

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับแสดงความสัมพันธ์น้ำฝน-น้ำท่าในลุ่มน้ำขนาดเล็ก



นาย ชูติพนธ์ ภัคดีบุญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ภาควิชาคณิตศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-17-0403-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 2C28245X 24 ก.ย. 2546

A MATHEMATICAL MODEL FOR RAINFALL-RUNOFF RELATIONSHIP IN A SMALL WATERSHED

Mr. Chutipon Pukdeboon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Computational Science

Department of Mathematics

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-17-0403-8

ชุตินันท์ ภักดิ์บุญญ :แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับแสดงความสัมพันธ์น้ำฝน-น้ำท่าในลุ่มน้ำขนาดเล็ก (A MATHEMATICAL MODEL FOR RAINFALL-RUNOFF IN A SMALL WATERSHED) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร.จักร์ อัครวานันท์, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ดร. วิลาศ นิติวัฒนานนท์, 112 หน้า. ISBN 974-17-0403-8.

ข้อมูลน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำ เป็นส่วนสำคัญสำหรับการวางแผนการพัฒนาพื้นที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการจัดการน้ำ และการเกิดน้ำท่วม ซึ่งต้องมีวิธีการในการทำนายการเกิดน้ำท่าจากข้อมูลฝนและลักษณะของลุ่มน้ำ โดยใช้วิธีการที่เหมาะสมและสอดคล้องกับข้อมูลที่มีอยู่

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาแบบจำลองสำหรับแสดงความสัมพันธ์ของน้ำฝน-น้ำท่าในลุ่มน้ำขนาดเล็ก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแบบจำลองที่มีความเหมาะสมสำหรับประยุกต์ใช้งานกับพื้นที่ลุ่มน้ำ ลุ่มน้ำกรณีศึกษาคือลุ่มน้ำแม่ตื่นตอนบนมีพื้นที่ประมาณ 503 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของอำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ ขั้นตอนการศึกษาได้แก่ การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล การทดสอบแบบจำลอง และการประยุกต์ใช้งานแบบจำลองในการศึกษาได้แบ่งแบบจำลองที่จะทำการศึกษาเป็น 2 ลักษณะ ลักษณะแรกเป็นการศึกษาแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม HEC-HMS ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของน้ำฝน-น้ำท่า โดยอาศัยฟังก์ชันของพารามิเตอร์และตัวแปรต่างๆ การประมาณค่าพารามิเตอร์จากลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำ ลักษณะที่สอง คือแบบจำลองแทงค์ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของน้ำฝน-น้ำท่าโดยการประมาณค่าพารามิเตอร์จากข้อมูลของน้ำท่า

จากการศึกษาแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม HEC-HMS พบว่า แบบจำลองที่มีความเหมาะสมกับข้อมูลและขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำกรณีศึกษา เป็นแบบจำลองซึ่งเป็นการรวมพื้นที่เป็นหน่วยเดียว (Lump system) และใช้สถานีวัดปริมาณฝน 3 สถานีสำหรับคำนวณปริมาณฝนบนพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งแบบจำลองที่จะนำมาประยุกต์ใช้งานนั้น ควรแบ่งข้อมูลเป็นฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยใช้การแบ่งช่วงเวลาการประมวลผลโปรแกรมเท่ากับ 3 ชั่วโมง และใช้กับชุดข้อมูลระยะเวลายาว ผลจากการประยุกต์ใช้งานแบบจำลองจะเหมาะสำหรับการวางแผนด้านการเกษตรกรรมในพื้นที่ลุ่มน้ำและพื้นที่ด้านท้ายน้ำได้ ส่วนแบบจำลองแทงค์มีจุดเด่นในด้านการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดและมีความเหมาะสมกับข้อมูลระยะสั้น การใช้งานแบบจำลองควรแบ่งข้อมูลเป็นช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยใช้การแบ่งช่วงเวลาการประมวลผลโปรแกรมเท่ากับ 3 ชั่วโมง ซึ่งการประยุกต์ใช้งานจะมีความเหมาะสมกับกรณีการเกิดอัตราการไหลสูงสุดของน้ำท่าอย่างฉับพลัน สำหรับวางแผนการป้องกันน้ำท่วมในพื้นที่ ซึ่งแบบจำลองทั้ง 2 ลักษณะนั้นมีความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้งานที่ต่างกัน แล้วแต่วัตถุประสงค์ของการคาดการณ์น้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งผลการประยุกต์ใช้งานแบบจำลองเพื่อทำนายน้ำท่านั้นจะช่วยสนับสนุนการพัฒนาพื้นที่ลุ่มน้ำต่อไป

