



การประเมินปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำโดยกระบวนการมีส่วนร่วม และการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ

วิทยานิพนธ์

ของ

รพีภัทร เตชะรุ่งเรืองสกุล

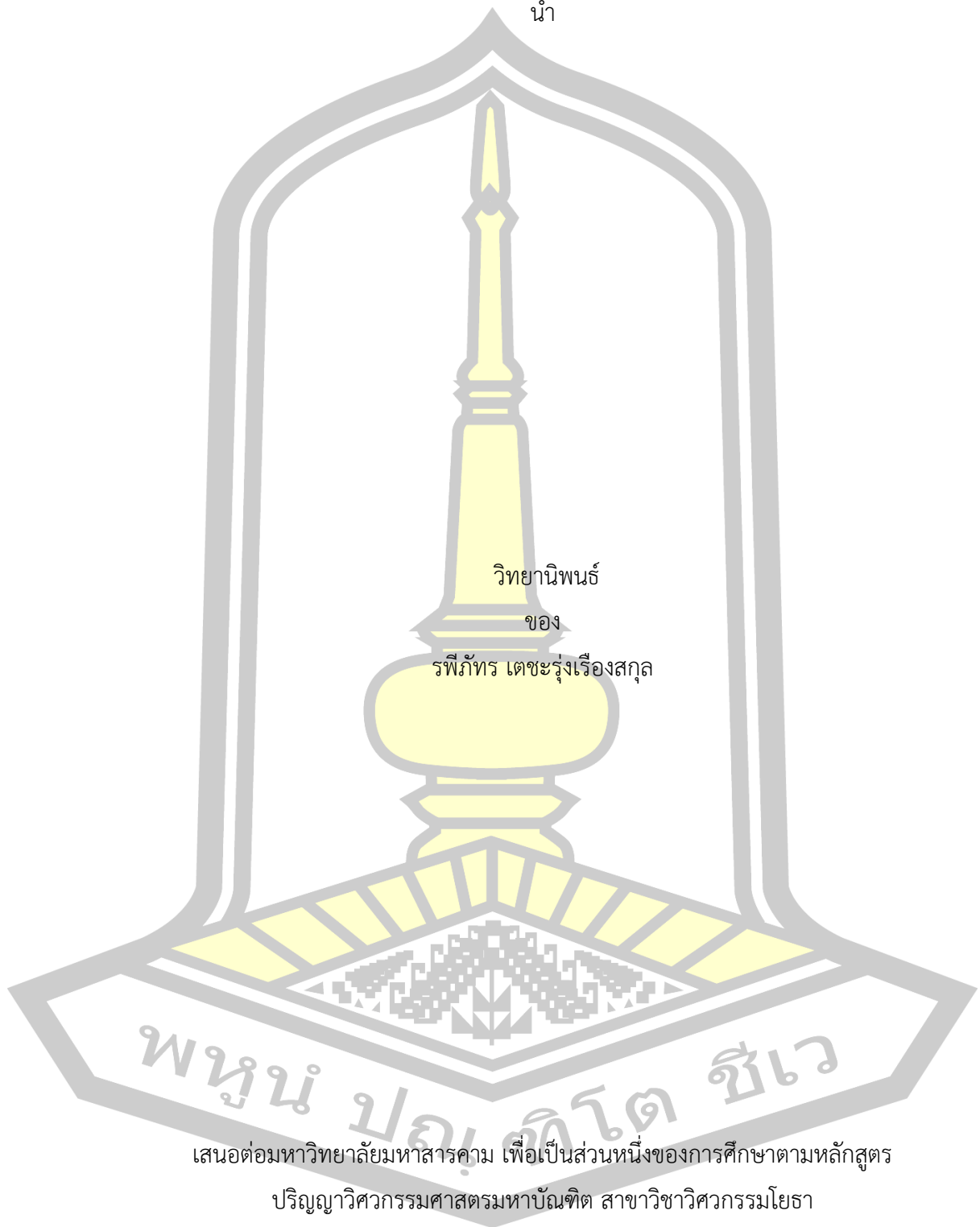
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

เมษายน 2562

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การประเมินปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำโดยกระบวนการมีส่วนร่วม และการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ



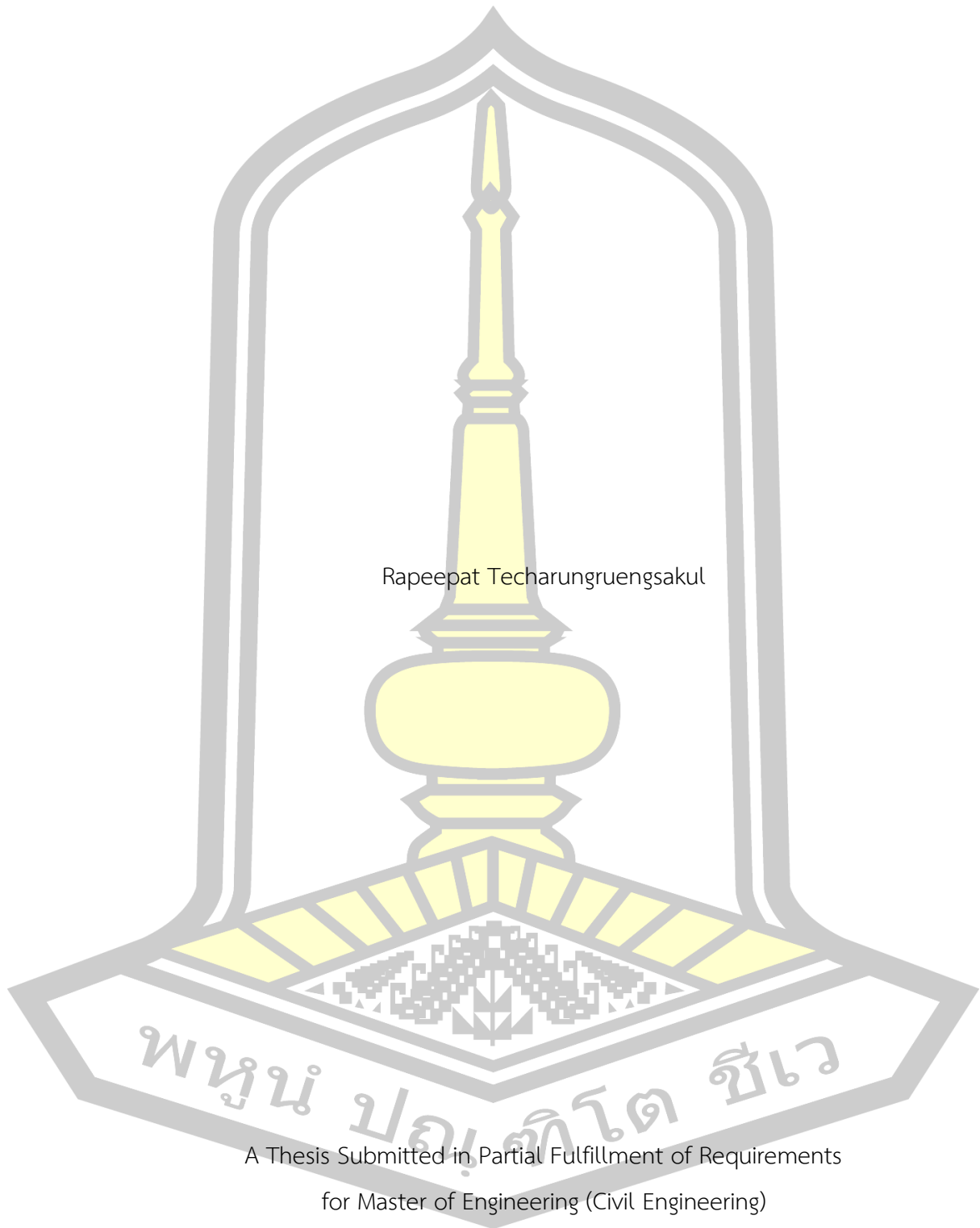
วิทยานิพนธ์  
ของ  
รพีภัทร เตชะรุ่งเรืองสกุล

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

เมษายน 2562

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Estimation of Reservoir Inflow by Participation and Reservoir Operation



Rapeepat Techarungruengsakul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements  
for Master of Engineering (Civil Engineering)

April 2019

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายรพีภัทร เตชะรุ่งเรือง  
สกุล แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตร  
มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. กิตติเวช ชันติยวิชัย )

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รศ. ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง )

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. รัตนา หอมวิเชียร )

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. อลงกรณ์ ละม่อม )

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....  
(รศ. ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....  
(ผศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

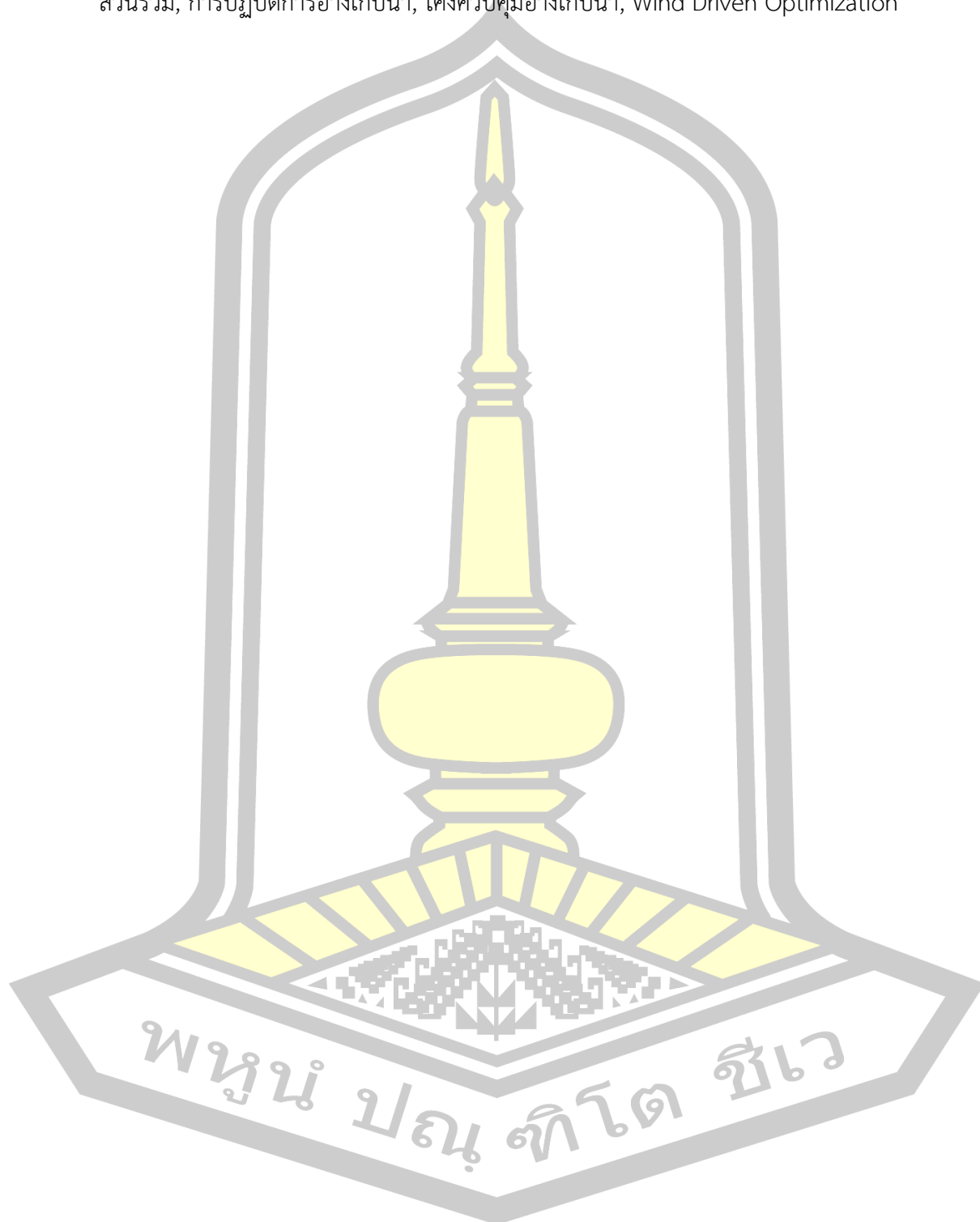
<b>ชื่อเรื่อง</b>	การประเมินปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำโดยกระบวนการมีส่วนร่วม และการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ		
<b>ผู้วิจัย</b>	รพีภัทร เตชะรุ่งเรืองสกุล		
<b>อาจารย์ที่ปรึกษา</b>	รองศาสตราจารย์ ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง		
<b>ปริญญา</b>	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	<b>สาขาวิชา</b>	วิศวกรรมโยธา
<b>มหาวิทยาลัย</b>	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	<b>ปีที่พิมพ์</b>	2562

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์แรกคือเพื่อการประเมินปริมาณน้ำทำในอนาคตที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำที่เกิดจากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตระหว่างปี พ.ศ. 2561 – 2579 โดยใช้แบบจำลอง SWAT ร่วมกับการจำลองสภาพภูมิอากาศระดับภูมิภาคด้วยแบบจำลอง PRECIS ภายใต้สถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบ B2 และแผนที่ Agri-Map ซึ่งเป็นข้อมูลการใช้ที่ดินบนพื้นที่เหนืออ่างเก็บน้ำที่สร้างขึ้นตามนโยบายของรัฐบาล และปรับแก้แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินตามพื้นที่การเพาะปลูกของคนในพื้นที่ โดยผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม พื้นที่ศึกษาคืออ่างเก็บน้ำห้วยสะแบกและอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน จังหวัดยโสธร และมีวัตถุประสงค์ที่สองคือเพื่อปรับปรุงโครงสร้างของอ่างเก็บน้ำดังกล่าวโดยการประยุกต์ใช้เทคนิค Wind Driven Optimization (WDO) ร่วมกับแบบจำลองเลียนแบบอ่างเก็บน้ำ ค้นหาคำตอบของโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้ข้อมูลน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในอดีตและอนาคต รวมทั้งการประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้าง โดยใช้อัตราส่วนน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในอดีตอดีตสังเคราะห์ 1,000 เหตุการณ์

ผลการศึกษาพบว่าน้ำท่าในอนาคตของทั้งสองอ่างมีปริมาณเฉลี่ยสูงกว่าน้ำท่าในอดีต ทั้งในกรณีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก B2 กับการใช้ประโยชน์ที่ดินตามแผนที่ Agri-Map และกรณีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก B2 กับการใช้ประโยชน์ที่ดินตามแผนที่ Agri-Map แบบผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม ซึ่งน้ำท่าจากกรณีใช้แผนที่ Agri-Map ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วมให้ปริมาณน้ำท่าที่ต่ำกว่ากรณีใช้แผนที่ Agri-Map แบบที่ไม่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วมอย่างไม่มีนัยสำคัญ ส่วนโครงสร้างใหม่ที่ปรับปรุงด้วยเทคนิค WDO สามารถลดสถานการณ์น้ำขาดแคลนและไหลล้นได้ดีกว่าโครงสร้างเดิมที่ใช้อยู่ ทั้งในสถานการณ์น้ำท่าในอดีตสังเคราะห์และสถานการณ์น้ำท่าในอนาคต

คำสำคัญ : การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ, การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน, กระบวนการมีส่วนร่วม, การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ, โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ, Wind Driven Optimization



**TITLE** Estimation of Reservoir Inflow by Participation and Reservoir Operation

**AUTHOR** Rapeepat Techarungruengsakul

**ADVISORS** Associate Professor Anongrit Kangrang , Ph.D.

**DEGREE** Master of Engineering      **MAJOR** Civil Engineering

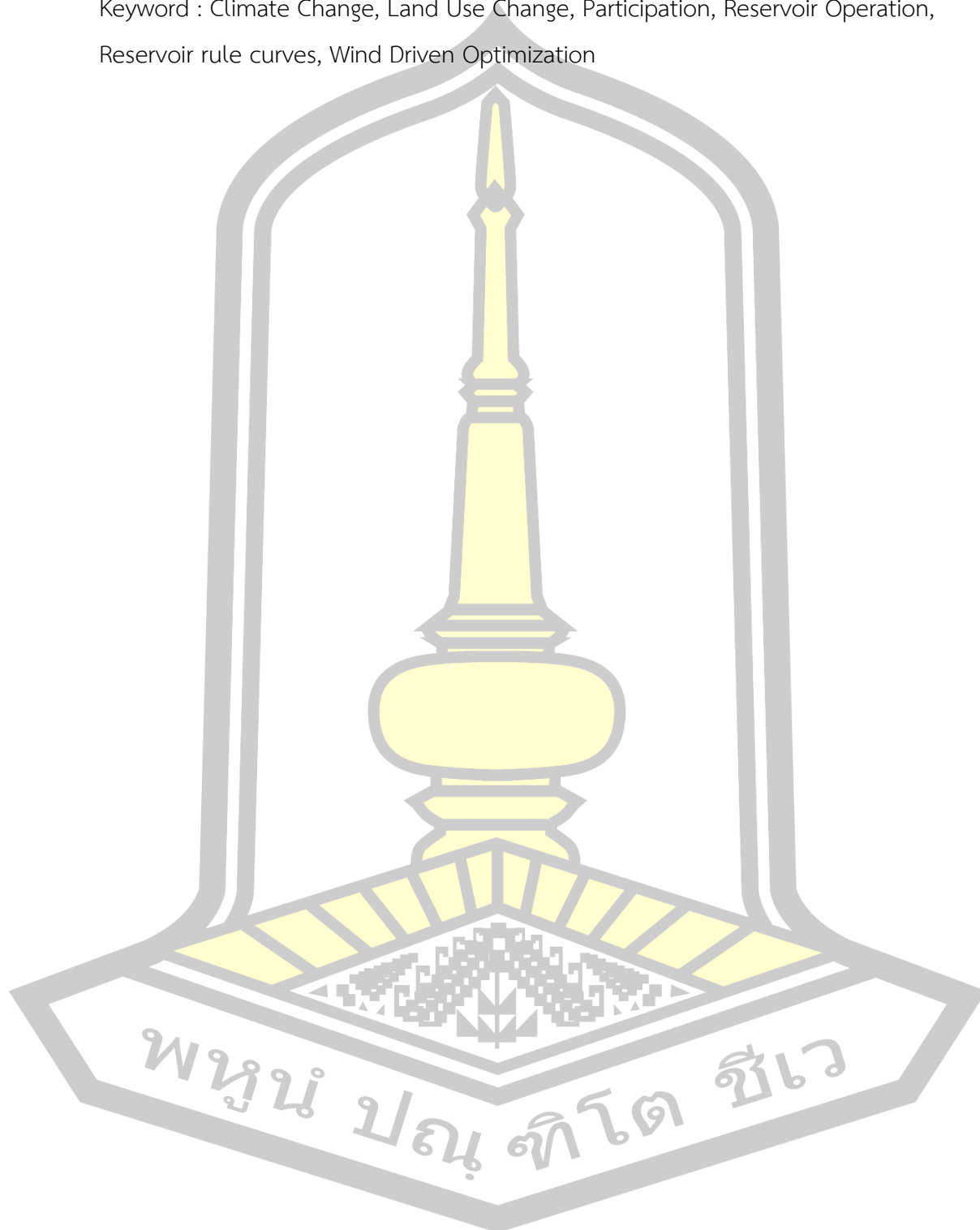
**UNIVERSITY** Mahasarakham      **YEAR** 2019  
University

### ABSTRACT

This first objective of this study was to estimate future inflow into reservoir due to the impact of climate change and land use during 2018-2036. The SWAT model with the PRECIS regional climate model of B2 emission scenarios and the land use data over the reservoir from the map of Agri-Map as well as adjusted land use according to participation process. The study area is Huay Sabag Reservoir and Huay Lingjone Reservoir, Yasothon Province. The second objective was to improve reservoir rule curves by applying Wind Driven Optimization (WDO) techniques connected with reservoir simulation model for searching optimal rule curves. The historic inflow data and future inflow data were used in searching process. In addition, 1,000 samples of generated inflow from historic inflow data were used to evaluate the performance of the new obtained rule curves.

The results found that the future inflow were higher than the historic inflow both the case of B2 scenario with land use of Agri-Map and the case of B2 scenario with land use of Agri-Map adjusting by participation process. Future inflow from the case of using Agri-Map adjusting by participation process were lower than future inflow from the case of using Agri-Map without adjusting by participation process insignificantly. The new obtained rule curves from WDO techniques can reduce the situations of water shortage and excess release water better than the existing rule curves both considering synthetic inflow from historic data case and future inflow case.

Keyword : Climate Change, Land Use Change, Participation, Reservoir Operation,  
Reservoir rule curves, Wind Driven Optimization





## กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความรู้และความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ ข้อคิดเห็น ที่มีเป็นประโยชน์อย่างยิ่งรวมถึงแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.กิตติเวช ชันติวิชัย ประธานกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ ละม่อม กรรมการ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตนา หอมวิเชียร กรรมการ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้ทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่อำนวยการ และประชาชนในพื้นที่ศึกษาทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการเข้าร่วมประชุม และตอบแบบสำรวจเพื่อนำมาใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ครอบครัว ที่ให้กำลังใจในการจัดทำวิทยานิพนธ์เสมอมา

รพีภัทร เตชะรุ่งเรืองสกุล



## สารบัญ

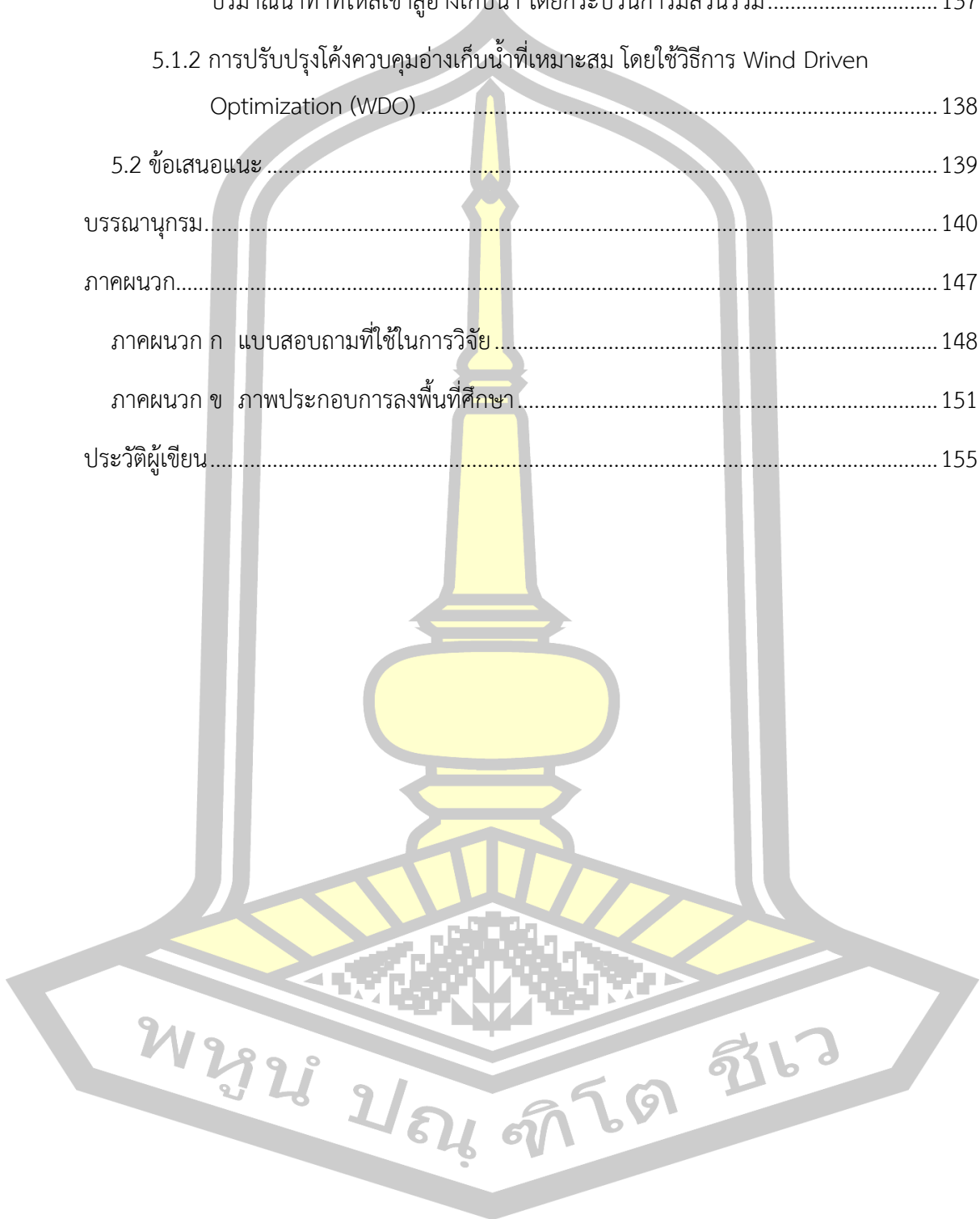
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ฌ
สารบัญตาราง.....	๗
สารบัญภาพประกอบ.....	ด
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ทฤษฎีการเกิดน้ำฝน.....	6
2.1.1 ฝนเกิดจากการพาความร้อน (Convective precipitation).....	8
2.1.2 ฝนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ผ่านภูเขา (Orographic precipitation).....	8
2.1.3 ฝนมรสุม (Monsoon rain).....	9
2.1.4 ฝนจากพายุหมุนเขตร้อน (Cyclonic precipitation).....	9
2.1.5 ลักษณะฝนของประเทศไทย.....	9
2.2 วัฏจักรของอุทกวิทยา (Hydrologic cycle).....	10
2.3 ระบบลุ่มน้ำ (Watershed).....	13
2.3.1 การแบ่งลุ่มน้ำของประเทศไทย.....	14

2.4 กระบวนการเปลี่ยนน้ำฝนเป็นน้ำท่า (Process of rainfall-runoff) .....	15
2.5 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ.....	16
2.5.1 แบบจำลองสภาพอากาศเชิงตัวเลข (Numerical Weather Prediction, NWP).....	16
2.5.2 ระบบแบบจำลองโลก (Earth System Model).....	17
2.5.3 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศระดับโลก (General Circulation Models, GCMs).....	18
2.5.4 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศระดับภูมิภาค (Regional Circulation Models, RCMs) .....	20
2.5.5 แบบจำลองเชิงตัวเลข PRECIS (Providing Regional Climates for Impacts Studies).....	20
2.5.6 แบบจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจก .....	21
2.6 แผนที่เกษตรเพื่อการบริหารจัดการเชิงรุก (Agri-Map).....	23
2.6.1 กรอบแนวคิดแผนที่เกษตรเพื่อการบริหารจัดการเชิงรุก.....	24
2.6.2 หลักการและการดำเนินการตามกรอบแนวคิด .....	24
2.6.4 การนำข้อมูลแผนที่เขตเหมาะสมของที่ดินสำหรับการผลิตพืชเศรษฐกิจไปสู่การปฏิบัติ .....	29
2.7 แบบจำลองด้านอุทกวิทยา .....	30
2.7.1 การวัดปริมาณน้ำฝน (Measurement of precipitation).....	33
2.7.2 การวิเคราะห์ข้อมูลน้ำฝน.....	35
2.7.3 แบบจำลอง SWAT (Soil and Water Assessment Tool) .....	36
2.8 แนวคิดการมีส่วนร่วม.....	41
2.8.1 ทฤษฎีการมีส่วนร่วม.....	42
2.9 การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ.....	45
2.10 เทคนิค Wind Driven Optimization (WDO).....	49
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	53

2.11.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนจากสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนไป .....	53
2.11.2 การเปลี่ยนแปลงทางอุทกวิทยาจากการเปลี่ยนแปลงใช้ประโยชน์ที่ดิน.....	54
2.11.3 การมีส่วนร่วมในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ .....	55
2.11.4 การศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงการใช้ ที่ดิน .....	57
2.11.6 การประยุกต์ใช้เทคนิค Wind Driven Optimization ในงานต่างๆ.....	59
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย .....	61
3.1 พื้นที่ศึกษา.....	63
3.1.1 อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก.....	65
3.1.2 อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน .....	67
3.2 เก็บรวบรวมและจัดเตรียมข้อมูล .....	69
3.2.1 ข้อมูลน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ.....	69
3.2.2 ข้อมูลสำหรับใช้ในการเทียบมาตรฐาน (Calibration) สำหรับใช้ในการประเมินปริมาณ น้ำท่าในอนาคต.....	69
3.2.4 ข้อมูลสำหรับใช้คาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต ปี พ.ศ. 2579 โดยแผนที่ เกษตรเพื่อการบริหารจัดการเชิงรุก (Agri-Map).....	70
3.3 คาดการณ์สภาพอุตุณิยมวิทยาและปริมาณฝนในอนาคต ด้วยแบบจำลอง PRECIS.....	70
3.4.1 การเปรียบเทียบและสอบเทียบข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากแบบจำลอง.....	71
3.4 การสร้างแผนที่ข้อมูลการใช้ที่ดินในอนาคตจากแผนที่ Agri-Map.....	74
3.5 ปรับแผนที่ข้อมูลการใช้ที่ดิน ด้วยกระบวนการมีส่วนร่วม.....	75
3.6 การประเมินปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ ด้วยแบบจำลอง SWAT.....	79
3.6.1 การประเมินน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำโดยใช้แผนที่ข้อมูลการใช้ที่ดินที่ได้จาก แบบจำลองโดยตรง .....	79
3.6.2 การประเมินน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ โดยใช้แผนที่ข้อมูลการใช้ที่ดินที่ปรับแก้จาก กระบวนการมีส่วนร่วม.....	80

3.6.3 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง .....	82
3.7 ทาโค้งควบคุมที่เหมาะสมโดยใช้เทคนิค Wind Driven Optimization.....	82
3.7.1 จัดทำโค้งควบคุม .....	84
3.7.2 ตรวจสอบโค้งควบคุมและประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุม.....	85
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	87
4.1 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ.....	87
4.1.1 การเปรียบเทียบและสอบเทียบข้อมูลสภาพภูมิอากาศปีฐาน .....	87
4.1.2 การคาดการณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคต .....	91
4.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน .....	93
4.2.1 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินปีฐาน .....	94
4.2.2 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต.....	96
4.2.3 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินปีอนาคต ปรับแก้ด้วยกระบวนการมีส่วนร่วม.....	98
4.3 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT .....	105
4.3.1 การเปรียบเทียบและสอบเทียบแบบจำลอง .....	106
4.3.2 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง.....	106
4.3.3 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง .....	108
4.3.4 ปริมาณน้ำท่าคาดการณ์ในอนาคต.....	110
4.3.5 ปริมาณน้ำท่ารายปีที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในปีอนาคต.....	117
4.4 ผลการจัดทำโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมด้วยเทคนิค Wind driven optimization .	120
4.5 ผลการประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ.....	125
4.5.1 อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก.....	125
4.5.2 อ่างเก็บน้ำห้วยลึงโจน.....	131
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ .....	137
5.1 สรุปผล.....	137

5.1.1 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกและการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อ ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ โดยกระบวนการมีส่วนร่วม.....	137
5.1.2 การปรับปรุงโครงสร้างควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม โดยใช้วิธีการ Wind Driven Optimization (WDO) .....	138
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	139
บรรณานุกรม.....	140
ภาคผนวก.....	147
ภาคผนวก ก แบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัย.....	148
ภาคผนวก ข ภาพประกอบการลงพื้นที่ศึกษา.....	151
ประวัติผู้เขียน.....	155



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 2. 1 พารามิเตอร์ของ WDO.....	52
ตาราง 3. 1 ปริมาณน้ำเก็บกักของโครงการชลประทานขนาดกลางของจังหวัดยโสธร.....	64
ตาราง 3. 2 พื้นที่การใช้ประโยชน์ของโครงการชลประทานขนาดกลางของจังหวัดยโสธร.....	65
ตาราง 3. 3 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศจาก PRECIS ที่ใช้ในการศึกษา .....	70
ตาราง 3. 4 จำนวนประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก .....	78
ตาราง 3. 5 จำนวนประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน.....	78
ตาราง 4. 1 ค่าคงที่ C สำหรับการปรับลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลสภาพภูมิอากาศจาก PRECIS กรณี B2.....	88
ตาราง 4. 2 ผลการเปรียบเทียบและสอบเทียบข้อมูลปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนระหว่าง พ.ศ. 2540- 2560 จากสถานีตรวจวัดเปรียบเทียบกับ PRECIS กรณี B2.....	89
ตาราง 4. 3 ผลการเปรียบเทียบและสอบเทียบข้อมูลปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนระหว่าง พ.ศ. 2540- 2560 จากสถานีตรวจวัดเปรียบเทียบกับ PRECIS กรณี B2.....	90
ตาราง 4. 4 ชนิดของการใช้ประโยชน์ที่ดิน .....	94
ตาราง 4. 5 จำนวนร้อยละของพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินของกลุ่มตัวอย่าง.....	98
ตาราง 4. 6 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระดับการมีส่วนร่วมส่วนของกลุ่มตัวอย่าง อ่างเก็บน้ำ ห้วยสะแบก .....	99
ตาราง 4. 7 ร้อยละของการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก จากการมีส่วนร่วม .....	100
ตาราง 4. 8 จำนวนร้อยละของพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินของกลุ่มตัวอย่าง.....	102
ตาราง 4. 9 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระดับการมีส่วนร่วมส่วนของกลุ่มตัวอย่าง อ่างเก็บน้ำ ห้วยลิงโจน .....	102
ตาราง 4. 10 ร้อยละของการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน จากการมีส่วนร่วม .....	104

ตาราง 4. 11 ค่าพารามิเตอร์ความอ่อนไหวสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำ อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก .....	107
ตาราง 4. 12 ค่าพารามิเตอร์ความอ่อนไหวสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำ อ่างเก็บน้ำห้วยสิงโจน .....	107
ตาราง 4. 13 ค่าดัชนีสำหรับประเมินความแม่นยำของผลการคำนวณจากแบบจำลอง SWAT.....	108
ตาราง 4. 14 ค่าดัชนีสำหรับประเมินความแม่นยำของผลการคำนวณจากแบบจำลอง SWAT.....	109
ตาราง 4. 15 ปริมาณน้ำท่ารวมเฉลี่ยต่อปี .....	110
ตาราง 4. 16 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนปีคาดการณ์และปีฐานตามช่วงฤดูกาล อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก .....	111
ตาราง 4. 17 ปริมาณน้ำท่ารวมเฉลี่ยต่อปี .....	114
ตาราง 4. 18 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนปีคาดการณ์และปีฐานตามช่วงฤดูกาล อ่างเก็บน้ำห้วยสิงโจน.....	115
ตาราง 4. 19 ปริมาณน้ำท่ารายปีที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก ระหว่าง พ.ศ. 2561-2579 กรณี คาดการณ์จากแผนที่ Agri-Map และแผนที่ Agri-Map ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม .....	118
ตาราง 4. 20 ปริมาณน้ำท่ารายปีที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำห้วยสิงโจน ระหว่าง พ.ศ. 2561-2579 กรณี คาดการณ์จากแผนที่ Agri-Map และแผนที่ Agri-Map ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม .....	119
ตาราง 4. 21 เกณฑ์การเก็บกักน้ำของอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบกโค้งควบคุมเดิม (RC0), พิจารณาความถี่ ของการขาดแคลนน้อยที่สุดที่พัฒนาด้วย WDO และ GA จากข้อมูลในอดีต (RC1) และข้อมูลใน อนาคต (RC2) .....	121
ตาราง 4. 22 เกณฑ์การเก็บกักน้ำของอ่างเก็บน้ำห้วยสิงโจนโค้งควบคุมเดิม (RC0), พิจารณาความถี่ ของการขาดแคลนน้อยที่สุดที่พัฒนาด้วย WDO และ GA จากข้อมูลในอดีต (RC1) และข้อมูลใน อนาคต (RC2) .....	123
ตาราง 4. 23 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลส่วนเกินของโค้งควบคุม RC0- OLD, RC1-WDO, RC1-GA, RC2-AGRI และ RC2-AGRI-PAR ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่าในอดีต 22 ปี 1,000 ชุดเหตุการณ์ โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้อยที่สุด .....	126
ตาราง 4. 24 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลส่วนเกินของโค้งควบคุม RC0- OLD, RC1-WDO, RC1-GA, RC2-AGRI และ RC2-AGRI-PAR ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่าในอดีต 22 ปี 1,000 ชุดเหตุการณ์ โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้อยที่สุด .....	127



ตาราง 4. 25 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลส่วนเกินของโค้งควบคุม RC0-OLD, RC1-WDO, RC1-GA, RC2-AGRI และ RC2-AGRI-PAR ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำในอนาคต 19 ปี 1 ชุดเหตุการณ์ กรณีคาดการณ์ Agri-Map ที่โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด .....	129
ตาราง 4. 26 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลส่วนเกินของโค้งควบคุม RC0-OLD OLD, RC1-WDO, RC1-GA, RC2-AGRI และ RC2-AGRI-PAR ด้วยข้อมูลปริมาณ น้ำทำในอนาคต 19 ปี 1 ชุดเหตุการณ์ กรณีคาดการณ์ Agri-Map ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด.....	130
ตาราง 4. 27 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลส่วนเกินของโค้งควบคุม RC0-OLD, RC1-WDO, RC1-GA, RC2-AGRI และ RC2-AGRI-PAR ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำในอดีต 24 ปี 1 ชุดเหตุการณ์ โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้อยที่สุด .....	132
ตาราง 4. 28 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลส่วนเกินของโค้งควบคุม RC0-OLD, RC1-WDO, RC1-GA, RC2-AGRI และ RC2-AGRI-PAR ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำในอดีต 24 ปี 1,000 ชุดเหตุการณ์ โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้อยที่สุด .....	133
ตาราง 4. 29 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลส่วนเกินของโค้งควบคุม RC0-OLD, RC1-WDO, RC1-GA, RC2-AGRI และ RC2-AGRI-PAR ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำในอนาคต 19 ปี .....	135
ตาราง 4. 30 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลส่วนเกินของโค้งควบคุม RC0-OLD, RC1-WDO, RC1-GA, RC2-AGRI และ RC2-AGRI-PAR ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำในอนาคต 19 ปี .....	136

## สารบัญภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบ 2. 1 การยกตัวขึ้นตามแนวตั้งของมวลอากาศร้อน .....	7
ภาพประกอบ 2. 2 สภาพอากาศโดย (a) สภาพอากาศแบบเสถียร และ (b) สภาพอากาศแบบไม่เสถียร.....	7
ภาพประกอบ 2. 3 ลักษณะของเมฆตามความสูง .....	8
ภาพประกอบ 2. 4 ปริมาณฝนเฉลี่ยคาบ 30 ปี ระหว่างปี พ.ศ. 2514 - พ.ศ. 2543.....	10
ภาพประกอบ 2. 5 วัฏจักรของอุทกวิทยา (Hydrologic Cycle).....	11
ภาพประกอบ 2. 6 กระบวนการทางอุทกวิทยา (Hydrologic Processes).....	11
ภาพประกอบ 2. 7 กลุ่มน้ำและการแบ่งกลุ่มน้ำ.....	13
ภาพประกอบ 2. 8 กลุ่มน้ำหลักของประเทศไทย.....	15
ภาพประกอบ 2. 9 กระบวนการเปลี่ยนน้ำฝนเป็นน้ำท่า.....	16
ภาพประกอบ 2. 10 ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอนาคตจากรายงานของ IPC.....	22
ภาพประกอบ 2. 11 วัฏจักรของอุทกวิทยา .....	31
ภาพประกอบ 2. 12 เกณฑ์การติดตั้งเครื่องมือวัดน้ำฝน .....	34
ภาพประกอบ 2. 13 แนวคิดการเกิดน้ำท่าในแบบจำลอง SWAT .....	37
ภาพประกอบ 2. 14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำไหลบ่าบนผิวดินกับน้ำฝนรายวันและค่า CN ..	39
ภาพประกอบ 2. 15 การแบ่งปริมาตรอ่างเก็บน้ำ .....	46
ภาพประกอบ 2. 16 เกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน .....	47
ภาพประกอบ 2. 17 ขั้นตอนการทำงานของ WDO .....	52
ภาพประกอบ 3. 1 แผนผังกระบวนการดำเนินงาน.....	62
ภาพประกอบ 3. 2 พื้นที่ศึกษา อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก และอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน.....	63
ภาพประกอบ 3. 3 แผนผังการไหล กลุ่มน้ำลำเซบาย .....	64
ภาพประกอบ 3. 4 ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก .....	66

