

การประเมินผลกระทบด้านอุทกภัยของจังหวัดสุโขทัยอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพ
ภูมิอากาศของโลก



นายปฏิญญา ทรัพย์อินันต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

THE IMPACT ASSESSMENT ON FLOODS AT THE SUKHOTHAI PROVINCE DUE TO
GLOBAL CLIMATE CHANGE

Mr. Patinya Hanittinan



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Water Resources Engineering

Department of Water Resources Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประเมินผลกระทบด้านอุทกภัยของจังหวัดสุโขทัยอัน
เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก

โดย

นายปฎิญา หรรษ์อิธินันต์

สาขาวิชา

วิศวกรรมแหล่งน้ำ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.สุจิตร์ คุณธนกุลวงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ทวนทัน กิจไพศาลสกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุจิตร์ คุณธนกุลวงศ์)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.อนุรักษ์ ศรีอริยวัฒน์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิรสรณ์ สันตีสิริสมบูรณ์)

ปฏิญญา ทรัพย์สินันต์ : การประเมินผลกระทบด้านอุทกภัยของจังหวัดสุโขทัยอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก. (THE IMPACT ASSESSMENT ON FLOODS AT THE SUKHOTHAI PROVINCE DUE TO GLOBAL CLIMATE CHANGE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.สุจรีต คุณธนากุลวงศ์, 437 หน้า.

การศึกษานี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาและประเมินถึงผลกระทบจากอุทกภัยของจังหวัดสุโขทัยในปัจจุบัน (ค.ศ. 1979-2006) อนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) และจัดทำข้อเสนอแนะมาตรการปรับตัวเบื้องต้นซึ่งจำเป็นต้องปรับปรุงเพิ่มเติมจากปัจจุบัน ด้วยการประยุกต์ใช้ข้อมูลฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติและย่อส่วนเรียบร้อยแล้ว จากการศึกษาพบว่า ปริมาณน้ำฝนรายปีของกลุ่มน้ำยมมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงจากปัจจุบันระหว่าง -5.20% ถึง 4.65% ในช่วงอนาคตอันใกล้ และ -1.73% ถึง 13.28% ในช่วงอนาคตอันไกล ปริมาณฝนช่วงฤดูฝนของกลุ่มน้ำยมมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงระหว่าง -2.45% ถึง 4.32% ในช่วงอนาคตอันใกล้ และ 3.19% ถึง 20.02% ในช่วงอนาคตอันไกล ปริมาณฝนรายเดือนของกลุ่มน้ำยมในช่วงเดือนพฤษภาคม-ตุลาคม มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงระหว่าง -76.15% ถึง 89.24% ในช่วงอนาคตอันใกล้ และ -70.93% ถึง 87.69% ในช่วงอนาคตอันไกล

ผลกระทบด้านอุทกภัยในอนาคตของจังหวัดสุโขทัย พบว่าอัตราการไหลสูงสุดผ่านสถานี Y.14 มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงจากปัจจุบันระหว่าง -16.06% ถึง 3.30% ในช่วงอนาคตอันใกล้ และ -19.44% ถึง 9.31% ในช่วงอนาคตอันไกล ระดับน้ำสูงสุดมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงระหว่าง -1.94% ถึง 0.13% ในช่วงอนาคตอันใกล้ และ -2.74% ถึง 2.72% ในช่วงอนาคตอันไกล ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับตลิ่งจะอยู่ระหว่าง -1.31 ม. ถึง 4.39 ม. ในช่วงอนาคตอันใกล้ และ -1.31 ม. ถึง 6.54 ม. ในช่วงอนาคตอันไกล และสุดท้ายคือพื้นที่น้ำท่วมซึ่งมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงระหว่าง -19.44% ถึง 5.78% ในช่วงอนาคตอันใกล้ และ -23.92% ถึง 25.86% ในช่วงอนาคตอันไกล

แนวทางการปรับตัวเบื้องต้นที่เสนอแนะในการศึกษาคั้งนี้คือ เพิ่มการปรับปรุงลักษณะการผันน้ำเลี้ยงเขตเศรษฐกิจจังหวัดสุโขทัย การใช้พื้นที่ทุ่งน้ำหลากฝั่งขวาของแม่น้ำยม และรูปแบบการปรับตัวแบบผสมผสาน พบว่าการปรับตัวในแบบผสมผสานที่เสนอ สามารถลดระดับน้ำท่วมในคาบการเกิดซ้ำ 5-100 ปี ณ สถานี Y.3A ลงระหว่าง 2.07 ม. ถึง 2.32 ม. เทียบกับสถานะปัจจุบัน ในช่วงอนาคตอันใกล้ และลดลงระหว่าง 1.86 ม. ถึง 2.18 ม. ในช่วงอนาคตอันไกล ส่วนสถานี Y.33 การปรับตัวแบบผสมผสานสามารถลดระดับน้ำท่วมในคาบการเกิดซ้ำ 5-100 ปี ณ สถานี Y.33 ลงระหว่าง 1.79 ม. ถึง 2.17 ม. ในช่วงอนาคตอันใกล้ และลดลงระหว่าง 1.84 ม. ถึง 2.19 ม. ในช่วงอนาคตอันไกล ควรมีระบบเตือนภัยและการสื่อสารรองรับกรณีมีภาวะน้ำท่วมในคาบการเกิดสูง

ภาควิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2556

5370273121 : MAJOR WATER RESOURCES ENGINEERING

KEYWORDS: CLIMATE CHANGE / GLOBAL CLIMATE MODELS / ADAPTATION /
FLOODS IMPACT

PATINYA HANITTINAN: THE IMPACT ASSESSMENT ON FLOODS AT THE SUKHOTHAI PROVINCE DUE TO GLOBAL CLIMATE CHANGE. ADVISOR: ASSOC. PROF. SUCHARIT KOONTANAKULVONG,, Ph.D.,437 pp.

This research studies and assesses the impact on floods at Sukhothai Province at present period (1979-2006), near future (2015–2039) and far future (2075–2099). Preliminary adaptation measure were introduced and analyzed. Results showed that annual rainfall in Yom river basin may change from present within a range of -5.20%-4.65% and -1.73%- 13.28% in near future and far future. Wet period rainfall could also change within a range of -2.45%-4.32% and 3.19%-20.02% in near future and far future. Future floods impact in Sukhothai Province also analyzed, and results showed that peak discharge at Y.14 station could change within a range of -16.06%-3.30% and -19.44%-9.31% respectively. Maximum water level could change within a range of -1.94%-0.13% and -2.74%-2.72% Flooding level may occurs within a range of -1.31-4.39 m. and -1.31-6.54 m. Lastly, flooded area is projected to change within a range of -19.44%- 5.78% and 23.92%-25.86%.

The results also showed that suggested adaptation measures, i.e., flood diversion modification, utilization of floodplain at the right side of Yom River, and integration of these measures. Results showed that proposed measures did reduce flooding level at return periods between 5-100 years, at Y.3A station, within a range of 2.07-2.32 m. in the near future, and from 1.86-2.18 m. in the far future. Flooding level at Y.33 station also projected to reduce within a range of 1.79-2.17 m. in the near future and from 1.84-2.19 m. in the far future. There is still a need for warning and communication system for the floods at high return periods.

Department: Water Resources
Engineering

Student's Signature

Advisor's Signature

Field of Study: Water Resources
Engineering

Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้าครั้งนี้ ข้าพเจ้าได้รับคำแนะนำ ความช่วยเหลือ ตลอดจนความอนุเคราะห์จากบุคคลและหน่วยงานต่างๆ ดังต่อไปนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สุจริต คุณชนกุลวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้คำปรึกษา แนะนำ สนับสนุน ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ และได้กรุณาให้โอกาสร่วมโครงการวิจัย และสั่งสอนทั้งในเชิงวิชาการและการทำงาน อันเป็นประโยชน์ยิ่งต่อข้าพเจ้า

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ทวนทัน กิจไพศาลสกุล อาจารย์ ดร. อนุรักษศรีหรือริวัฒน์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิรสรณ์ สันติศิริสมบุญรณ์ ประธานกรรมการและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าในการให้คำแนะนำ และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่าน ซึ่งได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา และอบรมสั่งสอนข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาของการศึกษาในสถาบันอันทรงเกียรติแห่งนี้

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ และ หน่วยปฏิบัติการวิจัยและจัดการแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือด้านสถานที่ อุปกรณ์ เครื่องมือ และสาธารณูปโภคต่างๆที่จำเป็นต่อการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่จากหน่วยงานราชการต่างๆ ได้แก่ กรมชลประทาน กรมอุตุนิยมวิทยา กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย ซึ่งเอื้อเฟื้อข้อมูลภาคสนาม รวมถึงข้อคิดเห็นบางส่วนในการจัดการปัญหาอุทกภัยในพื้นที่ศึกษา ขอขอบคุณชาวบ้าน และเกษตรกรทุกท่านที่ให้ข้อมูลตอบแบบสอบถามด้วยอภัยและไมตรีจิตที่งดงาม ระหว่างการสำรวจภาคสนาม

ขอขอบคุณ คุณขวัญชัย แพ้โคกสูง คุณจุลจักร โอภาณูรักษ์ คุณสุวีร์ ศรียี่สุน คุณदनัย จำปานิล คุณศักดิ์ สกฤตไทย คุณสุธรรม วิสุทธิเมธีกร ตลอดจนพี่ เพื่อน น้อง ในภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ สำหรับมิตรภาพ ประสบการณ์ทำงาน กำลังใจ และความช่วยเหลือขณะทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัวของข้าพเจ้า ผู้ให้ความรักอันบริสุทธิ์ กำลังใจ โอกาส คำอบรมสั่งสอน และอดทนเหนื่อยยากเพื่อข้าพเจ้ามาโดยตลอด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ต
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.4 แนวทางการศึกษา.....	6
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	7
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	11
บทที่ 2 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา.....	19
2.1 การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับแบบจำลองภูมิอากาศโลก.....	19
2.2 การศึกษาที่ผ่านมาของการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก.....	26
2.3 การศึกษาที่ผ่านมาของการย่อส่วนข้อมูลจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก.....	29
2.4 การศึกษาที่ผ่านมาของการประยุกต์แบบจำลองภูมิอากาศเพื่อศึกษาภูมิอากาศในประเทศไทย.....	35
2.5 การศึกษาที่ผ่านมาของผลกระทบและการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก.....	37
2.6 สรุปข้อสังเกตจากการศึกษาที่ผ่านมา.....	49
2.7 ทฤษฎีที่ใช้ศึกษา.....	50
บทที่ 3 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา.....	64
3.1 สภาพพื้นที่ศึกษา.....	64
3.3 การเกิดอุทกภัยในลุ่มน้ำยมและจังหวัดสุโขทัย.....	80
บทที่ 4 การวิเคราะห์ฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก.....	89
4.1 ขั้นตอนและวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลฝน.....	89

4.2 การเปรียบเทียบปริมาณฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกกับข้อมูลฝนสังเกตการณ์	90
4.3 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนตกในอนาคตจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก	157
บทที่ 5 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกในจังหวัดสุโขทัย.....	187
5.1 การวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก	187
5.2 การประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำท่าผิวดินเพื่อประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ	187
5.3 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกต่อสภาพน้ำท่าในสถานีวัดน้ำท่าที่ศึกษา	192
5.4 การปรับตัวเบื้องต้นต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโลกในจังหวัดสุโขทัย	255
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	292
6.1 การปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติและย่อส่วนข้อมูลฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก	292
6.2 การจำลองสภาพน้ำหลากในจังหวัดสุโขทัยในปัจจุบัน.....	293
6.3 สรุปผลกระทบต่อสภาพน้ำฝนในจังหวัดสุโขทัย ภายใต้อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ	294
6.4 สรุปผลกระทบต่อสภาพน้ำท่าและการเกิดอุทกภัยของจังหวัดสุโขทัยในอนาคต	296
6.5 สรุปผลของการปรับตัวเบื้องต้นต่อสภาพอุทกภัยในอนาคตของจังหวัดสุโขทัย	300
6.6 ข้อเสนอแนะ.....	302
รายการอ้างอิง	305
ภาคผนวก ก ข้อมูลอุทกวิทยา.....	313
ภาคผนวก ข ภาพจำลองในอนาคตของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	342
ภาคผนวก ค Source code ของโปรแกรมการปรับปรุงคุณภาพฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศ	344
ภาคผนวก ง ทฤษฎีพื้นฐานของแบบจำลองอุทกวิทยา HEC-HMS	357
ภาคผนวก จ ทฤษฎีพื้นฐานของการไหลในทางน้ำเปิดแบบไม่คงที่	370
ภาคผนวก ฉ ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง HEC-HMS ด้วยข้อมูลน้ำท่าปี ค.ศ. 2002 และ 2006.....	380
ภาคผนวก ช ผลจำลองสภาพน้ำท่าจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ในปี ค.ศ. 2002 และ 2006.....	402
ภาคผนวก ซ ผลการสอบเทียบแบบจำลอง HEC-RAS ด้วยข้อมูลปี ค.ศ. 2002 และ 2006.....	413
ภาคผนวก ฌ ผลการจำลองระดับน้ำจากแบบจำลอง HEC-HMS ในสภาพปัจจุบัน.....	417
ภาคผนวก ญ ผลสรุปการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนของกลุ่มน้ำยมในอนาคต.....	420

ภาคผนวก ก รูปแบบสอบถามการปรับตัวต่อสภาพอุทกภัยและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก . 424
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 436



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1-1 รายละเอียดพื้นฐานของแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ใช้ศึกษา.....	5
1-2 ข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำยมและใกล้เคียง.....	15
1-3 ข้อมูลสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำยม.....	17
2-1 ประเภทของการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอุทกภัย.....	46
3-1 รายชื่อลุ่มน้ำย่อย และพื้นที่รับน้ำฝนในลุ่มน้ำยม.....	66
3-2 ข้อมูลภูมิอากาศรายเดือนของสถานีตรวจอากาศ จ. แพร่ อุตรดิตถ์ และพิษณุโลก.....	73
3-3 ข้อมูลปริมาณฝนรายเดือนและรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำยม และพื้นที่อื่นๆที่ใกล้เคียง.....	75
3-4 ช่วงพิสัยปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยแต่ละจังหวัดในลุ่มน้ำยม.....	75
3-5 ข้อมูลสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำยม.....	82
3-6 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนและรายปีของสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำยม.....	83
3-7 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีแยกของลุ่มน้ำยมระหว่างฤดูฝนและฤดูแล้ง.....	84
3-8 สัดส่วนการเฉลี่ยด้วยวิธีรูปหลายเหลี่ยมของฮีเอสเซนของสถานีวัดน้ำฝนในลุ่มน้ำยม.....	85
3-9 อัตราการไหลสูงสุดและเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำยม.....	87
4-1 ข้อมูลสถานีอุตุนิยมวิทยาและตำแหน่งของกริดที่ใช้ศึกษาเปรียบเทียบ.....	91
4-2 สรุปผลเปรียบเทียบปริมาณฝนรายปีของลุ่มน้ำยมในปัจจุบันของแบบจำลองภูมิอากาศโลก ที่ใช้ศึกษา.....	106
4-3 สรุปผลเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของปริมาณฝนรายปีของลุ่มน้ำยมในปัจจุบันของ แบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ใช้ศึกษา.....	107
4-4 สรุปผลเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูแล้งของลุ่มน้ำยมในปัจจุบันของแบบจำลองภูมิอากาศ โลกที่ใช้ศึกษา.....	108
4-5 สรุปผลเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของปริมาณฝนฤดูแล้งของลุ่มน้ำยมในปัจจุบันของ แบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ใช้ศึกษา.....	109
4-6 สรุปผลเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูฝนของลุ่มน้ำยมในปัจจุบันของแบบจำลองภูมิอากาศ โลกที่ใช้ศึกษา.....	110
4-7 สรุปผลเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของปริมาณฝนฤดูฝนของลุ่มน้ำยมในปัจจุบันของ แบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ใช้ศึกษา.....	111

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-8 สรุปผลเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนของกลุ่มน้ำยมในปัจจุบันของแบบจำลอง ภูมิอากาศโลกที่ใช้ศึกษา.....	112
4-9 สรุปผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนรายปีจากข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลกกับข้อมูล ตรวจวัดจากสถานี 40043 ในปัจจุบัน.....	131
4-10 สรุปผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนรายปีจากข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลกกับข้อมูล ตรวจวัดจากสถานี 59022 ในปัจจุบัน.....	132
4-11 สรุปผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนรายปีจากข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลกกับข้อมูล ตรวจวัดจากสถานี 59012 ในปัจจุบัน.....	133
4-12 สรุปผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูฝนจากข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลกกับข้อมูล ตรวจวัดจากสถานี 40043 ในปัจจุบัน.....	134
4-13 สรุปผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูฝนจากข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลกกับข้อมูล ตรวจวัดจากสถานี 59022 ในปัจจุบัน.....	135
4-14 สรุปผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูฝนจากข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลกกับข้อมูล ตรวจวัดจากสถานี 59012 ในปัจจุบัน.....	136
4-15 สรุปผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูแล้งจากข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลกกับข้อมูล ตรวจวัดจากสถานี 40043 ในปัจจุบัน.....	137
4-16 สรุปผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูแล้งจากข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลกกับข้อมูล ตรวจวัดจากสถานี 59022 ในปัจจุบัน.....	138
4-17 สรุปผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูแล้งจากข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลกกับข้อมูล ตรวจวัดจากสถานี 59012 ในปัจจุบัน.....	139
4-18 สรุปผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนจากข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลกกับ ข้อมูลตรวจวัดจากสถานี 40043 ในปัจจุบัน.....	140
4-19 สรุปผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนจากข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลกกับ ข้อมูลตรวจวัดจากสถานี 59022 ในปัจจุบัน.....	141
4-20 สรุปผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนจากข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลกกับ ข้อมูลตรวจวัดจากสถานี 59012 ในปัจจุบัน.....	142
4-21 สรุปผลการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ทางสถิติของปริมาณฝน GCMs รายวันกับ ฝนสังเกตการณ์ ____ (ก่อนปรับแก้ข้อมูล).....	148

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-22 สรุปผลการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ทางสถิติของปริมาณฝน GCMs รายวันกับ ฝนสังเกตการณ์ ก่อนปรับแก้ข้อมูล)-ต่อ.....	149
4-23 สรุปผลการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ทางสถิติของปริมาณฝน GCMs รายวันกับ ฝนสังเกตการณ์ (หลังปรับแก้ข้อมูล)	149
4-24 สรุปผลการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ทางสถิติของปริมาณฝน GCMs รายวันกับ ฝนสังเกตการณ์ หลังปรับแก้ข้อมูล)- ต่อ	150
4-25 สรุปผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยมในปัจจุบันและอนาคต.....	167
4-26 สรุปผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนรายฤดูกาลของกลุ่มน้ำยมในปัจจุบันและอนาคต.....	169
4-27 ผลแตกต่างปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยมในแต่ละคาบการเกิดซ้ำจากแบบจำลอง ภูมิอากาศโลกเทียบกับข้อมูลสังเกตการณ์ในปัจจุบัน.....	170
4-28 ผลแตกต่างปริมาณฝนฤดูฝนของกลุ่มน้ำยมในแต่ละคาบการเกิดซ้ำจากแบบจำลอง ภูมิอากาศโลกเทียบกับข้อมูลสังเกตการณ์ในปัจจุบัน.....	170
4-29 สรุปผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยมของแต่ละคาบการเกิดซ้ำ จากแบบจำลองภูมิอากาศโลกในอนาคตเทียบกับปัจจุบัน.....	171
4-30 สรุปผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนฤดูฝนของกลุ่มน้ำยมของแต่ละคาบการเกิดซ้ำ จากแบบจำลองภูมิอากาศโลกในอนาคตเทียบกับปัจจุบัน.....	172
4-31 สรุปผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนรายเดือนของกลุ่มน้ำยมจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ในอนาคตเทียบกับปัจจุบัน.....	173
5-1 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.20 ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015 – 2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075 – 2099).....	202
5-2 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.1C ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015 – 2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075 – 2099).....	203
5-3 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.14 ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015 – 2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075 – 2099).....	204
5-4 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.6 ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015 – 2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075 – 2099).....	205

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5-5 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.3A ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015 – 2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075 – 2099).....	206
5-6 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.33 ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015 – 2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075 – 2099).....	207
5-7 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.16 ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015 – 2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075 – 2099).....	208
5-8 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.17 ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015 – 2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075 – 2099).....	209
5-9 สัดส่วนของปริมาณน้ำท่าจากลุ่มน้ำสาขาที่เข้าสู่สถานีตรวจวัด ในปี ค.ศ. 1979-2006.....	212
5-10 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนร้อยละของปริมาณน้ำท่าจากลุ่มน้ำสาขาที่เข้าสู่สถานีตรวจวัด น้ำท่าของจังหวัดสุโขทัย จากข้อมูลของแบบจำลอง MRI - AGCM 3.1S ในช่วงอนาคตอันใกล้และไกลเทียบกับปัจจุบัน.....	214
5-11 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนร้อยละของปริมาณน้ำท่าจากลุ่มน้ำสาขาที่เข้าสู่สถานีตรวจวัด น้ำท่าของจังหวัดสุโขทัย จากข้อมูลของแบบจำลอง ECHAM5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ และไกลเทียบกับปัจจุบัน.....	215
5-12 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนร้อยละของปริมาณน้ำท่าจากลุ่มน้ำสาขาที่เข้าสู่สถานีตรวจวัด น้ำท่าของจังหวัดสุโขทัย จากข้อมูลของแบบจำลอง CSIRO - MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้และไกลเทียบกับปัจจุบัน.....	216
5-13 สรุปผลการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนร้อยละของปริมาณน้ำท่าจากลุ่มน้ำสาขาที่เข้าสู่ สถานีตรวจวัดของจังหวัดสุโขทัย เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองภูมิอากาศโลกทั้งสาม.....	217
5-14 สรุปผลการเปลี่ยนแปลงปริมาตรน้ำที่เข้าสู่สถานีตรวจวัดน้ำท่าของจังหวัดสุโขทัย เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลของแบบจำลอง MRI - AGCM3.1S ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้และไกลเทียบกับปัจจุบัน.....	218
5-15 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงสุดผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.20 ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015 – 2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075 – 2099).....	227

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5-26 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงสุดเทียบกับระดับตลิ่งผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.6 ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015 – 2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075 – 2099).....	248
5-27 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงสุดเทียบกับระดับตลิ่งผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.3A ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015 – 2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075 – 2099).....	249
5-28 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงสุดเทียบกับระดับตลิ่งผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.33 ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015 – 2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075 – 2099).....	250
5-29 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงสุดเทียบกับระดับตลิ่งผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.16 ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015 – 2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075 – 2099).....	251
5-30 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงสุดเทียบกับระดับตลิ่งผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.17 ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015 – 2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075 – 2099).....	252
5-31 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงพื้นที่อุทกภัยของแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO ในปี ค.ศ. 2015 - 2039 และ ค.ศ.2075 - 2099.....	254
5-32 จำนวนของผู้เข้าร่วมตอบแบบสอบถามในพื้นที่ศึกษา.....	257
5-33 ความต้องการที่ชาวบ้านต้องการให้ภาครัฐเข้ามาช่วยเหลือ.....	259
5-34 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมที่มีต่อภาครัฐหรือผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง.....	260
5-35 ข้อเสนอแนะการปรับปรุงเพิ่มเติมต่อมาตรการปรับตัวต่ออุทกภัยในจังหวัดสุโขทัย.....	263
5-36 ผลการเปรียบเทียบอัตราการไหลสูงสุดที่คาบการเกิดซ้ำ 50 ปี หลังใช้มาตรการปรับตัว แบบผสมผสาน ณ ปัจจุบัน จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO -MK3.5.....	283
5-37 ผลการเปรียบเทียบอัตราการไหลสูงสุดที่คาบการเกิดซ้ำ 50 ปี หลังใช้มาตรการปรับตัว แบบผสมผสาน ณ อนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015 - 2039) จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO -MK3.5.....	284
5-38 ผลการเปรียบเทียบอัตราการไหลสูงสุดที่คาบการเกิดซ้ำ 50 ปี หลังใช้มาตรการปรับตัว แบบผสมผสาน ณ อนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075 - 2099) จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO -MK3.5.....	285

สารบัญญัตินี้(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5-39 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมาตรการปรับตัวแบบผสมผสาน มาตรการผันน้ำ และมาตรการทุ่งน้ำหลาก ในการลดระดับน้ำสูงสุด ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015 – 2039) และอนาคตอันไกล ค.ศ. 2075 - 2099) ของแบบจำลอง MRI ณ สถานี Y.3A.....	286
5-40 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมาตรการปรับตัวแบบผสมผสาน มาตรการผันน้ำ และมาตรการทุ่งน้ำหลาก ในการลดระดับน้ำสูงสุด ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015 – 2039) และอนาคตอันไกล ค.ศ. 2075 - 2099) ของแบบจำลอง ECHAM5 ณ สถานี Y.3A.....	286
5-41 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมาตรการปรับตัวแบบผสมผสาน มาตรการผันน้ำ และมาตรการทุ่งน้ำหลาก ในการลดระดับน้ำสูงสุด ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015 – 2039) และอนาคตอันไกล ค.ศ. 2075 - 2099) ของแบบจำลอง CSIRO ณ สถานี Y.3A.....	287
5-42 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมาตรการปรับตัวแบบผสมผสาน มาตรการผันน้ำ และมาตรการทุ่งน้ำหลาก ในการลดระดับน้ำสูงสุด ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015 – 2039) และอนาคตอันไกล ค.ศ. 2075 - 2099) ของแบบจำลอง MRI ณ สถานี Y.33.....	287
5-43 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมาตรการปรับตัวแบบผสมผสาน มาตรการผันน้ำ และมาตรการทุ่งน้ำหลาก ในการลดระดับน้ำสูงสุด ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015 – 2039) และอนาคตอันไกล ค.ศ. 2075 - 2099) ของแบบจำลอง ECHAM5 ณ สถานี Y.33.....	288
5-44 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมาตรการปรับตัวแบบผสมผสาน มาตรการผันน้ำ และมาตรการทุ่งน้ำหลาก ในการลดระดับน้ำสูงสุด ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015 – 2039) และอนาคตอันไกล ค.ศ. 2075 - 2099) ของแบบจำลอง CSIRO ณ สถานี Y.3A.....	288

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5-45 การเปรียบเทียบประสิทธิผลของมาตรการปรับตัวเบื้องต้นที่เสนอแนะกับ มาตรการปรับตัวของกรมชลประทาน ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.3A ของแบบจำลอง MRI.....	289
5-46 การเปรียบเทียบประสิทธิผลของมาตรการปรับตัวเบื้องต้นที่เสนอแนะกับ มาตรการปรับตัวของกรมชลประทาน ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.3A ของแบบจำลอง ECHAM5.....	289
5-47 การเปรียบเทียบประสิทธิผลของมาตรการปรับตัวเบื้องต้นที่เสนอแนะกับ มาตรการปรับตัวของกรมชลประทาน ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.3A ของแบบจำลอง CSIRO-MK3.5.....	290
5-48 การเปรียบเทียบประสิทธิผลของมาตรการปรับตัวเบื้องต้นที่เสนอแนะกับ มาตรการปรับตัวของกรมชลประทาน ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.3A ของแบบจำลอง MRI.....	290
5-49 การเปรียบเทียบประสิทธิผลของมาตรการปรับตัวเบื้องต้นที่เสนอแนะกับ มาตรการปรับตัวของกรมชลประทาน ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.3A ของแบบจำลอง ECHAM5.....	291
5-50 การเปรียบเทียบประสิทธิผลของมาตรการปรับตัวเบื้องต้นที่เสนอแนะกับ มาตรการปรับตัวของกรมชลประทาน ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.3A ของแบบจำลอง CSIRO-MK3.5.....	291

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1-1 พื้นที่ลุ่มน้ำยมและจังหวัดสุโขทัย.....	12
1-2 ตำแหน่งของสถานีวัดน้ำฝนในลุ่มน้ำยมและพื้นที่รอบข้าง.....	13
1-3 ตำแหน่งของสถานีวัดน้ำฝนในลุ่มน้ำยมและพื้นที่รอบข้าง.....	14
1-4 แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษา.....	18
2-1 เทคนิคการปรับแก้ความเอนเอียงแบบควอนไทล์ (Wood et al., 2002).....	27
2-2 แผนภาพของขั้นตอนการปรับแก้ความถี่และความเข้มของปริมาณฝนรายวันจาก แบบจำลอง GCMs.....	28
2-3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลสูงสุดของสถานี Y.14 และพื้นที่อุทกภัย.....	42
2-4 ความสัมพันธ์ระหว่าง climate variability และ vulnerability.....	43
2-5 ขั้นตอนการประเมินการปรับตัวจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ.....	45
2-6 แผนภาพตัวอย่างของ Spatial Disaggregation model ซึ่งแสดงกระบวนการดังกล่าว ในแต่ละขั้นตอน.....	54
3-1 รูปตัดตามยาวและความจุลุ่มน้ำยมสายหลัก.....	71
3-2 ตำแหน่งของลมมรสุมพายุหมุนเขตร้อน และตำแหน่งของร่องความกดอากาศ.....	72
3-3 การแพร่กระจายข้อมูลภูมิอากาศเฉลี่ยที่สถานีตรวจอากาศของลุ่มน้ำยม.....	74
3-4 เส้นชั้นปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยและแสดงตำแหน่งที่ตั้งสถานีวัดน้ำฝนในลุ่มน้ำยม.....	76
3-5 การใช้ประโยชน์ที่ดินในลุ่มน้ำยม.....	78
3-6 โครงข่ายการจัดการอุทกภัยของจังหวัดสุโขทัย.....	88
4-1 แผนผังของกริดที่ใช้ศึกษาในแบบจำลองภูมิอากาศโลก CSIRO - MK 3.5.....	92
4-2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Exceedance probability function กับปริมาณฝนรายวัน เปรียบเทียบระหว่างฝนสังเกตการณ์และฝน downscaled ของแบบจำลอง CSIRO - MK 3.5 (ก) Grid 75 พฤษภาคม (ข) Grid 75 – กันยายน.....	94
4-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Exceedance probability function กับปริมาณฝนรายวัน เปรียบเทียบระหว่างฝนสังเกตการณ์และฝน downscaled ของแบบจำลอง CSIRO - MK 3.5 (ก) Grid 67 – พฤษภาคม (ข) Grid 67 – กันยายน.....	95
4-4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Exceedance probability function กับปริมาณฝนรายวัน เปรียบเทียบระหว่างฝนสังเกตการณ์และฝน downscaled ของแบบจำลอง CSIRO - MK 3.5 (ก) Grid 59 – พฤษภาคม (ข) Grid 59 – กันยายน.....	96

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-5 กราฟ autocorrelogram ของดัชนี Moran's I เปรียบเทียบระหว่างฝนจากแบบจำลอง CSIRO - MK 3.5 ที่ย่อส่วนแล้วในกริด GRD 75 กับฝนสังเกตการณ์ในช่วงฤดูฝน.....	97
4-6 กราฟ autocorrelogram ของดัชนี Moran's I เปรียบเทียบระหว่างฝนจากแบบจำลอง CSIRO - MK 3.5 ที่ย่อส่วนแล้วในกริด GRD 67 กับฝนสังเกตการณ์ในช่วงฤดูฝน พฤษภาคม- ตุลาคม.....	98
4-7 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยวมระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ในช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979 - 2006.....	102
4-8 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยวมระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ในช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979 - 2006.....	102
4-9 การเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูแล้งของกลุ่มน้ำยวมระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979 - 2006.....	103
4-10 การเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูแล้งของกลุ่มน้ำยวมระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ช่วงหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979 - 2006.....	103
4-11 การเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูฝนของกลุ่มน้ำยวมระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979 - 2006.....	104
4-12 การเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูฝนของกลุ่มน้ำยวมระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ช่วงหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979 - 2006.....	104
4-13 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนของกลุ่มน้ำยวมระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979 - 2006.....	105

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-14 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนของกลุ่มน้ำยมระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ช่วงหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979 - 2006.....	105
4-15 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายปีของสถานี 40043 ระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979 - 2006.....	119
4-16 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายปีของสถานี 40043 ระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ช่วงหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979 - 2006.....	119
4-17 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายปีของสถานี 59022 ระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979 - 2006.....	120
4-18 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายปีของสถานี 59022 ระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ช่วงหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979 - 2006.....	120
4-19 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายปีของสถานี 59012 ระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979 - 2006.....	121
4-20 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายปีของสถานี 59012 ระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ช่วงหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979 - 2006.....	121
4-21 การเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูฝนของสถานี 40043 ระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979 - 2006.....	122
4-22 การเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูฝนของสถานี 40043 ระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ช่วงหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979 - 2006.....	122

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-23 การเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูฝนของสถานี 59022 ระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝน สังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979 - 2006.....	123
4-24 การเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูฝนของสถานี 59022 ระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ช่วงหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝน สังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979 - 2006.....	123
4-25 การเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูฝนของสถานี 59012 ระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝน สังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979 - 2006.....	124
4-26 การเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูฝนของสถานี 59012 ระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ช่วงหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝน สังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979 - 2006.....	124
4-27 การเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูแล้งของสถานี 40043 ระหว่างฝนจากแบบจำลองMRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝน สังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979 - 2006.....	125
4-28 การเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูแล้งของสถานี 40043 ระหว่างฝนจากแบบจำลองMRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ช่วงหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝน สังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979 - 2006.....	125
4-29 การเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูแล้งของสถานี 59022 ระหว่างฝนจากแบบจำลองMRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝน สังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979 - 2006.....	126
4-30 การเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูแล้งของสถานี 59022 ระหว่างฝนจากแบบจำลองMRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ช่วงหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝน สังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979 - 2006.....	126
4-31 การเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูแล้งของสถานี 59012 ระหว่างฝนจากแบบจำลองMRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝน สังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979 - 2006.....	127

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-32 การเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูแล้งของสถานี 59012 ระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ช่วงหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979 - 2006.....	127
4-33 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนของสถานี 40043 ระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979 - 2006.....	128
4-34 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนของสถานี 40043 ระหว่างฝนจากแบบจำลองMRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ช่วงหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979 - 2006.....	128
4-35 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนของสถานี 59022 ระหว่างฝนจากแบบจำลองMRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979 - 2006.....	129
4-36 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนของสถานี 59022 ระหว่างฝนจากแบบจำลองMRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979 - 2006.....	129
4-37 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนของสถานี 59012 ระหว่างฝนจากแบบจำลองMRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979 - 2006.....	130
4-38 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนของสถานี 59012 ระหว่างฝนจากแบบจำลองMRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ช่วงหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ในช่วงปี ค.ศ. 1979 - 2006.....	130
4-39 ผลการเปรียบเทียบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของปริมาณฝนสะสมรายปีในกรณีสภาพปัจจุบัน ค.ศ. 1979 - 2006.....	151
4-40 ผลการเปรียบเทียบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของปริมาณฝนสะสมรายปีในกรณีสภาพปัจจุบัน ค.ศ. 1979 - 2006.....	152
4-41 ผลการเปรียบเทียบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของปริมาณฝนสะสมรายปีในกรณีสภาพปัจจุบัน ค.ศ. 1979 - 2006.....	153
4-42 ผลต่างการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของปริมาณฝนสะสมรายปีในกรณีสภาพปัจจุบัน ค.ศ. 1979 - 2006.....	154

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-43 ผลต่างการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของปริมาณฝนสะสมรายปีในกรณีสภาพปัจจุบัน ค.ศ. 1979 – 2006.....	155
4-44 ความแตกต่างของปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยมที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำจากแบบจำลอง ภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับข้อมูลฝนสังเกตการณ์.....	162
4-45 ความแตกต่างของปริมาณฝนฤดูฝนของกลุ่มน้ำยมที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำจากแบบจำลอง ภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับข้อมูลฝนสังเกตการณ์.....	162
4-46 ความแตกต่างของปริมาณฝนรายปีของสถานี 40043 อ. สอง จ. แพร่ ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำจากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับข้อมูลฝนสังเกตการณ์.....	163
4-47 ความแตกต่างของปริมาณฝนรายปีของสถานี 59022 อ. ศรีสัชชนาลัย จ. สุโขทัย ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำจากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับข้อมูลฝนสังเกตการณ์.....	163
4-48 ความแตกต่างของปริมาณฝนรายปีของสถานี 59012 อ. เมือง จ. สุโขทัย ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำจากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับข้อมูลฝนสังเกตการณ์.....	164
4-49 ความแตกต่างของปริมาณฝนฤดูฝนของสถานี 40043 อ. สอง จ. แพร่ ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำจากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับข้อมูลฝนสังเกตการณ์.....	164
4-50 ความแตกต่างของปริมาณฝนฤดูฝนของสถานี 59022 อ. ศรีสัชชนาลัย จ. สุโขทัย ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำจากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับข้อมูลฝนสังเกตการณ์.....	165
4-51 ความแตกต่างของปริมาณฝนฤดูฝนของสถานี 59012 อ. เมือง จ. สุโขทัย ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำจากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับข้อมูลฝนสังเกตการณ์.....	165
4-52 การเปรียบเทียบแนวโน้มปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยมของฝนจากแบบจำลอง MRI ในช่วงปัจจุบัน อนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล.....	166
4-53 การเปรียบเทียบแนวโน้มปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยมของฝนจากแบบจำลอง ECHAM5 ในช่วงปัจจุบัน อนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล.....	166

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-54 การเปรียบเทียบแนวโน้มปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยมของฝนจากแบบจำลอง CSIRO ในช่วงปัจจุบัน อนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล.....	167
4-55 การเปรียบเทียบแนวโน้มปริมาณฝนรายฤดูกาลของกลุ่มน้ำยมของฝนจากแบบจำลอง MRI ในช่วงปัจจุบัน อนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล.....	168
4-56 การเปรียบเทียบแนวโน้มปริมาณฝนรายฤดูกาลของกลุ่มน้ำยมของฝนจากแบบจำลอง ECHAM5 ในช่วงปัจจุบัน อนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล.....	168
4-57 การเปรียบเทียบแนวโน้มปริมาณฝนรายฤดูกาลของกลุ่มน้ำยมของฝนจากแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 ในช่วงปัจจุบัน อนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล.....	169
4-58 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยมที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015 - 2039) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน.....	178
4-59 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยมที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075 - 2099) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน.....	178
4-60 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายเดือนของกลุ่มน้ำยม ในช่วงอนาคตอันใกล้ ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015 - 2039) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน.....	179
4-61 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายเดือนของกลุ่มน้ำยม ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075 - 2099) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน.....	179
4-62 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนฤดูฝนของกลุ่มน้ำยมที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015 - 2039) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน.....	180
4-63 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนฤดูฝนของกลุ่มน้ำยมที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075 - 2099) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน.....	180
4-64 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายปีของสถานี 40043 จ. แพร่ ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015 - 2039) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน.....	181

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-65 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายปีของสถานี 40043 จ. แพร่ ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2075 - 2099) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน.....	181
4-66 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายปีของสถานี 59022 จ. สุโขทัย ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015 - 2039) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน.....	182
4-67 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายปีของสถานี 59022 จ. สุโขทัย ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2075 - 2099) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน.....	182
4-68 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายปีของสถานี 59012 จ. สุโขทัย ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015 - 2039) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน.....	183
4-69 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายปีของสถานี 59012 จ. สุโขทัย ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2075 - 2099) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน.....	183
4-70 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายเดือนของสถานี 40043 จ. สุโขทัย ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015 - 2039) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน.....	184
4-71 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายเดือนของสถานี 40043 จ. สุโขทัย ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2075 - 2099) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน.....	184
4-72 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายเดือนของสถานี 59022 จ. สุโขทัย ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015 - 2039) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน.....	185
4-73 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายเดือนของสถานี 59022 จ. สุโขทัย ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2075 - 2099) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน.....	185

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-74 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายเดือนของสถานี 59012 จ. สุโขทัย ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015 - 2039) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน.....	186
4-75 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายเดือนของสถานี 59012 จ. สุโขทัย แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2075 - 2099) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน.....	186
5-1 กรอบการดำเนินการวิเคราะห์แบบจำลองน้ำท่าผิวดิน.....	189
5-2 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดในช่วงอนาคตอันใกล้ ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.20 จากสภาพน้ำท่าตรวจวัด เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5.....	194
5-3 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดในช่วงอนาคตอันใกล้ ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.20 จากสภาพน้ำท่าตรวจวัด เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5.....	194
5-4 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดในช่วงอนาคตอันใกล้ ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.1C จากสภาพน้ำท่าตรวจวัด เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5.....	195
5-5 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดในช่วงอนาคตอันใกล้ ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.1C จากสภาพน้ำท่าตรวจวัด เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5.....	195
5-6 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดในช่วงอนาคตอันใกล้ ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.14 จากสภาพน้ำท่าตรวจวัด เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO- MK3.5.....	196
5-7 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดในช่วงอนาคตอันใกล้ ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.14 จากสภาพน้ำท่าตรวจวัด เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO- MK3.5.....	196
5-8 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดในช่วงอนาคตอันใกล้ ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.6 จากสภาพน้ำท่าตรวจวัด เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO- MK3.5.....	197

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5-9 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดในช่วงอนาคตอันใกล้ ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.6 จากสภาพน้ำท่าตรวจวัด เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO- MK3.5.....	197
5-10 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดในช่วงอนาคตอันใกล้ ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.3A จากสภาพน้ำท่าตรวจวัด เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO- MK3.5.....	198
5-11 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดในช่วงอนาคตอันใกล้ ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.3A จากสภาพน้ำท่าตรวจวัด เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO- MK3.5.....	198
5-12 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดในช่วงอนาคตอันใกล้ ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.33 จากสภาพน้ำท่าตรวจวัด เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO- MK3.5.....	199
5-13 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดในช่วงอนาคตอันใกล้ ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.33 จากสภาพน้ำท่าตรวจวัด เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO- MK3.5.....	199
5-14 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดในช่วงอนาคตอันใกล้ ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.16 จากสภาพน้ำท่าตรวจวัด เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO- MK3.5.....	200
5-15 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดในช่วงอนาคตอันใกล้ ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.16 จากสภาพน้ำท่าตรวจวัด เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO- MK3.5.....	200
5-16 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดในช่วงอนาคตอันใกล้ ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.17 จากสภาพน้ำท่าตรวจวัด เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO- MK3.5.....	201
5-17 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดในช่วงอนาคตอันใกล้ ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.17 จากสภาพน้ำท่าตรวจวัด เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO- MK3.5.....	201
5-18 แผนผังปริมาณการไหลเฉลี่ยของน้ำผ่านสถานีตรวจวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำยมในปัจจุบัน.....	213

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5-39 ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับตลิ่ง ณ สถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.14 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ.2015 - 2039).....	239
5-40 ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับตลิ่ง ณ สถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.14 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ.2075 - 2099).....	239
5-41 ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับตลิ่ง ณ สถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.6 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ.2015 - 2039).....	240
5-42 ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับตลิ่ง ณ สถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.6 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ.2075 - 2099).....	240
5-43 ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับตลิ่ง ณ สถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.3A ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ.2015 - 2039).....	241
5-44 ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับตลิ่ง ณ สถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.3A ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ.2075 - 2099).....	241
5-45 ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับตลิ่ง ณ สถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.33 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ.2015 - 2039).....	242
5-46 ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับตลิ่ง ณ สถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.33 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ.2075 - 2099).....	242
5-47 ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับตลิ่ง ณ สถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.16 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ.2015 - 2039).....	243
5-48 ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับตลิ่ง ณ สถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.16 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ.2075 - 2099).....	243
5-49 ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับตลิ่ง ณ สถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.17 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ.2015 - 2039).....	244
5-50 ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับตลิ่ง ณ สถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.17 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ.2075 - 2099).....	244
5-51 แผนผังแสดงความจุลน้ำ ณ สถานีวัดน้ำของแม่น้ำยมสายหลัก และแนวทางการผันน้ำเพื่อเลี้ยงชุมชน.....	264
5-52 แผนผังการระบายน้ำของกลุ่มน้ำยม ในจังหวัดสุโขทัย ที่คาบการเกิดซ้ำ 50 ปี.....	268
5-53 ประสิทธิภาพในการลดอัตราการไหลสูงสุดในสถานีวัดน้ำท่าของจังหวัดสุโขทัย ภายใต้แบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในปีค.ศ. 2006.....	269

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5-54 ประสิทธิภาพในการลดอัตราการไหลสูงสุดในสถานีวัดน้ำท่าของจังหวัดสุโขทัย ภายใต้แบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในปี ค.ศ. 2015 - 2039.....	269
5-55 ประสิทธิภาพในการลดอัตราการไหลสูงสุดในสถานีวัดน้ำท่าของจังหวัดสุโขทัย ภายใต้แบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในปี ค.ศ. 2075 - 2099.....	270
5-56 ซลภาพการไหลเปรียบเทียบระหว่างกับกรณีการปรับตัวแบบผสมผสานกับสภาพน้ำหลากปัจจุบัน ในปีค.ศ. 2002 และ 2006.....	272
5-57 การเปรียบเทียบการกระจายความถี่ของสัดส่วนของอัตราการไหลสูงสุดกับความจุลำนํ้าในช่วงอนาคตอันใกล้ ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ณ สถานี Y.3A.....	273
5-58 การเปรียบเทียบการกระจายความถี่ของสัดส่วนของอัตราการไหลสูงสุดกับความจุลำนํ้าในช่วงอนาคตอันไกล ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ณ สถานี Y.3A.....	273
5-59 การเปรียบเทียบการกระจายความถี่ของสัดส่วนของอัตราการไหลสูงสุดกับความจุลำนํ้าในช่วงอนาคตอันใกล้ ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ณ สถานี Y.33.....	274
5-60 การเปรียบเทียบการกระจายความถี่ของสัดส่วนของอัตราการไหลสูงสุดกับความจุลำนํ้าในช่วงอนาคตอันไกล ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ณ สถานี Y.33.....	274
5-61 การเปรียบเทียบการกระจายความถี่ของของระดับน้ำสูงสุดกับระดับตลิ่งในช่วงอนาคตอันใกล้ ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ณ สถานี Y.3A.....	275
5-62 การเปรียบเทียบการกระจายความถี่ของสัดส่วนของระดับน้ำสูงสุดกับระดับตลิ่งในช่วงอนาคตอันไกล ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ณ สถานี Y.3A.....	275
5-63 การเปรียบเทียบการกระจายความถี่ของสัดส่วนของระดับน้ำสูงสุดกับระดับตลิ่งในช่วงอนาคตอันใกล้ ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ณ สถานี Y.33.....	276

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5-64 การเปรียบเทียบการกระจายความถี่ของสัดส่วนของระดับน้ำสูงสุดกับระดับตลิ่งในช่วงอนาคตอันไกล ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ณ สถานี Y.33.....	276
5-65 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดระดับน้ำสูงสุดของมาตรการปรับตัวแบบเชิงโครงสร้าง และไม่ใช่โครงสร้าง (ปรับปรุงการผันน้ำ) ของสถานี Y.3A จากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015 - 2039).....	278
5-66 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดระดับน้ำสูงสุดของมาตรการปรับตัวแบบเชิงโครงสร้าง และไม่ใช่โครงสร้าง (ปรับปรุงการผันน้ำ) ของสถานี Y.3A จากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075 - 2099).....	278
5-67 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดระดับน้ำสูงสุดของมาตรการปรับตัวแบบเชิงโครงสร้าง และไม่ใช่โครงสร้าง (ปรับปรุงการผันน้ำ) ของสถานี Y.33 จากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015 - 2039).....	279
5-68 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดระดับน้ำสูงสุดของมาตรการปรับตัวแบบเชิงโครงสร้าง และไม่ใช่โครงสร้าง (ปรับปรุงการผันน้ำ) ของสถานี Y.33 จากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO - MK3.5 ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075 - 2099).....	279
5-69 การเปรียบเทียบประสิทธิผลในการลดระดับน้ำสูงสุดของมาตรการปรับตัวแบบผสมผสานและมาตรการกรมชลประทานของสถานี Y.3A จากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ ค).ศ. 2015-2039).....	281
5-70 การเปรียบเทียบประสิทธิผลในการลดระดับน้ำสูงสุดของมาตรการปรับตัวแบบผสมผสานและมาตรการกรมชลประทานของสถานี Y.3A จากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันไกล ค).ศ. 2075-2099).....	281
5-71 การเปรียบเทียบประสิทธิผลในการลดระดับน้ำสูงสุดของมาตรการปรับตัวแบบผสมผสานและมาตรการกรมชลประทานของสถานี Y.33 จากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ ค).ศ. 2015-2039).....	282
5-72 การเปรียบเทียบประสิทธิผลในการลดระดับน้ำสูงสุดของมาตรการปรับตัวแบบผสมผสานและมาตรการกรมชลประทานของสถานี Y.33 จากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันไกล ค).ศ. 2075-2099).....	282

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

พื้นที่ลุ่มน้ำยมซึ่งตั้งอยู่บริเวณภาคเหนือของประเทศไทยประสบกับสภาวะอุทกภัยเกือบทุกปี รวมถึงปัญหาจากความแห้งแล้งและคุณภาพน้ำในช่วงฤดูแล้ง ก่อให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจ สังคม และนำไปสู่ความเดือดร้อนของประชาชน ขณะเดียวกันลุ่มน้ำยมยังขาดการพัฒนาด้านชลประทานอย่างเต็มที่ เพื่อนำน้ำมาใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆในช่วงฤดูแล้ง และกักเก็บปริมาณน้ำส่วนเกินในช่วงน้ำหลากด้วยแหล่งกักเก็บขนาดใหญ่ เมื่อเปรียบเทียบกับลุ่มน้ำข้างเคียง ได้แก่ ลุ่มน้ำปิง วัง และน่าน นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดของความจุลำนํ้า การเปลี่ยนแปลงสภาพลำนํ้า การขยายตัวของชุมชนเมือง การก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐาน ดังเหตุการณ์ในปี พ.ศ. 2538 , 2545, 2549 ได้เกิดอุทกภัยในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำยมและจังหวัดสุโขทัยอย่างรุนแรง ซึ่งสาเหตุหลักล้วนเกิดจากฝนตกหนักในลุ่มน้ำยมตอนบน ส่งผลให้อัตราการไหลในลำนํ้าหลักและลำนํ้าสาขามากเกินกว่าศักยภาพจะรับได้ ระดับน้ำจึงเพิ่มสูงขึ้นและระบายออกไม่ทัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ตอนกลางตั้งแต่จังหวัดสุโขทัยจนถึงจังหวัดพิจิตรจะประสบปัญหานี้ได้มาก และแก้ไขได้ลำบาก เนื่องจากขนาดหน้าตัดลำนํ้าที่เล็กกว่าพื้นที่ลุ่มน้ำตอนบน

สำหรับสภาวะอุทกภัยที่เกิดขึ้นในจังหวัดสุโขทัย หน่วยงานภาครัฐนำโดยกรมชลประทานได้ศึกษา วางแผน และวางแผนทางการแก้ไขปัญหานี้ไว้หลายวิธีด้วยกัน เช่น ก่อสร้างแหล่งกักเก็บน้ำขนาดใหญ่ในพื้นที่ตำบลสะเอียบ จังหวัดแพร่ ก่อสร้างอ่างเก็บน้ำขนาดกลางและขนาดเล็กในลำนํ้าสาขา การก่อสร้างระบบคลองระบายน้ำเพื่อผันน้ำออกไปเก็บในที่ราบลุ่มหรือลุ่มน้ำอื่น การก่อสร้างประตูระบายน้ำ ฝาย และพื้นที่แก้มลิงขนาดใหญ่ ขนาดกลางและเล็ก การขุดลอกลำนํ้าและทางน้ำเดิมเพื่อเป็นเส้นทางน้ำไหลเลี้ยงตัวเมือง เป็นต้น

ย่นแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างไรก็ดี การเปลี่ (climate change) ได้กลายเป็นปัจจัยสำคัญยิ่งในกระบวนการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ และคาดหมายว่าอาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างถาวรและมีนัยสำคัญต่อการกระจายตัวเชิงสถิติของแนวโน้มและความรุนแรงของภูมิอากาศ ซึ่งการเตรียมการรับมือผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมิใช่เรื่องที่จะทำได้ง่าย เนื่องจากเงื่อนไขเวลาที่ยาวนานได้นับศตวรรษและมีความไม่แน่นอนสูง (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2554) จากการศึกษาของคณะทำงานกลุ่มที่ 2 ของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC Working Group II, 2007) ได้สรุปถึงผลกระทบการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวที่มีต่อสภาพอุทกภัยและความแห้งแล้งและพบว่า ผลของอุณหภูมิ ความเข้มข้น และความผันแปรของสภาพภูมิอากาศที่มากขึ้นจะเพิ่มความเสี่ยงของทั้งอุทกภัยและความแห้งแล้งให้

เพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งประเภทของอุทกภัยประกอบด้วย อุทกภัยจากน้ำไหลล้นตลิ่ง (river flood) อุทกภัยแบบฉับพลัน (flash flood) อุทกภัยในเขตเมือง (urban flood) และอุทกภัยจากการไหลล้นท่อน้ำทิ้ง (sewer flood) นอกจากนี้ความเสี่ยงจากอุทกภัยที่เพิ่มขึ้นในอนาคตอาจเกิดจากสาเหตุที่ไม่เกี่ยวข้องกับภูมิอากาศ (non-climatic drivers) เช่น การกลายเป็นเมือง (urbanization) หรือ การรุกล้ำพื้นที่อุทกภัย (floodplain encroachment) เป็นต้น

ด้วยเหตุนี้ การศึกษาถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกต่อการเกิดอุทกภัยจึงเป็นเรื่องสำคัญอย่างยิ่งต่อการกำหนดนโยบายจากภาครัฐในการทำความเข้าใจถึงขนาด ความรุนแรง รวมถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสภาพอุทกภัยในพื้นที่รับผิดชอบของตน เพื่อกำหนดแนวทางการแก้ไข ยับยั้งและบรรเทาปัญหาได้ต่อไป รวมถึงภาคประชาชนซึ่งเป็นผู้ได้รับผลกระทบทางตรง จะได้ตระหนักรู้ และทำการปรับตัวอย่างเหมาะสม

การปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติ (statistical bias correction) และย่อส่วนข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก (climate downscaling) เป็นวิธีซึ่งมีความจำเป็นต่อการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในระดับลุ่มน้ำ โดยปรับปรุงคุณภาพและเพิ่มความละเอียด เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ประเมินผลกระทบอุทกภัยด้วยแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (rainfall-runoff model) และแบบจำลองวิเคราะห์การไหลในลำน้ำ (river analysis model) รวมถึงประสิทธิภาพในการบรรเทาปัญหาอุทกภัยของกลุ่มน้ำยมในปัจจุบัน ว่ามีความสามารถในการบรรเทาสภาพอุทกภัย เช่น ความลึกของระดับน้ำ และอัตราการไหลสูงสุด ให้ลดลงจากสภาพธรรมชาติได้แค่ไหน และในอนาคตภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก จะต้องดำเนินการปรับปรุงเพิ่มเติมในด้านใดบ้าง เพื่อช่วยบรรเทาสภาพอุทกภัย อันจะช่วยลดความเสียหายทางเศรษฐกิจและสังคมได้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ประยุกต์ใช้เทคนิคการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติ (statistical bias correction) และการย่อส่วนข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (climate downscaling) จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก เพื่อสร้างชุดของข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ให้สามารถใช้ประเมินผลกระทบจากสภาพอุทกภัยได้

2. ศึกษาและประเมินถึงผลกระทบจากอุทกภัยของจังหวัดสุโขทัยในสภาพปัจจุบัน และประเมินถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ในเชิงของปริมาณฝนสะสมรายวันสูงสุด อัตราการไหลสูงสุดและระดับน้ำในอนาคต

3. จัดทำข้อเสนอแนะเบื้องต้นสำหรับมาตรการปรับตัวต่อสภาพอุทกภัยในจังหวัดสุโขทัยในอนาคต

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. พื้นที่ศึกษาคืออาณาบริเวณทั้งหมดของกลุ่มน้ำยม (แสดงในรูปที่ 1-1) เพื่อให้ครอบคลุมกับ สถานีวัดน้ำฝน และสถานีวัดน้ำท่า แสดงในรูปที่)1-2 และรูปที่ 1-3) ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำท่าและ สภาวะอุทกภัยของจังหวัดสุโขทัย

2. แบบจำลองภูมิอากาศโลก (Global Climate Models: GCMs) ที่ใช้ในการศึกษามี ทั้งหมด 3 แบบจำลอง ได้แก่ MRI-AGCM3.1S จากสถาบันวิจัยอุตุนิยมวิทยาแห่งประเทศญี่ปุ่น (Japan Meteorological Agency: JMA) ECHAM5 จากสถาบันวิจัยอุตุนิยมวิทยา Max Planck (Max Planck Institute for Meteorology) แห่งประเทศเยอรมัน และ CSIRO-MK3.5 จาก ศูนย์วิจัยอากาศและภูมิอากาศแห่งประเทศออสเตรเลีย (The Centre for Australian Weather and Climate Research) เพื่อศึกษาถึงลักษณะของผลกระทบด้านอุทกภัยที่แตกต่างกัน โดย รายละเอียดพื้นฐานของแต่ละแบบจำลอง เช่น ประเภทของภาพจำลองของภูมิอากาศในอนาคต ช่วง ปีที่ใช้ และขนาดของ กริดเชิงพื้นที่ จะแสดงในตารางที่ 1-1

แบบจำลอง CSIRO-MK3.5 มีศักยภาพสูงในการจำลองคุณลักษณะทางสถิติของฝน สังกะการณ์ ส่วนแบบจำลอง MRI-AGCM และ ECHAM5 นั้นให้ความละเอียดเชิงพื้นที่ค่อนข้างสูง มาก จึงมีความเหมาะสมในการนำข้อมูลมาประยุกต์ใช้ได้เป็นอย่างดี ซึ่งรายละเอียดเพิ่มเติมจะอธิบาย ต่อไปในหัวข้อที่ 2.2

3. ช่วงเวลาที่ใช้ในการศึกษา จัดแบ่งออกได้เป็นสามช่วงเวลาหลัก ได้แก่

- ระยะเวลาปัจจุบัน (present) ระหว่างปี ค.ศ. 1979–2006
- ระยะเวลาอนาคตอันใกล้ (near future) ระหว่างปี ค.ศ. 2015–2039
- ระยะเวลาอนาคตอันไกล (far future) ระหว่างปี ค.ศ. 2075–2099

4. การศึกษาในส่วนการประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของฝนและปริมาณน้ำท่าต่อ การเกิดอุทกภัยในอนาคต รวมถึงข้อเสนอในการปรับตัวต่ออุทกภัย จะพิจารณาเฉพาะส่วนของ จังหวัดสุโขทัย

คำว่า“จังหวัดสุโขทัย” ในที่นี้ หมายถึงอาณาบริเวณตั้งแต่สถานีวัดน้ำท่า Y.14 และ Y.6 อำเภอศรีสัชนาลัย สถานีวัดน้ำท่า Y.3A อำเภอสวรรคโลก สถานีวัดน้ำท่า Y.33 อำเภอศรีสำโรง สถานีวัดน้ำท่า Y.4 อำเภอเมือง จนถึงสถานีวัดน้ำท่า Y.16 ณ อำเภอบางระกำ ในจังหวัดพิษณุโลก

5. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝน-น้ำท่า ในปัจจุบัน อนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล จะดำเนินการด้วยแบบจำลอง HEC-HMS Ver. 3.5

6. การวิเคราะห์ระดับอุทกภัยในปัจจุบัน อนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล จะกระทำด้วยแบบจำลอง HEC-RAS Ver. 4.1

7. ช่วงเวลาสอบเทียบข้อมูลฝน (calibration) จากแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ใช้ในการศึกษา จะดำเนินการระหว่างปี ค.ศ. 1979-2000 ช่วงเวลาสอบทานข้อมูลฝน (verification) จะดำเนินการระหว่างปี ค.ศ. 2001-2006 สาเหตุของการแบ่งช่วงในลักษณะนี้ เนื่องจากข้อมูลภูมิอากาศในช่วง ค.ศ. 1979-2000 จะแทนข้อมูลภูมิอากาศในช่วงก่อนเกิดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และช่วง ค.ศ. 2001-2006 แทนข้อมูลภูมิอากาศในช่วงหลังการเกิดผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก (IPCC, 2001)

8. ช่วงเวลาการสอบเทียบข้อมูลน้ำท่า (calibration) ซึ่งประกอบด้วยชลภาพการไหล (flow hydrograph) และชลภาพของระดับน้ำ (stage hydrograph) จะใช้ข้อมูลน้ำท่าปี ค.ศ. 2002 ส่วนช่วงเวลาการสอบทาน (verification) จะใช้ข้อมูลน้ำท่าของปี ค.ศ. 2006

9. ข้อมูลทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำและลำน้ำ ปริมาณฝน อัตราการไหล และระดับน้ำตลอดจนสภาพอุทกภัยที่เกิดขึ้นในอดีต จะใช้ข้อมูลที่สำรวจแล้วระหว่างปี ค.ศ. 1979-2006 และรวบรวมจากหน่วยงานต่างๆของภาครัฐที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย

10. สถานีวัดน้ำฝนที่ใช้ในการศึกษา มีจำนวนทั้งสิ้น 35 สถานี แบ่งออกเป็นสถานีน้ำฝนในจังหวัดพะเยา 3 สถานี จังหวัดอุดรดิษฐ์ 3 สถานี จังหวัดลำปาง 4 สถานี จังหวัดแพร่ 7 สถานี จังหวัดน่าน 3 สถานี จังหวัดกำแพงเพชร 2 สถานี จังหวัดสุโขทัย 7 สถานี จังหวัดพิษณุโลก 3 สถานี และจังหวัดพิจิตร 3 สถานี โดยมีข้อมูลน้ำฝนย้อนหลัง ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1979-2006 สำหรับรายละเอียดเพิ่มเติมของแต่ละสถานี แสดงในตารางที่ 1-2

11. สถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำยมที่รวบรวมได้ มีจำนวนทั้งสิ้น 16 สถานี แบ่งเป็นสถานีวัดน้ำท่าในลำน้ำยมสายหลัก 11 สถานี และสถานีในลำน้ำสาขา 5 สถานี ซึ่งข้อมูลหลักที่ใช้คือ อัตราการไหลรายวัน และระดับน้ำรายวัน สำหรับรายละเอียดพิคัดที่ตั้งของแต่ละสถานี ช่วงเวลาของข้อมูลสถิติย้อนหลัง แสดงในตารางที่ 1-3

12. คำว่า “ผลกระทบ” ในที่นี้จะกล่าวในเชิงการเปลี่ยนแปลงของสภาพน้ำท่าและสภาพอุทกภัยในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) เทียบกับปัจจุบัน ซึ่งประกอบด้วย

1) ผลกระทบต่อสภาพน้ำท่า

ประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุด การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงสุด และการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่า

2) ผลกระทบต่อสภาพอุทกภัย

ประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงพื้นที่อุทกภัย การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำล้นตลิ่งสูงสุด

13. แนวทางการปรับตัวเบื้องต้นต่อผลกระทบของอุทกภัยจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกได้ประยุกต์ใช้มาตรการเชิงโครงสร้างและไม่ใช้โครงสร้างจากการศึกษาดังต่อไปนี้

- การปรับปรุงแนวทางการผันน้ำอ้อมเขตตัวเมืองสุโขทัย
- การใช้พื้นที่ทุ่งน้ำหลากฝั่งขวาของแม่น้ำยมกักเก็บปริมาณน้ำหลากส่วนเกิน
- การผสมผสานมาตรการทั้งสองประเภท

ตารางที่ 1-1 รายละเอียดพื้นฐานของแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ใช้ศึกษา

แบบจำลองภูมิอากาศโลก	ภาพจำลองของสภาพภูมิอากาศในอนาคต	ความละเอียดเชิงพื้นที่ของแบบจำลอง	ช่วงเวลาของข้อมูล
MRI-AGCM 3.1S	A1B	0.18° × 0.18°	1979-2006
ECHAM5	A1B	0.18° × 0.18°	1979-2006
CSIRO-MK3.5	A1B	1.4° × 1.4°	1979-2006

1.4 แนวทางการศึกษา

แนวทางการศึกษาในครั้งนี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อตอบคำถามจากจุดประสงค์ของงานวิจัย โดยแบ่งออกเป็นสามส่วนหลัก ดังนี้

1.4.1 แนวทางการกำหนดสภาพปัญหาและข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการศึกษา

1) พิจารณาสภาพปัญหาในปัจจุบันของการเกิดอุทกภัยในจังหวัดสุโขทัย สาเหตุของการเกิดอุทกภัยในจังหวัดสุโขทัย

2) ศึกษาเรื่องการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโลก ทบพทวนการศึกษาที่ผ่านมาของต่างประเทศและภายในประเทศไทย เพื่อพิจารณาความเกี่ยวข้องซึ่งจะเชื่อมโยงต่อสภาพอุทกภัยในปัจจุบันและในอนาคต

3) ระบุข้อมูลสังเกตการณ์ที่จำเป็นต้องรวบรวมไว้ใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา (ข้อมูลฝน) ข้อมูลอุทกวิทยา (ข้อมูลน้ำท่า) ข้อมูลภูมิประเทศ (ความลาดชัน, ความยาวลำน้ำ, หน้าตัดลำน้ำ) ข้อมูลการใช้ที่ดิน เป็นต้น

4) ระบุข้อมูลภูมิอากาศที่ต้องใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในประเทศไทย ซึ่งการศึกษาคั้งนี้จะใช้เพียงข้อมูลฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ซึ่งจำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพก่อนนำมาใช้คาดการณ์สภาพฝนของจังหวัดสุโขทัยในอนาคต และสามารถใช้เป็นข้อมูลน้ำเข้าแบบจำลองอุทกวิทยาได้

5) กำหนดขอบเขตและลักษณะของผลกระทบต่อสภาพน้ำท่า โดยในที่นี้ ประกอบด้วย อัตราการไหลสูงสุด ระดับน้ำสูงสุด ปริมาณน้ำท่า และพื้นที่อุทกภัย รวมถึงแนวทางการประเมินผลกระทบในอนาคต ซึ่งจะสรุปออกมาในเชิงของการเปลี่ยนแปลงเป็นร้อยละเทียบกับปัจจุบัน

6) ทบพทวนการศึกษาที่ผ่านมาของแนวคิด เทคนิค และองค์ประกอบของการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกจากต่างประเทศและภายในประเทศไทย โดยเน้นประยุกต์ใช้แนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการบรรเทาอุทกภัย ซึ่งแบ่งโดยกว้างออกได้เป็นมาตรการเชิงโครงสร้างและมาตรการที่ไม่ใช่โครงสร้าง

1.4.2 แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำฝนและข้อมูลน้ำท่า

1) วิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกช่วงก่อนการปรับปรุงคุณภาพข้อมูล โดยอาจแบ่งเป็น ปริมาณฝนรายปี ปริมาณฝนรายฤดูกาล (แล้ง, ฝน) ปริมาณฝนรายเดือน

2) ปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก โดยประยุกต์ใช้เทคนิควิธีการจากการทบทวนการศึกษาที่ผ่านมาในอดีตของกลุ่มน้ำในประเทศไทย หรือการศึกษาอื่นๆที่เกี่ยวข้องในต่างประเทศ

3) สอบเทียบและสอบทานแบบจำลองน้ำท่าผิวดิน ของเหตุการณ์อุทกภัยปี พ.ศ. 2545 และ พ.ศ.2549 ซึ่งประกอบด้วย แบบจำลองอุทกวิทยา และแบบจำลองการไหลในลำน้ำ โดยใช้ฝนและชลภาพน้ำท่าเป็นข้อมูลนำเข้า โดยมีจุดประสงค์เพื่อปรับค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการไหลให้สอดคล้องกับค่าที่ตรวจวัดจากสนาม และสามารถนำไปใช้ประเมินผลกระทบในอนาคตได้

4) ประยุกต์ใช้ฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ปรับปรุงคุณภาพข้อมูลแล้ว เป็นข้อมูลนำเข้าสู่แบบจำลองอุทกวิทยา ผลลัพธ์ที่ได้คือชลภาพน้ำท่าผ่านสถานีตรวจวัดของจังหวัดสุโขทัยในอนาคต ซึ่งผลที่สามารถวิเคราะห์ได้เพิ่มเติมได้แก่ อัตราการไหลสูงสุด ปริมาณน้ำท่า ส่วนการวิเคราะห์ระดับน้ำจะใช้แบบจำลองการไหลในลำน้ำ โดยใช้ชลภาพน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองอุทกวิทยาเป็นข้อมูลนำเข้า ส่วนการคำนวณพื้นที่อุทกภัย เนื่องจากข้อจำกัดพื้นฐานของแบบจำลอง ทำให้การวิเคราะห์จำเป็นต้องอาศัยความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างอัตราการไหลสูงสุดของสถานี Y.14 กับพื้นที่อุทกภัย เพื่อประมาณพื้นที่อุทกภัยของจังหวัดสุโขทัยทั้งในปัจจุบันและอนาคต

1.4.3 แนวทางการวิเคราะห์ผลกระทบและประสิทธิผลของมาตรการปรับตัว

1) การวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกจะคำนวณจากการเปลี่ยนแปลงของผลกระทบที่ได้ระบุในข้อ 5) ในหัวข้อ 1.4.1

2) การวิเคราะห์ประสิทธิผลของมาตรการปรับตัว จะกระทำโดยการเปรียบเทียบความสามารถของแต่ละมาตรการในการลดอัตราการไหลสูงสุด ระดับน้ำสูงสุด และระดับน้ำล้นตลิ่งในหน่วยเมตร เทียบกับกรณีสภาพปัจจุบัน โดยจะสรุปแยกเป็นสามส่วน ได้แก่ ประสิทธิผลของมาตรการปรับตัวแบบผสมผสาน ประสิทธิผลของมาตรการปรับตัวโดยใช้โครงสร้าง และประสิทธิผลของมาตรการปรับตัวที่ไม่ใช้โครงสร้าง

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1.5.1 การรวบรวมเอกสาร ข้อมูลสังเกตการณ์ และข้อมูลฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก

1. ทบทวนเอกสารทางวิชาการที่ผ่านมา
2. รวบรวมและตรวจสอบคุณภาพข้อมูลสังเกตการณ์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

- ข้อมูลอุตุฯมาณฝนรายวัน และอุทกวิทยา ได้แก่ ข้อมูลอุตุฯนิยมิวิทยา ข้อมูลปริ-
ข้อมูลปริมาณน้ำท่า และประวัติศาสตร์ของการเกิดอุทกภัยในกลุ่มน้ำยมและจังหวัดสุโขทัย
- ข้อมูลอัตราการไหล ระดับน้ำ รูปร่างหน้าตัดลำน้ำ จากกรมชลประทาน
- แผนที่อุทกภัยจากภาพถ่ายดาวเทียม
- ข้อมูลการใช้ที่ดิน จากกรมพัฒนาที่ดิน
- ข้อมูลการศึกษาความเป็นไปได้ ในการพัฒนาโครงการบรรเทาอุทกภัยในเขต
จังหวัดสุโขทัย โดยกรมชลประทาน
- ข้อมูลเกี่ยวกับแผนและโครงการบรรเทาอุทกภัยที่ดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน
- ตรวจสอบความคงตัวของข้อมูลฝนในสถานที่ศึกษาด้วยวิธี mass curve

3. รวบรวมข้อมูลฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ใช้ศึกษา ได้แก่ MRI-AGCM 3.1S
ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5

1.5.2 การจัดทำข้อมูลฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกในช่วงปัจจุบัน

1. การสอบเทียบกับฝนสังเกตการณ์ ด้วยข้อมูลฝนปี ค.ศ. 1979-2000) และสอบทานอีกครั้ง
ด้วยข้อมูลฝนปี ค.ศ. 2001-2006 จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM 3.1S
ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ด้วยการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติและย่อส่วนเชิงพื้นที่
ด้วยการย่อส่วนข้อมูลฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศที่ใช้ลงสู่พื้นที่ศึกษา ด้วยหนึ่งในวิธีการ
ต่อไปนี้

- ปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติของข้อมูลฝนที่ได้จากแบบจำลองภูมิอากาศโลกด้วยเทคนิค
การแปลงแบบแกมมา แกมมา-(Gamma-Gamma transformation)
- เพิ่มความละเอียดของข้อมูลฝนที่ผ่านการปรับแก้ความเอนเอียง โดยวิธีการย่อส่วนเชิงสถิติ
(statistical downscaling) ด้วยแบบจำลองการแตกตัวเชิงพื้นที่ (spatial disaggregation
model)

2. เปรียบเทียบพารามิเตอร์ทางสถิติ (ค่าเฉลี่ย, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ค่าสัมประสิทธิ์ของ
การผันแปร) ระหว่างข้อมูลฝนสังเกตการณ์ ข้อมูลฝนช่วงก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ
จากแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ศึกษาจากภาพรวมของกลุ่มน้ำยม จากสามประเด็นต่อไปนี้

- ปริมาณฝนรายปี
- ปริมาณฝนรายฤดูกาล (ฝน), แล้ง(
- ปริมาณฝนรายเดือน

3. เปรียบเทียบพารามิเตอร์ทางสถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่าความคลาดเคลื่อนรากกำลังสองเฉลี่ยแบบไร้หน่วย (Normalized Root Mean Square Error: NRMSE) ระหว่างข้อมูลฝนสังเกตการณ์ ข้อมูลฝนช่วงก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพของข้อมูล ซึ่งเฉลี่ยระยะยาวในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006 ในแต่ละสถานีวัดน้ำฝน

4. เปรียบเทียบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ (spatial distribution) ของปริมาณฝนรายปี ในภาพรวมของทั้งลุ่มน้ำยม ระหว่างแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วงเวลาปัจจุบัน ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2006

1.5.3 การจัดทำข้อมูลฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกในช่วงอนาคต

1. วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง (change) ของปริมาณฝนตกในอนาคตเทียบกับปัจจุบันของกลุ่มน้ำยม ซึ่งได้แก่ ปริมาณฝนรายปี ปริมาณฝนรายฤดูกาล (ฝน, แล้ง) ปริมาณฝนรายเดือน ด้วยรูปแบบต่อไปนี้

- เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ทางสถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสัมประสิทธิ์ของการผันแปร ของฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO ในอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) เทียบกับฝนในปัจจุบันของแต่ละแบบจำลอง
- เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนสูงสุดในแต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) เทียบกับฝนในปัจจุบันภายในแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ศึกษา
- เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนสูงสุดในแต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) เทียบกับฝนในปัจจุบันระหว่างแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ศึกษา เพื่อหาช่วง (range) ของการเปลี่ยนแปลง

2. วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) เทียบกับฝนในปัจจุบันในแต่ละสถานีตรวจวัด ด้วยรูปแบบต่อไปนี้

- การเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนรายเดือนจากช่วงเวลาปัจจุบัน
- การเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนรายวันสูงสุดในแต่ละคาบการเกิดซ้ำ
- สรุปผลเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของฝนในแต่ละสถานีตรวจวัด

1.5.4 การประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก

1. แนวคิดและเทคนิคที่ใช้ในการประเมินผลกระทบ
2. สอบเทียบแบบจำลองอุทกวิทยา (HEC-HMS) และแบบจำลองการไหลในลำน้ำ (HEC-RAS) ด้วยข้อมูลน้ำท่าปี ค.ศ. 2002 และสอบทานด้วยข้อมูลน้ำท่าปี ค.ศ. 2006
3. จำลองสภาพน้ำหลากด้วยแบบจำลองอุทกวิทยา (HEC-HMS) และแบบจำลองการไหลในลำน้ำ (HEC-RAS) ด้วยข้อมูลสภาพภูมิอากาศโลก MRI-AGCM 3.1S ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099)
4. วิเคราะห์ถึงสาเหตุของการเกิดผลกระทบในด้านอุทกภัย ซึ่งในที่นี้พิจารณาด้วย อัตราการไหลสูงสุด (peak flow) พื้นที่อุทกภัย (flooded area) และประเมินผลกระทบดังกล่าวเปรียบเทียบภายในและระหว่างแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ศึกษา
5. สรุปผลกระทบอุทกภัยจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ภายใต้สภาวะในปัจจุบัน (existing conditions)

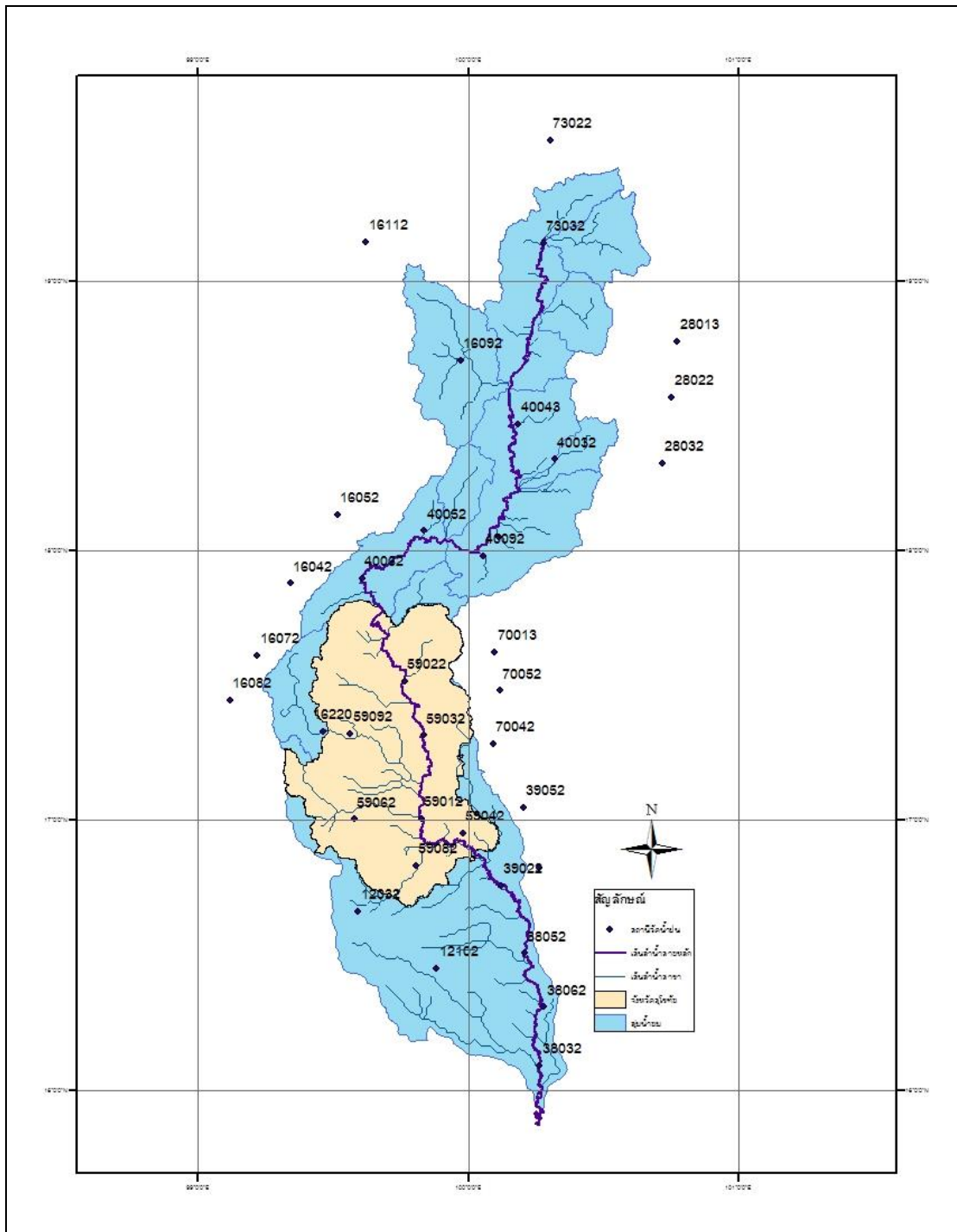
1.5.5 เสนอแนะแนวทางการปรับตัวเบื้องต้นต่อสภาพอุทกภัยในอนาคต

1. แนวคิด ขั้นตอน และเทคนิคที่ใช้ ซึ่งแบ่งออกเป็นมาตรการเชิงโครงสร้าง (structural measures) และมาตรการที่ไม่ใช่โครงสร้าง (non-structural measures)
2. สรุปผลมาตรการปรับตัวต่อสภาพอุทกภัยภายใต้การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก ว่าช่วยบรรเทาผลกระทบที่เกิดขึ้นได้เท่าใด (การเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลสูงสุดในแต่ละคาบการเกิดซ้ำ, การเปลี่ยนแปลงพื้นที่อุทกภัย)

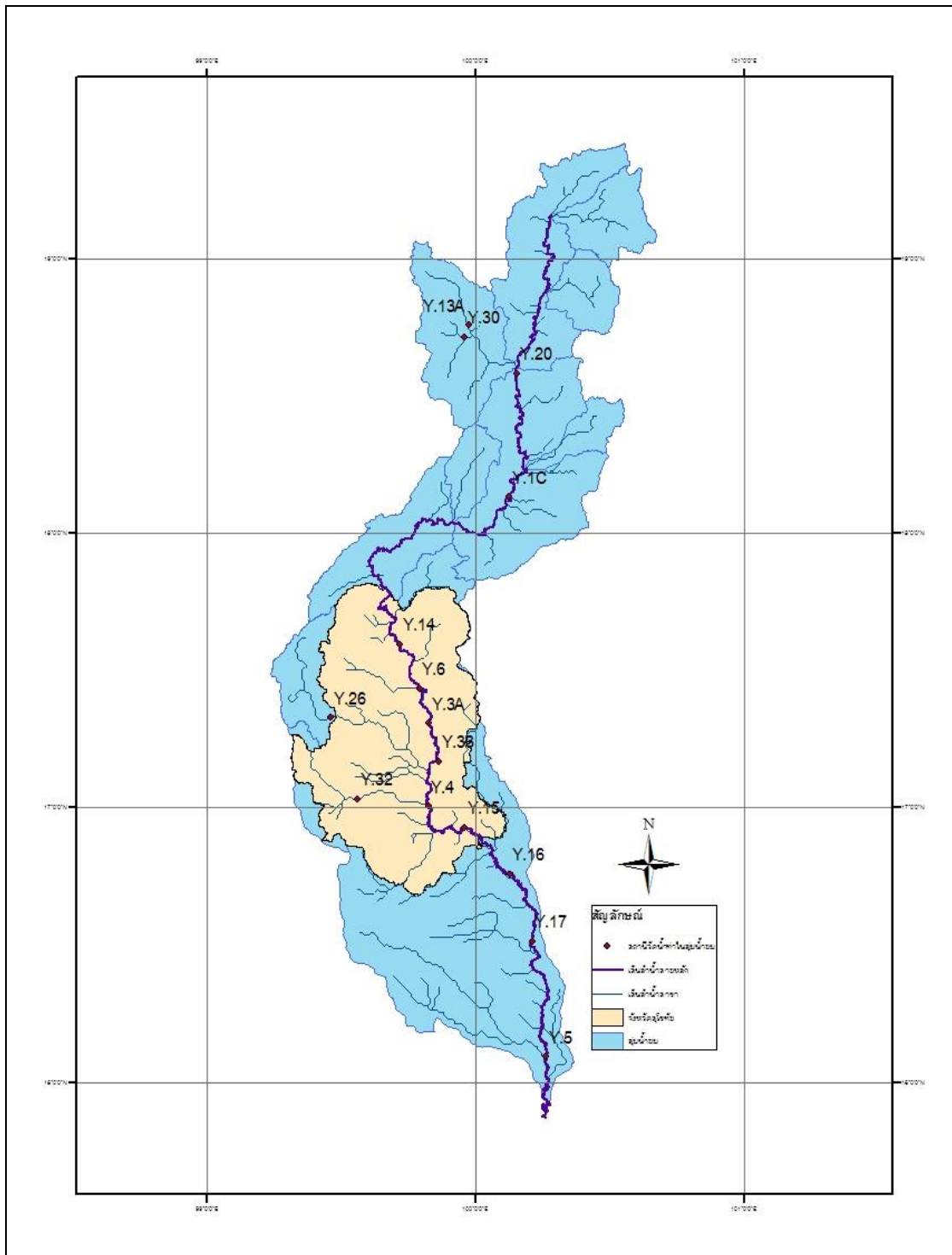
1.5.6 สรุปผลการศึกษาและจัดทำวิทยานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ข้อมูลผลจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกในปัจจุบันและที่มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น จากการประยุกต์ใช้เทคนิคปรับปรุงคุณภาพโดยการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติและการย่อส่วนข้อมูลฝน
2. ผลการศึกษาจะช่วยให้เข้าใจถึงผลกระทบของอุทกภัยในจังหวัดสุโขทัยในปัจจุบันรวมถึงบทบาทของสภาพการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกต่ออุทกภัยในอนาคต
3. ข้อเสนอแนะสำหรับมาตรการปรับตัวเพื่อลดผลกระทบจากสภาพอุทกภัยในจังหวัดสุโขทัย อันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกในอนาคต



รูปที่ 1-2 ตำแหน่งของสถานีวัดน้ำฝนในลุ่มน้ำยมและพื้นที่รอบข้าง



รูปที่ 1-3 ตำแหน่งของสถานีวัดน้ำฝนในกลุ่มน้ำยมและพื้นที่รอบข้าง

ตารางที่ 1-2 ข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำยมและใกล้เคียง

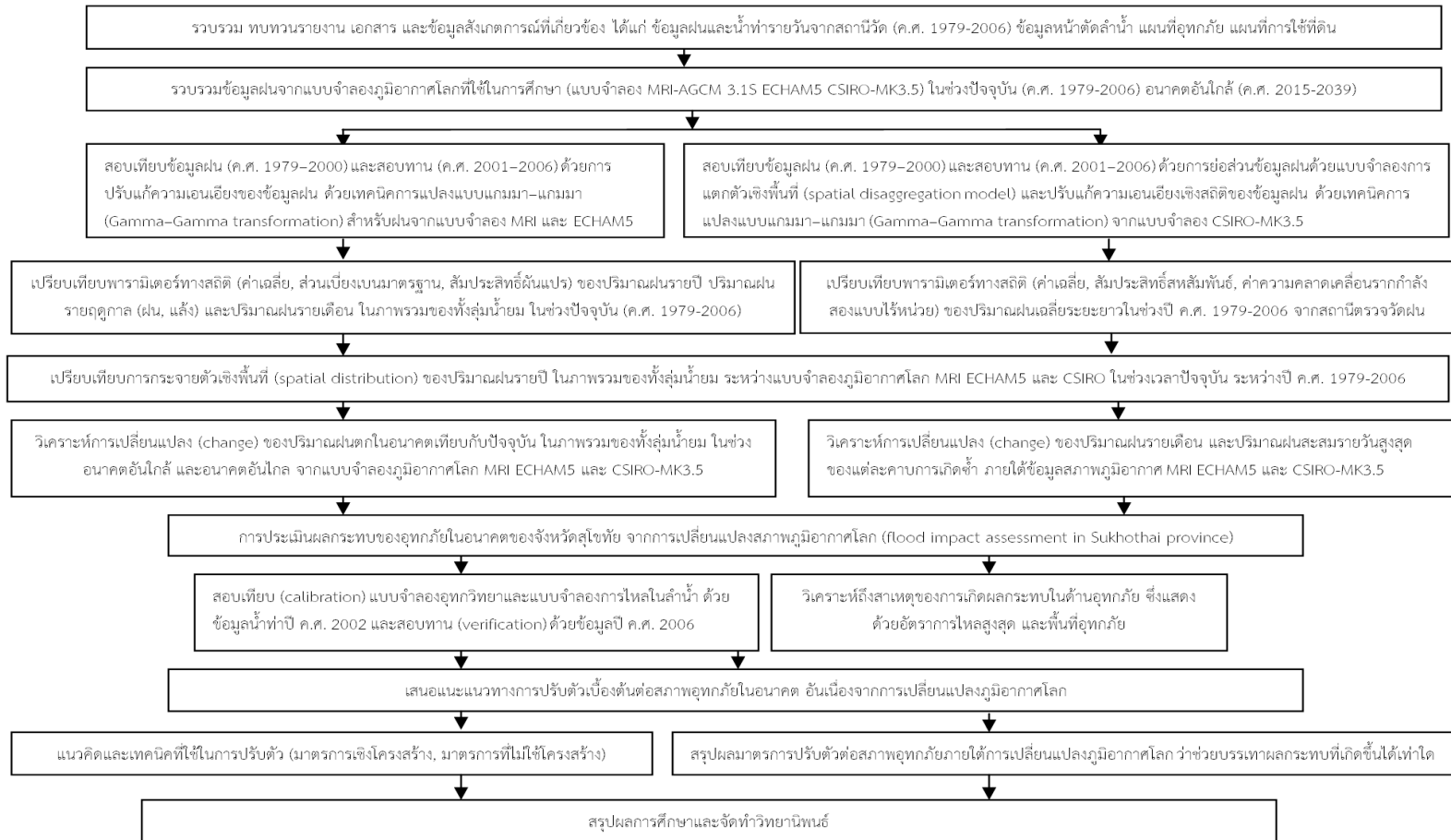
ลำดับ	รหัสสถานี	สถานีวัดน้ำฝน	ช่วงปีสถิติข้อมูลน้ำฝน	ปริมาณฝนรายเดือน												ปริมาณน้ำฝนรายปี		
				เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด
1	73012	จ.พะเยา อ. เมือง	2522-2549	58.23	134.97	103.68	140.96	189.94	159.27	97.82	28.79	8.96	5.32	4.02	18.65	950.60	1,599.60	454.20
2	73022	อ. เชียงคำ	2522-2549	55.57	218.50	126.85	94.43	146.08	257.19	133.20	31.03	5.16	3.67	9.05	16.05	1,096.85	1,562	685.15
3	73032	อ. ปง จ.อุตรดิตถ์	2522-2549	103.82	174.69	118.13	182.34	223.16	184.99	89.73	29.59	10.21	3.30	6.05	28.20	1,154.20	1,595.50	772.5
4	70013	อ. เมือง	2522-2549	69.63	232.36	195.94	169.25	265.57	260.11	104.61	28.02	4.61	4.56	15.74	25.09	1,375.52	1,727	957.3
5	70042	อ. พิชัย	2522-2549	63.14	192.92	154.00	146.94	207.97	251.70	116.26	20.83	6.67	5.02	6.36	18.95	1,190.76	1,715.59	753.02
6	70052	อ. ตรอน จ.ลำปาง	2522-2549	51.45	175.32	155.70	149.40	192.14	220.68	89.21	23.72	2.34	3.33	8.65	17.45	1,089.39	1,783.20	555
7	16082	อ. แม่พริก	2522-2549	52.07	189.11	121.93	79.77	138.20	209.97	144.97	42.88	2.04	3.53	4.57	24.35	1,013.43	1,630.90	527.3
8	16092	อ. งาว	2522-2549	73.43	170.88	131.91	178.78	228.96	188.77	92.08	28.24	6.00	2.48	3.73	28.17	1,133.45	1,947.71	807.2
9	16220	อ. เถิน	2522-2549	55.57	218.57	126.85	94.44	146.07	257.19	133.20	31.03	5.16	3.67	9.05	16.04	1,096.85	1,562	685.15
10	16042	อ. สบปราบ จ.แพร่	2522-2549	64.55	153.82	101.64	93.38	131.96	190.01	104.05	29.97	7.58	2.51	9.34	17.33	906.15	1,506.10	342.10
11	40013	อ. เมือง	2522-2549	68.06	164.02	127.80	144.79	228.48	193.91	87.15	15.78	5.64	6.76	8.23	23.52	1,074.14	1,550.20	728.40
12	40022	อ. สูงเม่น	2522-2549	60.03	144.00	127.37	166.69	198.18	182.22	83.57	19.29	6.87	1.91	9.10	19.61	1,018.87	1,490.2	631.60
13	40032	อ. ร้องกวาง	2522-2549	71.85	177.04	139.60	166.08	213.53	217.91	96.02	14.57	4.53	1.81	6.34	32.5	1,142.04	1,667.6	669.90
14	40043	อ. สอง	2522-2549	83.29	172.29	140.05	187.73	239.89	212.87	78.00	24.57	2.19	3.43	5.94	29.11	1,179.39	1,625.23	796.36
15	40052	อ. ลอง	2522-2549	66.41	177.50	119.12	156.45	201.33	217.12	101.86	27.56	4.27	0.30	6.11	22.93	1,100.98	1,589.42	443.8
16	40062	อ. วังชิ้น	2522-2549	57.52	241.35	220.38	225.10	299.63	297.25	117.47	24.88	6.75	2.49	8.05	17.65	1,519.71	2,884.20	872.37
17	40092	อ. เตนชัย จ.สุโขทัย	2522-2549	68.62	200.38	152.38	166.19	232.32	231.53	85.51	22.90	4.98	3.32	6.43	26.56	1,201.72	1,573.20	832.30
18	59012	อ. เมือง	2522-2549	40.82	194.25	165.80	124.60	189.39	245.88	132.48	33.52	3.95	1.87	3.81	7.99	1,144.36	1,655.80	630.37
19	59022	อ. ศรีสันกาลย์	2522-2549	39.36	166.42	142.93	107.46	202.02	269.30	118.69	18.04	4.49	1.46	7.89	10.39	1,088.46	1,612.40	652.90
20	59032	อ. สวรรค์โลก	2522-2549	41.37	168.02	143.69	100.98	165.25	201.85	107.26	31.42	3.20	2.78	3.88	16.90	986.60	1,940.20	516.70
21	59042	อ. กงไกรลาศ	2522-2549	56.81	186.25	176.16	148.36	215.46	268.26	142.89	31.7	3.97	2.95	13.86	13.73	1,260.39	1,948.90	814.40
22	59062	อ. บ้านด่านฯ	2522-2549	50.275	208.44	144.51	113.75	135.59	245.87	160.08	39.04	7.89	4.03	8.02	11.44	1,128.93	1,602.50	753.80
23	59082	อ. ศิริมาศ	2522-2549	62.27	187.76	167.84	134.71	187.12	265.64	158.72	31.57	6.33	5.54	11.63	24.47	1,243.62	1,797.30	811.50
24	59092	อ. หุ่นเสถียร	2522-2549	61.78	198.91	125.25	95.67	149.21	247.25	137.04	31.32	1.13	2.32	8.41	17.97	1,076.28	1,568.10	644.30

ตารางที่ 1-2 ข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำยมและใกล้เคียง (ต่อ)

ลำดับ	รหัสสถานี	สถานีวัดน้ำฝน	ช่วงปีสถิติข้อมูลน้ำฝน	ปริมาณฝนรายเดือน												ปริมาณน้ำฝนรายปี		
				เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด
25	12032	จ. กำแพงเพชร อ. ไทรงาม	2522-2549	31.38	151.41	114.17	118.03	162.30	192.79	133.76	23.09	3.96	2.80	8.51	25.09	967.30	1,899	93.80
26	12102	อ. พรานกระต่าย	2522-2549	42.48	169.29	169.29	146.98	174.74	227.10	150.80	39.22	6.43	0.42	10.16	25.81	1,156	1,942.76	546.10
27	28013	จ. น่าน อ. เมือง	2522-2549	94.91	180.48	137.68	202.14	262.85	214.69	67.35	20.24	7.93	3.55	11.99	32.63	1,236.52	1,546.20	921.80
28	28022	อ. เวียงสา	2522-2549	88.45	189.18	151.45	170.43	227.55	192.99	65.76	18.60	7.16	2.69	11.59	27.11	1,152.98	1,553.90	825.30
29	28032	อ. นาน้อย	2522-2549	76.45	180.99	118.19	122.11	183.26	202.24	78.53	18.78	4.83	2.61	8.53	28.23	1,024.75	1,581.64	568.80
30	39013	จ. พิษณุโลก 39013	2522-2549	50.19	173.07	184.28	178.13	242.26	234.02	147.04	32.86	9.47	3.33	11.69	27.24	1,293.60	1,767.10	675.80
31	39022	39022	2522-2549	47.84	148.10	158.42	145.80	180.10	205.98	107.61	22.37	5.03	0.82	3.18	20.65	1,045.90	1,571.50	773.90
32	39052	39052	2522-2549	42.28	172.71	191.33	181.91	247.37	253.25	113.49	26.25	4.36	3.37	7.55	18.01	1,261.89	1,912.10	426.60
33	38032	จ. พิจิตร อ. โพนทะเล	2522-2549	55.32	146.87	126.54	140.06	178.15	224.77	130.91	19.76	1.84	3.50	7.74	24.30	1,059.79	1,673	675.80
34	38052	อ. สามง่าม	2522-2549	53.29	162.30	153.44	148.90	186.23	242.10	127.08	20.09	3.75	4.63	5.69	23.56	1,131.06	1,896.40	773.90
35	38062	อ. โพนทราย	2522-2549	31.27	134.16	113.72	125.86	167.23	223.75	126.04	24.72	1.01	0.54	6.95	19.81	955.28	1,583.50	426.60

ตารางที่ 1-3 ข้อมูลสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำยม

ลำดับที่	แม่น้ำ	ชื่อสถานี	อำเภอ	จังหวัด	ตำแหน่ง						รหัสสถานี	พื้นที่รับน้ำฝน (ตร.) กม.(	จำนวนปีที่มีข้อมูล	ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย	
					เส้นรุ้ง			เส้นแวง						ล้าน ลบ.ม.	ลบ.ม./วินาที
					°	'	"	°	'	"					
1	แม่น้ำยม	บ้านจาวสัก	สอง	แพร่	18	35	03	100	09	17	Y.20	5,410	30	1,353.08	42.91
2	แม่น้ำยม	บ้านน้ำโค้ง	เมือง	สุโขทัย	18	07	59	100	07	39	Y.1C	7,624	23	1,476.81	46.83
3	แม่น้ำยม	บ้านดอนระเบียง	ศรีสัชชนาลัย	สุโขทัย	17	35	42	99	43	08	Y.14	12,131	38	2,490.30	78.97
4	แม่น้ำยม	บ้านแก่งหลวง	ศรีสัชชนาลัย	สุโขทัย	17	26	03	99	47	32	Y.6	12,658	50	2,607.36	82.68
5	แม่น้ำยม	สวรรคโลก	สวรรคโลก	สุโขทัย	17	18	43	99	49	55	Y.3A	13,583	35	2,707.52	85.85
6	แม่น้ำยม	บ้านคลองตาล	ศรีสำโรง	สุโขทัย	17	10	05	99	51	52	Y.33	13,676	12	2,309.04	73.22
7	แม่น้ำยม	ท่าลาดธานี	เมือง	สุโขทัย	17	00	18	99	49	31	Y.4	17,731	37	1,842.96	58.44
8	แม่น้ำยม	อ. กงไกรลาศ	กงไกรลาศ	สุโขทัย	16	55	47	99	57	41	Y.15	19,936	3	1,380.17	43.76
9	แม่น้ำยม	อ. บางระกำ	บางระกำ	พิษณุโลก	16	45	35	100	07	40	Y.16	20,841	10	1,761.41	55.85
10	แม่น้ำยม	อ. สามง่าม	สามง่าม	พิจิตร	16	30	50	100	12	40	Y.17	21,415	26	3,223.19	102.21
11	แม่น้ำยม	อ. โพทะเล	โพทะเล	พิจิตร	16	05	35	100	15	48	Y.5	22,344	8	2,565.21	113.05
12	น้ำแม่จาว	สะพานแม่จาว	จาว	ลำปาง	18	45	32	99	58	37	Y.13A	380	4	59.21	1.88
13	ห้วยปง	บ้านปง	จาว	ลำปาง	18	42	59	99	57	40	Y.30	96	14	40.46	1.28
14	น้ำแม่มอก	บ้านแม่พู่	เถิน	ลำปาง	17	19	45	99	27	42	Y.26	785	18	112.88	3.58
15	น้ำแม่ไร่พัน	บ้านหินดาเนียง	บ้านด่านลานหอย	สุโขทัย	17	01	57	99	33	39	Y.32	749	2	36.83	1.17



รูปที่ 1-4 แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

ในบทนี้จะแบ่งเนื้อหาออกเป็นสองส่วน ส่วนที่หนึ่งจะกล่าวถึงการทบทวนการศึกษาที่ผ่านมาของแบบจำลองภูมิอากาศโลก การปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติ การย่อส่วนข้อมูลภูมิอากาศ การประเมินผลกระทบจากอุทกภัย การปรับตัวต่อสภาพอุทกภัย การศึกษาที่ผ่านมาของการเกิดอุทกภัย และแนวทางการบรรเทาปัญหาในลุ่มน้ำยมและจังหวัดสุโขทัย ส่วนที่สองจะสรุปทฤษฎีที่ใช้ในขั้นตอนของการศึกษา ได้แก่ เทคนิคการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติของข้อมูลฝน เทคนิคการย่อส่วนข้อมูลฝน ข้อมูลพื้นฐานของแบบจำลองอุทกวิทยาและแบบจำลองการไหลในลำน้ำ ซึ่งจะกล่าวต่อไปตามลำดับ

2.1 การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับแบบจำลองภูมิอากาศโลก

แบบจำลองภูมิอากาศโลก (Global Climate Models: GCMs) เป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ของการไหลเวียนของชั้นบรรยากาศและมหาสมุทร โดยอาศัยพื้นฐานจากสมการของนาเวียร์-สโตกส์ (Navier–Stokes equation) ในแกนวงกลมหมุนซึ่งเพิ่มพจน์ของอุณหพลศาสตร์ (thermodynamics) ที่เกี่ยวข้อง เช่น ความร้อนแฝง การแผ่รังสี เป็นต้น ความสัมพันธ์จากสมการเหล่านี้จะใช้ในการจำลองสภาพภูมิอากาศของโลก ซึ่งประกอบด้วย ชั้นบรรยากาศ มหาสมุทร ผืนดิน และน้ำแข็งในทะเล ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ซับซ้อน จุดประสงค์ของการประยุกต์ใช้แบบจำลองดังกล่าว ได้แก่ การทำความเข้าใจและคาดการณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคต การพยากรณ์อากาศ เป็นต้น

ในปัจจุบัน แบบจำลองภูมิอากาศโลกมีโครงสร้างหลักทั้งหมด 4 ส่วน ได้แก่

1. แบบจำลองหลัก (Simple Global Climate Models: SGCMs) เป็นแกนหลักของแบบจำลองภูมิอากาศโลก ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของสสาร เช่น อุณหภูมิ ให้เข้ากับตัวแปรทางฟิสิกส์พลศาสตร์ เช่น ความเร็ว และ ความดัน ไว้สำหรับแก้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อยแบบไม่เป็นเส้นตรงของภูมิอากาศ (primitive equations) โดยสามารถจำแนกองค์ประกอบย่อยออกได้เป็นสามสมการย่อย ได้แก่ สมการโมเมนตัม (momentum equation) สมการพลังงานความร้อน (thermal energy equation) และสมการความต่อเนื่องของการไหล (continuity equation)

2. แบบจำลองส่วนชั้นบรรยากาศ (Atmospheric Global Climate Models: AGCMs) เป็นส่วนหนึ่งของแบบจำลองสำหรับชั้นบรรยากาศรวมถึงผิวดิน โดยมีตัวแปรสำคัญ ได้แก่ อุณหภูมิผิวน้ำ

ทะเล (Sea Surface Temperature: SST) และสภาพเคมีบรรยากาศ (atmospheric chemistry) เข้าด้วยกัน องค์ประกอบหลัก ได้แก่ ตัวแปรของฟิสิกส์พลศาสตร์ เช่น ความดันที่ผิวของไหล องค์ประกอบแนวราบของความเร็วของไหล และ อุณหภูมิของไหล อีกส่วนหนึ่งคือการกำหนดตัวแปรเสริม (parameterization) ซึ่งใช้แทนปรากฏการณ์ขนาดเล็ก (sub-grid processes) ที่ไม่สามารถรวมเข้ามาในแบบจำลองหลักได้ เนื่องจากข้อจำกัดของการคำนวณแต่มีความสำคัญ เช่น การพาความร้อนของเมฆคิวมูลัส (Cumulus cloud convection) กระบวนการผิวดินและใต้ดิน (land surface and subsurface process) ค่า albedo และการปกคลุมของเมฆ (cloud cover) เป็นต้น

3. แบบจำลองส่วนมหาสมุทร (Oceanic Global Climate Models: OGCMs) ทำหน้าที่จำลองสภาพการไหลเวียนในมหาสมุทรและความสัมพันธ์กับชั้นบรรยากาศ ซึ่งรวมถึงแบบจำลองของน้ำแข็งในทะเลด้วย

4. แบบจำลองชั้นบรรยากาศ-มหาสมุทร (Coupled Atmospheric-Ocean Global Climate Models: AOGCMs) คือการรวมแบบจำลองชั้นบรรยากาศและการไหลเวียนในมหาสมุทรเข้าด้วยกัน ซึ่งมีจะช่วยลดความคลาดเคลื่อนในการจำลองสภาพภูมิอากาศจากการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (boundary conditions) ได้มาก อย่างไรก็ตาม อย่างไรก็ดี แบบจำลองประเภทนี้มีความซับซ้อนในการคำนวณสูง แต่มีความเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ทำนายสภาพภูมิอากาศของโลก

ในปัจจุบันแบบจำลองภูมิอากาศโลกเป็นเครื่องมือสำคัญของนักวิชาการสำหรับศึกษาสภาพภูมิอากาศที่ซับซ้อนของโลก ข้อได้เปรียบสำคัญคือความยืดหยุ่นในการจำลองสภาพภูมิอากาศได้ในเงื่อนไขที่หลากหลาย ซึ่งไม่สามารถทำได้ด้วยวิธีอื่น เช่น แบบจำลองทางกายภาพ (physical models) หรือการเก็บข้อมูลภูมิอากาศจากภาคสนาม เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม แบบจำลองภูมิอากาศโลกมีข้อจำกัดสำคัญในเรื่องของความละเอียดเชิงพื้นที่ (spatial resolution) ซึ่งปัจจุบันอยู่ที่ระดับร้อยกิโลเมตรหรือมากกว่า ด้วยเหตุนี้ความคลาดเคลื่อนจึงเกิดได้สูงเมื่อนำข้อมูลภูมิอากาศในระดับโลกมาใช้กับพื้นที่ในระดับภูมิภาค สาเหตุที่แบบจำลองระดับโลกยังมีความละเอียดไม่เพียงพอ เกิดจากความสามารถของคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันที่แม้ได้พัฒนาขึ้นจากอดีตเป็นอย่างมาก แต่เมื่อนำมาใช้ประมวลผลแบบจำลองภูมิอากาศโลก อันมีสมการที่สลับซับซ้อน และมีจำนวนตัวแปรมหาศาล จะใช้เวลาในการคำนวณนานนับปี อีกทั้งข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่มีความละเอียดสูงที่ต่อเนื่องและมีความถูกต้องในทุกภูมิภาคยังมีไม่เพียงพอ สำหรับการปรับแก้หรือตรวจสอบข้อมูล รวมถึงข้อจำกัดจากความซับซ้อนของภูมิอากาศที่มีความละเอียดสูง ซึ่งมีปรากฏการณ์บางอย่างที่ยังไม่เข้าใจเต็มที่นัก เช่น หลักฟิสิกส์ของเมฆและความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆในระดับย่อย เป็นต้น

ด้วยเหตุนี้จึงควรระมัดระวังเป็นพิเศษ หากจะนำผลของแบบจำลองภูมิอากาศโลกมาใช้ศึกษาผลกระทบเชิงอุทกวิทยาซึ่งมีความละเอียดในระดับลุ่มน้ำหลักหรือลุ่มน้ำย่อย ดังนั้นการศึกษาในระดับนี้จำเป็นต้องมีการเพิ่มคุณภาพของข้อมูลภูมิอากาศ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จะใช้วิธีการปรับแก้ความเอนเอียงและย่อส่วนข้อมูลภูมิอากาศ อันจะกล่าวต่อไป

2.1.1 แนวทางการเลือกแบบจำลองภูมิอากาศโลกเพื่อใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางอุทกวิทยา

Smith and Hulme (1998) ได้ให้คำแนะนำสำหรับการพิจารณาถึงคุณสมบัติของ GCMs ที่มีความเหมาะสมในสภาพพื้นที่ศึกษา โดยคำนึงจากเงื่อนไข 4 ประการ ได้แก่ ความทันสมัยของแบบจำลอง (vintage) ความละเอียด (resolution) ความถูกต้องเที่ยงตรง (validity) และความเป็นตัวแทนของผลลัพธ์ (representativeness of results)

ความทันสมัยของแบบจำลอง (vintage)

โดยทั่วไปจะพบว่า ผลการจำลองสภาพภูมิอากาศโลกจากแบบจำลองที่ได้ศึกษาในระยะปัจจุบันจะมีความน่าเชื่อถือสูงกว่าแบบจำลองรุ่นก่อน เนื่องจากความซับซ้อนที่เพิ่มขึ้นจากการพิจารณากระบวนการทางกายภาพ ผลสะท้อนกลับ (feedbacks) ทางภูมิอากาศ และผลของการเพิ่มความละเอียดเชิงพื้นที่ (spatial resolution)

ความละเอียดของแบบจำลอง (model resolution)

จากการศึกษาพบว่าแบบจำลองภูมิอากาศโลกยุคใหม่มีแนวโน้มของความละเอียดเชิงพื้นที่สูงขึ้น เนื่องจากความสามารถของคอมพิวเตอร์ ซึ่งโดยทั่วไปแบบจำลองที่มีความละเอียดสูงจะมีความน่าเชื่อถือกว่าแบบจำลองประเภทเดียวกันที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ต่ำกว่า

ความถูกต้องเที่ยงตรง (validity)

แบบจำลองภูมิอากาศโลกที่สามารถจำลองลักษณะของฝนในช่วงเวลาปัจจุบันได้แม่นยำกว่าจะถือว่ามีความน่าเชื่อถือสูงกว่าแบบจำลองอื่นๆ

ความเป็นตัวแทนของผลลัพธ์ (representativeness of results)

ผลลัพธ์จากแบบจำลองภูมิอากาศโลกแต่ละประเภท อาจแตกต่างกันได้มากสำหรับการนำไปใช้ประเมินสภาพฝนและผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกในระดับเล็กกว่าภูมิภาคลงมา ดังนั้นแบบจำลองที่มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปศึกษาวิเคราะห์อย่างละเอียดจึงควรให้ผลลัพธ์ที่มีช่วงของค่าพารามิเตอร์ที่สอดคล้องกับฝนสังเกตการณ์

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเลือกแบบจำลองภูมิอากาศโลกซึ่งจะนำมาวิเคราะห์ผลกระทบทางอุทกวิทยาในพื้นที่ลุ่มน้ำยมไว้แล้ว 3 แบบจำลอง ด้วยการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์เปรียบเทียบดังกล่าวจะช่วยทำให้เข้าใจถึงความสามารถเบื้องต้นก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงและย่อส่วนข้อมูลฝนของแต่ละ GCMs ในการจำลองสภาพฝนในช่วงเวลาปัจจุบัน ค.ศ. 1979–2006) เทียบกับฝนสังเกตการณ์ โดยการเปรียบเทียบจะใช้ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติ เช่น ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (coefficient of determination: R^2) ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Root Mean Square Error: RMSE) ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนแบบไร้หน่วย (Normalized Root Mean Square Error: NRMSE) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: σ) ค่า R^2 และ RMSE จะแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มความสอดคล้องเชิงสถิติ ระหว่างฝนสังเกตการณ์และฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก โดยค่า R^2 กับ RMSE จะผกผันซึ่งกันและกัน กล่าวคือเมื่อค่า R^2 ที่สูง หมายถึงค่า RMSE ต่ำ เป็นต้น สำหรับสมการที่ใช้คำนวณค่า R^2 RMSE NRMSE σ และ d สรุปไว้ดังนี้

1. ค่า R^2 จะพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น (x) และตัวแปรตาม (y)

$$R^2 = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}} \quad (2-1)$$

2. ค่า Root Mean Square Error (RMSE) เป็นพารามิเตอร์เชิงสถิติที่มีประโยชน์มากสำหรับการคำนวณความแตกต่างระหว่างปริมาณฝนจากแบบจำลองเทียบกับฝนสังเกตการณ์

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (y - x)^2 \right]^{1/2} \quad (2-2)$$

3. ค่า Normalized Mean Square Error (NRMSE) จะมีความคล้ายคลึงกับค่า RMSE เกือบทุกประการ แต่จะถูกทำให้ไร้หน่วยโดยหารด้วยค่าพิสัยระหว่างปริมาณฝนสังเกตการณ์สูงสุดและต่ำสุด ผลที่ได้คือความแตกต่างระหว่างฝนสังเกตการณ์กับฝนแบบจำลองเป็นค่าร้อยละ

$$NRMSE = \frac{RMSE}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (2-3)$$

4. ค่า Standard Deviation (σ) จะแสดงถึงระดับของการเบี่ยงเบนของปริมาณฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกเทียบกับข้อมูลฝนสังเกตการณ์

$$\sigma = \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x - \bar{x})^2 \right]^{1/2} \quad (2-4)$$

2.1.2 การคัดเลือกแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ใช้ในการศึกษา

แบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้ ได้แก่ แบบจำลอง MRI-AGCM 3.1S ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ทั้งสามเป็นแบบจำลองภูมิอากาศในจำพวก AGCMs ซึ่งเน้นจำลองสภาพภูมิอากาศจากชั้นบรรยากาศโลกในระดับ 20-30 กิโลเมตร ซึ่งมวลอากาศร้อยละ 95 ของโลกดำรงอยู่ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเป็นเงื่อนไขขอบเขตระหว่างส่วนของชั้นบรรยากาศและใช้ข้อมูล (พยากรณ์และมหาสมุทร ไม่ใช่การควมรวมแบบจำลองของชั้นบรรยากาศกับการไหลเวียนในมหาสมุทรอย่างเต็มรูปแบบ ถึงแม้ว่าวิธีการนี้จะไม่ใช่การจำลองภูมิอากาศของโลกอย่างเต็มรูปแบบ แต่ด้วยความสามารถทางการคำนวณในระดับปัจจุบัน ได้มีการนำแบบจำลอง AGCMs มาปรับปรุงด้วยการเพิ่มความละเอียดเชิงพื้นที่ในระดับหลายร้อยกิโลเมตร ให้ลดลงเหลือ 20-50 กิโลเมตร ตัวอย่างเช่น MRI และ ECHAM5 เป็นต้น

สาเหตุของการเลือกแบบจำลองทั้งสามเพื่อใช้ในการศึกษา เมื่อพิจารณาจากแนวคิดในหัวข้อที่ 2.1.1 สรุปพอสังเขปได้ดังนี้

ความทันสมัยของแบบจำลอง

แบบจำลองทั้งสาม (MRI, ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5) ต่างก็ได้รับการปรับปรุงคุณภาพอยู่บ่อยครั้ง โดยรุ่นที่นำมาศึกษานั้นอยู่ในปี ค.ศ. 2006 และข้อมูลได้ถูกใช้ในรายงานการประเมินสภาพภูมิอากาศของ IPCC ฉบับที่ 4 (IPCC Fourth Assessment Report) ในปี ค.ศ. 2007 ซึ่งเป็นรายงานฉบับสมบูรณ์ฉบับล่าสุดที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก เพราะฉะนั้นจึงถือว่าเป็นแบบจำลองที่ทันสมัยพอสมควร

ความละเอียดของแบบจำลอง

แบบจำลอง MRI และ ECHAM5 ที่ได้นำมาศึกษานี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นเป็นพิเศษเพื่อการศึกษาสภาพภูมิอากาศโลกที่ความละเอียดสูง (Regional Climate Models: RCMs) ทั้งสองแบบจำลองมีขนาดของกริดเท่ากันที่ 20 กิโลเมตร ซึ่งถือว่าละเอียดเพียงพอที่จะนำมาใช้ศึกษาผลกระทบทางอุทกวิทยาในระดับประเทศหรือกลุ่มลุ่มน้ำได้ สำหรับรายละเอียดของการศึกษาสรุปพอสังเขปดังนี้

Mizuta et al. (2006) แห่งสถาบันวิจัยอุตุนิยมหาวิทยาลัยแห่งชาติญี่ปุ่น (MRI) ได้พัฒนาแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM 3.1S ด้วยความละเอียดเชิงพื้นที่เท่ากับ $0.18^\circ \times 0.18^\circ$ (20 x 20 กิโลเมตร) และประมวลผลด้วยซูเปอร์คอมพิวเตอร์ Earth Simulator ซึ่งถือว่าเป็นคอมพิวเตอร์ที่

ใช้ในงานด้านภูมิอากาศที่มีความสามารถสูงที่สุดในช่วงเวลานั้น การทดสอบประสิทธิภาพของผลลัพธ์ทำได้ด้วยการจำลองสภาพภูมิอากาศของโลกในช่วงเวลาปัจจุบันความยาว 10 ปี จากพื้นที่ขนาดเล็กจนถึงระดับโลก ผลการศึกษาที่ได้พบว่า การกระจายตัวของฝนรายฤดูกาลเฉลี่ยของโลก (seasonal mean precipitation) อุณหภูมิพื้นผิวอากาศ (surface air temperature) ค่าความดันบรรยากาศในหน่วยความสูงเทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง (geopotential height) ต่างก็สอดคล้องกับข้อมูลสังเกตการณ์เป็นอย่างดี แต่อาจจะให้ปริมาณฝนเฉลี่ยที่มากกว่าค่าจริงอยู่บ้าง อย่างไรก็ตามพบว่าผลการจำลองลักษณะสำคัญของสภาพภูมิอากาศในระดับภูมิภาคค่อนข้างมีแนวโน้มสอดคล้องกับข้อมูลสังเกตการณ์ เนื่องจากความละเอียดเชิงพื้นที่ที่สูงกว่าแบบจำลองภูมิอากาศโลกแบบปกติ

Oouchi et al. (2006) ได้ทำการศึกษาแนวโน้มการเกิดพายุไซโคลนในอนาคต ด้วยแบบจำลองชั้นบรรยากาศโลกความละเอียดสูง MRI-AGCM ซึ่งมีความละเอียดเชิงพื้นที่เท่ากับ $0.18^\circ \times 0.18^\circ$ (20x20 กิโลเมตร) เพื่อใช้สำหรับการประเมินค่าความถี่และความรุนแรงของพายุ ด้วยการจำลองสภาพภูมิอากาศในระยะเวลา 10 ปี ในสองกรณีศึกษา ได้แก่ กรณีสภาพภูมิอากาศในปัจจุบัน และกรณีสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากการศึกษาพบว่า ความถี่ของพายุดังกล่าวในทุกทวีปยกเว้นภูมิภาคแอตแลนติกเหนือจะลดลงกว่า 30 % เปรียบเทียบกับสภาพภูมิอากาศปัจจุบัน อย่างไรก็ตามจำนวนของพายุที่มีความรุนแรงกลับมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นกว่าในปัจจุบัน ซึ่งสรุปได้ว่ามีความเสี่ยงของการเกิดความเสียหายจากพายุไซโคลนมากขึ้นในอนาคตจากสภาพภูมิอากาศที่อุ่นขึ้นด้วยผลของก๊าซเรือนกระจกนั่นเอง

จากการศึกษาที่กล่าวมาโดยสรุปจะเห็นได้ว่า ความละเอียดเชิงพื้นที่ที่มีบทบาทสำคัญต่อการจำลองสภาพภูมิอากาศในระดับภูมิภาคเป็นอย่างมาก และเป็นเหตุผลสำคัญของการเลือกแบบจำลอง MRI และ ECHAM5 เข้ามาไว้ในการศึกษาครั้งนี้

ความถูกต้องเที่ยงตรงและความเป็นตัวแทนของผลลัพธ์

แบบจำลอง CSIRO-MK3.5 เป็นตัวสุดท้ายที่จะกล่าวถึงและนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เนื่องจากจุดเด่นที่สำคัญคือให้ของความเป็นตัวแทนของผลลัพธ์และความถูกต้องเที่ยงตรงค่อนข้างสูง ซึ่งสรุปรายละเอียดของการศึกษาในทั้งสองประเด็นได้ดังนี้

Sharma et al. (2007) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองภูมิอากาศโลก 13 ประเภท เพื่อคัดเลือกแบบจำลองภูมิอากาศโลกจากความสามารถในการจำลองค่าคุณลักษณะทางสถิติที่สำคัญของฝนและอุณหภูมิ มาศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงและลุ่มน้ำแม่กลองในประเทศไทย ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลอง CSIRO-MK2 (รุ่นที่ใช้ศึกษาในขณะนั้น) สามารถแสดงขนาดของฝนคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์น้อยที่สุด (เมื่อพิจารณาด้วยค่า

RMSE) รวมถึงให้ความผันแปรเชิงพื้นที่ (spatial variability) ได้ใกล้เคียงที่สุดเช่นกัน ด้วยเหตุนี้จึงเลือกแบบจำลอง CSIRO–MK3.5 มาใช้ในการศึกษาร่วมกับสองแบบจำลองข้างต้น ซึ่งข้อแตกต่างที่สำคัญคือความละเอียดเชิงพื้นที่ของ CSIRO นั้นหยากกว่าทั้ง MRI และ ECHAM5 อย่างชัดเจน แต่การย่อส่วนข้อมูลฝนจะช่วยลดทอนความแตกต่างตรงนี้ได้

2.1.3 ข้อมูลพื้นฐานของแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

1. แบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI–AGCM 3.1S

แบบจำลอง MRI GCM ของสถาบันวิจัยอุตุนิยมวิทยา(Meteorological Research Institute: MRI) แห่งประเทศญี่ปุ่น เป็นแบบจำลองชนิด AGCM ที่มีความละเอียดในการคำนวณสูงจากขนาดของกริดเท่ากับ 20×20 กิโลเมตร ประกอบด้วยจำนวนกริดรวมทั้งสิ้น 1920×960 กริด ด้วยขนาดของแต่ละช่องเท่ากับ 20 กิโลเมตร แบบจำลองดังกล่าวประกอบด้วยชั้นที่พิจารณาในแนวตั้ง (vertical layers) ทั้งหมด 60 ชั้น องค์ประกอบของก๊าซเรือนกระจกที่ใช้ในการพิจารณาคือ CO_2 , CH_4 , N_2O และละอองในอากาศ (aerosols) ภายใต้ภาพจำลองของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากรายงาน IPCC Special Report on Emission Scenario (IPCC, 2000) ชนิด A1B

ส่วนประกอบของแบบจำลอง MRI–AGCM 3.1S ได้แก่ส่วนของชั้นบรรยากาศ ผิวดินและพืชปกคลุม รวมถึงแม่น้ำ ทะเลสาบ ผ่านความสัมพันธ์ของการถ่ายเทพลังงานระหว่างกัน

2. แบบจำลองภูมิอากาศโลก ECHAM5

แบบจำลอง ECHAM5 อันเป็นแบบจำลองภูมิอากาศ AGCM รุ่นที่ 5 ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยหน่วยวิจัยอุตุนิยมวิทยาแห่งสถาบัน Max Planck Institute แห่งประเทศเยอรมัน (Max Planck Institute for Meteorology) ซึ่งมีค่าความละเอียดเชิงพื้นที่ของกริดเบื้องต้นเท่ากับ $1.9^\circ \times 1.9^\circ$ ในแนวราบ แบบจำลองในแนวตั้งมีทั้งหมด 31 ชั้น โดยในชั้นบนสุดมีค่า Geopotential Height เท่ากับ 10 hPa (E.Roeckner et al., 2004) องค์ประกอบของก๊าซเรือนกระจกที่ใช้พิจารณาคือ CO_2 , CH_4 , N_2O และละอองในอากาศ (aerosols) ภายใต้ภาพจำลองของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากรายงาน IPCC Special Report on Emission Scenario (IPCC, 2000) ชนิด A2 และ A1B

3. แบบจำลองภูมิอากาศโลก CSIRO–MK3.5

แบบจำลองภูมิอากาศโลก CSIRO–MK3.5 เป็นแบบจำลองประเภท AOGCM พัฒนาขึ้นโดยศูนย์วิจัยสภาพอากาศแห่งประเทศออสเตรเลีย (The Centre for Australian Weather and Climate Research) ซึ่งมีค่าความละเอียดเชิงพื้นที่เท่ากับ $1.9^\circ \times 1.9^\circ$ ในแนวราบ โดยมีจำนวนกริด

ทั้งหมด 18,432 กริด ขณะเดียวกันแบบจำลองในแนวดิ่งมีทั้งหมด 18 ชั้น องค์ประกอบของก๊าซเรือนกระจกที่พิจารณาคือ คือ CO₂, CH₄, N₂O และละอองในอากาศ (aerosols) ภายใต้ภาพจำลองของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากรายงาน IPCC Special Report on Emission Scenario (IPCC, 2000) ชนิด A2 และ A1 B

2.2 การศึกษาที่ผ่านมาของการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก

แบบจำลองภูมิอากาศโลกเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการคาดคะเนสภาพภูมิอากาศในอนาคต ภายใต้สมมติฐานของภาพจำลองแบบต่างๆของตัวแปรภูมิอากาศที่เกี่ยวข้อง หากแต่ว่าข้อมูลดังกล่าวจะมีความเอนเอียงเชิงสถิติ (statistical bias) เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการสังเกตการณ์อยู่เสมอ เนื่องจากระบบของการใส่ค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องลงในแบบจำลอง (model parameterization) และขนาดของกริดที่ใหญ่อยู่ในระดับหลายสิบลี้ถึงร้อยกิโลเมตรขึ้นไป ความคลาดเคลื่อนเหล่านี้อาจไม่สำคัญมากนักสำหรับการศึกษาในพื้นที่ขนาดใหญ่ เช่น พื้นที่ระดับโลกหรือทวีป แต่ถ้าใช้ข้อมูลภูมิอากาศที่ไม่ได้ปรับแก้ความเอนเอียงมาใช้ในการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองอุทกวิทยาหรือแบบจำลองสภาพอุทกภัยในพื้นที่ระดับลุ่มน้ำลงไปอาจส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ที่ออกมาได้ ซึ่งวิธีการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติจะสามารถลดปัญหาดังกล่าวลงไปได้มาก ด้วยการพิจารณาตัวแปรทางสถิติของข้อมูลภูมิอากาศในอดีต (Sharma et al., 2007)

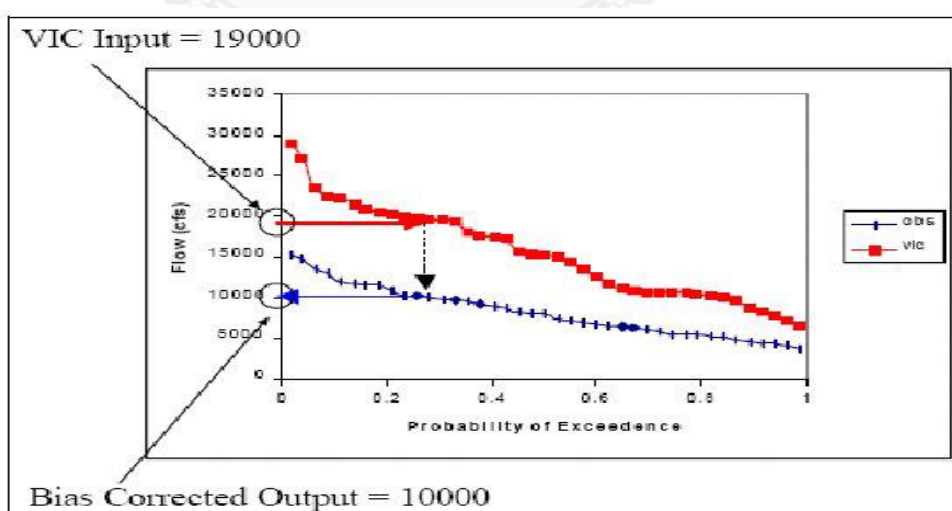
วิธีการพื้นฐานที่สุดของการปรับแก้ความเอนเอียง จะทำการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (systematic discrepancy) ของค่าเฉลี่ยโดยการปรับขนาด (rescaling) ให้ค่าดังกล่าวใกล้เคียงกับที่ได้จากการวัดมากขึ้น ทำนองเดียวกันกับวิธีแรก การปรับแก้ความเอนเอียงของข้อมูลแบบจำลองอาจทำได้โดยการสร้างสมมติการกระจายตัวของความน่าจะเป็นและเปรียบเทียบความผิดปกติระหว่างค่าจากแบบจำลองและกลุ่มข้อมูลสังเกตการณ์ อย่างไรก็ตามในหลายกรณีพบว่ารูปแบบที่แท้จริงของการกระจายตัวของความน่าจะเป็นของทั้งข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองและข้อมูลสังเกตการณ์นั้นไม่สามารถทราบได้อย่างชัดเจน

การปรับแก้ความเอนเอียงด้วยวิธีควอนไทล์ (quantile-based method) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการแปลงค่าปริมาณฝนด้วยเทคนิคทางสถิติที่ได้จาก GCMs เพื่อปรับแก้ค่าดังกล่าวให้สามารถนำไปใช้ได้กับแบบจำลองสำหรับการประเมินผลกระทบต่อไป (Wood et al., 2002; Hamlet et al., 2003; Ines and Hansen, 2006)

Wood et al. (2002) ได้ใช้เทคนิคการปรับแก้ความเอนเอียงแบบควอนไทล์ในการแปลงค่าที่ได้จากแบบจำลองให้ใกล้เคียงกับค่าสังเกตการณ์ กล่าวคือนำข้อมูลฝนรายวันการจำลองและสังเกตการณ์ที่อยู่ในช่วงเวลาเดียวกันมาจัดทำ “แผนที่ควอนไทล์” (quantile mapping) สำหรับ

ประชากรของแต่ละกลุ่มข้อมูลที่จัดลำดับแล้ว โดยค่าที่ได้จากแบบจำลองจะใช้เป็นข้อมูลนำเข้าและให้จัดค่าดังกล่าวลงสู่ควอนไทล์ในลำดับที่สัมพันธ์กับค่านั้นในฟังก์ชันการกระจายตัวสะสม (Cumulative Distribution Function: CDF) ของค่าจากแบบจำลอง ทำนองเดียวกันให้แยกค่าจากตำแหน่งของควอนไทล์เดียวกันนี้จาก CDF ของข้อมูลสังเกตการณ์ ซึ่งค่านี้เองจะกลายเป็นตัวที่ถูกปรับแก้ความเอนเอียงเรียบร้อยแล้ว ซึ่งขั้นตอนของเทคนิคนี้จะแสดงต่อไปในรูปที่ 2-1

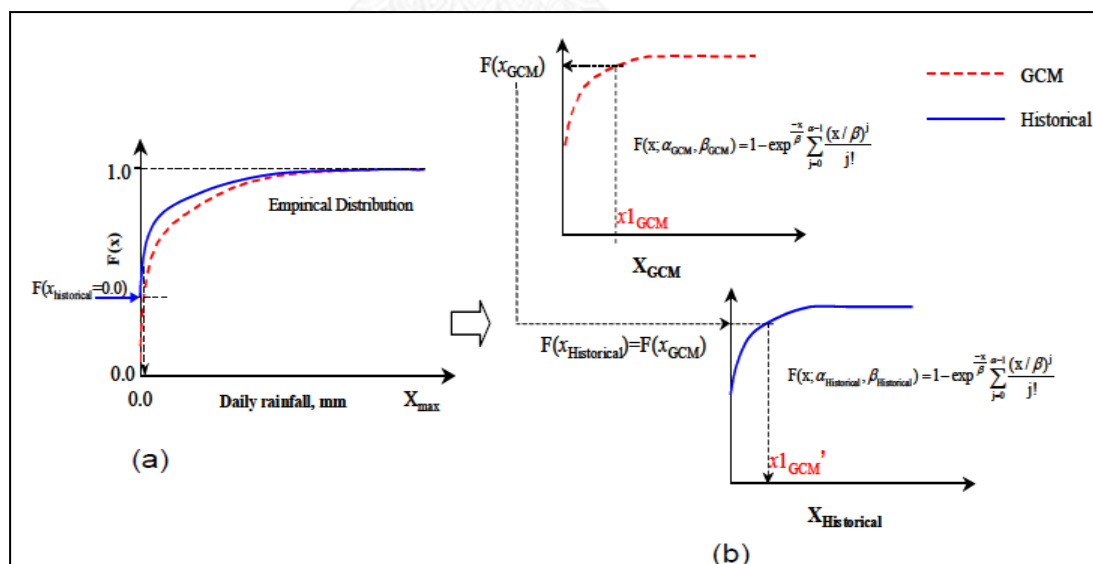
Ines and Hansen (2006) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการปรับแก้ความถี่และความเข้มของการกระจายตัวของฝนรายวันที่ได้จากแบบจำลอง GCM เพื่อเทียบกับสถานีฝนที่สนใจ และได้นำไปประยุกต์ใช้ในการจำลองผลผลิตข้าวโพดในประเทศเคนยา การปรับแก้ความเอนเอียงของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วยกัน 3 รูปแบบ ได้แก่ simple multiplicative shift, empirical-gamma transformation และ gamma-gamma transformation เพื่อใช้ในการปรับแก้ความถี่และความเข้มของการกระจายตัวของฝนดังแสดงในรูปที่ 2-2 จากการศึกษาพบว่า วิธี simple multiplicative shift สามารถปรับแก้ค่าปริมาณฝนรายเดือนและฤดูกาลได้ดีกว่าวิธีอื่น แต่มีประสิทธิผลในการปรับแก้ความเอนเอียงของความถี่และความเข้มของฝนที่น้อยกว่าอีกสองวิธี ขณะเดียวกันอีกสองวิธีนั้นสามารถปรับแก้ทั้งค่าเฉลี่ย ความแปรปรวน และความถี่ของปริมาณฝนรายเดือนและฤดูกาลได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามพบว่า วิธี empirical-gamma จะให้ค่าเฉลี่ยปรับแก้ที่สูงกว่าค่าสังเกตการณ์ไปบ้าง ผลการศึกษาได้สรุปว่าวิธีการปรับแก้เอนเอียงทั้งสามสามารถช่วยในการปรับปรุงคุณลักษณะทางสถิติของฝนรายวันจากแบบจำลอง GCM เพื่อการนำไปใช้ศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นได้ต่อไป และสามารถรักษาความสามารถในการคาดคะเนความผันแปรของฝนในแต่ละฤดูกาลได้อีกด้วย



รูปที่ 2-1 เทคนิคการปรับแก้ความเอนเอียงแบบควอนไทล์ (Wood et al., 2002)

Sharma et al. (2007) ได้ศึกษาเทคนิคการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติของข้อมูลฝนทั้งหมด 3 แบบ ได้แก่ การปรับขนาด (scaling) การแปลงแบบแกมมา-แกมมา (Gamma-Gamma transformation) และ เอ็มไพริคัล-แกมมา (Empirical-Gamma transformation) และประยุกต์ใช้เทคนิคดังกล่าวในการปรับแก้ฝนรายวันของช่วงปี ค.ศ. 1991-1999 เพื่อเพิ่มคุณภาพของแบบจำลอง ECHAM4/OPYC SRES A2 และ B2 ในช่องตาราง (grid node) ที่พิจารณา โดยวิธีแรกนั้นเป็นการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติของค่าเฉลี่ยฝน ขณะที่อีกสองวิธีจะปรับปรุงความถี่และความเข้มของฝน GCM ผลลัพธ์การปรับแก้ข้อมูลจะถูกเปรียบเทียบกับค่าสังเกตการณ์โดยพิจารณาจากพารามิเตอร์ทางสถิติที่เกี่ยวข้อง จากการศึกษาเปรียบเทียบทั้งสามวิธีพบว่า เทคนิคการแปลงแบบแกมมา-แกมมา จะมีประสิทธิภาพผลสูงที่สุดในการปรับแก้ทั้งความถี่และความเข้มฝนในเวลาเดียวกัน

Piani et al. (2010) ได้ใช้เทคนิคการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติ (statistical bias correction) เพื่อปรับแก้ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ย รวมถึงปริมาณน้ำฝนรายวัน ด้วยวิธี fitted histogram equalization function ของแบบจำลองภูมิอากาศโลก ECHAM5 เทียบเคียงกับข้อมูลภูมิอากาศโลก WATCH (WATER and global CHange) ซึ่งมีข้อมูลย้อนหลัง 50 ปี การปรับแก้ความเอนเอียงข้อมูลจะทำในช่วงปี ค.ศ. 1960 -1969 และตรวจสอบความถูกต้องระหว่างปี ค.ศ. 1990-1999 ผลที่ได้ยืนยันถึงประสิทธิภาพของวิธีการดังกล่าวสำหรับทุกตัวแปรภูมิอากาศ



รูปที่ 2-2 ขั้นตอนการปรับแก้ความถี่และความเข้มของปริมาณฝนรายวันจากแบบจำลอง GCM (Ines, 2006)

2.3 การศึกษาที่ผ่านมาของการย่อส่วนข้อมูลจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก

จุดประสงค์หนึ่งของการวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศโลก คือการนำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้เพื่อการศึกษาผลกระทบเชิงอุทกวิทยา เช่น เหตุการณ์สุดขีด (extreme events) อันเป็นข้อมูลสำคัญต่อการปรับตัวต่อสภาวะภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปสู่สถานะใหม่ โดยในแต่ละภูมิภาคของโลกย่อมแบกรับความเสี่ยงที่แตกต่างกัน ตามศักยภาพการปรับตัวในแต่ละประเทศ

การย่อส่วนหรือเพิ่มความละเอียดข้อมูลสภาพภูมิอากาศโลก เป็นวิธีการสำคัญที่จะช่วยให้นำผลที่ได้จากแบบจำลอง GCMs มาสร้างสภาวะภูมิอากาศในระดับภูมิภาคหรือท้องถิ่นซึ่งสามารถใช้จำลองผลกระทบในระดับลุ่มน้ำได้ ซึ่งเป้าหมายหลักของวิธีการดังกล่าว สามารถสรุปได้ดังนี้

1. สร้างลักษณะของสภาวะภูมิอากาศในระดับภูมิภาคหรือท้องถิ่นที่มีความละเอียดสูงกว่าแบบจำลอง GCMs
2. ปรับปรุงความน่าเชื่อถือของข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่อยู่ในระดับเวลาที่สั้นลง

โดยทั่วไปการย่อส่วนข้อมูลภูมิอากาศจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ วิธีเชิงกระบวนการ (process-based technique) หรือเรียกอีกอย่างได้ว่าการย่อส่วนแบบพลวัต (dynamical downscaling) และวิธีเชิงประจักษ์ (empirically-based technique) หรือเรียกอย่างได้ว่า การย่อส่วนเชิงสถิติ (statistical downscaling)

2.3.1 การย่อส่วนแบบพลวัต

วิธีการนี้คือการนำแบบจำลอง GCMs มาสร้างเป็นแบบจำลองระดับภูมิภาค (Regional Climate Models: RCMs) โดยอาศัยสมการพื้นฐานเดียวกันกับที่ใช้ในแบบจำลอง GCMs หากแต่เพิ่มความละเอียดเชิงพื้นที่ลงไปในระดับถึงประมาณ 10–20 กิโลเมตร และความละเอียดเชิงเวลาลงไปได้รายชั่วโมงหรือน้อยกว่า อย่างไรก็ตามก็ดีกระบวนการที่ใช้นั้น จะต้องอาศัยทรัพยากรและความสามารถในการคำนวณทางคณิตศาสตร์เป็นอย่างยิ่ง และข้อจำกัดอีกประการหนึ่งซึ่งเป็นผลจากความต้องการทรัพยากรในการคำนวณเป็นอย่างมากนี้เอง ทำให้เป็นไปได้ยากในการใช้วิธีการนี้เพื่อจำลองสภาพภูมิอากาศในช่วงเวลาหลายทศวรรษ (Maurer and Hidalgo, 2008) การสร้างแบบจำลอง RCMs จำเป็นต้องกำหนดเงื่อนไขขอบเขตด้านข้าง (lateral boundary conditions) ซึ่งได้จากข้อมูลสังเกตการณ์ เช่น การวิเคราะห์ชั้นบรรยากาศ หรือจากแบบจำลอง GCMs เป็นต้น ในหลายๆครั้งการเพิ่มความละเอียดของแบบจำลองอาจทำได้ด้วยการซ้อนทับแบบจำลองหลายๆชั้นหรือที่เรียกว่า multiple-nested grid ซึ่งจะความละเอียดเชิงพื้นที่ที่เพิ่มสูงขึ้นได้อีก ข้อมูลภูมิอากาศที่ชัดเจนจะช่วย

ทำให้ปรับปรุงการจำลองตัวแปรทางอุทกวิทยาที่มีความผันแปรเชิงพื้นที่มากๆ เช่น ปริมาณฝน ให้มีความแม่นยำยิ่งขึ้นได้เช่นกัน

2.3.2 การย่อส่วนเชิงสถิติ

เป็นอีกวิธีการย่อส่วนข้อมูลสภาพภูมิอากาศของโลก ซึ่งมีข้อได้เปรียบสำคัญคือการใช้ทรัพยากรในการคำนวณน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีแรกค่อนข้างมาก จึงเหมาะสมต่องานวิจัยซึ่งต้องการคำตอบที่เชื่อถือได้ภายใต้ระยะเวลาและงบประมาณที่จำกัด (Hewitson and Crane, 1996) และเป็นวิธีที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในกลุ่มงานวิจัยของหลายประเทศ ซึ่งมีความเสี่ยงอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก หลักการสำคัญของวิธีนี้ สามารถสรุปได้อย่างทั่วไปเป็นสามขั้นตอน ได้แก่

1. การสร้างฟังก์ชันเชิงปริมาณ CDF (Cumulative distribution function) ซึ่งทำหน้าที่กำหนดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของการไหลเวียนของสภาพภูมิอากาศโลกกับตัวแปรของสภาพภูมิอากาศในระดับภูมิภาค หลังจากนั้นจะต้องสร้างฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function) เพื่อทำหน้าที่ถ่ายโอนข้อมูลการจำลองสภาพภูมิอากาศในอดีตจากแบบจำลอง GCMs ให้กลายเป็นสภาพภูมิอากาศระดับภูมิภาค หลังจากนั้นนำผลที่ได้มาผ่านการแก้ความเอนเอียงของข้อมูลเดิม (bias correction) และเพิ่มความละเอียดของผลลัพธ์จาก GCMs ให้อยู่ในระดับความละเอียดที่ต้องการ
2. ปรับแก้ความเอนเอียงของข้อมูลในแต่ละ Grid cell ของ downscaled GCMs ให้ลงมาสู่แต่ละตำแหน่งของสถานี
3. ขยายขนาดช่วงของเวลาแบบชั่วคราวของสถานีไปสู่การผันแปรตามรูปแบบเดียวกับลักษณะภูมิอากาศในอดีตที่ผ่านมา

ระเบียบวิธีการย่อส่วนข้อมูลภูมิอากาศโลกเชิงสถิติ (statistical downscaling) สามารถแบ่งออกได้เป็นสามลักษณะ แบ่งตามเทคนิคของการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ ดังแสดงต่อไปนี้ (Hewitson and Crane, 1996; Wilby et al., 1998)

1. วิธี Weather Generator ซึ่งจะสร้างอนุกรมเวลาของตัวแปรภูมิอากาศให้มีคุณสมบัติทางสถิติให้ใกล้เคียงกับข้อมูลภูมิอากาศที่ได้จากการสังเกต ด้วยเทคนิคการสร้างตัวแปรสุ่ม (random numbers) วิธีนี้ได้รับความนิยมนำไปใช้ในการศึกษาเชิงประยุกต์ในด้านผลผลิตเกษตรกรรม วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ และการวิเคราะห์ความเสี่ยงจากอุทกภัย

2. วิธีสมการถดถอย (regression) อันมีหลักการสำคัญคือสร้างความสัมพันธ์เชิงปริมาณระหว่างข้อมูลจากแบบจำลองและข้อมูลสังเกตการณ์เข้าด้วยกัน

3. วิธี Weather typing scheme อันเป็นรูปแบบหนึ่งของการศึกษาเรื่อง synoptic climatology และเป็นวิทยาศาสตร์สาขาที่ศึกษาสภาพอากาศทั้งหมดในพื้นที่เฉพาะหนึ่งๆ ซึ่งจะสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสถานะของชั้นบรรยากาศโลกให้กลายเป็นตัวแปรของภูมิอากาศในระดับท้องถิ่น

4. วิธีโครงข่ายใยประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) สำหรับสร้างฟังก์ชันเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรภูมิอากาศระดับโลกกับตัวแปรระดับท้องถิ่นหรือภูมิภาค

วิธีการย่อยส่วนข้อมูลภูมิอากาศที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น ล้วนมีความสามารถเป็นอย่างดีในการจำลองสภาพภูมิอากาศเพื่อหาค่าตัวแปรทางอุทกวิทยาในระดับของลุ่มน้ำ อย่างไรก็ตามสิ่งที่ควรตระหนักประการหนึ่งคือ ไม่มีวิธีการย่อยส่วนข้อมูลภูมิอากาศที่สมบูรณ์แบบ แต่ละวิธีมีข้อได้เปรียบและเสียเปรียบที่แตกต่างกันไป ดังนั้นการเลือกใช้วิธีการศึกษาต้องคำนึงถึงจุดประสงค์ของงานวิจัยด้วย (Hamlet et al., 2003) ความแม่นยำของแต่ละวิธีขึ้นอยู่กับแบบจำลอง GCM ที่ผู้ศึกษาเลือกใช้ด้วยเช่นกัน สิ่งที่ต้องตระหนักอีกประการหนึ่งในข้อจำกัดของกระบวนการเพิ่มความละเอียด คือการตรวจสอบความถูกต้อง (validation) ด้วยการใช้ข้อมูลในอดีต อาจไม่ถูกต้องเสมอไปภายใต้การเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขต่างๆของภูมิอากาศในอนาคต (Charles et al., 1999; Maurer and Hidalgo, 2008)

Hewitson and Crane (1996) ได้ศึกษาและสรุปรวบรวมเทคนิคของการย่อยส่วนข้อมูลภูมิอากาศ โดยแบ่งออกเป็นสองประเภทหลัก คือ process-based technique หรือ dynamic downscaling และ empirical-based technique หรือเรียกว่า statistical downscaling จากการศึกษาสรุปว่าแม้ว่าวิธีแรกนั้นมีศักยภาพสูงในการสร้างแบบจำลอง RCM แต่วิธีการดังกล่าวต้องการข้อมูลภูมิอากาศที่ผิวโลกอย่างละเอียด และต้องใช้ทรัพยากรในการคำนวณทางคอมพิวเตอร์เป็นอย่างสูง ในขณะที่เดียวกัน วิธีที่สองนั้นใช้ทรัพยากรในการคำนวณน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแรกเป็นอย่างมาก มีความเหมาะสมต่องานวิจัยที่ต้องการคำตอบที่เชื่อถือได้ภายใต้ระยะเวลาที่จำกัด

Shrestha et al. (2004) ได้ศึกษาและปรับปรุงแนวคิดของการเพิ่มความละเอียดของข้อมูลสภาพภูมิอากาศโลกด้วยวิธี Non-homogeneous multiplicative random cascade สำหรับค่าฝนรายพื้นที่จากระดับหยาบให้ละเอียดมากกว่าเดิม โดยวิธีสามารถสร้างรูปแบบของฝนเฉลี่ยเชิงพื้นที่ในระยะยาวได้ดี แต่ว่ากลับไม่สามารถสร้างรูปแบบที่เกิดขึ้นแบบซ้ำแล้วซ้ำอีกได้ และค่าที่ได้มักมีการ

แกว่งตัวมากกว่าความเป็นจริง ดังนั้นจึงได้เสนอวิธีการปรับปรุงที่เรียกว่า random cascade Hierarchical and Statistical Adjustment (HSA) และได้ใช้วิธีนี้กับข้อมูลของแบบจำลอง GAME (GEWEX Asian Monsoon Experiment) ที่ผ่านการวิเคราะห์ซ้ำ (reanalysis) ในการเพิ่มความละเอียดของข้อมูลเดิมที่มีขนาดของกริดเท่ากับ 1.25 องศา (139.15 กม.) ลงสู่ความละเอียดเชิงพื้นที่เท่ากับ 10 อาร์คนาท (18.55 กม.) พบว่าผลที่ได้เป็นที่น่าพอใจและน่าเชื่อถือมากกว่าวิธีเดิม

Chen et al. (2006) ได้ใช้โครงสร้างของแบบจำลองการย่อยส่วนข้อมูลภูมิอากาศเพื่อสร้างอนุกรมเวลาของฝนรายวันในพื้นที่เขตร้อนตอนใต้ของประเทศจีน ซึ่งแบบจำลองเหล่านี้ประกอบด้วยวิธี first-order Markov chain สำหรับการจำลองความน่าจะเป็นของวันที่ฝนตก วิธีฟังก์ชันการกระจายตัวแบบแกมมา (Gamma distribution function) ในการอธิบายความผันแปรของปริมาณฝนของวันที่เกิดฝนตก และวิธีการย่อยส่วนเชิงสถิติ โดยการสร้างฟังก์ชันการแปลงค่า (transfer function) ข้อมูลภูมิอากาศทั้งในเชิงพื้นที่และเวลาในอนาคตจากแบบจำลอง GCM ให้ลงไปสู่ระดับของสถานีน้ำฝน ข้อมูลฝนรายวันสังเกตการณ์ใช้ข้อมูลย้อนหลัง 32 ปี จากสถานีน้ำฝนทั้งสิ้น 17 สถานี ที่ความละเอียดเชิงพื้นที่เท่ากับ $2.5^\circ \times 3.75^\circ$ จะใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องและสอบทานผลจากการย่อยส่วนข้อมูลภูมิอากาศ ผลลัพธ์ที่ได้จากการย่อยส่วน ได้แก่ อนุกรมของฝนรายวัน ปริมาณฝนสูงสุด 3 วัน และ 7 วัน จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าจากการวัด ผลการศึกษาสรุปว่าเทคนิคการย่อยส่วนที่เสนอมาทั้งสามรูปแบบสามารถจำลองอนุกรมฝนเฉลี่ยรายวันและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องทางสถิติลงสู่ระดับท้องถิ่นและสถานีน้ำฝนได้เป็นอย่างดี

Maurer and Hidalgo (2008) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการเพิ่มความละเอียดข้อมูลสภาพภูมิอากาศโลกจากแบบจำลอง NCEP/NCAR ในช่วงปี ค.ศ. 1950-1999 ทั้งหมดสองวิธี ได้แก่ Constructed Analogues (CA) และ bias correction and spatial downscaling (BCSD) ในการสร้างข้อมูลอนุกรมเวลาของฝนจากตำแหน่งต่างๆของ grid ที่มีขนาดความละเอียดเท่ากับ 1/8 องศา จากการศึกษาพบว่าทั้งสองวิธีสามารถสร้างข้อมูลอนุกรมเวลาของฝนและอุณหภูมิในระดับรายเดือนได้เป็นอย่างดี ขณะเดียวกันถ้าเป็นฝนรายวัน ทั้งสองวิธีการยังมีความสามารถจำกัดในการจำลองสภาพฝนสังเกตการณ์แบบรายวัน ในช่วงฝนมากที่สุดและแล้งที่สุด และทั้งสองวิธีให้ผลลัพธ์ที่ไม่แตกต่างกันมากนัก นอกจากผลการศึกษาที่กล่าวมาแล้ว ทางผู้ศึกษาได้ชี้ให้เห็นว่า วิธีการเพิ่มรายละเอียดของข้อมูลภูมิอากาศโลกที่เหมาะสมจะต้องพิจารณาถึงตัวแปรที่ใช้ ฤดูกาล และลักษณะของพื้นที่ศึกษา ความสมบูรณ์ของข้อมูลรายวัน และความสามารถของแบบจำลอง GCM ที่เลือกใช้ด้วย

ในอดีตที่ผ่านมาได้มีการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างเทคนิคการย่อยส่วนข้อมูลภูมิอากาศแบบพลวัตและเชิงสถิติอยู่หลายครั้ง (Murphy, 2000; Hellstrom et al., 2001; Giorgi et al., 2001; Yarnal et al., 2001; Hansen-Bauer, 2003) ซึ่งบางการศึกษาได้นำผลที่ได้ไปประเมินผลกระทบที่

มีต่อปริมาณน้ำท่าและพบว่าทั้งสองเทคนิคให้ผลลัพธ์บางอย่างที่เทียบเคียงกันได้ เช่น ความสามารถในการจำลองซ้ำค่าเฉลี่ยและและความผันแปรของภูมิอากาศในปัจจุบันและสภาพการไหลในลำน้ำในระดับรายวันและรายเดือน (Wilby and Dettinger, 2000; Hay and Clark, 2003) แม้ว่าเทคนิคทั้งสองอย่างจะให้ผลลัพธ์ที่เทียบเคียงกันได้สำหรับการจำลองสภาพภูมิอากาศในปัจจุบัน แต่ถ้านำไปประยุกต์สำหรับเหตุการณ์อนาคตแล้วพบว่า แบบจำลองทั้งสองอาจให้ผลที่ค่อนข้างแตกต่างกัน

2.3.3 การศึกษาที่ผ่านมาของเทคนิคย่อยส่วนข้อมูลภูมิอากาศโลกด้วยเทคนิคการแยกตัวแบบเฟ้นสุ่ม

แบบจำลองการแยกตัวแบบเฟ้นสุ่ม (stochastic disaggregation model) ตั้งอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีการกระจายตัวแบบลำดับชั้นเชิงสุ่ม (Multiplicative random cascade theory) อันเป็นเทคนิคหนึ่งในการย่อยส่วนปริมาณฝนคาดคะเนจากแบบจำลอง GCM ให้มีความละเอียดมากขึ้น แบ่งออกได้เป็นสองประเภทคือ การแยกตัวแบบเฟ้นสุ่มต่อเนื่อง และการแยกตัวแบบเฟ้นสุ่มแบบไม่ต่อเนื่อง (Marsan et al., 1996) การกระจายตัวลำดับชั้นแบบไม่ต่อเนื่องจะมีความสามารถดีกว่าในการแยกแยะระหว่างพื้นที่ฝนตกและไม่ตก (Schertzer and Lovejoy, 1987; Gupta and Waymire, 1993; Over and Gupta, 1994; Sharma et al., 2007) จากการศึกษาโดยการผนวกรวมคุณสมบัติของความไม่เป็นเนื้อเดียวกันเชิงพื้นที่ (spatial heterogeneity) ลงในกระบวนการลำดับชั้นเชิงสุ่ม พบว่าให้ผลลัพธ์โดยทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพึงพอใจสำหรับการจำลองค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของฝนในเชิงพื้นที่ (Jothityangkoon et al., 2000; Pathirana and Herath, 2002; Tachikawa et al., 2004)

Marsan et al. (1996) ได้นำเสนอวิธีการคาดการณ์และทำนายปริมาณฝน ด้วยวิธี Multifractal process ซึ่งพิจารณาการกระจายของฝนในปริภูมิของสถานที่-เวลา (space-time) อันพัฒนามาจากแบบจำลองชั้นน้ำฝน (rainfall cascade model) ตั้งแต่อดีต

Deidda et al. (1999) ได้ทำการศึกษาเชิงอภิปรายคุณสมบัติเชิงสถิติและกฎของการสร้างลำดับชั้น (scaling laws) ในเขตข้อมูลปริมาณน้ำฝน (rainfall fields) ด้วยการนำเสนอแบบจำลอง multifractal ซึ่งพบว่ามีเหมาะสมในการสร้างค่าฝนสังเคราะห์แบบสุ่ม คุณสมบัติทางสถิติของฝนได้รับการตรวจสอบจากข้อมูลอนุกรมเวลาความละเอียดสูงที่วัดได้ในเมืองเจนัว ประเทศอิตาลี ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นถึงค่าช่วงเวลาเริ่มต้นซึ่งอยู่ที่ 1,520 ชั่วโมง ที่สามารถแยกช่วงที่ผิดปกติสองช่วงของกฎการสร้างลำดับชั้นออกมาได้ ขณะเดียวกันอนุกรมเวลาของฝนสังเคราะห์ที่สร้างขึ้นด้วยคุณลักษณะเดียวกันกับฝนสังเกตการณ์นั้นสร้างขึ้นโดยแบบจำลอง multifractal นอกจากนี้ในการศึกษายังได้วิเคราะห์ศักยภาพของแบบจำลองดังกล่าวในการอธิบายการกระจายตัวของฝนสูงสุด

ผลการศึกษาพบว่ากระบวนการทั้งหมดนี้มีประโยชน์ในการช่วยสอบทานแบบจำลองการย่อบส่วน ข้อมูลภูมิอากาศ ด้วยการสวณคุณลักษณะทางสถิติของข้อมูลฝนให้ใกล้เคียงกับข้อมูลจริงได้ดี

Jothityangkoon et al. (2000) ได้พัฒนาแบบจำลองน้ำฝนเชิงพื้นที่และเวลา (space-time rainfall model) สำหรับการสร้างเขตพื้นที่และเวลาของฝน (field of space-time rainfall) ในช่วงเวลาระดับรายวัน องค์ประกอบเกี่ยวกับเวลาของแบบจำลองนั้นมีพื้นฐานจาก Markov chain ส่วนองค์ประกอบเชิงพื้นที่นั้นมีพื้นฐานจากกระบวนการสร้างลำดับขั้นแบบสุ่ม การศึกษาได้นำแบบจำลองดังกล่าวไปประยุกต์กับพื้นที่ขนาด 400×400 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมอาณาบริเวณของกลุ่มน้ำ Swan-avon ในภาคใต้ของประเทศออสเตรเลีย โดยมีข้อมูลฝนสังเกตการณ์ย้อนหลัง 11 ปี จากสถานีน้ำฝนทั้งหมด 490 แห่ง จากการศึกษาได้สรุปถึงประสิทธิภาพที่ดีของแบบจำลองในการรักษาคุณสมบัติทางสถิติและการผันแปรเชิงพื้นที่และฤดูกาลของฝนจากการวัด เช่น ปริมาณฝนรายวัน รายเดือน รายฤดูกาล และรายปีตลอดพื้นที่ศึกษา

Pathirana and Herath (2002) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองอย่างง่าย (simple method) เพื่อหลีกเลี่ยงผลของความไม่เป็นเนื้อเดียวกันเชิงพื้นที่อันเป็นข้อจำกัดพื้นฐานของ multifractal process ออกไป ในการศึกษาได้แสดงการประยุกต์ใช้วิธีที่เสนอโดยการใช้แบบจำลองลำดับขั้นแบบไม่ต่อเนื่อง (discrete cascade model) เปรียบเทียบกับฝนจากเรดาร์ที่สอบเทียบกับข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝนแล้วในเขตพื้นที่ภาคกลางของประเทศญี่ปุ่น ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองอย่างง่ายสามารถรักษาแนวโน้มพารามิเตอร์สำคัญของฝนในเชิงพื้นที่ ได้แก่ การกระจายตัวของพื้นที่ฝนตก อัตสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (spatial autocorrelation) และการกระจายตัวของความเข้มฝนในภูมิภาคต่างๆสำหรับแต่ละปริมาณฝนเฉลี่ยได้เป็นอย่างดี

Molnar and Burlando (2005) ได้ทำการศึกษาและประยุกต์ใช้แบบจำลองลำดับขั้นทวิคูณแบบไม่ต่อเนื่อง (discrete multiplicative cascade model) ในแบบพื้นฐาน (canonical form) และแบบระบบปิด (microcanonical form) ซึ่งจะอนุรักษ์มวลของระบบให้คงที่ในแต่ละลำดับขั้น ไปใช้เพื่อเพิ่มความละเอียดเชิงเวลาสภาพฝนสังเกตการณ์ให้มากขึ้น จากการศึกษาได้สรุปว่าแบบจำลองในรูปแบบพื้นฐานสามารถสร้างปริมาณฝนที่มีความผันแปรได้ใกล้เคียงมากกว่า นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบความแตกต่างของทั้งสองวิธีการด้วยการประมาณค่าตัวแปร โดยพิจารณาถึงคุณสมบัติสำคัญสามประการของฝนสังเกตการณ์ ได้แก่ การกระจายตัวของฝน (distribution) ความผันผวนแบบยุ่งเหยิง (intermittency) และค่าสุดขีด (extreme) และพบว่าทั้งสองวิธีสามารถจำลองค่าฝนรายปีสูงสุดได้ดีหากเป็นการจำลองในช่วงระยะเวลาสั้นๆ และประสิทธิภาพจะลดลงอย่างต่อเนื่องตามช่วงเวลาที่ยาวขึ้น นอกจากนี้วิธีการแบบพื้นฐานมีความสามารถสูงกว่าวิธีแบบระบบปิดเป็นอย่างมาก ในการจับแนวโน้มของความผันแปรของปริมาณฝนอีกด้วย

2.4 การศึกษาที่ผ่านมาของการประยุกต์แบบจำลองภูมิอากาศเพื่อศึกษาภูมิอากาศในประเทศไทย

ศุภกร ชินวรรณโณ และคณะ (2552) จำลองสภาพภูมิอากาศในอนาคตของประเทศไทยและพื้นที่ข้างเคียง ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ PRECIS (Providing REgional Climates for Impact Studies) โดยอาศัยชุดข้อมูลของ ECHAM4 ให้มีความละเอียดเชิงพื้นที่ของตารางกริดเท่ากับ 20x20 ก.ม. ครอบคลุมช่วงเวลาปีฐานตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960-1999 เพื่อใช้สำหรับเปรียบเทียบและครอบคลุมช่วงเวลาอนาคตตั้งแต่ปี ค.ศ. 2010-2099 ผลการศึกษาพบว่าปริมาณฝนรายปีจะมีความผันผวนในช่วงต้นศตวรรษและจะเปลี่ยนแปลงไปในทางที่มีปริมาณฝนรายปีเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดตั้งแต่ช่วงกลางศตวรรษลงไป โดยเฉพาะพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือบริเวณแม่น้ำโขงและพื้นที่ภาคใต้ ยกเว้นพื้นที่ชายแดนด้านตะวันตกซึ่งอาจจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนรายปีมากนักในอนาคต

กัญชรีย์ บุญประกอบ และคณะ (2553) ศึกษาและสร้างภาพจำลองของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตของประเทศไทย โดยการย่อส่วนแบบจำลองภูมิอากาศโลกด้วยแบบจำลอง GFDL-R30 ในพื้นที่ประเทศไทย ให้มีขนาดของกริดเท่ากับ 50x50 ตารางกิโลเมตร กำหนดปีฐานในช่วง ค.ศ. 1965-1990 และปีอนาคตในช่วงค.ศ. 2010-2029 และ ค.ศ. 2040-2059 ด้วยภาพจำลองภูมิอากาศในอนาคตได้แก่ SRES A2 และ B2 และจัดทำข้อมูลสภาพภูมิอากาศในอนาคตของประเทศไทย ภายใต้เงื่อนไขสถานการณ์จำลองและวิเคราะห์แปลผลข้อมูลที่ได้ ผลการศึกษาพบว่าปริมาณหยาดน้ำฟ้า (precipitation) จากภาพจำลองแบบ SRES A2 และ B2 เปรียบเทียบกับปีฐานพบว่าในระยะสั้นถึงปานกลาง และระยะยาว SRES A2 มีปริมาณหยาดน้ำฟ้าเฉลี่ยต่ำกว่าปีฐาน แต่แตกต่างจาก SRES B2 ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าปีฐาน

ดุชนันท์ สุขวัญ และคณะ (2553) ได้ทดสอบและปรับปรุงแบบจำลอง WRF (Weather Research Forecasting) ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสำหรับประเทศไทย โดยการปรับปรุงตัวแปรเสริมสำหรับเมฆ

เจียมใจ เครือสุวรรณ และคณะ (2553) ได้จำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศสำหรับประเทศไทยด้วยแบบจำลองภูมิอากาศโลก MM5 RCM ในช่วงอดีตคือปี พ.ศ. 2513-2542 และใช้แบบจำลอง CCSM3 สำหรับเหตุการณ์ในอนาคต ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553-2582 ผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนเฉลี่ยรายวันภายใต้ SRES A1B พบว่าช่วงอนาคตช่วงปี พ.ศ. 2553-2582 มีปริมาณฝนเพิ่มขึ้นบ้างบริเวณเทือกเขาทางตะวันตกของประเทศไทย และมีฝนกระจายตามบริเวณเทือกเขาต่างๆในประเทศ พื้นที่ประเทศไทยตอนบนแห้งแล้งมีปริมาณฝนลดลง แต่มีปริมาณฝนเพิ่มขึ้นในภาคใต้เป็นบริเวณกว้างในช่วง พ.ศ. 2563-2572 มีฝนกระจายเพิ่มขึ้นตามบริเวณเทือกเขา

ต่างๆในประเทศไทยมีปริมาณฝนมากขึ้นในภาคใต้ ขณะที่พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยเป็นสภาพแห้งแล้งมีปริมาณฝนลดลงในช่วง พ.ศ. 2573–2582 มีปริมาณฝนกระจายเพิ่มขึ้นในบริเวณเทือกเขาในประเทศไทย ขณะที่พื้นที่ส่วนใหญ่ปริมาณฝนลดลง สภาพแห้งแล้ง แต่มีปริมาณฝนเพิ่มขึ้นเป็นบริเวณกว้าง

สิรินทรเทพ เต่าประยูร และคณะ (2553) ได้พัฒนาแบบจำลองสภาพภูมิอากาศระดับภูมิภาค RegCM3 สำหรับประเทศไทย โดยวิเคราะห์และศึกษาถึงความเหมาะสมของแบบจำลองดังกล่าวต่อประเทศไทย และศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจากภาพจำลองในอนาคตของ IPCC โดยเน้นที่ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิเป็นสำคัญ

Koontanakulvong and Chaowiwat (2010a) ได้ศึกษาการปรับแก้ความเอนเอียงของข้อมูลจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลกความละเอียดสูง MRI GCM ด้วยวิธี SD ratio และ Modified Rescaling จากการตรวจสอบประสิทธิภาพด้วยวิธี RMSE และ R2 พบว่าทั้งสองต่างให้ค่าดังกล่าวอยู่ในระดับที่ยอมรับได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ลุ่มน้ำสาละวิน และพบว่าวิธี SD ratio จะปรับปรุงข้อมูลจากแบบจำลอง GCM ได้ใกล้เคียงกับค่าสังเกตการณ์ได้มากกว่าวิธี Modified rescaling

Koontanakulvong and Chaowiwat (2010b) ได้ศึกษาและเปรียบเทียบข้อมูลจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลกที่ผ่านการย่อส่วนแล้วทั้งหมดสามแบบ ได้แก่ MRI-AGCM ECHAM4 และ CCCMA 3.0 ได้นำข้อมูลที่ได้มาใช้วิเคราะห์เหตุการณ์รุนแรง ได้แก่ ปริมาณฝนหนึ่งวันและห้าวันสูงสุด และจำนวนวันแห้งแล้ง ในปัจจุบัน อนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล ข้อมูลที่วิเคราะห์แล้วจะนำไปซ้อนทับกับแผนที่เสี่ยงภัยจากดินถล่ม แผนที่อุทกภัยและแห้งแล้งของประเทศไทยต่อไป

Hanittinan and Koontanakulvong (2012) ได้นำเทคนิคการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติด้วยวิธีการแปลงแบบแกมมา-แกมมา มาใช้ปรับปรุงข้อมูลฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงเวลาปัจจุบัน (ค.ศ. 1979-2006) และคาดคะเนการผันแปรปริมาณฝนรายปี (inter-annual variation) ไปในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ.2015-2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ.2075-2099) ในพื้นที่อำเภอศรีสัชชนาลัย จังหวัดสุโขทัย ผลการศึกษาพบว่าการปรับแก้ความเอนเอียง สามารถลดทอนความคลาดเคลื่อนของข้อมูลฝนจากทั้งสามแบบจำลอง เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลฝนสังเกตการณ์ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ได้นำผลลัพธ์ของฝนที่ได้ที่ได้เข้าสู่การวิเคราะห์สภาพน้ำท่ารายเดือนในช่วงปัจจุบัน และพบว่าข้อมูลฝนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้วสามารถจำลองการผันแปรรายเดือนของปริมาณน้ำท่าได้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากกว่าข้อมูลฝนก่อน

ปรับแก้อย่างชัดเจน ดังนั้นการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติจึงมีความจำเป็นสำหรับการศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศทั้งในปัจจุบันและอนาคต

2.5 การศึกษาที่ผ่านมาของผลกระทบและการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจะทำให้วัฏจักรทางอุทกวิทยามีความรุนแรงกว่าในอดีตจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและปริมาณการคายระเหย รวมถึงฝนอีกด้วยในบางพื้นที่ การเปลี่ยนแปลงในเชิงความรุนแรงและความถี่ของการเกิดฝนนั้นจะส่งผลกระทบต่อปริมาณและช่วงเวลาของการเกิดน้ำท่า รวมถึงขนาดของเหตุการณ์รุนแรงทางธรรมชาติอื่นๆ เช่น อุทกภัย ความแห้งแล้ง เป็นต้น

ด้วยเหตุนี้สังคมมนุษย์จึงจำเป็นต้องดำเนินมาตรการปรับตัวเพื่อรับมือกับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอันเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ตั้งแต่อดีต (IPCC Working Group II, 2007) อย่างไรก็ตามสิ่งหนึ่งที่เป็นปัญหาคือ ความสามารถในการปรับตัว (adaptive capacity) ของแต่ละภูมิภาคนั้นไม่เท่าเทียมกัน และโดยทั่วไปแล้วกลุ่มประเทศกำลังพัฒนามักมีความสามารถในการปรับตัวไม่มากนัก (IPCC Working Group II, 2007) และจะได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวโดยตรง (Cole, 2008)

2.5.1 การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับการประเมินผลกระทบของสภาพอุทกภัยในต่างประเทศ

Dvorak et al. (1997) ได้ทำการศึกษาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อระบบอุทกวิทยาและทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำในทวีปยุโรป ได้แก่ แม่น้ำเอลเบ แม่น้ำเซลิฟกา แม่น้ำอู-ปา และแม่น้ำเมทูเจ และประยุกต์ใช้ 3 แบบจำลองอุทกวิทยา (BILAN, SAC-SMA และ CLIRUN) โดยอาศัยข้อมูลนำเข้าจากภาพจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศจากแบบจำลอง GISS, GFDL และ CCCM จากการศึกษาให้ข้อเสนอแนะถึงทางเลือกแบบทั่วไปในการปรับตัว ซึ่งมุ่งเน้นไปในเชิงไม่ใช้โครงสร้าง (non-structural measures) ได้แก่ การอนุรักษ์น้ำ การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการความต้องการน้ำ และการปกป้องทรัพยากรน้ำ เป็นต้น

Loukus et al. (2001) ได้ใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลก CGCM SRES A1 ในการสำรวจผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศต่อสาเหตุของการเกิดน้ำหลาก ในพื้นที่ลุ่มน้ำเชิงเขาสองแห่งในแคว้นบริติชโคลัมเบีย ประเทศแคนาดา ด้วยตัวแปรภูมิอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิ และปริมาณฝน และได้นำผลจากการจำลองไปเป็นข้อมูลนำเข้าของแบบจำลองอุทกวิทยา UBC (UBC Watershed model) เพื่อจำลองสภาพน้ำหลากของสองลุ่มน้ำดังกล่าวและศึกษาถึงสาเหตุของการเกิดการไหลสูงสุด (peak flow) ในการจำลองสภาพภูมิอากาศ หากไม่คิดถึงผลของ

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและฝนในอนาคต และพิจารณาเพียงผลของการเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวของฝนและพันธุ์พืช การปกคลุมของเมฆ การแผ่ขยายของธารน้ำแข็ง การผลิตพลังงานด้วยชีวมวล และผลของสรีรวิทยาของพืช จะพบว่าสภาพภูมิอากาศในอนาคตของสองลุ่มน้ำจะมีฝนตกมากขึ้น เช่นเดียวกับอุณหภูมิ การเกิดอุทกภัยในเขตชายฝั่งส่วนใหญ่จะเกิดจากฝนที่ตกในลุ่มน้ำในช่วงฤดูใบไม้ร่วง และจากฝนที่ตกลงหิมะในช่วงฤดูหนาว จากการวิเคราะห์ทางอุทกวิทยาพบว่าปริมาณน้ำท่าสูงสุดและความถี่ของการเกิดอุทกภัยในพื้นที่ต้นลุ่มน้ำ Campbell มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ขณะที่ในลุ่มน้ำ Illecillewaet จะมีแนวโน้มดังกล่าวที่ลดลง ผลของความแตกต่างของสถานการณ์ในอนาคตที่ได้ จึงควรดำเนินการจัดการและปรับตัวอย่างเหมาะสมสำหรับแต่ละลุ่มน้ำต่อไป

Werritty et al. (2002) ได้ศึกษาทบทวนแนวโน้มการเกิดอุทกภัยในอนาคตของประเทศสกอตแลนด์ภายใต้อิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยมีประเด็นหลักของการศึกษาทั้งหมด 5 ประการ ได้แก่ การทบทวนการเกิดอุทกภัยในอดีตที่ผ่านมา การคาดการณ์เหตุการณ์อุทกภัยในอนาคตภายใต้ภาพจำลองของสภาพภูมิอากาศในแบบต่างๆ ผลกระทบทางเศรษฐกิจจากอุทกภัยทั้งในปัจจุบันและอนาคต ความตระหนักรับรู้ของสาธารณชนและความใส่ใจเกี่ยวกับอุทกภัย และข้อเสนอแนะรวมถึงลำดับความสำคัญสำหรับการศึกษาในอนาคต สำหรับแนวโน้มของเหตุการณ์อุทกภัยในอนาคตพบว่า ภายใต้แบบจำลอง HadCM3 ปริมาณน้ำหลากจะเพิ่มขึ้นระหว่าง 10–20 % ขณะที่คาบการเกิดซ้ำจะลดลงจาก 50 ปี เหลือเพียง 25 ปี จากการศึกษายังได้สรุปแนวทางปรับปรุงการจัดการอุทกภัย เช่น การเพิ่มความละเอียดและถูกต้องของสำรวจแผนที่ภูมิประเทศ จัดทำและปรับปรุงแผนที่ความเสี่ยงอุทกภัย (flood risk mapping) ปรับปรุงมาตรการป้องกันอุทกภัย (flood defense) เป็นต้น

Dobler, Bürger, and Stötter (2007) ได้มุ่งศึกษาผลกระทบต่อสภาพอุทกภัยจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก ในพื้นที่ลุ่มน้ำอัลไพน์ รวมถึงคาดการณ์ถึงขอบเขตของความไม่แน่นอนในการคาดการณ์เหตุการณ์อุทกภัย ด้วยการประยุกต์ใช้ข้อมูลฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ผ่านการย่อยส่วนเรียบร้อยแล้วสองแบบ ผลการศึกษาสภาวะอุทกภัยในอนาคตพบว่าปริมาณอุทกภัยรายปีเฉลี่ย (mean annual floods) จะมีแนวโน้มลดลง และเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณอุทกภัยของแต่ละฤดูกาลค่อนข้างมาก กล่าวคือปริมาณอุทกภัยในช่วงฤดูร้อนมีแนวโน้มลดลง แต่ปริมาณอุทกภัยในช่วงฤดูหนาวกลับมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจากปัจจุบัน นอกจากนี้การวิเคราะห์เพิ่มเติมเกี่ยวกับช่วงระยะเวลาของเหตุการณ์อุทกภัย พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากสภาวะภูมิอากาศปัจจุบันที่ 7 เดือน เป็น 12 เดือน ในสภาวะภูมิอากาศในอนาคต

2.5.2 การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับการประเมินผลกระทบของสภาพอุทกภัยในประเทศไทย

Sharma et al. (2007) ได้ศึกษาถึงผลกระทบต่อทรัพยากรน้ำภายใต้การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศด้วยภาพจำลอง A2 และ B2 ในลุ่มน้ำตอนเหนือและทางตะวันตกของประเทศไทย ได้แก่ ลุ่มน้ำปิง และลุ่มน้ำแม่กลอง ด้วยแบบจำลองอุทกวิทยา HEC-HMS สำหรับสามช่วงเวลาในอนาคต ได้แก่ ค.ศ. 2025 ค.ศ. 2050 และ ค.ศ. 2095 ผลการศึกษาพบว่าปริมาณน้ำท่ารายเดือนของลุ่มน้ำปิงมีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบันเป็นส่วนใหญ่ ขณะที่ปริมาณน้ำท่ารายเดือนของลุ่มน้ำแม่กลองกลับมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจากปัจจุบัน

Kure and Shuichi (2012) ได้ศึกษาถึงผลกระทบเชิงอุทกวิทยาในลุ่มน้ำเจ้าพระยาใหญ่จากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ด้วยข้อมูลนำเข้า ได้แก่ ข้อมูลภูมิอากาศจากแบบจำลอง MRI-AGCM 3.1S ซึ่งใช้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกชนิด A1B และใช้แบบจำลองอุทกวิทยา DHI MIKE 11 ในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าในปัจจุบันและอนาคต จากการศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายเดือนและอัตราการไหลรายวันเฉลี่ยของแต่ละเดือน ณ สถานีน้ำท่า C2 จังหวัดนครสวรรค์ และพบว่าในช่วงอนาคตอันใกล้ปริมาณฝนรายเดือนจะเปลี่ยนแปลงจากปัจจุบันในช่วงระหว่าง -8.2%+6.9% ส่วนอัตราการไหลเปลี่ยนแปลงระหว่าง -63.4% ถึง -0.2% ยกเว้นช่วงเดือนกันยายนและตุลาคม ซึ่งอัตราการไหลจะเพิ่มขึ้นระหว่าง 306.8%-413.7% ส่วนช่วงอนาคตอันไกล ปริมาณฝนรายเดือนจะเปลี่ยนแปลงจากปัจจุบันในช่วงระหว่าง 0.7% -19.3% ส่วนอัตราการไหลรายวันเปลี่ยนแปลงระหว่าง 10.3%-413.7% เมื่อเทียบกับปัจจุบัน

