

การสร้างแบบจำลองพยากรณ์น้ำท่าสำหรับพื้นที่ที่ไม่มีสถานีวัดในลุ่มแม่น้ำปิงตอนบน



นายณัฐนนท์ สงวนศัพท์

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.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Development of Prediction Model for Ungauged Area in the Upper Ping Catchment



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

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2017

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสร้างแบบจำลองพยากรณ์น้ำท่าสำหรับพื้นที่ที่ไม่มี สถานีวัดในลุ่มแม่น้ำปิงตอนบน
โดย	นายณัฐนนท์ สงวนศัพท์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิศิษฐ์ จารุมณีโรจน์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.สุภัทรา วิเศษศรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูตีมา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิศิษฐ์ จารุมณีโรจน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร.สุภัทรา วิเศษศรี)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ไชยาพงษ์ เทพประสิทธิ์)

ณัฐนันท์ สงวนศัพท์ : การสร้างแบบจำลองพยากรณ์น้ำท่าสำหรับพื้นที่ที่ไม่มีสถานีวัดในลุ่ม
แม่น้ำปิงตอนบน (A Development of Prediction Model for Ungauged Area in the
Upper Ping Catchment) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.พิศิษฐ์ จารุมนโรจน์, อ.ที่
ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ดร.สุภัทรา วิเศษศรี, หน้า.

ข้อมูลปริมาณน้ำท่ามีความสำคัญต่อการวางแผนและการจัดการทรัพยากรน้ำ ไม่ว่าจะเป็น
การป้องกันการเกิดอุทกภัย หรือ ภัยแล้ง ซึ่งในบางพื้นที่ลุ่มน้ำไม่มีการบันทึกข้อมูลปริมาณน้ำท่าหรือ
มีการบันทึก แต่สถิติข้อมูลไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้งาน ดัชนีทางอุทกวิทยาจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือก
ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอวิธีการในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าใน
บริเวณที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าจำนวน 34 ลุ่มน้ำย่อยในบริเวณลุ่มน้ำปิงตอนบนตั้งอยู่ทางทิศตะวันตก
เฉียงเหนือของประเทศไทย โดยทำการศึกษาในช่วงปี 2549-2557 ผู้วิจัยได้นำเทคนิคการวิเคราะห์
การถดถอยมาประยุกต์ใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีน้ำท่ากับลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำ
จำนวน 7 ตัว ได้แก่ สัมประสิทธิ์น้ำท่า ดัชนีการไหลพื้นฐาน ดัชนีความอ่อนไหวของน้ำท่าต่อน้ำฝน
ตามฤดูกาล เปอร์เซนต์ไทม์ที่ 95 ของปริมาณน้ำท่า เปอร์เซนต์ไทม์ที่ 50 ของปริมาณน้ำท่า เปอร์เซนต์
ไทม์ที่ 5 ของปริมาณน้ำท่า ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ และผลต่างของปริมาณน้ำฝนและ
น้ำท่ารายปีเฉลี่ย โดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นจากตัวแบบการถดถอยในการจำกัดชุดพารามิเตอร์ของ
แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า และใช้ตัวชี้วัด NSE* และ Reliability ในการประเมินประสิทธิภาพของ
แบบจำลอง ผลการศึกษาพบว่าดัชนีน้ำท่าที่มีความสามารถในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่ามากที่สุดคือ
เปอร์เซนต์ไทม์ที่ 95 ของปริมาณน้ำท่า สัมประสิทธิ์น้ำท่า ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ
ผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ารายปีเฉลี่ย และดัชนีความอ่อนไหวของน้ำท่าต่อน้ำฝนตาม
ฤดูกาล มีความสามารถในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท้าน้อยที่สุด โดยเปอร์เซนต์ไทม์ที่ 95 ของปริมาณ
น้ำท่า สัมประสิทธิ์น้ำท่า ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ และผลต่างของปริมาณน้ำฝนและ
น้ำท่ารายปีเฉลี่ยใช้ได้ดีในบริเวณลุ่มน้ำย่อยที่มีลักษณะการใช้ที่ดินแบบเกษตรกรรมและมีขนาดเล็ก

ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	ลายมือชื่อนิสิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก
ปีการศึกษา	2560	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

5870333621 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS: PREDICTIONS IN UNGAGUED BASIN, REGIONALIZATION, FLOW INDICES, HYDROLOGICAL RESPONSE INDICES, PING BASIN, REGRESSION ANALYSIS

NUTTHANON SA-NGONSUB: A Development of Prediction Model for Ungauged Area in the Upper Ping Catchment. ADVISOR: ASST. PROF.PISIT JARUMANEEROJ, Ph.D., CO-ADVISOR: SUPATTRA VISESSRI, Ph.D., pp.

Flow data are essential for hydrological study, planning, and management to prevent drought and flood in a region. In catchments where flow data are not recorded or of poor quality, hydrological indices could be an alternative for predicting flow in ungauged catchments. This study demonstrates the methodology for predicting flow in ungauged catchments through the case study of 34 sub-catchments of the upper Ping catchment in northwest Thailand from 2006-2014. The regression method was applied to investigate the relationship between seven flow indices including runoff coefficient, base flow index, seasonal rainfall-flow elasticity, 95th percentile of flow, 50th percentile of flow, 5th percentile of flow, annual specific runoff, difference of flow and rainfall, and catchment properties. The confidence interval of the regression relationship was used to constraint rainfall-runoff model parameters. The model performance was tested by NSE* and reliability. The 95th percentile of flow was found to be the most informative index to regionalize flow followed by runoff coefficient, Annual specific runoff, and Difference of flow and rainfall, respectively. The Seasonal rainfall-flow elasticity had least contribution to the prediction of flow with poor NSE* and large uncertainty. The 95th percentile of flow and RC generally worked well for small sub-catchments which are relatively large percentage of Agriculture cover tends to achieve better flow predictions.

Department: Industrial Engineering

Student's Signature

Field of Study: Industrial Engineering

Advisor's Signature

Academic Year: 2017

Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิศิษฐ์ จารุมณีโรจน์ และดร.สุภัทรา วิเศษศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่คอยให้คำปรึกษาและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆแก่ผู้วิจัยโดยตลอดมา ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน อันได้แก่ศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชูติมา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์ และดร.ไชยาพงษ์เทพ ประสิทธิ์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่คอยให้คำปรึกษาตลอดจนให้คำแนะนำแนวทางการทำวิทยานิพนธ์ให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณกรมทรัพยากรน้ำ กรมชลประทาน กรมอุตุนิยมวิทยา และกรมพัฒนาที่ดิน ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านข้อมูลทางอุทกวิทยาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์และเพียงพอต่อการเป็นวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโทให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณนายชินวิชญ์ สีนฤเตชากุล เพ็ญนภัส จิระชัย และเพื่อนๆ ที่ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกคนที่คอยช่วยเหลือ ตลอดจนการให้คำแนะนำในด้านต่างๆ สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณครอบครัวของผู้ทำวิจัย บิดามารดา ผู้ซึ่งคอยสนับสนุนและให้กำลังใจผู้ทำวิจัยโดยตลอดมา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
สารบัญตาราง.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	4
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	4
1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 คำศัพท์และความหมาย.....	7
2.1.1 ลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีวัด (Ungauged basins).....	7
2.1.2 การพยากรณ์น้ำท่าบริเวณที่ไม่มีสถานีวัด (Predictions in ungauged basins).....	7
2.1.3 กระบวนการการแปลงข้อมูล (Regionalization).....	7
2.2 การพยากรณ์ (Forecasting).....	8
2.3 แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall-runoff model).....	14
2.4 กระบวนการการแปลงข้อมูล (Regionalization).....	14
2.5 ดัชนีตัวแปรตอบสนองทางอุทกวิทยา (Hydrologic response indices).....	16
2.6 สรุปการทบทวนวรรณกรรม.....	19

2.7 วิธีที่ใช้ในงานวิจัย	19
2.8 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis)	19
2.8.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple linear regression).....	20
2.8.2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple linear regressions)	20
2.9 การเลือกตัวแปรอิสระสำหรับสมการถดถอย.....	21
2.10 การทดสอบสำหรับการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสู่สมการการถดถอย	24
2.11 การตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์สมการถดถอย	26
2.11.1 การทดสอบการแจกแจงของค่าความคลาดเคลื่อนโดยใช้สถิติทดสอบ Kolmogorov – smirnov.....	26
2.11.2 การทดสอบความเป็นอิสระของค่าความคลาดเคลื่อนโดยใช้สถิติทดสอบ Durbin – Watson.....	27
2.11.3 การทดสอบความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่โดยใช้สถิติ ทดสอบ Levene.....	28
2.12 การตรวจสอบปัญหาตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันเอง (Multicollinearity)	28
2.13 ช่วงความเชื่อมั่น (Confidence Interval).....	30
2.14 ช่วงค่าพยากรณ์ (Prediction Interval).....	30
2.15 การแปลงข้อมูล (Transformation)	30
2.16 แบบจำลองน้ำฝน - น้ำท่า.....	33
2.17 การจำกัดชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลองน้ำฝน - น้ำท่า (Constraints on parameter space).....	34
2.18 การพยากรณ์โค้งอัตราการไหลรายวัน (Flow duration curve: FDC)	36
2.19 ค่าสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ	36
2.20 ค่าสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการพยากรณ์จากแบบจำลองน้ำฝน - น้ำท่า.....	37
บทที่ 3 พื้นที่ศึกษา.....	39

3.1	สภาพภูมิประเทศ.....	39
3.2	สภาพอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา.....	40
3.2.1	สภาพภูมิอากาศ.....	40
3.2.2	สภาพการใช้ที่ดิน.....	41
3.2.3	ข้อมูลปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า.....	43
3.3	การวิเคราะห์รูปแบบการเกิดน้ำฝน-น้ำท่า.....	47
3.3.1	ปริมาณน้ำฝน.....	47
3.3.2	ปริมาณน้ำท่า.....	50
บทที่ 4	วิธีการที่ใช้ในการศึกษา.....	52
4.1	สัญลักษณ์ที่ใช้แทนค่าสถิติ.....	52
4.2	สัญลักษณ์ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา.....	52
4.3	ขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง IHACRES ในการพยากรณ์น้ำท่า.....	54
4.4	ขั้นตอนการการพยากรณ์น้ำท่ามีขั้นตอนดังต่อไปนี้.....	55
บทที่ 5	ผลการศึกษา.....	60
5.1	ผลการคำนวณดัชนีน้ำท่า.....	60
5.2	ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐาน.....	62
5.2.1	การตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูล.....	64
5.3	ผลการวิเคราะห์การพยากรณ์ดัชนีน้ำท่าโดยเทคนิคการถดถอยพหุคูณ.....	69
5.3.1	ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษา.....	69
5.3.2	ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยโดยเทคนิคการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณแบบวิธีถดถอยแบบขั้นตอน (Stepwise Regression).....	72
5.4	ผลการวิเคราะห์การพยากรณ์น้ำท่าและโค้งอัตราการไหลรายวันโดยใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า ร่วมกับการจำกัดชุดพารามิเตอร์โดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นและช่วงค่าพยากรณ์.....	89

5.4.1 พยากรณ์น้ำท่ารายวัน.....	89
5.4.2 การเปรียบเทียบลักษณะการแจกแจงระหว่างผลพยากรณ์น้ำท่ารายวันและข้อมูล สังเกตการณ์.....	100
5.4.3 การพยากรณ์โค้งอัตราการไหลรายวัน (Flow duration curve)	105
5.5 การวิเคราะห์และสรุปผล	108
บทที่ 6 สรุปผลงานวิจัย	114
6.1 บทสรุปงานวิจัย	114
6.1.1 พื้นที่ที่ใช้ในการศึกษา.....	115
6.1.2 การหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีน้ำท่าและลักษณะกายภาพของกลุ่มน้ำ.....	115
6.1.3 วิธีการที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบในงานวิจัย	115
6.1.4 ผลการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีน้ำท่าและคุณลักษณะทางกายภาพ ของกลุ่มน้ำ.....	116
6.1.5 ผลการพยากรณ์น้ำท่าและโค้งอัตราการไหลรายวัน	117
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	118
รายการอ้างอิง.....	120
ภาคผนวก ผลการสร้างตัวแบบดัชนีน้ำท่าด้วยวิธีการคัดเลือกตัวแปรแบบขั้นตอน.....	127
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	136

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1-1 ลักษณะโครงสร้างแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าเบื้องต้น.....	2
รูปที่ 1-2 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย.....	6
รูปที่ 2-1 แผนผังการทำงานของแบบจำลอง IHACRES	33
รูปที่ 3-1 ลมมรสุมที่พัดผ่านบริเวณประเทศไทยตอนบน.....	40
รูปที่ 3-2 การใช้ประโยชน์ที่ดินในกลุ่มน้ำปิงตอนบน ปี พ.ศ. 2554.....	42
รูปที่ 3-3 ที่ตั้งสถานีวัดน้ำฝนและวัดน้ำท่าในบริเวณพื้นที่การศึกษา	44
รูปที่ 3-4 ข้อมูลปริมาณฝนรายวันของแต่ละสถานีในช่วงปี 2549-2557.....	45
รูปที่ 3-5 ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันของแต่ละสถานีในช่วงปี 2549-2557	46
รูปที่ 3-6 ปริมาณน้ำฝนรายวันจำนวน 34 ลุ่มน้ำย่อยในบริเวณลุ่มน้ำปิงตอนบน	48
รูปที่ 3-7 ปริมาณน้ำฝนรายเดือนจำนวน 34 ลุ่มน้ำย่อยในบริเวณลุ่มน้ำปิงตอนบน	48
รูปที่ 3-8 ปริมาณน้ำฝนรายปีจำนวน 34 ลุ่มน้ำย่อยในบริเวณลุ่มน้ำปิงตอนบน	49
รูปที่ 3-9 ปริมาณน้ำท่ารายวันจำนวน 34 ลุ่มน้ำย่อยในบริเวณลุ่มน้ำปิงตอนบน.....	50
รูปที่ 3-10 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนจำนวน 34 ลุ่มน้ำย่อยในบริเวณลุ่มน้ำปิงตอนบน	50
รูปที่ 3-11 ปริมาณน้ำท่ารายปีจำนวน 34 ลุ่มน้ำย่อยในบริเวณลุ่มน้ำปิงตอนบน.....	51
รูปที่ 4-1 แผนภาพการทำงานของการพยากรณ์น้ำท่าและโค้งอัตราการไหลรายวันด้วย แบบจำลอง IHACRES ร่วมกับการจำกัดชุดพารามิเตอร์โดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นและช่วงค่า พยากรณ์.....	59
รูปที่ 5-1 ช่วงความเชื่อมั่นและช่วงค่าพยากรณ์ของสัมประสิทธิ์น้ำท่าจำนวน 34 สถานี	85
รูปที่ 5-2 ช่วงความเชื่อมั่นและช่วงค่าพยากรณ์ของดัชนีความอ่อนไหวของน้ำท่าต่อน้ำฝน ตามฤดูกาลจำนวน 34 สถานี.....	85
รูปที่ 5-3 ช่วงความเชื่อมั่นและช่วงค่าพยากรณ์ของเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ของน้ำท่าจำนวน 34 สถานี.....	86

รูปที่ 5-4 ช่วงความเชื่อมั่นและช่วงค่าพยากรณ์ของเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 ของน้ำท่าจำนวน 34 สถานี.....	86
รูปที่ 5-5 ช่วงความเชื่อมั่นและช่วงค่าพยากรณ์ของเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ของน้ำท่าจำนวน 34 สถานี.....	87
รูปที่ 5-6 ช่วงความเชื่อมั่นและช่วงค่าพยากรณ์ของปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลุ่มน้ำจำนวน 34 สถานี	87
รูปที่ 5-7 ช่วงความเชื่อมั่นและช่วงค่าพยากรณ์ของผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าจำนวน 34 สถานี	88
รูปที่ 5-8 การจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยช่วงความเชื่อมั่นและช่วงค่าพยากรณ์ด้วยสัมประสิทธิ์น้ำท่าของการพยากรณ์น้ำท่าของสถานี P.1	90
รูปที่ 5-9 การพยากรณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันโดยใช้วิธีการจำกัดชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง IHACRES ด้วยช่วงความเชื่อมั่นหรือช่วงพยากรณ์ของดัชนีน้ำท่าต่างๆ	95
รูปที่ 5-10 เปรียบเทียบการจำกัดชุดพารามิเตอร์ระหว่างช่วงความเชื่อมั่นและช่วงค่าพยากรณ์ที่ร้อยละ 95 ของดัชนีน้ำท่าแต่ละตัวในการพยากรณ์น้ำท่ารายวัน	95
รูปที่ 5-11 เปรียบเทียบค่า Log NSE* ของการพยากรณ์น้ำท่ารายวันระหว่างผลที่ได้จากการจำลองและผลจากการจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของดัชนีน้ำท่าต่างๆ	97
รูปที่ 5-12 เปรียบเทียบค่า NSE* (< 1) ของการพยากรณ์น้ำท่ารายวันทั้ง 34 สถานีด้วยวิธีการจำกัดชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง IHACRES ด้วยดัชนีน้ำท่าต่างๆ.....	98
รูปที่ 5-13 แผนภูมิแท่งแสดงค่า Reliability ของผลการพยากรณ์น้ำท่ารายวันจากการจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยช่วงความเชื่อมั่นของดัชนีน้ำท่า ได้แก่ สัมประสิทธิ์น้ำท่า (RC) เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ของน้ำท่า (Q95) ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ (ASR) และผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า (DIFF).....	100
รูปที่ 5-14 เปรียบเทียบค่า Reliability (> 0.5) ของการพยากรณ์น้ำท่ารายวันทั้ง 34 สถานีด้วยวิธีการจำกัดชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง IHACRES ด้วยช่วงความเชื่อมั่นของดัชนีน้ำท่าต่างๆ	101

รูปที่ 5-15 ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง (Ensemble Flow) ด้วยการจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยช่วงความเชื่อมั่นของดัชนีน้ำท่าต่างๆ ที่มีค่า NSE* และ Reliability อยู่ในเกณฑ์ดีทั้ง 4 ตัว ของสถานี P.81	104
รูปที่ 5-16 ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลปริมาณน้ำท่าสังเกตการณ์และข้อมูลน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองโดยใช้การจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยช่วงความเชื่อมั่นของสัมประสิทธิ์น้ำท่าที่สถานี P.81 (ค่า NSE* ต่ำที่สุด)	104
รูปที่ 5-17 แผนภูมิแห่ง Reliability ของผลการพยากรณ์โค้งอัตราการไหลรายวันจากการจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยช่วงความเชื่อมั่นของดัชนีน้ำท่า ได้แก่ สัมประสิทธิ์น้ำท่า (RC) เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ของน้ำท่า (Q95) ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ (ASR) และผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า (DIFF).....	105
รูปที่ 5-18 เปรียบเทียบค่า Reliability (> 0.5) ของการพยากรณ์โค้งอัตราการไหลของทั้ง 34 สถานีด้วยวิธีการจำกัดชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง IHACRES ด้วยช่วงความเชื่อมั่นของดัชนีน้ำท่าต่างๆ.....	106
รูปที่ 5-19 ผลการพยากรณ์น้ำท่ารายวันและโค้งอัตราการไหลรายวันโดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นของเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95	110
รูปที่ ก ตัวแบบสัมประสิทธิ์น้ำท่า (RC).....	122
รูปที่ ข ตัวแบบดัชนีความอ่อนไหวของน้ำท่าต่อน้ำฝนตามฤดูกาล	123
รูปที่ ค ตัวแบบเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ของน้ำท่า (Q95)	124
รูปที่ ง ตัวแบบเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 ของน้ำท่า (Q50)	125
รูปที่ จ ตัวแบบเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ของน้ำท่า (Q5)	126
รูปที่ ฉ ตัวแบบผลต่างของปริมาณน้ำฝนน้ำท่า (DIFF)	128
รูปที่ ช ตัวแบบปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี (ASR).....	129

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2-1 ผลการทบทวนการศึกษาในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพจากความแม่นยำของวิธีการในการพยากรณ์ต่างๆ	10
ตารางที่ 2-2 ข้อดีและข้อเสียของแต่ละวิธีในการพยากรณ์น้ำท่า	18
ตารางที่ 2-3 รูปแบบการถดถอยที่มีการแจกแจงข้อมูลมีความเบ้บางรูปแบบ และมีความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นหรือลดลงพร้อมด้วยค่าเฉลี่ย	31
ตารางที่ 2-4 รูปแบบการถดถอยที่มีการแจกแจงข้อมูลแบบไม่เป็นเส้นตรงที่มีความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนคงที่	32
ตารางที่ 3-1 สภาพการใช้ที่ดินของกลุ่มน้ำปิงตอนบน	41
ตารางที่ 5-1 ผลการคำนวณดัชนีน้ำท่าทั้ง 8 ตัว ของแต่ละลุ่มน้ำย่อยจำนวน 34 ลุ่มน้ำย่อย.....	60
ตารางที่ 5-2 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐาน	62
ตารางที่ 5-3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติการแจกแจงของข้อมูลลักษณะทางกายภาพและดัชนีน้ำท่า	65
ตารางที่ 5-4 ผลการแปลงข้อมูลด้วยวิธีการแปลงอย่างง่าย	66
ตารางที่ 5-5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติการแจกแจงของข้อมูลลักษณะทางกายภาพและดัชนีน้ำท่าหลังการแปลงข้อมูลด้วยวิธีอย่างง่าย	68
ตารางที่ 5-6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างดัชนีน้ำท่าและข้อมูลลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำ	71
ตารางที่ 5-7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติการแจกแจงของค่าความคลาดเคลื่อน	72
ตารางที่ 5-8 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของการทดสอบความเป็นอิสระของค่าความคลาดเคลื่อน.....	73
ตารางที่ 5-9 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของการทดสอบความคงที่ของความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อน	74
ตารางที่ 5-10 ตัวแปรอิสระและค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแบบการถดถอยของดัชนีน้ำท่าและตัว	75

ตารางที่ 5-11 ร้อยละของผลการจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยช่วงความเชื่อมั่นและช่วงค่า
พยากรณ์ของดัชนีน้ำท่า 91

ตารางที่ 5-12 ร้อยละของผลการพยากรณ์น้ำท่าด้วยการจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยดัชนี
น้ำท่าโดยวิธีการต่างๆ ที่ให้ผล NSE* อยู่ในเกณฑ์ดีสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด 34 สถานี 108

ตารางที่ 5-13 สรุปผลภาพรวมของแบบจำลองที่สามารถให้ผลพยากรณ์น้ำท่ารายวันได้ดีโดย
จำแนกตามลักษณะพื้นที่ต่างๆ 111

ตารางที่ 5-14 สรุปผลภาพรวมของแบบจำลองที่สามารถให้ผลพยากรณ์โค้งอัตราการไหล
รายวันได้ดีโดยจำแนกตามลักษณะพื้นที่ต่างๆ 112

ตารางที่ 5-15 สรุปผลอันดับของดัชนีน้ำท่าที่สามารถพยากรณ์น้ำท่ารายวันและโค้งอัตรา
การไหลรายวัน 113



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

น้ำ เป็นสิ่งจำเป็นในการดำรงชีวิตต่อสิ่งมีชีวิตทุกประเภท โดยเฉพาะในด้านความเป็นอยู่ของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นการอุปโภค บริโภค ตลอดจนอุตสาหกรรมต่างๆ ปัจจุบันประชากรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วส่งผลให้มีการใช้น้ำเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง รวมถึงการขยายตัวของพื้นที่อยู่อาศัยและเศรษฐกิจ พื้นที่ป่าไม้แปรเปลี่ยนเป็นย่านที่อยู่อาศัย การค้าและอุตสาหกรรมมากขึ้น การตัดไม้ทำลายป่า การทำไร่เลื่อนลอยในช่วงแหล่งต้นน้ำ ปัจจัยเหล่านี้ล้วนมีผลกระทบต่อวงจรอุทกวิทยาและก่อให้เกิดปัญหาภัยพิบัติด้านน้ำ

การจัดการทรัพยากรน้ำนั้น ข้อมูลทางอุทกวิทยาเป็นข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการวางแผนพัฒนาการจัดการทรัพยากรน้ำทั้งในด้านเชิงปริมาณและคุณภาพ ไม่ว่าจะเป็นการวางแผนในการกักเก็บน้ำไว้ในฤดูแล้ง หรือการปล่อยน้ำในฤดูน้ำหลาก เป็นต้น ในปัจจุบันหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการน้ำต่างให้ความสำคัญในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการเกิดภัยพิบัติด้านน้ำ ไม่ว่าจะเป็นการเกิดอุทกภัย หรือภัยแล้ง โดยปัญหาดังกล่าวก่อให้เกิดผลกระทบต่อหลายภาคส่วน เช่น ด้านอุปโภคบริโภคของประชาชน ด้านระบบนิเวศน์และสิ่งแวดล้อม ด้านการเกษตรกรรม เป็นต้น การเกิดอุทกภัยและภัยแล้งยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดโรคระบาดต่างๆ เช่น โรตาแดง โรคแลปโตสไปโรซิสหรือโรคฉี่หนู รวมถึงการเกิดโรคอหิวาตกโรคในปีที่ประสบปัญหาภัยแล้ง การศึกษาถึงพฤติกรรมปรากฏการณ์หรือกระบวนการเกิดอุทกภัยหรือภัยแล้งได้ก็จะทำให้สามารถรับมือและจัดการกับน้ำที่ทำให้เกิดปัญหาได้อย่างทัน่วงที

ปัจจุบันนักวิจัยได้มีการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลด้านอุทกวิทยาที่สามารถนำไปใช้ในด้านการพยากรณ์กันอย่างแพร่หลาย เพื่อช่วยในการวางแผนการจัดการและป้องกันปัญหาที่เกิดจากน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลปริมาณน้ำท่าซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการนำไปใช้ในการแก้ปัญหาอุทกภัยและภัยแล้ง หากเราสามารถทำการวิเคราะห์หรือพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าล่วงหน้าได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ จะช่วยในการวางแผนการจัดการทรัพยากรน้ำเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงสามารถป้องกันและลดปัญหาการเกิดอุทกภัยและภัยแล้งในอนาคตได้อีกด้วย

การพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากในการวางแผนจัดการและบริหารทรัพยากรน้ำ การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในการพยากรณ์น้ำท่านับเป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall-Runoff

model) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เลียนแบบกระบวนการทางธรรมชาติซึ่งมีความซับซ้อนในการเปลี่ยนน้ำฝนให้เป็นน้ำท่าในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยปริมาณน้ำท่าที่ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนและทางกายภาพของลุ่มน้ำ เช่น ขนาด ความยาว และความลาดชันของพื้นที่ลุ่มน้ำ เป็นต้น

จากความซับซ้อนของกระบวนการเกิดน้ำท่าจึงเป็นที่มาของแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่ามากมาย ซึ่งได้มีผู้คิดค้นแบบจำลองเพื่อจำลองความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝนกับน้ำท่าผ่านตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ตามลักษณะพื้นฐานของแบบจำลองด้านแนวความคิด (Conceptual model) ของผู้พัฒนาแบบจำลอง ซึ่งมีความแตกต่างกันไปทั้งในเชิงลักษณะพื้นที่และลักษณะตำแหน่งของภูมิประเทศที่นำไปใช้งาน โดยภายในแบบจำลองจะประกอบไปด้วยสมการที่แสดงความสัมพันธ์ของกระบวนการทางธรรมชาติในการเปลี่ยนแปลงฝนเป็นน้ำท่า และมีข้อมูลอินพุตเบื้องต้น คือ ข้อมูลปริมาณฝน อุณหภูมิ หรืออื่นๆ ซึ่งข้อมูลอินพุตจะมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับรูปแบบของแบบจำลองที่ใช้ โดยฟังก์ชันของพารามิเตอร์ในแบบจำลองนั้นจะคำนึงถึงองค์ประกอบต่างๆ ของวงจรทางอุทกวิทยา เช่น กระบวนการซึม การระเหย การดูดซับของพืช เป็นต้น ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองหรือข้อมูลเอาต์พุตของแบบจำลองนั้นจะออกมาในรูปแบบของปริมาณน้ำท่า

การใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่านั้นมีหลักในการทำงาน คือ แบบจำลองจะทำการปรับชุดค่าพารามิเตอร์ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะได้ชุดค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ได้ค่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลค่าตรวจวัดมากที่สุด (Model Calibration) เมื่อได้ชุดค่าพารามิเตอร์ที่ให้ค่าปริมาณน้ำท่าได้ใกล้เคียงกับข้อมูลค่าตรวจวัดมากที่สุดแล้วก็จะนำพารามิเตอร์ชุดนั้นไปใช้ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าในอนาคตได้ ดังนั้น ข้อมูลน้ำท่าจึงมีความจำเป็นในการใช้ปรับค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง ในกระบวนการแปลงฝนให้เป็นน้ำท่าที่มีความซับซ้อน และมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ถ้ามีการเก็บสถิติข้อมูลทางอุทกวิทยาที่มีระยะเวลายาวนานเพียงพอก็จะสามารถนำแบบจำลองไปใช้ในการวิเคราะห์ระบบอ่างเก็บน้ำสำหรับการเก็บกักน้ำ และการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าเพื่อป้องกันการเกิดอุทกภัยและภัยแล้งได้



รูปที่ 1-1 ลักษณะโครงสร้างแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าเบื้องต้น

การทำงานในด้านวิศวกรรมแหล่งน้ำมักจะพบปัญหาที่สำคัญ คือการประเมินปริมาณน้ำท่าในปัจจุบันหรือการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าในอนาคตให้ได้ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงตามสภาวะแวดล้อมทางธรรมชาติให้ได้มากที่สุด ซึ่งมีความจำเป็นต้องมีข้อมูลน้ำในช่วงระยะเวลาที่ยาวนาน เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการคำนวณน้ำเพื่องานด้านวิศวกรรม โดยปัญหาหลักที่เกิดขึ้นในปัจจุบันคือไม่มีการเก็บข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่เพียงพอต่อการนำไปใช้งาน หรือบางแห่งอาจไม่มีสถานีวัดน้ำท่าในลำน้ำหรือพื้นที่ที่ต้องการทราบข้อมูล สาเหตุมาจากพื้นที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการติดตั้งสถานี รวมถึงค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและซ่อมบำรุงสถานีมีมูลค่าสูง จึงเป็นอุปสรรคต่อการวางแผนและการจัดการทรัพยากรน้ำให้มีประสิทธิภาพ

จากความสำคัญของข้อมูลน้ำท่าที่ใช้ในการปรับค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองเพื่อให้ได้ชุดค่าพารามิเตอร์ที่สามารถพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าให้มีความแม่นยำนั้น จึงทำให้การพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าในบริเวณที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าโดยใช้แบบจำลองดังกล่าวเป็นไปได้ยากลำบาก จึงได้มีการนำเสนอวิธีการต่างๆ มากมายในการหาชุดค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองเพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่า เช่น การหาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลองกับลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำ (Catchment property) โดยใช้ตัวแบบการถดถอย (Regression model) ซึ่งวิธีนี้มีข้อจำกัด คือ ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำกับค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง เมื่อมีการเปลี่ยนแบบจำลองที่ใช้ก็ไม่สามารถใช้ความสัมพันธ์ดังกล่าวได้อีก เนื่องจากแบบจำลองแต่ละแบบย่อมมีพารามิเตอร์ของแบบจำลองที่แตกต่างกันไป รวมถึงขั้นตอนในการปรับชุดค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง ตัวแบบการถดถอยที่ได้จะให้ชุดค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองเพียง 1 ชุดเท่านั้น ไม่สามารถจัดรูปแบบของชุดค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้แบบจำลองนั้นได้น้ำท่าที่ใกล้เคียงกับข้อมูลการตรวจวัด ซึ่งอาจมีชุดพารามิเตอร์หลายชุดที่ทำให้ได้ประสิทธิภาพของแบบจำลองในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าได้ใกล้เคียงกันหรือเท่ากัน จึงได้มีผู้คิดค้นในการแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว โดยการค้นหามีตัวแปรใดที่สามารถสะท้อนถึงกระบวนการการเกิดน้ำท่าได้ เช่นเดียวกับค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง ซึ่งก็คือดัชนีน้ำท่า (Flow indices) จึงใช้วิธีการหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองผ่านตัวแบบความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีน้ำท่ากับลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำ (Regressed Flow indices)

ลุ่มน้ำปิงเป็นแหล่งต้นน้ำที่สำคัญของประเทศไทย โดยเป็นแหล่งกำเนิดของลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่เป็นลุ่มน้ำที่สำคัญของภาคกลาง ซึ่งเป็นแหล่งน้ำที่ใช้ในการอุปโภคบริโภคสำหรับการดำรงชีวิตของประชาชนนับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และยังเป็นศูนย์รวมแหล่งพื้นที่ทำการเกษตรขนาดใหญ่ แหล่งอาหารจากการทำประมง รวมถึงเป็นเส้นทางสำคัญสำหรับใช้เป็นเส้นทางเดินเรือขนส่งสินค้าอีกด้วย จากปัจจัยดังกล่าวล้วนเป็นรายได้หลักของประเทศทั้งสิ้น

การบริหารจัดการน้ำบริเวณแหล่งต้นน้ำนับเป็นสิ่งสำคัญและส่งผลกระทบต่อประชาชน รวมถึงในบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยเป็นพื้นที่ที่ถูกปกคลุมด้วยป่าไม้และภูเขามากมาย ทำให้พื้นที่บางส่วนไม่เอื้ออำนวยต่อการติดตั้งสถานี หรือมีข้อมูลไม่เพียงพอต่อการไปใช้ในการวิเคราะห์บริหารหรือวางแผนโครงการหรืองานด้านพัฒนาแหล่งน้ำได้อย่างเต็มที่ แต่ก็ยังมีพื้นที่ที่มีข้อมูลเพียงพอที่จะนำข้อมูลมาใช้ในการหาความสัมพันธ์กับลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำ จึงทำการศึกษาเพื่อนำความสัมพันธ์ที่ได้ไปใช้พยากรณ์ปริมาณน้ำท่าในกลุ่มน้ำสาขาที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการพัฒนาแหล่งน้ำในบริเวณลุ่มน้ำปิงตอนบน

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาตัวแปรทางอุทกวิทยาที่มีอิทธิพลต่อการเกิดน้ำท่าในลุ่มแม่น้ำปิงตอนบน โดยใช้วิธีทางสถิติ
2. เพื่อทดสอบหาดัชนีน้ำท่าที่มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าได้ดีสำหรับในบริเวณพื้นที่ลุ่มแม่น้ำปิงตอนบน

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. พื้นที่ในการศึกษาคือบริเวณลุ่มน้ำปิง ครอบคลุมบริเวณพื้นที่จังหวัด เชียงใหม่ ลำพูน และบางส่วนของจังหวัดตากและแม่ฮ่องสอน
2. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ข้อมูลน้ำฝน และน้ำท่า ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549-2557 (เมษายน พ.ศ. 2549 ถึง มีนาคม พ.ศ. 2557) รวมระยะเวลาทั้งหมด 9 ปี ซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาที่พบว่าปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าครอบคลุมทั้งในลักษณะฤดูน้ำหลากและน้ำแล้ง ข้อมูลน้ำฝนได้รับความอนุเคราะห์จากกรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และกรมทรัพยากรน้ำ ส่วนข้อมูลน้ำท่าได้รับความอนุเคราะห์จากกรมชลประทาน และกรมทรัพยากรน้ำ
3. วิธีการทางสถิติที่นำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษา ได้แก่ การหาความสัมพันธ์โดยใช้ตัวแบบการถดถอย (Regression Model)
4. แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า IHACRES (identification of unit hydrographs and component flows from rainfall, evapotranspiration and streamflow)

1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎี ทบทวนและรวบรวมเอกสารงานวิจัยและการศึกษาทางวิชาการที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะงานวิจัยในพื้นที่ศึกษาหรือพื้นที่ที่มีลักษณะทางด้านอุทกวิทยาคล้ายคลึงกัน

2. รวบรวมข้อมูลทางด้านอุทกนิยามวิทยาและอุทกวิทยา ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวัน ปริมาณน้ำท่ารายวัน จากสถานีที่มีการเก็บข้อมูลดังกล่าวในช่วงปี พ.ศ. 2549-2557

3. รวบรวมข้อมูลทางด้านกายภาพของกลุ่มน้ำซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลดิน และข้อมูลการใช้ที่ดินปี 2554

4. วิเคราะห์และตรวจสอบข้อมูลปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย

5. คำนวณดัชนีน้ำท่า เช่น สัมประสิทธิ์น้ำท่า (Runoff coefficient) และค่าการไหลสูงสุด (Peak flow) และจัดเตรียมข้อมูลลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำ (Catchment property) เช่น ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ (Catchment area), ความลาดชันเฉลี่ยของลำน้ำสายหลัก (Channel slope), ความยาวของลำน้ำสายหลัก (Channel Length) เป็นต้น

6. สร้างความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างข้อมูลลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำกับดัชนีน้ำท่าที่สามารถนำไปสู่การพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าได้

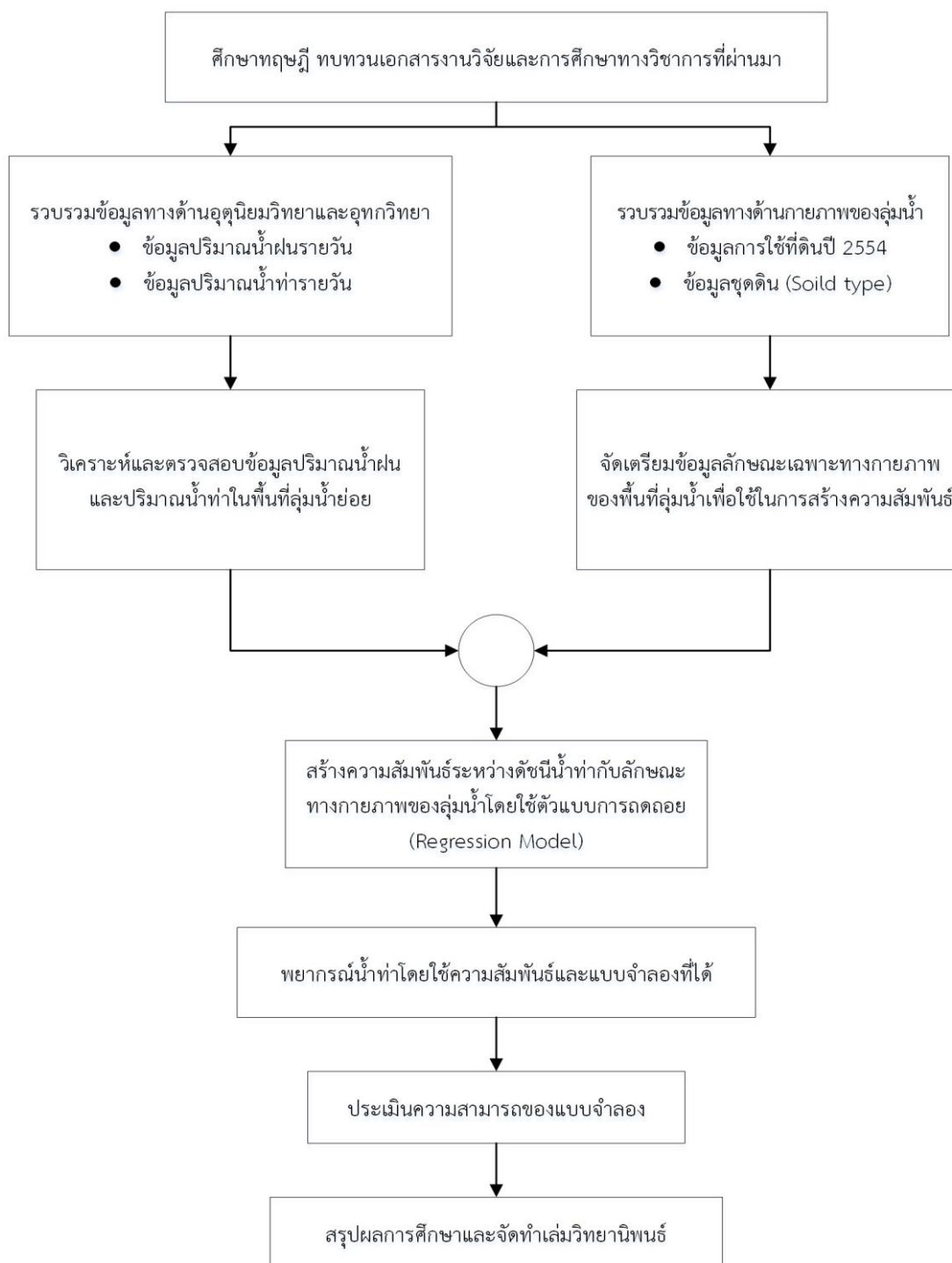
7. ทดสอบและวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของเทคนิคที่ใช้ในการพยากรณ์น้ำท่าสำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่า เพื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีน้ำท่าและลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำ

8. ประเมินผลการพยากรณ์และประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลตรวจวัดจริง

ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยที่อธิบายข้างต้น สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 1-2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การเพิ่มพูนความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับการสร้างความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างปัจจัยทางอุทกวิทยาและกระบวนการการเกิดน้ำท่า และสามารถนำความรู้ที่ได้ไปทำการพัฒนาแบบจำลองและวิธีการที่ใช้พยากรณ์น้ำท่าเพื่อให้การวางแผนการจัดการพัฒนาลุ่มน้ำเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น



รูปที่ 1-2 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วัตถุประสงค์ของบททฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ คือ การรวบรวมทฤษฎีแนวคิด และงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับทางอุทกวิทยาด้านการพยากรณ์น้ำท่าในบริเวณที่ไม่มีสถานีวัดโดยใช้ลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางอุทกวิทยาที่มีผลต่อแบบจำลองการถดถอย (Regression model) รูปแบบต่างๆ ซึ่งบทนี้จะประกอบไปด้วย คำศัพท์และความหมาย แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า กระบวนการแปลงข้อมูล การพยากรณ์ ดัชนีตัวแปรตอบสนองทางอุทกวิทยา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คำศัพท์และความหมาย

2.1.1 กลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีวัด (Ungauged basins)

Ungauged basins หมายถึง กลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าติดตั้งอยู่ หรือกลุ่มน้ำที่มีการบันทึกข้อมูลไม่เพียงพอทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ ที่จะนำไปใช้ในการคำนวณตัวแปรที่สนใจทางอุทกวิทยา เช่น ปริมาณน้ำ หรือ คุณภาพน้ำ ให้มีความถูกต้อง (Sivapalan, Takeuchi et al. 2003)

2.1.2 การพยากรณ์น้ำท่าบริเวณที่ไม่มีสถานีวัด (Predictions in ungauged basins)

การพยากรณ์น้ำท่าบริเวณที่ไม่มีสถานีวัด หมายถึง การทำนายหรือการพยากรณ์ตัวแปรทางอุทกวิทยาในพื้นที่ที่มีสถานีวัดน้อยหรือไม่มีตั้งอยู่ในลุ่มน้ำ โดยการพยากรณ์นั้นจะอ้างอิงลักษณะสภาพภูมิอากาศ ดิน พืช และลักษณะภูมิประเทศทางธรณีวิทยา เป็นตัวแปรนำเข้าในการพยากรณ์ค่าตัวแปรที่สนใจในอนาคต (Sivapalan, Takeuchi et al. 2003)

2.1.3 กระบวนการแปลงข้อมูล (Regionalization)

กระบวนการแปลงข้อมูลทางอุทกวิทยาจากบริเวณลุ่มน้ำที่มีสถานีวัดน้ำท่าไปยังลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าโดยเกี่ยวข้องกับการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าและลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำ (Catchment property) (Almeida, Bulygina et al. 2012)

2.2 การพยากรณ์ (Forecasting)

การพยากรณ์ เป็นการคาดการณ์หรือทำนายเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดยนำข้อมูลจากอดีตมาสร้างตัวแบบการพยากรณ์ผ่านการใช้ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์และสถิติ (วิธีอนุกรมเวลาและวิธีการพยากรณ์เชิงสาเหตุ) ซึ่งจำเป็นต้องใช้ดุลยพินิจและประสบการณ์ของผู้พยากรณ์ เพื่อให้ได้ผลการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำมากที่สุด ปัจจุบันการพยากรณ์ถูกนำไปใช้ในงานด้านต่างๆอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็น การพยากรณ์ด้านเศรษฐกิจ (Feng and Zhang 2014) การพยากรณ์ด้านการเงินและการลงทุน (Cervelló-Royo, Guijarro et al. 2015) การพยากรณ์ด้านการแพทย์ (Kadri, Harrou et al. 2014) เป็นต้น

ปรากฏการณ์ธรรมชาติ (Natural phenomena) เป็นอีกด้านหนึ่งที่ใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์และสถิติมาประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการจัดสรรทรัพยากรธรรมชาติ หรือเพื่อเตรียมพร้อมป้องกันและรับมือกับภัยพิบัติทางสภาพอากาศ เช่น ฝน (Mekanik, Imteaz et al. 2013, Beheshti, Firouzi et al. 2016) น้ำท่วม (Yucel, Onen et al. 2015) และภัยแล้ง (Mishra, Desai et al. 2007, Bonaccorso, Cancelliere et al. 2015) เทคนิคทางคณิตศาสตร์และสถิติที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหรือปัจจัยใดๆ ที่คาดว่าจะมีผลทำให้เกิดเหตุการณ์ต่างๆ คือ การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) (Weeks and Ashkanasy 1983, Abdulla and Lettenmaier 1997, Young 2006, Bao, Zhang et al. 2012)

แบบจำลองการถดถอยเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุดสำหรับการพยากรณ์น้ำท่าในบริเวณที่ไม่มีสถานีวัดทั่วโลก โดยใช้สมการถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple linear regression) และเทคนิคทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำท่ากับตัวแปรลักษณะทางกายภาพและนำความสัมพันธ์ที่ได้มาพยากรณ์ปริมาณน้ำท่า ดังแสดงในตารางที่ 2.1 งานวิจัยด้านอุทกวิทยาในประเทศไทยโดยส่วนใหญ่นั้นได้นำเทคนิคทางสถิติและแบบจำลองการถดถอยมาประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธีการทางอุทกวิทยาไปใช้สำหรับการพยากรณ์โดยมีวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันออกไปดังต่อไปนี้

โอฬาร เวศอุไร (2548) ได้ทำการศึกษาแบบจำลอง SWAT ในการประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อค่าปริมาณน้ำท่ารายเดือนของกลุ่มน้ำ่านตอนบนโดย โดยใช้ข้อมูลการใช้ที่ดินในปี พ.ศ. 2520, 2537 และ 2544 เป็นตัวแทนในการเปลี่ยนแปลงร่วมกับข้อมูลปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่าจำนวน 8 และ 13 สถานีตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าค่าร้อยละของความแตกต่างของผลรวมปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีของช่วงเวลาในการเปรียบเทียบแบบจำลองในแต่ละช่วงเวลาไม่เกินร้อยละ 10 ในทุกช่วงชั้นข้อมูลการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

และค่ารากที่สองสัมพัทธ์ของกำลังสองเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Root Mean Square Relative Error : RMSE) ของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยในแต่ละช่วงการเปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ 0.2 โดยที่ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลเฉลี่ยรายเดือนจากข้อมูลที่ได้จากการบันทึกจริงและแบบจำลองในแต่ละช่วงการเปลี่ยนแปลงมีค่าอยู่ระหว่าง 0.8 ถึง 0.85

สุพรรณษา บำรุงพงศ์ (2550) ได้ศึกษาหาความสัมพันธ์ด้วยวิธีแบบจำลองการถดถอยระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง Nedbor Afstromnings Model (NAM) และลักษณะทางกายภาพของสถานีวัดน้ำท่าลุ่มน้ำปึงตอนบนจำนวน 8 สถานี โดยลักษณะทางกายภาพประกอบด้วย ขนาดพื้นที่รับน้ำ ความยาวตามลำน้ำสายหลัก ความยาวตามลำน้ำสายหลักจากจุดศูนย์ถ่วงของกลุ่มน้ำจนถึงจุดออกของกลุ่มน้ำ และความลาดชันเฉลี่ยของลำน้ำสายหลัก จากการเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าจากการประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมกับกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงของสถานีวัดน้ำท่าทั้ง 8 สถานี พบว่าค่าทางสถิติที่แสดงผลการเปรียบเทียบอยู่ในเกณฑ์ดีถึงพอใช้กล่าวคือ ค่าสถิติ r มีค่าอยู่ระหว่าง 0.70 ถึง 0.86 และค่าดัชนีวัดประสิทธิภาพ (Efficiency Index : EI) อยู่ระหว่าง 33.45 ถึง 70.94 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าสมการความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM กับลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่ได้สามารถนำมาใช้เพื่อประเมินพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM บริเวณที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ภรณ์ยู มะลิพรม (2557) ได้ทำการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าของกลุ่มน้ำปึงตอนบนจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินโดยใช้แบบจำลอง SWAT โดยใช้ข้อมูลการใช้ที่ดินปี 2552 เป็นปีฐาน โดยเปลี่ยนแปลงไปอีก 5 ปี, 25 ปี และ 50 ปี พบว่าการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินลุ่มน้ำปึงตอนบนปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้นจากปี 2552 ร้อยละ 0.009, 0.011, 0.027 ตามลำดับ พื้นที่ป่าไม้ลดลง ร้อยละ 0.45, 2.28, 4.55 ตามลำดับ พื้นที่เกษตรเพิ่มขึ้น ร้อยละ 0.36, 1.83, 3.66 ตามลำดับ และพื้นที่ชุมชนเพิ่มขึ้น ร้อยละ 0.09, 0.45, 0.89 ตามลำดับ

ตารางที่ 2-1 ผลการทบทวนการศึกษาในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพจากความแม่นยำของวิธีการในการพยากรณ์ต่างๆ

ผู้วิจัย	ประเทศ	พื้นที่ลุ่มน้ำ (กม. ²)	จำนวนลุ่มน้ำ	แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า	ช่วงเวลาการศึกษา	วิธีการ	ตัวแปรพยากรณ์	ตัวชี้วัดประสิทธิภาพ
(Servat and Dezetter 1993)	สาธารณรัฐโกตดิวัวร์	100-4500	11	CREC	1970-1986	แบบจำลองการถดถอย	น้ำท่าราย 10 วัน	R^2 , NSE
(Servat and Dezetter 1993)	สาธารณรัฐโกตดิวัวร์	100-4500	11	GR3	1970-1986	แบบจำลองการถดถอย	น้ำท่าราย 10 วัน	R^2 , NSE
(Mazvimavi, Meijerink et al. 2005)	อังกฤษ	3.5-2630	52	-	>15 ปี	แบบจำลองการถดถอย	น้ำท่ารายปี	R^2
(Mazvimavi, Meijerink et al. 2005)	อังกฤษ	3.5-2630	52	-	>15 ปี	โครงข่ายประสาทเทียม	โค้งอัตราการไหล	R^2
(Mazvimavi, Meijerink et al. 2005)	อังกฤษ	3.5-2630	52	-	>15 ปี	โครงข่ายประสาทเทียม	น้ำท่ารายเดือน	R^2

ตารางที่ 2-1 ผลการทบทวนการศึกษาในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพจากความแม่นยำของวิธีการในการพยากรณ์ต่างๆ (ต่อ)

ผู้วิจัย	ประเทศ	พื้นที่ลุ่มน้ำ (กม. ²)	จำนวนลุ่มน้ำ	แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า	ช่วงเวลา (Time step)	วิธีการ	ตัวแปรพยากรณ์	ตัวชี้วัดประสิทธิภาพ
(Schilling and Walter 2005)	สหรัฐ อเมริกา	-	33	-	1980-2000	แบบจำลองการ ถดถอย	น้ำท่า	R ²
(Schilling and Walter 2005)	สหรัฐ อเมริกา	-	33	-	1980-2000	แบบจำลองการ ถดถอย	อัตราการไหล พื้นฐาน	R ²
(BÁRDOSSY 2007)	เยอรมัน	100000	101	HBV-IWS	1998	แบบจำลองการ ถดถอย	น้ำท่ารายวัน	NSE
(Kim and Kaluarachchi 2008)	เอธิโอเปีย	111- 10139	18	Water balance model	1970-2008	แบบจำลองการ ถดถอย	น้ำท่ารายเดือน	R ²
(Zhu and Day 2009)	สหรัฐ อเมริกา	-	54	-	1971-2001	แบบจำลองการ ถดถอย	น้ำท่ารายวัน	R ²

ตารางที่ 2-1 ผลการทบทวนการศึกษาในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพจากความแม่นยำของวิธีการในการพยากรณ์ต่างๆ (ต่อ)

ผู้วิจัย	ประเทศ	พื้นที่ลุ่มน้ำ (กม. ²)	จำนวนลุ่มน้ำ	แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า	ช่วงเวลา (Time step)	วิธีการ	ตัวแปรพยากรณ์	ตัวชี้วัดประสิทธิภาพ
(Duan, Liu et al. 2010)	จีน	54805	-	-	1956-2006	แบบจำลองการถดถอย	น้ำท่ารายปี	R^2
(Biabanaki, Esmalian et al. 2012)	อิหร่าน	51268	-	-	-	แบบจำลองการถดถอย	อัตราการไหลต่ำสุด	RE
(Piman and Babel 2012)	ไทย	460 และ 3853	1	HEC-HMS	กันยายน 1999	การประมาณค่าเชิงพื้นที่	น้ำหลาก รายชม.	NSE , RMSE
(Zhao, Liu et al. 2012)	จีน	-	-	-	1957-2000	แบบจำลองการถดถอย	น้ำท่ารายเดือน	R^2 , NSE
(Badyalina and Shabri 2013)	มาเลเซีย	16.3-10900	70	-	1959-2009	แบบจำลองการถดถอย	ค่าควอนไทล์ $Q_{T=10}$	RMSE , R^2
(Badyalina and Shabri 2013)	มาเลเซีย	16.3-10900	70	-	1959-2009	แบบจำลองการถดถอย	ค่าควอนไทล์ $Q_{T=100}$	RMSE ,