หน้า

ภาพประกอบ 3. 5 ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน.....	68
ภาพประกอบ 3. 6 ตำแหน่งพิกัดกริดจำนวน 8 จุด ในพื้นที่อ่างเก็บน้ำ .....	71
ภาพประกอบ 3. 7 แผนที่ Agri-Map อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก.....	74
ภาพประกอบ 3. 8 แผนที่ Agri-Map อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน .....	75
ภาพประกอบ 3. 9 การเข้าร่วมรับฟังความคิดเห็นของประชาชน .....	76
ภาพประกอบ 3. 10 ให้ความรู้ความเข้าใจแก่ผู้มีส่วนร่วม.....	76
ภาพประกอบ 3. 11 ทหารเรือและเปิดโอกาสให้ผู้มีส่วนร่วมได้แสดงความคิดเห็น .....	77
ภาพประกอบ 3. 12 ขั้นตอนการหาปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลองโดยตรง .....	79
ภาพประกอบ 3. 13 ขั้นตอนการหาปริมาณน้ำท่าจากแผนข้อมูลการใช้ที่ดิน .....	80
ภาพประกอบ 3. 14 แผนผังการทำงานหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมด้วยเทคนิค WDO.....	83
ภาพประกอบ 4. 1 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนระหว่าง พ.ศ. 2540-2560 จากสถานีตรวจวัด เปรียบเทียบกับ PRECIS กรณี B2 ก่อนการปรับลดความคลาดเคลื่อน.....	89
ภาพประกอบ 4. 2 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนระหว่าง พ.ศ. 2540-2560 จากสถานีตรวจวัด เปรียบเทียบกับ PRECIS กรณี B2 เมื่อปรับลดความคลาดเคลื่อนแล้ว.....	90
ภาพประกอบ 4. 3 อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือนระหว่าง พ.ศ. 2540-2560 จากสถานี ตรวจวัดเปรียบเทียบกับ PRECIS กรณี B2 ก่อนการปรับลดความคลาดเคลื่อน.....	91
ภาพประกอบ 4. 4 อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือนระหว่าง พ.ศ. 2540-2560 จากสถานี ตรวจวัดเปรียบเทียบกับ PRECIS กรณี B2 เมื่อปรับลดความคลาดเคลื่อนแล้ว.....	91
ภาพประกอบ 4. 5 การเปรียบเทียบปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนปฐฐาน (พ.ศ. 2540-2560) กับปอนาคต (พ.ศ. 2561-2579) ระหว่างสถานีตรวจวัดกับ PRECIS.....	92
ภาพประกอบ 4. 6 เปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือนปฐฐาน (พ.ศ. 2540-2560) กับปอนาคต (พ.ศ. 2561-2579) ระหว่างสถานีตรวจวัดกับ PRECIS .....	92
ภาพประกอบ 4. 7 ปริมาณฝน อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด ระหว่าง พ.ศ. 2561-2579 ที่คำนวณได้ จาก PRECIS กรณี B2.....	93

หน้า

ภาพประกอบ 4. 8	แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ลุ่มน้ำอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน พ.ศ. 2560...	95
ภาพประกอบ 4. 9	แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ลุ่มน้ำอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน พ.ศ. 2560...	95
ภาพประกอบ 4. 10	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินพื้นที่ลุ่มน้ำอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบกระหว่าง พ.ศ. 2561-2579 .....	97
ภาพประกอบ 4. 11	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินพื้นที่ลุ่มน้ำอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจนระหว่าง พ.ศ. 2561-2579 .....	97
ภาพประกอบ 4. 12	ปรับแก้แผนที่การใช้ที่ดินพื้นที่ลุ่มน้ำอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก.....	101
ภาพประกอบ 4. 13	ปรับแก้แผนที่การใช้ที่ดินพื้นที่ลุ่มน้ำอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน .....	105
ภาพประกอบ 4. 14	การเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าระหว่างข้อมูลจากอ่างเก็บน้ำและผลการคำนวณจากแบบจำลองระหว่าง พ.ศ. 2548-2554 อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก.....	108
ภาพประกอบ 4. 15	การเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าระหว่างข้อมูลจากอ่างเก็บน้ำและผลการคำนวณจากแบบจำลองระหว่าง พ.ศ. 2548-2554 อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน.....	109
ภาพประกอบ 4. 16	การเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนระหว่างผลการคำนวณจากแบบจำลองปีคาดการณ์และข้อมูลจากอ่างเก็บน้ำปีฐาน อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก.....	112
ภาพประกอบ 4. 17	ปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง กรณีคาดการณ์จากแผนที่ Agri-Map.....	113
ภาพประกอบ 4. 18	ปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง กรณีคาดการณ์จากแผนที่ Agri-Map.....	113
ภาพประกอบ 4. 19	การเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนระหว่างผลการคำนวณจากแบบจำลองปีคาดการณ์และข้อมูลจากอ่างเก็บน้ำปีฐาน อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน .....	115
ภาพประกอบ 4. 20	ปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง กรณีคาดการณ์จากแผนที่ Agri-Map.....	116
ภาพประกอบ 4. 21	ปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง กรณีคาดการณ์จากแผนที่ Agri-Map.....	116
ภาพประกอบ 4. 22	ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบกในอนาคต กรณีคาดการณ์จากแผนที่ Agri-Map และแผนที่ Agri-Map ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม.....	117
ภาพประกอบ 4. 23	ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจนในอนาคต กรณีคาดการณ์จากแผนที่ Agri-Map และแผนที่ Agri-Map ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม .....	120

หน้า

ภาพประกอบ 4. 24 โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก เชื่อมต่อกับแบบจำลองเลียนแบบสถานการณ์อ่างเก็บน้ำโดยพิจารณาความถี่ของการขาดแคลนน้ำที่น้อยที่สุด..... 121

ภาพประกอบ 4. 25 โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยลึงโจนกับแบบจำลองเลียนแบบสถานการณ์อ่างเก็บน้ำโดยพิจารณาความถี่ของการขาดแคลนน้ำที่น้อยที่สุด..... 122

ภาพประกอบ ข. 1 เรียกประชุมผู้มีส่วนร่วม อ่างเก็บน้ำห้วยลึงโจน..... 152

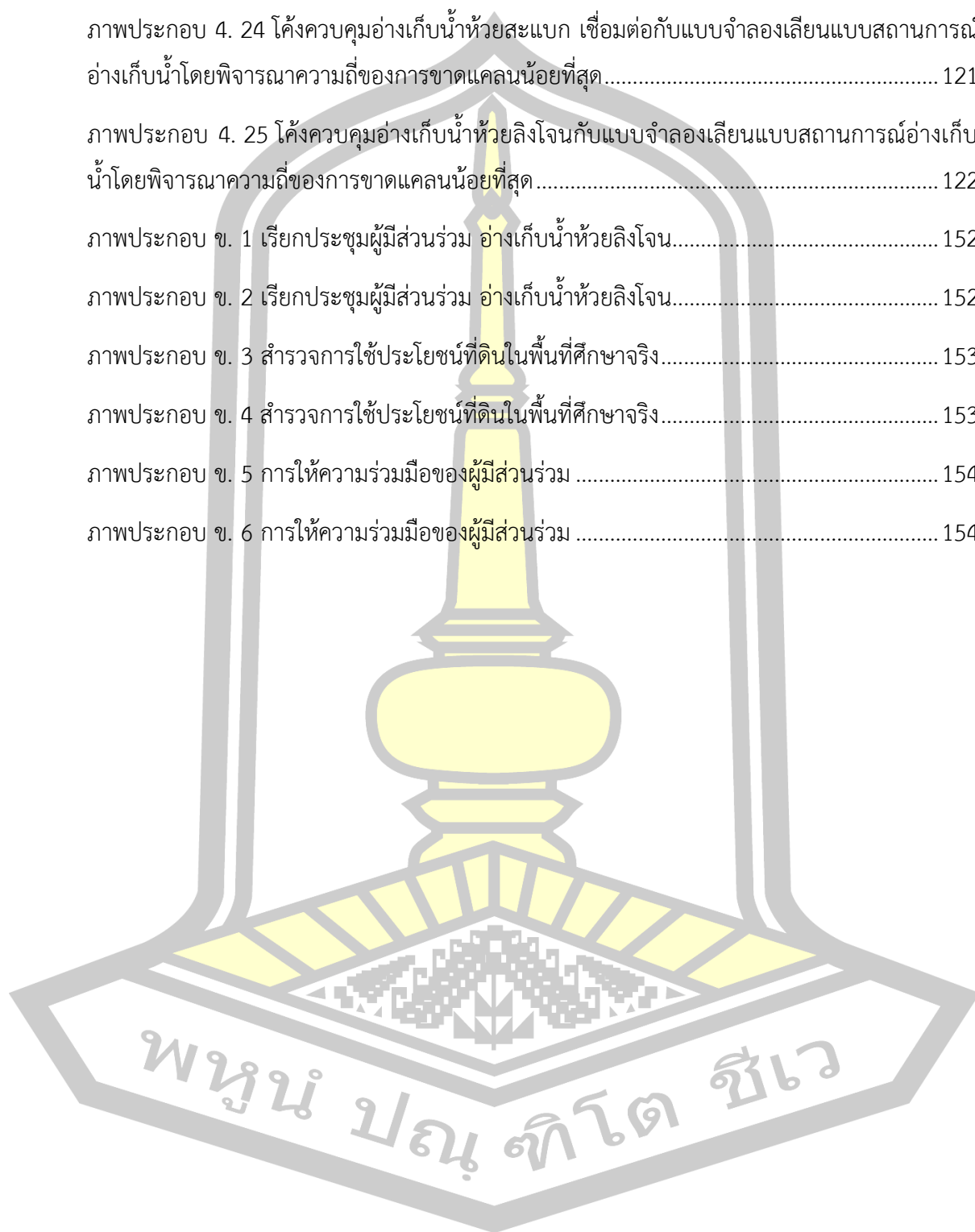
ภาพประกอบ ข. 2 เรียกประชุมผู้มีส่วนร่วม อ่างเก็บน้ำห้วยลึงโจน..... 152

ภาพประกอบ ข. 3 สํารวจการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษาจริง..... 153

ภาพประกอบ ข. 4 สํารวจการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษาจริง..... 153

ภาพประกอบ ข. 5 การให้ความร่วมมือของผู้มีส่วนร่วม ..... 154

ภาพประกอบ ข. 6 การให้ความร่วมมือของผู้มีส่วนร่วม ..... 154



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

“น้ำ” เป็นทรัพยากรที่มีความสำคัญและมีอยู่อย่างจำกัด และมีความจำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบันนี้ปัญหาทรัพยากรน้ำเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อประเทศไทย ไม่ว่าจะเป็นการเกิดอุทกภัยหรือปัญหาภัยแล้ง ซึ่งแต่ละปัญหาก็คงส่งผลกระทบต่อแตกต่างกันไปและรุนแรงมากขึ้นเรื่อยๆ ปัญหาเหล่านี้มีสาเหตุมาจากสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลง (Climate change) (Kumar et al., 2017) เมื่อสภาพอากาศเปลี่ยนแปลงส่งผลให้สมดุลในลุ่มน้ำนั้นเปลี่ยนแปลงไปเช่น การไหลบ่า หรือการระเหยของน้ำ (Kundu et al., 2017) ในบางพื้นที่อาจมีฝนตกมากเกินไป หรือในบางพื้นที่ปริมาณน้ำฝนไม่เพียงพอต่อความต้องการ ทำให้เกิดปัญหาต่างๆ ตามมารวมถึงการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (Land use change) ซึ่งในปัจจุบันนี้มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการเติบโตและเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร และความต้องการใช้ที่ดินไปกับกิจกรรมต่างๆทำให้พื้นที่รับน้ำฝนมีสภาพที่เปลี่ยนแปลงไป (Gashaw et al., 2018) และมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนไปเป็นพื้นที่ที่น้ำซึมผ่านได้ยากมากขึ้น ก่อให้เกิดปริมาณน้ำไหลบ่าที่พื้นผิวเพิ่มมากขึ้น (Pancheewan et al., 2016) ซึ่งปัญหานี้จะส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิต และเสียหายทั้งชีวิตและทรัพย์สิน การจัดการในอดีตที่ผ่านมา ได้มีการสร้างสิ่งก่อสร้างที่จะช่วยบรรเทาปัญหาเหล่านี้ ไม่ว่าจะเป็น สระเก็บน้ำ คลอง ฝาย เขื่อน รวมถึงอ่างเก็บน้ำ

“อ่างเก็บน้ำ” มีหน้าที่หลักที่สำคัญอยู่ 2 ประการคือ เก็บกักน้ำให้ได้ในปริมาณที่มากที่สุด เพื่อที่จะป้องกันปัญหาการขาดแคลนน้ำในช่วงหน้าแล้ง และอีกหนึ่งประการหนึ่งคือการรองรับปริมาณน้ำฝนที่จะเกิดขึ้น เพื่อป้องกันปัญหาอุทกภัย โดยการปล่อยน้ำในอ่างเก็บน้ำไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ ให้หมด เพื่อรองรับการมาของปริมาณน้ำฝน ทำให้อ่างเก็บน้ำสามารถรองรับน้ำฝนได้จนถึงฝนก่อนสุดท้าย น้ำที่อ่างเก็บน้ำเก็บกักไว้สามารถนำไปใช้อุปโภคบริโภคได้ตามต้องการเช่นด้านการเกษตร น้ำในอ่างเก็บน้ำนี้สามารถส่งไปตามท่อต่างๆ เพื่อใช้ตาม ไร่นา ปลูกพืช เลี้ยงสัตว์ หรือสามารถนำไปเป็นน้ำต้นทุนในการผลิตน้ำประปาเพื่อใช้ตามหมู่บ้านได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าหน้าที่หลักของอ่างเก็บน้ำทั้ง 2 ประการเป็นสิ่งที่มีความขัดแย้งกันคือ ประการหนึ่งต้องการให้น้ำเต็มอ่างเก็บน้ำซึ่งอาจจะเก็บน้ำให้เต็มตั้งแต่ฝนก้อนแรกแต่อีกประการต้องการให้อ่างมีปริมาณน้ำที่น้อยเพื่อที่จะรองรับน้ำฝนที่จะไหลเข้าอ่าง ซึ่งถ้าต้องการเก็บน้ำให้เต็มตั้งแต่ฝนก้อนแรก อ่างเก็บน้ำก็จะไม่สามารถรองรับน้ำฝนที่จะมาจนถึงสิ้นสุดฤดูกาลได้ ดังนั้นเมื่อต้องการให้อ่างเก็บน้ำทำหน้าที่ได้

อย่างเต็มประสิทธิภาพจำเป็นจะต้องมีการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ เพื่อที่จะวางแผนและจัดการอ่างเก็บน้ำให้มีความเหมาะสมและอยู่ในจุดที่มีความสมดุลระหว่างหน้าที่หลักทั้งสองประการ

การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ คือการวางแผนสภาพอนาคตให้เป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้ รวมทั้งการวางแผนแก้ไขปัญหาที่จะเกิดขึ้น ดังนั้นการวางแผนสภาพอนาคตจึงจำเป็นจะต้องมีความแม่นยำ โดยเฉพาะการคาดการณ์ปริมาณน้ำที่จะไหลเข้าอ่างและการปล่อยน้ำออกจากอ่าง เป็นข้อมูลพื้นฐานที่มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการวางแผน เพื่อที่จะไม่ให้เกิดทั้งอุทกภัยและปัญหาภัยแล้ง และยังคงเพียงพอสำหรับความต้องการ การคำนวณปริมาณน้ำที่จะไหลเข้าอ่างมีอยู่หลายวิธี เช่น Rational method, Theissen method, Us Soil Conservation Service (S.C.S) แต่วิธีที่ได้รับการยอมรับคือ การใช้แบบจำลอง SWAT (Soil and Water Assessment Tool) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือเพื่อวิเคราะห์และอธิบายสภาพทางอุทกวิทยาได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง (หริส ประสานฉ่ำ, 2559) สามารถประเมินปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินโดยอ้างอิงจากข้อมูลการใช้ที่ดิน (Land use map) ข้อมูลชนิดของดิน (Soil type map) และข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (Climate data) (Kundu et al., 2017) อย่างไรก็ตามการประเมินปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเพื่อบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำนั้น ยังอยู่บนความไม่แน่นอนและมีความเสี่ยง ความไม่แน่นอนที่กล่าวมาเกิดมาจากสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลง และการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ส่งผลให้ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างมีปริมาณที่ไม่เท่ากัน (Thoeun, 2015) ดังนั้นถ้าเราสามารถทราบถึงความไม่แน่นอนในส่วนนี้ จะทำให้เราจัดการกับปริมาณน้ำฝนที่เกิดมาจากการเปลี่ยนแปลงนี้ได้ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศนั้นเราไม่สามารถจัดการในส่วนนี้ได้ เพียงแต่ต้องยอมรับสภาพและเตรียมแผนรองรับปัญหาที่จะเกิดขึ้น แต่ในส่วนของ การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินนั้นสามารถที่จะทราบถึงสภาพการใช้ที่ดินในพื้นที่เหนืออ่างเก็บน้ำจากตามสภาพความเป็นจริงได้

การสร้างข้อมูลการใช้ที่ดินที่จะเกิดขึ้นในอนาคต สามารถหาได้จากหลายวิธีด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็น Agri-Map ซึ่งเป็นแผนที่เกษตรเพื่อการบริหารจัดการเชิงรุกโดยบูรณาการโดยพัฒนาจากข้อมูลพื้นฐานด้านการเกษตรจากทุกหน่วยงานในสังกัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ใช้สำหรับติดตามข้อมูลความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้อง รอบด้าน ครอบคลุมการนำไปใช้ประโยชน์ทุกด้านของประเทศไทย หรืออีกหนึ่งวิธีที่ได้รับการยอมรับนำมาสร้างข้อมูลการใช้ที่ดินในอนาคตคือการใช้แบบจำลองต่างๆ ที่มีอยู่มากมาย ทำให้ทราบถึงการกระจายการใช้ที่ดินอย่างเป็นรูปแบบได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น (Du et al., 2012) อย่างไรก็ตามแบบจำลองต่างๆ เหล่านี้ ยังไม่สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงที่เกิดขึ้น เนื่องจากยังขาดส่วนที่สำคัญอย่างยิ่ง คือขาดการร่วมมือของผู้ที่มีส่วนร่วมหรือผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสียในการใช้น้ำ ซึ่งผู้มีส่วนร่วมเหล่านี้จะทราบถึงการใช้พื้นที่เหนืออ่างเก็บน้ำตามสภาพความเป็นจริง ทำให้การคาดการณ์ปริมาณน้ำจากแบบจำลองมีสภาพใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด และมีประสิทธิภาพสูงสุด

กระบวนการมีส่วนร่วม คือการให้ผู้ที่มีส่วนได้เสียในทุกระดับเข้ามามีบทบาทในการตัดสินใจวางแผนบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ การมีส่วนร่วมอย่างแท้จริงทำให้เกิดความชอบธรรมและการจัดการน้ำที่ได้รับการยอมรับ เพื่อนำไปสู่การนำไปปฏิบัติจริงอย่างเป็นรูปแบบ สามารถขับเคลื่อนได้ทันที และยังทำให้ทราบถึงการใช้เปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในพื้นที่เหนืออ่างเก็บน้ำที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง โดยผู้มีส่วนร่วมจะมีหน้าที่ เช่น การมีส่วนร่วมในกระบวนการวางแผน การพัฒนาการมีส่วนร่วมในการวางแผนการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำเพื่อลดความขัดแย้ง (Apipalukul et al., 2015) ซึ่งปัจจัยหนึ่งที่ควรพิจารณาคือระดับการมีส่วนร่วม ซึ่งมีผลอย่างมากต่อการเข้าร่วมมีส่วนร่วม (โสภิตา สุรินทะ, 2553) เมื่อต้องการความร่วมมือจะต้องมีการวางแผนและประเมินสภาพแวดล้อมของคนในพื้นที่นั้นอย่างดี (Jingling et al., 2010) รวมถึงวางกรอบให้ครอบคลุม ซึ่งในแต่ละภูมิภาคอาจมีการสร้างแบบจำลองการมีส่วนร่วมที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับกรอบและการวางแผน (Carrera et al., 2017)

อีกส่วนหนึ่งที่สำคัญในการบริหารจัดการน้ำ คือการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำหรือเรียกว่า การจัดสรรน้ำ คือการนำน้ำที่กักเก็บไว้ในอ่างไปใช้ประโยชน์ทั้งทางด้านอุปโภค-บริโภค ด้านการเกษตร เป็นต้น ดังนั้นการที่จะจัดสรรน้ำให้เพียงพอสำหรับความต้องการและไม่ก่อให้เกิดปัญหา น้ำในอนาคต จึงจำเป็นต้องมีการบริหารจัดการ ซึ่งเครื่องมือที่สำคัญที่ช่วยประกอบการตัดสินใจ เพื่อที่จะจัดสรรน้ำคือ โค้งควบคุมการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Rule Curves) ซึ่งประกอบไปด้วย โค้งควบคุมเส้นบน (Upper Rule Curves) และโค้งควบคุมเส้นล่าง (Lower Rule Curves) ซึ่งเป็นเส้นที่บ่งบอกถึงขอบเขตบนและล่างของระดับควบคุมอ่างเก็บน้ำ โดยการบริหารอ่างเก็บน้ำนั้น จะพยายามควบคุมระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำให้อยู่ภายใต้โค้งควบคุมนี้ให้ได้มากที่สุด ซึ่งโค้งควบคุมนี้เรียกว่าเป็นการบริหารจัดการน้ำในระยะยาว เมื่อใช้ไประยะหนึ่งประสิทธิภาพก็จะด้อยลง จึงจำเป็นต้องปรับปรุงโค้งควบคุมให้มีประสิทธิภาพใหม่ (อนงคฤทธิ์ แข็งแรง, 2551)

การปรับปรุงโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำก็คือการปรับจุด 24 จุดซึ่งเป็นตัวแทนของแต่ละเดือนของ โค้งควบคุมเส้นบนและโค้งควบคุมเส้นล่าง ร่วมกับแบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำ เพื่อหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมต่อสถานการณ์อ่างเก็บน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งได้มีการประยุกต์ใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization Technique) มาค้นหาคำตอบของโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ เพื่อหาค่าทั้ง 24 จุดที่เหมาะสมที่สุดต่อสถานการณ์อ่างเก็บน้ำ เช่น โปรแกรมพลวัต (Dynamic Programming) หรือเทคนิคที่ได้จากการพัฒนามาจากทฤษฎีวิวัฒนาการก็เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการหาค้นหาคำตอบ เช่น เจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm) (Kangrang and Chaleerak-Trakoon., 2007) เทคนิคอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization) (เชษฐพันธ์, 2555) และ เทคนิคฮาร์โมนีซีร์ซ (Harmony Search) (ปรกรณ์ และ ปรกรณ์, 2018) ซึ่งได้มีผู้วิจัยที่นำเทคนิคต่างๆเหล่านี้มาปรับใช้ในการค้นหาคำตอบของโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ อีกหนึ่งเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการค้นหาค่าที่เหมาะสม คือเทคนิค Wind Driven Optimization ซึ่งเป็นการ



วิวัฒนาการจากการเคลื่อนที่ของลมในชั้นบรรยากาศ อย่างไรก็ตามแต่ วิธีนี้เป็นวิธีที่ไม่ค่อยได้รับความนิยมนัก แต่เป็นอีกหนึ่งวิธีที่ผู้เข้าหาคำตอบได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ (Pandey and Parhi, 2017) เหมาะที่จะเลือกนำมาประยุกต์ใช้ในการหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ

จากงานวิจัยที่ผ่านมาถึงแม้จะมีการจัดการน้ำโดยกระบวนการมีส่วนร่วม แต่เป็นเพียงการมีส่วนร่วมในการเข้ารับฟังปัญหา สรรวจพฤติกรรมกรรมการใช้น้ำ หรือเข้าร่วมในการจัดสรรน้ำเพียงเท่านั้น ยังไม่มีการมีส่วนร่วมที่ให้ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องเข้ามาช่วยในการคาดการณ์ปริมาณน้ำที่จะไหลเข้าอ่างอย่างแท้จริง โดยการให้ข้อมูลพื้นที่เหนืออ่างเก็บน้ำซึ่งจะทำให้การคาดการณ์ปริมาณน้ำนั้นมีความแม่นยำใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาเพื่อประเมินปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ โดยกระบวนการมีส่วนร่วม และค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม โดยใช้เทคนิค Wind Driven Optimization (WDO)

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก และการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ โดยกระบวนการมีส่วนร่วม
2. เพื่อศึกษาการปรับปรุงโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม โดยใช้เทคนิค Wind Driven Optimization (WDO)

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

ในการประเมินปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบกและอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน โดยกระบวนการมีส่วนร่วมจากข้อมูลการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินจาก Agri-Map ใช้ข้อมูลการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศจากแบบจำลอง PRECIS โดยแบบจำลอง SWAT มีขอบเขตการวิจัยและข้อจำกัดดังต่อไปนี้

### 1. พื้นที่ศึกษา

1.1 อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน ตั้งอยู่ที่บ้านหนองบึง ตำบลห้องแซง อำเภอเลิงนกทา จังหวัดยโสธร อยู่ทีบริเวณ ละติจูด 16.15 องศาเหนือ ลองจิจูด 104.36 องศาตะวันออก หรือที่พิกัด 48 QVC 367 - 960 ระวัง 5841 II เป็นอ่างเก็บน้ำขนาดกลางของกรมชลประทาน พื้นที่เหนืออ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจนพื้นที่รับน้ำฝน 48 ตารางกิโลเมตร

1.2 อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก ตั้งอยู่ที่บ้านป่าซ้อย่าง ตำบลบุงคำ อำเภอเลิงนกทา จังหวัดยโสธร อยู่ที่บริเวณ ละติจูด 16.86 องศาเหนือ ลองจิจูด 104.66 องศาตะวันออก หรือที่พิกัด 48 QVC 668 - 860 ระวัง 5941 III เป็นอ่างเก็บน้ำขนาดกลางของกรมชลประทาน พื้นที่เหนืออ่างเก็บน้ำห้วยสะแบกพื้นที่รับน้ำฝน 54 ตารางกิโลเมตร

## 2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แบบจำลอง SWAT เวอร์ชัน 2012 เพื่อใช้ประเมินปริมาณน้ำท่า
2. แบบจำลอง PRECIS เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลสภาพภูมิอากาศแบบจำลอง
3. แผนที่เกษตรเพื่อการบริหารจัดการเชิงรุก (Agri-Map)
4. ใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธี Wind Driven Optimization (WDO) สำหรับการปรับปรุงโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ
3. ข้อมูลช่วงปีฐานสำหรับข้อมูลสภาพภูมิอากาศ จำนวน 21 ปี คือระหว่างปี พ.ศ. 2540 – 2560 และศึกษาช่วงปีอนาคต 19 ปี คือระหว่างปี พ.ศ. 2561 – 2579
4. ข้อมูลช่วงปีฐานสำหรับข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากสถานีวัด จำนวน 8 ปี คือระหว่างปี พ.ศ. 2548 – 2554 และ ปี พ.ศ.2560 และศึกษาช่วงปีอนาคต 19 ปี คือระหว่างปี พ.ศ. 2561 – 2579
5. การคาดการณ์สถานการณ์สภาพภูมิอากาศโลกตามการเปลี่ยนแปลงของก๊าซเรือนกระจก โดยใช้กรณี B2
6. พื้นที่การมีส่วนร่วม คือพื้นที่เหนืออ่างเก็บน้ำ ในขอบเขตพื้นที่รับน้ำของอ่างเก็บน้ำ โดยจะหาแนวทางจัดการการใช้ประโยชน์ที่ดินร่วมกัน
7. ปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้ มีหน่วยเป็นรายเดือน

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แบบจำลองการไหลของน้ำฝน เพื่อที่จะวิเคราะห์ประเมินค่าปริมาณน้ำที่จะไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ รวมถึงระดับน้ำ และการเคลื่อนที่ของน้ำ
2. สามารถประเมินปริมาณน้ำที่จะไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงความเป็นจริงโดยใช้แบบจำลองได้
3. สามารถใช้เทคนิค WDO พัฒนาและปรับปรุงโค้งควบคุมที่เหมาะสมได้
4. สามารถนำงานวิจัยนี้ไปช่วยในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจนและห้วยสะแบก เพื่อช่วยลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นต่อชีวิตและทรัพย์สินได้ต่อไป

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

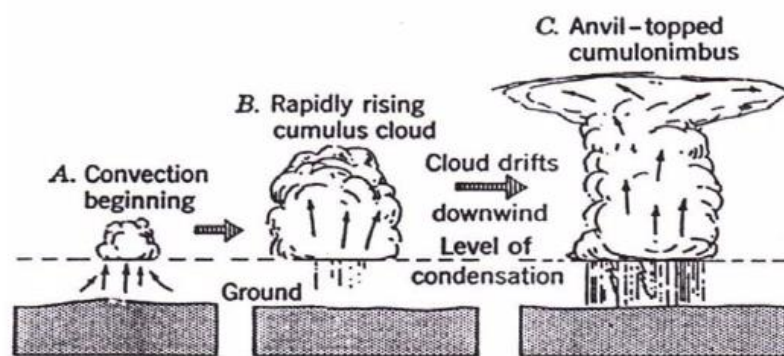
การวิจัย เรื่อง การประเมินปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ด้วยกระบวนการมีส่วนร่วม ผู้วิจัยได้ค้นคว้าเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามลำดับดังต่อไปนี้

1. ทฤษฎีการเกิดน้ำฝน
2. วัฏจักรของอุทกวิทยา
3. ระบบลุ่มน้ำ
4. กระบวนการเปลี่ยนน้ำฝนเป็นน้ำท่า
5. แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ
6. แผนที่เกษตรเพื่อการบริหารจัดการเชิงรุก (Agri-Map)
7. แบบจำลองด้านอุทกวิทยา
8. แนวคิดการมีส่วนร่วม
9. การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ
10. เทคนิค Wind Driven Optimization (WDO)
11. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

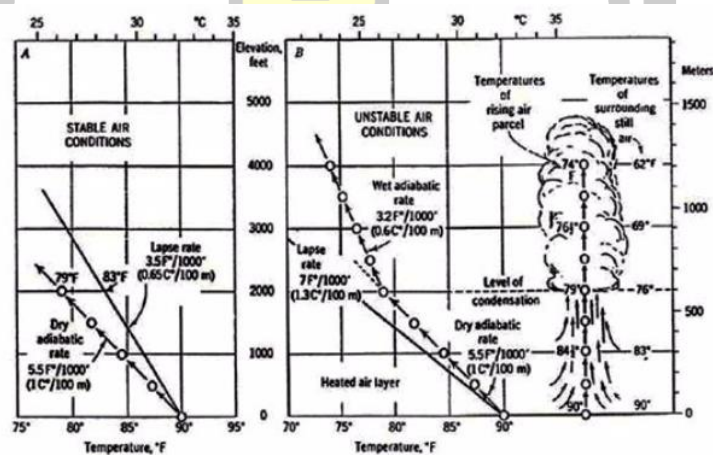
#### 2.1 ทฤษฎีการเกิดน้ำฝน

ฝนหรือน้ำจากอากาศหมายถึงการที่ไอน้ำที่อยู่ในบรรยากาศซึ่งเย็นตัวลงและควบแน่นรวมกัน ทำให้มีขนาดโตขึ้นและมีน้ำหนักมากขึ้นจนไม่สามารถลอยอยู่ในบรรยากาศจึงตกลงสู่พื้นดิน มวลน้ำดังกล่าวรวมเรียกว่าหยาดน้ำฟ้า (Precipitation) ตกลงมาสู่พื้นดินในลักษณะต่างๆ ทั้งของเหลวคือน้ำฝน (Rain) หรือเป็นของแข็งเช่น ลูกเห็บ (Hail) และหิมะ (Snow) เป็นต้น ฝนเกิดจากการพาความร้อนมักเกิดในฤดูร้อนที่ท้องฟ้าแจ่มใสพื้นดินได้รับความร้อนเต็มที่ทำให้อากาศบริเวณนั้นร้อนกว่าบริเวณใกล้เคียง มวลอากาศถูกยกตัวสูงขึ้นเพราะเบากว่าอากาศโดยรอบ ขณะที่มวลอากาศลอยตัวขึ้นจะเย็นตัวลงโดยไม่รับและสูญเสียความร้อนและไม่มีการควบแน่น (Dry Adiabatic Lapse Rate) จนถึงจุดหนึ่งที่อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature) จะควบแน่นเป็นละอองน้ำและรวมตัวกันเป็นเมฆ กอตัวในแนวตั้งคล้ายรูปดอกเห็ดเรียกว่า เมฆคิวมูโลนิมบัส

(Cumulo-nimbus) และมีหยาดน้ำฟ้าตกลงมาจากฐานเมฆดังรูป 2.1 และสามารถอธิบายการลดลงของอุณหภูมิได้ดังรูป 2.2 กล่าวคือมวลอากาศ (Air Parcel) ยกตัวขึ้นจากพื้นดินที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียสสูงขึ้นไป 600 เมตร อุณหภูมิลดลงประมาณ 6 องศาเซลเซียส เหลือ 26 องศาเซลเซียส ขณะที่อากาศโดยรอบเย็นลง 4 องศาเซลเซียส เหลือ 28 องศาเซลเซียส ซึ่งมวลอากาศจะเย็นกว่าอากาศโดยรอบที่ระดับ 600 เมตร ถ้าไม่มีแรงยกขึ้นมวลอากาศจะลดต่ำลงไปที่เดิมในสภาพแบบนี้เรียกว่า สภาวะอากาศเสถียร (Stable Air) ซึ่งจะไม่เกิดการพาความร้อน (Convection) เพราะอากาศต่อต้านการยกตัวดังกล่าว



ภาพประกอบ 2. 1 การยกตัวขึ้นตามแนวตั้งของมวลอากาศร้อน  
ที่มา: Strahler (1979)



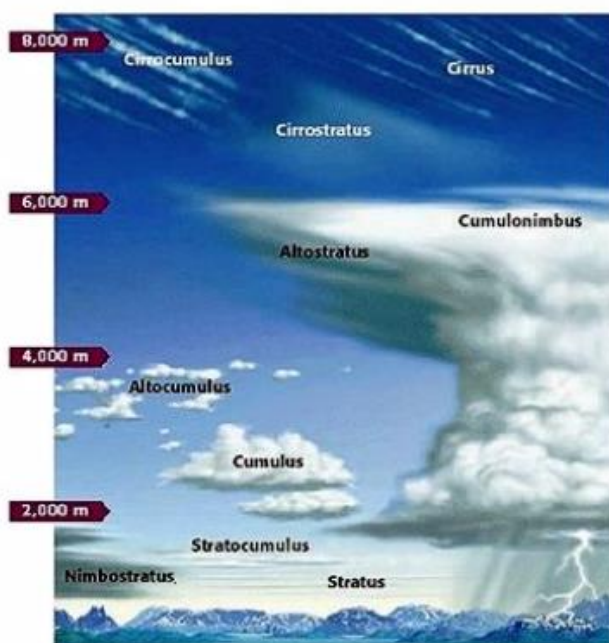
ภาพประกอบ 2. 2 สภาพอากาศโดย (a) สภาพอากาศแบบเสถียร และ (b) สภาพอากาศแบบไม่เสถียร

ที่มา: Strahler (1979)

สำหรับสาเหตุการเกิดของฝนสามารถจำแนกได้เป็น 4 วิธี คือ

### 2.1.1 ฝนเกิดจากการพาความร้อน (Convictional precipitation)

ฝนเกิดจากการพาความร้อนหรือฝนจากกระแสอากาศไหลลอยขึ้นในแนวตั้ง เป็นฝนที่ส่วนใหญ่จะเกิดในฤดูร้อนที่ท้องฟ้าแจ่มใส พื้นดินได้รับความร้อนเต็มที่ทำให้อากาศบริเวณนั้นร้อนกว่าบริเวณใกล้เคียงส่งผลให้มวลอากาศที่ร้อนและเบาถูกยกตัวสูงขึ้นมวลอากาศที่ลอยตัวขึ้นจะเริ่มเย็นตัวลง โดยไม่รับหรือสูญเสียความร้อนและไม่มีการควบแน่นเมื่อมวลอากาศลอยถึงระดับความสูงที่อุณหภูมิต่ำกว่าอากาศโดยรอบจะกลั่นตัวเป็นละอองน้ำและรวมตัวกันเป็นเมฆที่ก่อตัวในแนวตั้งดังแสดงในภาพประกอบ 2.3 โดยมีฝนตกลงมาจากฐานเมฆฝนประเภทนี้เป็นฝนที่ตกในช่วงเวลาสั้นๆ อาจตกหนักได้แต่ก็หยุดเร็ว และตกเฉพาะแห่งในบริเวณแคบๆ



ภาพประกอบ 2. 3 ลักษณะของเมฆตามความสูง  
ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2553)

### 2.1.2 ฝนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ผานภูเขา (Orographic precipitation)

ฝนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ผานภูเขา การเกิดฝนแบบนี้จะเกี่ยวข้องกับภูมิประเทศที่มีการยกตัวสูงชันอย่างฉับพลัน โดยมวลอากาศจะเคลื่อนที่ผานภูเขาและถูกบังคับให้ยกตัวขึ้น ด้านที่อากาศถูกยกขึ้นจะเย็นตัวลงแบบไม่ได้รับและสูญเสียความร้อนถ้ายันตัวลงเพียงพอก็จะเกิดฝนได้ มวลอากาศหลังจากผานภูเขาไปทางด้านหลังจะร้อนขึ้นแบบไม่ได้รับและสูญเสียความร้อนเช่นเดียวกัน แต่ไม่มีความชื้นหลงเหลืออยู่ที่สามารถจะทำให้เกิดฝนจึงเกิดความแห้งแล้ง แถบของ

ความแห้งแล้งนี้เรียกว่า เขตเงาฝน ซึ่งมักเกิดด้านหลังของภูเขา ฝนประเภทนี้ส่วนมากมักตกเพียงเบา บางทางด้านต้นลมของภูเขา แต่จะมีฝนตกหนักถึงหนักมาก ถ้ามีลักษณะของกระแสลมวนกำลังแรง หรือการยกตัวของอากาศขึ้นสู่เบื้องบนอย่างรวดเร็วมาประกอบ

### 2.1.3 ฝนมรสุม (Monsoon rain)

ฝนมรสุม เป็นฝนที่เกิดขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของร่องมรสุมซึ่งเป็นแนวปะทะระหว่างอากาศซีกโลกเหนือและซีกโลกใต้ที่คดไปรอบๆโลก เกิดขึ้นเนื่องจากโลกที่หมุนรอบตัวเอง จากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออกและที่ละจุดต่ำประมาณ 0-30 องศาเหนือและใต้นั้น โลกจะหมุนเร็ว ความवलอากาศที่ห่อหุ้มโลกอยู่ จึงเกิดลักษณะลมจากฝ่ายตะวันออกขึ้นเรียกว่า ลมสินค้าจากเส้นศูนย์สูตรขึ้นไปทางซีกโลกเหนือ เรียกลมสินค้าตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนในซีกโลกใต้ เรียกลมสินค้าตะวันออกเฉียงใต้ ลมทั้งสองชนิดพัดสอบเข้าหากันในแนวใกล้เส้นศูนย์สูตรหรือเรียกว่าแนวลมพัดสอบในเขตร้อนหรือร่องความกดอากาศต่ำเพราะเป็นแนวที่มีความกดอากาศต่ำมวลอากาศมีการยกตัวขึ้นสู่เบื้องบน มีการก่อตัวของเมฆจึงทำให้มีฝนตกชุก โดยเฉพาะเมื่อมีกระแสลมวนอยู่ในแนวนี้ด้วยจะทำให้มีฝนตกหนักได้ซึ่งแนวร่องนี้จะเคลื่อนออกจากเส้นศูนย์สูตรไปทางซีกโลกเหนือหรือใต้ตามฤดูกาลซึ่งจะทำให้เกิดฝนตกในบริเวณร่องมรสุมและเกิดฝนทิ้งช่วงในพื้นที่ที่ร่องความกดอากาศเคลื่อนที่ผ่านไป

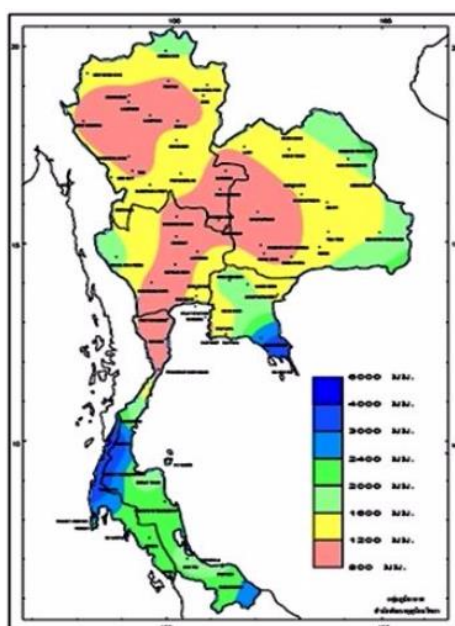
### 2.1.4 ฝนจากพายุหมุนเขตร้อน (Cyclonic precipitation)

ฝนจากพายุหมุนเขตร้อน เป็นฝนที่เกิดจากอิทธิพลของพายุหมุนเขตร้อน ลักษณะของพายุหมุนเขตร้อนจะมีลมพัดเวียนเข้าหาศูนย์กลางคล้ายวงกนหอยที่ศูนย์กลางพายุ เป็นบริเวณที่มีความกดอากาศต่ำสุดพายุหมุนเขตร้อน จะมีความกดอากาศต่ำมากที่สุดที่ศูนย์กลางจึงมีเมฆชั้นต่ำก่อตัวในแนวตั้งหนาแน่นโดยรอบ เมื่อพายุนี้เคลื่อนผ่านไปทีใดจะทำให้ที่นั้นมีฝนตกหนักหรือหนักมากติดต่อกันหลายวัน และมีลมแรงฝนที่ตกจะเป็นฝนที่ตกในบริเวณกว้างและมีปริมาณมาก

### 2.1.5 ลักษณะฝนของประเทศไทย

ประเทศไทยจัดเป็นประเทศที่ฝนตกชุก มีฤดูฝนยาวนาน มีความอุดมสมบูรณ์ในเรื่องน้ำเนื่องจากตั้งอยู่ในภูมิประเทศที่เหมาะสมคือ อยู่ในเขตร้อนชื้นใกล้เส้นศูนย์สูตรและอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุม นอกจากนี้อาณาเขตทางด้านเหนืออยู่ติดกับประเทศใกล้เคียงที่มีภูเขาล้อมรอบทำให้พายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่อประเทศไทยส่วนใหญ่อ่อนกำลังลงจนเป็นเพียงพายุดีเปรสชันที่ก่อให้เกิดฝนมากกว่าที่จะก่อให้เกิดความเสียหายที่เกิดจากลมที่พัดแรงจัด ประเทศไทยจะสิ้นสุดฤดูร้อนและเข้าสู่ฤดูฝนประมาณกลางเดือนพฤษภาคมเป็นต้นไปจนถึงประมาณกลางเดือนตุลาคมจึงถือว่าสิ้นสุดฤดูฝนและเข้าสู่ฤดูหนาว ซึ่งช่วงดังกล่าวจะมีลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดพาความชื้นมาปกคลุมประเทศไทย ปริมาณฝนรวมตลอดปีเฉลี่ยทั่วประเทศไทยมีค่าประมาณ 1,580 มิลลิเมตร ปริมาณฝนเฉลี่ยในประเทศไทย ดังแสดงในภาพประกอบ 2.4 โดยปริมาณฝนในแต่ละพื้นที่