2.5.3 การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับการเกิดอุทกภัยในจังหวัดสุโขทัยและในพื้นที่ลุ่มน้ำยม

จังหวัดสุโขทัยเป็นจังหวัดหนึ่งของประเทศไทย ตั้งอยู่บริเวณภาคกลางตอนบน มีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดแพร่ อุตรดิตถ์ พิษณุโลก กำแพงเพชร ตาก และ จังหวัดลำปาง แบ่งเขตการปกครองออกเป็น 9 อำเภอ ประกอบด้วย อำเภอเมืองสุโขทัย อำเภอบ้านด่านลานหอย อำเภอศรีมาศ อำเภอกงไกรลาศ อำเภอศรีสัชชนาลัย อำเภอศรีสำโรง อำเภอสวรรคโลก อำเภอศรีนคร อำเภอทุ่งเสลี่ยม รวมถึงอีก 86 ตำบล และ 782 หมู่บ้าน พื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดสุโขทัยจะเป็นที่ราบลุ่ม ทางตอนเหนือและตอนใต้ของจังหวัดมีลักษณะเป็นที่ราบสูง มีเขาหลวงเป็นภูเขาที่มีความสูงที่สุด วัดจากระดับน้ำทะเลมีความสูงประมาณ 1,200 เมตร โดยมีแนวภูเขายาวเป็นพืดทางด้านทิศตะวันตก ส่วนพื้นที่ตอนกลางของจังหวัดจะเป็นที่ราบ มีแม่น้ำไหลผ่านจากทิศเหนือจรดทิศใต้ และพื้นที่ส่วนใหญ่ตั้งอยู่บนลุ่มน้ำยม

สภาพอุทกภัยในลุ่มน้ำยม โดยเฉพาะจังหวัดที่ตั้งอยู่ริมลำน้ำส่วนใหญ่จะเกิดจากปริมาณน้ำจากแม่น้ำยมตอนบนและลำน้ำสาขาไหลหลากลงมาจนเอ่อล้นตลิ่งจนเข้าท่วมพื้นที่เขตเมืองโดยตรง

แต่การเกิดอุทกภัยลักษณะนี้จะดำรงอยู่เพียงชั่วระยะเวลาหนึ่ง ประมาณ 2-3 วันระดับน้ำจะลดลงสู่สภาพปกติ ซึ่งการเกิดอุทกภัยลักษณะนี้พบได้ในช่วงลุ่มน้ำยมตอนบนจากเขตอำเภอเมืองจังหวัดแพร่จนถึงเขตอำเภอเมืองสุโขทัย โดยเฉพาะช่วงอำเภอเมืองสุโขทัย ซึ่งสภาพลุ่มน้ำแคบและตื้นเขิน ทำให้ความสามารถในการระบายน้ำต่ำกว่าแม่น้ำยมตอนบนมาก ดังนั้นสำหรับกรณีอุทกภัยขนาดใหญ่ อาจจินตนาการพื้นที่ดังกล่าวได้ถึงลักษณะของ “คอขวด” และทำให้ระดับน้ำยกตัวสูงขึ้นและไหลเข้าท่วมพื้นที่ต่ำอย่างรุนแรง (กรมชลประทาน, 2545; รัฐพันธ์ ธีระมนัส, 2547; จิรัฐินาฏ ถังเงิน, 2547)

ส่วนพื้นที่สองฝั่งแม่น้ำยมตอนล่าง ตั้งแต่อำเภอเมืองสุโขทัยลงไป อันมีความสามารถในการระบายน้ำต่ำลงกว่าลุ่มน้ำยมตอนบนมาก จึงทำให้เกิดสภาวะน้ำไหลล้นตลิ่งเข้าท่วมพื้นที่เกษตรกรรมที่อยู่สองฝั่ง และไหลขนานไปตามแม่น้ำยม (อาจมีการไหลเข้า-ออก ในช่วงที่ระดับน้ำฝั่งใดฝั่งหนึ่งต่ำกว่า) ซึ่งอุทกภัยในลักษณะนี้จะเกิดขึ้นอย่างซ้ำๆ แต่จะท่วมขังเป็นระยะเวลานานนับเดือน และจะค่อยๆลดลงเมื่อสามารถระบายน้ำจากพื้นที่ตอนล่างให้ออกไปได้) โดยพื้นที่อุทกภัยในลักษณะนี้เริ่มตั้งแต่ท้ายเขตเทศบาลเมืองสุโขทัยธานี ลงไปถึงอำเภอโพทะเล จังหวัดพิจิตร

สำหรับการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับสภาพอุทกภัยและแนวทางบรรเทาปัญหา ได้แสดงไว้ดังต่อไปนี้

สุนัย สุนทรภา (2522) ศึกษาสภาพน้ำหลากของลุ่มน้ำยม ด้วยการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเกิดขึ้นได้ในพื้นที่ลุ่มน้ำยมภายใต้องค์ประกอบต่างๆ และเลือกใช้ฟังก์ชันการแจกแจงความถี่แบบกัมเบลในการวิเคราะห์ขนาดและความถี่ของน้ำหลาก ด้วยข้อมูลย้อนหลัง 5-40 ปี จำนวน 8 สถานี โดยพบว่าองค์ประกอบสำคัญที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณสูงสุดในรอบปีต่างๆ คือ พื้นที่ลุ่มน้ำ องค์ประกอบรูปร่างลุ่มน้ำ ตัวเลขที่แสดงถึงรูปร่างลุ่มน้ำ และปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีตามลำดับของความสำเร็จ

มนตรี จัตุหะศรี (2522) ได้ศึกษาถึงการป้องกันอุทกภัยและการจัดระบบคลองระบายน้ำภายในบริเวณเมืองเก่าสุโขทัย ด้วยการคาดคะเนปริมาณน้ำหลากจากพายุฝนที่เกิดขึ้นสูงสุดในรอบ 100 ปี เพื่อใช้ออกแบบระบบบรรเทาอุทกภัยในเขตพื้นที่โบราณสถานของอุทยานประวัติศาสตร์ จากการศึกษายังพบว่าลักษณะการเกิดอุทกภัยภายในส่วนของสุโขทัยเก่า ส่วนใหญ่เป็นน้ำหลากผิวดิน ซึ่งเกิดจากฝนตกทางเหนือบริเวณเทือกเขาประทับทิศตะวันตกของเมือง ส่วนระบบการบรรเทาอุทกภัยตามการวิจัยจะใช้วิธีการกักเก็บและระบายน้ำออกสู่คลองธรรมชาติที่อยู่ใกล้ตัวเมืองมากที่สุด เนื่องจากตัวเมืองมีโบราณวัตถุกระจายอยู่ทั่วไป การขุดคลองและแหล่งเก็บน้ำที่สุโขทัยเก่าส่วนใหญ่ จึงเป็นการขุดลอกของเดิม ซึ่งตื้นเขินแล้วให้มีประสิทธิภาพในการกักเก็บน้ำเพิ่มขึ้นเท่านั้น

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (2537) ได้ว่าจ้างให้บริษัท ปัญญา คอนซัลแตนท์ จำกัด ทำการศึกษาข้อมูลและศักยภาพของกลุ่มน้ำยม โดยทำการศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาแหล่งน้ำและความต้องการใช้น้ำในด้านต่างๆของกลุ่มน้ำยม สภาพปัญหาในกลุ่มน้ำยม ตลอดจนมีการประเมินศักยภาพแหล่งน้ำและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และจัดทำแผนการดำเนินการ โครงการพัฒนาแหล่งน้ำอย่างเป็นระบบในระดับทั้งลุ่มน้ำ

สมบัติ ชื่นชูกลิ่น และ ปัญญา พลเสน (2542) ได้ศึกษาแนวโน้มการเกิดอุทกภัยและน้ำแล้ง โดยการนำข้อมูลสภาพน้ำฝนและน้ำท่าในกลุ่มน้ำยม ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2495–2539 มาวิเคราะห์หาแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงสภาพน้ำในแม่น้ำยมที่ไหลผ่านตัวเมืองจังหวัดสุโขทัย พบว่าแนวโน้มฝนเฉลี่ยลดลงทุกปี แต่อัตราการไหลสูงสุดและระดับอุทกภัยมีแนวโน้มของความรุนแรงที่เพิ่มขึ้นทุกปี ด้วยสาเหตุหลักจากการก่อสร้างและพัฒนาระบบสาธารณูปโภคและโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ อันส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของการใช้ที่ดินและสภาพของลำน้ำยม

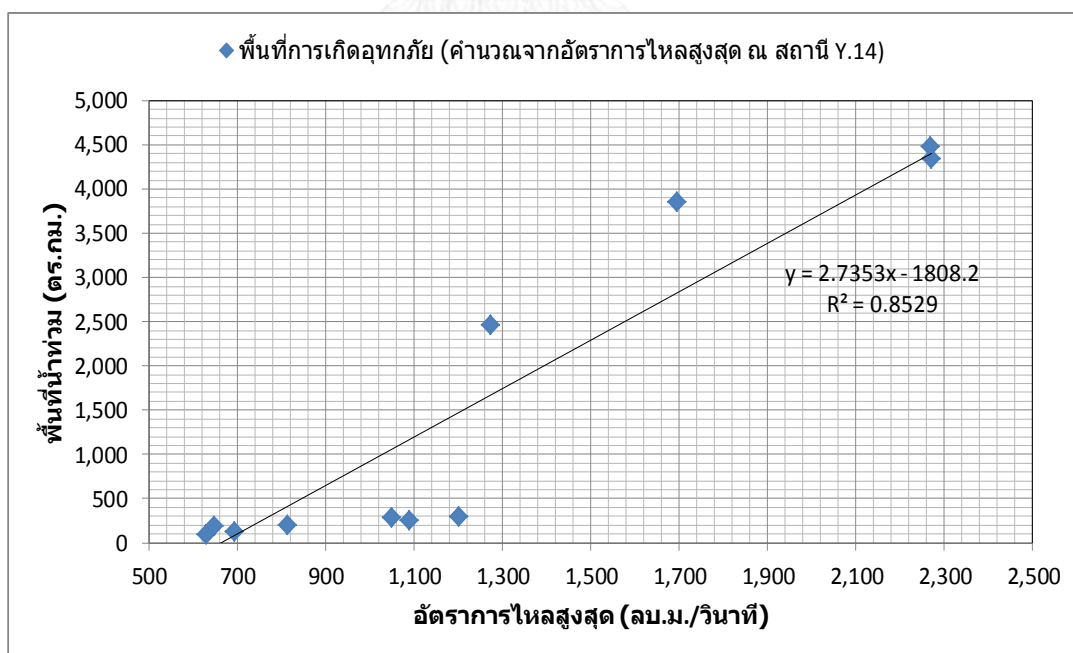
กรมชลประทาน (2544ก) ได้ทำการศึกษารายงานความเหมาะสมของโครงการบรรเทาอุทกภัยในกลุ่มน้ำยม-น่าน เพื่อบรรเทาและแก้ไขปัญหามหาอุทกภัยของพื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่อื่นๆที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดอุทกภัยในลักษณะอุทกภัยขัง อุทกภัยฉับพลัน น้ำล้นตลิ่ง และน้ำป่าไหลหลาก รวมถึงการศึกษาระบบเตือนภัยเพื่อบรรเทาความเสียหายต่อทรัพย์สินและชีวิตของราษฎร ประกอบด้วยการศึกษาโครงการเร่งด่วนและระยะยาว ได้แก่ การก่อสร้างอ่างเก็บน้ำ พัฒนาพื้นที่แก้มลิง ปรับปรุงแหล่งน้ำธรรมชาติ การผันน้ำข้ามลุ่มน้ำ การก่อสร้างและปรับปรุงประตูระบายน้ำ และการก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่ง รวมทั้งสิ้น 159 โครงการ

จิรัฐินาฏ ถังเงิน (2547) ศึกษาและจำลองสภาพอัตราการไหลและระดับน้ำในแม่น้ำยมด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 และนำผลที่ได้มาทดสอบกับเหตุการณ์อุทกภัยปี พ.ศ. 2538 ในกรณีที่มีการระบายน้ำไปสู่พื้นที่อุทกภัยธรรมชาติในบริเวณจังหวัดสุโขทัย ผลการศึกษาพบว่าเมื่อมีการระบายน้ำลงสู่พื้นที่ทุ่งอุทกภัยธรรมชาติ จะสามารถช่วยลดระดับน้ำก่อนเข้าบริเวณจังหวัดสุโขทัยลงได้ 2.22 เมตร

รัฐพันธุ์ ธีระมนัส (2547) ได้ศึกษาถึงประสิทธิผลของอ่างเก็บน้ำเขื่อนแก่งเสือเต้นในการบรรเทาอุทกภัยในกลุ่มน้ำยมภายใต้ความจุอ่างเก็บน้ำขนาดต่างๆ ด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับการไหลในลำน้ำ HEC-RAS โดยจำลองสภาพน้ำหลากลำน้ำยมตั้งแต่ท้ายอ่างเก็บน้ำเขื่อนแก่งเสือเต้นจนถึงอำเภอโพทะเล จังหวัดพิจิตร โดยสมมติกรณีไม่มีอ่างเก็บน้ำและกรณีมีอ่างเก็บน้ำความจุ 400 800 1,200 1,600 ล้านลูกบาศก์เมตร และกรณีอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่มาก ด้วยข้อมูลการเกิดอุทกภัยจำนวน 6 ปี ได้แก่ พ.ศ. 2523, 2527, 2537 2538, 2539 และ 2544 ผลการศึกษาพบว่าอ่างเก็บน้ำ

แก่งเสี้ยนมีความสามารถบรรเทาอุทกภัยได้ดีตั้งแต่ท้ายเขื่อนแก่งเสี้ยนจนถึงพื้นที่ อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ และสามารถบรรเทาอุทกภัยในจังหวัดสุโขทัยได้ดีพอสมควร โดยประสิทธิภาพของอ่างเก็บน้ำจะลดลงอย่างช้าๆและต่อเนื่องไปตามแนวลำน้ำ ภายใต้เกณฑ์การชี้วัดได้แก่ ปริมาณน้ำหลากสูงสุด พื้นที่อุทกภัย ปริมาณน้ำหลาก ระดับน้ำล้นตลิ่ง จำนวนวันของการเกิดอุทกภัย และ ความถี่ของการเกิดอุทกภัย

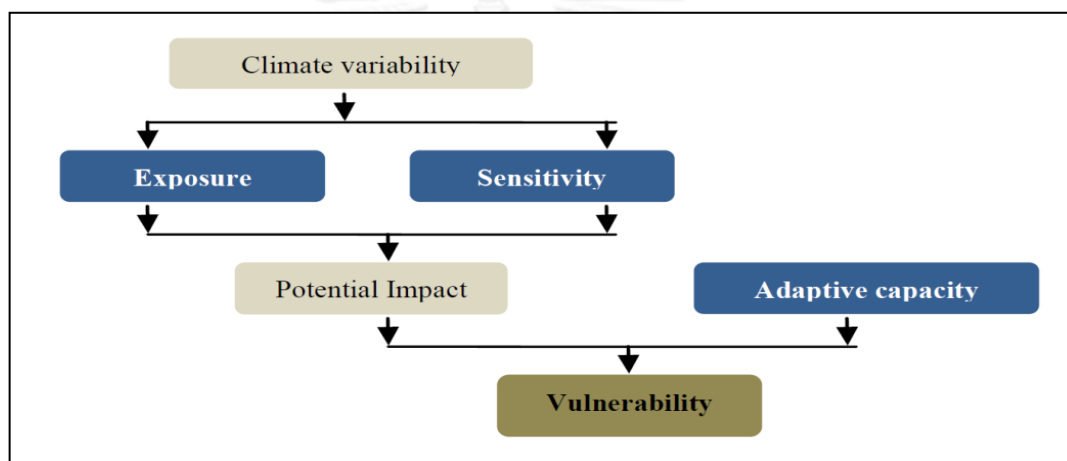
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2556) ภายใต้ “โครงการแผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม ปีงบประมาณ 2555” ได้ศึกษาแนวทางการจัดทำแผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม (Flood Hazard Map) ของพื้นที่จังหวัดสุโขทัย ด้วยการประยุกต์ใช้และปรับปรุงแบบจำลอง Rainfall-Runoff-Inundation (RRI) จากองค์กร ICHARM แห่งประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมีความสามารถจำลองสภาพน้ำฝน น้ำท่า และน้ำหลาก ได้ในเวลาเดียวกัน รวมถึงความสามารถในการคำนวณหาความลึกน้ำท่วมภายในลำน้ำ และในที่ราบลุ่มน้ำท่วมได้ ด้วยเหตุนี้จึงสามารถสร้างแผนที่การเกิดอุทกภัยจากเหตุการณ์ต่างๆได้เป็นอย่างดี การศึกษาซึ่งได้พัฒนาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่อุทกภัย (flooded area) อัตราการไหลสูงสุด (peak discharge) คาบการเกิดซ้ำ (return period) และมูลค่าความเสียหายจากอุทกภัย (flood damage) โดยอาศัยข้อมูลของสถานี Y.14 เนื่องจากเป็นสถานีวัดน้ำท่าหลักก่อนเข้าพื้นที่เขตเศรษฐกิจอำเภอเมืองจังหวัดสุโขทัย เป็นตัวแทนการศึกษา ซึ่งตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่อุทกภัย (ตร.กม.) กับ อัตราการไหลสูงสุด (ลบ.ม./วินาที) แสดงไว้ในรูปที่ 2-3 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2-3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลสูงสุดของสถานี Y.14 และพื้นที่อุทกภัยในจังหวัดสุโขทัย (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2556)

2.5.4 การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับแนวคิดของการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก

UN (2002) ได้ให้คำนิยามของคำว่า การปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate change adaptation) ว่าหมายถึง มาตรการที่มนุษย์ปรับสภาพชีวิตต่อความผันแปรของภูมิอากาศ (climate variability) เช่น เปลี่ยนวิถีการดำรงชีวิต การย้ายถิ่นฐาน เป็นต้น ทั้งนี้อาจให้คำนิยามของ “การปรับตัว” ว่าเป็นการกระทำใดๆ เพื่อลดทอนความเปราะบาง (vulnerability) ของสังคมมนุษย์ โดยทั่วไปหรือปัจเจกบุคคลต่อผลกระทบด้านลบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกในช่วงก่อน และหลังเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติ ตัวอย่างเช่น การลดความเสี่ยงภัย (hazards) และผลกระทบที่อาจเกิดกับประชาชน



รูปที่ 2-4 ความสัมพันธ์ระหว่าง climate variability และ vulnerability (IPCC WGII, 2007)

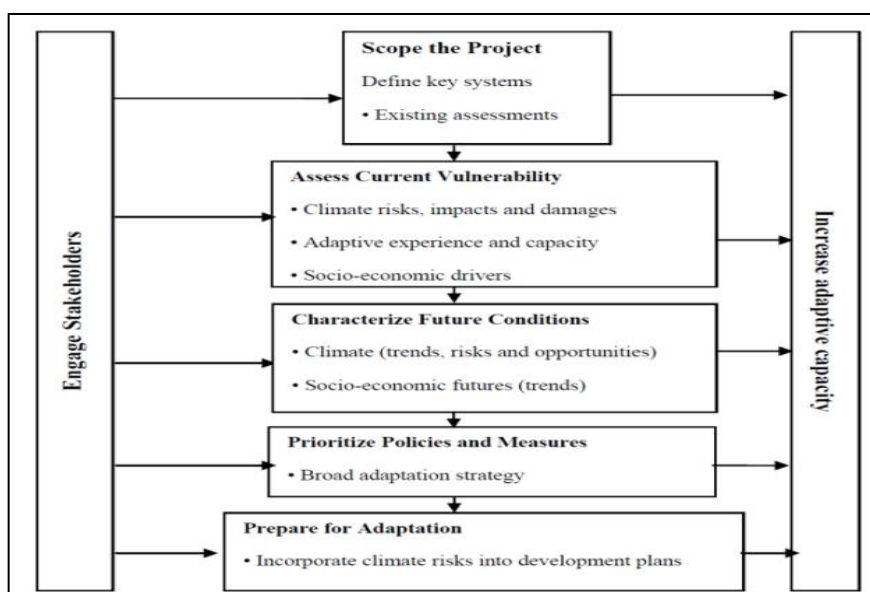
รูปที่ 2-4 แสดงแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างความผันแปรภูมิอากาศ (climate variability) ซึ่งจะกลายเป็นความเปราะบาง (vulnerability) ของระบบสังคมมนุษย์ โดยประกอบด้วย ความล่อแหลม (exposure) และ ลักษณะการตอบสนองของระบบสังคมต่อการผันแปรภูมิอากาศ (sensitivity) ซึ่งได้รวมถึงผลกระทบต่อความสามารถการตอบสนองต่อเหตุการณ์พิบัติภัยในอนาคตด้วย ทั้งสองส่วนนี้เมื่อรวมกันจะกลายเป็น ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นทั้งหมด (potential impact) แต่ถ้าระบบสังคมมีความสามารถในการปรับตัว (adaptive capacity) ซึ่งหมายถึงความสามารถของระบบในการจัดการทั้งความผันแปรและสภาวะภูมิอากาศสุดขีด (climate extremes) และควบคุมความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้ ความสามารถในการปรับตัวและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจะเป็นปัจจัยหลักในการประเมินจุดอ่อนของระบบ เพื่อนำไปวิเคราะห์หามาตรการปรับตัวทั้งหมดต่อไป

การประเมินความเปราะบาง (vulnerability assessment) คือกระบวนการเพื่อบ่งชี้และประมาณระดับของความเปราะบางทั้งหมดในระบบ เป็นขั้นตอนที่สำคัญต่อการวางแผนพัฒนาเมือง

ในปัจจุบันซึ่งการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจะเป็นปัจจัยหนึ่งในความเสี่ยงของระบบ ผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินความเปราะบางของระบบ ได้แก่ (Downing and Patwardhan., 2002)

1. ผลวิเคราะห์ความเปราะบางของสังคมมนุษย์ในปัจจุบัน โดยเน้นไปที่กลุ่มบุคคลตัวแทนซึ่งอาจได้รับผลกระทบ
2. จุดอ่อนที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตที่อาจเชื่อมโยงกับปัจจุบัน
3. ผลการเปรียบเทียบจุดอ่อนระบบภายใต้เงื่อนไขต่างๆทางเศรษฐกิจ สังคม ลักษณะความผันแปรภูมิอากาศ และการตอบสนองของการปรับตัว

มาตรการปรับตัว (adaptation measures) มีอยู่มาก แต่อาจแบ่งได้เป็นสองรูปแบบหลักได้แก่ มาตรการปรับตัวแบบใช้โครงสร้าง (structural measures) และมาตรการปรับตัวแบบไม่ใช้โครงสร้าง (non-structural measures) ดังนั้นหากต้องการทราบถึงความเหมาะสมและคุณค่าของมาตรการในแต่ละประเภท จึงต้องมีการประเมินการปรับตัว (adaptation assessment) อันเป็นกระบวนการสรรหาทางเลือกที่สามารถนำไปปฏิบัติได้จริง โดยอาจพิจารณาเปรียบเทียบวิธีต่างๆด้วยเกณฑ์ทั่วไปเช่น ต้นทุน ผลประโยชน์ และความเป็นไปได้ในการดำเนินการ (IPCC, 2001; Haque, Grafakos, and Huijsman, 2010) อย่างไรก็ตามตัวแปรและเกณฑ์การตัดสินใจเลือกวิธีการปรับตัวย่อมแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่และสถานการณ์ ด้วยเหตุนี้ หน่วยงานเช่น IPCC จึงกำหนดแนวทางเบื้องต้นสำหรับประเมินการปรับตัว ซึ่งมีกรอบแนวทางโดยสังเขปคือ กำหนดปัญหา เลือกวิธีการปรับตัว ทดสอบประสิทธิผลของวิธีการต่างๆ เช่นการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (sensitivity analysis) เลือกลักษณะของภาพจำลองเหตุการณ์อนาคต (future scenarios) ประเมินผลกระทบที่เกี่ยวข้องกับด้านกายภาพ ชีวภาพ เศรษฐกิจ และสังคม ประเมินผลการปรับเปลี่ยนมาตรการ ประเมินคุณค่ามาตรการปรับตัวต่างๆ (evaluation of adaptation strategies) อย่างไรก็ตามแนวทางนี้มีจุดบกพร่องที่สำคัญคือขาดการพิจารณาจุดอ่อนของภาคส่วนต่างๆของระบบสังคมมนุษย์ แต่กลับมองในเชิงของผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงในอนาคตเป็นหลัก นอกจากนี้ยังขาดผลตอบรับจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (stakeholders) ซึ่งแผนการปรับตัวที่ประสบความสำเร็จในปัจจุบันจำเป็นต้องอาศัยความร่วมมือจากทุกฝ่าย ด้วยเหตุนี้ UNDP (2001) จึงได้ปรับปรุงกระบวนการประเมินผลการปรับตัวซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอน โดยพิจารณาถึงความผันแปรภูมิอากาศในปัจจุบันและอนาคตรวมถึงการมีส่วนร่วมเข้าไปในกระบวนการดังกล่าวอีกด้วย ดังรูปที่ 2-5 ดังนี้



รูปที่ 2-5 ขั้นตอนการประเมินการปรับตัวจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก
(Downing and Patwardhan., 2002)

จากรูปจะพบว่ากระบวนการประเมินมาตรการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศประกอบด้วยทั้งสิ้น 5 ขั้นตอน คือ ส่วนของการกำหนดขอบเขตโครงการและระบบที่สนใจ การประเมินจุดอ่อนในปัจจุบัน เช่น ความเสี่ยงด้านภูมิอากาศ (climate risk) ผลกระทบที่เกิดขึ้นและความเสียหายที่ผ่านมา ประสบการณ์และความสามารถในการปรับตัวของชุมชน รวมถึงจุดอ่อนเนื่องจากปัจจัยด้านสังคมและเศรษฐกิจ เป็นต้น ขั้นที่สามคือการกำหนดสภาพและเงื่อนไขในอนาคต เช่น สภาพภูมิอากาศ แนวโน้ม ความเสี่ยง และโอกาสที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (การเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจและสังคม เป็นต้น จัดลำดับความสำคัญของนโยบายและมาตรการปรับตัวทางเลือกต่างๆ และสุดท้ายคือการนำแผนที่ถูกเลือกไปใช้สำหรับวางแผนพัฒนาโครงการต่างๆ ต่อไป โดยแผนเหล่านี้จะต้องคำนึงถึงเรื่องความเสี่ยงจากภูมิอากาศด้วย ซึ่งขั้นตอนทั้งหมดต้องให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียร่วมพิจารณาด้วย และขั้นตอนทั้งหมดนี้จะต้องไปดำเนินการต่อเพื่อเพิ่มความสามารถในการปรับตัวของระบบที่ศึกษาต่อไป อย่างไรก็ตามการดำเนินการเช่นนี้ยังมีจุดบกพร่องอยู่ เช่น กระบวนการทั้งหมดยังไปในทิศทางเดียว ผู้มีส่วนได้และเสียทำหน้าที่เพียงให้ข้อมูลแก่ผู้ศึกษาจึงยังไม่มิตบทบาทมากและรับทราบถึงประโยชน์ที่ควรได้รับอย่างที่น่าจะเป็น นอกจากนี้ในแต่ละขั้นตอนศึกษาต้องการข้อมูลค่อนข้างมากและหลากหลาย ดังนั้นการรวบรวมข้อมูลให้ครบถ้วนจึงเป็นเรื่องท้าทายพอสมควรโดยเฉพาะในประเทศกำลังพัฒนา

2.5.4.1 แนวคิดการปรับตัวต่อสภาพอุทกภัย (flood adaptation)

จากการวิเคราะห์เชื่อมโยงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกกับผลกระทบเชิงอุทกวิทยา ได้แก่ ปริมาณฝนสะสมรายวันสูงสุด อัตราการไหลรายวันสูงสุด และระดับน้ำรายวันสูงสุดในอนาคต ทำให้ทราบว่าพื้นที่ซึ่งมีแนวโน้มที่ผลกระทบเหล่านี้ทวีความรุนแรงมากขึ้นโอกาสเกิดสภาพอุทกภัยที่สร้างความเสียหายต่อชีวิต สังคมและเศรษฐกิจย่อมเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นมาตรการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกจะต้องคำนึงถึงเรื่องของอุทกภัยเป็นสำคัญด้วย

โดยทั่วไปการปรับตัวต่อสภาพอุทกภัยของธรรมชาติและมนุษย์สามารถจำแนกออกได้ 2 ประเภท คือ การปรับตัวเชิงคาดการณ์ล่วงหน้า ซึ่งหมายถึงการเตรียมการเพื่อรับมือเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต และ การปรับตัวเชิงตอบสนองต่อเหตุการณ์ ซึ่งเป็นการปรับตัวหลังจากเกิดเหตุการณ์อุทกภัยขึ้นเรียบร้อยแล้ว

ตารางที่ 2-1 ประเภทของการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอุทกภัย

ระบบ ธรรมชาติ	การปรับตัวเชิงคาดการณ์		การปรับตัวเชิงตอบสนอง
			1) ช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวที่ยาวนานกว่าเดิม 2) การเปลี่ยนพื้นที่ชุ่มน้ำ
สังคมมนุษย์	ภาคเอกชน	1) การเปลี่ยนแปลงสถาปัตยกรรมของอาคาร 2) ซื่อประกันอุทกภัย	1) ย้ายที่อยู่อาศัย 2) เบี้ยประกันปรับตัวเพิ่มขึ้น 3) ชาวบ้าน ชุมชน ป้องกันตัวเองจากอุทกภัย
	ภาครัฐ	1) ติดตั้งระบบเตือนภัย 2) ออกร่างประมวลข้อบังคับอาคาร 3) ก่อสร้างอาคารบังคับน้ำ	1) มาตรการสนับสนุนและช่วยเหลือทางการเงินแก่ผู้ประสบภัย 2) บังคับใช้ประมวลข้อบังคับอาคารกฎหมายอื่นๆเกี่ยวกับมาตรฐานการก่อสร้างและบำรุงรักษาโครงสร้าง

ที่มา: UNFCCC (2002)

หลักการปรับตัวต่อสภาพอุทกภัย (flood adaptation measures) โดย United Nation Environmental Program (UNEP) ได้กำหนดแนวทางการปรับตัวให้สอดคล้องกับการจัดการที่ราบลุ่มอุทกภัย (floodplain management) ซึ่งมีนิยามคือ การจัดการกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ในเขตพื้นที่อุทกภัยซ้ำซากอย่างเหมาะสม สามารถบรรเทาความเสียหายต่อสาธารณูปโภคพื้นฐานที่มีอยู่ในปัจจุบันและช่วยลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต มาตรการโดยทั่วไปของการจัดการที่ราบ

ลุ่มอุทกภัยอาจแบ่งออกได้เป็นสองประเภทหลัก คือ มาตรการที่ใช้โครงสร้าง และมาตรการที่ไม่ใช้โครงสร้าง ผ่านกลไกการทำงานระดับชุมชน ระดับท้องถิ่น และระดับประเทศ ดังต่อไปนี้

1) มาตรการที่ใช้โครงสร้าง

เป็นมาตรการที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างและบำรุงรักษาโครงสร้างทางชลศาสตร์ เพื่อลดและบรรเทาปัจจัยที่จะส่งผลให้เกิดอุทกภัย ได้แก่ อัตราการไหล ปริมาณน้ำหลากผ่านที่ราบลุ่มอุทกภัย ระดับอุทกภัย รวมถึงการช่วยลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้ (United Nations, 2002) ตัวอย่างของมาตรการดังกล่าวประกอบด้วย การก่อสร้างเขื่อน อ่างเก็บน้ำ อาคารบังคับน้ำ ช่องทางระบายน้ำจากพายุฝนหรือน้ำหลากในเมือง ทางผันน้ำหลากชั่วคราว (Floodway) ทางผันน้ำหลากถาวร (diversion channel) และคันกั้นน้ำ การบำรุงรักษา ตรวจสอบคุณภาพ และซ่อมแซมโครงสร้างทางชลศาสตร์สำหรับการบรรเทาอุทกภัยอย่างสม่ำเสมอ ปรับปรุงอาคารพาณิชย์ ที่พักอาศัย และอาคารอื่นๆ ซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่มาแต่เดิมให้ทนทานต่อสภาพอุทกภัยและลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นต่ออาคารดังกล่าว (flood proofing) บังคับใช้มาตรฐาน กฎเกณฑ์ หรือเทศบัญญัติ ที่เกี่ยวข้องกับอาคารอย่างเคร่งครัด

2) มาตรการที่ไม่ใช้โครงสร้าง

มาตรการประเภทนี้เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้ในพื้นที่ราบลุ่มอุทกภัยซึ่งยังไม่มีการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและการตั้งถิ่นฐานอย่างหนาแน่นมากนัก และสามารถใช้ควบคู่กับมาตรการที่ใช้โครงสร้างสำหรับพื้นที่โดยทั่วไปได้เช่นกัน จุดเด่นของมาตรการประเภทนี้คือ การใช้ทรัพยากรที่มีอยู่เพื่อจัดการอุทกภัย และบรรเทาความเสียหายที่เกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ตัวอย่างของมาตรการดังกล่าวคือ การปรับปรุงสภาพลำน้ำ (channel modifications) การวางกรอบพื้นที่ราบลุ่มอุทกภัย (floodplain delineation) การวางแผนการใช้ที่ดิน (land-use planning) การจัดสรรพื้นที่ของเขตอุทกภัยซ้ำซาก (zoning of flood-prone areas) การพัฒนาพื้นที่อุทกภัยซ้ำซากขึ้นใหม่ (redevelopment of flood-prone areas) การชดเชยค่าเสียหายและมาตรการจูงใจอื่นๆ (compensation and incentives) การประกันอุทกภัย (flood insurance)

มาตรการทั้งสองประเภทนี้มีจำนวนมาก มีปัจจัยอื่นๆนอกเหนือจากด้านอุทกวิทยาและชลศาสตร์เข้ามาเกี่ยวข้องมากมาย ดังนั้นผู้วางแผนการปรับตัวในแต่ละพื้นที่ต้องเข้าใจถึงแนวทางการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นและสามารถจัดลำดับความสำคัญของแต่ละมาตรการเชิงโครงสร้างและไม่ใช้โครงสร้างได้

การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับแนวคิด ประเภท และตัวอย่างของมาตรการปรับตัวต่อสภาพอุทกภัยด้วยวิธีเชิงโครงสร้างและไม่ใช้โครงสร้าง สรุปพอสังเขปดังนี้

United Nations (2002) ได้เผยแพร่เอกสารเรื่อง “Guideline for reducing flood losses” โดยกล่าวถึงอุทกภัยว่าเป็นปัญหาสำคัญสำหรับประเทศส่วนใหญ่บนโลกและเป็นปรากฏการณ์ที่มีโอกาสสร้างความเสียหายต่อมนุษยชาติเป็นวงกว้างมากที่สุด ทั้งประเทศอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม จากการพัฒนาทางเศรษฐกิจและการขยายตัวของประชากรโลก ทำให้จำนวนผู้ประสบภัยและมูลค่าความเสียหายมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างน่าตกใจ ดังนั้นมุมมองของการจัดการปัญหาแบบ “ตอบสนองหลังวิกฤติการณ์” (post-disaster response) มาสู่การวางแผนบริหารจัดการแบบองค์รวม เอกสารฉบับนี้ได้สรุปถึงแนวทางการบรรเทาความเสียหายจากอุทกภัยไว้หลายประการ เช่น การประเมินความเสี่ยงของเหตุการณ์ภัยพิบัติ (อุทกภัย, น้ำแล้ง, ดินถล่ม ฯลฯ) การจัดทำแผนที่ความเสี่ยงภัยพิบัติ พัฒนาระบบคาดการณ์สภาพภูมิอากาศ และมาตรการเชิงโครงสร้าง เช่น ก่อสร้างเขื่อน อ่างเก็บน้ำ คันกั้นน้ำ ทางระบายน้ำ รวมถึงการตรวจสอบ ปรับปรุง และซ่อมแซมโครงสร้างที่สึกหรอ ฯลฯ และมาตรการที่ไม่ใช่โครงสร้าง เช่น การวางแผนรูปแบบการใช้ที่ดิน การบังคับใช้มาตรฐานทางวิศวกรรมและเทคโนโลยีอย่างเคร่งครัด มาตรการจูงใจด้านการเงิน เป็นต้น

UNFCCC (2006) ได้เผยแพร่เอกสารภายใต้กรอบของ UNFCCC ว่าด้วยเรื่องของเทคโนโลยีสำหรับการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโลกซึ่งมีเนื้อหาส่วนหนึ่งว่าด้วยการใช้เทคโนโลยีปัจจุบันเพื่อปรับตัวกับอุทกภัย ซึ่งได้แบ่งแนวทางการจัดการเป็นสองรูปแบบคือ การจัดการด้านอุปทาน หรือมาตรการเชิงโครงสร้าง ได้แก่ การก่อสร้างอ่างเก็บน้ำหรือคันกั้นน้ำ และการจัดการด้านอุปสงค์ ได้แก่ การปรับปรุงการเตือนภัยจากอุทกภัย ควบคุมการพัฒนาพื้นที่ราบลุ่มให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม เป็นต้น นอกจากนี้ยังให้ข้อเสนอแนะในการจัดการอุทกภัยด้วยแนวคิดการจัดการน้ำแบบผสมผสาน (Integrated Water Resources Management: IWRM)

WMO (2009) ได้นำเสนอแนวคิดของการจัดการอุทกภัยแบบผสมผสาน (Integrated Flood Management: IFM) ซึ่งเป็นการผนวกรวมเอาการจัดการที่ดินและการพัฒนาทรัพยากรน้ำเข้าด้วยกัน ภายใต้หลักการของการจัดการทรัพยากรน้ำแบบผสมผสาน ซึ่งมีเป้าหมายในการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ราบอุทกภัยถึงโดยรวมให้มากที่สุดในขณะที่ลดความสูญเสียของชีวิตและทรัพย์สินให้ลดลงจนน้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ การจัดการอุทกภัยแบบผสมผสานยังมีจุดเด่นที่สำคัญคือการมุ่งเน้นการมีส่วนร่วมอย่างทั่วถึงของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียจากเหตุการณ์อุทกภัย ได้แก่ กลุ่มชาวบ้านทั้งในเขตพื้นที่เมืองและเกษตรกรรม ผู้วางแผนโครงการบรรเทาอุทกภัย และผู้กำหนดนโยบาย ในทุกระดับ

Te Linde et.al (2010) ได้ทำการศึกษาถึงประสิทธิผลของการจัดการอุทกภัยต่อการลดปริมาณน้ำหลากสูงสุดในพื้นที่ลุ่มน้ำ Rhine ภายใต้ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพ

ภูมิอากาศด้วยสมมติฐานของภาพจำลองแบบสุดขีดในปี ค.ศ. 2050 มาตรการที่ใช้ในแบบจำลองนั้น จะใช้รูปแบบที่ปรากฏในแผนการจัดการอุทกภัยในลุ่มน้ำ Rhine ซึ่งประกอบด้วยมาตรการเชิงโครงสร้าง ได้แก่ ทางผันน้ำอ้อมเมือง Cologne การก่อสร้างระบบปิดล้อมและกักเก็บน้ำ การเพิ่มความสูงของคันกั้นน้ำ และมาตรการที่ไม่ใช้โครงสร้าง ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินด้วยการปลูกป่า การปรับปรุงและฟื้นฟูลำน้ำสายเก่าที่มีความคดเคี้ยว เป็นต้น จากผลการศึกษาพบว่าการเกิดอุทกภัยในลุ่มน้ำ Rhine ตอนบนในเขตประเทศเยอรมัน จะส่งผลกระทบต่อการลดปริมาณน้ำหลากสูงสุดในลำน้ำ Rhine สายหลัก ตลอดจนพื้นที่ทำน้ำในเขตประเทศเนเธอร์แลนด์ได้อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม มาตรการที่ได้ดำเนินการรวมทั้งมาตรการที่เสนอขึ้นมาเพิ่มเติมนี้ยังไม่เพียงพอต่อการจัดการต่อโอกาสการเกิดอุทกภัยขนาดใหญ่ซึ่งมีแนวโน้มจะเกิดบ่อยครั้งขึ้นในอนาคต

2.5.4.2 การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย

วนรัตน์ กรอิสรานุกูล และคณะ(2553) ได้ศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและการใช้ที่ดินในเขตผังเมืองรวมของ อำเภอพุนพิน จังหวัดสุราษฎร์ธานี ต่อความเสี่ยงอุทกภัยของชุมชน และทำการวิเคราะห์ความสามารถในการปรับตัวของชุมชนและภาคส่วนที่เกี่ยวข้องต่อสถานการณ์อุทกภัยในเขตผังเมืองรวมพุนพิน และทำการวิเคราะห์ความเสี่ยงอุทกภัยภายใต้การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศและการใช้ที่ดินในอนาคต รวมไปถึงเสนอทางเลือกในการบริหารจัดการพื้นที่ของชุมชนเพื่อรับมือต่อความเสี่ยงอุทกภัยในอนาคต ผลการศึกษาพบว่าชุมชนเมืองพุนพินมีทำเลที่ตั้งและสภาพภูมิประเทศที่เสี่ยงต่อการเกิดอุทกภัย การใช้ที่ดินที่ไม่เหมาะสมก็เป็นปัจจัยสำคัญต่อความเสี่ยงอุทกภัยที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้ผลการศึกษาการปรับตัวของชุมชนต่อปัญหาอุทกภัยและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกพบว่าประชากรกลุ่มตัวอย่างรับรู้และเห็นความสำคัญของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ แต่ยังมีข้อจำกัดในด้านความรู้ความเข้าใจในประเด็นดังกล่าว ส่งผลให้การปรับตัวมีลักษณะเป็นแบบปัจเจก ขาดการประสานงานระหว่างบุคคลและองค์กร มาตรการลดความเสี่ยงด้านอุทกภัย มุ่งเน้นด้านการวางแผนด้านผังเมือง ได้แก่ การปรับปรุงข้อกำหนดการใช้ที่ดิน การออกข้อกำหนดอาคารในพื้นที่ความเสี่ยงอุทกภัย การบรรเทาปัญหาอุทกภัยด้วยพลัดเวย์และพื้นที่รับน้ำ และการก่อสร้างและบำรุงรักษากำแพงป้องกันอุทกภัย

2.6 สรุปข้อสังเกตจากการศึกษาที่ผ่านมา

จากการทบทวนการศึกษาที่ผ่านมาในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลกที่เหมาะสมสรุปได้ว่า แบบจำลอง GCM แต่ละตัวก็มีความสามารถในการสร้างคุณลักษณะเชิงสถิติของปริมาณฝนและอุณหภูมิได้แตกต่างกันไป ซึ่งพบว่าแบบจำลองส่วนใหญ่ที่ศึกษามาในอดีตยังไม่สามารถสร้างตัวแทนของฝนที่สะท้อนคุณลักษณะของฝนสังเกตการณ์ออกมาได้ดีนัก อย่างไรก็ตาม

พบว่าแบบจำลอง ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 จากประเทศเยอรมันและออสเตรเลีย จะให้รูปแบบของฝนที่ใกล้เคียงกว่าแบบจำลองอื่นๆ ส่วนแบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค MRI-AGCM 3.1S นั้นให้ความละเอียดเชิงพื้นที่อยู่ในระดับสูงมากที่สุดแบบหนึ่ง (IPCC Working Group I, 2007) ซึ่งจะช่วยให้การจำลองสภาพภูมิอากาศทั้งในระดับโลกและภูมิภาคนั้นถูกต้องมากขึ้น จึงได้เลือกมาทำการศึกษาด้วย ความเอนเอียงเชิงสถิตินี้เป็นคุณสมบัติที่มาพร้อมกับแบบจำลอง GCM ทุกชนิดเนื่องจากกระบวนการนิยามและใส่ตัวแปรลงไปใน GCM รวมถึงผลของความละเอียดเชิงพื้นที่ซึ่งอยู่ในระดับต่ำอีกด้วย

เทคนิคการย่อส่วนข้อมูลภูมิอากาศโลกแต่ละแบบนั้นก็มีความสามารถในการจำลองปริมาณและการกระจายตัวของฝนได้อย่างไม่เท่าเทียมกัน ดังนั้นวิธีการที่เลือกใช้จึงควรขึ้นอยู่กับว่าจะเป็นการศึกษาผลกระทบในรูปแบบไหน รวมถึงข้อมูลที่ใช้จะต้องเพียงพอ จึงเห็นได้ว่าแบบจำลองการแยกตัวเชิงพื้นที่ (spatial disaggregation model) จึงมีความเหมาะสม เนื่องจากความสามารถในการสร้างรูปแบบของฝน ที่ยังรักษาคุณลักษณะของความไม่เป็นเนื้อเดียวกันเชิงพื้นที่ผ่านพารามิเตอร์ ได้แก่ การกระจายตัวของพื้นที่ฝนตก ตัวรบกวนเชิงพื้นที่ (spatial autocorrelation) และการกระจายตัวของฝนปริมาณต่างๆในแต่ละลักษณะของที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากการทบทวนการศึกษาที่ผ่านมาทั้งหมด การศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้การปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติด้วยเทคนิคการแปลงแบบแกมมา-แกมมา และย่อส่วนข้อมูลฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก CSIRO-MK3.5 ด้วยเทคนิคการแตกตัวเชิงพื้นที่ (spatial disaggregation model) ซึ่งเหตุผลและรายละเอียดเชิงทฤษฎีของทั้งสองวิธีจะกล่าวถึงต่อไปในหัวข้อที่ 2.7

2.7 ทฤษฎีที่ใช้ศึกษา

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและเทคนิคการปรับแก้ความเอนเอียงและย่อส่วนข้อมูลสภาพภูมิอากาศเชิงสถิติ (bias correction and statistical downscaling) ทฤษฎีการไหลในทางน้ำเปิด (open channel flow) ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานของแบบจำลองสภาพอุทกภัยในลำน้ำ HEC-RAS ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยหน่วยงาน US Army Corps of Engineers แห่งประเทศสหรัฐอเมริกา และแนวทางการปรับตัวกับสภาพอุทกภัย 2.7.1 การปรับแก้ความเอนเอียงของข้อมูลฝนจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก

ความผันแปรของฝนขึ้นอยู่กับสองปัจจัยหลักคือค่าเฉลี่ย ความเข้ม และความถี่ของการเกิด แต่บางครั้งการหาปริมาณฝนเฉลี่ยในบางพื้นที่นั้นทำได้ยาก ดังนั้นการศึกษานี้จึงใช้วิธีการแปลงแบบแกมมา-แกมมา (Gamma-Gamma transformation) มาใช้เพื่อช่วยลดความแตกต่างระหว่างค่าฝนรายวันจาก GCM กับข้อมูลฝนจากการวัดจริง แนวคิดพื้นฐานของการลดความคลาดเคลื่อนก็คือ

การลดความเอนเอียงเชิงสถิติ (statistical bias) จากความถี่ ปริมาณฝนเฉลี่ย และความเข้มฝนเฉลี่ย จากพิกัดของแต่ละกริดน้ำฝนในคราวเดียวกัน ก่อนที่จะเริ่มกระบวนการเพิ่มความละเอียดข้อมูล สภาพภูมิอากาศโลกต่อไป ดังอธิบายตามขั้นตอนต่อไปนี้ (Sharma et al., 2007)

1. สร้างการกระจายตัวแบบ empirical distribution $F(x)$ โดยการจัดลำดับปริมาณฝนรายวันระยะยาวจากข้อมูล GCM ในแต่ละเดือน ซึ่งฟังก์ชันการกระจายตัวมีตัวเลือกหลายอย่าง เช่น การกระจายตัวแบบ Weibull, California, Hazen, Cunnane หรือ Gringorten เป็นต้น ซึ่งในที่นี้จะเลือกใช้วิธีของ Weibull ดังแสดงในสมการที่ (2-5)

$$F(x) = \frac{m}{n+1} \quad (2-5)$$

เมื่อ m = ลำดับที่ของเหตุการณ์ x

n = จำนวนข้อมูลหรือเหตุการณ์ทั้งหมด

หลังจากจัดเตรียมตำแหน่งการพล็อตข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ให้คำนวณค่าขีดเริ่ม $x_{GCM}^{\%}$ ซึ่งหาได้จาก Empirical distribution ของข้อมูลฝนรายวันในอดีต เพื่อตัดค่าปริมาณฝนรายวันของแต่ละเดือนออกไปบางส่วน

2. วิธีการแปลงแบบแกมมา-แกมมา จะใช้สำหรับการปรับแก้ปริมาณน้ำฝนรายวัน ตัวแปรที่ใช้ในการแปลงด้วยวิธีนี้ประกอบด้วย ค่าปริมาณฝนรายวันที่ถูกตัดออก และค่าปริมาณฝนรายวันในอดีต เพื่อใช้ปรับเข้ากับค่าพารามิเตอร์ของการกระจายแบบแกมมา ได้แก่ α และ β ในสมการที่ 2-7 และการกระจายตัวแบบสะสม (cumulative distribution) ในสมการที่ 2-6 โดยตัวแปร α และ β ของการกระจายแบบแกมมาจะประมาณได้จากวิธี Maximum Likelihood Estimation

$$f(x; \alpha, \beta) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{x}{\beta}\right); \quad (2-6)$$

$$x \geq x_{trunc} \quad (2-7)$$

$$F(x; \alpha, \beta) = \int_{x_{trunc}}^x f(t) dt \quad (2-8)$$

$$F(x_{GCM}; \alpha, \beta |_{GCM}) \Rightarrow F(x_{His}; \alpha, \beta |_{His}) \quad (2-9)$$

จากผลของสมการที่ 2-6, 2-7, 2-8 และ 2-9 ปริมาณฝนรายวันที่ถูกปรับแก้ สามารถคำนวณได้จากค่าผกผัน (inverse) ของสมการที่ (2-10) ดังนี้

$$x'_{GCM} = F^{-1}\{F(x_{His}; \alpha, \beta |_{His})\} \quad (2-10)$$

วิธีการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติด้วยการแปลงแบบแกมมา-แกมมา สามารถนำไปประยุกต์ใช้ปรับแก้ข้อมูลภูมิอากาศโลกในช่วงอนาคตได้ จากการศึกษาของ Wu (2010) สรุปในสมการที่ 2-11 ดังต่อไปนี้

$$x_{GCM21_{corrected}} = x_{GCM21} \times \frac{F_{obs}^{-1}(F_{GCM21}(x_{GCM21}))}{F_{obs}^{-1}(F_{GCM20}(x_{GCM21}))} \quad (2-11)$$

โดยที่ $x_{GCM21_{corrected}}$ = ปริมาณฝนรายวันในช่วงอนาคต (ค.ศ. 2015-2039, ค.ศ. 2075-2099) หลังปรับแก้ความเอนเอียงของข้อมูลแล้ว

x_{GCM21} = ปริมาณฝนรายวันในช่วงอนาคต (ค.ศ. 2015-2039, ค.ศ. 2075-2099) ก่อนปรับแก้ความเอนเอียงของข้อมูล

ระเบียบวิธีการปรับแก้ความเอนเอียงของข้อมูลภูมิอากาศ จากแบบจำลอง GCM ภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบ A1B จะเปรียบเทียบกับปริมาณฝนจากการวัดจริงที่ได้จากการประมาณค่าระหว่างช่วง (interpolation) ด้วยวิธีส่วนกลับระยะทางถ่วงน้ำหนัก (Inverse Distance Weighting: IDW) เสนอโดย Shepard (1968) ซึ่งจะประมาณค่าฝนเฉลี่ยที่พิกัดของแต่ละกริดของฝนรายวันที่วัดได้จริง ดังแสดงในสมการที่ 2-12

$$F(x_i) = \sum_{i=1}^n \lambda_i f(x_i) \quad (2-12)$$

โดยที่ n = จำนวนของจุดที่กระจายทั้งหมด (Number of scatter point in the sets)

$f(x_i)$ = ค่าของฟังก์ชันที่กำหนดไว้ในแต่ละจุด (prescribed function value at the scatter points)

λ_i = ฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักในแต่ละจุดที่กระจาย (Weighting functions at assigned to each scatter points)

ค่าของฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักสามารถเขียนได้ในรูปอย่างง่ายได้ว่า

$$\lambda_i = \frac{h_i^{-p}}{\sum_{i=1}^n h_i^{-p}} \quad (2-13)$$

โดยที่ p = ค่าจำนวนจริงบวก หรือเรียกว่าค่าพารามิเตอร์กำลัง (power parameter) ซึ่งมีค่าทั่วไปเท่ากับ 2

h_i = ระยะทางจากจุดที่กระจายถึงจุดที่ต้องการประมาณค่าในช่วง

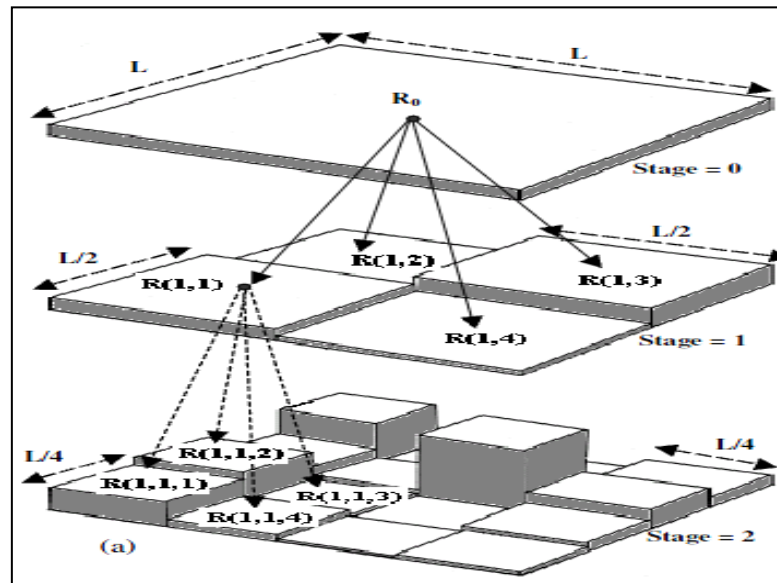
2.7.2 ขั้นตอนการย่อส่วนข้อมูลฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก

ในการศึกษาครั้งนี้ จะใช้วิธี Statistical downscaling ในการเพิ่มความละเอียดของข้อมูลสภาพภูมิอากาศโลก และแนวทางที่เลือกใช้คือ แบบจำลองการแยกตัวเชิงพื้นที่ ซึ่งมีพื้นฐานจากทฤษฎีการกระจายตัวแบบลำดับชั้นเชิงสุ่ม ในแบบจำลองนี้จะถือว่าฝน เกิดจากการรวมกันโดยสองกระบวนการ ได้แก่ กระบวนการเกิด multifractal (multifractal process) ที่มีความผันแปรต่อสถานที่เป็นอย่างมาก แต่ในขณะที่เดียวกันในก็มีความคงตัวในเชิงสถิติ และแบบจำลองการกระจายตัว (disaggregation model) ซึ่งใช้ในการกระจายปริมาณฝนด้วยหลักการแบ่งส่วนแบบสืบเนื่องอย่างทวีคูณด้วยค่า branching number (b) ซึ่งนิยามให้เป็นอัตราส่วนของจำนวนภาคส่วน (segment) ในแต่ละระดับของลำดับชั้น $s+1$ กับ ลำดับชั้น s โดยในแต่ละลำดับชั้น แต่ละส่วนจะถูกแบ่งออกเป็น ส่วนเท่าๆกันทั้งหมด b ส่วน และในแต่ละส่วนจะถูกคูณด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก (weight value) ที่เกิดจากการกระจายตัวแบบเฉพาะที่เรียกว่า ตัวกำเนิดเชิงลำดับชั้น (cascade generator) W ภาคส่วนหลังจากลำดับชั้นที่ s สามารถเขียนในรูปของ Δ_s^i ($i = 1, \dots, b_s$) และปริมาตรน้ำฝนในแต่ละภาคส่วนจะเท่ากับ $\mu_s(\Delta_s^i)$ ดังแสดงในสมการที่ 2-14 ดังนี้

$$\mu_s(\Delta_s^i) = R_0 \lambda_s \prod_{j=1}^s W_j(i), \text{ for } i = 1, 2, \dots, b^s; s > 0 \quad (2-14)$$

โดยที่ R_0 = ค่าความลึกฝนในสถานะเริ่มต้น (initial stage)

λ_s = ค่าไร้มิติของขนาดเชิงพื้นที่ (dimensionless spatial scale) ซึ่งเท่ากับ b^{-s}



รูปที่ 2-6 ตัวอย่างของ Spatial Disaggregation model ซึ่งแสดงกระบวนการดังกล่าวในแต่ละขั้นตอน (Sharma et al., 2007)

ค่า W เป็นค่าตัวแปรสุ่มซึ่งมีค่าเป็นบวก และเป็นตัวแปรอิสระและกระจายอย่างเท่ากัน ค่าของโมเมนต์เชิงสถิติ (statistical moment) อันเป็นผลรวมของปริมาตรพหุนยกกำลังด้วยค่า q (ซึ่งมีค่าเป็นบวก) ในแต่ละภาคส่วนของแต่ละลำดับชั้น s วิธีรูปหลายเหลี่ยมของธีเอสเซน (Thiessen polygon) จะใช้คำนวณค่าปริมาตรน้ำฝนในแต่ละภาคส่วนของลำดับชั้นต่างๆ ซึ่งค่า sample moment ลำดับที่ q จะนิยามได้ว่า

$$M_s(q) = \sum_{i=1}^{b^s} \mu_s^q(\Delta_s^i) \quad (2-15)$$

ในกระบวนการของลำดับชั้นเชิงสุ่มนั้น ค่า Sample moment $M_s(q)$ ให้ความหมายทางคณิตศาสตร์ว่าเป็นฟังก์ชัน log-log เชิงเส้น (log-log linear function) ในขนาดความละเอียดที่ λ_s และค่าความชันของความสัมพันธ์เชิงขนาดของ sample moment มีค่าเป็น

$$\tau(q) = \lim_{\lambda_s \rightarrow 0} \frac{\log M_s(q)}{-\log \lambda_s} \quad (2-16)$$

จากการศึกษาโดย Over and Gupta (1996) ทั้งสองท่านได้เสนอแบบจำลอง beta lognormal ซึ่งมีความสามารถในการแยกพิจารณาพื้นที่ที่ฝนตกกับพื้นที่ซึ่งไม่มีฝน ภายใต้หลักการของ discrete probability mass function ในรูป $Y = b^{\left(\frac{\sigma x - \sigma^2 \ln b}{2}\right)}$ ซึ่งแสดงได้เพิ่มเติมดังนี้

$$P(W = 0) = 1 - b^{-\beta}$$

$$P\left(W = b^{\beta - \sigma^2 \frac{\log[b]}{2} + \alpha X}\right) = b^{-\beta} \quad (2-17)$$

โดยที่ $X =$ ตัวแปรมาตรฐานเชิงสุ่ม (standard normal random variable)

$\beta, \sigma^2 =$ ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง

สำหรับการประมาณค่าพารามิเตอร์ทั้งสองของแบบจำลอง จะใช้วิธีการที่เรียกว่าฟังก์ชัน Mandelbrot–Kahane–Peyriere (MKP function) ซึ่งคิดค้นขึ้นโดย Mandelbrot (1974) และ Kahane and Peyriere (1976) ดังแสดงได้ว่า

$$\chi_b(q) = (\beta - 1)(q - 1) + \frac{\sigma^2 \log(b)/2}{q^2 - q} \quad (2-18)$$

ฟังก์ชัน MKP ดังแสดงในสมการที่ 2-19 หรือ $\chi_b(q)$ มีนิยามให้เป็นค่าความชันของโมเมนต์เชิงสถิติ $M_s(q)$ ของกระบวนการแตกตัวในระดับที่ s อนุพันธ์ย่อยอันดับที่หนึ่งและสองของสมการนี้ จะให้ค่าของพารามิเตอร์ β และ σ^2 ซึ่งจะหาค่าทั้งสองได้ด้วยวิธีผลต่างอันตะ (finite difference) ดังแสดงในสมการที่ 2-15 และ 2-16

$$\sigma^2 = \frac{\tau^{(2)}(q)}{d \log(b)} \quad (2-19)$$

$$\beta = 1 + \frac{\tau^{(1)}(q)}{d} - \frac{\sigma^2 \log(b)(2q - 1)}{2} \quad (2-20)$$

โดยที่ $\tau^{(1)}(q)$ และ $\tau^{(2)}(q)$ เป็นอนุพันธ์อันดับหนึ่งและสองของค่าความชัน $\tau(q)$ เมื่อเทียบกับ q ขณะเดียวกันพารามิเตอร์ β และ σ^2 ตามลำดับ จะแสดงถึงความไม่ต่อเนื่อง (intermittency) และความผันแปร (variability) ของตัวกำเนิดเชิงลำดับชั้น ค่าที่ได้จากการประมาณ จะถูกนำมาสร้างความสัมพันธ์กับค่าปริมาณฝนเฉลี่ย เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงประจักษ์ต่อไป

ค่าคาดหวัง (expected value) ของ W สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$E(W) = 1 \quad (2-21)$$

$$E(W) = E \left[\left(b^{-\beta} b^{\beta - \frac{\sigma^2 \log(b)}{2} + \alpha x} \right) \right] = 1 \quad (2-22)$$

ในการจำลองเขตฝนด้วยเทคนิค multifractal เพียงอย่างเดียวนั้น มีข้อจำกัดอย่างหนึ่งคือ การไม่พิจารณาคุณสมบัติของ spatial heterogeneity ในการเกิดฝนจริง ดังนั้นเพื่อให้ผลลัพธ์ของวิธีการดังกล่าวนั้นถูกต้องมากยิ่งขึ้น ค่าฝนเฉลี่ยระยะยาวจะถูกพิจารณาในกระบวนการสร้างแบบจำลอง (Pathirana and Herath, 2002; Sharma et al., 2007) ซึ่งขั้นตอนนี้สามารถเขียนในรูปของสมการได้ว่า

$$R_{i,j} = M_{i,j} G_{i,j} ; M_{i,j} = \left\{ \begin{array}{l} 0 \text{ for } G_{i,j} = 0, \\ R_{i,j} / G_{i,j} \text{ otherwise} \end{array} \right\} \quad (2-23)$$

แนวคิดของแบบจำลองประยุกต์นี้ โดยหลักคือฝนของแต่ละส่วนนั้นเกิดจากผลคูณของสองปัจจัย ได้แก่ พารามิเตอร์ของแบบจำลอง multifractal (M) และองค์ประกอบของฝน (G) ซึ่งจะไม่ผันแปรไป คุณลักษณะของความผันแปรเชิงพื้นที่ (spatial heterogeneity) ได้ผนวกเข้าไปในแบบจำลองโดยตัวแปรที่เรียกว่า field matrix (G) ของฝนรายเดือนเฉลี่ยไว้หน่วยระยะยาว ด้วยเทคนิคการประมาณค่าในช่วงแบบ Inverse Distance Weighting (IDW) ซึ่งการคำนวณค่าสนามขององค์ประกอบฝน G ในแต่ละเดือน ดังสมการต่อไปนี้

$$A_{i,j} = \frac{1}{N'} \sum_{k=1}^{N'} R_{i,j,k} \quad (2-24)$$

$$G_{i,j} = \frac{TA_{i,j}}{\sum_{i,j} A_{i,j}} \quad (2-25)$$

โดยที่ N' คือจำนวนของฝนในภาพรวมแต่ละเดือน (snapshots for the month) ซึ่งแสดงด้วยค่า (i,j) และ T แสดงจำนวนของจุด (pixels) ในแต่ละ snapshot

การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองการการแตกตัวเชิงพื้นที่จะนำไปเปรียบเทียบกับการกระจายตัวของปริมาณฝนในตำแหน่งต่างๆ และสหสัมพันธ์ของตัวรบกวนเชิงพื้นที่ของปริมาณฝนเพื่อประเมินถึงประสิทธิภาพของแบบจำลองดังกล่าว โดยทั่วไปจะใช้สหสัมพันธ์ของตัวรบกวนเชิงพื้นที่ในการวัดความคล้ายคลึงกันในตัวเองของเขตที่เกิดฝนตก ดัชนีในการวัดค่าสหสัมพันธ์ประกอบด้วย ดัชนี Moran 'I' และ Geary 'C' ซึ่งค่าของดัชนี Moran 'I' นั้นอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ขึ้นอยู่กับระดับและทิศทางของความสัมพันธ์ ส่วนดัชนี Geary 'C' มีค่าอยู่ระหว่าง 0 (ค่าจำนวนบวกสูงสุดของ

สหสัมพันธ์ตัวรบกวน) ไปสู่ค่าที่เป็นบวกอื่นๆสำหรับสหสัมพันธ์ตัวรบกวนที่จะมีค่าเป็นลบ ซึ่งทั้งสองดัชนีจะนิยามตามสมการได้ดังนี้

$$\text{Moran's "I"} = \frac{(N/S_0) \sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \mu)(x_j - \mu)}{\sum_i (x_i - \mu)^2}$$

$$\text{Geary's "C"} = \frac{(N-1)/2S_0 [\sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - x_j)^2]}{\sum_i (x_i - \mu)^2} \quad (2-26)$$

โดยที่ μ เป็นค่าเฉลี่ยของตัวแปร x w_{ij} เป็นองค์ประกอบของเมทริกซ์ถ่วงน้ำหนักเชิงพื้นที่ (spatial weight matrix) และ S_0 เป็นค่าผลรวมของเมทริกซ์ถ่วงน้ำหนัก $= \sum_i \sum_j w_{ij}$

2.7.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝน-น้ำท่า ด้วยแบบจำลอง HEC-HMS

แบบจำลองคณิตศาสตร์ HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) พัฒนาขึ้นโดยศูนย์อุทกวิทยาแห่งเหล่าทหารช่างกองทัพสหรัฐอเมริกา (U.S. Army Corps of Engineer's Hydrologic Engineering Center) สำหรับใช้จำลองและคาดการณ์อัตราการไหลของน้ำท่าจากฝนที่ตกในลุ่มน้ำ ความสามารถอื่นๆของแบบจำลองนี้คือการนำเข้าสู่ข้อมูลฝนสามารถทำได้ทั้งแบบรายสถานี (gauge weight precipitation) และข้อมูลรายกริด (grided precipitation) รวมถึงทางเลือกในการสอบเทียบพารามิเตอร์แบบจำลองด้วยการหาค่าเหมาะสมที่สุด (parameter optimization) องค์ประกอบของลุ่มน้ำ เช่น ลุ่มน้ำย่อย ลำน้ำ อ่างเก็บน้ำ คลองผันน้ำ ทางแยกลำน้ำ สร้างได้โดยตรงจากแบบจำลองหรือเตรียมเบื้องต้นจากข้อมูลภูมิศาสตร์สารสนเทศ (Geographic Information System: GIS) ผ่านส่วนต่อขยายโปรแกรม HEC-GeoHMS ซึ่งไม่อยู่ในขอบข่ายการศึกษาในที่นี้

ลักษณะการไหลหลากของน้ำในแบบจำลอง HEC-HMS จัดให้อยู่ในประเภทของแบบจำลองกึ่งกระจายตัว (semi-distributed physically-based hydrological model) เนื่องจากมีการแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำใหญ่ออกเป็นลุ่มน้ำย่อย ซึ่งในแต่ละลุ่มน้ำย่อยจะประกอบด้วย “หน่วยตอบสนองเชิงอุทกวิทยา” (Hydrologic Response Units: HRUs) โดยแต่ละ HRUs จะเก็บข้อมูลการใช้ที่ดิน ลักษณะของดิน เฉพาะส่วนของตน กระบวนการเคลื่อนตัวของน้ำหลากในแต่ละ HRUs จะเป็นแบบลัมพ์ (Lumped process) และในแต่ละ HRUs ในลุ่มน้ำย่อย จะมีพฤติกรรมแบบเป็นอิสระจากกัน อัตราการไหลรวมของแต่ละลุ่มน้ำย่อยจะเคลื่อนตัวสู่ลำน้ำสายหลักและสู่จุดออก (outlet) ของลุ่มน้ำหลักต่อไป

2.7.3.1 ข้อมูลที่ต้องใช้ในแบบจำลอง HEC-HMS

ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองอุทกวิทยา HEC-HMS สำหรับจำลองการไหลในลำน้ำด้วยการไหลในทางน้ำเปิดแบบไม่คงที่และไม่คงตัว (unsteady non-uniform flow) ซึ่งองค์ประกอบของข้อมูลมีดังต่อไปนี้

1. ข้อมูลแบบจำลองลุ่มน้ำ (Basin Model Manager)

เป็นส่วนการสร้างแบบจำลองโครงข่ายลุ่มน้ำ กลุ่มลุ่มน้ำย่อย จุดเชื่อมต่อลำน้ำ (junction) สถานีวัดน้ำท่า และลำน้ำสายหลักและสายรอง คลองผันน้ำ อ่างเก็บน้ำ แพนที่ขอบเขตลุ่มน้ำ รวมถึงค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณทั้งหมด เช่น ลักษณะของพีชในลุ่มน้ำย่อย การแปลงกราฟชลภาพน้ำท่าหนึ่งหน่วย วิธีการแยกส่วนการไหลพื้นฐาน (base-flow separation) ลักษณะการซึมของน้ำฝนสู่ใต้ดิน วิธีการเคลื่อนตัวของน้ำท่า เป็นต้น

2. ส่วนจัดการข้อมูลแบบจำลองอุตุนิยมวิทยา (Meteorological model)

เป็นส่วนของการใส่ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเข้ามาในแบบจำลอง HEC-HMS ได้แก่ ข้อมูลฝน (รายชั่วโมง, รายวัน, รายเดือน) ข้อมูลการคายระเหย ข้อมูลการละลายของหิมะ ลักษณะของพายุฝนที่ใช้ (Specified Hyetograph, Frequency Storm, Gauge Weight, Gridded Precipitation, Inverse Distance, SCS Storm, Standard Projected Storm) โดยข้อมูลเหล่านี้สามารถใช้กับลุ่มน้ำย่อยทั้งหมด

3. ส่วนควบคุมแบบจำลอง (Control specifications)

เป็นส่วนควบคุมการทำงานของแบบจำลอง โดยกำหนดจุดเริ่มต้น (Start Date) และจุดสิ้นสุด (End Date) เป็นวันเดือนปี ช่วงเวลาของแบบจำลอง (model time step) ซึ่งเริ่มต้นที่ 1-10 นาที 15-30 นาที 1-4 ชั่วโมง 6 ชั่วโมง 8 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง เวลาเริ่มต้น (Start time) และเวลาสิ้นสุด (End time) การใส่ข้อมูลควบคุมสามารถใส่ได้ทั้งแบบต่อเนื่อง (continuous model) และแบบเหตุการณ์เฉพาะ (event model) 4. ส่วนจัดการข้อมูลอนุกรมเวลา (Time-Series Data Manager)

แบบจำลองอุทกวิทยาจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อมีข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ฝนสังเกตการณ์ การคายระเหย น้ำท่าสังเกตการณ์ โดยทั่วไปแล้วถูกจัดเก็บในรูปของอนุกรมเวลา (time-series) และเป็นส่วนสำคัญในการสอบเทียบพารามิเตอร์ของแบบจำลอง และกระบวนการหาค่าเหมาะสมที่สุด อนุกรมเวลาของฝนจะถูกจัดเก็บเป็นรายสถานีเพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง HEC-HMS และจะทำงานสัมพันธ์กับส่วนจัดการข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

5. ส่วนจัดการข้อมูลคู่ (Paired Data Manager)

ข้อมูลคู่ (Paired Data) คือชุดความสัมพันธ์แบบฟังก์ชันของข้อมูลอุทกฯ-อุทกฯ สองชุด ในกรณีส่วนใหญ่ความสัมพันธ์จะเป็นแบบแปรตามกันเชิงบวก กล่าวคือเมื่อตัวแปรต้นมีค่าเพิ่มขึ้น ตัวแปรตามก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน ตัวอย่างของข้อมูลคู่ ได้แก่ เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับระดับน้ำ (elevation-discharge functions) ฟังก์ชันความจุ-อัตราการไหล (Storage-Discharge functions) ฟังก์ชันการไหลเข้า-การผันน้ำ (Inflow-Diversion functions) ข้อมูลหน้าตัดลำน้ำ (cross section) เป็นต้น

6. ส่วนจัดการข้อมูลกริด (Gridded Data Manager)

ความสามารถอย่างหนึ่งของแบบจำลอง HEC-HMS คือการรับรองข้อมูลนำเข้า เช่น ฝน การคายระเหย อุณหภูมิอากาศ น้ำท่าสังเกตุการณ์ และค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองในรูปแบบกริด

2.7.3.2 ดัชนีที่ใช้ในการเปรียบเทียบแบบจำลอง HEC-HMS

กระบวนการสอบเทียบแบบจำลองคณิตศาสตร์ HEC-HMS คือการปรับค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องจนกระทั่งบรรลุเงื่อนไขทั้ง 4 ประการข้างต้นได้ การทดสอบประสิทธิภาพการสอบเทียบและสอบทานแบบจำลองจะอาศัยดัชนีเชิงสถิติ 4 อย่าง ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้ำท่า (Coefficient of Determination, R^2) ดัชนี Nash-Sutcliffe efficiency (E) ค่า RMSE และค่า NRMSE ซึ่งสมการทั้งหมดแสดงไว้ดังต่อไปนี้

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้ำท่า (R^2)

เป็นค่าดัชนีเชิงสถิติที่อธิบายถึงระดับความแปรปรวนของข้อมูลสังเกตุการณ์ที่ได้จากแบบจำลอง มีพิสัยจาก 0 (แบบจำลองที่แย่) จนถึง 1 (แบบจำลองเข้ากับข้อมูลสังเกตุการณ์อย่างสมบูรณ์)

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{t=1}^T (Q_0^t - \bar{Q}_0)(Q_m^t - \bar{Q}_m)}{\sqrt{\sum_{t=1}^T (Q_0^t - \bar{Q}_0)^2} \sqrt{\sum_{t=1}^T (Q_m^t - \bar{Q}_m)^2}} \right) \quad (2-27)$$

โดยที่ Q_0 = อัตราการไหลสังเกตุการณ์ (ลบ).ม./วินาที(

Q_m = อัตราการไหลจากแบบจำลอง (ลบ).ม./วินาที(

\bar{Q}_0 = อัตราการไหลสังเกตการณ์เฉลี่ย (ลบ).ม./วินาที(

ดัชนี Nash-Sutcliffe efficiency (E)

เป็นดัชนีซึ่งคำนวณจาก 1 ลบด้วย อัตราส่วนระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error) กับความแปรปรวนของข้อมูลสังเกตการณ์ (Nash and Sutcliffe, 1970) ค่าสูงสุดเชิงทฤษฎีคือ 1 ซึ่งหมายถึงความเข้ากันได้อย่างสมบูรณ์ระหว่างแบบจำลองและข้อมูลสังเกตการณ์ โดย Liden และ Harlin (2000) และ Anderson et al.(2001) ได้แนะนำระดับของค่าดัชนีที่เหมาะสมว่าอยู่ระหว่าง 0.5-0.95

$$E = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_0^t - Q_m^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_0^t - \bar{Q}_0)^2} \quad (2-28)$$

โดยที่ Q_0 = อัตราการไหลสังเกตการณ์ (ลบ).ม./วินาที(

Q_m = อัตราการไหลจากแบบจำลอง (ลบ).ม./วินาที(

\bar{Q}_0 = อัตราการไหลสังเกตการณ์เฉลี่ย (ลบ).ม./วินาที(

Normalized Mean Square Error (NRMSE)

จะมีความคล้ายคลึงกับค่า RMSE เกือบทุกประการ แต่จะถูกทำให้ไร้หน่วยโดยหารด้วยค่าพิสัยระหว่างปริมาณฝนสังเกตการณ์สูงสุดและต่ำสุด ผลที่ได้คือความแตกต่างระหว่างฝนสังเกตการณ์กับฝนแบบจำลองเป็นค่าร้อยละ

$$NRMSE = \frac{RMSE}{Q_{obs,max} - Q_{obs,min}} \quad (2-29)$$

โดยที่ $Q_{obs,max}$ = อัตราการไหลสังเกตการณ์สูงสุด (ลบ).ม./วินาที(

$Q_{obs,min}$ = อัตราการไหลสังเกตการณ์ต่ำสุด (ลบ).ม./วินาที(

2.7.4 กระบวนการวิเคราะห์แบบจำลองการไหลในลำน้ำ: แบบจำลอง HEC-RAS

แบบจำลองการไหลในลำน้ำ (Hydrodynamic model) ที่ใช้ในการศึกษาคั้งนี้ คือ แบบจำลอง HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center: River Analysis System) ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย USACE แห่งสหรัฐอเมริกา สำหรับใช้วิเคราะห์สภาพการไหลทั้งแบบ Steady flow และ unsteady flow ในทางน้ำเปิดธรรมชาติ การไหลล้นตลิ่ง และการไหลผ่านอาคารชลศาสตร์ ซึ่งนำไปใช้ศึกษาปัญหาทางด้านวิศวกรรมแหล่งน้ำได้หลากหลาย ตัวอย่างเช่น

- การเคลื่อนตัวของคลื่นน้ำหลาก (flood wave) ที่ผ่านเข้าสู่ทางน้ำ แม่น้ำ ทุ่งรับน้ำหลาก (floodplains) และอ่างเก็บน้ำผลกระทบของอาคารหรือโครงสร้างทางชลศาสตร์ต่อระบบแม่น้ำ
- พารามิเตอร์ทางชลศาสตร์ในการศึกษาด้านตะกอนและคุณภาพน้ำ
- การเคลื่อนตัวของคลื่นน้ำหลากเนื่องจากการพังทลายของเขื่อน

โดยแบบจำลองจะคำนวณความลึกการไหล (flow depth) และอัตราการไหล ด้วยสมการพื้นฐานคือ Saint Venant Equation ด้วยวิธีหาคำตอบแบบ Preissmann four-point finite difference ซึ่งง่ายและยืดหยุ่นสำหรับเงื่อนไขขอบเขต ผู้ใช้แบบจำลองสามารถเลือกส่วนประกอบของระบบเพื่อจำลองการไหลบนทุ่งน้ำหลาก หรือกำหนดโครงสร้างชลศาสตร์ที่ตำแหน่งๆใดของระบบลำน้ำ เช่น ทำนบกั้นน้ำ ประตูระบายน้ำ ท่อลอด ทางระบายน้ำล้น แก้มลิง ไชฟอน ฯลฯ

ข้อมูลที่จำเป็นในการจำลองการไหลอาจแบ่งออกเป็น ข้อมูลลักษณะกายภาพลำน้ำ (Geometric data) ข้อมูลการไหลแบบคงที่ (steady flow data) ข้อมูลการไหลแบบไม่คงที่ (unsteady flow) ข้อมูลตะกอน (sediment data) และข้อมูลคุณภาพน้ำ (water quality data)

1) ข้อมูลลักษณะกายภาพลำน้ำ (Geometric data)

ข้อมูลลักษณะกายภาพลำน้ำประกอบด้วยข้อมูลหน้าตัดลำน้ำ (cross section data) การเชื่อมโยงโครงข่ายลำน้ำ (river schematic) ความยาวลำน้ำ สัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิง สัมประสิทธิ์การคอดตัวและขยายตัวของลำน้ำ ค่าสัมประสิทธิ์ของสะพานและท่อลอด ระยะทางจากหน้าตัดสู่หน้าตัด ข้อมูลจุดเชื่อมต่อต่อลำน้ำ รวมถึงข้อมูลโครงสร้างชลศาสตร์ด้านข้าง (lateral structures) เช่น ประตูระบายน้ำ สะพาน ท่อลอด ฝาย และทางระบายน้ำล้น

2) ข้อมูลการไหลแบบคงที่ (Steady flow data)

ข้อมูลการไหลแบบคงที่จะใช้คำนวณหน้าตัดด้านข้างของระดับน้ำ (water surface profile) ในสภาพการไหลแบบคงตัว ประกอบด้วย เงื่อนไขขอบเขต ข้อมูลอัตราการไหล ซึ่งสมมติให้มีค่าคงที่จนกระทั่งถึงจุดบรรจบลำน้ำ

3) ข้อมูลการไหลแบบไม่คงตัว (unsteady flow data)

ข้อมูลการไหลแบบไม่คงตัวใช้สำหรับการวิเคราะห์การไหลในสภาพไม่คงตัว ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลเงื่อนไขขอบเขตเหนือน้ำ (upstream boundary conditions) เช่น ชลภาพการไหล (flow hydrograph) ชลภาพของระดับน้ำ (stage hydrograph) และ ชลภาพของการไหล-ระดับน้ำ (stage-flow hydrograph) ข้อมูลเงื่อนไขขอบเขตท้ายน้ำ (downstream boundary conditions) เช่น เส้นโค้งความสัมพันธ์ระดับ- อัตราการไหล (rating curve) ความลึกปกติ (normal depth) ข้อมูลเงื่อนไขเริ่มต้น (initial conditions) ข้อมูลชลภาพการไหลเข้าด้านข้าง (lateral inflow hydrograph)

2.7.4.1 แบบจำลองการไหลในลำน้ำ HEC-RAS

ผลการสร้างแบบจำลองของพื้นที่จังหวัดสุโขทัยด้วยแบบจำลอง HEC-RAS สามารถจำลองลักษณะทางธรรมชาติ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิง และค่าระดับน้ำได้ดีพอสมควร อย่างไรก็ตาม แม้ว่าแบบจำลอง HEC-RAS จะมีองค์ประกอบซึ่งสามารถจำลองสภาพการไหลได้อย่างสมบูรณ์ แต่ด้วยข้อจำกัดบางประการ ทำให้การจำลองสภาพอุทกภัยในจังหวัดสุโขทัยและพื้นที่อื่นๆของกลุ่มน้ำยม ไม่สามารถทำได้อย่างสมบูรณ์ ด้วยสาเหตุดังต่อไปนี้

1) ข้อมูลรูปตัดลำน้ำ ไม่ได้ทำการสำรวจในช่วงเวลาเดียวกับเหตุการณ์อุทกภัย ปี ค.ศ. 2002 และ ค.ศ. 2006 หากแต่ได้สำรวจไว้ในปี ค.ศ. 1997 ดังนั้นอาจเกิดความคลาดเคลื่อนของระดับตลิ่งซ้ายและขวาได้

2) ระยะห่างระหว่างข้อมูลหน้าตัดลำน้ำในหลายช่วงมีระยะห่างค่อนข้างมาก (>10 กม.) อาจทำให้เกิดปัญหาในการจำลองสภาพน้ำล้นตลิ่งเข้าสู่พื้นที่ราบลุ่ม เพราะระดับของตลิ่งในรูปตัดตามขวางจากเหนือน้ำจรดหน้าตัดถัดมาท้ายน้ำอาจมีความแตกต่างกันมาก ดังนั้นข้อมูลน้ำท่ารายวันที่ป้อนเข้าสู่แบบจำลองจะค่อนข้างหายาก และอาจส่งผลให้การคำนวณปริมาณน้ำไหลล้นตลิ่งคลาดเคลื่อนได้

3) ความไม่แน่นอนของข้อมูลอัตราการไหลระดับน้ำที่ได้จากการบันทึก ณ สถานีวัดน้ำท่าต่างๆในพื้นที่ศึกษา โดยปกติแล้วข้อมูลอัตราการไหลได้จากการอ่านค่าระดับน้ำแล้วนำไปแปลงผลด้วยเส้นโค้ง ระดับน้ำ-อัตราการไหล ของสถานีนั้นๆ เส้นโค้งดังกล่าวได้จากการสำรวจหน้าตัดการ

ไหลในบริเวณที่ตั้งสถานี ในกรณีที่สถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่บริเวณพื้นที่ลาดเชิงเขา ไม่มีชุมชนตั้งถิ่นฐานริมตลิ่งลำน้ำ การสำรวจรูปตัดลำน้ำสามารถทำได้ครอบคลุมขอบเขตของระดับน้ำสูงสุด แต่ถ้าสถานีตั้งอยู่ในช่วงพื้นที่ชุมชน หรือช่วงลำน้ำเป็นพื้นที่อุทกภัยถึงแล้ว การสำรวจจะกระทำไม่ได้ครอบคลุมหน้าตัดทั้งหมด หรือจนถึงระดับอุทกภัยสูงสุดได้ ดังนั้นเมื่อเกิดเหตุการณ์ซึ่งระดับน้ำสูงเกินกว่าค่าที่ได้สำรวจไว้ จึงต้องใช้การประมาณค่าอัตราการไหลด้วยการต่อเส้นโค้งความสัมพันธ์ดังกล่าวแทน ซึ่งย่อมเกิดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบขึ้นอย่างแน่นอน



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

3.1 สภาพพื้นที่ศึกษา

3.1.1 สภาพทั่วไปของกลุ่มน้ำยม

กลุ่มน้ำยม รหัสกลุ่มน้ำหมายเลข 08 ตั้งอยู่ในบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย ลักษณะของกลุ่มน้ำวางตัวตามทิศเหนือ-ใต้ ตั้งอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ $15^{\circ} 50'$ เหนือ ถึงเส้นรุ้งที่ $19^{\circ} 25'$ เหนือ และระหว่างเส้นแวงที่ $99^{\circ} 16'$ ตะวันออก ถึงเส้นแวงที่ $100^{\circ} 40'$ ตะวันออก มีพื้นที่รับน้ำฝนทั้งหมดประมาณ 23,616 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด 11 จังหวัด ประกอบด้วย จังหวัดลำปาง จังหวัดน่าน จังหวัดแพร่ จังหวัดพะเยา จังหวัดอุตรดิตถ์ จังหวัดกำแพงเพชร จังหวัดตาก จังหวัดสุโขทัย จังหวัดพิษณุโลก จังหวัดพิจิตร และจังหวัดนครสวรรค์ ดังแสดงในรูปที่ 1-1 โดยมีอาณาเขตติดต่อกับกลุ่มน้ำข้างเคียง ดังนี้

ทิศเหนือ	ติดกับกลุ่มน้ำโขง
ทิศใต้	ติดกับกลุ่มน้ำปิง
ทิศตะวันออก	ติดกับกลุ่มน้ำน่าน
ทิศตะวันตก	ติดกับกลุ่มน้ำวังและกลุ่มน้ำปิง

แม่น้ำยมเป็นแม่น้ำสายหลักของกลุ่มน้ำยม มีต้นกำเนิดอยู่ในดอยขุนยวมแห่งเทือกเขาผีปันน้ำเขตอำเภอปงและอำเภอเชียงม่วน จังหวัดพะเยา ไหลลงทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ ผ่านบริเวณหุบเขาที่ปกคลุมด้วยป่าและมีความลาดชันของพื้นที่มาก เมื่อเข้าสู่เขตจังหวัดแพร่ จะมีลำน้ำยาว ซึ่งเป็นลำน้ำสาขาที่สำคัญไหลมาบรรจบ จากนั้นแม่น้ำจะไหลลงทางทิศใต้ เข้าสู่เขตที่ราบขนาดใหญ่ในอำเภอสอง อำเภอเมือง อำเภอสูงเม่นจนถึงอำเภอเด่นชัย จังหวัดแพร่ ต่อจากนั้นแม่น้ำยมจะไหลไปทางทิศตะวันตก เข้าสู่พื้นที่หุบเขา ก่อนเข้าสู่อำเภอศรีสัชชนาลัย จังหวัดสุโขทัย แม่น้ำยมจะเริ่มไหลลงทางใต้ เข้าสู่บริเวณที่ราบซึ่งจะเริ่มตั้งแต่อำเภอศรีสัชชนาลัยติดต่อกันลงไป แม่น้ำยมในช่วงนี้จะเริ่มมีความลาดเทน้อยลงจากอำเภอศรีสัชชนาลัยและไหลในแนวขนานคู่กับแม่น้ำน่าน ผ่านอำเภอสวรรคโลก อำเภอศรีสำโรง อำเภอเมืองสุโขทัย อำเภอกงไกรลาศ และอำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก เข้าสู่จังหวัดพิจิตรที่อำเภอสว่างงาม จากอำเภอสว่างงามแม่น้ำยมไหลคู่ขนานกับแม่น้ำน่านผ่านอำเภอโพธิ์ประทับช้าง อำเภอโพทะเล จนเข้าเขตจังหวัดนครสวรรค์ บรรจบกับแม่น้ำน่านที่บ้านเกยไชย อำเภอชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์ รวมความยาวจากต้นน้ำถึงจุดที่ไหลลงแม่น้ำน่านยาวประมาณ 735 กิโลเมตร

ลุ่มน้ำยมเกิดปัญหาจากอุทกภัยอยู่บ่อยครั้ง ซึ่งสภาพการเกิดอุทกภัยในพื้นที่ลุ่มน้ำยม โดยเฉพาะเขตชุมชนเมืองที่ตั้งอยู่ใกล้แม่น้ำ ส่วนใหญ่จะเกิดจากปริมาณน้ำและลำน้ำสาขาไหลหลากตามลำน้ำยม และไหลล้นจากตลิ่งเข้าท่วมพื้นที่เมืองในเขตต่างๆโดยตรง (Riverine flooding) การเกิดอุทกภัยในลักษณะนี้จะพบได้ในช่วงลุ่มน้ำตอนบนตั้งแต่เขตอำเภอเมืองแพร่ ถึงเขตอำเภอเมืองสุโขทัย โดยเฉพาะในช่วงเขตอำเภอเมืองสุโขทัย บริเวณเทศบาลเมืองสุโขทัยธานี ซึ่งมีสภาพลำน้ำแคบและตื้นเขิน ทำให้ความสามารถในการไหลในลำน้ำต่ำกว่าแม่น้ำยมตอนบนมาก คล้ายกับลักษณะของคอขวด เมื่อมีปริมาณน้ำไหลหลากผ่านมาเป็นจำนวนมาก จะทำให้เกิดสภาพอุทกภัยอย่างรุนแรง

พื้นที่ของลุ่มน้ำยมตอนล่าง ช่วงตั้งแต่อำเภอเมืองสุโขทัยลงไป ความสามารถในการไหลในลำน้ำยังคงต่ำกว่าพื้นที่ตอนบนของลุ่มน้ำยมเป็นอย่างมาก ทำให้เกิดน้ำไหลล้นตลิ่งเข้าท่วมพื้นที่เกษตรกรรมในลุ่มริมสองฝั่งลำน้ำและไหลขนานไปกับแม่น้ำยม (อาจมีการไหลเข้า-ออก ในช่วงที่ระดับน้ำฝั่งใดฝั่งหนึ่งต่ำกว่าได้) การเกิดอุทกภัยในลักษณะนี้ปริมาณน้ำจะมาไม่รวดเร็วนัก หากแต่จะท่วมขังได้เป็นเวลานาน ระยะเวลาอาจเป็นเดือน ขึ้นอยู่กับความสูง -ต่ำของพื้นที่ และจะค่อยๆลดลงในที่สุด เมื่อสามารถระบายน้ำส่วนเกินออกจากพื้นที่ตอนล่างไปได้ โดยพื้นที่ที่เกิดอุทกภัยในลักษณะนี้จะเริ่มตั้งแต่ท้ายเขตเทศบาลเมืองสุโขทัยธานี ไปสู่อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก ลงไปถึงอำเภอโพทะเล จังหวัดพิจิตร

3.1.2 สภาพภูมิประเทศและลุ่มน้ำสาขา

สภาพภูมิประเทศลุ่มน้ำยมในพื้นที่ตอนบนเขตอำเภอบึง จังหวัดพะเยา มีสภาพเป็นเทือกเขาสูงตามลำน้ำและมีระดับอยู่ระหว่าง 280-360 เมตร รทก. โดยมีความลาดชันประมาณ 1:310 ต่อจากนั้นแม่น้ำยมจะไหลต่อจนถึงอำเภอสอง จังหวัดแพร่ ที่มีระดับความสูงที่ 180-280 เมตร รทก. มีความลาดชันประมาณ 1:1,180 แม่น้ำยมไหลผ่านพื้นที่ราบในหุบเขาในเขตพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดแพร่และจังหวัดสุโขทัย ระดับความสูงของพื้นที่ริมฝั่งแม่น้ำอยู่ที่ระดับ 50-180 เมตร รทก. ด้วยความลาดชันประมาณ 1:2100 พื้นที่ตอนล่างของลุ่มน้ำเป็นที่ราบในเขตอำเภอสวรรคโลก อำเภอศรีสำโรง อำเภอเมืองจังหวัดสุโขทัย อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก อำเภอโพธิ์ประทับช้าง อำเภอสามง่าม อำเภอโพทะเล จังหวัดพิจิตร และพื้นที่บางส่วนของอำเภอชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์ มีระดับความสูงของพื้นที่อยู่ระหว่าง 20-50 เมตร รทก. ความลาดชันตามลำน้ำประมาณ 1:8,500 ดังแสดงในรูปที่ 3-1

การศึกษาคุณลักษณะเชิงอุทกวิทยาของลุ่มน้ำยม กระทำได้โดยการแบ่งส่วนออกเป็นลุ่มน้ำย่อย เพื่อประโยชน์ในการคำนวณและวิเคราะห์ปริมาณสัดส่วนการกระจายตัวของน้ำทำในแต่ละส่วนของลุ่มน้ำหลัก รายละเอียดทั่วไปของแต่ละลุ่มน้ำสาขา สรุปได้ในตารางที่ 3-1 ดังนี้

ตารางที่ 3-1 รายชื่อลุ่มน้ำย่อย และพื้นที่รับน้ำฝนในลุ่มน้ำยม

ลำดับที่	ลุ่มน้ำย่อย	พื้นที่ลุ่มน้ำ ตร).กม.(	L (กม.)	L _c (กม.)	ความชัน (S)	t _c ¹ ชม).(
1	แม่น้ำยมตอนบน	1,978	113.34	57.89	0.00265	24.96
2	แม่น้ำควน	858	49.12	37.84	0.00813	11.32
3	น้ำปี	636	36.08	22.87	0.00556	9.58
4	แม่น้ำางว	1,644	71.41	34.38	0.00476	16.84
5	แม่น้ำยมตอนกลาง	2,884	124.78	60.31	0.00084	43.21
6	น้ำแม่คำมี	444	48.38	37.31	0.00621	12.09
7	น้ำแม่ต้า	518	44.15	27.29	0.00256	14.82
8	ห้วยแม่สิน	522	40.89	27.44	0.00490	11.57
9	แม่น้ำแม่มอก	1,332	58.41	38.71	0.00513	14.60
10	แม่น้ำแม่ไร่พัน	894	56.96	28.89	0.00351	15.98
11	แม่น้ำยมตอนล่าง	11,906	409.28	208.48	0.00066	131.27

ที่มา: ดัดแปลงจาก พัฒนศักดิ์ แสนมาตย์ (2550)

หมายเหตุ: t_c คำนวณจาก $t_c = \left[\frac{0.87L^3}{H} \right]^{0.375}$

เมื่อ t_c คือ เวลาที่น้ำเคลื่อนตัวจากจุดที่ไกลที่สุดของลุ่มน้ำมายังจุดพิจารณา ในหน่วย ชั่วโมง

L คือ ความยาวลำน้ำในหน่วยเมตร

L_c ระยะตามแนวลำน้ำหลักจากศูนย์กลางพื้นที่ลุ่มน้ำจนถึงจุดออก ในหน่วยเมตร

H ค่าความต่างระดับของพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นเมตร

จากการรวบรวมข้อมูลของคณะกรรมการอุทกวิทยาแห่งชาติและปรับปรุงเพิ่มเติมโดยกรมทรัพยากรน้ำ สามารถสรุปรายละเอียดโดยสังเขปในแต่ละลุ่มน้ำย่อยได้ดังนี้

1. กลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำยมตอนบน

เป็นกลุ่มน้ำสาขาที่อยู่ตอนบนของกลุ่มน้ำยมอันเป็นต้นกำเนิดของแม่น้ำยม มีพื้นที่รับน้ำ 1,978 ตร.กม. คิดเป็น 8.38% ของพื้นที่ลุ่มน้ำยม ครอบคลุมพื้นที่อำเภอปอง อำเภอเชียงม่วน อำเภอดอกคำใต้ จังหวัดพะเยา อำเภองาว จังหวัดลำปาง และอำเภอสอง จังหวัดแพร่ สภาพภูมิประเทศเป็นเทือกเขาสูงมีที่ราบช่วงแคบๆ ในบริเวณใกล้ลำน้ำ มีลำน้ำสายสำคัญ ได้แก่ น้ำจิม น้ำมาว ห้วยเหิง น้ำแม่ฝง น้ำแม่จ๊ะ ห้วยสระ น้ำแม่ปึง ห้วยเหี้ยะ ห้วยน้อย ห้วยปุงน้อย แม่พร้าว และน้ำแม่สกิน

2. กลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำควน

เป็นกลุ่มน้ำสาขาที่อยู่ตอนบนของกลุ่มน้ำยม มีพื้นที่รับน้ำ 858 ตร.กม. คิดเป็น 3.63% ของพื้นที่ลุ่มน้ำยม ครอบคลุมพื้นที่อำเภอปอง อำเภอเชียงม่วน จังหวัดพะเยา และกิ่งอำเภอท่าวังผา กิ่งอำเภอบ้านหลวง จังหวัดน่าน สภาพภูมิประเทศเป็นเทือกเขาสูงมีที่ราบในช่วงแคบๆ บริเวณใกล้ลำน้ำ มีลำน้ำที่สำคัญ ได้แก่ น้ำปุก น้ำคาง ห้วยแม่สาว และน้ำควน

3. กลุ่มน้ำสาขาน้ำปี้

เป็นกลุ่มน้ำสาขาที่อยู่ตอนบนค่อนมาทางตะวันออกของกลุ่มน้ำยม มีพื้นที่รับน้ำ 636 ตร.กม. คิดเป็น 2.69% ของพื้นที่ลุ่มน้ำยม ครอบคลุมเขตอำเภอเชียงม่วน จังหวัดพะเยา และกิ่งอำเภอบ้านหลวง จังหวัดน่าน สภาพภูมิประเทศเป็นเทือกเขาสูงมีที่ราบในช่วงแคบๆ บริเวณใกล้ลำน้ำ มีลำน้ำที่สำคัญ ได้แก่ น้ำปี้

4. กลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำงาว

เป็นกลุ่มน้ำสาขาที่อยู่ตอนบนค่อนมาทางตะวันตกของกลุ่มน้ำยม ยม มีพื้นที่รับน้ำ 1,644 ตร.กม. คิดเป็น 6.96% ของพื้นที่ลุ่มน้ำยม ครอบคลุมพื้นที่อำเภองาว อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง และอำเภอสอง จังหวัดแพร่ สภาพภูมิประเทศเป็นเทือกเขาสูงมีที่ราบช่วงแคบๆ บริเวณใกล้ลำน้ำ มีลำน้ำที่สำคัญ ได้แก่ น้ำองน น้ำงาว แม่หวด ห้วยแม่พลึง น้ำแม่ทาง และห้วยหลาว

5. กลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำยมตอนกลาง

ตั้งอยู่ตอนกลางของกลุ่มน้ำยม มีพื้นที่รับน้ำ 2,884 ตร.กม. คิดเป็น 12.21% ของพื้นที่ลุ่มน้ำยม ครอบคลุมพื้นที่อำเภอสอง อำเภอหนองม่วงไข่ อำเภอร้องกวาง อำเภอเด่นชัย อำเภอเมือง อำเภอลอง อำเภอสูงเม่น และอำเภอวังชิ้น จังหวัดแพร่ สภาพภูมิประเทศเป็นแนวเขาขนานข้าง ลาดเทลงมาหาลำน้ำยม ตรงกลางพื้นที่มีที่ราบขนาดใหญ่บริเวณสองฝั่งลำน้ำยม มีลำน้ำที่สำคัญ ได้แก่

ห้วยแม่ใส น้ำแม่สอง ห้วยแม่ต้า ห้วยหม้าย ห้วยแม่ยาง ห้วยแม่ยางน้อย ห้วยผาด่าน ห้วยตาดยุบ น้ำแม่หลาย น้ำแม่สาย น้ำแม่มาน ห้วยแม่จ๊ะ และห้วยแม่พวก

6. กลุ่มน้ำสาขาแม่คำมี

ตั้งอยู่ตอนกลางเอียงมาทางทิศตะวันออกของกลุ่มน้ำยม มีพื้นที่รับน้ำ 444 ตร.กม. คิดเป็น 1.88% ของพื้นที่ลุ่มน้ำยม ครอบคลุมพื้นที่อำเภอเมือง อำเภอร่องวาง และอำเภอหนองม่วงไข่ จังหวัดแพร่ สภาพภูมิประเทศ เป็นแนวเขาสูงทางฝั่งตะวันออกลาดเทมาทางตะวันตกเฉียงใต้ มีที่ราบช่วงแคบๆ บริเวณใกล้ๆ ลำน้ำ มีลำน้ำที่สำคัญ ได้แก่ ห้วยแม่กระทิง แม่ถอน และน้ำแม่คำมี

7. กลุ่มน้ำสาขาแม่ต้า

เป็นกลุ่มน้ำสาขาที่อยู่ตอนกลางเอียงมาทางทิศตะวันตกของกลุ่มน้ำยม มีพื้นที่รับน้ำ 518 ตร.กม. คิดเป็น 2.19% ของพื้นที่ลุ่มน้ำยม ครอบคลุมพื้นที่อำเภอเมือง อำเภอลอง อำเภอสอง อำเภอสูงเม่น และอำเภอหนองม่วงไข่ จังหวัดแพร่ สภาพภูมิประเทศเป็นเนินเขาสูงลาดเทมาตามแนวเหนือ-ใต้ มีที่ราบช่วงแคบๆ บริเวณใกล้ๆ ลำน้ำ แล้วขยายพื้นที่ราบออกในตอนปลายของกลุ่มน้ำสาขา มีลำน้ำที่สำคัญ ได้แก่ ห้วยแม่สวก และน้ำแม่ต้า

8. กลุ่มน้ำสาขาห้วยแม่สิน

เป็นกลุ่มน้ำสาขาที่อยู่ตอนกลางเอียงมาทางตอนล่างของกลุ่มน้ำยม มีพื้นที่รับน้ำ 522 ตร.กม. คิดเป็น 2.21% ของพื้นที่ลุ่มน้ำยม ครอบคลุมพื้นที่อำเภอเด่นชัย อำเภอลอง อำเภอวังชิ้น จังหวัดแพร่ และอำเภอศรีสัชชนาลัย จังหวัดสุโขทัย สภาพภูมิประเทศเป็นเนินเขาทางตะวันออกลาดเทมาทางตะวันตกเฉียงใต้ มีที่ราบบริเวณใกล้ๆ ลำน้ำ มีลำน้ำที่สำคัญ ได้แก่ ห้วยแม่สูงและห้วยแม่สิน

9. กลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำแม่มอก

เป็นกลุ่มน้ำสาขาที่อยู่ตอนล่างเอียงมาทางทิศตะวันตกของกลุ่มน้ำยม มีพื้นที่รับน้ำ 1,322 ตร.กม. คิดเป็น 5.64% ของพื้นที่ลุ่มน้ำยม ครอบคลุมพื้นที่อำเภอทุ่งเสลี่ยม อำเภอบ้านด่านลานหอย อำเภอศรีสัชชนาลัย อำเภอศรีสำโรง และอำเภอสวรรคโลก จังหวัดสุโขทัย สภาพภูมิประเทศช่วงบนเป็นแนวเขาสูงทางฝั่งตะวันตกลาดเทมาในแนวเหนือ-ใต้ ช่วงล่างเป็นเนินสูงสลับที่ราบลาดเทไปทางตะวันออก มีที่ราบช่วงกลาง-ปลายกลุ่มน้ำสาขาบริเวณใกล้ๆ ลำน้ำ มีลำน้ำที่สำคัญ ได้แก่ ห้วยแม่ริม ห้วยแม่วังข้างหลวง ห้วยริน ห้วยแม่มอก ห้วยแม่แสดมหลวง ห้วยแม่ทุเลา คลองกระยาง และคลองควาว

10. ลุ่มน้ำสาขาแม่รำพัน

เป็นลุ่มน้ำสาขาที่อยู่ตอนล่างเยื้องมาทางทิศตะวันตกของลุ่มน้ำยม มีพื้นที่รับน้ำ 894 ตร.กม. คิดเป็น 3.79% ของพื้นที่ลุ่มน้ำยม ครอบคลุมพื้นที่อำเภอเถิน จังหวัดลำปาง อำเภอเมือง จังหวัดตาก อำเภอกีรีมาศ อำเภอบ้านด่านลานหอย และอำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย สภาพภูมิประเทศช่วงบนเป็นเนินเขาต่ำทางฝั่งตะวันตกลาดเทลงมาในแนวตะวันออกเฉียงใต้ ช่วงล่างเป็นที่ราบลาดเทไปทางตะวันออก มีลำน้ำที่สำคัญ ได้แก่ คลองกลางดง คลองบ่อเจ็ดวา และน้ำแม่รำพัน

11. ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำยมตอนล่าง

เป็นลุ่มน้ำสาขาที่มีขนาดใหญ่ที่สุดอยู่ตอนล่างของลุ่มน้ำยม มีพื้นที่รับน้ำ 11,906 ตร.กม. คิดเป็น 50.41% ของพื้นที่ลุ่มน้ำยม ครอบคลุมพื้นที่ 7 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดแพร่ จังหวัดสุโขทัย จังหวัดอุตรดิตถ์ จังหวัดพิษณุโลก จังหวัดกำแพงเพชร จังหวัดพิจิตร และจังหวัดนครสวรรค์ สภาพภูมิประเทศตามขอบลุ่มน้ำเป็นเนินต่ำๆ จากนั้นเป็นที่ราบขนาดใหญ่ ฝั่งตะวันตกของแม่น้ำยมลาดเทลงมาตามแนวตะวันออกเฉียงใต้ ฝั่งตะวันออกของแม่น้ำยมลาดเทมาทางทิศตะวันตก มีลำน้ำที่สำคัญ ได้แก่ ห้วยแม่ลาน ห้วยแม่กาง ห้วยแม่จอก ห้วยน้ำโจ้ว ห้วยนา ห้วยแม่เก็ง ห้วยแม่พุง น้ำแม่สรอย ห้วยแม่แปง ห้วยระแอกกลาง ห้วยสะท้อ ห้วยแม่सान ห้วยหาดแก ห้วยแม่ราก ห้วยท่าแพ คลองน้ำไหล คลองแม่น้ำเก่า คลองวังมะขาม ห้วยน้ำโจน คลองพระองค์ คลองกลางดง คลองท่าหลวง คลองวังแร่ คลองบางแก้ว คลองน้ำหัก คลองพระพาย ห้วยใหญ่ ห้วยแก้ว และแม่น้ำพิจิตร

3.1.3 สภาพภูมิอากาศ

สภาพภูมิอากาศโดยทั่วไปของลุ่มน้ำยมและจังหวัดสุโขทัย อยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดผ่านทะเลและมหาสมุทรนำความชื้นเข้าสู่ฝั่งและกลายเป็นฝนตกลงในภาคพื้นทวีป ส่งผลให้เกิดฤดูฝนในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม จากนั้นช่วงปลายเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดพาเอาความหนาวเย็นและแห้งแล้ง จากทิศเหนือเข้ามาในประเทศไทย ทำให้อากาศหนาวเย็นและแห้งแล้งโดยทั่วไป ในช่วงเดือนมีนาคมถึงเมษายน เป็นช่วงเวลาที่อากาศร้อนที่สุด เนื่องจากอิทธิพลของลมที่พัดมาจากทิศใต้ในบริเวณอ่าวไทย นอกจากนี้ยังมีพายุดีเปรสชันและพายุโซนร้อน ซึ่งกำเนิดจากทะเลจีนใต้พัดผ่านเป็นครั้งคราวในเดือนสิงหาคม ถึงกันยายน รูปที่ 3-3 แสดงทิศทางและช่วงเวลาการเกิดของลมมรสุมที่พัดเข้าสู่ประเทศไทย

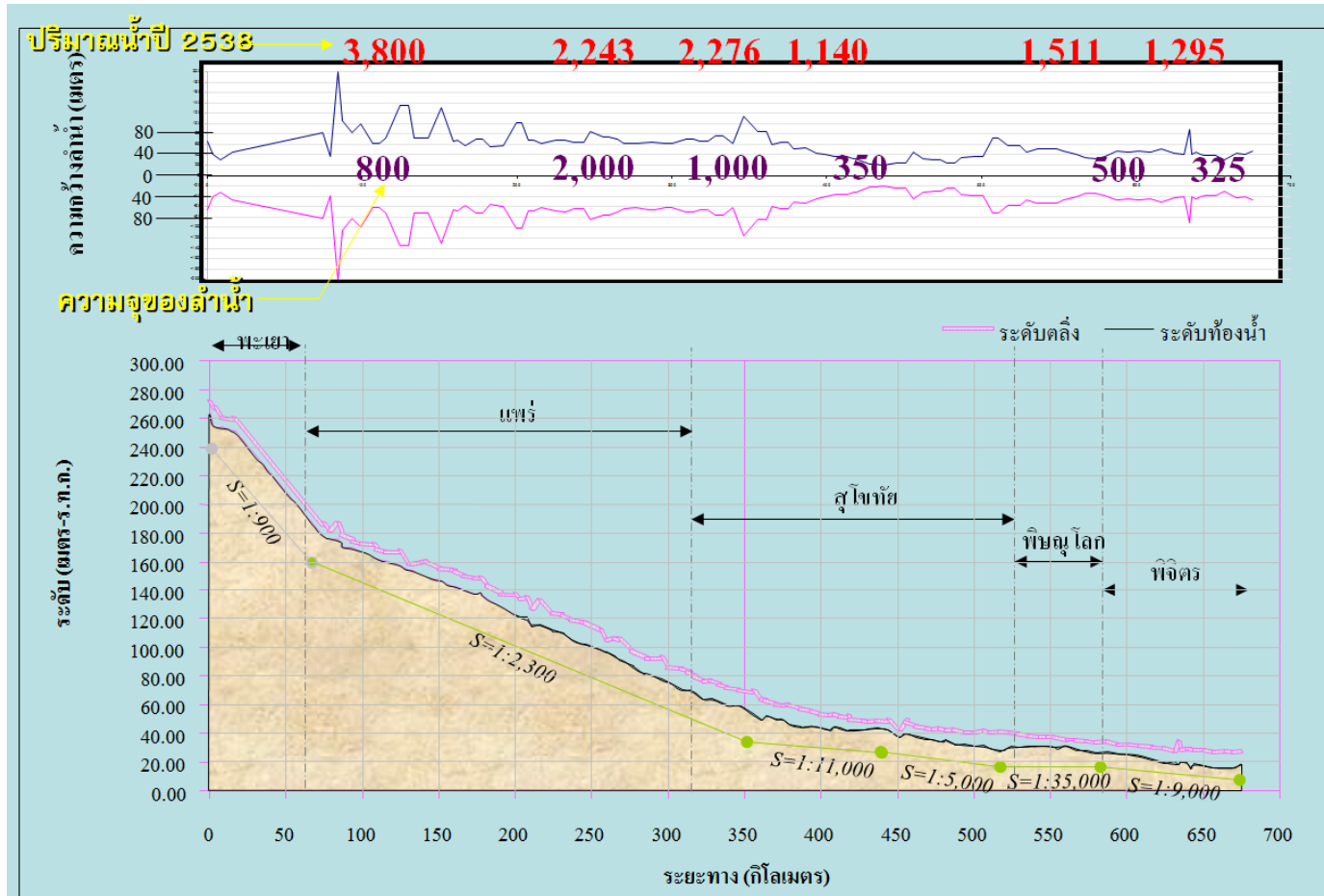
ข้อมูลสภาพภูมิอากาศโดยเฉลี่ยทั่วไปของพื้นที่ลุ่มน้ำยมในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543) ที่สถานีตรวจอากาศในลุ่มน้ำยม ได้ทำการสรุปข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศที่สำคัญ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณการระเหย ความเร็วลมและความชื้นของเมฆ แสดงในตารางที่ 3-1

การแพร่กระจายข้อมูลรายเดือนเฉลี่ยของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณการระเหย ความเร็วลม ความครึ้มของเมฆ และปริมาณฝน ของสถานีตรวจอากาศทั้ง 3 สถานี แสดงในรูปที่ 3-4 โดยพบว่าตัวแปรภูมิอากาศของทั้งสามจังหวัดไม่แตกต่างกันมากนักและมีทิศทางแบบเดียวกัน ยกเว้น ความเร็วลมที่แตกต่างกัน เนื่องจากผลของลักษณะของภูมิประเทศ

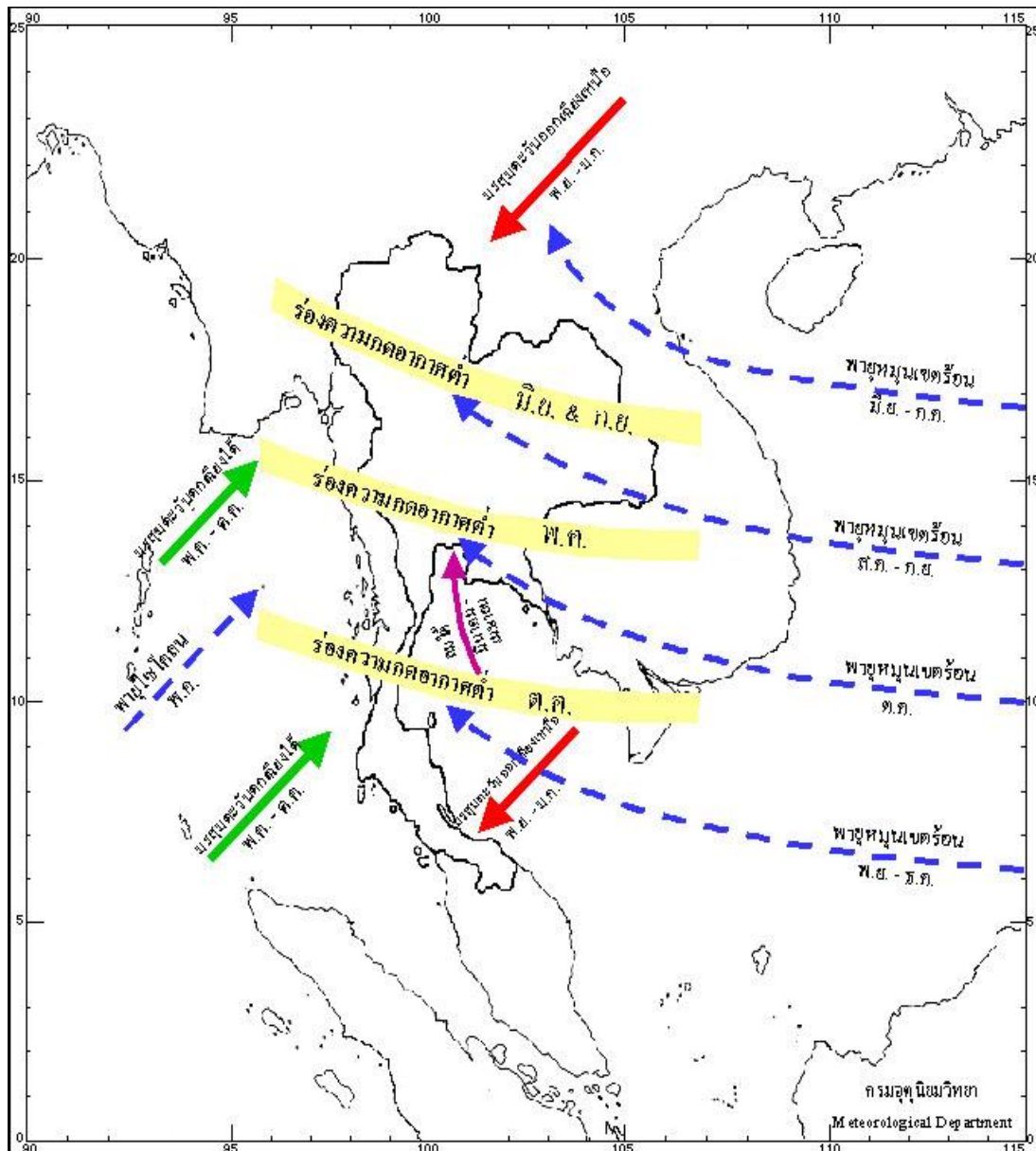
3.1.4 ปริมาณฝน

จากการศึกษาสภาพฝนบริเวณพื้นที่ศึกษา ได้รวบรวมข้อมูลปริมาณฝนจากกรมชลประทาน และกรมอุตุนิยมวิทยา ที่สถานีวัดน้ำฝนต่างๆ ทั้งลุ่มแม่น้ำยมและบริเวณใกล้เคียง จำนวน 36 สถานี มีสถิติข้อมูลน้ำฝนระหว่างปี พ.ศ. 2522-2549 ตำแหน่งของสถานีวัดน้ำฝนแสดงไว้ในรูปที่ 3-4 ส่วนรายละเอียดของสถานี ช่วงข้อมูล และปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ย แสดงในตารางที่ 3-2

จากข้อมูลปริมาณฝน พบว่าสภาพฝนรายปีของพื้นที่ลุ่มน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 900-1,520 มิลลิเมตร โดยฝนจะตกได้มากถึง 1,375 มม./ปี ทางตอนเหนือของลุ่มน้ำบริเวณจังหวัดอุดรดิตถ์ และลดลงมาเล็กน้อยอยู่ที่ระดับ 1,000 มม./ปี ในจังหวัดลำปาง และลดลงอยู่ที่ 986 มม./ปี บริเวณอำเภอสวรรคโลก จังหวัดสุโขทัย ซึ่งช่วงพิสัยของปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยแต่ละจังหวัดในลุ่มน้ำยม แสดงไว้ในตารางที่ 3-3



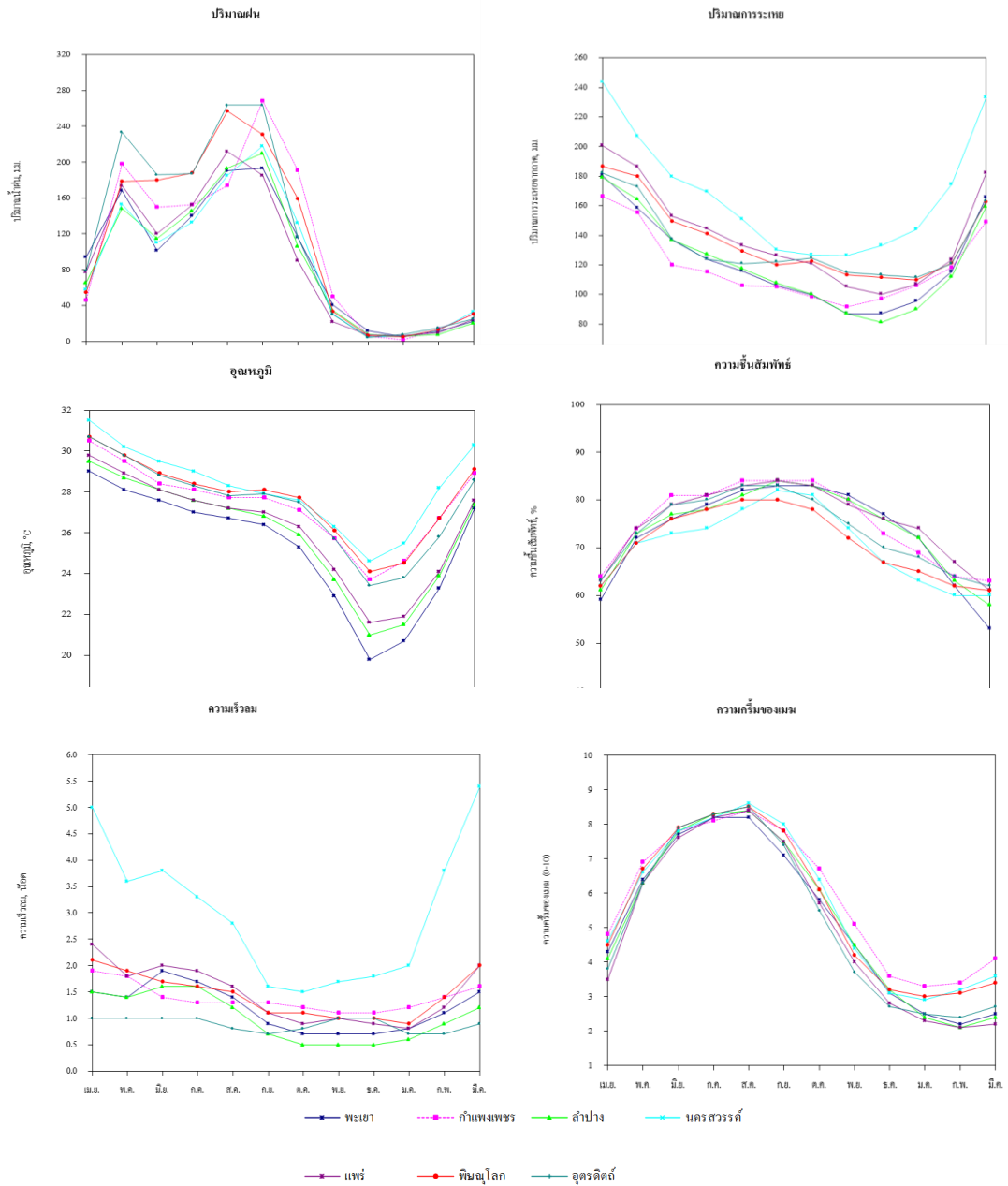
รูปที่ 3-1 รูปตัดตามยาวและความจุลำน้ำยมสายหลักแต่ละช่วงจังหวัด



รูปที่ 3-2 แสดงตำแหน่งของลมมรสุม พายุหมุนเขตร้อน และตำแหน่งของร่องความกดอากาศ

ตารางที่ 3-2 ข้อมูลภูมิอากาศรายเดือนของสถานีตรวจอากาศ จ. แพร่ อุตรดิตถ์ และ พิษณุโลก

ข้อมูล ภูมิอากาศ	สถานี	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รายปี
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อ.เมืองแพร่	30.2	29.1	28.2	27.7	27.3	27.2	26.5	24.4	21.9	22.3	24.6	28.0	26.5
	อ.เมืองอุตรดิตถ์	31.0	29.9	28.8	28.3	27.8	27.9	27.5	25.7	23.6	23.9	25.9	28.8	27.4
	อ.เมืองพิษณุโลก	30.8	29.8	28.7	28.3	27.8	28.0	27.6	26.1	24.1	24.5	26.7	29.1	27.6
	เฉลี่ย	30.7	29.6	28.6	28.1	27.6	27.7	27.2	25.4	23.2	23.6	25.7	28.6	27.2
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	อ.เมืองแพร่	60.0	72.0	78.0	79.0	82.0	83.0	83.0	82.0	74.0	72.0	65.0	59.0	73.7
	อ.เมืองอุตรดิตถ์	62.0	73.0	80.0	80.0	83.0	83.0	83.0	80.0	70.0	68.0	63.0	61.0	73.1
	อ.เมืองพิษณุโลก	62.0	71.0	78.0	78.0	80.0	80.0	81.0	78.0	67.0	65.0	61.0	61.0	71.2
	เฉลี่ย	61.3	72.0	79.0	79.0	81.7	81.7	82.3	80.0	70.3	68.3	60.3	60.3	72.6
ความชื้นของ เมฆ (เดคา)	อ.เมืองแพร่	3.6	6.3	7.8	8.3	8.5	7.5	5.8	4.1	3.0	2.7	2.2	2.5	5.2
	อ.เมืองอุตรดิตถ์	3.7	6.4	8.0	8.4	8.6	7.4	5.4	3.6	2.7	2.7	2.5	3.0	5.2
	อ.เมืองพิษณุโลก	4.7	6.9	8.1	8.3	8.6	7.9	6.2	4.4	3.4	3.5	3.5	3.8	5.8
	เฉลี่ย	4.0	6.5	8.0	8.3	8.6	7.6	5.8	4.0	3.0	3.0	2.7	3.1	5.4
ความเร็วลม (นอต)	อ.เมืองแพร่	3.3	2.5	2.7	2.6	2.2	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.8	2.7	2.1
	อ.เมืองอุตรดิตถ์	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9	0.8	0.9	1.1	1.0	0.8	0.7	0.9	0.9
	อ.เมืองพิษณุโลก	2.2	1.9	1.7	1.6	1.5	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9	1.4	2.0	1.5
	เฉลี่ย	2.2	1.8	1.8	1.7	1.5	1.2	1.1	1.2	1.1	1.0	1.3	1.9	1.5
ปริมาณฝน (มม.)	อ.เมืองแพร่	68.8	185.0	121.6	149.7	233.0	177.7	83.5	21.7	7.3	7.8	7.5	22.8	1,086.4
	อ.เมืองอุตรดิตถ์	66.1	234.8	201.3	197.1	263.8	267.6	117.8	23.2	5.2	8.6	11.0	26.4	1,422.9
	อ.เมืองพิษณุโลก	48.8	193.3	178.3	182.3	260.1	231.7	142.7	28.1	7.7	7.3	11.8	29.1	1,321.9
	เฉลี่ย	61.2	204.4	167.1	176.4	252.3	225.7	114.7	24.3	6.7	7.9	10.1	26.1	1,276.8
ปริมาณการ ระเหย (มม.)	อ.เมืองแพร่	213.5	195.4	155.1	147.3	138.7	131.2	125.1	109.7	104.0	110.6	128.3	188.4	1,747.3
	อ.เมืองอุตรดิตถ์	191.0	176.5	134.0	123.3	121.0	121.4	123.7	115.4	112.9	111.3	121.1	163.9	1,615.3
	อ.เมืองพิษณุโลก	187.6	177.5	147.2	140.2	128.3	120.1	124.5	114.9	111.0	108.6	119.0	161.2	1,640.1
	เฉลี่ย	197.4	183.1	145.4	136.9	129.3	124.2	124.4	113.3	109.3	110.2	122.8	171.2	1,667.6



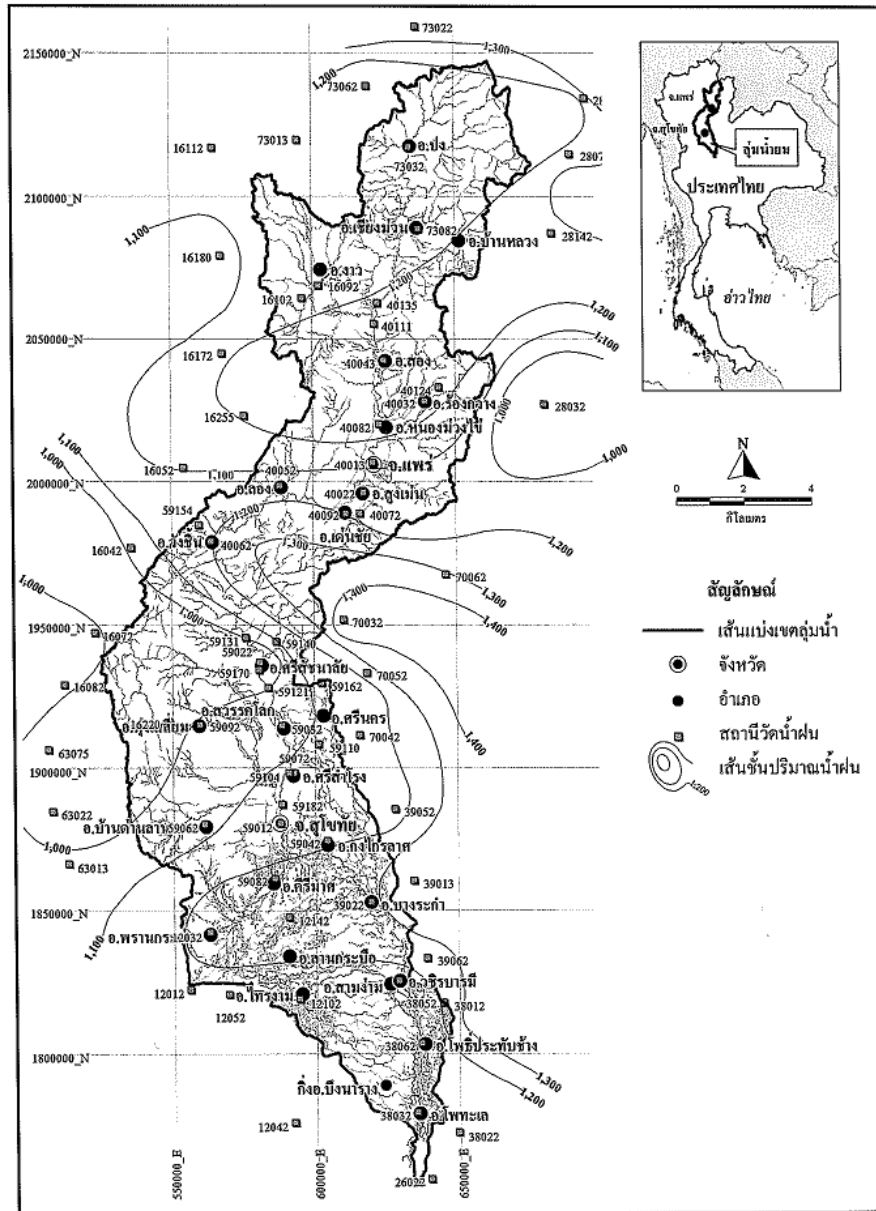
รูปที่ 3-3 การกระจายข้อมูลภูมิอากาศเฉลี่ยที่สถานีตรวจอากาศของกลุ่มน้ำยม

ตารางที่ 3-3 ช่วงพิสัยปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยแต่ละจังหวัดในกลุ่มน้ำยม

จังหวัด	จำนวนสถานีวัดน้ำฝน	ช่วงพิสัยปริมาณฝนรายปีเฉลี่ย, มม.
พะเยา	3	950.60-1,154.20
ลำปาง	4	906.15-1,133.45
แพร่	7	1,018.87-1,519.71
สุโขทัย	7	986.60-1,260.39
พิษณุโลก	3	1,045.90-1,293.60
พิจิตร	3	955.28-1,131.06
กำแพงเพชร	2	967.30-1,156
รวม	32	906.15-1,519.71

ตารางที่ 3-4 ปริมาณน้ำฝนรายเดือนและรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำฝนในกลุ่มน้ำยม

ปริมาณฝนเฉลี่ย มม.)											
เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
62.77	185	145.98	155.27	206.56	228.91	118.10	28.28	5.70	2.82	7.62	23.52



รูปที่ 3-4 เส้นชั้นปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยและแสดงตำแหน่งที่ตั้งสถานีวัดน้ำฝนในกลุ่มน้ำยม (กรมชลประทาน, 2552)

3.1.4 ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน

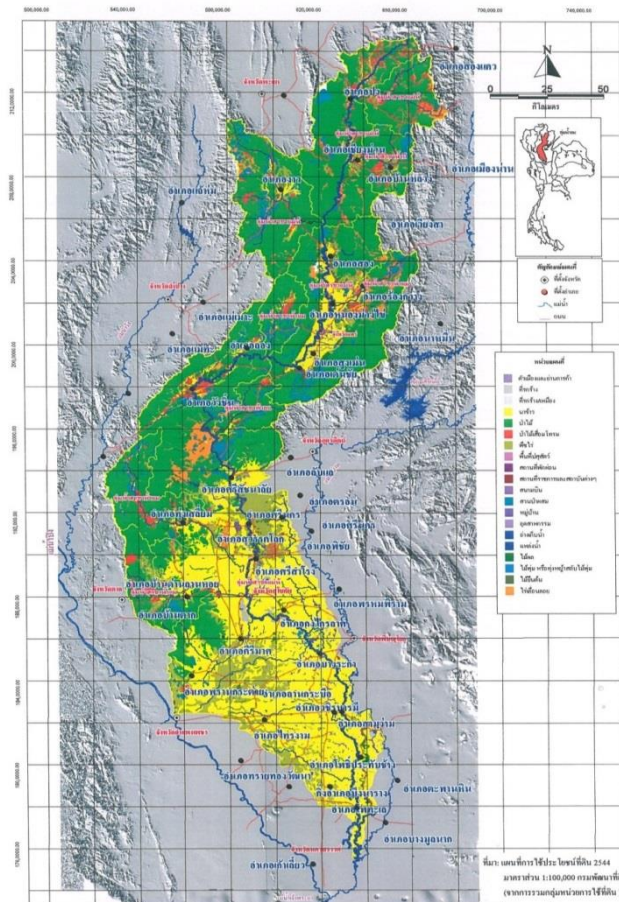
การใช้ประโยชน์ที่ดินในกลุ่มน้ำยมและจังหวัดสุโขทัย ซึ่งเป็นพื้นที่ประกอบด้วยเทือกเขาซับซ้อนเป็นส่วนมาก อาจผันแปรไปในลักษณะเดียวกับพื้นที่ลุ่มน้ำ การใช้ประโยชน์ที่ดินของกลุ่มน้ำยมแบ่งได้ 5 ประเภท ได้แก่ พื้นที่การเกษตร พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่แหล่งน้ำ พื้นที่อยู่อาศัย (พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง ย่านการค้าและอุตสาหกรรม) และพื้นที่อื่นๆ (ทุ่งหญ้า ไม้พุ่มเตี้ย ที่ว่างเปล่า ที่เลี้ยงสัตว์และอื่นๆ) ในส่วนของพื้นที่ทำการเกษตร จะแบ่งออกได้อีก 5 ชนิด ได้แก่ ข้าว พืชไร่ พืชผัก ไม้ผล-ยืนต้น และอื่นๆ

นาข้าว เป็นพื้นที่ซึ่งปัจจุบันเป็นนาข้าว อาจมีการทำนาเป็นประจำปีละหนึ่งครั้งในฤดูฝน (นาปี) ทำนาปีละ 2 ครั้ง หรือปัจจุบันไม่ได้ทำนา แต่ยังคงสภาพนาข้าวอยู่ พื้นที่ประเภทนี้จะอยู่ในหุบเขาที่เป็นที่ราบ มีลำน้ำไหลผ่าน โดยมากแล้วแปลงนาข้าวมีขนาดเล็กด้วยระบบชลประทานขนาดเล็ก เช่น การทำฝายกั้นลำธารแล้วผันน้ำเสริมการปลูกข้าวในฤดูฝน ในฤดูแล้งปริมาณน้ำมักไม่เพียงพอ จึงมีการปลูกข้าวเฉพาะบริเวณใกล้แหล่งน้ำ หากอยู่ไกลจากแหล่งน้ำหรือน้ำไม่พอ จะมีการปลูกพืชอื่นเสริม เช่น ยาสูบ พืชตระกูลถั่ว หรือพืชสวนครัว พื้นที่ตอนบนของกลุ่มน้ำจะมีการใช้ที่ดินมากกว่าพื้นที่ตอนล่าง เนื่องจากพื้นที่ตอนล่างจะมีความแห้งแล้งและขาดแคลนน้ำมากกว่า

พืชไร่ พบมากในพื้นที่ตอน ปัจจุบันมีการปลูกพืชไร่ เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง มันสำปะหลัง ชนิด เช่น ข้าวโพด สับปะรด ฝ้าย เป็นต้น การใช้พื้นที่ดังกล่าวขึ้นอยู่กับระยะเวลาปลูกพืชแต่ละาวโพด อาจใช้ระยะเวลาเพียง 3-4 เดือน บางบริเวณชาวไร่จะยอมเสี่ยงกับการสูญเสียเนื่องจากฝนทิ้งช่วง โดยพยายามปลูกข้าวโพด 2 ครั้งในรอบปี ซึ่งมักจะเริ่มปลูกครั้งแรกประมาณเดือนกรกฎาคม-กันยายน แล้วเริ่มปลูกครั้งที่สองซึ่งจะไปเก็บเกี่ยวประมาณเดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม

ไม้ผลยืนต้น เป็นการใช้ที่ดินสำหรับการปลูกสวนผลไม้ หรือไม้ยืนต้น พืชที่ปลูกเช่น ลำไย ลิ้นจี่ มะม่วง ขนุน เป็นต้น โดยปลูกเป็นแปลงใหญ่ หรือสวนผสม ซึ่งจะพบมากตามลำธาร

ป่าไม้ เป็นพื้นที่ที่มีป่าธรรมชาติปกคลุม มักพบบนที่ลาดเขา ภูเขา หรือเทือกเขาซับซ้อน ป่าไม้ที่พบมีทั้งป่าไม้ผลัดใบ เช่น ป่าดิบชื้น ป่าดิบเขา ป่าดิบแล้ง และป่าสน ส่วนป่าไม้ผลัดใบ ได้แก่ ป่าเบญจพรรณ และ ป่าเต็งรัง เป็นต้น



รูปที่ 3-5 การใช้ประโยชน์ที่ดินในกลุ่มน้ำยม

3.1.5 ปริมาณน้ำท่า

ในการศึกษาปริมาณน้ำท่า ได้ทำการรวบรวมข้อมูลอัตราการไหลที่สถานีวัดน้ำท่าต่างๆ ในลุ่มน้ำยม และใกล้เคียง ที่ดำเนินการสำรวจโดยกรมชลประทาน จำนวน 15 สถานี ตำแหน่งของสถานีวัดน้ำท่าต่างๆ โดยรายชื่อ สถิติข้อมูล ศักยภาพการให้น้ำท่าต่อหน่วยพื้นที่ แสดงในตารางที่ 3-5 และรูปที่ 3-7 สถิติปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือน ช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม-ตุลาคม) ช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน-เมษายน) และเฉลี่ยทั้งปี แสดงในตารางที่ 3-6 และ 3-7

3.2 ข้อมูลศึกษา

การศึกษาและวิจัยในครั้งนี้มีการรวบรวมข้อมูลดังต่อไปนี้

3.2.1 ข้อมูลภูมิประเทศและรูปตัดลำน้ำ

รวบรวมข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศและรูปตัดลำน้ำจากหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

1. แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 จัดทำโดยกรมแผนที่ทหาร บริเวณลุ่มแม่น้ำยม ท้ายสถานี Y.20 ผ่านจังหวัดแพร่ สุโขทัย พิษณุโลก พิจิตร และ นครสวรรค์ แผนที่ดังกล่าวส่วนใหญ่จัดทำด้วยภาพถ่ายทางอากาศในปี พ.ศ. 2536

2. รูปตัดแม่น้ำยม ดำเนินการสำรวจโดยกรมชลประทาน ตั้งแต่สถานีวัดน้ำท่า อ. สอง จังหวัดแพร่ (Y.20) ถึงจุดบรรจบแม่น้ำน่าน ความยาวทั้งสิ้น 550 กม. โดยมีรายละเอียดดังนี้

กม. 0+000 ถึง 21 + 983	สำรวจทุกระยะ 5.5 กม. รวม (โดยเฉลี่ย)	4 หน้าตัด
กม. 21+983 ถึง 27+846	สำรวจทุกระยะ 651 ม.	รวม 5 หน้าตัด
กม. 27+846 ถึง 144+146	สำรวจทุกระยะ 7.27 กม. (โดยเฉลี่ย)	รวม 16 หน้าตัด
กม. 144 + 146 ถึง 145 + 246	สำรวจทุกระยะ 200 ม. รวม (โดยเฉลี่ย)	45 หน้าตัด
กม. 145 +246 ถึง 289+000	สำรวจทุกระยะ 3 กม.	รวม 48 หน้าตัด
กม. 426+000 ถึง 550+000	สำรวจทุกระยะ 5 กม.	รวม 25 หน้าตัด
รวมทั้งหมด		<u>288</u> หน้าตัด

รูปแสดงหน้าตัดลำน้ำยมทั้งหมดแสดงไว้ใน ภาคผนวก ก

3.2.2 ข้อมูลน้ำฝน

ข้อมูลน้ำฝน ใช้ข้อมูลรายวันที่คัดเลือกจากสถานีฝนหลักประจำอำเภอ ซึ่งมีความสมบูรณ์ในการบันทึกข้อมูล ความยาวของข้อมูล ตลอดจนมีการกระจายตัวของพื้นที่ศึกษา

ข้อมูลน้ำฝนที่ใช้เป็นปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในพื้นที่รับน้ำของสถานีวัดน้ำท่า คำนวณโดยวิธีรูปหลายเหลี่ยมธีเอสเซน (Thiessen Polygon) ซึ่งประกอบด้วยสถานีวัดน้ำท่าในลำน้ำยมสายหลักทั้งสิ้น 10 สถานี และใช้ขนาดของพอลีกอนเป็นตัวแบ่งสัดส่วนการเฉลี่ย (Weight factor) ของสถานีวัดน้ำฝนของพื้นที่รับน้ำของสถานีวัดน้ำท่าแสดงในรูปที่ 3-7 และตารางที่ 3-9

3.2.3 ข้อมูลอัตราการไหลสูงสุด

ในการศึกษาอัตราการไหลสูงสุด โดยการวิเคราะห์แจกแจงความถี่แบบกลุ่มน้ำรวม (regional frequency analysis) ได้รวบรวมข้อมูลอัตราการไหลสูงสุดแบบฉับพลัน (momentary peak) และช่วงวันเดือนปีที่เกิดเหตุการณ์ดังกล่าวของสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำยม จำนวน 10 สถานี แสดงในตารางที่ 3-8 ข้อสังเกตประการหนึ่งคือตอนใต้อำเภอสวรรคโลกลงไป (จากอำเภอศรีสำโรง ถึงอำเภอเมืองสุโขทัย) น้ำจะไหลล้นตลิ่งสู่ที่ราบลุ่มสองฝั่งของกลุ่มน้ำยม ดังนั้นการวิเคราะห์อัตราการไหลสูงสุดจึงใช้ข้อมูลของสถานีในกลุ่มน้ำยมเหนืออำเภอศรีสำโรงที่มีข้อมูลย้อนหลัง 10 ปี ขึ้นไป

3.2.4 การตรวจสอบความคงตัวของข้อมูลฝน

หลังจากรวบรวมข้อมูลน้ำฝนและน้ำท่าในเบื้องต้นแล้ว ได้ตรวจสอบความคงตัวของข้อมูลน้ำฝน (consistency test) ด้วยวิธีวิเคราะห์มวลสะสม (double-mass curve analysis) เพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลมีแนวโน้มและทิศทางเดียวกันหรือไม่ โดยเปรียบเทียบค่าสะสมของปริมาณน้ำฝนของสถานีที่ตรวจสอบกับค่าเฉลี่ยสะสมรายปีของสถานีต่างๆใกล้เคียงจำนวน 5-10 สถานี ผลการตรวจสอบกราฟมวลสะสมของสถานีวัดน้ำฝน แสดงในภาคผนวก ก

มีความน่าเชื่อถือได้ ผลการตรวจสอบ พบว่าข้อมูลของสถานีวัดน้ำฝนที่เลือกใช้ในการศึกษา เนื่องจากกราฟเป็นเส้นตรงที่มีความลาดชันเดียวกันตลอด ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องปรับแก้ข้อมูล

3.3 การเกิดอุทกภัยในกลุ่มน้ำยมและจังหวัดสุโขทัย

กลุ่มน้ำยมเกิดปัญหาอุทกภัยขึ้นเกือบทุกปี ซึ่งสาเหตุหลักเกิดจากฝนที่ตกในพื้นที่ตอนบนของกลุ่มน้ำ หรือปริมาณการไหลในลำน้ำมากจนล้นตลิ่ง แต่ความรุนแรงของเหตุการณ์จะเพิ่มขึ้นจากการขยายตัวของชุมชน การเปลี่ยนแปลงสภาพลำน้ำ การก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานต่างๆที่กีดขวางการไหลของลำน้ำ เป็นต้น โดยเฉพาะปี พ.ศ. 2538 2545 2549 และ 2554 ได้เกิดปัญหาอุทกภัยอย่างรุนแรงในพื้นที่กลุ่มน้ำยม ตั้งแต่อำเภอศรีสัชนาลัย อำเภอสวรรคโลก อำเภอศรีสำโรง อำเภอเมือง อำเภอกงไกรลาศ จังหวัดสุโขทัย อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก อำเภอสามง่าม อำเภอโพธิ์ประทับช้าง อำเภอโพทะเล จังหวัดพิจิตร จนถึงบางส่วนของอำเภอชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์

จากรายงานการศึกษาแผนรวมของการบรรเทาอุทกภัยในกลุ่มน้ำยม โดยกรมชลประทาน ในปี พ.ศ. 2544 ได้สรุปสาเหตุที่ลำน้ำยมเอ่อล้นตลิ่ง และสร้างความเสียหายต่อประชาชนผู้ทำการเกษตร และอยู่อาศัยในแหล่งชุมชนเมือง เป็นอย่างยิ่ง ไว้ดังนี้

1. ฝนตกหนักในพื้นที่ลุ่มน้ำตอนบน ทำให้ปริมาณน้ำไหลมาด้วยอัตราที่มากเกินไปเกินกว่าความจุของลำน้ำจะรับไหว

2. ในพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำยมในปัจจุบันพบว่าบางช่วงของลำน้ำต้นเขิน มีตะกอนทรายเป็นจำนวนมาก ทำให้ความสามารถในการระบายน้ำลดลง ทำให้ระบายน้ำได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ ประกอบกับข้อจำกัดทางกายภาพของลำน้ำที่มีขนาดเล็ก ตั้งแต่พื้นที่อำเภอศรีสำโรงถึงอำเภอสามงาม

3. การบุกรุกทำการเกษตร และปลูกสร้างบ้านเรือนอยู่อาศัยริมบริเวณแม่น้ำ และริมตลิ่ง ทำให้ลำน้ำมีขนาดเล็กลง

4. พื้นที่ป่าไม่ต้นน้ำถูกตัดทำลายไปมาก เมื่อฝนตกหนัก ปริมาณน้ำจะไหลหลากสู่ลำน้ำยมมากและเร็วขึ้น

สำหรับสภาพปัญหาอุทกภัยในจังหวัดสุโขทัย พอสรุปได้ในหัวข้อต่อไปนี้

3.3.1 สภาพอุทกภัยของจังหวัดสุโขทัย

การเกิดสภาพอุทกภัยในจังหวัดสุโขทัย โดยทั่วไปพบว่า ถ้าฝนตกหนักบริเวณพื้นที่จังหวัดพะเยา และจังหวัดแพร่ ซึ่งเป็นจังหวัดต้นลุ่มแม่น้ำยม ปริมาณน้ำจะไหลลงสู่ลำน้ำยมจำนวนมาก อย่างไรก็ตามในช่วงตอนเหนือของจังหวัดสุโขทัยในบริเวณอำเภอศรีสัชชนาลัย ความจุของลำน้ำจะอยู่ที่ 2,500 ลบ.ม./วินาที และค่อยๆมีขนาดเล็กลงในอำเภอสวรรคโลก อยู่ที่ 1,137 ลบ.ม./วินาที อำเภอศรีสำโรง 800 ลบ.ม./วินาที และอำเภอเมือง 563 ลบ.ม./วินาที เมื่อปริมาณน้ำในตอนเหนือไหลเข้าสู่จังหวัดสุโขทัยเกินกว่าความจุของลำน้ำในแต่ละช่วงแล้ว ปริมาณน้ำส่วนเกินก็จะไหลล้นเข้าท่วมพื้นที่สองฝั่งของลุ่มน้ำยม จากสถิติพบว่าแม่น้ำยมจะล้นตลิ่งทุกปี โดยเฉพาะพื้นที่อำเภอสวรรคโลก อำเภอศรีสำโรง อำเภอเมือง และอำเภอกงไกรลาศ (กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2554)

บริเวณอำเภอสวรรคโลกได้สถานี Y.3A จะมีคลองธรรมชาติที่รับน้ำจากแม่น้ำสายหลักและเชื่อมโยงกับคลองระบายน้ำซึ่งคือแม่น้ำยมสายเก่า ได้แก่ คลองหนองปลาหมอ มีความจุเท่ากับ 15 ลบ.ม./วินาที บริเวณอำเภอศรีสำโรงในช่วงต้นและท้ายสถานี Y.33 มีคลองธรรมชาติอีก 6 สาย มีความสามารถระบายน้ำออกสองฝั่งลำน้ำยมเท่ากับ 58 ลบ.ม./วินาที และคลองธรรมชาติบริเวณอำเภอเมือง อีก 11 สาย ด้วยความสามารถระบายน้ำเท่ากับ 153 ลบ.ม./วินาที อย่างไรก็ตามสภาพพื้นที่จริงพบว่าบางช่วงคลองเหล่านี้มีสภาพแคบเล็กจากการบุกรุกและเจริญเติบโตของวัชพืช ทำให้คลองบางสายน้ำไม่สามารถไหลผ่านได้สะดวก นอกจากนี้ในปัจจุบันได้มีการก่อสร้างคันกั้นน้ำริมตลิ่งแม่น้ำยมสองฝั่งในช่วงอำเภอเมืองไม่ให้น้ำไหลล้นตลิ่ง ทำให้ปริมาณน้ำในลำน้ำสายหลักสูงขึ้น หากคันกั้นน้ำในตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งไม่แข็งแรง น้ำจะล้นข้าม กัดเซาะฐานรากและไหลเข้าไปในท่อลอดสร้างความเสียหายต่อโครงสร้างของคันกั้นน้ำ เข้าท่วมชุมชนริมฝั่งลำน้ำอย่างรวดเร็วและรุนแรง

ตารางที่ 3-5 ข้อมูลสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำยม

ลำดับที่	แม่น้ำ	ชื่อสถานี	อำเภอ	จังหวัด	ตำแหน่ง						รหัสสถานี	พื้นที่รับน้ำฝน (ตร.) กม.(	จำนวนปีที่มีข้อมูล	ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย	
					เส้นรุ้ง			เส้นแวง						ล้าน ลบ.ม.	ลบ.ม./วินาที
					°	'	"	°	'	"					
1	แม่น้ำยม	บ้านจาวสัก	สอง	แพร่	18	35	03	100	09	17	Y.20	5,410	30	1,353.08	42.91
2	แม่น้ำยม	บ้านน้ำโค้ง	เมือง	สุโขทัย	18	07	59	100	07	39	Y.1C	7,624	23	1,476.81	46.83
3	แม่น้ำยม	บ้านดอนระเบียง	ศรีสัชชนาลัย	สุโขทัย	17	35	42	99	43	08	Y.14	12,131	38	2,490.30	78.97
4	แม่น้ำยม	บ้านแก่งหลวง	ศรีสัชชนาลัย	สุโขทัย	17	26	03	99	47	32	Y.6	12,658	50	2,607.36	82.68
5	แม่น้ำยม	สวรรคโลก	สวรรคโลก	สุโขทัย	17	18	43	99	49	55	Y.3A	13,583	35	2,707.52	85.85
6	แม่น้ำยม	บ้านคลองตาล	ศรีสำโรง	สุโขทัย	17	10	05	99	51	52	Y.33	13,676	12	2,309.04	73.22
7	แม่น้ำยม	ท่าลาดธานี	เมือง	สุโขทัย	17	00	18	99	49	31	Y.4	17,731	37	1,842.96	58.44
8	แม่น้ำยม	อ. กงไกรลาศ	กงไกรลาศ	สุโขทัย	16	55	47	99	57	41	Y.15	19,936	3	1,380.17	43.76
9	แม่น้ำยม	อ. บางระกำ	บางระกำ	พิษณุโลก	16	45	35	100	07	40	Y.16	20,841	10	1,761.41	55.85
10	แม่น้ำยม	อ. สามง่าม	สามง่าม	พิจิตร	16	30	50	100	12	40	Y.17	21,415	26	3,223.19	102.21
11	แม่น้ำยม	อ. โพทะเล	โพทะเล	พิจิตร	16	05	35	100	15	48	Y.5	22,344	8	2,565.21	113.05
12	น้ำแม่จาว	สะพานแม่จาว	จาว	ลำปาง	18	45	32	99	58	37	Y.13A	380	4	59.21	1.88
13	ห้วยปง	บ้านปง	จาว	ลำปาง	18	42	59	99	57	40	Y.30	96	14	40.46	1.28
14	น้ำแม่มอก	บ้านแม่พู่	เถิน	ลำปาง	17	19	45	99	27	42	Y.26	785	18	112.88	3.58
15	น้ำแม่ไร่พัน	บ้านหินดาเนียง	บ้านด่านลานหอย	สุโขทัย	17	01	57	99	33	39	Y.32	749	2	36.83	1.17

ตารางที่ 3-6 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนและรายปีของสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำยม

ลำดับ ที่	ชื่อสถานี	รหัส สถานี	แม่น้ำ	จังหวัด	พื้นที่รับ น้ำฝน (ตร).กม.(	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือน ล้าน ลบ.ม(
						เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1	ลำน้ำสายหลัก บ้านงาวลึก	Y.20	แม่น้ำยม	แพร่	5,410	15.11	64.49	72.11	136.91	388.09	424.36	192.75	76.18	33.41	19.13	13.35	10.17
2	บ้านน้ำโค้ง	Y.1C	แม่น้ำยม	แพร่	7,624	19.70	88.30	84.07	144.75	464.33	578.04	237.73	88.08	34.94	14.11	10.53	14.85
3	บ้านดอนระเบียง	Y.14	แม่น้ำยม	สุโขทัย	12,131	14.92	72.47	109.20	179.07	596.09	816.80	398.46	134.8	51.13	25.7	13.13	10.47
4	บ้านแก่งหลวง	Y.6	แม่น้ำยม	สุโขทัย	12,658	11.75	72.21	120.24	190.65	621.02	930.61	450.49	146.95	54.01	24.03	11.01	7.79
5	สวรรคโลก	Y.3A	แม่น้ำยม	สุโขทัย	13,583	15.64	91.84	129.35	205.31	637.99	904.23	440.50	167.64	63.39	29.45	13.43	12.35
6	บ้านคลองตาล	Y.33	แม่น้ำยม	สุโขทัย	13,676	21.53	120.70	154.86	166.12	619.62	1011.82	546.84	206.84	80.71	46.08	19.88	17.92
7	ท่าลาดธานี	Y.4	แม่น้ำยม	สุโขทัย	17,731	10.83	56.65	110.99	138.14	370.36	525.79	337.10	141.04	62.15	31.53	15.74	9.81
8	อ. กงไกรลาส	Y.15	แม่น้ำยม	สุโขทัย	19,936	8.07	68.17	109.00	72.60	187.73	414.33	382.67	92.10	28.13	11.40	3.98	1.99
9	อ. บางระกำ	Y.16	แม่น้ำยม	สุโขทัย	20,841	7.68	64.67	110.67	66.17	167.17	443.33	694.00	150.37	34.90	12.75	5.32	3.22
10	อ.สามง่าม	Y.17	แม่น้ำยม	พิจิตร	21,415	15.23	78.58	196.26	210.69	406.01	892.27	1025.25	482.09	135.15	34.72	16.38	27.16
11	อ. โพนทะเล	Y.5	แม่น้ำยม	พิจิตร	22,344	40.00	102.40	181.86	170.70	306.33	842.11	1,024.76	468.94	194.80	76.65	27.37	24.26
12	ลำน้ำสาขา สะพานแม่เงาว	Y.13A	น้ำแม่เงาว	ลำปาง	380	0.46	3.40	3.45	6.83	16.36	17.76	15.44	7.23	2.64	1.17	0.55	0.33
13	บ้านปง	Y.30	ห้วยแม่ปง	ลำปาง	96	0.53	1.64	1.67	2.50	8.40	12.76	8.04	3.70	1.38	0.77	0.55	0.48
14	บ้านแม่พู	Y.26	น้ำแม่มอก	ลำปาง	785	0.59	11.74	14.17	3.65	8.95	30.54	33.25	10.08	2.73	1.73	1.49	0.49
15	บ้านหินตานี	Y.32	น้ำแม่รำพัน	สุโขทัย	749	0.01	4.20	8.36	0.03	0.03	0.81	21.63	2.17	0.80	0.16	0.13	0.10

ตารางที่ 3-7 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีแยกของกลุ่มน้ำระหว่างฤดูฝนและฤดูแล้ง

ลำดับที่	ชื่อสถานี	รหัสสถานี	แม่น้ำ	จังหวัด	พื้นที่รับน้ำฝน	ปริมาณน้ำท่า, ล้าน ลบ.ม.		
						ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	ทั้งปี
	<u>ลำนํ้าสายหลัก</u>							
1	บ้านจาวสัก	Y.20	แม่น้ำยม	แพร่	5,410	1,278.71	167.36	1,446.06
2	บ้านน้ำไค้ง	Y.1C	แม่น้ำยม	สุโขทัย	7,624	1,597.22	182.21	1,779.43
3	บ้านดอนระเบียง	Y.14	แม่น้ำยม	สุโขทัย	12,131	2172.09	250.15	2,422.24
4	บ้านแก่งหลวง	Y.6	แม่น้ำยม	สุโขทัย	12,658	2385.22	255.54	2,640.76
5	สวรรคโลก	Y.3A	แม่น้ำยม	สุโขทัย	13,583	2409.22	301.9	2711.12
6	บ้านคลองตาล	Y.33	แม่น้ำยม	สุโขทัย	13,676	2619.96	392.96	3012.92
7	ท่าลาดธานี	Y.4	แม่น้ำยม	สุโขทัย	17,731	1539.03	271.1	1810.13
8	อ. กงไกรลาศ	Y.15	แม่น้ำยม	สุโขทัย	19,936	1234.5	145.67	1380.17
9	อ. บางระกำ	Y.16	แม่น้ำยม	พิจิตร	20,841	1546.01	214.24	1760.25
10	อ.สามง่าม	Y.17	แม่น้ำยม	พิจิตร	21,415	2809.06	710.73	3519.79
11	อ. โพทะเล	Y.5	แม่น้ำยม	พิจิตร	22,344	2628.16	832.02	3,460.78
	<u>ลำนํ้าสาขา</u>							
12	สะพานแม่จาว	Y.13A	น้ำแม่จาว	ลำปาง	380	63.24	12.38	75.62
13	บ้านปง	Y.30	ห้วยปง	ลำปาง	96	35.01	7.41	42.42
14	บ้านแม่พู	Y.26	น้ำแม่มอก	ลำปาง	785	102.3	17.11	119.41
15	บ้านหินตาเนียง	Y.32	น้ำแม่ริ้วพัน	สุโขทัย	749	35.06	3.37	38.43

ตารางที่ 3-8 สัดส่วนการเฉลี่ยด้วยวิธีรูปหลายเหลี่ยมของจีเอสเซนของสถานีวัดน้ำฝนในกลุ่มน้ำยม

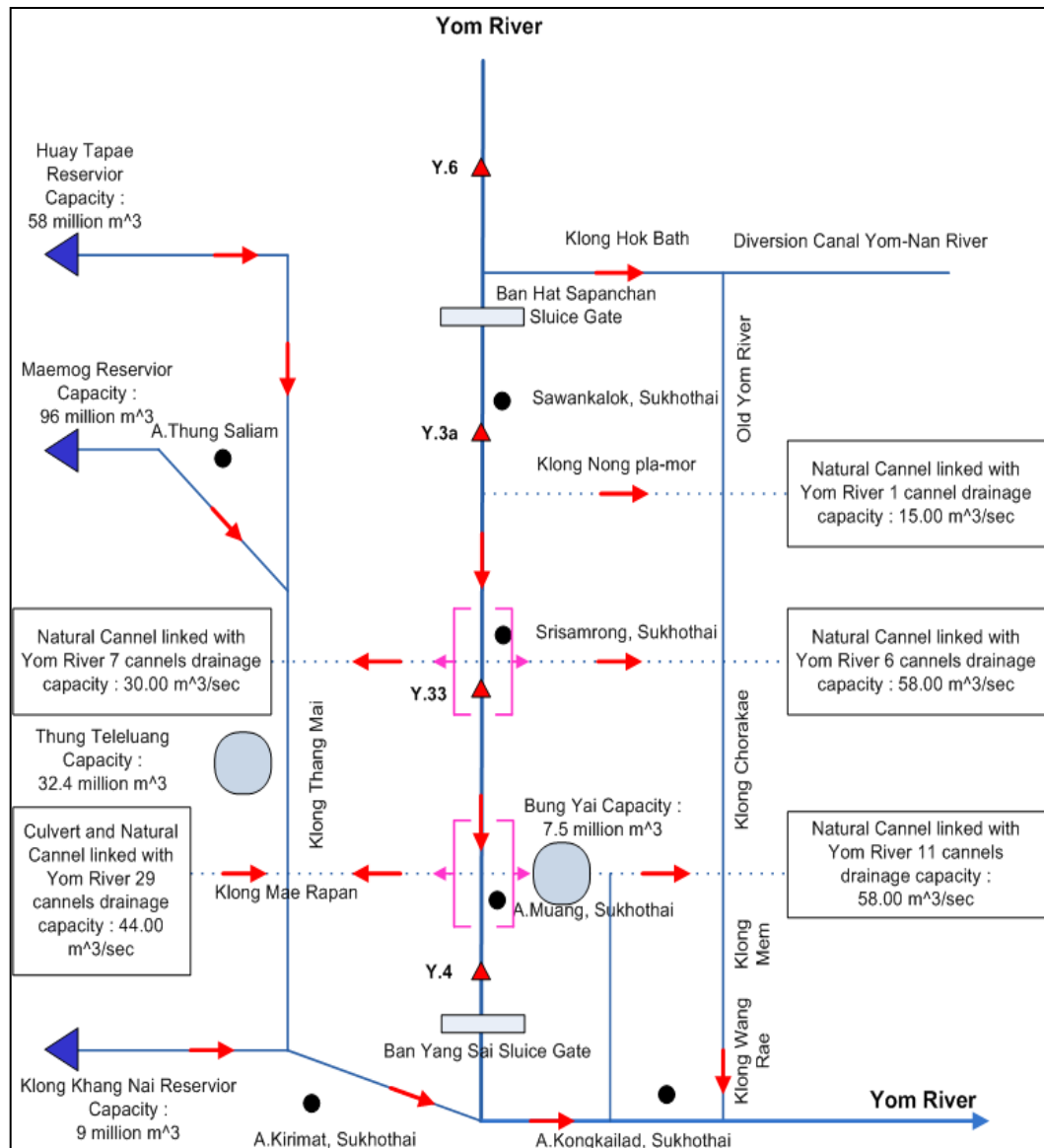
สถานีวัดน้ำท่า	พื้นที่ (ตร).กม.(	สถานีวัดน้ำฝน	สัดส่วนการเฉลี่ย
Y.20	5,410	73032	0.443
		73022	0.039
		16092	0.353
		16112	0.023
		28013	0.042
		40043	0.100
		Y.1C	7,624	กลุ่มสถานีวัดน้ำท่า Y.20	0.709
40032	0.205		
40052	0.115		
Y.14	12,131	กลุ่มสถานีวัดน้ำท่า Y.1C	0.628
		40062	0.095
		40092	0.054
		16042	0.017
		16072	0.025
		59022	0.090
		70013	0.012
Y.6	12,658	กลุ่มสถานีวัดน้ำท่า Y.14	0.958
		59032	0.031
		70052	0.004
Y.3A	13,583	กลุ่มสถานีวัดน้ำท่า Y.6	0.932
		59092	0.050
		16220	0.019
Y.33	13,676	กลุ่มสถานีวัดน้ำท่า Y.3A	0.980
		70042	0.020

ตารางที่ 3-8 สัดส่วนการเฉลี่ยด้วยวิธีรูปหลายเหลี่ยมของจีเอสเซนของสถานีฝนในกลุ่มน้ำยม (ต่อ)

สถานีวัด น้ำท่า	พื้นที่ (ตร).กม.(	สถานีวัดน้ำฝน	สัดส่วนการเฉลี่ย
Y.16	20,841	กลุ่มสถานีวัดน้ำท่า Y.4	0.850
		59042	0.028
		12032	0.037
		39013	0.041
		39022	0.033
Y.17	21,415	กลุ่มสถานีวัดน้ำท่า Y.16	0.973
		38052	0.028
		12102	0.001
Y.5	22,344	กลุ่มสถานีวัดน้ำท่า Y.17	0.958
		38062	0.042

ตารางที่ 3-9 อัตราการไหลสูงสุดและเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำยม

ลำดับที่	แม่น้ำ	ชื่อสถานี	รหัสสถานี	หน่วยงาน รับผิดชอบ	พื้นที่รับน้ำฝน (ตร. กม.)	ช่วงสถิติข้อมูล	อัตราการไหลสูงสุด ลบ).ม./ วินาที(		วัน/เดือน/ปี
							ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	
		<u>ลำน้ำสายหลัก</u>							
1	แม่น้ำยม	บ้านงาวสัก	Y.20	RID	5,410.00	2520-2554	625.169	1,625.50	1 สค. 2537
2	แม่น้ำยม	บ้านน้ำโค้ง	Y.1C	RID	7,624.00	2522-2554	767.227	2,001.50	2 กย. 2538
3	แม่น้ำยม	บ้านดอนระเบียง	Y.14	RID	12,131.00	2520-2554	1,035.49	2,271.50	4 กย. 2538
4	แม่น้ำยม	บ้านแก่งหลวง	Y.6	RID	12,658.00	2520-2554	1,109.87	2,384.20	5 สค. 2554
5	แม่น้ำยม	สวรรคโลก	Y.3A	RID	13,583.00	2520-2554	981.26	2,148.01	15 กย. 2546
6	แม่น้ำยม	บ้านคลองตาล	Y.33	RID	13,676.00	2533-2554	716.33	1,478.00	18 สค. 2554
7	แม่น้ำยม	ท่าลาดธานี	Y.4	RID	17,731.00	2533-2554	293.38	643.90	18 กย. 2551
8	แม่น้ำยม	อ. กงไกรลาศ	Y.15	RID	19,936.00	2520-2522	228.33	277.00	30 กย. 2522
9	แม่น้ำยม	อ.บางระกำ	Y.16	RID	20,841	2538-2554	790.12	1,734.60	21 กย. 2545
10	แม่น้ำยม	อ. สามง่าม	Y.17	RID	21,415	2520-2554	517.39	1,784.00	17 ตค. 2549
11	แม่น้ำยม	อ. โพนทะเล	Y.5	RID	22,344	2534-2541	119.06	1,295.40	24 กย. 2538
		<u>ลำน้ำสาขา</u>							
12	ห้วยปง	บ้านปง	Y.30	RID	96	2526-2539	40.46	86.70	31 สค. 2538
13	น้ำแม่จาว	สะพานแม่จาว	Y.13A	RID	380	2531-2534	26.93	36.00	17 กย. 2532
14	น้ำแม่มอก	บ้านแม่พู่	Y.26	RID	785	2522-2539	172.44	385.70	7 กย. 2523



รูปที่ 3-6 โครงข่ายการจัดการอุทกภัยของจังหวัดสุโขทัย (UNU,2012)

บทที่ 4

การวิเคราะห์ฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก

แบบจำลองภูมิอากาศโลก (GCMs) ประกอบด้วยข้อมูลที่จัดเก็บในระบบกริด และจำลองสถานะของภูมิอากาศแบบสามมิติ ในหัวข้อย่อยนี้จะทำการประเมินคุณลักษณะของฝน GCMs จากทั้งสามแบบจำลองเทียบกับฝนสังเกตการณ์ เพื่อให้เข้าใจถึงความสามารถเบื้องต้นในการจำลองลักษณะของฝน ได้แก่ ปริมาณ และการกระจายตัว ในพื้นที่ศึกษา ผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะช่วยให้ระบุถึงแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการศึกษาต่อไปในอนาคต

4.1 ขั้นตอนและวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลฝน

ขั้นตอนการวิเคราะห์ฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก แบ่งออกได้เป็นสามขั้นตอนหลัก ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. การคัดเลือกแบบจำลองภูมิอากาศโลกเพื่อนำมาใช้ศึกษา
2. การปรับปรุงคุณภาพข้อมูลฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก
3. วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของฝนในเชิงปริมาณและความถี่เทียบกับปัจจุบัน

การคัดเลือกแบบจำลองภูมิอากาศเพื่อนำมาใช้ศึกษา

ในขั้นตอนแรกซึ่งคือการคัดเลือก หมายถึงกระบวนการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณฝนระหว่างแบบจำลองภูมิอากาศโลก และจัดเรียงตามคะแนนความสามารถ (skill score) ซึ่งพิจารณาจากตัวแปรทางสถิติต่างๆ เช่น ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่าความคลาดเคลื่อนรากกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ค่าความคลาดเคลื่อนรากกำลังสองเฉลี่ยแบบไร้หน่วย (NRMSE) ค่า Index of agreement (d) เป็นต้น และนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลสังเกตการณ์ แบบจำลองที่ได้คะแนนความสามารถสูงที่สุด จะถูกนำมาใช้ศึกษาต่อไป

อย่างไรก็ดี การศึกษาครั้งนี้ไม่ได้ใช้วิธีการดังกล่าวในการคัดเลือกข้อมูลฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกมาใช้โดยตรง เนื่องจากจุดประสงค์หลักคือการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของฝนของแต่ละแบบจำลองในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) เทียบกับฝนในปัจจุบัน และศึกษาความเปลี่ยนแปลงระหว่างแบบจำลอง เพื่อให้ทราบถึงช่วงพิสัยของการเปลี่ยนแปลงของฝนโดยภาพรวม ซึ่งจะช่วยลดความไม่แน่นอน (uncertainties) ของการนำผลกระทบทางอุทกวิทยาไปใช้เพื่อกำหนดรูปแบบของมาตรการปรับตัวต่อไป

การปรับปรุงคุณภาพข้อมูลฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก

การปรับปรุงข้อมูลฝนคือขั้นตอนของการนำข้อมูลฝนที่ได้จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก มาปรับปรุงให้ใกล้เคียงเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลสังเกตการณ์มากขึ้นในเชิงปริมาณและคุณลักษณะทางสถิติ รวมถึงให้แนวโน้มของคาบการเกิดซ้ำในปัจจุบัน ซึ่งในที่นี้หมายถึง การปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติ (statistical bias correction) และการย่อส่วนข้อมูลฝน (downscaling)

วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของฝนในเชิงปริมาณและความถี่เทียบกับปัจจุบัน

ขั้นตอนนี้คือการวิเคราะห์สภาพฝนในช่วงอนาคตอันใกล้และอนาคตอันไกลเทียบกับปัจจุบัน และศึกษาความเปลี่ยนแปลงของฝน (ปริมาณ, คุณลักษณะเชิงสถิติ, ความถี่การเกิด) ระหว่างแบบจำลอง เพื่อให้ทราบถึงช่วง (range) ของการเปลี่ยนแปลงของฝนโดยภาพรวม

ข้อมูลสำคัญสำหรับการวิเคราะห์เปรียบเทียบฝน GCMs นี้ ได้แก่ ปริมาณฝนรายปี (annual rainfall) ปริมาณฝนรายฤดูกาล (seasonal rainfall) ปริมาณฝนรายเดือน (monthly precipitation) สำหรับแต่ละภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอนาคต (SRES emission scenarios) ซึ่งการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้ภาพจำลองชนิด A1B ซึ่งได้รวบรวมจากศูนย์กระจายข้อมูลภูมิอากาศของ IPCC (<http://cera-www.dkrz.de/CERA/>)

ข้อมูลสังเกตการณ์ที่ใช้ศึกษา ประกอบด้วย สถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่จังหวัดสุโขทัย จังหวัดแพร่ จังหวัดพิษณุโลก จังหวัดพิจิตร และจังหวัดพะเยา นำมากระจายลงสู่กริด ด้วยวิธี Inverse Distance Weighted (Shepard, 1968) ดังแสดงในตารางที่ 4-1

4.2 การเปรียบเทียบปริมาณฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกกับข้อมูลฝนสังเกตการณ์

หัวข้อนี้จะสรุปการเปรียบเทียบฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM 3.1S ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 กับฝนสังเกตการณ์ในช่วงเวลาปัจจุบัน คือ ค.ศ. 1979-2006 ซึ่งแบ่งออกได้เป็นสองช่วง ได้แก่ ค.ศ. 1979-2000 (ช่วงการสอบเทียบข้อมูลฝน) และ ค.ศ. 2001-2006 (ช่วงการสอบทานข้อมูลฝน) เพื่อให้เข้าใจถึงระดับความแตกต่างระหว่างฝนที่ได้จากแบบจำลองกับฝนสังเกตการณ์ในช่วงก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพ โดยตัวแปรที่จะใช้ในการวิเคราะห์ผลคือ ปริมาณฝนรายปี ปริมาณฝนรายฤดูกาล และปริมาณฝนรายเดือน ตามลำดับ ส่วนต่อไปคือการวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลฝนเฉลี่ยรายสถานีวัดน้ำฝนสำคัญของลุ่มน้ำยมและจังหวัดสุโขทัย ในช่วงก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลด้วยการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติและการย่อส่วนข้อมูลฝน

อย่างไรก็ดี แบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO มีความแตกต่างเบื้องต้นในความละเอียดเชิงพื้นที่ (spatial resolution) กล่าวคือ แบบจำลอง MRI และ ECHAM5 ที่ใช้ศึกษา

นั้นได้ผ่านกระบวนการย่อส่วนก่อนแล้วจนอยู่ในขนาดปัจจุบันที่ $0.18^\circ \times 0.18^\circ$ (20×20 กม.) จึงสามารถนำมาวิเคราะห์ข้อมูลระดับลุ่มน้ำได้ ส่วนแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 จะมีขนาดความละเอียดเชิงพื้นที่ในเบื้องต้นเท่ากับ $1.9^\circ \times 1.9^\circ$ (211 กม.) ซึ่งถือว่าหยابเกินไป ดังนั้นก่อนทำการเปรียบเทียบในภาพรวมทั้งหมด จำเป็นต้องย่อส่วนข้อมูลฝนของแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 เสียก่อน

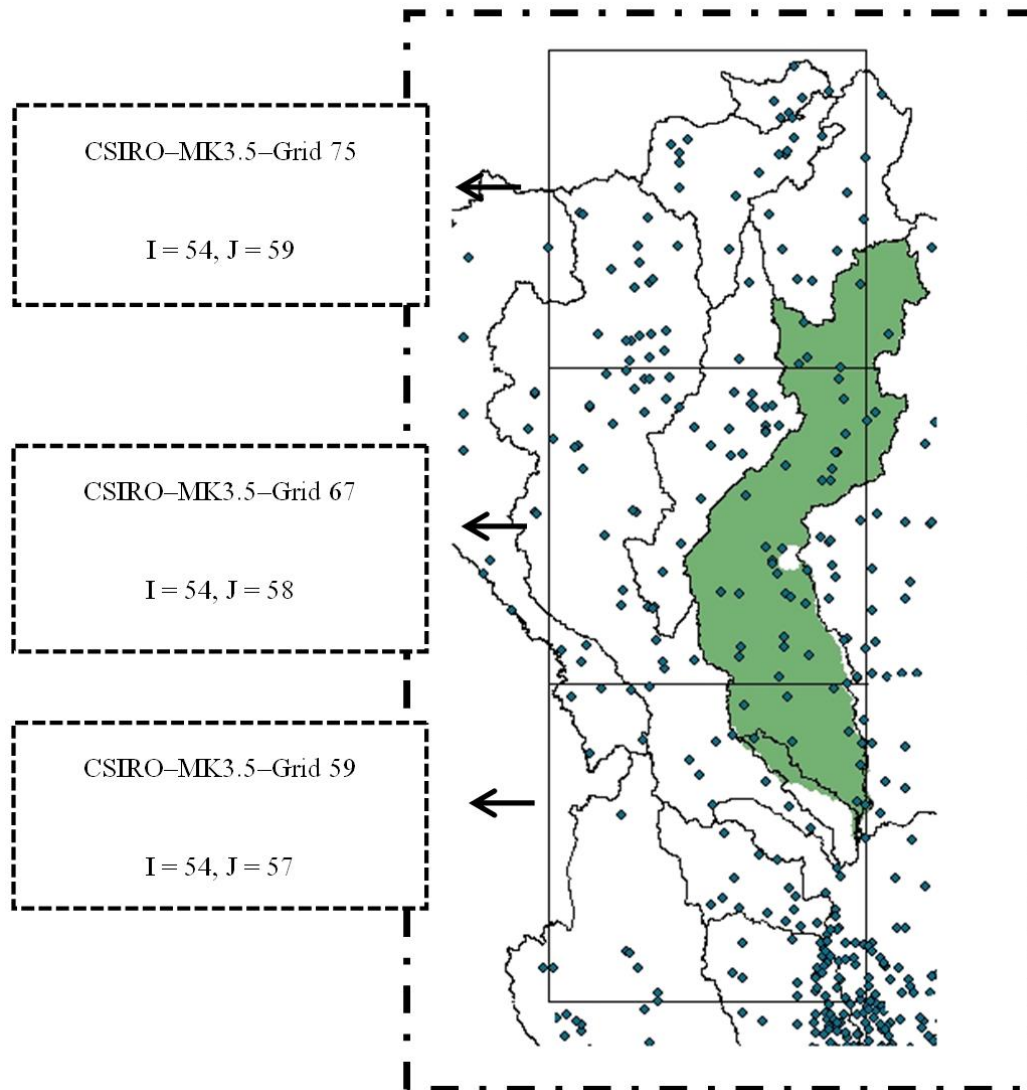
ตารางที่ 4-1 ข้อมูลสถานีอุตุนิยมวิทยาและตำแหน่งของกริดที่ใช้ศึกษาเปรียบเทียบ

สถานีน้ำฝน	รหัสสถานี	กริด	พิกัดของสถานีน้ำฝน		พิกัดของกริด		ช่วงเวลาของข้อมูล
			เส้นรุ้ง	เส้นแวง	เส้นรุ้ง	เส้นแวง	
อ. เมือง	59012	GRD3039	17.00	99.83	16.96	99.75	1979-2006
อ. ศรีสะเกษ	59022	GRD3183	17.51	99.76	17.52	99.75	1979-2006
อ. สวรรคโลก	59032	GRD3135	17.31	99.83	17.34	99.75	1979-2006
อ. กงไกรลาศ	59042	GRD3040	16.95	99.98	16.96	99.94	1979-2006
อ. บ้านด่านฯ	59062	GRD3038	17.00	99.58	16.96	99.56	1979-2006
อ. ศิริมาศ	59082	GRD2991	16.83	99.80	16.77	99.75	1979-2006
อ. พุ่งเสด็จ	59092	GRD3134	17.32	99.56	17.34	99.56	1979-2006
อ. สอง	40043	GRD3378	18.47	100.19	18.46	100.13	1979-2006
อ. ลอง	40052	GRD3327	18.07	99.84	18.08	99.75	1979-2006
อ. วังซัน	40062	GRD3278	17.90	99.61	17.9	99.56	1979-2006
อ. ปง	73032	GRD3618	19.14	100.28	19.21	100.31	1979-2006
อ. บางระกำ	39022	GRD2993	16.76	100.12	16.77	100.13	1979-2006
อ. สามง่าม	38052	GRD2945	16.51	100.21	16.59	100.13	1979-2006
อ. โพทะเล	38032	GRD2802	16.09	100.265	16.02	100.31	1979-2006