ตารางที่ 2-1 ผลการทบทวนการศึกษาในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพจากความแม่นยำของวิธีการในการพยากรณ์ต่างๆ (ต่อ)

ผู้วิจัย	ประเทศ	พื้นที่ลุ่มน้ำ (กม. ²)	จำนวนลุ่มน้ำ	แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า	ช่วงเวลา (Time step)	วิธีการ	ตัวแปรพยากรณ์	ตัวชี้วัดประสิทธิภาพ
(Zhang, Ahiablame et al. 2013)	สหรัฐอเมริก	-	17	-	1967-2011	แบบจำลองการถดถอย	อัตราการไหลพื้นฐาน	RE
(Zhang, Ahiablame et al. 2013)	สหรัฐอเมริก	-	17	-	1967-2011	แบบจำลองการถดถอย	ดัชนีการไหลพื้นฐาน	RE

2.3 แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall-runoff model)

การพยากรณ์น้ำท่าที่ใช้ในปัจจุบันทำได้โดยนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่าแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall-Runoff model) เพื่อหาความสัมพันธ์ของกระบวนการเกิดน้ำท่าที่ประกอบไปด้วยตัวแปรต่างๆ เช่น ลักษณะภูมิประเทศ สภาพอุทกนิยมนิเวศวิทยา อุทกวิทยา และลักษณะการใช้ที่ดิน เป็นต้น ซึ่งได้มีการพัฒนาแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าต่างๆ อย่างแพร่หลาย เพื่อมาประยุกต์ใช้ในการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างลุ่มน้ำที่มีสถานีวัดและไม่มีสถานีวัด (Vogel 2005, Almeida, Bulygina et al. 2012)

การใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าในพื้นที่ที่ไม่มีสถานีวัดนั้นได้นั้นก็ต่อเมื่อทราบค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวของแบบจำลอง ซึ่งในพื้นที่ที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่านั้นทำการประมาณค่าพารามิเตอร์ได้ยาก เนื่องจากมีปัญหาในด้านการเก็บข้อมูลต่างๆ จึงต้องใช้เทคนิคกระบวนการแปลงข้อมูลช่วยประมาณค่าพารามิเตอร์หรือดัชนีตัวแปรตอบสนองทางอุทกวิทยา ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในทางอุทกวิทยา โดยจะอธิบายเพิ่มเติมในหัวข้อ 2.3 กระบวนการแปลงข้อมูล (Regionalization) (Weeks and Ashkanasy 1983, Young 2006, Bardossy 2007, Almeida, Bulygina et al. 2012, สุพรรณษา บำรุงพงศ์ 2550)

2.4 กระบวนการการแปลงข้อมูล (Regionalization)

แบบจำลองทางอุทกวิทยาที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการพยากรณ์น้ำท่าวม การประเมินด้านทรัพยากรน้ำ การพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ ฯลฯ การสอบเทียบพารามิเตอร์ของแบบจำลองนั้นเป็นไปได้ค่อนข้างยากลำบาก เนื่องจากจำเป็นต้องการใช้ข้อมูลน้ำท่าในการสอบเทียบ แต่ในหลายๆ พื้นที่ลุ่มน้ำทั่วโลกนั้นยังไม่มีสถานีวัดน้ำท่าหรือมีอย่างจำกัด ทำให้การเก็บสถิติข้อมูลน้ำท่านั้นมีไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้งาน การพยากรณ์น้ำท่าในบริเวณที่ไม่มีสถานีวัด (Predictions in Ungauged basins) จึงเป็นความท้าทายของนักอุทกวิทยาทั่วโลก (Sivapalan, Takeuchi et al. 2003)

หลักการคำนวณพื้นฐานอย่างง่ายของกระบวนการแปลงข้อมูลในการพยากรณ์น้ำท่านั้นคำนวณได้จากอัตราส่วนความสัมพันธ์ระหว่างน้ำท่าในลุ่มน้ำที่มีสถานีวัดต่อพื้นที่ลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีวัด ซึ่งเป็นวิธีการพยากรณ์ที่ไม่ละเอียดนักเนื่องจากยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่ได้นำมาพิจารณาด้วย เช่น อัตราการซึม (infiltration) อัตราการระเหย (Evaporation) นักอุทกวิทยาจึงได้มีการพัฒนาเทคนิคและวิธีการต่างๆ ที่นิยมใช้ในกระบวนการแปลงข้อมูล ได้แก่ แบบจำลองถดถอย (Regression) ,การประมาณค่าเชิงพื้นที่ (Spatial proximity) และความคล้ายคลึง

ทางลักษณะกายภาพ (Physical similarity) (Oudin, Andréassian et al. 2008, Zhang and Chiew 2009, Bao, Zhang et al. 2012, Visessri 2014)

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่ามีหลายวิธีที่ใช้ในการพยากรณ์น้ำท่าในลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีวัดโดยวิธีที่พบมากที่สุดคือ การใช้เทคนิคทางสถิติหาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าและคุณลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำ วิธีดังกล่าวมีข้อจำกัดในเรื่องของการเลือกใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าเนื่องจากสร้างความสัมพันธ์จากพารามิเตอร์โดยตรง เมื่อเปลี่ยนแบบจำลองทำให้ความสัมพันธ์เดิมที่สร้างขึ้นอาจไม่มีความเหมาะสม (Almeida, Bulygina et al. 2012) โดยตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาได้มีการวิจัยเพื่อพัฒนาวิธีการดังกล่าวและแก้ไขข้อจำกัดนี้มาโดยตลอด

Yadav, Wagener et al. (2007) ได้นำเสนอแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าในการพยากรณ์บริเวณลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีวัดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำและดัชนีตัวแปรตอบสนองทางอุทกวิทยา (Hydrologic response indices) ได้แก่ สัมประสิทธิ์การเกิดน้ำท่า (Runoff ratio) และความลาดชันของโค้งอัตราการไหล (Slope of the flow duration curve) ซึ่งนำมาใช้เพื่อจำกัดขอบเขตพื้นที่พารามิเตอร์ที่คาดว่าจะเป็นไปได้ ในการพยากรณ์ลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีวัดพบว่า ดัชนีตัวแปรตอบสนองทางอุทกวิทยาสามารถปรับปรุงการพยากรณ์ในบริเวณที่ไม่มีสถานีวัดได้ดี

Sawicz, Wagener et al. (2011) ได้พัฒนาการจัดกลุ่มประเภทลุ่มน้ำในอเมริกาตะวันออกที่รวบรวมดัชนีตัวแปรตอบสนองทางอุทกวิทยา 6 ตัว โดยมีความแตกต่างกันไปตามระดับสภาพภูมิอากาศ อันประกอบไปด้วย อัตราส่วนน้ำท่า (Runoff ratio), ดัชนีอัตราการไหลพื้นฐาน (Baseflow index), อัตราส่วนวันที่หิมะตก (Snow day ratio), ความลาดชันของโค้งอัตราการไหล (Slope of the flow duration curve), ความยืดหยุ่นของน้ำท่า (Streamflow elasticity), และความหนาแน่นของน้ำขึ้น (rising limb density)

Visessri (2014) ได้ทำการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีตัวแปรตอบสนองทางอุทกวิทยา (Hydrologic response indices) และลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำปึงตอนบนในการพยากรณ์น้ำท่า ได้แก่ สัมประสิทธิ์น้ำท่า (Runoff Coefficient) ดัชนีการไหลพื้นฐาน (Base flow index) และความยืดหยุ่นของอัตราการไหลตามฤดูกาล (Seasonal flow elasticity) โดยใช้ข้อมูลน้ำท่าจาก 44 ลุ่มน้ำย่อย ในช่วงปี 2537-2549 ผลการศึกษาพบว่า สัมประสิทธิ์น้ำท่ามีความสัมพันธ์มากที่สุด ตามด้วยดัชนีการไหลพื้นฐาน และความยืดหยุ่นของอัตราการไหลตามฤดูกาล และนำความสัมพันธ์ดัชนีตัวแปรตอบสนองทางอุทกวิทยาที่ได้นำไป

ประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง Identification of unit Hydrographs And Component flows from Rainfall, Evapotranspiration and Streamflow (IHACRES) พบว่าสัมประสิทธิ์น้ำท่ามีความสามารถในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง IHACRES และให้ผลพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าได้มากกว่าดัชนีการไหลแบบอื่นๆ

การหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าสามารถประมาณค่าพารามิเตอร์ได้จากการใช้ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีตัวแปรตอบสนองทางอุทกวิทยา (Hydrologic response indices) และคุณลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำเพื่อกำหนดช่วงของค่าพารามิเตอร์ที่เป็นไปได้ในการสร้างแบบจำลองน้ำฝนน้ำท่า (Bulygina, McIntyre et al. 2009) ได้ใช้ความสัมพันธ์ดังกล่าวในการจำกัดช่วงของค่าพารามิเตอร์ที่เป็นไปได้ของแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า

2.5 ดัชนีตัวแปรตอบสนองทางอุทกวิทยา (Hydrologic response indices)

Yadav, Wagener et al. (2007) พบว่าดัชนีตัวแปรตอบสนองทางอุทกวิทยาของกลุ่มน้ำสามารถหาได้จากข้อมูลลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำนั้นๆ เช่น ข้อมูลฝน (Rainfall) อัตราการระเหย (Evapotranspiration) อุณหภูมิ (temperature) น้ำท่า (Streamflow) ตัวแปรตอบสนองดังกล่าวสามารถบอกลักษณะเฉพาะ ความแตกต่างของแต่ละกลุ่มน้ำได้ อาทิ อัตราส่วนน้ำท่า (Runoff ratio) ช่วงเวลาน้ำท่าสูงสุด (Time to peak flow) ซึ่งดัชนีตัวแปรตอบสนองทางอุทกวิทยาบางตัวสามารถนำมาใช้ในการจำลองน้ำท่าในบริเวณที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าได้ เช่น อัตราส่วนน้ำท่า (Runoff ratio) โดย Kult, Fry et al. (2014) ระบุให้อัตราส่วนน้ำท่า คือ อัตราส่วนปริมาณน้ำต่อปริมาณฝนทั้งหมดของกลุ่มน้ำในช่วงระยะเวลาเดียวกัน ในขณะที่Yadav, Wagener et al. (2007) ได้ให้ความหมายของอัตราส่วนน้ำท่าว่า อัตราส่วนน้ำท่า คือปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีต่อปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี เป็นต้น

จากการศึกษาที่ผ่านมาดัชนีตัวแปรตอบสนองทางอุทกวิทยาถูกนำมาใช้ในการหาความสัมพันธ์กับคุณลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำ หรือใช้ในการสอบเทียบแบบจำลองทางอุทกวิทยาในงานวิจัยต่างๆ มากมาย เช่น Chinnayakanahalli, Tarboton et al. (2005) ได้ตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีตัวแปรตอบสนองทางอุทกวิทยาจาก Olden and Poff (2003) และคุณลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำในการพยากรณ์พฤติกรรมการณ์การไหล (Hydrologic flow regimes) สำหรับการประเมินทางชีวภาพของกลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีวัดบริเวณตะวันตกของสหรัฐอเมริกาจำนวน 491 กลุ่มน้ำ เพื่อพัฒนาสมการถดถอยเชิงเส้นต่างๆ และการประมาณตัวแปรตอบสนองทางอุทกวิทยาจากคุณลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำ ซึ่งพบว่า

ดัชนีขนาดการไหลบางตัว เช่น ค่าเฉลี่ยอัตราการไหล อัตราการไหลต่ำสุดและสูงใน 7 วัน มีค่า R2 มากกว่า 0.4

Shamir, Imam et al. (2005) ได้นำดัชนีตัวแปรตอบสนองทางอุทกวิทยาบนพื้นฐานแนวคิดของความหนาแน่นสูงสุด (Peak density) ที่พัฒนาโดย Morin, Georgakakos et al. (2002) มาใช้ในการปรับปรุงการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองทางอุทกวิทยา ผลของการศึกษาพบว่าดัชนีเหล่านี้สามารถอธิบายถึงการเคลื่อนตัวของน้ำหลากผ่านลำน้ำและพื้นที่ลาดเขา (Chanel and hill slope routing processes) และใช้ดัชนีความหนาแน่นของน้ำขึ้น (rising limb density index) ในการปรับปรุงความน่าเชื่อถือของการพยากรณ์ ตลอดจนทำการตรวจสอบการใช้งานดัชนีตัวแปรตอบสนองทางอุทกวิทยาในช่วงเวลาที่แตกต่างกันในการจำกัดการคาดการณ์พารามิเตอร์โดยใช้ดัชนีเหล่านี้และทำการเปรียบเทียบปริภูมิพารามิเตอร์ (Parameter space) ที่ได้กับพารามิเตอร์อีก 4 ตัว ที่ใช้วิธีการอื่นๆ พบว่าวิธีการของพวกเขาได้ผลที่ดีกว่าจึงสรุปได้ว่ามีความจำเป็นในการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของดัชนีตัวแปรตอบสนองทางอุทกวิทยาต่างๆ และคุณลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำ (Shamir, Imam et al. 2005)

ตารางที่ 2-2 ข้อดีและข้อเสียของแต่ละวิธีในการพยากรณ์น้ำท่า

วิธีการพยากรณ์	ข้อดี	ข้อเสีย	ตัวอย่างงานวิจัย
1. Scailing relationship : อัตราส่วน ความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำท่าต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ ในลุ่มน้ำที่มีสถานีวัด และพื้นที่ลุ่มน้ำที่ไม่มี สถานีวัด	<ul style="list-style-type: none"> ● ง่ายต่อการคำนวณ 	<ul style="list-style-type: none"> ● ละเลยปัจจัยอื่นๆที่ เกี่ยวข้องในกระบวนการ เกิดน้ำท่าที่ไม่ได้นำมา พิจารณาร่วมด้วย เช่น อัตราการซึม อัตราการ ระเหย เป็นต้น ● ความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำท่าและคุณลักษณะ ทางกายภาพของลุ่มน้ำมี ความซับซ้อนมากไม่ สามารถใช้เพียงแค่พื้นที่ ของลุ่มน้ำเพียงตัวแปร เดียวได้ 	<ul style="list-style-type: none"> ● Buttle and Eimers (2009) ● Tekleab, Uhlenbrook et al. (2011)
2. Spatial proximity : นำข้อมูลน้ำท่าจาก ลุ่มน้ำใกล้เคียงที่มี สถานีวัดมาใช้ใน บริเวณที่ไม่มีสถานีวัด	<ul style="list-style-type: none"> ● ง่ายต่อการคำนวณ ● มีประสิทธิภาพในการใช้งาน ต่อเมื่อพื้นที่นั้นมีสภาพอากาศและ คุณลักษณะทางกายภาพของลุ่ม น้ำไม่แตกต่างกัน 	<ul style="list-style-type: none"> ● เป็นไปได้ยากที่ลุ่มน้ำที่ ใกล้เคียงกันจะมีลักษณะ ทางอุทกวิทยา และ ลักษณะทางกายภาพของ ลุ่มน้ำที่เหมือนกัน 	<ul style="list-style-type: none"> ● Young (2006) ● Zhang and Chiew (2009) ● Lima and Lall (2010)
3. แบบจำลองการ ถดถอย (Regression method)	<ul style="list-style-type: none"> ● เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่าง กว้างขวาง ● ง่ายต่อการอธิบาย ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ● สามารถบอกความไม่แน่นอน ของค่าพยากรณ์ได้ด้วยค่า ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ● สามารถสร้างความสัมพันธ์ ระหว่างดัชนีตัวแปรตอบสนอง ทางอุทกวิทยากับคุณลักษณะ ทางกายภาพของลุ่มน้ำได้ ดีกว่าพารามิเตอร์ของ แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า 	<ul style="list-style-type: none"> ● ไม่เหมาะกับการ พยากรณ์ที่ความสัมพันธ์ ของตัวแปรเป็นแบบไม่ เชิงเส้น ซึ่งทางอุทกวิทยา มีความสัมพันธ์แบบไม่ เป็นเชิงเส้น ● มีข้อจำกัดของความ พร้อมใช้งานของข้อมูล ในการเลือกใช้ คุณลักษณะทางกายภาพ ของลุ่มน้ำ อาจไม่ เพียงพอต่อการสร้าง ความสัมพันธ์ 	<ul style="list-style-type: none"> ● Schilling and Walter (2005) ● Mazvimavi, Meijerink et al. (2005) ● Zhu and Day (2009) ● Zhao, Liu et al. (2012) ● Zhang, Ahiablame et al. (2013)

2.6 สรุปการทบทวนวรรณกรรม

จากการศึกษารวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าในบทที่ 2 พบว่าการศึกษาที่เกี่ยวข้องในการจัดการทรัพยากรน้ำได้รับความสนใจมาอย่างยาวนาน โดยเฉพาะในประเทศไทยที่ยังประสบปัญหาในด้านการจัดสรรเงินทุนเพื่อใช้ในการก่อสร้างสถานีวัดน้ำท่าหรือแม้แต่สภาพภูมิประเทศไม่เอื้ออำนวยในการติดตั้งสถานีวัดน้ำท่า ทำให้การจัดการและวางแผนป้องกันการเกิดภัยพิบัติทางน้ำเป็นไปอย่างยากลำบาก โดยนักวิจัยหรือนักอุทกวิทยาส่วนได้คิดค้นและพัฒนาวิธีการที่ใช้ในการพยากรณ์น้ำท่าที่แตกต่างกันออกไป ผู้วิจัยได้เลือกเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) เป็นตัวแทนในการหาความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (Linear Model)

เหตุผลที่เลือกเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย เนื่องจากสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรได้ดี อธิบายถึงความสัมพันธ์ได้อย่างชัดเจน และสามารถบอกความแตกต่างระหว่างค่าพยากรณ์ที่ได้จากสมการถดถอยและค่าจริงได้จากการวิเคราะห์เศษส่วนเหลือ เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยจึงเป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall-Runoff Model) และลักษณะเฉพาะทางด้านกายภาพของกลุ่มน้ำ หรือดัชนีตัวแปรตอบสนองทางอุทกวิทยา (Hydrologic response indices) เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยจึงเป็นตัวแทนในการหาความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นที่เหมาะสมในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่า

2.7 วิธีที่ใช้ในงานวิจัย

จากการศึกษารวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าในหัวข้อที่ 2.2 ผู้วิจัยได้เลือกเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย นำมาประยุกต์ในการหาความสัมพันธ์ และพัฒนาแนวทางการศึกษาวิจัยในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าในบริเวณที่ไม่มีสถานีวัด โดยเนื้อหาในส่วนนี้จะอธิบายถึงวิธีการ ทฤษฎี รายละเอียดต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัย ตัวชี้วัดที่ใช้ในการตรวจสอบผลการจำลอง

2.8 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหนึ่งตัว หรือหลายตัวกับตัวแปรตามหนึ่งตัว ตลอดจนเพื่อประมาณหรือพยากรณ์ค่าของตัวแปรตามจากตัวแปรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้การวิเคราะห์การถดถอยแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย และการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ

2.8.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple linear regression)

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายเป็นการศึกษาหาความสัมพันธ์ในรูปแบบเชิงเส้นระหว่างตัวแปร 2 ตัว คือ ตัวแปรตาม(Response variable) และตัวแปรอิสระ (explanatory variable) เพียง 1 ตัว ซึ่งสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรดังกล่าวในรูปของฟังก์ชันได้ดังนี้

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \varepsilon \quad (2-1)$$

โดยที่

- Y แทนตัวแปรตาม
- x_1 แทนตัวแปรอิสระ
- β_0 แทนจุดตัดแกน Y หรือค่าของ Y เมื่อ x มีค่าเป็นศูนย์
- β_1 แทนสัมประสิทธิ์การถดถอยเป็นความชันหรืออัตราการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร Y
- ε แทนค่าความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่ม

2.8.2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple linear regressions)

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุเป็นเทคนิคทางสถิติที่ใช้ในการหารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Response variable) และตัวแปรอิสระ (Explanatory variables) ตั้งแต่สองตัวแปรขึ้นไป ซึ่งสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในรูปของฟังก์ชันได้ดังนี้

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon \quad (2-2)$$

โดยที่

- Y แทนตัวแปรตาม (Dependent Variable)
- x_i แทนตัวแปรอิสระ (Independent Variable)
- β_0 แทนจุดตัดแกน Y หรือค่าเริ่มต้นของเส้นสมการถดถอย
- $\beta_1 - \beta_n$ แทนสัมประสิทธิ์การถดถอยตัวที่ 1 ถึงตัวที่ n
- ε แทนค่าความคลาดเคลื่อน

โดยค่า β_i เป็นแสดงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามเมื่อตัวแปรอิสระตัวที่ i เปลี่ยนไป 1 หน่วย ขณะที่ตัวแปรอิสระอื่นๆ มีค่าคงเดิม

2.9 การเลือกตัวแปรอิสระสำหรับสมการถดถอย

ในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุจะมีตัวแปรอิสระ X ในสมการตั้งแต่ 2 ตัวแปรขึ้นไป ทั้งนี้เพื่อให้การใช้แบบจำลองการถดถอยในการพยากรณ์มีประสิทธิภาพจำเป็นต้องเลือกแบบจำลองให้มีความเหมาะสม โดยแบบจำลองที่มีความเหมาะสมนั้นตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตามไม่มากหรือน้อยเกินไป อย่างไรก็ตามในงานวิจัยบางงานอาจพบตัวแปรอิสระที่นักวิจัยสนใจจำนวนมาก ซึ่งแบบจำลองการถดถอยที่มีตัวแปรอิสระมากเกินไปจะทำให้ค่าพยากรณ์ที่ได้มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงและอาจก่อให้เกิดปัญหาสหสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ (Multicollinearity) ตามมา ในทางตรงข้ามถ้าแบบจำลองที่สร้างขึ้นมีตัวแปรอิสระน้อยเกินไป หรือขาดตัวแปรอิสระบางตัวที่มีความสำคัญก็จะทำให้ค่าพยากรณ์ที่ได้มีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงสูงเช่นเดียวกัน ดังนั้นในการพัฒนาแบบจำลองสมการการถดถอยจึงต้องคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้ามาในสมการ ซึ่งผู้วิเคราะห์จะต้องพิจารณาว่ามีตัวแปรอิสระใดบ้างที่มีความสัมพันธ์กับ Y โดยคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงส่วน (Partial correlation coefficient) ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระทีละตัว แล้วคัดเลือกเอาตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามมากที่สุดเข้ามาในสมการถดถอย

เทคนิคที่นำมาใช้ในการคัดเลือกตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามมีทั้งหมด 5 วิธี ได้แก่ การคัดเลือกเข้า (Enter) การคัดเลือกออก (Remove) การคัดเลือกตัวแปรอิสระแบบไปข้างหน้า (Forward) วิธีตัดตัวแปรอิสระออกแบบถอยหลัง (Backward Elimination) และวิธีการคัดเลือกแบบขั้นตอน (Stepwise) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก. การคัดเลือกเข้า (Enter)

การคัดเลือกเข้าเป็นการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการด้วยการวิเคราะห์ขั้นตอนเดียว โดยผู้วิเคราะห์ต้องเป็นผู้คัดเลือกกว่าตัวแปรใดควรจะอยู่ในสมการ โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละคู่ก่อน ทั้งนี้ตัวแปรอิสระที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับตัวแปรสูงๆ และมีนัยสำคัญทางสถิติ จะถูกคัดเลือกเข้ามาในสมการทั้งหมด

ข. การคัดเลือกออก (Remove)

การคัดเลือกออกเป็นการคัดเลือกตัวแปรอิสระออกจากสมการโดยจะทำการนำตัวแปรอิสระที่มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดออกจากสมการที่สร้างขึ้น วิธีนี้มักใช้ร่วมกับวิธี Enter

ค. การคัดเลือกแบบไปข้างหน้า (Forward)

การคัดเลือกแบบไปข้างหน้าเป็นวิธีการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการ โดยจะนำตัวแปรอิสระเข้าสมการครั้งละ 1 ตัว ตัวแปรอิสระที่ถูกคัดเลือกมักเป็นตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามสูงและมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยสถิติเอฟ จากนั้นจึงคัดเลือกตัวแปรอิสระที่เหลือเข้าสมการ โดยพิจารณาจากการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วน (Partial correlation) ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระที่เหลือ ทั้งนี้ทุกครั้งที่มีการเพิ่มตัวแปรอิสระเข้าในสมการจะต้องมีการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนเสมอเพื่อดูว่าตัวแปรที่เพิ่มเข้ามานั้นควรอยู่ในตัวแบบหรือไม่

ง. การคัดเลือกถอยหลัง (Backward)

การคัดเลือกถอยหลังเป็นวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าในสมการโดยเริ่มจากสมการที่มี ตัวแปรอิสระครบทุกตัวแล้วจึงคัดออกทีละตัว โดยเริ่มจากการตัดตัวแปรอิสระที่มีสัมประสิทธิ์ถดถอยที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติหรือตัวแปรที่มีส่วนในการอธิบายตัวแปรตามออกก่อนจนไม่สามารถตัดตัวแปรอิสระใดออกจากสมการได้

จ. การคัดเลือกแบบขั้นตอน (Stepwise)

การคัดเลือกตัวแปรนำเข้าด้วยวิธีการถดถอยแบบขั้นตอนเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด วิธีนี้ถูกพัฒนาขึ้นมาจากวิธีเลือกตัวแปรอิสระแบบไปข้างหน้าและวิธีตัดตัวแปรอิสระออกแบบถอยหลังโดยมีการแก้ไขจุดอ่อนทั้งสองวิธีข้างต้นกล่าวคือ ในขั้นแรกตัวแปรที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับตัวแปรตามสูงที่สุดจะถูกคัดเลือกเข้าสมการก่อนจากนั้นจึงทำการทดสอบตัวแปรที่ไม่ได้อยู่ในสมการว่ามีตัวแปรใดบ้างมีสิทธิ์เข้ามาอยู่ในการสมการด้วยวิธีการคัดเลือกแบบก้าวหน้า (Forward Selection) ขณะเดียวกันก็จะทำการทดสอบตัวแปรที่อยู่ในสมการด้วยว่าตัวแปรอิสระที่อยู่ในสมการตัวใดมีโอกาที่จะถูกขจัดออกจากสมการด้วยวิธีการคัดเลือกแบบถอยหลัง (Backward Selection) โดยจะกระทำการคัดเลือกแบบผสมในทุกขั้นตอนจนกระทั่งไม่สามารถเลือกตัวแปรอิสระใดเข้าและไม่สามารถตัดตัวแปรอิสระใดออกจากสมการได้อีก การคัดเลือกตัวแปรนำเข้าด้วยวิธีการถดถอยแบบขั้นตอนถูกนำไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในหลายสาขาวิชา เช่น ด้านการแพทย์ (Davis, Drobnis et al. 1995, Wan, Fang et al. 2013, Quraishi, Bittner et al. 2014, Mudali, Roerdink et al. 2016) ด้านจิตวิทยา (Sterling, Jull et al. 2005, Mantilla, Bergsten et al. 2014, Kesici 2015) ด้านการเงินและการลงทุน (Hadavandi, Shavandi et al. 2010, Kavousian, Rajagopal et al. 2013) การคัดเลือกตัวแปรแบบขั้นตอนสามารถอธิบายขั้นตอนอย่างละเอียดได้ดังต่อไปนี้

1) พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ โดยคัดเลือกตัวแปรอิสระที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับตัวแปรตามสูงที่สุดเข้าสู่สมการเป็นตัวแรก

2) ตัวแปรอิสระที่เข้ามาอยู่ในสมการแล้ว จะถูกทดสอบนัยสำคัญทางสถิติด้วยสถิติทดสอบทีหรือเอฟ หากพบว่าตัวแปรอิสระดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ขั้นตอนการคัดเลือกจะสิ้นสุด แต่หากปฏิเสธสมมติฐานหลักจะดำเนินการในขั้นตอนต่อไป

3) พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนระหว่างตัวแปรอิสระที่เหลือทั้งหมดกับตัวแปรตาม โดยจะเลือกตัวแปรอิสระที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนกับตัวแปรตามสูงที่สุดเข้ามาอยู่ในสมการเป็นตัวถัดมา

4) หลังจากขั้นตอนที่ 3 สิ้นสุดลงจึงทำการทดสอบนัยสำคัญทางสถิติของตัวแปรอิสระที่นำเข้ามาเป็นตัวสุดท้าย โดยพิจารณาจากค่าสถิติเอฟบางส่วน ถ้ามีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดจะต้องทำการนำตัวแปรอิสระดังกล่าวนั้นออกจากสมการ แต่ถ้าค่าสถิติเอฟบางส่วนมีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ จะทำการย้อนกลับไปทดสอบตัวแปรอิสระก่อนหน้าที่เข้ามาอยู่ในตัวแบบ โดยพิจารณาจากค่าสถิติเอฟบางส่วนเช่นเดียวกัน

5) ดำเนินการในขั้นตอนที่ 3 และ 4 ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งไม่สามารถนำตัวแปรอิสระใดออกจากตัวแบบได้หรือไม่สามารถนำตัวแปรอิสระใดเข้าสู่สมการได้อีก

การกำหนดค่าระดับนัยสำคัญในการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าหรือออกจากตัวแบบนี้มีความสำคัญต่อการคัดเลือกเป็นอย่างมาก เนื่องจากในการคัดเลือกตัวแปรด้วยค่าสถิติ F บางส่วน หากมีการกำหนดค่าระดับนัยสำคัญให้มีค่าที่แตกต่างกันจะส่งผลให้การคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้ามาในตัวแบบลดลงหรือทำให้ตัวแปรอิสระออกจากตัวแบบเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการคัดเลือกตัวแปรอิสระที่ไม่มีความสำคัญเข้ามาในตัวแบบหรืออาจละเลยตัวแปรอิสระที่สำคัญไป ดังนั้นเราจำเป็นต้องกำหนดระดับนัยสำคัญของการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าตัวแบบและการคัดเลือกตัวแปรอิสระออกจากตัวแบบให้มีค่าเท่ากัน (Draper, Smith et al. 1966) ด้วยเหตุดังกล่าวในงานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าด้วยวิธีการถดถอยแบบขั้นตอนมาใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะเฉพาะทางด้านกายภาพของกลุ่มน้ำย่อยและดัชนีตัวแปรตอบสนองทางอุทกวิทยาโดยกำหนดค่าระดับนัยสำคัญของการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าในตัวแบบกับระดับนัยสำคัญของการคัดเลือกตัวแปรอิสระออกจากตัวแบบเท่ากับ 0.05

2.10 การทดสอบสำหรับการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสู่สมการการถดถอย

1) การทดสอบเอฟรวม (Overall F Test) ใช้สำหรับการทดสอบว่ามีตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัวอยู่ในตัวแบบหรือไม่ โดยมีสมมติฐานดังนี้

สมมติฐาน

$$\begin{aligned} H_0: \beta_1 &= \beta_2 = \dots = \beta_k = 0 \\ H_1: \exists \beta_i &= 0 ; i=1,2,\dots,k \end{aligned}$$

สถิติทดสอบ

$$F_0 = \frac{SSR/k}{SSE/(n-k-1)} = \frac{MSR}{MSE} \quad (2-3)$$

การสรุปผล

ปฏิเสธสมมติฐาน $F_0 > F_{\alpha, k, n-k-1}$ กล่าวคือมีตัวแปรอิสระอย่างน้อยหนึ่งตัวในสมการถดถอย หรืออาจกล่าวได้ว่ามีตัวแปรอิสระอย่างน้อยหนึ่งตัวที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับตัวแปรตาม

2) การทดสอบสัมประสิทธิ์แต่ละตัว (β) เป็นการทดสอบว่าตัวแปรอิสระที่ได้รับการคัดเลือกสามารถอยู่ในสมการหรือไม่ การเพิ่มตัวแปรอิสระเข้ามาในสมการถดถอยจะทำให้ค่าผลบวกกำลังสองของความคลาด (SSE) ลดลง หรือเพิ่มผลบวกกำลังสองของการถดถอย (SSR) ขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นของค่า SSR นั้นไม่ได้หมายความว่าตัวแปรอิสระนั้นๆ มีความสำคัญในการพยากรณ์ตัวแปรตาม เนื่องจากการเพิ่มตัวแปรอิสระเข้ามาอาจมีผลทำให้ความแปรปรวนของค่าพยากรณ์เพิ่มขึ้นด้วยดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาตัวแปรอิสระแต่ละตัวว่าตัวใดที่มีความสำคัญกับตัวแปรตาม (Montgomery, Peck et al. 2012)สามารถใช้สถิติทดสอบได้ 2 แบบ คือ สถิติทดสอบที หรือ สถิติทดสอบเอฟ โดยมีสมมติฐาน ดังนี้

สมมติฐาน

$$\begin{aligned} H_0: \beta_i &= 0 \\ H_1: \beta_i &\neq 0 \end{aligned}$$

สถิติทดสอบ

$$t_0 = \frac{\hat{\beta}_i}{SE(\hat{\beta}_i)} \quad (2-4)$$

$$F_0 = \frac{SSR}{SSE/(n-2)} \quad (2-5)$$

$$\text{เมื่อ } SE(\hat{\beta}_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (\hat{\beta}_i - \bar{\beta})^2}{m}}$$

การสรุปผล

ปฏิเสธสมมติฐาน เมื่อ $|t_0| > t_{\alpha/2, n-k-1}$ กล่าวคือตัวแปรอิสระนั้นสามารถคงอยู่ในสมการถดถอยได้

ปฏิเสธสมมติฐาน เมื่อ $F_0 \geq F_{\alpha, (1, n-2)}$ กล่าวคือตัวแปรอิสระนั้นสามารถคงอยู่ในสมการถดถอยได้

3) การทดสอบเอฟบางส่วน (Partial F test) การเลือกตัวแปรอิสระว่าตัวแปรใดมีผลต่อตัวแปรตามนั้นสามารถทำได้โดยการทดสอบตัวแปรอิสระด้วยสถิติทดสอบทีทีละตัว หรือพิจารณาการเลือกตัวแปรอิสระเป็นกลุ่มโดยการใช้การแบ่งส่วนของตัวแบบซึ่งใช้สถิติทดสอบเอฟบางส่วน (Partial F test) โดยมีสมมติฐานดังนี้

สมมติฐาน

$$H_0: \beta_j = 0$$

$$H_1: \beta_j \neq 0 \text{ เมื่อ } j = 1, 2, \dots, k$$

สถิติทดสอบ

$$F_0 = \frac{SSR(\beta_j | \beta_0, \dots, \beta_{j-1}, \beta_{j+1}, \dots, \beta_k)}{MSE} \quad (2-6)$$

การสรุปผล

ปฏิเสธสมมติฐาน เมื่อ $F_0 > F_{\alpha, k, n-k-1}$ กล่าวคือตัวแปรอิสระนั้นสามารถอยู่ในสมการถดถอยที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ α

2.11 การตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์สมการถดถอย

ในการนำสมการถดถอยไปประยุกต์ใช้งาน ผู้ใช้จะต้องตรวจสอบความถูกต้องของสมการ ถดถอยหรือตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบ ซึ่งเงื่อนไขค่าความคลาดเคลื่อน (Error or residual) มีดังนี้

1. ค่าความคลาดเคลื่อนสุ่มมีการแจกแจงแบบปกติ $\tilde{\varepsilon} \sim N(\tilde{0}, \sigma^2 \tilde{I}_n)$
2. ค่าความคลาดเคลื่อนต้องเป็นอิสระต่อกัน $Cov(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0$
3. ตัวแปรอิสระทุกตัวเป็นอิสระต่อกัน
4. ตัวแปรตามต้องเป็นตัวแปรเชิงสุ่มที่มีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ $Y \sim N(\mu, \sigma^2)$
5. ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่ $[Var(\varepsilon_i | x_i) = \sigma^2]$

2.11.1 การทดสอบการแจกแจงของค่าความคลาดเคลื่อนโดยใช้สถิติทดสอบ Kolmogorov – smirnov

ในการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนที่มีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ จะดำเนินการผ่านสถิติทดสอบ Kolmogorov – smirnov ซึ่งเป็นการทดสอบสารูปสนิหติระหว่างการแจกแจงของค่าความถี่สะสมของตัวอย่างกับการแจกแจงความถี่สะสมที่คาดหวังในทางทฤษฎี โดยมีสมมติฐานดังนี้

สมมติฐาน

H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อนไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

สถิติทดสอบ

$$D = \max |F_0(x) - S_n(x)| \quad (2-7)$$

เมื่อ $F_0(x)$ แทนฟังก์ชันการแจกแจงของประชากรที่คาดไว้ภายใต้ H_0
(Hypothesized distribution function)

$S_n(x)$ แทนฟังก์ชันการแจกแจงจากตัวอย่าง (Empirical distribution function)

การสรุปผล

ปฏิเสธสมมติฐาน เมื่อ $D_{cal} \geq D_{n,\alpha}$ กล่าวคือค่าความคลาดเคลื่อนไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

2.11.2 การทดสอบความเป็นอิสระของค่าความคลาดเคลื่อนโดยใช้สถิติทดสอบ Durbin - Watson

สมมติฐาน

H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อนไม่มีความสัมพันธ์กัน ($\rho = 0$)

H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อนมีความสัมพันธ์แบบบวก ($\rho > 0$)

สถิติทดสอบ

$$d = \frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n e_t^2} \quad (2-8)$$

เมื่อ $e_t = Y_t - \hat{Y}_t ; t = 1, 2, \dots, n$

n คือ จำนวนค่าสังเกต

การสรุปผล

ถ้า $d < d_L$ ปฏิเสธ $H_0: (\rho = 0)$ กล่าวคือค่าความคลาดเคลื่อนไม่มีความสัมพันธ์กัน

ถ้า $d > d_U$ ไม่ปฏิเสธ $H_0: (\rho = 0)$ กล่าวคือค่าความคลาดเคลื่อนมีความสัมพันธ์แบบบวก

ถ้า $d_L \leq d \leq d_U$ การทดสอบนี้สรุปผลไม่ได้

d_L คือ ขอบเขตล่าง

d_U คือ ขอบเขตบน

d_L และ d_U อ่านได้จากตารางขอบเขตการทดสอบ Durbin - Watson

2.11.3 การทดสอบความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่โดยใช้สถิติทดสอบ Levene

สมมติฐาน

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2$$

$$H_1: \sigma_i^2 \neq \sigma_j^2$$

สถิติทดสอบ

$$W = \frac{(N-k)}{(k-1)} \times \frac{\sum_{i=1}^k N_i (\bar{Z}_{i.} - \bar{Z}_{..})^2}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{N_i} (Z_{ij} - \bar{Z}_{i.})^2} \quad (2-9)$$

เมื่อ N คือ ขนาดตัวอย่างทั้งหมด

N_i คือ ขนาดตัวอย่างของกลุ่มย่อยที่ i ที่เกิดจากการแบ่งกลุ่มเป็น k กลุ่ม

Z_{ij} คือ $|e_{ij} - e_{i.}|$

$\bar{Z}_{i.}$ คือ $\frac{1}{n_i} \sum (e_{ij} - \bar{e}_{i.})^2$

$\bar{Z}_{..}$ คือ $\frac{1}{n} \sum \sum (e_{ij} - \bar{e}_{..})^2$

การสรุปผล

ปฏิเสธสมมติฐาน เมื่อ $W > F_{\alpha, k-1, N-k}$ กล่าวคือความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนไม่คงที่

2.12 การตรวจสอบปัญหาตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันเอง (Multicollinearity)

เนื่องจากข้อกำหนดของตัวแบบที่ระบุไว้ว่าตัวแปรอิสระที่อยู่ในสมการถดถอยต้องเป็นอิสระต่อกัน ผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องทดสอบสมมติฐานโดยสามารถพิจารณาได้จาก 2 วิธีการ ดังนี้

- 1) พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson correlation coefficient : r)

$$r = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{[n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2][n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}} ; i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2-10)$$

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นค่าสถิติที่ใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างค่าพยากรณ์และค่าที่ได้จากการตรวจวัด หรือเป็นค่าสถิติที่ใช้ในการวัดระดับความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรสองตัวโดยใช้สัญลักษณ์ r แทนค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง -1 ถึง 1 ทั้งนี้เครื่องหมายของ r มีหน้าที่บอกทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ถ้ามีค่าเป็นบวกหมายความว่า ตัวแปรทั้งสองตัวมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน (เมื่อ x มีค่าเพิ่มขึ้น y จะมีการเพิ่มขึ้นตามไปด้วย) แต่ถ้ามีค่าเป็นลบหมายความว่า ตัวแปรทั้งสองตัวมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกัน คือ เมื่อ x มีค่าเพิ่มขึ้น y จะมีการลดลง ระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรจะถูกวัดจากค่าของ r โดยหาก r มีค่าเข้าใกล้ค่า 1 หรือเท่ากับ 1 แสดงว่าตัวแปรทั้งสองตัวมีความสัมพันธ์เชิงเส้นต่อกันมาก แต่ถ้าค่า r มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าตัวแปรทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน (Tabachnick and Fidell 2007)

สมมติฐาน

$$H_0: \rho = 0 \text{ (ตัวแปร } X \text{ และ } Y \text{ ไม่มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น)}$$

$$H_1: \rho \neq 0 \text{ (ตัวแปร } X \text{ และ } Y \text{ มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น)}$$

สถิติทดสอบ

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} ; df = n - 2 \quad (2-11)$$

การสรุปผล

ปฏิเสธสมมติฐาน เมื่อค่า $t \geq t_{\alpha, n-2}$ หรือ $t \leq -t_{\alpha, n-2}$ (Christensen and Stoup, 1991)

นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์คู่ใดที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่สูงเกิน ± 0.8 ให้สงสัยว่าตัวแปรคู่ นั้นอาจเกิดปัญหา Multicollinearity (Stevens 2012)

2) การตรวจสอบโดยพิจารณาจากค่า Variance Inflation Factor (VIF)

ถ้าค่า VIF มีค่ามากกว่า 10 สามารถสรุปได้ว่าเกิดปัญหา Multicollinearity ระหว่างตัวแปรอิสระ (Gujarati 2009)

$$VIF = \frac{1}{1-r_{x_j(x_1, x_2, \dots, x_{j+1}, \dots, x_k)}^2} \quad (2-12)$$

เมื่อ $r_{x_j(x_1, x_2, \dots, x_{j+1}, \dots, x_k)}^2$ คือ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจของ X_j กับตัวแปรอิสระอื่นๆ ที่เหลือ

การแก้ปัญหา Multicollinearity ที่สำคัญได้แก่ การเพิ่มขนาดตัวอย่าง หรือค่าสังเกต และการแปลงตัวแปรอิสระบางตัวเพื่อลดความรุนแรงของปัญหาดังกล่าว

2.13 ช่วงความเชื่อมั่น (Confidence Interval)

ช่วงความเชื่อมั่น คือ ขอบเขตของค่า β_j หนึ่งที่ใช้เป็นตัวแทนของกลุ่มตัวอย่างที่ทำการสุ่มมาจากข้อมูลประชากรที่ไม่ทราบค่าพารามิเตอร์ เช่น ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และอัตราส่วน ทั้งนี้ช่วงความเชื่อมั่นมักถูกใช้ในการประมาณค่าช่วงของค่าเฉลี่ยที่แท้จริงของประชากรที่คาดว่าจะตกอยู่ในช่วงความน่าจะเป็นที่กำหนด

2.14 ช่วงค่าพยากรณ์ (Prediction Interval)

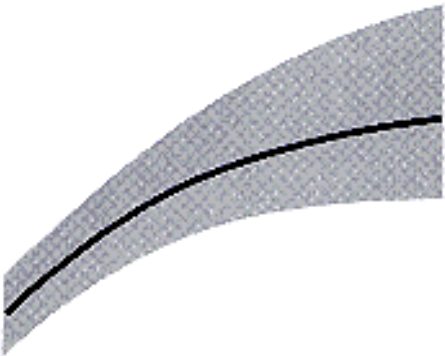
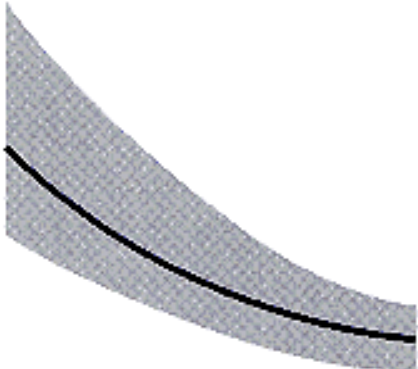
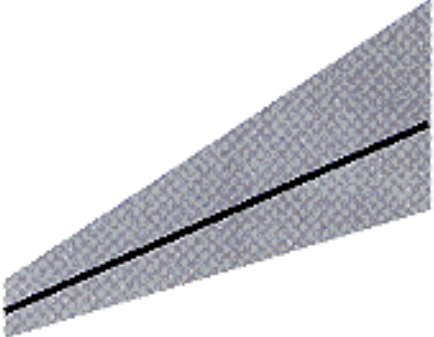
ช่วงค่าพยากรณ์ คือ ขอบเขตของการประมาณค่าช่วงของค่าพยากรณ์ที่คาดว่าจะตกอยู่ในช่วงความน่าจะเป็นที่กำหนด โดยที่ขอบเขตของค่าพยากรณ์จะกว้างกว่าช่วงความเชื่อมั่นเนื่องจากความไม่แน่นอนในการประมาณค่าแบบค่าเดียวย่อมมีมากกว่าการประมาณค่าโดยเฉลี่ย ทั้งนี้ช่วงค่าพยากรณ์แสดงถึงความไม่แน่นอนของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยรวมถึงความแปรปรวนที่เกิดจากค่าความคลาดเคลื่อนอีกด้วย

2.15 การแปลงข้อมูล (Transformation)

การแปลงข้อมูลตัวแปรตาม (Y) จะใช้เมื่อค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ และความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่ การแปลงค่าของตัวแปรตามจะช่วยให้ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่และยังช่วยให้ความสัมพันธ์แบบเดิมที่เป็นความสัมพันธ์แบบเส้นโค้งนั้นเปลี่ยนเป็นความสัมพันธ์แบบเส้นตรงได้ อย่างไรก็ตามบางกรณีต้องแปลงทั้งข้อมูลตัวแปรอิสระ และตัวแปรตาม เพื่อให้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง

การแปลงข้อมูลตัวแปรอิสระ (X) จะใช้เมื่อความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเส้นตรงมีความคลาดเคลื่อนที่มีการแจกแจงปกติและมีค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนแบบคงที่ วิธีการแปลงค่าของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระแสดงดังตารางที่ 2-3 ถึง 2-4

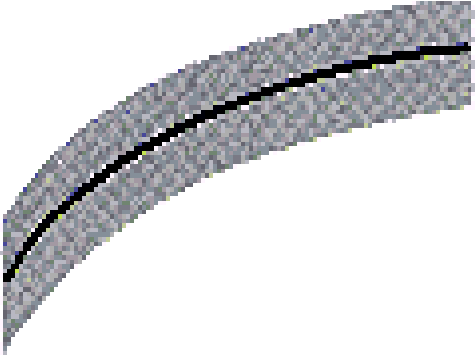
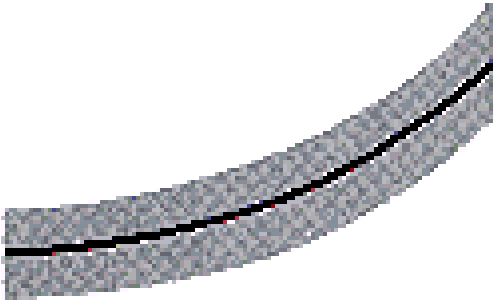
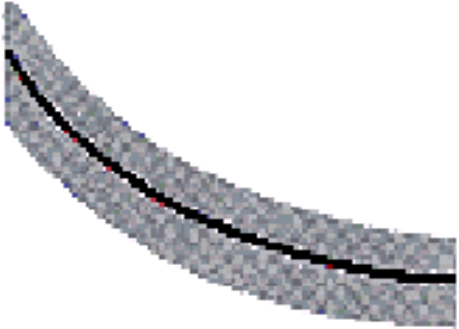
ตารางที่ 2-3 รูปแบบการถดถอยที่มีการแจกแจงข้อมูลมีความเบ้บางรูปแบบ และมีความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นหรือลดลงพร้อมด้วยค่าเฉลี่ย

รูปแบบการถดถอย	วิธีการแปลงค่าของตัวแปรตาม (Y)
	$Y' = \sqrt{Y}$
	$Y' = \log_{10} Y$
	$Y' = \frac{1}{y}$



วิทยาลัย
UNIVERSITY

ตารางที่ 2-4 รูปแบบการถดถอยที่มีการแจกแจงข้อมูลแบบไม่เป็นเส้นตรงที่มีความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนคงที่

รูปแบบการถดถอย	วิธีการแปลงค่าของตัวแปรอิสระ (X)
	$X' = \sqrt{X}$ $X' = \log X$
	$X' = X^2$ $X' = \exp(X)$
	$X' = X^{-1}$ $X' = \exp(-X)$

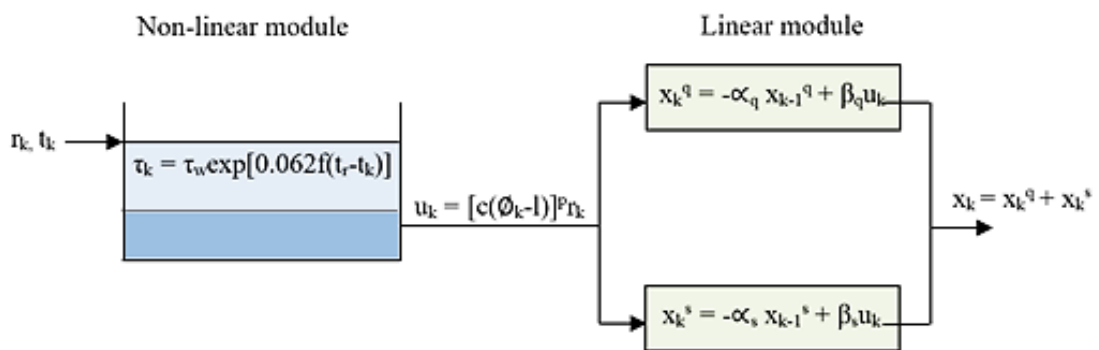


วิทยาลัย

NIVERSITY

2.16 แบบจำลองน้ำฝน - น้ำท่า

แบบจำลองน้ำฝน - น้ำท่าที่ใช้ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าในงานวิจัยนี้เรียกว่าแบบจำลอง IHACRES (Identification of unit Hydrographs and Component flows from Rainfall, Evapotranspiration and Streamflow) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นภูเขา และใช้ข้อมูลอินพุตเพียง 2 ตัว คือ ข้อมูลอุณหภูมิตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน และข้อมูลปริมาณน้ำฝน ซึ่งน้อยกว่าแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าชนิดอื่นๆ แบบจำลองนี้มีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้ในบริเวณพื้นที่ที่ไม่มีสถานีวัดในประเทศไทยที่มีข้อมูลทางลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำไม่เพียงพอ แบบจำลอง IHACRES ประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ โมเดลแบบเชิงเส้น และโมเดลแบบไม่เชิงเส้น ดังแสดงในรูปที่ 4-1



รูปที่ 2-1 แผนผังการทำงานของแบบจำลอง IHACRES

จากรูปที่ 2-1 แบบจำลอง IHACRES ประกอบไปด้วยพารามิเตอร์ 6 ตัว ได้แก่

$\tau_w, f, c, \tau_q, \tau_s$ และ v_s

โดยที่ τ_w คือ อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง 60 วัน

f คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปหนึ่งหน่วยต่ออัตราการสูญเสีย

โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 16 เซลเซียส

c คือ อัตราการไหลโดยมวล โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 0.015 มิลลิเมตร

τ_q คือ ช่วงระยะเวลาตั้งแต่มีน้ำท่ามีอัตราการไหลของลำน้ำเร็วลงระดับลงจนมีอัตราการไหลเท่ากับการไหลพื้นฐาน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง 5 วัน

τ_s คือ ช่วงระยะเวลาตั้งแต่มีน้ำท่ามีอัตราการไหลของลำน้ำช้าเพิ่มขึ้นจนมีอัตราการไหลเท่ากับการไหลพื้นฐาน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 10 ถึง 90 วัน

v_s คือ อัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลพื้นฐานต่อปริมาณน้ำท่าทั้งหมด มีค่าโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

2.17 การจำกัดชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลองน้ำฝน - น้ำท่า (Constraints on parameter space)

ดัชนีน้ำท่า หมายถึง ตัวแปรใดๆ ที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะพฤติกรรมการเกิดน้ำท่าของกลุ่มน้ำในช่วงระยะเวลาหนึ่ง (Wagener, Wheater et al. 2004, Yadav, Wagener et al. 2007, Zhang, Wagener et al. 2008, Bulygina, McIntyre et al. 2009) เช่น สัมประสิทธิ์น้ำท่า (Runoff coefficient) แสดงถึงปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นทั้งหมด และการเกิดปริมาณน้ำท่าสูงสุด (Peak flow) หรือต่ำสุด (Low flow) เป็นต้น ซึ่งดัชนีน้ำท่ามีลักษณะคล้ายกับพารามิเตอร์ของแบบจำลองน้ำฝน - น้ำท่าที่เป็นตัวแทนกระบวนการทางธรรมชาติ จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ดัชนีน้ำท่ามีความสัมพันธ์กับลักษณะกายภาพของกลุ่มน้ำสูงกว่าความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลองกับลักษณะกายภาพของกลุ่มน้ำอย่างมีนัยสำคัญ (Yadav, Wagener et al. 2007) ถึงแม้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะกายภาพของกลุ่มน้ำกับดัชนีน้ำท่าไม่ได้มีความสัมพันธ์กับการเกิดน้ำท่าหรือรูปแบบลักษณะการเปลี่ยนแปลงของน้ำท่าโดยตรง แต่เราสามารถในช่วงความไม่แน่นอนของตัวแบบถดถอย (Uncertainty range) หรือช่วงความเชื่อมั่น (Confidence Interval) และช่วงค่าพยากรณ์ (Prediction Interval) ในการจำกัดชุดพารามิเตอร์ที่คาดว่าทำให้ผลการพยากรณ์ของแบบจำลองน้ำฝน - น้ำท่าได้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุดได้