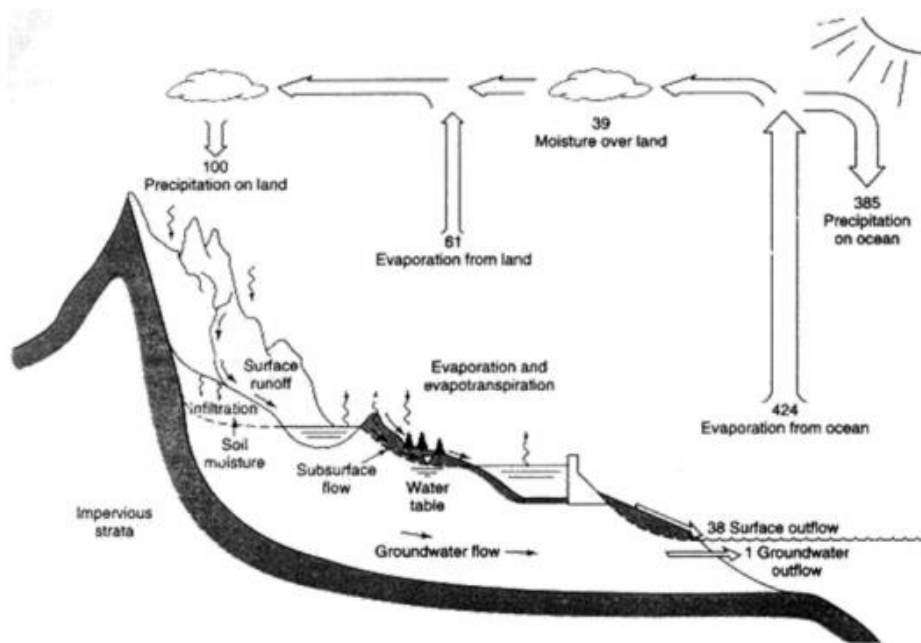
ผันแปรตามฤดูกาลและเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะภูมิประเทศโดยบริเวณประเทศไทยตอนบนปกติจะแห้งแล้งและมีฝนน้อยในฤดูหนาว เมื่อเข้าสู่ฤดูร้อนปริมาณฝนจะเพิ่มขึ้นบ้างพร้อมทั้งมีพายุฟ้าคะนอง และเมื่อเข้าสู่ฤดูฝนปริมาณฝนจะเพิ่มขึ้นมากโดยจะมีปริมาณฝนมากที่สุดในเดือนสิงหาคมหรือกันยายนภาคใต้มีฝนชุกเกือบตลอดยกเว้นฤดูร้อน พื้นที่บริเวณภาคใต้ฝั่งตะวันตกซึ่งเป้นด้านรับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะมีปริมาณฝนมากกว่าภาคใต้ฝั่งตะวันออกในช่วงฤดูฝนโดยมีปริมาณฝนมากที่สุดในเดือนกันยายน (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2548)



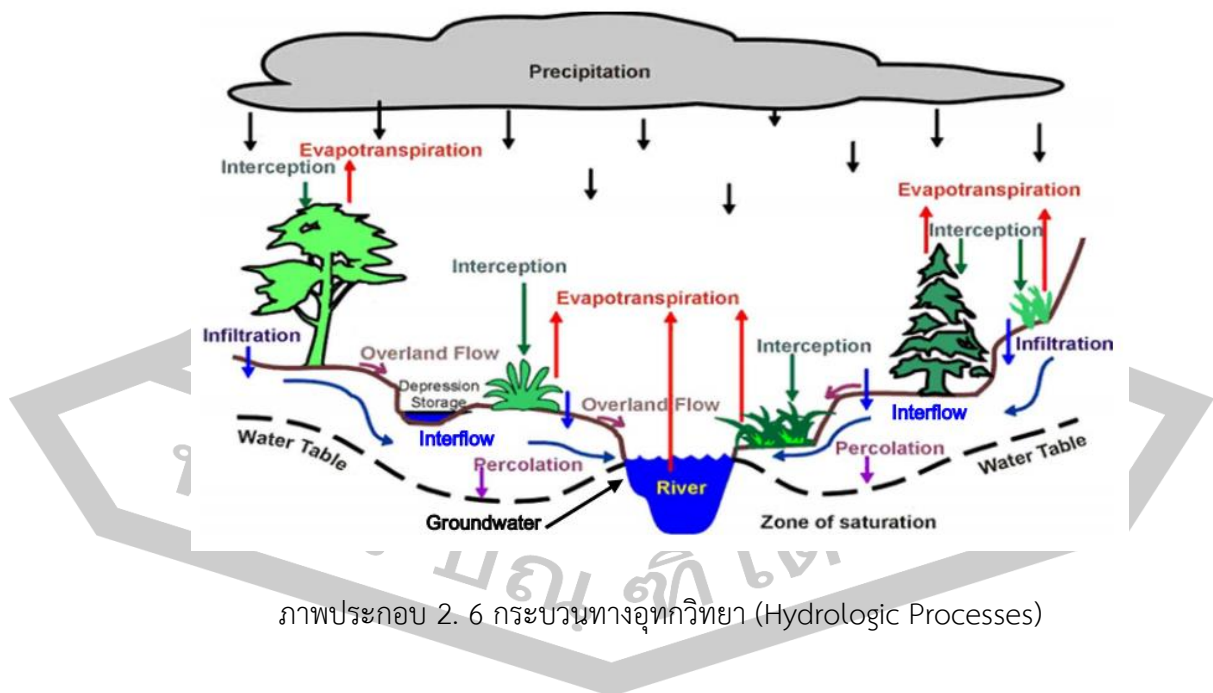
ภาพประกอบ 2. 4 ปริมาณฝนเฉลี่ยคาบ 30 ปี ระหว่างปี พ.ศ. 2514 - พ.ศ. 2543  
ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2548)

## 2.2 วัฏจักรของอุทกวิทยา (Hydrologic cycle)

วัฏจักรของอุทกวิทยาเป็นขบวนการที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ ซึ่งพิจารณาการเคลื่อนที่ การสูญเสี และ การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของน้ำบนผิวโลก ขบวนการต่างๆ ในวัฏจักรได้แสดงให้เห็นในภาพประกอบ 2.5 และ 2.6



ภาพประกอบ 2.5 วัฏจักรของอุทกวิทยา (Hydrologic Cycle)  
ที่มา : Chow et al. (1988)



ภาพประกอบ 2.6 กระบวนการทางอุทกวิทยา (Hydrologic Processes)



เมื่อไอน้ำในบรรยากาศมีปริมาณมากก็จะตกลงสู่พื้นโลกในรูปของฝน หิมะ น้ำค้าง ลูกเห็บ ฯลฯ ซึ่งเราเรียกว่า Precipitation น้ำส่วนหนึ่งตกลงสู่ทะเล มหาสมุทร และแม่น้ำลำธารโดยตรง อีกส่วนหนึ่งตกลงสู่พื้นแผ่นดิน น้ำส่วนนี้บางส่วนจะตกค้างตามใบไม้ใบหญ้า และต้นพืชที่ขึ้นปกคลุมแผ่นดิน (Interception) และเมื่อได้รับแสงแดดก็จะกลายเป็นไอระเหยขึ้นสู่บรรยากาศ (Evaporation)

ส่วนที่ตกลงสู่พื้นดิน จะซึมผ่านผิวดิน (Infiltration) และซึมลึกลงไปใต้ดิน (Percolation) ปริมาณความชื้นในดินบริเวณผิวดินจะกลับขึ้นสู่บรรยากาศ โดยการระเหยและการคายน้ำของพืช (Transpiration) น้ำที่ซึมลึกลงไปใต้ดินจะไปสู่แหล่งน้ำใต้ดิน (Ground Water Resource) ซึ่งอาจจะถูกดูดมาใช้โดยพืชหรือไหลขึ้นสู่ผิวดิน ในรูปของน้ำพุ (Spring) หรือไหลออกสู่อ่างน้ำลำธารและในที่สุดก็ระเหยขึ้นสู่อากาศ

ถ้าปริมาณน้ำที่ตกจากบรรยากาศสู่พื้นดินที่มีปริมาณมาก จะเกิดมีน้ำบางส่วนไหลไปตามผิวดินซึ่งเรียกว่า Overland Flow ไหลลงสู่อ่างน้ำลำธาร และต่อไปถึงทะเล และมหาสมุทร และในที่สุดก็จะมีการระเหยของน้ำจากแหล่งน้ำดังกล่าวขึ้นสู่บรรยากาศอีกเช่นกัน

พื้นแผ่นดินจะมีหลุม บ่อ หรือแอ่ง ซึ่งสามารถเก็บปริมาณน้ำได้บางส่วน น้ำส่วนดังกล่าวเราเรียกว่า Depression Storage ซึ่งจะกลับขึ้นสู่อากาศโดยการระเหย จากที่กล่าวมาทั้งหมดจะเห็นได้ว่า ตลอดเวลาที่น้ำอยู่ในชั้นตอนต่างๆ น้ำจะกลับขึ้นสู่บรรยากาศ โดยการระเหย ฉะนั้นวัฏจักรของอุทกวิทยาจะไม่มีการเริ่มต้นและสิ้นสุด แต่อาจมีการผันแปรของปริมาณน้ำและความถี่ของการเกิด ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ที่ควบคุมในแต่ละขบวนการ

จะเห็นได้ว่าวัฏจักรของน้ำหมุนเวียนไปไม่มีที่สิ้นสุด และสามารถแสดงได้ด้วยสมการสมดุลของน้ำ (Water balance) ดังนี้

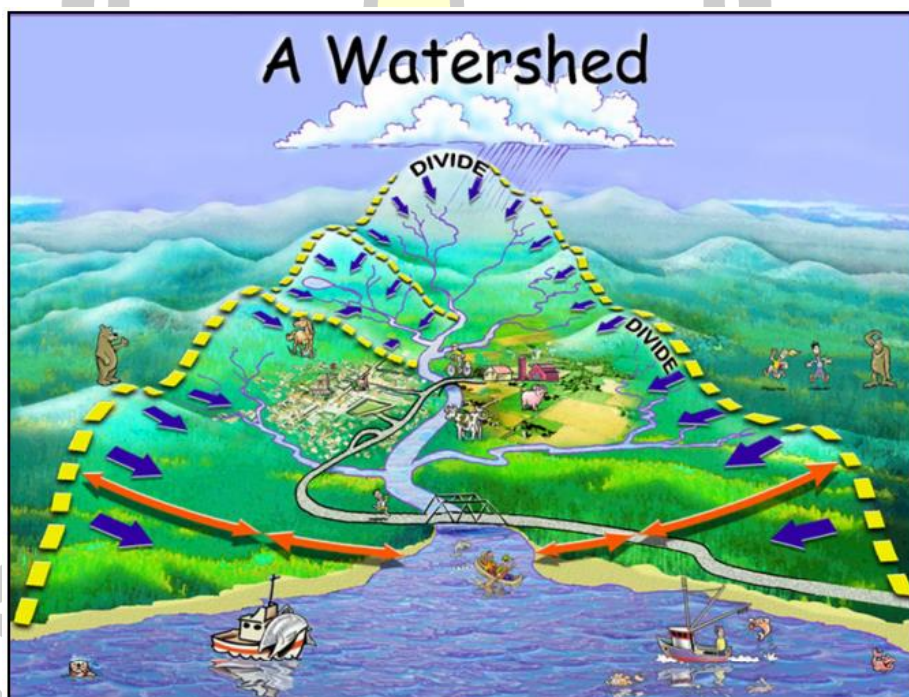
$$R = P - E - A \quad (2-1)$$

เมื่อ	R	คือ ปริมาณน้ำท่า (น้ำที่ไหลบนผิวดิน)
	P	คือ ปริมาณน้ำฝนโดยรวมน้ำทุกชนิดที่ตกลงมาจากฟ้า
	E	คือ ปริมาณการสูญเสียน้ำ ได้แก่ การระเหย การคายน้ำ และการซึมลงดิน
	A	คือ ปริมาณการกักเก็บน้ำสะสมในลุ่มน้ำ

โดยหน่วยของทุกตัวแปรต้องเป็นหน่วยเดียวกันจึงจะสามารถบวกลบกันได้ เช่น มิลลิเมตร เป็นต้น

## 2.3 ระบบลุ่มน้ำ (Watershed)

ลุ่มน้ำ หมายถึง พื้นที่ทั้งหมดซึ่งน้ำท่าผิวดิน (Surface Runoff) ที่เกิดจากฝนที่ตกลงบนพื้นที่น้ำจะไหลลงสู่ทางออก (Outlet) (วรารุช, 2543) ลุ่มน้ำของแม่น้ำทะเลสาบหรืออ่างเก็บน้ำใดๆ ก็คือพื้นที่ซึ่งเมื่อฝนตกลงมาแล้วน้ำจะไหลรวมกันลงสู่แม่น้ำ ทะเลสาบ หรืออ่างเก็บน้ำนั้นๆ (วีระพล, 2531) ในปัจจุบันมีหลายท่านได้ใช้คำว่า Watershed มีความหมายคล้ายคลึงกับคำว่า Drainage หรือ Basin หรือ Catchment หรือบางครั้งใช้เป็น Drainage Basin อย่างไรก็ตามคำเหล่านี้มีความหมายเป็นลุ่มน้ำเหมือนกันหมด จะแตกต่างกันบางเฉพาะกรณีที่พิจารณาเท่านั้น (วีระพล, 2531) อาทิ Drainage Basin ก็คือลุ่มน้ำที่รับและระบายน้ำด้วยลำธารสู่จุดออกหรือปากลำน้ำและ Catchment ก็คือพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็ก แต่ไม่มีขอบจำกัดแน่นอนลงไปขนาดเท่าใด ดังแสดงในภาพประกอบ 2.7



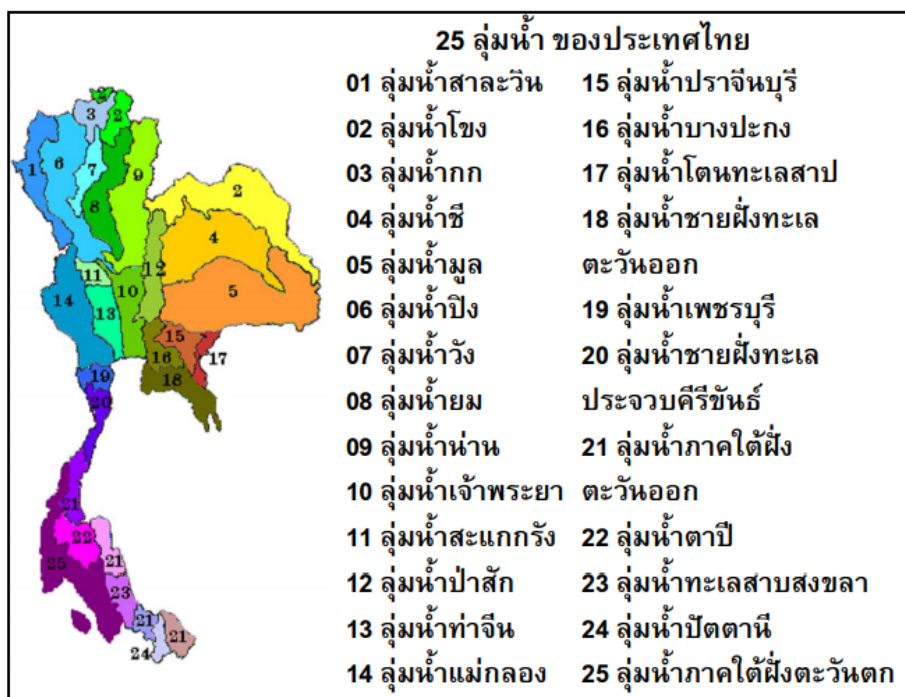
ภาพประกอบ 2. 7 ลุ่มน้ำและการแบ่งลุ่มน้ำ  
ที่มา : Powell (2012)

### 2.3.1 การแบ่งลุ่มน้ำของประเทศไทย

สำหรับประเทศไทยนั้น คณะกรรมการอุทกวิทยาแห่งชาติ (2538) ในสำนักงานคณะกรรมการทรัพยากรน้ำแห่งชาติ (ปัจจุบันได้รวมอยู่ในกรมทรัพยากรน้ำ) ได้จัดทำรายงาน “มาตรฐานลุ่มน้ำและลุ่มน้ำสาขา” (สิงหาคม 2538) โดยในการแบ่งลุ่มน้ำประธานหรือลุ่มน้ำหลัก (Main Basin) ได้ยึดถือเอาแม่น้ำสายใหญ่เป็นหลักในการกำหนดขอบเขตและการเรียกชื่อของลุ่มน้ำ แต่ก็มีข้อยกเว้นสำหรับพื้นที่บางพื้นที่ เช่น พื้นที่บริเวณไกลเขตแดนติดต่อกับประเทศกัมพูชา ซึ่งไม่มีแม่น้ำสายใหญ่ที่จะใช้เป็นตัวแทนของลุ่มน้ำที่จัดแบ่งได้ ซึ่งใช้ชื่อลุ่มน้ำโตนเลสาป และได้กำหนดขอบเขตและเรียกชื่อลุ่มน้ำตามลุ่มน้ำสาขานั้นๆ หรือบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเล เช่น ชายฝั่งทะเลตะวันออก และชายฝั่งทะเลตะวันตก โดยยึดถือเอาไทยเป็นหลักในการกำหนดชื่อบริเวณภาคใต้ของประเทศได้แบ่งออกเป็น ภาคใต้ฝั่งตะวันออก ภาคใต้ฝั่งตะวันตก ซึ่งถือตามทิศทางการไหลลงสู่ทะเลในบริเวณพื้นที่นั้นๆ เป็นหลัก ซึ่งจากการกำหนดเกณฑ์ดังกล่าวได้แบ่งพื้นที่ประเทศไทยออกเป็น 25 ลุ่มน้ำ และยังแบ่งเป็นลุ่มน้ำย่อยได้อีก 254 ลุ่มน้ำย่อย มีพื้นที่ลุ่มน้ำรวมทั้งประเทศประมาณ 511,361 ตร.กม. ดังแสดงในภาพประกอบ 2.8

แต่หากพิจารณาจากจุดออกหรือบริเวณที่แม่น้ำที่ไหลลงแล้ว แม่น้ำในประเทศไทยอาจแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ด้วยกัน คือ กลุ่มลุ่มน้ำที่ไหลลงสู่ม่าน้ำโขง กลุ่มลุ่มน้ำที่ไหลลงแม่น้ำสาละวิน และกลุ่มลุ่มน้ำที่ไหลลงทะเลโดยตรง ซึ่งในกลุ่มที่สามนี้ยังแยกย่อยออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ กลุ่มลุ่มน้ำที่ไหลลงทะเลดานอ่าวไทย และกลุ่มลุ่มน้ำที่ไหลลงทะเลดานอันดามัน อย่างไรก็ตาม กลุ่มลุ่มน้ำหลักที่ไหลออกสู่อ่าวไทยอาจแบ่งออกได้เป็น 6 กลุ่ม คือ กลุ่มลุ่มน้ำเจ้าพระยา-ท่าจีน กลุ่มลุ่มน้ำแม่กลอง กลุ่มลุ่มน้ำบางปะกง กลุ่มลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตะวันออก กลุ่มลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตะวันตก และกลุ่มลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันออก (ดานอ่าวไทย) และเมื่อรวมกับกลุ่มลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำโขง กลุ่มลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำสาละวิน และกลุ่มลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันตก (ดานทะเลอันดามัน) พบว่าประเทศไทยสามารถแบ่งเป็นกลุ่มลุ่มน้ำหลักได้จำนวน 9 กลุ่มลุ่มน้ำ ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำทั้ง 25 ลุ่มน้ำหลัก และ 254 ลุ่มน้ำย่อย (อนงศ์ฤทธิ์, 2553)

พหุ ๒๖ ๓๒๓ ๓๒๓



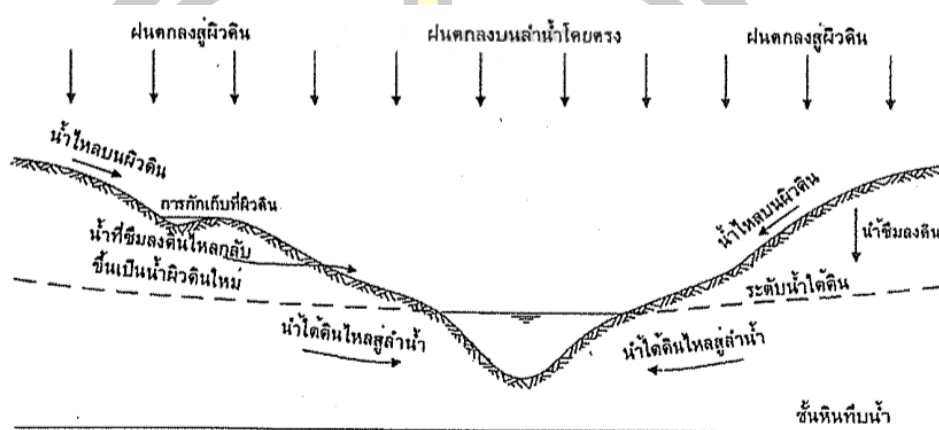
ภาพประกอบ 2. 8 ลุ่มน้ำหลักของประเทศไทย

#### 2.4 กระบวนการเปลี่ยนน้ำฝนเป็นน้ำท่า (Process of rainfall-runoff)

น้ำฝนที่ตกลงในลุ่มน้ำหนึ่งๆ บางส่วนอาจเกิดการสูญเสียไปเนื่องจากการระเหยกลับสู่บรรยากาศ บางส่วนแทรกซึมลงใต้ผิวดิน (Infiltration) หรือไหลลึกซึมผ่านลงสู่ใต้ดิน (Percolation) บางส่วนถูกกักเก็บบนผิวดินหรือวัตถุผิวดิน น้ำฝนส่วนเกินนี้จะสะสมรวมกันแล้วขังอยู่ชั่วขณะหนึ่ง (Surface runoff) และไหลด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกไปสู่ลำน้ำขนาดเล็ก จากลำน้ำขนาดเล็กจึงเป็นลำน้ำขนาดใหญ่ ในลุ่มน้ำขนาดใหญ่และเป็นแม่น้ำในที่สุด น้ำที่ไหลส่วนนี้เรียกว่าน้ำท่า (Runoff) น้ำบางส่วนตกลงสู่แม่น้ำโดยตรง น้ำบางส่วนที่ไหลซึมลงดินอาจไหลกลับสู่ผิวดินที่มีระดับต่ำกว่าได้ กลายเป็นน้ำผิวดินอีกครั้ง ซึ่งน้ำผิวดินก็อาจไหลซึมลงดินได้อีกเช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นในดินแต่ละแห่งที่น้ำผิวดินไหลไปในขณะที่น้ำที่ซึมลงใต้ดินในระดับที่ลึกๆ บางส่วนก็อาจไหลเข้าสู่แม่น้ำได้เช่นกัน อย่างไรก็ตามอัตราเร็วในการเคลื่อนตัวของน้ำใต้ดินจะช้ามากเมื่อเทียบกับน้ำที่ไหลบนผิวดิน

กระบวนการไหลของน้ำ (Runoff process) สามารถแสดงได้ในภาพประกอบ 2.9 โดยแบ่งองค์ประกอบออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนประกอบที่ไหล (Flow component) กับส่วนประกอบที่กักเก็บ (Storage component) สำหรับส่วนประกอบของน้ำส่วนที่ไหลนี้ ยังแบ่งย่อยออกเป็นส่วนที่ไหล

อย่างช้าๆ ผ่านไปตามช่องว่างระหว่างอนุภาคของดิน กับส่วนที่ไหลอย่างรวดเร็วไปตามผิวดิน เนื่องจากกระบวนการไหลของน้ำมีความซับซ้อนและมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการชี้ให้เห็นถึงภาพรวมของปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำต่างๆ จึงเป็นเรื่องสำคัญ (วิโรจน์ ชัยธรรม, 2530)



ภาพประกอบ 2. 9 กระบวนการเปลี่ยนน้ำฝนเป็นน้ำท่า  
ที่มา : วิโรจน์ ชัยธรรม (2528)

## 2.5 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

### 2.5.1 แบบจำลองสภาพอากาศเชิงตัวเลข (Numerical Weather Prediction, NWP)

ในระดับภูมิภาค (Regional Model) แบบจำลองการคาดการณ์ฝนที่ใช้ในปัจจุบันเป็นแบบจำลองสภาพอากาศเชิงตัวเลข (Numerical Weather Prediction, NWP) ในระดับภูมิภาค (Regional Model) โดยใช้หลักการย่อส่วนเชิงพลวัต (Dynamical Downscaling) นั่นคือใช้ข้อมูลจากแบบจำลองโลก (Global Circulation Models, GCMs) เป็น ข้อมูลนำเข้าสำหรับเป็นเงื่อนไขเริ่มต้น (Initial Condition) และเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) หรือ เรียกอีกนัยหนึ่งว่า “Large Scale Forcing” ให้แก่แบบจำลองในระดับภูมิภาค และแบบจำลองในระดับภูมิภาค รับข้อมูลตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา เงื่อนไขขอบเขตจากแบบจำลองโลกเช่น ลม อุณหภูมิ ความชื้น ทั้งสี่ด้านของ พื้นที่ เรียกว่า “Coarse Domain” โดยใช้เป็นข้อมูลเงื่อนไขขอบเขตตั้งแต่ระดับผิวพื้นจนถึงระดับสูงสุดของ แบบจำลองที่ตั้งค่าไว้ แล้วคำนวณตามหลักสมการทางกายภาพของกระบวนการทางบรรยากาศต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระยะทางที่เล็กลง เช่น การพาความร้อน ลมแปรปรวน การเคลื่อนที่ขึ้น-ลงตามแนวตั้ง ผลกระทบที่เกิดจาก ความสูงต่างของลักษณะภูมิประเทศ ในพื้นที่ที่เล็กลง หรือเรียกว่า

“Fine/Nest Domain” ตามลักษณะทาง กายภาพที่ตั้งไว้ในแบบจำลอง (เจียมใจ เครือสุวรรณ และคณะ, 2553)

ในปัจจุบันการคาดการณ์ฝนด้วยแบบจำลองสภาพอากาศเชิงตัวเลขยังคงมีความคลาดเคลื่อน ไม่ใช่เพียง แค่เฉพาะผลการคาดการณ์บริเวณประเทศไทยแต่ผลการคาดการณ์จากทั่วโลกก็เช่นเดียวกัน เนื่องจาก ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในบรรยากาศเป็นปรากฏการณ์ที่มีความซับซ้อนต้องอาศัยระบบประมวลผลของแบบจำลอง ที่มีสมรรถนะสูง ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันได้มีการเพิ่มสมรรถนะของระบบการคำนวณเพื่อให้รองรับการปรับเพิ่ม สมการที่ใช้จำลองสภาพอากาศมาเป็นลำดับ การศึกษาวิจัยเพื่อปรับ/เพิ่มสมการสำหรับจำลองสภาพอากาศภายใน แบบจำลองเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สามารถช่วยเพิ่มค่าความถูกต้องให้การคาดการณ์ด้วยแบบจำลองได้ และอีกปัจจัย หนึ่งที่ส่งผลต่อค่าความถูกต้องของการคาดการณ์ของแบบจำลองสภาพอากาศเชิงตัวเลขคือ จำนวนและคุณภาพ จากการตรวจวัดที่ใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสู่แบบจำลองโลก

## 2.5.2 ระบบแบบจำลองโลก (Earth System Model)

การพัฒนาระบบแบบจำลองโลกเป็นอีกหนึ่งแนวคิดเพื่อเพิ่มความเข้าใจกระบวนการที่เกิดขึ้นทั้งในชั้น บรรยากาศและปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในโลก ระบบแบบจำลองโลกเป็นการพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่าง กระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนโลกเช่น กระบวนการทางกายภาพและเคมีในชั้นบรรยากาศ กระบวนการ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างมหาสมุทรและบรรยากาศ กระบวนการระหว่างพื้นดินและพื้นน้ำ เป็นต้น โดยกระบวนการ เหล่านี้ก่อให้เกิดปรากฏการณ์ต่างๆ ทางธรรมชาติ เช่น ฝนตก พายุ ลมสินค้า ในปัจจุบันระบบแบบจำลองโลกพบ ในแบบจำลองโลก (GCMs) ที่ใช้ศึกษาในภาพรวมของแต่ละภูมิภาคต่างๆ ทั่วโลก แต่ไม่สามารถให้ข้อมูลใน รายละเอียดสูงที่มีปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดใน sub-grid scale ได้ ดังนั้นการพัฒนาระบบแบบจำลองโลกใน ระดับภูมิภาคจะสามารถให้รายละเอียดของปรากฏการณ์ต่างๆ ได้ดีกว่า เช่นการลอยตัวขึ้นของอากาศจากพื้นดินขึ้นสู่บรรยากาศ (Updraft) ด้วยการพาความร้อนซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ก่อให้เกิดฝนตก และการเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง เป็นต้น

การพัฒนาระบบแบบจำลองโลก เป็นการคู่ควบแบบจำลองต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น การคู่ควบแบบจำลอง สภาพอากาศเข้ากับแบบจำลองมหาสมุทร การคู่ควบแบบจำลองสภาพอากาศเข้ากับมลภาวะอากาศ การคู่ควบ แบบจำลองสภาพอากาศเข้ากับแบบจำลองพื้นดิน การคู่ควบจำลองสภาพอากาศเข้ากับแบบจำลองวัฏจักรน้ำ ในการคู่ควบระหว่างแบบจำลองหากมีการกระทำกันโดยสมบูรณ์คือทุกตัวแปรที่เป็นไปได้ของแต่ละแบบจำลองมีการคำนวณด้วยชุดสมการพื้นฐานที่เหมือนกัน จะช่วยให้ระบบภายในแบบจำลองมีลักษณะคล้ายคลึงกับโลกแห่งความเป็นจริง ปรากฏการณ์ต่างๆ ที่

เกิดขึ้นจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบต่างๆ ร่วมกันช่วยให้มีความเป็นไปได้ในการเพิ่มความแม่นยำในการจำลองปรากฏการณ์ธรรมชาติต่างๆ ที่เกิดขึ้น

ในต่างประเทศและในประเทศไทยได้มีการเริ่มพัฒนาระบบแบบจำลองโลกในระดับภูมิภาค โดยการคู่ควบ ระหว่างแบบจำลองต่างๆ เช่น Amnuaylojaroen et al., 2014 ได้ใช้แบบจำลอง The Weather Research and Forecasting Model with Chemistry (WRF-Chem) ซึ่งมีการพิจารณาการคู่ควบอย่างสมบูรณ์ระหว่าง กระบวนการทางกายภาพและเคมีในชั้นบรรยากาศและพื้นดินเพื่อดูผลของสภาพอากาศต่อมลภาวะที่เกิดขึ้นในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ได้ริเริ่มพัฒนา Earth System Model Framework บนพื้นฐานของระบบแบบจำลอง the Nested Regional Climate Model with Chemistry (NRCM-Chem) โดยในเบื้องต้นได้มีการพิจารณาการคู่ควบกันอย่างสมบูรณ์ระหว่าง พื้นดิน ภูมิภาคอากาศทั้งทางกายภาพและเคมี เพื่อศึกษาระบบภูมิภาคอากาศและมลภาวะอากาศในทวีปเอเชีย ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง WRF คู่ควบกับ Price-Weller-Pinkel (PWP) ในการจำลองปฏิสัมพันธ์ระหว่างมหาสมุทรและพายุเฮอริเคน Katrina การศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองคู่ควบต่าง ๆ ในประเทศไทยได้มีการประยุกต์ใช้ The Nested Regional Climate Model with Chemistry (NRCM-Chem) ที่มีการพิจารณาการคู่ควบอย่างสมบูรณ์ระหว่าง พื้นดิน ภูมิภาคอากาศทั้งทางกายภาพและเคมี เพื่อคาดการณ์ภูมิภาคอากาศและมลภาวะอากาศที่จะเกิดขึ้นในประเทศไทยในอนาคต และได้ใช้แบบจำลองคู่ควบบรรยากาศและมหาสมุทร WRF-ROMs เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิ น้ำทะเลต่อการคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนในประเทศไทย

### 2.5.3 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิภาคระดับโลก (General Circulation Models, GCMs)

การสร้างเหตุการณ์จำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิภาคในอนาคต (Climate change scenario) เมื่อบรรยากาศโลกมีปริมาณก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้นเป็นข้อมูลที่มีความจำเป็นอันดับแรกในการศึกษาวิจัยเพื่อเตรียมการรับมือกับผลกระทบที่จะเกิดขึ้น พร้อมทั้งแสวงหาแนวทางในการปรับตัวเพื่อบรรเทาความเสียหาย ภาพเหตุการณ์ภูมิภาคในอนาคตถูกสร้างขึ้นมาจากแบบจำลองภูมิภาคโลกที่เรียกว่าแบบจำลองการหมุนเวียนอากาศทั่วไปหรือ แบบจำลองภูมิภาคโลก (General Circulation Models, GCMs) ซึ่งใช้ข้อมูลด้านการถ่ายเทพลังงานระหว่างส่วนประกอบที่สำคัญของโลก 5 ส่วน คือ บรรยากาศ (Atmosphere) อุทกภาค (Hydrosphere) พื้นธรณี (Geosphere) ชีวภาพ (Biosphere) และธารน้ำแข็ง (Cryosphere) การถ่ายเทความร้อนระหว่างส่วนประกอบของโลกเหล่านี้ ทำให้เกิดสมดุลของพลังงานโลก ซึ่งมีผลต่อสภาพภูมิภาคและฤดูกาลในที่ต่างๆ และมีอิทธิพลต่อการดำรงชีวิต การแพร่กระจาย และการสืบทอดเผ่าพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตตามธรรมชาติ นอกจากนี้ยังมีอิทธิพลต่อผลผลิตการเกษตรโดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทย และประเทศ

กำลังพัฒนาอื่นๆ ที่พึ่งพาน้ำฝนตามธรรมชาติเป็นปัจจัยในการผลิต เมื่อส่วนใดส่วนหนึ่งขององค์ประกอบภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง เช่น ปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศเพิ่มขึ้น หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (ป่าไม้) ย่อมมีผลต่อสมดุลของพลังงานโลก และส่งผลให้ภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงการพัฒนาแบบจำลองภูมิอากาศโลกจำเป็นต้องใช้ข้อมูลทีละเอียด ครอบคลุมวิทยาศาสตร์พื้นฐานและนักวิจัยในหลายสาขาเช่น กลุ่มนักวิจัยทางด้านฟิสิกส์ นักเขียนโปรแกรม นักวิทยาศาสตร์ ด้านภูมิอากาศ (Atmospheric science) รวมทั้งเครื่องประมวลผลข้อมูลที่มีสมรรถนะสูง (Super computer) เป็นต้น

ภาพจำลองภูมิอากาศในอนาคตจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก มีพื้นที่แสดงผลขนาดใหญ่ประมาณ 300x300 ตารางกิโลเมตร ไม่เหมาะสมในการนำมาใช้ศึกษาผลกระทบในระดับท้องถิ่นหรือประเทศซึ่งต้องใช้ ข้อมูลเชิงพื้นที่ขนาดเล็กเช่น 50x50 ตารางกิโลเมตร ผลลัพธ์ของ GCMs ประกอบด้วยตัวแปรภูมิอากาศ (Climate variables) ที่เป็นเครือข่ายของหน่วยแยกต่าง (Grid) ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก ในปี พ.ศ. 2537 (ค.ศ. 1994) มีผลลัพธ์ ของ GCMs จากสถาบันต่างๆ ประมาณ 20 แบบ ต่อมาในปี พ.ศ. 2550 มีผลลัพธ์ดังกล่าวเพิ่มขึ้นถึงกว่า 50 แบบ อย่างไรก็ตามในระยะเริ่มต้นการสร้างภาพจำลองภูมิอากาศของ GCMs เหล่านี้ยังมีความไม่แน่นอนอยู่มาก ข้อด้อยของ GCMs ประกอบด้วย

1. การจำลองกระบวนการทางกายภาพของเมฆยังไม่ดีพอ
2. พื้นที่แสดงผลมีสเกลหยาบ หน่วยแยกต่างส่วนที่ดีที่สุดในแนวราบมีขนาด 250 กิโลเมตร
3. พื้นที่เป็นแบบเดียวกัน ขาดตัวแปรทางภูมิศาสตร์ในภูมิภาคที่มีอิทธิพลต่อภูมิอากาศ เช่น สภาพภูมิประเทศ เป็นต้น
4. การจำลองปฏิสัมพันธ์ของบรรยากาศและมหาสมุทรเป็นแบบไม่ซับซ้อน

ข้อด้อยเหล่านี้ทำให้ GCMs ในระยะเริ่มต้นของการพัฒนาไม่สามารถแม้แต่จะเลียนแบบการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลในปัจจุบันของภูมิภาคได้ ดังนั้นประโยชน์สูงสุดของการใช้ GCMs คือการแสดงความเป็นไปได้ของภูมิอากาศในภาพกว้างในอนาคต และไม่ควรถัดเป็นการทำนายสภาพภูมิอากาศ

การประมาณค่าข้อมูลซึ่งมีความละเอียดเชิงระยะทางวิธีการหนึ่ง คือ วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศสเกลหยาบจากการพยากรณ์ และข้อมูลภูมิอากาศจากการตรวจวัด หรือที่เรียกว่า วิธีแฟกเตอร์เปลี่ยนแปลง (Change factor method) และนิยมประยุกต์ใช้เมื่อไม่มีข้อมูลจากแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศระดับภูมิภาค (Regional Climate Models, RCMs) ข้อมูลจาก RCMs มีความผันแปรสูงจากความซับซ้อนของกระบวนการที่ใช้พิจารณาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในระดับภูมิภาค (Regional Climate Change) ซึ่งมีเวลาและระยะทางในช่วงกว้าง และความยุ่งยากของการประมาณค่าข้อมูลระดับภูมิภาคในสเกลละเอียดจากข้อมูล



แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศบรรยากาศ-มหาสมุทร (Atmosphere-Ocean General Circulation Models, AOGCMs) ซึ่งมีสเกลหยาบ

#### 2.5.4 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศระดับภูมิภาค (Regional Circulation Models, RCMs)

เทคนิคของแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศภูมิภาคแบบซ้อนใน (Nested regional climate modeling) ประกอบด้วยการใช้เงื่อนไขเริ่มต้นที่เป็นข้อมูลอุตุนิยมวิทยาซึ่งเป็นอิสระกับเวลาและอยู่รอบนอกของพื้นที่ศึกษา พร้อมทั้งเงื่อนไขขอบพื้นผิว ในการขับเคลื่อน RCMs ซึ่งมีความละเอียดสูง ข้อกำหนดดังกล่าวได้จากแบบจำลอง GCMs หรือการตรวจวัดโดยตรง และยังสามารถใช้ก๊าซเรือนกระจกและละอองลอยเป็นแรงบังคับ เทคนิคดังกล่าวถูกประยุกต์ใช้ในลักษณะทิศทางเดียว กล่าวคือผลการสร้างภาพจำลองด้วย RCMs จะไม่ใช้ในการขับเคลื่อน GCMs หลักการของเทคนิคนี้คือ การใช้แบบจำลองระดับโลกในการจำลองแบบการตอบสนองของการหมุนเวียนระดับโลกต่อแรงบังคับสเกลใหญ่ และ RCMs เพื่อคำนึงถึงแรงบังคับจากส่วนย่อยของ GCMs ในเชิงกายภาพ เช่น ลักษณะภูมิประเทศที่ซับซ้อน พื้นที่ที่ไม่สม่ำเสมอ การปกคลุมดินที่ไม่สม่ำเสมอ (Inhomogeneity) และเพิ่มสมรรถนะการจำลองแบบการหมุนเวียนของบรรยากาศ และตัวแปรภูมิอากาศในสเกลที่ละเอียดมากขึ้น เทคนิคแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศภูมิภาคแบบซ้อนนี้มีต้นกำเนิดจากการพยากรณ์อากาศ การใช้ RCMs ในการศึกษาด้านภูมิอากาศในปัจจุบัน RCMs ถูกประยุกต์ใช้ในการศึกษาด้านภูมิอากาศอย่างหลากหลาย ตั้งแต่บรรพภูมิอากาศ (Palaeoclimate) จนถึงการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศจากการกระทำของมนุษย์ RCMs สามารถให้ผลที่มีความละเอียดสูงในระดับ 10–20 กิโลเมตร หรือต่ำกว่า ครอบคลุมช่วงเวลาทศวรรษ และมีความสามารถในการแสดงให้เห็นกลไกการตอบสนองของภูมิอากาศในสเกลระดับภูมิภาค

#### 2.5.5 แบบจำลองเชิงตัวเลข PRECIS (Providing Regional Climates for Impacts Studies)

เป็นแบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค (RCMs) ที่พัฒนาขึ้นที่ The Met Office Hadley Centre for Climate Prediction and Research ประเทศอังกฤษ โดยมีเป้าหมายเพื่อสร้างแบบจำลองที่สามารถนำไปใช้ได้กับทุกพื้นที่ทั่วโลกโดยคำนวณได้บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ประสิทธิภาพสูงเพื่อตอบสนองความต้องการของประเทศต่างๆ ที่มีความประสงค์จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของภูมิภาคตัวเอง โดยมีพื้นฐานการพัฒนาจากแบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาครุ่นที่ 3 ของ Hadley Centre โดยเน้นการพัฒนาไปที่ความสะดวกของการทำงานและการแสดงผลแก่ผู้ใช้

