

การประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกที่มีต่อการคาดการณ์
ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำห้วยหลวง

กรรณิการ์ บุตรคำ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

กันยายน 2559

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม



การประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกที่มีต่อการคาดการณ์
ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำห้วยหลวง

กรรณิการ์ บุตรคำ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

กันยายน 2559

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม





คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนางสาวกรรณิการ์ บุตรคำ
แล้วเห็นสมควรรับ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รศ.ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง)

ประธานกรรมการ

(อาจารย์บัณฑิตศึกษาประจำคณะ)

(อ.ดร.รัตนา หอมวิเชียร)

กรรมการ

(อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก)

(ผศ.ดร.เพชร เพ็งชัย)

กรรมการ

(อาจารย์บัณฑิตศึกษาประจำคณะ)

(รศ.ดร.เฉลิมชัย พาวัฒนา)

กรรมการ

(ผู้ทรงคุณวุฒิ)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

(รศ.ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศ.ดร.ประดิษฐ์ เทอดทูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ๒๒ เดือน ก.ย. พ.ศ. ๒๕๖๑



กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.รัตนา หอมวิเชียร ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ ข้อคิดเห็น ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งรวมถึงแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพชร เพ็งชัย กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชัย พาวัฒนา กรรมการสอบ/ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้ทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์คณะ และเจ้าหน้าที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้คำแนะนำ ความสะดวก สนับสนุนเครื่องมือ อุปกรณ์ ตลอดถึงสถานที่เพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สุदारัตน์ คำปลิว ที่ให้คำปรึกษา แนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้ทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ อาจารย์หริส ประสารณ์ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำการใช้งานการวิเคราะห์แบบจำลอง PRECIS

คุณความดี และประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบเป็นเครื่องบูชาแด่ พระคุณบิดา มารดา ครูบาอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่ให้การอบรมสั่งสอน ถ่ายทอดวิชาความรู้ คุณธรรม และจริยธรรม รวมทั้งสนับสนุนเป็นกำลังใจ จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

กรรณิการ์ บุตรคำ



ชื่อเรื่อง	การประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกที่มีต่อการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำห้วยหลวง		
ผู้วิจัย	นางสาวกรรณิการ์ บุตรคำ		
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
กรรมการควบคุม	อาจารย์ ดร.รัตนา หอมวิเชียร		
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2559

บทคัดย่อ

ในช่วงเวลาที่ผ่านมากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำในแหล่งน้ำระหว่างช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งแหล่งน้ำที่ใช้ประโยชน์สำหรับการส่งน้ำเพื่อเกษตรกรรม และการผลิตน้ำประปา การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคาดการณ์ปริมาณฝนในอนาคตของพื้นที่ ลุ่มน้ำห้วยหลวง โดยใช้แบบจำลอง PRECIS เพื่อคาดการณ์ปริมาณฝนกรณี A2 และ B2 และการวิเคราะห์ข้อมูลในอดีตด้วยสมการถดถอยเพื่อสร้างสมการประเมินปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำระหว่างปี พ.ศ. 2546-2558 ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่ศึกษามีปริมาณฝนเฉลี่ยที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงเวลา 30 ปี อนาคตข้างหน้า จากการนำค่าพารามิเตอร์ของสถานีวัดน้ำท่า KH.53 และ KH.103 มาคำนวณปริมาณน้ำท่า พบว่าปริมาณน้ำท่าในปีอนาคตมีน้ำท่าเฉลี่ยรายปีของกรณีคาดการณ์ A2 เท่ากับ 149 และ 189 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ และน้ำท่าเฉลี่ยรายปีของกรณีคาดการณ์ B2 เท่ากับ 164 และ 193 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่าน้ำท่าเฉลี่ยรายปีในอนาคต มีค่ามากกว่าน้ำท่าเฉลี่ยรายปีในปัจจุบันทั้งกรณีคาดการณ์ A2 เท่ากับ 30.70 และ 33.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ กรณีคาดการณ์ B2 เท่ากับ 37.82 และ 32.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การศึกษาในครั้งนี้จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อที่จะทำให้ได้ข้อมูลสำหรับการตัดสินใจ และวางแผนการจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ศึกษาเพื่อการจัดการน้ำสำหรับการอุปโภค-บริโภค และการเกษตรกรรมได้ในอนาคต

คำสำคัญ : การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ; ปริมาณน้ำท่า; ปริมาณน้ำฝน; คาดการณ์



TITLE The assessment of climate change impacts on the runoff forecasting in Huai Luang watershed

AUTHOR Kannika Buthkham

DEGREE Master of Engineering **MAJOR** Civil Engineering

ADVISORS Rattana Homwichian, Ph.D.

UNIVERSITY Mahasarakham University **DATE** 2016

ABSTRACT

In the past, climate changes affect the amount of water during the rainy season and dry season, especially the water use for agricultural irrigation, and water supply. This study aimed to predict the amount of rainfall in Huai Luang watershed by using the PRECIS model in case A2 and B2. And data analysis with regression coefficient to assess the amount of water in the watershed during the year 2003-2015. The results revealed that the average rainfall trends upward in the next 30 years. The parameter value of the station KH.53 and KH.103 in case A2 and B2 is used to calculate runoff. In the future the runoff of case A2 equals 189 and 149 mm. per year respectively, and case B2 equal to 193 and 164 mm. per year respectively. The study found that the average annual runoff of future in case A2 is greater than the average annual runoff of present were 33.10 percent and 4.39 percent respectively, and case B2 were 32.19 percent and 12.33 percent respectively. This study can be applied to therefore, is expected to lead to analyze problems, planning and management of water resources in the study area for consumption, and agriculture in the future.

Key Words : climate change; runoff; rainfall; forecasting



สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพประกอบ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ปรัชญาเอกสารข้อมูล	5
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	38
3.1 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย	38
3.2 พื้นที่ศึกษา	39
3.3 การรวบรวมข้อมูล	40
3.4 การจัดทำข้อมูลปริมาณฝน	41
3.5 เทียบมาตรฐานและการตรวจพิสูจน์ของแบบจำลอง NAM model	47
บทที่ 4 ผลการศึกษา	53
4.1 ปริมาณฝนคาดการณ์ ผลการจำลองสภาพภูมิอากาศจาก PRECIS	53
4.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าด้วย แบบจำลอง NAM Model	56
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	89
5.1 สรุปผลการวิจัย	89
5.2 ข้อเสนอแนะ	92
เอกสารอ้างอิง	94



ภาคผนวก	98
ภาคผนวก ก ข้อมูลปริมาณฝนที่ตรวจวัดจากสถานีตรวจอากาศ	99
ภาคผนวก ข ข้อมูลปริมาณฝนจากแบบจำลอง PRECIS กรณีคาดการณ์ A2	104
ภาคผนวก ค ข้อมูลปริมาณฝนจากแบบจำลอง PRECIS กรณีคาดการณ์ B2	108
ประวัติย่อผู้วิจัย	112



สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 2.1 การเปลี่ยนหน่วยที่ได้จากผลการคำนวณ	14
ตาราง 2.2 หน่วยของข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ	14
ตาราง 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ Climate Change, NAM Model และงานวิจัย ในกลุ่มน้ำห้วยหลวง	36
ตาราง 3.1 จำนวนปีข้อมูลที่ต้องการจากแบบจำลอง PRECIS	43
ตาราง 4.1 ค่าคงที่ C สำหรับการปรับลดความคาดเคลื่อนของข้อมูลจากแบบจำลอง PRECIS กรณีคาดการณ์ A2 และ B2	54
ตาราง 4.2 ผลการเปรียบเทียบและสอบเทียบข้อมูลปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนระหว่าง พ.ศ. 2546 -2558 จากสถานีตรวจวัดเปรียบเทียบกับ PRECIS กรณีคาดการณ์ A2 และ B2	55
ตาราง 4.3 ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM Model พ.ศ. 2550-2557 สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ A2	57
ตาราง 4.4 ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM Model พ.ศ. 2550-2557 สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ B2	62
ตาราง 4.5 ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM Model พ.ศ. 2550-2557 สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ A2	67
ตาราง 4.6 ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM Model พ.ศ. 2550-2557 สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ B2	71
ตาราง 4.7 ผลการวิเคราะห์น้ำท่า และปริมาณน้ำสูงสุด (Peak) ในอนาคตของ สถานีวัดน้ำท่า KH.53	88
ตาราง 4.8 ผลการวิเคราะห์น้ำท่า และปริมาณน้ำสูงสุด (Peak) ในอนาคตของ สถานีวัดน้ำท่า KH.103	88



สารบัญภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบ 2.1 ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอนาคตจากรายงานของ IPCC (IPCC Special Report on Emission Scenario หรือ SRES)	9
ภาพประกอบ 2.2 แสดงโครงสร้างของแบบจำลอง NAM Model	16
ภาพประกอบ 2.3 แสดงขอบวนการเกิด Interflow และ Overland Flow ในชั้น Surface Storage ในแบบจำลอง NAM Model	17
ภาพประกอบ 2.4 แสดงขอบวนการเกิด DL และ G ในชั้น Lower Zone ในแบบจำลอง NAM Model	18
ภาพประกอบ 2.5 ขอบวนการเกิด Base Flow (BF) ในชั้น Groundwater Storage	19
ภาพประกอบ 2.6 ความหมายทางกายภาพของค่า $GWLBF_0$	20
ภาพประกอบ 2.7 แผนภูมิแสดงความหมายของระบบซึ่งทำหน้าที่เป็น Inputs และ Outputs	25
ภาพประกอบ 2.8 แบบจำลองอย่างง่ายของสมดุลงน้ำ	27
ภาพประกอบ 2.9 แบบจำลองอย่างง่ายของระบบอุทกวิทยาในแหล่งน้ำธรรมชาติ	27
ภาพประกอบ 2.10 แบบจำลองอย่างง่ายของระบบอุทกวิทยาในแหล่งน้ำ	28
ภาพประกอบ 3.1 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย	38
ภาพประกอบ 3.2 ตำแหน่งกลุ่มน้ำห้วยหลวง	39
ภาพประกอบ 3.3 แผนที่แสดงขอบเขตกลุ่มน้ำห้วยหลวง	40
ภาพประกอบ 3.4 แผนที่แสดงที่ตั้งสถานีสำรวจปริมาณน้ำ กลุ่มน้ำห้วยหลวง	41
ภาพประกอบ 3.5 ตำแหน่งสถานีตรวจอากาศ จังหวัดอุดรธานี	42
ภาพประกอบ 3.6 ตำแหน่งพิกัดกริดจำนวน 22 จุด ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง	44
ภาพประกอบ 3.7 ตัวอย่างข้อมูลปริมาณฝน 10 วัน พ.ศ.2569 (ค.ศ.2025) กรณี A2	45
ภาพประกอบ 3.8 ตัวอย่างข้อมูลปริมาณฝน 10 วัน พ.ศ.2569 (ค.ศ.2025) กรณี B2	45
ภาพประกอบ 3.9 แผนภูมิของแบบจำลอง NAM Model	58
ภาพประกอบ 4.1 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนจากแบบจำลอง PRECIS และ สถานีตรวจอากาศ ช่วงปีฐาน	54
ภาพประกอบ 4.2 การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์ค่า C_{PC} กรณีคาดการณ์ A2	55
ภาพประกอบ 4.3 การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์ค่า C_{PC} กรณีคาดการณ์ B2	56
ภาพประกอบ 4.4 กราฟน้ำท่ารายวันจากการสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration) สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ A2 ปี พ.ศ. 2550	58



ภาพประกอบ 4.53	กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต ปี พ.ศ. 2589 สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ A2	84
ภาพประกอบ 4.54	กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต ปี พ.ศ. 2564 สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ B2	85
ภาพประกอบ 4.55	กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต ปี พ.ศ. 2569 สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ B2	85
ภาพประกอบ 4.56	กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต ปี พ.ศ. 2574 สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ B2	86
ภาพประกอบ 4.57	กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต ปี พ.ศ. 2579 สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ B2	86
ภาพประกอบ 4.58	กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต ปี พ.ศ. 2584 สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ B2	87
ภาพประกอบ 4.59	กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต ปี พ.ศ. 2589 สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ B2	87



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

วิกฤติการณ์สิ่งแวดล้อมระดับโลกที่กำลังสร้างความเสียหายและเป็นภัยต่อมนุษย์มากที่สุดในปัจจุบัน คือการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Climate Change) ซึ่งหมายถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะอากาศเฉลี่ยในพื้นที่หนึ่ง เช่น อุณหภูมิ ลม ฝน เป็นต้น ไม่ว่าจะเนื่องมาจาก ความผันแปรตามธรรมชาติ หรือกิจกรรมของมนุษย์ก็ตาม โดยเฉพาะสภาวะที่อุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวโลกเพิ่มสูงขึ้น หรือที่เรียกว่า ภาวะโลกร้อน (Global Warming) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากการที่โลกไม่สามารถระบายความร้อนที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ออกไปได้อย่างที่เคยเป็น ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มสูงขึ้น แม้ว่าในช่วงศตวรรษที่ผ่านมาอุณหภูมิดังกล่าวสูงขึ้นเพียงไม่กี่องศา แต่ก็ทำให้สภาพอากาศของโลกเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากและส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตบนโลกอย่างรุนแรง (ชูพันธุ์ ชมภูจันทร์, 2543)

จากการเปลี่ยนแปลงนี้จะนำไปสู่การเกิดผลกระทบอย่างมากต่อวัฏจักรอุทกวิทยาในระบบลุ่มน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปริมาณน้ำฝนและอัตราการระเหย ซึ่งจะทำให้ปริมาณน้ำท่าในแหล่งน้ำธรรมชาติเกิดการเปลี่ยนแปลงรวมถึงปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นในลำน้ำ (Shrestha et al., 2013) จากการศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกที่ผ่านมาพบว่า ทรัพยากรน้ำได้รับผลกระทบจากเหตุดังกล่าว มีผลทำให้ระบบอุทกวิทยาเกิดการเปลี่ยนแปลง ปริมาณน้ำที่ใช้การได้ (Water Yield) ในแหล่งน้ำธรรมชาติ หรืออ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูร้อนอาจลดลงเนื่องจากมีอัตราการระเหยที่สูงขึ้น (Feng, 2013) การเพาะปลูกพืชเกษตรกรรมในช่วงเวลาดังกล่าว มีความต้องการใช้น้ำมากขึ้น (Wei et al., 2010)

ในช่วงเวลาที่ผ่านมาการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกที่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่กักเก็บน้ำในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นศึกษาคาดการณ์สถานการณ์น้ำในแหล่งน้ำหรืออ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ แต่ในบางพื้นที่การศึกษาจะยังไม่ครอบคลุมถึงอ่างเก็บน้ำขนาดกลางหรือขนาดเล็กที่มีอยู่เป็นจำนวนมากโดยเฉพาะในพื้นที่ชนบทที่ใช้ประโยชน์สำหรับการผลิตน้ำประปา การอุปโภค-บริโภคหรือการเกษตรกรรมในช่วงฤดูแล้ง หรืออ่างเก็บน้ำเอนกประสงค์ (Multi-Purpose Reservoir) ทั่วไป ซึ่งจำเป็นต้องพึ่งพาน้ำฝนตามธรรมชาติในช่วงฤดูมรสุมเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเป็นหลัก ทั้งนี้ยังรวมไปถึงการนำเสนอข้อมูลแนวโน้มสถิติปริมาณฝนที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำในอดีตที่ผ่านมา นำมาประยุกต์ใช้ให้เป็นประโยชน์หรือการนำมาสื่อสารกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย เพื่อการปรับตัวหรือเตรียมตัวต่อการใช้ทรัพยากรน้ำในทางตรงหรือทางอ้อม



ลุ่มน้ำห้วยหลวง เป็นลุ่มน้ำสายสำคัญของจังหวัดอุดรธานี มีต้นกำเนิดจากเทือกเขาภูพานในเขตอำเภอหนองวัวซอ จังหวัดอุดรธานี ประกอบด้วย ห้วยโขง ห้วยตาลเหี้ยม ห้วยด่าป่า ไหลมารวมกันเป็นห้วยหลวง มีทิศทางการไหลของน้ำจากทิศใต้ไปทิศเหนือ ไหลผ่านเทศบาลนครอุดรธานี และไหลไปรวมกับแม่น้ำโขงที่บ้านวัดหลวง ตำบลจุมพล อำเภอโพนพิสัย จังหวัดหนองคาย มีความยาวตลอดลุ่มน้ำกว่า 100 กิโลเมตร มีพื้นที่ลุ่มน้ำคาบเกี่ยว 3 จังหวัดคือ หนองบัวลำภู อุดรธานี และหนองคาย มีเนื้อที่ลุ่มน้ำประมาณ 2,588,724 ไร่ ในระยะเวลาที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบันจังหวัดอุดรธานี และพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงเผชิญกับความเสี่ยงที่เป็นผลจากความแปรปรวนสภาพอากาศ เกิดน้ำท่วมจากผลกระทบ Climate Change ชุมชนเมืองและพื้นที่รอบเมืองกับความเสี่ยงภาวะน้ำท่วม โดยเฉพาะในปี พ.ศ. 2554 ส่งผลให้เกิดฝนตกหนัก ปริมาณฝนที่ตกมากในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง ทำให้ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงเกินระดับกักเก็บทำให้เกิดน้ำท่วม (สถาบันแหล่งน้ำและสิ่งแวดล้อม, 2558) เขตเทศบาลนครอุดรธานี และพื้นที่โดยรอบจัดว่ามีความเสี่ยงจากภาวะน้ำท่วมเป็นประจำเนื่องจากปริมาณฝนตกหนักในเขตเมือง และพื้นที่รอบเมืองซึ่งเป็นพื้นที่ลุ่ม รวมถึงพื้นที่ที่อยู่ติดลำน้ำสายหลักซึ่งเกิดน้ำเอ่อล้นตลิ่งในยามที่ฝนตกหนัก ประกอบกับเป็นพื้นที่รับน้ำจากพื้นที่สูงทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ นอกจากนั้นการพัฒนาที่ก่อให้เกิดสิ่งปลูกสร้างต่างๆ ซึ่งรวมถึงโครงข่ายถนนบางส่วนก็เป็นอุปสรรคต่อการระบายน้ำ ในกรณีที่เกิดฝนตกหนัก การเกษตรในจังหวัดอุดรธานีเผชิญกับความเสี่ยงจากสภาพอากาศที่ไม่เหมาะสมซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตหลายประการทั้งในด้านความผันผวนของปริมาณน้ำเพื่อการเพาะปลูกพืช โดยเฉพาะการขาดแคลนน้ำในช่วงฤดูแล้ง นอกจากนี้พื้นที่ดินเค็มซึ่งครอบคลุมเกือบครึ่งหนึ่งของจังหวัดอุดรธานีก็เป็นปัญหาใหญ่อีกประการหนึ่ง ซึ่งปัญหาพื้นที่ดินเค็มนี้มีความรุนแรงมากขึ้นในปีที่มีอากาศแล้งจัดและหนาวร้อนที่ยาวนาน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดิน จังหวัดอุดรธานีมีความเสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำจากภัยแล้ง ครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างเกือบทั้งจังหวัด ซึ่งส่งผลกระทบต่อภาคส่วนต่างๆ ที่มีความจำเป็นต้องใช้น้ำ ทั้งในเขตชุมชนเมืองที่ต้องการน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคและภาคเกษตรกรรมในพื้นที่รอบเมืองที่ต้องใช้น้ำจากแหล่งเดียวกัน คือ อ่างเก็บน้ำห้วยหลวง ซึ่งในปีที่ฝนตกน้อยนั้น มักจะเกิดปัญหาในการจัดสรรน้ำระหว่างชุมชนและพื้นที่เกษตรโดยรอบ

ในการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อคาดการณ์ปริมาณฝนในอนาคตของพื้นที่ ลุ่มน้ำห้วยหลวง โดยใช้แบบจำลอง PRECIS (Providing REgional Climates for Impacts Studies) และแบบจำลอง NAM Model เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวัน โดยข้อมูลป้อนเข้าของแบบจำลองประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณฝนรายวัน ปริมาณการระเหยรายวัน เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแบบจำลอง NAM Model สำหรับสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ในลุ่มน้ำห้วยหลวง และใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา สำหรับเปรียบเทียบและตรวจสอบผลจากแบบจำลอง ซึ่งจะนำมาวิเคราะห์เพื่อคาดการณ์ปริมาณน้ำในอนาคต นำไปสู่การวิเคราะห์ปัญหา เพื่อที่จะทำได้ ข้อมูลสำหรับการตัดสินใจ และวางแผนการจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ศึกษาได้อย่างเหมาะสม



1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาความเชื่อมโยงของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก กับพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง
- 1.2.2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำห้วยหลวง
- 1.2.3 เพื่อศึกษาพฤติกรรมปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำห้วยหลวงเนื่องจากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 พื้นที่ศึกษาคือ ลุ่มน้ำห้วยหลวง จังหวัดอุดรธานี
- 1.3.2 ศึกษาข้อมูลปริมาณฝนรายวัน การระเหยรายวัน และปริมาณน้ำท่ารายวันจากกรมอุตุนิยมวิทยา และกรมชลประทาน ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2550-2558
- 1.3.3 ใช้แบบจำลอง PRECIS สำหรับการศึกษการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก ของ IPCC SRES คาดการณ์ปริมาณฝนในอนาคตครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง จังหวัดอุดรธานี
- 1.3.4 ใช้แบบจำลอง NAM Model ในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวัน
- 1.3.5 ทำการปรับเทียบแบบจำลอง (Calibration) โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่า ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2550-2554 และตรวจสอบแบบจำลอง (Validation) ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2555-2558
- 1.3.6 สถานที่ใช้ในการศึกษาปริมาณน้ำท่า คือ สถานี KH.53 และสถานี KH.103 ซึ่งอยู่ในพื้นที่ ลุ่มน้ำห้วยหลวง

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1.4.1 รวบรวม ตรวจสอบ และจัดเรียงข้อมูล
- 1.4.2 วิเคราะห์ข้อมูลฝนรายวัน การระเหยรายวัน และน้ำท่ารายวัน ด้วยค่าทางสถิติ
- 1.4.3 วิเคราะห์ข้อมูลภูมิอากาศ กรณี Climate Change ด้วยค่าทางสถิติ
- 1.4.4 วิเคราะห์น้ำท่ารายวันที่ได้ จากแบบจำลอง NAM Model ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
- 1.4.5 ทำการปรับเทียบแบบจำลอง (Calibration) และตรวจสอบแบบจำลอง (Validation)
- 1.4.6 วิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง จัดทำเอกสาร
- 1.4.7 นำเสนอผลงาน



1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนที่วิเคราะห์จากแบบจำลอง และข้อมูลที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่ศึกษา

1.5.2 สามารถคาดการณ์สถานการณ์ปริมาณน้ำต้นทุน โดยพิจารณาจากข้อมูลปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ศึกษา

1.5.3 สามารถกำหนดแนวทางการพัฒนาแหล่งน้ำ และการจัดการน้ำที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดการใช้น้ำที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นในอนาคต

1.5.4 สามารถใช้วิธีการศึกษาและผลข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้ เป็นแนวทางอ้างอิงสำหรับการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ศึกษาที่มีลักษณะทางกายภาพที่ใกล้เคียงกัน

1.5.5 สามารถเตรียมพร้อมรับสถานการณ์หรือเตือนภัยจากการเกิดการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกได้



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดเนื้อหาของทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา ได้แบ่งเนื้อหาหลักออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 เป็นการอธิบายถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง โดยแสดงถึงรายละเอียดของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Climate Change) แบบจำลองระบบภูมิอากาศโลก PRECIS (Providing REgional Climates for Impacts Studies) ส่วนที่ 2 เป็นการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากบทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ในวารสารวิจัยและการประชุมทางวิชาการ ซึ่งรายละเอียดมีดังต่อไปนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Climate Change)

2.1.1.1 ความหมายของ Climate Change จากแหล่งข้อมูลภาษาไทย

1. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงสถานะอากาศอันเป็นผลจากกิจกรรมของมนุษย์ที่เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของบรรยากาศโลกโดยตรงหรือโดยอ้อมและที่เพิ่มเติมจากความแปรปรวนของสถานะ อากาศตามธรรมชาติที่สังเกตได้ในช่วงระยะเวลาเดียวกัน ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณน้ำฝน ฤดูกาล ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิตที่จะต้องปรับตัวให้เข้ากับสภาพภูมิอากาศในบริเวณที่สิ่งมีชีวิตนั้นอาศัยอยู่

การกล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีมากขึ้น ในปัจจุบันเนื่องจากสภาพภูมิอากาศกำลังเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว โดยนักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าการเผาผลาญเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil Fuel) ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานสำคัญในการพัฒนาอุตสาหกรรมในช่วง 200 ปีที่ผ่านมา เป็นสาเหตุสำคัญที่ให้ความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas) ในบรรยากาศเพิ่มขึ้น ก่อให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect) หรือภาวะโลกร้อน (Global Warming)

ภาวะโลกร้อนนี้มีผลต่อการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตเนื่องจากอุณหภูมิโดยรวมสูงขึ้น ทำให้ฤดูกาลต่างๆ เปลี่ยนแปลงไป สิ่งมีชีวิตที่ไม่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไปได้ก็จะค่อยๆ ตายลงและอาจสูญพันธุ์ไปในที่สุด สำหรับผลกระทบต่อมนุษย์นั้นอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นอาจทำให้บางพื้นที่กลายเป็นทะเลทราย ประชาชนขาดแคลนอาหารและน้ำดื่ม บางพื้นที่ประสบปัญหาน้ำท่วมหนักเนื่องจากฝนตกรุนแรงขึ้น น้ำแข็งขั้วโลกและบนยอดเขาสูงละลาย ทำให้ปริมาณน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น พื้นที่ชายฝั่งทะเลได้รับผลกระทบโดยตรงอาจทำให้บางพื้นที่จมน้ำหายไปอย่างถาวร ดังนั้นปัญหาด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจึงเป็นปัญหาสำคัญที่มวลมนุษยชาติจะต้องร่วมมือกันป้องกัน และ



เสริมสร้างความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้น (ที่มา: องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน))

2. ความหมายตามกรอบของอนุสัญญาว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ FCCC (Framework Convention on Climate Change)

3. การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ คือ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ อันเป็นผลทางตรง หรือทางอ้อมจากกิจกรรมของมนุษย์ที่ทำให้องค์ประกอบของบรรยากาศเปลี่ยนแปลงไป นอกเหนือจากความผันแปรตามธรรมชาติ (ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา)

4. ความหมายที่ใช้ในคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ คือ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศไม่ว่าจะเนื่องมาจากความผันแปรตามธรรมชาติหรือกิจกรรมของมนุษย์ (ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา)

5. ความหมายจากแหล่งอื่นๆ

1) การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ คือ การเปลี่ยนแปลงลักษณะอากาศเฉลี่ย (Average Weather) ในพื้นที่หนึ่งลักษณะอากาศเฉลี่ยหมายความรวมถึง ลักษณะทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับอากาศ เช่น อุณหภูมิ ฝน ลม เป็นต้น (ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา)

2) การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ หมายถึง ผลโดยตรงหรือโดยอ้อมจากกิจกรรมของมนุษย์ที่เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของชั้นบรรยากาศโลก และเป็นการเปลี่ยนแปลงที่มากกว่าการเปลี่ยนแปลงจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในช่วงเวลาเดียวกัน (ที่มา: กรมวิทยาศาสตร์บริการ, กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)

2.1.1.2 คำนิยามที่สำคัญ

1. สภาพอากาศ (Weather)

หมายถึง เหตุการณ์ภูมิอากาศที่เกิดขึ้นในปัจจุบันหรือในอนาคตอันใกล้ เช่น การเกิดพายุ ฝนตก น้ำท่วมในวันนี้หรือสัปดาห์หน้า การคาดการณ์ หรือทำนายภูมิอากาศที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้ เรียกว่า การพยากรณ์อากาศ (Weather Forecast)

2. ภูมิอากาศ (Climate)

ตามมาตรฐานของและคำจำกัดความขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization หรือ WMO) ภูมิอากาศ (Climate) หมายถึง ค่าเฉลี่ยของปัจจัยภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝนในระยะยาวเป็นเวลา 30 ปี การคาดการณ์ภูมิอากาศในอนาคตทำได้โดยการสร้างภาพจำลองเหตุการณ์ภูมิอากาศ (Climate Scenario) ที่อาจเกิดขึ้นได้ จากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศที่เพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้ การพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม เป็นต้น



3. การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Climate Change)

ตามคำจำกัดความของอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ หมายถึง การเปลี่ยนแปลงใดๆ ของภูมิอากาศที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม อันทำให้ส่วนประกอบของบรรยากาศโลกเปลี่ยนแปลงไป นอกเหนือจากการเปลี่ยนแปลงของธรรมชาติในช่วงเวลาเดียวกัน การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเกิดจากก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ก๊าซเรือนกระจกมีคุณสมบัติในการดูดกลืนความร้อนทำให้ความร้อนไม่สามารถระบายออกไปนอกบรรยากาศโลกได้ ทำให้โลกร้อนขึ้นจากปรากฏการณ์เรือนกระจกทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

4. ส่วนประกอบของภูมิอากาศ (Climate Component)

ส่วนประกอบทางกายภาพของระบบภูมิอากาศโลกมี 5 ส่วน ได้แก่ พื้นน้ำ (Hydrosphere) พื้นธรณี (Geosphere) บรรยากาศ (Atmosphere) ชีวภาพ (Biosphere) และธารน้ำแข็ง (Cryosphere) โดยส่วนประกอบทั้ง 5 ส่วนนี้ ได้รับและดูดซับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ไม่เท่ากัน โดยในบริเวณเขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตรจะเป็นบริเวณที่ร้อนที่สุดและบริเวณขั้วโลกจะเป็นบริเวณที่เย็นที่สุดทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลสารขึ้นเพื่อให้เกิดสมดุลของพลังงาน ซึ่งกระบวนการดังกล่าวทำให้เกิดการเคลื่อนและหมุนเวียนของมวลน้ำและอากาศ และมีอิทธิพลต่อภูมิอากาศโลก

5. แบบจำลองภูมิอากาศ (Climate Model)

แบบจำลองภูมิอากาศเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ข้อมูลเชิงปริมาณในการลอกเลียน (Simulate) ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานในบรรยากาศ มหาสมุทร พื้นดิน และน้ำแข็ง แบบจำลองนี้นำไปใช้ในวัตถุประสงค์ต่างๆ เช่น การศึกษาพลวัตของภูมิอากาศ (Weather) และระบบภูมิอากาศ (Climate System) ซึ่งปัจจุบันถูกนำมาใช้ในการสร้างสภาพเหตุการณ์ภูมิอากาศในอนาคตที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศ

แบบจำลองภูมิอากาศทุกชนิดใช้หลักการของสมดุลของพลังงานโลก คือ พลังงานที่โลกได้รับในสภาพคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นสั้น สมดุลกับการส่งถ่ายพลังงานออกไปนอกบรรยากาศโลกในสภาพรังสีความร้อนในช่วงคลื่นยาว (Far-Infrared) ความไม่สมดุลของพลังงานนำเข้ามาและพลังงานส่งออกทำให้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิโลกเปลี่ยนแปลง เช่น การเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกซึ่งดูดกลืนพลังงานความร้อนทำให้บรรยากาศโลกดูดซับความร้อนไว้มากขึ้น

2.1.1.3 ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศในอนาคตเป็นข้อมูลสำคัญที่ใช้เป็นข้อมูลนำเข้าให้กับแบบจำลองภูมิอากาศ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกอาจจะเปลี่ยนแปลงไปในอนาคต ตามแนวทางการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมในทิศทางต่างๆ กัน ซึ่งคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลง



สภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change หรือ IPCC) ได้กำหนดความเป็นไปได้ของการพัฒนาเป็น 4 รูปแบบหลัก ภาพประกอบ 2.1 (อำนาจ ชิดโรสง และคณะ, 2553)

1. แบบ A เป็นการพัฒนาโดยให้ความสำคัญกับการเติบโตทางเศรษฐกิจเป็นหลัก โดยแบ่งย่อยเป็น

1) แบบ A1 คือ อนาคตการเติบโตทางเศรษฐกิจสูง ประชากรโลกสูงสุดในกิ่งศตวรรษและลดลงเล็กน้อย หลังจากนั้นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูง มีการพัฒนาบุคลากร มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างวัฒนธรรม ความแตกต่างของรายได้ประชาชาติระหว่างภูมิภาคลดลง ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Scenario) แบบ A1 นี้ ยังแยกออกเป็นภาพจำลองย่อยต่างๆ คือ

1.1) A1FI (Fossil Intensive) เป็นการพัฒนาที่ขึ้นอยู่กับพลังงานฟอสซิล เช่น น้ำมัน ถ่านหินอย่างมาก

1.2) A1T (Non-Fossil Energy Sources and Technology) เป็นการพัฒนาโดยไม่ใช้พลังงานฟอสซิลเป็นหลักแต่ใช้เทคโนโลยีอื่นๆ แทน

1.3) A1B (Balance of All Sources) พัฒนาโดยมีความสมดุลของแหล่งพลังงานที่ใช้ ไม่เน้นการใช้พลังงานฟอสซิล หรือพลังงานหมุนเวียน แต่ให้มีการผสมผสานระหว่างพลังงานทั้งสองแบบ

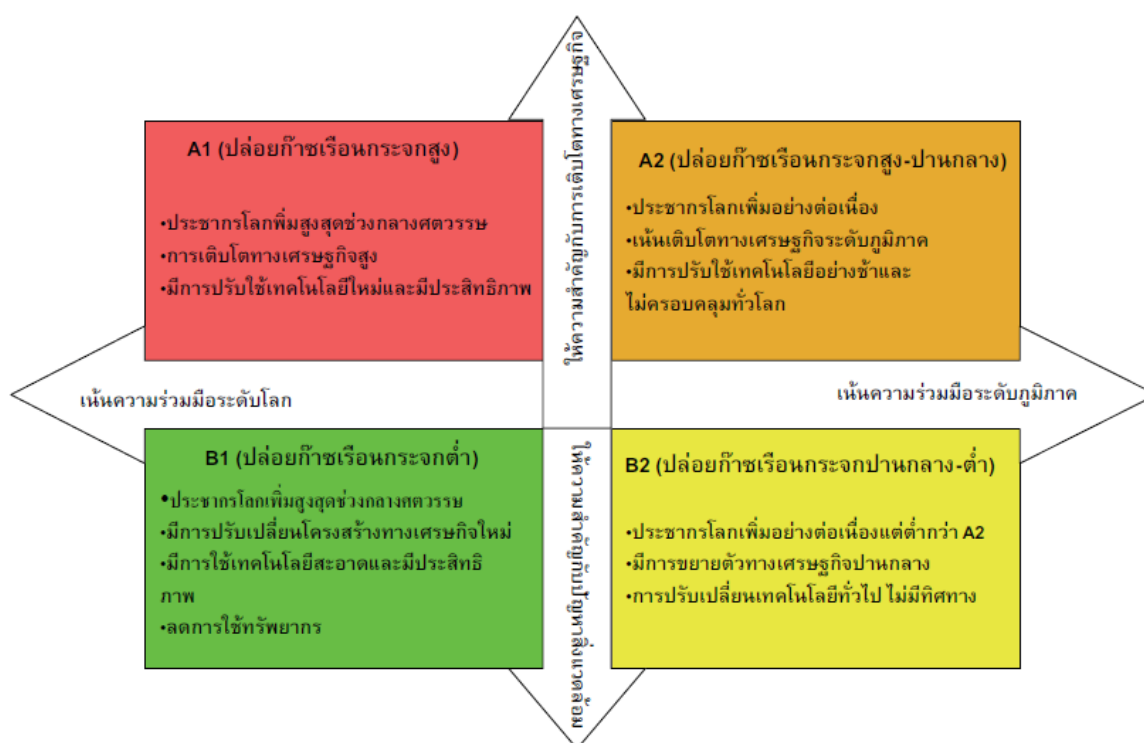
2) แบบ A2 คือ การพัฒนาในอนาคตของโลกมีความหลากหลายพึ่งตนเองมากขึ้นภายในภูมิภาค มีการอนุรักษ์เอกลักษณ์ท้องถิ่น จำนวนประชากรเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การพัฒนาเศรษฐกิจขึ้นอยู่กับภูมิภาค การเติบโตทางเศรษฐกิจและการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีช้ากว่าแบบอื่น และกระจายตามท้องถิ่นและภูมิภาค

2. แบบ B เป็นการพัฒนาโดยให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าการพัฒนาแบบ A โดยแบ่งย่อยเป็น

1) แบบ B1 เป็นภาพจำลองการพัฒนาที่ในอนาคต ประชากรเพิ่มสูงในตอนกิ่งกลางศตวรรษเช่นเดียวกับแบบ A1 และลดลงหลังจากนั้น แต่โครงสร้างเศรษฐกิจเปลี่ยนอย่างรวดเร็วไปเป็นภาคบริการและสารสนเทศลดการใช้วัตถุดิบการใช้เทคโนโลยีที่สะอาดเน้นที่การแก้ปัญหาเศรษฐกิจสังคม และสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืนในระดับนานาชาติมีความเสมอภาค แต่ไม่มีการนำประเด็นด้านภูมิอากาศเป็นแรงจูงใจ

2) แบบ B2 เป็นภาพจำลองการพัฒนาที่เน้นการแก้ปัญหาด้านเศรษฐกิจสังคมและสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืนในระดับท้องถิ่นหรือภูมิภาค ประชากรเพิ่มขึ้นต่อเนื่องแต่น้อยกว่า A2 มีการพัฒนาเศรษฐกิจปานกลาง การเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีหลากหลายและช้าลงกว่า B1 และ A1 โดยมีการปกป้องสิ่งแวดล้อม และความเสมอภาคของสังคมที่เน้นที่ท้องถิ่นและภูมิภาค





ภาพประกอบ 2.1 ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอนาคตจากรายงานของ IPCC (IPCC Special Report on Emission Scenario หรือ SRES) ที่มา: IPCC (2001)

2.1.2 แบบจำลองระบบภูมิอากาศของโลก (Global Climate Models: GCMs)

เป็นแบบจำลองที่รวมเอาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิมหาสมุทรของบรรยากาศและสมุทรศาสตร์ โดยแบบจำลองทางภูมิอากาศตัวแรกได้เกิดขึ้นที่ NOAA's Geophysical Fluid Dynamics Laboratory มหาวิทยาลัย Princeton ประเทศสหรัฐอเมริกา ในช่วงปลายคริสต์ทศวรรษ 1960 ปัจจุบันได้มีหลายหน่วยงานที่พัฒนาแบบจำลองภูมิอากาศขึ้นมาโดยใช้พื้นฐานแนวคิดคล้ายๆ กัน เช่น HadCM3 (Hadley Centre Coupled Model, Version 3) ที่ถูกพัฒนาขึ้นที่ Hadley Centre ประเทศอังกฤษ โดยการรวมเอาแบบจำลองบรรยากาศ HadAM3 ซึ่งคำนวณที่ความละเอียดทุกๆ 2.5 x 3.75 องศา ในแนวละติจูดและลองจิจูดเข้ากับแบบจำลองสมุทรศาสตร์ HadOM3 ซึ่งคำนวณที่ความละเอียดทุกๆ 1.25x1.25 องศา ในแนวละติจูดและลองจิจูด โดยในการรวมแบบจำลองได้คำนึงถึงการถ่ายเทความร้อน ความชื้น และโมเมนตัมระหว่างพื้นผิวที่สัมผัสกันระหว่างบรรยากาศกับมหาสมุทร หรือแบบจำลองที่พิจารณาแต่ผลของการไหลเวียนของบรรยากาศเพียงอย่างเดียวอย่าง ECHAM4 ที่พัฒนามาจากแบบจำลอง European Centre for Medium Range Weather Forecast: ECMWF



โดย Max Planck Institute for Meteorology และ German Climate Computing Centre ประเทศเยอรมัน

แม้ว่าการใช้แบบจำลอง GCMs เพื่อการทำนายการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศของโลก จะพัฒนาขึ้นและเป็นที่ยอมรับอย่างมาก แต่สำหรับภูมิภาคหรือประเทศขนาดเล็กที่มีพื้นที่ไม่มาก การใช้ GCMs จะไม่สามารถอธิบายถึงลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาของพื้นที่ต่างๆ ได้เนื่องจากความละเอียดในการคำนวณของ GCMs มีไม่มากพอ ทำให้จำนวนตารางกริดของการคำนวณน้อยเกินไปที่จะแสดงลักษณะเฉพาะของพื้นที่ได้ เช่น ภาคเหนือของประเทศไทย เมื่อคำนวณด้วยแบบจำลอง GCM HadAM3 ซึ่งคำนวณที่ความละเอียดทุกๆ 2.5×3.75 องศา ในแนวละติจูดและลองจิจูด จะมีจุดที่แสดงเพียง 2 จุดเท่านั้น คือ ภาคเหนือฝั่งตะวันตกรวมถึงบางส่วนของประเทศพม่า 1 จุด และฝั่งตะวันออก รวมถึงบางส่วนของประเทศลาวเป็นจุดที่ 2 ดังนั้นการที่จะศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของภูมิภาคใดภูมิภาคหนึ่งหรือประเทศใดประเทศหนึ่ง จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีกระบวนการในการเพิ่มความละเอียดของการคำนวณที่ในทางการใช้แบบจำลองเรียกว่ากระบวนการ “Down Scale” ซึ่งวิธีการที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมี 3 วิธีได้แก่ วิธีการทางสถิติ วิธีการทางพลศาสตร์ และวิธีผสมผสานระหว่างสถิติและพลศาสตร์ (IPCC, 2007)

2.1.3 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศระดับภูมิภาค (Regional Climate Models; RCMs)

เทคนิคของแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศภูมิภาคแบบซ้อนใน (Nested Regional Climate Modeling) ประกอบด้วยการใช้เงื่อนไขเริ่มต้นที่เป็นข้อมูลอุตุนิยมวิทยาซึ่งเป็นอิสระกับเวลาและอยู่รอบนอกของพื้นที่ศึกษา พร้อมทั้งเงื่อนไขขอบพื้นผิวในการขับเคลื่อน RCMs ซึ่งมีความละเอียดสูง ข้อกำหนดดังกล่าวได้จากแบบจำลอง GCMs หรือการตรวจวัดโดยตรง และยังสามารถใช้ก๊าซเรือนกระจกและละอองลอยเป็นแรงบังคับ เทคนิคดังกล่าวถูกประยุกต์ใช้ในลักษณะทิศทางเดียว กล่าวคือผลการสร้างภาพจำลองด้วย RCMs จะไม่ใช้ในการขับเคลื่อน GCMs หลักการของเทคนิคนี้ คือ การใช้แบบจำลองระดับโลกในการจำลองแบบการตอบสนองของการหมุนเวียนระดับโลกต่อแรงบังคับสเกลใหญ่ และ RCMs เพื่อคำนึงถึงแรงบังคับจากส่วนย่อยของ GCMs ในเชิงกายภาพ เช่น ลักษณะภูมิประเทศที่ซับซ้อนพื้นที่ที่ไม่เหมือนกันการปกคลุมดินที่ไม่สม่ำเสมอ (Inhomogeneity) และเพิ่มสมรรถนะการจำลองแบบการหมุนเวียนของบรรยากาศ และตัวแปรภูมิอากาศในสเกลที่ละเอียดมากขึ้นเทคนิคแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศภูมิภาคแบบซ้อนในมีต้นกำเนิดจากการพยากรณ์อากาศ การใช้ RCMs ในการศึกษาด้านภูมิอากาศ ในปัจจุบัน RCMs ถูกประยุกต์ใช้ในการศึกษาด้านภูมิอากาศอย่างหลากหลาย ตั้งแต่บรรพภูมิอากาศ (Palaeoclimate) จนถึงการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศจากการกระทำของมนุษย์ RCMs สามารถให้ผลที่มีความละเอียดสูงในระดับ 10 - 20 กิโลเมตร หรือต่ำกว่า ครอบคลุม