4.2.1 การย่อส่วนข้อมูลฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก CSIRO-MK3.5

1) คุณลักษณะของแบบจำลองภูมิอากาศโลก CSIRO-MK3.5

ข้อมูลที่ใช้ศึกษาคือฝนรายวัน ซึ่งมีลักษณะของภาพจำลองประเภท SRES A1B สามารถสืบค้นได้จากองค์การวิจัยทางวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม(CSIRO) แห่งประเทศออสเตรเลีย สำหรับรายละเอียดของกริดและตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์แสดงไว้ในภาคผนวก ข โดยการซ้อนทับของกริด CSIRO-MK3.5 กับสถานีวัดน้ำฝน แสดงไว้ในรูปที่ 4-1 ดังนี้



รูปที่ 4-1 แผนผังของกริดที่ใช้ศึกษาในแบบจำลองภูมิอากาศโลก CSIRO-MK3.5

2) การประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง (Identification of model parameters)

การศึกษานี้ได้ใช้รูปแบบการย่อยส่วนข้อมูลฝน ด้วยแบบจำลองการแตกตัวเชิงพื้นที่ (spatial disaggregation model) ชนิดลำดับชั้นทวีคูณเชิงสุ่ม (multiplicative random cascade) มาประยุกต์ใช้กับข้อมูลฝนจากแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 (SRES A1B) เพื่อปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลด้วยการเพิ่มความละเอียด (model resolution) และรวมผลของการกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอเชิงพื้นที่ (spatial heterogeneity) ของฝน สำหรับนำไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยส่วนข้อมูลฝนได้แก่ β และ σ^2 จะประมาณจากข้อมูลฝนสังเกตการณ์ย้อนหลัง ระหว่างปี ค.ศ. 1979–2006 จากสถานีน้ำฝน ด้วยฟังก์ชัน MKP function ด้วยค่าสัมประสิทธิ์ $q = 1$ สำหรับกริด GRD3619 ประสิทธิภาพของแบบจำลองการแตก

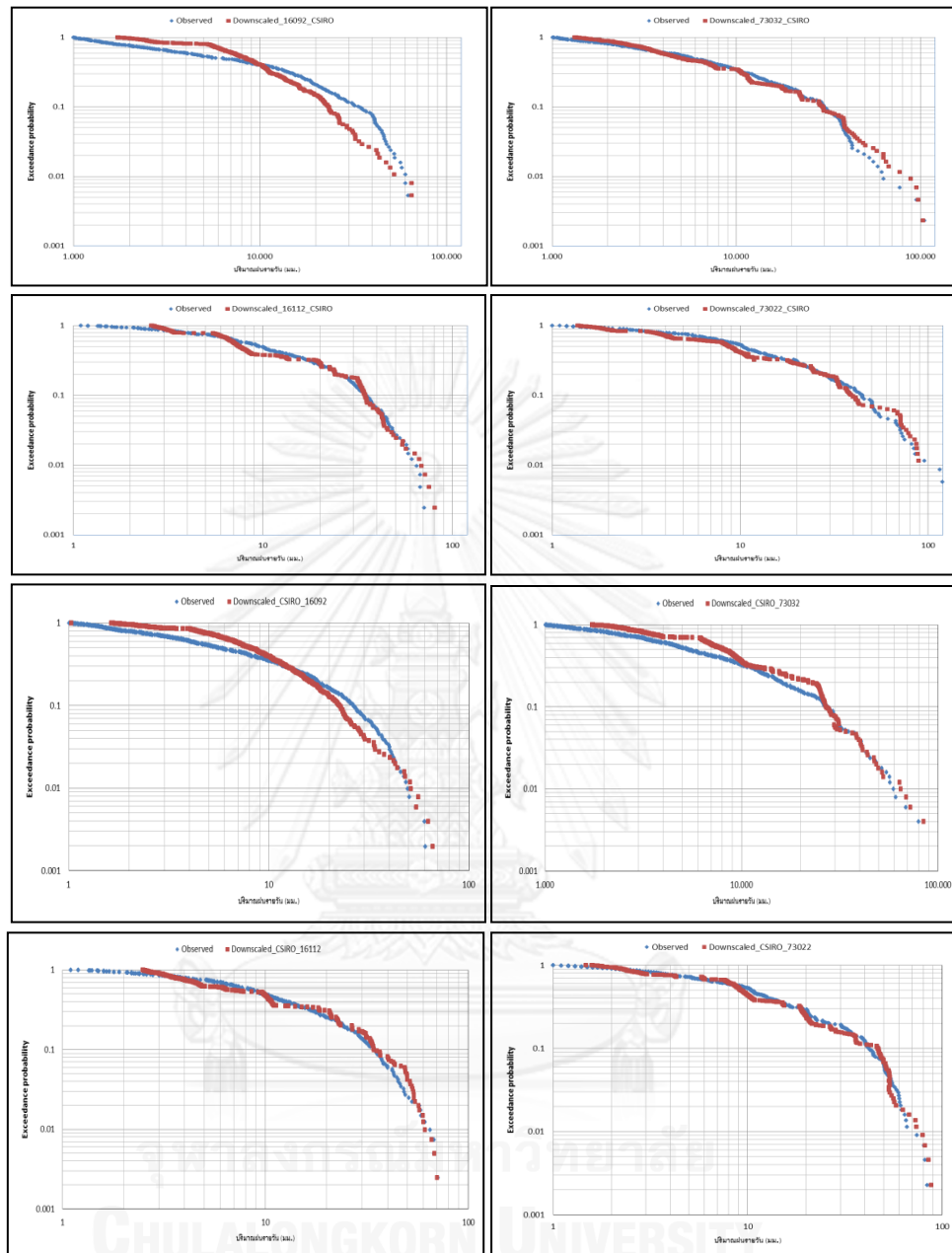
ตัวเชิงพื้นที่ ขึ้นอยู่กับค่าของพารามิเตอร์ (β, σ^2) ซึ่งจะสะท้อนคุณลักษณะของฝนในแต่ละช่วงฤดูกาลต่างๆ ซึ่งตัวแปรเหล่านี้จะคำนวณได้ในแต่ละกริดจากฝนรายวันด้วย MKP function โดยค่าจะแสดงถึงระดับความผันแปรในแต่ละช่วงเวลาของฝน (intermittency) และมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 และค่า σ^2 แสดงถึงความผันแปร (variance) ของค่า cascade generator จึงมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0

3) การสอบทานแบบจำลอง (Model validation)

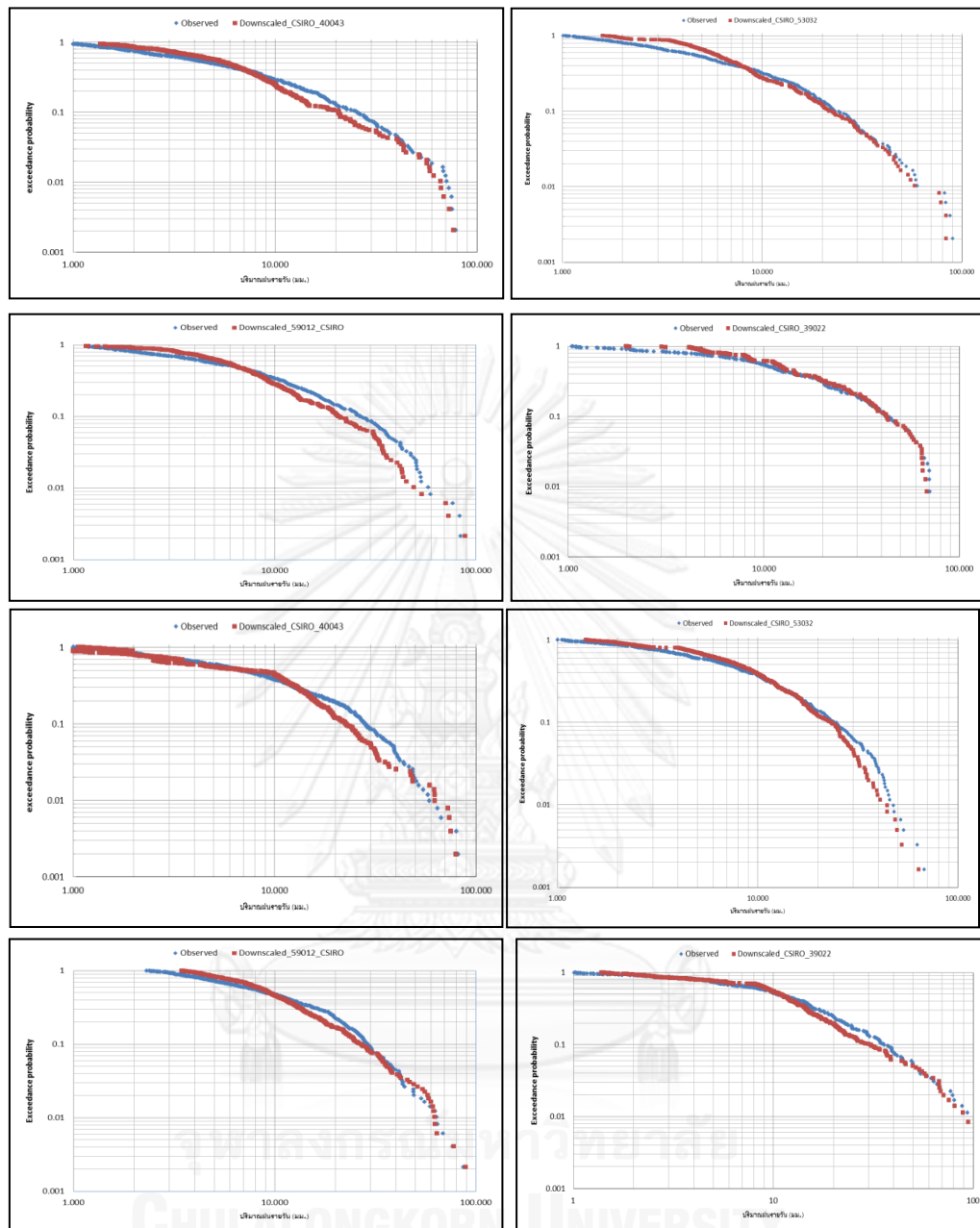
แบบจำลองการแตกตัวเชิงพื้นที่ (spatial disaggregation model) จะสอบทานด้วยการตรวจสอบถึงประสิทธิผลหลังจากการย่อส่วนข้อมูลฝนด้วยการเปรียบเทียบลักษณะของฝนสังเกตการณ์ที่ถูกจำลองขึ้นมาใหม่ (reproduced rainfall) ภายใต้ภาพจำลองชนิด SRES A1B ด้วยการเปรียบเทียบเชิงสถิติ เช่น การเปรียบเทียบกราฟการกระจายตัว exceedance probability ของฝนสังเกตการณ์และแบบจำลอง ค่าอัตโนมัติสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (spatial autocorrelation) เพื่อวัดและเปรียบเทียบความเหมือนกันในตัวเอง (self-similarity) ของสภาพฝนสังเกตการณ์ และฝน raw GCM เพื่อใช้สำหรับสอบทานผลลัพธ์ที่ได้

แผนที่การกระจายตัวของฝนสังเกตการณ์ระหว่างปีค.ศ. 1979–2006 ในกริดที่ใช้ศึกษา (Grid 59, 67 และ 75) จะสร้างขึ้นจากการประมาณค่าในช่วงแบบ IDW อย่างไรก็ตามวิธีการประมาณค่าแบบนี้จะมีข้อจำกัดที่ไม่สามารถแสดงความผันแปรที่มีความละเอียดสูงได้เต็มที่และมีแนวโน้มให้ค่าไปในทางเดียวกัน (smooth-out effect) ภายใต้พื้นที่ซึ่งมีปริมาณสถานีวัดน้ำฝนเบาบาง (Eischied et al., 2000; Ahrens, 2006; Sharma et al., 2007; Rupp et al., 2011) โดยจำนวนของสถานีสังเกตการณ์จะต้องมีอย่างน้อย 20–30 สถานีขึ้นไป (ซึ่งการศึกษาครั้งนี้มีเพียงพอ) จึงจะสร้างฟังก์ชันความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (semi-variogram) อันน่าเชื่อถือได้ ดังนั้นวิธี IDW จึงเป็นทางเลือกหลักของการศึกษาในพื้นที่ซึ่งมีสถานีวัดน้ำฝนอยู่เบาบาง (Jothityangkoon et al., 2000; Ogden et al., 2000; Sharma et al., 2007)

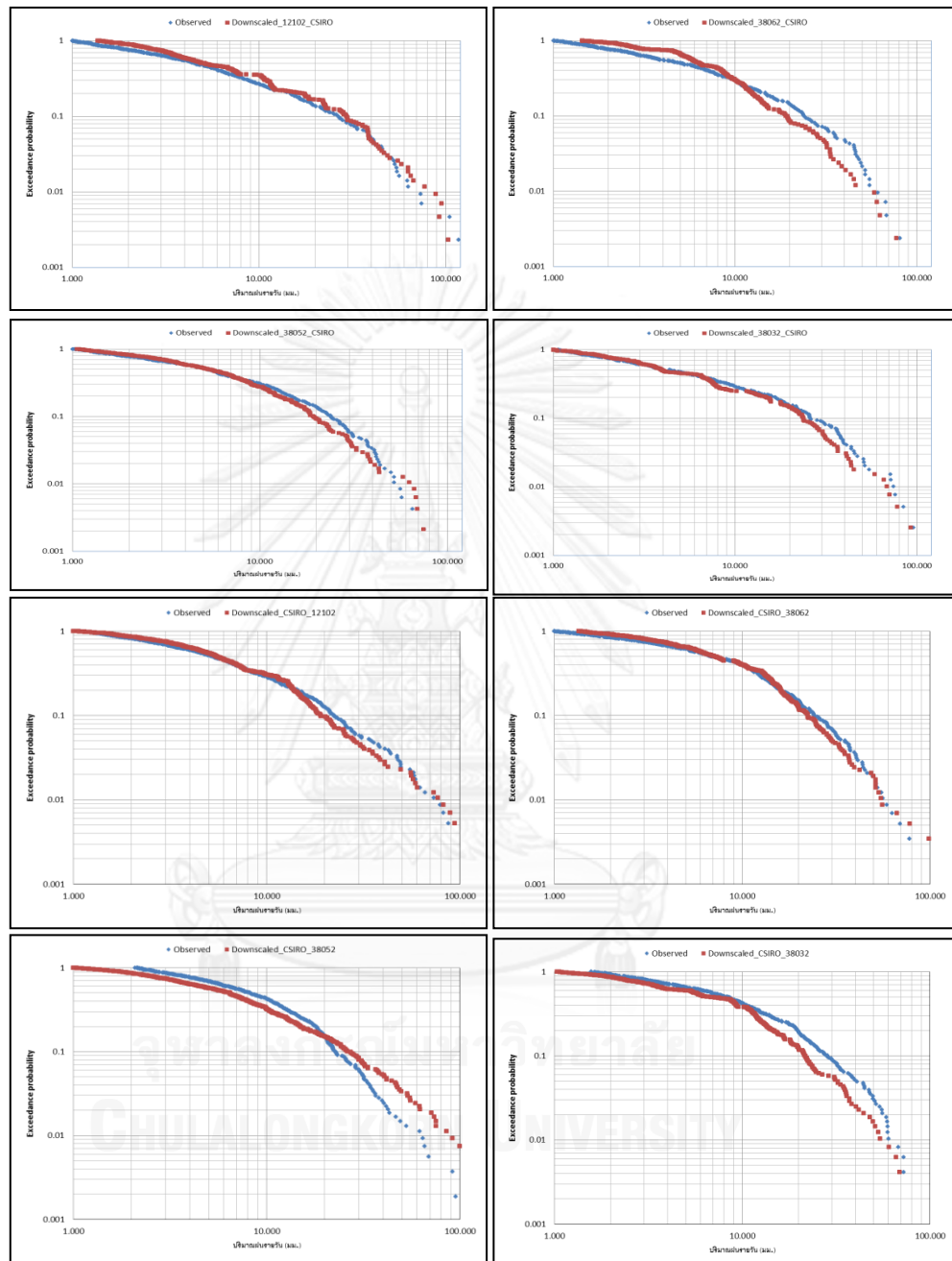
ในการเปรียบเทียบได้เลือกสถานีน้ำฝนทั้งสิ้น 4 สถานี จากแต่ละกริดในรูปที่ 4-1 มาพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า exceedance probability กับปริมาณฝนรายวัน ระหว่างฝนสังเกตการณ์กับฝนที่ย่อส่วนแล้วของแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 ซึ่งมีขนาดความละเอียดเท่ากับ $0.18^\circ \times 0.18^\circ$ (20×20 กม.) ในตำแหน่งที่สถานีน้ำฝนตั้งอยู่ในเดือนพฤษภาคมและกันยายน ซึ่งผลการศึกษาแสดงในรูปที่ 4-2 รูปที่ 4-3 และรูปที่ 4-4 และพบว่าการย่อส่วนข้อมูลฝนมีความสามารถในการจำลองแนวโน้มที่ใกล้เคียงกับฝนสังเกตการณ์ได้ค่อนข้างดี และมีการผันแปรของปริมาณฝนไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีปริมาณฝนรายวันสูงสุดต่ำกว่าของฝนสังเกตการณ์ในสถานีน้ำฝนส่วนใหญ่



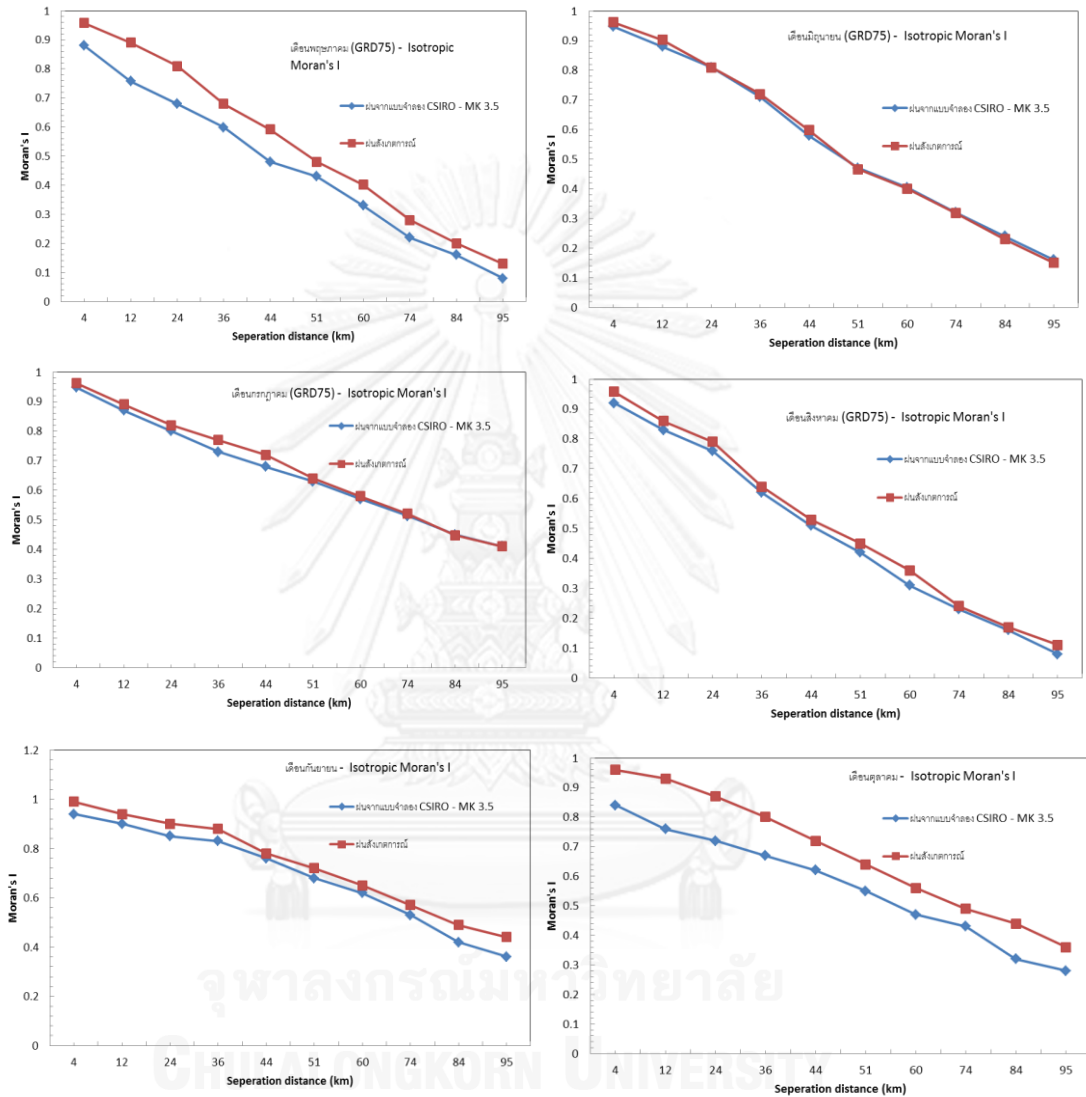
รูปที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Exceedance probability function กับปริมาณฝนรายวัน เปรียบเทียบระหว่างฝนสังเกตการณ์และฝน downscaled ของแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 (ก) Grid 75 พฤษภาคม (ข) Grid 75- กันยายน



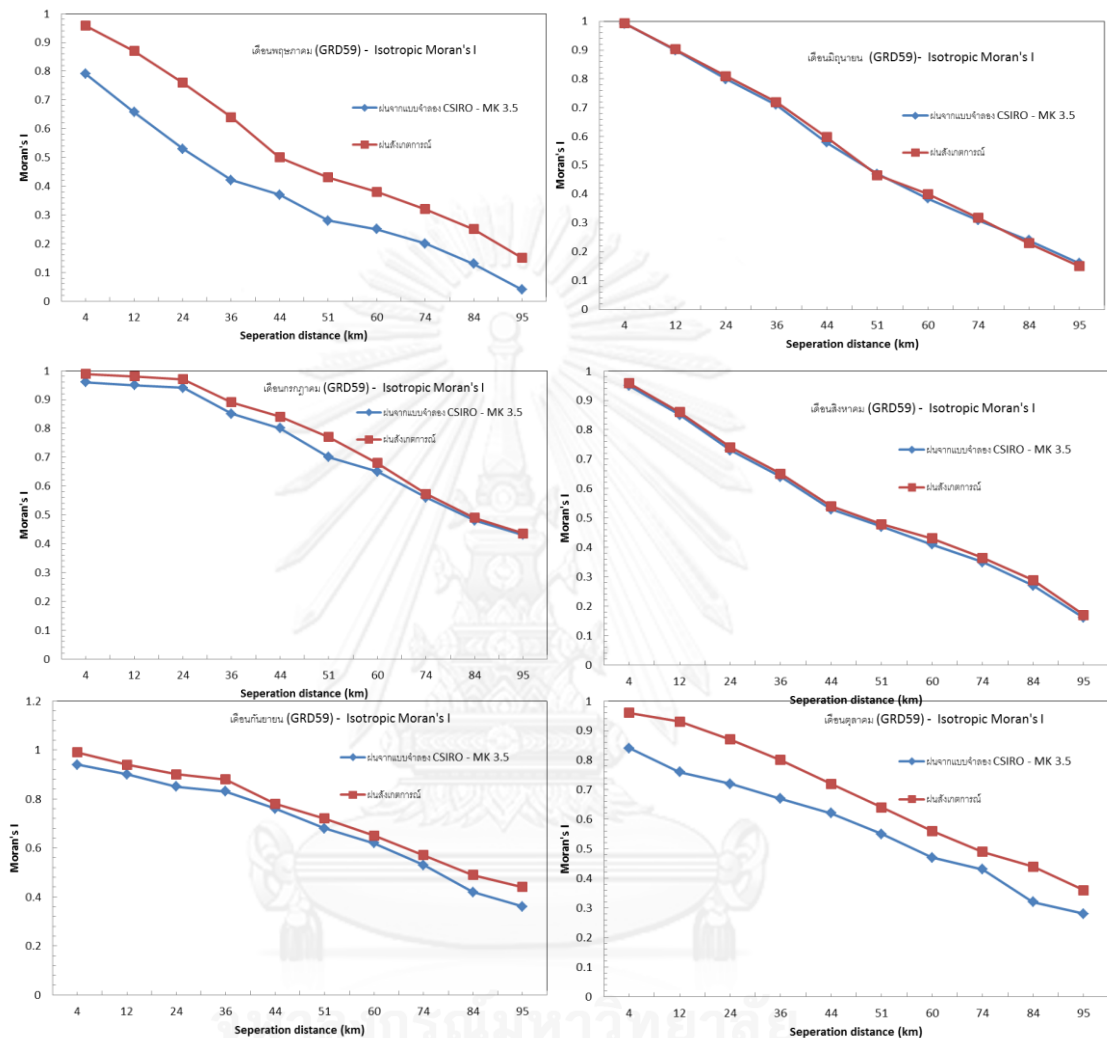
รูปที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Exceedance probability function กับปริมาณฝนรายวัน
เปรียบเทียบระหว่างฝนสังเกตการณ์และฝน downscaled ของแบบจำลอง
CSIRO-MK3.5 (ก) Grid 67-พฤษภาคม (ข) Grid 67- กันยายน



รูปที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Exceedance probability function กับปริมาณฝนรายวัน เปรียบเทียบระหว่างฝนสังเกตการณ์และฝน downscaled ของแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 (ก) Grid 59-พฤษภาคม (ข) Grid 59-กันยายน



รูปที่ 4-5 กราฟ autocorrelogram ของดัชนี Moran's I เปรียบเทียบระหว่างฝนจากแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 ที่ย่อส่วนแล้วในกริด GRD 75 กับฝนสังเกตการณ์ในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม-ตุลาคม)



รูปที่ 4-6 กราฟ autocorrelogram ของดัชนี Moran's I เปรียบเทียบระหว่างฝนจากแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 ที่ย่อส่วนแล้วในกริด GRD 59 กับฝนสังเกตการณ์ในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม-ตุลาคม)

ค่าอัตสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (spatial autocorrelation) ของแบบจำลองและข้อมูลฝนสังเกตการณ์ในแต่ละ cell คำนวณได้ด้วยดัชนี Geary 'C' และ Moran 'I' โดยค่าของดัชนี Moran 'I' เป็นบวกและใกล้เคียงกับ 1 ส่วนดัชนี Geary 'C' เป็นบวกเช่นกันและมีค่าใกล้เคียงกับศูนย์ ส่วนค่าสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (spatial correlation) มีค่า R^2 อยู่ระหว่าง 0.82–0.98 ในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม–ตุลาคม) อันบ่งชี้ถึงความสัมพันธ์เชิงพื้นที่อย่างใกล้ชิดระหว่างการกระจายตัวของปริมาณฝนสังเกตการณ์และฝน CSIRO–MK3.5 นอกจากนี้ได้แสดงผลความสัมพันธ์ ด้วย isotropic autocorrelogram ของดัชนี Moran's 'I' กับระยะทางจากจุดศูนย์กลางของกริด GRD75 GRD67

4.2.2 ผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนในกลุ่มน้ำยมจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกกับข้อมูลสังเกตการณ์

หัวข้อนี้จะศึกษาเปรียบเทียบปริมาณฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกในช่วงก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพข้อมูล ซึ่งในที่นี้หมายถึงการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติ (bias correction) โดยการเปรียบเทียบจะนำเสนอแบบภาพรวมของกลุ่มน้ำยม ได้แก่ ปริมาณฝนรายปี (annual rainfall) ปริมาณฝนรายฤดูกาล (seasonal rainfall) และ ปริมาณฝนรายเดือน (monthly rainfall) หลังจากนั้นจะแสดงผลการเปรียบเทียบในแต่ละสถานีวัดน้ำฝนในจังหวัดสุโขทัย รวมถึงลักษณะการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของฝน ดังต่อไปนี้

1. ผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยม

การเปรียบเทียบฝนรายปีของกลุ่มน้ำยมระหว่างแบบจำลองกับฝนสังเกตการณ์ แบบก่อนปรับแก้และหลังปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติ แบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงเวลาสอบเทียบข้อมูล (calibration period) ในปี ค.ศ. 1979-2000 ช่วงเวลาสอบทาน (verification period) ระหว่างปี ค.ศ. 2001-2006 และช่วงเวลาตรวจสอบ (validation period) ในปี ค.ศ. 1979-2006

ผลการเปรียบเทียบฝนรายปีระหว่างแบบจำลอง MR ECHAM5 และแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 กับข้อมูลฝนสังเกตการณ์ในช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติ แสดงไว้ในรูปที่ 4-8 และ 4-9 พบว่าฝนรายปีหลังปรับแก้ความเอนเอียงแล้ว สามารถแสดงลักษณะของความผันแปรแต่ละปี (inter-annual variation) ของฝนสังเกตการณ์ได้ใกล้เคียงกว่าช่วงก่อนปรับแก้อย่างชัดเจนทั้งในปีที่มีฝนมากและปีที่มีฝนตกน้อย โดยอาจพิจารณาจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) พบว่าข้อมูลฝนของแบบจำลองทั้งสามก่อนปรับแก้จะคลาดเคลื่อนจากข้อมูลตรวจวัดประมาณ -52.64% -18.46% และ -13.29% ตามลำดับ ส่วนหลังปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ -15.54%-5.22% และ -7.89% เปรียบเทียบกับจากข้อมูลสังเกตการณ์ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2006

ผลสรุปการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ทางสถิติของแบบจำลองภูมิอากาศทั้งสามกับข้อมูลสังเกตการณ์ แสดงในตารางที่ 4-2

2. ผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนรายฤดูกาลของกลุ่มน้ำยม

การเปรียบเทียบฝนรายฤดูกาลของกลุ่มน้ำยมระหว่างแบบจำลองกับฝนสังเกตการณ์ แบบก่อนปรับแก้และหลังปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติ โดยจะแบ่งพิจารณาเป็นฤดูแล้ง ระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงกลางเดือนพฤษภาคม และฤดูฝน ระหว่างกลางเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ใน 3 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงเวลาสอบเทียบข้อมูล (calibration period) ในปี ค.ศ. 1979-2000 ช่วงเวลาสอบทาน (verification period) ในปีค.ศ. 2001-2006 และช่วงเวลาตรวจสอบ (validation period) ในระหว่างปี ค.ศ. 1979-2006

ผลการเปรียบเทียบฝนช่วงฤดูแล้งระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 กับข้อมูลฝนสังเกตการณ์ แสดงในรูปที่ 4-10 และ 4-11 ในช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติ แสดงความผันแปรของปริมาณฝนในฤดูแล้งของกลุ่มน้ำยมจากแบบจำลองทั้งสาม และพบว่าฝนที่ผ่านขั้นตอนปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติจะมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานใกล้เคียงกับข้อมูลจริงมากกว่า โดยความคลาดเคลื่อนของทั้งสองพารามิเตอร์นี้ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2006 ในช่วงหลังปรับแก้ อยู่ที่ 26.32% และ -26.15% สำหรับ MRI GCM อยู่ที่ 10.60% และ -22.03% สำหรับ ECHAM GCM อยู่ที่ -14.77% และ +20.60% สำหรับแบบจำลอง CSIRO-MK3.5

ผลการเปรียบเทียบฝนช่วงฤดูแล้งระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 กับข้อมูลฝนสังเกตการณ์ แสดงในรูปที่ 4-10 และ 4-11 ในช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติ แสดงความผันแปรของปริมาณฝนในฤดูแล้งของกลุ่มน้ำยมจากแบบจำลองทั้งสาม และพบว่าฝนที่ผ่านขั้นตอนปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติจะมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานใกล้เคียงกับข้อมูลจริงมากกว่า โดยความคลาดเคลื่อนของทั้งสองพารามิเตอร์นี้ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2006 ในช่วงหลังปรับแก้ อยู่ที่ 26.32% และ -26.15% สำหรับ MRI GCM อยู่ที่ 10.60% และ -22.03% สำหรับ ECHAM5 อยู่ที่ -14.77% และ +20.60% สำหรับแบบจำลอง CSIRO-MK3.5

ผลการเปรียบเทียบฝนช่วงฤดูฝนระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO กับข้อมูลฝนสังเกตการณ์ พบข้อสังเกตว่าฝนทั้งช่วงก่อนและหลังปรับแก้สามารถจำลองสภาพความผันแปรของฝนสังเกตการณ์ได้ค่อนข้างดีกว่าฤดูแล้งอย่างชัดเจน และให้ความคลาดเคลื่อนของทั้งค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยกว่า โดยรูปที่ 4-12 และรูปที่ 4-13 แสดงถึงความผันแปรของปริมาณฝนในฤดูฝนของกลุ่มน้ำยมของแบบจำลองทั้งสาม และพบว่าฝนที่ผ่านขั้นตอนปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติจะมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานใกล้เคียงกับข้อมูลจริงมากกว่า โดยความคลาดเคลื่อนของทั้งสองพารามิเตอร์นี้ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2006 ในช่วงหลังปรับแก้ อยู่ที่ -0.31% และ -19.95% สำหรับ MRI อยู่ที่ 10.60% และ +5.26% สำหรับ ECHAM5 อยู่ที่ 5.05% และแบบจำลอง

CSIRO-MK3.5 อยู่ที่ 0.75% ผลสรุปการเปรียบเทียบปริมาณฝนในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝนของแบบจำลองภูมิอากาศโลกทั้งสาม แสดงไว้ในตารางที่ 4-4 และ 4-6

3) ผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนของกลุ่มน้ำยม

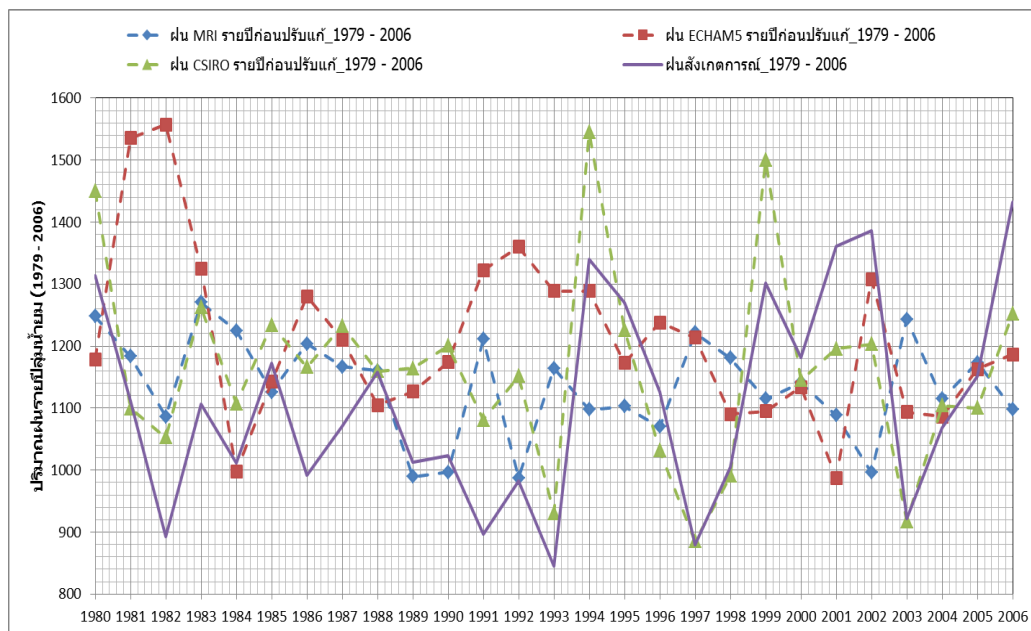
การเปรียบเทียบฝนรายเดือนของกลุ่มน้ำยมระหว่างแบบจำลองกับฝนสังเกตการณ์ แบบก่อนปรับแก้และหลังปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติ จะแบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงเวลาสอบเทียบข้อมูล (calibration period) ในปี ค.ศ. 1979-2000 ช่วงเวลาสอบทาน (verification period) ในปี ค.ศ. 2001-2006 และช่วงเวลาตรวจสอบ (validation period) ในปี ค.ศ. 1979-2006

ผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 กับข้อมูลฝนสังเกตการณ์ แสดงในรูปที่ 4-14 และรูปที่ 4-15 พบว่าฝนจากแบบจำลอง MRI ก่อนปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติมีแนวโน้มให้ค่าฝนเกินความเป็นจริงในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน-เมษายน) แต่กลับให้ค่าฝนต่ำกว่าความเป็นจริงในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม-ตุลาคม) เมื่อได้ปรับแก้ความเอนเอียงแล้วพบว่าความคลาดเคลื่อนทั้งสองช่วงเวลานี้ถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นอย่างชัดเจน

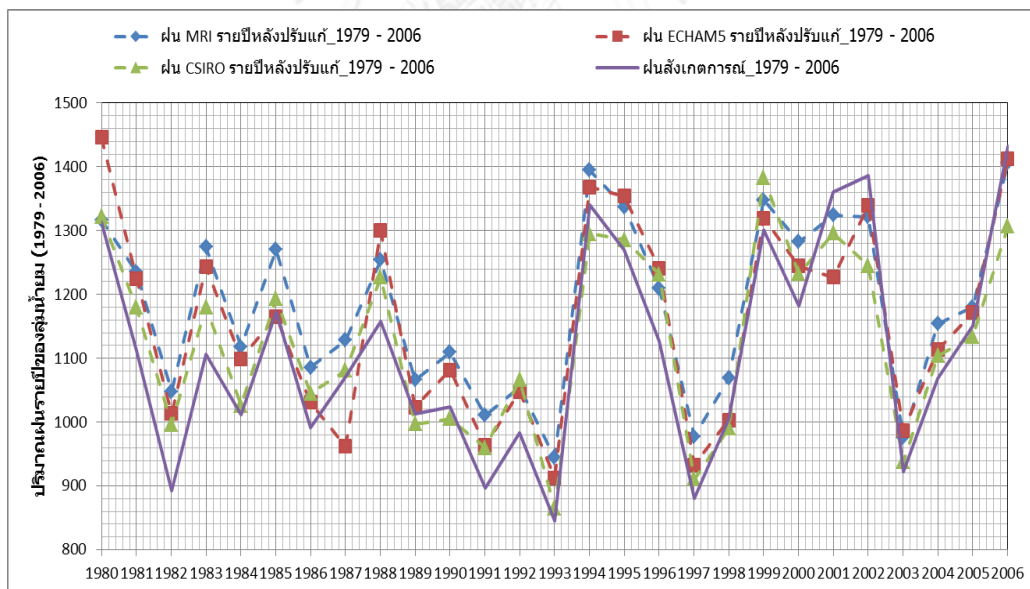
ผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนจากแบบจำลอง ECHAM5 กับข้อมูลฝนสังเกตการณ์ พบว่าฝน ECHAM5 สามารถจำลองการผันแปรรายเดือนของฝนได้ค่อนข้างใกล้เคียงกับข้อมูลสังเกตการณ์ทั้งช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติ แต่ภายหลังจากปรับแก้ข้อมูลพบข้อสังเกตว่าคุณภาพของข้อมูลฝนได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้น เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยฝนรายเดือนและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนจากแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 พบว่าฝน CSIRO ก่อนปรับแก้ให้ผลมากกว่าค่าตรวจวัดค่อนข้างมากเกือบทุกเดือน โดยเฉพาะช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม-ตุลาคม) ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนระหว่าง 18.74%-120.15% หลังปรับแก้ความเอนเอียงพบว่าความคลาดเคลื่อนของฝนในช่วงเดียวกันจะลดลงอย่างชัดเจน

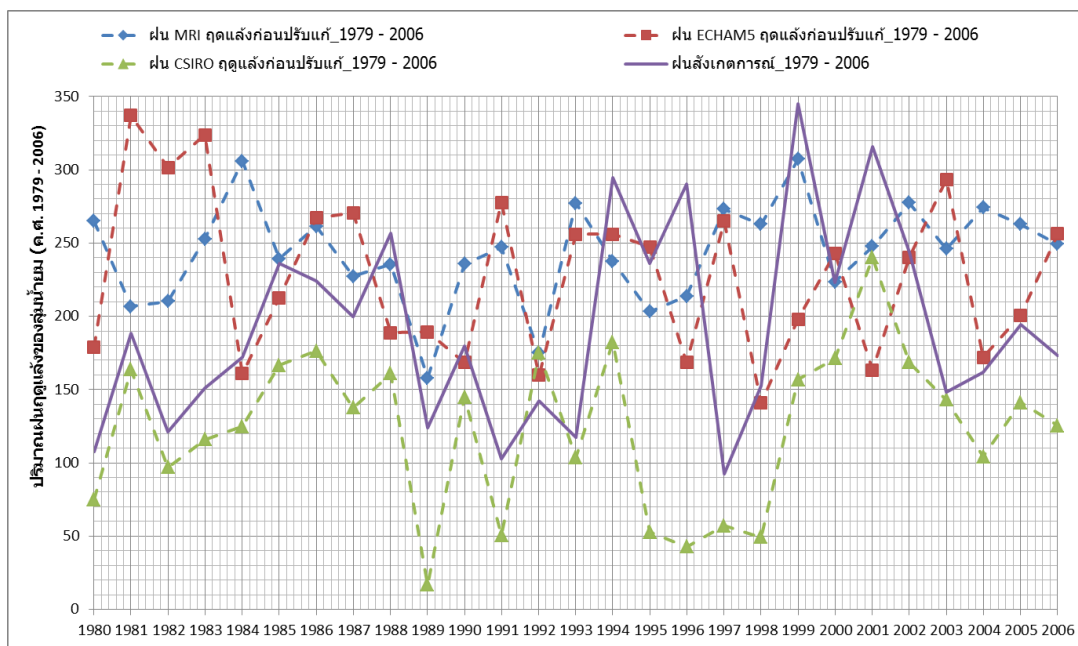
ผลสรุปการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ของปริมาณฝนรายเดือนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ศึกษากับข้อมูลสังเกตการณ์ แสดงไว้ในตารางที่ 4-8



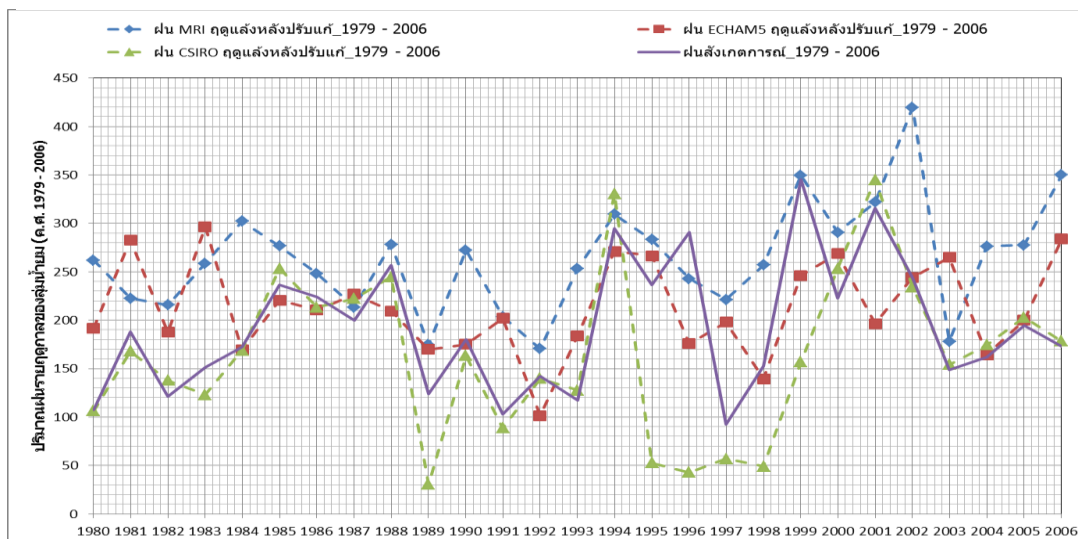
รูปที่ 4-7 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006



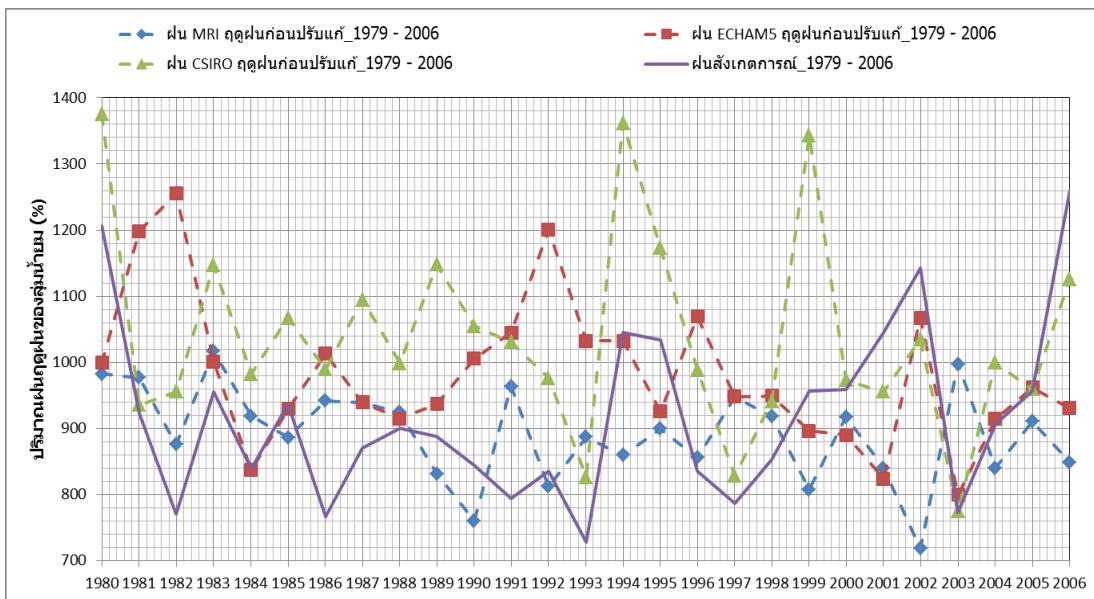
รูปที่ 4-8 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ช่วงหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006



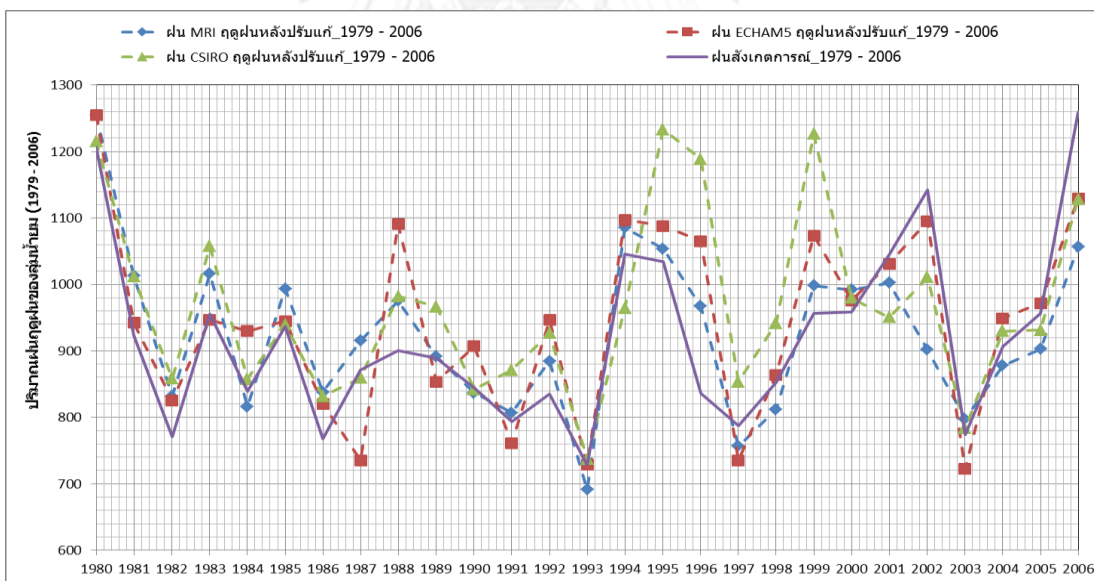
รูปที่ 4-9 การเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูแล้งของกลุ่มน้ำยระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006



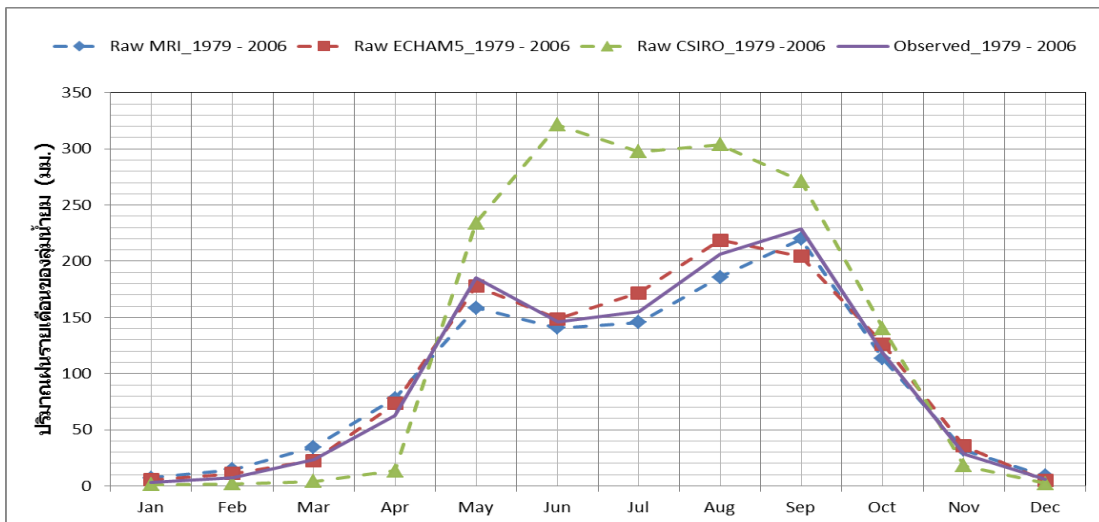
รูปที่ 4-10 การเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูแล้งของกลุ่มน้ำยระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ช่วงหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006



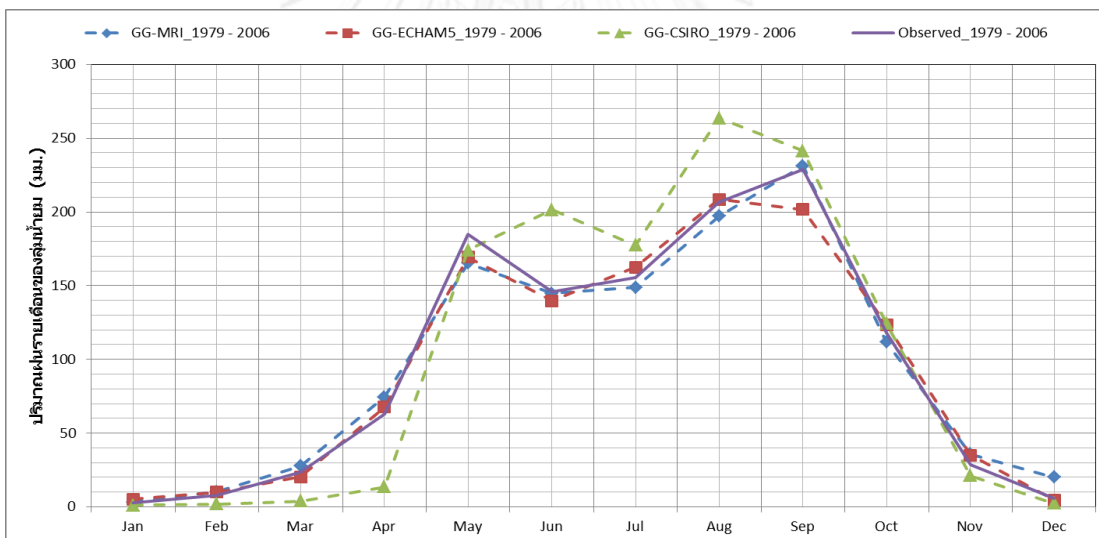
รูปที่ 4-11 การเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูฝนของกลุ่มน้ำมระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006



รูปที่ 4-12 การเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูฝนของกลุ่มน้ำมระหว่างฝนจากแบบจำลองMRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ช่วงหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006



รูปที่ 4-13 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนของกลุ่มน้ำยระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006



รูปที่ 4-14 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนของกลุ่มน้ำยระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ช่วงหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006

ตารางที่ 4-2 สรุปผลเปรียบเทียบปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยมในปัจจุบันของแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ใช้ศึกษา

ข้อมูลฝนรายปี (มม.)	ค.ศ. 1979-2000			ค.ศ. 2001-2006			ค.ศ. 1979-2006		
	Mean	SD	C.V.	Mean	SD	C.V.	Mean	SD	C.V.
Raw MRI	1,141	80.35	0.070	1,119	83.66	0.070	1,136	80.02	0.070
Raw ECHAM5	1,230	139.51	0.113	1,138	108.80	0.096	1,210	137.08	0.110
Raw CSIRO-MK3.5	1,169	165.53	0.142	1,036	141.23	0.140	1,160	155.63	0.130
GG MRI	1,158	139.01	0.120	1,227	155.87	0.130	1,118	142.71	0.120
GG ECHAM5	1,142	161.33	0.141	1,209	154.14	0.128	1,157	159.34	0.140
GG CSIRO-MK3.5	1,110	148.38	0.134	1,036	141.23	0.140	1,123	146.52	0.134
ฝนสังเกตการณ์	1,073	148.11	0.14	1,026	204.30	0.200	1,105	168.97	0.150

ตารางที่ 4-3 สรุปผลเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยมในปัจจุบันของแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ใช้ศึกษา

ความคลาดเคลื่อนปริมาณฝนรายปี (%)	ค.ศ. 1979-2000 (%)			ค.ศ. 2001-2006 (%)			ค.ศ. 1979-2006 (%)		
	Mean	SD	C.V.	Mean	SD	C.V.	Mean	SD	C.V.
Raw MRI	6.32	-45.75	-48.97	-8.28	-59.05	-55.35	2.86	-52.64	-53.96
Raw ECHAM5	13.83	-5.47	-16.95	-6.76	-46.74	-42.88	8.81	-18.46	-25.06
Raw CSIRO-MK3.5	8.88	11.76	2.64	9.99	-41.64	-46.94	5.01	-7.89	-14.66
GG MRI	2.87	-6.15	-13.00	0.58	-23.71	-24.14	1.14	-15.54	-20.43
GG ECHAM5	5.65	9.32	3.47	-0.94	-24.55	-23.83	4.05	-5.22	-8.91
GG CSIRO-MK3.5	3.37	0.17	-2.01	0.93	-30.87	-31.51	1.61	-13.29	12.28

ตารางที่ 4-4 สรุปผลเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูแล้งของกลุ่มน้ำยมในปัจจุบันของแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ใช้ศึกษา

ข้อมูลฝนฤดูแล้ง (มม.)	ค.ศ. 1979-2000			ค.ศ. 2001-2006			ค.ศ. 1979-2006		
	Mean	SD	C.V.	Mean	SD	C.V.	Mean	SD	C.V.
Raw MRI	250.03	37.15	0.15	303.92	100.13	0.300	261.58	34.31	0.140
Raw ECHAM5	229.10	49.48	0.24	502.58	470.71	0.937	227.31	48.33	0.230
Raw CSIRO-MK3.5	115.44	80.04	0.54	153.73	62.88	0.409	123.64	81.57	0.500
GG MRI	239.85	44.90	0.18	259.55	78.58	0.330	244.07	57.47	0.220
GG ECHAM5	209.17	57.53	0.25	520.05	512.85	0.986	212.82	55.29	0.240
GG CSIRO-MK3.5	148.24	52.60	0.45	214.90	95.46	0.444	162.53	53.13	0.43
ฝนสังเกตการณ์	186.47	69.62	0.37	206.16	89.90	0.436	190.69	67.63	0.35

ตารางที่ 4-5 สรุปผลเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของปริมาณฝนฤดูแล้งของกลุ่มน้ำยมในปัจจุบันของแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ใช้ศึกษา

ความคลาดเคลื่อนปริมาณฝนฤดูแล้ง (%)	ค.ศ. 1979-2000			ค.ศ. 2001-2006			ค.ศ. 1979-2006		
	Mean	SD	C.V.	Mean	SD	C.V.	Mean	SD	C.V.
Raw MRI	34.08	-46.63	-58.51	47.42	-12.59	-30.57	37.87	-45.75	-48.98
Raw ECHAM5	21.55	-29.99	-36.91	-4.51	-10.05	-5.80	18.13	-29.22	-36.01
Raw CSIRO-MK3.5	-38.09	-24.45	44.62	-25.43	-30.04	-6.19	-35.16	-21.45	41.15
GG MRI	28.63	-35.50	-51.90	25.90	11.39	-24.44	26.32	-26.15	-43.00
GG ECHAM5	10.97	-18.60	-33.02	-1.19	-2.00	-0.82	10.60	-22.03	-31.46
GG CSIRO-MK3.5	-20.50	14.96	22.03	4.24	6.18	1.87	-14.77	20.60	41.51

ตารางที่ 4-6 สรุปผลเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูฝนของกลุ่มน้ำยมในปัจจุบันของแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ใช้ศึกษา

ข้อมูลฝนฤดูฝน (มม.)	ค.ศ. 1979-2000			ค.ศ. 2001-2006			ค.ศ. 1979-2006		
	Mean	SD	C.V.	Mean	SD	C.V.	Mean	SD	C.V.
Raw MRI	901.35	62.73	0.070	859.47	274.49	0.320	892.38	70.24	0.080
Raw ECHAM5	1,001	142.17	0.150	864.14	316.76	0.358	982.34	141.65	0.150
Raw CSIRO-MK3.5	1,053	152.73	0.150	955.72	334.83	0.340	1,036	147.39	0.141
GG MRI	907.82	113.24	0.120	923.15	290.51	0.310	911.11	107.71	0.120
GG ECHAM5	209.17	57.53	0.250	520.05	512.85	0.986	212.82	55.29	0.240
GG CSIRO-MK3.5	961	143.47	0.14	975.05	316.69	0.330	960.11	135.56	0.142
ฝนสังเกตการณ์	887	111.77	0.13	1013.90	306.83	0.30	913.93	134.55	0.147

ตารางที่ 4-7 สรุปผลเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของปริมาณฝนฤดูฝนของกลุ่มน้ำยมในปัจจุบันของแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ใช้ศึกษา

ความคลาดเคลื่อนปริมาณฝนฤดูฝน (%)	ค.ศ. 1979-2000			ค.ศ. 2001-2006			ค.ศ. 1979-2006		
	Mean	SD	C.V.	Mean	SD	C.V.	Mean	SD	C.V.
Raw MRI	2.65	-43.87	-44.79	-15.23	-10.54	5.53	-2.36	-47.80	-46.54
Raw ECHAM5	9.33	29.61	27.25	5.06	3.46	-1.53	7.08	35.58	31.78
Raw CSIRO-MK3.5	18.79	36.64	18.40	-5.74	9.13	13.48	13.41	9.54	-4.10
GG MRI	2.39	1.31	-1.04	-8.95	-5.32	3.99	-0.31	-19.95	-19.70
GG ECHAM5	10.97	-18.60	-33.02	-1.19	-2.00	-0.82	10.60	5.26	-31.46
GG CSIRO-MK3.5	8.42	28.36	15.03	-3.83	3.21	9.50	5.05	0.75	-3.43

ตารางที่ 4-8 สรุปผลเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนของกลุ่มน้ำยมในปัจจุบันของแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ใช้ศึกษา

ข้อมูลฝนรายเดือน	ค.ศ. 1979-2000				ค.ศ. 2001-2006				ค.ศ. 1979-2006			
	Mean	SD	C.V.	RMSE	Mean	SD	C.V.	RMSE	Mean	SD	C.V.	RMSE
Raw MRI	95.71	76.26	0.789	11.03	93.25	73.26	0.787	35.08	94.86	75.28	0.793	10.57
Raw ECHAM5	101.60	86.46	0.851	12.32	94.31	75.16	0.797	47.07	99.97	83.13	0.831	12.60
Raw CSIRO	128.94	135.62	1.052	71.09	103.68	104.51	0.937	31.93	134.06	140.41	1.047	77.71
GG-MRI	97.73	77.31	0.797	10.46	101.00	80.55	0.797	25.69	97.51	79.31	0.813	9.29
GG-ECHAM5	93.80	80.50	0.858	7.70	101.44	84.55	0.833	23.68	95.64	80.05	0.837	10.18
GG-CSIRO	101.81	92.18	0.905	15.15	108.57	108.37	0.998	10.85	102.15	104.86	1.026	29.52
ฝนสังเกตการณ์	94.64	81.39	0.860		107.71	100.97	0.937		97.54	85.21	0.873	

4.2.3 ผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนลุ่มน้ำยมแต่ละสถานีในปัจจุบัน

หลังจากที่หัวข้อก่อนหน้าได้แสดงการเปรียบเทียบปริมาณฝนรายปี ปริมาณฝนฤดูแล้งและฤดูฝน และปริมาณฝนรายเดือนของกลุ่มน้ำยม กับข้อมูลฝนสังเกตการณ์ย้อนหลังระหว่างปี ค.ศ. 1979–2006 ในช่วงก่อนและหลังปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติ ในหัวข้อนี้จะแสดงการเปรียบเทียบในลักษณะเดียวกันกับสถานีวัดน้ำฝนตัวอย่างในพื้นที่ศึกษาทั้งสิ้น 3 สถานี ได้แก่ สถานีวัดน้ำฝน 40043 อำเภอสอง จังหวัดแพร่ สถานีวัดน้ำฝน 59022 อำเภอศรีษะพนาลัย จังหวัดสุโขทัย และสถานีวัดน้ำฝน 59012 อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย เพื่อพิจารณาถึงประสิทธิผลของการปรับปรุงข้อมูลฝนให้ใกล้เคียงกับข้อมูลสังเกตการณ์ของแต่ละสถานียิ่งขึ้น และสามารถนำไปใช้คาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนของแต่ละแบบจำลองในช่วงอนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล ต่อไป

4.2.3.1 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายปีของสถานีวัดน้ำฝนตัวอย่างที่ใช้ศึกษา

การเปรียบเทียบฝนรายปีของสถานีวัดน้ำฝน 3 สถานี ระหว่างแบบจำลองกับฝนสังเกตการณ์แบบก่อนปรับแก้และหลังปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติ แบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงเวลาสอบเทียบข้อมูล (calibration period) ในปี ค.ศ. 1979–2000 ช่วงเวลาสอบทาน (verification period) ระหว่างปี ค.ศ. 2001–2006 และช่วงเวลาตรวจสอบ (validation period) ในปี ค.ศ. 1979–2006

ผลการเปรียบเทียบฝนรายปีระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO กับข้อมูลฝนสังเกตการณ์ในช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติของสถานีวัดน้ำฝนทั้งสาม (อำเภอสอง จังหวัดแพร่, อำเภอศรีษะพนาลัย และ อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย) แสดงไว้ในรูปที่ 4–19 ถึง 4–24 โดยฝนรายปีหลังปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติเรียบร้อยแล้ว สามารถแสดงลักษณะของการผันแปรรายปี (Inter-annual variation) ของฝนได้ใกล้เคียงกับข้อมูลฝนสังเกตการณ์มากกว่าช่วงก่อนการปรับแก้อย่างชัดเจน ทั้งปีที่มีฝนมากและปีที่มีฝนตกน้อย เมื่อพิจารณาจากค่าพารามิเตอร์ทางสถิติที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (\bar{x}) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) และสัมประสิทธิ์การผันแปร (C.V.) ปริมาณฝนรายปีจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 แสดงผลลัพธ์ในแต่ละสถานีดังต่อไปนี้

สถานีวัดน้ำฝน 40043 อ. สอง จ. แพร่ ปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยระหว่างปี ค.ศ. 1979–2006 จากแบบจำลองภูมิอากาศโลกทั้งสามในช่วงก่อนปรับแก้จะมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์อยู่ที่ 2.57% -0.46% และ 14.27% ตามลำดับ ส่วนหลังปรับแก้ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.375% 0.138% และ 1.42% ตามลำดับ การเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกทั้งสาม ในช่วงก่อนปรับแก้จะมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์อยู่ที่ -34.48%

-29.47% และ -20.80% ตามลำดับ ส่วนหลังปรับแก้ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ -22.94% -23.49% และ -22.00% ตามลำดับ และสุดท้ายคือสัมประสิทธิ์ความผันแปร จากการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองในช่วงก่อนปรับแก้ความเอนเอียง จะมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์อยู่ที่ -34.72% -29.57% และ -30.69% ตามลำดับ ส่วนหลังปรับแก้ความคลาดเคลื่อนจะปรับลดลง และอยู่ที่ -24.88% -23.14% และ -23.09% ตามลำดับ

สถานีวัดน้ำฝน 59022 อ. ศรีสัชชาลัย จ. สุโขทัย พบว่าปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยระหว่างปี ค.ศ. 1979-2006 จากแบบจำลองภูมิอากาศโลกทั้งสามในช่วงก่อนปรับแก้จะมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์อยู่ที่ 23.53% 11.06% และ 32.59% ตามลำดับ ส่วนหลังปรับแก้ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 5.86% 7.04% และ 7.34% ตามลำดับ การเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกทั้งสาม ในช่วงก่อนปรับแก้จะมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์อยู่ที่ -40.51% -36.37% และ 6.64% ตามลำดับ ส่วนหลังปรับแก้ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ -23.50% -26.24% และ 4.72% ตามลำดับ และสุดท้ายคือสัมประสิทธิ์ความผันแปร จากการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองในช่วงก่อนปรับแก้ความเอนเอียง จะมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์อยู่ที่ -43.80% -40.55% และ -19.57% ตามลำดับ ส่วนหลังปรับแก้ความคลาดเคลื่อนจะปรับลดลง และอยู่ที่ -38.07% -33.159% และ -2.44% ตามลำดับ

สถานีวัดน้ำฝน 59012 อ. เมือง จ. สุโขทัย พบว่าปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยระหว่างปี ค.ศ. 1979-2006 จากแบบจำลองภูมิอากาศโลกทั้งสามในช่วงก่อนปรับแก้จะมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์อยู่ที่ 6.90% 6.69% และ 24.44% ตามลำดับ ส่วนหลังปรับแก้ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 2.65% 2.02% และ 3.02% ตามลำดับ การเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกทั้งสาม ในช่วงก่อนปรับแก้จะมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์อยู่ที่ -61.13% -41.72% และ 36.53% ตามลำดับ ส่วนหลังปรับแก้ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ -23.99% -8.01% และ 3.63% ตามลำดับ และสุดท้ายคือสัมประสิทธิ์ความผันแปร จากการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองในช่วงก่อนปรับแก้ความเอนเอียง จะมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์อยู่ที่ -62.13% -45.36% และ -38.39% ตามลำดับ ส่วนหลังปรับแก้ความคลาดเคลื่อนจะปรับลดลง และอยู่ที่ -28.90% -9.84% และ -16.72% ตามลำดับ

ข้อสรุปที่ได้จากการศึกษาในแต่ละสถานีคือ การปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติสามารถลดทอนความคลาดเคลื่อนของพารามิเตอร์เชิงสถิติของปริมาณฝนรายปี เปรียบเทียบกับข้อมูลฝนสังเกตการณ์ได้อย่างชัดเจนในทุกข้อมูลฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ใช้ศึกษา และผลการเปรียบเทียบทั้งหมดของแต่ละสถานี แสดงไว้ในตารางที่ 4-9 ถึง ตารางที่ 4-10

4.2.3.2 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายฤดูกาลของสถานีวัดน้ำฝนตัวอย่างที่ใช้ศึกษา

การเปรียบเทียบฝนรายฤดูกาลของสถานีวัดน้ำฝน 3 สถานี ระหว่างแบบจำลองกับฝนสังเกตการณ์ แบบก่อนปรับแก้และหลังปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติ แบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงเวลาสอบเทียบข้อมูล (calibration period) ในปี ค.ศ. 1979-2000 ช่วงเวลาสอบทาน (verification period) ระหว่างปี ค.ศ. 2001-2006 และช่วงเวลาตรวจสอบ (validation period) ในปี ค.ศ. 1979-20

ผลการเปรียบเทียบฝนในฤดูฝนและฤดูแล้งระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 กับข้อมูลฝนสังเกตการณ์ในช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติของสถานีวัดน้ำฝนทั้งสาม (อำเภอสอง จังหวัดแพร่, อำเภอศรีสัชนาลัย และ อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย) แสดงไว้ในรูปที่ 4-19 ถึง 4-24 โดยฝนทั้งช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งหลังปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติเรียบร้อยแล้ว สามารถแสดงลักษณะของการผันแปรรายฤดูกาล (Inter-seasonal variation) ของฝนได้ใกล้เคียงกับข้อมูลฝนสังเกตการณ์มากกว่าช่วงก่อนการปรับแก้อย่างชัดเจน เมื่อพิจารณาจากค่าพารามิเตอร์ทางสถิติที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (\bar{x}) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) และสัมประสิทธิ์การผันแปร (C.V.) ปริมาณฝนรายปีจากแบบจำลอง MRI แบบจำลอง ECHAM5 และแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 แสดงผลลัพธ์ในแต่ละสถานีดังต่อไปนี้

สถานีวัดน้ำฝน 40043 อ.สอง จ.แพร่ ปริมาณฝนช่วงฤดูฝนเฉลี่ยระหว่างปี ค.ศ. 1979-2006 จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงก่อนปรับแก้จะมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์อยู่ที่ -5.99% -2.93% และ 32.00% ตามลำดับ ส่วนหลังปรับแก้ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ -0.60% -3.08% และ 17.06% ตามลำดับ การเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกทั้งสามในช่วงก่อนปรับแก้จะมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์อยู่ที่ -30.47% -22.64% และ -0.38% ตามลำดับ ส่วนหลังปรับแก้ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ -16.66% -20.43% และ 0.01% ตามลำดับ และสุดท้ายคือสัมประสิทธิ์ความผันแปร จากการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองในช่วงก่อนปรับแก้ความเอนเอียง จะมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์อยู่ที่ -26.05% -20.31% และ -24.24% ตามลำดับ ส่วนหลังปรับแก้ความคลาดเคลื่อนจะลดลงมาอยู่ที่ -16.15% -17.90% และ -14.90% ตามลำดับ

ขณะเดียวกัน ปริมาณฝนช่วงฤดูแล้งเฉลี่ยระหว่างปี ค.ศ. 1979-2006 จากแบบจำลองภูมิอากาศโลกทั้งสามในช่วงก่อนปรับแก้จะคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์อยู่ที่ 34.86% 18.81% และ -19.34% ตามลำดับ ส่วนหลังปรับแก้แล้วความคลาดเคลื่อนจะลดลงมาอยู่ที่ 21.37% 15.50% และ -19.34% ตามลำดับ การเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกทั้งสามในช่วงก่อนปรับแก้จะมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์อยู่ที่ -17.13%

-25.91% และ -49.18% ตามลำดับ ส่วนหลังปรับแก้ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ -11.74% -24.82% และ 45.82% ตามลำดับ และสุดท้ายคือสัมประสิทธิ์ความผันแปร จากการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองในช่วงก่อนปรับแก้ความเอนเอียง จะมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์อยู่ที่ -38.55% -37.64% และ -36.99% ตามลำดับ ส่วนหลังปรับแก้ความคลาดเคลื่อนจะลดลงมาอยู่ที่ -27.28% -34.91% และ -21.23% ตามลำดับ

สถานีวัดน้ำฝน 59022 อ. ศรีสัชชาลัย จ. สุโขทัย ปริมาณฝนช่วงฤดูฝนเฉลี่ยระหว่างปี ค.ศ. 1979-2006 จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงก่อนปรับแก้ จะมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์อยู่ที่ 5.09% -0.55% และ 48.64% ตามลำดับ ส่วนหลังปรับแก้ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ -1.75% 4.93% และ 21.09% ตามลำดับ การเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกทั้งสาม ในช่วงก่อนปรับแก้จะมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์อยู่ที่ -42.69% -40.37% และ 32.30% ตามลำดับ ส่วนหลังปรับแก้ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ -6.10% -15.42% และ 28.11% ตามลำดับ และสุดท้ายคือสัมประสิทธิ์ความผันแปร จากการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองในช่วงก่อนปรับแก้ความเอนเอียง ความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์จะอยู่ที่ -60.80% -55.99% และ -68.09% ตามลำดับ ส่วนหลังปรับแก้ความคลาดเคลื่อนจะปรับลดลง และอยู่ที่ -10.65% -19.39% และ 5.80% ตามลำดับ

ขณะเดียวกัน ปริมาณฝนช่วงฤดูแล้งเฉลี่ยระหว่างปี ค.ศ. 1979-2006 จากแบบจำลองภูมิอากาศโลกทั้งสามในช่วงก่อนปรับแก้จะคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์อยู่ที่ 124.11% 42.21% และ 39.08% ตามลำดับ ส่วนหลังปรับแก้แล้วความคลาดเคลื่อนจะลดลงมาอยู่ที่ 41.33% 36.82% และ -26.27% ตามลำดับ การเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกทั้งสามในช่วงก่อนปรับแก้จะมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์อยู่ที่ -15.64% -39.79% และ -57.66% ตามลำดับ ส่วนหลังปรับแก้ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ -12.15% -26.61% และ -55.63% ตามลำดับ และสุดท้ายคือสัมประสิทธิ์ความผันแปร จากการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองในช่วงก่อนปรับแก้ความเอนเอียง จะมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์อยู่ที่ -60.80% -55.99% และ -68.09% ตามลำดับ ส่วนหลังปรับแก้ความคลาดเคลื่อนจะลดลงมาอยู่ที่ -40.31% -48.39% และ -42.58% ตามลำดับ

สถานีวัดน้ำฝน 59012 อ. เมือง จ. สุโขทัย พบว่าปริมาณฝนฤดูฝนเฉลี่ยระหว่างปี ค.ศ. 1979-2006 จากแบบจำลองภูมิอากาศโลกทั้งสามในช่วงก่อนปรับแก้จะมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์อยู่ที่ -5.16% 2.07% และ 40.74% ตามลำดับ ส่วนหลังปรับแก้ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 1.06% -1.11% และ 10.69% ตามลำดับ การเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกทั้งสาม ในช่วงก่อนปรับแก้จะมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์อยู่

ที่ -59.54% -48.62% และ 18.59% ตามลำดับ ส่วนหลังปรับแก้ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 3.85% 5.72% และ 3.29% ตามลำดับ และสุดท้ายคือสัมประสิทธิ์ความผันแปร จากการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองในช่วงก่อนปรับแก้ความเอนเอียง จะมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์ อยู่ที่ -57.34% -49.66% และ -15.74% ตามลำดับ ส่วนหลังปรับแก้ความคลาดเคลื่อนจะปรับลดลง และอยู่ที่ -2.76% -6.91% และ -6.68% ตามลำดับ

ขณะเดียวกัน ปริมาณฝนช่วงฤดูแล้งเฉลี่ยระหว่างปี ค.ศ. 1979-2006 จากแบบจำลอง ภูมิอากาศโลกทั้งสามในช่วงก่อนปรับแก้จะคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์อยู่ที่ 54.48% 39.17% และ -64.10% ตามลำดับ ส่วนหลังปรับแก้แล้วความคลาดเคลื่อนจะลดลงมาอยู่ที่ 48.58% 13.66% และ 35.03% ตามลำดับ การเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกทั้งสามในช่วงก่อนปรับแก้จะมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์อยู่ที่ -16.00% -25.11% และ -58.40% ตามลำดับ ส่วนหลังปรับแก้ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 6.17% -8.73% และ -52.52% ตามลำดับ และสุดท้ายคือสัมประสิทธิ์ความผันแปร จากการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองในช่วงก่อนปรับแก้ความเอนเอียง จะมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์อยู่ที่ -43.47% -34.42% และ -64.84% ตามลำดับ ส่วนหลังปรับแก้ความคลาดเคลื่อนจะลดลงมาอยู่ที่ -31.27% -34.11% และ 15.87% ตามลำดับ

ข้อสรุปที่ได้จากการศึกษาในแต่ละสถานี่คือ การปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติสามารถลดทอนความคลาดเคลื่อนของพารามิเตอร์เชิงสถิติของปริมาณฝนรายปี เปรียบเทียบกับข้อมูลฝนสังเกตการณ์ได้อย่างชัดเจนในทุกข้อมูลฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ใช้ศึกษา และผลการเปรียบเทียบทั้งหมดของแต่ละสถานี่ แสดงไว้ในตารางที่ 4-9 ถึง ตารางที่ 4-10

4.2.3.3 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนของสถานี่วัดน้ำฝนตัวอย่างที่ใช้ศึกษา

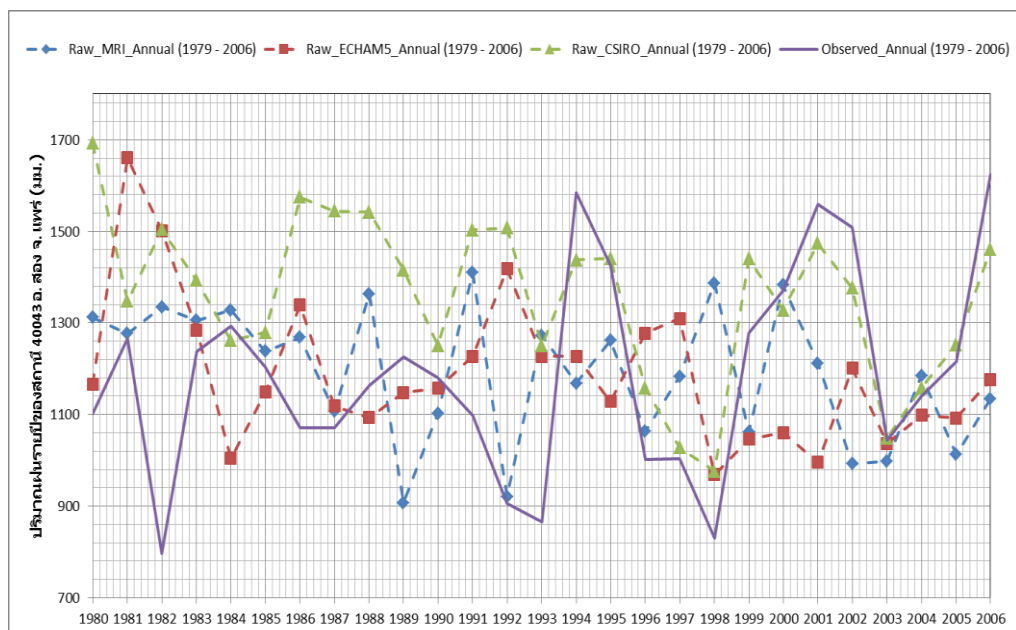
สถานี่วัดน้ำฝน 40043 อ.สอง จ.แพร่ ปริมาณฝนรายเดือนระหว่างปี ค.ศ. 1979-2006 จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงก่อนปรับแก้จะมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์คิดเป็นค่า RMSE อยู่ที่ 15.96 14.99 และ 69.20 ตามลำดับ ส่วนหลังปรับแก้พบว่าค่า RMSE ของฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศทั้งสาม จะอยู่ที่ 14.77 14.98 และ 29.79 ตามลำดับ

สถานี่วัดน้ำฝน 59022 อ.ศรีสขนาลัย จ.สุโขทัย ปริมาณฝนรายเดือนระหว่างปี ค.ศ. 1979-2006 จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงก่อนปรับแก้จะมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์คิดเป็นค่า RMSE อยู่ที่ 33.99 26.96 และ 70.99

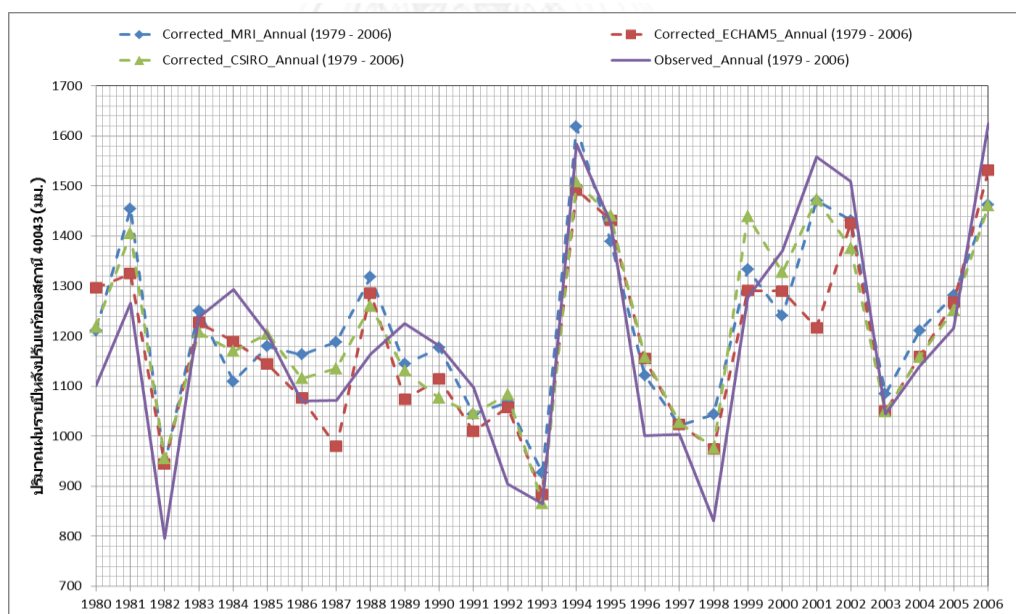
ตามลำดับ ส่วนหลังปรับแก้พบว่าค่า RMSE ของฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศทั้งสาม จะอยู่ที่ 23.77 21.25 และ 33.29 ตามลำดับ

สถานีวัดน้ำฝน 59012 อ.เมือง จ.สุโขทัย ปริมาณฝนรายเดือนระหว่างปี ค.ศ. 1979-2006 จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงก่อนปรับแก้จะมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์คิดเป็นค่า RMSE อยู่ที่ 27.43 18.60 และ 102.44 ตามลำดับ ส่วนหลังปรับแก้พบว่าค่า RMSE ของฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศทั้งสาม จะอยู่ที่ 17.31 15.86 และ 49.55 ตามลำดับ

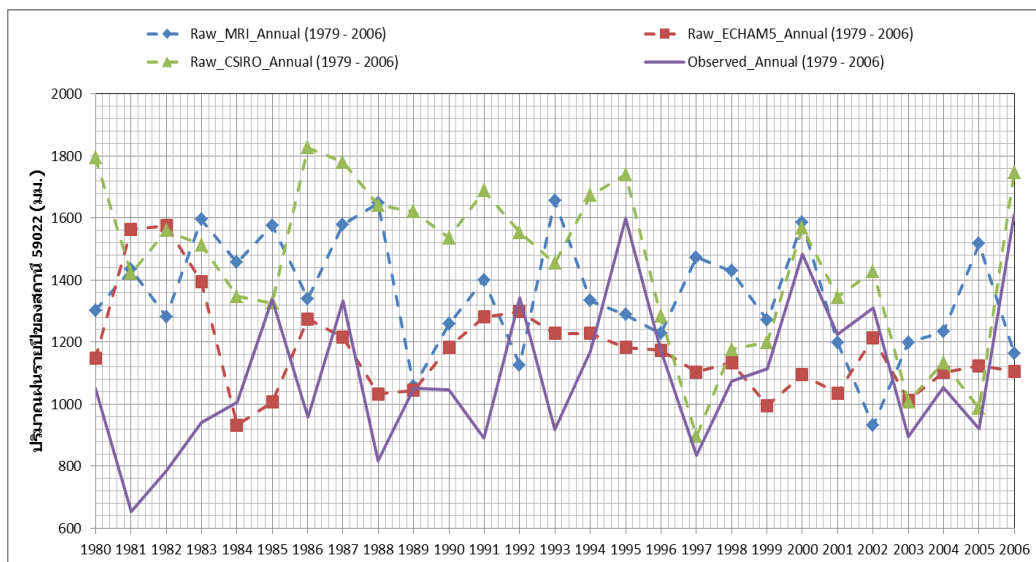
ข้อสรุปที่ได้จากการศึกษาในแต่ละสถานีคือ การปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติสามารถลดทอนความคลาดเคลื่อนของพารามิเตอร์เชิงสถิติของปริมาณฝนรายปี เปรียบเทียบกับข้อมูลฝนสังเกตการณ์ได้อย่างชัดเจนในทุกข้อมูลฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ใช้ศึกษา และผลการเปรียบเทียบทั้งหมดของแต่ละสถานี แสดงไว้ในตารางที่ 4-9 ถึง ตารางที่ 4-10



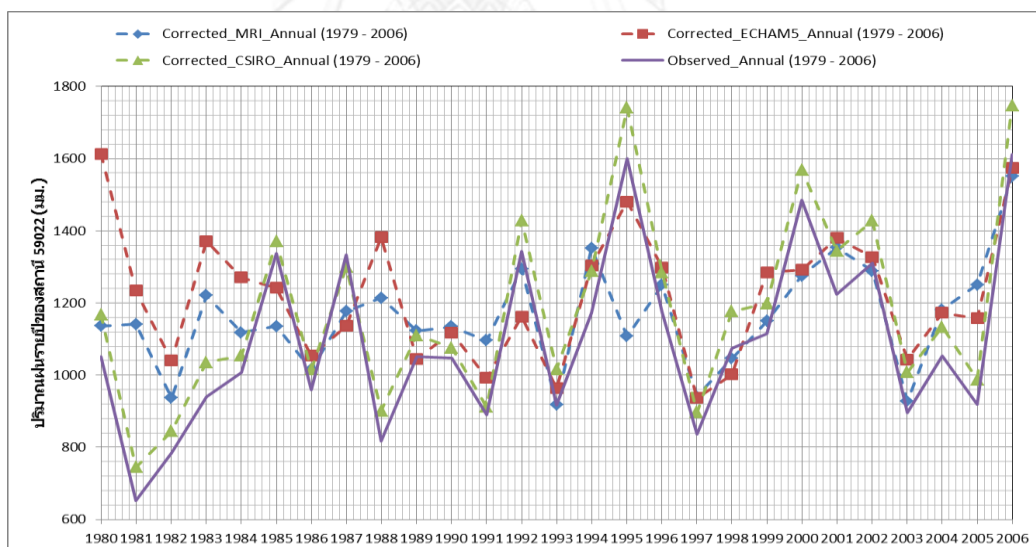
รูปที่ 4-15 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายปีของสถานี 40043 ระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติ กับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006



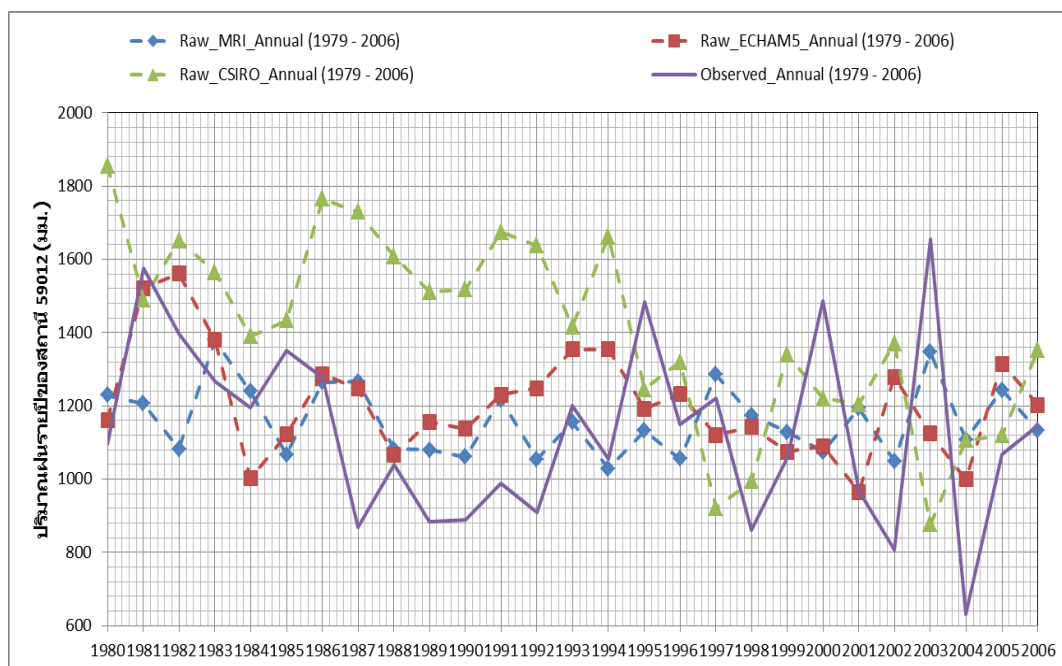
รูปที่ 4-16 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายปีของสถานี 40043 ระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ช่วงหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติ กับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006



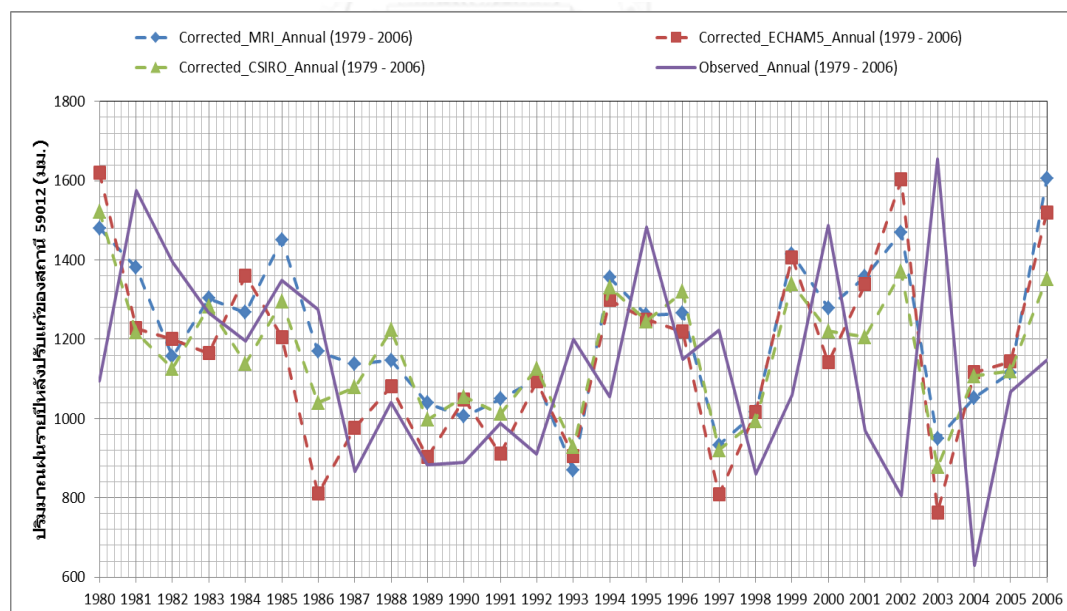
รูปที่ 4-17 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายปีของสถานี 59022 ระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006



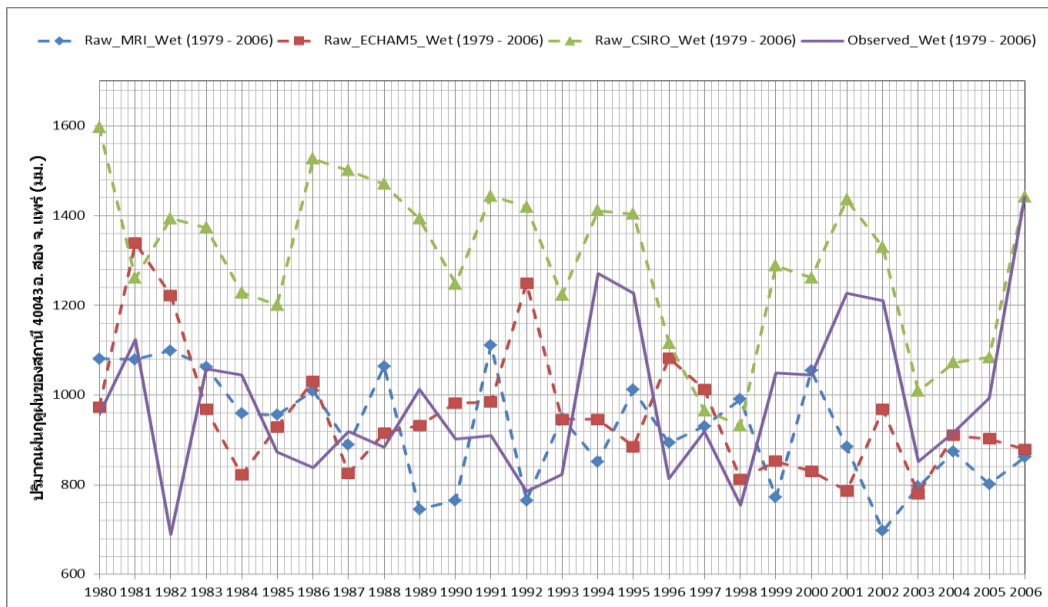
รูปที่ 4-18 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายปีของสถานี 59022 ระหว่างฝนจากแบบจำลองMRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ช่วงหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006



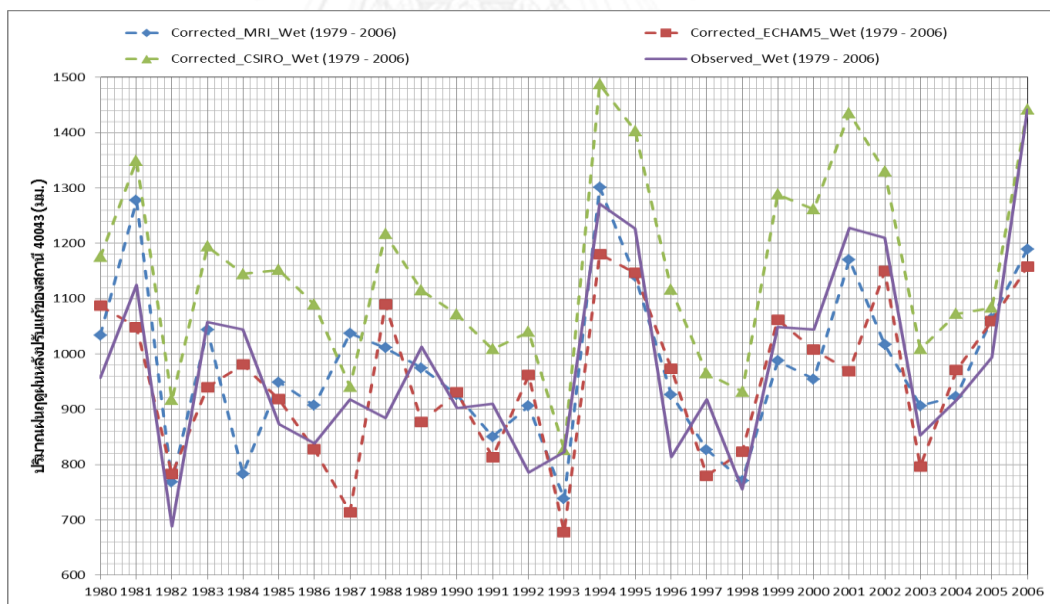
รูปที่ 4-19 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายปีของสถานี 59012 ระหว่างฝนจากแบบจำลองMRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006



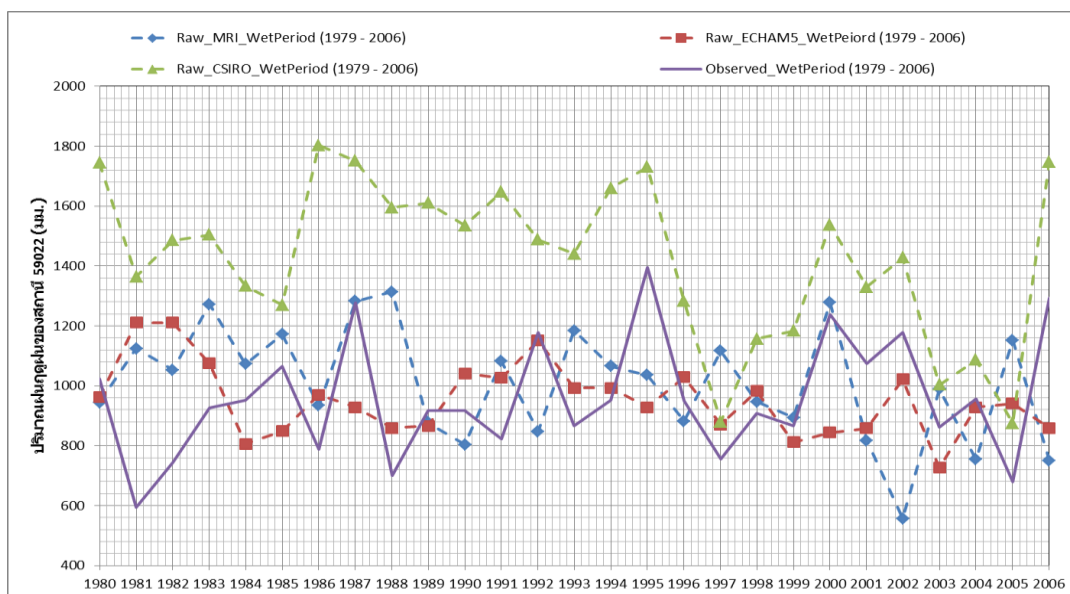
รูปที่ 4-20 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายปีของสถานี 59012 ระหว่างฝนจากแบบจำลองMRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ช่วงหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006



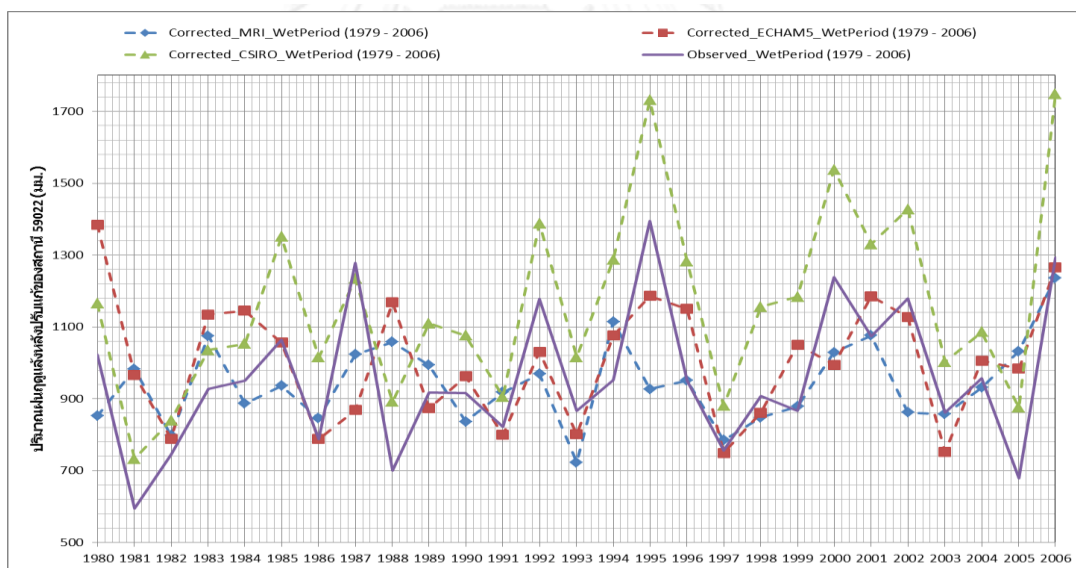
รูปที่ 4-21 การเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูฝนของสถานี 40043 ระหว่างฝนจากแบบจำลองMRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006



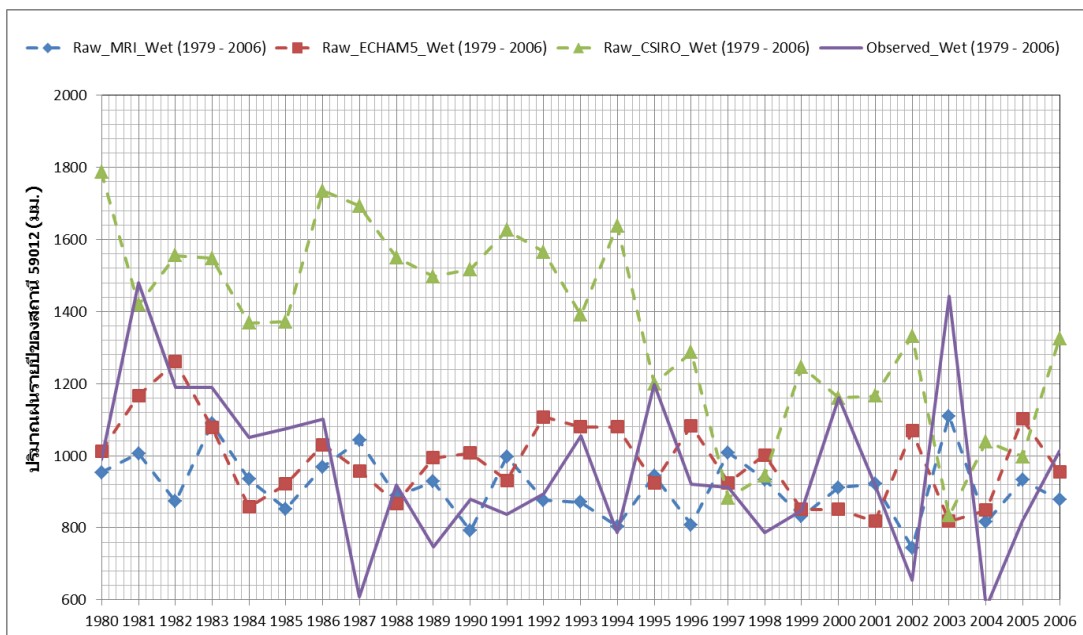
รูปที่ 4-22 การเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูฝนของสถานี 40043 ระหว่างฝนจากแบบจำลองMRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ช่วงหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006



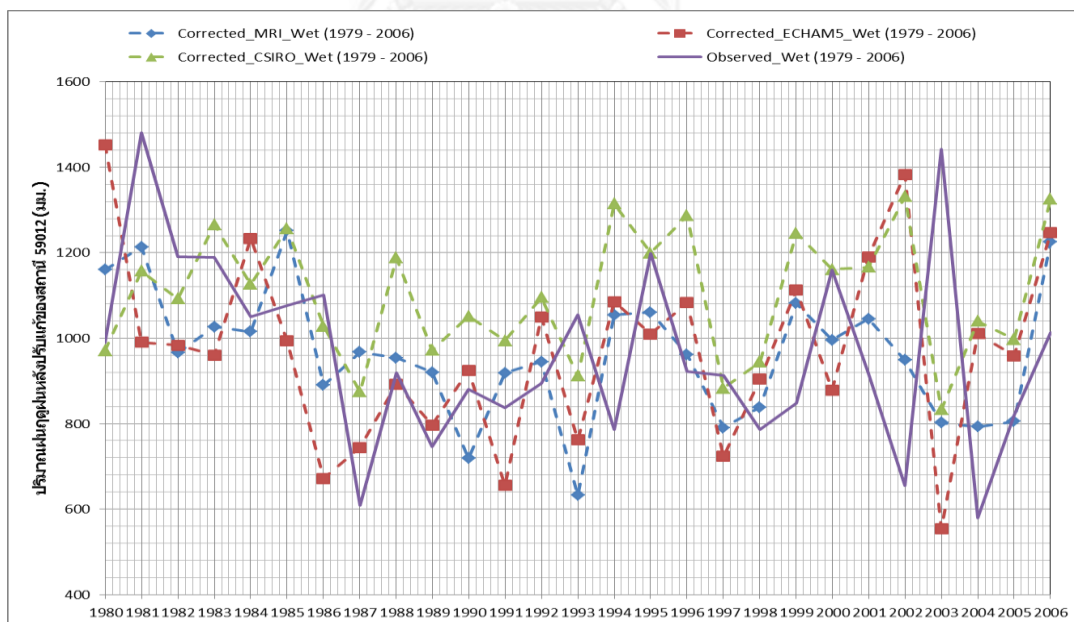
รูปที่ 4-23 การเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูฝนของสถานี 59022 ระหว่างฝนจากแบบจำลองMRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006



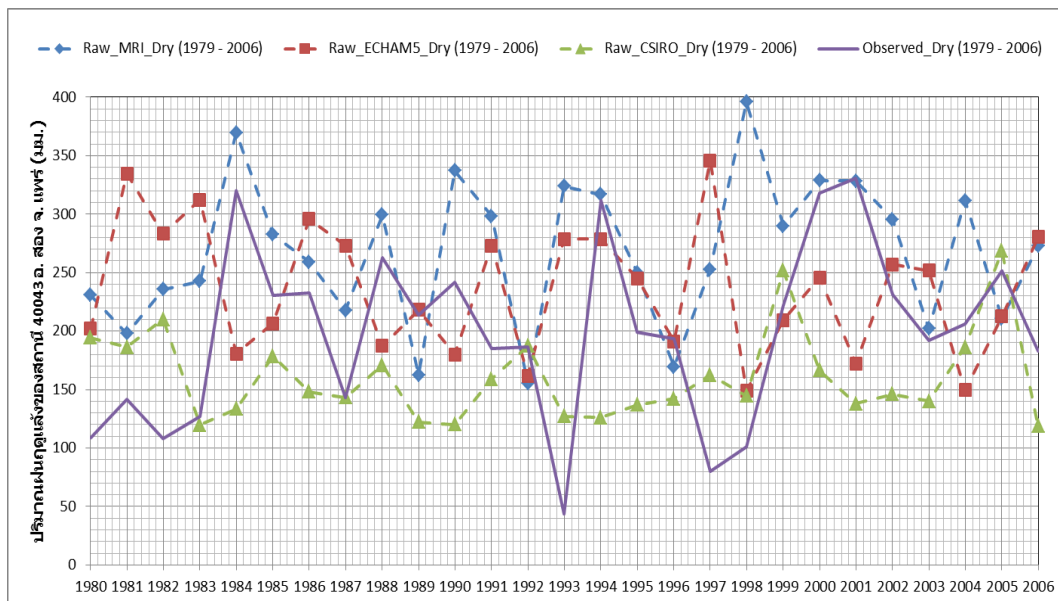
รูปที่ 4-24 การเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูฝนของสถานี 59022 ระหว่างฝนจากแบบจำลองMRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ช่วงหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006



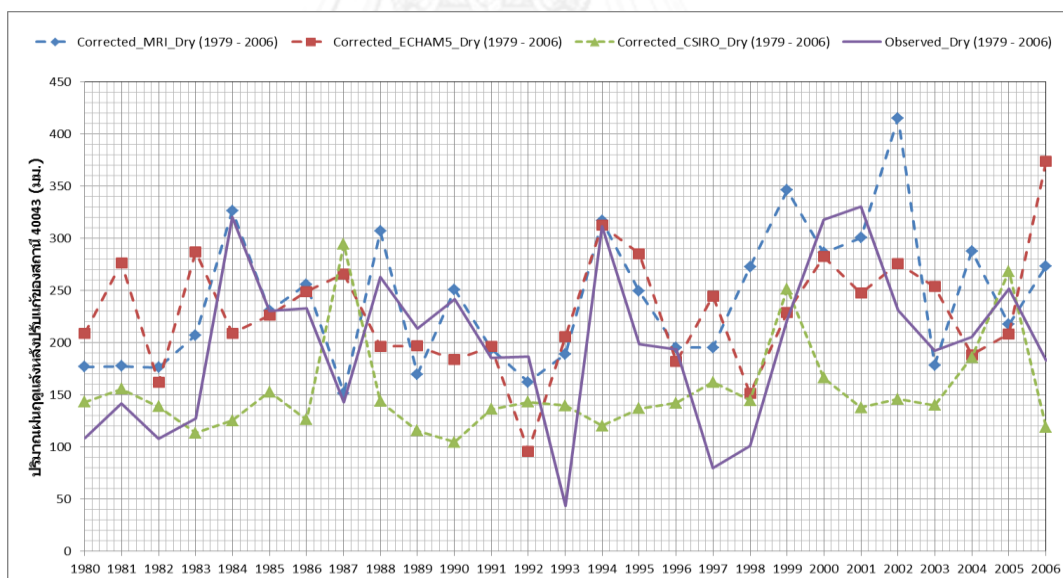
รูปที่ 4-25 การเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูฝนของสถานี 59012 ระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006



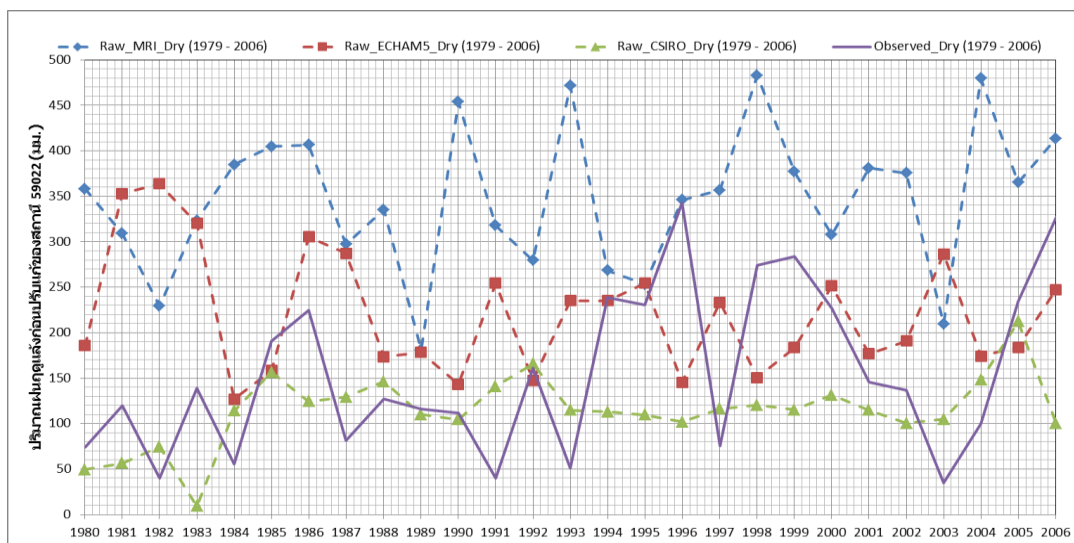
รูปที่ 4-26 การเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูฝนของสถานี 59012 ระหว่างฝนจากแบบจำลองMRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ช่วงหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006



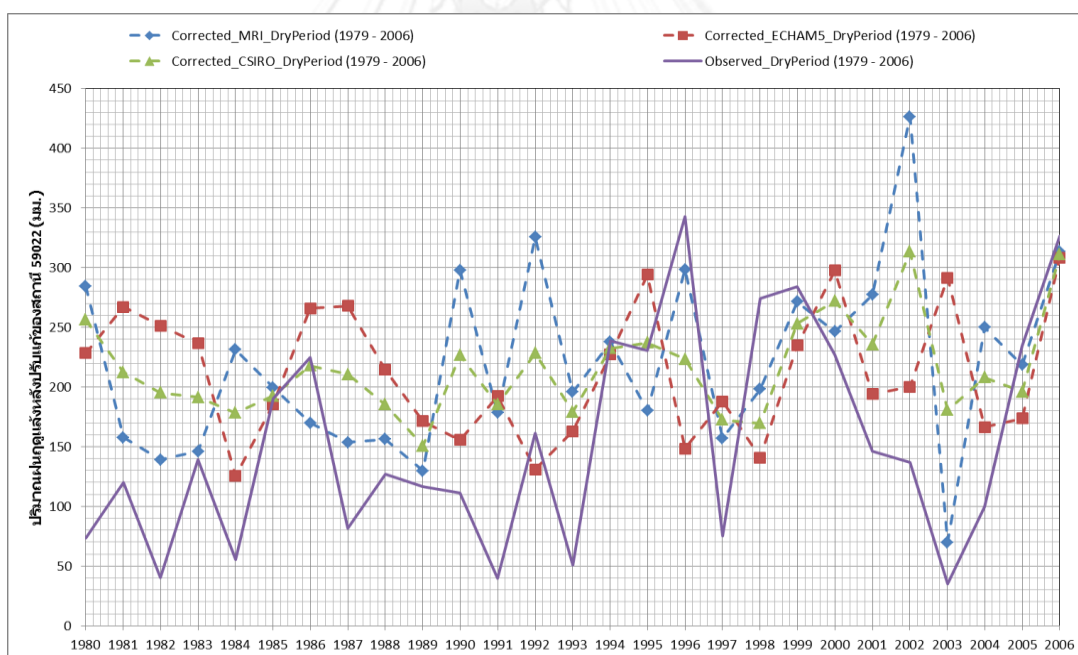
รูปที่ 4-27 การเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูแล้งของสถานี 40043 ระหว่างฝนจากแบบจำลองMRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006



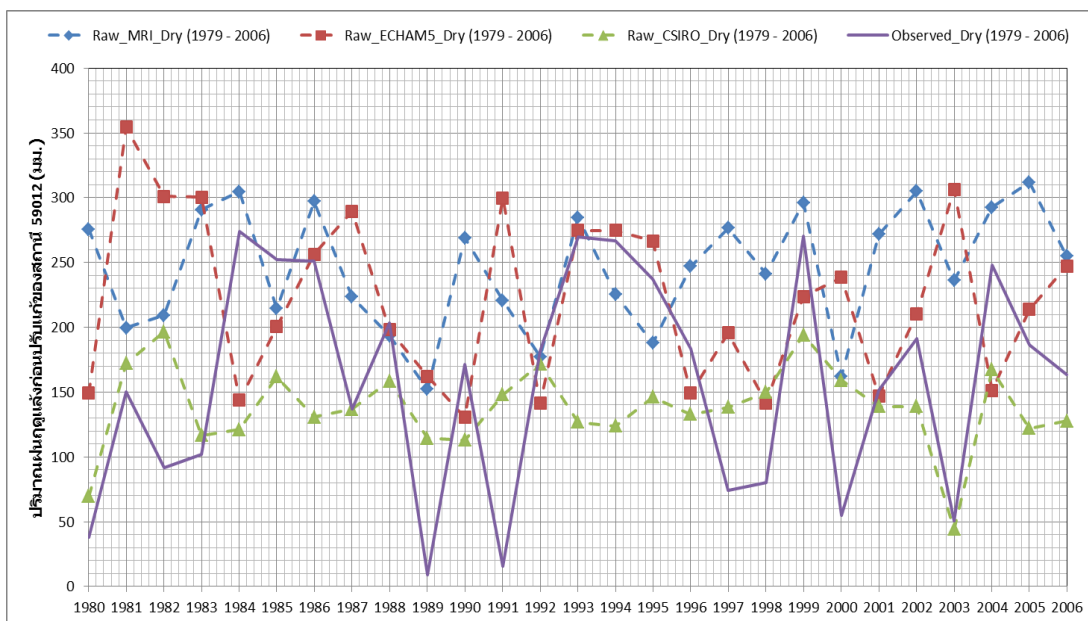
รูปที่ 4-28 การเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูแล้งของสถานี 40043 ระหว่างฝนจากแบบจำลองMRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ช่วงหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006



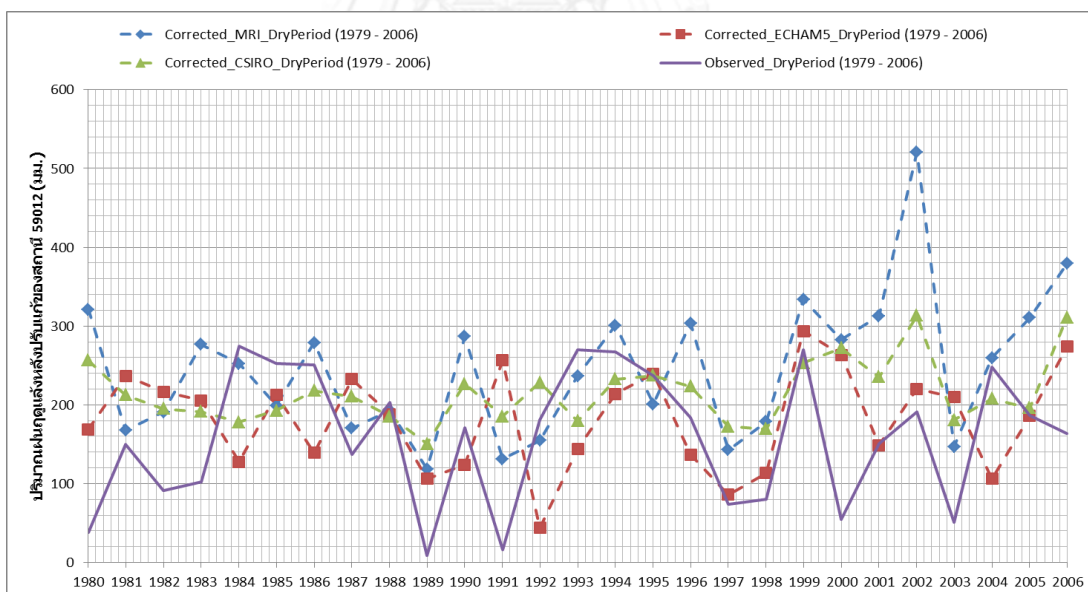
รูปที่ 4-29 การเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูแล้งของสถานี 59022 ระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006



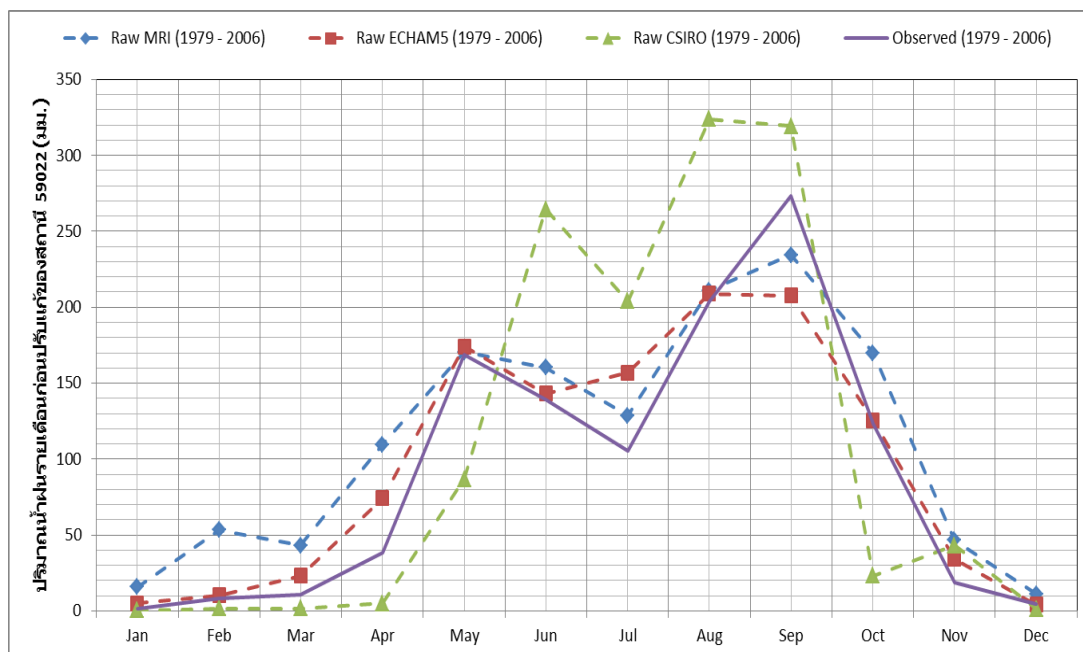
รูปที่ 4-30 การเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูแล้งของสถานี 59022 ระหว่างฝนจากแบบจำลองMRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ช่วงหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006



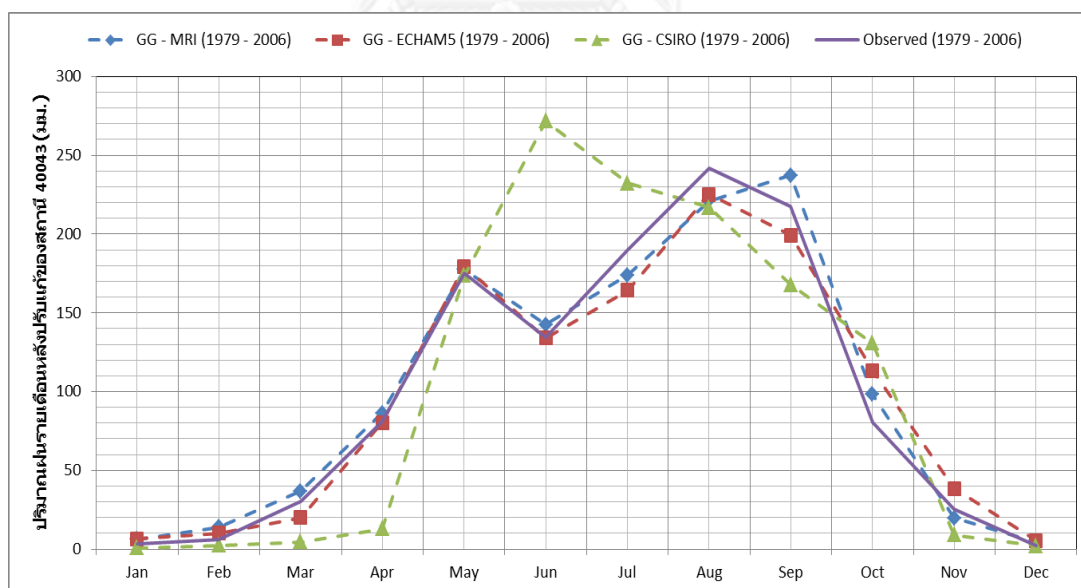
รูปที่ 4-31 การเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูแล้งของสถานี 59012 ระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006



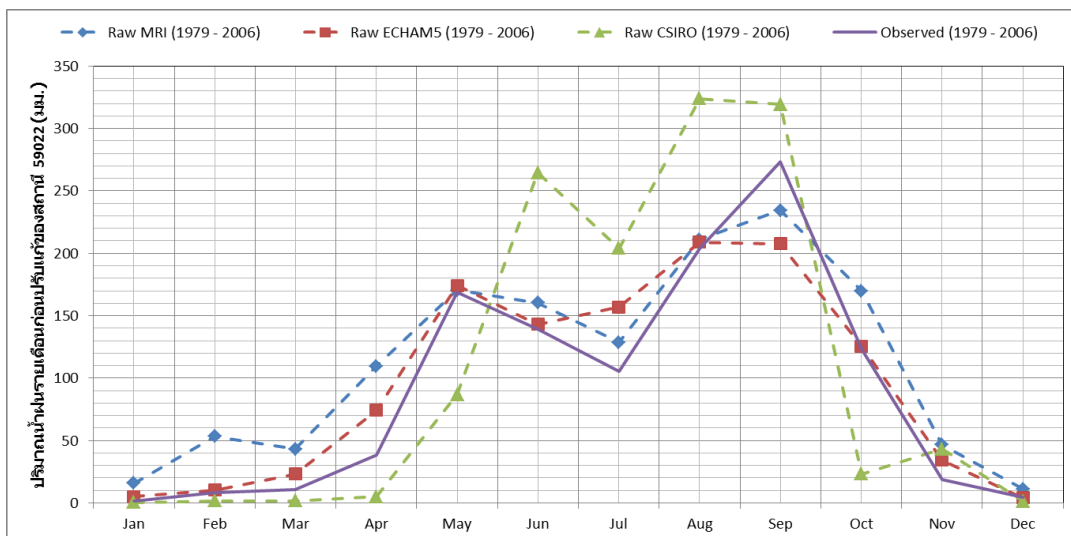
รูปที่ 4-32 การเปรียบเทียบปริมาณฝนฤดูแล้งของสถานี 59012 ระหว่างฝนจากแบบจำลองMRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ช่วงหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006



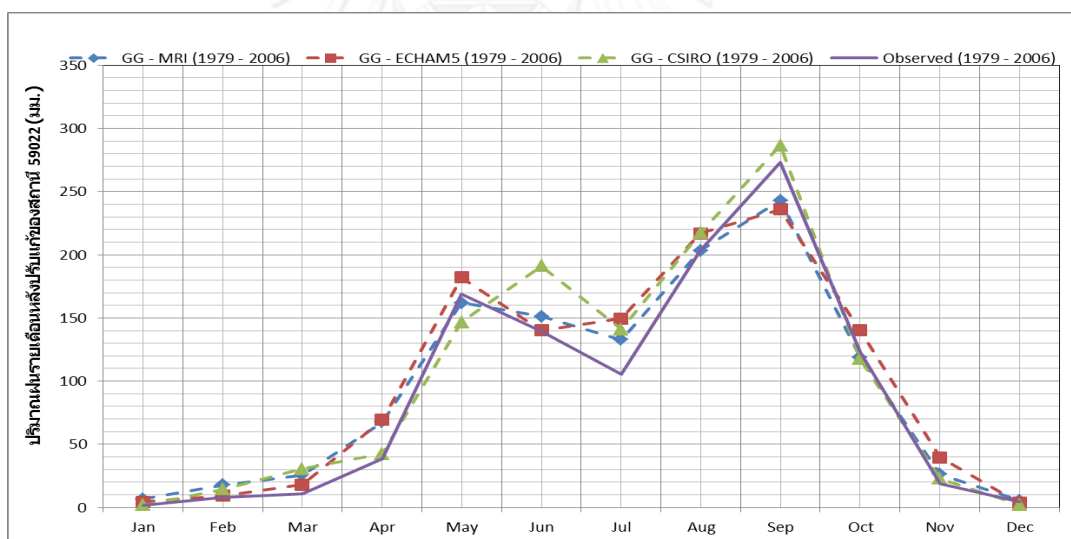
รูปที่ 4-33 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนของสถานี 40043 ระหว่างฝนจากแบบจำลองMRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006



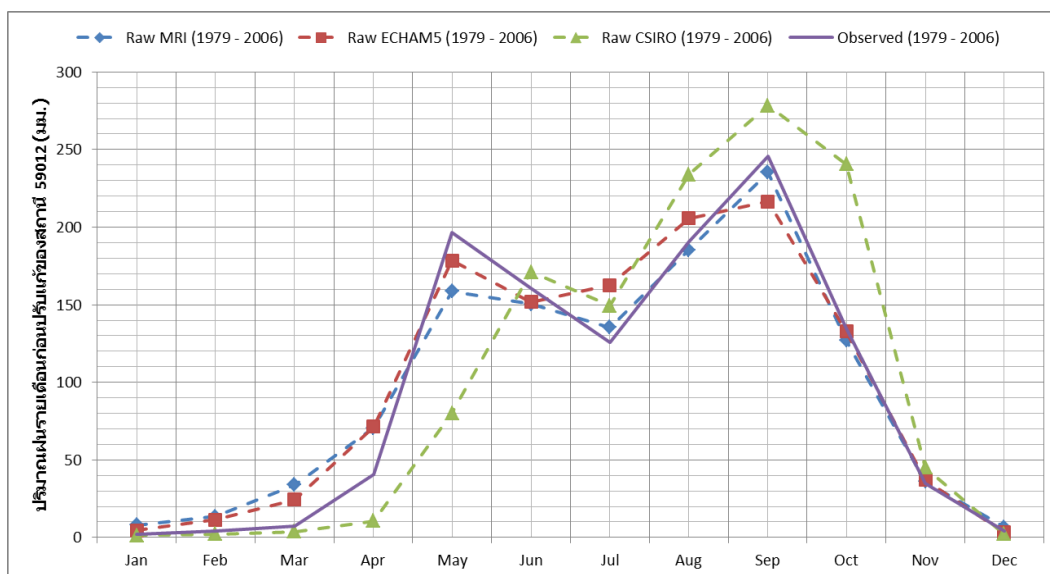
รูปที่ 4-34 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนของสถานี 40043 ระหว่างฝนจากแบบจำลองMRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ช่วงหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006



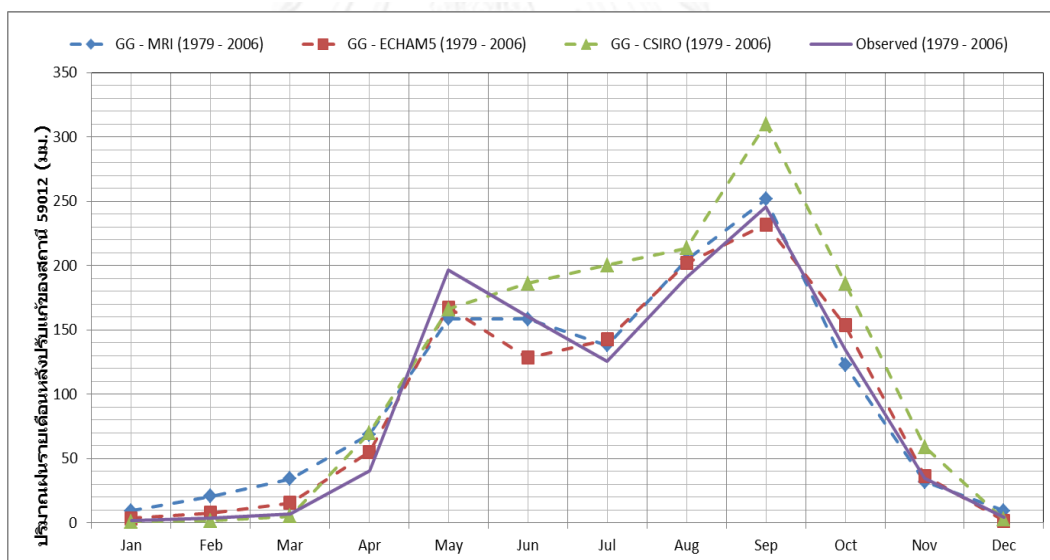
รูปที่ 4-35 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนของสถานี 59022 ระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006



รูปที่ 4-36 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนของสถานี 59022 ระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006



รูปที่ 4-37 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนของสถานี 59012 ระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006



รูปที่ 4-38 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนของสถานี 59012 ระหว่างฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ช่วงหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006

ตารางที่ 4-9 สรุปการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของฝนรายปีจากข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลกกับข้อมูลตรวจวัดจากสถานี 40043

แบบจำลองภูมิอากาศโลก	ค.ศ. 1979-2000 (%)			ค.ศ. 2001-2006 (%)			ค.ศ. 1979-2006 (%)		
	Mean	σ	C.V.	Mean	σ	C.V.	Mean	σ	C.V.
Raw MRI	3.71%	-22.94%	-24.88%	2.57%	-22.94%	-24.88%	2.57%	-34.48%	-34.72%
Raw ECHAM5	3.41%	-23.49%	-23.14%	-3.02%	-23.49%	-23.14%	-0.46%	-29.47%	-29.57%
Raw CSIRO-MK3.5	19.62%	-22.00%	-23.10%	11.95%	-22.00%	-23.10%	14.27%	-20.80%	-30.69%
GG MRI	2.57%	-0.17%	-3.74%	-2.53%	-13.44%	-11.19%	0.37%	-22.94%	-24.88%
GG ECHAM5	-0.46%	0.67%	-2.65%	-0.46%	-17.87%	-15.31%	0.14%	-23.49%	-23.14%
GG CSIRO-MK3.5	1.42%	11.20%	-7.04%	1.42%	0.51%	-10.22%	1.42%	-22.00%	-23.09%

ตารางที่ 4-10 สรุปการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของฝนรายปีจากข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลกกับข้อมูลตรวจวัดจากสถานี 59022

แบบจำลองภูมิอากาศโลก	ค.ศ. 1979-2000 (%)			ค.ศ. 2001-2006 (%)			ค.ศ. 1979-2006 (%)		
	Mean	σ	C.V.	Mean	σ	C.V.	Mean	σ	C.V.
Raw MRI	26.08%	14.01%	-15.95%	-23.53%	-40.51%	-43.80%	23.53%	-40.51%	-43.80%
Raw ECHAM5	11.40%	-1.91%	-11.95%	11.06%	-36.37%	-40.55%	11.06%	-36.37%	-40.55%
Raw CSIRO-MK3.5	39.66%	26.63%	-9.33%	32.59%	6.64%	-19.57%	32.59%	6.64%	-19.57%
GG MRI	5.43%	-11.39%	-9.57%	5.86%	-23.50%	-38.07%	5.86%	-23.50%	-38.07%
GG ECHAM5	8.74%	1.40%	-9.32%	7.04%	-26.24%	-33.59%	7.04%	-26.24%	-33.16%
GG CSIRO-MK3.5	9.53%	8.55%	-0.90%	7.34%	4.72%	-2.44%	7.34%	4.72%	-2.44%

ตารางที่ 4-11 สรุปการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของฝนรายปีจากข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลกกับข้อมูลตรวจวัดจากสถานี 59012

แบบจำลองภูมิอากาศโลก	ค.ศ. 1979-2000 (%)			ค.ศ. 2001-2006 (%)			ค.ศ. 1979-2006 (%)		
	Mean	σ	C.V.	Mean	σ	C.V.	Mean	σ	C.V.
Raw MRI	6.90%	-23.99%	-28.91%	6.90%	-61.13%	-62.13%	6.90%	-61.13%	-62.13%
Raw ECHAM5	5.74%	-8.01%	-9.84%	6.69%	-41.72%	-45.37%	6.69%	-41.72%	-45.36%
Raw CSIRO-MK3.5	27.96%	-36.53%	-38.39%	24.44%	-36.53%	-38.39%	24.44%	36.53%	-38.39%
GG MRI	-0.71%	-9.25%	-8.60%	2.65%	-24.00%	-28.91%	2.65%	-23.99%	-28.90%
GG ECHAM5	2.02%	-1.42%	-6.77%	2.02%	-8.01%	-9.84%	2.02%	-8.01%	-9.84%
GG CSIRO-MK3.5	3.01%	23.16%	-3.75%	3.02%	3.63%	-16.72%	3.02%	3.63%	-16.72%

ตารางที่ 4-12 สรุปการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของฝนฤดูฝนจากข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลกกับข้อมูลตรวจวัดจากสถานี 40043

แบบจำลองภูมิอากาศโลก	ค.ศ. 1979-2000 (%)			ค.ศ. 2001-2006 (%)			ค.ศ. 1979-2006 (%)		
	Mean	σ	C.V.	Mean	σ	C.V.	Mean	σ	C.V.
Raw MRI	-23.64%	-16.66%	47.88%	-8.99%	-16.93%	-16.15%	-5.99%	-30.47%	-26.05%
Raw ECHAM5	-21.70%	20.73%	54.19%	-6.19%	-20.43%	-17.90%	-2.93%	-22.64%	-20.31%
Raw CSIRO-MK3.5	17.06%	56.26%	50.88%	29.42%	21.35%	-14.90%	32.00%	-0.38%	-24.24%
GG MRI	-0.60%	12.92%	-16.15%	-0.60%	-16.66%	-8.73%	-0.60%	-16.66%	-16.15%
GG ECHAM5	-3.08%	-20.43%	-17.90%	-3.08%	-20.43%	-10.62%	-3.08%	-20.43%	-17.90%
GG CSIRO-MK3.5	3.56%	-0.38%	-14.90%	17.06%	-0.38%	-6.24%	17.06%	0.01%	-14.90%

ตารางที่ 4-13 สรุปการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของฝนฤดูฝนจากข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลกกับข้อมูลตรวจวัดจากสถานี 59022

แบบจำลองภูมิอากาศโลก	ค.ศ. 1979–2000 (%)			ค.ศ. 2001–2006 (%)			ค.ศ. 1979–2006 (%)		
	Mean	σ	C.V.	Mean	σ	C.V.	Mean	σ	C.V.
Raw MRI	26.08%	-40.51%	-43.81%	23.53%	-42.69%	-41.67%	5.09%	-42.69%	60.80%
Raw ECHAM5	11.06%	-26.24%	-33.59%	7.04%	-36.37%	-40.55%	-0.55%	-40.37%	-55.99%
Raw CSIRO–MK3.5	39.66%	26.63%	-9.33%	32.59%	28.11%	-19.57%	48.64%	32.30%	-68.09%
GG MRI	5.86%	14.01%	-9.57%	-1.75%	-23.50%	-38.07%	-1.75%	-6.10%	-10.65%
GG ECHAM5	8.74%	-1.40%	-9.32%	4.93%	-15.42%	-19.39%	4.93%	-15.42%	-19.39%
GG CSIRO–MK3.5	7.34%	4.72%	-2.44%	21.09%	6.64%	5.80%	21.09%	28.11%	5.80%

ตารางที่ 4-14 สรุปการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของฝนฤดูฝนจากข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลกกับข้อมูลตรวจวัดจากสถานี 59012

แบบจำลองภูมิอากาศโลก	ค.ศ. 1979–2000 (%)			ค.ศ. 2001–2006 (%)			ค.ศ. 1979–2006 (%)		
	Mean	σ	C.V.	Mean	σ	C.V.	Mean	σ	C.V.
Raw MRI	-6.37%	-59.05%	-56.27%	-0.54%	-59.62%	-59.40%	-5.16%	-59.54%	-57.34%
Raw ECHAM5	1.75%	-44.74%	-45.69%	3.30%	-58.75%	-60.07%	2.07%	-48.62%	-49.66%
Raw CSIRO–MK3.5	45.34%	-45.69%	-16.15%	23.27%	-36.40%	-48.40%	40.74%	18.59%	-15.74%
GG MRI	1.47%	6.04%	4.50%	-0.30%	-31.64%	-31.44%	1.06%	-5.73%	-2.76%
GG ECHAM5	-0.48%	8.44%	8.96%	0.73%	-2.68%	-3.39%	-1.11%	-49.66%	-6.91%
GG CSIRO–MK3.5	10.74%	6.12%	-4.18%	14.02%	-32.82%	-41.08%	10.69%	-15.74%	-6.68%

ตารางที่ 4-15 สรุปการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของฝนฤดูแล้งจากข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลกกับข้อมูลตรวจวัดจากสถานี 40043

แบบจำลองภูมิอากาศโลก	ค.ศ. 1979-2000 (%)			ค.ศ. 2001-2006 (%)			ค.ศ. 1979-2006 (%)		
	Mean	σ	C.V.	Mean	σ	C.V.	Mean	σ	C.V.
Raw MRI	-79.18%	-60.74%	88.55%	-78.41%	-60.66%	82.25%	34.86%	-17.13%	-38.55%
Raw ECHAM5	-81.10%	-65.05%	84.91%	-82.04%	-67.90%	78.70%	18.81%	-25.91%	-37.64%
Raw CSIRO-MK3.5	-87.32%	-75.65%	91.95%	-87.62%	-77.34%	83.03%	-19.34%	-49.18%	-36.99%
GG-MRI	-20.47%	-7.87%	-23.52%	17.96%	-2.65%	-12.98%	21.37%	-11.74%	-27.28%
GG-ECHAM5	17.89%	-6.33%	-20.54%	7.94%	-10.19%	-16.80%	15.50%	-24.82%	-34.91%
GG-CSIRO-MK3.5	-16.29%	-35.52%	-22.97%	-25.70%	-39.42%	-18.47%	-19.34%	45.82%	-21.23%

ตารางที่ 4-16 สรุปการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของฝนฤดูแล้งจากข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลกกับข้อมูลตรวจวัดจากสถานี 59022

แบบจำลองภูมิอากาศโลก	ค.ศ. 1979-2000 (%)			ค.ศ. 2001-2006 (%)			ค.ศ. 1979-2006 (%)		
	Mean	σ	C.V.	Mean	σ	C.V.	Mean	σ	C.V.
Raw MRI	108.25%	-33.35%	-50.98%	111.47%	20.21%	-43.16%	124.11%	-15.64%	-60.80%
Raw ECHAM5	36.95%	-39.98%	-56.18%	36.37%	-28.15%	-56.16%	42.21%	-39.79%	-55.99%
Raw CSIRO-MK3.5	-73.37%	-64.38%	81.22%	-83.20%	-72.69%	62.57%	49.08%	-57.66%	-68.09%
GG MRI	35.94%	15.78%	-44.41%	58.98%	13.78%	-28.43%	41.33%	-12.15%	-40.31%
GG ECHAM5	34.77%	-11.95%	-34.67%	23.58%	-40.22%	-41.86%	36.82%	-26.61%	-48.39%
GG CSIRO-MK3.5	36.45%	-51.75%	-73.89%	47.67%	-43.63%	-61.83%	-26.27%	-55.63%	-42.58%

ตารางที่ 4-17 สรุปการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของฝนฤดูแล้งจากข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลกกับข้อมูลตรวจวัดจากสถานี 59012

แบบจำลองภูมิอากาศโลก	ค.ศ. 1979–2000 (%)			ค.ศ. 2001–2006 (%)			ค.ศ. 1979–2006 (%)		
	Mean	σ	C.V.	Mean	σ	C.V.	Mean	σ	C.V.
Raw MRI	48.58%	-26.31%	-48.27%	94.71%	90.94%	-18.90%	54.48%	-16.00%	-43.47%
Raw ECHAM5	39.17%	-27.42%	-35.85%	19.96%	67.50%	-7.57%	39.17%	-25.11%	-34.42%
Raw CSIRO–MK3.5	-64.10%	-64.91%	-73.39%	-73.03%	90.35%	46.12%	-64.10%	-58.40%	-64.84%
GG MRI	42.44%	-18.50%	-42.42%	38.34%	12.20%	-1.94%	48.58%	6.17%	-31.27%
GG ECHAM5	13.14%	-11.44%	-33.20%	-0.29%	10.87%	15.38%	13.66%	-8.73%	-34.11%
GG CSIRO–MK3.5	31.85%	-59.64%	18.01%	5.18%	-60.59%	45.68%	35.03%	-52.52%	15.87%

ตารางที่ 4-18 สรุปการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของฝนรายเดือนจากข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลกกับข้อมูลตรวจวัดจากสถานี 40043

แบบจำลองภูมิอากาศ โลก	ค.ศ. 1979-2000				ค.ศ. 2001-2006				ค.ศ. 1979-2006			
	Mean	σ	C.V.	RMSE	Mean	σ	C.V.	RMSE	Mean	σ	C.V.	RMSE
Raw MRI	101.80	83.00	0.815	18.06	90.76	72.72	0.801	98.40	99.34	80.61	0.811	15.96
Raw ECHAM5	100.65	85.64	0.851	14.84	91.26	70.52	0.773	92.62	98.56	81.41	0.826	14.99
Raw CSIRO	159.23	218.99	1.375	165.74	159.23	218.99	1.375	97.17	124.49	133.23	1.070	69.20
GG MRI	95.87	82.93	0.865	14.29	110.31	93.66	0.849	15.38	101.52	86.69	0.854	14.77
GG ECHAM5	98.07	81.78	0.834	14.03	105.76	83.76	0.792	41.92	98.07	81.78	0.834	14.98
GG CSIRO	98.22	127.21	1.295	68.89	107.92	140.91	1.306	84.84	102.04	106.80	1.047	29.77
ฝนสังเกตการณ์	95.13	86.73	0.912		112.40	99.72	0.887		98.97	89.29	0.902	

ตารางที่ 4-19 สรุปผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนจากข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลกกับข้อมูลตรวจวัดจากสถานี 59022

ข้อมูลฝนฤดูแล้ง	ค.ศ. 1979-2000				ค.ศ. 2001-2006				ค.ศ. 1979-2006			
	Mean	σ	C.V.	RMSE	Mean	σ	C.V.	RMSE	Mean	σ	C.V.	RMSE
Raw MRI	116.36	81.61	0.701	30.22	100.62	65.86	0.655	36.57	112.86	82.73	0.686	33.99
Raw ECHAM5	99.04	84.09	0.849	24.12	91.02	73.01	0.802	29.19	97.26	86.58	0.831	26.96
Raw CSIRO	180.24	264.94	1.470	234.02	106.23	155.35	1.462	123.38	106.21	132.41	1.246	70.99
GG MRI	94.38	80.20	0.850	18.84	104.88	92.74	0.884	27.69	96.72	77.46	0.855	23.77
GG ECHAM5	99.47	87.47	0.880	19.63	95.11	90.59	0.862	51.52	100.72	80.78	0.859	21.25
GG CSIRO	95.74	135.12	1.411	102.28	106.23	155.35	1.462	108.39	101.24	96.07	0.949	33.29
ฝนสังเกตการณ์	95.73	88.54	0.925		95.73	88.54	0.925		95.73	88.54	0.925	

ตารางที่ 4-20 สรุปผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนจากข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลกกับข้อมูลตรวจวัดจากสถานี 59012

ข้อมูลฝนฤดูแล้ง	ค.ศ. 1979-2000				ค.ศ. 2001-2006				ค.ศ. 1979-2006			
	Mean	σ	C.V.	RMSE	Mean	σ	C.V.	RMSE	Mean	σ	C.V.	RMSE
Raw MRI	96.28	78.74	0.818	18.85	98.23	76.99	0.784	49.28	96.714	78.27	0.809	27.43
Raw ECHAM5	101.51	85.28	0.840	27.62	95.11	78.58	0.826	64.20	100.00	82.81	0.828	18.60
Raw CSIRO	177.98	249.76	1.40	214.51	97.68	122.85	1.258	110.35	101.58	107.23	1.056	102.44
GG MRI	99.54	84.15	0.845	17.16	104.86	79.57	0.759	46.69	100.72	95.50	0.823	17.31
GG ECHAM5	93.42	83.42	0.893	19.78	102.81	93.71	0.911	62.80	95.50	84.39	0.884	15.86
GG CSIRO	96.88	124.85	1.289	81.84	97.68	0.911	1.257	81.84	116.81	0.88	0.907	99.55
ฝนสังเกตการณ์	89.62	87.35	0.975		97.45	114.03	1.170		95.52	89.68	0.939	

4.2.3.4 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายวันของสถานีวัดน้ำฝนในกลุ่มน้ำยม

1) การเปรียบเทียบช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติ

หัวข้อนี้จะแสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนรายวันระยะยาวในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006 ของแต่ละสถานีวัดน้ำฝนในกลุ่มน้ำยม การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงเวลาสอบเทียบข้อมูล (calibration period) ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2000 และช่วงเวลาสอบทานข้อมูล (verification period) ระหว่างปี ค.ศ. 2001-2006 พารามิเตอร์ทางสถิติที่ใช้ในการเปรียบเทียบได้แก่ RMSE และ R^2 ซึ่งในที่นี้ค่า R^2 จะใช้เทคนิคการหาความสัมพันธ์ด้วยการพล็อตกราฟแบบ XY 45°scattering

ผลการเปรียบเทียบทั้ง 14 สถานีวัดน้ำฝนแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างแบบจำลองภูมิอากาศโลก สำหรับกริด GRD3039 ซึ่งเป็นตำแหน่งของสถานีน้ำฝนใน อ. เมือง จังหวัดสุโขทัย พบว่าแบบจำลอง MRI และ ECHAM5 สามารถจำลองปริมาณฝนรายเดือนให้ใกล้เคียงกับฝนสังเกตการณ์มากกว่าแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 โดยอาศัยผลของพารามิเตอร์เช่น R^2 และ RMSE แต่แบบจำลอง MRI จะให้ผลที่ใกล้เคียงกับฝนสังเกตการณ์มากที่สุด นอกจากนี้ยังพบแนวโน้มเช่นว่า ในกริดอื่นๆของจังหวัดสุโขทัย เช่น กริด GRD3135 (อำเภอสวรรคโลก) กริด GRD3040 (อำเภอองไทรลราช) กริด GRD3038 (อำเภอบ้านด่านลานหอย) GRD2991 (อำเภอคีรีมาศ) กริด GRD3134 (ทุ่งเสลี่ยม) และกริด GRD3183 (อำเภอศรีสัชชนาลัย) สำหรับพื้นที่เหนือจังหวัดสุโขทัย เช่น กริด GRD3378 (อำเภอสอง) กริด GRD3278 (อำเภอวังชิ้น) และสถานี 40043 (อำเภอลอง) ก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกันตลอดจนพื้นที่ท้ายน้ำอื่นๆ เช่น กริด GRD3378 (อำเภอบางระกำ) และ กริด GRD2945 (อำเภอสามงาม) อย่างไรก็ตามหากพิจารณาถึงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะพบว่าทั้งสามแบบจำลองจะให้ค่าที่ต่ำกว่าข้อมูลสังเกตการณ์อย่างชัดเจนในสถานีส่วนใหญ่ แต่สิ่งที่พบคือแบบจำลอง MRI ยังให้ค่าความเบี่ยงเบนได้ใกล้เคียงกับปริมาณฝนสังเกตการณ์มากที่สุดเช่นเดิม ผลสรุปการเปรียบเทียบของฝนช่วงก่อนปรับแก้แสดงในตารางที่ 4-21

2) การเปรียบเทียบช่วงหลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติ

ผลการเปรียบเทียบกับข้อมูลฝนสังเกตการณ์หลังการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติแล้ว ดังตารางที่ 4-21 พบว่าความคลาดเคลื่อนของฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 CSIRO-MK3.5 ลดลงอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างแบบจำลองภูมิอากาศโลก สำหรับกริด GRD3039 ซึ่งเป็นตำแหน่งของสถานีน้ำฝนใน อ. เมือง จังหวัดสุโขทัย พบว่าแบบจำลอง MRI สามารถจำลองปริมาณฝนรายเดือนตั้งแต่ปี ค.ศ. 1979-2006 ได้อย่างใกล้เคียงกับฝนสังเกตการณ์มากกว่าแบบจำลอง ECHAM5 และ CSIRO โดยอาศัยผลของพารามิเตอร์เช่น R^2 RMSE และ σ เป็นต้น และโดยภาพรวมแบบจำลอง MRI จะให้ผลที่ใกล้เคียงกับฝนสังเกตการณ์มากที่สุด นอกจากนี้ยังพบ

แนวโน้มนับดังกล่าวในกริดอื่นๆของจังหวัดสุโขทัย เช่น กริด GRD3135 (อำเภอสวรรคโลก) กริด GRD3040 (อำเภอกงไกรลาศ) กริด GRD3038 (อำเภอบ้านด่านลานหอย) GRD2991 (อำเภอศรีรีมาศ) กริด GRD3134 (อำเภอทุ่งเสลี่ยม) และกริด GRD3183 (อำเภอศรีสัชชนาลัย) สำหรับพื้นที่เหนือจังหวัดสุโขทัย เช่น กริด GRD3378 (อำเภอสอง) กริด GRD3278 (อำเภอวังชิ้น) และสถานี 40043 (อำเภอลอง) ก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกันตลอดจนพื้นที่ท้ายน้ำอื่นๆ เช่น กริด GRD3378 (อำเภอบางระกำ) และ กริด GRD2945 (อำเภอสามงาม) ค่าซึ่งเริ่มต้นมีค่าต่ำกว่าข้อมูลจริงอยู่พอสมควร แต่หลังจากปรับแก้ข้อมูลแล้วพบว่าฝนจากแบบจำลองทั้งสามสามารถจำลองข้อมูลฝนได้ดีขึ้น

นอกจากผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนเฉลี่ยแบบรายสถานีแล้ว ในการศึกษาครั้งนี้ได้วิเคราะห์เพิ่มเติมถึงคุณลักษณะของฝนที่ผ่านการปรับแก้ด้วยวิธีการแปลงแบบแกมมา-แกมมา ได้แก่ ปริมาณฝนเฉลี่ยรายวันในแต่ละเดือน ความถี่ฝนตกรายเดือน และความเข้มของฝนรายเดือน ในกริดตัวอย่าง GRD3619 ณ อำเภอศรีสัชชนาลัย จ. สุโขทัย และแสดงผลไว้ในภาคผนวก ค พบการศึกษาพบว่าทั้งสามแบบจำลองมีความสามารถใกล้เคียงกันมาก แต่แบบจำลอง CSIRO-MK3.5 จะแสดงผลของความเข้มและความถี่ได้ดีเป็นพิเศษ อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์ค่า skill score ของปริมาณฝนรายเดือนสรุปได้ว่า แบบจำลอง MRI ยังให้ค่าความคลาดเคลื่อนรายเดือนต่ำที่สุดในทุกช่วงของปี ส่วนแบบจำลอง ECHAM5 ตามลำดับจะมีประสิทธิภาพในลำดับที่สองในช่วงฤดูแล้ง ส่วนแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 จะให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่า ECHAM5 ในช่วงฤดูฝนส่วนใหญ่ (มิถุนายน-สิงหาคม และตุลาคม)

4.2.4 ผลการเปรียบเทียบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของฝนแบบจำลองและฝนสังเกตการณ์ในกลุ่มน้ำยม

ขั้นตอนการวิเคราะห์และสร้างแผนที่การกระจายตัวของฝนรายปีเชิงพื้นที่ในกลุ่มน้ำยมและจังหวัดสุโขทัย ในเบื้องต้นจะทำการจัดกลุ่มพิกัดและปริมาณฝนกริด (gridded rainfall) รายวัน ของประเทศไทยทั้งสิ้น 1,269 กริด หลังจากนั้นจึงแปลงค่าฝนกริดเหล่านี้ให้เป็นฝน raster ทั้งหมด ด้วยวิธีการประมาณค่าในช่วง (interpolation) ซึ่งให้ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงพื้นที่น้อยกว่าวิธีการประมาณค่าในช่วงอื่นๆ เช่น วิธีรูปหลายเหลี่ยมธีเอสเซน วิธีผกผันระยะทางยกกำลังสอง (IDW method) และ วิธี simple linear regression เป็นต้น ในกรณีที่แปลงค่าฝนรายกริดเป็นฝนเชิงพื้นที่ทำเช่นนี้กับข้อมูลฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ยังไม่ได้ปรับแก้ข้อมูล (raw GCMs) และแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ปรับแก้ข้อมูลแล้ว (corrected GCMs) ของทั้งประเทศ สำหรับการศึกษาในกรณีสภาพปัจจุบัน จะแสดงผลเปรียบเทียบระหว่าง ปี ค.ศ. 1979-2006

ผลการศึกษาสรุ่ได้โดยสังเขปดังนี้

1. การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายปีจากฝนสังเกตการณ์จากแบบจำลอง MRI ในกรณีสภาพปัจจุบัน (ค.ศ. 1979–2006) พบว่าเมื่อพิจารณาฝนรายปีสูงสุด จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1,236–1,291 มม. ในพื้นที่อำเภอปง จังหวัดพะเยา และตอนล่างของจังหวัดแพร่ ปริมาณรายปีต่ำสุดมีค่าระหว่าง 1,039–1,075 มม. ในตอนล่างของจังหวัดกำแพงเพชรและส่วนใหญ่ของจังหวัดพิจิตร ผลการจำลองการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยด้วยแบบจำลอง MRI ในช่วงเวลาเดียวกันพบว่าการแก้ความเอนเอียงได้ปรับปรุงลักษณะการกระจายตัวของฝนรายปีให้ใกล้เคียงกับข้อมูลสังเกตการณ์มากขึ้นอย่างชัดเจน หากพิจารณาในเขตจังหวัดสุโขทัย ความคลาดเคลื่อนของปริมาณฝนสะสมได้ถูกลดทอนให้ต่ำสุดระหว่าง 0.48–2.24% ขณะที่ก่อนปรับแก้ปริมาณสูงสุดจะคลาดเคลื่อนระหว่าง -1.84–2.33% ขณะที่เขตพื้นที่อำเภอสวรรคโลก ศรีสำโรง และเมือง ความคลาดเคลื่อนช่วงหลังปรับแก้และก่อนปรับแก้มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกัน ขณะที่ฝนรายปีสูงสุดและต่ำสุดของกลุ่มน้ำใกล้เคียงกับข้อมูลสังเกตการณ์มากขึ้น โดยมีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 28.7 % เทียบกับ 37% ก่อนปรับแก้ และ 2.05% เทียบกับ 2.6% ก่อนปรับแก้ ตามลำดับ

2. ผลการจำลองปริมาณฝนสะสมรายปีเฉลี่ยระหว่างปี ค.ศ. 1979–2006 โดยแบบจำลอง ECHAM5 พบว่าช่วงก่อนปรับแก้ความเอนเอียงให้ค่าปริมาณฝนสูงสุดระหว่าง 1,284–1,314 มม. และต่ำสุดระหว่าง 1,147–1,180 มม. ซึ่งคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์ประมาณ -9.85–3.24% และ 16.10–21.36% ตามลำดับ หลังปรับแก้ความเอนเอียงพบว่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลลดลงอย่างชัดเจน โดยปริมาณฝนสูงสุดมีค่าระหว่าง 1,230–1,270 มม. และต่ำสุดระหว่าง 1,069–1,105 มม. คิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ -2.41–0.01% ตามลำดับ ในจังหวัดสุโขทัยพบว่าปริมาณฝนเฉลี่ยสะสมรายปีก่อนปรับแก้มีค่าตั้งแต่ 1,147–1,180 มม. ที่อำเภอศรีสัชชนาลัย และอำเภอศรีนคร และจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเป็นลำดับจนถึง 1,195–1,225 มม. ในเขตอำเภอเมือง อำเภอสวรรคโลก อำเภอศรีสำโรง และอำเภอกงไกรลาศ ส่วนอำเภอคีรีมาศและอำเภอบ้านด่านลานหอย มีปริมาณฝนสะสมระหว่าง 1,225–1,261 มม. ซึ่งประกอบด้วยค่าความคลาดเคลื่อนแบบต่ำกว่าความเป็นจริงประมาณ 3.24–9 % ในพื้นที่ตอนบนของจังหวัด (อำเภอศรีสัชชนาลัย) และพื้นที่ตอนล่าง (อำเภอคีรีมาศและอำเภอกงไกรลาศ) ส่วนพื้นที่ตอนกลางจรดตอนล่าง ในเขตอำเภอสวรรคโลก ศรีสำโรง เมือง บ้านด่านลานหอย มีความคลาดเคลื่อนประมาณ 6.31–11.81 % ตามลำดับ หลังปรับแก้ข้อมูลพบว่า ปริมาณฝนสูงสุดจะอยู่ระหว่าง 1,184–1,203 มม. และปริมาณฝนต่ำสุดเท่ากับ 1,128–1,148 มม. ซึ่งคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์ประมาณ -2.41–0.01 % และ 1.44–1.95 % ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกว่าก่อนปรับแก้อย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ปริมาณฝนสะสมในจังหวัดสุโขทัย มีค่าตั้งแต่ 1,105–1,128 มม. ที่อำเภอบ้านด่านลานหอย ทุ่งเสลี่ยม และอำเภอศรีสัชชนาลัย และจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเป็นลำดับจนถึง 1,128–1,148 มม. ในเขตอำเภอเมือง อำเภอศรีสำโรง และบางส่วนของอำเภอสวรรคโลก และมากที่สุดที่ระดับ 1,186–1,184 มม. ในส่วนตะวันออกของอำเภอศรีสัชชนาลัย อำเภอ

กึ่งไทรลาต และอำเภอศรีราชา ความคลาดเคลื่อนของปริมาณฝนสะสมหลังปรับแก้ข้อมูลพบว่าลดลงอย่างชัดเจน เช่น อำเภอศรีราชาลัย (0.01%–1.44%) อำเภอสุวรรณคโลก อำเภอบ้านด่านลานหอย อำเภอศรีสำโรง (0.44%–2.59%) และตอนใต้ของอำเภอบ้านด่านลานหอยและส่วนใหญ่ของอำเภอศรีราชา (0.01%–0.93%)

3. ผลการจำลองปริมาณฝนสะสมรายปีระหว่างปี ค.ศ. 1979-2006 จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก CSIRO-MK3.5 พบว่าช่วงก่อนปรับแก้ความเอนเอียงให้ปริมาณฝนต่ำสุดระหว่าง 1,336–1,389 มม. และสูงสุดระหว่าง 1,723–1,812 มม. ซึ่งคลาดเคลื่อนจากข้อมูลสังเกตการณ์ประมาณ 3.08%–12.30% และ 60.36%–74.33% ตามลำดับ หลังปรับแก้ความเอนเอียงพบว่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลลดลงอย่างชัดเจน โดยปริมาณฝนต่ำสุดมีค่าระหว่าง 999–1,052 มม. และสูงสุดระหว่าง 1,224–1,276 มม. คิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ -3.88–2.57% และ 1.90%–3.07% ตามลำดับ ในจังหวัดสุโขทัยพบว่าปริมาณฝนเฉลี่ยสะสมรายปีก่อนปรับแก้มีค่าตั้งแต่ 1,579–1,723 มม. และมีการกระจายตัวของฝนอยู่ในช่วงพิสัยนี้เกือบทั้งจังหวัด แต่หลังปรับแก้พบว่าลักษณะการกระจายตัวของฝนเปลี่ยนไปและสะท้อนสภาพฝนจริงได้ดียิ่งขึ้น โดยช่วงพิสัยของปริมาณฝนรายปีในจังหวัดสุโขทัย อยู่ที่ 999–1,276 มม. ในเขตอำเภอเมือง อ.สุวรรณคโลก อ. ศรีสำโรง และตอนใต้ของอำเภอศรีราชาลัย จะมีปริมาณฝนตกกระจายปีระหว่าง 1,134–1,153 มม. และเพิ่มขึ้นในพื้นที่ตอนใต้เช่น อำเภอศรีราชา และอำเภอกรลาต ซึ่งมีฝนตกระหว่าง 1,153–1,276 มม. และหากพิจารณาความคลาดเคลื่อนจากฝนสังเกตการณ์ พบว่าเขตอำเภอเมือง และอำเภอสุวรรณคโลก มีความคลาดเคลื่อนระหว่าง -0.94%–3.07% ส่วนพื้นที่ทางตะวันตกของจังหวัดเช่น อำเภอบ้านด่านลานหอย และอำเภอทุ่งเสลี่ยม จะมีความคลาดเคลื่อนระหว่าง -3.88%–0.65% ในทิศตะวันออก ได้แก่ อำเภอศรีนคร และบางส่วนของอำเภอสุวรรณคโลก พบความคลาดเคลื่อนระหว่าง -0.34%–3.07% เมื่อเทียบกับข้อมูลฝนสังเกตการณ์

4. เมื่อเปรียบเทียบการแสดงผลเชิงเปรียบเทียบระหว่างสองแบบจำลองภูมิอากาศโลก (MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5) หลังจากปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติ พบว่าในกรณีของการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของฝนสะสมเฉลี่ยรายปีทั้งลุ่มน้ำยม แบบจำลอง CSIRO-MK3.5 จะให้ช่วงพิสัยของความคลาดเคลื่อนที่แคบและมีค่าเฉลี่ยของฝนรายปีน้อยที่สุดระหว่าง -3.88%–3.07% รองลงมาคือแบบจำลอง MRI ด้วยพิสัยความคลาดเคลื่อนระหว่าง -4.49%–11.37% และแบบจำลอง ECHAM5 จะมีพิสัยความคลาดเคลื่อนมากที่สุดระหว่าง -3.91%–25.72%

เมื่อพิจารณาเฉพาะเขตจังหวัดสุโขทัย ผลการเปรียบเทียบการกระจายตัวฝนเชิงพื้นที่แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 และ MRI ให้การกระจายตัวของฝนที่คลาดเคลื่อนจากข้อมูล

สังเกตการณ์อย่างใกล้ชิดเช่นกัน ระหว่าง -2.75%–3.07% และ -1.76%–8.82% ตามลำดับ ส่วนแบบจำลอง ECHAM5 จะให้ความคลาดเคลื่อนระหว่าง 1.90%–16.66%

ลักษณะการกระจายตัวของฝนรายปีในกรณีสภาพปัจจุบันจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 เปรียบเทียบกับข้อมูลสังเกตการณ์ได้แสดงในรูปที่ 4-42, 4-43, 4-44, 4-45 และ 4-46 ตามลำดับ

4.2.5 ผลการเปรียบเทียบการกระจายความถี่การเกิดของฝนในกลุ่มน้ำยมเทียบกับข้อมูลสังเกตการณ์

หลังจากที่ได้เปรียบเทียบปริมาณฝนรายปี ปริมาณฝนรายฤดูกาล และปริมาณฝนรายเดือนของกลุ่มน้ำยมที่ได้จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ถึงการเปลี่ยนแปลงของฝนในช่วงอนาคตอันใกล้และไกล ในที่นี้จะสรุปผลเปรียบเทียบการกระจายความถี่ของปริมาณฝนเหล่านี้ระหว่างแบบจำลองภูมิอากาศโลกและข้อมูลฝนสังเกตการณ์ของกลุ่มน้ำยม และสถานีวัดน้ำฝนตัวอย่าง 3 สถานี

4.2.5.1 ผลการเปรียบเทียบการกระจายความถี่การเกิดของฝนรายปีในกลุ่มน้ำยม

รูปที่จาก 4-45 แสดงการเปรียบเทียบความถี่การเกิดของปริมาณฝนรายปีสูงสุดระหว่างแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ผลการศึกษาของแต่ละแบบจำลองสรุปได้พอสังเขปดังนี้

ผลต่างของปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยมระหว่างแบบจำลอง MRI กับข้อมูลฝนสังเกตการณ์ในช่วงปัจจุบัน พบว่าเกิดความแตกต่างอยู่ระหว่าง -0.89%-12.04% ในทุกคาบการเกิดซ้ำ

ผลต่างของปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยมจากแบบจำลอง ECHAM5 กับข้อมูลฝนสังเกตการณ์ในช่วงปัจจุบัน พบว่าเกิดความแตกต่างอยู่ระหว่าง 1.42%-14.43% ในทุกคาบการเกิดซ้ำ

ผลต่างของปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยมจากแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 กับข้อมูลฝนสังเกตการณ์ในช่วงปัจจุบัน พบว่าเกิดความแตกต่างอยู่ระหว่าง 0.83%-8.51% ในทุกคาบการเกิดซ้ำ

สรุปผลต่างของปริมาณฝนรายปีจากทั้งสามแบบจำลองภูมิอากาศโลกเทียบกับข้อมูลสังเกตการณ์ มีพิสัยของผลต่างอยู่ระหว่าง -0.88%-14.43% ในทุกคาบการเกิดซ้ำ

ตารางที่ 4-21 สรุปผลการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ทางสถิติของปริมาณฝน GCMs รายวันกับฝนสังเกตการณ์ (ก่อนปรับแก้ข้อมูล)

GCMs	59012			59022			59032			59042			59062		
	RMSE	R ²	SD	RMSE	R ²	SD	RMSE	R ²	SD	RMSE	R ²	SD	RMSE	R ²	SD
Observed			78.27			98.99			99.24			83.64			106.31
MRI	73.95	0.74	77.23	93.50	0.61	87.89	74.88	0.68	97.48	75.10	0.75	80.63	77.66	0.68	93.86
ECHAM5	78.66	0.70	89.11	84.79	0.67	88.47	82.30	0.64	88.67	77.57	0.73	89.04	83.28	0.66	91.81
CSIRO	90.39	0.52	92.34	109.18	0.56	83.34	98.55	0.56	83.24	69.33	0.67	89.77	102.78	0.52	88.37
GCMs	59082			59092			40043			40052			40062		
	RMSE	R ²	SD	RMSE	R ²	SD	RMSE	R ²	SD	RMSE	R ²	SD	RMSE	R ²	SD
Observed			110.79			99.24			83.64			103.71			97.37
MRI	74.74	0.74	96.40	74.81	0.68	84.48	65.32	0.78	80.33	70.103	0.74	96.63	104.93	0.75	89.88
ECHAM5	79.35	0.70	89.49	81.86	0.64	90.58	71.80	0.73	87.59	78.30	0.68	87.49	112.86	0.67	88.56
CSIRO	123.18	0.67	128.35	114.26	0.56	110.24	74.11	0.67	79.77	108.67	0.61	92.81	112.34	0.68	94.34

ตารางที่ 4-22 สรุปผลการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ทางสถิติของปริมาณฝน GCMs รายวันกับฝนสังเกตการณ์ (ก่อนปรับแก้ข้อมูล)

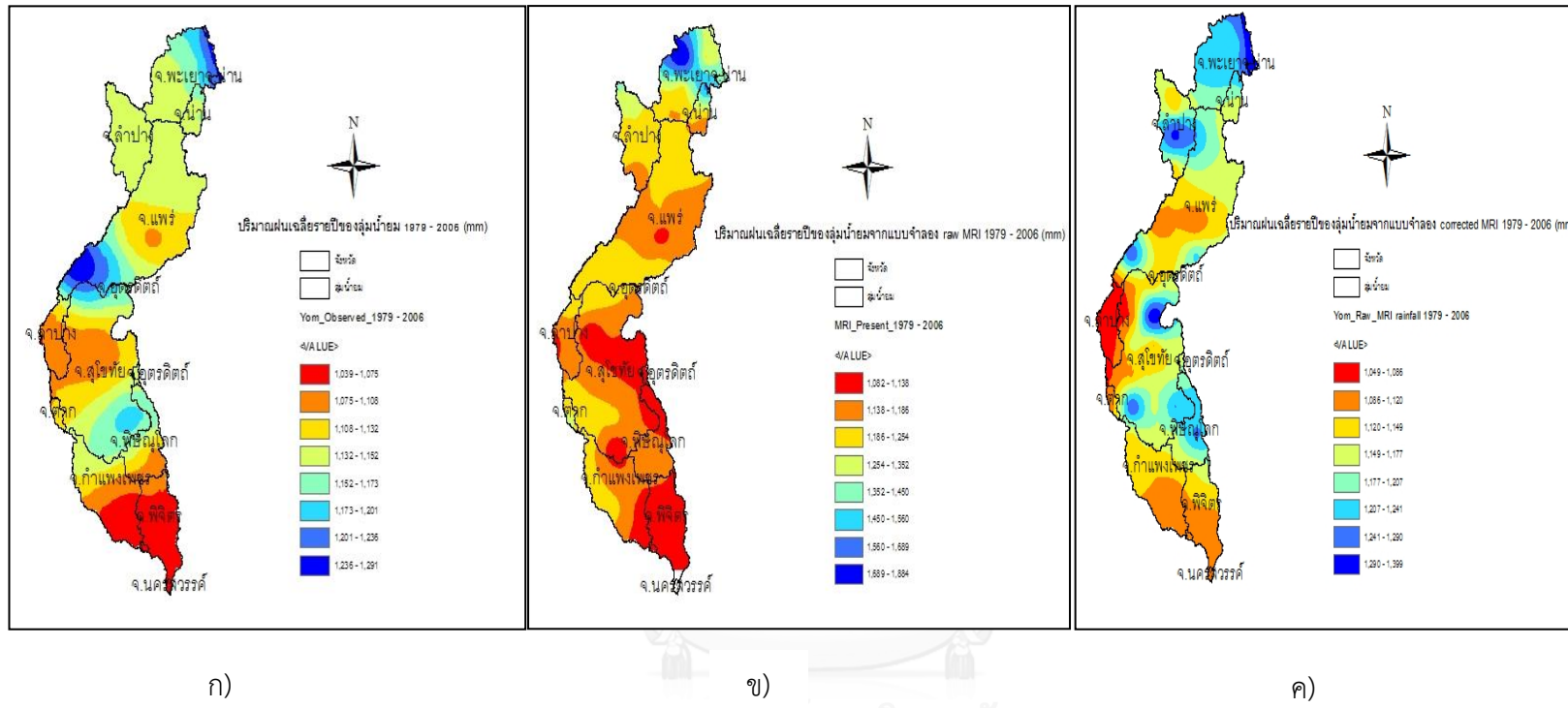
GCMs	73032			39022			38052			38032		
	RMSE	R ²	SD	RMSE	R ²	SD	RMSE	R ²	SD	RMSE	R ²	SD
Observed			97.38			100.80			105.29			93.77
MRI	62.62	0.77	87.23	80.37	0.64	80.00	70.50	0.74	96.01	59.90	0.77	83.41
ECHAM5	73.39	0.70	90.37	81.59	0.65	88.84	73.16	0.73	89.33	72.41	0.71	77.75
CSIRO	79.57	0.68	84.43	82.30	0.59	81.34	87.70	0.66	89.44	78.96	0.69	84.45

ตารางที่ 4-23 สรุปผลการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ทางสถิติของปริมาณฝน GCMs รายวันกับฝนสังเกตการณ์ (หลังปรับแก้ข้อมูล)

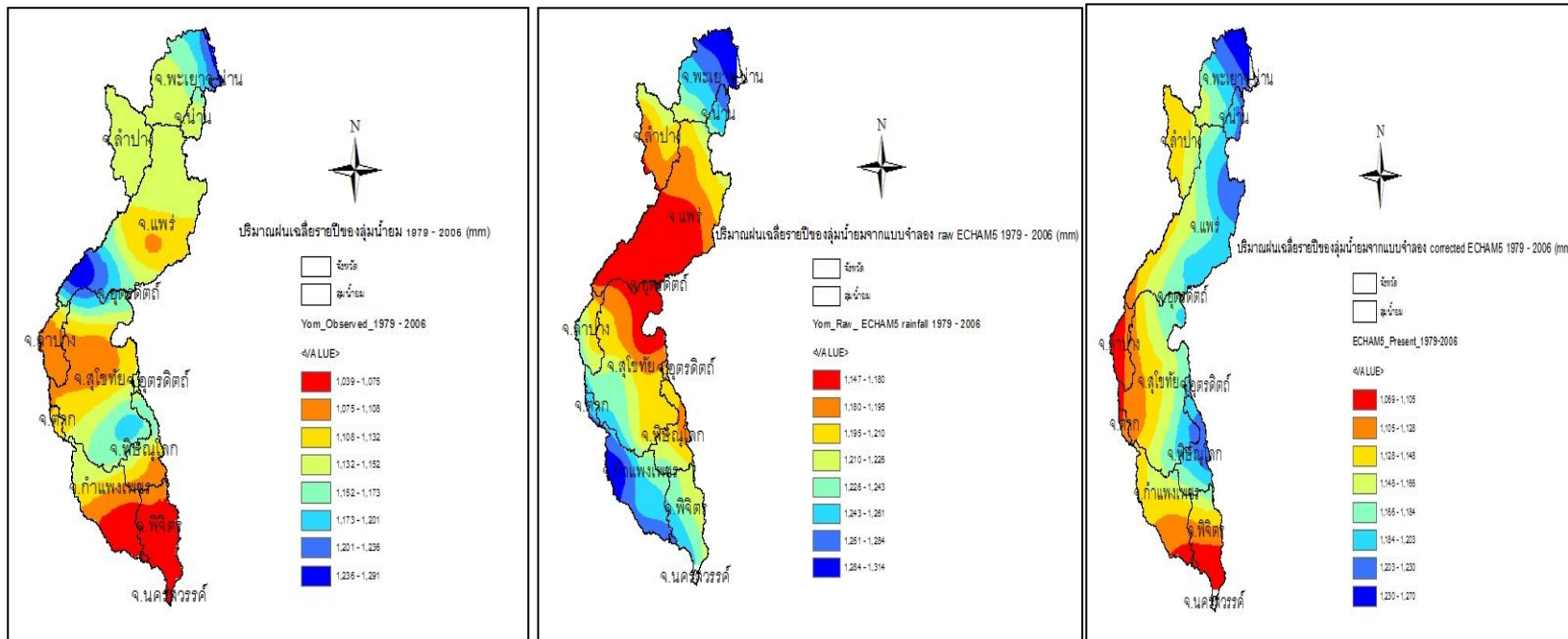
GCMs	59012			59022			59032			59042		
	RMSE	R ²	SD	RMSE	R ²	SD	RMSE	R ²	SD	RMSE	R ²	SD
Observed			78.27			98.99			99.24			83.64
MRI	70.46	0.76	78.53	88.46	0.64	93.89	72.99	0.70	97.53	71.23	0.78	82.63
ECHAM5	80.23	0.70	83.11	82.55	0.67	89.53	77.90	0.66	93.67	73.95	0.76	84.04
CSIRO	112.18	0.72	85.76	99.67	0.69	103.44	94.55	0.61	124.36	117.47	0.68	102.56

ตารางที่ 4-24 สรุปผลการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ทางสถิติของปริมาณฝน GCMs รายวันกับฝนสังเกตการณ์ (ต่อ-หลังปรับแก้ข้อมูล)

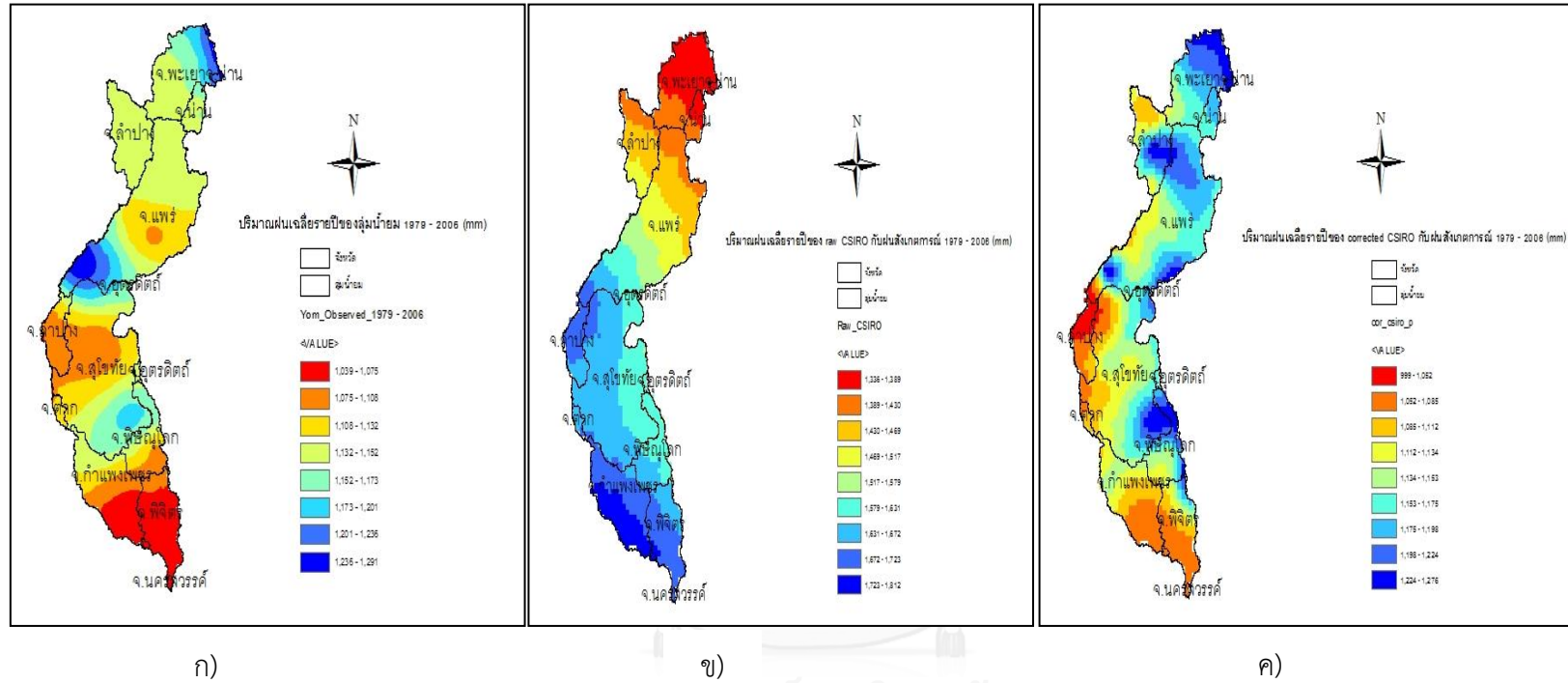
GCMs	59062			59082			59092			40043			40052		
	RMSE	R ²	SD	RMSE	R ²	SD	RMSE	R ²	SD	RMSE	R ²	SD	RMSE	R ²	SD
Observed			106.31			110.79			99.24			83.64			103.71
MRI	74.59	0.71	98.86	71.16	0.77	106.40	71.75	0.72	94.48	61.31	0.81	82.77	66.94	0.74	105.63
ECHAM5	79.64	0.69	95.81	77.95	0.72	103.49	73.99	0.70	92.58	71.80	0.76	82.59	71.35	0.73	97.49
CSIRO	126.06	0.69	117.51	93.07	0.74	117.84	97.66	0.71	104.53	96.21	0.67	93.97	103.93	0.69	123.3
GCMs	40062			73032			39022			38052			38032		
	RMSE	R ²	SD	RMSE	R ²	SD	RMSE	R ²	SD	RMSE	R ²	SD	RMSE	R ²	SD
Observed			97.37			97.38			100.80			105.29			93.77
MRI	92.14	0.75	99.88	60.14	0.79	97.23	76.99	0.65	89.054	66.49	0.78	108.29	58.33	0.79	86.23
ECHAM5	109.51	0.71	96.56	67.52	0.73	94.37	81.11	0.65	93.36	67.16	0.77	91.47	65.62	0.73	80.98
CSIRO	123.76	0.64	104.61	95.05	0.66	125.7	115.95	0.63	107.32	83.73	0.69	90.46	72.61	0.71	85.71