ภาควิชาคณิตศาสตร์
สาขาวิชา วิทยาการคณนา
ปีการศึกษา 2544

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

427 23630 23 : MAJOR COMPUTATIONAL SCIENCE

KEY WORD: RAINFALL-RUNOFF

CHUTIPHON PUKDEBOON : A MATHEMATICAL MODEL FOR RAINFALL-RUNOFF
RELATIONSHIP IN A SMALL WATERSHED. ADVISOR : ASST. PROF. JACK ASAVANANT,
Ph.D., CO-ADVISOR VILAS NITIVATANANON, Ph.D. , 112 pp. ISBN 974-17-0403-8.

Rainfall-runoff relationship in watershed is very important in area development planning , especially for water- use activities and flood analysis. Runoff forecasting requires appropriate method with available data and watershed characteristics.

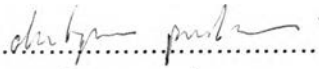
This study involves model representing mathematical relationship of rainfall-runoff in small watershed. The main objective is to seek appropriate model that is applicable to the study area. The upper part of Mae Tun watershed covering the area of approximately 503 sq. km. of Amphur Omkoi in ChiangMai Province is selected as a case study area. Procedure for conducting this study consists of collecting data, analyzing data, testing and verifying the model. Two different mathematical models are considered. The first one is the HEC-HMS model. It determines the relationship of rainfall-runoff by using functions of parameters and variables determined from physical characteristics of the watershed. The other is the Tank model. This model depends completely on the runoff data.

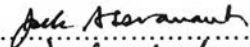
From the HEC-HMS model, it is found that the lump system with rainfall data from 3 stations is appropriate model for the runoff calculations according to the given rainfall data and the size of watershed. Under different rainfall intensity, two sets of input data for dry and wet periods are selected. The HEC-HMS model gives good results for long time simulation. This suggests that the model may be used for agricultural planning in the study area. On the other hand, the Tank model gives better results of peak flow rate in the short time simulation. This implication suggests the use of Tank model in flood forecasting. In summary, these two rainfall-runoff model can lead to future land-use development of this study area.

Department Mathematics

Field of study Computational Science

Academic year 2001

Student's signature..... 

Advisor's signature..... 

Co-advisor's signature 

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จักร์ อิศวานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร. วิลาศ นิติวัดมนานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาและเสนอแนะแนวทางในการพัฒนาแบบจำลองในงานวิจัย ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรชัย สาตราหา ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.วิมลรัตน์ งานอร่ามวางกูร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ขอขอบคุณหน่วยงานต่างๆ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลซึ่งได้แก่ กรมชลประทาน กรมพัฒนาที่ดิน กรมอุตุนิยมวิทยา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติที่ได้ให้ทุนสนับสนุนโครงการวิจัย รวมทั้งขอขอบคุณ ศูนย์วิจัย AVIC และภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อนุเคราะห์อุปกรณ์สำหรับใช้ในงานวิจัย

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดามารดาที่เป็นผู้ส่งเสริมและให้กำลังใจตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฐ
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย	2
1.6 แนวทางการศึกษา.....	2
1.7 รายละเอียดสำคัญของผู้นำกรณีศึกษา	3