ช่วงเวลาทศวรรษ และมีความสามารถในการแสดงให้เห็นกลไกการตอบสนองของภูมิอากาศในสเกลระดับภูมิภาค (พงศกร พวงชมพู และหริส ประสารณ์, 2556)

2.1.4 แบบจำลองเชิงตัวเลข PRECIS (Providing REgional CLimates for Impacts Studies)

เป็นแบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค (RCM) ที่พัฒนาขึ้นที่ The Met Office Hadley Centre for Climate Prediction and Research ประเทศอังกฤษ โดยมีเป้าหมายเพื่อสร้างแบบจำลองที่สามารถนำไปใช้ได้กับทุกพื้นที่ทั่วโลกโดยคำนวณได้บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ประสิทธิภาพสูงเพื่อตอบสนองความต้องการของประเทศต่างๆ ที่มีความประสงค์จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของภูมิภาคตัวเอง โดยมีพื้นฐานการพัฒนาจากแบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค รุ่นที่ 3 ของ Hadley Centre โดยเน้นการพัฒนาไปที่ความสะดวกของการใช้งานและการแสดงผลแก่ผู้ใช้ แบบจำลอง PRECIS สามารถให้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสภาพอากาศที่ดีกว่าแบบจำลอง GCMs โดยมีความละเอียดของข้อมูลเชิงพื้นที่ประมาณ 0.22 องศา หรือประมาณ 25 กิโลเมตร และสามารถ Re-Scale ได้ถึงประมาณ 20 x 20 ตารางกิโลเมตร (อำนาจ ชิดไธสง และคณะ, 2553)

2.1.4.1 รายละเอียดทางเทคนิคของ PRECIS

การจำลองบรรยากาศภายในแบบจำลองประกอบด้วย

1. พลศาสตร์ ประกอบด้วยการจำลองการไหลเวียนของบรรยากาศในทางอุตุนิยมวิทยา และเทอร์โมไดนามิกของบรรยากาศ รวมถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นบริเวณผิวพื้นและการรบกวนการไหลเวียนของบรรยากาศเนื่องจากอิทธิพลของความสูงของพื้นที่
2. วัฏจักรของซัลเฟอร์ในบรรยากาศ พิจารณาการกระจายตัวและช่วงชีวิตของผงซัลเฟตในบรรยากาศ ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของความหนาแน่นและปริมาณการปลดปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทั้งจากธรรมชาติและมนุษย์
3. เมฆและหยาดน้ำฟ้า พิจารณาการเกิดเมฆก่อตัวทางตั้งและเมฆแผ่นขนาดใหญ่จากผลของหยาดน้ำฟ้ารวมถึงปริมาณรังสีที่บรรยากาศได้รับ
4. กระบวนการในการรับและแผ่รังสี ภายในแบบจำลองจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้น ความหนาแน่น คุณสมบัติของก๊าซในบรรยากาศ ความหนาแน่นของซัลเฟต ฝุ่นควันแขวนลอยในบรรยากาศ เมฆ การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณรังสีที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาของปี
5. คุณสมบัติของพื้นดิน พิจารณาถึงการปกคลุมดินในแง่ผลกระทบต่อ การไหลเวียนของอากาศ การรับพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ หยาดน้ำฟ้า การปลดปล่อยพลังงานความร้อน และความชื้นกลับสู่บรรยากาศ การไหลบ่าของน้ำที่เกิดจากฝน อุณหภูมิตามความลึกของดิน ความสามารถในการรองรับและการดูดซึมน้ำ



2.1.4.2 เงื่อนไขบริเวณขอบเขตของการคำนวณ แบ่งเป็น 2 ส่วนได้แก่

1. ขอบเขตบนพื้นผิวของการคำนวณ ต้องการข้อมูลนำเข้าเฉพาะในบริเวณที่ปกคลุมด้วยน้ำเท่านั้น โดยปัจจัยที่ต้องการได้แก่ อุณหภูมิบริเวณพื้นพื้นผิวและการปกคลุมของน้ำแข็ง ตลอดช่วงเวลาที่ทำการคำนวณด้วยแบบจำลอง
2. ขอบเขตด้านข้างของการคำนวณ ต้องการข้อมูลทางพลศาสตร์ของบรรยากาศที่ขอบของการคำนวณประกอบด้วยข้อมูล ความกดอากาศที่ผิวพื้น ลม อุณหภูมิ ความชื้นและข้อมูลทางเคมีของบรรยากาศ สำหรับขอบเขตด้านบนของการคำนวณต้องการเพียงข้อมูลปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์เท่านั้น

2.1.4.3 การนำ PRECIS Model มาใช้ในการคาดหมายลักษณะภูมิอากาศของประเทศไทย

หลังจากที่ทางศูนย์เครือข่ายฯ ได้ศึกษาและทดลองใช้แบบจำลอง PRECIS มารยะหนึ่ง จึงได้พิจารณาเอาแบบจำลองดังกล่าวมาใช้ในการคาดหมายลักษณะภูมิอากาศในรอบ 100 ปีข้างหน้าของประเทศไทยโดยมีรายละเอียดของการทำงานดังนี้

1. กำหนดพื้นที่คำนวณระหว่างละติจูด 0 - 35 องศาเหนือ ลองจิจูด 90 - 112 องศาตะวันออก ด้วยความละเอียดของการคำนวณทุกๆ 0.22 x 0.22 องศา หรือประมาณ 25 x 25 กม. / หนึ่งพื้นที่คำนวณ
2. กำหนดช่วงเวลาในการคำนวณ แบ่งช่วงเวลาของการคำนวณตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1960 - 1989 และ ค.ศ. 2010 - 2100 ออกเป็นช่วงๆ ละ 10 ปี โดยแต่ละช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณ กำหนดให้แบบจำลองเริ่มทำการคำนวณก่อนเวลาที่จะนำไปใช้ 2 ปี เพื่อให้แบบจำลองได้เข้าสู่ภาวะสมดุลย์ของข้อมูลเริ่มต้นและขอบเขตที่ได้รับจาก GCMs ก่อนที่จะถึงช่วงเวลาที่จะใช้ผลการคำนวณ
3. รูปแบบของการเปลี่ยนแปลงลักษณะภูมิอากาศในอนาคต เลือกใช้ชุดข้อมูลจาก GCMs ECHAM4 ในรูปแบบของการคาดหมายการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศแบบ A2 และ B2 โดยที่ทาง Hadley Center ผู้พัฒนา Software PRECIS ได้จัดเตรียมชุดข้อมูลดังกล่าวในรูปแบบที่ Software PRECIS สามารถใช้งานได้มาพร้อมแล้ว
4. การกำหนดรูปแบบของผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ ในเบื้องต้นกำหนดไว้สำหรับเผยแพร่ใน 2 รูปแบบได้แก่
 - 1) ผลการคำนวณในลักษณะของ Text Files ซึ่งให้ผลการคำนวณในทุกจุดที่พื้นที่คำนวณครอบคลุมถึงแบบรายวัน ในตัวแปร ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ทิศทางและความเร็วลม ปริมาณรังสีคลื่นสั้น/หน่วยพื้นที่ ที่ตกกระทบผิวพื้น



2) การสรุปผลการคำนวณในลักษณะของ GIS ซึ่งในเบื้องต้นจะทำเฉพาะ บางตัวแปรเท่านั้น อย่างไรก็ตามในส่วนของชนิดตัวแปรที่จะเผยแพร่หลังจากเสร็จสิ้นโครงการอาจจะทำการเพิ่มเติมได้อีกหากเป็นความต้องการของผู้ใช้ นอกจากนี้ในส่วนของผลที่ได้จาก PRECIS ซึ่งเป็นรูปแบบเฉพาะของแบบจำลองทั้งในส่วนรูปแบบของการจัดเก็บข้อมูล รูปแบบของพื้นที่ที่ใช้ในการคำนวณรวมถึงหน่วยของตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ ซึ่งในเบื้องต้นได้พิจารณาแล้วเห็นว่ายังไม่มี ความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานจริงหรือเผยแพร่ได้โดยตรง จึงได้มีการปรับรูปแบบของผลลัพธ์จากแบบจำลองดังนี้

2.1) ตัดขอบของพื้นที่การคำนวณเนื่องจากข้อจำกัดของทุกแบบจำลอง จะอยู่ที่ความผิดพลาดบริเวณพื้นที่ขอบของการคำนวณที่เรียกกันว่า Boundary Error ดังนั้นเมื่อแบบจำลองได้คำนวณเสร็จจึงได้ตัดบริเวณขอบของการคำนวณออก 2 กริด หรือ 0.44 องศา หรือ ประมาณ 50 กม.

2.2) เนื่องจากในแบบจำลองมีการกำหนดแผนที่ด้วยวิธี Polar Projection ซึ่งมองว่าเส้นลองจิจูดทุกเส้นไปบรรจบกันบริเวณขั้วโลก ทำให้ระยะห่างระหว่างเส้นลองจิจูดที่ละติจูดต่างกันจะไม่เท่ากัน โดยที่บริเวณเส้นศูนย์สูตรนั้นระยะห่างระหว่างเส้นลองจิจูดแต่ละเส้นจะมากที่สุดและค่อยๆ แคบลงไปจนถึงขั้วโลกทั้ง 2 ด้าน แต่การกำหนดจุดของการคำนวณในแบบจำลองเป็นแบบขนาดของแต่ละกริดคงที่ เมื่อเลือกจำนวนกริดของการคำนวณในแนวตะวันออก-ตะวันตก แล้วจะทำให้จำนวนลองจิจูดที่ปรากฏในบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรมีน้อยกว่าจำนวนลองจิจูดในบริเวณที่ละติจูดที่สูงกว่า ซึ่งหากนำผลดังกล่าวมาแสดงโดยตรงอาจจะสร้างความลำบากให้กับผู้ใช้ที่ไม่คุ้นเคย รวมถึงแบบจำลองอื่นๆ ที่มีรูปแบบของการกำหนดแผนที่แบบ Mercator ที่ให้ระยะห่างของลองจิจูดเท่ากันทั่วโลกแบบแผนที่ที่สามารถพบเห็นได้ทั่วไป โดยวิธีการในการคลี่แผนที่จาก Polar Projection เป็น Mercator Projection นั้นใช้ Software ที่มีอยู่ในส่วนประกอบของ PRECIS เอง โดย Software ดังกล่าวจะทำการ Interpolate ผลที่ได้จากการคำนวณ ด้วยวิธีการที่แตกต่างกันในตัวแปรแต่ละชนิด (รายละเอียดเพิ่มเติมสามารถอ่านได้ที่ UM Documentation: The Full Scientific and Technical Manual of The Unified Model) ผลที่ได้จากการคลี่แผนที่นี้ ได้แก่ การปรับพื้นที่ซึ่งเป็นผลของการคำนวณ ให้อยู่ในตำแหน่งละติจูด และลองจิจูดตามระบบ Mercator รวมทั้งทำให้ความละเอียดของการคำนวณถูกปรับลงมาอยู่ที่ 0.20 องศาหรือประมาณ 20 กิโลเมตร

2.3) การเปลี่ยนรูปแบบการจัดเก็บข้อมูลจากแบบฐาน 2 ซึ่งเป็นรูปแบบการจัดเก็บที่ทำให้สามารถเก็บข้อมูลจำนวนมากให้อยู่ในแฟ้มข้อมูลขนาดเล็กได้ แต่มีข้อเสียคือ Binary File นี้อยู่ใน Format ที่ไม่เป็นที่คุ้นเคยของกลุ่มผู้ใช้จึงได้จัดทำเป็นแฟ้มข้อมูลแบบ ASCII หรือ Text File ที่แม้ว่าจะมีขนาดของแฟ้มข้อมูลใหญ่กว่า แต่ทำให้มีความสะดวกต่อการนำไปใช้ของผู้ใช้ทั่วไปมากยิ่งขึ้นด้วย โดยให้รูปแบบของการจัดเก็บข้อมูลเป็นลักษณะตาราง โดยในแต่ละแถวจะเป็นข้อมูลรายวัน



ของตัวแปรที่กำหนดของแต่ละกริดที่ได้จากแบบจำลอง โดย 1 แฟ้มข้อมูลจะเป็นข้อมูลรายวันของ 1 ตัวแปรทั้งพื้นที่ที่คำนวณ/ 1 ปี

2.4) การเปลี่ยนหน่วยที่ได้จากผลการคำนวณ เนื่องจากแบบจำลองได้ถูกออกแบบมาให้ตัวแปรต่างๆ ใช้หน่วยเป็นมาตรฐานเดียวกันเพื่อสะดวกในการคำนวณแต่อาจจะไม่เป็นที่คุ้นเคยต่อผู้ใช้จึงได้มีการคำนวณเพื่อเปลี่ยนหน่วยในตัวแปรต่างๆ ดังตาราง 2.1

ตาราง 2.1 การเปลี่ยนหน่วยที่ได้จากผลการคำนวณ

ตัวแปร	หน่วยจาก PRECIS	สมการ	หน่วยที่ได้
อุณหภูมิ (T)	เคลวิน (K)	$T(^{\circ}\text{C}) = T(^{\circ}\text{K}) - 273.15$	เซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)
ปริมาณน้ำฝน (P)	กิโลกรัม/ตร.ม.วินาที (kg)	$P(\text{mm}) = P (\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1})$	มม.(mm)
ทิศทางลม (Wdir)	Wind U,V component	$Wdir = 2 \cdot \text{ArcTAN}(U/V) * 360$	องศาจากทิศเหนือ
ความเร็วลม	Wind U,V component	$Wspeed = \text{SQRT}(U^2+V^2)$	เมตร/วินาที (m/s)

2.5) หาค่าอื่นๆ ที่คาดว่าจะจะเป็นประโยชน์ต่อการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ดังตาราง 2.2

ตาราง 2.2 หน่วยของข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ

ข้อมูล	เกณฑ์	หน่วย
จำนวนวันฝนตก	มีปริมาณน้ำฝน/วัน มากกว่า 3 มม.	วัน
จำนวนวันอากาศร้อน	มีอุณหภูมิสูงสุดของวันสูงกว่าหรือเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส	วัน
จำนวนวันอากาศเย็น	มีอุณหภูมิต่ำสุดของวันต่ำกว่า 16 องศาเซลเซียส	วัน

2.1.5 แบบจำลอง NAM Model

แบบจำลอง NAM Model ถูกพัฒนาขึ้นโดย Nielsen และ Hansen (1973) จาก Institute of Hydrodynamics and Hydraulics Engineering, Technical University of Denmark แบบจำลอง NAM Model สามารถนำมาใช้ในการจำลองกระบวนการน้ำฝน-น้ำท่า ต่อมาได้มีการรวมเอาแบบจำลอง NAM Model เข้าไปรวมไว้ในซอฟต์แวร์ MIKE 11 โดย Danish Hydrodynamic and Hydraulic Institute (DHI) เพื่อนำมาใช้ในการจำลองปริมาณน้ำท่าของการไหลเข้าด้านข้าง (Lateral Inflow) เพื่อใช้เป็นข้อมูลกราฟน้ำท่าสำหรับจุดพิจารณาต่าง ๆ สำหรับแบบจำลองย่อยอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic Module; HD) ในซอฟต์แวร์ MIKE 11 (นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์, 2544)



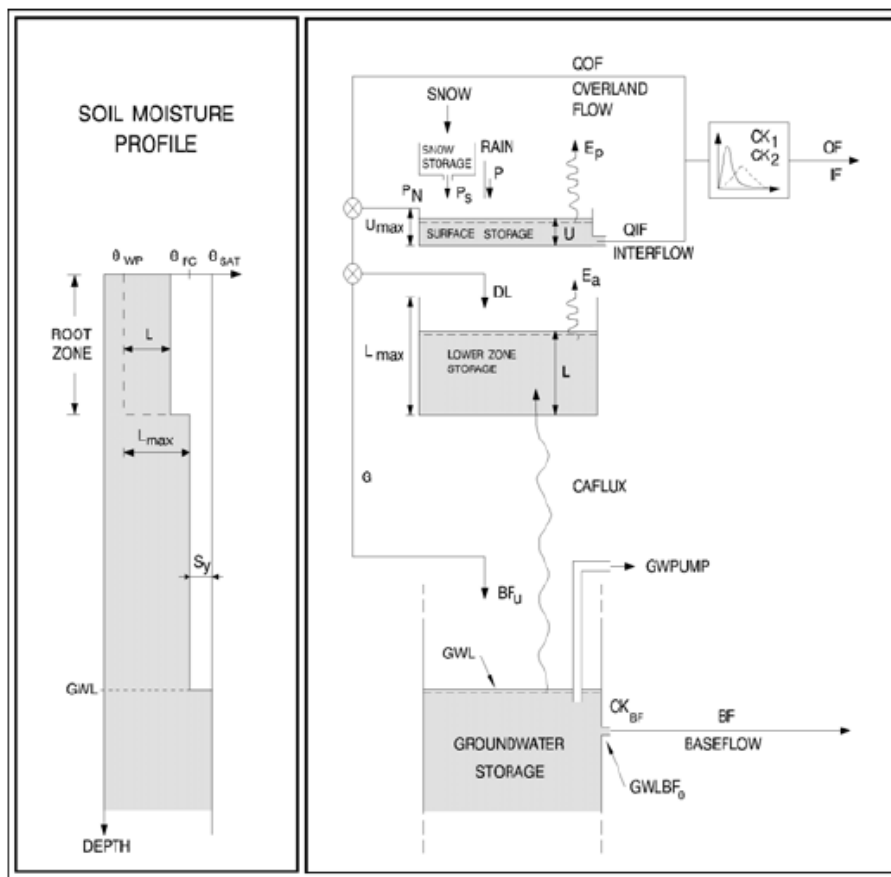
แบบจำลอง NAM Model จัดอยู่ในแบบจำลองประเภทลัมพ์ (Lumped System Routing) ซึ่งมีพื้นฐานของการเฉลี่ยตามพื้นที่ (Spatial Averaging) โดยเป็นการเฉลี่ยแบบทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่พิจารณาโดยกำหนดให้แต่ละลุ่มน้ำย่อยเป็นหนึ่งหน่วยในการประเมินกราฟน้ำท่า โดยแบบจำลอง NAM Model นั้น การคำนวณกราฟน้ำท่าจะพิจารณาให้เป็นฟังก์ชันของเวลาเพียงอย่างเดียว ณ จุดที่พิจารณา ในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM Model จำเป็นต้องใช้ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยาเป็นข้อมูลด้านเข้า ซึ่งประกอบด้วย 1) ข้อมูลน้ำฝน 2) ปริมาณการระเหย และ 3) อุณหภูมิ (Temperature) สำหรับในกรณีที่มีหิมะเป็นองค์ประกอบของปริมาณน้ำท่า ซึ่งไม่นำมาพิจารณาสำหรับประเทศไทย สำหรับผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง NAM model คือ กราฟน้ำท่า รวมทั้งองค์ประกอบของปริมาณน้ำท่าในแต่ละส่วน อาทิเช่น ปริมาณการไหลบ่าบนผิวดิน (Overland Flow) ปริมาณการไหลซึมลงสู่ชั้นใต้ดิน (Lower Zone Storage) และปริมาณการไหลของน้ำใต้ดิน (Groundwater Storage) เป็นต้น ในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM Model นั้น ในกรณีที่พื้นที่ลุ่มน้ำที่ศึกษามีขนาดใหญ่จะต้องทำการแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำออกเป็นลุ่มน้ำย่อย โดยจะต้องทำการสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration) และตรวจพิสูจน์แบบจำลอง (Verification) เพื่อให้ได้พารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลองในแต่ละลุ่มน้ำย่อย จากนั้นจึงสามารถนำพารามิเตอร์ที่ได้มาประยุกต์ใช้เพื่อการประเมินกราฟน้ำท่าจากข้อมูลน้ำฝนในกรณีต่าง ๆ ต่อไป (สุพรรณษา บำรุงพงศ์, 2550)

2.1.5.1 โครงสร้างของแบบจำลอง (Module Structure)

แบบจำลอง NAM มีการแบ่งการเก็บกักของปริมาณน้ำในส่วนต่าง ๆ ออกเป็น 4 ส่วน ดังแสดงในภาพประกอบ 2.2 ซึ่งประกอบด้วย

1. การเก็บกักของหิมะ (Snow Storage) ขึ้นอยู่กับอัตราการละลายตัวของหิมะ Q_{melt} ซึ่งจะไปเพิ่มปริมาณน้ำให้กับการเก็บกักของผิวดิน ส่วนเก็บกักของหิมะนี้ไม่ใช้ในการศึกษาในประเทศไทย
2. การเก็บกักบนผิวดิน (Surface Storage) คือปริมาณน้ำที่ค้างอยู่บนพืช และเก็บกักอยู่ในแอ่งบนพื้นดิน โดยที่ U_{max} คือปริมาณน้ำมากที่สุดที่จะเก็บได้ในส่วนของการเก็บกักบนผิวดิน
3. การกักเก็บของชั้นดินส่วนล่าง (Lower Zone Storage) คือปริมาณความชื้นของชั้นดินที่อยู่ลึกลงไปจากผิวดิน โดยที่ L_{max} คือปริมาณน้ำมากที่สุดที่จะเก็บได้ในส่วนของการเก็บกักของชั้นดินส่วนล่าง
4. การเก็บกักของชั้นน้ำใต้ดิน (Groundwater Storage) คือปริมาณน้ำที่ซึมผ่านการเก็บกักบริเวณชั้นดินส่วนล่าง (lower zone storage)





ภาพประกอบ 2.2 แสดงโครงสร้างของแบบจำลอง NAM Model

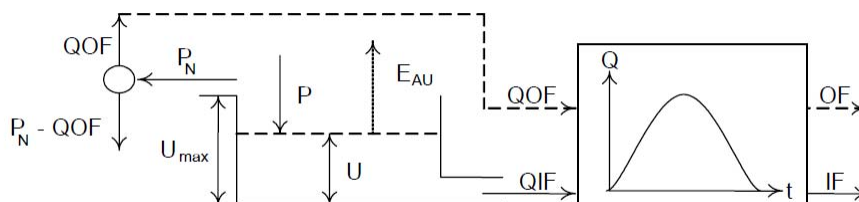
ที่มา: Danish Hydraulic Institute (2001)

2.1.5.2 การคำนวณของแบบจำลอง

1. การเก็บกักบนผิวดิน (Surface Storage)

การเลียนแบบวัฏจักรทางอุทกวิทยาบนผิวดิน เริ่มตั้งแต่ฝนที่ตกลงมาน้ำฝนจะมีการเก็บกักโดยพืช และซังตามทีลุ่มในบริเวณชั้นผิวดินโดยจะอยู่ในรูปของปริมาณเก็บกักบนพื้นผิว (Surface Storage) โดยค่าการเก็บกักสูงสุดเท่ากับ U_{max} ซึ่งปริมาณน้ำใน Surface Storage (U) จะลดลงอย่างต่อเนื่องโดยการระเหย การใช้น้ำของพืช และการไหลในแนวราบ (Interflow) ปริมาณน้ำในชั้นนี้จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณฝน แต่เมื่อปริมาณน้ำขึ้นถึงระดับ U_{max} น้ำส่วนเกิน (P_n) จะไหลออกมาในรูปของ Overland Flow และมีบางส่วนไหลซึมลงสู่ Lower Zone Storage และ Groundwater Storage ในส่วนของ Root Zone คือส่วนที่ต่ำกว่าพื้นผิวที่เรียกว่า Lower Zone Storage จะมีค่าการเก็บกักสูงสุดเท่ากับ L_{max}

เมื่อ $U \geq U_{max}$ น้ำส่วนเกิน (P_n) จะไหลออก เมื่อ QOF เป็นส่วนหนึ่งของ P_n ที่แปรสภาพเป็น Overland Flow โดยเป็นสัดส่วนกับ P_n และแปรผันโดยตรงกับค่าความจุความชื้นสัมพัทธ์ในดิน (L/L_{max}) ของ Lower Zone Storage ดังแสดงในภาพประกอบ 2.3 และสามารถคำนวณได้จากสมการ (1) ดังนี้



ภาพประกอบ 2.3 แสดงขบวนการเกิด Interflow และ Overland Flow ในชั้น Surface Storage ในแบบจำลอง NAM Model ที่มา: วิษุวัตม์กั แต่สมบัติ (2546)

$$QOF = \begin{cases} CQOF \frac{L/L_{max} - TOF}{1 - TOF} P_N & \text{for } L/L_{max} > TOF \\ 0 & \text{for } L/L_{max} \leq TOF \end{cases} \quad (1)$$

เมื่อ QOF = Overland Flow
 CQOF = Overland Flow Runoff Coefficient
 TOF = ค่าเริ่มต้นของอัตราส่วน L/L_{max} ที่ทำให้เกิด Overland Flow
 P_N = ปริมาณน้ำฝนส่วนเกิน (Excess Rainfall)

ปริมาณน้ำส่วนที่กลายเป็น Interflow จะเป็นสัดส่วนกับปริมาณเก็บกักชั้นบน (U) แปรผันโดยตรงกับความจุความชื้นสัมพัทธ์ (L/L_{max}) ในชั้น Lower Zone Storage ดังสมการ

$$QIF = \begin{cases} (CIFI)^{-1} \frac{L/L_{max} - TIF}{1 - TIF} U & \text{for } L/L_{max} > TIF \\ 0 & \text{for } L/L_{max} \leq TIF \end{cases} \quad (2)$$

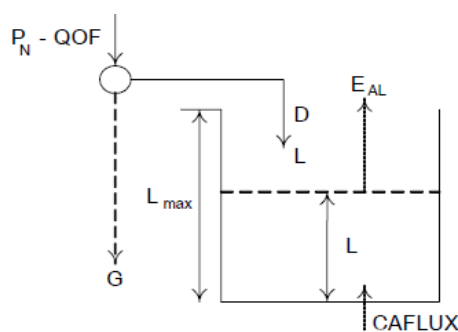
เมื่อ QIF = Interflow
 CKIF = Time Constant for Interflow



- TIF = ค่าเริ่มต้นของ L/L_{max} ในชั้น Root Zone ที่ทำให้เกิด Interflow
 L = ความชื้นของดินในชั้น Lower Zone Storage
 L_{max} = ความจุของน้ำในชั้น Lower Zone Storage
 U = ความชื้นของดินในชั้น Surface Storage

2. การเก็บกักในชั้นดินส่วนล่าง (Lower Zone Storage)

เมื่อปริมาณฝนส่วนเกิน (P_N) ในส่วนที่ไม่กลายเป็น Overland Flow จะไหลซึมลงสู่ชั้น Lower Zone Storage ในปริมาณที่เท่ากับ ($P_N - QOF$) ซึ่งน้ำส่วนนี้จะแยกลงสู่ชั้นใต้ดินที่ลึกกว่าคือ Groundwater Storage ในปริมาณเท่ากับ G คำนวณได้จากสมการ (3) และส่วนที่เหลือจะเพิ่มความชื้นของดินในชั้น Lower Zone เท่ากับ DL คำนวณได้จากสมการ (4) และแสดงในภาพประกอบ 2.4



ภาพประกอบ 2.4 แสดงขบวนการเกิด DL และ G ในชั้น Lower Zone
 ในแบบจำลอง NAM Model ที่มา: วิษุวัตน์ แต่สมบัติ (2546)

$$DL = (P_N - QOF) - G \quad (3)$$

$$G = \begin{cases} (P_N - QOF) \frac{L/L_{max} - TG}{1 - TG} & \text{for } L/L_{max} > TG \\ 0 & \text{for } L/L_{max} \leq TG \end{cases} \quad (4)$$

- เมื่อ DL = ปริมาณน้ำที่เพิ่มความชื้นของดินในชั้น Lower Zone
 G = ปริมาณน้ำส่วนที่เติมให้ชั้น Groundwater Zone
 P_N = ปริมาณน้ำฝนส่วนเกิน (Excess Rainfall)
 TG = ค่าเริ่มต้นของอัตราส่วนของ L/L_{max} ที่ทำให้น้ำไหลซึมลงสู่ชั้น Groundwater Zone



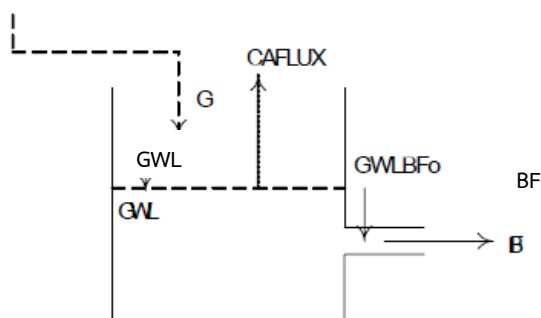
ปริมาณการคายระเหยของพืช (Evapotranspiration) เป็นข้อมูลตัวแรกที่ต้องทราบค่าเพื่อใช้ในการคำนวณในส่วนของ Surface Storage ถ้าปริมาณน้ำ (U) น้อยกว่าปริมาณการคายระเหย พืชจะใช้น้ำจาก Lower Zone Storage ในอัตราเท่ากับ E_a ซึ่งเป็นสัดส่วนกับ E_p (Potential Evapotranspiration) ดังแสดงในสมการ

$$E_A = E_p \times L/L_{max} \quad (5)$$

เมื่อ E_A = การคายระเหยที่เกิดขึ้นจริง
 E_P = Potential Evapotranspiration
 L/L_{max} = ความจุความชื้นสัมพัทธ์ในชั้น Lower Zone (L/L_{max})

3. การเก็บกักของชั้นน้ำใต้ดิน (Groundwater Storage)

ระดับน้ำใต้ดิน คำนวณจากปริมาณน้ำที่เพิ่มเข้ามา คือ G และพิจารณากับความลึกของระดับน้ำใต้ดินจากผิวดิน (GWL) และความลึกน้ำใต้ดินมากที่สุดที่ทำให้เกิด Base Flow ($GWLBF_0$) ดังแสดงในสมการ (6) และภาพประกอบ 2.5



ภาพประกอบ 2.5 ขบวนการเกิด Base Flow (BF) ในชั้น Groundwater Storage
 ที่มา: วิษุวัตม์ แต่สมบัติ (2546)

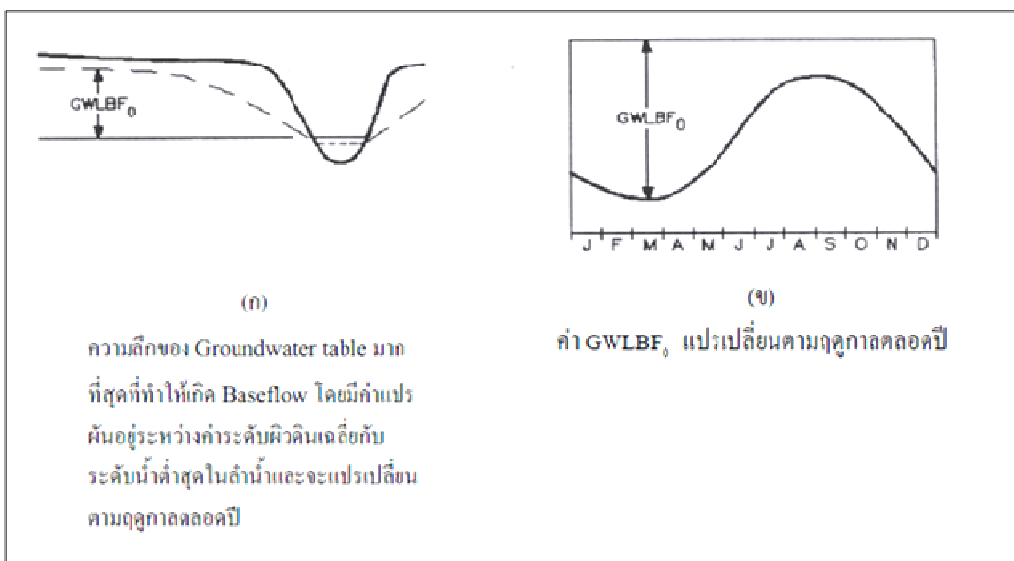
$$BF = \begin{cases} (GWLBF_0 - GWL) S_y (CK_{BF})^{-1} & \text{for } GWL \leq GWLBF_0 \\ 0 & \text{for } GWL > GWLBF_0 \end{cases} \quad (6)$$

เมื่อ BF = Base Flow
 GWL = ความลึกของน้ำใต้ดินจากระดับผิวดิน



- $GWLBF_0$ = ความลึกน้ำใต้ดินมากที่สุดที่ทำให้เกิด Base Flow
- S_y = Specific Yield ของน้ำใต้ดิน
- CK_{BF} = Time Constant สำหรับการเคลื่อนตัวของ Base Flow

โดยสามารถอธิบายความหมายทางกายภาพของตัวกำหนด $GWLBF_0$ ได้ดังแสดงในภาพประกอบ 2.6



ภาพประกอบ 2.6 ความหมายทางกายภาพของค่า $GWLBF_0$
ที่มา: Danish Hydraulic Institute (1992)

เมื่อความชื้นของดินในชั้น Lower Zone Storage มีน้อย ปริมาณน้ำส่วนหนึ่งจากชั้น Groundwater Storage จะไหลซึมขึ้นมาสู่ชั้น Lower Zone Storage เรียกว่า Capillary Flux (CAFLUX) โดยกำหนดให้ CAFLUX เป็นสัดส่วนกับความลึกของ Groundwater Table จากระดับผิวดิน (GWL) และความจุความชื้นสัมพัทธ์ในชั้น Lower Zone Storage (L/L_{max}) คำนวณได้จากสมการ (7)

$$CAFLUX = (1 - L/L_{max})^{\frac{1}{2}} \left(\frac{GWL}{GWLFL_1} \right)^{-\alpha} \tag{7}$$

$$\alpha = 1.5 + 0.45 GWLFL_1$$



เมื่อ CAFLUX = น้ำที่ไหลซึมสู่ชั้น Lower Zone Storage มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อวัน
 GWL = ความลึกของระดับน้ำใต้ดินจากผิวดิน
 GWLFL₁ = ความลึกของน้ำใต้ดิน ซึ่งทำให้ CAFLUX = 1 มิลลิเมตรต่อวัน
 ในสภาพที่ Lower Zone Storage แห่งสนิท (L = 0)
 L/L_{max} = ความจุความชื้นสัมพัทธ์ในชั้น Lower Zone Storage

4. การเคลื่อนตัวของน้ำท่า (Flow Routing)

การเคลื่อนตัวของปริมาณน้ำในส่วนของปริมาณการไหลระหว่างผิวดิน และน้ำใต้ดิน (Interflow) และปริมาณน้ำที่ไหลบนผิวดิน (Overland Flow) จะถูกทำให้เคลื่อนตัว (Routing) ในลักษณะของอ่างเก็บน้ำเชิงเส้น 2 ครั้ง ด้วยค่าคงที่ของเวลา CK₁ และ CK₂ ดังสมการ

ปริมาณการไหลบนผิวดิน (Overland Flow)

$$OF1_t = OF1_{t-1} \times e^{-\Delta t / CK_1} + QOF(1 - e^{-\Delta t / CK_1}) \quad (8)$$

$$OF_t = OF_{t-1} \times e^{-\Delta t / CK_2} + OF1_t(1 - e^{-\Delta t / CK_2}) \quad (9)$$

ปริมาณการไหลระหว่างผิวดินและน้ำใต้ดิน (Interflow)

$$IF1_t = IF1_{t-1} \times e^{-\Delta t / CK_1} + QIF(1 - e^{-\Delta t / CK_1}) \quad (10)$$

$$IF_t = IF_{t-1} \times e^{-\Delta t / CK_2} + IF1_t(1 - e^{-\Delta t / CK_2}) \quad (11)$$

เมื่อ CK₁, CK₂ = ค่าคงที่ของเวลาสำหรับการเคลื่อนที่ของปริมาณการไหลระหว่างชั้นน้ำผิวดินกับชั้นน้ำใต้ดิน และปริมาณการไหลบ่าบนผิวดิน

Δt = ช่วงเวลาสำหรับการคำนวณ

IF1_t, IF1_{t-1} = ปริมาณการไหลระหว่างผิวดินและน้ำใต้ดินที่ถูกทำให้เคลื่อนตัวในลักษณะของอ่างเก็บน้ำเชิงเส้นครั้งที่ 1 ณ เวลา t และ t-1

IF_t, IF_{t-1} = ปริมาณการไหลระหว่างผิวดินและน้ำใต้ดินที่ถูกทำให้เคลื่อนตัวในลักษณะของอ่างเก็บน้ำเชิงเส้นครั้งที่ 2 ณ เวลา t และ t-1

OF1_t, OF1_{t-1} = ปริมาณการไหลบนผิวดินที่ถูกทำให้เคลื่อนตัวในลักษณะของอ่างเก็บน้ำเชิงเส้นครั้งที่ 1 ณ เวลา t และ t-1

OF_t, OF_{t-1} = ปริมาณการไหลบนผิวดินที่ถูกทำให้เคลื่อนตัวในลักษณะของอ่างเก็บน้ำเชิงเส้นครั้งที่ 2 ณ เวลา t และ t-1



ในส่วนของการปรับแก้ค่าคงที่ของเวลา CK_1 และ CK_2 สำหรับการเคลื่อนตัวของปริมาณน้ำที่ไหลบนผิวดิน (Overland flow) จะเป็นไปตามสมการ

$$CK = CK_{par} \quad , OF \leq OF_{min} \quad (12)$$

$$= CK_{par} \left(\frac{OF}{OF_{min}} \right)^{-\beta} \quad , OF \leq OF_{min}$$

- เมื่อ OF = อัตราการไหลของ Overland Flow (มิลลิเมตรต่อชั่วโมง)
 CK_{par} = ค่าพารามิเตอร์ CK_1 หรือ CK_2 (ชั่วโมง)
 OF_{min} = ชีตจำกัดต่ำสุดสำหรับ Non-Linear Routing Dynamic ;
 (0.4 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง)
 β = ค่าสัมประสิทธิ์ทางพลศาสตร์การไหลของ Chezy (0.33)

2.1.5.3 พารามิเตอร์ของแบบจำลอง (Model Parameters)

ค่าพารามิเตอร์ ของแบบจำลองโดยปกติแล้วจะสามารถประมาณค่าเริ่มต้นจากลักษณะทั่วไปของกลุ่มน้ำ เช่น ความลาดชันของกลุ่มน้ำ ความลาดชันของแม่น้ำ ความหนาแน่นของแม่น้ำ ในลุ่มน้ำ ลักษณะดิน ลักษณะชั้นดิน และชนิดของพืชที่ปลูก แต่ในขั้นของการปรับเทียบแบบจำลอง ค่าพารามิเตอร์อาจแปรเปลี่ยนไปโดยยึดเกณฑ์ของความคล้ายคลึงกันของกราฟน้ำท่าจริงกับกราฟน้ำท่าจากแบบจำลอง (DHI, 1992) แบบจำลอง NAM Model ประกอบด้วยพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

1. U_{max} : ปริมาณการเก็บกักสูงสุดบนผิวดิน (Maximum Water Content in Surface Storage) คือ ค่าสูงที่สุดของปริมาณน้ำที่ขังไว้บนผิวดินในลักษณะของแอ่งน้ำตื้น ๆ หรือหลุมบ่อตื้น โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 10-20 มิลลิเมตร
2. L_{max} : ปริมาณการเก็บกักสูงสุดของชั้นรากพืช (Maximum Water Content in Root Zone Storage) คือ ปริมาณความชื้นสูงสุดในดินที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยมีค่าเท่ากับผลต่างของจุดอิ่มตัวของน้ำ (Field Capacity) และจุดเหี่ยวเฉาถาวร (Wilting Point) ของดินคูณกับค่าความลึกใช้การของรากพืช ซึ่งค่าเหล่านี้จะประมาณจากข้อมูลดิน
3. CQOF : ค่าสัมประสิทธิ์การไหลบ่าบนผิวดิน (Overland Flow Runoff Coefficient) คือพารามิเตอร์ที่ใช้แบ่ง Excess Rainfall ระหว่าง Overland Flow Runoff และ Infiltration ซึ่งไม่สามารถประมาณค่าพารามิเตอร์นี้ได้โดยตรงจากข้อมูลดิน แต่จะสามารถประมาณ



ความสัมพันธ์ได้คือ ถ้าลุ่มน้ำมีความลาดชันน้อย รวมทั้งมีลักษณะเป็นดินหยาบหรือดินทราย และมีชั้นดินอุ้มน้ำไว้ไม่ลึก ค่า CQOF จะมีค่าต่ำถ้าดินในลุ่มน้ำเป็นดินที่มีค่าความซึมน้ำต่ำ เช่น ดินเหนียวหรือหิน จะมีค่า CQOF สูง โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.01-0.90

4. CKIF : ค่าคงที่ของเวลาสำหรับการไหลในระหว่างชั้นผิวดินกับชั้นน้ำใต้ดิน (Time Constant for Interflow) เป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญไม่มากนักเนื่องจาก Interflow ไม่ใช่ตัวหลักที่ทำให้เกิด Streamflow โดย Interflow จะมีค่าลดลงเมื่อ CKIF มีค่าสูงขึ้น ค่าที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 500-1,000 ชั่วโมง

5. TOF : ค่าเริ่มต้นของชั้นรากพืชสำหรับการไหลบ่าบนผิวดิน (Root Zone Threshold Value for Overland Flow) คือ ค่าที่เป็นตัวกำหนดให้เกิด Overland Flow ในพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีน้ำมากและน้ำน้อยสลับกัน โดยจะเกิด Overland Flow ก็ต่อเมื่อความชื้นในเขตรากพืช (Root Zone) ต้องมากกว่าค่า TOF ค่านี้มีผลอย่างมากต่อเวลาเริ่มต้นของการเกิด Overland Flow หลังจากช่วงน้ำน้อย ปกติจะใช้ค่า 0-70 เปอร์เซ็นต์ของ L_{max}

6. TIF : ค่าเริ่มต้นของชั้นรากพืชสำหรับการไหลในระหว่างชั้นผิวดินและชั้นน้ำใต้ดิน (Root Zone Threshold Value for Interflow) คือ ค่าที่เป็นตัวกำหนดให้เกิด Interflow มีความหมายทำนองเดียวกับ TOF มีความสำคัญไม่มากนัก ส่วนมากจะกำหนดให้มีค่าเป็นศูนย์