รายละเอียดทางเทคนิคของแบบจำลอง PRECIS และการจำลองบรรยากาศภายในแบบจำลอง ประกอบด้วย

1. พลศาสตร์ ประกอบด้วยการจำลองการไหลเวียนของบรรยากาศในทางอุณหพลศาสตร์ และเทอร์โมไดนามิกของบรรยากาศ รวมถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นบริเวณผิวพื้นและการรบกวนการไหลเวียนของบรรยากาศ เนื่องจากอิทธิพลของความสูงของพื้นที่

2. วัฏจักรของซัลเฟอร์ในบรรยากาศพิจารณาการกระจายตัวและช่วงชีวิตของผงซัลเฟตในบรรยากาศ ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของความหนาแน่นและปริมาณการปลดปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทั้งจากธรรมชาติและมนุษย์

3. เมฆและหยาดน้ำฟ้าพิจารณาการเกิดเมฆก่อตัวทางตั้งและเมฆแผ่ขนาดใหญ่จากผลของหยาดน้ำฟ้า รวมถึงปริมาณรังสีที่บรรยากาศได้รับ

4. กระบวนการในการรับและแผ่รังสีภายในแบบจำลองจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิความชื้น ความหนาแน่น คุณสมบัติของก๊าซในบรรยากาศ ความหนาแน่นของซัลเฟต ผุ่นควันแขวนลอยในบรรยากาศ เมฆ การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณรังสีที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาของปี

5. คุณสมบัติของพื้นดิน พิจารณาถึงการปกคลุมดินในแง่ผลกระทบต่อ การไหลเวียนของอากาศ การรับพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ หยาดน้ำฟ้า การปลดปล่อยพลังงานความร้อนและความชื้นกลับสู่บรรยากาศ การไหลบ่าของน้ำที่เกิดจากฝน อุณหภูมิตามความลึกของดิน

ความสามารถในการรองรับและการดูดซึมน้ำเงื่อนไขบริเวณขอบเขตของการคำนวณแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่

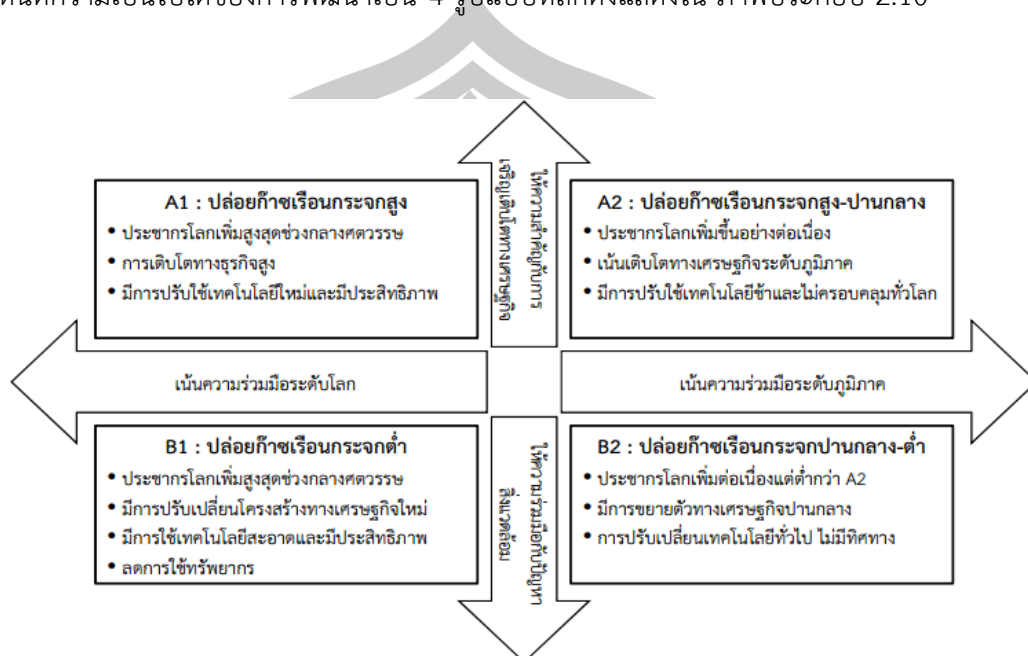
1. ขอบเขตบนพื้นผิวของการคำนวณ ต้องการข้อมูลนำเข้าเฉพาะในบริเวณที่ปกคลุมด้วยน้ำเท่านั้น โดยปัจจัยที่ต้องการได้แก่ อุณหภูมิบริเวณพื้นผิวและการปกคลุมของน้ำแข็งตลอดช่วงเวลาที่ทำการคำนวณด้วยแบบจำลอง

2. ขอบเขตด้านข้างของการคำนวณ ต้องการข้อมูลทางพลศาสตร์ของบรรยากาศที่ขอบของการคำนวณประกอบด้วยข้อมูล ความกดอากาศที่ผิวพื้น ลม อุณหภูมิ ความชื้นและข้อมูลทางเคมีของบรรยากาศ สำหรับขอบเขตด้านบนของการคำนวณต้องการเพียงข้อมูลปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์เท่านั้น

#### 2.5.6 แบบจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศในอนาคตเป็นข้อมูลสำคัญที่ใช้เป็นข้อมูลนำเข้าให้กับแบบจำลองภูมิอากาศ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกอาจจะเปลี่ยนแปลงไปตามอนาคตตามแนวทางการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมในทิศทางต่างกัน คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการ

เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change : IPCC) ได้กำหนดความเป็นไปได้ของการพัฒนาเป็น 4 รูปแบบหลักดังแสดงใน ภาพประกอบ 2.10



ภาพประกอบ 2. 10 ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอนาคตจากรายงานของ IPC  
ที่มา : อำนาจ ชิดไธสง และคณะ (2553)

สามารถอธิบายรายละเอียดจากภาพประกอบ 2.10 การจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอนาคตได้ดังต่อไปนี้คือ

1.1 แบบ A เป็นการพัฒนาโดยให้ความสำคัญกับการเติบโตทางเศรษฐกิจเป็นหลัก โดยแบ่งออกเป็น

1.1.1 แบบ A1 คือการเติบโตทางเศรษฐกิจสูง ประชากรโลกสูงสุดในกึ่งศตวรรษ และลดลงเล็กน้อยหลังจากนั้น มีเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูง มีการพัฒนาบุคลากร มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างวัฒนธรรม ความแตกต่างของรายได้ประชาชาติระหว่างภูมิภาคลดลง ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (emission scenario) แบบ A1 นี้ยังแยกออกเป็นภาพจำลองย่อยต่าง ๆ กันคือ

1. A1F1 (Fossil intensive) เป็นการพัฒนาที่ขึ้นอยู่กับพลังงานฟอสซิล เช่น น้ำมัน ถ่านหินอย่างมาก

2. A1T (Non-fossil energy sources and technology) เป็นการพัฒนาโดยไม่ใช้พลังงานฟอสซิลเป็นหลักแต่ใช้เทคโนโลยีอื่น ๆ แทน

3. A1B (Balance of all source) พัฒนาโดยมีความสมดุลของแหล่งพลังงานที่ใช้ ไม่เน้นพลังงานฟอสซิลหรือพลังงานหมุนเวียน แต่ให้มีการผสมผสานระหว่างพลังงานทั้งสองแบบ

1.1.2 แบบ A2 คือการพัฒนาในอนาคตของโลกมีความหลากหลายและพึ่งตนเองมากขึ้นภายในภูมิภาค มีการอนุรักษ์เอกลักษณ์ท้องถิ่น จำนวนประชากรเพิ่มอย่างต่อเนื่อง การพัฒนาเศรษฐกิจขึ้นอยู่กับภูมิภาค การเติบโตทางเศรษฐกิจและการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีช้ากว่าแบบอื่น และกระจายตามท้องถิ่นและภูมิภาค

1.1.3 แบบ B เป็นการพัฒนาโดยให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าการพัฒนาแบบ A โดยแบ่งย่อยเป็น

1. แบบ B1 เป็นภาพการจำลองการพัฒนาที่ในอนาคต ประชากรเพิ่มสูงในตอนกึ่งกลางศตวรรษ เช่นเดียวกับแบบA1 และลดลงหลังจากนั้น แต่โครงสร้างทางเศรษฐกิจเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วไปเป็นภาคบริการและสารสนเทศ ลดการใช้วัตถุ มีการใช้เทคโนโลยีที่สะอาด เน้นการแก้ปัญหาทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืนในระดับนานาชาติมีความเสมอภาค แต่ไม่มีการนำประเด็นด้านภูมิอากาศเป็นแรงจูงใจ

2. แบบ B2 เป็นภาพจำลองการพัฒนาที่เน้นการแก้ปัญหาด้านเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืนในระดับท้องถิ่นหรือระดับภูมิภาค ประชากรเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่น้อยกว่า A2 มีการพัฒนาเศรษฐกิจปานกลาง การเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีหลากหลายและช้าลงกว่า B1 และ A1 โดยมีการปกป้องสิ่งแวดล้อม และความเสมอภาคของสังคมที่เน้นที่ท้องถิ่นและภูมิภาค

## 2.6 แผนที่เกษตรเพื่อการบริหารจัดการเชิงรุก (Agri-Map)

Agri-Map เป็นแผนที่เกษตรเพื่อการบริหารจัดการเชิงรุกโดยบูรณาการข้อมูลพื้นฐานด้านการเกษตรจากทุกหน่วยงานในสังกัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ สำหรับใช้เป็นเครื่องมือบริหารจัดการการเกษตรไทยอย่างมีประสิทธิภาพครอบคลุมทุกพื้นที่ มีการปรับข้อมูลให้ทันสมัย และพัฒนาเพิ่มความสะดวกการใช้งาน ให้เกิดการเข้าถึงข้อมูลโดยง่าย พร้อมกับสามารถติดตามข้อมูลความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้อง รอบด้าน ครอบคลุมการนำไปใช้ประโยชน์ทุกด้าน ที่สำคัญเป็นการนำเทคโนโลยีเข้ามาประยุกต์ใช้กับข้อมูลด้านการเกษตร ซึ่งสามารถตอบโจทย์การช่วยเหลือและแก้ปัญหาให้กับเกษตรกรไทยในรายพื้นที่ได้เป็นอย่างดี

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์มีวัตถุประสงค์ในการจัดทำ Agri-Map เพื่อจัดทำแผนที่สำหรับบริหารจัดการการเกษตรไทย โดยข้อมูลที่น่าเข้าจะประกอบด้วย ข้อมูลด้านการเกษตรและด้านการพาณิชย์ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา การวิเคราะห์จำเป็นต้องคำนึงถึงสมดุลของทรัพยากรการผลิต (ดิน น้ำ พืช) ผลผลิต อุปสงค์ และอุปทาน รวมทั้งปัจจัยการผลิต จึงจะทำให้สามารถบริหาร

จัดการสินค้าเกษตรสอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบันและสามารถคาดการณ์ในอนาคตได้ โดยเฉพาะหากเกษตรกรมีการเปลี่ยนแปลงการปลูกพืช ที่เปลี่ยนแปลงไปตามสถานการณ์นั้นๆ

### 2.6.1. กรอบแนวคิดแผนที่เกษตรเพื่อการบริหารจัดการเชิงรุก

2.6.1.1 เป็นแผนที่สำหรับบริหารจัดการการเกษตรรายจังหวัด ให้สอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบันและในอนาคต ในมิติของปัจจัยการผลิต อุปสงค์และอุปทาน

2.6.1.2 มี 2 ระดับ คือ ระดับจังหวัด (นโยบายและการขับเคลื่อน) และระดับศูนย์เรียนรู้เพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสินค้าเกษตร 882 ศูนย์ (ปฏิบัติการ)

### 2.6.2 หลักการและการดำเนินการตามกรอบแนวคิด

Agri-Map ที่จะจัดทำขึ้นนี้ สามารถเพิ่มข้อมูลที่เป็นประโยชน์ได้ตลอดเวลา เนื่องจากในธรรมชาติจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา โดยในเบื้องต้นตั้งเป้าให้มีการปรับข้อมูลให้ทันสมัย ที่เกิดขึ้นในทุกๆ ปีเพื่อให้เป็นเครื่องมือที่สามารถใช้ในการบริหารจัดการด้านการเกษตรไทยได้อย่างต่อเนื่องในอนาคตได้

วิเคราะห์ข้อมูลนำเข้า โดยจัดทำเป็นแผนที่รายจังหวัด ประกอบด้วย

1. ขอบเขตการปกครอง
2. แผนที่แสดงพื้นที่สามมิติ
3. การใช้ที่ดินในปัจจุบัน
4. พื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจสำคัญในจังหวัด 4 ชนิดพืช
5. พื้นที่เหมาะสมและไม่เหมาะสมกับพืชเศรษฐกิจสำคัญ ที่ปลูกในปัจจุบัน
6. พื้นที่ดินปัญหา
7. พืชทดแทนในพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมกับพืชเศรษฐกิจรายชนิดที่ปลูกในปัจจุบัน
8. แหล่งน้ำผิวดิน
9. แหล่งน้ำใต้ดินหรือบ่อบาดาล
10. แผนการพัฒนาแหล่งน้ำระหว่างปี พ.ศ. 2560-2569
11. เขตความเหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงปลาน้ำจืด
12. เขตความเหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล
13. โรงงานอุตสาหกรรม แหล่งรับซื้อและสหกรณ์การเกษตร
14. ลักษณะการถือครองที่ดินการเกษตรของเกษตรกร

### 2.6.3 ตัวอย่างรายละเอียดของแผนที่มีดังต่อไปนี้

#### 1. แผนที่ขอบเขตการปกครอง

เป็นข้อมูลขอบเขตการปกครองของจังหวัด ที่มีรายละเอียดของขอบเขตอำเภอพร้อมชื่ออำเภอ ขอบเขตตำบล แต่ไม่ได้บอกชื่อตำบลด้วยขนาดของแผนที่มีขนาดเล็ก และมีตารางสรุปจำนวนอำเภอ ตำบล หมู่บ้าน ตามทำเนียบท้องที่ กรมการปกครอง (2555) ซึ่งบางจังหวัดอาจมีจำนวนอำเภอ ตำบล หมู่บ้านเพิ่มขึ้นได้หลังปี พ.ศ. 2555 ในแผนที่นี้จะแสดงจุดที่ตั้งของอำเภอโดยประมาณ แสดงถนนสายหลักที่เชื่อมต่อระหว่างอำเภอกับจังหวัด หรืออำเภอต่ออำเภอใกล้เคียง แสดงจุดที่ตั้งของศูนย์เรียนรู้การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตทางการเกษตรที่เป็นศูนย์หลัก 882 ศูนย์ฯ

#### 2. แผนที่แสดงพื้นที่ 3 มิติ

เป็นข้อมูลภาพนูนต่ำที่นำขอบเขตการปกครองไปซ้อนทับกับความสูงต่ำของสภาพพื้นที่ในจังหวัด เพื่อให้เห็นความสูงต่ำของสภาพพื้นที่โดยประมาณ ซึ่งทำให้เห็นภาพจำลองว่าภูเขาอยู่ในส่วนใดของจังหวัด

#### 3. แผนที่การใช้ที่ดิน

เป็นข้อมูลแสดงประเภทของการใช้ที่ดินทั่วไปในจังหวัด ที่แยกประเภทหลักๆ ออกเป็น พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ป่า พื้นที่น้ำ และพื้นที่เบ็ดเตล็ด สำหรับพื้นที่เกษตรกรรมนั้นแบ่งออกเป็นพื้นที่นาพืชไร่ ไม้ยืนต้น ไม้ผล พืชสวน พืชไร่ และโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เป็นต้น

#### 4. แผนที่พื้นที่ป่าไม้

พื้นที่ป่าไม้ (Forest land) บริเวณที่มีต้นไม้ (Tree) หลายชนิด ขนาดต่างๆ ขึ้นอยู่อย่างหนาแน่นและกว้างใหญ่พอที่จะมีอิทธิพลต่อสิ่งแวดล้อมในบริเวณนั้น เช่น ความเปลี่ยนแปลงของลมฟ้าอากาศ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และน้ำมีสัตว์ป่าและสิ่งมีชีวิตอื่นซึ่งมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน มีต้นไม้สูงตั้งแต่ 3 เมตรขึ้นไป มีเรือนยอดปกคลุม ร้อยละ 30 ขึ้นไปหรือพื้นที่ป่าที่ชุมชนปลูกและ/หรืออนุรักษ์ไว้ก็นับรวมเป็นพื้นที่ป่าไม้ด้วยประกอบด้วย ป่าไม้ผลัดใบ (ป่าดิบชื้น ป่าดิบแล้ง ป่าดิบเขา ป่าสนเขา) ป่าผลัดใบ (ป่าเบญจพรรณและป่าเต็งรัง) ป่าชายเลน ป่าพรุ ป่าปลูก วนเกษตร และป่าชายหาด โดยมีพื้นที่อย่างน้อย 10 ไร่ แต่ทั้งนี้ไม่ได้นับเอาป่าละเมาะ หรือต้นไม้สองข้างทางคมนาคม หรือที่ยืนต้นอยู่ตามหัวไร่ปลายนา หรือที่ขึ้นอยู่ในสวนสาธารณะ ป่าบุ่งป่าทาม (M2) และป่าในสถานที่ราชการ และสถาบันต่างๆ (U3) เช่นวัดป่า ให้เป็นป่าด้วย

#### 5. แผนที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ

เป็นข้อมูลพื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจที่สำคัญภายในจังหวัด โดยพิจารณาเลือกชนิดพืชที่มีพื้นที่ปลูกมาก 4 ชนิดพืช มาแสดง เพื่อให้เห็นภาพรวมว่าพืชเศรษฐกิจต่างๆ 4 ชนิดนี้ กระจายตัวอยู่

บริเวณใดบ้าง เป็นข้อมูลที่ได้จากการแปลภาพจากดาวเทียม และการสำรวจภาคสนามประกอบข้อมูลพื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจนี้คิดเฉพาะพื้นที่การเกษตรที่อยู่นอกเขตป่าไม้ตามกฎหมายเท่านั้น

#### 6. แผนที่พื้นที่ปลูกทุเรียน เงาะ และมังคุด ในชั้นความเหมาะสมต่างๆ

เป็นข้อมูลพื้นที่ปลูกทุเรียน เงาะและมังคุด จำแนกตามลักษณะดินและภูมิอากาศ ประกอบกับปัจจัยความต้องการในการเจริญเติบโตของทุเรียน เงาะและมังคุด แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1) พื้นที่ปลูกทุเรียนเงาะและมังคุดในพื้นที่เหมาะสม (S1 หรือ S2)

2) พื้นที่ปลูกทุเรียนเงาะและมังคุดในพื้นที่ไม่เหมาะสม (S3 หรือ N) และมีคำแนะนำการจัดการดินและพืชโดยทั่วไป เพื่อแก้ปัญหาหรืออุปสรรค ในพื้นที่ปลูกทุเรียน เงาะและมังคุดที่ไม่เหมาะสม

หมายเหตุ:	S1	หมายถึง เหมาะสมดี
	S2	หมายถึง เหมาะสมปานกลาง
	S3	หมายถึง ไม่ค่อยเหมาะสม
	N	หมายถึง ไม่เหมาะสม

#### 7. แผนที่ปลูกมันสำปะหลังในชั้นความเหมาะสมต่างๆ

เป็นข้อมูลพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง จำแนกตามลักษณะดินและภูมิอากาศ ประกอบกับปัจจัยความต้องการในการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1) พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังในพื้นที่เหมาะสม (S1 หรือ S2)

2) พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังในพื้นที่ไม่เหมาะสม (S3 หรือ N) และมีข้อเสนอแนะการจัดการดินและพืชเบื้องต้น สำหรับการปลูกมันสำปะหลังในพื้นที่ที่ไม่เหมาะสม ในแผนที่นี้ยังได้แสดงแหล่งน้ำและพื้นที่ชลประทานไว้ด้วย

หมายเหตุ:	S1	หมายถึง เหมาะสมดี
	S2	หมายถึง เหมาะสมปานกลาง
	S3	หมายถึง ไม่ค่อยเหมาะสม
	N	หมายถึง ไม่เหมาะสม

#### 8. แผนที่ปลูกลำไยในชั้นความเหมาะสมต่างๆ

เป็นข้อมูลพื้นที่ปลูกลำไยในชั้นความเหมาะสมต่างๆ จำแนกตามลักษณะดินและภูมิอากาศ ประกอบกับปัจจัยความต้องการในการเจริญเติบโตของลำไย แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

- 1) พื้นที่ปลูกลำไยในพื้นที่เหมาะสม (S1 หรือ S2)
- 2) พื้นที่ปลูกลำไยในพื้นที่ไม่เหมาะสม (S3 หรือ N) และมีข้อเสนอแนะการจัดการดินและพืชเบื้องต้น สำหรับการปลูกลำไยในพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมในแผนที่นี้ยังได้แสดง แหล่งน้ำ และ พื้นที่ชลประทานไว้ด้วย

หมายเหตุ:	S1	หมายถึง	เหมาะสมดี
	S2	หมายถึง	เหมาะสมปานกลาง
	S3	หมายถึง	ไม่ค่อยเหมาะสม
	N	หมายถึง	ไม่เหมาะสม

#### 9. แผนที่ปลูกยางพาราในชั้นความเหมาะสมต่างๆ

เป็นข้อมูลพื้นที่ปลูกยางพาราจำแนกตามลักษณะดินและภูมิอากาศ ประกอบกับปัจจัยความต้องการในการเจริญเติบโตของยางพาราแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

- 1) พื้นที่ปลูกยางพาราในพื้นที่เหมาะสม (S1 หรือ S2)
- 2) พื้นที่ปลูกยางพาราในพื้นที่ไม่เหมาะสม (S3 หรือ N) และมีข้อเสนอแนะการจัดการดินและพืชเบื้องต้น สำหรับการปลูกยางพาราในพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมในแผนที่นี้ยังได้แสดง แหล่งน้ำ และ พื้นที่ชลประทานไว้ด้วย

หมายเหตุ:	S1	หมายถึง	เหมาะสมดี
	S2	หมายถึง	เหมาะสมปานกลาง
	S3	หมายถึง	ไม่ค่อยเหมาะสม
	N	หมายถึง	ไม่เหมาะสม

#### 10. แผนที่ดินปัญหา

เป็นข้อมูลสมบัติของดินที่มีปัญหาต่อการเกษตรในจังหวัด ซึ่งได้จากการวิเคราะห์และแปลผลจากข้อมูลสถานภาพทรัพยากรดินและที่ดินของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2558 บนพื้นฐานของข้อมูลกลุ่มชุดดิน มาตรฐาน 1 : 25,000 โดยกำหนดให้แสดงผลข้อมูลที่ดินมีปัญหาเฉพาะพื้นที่เกษตรกรรมที่อยู่นอกเขตป่าไม้ตามกฎหมายเท่านั้น ทั้งนี้ได้จำแนกดินปัญหาต่อการเกษตรกรรมออกเป็น 6 ประเภท คือ

- 1) ดินตื้น หมายถึง ดินที่มีชั้นลูกรัง ก้อนกรวด หรือเศษหินปะปนอยู่ในเนื้อดินมากกว่า 35% หรือพบชั้นดินพื้น หรือชั้นปูนมาร์ล ตื้นกว่า 50 ซม. เป็นอุปสรรคต่อการเจริญของรากพืช
- 2) ดินทรายจัด หมายถึง ดินที่มีเนื้อดินเป็นทรายเป็นชั้นหนามากกว่า 50 ซม. มีข้อจำกัดด้านการกักเก็บน้ำและธาตุอาหาร
- 3) ดินอินทรีย์ หมายถึง ดินที่เกิดจากการทับถมของอินทรีย์สารที่ยังไม่ย่อยสลายเป็นชั้นหนามักพบในพื้นที่พรุและป่าชายเลน



4) ดินเค็ม หมายถึง ดินที่มีปริมาณเกลือที่ละลายน้ำได้อยุ่มาก จนมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืช มีค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินมากกว่า 2 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร

5) ดินเปรี้ยวจัด เกิดจากอิทธิพลของสารประกอบกำมะถันในหน้าตัดดิน ทำให้ดินเป็นกรดจัด มีผลต่อการใช้ประโยชน์ธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ตลอดจนความเป็นพิษของธาตุเหล็ก มักพบในพื้นที่ที่มีน้ำทะเลท่วมถึงในอดีตและปัจจุบัน

6) พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อนเป็นพื้นที่ที่มีความลาดชันมากกว่า 35% มีปัญหาด้านการชะล้างพังทลายของดิน

#### 11. แผนที่แหล่งน้ำผิวดิน

เป็นข้อมูลการกระจายตัวของแหล่งน้ำผิวดินซึ่งเป็นข้อมูลจาก กรมชลประทาน และกรมพัฒนาที่ดิน ประกอบด้วยอ่างเก็บน้ำและแหล่งน้ำธรรมชาติ ทางน้ำที่มีพื้นที่ชลประทาน จุดที่ตั้งของแหล่งน้ำในไร่นาของกรมพัฒนาที่ดิน จุดที่ตั้งของโครงการชลประทานขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดเล็ก จุดที่ตั้งของโครงการอนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำของกรมทรัพยากรน้ำ

#### 12. แผนที่แหล่งน้ำใต้ดิน (บ่อบาดาล)

เป็นข้อมูลแสดงจุดที่ตั้งของบ่อบาดาล เห็นการกระจายตัวของบ่อบาดาล ที่ดำเนินการโดยกรมทรัพยากรน้ำบาดาล มีตารางสรุปจำนวนบ่อบาดาลในแต่ละอำเภอ

#### 13. แผนที่โครงการพัฒนาแหล่งน้ำ พ.ศ. 2560 – 2569

เป็นข้อมูลแสดงพื้นที่ชลประทานที่คาดว่าจะพัฒนาขึ้นตามแผนยุทธศาสตร์การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ ปี พ.ศ. 2560 - 2569 จากกรมชลประทาน โดยจะแสดงพื้นที่และตำแหน่งของโครงการชลประทานที่จะพัฒนาในอนาคต ถึง ปี พ.ศ. 2569

#### 14. แผนที่เขตความเหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล

เป็นแผนที่แสดงเขตความเหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล เช่น กุ้งกุลาดำ กุ้งขาว เป็นต้น โดยใช้ปัจจัยในการวิเคราะห์ ได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน การระบายน้ำของดิน ลักษณะเนื้อดิน ความลาดชันของพื้นที่ ลำน้ำและเส้นทางน้ำ เส้นทางคมนาคม และปริมาณฝน ซึ่งจำแนกระดับความเหมาะสมเป็น 2 กลุ่ม คือ

1) เหมาะสมปานกลาง

2) เหมาะสมสูง

และยังมีข้อมูลของอ่างเก็บน้ำและพื้นที่ชลประทานในแผนที่นี้ด้วย

#### 15. แผนที่เขตความเหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด

เป็นแผนที่แสดงเขตความเหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด เช่น ปลานิล ปลาตะเพียน ปลาดุก กุ้งก้ามกราม เป็นต้น โดยใช้ปัจจัยในการวิเคราะห์ ได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่างของ

ดินการระบายน้ำของดิน ลักษณะเนื้อดิน ความลาดชันของพื้นที่ ลำน้ำและเส้นทางน้ำ เส้นทางคมนาคม และปริมาณฝน ซึ่งจำแนกระดับความเหมาะสมเป็น 3 กลุ่ม คือ

- 1) เหมาะสมปานกลาง
- 2) เหมาะสมสูง
- 3) เหมาะสมสูงที่สุด

และยังมีข้อมูลของอ่างเก็บน้ำและพื้นที่ชลประทานในแผนที่นี้ด้วย

#### 16. แผนที่แสดงที่ตั้งโรงงานด้านการเกษตร

คำนิยามเป็นข้อมูลแหล่งที่ตั้งของสมาชิกที่สำคัญในโซ่อุปทานสินค้าเกษตร ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำของสถาบันเกษตรกรและภาคเอกชน เช่น ผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ ทำข้าว ลานมัน ลานเท ตลาดสด ตลาดกลาง ห้างค้าปลีก/ค้าส่งสมัยใหม่ โรงงานแปรรูป ห้องเย็น ไซโล และผู้ส่งออก เป็นต้น รวมถึงข้อมูลโครงสร้างพื้นฐานด้านโลจิสติกส์ที่สำคัญ โดยเน้นสินค้าเกษตร 5 อันดับแรกในผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (Gross Provincial Product, GPP) ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวจึงเป็นประโยชน์ต่อการบริหารจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทานสินค้าเกษตร (Logistics & Supply Chain Management: L&SCM) ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

#### 17. แผนที่ครัวเรือนเกษตรกรและรายได้-หนี้สินภาคการเกษตร

แผนที่แสดงข้อมูลจำนวนครัวเรือนเกษตรกรที่ขึ้นทะเบียนเกษตรกรกับกรมส่งเสริมการเกษตร และแสดงข้อมูลเปรียบเทียบรายได้-หนี้สินในภาคการเกษตรดังนี้

รายได้ในภาคการเกษตรเฉลี่ยต่อครัวเรือนต่อปีรายอำเภอ กับ รายได้ในภาคการเกษตรเฉลี่ยต่อครัวเรือนต่อปีของจังหวัด โดยใช้สัญลักษณ์วงกลม โดยสีเขียวคือรายได้เฉลี่ยของอำเภอสุงกว่ารายได้เฉลี่ยของทั้งจังหวัด สีแดงคือ รายได้เฉลี่ยของอำเภอน้อยกว่ารายได้เฉลี่ยของทั้งจังหวัด

หนี้สินในภาคการเกษตรเฉลี่ยต่อครัวเรือนต่อปีรายอำเภอกับหนี้ในภาคการเกษตรเฉลี่ยต่อครัวเรือนต่อปีของจังหวัด โดยใช้สัญลักษณ์ สามเหลี่ยม โดยสีเขียวคือหนี้สินเฉลี่ยของอำเภอน้อยกว่ารายได้เฉลี่ยของทั้งจังหวัด สีแดงคือ หนี้สินเฉลี่ยของอำเภอสุงกว่ารายได้เฉลี่ยของทั้งจังหวัด

#### 18. แผนที่ลักษณะการถือครองที่ดิน

เป็นข้อมูลเชิงสถิติที่แสดงถึงลักษณะการถือครองที่ดินของเกษตรกรว่า เป็นของตนเอง หรือเช่า หรือเป็นที่สาธารณประโยชน์ และแสดงข้อมูลจำนวนครัวเรือนเกษตรกร

##### 2.6.4 การนำข้อมูลแผนที่เขตเหมาะสมของที่ดินสำหรับการผลิตพืชเศรษฐกิจไปสู่การปฏิบัติ

แผนที่ความเหมาะสมของที่ดินสำหรับการผลิตพืชนั้น ในแผนที่นี้จะแยกออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

- 1) บริเวณที่มีความเหมาะสม
- 2) บริเวณที่ไม่มีความเหมาะสม

การพิจารณาแบบที่เพื่อจะส่งเสริมพัฒนาการเกษตรนั้น มีดังนี้

## 1. กรณีมีการผลิตสินค้าชนิดนั้นๆ อยู่ในเขตเหมาะสมอยู่แล้ว

1.1 ส่งเสริมการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต โดยการให้องค์ความรู้ ข้อมูลด้านการผลิตทางการเกษตรและเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อประสิทธิภาพการผลิต

1.2. ลดต้นทุนการผลิต การดำเนินงานเรื่องพันธุ์ดี การจัดทำเขตปลอดโรค การค้นหาผู้ประสบความสำเร็จในการทำอาชีพการเกษตรแต่ละด้านในมิติประสิทธิภาพ ผลตอบแทน และผลผลิตต่อไร่ เพื่อเป็นแปลงต้นแบบที่ใช้เป็นแหล่งเรียนรู้จากผู้มีประสบการณ์จริง ของเกษตรกรใกล้เคียงรวมถึงการนำพาเกษตรกรเรียนรู้จากแปลงต้นแบบ เพื่อพัฒนาการผลิตให้ได้ มาตรฐาน GAP เป็นต้น

2. กรณีมีการผลิตสินค้าชนิดอื่นๆ อยู่ในเขตไม่เหมาะสม ควรปรับเปลี่ยนมาผลิตสินค้าเกษตรที่ให้ผลตอบแทนสูงกว่า โดยจงใจให้เกษตรกรปรับเปลี่ยนชนิดสินค้าด้วยความสมัครใจ โดยส่งเสริมแนะนำข้อมูลที่ได้วิเคราะห์มาแล้ว และเสนอเป็นเมนูทางเลือกที่แสดงโอกาสที่เกษตรกรจะได้รับรายได้ที่เพิ่มขึ้น และความเป็นไปได้ในการปรับเปลี่ยนมาเป็นการผลิตที่ได้ผลตอบแทนสูงกว่าและสอดคล้องกับความต้องการของตลาด เช่น

2.1 การปลูกพืชเศรษฐกิจที่ตลาดมีความต้องการสูง เช่น อ้อย ไม้ผล พืชผัก หรือพืชสมุนไพร ตลอดจนพืชพลังงาน

2.2 การทำปศุสัตว์ ได้แก่ โคเนื้อ สุกร ไก่เนื้อ ไก่ไข่

2.3 การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้แก่ ปลานิล ปลาน้ำจืด

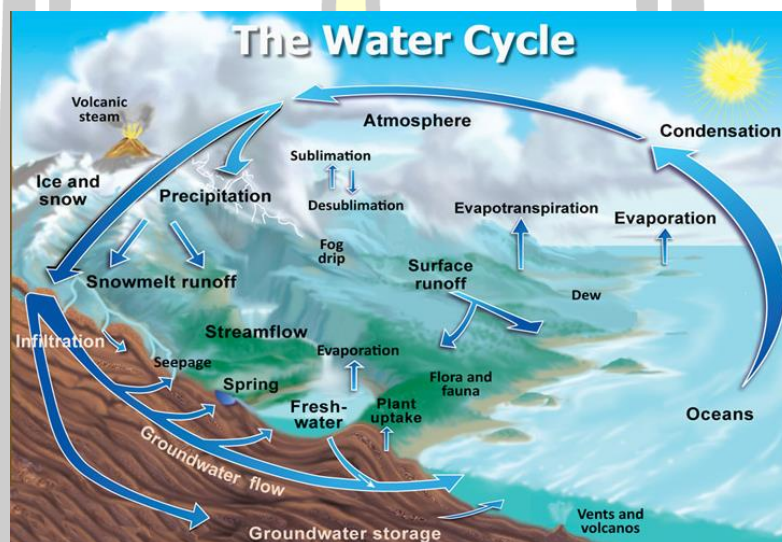
2.4 การปรับเปลี่ยนการทำการผลิตแบบเกษตรผสมผสานเพื่อลดความเสี่ยงจากภัยพิบัติและลดผลกระทบจากการเปิดการค้าเสรี รวมทั้งการสร้างความมั่นคงด้านอาหาร เป็นต้น

## 2.7 แบบจำลองด้านอุทกวิทยา

น้ำฝน จุดสำคัญที่สุดของวัฏจักรน้ำ เป็นข้อมูลที่ได้รับการพิจารณาเป็นอันดับแรกของความสำคัญในด้าน การวางแผนในการปฏิบัติงานและเกี่ยวกับการออกแบบน้ำฝน จึงเป็นข้อมูลที่ต้องใช้องค์ความรู้ความเข้าใจ ตลอดจนความละเอียดอ่อนทางวิชาการอย่างมาก เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่ถูกต้องที่สุด สิ่งที่ควรรู้มีอะไรบ้าง ปัจจัยการเกิดฝน ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนักเบา ระยะเวลาตก ปริมาณ ความถี่ และการกระจาย การหาค่าเฉลี่ยน้ำฝนของกลุ่มน้ำ วิถีหาพื้นที่รับน้ำฝน การวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนใช้การ (Effective Rainfall)

## ปัจจัยการเกิดฝน

1. ไอน้ำในบรรยากาศ ปริมาณฝนจะตมมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ
2. อุณหภูมิของฝุ่นละออง เปรียบเสมือนแกนกลางที่จะดูดซับไอน้ำให้เป็นการก่อพอร์มเม็ดฝน
3. กระบวนการเกิดความเย็น ที่สามารถทำให้เกิดการควบแน่น ทั้ง 3 ปัจจัยนี้จะขาดปัจจัยหนึ่งปัจจัยใดมิได้เพราะขาดไปเพียงปัจจัยเดียวก็ไม่สามารถทำให้เกิดฝนได้



ภาพประกอบ 2. 11 วัฏจักรของอุทกวิทยา

ที่มา : Periman et al. (2013)

วัฏจักรน้ำ คือการเคลื่อนย้ายของน้ำ จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง หรือจากระบบหนึ่งไปยังอีกระบบหนึ่ง โดยอาจเปลี่ยนสถานะ (ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ) หรือไม่เปลี่ยนสถานะก็ได้ ซึ่งในที่สุดก็จะหมุนเวียนกลับมาสู่ที่เดิม หรือระบบเดิม วัฏจักรน้ำที่สมบูรณ์ที่สุด โดยเริ่มจาก เมฆ (Cloud) ฝน (Precipitation) การดัก (Interception) การตกผ่าน (Throughfall) การไหลบ่า (Overland flow) การไหลในลำน้ำ (Stream flow) การแทรกซึม (Infiltration) การซึมลึก (Percolation) การซึมออก (Exfiltration) การคายระเหย (Evapotranspiration) เมฆ (cloud)

ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนักเบา (Intensity) ระยะเวลาตก (Duration) ปริมาณ (Depth) ความถี่ในการตก ( Frequency ) และการกระจาย (Area distribution)

สภาพฝนที่ตกในพื้นที่ลุ่มน้ำน้ำมีอิทธิพลโดยตรงต่อน้ำที่เกิดในลำน้ำลำธาร ดังนี้

1. ความเข้มของฝนที่ตก หมายถึง ปริมาณฝนที่ตกในหนึ่งหน่วยเวลา นิยมวัดเป็นมิลลิเมตรต่อนาที่หรือ มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ความเข้มของฝนตกเมื่อมากกว่าอัตราการซึมของน้ำที่ไหลลงไปในดินแล้ว ปริมาณน้ำท่าที่ไหลบนผิวดินจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามอัตราการเพิ่มของฝนที่ตก อย่างไรก็ตาม ปริมาณน้ำท่าที่ไหลบนผิวดินอาจไม่เพิ่มเป็นจำนวนน้ำฝนที่เหลือจากการซึมสูญหายลงไปในดินเท่าใดนัก ทั้งนี้เพราะฝนที่เหลืงดังกล่าวส่วนหนึ่งมักถูกเก็บขังในลักษณะน้ำนองในที่ลุ่มก่อนที่จะไหลหลากเป็นน้ำท่า

2. ระยะเวลาที่ฝนตก ระยะเวลาที่ฝนตกในพื้นที่ลุ่มน้ำมีส่วนสำคัญที่จะทำให้เกิดน้ำท่าเป็นจำนวนมาก หรือน้อยเพียงใด เมื่อฝนตกครั้งหนึ่งๆระยะเวลาที่ฝนตกนี้ยังมีส่วนเกี่ยวข้องต่อการลดอัตราการไหลซึมของน้ำลงไปในดินด้วย ดังนั้นแม้ว่าอัตราความเข้มของฝนที่ตกในเขตพื้นที่ลุ่มจะอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง แต่ถ้าฝนตกเป็นระยะเวลานานแล้วก็ย่อมจะเกิดน้ำท่าในลำธารลำห้วยได้เช่นกัน

3. การแผ่กระจายของฝนที่ตกในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำสภาพฝนที่ตกแผ่กระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดพื้นที่ลุ่มน้ำ มักจะทำให้เกิดน้ำท่าไหลมาเป็นจำนวนมาก สำหรับลุ่มน้ำขนาดใหญ่การเกิดน้ำท่าวมอาจเนื่องมาจากฝนธรรมดาที่ตกครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของลุ่มน้ำ มากกว่าฝนที่ตกหนักแต่ไม่กระจายทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ สำหรับการเกิดลำธารและแม่น้ำของลุ่มน้ำหนึ่งๆ กล่าวได้ว่า มีต้นกำเนิดซึ่งอาจเริ่มจากบริเวณภูเขา แหล่งน้ำซับน้ำพุ หรือทะเลสาบในที่สูง ในระยะแรกเมื่อเกิดน้ำไหลบนผิวดินไปตามสภาพภูมิประเทศที่มีความลาดเอียง ซึ่งน้ำที่ไหลสะสมจะมีปริมาณมากขึ้นเป็นลำดับและไหลเร็วขึ้น จึงเริ่มกัดเซาะแผ่นดินเกิดเป็นร่องน้ำ และลำธารเล็กๆ ต่อจากนั้นน้ำที่ไหลมาจากลำธารหลายสายจะรวมตัวกันมีปริมาณมากขึ้นแล้วไหลลงสู่บริเวณที่ต่ำ ซึ่งการกัดเซาะ ร่องน้ำยังเกิดขึ้นทั้งแนวตั้งและแนวราบตามทางที่น้ำไหลผ่านจนกว่าลำน้ำจะมีความลาดเท ขนาดความกว้างและความลึกของลำน้ำมีสภาพสมดุลสามารถรองรับปริมาณน้ำไหลหลากที่เกิดจากบริเวณลุ่มน้ำทั้งหมดได้ แล้วไหลออกสู่ปากแม่น้ำและทะเลต่อไป