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2 การศึกษาวิจัยในอดีต และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองสำหรับความสัมพันธ์น้ำฝน-น้ำท่า.....	8
2.1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาและการพัฒนาพื้นที่ลุ่มน้ำในประเทศไทย.....	9
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องทางอุทกวิทยา.....	10
2.2.1 การคำนวณปริมาณฝนบนพื้นที่.....	10
2.2.2 กระบวนการหาค่าเหมาะสมที่สุด (Optimization).....	14
2.2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณปริมาณการเกิดน้ำท่า.....	16
2.2.4 การคำนวณอัตราการไหลของน้ำท่าตามแนวคิดของแบบจำลองแทงค์.....	26
3 การพัฒนาแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม HEC-HMS.....	34
3.1 ขั้นตอนและองค์ประกอบหลักในการพัฒนาแบบจำลอง.....	34
3.2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้ในงานวิจัย.....	35
3.2.1 ลักษณะสำคัญและความสามารถของโปรแกรม HEC1 และ HEC-HMS.....	35
3.2.2 เหตุผลของการเลือกโปรแกรม HEC1 และ HEC-HMS มาใช้งาน.....	35
3.2.3 ส่วนประกอบของ HEC-HMS ในการคำนวณกระบวนการเกิดน้ำฝน-น้ำท่า.....	35
3.2.4 กระบวนการหาค่าเหมาะสมที่สุดใน HEC-HMS.....	36
3.2.5 ข้อควรพิจารณาในการประยุกต์ใช้งานโปรแกรม HEC-HMS ในงานวิจัย.....	36
3.3 การทดสอบแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม HEC1 และ HEC-HMS.....	37
3.3.1 การทดสอบแบบจำลอง โดยให้การแบ่งช่วงเวลาการประมวลผลโปรแกรม 24 ชม.	37
3.3.2 การทดสอบแบบจำลองด้วยโปรแกรม HEC-HMS โดยใช้แบ่งช่วงเวลาการประมวลผลโปรแกรม เท่ากับ 3 ชั่วโมง.....	47
4 แบบจำลองแทงค์ (TANK MODEL).....	57

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.1 การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคิงงานวิจัย	57
4.2 การคำนวณหาปริมาณการซึม.....	57
4.3 การกำหนดช่วงเวลาในการทดสอบแบบจำลองทางคิง.....	57
4.4 วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์.....	58
4.5 ผลการทดสอบแบบจำลองทางคิง.....	60
4.6 การวิเคราะห์ผลของแบบจำลองทางคิง.....	63
4.7 สรุปผลการทดสอบแบบจำลองทางคิง.....	63
5 การประเมินผลความถูกต้องของแบบจำลอง.....	64
5.1 การประเมินผลความถูกต้องแบบจำลองของโปรแกรม HEC-HMS.....	64
5.1.1 ผลการทดสอบแบบจำลองด้วยค่าพารามิเตอร์ที่เลือกสรรแล้ว	64
5.1.2 การสรุปผลและการวิเคราะห์ของแบบจำลอง	65
5.2 การประเมินผลความถูกต้องแบบจำลองทางคิง	67
5.2.1 ผลการทดสอบแบบจำลองด้วยค่าพารามิเตอร์ที่เลือกสรรแล้ว	67
5.2.2 การสรุปผลและการวิเคราะห์แบบจำลอง.....	68
5.3 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จากแบบจำลองทางคิงและโปรแกรม HEC-HMS	69
5.3.1 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองสำหรับระยะเวลาสั้น.....	69
5.3.2 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองสำหรับระยะเวลายาว.....	71
5.3.3 สรุปผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง.....	74
6 การประยุกต์ใช้งานแบบจำลอง.....	75
6.1 แนวทางการประยุกต์ใช้งานแบบจำลอง	75

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
6.2 การสร้างจุดอ้างอิงการเคลื่อนจุดออกจากจุดออกของกลุ่มน้ำ.....	75
6.2.1 ลักษณะของประยุกต์กรณีด้านท้ายน้ำของกลุ่มน้ำ.....	75
6.2.2 ผลของการประยุกต์ใช้งานแบบจำลองในการเคลื่อนจุดออกจากจุดอ้างอิง.....	78
6.2.3 สรุปผลของการประยุกต์แบบจำลองกรณีด้านท้ายน้ำของกลุ่มน้ำ.....	80
6.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลองในลักษณะอื่นๆ.....	81
6.4 บทสรุปการประยุกต์ใช้งานแบบจำลอง.....	81
7 สรุปผล และข้อเสนอแนะ.....	82
7.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย.....	82
7.2 ข้อเสนอแนะในงานวิจัย.....	83
รายการอ้างอิง.....	85
ภาคผนวก.....	86
ก. รายละเอียดสำคัญของโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	86
ข. รายละเอียดสำคัญของข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัย.....	97
ค. ผลลัพธ์ของการประมวลผลแบบจำลอง.....	102
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	112