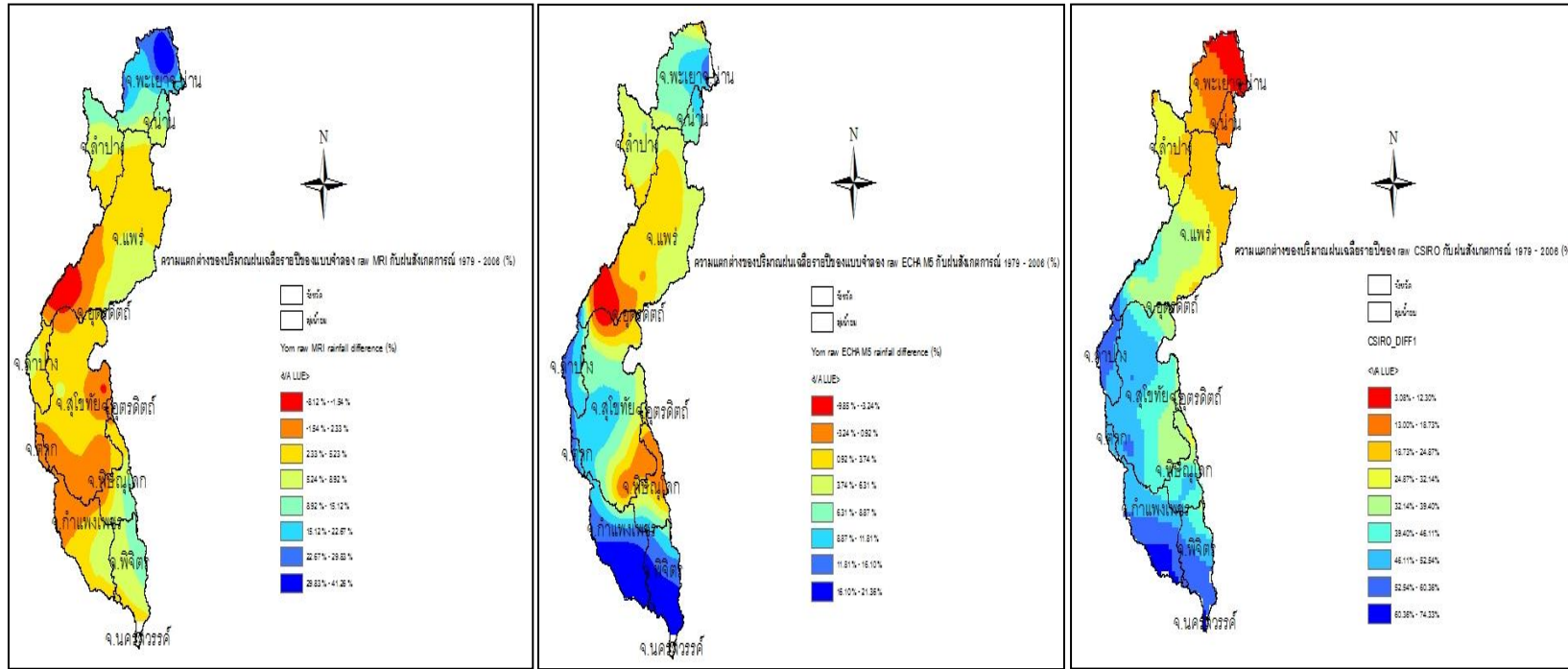
รูปที่ 4-39 ผลการเปรียบเทียบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของปริมาณฝนสะสมรายปีในกรณีสภาพปัจจุบัน ค.ศ. 1979-2006 จาก ก) ข้อมูลฝนสังเกตการณ์ ข) raw MRI-ACGM 3.1S และ ค) corrected MRI-AGCM 3.1S



รูปที่ 4-40 ผลการเปรียบเทียบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของปริมาณฝนสะสมรายปีในกรณีสภาพปัจจุบัน ค.ศ. 1979-2006 จาก ก) ข้อมูลฝนสังเกตการณ์ ข) raw ECHAM5 และ ค) corrected ECHAM5



รูปที่ 4-41 ผลการเปรียบเทียบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของปริมาณฝนสะสมรายปีในกรณีสภาพปัจจุบัน ค.ศ. 1979-2006 จาก ก) ข้อมูลฝนสังเกตการณ์ ข) raw CSIRO-MK3.5 และ ค) corrected CSIRO-MK3.5

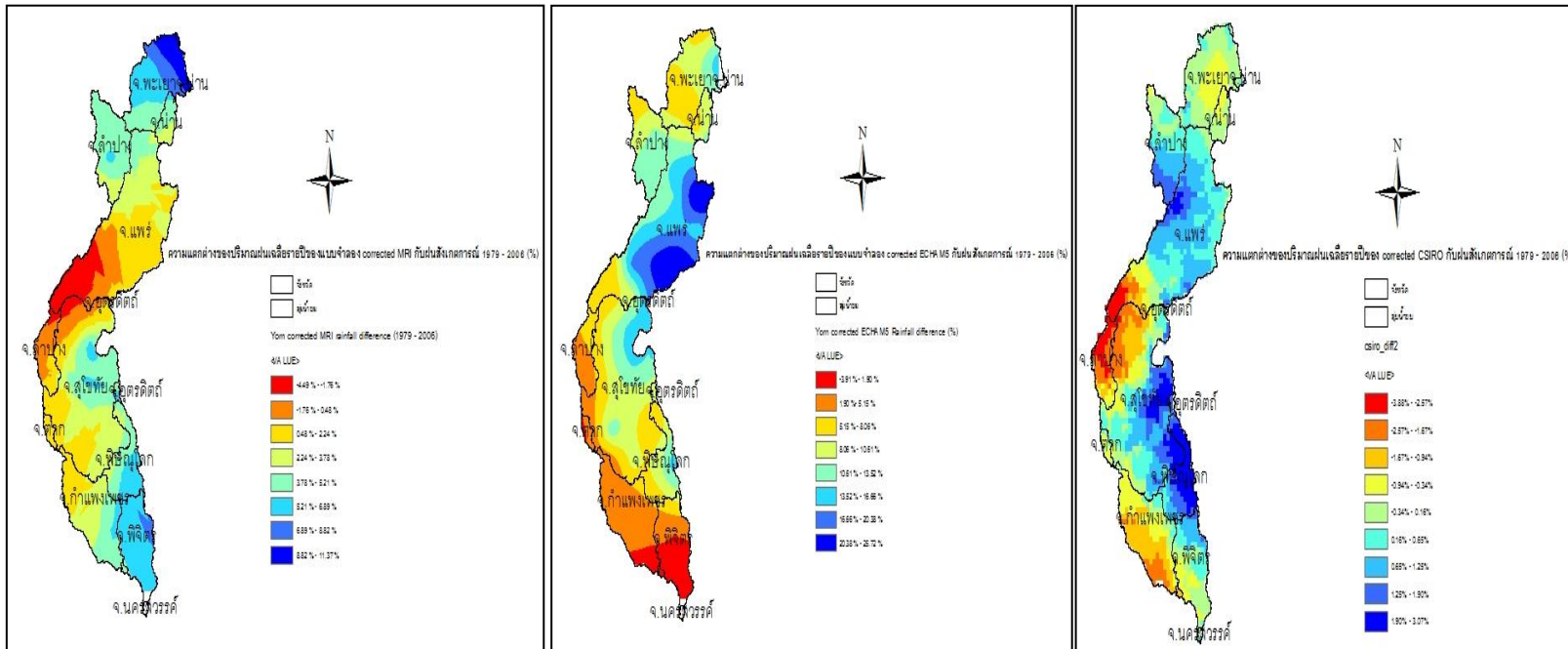


ก)

ข)

ค)

รูปที่ 4-42 ผลต่างการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของปริมาณฝนสะสมรายปีในกรณีสภาพปัจจุบัน ค.ศ. 1979-2006 จาก ก) raw MRI-AGCM 3.1S ข) raw ECHAM5 และ ค) corrected CSIRO-MK3.5



ก)

ข)

ค)

รูปที่ 4-43 ผลต่างการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของปริมาณฝนสะสมรายปีในกรณีสภาพปัจจุบัน ค.ศ. 1979-2006 จาก ก) corrected MRI-AGCM 3.1S
ข) corrected ECHAM5 และ ค) corrected CSIRO-MK3.5

4.2.5.2 ผลการเปรียบเทียบการกระจายความถี่การเกิดของฝนรายฤดูกาลในลุ่มน้ำยม

ผลต่างของปริมาณฝนฤดูฝนของกลุ่มน้ำยมระหว่างแบบจำลอง MRI กับข้อมูลฝนสังเกตการณ์ ในช่วงปัจจุบัน พบว่าเกิดความแตกต่างอยู่ระหว่าง -6.51%-4.77% ในทุกคาบการเกิดซ้ำ ส่วนช่วงฤดูแล้ง จะแตกต่างอยู่ระหว่าง 9.68%-26.56% ในทุกคาบการเกิดซ้ำ

ผลต่างของปริมาณฝนฤดูฝนของกลุ่มน้ำยมระหว่างแบบจำลอง ECHAM5 กับข้อมูลฝนสังเกตการณ์ในช่วงปัจจุบัน พบว่าเกิดความแตกต่างอยู่ระหว่าง -0.37%-12.63% ในทุกคาบการเกิดซ้ำ ส่วนช่วงฤดูแล้ง จะแตกต่างอยู่ระหว่าง -1.35%-10.91% ในทุกคาบการเกิดซ้ำ

ผลต่างของปริมาณฝนฤดูฝนของกลุ่มน้ำยมระหว่างแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 กับข้อมูลฝนสังเกตการณ์ในช่วงปัจจุบัน พบว่าเกิดความแตกต่างอยู่ระหว่าง 3.69%-6.17% ในทุกคาบการเกิดซ้ำ ส่วนช่วงฤดูแล้ง จะแตกต่างอยู่ระหว่าง -27.93%-32.37% ในทุกคาบการเกิดซ้ำ

สรุปผลต่างของปริมาณฝนฤดูฝนจากทั้งสามแบบจำลองภูมิอากาศโลกเทียบกับข้อมูลสังเกตการณ์ มีพิสัยของผลต่างอยู่ระหว่าง -6.51%-12.63% ในทุกคาบการเกิดซ้ำ ส่วนช่วงฤดูแล้ง จะมีพิสัยอยู่ระหว่าง -27.93%-32.37% ในทุกคาบการเกิดซ้ำ

4.2.6 ผลการเปรียบเทียบการกระจายความถี่การเกิดของฝนในลุ่มน้ำยมเทียบกับข้อมูลสังเกตการณ์

4.2.6.1 การเปรียบเทียบการกระจายความถี่ของการเกิดฝนรายปีของสถานีตรวจวัด

ผลการศึกษาพบว่า ณ สถานีวัดน้ำฝน 40043 ภายใต้แบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 จะให้ผลต่างของปริมาณฝนรายปีเทียบกับข้อมูลสังเกตการณ์อยู่ระหว่าง -6.52%-10.89% -8.83%-7.37% และ -7.20%-9.59% ในทุกคาบการเกิดซ้ำตามลำดับ

ผลการศึกษาพบว่า ณ สถานีวัดน้ำฝน 59022 ภายใต้แบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 จะให้ผลต่างของปริมาณฝนรายปีเทียบกับข้อมูลสังเกตการณ์อยู่ระหว่าง -13.11%-26.32% -3.82%-26.62% และ 6.26%-8.54% ในทุกคาบการเกิดซ้ำตามลำดับ

ผลการศึกษาพบว่า ณ สถานีวัดน้ำฝน 59012 ภายใต้แบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 จะให้ผลต่างของปริมาณฝนรายปีเทียบกับข้อมูลสังเกตการณ์อยู่ระหว่าง -7.38%-17.52% -4.26%-4.77% และ -14.91%-18.10% ในทุกคาบการเกิดซ้ำตามลำดับ

4.2.6.2 การเปรียบเทียบการกระจายความถี่ของการเกิดฝนฤดูฝนของสถานีตรวจวัด

ผลการศึกษาพบว่า ณ สถานีตรวจวัด 40043 ภายใต้แบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 จะให้ผลต่างของปริมาณฝนฤดูฝนเทียบกับข้อมูลสังเกตการณ์อยู่ระหว่าง -6.34%-5.51% -9.76% -5.43% และ 10.31%-24.85% ในทุกคาบการเกิดซ้ำตามลำดับ

ผลการศึกษาพบว่า ณ สถานีตรวจวัด 59022 ภายใต้แบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 จะให้ผลต่างของปริมาณฝนฤดูฝนเทียบกับข้อมูลสังเกตการณ์อยู่ระหว่าง -17.65%-14.77% -2.92%-14.01% และ 18.17%-24.25% ในทุกคาบการเกิดซ้ำตามลำดับ

ผลการศึกษาพบว่า ณ สถานีตรวจวัด 59012 ภายใต้แบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 จะให้ผลต่างของปริมาณฝนฤดูฝนเทียบกับข้อมูลสังเกตการณ์อยู่ระหว่าง -15.70%-12.54% -3.87%-2.99% และ -4.43%-34.24% ในทุกคาบการเกิดซ้ำตามลำดับ

ผลสรุปความแตกต่างของปริมาณฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ณ สถานีวัดน้ำฝน 40043 59022 และสถานี 59012 เทียบกับข้อมูลสังเกตการณ์ มีพิสัยของผลต่างอยู่ระหว่าง -9.76%-24.85% -17.65%-24.25% และ -15.70%-34.24% ในทุกคาบการเกิดซ้ำ ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการกระจายความถี่ของปริมาณฝนรายปี ปริมาณฝนรายฤดูกาลของกลุ่มน้ำยม และจากสถานีวัดน้ำฝนตัวอย่าง 3 สถานี ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4-45 ถึงรูปที่ 4-55

4.3 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนตกในอนาคตจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก

หลังจากการเปรียบเทียบปริมาณฝนรายปี ปริมาณฝนรายฤดูกาล และปริมาณฝนรายเดือนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกกับข้อมูลฝนสังเกตการณ์ ทั้งในระดับกลุ่มน้ำยม ระดับสถานีของจังหวัดสุโขทัย รวมถึงผลเปรียบเทียบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของฝนรายปี หัวข้อนี้จะกล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณดังกล่าวด้วยข้อมูลฝนหลังปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 มาทำการศึกษาความเปลี่ยนแปลงในระดับกลุ่มน้ำจนถึงระดับสถานีในจังหวัดสุโขทัย ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015–2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075–2099) ต่อไป

4.3.1 การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ทางสถิติของปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยม

การเปลี่ยนแปลงและการผันแปรของปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยมจากแบบจำลอง MRI ในช่วงปัจจุบัน อนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล แสดงไว้ในรูปที่ 4-45 โดยพบว่าค่าเฉลี่ยฝนรายปี

ช่วงอนาคตอันใกล้มีแนวโน้มลดลง 3.30% แต่จะปรับเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงอนาคตไกลประมาณ 4.29% จากปัจจุบัน ส่วนความแปรปรวนของข้อมูล เมื่อพิจารณาด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานพบว่า มีแนวโน้มลดลง 46.60% จากปัจจุบัน ในช่วงอนาคตอันใกล้ และกลับเพิ่มขึ้นอีกครั้งประมาณ 0.76% จากปัจจุบัน ในช่วงอนาคตอันไกล

การเปลี่ยนแปลงและแนวโน้มของปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยมจากแบบจำลอง ECHAM5 ในช่วงปัจจุบัน อนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล แสดงไว้ในรูปที่ 4-46 โดยพบว่าค่าเฉลี่ยฝนรายปี ช่วงอนาคตอันใกล้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 8.80% และปรับเพิ่มขึ้นอีกในช่วงอนาคตไกลประมาณ 15.40% จากปัจจุบัน ส่วนความแปรปรวนของข้อมูล

การเปลี่ยนแปลงและแนวโน้มของปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยมจากแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 ในช่วงปัจจุบัน ในช่วงอนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล แสดงไว้ในรูปที่ 4-47 โดยพบว่าค่าเฉลี่ยฝนรายปี ช่วงอนาคตอันใกล้มีแนวโน้มลดลง 0.62% แต่จะปรับเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงอนาคตไกลประมาณ 8.33% จากปัจจุบัน ส่วนความแปรปรวนของข้อมูล เมื่อพิจารณาด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานพบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 1.03% จากปัจจุบัน ในช่วงอนาคตอันใกล้ และกลับลดลงประมาณ 1.85% จากปัจจุบัน ในช่วงอนาคตอันไกล

4.3.2 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยมที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยมจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงปัจจุบัน (ค.ศ. 1979-2006) ช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) แสดงไว้ในรูปที่ 4-48 และ 4-49 ซึ่งแนวโน้มของปริมาณฝนรายปีในแต่ละคาบการเกิดซ้ำของแบบจำลองทั้งสาม สรุปได้ดังนี้

ปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยมในช่วงอนาคตอันใกล้ของแบบจำลอง MRI มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบันระหว่าง 4.79%-5.20% ในทุกคาบการเกิดซ้ำ ส่วนช่วงอนาคตอันไกล ฝนจากแบบจำลอง MRI ยังคงลดลงจากปัจจุบันระหว่าง 0.85%-1.45% ซึ่งถือเป็นอัตราที่ต่ำกว่าช่วงอนาคตอันใกล้

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยมจากแบบจำลอง ECHAM5 ในช่วงปัจจุบัน (ค.ศ. 1979-2006) ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) โดยพบว่าปริมาณฝนรายปีในช่วงอนาคตอันใกล้ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากปัจจุบันระหว่าง 3.29%-4.65% ในทุกคาบการเกิดซ้ำ ส่วนช่วงอนาคตอันไกล ปริมาณฝนยังคงเพิ่มขึ้นจากปัจจุบันระหว่าง 8.38%-13.28% ซึ่งถือเป็นอัตราที่สูงกว่าช่วงอนาคตอันใกล้

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยมจากแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 ในช่วงปัจจุบัน (ค.ศ. 1979-2006) ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) พบว่าปริมาณฝนรายปีในช่วงอนาคตอันใกล้ มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบันระหว่าง 1.83%-1.91% ในทุกคาบการเกิดซ้ำ ส่วนช่วงอนาคตอันไกล ปริมาณฝนยังคงลดลงจากปัจจุบันระหว่าง 1.73%-1.97% ซึ่งถือเป็นอัตราที่คงตัวเมื่อเทียบกับอนาคตอันใกล้

4.3.3 การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ทางสถิติของปริมาณฝนรายฤดูกาลของกลุ่มน้ำยม

แนวโน้มของฝนรายฤดูกาลในกลุ่มน้ำยมจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 แสดงไว้รูปที่ 4-50 4-51 และ 4-52 และสรุปรวมในตารางที่ 4-17 และ 4-18

การเปลี่ยนแปลงและแนวโน้มของปริมาณฝนรายฤดูกาลของกลุ่มน้ำยมจากแบบจำลอง MRI ในช่วงปัจจุบัน อนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4-34 จากผลการศึกษาพบว่าฝนฤดูแล้งมีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบันในช่วงอนาคตอันใกล้ และมีแนวโน้มลดลงอีกในช่วงอนาคตอันไกล เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยพบว่า ฝนในฤดูแล้งของช่วงอนาคตอันใกล้ลดลงจากปัจจุบัน 12.05% และลดลงจากปัจจุบัน 17.91% ในช่วงอนาคตอันไกล ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีแนวโน้มลดลง 48.52% จากปัจจุบัน ในช่วงอนาคตอันใกล้ และลดลงประมาณ 18.63% ในช่วงอนาคตอันไกล ขณะเดียวกัน ปริมาณฝนในฤดูฝนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากปัจจุบันทั้งในช่วงอนาคตอันใกล้และอนาคตอันไกล โดยค่าเฉลี่ยของฤดูฝนจะเพิ่มขึ้นจากปัจจุบัน 2.05% ในช่วงอนาคตอันใกล้ และเพิ่มขึ้นจากปัจจุบัน 9.84% ในช่วงอนาคตอันไกล ส่วนค่า σ จะลดลงจากปัจจุบันประมาณ 26.06% ในช่วงอนาคตอันใกล้ ก่อนปรับตัวเพิ่มขึ้นอีกครั้งจากปัจจุบันประมาณ 2.59% ในช่วงอนาคตอันไกล

การเปลี่ยนแปลงและแนวโน้มของปริมาณฝนรายฤดูกาลของกลุ่มน้ำยมจากแบบจำลอง ECHAM5 ในช่วงปัจจุบัน อนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4-35 เมื่อพิจารณา ค่าเฉลี่ยพบว่า ฝนในฤดูแล้งของช่วงอนาคตอันใกล้เพิ่มขึ้นจากปัจจุบัน 20.83% และเพิ่มจากปัจจุบัน 5.31% ในช่วงอนาคตอันไกล ส่วนความแปรปรวนของข้อมูล เมื่อพิจารณาด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานพบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 45.73% จากปัจจุบัน ในช่วงอนาคตอันใกล้ และเพิ่มขึ้นประมาณ 43.72% จากปัจจุบัน ในช่วงอนาคตอันไกล ส่วนปริมาณฝนเฉลี่ยของฤดูฝนจะเพิ่มขึ้นจากปัจจุบัน 5.54% ในช่วงอนาคตอันใกล้ และเพิ่มขึ้นจากปัจจุบัน 17.39% ในช่วงอนาคตอันไกล ส่วนค่า σ จะเพิ่มขึ้นจากปัจจุบันประมาณ 1.77% ในช่วงอนาคตอันใกล้ และปรับตัวเพิ่มขึ้นอีกครั้งจากปัจจุบันประมาณ 35.44% ในช่วงอนาคตอันไกล

การเปลี่ยนแปลงและแนวโน้มของปริมาณฝนรายฤดูกาลของกลุ่มน้ำยมจากแบบจำลอง ภูมิอากาศ CSIRO-MK3.5 ในช่วงปัจจุบัน อนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4-36

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยพบว่า ฝนในฤดูแล้งของช่วงอนาคตอันใกล้เพิ่มขึ้น 28.12% จากปัจจุบัน และเพิ่ม 18.17% จากปัจจุบันในช่วงอนาคตอันไกล ส่วนความแปรปรวนของข้อมูล เมื่อพิจารณาด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานพบว่า มีแนวโน้มลดลง 48.56% จากปัจจุบัน ในช่วงอนาคตอันใกล้ และลดลงประมาณ 38.34% จากปัจจุบัน ในช่วงอนาคตอันไกล ส่วนปริมาณฝนเฉลี่ยของฤดูฝนจะลดลง 4.68% จากปัจจุบัน ในช่วงอนาคตอันใกล้ และลดลง 3.04% จากปัจจุบัน ในช่วงอนาคตอันไกล ส่วนค่า σ จะลดลงจากปัจจุบันประมาณ 8.92% ในช่วงอนาคตอันใกล้ และปรับตัวลดลงอีกครั้งจากปัจจุบันประมาณ 11.40% ในช่วงอนาคตอันไกล

4.3.4 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนฤดูฝนของกลุ่มน้ำยมที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ

แนวโน้มของฝนในช่วงฤดูฝนในกลุ่มน้ำยมจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 แสดงไว้ในรูปที่ 4-49 ซึ่งแนวโน้มของปริมาณฝนรายฤดูกาลของแบบจำลองทั้งสามที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ สรุปได้ดังนี้

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายฤดูกาลของกลุ่มน้ำยมจากแบบจำลอง MRI ในช่วงปัจจุบัน (ค.ศ. 1979-2006) ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) พบว่าปริมาณฝนของฤดูฝนในช่วงอนาคตอันใกล้ มีแนวโน้มคงที่หรือลดลงประมาณ 2.44% ในทุกคาบการเกิดซ้ำ และลดลงจากปัจจุบันระหว่าง 2.90%-3.20% ในช่วงอนาคตอันไกล ซึ่งเป็นอัตราที่สูงกว่าช่วงอนาคตอันใกล้เล็กน้อย

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายฤดูกาลของกลุ่มน้ำยมจากแบบจำลอง ECHAM5 ในช่วงปัจจุบัน (ค.ศ. 1979-2006) ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) โดยพบว่าปริมาณฝนของฤดูฝนในช่วงอนาคตอันใกล้ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นประมาณ 2.05%-4.32% ในทุกคาบการเกิดซ้ำ และเพิ่มขึ้นจากปัจจุบันระหว่าง 10.22%-20.00% ในช่วงอนาคตอันไกล ซึ่งเป็นอัตราที่สูงกว่าช่วงอนาคตอันใกล้พอสมควร

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายฤดูกาลของกลุ่มน้ำยมจากแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 ในช่วงปัจจุบัน ในช่วงอนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล แสดงไว้ในรูปที่ 4-45 ถึง 4-48 โดยพบว่าปริมาณฝนฤดูแล้งในช่วงอนาคตอันใกล้ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากปัจจุบันระหว่าง 35.00%-37.00% ในทุกคาบการเกิดซ้ำ ส่วนช่วงอนาคตอันไกล ปริมาณฝนยังคงเพิ่มขึ้นจากปัจจุบันระหว่าง 32.92%-40.62% ซึ่งถือเป็นอัตราที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับอนาคตอันใกล้ ปริมาณฝนของฤดูฝนในช่วงอนาคตอันใกล้ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นประมาณ 0.97%-2.20% ในทุกคาบการเกิดซ้ำ และเพิ่มขึ้นจากปัจจุบัน 0.16%-1.66% ในช่วงอนาคตอันไกล ซึ่งเป็นอัตราที่ใกล้เคียงกับช่วงอนาคตอันใกล้

4.3.3 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายเดือนของกลุ่มน้ำยม

4.3.3.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของฝนรายเดือน

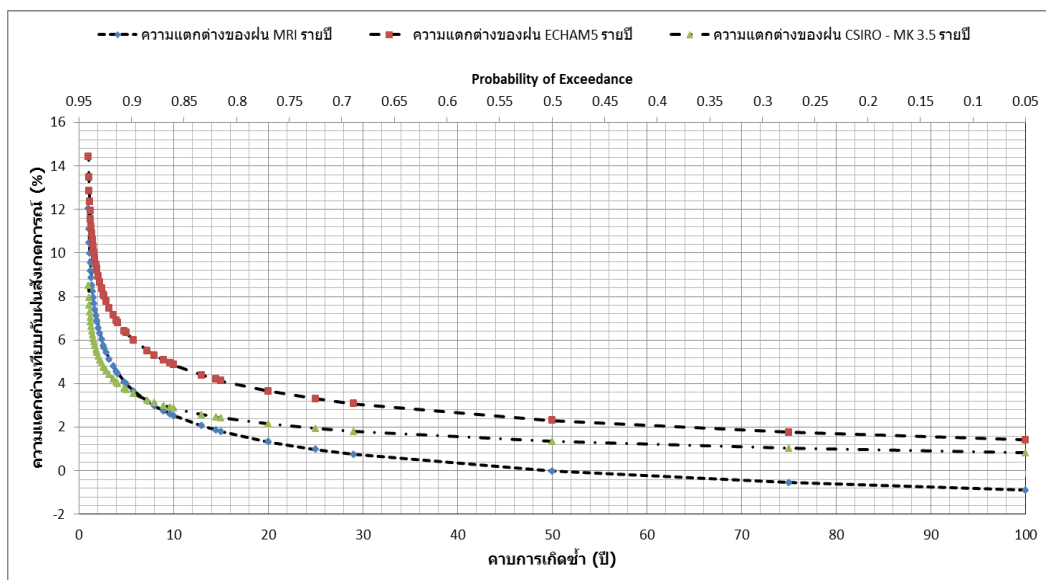
การเปลี่ยนแปลงฝนรายเดือนของกลุ่มน้ำยมในช่วงอนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 แสดงไว้ในรูปที่ 4-49 ซึ่งภาพรวมของแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของฝนในแต่ละแบบจำลอง สรุปได้ดังนี้

ผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนจากแบบจำลอง MRI กับฝนช่วงอนาคตอันใกล้และอนาคตอันไกล พบว่าลักษณะการผันแปรรายเดือนไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนัก แต่ค่าเฉลี่ยของฝนแต่ละเดือนในอนาคตอันใกล้จะลดลง 3.35% จากปัจจุบัน แต่จะเพิ่มขึ้น 4.55% ในช่วงอนาคตอันไกล ส่วนค่า σ มีแนวโน้มลดลง 8.48% จากปัจจุบัน ในช่วงอนาคตอันใกล้ และปรับตัวเพิ่มขึ้น 6.31% ในช่วงอนาคตอันไกล เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบแต่ละเดือนในช่วงอนาคตอันใกล้ พบว่าปริมาณฝนจะเพิ่มขึ้นจากปัจจุบัน 3.0-135.83% ระหว่างเดือนมกราคม-เมษายน ส่วนเดือนอื่นๆปริมาณฝนจะลดลงระหว่าง 3.50%-73.39% ส่วนช่วงอนาคตอันไกล พบว่าปริมาณลดลงเล็กน้อยในเดือนกุมภาพันธ์และ มีนาคม และลดลงจากปัจจุบันค่อนข้างมากในเดือนพฤษภาคมและธันวาคม (56% และ 89% ตามลำดับ) ส่วนเดือนอื่นๆฝนจะตกเพิ่มขึ้นระหว่าง 6%-15% ตามลำดับ

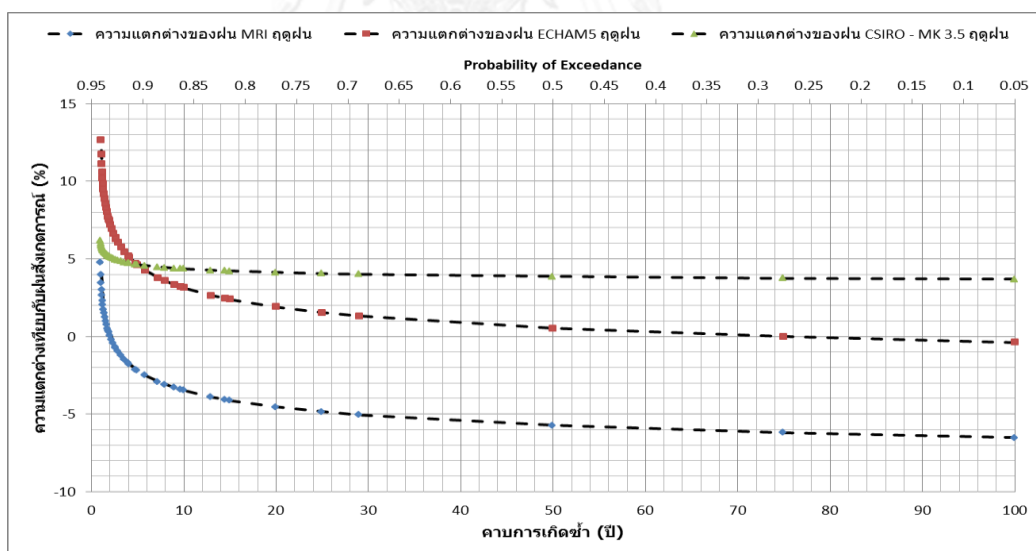
ผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนจากแบบจำลอง ECHAM5 กับฝนช่วงอนาคตอันใกล้และอนาคตอันไกล พบว่าปริมาณฝนรายเดือนในอนาคตอันใกล้และอนาคตอันไกล มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากปัจจุบันอย่างชัดเจน โดยค่าเฉลี่ยของฝนในแต่ละเดือนในอนาคตอันใกล้อาจเพิ่มขึ้น 7.85% จากปัจจุบัน และปรับตัวเพิ่มขึ้นถึง 15.64% ในช่วงอนาคตอันไกล ส่วนค่า σ จะมีแนวโน้มลดลง 3.08% ในช่วงอนาคตอันใกล้ แต่จะกลับมาเพิ่มขึ้น 9.99% จากปัจจุบัน โดยพบว่าช่วงอนาคตอันไกลจะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นมากกว่าเมื่อเทียบกับอนาคตอันใกล้ในช่วงฤดูฝน รวมถึงช่วง (ตุลาคม-พฤษภาคม) (ธันวาคม-พฤษภาคม) ต้นหน้าแล้ง

ผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนจากแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 กับฝนช่วงอนาคตอันใกล้และอนาคตอันไกล พบว่าช่วงฤดูแล้งปริมาณฝนรายเดือนในอนาคตอันใกล้และอนาคตอันใกล้ไม่เปลี่ยนแปลงจากปัจจุบันมากนัก แต่เมื่อพิจารณาช่วงเดือนพฤษภาคม กันยายน ตุลาคม และ พฤศจิกายน ปริมาณฝนรายเดือนของแบบจำลอง CSIRO จะลดลงจากปัจจุบันค่อนข้างมาก มีเพียงช่วงระหว่างเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคมที่ปริมาณฝนเพิ่มขึ้นจากปัจจุบัน เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของปริมาณฝนในแต่ละเดือน พบว่าจะปรับตัวลดลงจากปัจจุบัน 4.25% ในช่วงอนาคตอันใกล้ และลดลง 3.07% จากปัจจุบันในช่วงอนาคตอันไกล ส่วนค่า σ พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากปัจจุบันได้ถึง 42.53% ในช่วงอนาคตอันใกล้ และเพิ่มขึ้นประมาณ 42.17% ในช่วงอนาคตอันไกล

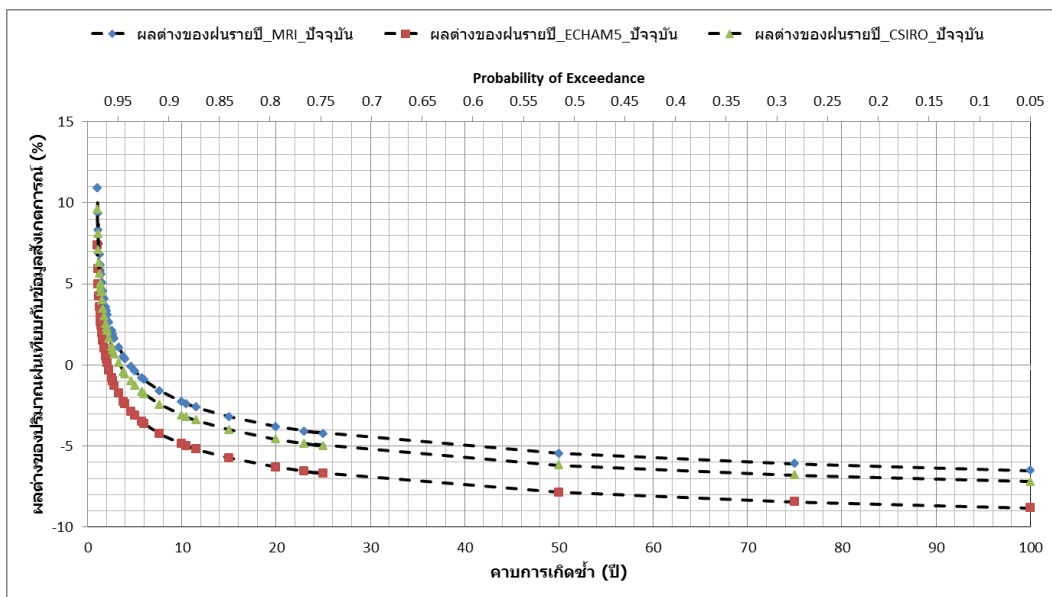
การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายปี รายฤดูกาล และรายเดือนของกลุ่มน้ำยม ในช่วงอนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกลที่คาบการเกิดซ้ำ 5-100 ปี ได้สรุปไว้ในตารางที่ 4-25 ถึง 4-27



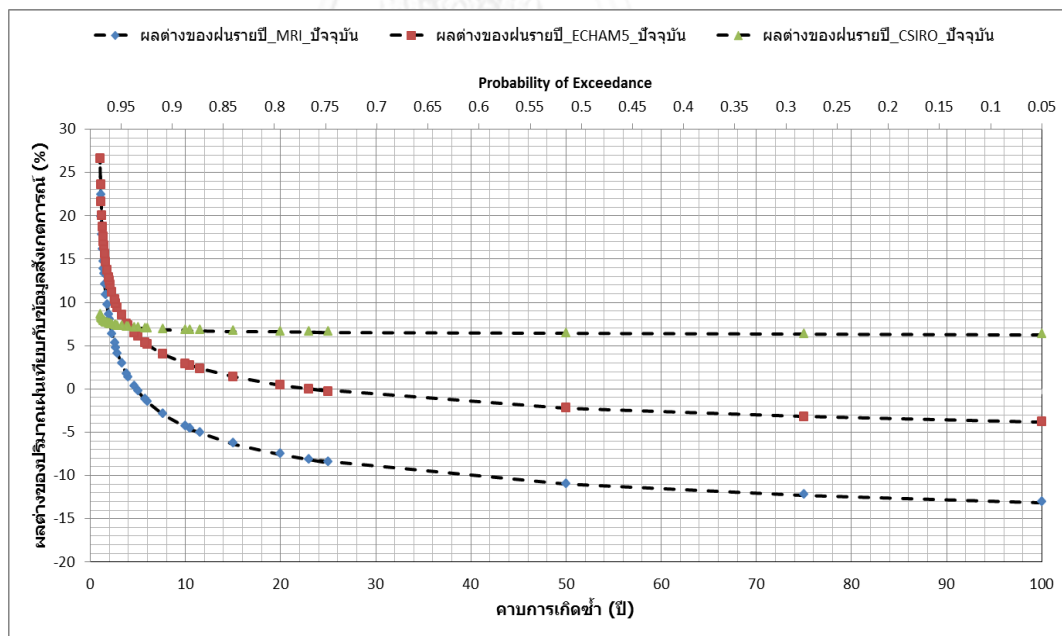
รูปที่ 4-44 ความแตกต่างของปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยมที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำจากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับข้อมูลฝนสังเกตการณ์



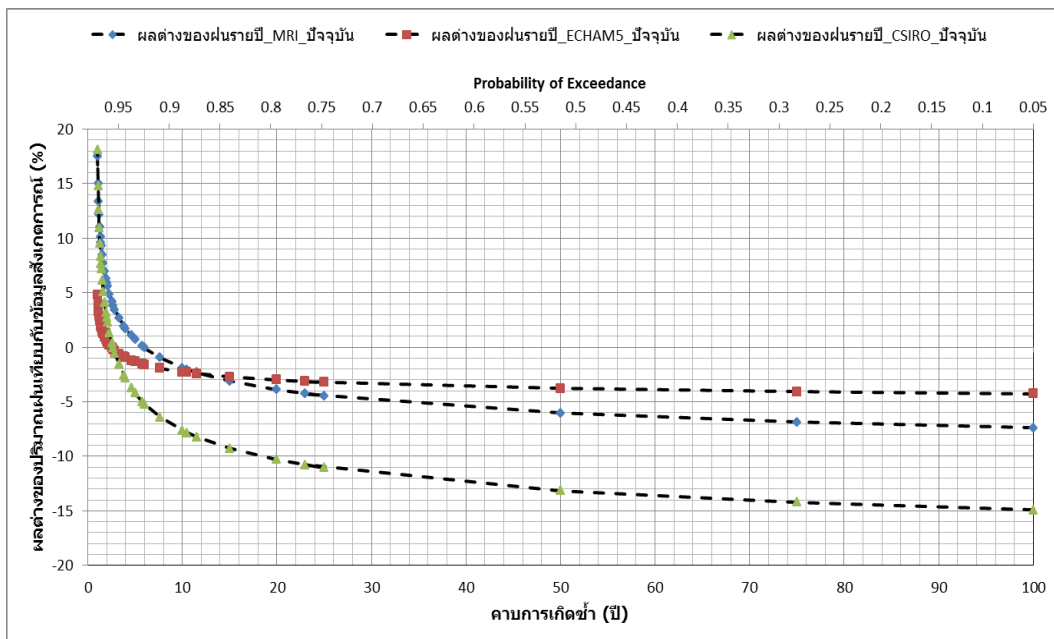
รูปที่ 4-45 ความแตกต่างของปริมาณฝนฤดูฝนของกลุ่มน้ำยมที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำจากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับข้อมูลฝนสังเกตการณ์



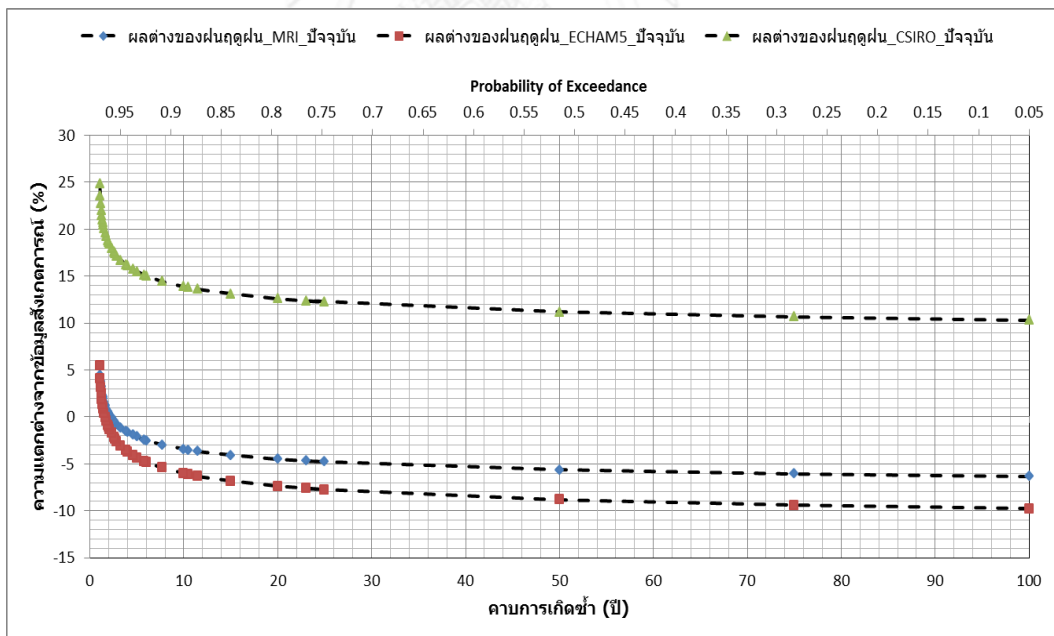
รูปที่ 4-46 ความแตกต่างของปริมาณฝนรายปีของสถานี 40043 อ. สอง จ. แพร่ ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำจากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับข้อมูลฝนสังเกตการณ์



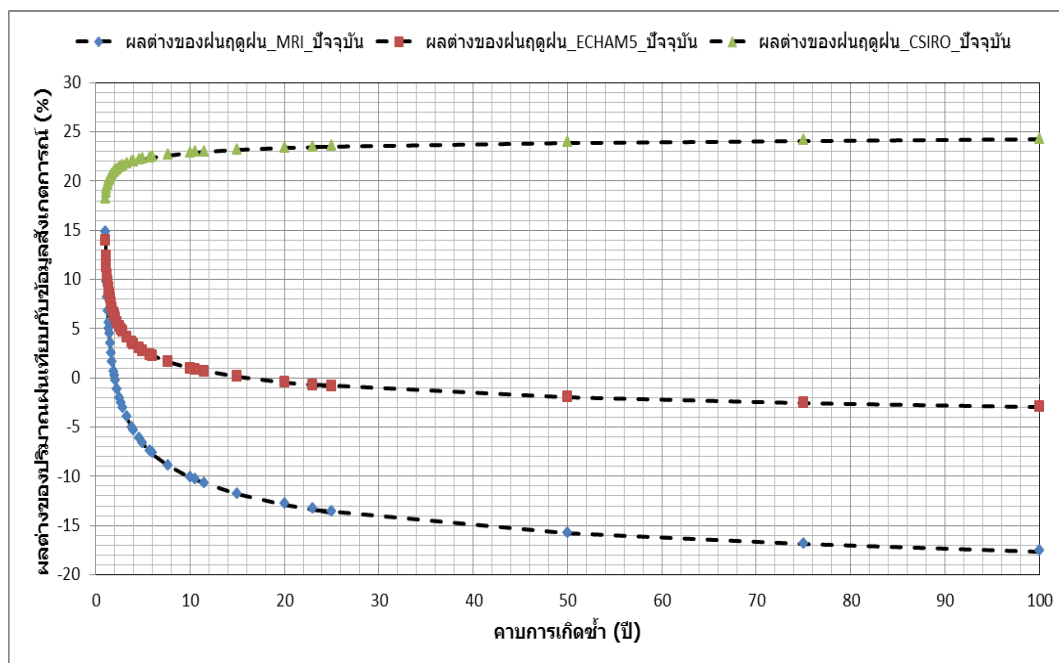
รูปที่ 4-47 ความแตกต่างของปริมาณฝนรายปีของสถานี 59022 อ. ศรีสะเกษ จ. สุโขทัย ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำจากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับข้อมูลฝนสังเกตการณ์



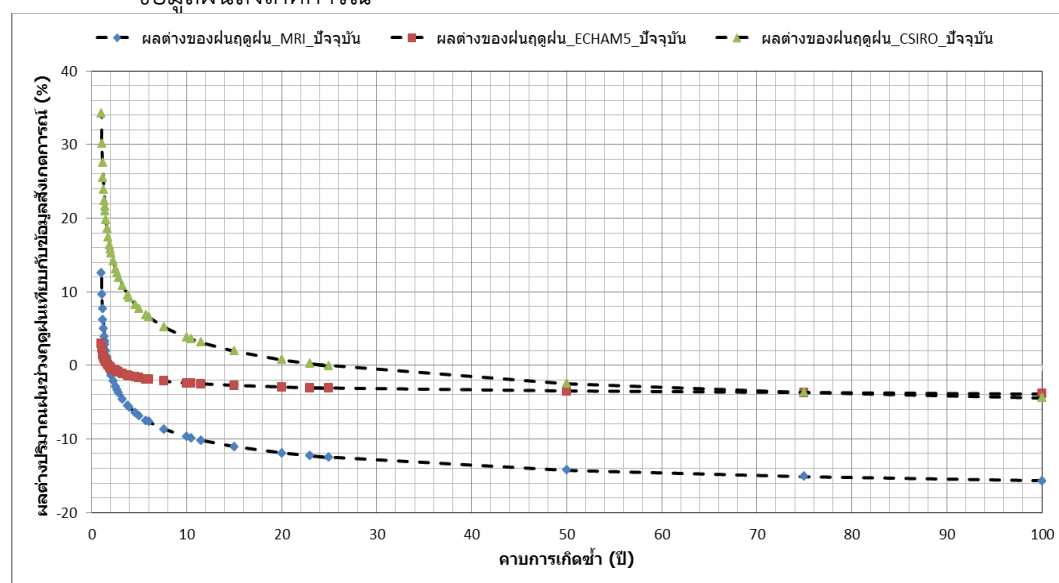
รูปที่ 4-48 ความแตกต่างของปริมาณฝนรายปีของสถานี 59012 อ. เมือง จ. สุโขทัย ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำจากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับข้อมูลฝนสังเกตการณ์



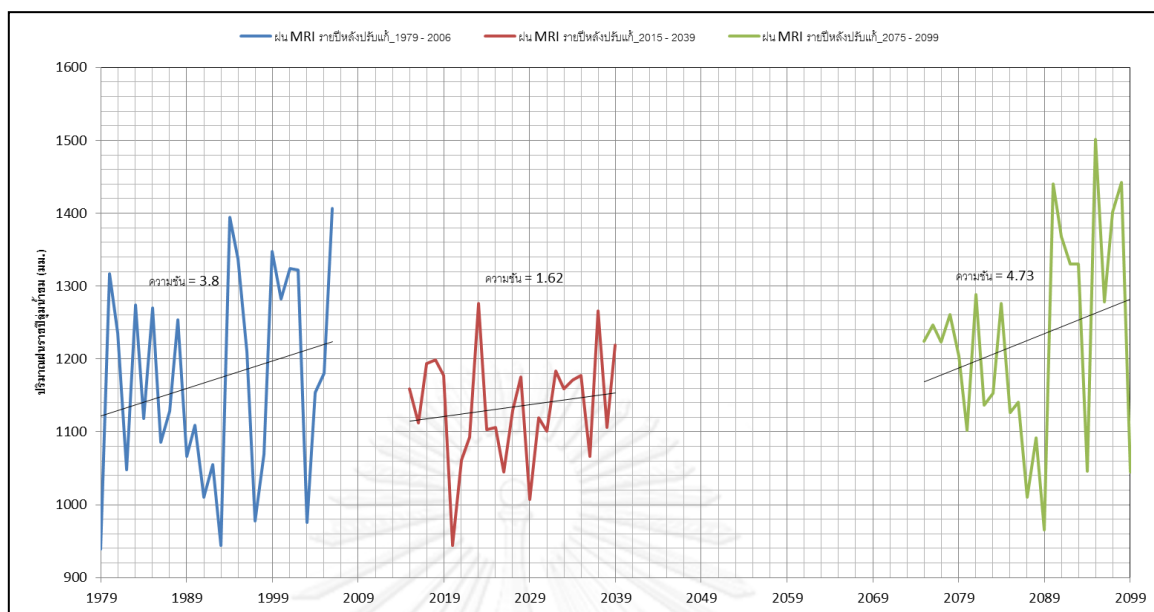
รูปที่ 4-49 ความแตกต่างของปริมาณฝนฤดูฝนของสถานี 40043 อ. สอง จ. แพร่ ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำจากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับข้อมูลฝนสังเกตการณ์



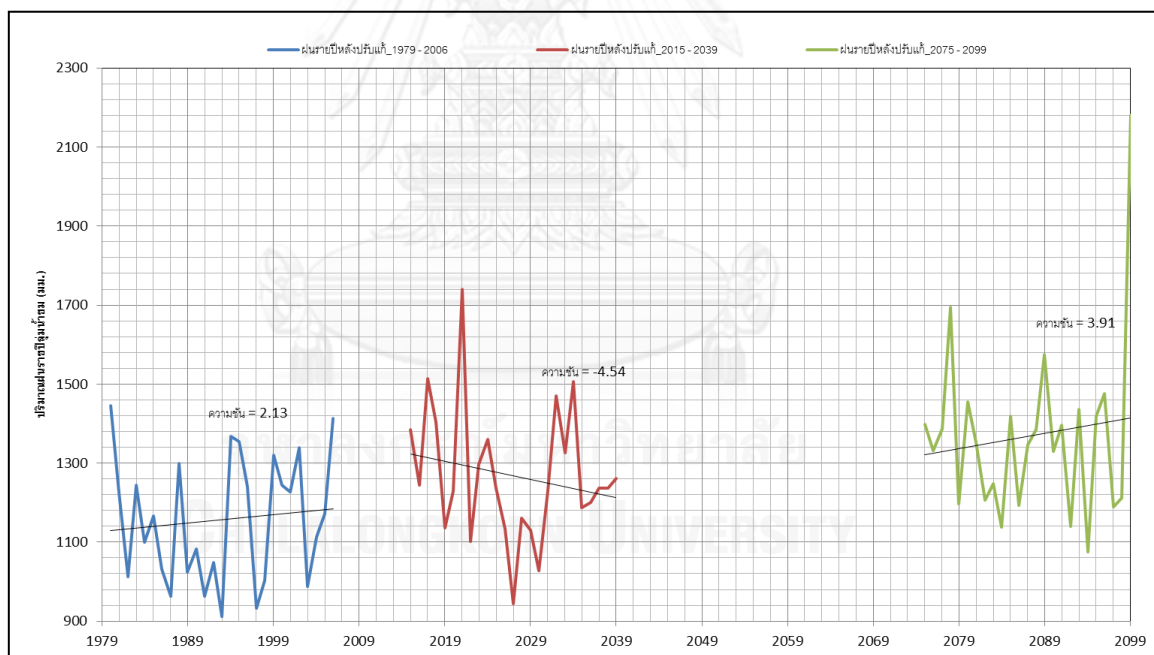
รูปที่ 4-50 ความแตกต่างของปริมาณฝนฤดูฝนของสถานี 59022 อ. ศรีสะเกษ จ. สุรินทร์ ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำจากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับข้อมูลฝนสังเกตการณ์



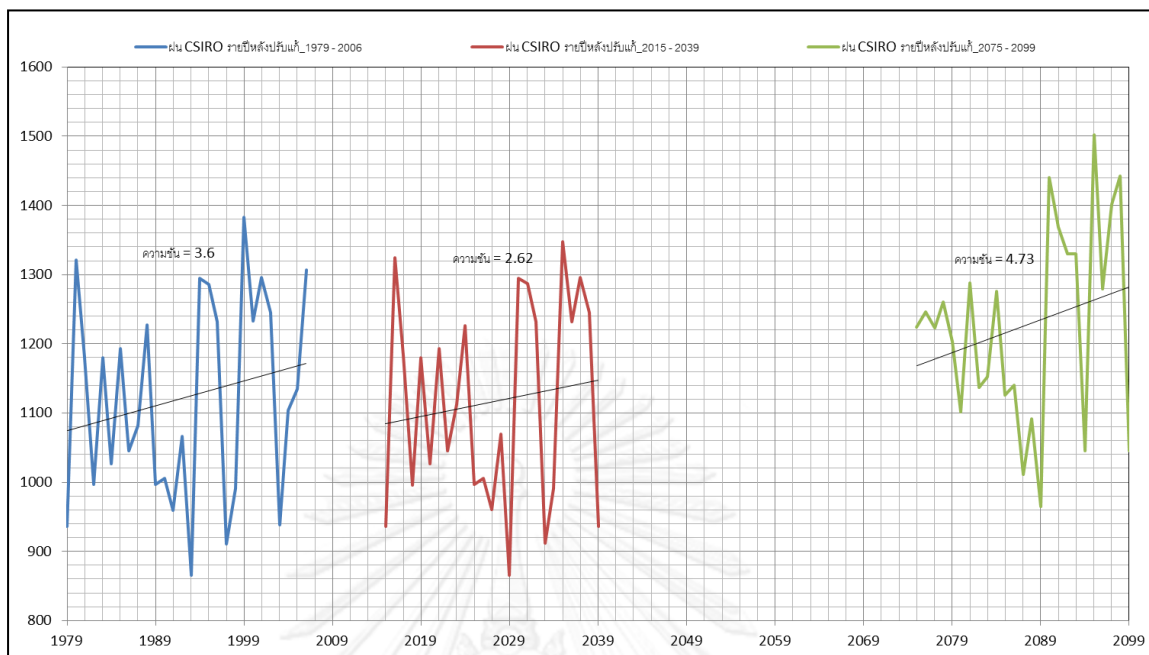
รูปที่ 4-51 ความแตกต่างของปริมาณฝนฤดูฝนของสถานี 59012 อ. เมือง จ. สุรินทร์ ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำจากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับข้อมูลฝนสังเกตการณ์



รูปที่ 4-52 การเปรียบเทียบแนวโน้มปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยมของฝนจากแบบจำลอง MRI ในช่วงปัจจุบัน อนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล



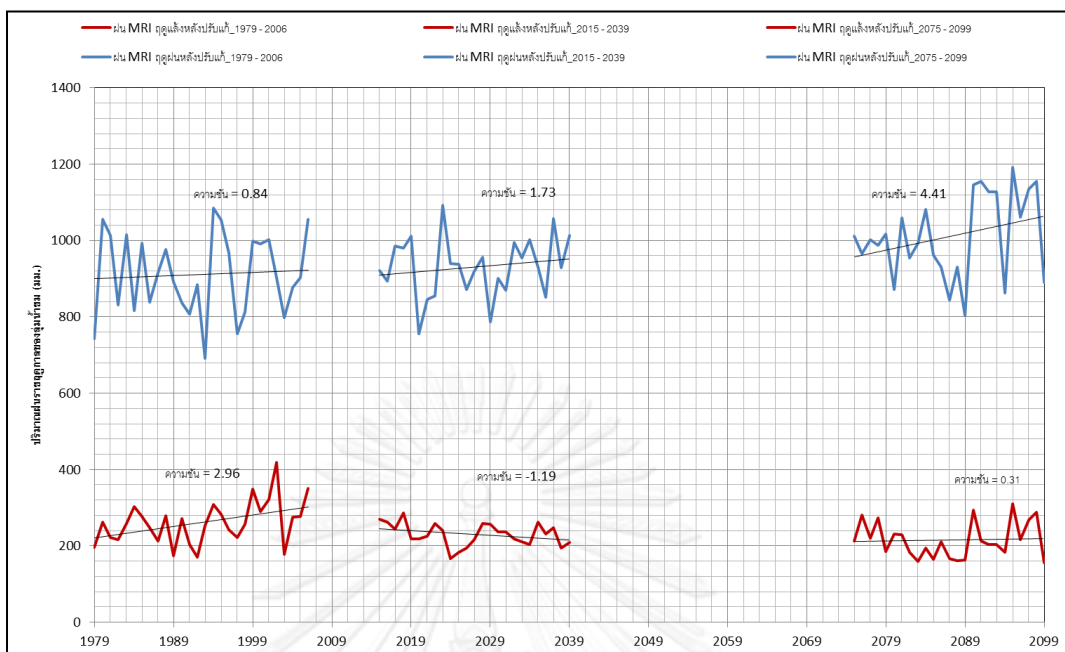
รูปที่ 4-53 การเปรียบเทียบแนวโน้มปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยมของฝนจากแบบจำลอง ECHAM5 ในช่วงปัจจุบัน อนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล



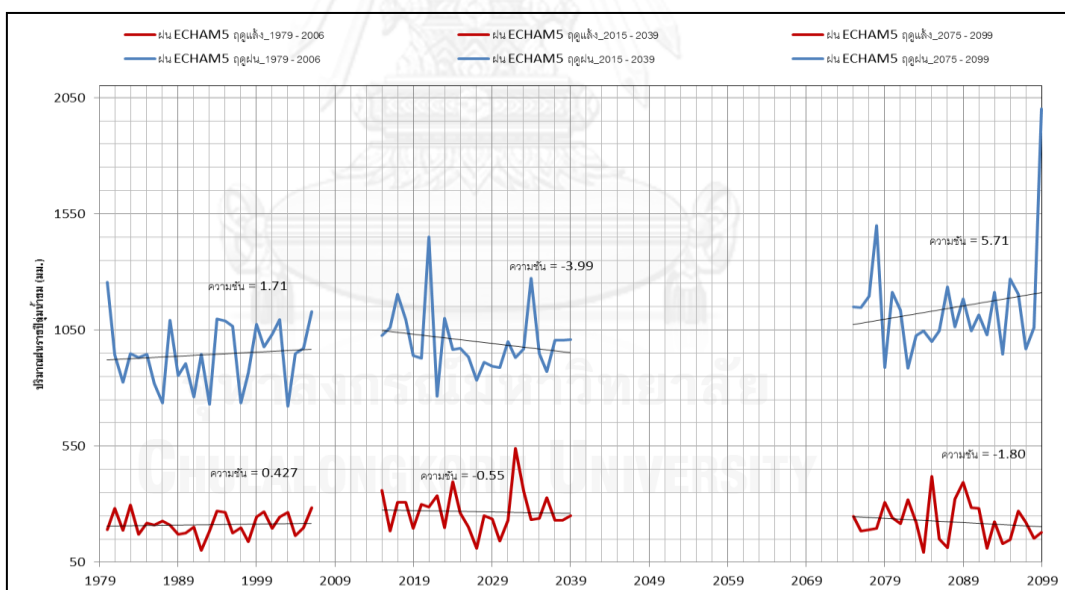
รูปที่ 4-54 การเปรียบเทียบแนวโน้มปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยมของฝนจากแบบจำลอง CSIRO ในช่วงปัจจุบัน อนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล

ตารางที่ 4-25 สรุปผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยมในปัจจุบันและอนาคต

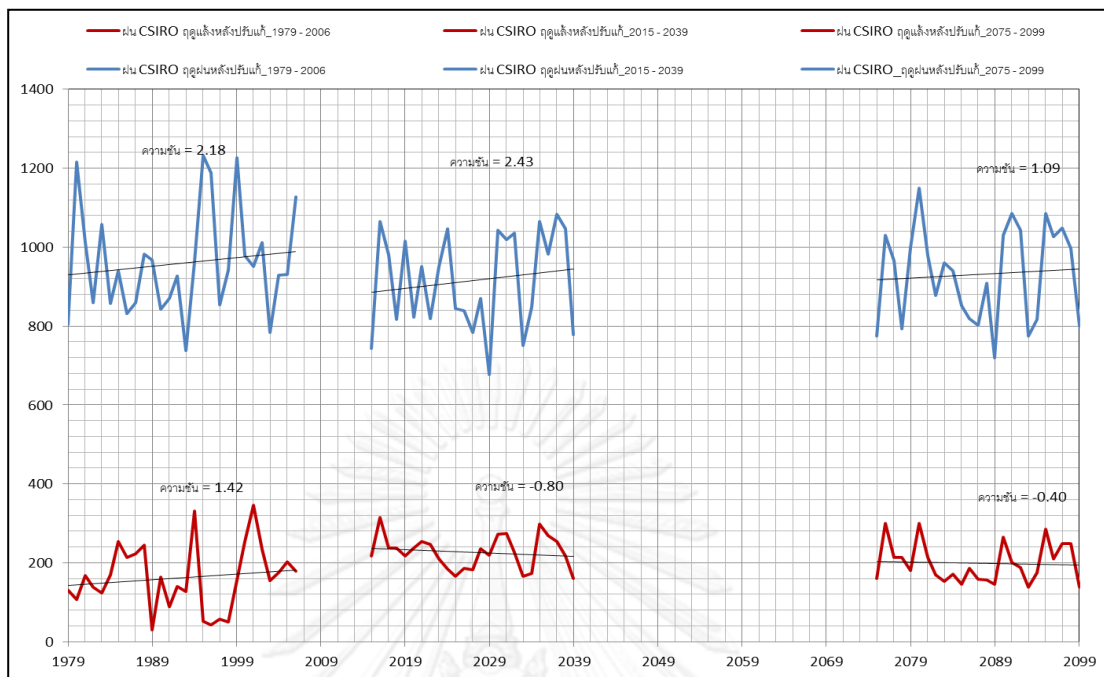
ข้อมูลฝน	ค.ศ. 1979 - 2006			ค.ศ. 2015 - 2039			ค.ศ. 2075 - 2099		
	Mean	SD.	C.V.	Mean	SD	C.V.	Mean	SD	C.V.
GG-MRI	1,173	142.71	0.12	1,134	76.20	0.067	1,225	143.81	0.117
GG-ECHAM5	1,157	159.34	0.14	1,268	174.29	0.137	1,367	222.99	0.163
GG-CSIRO	1,123	146.52	0.134	1,116	148.04	0.132	1,225	143.81	0.117
ข้อมูลฝน	ค.ศ. 1979-2006		ค.ศ. 2015-2039		ค.ศ. 2075-2099				
	Max	Min	Max	Min	Max	Min			
GG-MRI	1,406	938.65	1,276	943.71	1,502	965.21			
GG-ECHAM5	1,446	912.55	1,739	943.39	2,181	1,075			
GG-CSIRO	1,383	865.17	1,348	865.09	1,502	965.21			



รูปที่ 4-55 การเปรียบเทียบแนวโน้มปริมาณฝนรายฤดูกาลของกลุ่มน้ำยมของฝนจากแบบจำลอง MRI ในช่วงปัจจุบัน อนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล



รูปที่ 4-56 การเปรียบเทียบแนวโน้มปริมาณฝนรายฤดูกาลของกลุ่มน้ำยมของฝนจากแบบจำลอง ECHAM5 ในช่วงปัจจุบัน อนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล



รูปที่ 4-57 การเปรียบเทียบแนวโน้มปริมาณฝนรายฤดูกาลของกลุ่มน้ำยมของฝนจากแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 ในช่วงปัจจุบัน อนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล

ตารางที่ 4-26 ผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนรายฤดูกาลของกลุ่มน้ำยมในปัจจุบันและอนาคต

ข้อมูลฝน/ฤดู แล้ง	ค.ศ. 1979-2006			ค.ศ. 2015-2039			ค.ศ. 2075-2099		
	Mean	SD.	C.V.	Mean	SD	C.V.	Mean	SD	C.V.
MRI GCM	261.58	57.47	0.219	230.06	29.58	0.129	214.72	46.76	0.218
ECHAM5 GCM	212.82	48.33	0.227	268.80	89.06	0.331	224.75	85.88	0.382
CSIRO GCM	162.52	81.57	0.502	226.11	41.96	0.186	198.61	50.30	0.253
ข้อมูลฝน/ฤดูฝน	ค.ศ. 1979-2006			ค.ศ. 2015-2039			ค.ศ. 2075-2099		
	Mean	SD.	C.V.	Mean	SD	C.V.	Mean	SD	C.V.
MRI GCM	911.11	107.72	0.118	930.22	79.64	0.086	1,011	110.59	0.109
ECHAM5 GCM	943.85	141.65	0.150	999.21	144.19	0.144	1,142	223.35	0.195
CSIRO GCM	960.11	135.56	0.141	915.17	123.46	0.135	930.89	120.11	0.129

ตารางที่ 4-27 ผลแตกต่างปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยมในแต่ละคาบการเกิดซ้ำจากแบบจำลอง
ภูมิอากาศโลกเทียบกับข้อมูลสังเกตการณ์ในปัจจุบัน

ฝน สูงสุด	คาบ การ เกิดซ้ำ (ปี)	ผลต่างของฝนในแต่ละแบบจำลองภูมิอากาศ โลกเทียบกับข้อมูลสังเกตการณ์ (%)			ช่วงพิสัยการเปลี่ยนแปลง ระหว่างแบบจำลอง (%)	
		MRI	ECHAM5	CSIRO-MK3.5	สูงสุด	ต่ำสุด
ฝนราย ปี (มม.)	5 ปี	3.99%	6.33%	3.73%	6.33%	3.73%
	10 ปี	2.54%	4.87%	2.86%	4.87%	2.54%
	15 ปี	1.81%	4.13%	2.43%	4.13%	1.81%
	20 ปี	1.33%	3.65%	2.14%	3.65%	1.33%
	25 ปี	0.98%	3.30%	1.94%	3.30%	0.98%
	50 ปี	-0.01%	2.30%	1.34%	2.30%	-0.01%
	75 ปี	-0.54%	1.77%	1.03%	1.77%	-0.54%
	100 ปี	-0.89%	1.42%	0.83%	1.42%	-0.89%

ตารางที่ 4-28 ผลแตกต่างปริมาณฝนฤดูฝนของกลุ่มน้ำยมในแต่ละคาบการเกิดซ้ำจากแบบจำลอง
ภูมิอากาศโลกเทียบกับข้อมูลสังเกตการณ์ในปัจจุบัน

ฝน สูงสุด	คาบ การ เกิดซ้ำ (ปี)	ผลต่างของฝนในแต่ละแบบจำลองภูมิอากาศ โลกเทียบกับข้อมูลสังเกตการณ์ (%)			ช่วงพิสัยการเปลี่ยนแปลง ระหว่างแบบจำลอง (%)	
		MRI	ECHAM5	CSIRO-MK3.5	สูงสุด	ต่ำสุด
ฝนฤดู ฝน (มม.)	5 ปี	-2.19%	4.61%	4.64%	-2.19%	4.64%
	10 ปี	-3.47%	3.13%	4.36%	-3.47%	4.36%
	15 ปี	-4.12%	2.39%	4.22%	-4.12%	4.22%
	20 ปี	-4.54%	1.90%	4.13%	-4.54%	4.13%
	25 ปี	-4.85%	1.54%	4.06%	-4.85%	4.06%
	50 ปี	-5.73%	0.53%	3.86%	-5.73%	3.86%
	75 ปี	-6.20%	-0.01%	3.76%	-6.20%	3.76%
	100 ปี	-6.51%	-0.37%	3.69%	-6.51%	3.69%

ตารางที่ 4-29 สรุปการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำในแต่ละคาบการเกิดซ้ำจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกในอนาคตเทียบกับปัจจุบัน

ฝนสูงสุด	คาบการเกิดซ้ำ (ปี)	การเปลี่ยนแปลงของฝนในแต่ละแบบจำลองภูมิอากาศโลก เทียบกับปัจจุบัน (%)						ช่วงพิสัยการเปลี่ยนแปลง ระหว่างแบบจำลอง (%)			
		MRI		ECHAM5		CSIRO-MK3.5		NF		FF	
		NF	FF	NF	FF	NF	FF	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
ฝนรายปี (มม.)	5 ปี	-4.79%	-1.45%	+3.29%	+8.38%	-1.83%	-1.97%	+3.29%	-4.79%	+8.38%	-1.97%
	10 ปี	-4.91%	-1.28%	+3.68%	+9.79%	-1.85%	-1.90%	+3.68%	-4.91%	+9.79%	-1.90%
	15 ปี	-4.97%	-1.19%	+3.88%	+10.52%	-1.86%	-1.87%	+3.88%	-4.97%	+10.52%	-1.87%
	20 ปี	-5.01%	-1.13%	+4.01%	+10.99%	-1.87%	-1.84%	+4.01%	-5.01%	+10.99%	-1.84%
	25 ปี	-5.04%	-1.09%	+4.11%	+11.35%	-1.88%	-1.83%	+4.11%	-5.04%	+11.35%	-1.83%
	50 ปี	-5.12%	-0.96%	+4.40%	+12.37%	-1.89%	-1.78%	+4.40%	-5.12%	+12.37%	-1.78%
	75 ปี	-5.17%	-0.90%	+4.55%	+12.91%	-1.90%	-1.75%	+4.55%	-5.17%	+12.91%	-1.75%
	100 ปี	-5.20%	-0.85%	+4.65%	+13.28%	-1.91%	-1.73%	+4.65%	-5.20%	+13.28%	-1.73%

หมายเหตุ: NF = ช่วงอนาคตอันใกล้ ค.ศ. 2015-2039)

FF = ช่วงอนาคตอันไกล ค.ศ. 2075-2099)

ตารางที่ 4-30 สรุปการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนฤดูฝนลุ่มน้ำยมในแต่ละคาบการเกิดซ้ำจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกในอนาคตเทียบกับปัจจุบัน

ฝนสูงสุด	คาบการเกิดซ้ำ (ปี)	การเปลี่ยนแปลงของฝนในแต่ละแบบจำลองภูมิอากาศโลก เทียบกับปัจจุบัน (%)						ช่วงพิสัยการเปลี่ยนแปลงระหว่างแบบจำลอง (%)			
		MRI		ECHAM5		CSIRO-MK3.5		NF		FF	
		NF	FF	NF	FF	NF	FF	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
ฝนฤดูฝน (มม.)	5 ปี	-0.01%	+3.89%	+2.05%	+10.22%	+2.20%	+1.66%	+2.20%	-0.01%	+10.22%	+3.89%
	10 ปี	-0.71%	+3.69%	+2.70%	+13.03%	+1.83%	+1.11%	+2.70%	-0.71%	+13.03%	+3.69%
	15 ปี	-1.07%	+3.58%	+3.03%	+14.47%	+1.65%	+0.84%	+3.03%	-1.07%	+14.47%	+3.58%
	20 ปี	-1.31%	+3.51%	+3.25%	+15.43%	+1.53%	+0.66%	+3.25%	-1.31%	+15.43%	+3.51%
	25 ปี	-1.48%	+3.46%	+3.42%	+16.14%	+1.44%	+0.53%	+3.42%	-1.48%	+16.14%	+3.46%
	50 ปี	-1.99%	+3.32%	+3.89%	+18.18%	+1.19%	+0.16%	+3.89%	-1.99%	+18.18%	+3.32%
	75 ปี	-2.26%	+3.24%	+4.14%	+19.28%	+1.06%	-0.04%	+4.14%	-2.26%	+19.28%	+3.24%
	100 ปี	-2.45%	+3.19%	+4.32%	+20.02%	+0.97%	-0.17%	+4.32%	-2.45%	+20.02%	+3.19%

หมายเหตุ: NF = ช่วงอนาคตอันใกล้ ค.ศ. 2015-2039)

FF = ช่วงอนาคตอันไกล ค.ศ. 2075-2099)

ตารางที่ 4-31 สรุปผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนรายเดือนของกลุ่มน้ำยมจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกในอนาคตเทียบกับปัจจุบัน

ฝน	เดือน	การเปลี่ยนแปลงของฝนในแต่ละแบบจำลองภูมิอากาศโลก เทียบกับปัจจุบัน (%)						ช่วงพิสัยการเปลี่ยนแปลงระหว่าง แบบจำลอง (%)			
		MRI		ECHAM5		CSIRO-MK3.5		NF		FF	
		NF	FF	NF	FF	NF	FF	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
ฝนรายเดือน (มม.)	ม.ค.	+168.66	+42.34	+59.11	+46.51	-61.59	-51.76	+168.66	-61.59	+46.51	-51.76
	ก.พ.	+131.41	+27.65	+154.50	+44.40	-72.31	-70.15	+131.41	-72.31	+44.40	-70.15
	มี.ค.	+40.64	+12.75	+45.05	+11.56	-86.67	-81.42	+45.05	-86.67	+12.75	-81.42
	เม.ย.	+22.28	+25.89	+22.58	+3.47	-82.95	-83.71	+22.58	-82.95	+25.89	-83.71
	พ.ค.	-13.80	-2.19	+2.74	+3.23	-65.41	-66.77	+2.74	-65.41	+3.23	-66.77
	มิ.ย.	-5.69	+14.22	+6.53	+27.20	+77.91	+79.23	+77.91	-5.69	+79.23	+14.22
	ก.ค.	-6.45	+6.28	+10.48	+29.58	+89.24	+87.69	+89.24	-6.45	+87.69	+6.28
	ส.ค.	-4.64	+2.80	+15.03	+17.33	+38.28	+37.15	+38.28	-4.64	+37.15	+2.80
	ก.ย.	-2.88	+9.04	-22.06	-8.78	-28.90	-24.45	-2.88	-28.90	+9.04	-24.45
	ต.ค.	-6.96	-4.90	+20.68	+42.39	-76.15	-70.93	+20.68	-76.15	+42.39	-70.93
	พ.ย.	+31.97	-45.45	+56.16	+67.25	-72.21	-68.20	+56.16	-72.21	+67.25	-68.20
	ธ.ค.	-5.81	-61.85	+33.88	-50.57	-68.93	-59.47	+33.88	-68.93	-50.57	-61.85

หมายเหตุ: NF = ช่วงอนาคตอันใกล้ค) .ศ. 2015-2039)

FF = ช่วงอนาคตอันไกล ค) .ศ. 2075-2099)

4.3.4 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายปีของสถานีฝนตัวอย่างที่ศึกษา

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงของฝนรายปีจากข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ณ สถานีวัดน้ำฝน 3 สถานี ได้แก่ สถานีวัดน้ำฝน 40043 อำเภอสอง จังหวัดแพร่ สถานีวัดน้ำฝน 59022 อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย และสถานีวัดน้ำฝน 59012 อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) เทียบกับปัจจุบันในแต่ละคาบการเกิดซ้ำ ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายปีในแต่ละสถานีของแบบจำลองทั้งสาม สรุปพอสังเขปดังนี้

ผลการศึกษาพบว่า ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) สถานีวัดน้ำฝน 40043 อ.สอง จ.แพร่ ปริมาณฝนรายปีจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบัน -5.52% จนถึงเพิ่มขึ้น 11.08% ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ปริมาณฝนรายปีจากแบบจำลอง ECHAM5 มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบัน -10.18% จนถึงเพิ่มขึ้น 14.99% ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ และปริมาณฝนรายปีจากแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบัน -7.66% จนเพิ่มขึ้น 11.05% ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) ปริมาณฝนรายปีจากแบบจำลอง MRI มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบัน -2.65% จนถึงเพิ่มขึ้น 14.14% ปริมาณรายปีจากแบบจำลอง ECHAM5 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากปัจจุบัน 4.80%-5.20% และปริมาณฝนรายปีจากแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบัน -7.66% จนถึงเพิ่มขึ้น 11.02%

ผลการศึกษาพบว่า ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) สถานีวัดน้ำฝน 59022 อ.ศรีสัชนาลัย จ.สุโขทัย ปริมาณฝนรายปีจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากปัจจุบัน 0.62%-33.87% ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ปริมาณฝนรายปีจากแบบจำลอง ECHAM5 มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบัน -2.79% จนถึงเพิ่มขึ้น 31.09% ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ และปริมาณฝนรายปีจากแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากปัจจุบัน 4.68%-9.76% ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) ปริมาณฝนรายปีจากแบบจำลอง MRI มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากปัจจุบัน 6.16%-30.38% ปริมาณรายปีจากแบบจำลอง ECHAM5 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากปัจจุบัน 13.24%-20.46% และปริมาณฝนรายปีจากแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากปัจจุบัน 5.24%-11.54%

ผลการศึกษาพบว่า ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) สถานีวัดน้ำฝน 59012 อ.เมือง จ.สุโขทัย ปริมาณฝนรายปีจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบัน -14.64% จนถึงเพิ่มขึ้น 33.87% ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ปริมาณฝนรายปีจากแบบจำลอง ECHAM5 มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบัน -1.33% จนถึงเพิ่มขึ้น 11.56% ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ และปริมาณฝนรายปีจากแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบัน 16.83% จนถึงเพิ่มขึ้น 5.42% ที่

แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) ปริมาณฝนรายปีจากแบบจำลอง MRI มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบัน 83.95% จนถึงเพิ่มขึ้น 19.81% ปริมาณรายปีจากแบบจำลอง ECHAM5 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากปัจจุบัน 2.95%-16.08% และปริมาณฝนรายปีจากแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบัน 14.34% จนถึงเพิ่มขึ้น 9.72%

4.3.4 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนฤดูฝนของสถานีฝนตัวอย่างที่ศึกษา

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงของฝนฤดูฝนจากข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ณ สถานีวัดน้ำฝน 3 สถานี ได้แก่ สถานีวัดน้ำฝน 40043 อำเภอสอง จังหวัดแพร่ สถานีวัดน้ำฝน 59022 อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย และสถานีวัดน้ำฝน 59012 อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) เทียบกับปัจจุบันในแต่ละคาบการเกิดซ้ำ ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายปีในแต่ละสถานีของแบบจำลองทั้งสาม สรุปพอสังเขปดังนี้

ผลการศึกษาพบว่า ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) สถานีวัดน้ำฝน 40043 อ.สอง จ.แพร่ ปริมาณฝนฤดูฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบัน -9.13% จนถึงเพิ่มขึ้น 12.86% ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ปริมาณฝนฤดูฝนจากแบบจำลอง ECHAM5 มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบัน -12.13% จนถึงเพิ่มขึ้น 10.50% ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ และปริมาณฝนรายปีจากแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากปัจจุบัน 7.53%-10.81% ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) ปริมาณฝนฤดูฝนจากแบบจำลอง MRI มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบัน -5.86% จนถึงเพิ่มขึ้น 15.54% ปริมาณรายปีจากแบบจำลอง ECHAM5 มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบัน -4.11% จนถึงเพิ่มขึ้น 8.91% และปริมาณฝนรายปีจากแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากปัจจุบัน 3.92%-8.41%

ผลการศึกษาพบว่า ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) สถานีวัดน้ำฝน 59022 อ.ศรีสัชนาลัย จ.สุโขทัย ปริมาณฝนฤดูฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบัน -6.93% จนถึงเพิ่มขึ้น 18.86% ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ปริมาณฝนฤดูฝนจากแบบจำลอง ECHAM5 มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบัน -4.54% จนถึงเพิ่มขึ้น 13.22% ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ และปริมาณฝนฤดูฝนจากแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบัน -1.42% จนเพิ่มขึ้น 17.94% ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันไกล ค.ศ.(2075-2099) ปริมาณฝนฤดูฝนจากแบบจำลอง MRI มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบัน -1.50% จนถึงเพิ่มขึ้น 16.12% ปริมาณฤดูฝนจากแบบจำลอง ECHAM5 มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบัน -4.00% จนถึง 19.24% และปริมาณฝนฤดูฝนจากแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบัน -3.57% จนถึงเพิ่มขึ้น 14.61%

ผลการศึกษาพบว่า ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) สถานีวัดน้ำฝน 59012 อ.เมือง จ.สุโขทัย ปริมาณฝนฤดูฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบัน -19.97% จนถึงเพิ่มขึ้น 20.93% ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ปริมาณฝนฤดูฝนจากแบบจำลอง ECHAM5 มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบัน -4.96% จนถึงเพิ่มขึ้น 6.64% ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ และปริมาณฝนฤดูฝนจากแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบัน -7.98% จนเพิ่มขึ้น 25.84% ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) ปริมาณฝนฤดูฝนจากแบบจำลอง MRI มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบัน -18.10% จนถึงเพิ่มขึ้น 26.19% ปริมาณฝนฤดูฝนจากแบบจำลอง ECHAM5 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากปัจจุบัน 0.74% จนถึง 10.72% และปริมาณฝนฤดูฝนจากแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบัน -11.15% จนถึงเพิ่มขึ้น 25.55%

4.3.5 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายเดือนของสถานีฝนตัวอย่างที่ศึกษา

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายเดือนของสถานีวัดน้ำฝน 3 สถานี ได้แก่ สถานีวัดน้ำฝน 40043 อำเภอสอง จังหวัดแพร่ สถานีวัดน้ำฝน 59022 อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย และสถานีวัดน้ำฝน 59012 อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) เทียบกับปัจจุบันในแต่ละเดือน ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายเดือนในแต่ละสถานีของแบบจำลองทั้งสาม สรุปพอสังเขปดังนี้

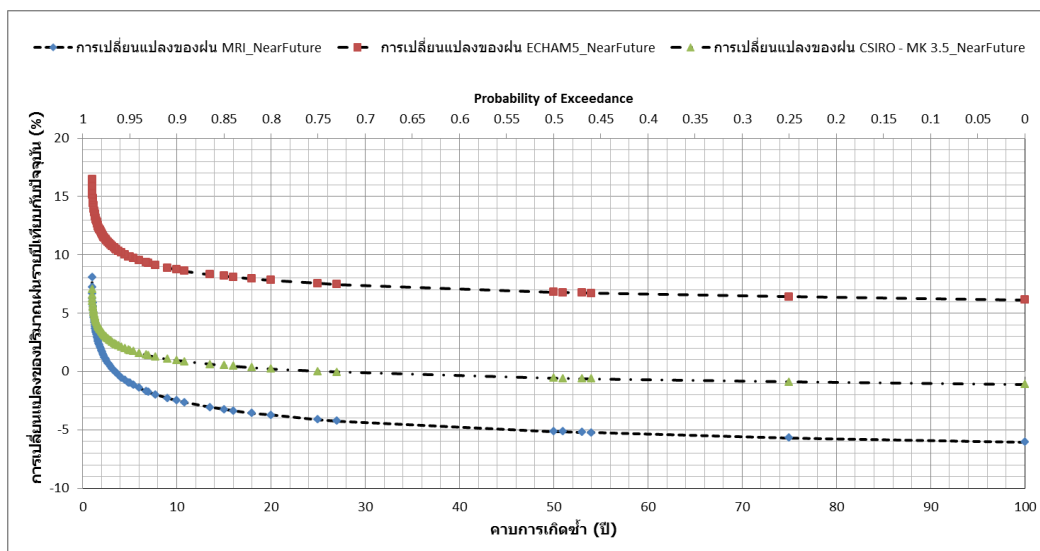
ผลการศึกษาพบว่า ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) สถานีวัดน้ำฝน 40043 อ.สอง จ.แพร่ ปริมาณรายเดือนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 15.72%-125.70% ระหว่างเดือนมกราคม-เมษายน และเพิ่มขึ้นระหว่าง 2.82%-197.04% ในเดือนมิถุนายน เดือนกันยายน เดือนตุลาคม และเดือนธันวาคม ส่วนเดือนพฤษภาคม เดือนกรกฎาคม เดือนสิงหาคม และเดือนพฤศจิกายน ปริมาณฝนจะลดลงระหว่าง -38.42%--0.003% กรณีแบบจำลอง ECHAM5 พบว่า ปริมาณฝนรายเดือนจะเพิ่มขึ้นระหว่าง 2.14%-318.98% ในเดือนมกราคม เดือนกุมภาพันธ์ เดือนเมษายน เดือนพฤษภาคม เดือนมิถุนายน เดือนสิงหาคม เดือนตุลาคม เดือนพฤศจิกายน และเดือนธันวาคม ส่วนเดือนกรกฎาคมและเดือนกันยายน ปริมาณฝนจะลดลงระหว่าง 10.28%-19.03% เทียบกับปัจจุบัน กรณีแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 พบว่าปริมาณฝนรายเดือนจะลดลงระหว่าง 23.98% -91.75% เทียบกับปัจจุบัน ในเดือนมกราคม กุมภาพันธ์ มีนาคม เมษายน พฤษภาคม กันยายน ตุลาคม พฤศจิกายน และเดือนธันวาคม ส่วนเดือนมิถุนายน-สิงหาคม ปริมาณฝนรายเดือนจะเพิ่มขึ้นระหว่าง 28.18%-113.26% เทียบกับปัจจุบัน ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) ปริมาณฝนรายเดือนจาก MRI จะเพิ่มขึ้นระหว่าง 3.56%-71.77% ในเดือนมกราคม กุมภาพันธ์ เมษายน พฤษภาคม มิถุนายน กรกฎาคม กันยายน ตุลาคม และจะลดลงระหว่าง 3.28%-51.81% เทียบกับปัจจุบัน ปริมาณฝนรายเดือนจาก ECHAM5 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นระหว่าง 0.85%-136.45%

เมื่อเทียบกับปัจจุบัน ในเดือนมกราคม กุมภาพันธ์ มีนาคม พฤษภาคม มิถุนายน สิงหาคม ตุลาคม พฤศจิกายน และเดือนธันวาคม และจะลดลงระหว่าง 7.93%-11.34% เทียบกับปัจจุบัน ในเดือน เมษายน กรกฎาคม และเดือนกันยายน ส่วนปริมาณฝนรายเดือนจาก CSIRO-MK3.5 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากปัจจุบันระหว่าง 25.3%-113.8% ในเดือนมิถุนายน-สิงหาคม ส่วนเดือนอื่นๆ ปริมาณฝนจะลดลง 22.18%-88.70% เมื่อเทียบกับปัจจุบัน

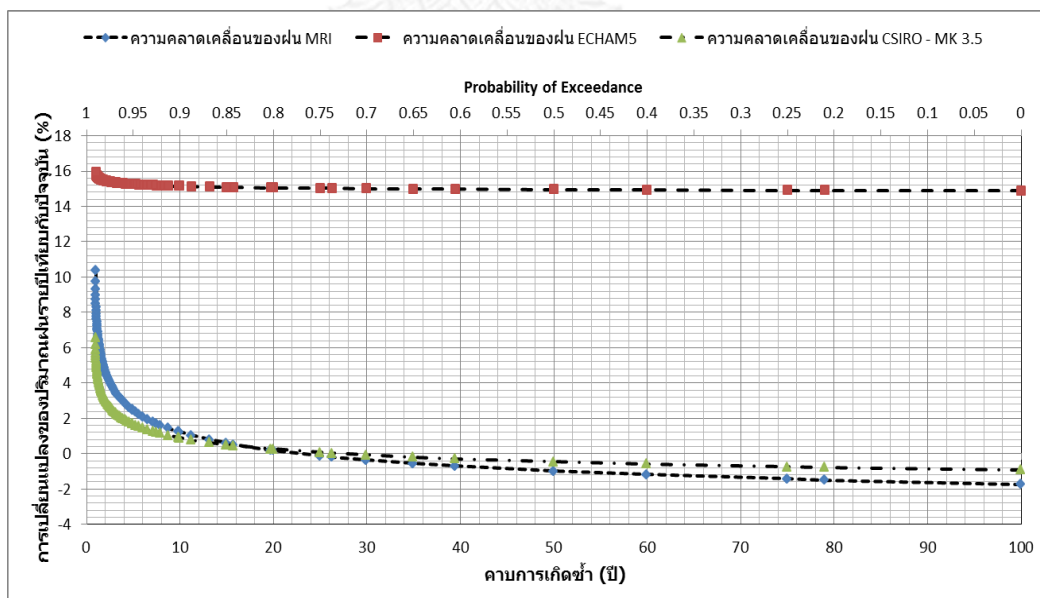
ผลการศึกษาพบว่า ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) สถานีวัดน้ำฝน 59022 อ.ศรีสัชชนาลัย จ.สุโขทัย ปริมาณรายเดือนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นระหว่าง 8.22%-674.70% ในทุกเดือนยกเว้นเดือนกันยายน ซึ่งปริมาณฝนจะลดลง 8.59% จากปัจจุบัน กรณีแบบจำลอง ECHAM5 พบว่าปริมาณฝนรายเดือนจะเพิ่มขึ้นระหว่าง 7.53%-240.38% ในส่วนใหญ่ของปี ยกเว้นเดือนกันยายน ซึ่งปริมาณฝนจะลดลง 34.89% จากปัจจุบัน กรณีแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 พบว่าปริมาณฝนรายเดือนจะลดลงระหว่าง 46.97%-99.41% เทียบกับปัจจุบัน ในเดือนมกราคม-เมษายน และเดือนกันยายน-ธันวาคม ส่วนเดือนมิถุนายน-สิงหาคม ปริมาณฝนรายเดือนจะลดลงระหว่าง 52.41%-224.43% เทียบกับปัจจุบัน ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) พบว่าปริมาณฝนรายเดือนของ MRI มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นระหว่าง 9.41%-540.37% ในส่วนใหญ่ของปี ยกเว้นเดือนกันยายนและเดือนธันวาคม ซึ่งปริมาณฝนจะลดลงระหว่าง 8.45%-10.08% กรณีของฝน ECHAM5 พบว่าปริมาณฝนรายเดือนจะเพิ่มขึ้นระหว่าง 8.39%-169.22% ในส่วนใหญ่ของปี ยกเว้นเดือนกันยายนและเดือนธันวาคม ซึ่งปริมาณฝนจะลดลงระหว่าง 19.51%-37.29% กรณีของฝน CSIRO พบว่าปริมาณฝนรายเดือนมีแนวโน้มลดลง 42.22%-94.03% ในเดือนส่วนใหญ่ ยกเว้นช่วงเดือนมิถุนายน-สิงหาคม ซึ่งปริมาณน้ำฝนจะลดลง 53.18%-222.39% ตามลำดับ

ผลการศึกษาพบว่า ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) สถานีวัดน้ำฝน 59012 อ.เมือง จ.สุโขทัย ปริมาณฝนรายเดือนจากแบบจำลอง MRI มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบันระหว่าง 2.96% -32.41% ในช่วงเดือนพฤษภาคม-ธันวาคม ส่วนเดือนมกราคม-เมษายน พบว่าปริมาณฝนรายเดือนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น 71.32%-377.76% กรณีแบบจำลอง ECHAM5 ปริมาณฝนรายเดือนจะเพิ่มขึ้น 13.70%-435.60% ในส่วนใหญ่ของปี ยกเว้นช่วงเดือนพฤษภาคม มิถุนายน และเดือนกันยายน ที่ปริมาณฝนจะลดลง 2.98%-28.25% และกรณีของแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 พบว่าปริมาณฝนรายเดือนมีแนวโน้มลดลง 28.40%-81.64% ระหว่างเดือนมกราคม-พฤษภาคม และเดือนกันยายนถึงเดือนธันวาคม ส่วนเดือนมิถุนายน-สิงหาคม พบว่าปริมาณฝนรายเดือนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นระหว่าง 54.73%-68.14% ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) พบว่าปริมาณฝนรายเดือนของ MRI มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นระหว่าง 8.19%-252.52% ในช่วงเดือนมกราคม-เมษายน และเดือนมิถุนายน-เดือนกันยายน ส่วนที่เหลือปริมาณฝนจะลดลงระหว่าง 6.42%-68.68% ปริมาณฝนรายเดือนของ ECHAM5 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นระหว่าง 2.15%-209.34% ในเดือนมกราคม-สิงหาคม และเดือนตุลาคม-

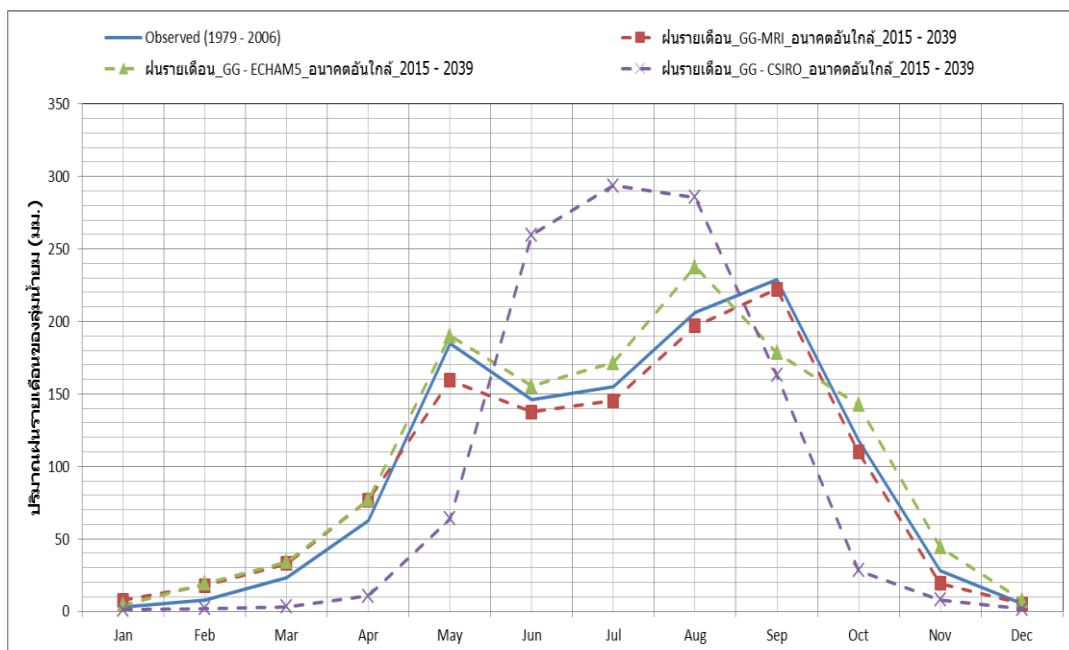
พฤศจิกายน ส่วนเดือนกันยายนและธันวาคม ปริมาณฝนจะลดลงจากปัจจุบันระหว่าง 12.80%-23.96% ตามลำดับ ส่วนปริมาณฝนรายเดือนของ CSIRO มีแนวโน้มลดลงระหว่าง 24.97%-81.71% ในเดือนมกราคม-พฤษภาคม และเดือนกันยายน-เดือนธันวาคม ส่วนเดือนมิถุนายน-สิงหาคม พบว่าปริมาณฝนรายเดือนจะเพิ่มขึ้นระหว่าง 52.52%-141.36% เทียบกับปัจจุบัน



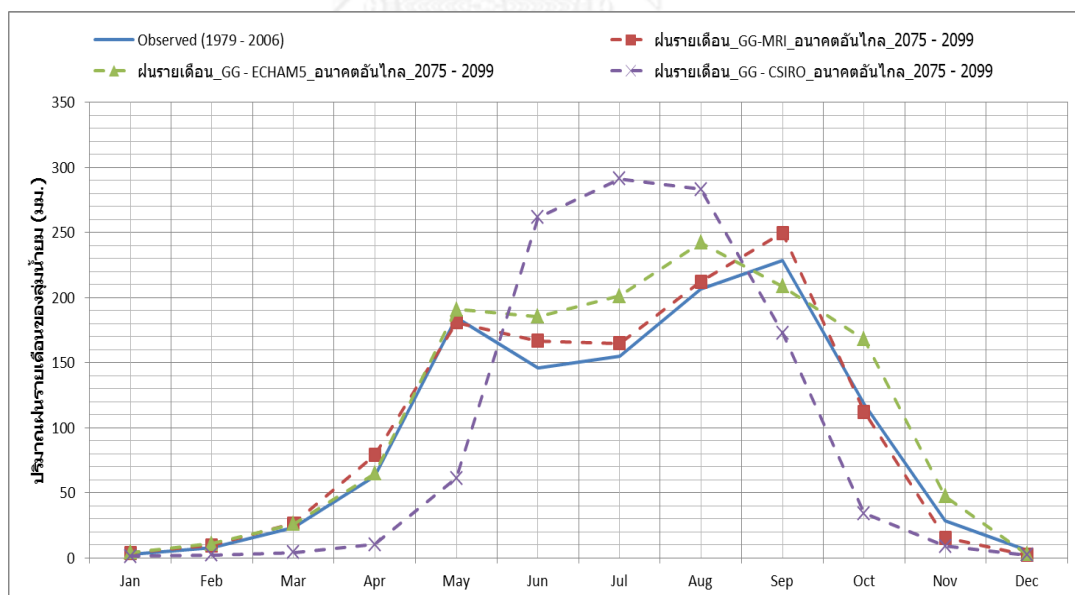
รูปที่ 4-58 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยมที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน



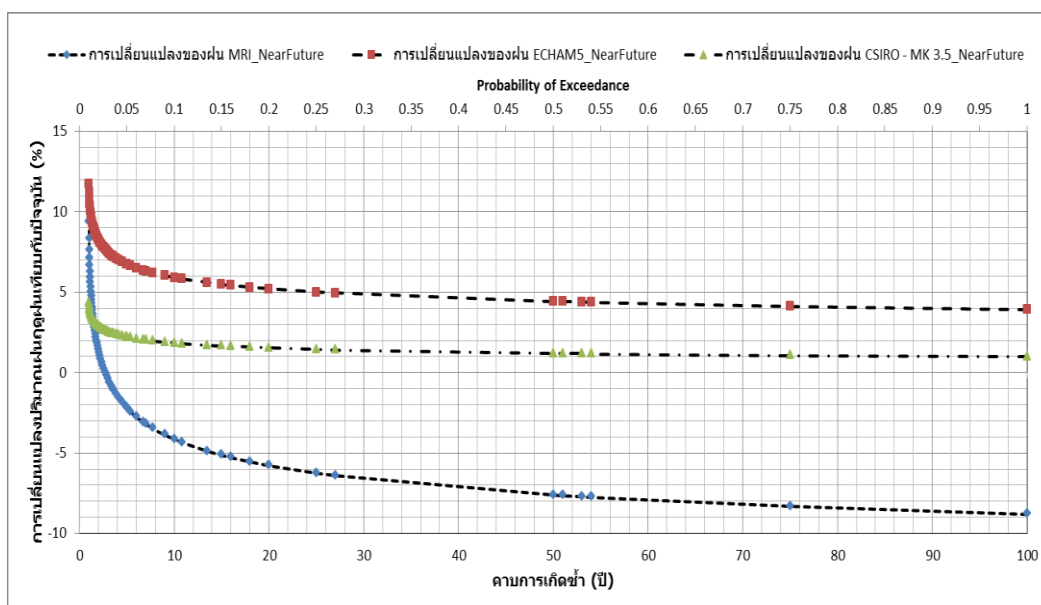
รูปที่ 4-59 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยมที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2075-2099) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน



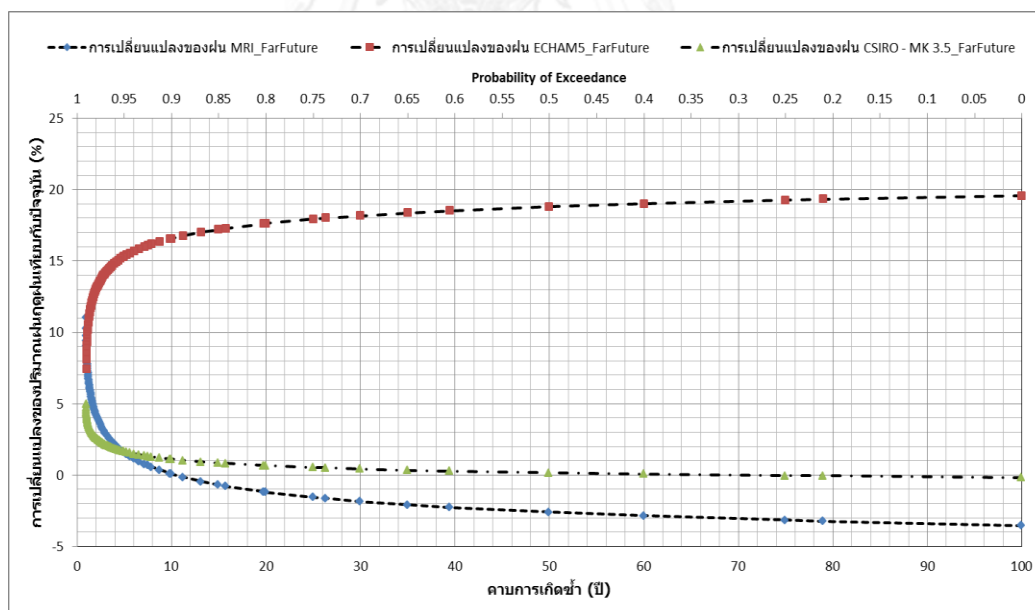
รูปที่ 4-60 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายเดือนของกลุ่มน้ำนมในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน



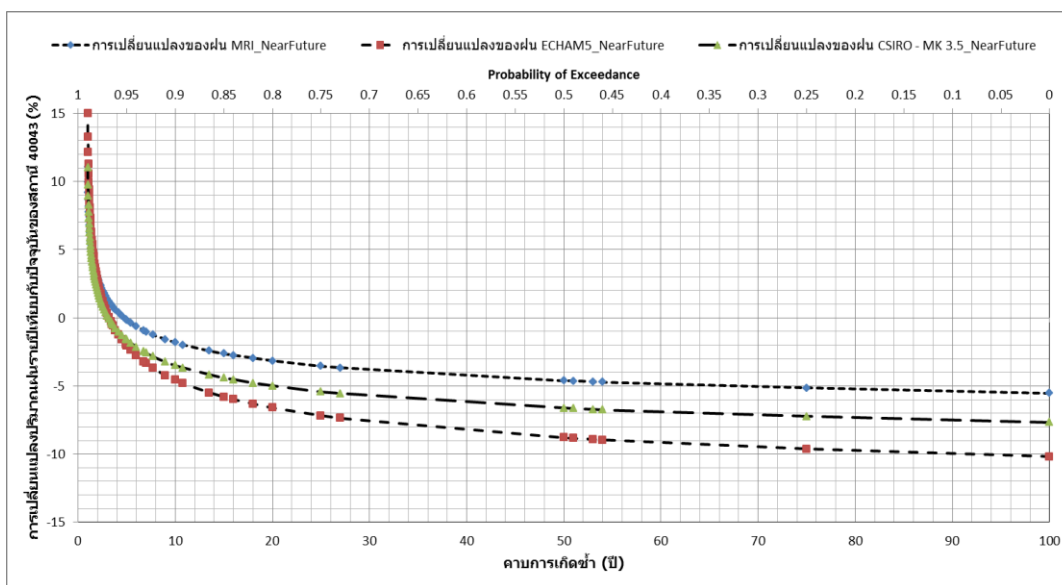
รูปที่ 4-61 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายเดือนของกลุ่มน้ำนมในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน



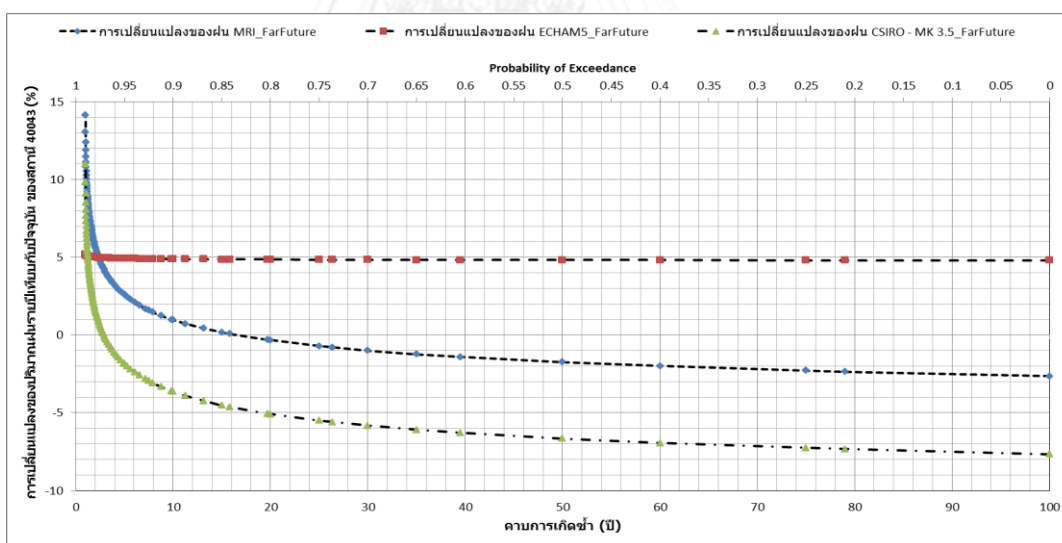
รูปที่ 4-62 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนฤดูฝนของลุ่มน้ำยมที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน



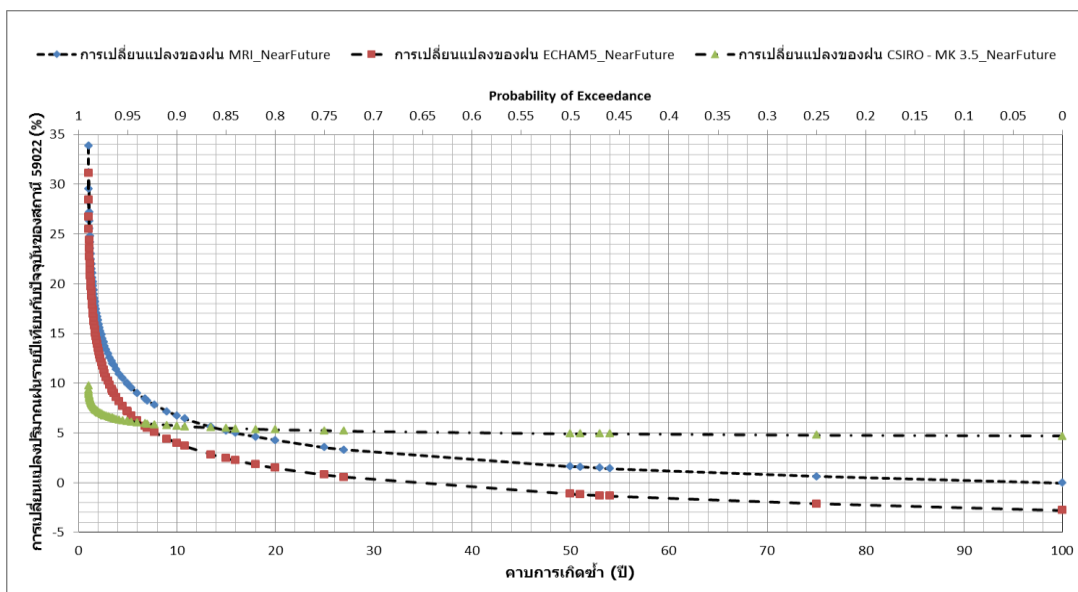
รูปที่ 4-63 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนฤดูฝนของลุ่มน้ำยมที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน



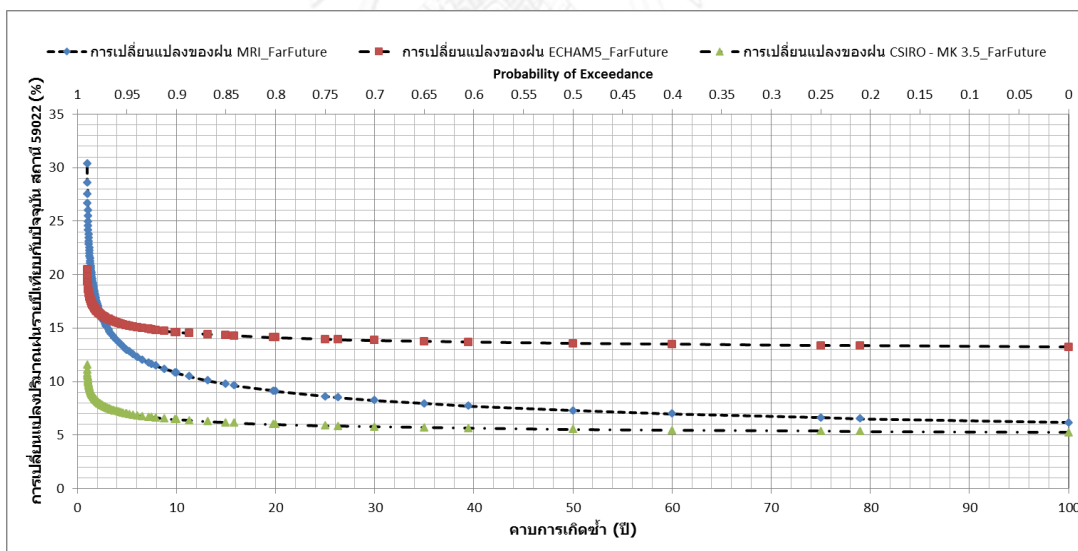
รูปที่ 4-64 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายปีของสถานี 40043 จ. แพร่ ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน



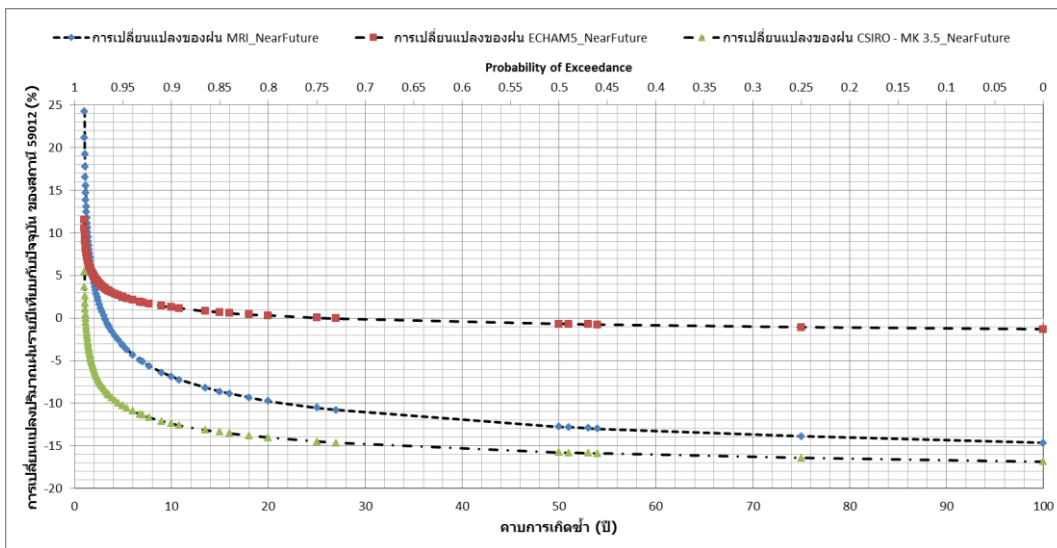
รูปที่ 4-65 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายปีของสถานี 40043 จ. แพร่ ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน



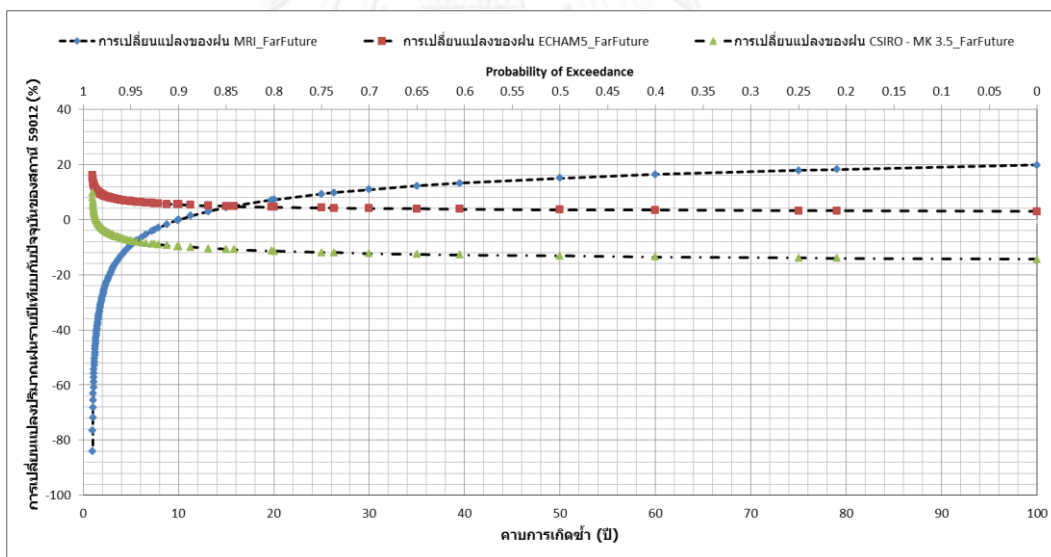
รูปที่ 4-6 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายปีของสถานี 59022 จ. สุโขทัย ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน



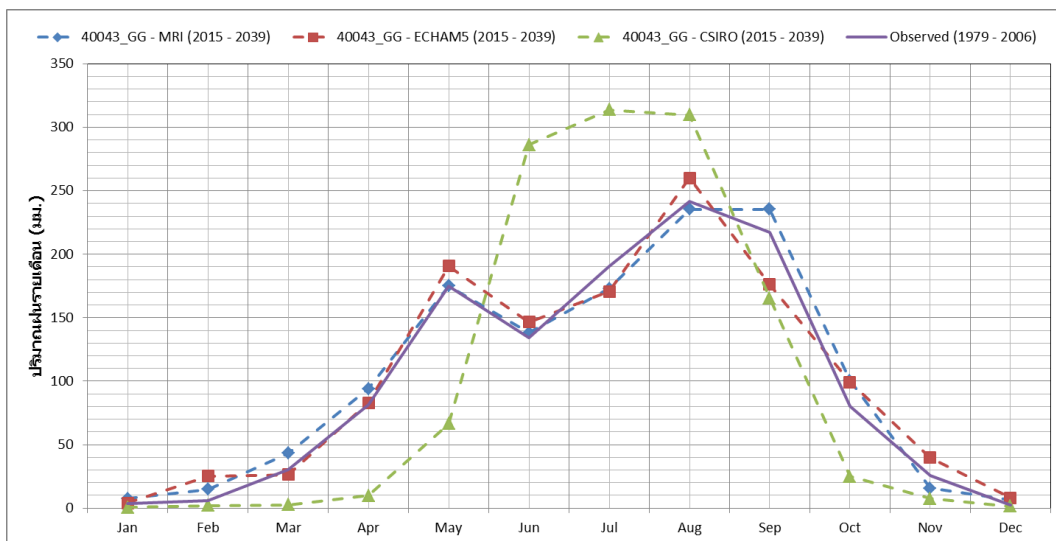
รูปที่ 4-7 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายปีของสถานี 59022 จ. สุโขทัย ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน



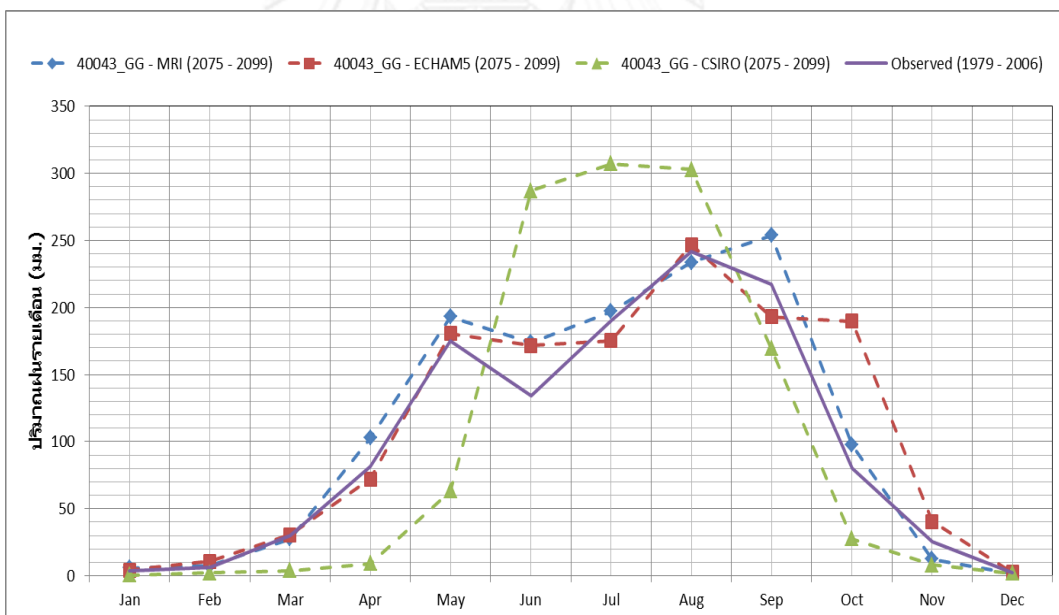
รูปที่ 4-68 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายปีของสถานี 59012 จ. สุโขทัย ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน



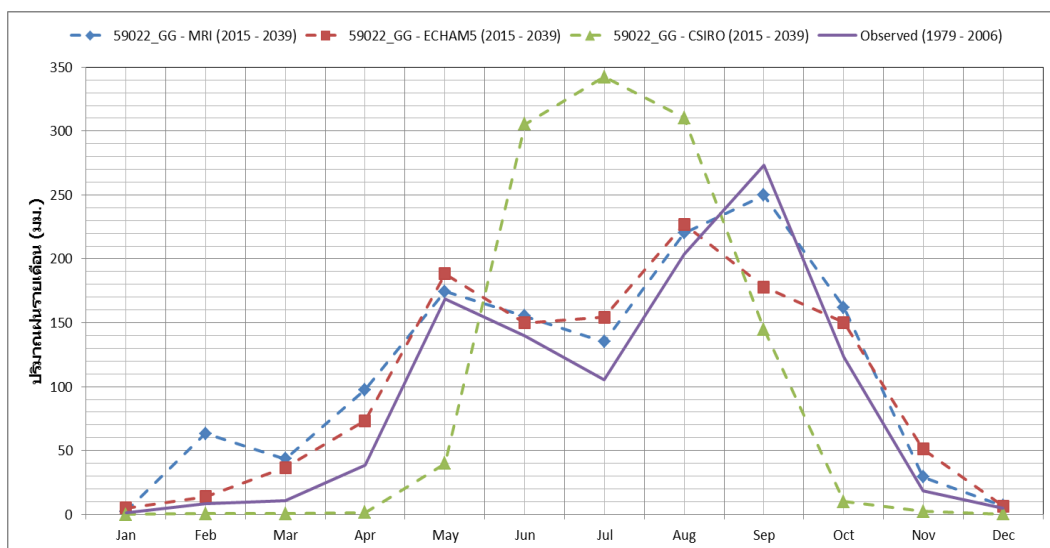
รูปที่ 4-69 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายปีของสถานี 59012 จ. สุโขทัย ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน



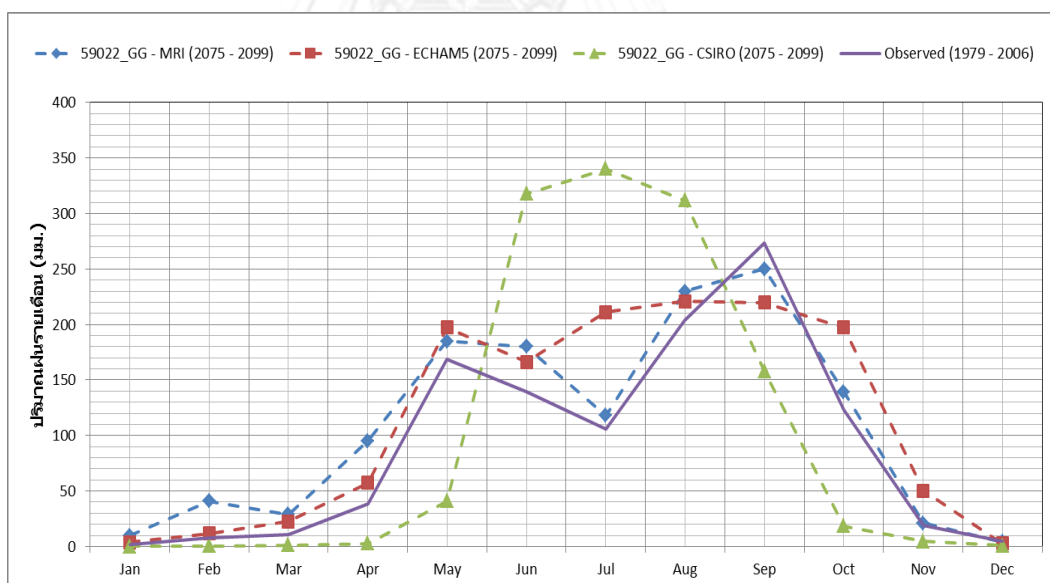
รูปที่ 4-70 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายเดือนของสถานี 40043 จ. สุโขทัย ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน



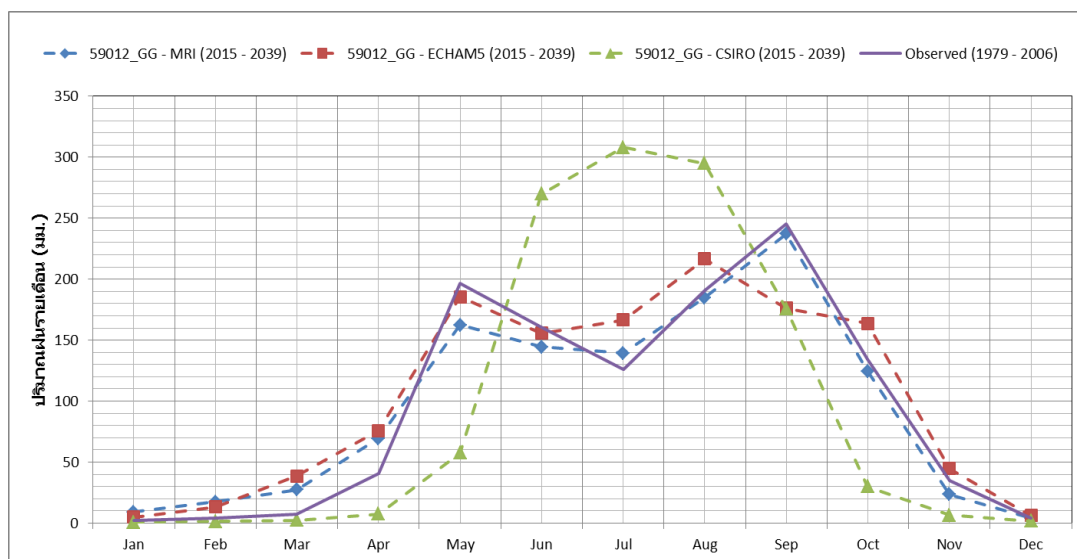
รูปที่ 4-71 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายเดือนของสถานี 40043 จ. สุโขทัย ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน



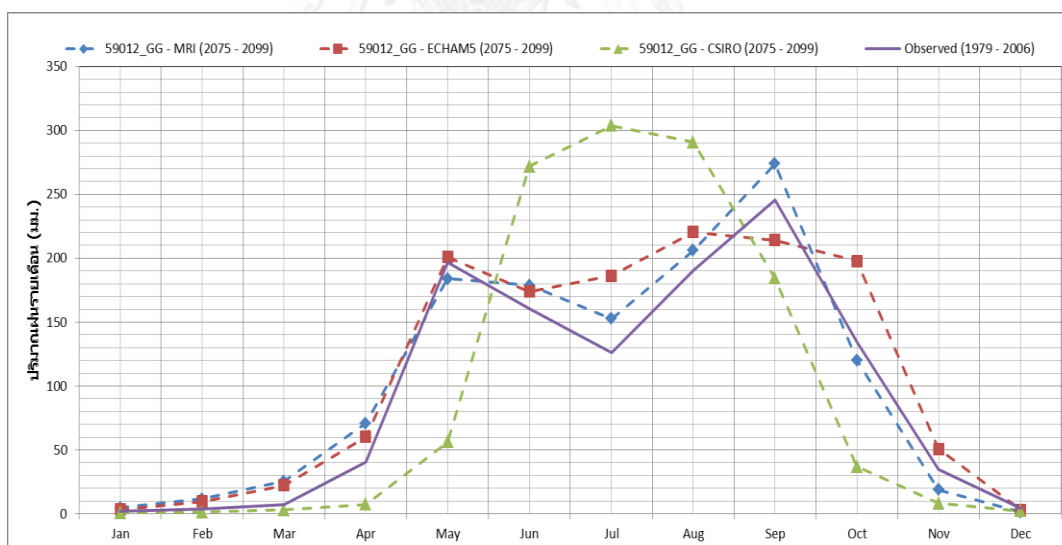
รูปที่ 4-72 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายเดือนของสถานี 59022 จ. สุโขทัย ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน



รูปที่ 4-73 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายเดือนของสถานี 59022 จ. สุโขทัย ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน



รูปที่ 4-74 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายเดือนของสถานี 59012 จ. สุโขทัย ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน



รูปที่ 4-75 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายเดือนของสถานี 59012 จ. สุโขทัย ที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และ CSIRO เทียบกับปัจจุบัน

บทที่ 5

ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกในจังหวัดสุโขทัย

จากบทที่ 4 ซึ่งกล่าวถึงการวิเคราะห์ฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกในปัจจุบัน และการเปลี่ยนแปลงของฝนในระดับลุ่มน้ำจนถึงระดับสถานี ผลการศึกษาที่ได้จะเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับนำเข้าแบบจำลองการประเมินผลกระทบจากภูมิอากาศ (impact model) ซึ่งในที่นี้คือแบบจำลองอุทกวิทยา (hydrologic model) และแบบจำลองการไหลในลำน้ำ (river analysis model) ซึ่งหลังจากนี้จะเรียกแบบรวมๆว่า แบบจำลองน้ำท่าผิวดิน (surface runoff model) ต่อไป

5.1 การวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก

ผลกระทบทางอุทกวิทยาในอนาคต ได้แก่ ผลกระทบต่อสภาพน้ำฝน-น้ำท่าในอนาคตอันใกล้ ในปี ค.ศ. 2015–2039 และอนาคตอันไกล ในปี ค.ศ. 2075–2099 ด้วยแบบจำลองอุทกวิทยา HEC-HMS และแบบจำลองการไหลในลำน้ำ HEC-RAS ข้อมูลน้ำฝน น้ำท่ารายวัน จากสถานีตรวจวัดและจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในศตวรรษที่ 21 ชนิด A1B

เป็นที่คาดหมายว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพฝนและการไหลตลอดพื้นที่ลุ่มน้ำยมและจังหวัดสุโขทัย สิ่งที่เป็นประเด็นสำคัญของการศึกษาคั้งนี้คือ อัตราการไหลรายวันสูงสุด (peak daily discharge) ระดับน้ำรายวันสูงสุด (maximum daily water level) และพื้นที่การเกิดอุทกภัย (flooded area) สำหรับช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015–2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075–2099) ซึ่งข้อมูลผลกระทบเหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญในการพิจารณาแนวทางการปรับตัวแบบเบื้องต้นต่อสถานะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างเหมาะสมต่อไป

5.2 การประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำท่าผิวดินเพื่อประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

หลังจากปรับปรุงคุณภาพข้อมูลฝนรายวันแล้ว สภาพอุทกวิทยาและน้ำท่าของพื้นที่ศึกษาทั้งในปัจจุบันและอนาคตสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยแบบจำลองอุทกวิทยา หรืออาจเรียกว่าแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (rainfall-runoff model) ผลลัพธ์ที่ได้คือสภาพของน้ำท่าผิวดิน และปริมาตรน้ำท่า ณ ตำแหน่งต่างๆของลุ่มน้ำและนำผลที่ได้ไปประเมินผลกระทบทางอุทกวิทยาได้ต่อไป ขั้นตอนโดยสรุปในการวิเคราะห์แบบจำลองโดยสังเขปแสดงในรูปที่ 5-1

ก่อนจะทำการวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกต่อสภาพน้ำท่า จะต้องผ่านขั้นตอนการทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองอุทกวิทยาและแบบจำลองการไหลในลำน้ำ ด้วยการสอบเทียบมาตรฐาน (calibration) และสอบทาน (verification) เสียก่อน แบบจำลองที่ใช้

สำหรับการศึกษาคั้งนี้ ได้แก่ HEC-HMS และ HEC-RAS (ซึ่งรายละเอียดจะกล่าวอย่างละเอียดในภาคผนวก)

5.2.1 การสอบเทียบและสอบทานแบบจำลองน้ำท่าผิวดิน

คุณภาพของผลการจำลองปริมาณน้ำท่า ได้แก่ อัตราการไหลสูงสุด ช่วงเวลาการเกิดอัตราการไหลสูงสุด และปริมาตรน้ำหลาก มีความสัมพันธ์อย่างมากกับขั้นตอนการสอบเทียบและสอบทานแบบจำลอง

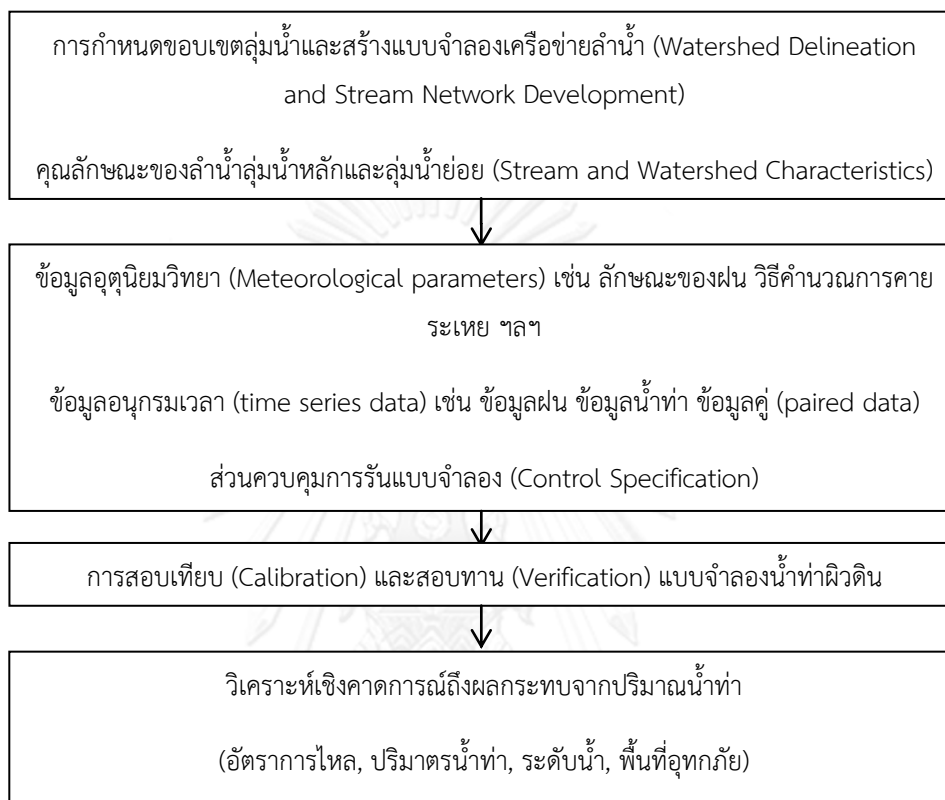
การสอบเทียบ (calibration) หมายถึงการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องเพื่อให้สภาพจำลองทางอุทก-วิทยาในสนามได้อย่างใกล้เคียงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ภายใต้เกณฑ์ขั้นต่ำของประสิทธิภาพที่กำหนดไว้ โดยการศึกษาของ Abbaspour (2000) และ Madsen (2000) ได้แนะนำเงื่อนไขที่ต้องพิจารณาว่าแบบจำลองอุทกวิทยาได้ผ่านกระบวนการปรับเทียบอย่างเหมาะสมดังต่อไปนี้

- 1) ปริมาณน้ำท่าสังเกตการณ์กับปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลองจะต้องอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน
- 2) รูปร่างของชลภาพระหว่างข้อมูลสังเกตการณ์กับแบบจำลองผันแปรในทิศทางเดียวกัน
- 3) อัตราการไหลสูงสุด (peak flow) ของข้อมูลสังเกตการณ์และแบบจำลองจะต้องสอดคล้องกันทั้งในเชิงปริมาณ และ ช่วงเวลาการเกิด
- 4) ความเข้ากันได้ระหว่างข้อมูลสังเกตการณ์และแบบจำลองในสภาพการไหลน้อยๆ

เนื่องจากจุดประสงค์หลักก่อนการนำแบบจำลองไปคาดการณ์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก ซึ่งคือการสอบเทียบ สอบทาน และจำลองเชิงคาดการณ์ถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพน้ำท่าในพื้นที่จังหวัดสุโขทัยในอนาคตภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ดังนั้นเงื่อนไขข้อที่ 3 จึงมีความสำคัญมากที่สุด ตามด้วยเงื่อนไขข้อ 2 และ 1 ตามลำดับ

กระบวนการสอบเทียบแบบจำลองคณิตศาสตร์ คือการปรับค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องจนกระทั่งบรรลุเงื่อนไขทั้ง 4 ประการข้างต้นได้ การทดสอบประสิทธิภาพการสอบเทียบและสอบทานแบบจำลองจะอาศัยดัชนีเชิงสถิติ 4 อย่าง ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้ำท่า (Coefficient of Determination, R^2) ดัชนี Nash-Sutcliffe efficiency (E) ค่า RMSE และค่า NRMSE วิธีการสอบเทียบโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 วิธี ได้แก่ การปรับเทียบแบบลองผิดลองถูก (trial and error method) และการปรับเทียบด้วยการหาค่าเหมาะสมที่สุดทางคณิตศาสตร์ (Mathematical

optimization) ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้การเปรียบเทียบแบบแรก ด้วยการปรับค่าพารามิเตอร์การไหลแบบลองผิดลองถูกจนกระทั่งบรรลุเงื่อนไขที่ตั้งข้อข้างต้น (รายละเอียดของดัชนีแสดงไว้อย่างละเอียดในภาคผนวก ค)



รูปที่ 5-1 กรอบการดำเนินการวิเคราะห์แบบจำลองน้ำท่าผิวดิน

5.2.2 ผลการสอบเทียบและสอบทานแบบจำลองอุทกวิทยา HEC-HMS

5.2.2.1 การสอบเทียบชลภาพของอัตราการไหล

การศึกษาครั้งนี้จำลองอัตราการไหลน้ำท่าจากข้อมูลปริมาณฝนสังเกตการณ์รายวันในช่วงเวลาระหว่างวันที่ 15 พฤษภาคม ถึงวันที่ 31 ตุลาคม ในช่วงปีค.ศ. 1979 ถึง ค.ศ. 2006 รวมทั้งสิ้น 27 ปี ก่อนนำไปแบบจำลองนี้ไปใช้คาดการณ์น้ำท่า ได้มีการสอบเทียบมาตรฐานแบบจำลอง (model calibration) ด้วยข้อมูลน้ำท่าปี ค.ศ. 2002 และสอบทานพารามิเตอร์ต่างๆของแบบจำลอง (model verification) ด้วยข้อมูลปี ค.ศ. 2006 โดยใช้สถานีวัดน้ำท่าในลำน้ำยมสายหลัก โดยเริ่มตั้งแต่ สถานี Y.20 อ. สอง จังหวัดแพร่ ลงมาจนถึง สถานี Y.17 อ. สามง่าม จังหวัดพิจิตร ซึ่งใช้แทนตำแหน่งจุดออก

ผลการสอบเทียบข้อมูลน้ำท่าในปี ค.ศ. 2002 และสอบทานในปีค.ศ. 2006 สรุปโดยภาพรวมพบว่า การสอบเทียบมาตรฐาน จะช่วยลดความคลาดเคลื่อนของน้ำท่ารายวันที่คำนวณจากแบบจำลอง HEC-HMS เมื่อพิจารณาจากร้อยละความคลาดเคลื่อนของอัตราการไหลสูงสุดสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) และ ดัชนี Nash-Sutcliffe ได้เป็นอย่างดีในทุกสถานีวัดน้ำท่าที่ศึกษา

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างชลภาพการไหลจากแบบจำลองอุทกวิทยา HEC-HMS กับข้อมูลตรวจวัด รวมถึงการสรุปข้อมูลอัตราการไหลสูงสุด ระดับน้ำสูงสุด ของน้ำท่าในแม่น้ำยมจังหวัดสุโขทัย แสดงเพิ่มเติมในภาคผนวก ง

5.2.2.2 การสอบเทียบค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากแบบจำลองอุทกวิทยา

1) แบบจำลองการสูญเสียปริมาณน้ำท่า (loss model)

จากการสอบเทียบมาตรฐานแบบจำลองและการตรวจสอบพารามิเตอร์ของแบบจำลองพบว่า ค่าหมายเลขเส้นโค้งน้ำท่า SCS Curve Number (CN) มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 55.17-87.62 ส่วนค่าการสูญเสียเริ่มต้น initial abstraction (Ia) จากการศึกษพบว่าค่าพารามิเตอร์ของการสูญเสียเริ่มต้นนี้ อยู่ในช่วง 237.44-492.87 มม. ซึ่งค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองการสูญเสียของปริมาณน้ำท่าได้สรุปไว้ในภาคผนวก ฉ

2) การจำลองการไหลบนน้ำท่าผิวดิน (direct runoff model)

จากการสอบเทียบมาตรฐานแบบจำลองและการตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองพบว่าค่า Snyder lag (tp) มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 21.55-383.11 ชั่วโมง และค่า Snyder Cp มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.325-0.813 ซึ่งค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองการไหลบนน้ำท่าผิวดิน (direct runoff model) ได้แสดงสรุปไว้ในภาคผนวก ฉ

3) การจำลองการไหลพื้นฐาน (baseflow model)

จากการสอบเทียบมาตรฐานแบบจำลองและการตรวจสอบพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการไหลพื้นฐาน ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธี exponential recession พบว่าค่าการไหลเริ่มต้น (initial flows) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.02-6.24 ลบ.ม./วินาที และค่าอัตราส่วนการลด (recession ratio) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.278-0.986 ในส่วนของค่าขีดเริ่มของการไหล (threshold flows) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.27-11.82 ลบ.ม./วินาที ซึ่งค่าต่างๆเหล่านี้ในแต่ละลุ่มน้ำย่อยได้สรุปไว้ในภาคผนวก ฉ

4) การจำลองการไหลของลำน้ำ (channel routing)

จากการสอบเทียบมาตรฐานแบบจำลองและการตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองด้วยวิธี Muskingum's routing พบว่าช่วงเวลาการเคลื่อนตัวของน้ำหลาก (K) อยู่ที่ 3.66-24.06 ชั่วโมง และมีค่าถ่วงน้ำหนัก (X) อยู่ระหว่าง 0.100-0.364 ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆของการไหลในลำน้ำได้สรุปไว้ในภาคผนวก ฉ

5.2.3 การวิเคราะห์สภาพน้ำท่าจังหวัดสุโขทัยในปัจจุบัน

การศึกษาในหัวข้อนี้ ได้นำแบบจำลองอุทกวิทยาที่ผ่านขั้นตอนการสอบเทียบมาตรฐานและสอบทานแล้วมาใช้จำลองสภาพน้ำท่าในจังหวัดสุโขทัยและพื้นที่อื่นๆของกลุ่มน้ำยม ในช่วงปี ค.ศ. 2002 และ ค.ศ. 2006 ด้วยข้อมูลฝนน้ำเข้า (input rainfall) จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจก SRES A1B ที่ผ่านการปรับแก้ความเอนเอียงและย่อส่วนข้อมูลเรียบร้อยแล้ว เพื่อเปรียบเทียบสภาพน้ำท่า (อัตราการไหลและปริมาตร) ระหว่างน้ำท่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง HEC-HMS ว่ามีความแตกต่างอย่างไรในเชิงปริมาณ ช่วงเวลาเกิดอัตราการไหลสูงสุด และการไหลในช่วงน้ำน้อยๆ กับข้อมูลน้ำท่าตรวจวัดของแต่ละสถานี

ผลการศึกษารายสถานีแสดงไว้ตามรูปที่ จ-1 ถึง จ-15 ในภาคผนวก จ สรุปโดยภาพรวมพบว่าแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 สามารถจำลองปริมาณน้ำท่ารายวันจากแบบจำลอง HEC-HMS เมื่อพิจารณาจากร้อยละความคลาดเคลื่อนของอัตราการไหลสูงสุดสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) และ ดัชนี Nash-Sutcliffe ได้เป็นอย่างดีในทุกสถานีวัดน้ำท่าที่ศึกษา โดยพบข้อสังเกตที่สำคัญว่า แบบจำลองทั้งสาม ได้แก่ MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ต่างมีแนวโน้มจำลองค่าปริมาณน้ำท่าสูงสุดเกินกว่าค่าตรวจวัด อย่างไรก็ตาม แบบจำลอง MRI จะให้ความคลาดเคลื่อนของอัตราการไหลสูงสุดต่ำกว่าแบบจำลอง ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 และยังคงสภาพน้ำท่าในช่วงการไหลน้อยๆได้ดีกว่าเช่นกัน

5.2.4 ผลการสอบเทียบชลภาพของระดับน้ำด้วยแบบจำลอง HEC-RAS

กภัยปีการสอบเทียบแบบจำลองการไหลในลำน้ำยมที่ปรับเทียบแล้วด้วยเหตุการณ์อุท ค.ศ. 2002 และสอบทานด้วยเหตุการณ์อุทกภัยปี ค.ศ. 2006 ระหว่างวันที่ 15 พฤษภาคม-31 ตุลาคม โดยใช้ค่าพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิง ที่ได้จากการปรับเทียบแบบจำลองแล้วเปรียบเทียบค่าระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจากสถานีวัดน้ำท่าต่างๆ

ผลการสอบเทียบข้อมูลระดับน้ำในปี ค.ศ. 2002 และสอบทานในปีค.ศ. 2006 สรุปโดยภาพรวมพบว่า การสอบเทียบมาตรฐาน จะช่วยปรับปรุงผลลัพธ์ของระดับน้ำรายวันที่คำนวณจากแบบจำลอง HEC-HMS ได้เป็นอย่างดีในทุกสถานีวัดน้ำท่าที่ศึกษา

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างชลภาพระดับน้ำจากแบบจำลองอุทกวิทยา HEC-HMS กับข้อมูลตรวจวัด รวมถึงการสรุปข้อมูลอัตราการไหลสูงสุด ระดับน้ำสูงสุด และปริมาณน้ำท่าในสถานีวัดน้ำท่าในแม่น้ำยมจังหวัดสุโขทัย แสดงเพิ่มเติมในภาคผนวก จ

5.3 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกต่อสภาพน้ำท่าในสถานีวัดน้ำท่าที่ศึกษา

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกที่มีต่อสภาพน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่าที่ศึกษา ซึ่งหมายความถึง อัตราการไหลสูงสุด ระดับน้ำสูงสุด และช่วงเวลาการเกิดอัตราการไหลสูงสุด ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) เปรียบเทียบกับปัจจุบัน ซึ่งข้อมูลที่ได้สามารถนำไปสู่การวางมาตรการปรับตัวแบบเบื้องต้นต่อสภาพอุทกภัยในอนาคตได้ต่อไป

5.3.1 ผลกระทบต่ออัตราการไหลสูงสุดในแต่ละสถานีวัดน้ำท่า

ผลการศึกษาอัตราการไหลสูงสุดผ่านสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำยม ภายใต้อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) สรุปแนวโน้มได้พอสังเขป ดังจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลสูงสุดและคาบการเกิดซ้ำของแต่ละสถานีวัดน้ำท่า ในรูปที่ 5-2 ถึง 5-17 ซึ่งสรุปได้พอสังเขป ดังนี้

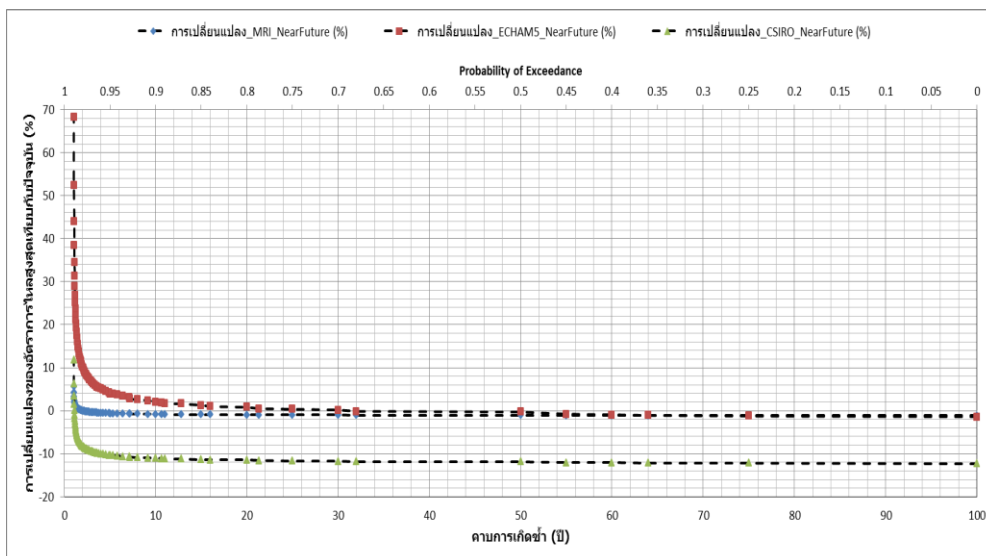
1) ปริมาณน้ำท่า (อัตราการไหลสูงสุด) จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบันทั้งในช่วงอนาคตอันใกล้และอนาคตอันไกลในพื้นที่ตอนเหนือของกลุ่มน้ำยม ใน อ. สอง จ. แพร่ และบริเวณจังหวัดสุโขทัยตั้งแต่เขต อ. ศรีสัชนาลัย จนถึงเขต อ. ศรีสำโรง อย่างไรก็ตาม ใดๆก็ดี ตั้งแต่เขต อ. บางระกำ จ. พิษณุโลก จนถึง อ. สามง่าม จ. พิจิตร อัตราการไหลสูงสุดจะกลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากปัจจุบันทั้งในช่วงอนาคตอันใกล้และอนาคตอันไกล

2) ปริมาณน้ำท่า (อัตราการไหลสูงสุด) จากแบบจำลอง ECHAM5 พบข้อสังเกตว่าในช่วงอนาคตอันใกล้ พื้นที่ตอนเหนือของกลุ่มน้ำยม ใน อ. สอง จ. แพร่ จนถึงตอนบนของจังหวัดสุโขทัยในเขต อ. ศรีสัชนาลัย อัตราการไหลสูงสุดมีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบันเล็กน้อย ส่วนพื้นที่ตั้งแต่ อ. สวรรคโลก จ. สุโขทัย จนถึง อ. สามง่าม จ. พิจิตร ซึ่งเป็นพื้นที่ท้ายน้ำ พบว่าอัตราการไหลสูงสุดจะปรับตัวเพิ่มขึ้นจากปัจจุบัน ส่วนช่วงอนาคตอันไกลพบว่า อัตราการไหลสูงสุดจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก

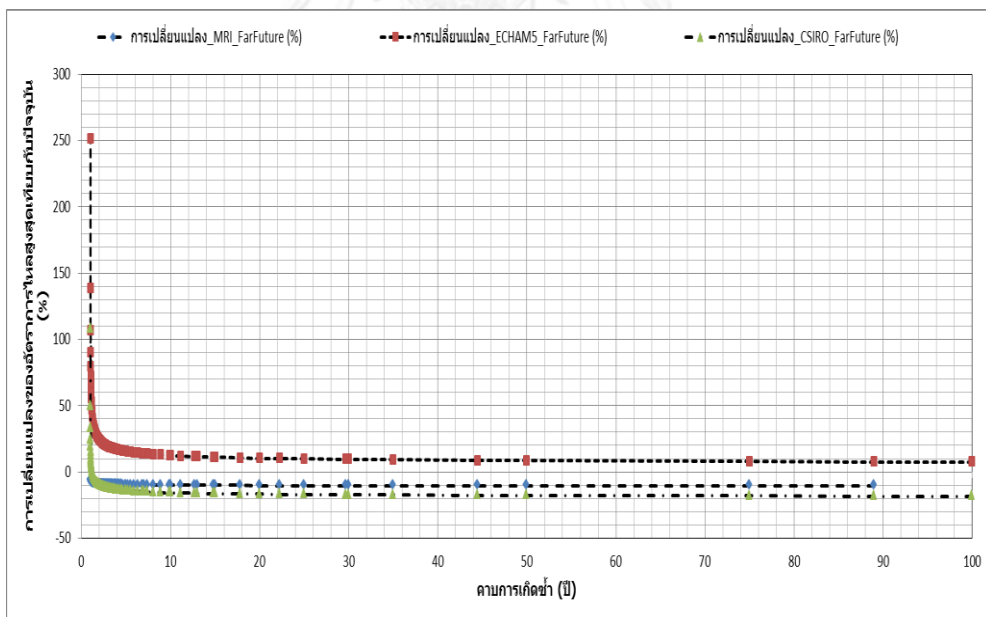
ปัจจุบัน ตั้งแต่เขตอำเภอเมือง จ. แพร่ ลงสู่เขตอ. ศรีสัชชนาลัย อ. สวรรคโลก อ. ศรีสำโรง และอ. เมือง จ. สุโขทัย ลงสู่พื้นที่อ. บางระกำ จ. พิษณุโลก จนถึง อ. สามง่าม จ. พิจิตร

3) ปริมาณน้ำท่า (อัตราการไหลสูงสุด) จากแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 ข้อสังเกตที่พบคือ อัตราการไหลสูงสุดมีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบันในทุกๆคาบการเกิดซ้ำในระดับที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำ ทั้งในช่วงอนาคตอันใกล้และอนาคตอันไกล ตั้งแต่ตอนเหนือของกลุ่มน้ำยม ใน อ. สอง จ. แพร่ จนถึงตอนบนของจังหวัดสุโขทัยในเขต อ. ศรีสัชชนาลัย และพื้นที่ตอนใต้ของจังหวัดสุโขทัย ตั้งแต่ อ. สวรรคโลก จ. สุโขทัย จนถึง อ. สามง่าม จ. พิจิตร ซึ่งเป็นพื้นที่ท้ายน้ำ ก็พบว่าอัตราการไหลสูงสุดมีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบันอย่างชัดเจนในทุกๆคาบการเกิดซ้ำ

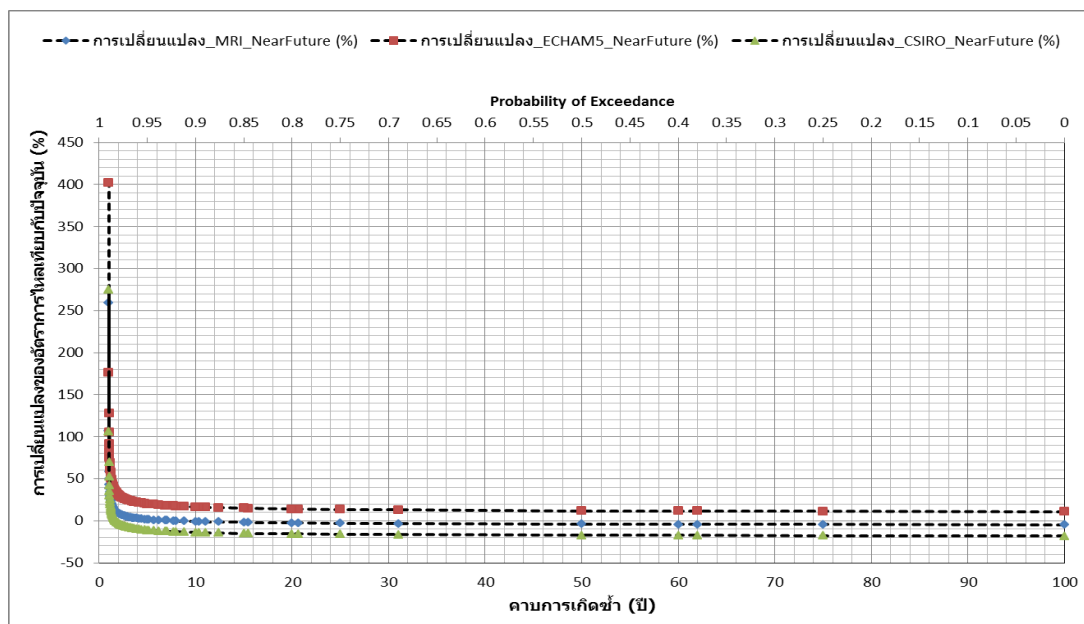
ผลกระทบของอัตราการไหลสูงสุดในช่วงอนาคตอันใกล้และอนาคตอันไกลที่คาบการเกิดซ้ำ 5 ปี 10 ปี 15 ปี 20 ปี 25 ปี 50 ปี 75 ปี และ 100 ปี ได้สรุปไว้ในตารางที่ 5-1 ถึง 5-8



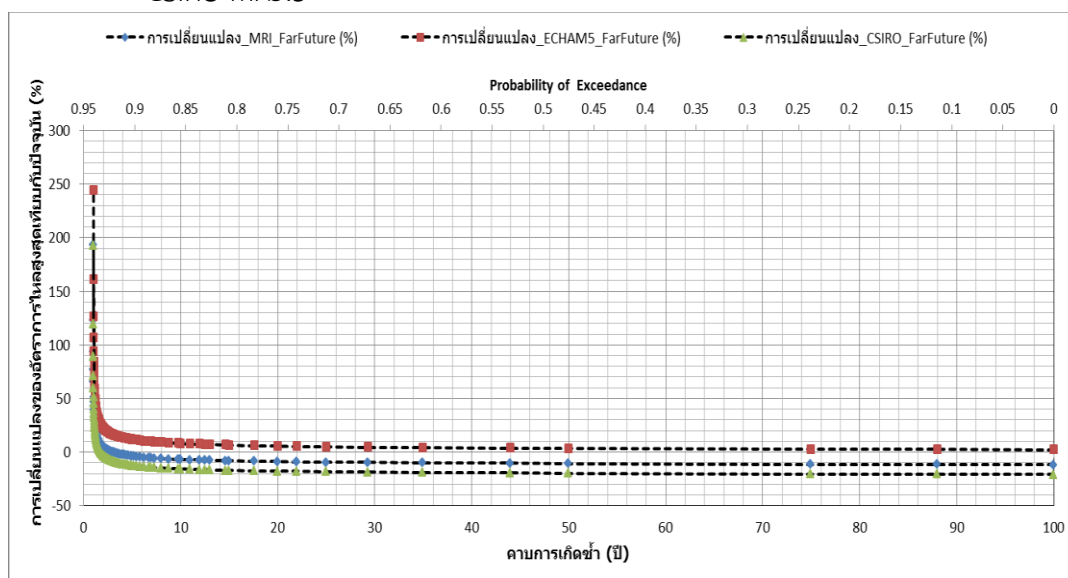
รูปที่ 5-2 การเปลี่ยนแปลงอัตราอากาศสูงสุดในช่วงอนาคตอันใกล้ ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.20 จากสภาพน้ำท่าตรวจวัด เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5



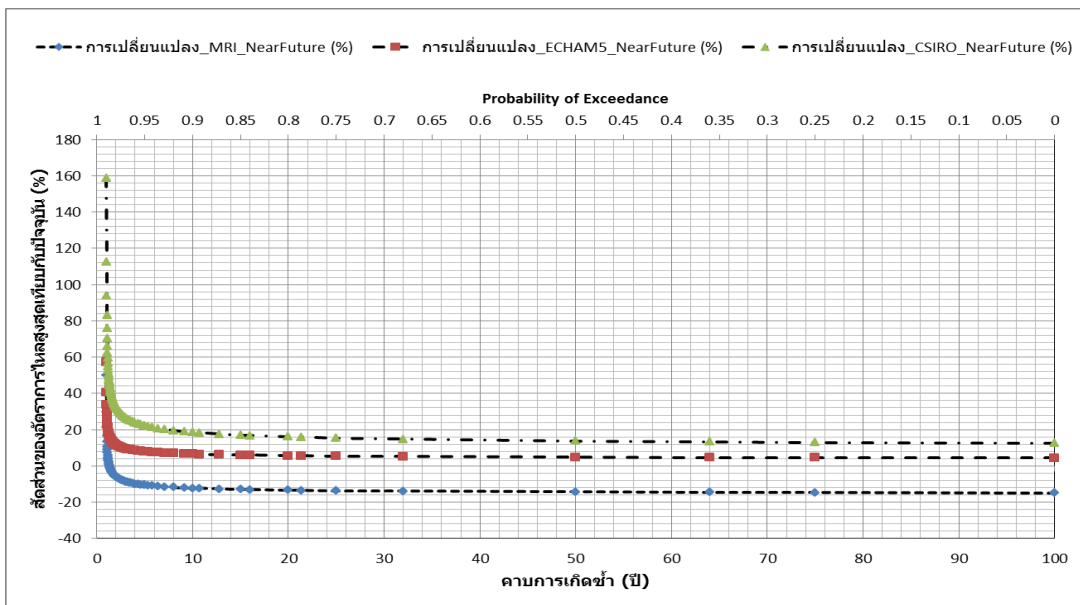
รูปที่ 5-3 การเปลี่ยนแปลงอัตราอากาศสูงสุดในช่วงอนาคตอันไกล ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.20 จากสภาพน้ำท่าตรวจวัด เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5



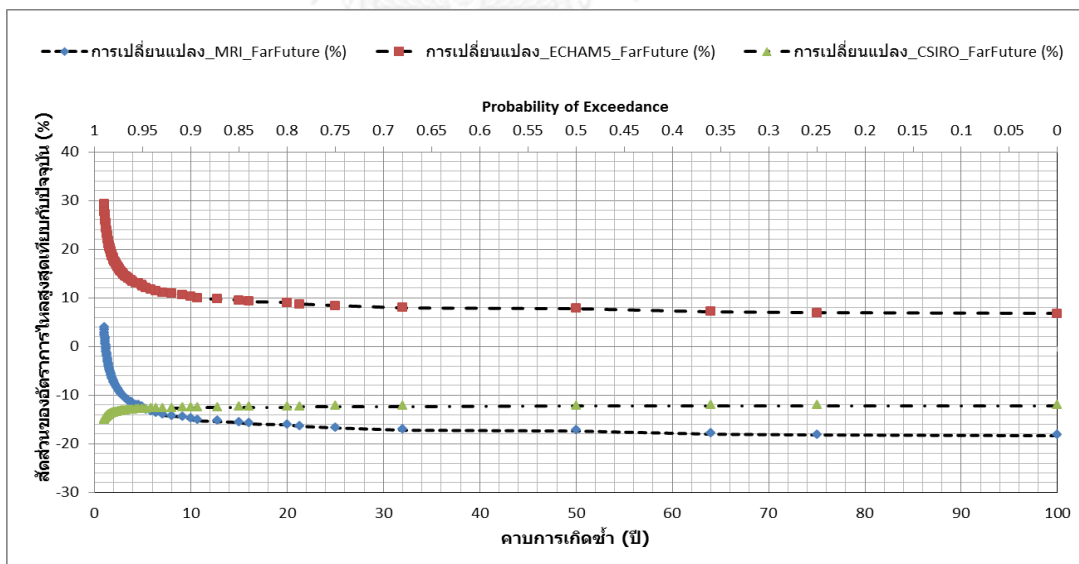
รูปที่ 5-4 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดในช่วงอนาคตอันใกล้ ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.1C จากสภาพน้ำท่าตรวจวัด เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5



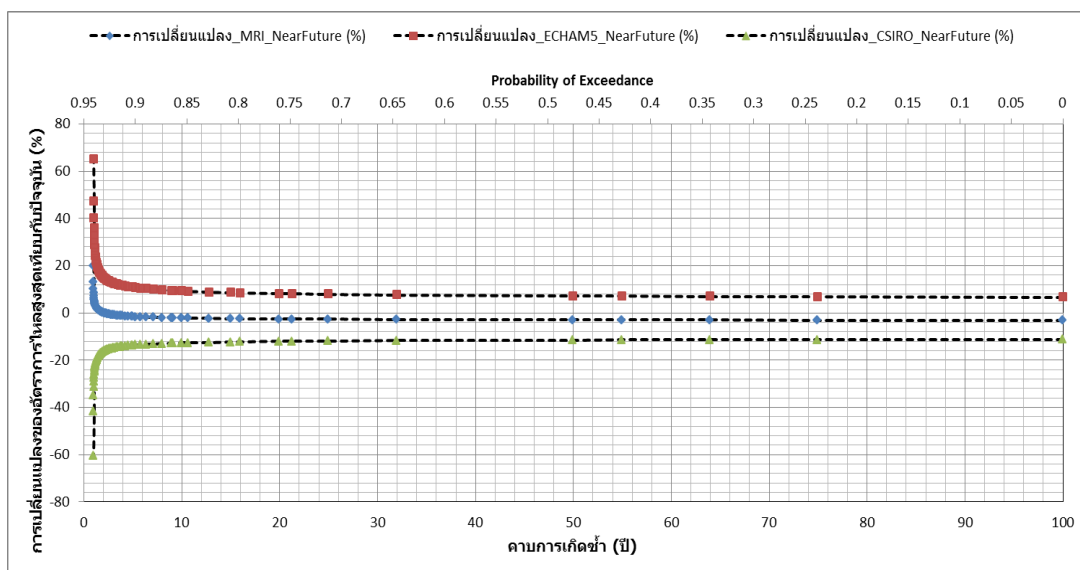
รูปที่ 5-5 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดในช่วงอนาคตอันไกล ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.1C จากสภาพน้ำท่าตรวจวัด เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5



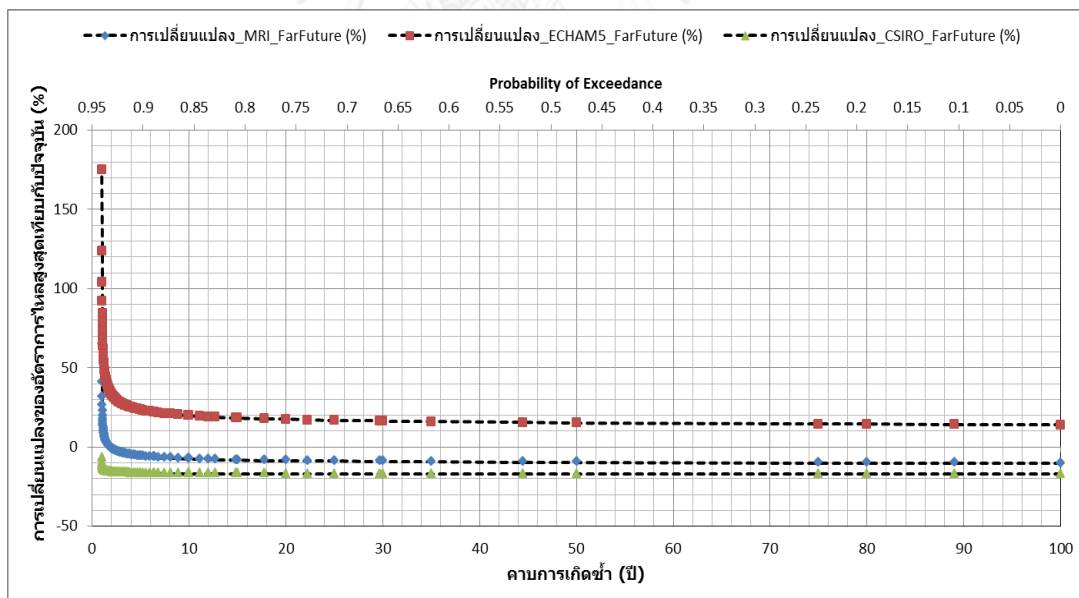
รูปที่ 5-6 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดในช่วงอนาคตอันใกล้ ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.14 จากสภาพน้ำท่าตรวจวัด เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5



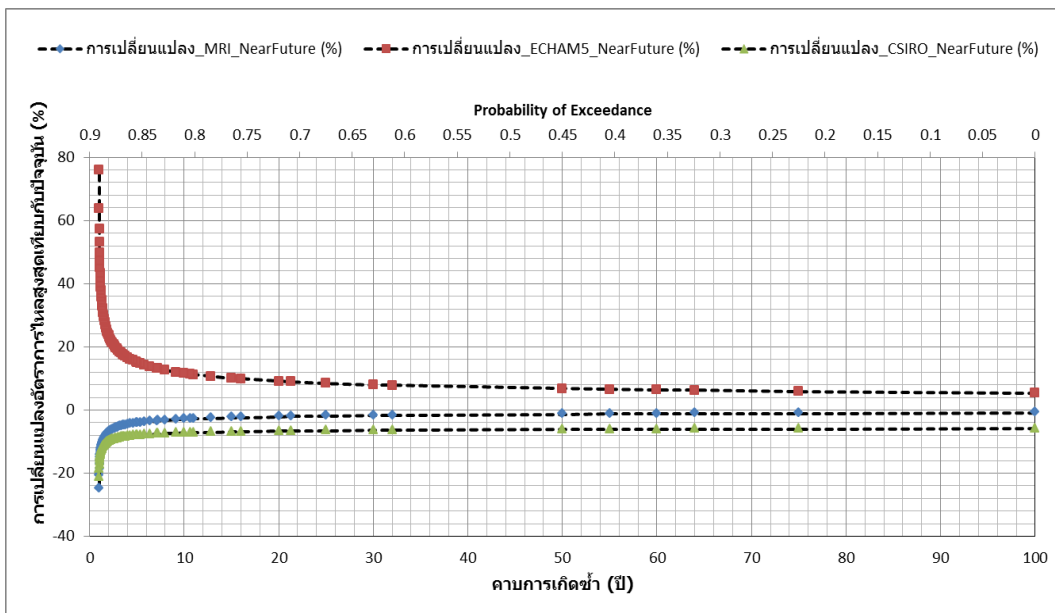
รูปที่ 5-7 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดในช่วงอนาคตอันไกล ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.14 จากสภาพน้ำท่าตรวจวัด เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5



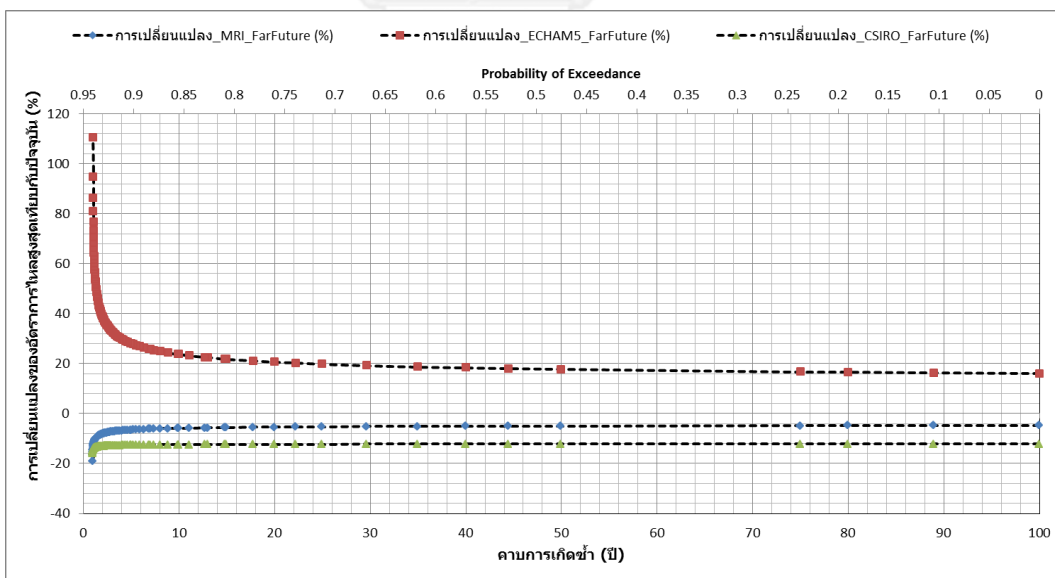
รูปที่ 5-8 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดในช่วงอนาคตอันใกล้ ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.6 จากสภาพน้ำท่าตรวจวัด เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5



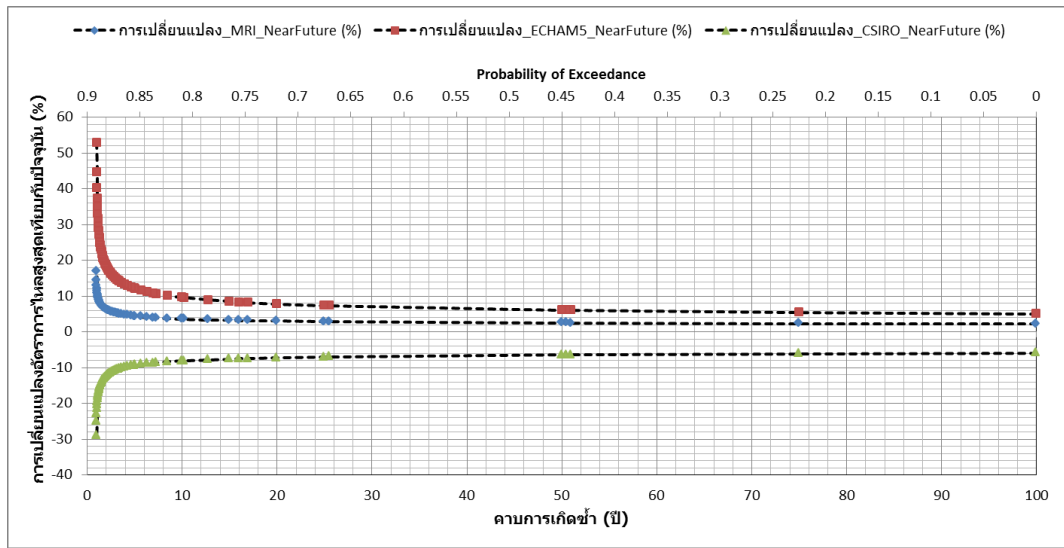
รูปที่ 5-9 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดในช่วงอนาคตอันไกล ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.6 จากสภาพน้ำท่าตรวจวัด เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5



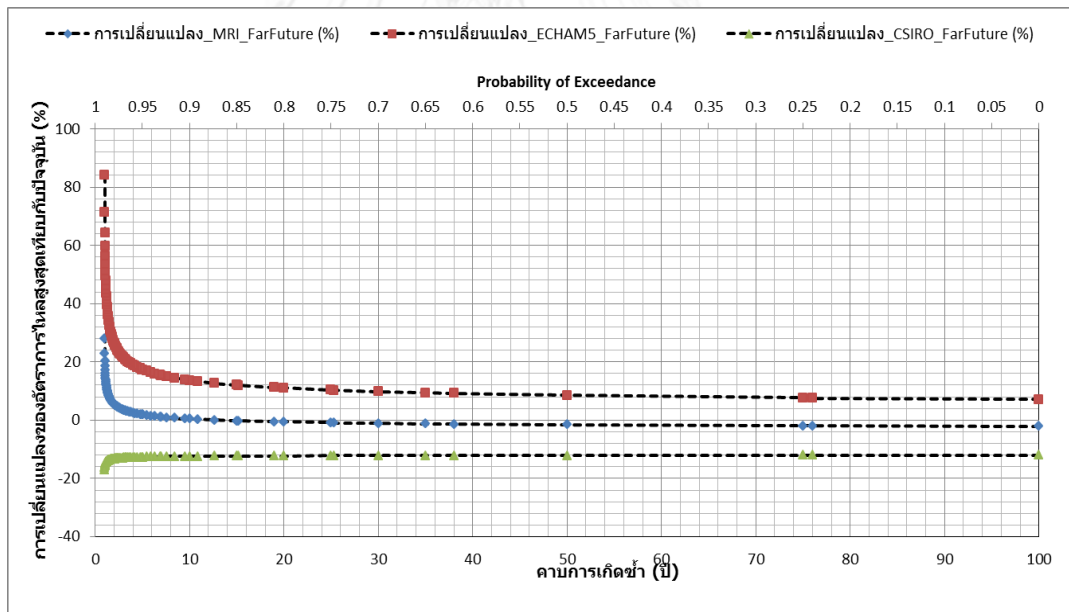
รูปที่ 5-10 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดในช่วงอนาคตอันใกล้ ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.3A จากสภาพน้ำท่าตรวจวัด เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5



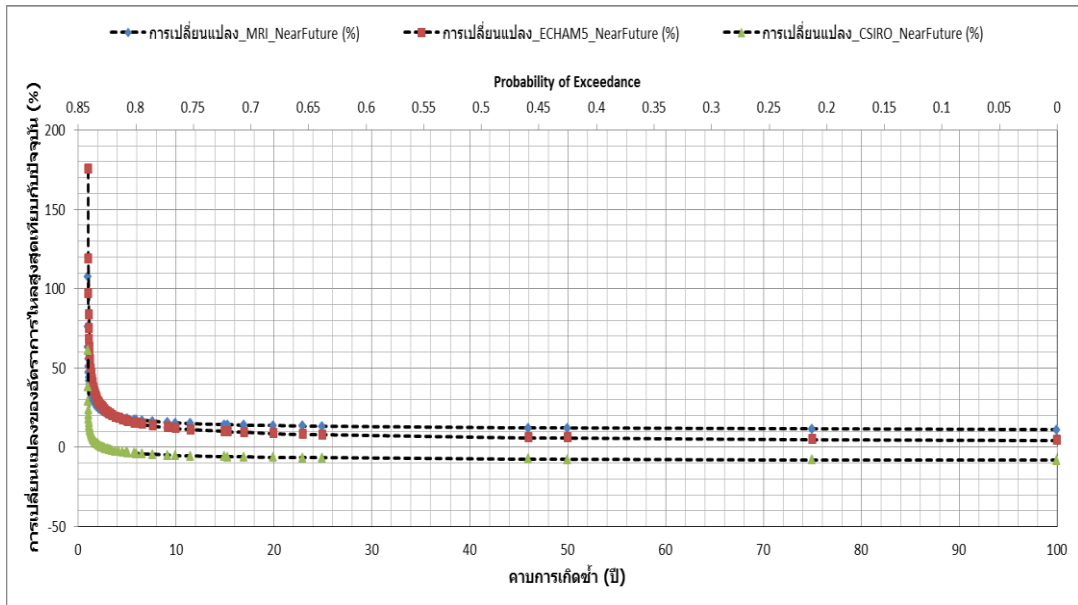
รูปที่ 5-11 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดในช่วงอนาคตอันไกล ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.3A จากสภาพน้ำท่าตรวจวัด เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5



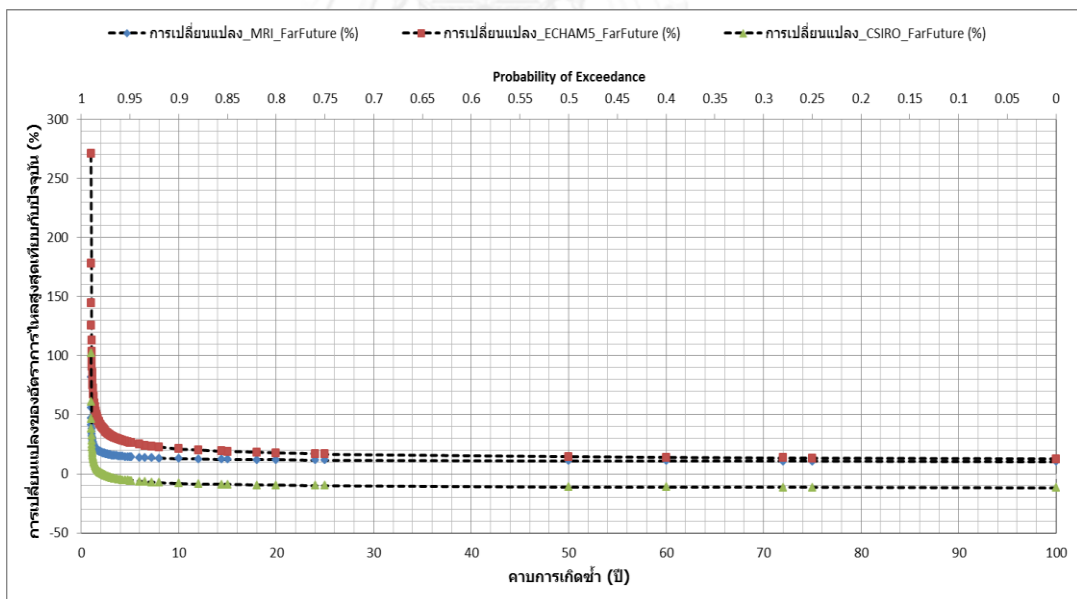
รูปที่ 5-12 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดในช่วงอนาคตอันใกล้ ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.33 จากสภาพน้ำท่าตรวจวัด เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5