ดัชนีน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษานี้มีทั้งหมด 8 ตัว ซึ่งได้คัดเลือกจากการพิจารณาข้อมูลที่มีอยู่และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามงานวิจัยของ (Westerberg and McMillan 2015) มาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยแต่ละตัวสามารถคำนวณได้จากข้อมูลน้ำท่าสังเกตการณ์ตามสมการความสัมพันธ์ต่อไปนี้

1) ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า (Runoff coefficient: RC) อัตราส่วนของปริมาณน้ำท่าต่อปริมาณน้ำฝนในแต่ละปี คำนวณได้จากสมการ

$$RC = \frac{\text{ปริมาณน้ำท่ารายปี}}{\text{ปริมาณน้ำฝนรายปี}} \quad (2-13)$$

2) ดัชนีการไหลพื้นฐาน (Base flow index: BFI) อัตราส่วนของปริมาณการไหลพื้นฐานต่อปริมาณน้ำท่าทั้งหมด คำนวณได้จากสมการ

$$BFI = \frac{\text{ปริมาณการไหลพื้นฐาน}}{\text{ปริมาณน้ำท่าทั้งหมด}} \quad (2-14)$$

3) ดัชนีความอ่อนไหวของน้ำท่าต่อน้ำฝนตามฤดูกาล (Seasonal rainfall-flow elasticity index: EL) การเปลี่ยนแปลงของความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝนและน้ำท่าในแต่ละฤดูกาล คำนวณได้จากสมการ

$$EL = \frac{(WF-DF)/DF}{(WR-DR)/DR} \quad (2-15)$$

โดยที่ WF คือ ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม - ตุลาคม)

DF คือ ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน - เมษายน)

WR คือ ปริมาณฝนเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม - ตุลาคม)

DR คือ ปริมาณฝนเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน - เมษายน)

4) ผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า (Difference of flow and rainfall: DIFF) คำนวณได้จากสมการ

$$DIFF = \text{ปริมาณฝนรายปี} - \text{ปริมาณน้ำท่ารายปี} \quad (2-16)$$

5) ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ (Annual specific runoff : ASR) คำนวณได้จากสมการ

$$ASR = \frac{\text{ปริมาณน้ำท่ารายปี}}{\text{ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ}} \quad (2-17)$$

6) Q95 หมายถึง เปอร์เซนต์ไทล์ที่ 95 ของน้ำท่า (95th percentile of flow)

7) Q50 หมายถึง เปอร์เซนต์ไทล์ที่ 50 ของน้ำท่า (50th percentile of flow)

8) Q5 หมายถึง เปอร์เซนต์ไทล์ที่ 5 ของน้ำท่า (5th percentile of flow)

โดยเปอร์เซนต์ไทล์ต่างๆ คำนวณได้จากสมการ

$$n = \left[\frac{P}{100} \times N \right] \quad (2-18)$$

โดยที่ n แทน อันดับที่ของจำนวนทั้งหมดที่เรียงลำดับจากน้อยไปมาก

P แทน ตำแหน่งของเปอร์เซนต์ไทล์

N แทน จำนวนข้อมูลทั้งหมด

2.18 การพยากรณ์โค้งอัตราการไหลรายวัน (Flow duration curve: FDC)

นอกเหนือจากการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองผ่านการพยากรณ์น้ำท่ารายวันแล้ว นอกจากนี้ยังได้ทำการประเมินผ่านโค้งอัตราการไหล (Flow duration curve: FDC) ที่สามารถนำมาใช้สำหรับการวางแผนเปิดปิดประตูระบายน้ำ การผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำ การจัดการอ่างเก็บน้ำ และการประเมินคุณภาพและการจัดสรรน้ำ เป็นต้น ด้วยเหตุนี้โค้งอัตราการไหลจึงเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ต่อการวางแผนควบคู่ไปกับการพยากรณ์น้ำท่ารายวัน โดยที่โค้งอัตราการไหลของน้ำแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ากับความน่าจะเป็น ไม่ได้ขึ้นกับความแม่นยำในสเกลระดับเวลา แต่เป็นการเปรียบเทียบระหว่างการกระจายของข้อมูลปริมาณน้ำท่าสังเกตการณ์และข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองมีความใกล้เคียงกันหรือไม่ โดยวัดประสิทธิภาพของโค้งอัตราการไหลผ่านตัวชี้วัด Reliability และแผนภาพควอนไทล์ควอนไทล์ (QQ plot)

2.19 ค่าสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ใช้ในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุที่มีตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัว ถูกเรียกว่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสำหรับตัวแปรอิสระหลายตัว (coefficient of multiple determination : R^2) โดย R^2 เป็นการวัดสัดส่วนความแปรผันทั้งหมดของตัวแปรตามที่สามารถอธิบายได้โดยใช้ตัวแปรอิสระในสมการถดถอยดังสมการ

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (2-19)$$

เมื่อ R^2 คือ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

SSR คือ ค่าความแปรปรวนของ y เนื่องจากอิทธิพลของ x

SSE คือ ค่าความแปรปรวนของ y เนื่องจากอิทธิพลของปัจจัยอื่นๆ

SST คือ ค่าความแปรปรวนของ y ทั้งหมด

ค่า R^2 มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 หรือ $0 \leq R^2 \leq 1$ โดยที่ค่า R^2 เป็นค่าสถิติที่ไม่มีหน่วย หากค่า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าร้อยละที่ตัวแปรอิสระสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามมีค่ามาก แต่ถ้าค่า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าร้อยละที่ตัวแปรอิสระสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามมีค่าน้อย

ค่า R^2 นั้นคำนวณมาจากการใช้ข้อมูล ดังนั้นช่วงพิสัยของตัวแปรอิสระจึงมีผลต่อค่า R^2 การที่ค่า R^2 มีค่าสูงนั้นไม่ได้หมายความว่าสมการถดถอยนั้นเหมาะสมกับทุกช่วงค่าของ

ตัวแปรอิสระ ทั้งนี้หากเราทำการพยากรณ์นอกช่วงค่าของตัวแปรอิสระที่เก็บข้อมูลมา (extrapolation) สมการถดถอยอาจไม่เหมาะสมหรือมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้

การเพิ่มตัวแปรอิสระเข้าไปในสมการถดถอยอาจทำให้ค่า R^2 เพิ่มมากขึ้นทั้งที่ตัวแปรอิสระ x ที่เพิ่มเข้ามานั้นอาจจะไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม เนื่องจากค่า SSE อาจมีค่าลดลงแต่ค่า SST มีค่าเท่าเดิม ดังนั้นจึงมีการปรับค่า R^2 ให้ถูกต้องขึ้น โดยการหารค่า SSE และ SST ด้วยองศาเสรีของตัวเองเรียกว่า สัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับแล้ว สำหรับตัวแปรอิสระหลายตัว (adjusted coefficient of multiple determination : R_{adj}^2) โดยสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$R_{adj}^2 = 1 - \frac{\frac{SSE}{n-p}}{\frac{SST}{n-1}} = 1 - \left(\frac{n-1}{n-p} \right) \frac{SSE}{SST} \quad (2-20)$$

โดยที่ R_{adj}^2 คือ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับแก้

n คือ จำนวนขนาดตัวอย่างของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ

p คือ จำนวนตัวแปรอิสระ

ค่า R_{adj}^2 จะไม่เพิ่มขึ้นหากตัวแปรอิสระที่เพิ่มเข้าไปไม่มีความสัมพันธ์ต่อตัวแปรตาม แต่ส่วนใหญ่แล้วจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มตัวแปรอิสระที่ไม่มีความสัมพันธ์ต่อตัวแปรตามเข้าไปในสมการเนื่องจากค่า SSE อาจลดลงมากกว่าค่าองศาเสรีของตัวเอง

2.20 ค่าสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการพยากรณ์จากแบบจำลองน้ำฝน - น้ำท่า

ในการสอบเทียบแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า ได้อาศัยตัวชี้วัดเพื่อการตัดสินใจทั้งหมด 2 ตัว ได้แก่ค่า Nash - Sutcliffe coefficient (NSE*) และค่า Reliability โดยมีรายละเอียดและสมการดังต่อไปนี้

1) Nash - Sutcliffe coefficient (NSE*) ใช้สำหรับการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าระหว่างข้อมูลสังเกตการณ์กับข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง ทั้งนี้ค่า NSE* เป็นการรวมค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากแบบจำลองที่เกิดขึ้นเทียบกับสัดส่วนของข้อมูลสังเกตการณ์ที่ถูกปรับเป็นค่ามาตรฐาน (Normalize) โดยการลบออกด้วยค่าเฉลี่ยของข้อมูลสังเกตการณ์

จากสูตรการคำนวณที่ (2-21) ในกรณีที่ข้อมูลสังเกตการณ์มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยของข้อมูลสังเกตการณ์จะเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่เกิดน้ำท่าสูงสุด ซึ่งจะทำให้ตัวหารตามสมการมีค่าสูงส่งผลให้ข้อมูลจากการจำลองมีค่าผิดพลาดสูงขึ้นตามตัวหารที่มากขึ้น หรืออธิบายได้ว่า ค่า NSE* จะอ่อนไหวมากในช่วงที่ปริมาณน้ำท่าสังเกตการณ์นั้นอยู่ในค่าต่ำ (low flow) ข้อมูลจากการจำลองมี

ความแม่นยำสูงเมื่อเทียบกับข้อมูลสังเกตการณ์จะทำให้ค่า NSE* มีค่าเข้าใกล้ 0 และค่า NSE ที่มากกว่า 1 ข้อมูลการจำลองนั้นแย่กว่าการใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลสังเกตการณ์ โดยสูตรการคำนวณหาค่า NSE แสดงในสมการที่ (2-21)

$$NSE^* = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs} - Q_{sim})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2} \quad (2-21)$$

เมื่อ	Q_{obs}	คือ ปริมาณน้ำท่าสังเกตการณ์ (ลบ.ม./วินาที)
	Q_{sim}	คือ ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง (ลบ.ม./วินาที)
	\bar{Q}_{obs}	คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำท่าสังเกตการณ์ (ลบ.ม./วินาที)
	N	คือ จำนวนวันที่ใช้ในการพยากรณ์ (วัน)

2) Reliability ใช้สำหรับการเปรียบเทียบระหว่างการกระจายของข้อมูลสังเกตการณ์กับข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์จากแบบจำลองว่ามีความใกล้เคียงกันหรือไม่ โดยใช้แผนภาพควอนไทล์ควอนไทล์ (Quantile - quantile: QQ) ค่า Reliability มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยค่า Reliability ที่เข้าใกล้ 1 หมายความว่าความแจกแจงของข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์มีการกระจายของข้อมูลใกล้เคียงกับการกระจายของข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดสูง ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (4-17)

$$Reliability = 1 - 2 \frac{\sum |z_i - z_i^{th}|}{N} \quad (2-22)$$

เมื่อ	Z_i	คือ ค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าพยากรณ์ค่าหนึ่งเท่ากับความน่าจะเป็นที่ค่าพยากรณ์จะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าข้อมูลสังเกตการณ์ (x_i) นั้นๆ ($p(X_i \leq x_i) = F(x_i) = Z_i$)
	Z_i^{th}	คือ ค่าควอนไทล์ทางทฤษฎีของ Z_i
	N	คือ จำนวนของค่าความน่าจะเป็นสะสม (Z_i)

ค่าสถิติที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองน้ำฝน - น้ำท่าทั้ง 2 ตัวที่เป็นอิสระต่อกัน หมายความว่าในการวัดประสิทธิภาพแบบจำลองด้วยตัวชี้วัดตัวใดตัวหนึ่งได้หรือไม่ได้หมายความว่าตัวชี้วัดอีกหนึ่งตัวจะต้องได้ผลดีเช่นเดียวกัน

บทที่ 3

พื้นที่ศึกษา

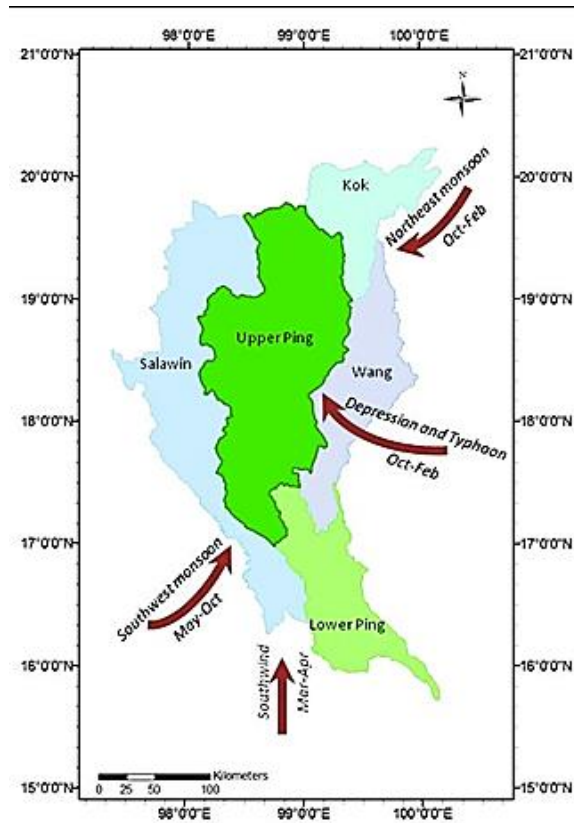
3.1 สภาพภูมิประเทศ

ลุ่มน้ำปิงเป็นลุ่มน้ำหนึ่งในลุ่มน้ำสาขาหลักของลุ่มน้ำเจ้าพระยา มีต้นกำเนิดจากเขาผีปันน้ำในเขตอำเภอเชียงดาว ไหลผ่านหุบเขามาบรรจบกับน้ำแม่จัดทางฝั่งซ้ายและน้ำแม่แตงทางฝั่งขวาที่อำเภอแม่แตง และไหลเข้าสู่พื้นที่ราบในจังหวัดเชียงใหม่ จากนั้นมีน้ำแม่กวงไหลมาบรรจบทางฝั่งขวาที่จังหวัดลำพูน แม่น้ำปิงไหลลงมาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้มาบรรจบกับน้ำแม่ลีทางฝั่งด้านซ้ายของอำเภอจอมทอง จากนั้นมีน้ำแม่แจ่มไหลมาบรรจบทางฝั่งขวาที่อำเภอฮอดก่อนไหลเข้าสู่เขื่อนภูมิพลที่อำเภอดอยเต่า จากเขื่อนภูมิพลแม่น้ำปิงจะไหลมาบรรจบกับแม่น้ำวังที่จังหวัดตาก และไหลผ่านจังหวัดกำแพงเพชรไปบรรจบกับแม่น้ำน่านที่ปากน้ำโพ จังหวัดนครสวรรค์ ลุ่มน้ำปิงมีพื้นที่ประมาณ 34,856 ตารางกิโลเมตรครอบคลุมพื้นที่ใน 5 จังหวัด คือ จังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน ตาก กำแพงเพชร และนครสวรรค์ โดยมีเขื่อนที่สำคัญ คือ เขื่อนภูมิพล เขื่อนแม่กวงอุดมธารา และเขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชล มีความจุโดยประมาณ 13,462 263 และ 265 ล้านลูกบาศก์เมตรตามลำดับ เนื่องจากเขื่อนภูมิพลถูกสร้างขึ้นปิดกั้นลำน้ำบริเวณอำเภอสามเงา จังหวัดตาก ซึ่งอยู่ใกล้ตอนกลางของลุ่มน้ำ โดยสำนักงานคณะกรรมการทรัพยากรน้ำแห่งชาติ (สทช.) ได้แบ่งการบริหารจัดการลุ่มน้ำปิง โดยแบ่งเป็นปิงตอนบนซึ่งเป็นพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพลและอยู่ในจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน และปิงตอนล่างอยู่ใต้เขื่อนภูมิพลในเขตจังหวัดตาก กำแพงเพชร และนครสวรรค์ ซึ่งในการศึกษานี้จะทำการศึกษาเฉพาะพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนเท่านั้น

ลุ่มน้ำปิงตอนบนตั้งอยู่ทางทิศเหนือของประเทศไทย ตั้งอยู่ระหว่างเส้นละติจูด $17^{\circ} 14' 30''$ ถึง $19^{\circ} 47' 52''$ เหนือ และระหว่างเส้นลองจิจูด $98^{\circ} 4' 30''$ ถึง $99^{\circ} 22' 30''$ ตะวันออก มีพื้นที่ประมาณ 25,370 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดลำพูนและเชียงใหม่ ลุ่มน้ำปิงมีอาณาเขตติดกับประเทศพม่าทางตอนเหนือของลุ่มน้ำ ทิศตะวันตกติดกับลุ่มน้ำสาละวิน ทิศตะวันออกและทิศตะวันตกเฉียงเหนือติดกับลุ่มน้ำกกและลุ่มน้ำวังตามลำดับ โดยมีความยาวของลำน้ำจนถึงเขื่อนภูมิพลประมาณ 514 กิโลเมตร (Taesombat and Sriwongsitanon 2009)

3.2 สภาพอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา

3.2.1 สภาพภูมิอากาศ



รูปที่ 3-1 ลมมรสุมที่พัดผ่านบริเวณประเทศไทยตอนบน

สภาพภูมิอากาศทั่วไปของกลุ่มน้ำปิงได้รับอิทธิพลของมรสุมสองชนิด คือ มรสุมตะวันตกเฉียงใต้และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ แบ่งออกเป็น 3 ฤดู ดังนี้

- ฤดูร้อน ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม
- ฤดูฝน ระหว่างกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม
- ฤดูหนาว ระหว่างกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์

มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ พัดปกคลุมประเทศไทยระหว่างกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม โดยมีแหล่งกำเนิดจากบริเวณความกดอากาศสูงในซีกโลกใต้บริเวณมหาสมุทรอินเดีย นำมวลอากาศชื้นจากมหาสมุทรอินเดียมาสู่ประเทศไทย ทำให้มีเมฆมากและฝนชุกทั่วไป

มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ พัดปกคลุมประเทศไทยกลางเดือนตุลาคมจนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ มรสุมนี้มีแหล่งกำเนิดจากบริเวณความกดอากาศสูงในซีกโลกเหนือแถบประเทศมองโกเลียและจีน จึงพัดพาเอามวลอากาศเย็นและแห้งจากแหล่งกำเนิดเข้ามาปกคลุมประเทศไทยทำให้มีอากาศหนาวเย็นและแห้งแล้ง

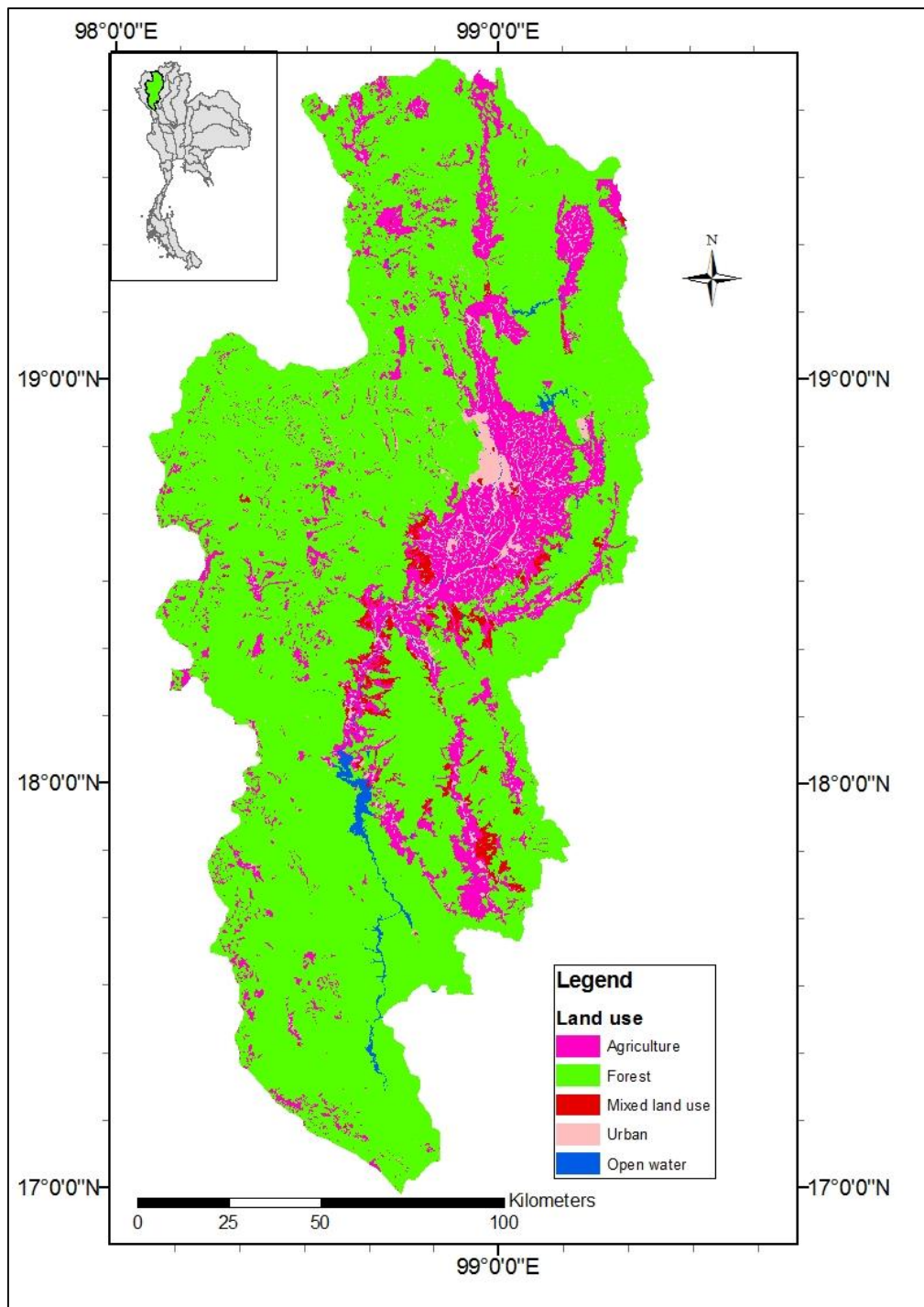
สภาพภูมิอากาศทั่วไปของกลุ่มน้ำปิงได้รับอิทธิพลมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จากมหาสมุทรอินเดียพัดปกคลุมประเทศไทยตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม และอิทธิพลมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจากประเทศจีน ทำให้อากาศเย็นลงช่วงกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ นอกจากนั้นแล้วในแต่ละปียังได้รับอิทธิพลจากพายุดีเปรสชันซึ่งมาจากทะเลจีนใต้ในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน ทำให้พื้นที่ลุ่มน้ำปิงมีฝนตกชุกตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ฤดูร้อนเริ่มต้นกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม โดยมีฝนเฉลี่ยรายปีประมาณ 1170 มิลลิเมตร และน้ำท่าเฉลี่ยรายปี 270 มิลลิเมตรต่อปี (Savenije 2016)

3.2.2 สภาพการใช้ที่ดิน

ลุ่มน้ำปิงตอนบนครอบคลุมพื้นที่ 25,370 ตารางกิโลเมตร หรือ 14,606,250 ไร่ พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของลุ่มน้ำปิงเป็นพื้นที่ป่าไม้ จากการจำแนกตามประเภทการใช้ที่ดินแบ่งออกเป็น 5 ประเภท ประกอบไปด้วย พื้นที่เกษตรกรรมมีพื้นที่ประมาณ 4,622 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 18 ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่ป่าไม้มีพื้นที่ประมาณ 19,588 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 77 ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่ชุมชนเมืองมีพื้นที่ประมาณ 576 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 2 ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่แหล่งน้ำมีพื้นที่ประมาณ 279 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 1 ของพื้นที่ทั้งหมด และพื้นที่อื่นๆ ประมาณ 304 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 2 ของพื้นที่ทั้งหมด รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3-1 และรูปที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 สภาพการใช้ที่ดินของกลุ่มน้ำปิงตอนบน

ประเภทการใช้ที่ดิน	พื้นที่ (กม. ²)	ร้อยละของพื้นที่
พื้นที่เกษตรกรรม	4,622	18.22
พื้นที่ป่าไม้	19,588	77.21
พื้นที่อื่นๆ ชายหาด พื้นที่ทิ้งขยะ พื้นที่ลุ่มน้ำขัง เป็นต้น	304	1.20
พื้นที่อยู่อาศัย หมู่บ้าน พื้นที่นันทนาการ และถนน	576	2.27
พื้นที่แหล่งน้ำ เช่น คลอง, แม่น้ำ, เขื่อน และทะเลสาบ	279	1.09

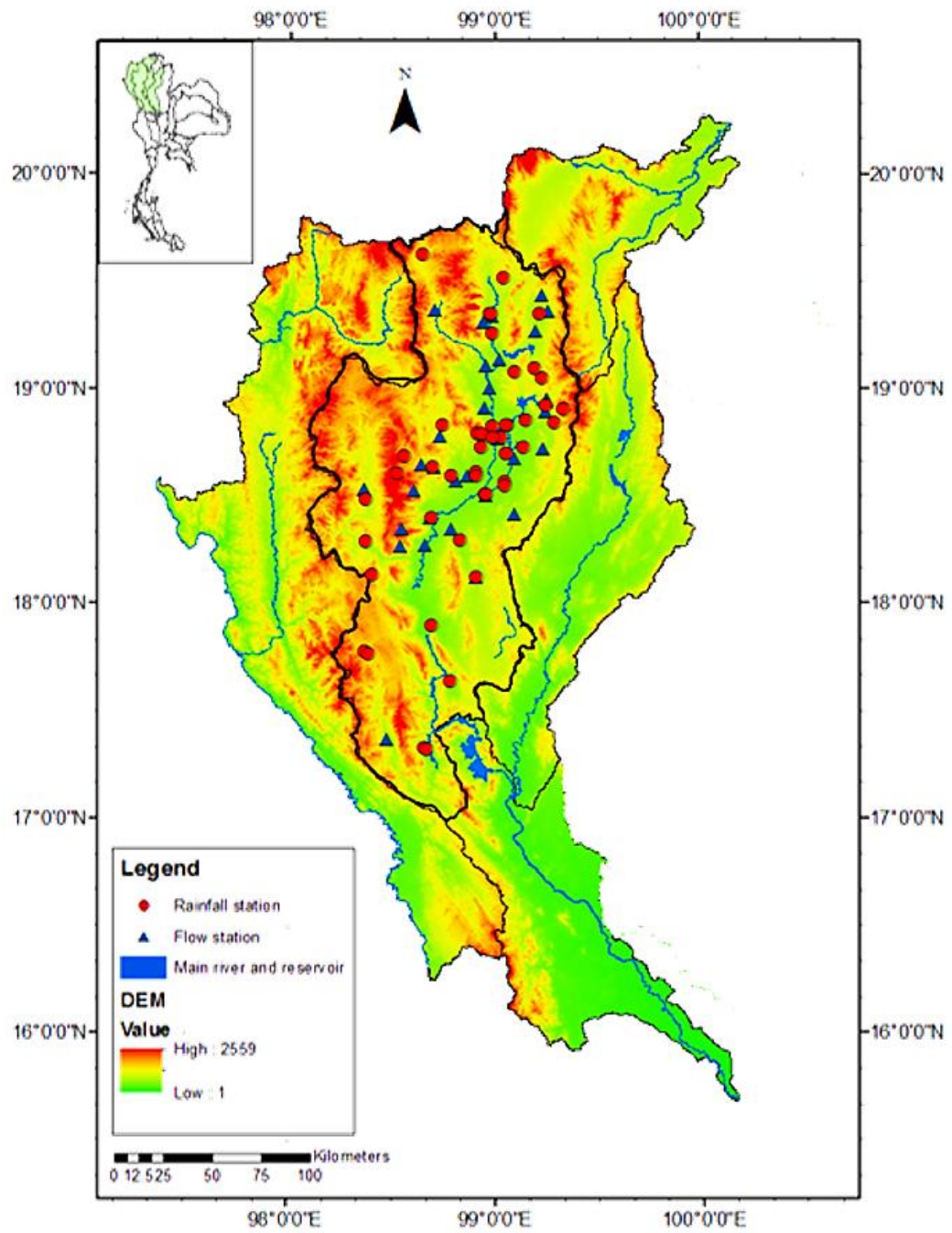


รูปที่ 3-2 การใช้ประโยชน์ที่ดินในกลุ่มน้ำปิงตอนบน ปี พ.ศ. 2554

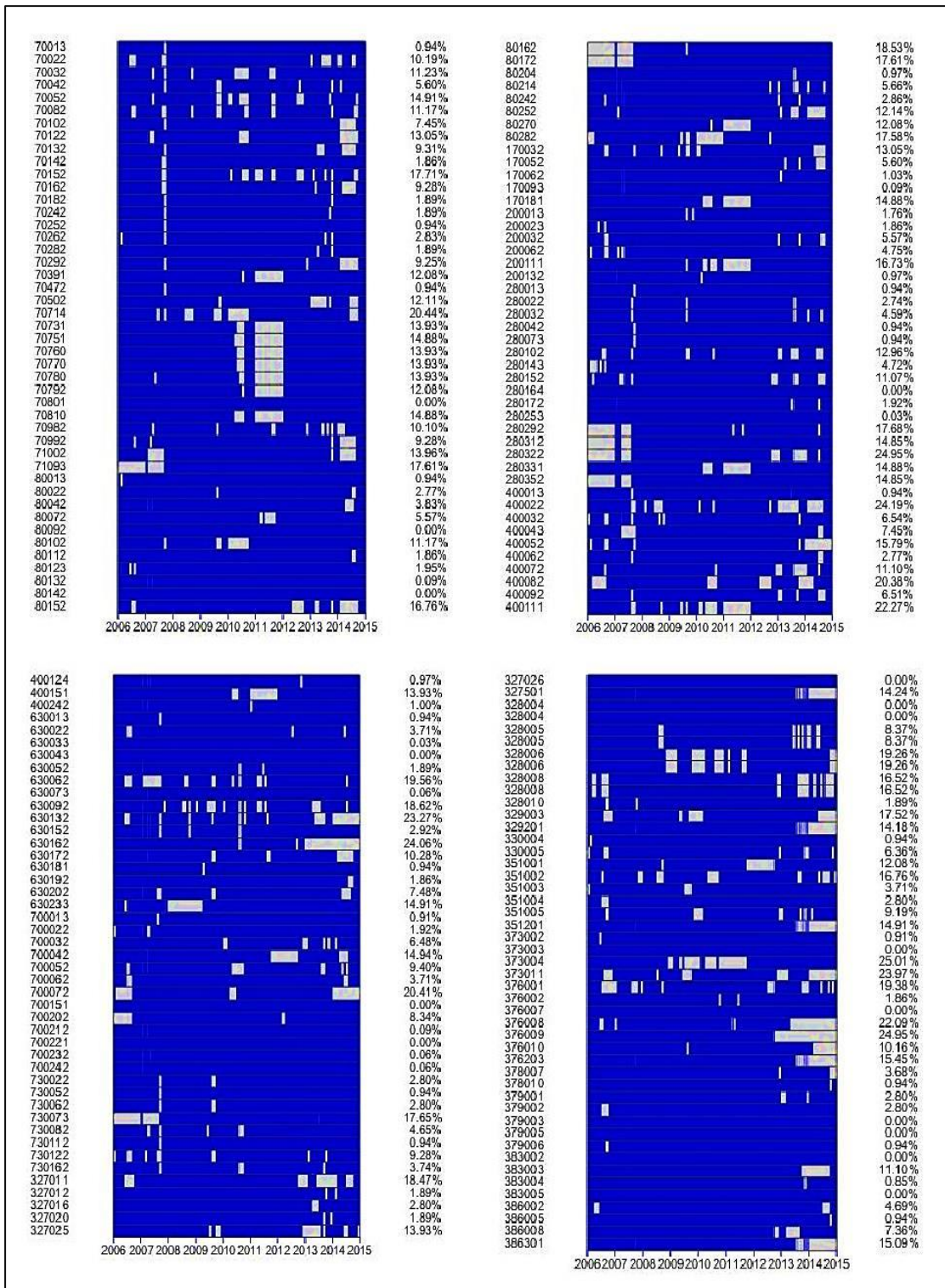
3.2.3 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบไปด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันและข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน โดยได้รับความอนุเคราะห์จากกรมอุตุนิยมวิทยา กรมทรัพยากรน้ำ และกรมชลประทาน ในการเลือกสถานีวัดน้ำฝนและน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้จะคัดเลือกจากความสมบูรณ์ในการจดบันทึกข้อมูลในอดีต ในแต่ละสถานีที่ได้รับการคัดเลือกต้องมีค่าสูญหาย (missing data) ไม่เกินร้อยละ 25 โดยด้านซ้ายและด้านขวาของรูปแสดงเลขสถานีและร้อยละของค่าสูญหาย โดยสีเข้มแสดงถึงช่วงที่มีการบันทึกข้อมูลและสีเทาแสดงถึงช่วงที่ไม่ได้มีการบันทึกข้อมูล จากการคัดเลือกได้ช่วงเวลาที่ทำการศึกษาตั้งแต่ปี 2549-2557 โดยมีจำนวนสถานีวัดน้ำฝนทั้งสิ้น 116 สถานี และจำนวนสถานีวัดน้ำท่าทั้งสิ้นจำนวน 37 แสดงดังรูปที่ 3-3 ถึง 3-5





รูปที่ 3-3 ที่ตั้งสถานีวัดน้ำฝนและวัดน้ำท่าในบริเวณพื้นที่การศึกษา



รูปที่ 3-4 ข้อมูลปริมาณฝนรายวันของแต่ละสถานีในช่วงปี 2549-2557

3.3 การวิเคราะห์รูปแบบการเกิดน้ำฝน-น้ำท่า

การวิเคราะห์ข้อมูลน้ำฝนและน้ำท่ามีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบ แนวโน้มของ ปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่าในแต่ละลุ่มน้ำในเชิงพื้นที่ (Spatial characteristics) และเชิง เวลา (Temporal characteristics) เพื่อตรวจสอบคุณภาพข้อมูลเบื้องต้น โดยแบ่งช่วงเวลา ออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ รายวัน รายเดือน และรายปี และนำผลจากการวิเคราะห์ที่ได้นำไปใช้ ประกอบการวิเคราะห์ในส่วนของการสร้างสมการถดถอยต่อไป

3.3.1 ปริมาณน้ำฝน

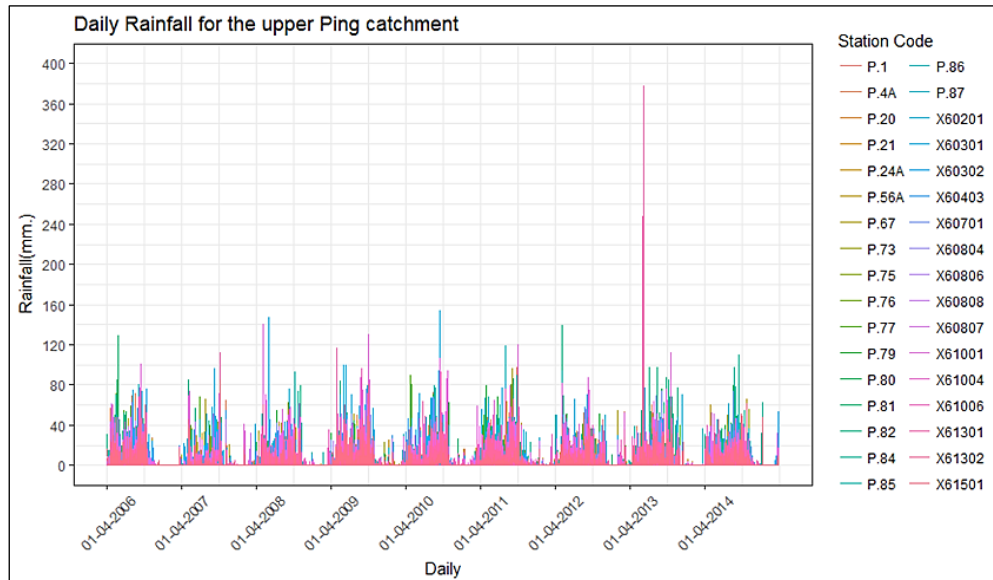
ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการพยากรณ์น้ำท่าโดยใช้แบบจำลองการถดถอยทำนาย ค่าพารามิเตอร์ หรือ ดัชนีน้ำท่าเพื่อช่วยเพิ่มความสามารถและประสิทธิภาพของแบบจำลอง น้ำฝน-น้ำท่าในการพยากรณ์ โดยปัจจัยหลักที่ให้ความสำคัญและขาดไม่ได้สำหรับแบบจำลอง น้ำฝน-น้ำท่า คือข้อมูลปริมาณน้ำฝน

จากข้อมูลปริมาณน้ำท่า ปริมาณน้ำท่าที่วัดได้บริเวณทางออกของกลุ่มน้ำ เป็นปริมาณ น้ำท่าที่เกิดจากฝนที่ตกลงบนพื้นที่ลุ่มน้ำนั้นๆ แต่เนื่องจากปริมาณฝนที่ตกในแต่ละบริเวณของ ลุ่มน้ำ (Point Rainfall) แม้เป็นลุ่มน้ำเดียวกันอาจมีค่าไม่เท่ากันได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องการ คำนวณค่าฝนเฉลี่ยลุ่มน้ำ (Areal Rainfall) ซึ่งใช้เป็นตัวแทนปริมาณฝนที่ตกในลุ่มน้ำนั้นๆ วิธีที่ ใช้ในการประมาณค่าฝนลุ่มน้ำในการศึกษานี้ คือ วิธีค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic mean) ซึ่ง สามารถอธิบายได้ดังนี้

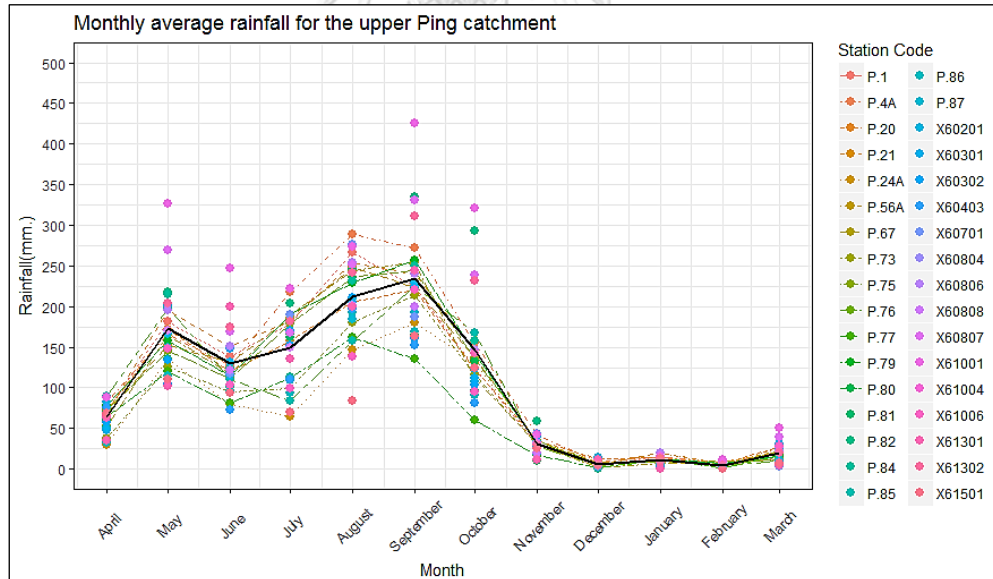
การคำนวณปริมาณน้ำฝนโดยใช้วิธีค่าเฉลี่ยเลขคณิตนั้นทำได้โดยแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำหลัก ออกเป็นลุ่มน้ำย่อย โดยใช้ที่ตั้งของสถานีวัดน้ำท่าเป็นหลักและรวบรวมสถานีวัดน้ำฝนโดยรอบ ที่ใกล้เคียงกัน มาคำนวณค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนเพื่อเป็นตัวแทนของลุ่มน้ำย่อยนั้นๆ เรียกว่า ฝนเฉลี่ยพื้นที่ (Areal Rainfall) แบ่งตามลุ่มน้ำหลักที่ทำการศึกษา ในการศึกษานี้วิเคราะห์ ข้อมูลปริมาณน้ำฝน 3 ช่วงเวลา ได้แก่ รายวัน รายเดือน และรายปี ซึ่งมีรายละเอียดในการ วิเคราะห์ดังนี้

ลุ่มน้ำปิง ประกอบด้วยสถานีน้ำท่า 34 สถานี ดังนั้น จึงแบ่งลุ่มน้ำย่อยได้ 34 ลุ่มน้ำย่อย ปริมาณฝนเฉลี่ยลุ่มน้ำรายวันแสดงได้ดังรูปที่ 3-6 ถึง 3-8

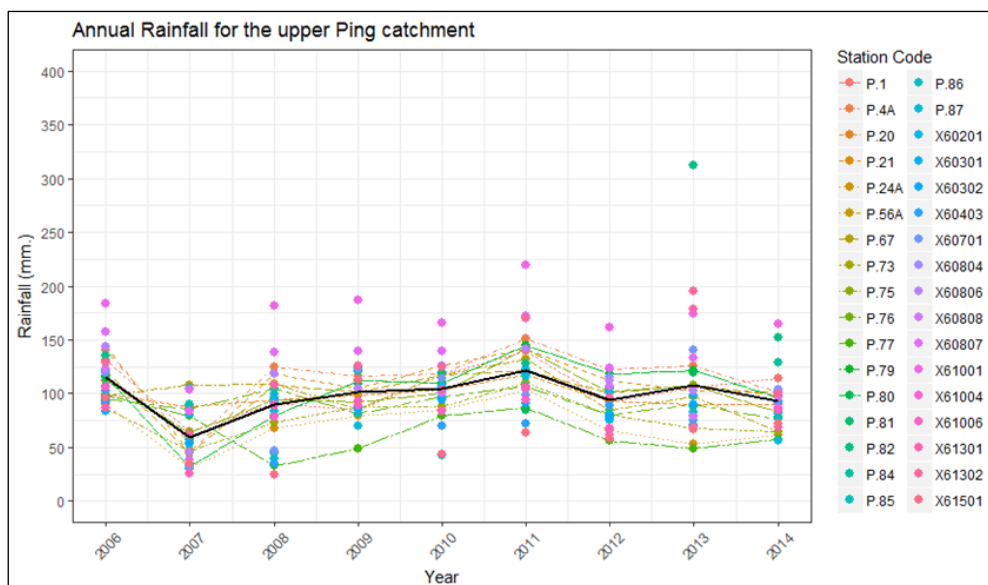
- ปริมาณฝนรายวัน



รูปที่ 3-6 ปริมาณน้ำฝนรายวันจำนวน 34 ลุ่มน้ำย่อยในบริเวณลุ่มน้ำปิงตอนบน



รูปที่ 3-7 ปริมาณน้ำฝนรายเดือนจำนวน 34 ลุ่มน้ำย่อยในบริเวณลุ่มน้ำปิงตอนบน

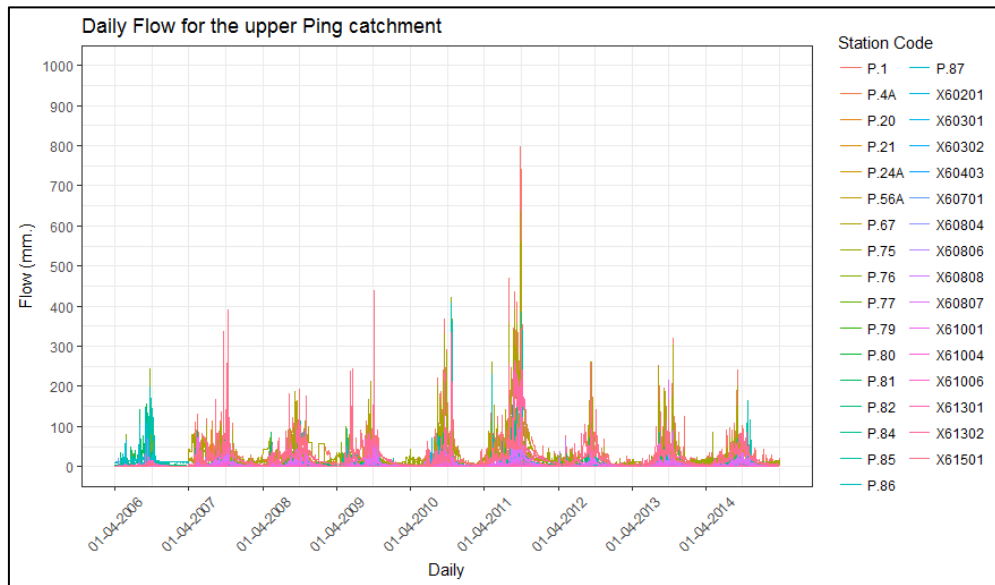


รูปที่ 3-8 ปริมาณน้ำฝนรายปีจำนวน 34 ลุ่มน้ำย่อยในบริเวณลุ่มน้ำปิงตอนบน

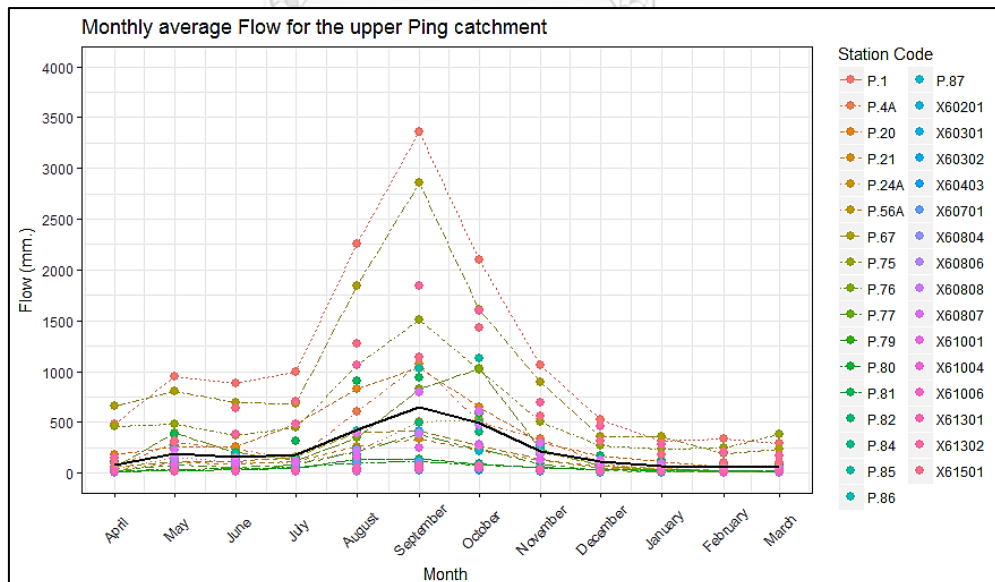
จากรูปที่ 3-6 จะเห็นว่าข้อมูลน้ำฝนรายวันในแต่ละปีมีรูปแบบและมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีรูปแบบอย่างชัดเจนว่าในแต่ละปีมีช่วงฝนตกหนักและฝนตกน้อยอย่างชัดเจน ปริมาณน้ำมีความผันผวนสูง กล่าวคือ วันที่มีฝนตกหนักติดต่อกันกับวันที่มีฝนตกน้อยหรือไม่มีฝนตกเป็นต้น เมื่อตรวจสอบการเคลื่อนไหวของข้อมูลปริมาณฝนรายวันพบว่า ข้อมูลปริมาณฝนค่าเฉลี่ยฝนลุ่มน้ำเท่ากับ 3.24 มม. อีกทั้งยังพบว่าปริมาณฝนรายวันที่สถานี 61301 วันที่ 4 มิถุนายน 2013 มีฝนตกถึง 378 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าสูงผิดปกติ จากการตรวจสอบข้อมูลเบื้องต้น สถานีฝนที่อยู่ในลุ่มน้ำย่อย 61301 วันที่ 2 มิถุนายน 2013 มีฝนตกถึง 246 มิลลิเมตร วันที่ 3 มิถุนายน 2013 มีฝนตกถึง 118.80 มิลลิเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูฝนคาดการณ์ว่าอาจมีพายุหรือมรสุมเกิดขึ้นในช่วงเวลานั้นได้ จากรูปที่ 3-7 ข้อมูลน้ำฝนรายเดือนในแต่ละลุ่มน้ำย่อยมีรูปแบบและมีค่าใกล้เคียงกันและมีรูปแบบอย่างชัดเจน กล่าวคือมีฝนตกหนักในช่วง เดือนพฤษภาคม ถึงตุลาคม และในเดือนสิงหาคมมีปริมาณฝนสูงสุดในรอบปี และลดลงเรื่อยๆในช่วงเดือนพฤศจิกายนจนถึงเดือนเมษายน โดยมีปริมาณฝนค่าเฉลี่ยฝนลุ่มน้ำเท่ากับ 89.89 มม. ซึ่งแปรผันตามฤดูกาลของประเทศไทย จากรูปที่ 3-8 ปริมาณฝนรายปีในแต่ละลุ่มน้ำย่อยมีลักษณะใกล้เคียงกัน โดยมีปริมาณฝนค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1,077.65 มม. และมีปริมาณฝนเฉลี่ยมากที่สุดในปีพ.ศ. 2554

3.3.2 ปริมาณน้ำท่า

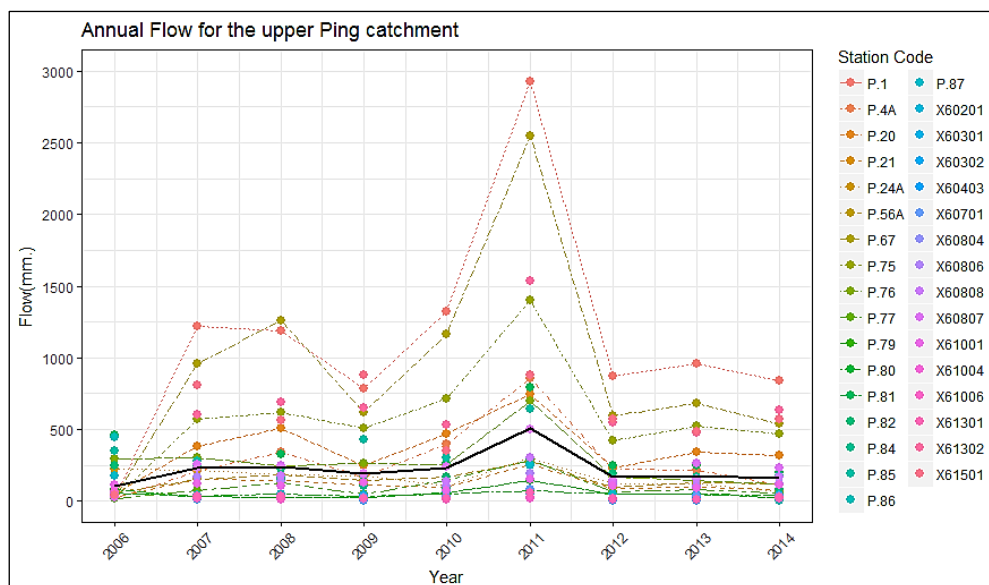
ปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนได้จากการประเมินปริมาณน้ำท่าในลักษณะธรรมชาติ (Natural Flow) ช่วงปี พ.ศ. 2549 ถึง 2557 จากสถานีวัดปริมาณน้ำท่า 34 สถานี เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน รายเดือน และรายปี แสดงดังรูปที่ 3-9 ถึง 3-11



รูปที่ 3-9 ปริมาณน้ำท่ารายวันจำนวน 34 ลุ่มน้ำย่อยในบริเวณลุ่มน้ำปิงตอนบน



รูปที่ 3-10 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนจำนวน 34 ลุ่มน้ำย่อยในบริเวณลุ่มน้ำปิงตอนบน



รูปที่ 3-11 ปริมาณน้ำท่ารายปีจำนวน 34 ลุ่มน้ำย่อยในบริเวณลุ่มน้ำปิงตอนบน

จากรูปที่ 3-9 จะเห็นว่าข้อมูลน้ำท่ารายวันในแต่ละปีมีรูปแบบและมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีรูปแบบอย่างชัดเจนว่าในช่วงฤดูฝนแต่ละปีปริมาณน้ำสูงใกล้เคียงสอดคล้องกับปริมาณฝนรายวันในรูปที่ 3-6 กล่าวคือ วันที่มีฝนตกหนักติดต่อกันกับวันที่มีฝนตกน้อยหรือไม่มีฝนตก ทำให้ปริมาณน้ำท่าเปลี่ยนแปลงไปตามลำดับ เมื่อตรวจสอบการเคลื่อนไหวของข้อมูลปริมาณฝนรายวันพบว่าโดยที่ในปี 2554 เป็นปีที่ประเทศไทยเกิดอุทกภัยครั้งใหญ่ทำให้ปริมาณน้ำท่าสูงกว่าปกติ จากรูปที่ 3-10 ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนในแต่ละลุ่มน้ำย่อยมีรูปแบบและมีค่าใกล้เคียงกันและมีรูปแบบอย่างชัดเจน กล่าวคือมีฝนตกหนักในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม และในเดือนสิงหาคมมีปริมาณฝนสูงสุดในรอบปี และลดลงเรื่อยๆในช่วงเดือนพฤศจิกายนจนถึงเดือนเมษายนทำให้ปริมาณน้ำท่ารายเดือนมีปริมาณสูงขึ้น ซึ่งแปรผันตามฤดูกาลของประเทศไทย จากรูปที่ 3-11 ปริมาณฝนรายปีในแต่ละลุ่มน้ำย่อยมีลักษณะใกล้เคียงกัน โดยปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีของลุ่มน้ำย่อยต่างๆ พบว่าสถานี 61001 มีน้ำท่าเฉลี่ยรายปีสูงสุดประมาณ 1,267.61 มม. ลุ่มน้ำ P.87 มีน้ำท่าเฉลี่ยรายปีต่ำสุดประมาณ 82.80 มม.