ปริมาณน้ำฝนที่ลงมายังพื้นดินบางครั้งไม่ได้แทรกซึมลงไปในดินทั้งหมด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการแทรกซึม (Infiltration Rate) ถ้าปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาในอัตราน้อยกว่าการแทรกซึม น้ำฝนจะแทรกซึมลงไปในดินทั้งหมด แต่ถ้าปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาในอัตราที่มากกว่าอัตราแทรกซึม น้ำฝนที่เหลือจากการแทรกซึมลงไปในดินก็จะเกิดการ ไหลบ่าผ่านผิวดิน (Surface Runoff) ลงสู่ที่ต่ำ กรณีที่มีพืชพรรณหรือป่าไม้ขึ้นปกคลุมพื้นดิน ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาบางส่วนจะถูกยึดไว้ (Interception) โดยใบ กิ่ง ก้าน และลำต้น จะมีมากหรือน้อย ก็ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชพรรณหรือประเภทของป่าไม้ถึงแม้ว่าปริมาณน้ำฝนที่ตกจะแทรกซึมลงไปในดินทั้งหมดหรือเป็นบางส่วนก็ตาม ดินก็จะได้รับความชื้น

เพิ่มขึ้นทำให้ดินมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นจึงมีผลทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลดินด้วยกันหรือระหว่างมวลดินกับหินลดลง ขณะเดียวกันแรงต้านต่อการยึดเหนี่ยวหรือแรงผลักดันมีเพิ่มมากขึ้นประกอบกับสภาพพื้นที่ตามลาดไหล่เขาที่มีความลาดชันและมีแรงโน้มถ่วงของโลกจึงเป็นสาเหตุให้ดินและหินแตกหลุดออกจากกันและเกิดการถล่มลงมา

ผลการศึกษาจากการคาดคะเนปริมาณและความหนาแน่น ของฝนเป็น 3 ระดับ กล่าวคือ

- 1.ระดับรุนแรงน้อย ต้องมีฝนตกติดต่อกันมากกว่า 3 วัน มีปริมาณฝนระหว่าง 270-300 มิลลิเมตร และความหนาแน่นของฝนระหว่าง 90-100 มิลลิเมตรต่อวัน
- 2.ระดับปานกลาง ต้องมีฝนตกติดต่อกันมากกว่า 2 วัน มีปริมาณฝนระหว่าง 280-300 มิลลิเมตร และความหนาแน่นของฝนระหว่าง 140-150 มิลลิเมตรต่อวัน
- 3.ระดับรุนแรง ต้องมีฝนตกมากกว่า 6 วัน มีปริมาณฝนระหว่าง 480-500 มิลลิเมตร และความหนาแน่นของฝนระหว่าง 80-85 มิลลิเมตรต่อวัน

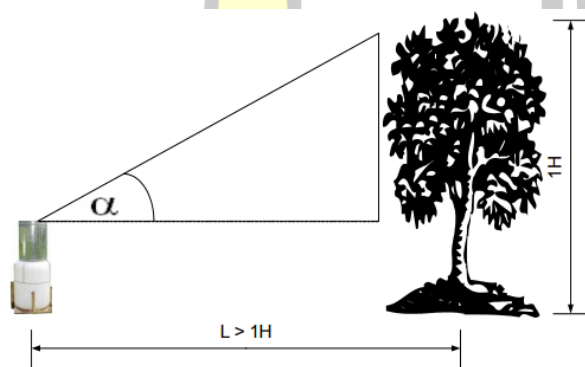
#### 2.7.1 การวัดปริมาณน้ำฝน (Measurement of precipitation)

การวัดปริมาณน้ำฝน (Measurement of Precipitation) ที่ใช้ในลุ่มน้ำต่างๆ เครื่องมือและเทคนิคต่างๆ ที่ใช้กับข้อมูลเกี่ยวกับฝน ได้มีการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพเสมอ เครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณและความหนักเบาของน้ำ ฝนจึงมีความสำคัญมาก ปริมาณน้ำฝนใช้วัดเป็นความสูง ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่ฝนตกบริเวณหนึ่งๆจะมีน้ำ ฝน สม่ำเสมอกันทั่วบริเวณ ความสูงของสัดส่วนโดยตรงกับน้ำฝนที่ตกลงมาบนพื้นที่นั้นจะเท่ากันตลอดทั่วทั้งบริเวณ แม้สิ่งที่รองรับจะใหญ่หรือเล็กก็ตาม ดังนั้นการ วัดโดยใช้หน่วยความสูงจึงเป็นการสะดวกกว่าวัดเป็นปริมาตร

น้ำฝนจะเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของพื้นที่ โดยทั่วไปใช้วัดความสูงของน้ำฝนเป็นมิลลิเมตร (mm) หรือ นิ้ว (inch) และถ้าฝนตกต่ำกว่า 0.01 มิลลิเมตร หรือ 0.005" ถือว่าไม่มีฝนตก เครื่องมือวัดน้ำฝนแบ่งออกได้ 2 ลักษณะ คือ แบบที่บันทึกไม่ได้ (Non-recording rain gauge) และแบบที่ใช้บันทึกข้อมูลลงในกระดาษกราฟได้ (Recording rain gauge) เหมาะสำหรับบันทึกทำสถิติข้อมูลน้ำฝน สำหรับ Non-recording rain gauge เป็น Standard rain gauge ของ U.S. Weather Bureau ทำด้วยโลหะรูปทรงกระบอกมีกรวยครอบ (Catch Funnel) เป็นที่รองรับน้ำฝนขนาด Diameter 8" น้ำฝนจะไหลผ่านที่รองรับเข้าไปในกระบอกวัดน้ำฝนที่อยู่ภายในเนื้อที่หน้าตัดของกระบอกวัดน้ำฝนเป็น 1/10 เท่าของเนื้อที่กรวยที่สวมอยู่ภายนอก ทั้งนี้เพื่อให้วัดน้ำฝนให้ละเอียด ถูกต้องมากยิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่น การวัดน้ำฝนได้ 10 มิลลิเมตร คือต้องเอา 10 ไปหารจึงจะได้ค่าที่แท้จริง แต่ในทางปฏิบัตินิยมใช้ไม้บรรทัดที่เป็นไม้วัด Scale 1:10 เมื่ออ่านค่าจากไม้วัดได้เท่าไร จะเป็นค่าของฝนที่ตกทันที การอ่านค่าน้ำฝนทุกครั้งจะต้องเทน้ำฝนที่วัดแล้วทิ้งออกจากกระบอกเพื่อรองรับน้ำฝนครั้งต่อไป

เครื่องวัดน้ำฝนนี้ตั้งอยู่บนขาตั้งความสูงจากขาตั้งถึงปากกรวยตอนบนสุดประมาณ 34 ขาตั้งนี้ใช้ยึดติดกับฐานไม้ซึ่งติดตั้งไว้ในแนวระดับ และเนื่องจากปัจจัยที่เกี่ยวกับลม ควรใช้ขนาดและรูปร่างแบบเดียวกันและติดตั้งในที่โล่งแจ้งเช่นเดียวกันด้วย

ส่วนแบบ Recording rainuage ใช้สำหรับวัดค่า Intensity และ Duration ของน้ำฝนออกมาในรูปของ Graph ที่ใช้อยู่เป็นส่วนมากในขณะนี้ เป็นของ U.S. Weather Bureau ชนิด Weighing Type น้ำหนักของน้ำฝนที่ตกลงมาในที่รองรับน้ำฝน ซึ่งตั้งอยู่บนตาชั่ง ทำให้ปากกาบันทึกการทวิขึ้นตามความหนักเบาและเวลาที่ฝนตก เครื่องมือนี้ควรติดตั้งให้ได้ระดับและอยู่เหนือพื้นดินไม่น้อยกว่า 12" และไม่เกิน 24" เครื่องมือวัดน้ำฝนควรติดตั้งในที่โล่งแจ้งไม่มีต้นไม้หรือสิ่งเบียดบัง อยู่น้อยจากศูนย์กลางของเครื่องมือวัดน้ำฝนทำมุมขึ้นไป  $45^\circ$  กับแนว Horizontal ถ้าไม่มีสิ่งกีดขวางใดๆแล้วควรใช้เป็นที่ตั้งได้



ภาพประกอบ 2. 12 เกณฑ์การติดตั้งเครื่องมือวัดน้ำฝน

ที่มา : สุพจน์ เจริญสุข (2550)

เกณฑ์การพิจารณาปริมาณฝนในระยะเวลา 24 ชั่วโมงของแต่ละวันตั้งแต่เวลา 07.00 น. ของวันหนึ่งถึง เวลา 07.00 น. ของวันรุ่งขึ้น ตามลักษณะของฝนที่ตกในประเทศที่อยู่ในเขตร้อนย่านมรสุมมีดังนี้

ฝนวัดจำนวนไม่ได้	ปริมาณฝนน้อยกว่า 0.1 มิลลิเมตร
ฝนเล็กน้อย	ปริมาณฝนระหว่าง 0.1 - 10.0 มิลลิเมตร
ฝนปานกลาง	ปริมาณฝนระหว่าง 10.1 - 35.0 มิลลิเมตร
ฝนหนัก	ปริมาณฝนระหว่าง 35.1 - 90.0 มิลลิเมตร
ฝนหนักมาก	ปริมาณฝนตั้งแต่ 90.1 มิลลิเมตรขึ้นไป

### เกณฑ์การกระจายของฝน

1. ฝนบางพื้นที่(Isolated) หมายถึง มีฝนตกน้อยกว่า 20% ของพื้นที่
2. ฝนกระจายเป็นแห่งๆ (Widely Scattered) หมายถึง มีฝนตกตั้งแต่ 20% ขึ้นไป แต่ไม่เกิน 40% ของพื้นที่
3. ฝนกระจาย(Scattered) หมายถึง มีฝนตกตั้งแต่ 40% ขึ้นไป แต่ไม่เกิน 60% ของพื้นที่
4. ฝนเกือบทั่วไป(Almost Widespread) หมายถึง มีฝนตกตั้งแต่ 60% ขึ้นไป แต่ไม่เกิน 80% ของพื้นที่
5. ฝนทั่วไป(Widespread) หมายถึง มีฝนตกตั้งแต่ 80% ของพื้นที่ ขึ้นไป

### 2.7.2 การวิเคราะห์ข้อมูลน้ำฝน

การวิเคราะห์ข้อมูลน้ำฝนในช่วงพายุฝนอาจจำแนกการศึกษาและวิเคราะห์ขั้นพื้นฐานได้ 3 แบบด้วยกัน คือ (1) การวิเคราะห์เฉพาะจุดหรือสถานี (Point or station Analysis) (2) การวิเคราะห์การแจกแจงตาม กาลเวลา (Time Distribution Analysis) และ (3) การวิเคราะห์การแจกแจงตามพื้นที่ (Areal Distribution Analysis)

1. การวิเคราะห์ข้อมูลเฉพาะจุดหรือสถานี สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำฝนเฉพาะจุดหรือสถานี พอสรุปได้ว่ามีสองลักษณะด้วยกันคือ

- 1.1 การหาค่าเฉลี่ยข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากสถานีใกล้เคียงอย่างน้อย 3 สถานี
- 1.2 การหาค่าข้อมูลที่ขาดหายไปด้วยการเขียนเส้นชั้นความลึกลงน้ำฝน (Isohyetal)
- 1.3 การหาค่าข้อมูลที่ขาดหายไปด้วยวิธีสัดส่วนปกติ (Normal ratio method)

การตรวจสอบความเชื่อถือได้ (Consistency) ของข้อมูลน้ำฝน นิยมใช้วิธีวิเคราะห์สะสมเชิงซ้อน (Double mass analysis) วิธีการตรวจสอบกระทำโดยการเปรียบเทียบค่าปริมาณน้ำฝนรายปีสะสมที่เกี่ยวข้อง ซึ่งเฉลี่ยจากสถานีต่างๆ ที่ตั้งอยู่รอบๆ การเปรียบเทียบกระทำโดยการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณน้ำฝนรายปีสะสมของสถานีที่ต้องการจะตรวจสอบกับค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนรายปีสะสมจากสถานีต่างๆ หากข้อมูลเชื่อถือได้ กราฟที่พล็อตได้จะเป็นเส้นตรงและมีความลาดชันคงที่ แต่ถ้าหากว่ากราฟที่พล็อตได้มีความลาดชันได้หลายค่า แสดงว่าข้อมูลปริมาณฝนของสถานีที่ตรวจสอบยังเชื่อถือไม่ได้ เพราะอาจมีการเปลี่ยนแปลงอย่างใดอย่างหนึ่งเกิดขึ้นในปีที่เป็นจุดเปลี่ยนความลาดชันของกราฟที่พล็อต ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวก็คืออาจจะมีการย้ายที่ตั้งเครื่องวัดน้ำฝน อาจจะมีการเปลี่ยนเครื่องวัดใหม่ เปลี่ยนเวลาทำการวัด เป็นต้น ดังนั้นก่อนที่จะนำข้อมูลไปใช้จะต้องทำการปรับแก้ข้อมูลเสียก่อน



## 2. การวิเคราะห์การแจกแจงข้อมูลตามกาลเวลา

การวิเคราะห์การแจกแจงข้อมูลตามกาลเวลามีขีดจำกัดทำได้เฉพาะข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดน้ำฝนแบบอัตโนมัติเท่านั้น ข้อมูลดังกล่าวอาจจะตีพิมพ์เป็นตารางข้อมูลรายชั่วโมง การวิเคราะห์กระทำโดยคัดลอกข้อมูลรายชั่วโมง และคำนวณหาค่าสะสมของข้อมูลรายชั่วโมงจนตลอดช่วงเวลาของฝนที่ตก กราฟที่เกิดจากการพล็อตข้อมูลสะสมรายชั่วโมงกับเวลาเรียกว่า กราฟความลึกน้ำฝนสะสม (Rainfall mass curve) ซึ่งสามารถทำให้ทราบช่วงเวลาของ พายุฝนที่ตกหนักและเบาต่างๆ หรือช่วงเวลาที่มีความเข้มของฝนต่างๆ กันได้ นอกจากนี้การเปรียบเทียบกราฟน้ำฝนสะสมจากหลายๆ สถานีของพายุฝนลูกเดียวกัน จะทำให้สามารถทราบทิศทางการเคลื่อนที่ของพายุฝนดังกล่าวได้

## 3. การวิเคราะห์การแจกแจงข้อมูลตามพื้นที่

ในการวิเคราะห์วิธีนี้ ปริมาณน้ำฝนที่วัดทุกสถานีในพื้นที่ใดๆ จะนำมาวิเคราะห์รวมกันเพื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยของฝนที่ตกลงบนพื้นที่นั้น เนื่องจากค่าเฉลี่ย (Average หรือ mean) ได้ใช้บ่อยครั้งในอุทกวิทยา ในกรณีความลึกเฉลี่ยของปริมาณฝนจึงนิยมใช้คำว่า ความลึกสมมูลเทียบเท่า (Equivalent uniform depth) แทน การคำนวณความลึกสมมูลเทียบเท่าของปริมาณฝนนั้น กระทำได้ 3 วิธีด้วยกันคือ

1. เฉลี่ยด้วยวิธีคณิตศาสตร์
2. เฉลี่ยด้วยวิธีรูปสี่เหลี่ยมโพลีกอน (Thiessen Polygon)
3. เฉลี่ยด้วยวิธีเส้นชั้นความลึกน้ำฝน (Isohyetal)

### 2.7.3 แบบจำลอง SWAT (Soil and Water Assessment Tool)

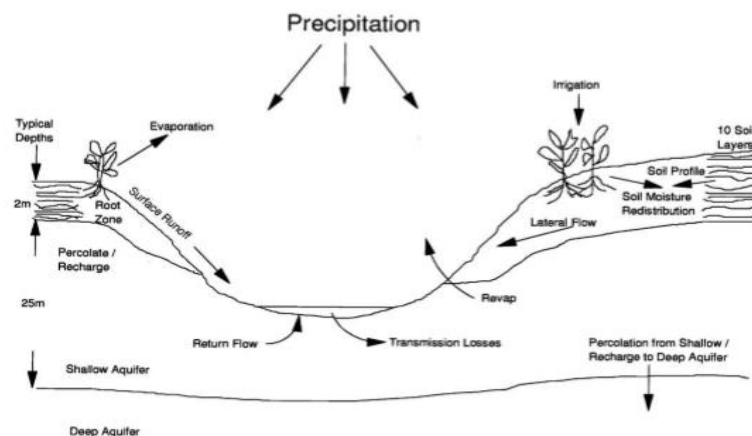
เป็นแบบจำลองทางอุทกวิทยาที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่า การวิเคราะห์ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำท่าจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ซึ่งได้แก่ น้ำท่า ตะกอน และสารเคมีจากการเกษตรกรรมของพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่และมีระบบที่สลับซับซ้อน (large-complex watershed) อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพดินและการใช้ที่ดิน โดยแบบจำลองนี้ได้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องภายใต้ความร่วมมือระหว่าง Blackland research center, TAES กับ United states department of agriculture-agricultural research service (USDA-ARS) ตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1990 จนถึงรุ่นล่าสุดในปี ค.ศ. 2000 ซึ่งได้มีการนำข้อมูลระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) จากแบบจำลอง ArcGIS ประยุกต์ใช้กับร่วมกับแบบจำลอง SWAT หรือ ArcSWAT

แบบจำลอง SWAT อาศัยข้อมูลเชิงกายภาพ โดยมีส่วนประกอบหลักๆ ได้แก่ ข้อมูลด้านภูมิอากาศ ด้านอุทกวิทยา ด้านอุณหภูมิตดิน และด้านการจัดการที่ดินโดยการแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย และภายในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยก็จะถูกแบ่งเป็น หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา

(Hydrologic Response Units, HRUs) ซึ่งเป็นการซ้อนทับกันของชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน การจัดการที่ดิน และคุณสมบัติที่ดิน การประมาณค่าทางอุทกวิทยาจะใช้หลักการทางด้านสมดุลของน้ำ โดยปริมาณน้ำที่ถูกกักเก็บไว้ในดินจะเท่ากับ ปริมาณน้ำที่ดินได้รับมา ลบกับปริมาณน้ำที่ดินสูญเสียไป ปริมาณน้ำที่ดินได้รับมาประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำชลประทาน ส่วนปริมาณน้ำที่สูญเสียไปประกอบด้วยปริมาณน้ำไหลบ่า ปริมาณการคายระเหยของน้ำ ปริมาณการซึมลึกลงไปได้ดินของน้ำ และปริมาณการไหลลงแม่น้ำ ดังสมการที่ (2-2)

$$SW_t = SW + \sum (R_i - Q_i - E_{Ti} - P_i - Q_{Ri}) \quad (2-2)$$

- โดยที่
- $S_{Wt}$  = ปริมาณน้ำที่กักเก็บไว้ในดิน (มม.)
  - $t$  = ช่วงเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการคำนวณ
  - $i$  = ลำดับของเวลาในแต่ละชั้นของการคำนวณ
  - $R_i$  = ปริมาณน้ำฝน (มม.)
  - $Q_i$  = ปริมาณน้ำไหลบ่า (มม.)
  - $E_{Ti}$  = ปริมาณการคายระเหย (มม.)
  - $P_i$  = ปริมาณน้ำที่ซึมลึกลงดิน (มม.)
  - $Q_{Ri}$  = ปริมาณน้ำที่ไหลลงแม่น้ำ (มม.)



ภาพประกอบ 2. 13 แนวคิดการเกิดน้ำท่าในแบบจำลอง SWAT  
ที่มา : Arnold, J.G., et al., (1998)

ข้อมูลที่ต้องการสำหรับสมการสมดุลของน้ำในแบบจำลอง SWAT ได้แก่ ข้อมูลภูมิอากาศ (ประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวัน ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดรายวัน) ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและข้อมูล เกี่ยวกับพืชที่ทำการเพาะปลูก และ ข้อมูลดิน (ประกอบด้วยคุณสมบัติของดินในแต่ละชั้นดิน) หลักการประเมินน้ำท่าในแบบจำลอง SWAT แบบจำลอง SWAT วิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าโดยวิธี SCS curve number พัฒนาโดย U.S. Department of Agriculture ซึ่งเป็นทฤษฎีการหาปริมาณน้ำฝนส่วนเกิน (Rainfall Excess) โดยจะทำการแบ่งปริมาณน้ำฝน (Precipitation, P) ออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ปริมาณการไหลโดยตรง (Direct Runoff,  $P_e$ ) ปริมาณการไหลซึมลงดิน (Infiltration,  $F_a$ ) และปริมาณการสูญเสียเริ่มต้น (Initial Abstraction,  $I_a$ ) ซึ่งจะมีความสัมพันธ์ ดังสมการ (2-3)

$$P = P_e + I_a + F_a \quad (2-3)$$

การคำนวณปริมาณการสูญเสียของปริมาณฝน เพื่อประเมินปริมาณการไหลโดยตรง ทำได้ โดยการพัฒนา Curve Number (CN) ซึ่งได้จากการรวบรวมข้อมูลปริมาณฝนและข้อมูลปริมาณการไหลโดยตรงโดยการ พล็อตค่าสะสมของข้อมูลจะเห็นว่าปริมาณการไหลโดยตรง จะเกิดหลังจากฝนตกแล้วช่วงเวลาหนึ่ง จึงได้ ความสัมพันธ์ดังสมการ (2-4)

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - I_a)^2}{(R_{day} - I_a + S)} \quad (2-4)$$

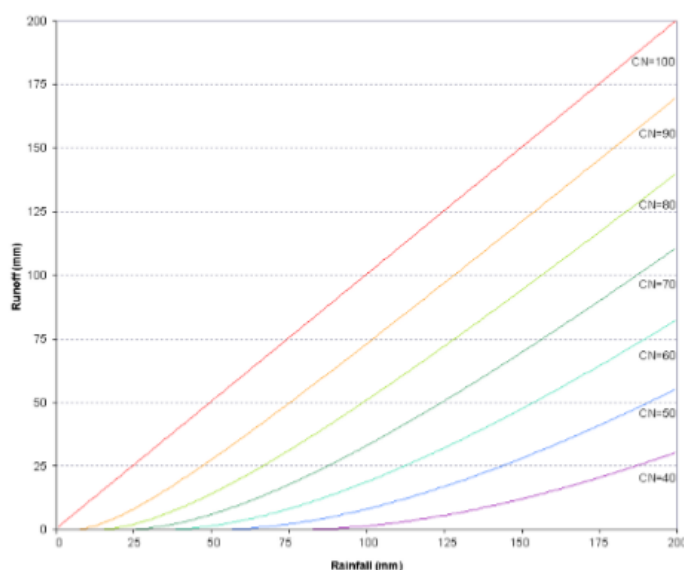
โดยที่

- $Q_{surf}$  = ปริมาณน้ำไหลบ่าบนผิวดิน (มม.)
- $R_{day}$  = ปริมาณน้ำฝนรายวัน (มม.)
- $I_a$  = การดักและการแทรกซึมก่อนการไหลบ่า (มม.)
- $S$  = ตัวแปรการกักเก็บ (มม.) หรือค่า Retention Parameter แปรผันตามลักษณะพื้นที่ ได้แก่ ชนิดดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน การจัดการและความลาดชันผิวดิน และแปรผันตามปริมาณ ความชื้นในดิน ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ ซึ่งถูกรวมอยู่ในตัวแปรเพียงตัวเดียว เรียกว่า Curve Number โดยมี ความสัมพันธ์ดังสมการ (2-5)

$$s = \left( \frac{1000}{CN} \right) - 10 \quad (2-5)$$

โดยที่ CN คือ Curve Number เกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างความยากง่ายของน้ำในการซึมผ่านชั้นดิน (Soil's Permeability) CN จะมีค่าระหว่าง 0 ถึง 100 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำไหลบ่าบนผิวดินกับปริมาณน้ำฝนรายวัน (มม.) ที่ระดับค่า CN ต่างๆ แสดงในรูปที่ 2.15

โดยในปี ค.ศ. 1996 The U.S. Natural Resource Conservation Service (NRCS) Soil Survey Staff ได้แบ่งกลุ่มดินทางอุทกวิทยา (Hydrologic Soil Group) ตามคุณลักษณะการซึมน้ำ (Infiltration) ของดิน ออกเป็น 4 กลุ่มได้แก่



ภาพประกอบ 2. 14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำไหลบ่าบนผิวดินกับน้ำฝนรายวันและค่า CN  
ที่มา : Arnold, J.G., et al., (1998)

กลุ่ม A: ดินมีศักยภาพของการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินต่ำดินมีอัตราการซึมน้ำสูงเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำแล้ว ลักษณะที่สำคัญของกลุ่มดินนี้ คือ ดินมีความลึกมากเนื้อดินเป็นดินทรายหรือกรวด และดินมีการระบายน้ำดีถึงดีมากมีอัตราการซึมน้ำต่อเนื่องในดินสูง

กลุ่ม B: ดินมีอัตราการซึมน้ำปานกลางเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำแล้วลักษณะที่สำคัญของกลุ่มดินนี้คือดินมีความลึกปานกลางถึงลึกมากดินมีการระบายน้ำปานกลางถึงระบายน้ำดีเนื้อดินค่อนข้างละเอียดถึงค่อนข้างหยาบมีอัตราการซึมน้ำต่อเนื่องในดินปานกลาง

กลุ่ม C: ดินมีอัตราการซึมน้ำช้าเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำแล้วลักษณะที่สำคัญของกลุ่มดินนี้ คือ มีชั้นดินที่ชะลอการไหลของน้ำลงไปในดินเนื้อดินค่อนข้างละเอียดถึงละเอียดมีอัตราการซึมน้ำต่อเนื่องในดินช้า

กลุ่ม D: ดินมีศักยภาพการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินสูงดินมีอัตราการซึมน้ำช้ามากเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ลักษณะที่สำคัญของกลุ่มดินนี้คือ เนื้อดินเป็นดินเหนียวที่มีศักยภาพในการขยายตัวสูง เมื่อดินชื้นทำให้ไม่สามารถซึมน้ำลงไปได้ระดับน้ำในดินคงที่มีชั้นดินตื้นอยู่บนชั้นดินเหนียวที่น้ำซึมน้ำผ่านได้ยากและอยู่ใกล้กับผิวดิน มีอัตราการซึมน้ำต่อเนื่องช้ามาก

นอกจากนี้แบบจำลอง SWAT ยังสามารถจำลองกระบวนการต่างๆ ทางกายภาพที่เกิดขึ้นภายในลุ่มน้ำได้ โดยผู้ใช้จะต้องแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำที่ต้องการศึกษาออกเป็นลุ่มน้ำย่อยๆ ตามลักษณะการใช้ที่ดิน หรือชนิดของดินที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ซึ่งจะส่งผลทำให้ลักษณะทางด้านอุทกวิทยาของลุ่มน้ำนั้นเป็นแบบเดียวกัน ส่วนข้อมูลของลุ่มน้ำย่อยที่ผู้ใช้งานต้องกำหนดให้แบบจำลองนั้นประกอบด้วย ข้อมูลภูมิอากาศ พื้นที่ลุ่มน้ำย่อย ระดับน้ำใต้ดิน ลักษณะของดินและการใช้ประโยชน์ที่ดิน ลำน้ำสายหลัก และทางระบายน้ำ ต่าง ๆ เป็นต้น

1. ส่วนประกอบของแบบจำลอง SWAT สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ

1.1 การจำลองแบบในส่วนของพื้นดิน หรือ ส่วนพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย (Upland phase or sub-basin component) การวิเคราะห์ในส่วนนี้จะเป็นการศึกษาวัฏจักรทางอุทกวิทยาเพื่อประเมินปริมาณน้ำท่า ปริมาณการ ตกตะกอน อุณหภูมิของดิน การเติบโตของพืช ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และปริมาณสารเคมีจากการ เกษตรกรรม ก่อนไหลลงสู่ลำน้ำสายหลักในแต่ละลุ่มน้ำย่อย

1.2 การจำลองแบบในส่วนของการเคลื่อนตัวของน้ำ (Routing phase) จะเป็นการคำนวณการเคลื่อนที่ของน้ำผ่านทางน้ำ และการเคลื่อนที่ของน้ำผ่านอ่างเก็บน้ำ การเคลื่อนตัวของตะกอนในทางน้ำ การพัฒนาและการแพร่กระจายของสารเคมีปนเปื้อนชนิดต่างๆ ในลำน้ำ ตลอดทั้งโครงข่ายของระบบลุ่มน้ำที่ ทำการศึกษา

2. ข้อมูลที่ต้องการ

2.1 ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) ได้แก่

2.1.1 Digital Elevation Model (DEM)

2.1.2 แผนที่การใช้ที่ดิน

2.1.3 แผนที่จำแนกชนิดที่ดิน

2.2 ข้อมูลภูมิอากาศ (Weather data) ได้แก่

2.2.1 อุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด ใช้ข้อมูลรายวัน หน่วยเป็น องศาเซลเซียส

2.2.2 พลังงานแสงอาทิตย์ ใช้ข้อมูลรายวัน หน่วยเป็น เมกะจูลต่อวัน

2.2.3 ความเร็วลม ใช้ข้อมูลรายวัน หน่วยเป็น เมตรต่อวินาที

2.2.4 ความชื้นสัมพัทธ์ ใช้ข้อมูลรายวัน หน่วยเป็น มิลลิเมตร

2.3 ข้อมูลด้านอุทกวิทยา (Hydrological data) ได้แก่ ปริมาณการไหลในลำน้ำ ใช้ข้อมูลรายวัน หน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที สำหรับการสอบเทียบแบบจำลอง

## 2.8 แนวคิดการมีส่วนร่วม

แนวคิดการมีส่วนร่วมของประชาชน โดยทั่วไปมักมีความหมายกว้าง คือการที่ประชาชนพัฒนาขีดความสามารถของตนในการจัดการควบคุมการใช้และการกระจายทรัพยากรธรรมชาติ เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อการดำรงชีพทางเศรษฐกิจและสังคม การมีส่วนร่วมในความหมายนี้ จึงเป็นการมีส่วนร่วมของประชาชนตามแนวทางการปกครองในระบอบประชาธิปไตย ซึ่งเปิดโอกาสให้ประชาชนพัฒนาการรับรู้ สติปัญญา และความสามารถในการตัดสินใจกำหนดชีวิตด้วยตนเอง ดังนั้นการมีส่วนร่วมของประชาชนจึงเป็นทั้งวิธีการ (Means) และเป้าหมาย (Ends) ในเวลาเดียวกัน

ปัจจุบันแนวคิดการมีส่วนร่วมของประชาชนได้รับการยอมรับและใช้เป็นแนวทางปฏิบัติในงานพัฒนาและการจัดการ ซึ่งกระบวนการของการมีส่วนร่วมนั้นมีได้ขึ้นอยู่กับการคิดริเริ่มหรือการวางแผนโดยรัฐ แต่ความสำเร็จนั้นอยู่ที่ประชาชนในชุมชนต้องเข้ามามีส่วนร่วมในกระบวนการอย่างอิสระ เน้นการทำงานในรูปกลุ่ม หรือองค์กรชุมชนที่มีวัตถุประสงค์ในการเข้าร่วมอย่างชัดเจน พลังกลุ่มจะเป็นปัจจัยสำคัญทำให้งานพัฒนาและการจัดการต่างๆ บรรลุผลสำเร็จตามความมุ่งหมาย นอกจากนี้ การมีส่วนร่วมจำเป็นต้องมีการรวมพลังในลักษณะเบญจภาคี ได้แก่ ภาครัฐ ภาคเอกชน องค์กรพัฒนาเอกชน นักวิชาการ และประชาชน เพื่อรวมกันแก้ไขปัญหาท้องถิ่น

จากที่กล่าวข้างต้นสรุปได้ว่า การมีส่วนร่วม หมายถึง การเปิดโอกาสให้ประชาชน องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ชุมชนท้องถิ่น และองค์กรอิสระได้เข้าร่วมในกระบวนการของกิจกรรม เพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่ต้องการ ตลอดจนได้รับประโยชน์จากการดำเนินกิจกรรมร่วมกัน ซึ่งการมีส่วนร่วมนี้ ถือเป็นกลยุทธในการผนึกกำลังร่วมกันระหว่างหน่วยงาน หรือองค์กรทั้งภาครัฐ เอกชน และประชาชน อีกทั้งมุ่งหวังให้ประชาชนมีความเชื่อมั่นในการพึ่งตนเองและมีการพัฒนาความสามารถ ซึ่งการเข้าร่วมอย่างแข็งขันของกลุ่มบุคคลที่มีส่วนได้ส่วนเสียในทุกขั้นตอนของโครงการพัฒนา การมีส่วนร่วมเป็นไปในรูปที่ผู้รับการพัฒนาเข้ามามีส่วนร่วมทำให้เกิดการพัฒนา มิใช่เป็นผู้รับการพัฒนาตลอดไป ทั้งนี้เป็นการเกื้อหนุนให้เกิดการพัฒนาที่แท้จริงและถาวร

การมีส่วนร่วมของประชาชน ไม่ใช่หมายความว่าเพียงการดึงประชาชนเข้ามาทำกิจกรรมตามที่ผู้นำท้องถิ่นคิดหรือจัดทำขึ้น เพราะแท้จริงแล้วในหมู่บ้านหรือชุมชนต่างมีกิจกรรมและวิถีดำเนินงานของตนอยู่แล้ว ประชาชนมีศักยภาพที่จะพัฒนาหมู่บ้านของตนได้ แต่ผู้บริหารพัฒนามักไม่สนใจสิ่งที่มีอยู่แล้ว โดยพยายามสร้างสิ่งใหม่ๆ ขึ้นมาเพื่อเป็นความคิดหรือโครงการของตน

หรืออาจกล่าวได้ว่าการมีส่วนร่วม คือ การที่ประชาชนหรือชุมชนสามารถเข้าไปมีส่วนในการตัดสินใจ ในการกำหนดนโยบายพัฒนาท้องถิ่น อันเป็นกระบวนการขั้นต้นของการวางแผนในกาพัฒนา ท้องถิ่นที่เป็นที่อยู่อาศัยในการดำรงชีวิตของตน นอกจากนั้น หลังจากที่ได้กำหนดวัตถุประสงค์และแผนงานร่วมกัน และปฏิบัติงานตามแผนงานของโครงการดังกล่าวร่วมกันแล้วยังมีส่วนร่วมในการรับประโยชน์จากการบริการ รวมทั้งมีส่วนร่วมในการควบคุมประเมินผลโครงการต่างๆของท้องถิ่น ซึ่งอาจ

เป็นไปโดยทางอ้อม คือ ผ่านกรรมการที่เป็นฝ่ายบริหารงานของหมู่บ้าน หรือเป็นไปโดยตรงคือ ได้เข้ามามีส่วนร่วมด้วยตนเอง

### 2.8.1 ทฤษฎีการมีส่วนร่วม

ทฤษฎีเกี่ยวกับการมีส่วนร่วม มีนักวิชาการได้ให้ความหมายไว้ ดังนี้

#### 1. ทฤษฎีการกระทำสังคม (The Theory of Social Action)

ทฤษฎีการกระทำสังคมที่เกี่ยวข้องตำราทางวิชาการของนักวิชาการหลากหลายท่านจึงได้ให้ความหมายมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

รีดเดอร์ (Reeder) ได้ให้ความหมายว่า การกระทำของมนุษย์ในเรื่องใดก็ตามขึ้นอยู่กับปัจจัยดังกล่าวต่อไปนี้

1. เป้าหมาย (Gold)
2. ความเชื่อที่สืบทอดกันมา (Believes Orientation)
3. ค่านิยมมาตรฐาน (Standard Values)
4. นิสัยและขนบธรรมเนียมประเพณี (Habit and Custom)
5. ความคาดหวัง (Expectation)
6. ความผูกพัน (Commitments)
7. แรงเสริม (Reinforcement)
8. โอกาส (Opportunity)
9. ความสามารถ (Ability)
10. การสนับสนุน (Support)

รีดเดอร์ (Reeder) ได้อธิบายถึง ปัจจัยหรือสาเหตุที่มีผลต่อการกระทำทางสังคมไว้ดังนี้

1. สถานการณ์การกระทำของสังคม จะเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมทางสังคมซึ่งแต่ละคนก็มีเหตุผลแต่ละอย่างในการตัดสินใจในการกระทำ

2. บุคคลหรือองค์การ จะตัดสินใจหรือแสดงการกระทำบนพื้นฐานของกลุ่มเหตุผลซึ่งตัดสินใจเองได้ว่ามีนสอดคล้อง หรือตรงปัญหาและสถานการณ์นั้นๆ

3. เหตุผลบางประการอาจสนับสนุนการตัดสินใจ และเหตุผลบางประการอาจต่อต้านการตัดสินใจ

4. เหตุผลนั้นผู้ตัดสินใจให้น้ำหนักที่แตกต่างกัน การเลือกเหตุผลหรือปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจ

5. เหตุผลในการตัดสินใจนั้นมีไม่มาจากเหตุผลใดเหตุผลหนึ่ง

6. การตัดสินใจของกลุ่มเหตุผลที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์นั้นๆจะมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจในทุกโอกาส

7. กลุ่มของปัจจัยหรือเหตุผลที่มีอิทธิพลต่อการกระทำทางสังคมนั้นย่อมจะมีการเปลี่ยนแปลง

8. สำหรับกรณีเฉพาะอย่างภายใต้การกระทำทางสังคมจะมีบ่อยครั้งที่ทางเลือกสองหรือสามทาง เพื่อที่จะตอบสนองต่อสถานการณ์นั้นๆ

9. ผู้กระทำหรือผู้ตัดสินใจอาจเลือกทางใดทางหนึ่ง

10. เหตุผลที่จะตัดสินใจสามารถที่จะมองเห็นได้จากทางเลือกที่ถูกต้องแล้ว

## 2. ทฤษฎีจิตวิทยาสังคม (Theory of Social Psychology)

ทฤษฎีจิตวิทยาสังคมที่เกี่ยวข้องตาราทาทางวิชาการของนักวิชาการหลากหลายท่านจึงได้ให้ความหมายมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

มาสโลว์ (Maslow) ได้ค้นคว้าเกี่ยวกับแรงจูงใจ (Motivation) ของการกระทำของมนุษย์ไว้หลายประการและได้อธิบายถึงพฤติกรรมของมนุษย์ที่เกี่ยวกับความต้องการพื้นฐานที่เกิดขึ้นจากความพึงพอใจ ความต้องการเหล่านั้น ถูกจำกัดลำดับขั้นของความต้องการจากน้อยไปหามากเมื่อความต้องการใดเกิดขึ้นแล้วไม่ได้รับการบำบัดเพียงพอ ความต้องการเหล่านั้นก็ยังคงอยู่และจะเป็นแรงขับที่มีพลังผลักดันให้บุคคลที่พฤติกรรมโน้มไปในทางที่จะบำบัดความต้องการเหล่านั้นอยู่เสมอ ความต้องการพื้นฐานที่ทำให้แสดงพฤติกรรมต่างๆ มีอยู่ 1 ประการแยก ออกเป็นระดับต่างๆดังนี้

1. ความต้องการทางด้านร่างกาย (Physiological Need) เป็นความต้องการขั้นแรก
2. ความต้องการความปลอดภัย (Safety Need)
3. ความต้องการความรัก (Love or Belong Need)
4. ความต้องการความยกย่องนับถือจากคนอื่นหรือมีเกียรติในสังคม (Esteem Need)
5. ความต้องการประสพผลสำเร็จ (Self-Actualization Need) ต้องการแสดงความสามารถของตนให้ประจักษ์แก่ผู้อื่น

### 2.8.2 การมีส่วนร่วมของภาคประชาชนในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ

การมีส่วนร่วมของประชาชน เป็นหลักการสากลที่อารยประเทศให้ความสำคัญ และเป็นประเด็นหลักที่สังคมไทยให้ความสนใจเพื่อพัฒนาการเมืองเข้าสู่ระบอบประชาธิปไตยแบบมีส่วนร่วม ตามหลักการธรรมาภิบาลที่ภาครัฐจะต้องเปิดโอกาสให้ประชาชนและผู้เกี่ยวข้องทุกภาคส่วนรับรู้ ร่วมคิด ร่วมตัดสินใจ เพื่อสร้างความโปร่งใสและเพิ่มคุณภาพการตัดสินใจของภาครัฐให้ดีขึ้น และเป็นที่



ยอมรับร่วมกันของทุก ๆ ฝ่ายในการบริหารราชการเพื่อประโยชน์สุขของประชาชนตามรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย พ.ศ.2540 พระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน (ฉบับที่ 5) พ.ศ.2545 และพระราชกฤษฎีกาว่าด้วยหลักเกณฑ์และวิธีการบริหารกิจการบ้านเมืองที่ดี พ.ศ.2546 จึงต่างให้ความสำคัญต่อการบริหารราชการอย่างโปร่งใส สุจริตเปิดเผยข้อมูล และการเปิดโอกาสให้ประชาชนได้เข้ามามีส่วนร่วมในการกำหนดนโยบายสาธารณะ การตัดสินใจทางการเมือง รวมถึงการตรวจสอบการใช้อำนาจรัฐในทุกๆระดับ

หลักการสร้างการมีส่วนร่วมของประชาชน หมายถึง การเปิดโอกาสให้ประชาชนและผู้ที่เกี่ยวข้องทุกภาคส่วนของสังคมได้เข้ามามีส่วนร่วมกับภาคราชการนั้น International Association for Public Participation ได้แบ่งระดับของการสร้างการมีส่วนร่วมของประชาชนเป็น 5 ระดับ ดังนี้

1. การให้ข้อมูลข่าวสาร ถือเป็นการมีส่วนร่วมของประชาชนในระดับต่ำที่สุด แต่เป็นระดับที่สำคัญที่สุด เพราะเป็นก้าวแรกของการที่ภาคราชการจะเปิดโอกาสให้ประชาชนเข้าสู่กระบวนการมีส่วนร่วมในเรื่องต่าง ๆ วิธีการให้ข้อมูลสามารถใช้ช่องทางต่าง ๆ เช่น เอกสารสิ่งพิมพ์ การเผยแพร่ข้อมูลข่าวสารผ่านทางสื่อต่าง ๆ การจัดนิทรรศการ จัดหมายข่าว การจัดงานแถลงข่าว การติดประกาศ และการให้ข้อมูลผ่านเว็บไซต์ เป็นต้น