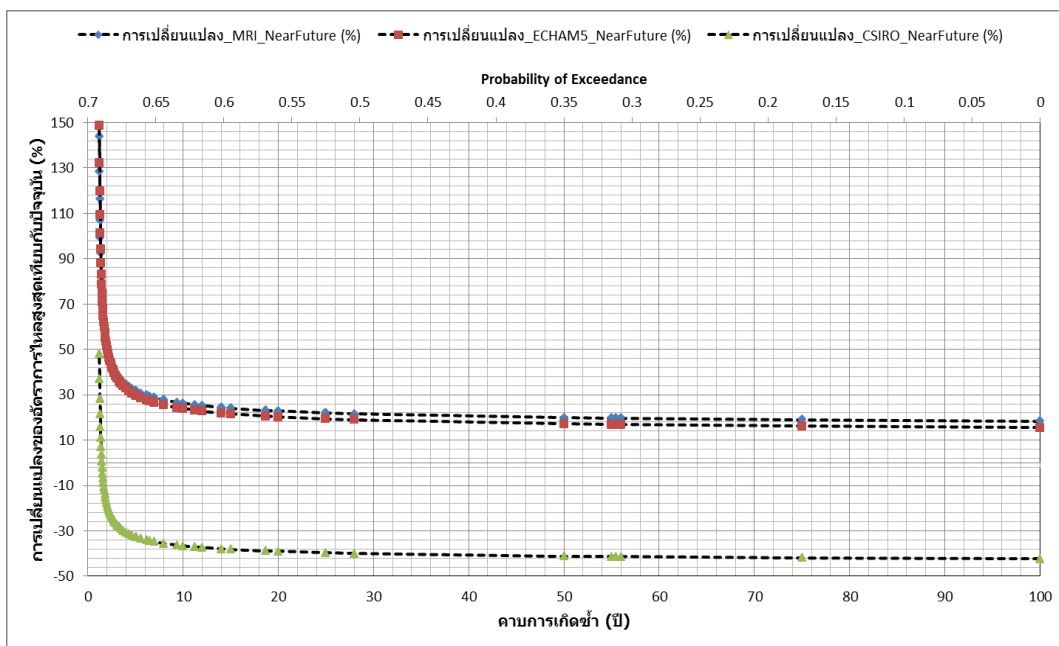
รูปที่ 5-13 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดในช่วงอนาคตอันไกล ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.33 จากสภาพน้ำท่าตรวจวัด เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5



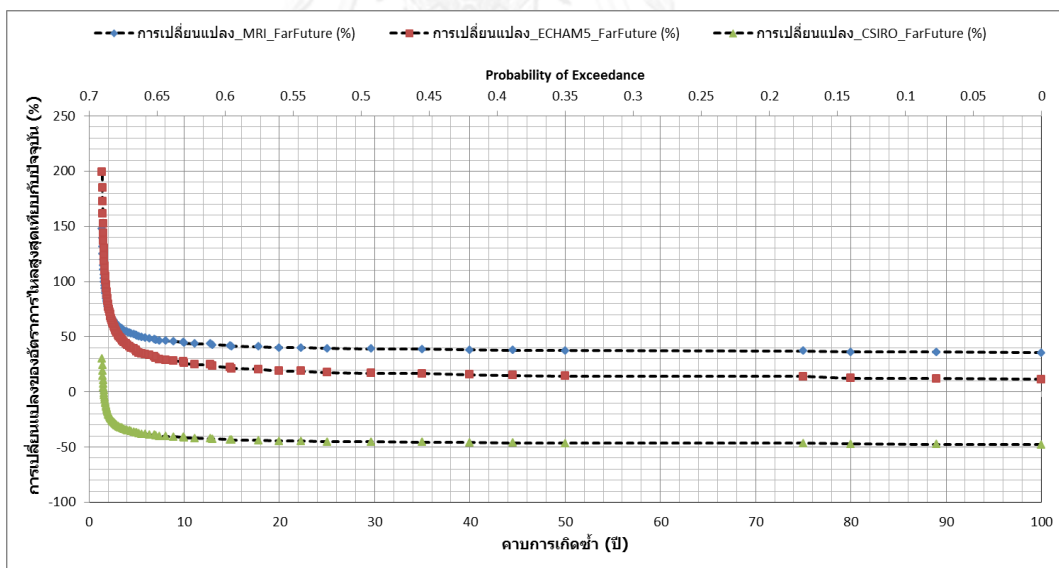
รูปที่ 5-14 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดในช่วงอนาคตอันใกล้ ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.16 จากสภาพน้ำท่าตรวจวัด เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5



รูปที่ 5-15 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดในช่วงอนาคตอันไกล ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.16 จากสภาพน้ำท่าตรวจวัด เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5



รูปที่ 5-16 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดในช่วงอนาคตอันใกล้ ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.17 จากสภาพน้ำท่าตรวจวัด เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5



รูปที่ 5-17 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดในช่วงอนาคตอันไกล ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.17 จากสภาพน้ำท่าตรวจวัด เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5

ตารางที่ 5-1 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.20 ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ.2015-2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ.2075-2099)

อัตราการไหลสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	คาบการเกิดซ้ำ (ปี)	การเปลี่ยนแปลงของแบบจำลองภูมิอากาศโลกเทียบกับปัจจุบัน (%)						ช่วงพิสัยการเปลี่ยนแปลงระหว่างแบบจำลอง (%)			
		MRI		ECHAM5		CSIRO-MK3.5		NF		FF	
		NF	FF	NF	FF	NF	FF	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
Y.20	5 ปี	-15.60%	-23.48%	-3.94%	+6.73%	-28.98%	-31.96%	-3.94%	-28.98%	+6.73%	-31.96%
	10 ปี	-13.59%	-21.66%	-5.72%	+4.02%	-25.30%	-29.20%	-5.72%	-25.30%	+4.02%	-29.20%
	15 ปี	-12.73%	-20.88%	-6.46%	+2.90%	-23.64%	-27.96%	-6.46%	-23.64%	+2.90%	-27.96%
	20 ปี	-12.21%	-20.41%	-6.90%	+2.23%	22.62%	-27.20%	-6.90%	22.62%	+2.23%	-27.20%
	25 ปี	-11.85%	-20.08%	-7.20%	+1.77%	-21.90%	-26.66%	-7.20%	-21.90%	+1.77%	-26.66%
	50 ปี	-10.90%	-19.22%	-7.97%	+0.59%	-19.98%	-25.22%	-7.97%	-19.98%	+0.59%	-25.22%
	75 ปี	-10.44%	-18.82%	-8.34%	+0.03%	-19.03%	-24.51%	-8.34%	-19.03%	+0.03%	-24.51%
	100 ปี	-10.16%	-18.55%	-8.57%	-0.32%	-18.42%	-24.05%	-8.57%	-18.42%	-0.32%	-24.05%

หมายเหตุ: NF = ช่วงอนาคตอันใกล้ ค.ศ. 2015-2039)

FF = ช่วงอนาคตอันไกล ค.ศ. 2075-2099)

ตารางที่ 5-2 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.1C ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015–2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075–2099)

อัตราการไหล สูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	คาบ การเกิด ซ้ำ (ปี)	การเปลี่ยนแปลงของแบบจำลองภูมิอากาศโลกเทียบกับปัจจุบัน (%)						ช่วงพิสัยการเปลี่ยนแปลงระหว่างแบบจำลอง (%)			
		MRI		ECHAM5		CSIRO-MK3.5		NF		FF	
		NF	FF	NF	FF	NF	FF	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
Y.1C	5 ปี	-5.91%	-10.76%	+9.38%	+1.75%	-17.81%	-19.02%	+9.38%	-17.81%	+1.75%	-19.02%
	10 ปี	-8.16%	-13.63%	+6.74%	-0.97%	-19.15%	-20.86%	+6.74%	-19.15%	-0.97%	-20.86%
	15 ปี	-9.08%	-14.80%	+5.66%	-2.09%	-19.71%	-21.63%	+5.66%	-19.71%	-2.09%	-21.63%
	20 ปี	-9.62%	-15.49%	+5.02%	-2.74%	-20.04%	-22.09%	+5.02%	-20.04%	-2.74%	-22.09%
	25 ปี	-9.99%	-15.96%	+4.57%	-3.20%	-20.27%	-22.41%	+4.57%	-20.27%	-3.20%	-22.41%
	50 ปี	-10.94%	-17.17%	+3.44%	-4.37%	-20.86%	-23.22%	+3.44%	-20.86%	-4.37%	-23.22%
	75 ปี	-11.38%	-17.74%	+2.91%	-4.92%	-21.14%	-23.60%	+2.91%	-21.14%	-4.92%	-23.60%
	100 ปี	-11.67%	-18.10%	+2.57%	-5.26%	-21.32%	-23.85%	+2.57%	-21.32%	-5.26%	-23.85%

หมายเหตุ: NF = ช่วงอนาคตอันใกล้ ค.ศ. 2015-2039)

FF = ช่วงอนาคตอันไกล ค.ศ. 2075-2099)

ตารางที่ 5-3 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.14 ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015–2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075–2099)

อัตราการไหล สูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	คาบ การเกิด ซ้ำ (ปี)	การเปลี่ยนแปลงของแบบจำลองภูมิอากาศโลกเทียบกับปัจจุบัน (%)						ช่วงพิสัยการเปลี่ยนแปลงระหว่างแบบจำลอง (%)			
		MRI		ECHAM5		CSIRO-MK3.5		NF		FF	
		NF	FF	NF	FF	NF	FF	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
Y.14	5 ปี	-14.80%	-15.23%	+3.30%	+9.31%	-6.19%	-11.79%	+3.30%	-14.80%	+9.31%	-15.23%
	10 ปี	-15.27%	-16.80%	+3.04%	+7.67%	-4.54%	-11.38%	+3.04%	-15.27%	+7.67%	-16.80%
	15 ปี	-15.47%	-17.47%	+2.93%	+6.98%	-3.85%	-11.21%	+2.93%	-15.47%	+6.98%	-17.47%
	20 ปี	-15.59%	-17.87%	+2.87%	+6.56%	-3.44%	-11.11%	+2.87%	-15.59%	+6.56%	-17.87%
	25 ปี	-15.67%	-18.15%	+2.82%	+6.28%	-3.16%	-11.05%	+2.82%	-15.67%	+6.28%	-18.15%
	50 ปี	-15.89%	-18.87%	+2.70%	+5.53%	-2.43%	-10.87%	+2.70%	-15.89%	+5.53%	-18.87%
	75 ปี	-15.99%	-19.22%	+2.64%	+5.17%	-2.08%	-10.78%	+2.64%	-15.99%	+5.17%	-19.22%
	100 ปี	-16.06%	-19.44%	+2.61%	+4.94%	-1.86%	-10.73%	+2.61%	-16.06%	+4.94%	-19.44%

หมายเหตุ: NF = ช่วงอนาคตอันใกล้ ค.ศ. 2015-2039)

FF = ช่วงอนาคตอันไกล ค.ศ. 2075-2099)

ตารางที่ 5-4 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.6 ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015–2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075–2099)

อัตราการไหล สูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	คาบ การเกิด ซ้ำ (ปี)	การเปลี่ยนแปลงของแบบจำลองภูมิอากาศโลกเทียบกับปัจจุบัน (%)						ช่วงพิสัยการเปลี่ยนแปลงระหว่างแบบจำลอง (%)			
		MRI		ECHAM5		CSIRO-MK3.5		NF		FF	
		NF	FF	NF	FF	NF	FF	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
Y.6	5 ปี	-6.79%	-10.87%	-1.64%	+9.73%	-13.85%	-18.31%	-1.64%	-13.85%	+9.73%	-18.31%
	10 ปี	-5.86%	-11.02%	-2.41%	+7.22%	-14.62%	-19.95%	-2.41%	-14.62%	+7.22%	-19.95%
	15 ปี	-5.47%	-11.09%	-2.74%	+6.16%	-14.94%	-20.62%	-2.74%	-14.94%	+6.16%	-20.62%
	20 ปี	-5.23%	-11.12%	-2.93%	+5.52%	-15.13%	-21.02%	-2.93%	-15.13%	+5.52%	-21.02%
	25 ปี	-5.07%	-5.06%	-3.07%	+5.08%	-15.25%	-21.29%	-3.07%	-15.25%	+5.08%	-21.29%
	50 ปี	-4.62%	-4.62%	-3.42%	+3.94%	-15.58%	-21.98%	-3.42%	-15.58%	+3.94%	-21.98%
	75 ปี	-4.41%	-4.41%	-3.59%	+3.39%	-15.74%	-22.31%	-3.59%	-15.74%	+3.39%	-22.31%
	100 ปี	-4.28%	-4.28%	-3.69%	+3.04%	-15.83%	-22.52%	-3.69%	-15.83%	+3.04%	-22.52%

หมายเหตุ: NF = ช่วงอนาคตอันใกล้ ค.ศ. 2015-2039)

FF = ช่วงอนาคตอันไกล ค.ศ. 2075-2099)

ตารางที่ 5-5 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.3A ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015–2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075–2099)

อัตราการไหลสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	คาบการเกิดซ้ำ (ปี)	การเปลี่ยนแปลงของแบบจำลองภูมิอากาศโลกเทียบกับปัจจุบัน (%)						ช่วงพิสัยการเปลี่ยนแปลงระหว่างแบบจำลอง (%)			
		MRI		ECHAM5		CSIRO-MK3.5		NF		FF	
		NF	FF	NF	FF	NF	FF	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
Y.3A	5 ปี	-4.20%	-6.53%	+3.66%	+17.42%	-3.60%	-9.24%	+3.66%	-4.20%	+17.42%	-9.24%
	10 ปี	-3.00%	-5.87%	+2.18%	+15.44%	-3.42%	-9.83%	+2.18%	-3.42%	+15.44%	-9.83%
	15 ปี	-2.48%	-5.59%	+1.51%	+14.55%	-3.35%	-10.09%	+1.51%	-3.35%	+14.55%	-10.09%
	20 ปี	-2.16%	-5.42%	+1.11%	+14.01%	-3.31%	-10.25%	+1.11%	-3.31%	+14.01%	-10.25%
	25 ปี	-1.94%	-5.29%	+0.82%	+13.62%	-3.28%	-10.35%	+0.82%	-3.28%	+13.62%	-10.35%
	50 ปี	-1.35%	-4.97%	+0.05%	+12.60%	-3.20%	-10.64%	+0.05%	-3.20%	+12.60%	-10.64%
	75 ปี	-1.07%	-4.82%	-0.32%	+12.10%	-3.16%	-10.78%	-0.32%	-3.16%	+12.10%	-10.78%
	100 ปี	-0.89%	-4.72%	-0.57%	+11.78%	-3.13%	-10.86%	-0.57%	-3.13%	+11.78%	-10.86%

หมายเหตุ: NF = ช่วงอนาคตอันใกล้ ค.ศ. 2015-2039)

FF = ช่วงอนาคตอันไกล ค.ศ. 2075-2099)

ตารางที่ 5-6 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.33 ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015–2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075–2099)

อัตราการไหล สูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	คาบ การเกิด ซ้ำ (ปี)	การเปลี่ยนแปลงของแบบจำลองภูมิอากาศโลกเทียบกับปัจจุบัน (%)						ช่วงพิสัยการเปลี่ยนแปลงระหว่างแบบจำลอง (%)			
		MRI		ECHAM5		CSIRO-MK3.5		NF		FF	
		NF	FF	NF	FF	NF	FF	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
Y.33	5 ปี	-9.13%	-11.26%	+2.90%	+7.19%	-10.10%	-13.61%	+2.90%	-10.10%	+7.19%	-13.61%
	10 ปี	-9.58%	-12.30%	+1.79%	+5.24%	-9.81%	-14.15%	+1.79%	-9.81%	+5.24%	-14.15%
	15 ปี	-9.77%	-12.76%	+1.29%	+4.37%	-9.69%	-14.38%	+1.29%	-9.69%	+4.37%	-14.38%
	20 ปี	-9.89%	-13.03%	+0.98%	+3.83%	-9.61%	-14.52%	+0.98%	-9.61%	+3.83%	-14.52%
	25 ปี	-9.98%	-13.22%	+0.77%	+3.44%	-9.56%	-14.62%	+0.77%	-9.56%	+3.44%	-14.62%
	50 ปี	-10.20%	-13.74%	+0.18%	+2.43%	-9.42%	-14.88%	+0.18%	-9.42%	+2.43%	-14.88%
	75 ปี	-10.30%	-13.99%	-0.10%	+1.92%	-9.35%	-15.01%	-0.10%	-9.35%	+1.92%	-15.01%
	100 ปี	-10.37%	-14.15%	-0.29%	+1.60%	-9.31%	-15.09%	-0.29%	-9.31%	+1.60%	-15.09%

หมายเหตุ: NF = ช่วงอนาคตอันใกล้ ค.ศ. 2015-2039)

FF = ช่วงอนาคตอันไกล ค.ศ. 2075-2099)

ตารางที่ 5-7 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.16 ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015–2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075–2099)

อัตราการไหลสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	คาบการเกิดซ้ำ (ปี)	การเปลี่ยนแปลงของแบบจำลองภูมิอากาศโลกเทียบกับปัจจุบัน (%)						ช่วงพิสัยการเปลี่ยนแปลงระหว่างแบบจำลอง (%)			
		MRI		ECHAM5		CSIRO-MK3.5		NF		FF	
		NF	FF	NF	FF	NF	FF	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
Y.16	5 ปี	+9.24%	+8.33%	+18.79%	+27.96%	-0.23%	-4.43%	+18.79%	-0.23%	+27.96%	-4.43%
	10 ปี	+6.52%	+6.62%	+13.72%	+22.32%	-2.81%	-7.36%	+13.72%	-2.81%	+22.32%	-7.36%
	15 ปี	+5.40%	+5.91%	+11.62%	+19.98%	-3.87%	-8.57%	+11.62%	-3.87%	+19.98%	-8.57%
	20 ปี	+4.73%	+5.49%	+10.36%	+18.59%	-4.50%	-9.29%	+10.36%	-4.50%	+18.59%	-9.29%
	25 ปี	+4.27%	+5.20%	+9.50%	+17.63%	-4.94%	-9.78%	+9.50%	-4.94%	+17.63%	-9.78%
	50 ปี	+3.08%	+4.46%	+7.27%	+15.15%	-6.05%	-11.05%	+7.27%	-6.05%	+15.15%	-11.05%
	75 ปี	+2.52%	+4.11%	+6.22%	+13.98%	-6.58%	-11.65%	+6.22%	-6.58%	+13.98%	-11.65%
	100 ปี	+2.17%	+3.89%	+5.55%	+13.24%	-6.91%	-12.03%	+5.55%	-6.91%	+13.24%	-12.03%

หมายเหตุ: NF = ช่วงอนาคตอันใกล้ ค.ศ. 2015-2039)

FF = ช่วงอนาคตอันไกล ค.ศ. 2075-2099)

ตารางที่ 5-8 การเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้พลังงานสูงสุดผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.17 ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015–2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075–2099)

อัตราการใช้พลังงานสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	คาบ การเกิด ซ้ำ (ปี)	การเปลี่ยนแปลงของแบบจำลองภูมิอากาศโลกเทียบกับปัจจุบัน (%)						ช่วงพิสัยการเปลี่ยนแปลงระหว่างแบบจำลอง (%)			
		MRI		ECHAM5		CSIRO-MK3.5		NF		FF	
		NF	FF	NF	FF	NF	FF	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
Y.17	5 ปี	+18.61%	+34.39%	+27.03%	+30.73%	-11.41%	-20.17%	+27.03%	-11.41%	+34.39%	-20.17%
	10 ปี	+14.69%	+30.47%	+21.07%	+21.22%	-13.39%	-22.27%	+21.07%	-13.39%	+30.47%	-22.27%
	15 ปี	+13.16%	+28.95%	+18.77%	+17.55%	-14.20%	-23.13%	+18.77%	-14.20%	+28.95%	-23.13%
	20 ปี	+12.28%	+28.08%	+17.46%	+15.44%	-14.68%	-23.63%	+17.46%	-14.68%	+28.08%	-23.63%
	25 ปี	+11.69%	+27.49%	+16.57%	+14.02%	-15.00%	-23.97%	+16.57%	-15.00%	+27.49%	-23.97%
	50 ปี	+10.20%	+26.01%	+14.34%	+10.47%	-15.83%	-24.85%	+14.34%	-15.83%	+26.01%	-24.85%
	75 ปี	+9.51%	+25.31%	+13.32%	+8.83%	-16.23%	-25.27%	+13.32%	-16.23%	+25.31%	-25.27%
	100 ปี	+9.08%	+24.89%	+12.68%	+7.82%	-16.47%	-25.53%	+12.68%	-16.47%	+24.89%	-25.53%

หมายเหตุ: NF = ช่วงอนาคตอันใกล้ ค.ศ. 2015-2039)

FF = ช่วงอนาคตอันไกล ค.ศ. 2075-2099)

5.3.2 ผลกระทบต่อปริมาณน้ำท่าของแต่ละสถานีในอนาคต

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงปริมาณน้ำท่าผ่านสถานีตรวจวัดของจังหวัดสุโขทัยในอนาคตว่ามีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงจากปัจจุบันไปในทิศทางใด ด้วยการประยุกต์ใช้ข้อมูลฝนจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5

ปริมาณน้ำท่าในที่นี้คำนวณได้จากปริมาตรการไหลของน้ำซึ่งไหลหลากผ่านสถานีตรวจวัดของจังหวัดสุโขทัย โดยจะแบ่งพิจารณาเป็นสามช่วงเวลาคือ ช่วงปัจจุบัน คือปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยระหว่างปี ค.ศ. 1979-2006 ช่วงอนาคตอันใกล้ คือปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยระหว่างปี ค.ศ. 2015-2039 และช่วงอนาคตอันไกล โดยจะพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาณและเปรียบเทียบสัดส่วนของการไหลเข้าด้านข้าง (lateral flow) จากลุ่มน้ำสาขาของแต่ละสถานีตรวจวัดว่ามาจากทิศทางใดบ้าง และมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงเช่นใด

รูปที่ 5-18 แสดงถึงแผนผังของปริมาณน้ำผ่านสถานีตรวจวัดในลุ่มน้ำยม จากข้อมูลสังเกตการณ์ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2006 ตั้งแต่สถานี Y.20 ในพื้นที่ต้นน้ำของจังหวัดแพร่ สิ้นสุดที่สถานี Y.17 อำเภอสามง่าม จังหวัดพิจิตร โดยพบว่าปริมาณการไหลในพื้นที่ต้นน้ำจะได้รับอิทธิพลจากการไหลเข้าด้านข้างค่อนข้างมาก จนเมื่อเข้าสู่พื้นที่สถานีน้ำท่า Y.14 จนถึง Y.33 ปริมาณการไหลส่วนมากจะมาจากลำน้ำสายหลัก จนถึงสถานี Y.4 อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย จึงจะรับน้ำจากการไหลเข้าด้านข้างจากลุ่มน้ำแม่มอกและแม่รำพันอีกครั้งหนึ่ง ก่อนจะไหลคดเคี้ยวเข้าสู่อำเภอบางะกำ และอำเภอสามง่าม ต่อไป

จากการศึกษาปริมาณน้ำท่าในช่วงอนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล ซึ่งไหลผ่านสถานีตรวจวัดต่างๆ สรุปพอสังเขปได้ดังนี้

ปริมาตรน้ำท่าจากแบบจำลอง MRI-AGCM 3.1S มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบันในทุกสถานีวัดน้ำท่าระหว่าง 8.31% ที่สถานี Y.20 จนถึง 24.29% ในสถานีน้ำท่า Y.16 ในช่วงอนาคตอันใกล้ ส่วนช่วงอนาคตอันไกลพบว่า ปริมาณการไหลจะกลับมาเพิ่มขึ้นจากปัจจุบันในสถานีวัดน้ำท่าส่วนใหญ่ เช่น สถานี Y.1C (2.53%) สถานี Y.6 (0.43%) สถานี Y.3A (4.01%) สถานี Y.33 (2.79%) สถานี Y.4 (11.17%) และ สถานี Y.17 (1.98%) ส่วนสถานีที่ปริมาณน้ำท่าจะลดลงจากปัจจุบัน ได้แก่ สถานี Y.20 (-1.61%) สถานี Y.14 (-0.18%) และสถานี Y.16 (-19.62%)

ปริมาตรน้ำท่าจากแบบจำลอง ECHAM5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ ปริมาณน้ำท่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนจากปัจจุบันในทุกสถานีตรวจวัด ระหว่าง 19.03% ที่สถานี Y.16 จนถึง 74.5% ที่สถานี Y.4 ในช่วงอนาคตอันไกล พบว่าปริมาณน้ำท่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากปัจจุบันในอัตราที่มากกว่าช่วงอนาคตอันใกล้ ระหว่าง 27.36% ที่สถานี Y.16 จนถึง 86.49% ที่สถานี Y.4

ปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลองCSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ ปริมาณน้ำท่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในเกือบทุกสถานี ระหว่าง 11.65% ที่สถานี Y.33 จนถึง 28.09% ที่สถานี Y.20 ยกเว้นสถานี Y.16 และ Y.17 ซึ่งปริมาณน้ำท่าลดลงจากปัจจุบันเท่ากับ 21.56% และ 12.28% ตามลำดับ ส่วนช่วงอนาคตอันไกล พบว่าปริมาณน้ำท่ายังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในสถานีวัดน้ำท่า Y.20 (3.49%) Y.1C (2.61%) Y.14 (3.36%) Y.6 (3.06%) Y.3A (4.27%) และสถานี Y.33 (2.90%) และจะปรับตัวลดลงจากปัจจุบันในสถานี Y.4 (-13.40%) สถานี Y.16 (-37.85%) และสถานี Y.17 (-25.26%)

5.3.2.1 สัดส่วนการไหลเข้าด้านข้างของกลุ่มน้ำสาขาในอนาคต

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก นอกจากส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่าหลักแล้ว ยังส่งผลต่อปริมาณการไหลเข้าด้านข้างจากกลุ่มน้ำสาขาของกลุ่มน้ำยมอีกด้วย โดยหัวข้อนี้จะสรุปถึงสัดส่วนของปริมาณน้ำท่าจากกลุ่มน้ำสาขาต่างๆที่มีต่อปริมาณการไหลโดยรวมของแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลาปัจจุบัน อนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล ว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางใดบ้าง และมากน้อยเพียงใด

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำท่าสังเกตการณ์ในปัจจุบันย้อนหลังระหว่างปี ค.ศ. 1979-2006 แสดงไว้ในตารางที่ 5-9 ส่วนผลของปริมาณน้ำท่าเข้าสู่จังหวัดสุโขทัยในอนาคตอันใกล้และไกลจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 สรุปไว้ในตารางที่ 5-10 ถึง 5-14

5.3.3 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกต่อระดับน้ำสูงสุดในสถานีที่ศึกษา

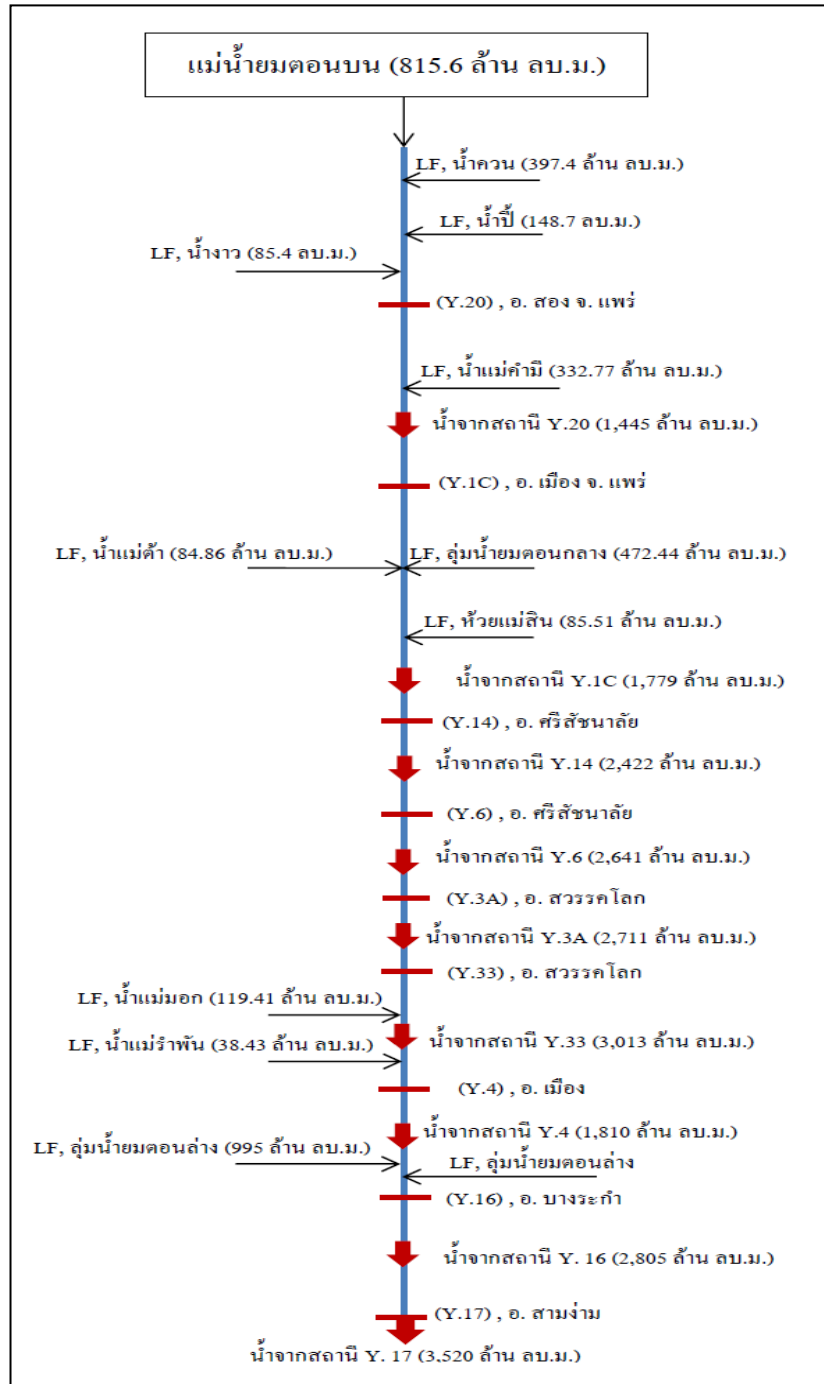
ในหัวข้อนี้จะศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำสูงสุดในสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำยมภายใต้อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) โดยการศึกษาจะแบ่งออกเป็นสองส่วน ได้แก่ 1) การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำสูงสุดในช่วงอนาคตอันใกล้และอนาคตอันไกลเทียบกับระดับน้ำสูงสุดในปัจจุบัน และ 2) การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำสูงสุดเทียบกับระดับตลิ่งลำน้ำ

5.3.3.1 การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำสูงสุดในสถานีวัดน้ำท่าเทียบกับระดับน้ำในปัจจุบัน

ผลการศึกษาของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงสุดในสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำยม ภายใต้อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) สรุปแนวโน้มได้พอสังเขป จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงสุดและคาบการเกิดซ้ำของแต่ละสถานีวัดน้ำท่า ในรูปที่ 5-19 ถึง 5-26 ซึ่งสรุปได้พอสังเขป ดังนี้

ตารางที่ 5-9 สัดส่วนของปริมาณน้ำท่าจากลุ่มน้ำสาขาที่เข้าสู่สถานีตรวจวัด ในปี ค.ศ. 1979-2006

สถานีน้ำท่า	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)	ลุ่มน้ำสาขา	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)	สัดส่วนร้อยละ (%)
Y.20	1,466.66	น้ำปี	148.7	10.28%
		น้ำควน	397.4	27.47%
		น้ำนาง	85.4	5.90%
		ยมตอนบน	815.6	56.35%
Y.1C	1,779.43	Y.20	1,466.66	81.30%
		น้ำแม่คำมี	332.77	18.70%
Y.14	2,422.24	ยมตอนกลาง	472.44	19.50%
		ลุ่มแม่ต้า	84.86	3.50%
		ลุ่มห้วยแม่สิน	85.51	3.53%
		สถานี Y.1C	1,779.43	73.46%
Y.6	2,640.76	Y.14	2,422.24	91.73%
		ลุ่มน้ำสาขาอื่นๆ	218.39	8.27%
Y.3A	2,711.12	Y.6	2,640.76	95.21%
		ลุ่มน้ำสาขาอื่นๆ	70.36	4.79%
Y.33	3,012.92	Y.3A	2,711.12	90.42%
		ลุ่มน้ำสาขาอื่นๆ	301.8	9.58%
Y.4	3,170.76	Y.33	3,012.92	95.02%
		น้ำแม่มอก	119.41	3.77%
		น้ำแม่รำพัน	38.43	1.21%
Y.16	3,472.1	Y.4	3,170.76	91.32%
		ยมตอนล่าง	301.34	8.68%
Y.17	3,520	Y.16	3,472.1	98.64%



รูปที่ 5-18 แผนผังปริมาณการไหลเฉลี่ยของน้ำผ่านสถานีตรวจวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำยมในปัจจุบัน

ตารางที่ 5-10 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนร้อยละของปริมาณน้ำท่าจากลุ่มน้ำสาขาที่เข้าสู่สถานีตรวจวัด
น้ำท่าของจังหวัดสุโขทัย จากข้อมูลของแบบจำลอง MRI-AGCM 3.1S ในช่วงอนาคต
อันใกล้และไกลเทียบกับปัจจุบัน

สถานี ตรวจวัด	ปริมาณน้ำ ช่วงอนาคต อันใกล้ (ล้าน ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำช่วง อนาคตอันไกล (ล้าน ลบ.ม.)	ลุ่มน้ำสาขา	ปริมาณน้ำ ช่วงอนาคต อันใกล้ (ล้าน ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ช่วงอนาคต อันไกล (ล้าน ลบ.ม.)	สัดส่วน อนาคต อันใกล้ (%)	สัดส่วน อนาคต อันไกล (%)
Y.20	1,326.47	1,423.33	น้ำปี	142.33	153.81	10.73%	10.81%
			น้ำควน	286.42	314.33	21.59%	22.08%
			น้ำางว	87.17	91.36	6.57%	6.42%
			ยมตอนบน	810.55	863.83	61.11%	60.69%
Y.1C	1,704.50	1,824.47	Y.20	1,326.47	1,423.33	77.82%	78.01%
			น้ำแม่คำมี	378.03	401.15	22.18%	21.99%
Y.14	2,247.80	2,417.76	ยมตอนกลาง	403.65	435.72	17.96%	18.02%
			ลุ่มแม่ต้า	71.77	80.63	3.19%	3.33%
			ลุ่มห้วยแม่สิน	67.88	76.93	3.02%	3.18%
			สถานี Y.1C	1,704.50	1,824.47	75.83%	75.46%
Y.6	2,567.80	2,652.22	Y.14	2,247.80	2,417.76	87.54%	91.16%
			ลำนน้ำสาขา	320	234.46	12.46%	8.84%
			อื่นๆ				
Y.3A	2,653.47	2,819.78	Y.6	2,567.80	2,652.22	96.77%	94.06%
			ลำนน้ำสาขา	85.67	167.56	3.23%	5.94%
			อื่นๆ				
Y.33	2,926.69	3,096.97	Y.3A	2,567.80	2,819.78	90.66%	96.35%
			ลำนน้ำสาขา	358.89	277.19	9.34%	3.65%
			อื่นๆ				
Y.4	3,093.79	3,279.26	Y.33	2,926.69	3,096.97	94.60%	94.44%
			น้ำแม่มอก	125.61	137.89	4.06%	4.20%
			น้ำแม่จำพัน	41.49	44.40	1.34%	1.35%

ตารางที่ 5-11 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนร้อยละของปริมาณน้ำท่าจากลุ่มน้ำสาขาที่เข้าสู่สถานีตรวจวัด น้ำท่าของจังหวัดสุโขทัย จากข้อมูลของแบบจำลอง ECHAM5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ และไกลเทียบกับปัจจุบัน

สถานีตรวจวัด	ปริมาณน้ำ ช่วงอนาคต อันใกล้ (ล้าน ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ช่วงอนาคต อันไกล (ล้าน ลบ.ม.)	ลุ่มน้ำสาขา	ปริมาณน้ำ ช่วงอนาคต อันใกล้ (ล้าน ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ช่วงอนาคต อันไกล (ล้าน ลบ.ม.)	ร้อยละช่วง อนาคต อันใกล้ (%)	ร้อยละช่วง อนาคต อันไกล (%)
Y.20	1,866.11	1,972.04	น้ำปี	195.45	207.86	10.47%	10.54%
			น้ำควน	515.07	553.33	27.60%	28.06%
			น้ำางว	114.40	117.24	6.13%	5.94%
			ยมตอนบน	1,041.18	1,093.61	55.79%	55.45%
Y.1C	2,268.28	2,403.90	Y.20	1,866.11	1,972.04	82.27%	82.03%
			น้ำแม่คำมี	402.17	431.87	17.73%	17.97%
Y.14	3,031.10	3,196.32	ยมตอนกลาง	557.45	578.91	18.39%	18.11%
			ลุ่มแม่ต้า	104.76	106.64	3.46%	3.34%
			ลุ่มห้วยแม่สิน	100.61	106.86	3.32%	3.34%
			สถานี Y.1C	2,268.28	2,404	74.83%	75.21%
Y.6	3,249.10	3,454.32	Y.14	3,031.10	3,196.32	93.29%	92.53%
			ลำน้ำสาขา อื่นๆ	218	258	6.71%	7.47%
			Y.3A	3,249.10	3,454.32	96.86%	96.23%
Y.3A	3,354.54	3,589.76	ลำน้ำสาขา อื่นๆ	105.44	135.44	3.14%	3.77%
			Y.33	3,628.31	3,829.76	92.45%	93.73%
Y.33	3,628.31	3,829.76	ลำน้ำสาขา อื่นๆ	273.77	240	7.55%	6.27%
			Y.4	3,825.21	4,041	94.85%	94.77%
			น้ำแม่มอก	149.25	166.57	3.90%	4.12%
Y.4	3,825.21	4,041	น้ำแม่รำพัน	47.65	44.67	1.25%	1.11%

ตารางที่ 5-12 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนร้อยละของปริมาณน้ำท่าจากลุ่มน้ำสาขาที่เข้าสู่สถานีตรวจวัด
น้ำท่าของจังหวัดสุโขทัย จากข้อมูลของแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอัน
ใกล้และไกลเทียบกับปัจจุบัน

สถานี ตรวจวัด	ปริมาณน้ำ ช่วงอนาคต อันใกล้ (ล้าน ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ช่วงอนาคต อันไกล (ล้าน ลบ.ม.)	ลุ่มน้ำสาขา	ปริมาณน้ำ ช่วงอนาคต อันใกล้ (ล้าน ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ช่วงอนาคต อันไกล (ล้าน ลบ.ม.)	สัดส่วน อนาคตอัน ใกล้ (%)	สัดส่วน อนาคตอัน ไกล (%)
Y.20	1,852.95	1,497.15	น้ำปี	188.58	148.50	10.18%	9.92%
			น้ำควน	503.41	411.29	27.17%	27.47%
			น้ำางว	123.07	113.86	6.64%	7.61%
			ยมตอนบน	1,037.89	823.49	56.01%	55.00%
Y.1C	2,209.12	1,825.80	Y.20	1,852.95	1,497.15	83.88%	82.00%
			น้ำแม่คำมี	356.16	328.65	16.12%	0.18%
Y.14	2,957.70	2,503.60	ยมตอนกลาง	550.57	506.47	18.61%	20.23%
			ลุ่มแม่ต้า	98.30	83.72	3.32%	3.34%
			ลุ่มห้วยแม่สิน	99.71	87.62	3.37%	3.50%
			สถานี Y.1C	2,209.12	1,825.80	74.69%	72.93%
Y.6	3,175.70	2,728.60	Y.14	2,957.70	2,503.60	93.14%	91.75%
			ลำน้ำสาขา	218	225	6.86%	8.25%
			อื่นๆ				
Y.3A	3,281.14	2,860.83	Y.6	3,175.70	2,728.60	96.79%	95.38%
			ลำน้ำสาขา	105.44	132.23	3.21%	4.62%
			อื่นๆ				
Y.33	3,554.42	3,085.09	Y.3A	3,281.14	2,860.83	92.31%	92.73%
			ลำน้ำสาขา	273.28	224.26	7.69%	7.27%
			อื่นๆ				
Y.4	3,715.10	3,246.49	Y.33	3,554.42	3,085.09	95.67%	95.03%
			น้ำแม่มอก	121.48	122.46	3.27%	3.77%
			น้ำแม่รำพัน	39.20	38.93	1.05%	1.20%

ตารางที่ 5-13 สรุปผลการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนร้อยละของปริมาณน้ำท่าจากกลุ่มน้ำสาขาที่เข้าสู่สถานี
ตรวจวัดของจังหวัดสุโขทัย เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองภูมิอากาศโลกทั้งสาม

สถานี ตรวจวัด	กลุ่มน้ำสาขา	สัดส่วนร้อยละ ปัจจุบัน (%)	สัดส่วนร้อยละ อนาคตอันใกล้ (%)		สัดส่วนร้อยละ อนาคตอันไกล (%)	
			สูงสุด (%)	ต่ำสุด (%)	สูงสุด (%)	ต่ำสุด (%)
Y.20	น้ำปี	10.28%	10.73%	10.18%	10.81%	9.92%
	น้ำควน	27.47%	27.60%	21.59%	28.06%	22.08%
	น้ำนาง	5.90%	6.64%	6.13%	7.61%	5.94%
	ยมตอนบน	56.35%	61.11%	55.79%	60.69%	55.00%
Y.1C	Y.20	81.30%	83.88%	73.82%	82.03%	78.01%
	น้ำแม่คำมี	18.70%	22.18%	16.12%	21.99%	17.97%
Y.14	ยมตอนกลาง	19.50%	18.61%	17.96%	20.23%	18.02%
	แม่ต้า	3.50%	3.46%	3.19%	3.34%	3.33%
	ห้วยแม่สิน	3.53%	3.37%	3.02%	3.50%	3.18%
	Y.1C	73.46%	75.83%	74.69%	75.46%	72.59%
Y.6	Y.14	91.73%	93.29%	87.54%	92.53%	91.16%
	ลำน้ำสาขาอื่นๆ	8.27%	6.71%	6.71%	8.84%	7.47%
Y.3A	Y.6	95.21%	96.86%	96.79%	96.23%	94.06%
	ลำน้ำสาขาอื่นๆ	4.79%	3.23%	3.14%	5.94%	3.77%
Y.33	Y.3A	90.42%	92.45%	90.66%	96.35%	92.73%
	ลำน้ำสาขาอื่นๆ	9.58%	9.34%	7.55%	7.27%	3.65%
Y.4	Y.33	95.02%	95.67%	94.60%	95.03%	94.44%
	แม่มอก+แม่ รำพัน	4.98%	5.40%	4.33%	5.56%	4.97%

ตารางที่ 5-14 สรุปผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำที่เข้าสู่สถานีตรวจวัดน้ำท่าของจังหวัดสุโขทัย
เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วง
อนาคตอันใกล้และไกลเทียบกับปัจจุบัน

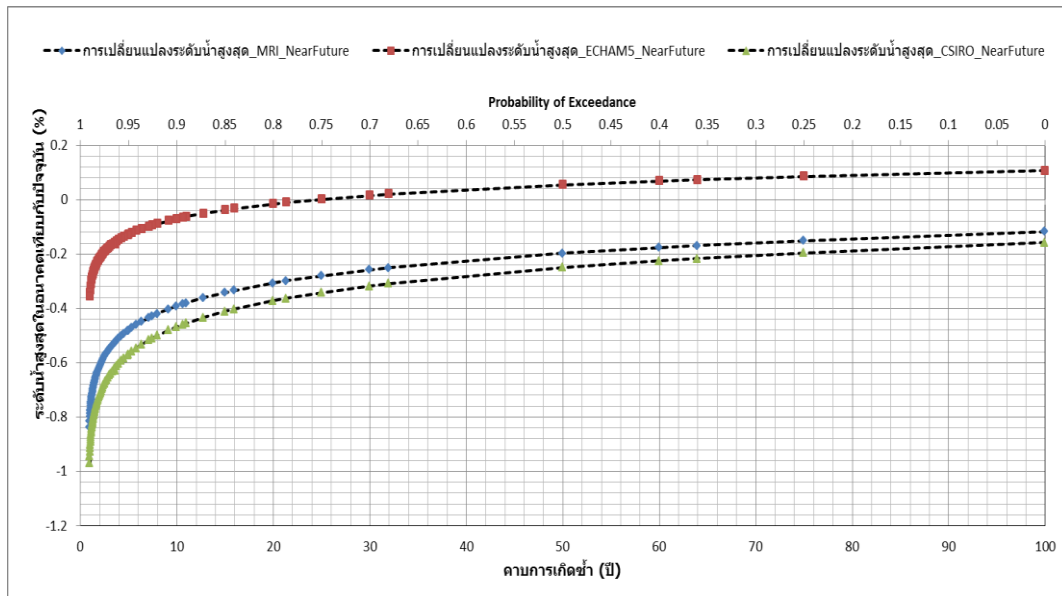
สถานีน้ำท่า	การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่า อนาคตอันใกล้ (2015-2039)			การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่า อนาคตอันไกล (2075-2099)		
	MRI	ECHAM5	CSIRO	MRI	ECHAM5	CSIRO
Y.20	-8.31%	+18.89%	+28.09%	-1.61%	+70.43%	+3.49%
Y.1C	-4.21%	+27.38%	+24.15%	+2.53%	+69.69%	+2.61%
Y.14	-7.20%	+12.77%	+22.11%	-0.19%	+63.17%	+3.36%
Y.6	-2.76%	+26.42%	+20.26%	+0.43%	+57.93%	+3.06%
Y.3A	-2.13%	+16.79%	+21.03%	+4.01%	+57.72%	+4.28%
Y.33	-2.86%	+13.98%	+17.97%	+2.79%	+50.99%	+2.91%
Y.4	+0.91%	+8.71%	+11.65%	+11.17%	+86.49%	-13.40%
Y.16	-24.29%	-25.28%	-21.56%	-19.62%	+27.36%	-37.85%
Y.17	-4.83%	+16.04%	-12.28%	+1.98%	+26.71%	-25.26%

1) ระดับน้ำสูงสุดจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบันทั้งในช่วงอนาคตอันใกล้และอนาคตอันไกลในพื้นที่ตอนเหนือของกลุ่มน้ำยม ใน อ. สอง จ. แพร่ และบริเวณจังหวัดสุโขทัยตั้งแต่เขต อ. ศรีสัชนาลัย จนถึงเขต อ. ศรีสำโรง อย่างไรก็ตาม ตั้งแต่เขต อ. บางระกำ จ. พิษณุโลก จนถึง อ. สามง่าม จ. พิจิตร ระดับน้ำสูงสุดจะกลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากปัจจุบันอีกครั้งทั้งช่วงอนาคตอันใกล้และอนาคตอันไกล และพบว่าระดับน้ำจะเพิ่มสูงมากกว่าผลจากแบบจำลองภูมิอากาศ ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5

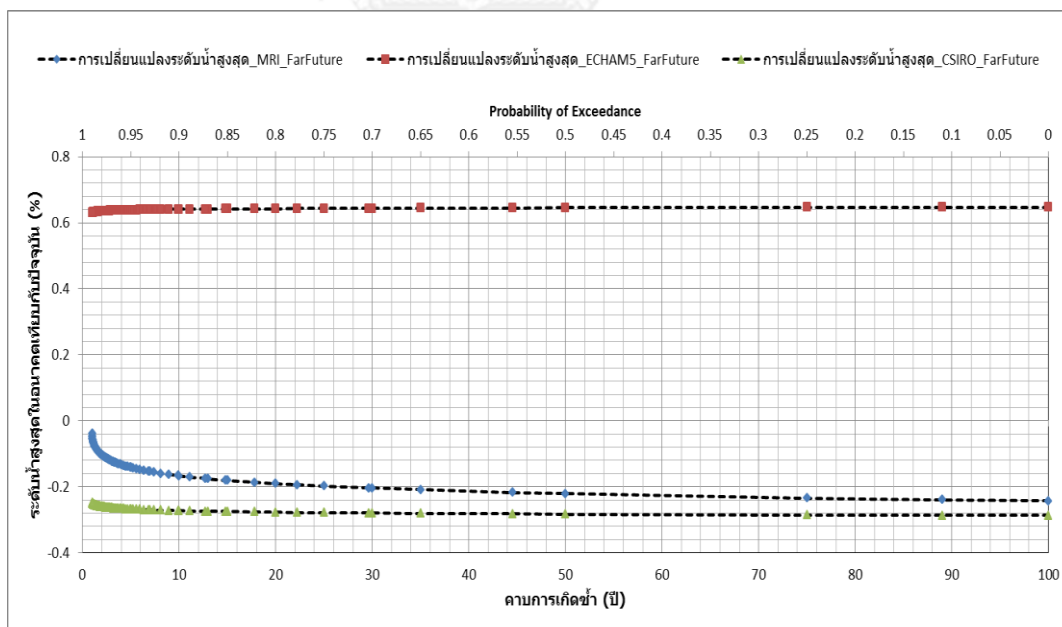
2) ระดับน้ำสูงสุดจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ECHAM5 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากปัจจุบันทั้งในช่วงอนาคตอันใกล้และอนาคตอันไกล ตั้งแต่พื้นที่ตอนเหนือของกลุ่มน้ำยม ใน อ. สอง จ. แพร่ จนถึงตอนบนของจังหวัดสุโขทัยในเขต อ. ศรีสัชนาลัย อ. สวรรคโลก อ. ศรีสำโรง และอ. เมือง จ. สุโขทัย ลงสู่พื้นที่อ. บางระกำ จ. พิษณุโลก จนถึง อ. สามง่าม จ. พิจิตร

3) ระดับน้ำสูงสุดจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก CSIRO-MK3.5 มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบันทั้งในช่วงอนาคตอันใกล้และอนาคตอันไกล ตั้งแต่พื้นที่ตอนเหนือของกลุ่มน้ำยม ใน อ. สอง จ. แพร่ จนถึงตอนบนของจังหวัดสุโขทัยในเขต อ. ศรีสัชนาลัย อ. สวรรคโลก อ. ศรีสำโรง และอ. เมือง จ. สุโขทัย ลงสู่พื้นที่อ. บางระกำ จ. พิษณุโลก จนถึง อ. สามง่าม จ. พิจิตร

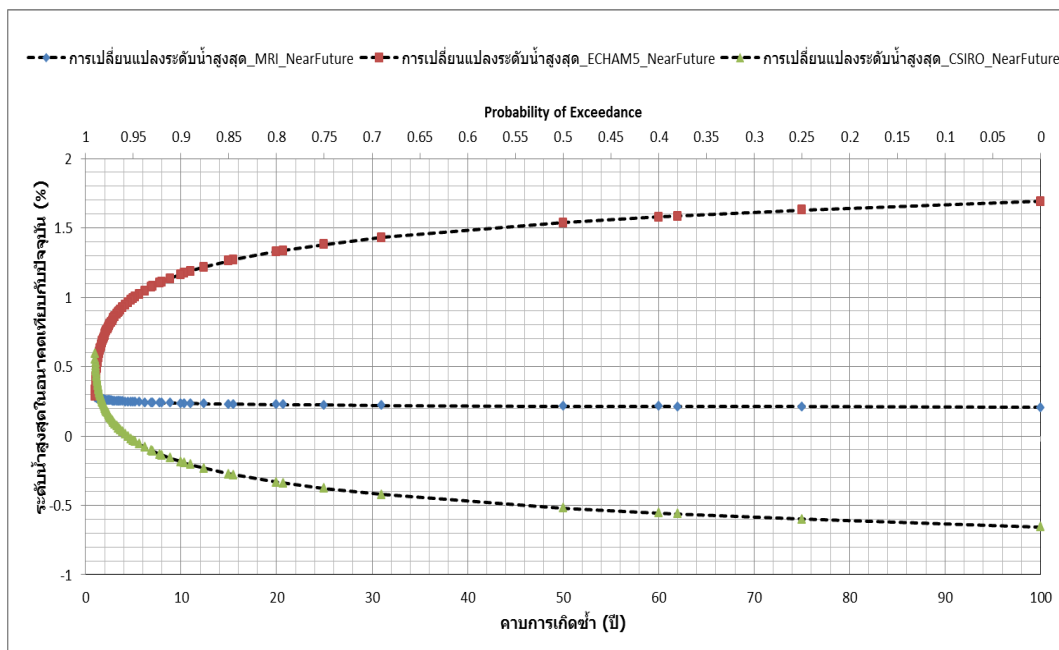
ผลกระทบของระดับน้ำสูงสุดในช่วงอนาคตอันใกล้และอนาคตอันไกลที่คาบการเกิดซ้ำ 5 ปี 10 ปี 15 ปี 20 ปี 25 ปี 50 ปี 75 ปี และ 100 ปี ได้สรุปไว้ในตารางที่ 5-15 ถึง 5-22



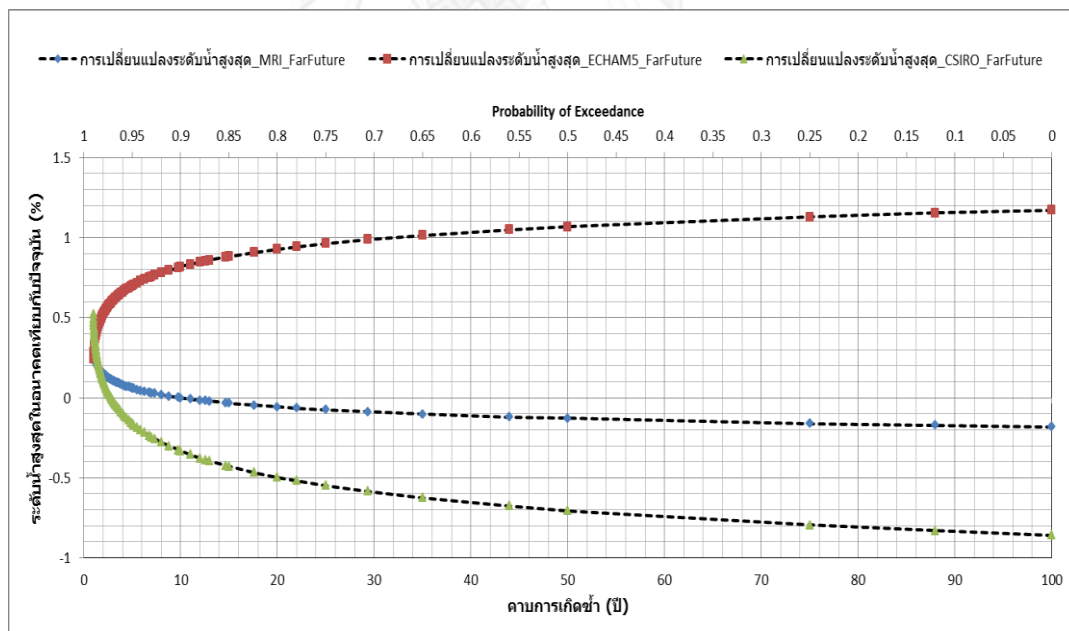
รูปที่ 5-19 การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำสูงสุดผ่านสถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.20 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ เทียบกับระดับน้ำสูงสุดในปัจจุบัน



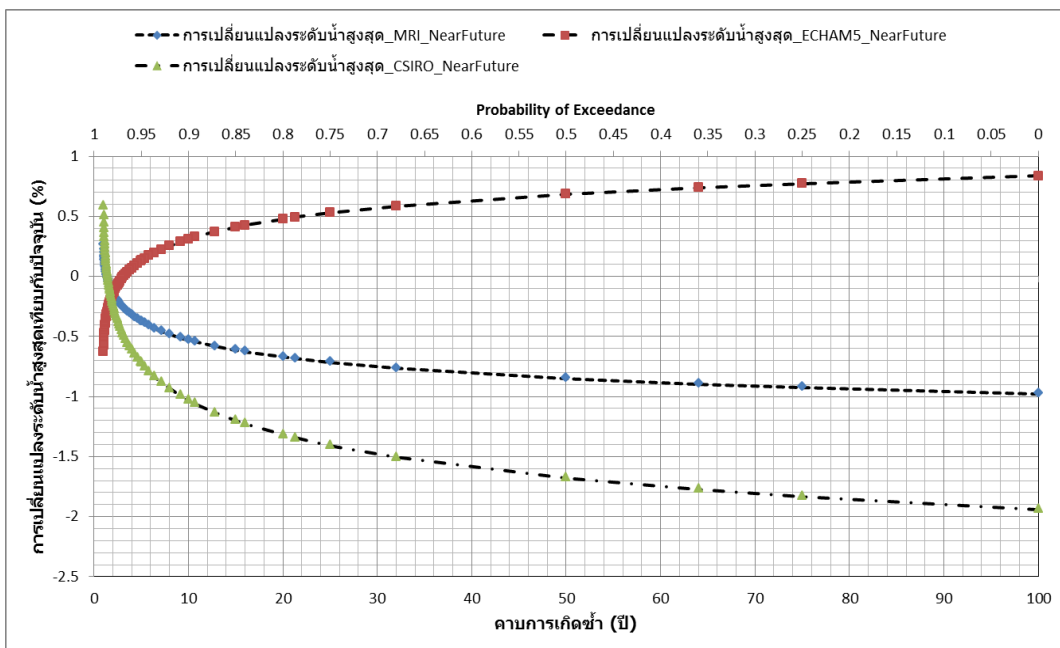
รูปที่ 5-20 การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำสูงสุดผ่านสถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.20 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันไกล เทียบกับระดับน้ำสูงสุดในปัจจุบัน



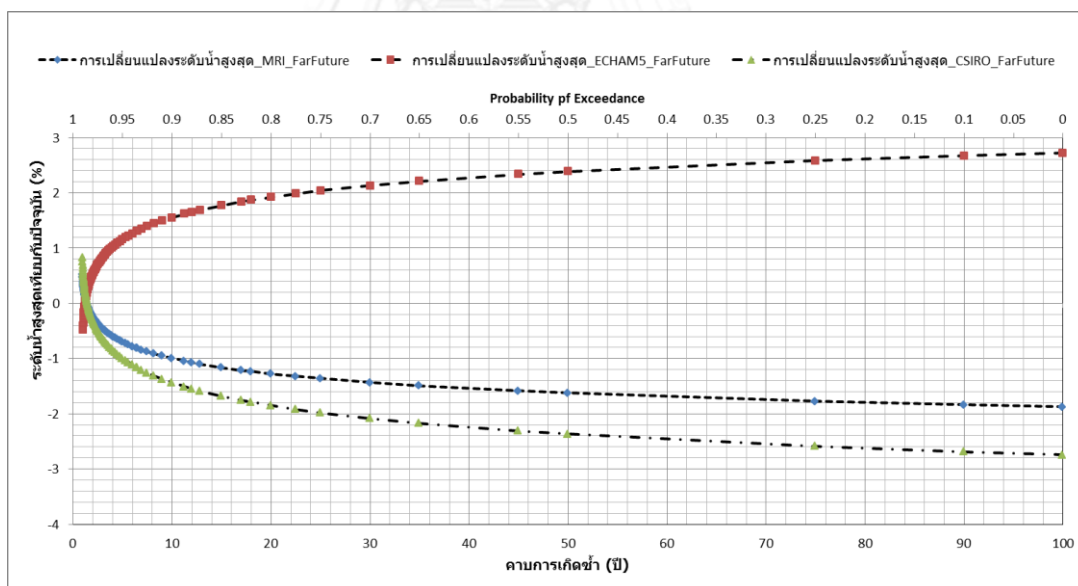
รูปที่ 5-21 การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำสูงสุดผ่านสถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.1C ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ เทียบกับระดับน้ำสูงสุดในปัจจุบัน



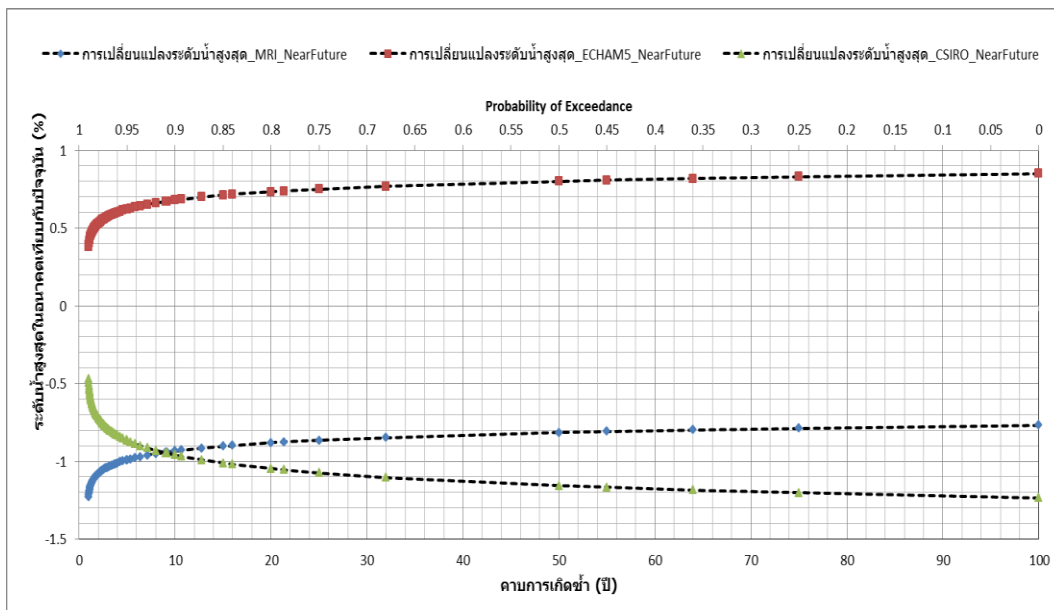
รูปที่ 5-22 การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำสูงสุดผ่านสถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.1C ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันไกล เทียบกับระดับน้ำสูงสุดในปัจจุบัน



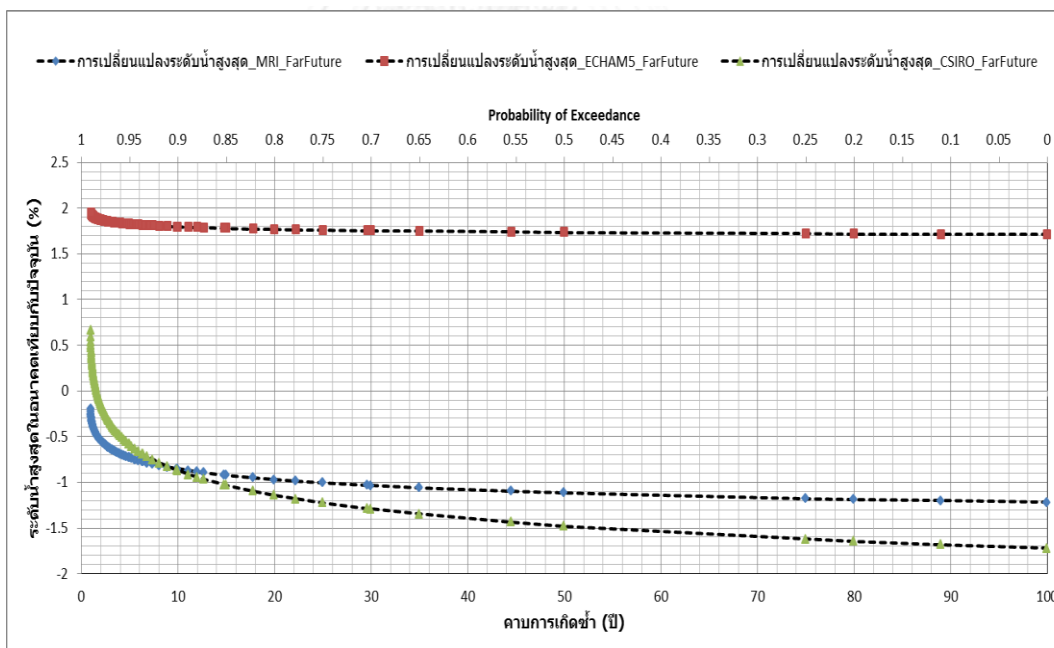
รูปที่ 5-23 การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำสูงสุดผ่านสถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.14 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ เทียบกับระดับน้ำสูงสุดในปัจจุบัน



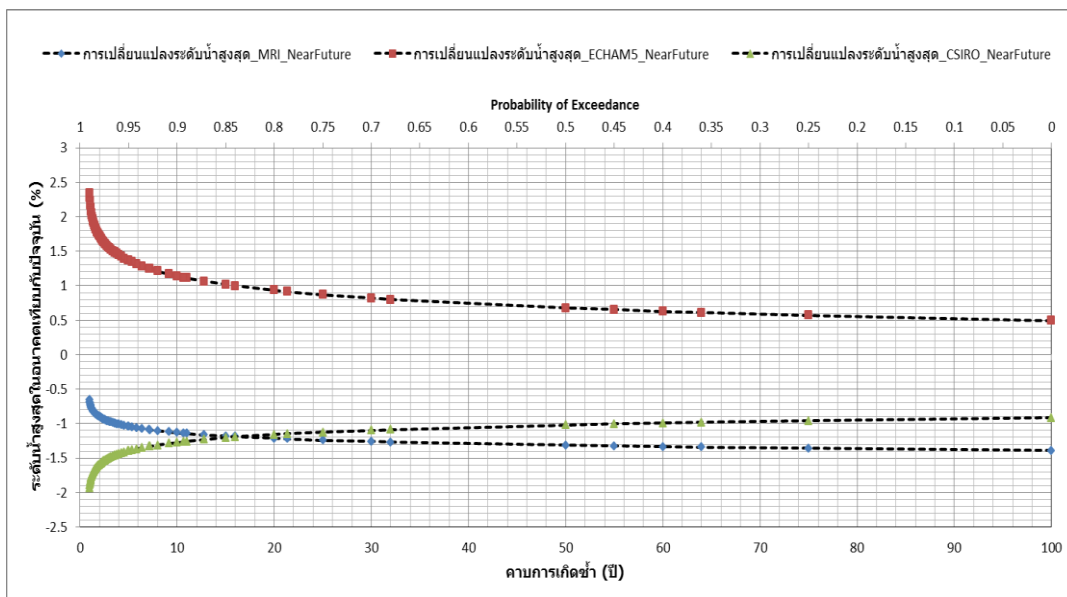
รูปที่ 5-24 การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำสูงสุดผ่านสถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.14 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันไกล เทียบกับระดับน้ำสูงสุดในปัจจุบัน



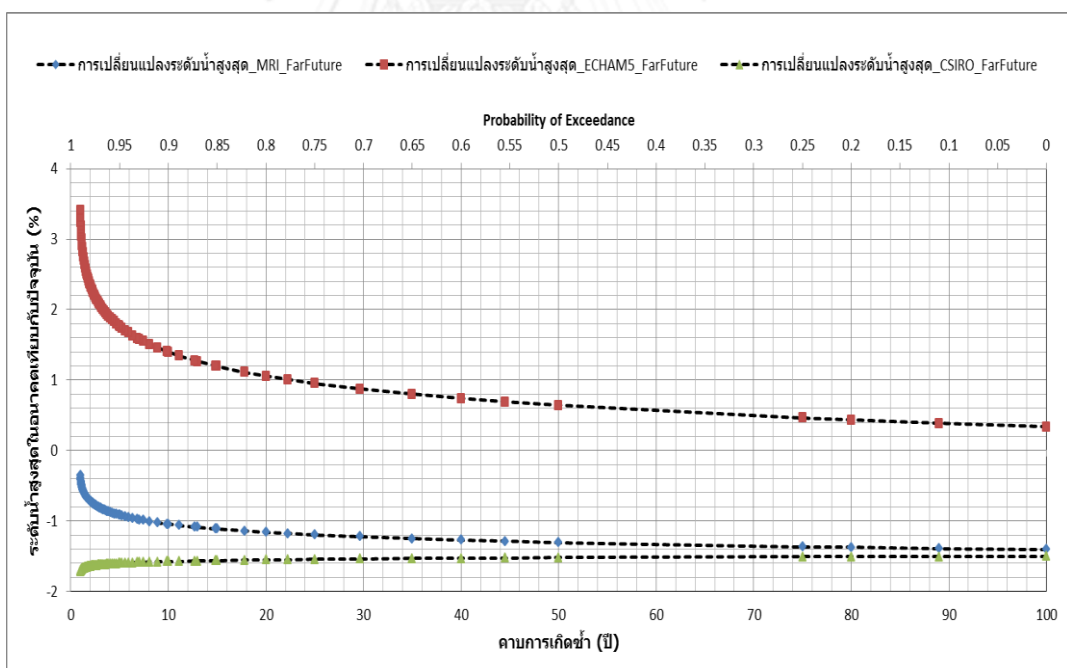
รูปที่ 5-25 การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำสูงสุดผ่านสถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.6 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ เทียบกับระดับน้ำสูงสุดในปัจจุบัน



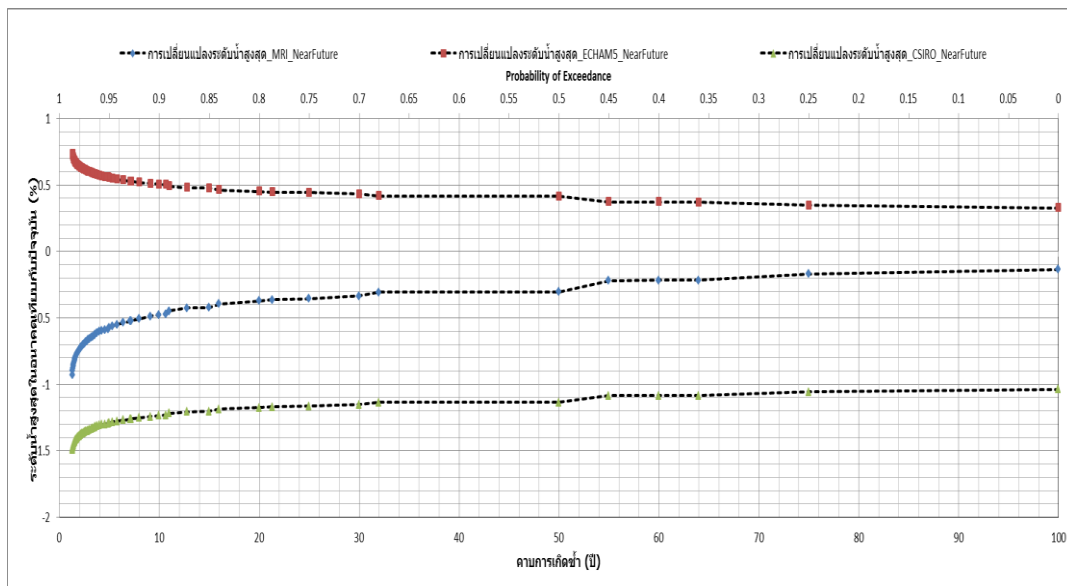
รูปที่ 5-26 การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำสูงสุดผ่านสถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.6 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันไกล เทียบกับระดับน้ำสูงสุดในปัจจุบัน



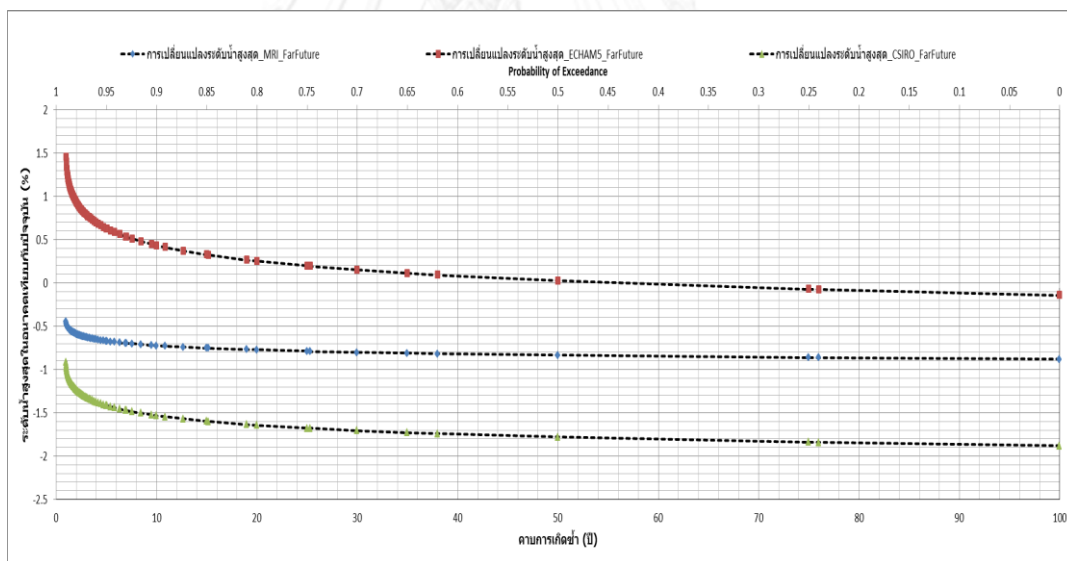
รูปที่ 5-27 การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำสูงสุดผ่านสถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.3A ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ เทียบกับระดับน้ำสูงสุดในปัจจุบัน



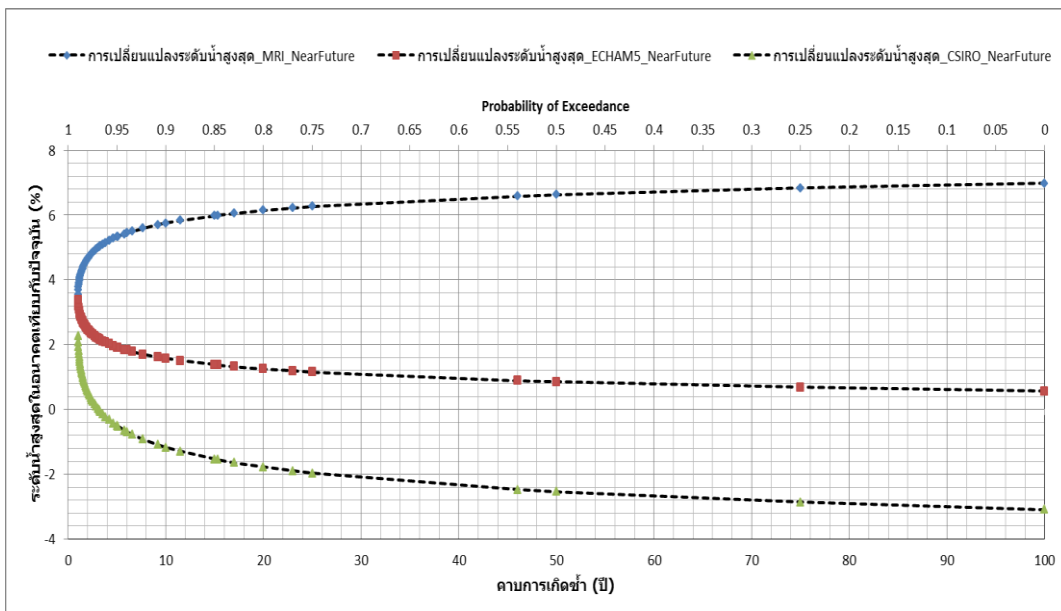
รูปที่ 5-28 การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำสูงสุดผ่านสถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.3A ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันไกล เทียบกับระดับน้ำสูงสุดในปัจจุบัน



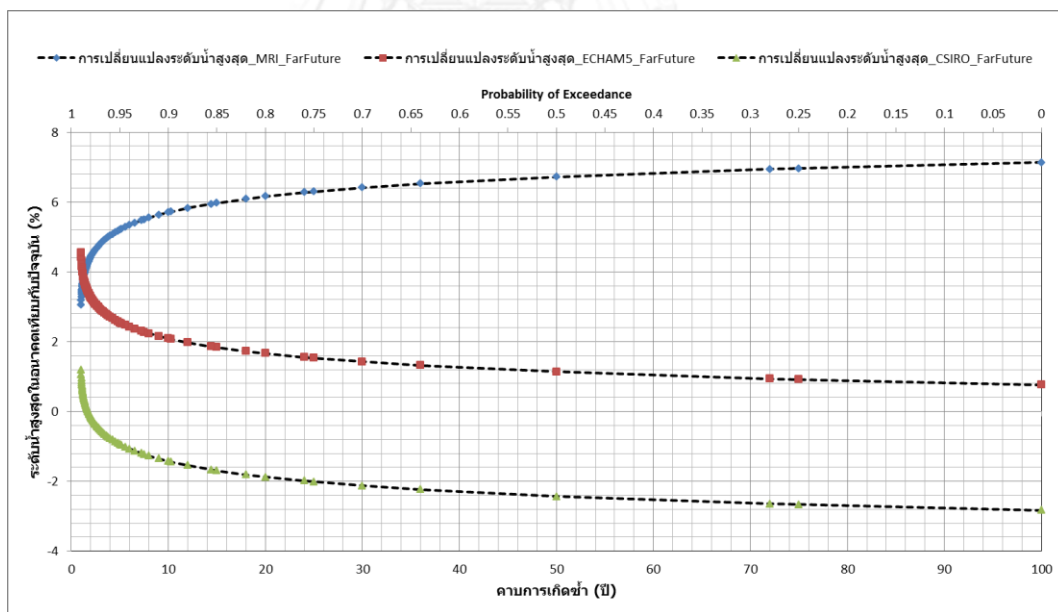
รูปที่ 5-29 การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำสูงสุดผ่านสถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.33 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ เทียบกับระดับน้ำสูงสุดในปัจจุบัน



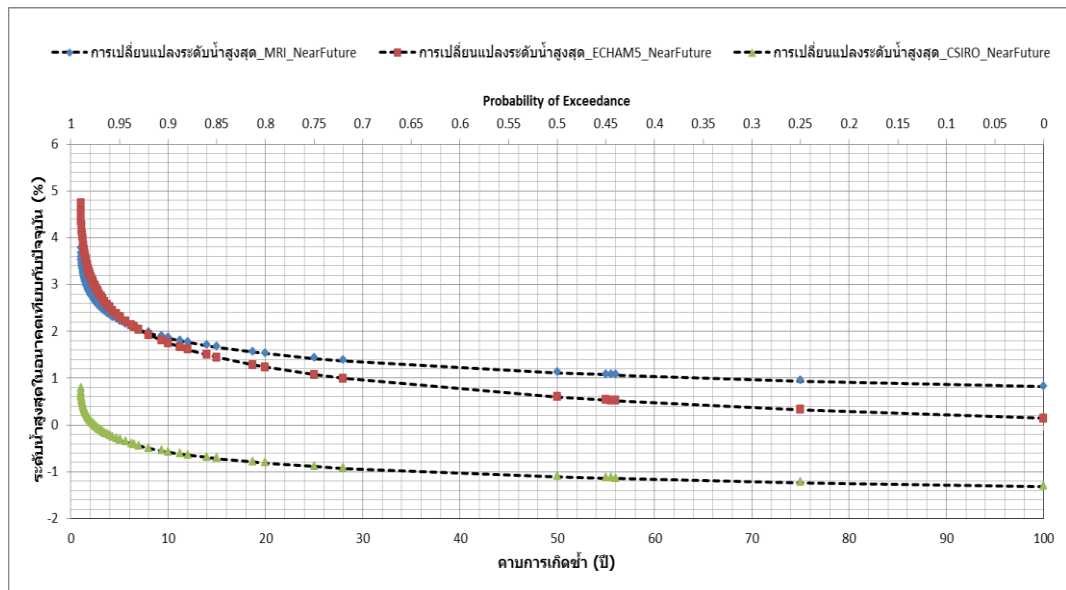
รูปที่ 5-30 การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำสูงสุดผ่านสถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.33 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันไกล เทียบกับระดับน้ำสูงสุดในปัจจุบัน



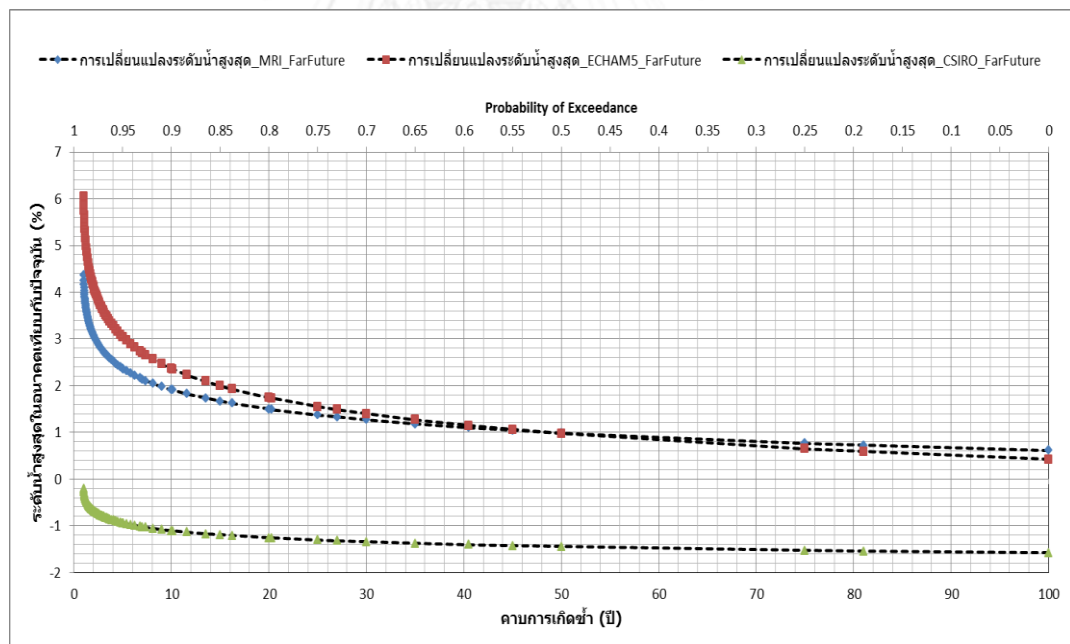
รูปที่ 5-31 การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำสูงสุดผ่านสถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.16 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ เทียบกับระดับน้ำสูงสุดในปัจจุบัน



รูปที่ 5-32 การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำสูงสุดผ่านสถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.16 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันไกล เทียบกับระดับน้ำสูงสุดในปัจจุบัน



รูปที่ 5-33 การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำสูงสุดผ่านสถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.17 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ เทียบกับระดับน้ำสูงสุดในปัจจุบัน



รูปที่ 5-34 การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำสูงสุดผ่านสถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.17 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันไกล เทียบกับระดับน้ำสูงสุดในปัจจุบัน

ตารางที่ 5-15 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงสุดผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.20 ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วงอนาคตอันใกล้
(ค.ศ. 2015–2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075–2099)

สถานี	คาบการ เกิดซ้ำ (ปี)	การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงสุด (%)						ช่วงพิสัยการเปลี่ยนแปลงระหว่างแบบจำลอง (%)			
		MRI		ECHAM5		CSIRO-MK3.5		NF		FF	
		NF	FF	NF	FF	NF	FF	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
Y.20	100 ปี	-0.12%	-0.24%	+0.11%	+0.65%	-0.16%	-0.29%	+0.11%	-0.16%	+0.65%	-0.29%
	75 ปี	-0.15%	-0.23%	+0.09%	+0.65%	-0.20%	-0.29%	+0.09%	-0.20%	+0.65%	-0.29%
	50 ปี	-0.20%	-0.22%	+0.05%	+0.64%	-0.25%	-0.28%	+0.05%	-0.25%	+0.64%	-0.28%
	25 ปี	-0.28%	-0.20%	+0.002%	+0.64%	-0.34%	-0.28%	+0.002%	-0.34%	+0.64%	-0.28%
	20 ปี	-0.31%	-0.19%	-0.02%	+0.64%	-0.37%	-0.28%	-0.02%	-0.37%	+0.64%	-0.28%
	15 ปี	-0.34%	-0.18%	-0.04%	+0.64%	-0.41%	-0.28%	-0.04%	-0.41%	+0.64%	-0.28%
	10 ปี	-0.39%	-0.17%	-0.07%	+0.64%	-0.47%	-0.27%	-0.07%	-0.47%	+0.64%	-0.27%
	5 ปี	-0.48%	-0.14%	-0.13%	+0.64%	-0.57%	-0.27%	-0.13%	-0.57%	+0.64%	-0.27%

หมายเหตุ: NF = ช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039)

FF = ช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099)

ตารางที่ 5-16 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงสุดผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.1C ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วงอนาคตอันใกล้
(ค.ศ. 2015–2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075–2099)

สถานี	คาบการ เกิดซ้ำ (ปี)	การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงสุด (%)						ช่วงพิสัยการเปลี่ยนแปลงระหว่างแบบจำลอง (%)			
		MRI		ECHAM5		CSIRO-MK3.5		NF		FF	
		NF	FF	NF	FF	NF	FF	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
Y.1C	100 ปี	+0.21%	-0.18%	+1.69%	+1.17%	-0.66%	-0.86%	+1.69%	-0.66%	+1.17%	-0.86%
	75 ปี	+0.21%	-0.16%	+1.63%	+1.13%	-0.60%	-0.79%	+1.63%	-0.60%	+1.13%	-0.79%
	50 ปี	+0.22%	-0.13%	+1.54%	+1.07%	-0.52%	-0.70%	+1.54%	-0.52%	+1.07%	-0.70%
	25 ปี	+0.22%	-0.08%	+1.38%	+0.96%	-0.38%	-0.55%	+1.38%	-0.38%	+0.96%	-0.55%
	20 ปี	+0.23%	-0.06%	+1.33%	+0.93%	-0.33%	-0.50%	+1.33%	-0.33%	+0.93%	-0.50%
	15 ปี	+0.23%	-0.03%	+1.26%	+0.88%	-0.27%	-0.43%	+1.26%	-0.27%	+0.88%	-0.43%
	10 ปี	+0.24%	0.00%	+1.17%	+0.82%	-0.19%	-0.33%	+1.17%	-0.19%	+0.82%	-0.33%
	5 ปี	+0.25%	+0.06%	+0.99%	+0.70%	-0.03%	-0.16%	+0.99%	-0.03%	+0.70%	-0.16%

หมายเหตุ: NF = ช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039)

FF = ช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099)

ตารางที่ 5-17 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงสุดผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.14 ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015–2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075–2099)

สถานี	คาบการ เกิดซ้ำ (ปี)	การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงสุด (%)						ช่วงพิสัยการเปลี่ยนแปลงระหว่างแบบจำลอง (%)			
		MRI		ECHAM5		CSIRO-MK3.5		NF		FF	
		NF	FF	NF	FF	NF	FF	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
Y.14	100 ปี	-0.98%	-1.88%	+0.84%	+2.72%	-1.94%	-2.74%	+0.84%	-1.94%	+2.72%	-2.74%
	75 ปี	-0.92%	-1.77%	+0.74%	+2.58%	-1.83%	-2.59%	+0.74%	-1.83%	+2.58%	-2.59%
	50 ปี	-0.85%	-1.62%	+0.69%	+2.39%	-1.68%	-2.37%	+0.69%	-1.68%	+2.39%	-2.37%
	25 ปี	-0.72%	-1.36%	+0.53%	+2.04%	-1.41%	-1.98%	+0.53%	-1.41%	+2.04%	-1.98%
	20 ปี	-0.67%	-1.27%	+0.48%	+1.92%	-1.32%	-1.85%	+0.48%	-1.32%	+1.92%	-1.85%
	15 ปี	-0.61%	-1.16%	+0.41%	+1.77%	-1.20%	-1.68%	+0.41%	-1.20%	+1.77%	-1.68%
	10 ปี	-0.53%	-0.99%	+0.31%	+1.55%	-1.03%	-1.44%	+0.31%	-1.03%	+1.55%	-1.44%
	5 ปี	-0.38%	-0.69%	+0.13%	+1.19%	-0.72%	-0.99%	+0.13%	-0.72%	+1.19%	-0.99%

หมายเหตุ: NF = ช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039)

FF = ช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099)

ตารางที่ 5-18 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงสุดผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.6 ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วงอนาคตอันใกล้
(ค.ศ. 2015–2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075–2099)

สถานี	คาบการ เกิดซ้ำ (ปี)	การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงสุด (%)						ช่วงพิสัยการเปลี่ยนแปลงระหว่างแบบจำลอง (%)			
		MRI		ECHAM5		CSIRO-MK3.5		NF		FF	
		NF	FF	NF	FF	NF	FF	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
Y.6	100 ปี	-0.77%	-1.22%	+0.85%	+1.71%	-1.24%	-1.72%	+0.85%	-1.24%	+1.71%	-1.72%
	75 ปี	-0.79%	-1.17%	+0.83%	+1.72%	-1.20%	-1.62%	+0.83%	-1.20%	+1.72%	-1.62%
	50 ปี	-0.82%	-1.11%	+0.80%	+1.74%	-1.16%	-1.48%	+0.80%	-1.16%	+1.74%	-1.48%
	25 ปี	-0.86%	-1.00%	+0.75%	+1.76%	-1.07%	-1.22%	+1.76%	-1.07%	+1.76%	-1.22%
	20 ปี	-0.88%	-0.97%	+0.73%	+1.77%	-1.05%	-1.14%	+0.73%	-1.05%	+1.77%	-1.14%
	15 ปี	-0.90%	-0.92%	+0.71%	+1.78%	-1.01%	-1.03%	+0.71%	-1.01%	+1.78%	-1.03%
	10 ปี	-0.93%	-0.85%	+0.68%	+1.79%	-0.96%	-0.87%	+0.68%	-0.96%	+1.79%	-0.87%
	5 ปี	-0.99%	-0.73%	+0.62%	+1.82%	-0.87%	-0.58%	+0.62%	-0.99%	+1.82%	-0.73%

หมายเหตุ: NF = ช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039)

FF = ช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099)

ตารางที่ 5-19 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงสุดผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.3A ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015–2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075–2099)

สถานี	คาบการ เกิดซ้ำ (ปี)	การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงสุด (%)						ช่วงพิสัยการเปลี่ยนแปลงระหว่างแบบจำลอง (%)			
		MRI		ECHAM5		CSIRO-MK3.5		NF		FF	
		NF	FF	NF	FF	NF	FF	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
Y.3A	100 ปี	-1.39%	-1.41%	+0.49%	+0.34%	-0.92%	-1.50%	+0.49%	-1.39%	+0.34%	-1.50%
	75 ปี	-1.36%	-1.36%	+0.57%	+0.46%	-0.96%	-1.51%	+0.57%	-1.36%	+0.46%	-1.51%
	50 ปี	-1.31%	-1.30%	+0.68%	+0.64%	-1.02%	-1.52%	+0.68%	-1.31%	+0.64%	-1.52%
	25 ปี	-1.24%	-1.19%	+0.87%	+0.95%	-1.12%	-1.54%	+0.87%	-1.24%	+0.95%	-1.54%
	20 ปี	-1.21%	-1.16%	+0.93%	+1.06%	-1.16%	-1.55%	+0.93%	-1.21%	+1.06%	-1.55%
	15 ปี	-1.18%	-1.11%	+1.02%	+1.20%	-1.21%	-1.56%	+1.02%	-1.21%	+1.20%	-1.56%
	10 ปี	-1.13%	-1.04%	+1.14%	+1.40%	-1.27%	-1.57%	+1.14%	-1.27%	+1.40%	-1.57%
	5 ปี	-1.04%	-0.92%	+1.37%	+1.77%	-1.40%	-1.60%	+1.37%	-1.40%	+1.77%	-1.60%

หมายเหตุ: NF = ช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039)

FF = ช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099)

ตารางที่ 5-20 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.33 ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015–2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075–2099)

สถานี	คาบการเกิด ซ้ำ (ปี)	การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงสุด (%)						ช่วงพิสัยการเปลี่ยนแปลงระหว่างแบบจำลอง (%)			
		MRI		ECHAM5		CSIRO-MK3.5		NF		FF	
		NF	FF	NF	FF	NF	FF	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
Y.33	100 ปี	-0.13%	-0.89%	+0.33%	-0.14%	-1.04%	-1.88%	+0.33%	-1.04%	-0.14%	-1.88%
	75 ปี	-0.17%	-0.86%	+0.35%	-0.07%	-1.06%	-1.84%	+0.35%	-1.06%	-0.07%	-1.84%
	50 ปี	-0.30%	-0.83%	+0.41%	+0.02%	-1.13%	-1.78%	+0.41%	-1.13%	+0.02%	-1.78%
	25 ปี	-0.35%	-0.79%	+0.44%	+0.20%	-1.16%	-1.68%	+0.44%	-1.16%	+0.20%	-1.68%
	20 ปี	-0.37%	-0.77%	+0.45%	+0.25%	-1.17%	-1.64%	+0.45%	-1.17%	+0.25%	-1.64%
	15 ปี	-0.42%	-0.75%	+0.48%	+0.33%	-1.20%	-1.60%	+0.48%	-1.20%	+0.33%	-1.60%
	10 ปี	-0.48%	-0.72%	+0.50%	+0.43%	-1.23%	-1.53%	+0.50%	-1.23%	+0.43%	-1.53%
	5 ปี	-0.57%	-0.67%	+0.55%	+0.63%	-1.29%	-1.41%	+0.55%	-1.29%	+0.63%	-1.41%

หมายเหตุ: NF = ช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039)

FF = ช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099)

ตารางที่ 5-21 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงสุดผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.16 ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วงอนาคตอันใกล้
(ค.ศ. 2015–2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075–2099)

สถานี	คาบการ เกิดซ้ำ (ปี)	การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงสุด (%)						ช่วงพิสัยการเปลี่ยนแปลงระหว่างแบบจำลอง (%)			
		MRI		ECHAM5		CSIRO-MK3.5		NF		FF	
		NF	FF	NF	FF	NF	FF	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
Y.16	100 ปี	+6.98%	+7.13%	+0.57%	+0.76%	-3.09%	-2.83%	+6.98%	-3.09%	+7.13%	-2.83%
	75 ปี	+6.83%	+6.96%	+0.69%	+0.92%	-2.86%	-2.67%	+6.83%	-2.86%	+6.96%	-2.67%
	50 ปี	+6.63%	+6.72%	+0.85%	+1.14%	-2.54%	-2.43%	+6.63%	-2.54%	+6.72%	-2.43%
	25 ปี	+6.27%	+6.30%	+1.15%	+1.53%	-1.97%	-2.01%	+6.27%	-1.97%	+6.30%	-2.01%
	20 ปี	+6.15%	+6.16%	+1.25%	+1.66%	-1.78%	-1.87%	+6.15%	-1.78%	+6.16%	-1.87%
	15 ปี	+5.99%	+5.97%	+1.38%	+1.84%	-1.53%	-1.69%	+5.99%	-1.53%	+5.97%	-1.69%
	10 ปี	+5.75%	+5.70%	+1.57%	+2.09%	-1.17%	-1.42%	+5.75%	-1.17%	+5.70%	-1.42%
	5 ปี	+5.33%	+5.21%	+1.92%	+2.55%	-0.50%	-0.93%	+5.33%	-0.50%	+5.21%	-0.93%

หมายเหตุ: NF = ช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039)

FF = ช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099)

ตารางที่ 5-22 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงสุดผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.17 ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วงอนาคตอันใกล้
(ค.ศ. 2015–2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075–2099)

สถานี	คาบการ เกิดซ้ำ (ปี)	การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงสุด (%)						ช่วงพิสัยการเปลี่ยนแปลงระหว่างแบบจำลอง (%)			
		MRI		ECHAM5		CSIRO-MK3.5		NF		FF	
		NF	FF	NF	FF	NF	FF	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
Y.17	100 ปี	+0.82%	+0.62%	+0.14%	+0.42%	-1.31%	-1.58%	+0.82%	-1.31%	+0.62%	-1.58%
	75 ปี	+0.94%	+0.77%	+0.33%	+0.65%	-1.23%	-1.53%	+0.94%	-1.23%	+0.77%	-1.53%
	50 ปี	+1.11%	+0.99%	+1.11%	+0.97%	-1.11%	-1.45%	+1.11%	-1.11%	+0.99%	-1.45%
	25 ปี	+1.42%	+1.37%	+1.42%	+1.55%	-0.89%	-1.31%	+1.42%	-0.89%	+1.55%	-1.31%
	20 ปี	+1.52%	+1.50%	+1.52%	+1.74%	-0.81%	-1.26%	+1.52%	-0.81%	+1.74%	-1.26%
	15 ปี	+1.66%	+1.67%	+1.66%	+2.00%	-0.72%	-1.20%	+1.66%	-0.72%	+2.00%	-1.20%
	10 ปี	+1.85%	+1.91%	+1.85%	+2.37%	-0.58%	-1.10%	+1.85%	-0.58%	+2.37%	-1.10%
	5 ปี	+2.22%	+2.36%	+2.22%	+3.05%	-0.32%	-0.94%	+2.22%	-0.32%	+3.05%	-0.94%

หมายเหตุ: NF = ช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039)

FF = ช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099)

5.3.3.2 การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำสูงสุดเทียบกับระดับล้นของสถานีตรวจวัดน้ำท่า

การศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงสุดผ่านสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำยม เมื่อเปรียบเทียบกับระดับล้น ภายใต้อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกจากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015–2039) และอนาคตอันไกล ค.ศ. 2075–2099) สรุปแนวโน้มทั้งหมดได้จากรูปที่ 5-35-รูปที่ 5-54 เพื่อแสดงให้เห็นว่าโอกาสของการเกิดอุทกภัยจากระดับน้ำที่ล้นตลิ่งในสถานีน้ำท่าต่างๆมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรเมื่อเทียบกับสภาวะปัจจุบัน

จากรูปที่ 5-35-รูปที่ 5-54 สรุปแนวโน้มของระดับน้ำสูงสุดในแต่ละแบบจำลองภูมิอากาศโลกดังต่อไปนี้

1) ในช่วงอนาคตอันใกล้ ระดับน้ำสูงสุดของข้อมูลภูมิอากาศจากแบบจำลอง MRI มีโอกาสล้นตลิ่งในทุกๆคาบการเกิดซ้ำ ตั้งแต่สถานีวัดน้ำท่า Y.33 ใน อำเภอสรีสำโรง สถานี Y.4 อำเภอมือง จังหวัดสุโขทัย จนถึงสถานีวัดน้ำท่า Y.17 อำเภอสามงาม จังหวัดพิจิตร ในสถานี Y.3A จะมีระดับน้ำล้นตลิ่งตั้งแต่คาบการเกิดซ้ำ 10 ปีขึ้นไป ส่วนสถานี Y.1C และสถานี Y.6 ระดับน้ำจะล้นตลิ่งตั้งแต่คาบการเกิดซ้ำ 25 ปีขึ้นไป ส่วนสถานีที่คาดว่าน้ำจะไม่ล้นตลิ่งได้แก่ สถานี Y.20 และ สถานี Y.14

ส่วนช่วงอนาคตอันไกล พบว่าสถานี Y.16 และ Y.17 จะมีโอกาสเกิดน้ำล้นตลิ่งได้ในทุกๆคาบการเกิดซ้ำ ในสถานี Y.3A และสถานี Y.33 จะมีระดับน้ำจะล้นตลิ่งตั้งแต่คาบการเกิดซ้ำ 10 ปีขึ้นไป ในสถานี Y.6 ระดับน้ำจะล้นตลิ่งตั้งแต่คาบการเกิดซ้ำ 25 ปีขึ้นไป ส่วนสถานีที่คาดว่าน้ำจะไม่ล้นตลิ่งได้แก่ สถานี Y.20 สถานี Y.1C และ สถานี Y.14

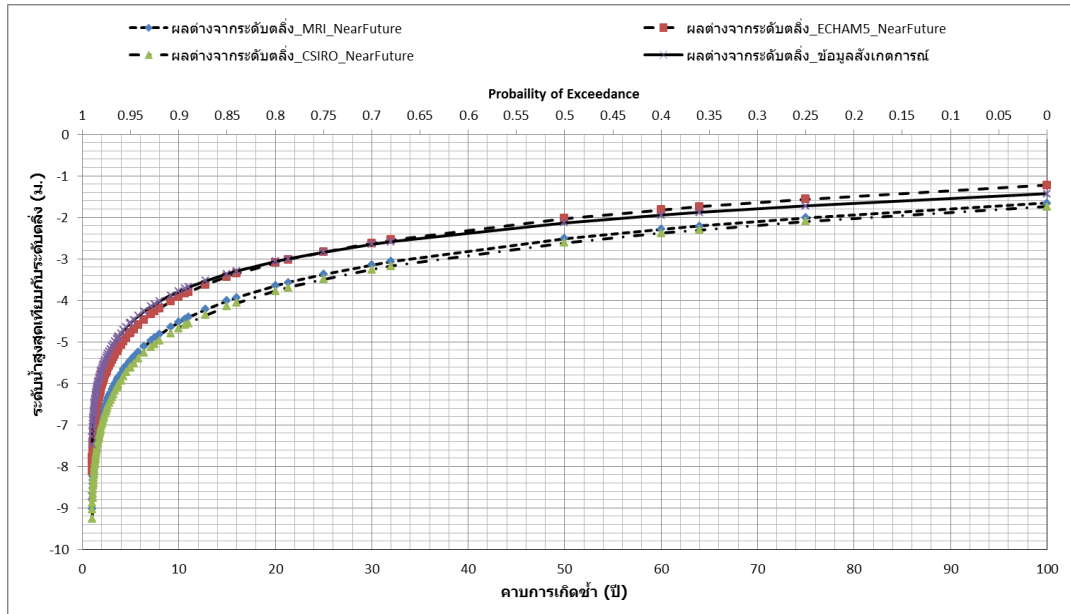
2) ในช่วงอนาคตอันใกล้ ระดับน้ำสูงสุดของข้อมูลภูมิอากาศจากแบบจำลอง ECHAM5 มีโอกาสล้นตลิ่งในทุกๆคาบการเกิดซ้ำ ตั้งแต่สถานีวัดน้ำท่า Y.3A อำเภอสวรรคโลก จนถึงสถานี Y.17 อำเภอสามงาม จังหวัดพิจิตร ในสถานี Y.6 ระดับน้ำจะล้นตลิ่งตั้งแต่คาบการเกิดซ้ำ 25 ปีขึ้นไป สถานี Y.14 ระดับน้ำจะล้นตลิ่งตั้งแต่คาบการเกิดซ้ำ 50 ปี ขึ้นไป ส่วนสถานี Y.1C ระดับน้ำจะล้นตลิ่งตั้งแต่คาบการเกิดซ้ำ 10 ปีขึ้นไป ส่วนสถานีที่คาดว่าน้ำจะไม่ล้นตลิ่งได้แก่ สถานี Y.20

ในช่วงอนาคตอันไกล พบว่าสถานี Y.3A Y.33 Y.4 Y.16 และ Y.17 จะมีโอกาสเกิดน้ำล้นตลิ่งได้ในทุกๆคาบการเกิดซ้ำ ในสถานี Y.1C และสถานี Y.6 จะมีระดับน้ำจะล้นตลิ่งตั้งแต่คาบการเกิดซ้ำ 10 ปีขึ้นไป ในสถานี Y.14 ระดับน้ำจะล้นตลิ่งตั้งแต่คาบการเกิดซ้ำ 25 ปีขึ้นไป ส่วนสถานีที่คาดว่าน้ำจะไม่ล้นตลิ่งได้แก่ สถานี Y.20

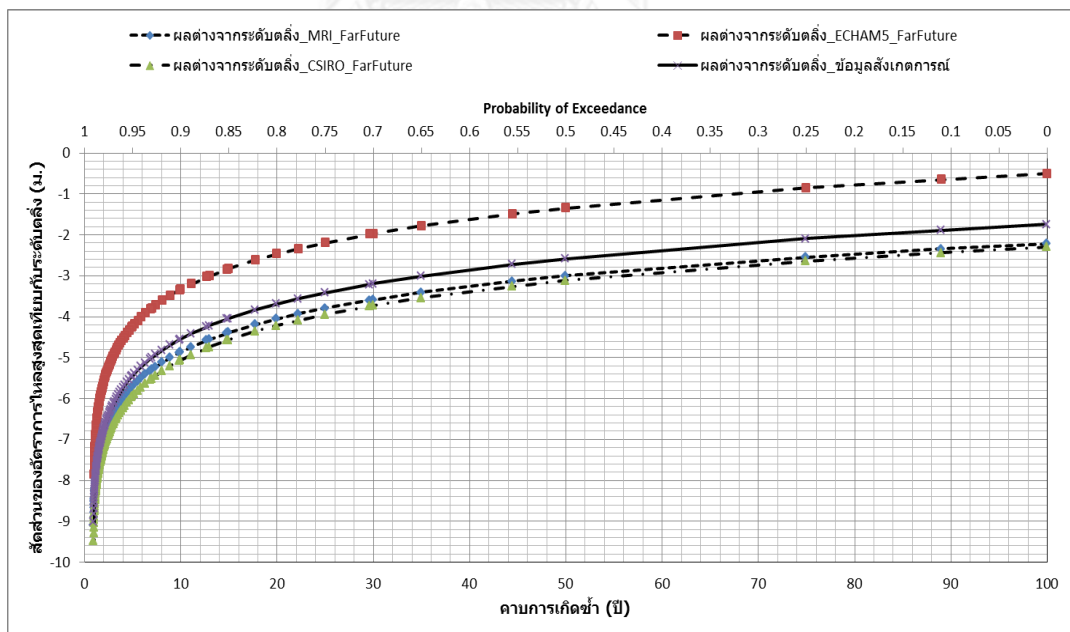
3) ในช่วงอนาคตอันใกล้ พบว่าไม่มีสถานีน้ำท่าใดๆที่ระดับน้ำสูงสุดจากข้อมูลภูมิอากาศ CSIRO จะล้นตลิ่งในทุกๆคาบการเกิดซ้ำ แต่สถานี Y.3A และสถานี Y.33 จะเกิดน้ำล้นตลิ่งตั้งแต่คาบการเกิดซ้ำ 10 ปีขึ้นไป สถานี Y.1C และสถานี Y.16 จะเกิดน้ำล้นตลิ่งตั้งแต่คาบการเกิดซ้ำ 25 ปีขึ้นไป ส่วนสถานี Y.6 จะเกิดน้ำล้นตลิ่งตั้งแต่คาบการเกิดซ้ำ 50 ปีขึ้นไป ส่วนสถานีที่คาดว่าน้ำจะไม่ล้นตลิ่ง ได้แก่ สถานี Y.20 สถานี Y.14 และสถานี Y.17

ในช่วงอนาคตอันไกล พบว่ามีเพียงสถานี Y.16 เท่านั้น ที่จะเกิดน้ำล้นตลิ่งที่ระดับน้ำสูงสุดในทุกคาบการเกิดซ้ำ สถานี Y.3A จะเกิดน้ำล้นตลิ่งตั้งแต่คาบการเกิดซ้ำ 10 ปีขึ้นไป สถานี Y.33 จะเกิดน้ำล้นตลิ่งตั้งแต่คาบการเกิดซ้ำ 25 ปีขึ้นไป ส่วนสถานี Y.1C และสถานี Y.6 จะเกิดน้ำล้นตลิ่งตั้งแต่คาบการเกิดซ้ำ 50 ปีขึ้นไป ส่วนสถานีที่คาดว่าน้ำจะไม่ล้นตลิ่ง ได้แก่ สถานี Y.20 สถานี Y.14 และสถานีวัดน้ำท่า Y.17

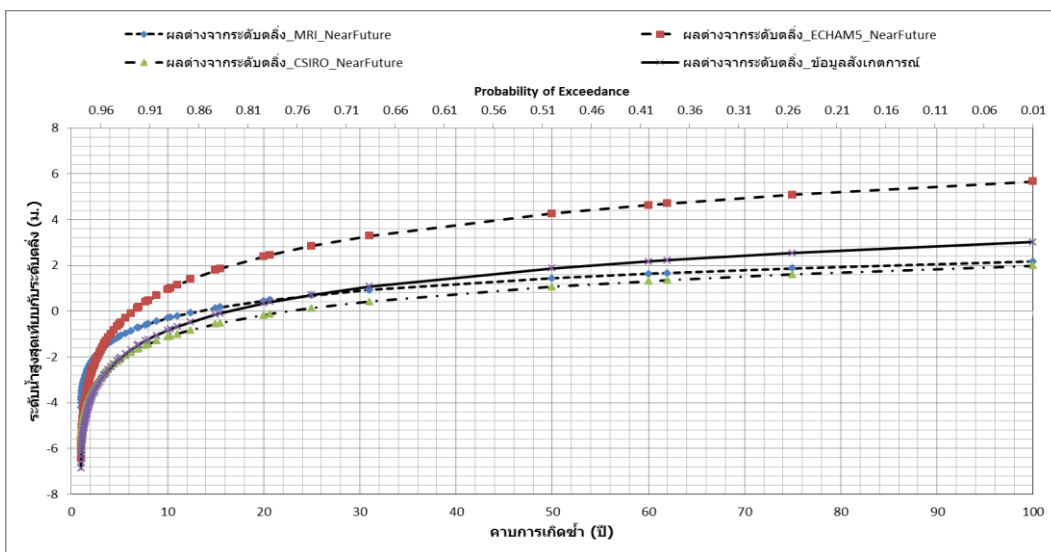
ผลกระทบของระดับน้ำสูงสุดเทียบกับระดับตลิ่งในช่วงอนาคตอันใกล้และอนาคตอันไกลที่คาบการเกิดซ้ำ 5 ปี 10 ปี 15 ปี 20 ปี 25 ปี 50 ปี 75 ปี และ 100 ปี ได้สรุปไว้ในตารางที่ 5-23 ถึง 5-29



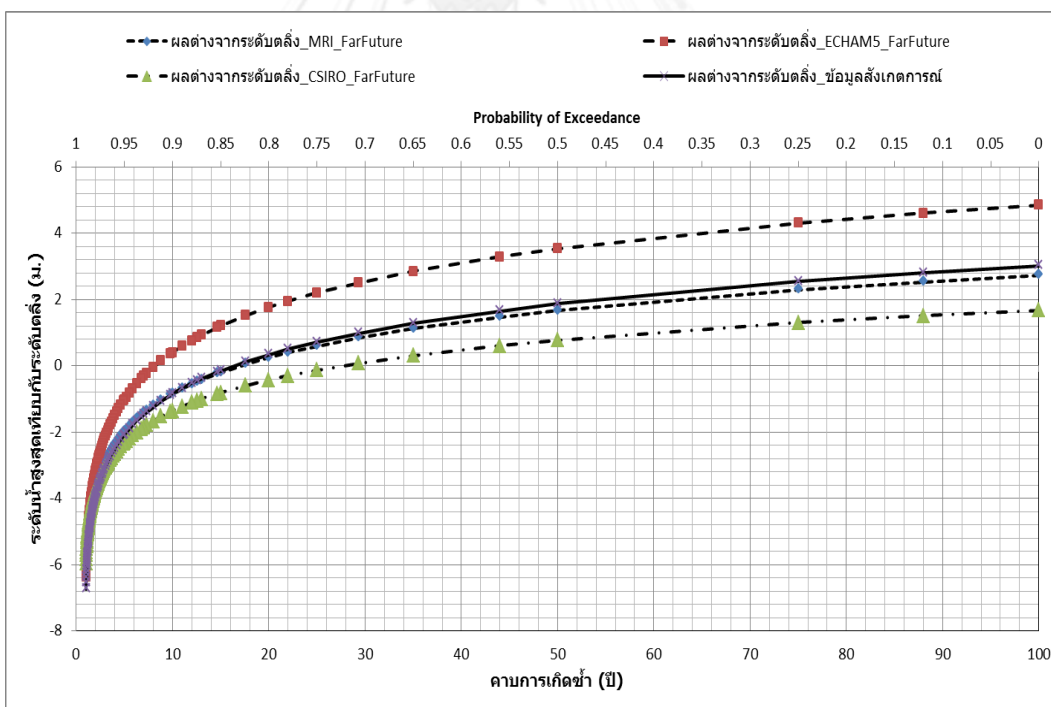
รูปที่ 5-35 ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับตลิ่ง ณ สถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.20 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ.2015-2039)



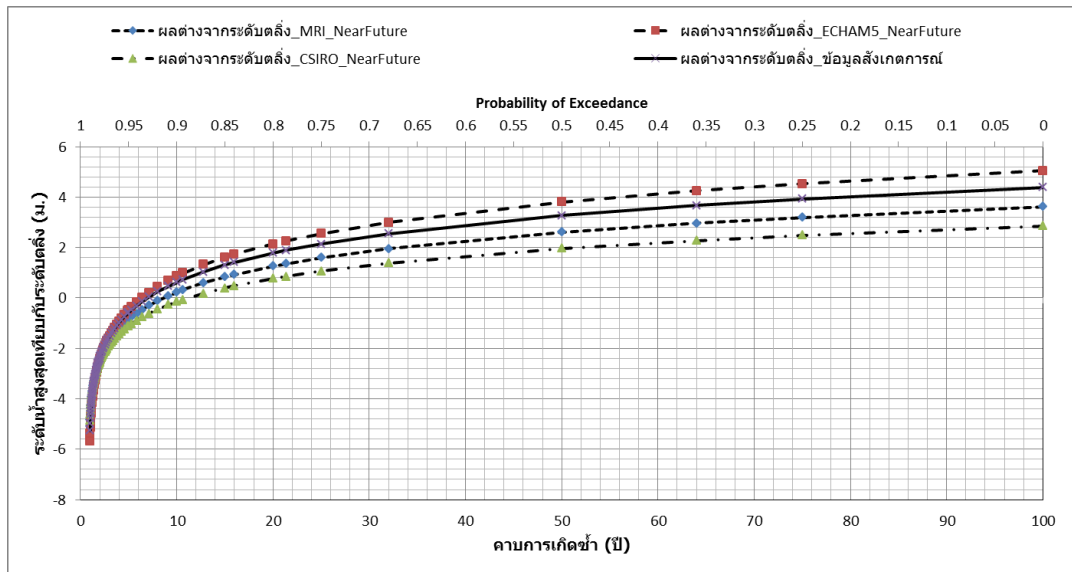
รูปที่ 5-36 ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับตลิ่ง ณ สถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.20 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ.2075-2099)



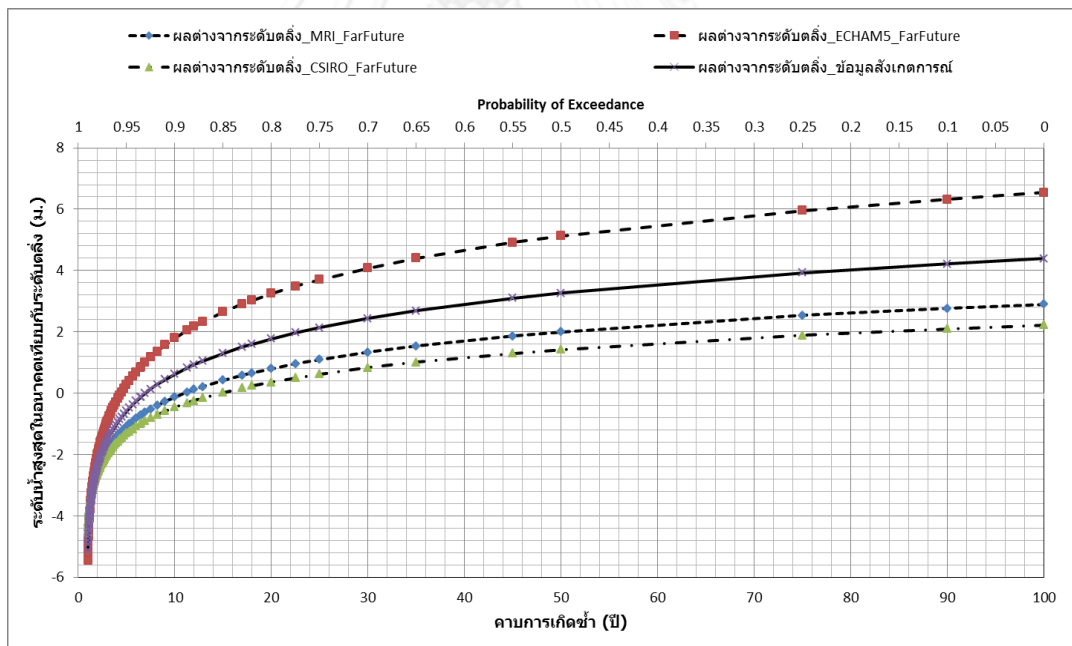
รูปที่ 5-37 ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับตลิ่ง ณ สถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.1C ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ.2015-2039)



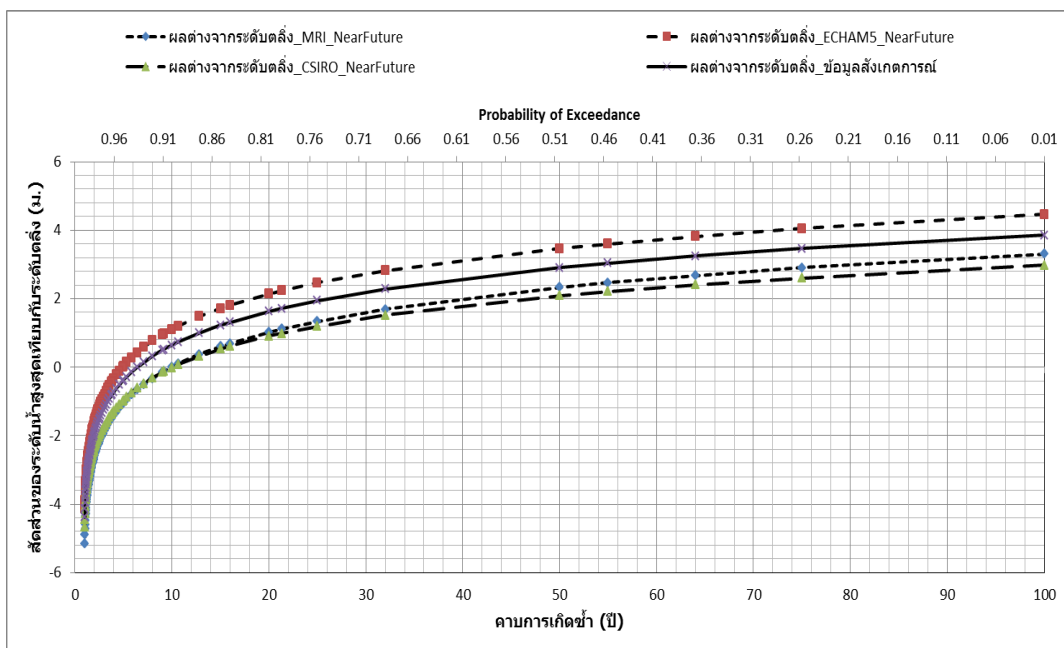
รูปที่ 5-38 ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับตลิ่ง ณ สถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.1C ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ.2075-2099)



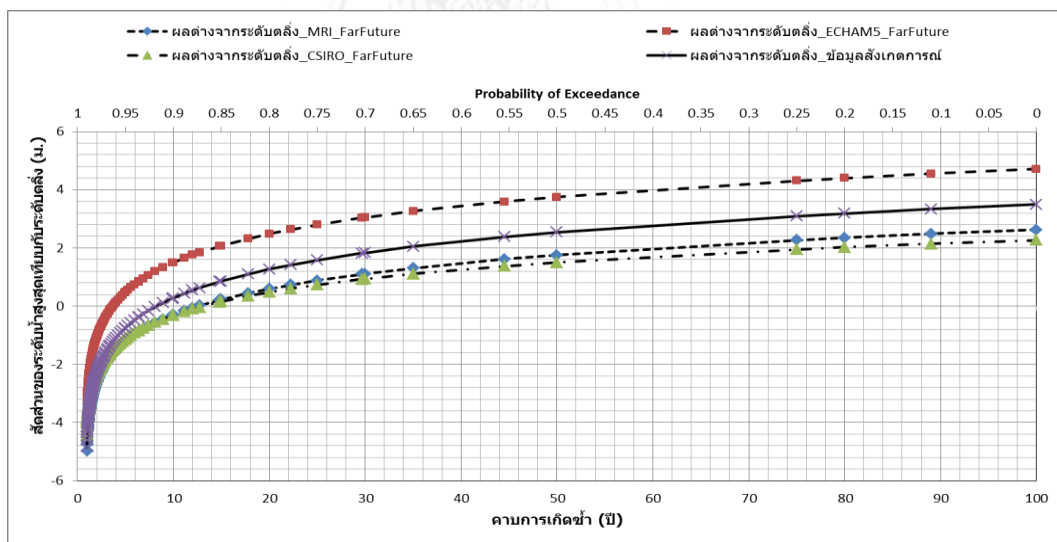
รูปที่ 5-39 ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับตลิ่ง ณ สถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.14 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ.2015-2039)



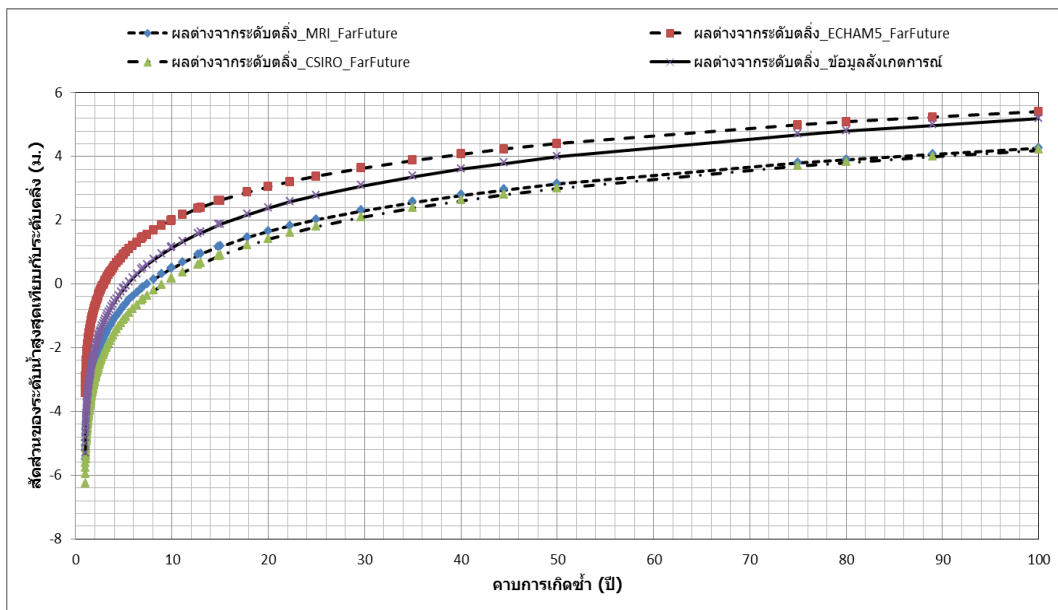
รูปที่ 5-40 ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับตลิ่ง ณ สถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.14 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ.2075-2099)



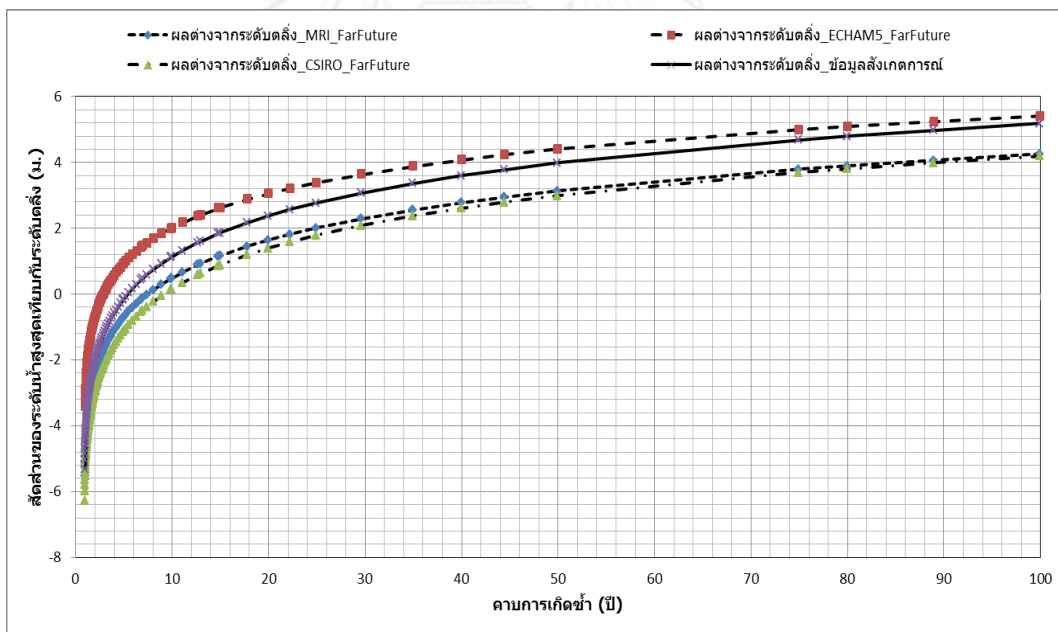
รูปที่ 5-41 ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับตลิ่ง ณ สถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.6 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ.2015-2039)



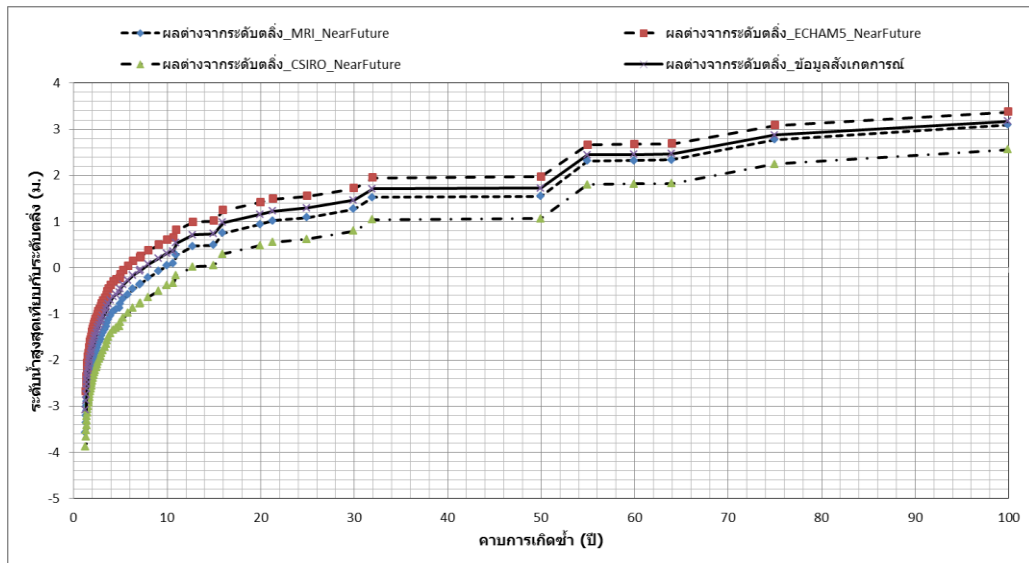
รูปที่ 5-42 ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับตลิ่ง ณ สถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.6 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ.2075-2099)



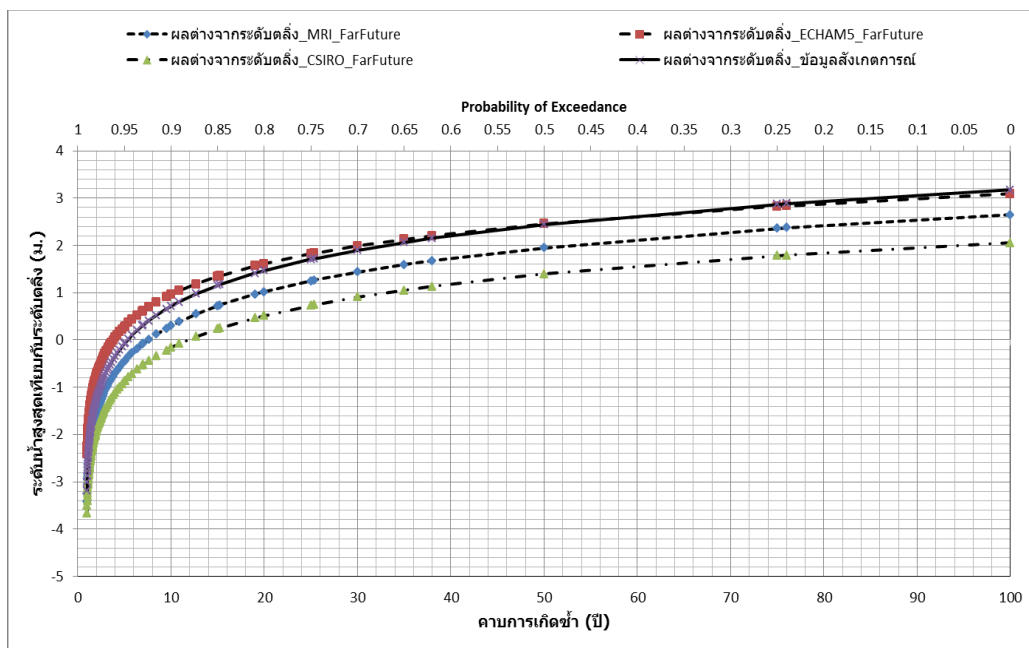
รูปที่ 5-43 ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับตลิ่ง ณ สถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.3A ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ.2015-2039)



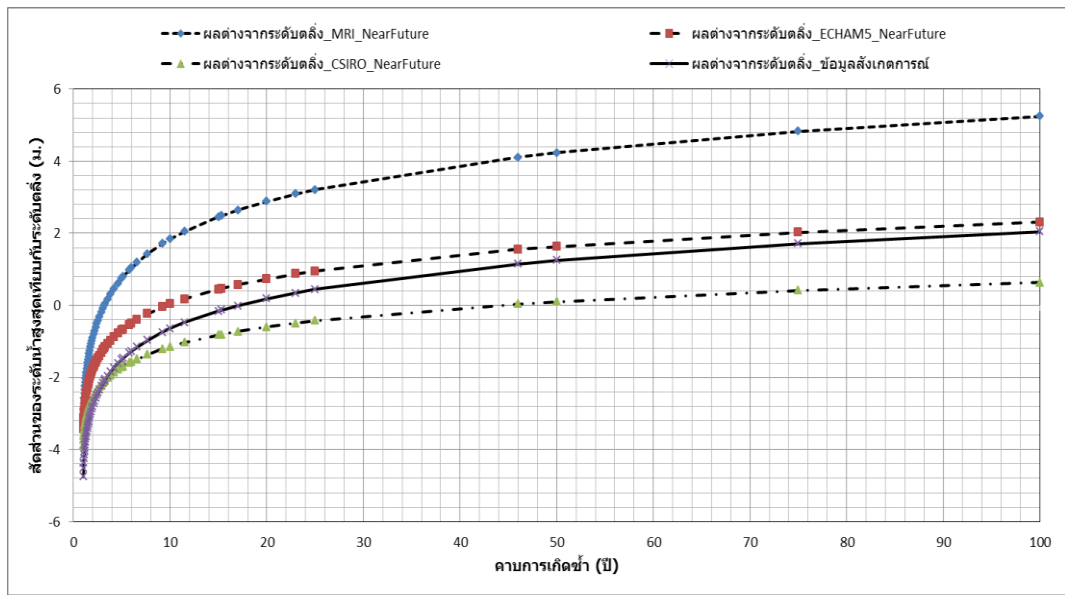
รูปที่ 5-44 ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับตลิ่ง ณ สถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.3A ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ.2075-2099)



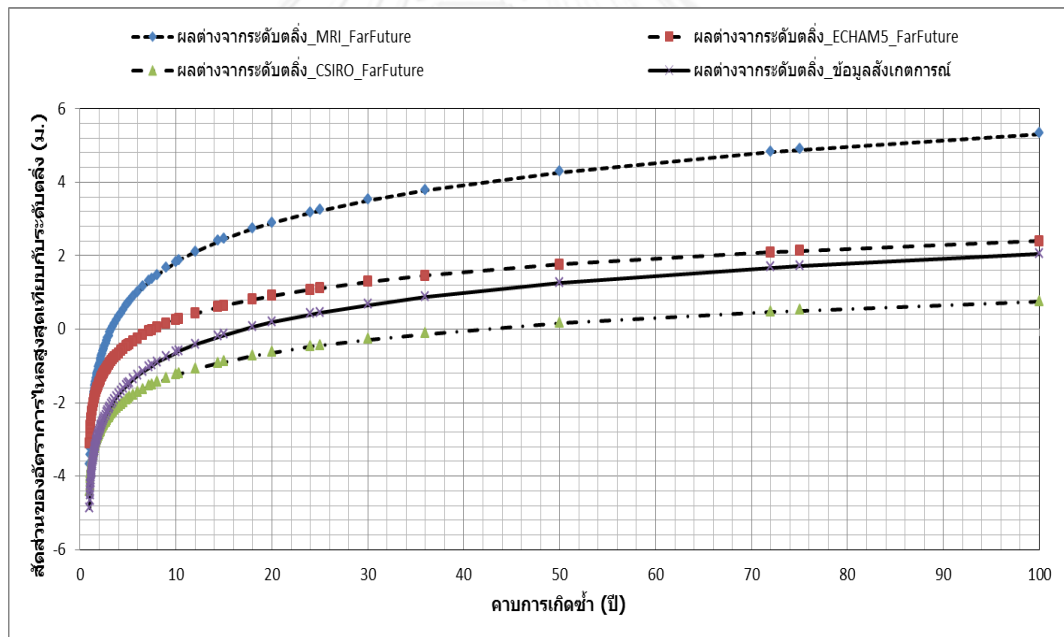
รูปที่ 5-45 ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับตลิ่ง ณ สถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.33 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ.2015-2039)



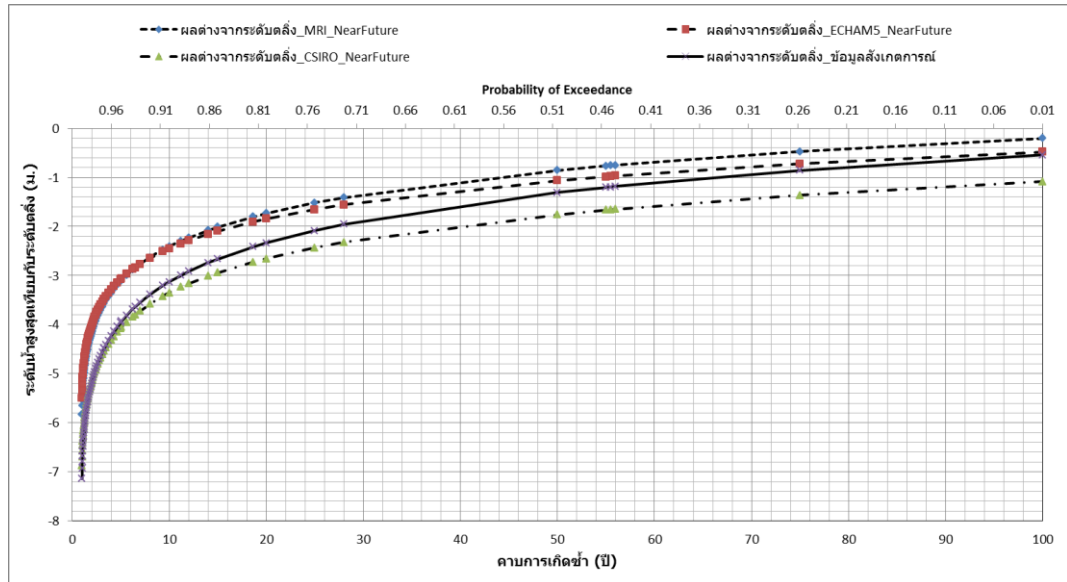
รูปที่ 5-46 ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับตลิ่ง ณ สถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.33 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ.2075-2099)



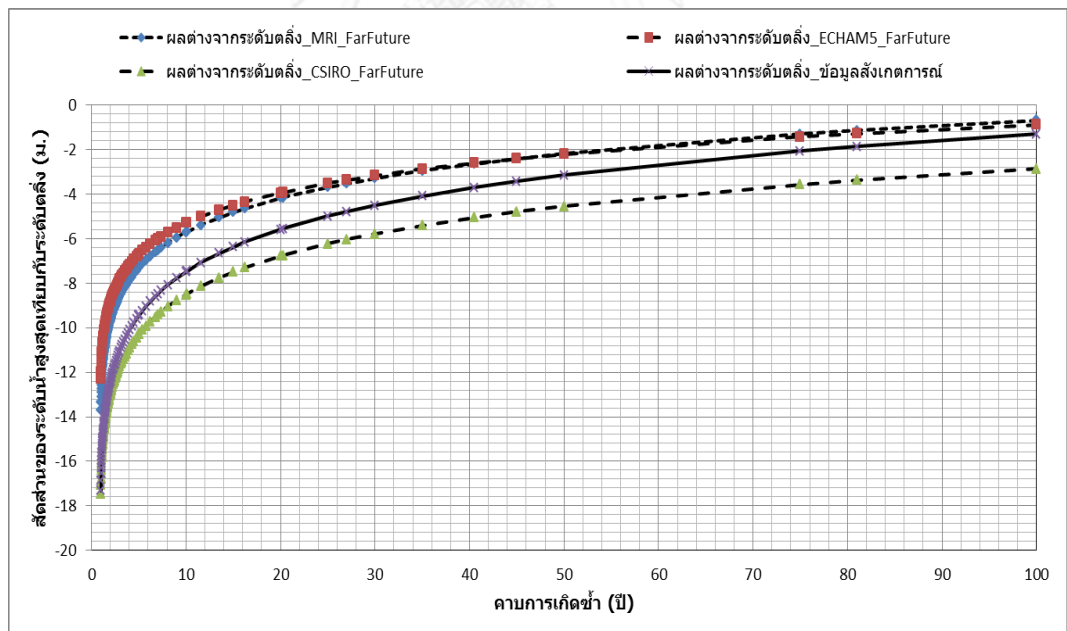
รูปที่ 5-47 ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับตลิ่ง ณ สถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.16 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ.2015-2039)



รูปที่ 5-48 ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับตลิ่ง ณ สถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.16 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ.2075-2099)



รูปที่ 5-49 ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับตลิ่ง ณ สถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.17 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ.2015-2039)



รูปที่ 5-50 ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับตลิ่ง ณ สถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.17 ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ.2075-2099)

ตารางที่ 5-23 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงสุดเทียบกับระดับตลิ่งผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.20 ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วง
อนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015–2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075–2099)

สถานี	Tr (ปี)	ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับระดับตลิ่ง (ม.)								ช่วงพิสัยการเปลี่ยนแปลงระหว่าง แบบจำลอง (ม.)			
		MRI		ECHAM5		CSIRO-MK3.5		ข้อมูลสังเกตการณ์		NF		FF	
		NF	FF	NF	FF	NF	FF	NF	FF	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
Y.20	100	-1.66	-2.21	-1.23	-0.51	-1.74	-2.30	-1.44	-1.75	-1.23	-1.74	-0.51	-2.30
	75	-2.01	-2.54	-1.56	-0.85	-2.10	-2.64	-1.72	-2.09	-1.56	-2.10	-0.85	-2.64
	50	-2.51	-3.00	-2.03	-1.35	-2.61	-3.12	-2.13	-2.58	-2.03	-2.61	-1.35	-3.12
	25	-3.37	-3.79	-2.83	-2.19	-3.49	-3.95	-2.84	-3.42	-2.83	-3.49	-2.19	-3.95
	20	-3.65	-4.05	-3.09	-2.47	-3.77	-4.21	-3.07	-3.69	-3.09	-3.77	-2.47	-4.21
	15	-4.01	-4.38	-3.43	-2.83	-4.14	-4.56	-3.36	-4.04	-3.43	-4.14	-2.83	-4.56
	10	-4.53	-4.86	-3.92	-3.34	-4.67	-5.06	-3.79	-4.55	-3.92	-4.67	-3.34	-5.06
	5	-5.44	-5.71	-4.78	-4.24	-5.61	-5.94	-4.54	-5.44	-4.78	-5.61	-4.24	-5.94

หมายเหตุ: NF = ช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039)

FF = ช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099)

ตารางที่ 5-24 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงสุดเทียบกับระดับตลิ่งผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.1C ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วง
อนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015–2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075–2099)

สถานี	Tr (ปี)	ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับระดับตลิ่ง (ม.)								ช่วงพิสัยการเปลี่ยนแปลงระหว่าง แบบจำลอง (ม.)			
		MRI		ECHAM5		CSIRO-MK3.5		ข้อมูลสังเกตการณ์		NF		FF	
		NF	FF	NF	FF	NF	FF	NF	FF	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
Y.1C	100	+2.17	+2.73	+5.67	+4.85	+1.99	+1.67	+3.01	+3.01	+5.67	+1.99	+4.85	+1.67
	75	+1.86	+2.29	+5.08	+4.30	+1.60	+1.30	+2.54	+2.54	+5.08	+1.60	+4.30	+1.30
	50	+1.43	+1.66	+4.26	+3.53	+1.06	+0.77	+1.87	+1.87	+4.26	+1.06	+3.53	+0.77
	25	+0.69	+0.59	+2.84	+2.20	+0.13	-0.14	+0.71	+0.71	+2.84	+0.13	+2.20	-0.14
	20	+0.45	+0.25	+2.38	+1.77	-0.18	-0.43	+0.34	+0.34	+2.38	-0.18	+1.77	-0.43
	15	+0.13	-0.20	+1.79	+1.20	-0.57	-0.81	-0.15	-0.15	+1.79	-0.57	+1.20	-0.81
	10	-0.32	-0.85	+0.94	+0.40	-1.13	-1.36	-0.85	-0.85	+0.94	-1.13	+0.40	-1.36
	5	-1.11	-1.99	-0.58	-1.02	-2.13	-2.32	-2.08	-2.08	-0.58	-2.13	-1.02	-2.32

หมายเหตุ: NF = ช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039)

FF = ช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099)

ตารางที่ 5-25 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงสุดเทียบกับระดับตลิ่งผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.14 ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วง
อนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015–2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075–2099)

สถานี	Tr (ปี)	ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับระดับตลิ่ง (ม.)								ช่วงพิสัยการเปลี่ยนแปลงระหว่าง แบบจำลอง (ม.)			
		MRI		ECHAM5		CSIRO-MK3.5		ข้อมูลสังเกตการณ์		NF		FF	
		NF	FF	NF	FF	NF	FF	NF	FF	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
Y.14	100	+3.61	+2.90	+5.05	+6.54	+2.85	+2.22	+4.39	+2.22	+5.05	+2.85	+6.54	+2.22
	75	+3.20	+2.53	+4.53	+5.95	+2.48	+1.89	+3.92	+1.89	+4.53	+2.48	+5.95	+1.89
	50	+2.61	+2.00	+3.80	+5.13	+1.96	+1.43	+3.27	+1.43	+3.80	+1.96	+5.13	+1.43
	25	+1.59	+1.10	+2.55	+3.71	+1.06	+0.62	+2.14	+0.62	+2.55	+1.06	+3.71	+0.62
	20	+1.26	+0.80	+1.26	+3.25	+0.77	+0.36	+1.78	+0.36	+1.26	+0.77	+3.25	+0.36
	15	+0.84	+0.42	+0.84	+2.65	+0.39	+0.03	+1.30	+0.03	+0.84	+0.39	+2.65	+0.03
	10	+0.22	-0.13	+0.22	+1.79	-0.15	-0.46	+0.62	-0.46	+0.22	-0.15	+1.79	-0.46
	5	-0.86	-1.09	-0.86	+0.28	-1.11	-1.31	-0.58	-1.31	-0.86	-1.11	+0.28	-1.31

หมายเหตุ: NF = ช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039)

FF = ช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099)

ตารางที่ 5-26 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงสุดเทียบกับระดับตลิ่งผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.6 ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015–2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075–2099)

สถานี	Tr (ปี)	ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับระดับตลิ่ง (ม.)								ช่วงพิสัยการเปลี่ยนแปลงระหว่าง แบบจำลอง (ม.)			
		MRI		ECHAM5		CSIRO-MK3.5		ข้อมูลสังเกตการณ์		NF		FF	
		NF	FF	NF	FF	NF	FF	NF	FF	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
Y.6	100	+3.31	+2.63	+4.46	+4.71	+2.97	+2.27	+3.86	+3.49	+4.46	+2.97	+4.71	+2.27
	75	+2.90	+2.48	+4.05	+4.55	+2.61	+1.95	+3.46	+3.10	+4.05	+2.61	+4.55	+1.95
	50	+2.33	+2.35	+3.47	+4.40	+2.09	+1.50	+2.90	+2.54	+3.47	+2.09	+4.40	+1.50
	25	+1.34	+2.27	+2.46	+4.31	+1.19	+0.73	+1.94	+1.58	+2.46	+1.19	+4.31	+0.73
	20	+0.05	+0.60	+2.14	+2.48	+0.90	+0.48	+1.63	+1.26	+2.14	+0.90	+2.48	+0.48
	15	+0.07	+0.23	+1.71	+2.08	+0.53	+0.15	+1.22	+0.86	+1.71	+0.53	+2.08	+0.15
	10	+0.10	-0.30	+1.11	+1.50	-0.01	-0.31	+0.65	+0.28	+1.11	-0.01	+1.50	-0.31
	5	+0.20	-1.23	+0.04	+0.47	-0.96	-1.14	-0.28	-0.74	+0.04	-0.96	+0.47	-1.23

หมายเหตุ: NF = ช่วงอนาคตอันใกล้ ค.ศ. 2015-2039)

FF = ช่วงอนาคตอันไกล ค.ศ. 2075-2099)

ตารางที่ 5-27 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงสุดเทียบกับระดับตลิ่งผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.3A ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วง
อนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015–2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075–2099)

สถานี	Tr (ปี)	ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับระดับตลิ่ง (ม.)								ช่วงพิสัยการเปลี่ยนแปลงระหว่าง แบบจำลอง (ม.)			
		MRI		ECHAM5		CSIRO-MK3.5		ข้อมูลสังเกตการณ์		NF		FF	
		NF	FF	NF	FF	NF	FF	NF	FF	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
Y.3A	100	+6.99	+4.25	+9.03	+5.41	+7.50	+4.19	+8.49	+5.18	+9.03	+6.99	+5.41	+4.19
	75	+6.21	+3.79	+8.29	+4.99	+6.64	+3.69	+7.68	+4.69	+8.29	+6.21	+4.99	+3.69
	50	+5.12	+3.13	+7.24	+4.40	+5.44	+2.99	+6.52	+3.98	+7.24	+5.12	+4.40	+2.99
	25	+3.24	+2.01	+5.45	+3.38	+3.36	+1.79	+4.54	+2.77	+5.45	+3.24	+3.38	+1.79
	20	+2.63	+1.64	+4.87	+3.05	+2.69	+1.39	+2.69	+2.38	+4.87	+2.63	+3.05	+1.39
	15	+1.84	+1.17	+4.11	+2.62	+1.82	+0.89	+3.06	+1.87	+4.11	+1.84	+2.62	+0.89
	10	+0.71	+0.49	+3.03	+2.01	+0.57	+0.16	+1.87	+1.14	+3.03	+0.71	+2.01	+0.16
	5	-1.29	-0.71	+1.11	+0.92	+1.11	-0.15	-0.25	-0.15	+1.11	-1.29	+0.92	-0.71

หมายเหตุ: NF = ช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039)

FF = ช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099)

ตารางที่ 5-28 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงสุดเทียบกับระดับตลิ่งผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.33 ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วง
อนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015–2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075–2099)

สถานี	Tr (ปี)	ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับระดับตลิ่ง (ม.)								ช่วงพิสัยการเปลี่ยนแปลงระหว่าง แบบจำลอง (ม.)			
		MRI		ECHAM5		CSIRO-MK3.5		ข้อมูลสังเกตการณ์		NF		FF	
		NF	FF	NF	FF	NF	FF	NF	FF	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
Y.33	100	+3.09	+2.65	+3.37	+3.09	+2.56	+2.06	+3.18	+3.17	+3.37	+2.56	+3.09	+2.06
	75	+2.77	+2.36	+3.08	+2.83	+2.24	+1.78	+2.87	+2.87	+3.08	+2.24	+2.83	+1.78
	50	+1.55	+1.95	+1.97	+2.46	+1.07	+1.39	+1.73	+2.44	+1.97	+1.07	+2.46	+1.39
	25	+1.09	+1.25	+1.55	+1.82	+0.62	+0.73	+1.29	+1.71	+1.55	+0.62	+1.82	+0.73
	20	+0.94	+1.02	+1.41	+1.61	+0.48	+0.51	+1.15	+1.47	+1.41	+0.48	+1.61	+0.51
	15	+0.49	+0.72	+1.01	+1.34	+0.04	+0.23	+0.73	+1.15	+1.01	+0.04	+1.34	+0.23
	10	+0.04	+0.30	+0.60	+0.96	-0.39	-0.16	+0.31	+0.71	+0.60	-0.39	+0.96	-0.16
	5	-0.78	+0.20	-0.14	+0.28	-1.18	-0.87	-0.45	-0.07	-0.14	-1.18	+0.28	-0.87

หมายเหตุ: NF = ช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039)

FF = ช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099)

ตารางที่ 5-29 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงสุดเทียบกับระดับตลิ่งผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.16 ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วง
อนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015–2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075–2099)

สถานี	Tr (ปี)	ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับระดับตลิ่ง (ม.)								ช่วงพิสัยการเปลี่ยนแปลงระหว่าง แบบจำลอง (ม.)			
		MRI		ECHAM5		CSIRO-MK3.5		ข้อมูลสังเกตการณ์		NF		FF	
		NF	FF	NF	FF	NF	FF	NF	FF	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
Y.16	100	+5.24	+5.31	+2.31	+2.40	+0.63	+0.75	+2.05	+2.05	+5.24	+0.63	+5.31	+0.75
	75	+4.83	+4.88	+2.03	+2.13	+0.42	+0.50	+1.72	+1.72	+4.83	+0.42	+4.88	+0.50
	50	+4.23	+4.27	+1.63	+1.76	+0.11	+0.15	+1.25	+1.25	+4.23	+0.11	+4.27	+0.15
	25	+3.21	+3.23	+0.95	+1.12	-0.43	-0.45	+0.44	+0.44	+3.21	-0.43	+3.23	-0.45
	20	+2.88	+2.89	+0.73	+0.91	-0.60	-0.64	+0.18	+0.18	+2.88	-0.60	+2.89	-0.64
	15	+2.45	+2.45	+0.45	+0.64	-0.82	-0.89	-0.16	-0.16	+2.45	-0.82	+2.45	-0.89
	10	+1.83	+1.81	+0.04	+0.26	-1.14	-1.26	-0.64	-0.64	+1.83	-1.14	+1.81	-1.26
	5	+0.75	+0.70	-0.69	-0.43	-1.71	-1.90	-1.50	-1.50	+0.75	-1.71	+0.70	-1.90

หมายเหตุ: NF = ช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039)

FF = ช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099)

ตารางที่ 5-30 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงสุดเทียบกับระดับตลิ่งผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.17 ของแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วง
อนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015–2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075–2099)

สถานี	Tr (ปี)	ระดับน้ำสูงสุดเทียบกับระดับตลิ่ง (ม.)								ช่วงพิสัยการเปลี่ยนแปลงระหว่าง แบบจำลอง (ม.)			
		MRI		ECHAM5		CSIRO-MK3.5		ข้อมูล สังเกตการณ์		NF		FF	
		NF	FF	NF	FF	NF	FF	NF	FF	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
Y.17	100	-0.20	-0.69	-0.48	-0.88	-1.08	-2.86	-0.54	-1.30	-0.20	-1.08	-0.69	-2.86
	75	-0.47	-1.31	-0.73	-1.42	-1.36	-3.55	-0.86	-2.06	-0.47	-1.36	-1.31	-3.55
	50	-0.86	-2.18	-1.07	-2.19	-1.76	-4.54	-1.31	-3.13	-0.86	-1.76	-2.18	-4.54
	25	-1.52	-3.52	-1.66	-3.51	-2.44	-6.23	-2.08	-4.99	-1.52	-2.44	-3.51	-6.23
	20	-1.73	-4.17	-1.85	-3.94	-2.66	-6.78	-2.33	-5.59	-1.73	-2.66	-3.94	-6.78
	15	-2.01	-4.81	-2.09	-4.50	-2.94	-7.49	-2.66	-6.37	-2.01	-2.94	-4.50	-7.49
	10	-2.41	-5.71	-2.45	-5.30	-3.35	-8.51	-3.13	-7.48	-2.41	-3.35	-5.30	-8.51
	5	-3.11	-7.32	-3.08	-6.70	-4.08	-10.31	-3.95	-9.46	-3.08	-4.08	-6.70	-10.31

หมายเหตุ: NF = ช่วงอนาคตอันใกล้ ค.ศ. 2015-2039)

FF = ช่วงอนาคตอันไกล ค.ศ. 2075-2099)

5.3.4 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกต่อพื้นที่อุทกภัยในจังหวัดสุโขทัย

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกจะส่งผลกระทบต่อสภาพน้ำฝนและน้ำท่าในจังหวัดสุโขทัย จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพอุทกภัย ซึ่งในที่นี้อาจแสดงออกมาในรูปของระดับน้ำที่ล้นตลิ่ง หรือพื้นที่การเกิดอุทกภัย

จากที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ถึงสาเหตุของการเกิดอุทกภัยในจังหวัดสุโขทัย อันเกิดจากน้ำยมไหลล้นตลิ่ง หรือฝนตกหนักในพื้นที่ตอนเหนือของกลุ่มน้ำ ซึ่งทั้งสองกรณีจะทำให้เกิดอุทกภัยเป็นบริเวณกว้าง โดยเฉพาะพื้นที่ราบลุ่มอุทกภัยสองฝั่งของแม่น้ำยมจะได้รับผลกระทบค่อนข้างมาก ดังนั้นการอธิบายสภาพอุทกภัยจากพื้นที่อุทกภัยจะทำให้เห็นถึงขนาดของปัญหาได้ชัดเจนมากที่สุด อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการศึกษาในครั้งนี้ได้ใช้แบบจำลอง HEC-RAS สำหรับจำลองอนุกรมเวลาของระดับน้ำ ดังนั้นจึงสามารถวิเคราะห์สภาพอุทกภัยในแง่มุมของระดับน้ำล้นตลิ่งได้ แต่ไม่สามารถวิเคราะห์พื้นที่อุทกภัยได้อย่างน่าเชื่อถือนัก ส่วนหนึ่งเป็นเพราะข้อจำกัดพื้นฐานของแบบจำลองซึ่งพิจารณาการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์การไหลตามแกนของลำน้ำ (longitudinal axis) เพียงอย่างเดียว

ด้วยเหตุนี้ การศึกษาพื้นที่อุทกภัยในอนาคตของจังหวัดสุโขทัยในครั้งนี้ จะกระทำโดยการรวบรวมข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็น ได้แก่ ข้อมูลย้อนหลังของพื้นที่อุทกภัย และอัตราการไหลสูงสุดรายวันผ่านสถานีวัดน้ำท่า Y.14 อ.ศรีสัชนาลัย จ. สุโขทัย จากการศึกษาของหน่วยปฏิบัติการวิจัยระบบการจัดการแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2556) มาสร้างความสัมพันธ์ด้วยสมการถดถอยอย่างง่าย ดังแสดงในรูปที่ 5-51 จากกราฟแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์อย่างค่อนข้างใกล้ชิดระหว่างพื้นที่อุทกภัยกับอัตราการไหลสูงสุดของสถานี Y.14 และผลที่ได้สามารถนำมาใช้ประมาณพื้นที่อุทกภัยในอนาคตภายใต้แบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ได้ต่อไป

ผลการศึกษาเปรียบเทียบพื้นที่อุทกภัยในอนาคตจากแบบจำลองทั้งสาม ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5-31 ซึ่งสรุปโดยสังเขปได้ดังนี้

แบบจำลองMRI-AGCM 3.1S เมื่อพิจารณาอัตราการไหลสูงสุดผ่านสถานี Y.14 ที่คาบการเกิดซ้ำ ตั้งแต่ 5 ปี จนถึง 100 ปี พบว่าในช่วงอนาคตอันใกล้ พื้นที่อุทกภัยของจังหวัดสุโขทัยตั้งแต่สถานี Y.14 จนจรดสถานี Y.17 จะลดลงระหว่าง 19.16%-19.44% จากปัจจุบัน ส่วนช่วงอนาคตอันไกล พื้นที่อุทกภัยจะลดลงในอัตราที่เพิ่มขึ้นเป็น 20.00%-23.91% จากปัจจุบัน

ตารางที่ 5-31 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงพื้นที่อุทกภัยของแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO ในช่วงอนาคตอันใกล้และไกล

แบบจำลอง ภูมิอากาศโลก	พื้นที่อุทกภัย -อนาคตอันใกล้ (ตร. กม.)					พื้นที่อุทกภัย-อนาคตอันไกล (ตร.กม.)				
	100 ปี	50 ปี	25 ปี	10 ปี	5 ปี	100 ปี	50 ปี	25 ปี	10 ปี	5 ปี
MRI-AGCM 3.1S	2,405	2,159	1,912	1,798	1,470	2,308	2,083	1,856	1,550	1,308
ECHAM5	2,951	2,643	2,334	1,917	1,587	3,018	2,716	2,412	2,003	1,679
CSIRO-MK3.5	2,773	2,459	2,142	1,716	1,379	2,522	2,246	1,968	1,593	1,297
แบบจำลอง ภูมิอากาศโลก	การเปลี่ยนแปลงพื้นที่อุทกภัย -อนาคตอันใกล้ (%)					การเปลี่ยนแปลงพื้นที่อุทกภัย-อนาคตอันไกล (%)				
	100 ปี	50 ปี	25 ปี	10 ปี	5 ปี	100 ปี	50 ปี	25 ปี	10 ปี	5 ปี
MRI-AGCM 3.1S	-19.44	-19.41	-19.37	-19.29	-19.16	-23.92	-23.53	-22.99	-21.80	-19.99
ECHAM5	+5.78	+6.63	+7.82	+18.03	+25.86	+8.88	+10.54	+12.88	+18.03	+25.86
CSIRO-MK3.5	-2.42	-3.28	-4.50	-7.18	-11.24	-14.00	-14.73	-15.75	-18.00	-21.43

แบบจำลอง ECHAM5 เมื่อพิจารณาอัตราการไหลสูงสุดผ่านสถานี Y.14 ที่คาบการเกิดซ้ำ ตั้งแต่ 5 ปี จนถึง 100 ปี พบว่าในช่วงอนาคตอันใกล้ พื้นที่อุทกภัยของจังหวัดสุโขทัยตั้งแต่สถานี Y.14 จนจรดสถานี Y.17 จะเพิ่มขึ้นระหว่าง 5.78%-14.45% จากปัจจุบัน ส่วนช่วงอนาคตอันไกล พื้นที่อุทกภัยจะเพิ่มขึ้นอีกระหว่าง 8.88%-25.86% จากปัจจุบัน

แบบจำลอง CSIRO-MK3.5 เมื่อพิจารณาอัตราการไหลสูงสุดผ่านสถานี Y.14 ที่คาบการเกิดซ้ำ ตั้งแต่ 5 ปี จนถึง 100 ปี พบว่าในช่วงอนาคตอันใกล้ พื้นที่อุทกภัยของจังหวัดสุโขทัยตั้งแต่สถานี Y.14 จนจรดสถานี Y.17 จะลดลงระหว่าง 2.43%-11.24% จากปัจจุบัน ส่วนช่วงอนาคตอันไกล พื้นที่อุทกภัยจะลดลงในอัตราที่เพิ่มขึ้นเป็น 14.00%-21.43% จากปัจจุบัน

5.4 การปรับตัวเบื้องต้นต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโลกในจังหวัดสุโขทัย

การศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีต่อสภาพน้ำฝน-น้ำท่า กระบวนการทั้งหมดเริ่มด้วยการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติ จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 การย่อส่วนข้อมูลฝนและปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติจากฝนของแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 เพื่อปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลฝนรายวันให้สามารถใช้ในการวิเคราะห์สภาพน้ำท่าด้วยแบบจำลองอุทกวิทยาได้ หลังจากทดสอบเทียบและสอบทานข้อมูลน้ำท่ารายวันของปี ค.ศ. 2002 และ ค.ศ. 2006 และจำลองสภาพน้ำท่าในช่วงปีดังกล่าวด้วยแบบจำลองภูมิอากาศโลกทั้งสามแล้ว จึงทำการวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกที่มีต่อน้ำฝนน้ำท่า ในจังหวัดสุโขทัยและพื้นที่ใกล้เคียง ในอนาคตอันใกล้และไกล โดยเปรียบเทียบแนวโน้มการกระจายความถี่ของปริมาณฝนสะสมและอัตราการไหลรายวันสูงสุดในสถานีน้ำฝนและน้ำท่าที่ศึกษาว่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงเท่าใดจากปัจจุบัน ผลกระทบที่ได้จากการวิเคราะห์จะเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับแนวทางการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกต่อไป

5.4.1 การปรับตัวต่อสภาพอุทกภัยในพื้นที่จังหวัดสุโขทัย

ในหัวข้อ 3.3 ได้กล่าวถึงลักษณะและสาเหตุการเกิดอุทกภัยในลุ่มน้ำยมและจังหวัดสุโขทัย ซึ่งพบว่าเป็นพื้นที่ซึ่งต้องประสบกับภัยพิบัติทางธรรมชาติโดยเฉพาะอุทกภัยเป็นประจำเกือบทุกปี จากหลายสาเหตุ ได้แก่ ปริมาณที่ฝนตกหนักในพื้นที่ลุ่มน้ำ สภาพพื้นที่ลุ่มต่ำความลาดชันน้อย แม่น้ำยมช่วงตัวเมืองสุโขทัยคอคดแคบ ความสามารถการระบายน้ำต่ำ ขาดการบำรุงรักษาสภาพลำน้ำคูคลองสาขา ขาดเครื่องมือในการจัดการน้ำซึ่งโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น เขื่อนกักเก็บน้ำ บริเวณตอนบนของลุ่มน้ำ ระบบสาธารณูปโภคที่หลายครั้งกีดขวางเป็นอุปสรรคต่อการระบายน้ำ เช่น จำนวนช่องระบายน้ำของถนนไม่เพียงพอ ช่องเปิดของสะพานข้ามลำน้ำค่อนข้างแคบ หรือการถมตัดถนนปิดกั้นลำน้ำ เป็นต้น ทั้งหมดนี้ทางผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทางภาครัฐ เช่น กรมชลประทานจังหวัด

สุโขทัย (ภายใต้สำนักชลประทานที่ 4) สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยประจำจังหวัด (กระทรวงมหาดไทย) รวมถึงองค์การปกครองส่วนท้องถิ่นและเทศบาลเมืองสุโขทัย และภาคประชาชน ซึ่งลักษณะการปรับตัวของสองกลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลัก สรุปพอสังเขปไว้ดังนี้

5.4.1.1 แนวทางการปรับตัวต่อสภาพอุทกภัยในจังหวัดสุโขทัย: ภาครัฐ

ภาครัฐที่รับผิดชอบเรื่องอุทกภัย แบ่งออกเป็น กลุ่มวางแผนป้องกันและก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐาน ได้แก่ กรมชลประทาน และกลุ่มที่ให้ความช่วยเหลือฟื้นฟูสถานการณ์ ได้แก่ สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย องค์การบริหารส่วนท้องถิ่นและเทศบาลเมืองสุโขทัย

กรมชลประทาน ภายใต้ชื่อโครงการ “โครงการพัฒนาพื้นที่พิเศษในลุ่มน้ำยมแบบบูรณาการ” ปี พ.ศ. 2553 มีแนวคิดหลักที่เกี่ยวข้องกับการจัดการปัญหาอุทกภัย 4 ประการ ได้แก่ การผันน้ำหลาก การจัดการพื้นที่รองรับอุทกภัยและพื้นที่แก้มลิง การพัฒนาโครงการแหล่งน้ำขนาดกลาง การพัฒนาโครงการแหล่งน้ำขนาดใหญ่ และการพัฒนาพื้นที่พิเศษเพื่อรองรับผู้ได้รับผลกระทบ พื้นที่รับผิดชอบออกเป็นสามส่วน ได้แก่ ต้นน้ำ กลางน้ำ ปลายน้ำ พื้นที่ต้นน้ำมีลักษณะเป็นเทือกเขาสูงชันสามารถพัฒนาอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดเล็ก เพื่อกักเก็บน้ำในฤดูฝน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำท่ารายปีลุ่มน้ำ อันเป็นการบรรเทาอุทกภัยและกักเก็บน้ำไว้ในช่วงฤดูแล้ง นอกจากนี้ต้องมีการอนุรักษ์พื้นที่ป่าต้นน้ำอีกด้วย สำหรับพื้นที่กลางน้ำ ความสามารถระบายลดลง และเป็นที่ราบ ดังนั้นวิธีการที่ใช้คือการพัฒนาทางผันน้ำเสี่ยงชุมชน ขุดลอกลำน้ำเพื่อการระบายน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระบายน้ำตลอดช่วงลำน้ำยมและประสานกับลุ่มน้ำอื่นๆตอนล่าง พื้นที่ปลายน้ำเน้นการพัฒนาแก้มลิง พื้นที่รองรับอุทกภัย ปรับปรุงหนองบึงธรรมชาติ ก่อสร้างประตูระบายน้ำ และฝายตามลำน้ำยม เป็นต้น

สำหรับการฟื้นฟูและบรรเทาสาธารณภัยในจังหวัดสุโขทัย นำโดย สำนักงาน ปก. จังหวัดสุโขทัย และองค์การส่วนจังหวัดต่างๆ มีหน้าที่หลักคือดำเนินการจัดทำนโยบาย แนวทาง และวางมาตรการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยและลดผลกระทบ เพื่อให้การบริหารจัดการสาธารณภัยมีประสิทธิภาพในการเตรียมการเผชิญสาธารณภัยต่างๆ ไว้ล่วงหน้าก่อนเกิดภัยเป็นการลดความรุนแรงและลดผลกระทบและความสูญเสียจากสาธารณภัยที่มีต่อประชาชนในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงมีน้อยที่สุด ส่งเสริมการมีส่วนร่วม สร้างความตระหนักและเตรียมความพร้อมของประชาชนในการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย ส่งเสริมสนับสนุนและปฏิบัติการให้ความช่วยเหลือผู้ประสบภัย และทำหน้าที่ประสานระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในภาวะวิกฤติ และวางมาตรการดำเนินการหลังจากเกิดสาธารณภัย เพื่อเป็นการบรรเทาทุกข์ขั้นต้นแก่ผู้ประสบภัย และฟื้นฟูบูรณะพื้นที่ประสบภัยให้กลับสู่สภาพปกติโดยเร็วที่สุด

5.4.1.2 แนวทางการปรับตัวต่อสภาพอุทกภัยในจังหวัดสุโขทัย: ภาคประชาชน

การปรับตัวต่อสภาพอุทกภัยของภาคประชาชนจังหวัดสุโขทัยซึ่งจะกล่าวต่อไปนี้เป็นข้อมูลที่ได้จากการสำรวจเบื้องต้นจากแบบสอบถามประชาชนจากรายงานศึกษา “โครงการรูปแบบการปรับตัวด้วยการบริหารน้ำในอนาคตโดยเฉพาะอุทกภัย ปีที่ 1” จัดทำโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แนวทางการปรับตัวของประชาชนในจังหวัดสุโขทัย สรุปโดยสังเขปจากการวิเคราะห์แบบสอบถาม ดังนี้ การสำรวจสภาพปัญหา ความคิดเห็น และผลกระทบจากอุทกภัยจากภาคสนามโดยการสัมภาษณ์ชาวบ้าน เพื่อความสมบูรณ์ของข้อมูลต่างๆให้ครบถ้วน

แบบสอบถามที่ใช้ได้รับการตรวจสอบเบื้องต้นจากเจ้าหน้าที่กรมชลประทานและสำนักงาน ปก. จังหวัดสุโขทัย เนื้อหาของแบบครอบคลุมถึงแนวทางการปรับตัวและผลกระทบที่เกิดขึ้นกับชาวบ้านและชุมชน ความตระหนักรู้ของชาวบ้านต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ข้อเสนอแนะของการปรับตัวกับสภาพอุทกภัยในอนาคต กลุ่มตัวอย่างของชาวบ้านแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม ได้แก่ เกษตรกร ซึ่งแบ่งออกได้อีกเป็นสามกลุ่ม ได้แก่ เกษตรกรในตำบลปากพระ อำเภอเมือง เกษตรกรในตำบลคลองกระจง อำเภอสวรรคโลก เกษตรกรในตำบลไกรใน อำเภอกงไกรลาศ จังหวัดสุโขทัย และชาวบ้านที่ประกอบอาชีพค้าขายในเทศบาลเมืองสุโขทัย โดย ตารางที่ 5-32 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนของผู้เข้าร่วมตอบแบบสอบถามในแต่ละพื้นที่ ซึ่งส่วนใหญ่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี แต่การสัมภาษณ์ในเขตตำบลคลองกระจงอาจมีปัญหาลูกอยู่บ้าง เนื่องจากเป็นช่วงเกิดอุทกภัยพอดี และชาวบ้านบางส่วนตอบคำถามไม่ครบทำให้ขาดรายละเอียดที่ต้องการไปบ้าง

ตารางที่ 5-32 จำนวนของผู้เข้าร่วมตอบแบบสอบถามในพื้นที่ศึกษา

ประเภทของผู้ตอบแบบสอบถาม		จำนวนแบบสอบถามทั้งหมด	จำนวนของแบบสอบถามที่ชาวบ้านตอบกลับ
เกษตรกร	ตำบลคลองกระจง อำเภอสวรรคโลก	30	18
	ตำบลปากพระ อำเภอเมืองสุโขทัย	30	30
	ตำบลไกรใน อำเภอกงไกรลาศ	30	31
ชาวบ้านในเมือง	เทศบาลเมืองสุโขทัย	30	30

ที่มา: โครงการรูปแบบการปรับตัวด้วยการบริหารน้ำในอนาคตโดยเฉพาะอุทกภัย ปีที่ 1 (2554)

ผลการสรุปแบบสอบถามได้แสดงไว้อย่างละเอียดในภาคผนวก ฅ

สำหรับความช่วยเหลือด้านอื่นๆ และข้อเสนอแนะของชาวบ้านต่อเจ้าหน้าที่รัฐได้สรุปไว้ในตารางที่ 5-33 และตารางที่ 5-34

มาตรการปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งประกอบด้วยข้อเสนอแนะต่อภาครัฐจากชาวบ้านและจากการศึกษาเพิ่มเติมในรายงานฉบับนี้ แสดงให้เห็นถึงการปรับตัวในรูปแบบหนึ่งที่ไม่ใช่โครงสร้างคือการติดตั้งระบบแจ้งเตือนอุทกภัยหรือสาธารณภัยอื่นๆ เพื่อให้ประชาชนในพื้นที่เสี่ยงภัยทราบข้อมูลล่วงหน้าได้ในระยะเวลาที่เหมาะสม และนำข้อมูลที่ไปตัดสินใจว่าควรดำเนินการอย่างไรต่อไป ข้อดีของวิธีการประเภทที่ไม่ใช่โครงสร้างนี้คือ การดำเนินการสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว และส่วนใหญ่ไม่สิ้นเปลืองงบประมาณเท่ากับมาตรการก่อสร้าง แต่จำเป็นอย่างยิ่งที่ชาวบ้านจะต้องมีระดับของความตระหนักรู้ต่อสภาพปัญหาและมีความสามารถในการปรับตัวอยู่พอสมควร

สำหรับตัวอย่างของมาตรการเชิงโครงสร้างที่ชาวบ้านได้เสนอแนะ เช่น การก่อสร้างแนวป้องกันอุทกภัย หรืออาคารทางชลศาสตร์อื่นๆซึ่งมี (คันหรือทำนบกั้นน้ำ)หน้าที่ชะลออัตราการไหลสูงสุดให้เข้าสู่พื้นที่ประสบภัยให้ช้าลงมากที่สุดเท่าที่ทำได้ หรือป้องกันน้ำไหลล้นตลิ่งเข้าไปสร้างความเสียหายต่อชุมชน

ตารางที่ 5-33 ความต้องการที่ชาวบ้านต้องการให้ภาครัฐเข้ามาช่วยเหลือ

ความต้องการ	พื้นที่ศึกษา	อันดับที่ 1	อันดับที่ 2	อันดับที่ 3
ด้านความช่วยเหลือ	กลุ่มพื้นที่ในเขตเมืองสุโขทัย	ประกาศเตือนภัยล่วงหน้า	จัดทำแผนช่วยเหลือร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง	สูบน้ำช่วยเหลือ
	กลุ่มพื้นที่นอกเขตเมืองสุโขทัย	จัดทำแผนช่วยเหลือร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง	จัดเจ้าหน้าที่ดูแลผู้ที่ได้รับความเดือดร้อนอย่างทั่วถึง	ประกาศเตือนภัยล่วงหน้า
ด้านก่อสร้าง	กลุ่มพื้นที่ในเขตเมืองสุโขทัย	สร้างแนวป้องกันน้ำ	จัดหางบประมาณสร้างประตูกันน้ำเพิ่มขึ้น	จัดหาที่ดินและงบประมาณเพื่อสร้างแก้มลิง
	กลุ่มพื้นที่นอกเขตเมืองสุโขทัย	สร้างแนวป้องกันน้ำ	จ่ายค่าชดเชยช่วยเหลือเกษตรกร	จัดหาที่ดินและงบประมาณเพื่อสร้างแก้มลิง
ด้านเศรษฐศาสตร์	กลุ่มพื้นที่ในเขตเมืองสุโขทัย	จ่ายค่าชดเชยความเสียหายมากขึ้น	จัดสรรงบประมาณเข้ามาช่วยเหลือมากขึ้น	ช่วยเหลือในเรื่องอาชีพ
	กลุ่มพื้นที่นอกเขตเมืองสุโขทัย	จัดหาปุ๋ยราคาถูก	จัดสรรงบประมาณเข้ามาช่วยเหลือมากขึ้น	สนับสนุนเรื่องค่าเชื้อเพลิง (สูบน้ำ)

ตารางที่ 5-34 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมที่มีต่อภาครัฐหรือผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม	กลุ่มพื้นที่ในเขตเมืองสุโขทัย	กลุ่มเกษตรกร
ลดผลกระทบที่เกิดขึ้นจากเหตุการณ์อุทกภัย	<ol style="list-style-type: none"> 1. ไม่ตัดไม้ทำลายป่า 2. ช่วยกันปลูกป่า 3. สร้างเขื่อนแก่งเสือเต้น 4. สร้าง dike ให้สูงขึ้นและหนาแน่นกว่าเดิม 5. สร้างเขื่อนกักเก็บน้ำ ใช้เป็นแหล่งท่องเที่ยว, ทำมาหากินได้ 6. เปิดประตูน้ำทุกคลอง, อย่าปิดประตูน้ำตาย 7. ขุดลอกคลอง 	<ol style="list-style-type: none"> 1. สร้างเขื่อนแก่งเสือเต้นและเขื่อนแม่สะเอียบ, ปรับปรุงระบบระบายน้ำ, เขื่อนเรียงหินให้ดีขึ้น 2. แจกจ่ายพันธุ์ไม้ให้ประชาชนปลูกในไร่ เช่น สัก ประดู่ พยุง เพื่อช่วยลดภาวะโลกร้อนได้อีกด้วย 3. สร้างฝายกั้นน้ำ 4. ขุดคลองระบายน้ำ 5. ส่งเสริมให้ปลูกป่า/อนุรักษ์ป่า 6. ติดตามสถานการณ์อย่างใกล้ชิด 7. ไม่ตัดไม้ทำลายป่า
ปรับตัวต่อเหตุการณ์อุทกภัย	<ol style="list-style-type: none"> 1. ขุดลอกแม่น้ำ, ป้องกันตลิ่งพังทลาย 2. สร้างแก้มลิงเพิ่มขึ้น 3. ขุดลอกแม่น้ำ/คลอง 4. วางแนวกระสอบทรายเสริมเพิ่มตามแนวคันกันแม่น้ำ 5. ภาครัฐช่วยเหลือมากกว่านี้ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ปรับปรุงพันธ์พืช/เปลี่ยนเวลาปลูกพืช 2. ระบบท่อระบายน้ำ 3. ขุดคู/คลองกักน้ำส่วนเกินและเก็บไว้ใช้หน้าแล้ง 4. ขุดลอกคลอง และปลูกต้นไม้ที่ที่แนวคันดินฝั่ง

ที่มา: โครงการรูปแบบการปรับตัวด้วยการบริหารน้ำในอนาคตโดยเฉพาะอุทกภัย ปีที่ 1 (2554)

5.4.2 สรุปแนวทางการปรับตัวต่อสภาพอุทกภัยของจังหวัดสุโขทัยในปัจจุบันและอนาคต

จากการศึกษาทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การปรับตัวและลดความเสียหายจากอุทกภัย แนวทางการปรับตัวและจัดการอุทกภัยจากภาครัฐทั้งแบบใช้โครงสร้างและไม่ใช้โครงสร้าง โดยกรมชลประทาน ภายใต้แนวคิดการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในลุ่มน้ำยมแบบบูรณาการ รวมถึงการสัมมนาด้วยแบบสอบถามกับชาวบ้านที่ประกอบอาชีพเกษตรกรและค้าขายในเขตเทศบาลเมืองสุโขทัย อาจสรุปแนวทางการปรับตัวโดยสังเขปได้ต่อไปนี้

5.4.2.1 มาตรการเชิงโครงสร้าง

มาตรการเชิงโครงสร้างของการปรับตัวในพื้นที่จังหวัดสุโขทัยโดยสังเขป ได้แก่

1. ก่อสร้างและจัดหาพื้นที่แก้มลิงเพิ่มเติมจากปัจจุบัน โดยอาจใช้พื้นที่อุทกภัยซ้ำซากเป็นตัวกักปริมาณน้ำส่วนเกิน รวมถึงอาคารประกอบอื่นๆ เช่น คลองผันน้ำ ประตูระบายน้ำ ให้สมบูรณ์
2. ก่อสร้างทางผันน้ำเพิ่มเติมเพื่อเร่งระบายน้ำส่วนเกินอ้อมพื้นที่เขตเศรษฐกิจจังหวัดสุโขทัย ซึ่งหากประสบปัญหาจะเกิดความเสียหายได้มาก
3. ก่อสร้างและบำรุงรักษาคันดิน เขื่อนเรียงหิน และคันดินหรือคันกั้นน้ำคอนกรีตซึ่งสร้างกันแม่น้ำยม ให้ได้มาตรฐานวิศวกรรม เพื่อป้องกันความเสียหายจากการพังทลายของโครงสร้างดังกล่าว ซึ่งเกิดอยู่บ่อยครั้งในช่วงสภาวะอุทกภัย
4. ก่อสร้างอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ ขนาดกลาง ในพื้นที่ตอนบนและตอนกลางของกลุ่มน้ำยม