บทที่ 4

วิธีการที่ใช้ในการศึกษา

ในบทนี้อธิบายถึงขั้นตอนการพยากรณ์น้ำท่าโดยใช้แบบจำลอง IHACRES ร่วมกับการจำกัดชุดพารามิเตอร์โดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นและช่วงค่าพยากรณ์ที่ได้จากตัวแบบการถดถอยระหว่างดัชนีน้ำท่าและลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำ และยกตัวอย่างการนำวิธีการดังกล่าวไปพยากรณ์น้ำท่าในบริเวณที่ไม่มีสถานีวัด

เพื่อให้การนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลมีความเข้าใจเกี่ยวกับผลการวิเคราะห์ข้อมูลมีความสะดวกและง่ายขึ้นผู้วิจัยจึงกำหนดสัญลักษณ์และความหมายที่ใช้แทนค่าสถิติและตัวแปรต่างๆ ในการนำเสนอผลการวิจัยดังนี้

4.1 สัญลักษณ์ที่ใช้แทนค่าสถิติ

\bar{X}	หมายถึง ค่าเฉลี่ย (Mean)
S.D.	หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)
SK	หมายถึง ความเบ้ (Skewness Values)
KU	หมายถึง ความโด่ง (Kurtosis Values)
MAX	หมายถึง ค่าสูงสุด (Maximum)
MIN	หมายถึง ค่าต่ำสุด (Minimum)
r	หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson's correlation coefficient)
R ²	หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การทำนายค่าพยากรณ์ (Coefficient of Determination)

4.2 สัญลักษณ์ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

- 1) สัญลักษณ์ที่ใช้แทนตัวแปรตาม (Dependent Variables) ซึ่งในการศึกษานี้คือ ดัชนีน้ำท่า (Flow Indices) จำนวน 8 ตัวแปร ได้แก่

RC	หมายถึง	สัมประสิทธิ์น้ำท่า (Runoff Coefficient หน่วย: -)
BFI	หมายถึง	ดัชนีการไหลพื้นฐาน (Base flow Index หน่วย: -)
EL	หมายถึง	ดัชนีความอ่อนไหวของน้ำท่าต่อน้ำฝนตามฤดูกาล (Seasonal rainfall-flow elasticity หน่วย: -)

Q95	หมายถึง	เปอร์เซนไทล์ที่ 95 ของน้ำท่า (95th percentile of flow หน่วย: มิลลิเมตร)
Q50	หมายถึง	เปอร์เซนไทล์ที่ 50 ของน้ำท่า (50th percentile of flow หน่วย: มิลลิเมตร)
Q5	หมายถึง	เปอร์เซนไทล์ที่ 5 ของน้ำท่า (5th percentile of flow หน่วย: มิลลิเมตร)
ASR	หมายถึง	ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ (Annual specific runoff หน่วย: มิลลิเมตร)
DIFF	หมายถึง	ผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ารายปีเฉลี่ย (Difference of flow and rainfall หน่วย: มิลลิเมตร)

2) สัญลักษณ์ที่ใช้แทนตัวแปรอิสระ (Independent Variables) ซึ่งในการศึกษานี้คือคุณลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำ จำนวน 21 ตัวแปร ได้แก่

Area	หมายถึง	ขนาดพื้นที่ของลุ่มน้ำ (Area หน่วย: ตารางกิโลเมตร)
Elev	หมายถึง	ความสูงเฉลี่ยของลุ่มน้ำ (Elevation หน่วย: เมตร)
Slp	หมายถึง	ความลาดชันเฉลี่ยของลุ่มน้ำ (Slope หน่วย: เปอร์เซ็นต์)
ChL	หมายถึง	ความยาวของแม่น้ำสายหลัก (Channel Length หน่วย: กิโลเมตร)
DD	หมายถึง	อัตราส่วนความยาวของลำน้ำรวมต่อพื้นที่รับน้ำ (Drainage density หน่วย: กิโลเมตร ⁻¹)
A	หมายถึง	ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบเกษตรกรรม (Agriculture หน่วย: เปอร์เซ็นต์)
F	หมายถึง	ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบพื้นที่ป่า (Forest หน่วย: เปอร์เซ็นต์)
M	หมายถึง	ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบพื้นที่อื่นๆ (Mix หน่วย: เปอร์เซ็นต์)
U	หมายถึง	ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบพื้นที่อยู่อาศัย (Urban หน่วย: เปอร์เซ็นต์)

W	หมายถึง	ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบพื้นที่แหล่งน้ำ (Water หน่วย: เปอร์เซ็นต์)
Soil62	หมายถึง	ร้อยละของดินกลุ่มที่ 62 (Soil Great Group 62)
Sand	หมายถึง	ร้อยละของดินทราย (Sand)
Silt	หมายถึง	ร้อยละของดินตะกอน (Silt)
Clay	หมายถึง	ร้อยละของดินเหนียว (Clay)
Air_dry	หมายถึง	ระดับความชื้นผึ่งแห้งในที่ร่ม (Air dry: วัน)
MAR	หมายถึง	ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี (Mean Annual Rainfall หน่วย: มิลลิเมตร)
MWR	หมายถึง	ปริมาณฝนเฉลี่ยในฤดูฝน (Mean Wet Rainfall หน่วย: มิลลิเมตร)
MDR	หมายถึง	ปริมาณฝนเฉลี่ยในฤดูร้อน (Mean Dry Rainfall หน่วย: มิลลิเมตร)
PSI	หมายถึง	ดัชนีปริมาณฝนฤดูกาล (Precipitation Seasonality Index หน่วย: -)
Pcov	หมายถึง	ค่าสัมประสิทธิ์ของการแปรผันของปริมาณน้ำฝน (Coefficient of variance of Precipitation หน่วย: -)
PSD	หมายถึง	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณน้ำฝน (Standard Deviation of Precipitation หน่วย: -)

4.3 ขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง IHACRES ในการพยากรณ์น้ำท่า

แบบจำลอง IHACRES เป็นแบบจำลองน้ำฝน – น้ำท่าที่มีลักษณะการทำงาน คือ สุ่มค่าพารามิเตอร์ภายใต้ช่วงของค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดแต่ละตัว และทำการปรับชุดค่าพารามิเตอร์ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะได้ชุดค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ค่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณน้ำท่าสังเกตการณ์มากที่สุด แต่ในกรณีการศึกษานี้จะทำการพยากรณ์น้ำท่าโดยเสมือนว่าไม่มีข้อมูลน้ำท่าที่ใช้ในการปรับเทียบแบบจำลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด แต่จะใช้ช่วงความเชื่อมั่นและช่วงค่าพยากรณ์ที่ได้จากตัวแบบการถดถอยสามารถนำไปใช้จำกัดและคัดเลือกชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลองน้ำฝน – น้ำท่า (Constrained parameter space) ที่ได้จากการสุ่มให้เหลือเพียงชุดพารามิเตอร์ที่มีศักยภาพให้ผลการจำลองน้ำท่าที่ดีที่สุด พารามิเตอร์ชุดใดที่อยู่นอกช่วงการจำกัดจะถูกคัดออก เนื่องจากเป็นพารามิเตอร์ที่คาดว่าให้ผลการพยากรณ์น้ำท่าที่ไม่ดี (Non-behavioral) ส่วนชุดพารามิเตอร์ที่ให้ค่าดัชนีน้ำท่าตกอยู่ในช่วงความเชื่อมั่นหรือ

ช่วงค่าพยากรณ์ (Behavioral) จะเป็นชุดที่ถูกคัดเลือก (Behavioral parameter sets) เนื่องจากคาดว่าสามารถสะท้อนพฤติกรรมกลุ่มน้ำและใช้พยากรณ์น้ำท่าได้ดี และเมื่อใช้ชุดพารามิเตอร์ที่ถูกคัดเลือกทั้งหมดมาคำนวณกลับเป็นน้ำท่า จะได้ช่วงค่าน้ำท่าจากแบบจำลอง (Ensemble Flow) หลังจากนั้นจะนำค่าเฉลี่ยของช่วงค่าน้ำท่ามาเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าสังเกตการณ์ (Observed flow) และวัดประสิทธิภาพของน้ำท่าที่ได้จากการจำลองผ่านตัวชี้วัด NSE* และ Reliability

4.4 ขั้นตอนการพยากรณ์น้ำท่ามีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนการเตรียมข้อมูล

1. รวบรวมข้อมูลลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำโดยใช้โปรแกรมระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ประกอบไปด้วยตัวแปรทั้งหมด 10 ตัว ได้แก่ ขนาดพื้นที่ ความชันเฉลี่ย และความสูงเฉลี่ยของกลุ่มน้ำ ความยาวของแม่น้ำสายหลัก อัตราส่วนความยาวของลำน้ำรวมต่อพื้นที่รับน้ำ ร้อยละของการใช้ที่ดินในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่อยู่อาศัย ป่าไม้ และอื่นๆ รวมถึงการแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยของสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณา และข้อมูลชุดดิน 5 ประเภท ได้แก่ ร้อยละของดินภูเขา ดินตะกอน ดินทราย ดินเหนียว และระดับความชื้นผิวดินในที่ร่ม
2. รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำฝน น้ำท่ารายวัน ที่ได้รับความอนุเคราะห์จากกรมทรัพยากรน้ำ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน
3. ตรวจสอบความครบถ้วนของข้อมูลว่ามีข้อมูลสูญหายในช่วงใดบ้าง ในการเลือกสถานีวัดน้ำฝนและน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้จะคัดเลือกจากความสมบูรณ์ในการจดบันทึกข้อมูลในอดีต โดยในแต่ละสถานีที่ได้รับการคัดเลือกต้องมีค่าสูญหาย (missing data) ไม่เกินร้อยละ 25 แล้วทำการเติมข้อมูลโดยใช้วิธีการใช้ค่าเฉลี่ยน้ำฝนแบบ arithmetic mean
4. วิเคราะห์รูปแบบการเกิดน้ำฝนและน้ำท่า
5. คำนวณฝนเฉลี่ยพื้นที่ (Areal rainfall) เพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลองน้ำฝน - น้ำท่า และคำนวณปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี ปริมาณฝนเฉลี่ยในฤดูฝน ปริมาณฝนเฉลี่ยในฤดูร้อน หนึ่งปีปริมาณฝนฤดูกาล ค่าสัมประสิทธิ์ของการแปรผันของปริมาณน้ำฝน และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณน้ำฝน โดยมีสมการการคำนวณดังสมการ เพื่อเป็นตัวแปรในการหาความสัมพันธ์กับดัชนีน้ำท่ารวมกับขั้นตอนที่ 1 และ 2 รวมทั้งสิ้น 21 ตัวแปร

ปริมาณฝนเฉลี่ยในฤดูฝน:

$$MWR = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\sum_{j=1}^n R_j}{N} \right] \quad (4-1)$$

โดยที่	R_j	แทน	ปริมาณฝนในเดือนที่ j
	i	แทน	ปีน้ำ (Water year) ต่างๆ ตั้งแต่ พ.ศ. 2549 ถึง พ.ศ. 2557
	j	แทน	เดือนพฤษภาคม มิถุนายน กรกฎาคม สิงหาคม กันยายน และตุลาคม
	n	แทน	จำนวนเดือนในฤดูฝน
	N	แทน	จำนวนปีที่ใช้ในการศึกษา

ปริมาณฝนเฉลี่ยในฤดูร้อน:

$$MDR = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\sum_{j=1}^n R_j}{N} \right] \quad (4-2)$$

โดยที่	R_j	แทน	ปริมาณฝนในเดือนที่ j
	i	แทน	ปีน้ำ (Water year) ต่างๆ ตั้งแต่ พ.ศ. 2549 ถึง พ.ศ. 2557
	j	แทน	เดือนพฤศจิกายน ธันวาคม มกราคม กุมภาพันธ์ มีนาคม และเมษายน
	n	แทน	จำนวนเดือนในฤดูฝน
	N	แทน	จำนวนปีที่ใช้ในการศึกษา

ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี:

$$MAR = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\sum_{j=1}^n R_j}{N} \right] \quad (4-3)$$

โดยที่	R_j	แทน	ปริมาณฝนในเดือนที่ j
	i	แทน	ปีน้ำ (Water year) ต่างๆ ตั้งแต่ พ.ศ. 2549 ถึง พ.ศ. 2557
	j	แทน	เดือนทั้ง 12 เดือน
	n	แทน	จำนวนเดือนในฤดูฝน
	N	แทน	จำนวนปีที่ใช้ในการศึกษา

ดัชนีปริมาณฝนฤดูกาล:

$$PSI = \frac{1}{MAR} \sum_{j=1}^{12} \left| X_j - \frac{MAR}{12} \right| \quad (4-4)$$

โดยที่ MAR แทน ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี

X_n แทน ปริมาณฝนรายเดือนในเดือนที่ j

ค่าสัมประสิทธิ์ของการแปรผันของปริมาณน้ำฝน:

$$P_{cov} = \frac{S.D_{DR}}{\overline{DR}} \quad (4-5)$$

โดยที่ $S.D_{DR}$ แทน ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณฝนรายวัน

\overline{DR} แทน ค่าเฉลี่ยของปริมาณฝนรายวัน

ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณน้ำฝน:

$$PSD = S.D_{DR} \quad (4-6)$$

โดยที่ $S.D_{DR}$ แทน ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณฝนรายวัน

6. คำนวณดัชนีน้ำท่าทั้ง 7 ตัว ได้แก่ ได้แก่ สัมประสิทธิ์น้ำท่า ดัชนีการไหลพื้นฐาน ดัชนีความอ่อนไหวของน้ำท่าต่อน้ำฝนตามฤดูกาล เปอร์เซนไทล์ที่ 95 ของน้ำท่า เปอร์เซนไทล์ที่ 50 ของน้ำท่า เปอร์เซนไทล์ที่ 5 ของน้ำท่า ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ และผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า 2-13 ถึง 2-18

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองการถดถอย

7. วิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ความเบ้ และความโด่ง

8. ตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ และทำการแปลงข้อมูลในกรณีที่ข้อมูลไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

9. ตรวจสอบความสัมพันธ์เบื้องต้นระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม และตัวแปรอิสระด้วยกันเองด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย (Pearson Correlation)

10. สร้างความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีน้ำท่าและลักษณะทางกายภาพโดยใช้เทคนิคการถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน (Stepwise Regression) และคำนวณหาช่วงความเชื่อมั่น (Confidence Interval: CI) และช่วงค่าพยากรณ์ (Prediction Interval: PI) ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95

11. ตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์การถดถอย

12. วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ได้ในแต่ละตัวแบบ

ขั้นตอนการพยากรณ์น้ำท่าและโค้งอัตราการไหลด้วยแบบจำลอง IHACRES ร่วมกับการจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยช่วงความเชื่อมั่นและช่วงค่าพยากรณ์

13. พยากรณ์ปริมาณน้ำท่าและโค้งอัตราการไหล (Flow duration curve) โดยใช้แบบจำลอง IHACRES โดยมีข้อมูลฝนเฉลี่ยพื้นที่เป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลองด้วยวิธีการจำลองมอนติคาร์โล และทำการสุ่มค่าพารามิเตอร์แบบยูนิฟอรมภายใต้ช่วงของค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวที่กำหนด

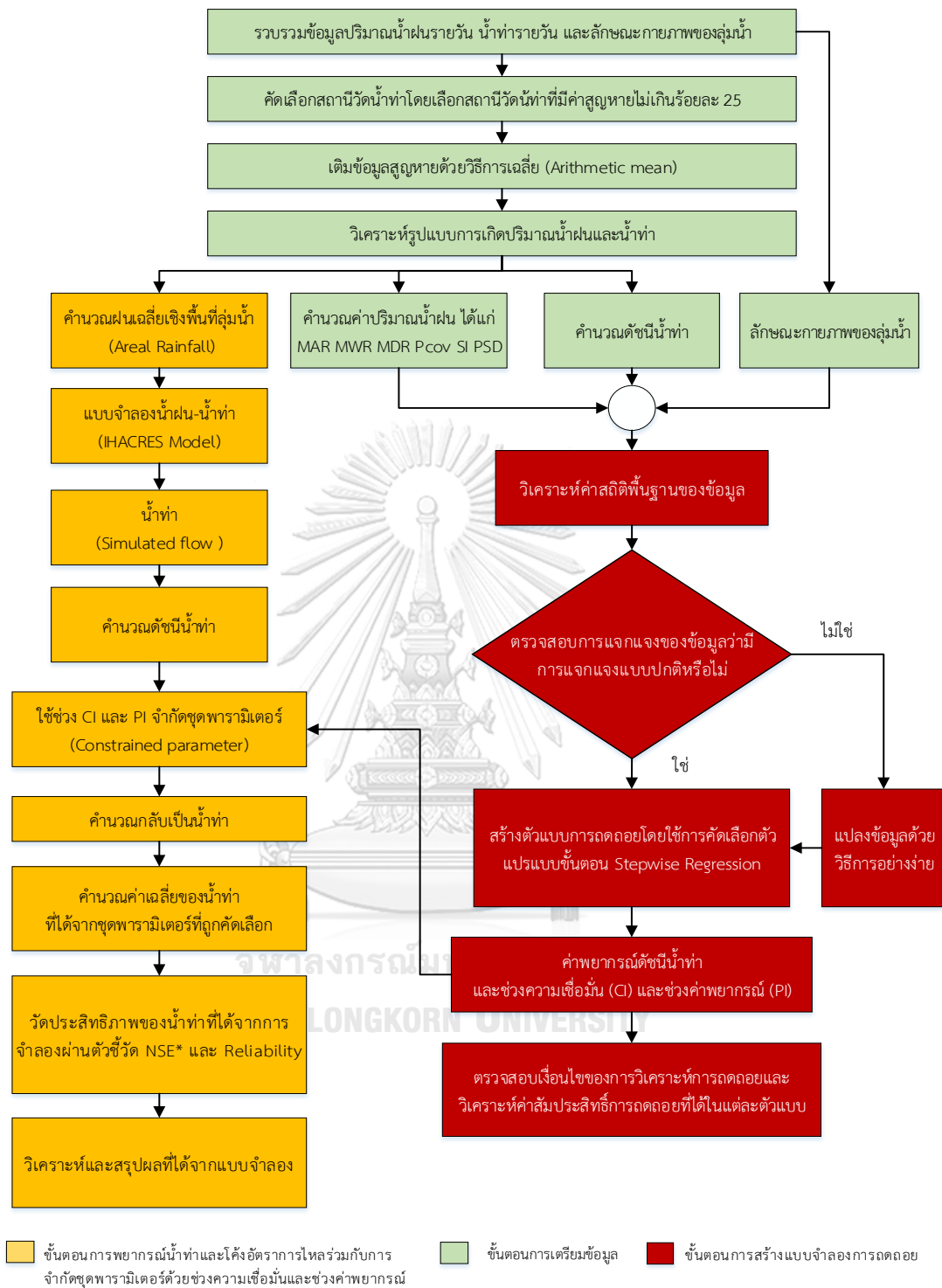
14. คำนวณค่าดัชนีน้ำท่าที่ได้จากการสุ่มชุดพารามิเตอร์ในแต่ละครั้ง

15. จำกัดชุดพารามิเตอร์ (Constrained parameter set) ด้วยช่วงความเชื่อมั่นและช่วงค่าพยากรณ์ที่ได้จากสมการถดถอย ดัชนีน้ำท่าที่ได้จากพารามิเตอร์ชุดใดตกอยู่ภายในช่วงความเชื่อมั่น หรือช่วงค่าพยากรณ์ ให้พิจารณาว่าเป็นชุดพารามิเตอร์ที่มีความสามารถเป็นตัวแทนกลุ่มน้ำได้ (Behavioral) และดัชนีน้ำท่าตัวใดที่อยู่นอกช่วงดังกล่าวถือว่าไม่สามารถเป็นตัวแทนของกลุ่มน้ำได้ (Non-behavioral)

16. เมื่อใช้ชุดพารามิเตอร์ที่ถูกคัดเลือกทั้งหมดมาคำนวณกลับเป็นน้ำท่า จะได้ช่วงค่าน้ำท่าจากแบบจำลอง (Ensemble Flow) หลังจากนั้นจะนำค่าเฉลี่ยของช่วงค่าน้ำท่ามาเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าสังเกตการณ์ (Observed flow) และวัดประสิทธิภาพของน้ำท่าที่ได้จากการจำลองผ่านตัวชี้วัด NSE* และ Reliability

17. วัดประสิทธิภาพด้วยตัวชี้วัด NSE และ Reliability

18. วิเคราะห์และสรุปผลที่ได้จากแบบจำลอง



รูปที่ 4-1 แผนภาพการทำงานของพยากรณ์น้ำท่าและโค้งอัตราการไหลรายวันด้วยแบบจำลอง IHACRES ร่วมกับการจำกัดชุดพารามิเตอร์โดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นและช่วงค่าพยากรณ์

บทที่ 5 ผลการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อประยุกต์ใช้เทคนิคการถดถอยพหุคูณร่วมกับแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าในการพยากรณ์น้ำท่ารายวันและโค้งอัตราการไหล พร้อมทั้งตรวจสอบผลการพยากรณ์โดยใช้เกณฑ์ในการเปรียบเทียบจากการวัดความคลาดเคลื่อนของผลการพยากรณ์ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 โดยการนำเสนอผลการวิจัยในบทนี้ แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ตามขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 4 ดังนี้

- 5.1 ผลการคำนวณดัชนีน้ำท่าทั้ง 8 ตัวแปร ของแต่ละลุ่มน้ำย่อย
- 5.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความเบ้ ค่าความโด่ง และค่าการกระจายของข้อมูลลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำ จำนวน 21 ตัวแปร
- 5.3 ผลการวิเคราะห์การพยากรณ์ดัชนีน้ำท่าโดยเทคนิคการถดถอยพหุคูณ
- 5.4 ผลการวิเคราะห์การพยากรณ์น้ำท่ารายวันและโค้งอัตราการไหลโดยใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า

5.1 ผลการคำนวณดัชนีน้ำท่า

ผลการคำนวณดัชนีน้ำท่าทั้ง 8 ตัว ตามสมการที่ 4-14 ถึง 4-21 แสดงได้ดังตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 ผลการคำนวณดัชนีน้ำท่าทั้ง 8 ตัว ของแต่ละลุ่มน้ำย่อยจำนวน 34 ลุ่มน้ำย่อย

ลำดับ	รหัสสถานี	RC	BFI	EL	Q ₉₅	Q ₅₀	Q ₅	ASR	Diff
1	P.1	0.21	0.24	0.36	1.73	0.29	0.01	0.03	1035.56
2	P.4A	0.11	0.14	1.13	1.89	0.05	0.00	0.08	1271.37
3	P.20	0.24	0.33	0.76	2.78	0.40	0.02	0.21	841.32
4	P.21	0.24	0.28	0.50	2.61	0.36	0.04	0.61	837.89
5	P.24	0.28	0.70	0.56	2.79	0.34	0.04	0.46	561.94
6	P.56A	0.28	0.15	0.69	3.01	0.34	0.05	0.52	696.68
7	P.67	0.19	0.49	0.34	1.85	0.24	0.01	0.03	954.83
8	P.73	0.23	0.79	0.79	2.90	0.26	0.00	0.02	608.80
9	P.75	0.19	0.80	0.23	1.76	0.35	0.01	0.06	948.70

ตารางที่ 5-1 ผลการคำนวณดัชนีน้ำท่าทั้ง 8 ตัว ของแต่ละลุ่มน้ำย่อยจำนวน 34 ลุ่มน้ำย่อย (ต่อ)

ลำดับ	รหัสสถานี	RC	BFI	EL	Q95	Q50	Q5	ASR	Diff
10	P.76	0.16	0.56	1.22	1.65	0.10	0.01	0.07	890.27
11	P.77	0.22	0.16	1.18	2.37	0.13	0.00	0.35	591.22
12	P.79	0.37	0.38	0.60	2.84	0.86	0.10	2.97	609.38
13	P.80	0.28	0.75	0.30	2.19	0.35	0.07	1.11	551.96
14	P.81	0.41	0.51	0.50	4.80	0.49	0.07	0.56	490.12
15	P.82	0.39	0.39	0.16	8.22	1.84	0.51	5.18	411.00
16	P.84	0.44	0.64	0.38	13.07	1.32	0.10	10.92	-60.52
17	P.85	0.21	0.61	1.71	3.10	0.08	0.00	0.19	790.97
18	P.86	0.06	0.66	0.53	1.69	0.02	0.00	0.13	771.22
19	P.87	0.08	0.47	6.91	1.29	0.01	0.00	0.08	848.05
20	60201	0.40	0.28	0.23	3.90	1.24	0.35	12.01	526.48
21	60301	0.41	0.54	0.21	3.95	1.03	0.26	6.80	521.79
22	60302	0.39	0.10	0.25	2.99	0.83	0.24	9.60	560.23
23	60403	0.43	0.77	0.32	8.44	1.46	0.53	44.40	-0.08
24	60701	0.43	0.19	0.45	6.57	0.95	0.20	13.49	413.48
25	60804	0.29	0.62	0.22	4.97	0.80	0.15	17.68	1264.45
26	60806	0.27	0.42	0.53	2.33	0.32	0.03	0.44	871.17
27	60807	0.36	0.14	0.21	4.13	0.86	0.20	1.53	722.86
28	60808	0.18	0.46	0.62	2.30	0.21	0.01	0.18	901.97
29	61001	0.45	0.60	0.21	8.88	2.49	0.76	13.72	608.71
30	61004	0.47	0.32	0.16	7.69	1.52	0.44	36.57	-90.63
31	61006	0.42	0.25	0.29	3.92	0.96	0.24	13.86	294.43
32	61301	0.25	0.72	0.09	2.66	0.62	0.08	3.93	635.96
33	61302	0.30	0.52	0.17	2.81	0.54	0.03	0.17	636.72
34	61501	0.36	0.21	0.77	3.68	0.55	0.03	0.28	355.71

5.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐาน

ผลการวิเคราะห์ในส่วนนี้จะกล่าวถึงลักษณะของข้อมูลลักษณะกายภาพของกลุ่มน้ำเบื้องต้น โดยนำเสนอผ่านค่าเฉลี่ย (Mean: \bar{X}) ค่าสูงสุด (Maximum: MAX) ค่าต่ำสุด (Minimum: MIN) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: S.D.) ความเบ้ (Skewness: SK) และความโด่ง (Kurtosis: KU) แสดงในตารางที่ 5-2

ตารางที่ 5-2 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐาน

ตัวแปร (Variables)	ค่าต่ำสุด (MIN)	ค่าสูงสุด (MAX)	ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	ค่าส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน (S.D)	ค่าความ เบ้ (SK)	ค่าความ โด่ง (KU)
Area	19.50	14814.00	1399.05	2772.78	3.87	17.17
Elev	628.62	1528.97	961.46	194.00	0.61	0.84
Slp	22.62	41.04	29.82	4.69	0.50	-0.46
ChL	12.11	5994.39	567.59	1131.13	3.84	16.67
DD	1.07	1.99	1.56	0.20	0.45	1.14
Soil62	63.94	100.00	86.09	10.20	-0.25	-1.15
A	0.00	29.40	13.05	6.93	0.38	0.33
F	66.70	99.38	85.07	7.42	-0.34	0.21
M	0.00	3.83	0.52	0.96	2.00	3.46
U	0.00	4.65	1.28	1.18	1.14	0.76
W	0.00	0.41	0.06	0.12	2.01	2.92
Sand	2.41	45.38	37.03	8.96	-3.37	11.58
Silt	1.66	117.47	36.02	21.62	2.88	10.12
Clay	1.93	122.76	37.03	21.83	2.87	10.32
Air_Dry	0.14	10.20	3.06	1.84	2.88	10.25
MAR	771.98	1876.32	1077.65	262.42	1.73	3.53
MWR	656.97	1670.73	949.35	238.92	1.68	3.38
MDR	70.33	205.59	128.77	31.12	0.58	1.06
PSI	0.68	0.87	0.76	0.04	0.66	1.30

ตารางที่ 5-2 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐาน (ต่อ)

ตัวแปร (Variables)	ค่าต่ำสุด (MIN)	ค่าสูงสุด (MAX)	ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	ค่าส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (S.D)	ค่าความเบ้ (SK)	ค่าความ โด่ง (KU)
Pcov	1.96	3.40	2.68	0.37	0.18	-0.49
RC	0.06	0.47	0.29	0.11	-0.24	0.40
BFI	0.10	0.80	0.45	0.22	0.02	0.40
EL	0.09	6.91	0.69	1.16	4.99	0.40
Q95	1.29	13.07	3.88	2.63	1.88	0.40
Q50	0.01	2.49	0.65	0.57	1.36	0.40
Q5	0.00	0.76	0.14	0.19	1.84	0.40
ASR	-4.13	3.79	-1.2E-01	2.28	0.10	-1.22
DIFF	-90.63	1271.37	643.35	316.70	-0.44	0.40

การวิเคราะห์ข้อมูลจากตารางที่ 5-2 พบว่า กลุ่มน้ำที่มีขนาดเล็กสุดมีพื้นที่อยู่ 19.5 ตร.กม. และกลุ่มน้ำที่มีขนาดใหญ่สุดมีพื้นที่อยู่ 14,814 ตร.กม. ซึ่งโดยส่วนใหญ่ในบริเวณพื้นที่กลุ่มน้ำปิงจะมีลักษณะของกลุ่มน้ำย่อยที่มีทั้งขนาดเล็กและใหญ่ทั่วกลุ่มน้ำ ซึ่งจะแตกต่างกันไปในลักษณะการใช้ที่ดินในแต่ละพื้นที่ โดยแบ่งร้อยละของการใช้ประโยชน์ที่ดินแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ คือ ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบเกษตรกรรม (A) ป่าไม้ (F) ที่อยู่อาศัย (U) แหล่งน้ำ (W) และพื้นที่อื่นๆ (M) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 13.05 85.07 1.28 0.06 และ 0.52 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 6.93 7.42 1.18 0.12 และ 0.96 ตามลำดับ ค่าสูงสุดของการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบต่างๆ มีค่าสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 29.40 99.38 4.65 0.41 3.83 และค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0 ยกเว้นพื้นที่ป่าไม้ที่มีค่าต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 66.70 เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่ของกลุ่มน้ำปิงปกคลุมไปด้วยพื้นที่ป่ามากที่สุด โดยคิดเป็นร้อยละ 77 ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่เกษตรกรรมส่วนใหญ่จะอยู่ทางด้านทิศตะวันออกของกลุ่มน้ำใกล้กับบริเวณพื้นที่อยู่อาศัย และพื้นที่อื่นๆ ตามรูปที่ 3-2 ปริมาณฝนของกลุ่มน้ำมีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 11,876.32 และ 771.98 มม. และปริมาณฝนเฉลี่ยในฤดูฝน (MWR) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 949.35

มม. โดยบริเวณที่มีปริมาณฝนมากที่สุดอยู่ในบริเวณตะวันตกของกลุ่มน้ำ เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดปกคลุมประเทศไทยระหว่างกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคมมากที่สุด

ทั้งนี้กระบวนการเกิดน้ำทำนนั้นมีปัจจัยและตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวข้องจำนวนมาก และความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ นั้นมีความซับซ้อนและมีความไม่แน่นอน ดังนั้น เพื่อพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์น้ำท่าที่มีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้จึงประเมินการใช้วิธีการทางสถิติมาใช้ในการพยากรณ์ ซึ่งจะแสดงผลในหัวข้อ 5.3

5.2.1 การตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูล

ค่าสัมประสิทธิ์ความเบ้ (SK) ใช้สำหรับบอกความสมมาตรของการแจกแจงเพื่อตรวจสอบตัวแปรตามและตัวแปรอิสระเบื้องต้นว่าตัวแปรแต่ละตัวมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่เพราะเป็นหนึ่งในสมมติฐานของการวิเคราะห์ทางสถิติโดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเบ้ที่อยู่นอกช่วง -1 ถึง 1 แสดงถึงการมีความเบ้ต่างจากการแจกแจงแบบปกติอย่างชัดเจน (Hair & Others, 2006: 40) จากตารางที่ 5-2 พบว่าขนาดพื้นที่ของกลุ่มน้ำ ความยาวของแม่น้ำสายหลัก ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบพื้นที่อยู่อาศัย แหล่งน้ำ พื้นที่อื่นๆ ร้อยละของดินทราย ดินตะกอน ดินเหนียว ระดับความชื้นผิวดินในที่ร่ม ปริมาณฝนรายปี ปริมาณฝนเฉลี่ยในฤดูฝน ความสัมพันธ์น้ำฝนและน้ำท่าฤดูกาล เปอร์เซนไทล์ที่ 95 ของน้ำท่า เปอร์เซนไทล์ที่ 50 ของน้ำท่า และเปอร์เซนไทล์ที่ 5 ของน้ำท่า มีค่าสูง จึงสรุปผลเบื้องต้นได้ว่าตัวแปรดังกล่าวไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

ค่าสัมประสิทธิ์ความโด่ง (KU) แสดงให้เห็นถึงความสูงของเส้นโค้งของการแจกแจงของข้อมูล ถ้าสัมประสิทธิ์ความโด่งมีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าการแจกแจงของข้อมูลชุดนั้นมีความโด่งพอเหมาะตามลักษณะของการแจกแจงแบบปกติ จากตารางที่ 5-2 พบว่าขนาดพื้นที่ของกลุ่มน้ำ ความยาวของแม่น้ำสายหลัก ร้อยละของดินทราย ดินตะกอน ดินเหนียว ระดับความชื้นผิวดินในที่ร่ม ปริมาณฝนรายปี ปริมาณฝนเฉลี่ยในฤดูฝนมีค่าสูงกว่าโค้งปกติ จึงสรุปผลเบื้องต้นได้ว่าตัวแปรส่วนใหญ่มีการแจกแจงแบบไม่ปกติ

จากผลการวิเคราะห์ส่วนที่ 2 ผลการวิเคราะห์สถิติพื้นฐาน ค่าความเบ้ และค่าความโด่งของข้อมูลลักษณะทางกายภาพส่วนใหญ่มีลักษณะการแจกแจงแบบไม่ปกติ แต่เพื่อให้เกิดความแน่ชัดก่อนการวิเคราะห์ในลำดับต่อไป ผู้วิจัยได้ทำการใช้สถิติทดสอบ Kolmogorov-Smirnov เพื่อทดสอบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ เมื่อตัวแปรใดที่มีลักษณะการแจกแจงแบบไม่ปกติก็จะทำการแปลงข้อมูลโดยใช้วิธีการแปลงข้อมูลอย่างง่าย (หัวข้อ 4.2 การแปลงข้อมูล)

สำหรับการตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลลักษณะทางกายภาพและดัชนีน้ำท่าว่ามี การแจกแจงแบบปกติหรือไม่โดยใช้สถิติทดสอบ Kolmogorov-Smirnov จากตารางที่ 5-3 พบว่าข้อมูลส่วนใหญ่มีค่าสถิติสำหรับทดสอบสมมติฐานการแจกแจงของข้อมูลไม่มีการแจกแจง แบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ยกเว้นระดับความสูงของพื้นที่ (Elev) ความลาดชันของพื้นที่ (Slope) ร้อยละของดินประเภทที่ 62 (Soil62) ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดิน ในรูปแบบเกษตรกรรม (A) ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบพื้นที่ป่า (F) ดัชนีปริมาณ ฝนฤดูกาล (MDR) ปริมาณฝนในฤดูร้อน (PSI) ค่าสัมประสิทธิ์ของการแปรผันของปริมาณน้ำฝน (Pcov) สัมประสิทธิ์น้ำท่า (RC) ดัชนีการไหลพื้นฐาน (BFI) ดัชนีความอ่อนไหวของน้ำท่าต่อ น้ำฝนตามฤดูกาล (EL) และผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ารายปีเฉลี่ย (DIFF) ที่มีการแจก แจงแบบปกติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 5-3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติการแจกแจงของข้อมูลลักษณะทางกายภาพและดัชนี น้ำท่า

Variable	Kolmogorov-Smirnov			Variable	Kolmogorov-Smirnov		
	Statistic	df	P-value		Statistic	df	P-value
Area	.309	34	.000	MAR	.192	34	.003
Elev	.102	34	.200*	MWR	.173	34	.011
Slope	.147	34	.061*	MDR	.144	34	.072*
ChL	.325	34	.000	PSI	.114	34	.200*
DD	.198	34	.002	Pcov	.078	34	.200*
Soil62	.148	34	.057*	PSD	.196	34	.002
A	.098	34	.200*	RC	.132	34	.141*
F	.093	34	.200*	BFI	.103	34	.200*
M	.328	34	.000	EL	.115	34	.200*
U	.213	34	.000	Q95	.234	34	.000
W	.374	34	.000	Q50	.170	34	.014
Sand	.441	34	.000	Q5	.251	34	.000
Silt	.441	34	.000	ASR	.286	34	.000
Clay	.441	34	.000	DIFF	.115	34	.200*
Air_Dry	.441	34	.000				

* $p\text{-value} < 0.05$

ผู้วิจัยจึงทำการแปลงข้อมูลด้วยวิธีบ็อกซ์-ค็อกซ์พร้อมกับการนอร์มอลไลต์เซชัน (Normalization) ข้อมูลต่างๆ เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน และป้องกันผลกระทบจากความแตกต่างของคุณลักษณะของตัวแปรแต่ละตัว โดยเฉพาะอันดับของขนาด (Order of magnitude) ต่อการพัฒนาสมการสหสัมพันธ์ ดังแสดงผลในตารางที่ 5-4

ตารางที่ 5-4 ผลการแปลงข้อมูลด้วยวิธีการแปลงอย่างง่าย

ตัวแปร (Variables)	ค่าต่ำสุด (MIN)	ค่าสูงสุด (MAX)	ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	ค่าส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน (S.D)	ค่าความ เบ้ (SK)	ค่าความ โด่ง (KU)
Area	-1.75	2.13	-6.6E-17	1.01	0.03	-0.86
Elev	-1.72	2.93	-5.9E-04	1.00	0.61	0.86
Slp	-1.54	2.39	1.5E-03	1.00	0.50	-0.47
ChL	-1.68	2.24	2.9E-04	1.01	0.16	-0.70
DD	-2.99	2.01	2.9E-04	1.01	-0.14	1.73
Soil62	-1.83	1.53	9.0E-17	1.02	0.01	-1.39
A	-1.88	2.36	-2.9E-04	1.00	0.38	0.33
F	-2.48	1.93	-2.4E-17	1.00	-0.34	0.22
M	-1.57	4.18	2.9E-04	1.02	1.78	8.14
U	-1.31	1.76	8.8E-04	1.02	0.63	-0.92
W	-1.95	1.96	-1.2E-03	1.01	0.11	-0.50
Sand	-3.04	1.93	1.2E-03	1.02	-1.20	3.42
Silt	-2.78	3.13	1.5E-03	1.02	0.59	6.10
Clay	-2.77	3.23	2.9E-03	1.02	0.58	6.16
Air_Dry	-2.76	3.19	5.9E-04	1.02	0.53	6.09
MAR	-1.95	1.96	-1.2E-03	1.01	0.11	-0.50
MDR	-1.88	2.47	-1.2E-03	1.00	0.58	1.06
PSI	0.68	0.87	7.6E-01	0.04	0.66	1.30
Pcov	1.96	3.40	2.7E+00	0.37	0.18	-0.49
PSD	-2.11	2.16	-8.8E-04	1.02	-0.25	-0.01

ตารางที่ 5-4 ผลการแปลงข้อมูลด้วยวิธีการแปลงอย่างง่าย (ต่อ)

ตัวแปร (Variables)	ค่าต่ำสุด (MIN)	ค่าสูงสุด (MAX)	ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	ค่าส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน (S.D)	ค่าความ เบ้ (SK)	ค่าความ โด่ง (KU)
MWR	-2.26	1.85	2.9E-04	1.02	-0.28	-0.01
RC	0.06	0.47	2.9E-01	0.11	-0.24	-0.87
BFI	0.10	0.80	4.5E-01	0.22	0.02	-1.25
EL	0.38	3.32	1.6E+00	0.61	0.45	0.48
Q95	0.28	0.88	5.7E-01	0.15	-0.14	-0.48
Q50	0.10	1.58	7.3E-01	0.35	0.33	-0.23
Q5	-5.28	-0.28	-3.0E+00	1.50	0.16	-1.29
ASR	-4.13	3.79	-1.2E-01	2.28	0.10	-1.22
DIFF	-90.63	1271.37	6.43E+02	316.70	-0.44	0.67

จากตารางที่ 5-4 พบว่า การนอร์มอลไลต์เซชันทำให้ข้อมูลอยู่ในฐานเดียวกันทั้งหมด ทำให้ซึ่งมีค่าเฉลี่ยในระดับใกล้เคียงกัน ค่าสัมประสิทธิ์ความเบ้ (SK) อยู่ในช่วง -1 ถึง 1 แสดงถึงลักษณะความเบ้ของข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติอย่างชัดเจน ยกเว้น ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบพื้นที่อื่นๆ (M) ร้อยละของดินทราย (Sand) ส่วนข้อมูลที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความโด่ง (KU) สูงกว่าปกติ ได้แก่ ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบพื้นที่อื่นๆ (M) และร้อยละของดินทราย (Sand) ร้อยละของดินตะกอน (Silt) ร้อยละของดินเหนียว (Clay) และร้อยละระดับความชื้นผึ่งแห้งในที่ร่ม (Air_dry) ซึ่งตัวแปรดังกล่าวมีลักษณะการแจกแจงแบบไม่ปกติ

ผลการตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลลักษณะทางกายภาพและดัชนีน้ำท่าหลังการแปลงข้อมูลว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่โดยใช้สถิติทดสอบ Kolmogorov-Smirnov แสดงได้ดังตารางที่ 5-5 จากตารางพบว่า ข้อมูลส่วนใหญ่มีการแจกแจงแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ยกเว้นอัตราส่วนความยาวของลำน้ำรวมต่อพื้นที่รับน้ำ (DD) ร้อยละของดินทราย (Sand) ร้อยละของดินทรายร้อยละของดินตะกอน (Silt) ร้อยละของดินเหนียว (Clay) ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบพื้นที่อยู่อาศัย (U) ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบพื้นที่อื่นๆ (M) และร้อยละระดับความชื้นผึ่งแห้งในที่ร่ม (Air dry) ผู้วิจัยจึงได้แบ่งการสร้างตัวแบบพยากรณ์ออกเป็น 2 กรณี กรณีแรกคือการสร้างตัวแบบโดยคง

ตัวแปรที่ไม่มีการแจกแจงแบบปกติไว้ดั้งเดิม และกรณีที่สองคือการตัดตัวแปรที่ไม่มีการแจกแจงแบบปกติออกก่อนทำการสร้างตัวแบบ ผลปรากฏว่าตัวแปรที่ไม่มีลักษณะการแจกแจงแบบปกตินั้นไม่มีนัยสำคัญต่อดัชนีน้ำท่า รวมถึงตัวแบบของดัชนีน้ำท่าบางตัวที่ทำการตัดตัวแปรดังกล่าวออกไปให้ค่า R^2 สูงกว่าในกรณีที่ไม่ได้ตัดตัวแปรดังกล่าวออก ผู้วิจัยจึงทำการตัดตัวแปรดังกล่าวออก โดยเหลือตัวแปรอิสระจากการวิเคราะห์การถดถอย 14 ตัว ที่จะนำไปใช้วิเคราะห์ถดถอยพหุคูณในส่วนถัดไป

ตารางที่ 5-5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติการแจกแจงของข้อมูลลักษณะทางกายภาพและดัชนีน้ำท่าหลังการแปลงข้อมูลด้วยวิธีอย่างง่าย

Variable	Kolmogorov-Smirnov			Variable	Kolmogorov-Smirnov		
	Statistic	df	P-value		Statistic	df	P-value
Area	.108	34	.200*	MWR	.098	34	.200*
Elev	.101	34	.200*	MDR	.144	34	.072*
Slope	.147	34	.060*	PSI	.114	34	.200*
ChL	.131	34	.151*	Pcov	.078	34	.200*
DD	.174	34	.010	PSD	.106	34	.200*
Soil62	.137	34	.105*	RC	.132	34	.141*
A	.098	34	.200*	BFI	.103	34	.200*
F	.093	34	.200*	EL	.115	34	.200*
M	.322	34	.000	Q95	.108	34	.200*
U	.183	34	.006	Q50	.113	34	.200*
W	.103	34	.200*	Q5	.145	34	.068*
Sand	.310	34	.000	ASR	.125	34	.196*
Silt	.387	34	.000	DIFF	.115	34	.200*
Clay	.387	34	.000				
Air_Dry	.387	34	.000				

* $p\text{-value} < 0.05$

5.3 ผลการวิเคราะห์การพยากรณ์ดัชนีน้ำท่าโดยเทคนิคการถดถอยพหุคูณ

ผู้วิจัยนำเสนอผลการวิเคราะห์ในส่วนการพยากรณ์ดัชนีน้ำท่าด้วยเทคนิคการถดถอยพหุคูณ โดย ซึ่งผลการวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษา และผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยโดยเทคนิคการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณแบบวิธีถดถอยแบบขั้นตอน (Stepwise Regression)

5.3.1 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษา

ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม และระหว่างตัวแปรอิสระด้วยกันเอง เพื่อศึกษาลักษณะความสัมพันธ์เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การถดถอยในลำดับต่อไป โดยใช้สถิติทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 5-6 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ 14 ตัว และตัวแปรตาม 8 ตัว นั้นพบว่า ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 มีจำนวน 49 คู่ ในขณะที่ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 มีจำนวน 15 คู่ จากทั้งหมด 231 คู่ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าตั้งแต่ -0.92 ถึง 0.99 และมีตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กันเอง (Multicollinearity) สูงอยู่ 3 คู่ ซึ่งขัดกับข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ โดยจะมีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวผ่านวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยเทคนิคการคัดเลือกแบบขั้นตอน (Stepwise Regression)

จากตารางที่ 5-6 จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีน้ำท่าทั้ง 8 ตัวและลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำจะเห็นได้ว่าตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับดัชนีน้ำท่าส่วนใหญ่ ได้แก่ ขนาดพื้นที่ของกลุ่มน้ำ ระดับความชัน ความสูงของพื้นที่ ความยาวของแม่น้ำสายหลัก ชนิดของดิน ปริมาณน้ำฝน รวมถึงลักษณะการใช้ที่ดิน ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการทบทวนวรรณกรรมที่พบว่า ลักษณะกายภาพของกลุ่มน้ำมีความสัมพันธ์กับตัวแปรกับดัชนีน้ำท่าและมีศักยภาพในการใช้ทำนายปริมาณน้ำท่า อาทิเช่น

- ขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำ เป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลสำคัญต่อการเกิดปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำ หากพื้นที่ลุ่มน้ำมีขนาดใหญ่ก็มักจะมีปริมาณของน้ำท่ามากกว่าพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็ก อีกทั้งยังเป็นตัวแปรที่หามาได้ง่าย โดยส่วนใหญ่จะมีการหาขนาดพื้นที่สถานีวัดน้ำท่าแต่ละสถานีจากทางหน่วยงานราชการต่างๆ แล้ว ดังนั้นจึงเป็นการง่ายและสะดวกที่จะนำข้อมูลมาประยุกต์ใช้ในการหาความสัมพันธ์กับดัชนีน้ำท่า

- ความยาวของแม่น้ำสายหลัก เป็นตัวแปรอีกหนึ่งตัวที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำ หากลุ่มน้ำใดมีความยาวของของแม่น้ำสายหลักมากก็จะทำให้ฐานของกราฟน้ำท่าของกลุ่มน้ำนั้นมีระยะเวลายาวกว่าลุ่มน้ำที่มีความยาวของแม่น้ำสายหลักสั้น

เนื่องจากยิ่งแม่น้ำสายหลักมีความยาวมากเท่าไร ก็จะทำให้มวลน้ำเคลื่อนผ่านไปตามลำน้ำจนถึงจุดออกของกลุ่มน้ำช้ำมากขึ้นเท่านั้น อีกทั้งยังเป็นตัวแปรที่มักจะมีการศึกษาที่หาความยาวของลำน้ำไว้แล้ว หรือหากต้องทำการหาค่าของความยาวของแม่น้ำสายหลักก็ไม่ยากอีกด้วย

- ความลาดชันเฉลี่ยของกลุ่มน้ำ เป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อความเร็วของการไหลบนผิวดินของน้ำและการซึมลงดินชั้นล่าง ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกราฟน้ำท่า โดยพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงจะส่งผลให้อัตราการไหลของน้ำที่มีค่าสูงตามไปด้วย

- ระดับความสูงของพื้นที่ เป็นตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดปริมาณน้ำท่าแต่ไม่ใช่ความสัมพันธ์โดยตรงแต่มีปัจจัยอื่นๆ มาประกอบด้วยระดับความสูงของพื้นที่ กล่าวคือ ในบริเวณที่สูงมากๆ อาจจะเป็นภูเขา หรือบนยอดเขา โดยลักษณะตามธรรมชาติบริเวณที่เป็นพื้นที่เขาสูงๆ มักจะเป็นแหล่งกำเนิดต้นน้ำหรือที่เรียกว่า ตาน้ำ คือจุดที่น้ำผุดขึ้นมาจากชั้นดินซึ่งเกิดขึ้นมาจากการเก็บกักน้ำของต้นไม้นบนภูเขาสูง เมื่อฝนตกและมีปริมาณต้นไม้น้อยๆ ก็จะมีการดูดซึมเก็บกักน้ำไว้ เมื่อมีตาน้ำจำนวนมาก ก็จะกลายเป็นลำธารกักเซาะพื้นที่และรวมกันจนเป็นแม่น้ำในที่สุด จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าระดับความสูงของพื้นที่ล้วนมีความสัมพันธ์ร่วมกับลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินซึ่งแบ่งออกได้เป็น 4 แบบ คือ เกษตรกรรม ป่าไม้ ที่อยู่อาศัย และอื่นๆ

- การใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบต่างๆ และลักษณะของดิน เป็นตัวแปรที่สำคัญที่ส่งผลต่อการเกิดน้ำท่า กล่าวคือ กลุ่มน้ำใดที่พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าไม้เมื่อมีฝนตกต้นไม้อีกจะดูดซับน้ำไว้ได้ส่วนหนึ่ง ทำให้น้ำฝนที่ตกลงมาไหลลงสู่แม่น้ำลำธารเกิดเป็นน้ำท่าได้น้อยกว่าในบริเวณพื้นที่ที่เป็นพื้นที่อยู่อาศัย เนื่องจากพื้นที่อยู่อาศัยเป็นสิ่งปลูกสร้าง อาคาร ไม่มีพื้นที่ที่สามารถดูดซับกักเก็บน้ำไว้ได้ แต่ถ้าพื้นที่ใดที่มีแหล่งกักเก็บน้ำ เช่น หนองน้ำ คลอง บึง แมกกระทั้งสิ่งที่มีมนุษย์สร้างขึ้น เช่น เขื่อน ฝาย ก็จะทำให้ปริมาณน้ำท่าที่วัดได้แตกต่างจากปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมารวมไปถึงลักษณะของดินในแต่ละพื้นที่ ถ้าพื้นที่ใดมีดินเหนียวมากก็จะยิ่งทำให้ปริมาณน้ำท่ามากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากดินเหนียวไม่สามารถดูดซับน้ำไว้ได้ดีเท่ากับดินทรายที่มีช่องว่างมากพอให้น้ำไหลซึมเข้าไปในชั้นดินได้ง่ายกว่า

- ปริมาณน้ำฝน เป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อการเกิดปริมาณน้ำท่าด้วยเช่นเดียวกัน กลุ่มน้ำปิงได้รับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ โดยลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีต้นกำเนิดจากบริเวณมหาสมุทรอินเดียพัดปกคลุมประเทศไทยในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม ส่งผลทำให้ปริมาณฝนเฉลี่ยมีค่าสูงเนื่องจากมีฝนตกชุกตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม เมื่อเทียบกับฤดูร้อนในช่วงกลางเดือนกุมภาพันธ์จนถึงกลางเดือนตุลาคม และผลจากอิทธิพลมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจากประเทศจีน ทำให้อากาศเย็นลงช่วงกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์

ตารางที่ 5-6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างดัชนีน้ำท่าและข้อมูลลักษณะทางกายภาพของตลุ่มน้ำ

	Area	Elev	Slope	ChL	Soil62	A	F	W	MAR	MWR	MDR	PSI	Pcov	PSD	RC	BFI	Q95	Q50	Q5	ASR	EL	DIFF
Area	1																					
Elev	-0.63**	1																				
Slope	-0.36*	0.35*	1																			
ChL	0.98**	-0.55**	-0.35*	1																		
Soil62	-0.59**	0.53**	0.78**	-0.59**	1																	
A	0.09	0.02	-0.36*	0.1	-0.5**	1																
F	-0.2	0.14	0.43*	-0.21	0.58**	-0.98**	1															
W	0.04	-0.17	-0.16	0.05	-0.11	-0.01	-0.04	1														
MAR	0.04	-0.17	-0.16	0.05	-0.11	-0.01	-0.04	1**	1													
MWR	0.05	-0.22	-0.13	0.06	-0.1	-0.03	-0.03	0.99**	0.99**	1												
MDR	-0.17	0.21	-0.04	-0.15	-0.13	0.07	-0.04	-0.69**	-0.69**	-0.65**	1											
PSI	0.1	0.13	0.12	0.07	0.2	0.04	-0.01	-0.27	-0.27	-0.37*	-0.43*	1										
Pcov	-0.11	-0.01	-0.05	-0.11	0.04	0.03	-0.05	0.67**	0.67**	0.62**	-0.54**	0.07	1									
PSD	0.21	-0.3	-0.13	0.22	-0.16	-0.04	-0.02	0.61**	0.61**	0.66**	-0.42*	-0.37*	-0.17	1								
RC	-0.71**	0.6**	0.32	-0.67**	0.42*	-0.08	0.17	-0.02	-0.02	-0.02	0.1	-0.06	0.02	-0.09	1							
BFI	0.1	0.11	-0.01	0.18	0.02	0.11	-0.1	0.09	0.09	0.04	-0.16	0.24	0.09	0.05	-0.15	1						
Q95	0.67**	-0.62**	-0.2	0.62**	-0.31	-0.03	-0.07	0.15	0.15	0.17	-0.24	0.03	-0.01	0.26	-0.89**	0.02	1					
Q50	-0.71**	0.7**	0.35*	-0.65**	0.44**	-0.01	0.13	-0.26	-0.26	-0.28	0.28	0.05	-0.09	-0.31	0.91**	-0.03	-0.87**	1				
Q5	-0.87**	0.68**	0.34	-0.81**	0.52**	-0.05	0.16	-0.15	-0.15	-0.17	0.21	0.01	0.04	-0.28	0.88**	-0.09	-0.83**	0.92**	1			
ASR	-0.98**	0.68**	0.36*	-0.95**	0.57**	-0.07	0.19	-0.1	-0.1	-0.11	0.21	-0.07	0.07	-0.25	0.82**	-0.09	-0.8**	0.83**	0.94**	1		
EL	-0.5**	0.49**	0.25	-0.45**	0.41*	0.11	0.02	-0.23	-0.23	-0.29	-0.1	0.53**	0.03	-0.32	0.5**	0.16	-0.45**	0.67**	0.64**	0.56**	1	
DIFF	0.55**	-0.47**	-0.27	0.49**	-0.39*	0.04	-0.1	-0.47**	-0.47**	-0.48**	0.32	0.17	-0.36*	-0.23	-0.75**	-0.06	0.7**	-0.62**	-0.61**	-0.62**	-0.27	1

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

5.3.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยโดยเทคนิคการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณแบบวิธีถดถอยแบบขั้นตอน (Stepwise Regression)

การวิเคราะห์ผลในส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกตัวแปรอิสระที่มีความสำคัญอย่างมีนัยสำคัญกับดัชนีน้ำท่าแต่ละตัว โดยใช้การคัดเลือกตัวแปรอิสระด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน (Stepwise Multiple regression) พร้อมทั้งตรวจสอบสมมติฐานเบื้องต้นของการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ ซึ่งมีดังต่อไปนี้ 1) ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ หรือ $\epsilon \sim N(0, \sigma^2)$ 2) ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่ และ 3) ค่าความคลาดเคลื่อนต้องเป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นก่อนการวิเคราะห์ข้อมูลจึงได้ทำการตรวจสอบตัวแบบตามเงื่อนไขของการวิเคราะห์การถดถอยโดยมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1) การแจกแจงของค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

สำหรับการตรวจสอบการแจกแจงของค่าความคลาดเคลื่อนว่ามีการแจกแจงเป็นแบบปกติหรือไม่โดยใช้สถิติทดสอบ Kolmogorov-Smirnov จากตารางที่ 5-7 พบว่าค่าสถิติของค่าความคลาดเคลื่อนพยากรณ์ ได้แก่ RC, EL, Q95, Q50, Q5, ASR และ DIFF ไม่ปฏิเสธสมมติฐานสรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนพยากรณ์มีการแจกแจงแบบปกติ

ตารางที่ 5-7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติการแจกแจงของค่าความคลาดเคลื่อน

Variable	Kolmogorov-Smirnov		
	Statistic	df	P-value
Standardized Residual Of RC	.13	34	.17*
Standardized Residual of Q95	.10	34	.20*
Standardized Residual of Q50	.08	34	.20*
Standardized Residual of Q5	.08	34	.20*
Standardized Residual of ASR	.10	34	.20*
Standardized Residual of EL	.08	34	.20*
Standardized Residual of Diff	.12	34	.20*

*. This is a lower bound of the true significance.