2. การรับฟังความคิดเห็น เป็นกระบวนการที่เปิดให้ประชาชนมีส่วนร่วมในการให้ข้อมูลข้อเท็จจริงและความคิดเห็นเพื่อประกอบการตัดสินใจของหน่วยงานภาครัฐด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น การรับฟังความคิดเห็น การสำรวจความคิดเห็น การจัดเวทีสาธารณะ การแสดงความคิดเห็นผ่านเว็บไซต์ เป็นต้น

3. การเกี่ยวข้อง เป็นการเปิดโอกาสให้ประชาชนมีส่วนร่วมในการปฏิบัติงาน หรือร่วมเสนอแนะทางที่นำไปสู่การตัดสินใจ เพื่อสร้างความมั่นใจให้ประชาชนว่าข้อมูลความคิดเห็นและความต้องการของประชาชนจะถูกนำไปพิจารณาเป็นทางเลือกในการบริหารงานของภาครัฐ เช่น การประชุมเชิงปฏิบัติการเพื่อพิจารณาประเด็นนโยบายสาธารณะ ประชาพิจารณ์ การจัดตั้งคณะทำงานเพื่อเสนอแนะประเด็นนโยบาย เป็นต้น

4. ความร่วมมือ เป็นการให้กลุ่มประชาชนผู้แทนภาคสาธารณะมีส่วนร่วม โดยเป็นหุ้นส่วนกับภาครัฐในทุกขั้นตอนของการตัดสินใจ และมีการดำเนินกิจกรรมร่วมกันอย่างต่อเนื่อง เช่น คณะกรรมการที่มีฝ่ายประชาชนร่วมเป็นกรรมการ เป็นต้น

5. การเสริมอำนาจแก่ประชาชน เป็นขั้นที่ให้บทบาทประชาชนในระดับสูงที่สุด โดยให้ประชาชนเป็นผู้ตัดสินใจ เช่น การลงประชามติในประเด็นสาธารณะต่าง ๆ โครงการกองทุนหมู่บ้านที่มอบอำนาจให้ประชาชนเป็นผู้ตัดสินใจทั้งหมด

การสร้างการมีส่วนร่วมของประชาชน อาจทำได้หลายระดับและหลายวิธี ซึ่งบางวิธีสามารถทำได้ง่าย ๆ แต่บางวิธีก็ต้องใช้เวลา ขึ้นอยู่กับความต้องการเข้ามามีส่วนร่วมของประชาชน

ค่าใช้จ่ายและความจำเป็นในการเปิดโอกาสให้ประชาชนเข้ามามีส่วนร่วม การมีส่วนร่วมของประชาชนเป็นเรื่องละเอียดอ่อน จึงต้องมีการพัฒนาความรู้ความเข้าใจในการให้ข้อมูลข่าวสารที่ถูกต้องแก่ประชาชน การรับฟังความคิดเห็น การเปิดโอกาสให้ประชาชนเข้ามามีส่วนร่วม รวมทั้งพัฒนาทักษะและศักยภาพของข้าราชการทุกระดับควบคู่กันไปด้วย

การมีส่วนร่วมที่มาจากทุกภาคส่วนของสังคม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ประชาชนผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย และชุมชนท้องถิ่น จะช่วยทำให้ได้รับทราบความต้องการและปัญหาที่แท้จริง ลดความขัดแย้งและต่อต้าน ทั้งยังเป็นการสร้างสังคมแห่งการเรียนรู้ที่เสริมสร้างให้ประชาชน ร่วมคิด ร่วมตัดสินใจในประเด็นสาธารณะ ซึ่งเป็นบทบาทที่จะต้องดำเนินการให้เกิดขึ้น

## 2.9 การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ

อ่างเก็บน้ำ คือกลไกที่มนุษย์สร้างขึ้นมา เพื่อทำหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลมาตามธรรมชาติ เพื่อวัตถุประสงค์อย่างใดอย่างหนึ่ง (Single Purpose Reservoir) หรือหลายอย่าง (Multipurpose Reservoir) เช่น การเกษตร การอุปโภค-บริโภค การอุตสาหกรรม การคมนาคม เป็นต้น อ่างเก็บน้ำจะประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 3 ส่วน คือ ตัวอ่างเก็บน้ำ (Reservoir) ทางระบายน้ำล้น (Spillway) และอาคารทางออก (Outlet Works) (วรารุช วุฒินิชย์, 2539)

1. ตัวอ่างเก็บน้ำ (Reservoir) เกิดจากการสร้างเขื่อนกั้นหุบเขา ปริมาตรอ่างเก็บน้ำขึ้นอยู่กับลักษณะหุบเขาและความสูงของเขื่อนอ่างเก็บน้ำจะแบ่งปริมาตรออกเป็นส่วนต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย ระดับต่ำสุด (Minimum Pool Level) ระดับเก็บกักปกติ (Normal Pool Level) ระดับสูงสุด (Maximum Level) และฟรีบอร์ด (Freeboard)

1.1 ปริมาตรน้ำตาย คือ ปริมาณน้ำที่อยู่ต่ำกว่าระดับเก็บกักต่ำสุด ซึ่งไม่สามารถนำเอาปริมาณน้ำส่วนนี้ไปใช้งานได้ และปริมาตรนี้จะใช้ประโยชน์สำหรับการตกตะกอนในช่วงอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำ สำหรับระดับเก็บกักต่ำสุดจะเป็นระดับน้ำต่ำสุดที่จะส่งน้ำออกจากเขื่อนได้และจะเป็นค่าระดับเดียวกันกับระดับธรณีของอาคารทางออก

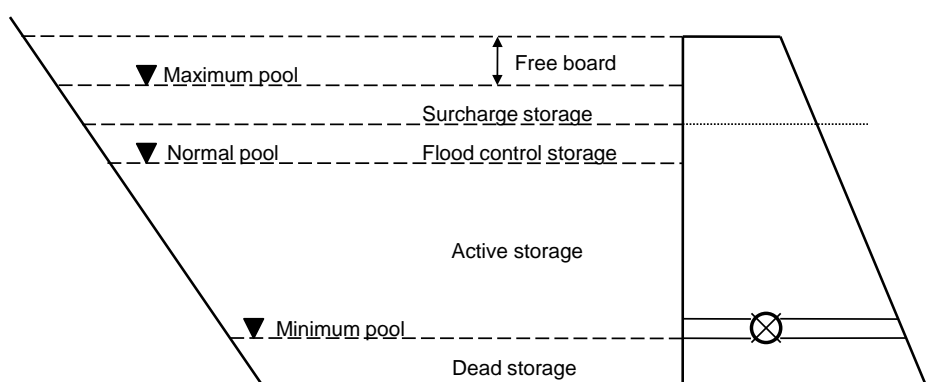
1.2 ปริมาตรน้ำใช้การ คือ ปริมาณน้ำที่อยู่ระหว่างระดับเก็บกักปกติกับระดับเก็บกักต่ำสุด ซึ่งปริมาณน้ำในส่วนนี้จะสามารถนำไปใช้ในวัตถุประสงค์ต่าง ๆ และระดับเก็บกักปกติจะเป็นค่าระดับเดียวกันกับสันทางระบายน้ำล้น

1.3 ปริมาตรน้ำส่วนเกิน คือ ปริมาณน้ำที่อยู่ระหว่างระดับน้ำสูงสุดกับระดับเก็บกักปกติ ใช้สำหรับเก็บกักน้ำในช่วงเวลาที่มีน้ำไหลหลากมาก ๆ เข้ามาสู่อ่างเก็บน้ำและจะชะลอไม่ให้ปริมาณน้ำส่วนนี้ไปก่อให้เกิดน้ำท่วมด้านท้ายอ่างเก็บน้ำ

ทั้งนี้ยังมีปริมาตรส่วนหนึ่งที่อยู่ระหว่างระดับสันเขื่อนกับระดับน้ำสูงสุดที่เรียกว่า ฟรีบอร์ด (Freeboard) ซึ่งเพื่อไว้ไม่ให้เกิดการไหลล้นข้ามสันเขื่อน เมื่อมีปริมาณน้ำไหลหลากขนาดใหญ่ผ่านอ่างเก็บน้ำ (วราวุธ วุฒิวณิชย์, 2539)

2. ทางระบายน้ำล้น (Spillway) เป็นอาคารประกอบเขื่อนที่ทำหน้าที่ในการระบายน้ำส่วนเกินความจุจากระดับเก็บกักปกติ ในช่วงที่มีปริมาณน้ำไหลหลากเข้าอ่างเก็บน้ำมาก ๆ เพื่อความปลอดภัยต่อตัวเขื่อนและเป็นการชะลอปริมาณน้ำส่วนเกินนี้ไปก่อให้เกิดน้ำท่วมทางด้านท้ายอ่างเก็บน้ำ ซึ่งขนาดและลักษณะของทางระบายน้ำล้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของปริมาณน้ำสูงสุดที่ใช้ในการออกแบบเป็นสำคัญอาคารส่งน้ำ เป็นอาคารประกอบเขื่อนที่ทำหน้าที่ในการควบคุมการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเข้าสู่ระบบส่งน้ำชลประทานเพื่อนำไปใช้ในวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ดังที่กล่าวมา และอาคารส่งน้ำจะมีทั้งเป็นท่อสี่เหลี่ยมหรือท่อกลม และมีประตูที่ใช้สำหรับปิด-เปิด เพื่อควบคุมปริมาณน้ำตามที่มีความต้องการในแต่ละช่วงเวลา

3. อาคารทางออก (Outlet works) เป็นอาคารที่ทำหน้าที่ควบคุมการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำเพื่อนำไปใช้ในวัตถุประสงค์ต่างๆ



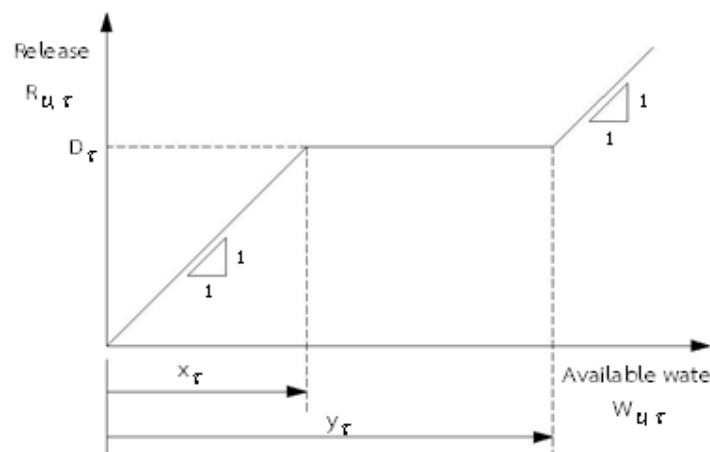
ภาพประกอบ 2. 15 การแบ่งปริมาตรอ่างเก็บน้ำ

ที่มา : อนงค์ฤทธิ แข็งแรง (2553)

ความสัมพันธ์ระหว่างความจุและผลผลิตของอ่างเก็บน้ำ จะบอกให้รู้ว่าความจุของอ่างเก็บน้ำที่ต่างกันย่อมมีผลผลิตที่แตกต่างกันด้วย ดังนั้นผลผลิตของอ่างเก็บน้ำจึงเป็นปริมาณน้ำที่สามารถนำเอาไปใช้จากอ่างเก็บน้ำได้ในช่วงระยะเวลาที่กำหนด โดยปกติช่วงระยะเวลาที่กำหนดคือ 1 ปี และผลผลิตของอ่างเก็บน้ำที่มีขนาดความจุที่กำหนดจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ซึ่งจะมีความผันแปรในแต่ละปี ดังนั้นในการออกแบบเพื่อความปลอดภัยจึงใช้ ผลผลิตที่แน่นอน (Firm Yield) เป็นผลผลิตที่น้อยที่สุด ซึ่งจะเป็นปริมาณน้ำที่มากที่สุดที่จะประกันได้ว่าสามารถนำเอา

ไปใช้จากอ่างเก็บน้ำที่มีความจุที่กำหนดไว้ในช่วงเวลาวิกฤต (Critical Period) ซึ่งช่วงเวลาวิกฤตคือช่วงที่มีความแตกต่างของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำกับความต้องการใช้น้ำมากที่สุดซึ่งก็คือฤดูแล้ง ดังนั้นผลผลิตที่แน่นอนคือผลผลิตที่มีค่าน้อยที่สุดในช่วงอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำ ดังนั้นในปีที่แล้งที่สุดสามารถประกันได้ว่าจะมีน้ำใช้อย่างเพียงพอสำหรับความต้องการน้ำประเภทต่าง ๆ และหากมีปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำมากจะให้ผลผลิตมากกว่าผลผลิตที่แน่นอน ซึ่งส่วนนั้นเรียกว่าผลผลิตรอง (Secondary Yield) สามารถจะนำไปใช้กับวัตถุประสงค์อื่นที่รองลงมาได้ และอ่างเก็บน้ำไม่ว่าจะสร้างให้มีความจุขนาดใหญ่ได้เพียงใด ผลผลิตที่แน่นอนก็จะไม่มากเกินกว่าผลผลิตที่เป็นไปได้สูงสุด (Maximum Possible Yield) ซึ่งผลผลิตที่เป็นไปได้สูงสุดจะเท่ากับปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย (Mean Flow) หักด้วยการสูญเสียต่าง ๆ จากอ่างเก็บน้ำ (วรารุช วุฒิวิชัย, 2539)

เพื่อที่จะให้บรรลุวัตถุประสงค์และใช้ประโยชน์อย่างเต็มศักยภาพ การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ดังนั้นเพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้ควบคุมการใช้อ่างเก็บน้ำและปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กล่าวมา และก่อให้เกิดผลผลิตในเชิงเศรษฐศาสตร์มากที่สุด จึงจำเป็นต้องมีการวางกฎการปฏิบัติงานของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir operating rule) ซึ่งกฎนี้จะใช้ในช่วงเวลาการปฏิบัติงานตามปกติ ไม่ใช่ช่วงหลังการก่อสร้างใหม่ หรือช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงวัตถุประสงค์การใช้อ่างเก็บน้ำ ในการเริ่มต้นคำนวณสภาพสมดุลน้ำของแต่ละอ่างจากโค้งควบคุม จะกำหนดให้ปริมาตรเก็บกักเริ่มต้นของอ่างเก็บน้ำที่ระดับเต็มอ่างหรือระดับเก็บกักสูงสุด (Full capacity) ส่วนปริมาณน้ำระบายจะหาได้ตามเกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน (Standard operating rule) ดังแสดงในภาพประกอบ 2.16 และสมการที่ 2-8



ภาพประกอบ 2. 16 เกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน

ที่มา : อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง. (2551)

$$R_{v,\tau} = \begin{cases} D_\tau + W_{v,\tau} - y_\tau, & \text{for } W_{v,\tau} \geq y_\tau + D_\tau \\ D_\tau, & \text{for } x_\tau \leq W_{v,\tau} < y_\tau + D_\tau \\ D_\tau + W_{v,\tau} - x_\tau, & \text{for } x_\tau - D_\tau \leq W_{v,\tau} < x_\tau \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2-8)$$

เมื่อ  $R_{v,\tau}$  คือ ปริมาณน้ำที่ระบายออกจากอ่างเก็บน้ำในช่วงปี  $v$  ของเดือน  $\tau$

( $\tau = 1$  ถึง 12 แทน เดือนมกราคม ถึง เดือนธันวาคม)

$D_\tau$  คือ ความต้องการใช้น้ำท้ายอ่างของเดือน  $\tau$

$x_\tau$  คือ ขอบเขตล่างของโค้งกฎการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำของเดือน  $\tau$

$y_\tau$  คือ ขอบเขตบนของโค้งกฎการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำของเดือน  $\tau$

$W_{v,\tau}$  คือ ปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ของอ่างในเดือน  $\tau$

จากนั้นคำนวณหาน้ำต้นทุนที่มีอยู่ของอ่างเก็บน้ำในเดือนถัดไป โดยใช้หลักสมดุลของน้ำ (Water Balance)

เมื่อทำการจำลองสภาพสมดุลน้ำโดยการจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพสมดุลน้ำที่สร้างขึ้นจนครบจำนวนปีที่มีข้อมูลอยู่แล้ว จะทำให้ผลการจำลองเป็นสถานการณ์ที่ขาดแคลนน้ำ และสถานการณ์น้ำส่วนเกินได้ (ความถี่ ขนาด ช่วงเวลา) จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลดังกล่าวไว้สำหรับกฎการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ต่อการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ ซึ่งมีหลายรูปแบบ แต่ละแบบจะแสดงปริมาณน้ำที่ต้องปล่อยจากอ่างเก็บน้ำหรือเป็นการแสดงถึงปริมาณน้ำที่ต้องการเก็บกักในอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาต่างๆ ของปี ซึ่งเรียกว่า โค้งปฏิบัติงาน (Rule curve) และหนึ่งในจำนวนที่มากมายของเครื่องมือที่มีประโยชน์ต่อการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำคือ โค้งกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ (Reservoir operation rule curves)

โค้งการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำหรือบางครั้งเรียกว่าโค้งแนวปฏิบัติ (Guide curve) ซึ่งจะได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลอุทกวิทยาในอดีต (Historical data) ซึ่งมีเงื่อนไขต่างๆ กันร่วมกับความต้องการน้ำในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ โดยเฉพาะอ่างเก็บน้ำแบบเอนกประสงค์นั้น จำเป็นต้องมีเกณฑ์ในการปฏิบัติงานหลายเกณฑ์ร่วมกัน เช่น เกณฑ์ทางด้านสังคม เศรษฐศาสตร์และวิศวกรรม เป็นต้น ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์ มีความยุติธรรมและประสิทธิภาพมากที่สุด หลังจากนั้นจึงสร้างเป็นกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ และพัฒนาให้เป็นเครื่องมืออย่างง่ายในการปฏิบัติคือ โค้งการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ ซึ่งหลักการของการพัฒนาโค้งกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ คือช่วงฤดูฝนจะพร่องน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำในแต่ละช่วงเวลาที่กำหนดในปริมาณเท่าใด เพื่อให้มีปริมาณสำรองสำหรับรับปริมาณน้ำหลาก ที่จะไหลเข้าอ่างเก็บน้ำโดยไม่เกิดการไหลล้นอ่าง ซึ่งจะก่อให้เกิดอุทกภัยในบริเวณท้ายอ่างเก็บ

น้ำ หรือหากเกิดการไหลล้นอ่างก็ให้น้ำน้อยที่สุด และในขณะเดียวกันต้องรักษาปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำไว้ใช้ในฤดูแล้ง ซึ่งเส้นโค้งของกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเส้นนี้เรียกว่า Upper Rule Curve (URC) และในช่วงฤดูแล้งจะรักษาปริมาณน้ำไว้ในอ่างเก็บน้ำในแต่ละช่วงเวลาที่กำหนดไว้เท่าใด จึงจะลดความเสี่ยงต่อการเกิดน้ำแห้งในอ่างเก็บน้ำ ซึ่งโค้งของกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเส้นนี้เรียกว่า Lower Rule Curve (LRC)

## 2.10 เทคนิค Wind Driven Optimization (WDO)

อัลกอริธึม WDO ได้รับแรงบันดาลใจจากชั้นบรรยากาศของโลก ซึ่งการเคลื่อนที่ของลมกำลังพยายามทำให้ความสมดุลของแนวนอนในแรงดันอากาศไม่เท่ากัน WDO คือวิธีการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบไดนามิก ที่ได้รับแรงบันดาลใจมาจากธรรมชาติแบบใหม่โดยอาศัยการเคลื่อนที่ในชั้นบรรยากาศ ถูกพัฒนาขึ้นโดย Bayraktar ในปี พ. ศ. 2556 (Bayraktar et al., 2013) พบว่า WDO ใช้งานง่ายและมีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาเชิงตัวเลขแบบหลายมิติ เมื่อเปรียบเทียบกับการค้นหาแบบอนุภาคแบบเดียวกัน โดยทั่วไปเทคนิคนี้จะทำการค้นหาค่าที่เหมาะสมแบบครบวงจร และวนซ้ำโดยใช้ข้อมูลประชากรตามจำนวนที่กำหนดสำหรับปัญหาหลายมิติ ซึ่ง WDO มีความสามารถในการใช้ข้อจำกัดในการค้นหาโดเมน WDO มีลักษณะคล้ายคลึงกับอัลกอริธึมการค้นหาที่เหมาะสมที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติอื่น ๆ ซึ่งสามารถหากระบวนการวนซ้ำตามฮิวริสติกจากจำนวนประชากรได้ เพื่อแก้ปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพแบบหลายมิติ เมื่อเทียบกับวิธีการที่ใช้อนุภาคแบบเดียวกัน WDO จะมีพารามิเตอร์เพิ่มเติมในสมการการอัปเดตความเร็ว เช่นแรงโน้มถ่วงและแรง Coriolis ซึ่งใช้เพื่อให้มีเสถียรภาพและเพิ่มองศาอิสระในการปรับแต่ง

พื้นฐานทางทฤษฎีและแรงจูงใจของ WDO ในบรรยากาศลมพัดแรงด้วยแรงดันอากาศเท่ากัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งอากาศจะถูกใช้เพื่อเคลื่อนที่จากแรงดันสูงไปจนถึงความดันต่ำที่ความเร็วซึ่งเป็นสัดส่วนกับการไล่ระดับความดัน นอกจากนี้ยังมีข้อสมมติฐานและความเรียบง่ายในการสร้างอัลกอริธึม WDO ขั้นตอนเริ่มต้นของ WDO ได้รับการสนับสนุนโดยกฎการเคลื่อนที่ที่สองของ Newton ซึ่งใช้เพื่อกำหนดผลลัพธ์ที่ถูกต้องเฉพาะสำหรับการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของบรรยากาศ แรงทั้งหมดที่ใช้ในการห่อหุ้มอากาศทำให้เร่งด้วยความเร็วในทิศทางเดียวกับแรงรวมที่ใช้

$$\rho \cdot a = \sum F_i \quad (2-9)$$

เมื่อ  $\rho$  = คือความหนาแน่นของอากาศสำหรับห่อหุ้มที่มีขนาดเล็ก  
 $F_i$  = คือแรงทั้งหมดที่กระทำกับอากาศที่ห่อหุ้ม

เมื่อต้องการหาความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศกับความหนาแน่นและอุณหภูมิของอากาศที่ห่อหุ้มแล้วกฎของก๊าซในอุดมคติสามารถใช้สมการ (2-10)

$$P = \rho RT \quad (2-10)$$

เมื่อ  $P$  = คือความดัน  
 $R$  = คือค่าคงที่ของก๊าซ  
 $T$  = คืออุณหภูมิ

แรงหลักทั้งสี่ สามารถรวมอยู่ในสมการ (2-11) ที่ทำให้ลมเคลื่อนที่ไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งด้วยความเร็วที่แน่นอนหรือเบี่ยงเบนความสนใจไปจากเส้นทางที่มีอยู่ แรงที่สังเกตได้มากที่สุดที่ทำให้อากาศเคลื่อนที่ได้คือแรงไล่ระดับความดัน  $F_{PG}$  ที่กำหนดไว้ในสมการ (2-11) อีกแรงหนึ่งคือแรงเสียดทาน  $F_F$  ที่กำหนดไว้ในสมการ (2-12) ซึ่งทำหน้าที่เพียงเพื่อคัดค้านการเคลื่อนไหวที่เริ่มต้นด้วยแรงดันแรงดึงดูด ในบรรยากาศทางกายภาพสามมิติของเราแรงโน้มถ่วง  $F_G$  ในสมการ(2-13) เป็นแรงในแนวตั้งที่หันไปทางพื้นผิวโลก แรง Coriolis  $F_C$  ในสมการ (2-14) เกิดจากการหมุนของโลกและ deflects เส้นทางของจากมิติหนึ่งไปยังอีกมิติหนึ่ง

$$F_{PG} = -\nabla P \cdot \delta V \quad (2-11)$$

$$F_F = -\rho \cdot \alpha \cdot u \quad (2-12)$$

$$F_G = \rho \cdot \delta V \cdot g \quad (2-13)$$

$$F_C = -2 \cdot \Omega \cdot u \quad (2-14)$$

เมื่อ  $\nabla P$  = คือการไล่ระดับความดัน

$\delta V$  = หมายถึงปริมาณอากาศที่ไม่มีที่สิ้นสุด

$\Omega$  = หมายถึงการหมุนของโลก,

$g$  = คือการเร่งด้วยแรงโน้มถ่วง,

$\alpha$  = สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและ

$u$  = เป็นเวกเตอร์ความเร็วของลม

แรงดึงดูดแรงดันแรงเสียดทานและแรง Coriolis ที่กล่าวถึงข้างต้นสามารถป้อนได้ทางขวามือของกฎข้อที่สองของนิวตันที่ให้ไว้ในสมการ (2-9) ซึ่งจะนำไปสู่สมการ (2-15)

$$\rho \cdot \Delta u = (\rho \cdot g) + (-\nabla P) + (-\rho \cdot \alpha \cdot u) + (-2 \cdot \Omega \cdot u) \quad (2-15)$$

นำสมการของกฎหมายก๊าซในอุดมคติ (2-10) ในสมการ (2-15) ความหนาแน่น  $\rho$  สามารถเขียนในแง่ของความดันที่มีอุณหภูมิและกฎหมายก๊าซสากลอย่างต่อเนื่อง

$$u_{\text{new}} = (1 - \alpha) \cdot u_{\text{cur}} - g \cdot x_{\text{cur}} + \left( RT \left| \frac{1}{i} - 1 \right| (x_{\text{opt}} - x_{\text{cur}}) \right) + \left( \frac{c \cdot u_{\text{cur}}^{\text{other dim}}}{i} \right) \quad (2-16)$$

$$x_{\text{new}} = x_{\text{cur}} + (u_{\text{new}} \cdot \Delta t) \quad (2-17)$$

เมื่อ  $u_{\text{new}}$  = ความเร็วในการทำซ้ำครั้งต่อไป

$x_{\text{new}}$  = ตำแหน่งใหม่ในการทำซ้ำครั้งถัดไป

ถ้ามีความเร็วใหม่  $u_{\text{new}}$  เกินความเร็วเริ่มต้นความเร็วสูงสุดในมิติใด ๆ จากนั้นความเร็วในมิติดังกล่าวจะถูกจำกัด ตามเงื่อนไขต่อไปนี้

$$u_{\text{new}} = \begin{cases} u_{\text{max}} & \text{if } u_{\text{new}} > u_{\text{max}} \\ -u_{\text{max}} & \text{if } u_{\text{new}} < -u_{\text{max}} \end{cases} \quad (2-18)$$

ที่ทิศทางของการเคลื่อนไหวนั้นจะถูกเก็บไว้ แต่ขนาดจะถูกจำกัด ให้เป็นไม่เกิน  $u_{\text{max}}$  ที่มีมิติใดๆ และ  $u_{\text{new}}$  หมายถึงความเร็วที่ปรับได้หลังจากที่มีการจำกัดความเร็วสูงสุดเท่านั้น

ในการประยุกต์ใช้วิธีการ WDO อันดับแรก ต้องกำหนดพารามิเตอร์ ซึ่งมีพารามิเตอร์จำนวน 7 ตัว ดังแสดงในตารางที่ 2.1

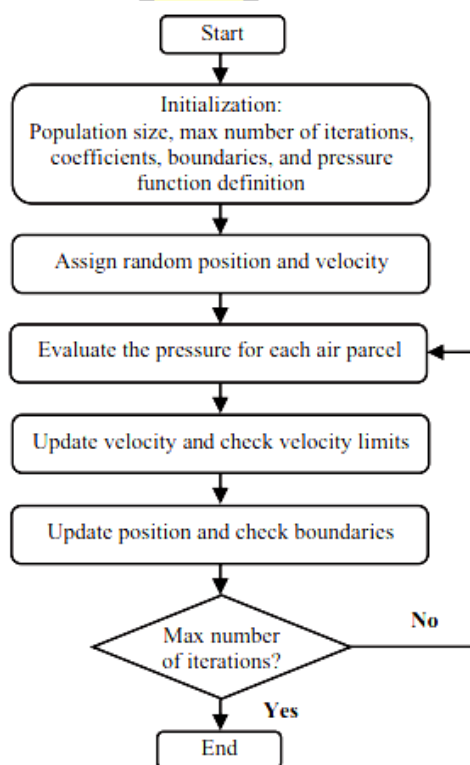
พหุ ประ โท ชี เว



ตาราง 2. 1 พารามิเตอร์ของ WDO

Parameters	Symbol
population size	$N$
Maximum number of iteration	$Iter_{max}$
RT coefficient	$RT$
Gravitational constant	$g$
Constant in the update equation	$\alpha$
Coriolis effect	$c$
Maximum allowed speed	$u_{max}$

จากภาพประกอบ 2.17 แสดงให้เห็นว่าอัลกอริธึมเริ่มต้นด้วยขั้นตอนการตั้งค่าพารามิเตอร์ เริ่มต้น โดยที่พารามิเตอร์แต่ละตัวเชื่อมโยงกับ WDO และพารามิเตอร์อื่น ๆ จะเชื่อมต่อกับปัญหาการค้นหาค่าที่ดีที่สุด ซึ่งจะต้องมีการกำหนด



ภาพประกอบ 2. 17 ขั้นตอนการทำงานของ WDO

ที่มา : Ashish Kumar Bhandari et al., (2014)

รายละเอียดของอัลกอริทึมสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. เริ่มต้น
2. กำหนดขนาดประชากร จำนวนมิติของปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพจำนวนครั้งสูงสุดของการทำซ้ำสัมประสิทธิ์ (เช่น  $RT, g, \alpha, c, u_{new}$ ), ฟังก์ชันความดัน (สมรรถภาพทางกายของปัญหาการหาค่าที่เหมาะสม) ขอบด้านล่างและด้านบนของปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพ
3. กำหนดตำแหน่งสุ่มและความเร็วของอากาศ
4. ประเมินความดัน (สมรรถภาพ) ของแต่ละอากาศที่ตำแหน่งปัจจุบัน
5. เมื่อค่าความดันได้รับการประเมินประชากรที่มีการจัดอันดับขึ้นอยู่กับความดันของพวกเขา (เรียงลำดับ) และความเร็วการปรับปรุงตามสมการ (2-16) พร้อมกับข้อจำกัดที่จะได้รับในสมการ (2-18)
6. ปรับปรุงตำแหน่งของอากาศเพื่อทำซ้ำครั้งต่อไปตามสมการ (2-17) และตรวจสอบขอบเขตของอากาศ
7. หยุดถ้ามีการทำซ้ำจำนวนสูงสุดแล้วให้ไปที่ขั้นตอนที่ 4

## 2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.11.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนจากสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนไป

**Navneet Kumar และคณะ (2017)** ศึกษาถึงการประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อองค์ประกอบสมดุลในน้ำเขตรักษาพันธุ์ Upper Kharun (UKC) เป็นแหล่งต้นน้ำที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของรัฐ Chhattisgarh ในประเทศอินเดีย โดยใช้แบบจำลอง PRECIS ในการประเมินสภาพภูมิอากาศที่คาดว่าจะเกิดขึ้นและมีผลกระทบต่อพื้นที่ศึกษา ภายใต้สถานการณ์ A1B ซึ่งแสดงให้เห็นแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นต่อปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเป็นประจำทุกปี การจำลองทางอุทกวิทยาโดย SWAT (เครื่องมือประเมินดินและน้ำ) ผลการศึกษาพบว่า การคาดการณ์สภาพภูมิอากาศมีผลอย่างมากต่อปริมาณฝนและสมดุลของน้ำในพื้นที่ศึกษา ผลจากแบบจำลองแสดงให้เห็นว่า สัมประสิทธิ์การไหลเข้าและปริมาณฝนเพิ่มขึ้น เสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมในบริเวณพื้นที่ราบ

**Heng Chan Thoeun (2015)** ได้ศึกษาสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดยใช้โปรแกรม MAGICC-SCENGEN ซึ่งเชื่อมโยงสถานการณ์การปล่อยมลพิษกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทั่วโลกและภูมิภาคและได้ใช้รูปแบบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของภูมิภาค (PRECIS) ร่วมกับโมเดล GCM ที่มีความละเอียด  $50 \times 50$  กม. โดยใช้ข้อมูลการสังเกตและชุดข้อมูลสภาพภูมิอากาศในอดีตและในอนาคต 2 ชุดข้อมูลที่สร้างขึ้นโดยการลดขนาดของโมเดล

RCM ภายใต้สถานการณ์การปล่อย 2 สถานการณ์คือ SRES A2 และ SRES B2 อธิบายอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดและรูปแบบของปริมาณน้ำฝนตั้งแต่ปี ค.ศ. 2008 - 2099 ผลการพยากรณ์อุณหภูมิสูงสุดในแต่ละปีของโมเดล PRECIS ของทั้งสองสถานการณ์ของ SRESA2 และ SRESB2 ระบุช่วงอุณหภูมิสูงสุดที่ 32.7-37.1 องศาเซลเซียส การพยากรณ์ฝนประจำปี 2008 -2009 ของ PRECIS สถานการณ์ SRESA2 มีแนวโน้มของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยเพิ่มขึ้น

#### 2.11.2 การเปลี่ยนแปลงทางอุทกวิทยาจากการเปลี่ยนแปลงใช้ประโยชน์ที่ดิน

**Temesgen Gashaw และคณะ (2018)** ได้ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงทางอุทกวิทยา และการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ในลุ่มน้ำ Andassa ในช่วงปี ค.ศ. 1985-2015 และจะคาดการณ์ผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลง LULC เกี่ยวกับสถานะทางอุทกวิทยาในปี 2030 , 2045 โดยใช้แบบจำลอง Cellular-Automata Markov (CA-Markov) สำหรับการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ในปี 2030 และ 2045 และเครื่องมือประเมินดินและน้ำ (SWAT) สำหรับคำนวณค่าทางอุทกวิทยา ผลการศึกษาพบว่าการขยายตัวอย่างต่อเนื่องของพื้นที่เพาะปลูกและพื้นที่ที่สร้างขึ้น และถนนป่าซับแลนด์และทุ่งหญ้าในช่วง 1985-2015 ซึ่งคาดว่าจะต่อเนื่องไปจนถึงปี 2030 และ 2045 ผลจากแบบจำลอง SWAT แสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในปี ค.ศ. 1985-2015 นี้จะส่งผลต่อการไหลเข้ารายปี น้ำไหลบ่า และ Water yield เพิ่มมากขึ้นในฤดูฝน ในขณะที่เดียวกัน การไหลด้านข้าง น้ำใต้ดิน และค่าการคายระเหยลดลงในฤดูแล้ง

**Sananda Kundu และคณะ (2017)** ได้ศึกษาการประเมินการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ผลกระทบต่อความสมดุลของน้ำ ในพื้นที่ศึกษาซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของลุ่มน้ำ Narmada ใน Madhya Pradesh ประเทศอินเดีย โดยใช้การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในปี 1990, 2000 และ 2011 มาทำการวิเคราะห์และใช้โมเดล Markov Chain เพื่อคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในปี 2020, 2030, 2040 และ 2050 และวิเคราะห์ค่าทางอุทกวิทยาโดยใช้แบบจำลอง SWAT (เครื่องมือวิเคราะห์ดินและน้ำ) ใน 12 ลุ่มน้ำย่อยที่แตกต่างกันในพื้นที่ศึกษา ผลการศึกษาพบว่าการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคตทำให้ค่า CN สูงขึ้น ส่งผลให้เกิดเป็นน้ำไหลบ่าเพิ่มมากขึ้น ในขณะเดียวกันค่าการคายระเหยของพืชลดลง

**Jinkang Du และคณะ (2012)** ได้ศึกษาการพัฒนาและใช้ระบบการสร้างแบบจำลองแบบบูรณาการควบคู่ไปกับแบบจำลองการกระจายตัวของอุทกวิทยาและแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินแบบไดนามิก เพื่อศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินไปเป็นเมืองต่อน้ำท่าไหลเข้ารายปีและเหตุการณ์น้ำท่วม ในลุ่มน้ำ Qinhuai ในแม่น้ำ Jiangsu ประเทศจีน ระบบการสร้างแบบจำลองทางอุทกวิทยาของ Hydrologic Engineering Center (HEC-HMS) ใช้ในการคำนวณหาปริมาณน้ำท่าไหลเข้าและแบบจำลอง Markov Chain และ Cellular Automata

(แบบจำลอง CA-Markov) ถูกนำมาใช้เพื่อพัฒนาแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต ผลการจำลองของแบบจำลอง HEC-HMS สำหรับสถานการณ์การทำให้เป็นเมืองต่างๆแสดงให้เห็นว่าการไหลบ่าประจำปี การไหลสูงสุดในแต่ละวันและปริมาณน้ำท่วม เพิ่มขึ้นในระดับที่ต่างกันเนื่องจากการขยายตัวของเมืองในช่วงระยะเวลาการศึกษา (พ.ศ. 2531-2552) และจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องด้วยพื้นที่ในเขตเมืองจะเพิ่มขึ้นในอนาคต ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มขึ้นของพื้นที่เมืองจะทำให้เกิดเหตุการณ์น้ำท่วมขนาดเล็กมากกว่าน้ำท่วมขนาดใหญ่ และปริมาณการไหลของน้ำท่วมได้รับผลกระทบมากกว่าน้ำท่าไหลเข้ารายปีจากการเพิ่มขึ้นของเมือง

**อิมรอน (2558)** ประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำเลย โดยใช้แบบจำลอง MWSWAT แบบจำลองได้ประเมินปริมาณน้ำท่าเปรียบเทียบกับกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2545 และ พ.ศ. 2552 พบว่า ในช่วงฤดูฝนปริมาณน้ำท่าลดลงประมาณ ร้อยละ 2-4 ส่วนในช่วงฤดูแล้งปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 4-9 เนื่องจากป่าเสื่อมโทรมมีการฟื้นสภาพสมบูรณ์ขึ้น และการเปลี่ยนจากพืชไร่เป็นสวนยางพาราซึ่งมีพื้นที่ใบมากและการปกคลุมดินที่ดีกว่าพืชไร่ เพิ่มอัตราการคายระเหยในฤดูฝน เพิ่มปริมาณการอุ้มน้ำของดิน เพิ่มปริมาณน้ำในดิน และปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง

### 2.11.3 การมีส่วนร่วมในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ

**Laura Basco-Carrera และคณะ (2017)** งานวิจัยนี้จะอธิบายถึงรูปแบบการมีส่วนร่วมและการทำงานร่วมกัน เพื่อนำมาจัดการทรัพยากรน้ำอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล โดยใช้โมเดลคอมพิวเตอร์ เพื่อการวางแผนอย่างเป็นระบบและเป็นกระบวนการตัดสินใจ ซึ่งรวมไปถึงการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย โดยพิจารณาจากสองมิติคือระดับการมีส่วนร่วม และประเภทของความร่วมมือ โดยมีการเสนอกรอบทั่วไปใหม่ สำหรับวิธีการสร้างแบบจำลองแบบมีส่วนร่วมและแบบร่วมมือในการจัดการทรัพยากรน้ำ โดยใช้กรณีศึกษาคือ การจัดการน้ำใต้ดินของประเทศเนเธอร์แลนด์ ด้วย 6 ปัจจัยหลักคือ บริบทและการประยุกต์ใช้, การใช้งานเฉพาะ, การจัดการข้อมูล, โครงสร้างการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย, การสร้างแบบจำลองและการจัดทีม, และวิธีการ ซึ่งการประยุกต์ใช้ในกรณีนี้ให้ผลลัพธ์เป็นไปตามที่คาดหวัง อย่างไรก็ตามหากปัจจัยเหล่านี้อาจแตกต่างกันไปในแต่ละภูมิภาคและความแตกต่างที่ลึกซึ้งอาจเกิดขึ้นระหว่างวิธีการสร้างแบบจำลองการมีส่วนร่วมและการทำงานร่วมกันที่แตกต่างกัน ดังนั้นการวิเคราะห์เพิ่มเติมเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อแสดงให้เห็นถึงการใช้งานโดยทั่วไปของกรอบการวางแผนและการจัดการทรัพยากรน้ำทั่วโลก

**Kuntiyawichai และ Inthavong (2017)** ได้ศึกษาการประเมินการมีส่วนร่วมของชุมชนในการจัดการน้ำชลประทานในโครงการชลประทานน้ำแสด (NHLIP) โดยพิจารณาบทบาทในครัวเรือนและชุมชน และหาระดับการมีส่วนร่วมของเกษตรกรในการจัดการน้ำชลประทานของ

NHLIP ใช้กลุ่มตัวอย่างจากสมการ ทาโร่ ยาโกมา ที่ความเชื่อมั่น 90% เพื่อคำนวณหากกลุ่มตัวอย่างจากการตอบกลับของผู้ตอบแบบสอบถามพบว่าบทบาทในครัวเรือนของสามีภรรยา มีบทบาทโดดเด่นในการจัดการน้ำชลประทานของ NHLIP ในการทำนาปี ผลการวิจัยพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีส่วนร่วมในการจัดการน้ำชลประทานของโครงการ NHLIP โดยมีระดับการมีส่วนร่วมอยู่ที่ระดับสูง 3.80 (คะแนนเต็ม 5) มีผลต่อการมีส่วนร่วมของเกษตรกรในการจัดการน้ำชลประทานของ NHLIP ผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงความเต็มใจที่จะมีส่วนร่วมในการให้ความร่วมมือและสนับสนุนกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงและบริหารโครงการ NHLIP

**Liu Jingling และคณะ (2010)** การมีส่วนร่วมของประชาชนในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำของแม่น้ำ Haihe ประเทศจีน ปัจจัยที่สำคัญในการปรับปรุงประสิทธิภาพการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำให้ประสบความสำเร็จคือการบริหารจัดการที่ครอบคลุม จนถึงการบริหารจัดการพื้นที่เชิงนิเวศน์ที่เป็นป่าต้นน้ำ การมีส่วนร่วมของชุมชนโดยการสำรวจความต้องการ การตอบแบบสอบถามกับกลุ่มคนที่มีส่วนได้ส่วนเสียในพื้นที่ และการขอคำปรึกษาจากผู้เชี่ยวชาญในพื้นที่ เพื่อที่จะให้เห็นสภาพความต้องการที่จริงจะได้นำมาวิเคราะห์ประเมิน รวมไปถึงการประเมินสภาพสิ่งแวดล้อมของผู้อยู่อาศัยในพื้นที่อีกด้วยเหล่านี้ล้วนเป็นข้อมูลสำคัญอย่างยิ่ง การมีส่วนร่วมของประชาชนจะมีลักษณะที่แตกต่างกันตามพฤติกรรมการใช้