7. TG : ค่าเริ่มต้นของชั้นรากพืชสำหรับการเติมปริมาณน้ำใต้ดิน (Root Zone Threshold Value for Groundwater Recharge) คือค่าที่เป็นตัวกำหนดให้เกิด Groundwater Recharge เป็นพารามิเตอร์สำคัญในการปรับเทียบแบบจำลองสำหรับซิมูเลชันการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำใต้ดินในช่วงเริ่มต้นของฤดูฝน

8. CK_1, CK_2 : ค่าคงที่ของเวลาสำหรับการเคลื่อนที่ของปริมาณการไหลในระหว่างชั้นน้ำผิวดินกับชั้นน้ำใต้ดินและปริมาณการไหลบ่าบนผิวดิน (Time Constant for Routing Interflow and Overland Flow) คือ พารามิเตอร์เพื่อการอธิบายรูปร่างของกราฟน้ำท่า สำหรับ Overland Flow, Interflow และระยะเวลาการเกิด Peak โดยทั่วไปจะกำหนดให้มีค่าเท่ากัน ทำให้เหลือพารามิเตอร์ระหว่างการปรับเทียบแบบจำลองเพียงค่าเดียว

9. S_y : ค่าผลผลิตจำเพาะ (Specific Yield) คือ ค่า Specific Yield สำหรับการเก็บกักน้ำใต้ดินอาจกำหนดจากข้อมูลอุทกธรณีวิทยา หรือ Pumping Test โดยทั่วไปอาจประเมินจากชนิดดิน สำหรับดินเหนียวมีค่าระหว่าง 1-10 เปอร์เซ็นต์ และดินทรายมีค่าระหว่าง 10 - 30 เปอร์เซ็นต์

10. CKBF : เวลาคงที่สำหรับการเคลื่อนที่ของปริมาณการไหลพื้นฐาน (Time Constant for Routing Baseflow) คือ ค่าที่ประมาณจาก Baseflow Recession Curve ในช่วงเริ่มต้นของฤดูแล้ง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 500-5,000 ชั่วโมง



11. GWLBF₀ : ความลึกของน้ำใต้ดินสูงสุดที่ทำให้เกิดปริมาณการไหลพื้นฐาน (Maximum Groundwater Depth Causing Baseflow) คือ ค่าความลึกมีหน่วยเป็นเมตร แปรผกผันอยู่ระหว่างค่าระดับผิวดินเฉลี่ยของพื้นที่ลุ่มน้ำกับระดับน้ำต่ำสุดที่จุดไหลออกสู่ลำน้ำ ที่ระดับน้ำใต้ดินเกือบถึงระดับผิวดินจะได้ค่าที่เหมาะสมคือ GWLBF₀ มีค่า 20 เมตรและค่า Sy ใช้ค่า 0.5 โดยมีข้อกำหนดว่าระดับน้ำใต้ดินต้องอยู่ต่ำกว่าระดับผิวดินเฉลี่ย

12. GWLFL₁ : ความลึกของน้ำใต้ดินสำหรับหนึ่งหน่วยของคาปิลลารีฟลักซ์ (Groundwater Depth for Unit Capillary Flux) คือ ค่าความลึกของระดับน้ำใต้ดิน (Groundwater Table) ที่จะทำให้เกิด Upward Capillary เท่ากับ 1 มิลลิเมตรต่อวัน ในเงื่อนไขที่ Lower Zone Storage อยู่ในสภาพที่แห้งสนิท ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของดินด้วย โดย GWLFL₁ มีค่าเป็นศูนย์ที่ Zero Capillary Flux

2.1.5.4 ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง NAM Model (Data Requirements)

ข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลอง NAM Model ประกอบด้วย

1. พารามิเตอร์ของแบบจำลอง (Model Parameter) โดยปกติแล้วจะสามารถประมาณค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากลักษณะทั่วไปของกลุ่มน้ำ

2. เงื่อนไขเริ่มต้น (Initial Conditions) ซึ่งประกอบด้วย ปริมาณการเก็บกักในส่วนของปริมาณการไหลบ่าบนผิวดิน (Overland Flow) ปริมาณการเก็บกักในระหว่างชั้นผิวดินและชั้นน้ำใต้ดิน (Interflow) และความลึกของน้ำใต้ดิน (Groundwater Depth) ที่จุดเริ่มต้นของการจำลองแบบ (Simulated)

3. ข้อมูลด้านอุทกนิยามวิทยา ประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณฝน ข้อมูลการระเหย และอุณหภูมิจึงอุณหภูมิจึงใช้ในกรณีมีขบวนการในการละลายของหิมะเท่านั้น โดยผลที่ได้จากแบบจำลองคือปริมาณน้ำท่า ซึ่งแสดงถึงการเกิดน้ำท่าจากผลของกระบวนการน้ำฝน-น้ำท่า

2.1.5.5 การปรับเทียบแบบจำลอง (Calibration)

การปรับเทียบแบบจำลองมีจุดประสงค์เพื่อทำให้เกิดความเข้ากันได้ดี (a Good Fit) ระหว่างข้อมูลที่ได้จากการบันทึกไว้ (Recorded Data) และค่าที่ได้จากการประมาณโดยแบบจำลอง ซึ่งกระทำได้โดยการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลอง (Control Parameter) ตามที่ได้กล่าวถึงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลอง NAM Model แล้วข้างต้น ซึ่งค่าของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในแต่ละลุ่มน้ำนั้นสามารถนำมาใช้เป็นตัวแทนที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง เพื่อใช้ในการจำลองแบบการตอบสนองของพื้นที่ลุ่มน้ำสำหรับเหตุการณ์พายุฝนอื่น ๆ ต่อไป

ในการปรับเทียบแบบจำลอง NAM Model นั้น ควรทำการศึกษาในช่วงเวลาประมาณ 3-5 ปี โดยการปรับเทียบแบบจำลองเพื่อพิจารณาการเข้ากันได้ดีระหว่างกราฟน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง และที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลนั้นสมควรพิจารณาความเข้ากันได้ดีของ

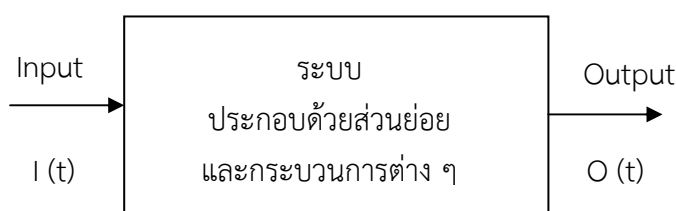


กราฟทั้งสองในหลาย ๆ องค์ประกอบ ตัวอย่างเช่น ความเข้ากันได้ดีของสมดุลงของน้ำ ความเข้ากันได้ดีของน้ำท่าโดยรวม ความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลที่ค่าสูง ๆ ความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลที่ค่าต่ำ ๆ เป็นต้น และในการเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าควรแสดงการเปรียบเทียบทีละปีเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณา

2.1.6 การวิเคราะห์ระบบและสมดุลงน้ำ

2.1.6.1 การวิเคราะห์ระบบ

ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติและทางสังคมหลายอย่างมีความสลับซับซ้อนเกินกว่าที่มนุษย์จะติดตามทำความเข้าใจในทุกจุดได้อย่างสมบูรณ์ มนุษย์จึงจำเป็นต้องมีแบบจำลองทางแนวความคิดเพื่อเป็นตัวแทนของปรากฏการณ์เหล่านั้นด้วยการทำความเข้าใจพฤติกรรมสำคัญของปรากฏการณ์ และอาจจะสามารถทำนายพฤติกรรมของปรากฏการณ์นั้นได้อีกด้วยแนวความคิดเกี่ยวกับระบบเป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งที่สามารถสร้างแบบจำลองอย่างง่ายเพื่ออธิบายปรากฏการณ์หรือกระบวนการที่สลับซับซ้อน ระบบ หมายถึงกลุ่มสิ่งของต่าง ๆ ที่เชื่อมโยงสัมพันธ์กันเป็นกระบวนการ สิ่งที่ใส่เข้าไปในระบบเรียกว่า Inputs ระบบจะทำหน้าที่กระทำการเปลี่ยนแปลง Inputs โดยอาศัยกระบวนการภายในระบบทำให้เกิดเป็นสิ่งที่ออกจากระบบ เรียกว่า Outputs ดังแสดงในภาพประกอบ 2.7 ระบบใหญ่ที่มีความสลับซับซ้อนจะสามารถจัดรวมเป็นกลุ่มย่อย ทำให้เกิดระบบของกลุ่มย่อย (Subsystems) การศึกษาวิเคราะห์ระบบทั้งหมดสามารถทำได้โดยแยกศึกษาวิเคราะห์ระบบย่อยแล้วนำผลที่ได้มารวมกันตามกระบวนการที่เชื่อมโยงระบบย่อยเข้าด้วยกันทำให้เกิดเป็นผลที่ได้จากระบบทั้งหมด ซึ่งทำให้สามารถแยกวิเคราะห์ระบบใหญ่ที่สลับซับซ้อนออกเป็นระบบย่อยที่จัดการและควบคุมได้ง่ายกว่า (พงศกร พวงชมพู และหริส ประสารฉ่ำ, 2556)



ภาพประกอบ 2.7 แผนภูมิแสดงความหมายของระบบซึ่งทำหน้าที่เป็น Inputs และ Outputs
ที่มา: อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง (2550)

สิ่งที่ใส่เข้าไปในระบบเรียกว่า Inputs นั้นมีทั้งที่ควบคุมได้ ควบคุมไม่ได้ และควบคุมได้บางส่วน สำหรับ Outputs จะมีทั้งเป็นสิ่งที่ต้องการ สิ่งที่ไม่ต้องการ และสิ่งที่เป็นกลาง ๆ จุดสำคัญของการศึกษาทั้งระบบจึงประกอบด้วยการศึกษาลักษณะของ Inputs การศึกษาลักษณะของ Outputs



การหาความสัมพันธ์ระหว่าง Inputs กับ Outputs และการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการต่าง ๆ ที่มีผลต่อ Outputs ความละเอียดของการศึกษาเพื่อทำความเข้าใจ และทำนายพฤติกรรมของระบบ จะขึ้นอยู่กับระดับความเข้าใจของกระบวนการต่าง ๆ ของระบบและความละเอียดของข้อมูลที่มีอยู่แบบจำลองทางอุทกวิทยาเป็นเพียงการประมาณสภาพของปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจริง ในขณะที่ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจริงมีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจาก 3 แหล่ง คือ การเปลี่ยนแปลงในทิศทาง การเปลี่ยนแปลงตามเวลา และความไม่แน่นอนของการเกิด แบบจำลองทางอุทกวิทยาในทางปฏิบัติจะสามารถพิจารณาแหล่งที่มาของการเปลี่ยนแปลงเพียงหนึ่งหรือสองแหล่งเท่านั้น

2.1.6.2 การวิเคราะห์สมดุลน้ำ

ปัญหาในทางปฏิบัติเกือบทั้งหมด พื้นที่ของระบบอุทกวิทยาที่พิจารณาจะเป็นเพียงส่วนเล็ก ๆ ส่วนหนึ่งของผิวโลก และในแต่ละกรณีมักจะสนใจเพียงกระบวนการทางอุทกวิทยาบางกระบวนการเท่านั้นเอง ฉะนั้นระบบอุทกวิทยาที่พิจารณามักจะเป็นระบบอุทกวิทยาของแหล่งน้ำ หรือลุ่มน้ำ กระบวนการทางอุทกวิทยาที่พิจารณาในแต่ละกรณีอาจจะแยกพิจารณาเพียงกระบวนการเท่านั้น

การพิจารณาขอบเขตของระบบลุ่มน้ำ สิ่งที่ใส่เข้าไปในระบบคือน้ำที่ตกลงบนลุ่มน้ำ เช่น ฝนหรือหิมะ กระบวนการต่าง ๆ ในลุ่มน้ำ จะกระทำต่อน้ำที่ตกลงสู่ลุ่มน้ำทำให้เกิดเป็นสิ่งที่ออกจากระบบ ซึ่งได้แก่ การไหลในลำน้ำ การระเหย และการคายระเหย ระบบลุ่มน้ำ ดังกล่าวอาจแยกพิจารณาเป็นระบบย่อย เช่น พิจารณาเฉพาะระบบน้ำ ผิวดิน ซึ่งอาจทำให้สิ่งที่ป็น Inputs และ Outputs ของระบบเปลี่ยนไป กระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจริงในระบบลุ่มน้ำนั้นมีมากมายและเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละจุดบนลุ่มน้ำ ดังนั้นการศึกษาระบบลุ่มน้ำเพื่อแก้ปัญหาในทางปฏิบัติจะเลือกพิจารณาเฉพาะจุดที่สำคัญ และเกี่ยวข้องกับปัญหาแล้วพยายามหาความสัมพันธ์ระหว่าง Inputs และ Outputs แนวคิดของแบบจำลองอย่างง่ายสำหรับการวิเคราะห์สมดุลน้ำ สามารถแสดงได้ดังสมการ (13) และภาพประกอบ 2.8

$$I - O = \Delta S \quad (13)$$

เมื่อ I คือ ปริมาณการไหลเข้าสู่ระบบ (Inflows)

O คือ ปริมาณการไหลออกจากระบบ (Outflow)

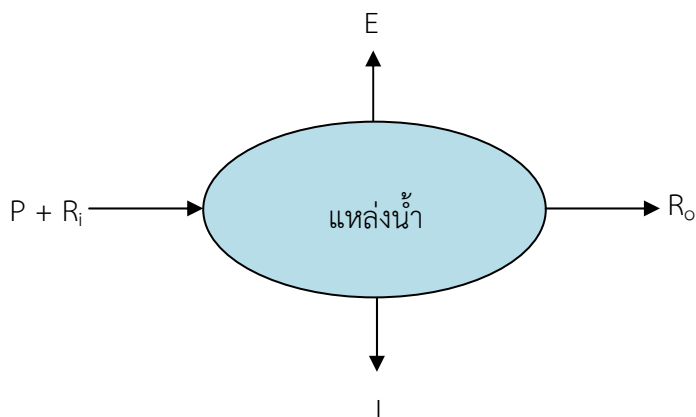
ΔS คือ การเปลี่ยนแปลงปริมาตร





ภาพประกอบ 2.8 แบบจำลองอย่างง่ายของสมดุลงน้ำ
ที่มา: อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง (2550)

ตัวอย่าง ระบบอุทกวิทยาของ แหล่งน้ำธรรมชาติหรืออ่างเก็บน้ำ สามารถอธิบายจากแบบจำลองอย่างง่าย โดยใช้กฎแห่งการไม่สูญหายของสสาร ดังแสดงในภาพประกอบ 2.9



ภาพประกอบ 2.9 แบบจำลองอย่างง่ายของระบบอุทกวิทยาในแหล่งน้ำธรรมชาติ
ที่มา: พงศกร พวงชมพู และหริส ประสารณ์ (2556)

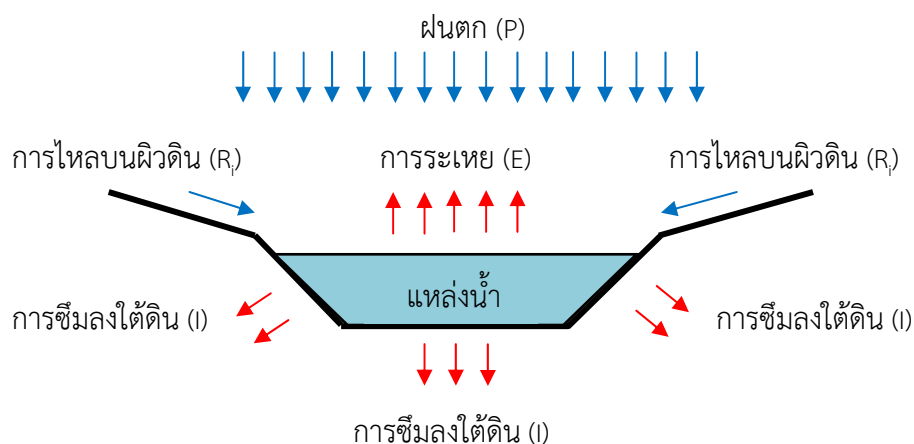
เมื่อ P คือสิ่งที่เข้าไปในระบบคือ ฝน และ R_i คือน้ำ ที่ไหลจากผิวดินหรือถนนรอบสระลงสู่สระน้ำ การสูญเสียน้ำที่เกิดขึ้นในระบบ ประกอบด้วย E คือ การระเหย, I คือการซึม และ สิ่งที่ออกจากระบบ คือ R_o หรือการไหลออก โดยมีกระบวนการของระบบคือ

1. ในช่วงฤดูฝนเกิดฝนตก ทำให้มีน้ำ Input เข้าไปในระบบ ประกอบด้วย น้ำฝน (P) และมีน้ำ ที่ไหลจากผิวดินบริเวณรอบแหล่งน้ำ ไหลลงสู่แหล่งน้ำ หรืออ่างเก็บน้ำ (R_i)
2. ช่วงเวลาปกติปริมาณน้ำในสระมีการสูญเสียน้ำ โดยเกิดจากน้ำในสระเกิดการระเหย (E) และมีการซึมลงใต้ดิน (I) ถ้าในช่วงฤดูร้อน ปริมาณน้ำในแหล่งน้ำจะมีการสูญเสียน้ำมากกว่าฤดูปกติเนื่องจากมีอุณหภูมิสูงขึ้น



3. เนื่องจากแหล่งน้ำ น้ำมีระดับน้ำต่ำกว่าระดับผิวดิน ทำให้น้ำไม่สามารถไหลไปยังพื้นที่ที่มีระดับต่ำกว่าได้ ดังนั้นจึงไม่มีการไหลออกตามผิวดิน (Output หรือ R_o เท่ากับศูนย์)

จากคำอธิบายข้อ 2.1 – 2.3 สามารถนำมาเขียนเป็นภาพวงจรระบบอุทกวิทยาอย่างง่ายของแหล่งน้ำหรืออ่างเก็บน้ำได้ดังแสดงในภาพประกอบ 2.9



ภาพประกอบ 2.10 แบบจำลองอย่างง่ายของระบบอุทกวิทยาในแหล่งน้ำ

ที่มา: พงศกร พวงชมพู และหริส ประสารน้ำ (2556)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศุภกร ชินวรรโณ และคณะ (2552) ศึกษาผลกระทบจากสภาวะโลกร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในลุ่มน้ำชี-มูลโดยใช้แบบจำลอง PRECIS RCMs ในเงื่อนไขการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซเรือนกระจกประเภท A2 ของ IPCC SRES และใช้ข้อมูลตั้งต้นจากแบบจำลองระดับ GCMs ECHAM4 โดยมีจุดประสงค์เพื่อต้องการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศล่วงหน้าตลอดศตวรรษที่ 21 โดยได้มีการปรับลดความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลที่วิเคราะห์ได้จาก PRECIS ด้วยวิธีการสร้างค่าสัมประสิทธิ์จากการ Rescale ของผลต่างระหว่างข้อมูลที่ตรวจวัดจริงจากสถานีตรวจอากาศในพื้นที่และข้อมูลจากแบบจำลองผลสรุปจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ลุ่มน้ำชี-มูล มีแนวโน้มอุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้น ช่วงเวลาอากาศร้อนในรอบปียาวนานขึ้นเป็น 2 เท่าเมื่อเทียบกับปีปัจจุบัน พื้นที่ที่มีอากาศร้อนกระจายตัวเพิ่มมากขึ้น และปริมาณฝนเฉลี่ยมีแนวโน้มสูงขึ้นร้อยละ 10-25 ตลอดช่วงศตวรรษ

ศุภกร ชินวรรโณ (2551) การคาดการณ์สภาพอากาศอนาคตสำหรับประเทศไทย โดยการจำลองสภาพภูมิอากาศ โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้เป็นการจัดทำจำลองสภาพภูมิอากาศรายวัน ในอนาคตในช่วงคริสต์ศักราช 2010-2099 โดยเป็นการจำลองสภาพภูมิอากาศรายวันที่มีความ



ละเอียดยิ่งขึ้นที่สูง และครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทยทั้งหมดตลอดจนประเทศข้างเคียง เพื่อให้เกิดความเข้าใจถึงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในภูมิภาคนี้อันเนื่องจากผลจากภาวะโลกร้อน และเพื่อให้เกิดผลที่สามารถนำไปใช้ศึกษาต่อในเรื่องผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อระบบและภาคส่วนต่างๆ ในประเทศไทย รวมถึงผลกระทบต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นข้ามขอบเขตพรมแดนของประเทศไทยด้วยเพื่อที่จะได้นำไปสู่การศึกษาถึงภาวะเสี่ยงต่อความเดือดร้อนและแนวทางการปรับตัวต่อสถานการณ์ในอนาคตต่อไป การจำลองสถานการณ์สภาพภูมิอากาศอนาคตนี้ เป็นการจำลองสภาพอากาศรายวันที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ที่มีความละเอียด 0.22° หรือประมาณ 25×25 กม. โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ PRECIS (Providing REgional Climates for Impacts Studies) ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย The Met Office Hadley Center for Climate Change ประเทศอังกฤษ และใช้ชุดข้อมูล Global dataset ECHAM4 เป็นข้อมูลพื้นฐานในการคำนวณ โดยใช้รูปแบบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตามปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นตามการคาดการณ์แบบ IPCC SRES A2 โดยมีผลสรุปขั้นต้นประกอบด้วยข้อมูลในช่วง ค.ศ. 1980-1989/2010-2039/2070-2099 ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้ สภาพภูมิอากาศของประเทศไทยในอนาคต มีแนวโน้มที่อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดจะเพิ่มสูงขึ้นกว่าเดิมเล็กน้อย แต่พื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าเดิมนี้จะแผ่ขยายครอบคลุมพื้นที่มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ระยะเวลาที่มีอากาศร้อนในรอบปีหรือฤดูร้อนจะยืดยาวขึ้นมาก และในทางกลับกันพื้นที่ที่มีอุณหภูมิต่ำจะมีขอบเขตลดลงไปจากเดิมและระยะเวลาที่มีอากาศเย็นก็จะหดสั้นลงอย่างชัดเจนในอนาคต ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทั่วทุกภาคของประเทศไทย ทั้งในด้านปริมาณและการกระจายตัวของพื้นที่ที่มีจำนวนฝนตกเพิ่มมากขึ้น แต่จำนวนวันที่ฝนตกเฉลี่ยในแต่ละปีในเกือบทุกพื้นที่ยังคงใกล้เคียงกับที่เคยเป็นมาในอดีต ซึ่งแสดงให้เห็นถึงลักษณะและความยาวนานของฤดูฝนที่อาจจะเป็นไปได้ในอนาคตว่ายังคงไม่เปลี่ยนแปลงไปจากที่เคยเป็นอยู่มากนัก หรืออาจกล่าวได้ว่าประเทศไทยในอนาคตจะมีฤดูฝนที่ยังคงความยาวนานเท่าเดิม แต่ปริมาณน้ำฝนในแต่ละปีของทุกพื้นที่จะเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจจะบ่งชี้ว่าปริมาณน้ำฝนที่ตกในแต่ละครั้งในอนาคตจะเพิ่มสูงขึ้นหรืออาจจะเรียกได้ว่าฝนที่ตกแต่ละครั้งจะตกหนักมากขึ้นกว่าที่เป็นมาในอดีต

Akhtar et al. (2009) ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนและอุณหภูมิในพื้นที่ Hindukush-Karakorum-Himalaya (HKH) ครอบคลุมพื้นที่ 3 กลุ่มน้ำ ได้แก่กลุ่มน้ำ Hunza, Gilgit และ Astore โดยใช้แบบจำลอง PRECIS RCMs ซึ่งใช้ฐานข้อมูลจากแบบจำลอง GCMs ERA 40 และ HadAM3P และนำผลที่วิเคราะห์เข้าสู่แบบจำลองทางอุทกวิทยา HBV ระหว่างปี ค.ศ.1981-1990 ผลการจำลองสภาพภูมิอากาศพบว่าปริมาณฝนเฉลี่ยมีค่าสูงกว่าข้อมูลของสถานีตรวจวัด และอุณหภูมิมีค่าต่ำกว่าข้อมูลของสถานีตรวจวัด อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ทางอุทกวิทยาในพื้นที่ศึกษามีความน่าเชื่อถืออยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจหลักจากที่ได้ทำการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ในแบบจำลอง HBV และ



สอบเทียบกับข้อมูลจริง รวมถึงการใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่วิเคราะห์จากแบบจำลอง PRECIS สามารถนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในการศึกษาครั้งนี้ได้เป็นอย่างดี

Wei et al. (2010) ศึกษาถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกต่อปริมาณน้ำที่สามารถนำไปใช้ได้สำหรับการเพาะปลูกพืชเพื่อนำไปเป็นอาหารและความต้องการใช้น้ำ เพื่อการเกษตรกรรมและการอุปโภค - บริโภคของประเทศจีนในอนาคตช่วงระหว่างปี ค.ศ. 2020-2050 โดยใช้ข้อมูลอากาศในอดีตปี ค.ศ. 1961-1990 เป็นปีฐาน ในการศึกษาการจำลองสภาพภูมิอากาศในอนาคตได้เลือกใช้แบบจำลอง PRECIS RCMs ที่ความละเอียดประมาณ 50x50 ตารางกิโลเมตร ภายใต้เงื่อนไข A2 และ B2 ร่วมกับแบบจำลอง CERES สำหรับจำลองความต้องการใช้น้ำชลประทาน และแบบจำลอง VIC (Variable Infiltration Capacity) สำหรับจำลองสภาพทางอุทกวิทยา โดยพบว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกมีผลกระทบน้อยมากต่อปริมาณน้ำที่สามารถนำไปใช้สำหรับการชลประทาน ผลจากแบบจำลอง VIC พบว่ามีปริมาณน้ำที่สามารถนำไปใช้ได้เพิ่มขึ้น แต่ในขณะเดียวกันความต้องการใช้น้ำสำหรับกิจกรรมต่าง ๆ ได้มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกัน และมีแนวโน้มว่าจะไม่เพียงพอต่อความต้องการในอนาคตอันมีสาเหตุจากการเพิ่มพื้นที่เพาะปลูก และความต้องการใช้น้ำเพื่อการผลิตน้ำประปาเพิ่มขึ้น

Shrestha et al. (2013) คาดการณ์และประเมินผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกต่อผลผลิตตะกอน (Sediment Yield) ในลุ่มน้ำ Nam Ou ซึ่งเป็นลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำโขง ทางตอนเหนือของสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ระหว่าง ค.ศ. 2011-2070 เน้นการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 2 ประเด็นคือปริมาณฝนและอุณหภูมิโดยใช้แบบจำลอง GCMs 4 ชนิดและใช้แบบจำลอง PRECIS RCMs สำหรับการ Downscale ข้อมูล โดยใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดในพื้นที่ศึกษาระหว่าง ค.ศ. 1980-2003 เป็นปีฐาน ร่วมกับการใช้แบบจำลองอุทกวิทยา SWAT สำหรับวิเคราะห์ผลผลิตตะกอนที่เปลี่ยนแปลงในอนาคต ผลการประเมินจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศพบว่า ปริมาณฝนลดลงร้อยละ 13-27 ในช่วงฤดูแล้งและเพิ่มขึ้นในช่วงฤดูฝนร้อยละ 34-41 อุณหภูมิตลอดฤดูกาลมีแนวโน้มสูงขึ้นเฉลี่ย 3 องศาเซลเซียส ส่งผลทำให้ปริมาณน้ำท่ามีค่าเปลี่ยนแปลงลดลงร้อยละ 17 เพิ่มขึ้นร้อยละ 66 ผลผลิตตะกอนลดลงร้อยละ 27 เพิ่มขึ้นร้อยละ 160 ผลการศึกษาชี้ให้เห็นถึงความไม่แน่นอน (Uncertainties) ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าและผลผลิตตะกอนมีสาเหตุเกิดจากผลกระทบจากสภาพภูมิอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลง

นัฐพล ทองแท่ง และเสรี ศุภราทิตย์ (2557) ศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ประเทศไทยที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกโดยใช้แบบจำลอง PRECIS RCMs ภายใต้เงื่อนไขการคาดการณ์ A1B ของ IPCC SRES คาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต 30 ปี ช่วงระหว่าง พ.ศ. 2553-2582 ร่วมกับข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ตรวจวัดจริงระหว่าง พ.ศ. 2523-2552 เป็นข้อมูลปีฐานและใช้สำหรับการปรับลดความคาดเคลื่อนของข้อมูลปริมาณน้ำฝนใน



อนาคตที่วิเคราะห์จากแบบจำลอง ผลการศึกษาพบว่าประเทศไทยมีปริมาณน้ำฝนเพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 15 - 50 ในหลายพื้นที่ โดยเฉพาะในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนและตอนล่าง รวมถึงภาคใต้ฝั่งทะเลอันดามัน ซึ่งเป็นข้อบ่งชี้ถึงการกระจายตัวของพื้นที่ฝนตกที่เพิ่มขึ้น ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนและรายปีในอนาคตมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อภาวะน้ำท่วมฉับพลัน และน้ำหลากมีมากขึ้น

พงศกร พวงชมพู และหริส ประสารฉ่ำ (2556) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำในแหล่งน้ำระหว่างช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งอ่างเก็บน้ำที่ใช้ประโยชน์สำหรับการส่งน้ำเพื่อการผลิตน้ำประปาและการเกษตรกรรม การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนต่อปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยสีทันจังหวัดกาฬสินธุ์ โดยใช้แบบจำลอง PRECIS เพื่อคาดการณ์ปริมาณฝนกรณี B2 ของ IPCC SRES และการวิเคราะห์ข้อมูลในอดีตด้วยวิธีสหสัมพันธ์เพื่อสร้างสมการประเมินปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำระหว่างปี พ.ศ. 2557-2566 เทียบกับข้อมูลปีฐานระหว่าง พ.ศ. 2549-2556 ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่ศึกษามีปริมาณฝนเฉลี่ยลดลง 100.5 มิลลิเมตรหรือร้อยละ 7.7 ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำมีปริมาณลดลงเฉลี่ย 0.18 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือร้อยละ 8.9 เมื่อเปรียบเทียบกับปีฐานและเป็นการชี้ให้เห็นว่าปริมาณน้ำมีแนวโน้มลดลงจนเป็นสาเหตุของการเกิดภาวะภัยแล้งในอนาคต วิธีการและผลของการศึกษาในครั้งนี้จึงคาดว่าจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจสำหรับการจัดการน้ำเพื่อการอุปโภค - บริโภค และการเกษตรกรรมโดยหน่วยงานที่รับผิดชอบได้ในอนาคต

Chalermrat et al. (2011) ศึกษาถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศกับระบบอุทกวิทยาของพื้นที่ ลุ่มน้ำคลองใหญ่ จังหวัดกระบี่ โดยใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลก GCMs จำนวน 5 แบบจำลอง คือ CCMA CGCM 3.1, MPI_ECHAM5, CCCMA CGCM3_1, CNRM_CM3, IPSL_CM4, GFDL_CM 2.0 ร่วมกับแบบจำลอง SWAT ข้อมูลที่ศึกษาได้แก่ ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุด ช่วงเวลาที่ศึกษาอยู่ระหว่างปี ค.ศ. 1961-1980 และในอนาคตคือปี ค.ศ. 2045-2064 จากการศึกษาพบว่าปริมาณฝนรายปีเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่างร้อยละ 3-20 ทำให้ปริมาณน้ำไหลเข้าในพื้นที่เพิ่มขึ้นในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ซึ่งเป็นช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ อุณหภูมิสูงสุดเพิ่มเฉลี่ยระหว่าง 1.6-3.8 องศา อย่างไรก็ตามยังมีความกังวลถึงปริมาณการใช้น้ำเพื่ออุปโภค บริโภคและการเพาะปลูกว่าจะเพียงพอหรือไม่เมื่อสิ้นสุดฤดูมรสุม อันเกิดจากอุณหภูมิที่สูงขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการวางแผนบริหารจัดการน้ำที่ดีในอนาคตเพื่อจัดการกับผลกระทบดังกล่าว

Nazrul et al. (2008) การสอบเทียบและปรับเทียบผลการคาดการณ์อุณหภูมิเฉลี่ยและปริมาณฝนในอนาคตถึงปี ค.ศ. 2071 ของประเทศบังคลาเทศจากแบบจำลอง PRECIS RCMs ที่ความละเอียด 25 ตารางกิโลเมตร โดยใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอากาศระหว่างปี ค.ศ. 1961-1990 เป็นปีฐานและใช้ในการปรับเทียบผลจากแบบจำลอง คณะผู้ศึกษาได้ใช้วิธีศึกษา 2 วิธีเพื่อเปรียบเทียบผล



ได้แก่วิธี grid-to-grid และ point-to-point ผลการศึกษาพบว่าการศึกษาวิเคราะห์คาดการณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคตด้วยวิธี point-to-point สามารถให้ผลที่มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากกว่าวิธีแบบ grid-to-grid เนื่องจากใช้ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจอากาศในประเทศเป็นฐานในการคำนวณผล ผลการศึกษาายังแสดงให้เห็นถึงวิธีการปรับลดค่าความคาดเคลื่อนของผลที่ได้จากแบบจำลองเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลพื้นฐานด้วยการใช้สมการปรับลดความคาดเคลื่อน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการให้ผลที่วิเคราะห์ได้จากแบบจำลอง PRECIS RCMs มีความน่าเชื่อถือ

Feng (2013) ทำการศึกษาถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตน้ำประปาในอนาคตโดยใช้น้ำที่ใช้การได้ (Water Yield) จากอ่างเก็บน้ำที่ไม่มีการไหลเข้าจากแม่น้ำหลัก และต้องเพิ่มปริมาณน้ำโดยการใช้ระบบสูบ (Off-stream Reservoir) ประเด็นศึกษามุ่งถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าของแม่น้ำหลักเมื่อปริมาณฝนและการระเหยได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พื้นที่ศึกษาคืออ่างเก็บน้ำ Montezuma บริเวณตอนเหนือของกลุ่มน้ำ Flint มลรัฐ Georgia สหรัฐอเมริกา แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาคือ HEC-5 สำหรับจำลองการจัดสรรน้ำจากแม่น้ำ Flint สู่อ่างเก็บน้ำ Montezuma และใช้ผลการศึกษาจากแบบจำลอง GCMs ของ Hay and Markstrom (2012) สำหรับคาดการณ์สภาพอากาศในอนาคต 3 ช่วงเวลาคือ ค.ศ. 2025-2035, 2055-2065 และ 2085-2095 โดยเทียบกับปีฐานระหว่าง ค.ศ. 1989-1999 ผลการศึกษาพบว่าปริมาณน้ำท่าและน้ำที่ใช้การได้จากแม่น้ำ Flint ในอนาคตมีปริมาณลดลงเนื่องจากปริมาณฝนมีแนวโน้มลดลงและอัตราการระเหยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการจัดสรรน้ำที่ใช้การได้สำหรับอ่างเก็บน้ำด้วยแบบจำลอง HEC-5 ให้เพียงพอต่อการผลิตน้ำประปาในอนาคตแสดงให้เห็นถึงความต้องการปริมาณการเก็บกักน้ำเพิ่มขึ้น โดยได้เสนอแนวทางสำหรับการสร้างเขื่อนเพื่อเพิ่มระดับน้ำในอนาคต

Ying et al. (2012) ใช้แบบจำลองคาดการณ์สภาพภูมิอากาศโลกระดับภูมิภาค (RCMs) RegCM3 ที่ความละเอียด 25 กิโลเมตร คาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและปริมาณน้ำที่ใช้การได้ (Water availability) บริเวณอ่างเก็บน้ำ Miyun ตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำ Miyun ทางตอนเหนือของประเทศจีน ระหว่าง ค.ศ. 1951-2100 กรณี A1B ของ IPCC SRES ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลอง RegCM3 พบว่าค่าอุณหภูมิสอดคล้องกับข้อมูลจริงสำหรับค่าปริมาณน้ำฝนพบว่ามีความสูงกว่าข้อมูลจริงที่สำรวจจากสถานีตรวจอากาศ แบบจำลองแสดงให้เห็นถึงนัยสำคัญของช่วงเวลาที่มียากอากาศร้อนเฉลี่ยรายปีในช่วงเดือนธันวาคม - กุมภาพันธ์ และเดือนมิถุนายน - สิงหาคม การคาดการณ์ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีพบว่าปริมาณเพิ่มขึ้นในช่วงเดือนธันวาคม - กุมภาพันธ์ และลดลงในช่วงเดือนมิถุนายน - สิงหาคม ซึ่งโดยเฉลี่ยรวมแล้วปริมาณฝนรายปีมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก สำหรับผลกระทบต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ Miyun แบบจำลองชี้ให้เห็นแนวโน้มการลดลงของปริมาณน้ำท่าและน้ำที่ใช้การได้ในอนาคต

Wu et al. (2012) นำเสนอการใช้แบบจำลองคาดการณ์สภาพภูมิอากาศโลกระดับภูมิภาค (RCMs) ที่มีความละเอียดสูง (High resolution) RegCM3 ด้วยวิธีซ้อนทับ 2 ชั้น (Double nested)



เพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อพื้นที่โดยรอบอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ Three Gorges ที่เกิดจากการสร้างเขื่อน Three Gorges กั้นแม่น้ำ Yangtze ทางตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศจีน ในการวิเคราะห์ขั้นตอนแรกจะใช้การประมวลผลข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่ความละเอียด 50 กิโลเมตร ที่แสดงผลครอบคลุมพื้นที่ประเทศจีนโดยใช้ฐานข้อมูลจาก NCEP/NCAR จากนั้นจะประมวลผลที่ความละเอียดในระดับ 10 กิโลเมตร เหนือพื้นที่อ่างเก็บน้ำ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝน และอุณหภูมิเฉลี่ยที่เพิ่มสูงขึ้นในพื้นที่โดยรอบอ่างเก็บน้ำ Three Gorges

Madsen (2000) ได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM ในการสอบเทียบแบบอัตโนมัติ ซึ่งมีส่วนหลักในการสอบเทียบแบบอัตโนมัติเพื่อให้เกิดการเข้ากันได้ดี 4 ประการคือ สมดุลน้ำ (Water Balance) รูปร่างของกราฟน้ำท่าโดยรวม (Shape of Hydrograph) ปริมาณการไหลสูงสุด (Peak Flows) และปริมาณการไหลต่ำสุด (Low flows) โดยให้เข้ากันได้ดีระหว่างค่าที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองและค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงในสนาม พื้นที่ศึกษาคือลุ่มน้ำ Danish Tryggevælde มีพื้นที่ลุ่มน้ำ 130 ตารางกิโลเมตร ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี 710 มิลลิเมตร ผลการศึกษา พบว่าไม่มีพารามิเตอร์ชุดใดที่ให้ผลได้ดีสำหรับวัตถุประสงค์ทุกข้อ การสอบเทียบแบบจำลองเพื่อประเมินพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจึงควรพิจารณาวัตถุประสงค์ของการประยุกต์ใช้ตามลำดับความสำคัญของเหตุการณ์

Poomthaisong (1997) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM Model ศึกษาสภาพการเกิดน้ำท่วมของพื้นที่ลุ่มน้ำกกและลุ่มน้ำอิง โดยใช้แบบจำลอง NAM Model ในการหาปริมาณน้ำท่าจากปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำนานเพื่อนำค่า Local Flow ด้านเหนือมาใช้ ซึ่งผลจากแบบจำลอง NAM Model ได้กราฟน้ำท่าที่มียอดต่ำกว่าความเป็นจริงสำหรับในฤดูแล้งและกราฟที่ได้จะมีค่าที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงในช่วงฤดูฝน

Arcelus (2000) ได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-HMS และแบบจำลอง NAM Model ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าสำหรับลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า โดยการประเมินพารามิเตอร์ของแบบจำลองทั้งสองในลุ่มน้ำที่มีสถานีวัดน้ำท่า และนำพารามิเตอร์ที่ได้จากแบบจำลอง HEC-HMS ไปปรับใช้กับลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตามสภาพภูมิประเทศและการใช้ที่ดิน จากนั้นจึงประเมินพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM Model ในลุ่มน้ำเดียวกันเพื่อให้กราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง NAM Model เข้ากันได้ดีกับกราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง HEC-HMS พบว่าวิธีการนี้ให้ผลเป็นที่ยอมรับได้สำหรับลุ่มน้ำที่ไม่มีการเก็บข้อมูล

ไพรัตน์ วีรุตมเสน (2536) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM Model ในการศึกษาปริมาณน้ำท่ารายวันของลุ่มน้ำสวย ซึ่งเป็นลุ่มน้ำสาขาของแม่น้ำโขง ลุ่มน้ำสวยมีพื้นที่รับน้ำฝน 1,250 ตารางกิโลเมตรเนื่องจากพื้นที่ของลำน้ำสวยโดยส่วนใหญ่ได้รับอิทธิพลของการเกิดน้ำเห่อ (Backwater Effect) จากแม่น้ำโขง ดังนั้นในการเลือกข้อมูลของสถานีวัดน้ำท่าเพื่อใช้ในการปรับเทียบแบบจำลอง NAM Model นั้น จึงได้เลือกสถานีที่ไม่ได้รับผลกระทบของการเกิดน้ำเห่อ คือที่สถานีบ้านสมสะอาด ซึ่ง



มีพื้นที่รับน้ำ 170 ตารางกิโลเมตร ผลจากการเปรียบเทียบแบบจำลองพบว่า ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองและปริมาณน้ำท่าที่วัดได้มีความสอดคล้องกัน ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองจึงใช้เป็นตัวแทนของกลุ่มน้ำได้

ยุพิน จันดา (2540) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM Model ในการจำลองสภาพน้ำฝน-น้ำท่าของในลุ่มน้ำบางปะกง โดยพิจารณาลุ่มน้ำย่อยจำนวน 5 สถานี เพื่อพยากรณ์สภาพน้ำท่วมของลุ่มน้ำพบว่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงในสนาม ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) อยู่ในช่วง 0.76 ถึง 0.97 โดยบางปีค่าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลองคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่ได้จากการตรวจวัดมาก ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากมีสถานีวัดน้ำฝนกระจายตัวไม่ทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำ คือบางลุ่มน้ำย่อยมีการใช้ข้อมูลปริมาณฝนเพียงสถานีเดียวเป็นตัวแทนของปริมาณฝนทั้งลุ่มน้ำย่อย

วิษุวัตม์ แต่สมบัติ (2546) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา 2 แบบจำลองได้แก่แบบจำลอง NAM Model และแบบจำลองอุทกวิทยาน้ำนองซึ่งพัฒนาโดย วีระพล (2545) ซึ่งใช้วิธีคำนวณจากพายุฝนด้วยเทคนิคกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า โดยทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองทั้งสองในการคาดคะเนปริมาณน้ำนองสูงสุด ที่เกิดจากพายุฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองท่าตะเภา และลุ่มน้ำคลองชุมพรซึ่งเป็นลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันออก มีพื้นที่ลุ่มน้ำ 2,227 และ 521 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับพบว่าทั้งแบบจำลอง NAM Model และแบบจำลองอุทกวิทยาน้ำนองสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับลุ่มน้ำทั้งสองเพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำนองสูงสุดได้ดี แต่แบบจำลอง NAM Model จะให้ผลการคำนวณปริมาณน้ำนองสูงสุดได้ดีกว่าแบบจำลองอุทกวิทยาน้ำนองเป็นส่วนใหญ่