2) ตรวจสอบความเป็นอิสระของค่าความคลาดเคลื่อน

ในการทดสอบความเป็นอิสระของความคลาดเคลื่อนสามารถทำได้โดยใช้การทดสอบ Durbin-Watson เพื่อคำนวณค่า d ตามสมการที่ 4-9 และหาขอบเขตบนและล่างจากตาราง โดยมีเกณฑ์ในการวัดดังนี้

เมื่อ $D > D_u$ หมายถึง ความคลาดเคลื่อนมีความเป็นอิสระ

เมื่อ $D < D_L$ หมายถึง ความคลาดเคลื่อนมีความสัมพันธ์กันในทิศทางบวก

เมื่อ $D_L < D < D_U$ หมายถึง ไม่สามารถสรุปได้

การทดสอบความเป็นอิสระของค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแบบดัชนีน้ำท่าแต่ละตัว โดยผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 5-8 พบว่าค่าสถิติทดสอบ Durbin Watson ของตัวแบบพยากรณ์ ได้แก่ RC, EL, Q95, Q50, Q5, ASR และ DIFF ไม่ปฏิเสธสมมติฐานสรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแบบพยากรณ์มีความเป็นอิสระกัน

ตารางที่ 5-8 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของการทดสอบความเป็นอิสระของค่าความคลาดเคลื่อน

Model	Durbin-Watson	Number of Predictor	Durbin-Watson table		
			n	D_L	D_U
RC	1.61	1	34	1.184	1.298
EL	1.74	3	34	1.070	1.436
Q95	1.36	1	34	1.184	1.298
Q50	1.66	2	34	1.128	1.364
Q5	1.75	2	34	1.128	1.364
ASR	1.79	2	34	1.128	1.364
DIFF	1.45	3	34	1.070	1.436

3) ตรวจสอบความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนว่ามีค่าคงที่หรือไม่

การตรวจสอบความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนว่ามีค่าคงที่หรือสามารถทำได้โดยใช้สถิติทดสอบ Levene's test โดยผลการทดสอบแสดงได้ดังตารางที่ 5-9

การทดสอบความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนของตัวแบบดัชนีน้ำท่าแต่ละตัวโดยผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 5-9 พบว่าค่าสถิติทดสอบ Durbin Watson ของตัวแบบพยากรณ์ ได้แก่ RC EL Q95 Q50 Q5 ASR และ DIFF ไม่ปฏิเสธสมมติฐานสรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแบบพยากรณ์มีความแปรปรวนคงที่

ตารางที่ 5-9 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของการทดสอบความคงที่ของความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อน

Variable	Levene Statistic	df1	df2	P-value
Standardized Residual of RC	1.80	1	32	0.19
Standardized Residual of EL	0.17	1	32	0.68
Standardized Residual of Q95	0.02	1	32	0.89
Standardized Residual of Q50	0.28	1	32	0.60
Standardized Residual of Q5	0.02	1	32	0.89
Standardized Residual of ASR	0.54	1	32	0.47
Standardized Residual of DIFF	0.42	1	32	0.52

เมื่อไม่พบการขัดข้องกลางเบื้องต้นของการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณผู้วิจัยจึงได้วิเคราะห์การถดถอยพหุคูณด้วยวิธีเลือกตัวแปรแบบขั้นตอนเพื่อพยากรณ์ดัชนีน้ำท่าแต่ละตัวได้ผลในตารางที่ 5-10

ตารางที่ 5-10 ตัวแปรอิสระและค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแบบการถดถอยของดัชนีน้ำท่าและตัว

ดัชนีน้ำท่า	ตัวแบบการถดถอยของดัชนีน้ำท่า	R ²
RC	$RC = 0.29 - 0.08Area$	0.48
EL	$EL = -4.72 + 8.36PSI - 0.33Area$	0.59
Q95	$Q95 = 0.57 + 0.10Area$	0.52
Q50	$Q50 = 0.73 - 0.16Area + 0.15Elev$	0.58
Q5	$Q5 = -2.96 - 1.08Area + 0.33Elev$	0.77
ASR	$ASR = -0.12 - 0.18ChL + 0.53Elev$	0.93
DIFF	$DIFF = 643.33 + 100.27Area - 178.83MWR - 124.27Elev$	0.55

สัมประสิทธิ์น้ำท่า (RC) เมื่อให้ตัวแปรอิสระทั้งหมดเข้าสู่ตัวแบบ ตัวแปรอิสระที่มีนัยสำคัญมีเพียงตัวเดียว คือ ตัวแปรขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ (Area) โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณเท่ากับ 0.70 และสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ (R²) เท่ากับ 0.49 แสดงว่าตัวแปรขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ (Area) อธิบายความแปรปรวนในสัมประสิทธิ์น้ำท่าได้ร้อยละ 49 ซึ่งมีเพียงตัวแปรเดียวในสมการ เนื่องจากสัมประสิทธิ์น้ำท่า (RC) มีความสัมพันธ์กับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำมากที่สุด ($r=-0.71$) รองลงมาคือตัวแปรความยาวของแม่น้ำสายหลัก ($r=-0.67$) ตัวแปรระดับความสูงของพื้นที่ ($r = 0.60$) และตัวแปรร้อยละของดินประเภทที่ 62 ($r=0.42$) แต่ตัวแปรดังกล่าวมีความสัมพันธ์กันเองอย่างมีนัยสำคัญ ผลการวิเคราะห์จากวิธีการคัดเลือกตัวแปรแบบขั้นตอนจึงเลือกตัวแปรที่อธิบายความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์น้ำท่าได้มากที่สุดนั่นก็คือ ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยที่สัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระมีค่าลบ แสดงถึงความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับตัวแปรตาม กล่าวคือ เมื่อลุ่มน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้น จะส่งผลให้ปริมาณน้ำท่าลดลง หรือในทางตรงกันข้าม เมื่อลุ่มน้ำมีขนาดเล็กลง จะส่งผลให้ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้น ซึ่งความสัมพันธ์เช่นนี้เป็นไปได้ในเชิงอุทกวิทยา เนื่องจากสัมประสิทธิ์น้ำท่าเป็นสัดส่วนระหว่างปริมาณน้ำท่าต่อปริมาณน้ำฝน เมื่อเปรียบเทียบปริมาณฝนที่ตกบนพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ลุ่มน้ำขนาดใหญ่มีแนวโน้มที่จะได้รับปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่ลุ่มน้ำมากกว่า แต่ปริมาณน้ำท่าจะมากหรือน้อยนั้นไม่ได้ขึ้นกับปริมาณฝนเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นกับลักษณะดินและการใช้ที่ดินด้วย ดังนั้น

ความสัมพันธ์ในเชิงลบระหว่างสัมประสิทธิ์น้ำท่าและขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ จึงมีความเป็นไปได้ อีกทั้งเครื่องหมายที่ปรากฏในสมการนี้อาจสะท้อนผลจากตัวแปรอิสระอื่นๆ ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระนี้ด้วย

จากสมการ RC ถ้าขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำเพิ่มขึ้น 1 หน่วย สัมประสิทธิ์น้ำท่าจะลดลง 0.08 หน่วย ซึ่งสัมประสิทธิ์น้ำท่า คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำท่าและน้ำฝน ซึ่งในทางความเป็นจริงนั้นไม่ได้มีขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำเพียงตัวแปรเดียวที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์น้ำท่า แต่จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดพื้นที่กับตัวแปรอิสระอื่นๆ ในตารางที่ 5-6 พบว่าตัวแปรขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับตัวแปรความยาวของแม่น้ำสายหลัก ($r = 0.98$) ตัวแปรความลาดชันของพื้นที่ ($r = -0.36$) ตัวแปรระดับความสูงของพื้นที่ ($r = -0.63$) และตัวแปรร้อยละของดินประเภทที่ 62 ($r = -0.59$) ดังนั้น ตัวแปรขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำที่ปรากฏในตัวแบบ จึงอาจสะท้อนความสัมพันธ์ของตัวแปรดังกล่าวข้างต้นด้วย ในสภาพความเป็นจริงกรณีที่มีฝนตกในบริเวณพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงลักษณะการไหลของปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาจึงมีความเร็วมาก ด้วยอัตราการไหลของน้ำที่มีความเร็วมากนี้ จึงทำให้พื้นดินบริเวณที่ลาดชันดูดซับน้ำได้น้อยกว่าพื้นที่ราบซึ่งมีอัตราการไหลของน้ำที่ช้ากว่า รวมถึงบริเวณที่มีดินประเภทที่ 62 ซึ่งมีลักษณะเป็นดินภูเขา โดยดินชนิดนี้มีคุณลักษณะการดูดซับน้ำได้น้อยกว่าดินชนิดอื่นๆ จึงทำให้กระแสน้ำไหลผ่านลงสู่แม่น้ำได้มากกว่า

เมื่อทดสอบความมีนัยสำคัญพบว่าปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ($P < 0.05$) แสดงว่าขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำมีความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์น้ำท่า ในระดับสูง คือ 0.61 สามารถพยากรณ์ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า (R^2_{adj}) ได้ร้อยละ 48 โดยมีความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการพยากรณ์โดยเฉลี่ยประมาณ 0.08 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ดัชนีการไหลพื้นฐาน (BFI) ไม่มีตัวแปรอิสระใดที่สามารถอธิบายดัชนีการไหลพื้นฐานได้เลย เนื่องจากในธรรมชาติดัชนีการไหลพื้นฐานมีความสัมพันธ์กับดินโดยตรง ซึ่งในการศึกษานี้ข้อมูลชุดดินไม่ได้นำมาพิจารณาร่วมด้วยเพราะในการเก็บข้อมูลที่ได้อาจไม่ละเอียดพอต่อการนำมาวิเคราะห์ รวมถึงข้อมูลดินมีลักษณะการแจกแจงแบบไม่ปกติจึงทำการตัดตัวแปรดังกล่าวออกจากการวิเคราะห์ จึงทำให้ไม่สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีการไหลพื้นฐานและตัวแปรอิสระอื่นๆ ได้

ดัชนีความสัมพันธ์น้ำฝนและน้ำท่าฤดูกาล (EL) ชั้นตอนแรก เมื่อให้ตัวแปรดัชนีปริมาณฝนฤดูกาล (PSI) เข้าในสมการได้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณเท่ากับ 0.52 และสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ (R^2) เท่ากับ 0.27 แสดงว่าตัวแปรดัชนีปริมาณฝนฤดูกาลนี้สามารถอธิบายความแปรปรวนในความสัมพันธ์น้ำฝนและน้ำท่าได้ร้อยละ 27 **ชั้นตอนที่สอง** เมื่อเพิ่มตัวแปรขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ (Area) อีก 1 ตัวเข้าไปในสมการได้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณเท่ากับ 0.76 ตัวแปรอิสระทั้งสองตัวสามารถอธิบายความแปรปรวนเพิ่มขึ้นเป็น R^2 เท่ากับ 0.58 แสดงว่าตัวแปรทั้งสอง ตัวแปรดัชนีปริมาณฝนฤดูกาลและตัวแปรขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำอธิบายความแปรปรวนของความสัมพันธ์น้ำฝนและน้ำท่าได้ร้อยละ 58 ผลต่างของสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ R^2 แสดงว่าตัวแปรขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำสามารถอธิบายความแปรปรวนของความสัมพันธ์น้ำฝนและน้ำท่าได้ร้อยละ 0.30

จากตัวแบบความสัมพันธ์ของดัชนีความสัมพันธ์น้ำฝนและน้ำท่าฤดูกาล แสดงว่าถ้าดัชนีปริมาณฝนฤดูกาลเพิ่มขึ้น 1 หน่วย ความสัมพันธ์น้ำฝนและน้ำท่าเพิ่มขึ้น 8.36 หน่วย และถ้าขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำเพิ่มขึ้นความสัมพันธ์น้ำฝนและน้ำท่า (EL) จะมีแนวโน้มลดลง 0.33 หน่วย จากสมการความสัมพันธ์น้ำฝนและน้ำท่าฤดูกาล (4-16) คือ อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำท่าเมื่อเทียบกับปริมาณฝน โดยที่ปริมาณฝนที่ตกเป็นไปตามฤดูกาลจะทำให้ค่าดัชนีปริมาณฝนฤดูกาล (PSI) สูง แต่ถ้าฝนตกเท่ากันตลอดทั้งปีจะทำให้ค่าดัชนีที่ได้มีค่าต่ำ เมื่อนำทั้งสองตัวมาพิจารณาประกอบกันในกรณีที่ควบคุมตัวแปรอื่นๆ ในสมการให้มีค่าคงที่และพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยพบว่า เมื่อปริมาณฝนเป็นไปตามฤดูกาลจะทำให้ค่าความสัมพันธ์น้ำฝนและน้ำท่าเพิ่มขึ้นไปด้วยซึ่งสอดคล้องกับความเป็นจริง ส่วนตัวแปรขนาดพื้นที่ของลุ่มน้ำ ในทางความเป็นจริงขนาดพื้นที่ของลุ่มน้ำไม่ได้มีความสัมพันธ์กับความสัมพันธ์น้ำฝนและน้ำท่าฤดูกาลโดยตรง แต่จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดพื้นที่ของลุ่มน้ำกับตัวแปรอิสระตัวอื่นๆ พบว่าขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำมีความสัมพันธ์กับความสัมพันธ์กับตัวแปรความลาดชันของพื้นที่ ($r = -0.36$) ตัวแปรร้อยละของดินประเภทที่ 62 ($r = -0.59$) ตัวแปรระดับความสูง ($r = -0.63$) และตัวแปรความยาวของแม่น้ำสายหลัก ($r = 0.98$) ตัวแปรที่ส่งผลให้เห็นชัดที่สุดต่อความสัมพันธ์น้ำฝนและน้ำท่าฤดูกาลคือตัวแปรร้อยละของดินประเภทที่ 62 ซึ่งดินประเภทนี้เป็นดินภูเขาที่มีลักษณะการดูดซึมน้ำต่างจากดินตะกอนหรือดินทราย ถ้าพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นบริเวณที่มีลักษณะดินทรายหรือดินตะกอนมากกว่าจะสามารถดูดซับน้ำได้ดีกว่าจึงส่งผลให้ปริมาณน้ำไหลลงแม่น้ำได้น้อยกว่า ซึ่งต่างจากดินภูเขาที่มีลักษณะแข็ง มีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้น้อยส่งผลให้ปริมาณน้ำไหลลงสู่แม่น้ำได้มากกว่าทำให้ดัชนีความสัมพันธ์น้ำฝนและน้ำท่าฤดูกาลสูงขึ้น จากตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำและร้อยละของดินประเภทที่ 62 มีความสัมพันธ์กันสูง ($r = -0.59$) อาจกล่าวได้ว่าตัวแปรขนาดพื้นที่ของลุ่มน้ำ

น้ำมีความหมายโดยอ้อมถึงตัวแปรร้อยละของดินประเภทที่ 62 หมายถึง กลุ่มน้ำส่วนใหญ่มีดินที่มีลักษณะเป็นดินภูเขาามากส่งผลให้ปริมาณน้ำท่ามากจึงเป็นสาเหตุให้อัตราส่วนความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝนและน้ำท่าฤดูกาลลดลง

เมื่อทดสอบความมีนัยสำคัญพบว่าปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ($P < 0.05$) แสดงว่าตัวแปรดัชนีปริมาณฝนฤดูกาลและขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำส่งผลต่อดัชนีความสัมพันธ์น้ำฝนและน้ำท่าฤดูกาลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตัวแปรดัชนีปริมาณฝนฤดูกาล และขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำมีความสัมพันธ์กับดัชนีความสัมพันธ์น้ำฝนและน้ำท่าฤดูกาลในระดับสูง คือ 0.76 สามารถพยากรณ์ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า (R^2_{adj}) ได้ร้อยละ 55 โดยมีความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการพยากรณ์โดยเฉลี่ยประมาณ 0.41 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05

เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ของน้ำท่า (Q95) เมื่อให้ตัวแปรอิสระทั้งหมดเข้าสู่ตัวแบบ ตัวแปรอิสระที่มีนัยสำคัญมีเพียงตัวเดียว คือ ตัวแปรขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ (Area) เข้าในสมการได้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณเท่ากับ 0.66 และสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ (R^2) เท่ากับ 0.44 แสดงว่าตัวแปรขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ (Area) อธิบายความแปรปรวนในเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ได้ร้อยละ 44 ซึ่งมีเพียงตัวแปรเดียวในสมการ เนื่องจากเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ของน้ำท่า มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำมากที่สุด รองลงมาคือตัวแปรความยาวของแม่น้ำสายหลัก (ChL) ตัวแปรระดับความสูงของพื้นที่ (Elev) และตัวแปรร้อยละของดินประเภทที่ 62 (Soil62) แต่ตัวแปรดังกล่าวมีความสัมพันธ์กันเองอย่างมีนัยสำคัญ ผลการวิเคราะห์จากวิธีการคัดเลือกตัวแปรแบบขั้นตอนจึงเลือกตัวแปรที่อธิบายความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์น้ำท่าได้มากที่สุดนั่นก็คือ ขนาดพื้นที่ของลุ่มน้ำ โดยที่เครื่องหมายหน้าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระมีค่าบวก แสดงถึงความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับตัวแปรตาม กล่าวคือ เมื่อลุ่มน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้น จะส่งผลให้ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบปริมาณฝนที่ตกบนพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ลุ่มน้ำขนาดใหญ่มีแนวโน้มที่จะได้รับปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่ลุ่มน้ำมากกว่าจึงทำให้มีโอกาสการเกิดปริมาณน้ำท่าสูงสุด (Peak flow) มีค่ามากกว่าในกรณีที่มีพื้นที่ลุ่มน้ำมีขนาดเล็ก แต่ปริมาณน้ำท่าจะมากหรือน้อยนั้นไม่ได้ขึ้นกับปริมาณฝนเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นกับลักษณะดินและการใช้ที่ดินด้วย ความสัมพันธ์ในเชิงบวกระหว่างเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ของน้ำท่าและขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำจึงมีความเป็นไปได้ อีกทั้งเครื่องหมายที่ปรากฏในสมการนี้อาจสะท้อนผลจากตัวแปรอิสระอื่นๆ ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระนี้ด้วย

จากตัวแบบความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ของน้ำท่า แสดงว่า ถ้าขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำเพิ่มขึ้น 1 หน่วย ซึ่งเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ของน้ำท่า สะท้อนค่าปริมาณน้ำท่ารายวันสูงสุด

ซึ่งในทางความเป็นจริงขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำไม่ได้มีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ที่ 95 ของน้ำท่า โดยตรงแต่จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ที่ 95 ของน้ำท่ากับตัวแปรอิสระเบื้องต้น พบว่าตัวแปรขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำมีความสัมพันธ์กับตัวแปรความยาวของแม่น้ำสายหลัก ($r = 0.98$) อีกทั้งยังมีความสัมพันธ์กับตัวแปรระดับความสูงของพื้นที่ ($r = -0.63$) และตัวแปรร้อยละของดินประเภทที่ 62 ($r = -0.59$) โดยมีลักษณะความสัมพันธ์คล้ายกับสัมประสิทธิ์น้ำท่าดังที่ได้อธิบายไปข้างต้น

เมื่อทดสอบความมีนัยสำคัญพบว่าปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ($P < 0.05$) แสดงว่าขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำส่งผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ที่ 95 ของน้ำท่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำมีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ที่ 95 ของน้ำท่าในระดับสูง คือ 0.66 สามารถพยากรณ์เปอร์เซ็นต์ที่ 95 ของน้ำท่า (R^2_{adj}) ได้ร้อยละ 42 โดยมีความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการพยากรณ์โดยเฉลี่ยประมาณ 0.11 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เปอร์เซ็นต์ที่ 50 ของน้ำท่า (Q50) ขั้นตอนแรก เมื่อให้ตัวแปรขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ (Area) เข้าในสมการได้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณเท่ากับ 0.71 และสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ (R^2) เท่ากับ 0.50 แสดงว่าตัวแปรขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำสามารถอธิบายความแปรปรวนในเปอร์เซ็นต์ที่ 50 ได้ร้อยละ 50 **ขั้นตอนที่สอง** เมื่อเพิ่มตัวแปรระดับความสูงของพื้นที่ (Elev) อีก 1 ตัวเข้าไปในสมการได้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณเท่ากับ 0.78 ตัวแปรอิสระทั้งสองตัวสามารถอธิบายความแปรปรวนเพิ่มขึ้นโดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.60 แสดงว่าตัวแปรทั้งสองคือ ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ และระดับความสูงของพื้นที่ อธิบายความแปรปรวนในเปอร์เซ็นต์ที่ 50 ของน้ำท่าได้ร้อยละ 60 ผลต่างของสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ R^2 แสดงว่าตัวแปรระดับความสูงของพื้นที่สามารถอธิบายความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์ที่ 50 ได้เพียงร้อยละ 0.10

จากตัวแบบความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ที่ 50 ของน้ำท่า แสดงว่า ถ้าขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำเพิ่มขึ้น 1 หน่วย เปอร์เซ็นต์ที่ 50 ของน้ำท่า จะลดลง 0.16 หน่วย และเมื่อเปอร์เซ็นต์ที่ 50 ของน้ำท่าจะเพิ่มขึ้น 0.15 หน่วยเมื่อตัวแปรระดับความสูงของพื้นที่เพิ่มขึ้น 1 หน่วยซึ่งเปอร์เซ็นต์ที่ 95 ของน้ำท่า หมายถึงปริมาณน้ำท่ารายวันระดับเฉลี่ย ซึ่งในทางความเป็นจริงขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำไม่ได้มีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ที่ 95 โดยตรงแต่จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ที่ 50 ของน้ำท่ากับตัวแปรอิสระเบื้องต้น พบว่าตัวแปรระดับความสูงของพื้นที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรความยาวของแม่น้ำสายหลัก ($r = -0.55$) อีกทั้งยังมีความสัมพันธ์กับตัวแปรความลาดชันของพื้นที่ ($r = 0.35$) และตัวแปรร้อยละของดินประเภทที่ 62 ($r = 0.53$) โดยมีลักษณะความสัมพันธ์คล้ายกับสัมประสิทธิ์น้ำท่าดังที่ได้อธิบายไปข้างต้น

เมื่อทดสอบความมีนัยสำคัญพบว่าปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ($P < 0.05$) แสดงว่าขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำและระดับความสูงของพื้นที่ ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ของน้ำท่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำและระดับความสูงของพื้นที่ที่มีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ของน้ำท่าในระดับสูง คือ 0.78 สามารถพยากรณ์ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า (R^2_{adj}) ได้ร้อยละ 58 โดยมีความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการพยากรณ์โดยเฉลี่ยประมาณ 0.23 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ของน้ำท่า (Q5) ขั้นตอนแรก เมื่อให้ตัวแปรขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ (Area) เข้าในสมการได้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณเท่ากับ 0.87 และสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ (R^2) เท่ากับ 0.76 แสดงว่าตัวแปรขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำสามารถอธิบายความแปรปรวนในเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ได้ร้อยละ 76 **ขั้นตอนที่สอง** เมื่อเพิ่มตัวแปรระดับความสูงของพื้นที่ (Elev) อีก 1 ตัวเข้าไปในสมการได้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณเท่ากับ 0.87 ตัวแปรอิสระทั้งสองตัวสามารถอธิบายความแปรปรวนเพิ่มขึ้นเป็น R^2 เท่ากับ 0.79 แสดงว่าตัวแปรทั้งสอง คือ ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ และระดับความสูงของพื้นที่ อธิบายความแปรปรวนในเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ของน้ำท่าได้ร้อยละ 79 ผลต่างของสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ R^2 แสดงว่าตัวแปรระดับความสูงของพื้นที่สามารถอธิบายความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ได้เพียงร้อยละ 0.03

จากตัวแบบความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ของน้ำท่า แสดงว่า ถ้าขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำเพิ่มขึ้น 1 หน่วย เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ของน้ำท่าจะลดลง 1.08 หน่วย และเมื่อเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ของน้ำท่าจะเพิ่มขึ้น 0.33 หน่วยเมื่อตัวแปรระดับความสูงของพื้นที่เพิ่มขึ้น 1 หน่วย ซึ่งเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ของน้ำท่า หมายถึงปริมาณน้ำท่ารายวันต่ำสุด ซึ่งในทางความเป็นจริงขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำไม่ได้มีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 โดยตรงแต่จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ของน้ำท่ากับตัวแปรอิสระเบื้องต้น พบว่าตัวแปรระดับความสูงของพื้นที่มีความสัมพันธ์โดยอ้อมกับตัวแปรความยาวของแม่น้ำสายหลัก ($r = -0.55$) อีกทั้งยังมีความสัมพันธ์กับตัวแปรความลาดชันของพื้นที่ ($r = 0.35$) และตัวแปรร้อยละของดินประเภทที่ 62 ($r = 0.53$) โดยมีลักษณะความสัมพันธ์คล้ายกับสัมประสิทธิ์น้ำท่าดังที่ได้อธิบายไปข้างต้น

เมื่อทดสอบความมีนัยสำคัญพบว่าปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ($P < 0.05$) แสดงว่าขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำและระดับความสูงของพื้นที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ของน้ำท่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำและระดับความสูงของพื้นที่ที่มีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ของน้ำท่าในระดับสูง คือ 0.89 สามารถพยากรณ์ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า (R^2_{adj}) ได้ร้อยละ 77 โดยมีความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการพยากรณ์โดยเฉลี่ยประมาณ 0.72 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ (ASR) ขั้นตอนแรก เมื่อให้ตัวแปรความยาวของแม่น้ำสายหลัก (ChL) เข้าในสมการได้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณเท่ากับ 0.95 และสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ (R^2) เท่ากับ 0.89 แสดงว่าตัวแปรความยาวของแม่น้ำสายหลักนี้สามารถอธิบายความแปรปรวนในปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ได้ร้อยละ 89 **ขั้นตอนที่สอง** เมื่อเพิ่มตัวแปรระดับความสูงของพื้นที่ (Elev) อีก 1 ตัวเข้าไปในสมการได้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณเท่ากับ 0.97 ตัวแปรอิสระทั้งสองตัวสามารถอธิบายความแปรปรวนเพิ่มขึ้นเป็น R^2 เท่ากับ 0.93 แสดงว่าตัวแปรทั้งสอง คือ ความยาวของแม่น้ำสายหลักและระดับความสูงของพื้นที่ที่อธิบายความแปรปรวนในปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ได้ร้อยละ 93 ผลต่างของสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ R^2 แสดงว่าตัวแปรระดับความสูงของพื้นที่สามารถอธิบายความแปรปรวนของปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ได้เพียงร้อยละ 0.04

จากตัวแบบความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ แสดงว่า ถ้าความยาวของแม่น้ำสายหลักเพิ่มขึ้น 1 หน่วย ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลดลง 0.18 หน่วย และเมื่อปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่จะเพิ่มขึ้น 0.53 หน่วยเมื่อตัวแปรระดับความสูงของพื้นที่เพิ่มขึ้น 1 หน่วย ในสภาพความเป็นจริงปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่มีความสัมพันธ์กับความยาวของแม่น้ำสายหลักและความยาวของแม่น้ำสั้นลงปริมาณน้ำท่าในแม่น้ำจะลดลง เมื่อระดับความสูงของพื้นที่เพิ่มขึ้น 1 หน่วยปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.53 หน่วย ซึ่งในทางความเป็นจริงระดับความสูงของพื้นที่ไม่ได้มีความสัมพันธ์ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่โดยตรงแต่จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่กับตัวแปรอิสระเบื้องต้น พบว่าตัวแปรระดับความสูงของพื้นที่มีความสัมพันธ์โดยอ้อมกับความสัมพันธ์กับตัวแปรความลาดชันของพื้นที่ ($r = 0.35$) และตัวแปรร้อยละของดินประเภทที่ 62 ($r = 0.53$) ในกรณีที่มีฝนตกในบริเวณพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง การไหลของปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาจึงมีความเร็วมากกว่าในบริเวณพื้นที่ราบ รวมถึงบริเวณที่มีลักษณะดินประเภทที่ 62 ซึ่งมีลักษณะเป็นดินภูเขาโดยดินชนิดนี้มีลักษณะการดูดซึมน้ำได้น้อยกว่าดินชนิดอื่นๆ จึงทำให้กระแสน้ำไหลผ่านลงสู่แม่น้ำได้มากกว่า

เมื่อทดสอบความมีนัยสำคัญพบว่าปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ($P < 0.05$) แสดงว่าความยาวของแม่น้ำสายหลักและระดับความสูงของพื้นที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความยาวของแม่น้ำสายหลักและระดับความสูงของพื้นที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ในระดับสูง คือ 0.97 สามารถพยากรณ์ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า (R^2_{adj}) ได้ร้อยละ 93 โดยมีความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการพยากรณ์โดยเฉลี่ยประมาณ 0.62 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า (DIFF) ขั้นตอนแรก เมื่อให้ตัวแปรขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำ (Area) เข้าในสมการได้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณเท่ากับ 0.54 และสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ (R^2) เท่ากับ 0.29 แสดงว่าตัวแปรขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำนี้สามารถอธิบายความแปรปรวนในผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าได้ร้อยละ 29 **ขั้นตอนที่สอง** เมื่อเพิ่มตัวแปรปริมาณฝนเฉลี่ยในฤดูฝน (MWR) อีก 1 ตัวเข้าไปในสมการได้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณเท่ากับ 0.74 ตัวแปรอิสระทั้งสองตัวสามารถอธิบายความแปรปรวนเพิ่มขึ้นเป็น R^2 เท่ากับ 0.54 แสดงว่าตัวแปรทั้งสอง คือ ขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำ และปริมาณฝนในฤดูฝนอธิบายความแปรปรวนในผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าได้ร้อยละ 54 ผลต่างของสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ R^2 แสดงว่าตัวแปรปริมาณฝนเฉลี่ยในฤดูฝนสามารถอธิบายความแปรปรวนของผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าได้ร้อยละ 0.25 **ขั้นตอนที่สาม** เมื่อให้ตัวแปรระดับความสูงของพื้นที่ (Elev) เพิ่มเข้าไปในสมการ ตัวแปรอิสระทั้งสามตัวมีความสัมพันธ์กับผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าเท่ากับ 0.79 และมีค่าสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ (R^2) เท่ากับ 0.63 แสดงว่า ตัวแปรขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำ (Area) ตัวแปรปริมาณฝนเฉลี่ยในฤดูฝน (MWR) และระดับความสูงของพื้นที่ (Elev) ร่วมกันอธิบายผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า (DIFF) ได้ร้อยละ 63 ผลต่างของสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ R^2 แสดงว่าตัวแปรระดับความสูงของพื้นที่ (Elev) สามารถอธิบายความแปรปรวนของผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าได้ร้อยละ 0.08

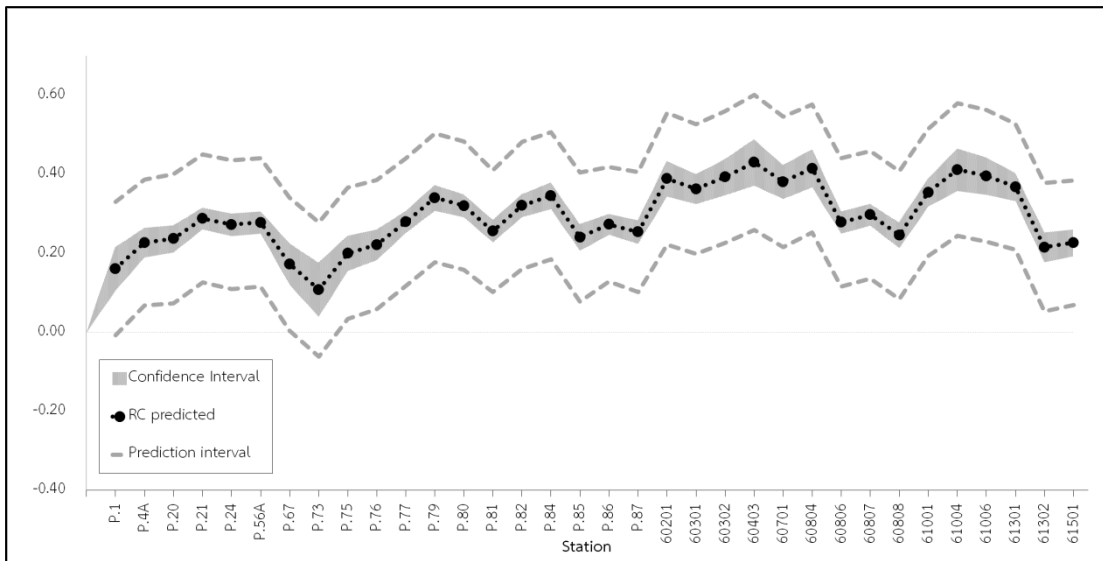
จากตัวแบบความสัมพันธ์ของผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า แสดงว่า ถ้าขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำเพิ่มขึ้น 1 หน่วย ผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าเพิ่มขึ้น 100.27 หน่วย ถ้าปริมาณฝนในฤดูฝนและระดับความสูงของพื้นที่เพิ่มขึ้นผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าลดลง 178.83 และ 124.27 ตามลำดับ เมื่อควบคุมตัวแปรอื่นๆ ในสมการให้มีค่าคงที่และพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย พบว่าเมื่อขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำมีขนาดใหญ่มากขึ้นผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าจะมากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากขนาดพื้นที่เพิ่มขึ้นโอกาสในการเกิดฝนตกในแต่ละพื้นที่ก็จะเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ปริมาณน้ำเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ถึงแม้เครื่องหมายหน้าสัมประสิทธิ์ของปริมาณฝนในฤดูฝนเป็นลบ อาจดูผิดปกติจากสภาพความเป็นจริง เมื่อปริมาณฝนเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำท่าควรจะเพิ่มขึ้นไปด้วย แต่จากการอธิบายสมการความสัมพันธ์อยู่ในมุมมองที่ตัวแปรอื่นๆ ให้มีค่าคงที่ ในกระบวนการทางธรรมชาติมีปัจจัยอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น บริเวณพื้นที่แหล่งน้ำมีมากขึ้น เช่น หนองน้ำ บึง รวมถึงอ่างเก็บน้ำ เขื่อน ที่มนุษย์สร้างขึ้น นั้นทำให้ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาไหลเข้าแหล่งน้ำดังกล่าวทำให้ปริมาณน้ำท่าที่วัดได้จากแม่น้ำลดลง ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของปริมาณน้ำฝนน้ำท่ากับร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบแหล่งน้ำที่อยู่ในระดับสูง ($r=-0.47$) แต่เนื่องจากปริมาณฝนในฤดูฝนมีความสัมพันธ์กับผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ามากกว่า ($r=-0.48$) ตัวแปรปริมาณฝนเฉลี่ย

ในฤดูฝนจึงปรากฏในสมการ ส่วนตัวแปรระดับความสูงของพื้นที่ ในทางความเป็นจริงระดับความสูงของพื้นที่ไม่ได้มีความสัมพันธ์ผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าโดยตรง แต่จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรระดับความสูงของพื้นที่กับตัวแปรอิสระตัวอื่นๆ พบว่าตัวแปรระดับความสูงของพื้นที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรความยาวของแม่น้ำสายหลัก ($r = -0.55$) ความสัมพันธ์กับตัวแปรความลาดชันของพื้นที่ ($r = 0.35$) และตัวแปรร้อยละของดินประเภทที่ 62 ($r = 0.53$) ในกรณีที่มีฝนตกในบริเวณพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง การไหลของปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาจึงมีความเร็วมากกว่าในบริเวณพื้นที่ราบ รวมถึงบริเวณที่มีลักษณะดินประเภทที่ 62 ซึ่งมีลักษณะเป็นดินภูเขาโดยดินชนิดนี้มีลักษณะการดูดซึมน้ำได้น้อยกว่าดินชนิดอื่นๆ จึงทำให้กระแสน้ำไหลผ่านลงสู่แม่น้ำได้มากกว่า แต่เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงของพื้นที่ที่มีความสัมพันธ์กับผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ามากกว่า ($r=-0.47$) ตัวแปรระดับความสูงจึงปรากฏในสมการ

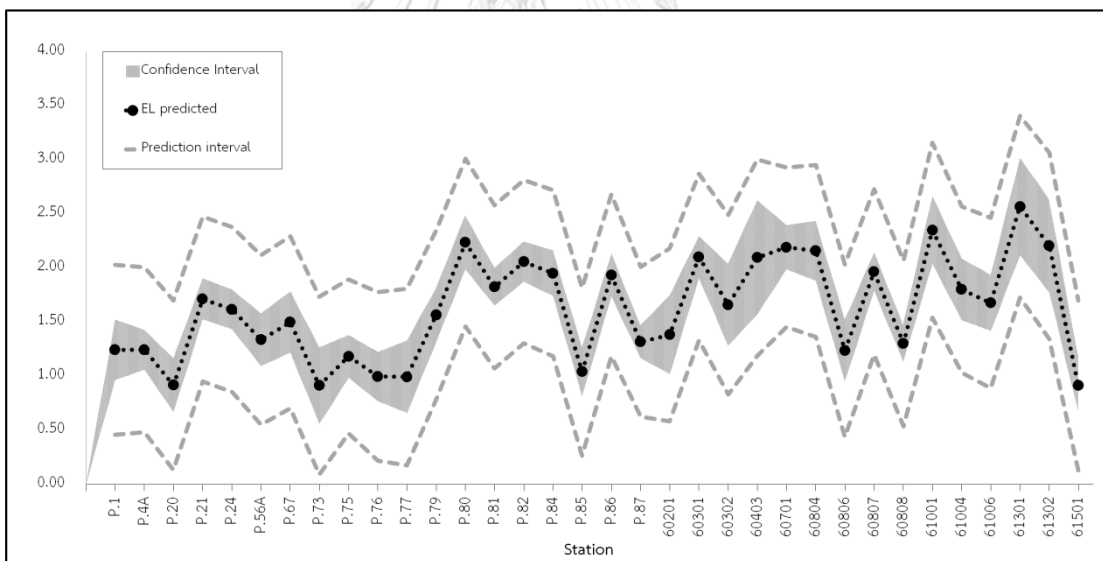
เมื่อทดสอบความมีนัยสำคัญพบว่าปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ($P < 0.05$) แสดงว่าขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำ ปริมาณฝนเฉลี่ยในฤดูฝนและระดับความสูงของพื้นที่ ส่งผลต่อผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความยาวของแม่น้ำสายหลัก ปริมาณฝนเฉลี่ยในฤดูฝนและระดับความสูงของพื้นที่มีความสัมพันธ์กับผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าในระดับสูงคือ 0.79 สามารถพยากรณ์ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า (R^2_{adj}) ได้ร้อยละ 59 โดยมีความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการพยากรณ์โดยเฉลี่ยประมาณ 202.33 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ขั้นตอนต่อไปคือการคำนวณช่วงความเชื่อมั่น (Confidence Interval: CI) และช่วงค่าพยากรณ์ (Prediction Interval: PI) ของแต่ละลุ่มน้ำ ช่วงความเชื่อมั่นเป็นขอบเขตการวัดความไม่แน่นอนในการพยากรณ์ค่าเฉลี่ยของข้อมูล หรือกล่าวได้ว่าใช้ในการประมาณค่าช่วงของค่าเฉลี่ยที่แท้จริงของประชากรที่คาดว่าจะตกอยู่ภายในช่วงความน่าจะเป็นที่กำหนด ในขณะที่ช่วงค่าพยากรณ์คือช่วงที่ใช้วัดความไม่แน่นอนของการพยากรณ์ค่าใหม่ ขอบเขตของช่วงค่าพยากรณ์จะกว้างกว่าขอบเขตของช่วงความเชื่อมั่น เนื่องจากความไม่แน่นอนในการประมาณค่าแบบค่าเดียวย่อมมีมากกว่าในการประมาณค่าโดยเฉลี่ย ซึ่งช่วงค่าพยากรณ์แสดงถึงความไม่แน่นอนของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยรวมถึงความแปรปรวนที่เกิดจากค่าความคลาดเคลื่อนของการประมาณค่าตัวแปรตามค่าใหม่อีกด้วย

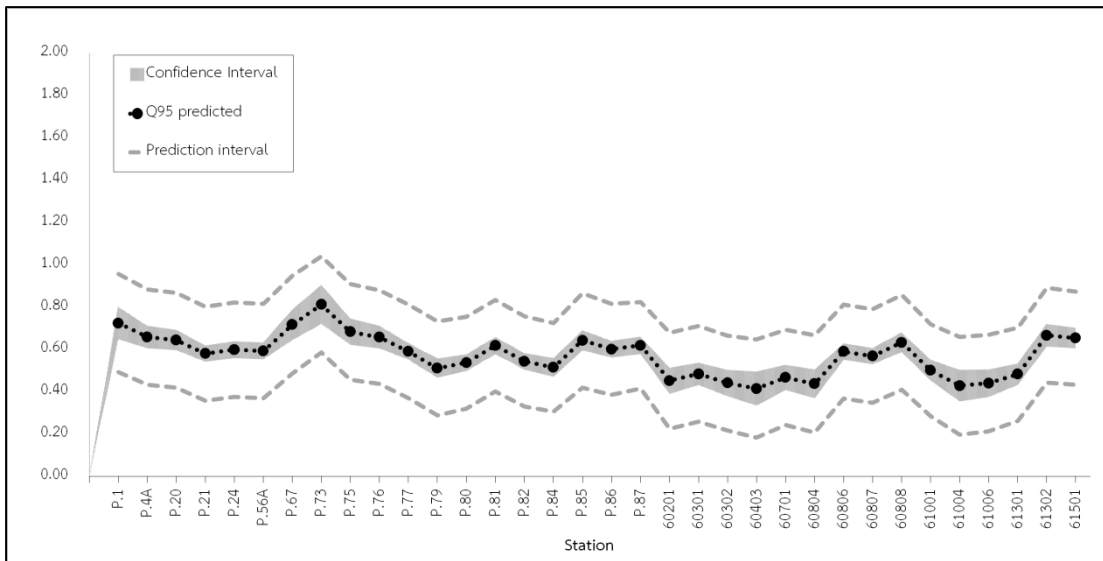
ในการศึกษานี้ได้นำวิธีการของ Yadav et al. (2007) มาประยุกต์ใช้โดยวิธีการดังกล่าวมีสมมติฐานว่าช่วงความเชื่อมั่นและช่วงค่าพยากรณ์ที่ได้จากตัวแบบการถดถอยสามารถนำไปใช้จำกัดและคัดเลือกชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลองน้ำฝน - น้ำท่า (Constrained parameter space) ที่ได้จากการสุ่มให้เหลือเพียงชุดพารามิเตอร์ที่มีศักยภาพให้ผลการจำลองน้ำท่าที่ดีที่สุด พารามิเตอร์ชุดใดที่อยู่นอกช่วงการจำกัดจะถูกคัดออก เนื่องจากเป็นพารามิเตอร์ที่คาดว่าจะให้ผลการพยากรณ์น้ำท่าได้ไม่ดี (Non-behavioral) ส่วนชุดพารามิเตอร์ที่ให้ค่าดัชนีน้ำท่าตกอยู่ในช่วงความเชื่อมั่นหรือช่วงค่าพยากรณ์ (Behavioral) จะเป็นชุดที่ถูกคัดเลือก (Behavioral parameter sets) เนื่องจากคาดว่าจะสามารถสะท้อนพฤติกรรมลุ่มน้ำและใช้พยากรณ์น้ำท่าได้ดี และเมื่อใช้ชุดพารามิเตอร์ที่ถูกคัดเลือกทั้งหมดมาคำนวณกลับเป็นน้ำท่า จะได้ช่วงค่าน้ำท่าจากแบบจำลอง (Ensemble Flow) หลังจากนั้นจะนำค่าเฉลี่ยของช่วงค่าน้ำท่ามาเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าสังเกตการณ์ (Observed flow) และวัดประสิทธิภาพของน้ำท่าที่ได้จากการจำลองผ่านตัวชี้วัด NSE* และ Reliability ช่วงความเชื่อมั่นและช่วงพยากรณ์ของดัชนีน้ำท่าในแต่ละสถานี แสดงในแสดงในรูปที่ 5-2 ถึง 5-8



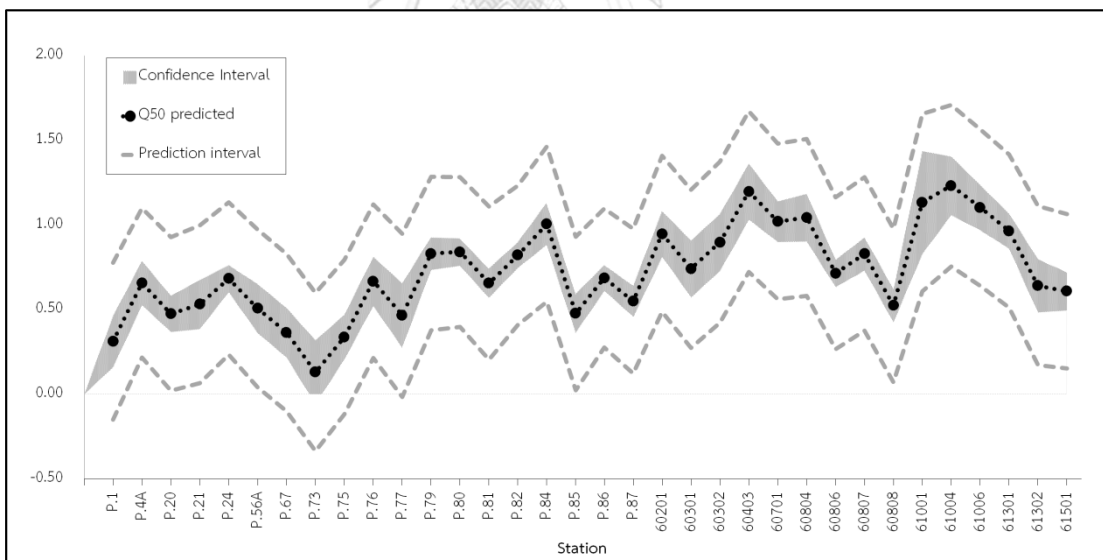
รูปที่ 5-1 ช่วงความเชื่อมั่นและช่วงค่าพยากรณ์ของสัมประสิทธิ์น้ำท่าจำนวน 34 สถานี



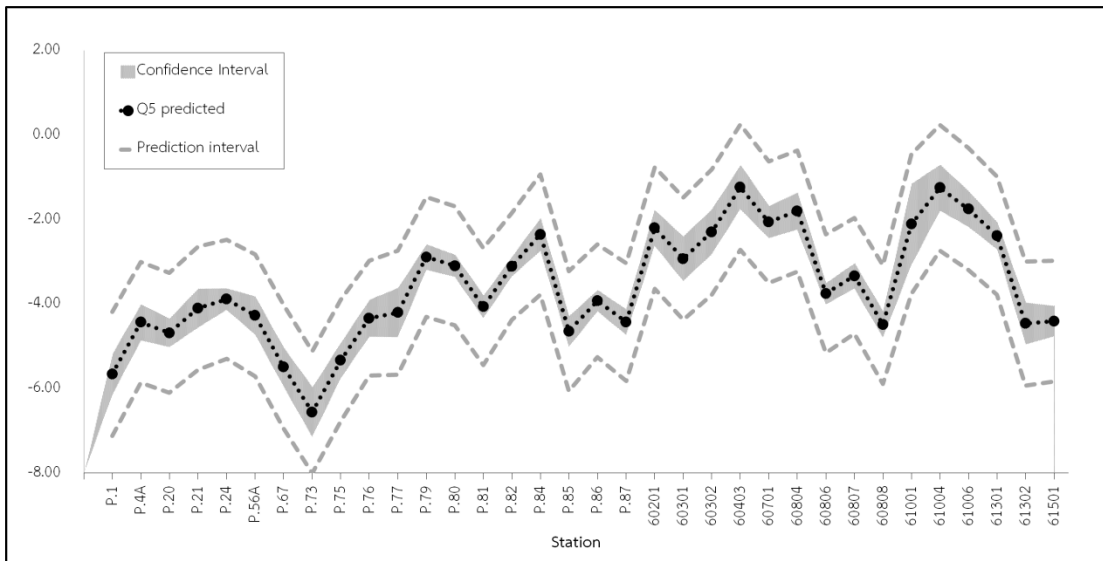
รูปที่ 5-2 ช่วงความเชื่อมั่นและช่วงค่าพยากรณ์ของดัชนีความอ่อนไหวของน้ำท่าต่อน้ำฝนตามฤดูกาลจำนวน 34 สถานี



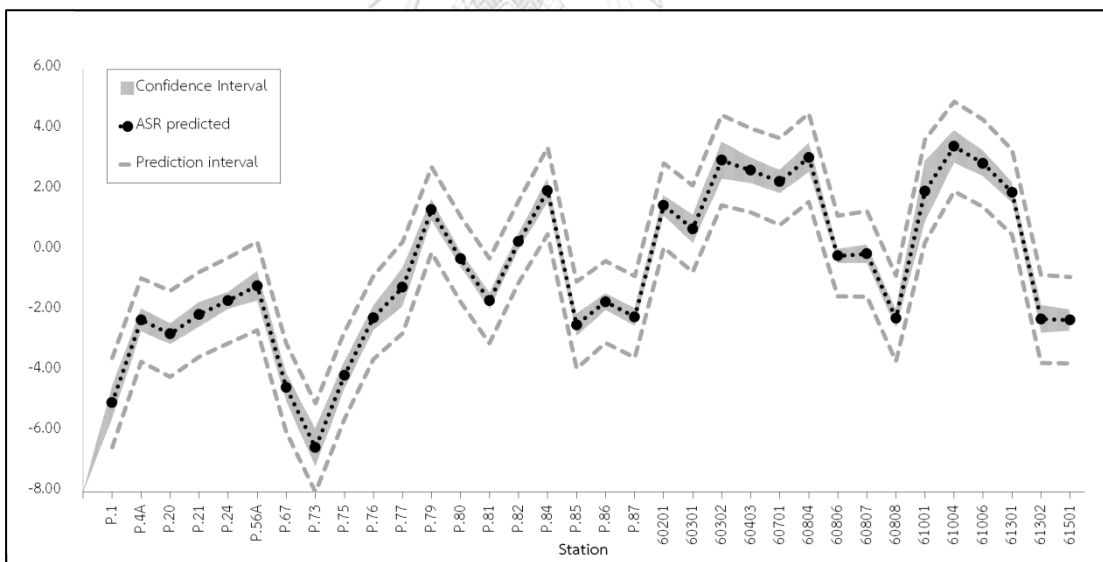
รูปที่ 5-3 ช่วงความเชื่อมั่นและช่วงค่าพยากรณ์ของเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ของน้ำท่าจำนวน 34 สถานี