**โสภิตา (2553)** ได้ศึกษาถึงระดับการมีส่วนร่วมของประชาชนในการจัดการทรัพยากรน้ำ โดยศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการมีส่วนร่วมในการจัดการน้ำ เช่น เพศ อายุ อาชีพ รายได้ ตำแหน่งในคณะกรรมการจัดการน้ำ และบทบาท โดยเก็บข้อมูลจากแบบสอบถามจากประชากรในพื้นที่ จำนวน 176 ครัวเรือน ผลการวิจัยพบว่า ระดับการมีส่วนร่วมของชุมชนโดยรวมด้านกายภาพ ด้านความคิด และด้านอารมณ์อยู่ในระดับมาก ส่วนระดับการมีส่วนร่วมด้านการเป็นเจ้าของอยู่ในระดับมากที่สุด และจากสมมติฐานพบว่า ระดับการมีส่วนร่วมของบุคคลแตกต่างกันไปตามตำแหน่งในคณะกรรมการจัดการน้ำ ความรู้เกี่ยวกับการจัดการน้ำ ทักษะคติในการจัดการน้ำ และความพึงพอใจในการจัดสรรน้ำ

**Chanya และคณะ (2015)** การพัฒนาการมีส่วนร่วมในการวางแผนการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำเพื่อลดความขัดแย้งของชุมชน เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการในพื้นที่ลุ่มน้ำพอง โดยประกอบด้วย 3 หมู่บ้าน บ้านห้วยโจด บ้านหนองบัวน้อย บ้านโนนขามผา ตำบลกุดน้ำใส อำเภอพอง จังหวัดขอนแก่น ข้อมูลทั้งหมดนี้นำมารวบรวมและเข้าสู่กระบวนการมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วนในการบริหารจัดการเพื่อลดความขัดแย้งและสร้างกฎกติการ่วมกันอีก ทั้งนี้จะมีการประเมินติดตามผลร่วมกันของทุกฝ่าย โดยสรุปได้ดังนี้ มีการตั้งคณะกรรมการตรวจสอบควบคุมดูแลคุณภาพน้ำอย่างสม่ำเสมอ จัดให้มีการร่วมตรวจสอบการใช้น้ำของภาคอุตสาหกรรมร่วมกัน, จัดให้มีการสร้างข้อตกลงและกฎระเบียบบทลงโทษของการใช้น้ำร่วมกัน, หยุดการทิ้งขยะลงแม่น้ำ, จัดกิจกรรมการมีส่วนร่วม

ในการอนุรักษ์และป้องกันแม่น้ำ, ภาคอุตสาหกรรมควรให้ความสำคัญกับการจ้างแรงงานในพื้นที่เข้าทำงานในโรงงานอุตสาหกรรม

#### 2.11.4 การศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

**Sananda Kundu และคณะ (2017)** ได้ศึกษา การประเมินการเปลี่ยนแปลงของสมดุลงน้ำในอนาคต จากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยใช้แบบจำลอง SWAT ในส่วนหนึ่งของลุ่มน้ำ Narmada ใน Madhya Pradesh ประเทศอินเดีย เพื่อที่จะคาดการณ์ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด ด้วย LS-SVM และแบบจำลอง SDSM (Statistical Downscaling Model) เพื่อประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการทำนายการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในลุ่มน้ำโดยใช้แบบจำลอง Markov Chain สภาพภูมิอากาศในปัจจุบันและในอนาคตของปี 2020, 2050 ผลการศึกษาพบว่าผลการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีผลกระทบต่อปริมาณน้ำมากขึ้นเนื่องจากเกิดน้ำไหลป่าสูง ในขณะที่ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินมีผลอย่างมากต่อการคายระเหย

**Pancheewan และคณะ (2016)** ได้ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อแหล่งน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยา เพื่อจำลองและทำนายกระบวนการทางอุทกวิทยาภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างกัน ผลการศึกษาพบว่าสภาพภูมิอากาศและการพัฒนาที่ดินมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝน การคายระเหย และการไหลของน้ำ สมดุลของน้ำสำหรับจำลองสภาพภูมิอากาศในอนาคตและสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงปีพ.ศ. 2553-2542 ทำให้ปริมาณฝน อุณหภูมิ การคายระเหย และน้ำท่าเพิ่มขึ้น ทั้งสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของ A2 และ B2 การที่น้ำเพิ่มขึ้นจะเป็นประโยชน์สำหรับกิจกรรมของมนุษย์ แต่จะทำให้เกิดปัญหาเรื่องแหล่งน้ำเช่นความถี่ของเหตุการณ์น้ำท่วมและภัยแล้งในอนาคต

**ทริส (2559)** ได้ศึกษาการประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ ระหว่างปีพ.ศ. 2557-2606 ด้วยการจำลองสภาพภูมิอากาศระดับภูมิภาคด้วยแบบจำลอง PRECIS ภายใต้สถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบ A2 และ B2 การสร้างแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตด้วยแบบจำลอง CA Markov และการจำลองปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำในอนาคตด้วยแบบจำลอง SWAT จากการจำลองสภาพภูมิอากาศในอนาคต พบว่าปริมาณฝนเฉลี่ยและอุณหภูมิมิแนวโน้มเพิ่มขึ้น และผลการจำลองแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินบ่งบอกถึงการขยายตัวเพิ่มขึ้นของ

ยางพารา ทดแทนพื้นที่นาข้าว การใช้ SWAT เพื่อประเมินน้ำท่า พบว่าผลการจำลองปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีมีแนวโน้มที่ลดต่ำกว่าฐานคือรวมถึงปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยตามช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าต่ำกว่าปีฐาน

### 2.11.5 การประยุกต์ใช้วิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดสำหรับการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำและการปรับปรุงโค้งคุมอ่างเก็บน้ำ

**Anongrit และ Chavalit (2007)** ศึกษาวิธีการค้นหาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มีความเหมาะสมและนำเสนอการใช้ฟังก์ชันความราบเรียบแบบมีข้อจำกัด (Smooth Function Constraint) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำไปใช้สำหรับการค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่มีความเหมาะสมโดยใช้ GA ร่วมกับการเชื่อมต่อกับวิธีแบบจำลองสถานการณ์สำหรับการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ ซึ่งได้นำไปประยุกต์ใช้กับอ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพลและอ่างเก็บน้ำเขื่อนสิริกิติ์ ในลุ่มน้ำเจ้าพระยา ซึ่งในการศึกษาได้กำหนดค่าความขาดแคลนน้ำเฉลี่ยเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงสถานการณ์ของการขาดแคลนน้ำและการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการเคลื่อนที่ของค่าเฉลี่ยที่เป็นเงื่อนไขของการค้นหาสามารถลดการเปลี่ยนแปลงของโค้งควบคุมและเมื่อนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำจริงนั้น พบว่าโค้งควบคุมที่สร้างจาก GA สามารถทำให้ช่วยบรรเทาสถานการณ์การขาดแคลนน้ำและการปล่อยน้ำที่เหมาะสมกว่าโค้งควบคุมที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน รวมถึงพบว่าการใช้แบบจำลอง GA ร่วมกับการเชื่อมต่อกับวิธีแบบจำลองสถานการณ์ โดยมีฟังก์ชันความราบเรียบแบบมีข้อจำกัดสามารถหาค่าตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าแบบจำลองที่ไม่มีข้อจำกัด

**อนงค์ฤทธิ์ (2551)** นำเสนอเทคนิคการค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของระบบอ่างเก็บน้ำเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น ซึ่งเทคนิควิธีที่นำมาใช้ในการศึกษาคือการจำลองการอบเหนียว (Simulated Annealing, SA) โดยกำหนดวัตถุประสงค์ในการหาค่าตอบคือค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำรวมกับการใช้ฟังก์ชันความราบเรียบ (Smooth Function) และมีการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยการสังเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจำนวน 500 ชุดจากข้อมูลในอดีตตั้งแต่ปี พ.ศ. 2501-2546 จำนวน 46 ปี ผลการศึกษาพบว่า เทคนิค SA สามารถประยุกต์ใช้หาค่าตอบโค้งควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากสามารถป้องกันความเสี่ยงที่เกิดจากการขาดแคลนน้ำในฤดูแล้งของปกติไปและไม่ทำให้น้ำส่วนเกินเพิ่มสูงขึ้นมากเกินไป รวมถึงการเพิ่มโอกาสที่จะปล่อยน้ำตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการเพิ่มมากขึ้น

**ปกรณ และปกรณ (2561)** ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับค้นหาโค้งกฎการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ โดยใช้วิธีฮาร์โมนีเซิร์ชร่วมกับแบบจำลองการเลียนแบบ โดยพิจารณาปริมาณการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดร่วมกับ ปริมาณน้ำไหลล้นอ่างน้อยที่สุด

เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในกระบวนการค้นหาคำตอบ พบว่าโค้งกฎการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ที่ได้จากวิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้วิธีฮาร์โมนีเซิร์จร่วมกับแบบจำลองการเลียนแบบมีประสิทธิภาพที่ดี เนื่องจากไม่มีเหตุการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำไหลน้ำอ่างเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ทดสอบจำนวน 216 เดือน เมื่อเทียบกับโค้งกฎการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเดิมซึ่งมีน้ำขาดแคลนจำนวน 11 ครั้ง โดยโค้งควบคุมเส้นล่างใหม่มีรูปร่างแตกต่างจากโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ เดิมเล็กน้อยคือในช่วงฤดูแล้ง จะสูงกว่าโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ เดิมเล็กน้อยเพื่อเก็บกักน้ำไว้ตอบสนองความต้องการใช้น้ำส่วนโค้งควบคุมเส้นบนใหม่ จะสูงกว่าโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำเดิม เพื่อกักเก็บน้ำไว้ตอบสนองความต้องการใช้น้ำ

**เชษฐพันธ์ (2555)** ศึกษาการสร้างทางเลือกการจัดสรรน้ำจากสถานะการขาดแคลนน้ำโดยคำนึงถึงสภาพเศรษฐกิจ การจัดการอย่างเทียบเท่าและความเชื่อมั่นในทุกกิจกรรมการใช้น้ำสำหรับโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาอ่างเก็บน้ำลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ รวมถึงการพัฒนาโค้งควบคุมการจัดสรรน้ำด้วยเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดวิธีอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization, ACO) โดยมีการจำลองสถานการณ์เพิ่มพื้นที่ชลประทานในอนาคต 50,000 ไร่ เป็นเกณฑ์ในการจัดสรรน้ำ ใช้ข้อมูลน้ำท่ารายเดือน สภาพภูมิอากาศ ระหว่างปี พ.ศ. 2511-2554 และข้อมูลความต้องการใช้น้ำสำหรับวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ระหว่างปี พ.ศ. 2511-2550 ผลการศึกษาพบว่าลำดับความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ ด้านความเท่าเทียมและความเชื่อมั่นตามลำดับ และการพัฒนาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำด้วยเทคนิค ACO ทำให้ลดปริมาณการขาดแคลนน้ำได้ทั้งนี้ได้มีการเสนอแนะให้มีการใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยาเพื่อคาดการณ์ปริมาณน้ำท่า รวมถึงการพิจารณาวัตถุประสงค์ตามแนวโน้มความต้องการใช้น้ำที่อาจเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อนำมาใช้วิเคราะห์ในการจัดทำโค้งควบคุมที่เหมาะสมในอนาคต

#### 2.11.6 การประยุกต์ใช้เทคนิค Wind Driven Optimization ในงานต่างๆ

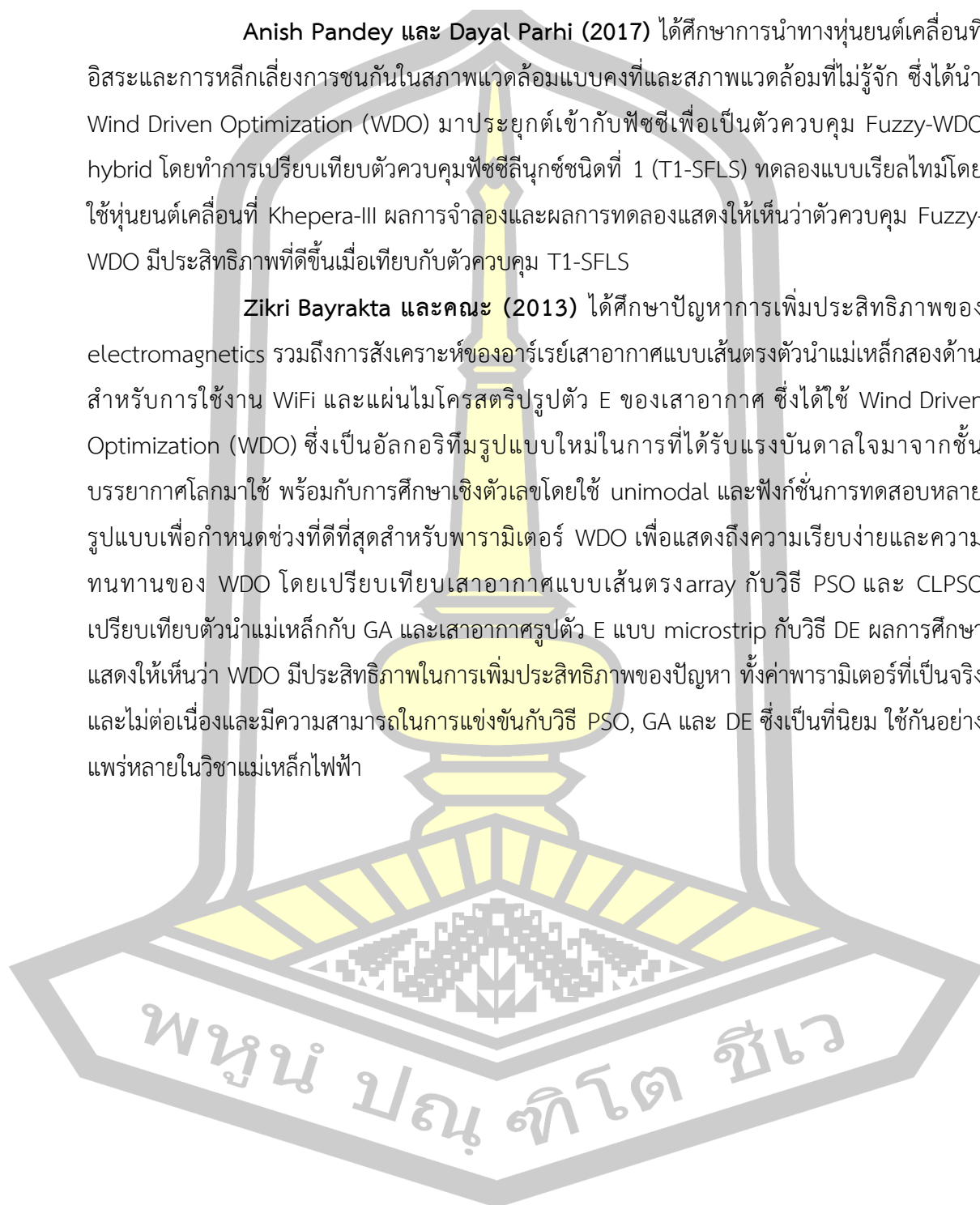
**Nagaraj และคณะ (2018)** ได้ทำการศึกษากการแยกแยะแหล่งที่มาโดยอัตโนมัติแบบไดนามิก (ROI) แบบอัตโนมัติและการแบ่งส่วนตามลำดับขั้นของ intima media complex (IMC) โดยใช้เทคนิค Wind Driven Optimization (WDO) ในการบ่งชี้เบื้องต้นเกี่ยวกับการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดที่เป็นไปได้คือหลอดเลือดแดง ซึ่งเป็นการสะสมของคราบจุลินทรีย์บนผนังหลอดเลือด ความหนาของ intima-media (IMT) ในหลอดเลือดแดงที่พบได้ทั่วไป เป็นเครื่องหมายของการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดในระยะแรก การคำนวณ IMT และการวาดภาพคราบจุลินทรีย์เป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญในการวินิจฉัยทางคลินิกกว่ามีความเสี่ยงต่อโรคหลอดเลือดสมอง การประเมินผลเชิงปริมาณจะดำเนินการในภาพอัลตราซาวด์ 90 ภาพของชุดข้อมูลสองชุดที่แตกต่าง



กัน ผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับเทคนิคที่ทันสมัยได้แก่ โปรแกรมพลวัต และ snake segmentation method ผลการศึกษาพบว่าวิธี WDO มีประสิทธิภาพในการนำมาคำนวณค่า IMT

**Anish Pandey และ Dayal Parhi (2017)** ได้ศึกษาการนำทางหุ่นยนต์เคลื่อนที่อิสระและการหลีกเลี่ยงการชนกันในสภาพแวดล้อมแบบคงที่และสภาพแวดล้อมที่ไม่รู้จัก ซึ่งได้นำ Wind Driven Optimization (WDO) มาประยุกต์เข้ากับฟัซซีเพื่อเป็นตัวควบคุม Fuzzy-WDO hybrid โดยทำการเปรียบเทียบตัวควบคุมฟัซซีลินุกซ์ชนิดที่ 1 (T1-SFLS) ทดลองแบบเรียลไทม์โดยใช้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ Khepera-III ผลการจำลองและผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าตัวควบคุม Fuzzy-WDO มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับตัวควบคุม T1-SFLS

**Zikri Bayrakta และคณะ (2013)** ได้ศึกษาปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพของ electromagnetics รวมถึงการสังเคราะห์ของอาร์เรย์เสาอากาศแบบเส้นตรงตัวนำแม่เหล็กสองด้านสำหรับการใช้งาน WiFi และแผ่นไมโครสตริปรูปตัว E ของเสาอากาศ ซึ่งได้ใช้ Wind Driven Optimization (WDO) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมรูปแบบใหม่ในการที่ได้รับแรงบันดาลใจมาจากชั้นบรรยากาศโลกมาใช้ พร้อมกับการศึกษาเชิงตัวเลขโดยใช้ unimodal และฟังก์ชันการทดสอบหลายรูปแบบเพื่อกำหนดช่วงที่ดีที่สุดสำหรับพารามิเตอร์ WDO เพื่อแสดงถึงความเรียบง่ายและความทนทานของ WDO โดยเปรียบเทียบเสาอากาศแบบเส้นตรง array กับวิธี PSO และ CLPSO เปรียบเทียบตัวนำแม่เหล็กกับ GA และเสาอากาศรูปตัว E แบบ microstrip กับวิธี DE ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า WDO มีประสิทธิภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพของปัญหา ทั้งค่าพารามิเตอร์ที่เป็นจริงและไม่ต่อเนื่องและมีความสามารถในการแข่งขันกับวิธี PSO, GA และ DE ซึ่งเป็นที่นิยม ใช้กันอย่างแพร่หลายในวิชาแม่เหล็กไฟฟ้า



### บทที่ 3

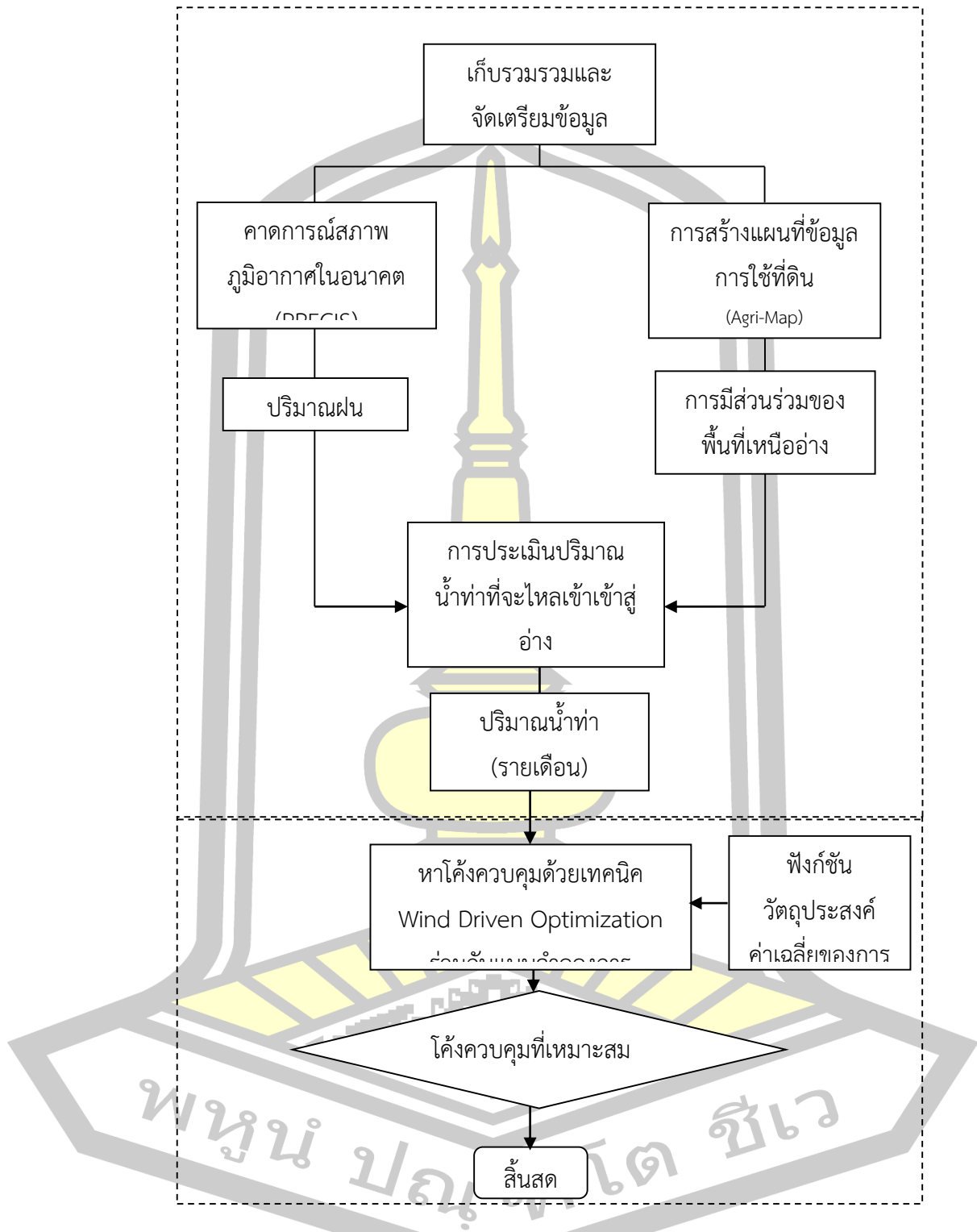
#### วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะประเมินปริมาณน้ำที่จะไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน และอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก ในปี พ.ศ. 2561-2579 โดยเลือกใช้แบบจำลองเพื่อมาช่วยประมาณค่าปริมาณน้ำฝนคือ SWAT จากนั้นจะนำปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง SWAT ไปหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิค Wind Driven Optimization ซึ่งจะมีหัวข้อและวิธีการดำเนินงาน ดังนี้

1. พื้นที่ศึกษา
2. เก็บรวบรวมและจัดเตรียมข้อมูล
3. คาดการณ์สภาพอุตุนิยมวิทยาและปริมาณฝนในอนาคต ด้วยแบบจำลอง PRECIS
4. การสร้างแผนที่ข้อมูลการใช้ที่ดินในอนาคตจากแผนที่ Agri-Map
5. ปรับแผนที่ข้อมูลการใช้ที่ดิน ด้วยกระบวนการมีส่วนร่วม
6. การประเมินปริมาณน้ำท่าที่จะไหลเข้าเข้าสู่อ่าง ด้วยแบบจำลอง SWAT
7. หาโค้งควบคุมที่เหมาะสมโดยใช้เทคนิค Wind Driven Optimization

โดยมีแผนผังกระบวนการทำงานดังภาพประกอบ 3.1

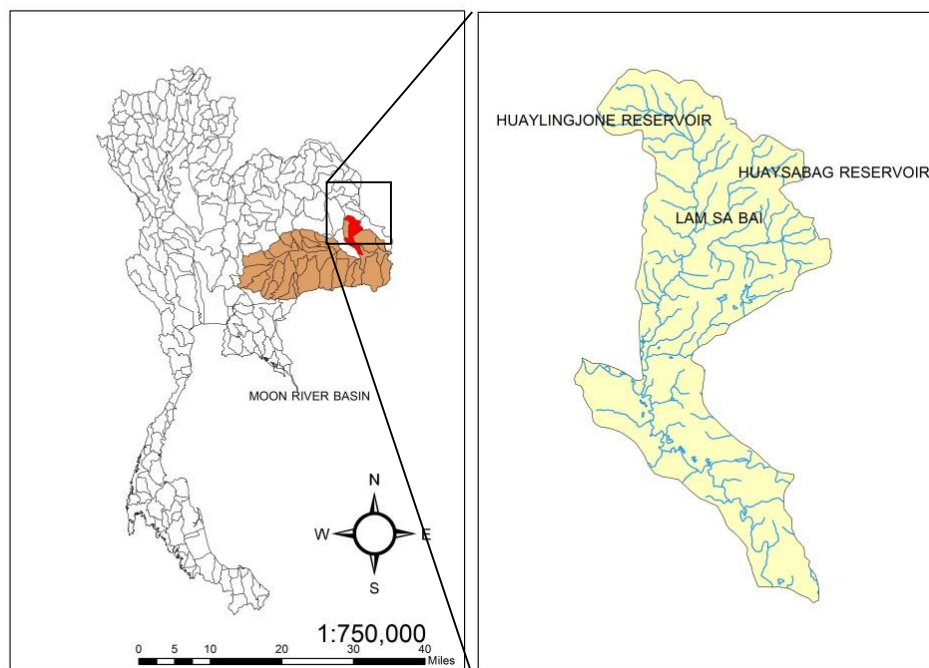




ภาพประกอบ 3.1 แผนผังกระบวนการดำเนินงาน

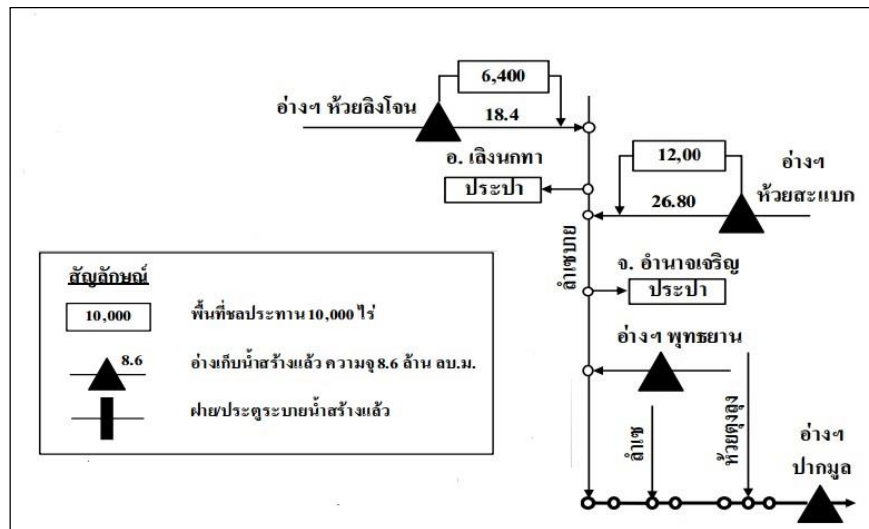
### 3.1 พื้นที่ศึกษา

ในการทำการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกพื้นที่ศึกษาเป็นอ่างเก็บน้ำขนาดกลาง 2 แห่ง คืออ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก และอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน จังหวัดยโสธร ซึ่งอยู่ในลุ่มน้ำมูล ลุ่มน้ำย่อยลำเซบาย (ภาพประกอบ 3.2, 3.3) และมีรายละเอียดของพื้นที่ ดังแสดงในตาราง 3.1, 3.2 โดยจะศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของพื้นที่ รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งมีผลต่อปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ตลอดจนศึกษาความต้องการใช้น้ำในพื้นที่อ่างเก็บน้ำ เพื่อจัดสรรน้ำตามความต้องการของผู้ใช้น้ำในพื้นที่ทั้งเหนือน้ำและท้ายน้ำของอ่างเก็บน้ำตามวัตถุประสงค์ต่างๆ



ภาพประกอบ 3. 2 พื้นที่ศึกษา อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก และอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน

พหุบัณฑิต ชีวะ



ภาพประกอบ 3. 3 แผนผังการไหล กลุ่มน้ำลำเซบาย

ตาราง 3. 1 ปริมาณน้ำเก็บกักของโครงการชลประทานขนาดกลางของจังหวัดยโสธร ปีพ.ศ. 2554 – 2559

โครงการ ชลประทาน	ปี 2554	ปี 2555	ปี 2556	ปี 2557	ปี 2558	ปี 2559
	ปริมาณน้ำ เก็บกัก (MCM)	ปริมาณน้ำ เก็บกัก (MCM)	ปริมาณ น้ำเก็บกัก (MCM)	ปริมาณ น้ำเก็บกัก (MCM)	ปริมาณ น้ำเก็บกัก (MCM)	ปริมาณ น้ำเก็บกัก (MCM)
อ่างเก็บน้ำ ห้วยสะแบก	23.51	6.20	22.41	25.68	18.19	9.25
อ่างเก็บน้ำ ห้วยสิงโจน	15.70	2.99	16.95	17.05	8.26	3.62
รวม	39.21	9.19	39.36	42.73	26.45	12.87

ที่มา : โครงการชลประทานยโสธร ข้อมูล ณ 1 กรกฎาคม 2559

ตาราง 3. 2 พื้นที่การใช้ประโยชน์ของโครงการชลประทานขนาดกลางของจังหวัดยโสธร ปีพ.ศ.  
2554 - 2559

โครงการ ชลประทาน	ปี 2554	ปี 2555	ปี 2556	ปี 2557	ปี 2558	ปี 2559
	พื้นที่ใช้ ประโยชน์ (ไร่)	พื้นที่ใช้ ประโยชน์ (ไร่)	พื้นที่ใช้ ประโยชน์ (ไร่)	พื้นที่ใช้ ประโยชน์ (ไร่)	พื้นที่ใช้ ประโยชน์ (ไร่)	พื้นที่ใช้ ประโยชน์ (ไร่)
อ่างเก็บน้ำ ห้วยสะแบก	12,672	12,672	12,672	12,672	12,672	12,672
อ่างเก็บน้ำ ห้วยลิงโจน	14,544	14,544	14,544	14,544	14,544	14,544
รวม	27,216	27,216	27,216	27,216	27,216	27,216

ที่มา : โครงการชลประทานยโสธร ข้อมูล ณ 1 กรกฎาคม 2559

### 3.1.1 อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก

อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก เป็นอ่างเก็บน้ำขนาดกลาง ตั้งอยู่ที่ บ้านป่าซึ่ียง ตำบลบุงคำ อำเภอลำดวน จังหวัดยโสธร หรือที่พิกัด 48 QVC 668-850 ราว 5941 III เส้นทางคมนาคม จาก อำเภอมืองยโสธร ไปตามถนนหมายเลข 2169 (ยโสธร - อ.ลำดวน) ระยะทาง ประมาณ 70 กิโลเมตร แยกขวา ตามทางหมายเลข 212 (อ.ลำดวน - อ.อุบลราชธานี) ระยะทางประมาณ 12 กิโลเมตร ถึงบ้านห้วยสะแบก แยกซ้าย ตามถนนลาดยางถึง บ้านนาออก ระยะทางประมาณ 6 กิโลเมตร แยกขวาตามถนน รพช.จาก บ้านนาออกถึงอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก ระยะทางประมาณ 6 กิโลเมตรรวมระยะทางทั้งสิ้น 94 กิโลเมตร เริ่มก่อสร้างเมื่อปีงบประมาณ 2529 แล้วเสร็จเมื่อปีงบประมาณ 2536 งบประมาณในการก่อสร้าง 174.110 ล้านบาท

ข้อมูลด้านอุทกวิทยา

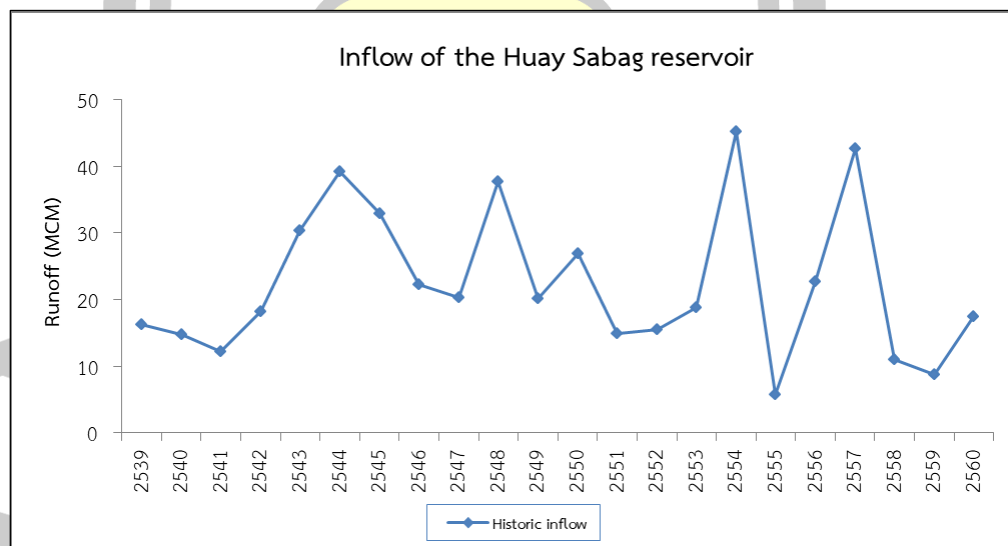
1. พื้นที่รับน้ำฝน (W.A ) 49 ตารางกิโลเมตร
2. ฝนตกเฉลี่ย 1,633 มิลลิเมตรต่อปี ที่อำเภอลำดวน (2495-2534)
3. ปริมาณน้ำไหลลง (Inflow) 20.00 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี
4. การระเหยเฉลี่ย 1,602.50 มิลลิเมตร

ข้อมูลหัวงาน (ทำนบดินแบบ ZoneType (หลังทำนบลาด Asphalt ผิวจราจรกว้าง 6 เมตร)

1. กว้าง 8.00 เมตร – ยาว 1,932.00 เมตร
2. สูงสุด 19.00 เมตร อาคารระบายน้ำล้นแบบ Ogee Weir Side Channel Spillway
3. สันทางระบายยาว 40.00 เมตร
4. Channel กว้าง 40.00 เมตร ยาว 275.00 เมตร
5. ระบายน้ำได้ 100.00 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ข้อมูลการเก็บกักน้ำ

1. ที่ระดับธรณีท่อ +167.00 ระดับน้ำทะเลปานกลาง ปริมาณน้ำ 0.60 ล้านลูกบาศก์เมตร  
พื้นที่ผิวน้ำ 500 ไร่
2. ที่ระดับเก็บกัก +176.00 ระดับน้ำทะเลปานกลาง ปริมาณน้ำ 26.80 ล้านลูกบาศก์เมตร  
พื้นที่ผิวน้ำ 4,068 ไร่
3. ที่ระดับน้ำสูงสุด +177.250 ระดับน้ำทะเลปานกลาง ปริมาณน้ำ 36.00 ล้าน ลบ.ม.
4. ระดับหลังทำนบดิน +179.500 ระดับน้ำทะเลปานกลาง
5. พื้นที่รับประโยชน์ : ฤดูแล้ง 2,000 ไร่ (พืชไร่ - พืชผัก) ฤดูฝน 12,672 ไร่



ภาพประกอบ 3. 4 ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก

### 3.1.2 อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน

อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน เป็นอ่างเก็บน้ำขนาดกลาง ตั้งอยู่ที่บ้านหนองบึง ตำบลห้องแซง อำเภอเลิงนกทา จังหวัดยโสธร หรือที่พิกัด 48 QVC 367 - 960 ระวัง 5841 II เส้นทางกรมคมนาคม จากอำเภอเมืองยโสธร ตามถนนทางหลวงแผ่นดิน หมายเลข 2169 สายยโสธร – บ้านเลิงเก่า ระยะทาง 65 กิโลเมตร จากเลิงเก่า แยกซ้ายตามถนนทางหลวงแผ่นดิน หมายเลข 212 สายเลิงเก่า- หนองพอก ถึงบ้านห้องแซง ระยะทาง 22 กิโลเมตร จากบ้านห้องแซง แยกซ้ายเข้า อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน ระยะทาง 3 กิโลเมตร รวมระยะทางทั้งสิ้น 90 กิโลเมตร ปีที่ก่อสร้าง เริ่มก่อสร้างเมื่อปีงบประมาณ 2530 แล้วเสร็จเมื่อปีงบประมาณ 2536

#### ข้อมูลด้านอุทกวิทยา

1. พื้นที่รับน้ำฝน (w.A) 52 ตารางกิโลเมตร
2. ฝนตกเฉลี่ย 1,633 มิลลิเมตรต่อปี ที่อำเภอเลิงนกทา (พ.ศ. 2495 - พ.ศ. 2539)
3. ปริมาณน้ำไหลลง (Inflow) 22.89 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี
4. การระเหยเฉลี่ย 1,135.3 มิลลิเมตรต่อปี (ที่จังหวัดมุกดาหาร)

#### ข้อมูลหัวงาน

ทำนบดิน แบบ Zone type หลังทำนบลาด Asphalt ผิวจราจร 6 เมตร

1. กว้าง 8 เมตร
  2. ยาว 2,000 เมตร
  3. สูง (สุด) 13.50 เมตร
- อาคารระบายน้ำล้น แบบ Ogee Modified Side Channel Spillway
4. เส้นทางระบายยาว 60.71 เมตร
  5. Channel กว้าง 10.00 เมตร ยาว 101.00 เมตร
  6. ระบายน้ำได้ 129 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

#### ข้อมูลการเก็บกักน้ำ

เก็บกักน้ำ ประมาณ 80 % ของปริมาณไหลลง (Inflow)

1. ที่ระดับธรณีทอ + 168.00 ระดับน้ำทะเลปานกลาง ปริมาณน้ำ 0.40 ล้านลูกบาศก์เมตร  
พื้นที่ผิวหน้า 250 ไร่



2. ที่ระดับเก็บกัก + 175.00 ระดับน้ำทะเลปานกลาง ปริมาณน้ำ 18.40 ล้านลูกบาศก์เมตร  
พื้นที่ผิวน้ำ 3,172 ไร่
3. ที่ระดับน้ำสูงสุด + 176.45 ระดับน้ำทะเลปานกลาง
4. ระดับหลังทำนบดิน + 178.50 ระดับน้ำทะเลปานกลาง

#### พื้นที่รับประโยชน์

- ฤดูแล้ง 2,500 ไร่ (พืชไร่ - พืชผัก)
- ฤดูฝน 14,544 ไร่ (นาปี)

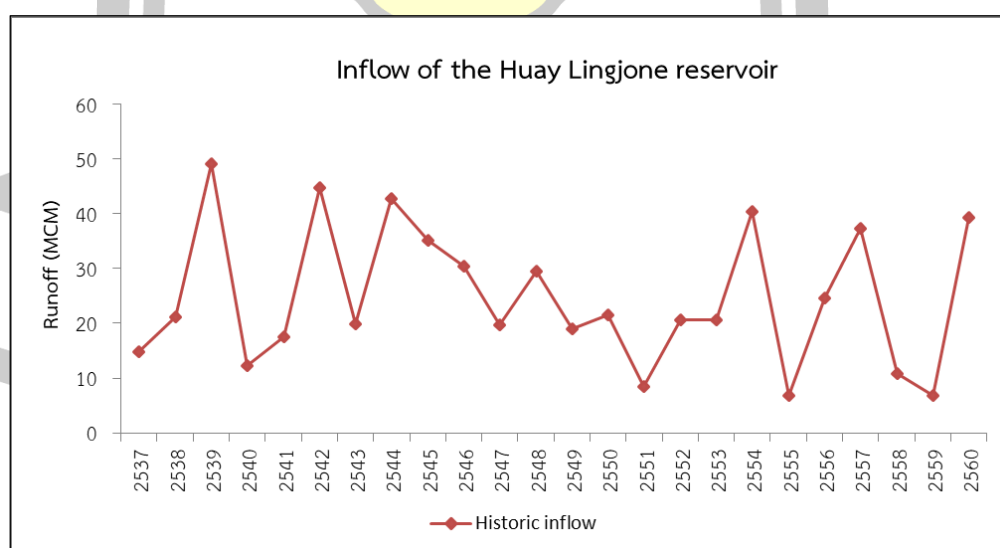
#### ข้อมูลคลองส่งน้ำและเกษตรกรผู้รับน้ำ

##### คลองส่งน้ำสายใหญ่ฝั่งซ้าย

1. ความจุคลอง 0.5642 ลบ.ม. /วินาที ยาว 5+000 กม.
2. พื้นที่รับน้ำ 1,121 ไร่ ไม่มีคลองส่งน้ำสายย่อย
3. จำนวนเกษตรกร 113 ราย

##### คลองส่งน้ำสายใหญ่ฝั่งขวา

1. ความจุคลอง 3.0465 ม<sup>3</sup> /วินาที ยาว 12+830 กม.
2. พื้นที่รับน้ำ 12,423 ไร่ มีคลองส่งน้ำสายย่อย และแยกย่อย 10 สาย
3. จำนวนเกษตรกร 251 ราย