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตาราง 1-1 แสดงสถานีวัดปริมาณน้ำฝนบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำละบริเวณพื้นที่ใกล้เคียง.....	5
ตาราง 1-2 แสดงสถานีวัดปริมาณน้ำและอัตราการไหลของน้ำบริเวณลุ่มน้ำและพื้นที่ใกล้เคียง.....	5
ตาราง 3-1 แสดงค่าถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดปริมาณฝนในแบบจำลองแบบที่ 2.....	38
ตาราง 3-2 แสดงค่าถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดปริมาณฝนในแบบจำลองแบบที่ 3.....	38
ตาราง 3-3 สรุปจำนวนชุดข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลโปรแกรม ($\Delta t = 24 \text{ hr.}$).....	39
ตาราง 3-4 สรุปผลการทดสอบแบบจำลองแต่ละแบบ.....	45
ตาราง 3-5 แสดงการเลือกค่าพารามิเตอร์ในฤดูฝนโดยใช้ ($\Delta t = 24 \text{ hr.}$).....	46
ตาราง 3-6 แสดงการเลือกค่าพารามิเตอร์ในฤดูแล้งโดยใช้ ($\Delta t = 24 \text{ hr.}$).....	46
ตาราง 3-7 จำนวนชุดข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลโปรแกรม ($\Delta t = 3 \text{ hr.}$).....	48
ตาราง 3-8 แสดงการเลือกค่าพารามิเตอร์ในฤดูฝนโดยใช้ ($\Delta t = 3 \text{ hr.}$).....	55
ตาราง 3-9 แสดงการเลือกค่าพารามิเตอร์ในฤดูแล้งโดยใช้ ($\Delta t = 3 \text{ hr.}$).....	55
ตาราง 4-1 แสดงการเลือกค่าพารามิเตอร์ในฤดูแล้งสำหรับแบบจำลองแห่งชาติ.....	60
ตาราง 4-2 แสดงการเลือกค่าพารามิเตอร์ในฤดูฝนสำหรับแบบจำลองแห่งชาติ.....	60
ตาราง 5-1 แสดงพารามิเตอร์จากแบบจำลอง HEC- HMS สำหรับประยุกต์ใช้งาน.....	65
ตาราง 5-2 แสดงพารามิเตอร์จากแบบจำลองแห่งชาติ สำหรับประยุกต์ใช้งาน.....	68
ตาราง 6-1 แสดงรายละเอียดพื้นที่ส่วนที่เพิ่มขึ้นและพารามิเตอร์ K ที่ระยะการเคลื่อนจุดต่างๆ.....	78
ตาราง ก-1 แสดงลุ่มน้ำย่อย ปริมาณการซึมจากวิธีการของ SCS และการสังเคราะห์น้ำทำด้วยวิธีการ ของ Clark.....	86
ตาราง ก-2 แสดงรายละเอียดลุ่มน้ำย่อยและอัตราการไหลพื้นฐาน.....	86
ตาราง ก-3 แสดงรายละเอียดการเคลื่อนจุดกรณีศึกษาการประยุกต์ด้านทำนน้ำ.....	86
ตาราง ก-4 แสดงรายละเอียดค่าถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดปริมาณฝน.....	87
ตาราง ข-1 แสดงข้อมูลฝนเฉลี่ยรายเดือนที่สถานีวัดน้ำฝน P64.....	97
ตาราง ข-2 แสดงข้อมูลฝนเฉลี่ยรายเดือนที่สถานีวัดน้ำฝน 07092.....	98
ตาราง ข-3 แสดงข้อมูลฝนเฉลี่ยรายเดือนที่สถานีวัดน้ำฝน 20095.....	98
ตาราง ข-4 แสดงข้อมูลน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่สถานีวัดน้ำฝน P64.....	99
ตาราง ข-5 แสดงกิจกรรมการใช้ที่ดินในเขตบริเวณลุ่มน้ำ.....	100
ตาราง ค-1 แสดงผลของการทดสอบแบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแบบจำลองแบบ ที่ 1 กับข้อมูลช่วงฤดูฝน.....	102
ตาราง ค-2 แสดงผลของการทดสอบแบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแบบจำลองแบบ ที่ 2 กับข้อมูลช่วงฤดูฝน.....	103