5.4.2.2 มาตรการที่ไม่ใช่โครงสร้าง

1. จองพื้นที่ราบลุ่มริมแม่น้ำยมทั้งฝั่งซ้ายและขวาของแม่น้ำยมเพื่อขอให้ใช้เป็น “พื้นที่อุทกภัย” ตามช่วงระยะเวลาที่กำหนด โดยต้องประสานงานกับเกษตรกรและจ่ายค่าชดเชยความเสียหายอย่างเหมาะสม
2. ออกมาตรการทางเศรษฐกิจเพื่อชดเชยความเสียหายแก่พื้นที่ที่เกิดอุทกภัยซ้ำซากอย่างเหมาะสม ทั้งนี้อาจอยู่ในรูปของการประกันอุทกภัย (flood insurance) หรือมาตรการอื่นๆที่จำเป็น
3. องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น รวมถึงภาครัฐจากส่วนกลาง ควรมีงบประมาณสนับสนุนและช่วยเหลือชาวบ้านในการก่อสร้างที่อยู่อาศัยที่สามารถป้องกันไม่ให้น้ำเข้าท่วมภายใน (Flood-proofing) ซึ่งจะช่วยลดความเสียหายได้
4. การวางและบังคับใช้กฎหมายผังเมืองอย่างเคร่งครัดเพื่อลดการพัฒนาเมืองในพื้นที่ราบลุ่มอุทกภัย การรื้อกล้าสร้างที่อยู่อาศัยใกล้ตลิ่งลำน้ำ รวมถึงจัดโซนเสี่ยงภัยการเกิดอุทกภัย (flood zoning)
5. สร้างความตระหนักรู้และสร้างทัศนคติการใช้ชีวิตกับอุทกภัย (living with floods)
6. พัฒนาระบบทำนายและเตือนภัยจากอุทกภัยให้สามารถแจ้งชาวบ้านให้สามารถเตรียมตัวได้อย่างทันท่วงทีมากขึ้น ทั้งนี้จะต้องมีการประสานงานกับหน่วยงานราชการและองค์การบริหารส่วน

ท้องถิ่น เช่น อบต. อบจ. อย่างสอดคล้องเป็นหนึ่งเดียวด้วย จึงทำให้การเตือนภัยเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล

7. พัฒนาเครือข่ายชุมชนเพื่อการเฝ้าระวังและเตือนภัยด้วยตนเอง สำหรับจัดการอุทกภัย โดยแยกเป็น แผนก่อนเกิดเหตุการณ์ ระหว่างเกิดเหตุการณ์ และหลังเกิดเหตุการณ์ โดยชุมชนสามารถร่วมพิจารณาด้วยว่าสิ่งที่จำเป็นต้องเตรียมความพร้อมแต่ยังไม่อยู่ในแผนการดำเนินงานมีอะไรบ้าง ซึ่งจะช่วยลดความสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สินได้มาก

มาตรการปรับตัวแบบใช้โครงสร้างและไม่ใช้โครงสร้างที่แสดงไว้เป็นเพียงส่วนหนึ่งของความเป็นไปได้ทั้งหมดที่ได้เสนอไว้จากภาครัฐ ประชาชน และจากการศึกษาที่ผ่านมาเท่านั้น หากต้องการวางแผนการปรับตัวต่อสภาพอุทกภัยและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่จังหวัดสุโขทัย จะต้องดำเนินการตามมาตรการประเมินจุดอ่อน (vulnerability assessment) ศักยภาพของการปรับตัว (adaptive capacity) และประสานกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย โดยเฉพาะประชาชนในจังหวัดสุโขทัยในทุกภาคส่วนอย่างต่อเนื่อง จัดลำดับความสำคัญของมาตรการปรับตัวต่างๆ เพื่อจะได้ออกแนวทางการปรับตัวที่สามารถตอบสนองต่อสภาวะอุทกภัยทั้งในปัจจุบันและอนาคตอย่างแท้จริง

ในหัวข้อต่อไปจะทดสอบมาตรการปรับตัวทั้งสองประเภทนี้กับจังหวัดสุโขทัยในเบื้องต้น รวมถึงข้อเสนอต่างๆของผู้ศึกษาต่อการจัดการอุทกภัยในจังหวัดสุโขทัยภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกได้ต่อไป

5.4.3 ข้อเสนอแนะมาตรการการปรับตัวของจังหวัดสุโขทัย

ข้อเสนอแนะเบื้องต้นของการปรับตัวต่ออุทกภัยของจังหวัดสุโขทัยภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก จะแบ่งออกเป็นมาตรการเชิงโครงสร้างและไม่ใช้โครงสร้าง ซึ่งเลือกจากข้อเสนอแนะบางส่วนที่ได้จากการสัมภาษณ์ประชาชน ดังตารางที่ 5-35 ซึ่งจะพิจารณาแต่เพียงมาตรการที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อบรรเทาสภาพอุทกภัยภายใต้บริบทเชิงวิศวกรรมและอุทกวิทยาน้ำหลากเท่านั้น

จากที่ได้สรุปการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบเชิงอุทกวิทยาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกในจังหวัดสุโขทัย ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนรายวันสูงสุด การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลรายวันสูงสุด และการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำรายวันสูงสุด จากผลการพิจารณาแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ใช้ศึกษา พบว่าพื้นที่ซึ่งมีแนวโน้มของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าเพิ่มขึ้นจากปัจจุบันอย่างชัดเจนในอนาคตอันใกล้และอนาคตอันไกล จะอยู่ในบริเวณตอนกลางของจังหวัดสุโขทัย โดยเฉพาะอำเภอสวรรคโลก อำเภอศรีสำโรง และตอนล่างของจังหวัดสุโขทัย ได้แก่ อำเภอกงไกรลาศ อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก และอำเภอสามงาม จังหวัดพิจิตร เมื่อปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า

เพิ่มขึ้น โอกาสเสี่ยงต่อสภาวะอุทกภัยย่อมเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน ดังนั้นมาตรการปรับตัวที่เสนอแนะ จะมุ่งพิจารณาเพื่อลดผลกระทบในพื้นที่เหล่านี้เป็นหลัก

ตารางที่ 5-35 ข้อเสนอแนะการปรับปรุงเพิ่มเติมต่อมาตรการปรับตัวต่ออุทกภัยในจังหวัดสุโขทัย

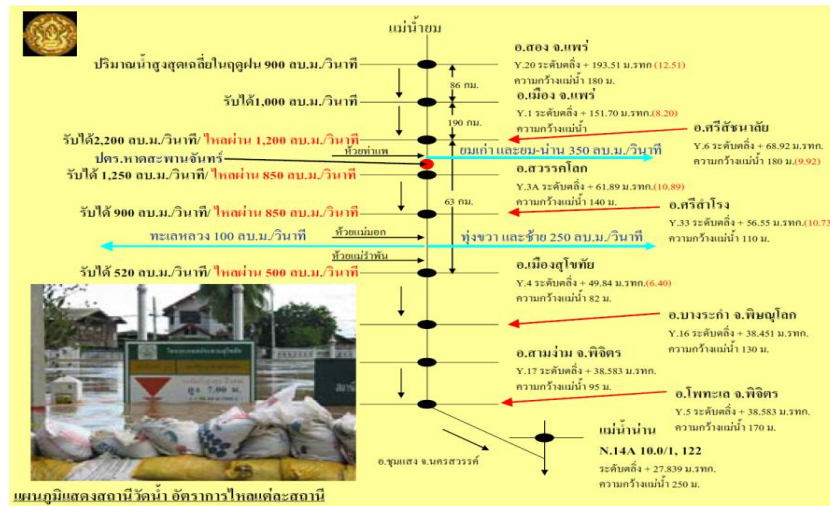
พื้นที่ดำเนินการ	มาตรการเชิงโครงสร้าง	มาตรการที่ไม่ใช้โครงสร้าง
พื้นที่ตอนเหนือจังหวัด สุโขทัย	ปรับปรุงเกณฑ์ผันน้ำในปัจจุบัน	ใช้พื้นที่อุทกภัยซ้ำซาก เป็นแก้มลิงชะลอน้ำหลาก

5.4.3.1 การปรับปรุงมาตรการเชิงโครงสร้าง

การปรับปรุงเกณฑ์การผันน้ำเลี้ยงเมืองสุโขทัย

การศึกษาอัตราการไหลสูงสุดพิจารณา ค่าอัตราการไหลสูงสุดที่ได้จากการจำลองสภาพน้ำหลาก กรณีดำเนินมาตรการเชิงโครงสร้าง ซึ่งจะแบ่งออกเป็นสองกรณีคือ ปรับปรุงแนวผันน้ำที่มีอยู่เพิ่มเติม หรือ สร้างคันกันน้ำตลอดลำน้ำยมในช่วงที่ผ่านจังหวัดสุโขทัย

ในกรณีแรกคือการผันน้ำเพื่อเลี้ยงเขตชุมชนเมืองตั้งแต่อำเภอสวรรคโลก อำเภอศรีสำโรง และอำเภอเมืองจังหวัดสุโขทัย โดยรูปที่ 5-52 แสดงแผนผังการผันน้ำที่กรมชลประทานจังหวัดใช้ปฏิบัติในปัจจุบัน โดยพบว่าปัจจุบันการระบายน้ำผ่านคลองสาขาของแม่น้ำยม ประกอบด้วยคลองทั้งสิ้น 54 สาย อยู่ในเขตอำเภอสวรรคโลก (ฝั่งซ้าย) จำนวน 1 สาย ระบายน้ำได้ 15 ลบ.ม./วินาที อยู่ในเขตอำเภอศรีสำโรง (ฝั่งซ้าย 6 สาย ฝั่งขวา 7 สาย) ระบายน้ำได้ 103 ลบ.ม./วินาที (ฝั่งซ้าย 58 ลบ.ม./วินาที ฝั่งขวา 30 ลบ.ม./วินาที) และอยู่ในเขตอำเภอเมือง (ฝั่งซ้าย 11 สาย ฝั่งขวา 29 สาย) ระบายน้ำได้ 197.00 ลบ.ม./วินาที (ฝั่งซ้าย 58 ลบ.ม./วินาที ฝั่งขวา 30 ลบ.ม./วินาที) รวมทั้งสิ้น 54 สาย ระบายน้ำได้ทั้งสิ้น 300 ลบ.ม./วินาที



รูปที่ 5-51 แผนผังแสดงความจุลำน้ำ ณ สถานีวัดน้ำของแม่ข่ายมสายหลัก และแนวทางการผันน้ำเพื่อเลี้ยงชุมชน

หลักการผันน้ำจะพิจารณาจากปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝนลำน้ำยมที่ไหลเข้าเขตจังหวัด สุโขทัยมีอัตราการไหลสูงสุดเฉลี่ยประมาณ 1,200 ลบ.ม./วินาที ความจุลำน้ำรับได้ 2,200 ลบ.ม./วินาที น้ำปริมาณดังกล่าวไหลต่อมาที่อำเภอสวรรคโลก ซึ่งมีความจุลำน้ำที่ 1,250 ลบ.ม./วินาที แต่ความจุลำน้ำยมนที่สถานี Y.33 รับได้เพียง 900 ลบ.ม./วินาที จึงต้องผันน้ำออกจากแม่ข่ายมสายเก่า และคลองยมน่าน รวมอัตราการไหล 240 ลบ.ม./วินาที โดยมี ปตร. หาดสะพานจันทร์ทำหน้าที่ชะลอน้ำหลาก ทำให้เหลือปริมาณน้ำที่จะเข้า อ. สวรรคโลก และ อ. ศรีสำโรง ประมาณ 850 ลบ.ม./วินาที จึงทำให้น้ำไม่ล้นตลิ่งที่อำเภอศรีสำโรง น้ำทั้งหมดจะไหลเข้าสู่ อ.เมือง จังหวัดสุโขทัย (ผ่านตำบลปากพระ เข้าสู่ตำบลในเมืองและเขตเทศบาล) แต่ความจุลำน้ำยมนที่สถานี Y.4 อำเภอเมือง รับได้เพียง 500 ลบ.ม./วินาที จึงต้องผันน้ำออกสู่แก้มลิงทุ่งทะเลหลวง ประมาณ 100 ลบ.ม./วินาที และผันน้ำออกคลองธรรมชาติเข้าทุ่งชัยและขวาของลำน้ำยมอีกประมาณ 250 ลบ.ม./วินาที จะทำให้ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านอำเภอเมืองสุโขทัยอยู่ที่ 500 ลบ.ม./วินาทีพอดี น้ำจึงไม่ไหลล้นตลิ่ง

เมื่อนำผลของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจากแบบจำลองทั้งสามมาพิจารณาจะพบว่า ผลจากแบบจำลอง ECHAM5 โดยเฉพาะช่วงอนาคตอันไกล ได้แสดงให้เห็นถึงอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในทุกๆคาบการเกิดซ้ำ ส่วนระดับน้ำรายวันสูงสุดเทียบกับตลิ่งพบว่า ทั้งแบบจำลอง MRI และ ECHAM5 จะมีปริมาณน้ำล้นตลิ่งตั้งแต่สถานี Y.3A Y.33 Y.16 และ Y.17 เข้าท่วมชุมชนริมฝั่งแม่ข่ายมในทุกๆคาบการเกิดซ้ำ ด้วยเหตุนี้เกณฑ์การพิจารณาผันน้ำที่ใช้ควรมีการทบทวนใหม่ เนื่องจากรูปแบบเดิมจะใช้ปริมาณน้ำซึ่งไหลผ่านสถานี Y.6 สูงสุดรายปีเฉลี่ย 30 ปี เป็นหลัก ไม่ได้

พิจารณาในเชิงของระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ถึงแม้ว่าในอนาคตปริมาณน้ำฝนและอัตราการไหลสูงสุดในแต่ละคาบการเกิดซ้ำมีแนวโน้มลดลง แต่เมื่อพิจารณาจากระดับน้ำเทียบกับทลิ่งในอนาคตอันใกล้และไกล หากรูปแบบการผันน้ำยังเป็นเช่นปัจจุบัน หากเกิดเหตุการณ์เช่นปีน้ำหลากขนาดใหญ่ เช่น ปี พ.ศ. 2538 2545 และ 2549 ก็จะทำให้เกิดอุทกภัยซ้ำซากเช่นนี้เรื่อยไป ดังนั้นหากพิจารณาในเรื่องการผันน้ำ จึงเสนอแนะให้ปรับเกณฑ์ของการผันน้ำเสี่ยงเมืองสุโขทัยเสียใหม่ โดยอาจตั้งเกณฑ์จากระดับของความเสี่ยงที่ยอมรับได้จากผู้มีส่วนได้และเสียทั้งหมด และนำไปปฏิบัติต่อไป ซึ่งก็จะเสนอในเบื้องต้นดังต่อไปนี้

1) ข้อเสนอแนะเบื้องต้นต่อการผันน้ำเสี่ยงเขตอำเภอเมือง จ. สุโขทัย

การจัดทำข้อเสนอแนะเบื้องต้น จะอาศัยแนวคิดของการผันน้ำจากปริมาณน้ำท่าเป็นหลัก และจะไม่มีโครงสร้างใดๆเพิ่มเติมจากปัจจุบัน แต่เป็นการปรับปรุงจากสิ่งที่มีอยู่เท่านั้น และมีสมมติฐานหลักคือคลองผันน้ำธรรมชาติที่มีอยู่ในปัจจุบันจะต้องทำหน้าที่ได้เต็มประสิทธิภาพ

ระดับของความเสี่ยงที่ได้กล่าวไว้ จะกล่าวในรูปของคาบการเกิดซ้ำ (return periods) ของอัตราการไหลสูงสุดของน้ำท่าในแม่น้ำยมที่ไหลผ่านสถานี Y.20 อำเภอสอง จังหวัดแพร่ ซึ่งเป็นสถานีสำคัญ อันทำหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำให้เข้าสู่เขตอำเภอศรีสัชชนาลัย อำเภอสวรรคโลก อำเภอศรีสำโรง และอำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ลดความเสียหายจากอุทกภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินให้เหลือน้อยที่สุด

ข้อเสนอแนะจากการศึกษาครั้งนี้จะพิจารณาอัตราการไหลสูงสุดที่คาบการเกิดซ้ำ 50 ปี พร้อมทั้งแสดงการเปรียบเทียบภาพจำลองสถานการณ์ในแต่ละคาบการเกิดซ้ำทั้งสิ้นสามกรณี ได้แก่ กรณีสภาพธรรมชาติ กรณีใช้มาตรการของกรมชลประทานในปัจจุบัน และกรณีใช้มาตรการของผู้ศึกษา

2) มาตรการผันน้ำภายใต้การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

การผันน้ำจากแนวคิดการบรรเทาอุทกภัยของผู้ศึกษา ภายใต้อัตราการไหลสูงสุดที่คาบการเกิดซ้ำ 50 ปี ณ สถานี Y.20 ซึ่งมีค่าประมาณ 1,560 ลบ.ม./วินาที จากการศึกษาพบว่าปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกทั้งสาม ได้แก่ MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) ณ สถานี Y.20 พบว่ามีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบันอยู่เล็กน้อยถึงปานกลาง ดังนั้นรูปแบบการผันน้ำจะใช้ข้อมูลจากคาบการเกิดซ้ำของปัจจุบัน

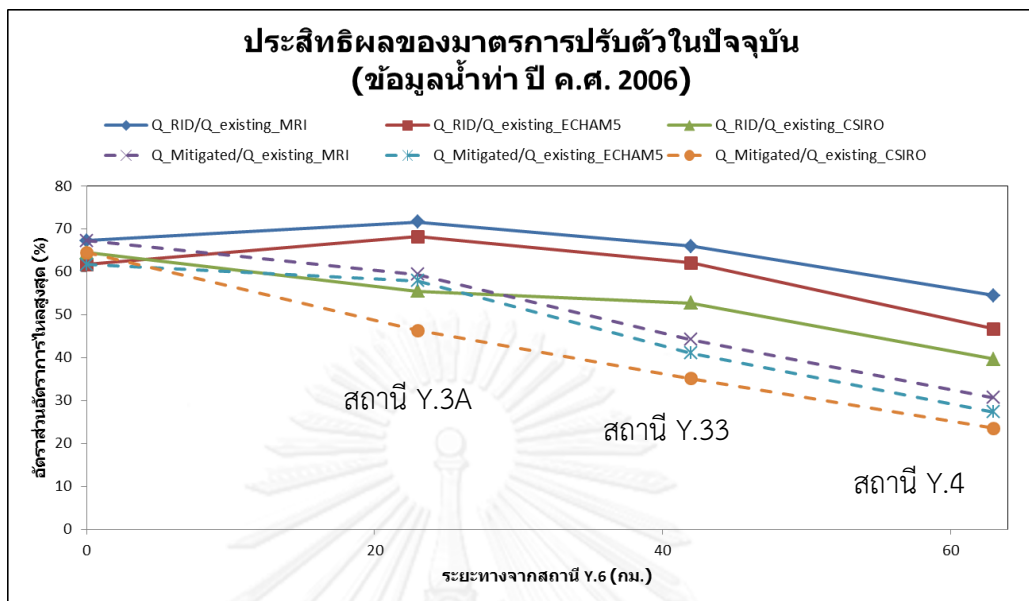
แผนผังการผันน้ำในปัจจุบัน ประกอบด้วยคลองผันน้ำธรรมชาติในเขตอำเภอสวรรคโลก อำเภอศรีสำโรง และอำเภอเมือง รวมทั้งสิ้น 54 สาย ความสามารถในการระบายน้ำเท่ากับ 350 ลบ.ม./วินาที ประตูระบายน้ำ 2 แห่ง ได้แก่ ปตร. บ้านหาดสะพานจันทร์ (ระบายน้ำได้ 1,800 ลบ.ม./วินาที และ ปตร. บ้านยางซ้าย ระบายน้ำได้ 300 ลบ.ม./วินาที คลองผันน้ำยมฝั่งซ้าย (คลองหกบาท) และคลองผันน้ำยม-น่าน ซึ่งระบายน้ำได้เต็มที่เท่ากับ 350 ลบ.ม./วินาที พื้นที่แก้มลิงขนาดกลาง 1 แห่ง (ทุ่งทะเลหลวง) รวมกับคลองผันน้ำยมเข้าพื้นที่ ระบายน้ำได้ 100 ลบ.ม./วินาที และแก้มลิงขนาดเล็กอีก 3 แห่ง ทั้งหมดนี้ได้ออกแบบไว้สำหรับอัตราการไหลสูงสุดเฉลี่ย 30 ปี แต่เมื่อพิจารณาจากคาบการเกิดซ้ำ จะพบว่าอยู่ที่ราวๆ 5 ปี เท่านั้น ซึ่งถือว่าต่ำมากและทำให้ความเสี่ยงของการเกิดอุทกภัยค่อนข้างสูง

รูปที่ 5-53 ได้เสนอมาตรการผันน้ำที่ปรับปรุงเพิ่มเติมจากปัจจุบัน โดยจุดประสงค์หลักคือ การระบายน้ำหลากส่วนเกินก่อนเข้าสู่อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย ให้มากที่สุด ประกอบด้วย คลองผันน้ำฝั่งขวาในตำแหน่งใกล้ๆ ปตร. หาดสะพานจันทร์ ซึ่งจะระบายน้ำเข้าสมทบกับคลองธรรมชาติจากลุ่มแม่หมอก ด้วยความสามารถการระบายน้ำ 100 ลบ.ม./วินาที ดังนั้นเมื่อรวมกับความสามารถของคลองหกบาท จะทำให้ลดทอนปริมาณน้ำหลากได้ 450 ลบ.ม./วินาที ก่อนเข้าสู่ ปตร. หาดสะพานจันทร์ ซึ่งถ้าเปิดประตูระบายน้ำเต็มที่ด้วยอัตรา 1,800 ลบ.ม./วินาที เข้าสู่อำเภอสวรรคโลก และอำเภอศรีสำโรง เพื่อไม่ให้ปริมาณน้ำดังกล่าวเอ่อล้นตัวอย่างรวดเร็ว จึงเสนอให้ขุดคลองระบายน้ำธรรมชาติฝั่งขวาของแม่น้ำยมให้เชื่อมกับคลองผันน้ำสายใหม่ที่ระบายน้ำจาก ปตร. หาดสะพานจันทร์ และปรับปรุงคลองธรรมชาติฝั่งซ้ายของกลุ่มน้ำยม เช่น คลองหนองปลาหมอ หรืออาจจะขุดเพิ่มเติมบางส่วนก็ได้ เป้าหมายคือความสามารถระบายน้ำเพิ่มเติม 600 ลบ.ม./วินาที ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวอาจใช้เป็นแก้มลิงพักน้ำตอนบนได้เช่นกัน และจากการผันน้ำฝั่งซ้ายและขวาที่ปรับปรุงใหม่ ทำให้ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านสถานี Y.3A อยู่ในระดับ 1,200 ลบ.ม./วินาที ซึ่งมากกว่าความจุของสถานีเล็กน้อย และอาจเกิดอุทกภัยได้บ้างในสถานีนี้ เมื่อผ่านสถานี Y.3A ระบบคลองระบายน้ำตามธรรมชาติที่มีอยู่เดิม 54 สาย และเสนอให้สร้างคลองระบายน้ำฝั่งขวาในเขตอำเภอศรีสำโรงให้มีความสามารถระบายน้ำเพิ่มขึ้น 200 ลบ.ม./วินาที เพื่อให้ความสามารถระบายน้ำออกทุ่งซ้ายและทุ่งขวาเพิ่มขึ้นจากเดิม 250 ลบ.ม./วินาที เป็น 450 ลบ.ม./วินาที และเมื่อรวมกับเครือข่ายทางผันน้ำเข้าแก้มลิงทุ่งทะเลหลวง 1 และทุ่งทะเลหลวง 2 (กรมชลประทานเสนอให้สร้างเพิ่มเติม) ซึ่งมีความสามารถระบายน้ำเท่ากับ 200 ลบ.ม./วินาที ความสามารถการระบายน้ำทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นเป็น 650 ลบ.ม./วินาที จึงเหลืออัตราการไหลสูงสุดผ่านอำเภอเมืองสุโขทัย ณ สถานี Y.4 เท่ากับ 550 ลบ.ม./วินาที ซึ่งเท่ากับความจุลำน้ำในบริเวณดังกล่าว (คิดจากความจุเดิมหลังขุดลอกลำน้ำกับคันกั้นน้ำคอนกรีตในปัจจุบัน) พอดี ดังนั้น มาตรการนี้จึงอาจช่วยบรรเทาสภาพอุทกภัยใน อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัยได้พอสมควร

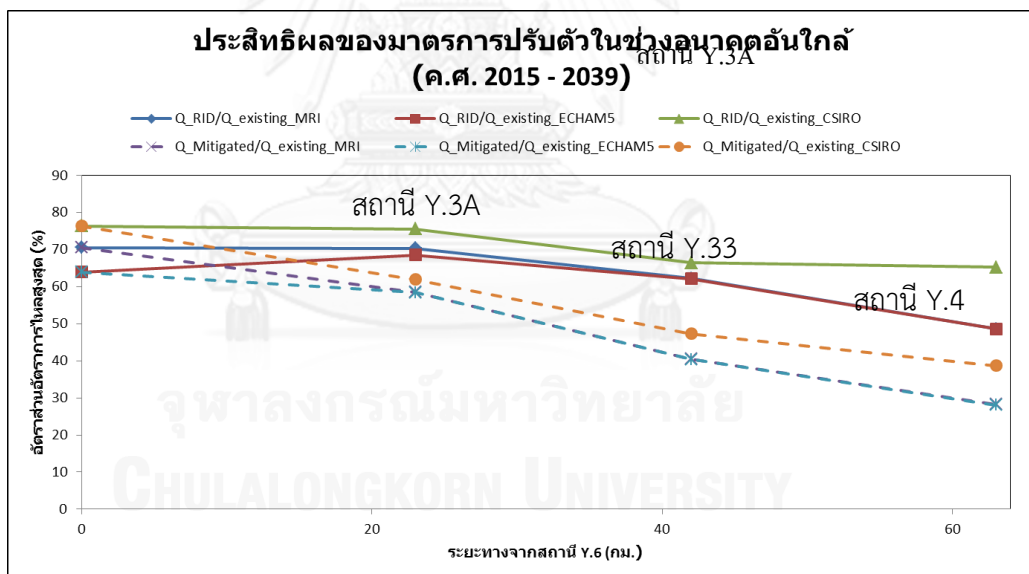
ในการศึกษาถึงประสิทธิผลของมาตรการปรับตัวทั้งสามรูปแบบ มีจุดมุ่งหมายเพื่อบรรเทาสภาพอุทกภัยในเขตพื้นที่ในเขตอำเภอเมืองของจังหวัดสุโขทัย อันเป็นพื้นที่เศรษฐกิจสำคัญ และมีสถานีวัดน้ำท่า Y.4 ตั้งอยู่ อย่างไรก็ตาม สถานี Y.4 มีข้อจำกัดที่สำคัญสองประการ ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้เป็นสถานีตัวแทนได้ ได้แก่ 1) สถานี Y.4 มีข้อมูลน้ำท่าซึ่งขาดช่วงไประหว่างปี พ.ศ. 2541-2553 และระหว่างนั้นได้มีเหตุการณ์อุทกภัยเกิดขึ้นในเขตอำเภอเมืองหลายครั้ง ทำให้ไม่สามารถสอบเทียบและสอบทานสภาพน้ำท่าก่อนนำข้อมูลมาใช้วิเคราะห์ผลกระทบได้ และ 2) ในพื้นที่ท้ายสถานี Y.4 มีอาคารชลศาสตร์ เช่น ฝายยางบ้านเกาะวงศ์เกียรติ และ ประตูระบายน้ำบ้านยางซ้าย ตั้งอยู่ โครงสร้างเหล่านี้จะส่งอิทธิพลต่อลักษณะของชลภาพการไหลผ่านสถานี Y.4 และทำให้กระบวนการสอบเทียบและสอบทานข้อมูลให้ใกล้เคียงความจริงได้ยาก ดังนั้นในการศึกษารั้งนี้จึงเลือกใช้สถานีวัดน้ำท่า Y.3A และ Y.33 ที่ตั้งอยู่ในพื้นที่อำเภอสวรรคโลกและอำเภอศรีสำโรง ซึ่งปริมาณน้ำส่วนใหญ่มักจะไหลผ่านก่อนเข้าสู่ตัวเมืองของจังหวัดสุโขทัย

การจำลองสภาพน้ำหลากของจังหวัดสุโขทัย ภายใต้แบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้และอนาคตอันไกล พบว่ามาตรการผันน้ำที่เสนอแนะสามารถบรรเทาสภาพอุทกภัย ในสถานี Y.3A และ Y.33 ณ คาบการเกิดซ้ำ 50 ปี ได้อย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับจากกรณีมาตรการเดิมของกรมชลประทานกับมาตรการที่เสนอแนะเพิ่มเติม

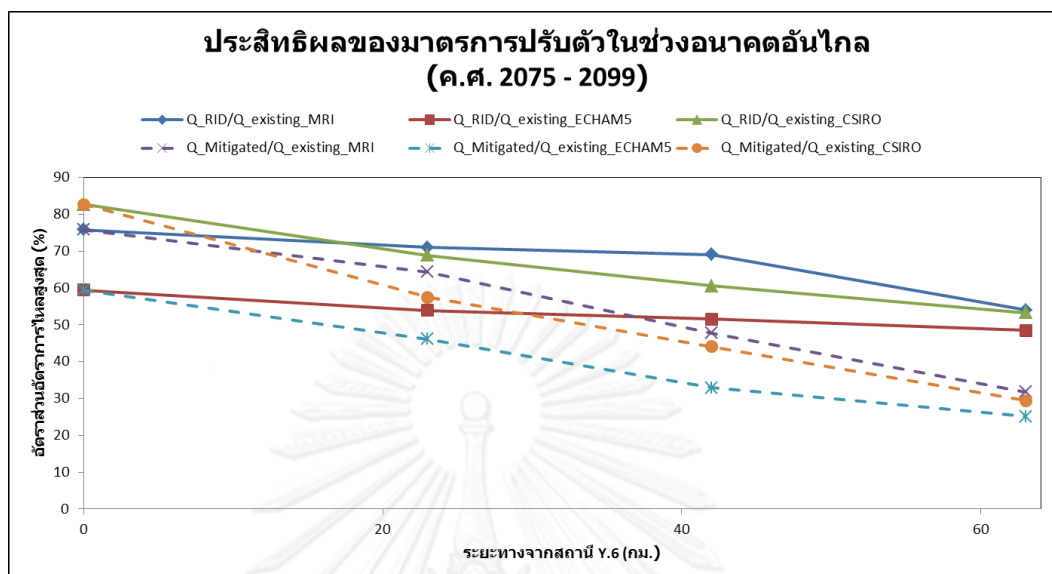
ผลสรุปเปรียบเทียบประสิทธิผลของมาตรการผันน้ำในการช่วยลดอัตราการไหลสูงสุดผ่านสถานีวัดน้ำท่าในปี ค.ศ. 2006 รวมถึงช่วงอนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล ที่คาบการเกิดซ้ำ 50 ปี สรุปได้ดังรูปที่ 5-54 ถึง รูปที่ 5-56



รูปที่ 5-53 ประสิทธิภาพในการลดอัตราการไหลสูงสุดในสถานีวัดน้ำท่าของจังหวัดสุโขทัย ภายใต้แบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในปี ค.ศ. 2006



รูปที่ 5-54 ประสิทธิภาพในการลดอัตราการไหลสูงสุดในสถานีวัดน้ำท่าของจังหวัดสุโขทัย ภายใต้แบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในปี ค.ศ. 2015-2039



รูปที่ 5-55 ประสิทธิภาพในการลดอัตราการไหลสูงสุดในสถานีวัดน้ำท่าของจังหวัดสุโขทัย ภายใต้แบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO ในปี ค.ศ. 2075-2099

ผลของการใช้มาตรการปรับตัวเชิงโครงสร้าง (ปรับปรุงการผันน้ำ) และมาตรการที่ไม่ใช้โครงสร้าง (ใช้พื้นที่ราบลุ่มอุทกภัย) เพื่อบรรเทาอุทกภัยภายใต้สถานการณ์จากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 โดยได้แบ่งออกเป็นสองกรณีคือ 1) อัตราการไหลก่อนและหลังใช้ปรับตัว 2) ระดับน้ำก่อนและหลังปรับตัว พบข้อสรุปที่ได้จากการศึกษาจำลองสถานการณ์ปรับตัว ดังนี้

1) ประสิทธิภาพของมาตรการปรับตัวในการลดอัตราการไหลสูงสุด

การศึกษาอัตราการไหลจะศึกษาอัตราการไหลสูงสุดที่ได้จากการจำลองสภาพอุทกภัยภายใต้กรณีปกติกับกรณีการใช้พื้นที่อุทกภัยซ้ำซากสองฝั่งแม่น้ำยมให้ทำหน้าที่เสมือนแก้มลิงขนาดใหญ่ชะลอน้ำหลาก แล้วพิจารณาว่าอัตราการไหลผ่านสถานีวัดน้ำท่าในเขตตอนกลางจังหวัดสุโขทัยได้แก่ สถานี Y.3A และ สถานี Y.33 ในปี ค.ศ. 2002 และ ค.ศ. 2006 จะลดลงเหลือเท่าใด และยังพิจารณาเปรียบเทียบการกระจายความถี่ของอัตราการไหลสูงสุดในช่วงอนาคตอันใกล้และอนาคตอันไกลระหว่างสองกรณีนี้ภายใต้แบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 อีกด้วย

รูปที่ 5-55 แสดงชลภาพการไหลเมื่อใช้มาตรการปรับตัวเทียบกับสภาพปกติของปี ค.ศ. 2002 พบว่าอัตราการไหลสูงสุดในสถานี Y.3A ลดลงคิดเป็นร้อยละ 22.78 ส่วนปี ค.ศ. 2006 ซึ่งมีปริมาณน้ำหลากมากกว่า และประกอบด้วยคลื่นอุทกภัยถึงสามระลอก มีอัตราการไหลสูงสุดลดลง

ร้อยละ 29.85 หลังใช้มาตรการปรับตัวด้วยทุ่งน้ำหลาก อัตราการไหลสูงสุดผ่านสถานี Y.33 กรณีการปรับตัวพบว่าลดลงจากกรณีสภาพปกติร้อยละ 16.08 ในปี ค.ศ. 2002 และลดลงร้อยละ 22.16 ในปี ค.ศ. 2006

รูปที่ 5-56-รูปที่ 5-59 แสดงผลการแจกแจงความถี่ของอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลสูงสุดเทียบกับความจุลน้ำกับคาบการเกิดซ้ำ ซึ่งในคาบการเกิดซ้ำใดที่อัตราส่วนดังกล่าวมีค่าน้อยกว่าศูนย์จะถือว่าไม่เกิดอุทกภัย ในทางกลับกันถ้าอัตราส่วนดังกล่าวมีค่ามากกว่าศูนย์ย่อมหมายถึงการเกิดสภาวะอุทกภัย ผลการศึกษาพบว่า มาตรการปรับตัวแบบผสมผสานสามารถลดโอกาสการเกิดอุทกภัยในสถานีวัดน้ำท่า Y.3A และ Y.33 ภายใต้สถานการณ์จากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ได้ในทุกคาบการเกิดซ้ำ ทั้งอนาคตอันใกล้และอนาคตอันไกล โดยแบบจำลอง MRI และ CSIRO จะเกิดอุทกภัยที่คาบการเกิดซ้ำที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีสภาพปัจจุบัน ส่วนแบบจำลอง ECHAM5 พบว่าจะยังเกิดอุทกภัย แต่อัตราการไหลสูงสุดจะลดลงจากกรณีปัจจุบันเช่นกัน

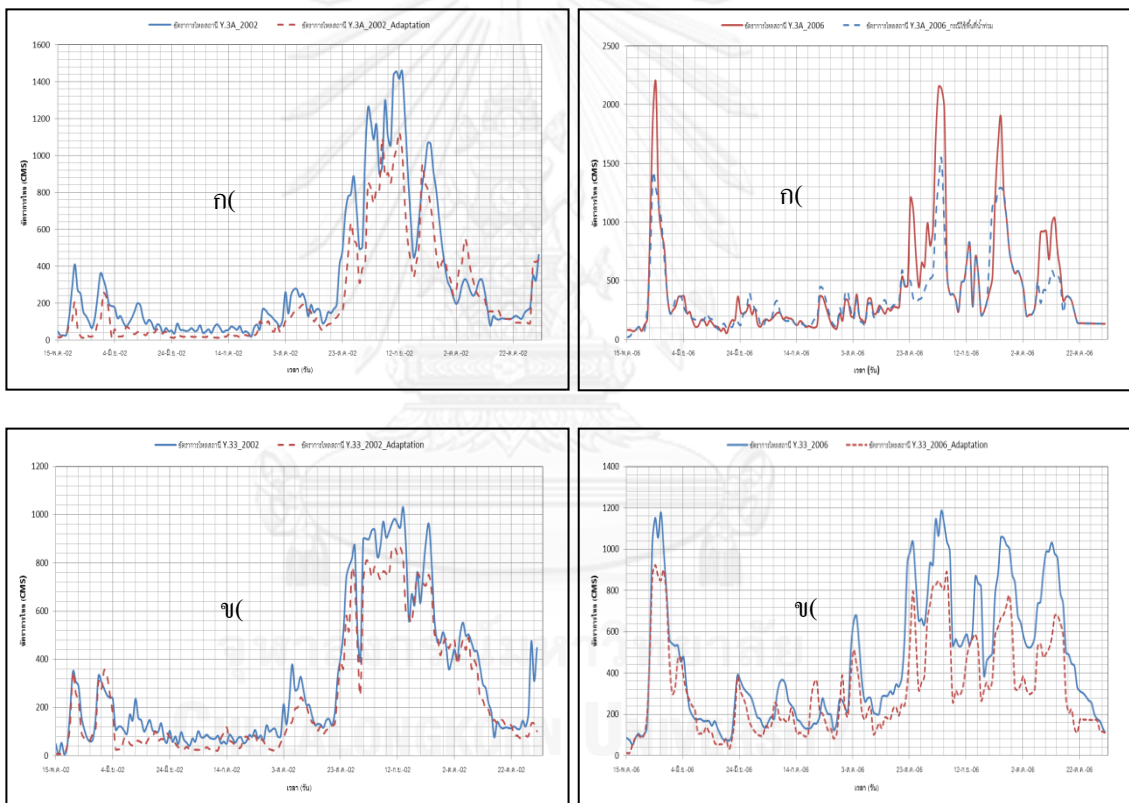
2) การศึกษาประสิทธิผลของมาตรการปรับตัวในการลดระดับน้ำสูงสุด

การศึกษาระดับน้ำในที่นี้จะแสดงค่าระดับจริงเทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง (รทก.) โดยเปรียบเทียบกับกรณีสภาพน้ำหลากปกติกับกรณีสภาพน้ำหลากในลำน้ำยมหลังใช้มาตรการปรับตัวด้วยทุ่งน้ำหลาก แล้วพิจารณาว่าอัตราการไหลผ่านสถานีวัดน้ำท่าในเขตตอนกลางจังหวัดสุโขทัยได้แก่ สถานี Y.3A และ สถานี Y.33 ในปี ค.ศ. 2002 และ ค.ศ. 2006 จะลดลงเหลือเท่าใด และยังพิจารณาการกระจายความถี่ของอัตราส่วนระดับน้ำสูงสุดเทียบกับระดับตลิ่งในช่วงอนาคตอันใกล้และอนาคตอันไกลระหว่างสองกรณีนี้ภายใต้แบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 อีกด้วย

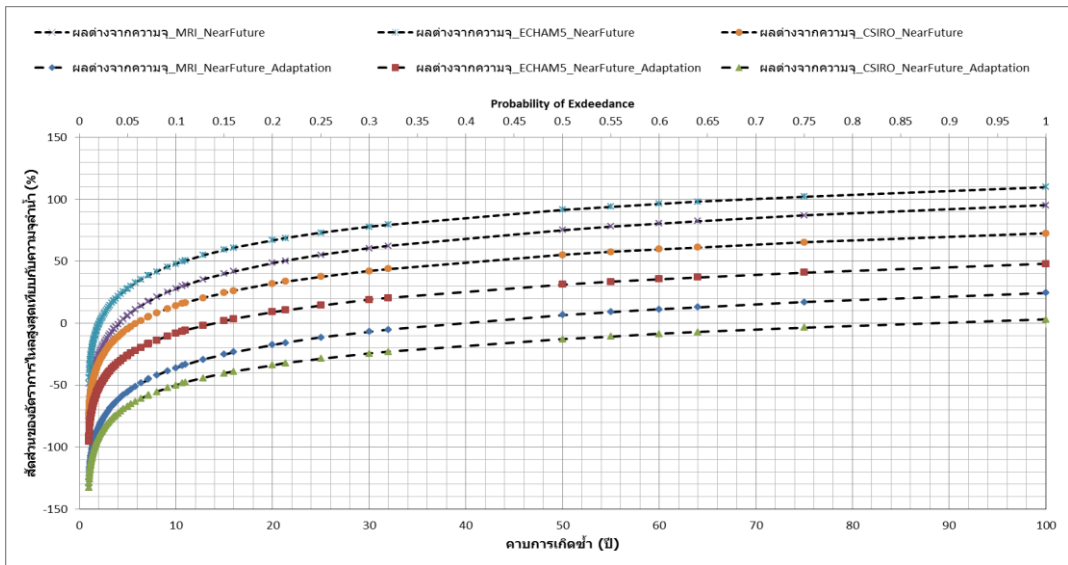
รูปที่ 5-57 แสดงชลภาพระดับน้ำเมื่อใช้มาตรการปรับตัวเทียบกับสภาพปกติของปี ค.ศ. 2002 พบว่าระดับน้ำสูงสุดในสถานี Y.3A ลดลงคิดเป็นร้อยละ 2.76 ส่วนปีค.ศ. 2006 ซึ่งมีปริมาณน้ำหลากมากกว่า มีระดับน้ำสูงสุดลดลงร้อยละ 1.18 หลังใช้มาตรการปรับตัวด้วยทุ่งน้ำหลาก อัตราการไหลสูงสุดผ่านสถานี Y.33 กรณีการปรับตัวพบว่าลดลงจากกรณีสภาพปกติร้อยละ 5.08 ในปี ค.ศ. 2002 และลดลงร้อยละ 3.70 ในปี ค.ศ. 2006

รูปที่ 5-58 แสดงผลการแจกแจงความถี่ของอัตราส่วนระหว่างระดับน้ำสูงสุดเทียบกับระดับตลิ่งลำน้ำกับคาบการเกิดซ้ำ ซึ่งในคาบการเกิดซ้ำใดที่อัตราส่วนดังกล่าวมีค่าน้อยกว่าศูนย์จะถือว่าไม่เกิดน้ำล้นตลิ่ง ในทางกลับกันถ้าอัตราส่วนดังกล่าวมีค่ามากกว่าศูนย์จะหมายถึงระดับน้ำที่ล้นตลิ่งนั่นเอง ผลการศึกษาพบว่า ในสถานี Y.3A มาตรการปรับตัวแบบผสมผสาน จะลดโอกาสการเกิด

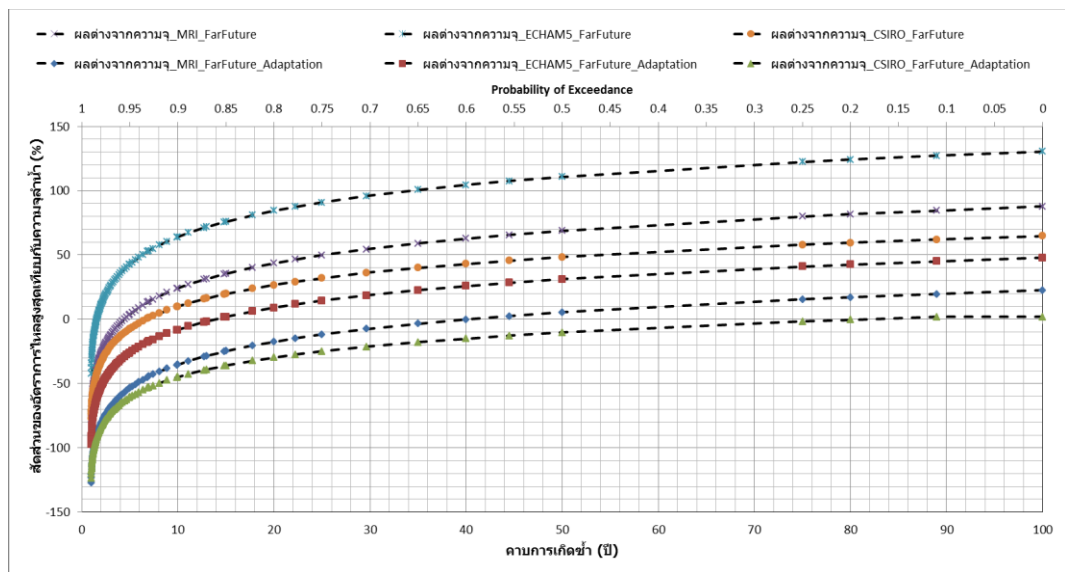
สภาวะอุทกภัยลงได้อย่างชัดเจน ในช่วงอนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล กรณีที่ใช้มาตรการปรับตัว จะเริ่มเกิดอุทกภัยตั้งแต่คาบการเกิดซ้ำ 30 ปี สำหรับแบบจำลอง MRI และ CSIRO ส่วนแบบจำลอง ECHAM5 น้ำจะเริ่มล้นตลิ่งที่คาบการเกิดซ้ำ 15 ปี ซึ่งเทียบกับกรณีสภาพปัจจุบันจะพบว่าระดับน้ำ จะล้นตลิ่งที่คาบการเกิดซ้ำ 7 ปี สำหรับแบบจำลอง MRI และ CSIRO และคาบการเกิดซ้ำ 3 ปี สำหรับแบบจำลอง ECHAM5 ส่วนในสถานี Y.33 มาตรการปรับตัวแบบผสมผสานจะลดโอกาสการเกิดอุทกภัยลงได้เช่นกัน ในช่วงอนาคตอันใกล้ กรณีที่ใช้มาตรการปรับตัว สภาวะอุทกภัยจะเริ่ม เกิดขึ้นที่คาบการเกิดซ้ำ 50 ปี สำหรับแบบจำลอง MRI และ ECHAM5 และคาบการเกิดซ้ำ 75 ปี สำหรับแบบจำลอง CSIRO ส่วนสภาพปัจจุบันพบว่าแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO จะเกิด น้ำจะล้นตลิ่งที่คาบการเกิดซ้ำ 6 ปี 4 ปี และ 8 ปี ตามลำดับ



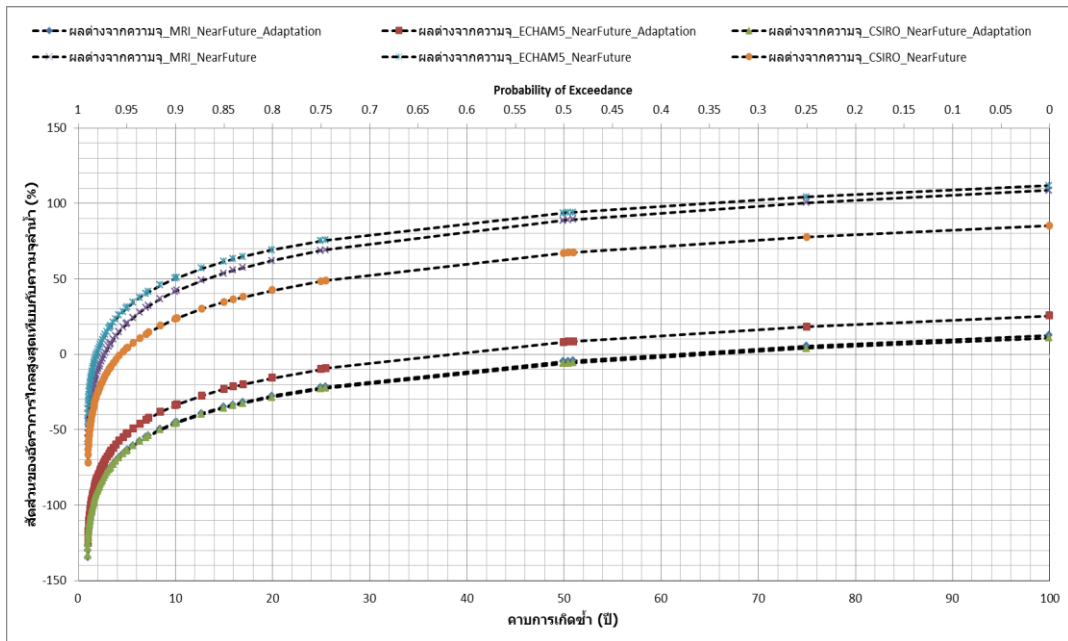
รูปที่ 5-56 ซลภาพการไหลเปรียบเทียบระหว่างกับกรณีการปรับตัวแบบผสมผสานกับสภาพน้ำหลาก ปัจจุบัน ในปีค.ศ. 2002 และ 2006



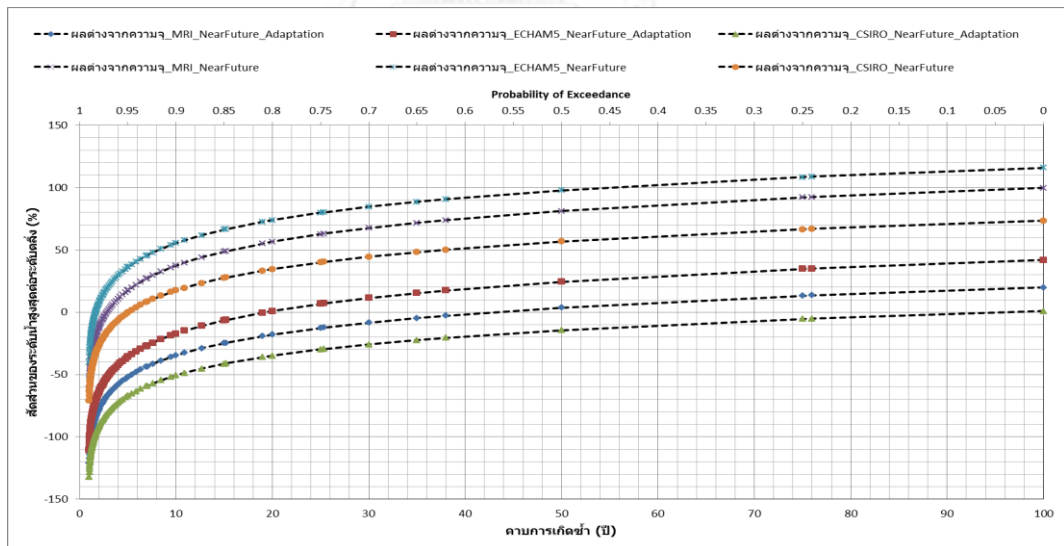
รูปที่ 5-57 การเปรียบเทียบการกระจายความถี่ของสัดส่วนของอัตราการไหลสูงสุดกับความจุลำน้ำในช่วงอนาคตอันใกล้ ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ณ สถานี Y.3A



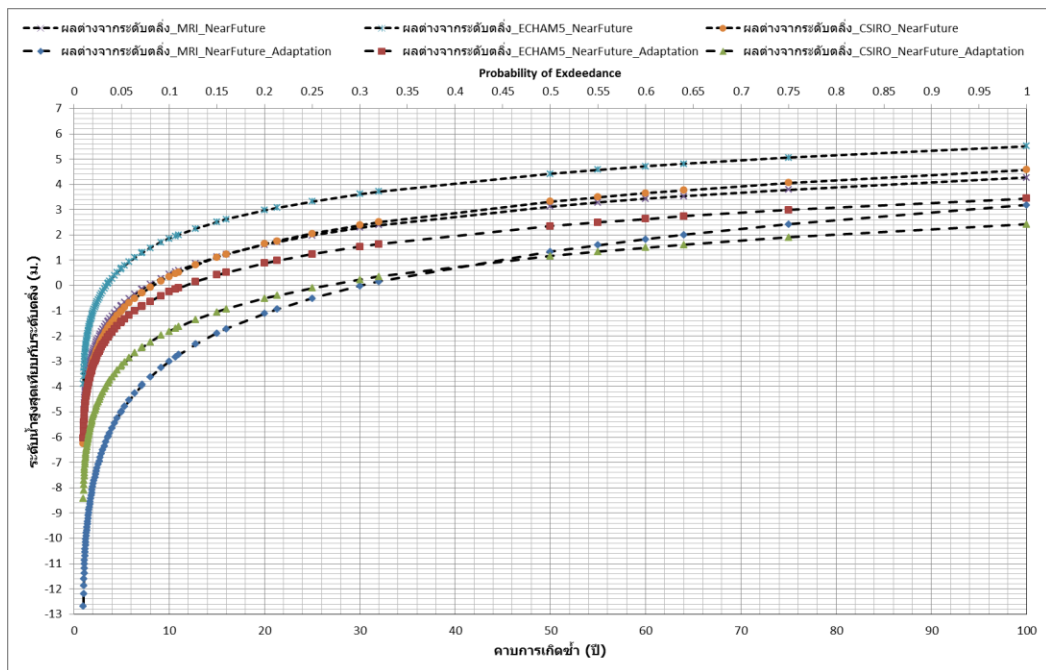
รูปที่ 5-58 การเปรียบเทียบการกระจายความถี่ของสัดส่วนของอัตราการไหลสูงสุดกับความจุลำน้ำในช่วงอนาคตอันไกล ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ณ สถานี Y.3A



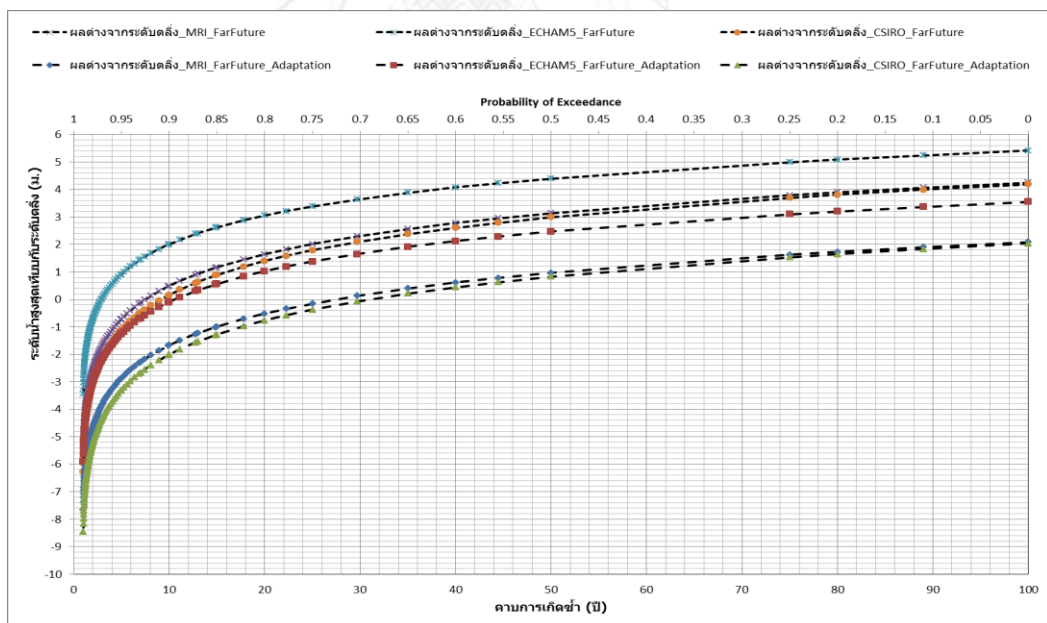
รูปที่ 5-59 การเปรียบเทียบการกระจายความถี่ของสัดส่วนของอัตราการไหลสูงสุดกับความจุล้นน้ำในช่วงอนาคตอันใกล้ ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ณ สถานี Y.33



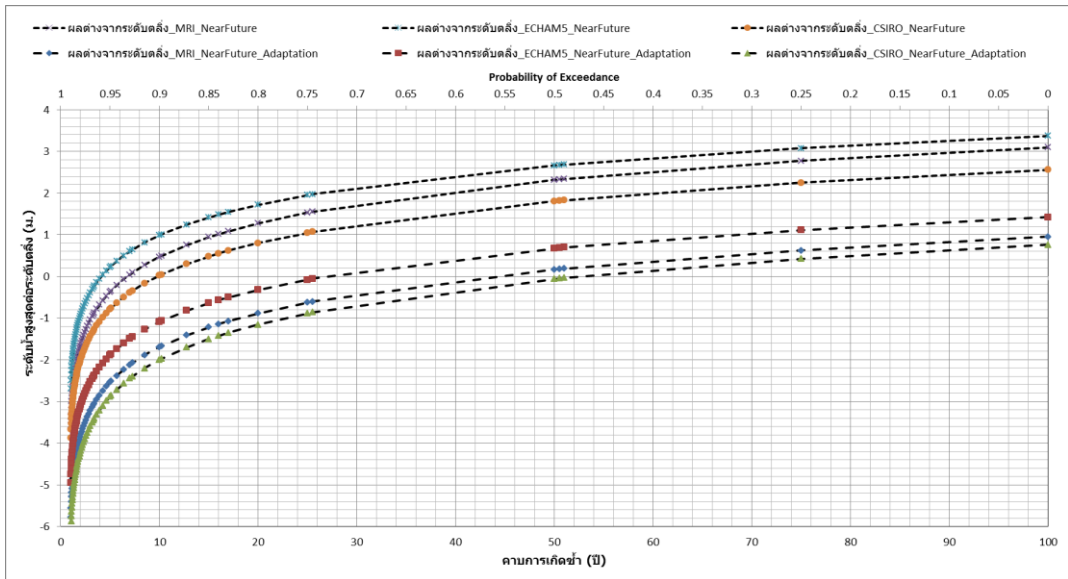
รูปที่ 5-60 การเปรียบเทียบการกระจายความถี่ของสัดส่วนของอัตราการไหลสูงสุดกับความจุล้นน้ำในช่วงอนาคตอันใกล้ ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ณ สถานี Y.33



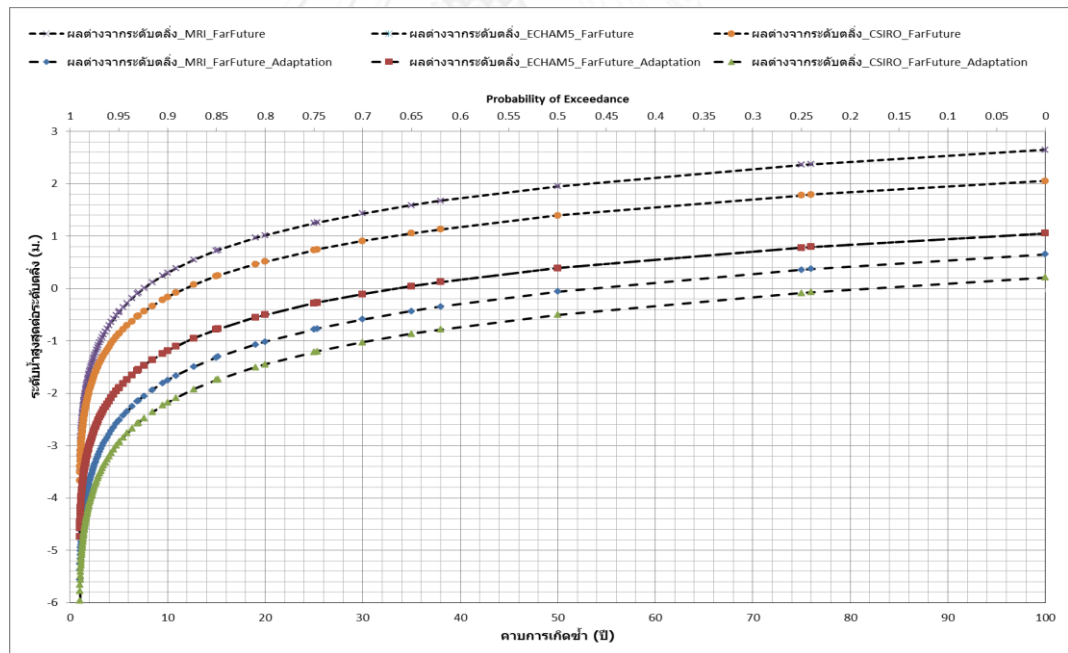
รูปที่ 5-61 การเปรียบเทียบระดับน้ำสูงสุดกับระดับตลิ่งในแต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันใกล้ ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ณ สถานี Y.3A



รูปที่ 5-62 การเปรียบเทียบระดับน้ำสูงสุดกับระดับตลิ่งในแต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันไกล ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ณ สถานี Y.3A



รูปที่ 5-63 การเปรียบเทียบระดับน้ำสูงสุดกับระดับคืนสูงที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันใกล้ ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ณ สถานี Y.33



รูปที่ 5-64 การเปรียบเทียบระดับน้ำสูงสุดกับระดับคืนสูงที่แต่ละคาบการเกิดซ้ำ ในช่วงอนาคตอันไกล ระหว่างแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ณ สถานี Y.33

5.4.4 การเปรียบเทียบประสิทธิผลของแต่ละมาตรการปรับตัว

หัวข้อก่อนหน้านี้ได้กล่าวถึงผลการศึกษาประสิทธิภาพของมาตรการปรับตัวแบบผสมระหว่างเชิงโครงสร้างและไม่ใช้โครงสร้างในการบรรเทาผลกระทบจากสภาพอุทกภัย ผ่านการวิเคราะห์แจกแจงความถี่ของอัตราส่วนของอัตราการไหลสูงสุดต่อความจุลำนํ้า กับอัตราส่วนของระดับนํ้าสูงสุดต่อระดับตลิ่งลำนํ้า ในหัวข้อนี้จะศึกษาถึงประสิทธิผลในการบรรเทาสภาพอุทกภัยของแต่ละมาตรการเทียบกับกรณีสภาพปัจจุบันที่สถานีวัดนํ้าท่า Y.3A และสถานีวัดนํ้าท่า Y.33 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) เทียบกับปัจจุบัน

5.4.4.1 ประสิทธิภาพของแต่ละมาตรการปรับตัวในการลดระดับนํ้าสูงสุด

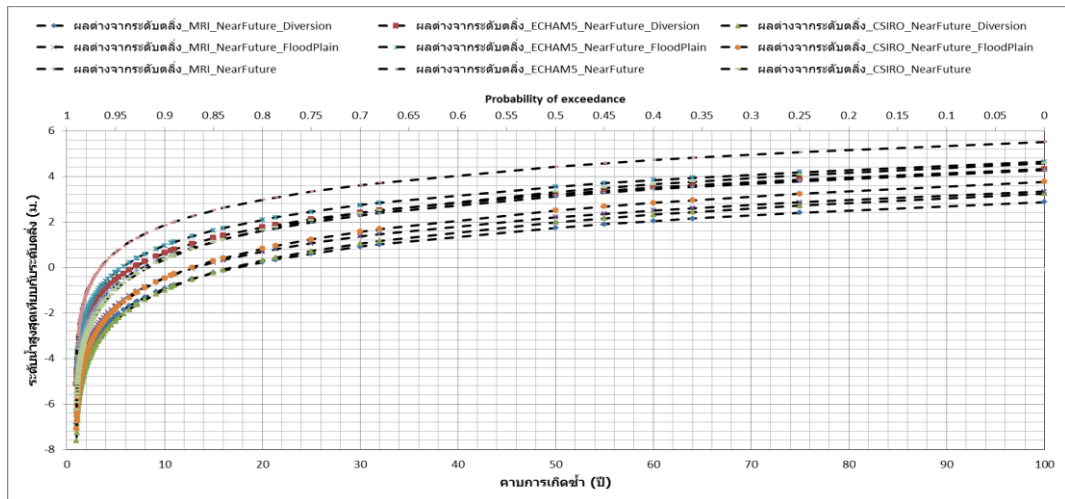
จากรูปที่ 5-65-รูปที่ 5-68 แสดงการแจกแจงความถี่ของอัตราส่วนระหว่างระดับนํ้าสูงสุดเทียบกับระดับตลิ่งลำนํ้ากับคาบการเกิดซ้ำ ระหว่างกรณีสภาพนํ้าท่าในอนาคตแบบปกติ กับกรณีที่ใช้มาตรการปรับตัวเชิงโครงสร้าง (ปรับปรุงระบบผันนํ้า) และมาตรการปรับตัวแบบไม่ใช้โครงสร้าง (ท่งนํ้าหลาก) ผลการศึกษาพบว่า มาตรการปรับตัวด้วยการปรับปรุงระบบผันนํ้า จะช่วยลดระดับนํ้าสูงสุดในช่วงอนาคตอันใกล้และอนาคตอันไกล ของทั้งสามแบบจำลอง ได้มากกว่าการใช้ท่งนํ้าหลากในทุกๆคาบการเกิดซ้ำ โดยกรณีของสถานี Y.3A ในช่วงอนาคตอันใกล้และไกลพบว่า มาตรการผันนํ้าจะช่วยลดระดับนํ้าสูงสุดลงได้ 1.31-1.39 ม. ในแบบจำลอง MRI ลดระดับนํ้าสูงสุดลงได้ 1.19-1.25 ม. ในแบบจำลอง ECHAM5 และลดระดับนํ้าลงได้ 1.33-1.34 ม. ในแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 ส่วนมาตรการท่งนํ้าหลากจะช่วยลดระดับนํ้าสูงสุดลงได้ 0.87-0.93 ม. ในแบบจำลอง MRI ลดระดับนํ้าสูงสุดลงได้ 0.87-0.91 ม. ในแบบจำลอง ECHAM5 และลดระดับนํ้าลงได้ 0.81-0.82 ม. ในแบบจำลอง CSIRO-MK3.5

ส่วนสถานี Y.33 ในช่วงอนาคตอันใกล้และไกลพบว่ามาตรการผันนํ้าจะช่วยลดระดับนํ้าสูงสุดลงได้ 1.28-1.31 ม. ในแบบจำลอง MRI ลดระดับนํ้าสูงสุดลงได้ 1.17-1.36 ม. ในแบบจำลอง ECHAM5 และลดระดับนํ้าลงได้ 1.11-1.47 ม. ในแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 ส่วนมาตรการท่งนํ้าหลากจะช่วยลดระดับนํ้าสูงสุดลงได้ 0.86-0.88 ม. ในแบบจำลอง MRI ลดระดับนํ้าสูงสุดลงได้ 0.78-0.91 ม. ในแบบจำลอง ECHAM5 และลดระดับนํ้าลงได้ 0.68-0.90 ม. ในแบบจำลองภูมิอากาศ CSIRO-MK3.5

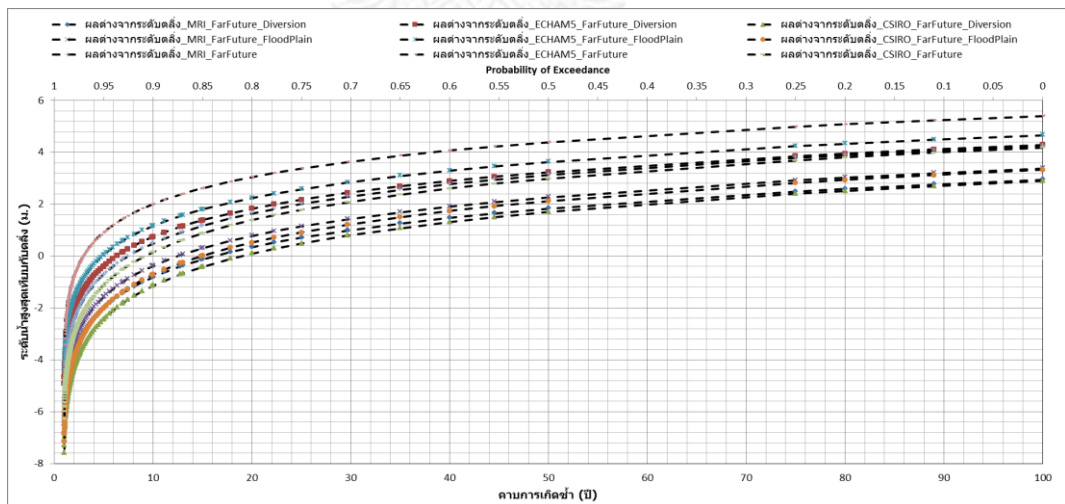
หากนำมาตรการปรับตัวแบบผสมผสานมาใช้จะพบว่า กรณีสถานี Y.3A ในช่วงอนาคตอันใกล้และอนาคตอันไกล แบบจำลอง MRI สามารถลดระดับนํ้าสูงสุดลงได้ 2.19-2.32 ม. ลดระดับนํ้าสูงสุดลงได้ 2.06-2.16 ม. ในแบบจำลอง ECHAM5 และลดระดับนํ้าสูงสุดลงได้ 2.15-2.16 ม. ในแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 กรณีสถานี Y.33 ในช่วงอนาคตอันใกล้และอนาคตอันไกล แบบจำลอง

MRI สามารถลดระดับน้ำสูงสุดลงได้ 2.14-2.19 ม. แบบจำลอง ECHAM5 ลดระดับน้ำสูงสุดลงได้ 1.95-2.26 ม. และแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 ลดระดับน้ำสูงสุดลงได้ 1.79-2.37 ม.

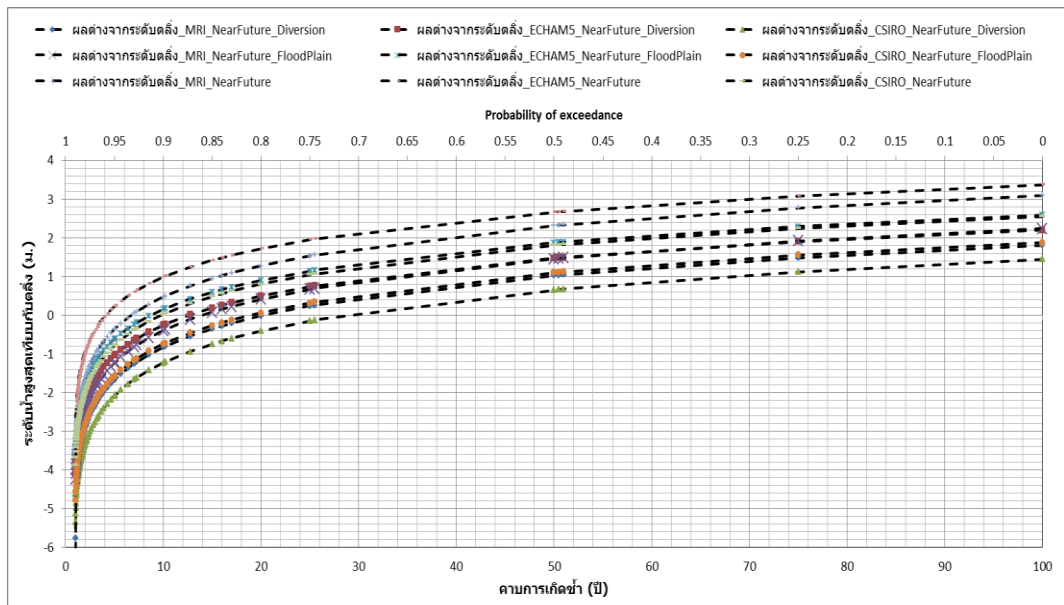
การเปรียบเทียบประสิทธิผลของมาตรการปรับตัวในปัจจุบัน ในช่วงอนาคตอันใกล้และช่วงอนาคตอันไกลที่คาบการเกิดซ้ำ 5 ปี 10 ปี 15 ปี 20 ปี 25 ปี 50 ปี 75 ปี และ 100 ปี ได้สรุปไว้ในตารางที่ 5 -30 ถึง 5-38



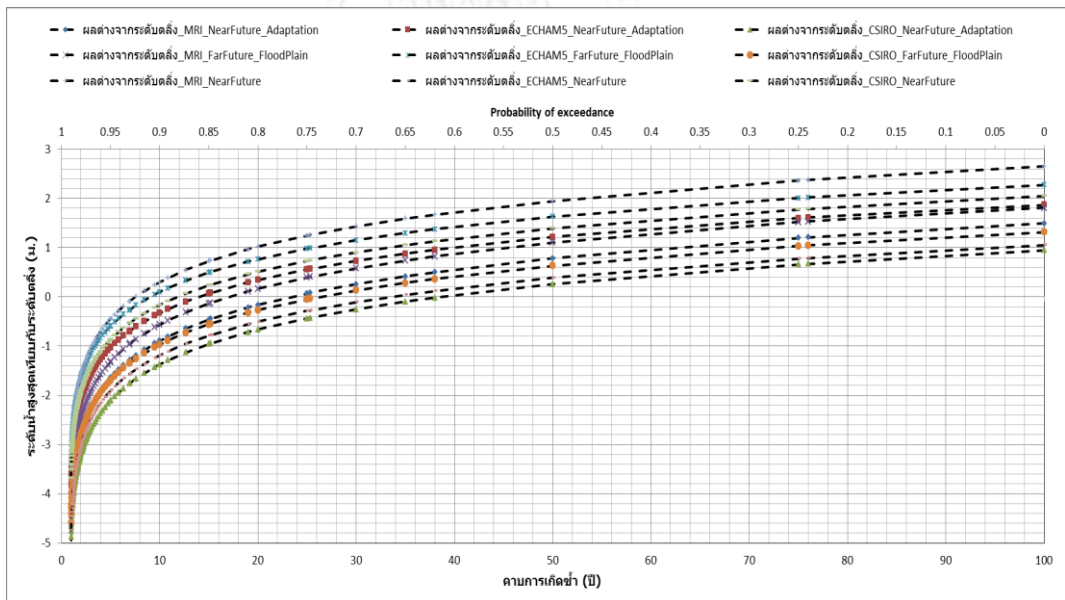
รูปที่ 5-65 การเปรียบเทียบประสิทธิผลในการลดระดับน้ำสูงสุดของมาตรการปรับตัวแบบเชิงโครงสร้าง (ปรับปรุงการผันน้ำ) และไม่ใช่โครงสร้าง ของสถานี Y.3A จาก MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039)



รูปที่ 5-66 การเปรียบเทียบประสิทธิผลในการลดระดับน้ำสูงสุดของมาตรการปรับตัวแบบเชิงโครงสร้าง (ปรับปรุงการผันน้ำ) และไม่ใช่โครงสร้าง ของสถานี Y.3A จากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099)



รูปที่ 5-67 การเปรียบเทียบประสิทธิผลในการลดระดับน้ำสูงสุดของมาตรการปรับตัวแบบเชิงโครงสร้าง (ปรับปรุงการผันน้ำ) และไม่ใช่โครงสร้าง ของสถานี Y.33 จากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039)



รูปที่ 5-68 การเปรียบเทียบประสิทธิผลในการลดระดับน้ำสูงสุดของมาตรการปรับตัวแบบเชิงโครงสร้าง (ปรับปรุงการผันน้ำ) และไม่ใช่โครงสร้าง ของสถานี Y.33 จากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099)

5.4.4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิผลของมาตรการปรับตัวกับมาตรการของกรมชลประทาน

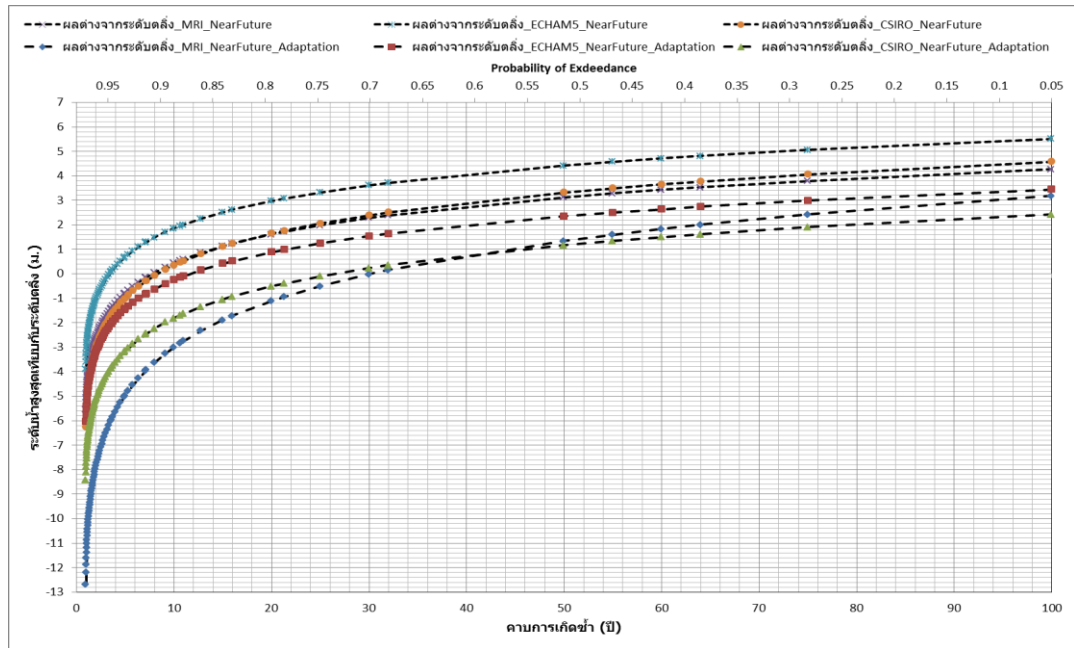
หลังจากที่ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิผลของมาตรการปรับตัวแบบผสมผสานและมาตรการเชิงโครงสร้างโดยปรับปรุงการผันน้ำและมาตรการที่ไม่ใช้โครงสร้างด้วยการใช้พื้นที่ราบลุ่มน้ำท่วมในการเก็บกักปริมาณน้ำหลากส่วนเกินจากเหตุการณ์อุทกภัย ในหัวข้อนี้จะเปรียบเทียบประสิทธิผลของมาตรการปรับตัวเบื้องต้นที่เสนอแนะเพิ่มเติมกับมาตรการเชิงโครงสร้างเดิมของกรมชลประทานว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร

ผลสรุปของการเปรียบเทียบประสิทธิผลของมาตรการปรับตัวแต่ละประเภท ณ สถานี Y.3A และ Y.33 แสดงไว้ในรูปที่ 5-70-5-74 โดยพบข้อสรุปดังต่อไปนี้

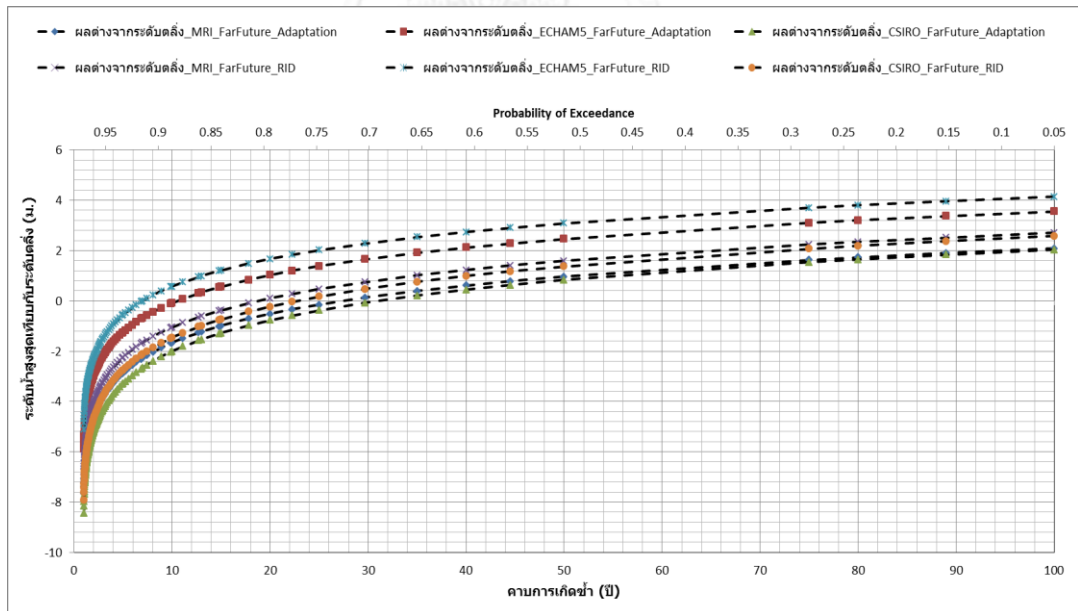
ผลการศึกษาพบว่า มาตรการปรับตัวของกรมชลประทาน อาจลดระดับน้ำสูงสุดในช่วงอนาคตอันใกล้และอนาคตอันไกล ของทั้งสามแบบจำลอง โดยกรณีของสถานี Y.3A ในช่วงอนาคตอันใกล้ พบว่า มาตรการของกรมชลประทานจะลดระดับน้ำสูงสุดลงได้ 1.63-1.73 ม. ในแบบจำลอง MRI ลดระดับน้ำสูงสุดลงได้ 1.58-1.66 ม. ในแบบจำลอง ECHAM5 และลดระดับน้ำลงได้ประมาณ 1.53 ม. ในแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 ส่วนช่วงอนาคตอันไกล มาตรการกรมชลประทานจะลดระดับน้ำสูงสุดลงได้ระหว่าง 1.53-1.55 ม. ในแบบจำลอง MRI ลดระดับน้ำสูงสุดลงได้ระหว่าง 1.27-1.70 ม. ในแบบจำลอง ECHAM5 และลดระดับน้ำลงได้ระหว่าง 1.62-1.64 ม. ในแบบจำลอง CSIRO-MK3.5

สถานี Y.33 ในช่วงอนาคตอันใกล้พบว่ามาตรการของกรมชลประทาน อาจลดระดับน้ำสูงสุดลงได้ 1.59-1.61 ม. ในแบบจำลอง MRI ลดระดับน้ำสูงสุดลงได้ 1.52-1.77 ม. ในแบบจำลอง ECHAM5 และลดระดับน้ำลงได้ 1.31-1.73 ม. ในแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 ส่วนช่วงอนาคตอันไกล มาตรการกรมชลประทานจะลดระดับน้ำสูงสุดลงได้ระหว่าง 1.34-1.43 ม. ในแบบจำลอง MRI ลดระดับน้ำสูงสุดลงได้ระหว่าง 1.47-1.68 ม. ในแบบจำลอง ECHAM5 และลดระดับน้ำลงได้ระหว่าง 1.37-1.69 ม. ในแบบจำลอง CSIRO-MK3.5

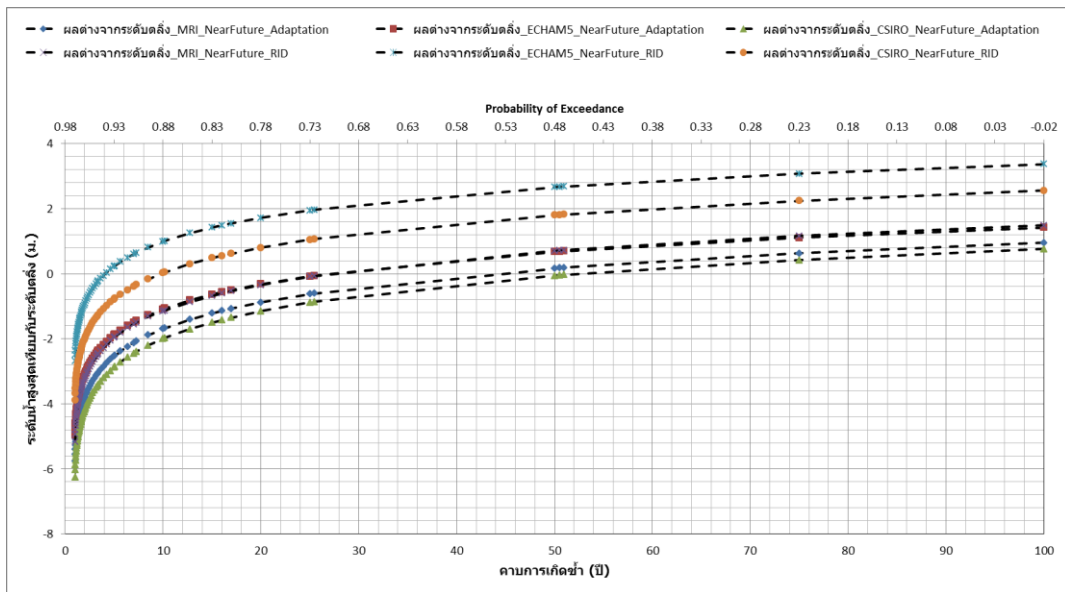
การเปรียบเทียบประสิทธิผลระหว่างมาตรการปรับตัวที่เสนอแนะเพิ่มเติมจากการศึกษาครั้งนี้ จะสรุปเพิ่มเติมในตารางที่ 5-45 ถึงตารางที่ 5-49



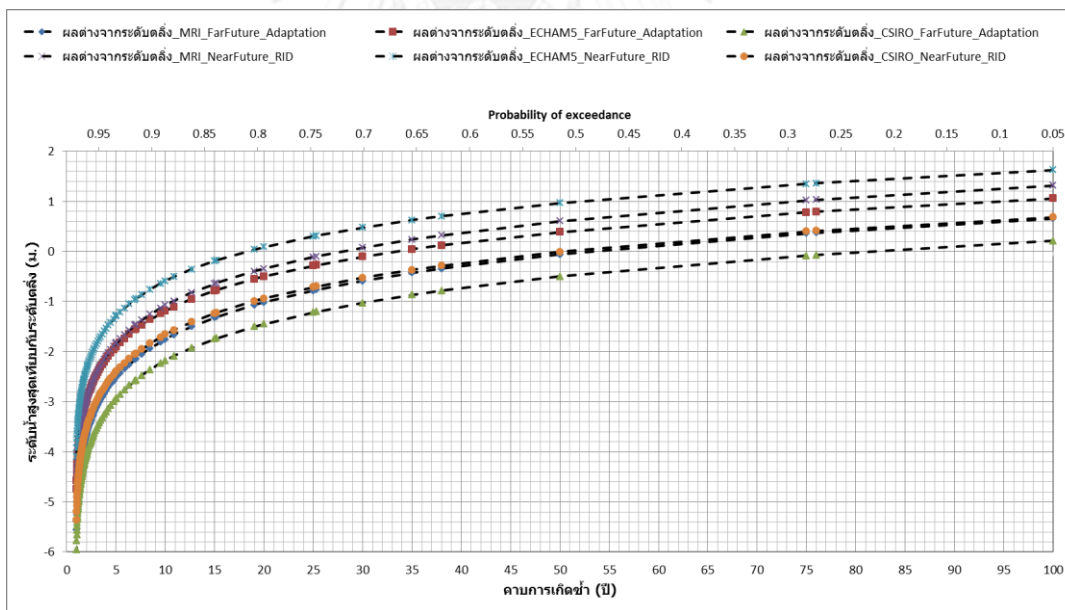
รูปที่ 5-70 การเปรียบเทียบประสิทธิผลในการลดระดับน้ำสูงสุดของมาตรการปรับตัวแบบผสมผสานและมาตรการกรมชลประทานของสถานี Y.3A จากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039)



รูปที่ 5-71 การเปรียบเทียบประสิทธิผลในการลดระดับน้ำสูงสุดของมาตรการปรับตัวแบบผสมผสานและมาตรการกรมชลประทานของสถานี Y.3A จากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099)



รูปที่ 5-72 การเปรียบเทียบประสิทธิผลในการลดระดับน้ำสูงสุดของมาตรการปรับตัวแบบผสมผสานและมาตรการกรมชลประทานของสถานี Y.33 จากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039)



รูปที่ 5-73 การเปรียบเทียบประสิทธิผลในการลดระดับน้ำสูงสุดของมาตรการปรับตัวแบบผสมผสานและมาตรการกรมชลประทานของสถานี Y.33 จากแบบจำลอง MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2075-2099)

ตารางที่ 5-36 ผลการเปรียบเทียบอัตราการไหลสูงสุดที่คาบการเกิดซ้ำ 50 ปี หลังใช้มาตรการปรับตัวแบบผสมผสาน ณ ปัจจุบัน

สถานีน้ำท่า	ที่ตั้งสถานี	ประสิทธิผล MRI		ประสิทธิผล ECHAM5		ประสิทธิผล CSIRO-MK3.5	
		Q _{RID} /Q _{existing}	Q _{mitigated} /Q _{existing}	Q _{RID} /Q _{existing}	Q _{mitigated} /Q _{existing}	Q _{RID} /Q _{existing}	Q _{mitigated} /Q _{existing}
Y.3A	อ. สวรรคโลก จ. สุโขทัย	71.68	59.40	68.27	57.93	55.56	46.36
Y.33	อ. ศรีสำโรง จ. สุโขทัย	66.03	44.20	62.08	41.01	52.72	35.14
Y.4	อ. เมือง จ. สุโขทัย	54.54	30.66	46.68	27.36	39.67	23.52

ตารางที่ 5-37 ผลการเปรียบเทียบอัตราการไหลสูงสุดที่คาบการเกิดซ้ำ 50 ปี หลังใช้มาตรการปรับตัวแบบผสมผสาน ณ อนาคตอันใกล้

สถานีน้ำท่า	ที่ตั้งสถานี	ประสิทธิผล MRI		ประสิทธิผล ECHAM5		ประสิทธิผล CSIRO-MK3.5	
		Q _{RID} /Q _{existing}	Q _{mitigated} /Q _{existing}	Q _{RID} /Q _{existing}	Q _{mitigated} /Q _{existing}	Q _{RID} /Q _{existing}	Q _{mitigated} /Q _{existing}
Y.3A	อ. สวรรคโลก จ. สุโขทัย	70.35	58.56	68.52	58.47	75.55	61.93
Y.33	อ. ศรีสำโรง จ. สุโขทัย	62.26	40.49	62.14	40.40	66.49	47.31
Y.4	อ. เมือง จ. สุโขทัย	48.59	28.25	48.65	28.03	65.30	38.72

ตารางที่ 5-38 ผลการเปรียบเทียบอัตราการไหลสูงสุดที่คาบการเกิดซ้ำ 50 ปี หลังใช้มาตรการปรับตัวแบบผสมผสาน ณ อนาคตอันไกล

สถานีน้ำท่า	ที่ตั้งสถานี	ประสิทธิผล MRI		ประสิทธิผล ECHAM5		ประสิทธิผล CSIRO-MK3.5	
		Q _{RID} /Q _{existing}	Q _{mitigated} /Q _{existing}	Q _{RID} /Q _{existing}	Q _{mitigated} /Q _{existing}	Q _{RID} /Q _{existing}	Q _{mitigated} /Q _{existing}
Y.3A	อ. สวรรคโลก	70.95	64.39	53.88	46.10	68.89	57.49
	จ. สุโขทัย						
Y.33	อ. ศรีสำโรง	69.02	47.71	51.57	32.91	60.52	44.11
	จ. สุโขทัย						
Y.4	อ. เมือง	54.00	31.77	48.52	25.17	53.24	29.43
	จ. สุโขทัย						

ตารางที่ 5-39 การเปรียบเทียบประสิทธิผลของมาตรการปรับตัว ในการลดระดับน้ำสูงสุด ในช่วง
อนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล ของแบบจำลอง MRI ณ สถานี Y.3A

สถานี	Tr (ปี)	ประสิทธิผลการลดระดับน้ำสูงสุดของ มาตรการปรับตัว อนาคตอันใกล้ (ม.)			ประสิทธิผลการลดระดับน้ำสูงสุดของ มาตรการปรับตัว อนาคตอันไกล (ม.)		
		มาตรการ ผสมผสาน	มาตรการ ผันน้ำ	มาตรการ ทุ่งน้ำหลาก	มาตรการ ผสมผสาน	มาตรการ ผันน้ำ	มาตรการ ทุ่งน้ำหลาก
Y.3A	100 ปี	-2.32	-1.39	-0.93	-2.17	-1.30	-0.87
	75 ปี	-2.32	-1.39	-0.93	-2.17	-1.30	-0.87
	50 ปี	-2.31	-1.38	-0.92	-2.17	-1.30	-0.87
	25 ปี	-2.30	-1.37	-0.92	-2.16	-1.30	-0.87
	20 ปี	-2.29	-1.37	-0.91	-2.16	-1.30	-0.87
	15 ปี	-2.28	-1.37	-0.91	-2.16	-1.30	-0.87
	10 ปี	-2.27	-1.36	-0.91	-2.16	-1.30	-0.86
	5 ปี	-2.25	-1.35	-0.90	-2.16	-1.29	-0.86

ตารางที่ 5-40 การเปรียบเทียบประสิทธิผลมาตรการปรับตัวของการลดระดับน้ำสูงสุดในช่วงอนาคต
อันใกล้ และอนาคตอันไกล ของแบบจำลอง ECHAM5 ณ สถานี Y.3A

สถานี	Tr (ปี)	ประสิทธิผลการลดระดับน้ำสูงสุดของ มาตรการปรับตัว อนาคตอันใกล้ (ม.)			ประสิทธิผลการลดระดับน้ำสูงสุดของ มาตรการปรับตัว อนาคตอันไกล (ม.)		
		มาตรการ ผสมผสาน	มาตรการ ผันน้ำ	มาตรการ ทุ่งน้ำหลาก	มาตรการ ผสมผสาน	มาตรการ ผันน้ำ	มาตรการ ทุ่งน้ำหลาก
Y.3A	5 ปี	-2.12	-1.22	-0.89	-2.18	-1.31	-0.87
	10 ปี	-2.11	-1.22	-0.89	-2.10	-1.26	-0.84
	15 ปี	-2.10	-1.21	-0.89	-2.06	-1.23	-0.82
	20 ปี	-2.09	-1.21	-0.88	-2.03	-1.22	-0.81
	25 ปี	-2.09	-1.21	-0.88	-2.00	-1.20	-0.80
	50 ปี	-2.08	-1.20	-0.88	-1.93	-1.16	-0.77
	75 ปี	-2.07	-1.20	-0.88	-1.89	-1.13	-0.76
	100 ปี	-2.07	-1.20	-0.87	-1.86	-1.12	-0.74

ตารางที่ 5-41 การเปรียบเทียบประสิทธิผลของมาตรการปรับตัวในการลดระดับน้ำสูงสุด ในช่วง
อนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล ของแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 ณ สถานี Y.3A

สถานี	Tr (ปี)	ประสิทธิผลการลดระดับน้ำสูงสุดของ มาตรการปรับตัว อนาคตอันใกล้ (ม.)			ประสิทธิผลการลดระดับน้ำสูงสุดของ มาตรการปรับตัว อนาคตอันไกล (ม.)		
		มาตรการ ผสมผสาน	มาตรการ ผันน้ำ	มาตรการ ทุ่งน้ำหลาก	มาตรการ ผสมผสาน	มาตรการ ผันน้ำ	มาตรการ ทุ่งน้ำหลาก
Y.3A	5 ปี	-2.16	-1.34	-0.82	-2.17	-1.30	-0.87
	10 ปี	-2.16	-1.34	-0.82	-2.17	-1.30	-0.87
	15 ปี	-2.16	-1.34	-0.82	-2.17	-1.30	-0.87
	20 ปี	-2.16	-1.34	-0.82	-2.17	-1.30	-0.87
	25 ปี	-2.16	-1.34	-0.82	-2.17	-1.30	-0.87
	50 ปี	-2.16	-1.34	-0.82	-2.16	-1.30	-0.87
	75 ปี	-2.16	-1.34	-0.82	-2.16	-1.30	-0.86
	100 ปี	-2.16	-1.34	-0.82	-2.16	-1.30	-0.86

ตารางที่ 5-42 การเปรียบเทียบประสิทธิผลของมาตรการปรับตัว ในการลดระดับน้ำสูงสุด ในช่วง
อนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล ของแบบจำลอง MRI-AGCM 3.1S ณ สถานี Y.33

สถานี	Tr (ปี)	ประสิทธิผลการลดระดับน้ำสูงสุดของ มาตรการปรับตัว อนาคตอันใกล้ (ม.)			ประสิทธิผลการลดระดับน้ำสูงสุดของ มาตรการปรับตัว อนาคตอันไกล (ม.)		
		มาตรการ ผสมผสาน	มาตรการ ผันน้ำ	มาตรการ ทุ่งน้ำหลาก	มาตรการ ผสมผสาน	มาตรการ ผันน้ำ	มาตรการ ทุ่งน้ำหลาก
Y.33	5 ปี	-2.17	-1.30	-0.87	-2.07	-1.20	-0.87
	10 ปี	-2.16	-1.30	-0.87	-2.05	-1.19	-0.86
	15 ปี	-2.16	-1.30	-0.86	-2.04	-1.18	-0.86
	20 ปี	-2.16	-1.30	-0.86	-2.03	-1.18	-0.85
	25 ปี	-2.16	-1.29	-0.86	-2.03	-1.18	-0.85
	50 ปี	-2.15	-1.29	-0.86	-2.01	-1.17	-0.84
	75 ปี	-2.15	-1.29	-0.86	-2.00	-1.16	-0.84
	100 ปี	-2.15	-1.29	-0.86	-1.99	-1.16	-0.84

ตารางที่ 5-43 การเปรียบเทียบประสิทธิผลของมาตรการปรับตัว ในการลดระดับน้ำสูงสุด ในช่วง
อนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล ของแบบจำลอง ECHAM5 ณ สถานี Y.33

สถานี	Tr (ปี)	ประสิทธิผลการลดระดับน้ำสูงสุดของ มาตรการปรับตัว อนาคตอันใกล้ (ม.)			ประสิทธิผลการลดระดับน้ำสูงสุดของ มาตรการปรับตัว อนาคตอันไกล (ม.)		
		มาตรการ ผสมผสาน	มาตรการ ผันน้ำ	มาตรการ ทุ่งน้ำหลาก	มาตรการ ผสมผสาน	มาตรการ ผันน้ำ	มาตรการ ทุ่งน้ำหลาก
Y.33	5 ปี	-2.12	-1.27	-0.85	-2.19	-1.31	-0.87
	10 ปี	-2.08	-1.25	-0.83	-2.15	-1.29	-0.86
	15 ปี	-2.05	-1.23	-0.82	-2.13	-1.28	-0.85
	20 ปี	-2.04	-1.22	-0.82	-2.11	-1.27	-0.85
	25 ปี	-2.03	-1.22	-0.81	-2.10	-1.26	-0.84
	50 ปี	-1.99	-1.19	-0.80	-2.07	-1.24	-0.83
	75 ปี	-1.97	-1.18	-0.79	-2.05	-1.23	-0.82
	100 ปี	-1.95	-1.17	-0.78	-2.04	-1.22	-0.81

ตารางที่ 5-44 การเปรียบเทียบประสิทธิผลของมาตรการปรับตัวในการลดระดับน้ำสูงสุด ในช่วง
อนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล ของแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 ณ สถานี Y.33

สถานี	Tr (ปี)	ประสิทธิผลการลดระดับน้ำสูงสุดของ มาตรการปรับตัว อนาคตอันใกล้ (ม.)			ประสิทธิผลการลดระดับน้ำสูงสุดของ มาตรการปรับตัว อนาคตอันไกล (ม.)		
		มาตรการ ผสมผสาน	มาตรการ ผันน้ำ	มาตรการ ทุ่งน้ำหลาก	มาตรการ ผสมผสาน	มาตรการ ผันน้ำ	มาตรการ ทุ่งน้ำหลาก
Y.33	5 ปี	-2.10	-1.30	-0.80	-2.07	-1.24	-0.83
	10 ปี	-2.02	-1.25	-0.77	-2.01	-1.21	-0.81
	15 ปี	-1.98	-1.23	-0.75	-1.98	-1.19	-0.79
	20 ปี	-1.95	-1.21	-0.74	-1.96	-1.18	-0.78
	25 ปี	-1.93	-1.20	-0.73	-1.95	-1.17	-0.78
	50 ปี	-1.86	-1.15	-0.71	-1.89	-1.14	-0.76
	75 ปี	-1.82	-1.13	-0.69	-1.86	-1.12	-0.75
	100 ปี	-1.79	-1.11	-0.68	-1.84	-1.11	-0.74

ตารางที่ 5-45 การเปรียบเทียบประสิทธิผลของมาตรการปรับตัวเบื้องต้นที่เสนอแนะกับมาตรการ
ปรับตัวของกรมชลประทาน ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.3A ของแบบจำลอง MRI

สถานี	Tr (ปี)	ประสิทธิผลการลดระดับน้ำสูงสุดของ มาตรการปรับตัว อนาคตอันใกล้ (ม.)		ประสิทธิผลการลดระดับน้ำสูงสุดของ มาตรการปรับตัว อนาคตอันไกล (ม.)	
		มาตรการ ผสมผสาน	มาตรการ กรมชลประทาน	มาตรการ ผสมผสาน	มาตรการ กรมชลประทาน
Y.3A	5 ปี	-2.32	-1.68	-2.17	-1.54
	10 ปี	-2.32	-1.69	-2.17	-1.54
	15 ปี	-2.31	-1.70	-2.17	-1.54
	20 ปี	-2.30	-1.70	-2.16	-1.54
	25 ปี	-2.29	-1.71	-2.16	-1.55
	50 ปี	-2.28	-1.72	-2.16	-1.55
	75 ปี	-2.27	-1.72	-2.16	-1.55
	100 ปี	-2.25	-1.73	-2.16	-1.55

ตารางที่ 5-46 การเปรียบเทียบประสิทธิผลของมาตรการปรับตัวเบื้องต้นที่เสนอแนะกับมาตรการ
ปรับตัวของกรมชลประทาน ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.3A ของแบบจำลอง ECHAM5

สถานี	Tr (ปี)	ประสิทธิผลการลดระดับน้ำสูงสุดของ มาตรการปรับตัว อนาคตอันใกล้ (ม.)		ประสิทธิผลการลดระดับน้ำสูงสุดของ มาตรการปรับตัว อนาคตอันไกล (ม.)	
		มาตรการ ผสมผสาน	มาตรการ กรมชลประทาน	มาตรการ ผสมผสาน	มาตรการ กรมชลประทาน
Y.3A	5 ปี	-2.12	-1.62	-2.18	-1.49
	10 ปี	-2.11	-1.61	-2.10	-1.43
	15 ปี	-2.10	-1.61	-2.06	-1.40
	20 ปี	-2.09	-1.60	-2.03	-1.38
	25 ปี	-2.09	-1.60	-2.00	-1.37
	50 ปี	-2.08	-1.59	-1.93	-1.32
	75 ปี	-2.07	-1.59	-1.89	-1.29
	100 ปี	-2.07	-1.58	-1.86	-1.27

ตารางที่ 5-47 การเปรียบเทียบประสิทธิผลของมาตรการปรับตัวเบื้องต้นที่เสนอแนะกับมาตรการปรับตัวของกรมชลประทาน ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.3A ของแบบจำลอง CSIRO-MK3.5

สถานี	Tr (ปี)	ประสิทธิผลการลดระดับน้ำสูงสุดของ มาตรการปรับตัว อนาคตอันใกล้ (ม.)		ประสิทธิผลการลดระดับน้ำสูงสุดของ มาตรการปรับตัว อนาคตอันไกล (ม.)	
		มาตรการ ผสมผสาน	มาตรการ กรมชลประทาน	มาตรการ ผสมผสาน	มาตรการ กรมชลประทาน
Y.3A	5 ปี	-2.12	-1.62	-2.18	-1.49
	10 ปี	-2.11	-1.61	-2.10	-1.43
	15 ปี	-2.10	-1.61	-2.06	-1.40
	20 ปี	-2.09	-1.60	-2.03	-1.38
	25 ปี	-2.09	-1.60	-2.00	-1.37
	50 ปี	-2.08	-1.59	-1.93	-1.32
	75 ปี	-2.07	-1.59	-1.89	-1.29
	100 ปี	-2.07	-1.58	-1.86	-1.27

ตารางที่ 5-48 การเปรียบเทียบประสิทธิผลของมาตรการปรับตัวเบื้องต้นที่เสนอแนะกับมาตรการปรับตัวของกรมชลประทาน ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.33 ของแบบจำลอง MRI

สถานี	Tr (ปี)	ประสิทธิผลการลดระดับน้ำสูงสุดของ มาตรการปรับตัว อนาคตอันใกล้ (ม.)		ประสิทธิผลการลดระดับน้ำสูงสุดของ มาตรการปรับตัว อนาคตอันไกล (ม.)	
		มาตรการ ผสมผสาน	มาตรการ กรมชลประทาน	มาตรการ ผสมผสาน	มาตรการ กรมชลประทาน
Y.33	5 ปี	-2.17	-1.59	-2.07	-1.39
	10 ปี	-2.16	-1.62	-2.05	-1.37
	15 ปี	-2.16	-1.62	-2.04	-1.37
	20 ปี	-2.16	-1.62	-2.03	-1.36
	25 ปี	-2.16	-1.62	-2.03	-1.36
	50 ปี	-2.15	-1.61	-2.01	-1.35
	75 ปี	-2.15	-1.61	-2.00	-1.34%
	100 ปี	-2.15	-1.61	-1.99	-1.34%

ตารางที่ 5-49 การเปรียบเทียบประสิทธิผลของมาตรการปรับตัวเบื้องต้นที่เสนอแนะกับมาตรการปรับตัวเดิมของกรมชลประทาน ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.33 ของแบบจำลอง ECHAM5

สถานี	Tr (ปี)	ประสิทธิผลการลดระดับน้ำสูงสุดของ มาตรการปรับตัว อนาคตอันใกล้ (ม.)		ประสิทธิผลการลดระดับน้ำสูงสุดของ มาตรการปรับตัว อนาคตอันไกล (ม.)	
		มาตรการ ผสมผสาน	มาตรการ กรมชลประทาน	มาตรการ ผสมผสาน	มาตรการ กรมชลประทาน
Y.33	5 ปี	-2.12	-1.65	-2.19	-1.39
	10 ปี	-2.08	-1.62	-2.15	-1.37
	15 ปี	-2.05	-1.60	-2.13	-1.37
	20 ปี	-2.04	-1.59	-2.11	-1.36
	25 ปี	-2.03	-1.58	-2.10	-1.36
	50 ปี	-1.99	-1.55	-2.07	-1.35
	75 ปี	-1.97	-1.53	-2.05	-1.34
	100 ปี	-1.95	-1.52	-2.04	-1.34

ตารางที่ 5-50 การเปรียบเทียบประสิทธิผลของมาตรการปรับตัวเบื้องต้นที่เสนอแนะกับมาตรการปรับตัวของกรมชลประทาน ณ สถานีวัดน้ำท่า Y.33 ของแบบจำลอง CSIRO-MK3.5

สถานี	Tr (ปี)	ประสิทธิผลการลดระดับน้ำสูงสุดของ มาตรการปรับตัว อนาคตอันใกล้ (ม.)		ประสิทธิผลการลดระดับน้ำสูงสุดของ มาตรการปรับตัว อนาคตอันไกล (ม.)	
		มาตรการ ผสมผสาน	มาตรการ กรมชลประทาน	มาตรการ ผสมผสาน	มาตรการ กรมชลประทาน
Y.33	5 ปี	-2.10	-1.53	-2.07	-1.63
	10 ปี	-2.02	-1.53	-2.01	-1.63
	15 ปี	-1.98	-1.53	-1.98	-1.63
	20 ปี	-1.95	-1.53	-1.96	-1.62
	25 ปี	-1.93	-1.53	-1.95	-1.62
	50 ปี	-1.86	-1.53	-1.89	-1.62
	75 ปี	-1.82	-1.53	-1.86	-1.62
	100 ปี	-1.79	-1.53	-1.84	-1.62

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

จากกระบวนการศึกษาที่ผ่านมา การรวบรวมข้อมูล ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง การปรับปรุงคุณภาพข้อมูลฝนด้วยการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติ การย่อส่วนข้อมูลฝน และการประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกต่อสภาพอุทกวิทยา (น้ำฝน, น้ำท่า, ระดับน้ำ, พื้นที่อุทกภัย) ในจังหวัดสุโขทัย สามารถสรุปประเด็นของการศึกษา ข้อจำกัดงานวิจัย ข้อเสนอแนะเบื้องต้น รวมถึงงานวิจัยที่นำศึกษาต่อในอนาคต ดังต่อไปนี้

6.1 การปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติและย่อส่วนข้อมูลฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก

6.1.1 การปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติ

ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้การปรับแก้ความเอนเอียงของข้อมูลฝนด้วยการแปลงแบบแกมมา-แกมมา (Gamma-Gamma transformation) เพื่อปรับปรุงคุณลักษณะเชิงสถิติของข้อมูลฝน ได้แก่ ปริมาณฝนเฉลี่ยรายวัน ความถี่ฝน และความเข้มฝน ให้สอดคล้องกับข้อมูลจริงมากยิ่งขึ้น สรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1) ในช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติของข้อมูลฝน ผลการเปรียบเทียบเบื้องต้นในสถานีน้ำฝน 14 สถานีในกลุ่มน้ำยม พบว่าแบบจำลอง MRI ให้ผลใกล้เคียงกับข้อมูลฝนจริงมากที่สุด ตามมาด้วยแบบจำลอง ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ตามลำดับ

2) ผลการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติเมื่อพิจารณาจากปริมาณฝนเฉลี่ยรายวัน ความถี่ฝน และความเข้มฝน พบว่าทั้งสามแบบจำลองสามารถแสดงผลลัพธ์ที่สะท้อนความเป็นจริงได้เป็นอย่างดี แต่แบบจำลอง MRI จะให้ผลใกล้เคียงกับข้อมูลฝนจริงมากที่สุด ตามมาด้วยแบบจำลอง ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ตามลำดับ

3) ผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนของสถานีวัดน้ำฝนหลังปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติ พบว่าแบบจำลอง MRI จะให้ผลใกล้เคียงกับข้อมูลฝนจริงมากที่สุด ตามมาด้วยแบบจำลอง ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ตามลำดับ

6.1.2 การย่อส่วนข้อมูลฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก

การศึกษาครั้งนี้ได้ย่อส่วนข้อมูลฝนจากข้อมูลฝนของแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 ด้วยวิธี spatial disaggregation เพื่อเพิ่มความละเอียดเชิงพื้นที่ของฝนให้สอดคล้องกับข้อมูลจริง และสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า ซึ่งจะนำไปใช้ประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อจังหวัดสุโขทัยได้ต่อไป ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

1) การประเมินประสิทธิภาพของการย่อส่วนข้อมูลฝนด้วยวิธีการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของ exceedance probability กับปริมาณฝนรายวันในเดือนพฤษภาคมและกันยายน พบว่าการย่อส่วนข้อมูลฝนมีความสามารถในการจำลองแนวโน้มที่ใกล้เคียงกับฝนสังเกตการณ์ได้ค่อนข้างดี และมีการผันแปรของปริมาณฝนไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีปริมาณฝนรายวันสูงสุดต่ำกว่าของฝนสังเกตการณ์ในสถานีน้ำฝนส่วนใหญ่

2) การประเมินประสิทธิภาพของการย่อส่วนข้อมูลฝนอีกวิธีหนึ่งคือการเปรียบเทียบค่าอัตโนมัติสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (spatial autocorrelation) ผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงพื้นที่อย่างใกล้ชิด กล่าวคือค่าสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (spatial correlation) มีค่า R2 อยู่ระหว่าง 0.82–0.98 ในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม–ตุลาคม)

6.2 การจำลองสภาพน้ำหลากในจังหวัดสุโขทัยในปัจจุบัน

ในการจำลองสภาพน้ำหลากของจังหวัดสุโขทัยครั้งนี้ ได้แบ่งออกเป็นสองส่วน คือ แบบจำลองอุทกวิทยา (hydrologic model) ซึ่งทำหน้าที่แปลงน้ำฝนให้เป็นน้ำท่า ด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ HEC-HMS และการจำลองสภาพการไหลในลำน้ำ (hydrodynamic model) ด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ HEC-RAS การปรับเทียบแบบจำลองอุทกวิทยากระทำโดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการไหล เพื่อสะท้อนสภาพการไหลตามความเป็นจริงให้มากที่สุด ทั้งในเชิงของอัตราการไหลสูงสุด (peak flow) รูปร่างของชลภาพ ปริมาตรการไหล (flow volume) และนำผลการสอบเทียบและสอบทานที่ได้ไปจำลองสภาพน้ำหลากในอนาคตต่อไป ทำนองเดียวกันการปรับเทียบแบบจำลองการไหลในลำน้ำกระทำโดยการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของแมนนิง (Manning's n roughness coefficient) ผลของการเปรียบเทียบทั้งชลภาพการไหลและระดับน้ำของแต่ละสถานีวัดน้ำท่าในปี ค.ศ. 2002 และ 2006 2 และผลการเปรียบเทียบสภาพน้ำหลากที่ได้จากแบบจำลองภูมิอากาศโลกทั้งสาม ในปี ค.ศ. 2002 และ 2006 จะแสดงไว้ในตารางในภาคผนวก จ

ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการไหลในแบบจำลองอุทกวิทยา HEC-HMS และสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิง จะแสดงไว้ในภาคผนวก จ

จากการศึกษาสรุปได้ว่าการปรับเทียบแบบจำลองให้ผลลัพธ์ที่น่าพึงพอใจ กล่าวคืออัตราการไหลสูงสุด ระดับน้ำสูงสุด และปริมาตรน้ำหลาก จะมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกับข้อมูลสังเกตการณ์ จึงสามารถนำไปจำลองสภาพน้ำหลากภายใต้สถานการณ์ของแบบจำลองภูมิอากาศโลกในปัจจุบันและอนาคตได้

จากการศึกษาได้สรุปผลการเปรียบเทียบสภาพน้ำหลากจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ในปี ค.ศ. 2002 และ 2006 พบว่าแบบจำลอง MRI จำลองอัตราการ

ไหลสูงสุดคลาดเคลื่อนระหว่าง -9.70%-16.08% ในปี ค.ศ. 2002 และคลาดเคลื่อนระหว่าง -3.58%-28.48% ในปี ค.ศ. 2006 แบบจำลอง ECHAM5 จำลองอัตราการไหลสูงสุดคลาดเคลื่อนระหว่าง 6.64%-38.21% ในปี ค.ศ. 2002 และ -6.41%-21.58% ในปี ค.ศ. 2006 และแบบจำลองภูมิอากาศ CSIRO-MK3.5 จำลองอัตราการไหลสูงสุดคลาดเคลื่อนระหว่าง -9.38%-10.17% ในปี ค.ศ. 2002 และ -12.01% ถึง 24.40% ในปี ค.ศ. 2006 ซึ่งหากเปรียบเทียบความใกล้เคียงแต่ละสถานีจะพบว่า ในปี ค.ศ. 2002 แบบจำลอง MRI จำลองอัตราการไหลสูงสุดได้ใกล้เคียงที่สุดในสถานีวัดน้ำท่าส่วนใหญ่ รองลงมา ได้แก่ CSIRO-MK3.5 และ ECHAM5 ตามลำดับ ส่วนปริมาณน้ำหลากพบว่าแบบจำลอง MRI และ CSIRO-MK3.5 มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลสังเกตการณ์มากกว่า ECHAM5 อย่างชัดเจน ส่วนระดับน้ำสูงสุดพบว่าใกล้เคียงกันทั้งสามแบบจำลอง ในปี ค.ศ. 2006 พบว่าแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 จำลองอัตราการไหลสูงสุดได้ใกล้เคียงที่สุดในสถานีวัดน้ำท่าส่วนใหญ่ รองลงมา ได้แก่ ECHAM5 และ MRI ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาถึงปริมาณน้ำหลากกลับพบว่า แบบจำลอง MRI ให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับข้อมูลน้ำท่าสังเกตการณ์มากที่สุด รองลงมาคือ แบบจำลอง ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ตามลำดับ

6.3 สรุปผลกระทบต่อสภาพน้ำฝนในจังหวัดสุโขทัย ภายใต้อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกจากแบบจำลอง MRI-AGCM 3.1S ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 ที่มีต่อสภาพน้ำฝนสรุปได้ดังนี้

6.3.1 สภาพน้ำฝนของจังหวัดสุโขทัยในอนาคต

สภาพน้ำฝนของจังหวัดสุโขทัย พิจารณาจากการเปรียบเทียบสถานการณ์ระหว่างแบบจำลองโน้มในภาพรวมสรุปได้ดังนี้ภูมิอากาศโลกทั้งสาม ซึ่งแนว

6.3.1.1 ปริมาณน้ำฝนรายปีของจังหวัดสุโขทัยในอนาคต

1) ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) พบว่าปริมาณฝนรายปีในสามสถานีตัวอย่าง ได้แก่ สถานีน้ำฝน 40043 อำเภอสอง จังหวัดแพร่ สถานี 59022 อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย และสถานี 59012 อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI ECHAM5 และแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบันในช่วงคาบการเกิดซ้ำส่วนใหญ่

2) ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) ปริมาณฝนรายปีในสถานีน้ำฝน 40043 อำเภอสอง จังหวัดแพร่ จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI และแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 มีแนวโน้มปรับตัวลดลงจากปัจจุบันในคาบการเกิดซ้ำส่วนใหญ่ ส่วนปริมาณฝนรายปีจากแบบจำลอง ECHAM5 มี

แนวโน้มปรับตัวสูงขึ้น ขณะที่ปริมาณฝนรายปีจากแบบจำลองทั้งสามในสถานีน้ำฝน 59022 และ สถานีฝน 59012 พบว่ามีแนวโน้มปรับตัวสูงขึ้นในคาบการเกิดซ้ำส่วนใหญ่

6.3.1.2 ปริมาณฝนช่วงฤดูฝนของจังหวัดสุโขทัยในอนาคต

1) ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) พบว่าปริมาณฝนฤดูฝนใน สถานีน้ำฝน 40043 อำเภอสอง จังหวัดแพร่ จากแบบจำลองภูมิอากาศ MRI และแบบจำลอง ECHAM5 มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบันในช่วงคาบการเกิดซ้ำส่วนใหญ่ แต่จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 ขณะที่ปริมาณฝนช่วงฤดูฝนของสถานี 59022 อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย และสถานี 59012 อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย จากทั้งสามแบบจำลองภูมิอากาศโลก จะมีแนวโน้มปรับตัวลดลงจากปัจจุบันในคาบการเกิดซ้ำส่วนใหญ่

2) ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) พบว่าปริมาณฝนฤดูฝนใน สถานีน้ำฝน 40043 อำเภอสอง จังหวัดแพร่ จากแบบจำลองภูมิอากาศ ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 มีแนวโน้มปรับตัวเพิ่มขึ้นจากปัจจุบัน แต่ปริมาณฝนจากแบบจำลอง MRI จะมีแนวโน้มลดลงในคาบการเกิดซ้ำส่วนใหญ่ สถานีน้ำฝน 59022 ปริมาณฝนจากแบบจำลอง ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณฝนจากแบบจำลอง MRI จะมีแนวโน้มลดลง ส่วนสถานีน้ำฝน 59012 พบว่าปริมาณฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI และ CSIRO-MK3.5 มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบัน แต่จะเพิ่มขึ้นกับแบบจำลองภูมิอากาศ ECHAM5

การสรุปผลของการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนช่วงฤดูฝนในจังหวัดสุโขทัย รวมถึงช่วงพิสัยสูงสุดและต่ำที่สุดระหว่างแบบจำลองภูมิอากาศโลกทั้งสาม แสดงไว้ในตารางที่ 6-6

6.3.1.3 ปริมาณฝนรายเดือนของจังหวัดสุโขทัยในอนาคต

ของปริมาณฝนรายเดือนของสถานีวัดน้ำฝนทั้งสามในช่วงอนาคตอันใกล้ และแนวโน้มอนาคตอันไกล รวมถึงช่วงพิสัยสูงสุดและต่ำที่สุดของการเปลี่ยนแปลงระหว่างแบบจำลองภูมิอากาศโลกทั้งสาม ได้สรุปผลไว้ในตารางที่ 6-7

6.3.1.4 ปริมาณฝนรายวันของจังหวัดสุโขทัยในอนาคต

1) จากกรณีศึกษาของฝนช่วงอนาคตอันใกล้ พบว่าแบบจำลอง MRI และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงลุ่มน้ำตอนบน ตั้งแต่อำเภอสอง จังหวัดแพร่ ถึงอำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย จะให้ปริมาณฝนสะสมรายวันที่ลดลงในทุกๆคาบการเกิดซ้ำ โดย MRI มีพิสัยของการเปลี่ยนแปลงจากปัจจุบันระหว่าง -3.43%--18.38% ส่วนแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 มีพิสัยของการเปลี่ยนแปลงจากปัจจุบันระหว่าง -15.76% ถึง -28.54% ส่วนแบบจำลอง ECHAM5 มีแนวโน้มของฝนสะสมรายวันสูงสุด

ลดลงจากปัจจุบันเพียงช่วงอำเภอสอง จังหวัดแพร่ ถึงอำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัยด้วยพิสัยการลดลงระหว่าง -1.03%-16.99% ปริมาณฝนสะสมตั้งแต่อำเภอสวรรคโลกจรดอำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย จะเพิ่มขึ้นจากปัจจุบันค่อนข้างมาก ด้วยพิสัยระหว่าง 32.54%-86.20%

ในช่วงลุ่มน้ำตอนล่างตั้งแต่อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก จรดอำเภอสามง่าม จังหวัดพิจิตร พบว่า แบบจำลอง MRI และ ECHAM5 จะมีฝนสะสมเพิ่มขึ้นจากปัจจุบัน โดย MRI มีพิสัยของการเปลี่ยนแปลงจากปัจจุบันระหว่าง 2.63%-59.32% ECHAM5 มีพิสัยของการเปลี่ยนแปลงระหว่าง 12.72%-29.47% ส่วนแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 กลับมีแนวโน้มของปริมาณฝนสะสมลดลงจากปัจจุบัน ด้วยพิสัยระหว่าง -16.42% ถึง -27.27%

2) จากกรณีศึกษาของฝนช่วงอนาคตอันไกล พบว่าแบบจำลอง MRI และ CSIRO-MK3.5 ในช่วงลุ่มน้ำตอนบน ตั้งแต่อำเภอสอง จังหวัดแพร่ ถึงอำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย จะให้ปริมาณฝนสะสมรายวันที่ลดลงในทุกๆคาบการเกิดซ้ำ โดย MRI มีพิสัยของการเปลี่ยนแปลงจากปัจจุบันระหว่าง -11.27% ถึง 23.59% ส่วน CSIRO มีพิสัยของการเปลี่ยนแปลงจากปัจจุบันระหว่าง -20.32% ถึง -31.12% ส่วนแบบจำลอง ECHAM5 มีแนวโน้มของฝนสะสมรายวันสูงสุดเพิ่มขึ้นทั้งลุ่มน้ำในทุกๆคาบการเกิดซ้ำ ด้วยพิสัยการเปลี่ยนแปลงระหว่าง 20.73%-70.60%

ะกำ จังหวัดพิษณุโลก จรดอำเภอสามง่าม จังหวัดในช่วงลุ่มน้ำตอนล่างตั้งแต่อำเภอบางระกำ จังหวัดพิจิตร พบว่า แบบจำลอง MRI จะมีฝนสะสมเพิ่มขึ้นจากปัจจุบัน โดย MRI มีพิสัยของการเปลี่ยนแปลงจากปัจจุบันระหว่าง 2.63%-59.32% ECHAM5 มีพิสัยของการเปลี่ยนแปลงระหว่าง 1.86%-41.61%

6.4 สรุปผลกระทบต่อสภาพน้ำท่าและการเกิดอุทกภัยของจังหวัดสุโขทัยในอนาคต

6.4.1 อัตราการไหลสูงสุดของสถานีวัดน้ำท่าในจังหวัดสุโขทัยในอนาคต

1) ในช่วงอนาคตอันใกล้พบว่าแบบจำลอง MRI ในช่วงลุ่มน้ำตอนบน ตั้งแต่อำเภอสอง จังหวัดแพร่ ถึงอำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย จะให้อัตราการไหลสูงสุดลดลงในทุกๆคาบการเกิดซ้ำ โดย MRI มีพิสัยของการเปลี่ยนแปลงจากปัจจุบันระหว่าง -0.64%--14.89% แบบจำลองภูมิอากาศ CSIRO-MK3.5 จะให้แนวโน้มของอัตราการไหลสูงสุดลดลงทุกๆคาบการเกิดซ้ำตลอดทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำยม โดยมีพิสัยของการเปลี่ยนแปลงระหว่าง -0.23%--17.44% ในขณะเดียวกัน แบบจำลอง ECHAM5 ให้แนวโน้มของอัตราการไหลสูงสุดในอนาคต ตั้งแต่อำเภอศรีสัชนาลัยตอนล่างจนถึงอำเภอศรีสำโรงเพิ่มขึ้นจากปัจจุบันระหว่าง 0.17%-39.25%

2) จากกรณีศึกษาช่วงอนาคตอันไกล พบว่ายังคงมีลักษณะที่ไม่แตกต่างกับช่วงอนาคตอันใกล้ กล่าวคืออัตราการไหลสูงสุดของแบบจำลอง MRI มีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบันตั้งแต่อำเภอสองจังหวัดแพร่สิ้นสุดที่อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย ด้วยพิสัยระหว่าง -4.72% ถึง -18.32% ส่วนแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 จะลดลงตลอดทั้งลุ่มน้ำด้วยพิสัยระหว่าง-10.72% ถึง -26.40% เทียบกับปัจจุบัน ในขณะที่เดียวกัน แบบจำลอง ECHAM5 จะให้แนวโน้มของอัตราการไหลสูงสุดในอนาคตตั้งแต่พื้นที่อำเภอศรีสัชชนาลัยตอนล่างจนถึงอำเภอศรีสำโรงเพิ่มขึ้นจากปัจจุบันระหว่าง 0.17%-39.25%

6.4.2 ปริมาณน้ำท่าผ่านจังหวัดสุโขทัยในอนาคต

1) ปริมาณน้ำท่า (runoff volume) ที่จะไหลผ่านสถานีวัดน้ำท่าของจังหวัดสุโขทัยในอนาคต พบว่าสภาพน้ำท่าจากแบบจำลอง MRI-AGCM 3.1S ในช่วงอนาคตอันใกล้ มีแนวโน้มลดลงทุกสถานีวัดน้ำท่าระหว่าง 8.31%-24.29% จากปัจจุบัน ส่วนช่วงอนาคตอันไกลพบว่า ปริมาณการไหลจะกลับมาเพิ่มขึ้นจากปัจจุบันในสถานีวัดน้ำท่าส่วนใหญ่ ระหว่าง 0.43%-11.17% มีเพียงสถานี Y.20 สถานี Y.14 และสถานี Y.16 ที่ปริมาณน้ำท่าจะลดลงอย่างต่อเนื่อง ปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง ECHAM5 ในช่วงอนาคตอันใกล้ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกสถานีระหว่าง 19.03%-74.5% จากปัจจุบัน ส่วนช่วงอนาคตอันไกล ปริมาณน้ำท่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากปัจจุบันในอัตราที่มากกว่าช่วงอนาคตอันใกล้ ระหว่าง 27.36%-86.49% ส่วนปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในสถานีส่วนใหญ่ ระหว่าง 11.65%-28.09% ยกเว้นสถานี Y.16 และ Y.17 ซึ่งปริมาณน้ำท่าลดลงจากปัจจุบัน ส่วนอนาคตอันไกล ปริมาณน้ำท่าจะปรับตัวเพิ่มขึ้นในสถานีส่วนใหญ่ในช่วงระหว่าง 2.90%-4.27% และจะปรับตัวลดลงจากปัจจุบันในสถานี Y.4 สถานี Y.16 และสถานี Y.17

2) สัดส่วนของปริมาณน้ำท่าจากลำน้ำสาขา ซึ่งจะไหลเข้าสู่สถานีตรวจวัดในลุ่มน้ำยม พบว่าการเปลี่ยนแปลงในช่วงอนาคตอันใกล้และอนาคตอันไกล จะเกิดขึ้นในทุกสถานีน้ำท่า แต่สังเกตได้ชัดเจนที่สุดในพื้นที่ต้นน้ำ ซึ่งมีลำน้ำสาขาเป็นจำนวนมาก โดยผลการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลฝน MRI ECHAM5 และ CSIRO พบว่าในสถานี Y.20 สัดส่วนของปริมาณน้ำหลากในอนาคตอันใกล้จากลุ่มน้ำควน อาจลดลงจากปัจจุบันที่ 27.47% มาอยู่ที่ 21.59% ในช่วงอนาคตอันใกล้ และ 22.08% ในช่วงอนาคตอันไกล รวมถึงปริมาณน้ำจากลุ่มน้ำยมตอนบน อาจเปลี่ยนแปลงจากปัจจุบันที่ 56.35% ขึ้นเป็น 61.11% ในอนาคตอันใกล้ และ 60.69% ในอนาคตอันไกล ส่วนปริมาณน้ำสาขาที่ไหลเข้าสถานี Y.14 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงจากสัดส่วนของลุ่มน้ำยมตอนกลาง ซึ่งคาดคะเนว่าจะลดลงจากปัจจุบัน ซึ่งอยู่ที่ 19.50% ลงเล็กน้อยมาอยู่ที่ 18.61% ก่อนปรับตัวเพิ่มขึ้นอีกครั้งเป็น 20.23% พื้นที่อื่นๆซึ่งปริมาณน้ำจะเปลี่ยนแปลง ได้แก่ ลุ่มน้ำแม่มอก และลุ่มน้ำแม่ไร่พัน เป็นต้น

6.4.3 ระดับน้ำล้นตลิ่งในสถานีวัดน้ำท่าของจังหวัดสุโขทัยในอนาคต

1) ในช่วงอนาคตอันใกล้และไกล ข้อสรุปหลักที่พบคือสถานีน้ำท่าที่คาดการณ์ว่าจะไม่เกิดสภาวะอุทกภัยจากน้ำล้นตลิ่งเลยทั้งสามกรณีของแบบจำลองภูมิอากาศโลก คือ สถานีวัดน้ำท่า Y.20 ไม่ว่าจะในคาบเกิดซ้ำใดๆก็ตาม

2) สภาพอุทกภัยจากแบบจำลอง MRI-AGCM 3.1S ในช่วงอนาคตอันใกล้พบว่าจะเกิดขึ้นในเกือบทุกสถานีวัดน้ำท่า ยกเว้นสถานี Y.20 และสถานี Y.14 ในสถานีอื่นๆ เช่น Y.1C และ Y.6 พบว่าสภาวะอุทกภัยจะเกิดขึ้นเมื่อระดับน้ำสูงสุดอยู่ที่คาบการเกิดซ้ำตั้งแต่ 25 ปี เป็นต้นไป ในสถานี Y.3A สภาวะอุทกภัยจะเกิดขึ้นเมื่อระดับน้ำสูงสุดที่คาบการเกิดซ้ำตั้งแต่ 10 ปีขึ้นไป ส่วนสถานี Y.33 Y.16 และ Y.17 พบว่าจะเกิดอุทกภัยตั้งแต่คาบการเกิดซ้ำที่มากกว่า 5 ปี

สภาพอุทกภัยจากแบบจำลองECHAM5 ในช่วงอนาคตอันใกล้พบว่าจะเกิดขึ้นในเกือบทุกสถานีวัดน้ำท่า ยกเว้นสถานี Y.20 ในสถานีอื่นๆ เช่น Y.1C พบว่าสภาวะอุทกภัยจะเกิดขึ้นเมื่อระดับน้ำสูงสุดอยู่ที่คาบการเกิดซ้ำตั้งแต่ 10 ปี เป็นต้นไป ในสถานี Y.14 สภาวะอุทกภัยจะเกิดขึ้นเมื่อระดับน้ำสูงสุดที่คาบการเกิดซ้ำตั้งแต่ 50 ปีขึ้นไป ในสถานีสภาวะอุทกภัยเริ่มที่คาบการเกิดซ้ำ 25 ปีขึ้นไป ส่วนสถานีวัดน้ำท่าตั้งแต่ Y.3A ลงไปจนถึง Y.17 พบว่าจะเกิดสภาพอุทกภัยในคาบการเกิดซ้ำตั้งแต่ 5 ปีขึ้นไป

สภาพอุทกภัยจากแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันใกล้พบว่าจะเกิดขึ้นในเกือบทุกสถานีวัดน้ำท่า ยกเว้นสถานี Y.20 สถานี Y.14 และสถานี Y.17 ในสถานีอื่นๆ เช่น Y.1C พบว่าสภาวะอุทกภัยจะเกิดขึ้นเมื่อระดับน้ำสูงสุดอยู่ที่คาบการเกิดซ้ำตั้งแต่ 25 ปี เป็นต้นไป ในสถานี Y.6 สภาวะอุทกภัยจะเกิดขึ้นเมื่อระดับน้ำสูงสุดที่คาบการเกิดซ้ำตั้งแต่ 50 ปีขึ้นไป ในสถานี Y.3A และ Y.33 คาดการณ์ว่าสภาพอุทกภัยจะเริ่มเกิดที่ระดับน้ำสูงสุด ณ คาบการเกิดตั้งแต่ 10 ปีขึ้นไป ส่วนสถานี Y.16 พบว่าสภาพอุทกภัยจะเริ่มขึ้นที่ระดับน้ำสูงสุดที่คาบการเกิดซ้ำมากกว่า 25 ปี

3) สภาพอุทกภัยจากแบบจำลอง MRI-AGCM 3.1S ในช่วงอนาคตอันไกลพบว่าจะเกิดขึ้นในเกือบทุกสถานีวัดน้ำท่า ยกเว้นสถานี Y.20 สถานี Y.1C และสถานี Y.14 ในสถานีอื่นๆ เช่น Y.6 พบว่าสภาวะอุทกภัยจะเกิดขึ้นเมื่อระดับน้ำสูงสุดอยู่ที่คาบการเกิดซ้ำตั้งแต่ 25 ปี เป็นต้นไป ในสถานี Y.3A และ Y.33 สภาวะอุทกภัยจะเกิดขึ้นเมื่อระดับน้ำสูงสุดที่คาบการเกิดซ้ำตั้งแต่ 10 ปีขึ้นไป ส่วนสถานี Y.16 และ Y.17 พบว่าจะเกิดอุทกภัยตั้งแต่คาบการเกิดซ้ำที่มากกว่า 5 ปี

สภาพอุทกภัยจากแบบจำลอง ECHAM5 ในช่วงอนาคตอันไกลพบว่าจะเกิดขึ้นในเกือบทุกสถานีวัดน้ำท่า ยกเว้นสถานี Y.20 ในสถานีอื่นๆ เช่น Y.1C พบว่าสภาวะอุทกภัยจะเกิดขึ้นเมื่อระดับน้ำสูงสุดอยู่ที่คาบการเกิดซ้ำตั้งแต่ 10 ปี เป็นต้นไป ในสถานี Y.14 สภาวะอุทกภัยจะเกิดขึ้นเมื่อระดับ

น้ำสูงสุดที่คาบการเกิดซ้ำตั้งแต่ 25 ปีขึ้นไป ในสถานี Y.6 สภาวะอุทกภัยเริ่มที่ระดับน้ำสูงสุดที่คาบการเกิดซ้ำ 10 ปีขึ้นไป ส่วนสถานีวัดน้ำท่าตั้งแต่ Y.3A ลงไปจนถึง Y.17 พบว่าจะเกิดสภาพอุทกภัยในคาบการเกิดซ้ำที่มากกว่า 5 ปี

สภาพอุทกภัยจากแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 ในช่วงอนาคตอันไกลพบว่าเกิดขึ้นในเกือบทุกสถานีวัดน้ำท่า ยกเว้นสถานี Y.20 สถานี Y.14 และสถานี Y.17 ในสถานีอื่นๆ เช่น Y.1C พบว่าสภาวะอุทกภัยจะเกิดขึ้นเมื่อระดับน้ำสูงสุดอยู่ที่คาบการเกิดซ้ำตั้งแต่ 50 ปี เป็นต้นไป ในสถานี Y.6 สภาวะอุทกภัยจะเกิดขึ้นเมื่อระดับน้ำสูงสุดที่คาบการเกิดซ้ำตั้งแต่ 50 ปีขึ้นไป ในสถานี Y.6 สภาวะอุทกภัยเริ่มที่ระดับน้ำสูงสุดที่คาบการเกิดซ้ำ 10 ปีขึ้นไป ส่วนสถานีวัดน้ำท่า Y.3A จะเกิดสภาพอุทกภัยที่ระดับน้ำสูงสุดที่คาบการเกิดซ้ำที่มากกว่า 10 ปี ในสถานี Y.33 สภาพอุทกภัยเริ่มที่ระดับน้ำสูงสุดที่คาบ 25 ปี และสถานี Y.16 คาดการณ์ว่าจะเกิดสภาพอุทกภัยที่ระดับน้ำสูงสุดที่คาบการเกิดซ้ำ 5 ปีขึ้นไป

6.4.4 พื้นที่อุทกภัยของจังหวัดสุโขทัยในอนาคต

1) พื้นที่การเกิดอุทกภัยมีแนวโน้มลดลงจากปัจจุบัน ในช่วงอนาคตอันใกล้และอนาคตอันไกล ในแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI และ CSIRO-MK3.5 แต่จะเพิ่มขึ้นสำหรับแบบจำลองภูมิอากาศโลก ECHAM5

2) แบบจำลอง MRI-AGCM 3.1S เมื่อพิจารณาอัตราการไหลสูงสุดผ่านสถานี Y.14 ที่คาบการเกิดซ้ำ ตั้งแต่ 5 ปี จนถึง 100 ปี พบว่าในช่วงอนาคตอันใกล้ พื้นที่อุทกภัยของจังหวัดสุโขทัย ตั้งแต่สถานี Y.14 จนจรดสถานี Y.17 จะลดลงระหว่าง 19.16%-19.44% จากปัจจุบัน

แบบจำลอง ECHAM5 เมื่อพิจารณาอัตราการไหลสูงสุดผ่านสถานี Y.14 ที่คาบการเกิดซ้ำ ตั้งแต่ 5 ปี จนถึง 100 ปี พบว่าในช่วงอนาคตอันใกล้ พื้นที่อุทกภัยของจังหวัดสุโขทัยตั้งแต่สถานี Y.14 จนจรดสถานี Y.17 จะเพิ่มขึ้นระหว่าง 5.78%-14.45% จากปัจจุบัน

แบบจำลอง CSIRO-MK3.5 เมื่อพิจารณาอัตราการไหลสูงสุดผ่านสถานี Y.14 ที่คาบการเกิดซ้ำ ตั้งแต่ 5 ปี จนถึง 100 ปี พบว่าในช่วงอนาคตอันใกล้ พื้นที่อุทกภัยของจังหวัดสุโขทัยตั้งแต่สถานี Y.14 จนจรดสถานี Y.17 จะลดลงระหว่าง 2.43%-11.24% จากปัจจุบัน

3) แบบจำลอง MRI-AGCM 3.1S เมื่อพิจารณาอัตราการไหลสูงสุดผ่านสถานี Y.14 ที่คาบการเกิดซ้ำ ตั้งแต่ 5 ปี จนถึง 100 ปี พบว่าในช่วงอนาคตอันใกล้ พื้นที่อุทกภัยของจังหวัดสุโขทัย ตั้งแต่สถานี Y.14 จนจรดสถานี Y.17 จะลดลงระหว่าง 20.00%-23.91% จากปัจจุบัน

แบบจำลอง ECHAM5 และ CSIRO เมื่อพิจารณาอัตราการไหลสูงสุดผ่านสถานี Y.14 ที่คาบการเกิดซ้ำ ตั้งแต่ 5 ปี จนถึง 100 ปี พบว่าในช่วงอนาคตอันใกล้ พื้นที่อุทกภัยของจังหวัดสุโขทัย ตั้งแต่สถานี Y.14 จนจรดสถานี Y.17 จะเพิ่มขึ้นระหว่าง 8.88%-25.86% จากปัจจุบัน

6.5 สรุปผลของการปรับตัวเบื้องต้นต่อสภาพอุทกภัยในอนาคตของจังหวัดสุโขทัย

เมื่อทราบถึงผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพน้ำฝน น้ำท่า ระดับน้ำสูงสุดในอนาคต และพื้นที่อุทกภัยในอนาคต เป็นที่เรียบร้อยแล้ว จึงได้พิจารณามาตรการปรับตัวต่อสภาพอุทกภัย (flood adaptation measures) ซึ่งได้จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาจากต่างประเทศ จากแนวคิดของภาครัฐคือกรมชลประทาน และจากการรวบรวมสำรวจความคิดเห็นเบื้องต้นจากชาวบ้านในพื้นที่จังหวัดสุโขทัย โดยมาตรการทั้งหมดอาจแบ่งออกได้อย่างง่ายเป็น มาตรการที่ใช้โครงสร้าง และ มาตรการที่ไม่ใช้โครงสร้าง ผลของมาตรการปรับตัวที่เสนอไว้ สรุปพอสังเขปดังต่อไปนี้

1) มาตรการแบบใช้โครงสร้าง ในการศึกษาครั้งนี้ได้เชื่อมโยงถึงรูปแบบการผันน้ำเลี้ยงเขตเศรษฐกิจจังหวัดสุโขทัยในปัจจุบันที่ใช้เกณฑ์จากอัตราการไหลสูงสุดเฉลี่ย 30 ปี ไม่ได้ใช้ระดับของความเสียหายเป็นปัจจัยตัดสิน ซึ่งได้เสนอเป็นข้อเสนอแนะในการปรับเปลี่ยนไว้ โดยใช้เกณฑ์ของปริมาณน้ำหลากสูงสุดผ่านสถานีวัดน้ำ Y.20 ที่คาบการเกิดซ้ำ 50 ปี

2) มาตรการแบบไม่ใช้โครงสร้างในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกวิธีการใช้ทุ่งน้ำหลาก (floodplains) สองฝั่งของกลุ่มน้ำยม เพื่อชะลอปริมาณน้ำสูงสุดและลดผลกระทบของอุทกภัยต่อพื้นที่ชุมชนเมือง และเขตเศรษฐกิจอื่นๆที่ตั้งอยู่ริมแม่น้ำยมสายหลัก

3) มาตรการปรับตัวแบบผสมผสาน คือการนำมาตรการแบบใช้โครงสร้างและไม่ใช้โครงสร้างมาใช้บรรเทาสภาพอุทกภัยในช่วงอนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล

4) ผลของการใช้มาตรการปรับตัวพบว่ามาตรการปรับตัวแบบผสมผสานของแบบจำลอง MRI สามารถลดระดับน้ำสูงสุดลงได้ 2.25-2.32 ม. ในช่วงอนาคตอันใกล้ และ 2.16-2.17 ม. ในช่วงอนาคตอันไกล ในสถานี Y.3A ส่วนสถานี Y.33 พบว่าจะลดระดับน้ำสูงสุดลงได้ 2.15-2.17 ม. ในช่วงอนาคตอันใกล้ และ 1.99-2.07 ม. ในช่วงอนาคตอันไกล หากแยกพิจารณาจะพบว่ามาตรการปรับปรุงการผันน้ำ จะช่วยลดระดับน้ำสูงสุดลงได้ 1.35-1.39 ม. ในช่วงอนาคตอันใกล้ และ 1.29-1.30 ม. ในช่วงอนาคตอันไกล ณ สถานี Y.3A ส่วนสถานี Y.33 พบว่ามาตรการปรับปรุงการผันน้ำ จะช่วยลดระดับน้ำสูงสุดลงได้ 1.17-1.27 ม. ในช่วงอนาคตอันใกล้ และ 1.22-1.31 ม. ในช่วงอนาคตอันใกล้ ส่วนมาตรการทุ่งน้ำหลากพบว่าจะช่วยลดระดับน้ำสูงสุดลงได้ 0.90-0.93 ม. ในช่วงอนาคตอันใกล้ และ 0.86-0.87 ม. ในช่วงอนาคตอันใกล้ ณ สถานี Y.3A ส่วนสถานี Y.33 พบว่า

มาตรการทุ่งน้ำหลากจะช่วยลดระดับน้ำสูงสุดได้ 0.86-0.87 ม. ในช่วงอนาคตอันใกล้ และ 0.84-0.87 ม. ในช่วงอนาคตอันไกล

ผลของการใช้มาตรการปรับตัวพบว่ามาตรการปรับตัวแบบผสมผสานของแบบจำลอง ECHAM5 สามารถลดระดับน้ำสูงสุดได้ 2.07-2.12 ม. ในช่วงอนาคตอันใกล้ และ 1.86-2.18 ม. ในช่วงอนาคตอันไกล ในสถานี Y.3A ส่วนสถานี Y.33 พบว่าจะลดระดับน้ำสูงสุดได้ 1.95-2.12 ม. ในช่วงอนาคตอันใกล้ และ 2.04-2.19 ม. ในช่วงอนาคตอันไกล หากแยกพิจารณาจะพบว่ามาตรการปรับปรุงการผันน้ำ จะช่วยลดระดับน้ำสูงสุดได้ 1.20-1.22 ม. ในช่วงอนาคตอันใกล้ และ 1.12-1.31 ม. ในช่วงอนาคตอันไกล ณ สถานี Y.3A ส่วนสถานี Y.33 พบว่ามาตรการปรับปรุงการผันน้ำ จะช่วยลดระดับน้ำสูงสุดได้ 1.17-1.27 ม. ในช่วงอนาคตอันใกล้ และ 1.22-1.31 ม. ในช่วงอนาคตอันไกล ส่วนมาตรการทุ่งน้ำหลากพบว่าจะช่วยลดระดับน้ำสูงสุดได้ 0.87-0.89 ม. ในช่วงอนาคตอันใกล้ และ 0.74-0.87 ม. ในช่วงอนาคตอันไกล ณ สถานี Y.3A ส่วนสถานี Y.33 พบว่ามาตรการทุ่งน้ำหลากจะช่วยลดระดับน้ำสูงสุดได้ 0.78-0.85 ม. ในช่วงอนาคตอันใกล้ และ 0.81-0.87 ม. ในช่วงอนาคตอันไกล

ผลของการใช้มาตรการปรับตัวพบว่ามาตรการปรับตัวแบบผสมผสานของแบบจำลอง CSIRO สามารถลดระดับน้ำสูงสุดได้ 2.16 ม. ในช่วงอนาคตอันใกล้ และ 2.16-2.17 ม. ในช่วงอนาคตอันไกล ในสถานี Y.3A ส่วนสถานี Y.33 พบว่าจะลดระดับน้ำสูงสุดได้ 1.79-2.10 ม. ในช่วงอนาคตอันใกล้ และ 1.84-2.07 ม. ในช่วงอนาคตอันไกล หากแยกพิจารณาจะพบว่ามาตรการปรับปรุงการผันน้ำ จะช่วยลดระดับน้ำสูงสุดได้ 1.34 ม. ในช่วงอนาคตอันใกล้ และ 1.30 ม. ในช่วงอนาคตอันไกล ณ สถานี Y.3A ส่วนสถานี Y.33 พบว่ามาตรการปรับปรุงการผันน้ำ จะช่วยลดระดับน้ำสูงสุดได้ 1.11-1.30 ม. ในช่วงอนาคตอันใกล้ และ 1.11-1.31 ม. ในช่วงอนาคตอันไกล ส่วนมาตรการทุ่งน้ำหลากพบว่าจะช่วยลดระดับน้ำสูงสุดได้ 0.82 ม. ในช่วงอนาคตอันใกล้ และ 0.86-0.87 ม. ในช่วงอนาคตอันไกล ณ สถานี Y.3A ส่วนสถานี Y.33 พบว่ามาตรการทุ่งน้ำหลากจะช่วยลดระดับน้ำสูงสุดได้ 0.68-0.80 ม. ในช่วงอนาคตอันใกล้ และ 0.74-0.83 ม. ในช่วงอนาคตอันไกล

5) หลังการใช้มาตรการปรับตัวต่อสภาพอุทกภัยแล้ว ยังพบว่าสภาพอุทกภัยยังคงเกิดขึ้นอยู่ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

สภาพอุทกภัยหลังมาตรการปรับตัวของแบบจำลองMRI จะเกิดขึ้นตั้งแต่คาบการเกิดซ้ำ 30 ปีขึ้นไป ในช่วงอนาคตอันใกล้ และ 25 ปีขึ้นไป ในช่วงอนาคตอันไกล ณ สถานี Y.3A ส่วนสถานี Y.33 พบว่าสภาพอุทกภัยจะเกิดขึ้นตั้งแต่คาบการเกิดซ้ำ 50 ปีขึ้นไป ทั้งในช่วงอนาคตอันใกล้และอนาคตอันไกล

สภาพอุทกภัยหลังมาตรการปรับตัวของแบบจำลอง ECHAM5 พบว่าจะยังเกิดขึ้นตั้งแต่คาบการเกิดซ้ำ 11 ปี ขึ้นไป ในช่วงอนาคตอันใกล้ และ 10 ปีขึ้นไป ในช่วงอนาคตอันไกล ณ สถานี Y.3A ส่วนสถานี Y.33 พบว่าสภาพอุทกภัยจะเกิดขึ้นตั้งแต่คาบการเกิดซ้ำ 50 ปีขึ้นไป ในช่วงอนาคตอันใกล้ และ 30 ปีขึ้นไป ในช่วงอนาคตอันไกล

สภาพอุทกภัยหลังมาตรการปรับตัวของแบบจำลอง CSIRO-MK3.5 พบว่าสามารถลดสภาพอุทกภัยในสถานี Y.3A ตั้งแต่คาบการเกิดซ้ำมากกว่า 50 ปี ส่วนคาบการเกิดซ้ำที่ต่ำลงไปจะไม่เกิดน้ำล้นตลิ่ง ส่วนสถานี Y.33 จะเริ่มเกิดอุทกภัยที่คาบการเกิดซ้ำ 10 ปีขึ้นไป เช่นเดียวกับก่อนใช้มาตรการปรับตัว แต่ระดับน้ำล้นตลิ่งจะลดลงเทียบกับสภาวะก่อนปรับตัว ส่วนช่วงอนาคตอันไกล พบว่าสถานี Y.3A จะเริ่มเกิดอุทกภัยตั้งแต่คาบการเกิดซ้ำ 50 ปี เพิ่มขึ้นจากสภาวะคาดการณ์ปกติที่ 10 ปี ส่วนสถานี Y.33 จะเริ่มเกิดอุทกภัยตั้งแต่คาบการเกิดซ้ำ 25 ปี เช่นเดียวกับสภาวะก่อนการปรับตัว แต่ระดับน้ำล้นตลิ่งจะลดลงเช่นกัน

6) มาตรการปรับตัวต่ออุทกภัย ภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก สามารถลดความเป็นไปได้ของเหตุการณ์ลงได้อย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปัจจุบัน กล่าวคือที่คาบการเกิดซ้ำเดียวกันหลังใช้มาตรการปรับตัว สภาพอุทกภัยที่เกิดขึ้นในพื้นที่สถานี Y.3A อำเภอสุวรรณคูหา(และสถานี Y.33 (อ. ศรีสำโรงจะมีแนวโน้มลดลงหรือหมดไป (อย่างไรก็ตามที่คาบการเกิดซ้ำสูงๆ (50-100 ปีซึ่งพบว่ายังเกิดอุทกภัยอยู่ มาตรการปรับตัวที่ควรดำเนินการเพิ่มเติม ได้แก่ การปรับปรุง (มาตรการเตือนภัยอุทกภัย การสื่อสารภัยพิบัติให้กับชาวบ้าน เพื่อช่วยสนับสนุนเพิ่มเติมต่อการปรับตัวต่อสภาพอุทกภัยในกรอบของการบริหารความเสี่ยง

6.6 ข้อเสนอแนะ

1) การศึกษาครั้งนี้มีสมมติฐานหลักคือภาพจำลองของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นชนิด A1B ซึ่งเป็นเพียงหนึ่งในภาพจำลองทั้งหมดเท่านั้น ดังนั้น ผลกระทบในอนาคตที่จะเกิดขึ้นตามการคาดการณ์ของแบบจำลองทั้งสามนี้ อาจเกิดขึ้นเมื่อลักษณะและแนวโน้มของการพัฒนามีทิศทางที่สอดคล้องกับภาพจำลอง A1B เท่านั้น จึงจัดเป็นความไม่แน่นอนส่วนหนึ่งของการศึกษา ในอนาคตหากมีผู้สนใจศึกษาเพิ่มเติม ควรพิจารณาถึงภาพจำลองอื่นๆด้วย เช่น A1 A2 B1 B2 A1F A1T เป็นต้น

2) ในปัจจุบัน เทคนิคการปรับแก้ความเอนเอียง และย่อส่วนข้อมูลภูมิอากาศโลก มีอยู่มากมาย และแม้จะมีการอ้างอิงจากวารสารวิชาการมากมายและถูกจัดแบ่งประเภทไว้อย่างชัดเจน แต่ยังไม่มียุทธศาสตร์การปรับแก้ใดที่สามารถลดทอนความคลาดเคลื่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพในทุกช่วงของวัฏจักรอุทกวิทยา ดังนั้น การเลือกวิธีปรับแก้และย่อส่วนภูมิอากาศโลก จะต้องคำนึงถึงลักษณะ

ของงาน จุดประสงค์ การยอมรับความไม่แน่นอนของข้อมูล และเป้าหมายของการวิเคราะห์ให้ชัดเจน เพราะแต่ละวิธีย่อมเหมาะสมแตกต่างกันไปในแต่ละสถานการณ์ หรืออีกทางหนึ่งอาจทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิผล และความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นของแต่ละวิธีก่อนนำไปใช้งาน

3) แบบจำลองอุทกวิทยา (hydrologic model) ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือ HEC-HMS ซึ่งเป็นแบบจำลองชนิด semi-distributed hydrologic model ซึ่งข้อดีของแบบจำลองลักษณะนี้คือ ง่ายต่อการวางผังโมณฑล ลดความซับซ้อนและระยะเวลาการคำนวณลงได้มาก แต่ข้อจำกัดหลักคือ ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการไหลมีจำนวนค่อนข้างมากและหลายครั้งไม่มีการสำรวจและวัดจริง ดังนั้นขั้นตอนของการสอบเทียบและสอบทานแบบจำลองด้วยวิธีการลองผิดลองถูกจึงใช้เวลาค่อนข้างมาก จึงแนะนำให้ประยุกต์ใช้เทคนิคการหาค่าตอบที่เหมาะสมที่สุด (optimization) และปรับเทียบอัตโนมัติ (auto calibration) ซึ่งอาจช่วยร่นระยะเวลาการวิเคราะห์ส่วนนี้ลงได้อย่างมีนัยสำคัญ

4) แบบจำลองการไหลในลำน้ำที่ใช้ศึกษาครั้งนี้ คือแบบจำลอง HEC-RAS ซึ่งเหมาะสมต่อการวิเคราะห์การไหลในลำน้ำแบบหนึ่งมิติ อย่างไรก็ตามพฤติกรรมของการไหลของลำน้ำที่ล้นตลิ่งออกไป จะแผ่ออกด้านข้าง ดังนั้นคุณสมบัติต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการไหล เช่น ความเร็ว อัตราการไหล และความลึกการไหล ย่อมผันแปรไปได้เช่นกัน ซึ่งแบบจำลอง HEC-RAS ไม่อาจสะท้อนปรากฏการณ์ตรงนี้ได้แม่นยำนัก ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการปรับเทียบ เช่น ค่า Manning's n ช่วงเหนือตลิ่งลำน้ำ อาจมีข้อผิดพลาดเกิดได้ ดังนั้นการศึกษาในอนาคตอาจพิจารณาทบทวนใช้แบบจำลองการไหลในลำน้ำแบบ 2 มิติ เพื่อให้ผลลัพธ์มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น สามารถมองสภาพปัญหาและผลกระทบในเชิงพื้นที่เพิ่มเติมได้อีกด้วย

5) การศึกษาทั้งหมดเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังนั้นกระบวนการสอบเทียบ สอบทาน และตรวจสอบความถูกต้อง มีความสำคัญต่อความน่าเชื่อถือของการศึกษาเป็นอย่างสูง นอกจากนี้แล้วการตรวจสอบข้อมูลจริงจากภาคสนาม ก็เป็นขั้นตอนที่สำคัญไม่แพ้กัน

6) สิ่งที่ได้โดยหลักในการศึกษาครั้งนี้คือผลกระทบ (Impacts) เชิงอุทกวิทยา ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพน้ำท่า (อัตราการไหลสูงสุด, ระดับน้ำสูงสุด, ปริมาณน้ำท่า, พื้นที่อุทกภัย) ในพื้นที่จังหวัดสุโขทัย ซึ่งไม่ใช่ผลกระทบทั้งหมดที่อาจเกิดขึ้นได้ (Potential impacts)

มาตรการปรับตัวต่อสภาพอุทกภัย เป็นส่วนหนึ่งของการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก กระบวนการเพื่อให้ได้มาซึ่งแนวทางการปรับตัวอย่างแท้จริงของแต่ละพื้นที่นั้น ต้องผ่านขั้นตอนการประเมิน วิเคราะห์ความเปราะบาง ซึ่งจะต้องทราบความสามารถพื้นฐานการปรับตัว ความล่อแหลมต่อภัยอันตราย ของชุมชนเสียก่อน ซึ่งทั้งหมดนี้จำเป็นต่อการออกมาตรการปรับตัวอันเป็นที่ยอมรับจากทุกฝ่าย จะเห็นได้ว่าทั้งหมดนี้ครอบคลุมถึงสหสาขาวิชา ได้แก่ วิศวกรรมศาสตร์

สังคมศาสตร์ มานุษยวิทยา จิตวิทยา เป็นต้น ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับการปรับตัวในอนาคตของจังหวัดใดให้ได้ผลจริง จะต้องคำนึงถึงประเด็นดังกล่าวเสมอ ทั้งนี้ขอเสนอแนะให้แต่ละจังหวัดจัดทำมาตรการปรับตัวต่อสภาพภูมิอากาศเป็นการเฉพาะ เพื่อประโยชน์ในการวางนโยบายระยะยาวของการพัฒนาซึ่งบรรจुประเด็นของความเสี่ยงจากภูมิอากาศ โดยการศึกษาในอนาคตควรจะคำนึงถึงประเด็นเหล่านี้ไว้ด้วย



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กัณษริย์ บุญประกอบ และคณะ. การสร้างภาพจำลองของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในประเทศไทย โดยการย่อส่วนแบบจำลองภูมิอากาศโลก. รายงานฉบับสมบูรณ์ เสนอต่อสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2553.
- กองทุนสนับสนุนการวิจัย,สำนักงาน. รายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 1. คณะทำงานกลุ่มที่ 1. กรุงเทพมหานคร, 2554
- คณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, สำนักงาน. งานศึกษาข้อมูลและศักยภาพการพัฒนาลุ่มน้ำแม่ข่ายม. รายงานฉบับสุดท้าย, รายงานหลัก. กรุงเทพมหานคร, 2537
- จิรัจันฎ ถังเงิน, การศึกษาการบรรเทาอุทกภัยในลุ่มน้ำยมโดยใช้พื้นที่ทุ่งน้ำท่วมธรรมชาติ ในบริเวณจังหวัดสุโขทัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต การวางแผนสิ่งแวดล้อมเพื่อพัฒนาชุมชนและชนบท คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2547
- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, โครงการรูปแบบการปรับตัวด้วยการบริหารน้ำในอนาคตโดยเฉพาะน้ำท่วมปีที1, รายงานฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพมหานคร: หน่วยปฏิบัติการวิจัยระบบการจัดการแหล่งน้ำ. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554
- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, โครงการแผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม ปีงบประมาณ 2555,รายงานฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพมหานคร: หน่วยปฏิบัติการวิจัยระบบการจัดการแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2556
- ชลประทาน, กรม. งานศึกษาความเหมาะสมและออกแบบรายละเอียด โครงการประตูระบายน้ำแม่ข่ายม จังหวัดสุโขทัย. เล่มที่ 1, รายงานหลัก. กรุงเทพมหานคร, 2542.
- ชลประทาน, กรม. รายงานการศึกษาความเหมาะสมโครงการบรรเทาอุทกภัยลำน้ำยม –ลำน้ำน่าน. เล่มที่4, รายงานหลัก.กรุงเทพมหานคร, 2544ก.
- ชลประทาน, กรม. รายงานการศึกษาและวิเคราะห์จัดทำแผนรวมการแก้ไขบรรเทาปัญหาอุทกภัย. รายงานหลัก. กรุงเทพมหานคร: 2544ข.
- ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. โครงการจัดทำแผนรวมการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำยม. กรุงเทพมหานคร:กรมทรัพยากรน้ำ, 2548
- ป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, กรม. รายงานประจำปี 2554. สุโขทัย:สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดสุโขทัย, 2554
- ดุขฎี สุขวัฒน์ และคณะ. การทดสอบและปรับปรุงแบบจำลอง Weather Research Forecasting (WRF) ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในประเทศไทย. รายงานฉบับสมบูรณ์ เสนอต่อ กองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2553.
- พัฒนศักดิ์ แสนมาตย์. การศึกษาคุณลักษณะทางอุทกวิทยาของลุ่มน้ำยมโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ HEC-HMS. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2550.

- มนตรี จัตุทศศรี. การป้องกันอุทกภัยและการจัดระบบคลองระบายน้ำภายในบริเวณเมืองเก่าสุโขทัย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต วิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2522
- รัฐพันธ์ ธิระมนัส. ประสิทธิภาพการบรรเทาอุทกภัยของอ่างเก็บน้ำแก่งเสือเต้น. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต วิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547
- วนรัตน์ กรอสิรานุกูล และคณะ. โครงการแนวทางการวางแผนด้านผังเมืองเพื่อรองรับความเสี่ยงจาก การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ: กรณีศึกษาปัญหาอุทกภัยและแนวทางการจัดการอุทกภัย ในเขตผังเมืองรวมพุนพิน จังหวัดสุราษฎร์ธานี รายงานฉบับสมบูรณ์ เสนอต่อสำนักงาน กองทุน สนับสนุนการวิจัย, 2553
- สมบัติ ชื่นชูกลิ่น และ ปัญญา พลเสน. การศึกษาแนวโน้มของการเกิดน้ำหลากและน้ำแล้งใน จ. สุโขทัย. การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 5 : WRE 91-96
- สิรินทรเทพ เต่าประยูร, เกษมสันต์ มโนมันพิบูลย์, เมกา ออกเวียทานี และกฤตัญญ์ ต่อศรี. การศึกษา และพัฒนาแบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค RegCM3 สำหรับประเทศไทย. ร่างรายงาน ฉบับสมบูรณ์ เสนอต่อสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2553
- สุนัย สุนทรภา. การศึกษาสภาพน้ำหลากของกลุ่มน้ำยม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต วิศวกรรม แหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2522

ภาษาอังกฤษ

- Abbaspour, K.C. Calibration of Hydrologic Models: When is a Model Calibrated?. Proceedings, International Congress on Modelling and Simulation, 2005.
- Ahrens, B. Distance in spatial interpolation of daily rain gauge data, Hydrology and Earth System Sciences.10(2006):197-208.
- Andersen, J., Refsgaard, J.C. and Jensen, K.H. Distributed hydrological modelling of the Senegal River Basin-model construction and validation. Journal of Hydrology. 247 (2001): 200-214.
- Bedient, P.B. and Huber, W.C. Hydrology and Floodplain Analysis. 2nd ed. United States: Addison-Wesley Publishing Company, 1992.
- Chen, Y.D., Chen, X., Xu, C.Y. and Shao, Q. Downscaling of daily precipitation with a stochastic weather generator for the subtropical region in South China. Hydrology and Earth System Science Discussions. 3 (2006): 1145-1183.
- Charles, S.P., Bates, B.C., Whetton, P.H. and Hughes, J.P. Validation of a Downscaling Model for Changed Climate Conditions in Southwestern Australia. Climate Research. 12 (1999): 1-14.
- Chow, V.T., Maidment, D.R. and Mays, L.W. Applied Hydrology. Intl ed. Singapore: McGraw Hill, 1988.

- Cole, D.H. Climate change, adaptation, and development. UCLA Journal of Environmental Law and Policy, Forthcoming. Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=976234>, 2008.
- Deidda, R., Benzi, R. and Siccardi, F. Multifractal modelling of anomalous scaling laws in rainfall. Water Resource Research, 35(1998): 1853–1867.
- Desanker, P.V. The NAPA Primer. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) Least Developed Countries Expert Group (LEG). Bonn, Germany, 2004
- Dobler, C., Bürger, G. and Stötter, J. Assessment of climate change impacts on floods hazard potential in the Alpine Lech watershed. Journal of Hydrology, 460-461(2012): 29-39.
- Downing, T.E. and Patwardhan, A. Assessing Vulnerability for Climate Adaptation, [Online] Available: www.aiaccproject.org/meetings/.../Vulnerability/TP3_Downin_g.doc [20th May, 2010]
- Dvorak, V., Hladny, J. and Kasperek, L. Climate change hydrology and water resources impact and adaptation for selected river basins in the Czech Republic. Climatic Change, 36 (1997):93–106.
- Eischeid, J.K., Pasteris, P.A., Diaz, H.F., Plantico, M.S. and Lott, N.J. Creating a serially complete, national daily time series of temperature and precipitation for the Western United States. Journal of Applied Meteorology, 39(2000):1580-1591.
- Giorgi, F. and Mearns, L. Approach to the simulation of regional climatic change: a review. Review of Geophysics, 29 (1991): 191–216.
- Gupta, V.K. and Waymire, E.C. A statistical analysis of mesoscale rainfall as a random cascade. Journal of Applied Meteorology, 32 (1993): 251–267.
- Haque, A.N., Grafakos, S. and Huijsman, M. Assessment of adaptation measures against flooding in the city of Dhaka, Bangladesh. IHS Working Papers, 25(2010).
- Hassen-Bauer, I., Forland, E.J., Haugen, J.E. and Tveito, O.E. Temperature and precipitation scenarios for Norway: comparison of results from dynamical and empirical downscaling. Climate Research, 25 (2003): 15–27.
- Hay, L.E. and Clark, M.P. Use of statistically and dynamically downscaled atmospheric model output for hydrologic simulations in three mountainous basins in the western United States. Journal of Hydrology, 282 (2003): 56–75.
- Hamlet, A.F., Snover, A. and Lettenmaier, D.P. Climate Change scenarios for Pacific Northwest Water Planning Studies: Motivation, Methodologies and a User's Guide to Applications. Technical document, 2003.

- Hanittinan, P., Koontanakulvong, S. "Climate Change Impact Assessment in Sukhothai Province: Intercomparison between three global climate models", International conference on "Challenge of Water & Environmental Management in monsoon Asia, Nonthaburi, Thailand, 27th November- 29th November, 2012.
- Hellstrom, C. and Chen, D. Statistical Downscaling Based on Dynamically Downscale Predictors: Application to Monthly Precipitation in Sweden. Advanced In Atmospheric Sciences. 20 (2003): 951–958.
- Hewitson, B.C. and Crane, R.G. Climate downscaling: techniques and application. Climate Research. 7 (1996): 85–95.
- Ines, A.V.M., and Hansen, J.W. Bias correction of daily GCM rainfall for crop simulation studies. Agricultural and Forest Meteorology, 138 (2006): 44–53.
- IPCC Working Group III, IPCC Special Report Emission Scenarios–Summary for Policymakers. 2000
- IPCC, Climate change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Cambridge University Press, http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2, 2001.
- IPCC Working Group I, Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 2007.
- IPCC Working Group II, Climate Change 2007: Impact, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 2007.
- Jothityangkoon, C., Sivapalan, M. and Viney, N.R. Test of a space-time model of daily rainfall in southwestern Australia based on non-homogeneous random cascades. Water Resource Research, 36 (2000): 267–284.
- Kahane, J.P. and Peyriere, J. Sur certaines mertingales de Benoit Mandelbrot. Adv. Math., 22(1976): 131-145.
- Koontanakulvong, S. and Chaowiwat, W. Corrected MRI GCM data for Thailand. Technical report. Chulalongkorn University, Bangkok: Water Resources System Research Unit, 2010a
- Koontanakulvong, S. and Chaowiwat, W. GCM data comparison and its application to water disaster adaptation measures in Thailand. Technical report. Chulalongkorn University, Bangkok: Water Resources System Research Unit, 2010b
- Liden, R. and Harlin, J. Analysis of conceptual rainfall-runoff modelling performance in different climates. Journal of Hydrology. 238 (2000):231–247.

- Loukus, A., Vasiliades, L. and Dalezios, N.R. Potential climate change impact on flood producing mechanisms in southern British Columbia, Canada using the CGCMA1 simulation results. Journal of Hydrology. 259 (2001):163–188.
- Madsen, H. Automatic calibration of a conceptual rainfall-runoff modelling performance in different climates. Journal of Hydrology. 235 (2000):276–288.
- Mandelbrot, B.B. Intermittent turbulence in self-similar cascades: divergence of high moments and dimension of the carrier, J.Fluid Mech. 62 (1974): 331-358
- Margreth, S. and Romang, H. Effectiveness of mitigation measures against natural hazards. Cold Regions Science and Technology. 64 (2010): 199–207.
- Marsan, D., Schertzer, D. and Lovejoy, S. Causal space-time multifractal modelling of rain. Journal of Geophysical Research. 31 (1996): 333–346.
- Maurer, E.P. and Hidalgo, H.G. Utility of daily vs. monthly large-scale climate data: an intercomparison of two statistical downscaling methods. Hydrology and Earth System Sciences. 12 (2008): 551–563.
- Molnar, P. and Burlando, P. Preservation of rainfall properties in stochastic disaggregation by a simple random cascade model. Atmospheric Research. 77 (2005): 137–151.
- Murphy, J. Predictions of climate change over Europe using statistical and dynamical downscaling techniques. International Journal of Climatology. 20 (2000): 489–501.
- Nash, J.E. and Sutcliffe, J.V. River flow forecasting through conceptual models part I–A discussion of principles. Journal of Hydrology.10 (1970): 282–290.
- Ogden, F.L., Sharif, H.O., Senerath, S.U. S., Smith, J.A., Baeck, M.L., and Richardson, J.R. Hydrologic analysis of the Fort Collins, Colorado, flash flood of 1997. Journal of Hydrology. 228(2000): 82-100.
- Oouchi et al. Tropical Cyclone Climatology in a Global-Warming Climate as Simulated in a 20 km–Mesh Global Atmospheric Model: Frequency and Wind Intensity Analyses. Journal of the Meteorological Society of Japan. 84 (2006): 259–276.
- Over, T.M. and Gupta, V.K. A space-time theory of mesoscale rainfall using random cascades. Journal of Geophysical Research, 101 (1996): 319–331.
- Pathirana, A. and Herath, S. Multifractal modelling and simulation of rain fields exhibiting spatial heterogeneity. Hydrology and Earth System Sciences, 6(2002): 695– 708.
- Piani et al. Statistical bias correction of global simulated daily precipitation and temperature for the application of hydrological models. Journal of Hydrology. 395 (2010): 199–215

- Plate, E.J. Flood risk and flood management. Journal of Hydrology. 267 (2002): 2-11.
- Roeckner, E et al. the atmospheric general circulation model ECHAM5. Report No. 349, Max Planck Institute for Meteorology, 2003.
- Rupp, D.E., Licznar, P., Adamowski, W., and Les' niewski, M. Multiplicative cascade models for the spatial downscaling of rainfall: parameterization with rain gauge data. Hydrology and Earth System Sciences. 16(2012):671-684.
- Schertzer, D. and Lovejoy, S. Physical modelling and analysis of rain and clouds by anisotropic scaling multiplicative processes. Journal of Geophysical Research. 92 (1987), 9693–9714.
- Sharma , D., Gupta, A.D. and Babel, M.S. Spatial disaggregation of bias-corrected GCM precipitation for improved hydrologic simulation: Ping River Basin, Thailand. Hydrology and Earth System Sciences. 11 (2007): 1373–1390.
- Shepard, D. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. proceedings, ACM National Conference, 1968.
- Shrestha, K.R., Tachikawa, Y. and Takara, K. Downscaling Spatial Rainfall Field from Global scale to Local Scale Using Improved Multiplicative Random Cascade Method. Annals of Disaster Prevention Research Institute., Kyoto university. 47 (2004).
- Smith, J.B. and Hulme, M. Climate Change Scenarios (Chapter 3). In: Handbook on Methods of Climate Change Impact and Adaptation Strategies, (Eds. Feenstra, J., Burton, I., Smith, J.B. and Tol, R.S.J.), UNEP/IES, Version 2.0, Amsterdam, 1998.
- Tachikawa, Y., Hiwasa, M. and Takara, K. Spatial rainfall field simulation with random cascade introducing orographic effects on rainfall. 2nd Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources Conference, July 5–8, Singapore, 2004.
- Te Linde, A.H.; Aerts, J.C.J.H.; and Kwadijk, J.C.J. Effectiveness of flood management measures on peak discharges in the Rhine river basin under climate change. Journal of Flood Risk Management. (2010):1–22.
- United Nations Framework Convention on Climate Change. Technologies for Adaptation to Climate Change. United Nations, 2006.
- United Nations International Strategy for Disaster Reduction Secretariat. Guideline for Reducing Flood losses. United Nations, 2002.
- United Nations University. Comparative Studies on Development Strategies considering Impacts of Adaptation to Climate Change. United Nations, 2012
- US Army Corps of Engineers. HEC–HMS Hydrologic Modeling System. Technical Reference Manual. August, 2010.