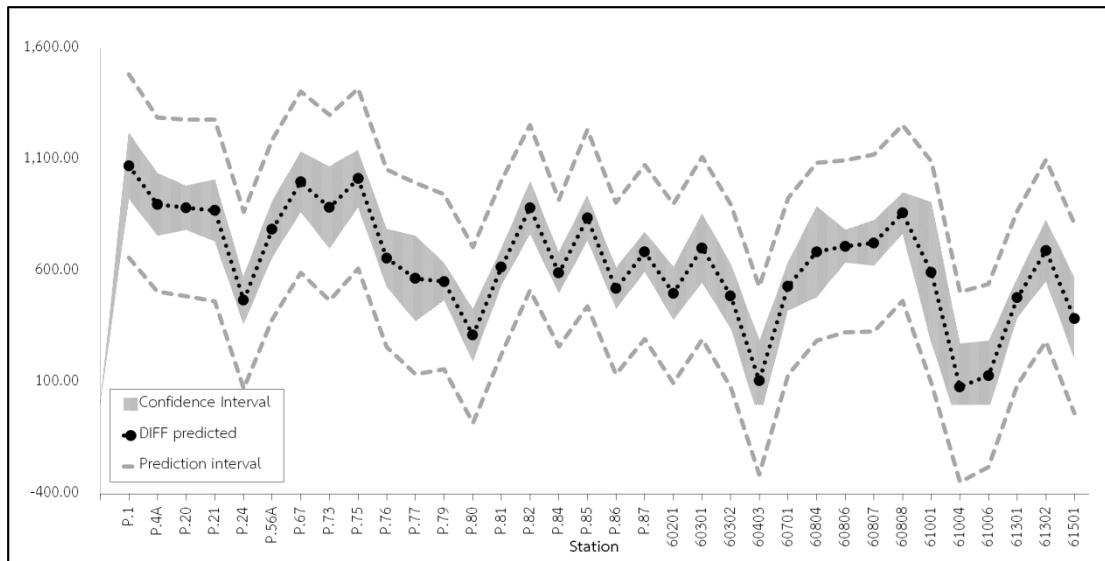
รูปที่ 5-4 ช่วงความเชื่อมั่นและช่วงค่าพยากรณ์ของเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 ของน้ำท่าจำนวน 34 สถานี



รูปที่ 5-5 ช่วงความเชื่อมั่นและช่วงค่าพยากรณ์ของเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ของน้ำท่าจำนวน 34 สถานี



รูปที่ 5-6 ช่วงความเชื่อมั่นและช่วงค่าพยากรณ์ของปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลุ่มน้ำจำนวน 34 สถานี



รูปที่ 5-7 ช่วงความเชื่อมั่นและช่วงค่าพยากรณ์ของผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าจำนวน 34 สถานี



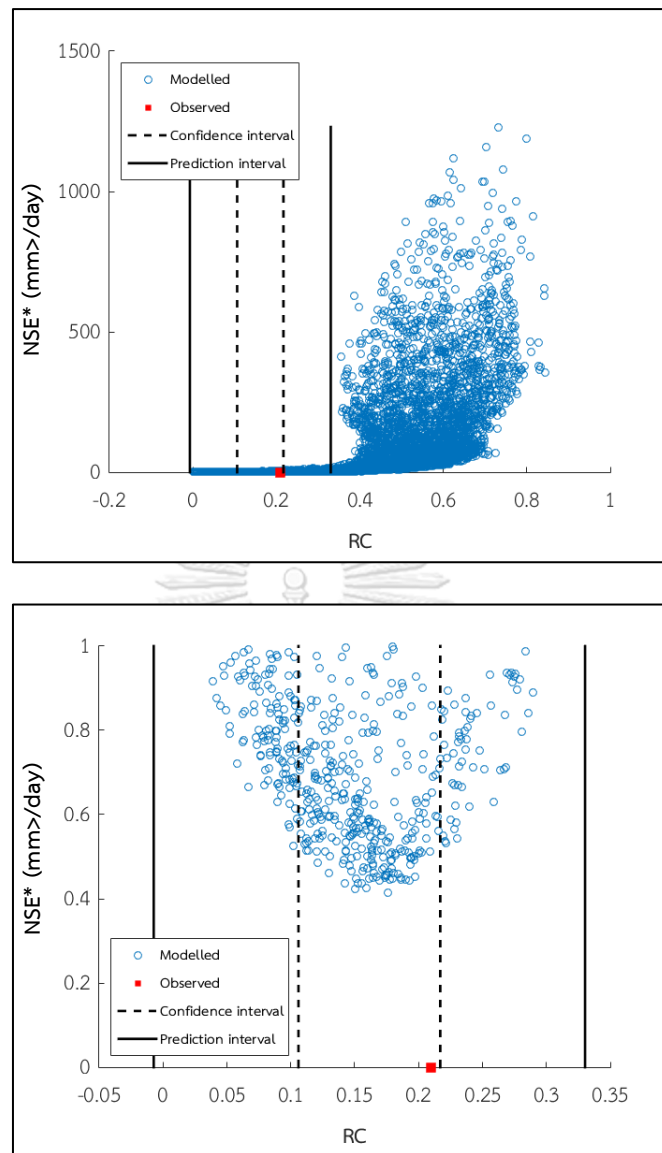
5.4 ผลการวิเคราะห์การพยากรณ์น้ำท่าและโค้งอัตราการไหลรายวันโดยใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า ร่วมกับการจำกัดชุดพารามิเตอร์โดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นและช่วงค่าพยากรณ์

การพยากรณ์น้ำท่าในบริเวณลุ่มน้ำปิงในการศึกษานี้ ใช้ข้อมูลน้ำฝนและน้ำท่า ตั้งแต่ปี 2549 – 2557 รวมทั้งหมด 9 ปี ซึ่งเป็นช่วงที่ข้อมูลน้ำฝนและน้ำท่ามีปริมาณและคุณภาพเพียงพอต่อการศึกษา การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์จะทำการเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าสังเกตการณ์จากข้อมูลของสถานีวัดน้ำสังเกตการณ์นั้นๆ จำนวน 34 ลุ่มน้ำ ผ่านตัวชี้วัดทางสถิติได้แก่ Nash-Sutcliffe coefficient (NSE*) และ Reliability ผลการวิเคราะห์ในส่วนต่างๆ อธิบายได้ดังนี้

5.4.1 พยากรณ์น้ำท่ารายวัน

การจำกัดชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง IHACRES โดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นและช่วงพยากรณ์ที่ได้จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีน้ำท่าและลักษณะกายภาพของลุ่มน้ำ โดยทำการสุ่มค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง IHACRES 5,000 ครั้ง ภายใต้วงของค่าพารามิเตอร์ที่กำหนด โดยที่พารามิเตอร์ของแบบจำลองชุดใดให้ค่าดัชนีน้ำท่าตกอยู่ในช่วงร้อยละ 95 ของช่วงความเชื่อมั่นหรือช่วงค่าพยากรณ์ จะพิจารณาว่าเป็นชุดพารามิเตอร์ที่มีศักยภาพการพยากรณ์น้ำท่าได้ดี ตัวอย่างการจำกัดชุดพารามิเตอร์ของสถานี P.1 แสดงได้ดังรูปที่ 5-9

การใช้ช่วงความเชื่อมั่นหรือช่วงค่าพยากรณ์ที่ได้มาจากตัวแบบการถดถอยในตารางที่ 5-11 เพื่อจำกัดชุดพารามิเตอร์โดยแสดงผลผ่านตัวชี้วัด NSE* ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบระหว่างค่าน้ำท่าสังเกตการณ์ (Observed flow) และน้ำท่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง (Ensemble flow) โดยค่า NSE* ที่มีค่าเกิน 1 หมายถึงปริมาณน้ำท่าสังเกตการณ์เฉลี่ยให้ผลที่ดีกว่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง โดยการคำนวณค่า NSE* คำนวณได้จากการหาค่าเฉลี่ยของน้ำท่าที่คำนวณได้จากชุดพารามิเตอร์ที่ตกอยู่ระหว่างช่วงความเชื่อมั่นหรือช่วงค่าพยากรณ์ รูปที่ 5-3 แสดงผลการพยากรณ์น้ำท่ารายวันที่ได้จากแบบจำลอง IHACRES โดยใช้ดัชนีน้ำท่าต่างๆ เส้นประแสดงถึงค่า NSE* ที่ดีที่สุดที่เกิดขึ้นในการจำลองทั้งหมด (Calibration)



รูปที่ 5-8 การจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยช่วงความเชื่อมั่นและช่วงค่าพยากรณ์ด้วยสัมประสิทธิ์น้ำท่าของการพยากรณ์น้ำท่าของสถานี P.1

รูปที่ 5-8 แสดงผลการจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยดัชนีน้ำท่าตัวที่หนึ่ง คือ สัมประสิทธิ์น้ำท่า (RC) ณ สถานี P.1 โดยช่วงค่าพยากรณ์ของสัมประสิทธิ์น้ำท่าสามารถจำกัดชุดพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด (behavioral parameter set) ได้ 1,201 ชุด และจำกัดชุดพารามิเตอร์โดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นได้ 446 ชุดคิดเป็นร้อยละ 24 และ 8.9 ตามลำดับ ผลการจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยช่วงความเชื่อมั่นและช่วงค่าพยากรณ์ของดัชนีน้ำท่าอื่นๆ แสดงในตารางที่ 5-11 และรูปที่ 5-9

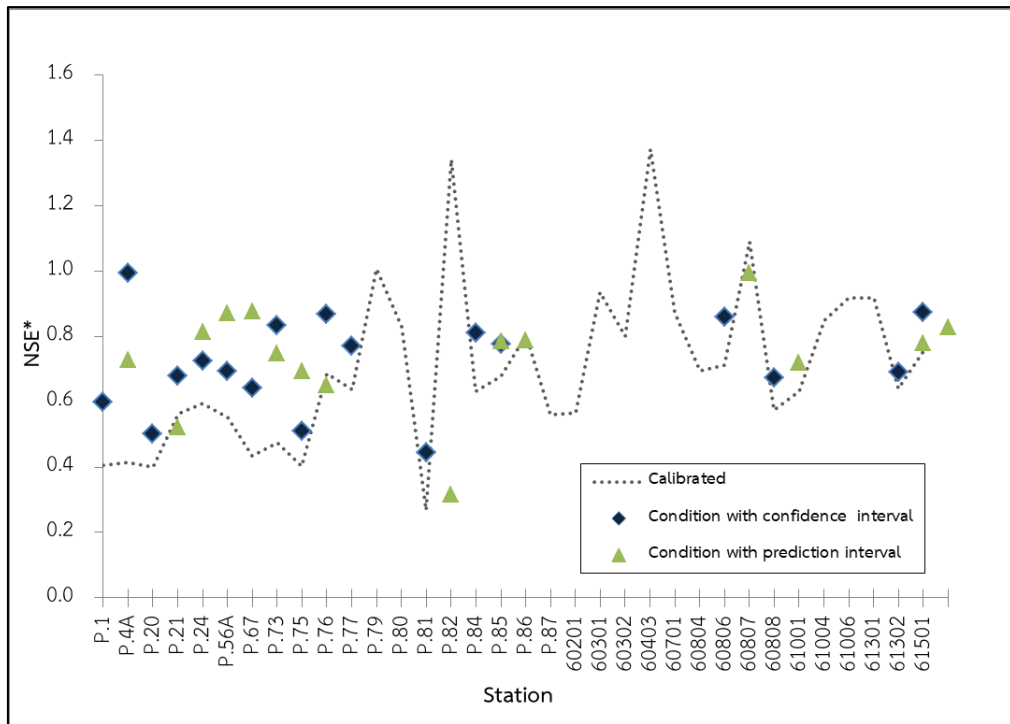
ตารางที่ 5-11 ร้อยละของผลการจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยช่วงความเชื่อมั่นและช่วงค่าพยากรณ์
ของดัชนีน้ำท่า

No.	Station	Flow Indices													
		RC		Q95		Q50		Q5		EL		DIFF		ASR	
		PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI
1	P.1	24.02	8.92	13.74	3.56	26.50	8.86	24.12	7.10	100.00	99.92	34.00	13.72	19.06	5.54
2	P.4A	20.68	5.16	12.94	2.42	33.74	10.24	33.00	10.20	100.00	54.74	29.94	8.78	36.46	8.88
3	P.20	26.00	5.22	25.20	4.28	32.48	8.94	32.58	7.92	100.00	81.30	39.82	14.10	33.06	6.56
4	P.21	32.34	5.94	33.24	4.56	43.14	15.48	42.96	13.14	100.00	0.58	39.22	13.00	19.32	4.46
5	P.24	35.12	5.68	33.94	4.92	68.54	14.08	56.10	10.18	100.00	5.62	56.48	19.88	46.38	7.72
6	P.56A	29.02	4.38	31.92	4.50	49.78	17.42	42.86	13.80	100.00	28.28	40.02	17.62	51.58	14.88
7	P.67	22.54	7.28	14.34	3.58	30.44	10.18	27.82	7.80	100.00	10.92	36.36	11.18	25.18	7.28
8	P.73	22.60	10.24	13.82	4.66	32.84	10.32	22.02	8.36	99.10	83.98	45.34	23.82	19.92	6.74
9	P.75	27.52	7.44	19.68	4.50	26.22	7.86	27.60	7.58	100.00	96.42	38.02	16.44	23.50	6.44
10	P.76	25.96	6.36	23.36	4.36	47.22	16.58	37.30	11.64	100.00	86.74	51.16	10.72	61.40	17.46
11	P.77	45.22	6.58	39.58	6.16	70.84	35.30	52.34	21.48	100.00	98.16	59.14	35.30	66.52	27.34
12	P.79	42.58	7.00	39.20	5.62	62.16	14.60	52.08	13.66	100.00	2.46	44.68	13.04	69.26	16.74
13	P.80	48.10	7.28	48.16	7.90	67.34	13.22	40.60	9.28	0.00*	0.00*	61.98	23.22	52.02	8.90
14	P.81	33.92	5.70	28.94	4.64	59.16	12.44	49.10	9.50	0.00*	0.00*	49.80	14.06	50.26	9.62
15	P.82	30.78	4.70	15.24	2.30	40.56	7.40	47.50	9.24	0.00*	0.00*	20.88	6.66	25.18	4.12
16	P.84	45.10	6.96	32.96	5.26	50.56	14.34	54.42	16.34	21.20	0.14	35.08	9.24	77.66	23.18
17	P.85	27.88	6.10	26.04	4.22	37.78	10.90	35.52	9.18	100.00	90.58	42.30	15.38	40.36	8.90
18	P.86	28.94	5.36	31.76	4.44	62.12	12.46	45.88	8.68	18.34	0.02	51.74	16.64	45.90	7.64
19	P.87	33.12	6.68	28.16	5.16	52.14	12.74	42.90	9.00	100.00	22.24	54.32	11.26	45.32	9.14
20	60201	48.72	8.92	64.48	13.56	54.92	17.40	55.66	18.66	100.00	74.06	48.12	11.68	39.42	8.48
21	60301	52.96	9.02	50.94	8.68	52.68	21.56	53.32	20.78	0.00*	0.00*	43.48	11.98	33.36	8.78
22	60302	59.20	11.00	71.28	15.72	63.48	24.60	48.34	20.18	100.00	2.14	53.66	15.10	83.78	38.84
23	60403	60.74	21.66	78.76	28.02	53.24	19.06	22.86	5.38	0.00*	0.00*	64.36	22.80	54.84	15.86
24	60701	52.40	12.34	49.66	10.34	56.82	15.40	42.50	14.30	0.00*	0.00*	41.66	14.04	61.36	16.04
25	60804	46.40	11.18	34.06	6.38	28.06	9.12	57.26	19.04	0.00*	0.00*	18.10	7.36	38.72	11.78
26	60806	30.62	5.14	30.30	4.14	49.60	9.44	46.38	8.16	100.00	100.00	45.04	11.96	70.46	11.70
27	60807	28.10	3.70	22.82	2.90	49.64	12.28	49.38	11.14	0.00*	0.00*	33.10	7.82	46.76	9.74
28	60808	28.22	5.70	24.84	4.36	41.22	10.60	36.68	8.28	100.00	20.58	45.62	10.14	39.66	7.58
29	61001	33.60	5.90	18.06	2.70	33.02	19.16	61.86	38.54	0.00*	0.00*	17.00	6.26	46.06	23.64
30	61004	60.28	15.66	79.90	24.96	52.62	19.88	26.26	7.70	0.00*	0.00*	65.96	22.26	83.56	36.80
31	61006	56.68	12.66	78.58	20.10	57.76	17.12	36.92	12.54	0.00*	0.00*	50.82	25.40	82.60	28.00
32	61301	51.90	9.54	47.48	8.64	59.24	14.66	46.48	12.54	0.00*	0.00*	47.30	14.68	73.44	19.20
33	61302	28.70	7.10	17.96	3.34	61.32	24.22	39.06	13.42	0.00*	0.00*	46.80	10.40	58.48	18.02
34	61501	33.38	7.02	30.62	6.32	73.58	22.12	50.72	13.22	100.00	74.64	60.92	35.94	65.48	15.72

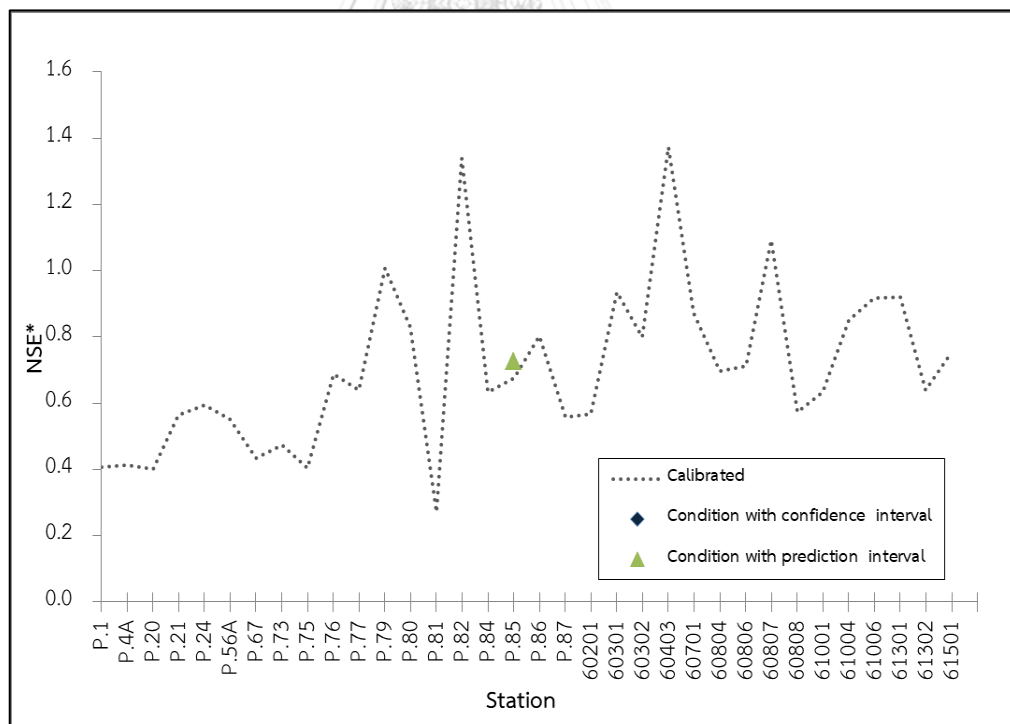
* ไม่มีชุดพารามิเตอร์ใดตกอยู่ในบริเวณช่วงความเชื่อมั่นหรือช่วงค่าพยากรณ์

PI แทน ช่วงค่าพยากรณ์

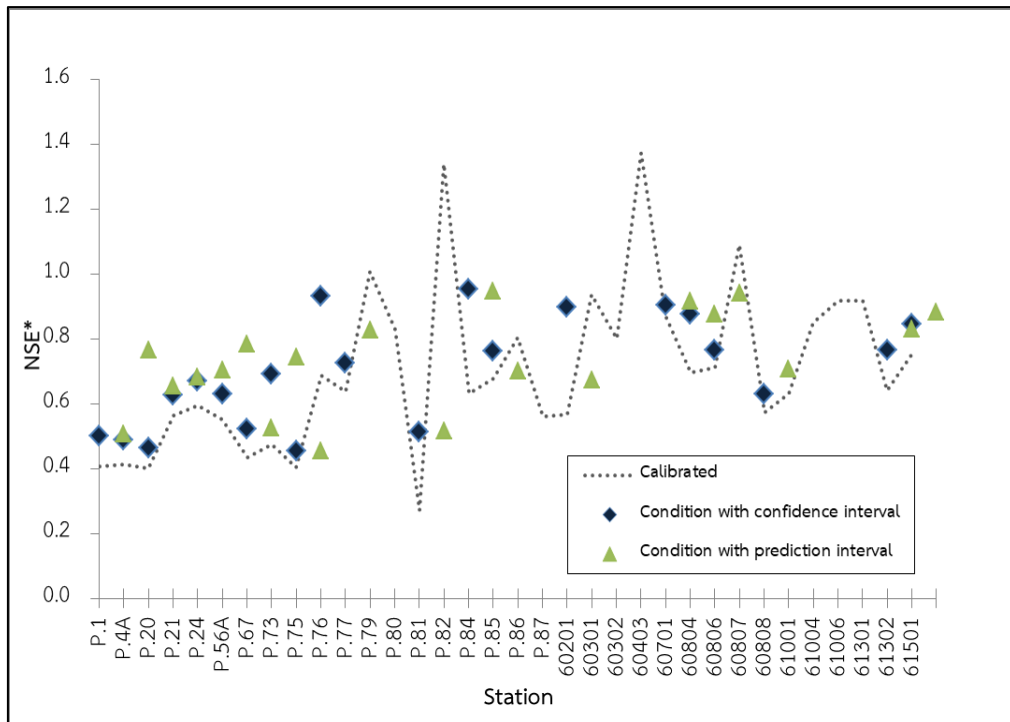
CI แทน ช่วงความเชื่อมั่น



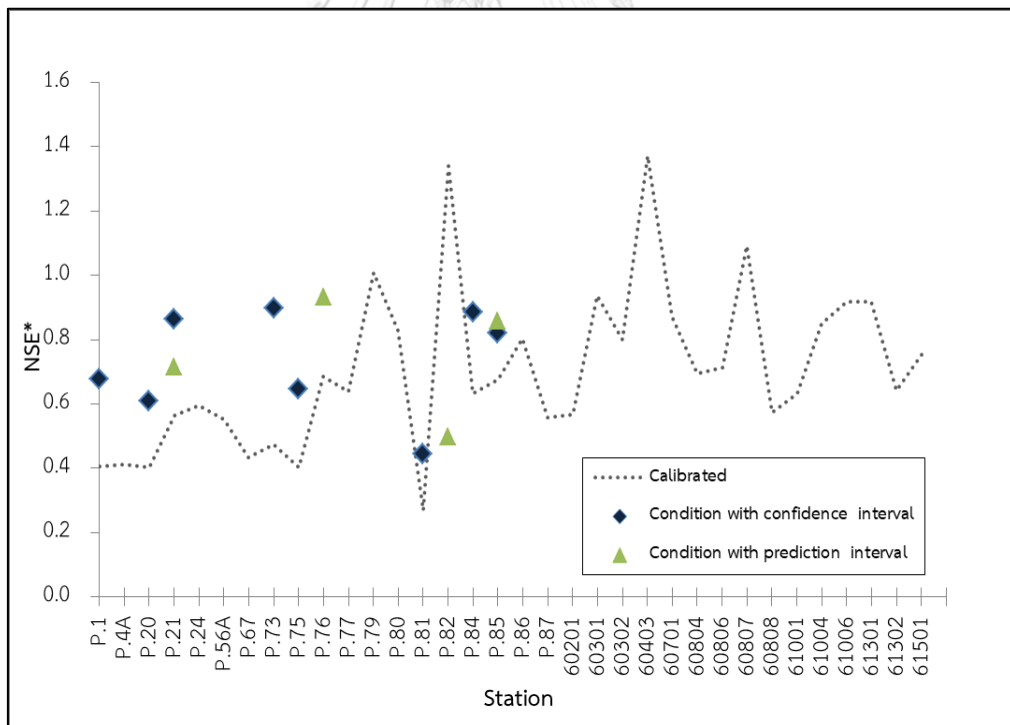
ก. สัมประสิทธิ์น้ำท่า (RC)



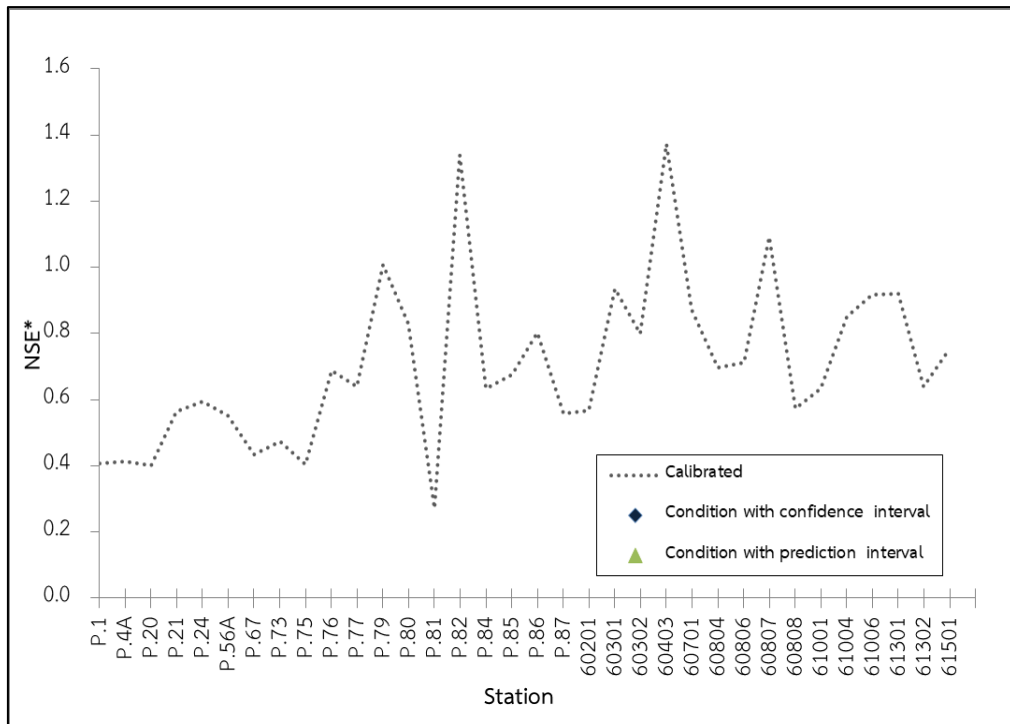
ข. ดัชนีความอ่อนไหวของน้ำท่าต่อน้ำฝนตามฤดูกาล (EL)



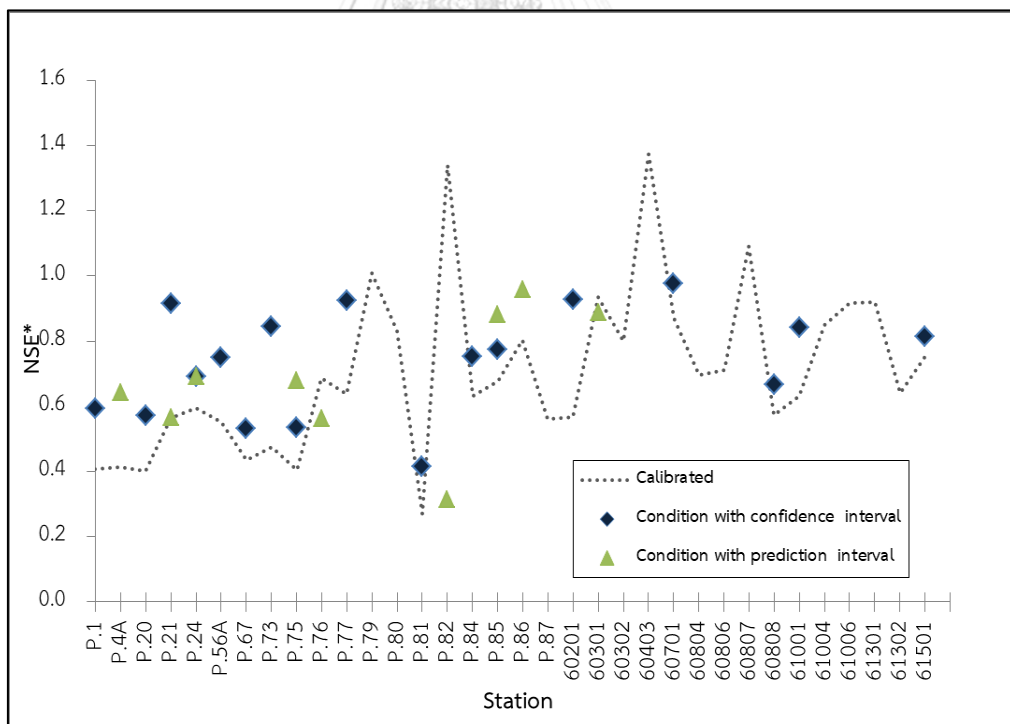
ค. เปอร์เซ็นไทล์ที่ 95 ของน้ำท่า (Q95)



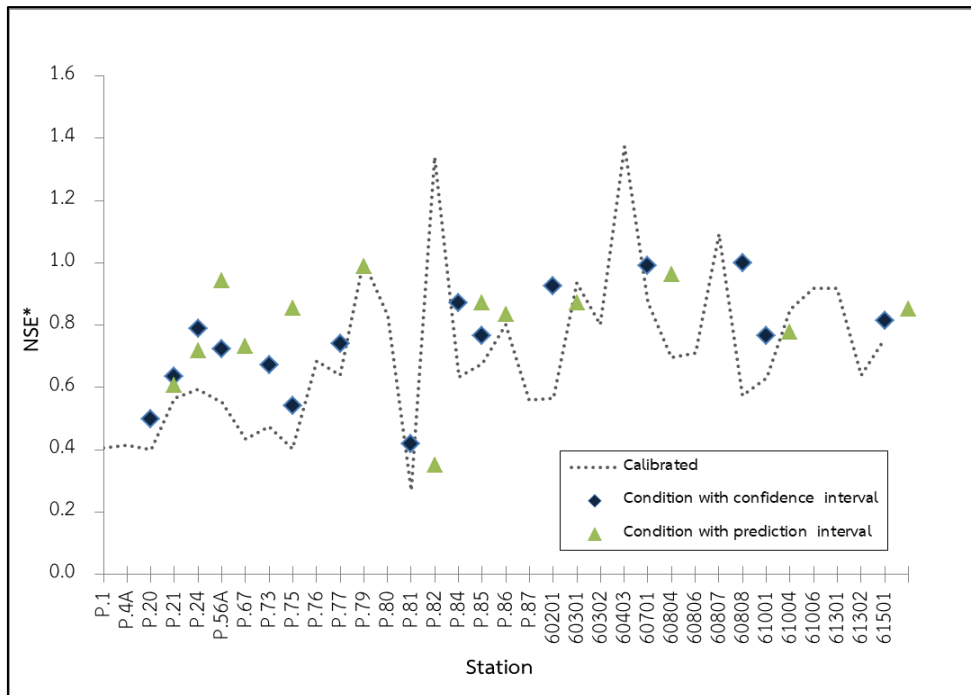
ง. เปอร์เซ็นไทล์ที่ 50 ของน้ำท่า (Q50)



จ. เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ของน้ำท่า (Q5)



ฉ. ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ (ASR)



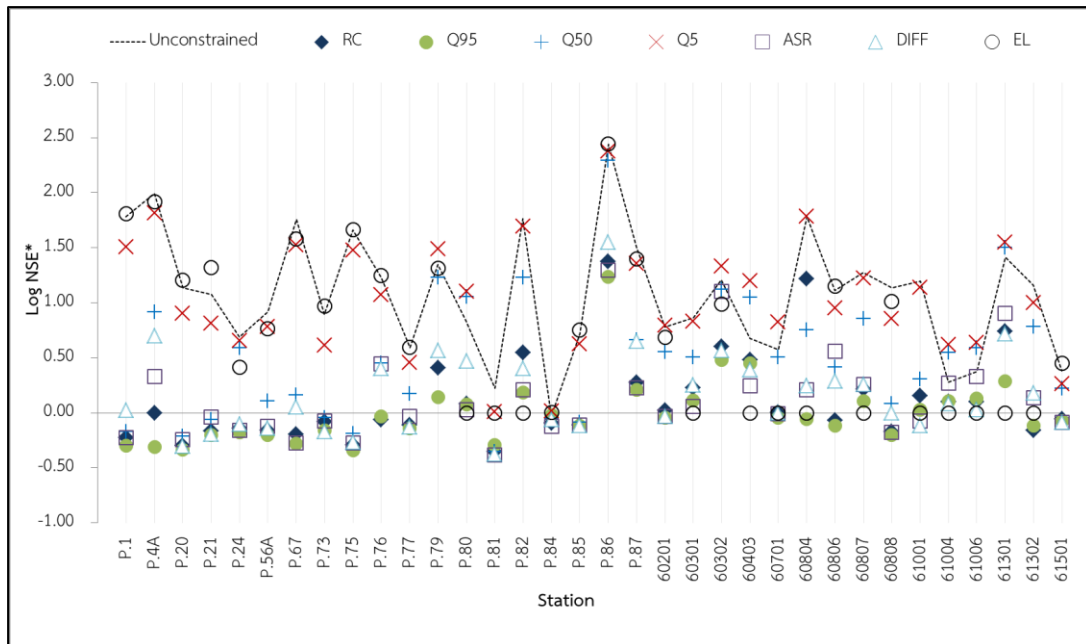
ช. ผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า (DIFF)

รูปที่ 5-9 การพยากรณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันโดยใช้วิธีการจำกัดชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง IHACRES ด้วยช่วงความเชื่อมั่นหรือช่วงพยากรณ์ของดัชนีน้ำท่าต่างๆ



รูปที่ 5-10 เปรียบเทียบการจำกัดชุดพารามิเตอร์ระหว่างช่วงความเชื่อมั่นและช่วงค่าพยากรณ์ที่ร้อยละ 95 ของดัชนีน้ำท่าแต่ละตัวในการพยากรณ์น้ำท่ารายวัน

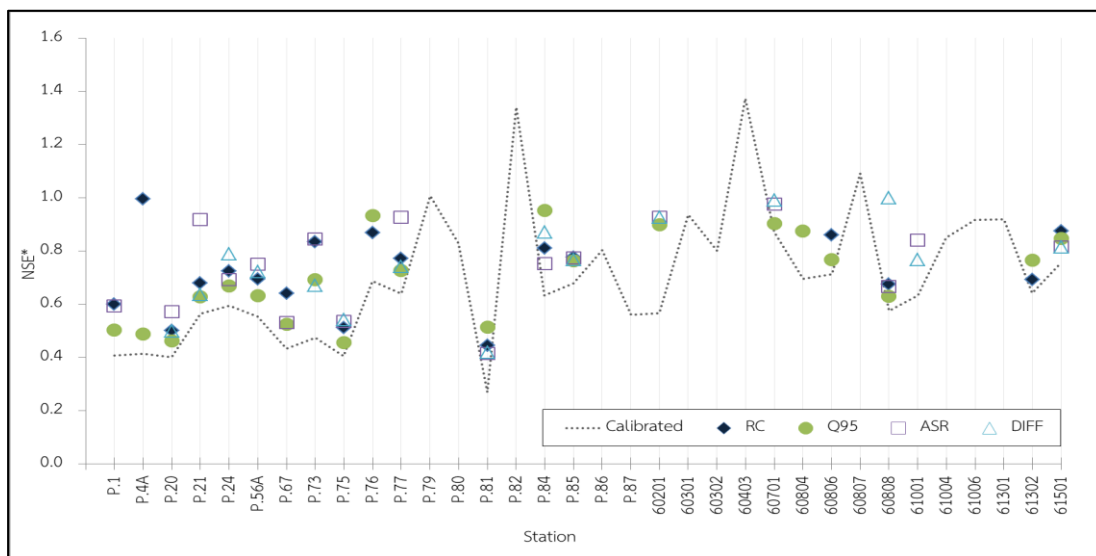
จากตารางที่ 5-11 และรูปที่ 5-10 การจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยช่วงความเชื่อมั่นให้ผลการพยากรณ์ที่มีประสิทธิภาพมากกว่าช่วงค่าพยากรณ์โดยมีค่า NSE* มากกว่า 1 น้อยกว่าการใช้ช่วงค่าพยากรณ์ของดัชนีน้ำท่าทั้ง 7 ตัวในแต่ละสถานี เนื่องจากช่วงค่าพยากรณ์มีขนาดกว้างกว่าช่วงความเชื่อมั่น อาจทำให้มีโอกาสที่ชุดของพารามิเตอร์บางชุดให้ปริมาณน้ำท่าแตกต่างจากปริมาณน้ำท่าสังเกตการณ์มากกว่าช่วงความเชื่อมั่น ยกเว้นดัชนีความอ่อนไหวของน้ำท่าต่อน้ำฝนตามฤดูกาล (EL) เปอร์เซนไทล์ที่ 50 ของน้ำท่า (Q50) และเปอร์เซนไทล์ที่ 5 ของน้ำท่า (Q5) โดยที่ดัชนีความอ่อนไหวของน้ำท่าต่อน้ำฝนตามฤดูกาลไม่สามารถจำกัดชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง ได้เลย สังเกตได้จากตารางที่ 5-13 ชุดพารามิเตอร์ทั้ง 5,000 ชุดตกอยู่ในช่วงค่าพยากรณ์ทั้งหมด ถึงแม้มีบางสถานีที่ช่วงความเชื่อมั่นสามารถจำกัดชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลองได้บ้าง แต่เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับปริมาณน้ำท่าสังเกตการณ์ด้วยค่า NSE* มีค่าเกิน 1 ทุกสถานี รวมถึงมีบางสถานีที่ไม่มีชุดพารามิเตอร์ใดตกอยู่ในช่วงดังกล่าว ได้แก่ P.80 P.81 P.82 60301 60403 60701 60804 60807 61001 61004 61006 61301 และ 61302 ส่วนเปอร์เซนไทล์ที่ 50 ของน้ำท่า (Q50) และเปอร์เซนไทล์ที่ 5 ของน้ำท่า (Q5) นั้นถึงแม้ว่ามีชุดพารามิเตอร์ตกอยู่ในบริเวณช่วงความเชื่อมั่นและช่วงพยากรณ์แต่เมื่อนำชุดพารามิเตอร์ที่ถูกคัดเลือกทั้งหมดมาคำนวณกลับเป็นน้ำท่า และคำนวณค่าเฉลี่ยของช่วงค่าน้ำท่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าสังเกตการณ์ (Observed flow) แล้วคำนวณค่า NSE* ผลปรากฏว่า ค่า NSE* มีค่ามากกว่า 1 จึงสามารถสรุปได้ว่าดัชนีความอ่อนไหวของน้ำท่าต่อน้ำฝนตามฤดูกาล (EL) เปอร์เซนไทล์ที่ 50 ของน้ำท่า (Q50) และเปอร์เซนไทล์ที่ 5 ของน้ำท่า (Q5) ไม่สามารถใช้ในการจำกัดชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลองได้ ส่วนสัมประสิทธิ์น้ำท่า (RC) เปอร์เซนไทล์ที่ 95 ของน้ำท่า (Q95) ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ (ASR) ผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า (DIFF) ช่วงความเชื่อมั่นสามารถจำกัดชุดพารามิเตอร์ได้ดีกว่าช่วงค่าพยากรณ์คิดเป็นร้อยละ 52.94, 61.76, 50, 44.12 และ 23.53 ของจำนวนสถานีทั้งหมดตามลำดับ



รูปที่ 5-11 เปรียบเทียบค่า Log NSE* ของการพยากรณ์น้ำท่ารายวันระหว่างผลที่ได้จากการจำลองและผลจากการจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของดัชนีน้ำท่าต่างๆ

รูปที่ 5-11 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลพยากรณ์น้ำท่าโดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นของดัชนีน้ำท่าในการจำกัดชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลองกับผลพยากรณ์น้ำท่าที่ไม่ได้จำกัดชุดพารามิเตอร์ (Unconstrained) จากรูปสังเกตได้ว่าดัชนีน้ำท่าที่มีความสามารถในการจำกัดชุดพารามิเตอร์ได้ดี คือ สัมประสิทธิ์น้ำท่า (RC) เปอร์เซนไทล์ที่ 95 ของน้ำท่า (Q95) ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ (ASR) และผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า (DIFF) การจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยเปอร์เซนไทล์ที่ 50 (Q50) และเปอร์เซนไทล์ที่ 5 ของน้ำท่า (Q5) มีประสิทธิภาพน้อยกว่าเมื่อเทียบกับผลการพยากรณ์ด้วยการจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยดัชนีน้ำท่าตัวอื่นๆ กล่าวคือดัชนีน้ำท่าทั้งสองตัวมีค่าไม่แตกต่างกับการไม่จำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยช่วงความเชื่อมั่น ถึงแม้ว่าตัวแบบการถดถอยที่ได้จะมีค่า R^2 เท่ากับ 0.58 และ 0.77 โดยเฉพาะเปอร์เซนไทล์ที่ 5 ของน้ำท่าที่เป็นตัวแทนของอัตราการไหลในระดับพื้นฐาน (Base flow) ซึ่งอัตราการไหลในระดับพื้นฐานนี้มีความสัมพันธ์กับดินแต่ละประเภท ซึ่งในพัฒนาตัวแบบการถดถอยไม่ได้นำข้อมูลชุดดินมาพิจารณาเนื่องจากผลการวิเคราะห์เบื้องต้นแสดงให้เห็นว่าข้อมูลดินที่มีอยู่ซึ่งเป็นเพียงการจำแนกดินตามสัดส่วนของลักษณะเนื้อดินนั้นไม่ละเอียดพอต่อการนำมาวิเคราะห์ตัวแบบการถดถอย ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้จึงอาจส่งผลให้เปอร์เซนไทล์ที่ 5 ของน้ำท่าเป็นดัชนีน้ำท่าที่ไม่สามารถใช้เป็นตัวแทนของน้ำท่าในพื้นที่การศึกษานี้ได้ ในการวิเคราะห์ผลขั้นต่อไปจึงทำการอภิปรายผลเฉพาะสัมประสิทธิ์น้ำท่า (RC) เปอร์เซนไทล์ที่ 95

ของน้ำท่า (Q95) ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ (ASR) และผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า (DIFF) เท่านั้น



รูปที่ 5-12 เปรียบเทียบค่า NSE* (< 1) ของการพยากรณ์น้ำท่ารายวันทั้ง 34 สถานีด้วยวิธีการจำกัดชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง IHACRES ด้วยดัชนีน้ำท่าต่างๆ

จากรูปที่ 5-12 แสดงผลการพยากรณ์น้ำท่ารายวันจำนวน 34 สถานีด้วยการจำกัดชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลองด้วยดัชนีน้ำท่า 4 ตัว ได้แก่ สัมประสิทธิ์น้ำท่า เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ของน้ำท่า ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ และผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า จากผลการศึกษาพบว่า การจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ของน้ำท่าให้ผลได้ดีที่สุด คือมีค่า NSE* น้อยกว่า 1 ถึง 21 ลุ่มน้ำ รองลงมาคือสัมประสิทธิ์น้ำท่า 18 ลุ่มน้ำตามด้วย ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ 17 ลุ่มน้ำ และผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า 15 ลุ่มน้ำ

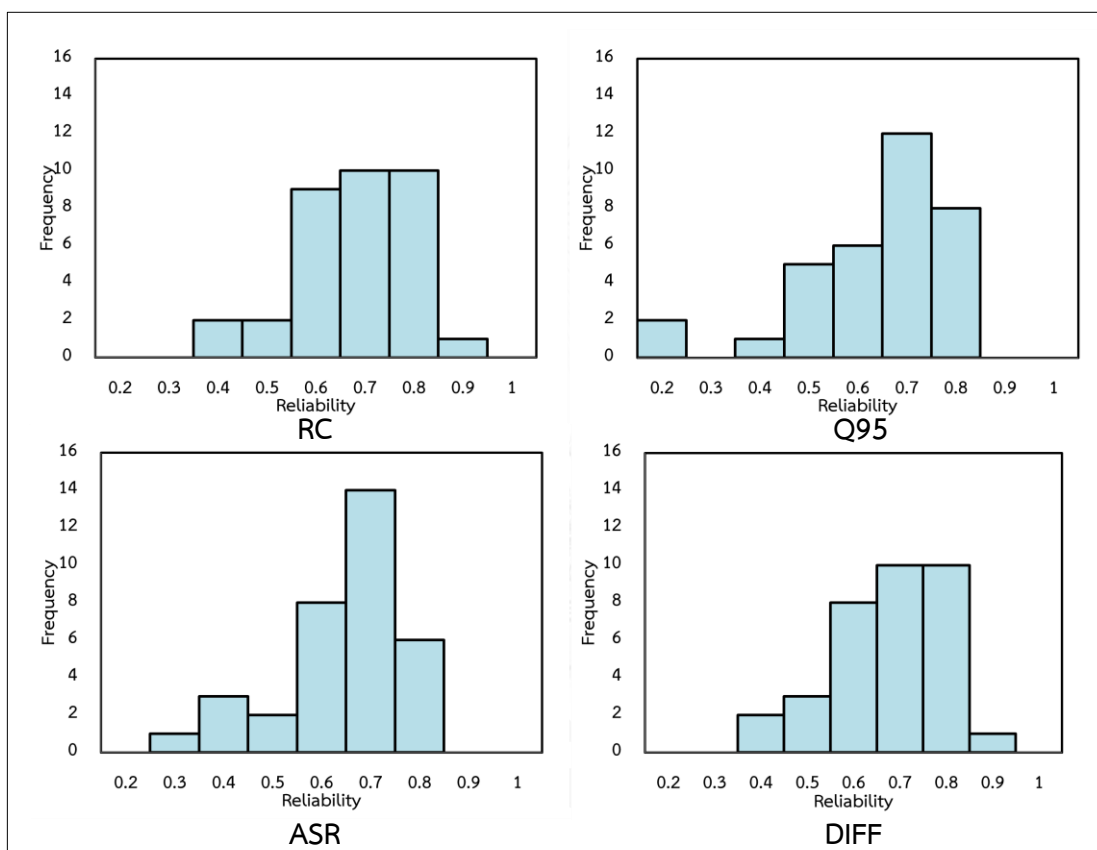
เมื่อพิจารณาจากค่า NSE* โดยภาพรวมจากการใช้สัมประสิทธิ์น้ำท่าในการจำกัดชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง IHACRES ส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ที่ดีคือมีค่าน้อยกว่า 0.7 ซึ่งเป็นสถานีที่มีขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำต่ำกว่า 2,000 ตารางกิโลเมตร ระดับความสูงของพื้นที่เฉลี่ยอยู่ที่ 800 เมตร ความยาวแม่น้ำสายหลักเฉลี่ย 400 กิโลเมตร และมีความแปรปรวนของปริมาณฝนน้อยกว่า 2 แต่ก็พบว่ามีบางพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีขนาดใหญ่เกินกว่า 2,000 ตารางกิโลเมตรแต่ให้ผลการพยากรณ์ที่ดีเนื่องจากปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่ดังกล่าวมีความแปรปรวนของปริมาณฝนน้อยมาก หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีฝนตกเท่าๆ กันตลอดทั้งปี ได้แก่ ลุ่มน้ำ P.1 และ P.67 โดยที่ทั้งสองลุ่มน้ำมีขนาด 6,350 และ 5,323 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ

เมื่อใช้เปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 95 ของน้ำท่าในการจำกัดชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลองพบว่าพื้นที่ที่มีขนาดลุ่มน้ำต่ำกว่า 2,000 ตารางกิโลเมตร ระดับความสูงของพื้นที่เฉลี่ยอยู่ที่ 800 เมตร ความยาวแม่น้ำสายหลักเฉลี่ย 400 กิโลเมตร จะเห็นได้ว่าลักษณะดังกล่าวมีลักษณะคล้ายกับพื้นที่ๆ มีการใช้สัมประสิทธิ์น้ำท่าได้ดีเช่นเดียวกัน จากรูปที่ 5-5 จึงแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ลุ่มน้ำที่พยากรณ์น้ำท่าโดยใช้เปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 95 ของน้ำท่าและสัมประสิทธิ์น้ำท่าเป็นสถานีเดียวกัน เช่น P.81, P.20, P.75, P.1 และ P.67 เป็นต้น รวมถึงพื้นที่ๆ มีลักษณะดินภูเขามาก และมีการใช้ที่ดินประเภทเกษตรกรรมและพื้นที่ป่าโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 16 และ 80 ต่อพื้นที่ ตามลำดับ

ในกรณีของผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าและปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลุ่มน้ำมีความสามารถในการจำกัดชุดพารามิเตอร์ในการพยากรณ์น้ำท่าได้ใกล้เคียงกัน โดยสามารถพยากรณ์ได้ดีในพื้นที่ๆ มีขนาดใหญ่โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2,000 ตารางกิโลเมตร มีระดับความสูงของพื้นที่ต่ำกว่า 900 เมตร ได้แก่ P.20, P.75 และ P.73 และมีลักษณะความลาดชันของพื้นที่อยู่ในช่วง 25 ถึง 32 เป็นต้น

5.4.2 การเปรียบเทียบลักษณะการแจกแจงระหว่างผลพยากรณ์น้ำท่ารายวันและข้อมูลสังเกตการณ์

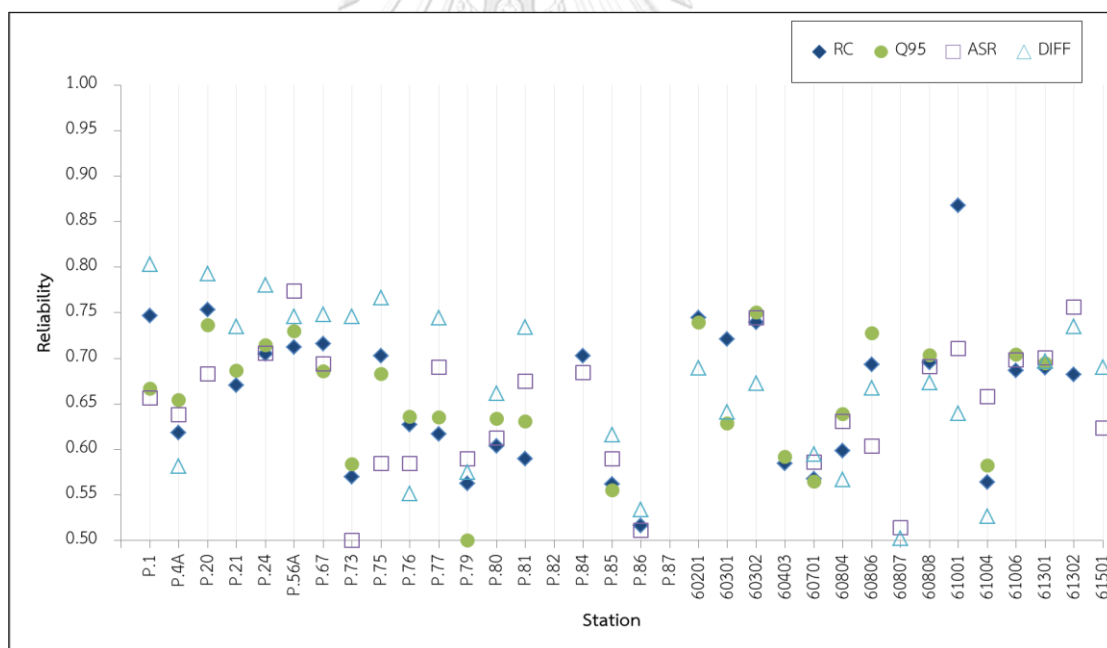
Reliability ใช้สำหรับการเปรียบเทียบลักษณะการแจกแจงของข้อมูลระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากแบบจำลองและปริมาณน้ำท่าสังเกตการณ์ ณ เวลาหนึ่ง มีค่าใกล้เคียงกันหรือไม่ โดยที่ค่า Reliability มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ยิ่งค่า Reliability มีค่าสูงแสดงถึงการกระจายของข้อมูลมีลักษณะใกล้เคียงกันมาก



รูปที่ 5-13 แผนภูมิแท่งแสดงค่า Reliability ของผลการพยากรณ์น้ำท่ารายวันจากการจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยช่วงความเชื่อมั่นของดัชนีน้ำท่า ได้แก่ สัมประสิทธิ์น้ำท่า (RC) เปอร์เซ็นไทล์ที่ 95 ของน้ำท่า (Q95) ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ (ASR) และผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า (DIFF)

จากรูปที่ 5-13 แสดงค่า Reliability ของการพยากรณ์น้ำท่ารายวันด้วยช่วงความเชื่อมั่นของดัชนีน้ำท่าแต่ละตัว จากภาพจะสังเกตได้ว่า การใช้ช่วงความเชื่อมั่นของดัชนีน้ำท่าทั้ง 4 ตัวให้ผลการพยากรณ์ ที่มีค่า Reliability อยู่ในช่วง 0.6 ถึง 0.8 มากที่สุด หมายความว่าผลการพยากรณ์น้ำท่ารายวันที่ได้จากแบบจำลองมีลักษณะการกระจายของข้อมูลน้ำท่า