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ตาราง ค-3 แสดงผลลัพธ์ของการทดสอบแบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแบบจำลองแบบที่ 3 กับข้อมูลช่วงฤดูฝน	104
ตาราง ค-4 แสดงผลของการทดสอบแบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแบบจำลองทั้ง 3 แบบกับข้อมูลช่วงฤดูแล้ง.....	105
ตาราง ค-5 แสดงผลการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาณน้ำทำด้วยวิธีการค้นหาของ Nelder and Mead และ Univariate gradient search.....	106
ตาราง ค-6 แสดงผลการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของอัตราการใช้สูงสุดด้วยวิธีการค้นหาของ Nelder and Mead และ Univariate gradient search.....	106
ตาราง ค-7 แสดงผลของพารามิเตอร์ซึ่งผ่านกระบวนการหาค่าเหมาะสมที่สุดจากโปรแกรม HEC-HMS.....	109
ตาราง ค-8 แสดงผลของใช้ค่าพารามิเตอร์ที่สรุปค่าแล้วกับชุดข้อมูล.....	110
ตาราง ค-9 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณฝนกับอัตราการใช้สูงสุด.....	111

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูป 1-1 แผนที่แสดงของเขตลุ่มน้ำย่อยที่นำมาใช้ในงานวิจัย.....	4
รูป 1-2 แผนที่แสดงสถานีวัดปริมาณฝนและสถานีวัดน้ำท่าที่นำมาใช้ในงานวิจัย.....	7
รูป 2-1 อธิบายวิธีการหาปริมาณฝนเฉลี่ยบนพื้นที่.....	12
รูป 2-2 แสดงระยะทางของแต่ละสถานีวัดน้ำฝนในวิธีการส่วนกลับของระยะทางยกกำลัง.....	13
รูป 2-3 เส้นกราฟน้ำท่าหนึ่งหน่วยมาตรฐานตามวิธีการของ Snyder.....	18
รูป 2-4 เส้นกราฟน้ำท่าหนึ่งหน่วยกรณีที่ (t_{DR} ไม่เท่ากับ $5.5 t_R$).....	20
รูป 2-5 แสดงปริมาตรกักเก็บรูปสี่เหลี่ยมและปริมาตรกักเก็บรูปปรีซึมในลำคลอง.....	22
รูป 2-6 กราฟแสดงส่วนที่เป็นอัตราการไหลพื้นฐานดังรูป.....	25
รูป 2-7 กราฟแสดงแบบจำลองของอัตราการไหลพื้นฐาน.....	26
รูป 2-8 กราฟแสดงค่าคงที่ของการลดลงเมื่อเส้นกราฟน้ำท่ามีจุดยอดหลายจุด.....	26
รูป 2-9 แสดงลักษณะพื้นฐานของแบบจำลองทางค.....	27
รูป 2-10 แสดงการแยกส่วนประกอบการไหลของน้ำท่า.....	27
รูป 2-11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ส่วนตัดขวาง S และความลึกของน้ำ h.....	29
รูป 2-12 กราฟแสดงการประมาณค่าพารามิเตอร์ k_o, k_g, k_s, Q_s และ Q_g	32
รูป 2-13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝน-น้ำท่า.....	33
รูป 3-1 แสดงแผนผังการคำนวณของแบบจำลองกระบวนการน้ำฝน-น้ำท่า.....	34
รูป 3-2 แผนผังแสดงการทดสอบแบบจำลองด้วยโปรแกรม HEC-HMS เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ของ แต่ละแบบจำลอง.....	37
รูป 3-3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเส้นกราฟน้ำท่าแบบจำลองทั้ง 3 แบบกับข้อมูลชุด Wet2_94.....	43
รูป 3-5 กราฟแสดงปัญหาการเกิดอัตราการไหลสูงสุดในช่วงฤดูแล้งที่มีปริมาณน้ำค่อนข้างน้อย (จากข้อมูลชุด Dry1_93).....	44
รูป 3-6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลรวมอัตราการไหลของแต่ละชุดข้อมูล ที่ทดสอบด้วยค่าของเปอร์เซ็นต์ที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ที่ค่าต่างๆ กัน.....	51
รูป 3-7 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของอัตราการไหลสูงสุดของแต่ละชุดข้อมูล ที่ทดสอบด้วยค่าของเปอร์เซ็นต์ที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ที่ค่าต่างๆ กัน.....	52
รูป 3-8 กราฟแสดงผลการทดสอบแบบจำลองด้วยกระบวนการหาค่าเหมาะสมที่สุดโดยใช้ (1 Timestep = 3hr.) กับข้อมูลในช่วงฤดูฝน (ข้อมูลชุด Sep1_98).....	53