กานดา คงธรรม (2545) ได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM Model เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ของแบบจำลองสำหรับลุ่มน้ำน่าน โดยทำการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันในการเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง สถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ศึกษาจำนวน 11 สถานี มีพื้นที่รับน้ำฝนระหว่าง 35 ถึง 4,840 ตารางกิโลเมตร ผลการศึกษาพบว่า ค่าพารามิเตอร์ U_{max} มีค่าระหว่าง 10 ถึง 25 มิลลิเมตร L_{max} มีค่าระหว่าง 100 ถึง 250 มิลลิเมตร CQOF มีค่าระหว่าง 0.3 ถึง 0.6 CKIF มีค่าเท่ากับ 1,000 ชั่วโมง TOF มีค่าระหว่าง 0.3 ถึง 0.7 CK_1 และ CK_2 มีค่าระหว่าง 9 ถึง 60 ชั่วโมง CAREA มีค่าเท่ากับ 1 TG มีค่าระหว่าง 0.3 ถึง 0.8 Sy มีค่าเท่ากับ 0.1 และ CKBF มีค่าระหว่าง 500 ถึง 4,300 ชั่วโมง โดยพารามิเตอร์ดังกล่าวอยู่ในช่วงที่ได้มีการแนะนำไว้ในคู่มือการใช้งานของแบบจำลอง NAM Model ซึ่งผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองพบว่า กราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง NAM Model และที่ได้จากการตรวจวัดมีความใกล้เคียงกัน คือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.57 ถึง 0.98 นอกจากนี้ยังได้ศึกษาความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่สถานี N.17 พบว่าการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์แต่ละตัวมีผลต่อองค์ประกอบของน้ำท่าด้วยอัตราที่แตกต่างกัน ตลอดจนมีความอ่อนไหวที่แตกต่างกันต่ออัตราการไหลสูงและอัตราการไหลต่ำ



สุพรรณษา บำรุงพงศ์ (2550) ได้ทำการศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์แบบกลุ่มน้ำรวมระหว่าง พารามิเตอร์ที่ได้จากแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิง ตอนบน เพื่อนำความสัมพันธ์ที่ได้มาใช้ประเมินค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM Model สำหรับ บริเวณที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ ผลการศึกษาพบว่า ลักษณะทางกายภาพมีความสัมพันธ์แบบถดถอย เชิงซ้อนกับพารามิเตอร์ 6 พารามิเตอร์แรกของแบบจำลอง NAM Model โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์เฉลี่ยเท่ากับ 0.94 ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ในขณะที่ CK ไม่มีความสัมพันธ์กับลักษณะเฉพาะ ของลุ่มน้ำจึงพิจารณาใช้ค่าเฉลี่ยของ CK ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองทั้ง 8 สถานี และเมื่อนำผล การประเมินพารามิเตอร์ โดยใช้ความสัมพันธ์แบบกลุ่มน้ำรวม ไปประยุกต์ใช้กับสถานีวัดน้ำท่าที่ทำ การศึกษา พบว่า ให้ผลการประเมินกราฟน้ำท่าที่มีความถูกต้องเป็นที่ยอมรับได้

ศิริกัญญา แสงสว่าง (2547) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM Model และแบบจำลองโครง ข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับ ในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่าของลุ่มน้ำปิง ตอนบน จำนวน 13 สถานี ซึ่งมีพื้นที่รับน้ำฝนระหว่าง 45 ถึง 3,853 ตารางกิโลเมตร โดยมีค่าเฉลี่ย 1,232 ตารางกิโลเมตร ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง พบว่า พารามิเตอร์ซึ่งประกอบด้วย U_{max} , L_{max} , CQOF, CKIF, TOF, TIF, TG, CK_1 , CK_2 , CKBF, Sy, GWL_{min} , $GWLBF_0$, $GWLFL_1$ และ CAREA โดยส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วงที่ได้แนะนำไว้ในคู่มือการใช้งานของแบบจำลองในการตรวจสอบ ประสิทธิภาพการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของแบบจำลองทั้งสองได้พิจารณาเงื่อนไขความเข้ากันได้ ดีของกราฟน้ำท่า โดยความเข้ากันได้ดีระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง และที่ได้จากการตรวจวัดนั้น พิจารณาจากตัวแปรทางสถิติ ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองโครงข่าย ประสาทเทียมให้ผลการประเมินน้ำท่ารายวันที่ถูกต้องกว่าแบบจำลอง NAM Model ในด้านของสมดุล น้ำ กราฟน้ำท่าโดยรวม และ ปริมาณการไหลสูง ๆ ในทางตรงกันข้ามสำหรับปริมาณการไหลต่ำ ๆ แบบจำลอง NAM Model ให้ผลที่ดีกว่า ขณะที่ผลการประเมินปริมาณน้ำท่าของแบบจำลองทั้งสอง ให้ผลไม่ดีสำหรับสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่มีพื้นที่ชลประทานมากหรือมีฝายทดน้ำขวาง กั้นลำน้ำอยู่เป็นจำนวนมากจึงเป็นสาเหตุให้ปริมาณน้ำท่าถูกควบคุม เป็นผลให้ไม่เกิดความสอดคล้องกัน ระหว่างปริมาณฝนและปริมาณน้ำท่ารายวัน



ตาราง 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ Climate Change, NAM Model และงานวิจัยใน
ลุ่มน้ำห้วยหลวง

ลำดับที่	ผู้วิจัย / ปีที่วิจัย	พื้นที่ศึกษา	วัตถุประสงค์การวิจัย	วิธีการ / เครื่องมือวิจัย / แบบจำลอง
1.	ศุภกร และคณะ (2552)	ลุ่มน้ำชี-มูล	ศึกษาผลกระทบจากสภาวะโลกร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในลุ่มน้ำชี-มูล	- แบบจำลอง PRECIS RCMs
2.	ศุภกร (2553)	ประเทศไทย	คาดการณ์สภาพอากาศอนาคตสำหรับประเทศไทย	- แบบจำลอง PRECIS RCMs
3.	Akhtar และคณะ (2009)	ลุ่มน้ำ Hunza, Gilgit และ Astore	ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนและอุณหภูมิในพื้นที่ Hindukush-Karakorum-Himalaya	- แบบจำลอง PRECIS RCMs
4.	Wei และคณะ (2010)	ประเทศจีน	ศึกษาถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกต่อปริมาณน้ำที่สามารถนำไปใช้สำหรับการเพาะปลูกพืชเพื่อนำไปเป็นอาหารและความต้องการใช้น้ำเพื่อการเกษตรกรรมและการอุปโภค - บริโภค	- แบบจำลอง PRECIS RCMs
5.	Shrestha และคณะ (2013)	ลุ่มน้ำ Nam Ou สปป.ลาว	คาดการณ์และประเมินผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกต่อผลผลิตตะกอน	- แบบจำลอง GCMs - แบบจำลอง PRECIS RCMs
6.	นัฐพล และคณะ (2557)	ประเทศไทย	ศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ประเทศไทยที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก	- แบบจำลอง PRECIS RCMs
7.	พงศกร และหริส (2557)	อ่างเก็บน้ำห้วยสีทัน จังหวัดกาฬสินธุ์	ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนต่อปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ	- แบบจำลอง PRECIS RCMs
8.	Chalemrat และคณะ (2011)	ลุ่มน้ำคลองใหญ่ จังหวัดกระบี่	ศึกษาถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศกับระบบอุทกวิทยา	- แบบจำลอง GCMs - แบบจำลอง SWAT
9.	Nazrul และคณะ (2008)	ประเทศบังคลาเทศ	การสอบเทียบและปรับเทียบผลการคาดการณ์อุณหภูมิเฉลี่ยและปริมาณฝนในอนาคต	- แบบจำลอง PRECIS RCMs
10.	Feng (2013)	อ่างเก็บน้ำ Montezuma สหรัฐอเมริกา	ทำการศึกษาถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตน้ำประปาในอนาคต	- แบบจำลอง HEC-5 - แบบจำลอง GCMs
11.	Ying และคณะ (2012)	อ่างเก็บน้ำ Miyun ประเทศจีน	คาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและปริมาณน้ำที่ใช้การได้	- แบบจำลอง RCMs



ตาราง 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ Climate Change, NAM Model และงานวิจัยใน
ลุ่มน้ำห้วยหลวง (ต่อ)

ลำดับที่	ผู้วิจัย / ปีที่วิจัย	พื้นที่ศึกษา	วัตถุประสงค์การวิจัย	วิธีการ / เครื่องมือวิจัย / แบบจำลอง
12.	Wu และคณะ (2012)	อ่างเก็บน้ำ Three Gorges ประเทศจีน	การวิเคราะห์ข้อมูลสภาพภูมิอากาศและปริมาณฝน	- แบบจำลอง RCMs
13.	Madsen (2000)	ลุ่มน้ำ Danish Tryggevælde	ประยุกต์ใช้แบบจำลองในการสอบเทียบแบบอัตโนมัติ	- แบบจำลอง NAM Model
14.	Poomthaisong (1997)	ลุ่มน้ำกกและลุ่มน้ำอิง	ศึกษาสภาพการเกิดน้ำท่วม	- แบบจำลอง NAM Model
15.	Arcelus (2000)	อ่างเก็บน้ำ ungauged ในอุรุกวัย	พยากรณ์ปริมาณน้ำท่าสำหรับลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า	- แบบจำลอง HEC-HMS - แบบจำลอง NAM Model
16.	ไพรัตน์ (2536)	ลุ่มน้ำสวย	ศึกษาปริมาณน้ำท่ารายวัน	- แบบจำลอง NAM Model
17.	ยุพิน (2542)	ลุ่มน้ำบางปะกง	จำลองสภาพน้ำฝน-น้ำท่า	- แบบจำลอง NAM Model
18.	วิษุวัตก์ (2546)	ลุ่มน้ำคลองท่าตะเภา และลุ่มน้ำคลองชุมพร	ใช้แบบจำลองในการคาดคะเนปริมาณน้ำนองสูงสุดที่เกิดจากพายุฝนในพื้นที่	- แบบจำลอง NAM Model - แบบจำลองอุทกวิทยาน้ำนอง
19.	กานดา (2545)	ลุ่มน้ำน่าน	เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ของแบบจำลอง โดยทำการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวัน	- แบบจำลอง NAM Model
20.	สุพรรณษา (2550)	ลุ่มน้ำปิงตอนบน	หาความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ที่ได้จากแบบจำลอง และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของสถานีวัดน้ำท่า	- แบบจำลอง NAM Model
21.	ศิริกัญญา (2547)		การประเมินปริมาณน้ำท่ารายวัน	- แบบจำลอง NAM Model - แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับ



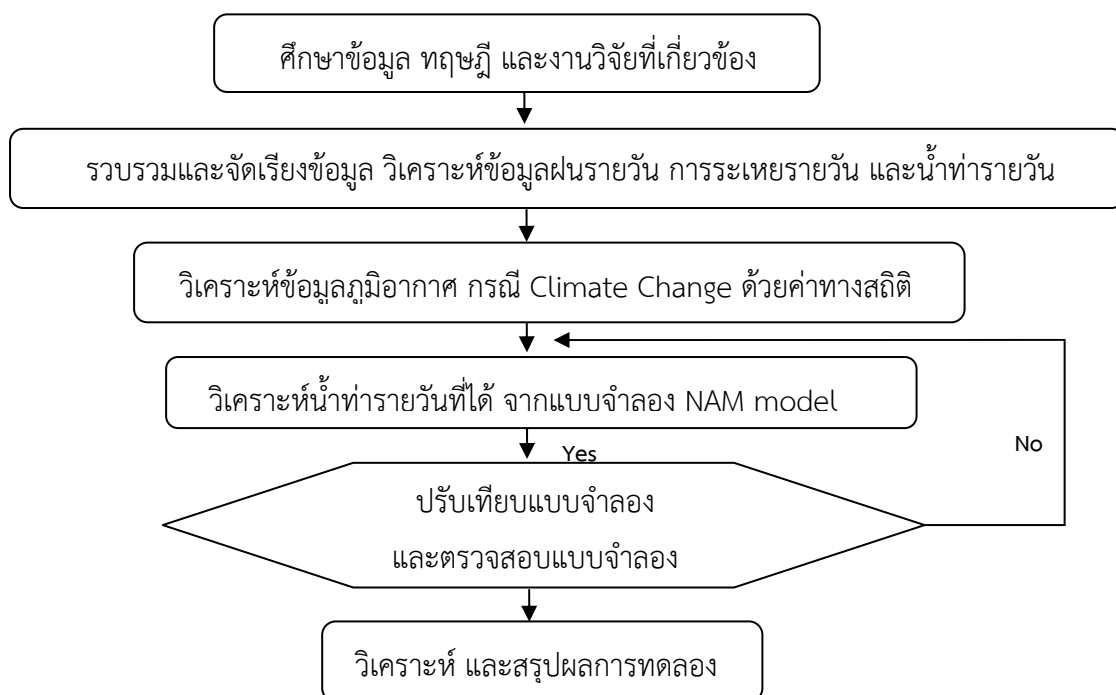
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

เนื้อหาในส่วนนี้จะเป็นการนำเสนอถึงรายละเอียดวิธีดำเนินการวิจัย โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 หัวข้อ หัวข้อแรกจะเป็นการแสดงลำดับขั้นตอนของการวิจัย หัวข้อที่ 2 จะแสดงรายละเอียดของตำแหน่งที่ตั้งและข้อมูลสภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษา หัวข้อที่ 3 จะเป็นการแสดงรายละเอียดวิธีการจัดเก็บ และรวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำฝน จากแบบจำลอง PRECIS หัวข้อที่ 4 เทียบมาตรฐานและการตรวจพิสูจน์ของแบบจำลอง NAM Model และหัวข้อที่ 5 จะแสดงตารางของแผนดำเนินการศึกษา รายละเอียดต่าง ๆ สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

3.1 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

ลำดับขั้นตอนการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ เริ่มจากการศึกษาข้อมูล ทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และเลือกเครื่องมือที่จะนำมาใช้ในการศึกษา จากนั้นจึงเป็นการสรุปเป็นวัตถุประสงค์ ออกแบบวิธีการดำเนินการ การรวบรวมข้อมูล การใช้เครื่องมือ เทคนิคการปรับลดความคาดเคลื่อนต่าง ๆ ที่คาดว่าจะเกิดขึ้น และการสรุปผลการศึกษา ขั้นตอนดำเนินการวิจัยได้แสดงในภาพประกอบ 3.1 คือ

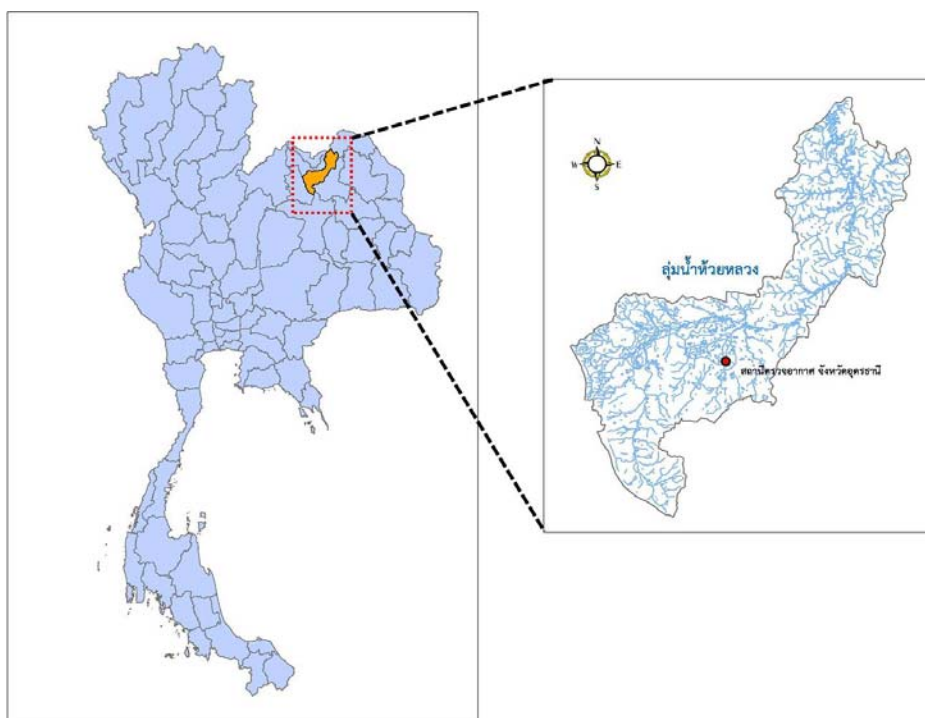


ภาพประกอบ 3.1 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

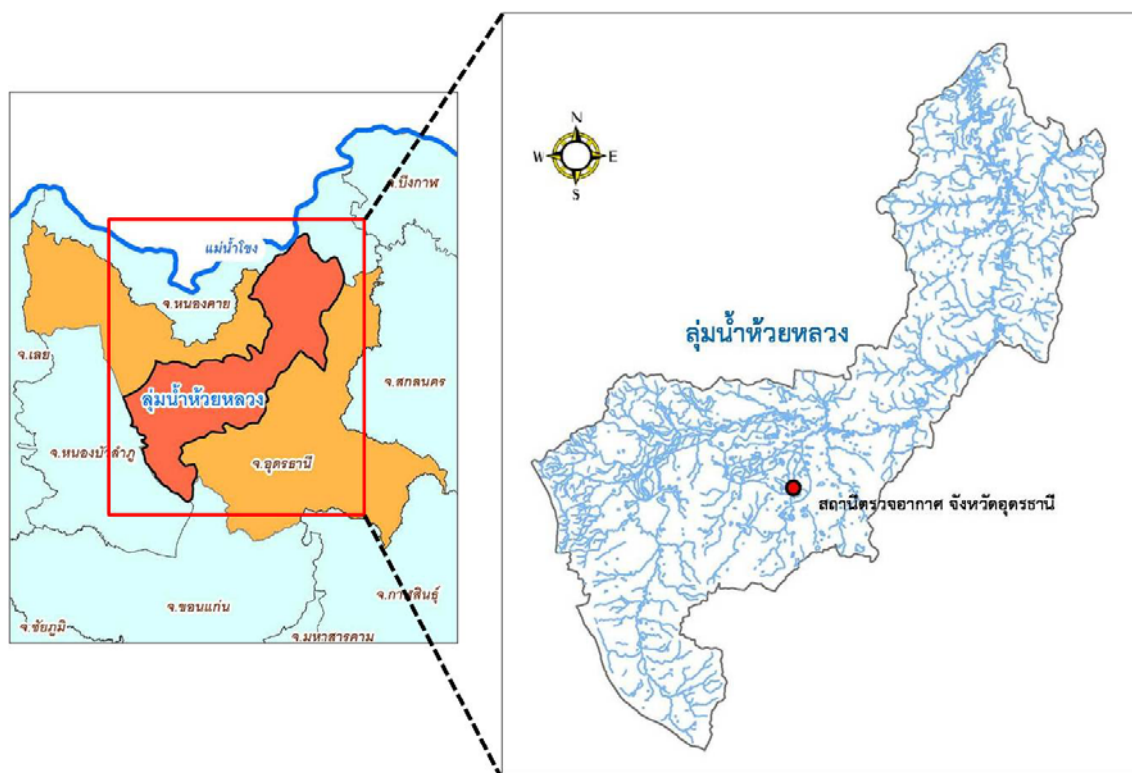


3.2 พื้นที่ศึกษา

ลุ่มน้ำห้วยหลวง เป็นลุ่มน้ำสายสำคัญของจังหวัดอุดรธานี มีต้นกำเนิดจากเทือกเขาภูพานในเขตอำเภอหนองวัวซอ จังหวัดอุดรธานี ประกอบด้วย ห้วยโขง ห้วยตาลเหี้ยม ห้วยด่าป่า ไหลมารวมกันเป็นห้วยหลวง มีทิศทางการไหลของน้ำจากทิศใต้ไปทิศเหนือ ผ่านอำเภอหนองวัวซอ จนถึงบ้านหัวบัว ในเขตอำเภอเมืองอุดรธานี แล้วเบนออกไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง หรือฝายทดน้ำชลประทาน ส่งน้ำผ่านที่ราบในเขตอำเภอเมืองอุดรธานี แล้วไหลผ่านด้านทิศเหนือของอำเภอเมืองอุดรธานี จากนั้นทิศทางการน้ำจะไหลเปลี่ยนไปทางด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือจนถึงบ้านหัวน้อย และไหลไปทางทิศเหนือรวมกับลำห้วยสาขา ได้แก่ ห้วยหมากแข้ง ซึ่งไหลผ่านเทศบาลนครอุดรธานี และห้วยดาน หรือห้วยบง ซึ่งไหลผ่านเทศบาลเมืองหนองสำโรง ไหลมารวมกันเป็นลำห้วยอิฐ หรือบางคนยังคงเรียกว่าห้วยหมากแข้ง แล้วไหลต่อไปรวมกับพื้นที่รองรับน้ำอื่นๆ จนมีขนาดกว้างขึ้น และไหลลงสู่ลำห้วยหลวงบริเวณบ้านนาหยาด ไปยังอำเภอพิบูลย์รักษ์ และอำเภอสร้างคอม รวมกับห้วยเสี้ยว ห้วยบ่อ และห้วยเจียม ไหลผ่านที่ราบทำให้เกิดหนองน้ำขนาดใหญ่หลายแห่ง และไหลไปรวมกับแม่น้ำโขงที่บ้านวัดหลวง ตำบลจุมพล อำเภอโพนพิสัย จังหวัดหนองคาย มีความยาวตลอดลุ่มน้ำกว่า 100 กิโลเมตร มีพื้นที่ลุ่มน้ำคาบเกี่ยว 3 จังหวัดคือ หนองบัวลำภู อุดรธานี และหนองคาย มีเนื้อที่ลุ่มน้ำประมาณ 2,588,724 ไร่



ภาพประกอบ 3.2 ตำแหน่งลุ่มน้ำห้วยหลวง



ภาพประกอบ 3.3 แผนที่แสดงขอบเขตลุ่มน้ำห้วยหลวง

3.3 การรวบรวมข้อมูล

3.3.1 การรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน ได้แก่

แผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะดินและการใช้ประโยชน์ที่ดิน ขอบเขตการปกครอง ขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำ ที่ตั้งของสถานีตรวจวัดข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา-อุทกวิทยา (ดังแสดงในภาพประกอบ 3.4) ตลอดจนที่ตั้งของอาคารชลศาสตร์ต่างๆในลำน้ำของลุ่มน้ำห้วยหลวง และบริเวณลุ่มน้ำข้างเคียง จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กรมชลประทาน กรมแผนที่ทหาร และกรมอุตุนิยมวิทยา เป็นต้น

3.3.2 การรวบรวมข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา-อุทกวิทยา

จากการรวบรวมข้อมูลของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง แบ่งตามชนิดของข้อมูลได้ดังนี้

3.3.2.1 ข้อมูลภูมิอากาศ

ข้อมูลภูมิอากาศ ได้แก่ การระเหย รวบรวมจากสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา ณ จังหวัดอุดรธานี ซึ่งมีช่วงข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 ถึง 2558



3.3.2.2 ข้อข้อมูลปริมาณน้ำฝน

รวบรวมข้อมูลปริมาณฝนรายวันจากสถานีวัดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง และบริเวณลุ่มน้ำข้างเคียง โดยได้รวบรวมข้อมูลสถานีวัดน้ำฝน จากรวบรวมจากสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา ณ จังหวัดอุดรธานี ซึ่งมีช่วงข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 ถึง 2558 ซึ่งได้แสดงรายละเอียดของสถานีวัดน้ำฝน ช่วงปีสถิติข้อมูลของปริมาณฝนรายวัน ปริมาณฝนรายเดือน และปริมาณฝนรายปี

3.3.2.3 ข้อมูลปริมาณน้ำท่า

รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำห้วยหลวง เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง โดยได้รวบรวมสถานีวัดน้ำท่าจากสถานี KH.53 และ KH.103 ศูนย์อุทกวิทยาและบริหารจัดการน้ำภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน กรมชลประทาน ซึ่งได้แสดงรายละเอียดของสถานีวัดน้ำท่า ช่วงปีสถิติข้อมูลของ ปริมาณท่ารายวัน ปริมาณท่ารายเดือน และปริมาณท่ารายปีเฉลี่ย



ภาพประกอบ 3.4 แผนที่แสดงที่ตั้งสถานีสำรวจปริมาณน้ำ ลุ่มน้ำห้วยหลวง

3.4 การจัดทำข้อมูลปริมาณฝน

ในการดำเนินการจัดทำข้อมูลปริมาณฝนจะต้องจัดหาข้อมูลจาก 2 ส่วน ได้แก่ข้อมูลพื้นฐาน ซึ่งจะต้องใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดจริงจากสถานีตรวจอากาศ ร่วมกับการใช้ข้อมูลการคำนวณจากแบบ



จำลอง PRECIS ในปีเดียวกัน เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและสอบเทียบผลการคำนวณจากแบบจำลอง ทั้งนี้ เพื่อวัตถุประสงค์ในการปรับลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลปริมาณฝนในอนาคตที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลอง PRECIS ขั้นตอนการดำเนินการจัดหาข้อมูลปริมาณฝนมีดังต่อไปนี้

3.4.1 ข้อมูลปริมาณฝนปีฐาน พ.ศ. 2546-2558 จะมีการดำเนินการเป็น 2 ส่วน ดังนี้

3.4.1.1 ข้อมูลภูมิอากาศ

1. ข้อมูลปริมาณฝนที่ตรวจวัดจากสถานีตรวจอากาศ

เป็นข้อมูลปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดจริงจากสถานีตรวจอากาศ ในบริเวณพื้นที่ศึกษา คือ สถานีตรวจอากาศจังหวัดอุดรธานี ใช้ข้อมูลรายวันจำนวน 13 ปี ระหว่าง พ.ศ.2546-2558 ดังแสดงตำแหน่งของสถานีตรวจอากาศในภาพประกอบ 3.5 โดยได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือตอนบน อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

2. ข้อมูลปริมาณฝนจากแบบจำลอง

การได้มาซึ่งข้อมูลปริมาณฝนจากแบบจำลองนั้น จะต้องทำการดาวน์โหลดข้อมูลปริมาณฝนรายวันจากแบบจำลอง PRECIS กรณีคาดการณ์ A2 และ B2 ของ ปีฐาน จำนวน 13 ปี คือ ระหว่าง พ.ศ.2546-2558 ปีอนาคต 30 ปีระหว่าง พ.ศ. 2558-2559 ของพื้นที่ กลุ่มน้ำห้วยหลวง เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและสอบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริงเป็นรายวัน ซึ่งรายละเอียดของการจัดเตรียมข้อมูลปริมาณฝนจากแบบจำลองจะได้แสดงรายละเอียดในหัวข้อลำดับถัดไป



ภาพประกอบ 3.5 ตำแหน่งสถานีตรวจอากาศ จังหวัดอุดรธานี



3.4.2 ข้อมูลปริมาณฝนคาดการณ์จากแบบจำลอง PRECIS

ข้อมูลการคาดการณ์ปริมาณฝนจากแบบจำลอง PRECIS สามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ของศูนย์จัดการความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (Center of Excellence for Climate Change Knowledge Management ; CCKM) หรือ www.cckm.or.th และ www.start.or.th โดยจัดทำขึ้นภายใต้โครงการ “การวิเคราะห์และสังเคราะห์รูปแบบการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในประเทศไทย และการจัดทำระบบเผยแพร่ข้อมูลการคาดการณ์ภูมิอากาศระยะยาว (Ensemble Climate Projection and National Dissemination System for Climate Change Scenarios)” รวบรวมข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทั้งหมดที่มีในประเทศไทย ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ให้บริการข้อมูลกับบุคคลทั่วไปและผู้สนใจโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย ลักษณะของข้อมูลจากแบบจำลองจะอยู่ในรูปแบบของนามสกุล *.csv (comma delimited) ซึ่งสามารถแปลงเป็นไฟล์ในรูปแบบตารางนามสกุล *.xls หรือ worksheet ได้ ทำให้สะดวกต่อการใช้งาน

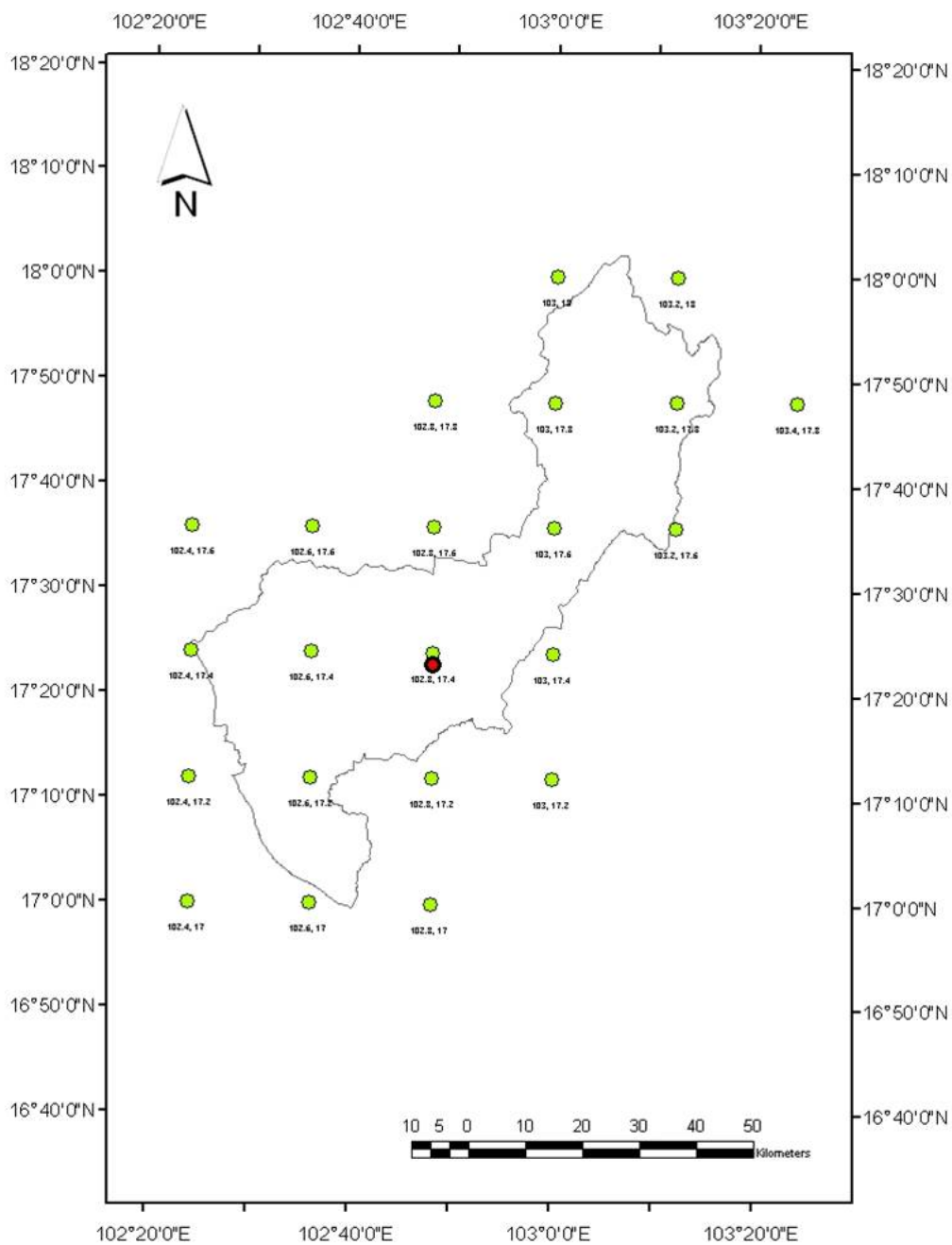
ข้อมูลที่ต้องการจากแบบจำลอง PRECIS จะมีทั้งหมด 43 ปี ซึ่งจะแบ่งเป็นปีฐาน จำนวน 13 ปี คือระหว่าง พ.ศ. 2546-2558 สำหรับการปรับเทียบ (calibration) และการสอบเทียบ (validation) และปีอนาคตจำนวน 30 ปี คือระหว่าง พ.ศ. 2559-2589 ดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยข้อมูลในปีอนาคตจำเป็นต้องมีการปรับเทียบก่อนนำไปใช้งาน ซึ่งจะได้อธิบายรายละเอียดในหัวข้อลำดับถัดไป

ตาราง 3.1 จำนวนปีข้อมูลที่ต้องการจากแบบจำลอง PRECIS

ที่	ปี	พ.ศ.	ค.ศ.	จำนวนปี
1.	ปีฐาน	2546 - 2558	2003 - 2015	13
2.	ปีคาดการณ์	2559 - 2589	2016 - 2045	30

แบบจำลอง PRECIS จะแสดงข้อมูลปริมาณฝนเป็นรายวันใน 1 ปี ที่ตำแหน่งตามพิกัดกริดแบบละติจูด (latitude) และลองจิจูด (longitude) ซึ่งจะมีความละเอียดเชิงพื้นที่ประมาณ 0.22×0.22 องศา หรือประมาณ 25x25 กิโลเมตร โดยพื้นที่ศึกษาจะอยู่ระหว่างพิกัด $18^{\circ} 00' 00''$ N, $102^{\circ} 12' 00''$ E และ $16^{\circ} 48' 00''$ N, $103^{\circ} 24' 00''$ E และใช้ตำแหน่งพิกัดกริดจำนวน 22 จุด สำหรับดาวน์โหลดข้อมูล ดังแสดงในภาพประกอบ 3.6 สำหรับภาพประกอบ 3.7 และ 3.8 เป็นตัวอย่างข้อมูลปริมาณฝนเป็นรายวันตั้งแต่วันที่ 1-15 ปี พ.ศ. 2569 (ค.ศ. 2025) กรณีคาดการณ์ A2 และ B2 จาก PRECIS ในพื้นที่ลุ่มลุ่มน้ำห้วยหลวง ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในรูปแบบของ worksheet





ภาพประกอบ 3.6 ตำแหน่งพิกัดกริดจำนวน 22 จุด ในพื้นที่ลุ่มลำห้วยหลวง



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	LAT	LON	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15
2	18.4	102	0.7056	0.1025	0.0924	0.2569	0.2092	0.0375	0.0072	0	0	0.013	0.0058	0	0.0014	0	0.1227
3	18.4	102.2	1.2807	0.121	0.0683	0.1309	0.158	0.047	0.0142	0	0	0.0142	0.0043	0	0	0	0.0768
4	18.4	102.4	1.2055	0.1335	0.1222	0.0998	0.215	0.1166	0.0534	0	0	0.0829	0.045	0.0042	0	0	0.0562
5	18.4	102.6	0.8516	0.4984	0.2108	0.2052	0.6114	0.1201	0.0572	0	0	0.0991	0.134	0.0042	0	0.1857	0.0796
6	18.4	102.8	0.616	0.9212	0.2128	0.2632	1.064	0	0	0	0	0	0.1708	0	0	0.6286	0.224
7	18.4	103	0.0071	0.0875	0.0692	0	0.418	0	0	0	0	0	0.0056	0	0	0.9602	0.4603
8	18.4	103.2	0	0.0157	0.0172	0.0014	0.1159	0	0	0	0	0	0.0458	0.0014	0	0.4708	0.5109
9	18.4	103.4	0	0.0248	0.0291	0.0058	0.1719	0	0	0	0	0	0.0189	0.0015	0	0.1938	0.4109
10	18.4	103.6	0	0.0179	0.0834	0.0045	0.0671	0	0	0	0	0	0.0075	0.0015	0	0.0522	0.2056
11	18.2	102	1.0643	0.1204	0.0653	0.1711	0.1914	0.0029	0	0	0	0.0015	0	0	0	0	0.2016
12	18.2	102.2	1.3727	0.1709	0.057	0.1381	0.2307	0.01	0.0028	0	0	0.0014	0.0014	0	0	0	0.0783
13	18.2	102.4	0.9122	0.1774	0.1118	0.1634	0.2682	0.1341	0.0475	0	0	0.095	0.0321	0.007	0	0	0.0559
14	18.2	102.6	0.2774	0.1891	0.1283	0.1546	0.2843	0.1628	0.058	0	0	0.1187	0.0455	0.0097	0	0.2291	0.04
15	18.2	102.8	0.0622	0.2268	0.0581	0.0719	0.2489	0	0	0	0	0	0.0138	0	0	0.798	0.0263
16	18.2	103	0.0028	0.1492	0.0432	0.0335	0.1087	0	0.0014	0	0	0	0.0028	0	0.0014	1.2518	0.0558
17	18.2	103.2	0	0.0648	0.0254	0.0028	0.0141	0.0014	0.0028	0	0	0.0014	0.0056	0	0.0099	0.162	0.0493
18	18.2	103.4	0	0.0372	0.0486	0.0157	0.0172	0.0043	0.0043	0	0	0.0229	0.0057	0	0.0215	0.03	0.0315
19	18.2	103.6	0	0.0306	0.1706	0.0365	0.0117	0.0044	0.0029	0	0	0.0467	0.0146	0	0.016	0.0044	0.0146
20	18	102	0.7374	0.1712	0.0629	0.1609	0.297	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3233
21	18	102.2	0.5922	0.1912	0.0457	0.1712	0.2469	0.0029	0.0014	0	0	0	0	0	0	0	0.1384
22	18	102.4	0.2859	0.1791	0.0444	0.1874	0.1971	0.068	0.0167	0	0	0.0514	0.0125	0.0028	0	0	0.075
23	18	102.6	0.073	0.1501	0.0379	0.1731	0.1433	0.1366	0.0338	0	0	0.1203	0.0257	0.0041	0	0.215	0.0365
24	18	102.8	0.0082	0.1342	0.0205	0.1342	0.0972	0.1492	0.0397	0	0	0.1574	0.0287	0	0	0.6161	0.0068
25	18	103	0	0.1319	0.022	0.1154	0.0673	0.136	0.0453	0	0	0.1635	0.0316	0	0	0.6293	0.0055
26	18	103.2	0	0.1036	0.0276	0.058	0.0373	0.0511	0.0221	0	0	0.0787	0.0124	0	0.0014	0.0359	0
27	18	103.4	0	0.0615	0.0726	0.014	0.0084	0.0098	0.0056	0	0	0.0224	0.0042	0	0.0042	0.0028	0
28	18	103.6	0	0.0313	0.1194	0.0085	0.0014	0.0014	0.0014	0	0	0.0142	0.0043	0	0.0028	0	0
29	17.8	102	0.286	0.2179	0.0652	0.1749	0.3275	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0474	0.6788
30	17.8	102.2	0.2008	0.1778	0.0344	0.1735	0.2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0488	0.2481
31	17.8	102.4	0.0942	0.1482	0.018	0.1704	0.115	0.0139	0.0028	0	0	0.0111	0.0028	0	0	0.108	0.072
32	17.8	102.6	0.0352	0.1423	0.0136	0.1599	0.0908	0.0352	0.0081	0	0	0.0325	0.0054	0.0014	0	0.4038	0.023
33	17.8	102.8	0.0068	0.1367	0.0109	0.1326	0.0793	0.0506	0.0137	0	0	0.0547	0.0096	0	0	0.7177	0.0109
34	17.8	103	0	0.1276	0.0148	0.1034	0.0631	0.0483	0.0161	0	0	0.0604	0.0107	0	0	0.3868	0.0054
35	17.8	103.2	0	0.0041	0.0302	0.0623	0.0407	0.0338	0.0004	0	0	0.0340	0.0054	0	0	0.0004	0

ภาพประกอบ 3.7 ตัวอย่างข้อมูลปริมาณฝน 10 วัน พ.ศ. 2569 (ค.ศ. 2025) กรณี A2

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	LAT	LON	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15
2	18.4	102	0.0202	0.0949	0.0864	0.0335	0.0001	0	0	0	0	0.0198	0.0045	0	0.1811	0.2628	0
3	18.4	102.2	0.001	0.0663	0.0743	0.0305	0	0	0	0	0	0.0195	0.0043	0	0.1681	0.1478	0
4	18.4	102.4	0	0.1183	0.1959	0.0927	0	0	0.0056	0	0.0013	0.0767	0.0294	0	0.1182	0.0471	0.0094
5	18.4	102.6	0	0.124	0.2144	0.1044	0	0	0.0074	0	0.0015	0.0891	0.0359	0	0.0864	0.1124	0.0994
6	18.4	102.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0007	0	0	0.0794	0.2138	0.2041
7	18.4	103	0	0.0011	0.0001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0079	0.003	0.0456
8	18.4	103.2	0	0.0119	0.0013	0.0001	0	0	0.0001	0	0.0001	0	0	0	0.001	0.0006	0.0026
9	18.4	103.4	0	0.0025	0.0003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0017	0.0012	0.0007
10	18.4	103.6	0	0.0006	0.0004	0.0001	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0024	0.0009	0.0006
11	18.2	102	0.0041	0.0167	0.0193	0.0038	0	0	0	0	0	0.0013	0.0003	0	0.0953	0.1443	0
12	18.2	102.2	0	0.0266	0.0366	0.0075	0	0	0	0	0	0.003	0.0004	0	0.0988	0.0682	0.0001
13	18.2	102.4	0	0.1355	0.3079	0.1024	0	0	0.005	0	0.0155	0.0813	0.0224	0	0.0739	0.0244	0.0812
14	18.2	102.6	0	0.1522	0.3623	0.1239	0	0	0.0063	0	0.0196	0.1009	0.0282	0	0.0436	0.0215	0.1311
15	18.2	102.8	0	0.0007	0.0017	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0019	0.047	0.0241	0.0646
16	18.2	103	0	0.0057	0.0085	0.0001	0	0	0	0	0	0	0	0.0077	0.0845	0.0064	0.0112
17	18.2	103.2	0	0.0311	0.0307	0.0014	0	0	0	0	0	0	0	0.0017	0.1432	0.0038	0.0006
18	18.2	103.4	0	0.0613	0.0696	0.0066	0	0	0	0	0	0	0	0.0003	0.0812	0.0026	0
19	18.2	103.6	0	0.0666	0.0919	0.0165	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0749	0.0035	0
20	18	102	0.0004	0.0114	0.0173	0.0019	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0663	0.1087	0
21	18	102.2	0	0.0177	0.0287	0.0047	0	0	0	0	0	0.0004	0	0	0.0567	0.0418	0.0006
22	18	102.4	0	0.0844	0.2029	0.0755	0	0	0.005	0	0.0092	0.0358	0.0071	0	0.0422	0.0114	0.0328
23	18	102.6	0	0.1475	0.356	0.1503	0	0	0.0134	0	0.0266	0.0661	0.0123	0	0.0251	0.0072	0.0498
24	18	102.8	0	0.1551	0.3418	0.1606	0	0.0168	0	0.0359	0.0537	0.0086	0.0042	0.0042	0.0402	0.0044	0.0215
25	18	103	0	0.1517	0.3118	0.1287	0	0.0059	0	0.0154	0.0291	0.0054	0.0199	0.1301	0.0045	0.0038	
26	18	103.2	0	0.0707	0.1512	0.0376	0	0.0001	0	0.0006	0.0021	0.0004	0.0347	0.2152	0.005	0.0001	
27	18	103.4	0	0.0296	0.0495	0.0092	0	0	0	0	0	0.0001	0	0.0073	0.1546	0.0056	0
28	18	103.6	0	0.0215	0.0262	0.0047	0	0	0	0	0	0	0	0.0006	0.1047	0.0065	0
29	17.8	102	0	0.0067	0.0104	0.0015	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0348	0.0874	0
30	17.8	102.2	0	0.008	0.0152	0.0026	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0275	0.0294	0.0001