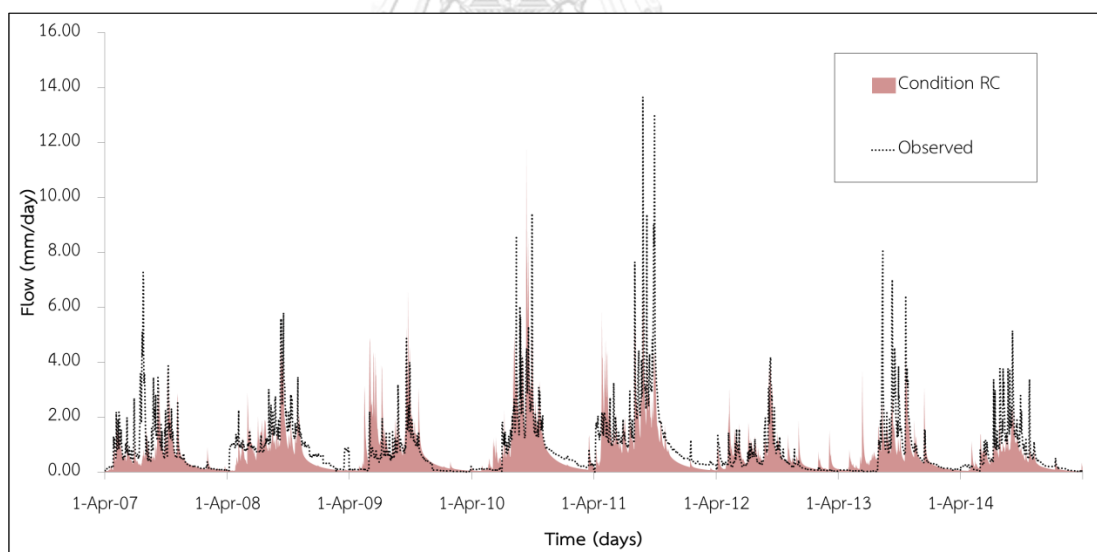
คล้ายกับข้อมูลน้ำท่าสังเกตการณ์มาก การจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยสัมประสิทธิ์น้ำท่าให้ค่า Reliability ตั้งแต่ 0.6 ขึ้นไปจำนวน 30 กลุ่มน้ำ ตามด้วยผลต่างระหว่างปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า 29 กลุ่มน้ำ ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่กลุ่มน้ำ 28 กลุ่มน้ำ และเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ของน้ำท่า 26 กลุ่มน้ำ ดัชนีน้ำท่าที่ให้ค่า Reliability ที่ดีที่สุดนั้นมีแตกต่างจากค่า NSE* เนื่องจากการประมาณค่าดัชนีน้ำท่าย่อมมีความไม่แน่นอน (Uncertainty) เกิดขึ้นได้ โดยสะท้อนผ่านช่วงความเชื่อมั่นของดัชนีน้ำท่า โดยช่วงความเชื่อมั่นของสัมประสิทธิ์น้ำท่าและผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ากว้างกว่าปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่และเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ของน้ำท่า ทำให้สัมประสิทธิ์น้ำท่าและผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง IHACRES มีโอกาสตกอยู่ในช่วงดังกล่าวมากกว่า ในขณะที่ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่กลุ่มน้ำและเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ของน้ำท่ามีช่วงความเชื่อมั่นที่แคบกว่า จึงเป็นดัชนีน้ำท่าที่มีความสามารถสะท้อนพฤติกรรมกลุ่มน้ำและใช้พยากรณ์น้ำท่าได้ดีน้อยกว่าในเทอมของ Reliability ดังแสดงในรูปที่ 5-15 แสดงค่า Reliability ของการพยากรณ์น้ำท่ารายวันโดยการจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยช่วงความเชื่อมั่นของดัชนีน้ำท่าทั้ง 4 ตัว



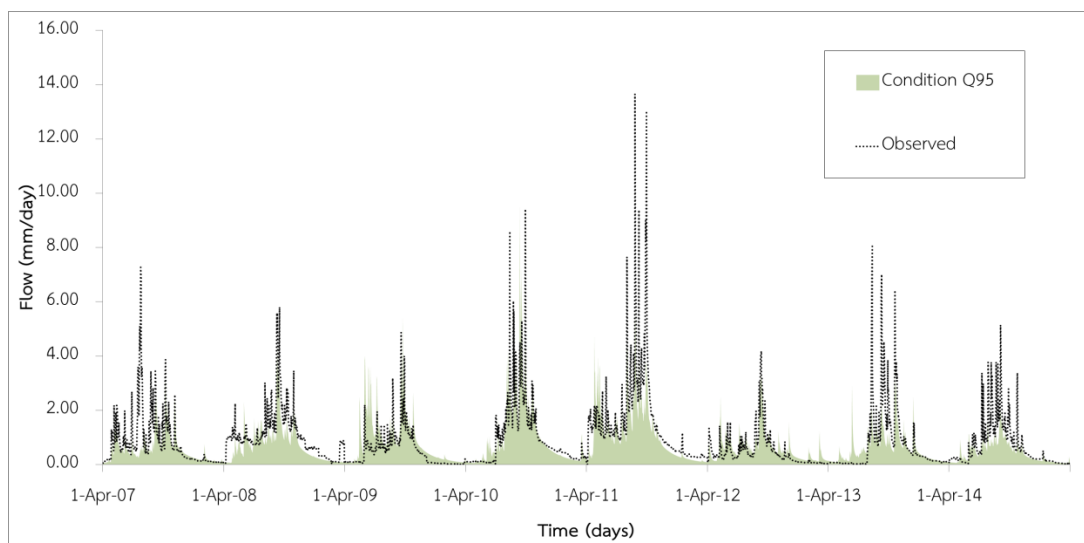
รูปที่ 5-14 เปรียบเทียบค่า Reliability (> 0.5) ของการพยากรณ์น้ำท่ารายวันทั้ง 34 สถานี ด้วยวิธีการจำกัดชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง IHACRES ด้วยช่วงความเชื่อมั่นของดัชนีน้ำท่าต่างๆ

ผลการพยากรณ์น้ำท่ารายวันด้วยแบบจำลอง IHACRES ร่วมกับการจำกัดชุดพารามิเตอร์โดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ของดัชนีน้ำท่าซึ่งได้แก่ ได้แก่ สัมประสิทธิ์น้ำท่า (RC) เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ของน้ำท่า (Q95) ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่กลุ่มน้ำ

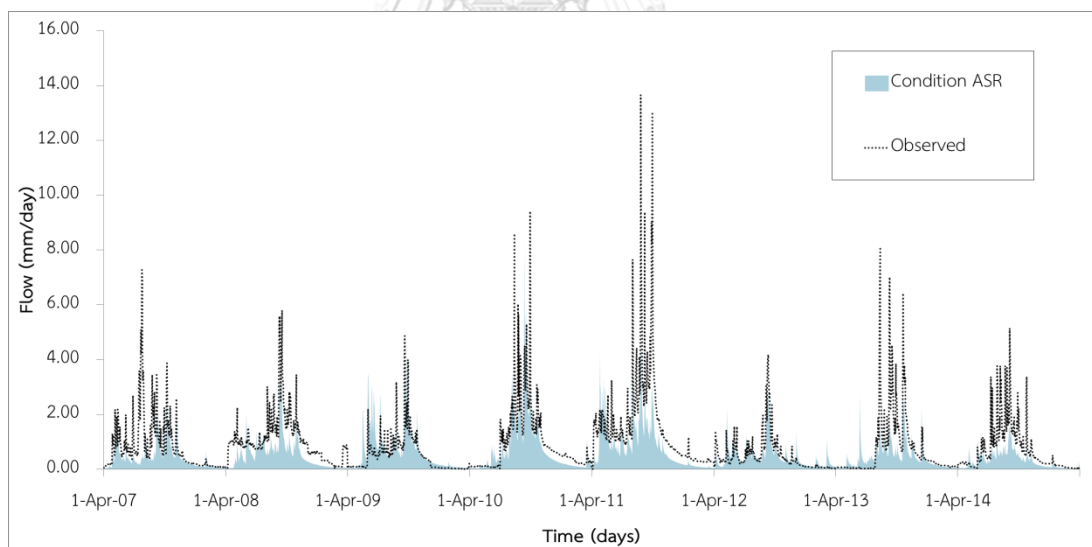
(ASR) และผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า (DIFF) ของสถานีที่ได้ผลการพยากรณ์ที่ดีที่สุด ทั้งในเทอม NSE* (น้อยกว่า 1) และ Reliability (มากกว่า 0.65) คือ สถานี P.20 แสดงดังรูปที่ 5-14 จากรูปพบว่าดัชนีน้ำท่าแต่ละตัวมีความสามารถในการจับรูปแบบการเกิดน้ำท่าได้แตกต่างกัน สัมประสิทธิ์น้ำท่า เปอร์เซนไทล์ที่ 95 ของน้ำท่า ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ และผลต่างของปริมาณน้ำท่า จับรูปแบบการเกิดปริมาณน้ำท่าโดยรวมได้ดี แต่ก็ยังไม่สามารถจับรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำท่าในระดับต่ำได้ดีนัก เปอร์เซนไทล์ที่ 95 ของน้ำท่าและผลต่างของปริมาณน้ำท่าจับรูปแบบการเกิดปริมาณน้ำท่าสูงสุดได้ดีกว่า สัมประสิทธิ์น้ำท่าและปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยรูปที่ 5-15 แสดงผลการพยากรณ์น้ำท่ารายวันโดยใช้การจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยช่วงความเชื่อมั่นของดัชนีน้ำท่าต่างๆ เทียบกับข้อมูลสังเกตการณ์ และเมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างผลการพยากรณ์น้ำท่ารายเดือนที่ได้จากแบบจำลองมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับข้อมูลปริมาณน้ำท่าสังเกตการณ์ มากกว่าการพยากรณ์แบบรายวัน ดังแสดงในรูปที่ 5-16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลการพยากรณ์น้ำท่าจากแบบจำลองและปริมาณน้ำท่าสังเกตการณ์ของสถานี P.81 ที่ให้ผลพยากรณ์ดีที่สุดจากการจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยช่วงความเชื่อมั่นของสัมประสิทธิ์น้ำท่า



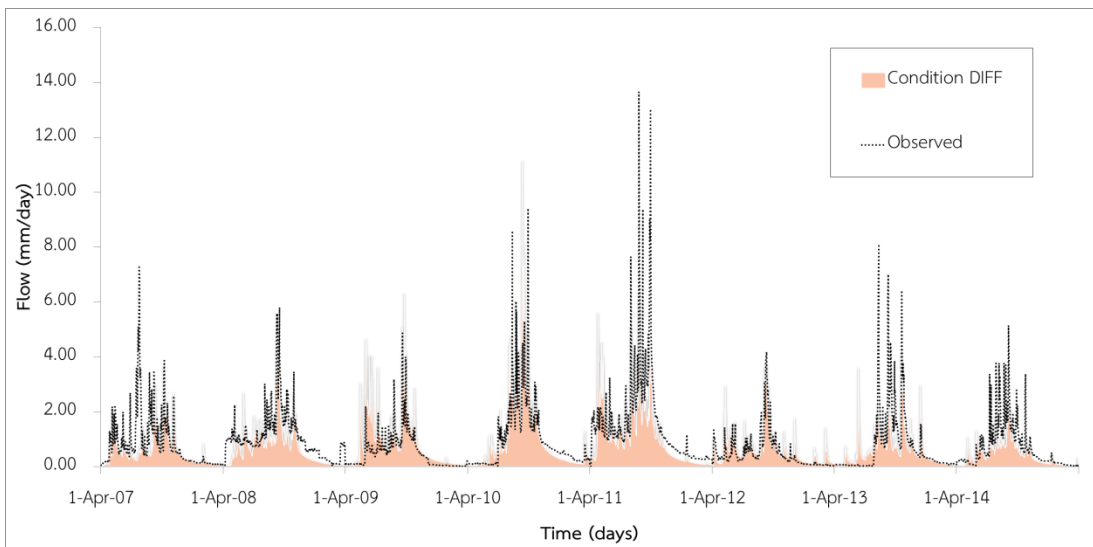
ก. สัมประสิทธิ์น้ำท่า



ข. เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ของน้ำท่า (Q95)

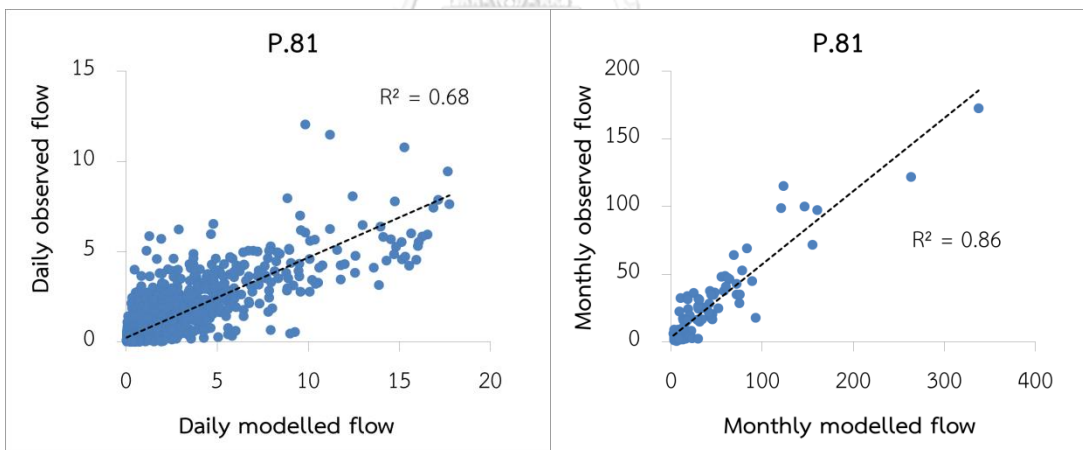


ค. ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ (ASR)



ง. ผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า (DIFF)

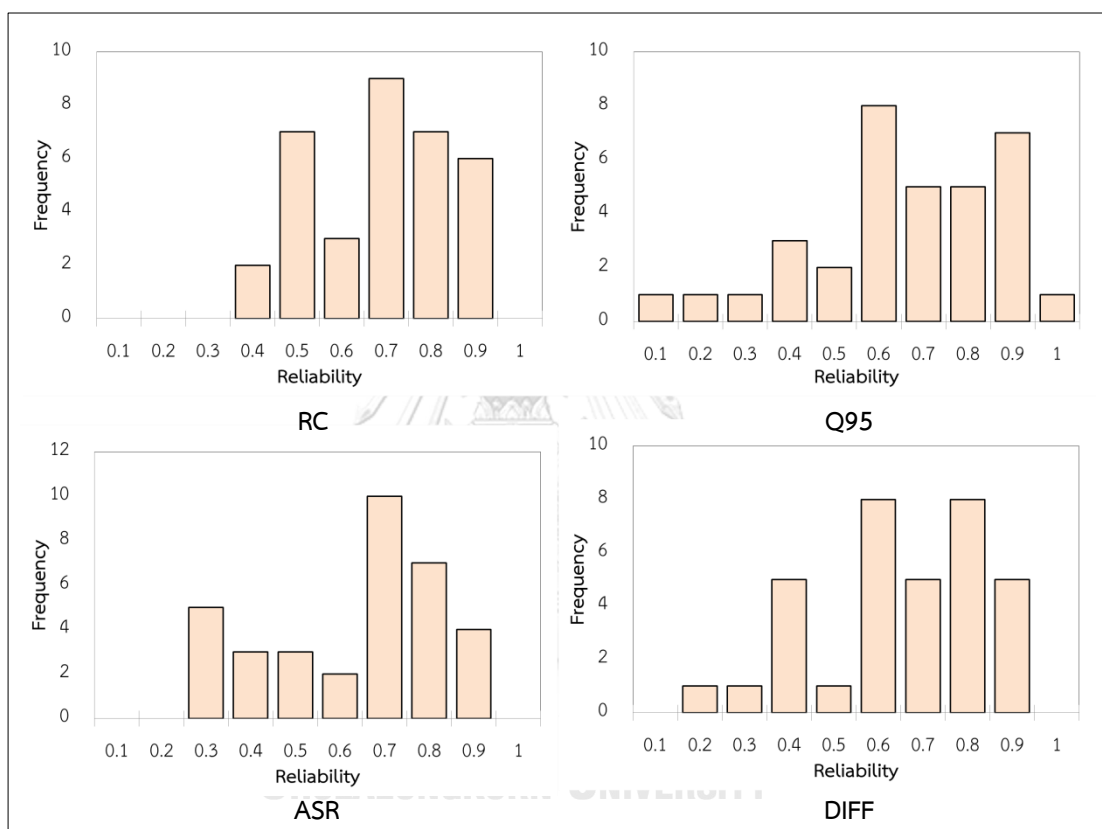
รูปที่ 5-15 ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง (Ensemble Flow) ด้วยการจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยช่วงความเชื่อมั่นของดัชนีน้ำท่าต่างๆ ที่มีค่า NSE* และ Reliability อยู่ในเกณฑ์ดีทั้ง 4 ตัว ของสถานี P.81



รูปที่ 5-16 ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลปริมาณน้ำท่าสังเกตการณ์และข้อมูลน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองโดยใช้การจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยช่วงความเชื่อมั่นของสัมประสิทธิ์น้ำท่าที่สถานี P.81 (ค่า NSE* ต่ำที่สุด)

5.4.3 การพยากรณ์โค้งอัตราการไหลรายวัน (Flow duration curve)

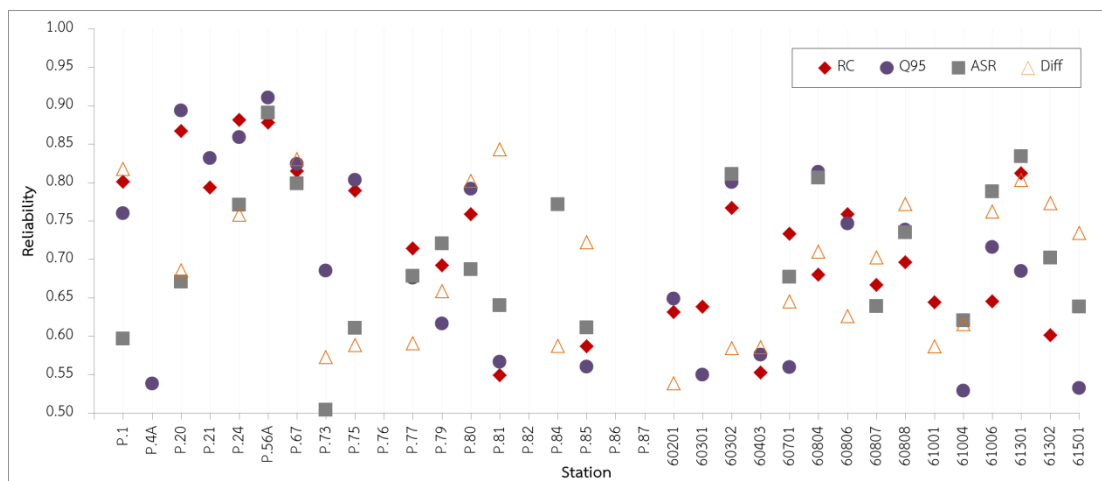
จากผลการพยากรณ์น้ำท่าที่ได้จากการจำกัดชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง IHACRES ดังที่กล่าวไปในหัวข้อที่ 5.5.1 แล้วนั้น ต่อมาได้นำมาประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์อัตราการไหล เพื่อทดสอบว่าความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีน้ำท่าและลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำที่ได้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการพยากรณ์โค้งอัตราการไหลรายวันได้ โดยผลการพยากรณ์จะแสดงผ่านตัวชี้วัด Reliability ดังต่อไปนี้



รูปที่ 5-17 แผนภูมิแท่ง Reliability ของผลการพยากรณ์โค้งอัตราการไหลรายวันจากการจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยช่วงความเชื่อมั่นของดัชนีน้ำท่า ได้แก่ สัมประสิทธิ์น้ำท่า (RC) เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ของน้ำท่า (Q95) ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ (ASR) และผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า (DIFF)

จากรูปที่ 5-17 แสดงค่า Reliability ของการพยากรณ์โค้งอัตราการไหลรายวันด้วยช่วงความเชื่อมั่นของดัชนีน้ำท่าแต่ละตัว จากภาพจะสังเกตได้ว่า การใช้ช่วงความเชื่อมั่นของดัชนีน้ำท่าทั้ง 4 ตัวให้ผลการพยากรณ์ ที่มีค่า Reliability อยู่ในช่วง 0.7 ถึง 0.9 มากที่สุด หมายความว่าผลการพยากรณ์โค้งอัตราการไหลรายวันที่ได้จากแบบจำลองมีลักษณะการกระจายของข้อมูลโค้งอัตราการไหลคล้ายกับข้อมูลโค้งอัตราการไหลสังเกตการณ์มาก การ

จำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ของน้ำท่าและผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าให้ค่า Reliability ตั้งแต่ 0.6 ขึ้นไปจำนวน 26 กลุ่มน้ำ ตามด้วยสัมประสิทธิ์น้ำท่า 25 กลุ่มน้ำ และปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ 23 กลุ่มน้ำ



รูปที่ 5-18 เปรียบเทียบค่า Reliability (> 0.5) ของการพยากรณ์โค้งอัตราการไหลของทั้ง 34 สถานีด้วยวิธีการจำกัดชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง IHACRES ด้วยช่วงความเชื่อมั่นของดัชนีน้ำท่าต่างๆ

รูปที่ 5-18 แสดงค่า Reliability ของการพยากรณ์โค้งอัตราการไหลของทั้ง 34 สถานีด้วยวิธีการจำกัดชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง IHACRES ด้วยช่วงความเชื่อมั่นของดัชนีน้ำท่าต่างๆ จากรูปจะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ของน้ำท่าเป็นดัชนีน้ำท่าที่สามารถให้ผลการพยากรณ์โค้งอัตราการไหลได้ดีที่สุดเกือบทุกสถานีเมื่อเทียบกับดัชนีน้ำท่าตัวอื่นๆ ตามด้วยสัมประสิทธิ์น้ำท่า ผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า และปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีต่อพื้นที่ลุ่มน้ำตามลำดับ

เมื่อพิจารณาจากค่า Reliability โดยภาพรวมจากการใช้สัมประสิทธิ์น้ำท่าในการจำกัดชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง IHACRES ดังรูปที่ 5-18 และ 5-19 ส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ดีคือมีค่ามากกว่า 0.6 โดยแบบจำลองสามารถพยากรณ์โค้งอัตราการไหลได้ในพื้นที่ที่มีขนาดลุ่มน้ำต่ำกว่า 500 ตารางกิโลเมตร มีระดับความสูงของพื้นที่เฉลี่ยต่ำกว่า 1,000 เมตร ความยาวของแม่น้ำสายหลักต่ำกว่า 250 กิโลเมตร และมีลักษณะการใช้ที่ดินในรูปแบบเกษตรกรรมค่อนข้างสูง แต่ก็มีบางพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีความยาวของแม่น้ำสายหลัก เกินกว่า 250 กิโลเมตร รวมถึงมีขนาดลุ่มน้ำใหญ่เกิน 500 ตารางกิโลเมตร แต่ยังให้ผลการพยากรณ์อยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจากขนาดพื้นที่เพิ่มขึ้น โดยพื้นที่ส่วนใหญ่มีลักษณะการใช้ที่ดินในรูปแบบเกษตรกรรมมากขึ้นตามไปด้วยโดยเฉลี่ยถึง ร้อยละ 17 ต่อพื้นที่ทั้งหมด รวมถึงยังเป็นพื้นที่ที่มีความสูงของพื้นที่เฉลี่ยต่ำ

กว่า 1,000 เมตรอยู่ ทำให้แบบจำลองที่ได้ทำการนำเสนอยังคงให้ผลที่ดี เช่นสถานี P.24, P.56A, P.20, P.67, 61301, P.1, P.21 และ P.75

เมื่อใช้เปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 95 ของน้ำท่าในการจำกัดชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลองพบว่าพื้นที่ที่ให้ผลพยากรณ์โค้งอัตราการไหลได้ดี คือ พื้นที่ที่มีขนาดลุ่มน้ำต่ำกว่า 1,000 ตารางกิโลเมตร ความยาวของแม่น้ำสายหลักต่ำกว่า 500 กิโลเมตร มีระดับความสูงของพื้นที่เฉลี่ยประมาณ 800 เมตร ความลาดชันเฉลี่ยของลุ่มน้ำยิ่งน้อยยิ่งดี โดยเฉลี่ยมีค่าอยู่ประมาณ 30 และมีลักษณะการใช้ที่ดินในรูปแบบเกษตรกรรมค่อนข้างสูงซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ประมาณร้อยละ 14 ต่อพื้นที่ทั้งหมด

เมื่อใช้ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลุ่มน้ำในการจำกัดชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลองพบว่าใช้ได้กับพื้นที่ที่มีระดับความสูงของพื้นที่เฉลี่ยต่ำกว่า 900 เมตร มีขนาดพื้นที่น้อยกว่า 500 ตารางกิโลเมตร แต่ก็พบว่ามีบางพื้นที่ที่มีขนาดลุ่มน้ำใหญ่เกินกว่าขนาดดังกล่าวแบบจำลองยังสามารถให้ผลพยากรณ์ได้ดี เนื่องจากมีความยาวของขนาดลุ่มน้ำน้อยกว่า 250 กิโลเมตร อีกทั้งแบบจำลองให้ผลพยากรณ์ได้ดีในพื้นที่ที่มีแนวโน้มน้ำเป็นพื้นที่เกษตรกรรมได้ดีกว่าบริเวณพื้นที่ป่า แต่พบว่ามีบางสถานีที่มีขนาดพื้นที่น้อยกว่า 500 ตารางกิโลเมตร แต่พบว่าแบบจำลองให้ผลการพยากรณ์ได้ไม่ดี เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวมีระดับความสูงเกินกว่า 1,000 เมตร รวมถึงเป็นพื้นที่เป็นป่ามากกว่าพื้นที่เกษตรกรรมอีกด้วย เช่น สถานี 61001, 60403, 60301 และ 60201 เป็นต้น

ผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ามีความสามารถในการจำกัดชุดพารามิเตอร์โดยให้ผลพยากรณ์โค้งอัตราการไหลรายวันนั้นใช้ได้กับบริเวณพื้นที่ที่มีลักษณะความสูงของพื้นที่อยู่ระหว่าง 600 ถึง 800 เมตร ความยาวของแม่น้ำสายหลักอยู่ในช่วงระหว่าง 100 ถึง 500 กิโลเมตร และเป็นพื้นที่ที่มีปริมาณฝนรายปีประมาณ 1000 ถึง 1200 มิลลิเมตร รวมถึงเป็นพื้นที่ที่มีความลาดชันเฉลี่ยของลุ่มน้ำต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์

5.5 การวิเคราะห์และสรุปผล

การใช้แบบจำลอง IHACRES ร่วมกับการจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยดัชนีน้ำท่าทั้ง 7 ตัว ได้แก่ สัมประสิทธิ์น้ำท่า ดัชนีการไหลพื้นฐาน ดัชนีความอ่อนไหวของน้ำท่าต่อน้ำฝนตามฤดูกาล เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ของน้ำท่า เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 ของน้ำท่า เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ของน้ำท่า ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ และผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า เพื่อการพยากรณ์น้ำท่าและโค้งอัตราการไหลรายวัน โดยประเมินผลการพยากรณ์ผ่านตัวชี้วัดทั้ง 3 ตัว ได้แก่ R^2 NSE* และ Reliability สำหรับบริเวณลุ่มน้ำปิงตอนบน จำนวน 34 สถานี โดยผลวิเคราะห์สรุปได้ดังตารางที่ 5-14 ถึง 5-16

ตารางที่ 5-12 ร้อยละของผลการพยากรณ์น้ำท่าด้วยการจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยดัชนีน้ำท่า โดยวิธีการต่างๆ ที่ให้ผล NSE* อยู่ในเกณฑ์ดีสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด 34 สถานี

ดัชนีน้ำท่า	วิธีการ		
	ไม่ได้จำกัดชุดพารามิเตอร์	วิธีการจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยช่วงความเชื่อมั่น	วิธีการจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยช่วงค่าพยากรณ์
สัมประสิทธิ์น้ำท่า	0.03	0.53	0.44
ดัชนีความอ่อนไหวของน้ำท่าต่อน้ำฝนตามฤดูกาล	0.03	0	0.03
เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ของน้ำท่า	0.03	0.62	0.47
เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 ของน้ำท่า	0.03	0.24	0.11
เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ของน้ำท่า	0.03	0	0
ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ	0.03	0.5	0.26
ผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า	0.03	0.44	0.38

จากตารางที่ 5-12 การพยากรณ์น้ำท่ารายวันด้วยแบบจำลอง IHACRES ร่วมกับการจำกัดชุดพารามิเตอร์โดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นให้ผลการพยากรณ์ที่แม่นยำกว่าการใช้ช่วงค่าพยากรณ์ แม้ว่าการจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยช่วงค่าพยากรณ์จะให้ผลการพยากรณ์ที่แม่นยำน้อยกว่า แต่โดยรวมทั้ง 2 วิธี สามารถพยากรณ์น้ำท่าได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับแบบไม่จำกัดชุดพารามิเตอร์ ถึงแม้ว่าวิธีการดังกล่าวมีดัชนีน้ำท่าบางตัว ได้แก่ ดัชนีความอ่อนไหวของน้ำท่าต่อน้ำฝนตามฤดูกาล และเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ของน้ำท่า ที่ไม่สามารถช่วยในการจำกัดชุดพารามิเตอร์ได้ แต่โดยรวมถือว่าวิธีการใช้ช่วงความเชื่อมั่นและช่วงค่าพยากรณ์ของดัชนีน้ำท่าต่างๆ ในการจำกัดชุดพารามิเตอร์ที่ได้นำเสนอนั้นให้ผลการพยากรณ์น้ำท่าได้ดี

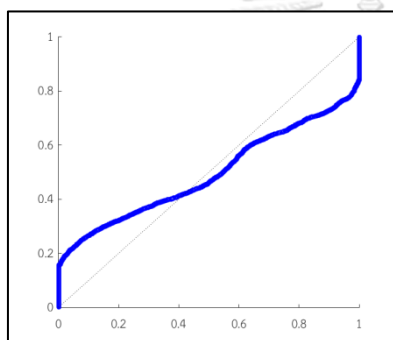
การจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยช่วงความเชื่อมั่นของเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ของน้ำท่าสามารถพยากรณ์น้ำท่ารายวันได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับดัชนีน้ำท่าตัวอื่นๆ ตามด้วย สัมประสิทธิ์น้ำท่า ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ และผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า ส่วนดัชนีความอ่อนไหวของน้ำท่าต่อน้ำฝนตามฤดูกาล เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 ของน้ำท่า และเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ของน้ำท่า ไม่สามารถใช้ในการจำกัดชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลองได้ เนื่องจากการใช้ปริมาณน้ำท่าสังเกตการณ์เฉลี่ยให้ผลที่ดีกว่าผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง IHACRES ที่จำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยดัชนีน้ำท่าดังกล่าว ขณะที่การจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยช่วงความเชื่อมั่นของดัชนีน้ำท่าแต่ละแบบมีความสามารถในการพยากรณ์น้ำท่าแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ ดังสรุปในตารางที่ 5-14 และ 5-15

จากตารางที่ 5-14 แสดงให้เห็นว่าการใช้ช่วงความเชื่อมั่นที่ได้จากตัวแบบการถดถอยของดัชนีน้ำท่าในการจำกัดชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง IHACRES เพื่อการพยากรณ์น้ำท่ารายวันนั้น ดัชนีน้ำท่าที่มีความสามารถในการจำกัดชุดพารามิเตอร์ที่ให้ผลพยากรณ์ได้ดีที่สุด ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ของน้ำท่า สัมประสิทธิ์น้ำท่า ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ และผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า ตามลำดับ โดยดัชนีน้ำท่าทั้ง 4 ตัวนี้สามารถพยากรณ์น้ำท่าได้ดีเมื่อพื้นที่ลุ่มน้ำมีขนาดปานกลาง คือ ไม่เกิน 2,000 ตารางกิโลเมตร ระดับความสูงไม่เกิน 900 เมตร เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ของน้ำท่าและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่สามารถให้ผลพยากรณ์ได้ดีกว่าตัวอื่นๆ นั้นเหมาะสมกับพื้นที่ที่มีปริมาณฝนตกเท่ากันๆ ทั้งปี อีกทั้งยังเหมาะสมกับพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นดินภูเขา รวมถึงเป็นพื้นที่ป่าไม้และเกษตรกรรมเป็นส่วนใหญ่

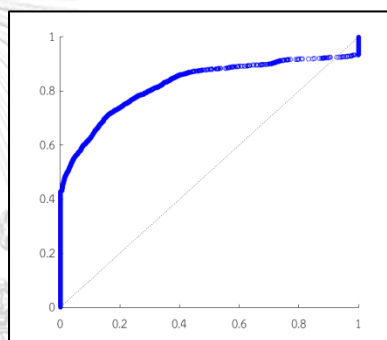
ผลการวิเคราะห์การพยากรณ์โค้งอัตราการไหลรายวันโดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นที่ได้จากตัวแบบการถดถอยของดัชนีน้ำท่าในการจำกัดชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง IHACRES นั้น แสดงผลดังตารางที่ 5-15 จากตารางพบว่าดัชนีน้ำท่าทั้ง 4 ตัว ให้ผลพยากรณ์ได้ดีใกล้เคียงกัน โดยแบบจำลองเหมาะสมสำหรับพื้นที่เกษตรกรรม และมีขนาดขนาดเล็ก ประมาณ 1,000 ตาราง

กิโลเมตร ระดับความสูงของพื้นที่ไม่เกิน 1,000 เมตร รวมถึงพื้นที่ที่มีความชันระดับต่ำ และมีความยาวของแม่น้ำสายหลักไม่เกิน 500 กิโลเมตร จะเห็นได้ว่าลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำที่พยากรณ์น้ำท่ารายวันและพยากรณ์โค้งอัตราการไหลรายวันได้ดีมีลักษณะที่คล้ายกัน รูปที่ 5-13 แสดงผลการพยากรณ์น้ำท่ารายวันและโค้งอัตราการไหลรายวันโดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นของเปอร์เซนไทล์ที่ 95 ของ โดยแบ่งเป็นกรณีต่างๆ ได้ดังนี้

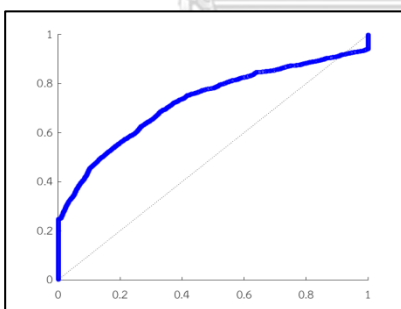
1. สถานีที่พยากรณ์น้ำท่ารายวันและโค้งอัตราการไหลรายวันได้ดี
2. สถานีที่พยากรณ์น้ำท่ารายวันได้ดีแต่ให้ผลการพยากรณ์โค้งอัตราการไหลได้ไม่ดี
3. สถานีที่พยากรณ์น้ำท่ารายวันได้ไม่ดีแต่ให้ผลการพยากรณ์โค้งอัตราการไหลได้ดี
4. สถานีที่พยากรณ์น้ำท่ารายวันและโค้งอัตราการไหลรายวันได้ไม่ดี



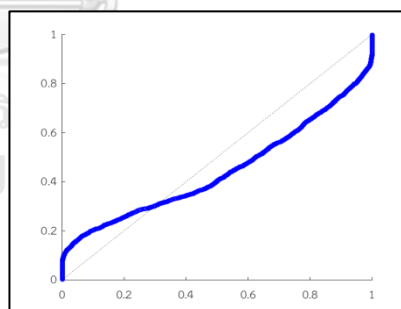
ก. P.75 (NSE* ดี Reliability ดี)



ข. P.86 (NSE* ไม่ดี Reliability ไม่ดี)



ค. P.4A (NSE* ดี Reliability ไม่ดี)



ง. 60302 (NSE* ดี Reliability ดี)

รูปที่ 5-19 ผลการพยากรณ์น้ำท่ารายวันและโค้งอัตราการไหลรายวันโดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นของเปอร์เซนไทล์ที่ 95

ตารางที่ 5-13 สรุปผลภาพรวมของแบบจำลองที่สามารถให้ผลพยากรณ์น้ำท่ารายวันได้ดีโดยจำแนกตามลักษณะพื้นที่ต่างๆ

ดัชนีน้ำท่า	ตัวแบบการถดถอยของดัชนีน้ำท่า	R ²	พยากรณ์น้ำท่ารายวัน							
			ลักษณะกายภาพทางลุ่มน้ำ							
			ขนาด	ระดับความสูง	ความยาวของแม่น้ำสายหลัก	ความลาดชัน	ปริมาณฝน	ดิน	การใช้ประโยชน์	
RC	$RC = 0.29 - 0.08Area$	0.48	น้อยกว่า 2,000 ตร.กม.	ต่ำ	400 กม. โดยเฉลี่ย	ต่ำ	มีความแปรปรวนน้อย	-	-	
Q95	$Q95 = 0.57 + 0.10Area$	0.52	ต่ำกว่า 2,000 ตร.กม.	ต่ำกว่า 800 เมตร โดยเฉลี่ย	400 กม. โดยเฉลี่ย	ต่ำกว่า 800 เมตร โดยเฉลี่ย	มีความแปรปรวนน้อย	ดินภูเขา	เกษตร, ป่าไม้	
ASR	$ASR = -0.12 - 0.18ChL + 0.53Elev$	0.93	2,000 ตร.กม. โดยเฉลี่ย	ต่ำกว่า 900 เมตร	-	-	-	-	-	
DIFF	$DIFF = 643.33 + 100.27Area - 178.83MWR - 124.27Elev$	0.55	2,000 ตร.กม. โดยเฉลี่ย	ต่ำกว่า 900 เมตร	-	25 ถึง 32	-	-	-	

ตารางที่ 5-14 สรุปผลภาพรวมของแบบจำลองที่สามารถให้ผลพยากรณ์ได้โดยง่ายตามลักษณะพื้นที่ต่างๆ

		พยากรณ์ได้โดยการให้ทรายวัน							
		ลักษณะสภาพทางลุ่มน้ำ							
ดัชนีน้ำท่า	ตัวแบบการถดถอยของดัชนีน้ำท่า	R ²	ขนาด	ระดับความสูง	ความยาวของแม่น้ำสายหลัก	ความลาดชัน	ปริมาณฝน	ดิน	การใช้ประโยชน์พื้นที่
RC	$RC = 0.29 - 0.08Area$	0.48	ต่ำกว่า 500 ตร.กม.	ต่ำ	ต่ำกว่า 250 กม.	-	-	-	เกษตรกรรม
Q95	$Q95 = 0.57 + 0.10Area$	0.52	ต่ำกว่า 1,000 ตร.กม.	800 เมตร โดยเฉลี่ย	ต่ำกว่า 500 ตร.กม.	ต่ำ	-	-	เกษตรกรรม
ASR	$ASR = -0.12 - 0.18CHL + 0.53Elev$	0.93	ต่ำกว่า 500 ตร.กม.	ต่ำกว่า 900 เมตร โดยเฉลี่ย	ต่ำกว่า 250 กม.	-	-	-	เกษตรกรรม
DIFF	$DIFF = 643.33 + 100.27Area - 178.83MWR - 124.27Elev$	0.55	-	600 - 800 เมตร	ต่ำกว่า 500 กม.	ต่ำกว่า 30	ต่ำกว่า 1,200 มม. ต่อปี	-	-

จากการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองข้างต้น สามารถสรุปผลโดยรวมของงานวิจัย
ได้ดังตารางที่ 5-15

ตารางที่ 5-15 สรุปผลอันดับของดัชนีน้ำท่าที่สามารถพยากรณ์น้ำท่ารายวันและโค้งอัตราการ
ไหลรายวัน

ดัชนี น้ำท่า	R ²	วิธีการจำกัดชุดพารามิเตอร์		การพยากรณ์ น้ำท่ารายวัน	การพยากรณ์โค้ง อัตราการไหลรายวัน
		ช่วงค่า พยากรณ์	ช่วงความ เชื่อมั่น		
RC	0.48		√	ดี	ดี
Q95	0.52		√	ดีที่สุด	ดีที่สุด
ASR	0.93		√	พอใช้	พอใช้
DIFF	0.55		√	แย่	แย่

หมายเหตุ : √ หมายถึง ดีที่สุด

บทที่ 6

สรุปผลงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงบทสรุปของงานวิจัยที่ได้จากกระบวนการศึกษาและขั้นตอนวิเคราะห์ ตั้งแต่การรวบรวมข้อมูล การศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง การหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีน้ำท่าและลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำ การนำวิธีการจำกัดชุดพารามิเตอร์มาใช้ในการแก้ปัญหาสำหรับการพยากรณ์น้ำท่าในบริเวณที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าโดยใช้ดัชนีน้ำท่า โดยจะสรุปประเด็นสำคัญในแต่ละส่วนของการศึกษา พร้อมทั้งข้อเสนอแนะตลอดจนแนวทางการศึกษาต่อที่สามารถเป็นไปได้ โดยมีเนื้อหาดังต่อไปนี้

6.1 บทสรุปงานวิจัย

แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า เป็นแบบจำลองที่นิยมใช้สำหรับการพยากรณ์น้ำท่าในแวดวงอุทกวิทยา ไม่ว่าจะเป็นในด้านการจัดการทรัพยากรน้ำ การพยากรณ์น้ำท่วมเพื่อการเตือนภัยล่วงหน้า เป็นต้น โดยกระบวนการสำคัญของการใช้งานของแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าคือการปรับชุดค่าพารามิเตอร์ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะได้ชุดค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ค่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าสังเกตการณ์มากที่สุด และนำชุดค่าพารามิเตอร์ที่ได้นั้นไปพยากรณ์น้ำท่าต่อไป ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้เป็นปัญหาต่อการนำแบบจำลองไปใช้งานในพื้นที่ลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า เนื่องจากขาดข้อมูลน้ำท่าที่ใช้สำหรับการสอบเทียบแบบจำลองงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อค้นหาดัชนีน้ำท่าที่สามารถสะท้อนถึงพฤติกรรมของการเกิดน้ำท่าสำหรับลุ่มน้ำปิงตอนบนที่ทำการศึกษา และทำการเปรียบเทียบการใช้ช่วงความไม่แน่นอน (Uncertainty bounds) ของตัวแบบการถดถอยที่ได้จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีน้ำท่าและลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำ มาใช้ในการจำกัดและคัดเลือกชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (Behavioral parameter sets) ระหว่างวิธีการจำกัดชุดพารามิเตอร์โดยใช้ช่วงความเชื่อมั่น (Confidence Interval) และช่วงค่าพยากรณ์ (Prediction Interval) โดยวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ที่ได้จากการจำกัดชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง IHACRES ด้วยดัชนีน้ำท่า 8 ตัว ได้แก่ สัมประสิทธิ์น้ำท่า (RC) ดัชนีการไหลพื้นฐาน (BFI) ดัชนีความอ่อนไหวของน้ำท่าต่อน้ำฝนตามฤดูกาล (EL) เปอร์เซนไทล์ที่ 95 ของน้ำท่า (Q95) เปอร์เซนไทล์ที่ 50 ของน้ำท่า (Q50) เปอร์เซนไทล์ที่ 5 ของน้ำท่า (Q5) ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ (ASR) และผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า (DIFF) ว่าการจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยวิธีและดัชนีน้ำท่าตัวใดที่สามารถให้ผลพยากรณ์น้ำท่าและโค้งอัตราการไหลดีที่สุด

6.1.1 พื้นที่ที่ใช้ในการศึกษา

พื้นที่ที่ทำการศึกษาในงานวิจัยคือ บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน เนื่องจากลุ่มน้ำปิงเป็นแหล่งต้นน้ำที่สำคัญของประเทศไทยโดย เป็นแหล่งกำเนิดของลุ่มน้ำเจ้าพระยาซึ่งเป็นลุ่มน้ำที่สำคัญของภาคกลาง การบริหารจัดการน้ำบริเวณแหล่งต้นน้ำนับเป็นสิ่งสำคัญและส่งผลต่อประชาชน รวมถึงในบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยเป็นพื้นที่ที่ถูกปกคลุมด้วยป่าไม้และภูเขามากมาย ทำให้พื้นที่บางส่วนไม่เอื้ออำนวยต่อการติดตั้งสถานี หรือมีข้อมูลไม่เพียงพอต่อการไปใช้ในการวิเคราะห์บริหารหรือวางแผนโครงการหรืองานด้านพัฒนาแหล่งน้ำได้อย่างเต็มที่ แต่ก็ยังมีพื้นที่ที่มีข้อมูลเพียงพอที่จะนำข้อมูลมาใช้ในการหาความสัมพันธ์กับลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำ จึงทำการศึกษาเพื่อนำความสัมพันธ์ที่ได้ไปใช้พยากรณ์ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำสาขาที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการพัฒนาแหล่งน้ำในบริเวณลุ่มน้ำปิงตอนบน ผู้วิจัยทำการศึกษาลุ่มน้ำทั้งหมดจำนวน 34 ลุ่มน้ำย่อย ประกอบไปด้วยสถานีน้ำฝน 42 สถานี และสถานีวัดน้ำท่า 34 สถานี โดยทำการศึกษาดังแต่ปี พ.ศ. 2549-2557

6.1.2 การหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีน้ำท่าและลักษณะกายภาพของลุ่มน้ำ

ในการใช้แบบจำลองการถดถอยในการพยากรณ์ให้มีประสิทธิภาพนั้นขึ้นอยู่กับการคัดเลือกแบบจำลองให้มีความเหมาะสม แบบจำลองที่มีความเหมาะสมนั้นได้มาจากการคัดเลือกตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตามให้มีความเหมาะสมโดยที่มีจำนวนไม่มากเกินไปหรือน้อยเกินไปในสมการพยากรณ์ โดยเทคนิคที่นำมาใช้ในการคัดเลือกลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำที่มีความสัมพันธ์กับดัชนีน้ำท่าในงานวิจัยนี้ คือ วิธีการคัดเลือกแบบขั้นตอน (Stepwise Selection) ถือเป็นวิธีการคัดเลือกตัวแปรเข้าสู่สมการถดถอยพหุคูณแบบประหยัดที่ดีที่สุดและได้รับความนิยมมากที่สุดในการนำไปประยุกต์ใช้ในหลายการศึกษา

6.1.3 วิธีการที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบในงานวิจัย

วิธีการที่ใช้ในการจำกัดชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง IHACRES คือช่วงความเชื่อมั่นและช่วงค่าพยากรณ์ที่ได้จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีน้ำท่ากับลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำ ประกอบไปด้วย ดัชนีน้ำท่าจำนวน 8 ตัว ได้แก่ สัมประสิทธิ์น้ำท่า ดัชนีการไหลพื้นฐาน ดัชนีความอ่อนไหวของน้ำท่าต่อน้ำฝนตามฤดูกาล เปอร์เซนไทล์ที่ 95 ของน้ำท่า เปอร์เซนไทล์ที่ 50 ของน้ำท่า เปอร์เซนไทล์ที่ 5 ของน้ำท่า ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ และผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า ลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำจำนวน 21 ตัว ดังแสดงในตารางในภาคผนวก ได้แก่ (1.) ขนาดพื้นที่ของลุ่มน้ำ (2.) ความสูงเฉลี่ยของลุ่มน้ำ (3.) ความลาดชันเฉลี่ยของลุ่มน้ำ (4.) ความยาวของแม่น้ำสายหลัก (5.) อัตราส่วนความ

ยาวของลำน้ำรวมต่อพื้นที่รับน้ำ (6.) ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบเกษตรกรรม (7.) ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบป่า (8.) ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบที่อยู่อาศัย (9.) ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบพื้นที่แหล่งน้ำ (10.) ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบพื้นที่อื่นๆ (11.) ร้อยละของดินภูเขา (12.) ร้อยละของดินทราย (13.) ร้อยละของดินตะกอน (14.) ร้อยละของดินเหนียว (15.) ความชื้นผิวดินในที่ร่ม (16.) ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี (17.) ปริมาณฝนเฉลี่ยในฤดูฝน (18.) ปริมาณฝนเฉลี่ยในฤดูร้อน (19) ดัชนีปริมาณฝนฤดูกาล (20) ค่าสัมประสิทธิ์ของการแปรผันของปริมาณน้ำฝน (21.) ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณน้ำฝน โดยรายละเอียดทั้งหมดแสดงอยู่ในบทที่ 5 และใช้ตัวชี้วัด 3 ตัว ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การทำนายค่าพยากรณ์ Nash – Sutcliffe coefficient (NSE*) และ Reliability

6.1.4 ผลการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีน้ำท่าและคุณลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำ

ก่อนการสร้างตัวแบบการถดถอยได้มีการตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลลักษณะทางกายภาพและดัชนีน้ำท่าว่ามี การแจกแจงแบบปกติหรือไม่โดยใช้สถิติทดสอบ Kolmogorov-Smirnov พบว่ามีตัวแปรบางตัวไม่มีการแจกแจงแบบปกติจึงทำการแปลงข้อมูลและตรวจสอบอีกครั้งหนึ่งพบว่า อัตราส่วนความยาวของลำน้ำรวมต่อพื้นที่รับน้ำ ร้อยละของดินทราย ร้อยละของดินตะกอน ร้อยละของดินเหนียว ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบพื้นที่อยู่อาศัย ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบพื้นที่อื่นๆ และร้อยละระดับความชื้นผิวดินในที่ร่ม ยังไม่ผ่านการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติ จึงตัดตัวแปรดังกล่าวออก คงเหลือตัวแปรอิสระจากการวิเคราะห์การถดถอย 14 ตัว และสร้างตัวแบบการถดถอยได้ ดังตารางที่ 6-1 เมื่อเปรียบเทียบตัวแบบที่ได้จากข้อมูลที่ยังไม่ได้ทำการแปลงกับแปลงข้อมูลด้วยวิธีอย่างง่ายก่อนการสร้างตัวแบบพบว่า สัมประสิทธิ์การทำนายค่าพยากรณ์ (R^2) ของตัวแบบที่ได้ทำการแปลงข้อมูลมีค่าสูงขึ้นทุกตัวแบบ ตัวแบบการถดถอยที่ได้ยังสามารถเพิ่มความเข้าใจถึงกระบวนการทางธรรมชาติในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำปิง โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ดังกล่าวผ่านตัวแปรลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำและดัชนีน้ำท่าจากสมการที่ได้มีความเป็นเหตุและผล สามารถเกิดขึ้นจริงได้ตามธรรมชาติ ซึ่งลักษณะกายภาพที่ปรากฏในตัวแบบพยากรณ์ของดัชนีน้ำท่ามากที่สุดคือขนาดและระดับความสูงของพื้นที่ลุ่มน้ำโดยมีค่า R^2 อยู่ในช่วงระหว่าง 0.48 ถึง 0.93 ดัชนีน้ำท่าที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การทำนายค่าพยากรณ์มากที่สุด คือ ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ เปอร์เซนไทล์ที่ 5 ของน้ำท่า ดัชนีความอ่อนไหวของน้ำท่าต่อน้ำฝนตามฤดูกาล ผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า เปอร์เซนไทล์ที่ 95 ของน้ำท่า (Q_{95}) สัมประสิทธิ์น้ำท่า (RC) ตามลำดับ ส่วนดัชนีการไหลพื้นฐานนั้น ไม่มีตัวแปรอิสระใดมี

ความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ คาดว่าเป็นผลเนื่องมาจากดัชนีการไหลพื้นฐานมีความสัมพันธ์กับดินโดยตรง ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้นำข้อมูลชุดดินมาพิจารณาร่วมด้วย เพราะข้อมูลที่รวบรวมได้ไม่ละเอียดพอต่อการนำมาวิเคราะห์ รวมถึงข้อมูลดินมีลักษณะการแจกแจงแบบไม่ปกติจึงทำการตัดตัวแปรดังกล่าวออกจากการวิเคราะห์ จึงทำให้ไม่สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีการไหลพื้นฐานและตัวแปรอิสระอื่นๆ ได้

6.1.5 ผลการพยากรณ์น้ำท่าและโค้งอัตราการไหลรายวัน

การพยากรณ์น้ำท่ารายวันด้วยแบบจำลอง IHACRES ร่วมกับการจำกัดชุดพารามิเตอร์โดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นให้ผลการพยากรณ์ที่แม่นยำกว่าการใช้ช่วงค่าพยากรณ์ เนื่องจากความไม่แน่นอนในการประมาณค่าแบบค่าเดียวย่อมมีมากกว่าการประมาณค่าโดยเฉลี่ย ทำให้ขอบเขตของช่วงความเชื่อมั่นที่ได้มีลักษณะแคบกว่า จึงเป็นเหตุให้ช่วงความเชื่อมั่นสามารถจำกัดชุดพารามิเตอร์ที่คาดว่าให้ผลการพยากรณ์ของดัชนีน้ำท่าได้แม่นยำมากกว่าการใช้ช่วงค่าพยากรณ์ในการจำกัดชุดพารามิเตอร์ แม้ว่าการจำกัดชุดพารามิเตอร์ด้วยช่วงค่าพยากรณ์จะให้ผลการพยากรณ์ที่แม่นยำน้อยกว่า แต่โดยรวมทั้ง 2 วิธี สามารถพยากรณ์น้ำท่าได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับแบบไม่จำกัดชุดพารามิเตอร์ อีกทั้งยังพบว่าดัชนีน้ำท่าบางตัว ได้แก่ ดัชนีความอ่อนไหวของน้ำท่าต่อน้ำฝนตามฤดูกาล เพอร์เซนไทล์ที่ 50 ของน้ำท่า และเพอร์เซนไทล์ที่ 5 ของน้ำท่า ที่ไม่สามารถช่วยในการจำกัดชุดพารามิเตอร์ได้ แต่โดยรวมถือว่าวิธีการใช้ช่วงความเชื่อมั่นและช่วงค่าพยากรณ์ของดัชนีน้ำท่าต่างๆ ในการจำกัดชุดพารามิเตอร์ที่ได้นำเสนอนั้น ให้ผลการพยากรณ์น้ำท่าได้ดี

จากผลการพยากรณ์พบว่าดัชนีน้ำท่าที่มีความสามารถในการพยากรณ์น้ำท่ารายวันได้ดีที่สุดคือ เพอร์เซนไทล์ที่ 95 ของน้ำท่า มีความสามารถในการพยากรณ์น้ำท่าได้ถึงร้อยละ 62 ของจำนวนสถานีทั้งหมด ตามมาด้วยสัมประสิทธิ์น้ำท่า ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ ผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า โดยคิดเป็นร้อยละ 53 50 และ 44 ตามลำดับ ดัชนีน้ำท่าข้างต้นสามารถพยากรณ์น้ำท่าได้ดีในพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีขนาดปานกลาง โดยมีพื้นที่ส่วนใหญ่ของกลุ่มน้ำประกอบไปด้วยพื้นที่เกษตรกรรม และการใช้เพอร์เซนไทล์ 95 ของน้ำท่าจะพยากรณ์น้ำท่าได้ดีในบริเวณที่เป็นพื้นที่ป่าไม้ มีระดับความสูงไม่เกิน 1,000 เมตร มีความยาวของแม่น้ำสายหลักเฉลี่ย ประมาณ 400 กิโลเมตร รวมถึงมีการกระจายตัวของปริมาณฝนเท่าๆ กันตลอดทั้งปี

จากการใช้ช่วงความเชื่อมั่นของตัวแบบการถดถอยในการจำกัดชุดพารามิเตอร์ได้นำมาพยากรณ์ที่โค้งอัตราการไหลรายวัน พบว่าดัชนีน้ำท่าทั้ง 4 ตัว มีความสามารถในการพยากรณ์โค้งอัตราการไหลรายวันได้ดีใกล้เคียงกัน โดยเพอร์เซนไทล์ที่ 95 ของน้ำท่าสามารถพยากรณ์โค้งอัตราการไหลได้ดีที่สุด ตามมาด้วยสัมประสิทธิ์น้ำท่า ผลต่างระหว่างปริมาณน้ำฝน

และน้ำท่า และปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยคิดเป็นร้อยละ 76 74 71 และ 68 ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์สรุปว่าผลการพยากรณ์โค้งอัตราการไหลรายวันที่ได้จากแบบจำลองมีลักษณะการแจกแจงของข้อมูลน้ำท่าไม่แตกต่างกับข้อมูลสังเกตการณ์ สามารถนำแบบจำลองดังกล่าวไปวางแผนและนำไปใช้ในการตัดสินใจการจัดการน้ำ การออกแบบการเปิดปิดประตูระบายน้ำ เพื่อป้องกันการเกิดน้ำท่วมหรือน้ำแล้งได้อีกด้วย โดยดัชนีน้ำท่าทั้ง 4 ตัวสามารถพยากรณ์โค้งอัตราการไหลรายวันได้ดีสำหรับพื้นที่ขนาดเล็กถึงปานกลาง โดยมีพื้นที่ส่วนใหญ่ของกลุ่มน้ำประกอบไปด้วยพื้นที่เกษตรกรรม มีระดับความสูงไม่เกิน 1,000 เมตร มีความยาวของแม่น้ำสายหลักต่ำกว่า 500 เมตร และมีความชันของพื้นที่ระดับต่ำ

จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาเพื่อทดสอบหาดชนีน้ำท่าที่มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์น้ำท่าได้ดีสำหรับในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน และศึกษาความสัมพันธ์ของการเกิดน้ำท่าผ่านตัวแบบความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีน้ำท่าและลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำนั้นว่าตัวแปรใดมีความสัมพันธ์กับการเกิดน้ำท่ามากที่สุด ผลการวิจัยสรุปว่าดัชนีน้ำท่าที่มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์มากที่สุดได้แก่ เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ของน้ำท่าสัมพันธ์น้ำท่า ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ และผลต่างของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า ตามลำดับ และตัวแปรทางอุทกวิทยาที่มีอิทธิพลต่อการเกิดน้ำท่ามากที่สุดได้แก่ ขนาดพื้นที่ของกลุ่มน้ำ ระดับความสูงของพื้นที่ และปริมาณฝน

จากการพัฒนาแบบจำลอง IHACRES ร่วมกับการใช้ตัวแบบการถดถอยในการพยากรณ์น้ำท่าในบริเวณที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่านั้นสามารถให้ผลพยากรณ์น้ำท่าและโค้งอัตราการไหลรายวันได้ดีเฉพาะในพื้นที่ที่มีขนาดเล็ก มีระดับความสูงและความชันของพื้นที่ในระดับต่ำ การนำตัวแบบการถดถอยที่ได้ไปใช้ในพื้นที่อื่นๆ ที่มีลักษณะของพื้นที่ที่แตกต่างออกไปจากผลสรุปงานวิจัยนี้ดังตารางที่ 5-13 และ 5-14 อาจทำให้ได้ผลการพยากรณ์ที่ไม่ดีเท่าที่ควรในการศึกษาต่อไปควรหาลุ่มน้ำที่มีขนาดใหญ่เพิ่มเติมให้มากขึ้น เพื่อที่จะสร้างตัวแบบการถดถอยของดัชนีน้ำท่าที่ใช้ในการพยากรณ์น้ำท่าสำหรับลุ่มน้ำขนาดใหญ่หรือลักษณะกายภาพที่นอกเหนือจากข้อสรุปของงานวิจัยนี้ เพื่อเพิ่มความสามารถของตัวแบบการถดถอยของดัชนีน้ำท่าต่างๆ ที่ได้จากงานวิจัยนี้ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

6.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะที่ได้จากงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

1) เนื่องจากการพยากรณ์น้ำท่าให้ได้ถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงนั้น จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลน้ำฝนเป็นตัวแทนพื้นที่ที่มีความสำคัญ ในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำปิง ตอนบนยังมีสถานีวัดน้ำฝนเป็นจำนวนน้อยและไม่กระจายทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำ และในงานวิจัยนี้ยังได้ข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝนน้อย จึงเป็นสาเหตุให้ผลการพยากรณ์น้ำท่าได้ไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้นจึงเสนอแนะให้เพิ่มจำนวนสถานีวัดน้ำฝนรวมถึงสถานีวัดน้ำท่าให้มากขึ้นในการศึกษาครั้งต่อไป เพื่อลดความไม่แน่นอนของการใช้ตัวแบบการถดถอยในการพยากรณ์ให้มีความแม่นยำมากขึ้น

2) ค้นคว้าดัชนีน้ำท่าที่สามารถสะท้อนถึงพฤติกรรมของการเกิดน้ำท่าได้ดี รวมถึงลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำที่อาจมีผลต่อดัชนีน้ำท่าเพิ่มเติม

3) จากความสัมพันธ์ของกระบวนการเกิดน้ำฝน-น้ำท่า นั้นมีรูปแบบที่ซับซ้อนแบบจำลองเชิงเส้นอาจไม่สามารถจับรูปแบบการเกิดปริมาณน้ำท่าได้ทั้งหมด อาจใช้แบบจำลองแบบไม่เชิงเส้นมาประยุกต์ใช้ในการหาความสัมพันธ์และพยากรณ์น้ำท่าในบริเวณที่ไม่มีสถานีวัดเช่น แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม เป็นต้น

4) จากงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่าแบบจำลองไม่สามารถจับรูปแบบการไหลของน้ำท่าบริเวณต่ำได้ดีนัก อาจมีสาเหตุมาจากปริมาณน้ำท่าในระดับต่ำนั้นมีความสัมพันธ์กับดินโดยตรง ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ข้อมูลชุดดินไม่ได้นำมาพิจารณาร่วมด้วยเพราะในการเก็บข้อมูลที่ได้ไม่ละเอียดพอต่อการนำมาวิเคราะห์ ควรเพิ่มข้อมูลชุดดินเข้ามาเป็นตัวแปรในการหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีน้ำท่าเพื่อปรับปรุงการพยากรณ์ให้ดีขึ้นได้

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

โอฬาร เวศอุไร (2548). ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำน่านตอนบนโดยใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา SWAT. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภรณ์ยู มะลิพรม (2557). การประเมินปริมาณน้ำท่าของกลุ่มน้ำปิงตอนบนจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินด้วยแบบจำลอง SWAT. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุพรรณษา บำรุงพงศ์ (2550). ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางด้านกายภาพของกลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำปิงตอนบน. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภาษาอังกฤษ

Abdulla, F. A. and D. P. Lettenmaier (1997). "Development of regional parameter estimation equations for a macroscale hydrologic model." Journal of Hydrology 197(1): 230-257.