- US Army Corps of Engineers. HEC-HMS Hydrologic Modeling System. User's Manual. August, 2010.
- US Army Corps of Engineers. HEC-RAS River Analysis System. Hydraulic Reference Manual. January, 2010.
- US Army Corps of Engineers. HEC-RAS River Analysis System. User's Manual. January, 2010.
- Wilby, R.L. and Dettinger, M.D. Streamflow changes in the Sierra Nevada, CA simulated using a statistically downscaled General Circulation Model scenario of climate change. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, (2000): 99–121
- Wilby, R.L. and Wigley, T.M.L. Precipitation predictors for downscaling: observed d General Circulation Models relationships Int. J Climatology. 20 (2000): 641–661.
- Werritty, A., Black, A., Duck, R., Finlinson, B., Thurston, N., Shackley, S. and Crichton, D. CLIMATE CHANGE: FLOODING OCCURRENCES REVIEW. Scottish executive central research unit, 2002.
- World Meteorology Organization. Integrated Flood Management: Concept Paper. WMO– No. 1047, 2009.
- Wood , A.W., Maurer, E.P., Kumar, A. and Lettenmaier, D.P. Lone range experimental hydrologic forecasting for the Eastern U.S. Journal of Geophysical Research, 107 (D20), 4429, doi: 10.1029/2001JD000659, 2002.
- Wu, S. Projecting Future Extreme precipitation Pattern in Ohio Using NARCCAP Regional Climate Models. University of Dayton, Ohio, United States, 2010.
- Yarnal et al. Development and projects in synoptic climatology. Int. J Climatology. 21 (2001): 1923–1950



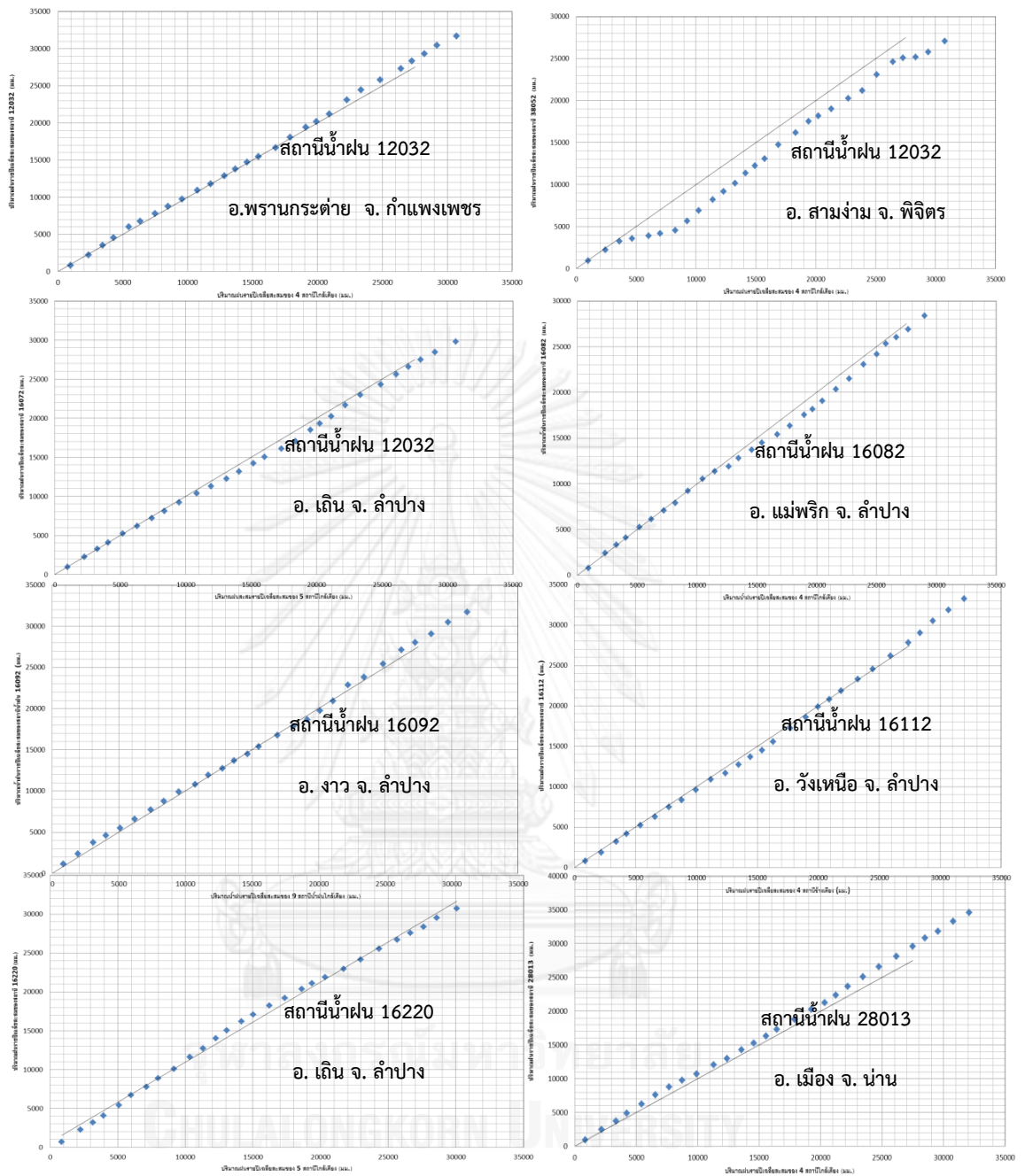
ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

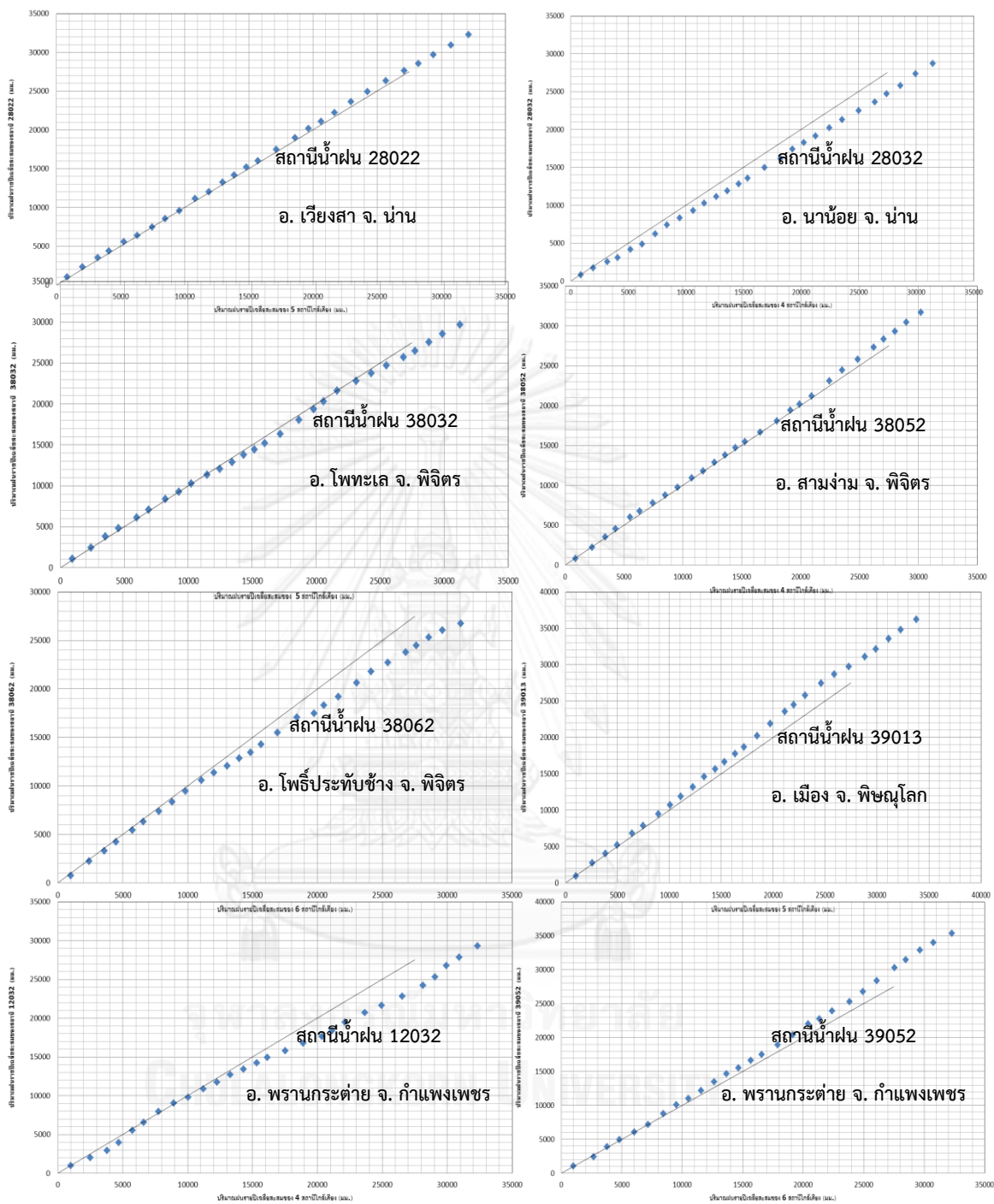


ภาคผนวก ก
ข้อมูลอุทกวิทยา

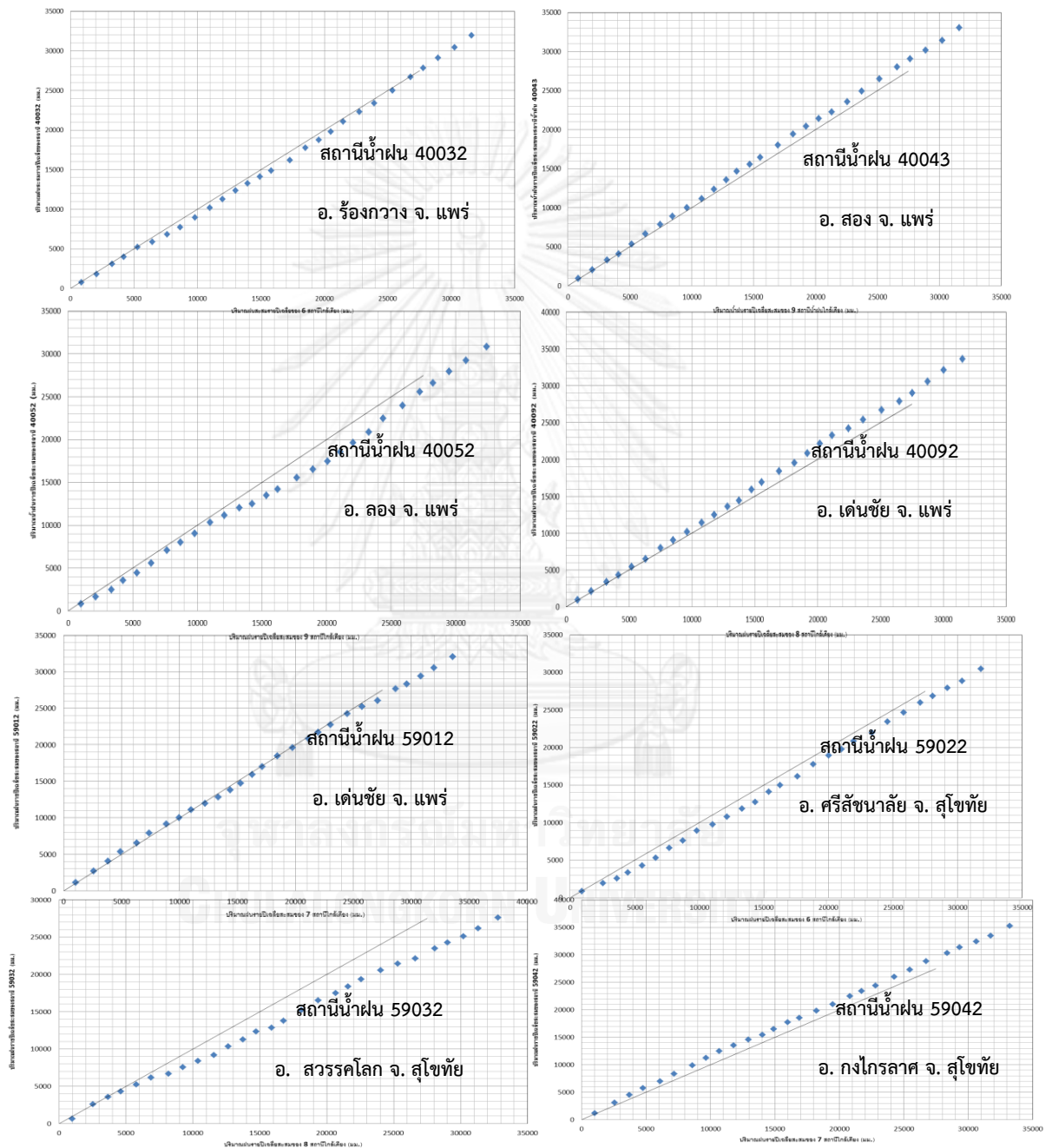
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



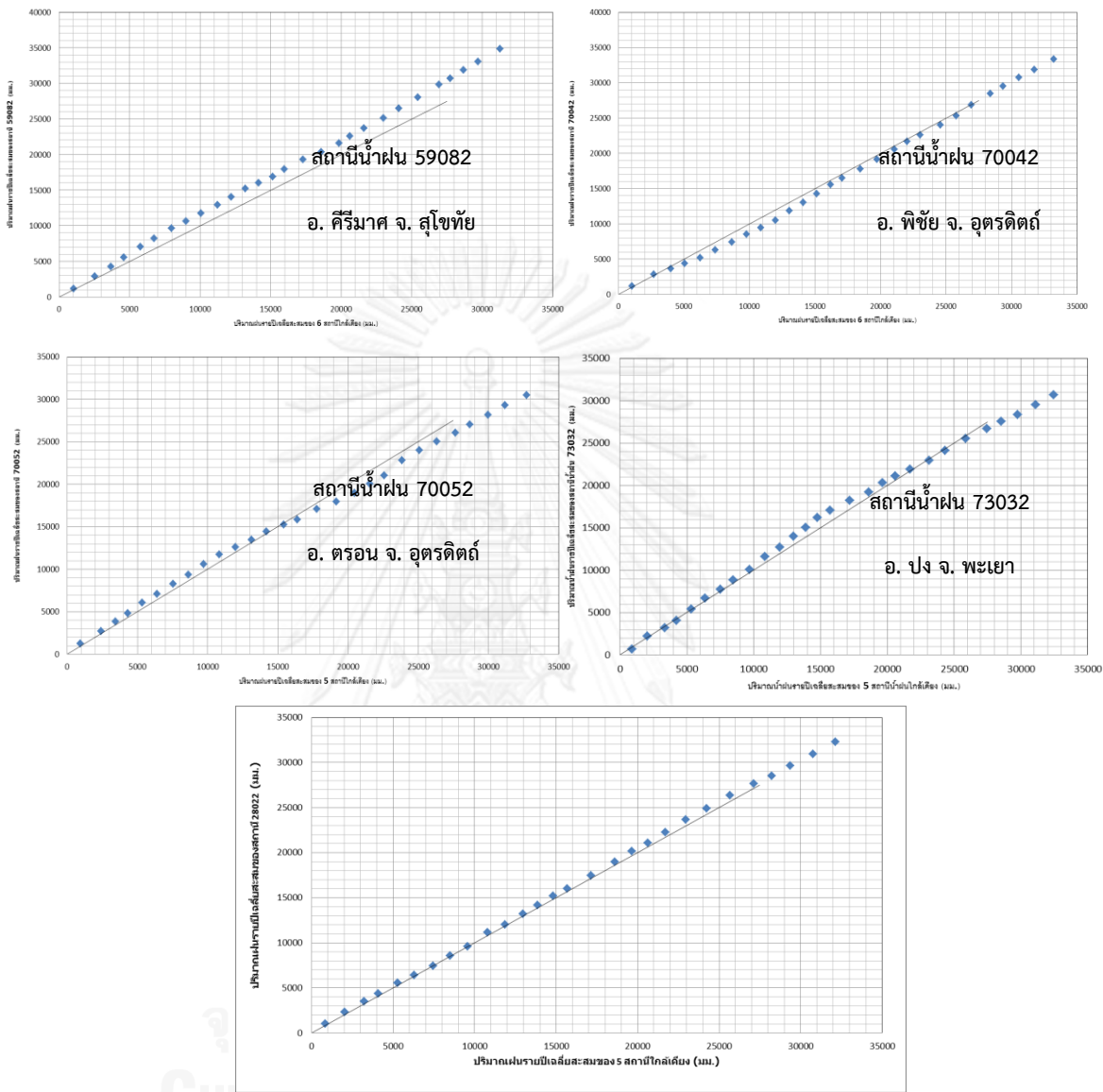
รูปที่ ก-1 การตรวจสอบความคงตัวของข้อมูลน้ำฝนโดยวิธี Double mass analysis



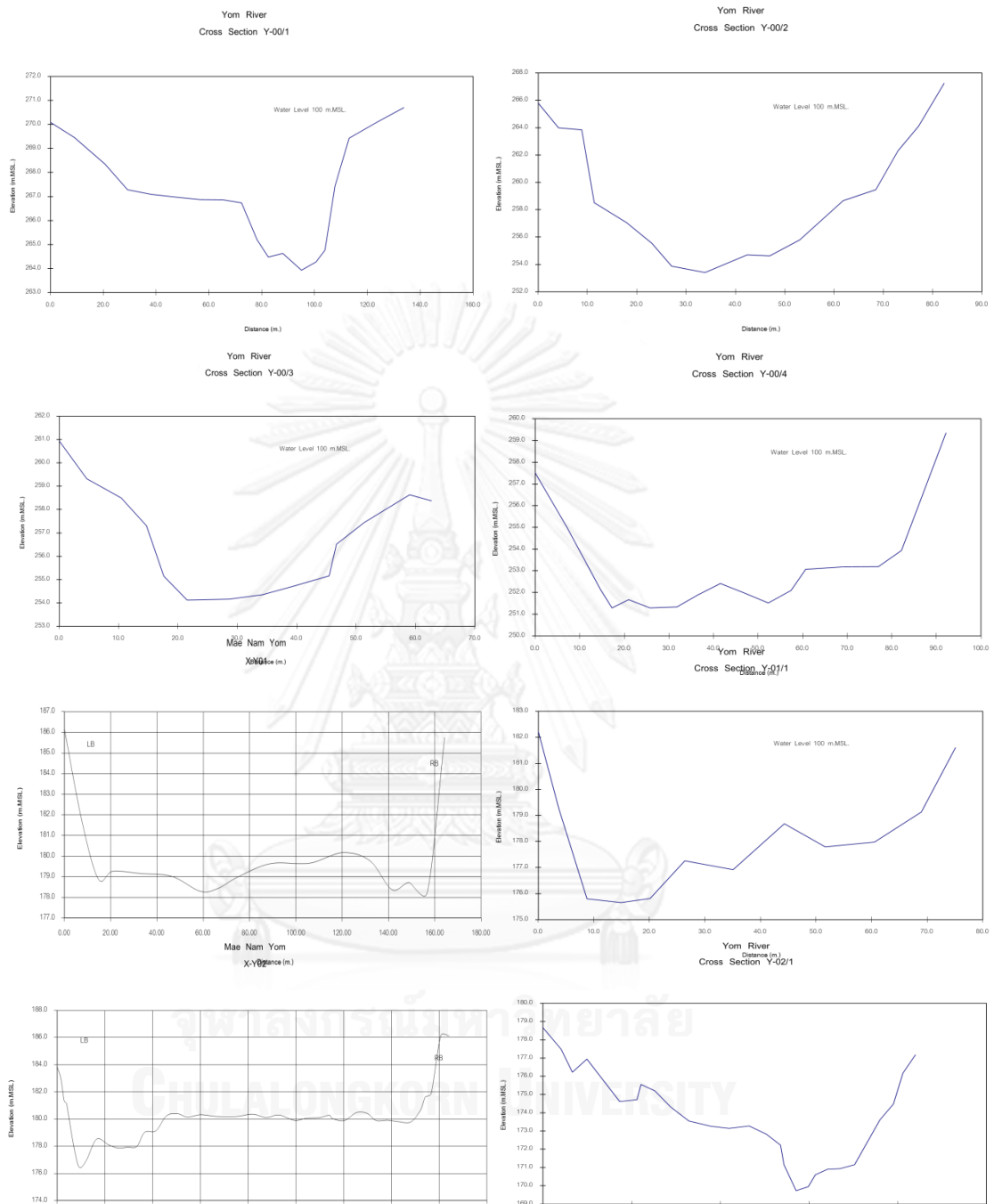
รูปที่ ก-1 การตรวจสอบความคงตัวของข้อมูลน้ำฝนโดยวิธี Double mass analysis (ต่อ)



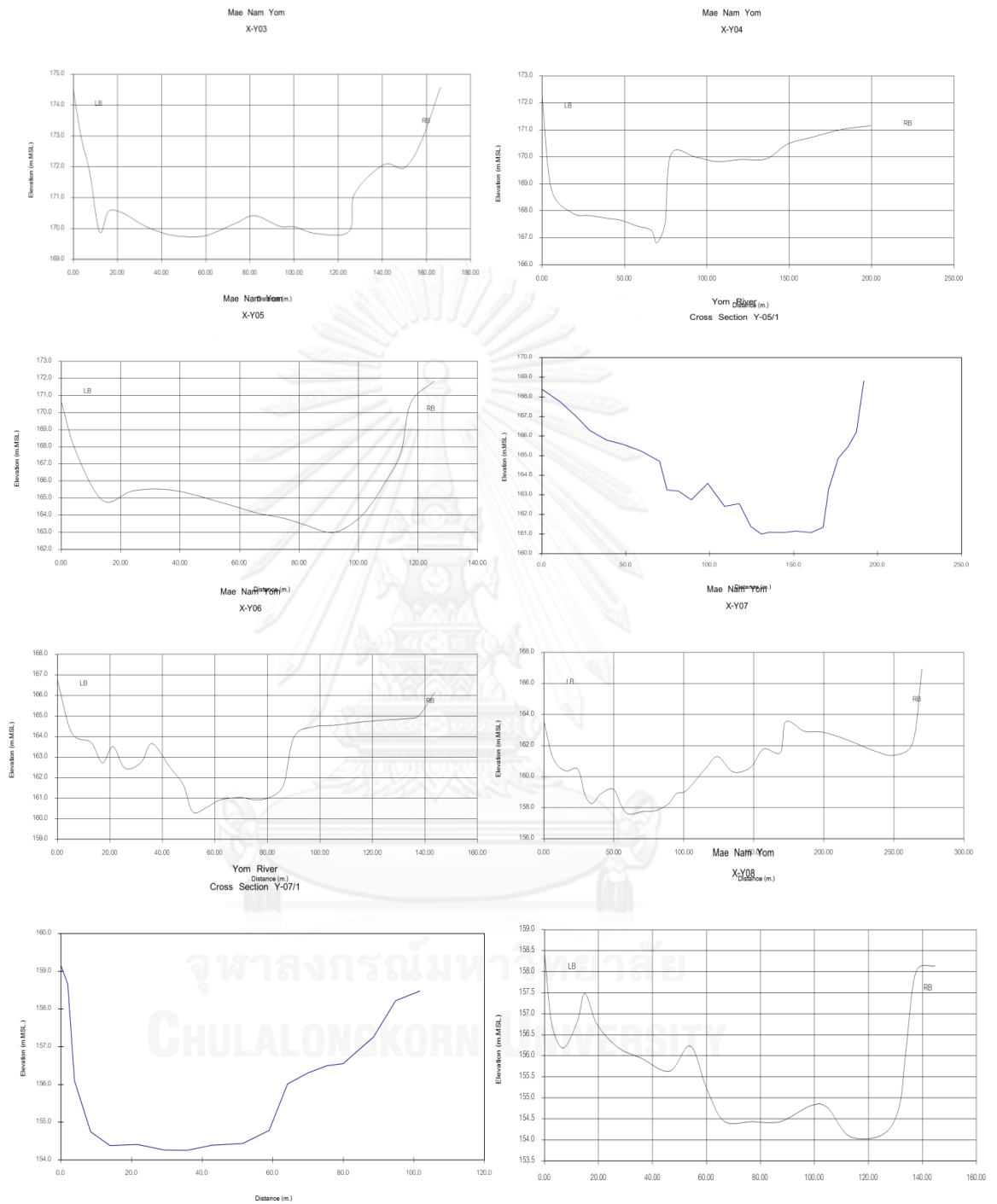
รูปที่ ก-1 การตรวจสอบความคงตัวของข้อมูลน้ำฝนโดยวิธี Double mass analysis (ต่อ)



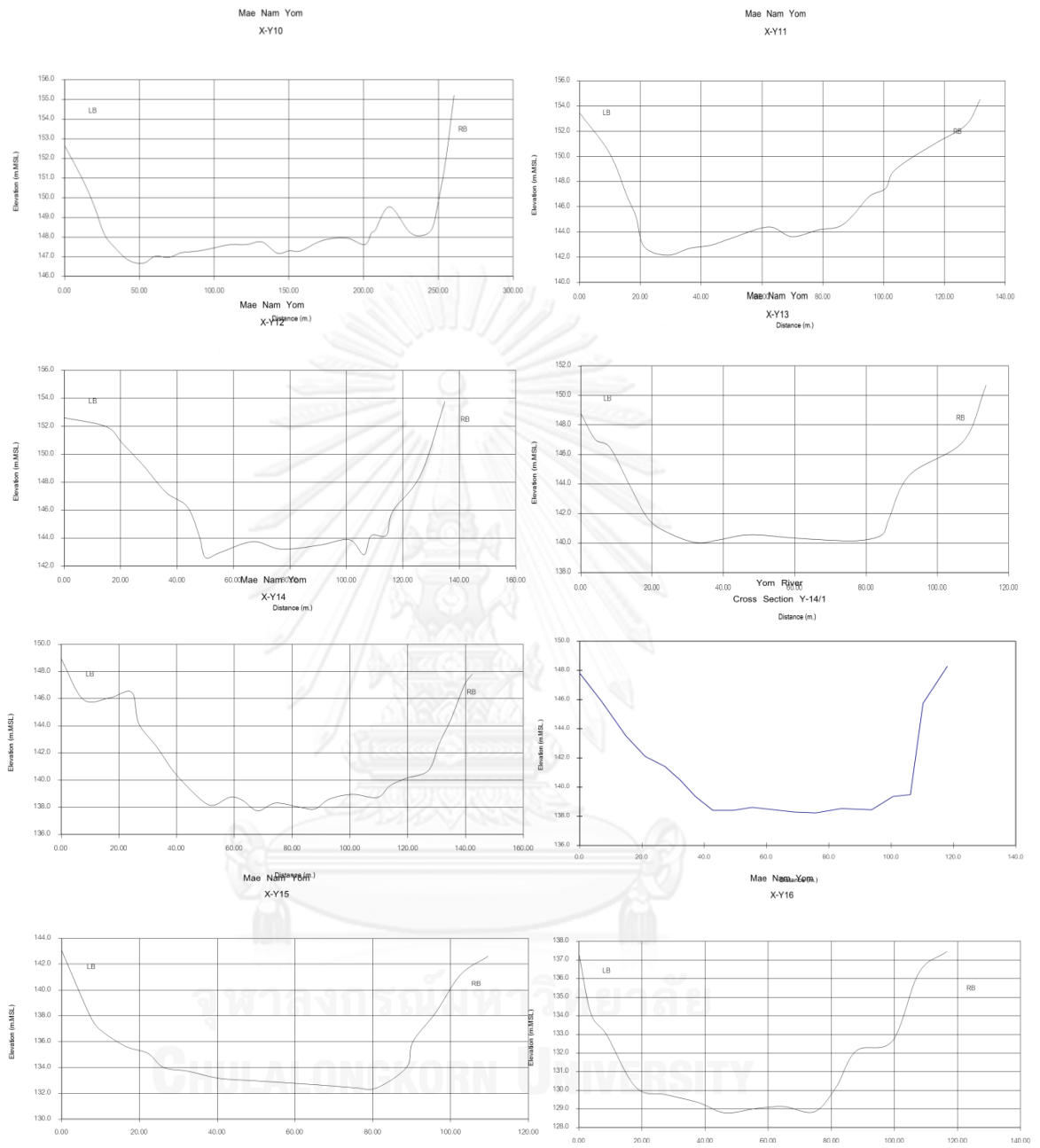
รูปที่ ก-1 การตรวจสอบความคงตัวของข้อมูลน้ำฝนโดยวิธี Double mass analysis (ต่อ)



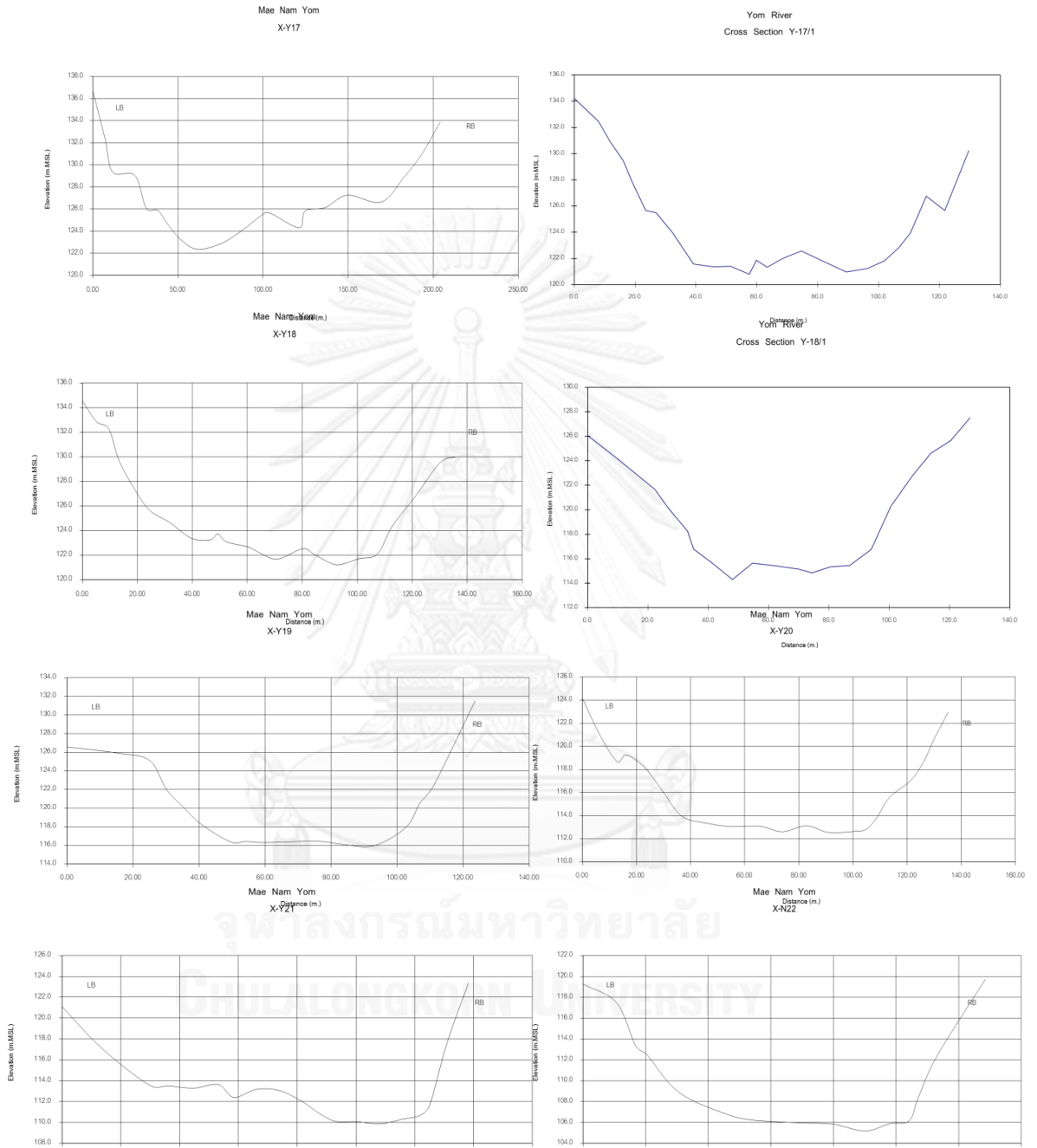
รูปที่ ก-2 รูปตัดลำน้ำยม



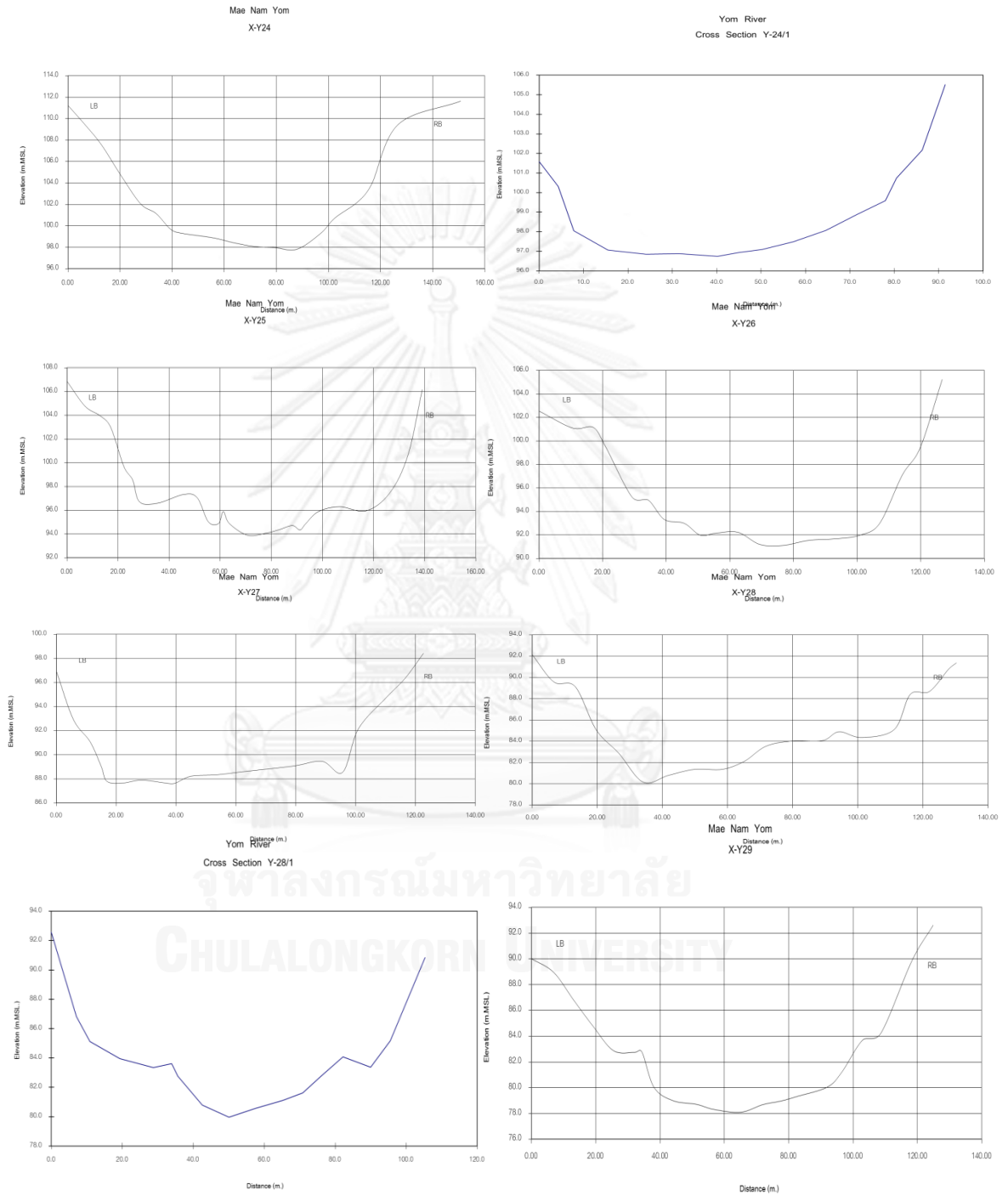
รูปที่ ก-3 รูปตัดลำน้ำยม



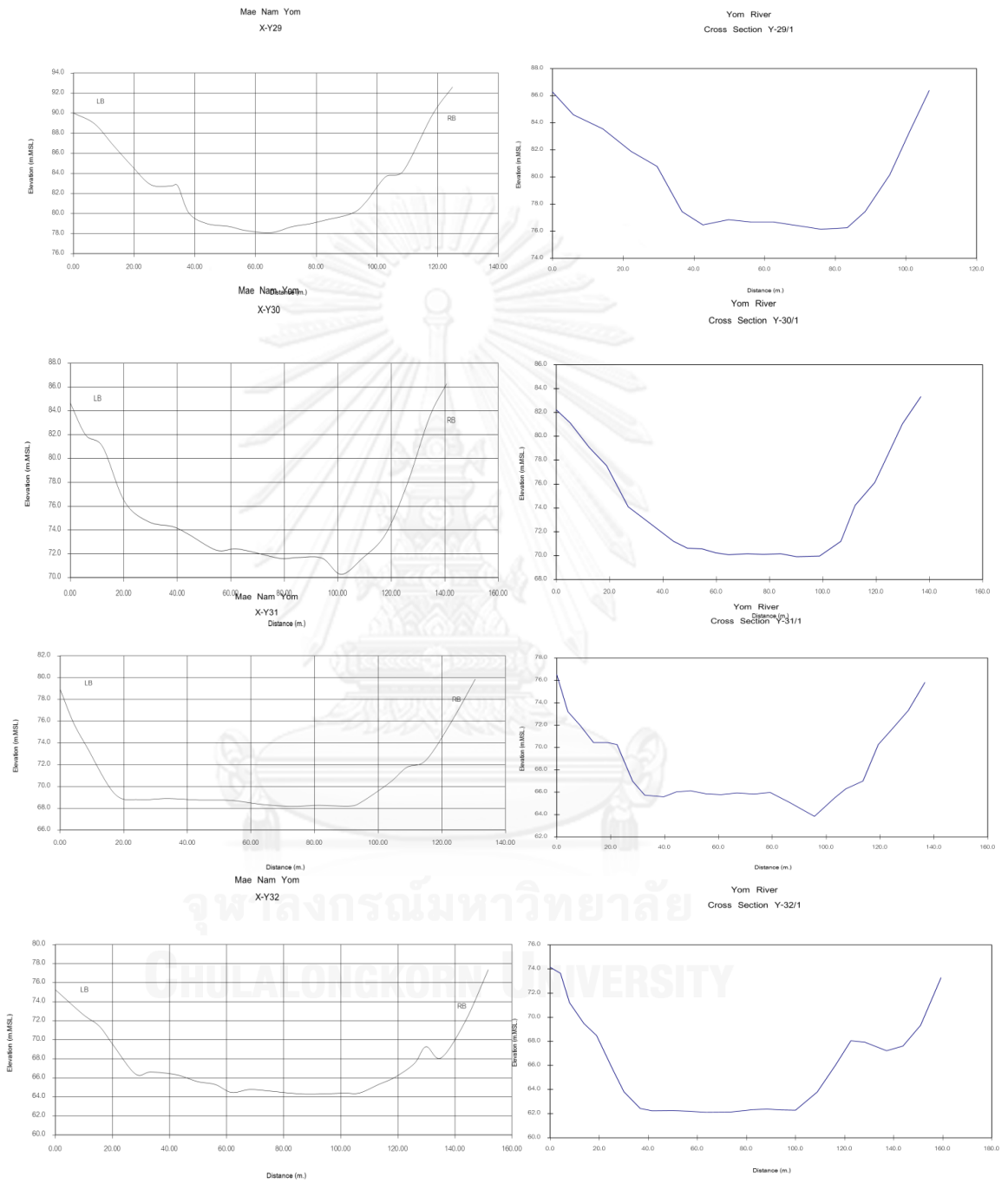
รูปที่ ก-4 รูปตัดลำน้ำยม



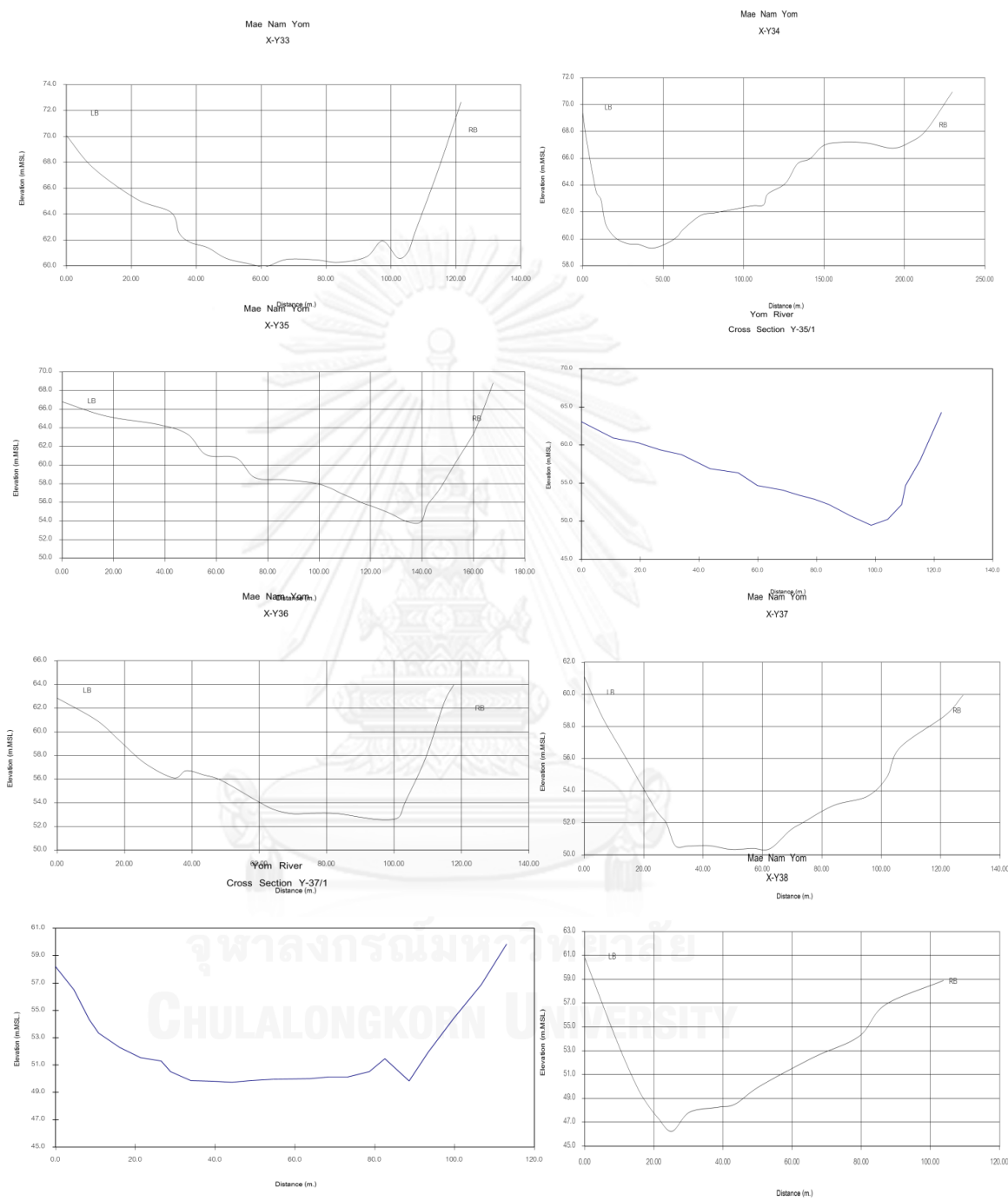
รูปที่ ก-5 รูปตัดลำน้ำยม



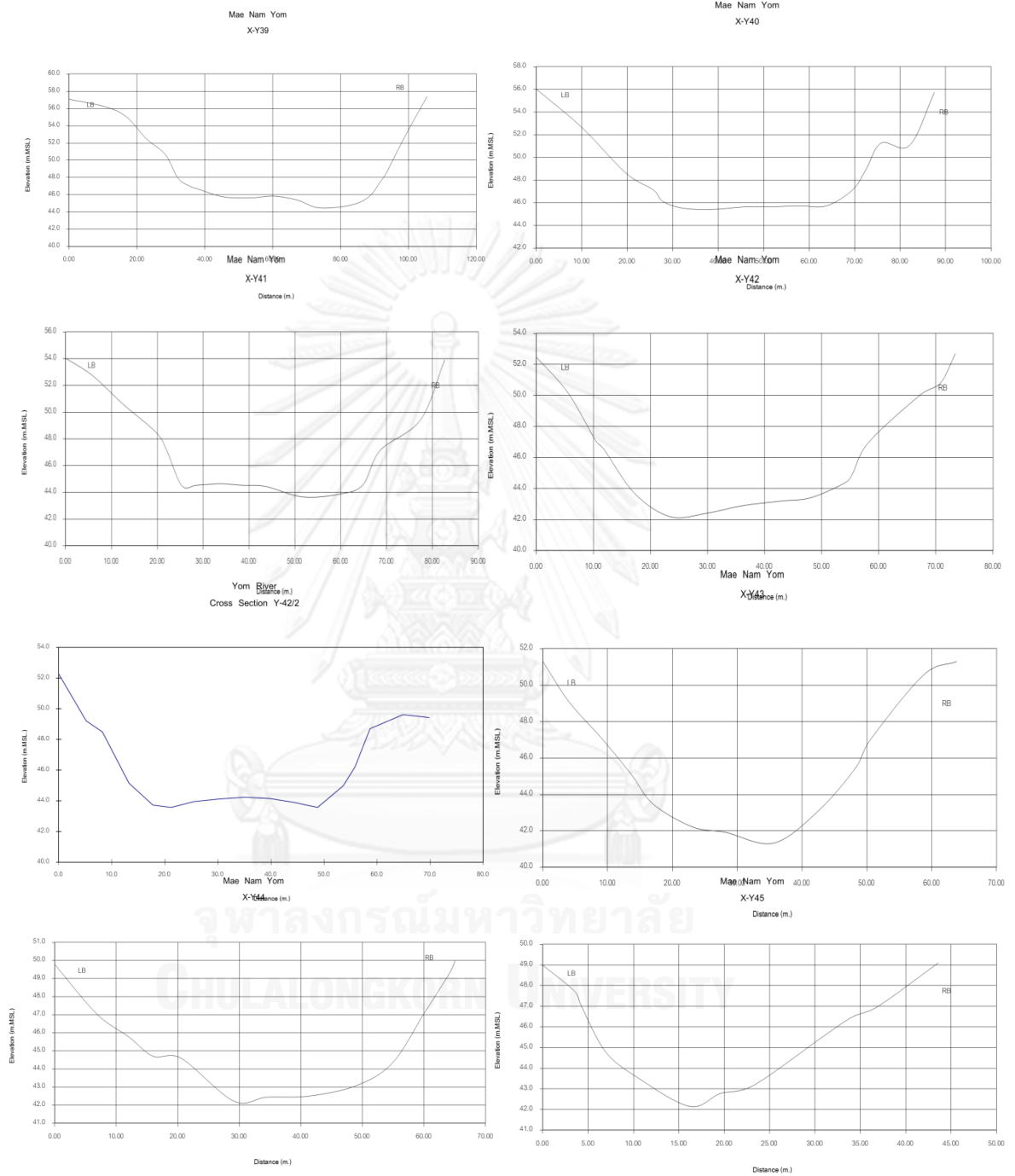
รูปที่ ก-6 รูปตัดลำน้ำยม



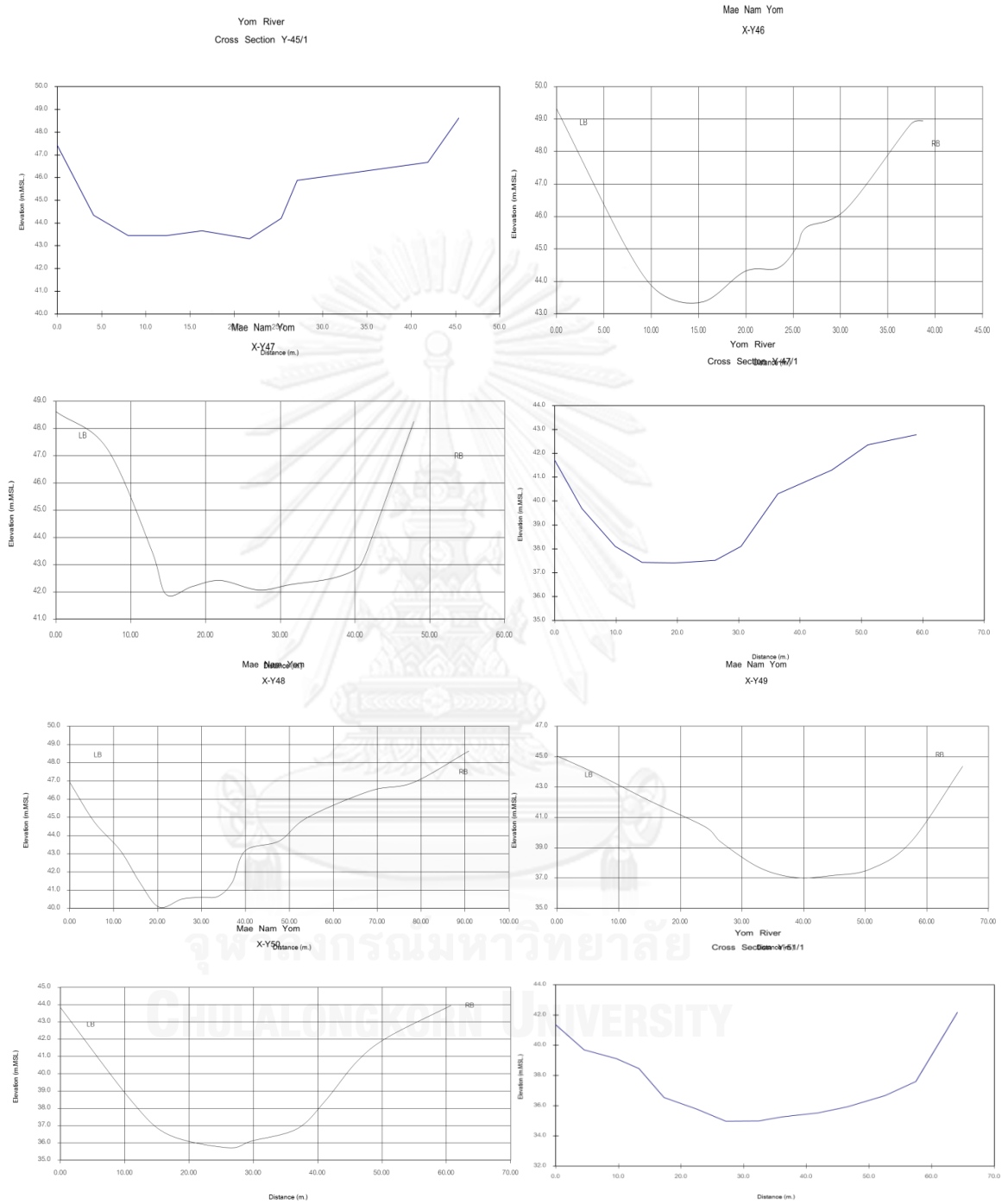
รูปที่ ก-7 รูปตัดลำน้ำยม



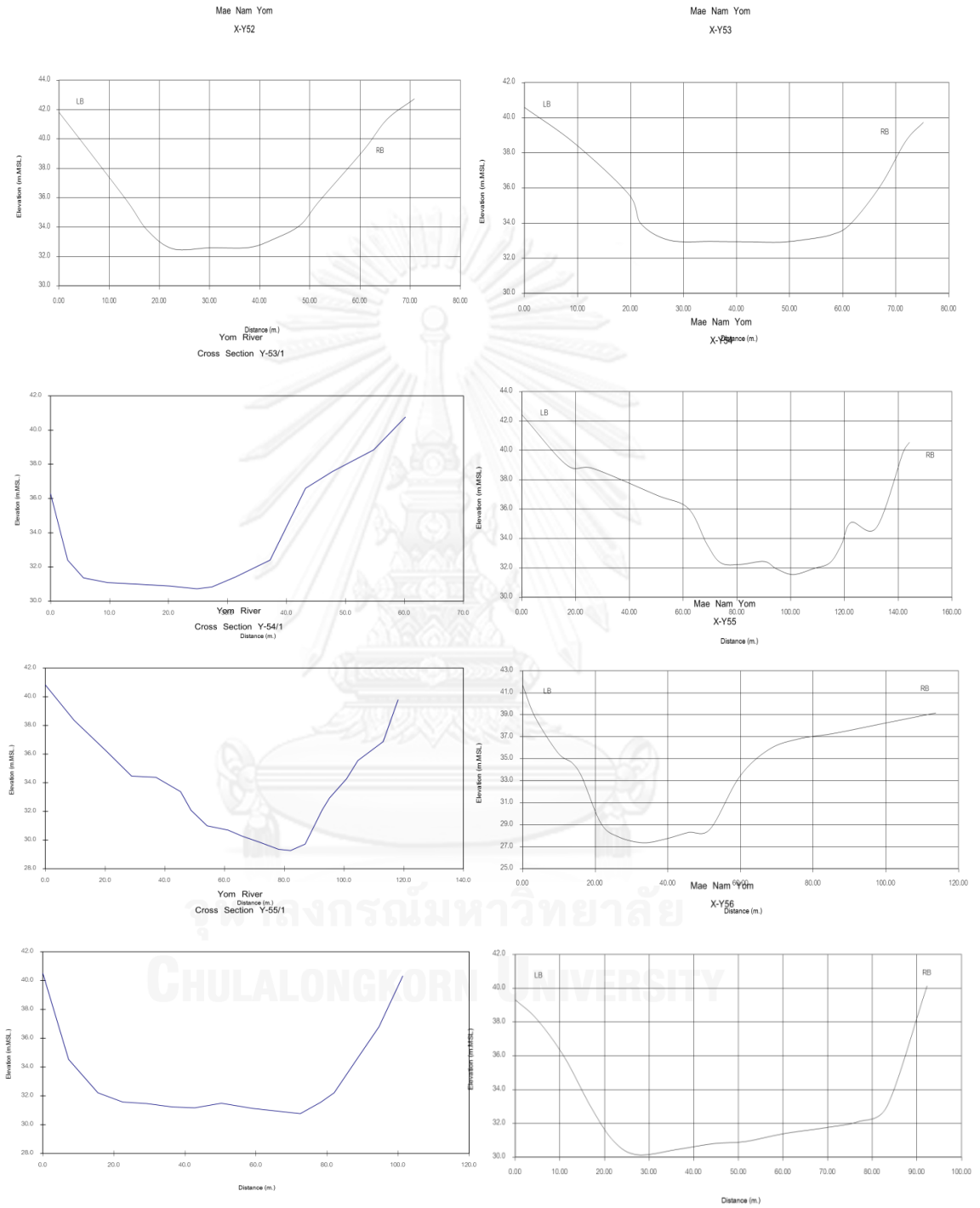
รูปที่ ก-8 รูปตัดลำน้ำยม



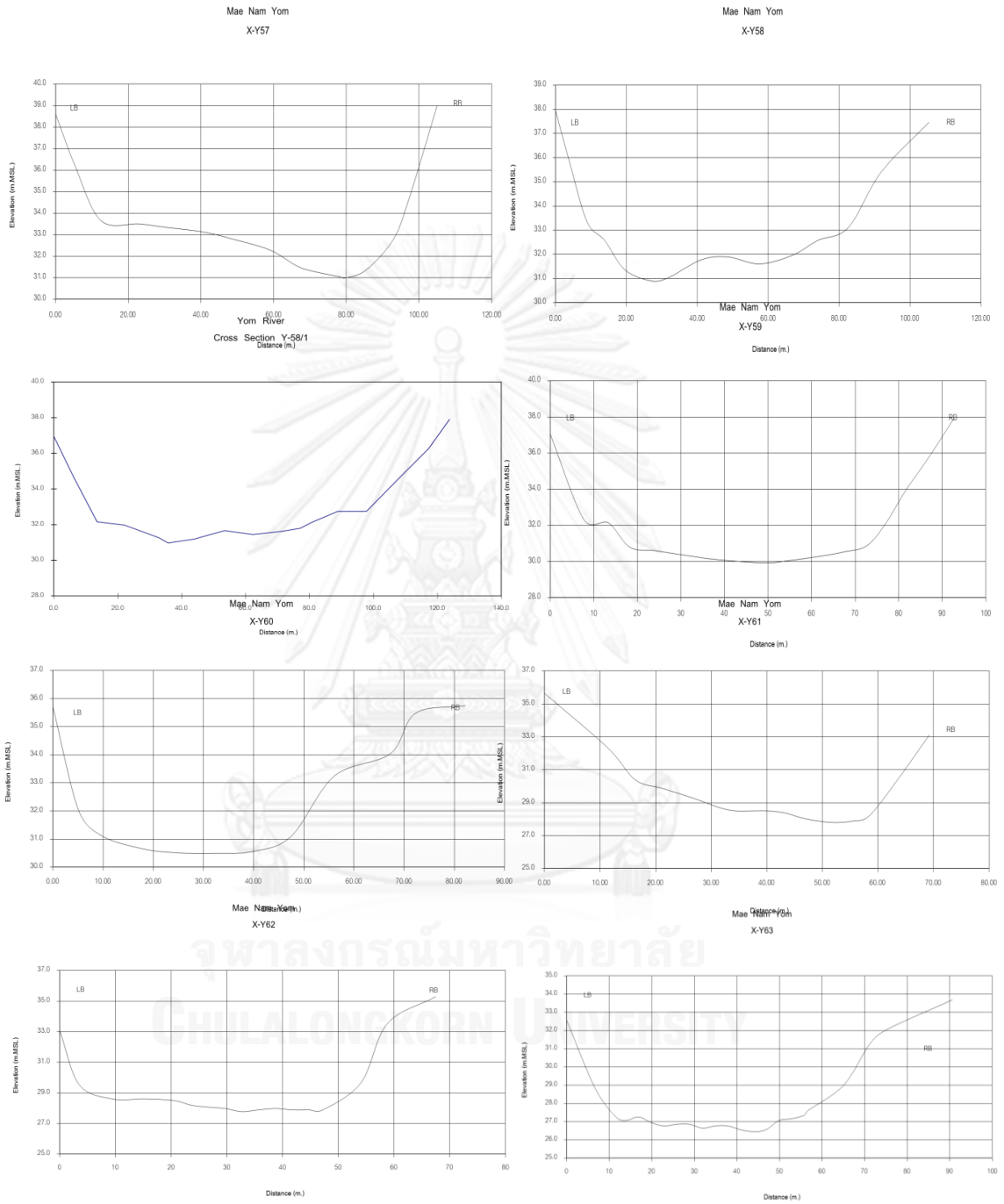
รูปที่ ก-9 รูปตัดลำน้ำยม



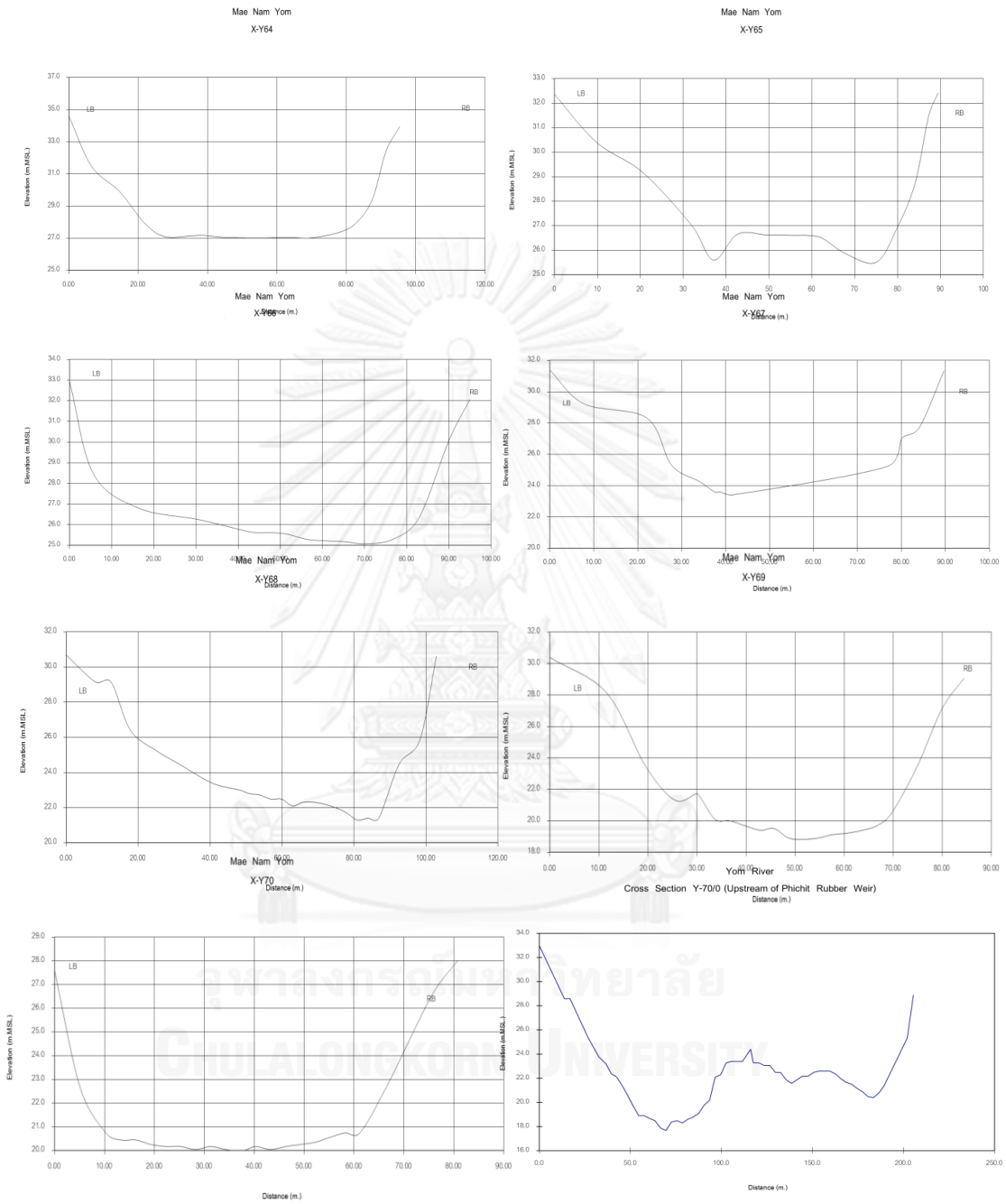
รูปที่ ก-10 รูปตัดลำน้ำยม



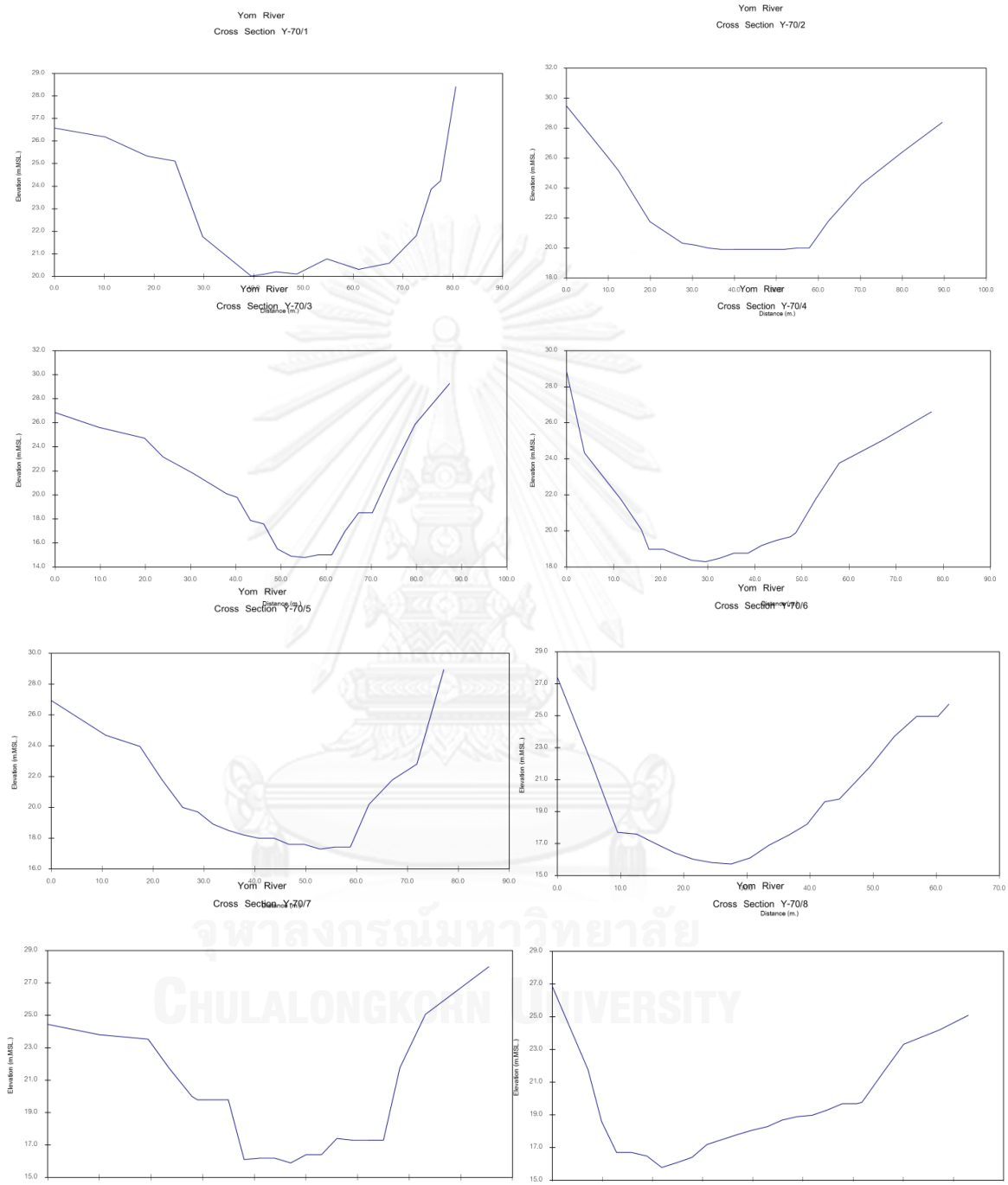
รูปที่ ก-11 รูปตัดลำน้ำยม



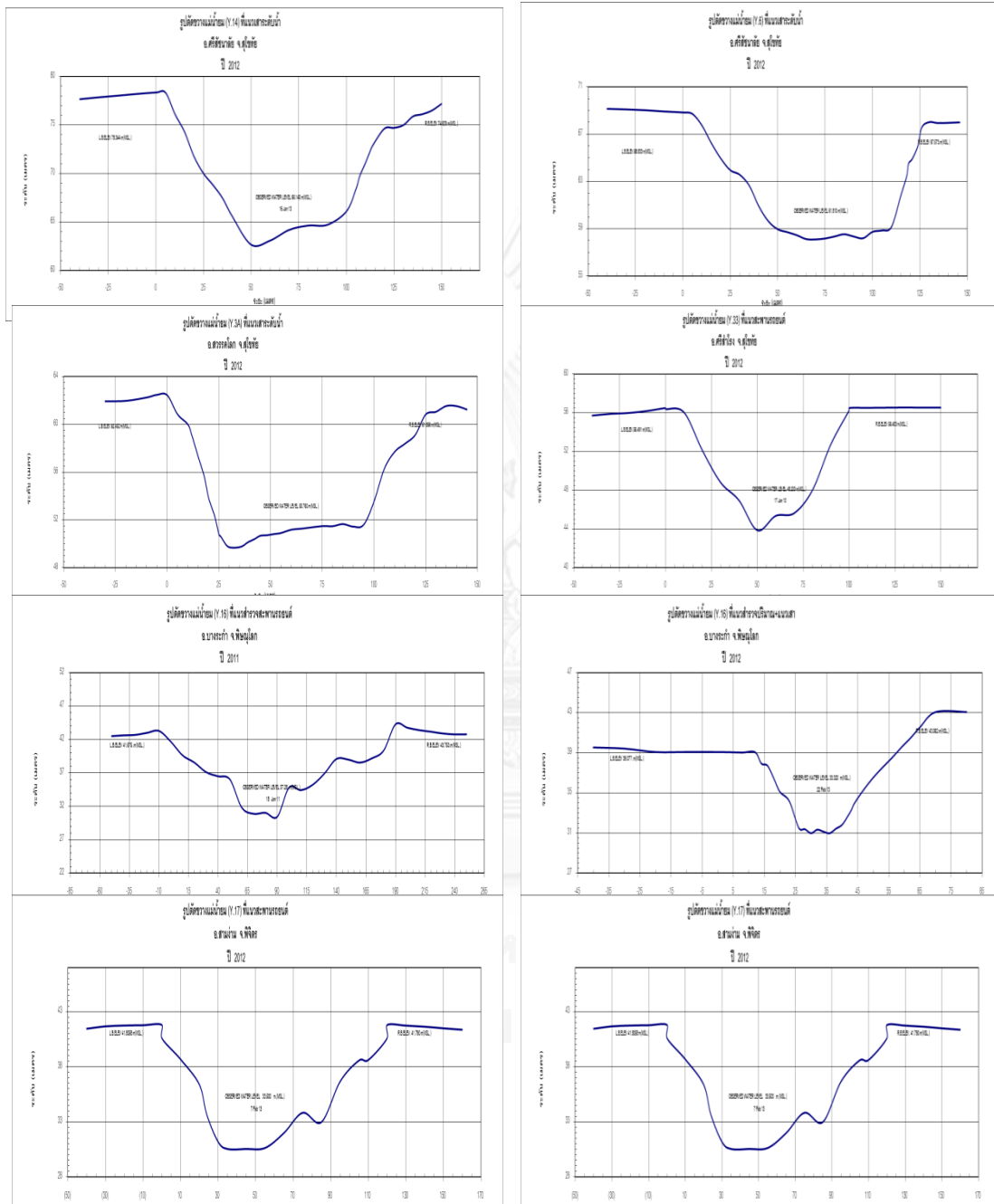
รูปที่ ก-12 รูปตัดลำน้ำยม



รูปที่ ก-13 รูปตัดลำน้ำยม



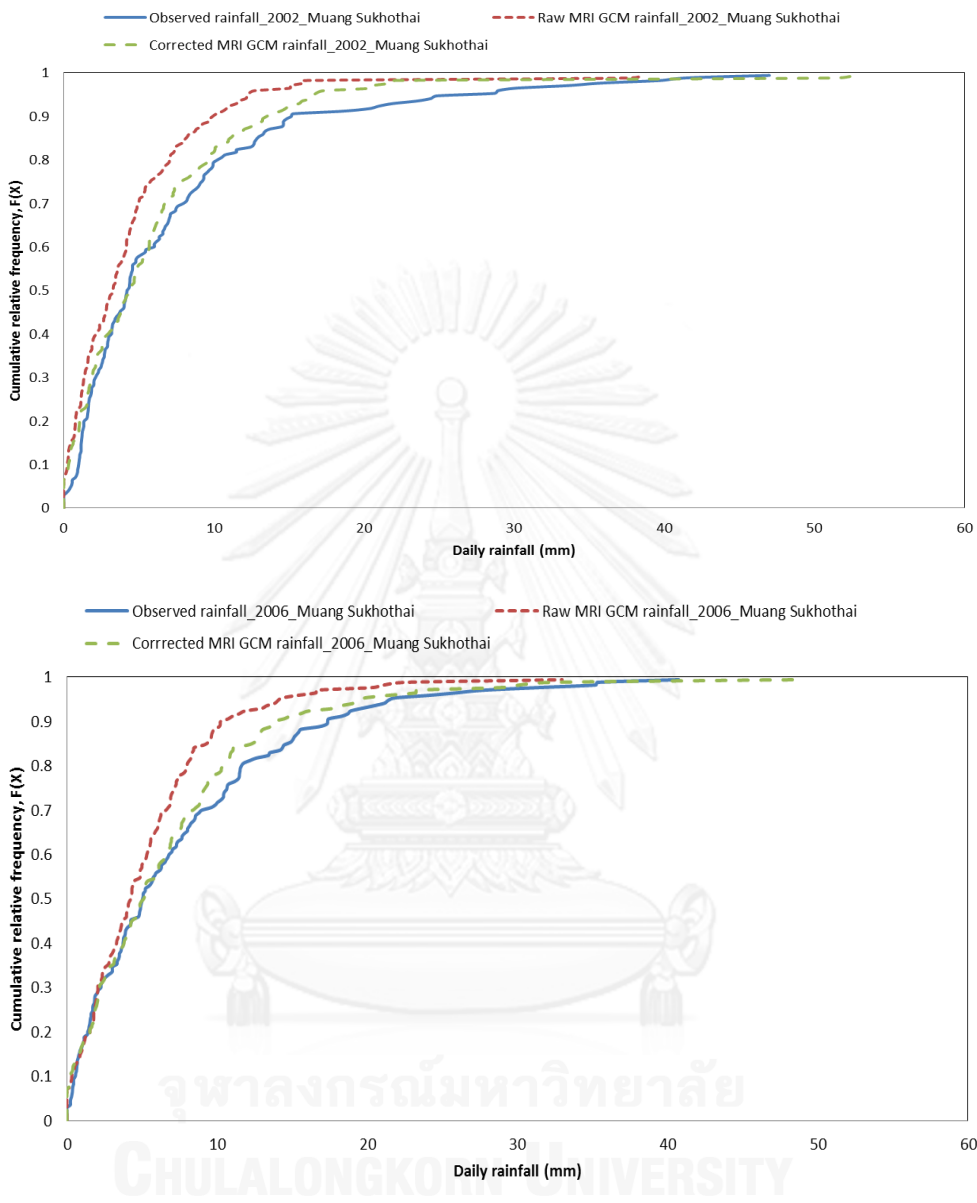
รูปที่ ก-14 รูปตัดลำน้ำยม



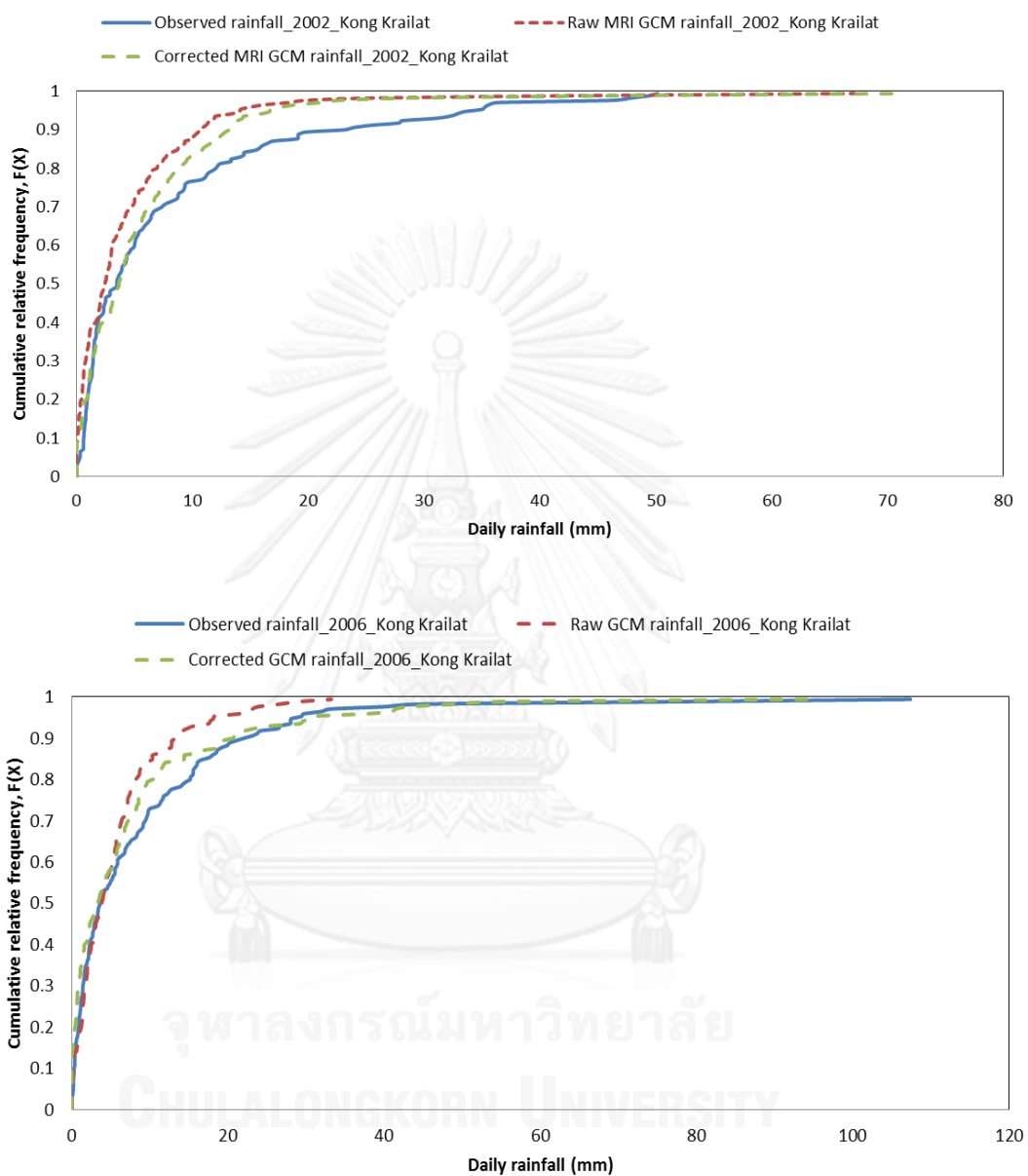
รูปที่ ก-15 รูปตัดลำน้ำยม

ตาราง ก-1 สถานีวัดน้ำฝนของประเทศไทยที่ใช้ศึกษา ค).ศ. 1979-2006)

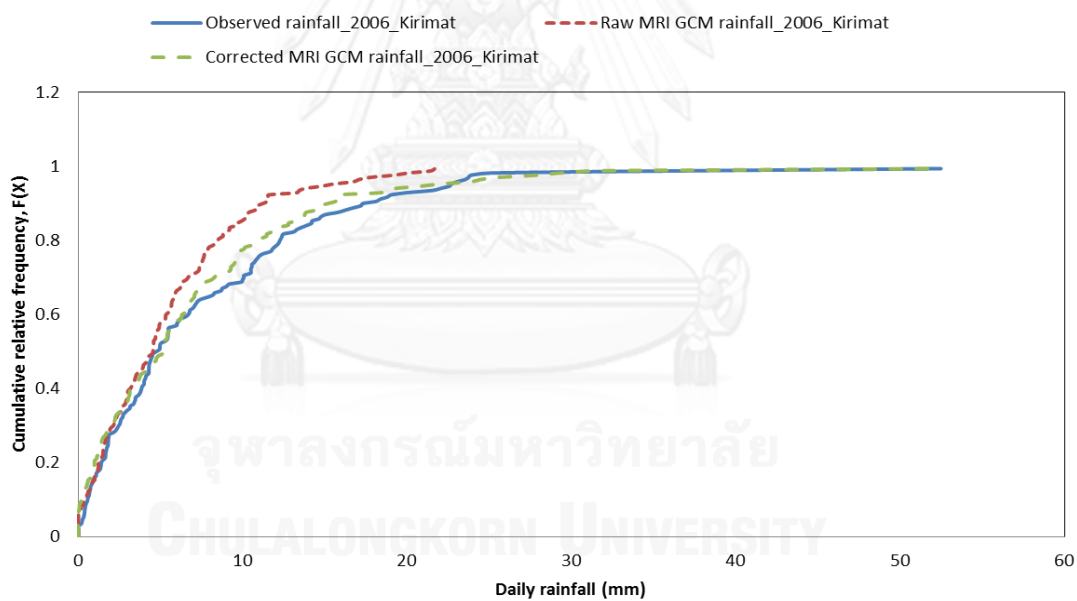
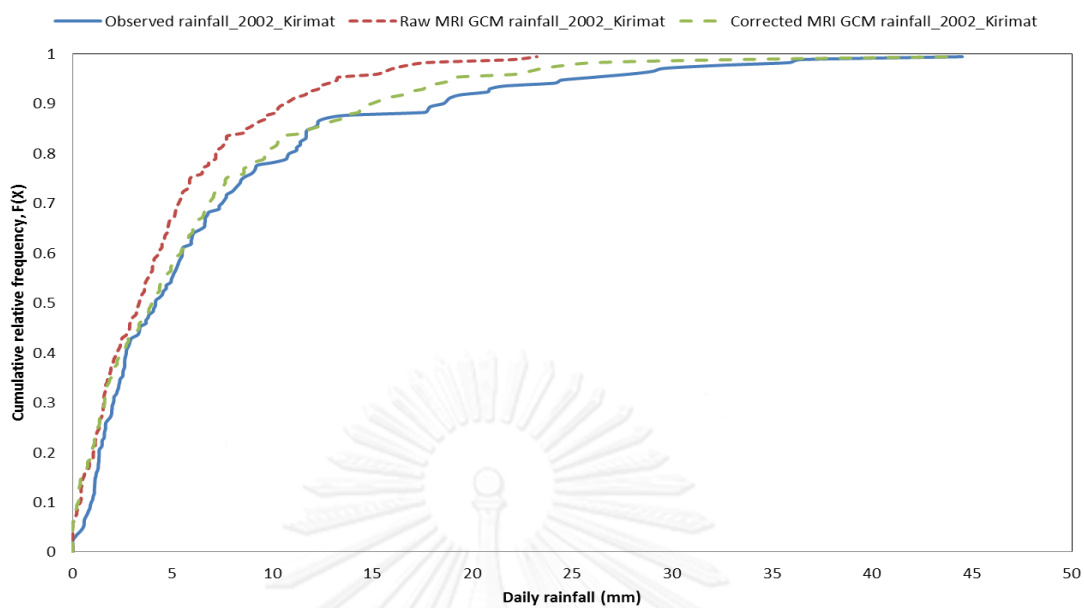
No	Station	อำเภอ	จังหวัด
1	16082	แม่พริก	ลำปาง
2	16092	งาว .	ลำปาง
3	16220	เถิน .	ลำปาง
4	73022	เชียงคำ .	พะเยา
5	73032	ปง .	พะเยา
6	70013	เมือง .	อุดรดิษฐ์
7	40022	สูงเม่น .	แพร่
8	40032	ร้องกวาง .	แพร่
9	40043	สอง .	แพร่
10	40052	ลอง	แพร่
11	40062	วังชิ้น .	แพร่
12	40092	เด่นชัย.	แพร่
13	59012	เมือง .	สโขทัย
14	59022	ศรีสขนาลัย	สโขทัย
15	59032	สวรรคโลก .	สโขทัย
16	59042	กงไกรลาศ .	สโขทัย
17	59062	บ้านด่านลานหอย .	สโขทัย
18	59082	คีรีมาศ	สโขทัย
19	59092	ทุ่งเสลี่ยม .	สโขทัย
20	12032	พรานกระต่าย .	กำแพงเพชร
21	12102	ไทรงาม .	กำแพงเพชร
22	16042	สบปราบ .	ลำปาง
23	16052	แม่ทา .	ลำปาง
24	16072	เถิน .	ลำปาง
25	16112	วังเหนือ	ลำปาง
26	28013	เมือง .	น่าน
27	28022	เวียงสา	น่าน
28	28032	น่าน้อย .	น่าน
29	38032	โพทะเล .	พิจิตร
30	38052	สามง่าม .	พิจิตร
31	38062	โพธิ์ประทับช้าง .	พิจิตร
32	39013	เมือง .	พิษณุโลก
33	39022	บางระกำ .	พิษณุโลก
34	39052	พรหมพิราม .	พิษณุโลก



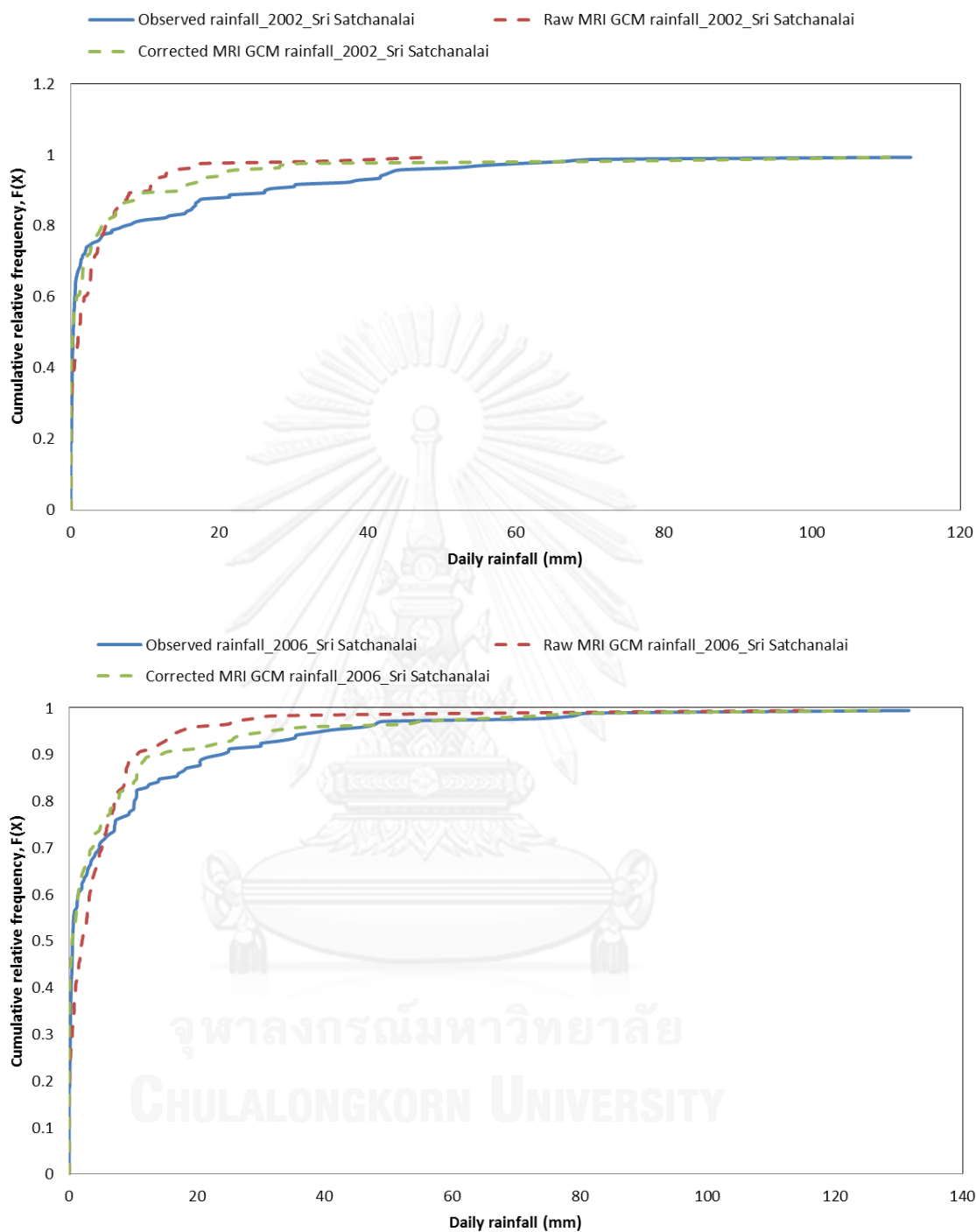
รูปที่ ก-17 cumulative relative frequency ของเหตุการณ์ฝนปี ค.ศ. 2002 และ ค.ศ. 2006 กริด 3039 อำเภอเมืองสุโขทัย จังหวัดสุโขทัย



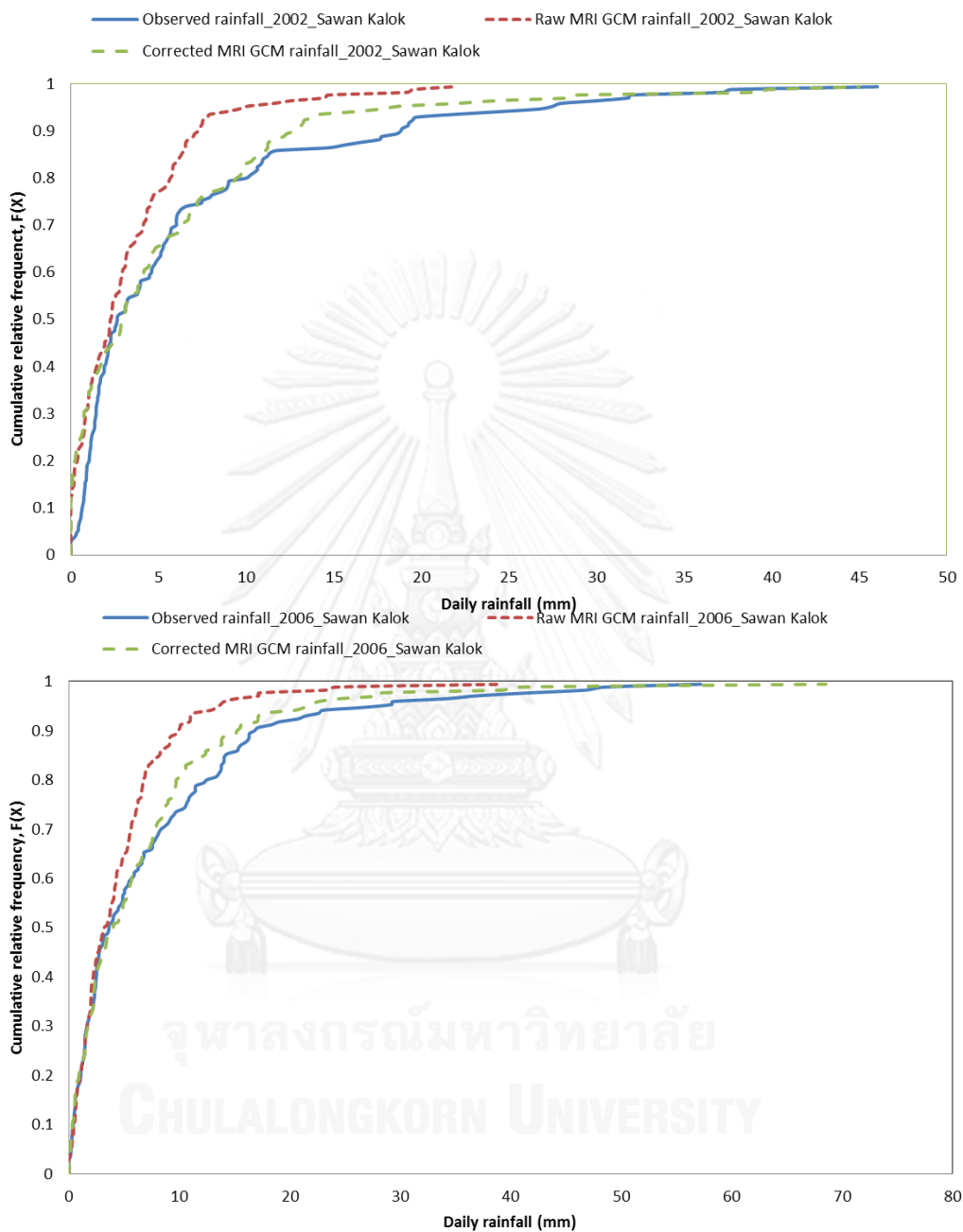
รูปที่ ก-18 cumulative relative frequency ของเหตุการณ์ฝนปี ค.ศ. 2002 และ ค.ศ. 2006 กริด 3040 อำเภอองไกรลาศ จังหวัดสุโขทัย



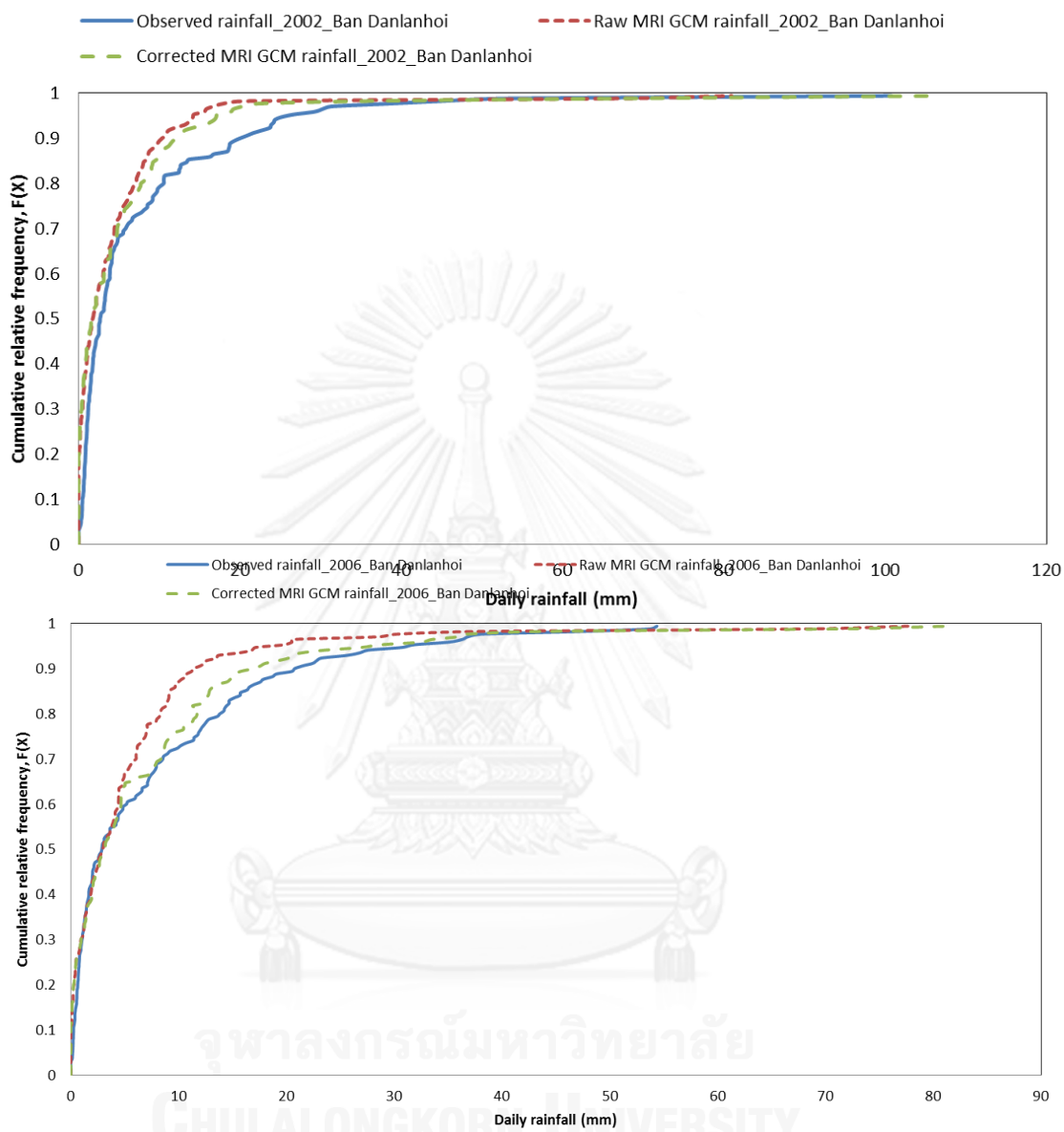
รูปที่ ก-19 cumulative relative frequency ของเหตุการณ์ฝนปี ค.ศ. 2002 และ ค.ศ. 2006 กริด 2991 อำเภอคีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย



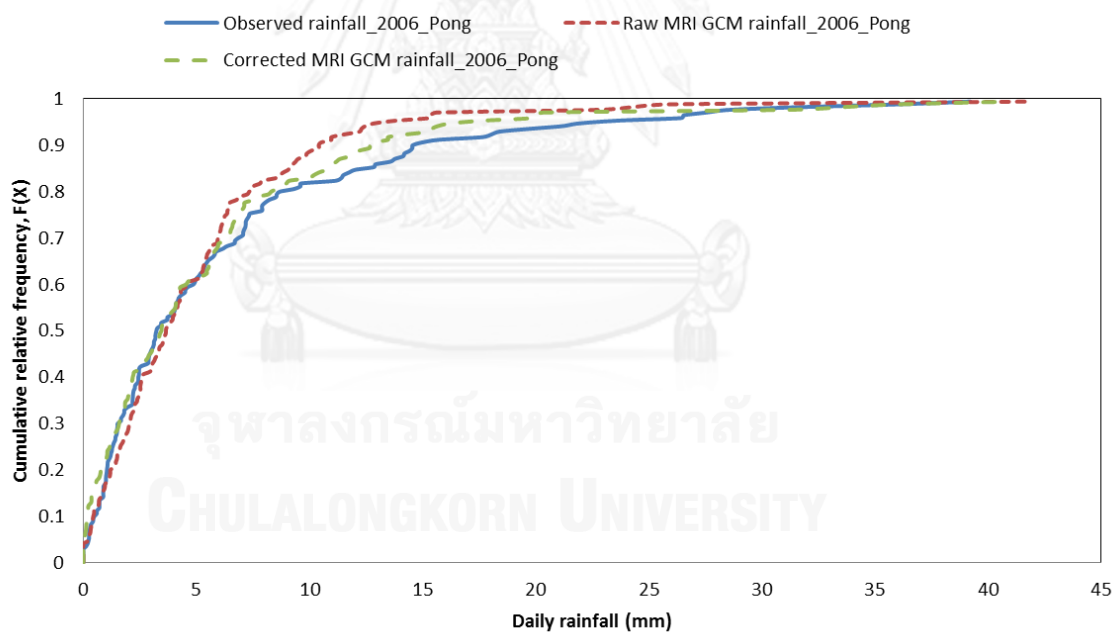
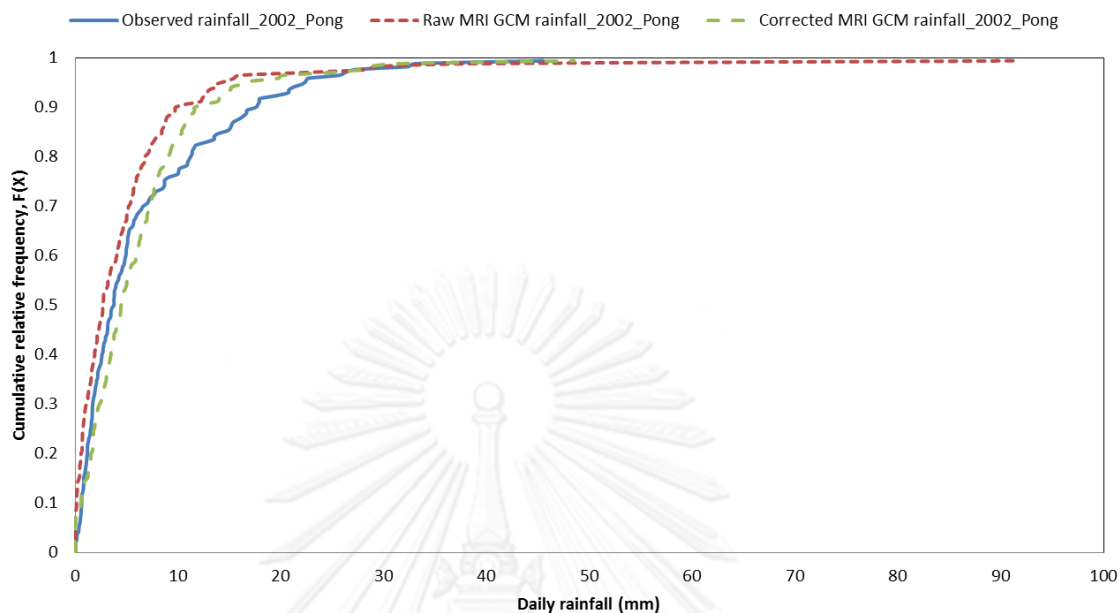
รูปที่ ก-20 cumulative relative frequency ของเหตุการณ์ฝนปี ค.ศ. 2002 และ ค.ศ. 2006 กริด 3183 อำเภอศรีสัชชนาลัย จังหวัดสุโขทัย



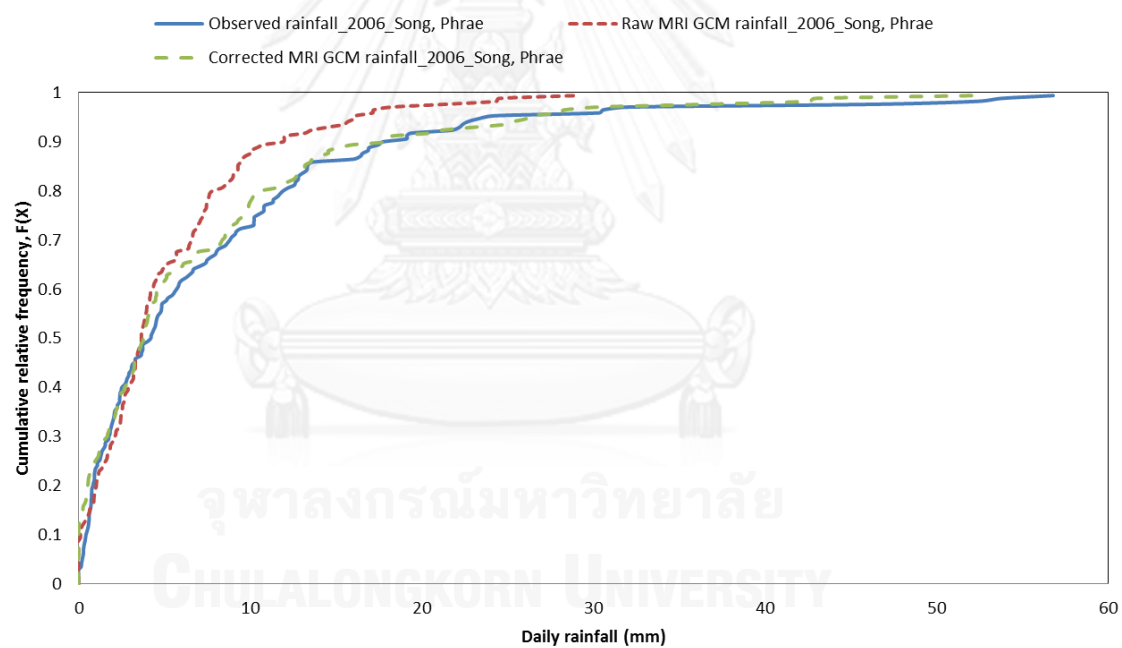
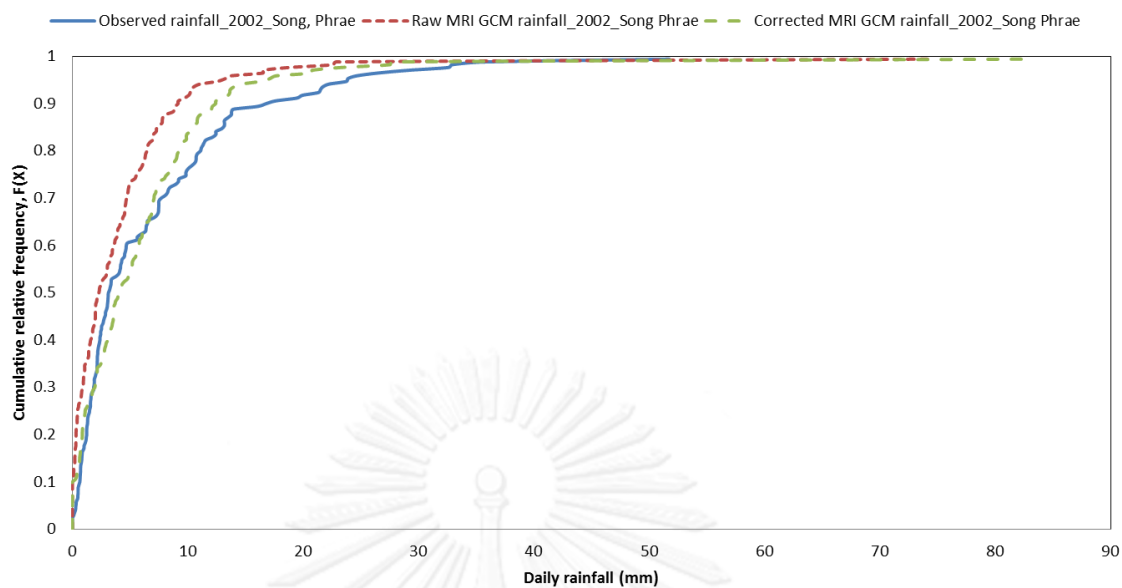
รูปที่ ก-21 cumulative relative frequency ของเหตุการณ์ฝนปี ค.ศ. 2002 และ ค.ศ. 2006 กริด 3135 อำเภอสวรรคโลก จังหวัดสุโขทัย



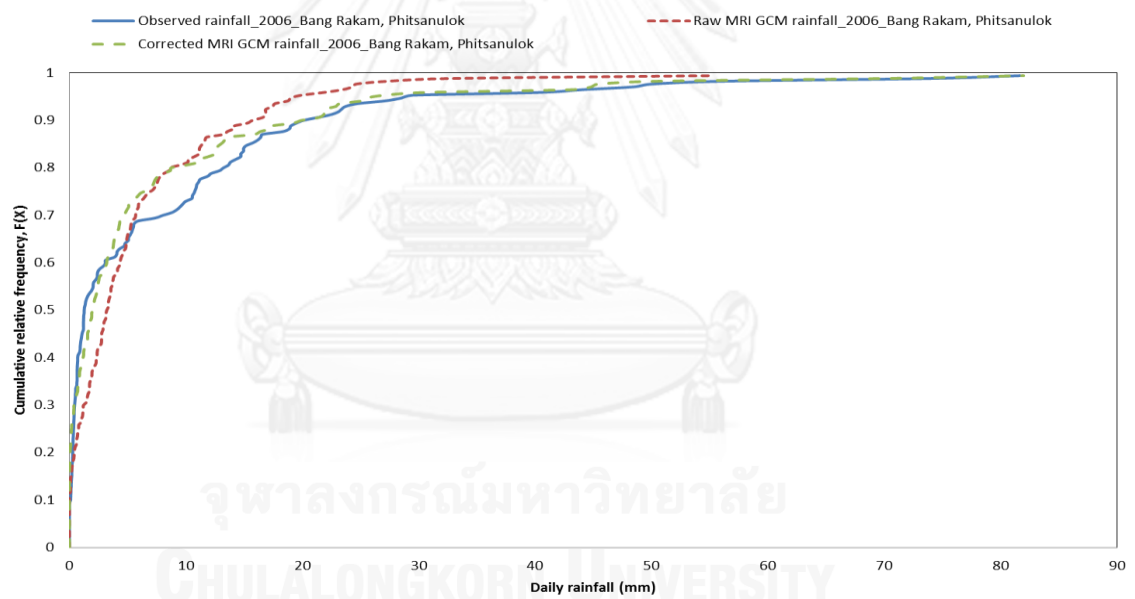
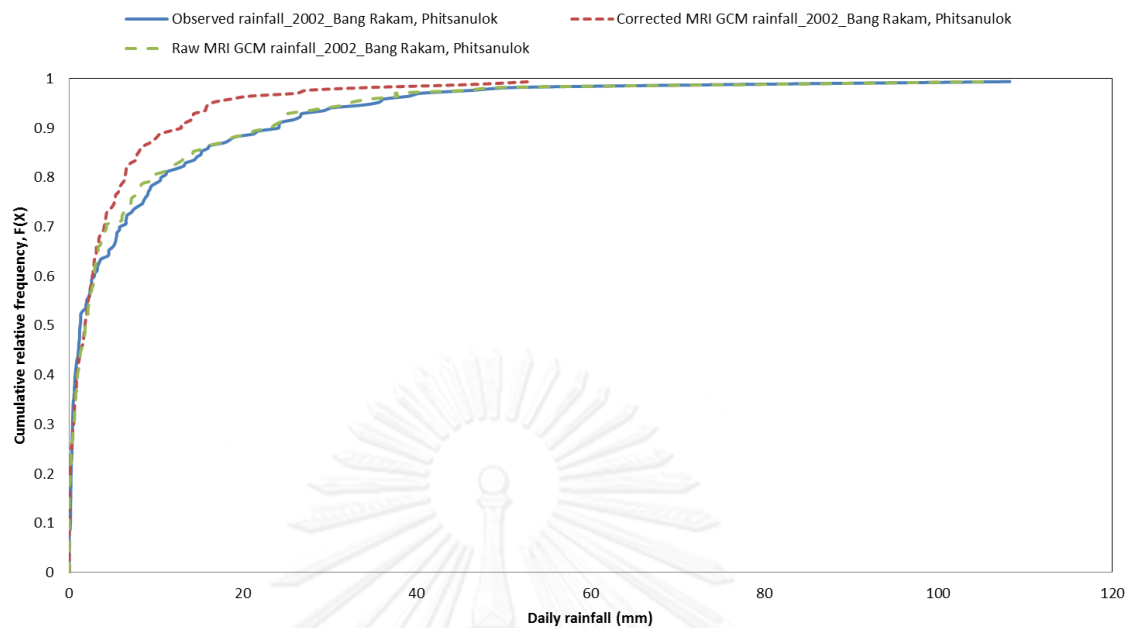
รูปที่ ก-22 cumulative relative frequency ของเหตุการณ์ฝนปี ค.ศ. 2002 และ ค.ศ. 2006 กริด 3038 อำเภอบ้านด่านลานหอย จังหวัดสุโขทัย



รูปที่ ก-23 cumulative relative frequency ของเหตุการณ์ฝนปี ค.ศ. 2002 และ ค.ศ. 2006 กริด 3618 อำเภอปง จังหวัดพะเยา



รูปที่ ก-24 cumulative relative frequency ของเหตุการณ์ฝนปี ค.ศ. 2002 และ ค.ศ. 2006 กริด 3425 อำเภอสอง จังหวัดแพร่



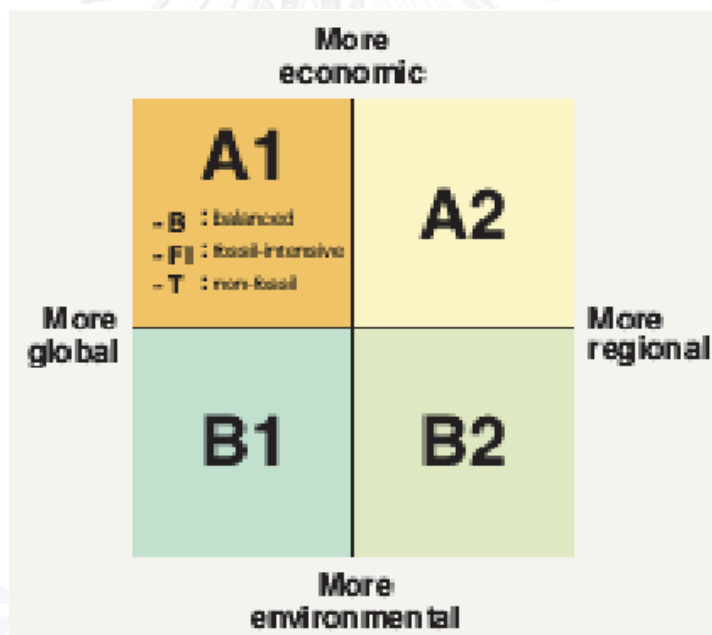
รูปที่ ก-25 cumulative relative frequency ของเหตุการณ์ฝนปี ค.ศ. 2002 และ ค.ศ. 2006 กริด 2993 อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก

ภาคผนวก ข

ภาพจำลองในอนาคตของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ภาพจำลองของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอนาคตนี้มีพื้นฐานจากรายงานฉบับพิเศษของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) ในปี ค.ศ. 2000 ที่มีชื่อว่า “ IPCC Special Report on Emission Scenarios”

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศในอนาคตเป็นข้อมูลนำเข้าสำคัญของแบบจำลองภูมิอากาศโลก ซึ่งปริมาณของการปล่อยก๊าซอาจเปลี่ยนแปลงไปในอนาคต ตามแนวโน้มของการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคม การเปลี่ยนแปลงด้านประชากรศาสตร์ และการกำหนดนโยบายในอนาคต ซึ่งมีทิศทางแตกต่างกัน โดยที่ IPCC ได้กำหนดความเป็นไปได้ของการพัฒนาเป็น 4 รูปแบบหลัก ดังนี้



รูปที่ ข-1 รูปแบบการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมในอนาคตตาม SRES Scenarios อันส่งผลต่อปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศ และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยของโลก (IPCC, 2000)

1. แบบ A เป็นการพัฒนาที่ให้ความสำคัญด้านการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจเป็นหลัก โดยแบ่งย่อยเป็น

- แบบ A1 มองภาพของเศรษฐกิจในอนาคตที่มีการเติบโตทางเศรษฐกิจสูง ประชากรโลกจะเพิ่มสูงสุดในช่วงกึ่งศตวรรษที่ 21 และลดลงเล็กน้อยหลังจากนั้น ระดับการพัฒนาเทคโนโลยีที่ก้าวหน้า มีการพัฒนาบุคลากรและปฏิสัมพันธ์เชิงวัฒนธรรมระหว่างภูมิภาคอย่างกว้างขวาง ความแตกต่างของรายได้ประชาชาติจะลดลงกว่าในปัจจุบัน ซึ่งภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบ A1 นี้ จะแบ่งแยกออกเป็นภาพจำลองย่อยต่างๆได้อีก ดังนี้

- A1F1 (Fossil intensive) การพัฒนาซึ่งพึ่งพาพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น น้ำมัน ถ่านหินเป็นหลัก

- A1T (Non-fossil energy sources and technology) เป็นการพัฒนาที่มุ่งเน้นใช้พลังงานจากเทคโนโลยีอื่นๆแทน เช่น พลังงานหมุนเวียน เป็นต้น

- A1B (Balance of all sources) เป็นรูปแบบการพัฒนาที่ใช้ทั้งพลังงานฟอสซิลและพลังงานหมุนเวียนผสมผสานกันอย่างสมดุล

- แบบ A2 คือการพัฒนาทางเศรษฐกิจของโลกในอนาคตที่มีความหลากหลาย พึ่งตนเองมากขึ้น ในระดับภูมิภาค มีการอนุรักษ์อัตลักษณ์ของท้องถิ่น จำนวนประชากรเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การเติบโตทางเศรษฐกิจและเทคโนโลยีช้ากว่าแบบอื่น และกระจายตามท้องถิ่นและภูมิภาค

2. แบบ B เป็นการพัฒนาโดยให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าการพัฒนาแบบแรก โดยแบ่งออกได้ ดังนี้

- แบบ B1 เป็นภาพจำลองการพัฒนาในอนาคต ประชากรเพิ่มสูงในตอนกึ่งศตวรรษ เช่นเดียวกับ A1 และลดลงหลังจากนั้น หากแต่การพัฒนาในช่วงหลัง โครงสร้างเศรษฐกิจจะเปลี่ยนแปลงมาสู่ภาคบริการและสารสนเทศ ลดการใช้วัตถุ ประกอบกับพลังงานสะอาด เน้นความยั่งยืนในการแก้ปัญหาเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมในระดับนานาชาติ และมีความเสมอภาค

- แบบ B2 เป็นภาพจำลองการพัฒนาที่เน้นการแก้ไขด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืนในระดับท้องถิ่นหรือภูมิภาค ประชากรเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องแต่น้อยกว่า A2 ระดับการพัฒนาเศรษฐกิจปานกลาง การเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีหลากหลายและช้ากว่าแบบ B1 และ A1 โดยมีการปกป้องสิ่งแวดล้อมและความเสมอภาคในระดับของท้องถิ่นหรือภูมิภาค

ภาคผนวก ค

Source code ของโปรแกรมการปรับปรุงคุณภาพฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศ

โปรแกรมการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติในช่วงปี ค.ศ. 1979-2006

โปรแกรมหลัก

```
clc
clear
close all
%load data
%R=load('R.txt');

%Obs = data(
%filter 1st
%calculation of CDF Obs
A_Obs =(mean(Obs)/std(Obs))^2;% shape parameter of Obs value
B_Obs =(std(Obs)*std(Obs)/mean(Obs));% scale parameter of Obs value
CDF_Obs = gamcdf(Obs,A_Obs,B_Obs);

%calculation of filter GCM as zero
A_GCM = (mean(GCM)/std(GCM))^2; %shape GCM
B_GCM = (std(GCM)*std(GCM)/mean(GCM)); %scale GCM

%find intercept y
Ax = polyfit(Obs,GCM,1);
```



```

B = gampdf(Ax(1,2),A_GCM,B_GCM);

xx = B; %???

filter_GCM = gaminv(xx,A_GCM,B_GCM); %cal GCM as zero

n = length(Obs);

for i=1:n;%cut GCM zero

    if GCM(i,1)>=filter_GCM;

        GCM_f(i,1)=GCM(i,1);

        i

    else

        GCM_f(i,1)=0;

    end

end

%cal CDF of GCM filter

A_GCM_f = (mean(GCM_f)/std(GCM_f))^2; %shape GCM_f

B_GCM_f = (std(GCM_f)*std(GCM_f)/mean(GCM_f)); %scale GCM_f

CDF_GCM_f=gamcdf(GCM_f,A_GCM_f,B_GCM_f);

% corrected rainfall by inv gamma function

co_R = gaminv(CDF_GCM_f,A_Obs,B_Obs);

%plot CDF

figure(1)

cdfplot(GCM);hold on

[f,x,flo,fup]=ecdf(Obs);

```

```

stairs(x,f,'g','LineWidth',2);xlim([0 max(x)]);

stairs(x,flo,'r','LineWidth',2);

stairs(x,fup,'r','LineWidth',2);

legend('GCM','Obs','95%','Location','SouthEast');hold off

figure(2)

cdfplot(co_R);hold on

[f,x,flo,fup]=ecdf(Obs);

stairs(x,f,'g','LineWidth',2);xlim([0 max(x)]);

stairs(x,flo,'r','LineWidth',2);

stairs(x,fup,'r','LineWidth',2);

legend('GCM','Obs','95%','Location','SouthEast');hold off

%scatter plot

figure(3)

plot(Obs,co_R,'.');xlim([0 max(Obs)]);ylim([0 max(Obs)]);grid on

xlabel('Obs(Raingage)'); ylabel('GCM');

figure(4)

plot(Obs,GCM_f,'.r');xlim([0 max(Obs)]);ylim([0 max(Obs)]);grid on

xlabel('Obs(Raingage)'); ylabel('GCM');

%plot time series

figure(5)

plot(1:n,GCM,'c');hold on

plot(1:n,Obs,'-r');

plot(1:n,co_R,'-', 'LineWidth',2.5);xlim([0 n]);

```

```
xlabel('k^{th} Sample'); ylabel('System states x_k')
legend('TRMM','Measurements(Raingage)','Estimated states')
hold off
```

โปรแกรมส่วนรับข้อมูลฝนกริดนำเข้า

```
clear
clc
dir = 'C:\Users\WISA\Desktop\Updated_OBSGCM';
% change directiry
file_obs = 'OBSData.xlsx';% change input file
file_GCM = 'RawGCM_MRI_Present.xlsx';%change input file
OBS_file = [dir file_obs];
GCM_file = [dir file_GCM];

for y = 1979:1980 %input year rank
    y
    OBS_xls = xlsread(OBS_file,num2str(y));
    GCM_xls = xlsread(GCM_file,num2str(y));
    for g = 1:1269%input number of grid
        Obs = OBS_xls(5:end,g+3);
        GCM = GCM_xls(5:end,g+3);
        B_GG;
        GCM_cor(:,g) = co_R;
    end
end
```

```

file_save = [dir num2str(y),'.txt']

% save(file_save,'GCM_cor','-ascii', '-tabs');

dlmwrite(file_save, GCM_cor, 'delimiter', '\t','precision', 4)

end

```

โปรแกรมการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติในช่วงอนาคต ค.ศ. 2015-2039 และ ค.ศ. 2075-2099

```

clear

clc

tic

dir = 'C:\Users\Tungkah\Desktop\Corrected_CSIRO\NearFuture_CSIRO\';

% change directiry

file_obs = 'OBS20.xlsx'; % change the name of input file
file_GCM = 'RawGCM20.xlsx'; % change the name of input file
file_GCM20 = 'NearFuture_CSIRO.xlsx'; % change the name of input file

OBS_file = [dir file_obs];
GCM_file = [dir file_GCM];
GCM20_file = [dir file_GCM20];

% start looping process of near future GCM rainfall

for k = 2015:2039 % input year rank of near future GCM rainfall

    k

    OBS_xls = xlsread(OBS_file,num2str(k));

    GCM_xls = xlsread(GCM_file,num2str(k));

```

```

GCM20_xls = xlsread(GCM20_file,num2str(k));

% start looping process in given worksheet according to h numbers
for h = 1:1269 % input total number of grid

    Obs = OBS_xls(4:end,h+3);

    GCM = GCM_xls(4:end,h+3);

    GCM20 = GCM20_xls(4:end,h+3);

    % B_GG_NearFuture;

% calculation of parameter (shape and scale)of Obs rainfall (1979-2006)
A_Obs =(mean(Obs)/std(Obs))^2; % shape factor of Obs value
B_Obs =(std(Obs)*std(Obs)/mean(Obs)); % scale factor of Obs value
CDF_Obs = gamcdf(Obs,A_Obs,B_Obs); % CDF of obs rainfall

% calculation of parameter (shape and scale) of present GCM (1979-2006)
A_GCM = (mean(GCM)/std(GCM))^2; % present GCM's shape factor
B_GCM = (std(GCM)*std(GCM)/mean(GCM)); % present GCM's scale factor
CDF_GCM = gamcdf(GCM,A_GCM,B_GCM); % CDF of GCM present

% calculation of parameter (shape and scale) of near future GCM (2015-2039)
A_GCM20 = (mean(GCM20)/std(GCM20))^2; % near future GCM's shape factor
B_GCM20 = (std(GCM20)*std(GCM20)/mean(GCM20)); % near future GCM's scale factor
CDF_GCM20 = gamcdf(GCM20,A_GCM20,B_GCM20); % CDF of near future GCM rainfall

% find intercept y between obs rainfall (1979-2006) and GCM present(2015-2039)

```

```

Ax = polyfit(Obs,GCM,1);

B = gampdf(Ax(1,2),A_GCM,B_GCM);

xx = B; %???

filter_GCM = gaminv(xx,A_GCM,B_GCM); % truncated GCM as zero value

n = length(Obs);

    for i = 1:n; % filter out excessive zero value from present GCM rainfall

        if GCM(i,1)>=filter_GCM;

            GCM_f(i,1)=GCM(i,1);

            i

        else

            GCM_f(i,1)=0;

        end

    end

% find intercept y between obs rainfall and near future GCM

Ax_20 = polyfit(Obs,GCM20,1);

B_20 = gampdf(Ax_20(1,2),A_GCM20,B_GCM20);

xx_20 = B_20; % ???

filter_GCM20 = gaminv(xx_20,A_GCM20,B_GCM20); % truncated GCM as zero value

m = length(Obs);

% filter out excessive zero value from near future GCM rainfall

    for j = 1:m;

        if GCM20(j,1) >= filter_GCM20;

            GCM20_f(j,1) = GCM20(j,1);

        end

    end

```

```

        j
    else
        GCM20_f(j,1) = 0;
    end
end

end

% cal CDF of truncated GCM present (1979-2006)
A_GCM_f = (mean(GCM_f)/std(GCM_f))^2; % shape factor of GCM_f
B_GCM_f = (std(GCM_f)*std(GCM_f)/mean(GCM_f)); % scale factor of GCM_f
CDF_GCM_f = gamcdf(GCM_f,A_GCM_f,B_GCM_f);
% cal CDF of truncated near future GCM (2015-2039)
A_GCM20_f = (mean(GCM20_f)/std(GCM20_f))^2; % shape factor of GCM20_f
B_GCM20_f = (std(GCM20_f)*std(GCM_f)/mean(GCM20_f)); % scale parameter of
GCM20_f
CDF_GCM20_f = gamcdf(GCM20_f,A_GCM20_f,B_GCM20_f);
% compute for raw near future GCM (2015-2039) rainfall
xx_GCM20 = gaminv(CDF_GCM20_f,A_GCM20_f,B_GCM20_f);
% corrected near future GCM rainfall (2015-2039) by using inv gamma
% function of ratio between corrected and raw GCM
B_f = gaminv(CDF_GCM20_f,A_Obs,B_Obs);
C_f = gaminv(CDF_GCM_f,A_GCM20_f,B_GCM20_f);
ratio = B_f./C_f;
% B_GG_NearFuture.m;
for y = 1:length(GCM20);
    y;

```

```

co_R20(:,h) = xx_GCM20;

end

% save(file_save,'GCM_cor','-ascii', '-tabs')

end

file_save = [dir num2str(k),'.txt']

dlmwrite(file_save, co_R20, 'delimiter', '\t','precision', 4)

toc

end

```

ตัวอย่างโปรแกรมการย่อส่วนเชิงสถิติด้วยวิธี spatial disaggregation

โปรแกรมหลัก

```

clear all;close all;clc

data=dlmread('GCM_Rainfall.txt');

RR=data(:,4);

length_RR=length(RR);

RR_1=RR(1:end-mod(length(RR),32));

RR_2=sum(reshape(RR_1,2,length(RR_1)/2));

RR_4=sum(reshape(RR_1,4,length(RR_1)/4));

RR_8=sum(reshape(RR_1,8,length(RR_1)/8));

RR_16=sum(reshape(RR_1,16,length(RR_1)/16));

RR_32=sum(reshape(RR_1,32,length(RR_1)/32));

M1=NaN(6,11);

for i=1:11, M1(1,i)=mean(RR_1.^(i/2-0.5)); end

```



```
for i=1:11, M1(2,i)=mean(RR_2.^(i/2-0.5)); end
for i=1:11, M1(3,i)=mean(RR_4.^(i/2-0.5)); end
for i=1:11, M1(4,i)=mean(RR_8.^(i/2-0.5)); end
for i=1:11, M1(5,i)=mean(RR_16.^(i/2-0.5)); end
for i=1:11, M1(6,i)=mean(RR_32.^(i/2-0.5)); end

lambda=[32 16 8 4 2 1];

figure
plot(log(lambda),log(M1(:,2)),'-+k')
hold on
plot(log(lambda),log(M1(:,3)),'-ok')
plot(log(lambda),log(M1(:,4)),'-*k')
plot(log(lambda),log(M1(:,5)),'-xk')
plot(log(lambda),log(M1(:,6)),'-sk')
plot(log(lambda),log(M1(:,7)),'-dk')
plot(log(lambda),log(M1(:,8)),'-^k')
plot(log(lambda),log(M1(:,9)),'-vk')
plot(log(lambda),log(M1(:,10)),'-pk')
plot(log(lambda),log(M1(:,11)),'-hk')
xlabel('log(\lambda)','FontSize',15)
ylabel('log(M)','FontSize',15)
set(gca,'FontSize',15)
```

```

legend('q=0.5','q=1.0','q=1.5','q=2.0','q=2.5','q=3.0','q=3.5','q=4.0','q=4.5','q=5')

ylim([-5 50])

hold off

tau_obs=zeros(1,10);

for i=2:11
    FitCoefficient=[ones(size(M1(:,i))) log(M1(:,i))\log(lambda);
    tau_obs(i-1) = -FitCoefficient(2);
end

q=0.5:0.5:5;

%parameter of different model
% beta model
c=fminsearch(@(x)myfunXD(x,'beta',tau_obs),-10);

% alpha model
alpha=fminsearch(@(x)myfunXD(x,'alpha',tau_obs),[1 1]);

% log poisson
lp=fminsearch(@(x)myfunXD(x,'log poisson',tau_obs),[1.5 .5]);

% uniform
u=fminsearch(@(x)myfunXD(x,'uniform',tau_obs),[1 1]);

% log normal
ln=fminsearch(@(x)myfunXD(x,'log normal',tau_obs),[1 1]);

```

```

figure

plot(q,tau_obs,'sk','MarkerFaceColor','k')

hold on

q1=0.5:0.5:5;

plot(q1,myfun1_cal(c,'beta'),'-k',q1,myfun1_cal(alpha,'alpha'),'--k',q1,myfun1_cal(lp,'log
poisson'),'k',q1,myfun1_cal(u,'uniform')...
    ,'-k',q1,myfun1_cal(ln,'log normal'),'--hk')

xlabel('q','FontSize',15)
ylabel('\tau','FontSize',15)

set(gca,'FontSize',15)

legend('observed','beta','alpha','log poisson','uniform','log normal')

hold off

A=exp(lp(1)*(1-lp(2)));

% from 24 to 12

RR_pre12=NaN(2,length(RR_1)/2);

for j=1:2

    for i=1:2:length(RR_1)/2

        W=A*(lp(2)).^poissrnd(1,1,2);

        RR_pre12(j,i)=RR_1(round(i/2))*W(1)/(W(1)+W(2));

        RR_pre12(j,i+1)=RR_1(round(i/2))*W(2)/(W(1)+W(2));

    end

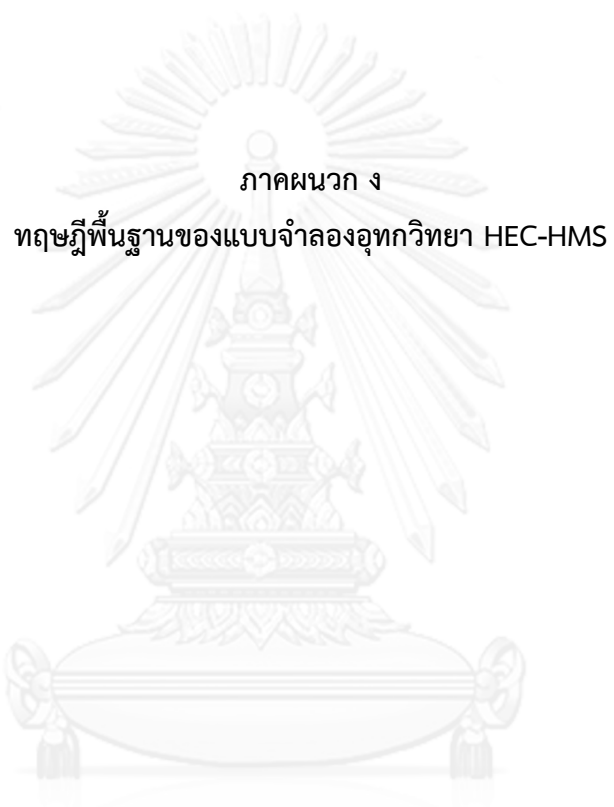
end

RR_pre12=mean(RR_pre12);

for i=1:2:length(RR_pre12)

```

```
if mod(RR_pre12(i),0.5)~=0
    TB=mod(RR_pre12(i),0.5);
else
    TB=0;
end
RR_pre12(i)=RR_pre12(i)-TB;
RR_pre12(i+1)=RR_pre12(i+1)+TB;
end
figure
[f,x] = ecdf(RR_pre12);
stairs(x,f,'r');
xlabel('Simulated Rain -- 12 h')
ylabel('CDF')
legend('Simulated','Location','Best')
```



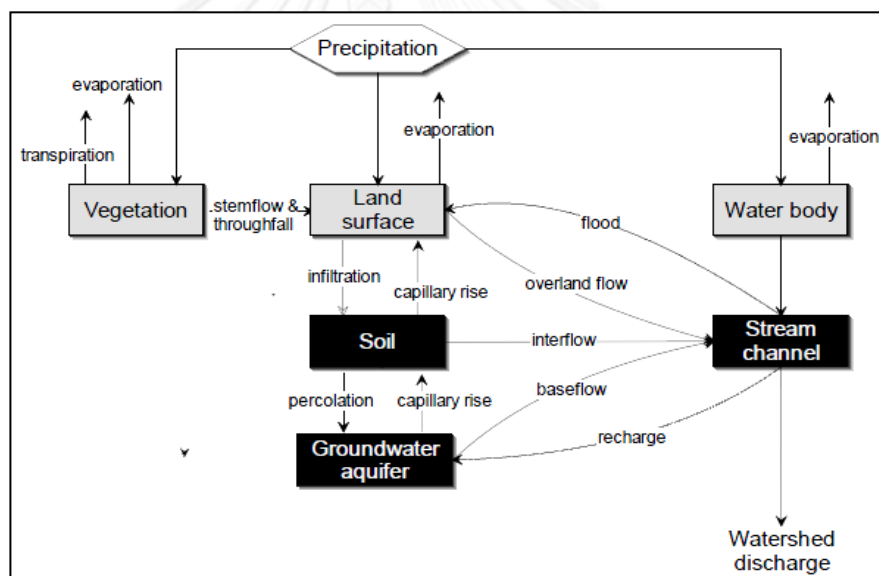
ภาคผนวก ง

ทฤษฎีพื้นฐานของแบบจำลองอุทกวิทยา HEC-HMS

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1. ลักษณะของแบบจำลอง

แบบจำลองคณิตศาสตร์ HEC-HMS พัฒนาขึ้นโดย US Army Corps of Engineers ในเดือนมีนาคม ปี ค.ศ. 1998 ซึ่งสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ปริมาณน้ำท่าที่มาจากน้ำฝน และขั้นตอนการไหลในสภาพทั่วไปและสภาพที่มีการควบคุม โปรแกรม HEC-HMS ประสบความสำเร็จ และสามารถใช้แทนที่โปรแกรม HEC-1 ได้เป็นอย่างดี โดยมีประสิทธิภาพสูงกว่า สำหรับการจำลอง การกระจายตัวและเลียนแบบการไหลอย่างต่อเนื่อง HEC-HMS เป็นแบบจำลองอุทกวิทยา (hydrologic model) ที่สามารถจำลองการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำฝนและจำลองสภาพน้ำท่า ดังแสดงใน รูปที่ 1 รวมถึงความสามารถอื่นๆ เช่น การจำลองกราฟน้ำท่าในช่วงเวลานานๆ คำนวณการกระจาย ตัวของน้ำท่าในรูปของ grid cell คำนวณการเคลื่อนตัวของน้ำท่าผ่านลำน้ำ อ่างเก็บน้ำ ผลกระทบ ของอาคารชลศาสตร์ในระบบแม่น้ำ เป็นต้น



รูปที่ ง-1 แผนผังกระบวนการเกิดน้ำท่าจากน้ำฝนโดยแบบจำลอง HEC-HMS

2. ความสามารถของแบบจำลอง HEC-HMS

- ความสามารถในการเลือกลักษณะฝน (precipitation specification) ซึ่งสามารถอธิบาย และตรวจสอบเหตุการณ์ความถี่ของฝน (frequency-based hypothetical prediction) หรือเหตุการณ์ที่เป็นตัวแทนสูงสุดของฝนที่น่าจะเกิดขึ้นได้ตามสภาพที่กำหนด
- แบบจำลองการสูญเสียน้ำ (loss model) ซึ่งสามารถคาดคะเนปริมาณน้ำท่าจากปริมาณน้ำฝน และคุณสมบัติของพื้นที่รับน้ำ
- แบบจำลองการไหลผิวดิน (direct runoff model) ซึ่งจะแสดงการไหลบนผิวดิน (Overland flow) การถูกกักเก็บไว้โดยพืช (interception) การกักเก็บในที่ต่ำ (depression storage)
- แบบจำลองการเคลื่อนตัวแบบอุทกวิทยา (hydrologic routing model) เป็นการวิเคราะห์การไหลของน้ำในทางน้ำธรรมชาติ
- แบบจำลองการไหลในสภาพธรรมชาติที่เกิดขึ้นบริเวณจุดบรรจบและแตกสาขาของแม่น้ำ
- แบบจำลองการกระจายการไหล สามารถนำมาใช้กับข้อมูลการกระจายตัวของฝน เช่น ข้อมูลที่ได้จากการเก็บอย่างละเอียดจากเรดาร์ตรวจวัดอากาศ
- แบบจำลองแสดงความต่อเนื่อง ของการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินอย่างต่อเนื่อง ใช้สำหรับการคำนวณสภาพพื้นที่รับน้ำในระยะยาว
- การสอบเทียบแบบจำลองแบบอัตโนมัติ (auto calibration) สามารถคาดคะเนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยวิธี optimization โดยการกำหนดสถานะเบื้องต้น และสภาพภูมิอากาศเบื้องต้นต่างๆ

3. การคำนวณของแบบจำลอง HEC-HMS

US Army Corps of Engineer ได้จำแนกการจำลองสภาวะการเกิดของน้ำท่าออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

1) แบบจำลองการสูญเสียน้ำท่า (loss model) (

Soil Conservation Service (1972) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้พัฒนาวิธีในการคำนวณการสูญเสียเริ่มแรกจากพายุฝน สำหรับพายุฝนทั้งหมด ความลึกของปริมาณฝนส่วนเกินหรือ

direct runoff (P_e) การประมาณค่าน้ำฝนส่วนเกินจากการใช้ค่าสะสมของปริมาณน้ำฝน สิ่งปกคลุมดิน การใช้งานที่ดิน และความชื้นที่มีอยู่ในดิน ซึ่งในขั้นตอนนี้เป็นการจำลองการสูญเสียปริมาณน้ำท่า หรือเรียกว่า loss model การศึกษาในครั้งนี้ใช้แบบจำลองหมายเลขโค้งน้ำท่า SCS ดังนี้

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (ง-1)$$

โดยที่ P_e = ปริมาณน้ำฝนส่วนเกินสะสมเวลา t

P = ปริมาณน้ำฝนสะสมที่เวลา t

I_a = ค่าสูญเสียเริ่มต้น

S = ความสามารถเก็บกักสูงสุด วัดได้จากความสามารถของพื้นที่รับน้ำในการสูญเสียและเก็บกักน้ำฝนไว้

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดย SCS พบว่า สำหรับพื้นที่รับน้ำขนาดเล็ก ความสัมพันธ์ระหว่าง I_a กับ S ดังสมการที่ ง-2

$$I_a = 0.2S \quad (ง-2)$$

ดังนั้น ค่าฝนสะสมส่วนเกินที่เวลา t มีค่าดังสมการที่ ง-3

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (ง-3)$$

ปริมาณน้ำฝนส่วนเกินที่เพิ่มขึ้นที่แต่ละช่วงเวลาดำเนินจากความแตกต่างของค่าสะสมส่วนเกิน ณ จุดสิ้นสุดและจุดเริ่มต้นของแต่ละช่วงเวลา ความสามารถในการกักเก็บสูงสุด (S) และลักษณะของพื้นที่รับน้ำมีความเกี่ยวข้องกันผ่านทาง curve number หรือเรียกโดยย่อว่า CN โดยที่

$$S = \frac{25400 - 254CN}{CN} \quad (ง-4)$$

โดยที่ S มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร และค่า CN (Curve Number) ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้แทนตัวแปร S โดยให้มีความสัมพันธ์ของชนิดของดิน (soil type) และลักษณะการใช้ที่ดิน (land-use) ซึ่งค่า CN มีค่ามาก แสดงว่ามีศักยภาพการไหลผิวดินสูง ค่า CN มีค่าอยู่ระหว่าง 0–100

ความหมายทางกายภาพของ S หมายถึง ศักยภาพการสูญเสียสูงสุดที่เหลืออยู่ คือปริมาณของโพรงดินที่เหลืออยู่ (available void storage) ซึ่งยังไม่ถูกแทนที่ด้วยน้ำนั่นเอง ดังนั้นอาจสรุปได้ว่า ค่า S มีค่ามากเมื่อความชื้นในดินต่ำ โดยค่า S มีค่ามากที่สุดเมื่อไม่มีความชื้นในดินเลย เพื่อความสะดวก SCS จึงได้กำหนดค่า CN ต่างๆ ที่แสดงในกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่า เป็นค่า CN ของพื้นที่ที่มีความชื้นก่อนหน้านั้นในระดับปานกลาง (Antecedent Moisture Conditions type 2) ซึ่งหมายถึง ปริมาณน้ำฝนสะสมทั้งหมดที่ตกก่อนหน้าพายุฝนที่พิจารณา 5 วัน โดยแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ ความชื้นที่แห้งกว่า (AMC I) ความชื้นระดับปานกลาง (AMC II) ความชื้นที่มากกว่าปกติ (AMC III) สำหรับกรณี AMC I และ AMC III สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)} \quad (ง-5)$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)} \quad (ง-6)$$

จากการศึกษาโดย Soil Conservation Service พบว่าค่า CN จะมีความสัมพันธ์กับชนิดของดิน (Soil type) สภาพการใช้ที่ดิน (land use type) ภาวะความชื้นของดิน (Antecedent Moisture Conditions) และความลาดชันของพื้นที่ สำหรับกรณีที่ $I_a = 0.2S$ จะมีค่า CN ของพื้นที่ที่มีลักษณะการใช้ที่ดินแตกต่างกัน ซึ่งแบ่งเป็นพื้นที่ตัวเมือง พื้นที่การเกษตร พื้นที่แห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้ง โดยแบ่งประเภทของสิ่งปกคลุมดินจากสภาพทางอุทกวิทยาได้ 3 สภาพ ดังนี้

- 1) สภาพไม่ดี (poor) พืชปกคลุมน้อยกว่าร้อยละ 50
- 2) สภาพพอใช้ (fair) พืชปกคลุมระหว่างร้อยละ 50–75
- 3) สภาพดี (good) พืชปกคลุมพื้นที่มากกว่าร้อยละ 75

SCS ได้จัดกลุ่มของชุดดิน โดยใช้อัตราการซึมที่แตกต่างกัน ดังนี้

ดินชุด A มีศักยภาพของปริมาณน้ำท่าต่ำ และให้อัตราการซึมลงดินสูง ประกอบด้วย ชั้นทรายหนา ชั้นดินและกรวดหนาลึก ที่มีการระบายรวดเร็ว ด้วยอัตราการซึมมากกว่า 0.30 นิ้วต่อชั่วโมง

ดินชุด B มีอัตราการซึมลงดินปานกลางเมื่อได้รับน้ำตลอดเวลา เป็นดินลึกลับานกลาง เนื้อดินค่อนข้างละเอียดหรือหยาบ เช่น ดินเหลือง (loess) ด้วยอัตราการซึม 0.15 ถึง 0.30 นิ้ว ต่อชั่วโมง

ดินชุด C มีอัตราการซึมลงดินค่อนข้างต่ำ เมื่อได้รับน้ำตลอดเวลาประกอบด้วยดินในชั้นที่บีบน้ำที่มีความละเอียด มีอัตราการซึม 0.05 ถึง 0.15 นิ้ว ต่อชั่วโมง

ดินชุด D มีศักยภาพของปริมาณน้ำท่าสูง จะบวมและพองตัวอย่างมากเมื่อเปียกชื้น มีอัตราการซึมลงดินต่ำมาก ประกอบด้วยดินเหนียวเป็นส่วนใหญ่ และดินเค็มบางจำพวก มีอัตราการซึมของน้ำประมาณ 0 ถึง 0.05 นิ้วต่อชั่วโมง

การประมาณค่า Curve Number ของพื้นที่รับน้ำสามารถประมาณได้จากการลักษณะการใช้ที่ดิน ประเภทของดิน ความชื้นเริ่มต้นในดิน ด้วยการใช้ตารางจาก SCS สำหรับพื้นที่รับน้ำที่ประกอบด้วยดินหลายประเภทหรือการใช้งานที่แตกต่างกัน ผลรวมของ CN สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ ง-7

$$CN_{composite} = \frac{\sum A_i CN_i}{\sum A_i} \quad (ง-7)$$

โดยที่ $CN_{composite}$ = ค่า CN รวมของการคำนวณปริมาณน้ำท่าในโปรแกรม HEC-HMS

i = ค่าดัชนีของพื้นที่รับน้ำย่อยที่มีดินชนิดเดียวกัน และมีการใช้งานดินที่เหมือนกัน

CN_i = ค่า CN ของพื้นที่ย่อย i

A_i = พื้นที่ระบายน้ำของพื้นที่ย่อย i

2) การจำลองน้ำท่าที่ไหลบนผิวดิน (direct runoff modeling)

Snyder (1938) ได้ศึกษาและกำหนดค่า lag time หรือความแตกต่างของช่วงเวลาระหว่างที่เกิดค่าการไหลที่ผิวดินสูงสุด กับเวลาที่จุด centroid ของกราฟแสดงความเข้มข้นของปริมาณฝนส่วนเกิน ดังรูปที่ 2 โดยอัตราการไหลสูงสุด (peak flow) และเวลารวม (total time base) เป็นคุณลักษณะสำคัญของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph: UH) และได้ให้นิยามของกราฟหนึ่งหน่วย

น้ำท่ามาตรฐาน (Standard Unit Hydrograph) ของช่วงเวลาการเกิดฝนหนึ่งครั้ง t_r สัมพันธ์กับค่า lag time t_p ดังสมการที่ ง-8

$$t_p = 5.5t_r \quad (\text{ง-8})$$

หากต้องการทราบช่วงเวลาที่เกิดฝน สามารถหาค่า Lag time และค่าสูงสุดได้ หากช่วงเวลาของ UH ที่ต้องการมีค่าแตกต่างกับค่าในสมการที่ ง-8 ค่า lag time สามารถคำนวณได้จากสมการ ง-9

$$t_{pR} = t_p \frac{t_r t_R}{4} \quad (\text{ง-9})$$

โดยที่ t_r = ช่วงเวลาของ UH ที่ต้องการ

t_{pR} = Lag time ของช่วงเวลาที่ต้องการ

มาตรฐาน Snyder (1938) พบว่า Lag time ของ UH และค่าสูงสุดต่อหน่วยของปริมาณฝนส่วนเกินต่อพื้นที่ของพื้นที่รับน้ำมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$\frac{U_p}{A} = C \frac{C_p}{t_p} \quad (\text{ง-10})$$

โดยที่ U_p = ค่าสูงสุดของ UH มาตรฐาน

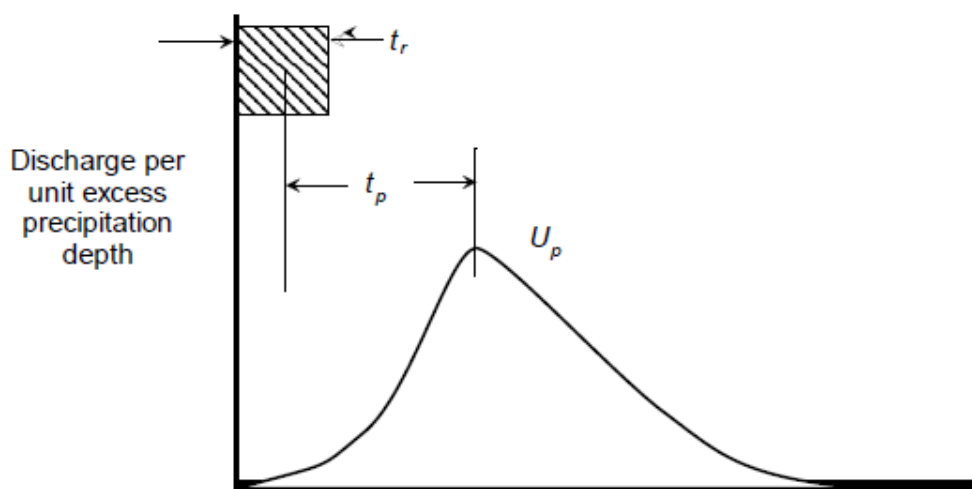
A = พื้นที่ของพื้นที่รับน้ำ

C_p = สัมประสิทธิ์ค่าสูงสุดของ UH

C = ค่าคงที่ในการแปลงหน่วย)2.75 สำหรับ SI และ 640 สำหรับหน่วย

อังกฤษ)

$$\frac{U_{pR}}{A} = C \frac{C_p}{t_{pR}} \quad (\text{ง-11})$$



รูปที่ ง-1 กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าของ snyder (USACE, 2010)

Snyder (1938) เก็บข้อมูลฝนและน้ำท่าจากสถานีวัดน้ำ นำมาสร้าง UH ด้วยวิธีดังกล่าว แล้วกำหนดตัวแปรของ UH ที่ได้และนำมาสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรที่กำหนดไว้กับคุณลักษณะที่วัดได้ของพื้นที่ลุ่มน้ำ สำหรับค่า lag time นั้น Snyder เสนอว่า

$$t_p = CC_t(LL_c)^{0.3} \quad (\text{ง-12})$$

โดยที่ C_t = สัมประสิทธิ์ของพื้นที่ลุ่มน้ำ

L = ความยาวของลำน้ำจากทางออกถึงจุดแบ่ง

L_c = ความยาวของลำน้ำจากทางออกถึงจุด centroid ของพื้นที่ลุ่มน้ำ

C = ค่าคงที่ในการแปลงหน่วย (2.75 สำหรับ SI และ 640 สำหรับหน่วยอังกฤษ)

ค่า C_t ของลุ่มน้ำในสมการที่ 13 สามารถได้จากสอบเทียบ จากการศึกษาศึกษาของ Bedient และ Huber (2002) พบว่าค่า C_t ควรอยู่ระหว่าง 1.8–2.2 หากแต่ค่านี้อาจมีความแตกต่างได้มากในแต่ละพื้นที่ภูมิประเทศ

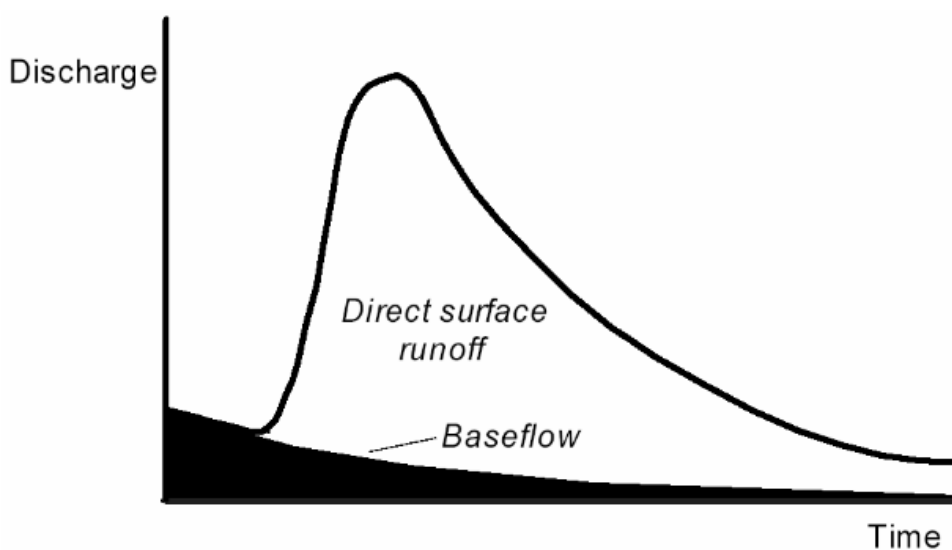
3) แบบจำลองการไหลพื้นฐาน (base flow model)

การไหลของน้ำท่าในลำน้ำ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ น้ำท่าผิวดิน (direct runoff) จากฝนและการไหลพื้นฐาน (base flow)

Chow et al. (1988) กล่าวว่า การจำลองการไหลพื้นฐานด้วยวิธีถดถอย ใช้ในการอธิบายการไหลจากระบบกักเก็บตามธรรมชาติสู่พื้นที่ลุ่มน้ำ ด้วยความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$Q_t = Q_0 k^t \quad (\text{จ-13})$$

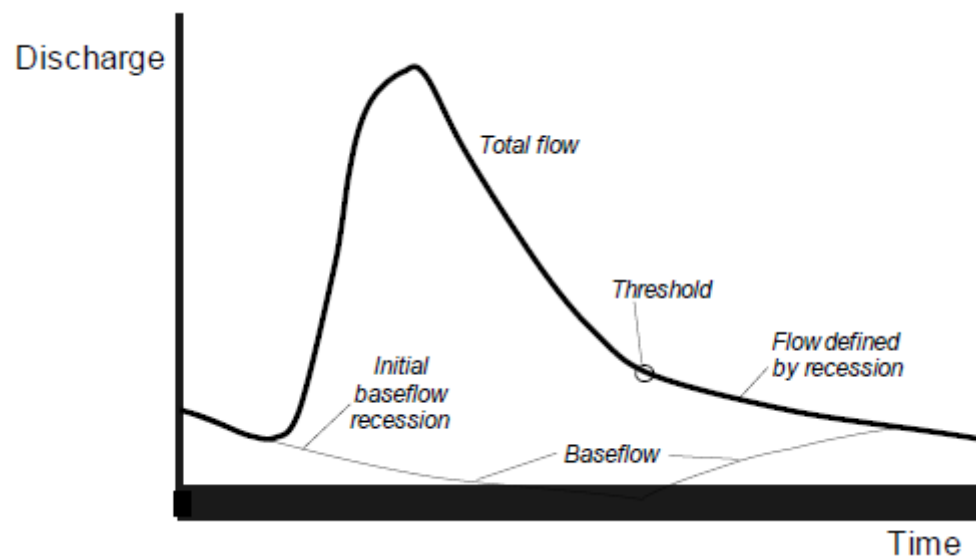
- เมื่อ Q_t = ปริมาณการไหลพื้นฐานที่เวลา t ใดๆ
- Q_0 = ปริมาณการไหลพื้นฐานเริ่มต้นที่เวลา $t = 0$
- k = เลขคงที่ยกกำลัง



รูปที่ จ-2 initial baseflow recession (USACE, 2010)

ในแบบจำลอง HEC-HMS ค่า k คือ อัตราส่วนระหว่างค่า baseflow ที่เวลา t กับค่า baseflow ของวันที่ผ่านมาแล้ว การไหลพื้นฐานเริ่มต้น Q_0 เป็นสถานะเริ่มต้นของแบบจำลองที่สามารถกำหนดเป็นค่าอัตราการไหล หน่วย (cms หรือ cfs) หรืออาจจะระบุเป็นค่าการไหลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (cms/km² หรือ cfs/mi²)

แบบจำลองการถดถอยของการไหลพื้นฐาน (Recession baseflow model) สามารถกำหนดให้เริ่มต้นพร้อมหรือหลังจากการเกิดพายุ ในลักษณะของการไหลใต้พื้นผิว (subsurface flow) หลังจากน้ำท่าผิวดินมีค่าสูงสุด ค่าอัตราการไหลขีดจำกัด (threshold flow) ที่ผู้ใช้กำหนดเวลาของแบบจำลองการถดถอยในการกำหนดปริมาณการไหลทั้งหมด (total flow) ซึ่งในจุดของค่าขีดจำกัดซึ่งหมายถึงอัตราส่วนของอัตราการไหลต่ออัตราการไหลสูงสุดที่คำนวณได้ ตัวอย่างเช่น ค่าอัตราส่วนดังกล่าวเป็น 0.1 และคำนวณอัตราการไหลสูงสุดได้เป็น 1,000 m³/s ดังนั้นอัตราการไหลที่ขีดจำกัดจึงมีค่าเท่ากับ 100 m³/s



รูปที่ ง-3 รายละเอียดของแบบจำลองการไหลพื้นฐาน (USACE, 2010)

ณ จุดของอัตราการไหลขีดจำกัด การไหลพื้นฐานถูกกำหนดโดยค่าอัตราการไหลพื้นฐาน ถดถอยเบื้องต้น (initial baseflow recession) หลังจากนั้นจะไม่คำนวณค่าอัตราการไหลพื้นฐาน โดยตรง หากแต่คำนวณจากอัตราการไหลถดถอยลบออกด้วยค่าการไหลแบบน้ำท่าผิวดิน จนกระทั่งเมื่ออัตราการไหลผิวดินเป็นศูนย์ ซึ่งฝนได้เคลื่อนตัวผ่านพื้นที่ไปแล้ว อัตราการไหลรวมกับค่าอัตราการไหลพื้นฐานจะมีค่าเท่ากัน

4) การจำลองการไหลตามลำน้ำ (Channel flow modeling)

Chow et al. (1988) กล่าวว่า ในการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำท่านั้น สามารถกระทำได้ในสองหลักการหลัก คือ วิธีการเคลื่อนตัวของระบบแบบ lumped (lumped flow routing) และวิธีการเคลื่อนตัวของระบบแบบกระจายตัว (distributed flow routing)

- วิธี lumped flow routing หมายถึงการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำท่าจากจุดหนึ่งไปสู่อีกจุดหนึ่ง โดยอาศัยเงื่อนไขคือจะต้องทราบกราฟน้ำท่า ณ ตำแหน่งใดๆก่อนถึงตำแหน่งที่ต้องการ โดยแบบจำลองประเภทนี้ น้ำท่าถูกคำนวณให้เป็นฟังก์ชันของเวลาแต่เพียงอย่างเดียว วิธีการนี้อาจเรียกอีกอย่างได้ว่า hydrologic routing

- วิธี distributed flow routing หลักการสำคัญของวิธีการนี้คือ การพิจารณาการไหลของน้ำท่าในลำน้ำใดๆ เป็นกระบวนการแบบกระจายตัว (distributed process) เนื่องจาก อัตราการไหล ความเร็วการไหล และความลึกการไหล นอกจากจะผันแปรไปตามช่วงเวลาต่างๆแล้ว ยังผันแปรตาม

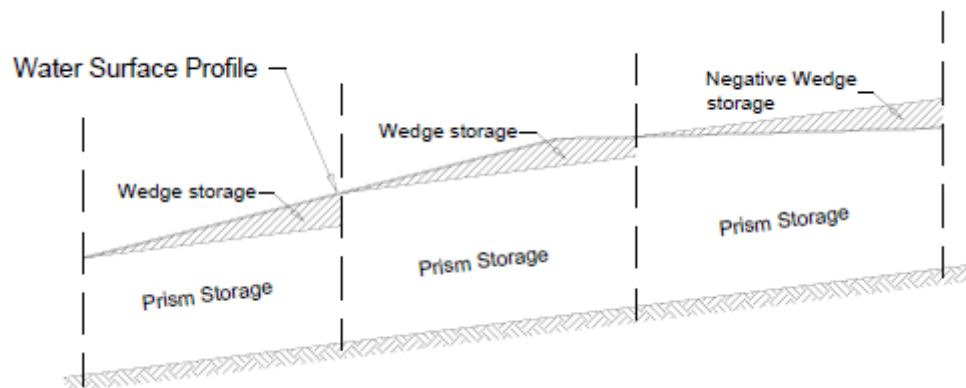
ตำแหน่ง (space) ตลอดพื้นที่ลุ่มน้ำอีกด้วย ดังนั้นแบบจำลองประเภทนี้ น้ำท่าจะถูกคำนวณให้เป็นฟังก์ชันของตำแหน่งและเวลา วิธีการนี้อาจเรียกได้ว่า hydraulic routing

Muskingum method

USACE (2010) ได้อธิบายการเคลื่อนตัวของลำน้ำแบบ lumped flow routing ด้วยวิธีของ Muskingum ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและง่าย วิธีการดังกล่าวอยู่บนพื้นฐานของสมการความต่อเนื่องอย่างง่าย ดังนี้

$$\left(\frac{I_{j+1} + I_j}{2}\right)\Delta t - \left(\frac{O_{j+1} + O_j}{2}\right)\Delta t = S_{j+1} - S_j \quad (\text{ง-14})$$

การกักเก็บในลำน้ำโดยรวมของวิธี Muskingum จะประกอบด้วยวิธีการกักเก็บแบบ Prism (Prism storage) และการกักเก็บแบบ wedge (Wedge storage) โดย Prism storage เป็นปริมาตรที่คำนวณจากหน้าตัดตามยาวของระดับน้ำของการไหลแบบคงที่ ขณะที่ Wedge storage เป็นปริมาตรที่เพิ่มขึ้นจากคลื่นอุทกภัย (flood wave) ระหว่างช่วงการเกิดอุทกภัย wedge storage จะถูกเพิ่มเข้าไปจาก Prism storage ช่วงที่ระดับน้ำลดลง Wedge storage จะเป็นลบและถูกหักออกจากรัศ Prism storage ดังรูปที่ ง-4



รูปที่ ง-4 Wedge storage (USACE, 2010)

ด้วยการสมมติให้พื้นที่หน้าตัดการไหลของอุทกภัยเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการไหลที่หน้าตัดดังกล่าว ปริมาตรของ Prism storage จะเท่ากับ KQ เมื่อ K คือ สัมประสิทธิ์ของสัดส่วน มีหน่วยเป็นเวลา และปริมาตรของ wedge storage จะมีค่าเท่ากับ $KX(I-Q)$ โดยที่ X เป็นค่าถ่วงน้ำหนัก มีค่าระหว่าง 0-0.5 ดังนั้น ปริมาตรกักเก็บรวมในลำน้ำจะเท่ากับผลรวมของสองพจน์ดังกล่าว ดังนี้

$$S = KQ + KX(I - Q) \quad (\text{ง-15})$$

ซึ่งจัดรูปได้เป็น

$$S = K[XI + (1 - X)Q] \quad (\text{ง-16})$$

ค่าของ X ขึ้นอยู่กับแบบจำลองของ wedge storage ที่ใช้ โดย $X = 0$ ในกรณีที่เป็นการวิเคราะห์การกักเก็บในอ่างเก็บน้ำ จนถึง 0.5 สำหรับ full wedge ในลำน้ำธรรมชาติ ค่า X จะอยู่ระหว่าง 0-0.3 ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับ 0.2 จากการศึกษาพบว่า ความแม่นยำของค่า X ไม่ได้ส่งผลต่อความถูกต้องในการจำลองมากนัก ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ K คือเวลาของการเคลื่อนตัวของคลื่นอุทกภัยในช่วงของลำน้ำ ในกรณีของ hydrologic routing จะให้ค่าของ K และ X นั้นคงที่ตลอดการไหล

ความสัมพันธ์ระหว่าง Total storage ที่เวลา j และ $j+1$ อาจเขียนได้ในรูปทั่วไปได้ว่า

$$S_j = K[XI_j + (1 - X)Q_j] \quad (\text{ง-17})$$

และ

$$S_{j+1} = K[XI_{j+1} + (1 - X)Q_{j+1}] \quad (\text{ง-18})$$

พิจารณาสมการที่ (ง-17) และ (ง-18) การเปลี่ยนแปลงปริมาตรกักเก็บในลำน้ำตลอดช่วงเวลา Δt มีค่าเท่ากับ

$$S_{j+1} - S_j = K\{[XI_{j+1} + (1 - X)Q_{j+1}] - [XI_j + (1 - X)Q_j]\} \quad (\text{ง-19})$$

จัดรูปอีกครั้งและทำให้อยู่ในรูปอย่างง่าย จะได้ว่า

$$Q_{j+1} = C_1 I_{j+1} + C_2 I_j + C_3 Q_j \quad (\text{ง-20})$$

เมื่อเปรียบเทียบสมการ (ง-19) กับ สมการ (ง-20) สำหรับวิธี Muskingum ค่า C_1 C_2 และ C_3 จะเท่ากับ

$$C_1 = \frac{\Delta t - 2KX}{2K(1-X) + \Delta t} \quad (\text{ง-21})$$


$$C_2 = \frac{\Delta t + 2KX}{2K(1-X) + \Delta t} \quad (\text{ง-22})$$

$$C_3 = \frac{2K(1-X) - \Delta t}{2K(1-X) + \Delta t} \quad (\text{ง-23})$$

โดยที่ $C_1 + C_2 + C_3 = 1$

หากได้มีการตรวจวัดกราฟน้ำท่าไหลเข้า (inflow hydrograph) กับกราฟน้ำท่าไหลออก (outflow hydrograph) ในช่วงของลำน้ำที่พิจารณาแล้ว สามารถหาค่าของ K และ X ได้ หากสมมติให้มีค่า X คงที่ค่าหนึ่ง และใช้ค่าอัตราการไหลเข้าและออกที่ทราบ จะสามารถคำนวณค่า K จากการจัดรูปดังนี้

$$K = \frac{0.5\Delta t [(I_{j+1} + I_j) - (Q_{j+1} + Q_j)]}{X(I_{j+1} - I_j) + (1-X)(Q_{j+1} - Q_j)} \quad (\text{ง-24})$$



ภาคผนวก จ
ทฤษฎีพื้นฐานของการไหลในทางน้ำเปิดแบบไม่คงที่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การไหลในทางน้ำเปิด

การไหลในทางน้ำเปิด จัดเป็นการไหลที่มีผิวอิสระ (free surface) กล่าวคือ ความดันที่ผิวสัมผัสของการไหลนั้นมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศ โดยทั่วไปการไหลในทางน้ำเปิด แบ่งออกได้เป็นสองประเภท คือ การไหลแบบคงที่ (steady flow) และการไหลแบบไม่คงที่ (unsteady flow) ซึ่งเกณฑ์ในการแบ่งจะอาศัยเวลาเป็นตัวแปรสำคัญในการจำแนกประเภทการไหล อย่างไรก็ตาม ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะการไหลในทางน้ำเปิดแบบไม่คงที่เพียงอย่างเดียว

การไหลแบบไม่คงที่มีคุณลักษณะสำคัญ คือ ความลึกของการไหลจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา สมการที่ใช้อธิบายพฤติกรรมของการไหลแบบไม่คงที่ คือสมการของ Saint Venant ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดย Baron de Saint Venant ในปี ค.ศ. 1871 เพื่อใช้ในการอธิบายการไหลในทางน้ำเปิดแบบไม่คงที่ชนิด 1 มิติ ซึ่งสมการดังกล่าวมีสมมติฐานในการคำนวณดังต่อไปนี้ (Chow, 1988)

- 1) การไหลเป็นแบบ 1 มิติ ความลึกและความเร็วการไหลจะเปลี่ยนแปลงในทิศทางตามยาวของลำน้ำ
- 2) สมมติให้การไหลมีการเปลี่ยนแปลงน้อยตลอดแนวลำน้ำ ดังนั้นความดันจึงเป็นแบบอุทกสถิต และไม่พิจารณาผลของความเร่งในแนวตั้ง
- 3) สมมติให้แกนตามยาวของทางน้ำเป็นเส้นตรง
- 4) ความชันของท้องน้ำมีค่าน้อยมาก ท้องน้ำเป็นแบบคงที่ ไม่คิดผลของการกัดเซาะและทับถม
- 5) ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของการไหลแบบปั่นป่วนสม่ำเสมอคงที่ (steady uniform turbulent flow) สามารถนำมาใช้ได้ เช่น ค่าของ n จากสมการของแมนนิง (Manning's equation)
- 6) ของไหลเป็นแบบอัดตัวไม่ได้ กล่าวคือมีความหนาแน่นคงที่ตลอดการไหล

การวิเคราะห์สมการดังกล่าวเริ่มต้นจากการพิจารณาสมการความต่อเนื่อง (continuity equation) สำหรับการไหลในกรณีทั่วไป ดังแสดงในสมการที่ จ-1 ดังนี้

$$0 = \frac{d}{dt} \int_{c.v.} \rho dV + \int_{c.s.} \rho V \cdot dA \quad (\text{จ-1})$$

ด้วยการพิจารณาปริมาตรควบคุมขนาดความยาว dx ในลำน้ำ ดังรูปที่ จ-1 ซึ่งแสดงตัวแปรต่างๆในทางน้ำเปิด โดยมีอัตราการไหลเข้าสู่ปริมาตรควบคุม Q และมีอัตราการไหลเข้าด้านข้าง (lateral inflow) q เข้าสู่ปริมาตรควบคุมอย่างกระจายตัวสม่ำเสมอ ซึ่งมีมิติของ q ในที่นี้จึงเป็นอัตราการไหลต่อความยาวหนึ่งหน่วยของลำน้ำ ดังนั้นอัตราการไหลเข้าจึงเป็น qdx และอัตราการไหลเข้าและออกของมวลของไหลจะเท่ากับ

$$\int_{inlet} \rho V \cdot dA = -\rho(Q + qdx) \quad (จ-2)$$

$$\int_{outlet} \rho V \cdot dA = \rho(Q + \frac{\partial Q}{\partial x} dx) \quad (จ-3)$$

ขณะเดียวกัน เมื่อพิจารณาเทอมของอัตราการเปลี่ยนแปลงของมวลที่สะสมตัวในปริมาตรควบคุม โดยที่ปริมาตรของลำน้ำจะเท่ากับ $A dx$ เมื่อ A แทนค่าพื้นที่หน้าตัดลำน้ำเฉลี่ย จะได้ว่า

$$\frac{d}{dt} \int_{c.v.} \rho dV = \frac{\partial(\rho A dx)}{\partial t} \quad (จ-4)$$

ด้วยการจัดรูปสมการที่ จ-1 โดยอาศัยผลจากสมการที่ จ-2, จ-3 และ จ-4 ตามลำดับ จะสามารถเขียนสมการความต่อเนื่องในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} - q = 0 \quad (จ-5)$$

ต่อไป พิจารณาหลักการของสมการโมเมนตัมที่มีผลต่อการไหลในทางน้ำเปิด

จากกฎการเคลื่อนที่ข้อสองของนิวตัน ทำให้เขียนสมการโมเมนตัมในรูปแบบของทฤษฎีการขนส่งของเรย์โนลด์ (Reynold's transport theorem) ได้ดังนี้

$$\sum F = \frac{d}{dt} \int_{c.v.} V \rho dV + \int_{c.s.} V \rho V \cdot dA \quad (จ-6)$$

สมการ จ-6 สามารถอธิบายได้ว่า แรงภายนอกที่กระทำต่อปริมาตรควบคุมเท่ากับ อัตราสุทธิของโมเมนตัมที่เข้าสู่ระบบปริมาตรควบคุมบวกกับอัตราการเปลี่ยนแปลง (ฟลักซ์โมเมนตัม) ปริมาณโมเมนตัมในปริมาตรควบคุม

เพื่อให้การพิจารณาสมการเป็นไปอย่างละเอียดรอบคอบ จึงแยกคิดในแต่ละเทอมทั้งสองข้างสมการ ดังนี้

แรงภายนอก

มีทั้งหมด 5 แรงที่ต้องพิจารณาคือ แรงเนื่องจากความโน้มถ่วง (gravitational force) F_g แรงจากความเสียดทาน(friction force) F_f แรงเนื่องจากการหดตัวหรือขยายตัวของลำน้ำอย่างฉับพลัน (contraction/expansion force) F_e แรงเฉือนของลมที่กระทำต่อผิวน้ำ (wind shear force) F_w และแรงจากความไม่สมดุลของความดัน (unbalanced pressure force) F_p แต่ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะผลของแรงเนื่องจากความโน้มถ่วง แรงจากความเสียดทาน และแรงจากความไม่สมดุลของความดัน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. แรงเนื่องจากความโน้มถ่วง

สำหรับปริมาตรของไหลในปริมาตรควบคุม ซึ่งมีความลาดชันของท้องน้ำ S_0 ที่มีค่าน้อยๆ พบว่าแรงจากความโน้มถ่วงที่กระทำต่อของไหลจะมีค่าเป็น

$$F_g = \rho g A dx \sin \theta \approx \rho g A S_0 dx \quad (\text{จ-7})$$

โดยที่ความชันของท้องน้ำ S_0 มีค่าเท่ากับ $-\partial z / \partial x$ ดังนั้นจึงอาจเขียนแรงชนิดนี้ได้ในรูปแบบดังนี้

$$F_g = -\rho g A \frac{\partial z}{\partial x} \Delta x \quad (\text{จ-8})$$

2. แรงจากความเสียดทาน

แรงเนื่องจากความเสียดทานระหว่างลำน้ำและของไหลมีค่าดังนี้

$$F_f = -\tau_0 P \Delta x \quad (\text{จ-9})$$

เมื่อ τ_0 แทนหน่วยแรงเฉือน (shear stress) เฉลี่ย ที่กระทำต่อผิวของไหล (แรงต่อหน่วยพื้นที่)

P แทนระยะเส้นขอบเปียก)wetted parameter(

ค่า τ_0 มีความสัมพันธ์กับค่ารัศมีชลศาสตร์ R (Hydraulic radius) ดังนี้

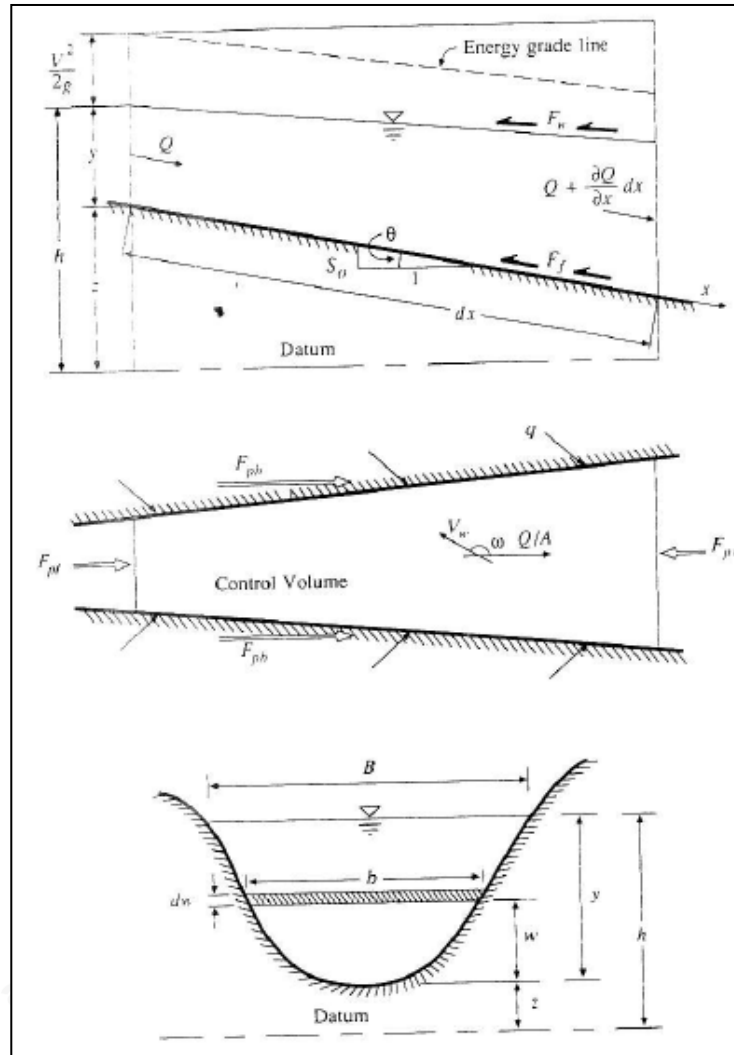
$$\tau_0 = \gamma R S_f = \rho g (A/P) S_f \quad (\text{จ-10})$$

จากสมการที่ จ-9 แรงเนื่องจากความเสียดทานจึงสามารถเขียนได้ในรูปดังต่อไปนี้

$$F_f = -\rho g A S_f dx \quad (\text{จ-11})$$

เมื่อ S_f แทนค่าความลาดชันของแรงเสียดทาน (frictional slope) ซึ่งมีค่าเป็นบวก เมื่อไหลไปตามทิศทางบวกของแกน x ซึ่งค่าของ S_f หาได้จากสมการของแมนนิง ดังแสดงในสมการที่ จ-12

$$S_f = \frac{Q|Q|n^2}{2.208R^{4/3}A^2} \quad (\text{จ-12})$$



รูปที่ จ-1 ตัวแปรต่างๆในทางน้ำเปิดที่ใช้ในสมการ Saint Venant (Chow, 1988)

เมื่อ R คือค่ารัศมีไฮดรอลิก (hydraulic radius) และ n คือค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของแมนนิ่ง

3. แรงเนื่องจากความดัน

จากสมมติฐานของสมการ Saint Venant ที่กล่าวว่าความดันที่กระทำต่อของไหลเป็นแบบอุทกสถิต ดังนั้นแรงเนื่องจากความดันทั้งหมด คำนวณได้จากการอินทิเกรตความดันกับพื้นที่ตลอดรูปตัดลำน้ำ หากพิจารณารูปที่ จ-1 แรงลัพธ์ที่เกิดจากความไม่สมดุลของความดันในฝั้งซ้าย F_{pl} ฝั้งขวา F_{pr} และแรงดันจากตลิ่ง F_{pb} ซึ่งกระทำต่อปริมาตรควบคุม สามารถเขียนเป็นสมการทั่วไปได้ว่า

$$F_p = F_{pl} - F_{pr} + F_{pb} \quad (\text{จ-13})$$

เนื่องจากแรงดันฝั้งซ้ายของปริมาตรควบคุม มีค่าเท่ากับ

$$F_{pl} = \int_0^y \rho g (y - w) b dw \quad (\text{จ-14})$$

ทำนองเดียวกัน แรงดันอุทกสถิตฝั้งขวาของปริมาตรควบคุม สามารถเขียนได้เป็น

$$F_{pr} = F_{pl} + \frac{\partial F_{pl}}{\partial x} dx \quad (\text{จ-15})$$

แก้สมการ จ-14 และ จ-15 เพื่อหาค่าของ $\frac{\partial F_{pl}}{\partial x}$ ด้วยการใช้กฎของ Leibnitz จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \frac{\partial F_{pl}}{\partial x} &= \int_0^y \rho g \frac{\partial y}{\partial x} b dw + \int_0^y \rho g (y - w) \frac{\partial b}{\partial x} dw \\ &= \rho g A \frac{\partial y}{\partial x} + \int_0^y \rho g (y - w) \frac{\partial b}{\partial x} dw \end{aligned} \quad (\text{จ-16})$$

แรงที่ตลิ่งกระทำต่อของไหล สามารถเขียนได้เป็น

$$F_{pb} = \left[\int_0^y \rho g (y - w) \frac{\partial b}{\partial x} dw \right] dx \quad (\text{จ-17})$$

แทนสมการ จ-14 , จ-15, จ-16 และ จ-17 ลงไปในสมการที่ จ-13 จะได้ว่า

$$F_p = -\rho g A \frac{\partial y}{\partial x} dx \quad (\text{จ-18})$$

ดังนั้น แรงลัพธ์ที่กระทำต่อของไหล สามารถหาได้จากผลรวมของแรงจากความดัน แรงจากความเสียดทาน และแรงเนื่องจากความโน้มถ่วง ดังนี้

$$\sum F = \rho g A S_0 dx - \rho g A S_f dx - \rho g A \frac{\partial y}{\partial x} dx \quad (\text{จ-19})$$

ฟลักซ์โมเมนตัม

เป็นเทอมข้างขวาของสมการโมเมนตัมซึ่งประกอบด้วยส่วนของอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณโมเมนตัมในปริมาตรควบคุม และอัตราการไหลออกสุทธิของโมเมนตัมจากผิวควบคุม (net momentum outflow)

อัตราการไหลออกสุทธิของโมเมนตัมจากผิวควบคุม สามารถเขียนตามสมการต่อไปนี้

$$\int_{c.s.} V \rho V \cdot dA = -\rho(\beta V Q + \beta v_x q dx) \quad (\text{จ-20})$$

โดยที่ β คือค่าสัมประสิทธิ์การปรับแก้โมเมนตัม (momentum coefficient) ในกรณีที่มีการกระจายตัวของความเร็วการไหลตลอดหน้าตัดลำน้ำเป็นไปอย่างไม่สม่ำเสมอ ซึ่งค่าของ β ตามนิยามจะเขียนได้ดังนี้

$$\beta = \frac{1}{V^2 A} \iint v^2 dA \quad (\text{จ-21})$$

ด้วยการจัดรูปทางคณิตศาสตร์เพิ่มเติม อัตราการไหลออกสุทธิของโมเมนตัมจากผิวควบคุมตามสมการ จ-22 ซึ่งเขียนได้ในรูปของ

$$\int_{c.s.} V \rho V \cdot dA = -\rho \left[\beta v_x q - \frac{\partial(\beta V Q)}{\partial x} \right] dx \quad (\text{จ-22})$$

อัตราการสะสมของปริมาณโมเมนตัม (momentum storage rate) ในปริมาตรควบคุม มีค่าดังต่อไปนี้

$$\frac{d}{dt} \int_{c.v.} V \rho dV = \rho \frac{\partial Q}{\partial t} dx \quad (\text{จ-23})$$

แทนค่าทั้งหมดในเทอมของแรง และฟลักซ์โมเมนตัม ลงในสมการที่ จ-6 แล้วจัดรูป จะได้ว่า

$$\begin{aligned} & \rho g A S_0 dx - \rho g A S_f dx - \rho g A S_e dx - W_f B \rho dx - \rho g A \frac{\partial y}{\partial x} dx \\ & = -\rho \left[\beta v_x - \frac{\partial(\beta V Q)}{\partial x} \right] dx + \rho \frac{\partial Q}{\partial t} dx \end{aligned} \quad (\text{จ-24})$$

หารทั้งสองข้างของสมการด้วย ρdx แทนค่าของ Q ด้วย V/A แล้วจัดรูปใหม่อีกครั้ง จะทำให้เขียนสมการโมเมนตัมได้ในรูปแบบดังนี้

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\beta Q^2 / A)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial y}{\partial x} - S_0 + S_f + S_e \right) - \beta q v_x + W_f B = 0 \quad (\text{จ-25})$$

ค่าความลึกการไหล y ในสมการที่ 2-70 สามารถแสดงได้ในรูปของค่าระดับของผิวน้ำ (water surface elevation) h ด้วยความสัมพันธ์ในสมการที่ จ-26

$$h = y + z \quad (\text{จ-26})$$

โดยที่ z คือค่าระดับของท้องน้ำเหนือระดับอ้างอิง เช่น ระดับน้ำทะเลปานกลาง

เมื่อใส่ค่าอนุพันธ์เทียบกับ x ทั้งสองข้างของสมการ จ-26 จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \frac{\partial h}{\partial x} &= \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial z}{\partial x} \\ &= \frac{\partial y}{\partial x} - S_0 \end{aligned} \quad (\text{จ-27})$$

จากสมการ จ-27 ทำให้สามารถเขียนสมการโมเมนตัมในเทอมของ h ได้ดังนี้

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\beta Q^2 / A)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f + S_e \right) - \beta q v_x + W_f B = 0 \quad (\text{จ-28})$$


สมการที่ จ-28 อาจเรียกได้เป็นสมการ Saint Venant ในรูปของโมเมนตัม ที่แสดงพฤติกรรม การไหลแบบไม่คงที่ ชนิด 1 มิติ ในทางน้ำเปิด โดยที่ S_f และ S_e เป็นตัวแทนของอัตราการสูญเสีย พลังงานของการไหล อันแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดระหว่างพลังงานและโมเมนตัม หาก

ไม่คิดผลของการสูญเสียจากการปั่นป่วน (eddy loss) หน่วยแรงเฉือนจากลม (wind shear effect) และการไหลเข้าด้านข้าง (lateral inflow) จะสามารถลดรูปสมการที่ 2-70 สำหรับการไหลต่อหนึ่งหน่วยความกว้างการไหล ได้ดังต่อไปนี้

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial X} + g \left(\frac{\partial y}{\partial x} - S_0 + S_f \right) = 0 \quad (\text{จ-29})$$



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาคผนวก ฉ

ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง HEC-HMS ด้วยข้อมูลน้ำท่าปี ค.ศ. 2002 และ 2006

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ฉ-1 ผลการปรับค่าพารามิเตอร์ CN ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำยม

รหัสลุ่มน้ำย่อย	ลุ่มน้ำย่อย	อัตราการสูญเสียปริมาณน้ำท่า	
		Initial Abstraction (mm.)	SCS Curve Number (CN)
0801	แม่น้ำยมตอนบน	481.88	38.27
0802	แม่น้ำควน	239.87	65.79
0803	น้ำปี้	272.97	33.95
0804	แม่น้ำางว	492.87	32.67
0805	แม่น้ำยมตอนกลาง	462.05	34.48
0806	น้ำแม่คำมี	364.46	79.77
0807	น้ำแม่ต้า	410.23	47.25
0808	ห้วยแม่สิน	382.71	37.62
0809	แม่น้ำแม่หมอก	373.63	46.52
0810	แม่น้ำแม่รำพัน	265.68	52.47
0811	แม่น้ำยมตอนล่าง	237.44	39.02

ตารางที่ ฉ-2 สรุปผลการปรับค่าพารามิเตอร์แบบจำลองน้ำท่าผิวดิน (direct runoff model)