ภาพประกอบ 3.8 ตัวอย่างข้อมูลปริมาณฝน 10 วัน พ.ศ. 2569 (ค.ศ. 2025) กรณี B2

3.4.3 ข้อมูลปริมาณฝนปีฐาน พ.ศ. 2546-2558

เนื่องจากการคาดการณ์ปริมาณฝนบนพื้นฐานของแบบจำลองนั้นจะมีข้อจำกัดที่อาจทำให้เกิดความคาดเคลื่อนได้ ดังนั้นการทดสอบความถูกต้องของผลการคำนวณจากแบบจำลองจึงมีความจำเป็น (Nazrul et al., 2008; นัฐพล และคณะ, 2557) ด้วยเหตุนี้ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง PRECIS ที่จะนำมาใช้ในการศึกษาจะต้องมีการทดสอบความถูกต้องโดยการใช้ข้อมูลที่ได้จากการตรวจ วัดจริงจากสถานีตรวจอากาศ โดยการเปรียบเทียบผลการจำลอง ปริมาณฝนจะต้องใช้ข้อมูลที่ตำแหน่งเดียวกัน วิธีการเปรียบเทียบและสอบเทียบข้อมูลสภาพภูมิอากาศสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

3.4.3.1 ผู้ศึกษาได้เลือกพื้นที่สำหรับทำการเปรียบเทียบและสอบเทียบข้อมูลคือพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบกับสถานีตรวจอากาศจังหวัดอุดรธานี ณ ตำแหน่งพิกัด $17^{\circ} 23' N$, $102^{\circ} 48' E$ เนื่องจากเป็นสถานีตรวจอากาศที่ใกล้กับพื้นที่ศึกษามากที่สุด ดังแสดงในภาพประกอบ 3.4

3.4.3.2 ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริงระหว่างปี พ.ศ. 2546-2558 จะทำการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองในปีเดียวกัน โดยจะต้องทำการเฉลี่ยข้อมูลเป็นรายเดือนสำหรับแต่ละปีจากการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลที่ตรวจวัดจริง และข้อมูลจากแบบจำลอง พบว่าปริมาณฝนจากการตรวจวัดจริงมีค่ามากกว่าปริมาณฝนจากแบบจำลอง จึงควรมีการปรับแก้ด้วยการเพิ่มค่า

3.4.3.3 จากความแตกต่างของข้อมูลที่พบในข้อ 2) ผู้ศึกษาจึงได้นำข้อมูล ปริมาณฝนเฉลี่ยเป็นรายเดือนในปีเดียวกันมาคำนวณหาค่าความแตกต่างระหว่างข้อมูลจริงกับแบบจำลอง ซึ่งจะทำให้ได้ค่าคงที่ (C_{PC}) สำหรับใช้ในการปรับค่าที่ได้จากแบบจำลองเป็นรายเดือนที่ตำแหน่งนั้น ๆ ดังแสดงในสมการ 3.1 สำหรับค่า C_{PC} ที่คำนวณได้จากวิธีนี้จะนำไปแสดงไว้ในบทที่ 4 ต่อไป

$$C_{PC} = \frac{PC_{\text{scenario}}}{PC_{\text{baseline}}} \quad (3.1)$$

โดยที่ C_{PC} = ค่าคงที่สำหรับการปรับความคาดเคลื่อนปริมาณฝน
 PC_{scenario} = ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนอนาคตจากแบบจำลอง
 พื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง (มิลลิเมตร)
 PC_{baseline} = ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนปี ฐานจากแบบจำลอง

3.4.3.4 ค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบข้อมูลจากสถานีตรวจวัดจริงกับแบบจำลองจะถูกนำไปใช้ปรับความคาดเคลื่อนผลการคำนวณ ปริมาณฝนที่ได้จากแบบจำลองเพื่อทดสอบค่าความถูกต้องระหว่างปี พ.ศ. 2556–2558 (จำนวน 3 ปี) โดยจะต้องมีการปรับแต่งค่า C_{PC} เพื่อให้ได้ค่าความถูกต้อง



ระหว่างข้อมูลตรวจวัดจริง และข้อมูลจากแบบจำลองมากที่สุด และสมการ 3.2 เป็นสมการสำหรับปรับลดความคลาดเคลื่อนปริมาณฝนที่ได้จากแบบจำลอง ดังนี้

$$PC_{rev} = PC_{model} \times C_{PC} \quad (3.2)$$

โดยที่ PC_{rev} = ปริมาณฝนที่ปรับลดความคลาดเคลื่อนแล้ว (มิลลิเมตร)
 PC_{model} = ปริมาณฝนที่ได้จากแบบจำลอง (มิลลิเมตร)
 C_{PC} = ค่าคงที่สำหรับการปรับลดความคลาดเคลื่อนปริมาณฝน

3.4.3.5 นำค่า C ที่ผ่านการปรับเทียบแล้วไปทดสอบปรับเทียบความคลาดเคลื่อนผลจากแบบจำลองในปี พ.ศ. 2556-2558 จากนั้นจึงนำผลที่ปรับความคลาดเคลื่อนไปเปรียบเทียบกับข้อมูลในปี พ.ศ. 2556-2558 จากสถานีตรวจวัดจริง โดยผลการเปรียบเทียบข้อมูลสภาพภูมิอากาศในช่วงเวลาดังกล่าวจะนำไปแสดงไว้ในบทที่ 4 ต่อไป สำหรับการประเมินประสิทธิภาพของข้อมูลปริมาณฝนที่ได้ผ่านการปรับลดความคลาดเคลื่อน เปรียบเทียบกับข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัด ข้อมูลทั้งสองชุดจะมีการประเมินความสมบูรณ์ของข้อมูล (Goodness of Fit) แสดงได้ด้วยค่าสหสัมพันธ์ (Relative Correlation, R^2) และค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative Error, RE)

3.4.3.6 เมื่อค่า C ที่ได้ผ่านการปรับแต่งค่าด้วยวิธีลองผิด - ลองถูก จนทำให้ได้ค่าความสมบูรณ์ของข้อมูล ค่าสหสัมพันธ์และค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ เป็นที่น่าพอใจแล้ว ข้อมูลปริมาณฝนรายวันระหว่าง พ.ศ. 2559-2589 จะถูกนำมาปรับลดค่าความคลาดเคลื่อน โดยใช้ค่า C ตามวิธีการที่ได้แสดงในสมการ 3.2 ข้อมูลปริมาณฝนที่ได้ผ่านการปรับลดค่าความคลาดเคลื่อนแล้ว จะถือว่าเป็นข้อมูลที่น่าไปใช้เพื่อการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าในอนาคตด้วยแบบจำลองทางอุทกวิทยา ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อถัดไป รวมไปถึงการแสดงผลแนวโน้มปริมาณฝนอนาคต 30 ปี จากกรณีคาดการณ์ A2 และ B2 ซึ่งจะแสดงในบทที่ 4 ต่อไป

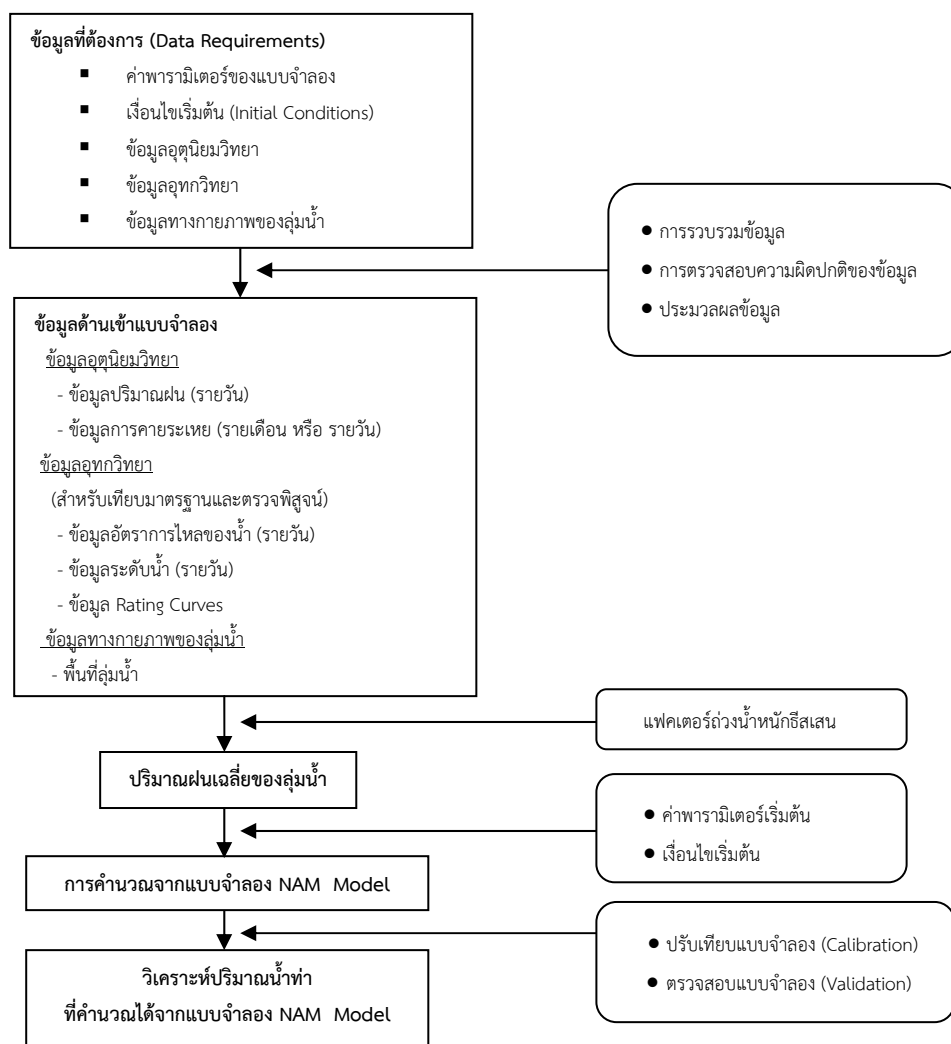
3.5 เทียบมาตรฐานและการตรวจพิสูจน์ของแบบจำลอง NAM Model

3.5.1 การเทียบมาตรฐานแบบจำลอง NAM Model

การเทียบมาตรฐานแบบจำลอง (Calibration) เป็นการหาค่าพารามิเตอร์เฉพาะถิ่นต่างๆ ของแบบจำลอง NAM Model ที่ไม่ทราบค่าที่แน่นอน แต่ในเบื้องต้นได้มีการกำหนดช่วงของค่าพารามิเตอร์เฉพาะถิ่นแต่ละตัว โดยคำแนะนำจากคู่มือการใช้งานแบบจำลอง ซึ่งในขั้นสุดท้ายแล้วค่าพารามิเตอร์เฉพาะถิ่นที่จะนำมาเป็นตัวแทนของกลุ่มน้ำได้นั้น จะได้จากการเทียบมาตรฐานระหว่างข้อมูล



คำนวณได้จากแบบจำลอง กับข้อมูลที่ตรวจวัดได้จริงในสนามโดยใช้หลักเกณฑ์ทางสถิติมาพิจารณาในการตัดสินใจเลือกผลการเทียบมาตรฐานแบบจำลอง ภาพประกอบ 3.9 แสดงแผนภูมิของแบบจำลอง NAM Model (วิษุวัตม์ แต่สมบัติ, 2546)



ภาพประกอบ 3.9 แผนภูมิของแบบจำลอง NAM Model

รายละเอียดการเทียบมาตรฐานแบบจำลอง NAM Model ดำเนินการดังนี้

3.5.1.1 พิจารณาเลือกช่วงเวลาการเทียบมาตรฐานแบบจำลอง NAM Model โดยใช้ช่วงพ.ศ. 2550-2557

3.5.1.2 นำเข้าข้อมูลขอบเขต (Boundary) ของแบบจำลอง NAM Model ซึ่งได้แก่ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝน ค่าแฟกเตอร์ถ่วงน้ำหนักอิสระ พื้นที่ลุ่มน้ำย่อย ค่าการระเหย และปริมาณการไหลที่ตรวจวัดจากสถานีวัดน้ำท่า ของกรมชลประทาน ช่วงปี พ.ศ. 2550-2557



3.5.1.3 ในขั้นต้นได้ทำการเทียบมาตรฐานแบบจำลอง NAM Model ที่พื้นที่ลุ่มน้ำ

3.5.1.4 ทำการเทียบมาตรฐานแบบจำลอง NAM Model โดยใช้วิธีการเทียบมาตรฐานแบบอัตโนมัติ (Auto-Calibration) ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ช่วยในการ Trial and Error เพื่อหาค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น

3.5.1.5 ปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิธีเทียบมาตรฐานแบบอัตโนมัติ เพื่อให้ได้ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าจากปริมาณน้ำฝนที่ติขึ้น โดยเลือกช่วงเวลา (Time Step) ที่เหมาะสม

3.5.1.6 ทำการเทียบมาตรฐานแบบจำลอง NAM Model ขั้นสุดท้าย โดยประยุกต์ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ปรับเทียบได้กับพื้นที่ลุ่มน้ำของสถานี

3.5.2 รายละเอียดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM Model

แบบจำลอง NAM Model มีพารามิเตอร์จำนวน 15 พารามิเตอร์ แต่ที่สำคัญที่สุดมี 3 พารามิเตอร์ คือ L_{max} U_{max} และ CQOF ซึ่งรายละเอียดและคำแนะนำจากคู่มือการใช้งานแบบจำลองของพารามิเตอร์ แต่ละตัวมีดังนี้

3.5.2.1 L_{max} เป็นค่าความชื้นสูงสุดของดินในชั้นรากพืช มีค่าโดยประมาณเท่ากับ 100 - 250 มิลลิเมตร ค่า L_{max} จะมีค่าสูงในดินที่มีลักษณะเป็นดินเหนียว และมีค่าต่ำในดินทรายการเพิ่มค่า L_{max} จะทำให้ค่าปริมาณน้ำลดลง มีการไหลซึม และการระเหยสูงขึ้น

3.5.2.2 U_{max} เป็นค่าความชื้นสูงสุดของดินชั้นผิวดิน มีค่าโดยประมาณ 10 - 20 มิลลิเมตร หรือ 10% ของ L_{max} การเพิ่มค่า U_{max} จะทำให้ค่า Overland Flow และ Infiltration น้อยลงโดยเฉพาะในช่วงเริ่มฤดูฝน แต่จะทำให้การระเหย และ Interflow สูงขึ้น

3.5.2.3 CQOF เป็นค่าสัมประสิทธิ์การเกิดน้ำผิวดิน มีค่าระหว่าง 0 - 1 การให้ค่า CQOF น้อยจะทำให้ Overland Flow มีค่าต่ำ โดยเฉพาะค่า Peak แต่ค่า Infiltration จะสูง

3.5.2.4 CKIF เป็นช่วงเวลาการเกิด Interflow มีค่าประมาณ 500 - 1,000 ชั่วโมงการเพิ่มค่า CKIF จะทำให้ได้ Interflow ลดลง

3.5.2.5 TOF เป็นค่าเริ่มต้นของความชื้นสัมพัทธ์ของดินชั้นรากพืช (L/L_{max}) ที่เริ่มยอมให้เกิด Overland Flow ถ้า TOF มาก จะเกิด Overland Flow ช้าลง

3.5.2.6 TIF เป็นค่าเริ่มต้นของความชื้นสัมพัทธ์ของดินชั้นรากพืช (L/L_{max}) ที่เริ่มยอมให้เกิด Interflow ถ้า TIF มาก จะเกิด Interflow ช้าลง

3.5.2.7 TG เป็นค่าเริ่มต้นของความชื้นสัมพัทธ์ของดินชั้นรากพืช (L/L_{max}) ที่เริ่มยอมให้เกิด Groundwater Recharge ถ้า TG มาก จะเกิด Groundwater Recharge ช้าลง

3.5.2.8 CK_1 เป็นค่าคงที่ของเวลาที่ใช้ในการคำนวณการเคลื่อนตัวของกราฟน้ำท่าในสมการ Linear Reservoir การลดค่า CK_1 จะทำให้ได้กราฟน้ำท่าที่มี Peak สูง และฐานเวลาสั้น



3.5.2.9 CK_2 เป็นค่าคงที่ของเวลาที่ใช้ในการคำนวณการเคลื่อนตัวของ Overland Flow และ Interflow ในสมการ Linear Reservoir การลดค่า CK_2 จะทำให้ได้กราฟน้ำท่าที่มี Peak สูง และมีฐานเวลาสั้น ปกติจะกำหนดให้ $CK_1 = CK_2$

3.5.2.10 CK_{BF} เป็นค่าคงที่ของเวลาที่ใช้ในการคำนวณการเคลื่อนตัวของ Base Flow ในสมการ Linear Reservoir การลดค่า CK_{BF} จะทำให้ได้กราฟน้ำท่าที่มี Peak สูงขึ้น และฐานเวลาสั้นลง ปกติ CK_{BF} มากกว่า CK_1 และ CK_2

3.5.2.11 S_y เป็นค่า Specific Yield ของชั้นน้ำใต้ดิน ปกติจะกำหนดให้มีค่า = 0.1

3.5.2.12 GWL_{BFo} เป็นค่าความลึกสูงสุดของชั้นน้ำใต้ดินที่ทำให้เกิด Base Flow ปกติกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 10 เมตร

3.5.2.13 GWL_{min} เป็นระดับน้ำใต้ดินต่ำสุด ปกติเท่ากับ 0 เมตร

3.5.2.14 GWL_{FL_1} เป็นความลึกของน้ำใต้ดิน ที่จะทำให้เกิดการไหลซึมขึ้น (Capillary Flux) หนึ่งหน่วย (1 มิลลิเมตรต่อวัน) จากชั้นน้ำใต้ดิน ปกติกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0 เมตร

3.5.2.15 CAREA เป็นอัตราส่วนระหว่าง พื้นที่รับน้ำของชั้นน้ำใต้ดิน ต่อพื้นที่รับน้ำฝน โดยปกติ กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1

3.5.3 เกณฑ์การประเมินประสิทธิผลของการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM Model

ในการสอบเทียบแบบจำลอง NAM Model จะต้องทำการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการประเมินด้วยแบบจำลอง NAM Model และปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงในสนาม ในการศึกษาได้พิจารณาใช้ตัวแปรทางสถิติคือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, r) ค่า Efficiency Index (EI) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R-square) มาเป็นเกณฑ์ในการประเมินประสิทธิผลของการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM Model โดยสูตรการคำนวณตัวแปรทางสถิติแสดง ดังนี้

3.5.4.1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient: r)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{oi} - \bar{Q}_o) \times (Q_{ci} - \bar{Q}_c)}{\left[\sum_{i=1}^N (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2 \times (Q_{ci} - \bar{Q}_c)^2 \right]^{0.5}} \quad (3.3)$$

3.5.4.2 ค่า efficiency index (EI)

$$EI = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2 - \sum_{i=1}^N (Q_{oi} - \bar{Q}_c)^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2} \times 100\% \quad (3.4)$$



เมื่อ Q_i คือ ปริมาณการไหลหรือระดับน้ำที่เวลา i ส่วน \bar{Q} คือ ค่าเฉลี่ยของปริมาณการไหลหรือระดับน้ำ โดยที่ Subscript O กับ C คือ ค่าที่ตรวจวัดได้และค่าที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลอง ตามลำดับ และ N คือ จำนวนของข้อมูล

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, r) มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ถ้า r มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์แบบปฏิภาคโดยตรงที่ตีมาก และถ้า r มีค่าเข้าใกล้ -1 แสดงว่าข้อมูลทั้งสองก็มีความสัมพันธ์ที่ตีมากแต่ในเชิงปฏิภาคผกผัน แต่เมื่อไรก็ตามที่ r มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าข้อมูลทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์กัน อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปแล้วในการศึกษาด้านอุทกวิทยา ค่า r ควรจะมีค่ามากกว่า 0.7 จึงจะถือว่าข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์กันอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ส่วนค่า Efficiency Index (EI) ถ้ามีค่าเท่ากับ 100% แสดงว่าชุดข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองมีค่าเท่ากับที่ได้จากการตรวจวัดทุกข้อมูล

3.5.4.3 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R-square)

ในการวิเคราะห์ สมการถดถอย เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นกับตัวแปรตาม สมการถดถอยที่ได้จะสามารถใช้พยากรณ์ค่าของตัวแปรตามได้ดีเพียงใต้นั้น ย่อมขึ้นอยู่กับอิทธิพลของตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นว่าจะส่งผลอย่างไรกับตัวแปรตาม หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามเป็นผลมาจากอิทธิพลของตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นมากน้อยเพียงใด สมการถดถอยที่ได้จะสามารถพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามได้ดีหรือไม่ ย่อมขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ หรือ Coefficient of Determination ซึ่งเกิดจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ยกกำลังสอง ใช้ตัวย่อว่า R^2

ดังนั้นสูตรที่ใช้ ก็คือ

$$r^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (Q_{oi} - \bar{Q}_o) \times (Q_{ci} - \bar{Q}_c) \right]^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2 \times \sum_{i=1}^N (Q_{ci} - \bar{Q}_c)^2} \quad (3.5)$$

เมื่อ

$$r^2 = \text{ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1}$$

สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ ยังมีค่าใกล้ 1.00 มากเท่าใด แสดงว่าสามารถอธิบายค่าของตัวแปรตามได้ดี ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันมาก แต่ถ้ามีค่าใกล้ 0 แสดงว่า สมการถดถอยสามารถอธิบายค่าของตัวแปรตามได้ไม่ดี หรือกล่าวโดยสรุปได้ว่า ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันน้อย



3.5.4 หลักเกณฑ์ที่นำมาใช้ในการเทียบมาตรฐานแบบจำลอง มีดังนี้

3.5.4.1 สมดุลของปริมาณน้ำท่า (Water Balance)

การเทียบมาตรฐานแบบจำลองโดยปกติแล้ว จะเริ่มจากการปรับสมดุลของปริมาณน้ำท่า (Water Balance) ของระบบลุ่มน้ำ โดยพิจารณาค่าระหว่างปริมาณการคายระเหยทั้งหมด (E_A) ที่ทำให้ปริมาณน้ำท่าในแหล่งเก็บกักลดลง กับปริมาณน้ำฝน (P) ที่ทำให้ปริมาณน้ำในแหล่งเก็บกักเพิ่มมากขึ้น ซึ่งทำได้โดยการปรับค่าพารามิเตอร์ L_{max} และ U_{max}

3.5.4.2 การปรับค่าปริมาณการไหลสูงสุดให้สอดคล้องกัน (Fit of Flood Peaks)

การปรับค่าปริมาณการไหลสูงสุด (Flood Peaks) จะทำได้โดยการปรับค่าพารามิเตอร์ 3 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิด Overland Flow ได้แก่ 1.) CQOF เพื่อปรับปริมาตรและขนาดของ Flood Peaks ซึ่งพารามิเตอร์ตัวนี้มีความสำคัญต่อการเกิดทั้ง Overland Flow และ Recharge ให้กับชั้นน้ำใต้ดิน 2.) TOF เพื่อปรับช่วงเวลาของการเกิด Flood Peaks และ 3.) CK_1 และ CK_2 เพื่อปรับรูปร่างของ Hydrograph ซึ่งพารามิเตอร์สองตัวนี้ไม่ทำให้ปริมาตรของ Flood Peaks เปลี่ยนแปลง

3.5.4.3 การปรับค่าปริมาณไหลระดับต่ำให้สอดคล้องกัน (Fit of Low Flows)

การปรับค่าปริมาณไหลระดับต่ำ (Low Flows) จะทำได้โดยการปรับค่าพารามิเตอร์ 3 พารามิเตอร์ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิด Base Flow ได้แก่ 1.) CQOF เพื่อปรับปริมาตรของ Recharge ในชั้นน้ำใต้ดิน ซึ่งมีความสำคัญต่อการเกิด Base Flow 2.) TG เพื่อปรับช่วงเวลาของการเกิด Base Flow และ 3.) CK_{BF} เพื่อปรับรูปร่างของ Hydrograph ของ Base Flow

3.5.4.4 ค่าเงื่อนไขเริ่มต้น (Initial Condition)

ค่าเงื่อนไขเริ่มต้น นับว่ามีความสำคัญ โดยเฉพาะค่าของปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของดินชั้นรากพืช (L/L_{max}) ถ้าช่วงเวลาเริ่มต้นของการปรับเทียบเป็นช่วงหลังจากฤดูฝน เช่น เริ่มต้นเดือนมกราคม ซึ่งในพื้นที่ลุ่มน้ำภาคใต้ นับว่าเป็นช่วงหลังฤดูฝน ความชื้นในดินจะยังคงมีค่าสูงอยู่ ดังนั้นเงื่อนไขเริ่มต้นของ L/L_{max} ควรจะต้องกำหนดให้มากกว่า 0.8 เป็นต้น

3.5.5 การตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM Model

การตรวจพิสูจน์แบบจำลอง (Verification) เพื่อตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองที่ได้จากการเทียบมาตรฐานมาแล้วว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ โดยใช้วิธีนำค่าพารามิเตอร์จากการเทียบมาตรฐานแบบจำลอง (Calibration) ในขั้นสุดท้าย มาใช้สร้างข้อมูลปริมาณน้ำท่าเปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำบนที่กไว้ ในช่วงปีข้อมูลนอกเหนือจากช่วงปีที่ทำการเทียบมาตรฐาน เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งสอง โดยใช้หลักเกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลองเหมือนกับหัวข้อ 3.5.1 มาพิจารณาจากการพิจารณาได้เลือกช่วงปี พ.ศ. 2555–2557 มาใช้ในการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM Model



บทที่ 4

ผลการศึกษา

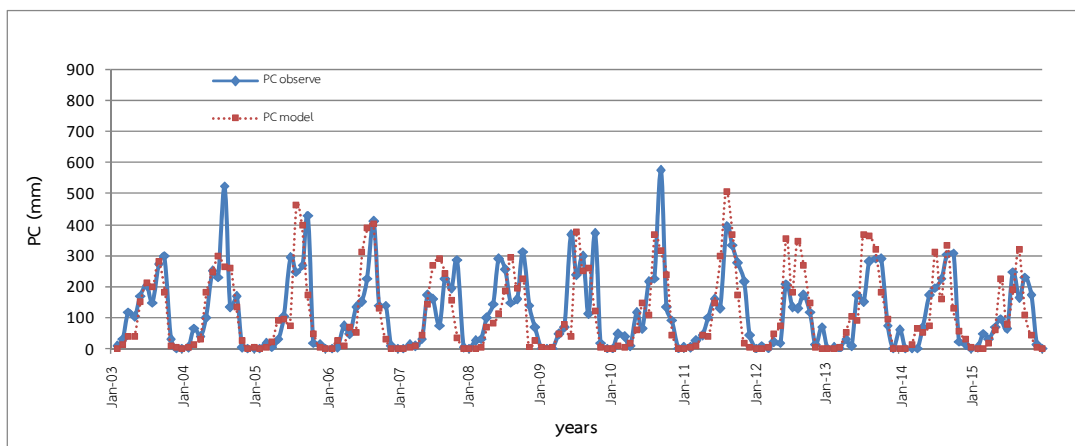
ผลการศึกษาการประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกที่มีต่อการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำห้วยหลวง ที่ได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังแสดงรายละเอียดในบทที่ 3 นั้นจะนำเสนอรายละเอียดโดยแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อหลัก หัวข้อแรกได้แก่ ปริมาณฝน ซึ่งจะแสดงถึงปริมาณฝนที่คำนวณได้จากแบบจำลอง PRECIS กระบวนการปรับลดความคาดเคลื่อนของข้อมูล แนวโน้มของปริมาณฝนในช่วงเวลาจากอดีตจนถึงอนาคตปีคาดการณ์ และการเตรียมข้อมูลสำหรับนำไปใช้คาดการณ์ปริมาณน้ำท่า หัวข้อที่ 2 คือผลของการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำห้วยหลวง โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับปริมาณน้ำท่าด้วยวิธีสหสัมพันธ์ รายละเอียดของผลการวิจัยสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

4.1 ปริมาณฝนคาดการณ์ ผลการจำลองสภาพภูมิอากาศจาก PRECIS

4.1.1 การปรับลดความคาดเคลื่อนของข้อมูลจากแบบจำลอง

ขั้นตอนแรกในการเตรียมข้อมูลปริมาณฝนในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษาระหว่าง พ.ศ. 2546-2558 (ปีฐาน) และ พ.ศ. 2559-2589 (ปีคาดการณ์) จากแบบจำลอง PRECIS กรณีคาดการณ์ A2 และ B2 จำเป็นจะต้องมีการปรับลดความคาดเคลื่อนของข้อมูลก่อนโดยการนำข้อมูลปริมาณฝนจากแบบจำลองนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณฝนที่ตรวจวัดจริงจากสถานีตรวจอากาศจังหวัดอุดรธานี ผลการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างปริมาณฝนจากแบบจำลองและสถานีตรวจอากาศแสดงได้ดังภาพประกอบ 4.1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณฝนปีฐานเฉลี่ยรายเดือนจากแบบจำลอง PRECIS (เส้นประสีแดง) มีค่าสูงกว่าค่าปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนที่ตรวจวัดจากสถานีตรวจอากาศ (เส้นทึบสีน้ำเงิน) ดังนั้นจึงควรมีการปรับลดค่าปริมาณฝนจากแบบจำลองเพื่อให้มีความใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดจริงมากที่สุด จากผลความแตกต่างของข้อมูลจากแบบจำลอง และข้อมูลตรวจวัดจริง ผู้ศึกษาจึงได้นำข้อมูลปริมาณฝนเฉลี่ยเป็นรายเดือนในปีเดียวกันมาคำนวณหาความแตกต่างระหว่างข้อมูลจริงกับแบบจำลองแยกเป็น 2 กรณีคาดการณ์ A2 และ B2 โดยใช้ข้อมูลปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนระหว่างปี พ.ศ. 2546-2558 เป็นฐานสำหรับการคำนวณหาความแตกต่างระหว่างข้อมูลทั้งสอง โดยใช้สมการ 3.1 ดังที่แสดงไว้ในบทที่ 3 ซึ่งจะให้ได้ค่าคงที่ (C_{PC}) สำหรับใช้ในการปรับค่าที่ได้จากแบบจำลองกรณีคาดการณ์ A2 และ B2 เป็นรายเดือนที่ตำแหน่งนั้นๆ ดังแสดงในตาราง 4.1





ภาพประกอบ 4.1 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนจากแบบจำลอง PRECIS และ สถานีตรวจอากาศช่วงปีฐาน

ตาราง 4.1 ค่าคงที่ C สำหรับการปรับลดความคาดเคลื่อนของข้อมูลจากแบบจำลอง PRECIS
กรณีคาดการณ์ A2 และ B2

เดือน	กรณีคาดการณ์ A2	กรณีคาดการณ์ B2
	C_{A2-PC}	C_{B2-PC}
มกราคม	5.81	15.35
กุมภาพันธ์	3.00	1.76
มีนาคม	1.38	1.39
เมษายน	1.01	1.03
พฤษภาคม	1.30	1.41
มิถุนายน	0.87	0.79
กรกฎาคม	0.72	0.83
สิงหาคม	0.89	0.84
กันยายน	1.45	1.49
ตุลาคม	4.28	3.85
พฤศจิกายน	6.02	5.65
ธันวาคม	0.43	0.57

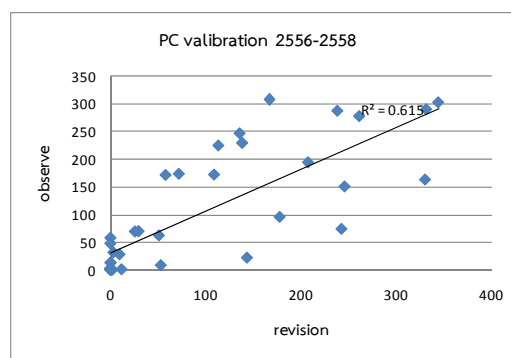
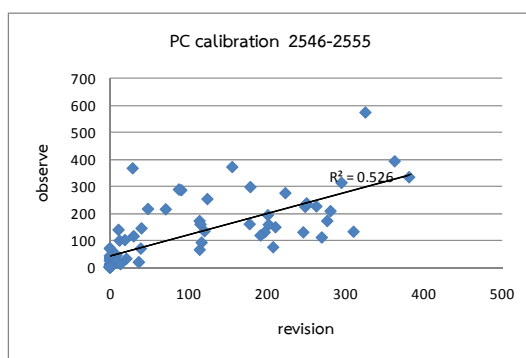


4.1.2 การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์ข้อมูลปริมาณฝนปีฐาน

ก่อนการนำค่า C_{PC} ไปใช้งานจริงนั้น จำเป็นจะต้องมีการนำค่า C_{PC} ไปสอบเทียบ (Calibration) และตรวจพิสูจน์ (Validation) กับข้อมูลปริมาณฝนที่ตรวจวัดจริงจากสถานีตรวจอากาศ ในช่วงเวลาอดีตที่ผ่านมาเสียก่อน ทั้งนี้เพื่อต้องการให้ค่า C_{PC} ที่สร้างขึ้นมีความน่าเชื่อถือโดยสามารถแสดงได้ด้วยค่า R-square (R^2) การเปรียบเทียบปริมาณฝนในช่วงปีฐาน (พ.ศ. 2546–2558) ที่คำนวณได้จากแบบจำลอง ซึ่งยังไม่ได้ผ่านการปรับลดความคลาดเคลื่อนพบว่ามีค่าต่ำกว่าปริมาณฝนจากสถานีตรวจวัด จากกรณีคาดการณ์ A2 และ B2 การพิจารณาความสัมพันธ์ของข้อมูลได้แสดงค่า R^2 เท่ากับ 0.51 และ 0.50 ตามลำดับ ผลการปรับลดความคลาดเคลื่อนปริมาณฝนจากแบบจำลองด้วยการใช้ค่าคงที่ C_{PC} โดยใช้ช่วงข้อมูลระหว่าง พ.ศ. 2555–2558 พบว่าค่า R^2 เท่ากับ 0.62 และ 0.73 ตามลำดับ ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์ข้อมูลปริมาณฝนสามารถแสดงได้ในตาราง 4.2 ภาพประกอบ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

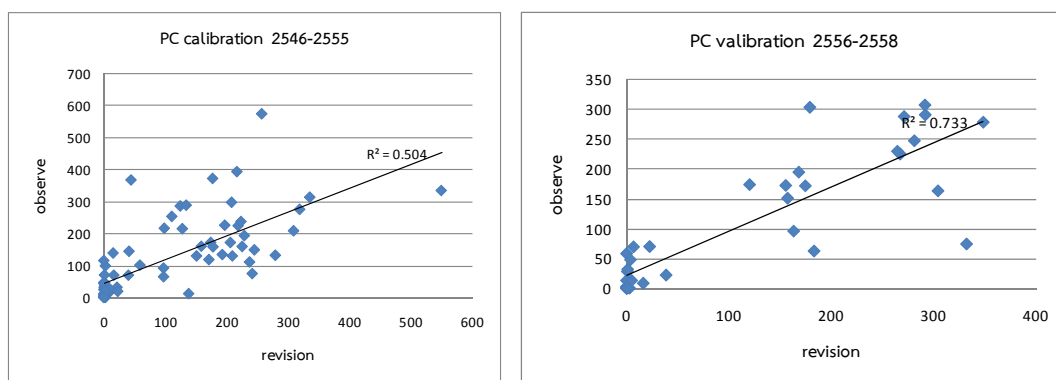
ตาราง 4.2 ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์ข้อมูลปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนระหว่าง พ.ศ. 2546-2558 จากสถานีตรวจวัดเปรียบเทียบกับ PRECIS กรณีคาดการณ์ A2 และ B2

เดือน	กรณีคาดการณ์	ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน (มม.)		R^2
		สถานีวัด	แบบจำลอง	
ยังไม่ปรับลด	A2	1,408.20	1,322.36	0.53
	B2	1,408.20	1,302.19	0.50
ผ่านการปรับลด	A2	1,408.20	1,355.26	0.62
	B2	1,408.20	1,375.41	0.73



ภาพประกอบ 4.2 การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์ค่า C_{PC} กรณีคาดการณ์ A2





ภาพประกอบ 4.3 การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์ค่า C_{PC} กรณีคาดการณ์ B2

4.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าด้วย แบบจำลอง NAM Model

4.2.1 ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM Model สำหรับสถานีวัดน้ำท่า

การสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration) สำหรับสถานีวัดน้ำท่าจำนวน 2 สถานี ในลุ่มห้วยหลวง จากสถานี KH.53 และ KH.103 แยกเป็นกรณีคาดการณ์ A2 และ B2 ได้พิจารณาเลือกช่วงเวลาการเทียบมาตรฐานแบบจำลอง NAM Model โดยใช้ช่วง พ.ศ. 2550-2557 การสอบเทียบระหว่าง พ.ศ. 2550-2554 และตรวจพิสูจน์แบบจำลอง พ.ศ. 2555-2557 นำเข้าข้อมูลขอบเขต (Boundary) ของแบบจำลอง NAM Model ซึ่งได้แก่ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝน โดยหาค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีน้ำฝนโดยวิธีสี่เสี้ยน พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยจากพิกัดกริดของ PRECIS ค่าการระเหย และปริมาณการไหลที่ตรวจวัดจากสถานีวัดน้ำท่า นำข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมมาประยุกต์ใช้กับแบบจำลอง NAM เพื่อประเมินปริมาณน้ำท่า ทำการเทียบมาตรฐานแบบจำลอง NAM Model โดยใช้วิธีการเทียบมาตรฐานแบบอัตโนมัติ (Auto-Calibration) ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ช่วยในการ Trial and Error เพื่อหาค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น ปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิธีเทียบมาตรฐานแบบอัตโนมัติ เพื่อให้ได้ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าจากปริมาณน้ำฝนที่ติดตั้ง โดยเลือกช่วงเวลา (Time Step) ที่เหมาะสม ทำการเทียบมาตรฐานแบบจำลอง NAM Model ขั้นสุดท้าย โดยประยุกต์ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ปรับเทียบได้กับพื้นที่ลุ่มน้ำของสถานี

การตรวจพิสูจน์แบบจำลอง (Verification) เพื่อตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองที่ได้จากการเทียบมาตรฐานมาแล้วว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ โดยใช้วิธีนำค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยจากการสอบเทียบมาตรฐานแบบจำลอง (Calibration) ในขั้นสุดท้าย มาใช้สร้างข้อมูลปริมาณน้ำท่าเปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำบ้นทักไว้ ในช่วงปีข้อมูลนอกเหนือจากช่วงปีที่ทำการเทียบมาตรฐาน เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งสอง โดยใช้หลักเกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ เลือกผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลองมาพิจารณา จากการพิจารณาได้เลือกช่วงปี พ.ศ. 2555-



2557 มาใช้ในการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM Model ดังกล่าวไว้ในหัวข้อวิธีการศึกษา ต่อไปนี้เป็น การแสดงผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM Model สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่า ดังนี้

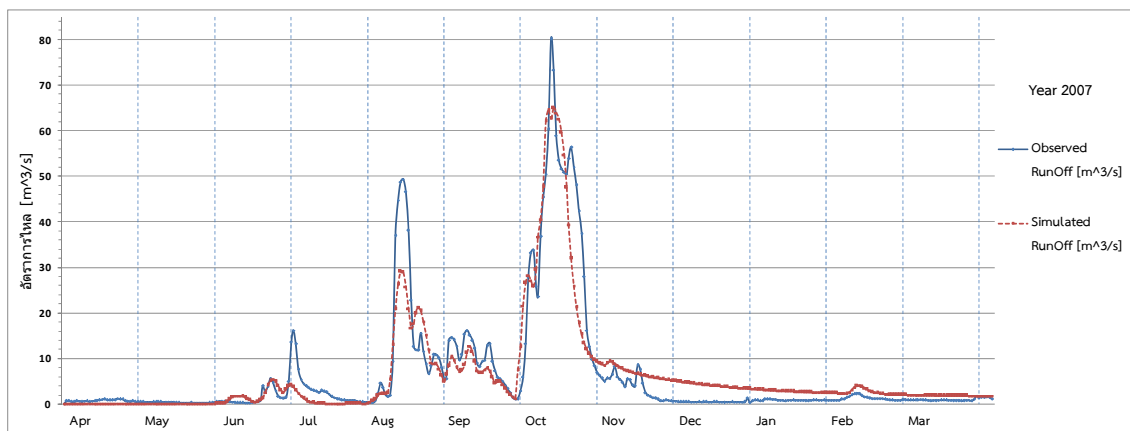
4.2.1.1 สถานีวัดน้ำท่า KH.53

สถานี KH.53 เป็นสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้ง บ้านหนองวัวซอ อ.หนองวัวซอ จ.อุดรธานี สถานี KH.53 มีพื้นที่รับน้ำฝน 421 ตารางกิโลเมตร ในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ได้ พิจารณาแยกเป็นกรณีคาดการณ์ A2 และ B2 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลแสดงกราฟน้ำท่าผลการสอบ เทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM Model พ.ศ. 2550-2557 สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณี คาดการณ์ A2 ดังแสดงในตารางที่ 4.3 กราฟน้ำท่ารายวันจากการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบ จำลอง สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ A2 และ B2 ดังแสดงในภาพประกอบ 4.4 ถึง 4.11 ผล การเปรียบเทียบข้อมูลแสดงกราฟน้ำท่าผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM Model พ.ศ. 2550-2557 สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ B2 ดังแสดงในตารางที่ 4.4 กราฟน้ำท่า รายวันจากการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ A2 และ B2 ดังแสดงในภาพประกอบ 4.12 ถึง 4.19

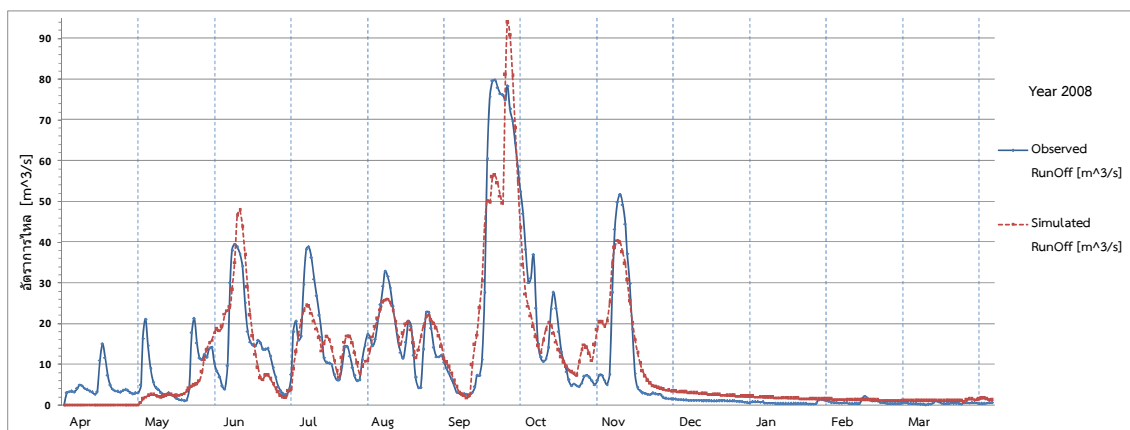
ตาราง 4.3 ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM Model พ.ศ. 2550-2557
สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ A2