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูป 3-9 กราฟแสดงผลการทดสอบแบบจำลองด้วยกระบวนการหาค่าเหมาะสมที่สุดโดยใช้ (1 Timestep = 3hr.) กับข้อมูลช่วงฤดูแล้ง(ข้อมูลชุด Apr1_97)	54
รูป 4-1 กราฟแสดงข้อมูลบางส่วนในช่วงฤดูฝนของลุ่มน้ำที่ใช้ในงานวิจัย.....	58
รูป 4-2 แสดงข้อมูลในช่วงฤดูแล้งที่วัดบนกระดาดเข็งลอกการท่วมโดยใช้ 1 Timestep = 3 hr. ก) ข้อมูลชุด Mar1_98 ข) ข้อมูลชุด Apr1_20.....	59
รูป 4-3 กราฟแสดงผลลัพธ์ของแบบจำลองของทางค้โดยใช้ 1 Timestep = 3 hr. กับชุดข้อมูลช่วงฤดูแล้ง ก) ชุดข้อมูล Mar-98 ข) ชุดข้อมูล Mar-98 (Time Lag = 3 Timesteps).....	61
รูป 4-4 กราฟแสดงผลลัพธ์ของแบบจำลองของทางค้โดยใช้ 1 Timestep = 3 hr. กับชุดข้อมูลช่วงฤดูแล้ง ก) ชุดข้อมูล Apr-99 ข) ชุดข้อมูล Apr-99 (Time Lag = 3 Timesteps).....	61
รูป 4-5 กราฟแสดงผลลัพธ์ของแบบจำลองของทางค้โดยใช้ 1 Timestep = 3 hr. กับชุดข้อมูลช่วงฤดูฝน ก) ชุดข้อมูล Sep-98 ข) ชุดข้อมูล Sep-98 (Time Lag = 2 Timesteps).....	62
รูป 4-6 กราฟแสดงผลลัพธ์ของแบบจำลองของทางค้โดยใช้ 1 Timestep = 3 hr. กับชุดข้อมูลช่วงฤดูฝน ก) ชุดข้อมูล Jun-20 ข) ชุดข้อมูล Jun-20 (Time Lag = 2 Timesteps).....	62
รูป 5-1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลรวมอัตราการไหลจากข้อมูลแต่ละชุด.....	64
รูป 5-2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของอัตราการไหลสูงสุดจากข้อมูลแต่ละชุด.....	65
รูป 5-3 กราฟแสดงผลลัพธ์ของแบบจำลองด้วยพารามิเตอร์ที่ได้เลือกสรรแล้ว โดยใช้ 1 Timesteps = 3 hr. กับข้อมูลชุด Mar1_98	66
รูป 5- 4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลรวมอัตราการไหลจากข้อมูลแต่ละชุด	67
รูป 5- 5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของอัตราการไหลสูงสุดจากข้อมูลแต่ละชุด....	68
รูป 5-6 กราฟแสดงอัตราการไหลน้ำท่าของแบบจำลองทางค้และโปรแกรม HEC-HMS โดยใช้ 1 Timestep = 3 hr. กับข้อมูลในช่วงฤดูแล้ง ก) ข้อมูลชุด Mar-98 ข) ข้อมูลชุด Apr-97.....	69
รูป 5-7 กราฟแสดงอัตราการไหลน้ำท่าของแบบจำลองทางค้และโปรแกรม HEC-HMS โดยใช้ 1 Timestep = 3 hr. กับข้อมูลในช่วงฤดูฝน ก) ข้อมูลชุด Sep-98 ข) ข้อมูลชุด Jun-20.....	70
รูป 5-8 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลรวมอัตราการไหลเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองทางค้และ โปรแกรม HEC-HMS.....	70
รูป 5-9 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของอัตราการไหลสูงสุดเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองทางค้และ โปรแกรม HEC-HMS.....	71
รูป 5-10 กราฟแสดงอัตราการไหลของน้ำท่าจากแบบจำลองทางค้และโปรแกรม HEC-HMS โดยใช้ 1 Timestep = 3 hr. กับข้อมูลชุด Apr1-97.....	72