รหัสลุ่มน้ำย่อย	ลุ่มน้ำย่อย	ค่าการตอบสนองของลุ่มน้ำ	
		Snyder Lag (ชม.)	Snyder Cp
0801	แม่น้ำยมตอนบน	61.87	0.512
0802	แม่น้ำควน	35.18	0.468
0803	น้ำปี้	28.35	0.696
0804	แม่น้ำางว	30.50	0.781
0805	แม่น้ำยมตอนกลาง	125.31	0.813
0806	น้ำแม่คำมี	24.22	0.794

ตารางที่ ฉ-2 (ต่อ)สรุปผลการปรับค่าพารามิเตอร์แบบจำลองน้ำท่าผิวดิน (direct runoff model)

รหัสลุ่มน้ำย่อย	ลุ่มน้ำย่อย	ค่าการตอบสนองของลุ่มน้ำ	
		Snyder Lag (ชม.)	Snyder Cp
0807	น้ำแม่ต้า	28.32	0.325
0808	ห้วยแม่สิน	21.55	0.782
0809	แม่น้ำแม่มอก	36.63	0.633
0810	แม่น้ำแม่รำพัน	34.27	0.538
0811	แม่น้ำยมตอนล่าง	383.11	0.715

ตารางที่ ฉ-3 สรุปผลการปรับค่าพารามิเตอร์แบบจำลองการไหลพื้นฐาน (baseflow model)

รหัสลุ่มน้ำย่อย	ลุ่มน้ำย่อย	Exponential Recession		
		Initial flow	Recession ratio	Threshold flow (ลบ.ม./ วินาที)
0801	แม่น้ำยมตอนบน	2.47	0.980	3.52
0802	แม่น้ำควน	3.73	0.888	2.82
0803	น้ำปี้	1.38	0.967	0.27
0804	แม่น้ำางว	2.91	0.812	3.73
0805	แม่น้ำยมตอนกลาง	0.17	0.713	3.66
0806	น้ำแม่คำมี	0.27	0.843	2.31
0807	น้ำแม่ต้า	0.02	0.278	1.47
0808	ห้วยแม่สิน	2.90	0.891	2.31
0809	แม่น้ำแม่มอก	4.36	0.829	8.24
0810	แม่น้ำแม่รำพัน	4.31	0.954	9.85
0811	แม่น้ำยมตอนล่าง	6.24	0.986	11.32

ตารางที่ ฉ-4 สรุปผลการปรับค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองการไหลในลำน้ำ (channel routing)

ช่วงลำน้ำ	จาก	ถึง	Muskingum	
			K	X
R1	Y.20	Y.1C	13.79	0.325
R2	Y.1C	Y.14	9.21	0.200
R3	Y.14	Y.6	9.01	0.122
R4	Y.6	Y.3A	24.06	0.135
R5	Y.3A	Y.33	9.28	0.272
R6	Y.33	Y.4	4.41	0.102
R7	Y.4	Y.16	5.67	0.100
R8	Y.16	Y.17	5.72	0.114

ตารางที่ ฉ-5 ผลการเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลสูงสุดและระดับน้ำสูงสุดจากการสอบเทียบแบบจำลองน้ำหลากในปี ค.ศ. 2002

สถานีวัด น้ำท่า	ที่ตั้ง	อัตราการไหลสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)			ระดับน้ำสูงสุด (ม. รทก.)			ปริมาณน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)		
		(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
Y.20	อ.สอง จ. แพร่	803	805	-0.25	+190.94	+190.18	+0.40	2,051.27	1,839.65	+10.32
Y.1C	อ. เมือง จ. แพร่	1,209	1,107	+8.41	+153.82	+153.06	+0.50	3,009.71	2,621.91	+12.88
Y.14	อ. ศรีสขนาลัย จ. สุโขทัย	1,385	1,201	+13.30	+73.86	+73.11	+1.02	3,575.69	3,157.51	+11.69
Y.6	อ. ศรีสขนาลัย จ. สุโขทัย	1,499	1,333.2	+11.07	+69.90	+69.55	+0.50	4,006	3,236.47	+19.21
Y.3A	อ. สวรรคโลก จ. สุโขทัย	1,756	1,457	+17.02	+62.56	+61.94	+1.00	4,593	4,140	+9.86
Y.33	อ. ศรีสำโรง จ. สุโขทัย	1,031	943	+8.54	+60.89	+59.76	+1.90	4,429	3,832	+13.47
Y.16	อ. บางระกำ จ. พิษณุโลก	1,584	1,735	-8.70	+45.75	+46.99	-2.63	6,235	5,610	+10.02
Y.17	อ. สามง่าม จ. สุโขทัย	1,635	1,451	+11.25	+39.97	+39.51	+1.15	5,882	5,479	+6.85

หมายเหตุ: (1) หมายถึง ค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง

(2) หมายถึง ค่าที่ได้จากการตรวจวัด

(3) หมายถึง ร้อยละของความแตกต่าง

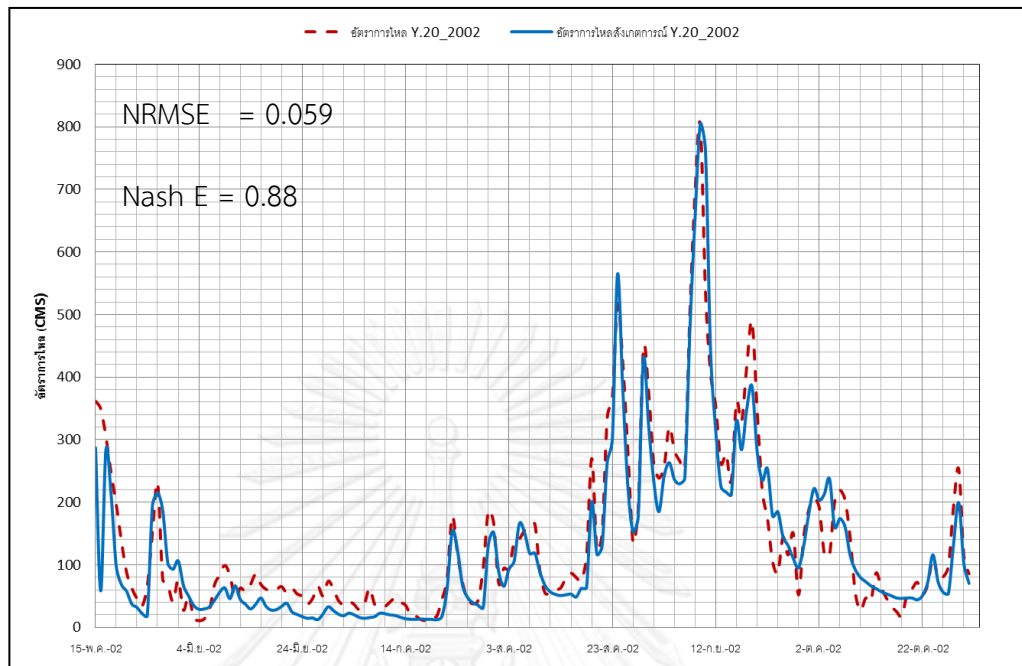
ตารางที่ ฉ-6 ผลการเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลสูงสุดและระดับน้ำสูงสุดจากการสอบเทียบแบบจำลองน้ำหลากในปี ค.ศ. 2006

สถานีวัด น้ำท่า	ที่ตั้ง	อัตราการไหลสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)			ระดับน้ำสูงสุด (ม. รทก.)			ปริมาณน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)		
		(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
Y.20	อ.สอง จ. แพร่	1,079	994	+7.88	190.10	188.60	+0.79	2,065.37	1,366.37	+33.83
Y.1C	อ. เมือง จ. แพร่	1,252	1,172	+6.39	153.64	153.26	+0.24	3,659.91	2,796.91	+23.58
Y.14	อ. ศรีสขนาลัย จ. สุโขทัย	1,898	1,695	+10.74	76.24	75.33	+1.21	5,335.8	4,919.73	+7.80
Y.6	อ. ศรีสขนาลัย จ. สุโขทัย	2,051	1,848	+9.89	+74.26	+71.35	+2.40	6,039	5,136.93	+14.94
Y.3A	อ. สวรรคโลก จ. สุโขทัย	2,187	1,849	+15.45	+61.76	+63.04	-2.04	6,414	5,837	+8.99
Y.33	อ. ศรีสำโรง จ. สุโขทัย	1,186	1,017	+14.25	+59.88	+59.00	+1.50	5,765	5,558	+3.59
Y.16	อ. บางระกำ จ. พิษณุโลก	1,343	1,296	+3.50	+53.68	+52.17	+2.88	8,638	8,145	+5.70
Y.17	อ. สามง่าม จ. สุโขทัย	1,834	1,784	+2.73	+39.77	+39.15	+1.56	8,165	7,727	+5.36

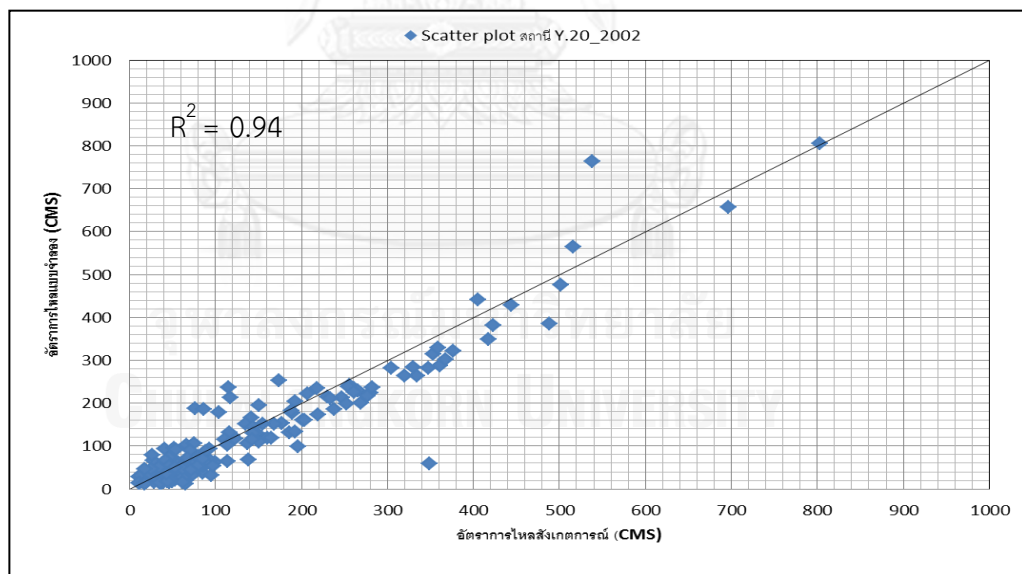
หมายเหตุ: (1) หมายถึง ค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง

(2) หมายถึง ค่าที่ได้จากการตรวจวัด

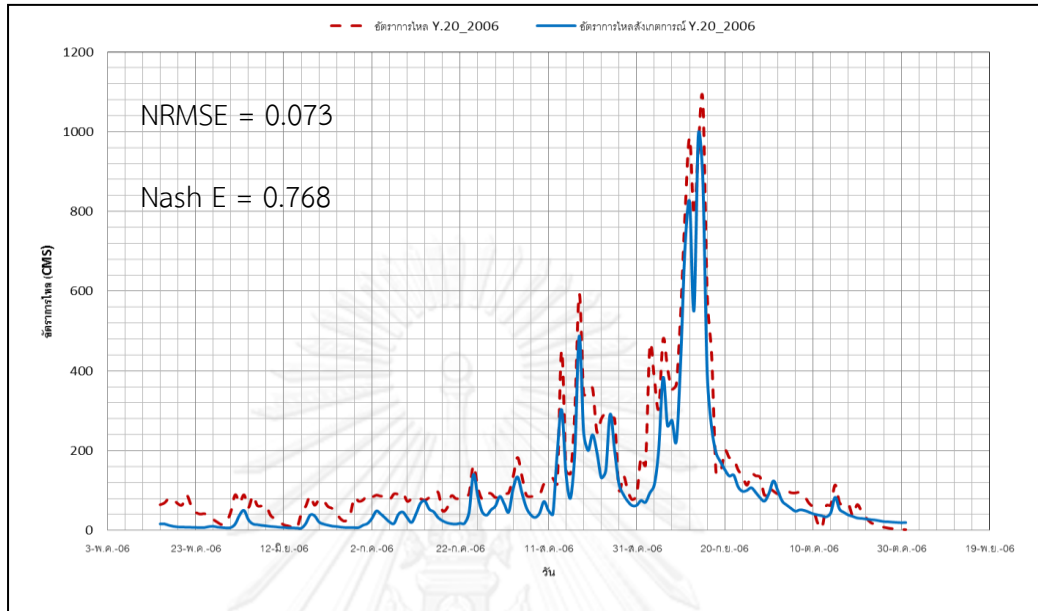
(3) หมายถึง ร้อยละของความแตกต่าง



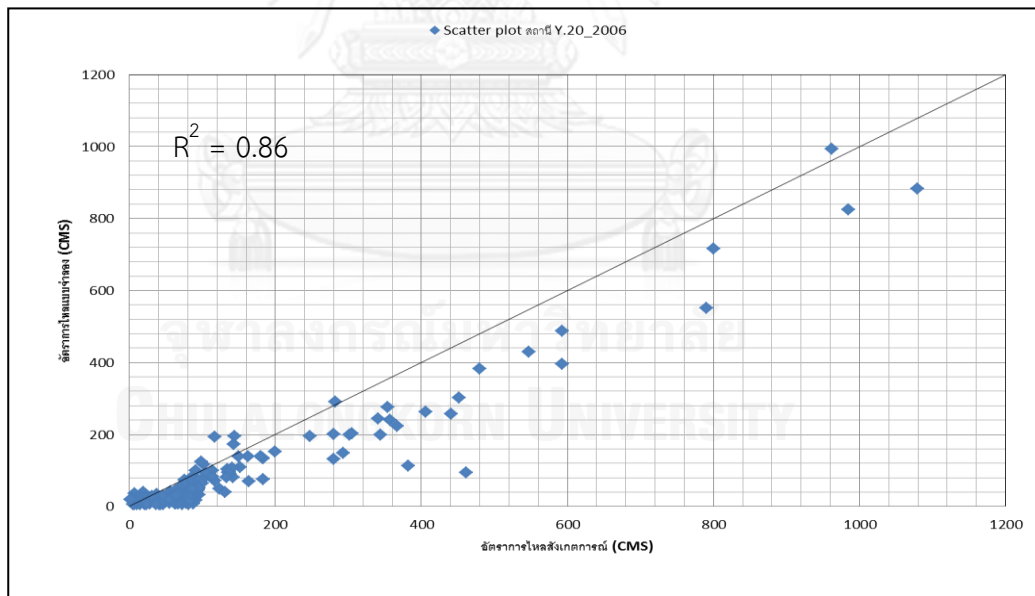
รูปที่ ฉ-1 ผลการสอบเทียบสภาพน้ำท่าของสถานี Y.20 ในปี ค.ศ 2002



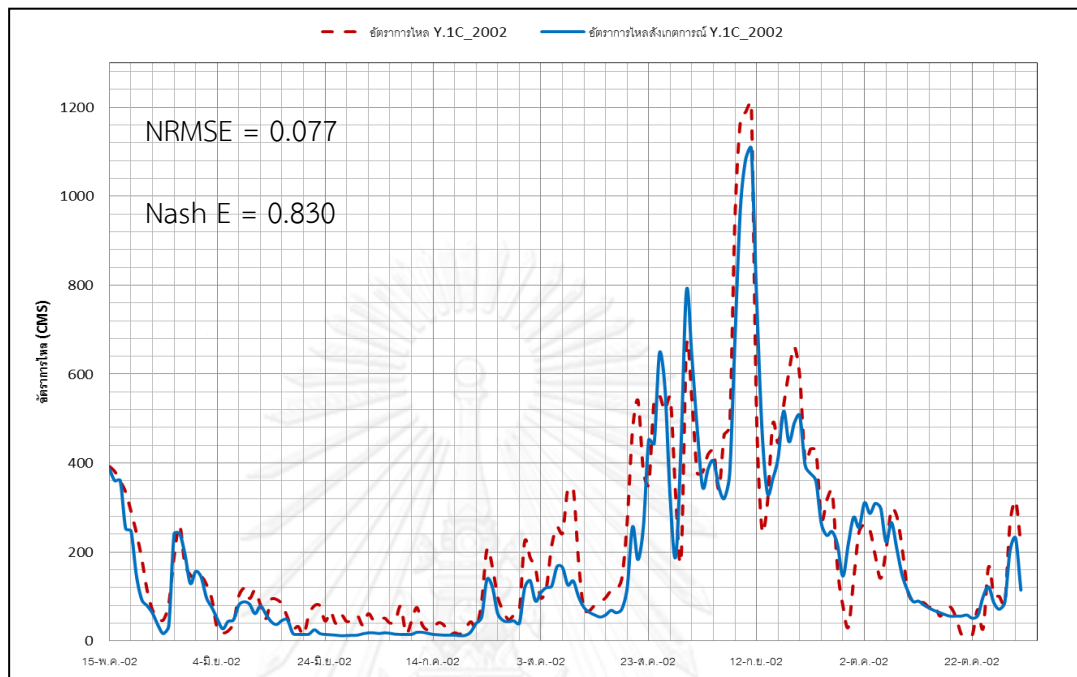
รูปที่ ฉ-2 Scatter plot เปรียบเทียบอดัการไหลจากแบบจำลองและข้อมูลสังเกตการณ์ของสถานี Y.20 ปี ค.ศ. 2002



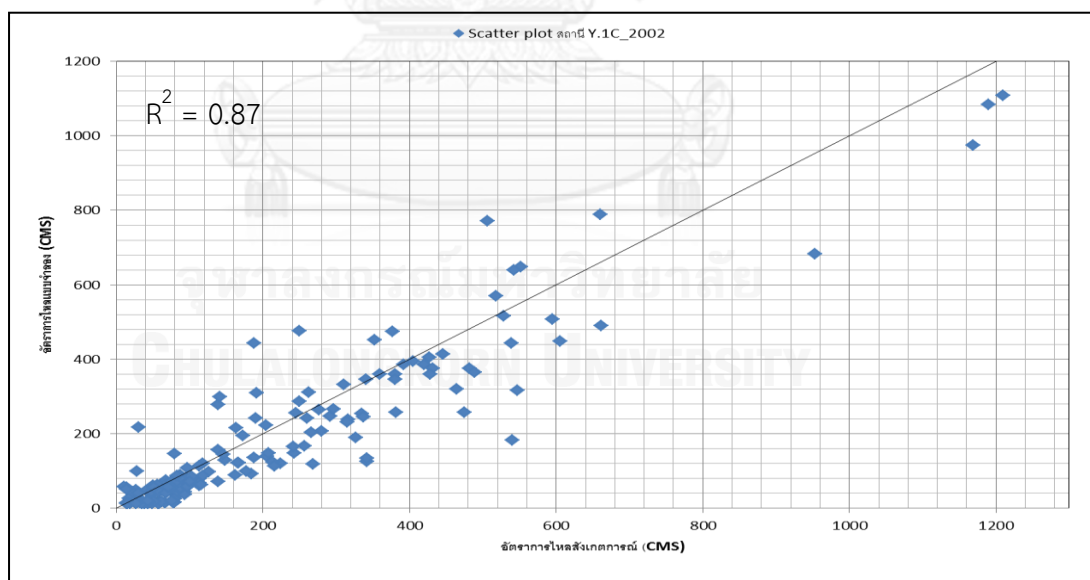
รูปที่ ๓-3 ผลการสอบทานสภาพน้ำท่าของสถานี Y.20 ในปี ค.ศ 2006



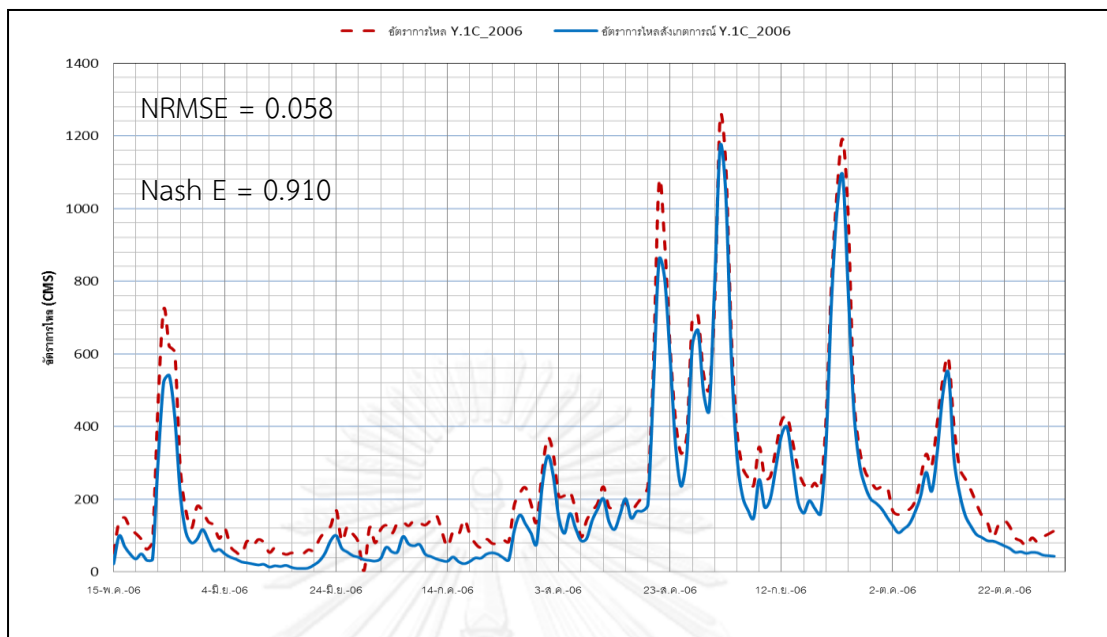
รูปที่ ๓-4 Scatter plot เปรียบเทียบอัตราการไหลจากแบบจำลองและข้อมูลสังเกตการณ์ของสถานี Y.20 ปี ค.ศ. 2006



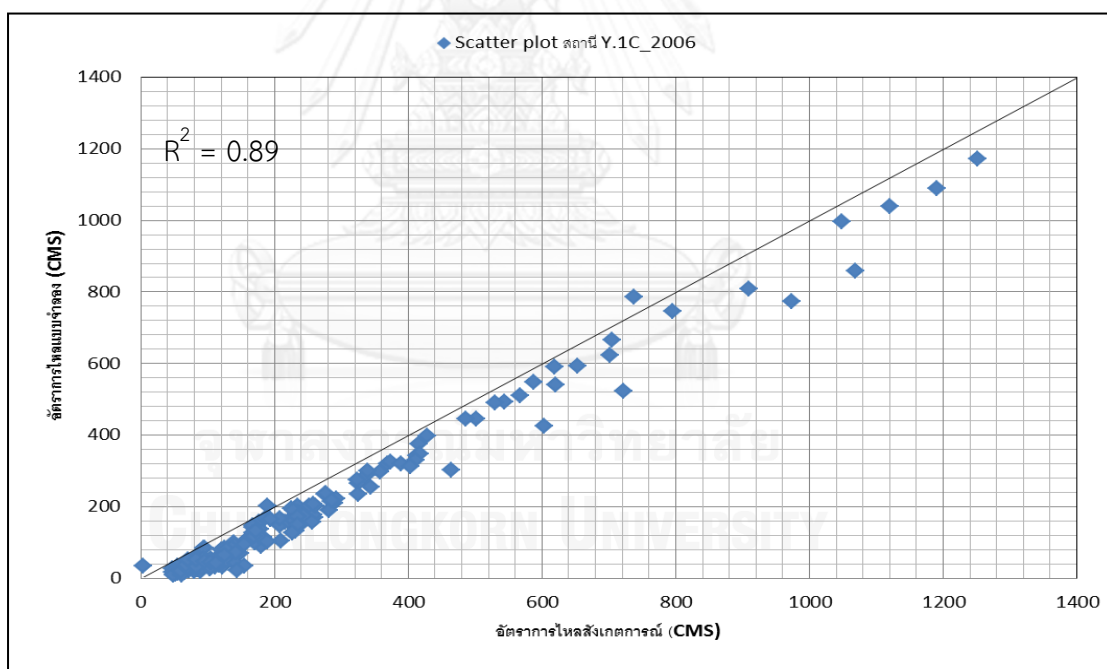
รูปที่ ๕-5 ผลการสอบเทียบสภาพน้ำท่าของสถานี Y.1C ในปี ค.ศ 2002



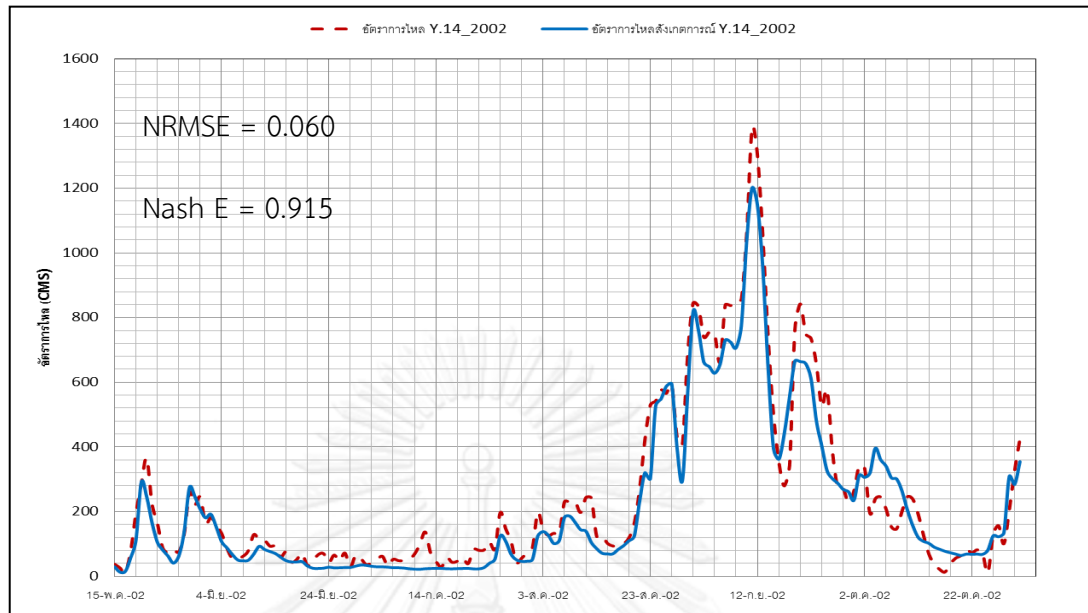
รูปที่ ๕-6 Scatter plot เปรียบเทียบอัตราการไหลจากแบบจำลองและข้อมูลสังเกตการณ์ของสถานี Y.1C ปี ค.ศ. 2002



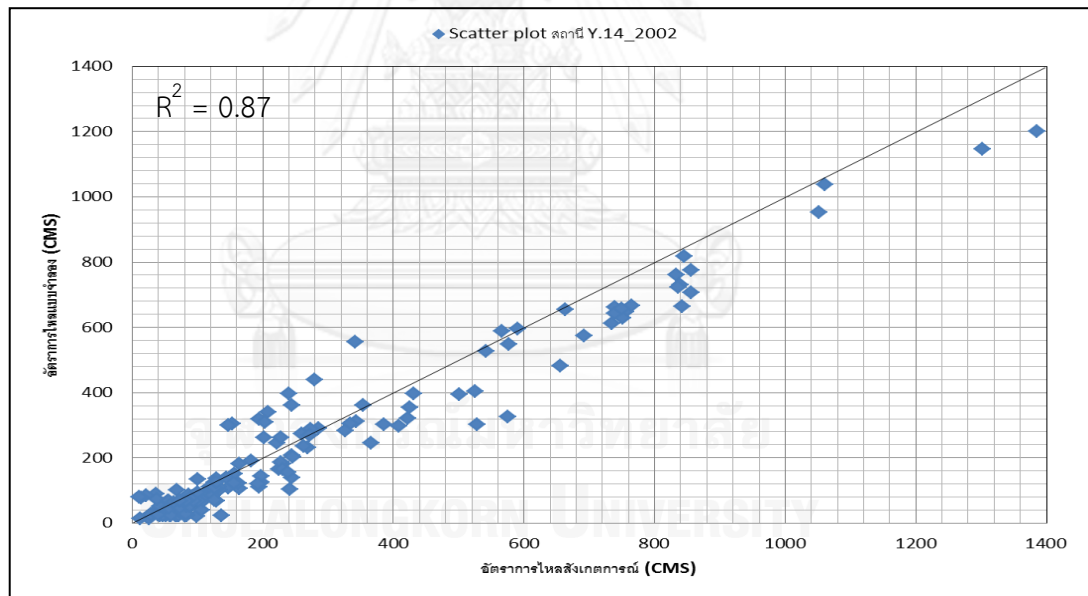
รูปที่ ๗-7 ผลการสอบทานสภาพน้ำท่าของสถานี Y.1C ในปี ค.ศ 2006



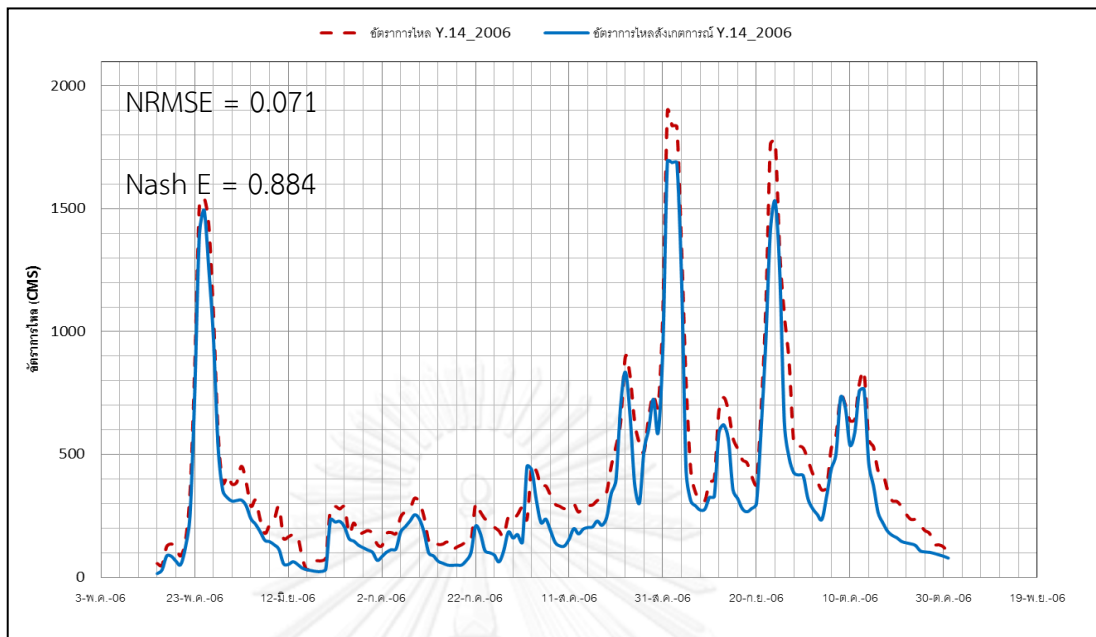
รูปที่ ๗-8 Scatter plot เปรียบเทียบอัตราการไหลจากแบบจำลองและข้อมูลสังเกตการณ์ของสถานี Y.1C ปี ค.ศ. 2006



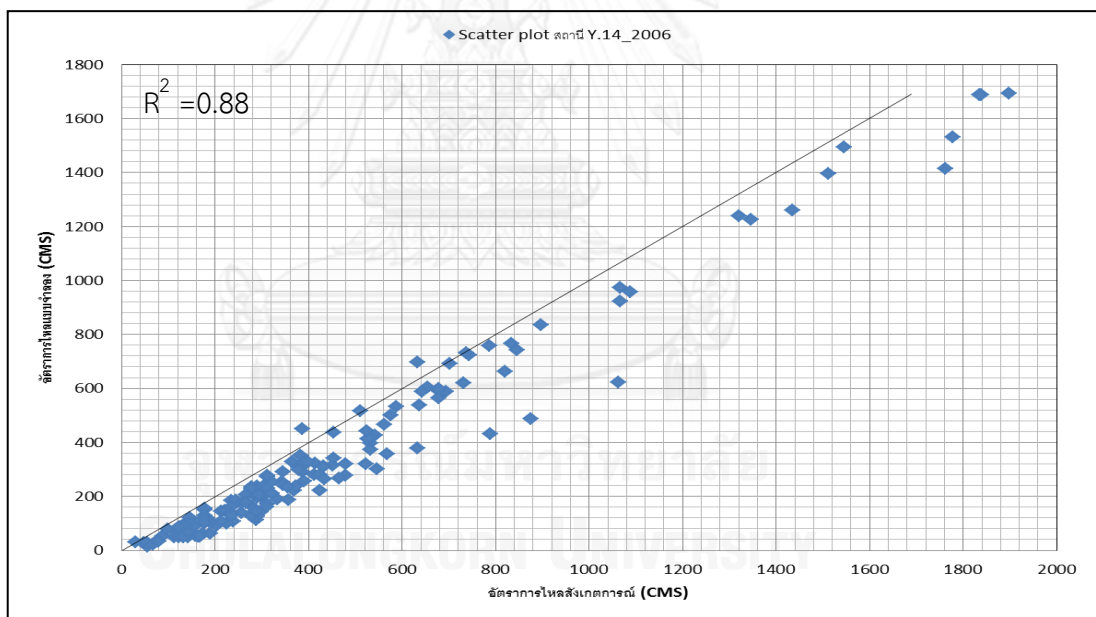
รูปที่ ๙-9 ผลการสอบเทียบสภาพน้ำท่าของสถานี Y.14 ในปี ค.ศ 2002



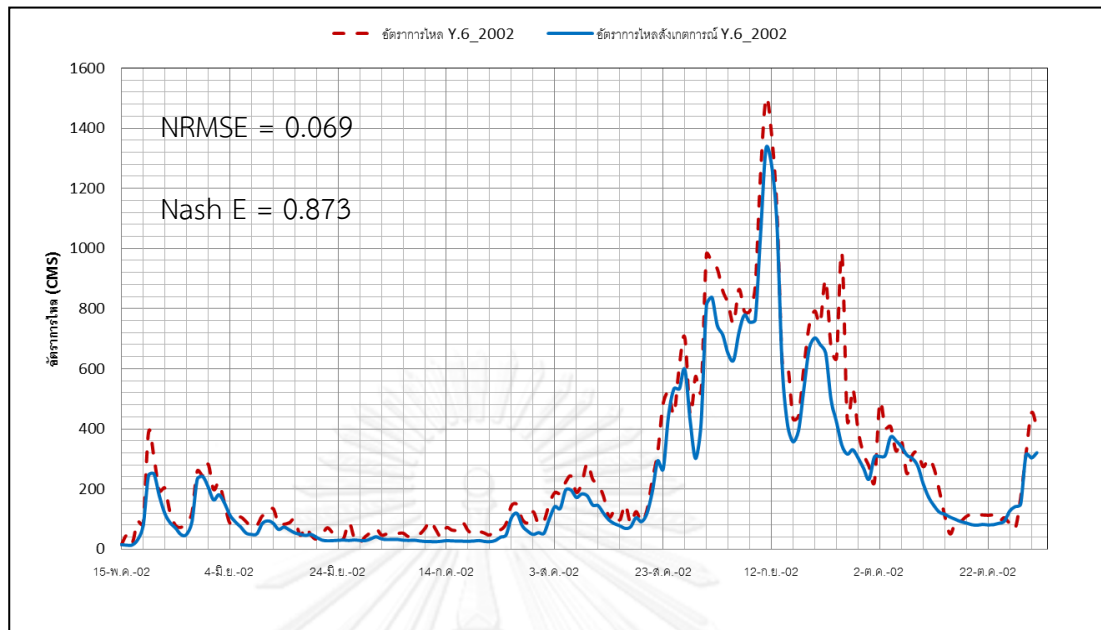
รูปที่ ๙-10 Scatter plot เปรียบเทียบอัตราการไหลจากแบบจำลองและข้อมูลสังเกตการณ์ของสถานี Y.14 ปี ค.ศ. 2002



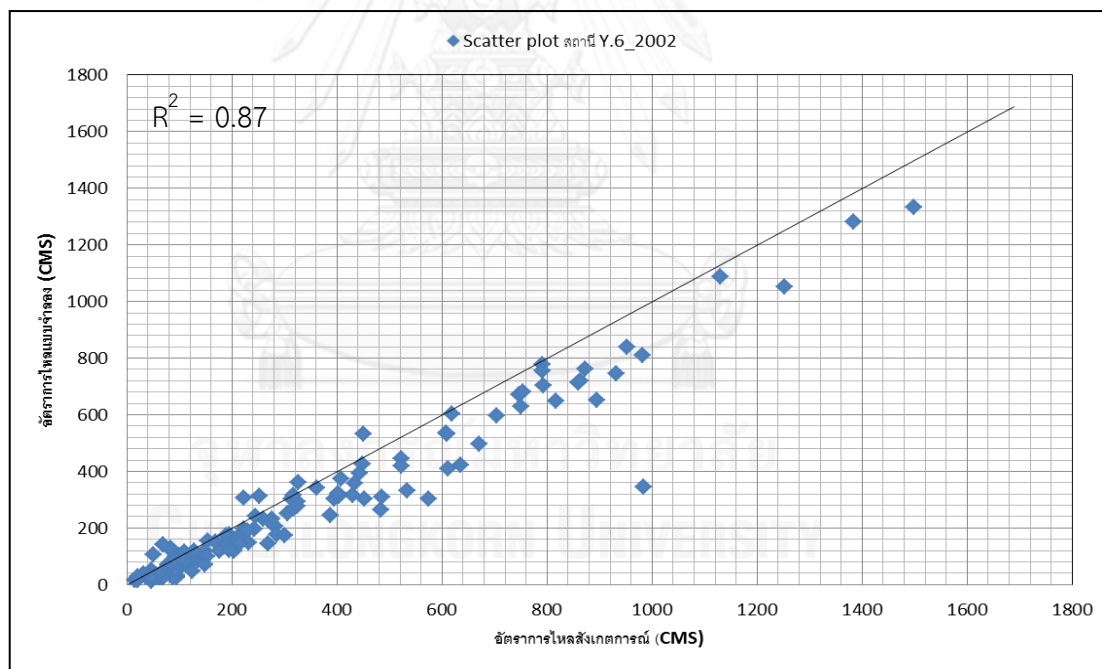
รูปที่ ๓-11 ผลการสอบทานสภาพน้ำท่าของสถานี Y.14 ในปี ค.ศ 2006



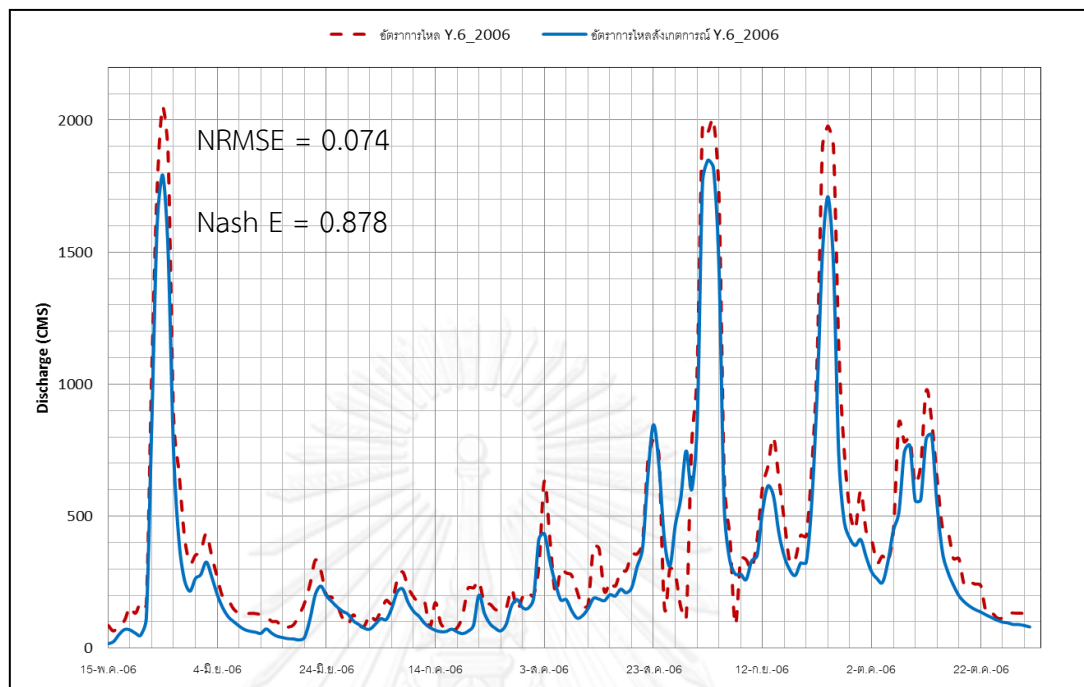
รูปที่ ๓-12 Scatter plot เปรียบเทียบอัตราการไหลจากแบบจำลองและข้อมูลสังเกตการณ์ของสถานี Y.14 ปี ค.ศ. 2006



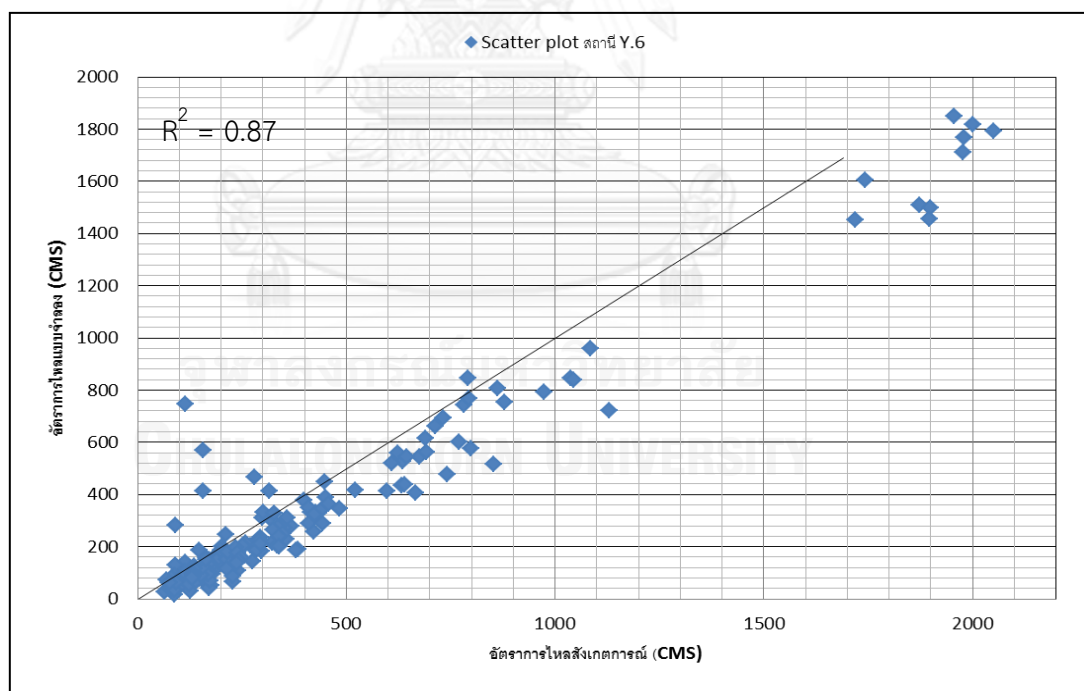
รูปที่ ฉ-13 ผลการสอบเทียบสภาพน้ำท่าของสถานี Y.6 ในปี ค.ศ 2002



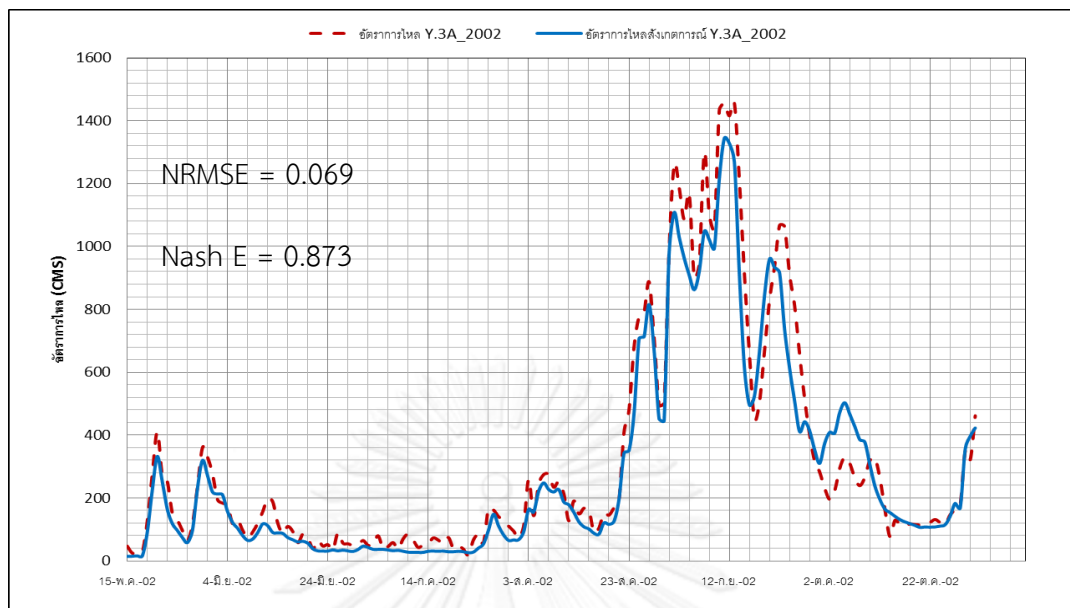
รูปที่ ฉ-14 Scatter plot เปรียบเทียบอัตราการไหลจากแบบจำลองและข้อมูลสังเกตการณ์ของสถานี Y.6 ปี ค.ศ. 2002



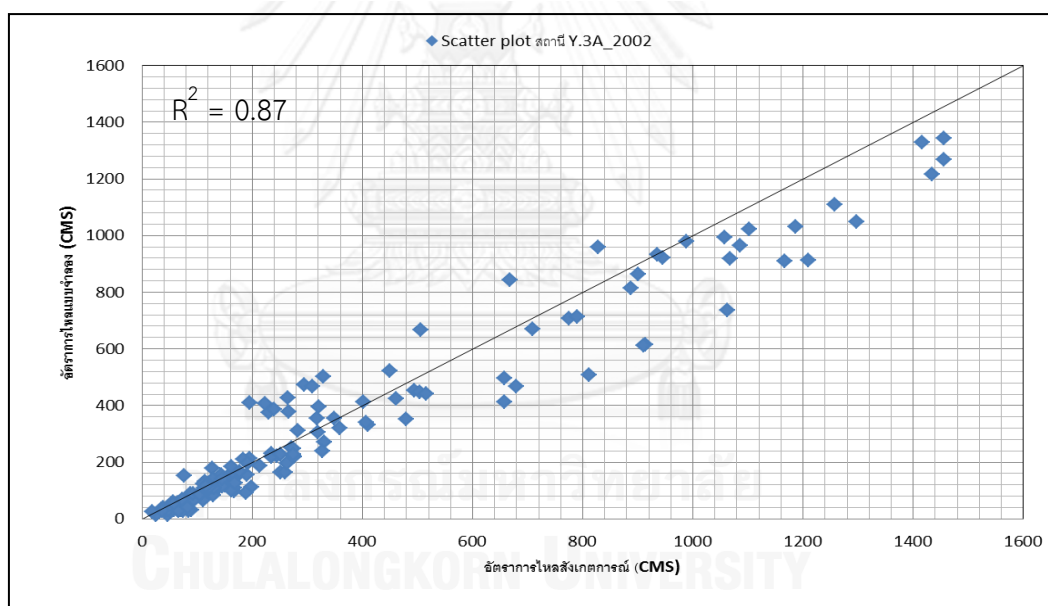
รูปที่ ๑-15 ผลการสอบเทียบสภาพน้ำท่าของสถานี Y.6 ในปี ค.ศ 2006



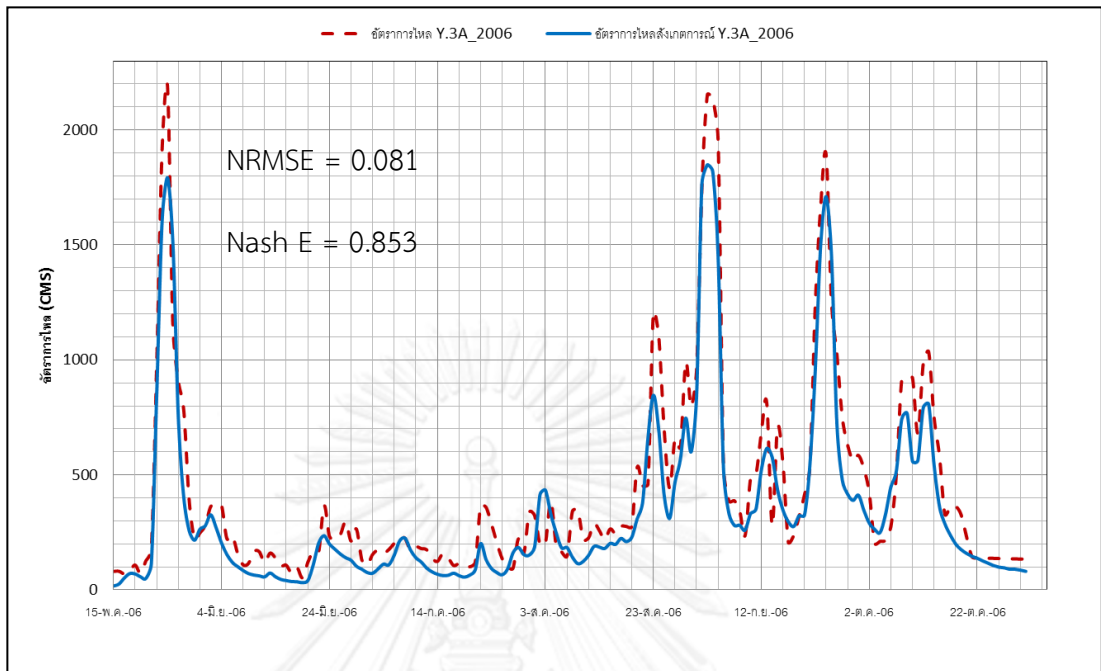
รูปที่ ๑-16 Scatter plot เปรียบเทียบอัตราการไหลจากแบบจำลองและข้อมูลสังเกตการณ์ของสถานี Y.6 ปี ค.ศ. 2006



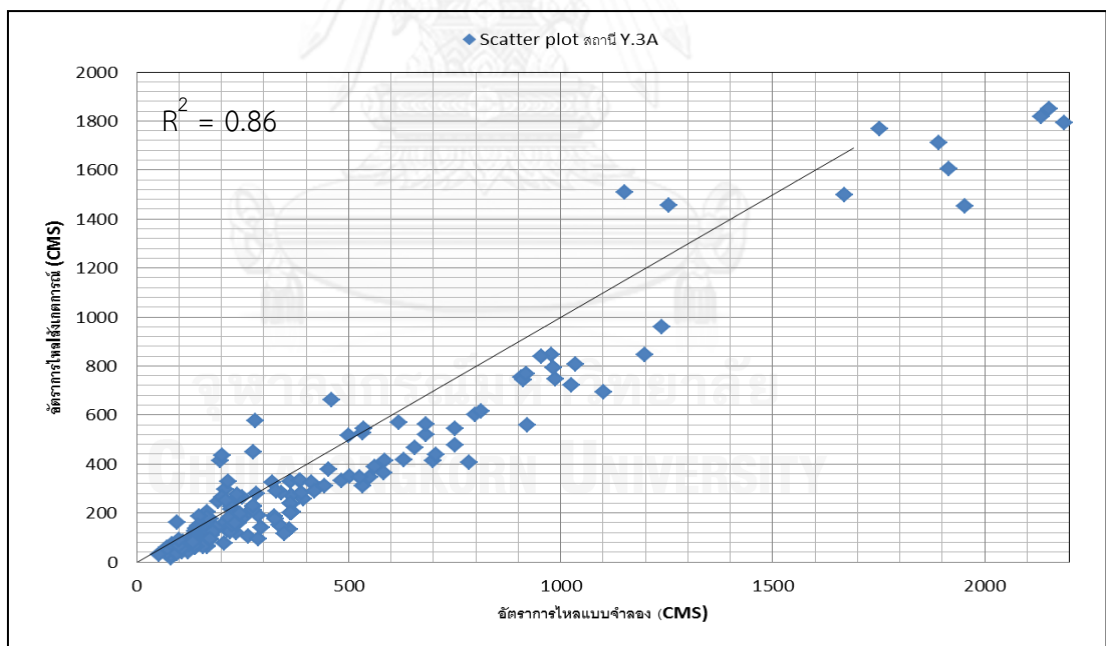
รูปที่ ฉ-17 ผลการสอบเทียบสภาพน้ำท่าของสถานี Y.3A ในปี ค.ศ 2002



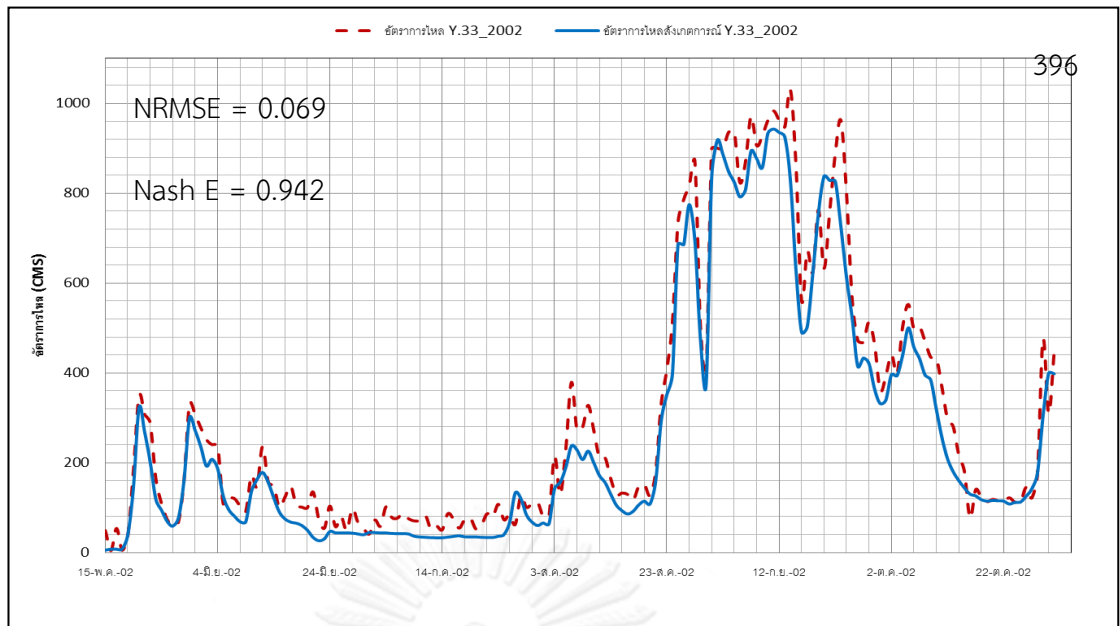
รูปที่ ฉ-18 Scatter plot เปรียบเทียบอัตราการไหลจากแบบจำลองและข้อมูลสังเกตการณ์ของสถานี Y.3A ปี ค.ศ. 2002



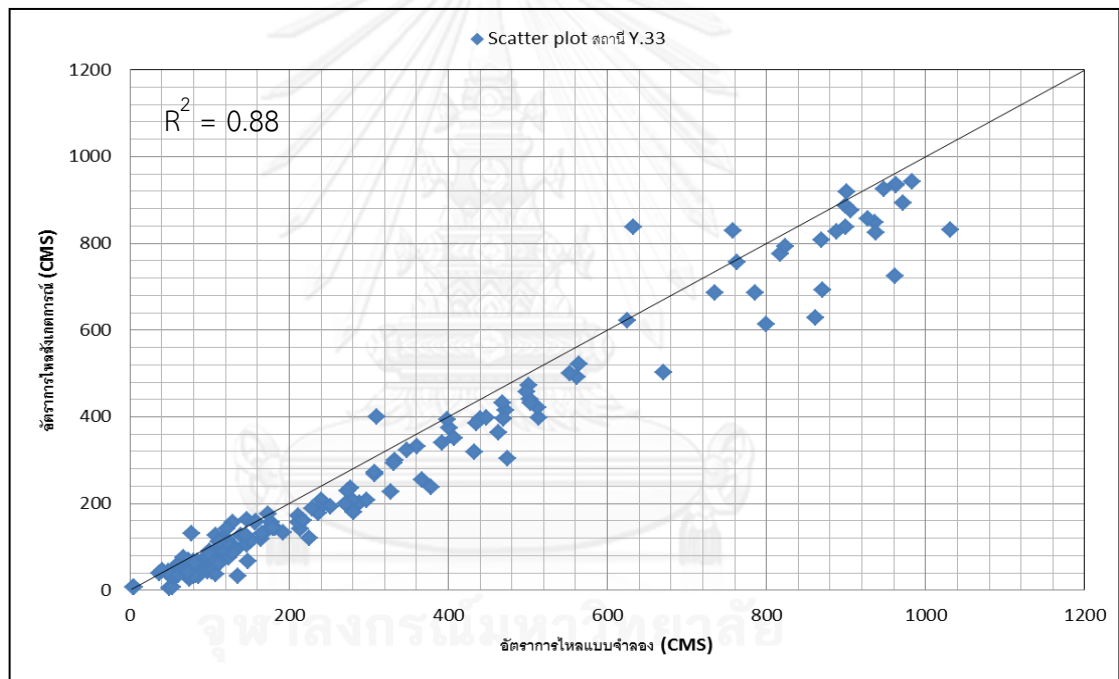
รูปที่ ฉ-19 ผลการสอบทานสภาพน้ำท่าของสถานี Y.3A ในปี ค.ศ 2006



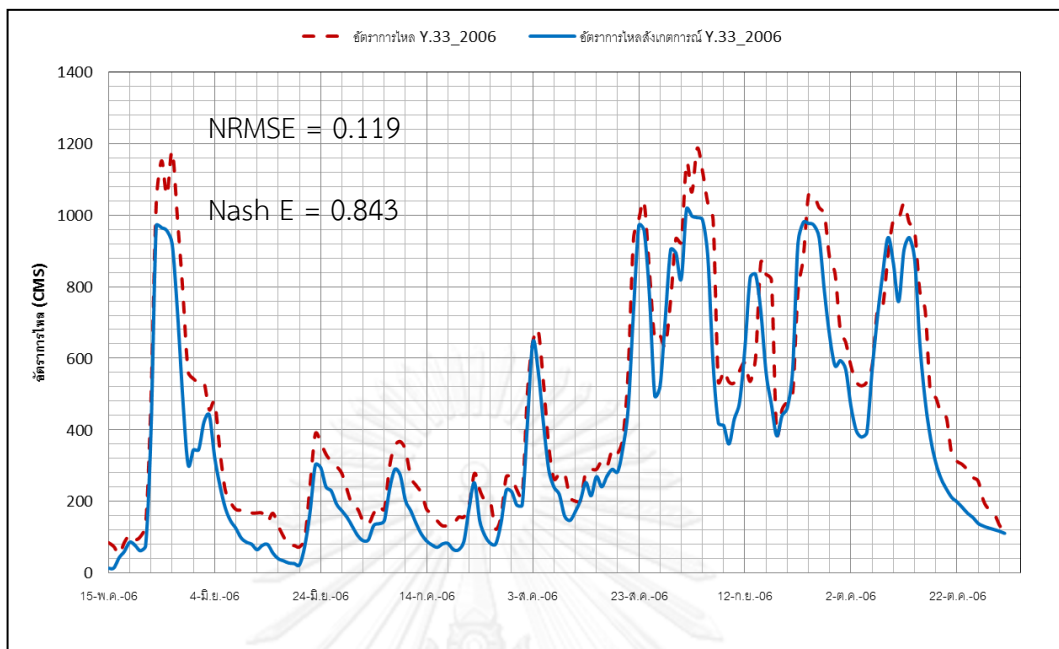
รูปที่ ฉ-20 Scatter plot เปรียบเทียบอัตราการไหลจากแบบจำลองและข้อมูลสังเกตการณ์ของสถานี Y.3A ปี ค.ศ. 2006



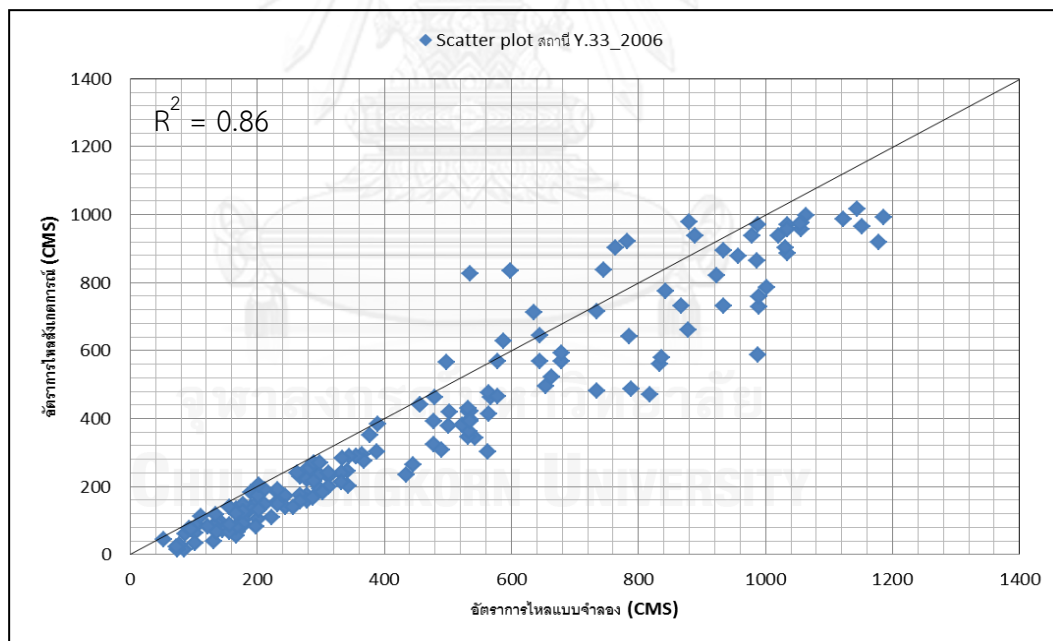
รูปที่ ฉ-21 ผลการสอบเทียบสภาพน้ำท่าของสถานี Y.33 ในปี ค.ศ 2002



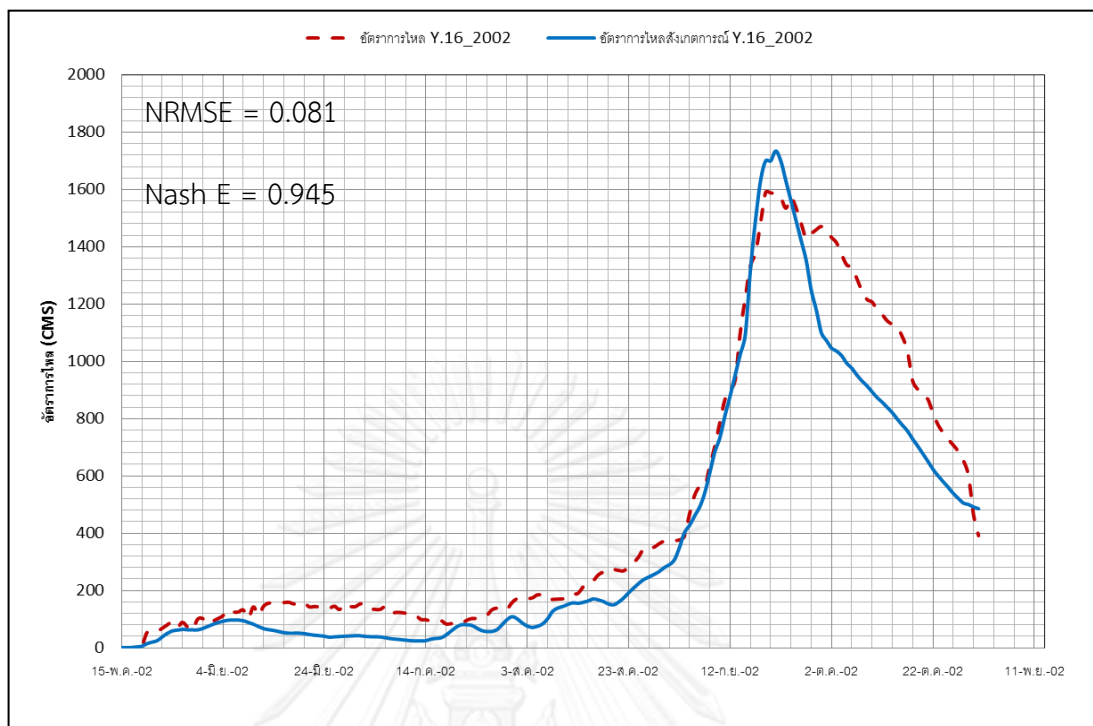
รูปที่ ฉ-22 Scatter plot เปรียบเทียบอัตราการไหลจากแบบจำลองและข้อมูลสังเกตการณ์ของสถานี Y.33 ปี ค.ศ. 2002



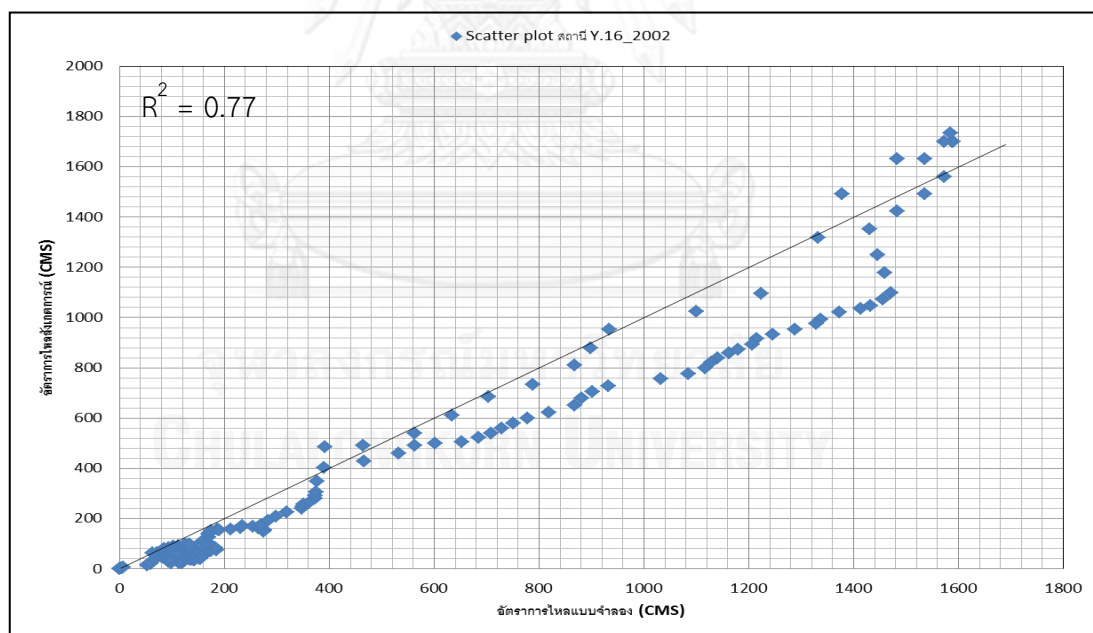
รูปที่ ๑-23 ผลการสอบทานสภาพน้ำท่าของสถานี Y.33 ในปี ค.ศ 2006



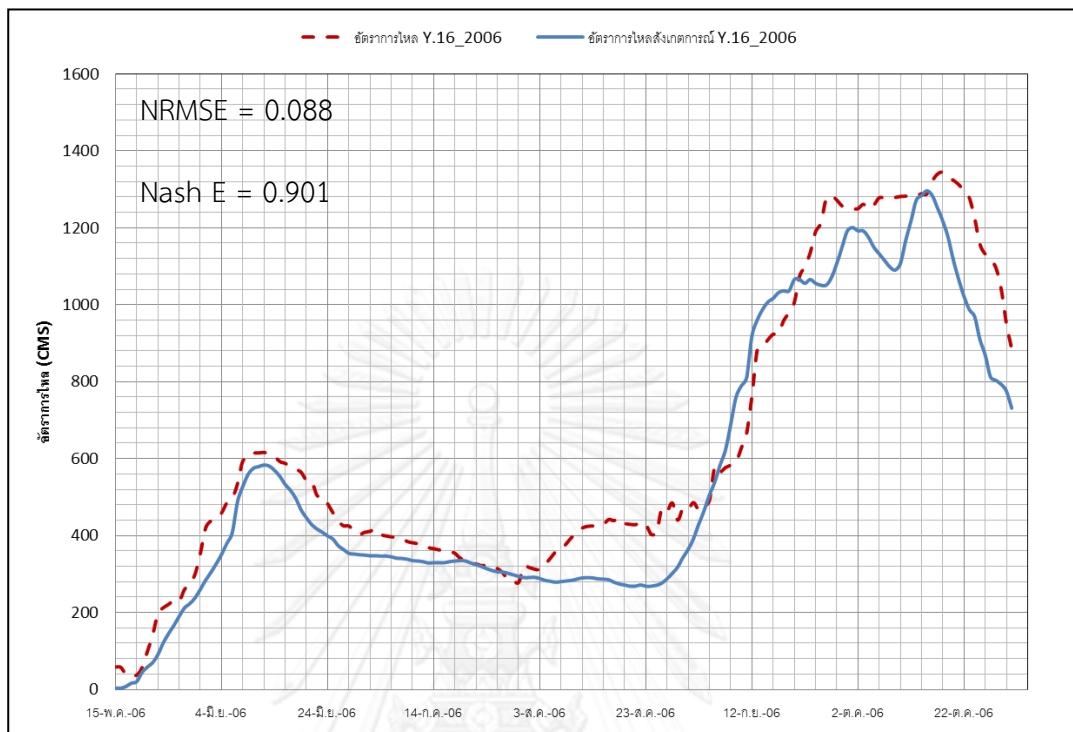
รูปที่ ๑-24 Scatter plot เปรียบเทียบอัตราการไหลจากแบบจำลองและข้อมูลสังเกตการณ์ของสถานี Y.33 ปี ค.ศ. 2006



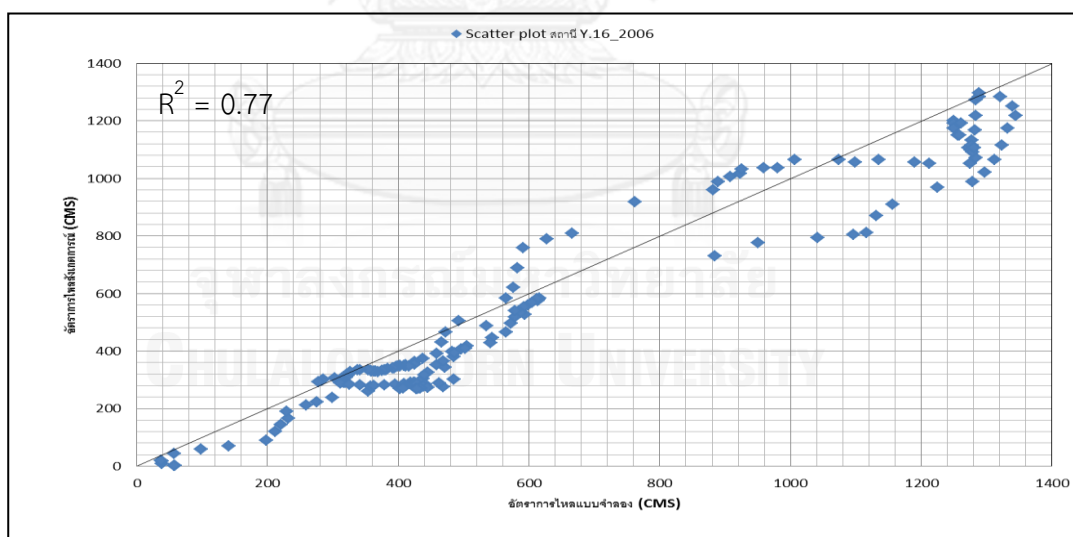
รูปที่ ๓-25 ผลการสอบเทียบสภาพน้ำท่าของสถานี Y.16 ในปี ค.ศ 2002



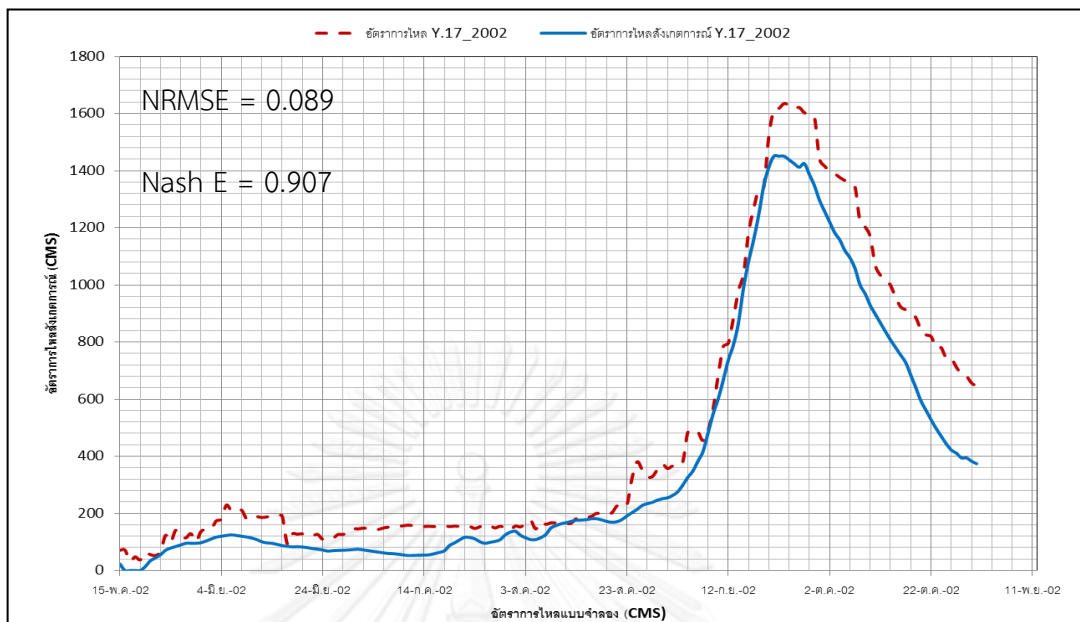
รูปที่ ๓-26 Scatter plot เปรียบเทียบอัตราการไหลจากแบบจำลองและข้อมูลสังเกตการณ์ของสถานี Y.16 ปี ค.ศ. 2002



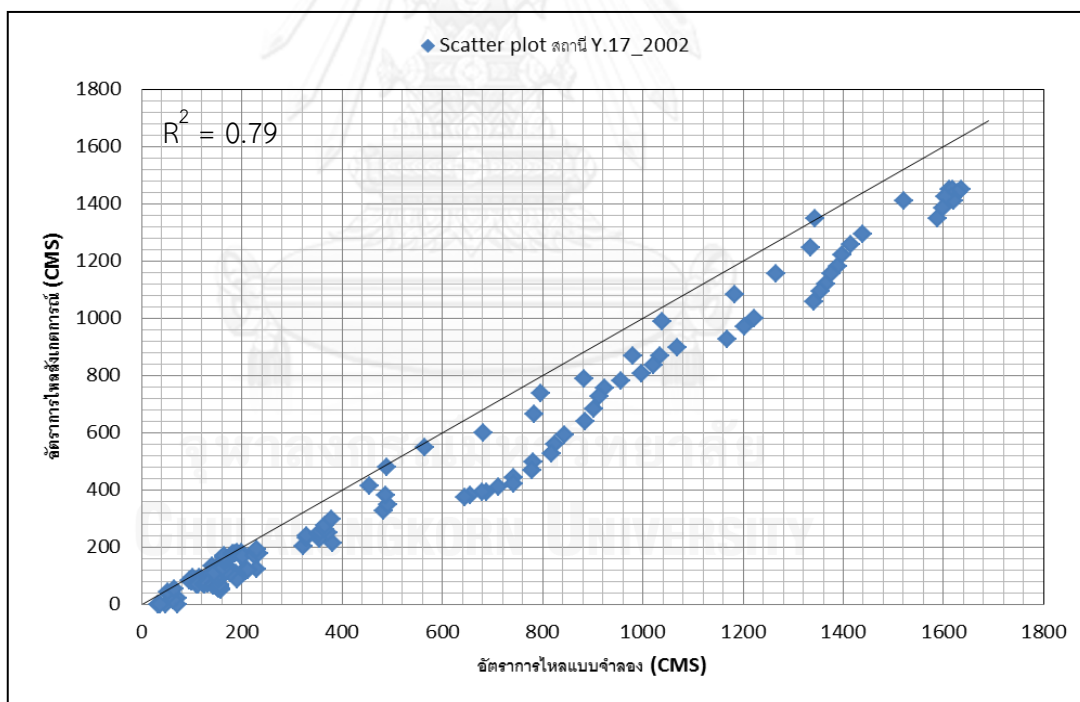
รูปที่ ๑-27 ผลการสอบทานสภาพน้ำท่าของสถานี Y.16 ในปี ค.ศ 2006



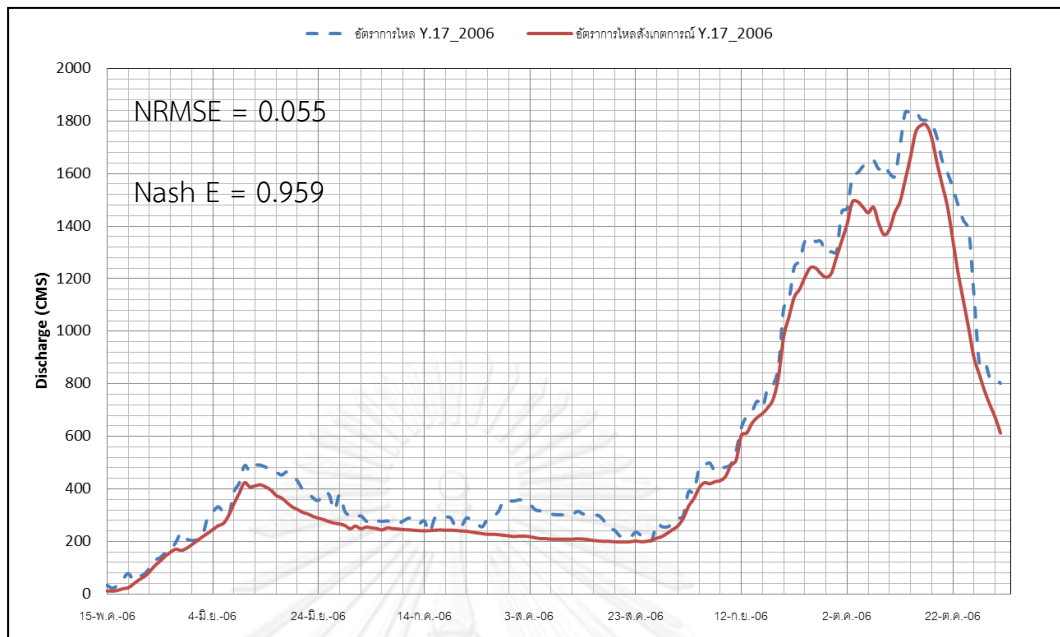
รูปที่ ๑-28 Scatter plot เปรียบเทียบอัตราการไหลจากแบบจำลองและข้อมูลสังเกตการณ์ของ สถานี Y.16 ปี ค.ศ. 2006



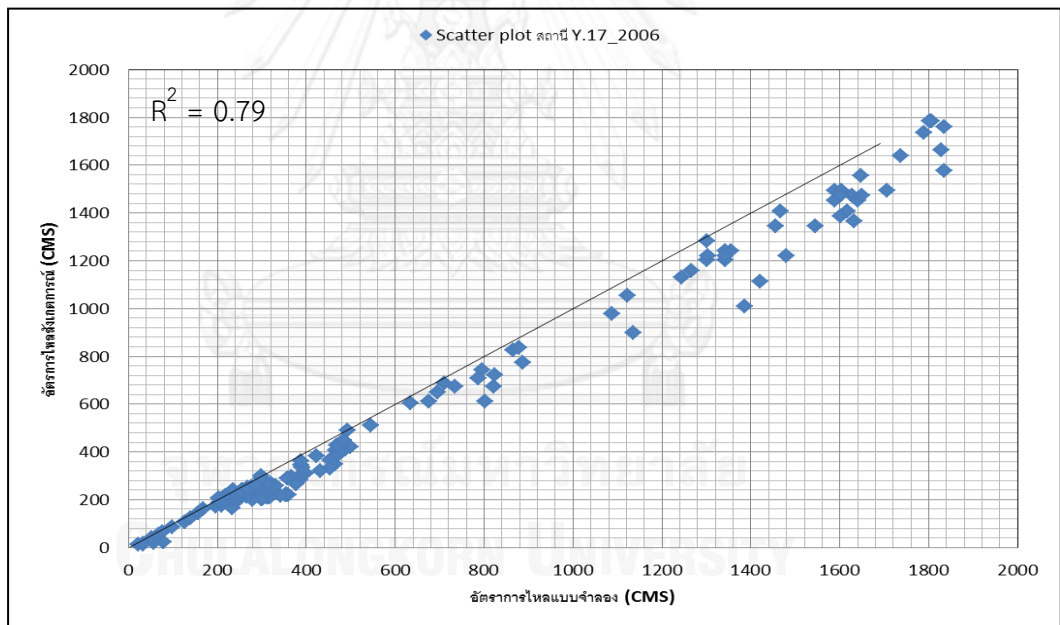
รูปที่ ฉ-29 ผลการสอบเทียบสภาพน้ำท่าของสถานี Y.17 ในปี ค.ศ 2002



รูปที่ ฉ-30 Scatter plot เปรียบเทียบอัตราการไหลจากแบบจำลองและข้อมูลสังเกตการณ์ของสถานี Y.17 ปี ค.ศ. 2002



รูปที่ ๓-31 ผลการสอบทานสภาพน้ำท่าของสถานี Y.17 ในปี ค.ศ 2006



รูปที่ ๓-32 Scatter plot เปรียบเทียบอัตราการไหลจากแบบจำลองและข้อมูลสังเกตการณ์ของสถานี Y.17 ปี ค.ศ. 2006

ภาคผนวก ข

ผลจำลองสภาพน้ำท่าจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ในปี ค.ศ. 2002 และ 2006



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ซ-1 สรุปผลการเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลสูงสุดและระดับน้ำสูงสุดจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ศึกษาในปี ค.ศ. 2002

สถานีวัด น้ำท่า	ที่ตั้ง	ร้อยละความคลาดเคลื่อนอัตราการไหลสูงสุด (%)			ร้อยละความคลาดเคลื่อน ระดับน้ำสูงสุด (%)			ร้อยละความคลาดเคลื่อน ปริมาตรน้ำหลาก (%)		
		(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
Y.20	อ.สอง จ. แพร่	+16.08	+7.68	-5.24	+0.40	+0.24	-0.15	-0.80	+24.48	+0.22
Y.1C	อ. เมือง จ. แพร่	+1.75	+14.52	-5.03	+0.50	+0.19	-0.86	+11.97	+19.33	+7.51
Y.14	อ. ศรีสชนาลัย จ. สุโขทัย	-1.32	+14.63	-9.38	+0.96	+0.91	-0.92	-13.85	+6.90	+4.62
Y.6	อ. ศรีสชนาลัย จ. สุโขทัย	-0.04	+10.47	+4.13	-0.50	+0.35	+1.39	-2.25	+20.21	+3.40
Y.3A	อ. สวรรคโลก จ. สุโขทัย	-9.70	+6.64	+7.01	-1.00	+0.09	+0.07	+0.48	+11.20	+13.80
Y.33	อ. ศรีสำโรง จ. สุโขทัย	+5.77	+26.92	+3.29	+1.90	+0.33	+0.41	+1.74	+7.53	+9.96
Y.16	อ. บางระกำ จ. พิษณุโลก	+14.22	+38.21	+7.99	+2.63	+0.19	+0.64	+11.21	+16.02	+10.97
Y.17	อ. สามง่าม จ. สุโขทัย	+7.02	+22.41	+10.17	+0.18	+0.56	-0.37	+4.43	+6.42	-0.60

หมายเหตุ: (1) หมายถึง แบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM 3.1S

(2) หมายถึง แบบจำลองภูมิอากาศโลก ECHAM5

(3) หมายถึง แบบจำลองภูมิอากาศโลก CSIRO-MK3.5

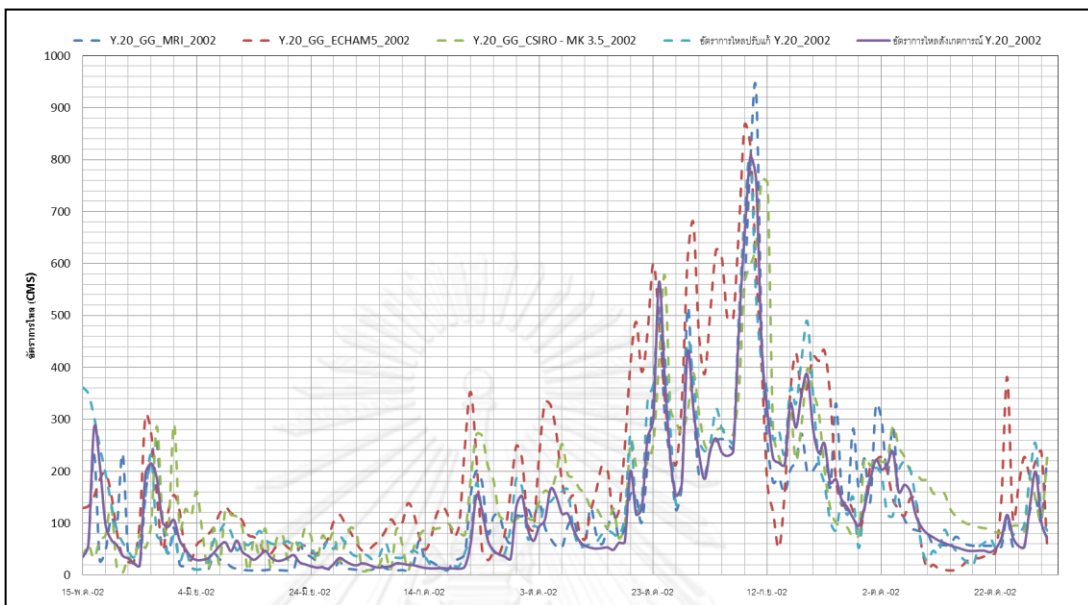
ตารางที่ ซ-2 สรุปผลการเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลสูงสุดและระดับน้ำสูงสุดจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ศึกษาในปี ค.ศ. 2006

สถานีวัด น้ำท่า	ที่ตั้ง	ร้อยละความคลาดเคลื่อนอัตราการไหลสูงสุด (%)			ร้อยละความคลาดเคลื่อน ระดับน้ำสูงสุด (%)			ร้อยละความคลาดเคลื่อน ปริมาตรน้ำหลาก (%)		
		(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
Y.20	อ.สอง จ. แพร่	+28.48	-6.41	-12.01	+0.80	-0.26	-0.33	+22.68	+36.51	+38.12
Y.1C	อ. เมือง จ. แพร่	+18.86	+21.58	+0.23	+0.24	+0.50	+0.25	-14.09	+4.40	-21.45
Y.14	อ. ศรีสชนาลัย จ. สุโขทัย	+15.74	+6.65	-4.54	+0.24	+0.50	-0.25	-2.68	+4.35	-3.21
Y.6	อ. ศรีสชนาลัย จ. สุโขทัย	+21.37	+20.56	+24.40	+2.04	-1.29	+0.63	-1.95	+1.98	+3.64
Y.3A	อ. สวรรคโลก จ. สุโขทัย	+10.03	-27.61	+18.30	+2.04	-0.24	+2.29	+4.36	+8.56	+8.62
Y.33	อ. ศรีสำโรง จ. สุโขทัย	+26.20	+13.06	+21.34	+1.50	+10.08	+3.96	+4.63	+6.34	+6.01
Y.16	อ. บางระกำ จ. พิษณุโลก	-3.58	-11.75	+7.39	-2.88	-5.48	+1.41	-4.91	+1.39	+2.64
Y.17	อ. สามง่าม จ. สุโขทัย	+4.62	+3.03	+0.31	+1.59	+1.27	+0.35	+1.26	+1.03	+5.39

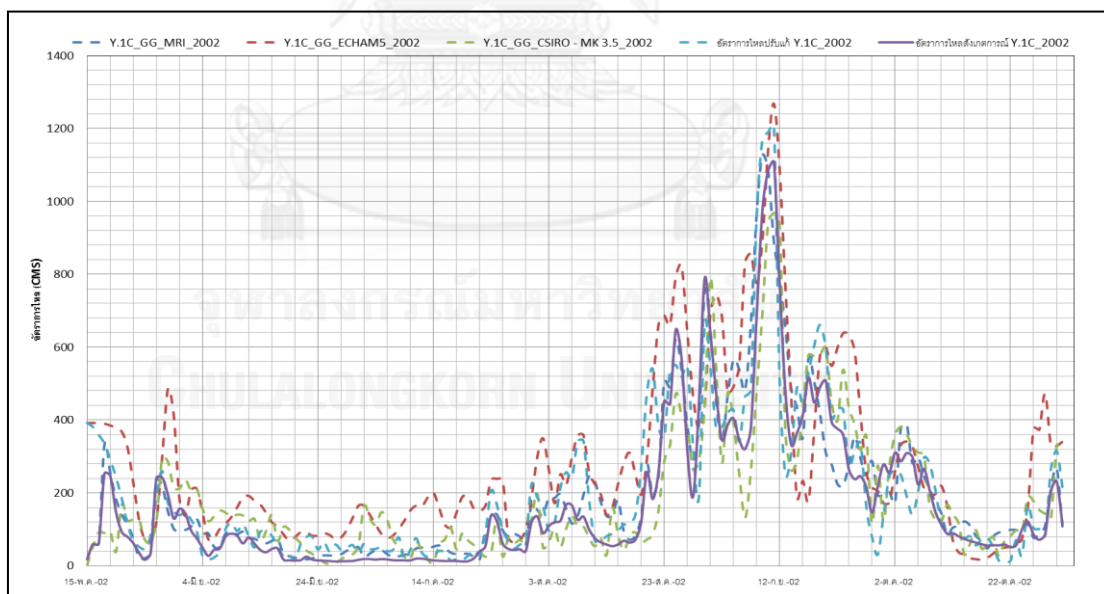
หมายเหตุ: (1) หมายถึง แบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM 3.1S

(2) หมายถึง แบบจำลองภูมิอากาศโลก ECHAM5

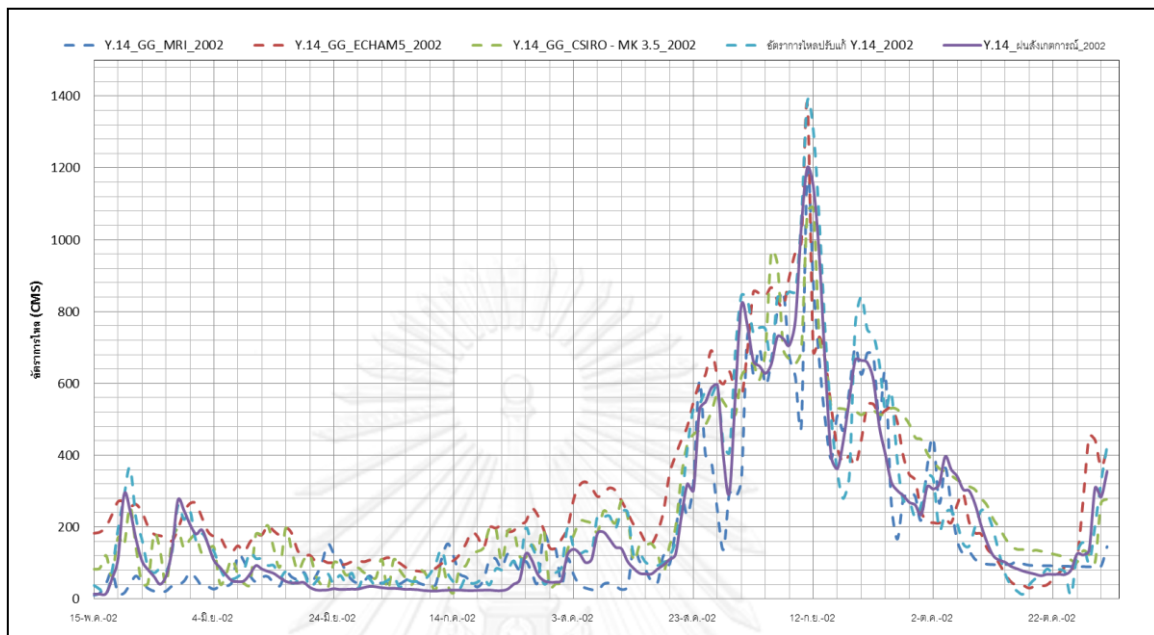
(3) หมายถึง แบบจำลองภูมิอากาศโลก CSIRO-MK3.5



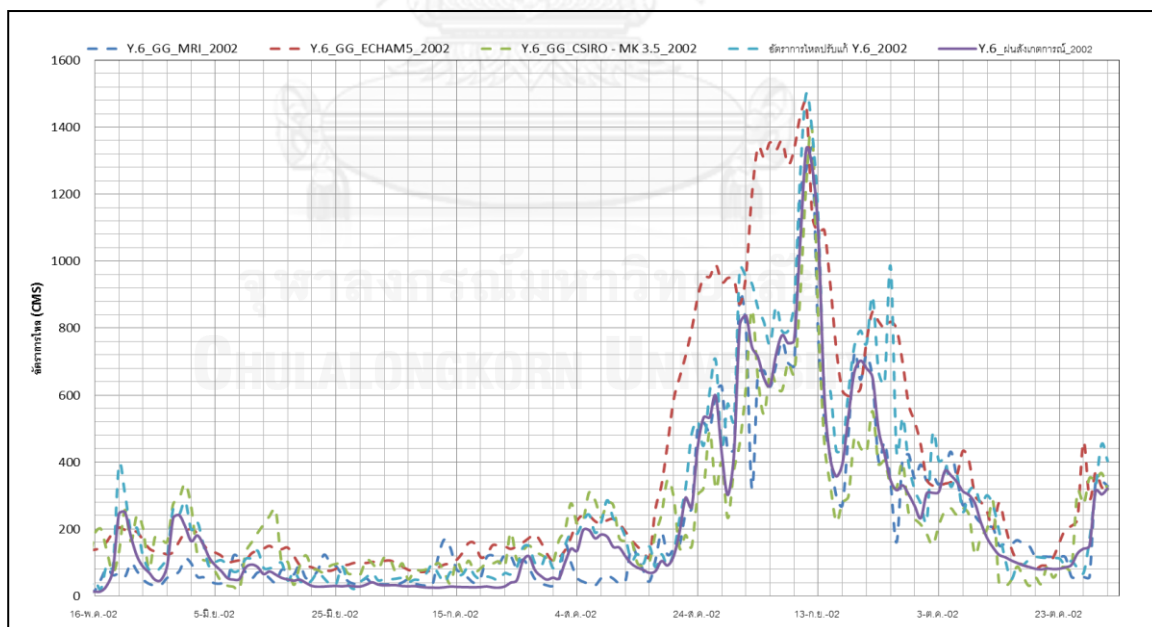
รูปที่ ข-1 ผลการจำลองอัตราการไหลผ่านสถานี Y.20 ในปี ค.ศ 2002 เปรียบเทียบระหว่างน้ำท่าสังเกตการณ์ และน้ำท่าจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM 3.1S ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5



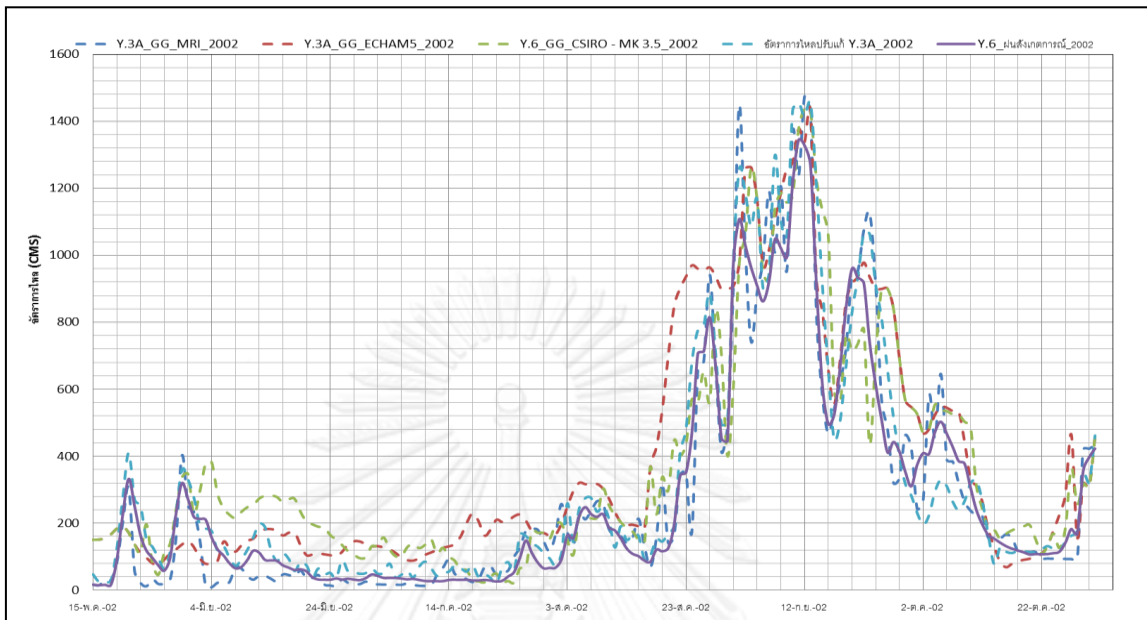
รูปที่ ข-2 ผลการจำลองอัตราการไหลผ่านสถานี Y.1C ในปี ค.ศ 2002 เปรียบเทียบระหว่างน้ำท่าสังเกตการณ์ และน้ำท่าจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM 3.1S ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5



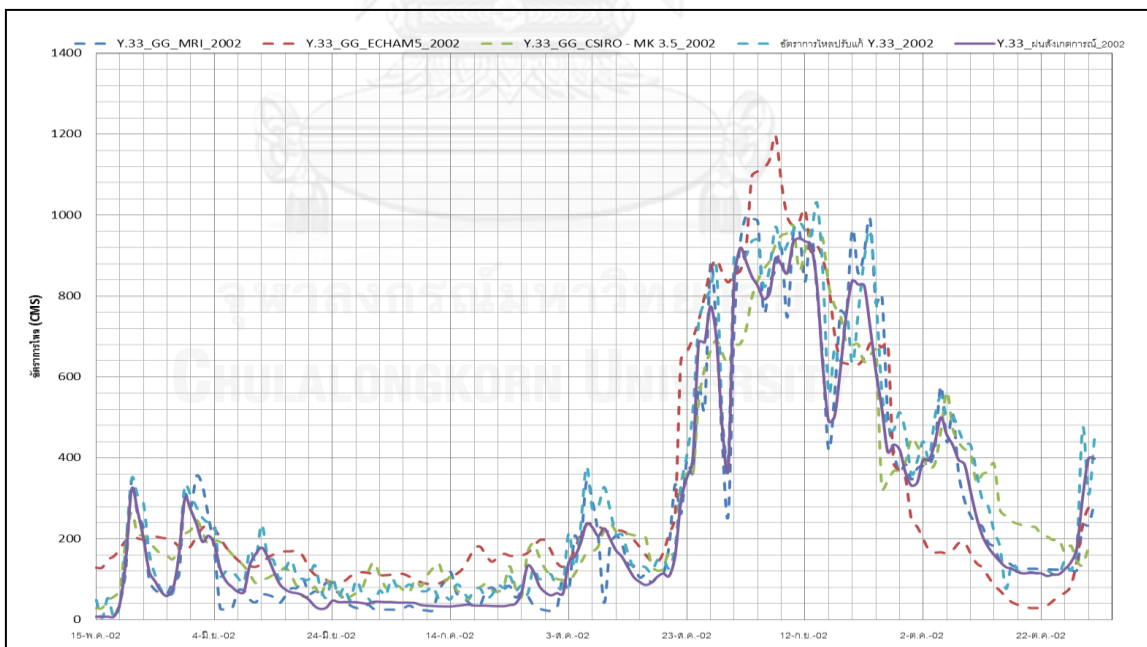
รูปที่ ช-3 ผลการจำลองอัตราการไหลผ่านสถานี Y.14 ในปี ค.ศ 2002 เปรียบเทียบระหว่างน้ำท่า
สังเกตการณ์ และน้ำท่าจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5



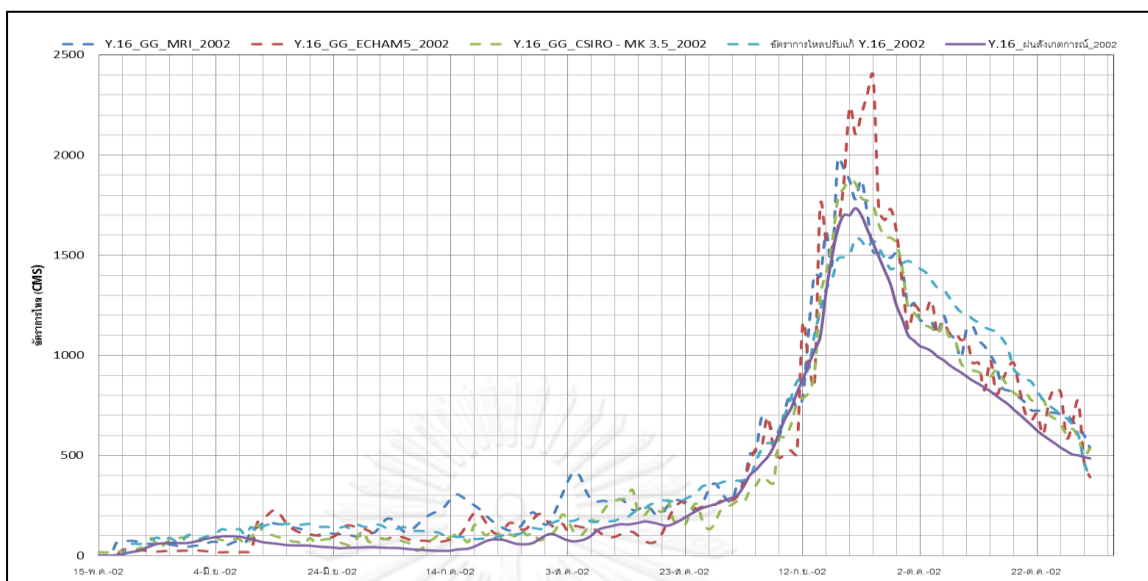
รูปที่ ช-4 ผลการจำลองอัตราการไหลผ่านสถานี Y.6 ในปี ค.ศ 2002 เปรียบเทียบระหว่างน้ำท่า
สังเกตการณ์ และน้ำท่าจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM 3.1S ECHAM5
และ CSIRO-MK3.5



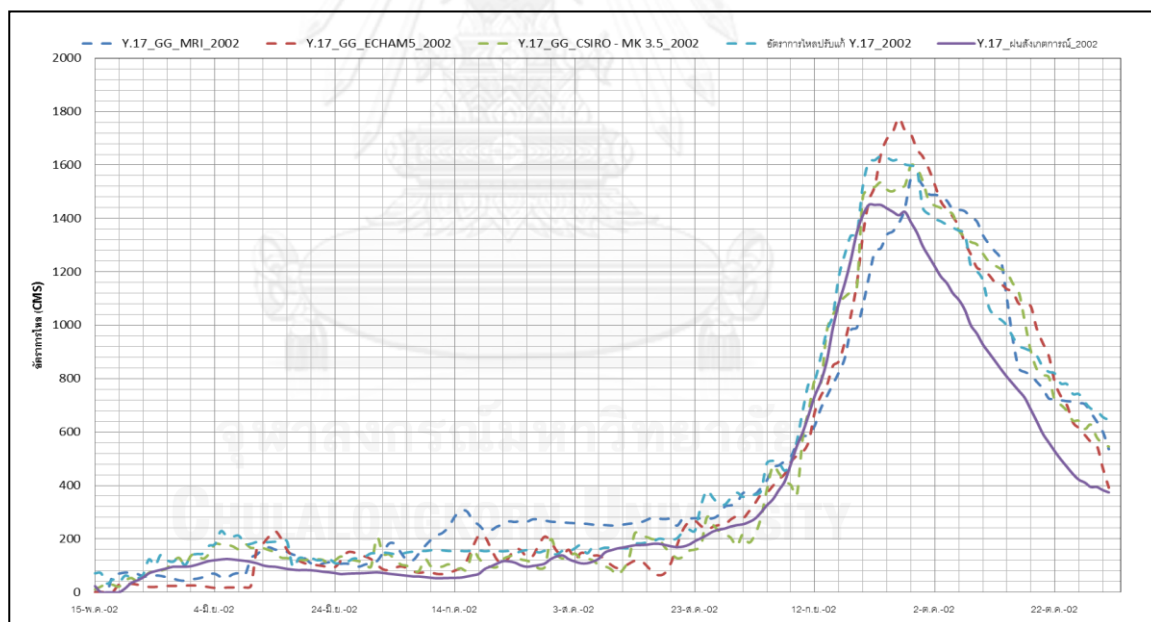
รูปที่ ช-5 ผลการจำลองอัตราการไหลผ่านสถานี Y.3A ในปี ค.ศ 2002 เปรียบเทียบระหว่างน้ำท่าสังเกตการณ์ และน้ำท่าจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM 3.1S ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5



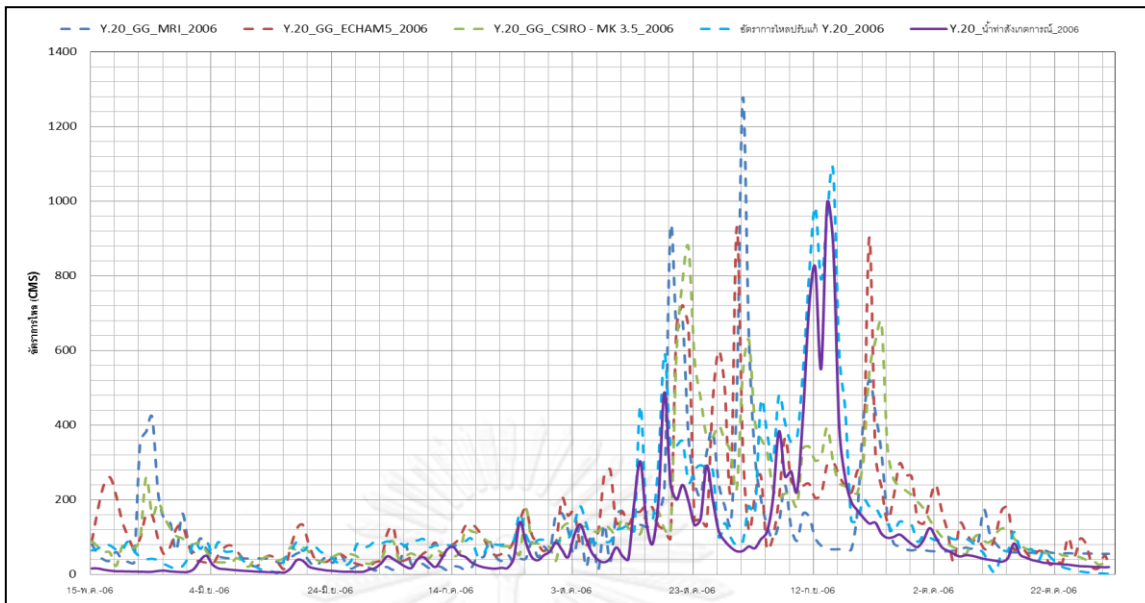
รูปที่ ช-6 ผลการจำลองอัตราการไหลผ่านสถานี Y.33 ในปี ค.ศ 2002 เปรียบเทียบระหว่างน้ำท่าสังเกตการณ์ และน้ำท่าจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM 3.1S ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5



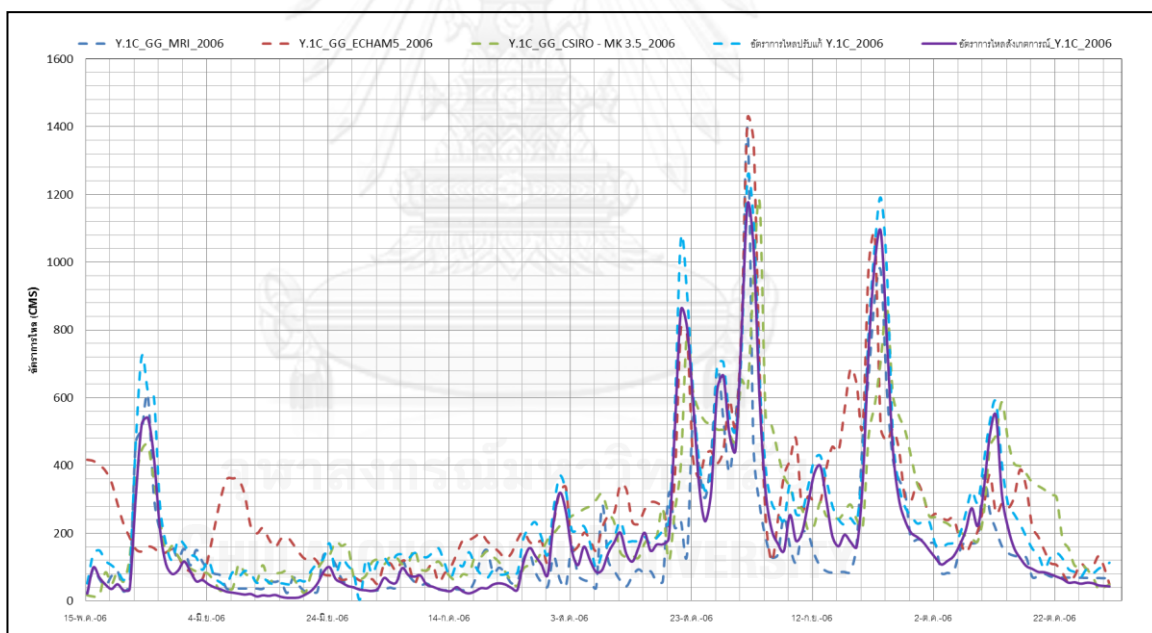
รูปที่ ข-7 ผลการจำลองอัตราการไหลผ่านสถานี Y.16 ในปี ค.ศ 2002 เปรียบเทียบระหว่างน้ำท่าสังเกตการณ์ และน้ำท่าจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM 3.1S ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5



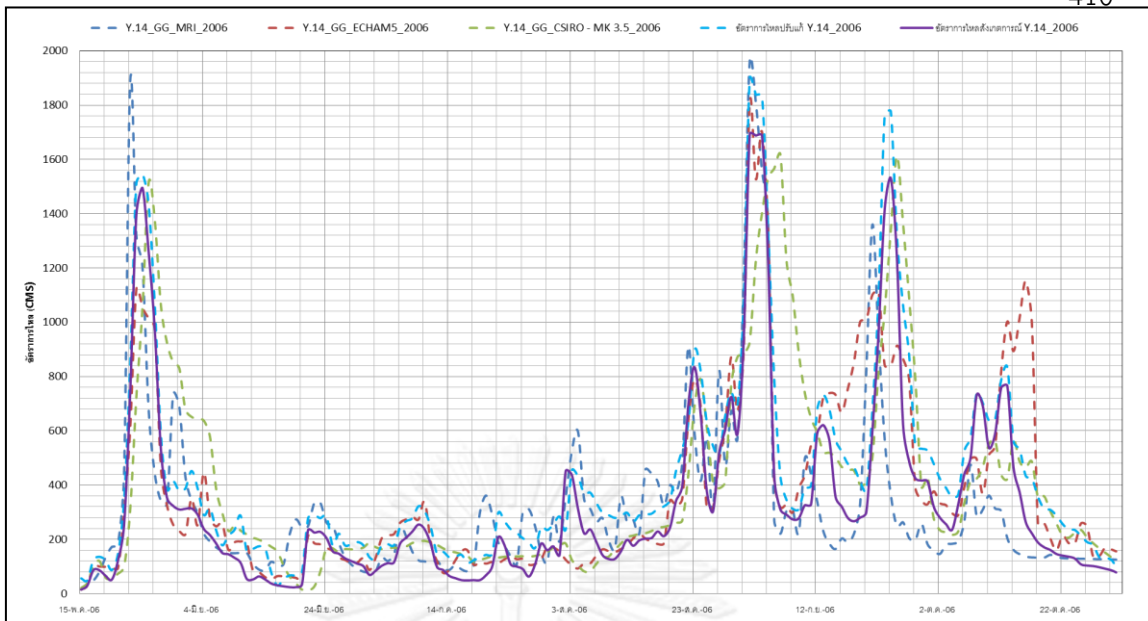
รูปที่ ข-8 ผลการจำลองอัตราการไหลผ่านสถานี Y.17 ในปี ค.ศ 2002 เปรียบเทียบระหว่างน้ำท่าสังเกตการณ์ และน้ำท่าจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM 3.1S ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5



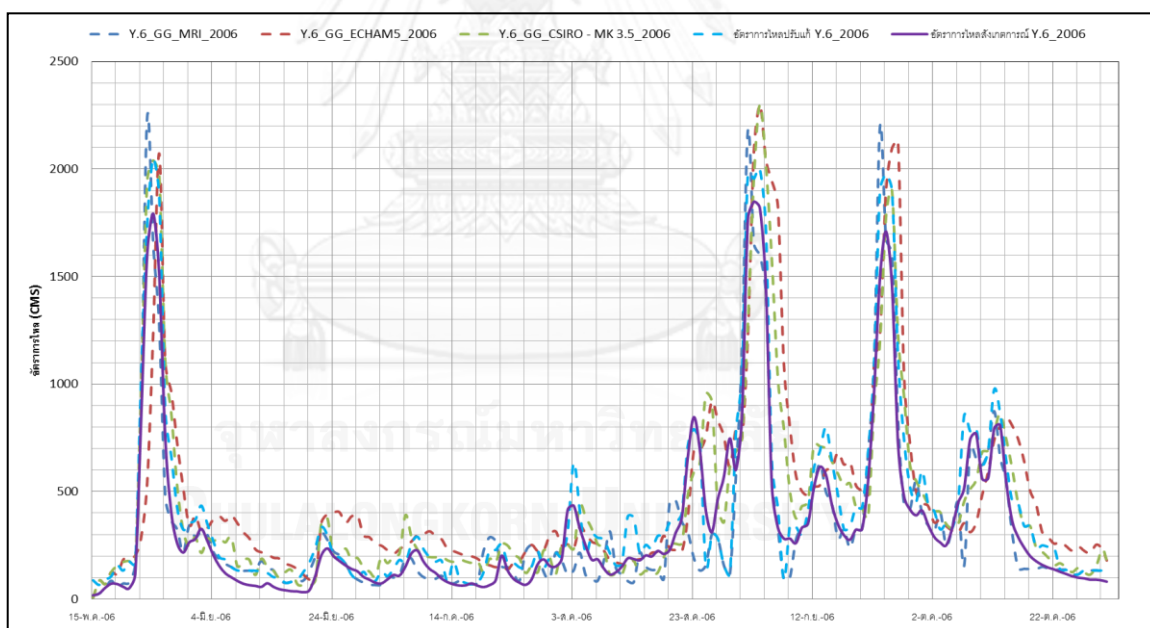
รูปที่ ช-9 ผลการจำลองอัตราการไหลผ่านสถานี Y.20 ในปี ค.ศ 2006 เปรียบเทียบระหว่างน้ำท่าสังเกตการณ์ และน้ำท่าจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM 3.1S ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5



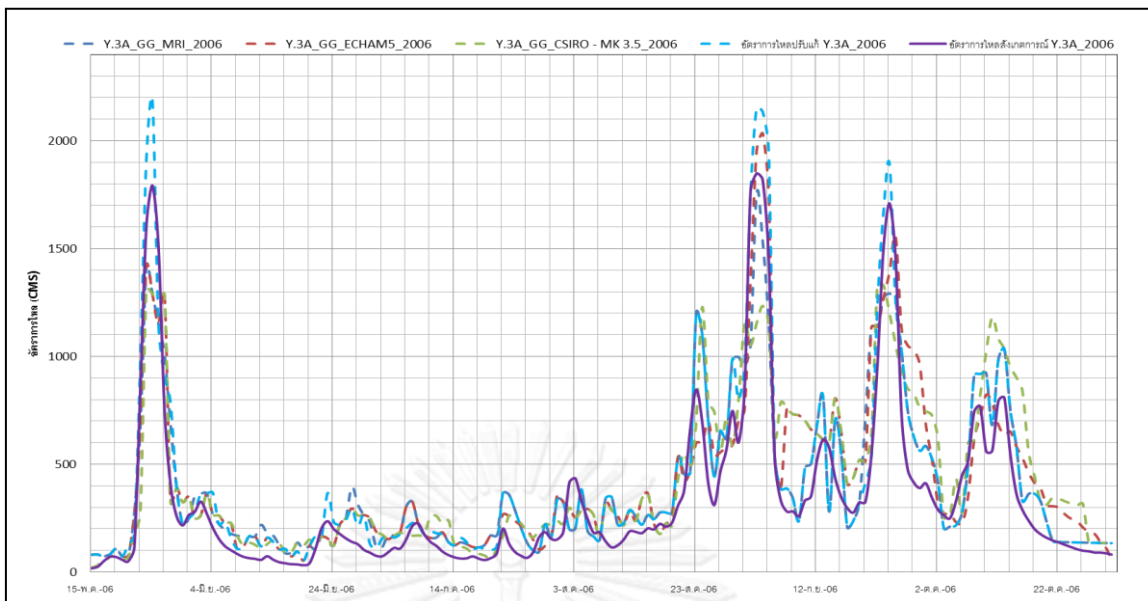
รูปที่ ช-10 ผลการจำลองอัตราการไหลผ่านสถานี Y.1C ในปี ค.ศ 2006 เปรียบเทียบระหว่างน้ำท่าสังเกตการณ์ และน้ำท่าจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM 3.1S ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5



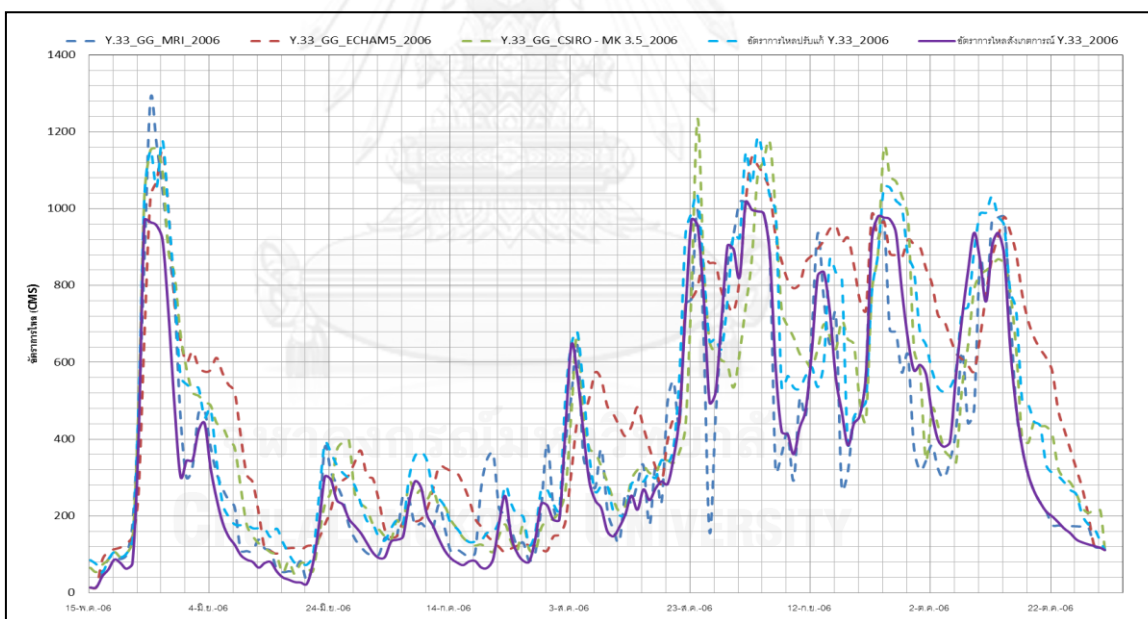
รูปที่ ข-11 ผลการจำลองอัตราการไหลผ่านสถานี Y.14 ในปี ค.ศ 2006 เปรียบเทียบระหว่างน้ำท่าสังเกตการณ์ และน้ำท่าจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM 3.1S ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5



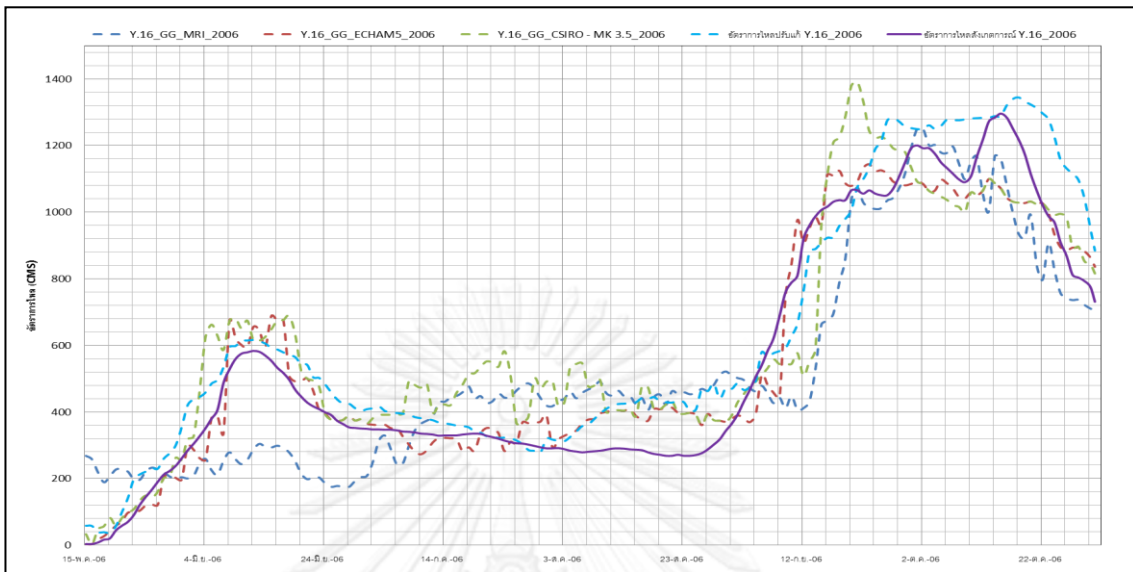
รูปที่ ข-12 ผลการจำลองอัตราการไหลผ่านสถานี Y.6 ในปี ค.ศ 2006 เปรียบเทียบระหว่างน้ำท่าสังเกตการณ์ และน้ำท่าจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM 3.1S ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5



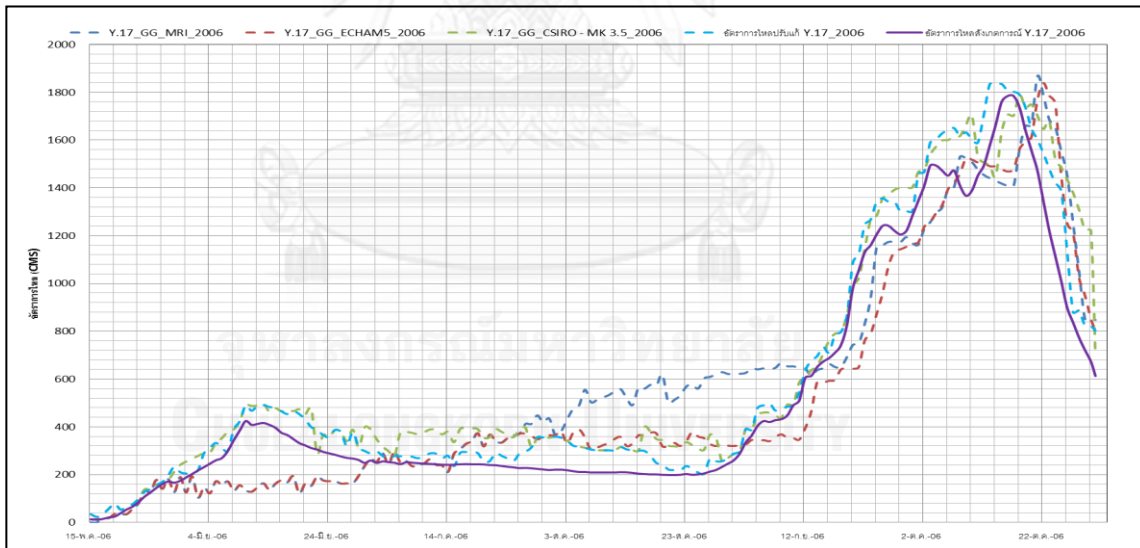
รูปที่ ช-13 ผลการจำลองอัตราการไหลผ่านสถานี Y.3A ในปี ค.ศ 2006 เปรียบเทียบระหว่างน้ำท่าสังเกตการณ์ และน้ำท่าจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM 3.1S ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5



รูปที่ ช-14 ผลการจำลองอัตราการไหลผ่านสถานี Y.33 ในปี ค.ศ 2006 เปรียบเทียบระหว่างน้ำท่าสังเกตการณ์ และน้ำท่าจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM 3.1S ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5



รูปที่ ข-15 ผลการจำลองอัตราการไหลผ่านสถานี Y.16 ในปี ค.ศ 2006 เปรียบเทียบระหว่างน้ำท่าสังเกตการณ์ และน้ำท่าจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM 3.1S ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5



รูปที่ ข-15 ผลการจำลองอัตราการไหลผ่านสถานี Y.17 ในปี ค.ศ 2006 เปรียบเทียบระหว่างน้ำท่าสังเกตการณ์ และน้ำท่าจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM 3.1S ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5

ภาคผนวก ซ

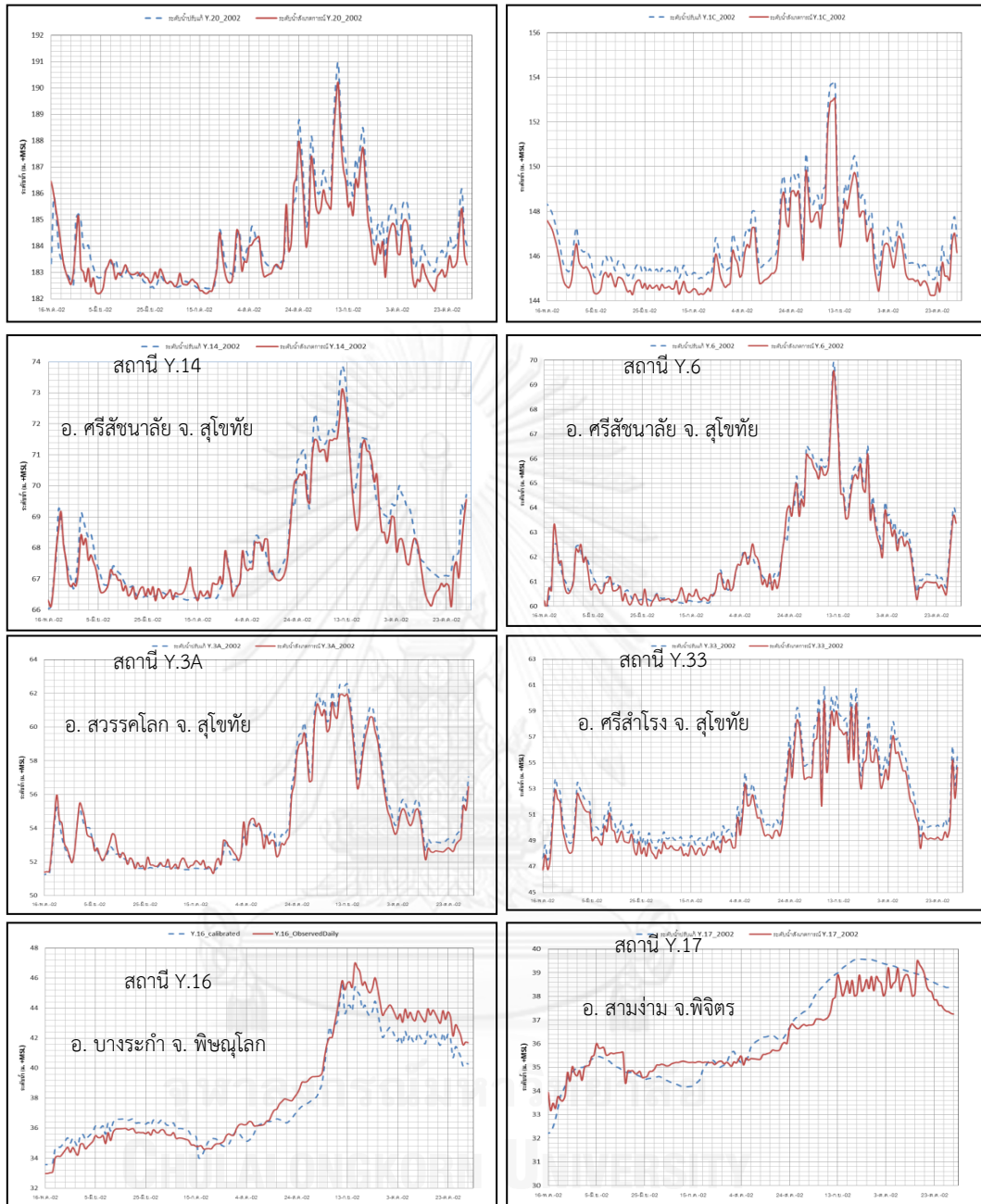
ผลการสอบเทียบแบบจำลอง HEC-RAS ด้วยข้อมูลปี ค.ศ. 2002 และ 2006



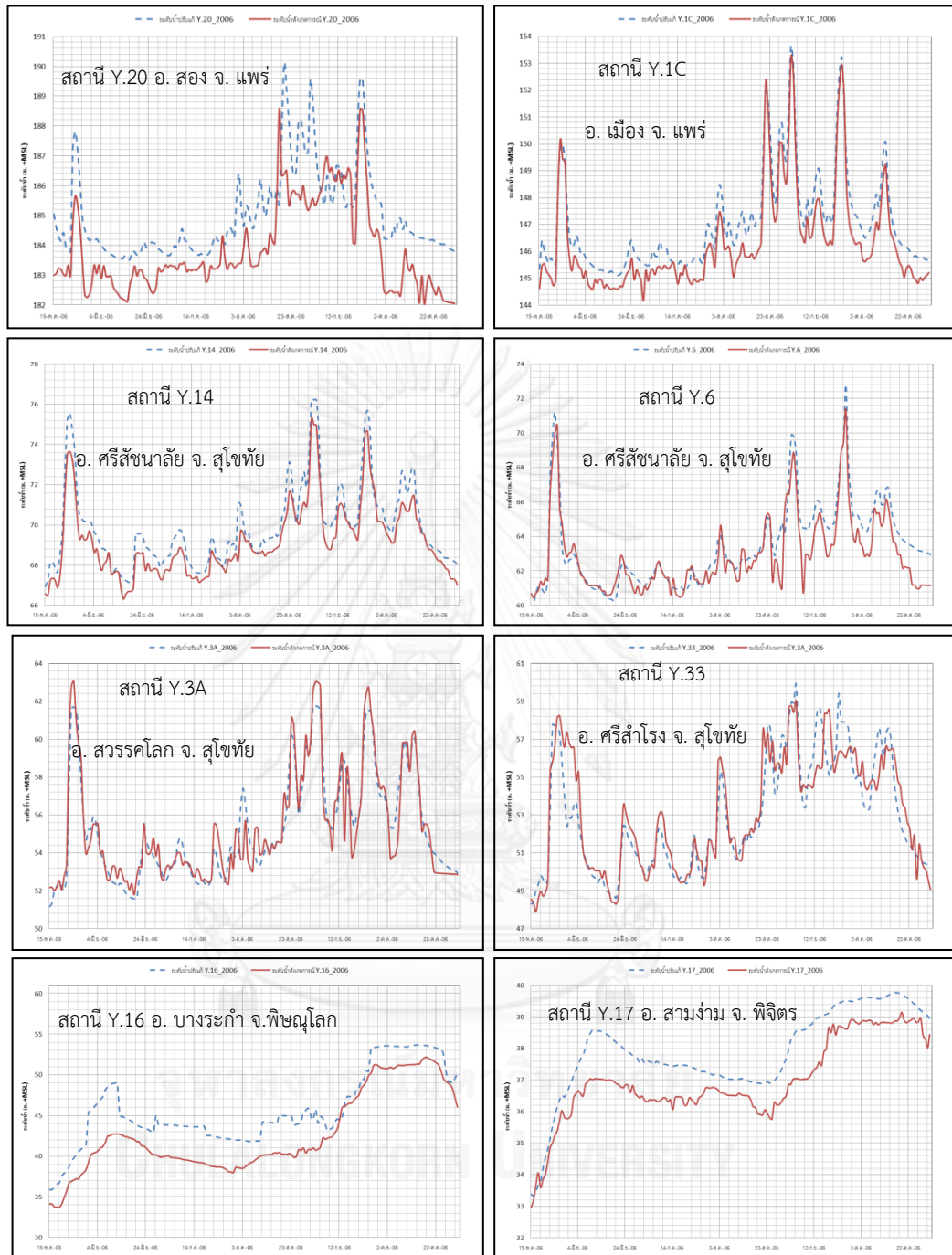
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตาราง ซ-1 ผลการปรับค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิง (Manning's n roughness coefficient) ของลำน้ำยมสายหลัก

ช่วงลำน้ำ	ระยะทาง	สัมประสิทธิ์ความขรุขระ, n	
		ในลำน้ำ	เหนือตลิ่ง
สถานี Y.20 ถึง สถานี Y.1C	กม. 0+000 ถึง 21 + 983	0.038	0.055
สถานี Y.1C ถึง สถานี Y.14	กม. 21+983 ถึง 27+846	0.042	0.045
สถานี Y.14 ถึง สถานี Y.6	กม. 27+846 ถึง 144+146	0.036	0.050
สถานี Y.6 ถึง สถานี Y.3A	กม. 144 + 146 ถึง 145 + 246	0.035	0.045
สถานี Y.3A ถึง สถานี Y.33	กม. 145 +246 ถึง 289+000	0.045	0.065
สถานี Y.33 ถึง สถานี Y.17	กม. 426+000 ถึง 550+000	0.045	0.085



รูปที่ ซ-1 ผลการปรับเทียบระดับน้ำผ่านสถานีวัดน้ำทำในกลุ่มน้ำยม ปี ค.ศ 2002 เปรียบเทียบระหว่างระดับน้ำสังเกตการณ์ และระดับน้ำจากการสอบเทียบแบบจำลอง HEC-RAS



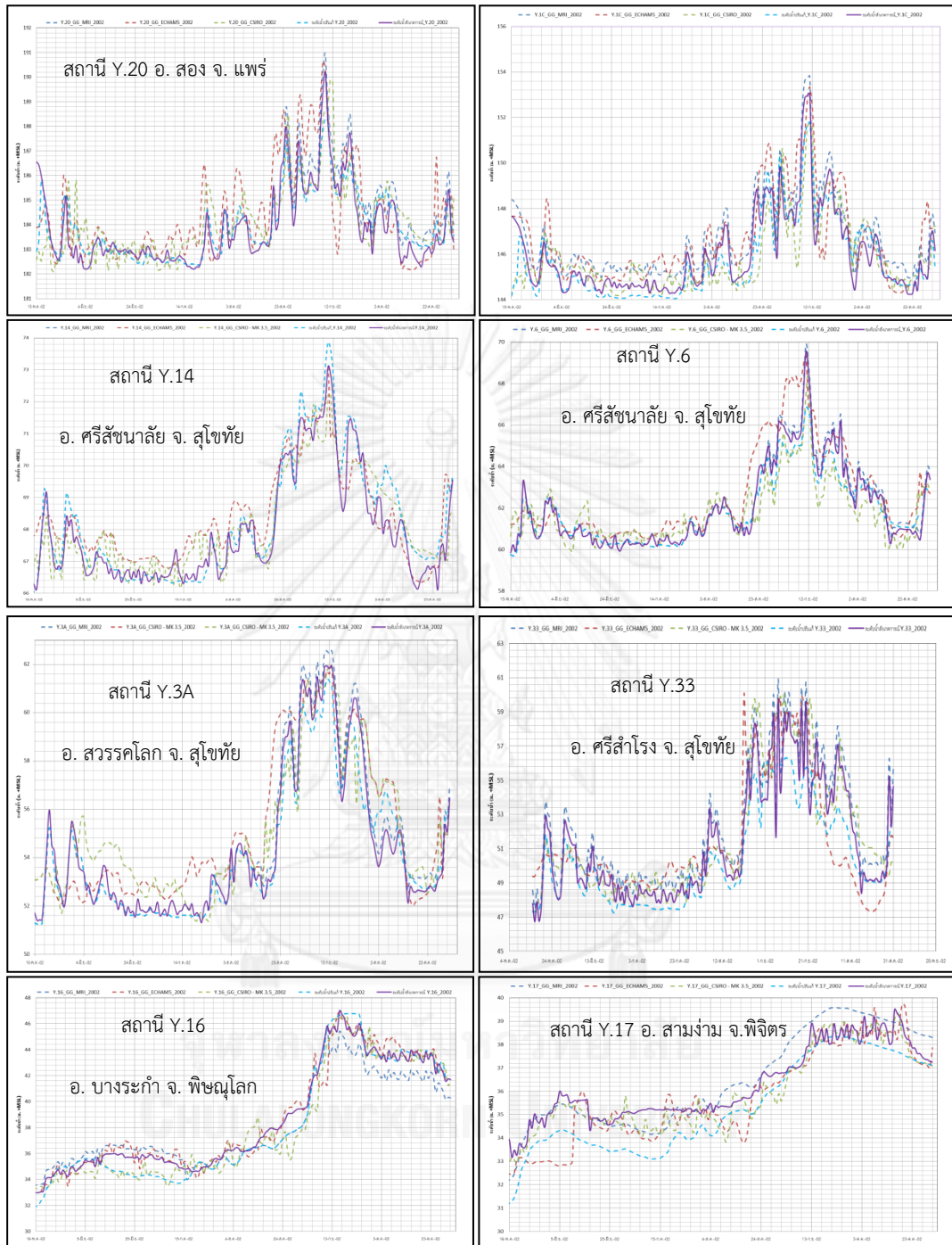
รูปที่ ซ-2 ผลการเปรียบเทียบระดับน้ำผ่านสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำยม ปี ค.ศ 2006 เปรียบเทียบระหว่างระดับน้ำสังเกตการณ์ และระดับน้ำจากการสอบทานแบบจำลอง HEC-RAS

ภาคผนวก ฅ

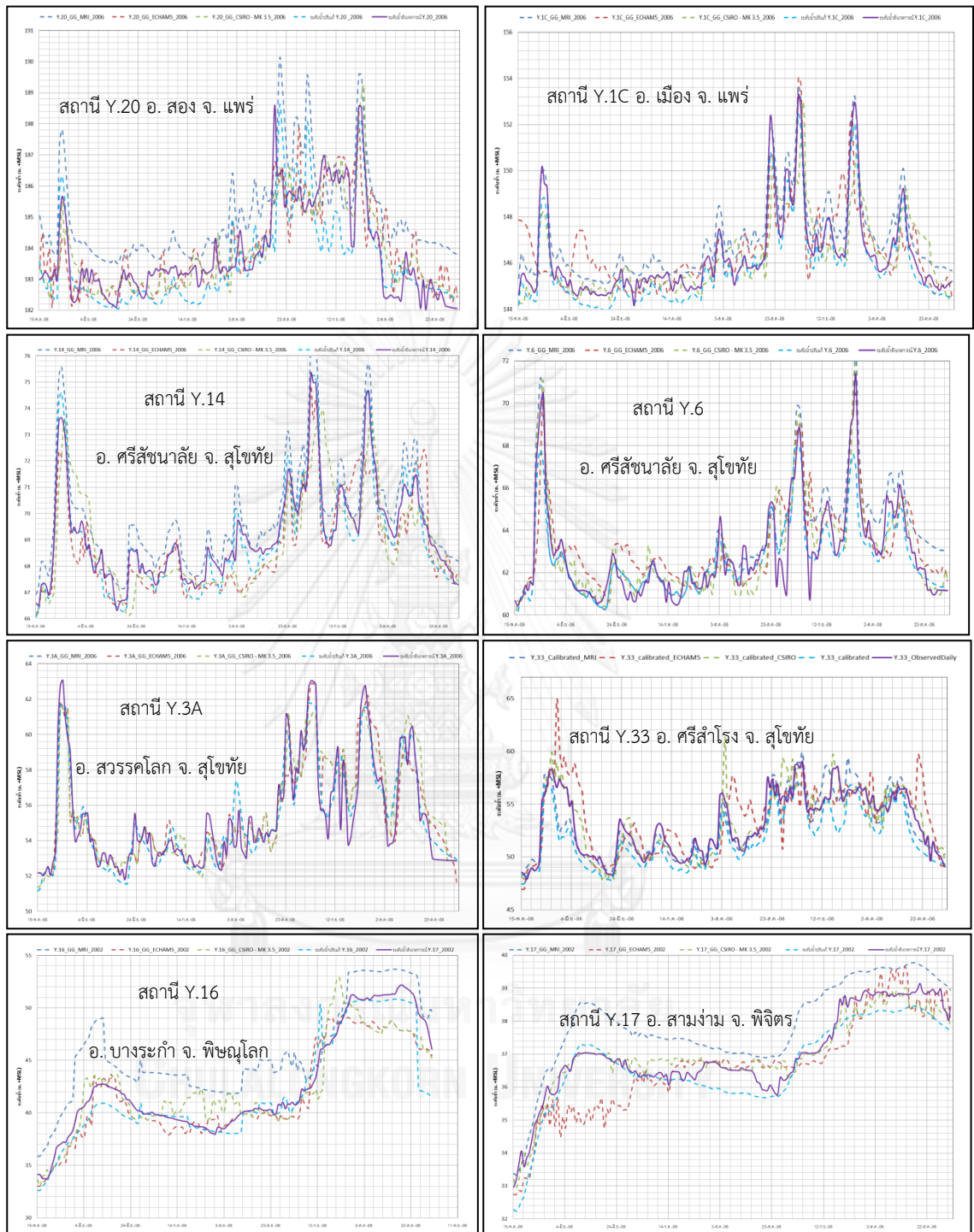
ผลการจำลองระดับน้ำจากแบบจำลอง HEC-HMS ในสภาพปัจจุบัน



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ ฌ-1 ผลการปรับเทียบระดับน้ำผ่านสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำยม ปี ค.ศ 2002 เปรียบเทียบระหว่างระดับน้ำสังเกตการณ์ และระดับน้ำจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI



รูปที่ ๘-2 ผลการเปรียบเทียบระดับน้ำผ่านสถานีวัดน้ำทำในลุ่มน้ำยม ปี ค.ศ 2006 เปรียบเทียบระหว่างระดับน้ำสังเกตการณ์ และระดับน้ำจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5

ภาคผนวก ญ
ผลสรุปการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนของกลุ่มน้ำยมในอนาคต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ญ-1 สรุปการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนรายปีของกลุ่มน้ำยมในแต่ละคาบการเกิดซ้ำจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกในอนาคตเทียบกับปัจจุบัน

ฝนสูงสุด	คาบการเกิดซ้ำ (ปี)	การเปลี่ยนแปลงของฝนในแต่ละแบบจำลองภูมิอากาศโลกเทียบกับปัจจุบัน (%)						ช่วงพิสัยการเปลี่ยนแปลงระหว่างแบบจำลอง (%)			
		MRI		ECHAM5		CSIRO-MK3.5		NF		FF	
		NF	FF	NF	FF	NF	FF	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
ฝนรายปี (มม.)	5 ปี	-4.79%	-1.45%	+3.29%	+8.38%	-1.83%	-1.97%	+3.29%	-4.79%	+8.38%	-1.97%
	10 ปี	-4.91%	-1.28%	+3.68%	+9.79%	-1.85%	-1.90%	+3.68%	-4.91%	+9.79%	-1.90%
	15 ปี	-4.97%	-1.19%	+3.88%	+10.52%	-1.86%	-1.87%	+3.88%	-4.97%	+10.52%	-1.87%
	20 ปี	-5.01%	-1.13%	+4.01%	+10.99%	-1.87%	-1.84%	+4.01%	-5.01%	+10.99%	-1.84%
	25 ปี	-5.04%	-1.09%	+4.11%	+11.35%	-1.88%	-1.83%	+4.11%	-5.04%	+11.35%	-1.83%
	50 ปี	-5.12%	-0.96%	+4.40%	+12.37%	-1.89%	-1.78%	+4.40%	-5.12%	+12.37%	-1.78%
	75 ปี	-5.17%	-0.90%	+4.55%	+12.91%	-1.90%	-1.75%	+4.55%	-5.17%	+12.91%	-1.75%
	100 ปี	-5.20%	-0.85%	+4.65%	+13.28%	-1.91%	-1.73%	+4.65%	-5.20%	+13.28%	-1.73%

หมายเหตุ: NF = ช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039)

FF = ช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099)

ตารางที่ ๒-2 สรุปการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนฤดูฝนของกลุ่มน้ำยมแต่ละคาบการเกิดซ้ำจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกในอนาคตเทียบกับปัจจุบัน

ฝนสูงสุด	คาบการเกิดซ้ำ (ปี)	การเปลี่ยนแปลงของฝนในแต่ละแบบจำลองภูมิอากาศโลก เทียบกับปัจจุบัน (%)						ช่วงพิสัยการเปลี่ยนแปลงระหว่างแบบจำลอง (%)			
		MRI		ECHAM5		CSIRO-MK3.5		NF		FF	
		NF	FF	NF	FF	NF	FF	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
ฝนฤดูฝน (มม.)	5 ปี	-0.01%	+3.89%	+2.05%	+10.22%	+2.20%	+1.66%	+2.20%	-0.01%	+10.22%	+3.89%
	10 ปี	-0.71%	+3.69%	+2.70%	+13.03%	+1.83%	+1.11%	+2.70%	-0.71%	+13.03%	+3.69%
	15 ปี	-1.07%	+3.58%	+3.03%	+14.47%	+1.65%	+0.84%	+3.03%	-1.07%	+14.47%	+3.58%
	20 ปี	-1.31%	+3.51%	+3.25%	+15.43%	+1.53%	+0.66%	+3.25%	-1.31%	+15.43%	+3.51%
	25 ปี	-1.48%	+3.46%	+3.42%	+16.14%	+1.44%	+0.53%	+3.42%	-1.48%	+16.14%	+3.46%
	50 ปี	-1.99%	+3.32%	+3.89%	+18.18%	+1.19%	+0.16%	+3.89%	-1.99%	+18.18%	+3.32%
	75 ปี	-2.26%	+3.24%	+4.14%	+19.28%	+1.06%	-0.04%	+4.14%	-2.26%	+19.28%	+3.24%
	100 ปี	-2.45%	+3.19%	+4.32%	+20.02%	+0.97%	-0.17%	+4.32%	-2.45%	+20.02%	+3.19%

หมายเหตุ: NF = ช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039)

FF = ช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099)

ตารางที่ ญ-3 สรุปการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนรายเดือนของกลุ่มน้ำยมแต่ละคาบการเกิดซ้ำจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกในอนาคตเทียบกับปัจจุบัน

ฝน	เดือน	การเปลี่ยนแปลงของฝนในแต่ละแบบจำลองภูมิอากาศโลก เทียบกับปัจจุบัน (%)						ช่วงพิสัยการเปลี่ยนแปลงระหว่างแบบจำลอง (%)			
		MRI		ECHAM5		CSIRO-MK3.5		NF		FF	
		NF	FF	NF	FF	NF	FF	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
ฝนรายเดือน (มม.)	ม.ค.	+168.66	+42.34	+59.11	+46.51	-61.59	-51.76	+168.66	-61.59	+46.51	-51.76
	ก.พ.	+131.41	+27.65	+154.50	+44.40	-72.31	-70.15	+131.41	-72.31	+44.40	-70.15
	มี.ค.	+40.64	+12.75	+45.05	+11.56	-86.67	-81.42	+45.05	-86.67	+12.75	-81.42
	เม.ย.	+22.28	+25.89	+22.58	+3.47	-82.95	-83.71	+22.58	-82.95	+25.89	-83.71
	พ.ค.	-13.80	-2.19	+2.74	+3.23	-65.41	-66.77	+2.74	-65.41	+3.23	-66.77
	มิ.ย.	-5.69	+14.22	+6.53	+27.20	+77.91	+79.23	+77.91	-5.69	+79.23	+14.22
	ก.ค.	-6.45	+6.28	+10.48	+29.58	+89.24	+87.69	+89.24	-6.45	+87.69	+6.28
	ส.ค.	-4.64	+2.80	+15.03	+17.33	+38.28	+37.15	+38.28	-4.64	+37.15	+2.80
	ก.ย.	-2.88	+9.04	-22.06	-8.78	-28.90	-24.45	-2.88	-28.90	+9.04	-24.45
	ต.ค.	-6.96	-4.90	+20.68	+42.39	-76.15	-70.93	+20.68	-76.15	+42.39	-70.93
	พ.ย.	+31.97	-45.45	+56.16	+67.25	-72.21	-68.20	+56.16	-72.21	+67.25	-68.20
	ธ.ค.	-5.81	-61.85	+33.88	-50.57	-68.93	-59.47	+33.88	-68.93	-50.57	-61.85

หมายเหตุ: NF = ช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039)

FF = ช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099)

ภาคผนวก ก
สรุปแบบสอบถามการปรับตัวต่อสภาพอุทกภัยและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผลการสรุปแบบสอบถามการปรับตัวต่อสภาพอุทกภัยและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก

กฎ-1 ผลสรุปแบบสอบถาม (ดำเนินการสำรวจระหว่างวันที่ 26-28 กรกฎาคม พ.ศ. 2554)

1. ผลการวิเคราะห์แบบสอบถาม

ข้อมูลทั่วไป

1) อาชีพและรายได้

กลุ่มชาวบ้านในเทศบาลเมืองสุโขทัย

ผลสำรวจภาคสนามพบว่า กลุ่มตัวอย่างประกอบอาชีพค้าขายเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉลี่ยมีรายได้ต่อเดือนระหว่าง 10,000–50,000 บาท ต่อครัวเรือน

กลุ่มเกษตรกร

ผลสำรวจภาคสนามพบว่า ประชากรตัวอย่างประกอบอาชีพทำนาหรือเกษตรกรรมเป็นส่วนใหญ่ เว้นแต่พื้นที่ตำบลคลองกระจง อำเภอสวรรคโลกที่ประกอบอาชีพทำสวน เช่น เพาะปลูกกล้วยเพื่อขายใบตอง มะพร้าว ละคร เป็นต้น ชาวบ้านที่ประกอบอาชีพทำนา ส่วนมากมีรายได้ต่อปีตั้งแต่ 30,000–100,000 บาทต่อครัวเรือน ชาวบ้านที่ประกอบอาชีพทำสวน ส่วนมากมีรายได้ต่อปีตั้งแต่ 100,000–200,000 บาทต่อครัวเรือน

2) ข้อมูลการเพาะปลูก

จากการสำรวจภาคสนามพบว่า พื้นที่ถือครองของประชากรตัวอย่างที่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมมีพื้นที่ถือครองตั้งแต่ 10–60 ไร่ พันธุ์ข้าวที่ใช้ปลูกคือ สุพรรณบุรี พิษณุโลกชัยนาท และปทุมธานี เวลาที่ใช้ในการเพาะปลูกมีตั้งแต่ 60, 90, 105, 110, 115 และ 120 วัน ส่วนประชากรตัวอย่างที่ประกอบอาชีพทำสวนมี 50–90 คน มีพื้นที่ถือครองตั้งแต่ 2 ไร่ขึ้นไป มากที่สุดถึง 70 ไร่ โดยเฉลี่ยมีผลผลิตเท่ากับ 120 ถึงต่อไร่

ระบบการเพาะปลูกพืชของประชากรตัวอย่างที่ประกอบอาชีพทำนา พบว่าปลูกข้าวปีละสองครั้งมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 90 ของพื้นที่ตำบลไกรโนและปากพระ ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 10 ปลูกข้าวปีละสามครั้ง

3) ประสบการณ์อุทกภัย/ความช่วยเหลือที่เคยได้รับ

กลุ่มชาวบ้านในเทศบาลเมืองสุโขทัย

ผลการสำรวจภาคสนามพบว่า ประชากรกลุ่มตัวอย่างมีประสบการณ์อุทกภัยมากที่สุดร้อยละ 87 ในปี พ.ศ. 2549 และส่วนใหญ่จะประสบเหตุการณ์อุทกภัยเพียงปีละหนึ่งครั้ง เหตุการณ์อุทกภัยที่เกิดขึ้นไม่ทำให้เกิดความเสียหายแก่ระบบสาธารณูปโภค เช่น ไฟฟ้า โทรศัพท์ ประปา ถูกรบกวน ข้าวของเครื่องใช้ในบ้าน ตัวบ้าน หรือคนรอบข้างได้รับบาดเจ็บ หรือเสียชีวิตใดๆ ทั้งสิ้น จากการสัมภาษณ์ พบว่า ประชากรกลุ่มตัวอย่างได้มีการเตรียมการและป้องกันเหตุการณ์อุทกภัยไว้ล่วงหน้าจากประสบการณ์ที่ผ่านมา อาทิเช่น ยกพื้นบ้านให้สูงขึ้น และย้ายข้าวของขึ้นชั้นบนล่วงหน้า เป็นต้น

กลุ่มเกษตรกร

ผลการสำรวจภาคสนามพบว่า ประชากรกลุ่มตัวอย่างนอกเขตเมืองมีประสบการณ์อุทกภัยมากที่สุดกว่าร้อยละ 70 ส่วนใหญ่ประสบกับปัญหาอุทกภัยทุกปี นับตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2547-2554 และส่วนใหญ่จะประสบเหตุการณ์อุทกภัยเพียงปีละหนึ่งครั้งถึงมากกว่าปีละสามครั้ง คิดเป็นร้อยละ 44 และ 24 ของจำนวนผู้ตอบแบบสอบถาม ตามลำดับ ความเสียหายต่อสาธารณูปโภคโดยหลัก ได้แก่ ไฟฟ้า โทรศัพท์ ประปา แต่ไม่พบว่ามีบาดเจ็บหรือสูญเสียชีวิตแต่อย่างใด

4) ความรู้สึกต่อเหตุการณ์อุทกภัย

กลุ่มชาวบ้านในเทศบาลเมืองสุโขทัย

ความรู้สึกที่ประชากรกลุ่มตัวอย่างในเขตเมืองมีขณะเกิดเหตุการณ์อุทกภัยนั้น รู้สึกกังวลใจมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 37 รองลงมาคือความรู้สึกสิ้นหวัง คิดเป็นร้อยละ 13 และที่เหลือแสดงความคิดเห็นว่า รู้สึกเคยชินและเฉยๆ ต่อเหตุการณ์อุทกภัยที่เกิดขึ้น

กลุ่มเกษตรกร

ความรู้สึกที่ประชากรกลุ่มตัวอย่างนอกเขตเมืองมีขณะเกิดเหตุการณ์อุทกภัยนั้น รู้สึกสิ้นหวังและกังวลใจมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 33 และ 26 ตามลำดับ รองลงมาคือรู้สึกกลัวคิดเป็นร้อยละ 21 มีความรู้สึกแค่ตกใจ ร้อยละ 5 ส่วนที่เหลือไม่แสดงความคิดเห็น

5) ความช่วยเหลือฟื้นฟูหลังเหตุการณ์อุทกภัย

กลุ่มชาวบ้านในเทศบาลเมืองสุโขทัย

ผลการสำรวจภาคสนามพบว่า ประชากรกลุ่มตัวอย่างในเขตเมือง ส่วนมากได้รับการช่วยเหลือจากหน่วยงานราชการ คิดเป็นร้อยละ 60 และบางส่วนไม่ได้รับความช่วยเหลือ เพราะช่วยเหลือตัวเองก่อน หน่วยงานที่เข้ามาช่วยเหลือในพื้นที่คือเทศบาลเมืองสุโขทัย สิ่งที่ได้รับจากการช่วยเหลือก็คือ กระสอบทราย ถุงยังชีพ ยารักษาโรค ข้าวสาร และอาหารแห้ง และปีล่าสุดที่ประชากรกลุ่มตัวอย่างในเขตเมืองได้รับการช่วยเหลือหลังจากเหตุการณ์อุทกภัยคือปี พ.ศ. 2549 และ 2554

กลุ่มเกษตรกร

ผลการสำรวจภาคสนามพบว่า กลุ่มเกษตรกร ส่วนมากได้รับการช่วยเหลือจากหน่วยงานราชการ คิดเป็นร้อยละ 85 โดยหน่วยงานที่เข้ามาช่วยเหลือคือ อบต. ผู้ใหญ่บ้าน ผู้นำชุมชน สหกรณ์เพื่อการเกษตร ธนาคารเกษตรและสหกรณ์ ป้องกันภัยประจำอำเภอ และหน่วยกาชาดนำมอบของพระราชทาน และปีล่าสุดที่ประชากรกลุ่มตัวอย่างในเขตเมืองได้รับการช่วยเหลือหลังจากเหตุการณ์อุทกภัยคือ ปี พ.ศ. 2549 และ 2554

6) สภาพปัญหาและอุปสรรคต่อการปรับตัว/การตระหนักรับรู้ต่อปัญหาอุทกภัยและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก

สาเหตุของการเกิดอุทกภัย

กลุ่มชาวบ้านในเทศบาลเมืองสุโขทัย

จากการสำรวจภาคสนามพบว่า ปัจจัยที่ทำให้เกิดอุทกภัยในเขตเมืองสุโขทัยโดยความคิดเห็นของชาวบ้านมาจากน้ำไหลป่าเข้าท่วมพื้นที่ ปริมาณน้ำฝนมาก และระดับน้ำแม่น้ำยมที่สูงขึ้น คิดเป็นร้อยละ 26 23 และ 23 ตามลำดับ และบางส่วนมีความคิดเห็นว่า เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศ คิดเป็นร้อยละ 10 ที่เหลือเกิดจากอัตราการปล่อยน้ำจากเขื่อน สถานีระบายน้ำ พายุ/ลมมรสุม พัดผ่าน และการทรุดตัวของดิน

กลุ่มเกษตรกร

จากการสำรวจภาคสนามพบว่า ปัจจัยที่ทำให้เกิดอุทกภัยนอกเขตเมืองสุโขทัยมาจากปริมาณน้ำฝนมาก น้ำไหลป่าเข้าท่วมพื้นที่ และระดับน้ำแม่น้ำยมที่สูงขึ้น คิดเป็นร้อยละ 25 24 และ 17 ตามลำดับ และบางส่วนมีความคิดเห็นว่า เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ คิดเป็นร้อยละ

11 การตระหนักและรับรู้ต่อปัญหาอุทกภัย

กลุ่มชาวบ้านในเทศบาลเมืองสุโขทัย

จากการสำรวจภาคสนามพบว่า ประชากรตัวอย่างในเขตเมืองส่วนใหญ่ร้อยละ 83 จะรับทราบหรือรับรู้ก่อนล่วงหน้าที่น่าจะเข้าท่วมพื้นที่ของตน ด้านการรับทราบข่าวสาร ประชากรตัวอย่างในเขตเมืองจะรับรู้ก่อนล่วงหน้าประมาณ 1-2 วัน หรือ 3-4 วัน โดยร้อยละ 52 ทราบจากประกาศของรถกระจายเสียงของเทศบาลฯแจ้งเตือน นอกจากนี้รับรู้จาก วิทยุชุมชน ข่าวสารจากโทรทัศน์ และระบบเตือนภัยของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง คิดเป็นร้อยละ 17 และ 14 ตามลำดับ

กลุ่มเกษตรกร

จากการสำรวจภาคสนามพบว่าประชากรตัวอย่างนอกเขตเมืองส่วนใหญ่ร้อยละ 57 จะรับทราบก่อนล่วงหน้าที่น่าจะเข้าท่วมพื้นที่ของตน และจะรับรู้ก่อนล่วงหน้าประมาณ 12 ชั่วโมง หรือ 1-2 วัน, 3-4 วัน และ 7 วัน ร้อยละ 47 รับรู้จากข่าวสารโทรทัศน์มากที่สุด ร้อยละ 33 ทราบจากแหล่งอื่นๆ เช่น หอกระจายเสียงประกาศของผู้ใหญ่บ้าน และประกาศจาก อบต. ที่เหลือรับรู้จากวิทยุชุมชน และระบบเตือนภัย

6) สภาพปัญหาอุทกภัยที่เกิดขึ้นในปีตัวอย่าง พ.ศ. 2549

กลุ่มชาวบ้านในเทศบาลเมืองสุโขทัย

จากการสำรวจภาคสนามพบว่าประชากรตัวอย่างในเขตเมืองที่ประสบปัญหาอุทกภัยในปี พ.ศ. 2549 นั้น ระยะเวลาที่อุทกภัยตั้งแต่ 1 วันขึ้นไปมากที่สุดนานถึง 7 วัน และระดับน้ำที่เข้าท่วมพื้นที่ตั้งแต่ 15, 30, 70, 120 และ 150 เซนติเมตร เป็นต้น และจากการสำรวจพบว่าน้ำที่เข้าท่วมพื้นที่มาจากน้ำเหนือจากจังหวัดแพร่และแม่น้ำยมสายหลักล้นตลิ่ง

การแก้ไขปัญหาเมื่อเกิดอุทกภัยปี พ.ศ. 2549 ของประชากรในเขตเมือง พบว่าร้อยละ 28 และ 19 แก้ปัญหาโดยกันกระสอบทรายด้วยการกันกระสอบทรายและติดตั้งเครื่องสูบน้ำ ตามลำดับที่เหลือขอรับบริจาคข้าวของเครื่องใช้ที่จำเป็น ขอความช่วยเหลือจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ย้ายของขึ้นที่สูง อพยพชั่วคราวออกจากบ้านพักอาศัย หรือยกพื้นบ้านให้สูงขึ้น บางส่วนปล่อยให้น้ำเข้าท่วมบ้านแล้วค่อยกลับมาทำความสะอาดหลังจากน้ำได้ลดลงแล้ว

การเตรียมตัวก่อนเกิดสถานการณ์ปี พ.ศ. 2549 ประชากรตัวอย่างในเขตเมืองมีการเตรียมรับมือด้วยการติดตามสถานการณ์ตลอดเวลามากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 31 ร้อยละ 16 ช่วยเหลือตนเองก่อนรอความช่วยเหลือจากภาครัฐ ร้อยละ 11 กักตุนอาหารและข้าวของเครื่องใช้ที่จำเป็น ที่เหลือทำความคุ้นเคยกับระบบการเตือนภัยของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและขั้นตอนการอพยพและบันทึก

หมายเลขโทรศัพท์สำหรับเหตุการณ์ฉุกเฉิน และเก็บไว้ตามที่ง่าย ที่เหลืออีกร้อยละ 22 ไม่ให้คำตอบใดๆ

กลุ่มเกษตรกร

ผลการสำรวจเกษตรกรพบว่าส่วนใหญ่ได้รับผลกระทบจากอุทกภัย ปี พ.ศ. 2549 โดยร้อยละ 32 ตอบว่าความเสียหายส่วนมากอยู่ที่พื้นที่เกษตร รองลงมาร้อยละ 24 พบว่าความเสียหายมาจากน้ำระบายออกได้ช้าทำให้อุทกภัยชั่งเป็นเวลานาน ร้อยละ 21 พบว่าผลกระทบเกิดจากคันกั้นน้ำขาดทำให้น้ำไหลเข้าพื้นที่ชุมชนอย่างรวดเร็ว และร้อยละ 17 ได้รับผลกระทบจากผลผลิตการเกษตรที่ตกต่ำลง ส่วนที่เหลือตอบว่าความเสียหายหลักอยู่ที่ปศุสัตว์ (สุกร / ไก่ / เป็ด / โค)

การแก้ไขปัญหาเมื่อเกิดสถานการณ์อุทกภัยในปี พ.ศ.2549 ของประชากรนอกเขตเมืองพบว่า ได้มีการแก้ไขปัญหาโดยปรับปรุงระบบระบายน้ำและบรรเทาอุทกภัย เช่น สร้างคันกั้นน้ำ กั้นกระสอบทราย ขุดลอกคลอง ฯลฯ และเสริมคันดินริมฝั่งคลอง และทางน้ำให้สูงขึ้น คิดเป็นร้อยละ 37 และ 35 ตามลำดับ บางส่วนช่วยตัวเองก่อน ด้วยการกู้เงินธนาคารเพื่อนำมาแก้ไขปัญหา คิดเป็นร้อยละ 20 ที่เหลือก็เป็นการแก้ไขด้วยการติดตั้งสถานีสูบน้ำและอพยพออกจากพื้นที่อยู่อาศัย

การเตรียมตัวก่อนเกิดสถานการณ์ในปีพ.ศ. 2549 พบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่ร้อยละ 38 เตรียมรับมือโดยติดตามสถานการณ์อย่างใกล้ชิดที่สุด ร้อยละ 26 รอประกาศล่วงหน้าเรื่องการปล่อยน้ำจากประตูระบายน้ำและอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำยม ร้อยละ 20 จะพึ่งพาตนเองก่อนขอความช่วยเหลือจากภาครัฐ เช่น นำปั๊มน้ำออกสูบน้ำเอง บันคันดินรอบพื้นที่ของตน ร้อยละ 12 จะใช้วิธีปรับเปลี่ยนพื้นที่เพาะปลูกให้เหมาะสมเพื่อลดความเสียหายจากอุทกภัย อีกร้อยละ 4 จะหาพื้นที่ทำแก้มลิงนำพื้นที่ทำกินของตนล่วงหน้า หรือหาวิธีการผลักดันน้ำไปในทิศทางอื่นๆ

7) ความช่วยเหลือที่ต้องการจากภาครัฐ

กลุ่มชาวบ้านในเทศบาลเมืองสุโขทัย

ผลจากการสำรวจภาคสนามพบว่า ชาวบ้านเขตเมืองถึงการวิเคราะห์ข้อมูลการเกิดอุทกภัยในพื้นที่จังหวัดสุโขทัย ข้อมูลที่ต้องการทราบและรับรู้มากที่สุดคือ การวิเคราะห์ข้อมูลที่สามารถทำนายความรุนแรงของการเกิดอุทกภัยได้ สามารถทำนายพื้นที่ที่จะเกิดอุทกภัยได้ และสามารถทำนายระยะเวลาก่อนเกิดอุทกภัยได้ คิดเป็นร้อยละ 32 ร้อยละ 30 ร้อยละ 27 ตามลำดับ

กลุ่มเกษตรกร

ผลจากการสำรวจภาคสนามพบว่า ชาวบ้านเขตเมืองถึงการวิเคราะห์ข้อมูลการเกิดอุทกภัยในพื้นที่จังหวัดสุโขทัย ข้อมูลที่ต้องการทราบและรับรู้มากที่สุดคือ การวิเคราะห์ข้อมูลที่สามารถทำนายความรุนแรงของการเกิดอุทกภัยได้ สามารถทำนายพื้นที่การเกิดอุทกภัยได้ และสามารถทำนายระยะเวลาก่อนเกิดอุทกภัยได้ คิดเป็นร้อยละ 29 ร้อยละ 24 ร้อยละ 19 ตามลำดับ ส่วนที่เหลือไม่แสดงความคิดเห็นใดๆ

สำหรับความช่วยเหลือด้านอื่นๆ และข้อเสนอแนะต่อเจ้าหน้าที่รัฐได้สรุปไว้ในตารางที่ ฏ-1 และ ฏ-2

8) ข้อเสนอแนะของชาวบ้านต่อภาครัฐหรือผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง

มาตรการปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศซึ่งประกอบด้วยข้อเสนอแนะที่มีต่อภาครัฐจากชาวบ้านและจากการศึกษาเพิ่มเติมในรายงานฉบับนี้ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการปรับตัวในรูปแบบหนึ่งที่ไม่ใช่โครงสร้างคือการติดตั้งระบบแจ้งเตือนอุทกภัยหรือสาธารณภัยอื่นๆ เพื่อให้ประชาชนในพื้นที่เสี่ยงภัยทราบข้อมูลล่วงหน้าได้ในระยะเวลาที่เหมาะสม และนำข้อมูลที่ได้ไปตัดสินใจว่าควรดำเนินการอย่างไรต่อไป ข้อดีของวิธีการประเภทที่ไม่ใช่โครงสร้างนี้คือ การดำเนินการสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว และส่วนใหญ่ไม่สิ้นเปลืองงบประมาณเท่ากับมาตรการก่อสร้าง แต่จำเป็นอย่างยิ่งที่ชาวบ้านจะต้องมีระดับของความตระหนักรู้ต่อสภาพปัญหาและมีความสามารถในการปรับตัวอยู่พอสมควร

สำหรับตัวอย่างของมาตรการเชิงโครงสร้างที่ชาวบ้านได้เสนอแนะ เช่น การก่อสร้างแนวป้องกันอุทกภัย (คันหรือทำนบกั้นน้ำ) หรืออาคารทางชลศาสตร์อื่นๆซึ่งมีหน้าที่ชะลออัตราการไหลสูงสุดให้เข้าสู่พื้นที่ประสบภัยให้ช้าลงมากที่สุดเท่าที่ทำได้ หรือป้องกันน้ำไหลล้นตลิ่งเข้าไปสร้างความเสียหายต่อชุมชน

ตารางที่ ฎ-1 ความต้องการที่ชาวบ้านต้องการให้ภาครัฐเข้ามาช่วยเหลือ

ความต้องการ	พื้นที่ศึกษา	อันดับที่ 1	อันดับที่ 2	อันดับที่ 3
ด้านความช่วยเหลือ	กลุ่มพื้นที่ในเขตเมืองสุโขทัย	ประกาศเตือนภัยล่วงหน้า	จัดทำแผนช่วยเหลือร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง	สูบน้ำช่วยเหลือ
	กลุ่มพื้นที่นอกเขตเมืองสุโขทัย	จัดทำแผนช่วยเหลือร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง	จัดเจ้าหน้าที่ดูแลผู้ที่ได้รับความเดือดร้อนอย่างทั่วถึง	ประกาศเตือนภัยล่วงหน้า
ด้านก่อสร้าง	กลุ่มพื้นที่ในเขตเมืองสุโขทัย	สร้างแนวป้องกันน้ำ	จัดหางบประมาณสร้างประตูกันน้ำเพิ่มขึ้น	จัดหาที่ดินและงบประมาณเพื่อสร้างแก้มลิง
	กลุ่มพื้นที่นอกเขตเมืองสุโขทัย	สร้างแนวป้องกันน้ำ	จ่ายค่าชดเชยช่วยเหลือเกษตรกร	จัดหาที่ดินและงบประมาณเพื่อสร้างแก้มลิง
ด้านเศรษฐศาสตร์	กลุ่มพื้นที่ในเขตเมืองสุโขทัย	จ่ายค่าชดเชยความเสียหายมากขึ้น	จัดสรรงบประมาณเข้ามาช่วยเหลือมากขึ้น	ช่วยเหลือในเรื่องอาชีพ
	กลุ่มพื้นที่นอกเขตเมืองสุโขทัย	จัดหาปุ๋ยราคาถูก	จัดสรรงบประมาณเข้ามาช่วยเหลือมากขึ้น	สนับสนุนเรื่องค่าเชื้อเพลิง (สูบน้ำ)

ที่มา: โครงการรูปแบบการปรับตัวด้วยการบริหารน้ำในอนาคตโดยเฉพาะอุทกภัย ปีที่ 1 (2554)

ตารางที่ ฎ-2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมที่มีต่อภาครัฐหรือผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม	กลุ่มพื้นที่ในเขตเมืองสุโขทัย	กลุ่มเกษตรกร
เพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้นจากเหตุการณ์อุทกภัย	<ol style="list-style-type: none"> 8. ไม่ตัดไม้ทำลายป่า 9. ช่วยกันปลูกป่า 10. สร้างเขื่อนแก่งเสือเต้น 11. สร้าง dike ให้สูงขึ้นและหนาแน่นกว่าเดิม 12. สร้างเขื่อนกักเก็บน้ำ ใช้เป็นแหล่งท่องเที่ยว, ทำมาหากินได้ 13. เปิดประตูน้ำทุกคลอง, อย่าปิดประตูน้ำตาย 14. ขุดลอกคลอง 	<ol style="list-style-type: none"> 8. สร้างเขื่อนแก่งเสือเต้นและเขื่อนแม่สะเอียบ, ปรับปรุงระบบระบายน้ำ, เขื่อนเรียงหินให้ดี 9. แจกจ่ายพันธุ์ไม้ให้ประชาชนปลูกในไร่ เช่น สัก ประดู่ พยุง เพื่อช่วยลดภาวะโลกร้อนได้อีกด้วย 10. สร้างฝายกั้นน้ำ 11. สร้างเขื่อนสำหรับกักเก็บน้ำไว้ใช้หน้าแล้ง /และแนวป้องกันน้ำเวลาน้ำมาก 12. ขุดคลองระบายน้ำ 13. ส่งเสริมให้ปลูกป่า/อนุรักษ์ป่า 14. ติดตามสถานการณ์อย่างใกล้ชิด 15. ไม่ตัดไม้ทำลายป่า
ในการปรับตัวต่อเหตุการณ์อุทกภัย	<ol style="list-style-type: none"> 6. ขุดลอกแม่น้ำ, ป้องกันตลิ่งพังทลาย 7. สร้างแก้มลิงเพิ่มขึ้น 8. ขุดลอกแม่น้ำ/คลอง 9. วางแนวกระสอบทรายเสริมเพิ่มตามแนวคันกันแม่น้ำ 10. ภาครัฐช่วยเหลือมากกว่านี้ 	<ol style="list-style-type: none"> 5. ปรับปรุงพันธ์พืช /เปลี่ยนเวลาปลูกพืช 6. ระบบท่อระบายน้ำ 7. ขุดคู/คลอง กักน้ำส่วนเกินและเก็บไว้ใช้หน้าแล้ง 8. ขุดลอกคลอง และปลูกต้นไม้ที่ที่แนวกันดินพัง

ที่มา: โครงการรูปแบบการปรับตัวด้วยการบริหารน้ำในอนาคตโดยเฉพาะอุทกภัย ปีที่ 1 (2554)

กฎ-2 การสำรวจภาคสนามในจังหวัดสุโขทัย

1) ประตุน้ำ



รูปที่ กฎ-1 ประตู บ้านหาดสะพานจันทร์



รูปที่ กฎ-2 ประตู บ้านหาดสะพานจันทร์



รูปที่ กฎ-3 ประตู คลองหกบาท



รูปที่ กฎ-4 สะพานข้าม ประตู คลองหกบาท

2) คันกั้นน้ำ พื้นที่แก้มลิง และการสำรวจพื้นที่ที่เกิดความเสียหายจากเหตุการณ์อุทกภัย



รูปที่ ๕-5 คันกั้นแม่น้ำยม อ. เมือง จ. สุโขทัย

รูปที่ ๕-6 คันกั้นแม่น้ำยม อ. เมือง จ. สุโขทัย



รูปที่ ๕-7 ฝ่ายยางบ้านเกาะวงศ์เกียรติ อ.เมือง

รูปที่ ๕-8 การสัมภาษณ์ชาวบ้าน อ. กงไกรลาศ

3) การสำรวจพื้นที่ที่เกิดความเสียหายจากเหตุการณ์อุทกภัย (ต่อ)



รูปที่ ๙-9 การสำรวจความเสียหาย อ. สวรรคโลก

รูปที่ ๙-10 การสัมภาษณ์ชาวบ้าน อ. สวรรคโลก



รูปที่ ๙-11 พื้นที่คันกั้นน้ำแตก ต. ปากแคว

รูปที่ ๙-12 การสัมภาษณ์ชาวบ้านเขตตลาดลาดธานี อ. เมืองสุโขทัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ: นายปฏิญญา หรรษ์อิทธินันต์

วันที่เกิด: 29 พฤษภาคม พ.ศ. 2531

กรุงเทพมหานคร

ประวัติการศึกษา:

พ.ศ. 2549–2552 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.)

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2553–2556 สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

(วศ.ม.)

ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติการทำงาน:

พ.ศ. 2553–2556 ได้รับทุนผู้ช่วยวิจัยของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2553–2556 ได้รับทุนผู้ช่วยสอนของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2553–2556 นิสิตช่วยวิจัย โครงการรูปแบบการปรับตัวด้วยการบริหารน้ำในอนาคตโดยเฉพาะอุทกภัย ปีที่ 1

พ.ศ. 2553–2556 นิสิตช่วยวิจัย โครงการ การคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนที่เปลี่ยนแปลงสูงสุดในระดับลุ่มน้ำของประเทศไทยและจีน

ผลงานทางวิชาการ:

Hanittinan, P., Koontanakulvong, S., and Sriariyawat, A. “Sukhothai flood analysis and its response under climate change”, 10th International symposium on new technologies for urban safety of mega cities in Asia, Chiang Mai, Thailand, 12nd October-14th October, 2011.

Hanittinan, P., Koontanakulvong, S. “Climate change impact assessment in Sukhothai province: Intercomparison between three global climate models”, International conference on “Challenge of Water & Environmental

Management in monsoon Asia, Nonthaburi, Thailand, 27th November-29th November, 2012.

ผลงานรายงานการศึกษา

รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการรูปแบบการปรับตัวด้วยการบริหารน้ำในอนาคต โดยเฉพาะอุทกภัย ปีที่ 1, แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา

รายงานฉบับสมบูรณ์ Comparative Studies on Development Strategies Considering Impacts of Adaptation to Climate Change (CSDS-IACC), แหล่งทุน: United Nations University (UNU)

การฝึกอบรมและศึกษาดูงาน

การฝึกอบรม Climate Downscaling Approaches and Application ระหว่างวันที่ 9-14 พฤศจิกายน พ.ศ.2554 ณ อาคาร United Nation University กรุงโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น

การศึกษาดูงานและแลกเปลี่ยนวัฒนธรรม “JENESYS Program 2012” ระหว่างวันที่ 11-19 พฤษภาคม พ.ศ. 2555 ณ กรุงโตเกียว และจังหวัดไซตามะ ประเทศญี่ปุ่น