พารามิเตอร์	สอบเทียบแบบจำลอง					ตรวจพิสูจน์แบบจำลอง		
	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557
Umax (มม.)	20	20	20	20	20	20		
Lmax (มม.)	210	231	202	217	228	218		
CQOF	0.104	0.141	0.174	0.165	0.172	0.151		
CKIF (ชม.)	200	200	200	200	200	200		
CK1.2 (ชม.)	50	50	50	50	50	50		
TOF	0.743	0.499	0.723	0.635	0.973	0.715		
TIF	0.127	0.163	0.108	0.149	0.145	0.138		
TG	0.695	0.698	0.651	0.826	0.582	0.690		
CKBF (ชม.)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000		
R^2	0.843	0.832	0.926	0.924	0.827	0.924	0.917	0.921



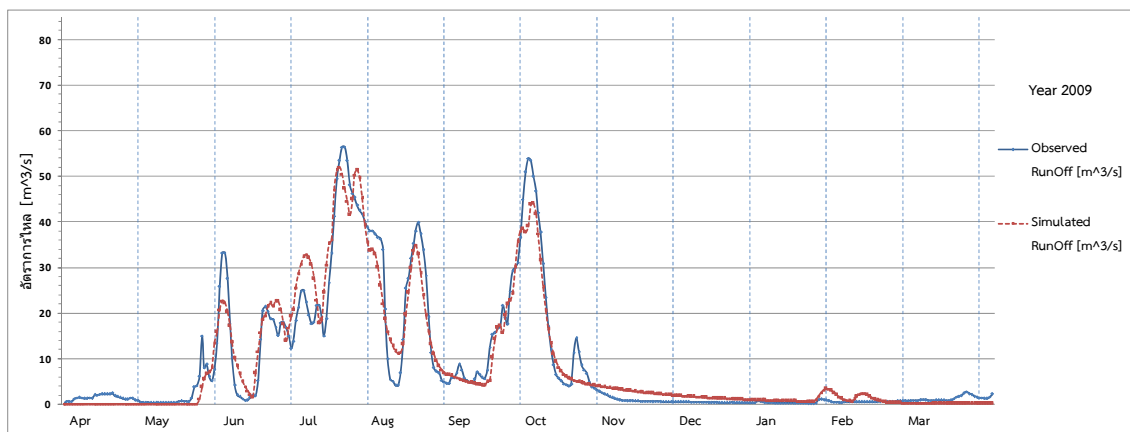


ภาพประกอบ 4.4 กราฟน้ำท่ารายวันจากการสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration)
สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ A2 ปี พ.ศ. 2550

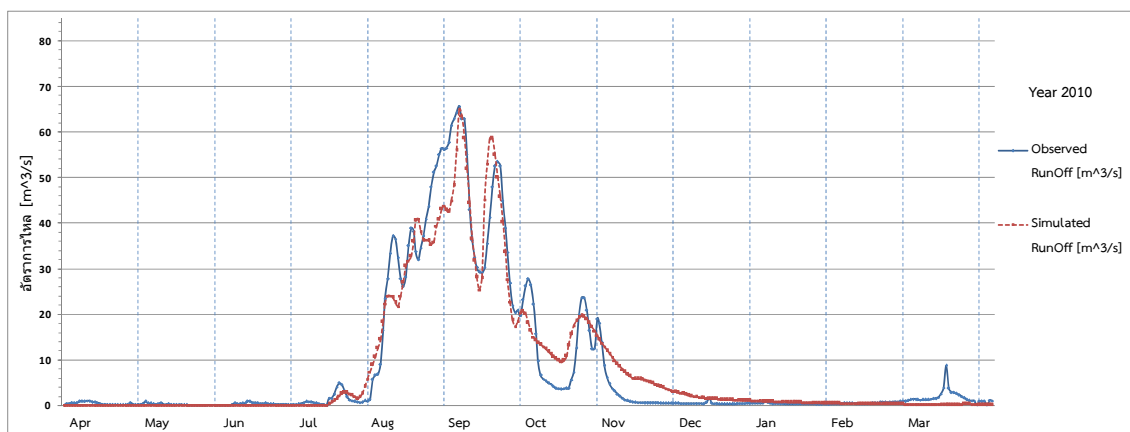


ภาพประกอบ 4.5 กราฟน้ำท่ารายวันจากการสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration)
สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ A2 ปี พ.ศ. 2551



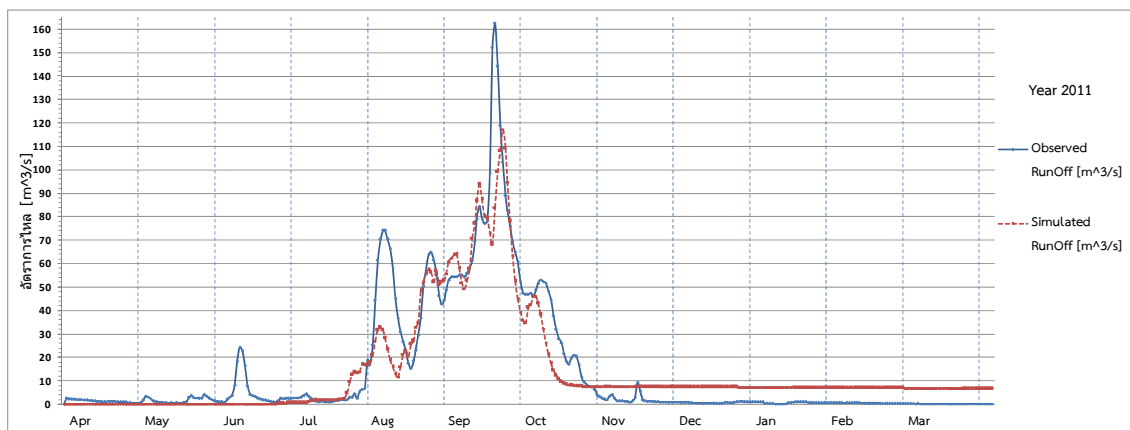


ภาพประกอบ 4.6 กราฟน้ำท่ารายวันจากการสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration)
สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ A2 ปี พ.ศ. 2552

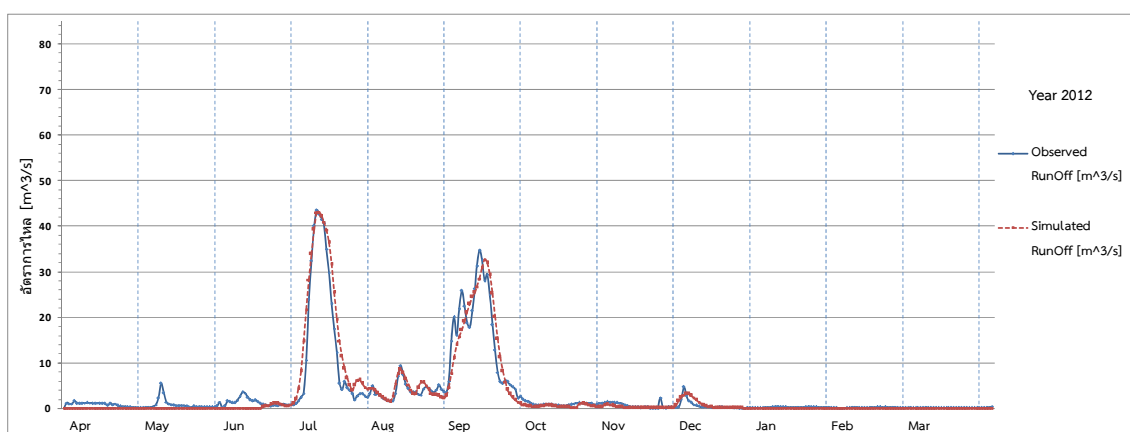


ภาพประกอบ 4.7 กราฟน้ำท่ารายวันจากการสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration)
สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ A2 ปี พ.ศ. 2553



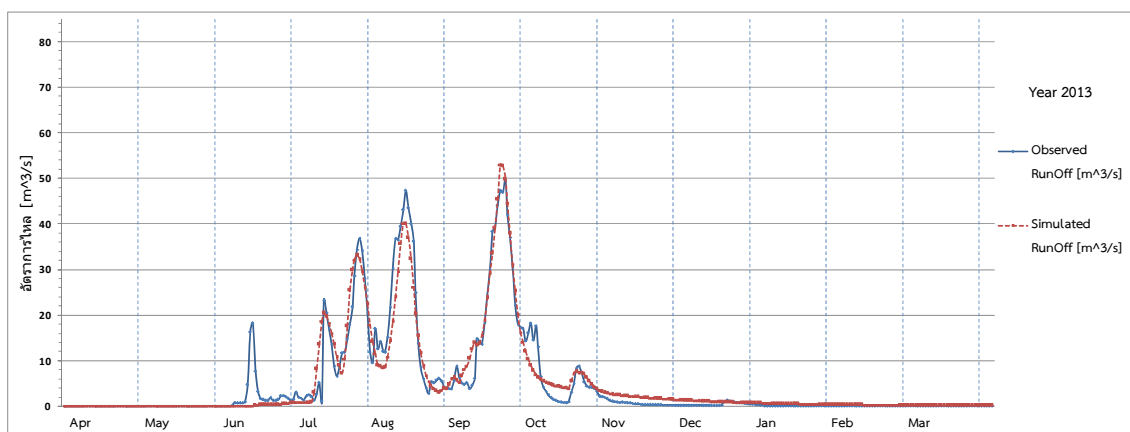


ภาพประกอบ 4.8 กราฟน้ำท่ารายวันจากการสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration)
สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ A2 ปี พ.ศ. 2554

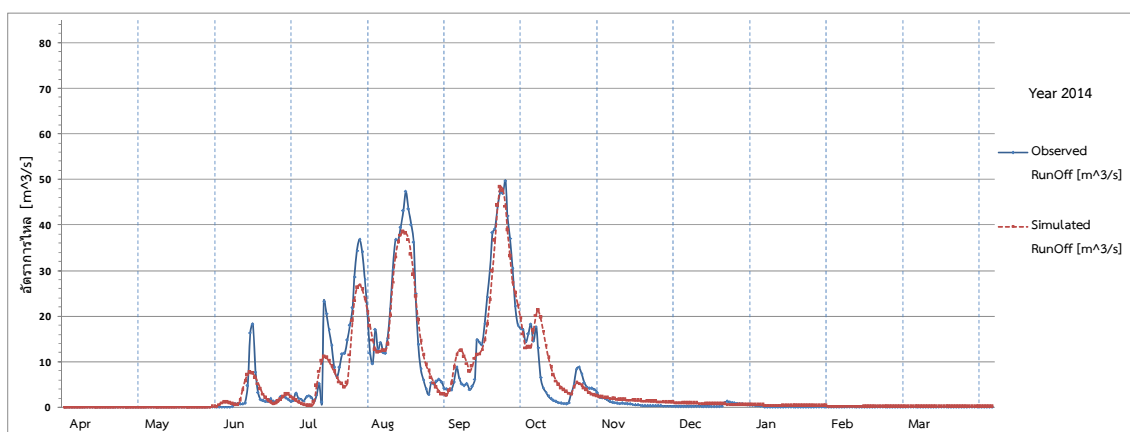


ภาพประกอบ 4.9 กราฟน้ำท่ารายวันจากการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง (Verification)
สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ A2 ปี พ.ศ. 2555





ภาพประกอบ 4.10 กราฟน้ำท่ารายวันจากการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง (Verification)
สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ A2 ปี พ.ศ. 2556

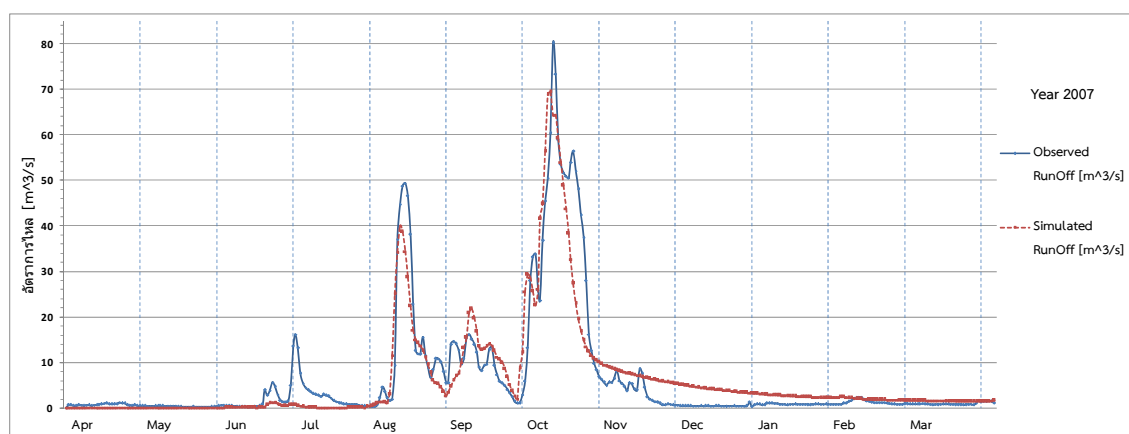


ภาพประกอบ 4.11 กราฟน้ำท่ารายวันจากการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง (Verification)
สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ A2 ปี พ.ศ. 2557



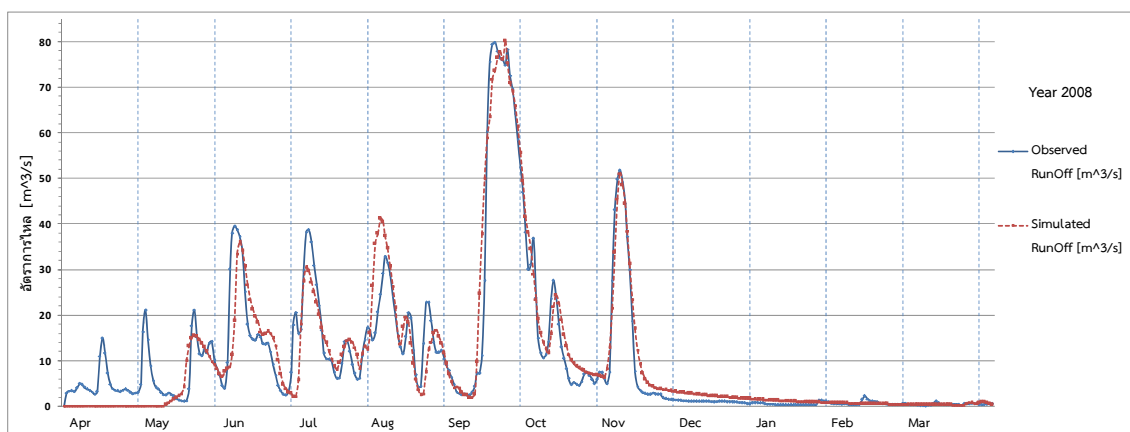
ตาราง 4.4 ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM Model พ.ศ. 2550-2557
สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ B2

พารามิเตอร์	สอบเทียบแบบจำลอง					ตรวจพิสูจน์แบบจำลอง		
	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557
Umax (มม.)	20	20	20	20	20		20	
Lmax (มม.)	207	228	243	239	215		226	
CQOF	0.159	0.141	0.199	0.137	0.145		0.156	
CKIF (ชม.)	200	200	200	200	200		200	
CK1.2 (ชม.)	50	50	50	50	50		50	
TOF	0.984	0.508	0.774	0.815	0.478		0.712	
TIF	0.102	0.154	0.114	0.152	0.125		0.129	
TG	0.586	0.715	0.738	0.976	0.769		0.757	
CKBF (ชม.)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000		1,000	
R^2	0.824	0.891	0.941	0.947	0.821	0.917	0.901	0.929

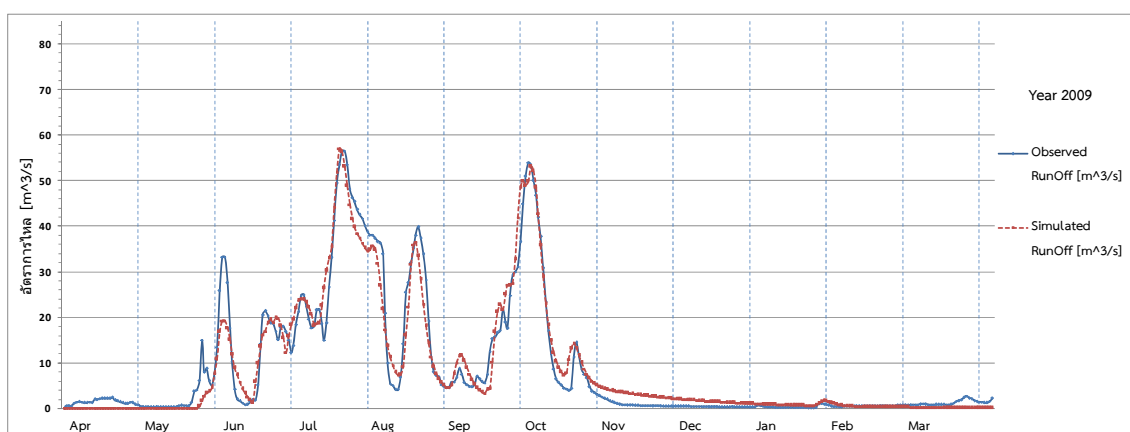


ภาพประกอบ 4.12 กราฟน้ำท่ารายวันจากการสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration)
สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ B2 ปี พ.ศ. 2550



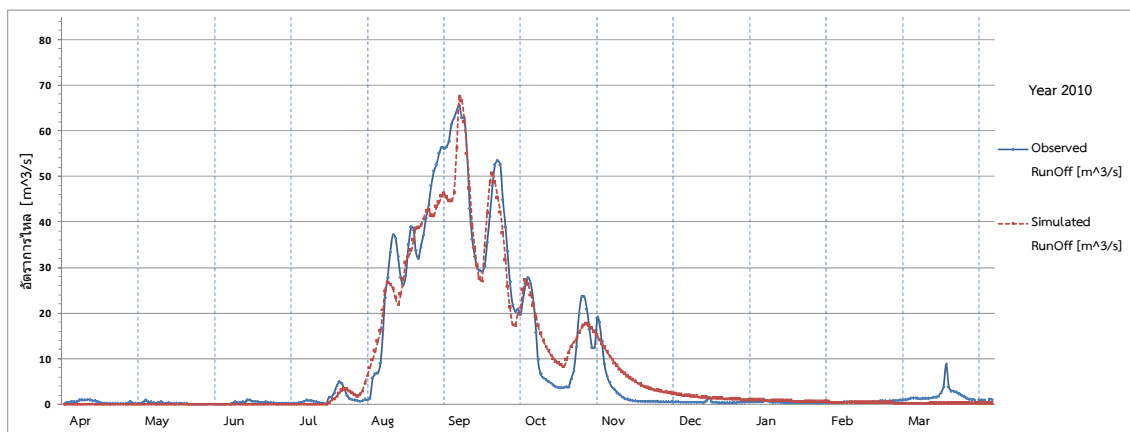


ภาพประกอบ 4.13 กราฟน้ำท่ารายวันจากการสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration)
สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ B2 ปี พ.ศ. 2551

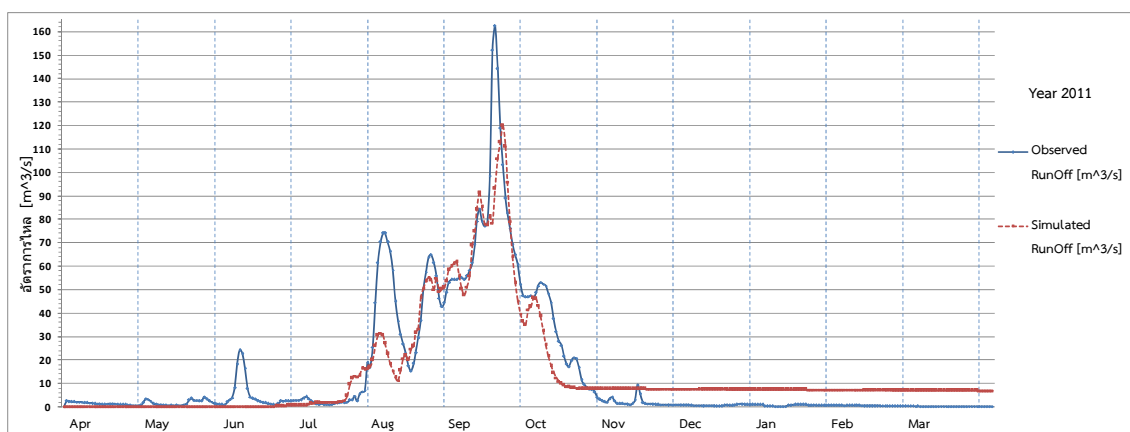


ภาพประกอบ 4.14 กราฟน้ำท่ารายวันจากการสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration)
สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ B2 ปี พ.ศ. 2552



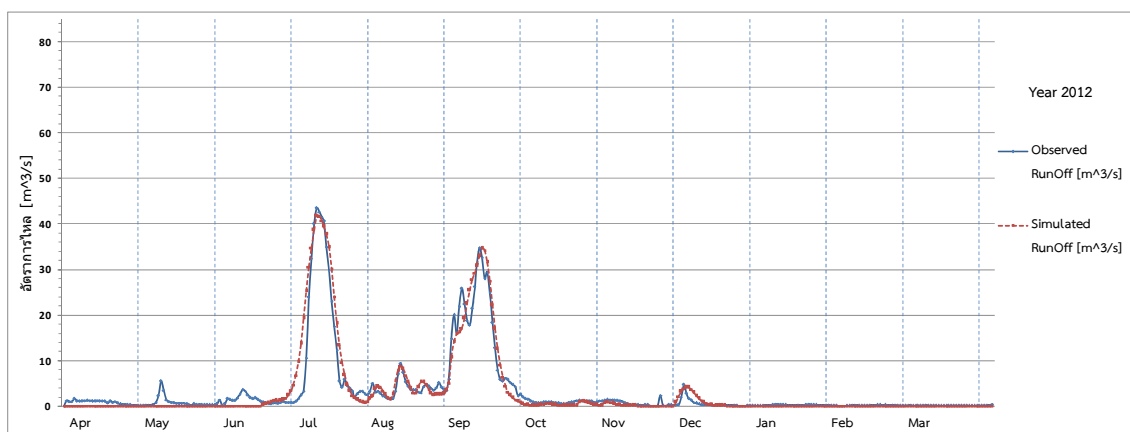


ภาพประกอบ 4.15 กราฟน้ำท่ารายวันจากการสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration)
สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ B2 ปี พ.ศ. 2553

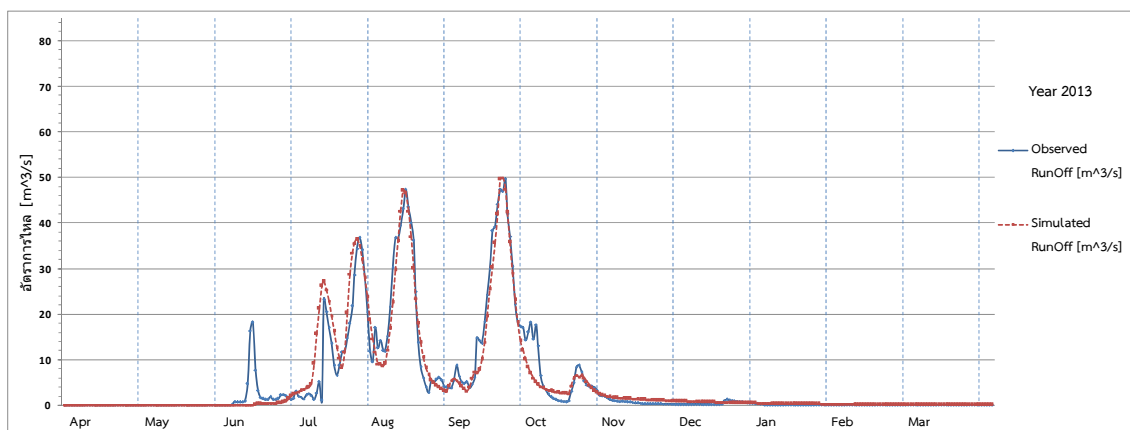


ภาพประกอบ 4.16 กราฟน้ำท่ารายวันจากการสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration)
สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ B2 ปี พ.ศ. 2554



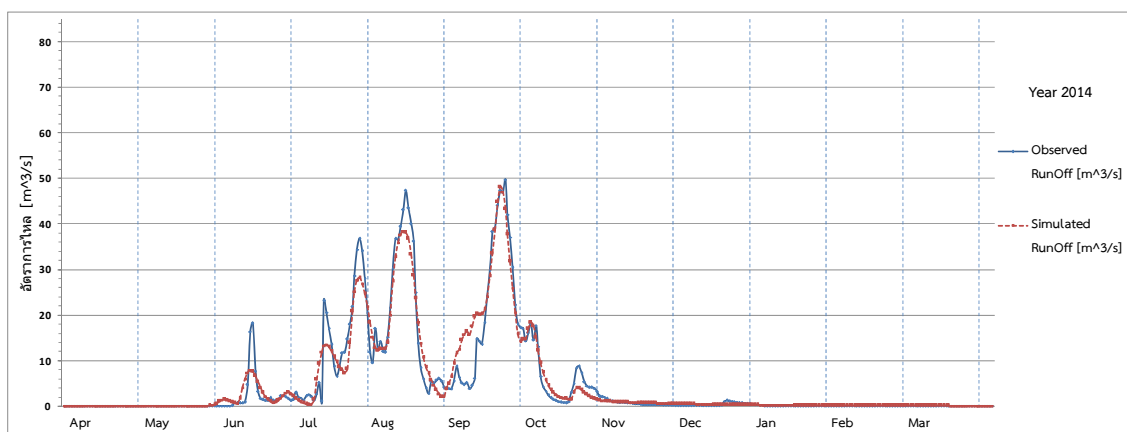


ภาพประกอบ 4.17 กราฟน้ำท่ารายวันจากการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง (Verification)
สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ B2 ปี พ.ศ. 2555



ภาพประกอบ 4.18 กราฟน้ำท่ารายวันจากการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง (Verification)
สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ B2 ปี พ.ศ. 2556





ภาพประกอบ 4.19 กราฟน้ำท่ารายวันจากการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง (Verification) สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ B2 ปี พ.ศ. 2557

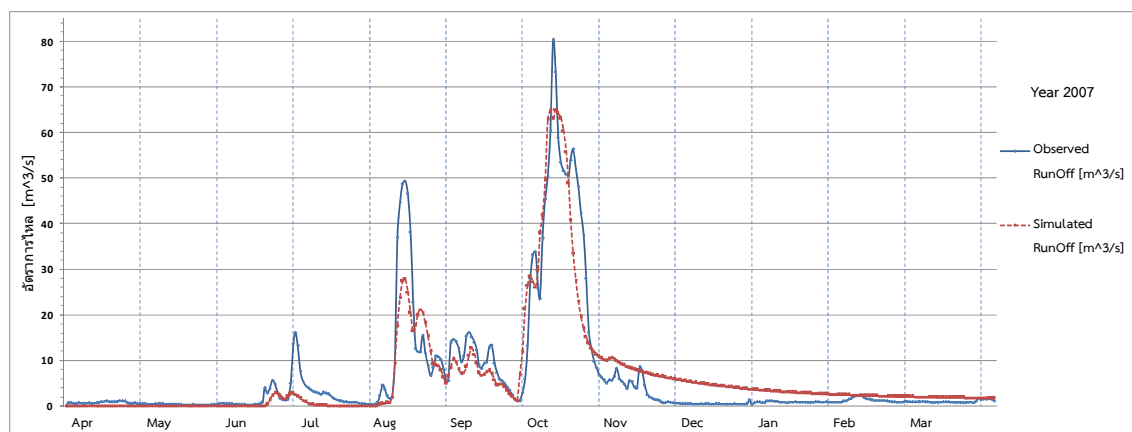
4.2.1.2 สถานีวัดน้ำท่า KH.103

สถานี KH.103 เป็นสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้ง บ้านท่าตุม อ.เมือง จ.อุตรธานี สถานี KH.103 มีพื้นที่รับน้ำฝน 1,656 ตารางกิโลเมตร ในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ได้พิจารณาแยกเป็นกรณีคาดการณ์ A2 และ B2 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลแสดงกราฟน้ำท่า ผลการเปรียบเทียบข้อมูลแสดงกราฟน้ำท่าผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM Model พ.ศ. 2550-2557 สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ A2 ดังแสดงในตารางที่ 4.5 กราฟน้ำท่ารายวันจากการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ A2 และ B2 ดังแสดงในภาพประกอบ 4.20 ถึง 4.27 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลแสดงกราฟน้ำท่า ผลการเปรียบเทียบข้อมูลแสดงกราฟน้ำท่าผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM Model พ.ศ. 2550-2557 สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ B2 ดังแสดงในตารางที่ 4.6 กราฟน้ำท่ารายวันจากการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ A2 และ B2 ดังแสดงในภาพประกอบ 4.27 ถึง 4.35



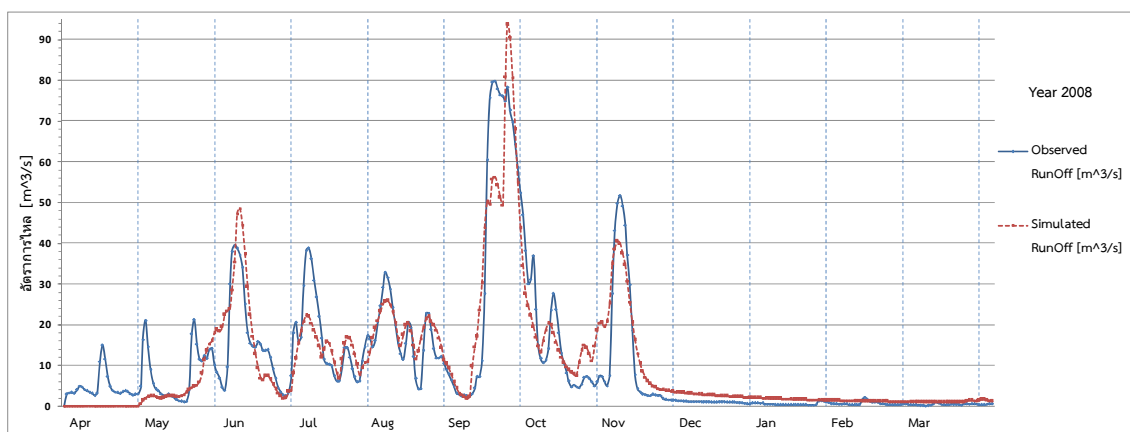
ตาราง 4.5 ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM Model พ.ศ. 2550-2557
สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ A2

พารามิเตอร์	สอบเทียบแบบจำลอง					ตรวจพิสูจน์แบบจำลอง		
	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557
Umax (มม.)	20	20	20	20	20		20	
Lmax (มม.)	100	228	232	237	235		206	
CQOF	0.174	0.139	0.102	0.135	0.169		0.144	
CKIF (ชม.)	200	200	200	200	200		200	
CK1.2 (ชม.)	50	50	50	50	50		50	
TOF	0.983	0.492	0.645	0.705	0.995		0.764	
TIF	0.197	0.106	0.136	0.159	0.138		0.147	
TG	0.598	0.696	0.669	0.909	0.549		0.684	
CKBF (ชม.)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000		1,000	
R^2	0.836	0.827	0.906	0.886	0.798	0.933	0.924	0.943

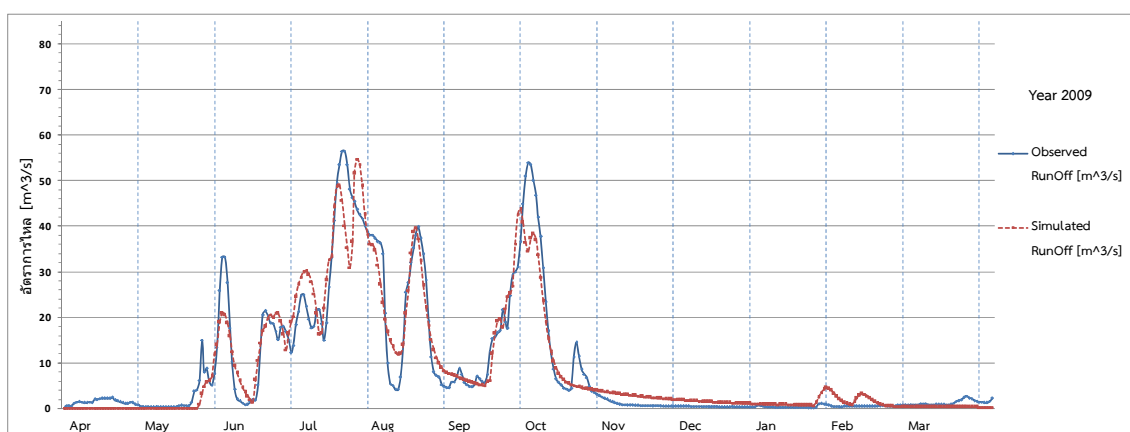


ภาพประกอบ 4.20 กราฟน้ำท่ารายวันจากการสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration)
สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ A2 ปี พ.ศ. 2550



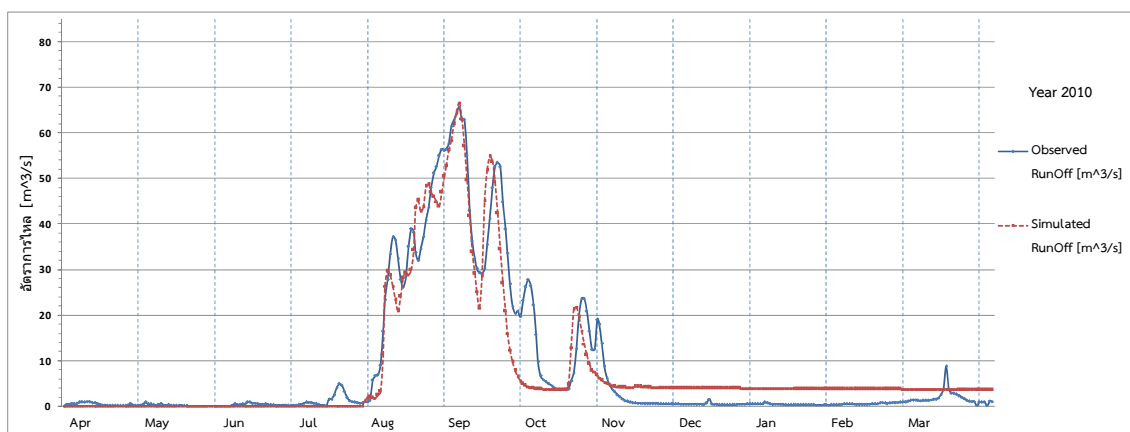


ภาพประกอบ 4.21 กราฟน้ำท่ารายวันจากการสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration)
สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ A2 ปี พ.ศ. 2551

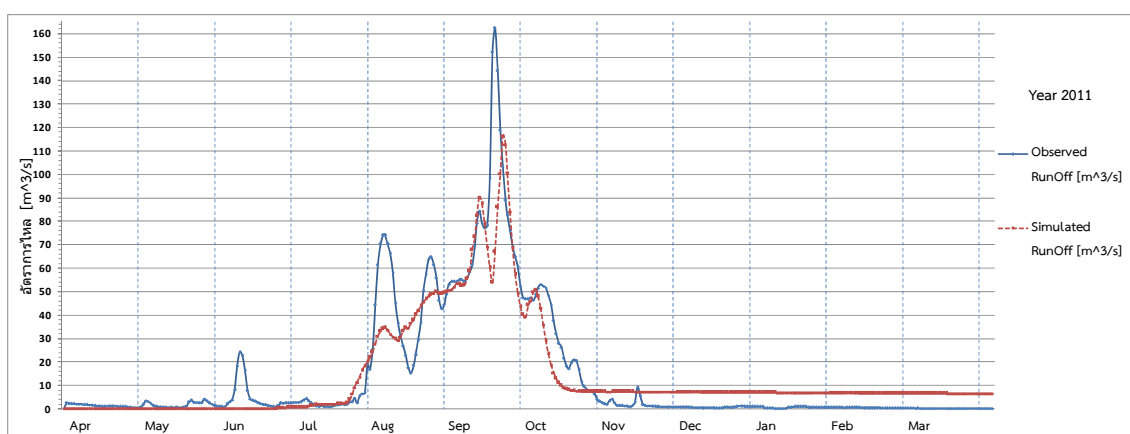


ภาพประกอบ 4.22 กราฟน้ำท่ารายวันจากการสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration)
สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ A2 ปี พ.ศ. 2552



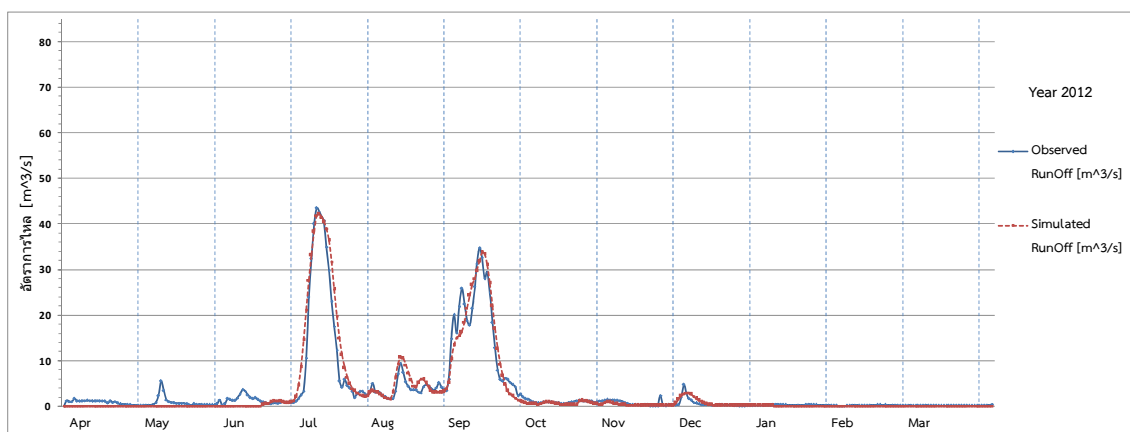


ภาพประกอบ 4.23 กราฟน้ำท่ารายวันจากการสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration)
สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ A2 ปี พ.ศ. 2553

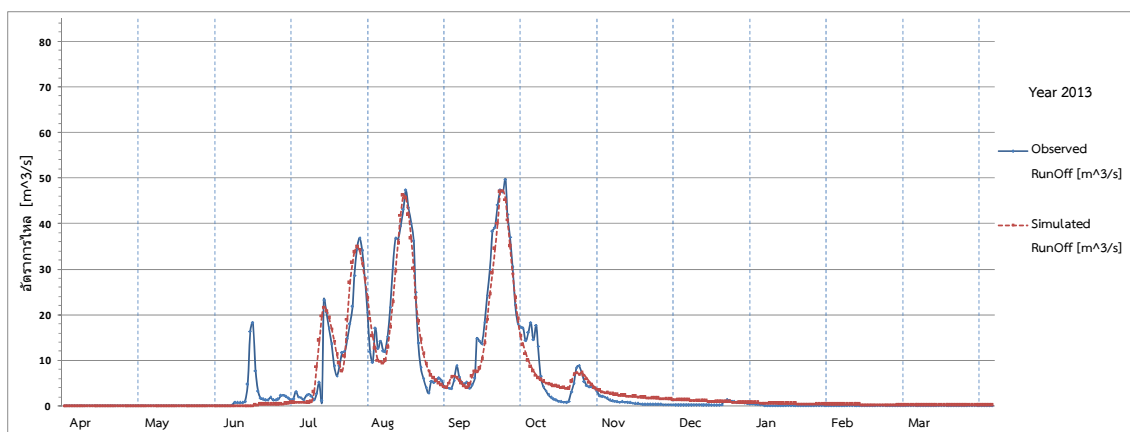


ภาพประกอบ 4.24 กราฟน้ำท่ารายวันจากการสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration)
สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ A2 ปี พ.ศ. 2554



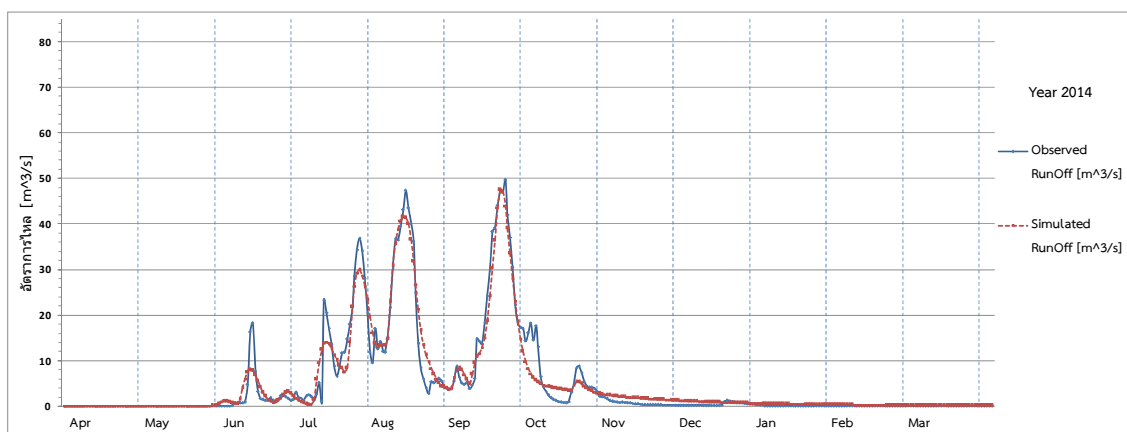


ภาพประกอบ 4.25 กราฟน้ำท่ารายวันจากการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง (Verification)
สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ A2 ปี พ.ศ. 2555



ภาพประกอบ 4.26 กราฟน้ำท่ารายวันจากการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง (Verification)
สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ A2 ปี พ.ศ. 2556



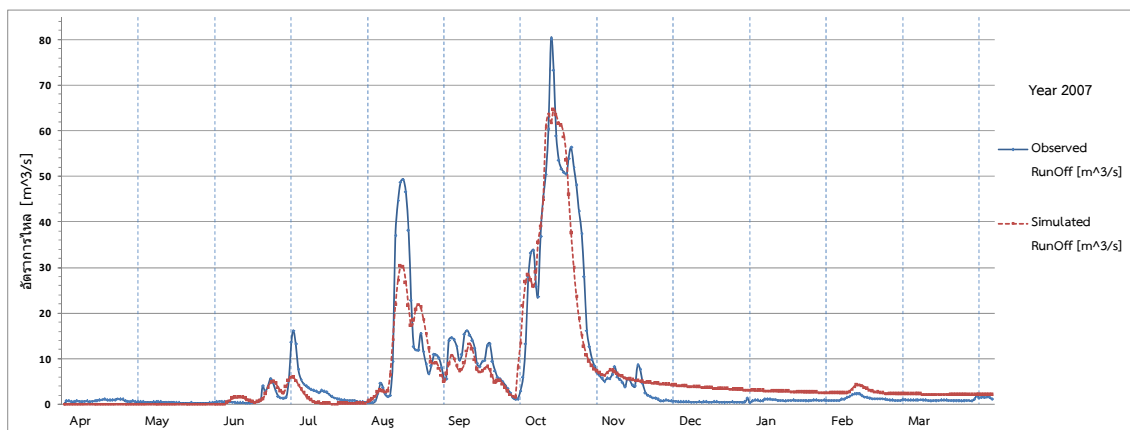


ภาพประกอบ 4.27 กราฟน้ำท่ารายวันจากการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง (Verification)
สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ A2 ปี พ.ศ. 2557