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูป 5-12 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลรวมอัตราการใช้เปรียบเทียบกับระหว่างแบบจำลองแห่งชาติ และโปรแกรม HEC-HMS.....	73
รูป 5-13 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของอัตราการใช้สูงสุดเปรียบเทียบกับระหว่างแบบจำลองแห่งชาติและ โปรแกรม HEC-HMS.....	73
รูป 6-1 แผนที่แสดงพื้นที่ลุ่มน้ำที่เพิ่มขึ้นจากการเคลื่อนจุดระยะต่างๆ.....	76
รูป 6-2 แสดง ส่วนที่น้ำเชื่อมของพารามิเตอร์ Muskingum.....	77
รูป 6-3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการใช้ของน้ำท่าในแต่ละลุ่มน้ำย่อยในช่วงฤดูแล้ง (ข้อมูลชุดApr1_97).....	78
รูป 6-4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการใช้ของน้ำท่าที่ระยะห่างจากจุดออกต่างๆ กันในช่วงฤดูแล้ง (ข้อมูลชุดApr1_97).....	79
รูป 6-5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการใช้ของน้ำท่าในแต่ละลุ่มน้ำย่อยในช่วงฤดูฝน (ข้อมูลชุดJul1_97).....	79
รูป 6-6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการใช้ของน้ำท่าที่ระยะห่างจากจุดออกต่างๆ กันในช่วงฤดูฝน (ข้อมูลชุด Jul1_97).....	80
รูป ก-1 แสดงการเริ่มต้นใช้งานโปรแกรมHEC-HMS.....	87
รูป ก-2 แสดงการกำหนดวิธีการต่างๆ ที่เลือกใช้สำหรับแบบจำลอง.....	88
รูป ก-3 แสดงการสร้างมาตรวัดเพื่อนำข้อมูลฝนเข้าสู่โปรแกรม HEC-HMS.....	89
รูป ก-4 แสดงการป้อนข้อมูลปริมาณฝนเข้าสู่โปรแกรมHEC-HMS โดยผู้ใช้.....	89
รูป ก-5 แสดงโครงสร้างการทำงานของโปรแกรม HEC-HMS.....	90
รูป ก-6 แสดงผลลัพธ์ที่ได้หลังจากการ "Import HEC1 File".....	91
รูป ก-7 แสดงสัญลักษณ์ที่ใช้แทนลุ่มน้ำและส่วนต่างๆ ในโปรแกรม HEC-HMS.....	91
รูป ก-8 แสดงการกำหนดประเภทของมาตรวัดปริมาณฝน.....	92
รูป ก-9 แสดงการกำหนดประเภทและค่าถ่วงน้ำหนักของมาตรวัดสำหรับลุ่มน้ำย่อย.....	93
รูป ก-10 แสดงส่วนควบคุมช่วงเวลาในการประมวลผลโปรแกรม.....	93
รูป ก-11 แสดงการกำหนดส่วนประกอบของ HEC-HMS สำหรับการประมวลผลโปรแกรม.....	94
รูป ก-12 แสดงการกำหนดส่วนประกอบของ HEC-HMS สำหรับกระบวนการหาค่าเหมาะสมที่สุด.....	95
รูป ก-13 แสดงการกำหนดค่าต่างๆ ก่อนทำการประมวลผลโปรแกรมกระบวนการหาค่าเหมาะสมที่สุด.....	96
รูป ค-1 แสดงผลการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของกระบวนการหาค่าเหมาะสมที่สุดโดยวิธีการค้นหาของ Nelder and Mead และ Univariate gradient search.....	106