Almeida, S., N. Bulygina, N. McIntyre, T. Wagener and W. Buytaert (2012). "Predicting flow in ungauged catchments using correlated information sources." 01-07.

Almeida, S., N. Bulygina, N. McIntyre, T. Wagener and W. Buytaert (2012). Predicting flows in ungauged catchments using correlated information sources. British Hydrological Society's Eleventh National Hydrology Symposium, Hydrology for a Changing World, Dundee, UK.

Bao, Z., J. Zhang, J. Liu, G. Fu, G. Wang, R. He, X. Yan, J. Jin and H. Liu (2012). "Comparison of regionalization approaches based on regression and similarity for predictions in ungauged catchments under multiple hydro-climatic conditions." Journal of Hydrology 466-467: 37-46.

Bardossy, A. (2007). "Regional parameter estimation from catchment properties prediction in ungauged basins."

- Beheshti, Z., M. Firouzi, S. M. Shamsuddin, M. Zibarzani and Z. Yusop (2016). "A new rainfall forecasting model using the CAPSO algorithm and an artificial neural network." Neural Computing and Applications 27(8): 2551-2565.
- Bonaccorso, B., A. Cancelliere and G. Rossi (2015). "Probabilistic forecasting of drought class transitions in Sicily (Italy) using standardized precipitation index and North Atlantic oscillation index." Journal of Hydrology 526: 136-150.
- Bulygina, N., N. McIntyre and H. Wheater (2009). "Conditioning rainfall-runoff model parameters for ungauged catchments and land management impacts analysis." Hydrology and Earth System Sciences 13(6): 893-904.
- Buttle, J. and M. Eimers (2009). "Scaling and physiographic controls on streamflow behaviour on the Precambrian Shield, south-central Ontario." Journal of Hydrology 374(3): 360-372.
- Cervelló-Royo, R., F. Guijarro and K. Michniuk (2015). "Stock market trading rule based on pattern recognition and technical analysis: Forecasting the DJIA index with intraday data." Expert Systems with Applications 42(14): 5963-5975.
- Chinnayakanahalli, K., D. G. Tarboton and C. Hawkins (2005). Predicting Hydrologic Flow Regime for Biological Assessment at Ungauged Basins in the Western United States. AGU Fall Meeting Abstracts.
- Davis, R. O., E. Z. Drobnis and J. W. Overstreet (1995). "Application of multivariate cluster, discriminate function, and stepwise regression analyses to variable selection and predictive modeling of sperm cryosurvival." Fertility and sterility 63(5): 1051-1057.
- Draper, N. R., H. Smith and E. Pownell (1966). Applied regression analysis, Wiley New York.
- Feng, L. and J. Zhang (2014). "Application of artificial neural networks in tendency forecasting of economic growth." Economic Modelling 40: 76-80.
- Gujarati, D. N. (2009). Basic econometrics, Tata McGraw-Hill Education.
- Hadavandi, E., H. Shavandi and A. Ghanbari (2010). "Integration of genetic fuzzy systems and artificial neural networks for stock price forecasting." Knowledge-Based Systems 23(8): 800-808.

- Kadri, F., F. Harrou, S. Chaabane and C. Tahon (2014). "Time series modelling and forecasting of emergency department overcrowding." Journal of medical systems 38(9): 107.
- Kavousian, A., R. Rajagopal and M. Fischer (2013). "Determinants of residential electricity consumption: Using smart meter data to examine the effect of climate, building characteristics, appliance stock, and occupants' behavior." Energy 55: 184-194.
- Kesici, S. (2015). "Psychological needs as predictors of human values in high school students." Anthropologist 19(2): 499-506.
- Kult, J. M., L. M. Fry, A. D. Gronewold and W. Choi (2014). "Regionalization of hydrologic response in the Great Lakes basin: Considerations of temporal scales of analysis." Journal of Hydrology 519: 2224-2237.
- Lima, C. H. and U. Lall (2010). "Spatial scaling in a changing climate: A hierarchical bayesian model for non-stationary multi-site annual maximum and monthly streamflow." Journal of Hydrology 383(3): 307-318.
- Mantilla, E. F., K. Bergsten and A. Birgegård (2014). "Self-image and eating disorder symptoms in normal and clinical adolescents." Eating behaviors 15(1): 125-131.
- Mazvimavi, D., A. Meijerink, H. Savenije and A. Stein (2005). "Prediction of flow characteristics using multiple regression and neural networks: a case study in Zimbabwe." Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C 30(11): 639-647.
- Mekanik, F., M. Imteaz, S. Gato-Trinidad and A. Elmahdi (2013). "Multiple regression and Artificial Neural Network for long-term rainfall forecasting using large scale climate modes." Journal of Hydrology 503: 11-21.
- Mishra, A., V. Desai and V. Singh (2007). "Drought forecasting using a hybrid stochastic and neural network model." Journal of Hydrologic Engineering 12(6): 626-638.
- Montgomery, D. C., E. A. Peck and G. G. Vining (2012). Introduction to linear regression analysis, John Wiley & Sons.
- Morin, E., K. P. Georgakakos, U. Shamir, R. Garti and Y. Enzel (2002). "Objective, observations-based, automatic estimation of the catchment response timescale." Water Resources Research 38(10).
- Mudali, D., J. B. Roerdink, L. K. Teune, K. L. Leenders and R. J. Renken (2016). Comparison of decision tree and stepwise regression methods in classification

- of FDG-PET brain data using SSM/PCA features. Advanced Computational Intelligence (ICACI), 2016 Eighth International Conference on, IEEE.
- Olden, J. D. and N. L. Poff (2003). "Redundancy and the choice of hydrologic indices for characterizing streamflow regimes." River Research and Applications 19(2): 101-121.
- Oudin, L., V. Andréassian, C. Perrin, C. Michel and N. Le Moine (2008). "Spatial proximity, physical similarity, regression and ungauged catchments: A comparison of regionalization approaches based on 913 French catchments." Water Resources Research 44(3).
- Quraishi, S. A., E. A. Bittner, L. Blum, C. M. McCarthy, I. Bhan and C. A. Camargo Jr (2014). "Prospective study of vitamin D status at initiation of care in critically ill surgical patients and risk of 90-day mortality." Critical care medicine 42(6): 1365.
- Savenije, H. H. (2016). "Comparing the Normalized Difference Infrared Index (NDII) with root zone storage in a lumped conceptual model." Hydrology and Earth System Sciences 20(8): 3361.
- Sawicz, K., T. Wagener, M. Sivapalan, P. A. Troch and G. Carrillo (2011). "Catchment classification: empirical analysis of hydrologic similarity based on catchment function in the eastern USA." Hydrology and Earth System Sciences 15(9): 2895-2911.
- Schilling, K. E. and C. F. Walter (2005). "ESTIMATION OF STREAMFLOW, BASE FLOW, AND NITRATE NITROGEN LOADS IN IOWA USING MULTIPLE LINEAR REGRESSION MODELS1." JAWRA Journal of the American Water Resources Association 41(6): 1333-1346.
- Shamir, E., B. Imam, H. V. Gupta and S. Sorooshian (2005). "Application of temporal streamflow descriptors in hydrologic model parameter estimation." Water Resources Research 41(6): n/a-n/a.
- Sivapalan, M., K. Takeuchi, S. Franks, V. Gupta, H. Karambiri, V. Lakshmi, X. Liang, J. McDonnell, E. Mendiondo and P. O'connell (2003). "IAHS Decade on Predictions in Ungauged Basins (PUB), 2003–2012: Shaping an exciting future for the hydrological sciences." Hydrological sciences journal 48(6): 857-880.

- Sterling, M., G. Jull, B. Vicenzino, J. Kenardy and R. Darnell (2005). "Physical and psychological factors predict outcome following whiplash injury." Pain 114(1): 141-148.
- Stevens, J. P. (2012). Applied multivariate statistics for the social sciences, Routledge.
- Tabachnick, B. G. and L. S. Fidell (2007). Using multivariate statistics, Allyn & Bacon/Pearson Education.
- Taesombat, W. and N. Sriwongsitanon (2009). "Areal rainfall estimation using spatial interpolation techniques." Science Asia 35(3): 268-275.
- Tekleab, S., S. Uhlenbrook, Y. Mohamed, H. Savenije, M. Temesgen and J. Wenninger (2011). "Water balance modeling of Upper Blue Nile catchments using a top-down approach." Hydrology and Earth System Sciences 15(7): 2179.
- Visessri, S. (2014). "Flow prediction in data scarce catchments: a case study of Northern Thailand."
- Vogel, R. M. (2005). "Regional calibration of watershed models." Singh, V. and Frevert, D., CRC Press, Boca Raton, FL: 47-71.
- Wagener, T., H. Wheater and H. V. Gupta (2004). Rainfall-runoff modelling in gauged and ungauged catchments, World Scientific.
- Wan, M., L. Fang, M. Yu, W. Cheng and P. Wang (2013). Predicting the Survival Status of Cancer Patients with Traditional Chinese Medicine Symptom Variation Using Logistic Regression Model. International Conference on Advanced Data Mining and Applications, Springer.
- Weeks, W. and N. Ashkanasy (1983). Regional parameters for the Sacramento model: a case study. Hydrology and Water Resources Symposium 1983: Preprints of Papers, Institution of Engineers, Australia.
- Westerberg, I. and H. McMillan (2015). "Uncertainty in hydrological signatures." Hydrology and Earth System Sciences 19(9): 3951-3968.
- Yadav, M., T. Wagener and H. Gupta (2007). "Regionalization of constraints on expected watershed response behavior for improved predictions in ungauged basins." Advances in Water Resources 30(8): 1756-1774.
- Young, A. R. (2006). "Stream flow simulation within UK ungauged catchments using a daily rainfall-runoff model." Journal of Hydrology 320(1): 155-172.

- Yucel, I., A. Onen, K. Yilmaz and D. Gochis (2015). "Calibration and evaluation of a flood forecasting system: Utility of numerical weather prediction model, data assimilation and satellite-based rainfall." Journal of Hydrology 523: 49-66.
- Zhang, Y., L. Ahiablame, B. Engel and J. Liu (2013). "Regression modeling of baseflow and baseflow index for Michigan USA." Water 5(4): 1797-1815.
- Zhang, Y. and F. H. Chiew (2009). "Relative merits of different methods for runoff predictions in ungauged catchments." Water Resources Research 45(7).
- Zhang, Z., T. Wagener, P. Reed and R. Bhushan (2008). "Reducing uncertainty in predictions in ungauged basins by combining hydrologic indices regionalization and multiobjective optimization." Water Resources Research 44(12).
- Zhao, Q., S. Liu, L. Deng, S. Dong, C. Wang and J. Yang (2012). "Assessing the damming effects on runoff using a multiple linear regression model: A case study of the Manwan Dam on the Lancang River." Procedia Environmental Sciences 13: 1771-1780.
- Zhu, Y. and R. L. Day (2009). "Regression modeling of streamflow, baseflow, and runoff using geographic information systems." Journal of Environmental Management 90(2): 946-953.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก

ผลการสร้างตัวแบบดัชนีน้ำท่าด้วยวิธีการคัดเลือกตัวแปรแบบขั้นตอน

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Area		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).

a. Dependent Variable: RC

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	.701 ^a	.491	.475	.08175	.491	30.886	1	32	.000	1.609

a. Predictors: (Constant), Area

b. Dependent Variable: RC

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.206	1	.206	30.886	.000 ^b
	Residual	.214	32	.007		
	Total	.420	33			

a. Dependent Variable: RC

b. Predictors: (Constant), Area

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics		
		B	Std. Error	Beta				Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF	
1	(Constant)	.294	.014			20.980	.000						
	Area	-.078	.014	-.701		-5.558	.000	-.701	-.701	-.701	1.000	1.000	

a. Dependent Variable: RC

Excluded Variables^a

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics		
						Tolerance	VIF	Minimum Tolerance
1	Elev	.259 ^b	1.643	.110	.283	.609	1.642	.609
	Slope	.078 ^b	.575	.570	.103	.872	1.146	.872
	ChL	.536 ^b	.879	.386	.156	.043	23.194	.043
	Soil62	.004 ^b	.025	.980	.005	.657	1.523	.657
	A	-.021 ^b	-.162	.872	-.029	.993	1.007	.993
	F	.031 ^b	.236	.815	.042	.961	1.040	.961
	W	.010 ^b	.079	.938	.014	.999	1.001	.999
	MAR	.010 ^b	.079	.938	.014	.999	1.001	.999
	MWR	.013 ^b	.100	.921	.018	.998	1.002	.998
	MDR	-.024 ^b	-.184	.855	-.033	.972	1.029	.972
	PSI	.011 ^b	.082	.935	.015	.991	1.009	.991
	Pcov	-.055 ^b	-.431	.670	-.077	.989	1.011	.989
	PSD	.063 ^b	.484	.632	.087	.959	1.042	.959

a. Dependent Variable: RC

b. Predictors in the Model: (Constant), Area

Collinearity Diagnostics^a

Model		Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions	
				(Constant)	Area
1	"1	1.000	1.000	1.00	0.00
	"2	1.000	1.000	0.00	1.00

a. Dependent Variable: RC

รูปที่ ก ตัวแบบสัมประสิทธิ์น้ำท่า (RC)

Variables Entered/Removed ^a			
Model	Entered	Removed	Method
1	PSI		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).
2	Area		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).

a. Dependent Variable: EL_T

Model Summary ^c										
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					Change	F Change	df1	df2	Change	
1	.523 ^a	.274	.251	.52566	.274	12.059	1	32	.001	
2	.759 ^b	.575	.548	.40832	.302	22.035	1	31	.000	1.823

a. Predictors: (Constant), PSI

b. Predictors: (Constant), PSI, Area

c. Dependent Variable: EL_T

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3.332	1	3.332	12.059	.001 ^b
	Residual	8.842	32	.276		
	Total	12.174	33			
2	Regression	7.006	2	3.503	21.010	.000 ^c
	Residual	5.168	31	.167		
	Total	12.174	33			

a. Dependent Variable: EL_T

b. Predictors: (Constant), PSI

c. Predictors: (Constant), PSI, Area

Coefficients ^a													
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics		
		B	Std. Error	Beta				Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF	
1	(Constant)	-4.141	1.666			-2.486	.018						
	PSI	7.593	2.187	.523		3.473	.001	.523	.523	.523	1.000	1.000	
2	(Constant)	-4.722	1.300			-3.633	.001						
	PSI	8.358	1.706	.576		4.898	.000	.523	.661	.573	.991	1.009	
	Area	-.330	.070	-.552		-4.694	.000	-.497	-.645	-.549	.991	1.009	

a. Dependent Variable: EL_T

Excluded Variables ^a										
Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics				
						Tolerance	VIF	Minimum Tolerance		
1	Area	-.552 ^b	-4.694	.000	-.645	.991	1.009	.991		
	Elev	.428 ^b	3.198	.003	.498	.985	1.016	.985		
	Slope	.185 ^b	1.231	.228	.216	.987	1.013	.987		
	Soil62	.317 ^b	2.181	.037	.365	.961	1.041	.961		
	A	.084 ^b	.553	.584	.099	.998	1.002	.998		
	F	.013 ^b	.085	.933	.015	1.000	1.000	1.000		
	W	-.095 ^b	-.601	.552	-.107	.930	1.075	.930		
	MAR	-.095 ^b	-.601	.552	-.107	.930	1.075	.930		
	MWR	-.111 ^b	-.678	.503	-.121	.864	1.158	.864		
	MDR	.159 ^b	.953	.348	.169	.817	1.224	.817		
	Pcov	-.003 ^b	-.020	.984	-.004	.996	1.004	.996		
	PSD	-.143 ^b	-.879	.386	-.156	.866	1.154	.866		
	2	Elev	.121 ^c	.780	.442	.141	.575	1.739	.575	
		Slope	-.024 ^c	-.186	.854	-.034	.850	1.176	.850	
Soil62		-.049 ^c	-.318	.753	-.058	.592	1.690	.592		
A		.129 ^c	1.102	.279	.197	.992	1.008	.985		
F		-.099 ^c	-.829	.414	-.150	.961	1.041	.952		
W		-.061 ^c	-.494	.625	-.090	.927	1.079	.919		
MAR		-.061 ^c	-.494	.625	-.090	.927	1.079	.919		
MWR		-.062 ^c	-.483	.632	-.088	.858	1.166	.851		
MDR		.075 ^c	.570	.573	.104	.801	1.249	.801		
Pcov		-.066 ^c	-.549	.587	-.100	.983	1.017	.978		
PSD	.008 ^c	.064	.950	.012	.810	1.235	.810			

a. Dependent Variable: EL_T

b. Predictors in the Model: (Constant), PSI

c. Predictors in the Model: (Constant), PSI, Area

Collinearity Diagnostics ^a					
Model	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions		
			(Constant)	PSI	Area
1	1.999	1.000	.00	.00	
	.001	36.925	1.00	1.00	
2	1.999	1.000	.00	.00	.00
	1.000	1.414	.00	0.00	.99
	.001	37.094	1.00	1.00	.01

a. Dependent Variable: EL_T

รูปที่ ข ตัวแบบดัชนีความอ่อนไหวของน้ำท่าต่อน้ำฝนตามฤดูกาล

Variables Entered/Removed ^a			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Area		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).
2	Elev		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).

a. Dependent Variable: Q50_T

Model Summary ^c									
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	
1	.706 ^a	.499	.483	.25428	.499	31.811	1	32	.000
2	.776 ^a	.602	.576	.23024	.103	8.030	1	31	.008

a. Predictors: (Constant), Area

b. Predictors: (Constant), Area, Elev

c. Dependent Variable: Q50_T

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2.057	1	2.057	31.811	.000 ^b
	Residual	2.069	32	.065		
	Total	4.126	33			
2	Regression	2.483	2	1.241	23.415	.000 ^c
	Residual	1.643	31	.053		
	Total	4.126	33			

a. Dependent Variable: Q50_T

b. Predictors: (Constant), Area

c. Predictors: (Constant), Area, Elev

Coefficients ^a													
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics		
		B	Std. Error	Beta				Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF	
1	(Constant)	.729	.044			16.713	.000						
	Area	-.246	.044	-.706		-5.640	.000	-.706	-.706	-.706	1.000	1.000	
2	(Constant)	.729	.039			18.460	.000						
	Area	-.156	.051	-.449		-3.089	.004	-.706	-.485	-.350	.609	1.642	
	Elev	.145	.051	.412		2.834	.008	.692	.454	.321	.609	1.642	

a. Dependent Variable: Q50_T

Excluded Variables ^a									
Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics			
						Tolerance	VIF	Minimum Tolerance	Minimum VIF
1	Elev	.412 ^b	2.834	.008	.454	.609	1.642	.609	
	Slope	.107 ^b	.792	.435	.141	.872	1.146	.872	
	CHL	1.130 ^b	1.955	.060	.331	.043	23.194	.043	
	Soil62	.031 ^b	.197	.845	.035	.657	1.523	.657	
	A	.052 ^b	.409	.685	.073	.993	1.007	.993	
	F	-.017 ^b	-.132	.896	-.024	.961	1.040	.961	
	W	-.234 ^b	-1.944	.061	-.330	.999	1.001	.999	
	MAR	-.234 ^b	-1.944	.061	-.330	.999	1.001	.999	
	MWR	-.245 ^b	-2.050	.049	-.346	.998	1.002	.998	
	MDR	.167 ^b	1.328	.194	.232	.972	1.029	.972	
	PSI	.111 ^b	.876	.388	.155	.991	1.009	.991	
	Pcov	-.157 ^b	-1.256	.218	-.220	.989	1.011	.989	
	PSD	-.167 ^b	-1.325	.195	-.232	.959	1.042	.959	
	2	Slope	.049 ^c	.389	.700	.071	.846	1.182	.587
CHL		.618 ^c	1.043	.305	.187	.036	27.413	.032	
Soil62		-.075 ^c	-.510	.613	-.093	.614	1.628	.518	
A		.025 ^c	.213	.833	.039	.986	1.014	.600	
F		-.023 ^c	-.194	.847	-.035	.961	1.041	.596	
W		-.179 ^c	-1.587	.123	-.278	.963	1.038	.587	
MAR		-.179 ^c	-1.587	.123	-.278	.963	1.038	.587	
MWR		-.176 ^c	-1.534	.135	-.270	.937	1.068	.571	
MDR		.124 ^c	1.075	.291	.193	.954	1.048	.598	
PSI		.037 ^c	.307	.761	.056	.936	1.069	.575	
Pcov		-.129 ^c	-1.133	.266	-.203	.981	1.019	.598	
PSD		-.098 ^c	-.817	.420	-.148	.910	1.099	.577	

a. Dependent Variable: Q50_T

b. Predictors in the Model: (Constant), Area

c. Predictors in the Model: (Constant), Area, Elev

Collinearity Diagnostics ^a						
Model		Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions		
				(Constant)	Area	Elev
1	1	1.000	1.000	1.00	0.00	
	2	1.000	1.000	0.00	1.00	
2	1	1.625	1.000	.00	.19	.19
	2	1.000	1.275	1.00	.00	0.00
	3	.375	2.083	.00	.81	.81

a. Dependent Variable: Q50_T

รูปที่ ค ตัวแบบเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ของน้ำท่า (Q95)

Variables Entered/Removed ^a			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Area		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).
2	Elev		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).

a. Dependent Variable: Q50_T

Model Summary ^c										
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	.706 ^a	.499	.483	25428	.499	31.811	1	32	.000	
2	.776 ^b	.602	.576	23024	.103	8.030	1	31	.008	1.658

a. Predictors: (Constant), Area

b. Predictors: (Constant), Area, Elev

c. Dependent Variable: Q50_T

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2.057	1	2.057	31.811	.000 ^b
	Residual	2.069	32	.065		
	Total	4.126	33			
2	Regression	2.483	2	1.241	23.415	.000 ^c
	Residual	1.643	31	.053		
	Total	4.126	33			

a. Dependent Variable: Q50_T

b. Predictors: (Constant), Area

c. Predictors: (Constant), Area, Elev

Coefficients ^a											
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	.729	.044		16.713	.000					
	Area	-.246	.044	-.706	-5.640	.000	-.706	-.706	-.706	1.000	1.000
2	(Constant)	.729	.039		18.460	.000					
	Area	-.156	.051	-.449	-3.089	.004	-.706	-.485	-.350	.609	1.642
	Elev	.145	.051	.412	2.834	.008	.692	.454	.321	.609	1.642

a. Dependent Variable: Q50_T

Excluded Variables ^a										
Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics				
						Tolerance	VIF	Minimum Tolerance		
1	Elev	.412 ^b	2.834	.008	.454	.609	1.642	.609		
	Slope	.107 ^b	.792	.435	.141	.872	1.146	.872		
	ChL	1.130 ^b	1.955	.060	.331	.043	23.194	.043		
	Soil62	.031 ^b	.197	.845	.035	.657	1.523	.657		
	A	.052 ^b	.409	.685	.073	.993	1.007	.993		
	F	-.017 ^b	-.132	.896	-.024	.961	1.040	.961		
	W	-.234 ^b	-1.944	.061	-.330	.999	1.001	.999		
	MAR	-.234 ^b	-1.944	.061	-.330	.999	1.001	.999		
	MWR	-.245 ^b	-2.050	.049	-.346	.998	1.002	.998		
	MDR	.167 ^b	1.328	.194	.232	.972	1.029	.972		
	PSI	.111 ^b	.876	.388	.155	.991	1.009	.991		
	Pcov	-.157 ^b	-1.256	.218	-.220	.989	1.011	.989		
	PSD	-.167 ^b	-1.325	.195	-.232	.959	1.042	.959		
	2	Slope	.049 ^c	.389	.700	.071	.846	1.182	.587	
ChL		.618 ^c	1.043	.305	.187	.036	27.413	.032		
Soil62		-.075 ^c	-.510	.613	-.093	.614	1.628	.518		
A		.025 ^c	.213	.833	.039	.986	1.014	.600		
F		-.023 ^c	-.194	.847	-.035	.961	1.041	.596		
W		-.179 ^c	-1.587	.123	-.278	.963	1.038	.587		
MAR		-.179 ^c	-1.587	.123	-.278	.963	1.038	.587		
MWR		-.176 ^c	-1.534	.135	-.270	.937	1.068	.571		
MDR		.124 ^c	1.075	.291	.193	.954	1.048	.598		
PSI		.037 ^c	.307	.761	.056	.936	1.069	.575		
Pcov		-.129 ^c	-1.133	.266	-.203	.981	1.019	.598		
PSD		-.098 ^c	-.817	.420	-.148	.910	1.099	.577		

a. Dependent Variable: Q50_T

b. Predictors in the Model: (Constant), Area

c. Predictors in the Model: (Constant), Area, Elev

Collinearity Diagnostics ^a						
Model		Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions		
				(Constant)	Area	Elev
1	1	1.000	1.000	1.00	0.00	
	2	1.000	1.000	0.00	1.00	
2	1	1.625	1.000	.00	.19	.19
	2	1.000	1.275	1.00	.00	0.00
	3	.375	2.083	.00	.81	.81

a. Dependent Variable: Q50_T

รูปที่ ๑ ตัวแบบเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 ของน้ำท่า (Q50)

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Area		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).
2	Elev		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).

a. Dependent Variable: Q5_T

Model Summary^c

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				Durbin-Watson	
					R Square Change	F Change	df1	df2		Sig. F Change
1	.869 ^a	.755	.747	.75497	.755	98.536	1	32	.000	
2	.886 ^b	.785	.771	.71897	.030	4.285	1	31	.047	1.716

a. Predictors: (Constant), Area

b. Predictors: (Constant), Area, Elev

c. Dependent Variable: Q5_T

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	56.164	1	56.164	98.536	.000 ^b
	Residual	18.240	32	.570		
	Total	74.404	33			
2	Regression	58.379	2	29.190	56.468	.000 ^c
	Residual	16.024	31	.517		
	Total	74.404	33			

a. Dependent Variable: Q5_T

b. Predictors: (Constant), Area

c. Predictors: (Constant), Area, Elev

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics		
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF	
1	(Constant)	-2.959	.129		-22.850	.000						
	Area	-1.286	.130	-.869	-9.927	.000	-.869	-.869	-.869	1.000	1.000	
2	(Constant)	-2.958	.123		-23.993	.000						
	Area	-1.081	.158	-.731	-6.840	.000	-.869	-.776	-.570	.609	1.642	
	Elev	.332	.160	.221	2.070	.047	.678	.348	.173	.609	1.642	

a. Dependent Variable: Q5_T

Excluded Variables^a

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics		
						Tolerance	VIF	Minimum Tolerance
1	Elev	.221 ^b	2.070	.047	.348	.609	1.642	.609
	Slope	.024 ^b	.256	.799	.046	.872	1.146	.872
	Soil62	.004 ^b	.038	.970	.007	.657	1.523	.657
	A	.026 ^b	.296	.769	.053	.993	1.007	.993
	F	-.016 ^b	-.174	.863	-.031	.961	1.040	.961
	W	-.122 ^b	-1.413	.168	-.246	.999	1.001	.999
	MAR	-.122 ^b	-1.413	.168	-.246	.999	1.001	.999
	MWR	-.133 ^b	-1.554	.130	-.269	.998	1.002	.998
	MDR	.064 ^b	.711	.482	.127	.972	1.029	.972
	PSI	.094 ^b	1.074	.291	.189	.991	1.009	.991
	Pcov	-.060 ^b	-.681	.501	-.121	.989	1.011	.989
	PSD	-.100 ^b	-1.129	.268	-.199	.959	1.042	.959
	2	Slope	-.008 ^b	-.085	.933	-.016	.846	1.182
Soil62		-.053 ^b	-.496	.624	-.090	.614	1.628	.518
A		.012 ^b	.137	.892	.025	.986	1.014	.600
F		-.019 ^b	-.218	.829	-.040	.961	1.041	.596
W		-.092 ^b	-1.092	.284	-.195	.963	1.038	.587
MAR		-.092 ^b	-1.092	.284	-.195	.963	1.038	.587
MWR		-.096 ^b	-1.122	.271	-.201	.937	1.068	.571
MDR		.040 ^b	.468	.643	.085	.954	1.048	.598
PSI		.056 ^b	.649	.521	.118	.936	1.069	.575
Pcov	-.045 ^b	-.533	.598	-.097	.981	1.019	.598	
PSD	-.064 ^b	-.722	.476	-.131	.910	1.099	.577	

a. Dependent Variable: Q5_T

b. Predictors in the Model: (Constant), Area

c. Predictors in the Model: (Constant), Area, Elev

Collinearity Diagnostics^a

Model		Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions		
				(Constant)	Area	Elev
1	1	1.000	1.000	1.00	0.00	
	2	1.000	1.000	0.00	1.00	
2	1	1.625	1.000	.00	.19	.19
	2	1.000	1.275	1.00	.00	0.00
	3	.375	2.083	.00	.81	.81

a. Dependent Variable: Q5_T

รูปที่ จ ตัวแบบเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ของน้ำท่า (Q5)

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Area		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).
2	MWR		
3	Elev		

a. Dependent Variable: DIFF

Model Summary^d

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	.543 ^a	.294	.272	270.15495	.294	13.351	1	32	.001	
2	.735 ^b	.541	.511	221.39451	.247	16.648	1	31	.000	
3	.793 ^c	.629	.592	202.32774	.088	7.118	1	30	.012	1.448

a. Predictors: (Constant), Area

b. Predictors: (Constant), Area, MWR

c. Predictors: (Constant), Area, MWR, Elev

d. Dependent Variable: DIFF

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	974424.846	1	974424.846	13.351	.001 ^b
	Residual	2335478.351	32	72983.698		
	Total	3309903.198	33			
2	Regression	1790421.811	2	895210.905	18.264	.000 ^c
	Residual	1519481.387	31	49015.529		
	Total	3309903.198	33			
3	Regression	2081807.787	3	693935.929	16.952	.000 ^d
	Residual	1228095.411	30	40936.514		
	Total	3309903.198	33			

a. Dependent Variable: DIFF

b. Predictors: (Constant), Area

c. Predictors: (Constant), Area, MWR

d. Predictors: (Constant), Area, MWR, Elev

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	643.353	46.331		13.886	.000					
	Area	169.356	46.349	.543	3.654	.001	.543	.543	.543	1.000	1.000
2	(Constant)	643.399	37.969		16.945	.000					
	Area	175.883	38.017	.563	4.626	.000	.543	.639	.563	.998	1.002
	MWR	-155.061	38.004	-.497	-4.080	.000	-.473	-.591	-.497	.998	1.002
3	(Constant)	643.333	34.699		18.540	.000					
	Area	100.277	44.835	.321	2.237	.033	.543	.378	.249	.599	1.668
	MWR	-178.827	35.855	-.573	-4.988	.000	-.473	-.673	-.555	.937	1.068
	Elev	-124.268	46.578	-.393	-2.668	.012	-.467	-.438	-.297	.571	1.750

a. Dependent Variable: DIFF

Excluded Variables^a

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics		
						Tolerance	VIF	Minimum Tolerance
1	Elev	-.210 ^b	-1.109	.276	-.195	.609	1.642	.609
	Slope	-.086 ^b	-.533	.598	-.095	.872	1.146	.872
	ChL	-.967 ^b	-1.370	.180	-.239	.043	23.194	.043
	Soil62	-.110 ^b	-.595	.556	-.106	.657	1.523	.657
	A	-.006 ^b	-.043	.966	-.008	.993	1.007	.993
	F	.013 ^b	.082	.936	.015	.961	1.040	.961
	W	-.487 ^b	-3.956	.000	-.579	.999	1.001	.999
	MAR	-.487 ^b	-3.956	.000	-.579	.999	1.001	.999
	MWR	-.497 ^b	-4.080	.000	-.591	.998	1.002	.998
	MDR	.413 ^b	3.085	.004	.485	.972	1.029	.972
	PSI	.115 ^b	.768	.448	.137	.991	1.009	.991
	Pcov	-.298 ^b	-2.097	.044	-.352	.989	1.011	.989
	PSD	-.353 ^b	-2.511	.017	-.411	.959	1.042	.959

Excluded Variables ^a								
Model	Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics			
					Tolerance	VIF	Minimum Tolerance	
2	Elev	-.393 ^c	-2.668	.012	-.438	.571	1.750	.571
	Slope	-.151 ^c	-1.160	.255	-.207	.860	1.163	.860
	ChL	-.843 ^c	-1.462	.154	-.258	.043	23.259	.043
	Soil62	-.166 ^c	-1.103	.279	-.197	.652	1.535	.652
	A	-.021 ^c	-.165	.870	-.030	.992	1.008	.991
	F	.004 ^c	.029	.977	.005	.961	1.041	.960
	W	.134 ^c	.175	.863	.032	.026	38.498	.026
	MAR	.134 ^c	.175	.863	.032	.026	38.498	.026
	MDR	.149 ^c	.919	.365	.166	.564	1.773	.564
	PSI	-.084 ^c	-.629	.534	-.114	.851	1.175	.851
	Pcov	.018 ^c	.116	.908	.021	.610	1.639	.610
	PSD	-.028 ^c	-.165	.870	-.030	.535	1.868	.535
3	Slope	-.106 ^d	-.870	.391	-.160	.841	1.189	.559
	ChL	-.295 ^d	-.493	.626	-.091	.035	28.215	.031
	Soil62	-.082 ^d	-.571	.572	-.105	.614	1.629	.510
	A	.004 ^d	.032	.975	.006	.986	1.014	.568
	F	.008 ^d	.067	.947	.012	.961	1.041	.571
	W	.902 ^d	1.232	.228	.223	.023	44.057	.022
	MAR	.902 ^d	1.232	.228	.223	.023	44.057	.022
	MDR	.136 ^d	.919	.366	.168	.564	1.775	.553
	PSI	-.034 ^d	-.270	.789	-.050	.830	1.205	.557
	Pcov	.051 ^d	.353	.727	.065	.606	1.651	.567
	PSD	-.064 ^d	-.411	.684	-.076	.531	1.882	.531

a. Dependent Variable: DIFF

b. Predictors in the Model: (Constant), Area

c. Predictors in the Model: (Constant), Area, MWR

d. Predictors in the Model: (Constant), Area, MWR, Elev

Collinearity Diagnostics ^a							
Model	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions				
			(Constant)	Area	MWR	Elev	
1	1.000	1.000	1.00	0.00			
	1.000	1.000	0.00	1.00			
2	1.042	1.000	.00	.48	.48		
	1.000	1.021	1.00	.00	0.00		
	.958	1.043	.00	.52	.52		
3	1.677	1.000	.00	.16	.04	.17	
	1.000	1.295	1.00	.00	.00	.00	
	.974	1.312	.00	.07	.85	.00	
	.349	2.191	.00	.78	.10	.83	

a. Dependent Variable: DIFF

รูปที่ ๑ ตัวแบบผลต่างของปริมาณน้ำฝนน้ำท่า (DIFF)

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	ChL		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).
2	Elev		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).

a. Dependent Variable: ASR_T

Model Summary^c

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				Durbin-Watson	
					R Square Change	F Change	df1	df2		Sig. F Change
1	.946 ^a	.894	.891	.75275	.894	270.058	1	32	.000	
2	.965 ^b	.931	.927	.61633	.037	16.734	1	31	.000	1.786

a. Predictors: (Constant), ChL

b. Predictors: (Constant), ChL, Elev

c. Dependent Variable: ASR_T

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	153.025	1	153.025	270.058	.000 ^a
	Residual	18.132	32	.567		
	Total	171.157	33			
2	Regression	159.381	2	79.691	209.787	.000 ^b
	Residual	11.776	31	.380		
	Total	171.157	33			

a. Dependent Variable: ASR_T

b. Predictors: (Constant), ChL

c. Predictors: (Constant), ChL, Elev

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		Correlations			Collinearity Statistics		
		B	Std. Error	Beta	t	Sig.	Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	-.119	.129		-.925	.362					
	ChL	-2.122	.129	-.946	-16.433	.000	-.946	-.946	-.946	1.000	1.000
2	(Constant)	-.119	.106		-1.127	.268					
	ChL	-1.838	.126	-.819	-14.545	.000	-.946	-.934	-.685	.700	1.429
	Elev	.525	.128	.230	4.091	.000	.679	.592	.193	.700	1.429

a. Dependent Variable: ASR_T

Excluded Variables^a

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics			
						Tolerance	VIF	Minimum Tolerance	
1	Elev	.230 ^a	4.091	.000	.592	.700	1.429	.700	
	Slope	.041 ^a	.657	.516	.117	.882	1.133	.882	
	Soil62	.021 ^a	.295	.770	.053	.663	1.509	.663	
	A	.026 ^a	.448	.657	.080	.991	1.009	.991	
	F	-.007 ^a	-.116	.909	-.021	.959	1.042	.959	
	W	-.050 ^a	-.872	.390	-.155	.998	1.002	.998	
	MAR	-.050 ^a	-.872	.390	-.155	.998	1.002	.998	
	MWR	-.057 ^a	-.981	.334	-.174	.997	1.003	.997	
	MDR	.075 ^b	1.308	.200	.229	.979	1.021	.979	
	PSI	-.003 ^a	-.052	.959	-.009	.995	1.005	.995	
	Pcov	-.042 ^b	-.728	.472	-.130	.988	1.012	.988	
	PSD	-.037 ^b	-.624	.537	-.111	.952	1.050	.952	
	2	Slope	-.002 ^a	-.031	.975	-.006	.845	1.183	.670
		Soil62	-.057 ^a	-.932	.359	-.168	.601	1.665	.582
A		.011 ^a	.222	.826	.040	.984	1.016	.689	
F		-.013 ^a	-.268	.790	-.049	.958	1.043	.683	
W		-.018 ^a	-.368	.716	-.067	.969	1.032	.679	
MAR		-.018 ^a	-.368	.716	-.067	.969	1.032	.679	
MWR		-.013 ^a	-.264	.793	-.048	.945	1.058	.663	
MDR		.046 ^a	.947	.351	.170	.955	1.047	.682	
PSI		-.042 ^a	-.867	.393	-.156	.958	1.044	.674	
Pcov		-.028 ^a	-.581	.565	-.106	.982	1.018	.687	
PSD		.007 ^a	.138	.891	.025	.906	1.104	.665	

a. Dependent Variable: ASR_T

b. Predictors in the Model: (Constant), ChL

c. Predictors in the Model: (Constant), ChL, Elev

Collinearity Diagnostics^a

Model		Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions		
				(Constant)	ChL	Elev
1	1	1.000	1.000	.50	.50	
	2	1.000	1.000	.50	.50	
2	1	1.548	1.000	.00	.23	.23
	2	1.000	1.244	1.00	.00	.00
	3	.452	1.851	.00	.77	.77

a. Dependent Variable: ASR_T

สรุปที่ ข ตัวแบบปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ (ASR)

ตารางที่ ก ข้อมูลลักษณะทางกายภาพและตัวแปรปริมาณน้ำฝนต่างๆ ของแต่ละลุ่มน้ำจำนวน
34 ลุ่มน้ำ

Station code	Area	Elev	Slope	ChL	DD	Soil62	%A	%F	%M	%U	%W	%sand	%silt	%clay	%Air_Dry	MAR	MWR	MDR	PSI	Pcov	PSD
P.1	6350.00	779.07	28.59	2787.77	1.49	75.18	17.83	78.50	0.25	3.11	0.30	37.03	36.02	37.03	3.06	1219.85	1081.73	138.12	0.77	2.01	6.77
P.4A	1930.00	1010.55	34.35	703.81	1.60	89.85	17.21	81.38	0.04	1.21	0.10	4.06	2.84	3.10	0.21	1422.11	1246.91	175.20	0.75	2.62	10.06
P.20	1345.00	784.28	31.75	536.99	1.07	77.29	13.65	85.67	0.00	0.67	0.00	39.50	29.13	31.37	2.48	1125.56	961.83	163.73	0.71	2.23	6.94
P.21	452.00	722.94	22.62	278.02	1.61	79.56	11.12	86.73	0.00	2.15	0.00	42.43	28.14	29.44	2.29	1111.60	974.92	136.68	0.75	2.33	7.03
P.24	616.00	952.43	26.57	355.96	1.55	82.09	13.16	83.76	2.25	0.81	0.02	45.38	27.58	27.04	2.10	848.20	737.22	110.98	0.75	3.24	7.51
P.56A	546.00	713.97	25.61	145.47	1.61	71.89	29.40	66.70	0.30	3.41	0.19	41.39	112.30	122.76	10.20	981.71	862.45	119.26	0.76	2.75	7.39
P.67	5323.00	810.87	30.46	2137.53	1.48	78.67	16.92	80.89	0.27	1.61	0.29	40.11	28.73	31.16	2.49	1136.33	1022.85	113.48	0.80	2.65	8.27
P.73	14814.00	689.39	23.57	5994.39	1.56	63.94	21.22	71.67	2.05	4.65	0.40	44.40	26.96	28.63	2.51	848.20	737.22	110.98	0.75	3.24	7.51
P.75	3080.00	719.95	29.10	1263.82	1.39	74.38	15.83	81.79	0.00	1.56	0.41	41.55	117.47	109.84	9.27	1145.41	1007.05	138.35	0.76	1.96	6.12
P.76	2030.00	1033.53	33.46	717.23	1.47	91.82	11.26	87.79	0.11	0.76	0.05	37.03	36.02	37.03	3.06	1036.64	893.21	143.42	0.73	2.53	7.24
P.77	550.00	628.62	24.08	130.99	1.99	71.72	13.22	82.91	1.77	2.04	0.07	41.75	28.14	30.12	2.49	785.11	671.80	113.31	0.72	3.38	7.26
P.79	136.00	973.75	38.90	42.36	1.56	99.06	0.00	99.38	0.00	0.62	0.00	37.03	36.02	37.03	3.06	1013.27	886.21	127.06	0.75	2.83	7.99
P.80	222.20	1029.85	32.48	156.16	1.75	93.48	6.13	93.10	0.00	0.77	0.00	37.03	36.02	37.03	3.06	798.77	715.99	82.78	0.79	3.10	6.95
P.81	787.00	952.43	26.57	355.96	1.55	82.09	13.16	83.76	2.25	0.81	0.02	37.03	36.02	37.03	3.06	926.96	830.83	96.12	0.79	2.27	5.83
P.82	203.00	1029.85	32.48	99.26	1.53	93.48	6.13	93.10	0.00	0.77	0.00	37.03	36.02	37.03	3.06	1462.89	1314.53	148.36	0.80	2.59	10.55
P.84	113.00	1193.76	33.98	42.36	1.34	94.88	16.03	83.51	0.00	0.46	0.00	37.03	36.02	37.03	3.06	1173.30	1045.38	127.92	0.78	2.63	8.50
P.85	1280.00	753.61	25.31	409.32	1.43	75.79	14.99	79.99	1.27	3.54	0.21	37.03	36.02	37.03	3.06	1036.64	893.21	143.42	0.73	2.53	7.24
P.86	708.30	952.43	26.57	382.64	1.64	82.09	13.16	83.76	2.25	0.81	0.02	37.03	36.02	37.03	3.06	863.66	774.61	89.05	0.79	3.40	8.11
P.87	1078.00	817.83	27.04	409.32	1.49	87.64	8.75	88.32	0.49	2.42	0.01	37.03	36.02	37.03	3.06	930.85	811.96	118.89	0.74	2.48	6.42
60201	47.40	1012.81	33.82	39.10	1.51	94.21	5.15	92.18	0.00	2.67	0.00	39.37	28.37	32.26	2.57	1095.76	921.19	174.57	0.68	2.69	8.07
60301	80.70	830.88	34.56	43.44	1.61	97.42	10.28	89.40	0.00	0.33	0.00	37.03	36.02	37.03	3.06	1070.23	951.35	118.88	0.78	3.12	9.41
60302	43.90	920.33	34.00	12.11	1.99	98.01	12.63	83.54	3.83	0.00	0.00	37.03	36.02	37.03	3.06	981.71	862.45	119.26	0.76	2.75	7.39
60403	19.50	1221.78	37.40	25.72	1.29	99.65	15.01	84.73	0.00	0.25	0.00	2.41	1.66	1.93	0.14	865.65	729.08	136.57	0.69	2.62	6.22
60701	53.10	1102.03	41.04	27.63	1.96	100.00	0.00	98.18	0.00	1.82	0.00	42.12	29.14	28.74	2.41	1129.94	1003.63	126.31	0.78	2.39	7.50
60804	34.60	1066.44	22.97	14.57	1.41	75.22	14.10	85.69	0.00	0.21	0.00	37.03	36.02	37.03	3.06	1876.32	1670.73	205.59	0.78	2.36	12.28
60806	548.00	976.61	27.29	131.75	1.59	96.14	3.93	94.87	0.00	1.20	0.00	41.99	29.10	28.91	2.43	1111.60	974.92	136.68	0.75	2.33	7.03
60807	343.00	1085.95	26.07	156.16	1.57	87.89	12.26	86.82	0.00	0.92	0.00	41.97	29.24	28.79	2.42	1246.61	1121.05	125.56	0.80	2.68	9.23
60808	1170.00	817.83	27.04	409.32	1.50	87.64	8.75	88.32	0.49	2.42	0.01	37.03	36.02	37.03	3.06	1111.60	974.92	136.68	0.75	2.33	7.03
61001	92.40	1528.97	28.73	81.85	1.55	85.86	24.13	75.10	0.00	0.77	0.00	37.03	36.02	37.03	3.06	1876.32	1670.73	205.59	0.78	2.36	12.28
61004	25.50	1300.04	26.79	18.36	1.45	96.66	12.86	87.14	0.00	0.00	0.00	37.03	36.02	37.03	3.06	841.79	721.99	119.80	0.72	2.88	6.67
61006	39.50	1167.03	27.79	21.26	1.92	75.09	27.67	72.33	0.00	0.00	0.00	37.03	36.02	37.03	3.06	841.79	721.99	119.80	0.72	2.88	6.67
61301	86.50	1078.57	34.33	35.66	1.34	99.73	23.96	76.04	0.00	0.00	0.00	37.03	36.02	37.03	3.06	975.95	913.43	70.33	0.87	2.94	7.86
61302	1950.00	1056.51	32.57	730.65	1.54	93.80	5.30	94.19	0.19	0.31	0.01	41.95	29.02	29.03	2.43	975.95	913.43	70.33	0.87	2.94	7.86
61501	1470.00	974.66	26.11	601.28	1.77	74.82	8.42	91.29	0.00	0.28	0.01	42.11	28.47	29.43	2.53	771.98	656.97	115.01	0.71	3.04	6.52

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายณัฐนนท์ สงวนศัพท์ เกิดเมื่อวันที่ 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2536 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาสถิติธุรกิจและการประกันภัย ภาควิชาสถิติประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปี พ.ศ. 2557 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