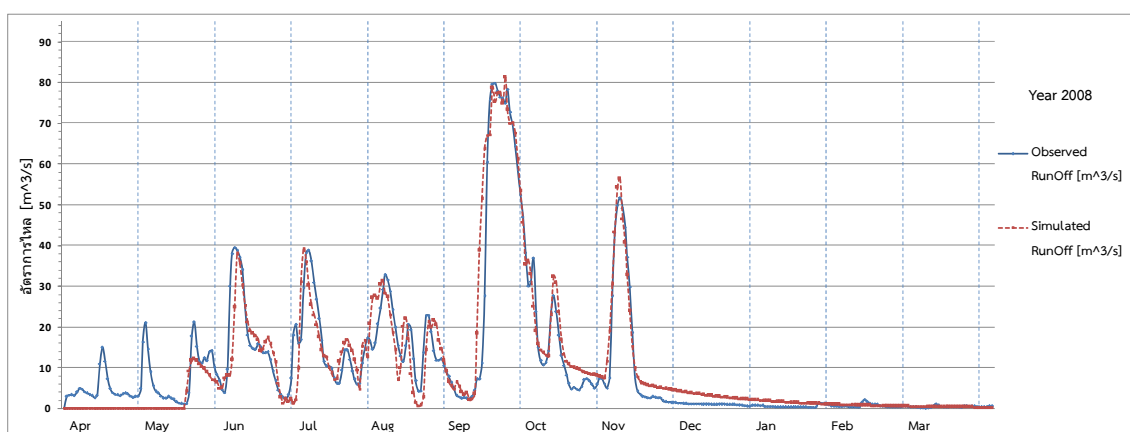
ตาราง 4.6 ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM Model พ.ศ. 2550-2557
สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ B2

พารามิเตอร์	สอบเทียบแบบจำลอง					ตรวจพิสูจน์แบบจำลอง		
	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557
Umax (มม.)	20	20	20	20	20	20		
Lmax (มม.)	207	231	227	214	221	220		
CQOF	0.154	0.175	0.145	0.152	0.117	0.149		
CKIF (ชม.)	200	200	200	200	200	200		
CK1.2 (ชม.)	50	50	50	50	50	50		
TOF	0.872	0.653	0.764	0.672	0.964	0.785		
TIF	0.168	0.158	0.172	0.149	0.195	0.168		
TG	0.863	0.698	0.928	0.683	0.598	0.754		
CKBF (ชม.)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000		
R^2	0.865	0.871	0.930	0.894	0.827	0.920	0.899	0.940



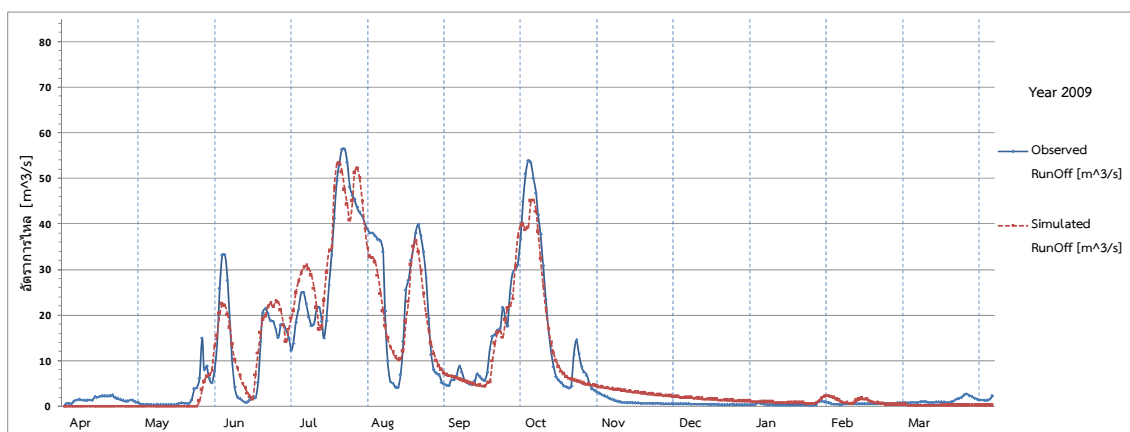


ภาพประกอบ 4.28 กราฟน้ำท่ารายวันจากการสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration)
สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ B2 ปี พ.ศ. 2550

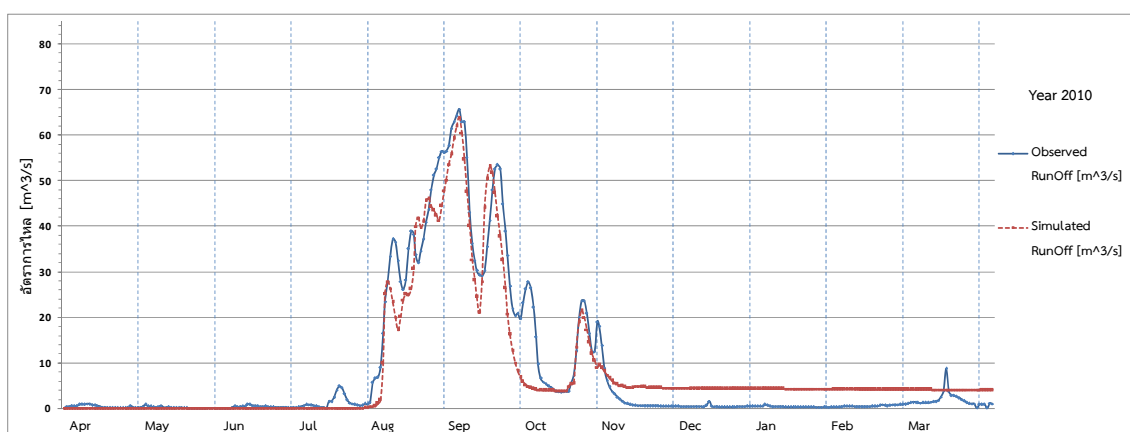


ภาพประกอบ 4.29 กราฟน้ำท่ารายวันจากการสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration)
สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ B2 ปี พ.ศ. 2551



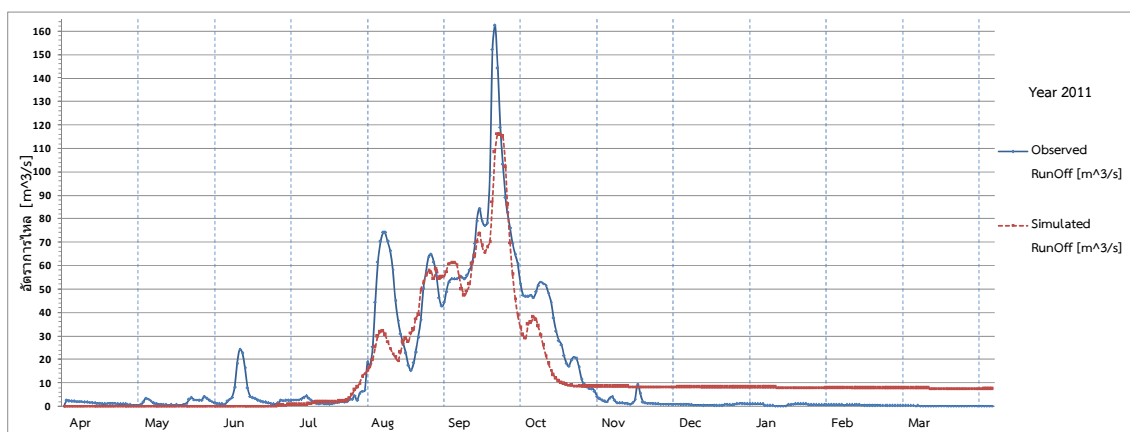


ภาพประกอบ 4.30 กราฟน้ำท่ารายวันจากการสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration)
สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ B2 ปี พ.ศ. 2552

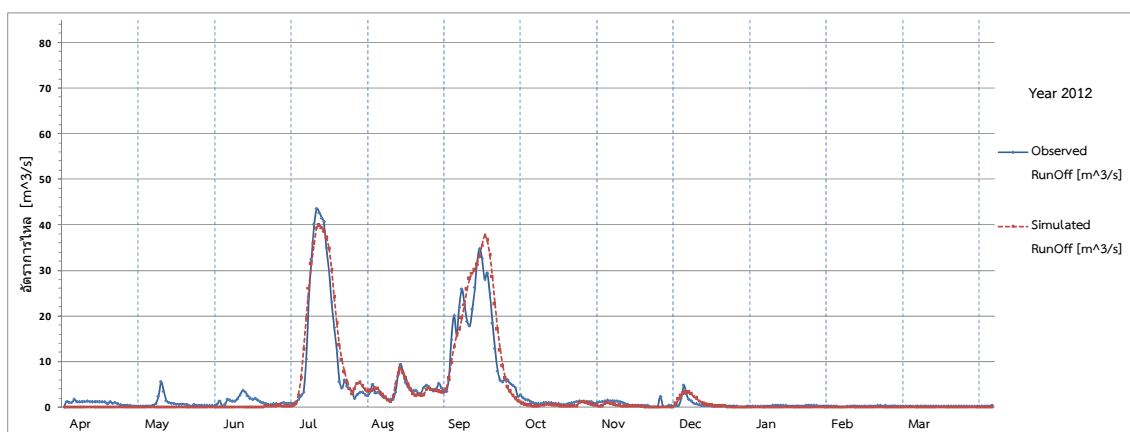


ภาพประกอบ 4.31 กราฟน้ำท่ารายวันจากการสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration)
สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ B2 ปี พ.ศ. 2553



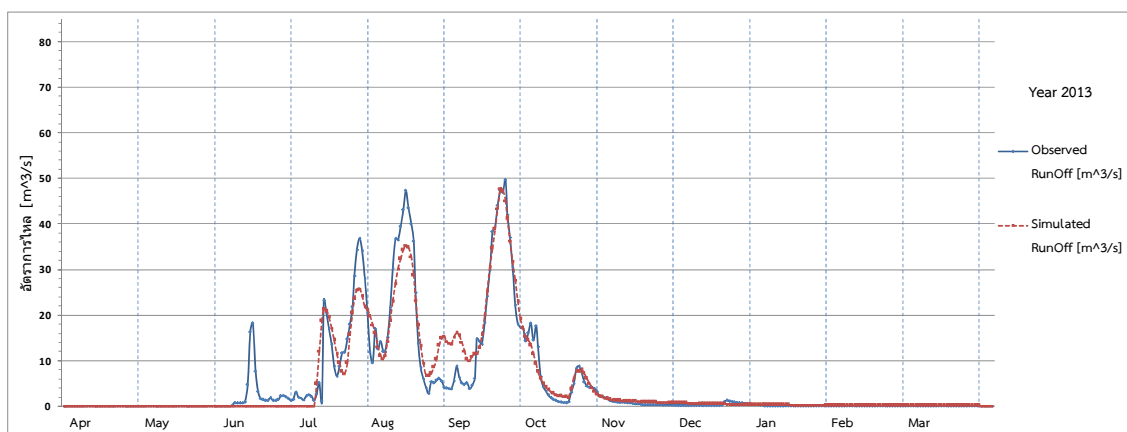


ภาพประกอบ 4.32 กราฟน้ำท่ารายวันจากการสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration)
สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ B2 ปี พ.ศ. 2554

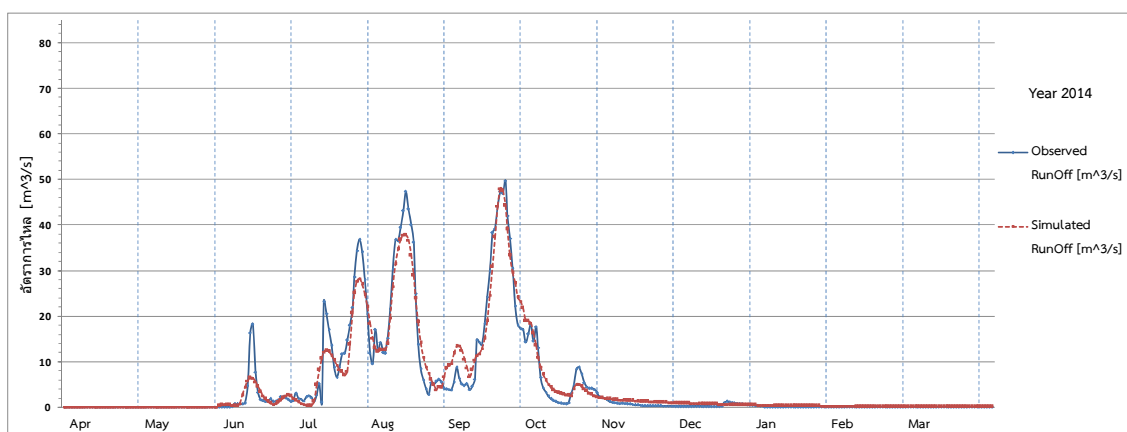


ภาพประกอบ 4.33 กราฟน้ำท่ารายวันจากการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง (Verification)
สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ B2 ปี พ.ศ. 2555





ภาพประกอบ 4.34 กราฟน้ำท่ารายวันจากการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง (Verification) สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ B2 ปี พ.ศ. 2556



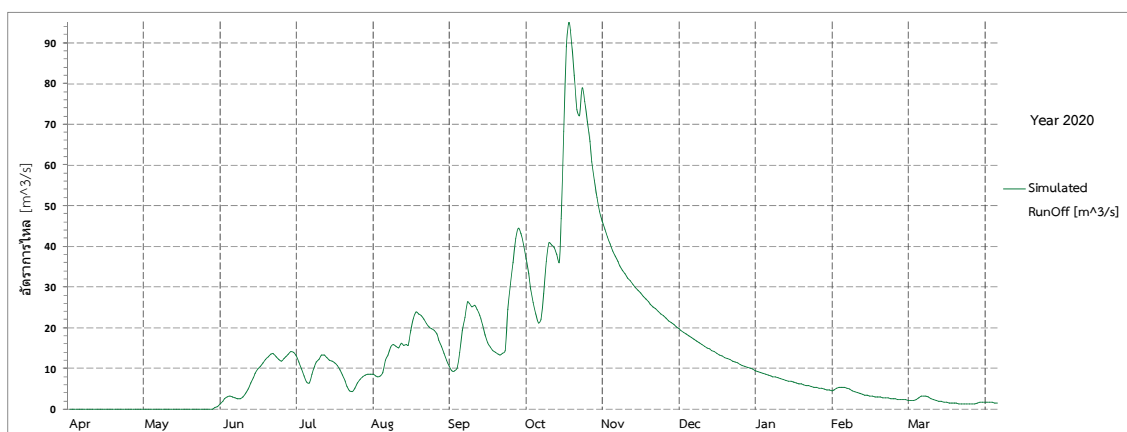
ภาพประกอบ 4.35 กราฟน้ำท่ารายวันจากการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง (Verification) สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ B2 ปี พ.ศ. 2557

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าในป้อนาคต

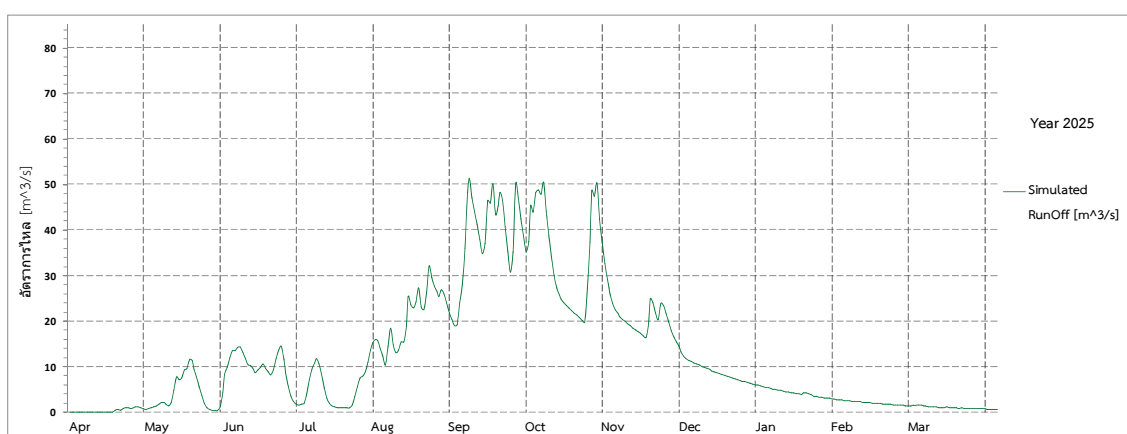
การวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในป้อนาคต สำหรับสถานีวัดน้ำท่าจำนวน 2 สถานี ในลุ่มห้วยหลวง จากสถานี KH.53 และ KH.103 แยกเป็นกรณีคาดการณ์ A2 และ B2 ได้พิจารณาเลือกช่วงเวลาการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าในอนาคต 30 ปี โดยใช้ช่วงข้อมูลทุกๆ 5 ปี คือ พ.ศ. 2564, พ.ศ. 2569, พ.ศ. 2574, พ.ศ. 2579, พ.ศ. 2584 และ พ.ศ. 2589 นำเข้าข้อมูลขอบเขต (Boundary) ของแบบจำลอง NAM Model ซึ่งได้แก่ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝน PRECIS ค่าการระเหย โดยใช้ค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยจากการสอบเทียบแบบจำลองปีฐาน มาใช้ในการการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปี



อนาคต ดังแสดงในภาพประกอบ 4.36 ถึง ภาพประกอบ 4.41 กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ A2 ภาพประกอบ 4.42 ถึง ภาพประกอบ 4.47 กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ B2 ภาพประกอบ 4.48 ถึง ภาพประกอบ 4.53 กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ A2 ภาพประกอบ 4.54 ถึง ภาพประกอบ 4.59 กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ B2

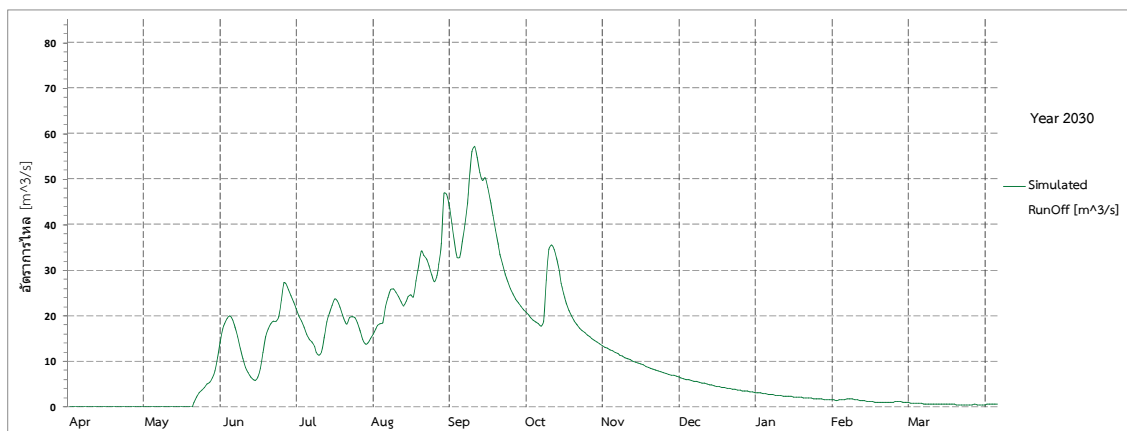


ภาพประกอบ 4.36 กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต ปี พ.ศ. 2564
สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ A2

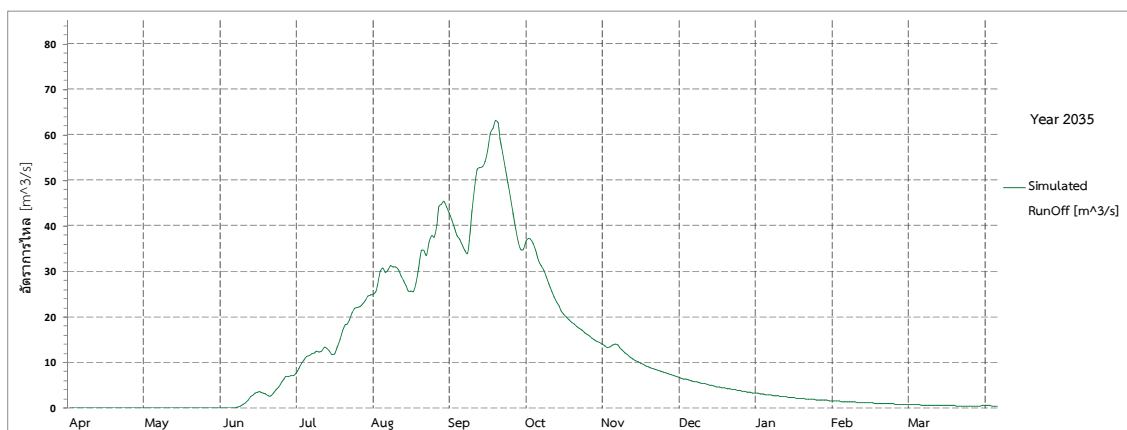


ภาพประกอบ 4.37 กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต ปี พ.ศ. 2569
สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ A2



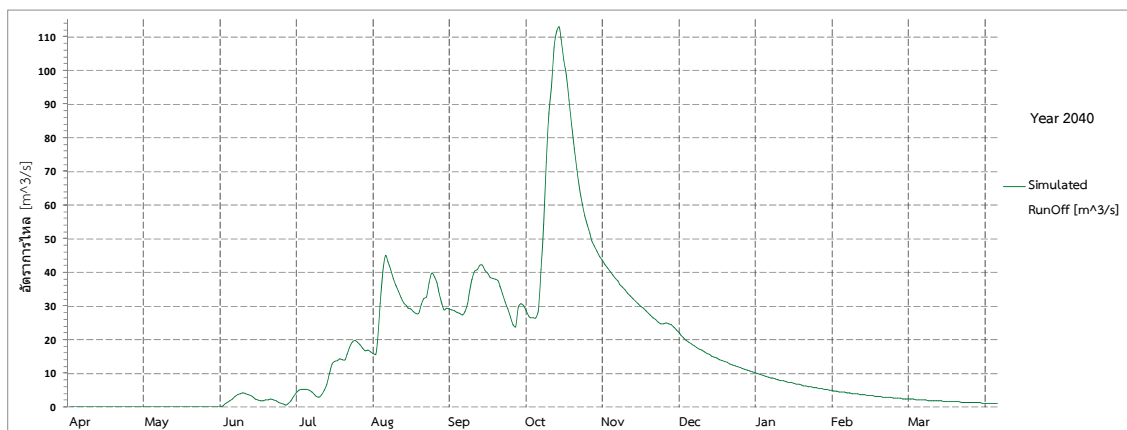


ภาพประกอบ 4.38 กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต ปี พ.ศ. 2574
สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ A2

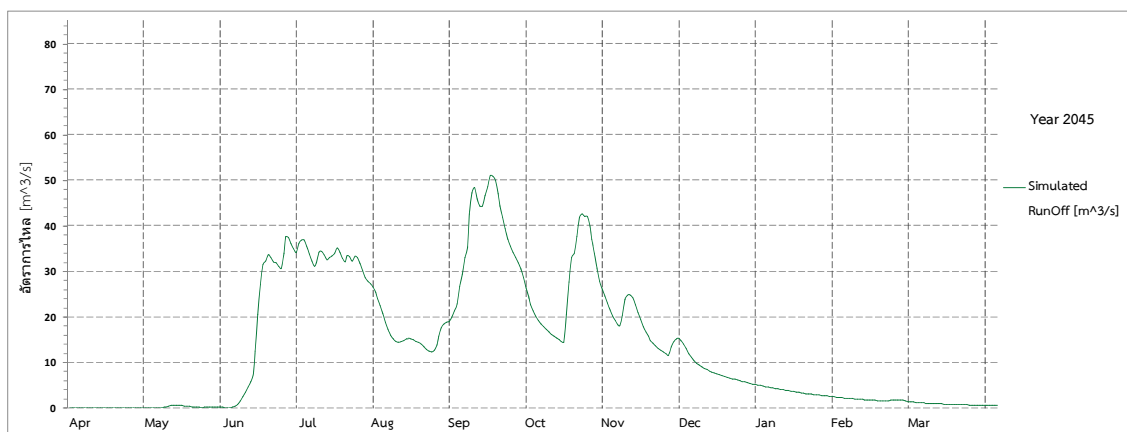


ภาพประกอบ 4.39 กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต ปี พ.ศ. 2579
สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ A2



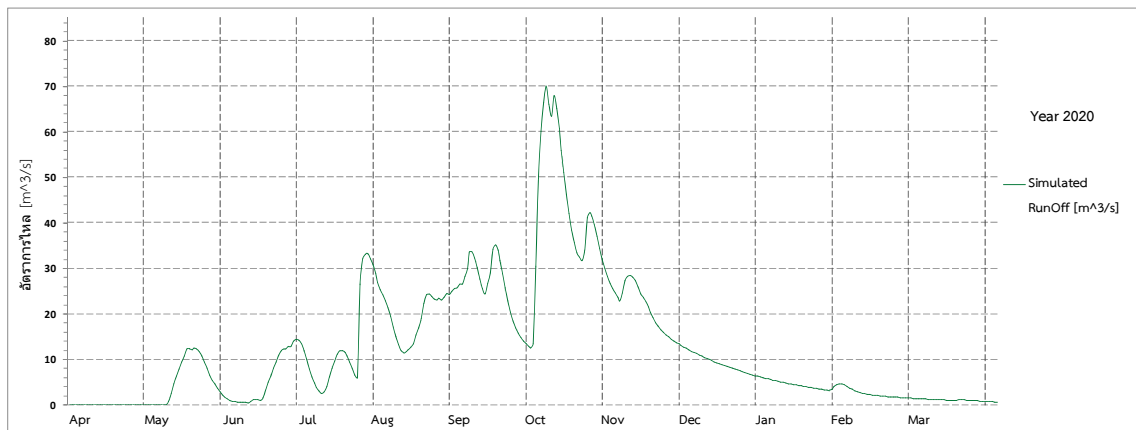


ภาพประกอบ 4.40 กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต ปี พ.ศ. 2584
สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ A2

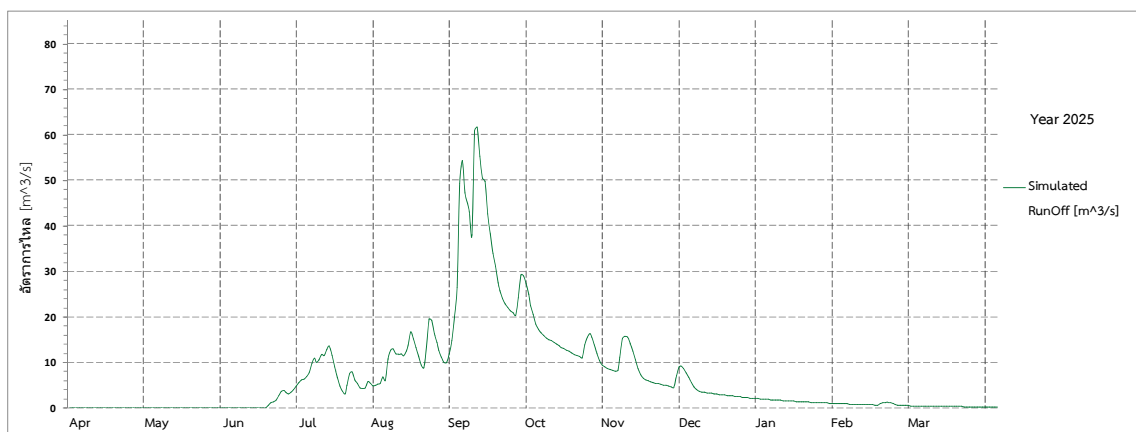


ภาพประกอบ 4.41 กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต ปี พ.ศ. 2589
สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ A2



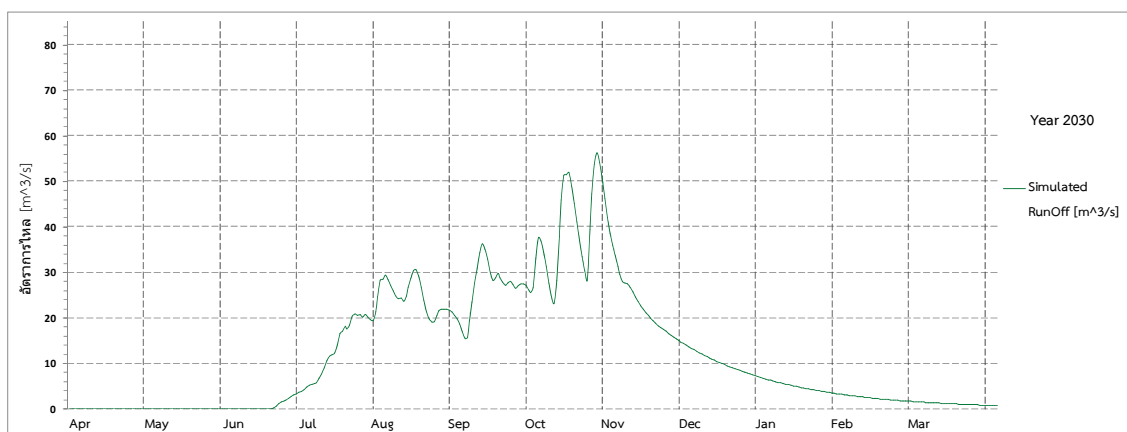


ภาพประกอบ 4.42 กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต ปี พ.ศ. 2564
สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ B2



ภาพประกอบ 4.43 กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต ปี พ.ศ. 2569
สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ B2



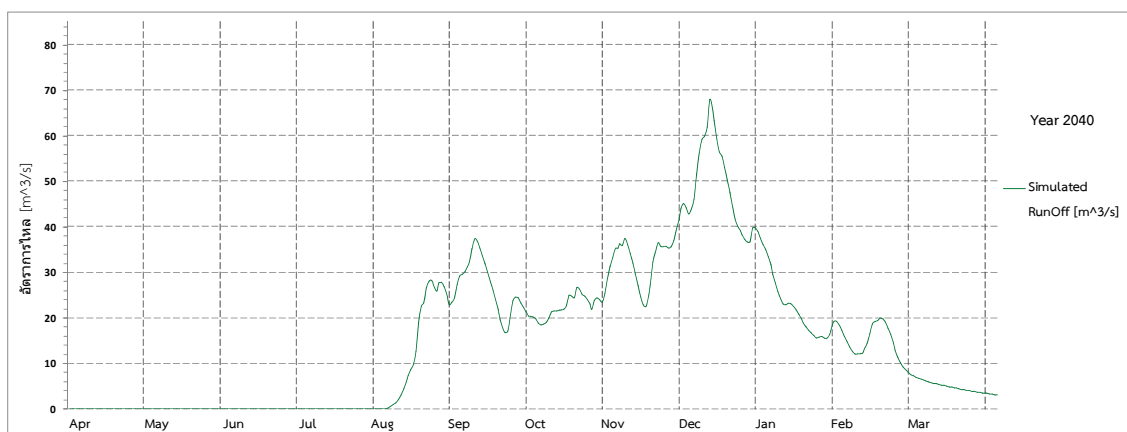


ภาพประกอบ 4.44 กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต ปี พ.ศ. 2574
สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ B2

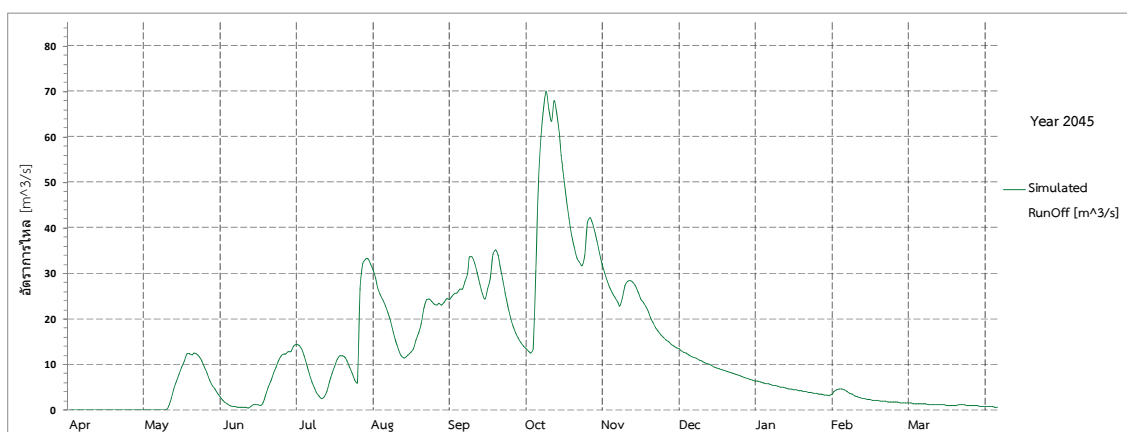


ภาพประกอบ 4.45 กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต ปี พ.ศ. 2579
สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ B2



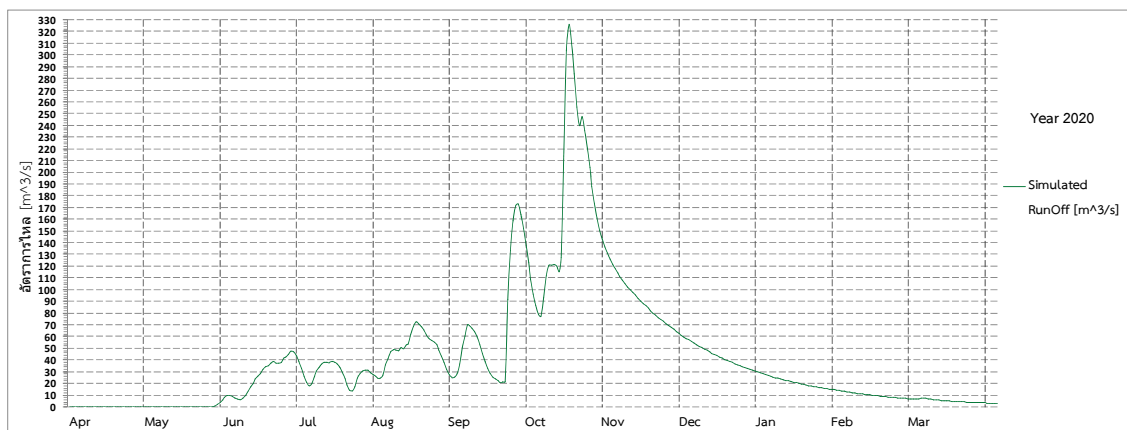


ภาพประกอบ 4.46 กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต ปี พ.ศ. 2584
สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ B2

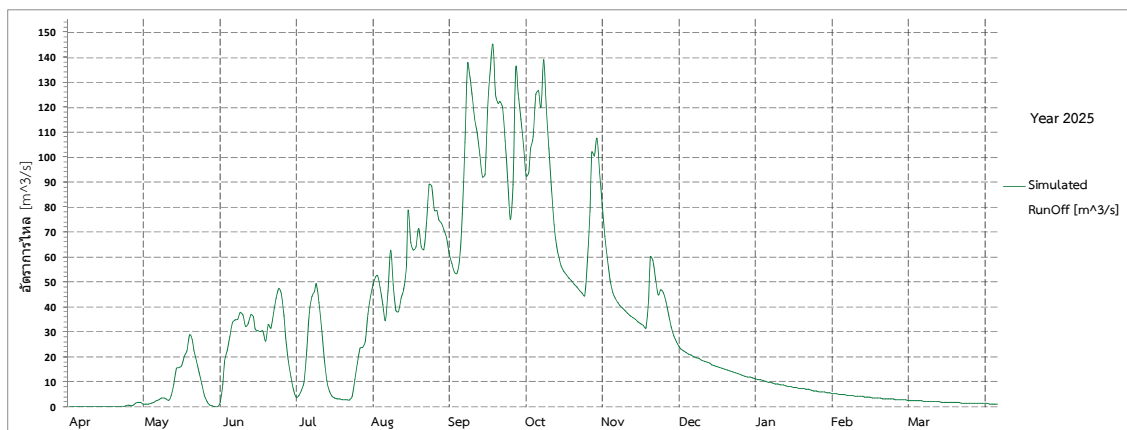


ภาพประกอบ 4.47 กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต ปี พ.ศ. 2589
สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ B2



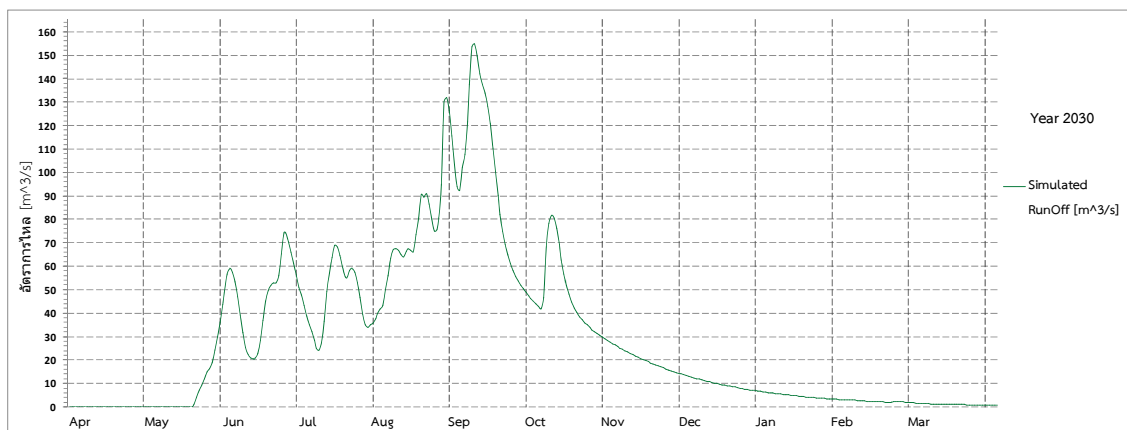


ภาพประกอบ 4.48 กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต ปี พ.ศ. 2564
สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ A2



ภาพประกอบ 4.49 กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต ปี พ.ศ. 2569
สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ A2



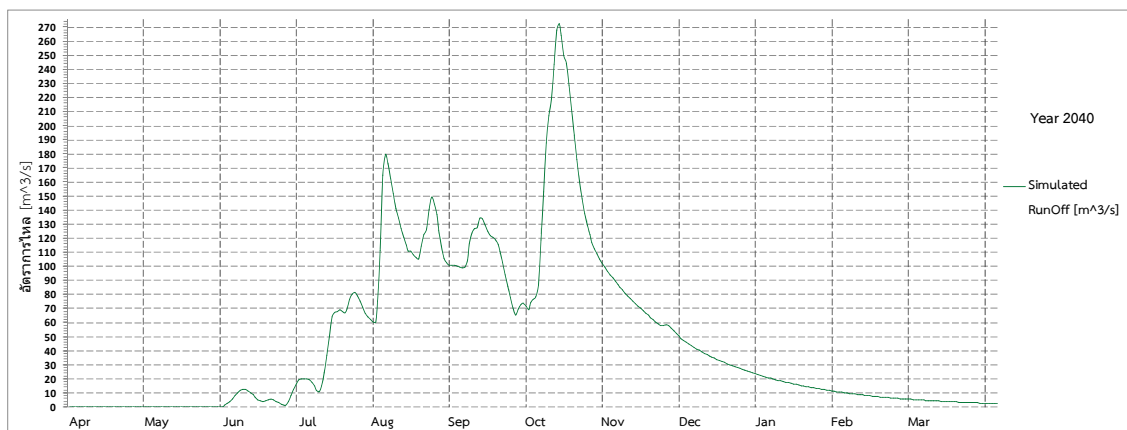


ภาพประกอบ 4.50 กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต ปี พ.ศ. 2574
สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ A2

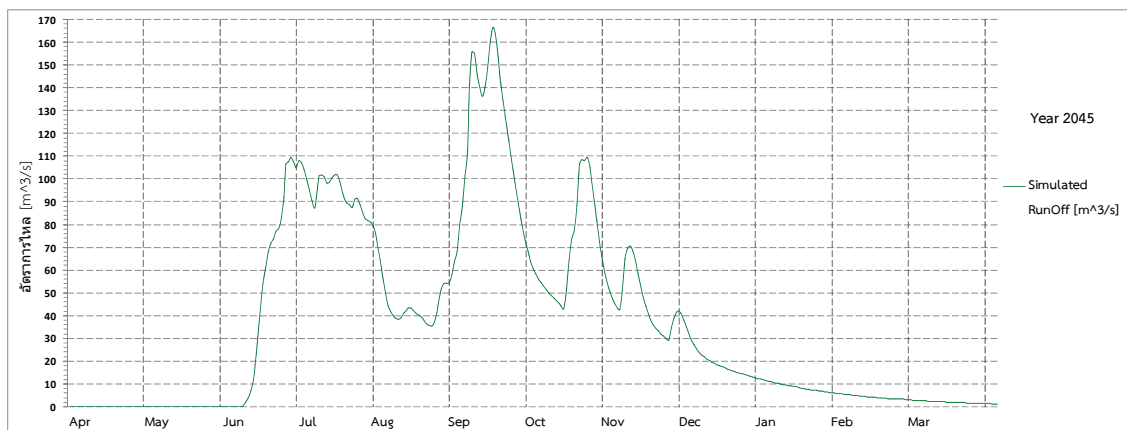


ภาพประกอบ 4.51 กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต ปี พ.ศ. 2579
สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ A2





ภาพประกอบ 4.52 กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต ปี พ.ศ. 2584
สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ A2

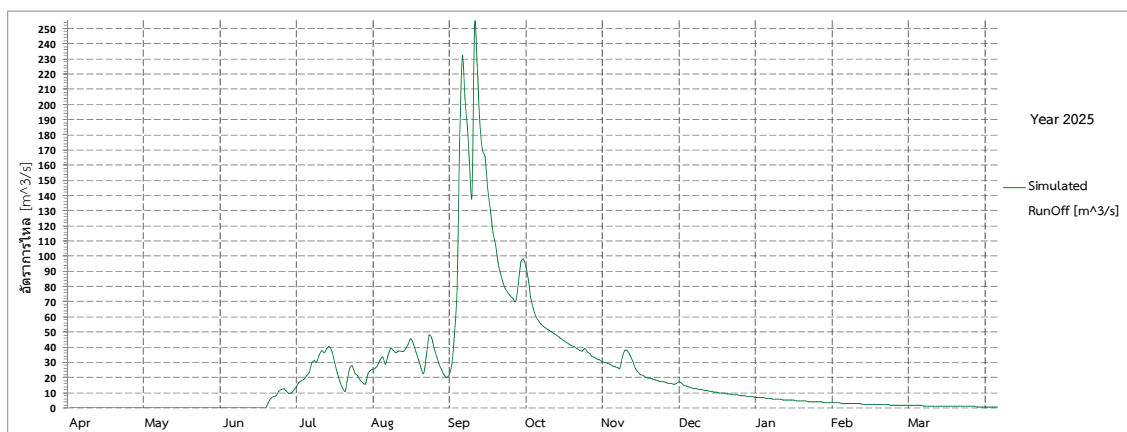


ภาพประกอบ 4.53 กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต ปี พ.ศ. 2589
สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ A2



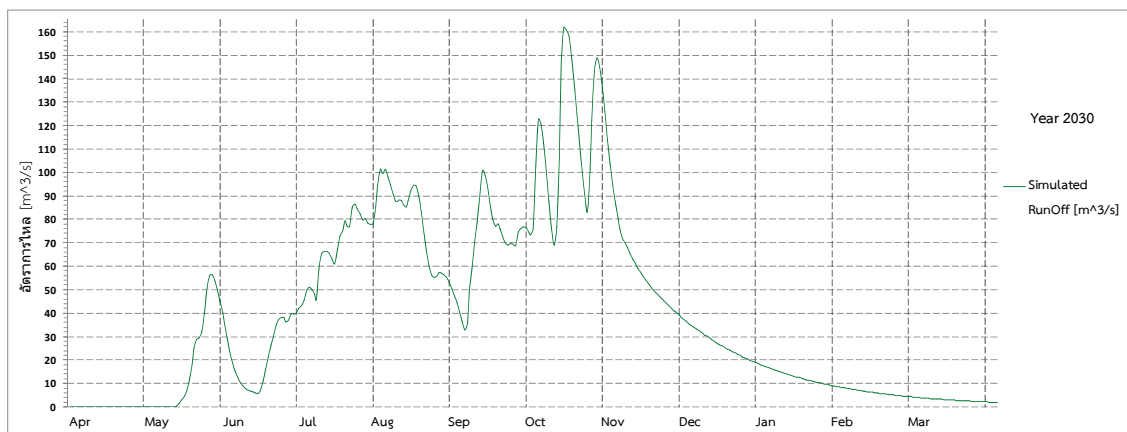


ภาพประกอบ 4.54 กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต ปี พ.ศ. 2564
สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ B2

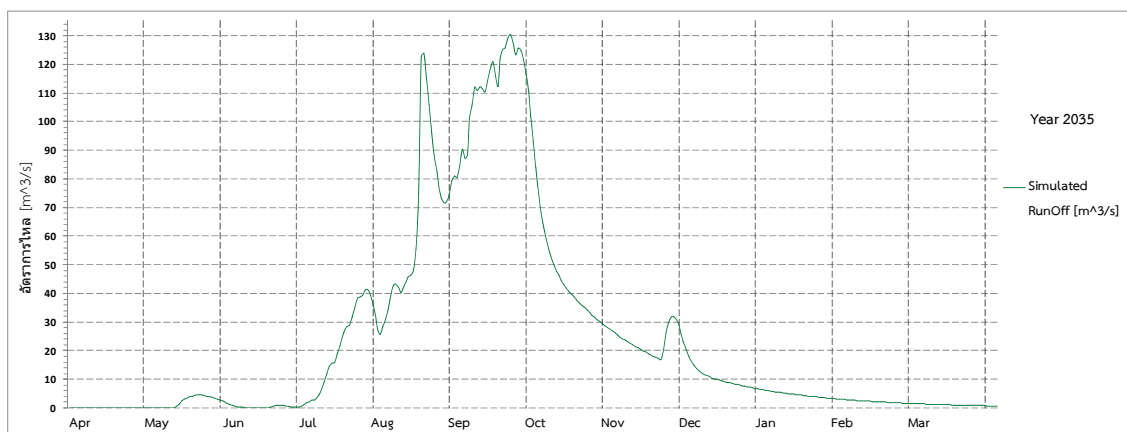


ภาพประกอบ 4.55 กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต ปี พ.ศ. 2569
สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ B2



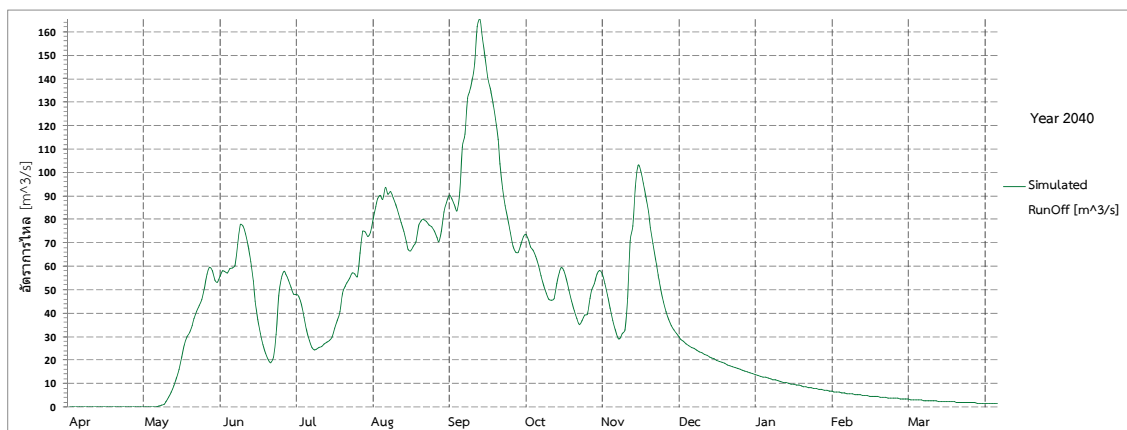


ภาพประกอบ 4.56 กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต ปี พ.ศ. 2574
สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ B2



ภาพประกอบ 4.57 กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต ปี พ.ศ. 2579
สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ B2





ภาพประกอบ 4.58 กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต ปี พ.ศ. 2584
สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ B2



ภาพประกอบ 4.59 กราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต ปี พ.ศ. 2589
สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ B2

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต สำหรับ สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ A2 มีน้ำท่าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 189 มิลลิเมตรต่อปี ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า สถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ B2 มีน้ำท่าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 193 มิลลิเมตรต่อปี ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ A2 มีน้ำท่าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 149 มิลลิเมตรต่อปี ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า สถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ B2 มีน้ำท่าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 164 มิลลิเมตรต่อปี ดังแสดงในตาราง 4.7 และ 4.8 ผลการวิเคราะห์น้ำท่า และปริมาณน้ำสูงสุด (Peak) ในอนาคต



ตาราง 4.7 ผลการวิเคราะห์น้ำท่า และปริมาณน้ำสูงสุด (Peak) ในอนาคตของ
สถานีวัดน้ำท่า KH.53

KH.53	อดีต		พ.ศ. 2564		พ.ศ. 2569		พ.ศ. 2574		พ.ศ. 2579		พ.ศ. 2584		พ.ศ. 2589	
	1*	2*	1*	2*	1*	2*	1*	2*	1*	2*	1*	2*	1*	2*
กรณีคาดการณ์														
A2	142	161	145	95	138	50	134	57	127	63	178	113	171	51
B2	146	162	162	70	156	62	159	56	143	47	184	68	179	68

หมายเหตุ : 1* น้ำท่าเฉลี่ยรายปี (มม./ปี)

2* ปริมาณน้ำสูงสุด (Peak) (มม.)

ตาราง 4.8 ผลการวิเคราะห์น้ำท่า และปริมาณน้ำสูงสุด (Peak) ในอนาคตของ
สถานีวัดน้ำท่า KH.103

KH.103	อดีต		พ.ศ. 2564		พ.ศ. 2569		พ.ศ. 2574		พ.ศ. 2579		พ.ศ. 2584		พ.ศ. 2589	
	1*	2*	1*	2*	1*	2*	1*	2*	1*	2*	1*	2*	1*	2*
กรณีคาดการณ์														
A2	142	161	186	326	193	145	159	155	155	183	242	272	201	167
B2	146	162	209	146	187	252	168	162	163	130	234	166	197	169

หมายเหตุ : 1* น้ำท่าเฉลี่ยรายปี (มม./ปี)

2* ปริมาณน้ำสูงสุด (Peak) (มม.)

จากผลการศึกษา ปริมาณน้ำท่าในอนาคตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำท่ากรณีคาดการณ์ A2 ต่ำกว่ากรณีคาดการณ์ B2 สอดคล้องกับกรณีคาดการณ์ A2 ที่การพัฒนาในอนาคตของโลกมีความหลากหลาย จำนวนประชากรเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง มีการเติบโตทางเศรษฐกิจและการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี การพัฒนาที่ก่อให้เกิดสิ่งปลูกสร้างต่างๆ และมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ทำให้ปริมาณน้ำท่าในอนาคตมีแนวโน้มลดลง จะเห็นว่านอกจากปริมาณฝนที่เพิ่มขึ้นจนส่งผลให้น้ำที่ซึมลงสู่ใต้ดินทำให้ปริมาณน้ำท่ามีค่าเพิ่มมากขึ้นตาม อย่างไรก็ตาม ปริมาณฝนยังคงเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่ทำให้ปริมาณน้ำท่ามีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละปี รวมถึงส่งผลกระทบต่อปัจจัยทางอุทกวิทยาอื่นๆ ด้วยเช่นกัน



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาการประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกที่มีต่อการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำห้วยหลวง โดยมุ่งประเด็นศึกษาเฉพาะปริมาณฝนซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลโดยตรงต่อปริมาณน้ำต้นทุนในลุ่มน้ำ จากการใช้ข้อมูลทางสถิติช่วงเวลาอดีตเพื่อศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงหรือความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลปริมาณฝนและปริมาณน้ำในลุ่มน้ำ การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ PRECIS คาดการณ์ปริมาณฝนจากช่วงเวลาอดีตจนถึงคาดการณ์อนาคต ทำให้ทราบถึงแนวโน้มปริมาณฝนที่คาดว่าจะเกิดขึ้น จนกระทั่งนำไปสู่การสร้างสมการอย่างง่ายเพื่อคาดการณ์ปริมาณน้ำในลุ่มน้ำ จากความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้อธิบายไปแล้วนั้น สามารถนำเสนอเป็นผลสรุป และข้อเสนอแนะที่ได้จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ปริมาณฝนคาดการณ์ ผลการจำลองสภาพภูมิอากาศจาก PRECIS

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝน โดยใช้แบบจำลอง PRECIS โดยใช้กรณีคาดการณ์ A2 และ B2 คือ

5.1.1.1 กรณีคาดการณ์ A2 การพัฒนาในอนาคตของโลกมีความหลากหลาย พึ่งตนเองมากขึ้นภายในภูมิภาค มีการอนุรักษ์เอกลักษณ์ท้องถิ่น จำนวนประชากรเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การพัฒนาเศรษฐกิจขึ้นอยู่กับภูมิภาค การเติบโตทางเศรษฐกิจและการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีช้ากว่าแบบอื่น และกระจายตามท้องถิ่นและภูมิภาค

5.1.1.2 กรณีคาดการณ์ B2 เป็นภาพจำลองการพัฒนาที่เน้นการแก้ปัญหาด้านเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืนในระดับท้องถิ่นหรือภูมิภาค ประชากรเพิ่มขึ้นต่อเนื่องแต่น้อยกว่า A2 มีการพัฒนาเศรษฐกิจปานกลาง การเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีหลากหลายและช้าลงกว่า B1 และ A1 โดยมีการปกป้องสิ่งแวดล้อม และความเสมอภาคของสังคมที่เน้นที่ท้องถิ่นและภูมิภาค

เพื่อวิเคราะห์ปริมาณฝนคาดการณ์ในอนาคตนั้นจำเป็นต้องมีการปรับลดค่าความคาดเคลื่อนของข้อมูลก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ร่วมกับปริมาณน้ำในลุ่มน้ำ โดยพบว่าเมื่อข้อมูลได้ผ่านปรับลดความคาดเคลื่อนแล้วนั้น จะแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มปริมาณฝนที่เพิ่มขึ้นในอนาคตระหว่างปี พ.ศ. 2559-2589 เมื่อเทียบกับปีฐาน ผลการคำนวณปริมาณฝนจากแบบจำลอง PRECIS แสดงให้เห็นแนวโน้มปริมาณฝนเฉลี่ยที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงเวลา 30 ปีอนาคตข้างหน้า มีเพียงข้อมูลในปี พ.ศ. 2547 และ พ.ศ. 2553 เท่านั้นที่แบบจำลองให้ค่าปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนน้อยกว่าค่าเฉลี่ยปกติ ส่งผล



ทำให้ค่าปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีลดลงตามด้วย อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยปริมาณฝนรวม 30 ปี ยังมีค่ามากกว่าปีฐานเช่นเดิม

สอดคล้องกับการศึกษาของ ศุภกร ชินวรรโณ และคณะ (2552) จากการศึกษาพบว่าผลกระทบจากสภาวะโลกร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในลุ่มน้ำห้วยหลวง โดยใช้แบบจำลอง PRECIS ในเงื่อนไขการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซเรือนกระจกประเภท A2 และ B2 ของ IPCC SRES และใช้ข้อมูลตั้งต้นจากแบบจำลองระดับ GCMs ECHAM4 โดยมีจุดประสงค์เพื่อต้องการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศล่วงหน้า โดยได้มีการปรับลดความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลที่วิเคราะห์ได้จาก PRECIS ด้วยวิธีการสร้างค่าสัมประสิทธิ์จากการ Rescale ของผลต่างระหว่างข้อมูลที่ตรวจวัดจริงจากสถานีตรวจอากาศในพื้นที่และข้อมูลจากแบบจำลอง ผลสรุปจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง มีแนวโน้มอุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้น ช่วงเวลาอากาศร้อนในรอบปียาวนานขึ้นเป็น 1.2 เท่าเมื่อเทียบกับปีปัจจุบัน พื้นที่ที่มีอากาศร้อนกระจายตัวเพิ่มมากขึ้น และปริมาณฝนเฉลี่ยมีแนวโน้มสูงขึ้นเท่ากับ 19.18 เปอร์เซ็นต์

5.1.2 ปริมาณน้ำท่า ผลจากแบบจำลอง NAM Model

จากผลการศึกษาผลการสอบเทียบแบบจำลอง NAM Model ของสถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ A2 ช่วงพ.ศ. 2550-2557 เพื่อหาค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น และนำค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยจากการสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration) ได้ค่าพารามิเตอร์เฉลี่ย ดังนี้ (1.) Umax มีค่าเท่ากับ 20 มิลลิเมตร (2.) Lmax มีค่าเท่ากับ 218 มิลลิเมตร (3.) CQOF มีค่าเท่ากับ 0.151 (4.) CKIF มีค่าเท่ากับ 200 ชั่วโมง (5.) CK1 และ CK2 มีค่าเท่ากับ 50 ชั่วโมง (6.) TOF มีค่าเท่ากับ 0.715 (7.) TIF มีค่าเท่ากับ 0.138 (8.) TG มีค่าเท่ากับ 0.690 และ (9.) CKBF มีค่าเท่ากับ 1,000 ชั่วโมง มาใช้ในการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ช่วงปี พ.ศ. 2555 - 2557 และพบว่าค่าค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจมีค่าดังนี้ คือ ค่า R^2 มีค่าเท่ากับ 0.924, 0.917 และ 0.921 ตามลำดับ

ผลการสอบเทียบแบบจำลอง NAM Model ของสถานีวัดน้ำท่า KH.53 กรณีคาดการณ์ B2 ช่วงพ.ศ. 2550-2557 เพื่อหาค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น และนำค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยจากการสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration) ได้ค่าพารามิเตอร์เฉลี่ย ดังนี้ (1.) Umax มีค่าเท่ากับ 20 มิลลิเมตร (2.) Lmax มีค่าเท่ากับ 226 มิลลิเมตร (3.) CQOF มีค่าเท่ากับ 0.156 (4.) CKIF มีค่าเท่ากับ 200 ชั่วโมง (5.) CK1 และ CK2 มีค่าเท่ากับ 50 ชั่วโมง (6.) TOF มีค่าเท่ากับ 0.712 (7.) TIF มีค่าเท่ากับ 0.129 (8.) TG มีค่าเท่ากับ 0.757 และ (9.) CKBF มีค่าเท่ากับ 1,000 ชั่วโมง มาใช้ในการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ช่วงปี พ.ศ. 2555 - 2557 และพบว่าค่าค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจมีค่าดังนี้ คือ ค่า R^2 มีค่าเท่ากับ 0.917, 0.901 และ 0.929 ตามลำดับ



ผลการสอบเทียบแบบจำลอง NAM Model ของสถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ A2 ช่วงพ.ศ. 2550-2557 เพื่อหาค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น และนำค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยจากการสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration) ได้ค่าพารามิเตอร์เฉลี่ย ดังนี้ (1.) Umax มีค่าเท่ากับ 20 มิลลิเมตร (2.) Lmax มีค่าเท่ากับ 206 มิลลิเมตร (3.) CQOF มีค่าเท่ากับ 0.144 (4.) CKIF มีค่าเท่ากับ 200 ชั่วโมง (5.) CK1 และ CK2 มีค่าเท่ากับ 50 ชั่วโมง (6.) TOF มีค่าเท่ากับ 0.764 (7.) TIF มีค่าเท่ากับ 0.147 (8.) TG มีค่าเท่ากับ 0.684 และ (9.) CKBF มีค่าเท่ากับ 1,000 ชั่วโมง มาใช้ในการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ช่วงปี พ.ศ. 2555 - 2557 และพบว่าค่าค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจมีค่าดังนี้ คือ ค่า R^2 มีค่าเท่ากับ 0.933, 0.924 และ 0.943 ตามลำดับ

ผลการสอบเทียบแบบจำลอง NAM Model ของสถานีวัดน้ำท่า KH.103 กรณีคาดการณ์ B2 ช่วงพ.ศ. 2550-2557 เพื่อหาค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น และนำค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยจากการสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration) ได้ค่าพารามิเตอร์เฉลี่ย ดังนี้ (1.) Umax มีค่าเท่ากับ 20 มิลลิเมตร (2.) Lmax มีค่าเท่ากับ 220 มิลลิเมตร (3.) CQOF มีค่าเท่ากับ 0.149 (4.) CKIF มีค่าเท่ากับ 200 ชั่วโมง (5.) CK1 และ CK2 มีค่าเท่ากับ 50 ชั่วโมง (6.) TOF มีค่าเท่ากับ 0.785 (7.) TIF มีค่าเท่ากับ 0.168 (8.) TG มีค่าเท่ากับ 0.754 และ (9.) CKBF มีค่าเท่ากับ 1,000 ชั่วโมง มาใช้ในการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ช่วงปี พ.ศ. 2555 - 2557 และพบว่าค่าค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจมีค่าดังนี้ คือ ค่า R^2 มีค่าเท่ากับ 0.920, 0.899 และ 0.940 ตามลำดับ

การวิเคราะห์ข้อมูลในอดีตด้วยสมการถดถอยเพื่อสร้างสมการประเมินปริมาณน้ำในลุ่มน้ำระหว่างปี พ.ศ. 2546-2558 ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่ศึกษามีปริมาณฝนเฉลี่ยที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงเวลา 30 ปีอนาคตข้างหน้า จากการนำค่าพารามิเตอร์ของสถานีวัดน้ำท่า KH.53 และ KH.103 มาคำนวณปริมาณน้ำท่า พบว่าปริมาณน้ำท่าในปีอนาคตมีน้ำท่าเฉลี่ยรายปีของกรณีคาดการณ์ A2 เท่ากับ 149 และ 189 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ และน้ำท่าเฉลี่ยรายปีของกรณีคาดการณ์ B2 เท่ากับ 164 และ 193 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่าน้ำท่าเฉลี่ยรายปีในอนาคต มีค่ามากกว่าน้ำท่าเฉลี่ยรายปีในปัจจุบันทั้งกรณีคาดการณ์ A2 เท่ากับ 30.70 และ 33.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ กรณีคาดการณ์ B2 เท่ากับ 37.82 และ 32.19 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

จากการศึกษา พบว่าผลกระทบจากสภาวะโลกร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในลุ่มน้ำห้วยหลวง โดยใช้แบบจำลอง PRECIS ในเงื่อนไขการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซเรือนกระจกประเภท A2 และ B2 ของ IPCC SRES และใช้ข้อมูลตั้งต้นจากแบบจำลองระดับ GCMs ECHAM4 โดยมีจุดประสงค์เพื่อต้องการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศล่วงหน้า โดยได้มีการปรับลดความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลที่วิเคราะห์ได้จาก PRECIS ด้วยวิธีการสร้างค่าสัมประสิทธิ์จากการ rescale ของผลต่างระหว่างข้อมูลที่ตรวจวัดจริงจากสถานีตรวจอากาศในพื้นที่และข้อมูลจากแบบจำลอง ผลสรุปจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง พื้นที่ที่มีอากาศร้อนกระจายตัวเพิ่มมากขึ้น และปริมาณ



ฝนเฉลี่ยมีแนวโน้มสูงขึ้น และปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีในอนาคตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปริมาณน้ำท่าสถานี KH.53 กรณีคาดการณ์ A2 ต่ำกว่ากรณีคาดการณ์ B2 สอดคล้องกับกรณีคาดการณ์ A2 ที่การพัฒนาในอนาคตของโลกมีความหลากหลาย จำนวนประชากรเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง มีการเติบโตทางเศรษฐกิจ และการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี การพัฒนาที่ก่อให้เกิดสิ่งปลูกสร้างต่างๆ และมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ทำให้ปริมาณน้ำท่าในอนาคตมีแนวโน้มลดลง จะเห็นว่านอกจากปริมาณฝนที่เพิ่มขึ้นจนส่งผลให้น้ำที่ซึมลงสู่ใต้ดินทำให้ปริมาณน้ำท่ามีค่าเพิ่มมากขึ้นตาม อย่างไรก็ตาม ปริมาณฝนยังคงเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่ทำให้ปริมาณน้ำท่ามีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละปี รวมถึงส่งผลกระทบต่อภัยทางอุทกวิทยาอื่นๆ ส่วนผลกระทบจากปริมาณน้ำท่าสูงสุดกรณีคาดการณ์ A2 จะรุนแรงกว่ากรณีคาดการณ์ B2 จึงมีแนวโน้มว่าจะเกิดน้ำท่าฉับพลัน และเกิดน้ำท่าวมฉับพลันตามมาอาจส่งผลกระทบต่อชีวิต และทรัพย์สิน ถ้าจะมีการจัดการน้ำควบลดการขยายตัวของชุมชน ประชากร หรือมีการควบคุมการขยายตัวของประชากร เน้นการพัฒนาที่แก้ปัญหาด้านเศรษฐกิจสังคม และสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน จะส่งผลให้ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยไม่เกิด peak สูง แต่มีปริมาณน้ำตลอดทั้งปี สำหรับใช้งาน

5.2 ข้อเสนอแนะ

หลังจากที่ได้ดำเนินการศึกษาและสรุปผลการวิจัย ผู้วิจัยพบว่ามีประเด็นที่ต้องให้ความสำคัญ และควรศึกษาต่อยอดเพิ่มเติมสำหรับผู้สนใจในประเด็นศึกษานี้ ข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีดังต่อไปนี้

5.2.1 นอกเหนือจากแบบจำลอง PRECIS ที่ใช้คาดการณ์สภาพภูมิอากาศระดับภูมิภาคแล้วนั้น ยังมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ชนิดอื่น ๆ ที่ใช้สำหรับคาดการณ์สภาพภูมิอากาศด้วย เช่นเดียวกัน ตัวอย่างเช่น ECHAM, RegCM (REGional Climate Model) เป็นต้น ดังนั้นเพื่อให้ผลการศึกษาที่มีความละเอียดถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ควรศึกษาข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากแบบจำลองเหล่านี้เพิ่มเติมและนำผลการศึกษามาเปรียบเทียบกัน รวมถึงการสอบเทียบความแม่นยำของข้อมูลจากแบบจำลองกับข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่ตรวจวัดจริงในพื้นที่ศึกษา

5.2.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมุ่งประเด็นไปที่การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำในลุ่มน้ำเท่านั้น แต่ในความเป็นจริงยังมีปัจจัยการเปลี่ยนแปลงจากสภาพภูมิอากาศประเภทอื่น ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อเช่นเดียวกัน เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม หรือรังสีจากดวงอาทิตย์ เป็นต้น รวมไปถึงปัจจัยทางกายภาพอื่น ๆ เช่น ชนิดของดิน ปริมาณตะกอน การซึมลงสู่ใต้ดิน เป็นต้น โดยปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้หากมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นล้วนส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำในลุ่มน้ำเท่านั้นทั้งสิ้น ดังนั้นจึงควรศึกษาวิจัยเกี่ยวกับประเด็นเหล่านี้เพิ่มเติม



5.2.3 การเพิ่มจำนวนพื้นที่ศึกษา และข้อมูลพื้นฐาน จะสามารถช่วยทำให้รู้ถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลหรือการยืนยันผลของการศึกษาให้มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นหรือนำผลการศึกษามาเปรียบเทียบกัน ในขณะที่เดียวกันหากพบว่าผลการศึกษามีความแตกต่างกันหรือแสดงทิศทางของข้อมูลไปทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ผู้ศึกษาจำเป็นจะต้องค้นหาสาเหตุความแตกต่างและแสดงถึงเหตุและผลจากผลการศึกษานั้น ซึ่งจะช่วยให้เกิดแนวคิด วิธีการศึกษาหรือผลของการศึกษามีการขยายวงกว้างและหลากหลายออกไป



เอกสารอ้างอิง



เอกสารอ้างอิง

- กานดา คงธรรม. (2545). *การศึกษาพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM สำหรับลุ่มน้ำปิงตอนบน*.
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กิริติ ลีวัจนกุล. (2554). *อุทกวิทยา*. พิมพ์ครั้งที่ 3. ปทุมธานี: สำนักพิมพ์ SPEC.
- ชูพันธุ์ ชมพูนรินทร์. (2555). *ภูมิศาสตร์และสภาวะแวดล้อมโลก*. (ออนไลน์).
ได้จาก:http://www.baanjomjut.com/library/global_community/01.html [27
สิงหาคม 2558]
- นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์. (2544). *เอกสารประกอบวิชาการจำลองสภาวะการเกิดน้ำท่วม*. กรุงเทพฯ:
ภาควิชา วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นัฐพล ทองแท่ง, และเสรี ศุภราทิตย์. (2557). *ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อปริมาณ
ฝนประเทศไทย*. ใน: *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19*, 14-16
พฤษภาคม 2557. ขอนแก่น: ม.ป.พ. หน้า 1-8.
- พงศกร พวงชมพู และหริส ประสารฉ่ำ. (2556). *ผลกระทบของการเปลี่ยนสภาพภูมิอากาศต่อปริมาณ
น้ำในอ่างเก็บน้ำเอนกประสงค์*. งานวิจัย. ขอนแก่น: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลอีสานวิทยาเขตขอนแก่น.
- ไพรัตน์ วีรุตมเสน. (2536). *การพัฒนาแหล่งน้ำในลุ่มน้ำสวย*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ยุพิน จันดา. (2540). *การพยากรณ์สภาพน้ำท่วมในลุ่มน้ำบางปะกงโดยใช้แบบจำลอง MIKE 11*.
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิษุวัตม์ แต่สมบัติ. (2546). *การวิเคราะห์ปริมาณน้ำนองสูงสุดของลุ่มน้ำคลองท่าตะเภา และลุ่มน้ำ
คลองชุมพร โดยแบบจำลองทางอุทกวิทยา*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศิริกัญญา แสงสว่าง. (2547). *การเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมและ
แบบจำลองทางอุทกวิทยา ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่วมในลุ่มน้ำปิงตอนบน*. วิทยานิพนธ์
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศุภกร ชินวรรณ. (2551). *ผลการจำลองสภาพภูมิอากาศโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์*. ใน: *การ
ประชุมวิชาการระบบเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 4*, 27-28 พฤษภาคม 2557. เชียงใหม่: ม.ป.พ.
หน้า 1-16.
- ศุภกร ชินวรรณ, วิริยะ เหลืองอร่าม และ จุฑาทิพย์ ธนภิตดีเมธาวุฒิ. (2552). *ภาวะโลกร้อนและการ
เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ลุ่มน้ำชี-มูล*, *วารสารวิจัย มช.*, 14 (7), 666-682.



- สถาบันแหล่งน้ำและสิ่งแวดล้อม. (2558). *สำรวจจัดทำรายงานความเหมาะสม โครงการศึกษา
แผนพัฒนาลุ่มน้ำห้วยหลวงตอนล่าง จังหวัดอุดรธานีและหนองคาย*. ขอนแก่น: คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สุพรรณษา บำรุงพงศ์. (2550). *ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง MAM
และลักษณะเฉพาะทางด้ายกายภาพของลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำปิงตอนบน*. วิทยานิพนธ์ปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง. (2550). *การวางแผนและจัดการทรัพยากรน้ำระดับลุ่มน้ำ*. มหาสารคาม:
สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- อำนาจ ชิดไธสง, กัณษริย์ บุญประกอบ, เจียมใจ เครือสุวรรณ และ ศุภกร ชินวรรณ. (2553). *การ
เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย เล่มที่ 2 แบบจำลองสภาพภูมิอากาศและสภาพ
ภูมิอากาศในอนาคต*. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- Akthar M, Ahmad N and Booi MJ. (2009). Use of regional climate model simulations as
input for hydrological models for the Hindukush-Karakorum-Himalaya region.
Hydrology and Earth System Sciences, 13, 1075-1089.
- Arcelus, E.A. (2000) Coupling Two Hydrological Models to Compute Runoff in Ungauged
Basins. *Journal of Hydrology*, 101 (2000), 301-309.
- Chalermrat Sangmanee, Suppakorn Chinvanno, Jutatip Tanakitmethavut, Suratta
Bunsomboon-sakul and Jariya Thitiwate. (2011). Impact of climate change on
hydro-logical regime of Khlong Krabi Yai watershed Krabi province Thailand. In:
*Proceeding of SWAT-SEA conference, Soil and Water Assessment Tool-
Southeast Asia*, Ho Chi Minh, Vietnam. n.p: n.p.
- Danish Hydraulic Institute. (2001). *MIKE 11 Reference Manual*. HØrsholm.
_____. (1992). *NAM DOCUMENTATION AND USER'S GUIDE*, pp. 70.
- Feng, Jiang. (2013). Impact of climate change on water supply of off-stream reservoir.
2013 Georgia Water Resource Conference, Georgia, USA.
- IPCC. (2001). Climate Change 2001: Synthesis Report. In: *Contribution of Working Group
I, II, and III to the Third Assessment Report of the Inter Governmental Panel
on Climate Change*, Watson R. T. and Core Writing Team (eds.). Cambridge
University Press, Cambridge, United Kingdom, p. 398.
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. IPCC Secretariat,
Geneva, Switzerland.



- Madsen, H. (2000). Automatic Calibration and Uncertainty Assessment in Rainfall-Runoff Modelling. *In: Joint Conference on Water Resources Engineering and Water Resources Planning & Management 2000*. n.p: n.p.
- Nazrul Islam Md, Rafiuddin M, Ahsan Uddin Ahmed and Rupa Kumar Kolli. (2008) .Calibration of PRECIS in employing future scenarios in Bangladesh, *International Journal of Climatology*, 28, 617-628.
- Poomthaisong, A. (1997). Flood control investigation of upper Nam river Yot and Yao tributaries. Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Shrestha B, Babel MS, Maskey S, van Griensven A, Uhlenbrook S, Green A and Akkharath I. (2013). Impact of climate change on sediment yield in the Mekong River basin: a case study of the Nam Ou basin, Lao PDR. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17, 1-20.
- Wei Xiong, Ian Holman, Erda Lin, Declan Conway, Jinhe Jiang, Yinlong Xu and Yan Li .(2010). Climate change, water availability and future cereal production in China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 135, 58-69.
- Wu Jia, Gao Xuejie, Giorgi Filippo, Chen Zhenghong and Yu Dafeng. (2012). Climate effects of the Three Gorges reservoir as simulated by a high resolution double nested regional climate model. *Quaternary International*, 282, 27-36.
- Ying Shi and Xue-Jie Gao. (2012). Projection of water availability in the Miyun watershed from an RCM simulation. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 5 (6), 468-472.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
ข้อมูลปริมาณฝนที่ตรวจวัดจากสถานีตรวจอากาศ



ปริมาณเงิน (บาท/คน/วัน)

ที่	เดือน/ปี	สถานที่	วันที่																																				
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31						
1	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
2	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
3	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
4	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
5	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0	0	2.1	19.2	4.7	0	0.1	0.3	0	5.6	78.8	0.9	0.3	18.4	71	3	1.3	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
6	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0	0	4.6	20.4	2.0	2.2	6.5	0	24	6.5	0.1	6.7	83	7.7	0	0	4.2	0	18.2	0	0	0.3	0	0.1	14.3	0	7.8	0	17.6	0	0	0	0				
7	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	12.4	3	0	0.3	0.3	0.4	0	0	19.1	3.6	9.7	0	0	0	0	0	16.6	0	0	0	0	0	1.4	0	0	0	0.8	0	4.3	6.9	13.1	1.6	0.7	94.3			
8	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	35.9	11.7	0.1	10.6	0.5	0	0.1	8.1	0	0	76.6	1.7	0	6.4	1	0.6	7.1	74.7	29.2	0.5	12.8	1.5	19	0.7	12.2	0	2.3	19.5	6.2	2.9	16.4	358.3	0	0			
9	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	79.9	49.7	38	10.2	22.4	5.7	14	12.3	65.3	0	0	0	0	0	0	3.1	32.5	45	0	10.8	4.4	0.8	1.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
10	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0	0.1	0	0	0	11.4	92.6	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0.2	0	0	0	7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
11	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	13.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
12	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0	2	3.9	0	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0	8.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	29	7.5	9.7	1.1	0.1	0.3	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	2.6	9.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0	20.6	19.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0	10.5	16.3	6.5	3.5	4	4.7	20.6	84.5	58	11.6	20.5	2.7	2.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
24	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
25	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
26	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	2.1	0	0	0.2	16.8	4.4	41.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
27	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
28	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	27.2	34.2	0.4	0	0	0	0	0.9	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
29	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0	2.7	0	7.2	0	0.4	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
30	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0.3	3	0	0	0	24.4	3.9	28.8	31.6	23.2	1.4	0	0.1	56.9	35.7	0.8	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
31	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0	12.7	9.3	33.3	56.1	0	30.4	0	2.5	32.8	4.8	47	14.1	41.1	15.6	0	1.3	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
32	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	2.8	0.9	0.3	2.7	0	0.2	5.3	8.4	16.9	0.2	0	0	0	1.1	1.7	16.2	0	16.6	32.5	15.8	1.5	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
33	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0.1	17.8	31.1	2.9	0	0	1.6	19.1	9	5.3	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
34	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
35	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
36	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
37	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
38	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0	15.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
39	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
40	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0	2.2	0	0.7	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
41	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0	0	2	0	0	0	16.7	20.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
42	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0.9	0	0.2	0	0	0	0	18.2	5.6	13.8	6.2	0.2	20.2	32.6	0.4	7.8	41.9	17.6	6.1	15.2	0.5	14.4	1.6	79.2	3.9	1.9	0	0	1.1	0.2	3.6	0	0	0	0		
43	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	2.1	0	5.3	17	11.4	0	0	0	3.8	2	16.7	7.2	62.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
44	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	26.6	15.8	0	0	0.6	0	3.8	1.8	16.5	1.2	14.3	10.9	0.7	8.5	3	6	7.3	7.7	2	0.2	4.9	1.3	0.3	42.3	0.6	0	4.7	0	3	66	18.6	268.6	0	0	0		
45	354201-เกษตรฯ	ว.เกษตรฯ	0	26.5	6.4	48.7	0	60.1	59.4	2.9	16.3	3.3	0.9	0	4.1	5.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

ปริมาณเงิน (ล้านบาท)
รายวัน

ปี	กรม	เดือน/ปี	วัน																															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
136	354201-เกษตรฯ	ม.ม.-13	0.1	0	T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	T	0.7	0	0	0.1	0	0	2.1	2	0	0	0	0	0	3	-	8.2
137	354201-เกษตรฯ	พ.ค.-13	0	9.3	0	0.6	0	8.9	0.2	8.8	1.5	30.3	6.8	0	0	2.5	0	13.3	33.3	3.3	2.5	6.9	T	0.2	24.4	14.1	0	0	T	6.8	0	0	173.7	
138	354201-เกษตรฯ	พ.ค.-13	3.2	1.1	7.9	1.7	4.9	0.4	0	1.6	0	36.6	9.3	0	7.4	0	0	0	T	3.5	T	13.3	10.6	2	17.7	1.2	4.7	8.2	T	12.5	3.1	0	-	150.9
139	354201-เกษตรฯ	พ.ค.-13	0	0	4.3	0	5.3	30.5	40.9	69.3	16.2	1.9	12.2	0	T	2.8	0.2	2.2	0	9.8	0	22.6	3.3	T	8.2	5.4	2.7	0.4	5.5	8.6	T	21.4	4.7	278.4
140	354201-เกษตรฯ	พ.ค.-13	30.4	1	0	22.8	5.3	83.9	7.7	8.5	0.7	5.2	34.8	0	0	0	9.2	0	0	0	1.2	T	20.2	6.8	20.6	T	0	3	7.5	0	T	20.7	1.3	290.8
141	354201-เกษตรฯ	พ.ค.-13	0	T	0	24.2	2.8	0	51.4	15.2	1.2	0	12.2	22.2	44.1	33.7	2	0	2.8	6.7	1.2	2	4	0	0	28.2	7.9	2.5	0.2	0	1.5	22	-	288
142	354201-เกษตรฯ	พ.ค.-13	1.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	7.2	36.9	4.2	8	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	74.1
143	354201-เกษตรฯ	พ.ค.-13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
144	354201-เกษตรฯ	พ.ค.-13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	57.9

ภาคผนวก ข
ข้อมูลปริมาณฝนจากแบบจำลอง PRECIS
กรณีคาดการณ์ A2



ภาคผนวก ค
ข้อมูลปริมาณฝนจากแบบจำลอง PRECIS
กรณีคาดการณ์ B2



1) Branch (Columns) :-

R	rfd	id	Year																																
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Yr	
61	17.4	1028	NA-34	0.0025	0.0000	0.0592	0.0134	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0788
62	17.4	1028	NA-14	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	11.3628
63	17.4	1028	NA-34	0.0482	0.0100	4.1254	0.3944	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	24.5655	
64	17.4	1028	NA-14	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	13.3737	
65	17.4	1028	NA-14	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	14.4228	
66	17.4	1028	NA-34	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	14.4228	
67	17.4	1028	NA-14	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	14.4228	
68	17.4	1028	NA-34	7.9816	0.1602	6.3132	2.2847	0.5430	0.9981	4.9261	11.1091	10.9040	6.8883	5.5287	1.1472	3.5346	6.8273	15.6924	15.3868	6.6033	15.5991	2.7449	3.8207	2.1376	7.4034	10.5694	0.7530	3.4119	8.8648	9.0429	3.6029	6.1248	6.7295	7.5683	195.7165
69	17.4	1028	NA-14	8.4070	6.5197	2.9780	8.1439	17.3465	9.7739	8.7025	150.426	13.4436	13.8362	20.1185	13.7957	8.0790	12.9079	7.2824	12.9290	0.0218	1.2972	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	10.7540
70	17.4	1028	NA-34	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0418	
71	17.4	1028	NA-14	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
72	17.4	1028	NA-34	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
73	17.4	1028	NA-15	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1166	
74	17.4	1028	NA-15	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	15.0228	
75	17.4	1028	NA-15	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	30.8010	
76	17.4	1028	NA-15	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	30.8010	
77	17.4	1028	NA-15	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	30.8010	
78	17.4	1028	NA-15	6.8820	4.9140	9.4120	6.5070	8.4050	7.9930	2.5310	6.9130	8.4330	7.9570	6.7300	6.7430	9.0000	8.9320	8.6150	9.8920	5.9000	9.5100	13.1010	14.4070	12.5800	17.4500	15.2250	10.5480	6.2860	6.7120	11.3340	10.4650	15.2200	0.0000	304.2940	
79	17.4	1028	NA-15	16.7670	12.2180	3.3440	9.4100	7.5360	2.7290	16.1730	13.8670	16.3190	16.0730	7.8270	6.2210	7.4190	7.3100	9.3460	10.5450	9.6440	9.1670	16.0900	12.6920	8.4440	8.3390	5.5790	18.0300	12.6500	6.2860	8.4730	12.2510	8.9070	8.9900	9.0795	336.8495
80	17.4	1028	NA-15	9.2010	11.2910	13.9200	25.7100	15.1030	7.9650	8.9750	10.7970	9.4180	7.7980	7.4460	12.4490	13.7490	9.9490	10.8960	11.5590	14.4540	9.7490	10.5500	7.1130	6.4740	9.3730	7.7410	6.8300	11.1670	13.6590	11.1710	11.3610	8.9490	8.2025	332.4805	
81	17.4	1028	NA-15	7.4620	8.1720	7.7210	8.7950	9.5740	8.5450	8.9250	7.1170	8.4090	9.1196	9.5960	10.1850	7.5960	9.4860	8.4660	5.7250	4.9080	3.2940	2.2130	1.8150	4.0910	3.7010	2.9200	3.8960	3.8770	2.6930	2.7220	4.8470	5.0680	0.0000	179.0228	
82	17.4	1028	NA-15	5.6560	3.0200	0.4620	0.0560	0.1690	1.1450	2.6500	1.5600	1.9390	2.6500	1.3940	1.4420	0.2970	0.4290	1.3770	1.5790	2.0360	3.5360	5.2940	1.4560	1.8190	0.6190	1.2210	0.5000	1.1370	0.5490	0.3220	0.0000	0.0000	0.0000	43.1874	
83	17.4	1028	NA-15	0.0130	0.1170	0.0990	0.2680	0.1860	0.6110	1.1160	0.7370	0.7130	0.0790	0.2100	0.0470	0.0560	0.3010	0.9490	0.8530	1.2260	0.0090	0.0460	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	27.0000
84	17.4	1028	NA-15	0.0020	0.0070	0.0080	0.0120	0.0060	0.0000	0.0130	0.0170	0.0160	0.0150	0.0110	0.0050	0.0060	0.0040	0.0050	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.8025	

ประวัติย่อผู้วิจัย



ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล นางสาวกรรณิการ์ บุตรคำ
วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 16 กันยายน พ.ศ. 2527
จังหวัด และประเทศที่เกิด จังหวัดกาฬสินธุ์ ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา
พ.ศ. 2543 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนขอนแก่นวิทยายน จังหวัดขอนแก่น
พ.ศ. 2546 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนขอนแก่นวิทยายน จังหวัดขอนแก่น
พ.ศ. 2550 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
(วิศวกรรมชนบท) มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
พ.ศ. 2559 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ บ้านเลขที่ 91 หมู่ 5 ตำบลหนองบัว อำเภอหนองกุงศรี จังหวัดกาฬสินธุ์
46220