ภาพประกอบ 3. 5 ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน

### 3.2 เก็บรวบรวมและจัดเตรียมข้อมูล

ในการรวบรวมและจัดเตรียมข้อมูลเพื่อจะประเมินปริมาณน้ำท่าที่จะไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน และอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบกในปี พ.ศ. 2561-2579 ด้วยแบบจำลอง SWAT และคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินจากแผนที่เกษตรเพื่อการบริหารจัดการเชิงรุก (Agri-Map) คาดการณ์สภาพอุตุนิยมวิทยาโดยใช้แบบจำลอง PRECIS จะแบ่งข้อมูลออกเป็น 6 ชุดข้อมูล ดังต่อไปนี้

#### 3.2.1 ข้อมูลน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ

1. อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก ใช้ข้อมูลในปี พ.ศ. 2539 – พ.ศ. 2560
2. อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน ใช้ข้อมูลในปี พ.ศ. 2537 – พ.ศ. 2560

#### 3.2.2 ข้อมูลสำหรับใช้ในการเทียบมาตรฐาน (Calibration) สำหรับใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่าในอนาคต

##### 3.2.2.1 ข้อมูลพื้นฐาน ในปี พ.ศ. 2548 - 2554

1. ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2560 ตามรหัสของแบบจำลอง SWAT
2. ข้อมูลแบบจำลองระดับสูงเชิงตัวเลข (DEM)
3. ข้อมูลชุดดิน
5. ข้อมูลน้ำฝนรายเดือน พ.ศ. 2548 - 2554
6. ข้อมูลน้ำท่ารายเดือน พ.ศ. 2548 - 2554
7. ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา (ข้อมูลแสงแดด, อุณหภูมิ, ความชื้น และความเร็วลม) พ.ศ. 2548 - 2554

#### 3.2.3 ชุดข้อมูลสำหรับใช้ทดสอบความสมเหตุสมผล ประกอบด้วย

##### 3.2.3.1 ข้อมูลพื้นฐาน ในปี พ.ศ. 2560

1. ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2560 ตามรหัสของแบบจำลอง SWAT
2. ข้อมูลแบบจำลองระดับสูงเชิงตัวเลข (DEM)
3. ข้อมูลชุดดิน
4. ข้อมูลน้ำฝนรายเดือน พ.ศ. 2560
5. ข้อมูลน้ำท่ารายเดือน พ.ศ. 2560
6. ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา (ข้อมูลแสงแดด, อุณหภูมิ, ความชื้น และความเร็วลม) พ.ศ. 2560

3.2.4 ข้อมูลสำหรับใช้คาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต ปี พ.ศ. 2579 โดยแผนที่  
 เกษตรเพื่อการบริหารจัดการเชิงรุก (Agri-Map)

1. ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2560 ตามรหัสของแบบจำลอง SWAT

3.2.5 ข้อมูลสำหรับใช้คาดการณ์สภาพอุตุนิยมวิทยาในอนาคตปี พ.ศ. 2561 – 2579 โดยใช้  
 แบบจำลอง PRECIS ประกอบด้วย

1. ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา (ข้อมูลแสงแดด, อุณหภูมิ, ความชื้น และความเร็วลม)  
 พ.ศ. 2540 - 2560

### 3.3 คาดการณ์สภาพอุตุนิยมวิทยาและปริมาณฝนในอนาคต ด้วยแบบจำลอง PRECIS

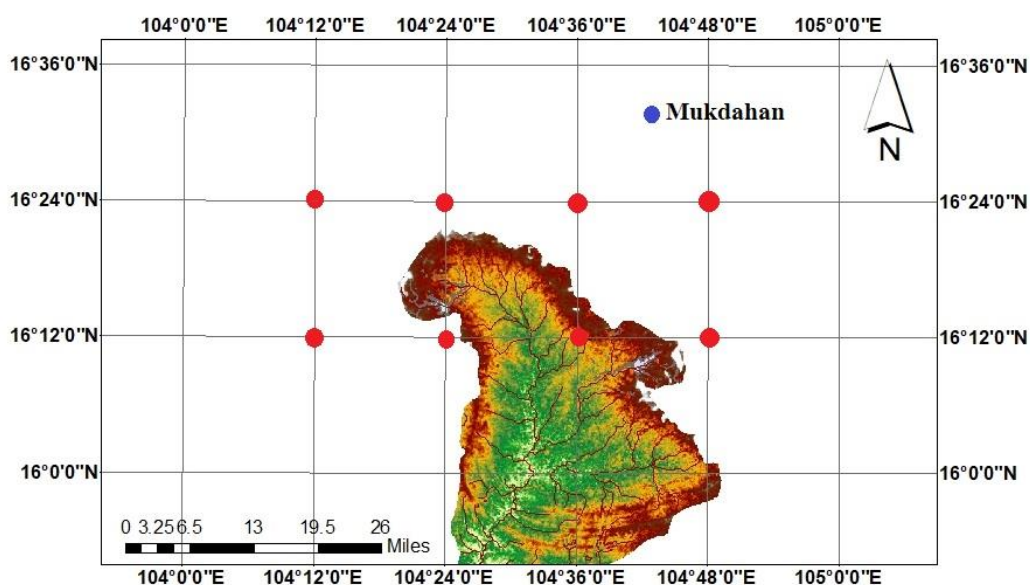
ข้อมูลจากสภาพภูมิอากาศ ที่จะนำมาป้อนข้อมูลเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อคำนวณสภาพ  
 ภูมิอากาศและปริมาณฝนในอนาคต สามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ของ ศูนย์จัดการความรู้ด้าน  
 การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ หรือ <http://www.start.or.th/> ข้อมูลจากแบบจำลองจะอยู่ในรูปแบบ  
 ของนามสกุล \*.txt (Text Document) ซึ่งสามารถแปลงเป็นไฟล์ ในรูปแบบตารางนามสกุล \*.xls  
 หรือ Worksheet ได้ ทำให้สะดวกต่อการใช้งาน ทั้งนี้ได้ทำการดาวน์โหลด ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ  
 จากแบบจำลองเป็นรายวัน จำนวน 6 ชนิด ดังแสดงในตาราง 3.3

ตาราง 3. 3 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศจาก PRECIS ที่ใช้ในการศึกษา

ที่	ข้อมูล	อักษรย่อ	หน่วย
1	ปริมาณฝน (Precipitation)	PC	มิลลิเมตร
2	อุณหภูมิสูงสุด (Maximum Temperature)	TX	องศาเซลเซียส
3	อุณหภูมิต่ำสุด (Minimum Temperature)	TN	องศาเซลเซียส
4	ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)	HD	ร้อยละ
5	ความเข้มแสงอาทิตย์ (Solar Radiation)	SL	เมกะจูล/ตารางเมตร/วัน
6	ความเร็วลม (Win speed)	WS	เมตร/วินาที

ข้อมูลที่ต้องการจาก PRECIS จะมีทั้งหมด 46 ปี ซึ่งจะแบ่งเป็นปีฐาน จำนวน 21 ปี คือ ระหว่าง พ.ศ. 2540-2560 สำหรับใช้การปรับเทียบ (Calibration) และการสอบเทียบ (Validation) และปีอนาคตจำนวน 25 ปี คือระหว่าง พ.ศ. 2561-2585

PRECIS จะแสดงข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่ตำแหน่งตามพิกัดกริดแบบละติจูด (Latitude) และลองจิจูด (Longitude) ซึ่งจะมีความละเอียดเชิงพื้นที่ประมาณ 0.22x0.22 องศา หรือ ประมาณ 25x25 กิโลเมตร โดยพื้นที่ศึกษาจะอยู่ระหว่างพิกัด 16° 24' N 104° 48' E และ 16° 12' N 104° 12' E และใช้ตำแหน่งพิกัดกริดจำนวน 8 จุด สำหรับการดาวน์โหลดข้อมูล ดังแสดงใน ภาพประกอบ 3.6



ภาพประกอบ 3. 6 ตำแหน่งพิกัดกริดจำนวน 8 จุด ในพื้นที่อ่างเก็บน้ำ

#### 3.4.1 การปรับเทียบและสอบเทียบข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากแบบจำลอง

เนื่องจากการพยากรณ์สภาพภูมิอากาศบนพื้นฐานของแบบจำลองนั้นจะมีข้อจำกัดที่อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นการทดสอบความถูกต้องของผลการคำนวณจากแบบจำลองจึงมีความจำเป็น (Islam et al., 2008 และ นัฐรพล ทองแห่ง) ด้วยเหตุนี้ข้อมูลที่ได้จาก PRECIS ที่จะนำมาใช้ในการศึกษาจะต้องมีการทดสอบความถูกต้องโดยการใช้อินพุตข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริงจากสถานีตรวจอากาศ โดยการเปรียบเทียบผลการจำลองสภาพภูมิอากาศจะต้องใช้ข้อมูลที่ตำแหน่งเดียวกัน โดยจะมุ่งเน้นไปที่การปรับเทียบข้อมูลปริมาณฝนและอุณหภูมิ วิธีการปรับเทียบและสอบเทียบข้อมูลสภาพภูมิอากาศสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

1) ผู้ศึกษาได้เลือกพื้นที่สำหรับการเปรียบเทียบและสอบเทียบข้อมูลคือพื้นที่ลุ่มน้ำลำปาวตอนบน ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบกับสถานีตรวจอากาศจังหวัดอุตรธานี ณ ตำแหน่งพิกัด  $16^{\circ} 32' N 104^{\circ} 43' E$  เนื่องจากเป็นสถานีตรวจอากาศที่ใกล้กับพื้นที่ศึกษามากที่สุด ดังแสดงในภาพประกอบ 3.6

2) ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริงระหว่างปี พ.ศ. 2549-2554 จะทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองในปีเดียวกัน โดยจะต้องทำการเฉลี่ยข้อมูลเป็นรายเดือนสำหรับแต่ละปี จากการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลที่ตรวจวัดจริงและข้อมูลจากแบบจำลอง ณ ตำแหน่งพิกัดสถานีอุตรธานี พบว่า

2.1) ปริมาณฝนจากสถานีตรวจวัดมีค่าสูงกว่าแบบจำลอง จึงควรมีการปรับแก้ด้วยการเพิ่มค่า

2.2) ค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดที่ได้จากการตรวจวัดจริง มีค่ามากกว่าข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง จึงควรมีการปรับแก้ด้วยการลดค่า

3) จากความแตกต่างของข้อมูลที่พบในข้อ 2) ผู้ศึกษาจึงได้นำข้อมูลสภาพภูมิอากาศเฉลี่ยเป็นรายเดือนในปีเดียวกันมาคำนวณหาค่าความแตกต่างระหว่างข้อมูลจริงกับแบบจำลอง ซึ่งจะทำให้ได้ค่าคงที่ (C) สำหรับใช้ในการปรับค่าที่ได้จากแบบจำลองเป็นรายเดือนที่ตำแหน่งนั้น ๆ ดังแสดงในสมการ 3-1 - 3-3 สำหรับค่า C ที่คำนวณได้จากวิธีนี้จะนำไปแสดงไว้ในบทที่ 4 ต่อไป

$$C_{PC} = \frac{PC_{obs}}{PC_{sim, base}} \quad (3-1)$$

$$C_{TX} = TX_{model} - TX_{obs} \quad (3-2)$$

$$C_{TN} = TN_{model} - TN_{obs} \quad (3-3)$$

โดยที่  $C_{PC}$  = ค่าคงที่สำหรับการปรับความคลาดเคลื่อนปริมาณฝน

$C_{TX}$  = ค่าคงที่สำหรับการปรับความคลาดเคลื่อนอุณหภูมิสูงสุด

$C_{TN}$  = ค่าคงที่สำหรับการปรับความคลาดเคลื่อนอุณหภูมิต่ำสุด

$PC_{obs}$  = ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนปีฐานที่ตำแหน่งพิกัดสถานีตรวจวัด (มิลลิเมตร)

$PC_{sim, base}$  = ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนปีฐานจากแบบจำลองที่ตำแหน่งพิกัดสถานีตรวจวัด (มิลลิเมตร)

$TX_{obs}$  = อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือนจากสถานีตรวจวัด ( $^{\circ}C$ )

$TX_{model}$  = อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือนจากแบบจำลอง ( $^{\circ}C$ )

$TN_{obs}$  = อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือนจากสถานีตรวจวัด ( $^{\circ}C$ )

$TN_{model}$  = อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือนจากแบบจำลอง ( $^{\circ}C$ )

4) ค่าที่ได้จากการปรับเทียบข้อมูลจากสถานีตรวจวัดจริงกับแบบจำลองจะถูกนำไปใช้ปรับความคลาดเคลื่อนผลการคำนวณสภาพภูมิอากาศที่ได้จากแบบจำลองเพื่อทดสอบค่าความถูกต้องระหว่างปี พ.ศ. 2540-2560 โดยจะต้องมีการปรับแต่งค่า C เพื่อให้ได้ค่าความถูกต้องระหว่างข้อมูลตรวจวัดจริงและข้อมูลจากแบบจำลองมากที่สุด และสมการ 3-4 - 3-6 เป็นสมการสำหรับปรับลดความคลาดเคลื่อนข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่ได้จากแบบจำลอง ดังนี้

$$PC_{rev} = PC_{model} \times C_{PC} \quad (3-4)$$

$$TX_{rev} = TX_{model} - C_{TX} \quad (3-5)$$

$$TN_{rev} = TN_{model} - C_{TN} \quad (3-6)$$

โดยที่  $PC_{rev}$  = ปริมาณฝนที่ปรับลดความคลาดเคลื่อนแล้ว (มิลลิเมตร)

$TX_{rev}$  = อุณหภูมิสูงสุดที่ปรับลดความคลาดเคลื่อนแล้ว ( $^{\circ}C$ )

$TN_{rev}$  = อุณหภูมิต่ำสุดที่ปรับลดความคลาดเคลื่อนแล้ว ( $^{\circ}C$ )

5) นำค่า C ที่ผ่านการปรับเทียบแล้วไปทดสอบปรับเทียบความคลาดเคลื่อนผลจากแบบจำลองในปี พ.ศ. 2540-2559 จากนั้นจึงนำผลที่ปรับความคลาดเคลื่อนไปเปรียบเทียบกับข้อมูลในปี พ.ศ. 2540-2559 จากสถานีตรวจวัดจริง โดยผลการเปรียบเทียบข้อมูลสภาพภูมิอากาศในช่วงเวลาดังกล่าวจะนำไปแสดงไว้ในบทที่ 4 ต่อไป สำหรับการประเมินประสิทธิภาพของข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่ได้ผ่านการปรับลดความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบกับข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัด ข้อมูลทั้งคู่จะมีการประเมินความสมบูรณ์ของข้อมูล (Goodness of Fit) แสดงได้ด้วยค่าสหสัมพันธ์ (Relative Correlation,  $R^2$ ) และค่าความคลาดเคลื่อนสัมพันธ์ (Relative Error, RE)

6) เมื่อค่า C ที่ได้ผ่านการปรับแต่งค่าด้วยวิธีลองผิด-ลองถูกจนทำให้ได้ค่าความสมบูรณ์ของข้อมูล ค่าสหสัมพันธ์และค่าความคลาดเคลื่อนสัมพันธ์ เป็นที่น่าพอใจแล้ว ข้อมูลปริมาณฝนและอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุดรายวันระหว่าง พ.ศ. 2561-2579 จะถูกนำมาปรับลดค่าความคลาดเคลื่อนโดยใช้ค่า C ตามวิธีการที่แสดงในสมการ 3-4 - 3-6 ตามลำดับ ข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่ได้ผ่านการปรับลดค่าความคลาดเคลื่อนแล้ว จะถือว่าเป็นข้อมูลที่สามารถนำไปใช้เพื่อการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าในอนาคตด้วยแบบจำลองทางอุทกวิทยา กรณีคาดการณ์ B2 ซึ่งจะได้แสดงไว้ในบทที่ 4

### 3.4 การสร้างแผนที่ข้อมูลการใช้ที่ดินในอนาคตจากแผนที่ Agri-Map

จากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินซึ่งเป็นข้อมูลที่เกษตรกรเพาะปลูกในพื้นที่ของตนเอง แต่เนื่องจากในปัจจุบัน รัฐบาลได้ส่งเสริมให้มีการเพาะพืชให้เหมาะสมกับพื้นที่ และการส่งน้ำให้กับพื้นที่ เพาะปลูกจะต้องเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดพืชและความต้องการใช้น้ำของพืชที่เกิดขึ้น ดังนั้นในอนาคตแผนที่การใช้ที่ดินจะเปลี่ยนแปลงไปตามการส่งเสริมพื้นที่เพาะปลูก โดยสามารถแยกข้อมูลการใช้ที่ดินและพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชชนิดต่างๆ ซึ่งขั้นตอนจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

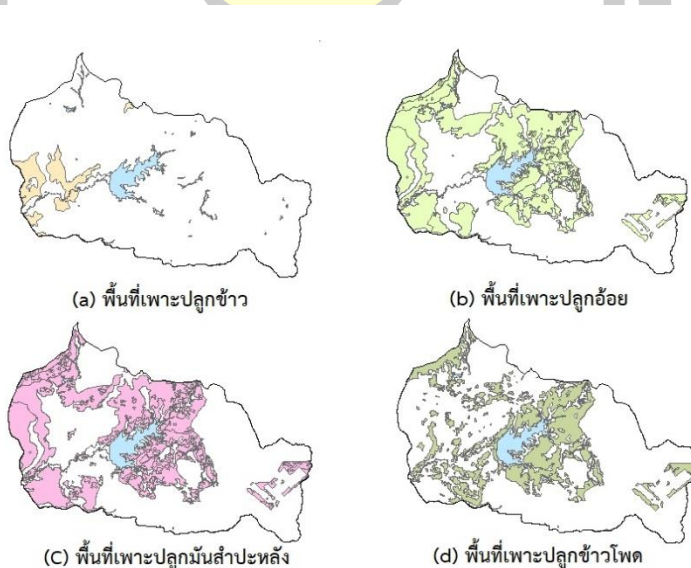
#### 1. วิเคราะห์ข้อมูลการใช้ที่ดินที่เหมาะสมกับพื้นที่

1. แผนที่การใช้ที่ดินในปัจจุบันในการศึกษาครั้งนี้ใช้แผนที่การใช้ที่ดิน ปี 2560 เป็นข้อมูลที่ดินปีฐาน โดยได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน

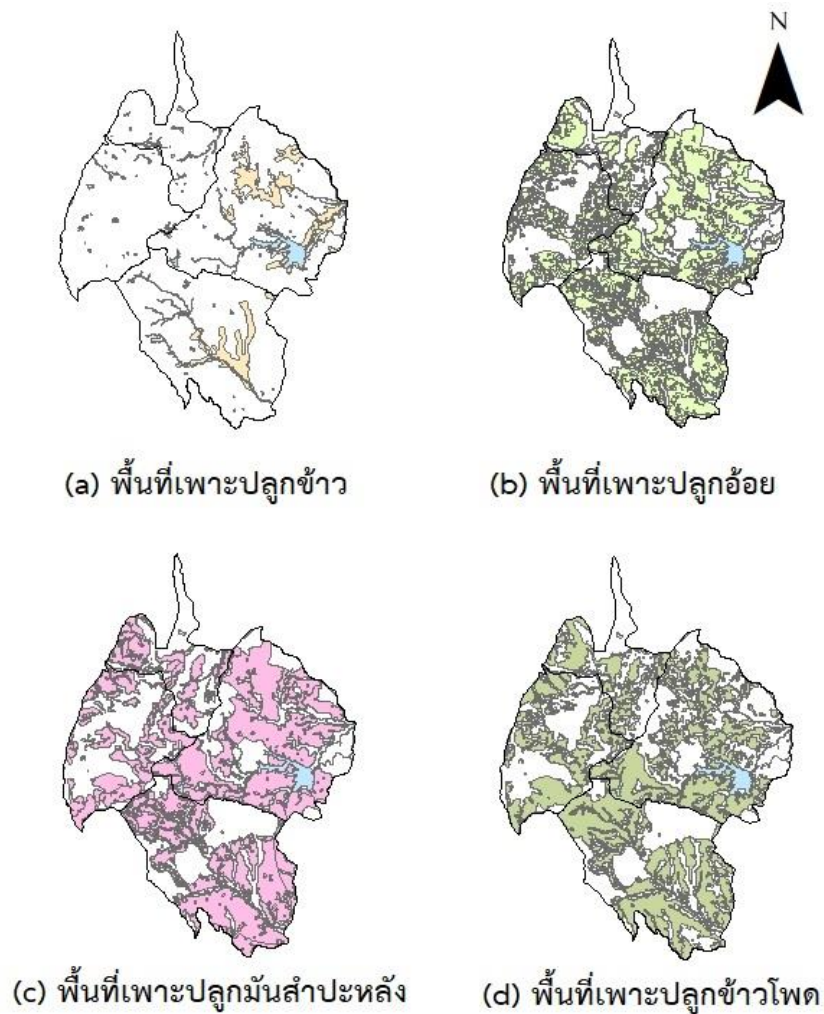
2. แผนที่ชั้นความเหมาะสมในการปลูกพืชต่างๆ เป็นข้อมูลพื้นที่ปลูกพืชต่าง จำแนกตามลักษณะดินและภูมิอากาศ ประกอบกับปัจจัยความต้องการในการเจริญเติบโตของพืชต่างๆ

#### 2. แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต

การสร้างแผนที่การใช้ที่ดินในอนาคตด้วยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2560 ซึ่งเป็นแผนที่ Agri-Map ที่นำมาใช้ในการพิจารณาเป็นแนวทางตามนโยบาย 20 ปีของรัฐบาลโดยกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ที่ส่งเสริมให้เกษตรกรเพาะปลูกพืชที่มีความเหมาะสมกับพื้นที่และใกล้แหล่งรับซื้อผลผลิตและมีความเหมาะสมกับภูมิอากาศ โดยมีแนวทางการพิจารณาเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินของแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต



ภาพประกอบ 3. 7 แผนที่ Agri-Map อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก



ภาพประกอบ 3. 8 แผนที่ Agri-Map อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน

### 3.5 ปรับแผนที่ข้อมูลการใช้ที่ดิน ด้วยกระบวนการมีส่วนร่วม

เมื่อเราได้แผนที่การใช้ที่ดินในอนาคตในปี พ.ศ. 2579 จาก Agri-map แล้ว จากนั้นจะทำการปรับแก้ข้อมูลแผนที่ด้วยกระบวนการมีส่วนร่วม โดยจะรับฟังความคิดเห็นของประชาชนว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินในปัจจุบันเป็นไปตามความเป็นจริงมาน้อยเพียงใด ตรงตามบริบท ของพื้นที่หรือไม่ เพราะประชาชนจะเป็นผู้ตัดสินใจร่วมกัน เราจะได้แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินปีฐานชุดใหม่ที่ได้ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชนและตรงตามความต้องการของพื้นที่มากขึ้น ซึ่งจะมีขั้นตอนการทำงานดังนี้



1. จัดเตรียมข้อมูลแผนการใช้ที่ดินในอนาคตปี พ.ศ. 2560
2. เตรียมองค์กร และวิทยากร เพื่อให้ความรู้ให้แก่ผู้มีส่วนร่วม
3. การรวบรวมข้อมูล เป็นการรวบรวมข้อมูลที่มีอยู่แล้ว เช่น ข้อมูลพื้นฐานของหมู่บ้าน ข้อมูลองค์กรต่าง ๆ
4. จัดเตรียมสถานที่นัดประชุม และแจ้งวันเวลาประชุมกับผู้มีส่วนร่วม



ภาพประกอบ 3. 9 การเข้าร่วมรับฟังความคิดเห็นของประชาชน

5. วิทยากรให้ความรู้และความเข้าใจในแผนการปฏิบัติงาน ว่ามีวัตถุประสงค์อย่างไร และให้ความรู้แก่ผู้มีส่วนร่วม



ภาพประกอบ 3. 10 ให้ความรู้ความเข้าใจแก่ผู้มีส่วนร่วม

6. พูดคุยสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ ประเพณี วัฒนธรรม ตลอดจนภูมิปัญญาท้องถิ่น เพื่อหาแนวทางการพัฒนาแผนการใช้ที่ดิน
7. แจกแบบสอบถามเพื่อทำการสำรวจ เปิดโอกาสให้ผู้มีส่วนร่วมได้เข้ามาทำการปรับแก้แผนที่ และตัดสินใจร่วมกัน



ภาพประกอบ 3. 11 หรือและเปิดโอกาสให้ผู้มีส่วนร่วมได้แสดงความคิดเห็น

8. วิเคราะห์และรวบรวมข้อมูลที่ได้จากผู้มีส่วนร่วม เพื่อนำไปจัดทำเป็นแผนที่การใช้ที่ดินฐานใหม่ ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม

ซึ่งการเลือกประชากรมาเป็นกลุ่มตัวอย่างนั้น จะเลือกบริเวณหมู่บ้านที่อยู่ในพื้นที่รับน้ำฝนของอ่างนั้นๆ ซึ่งเลือกที่ค่าความเชื่อมั่น 90 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้สูตร Yamane (1973) คำนวณจากจำนวนครัวเรือนทั้งหมดที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำตอนบนของอ่างเก็บน้ำ ซึ่งมีสมการในการคำนวณดังนี้

$$n = \frac{N}{1+Ne^2} \quad (3-7)$$

เมื่อ  $n$  = ขนาดตัวอย่าง  
 $N$  = จำนวนประชากรเป้าหมายทั้งหมด  
 $e$  = ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (เท่ากับ 0.1)

จากการคำนวณตามสูตรได้ขนาดของกลุ่มตัวอย่างของพื้นที่ลุ่มน้ำอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก และพื้นที่ลุ่มน้ำอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน จำนวน 84 และ 85 ครัวเรือน ตามลำดับ เพื่อป้องกันความผิดพลาดอันเกิดจากข้อมูลภาคสนาม ดังนั้นผู้วิจัยจึงกำหนดให้มีการเก็บข้อมูลจริงกับกลุ่มตัวอย่างจำนวนพื้นที่ลุ่มน้ำละ 120 ครัวเรือน

การหาจำนวนการกระจายของครัวเรือนตัวอย่างในแต่ละหมู่บ้าน ซึ่งใช้สมการการกระจายตามสัดส่วนของ สุปงกช (2526) ดังนี้

$$ni = n \left( \frac{Ni}{N} \right) \quad (3-8)$$

เมื่อ  $ni$  = จำนวนตัวอย่างครัวเรือนในแต่ละหมู่บ้าน

$n$  = จำนวนตัวอย่างทั้งหมดในพื้นที่

$Ni$  = จำนวนครัวเรือนทั้งหมดในแต่ละหมู่บ้าน

$N$  = จำนวนครัวเรือนทั้งหมดในพื้นที่

แทนค่าในสมการ ผลที่ได้ดังแสดงในตาราง 3.4 และ 3.5

ตาราง 3. 4 จำนวนประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก

ตำบล	กลุ่มตัวอย่าง			
	หมู่ที่	หมู่บ้าน	ครัวเรือน	กลุ่มตัวอย่าง
1. บุ่งคำ	11	น้อมเกล้า	162	38
	16	ช่องเม็ก	181	43
	17	น้อมเกล้า	171	40
รวม			514	120

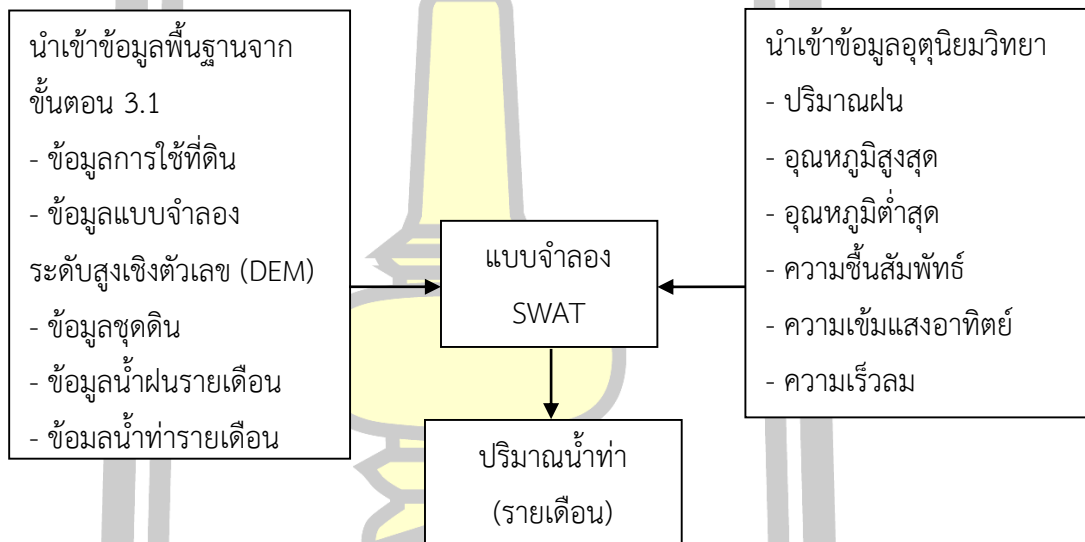
ตาราง 3. 5 จำนวนประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน

ตำบล	กลุ่มตัวอย่าง			
	หมู่ที่	หมู่บ้าน	ครัวเรือน	กลุ่มตัวอย่าง
1. ห้อยแขง	16	ดงยาง	217	46
	17	ห้อยแขง	217	46
	18	ห้อยแขง	130	28
รวม			564	120

### 3.6 การประเมินปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ ด้วยแบบจำลอง SWAT

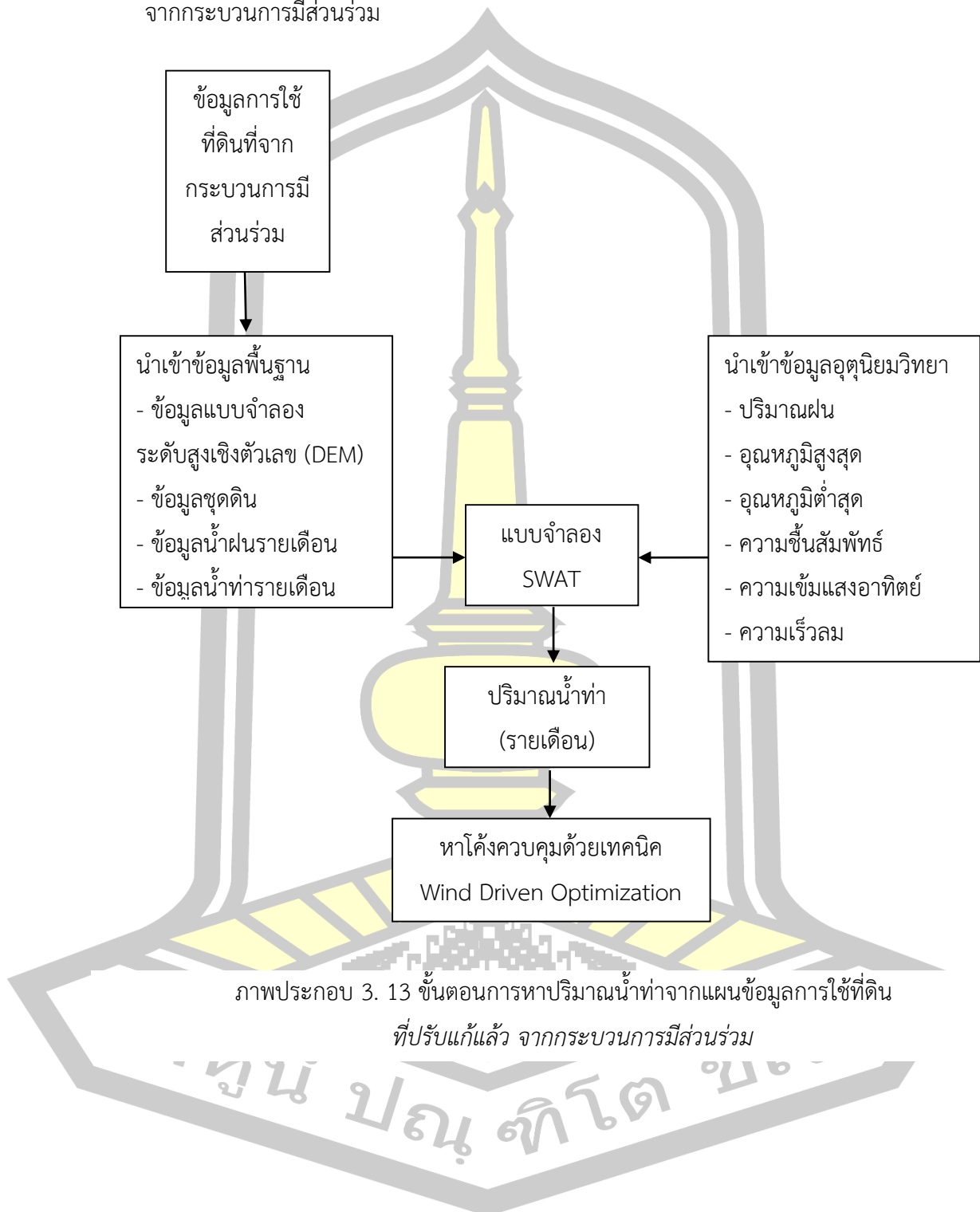
ในขั้นตอนนี้จะนำพารามิเตอร์และข้อมูลต่างๆ ที่ได้เตรียมไว้ในขั้นตอนที่ 3.1 นำมาป้อนในแบบจำลอง SWAT เพื่อให้แบบจำลองคำนวณปริมาณน้ำท่าที่จะเกิดขึ้น โดยแบ่งการดำเนินการออกเป็น 2 ส่วนคือ (1) การประเมินน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำโดยใช้แผนที่ข้อมูลการใช้ที่ดินที่ได้จากแบบจำลองโดยตรง (2) การประเมินน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ โดยใช้แผนที่ข้อมูลการใช้ที่ดินที่ปรับแก้จากกระบวนการมีส่วนร่วมจาก ซึ่งจะมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

3.6.1 การประเมินน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำโดยใช้แผนที่ข้อมูลการใช้ที่ดินที่ได้จากแบบจำลองโดยตรง



ภาพประกอบ 3. 12 ขั้นตอนการทำปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลองโดยตรง

3.6.2 การประเมินน้ำท่าที่จะไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ โดยใช้แผนที่ข้อมูลการใช้ที่ดินที่ปรับแก้ จากกระบวนการมีส่วนร่วม



มีขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล มีดังนี้

1. นำเข้าข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินจากแบบจำลอง Agri-map ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วมแล้ว ในปีในอนาคตที่ต้องการทราบคือ ปี พ.ศ. 2561 – พ.ศ.2579 ในแบบจำลอง SWAT จำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละพื้นที่
2. นำเข้าข้อมูลความสูงเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model : DEM) ในแบบจำลอง SWAT ใช้ข้อมูลความสูงเชิงตัวเลขนำมาลากแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำสำหรับคำนวณทิศทางการไหล (Flow Direction) และผลรวมหน่วยการไหลสะสม (Flow Accumulation) จำนวนหน่วยข้อมูลที่ไหลมารวมจากพื้นที่ ที่อยู่สูงลงสู่พื้นที่ต่ำ การกำหนดเส้นลำน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำ และขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำ
3. นำเข้าข้อมูลแผนที่ของดิน ในแบบจำลอง SWAT MODEL จะนำเข้าข้อมูลคุณลักษณะ ของดินในประเทศไทย จากระบบฐานข้อมูลกรมพัฒนาที่ดินที่ได้ทำการพัฒนาโปรแกรม DLD ข้อมูลดินเป็น 62 กลุ่มดิน
4. นำเข้าข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ได้จากแบบจำลอง PRECIS ในปีในอนาคตที่ต้องการทราบคือ ปี พ.ศ. 2561 – พ.ศ. 2579 ได้แก่ ปริมาณฝนรายเดือน อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดรายเดือน ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มแสงแดด และความเร็วลม
5. การหาปริมาณน้ำท่า จะใช้แบบจำลอง SWAT เชื่อมต่อกับโปรแกรม ArcGIS มาช่วยวิเคราะห์โดยแบบจำลอง SWAT กำหนดตัวแปรที่ใช้ได้แก่ ข้อมูลความสูงเชิงตัวเลข การแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย ข้อมูลโครงข่ายลำน้ำ จุดกำหนดให้น้ำออกจากลุ่มน้ำ ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลคุณลักษณะของดิน ข้อมูลหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยาในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย ข้อมูลที่ตั้งสถานีตรวจอากาศ ข้อมูลภูมิอากาศ ข้อมูล ที่ตั้งสถานีวัดน้ำท่า และข้อมูลน้ำท่า แบบจำลอง SWAT จะนำข้อมูลให้อยู่ในลักษณะระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์และนำมาคำนวณหาปริมาณน้ำท่า
6. การเปรียบเทียบแบบจำลอง เป็นการลดความแตกต่างระหว่างข้อมูลจากการวัดจริงกับ ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง
7. ผลที่ได้จากแบบจำลอง SWAT คือปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก และอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจนในอนาคต ซึ่งแสดงข้อมูลเป็นรายเดือน
8. นำปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง SWAT มาเป็นข้อมูลสำหรับปรับปรุงโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก และอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจนที่เหมาะสม โดยการใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธี Wind Driven optimization โดยกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือการควบคุมปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเพื่อป้องกันน้ำท่วมในช่วงฤดูฝนมากที่สุด และการขาดแคลนน้ำเฉลี่ยน้อยที่สุดในฤดูแล้ง ซึ่งปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง SWAT เป็นน้ำท่าที่ผ่านทั้ง

การคำนวณผลกระทบจากสภาพภูมิอากาศ ผลกระทบจากการใช้ประโยชน์ที่ดิน และผ่านกระบวนการมีส่วนร่วมของคนในพื้นที่แล้ว ปริมาณน้ำท่าที่ได้นั้นจึงมีสภาพใกล้เคียงความเป็นจริง สามารถนำมาหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

9. สามารถใช้โค้งควบคุมที่ได้ จัดสรรน้ำตามความต้องการน้ำท่าอย่างของอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก และอ่างเก็บน้ำห้วยลึงโจนได้อย่างเหมาะสม

### 3.6.3 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

ค่าดัชนีที่ใช้สำหรับการประเมินความแม่นยำระหว่างผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง SWAT และข้อมูลจากสถานีตรวจวัดในการศึกษา ประกอบด้วย  $R^2$  RE และค่าสัมประสิทธิ์ของ Nash-Suttcliffe ( $E_{ns}$ ) ค่า RE และ  $E_{ns}$  สามารถแสดงได้ดังสมการ (3.7) และ (3.8) ตามลำดับ คือ

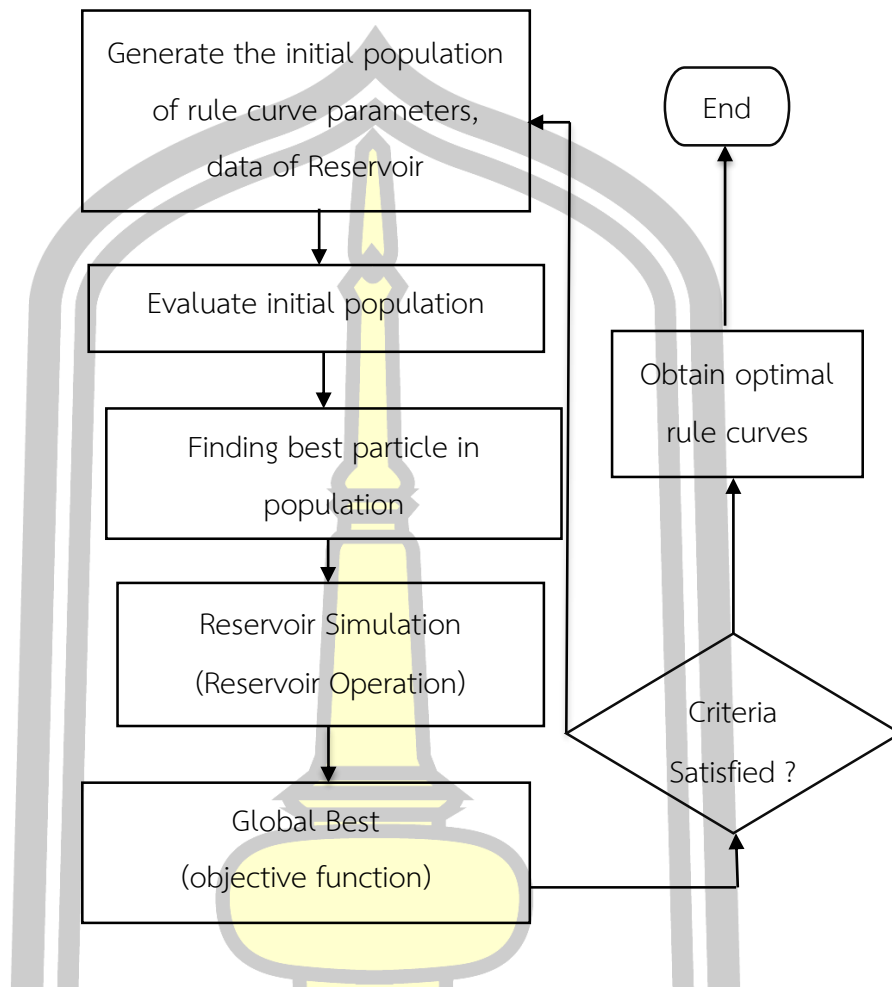
$$RE = \frac{Q_{sim} - Q_{obs}}{Q_{obs}} \times 100 \quad (3.9)$$

$$E_{ns} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{avr})^2} \quad (3.10)$$

โดยที่	$Q_{sim}$	=	ปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง
	$Q_{obs}$	=	ปริมาณน้ำท่าจากสถานีตรวจวัด
	$Q_{avr}$	=	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยจากสถานีตรวจวัด
	$n$	=	จำนวนข้อมูลปริมาณน้ำจากสถานีตรวจวัด

### 3.7 หาโค้งควบคุมที่เหมาะสมโดยใช้เทคนิค Wind Driven Optimization

ในการศึกษานี้ได้พัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้ในการคำนวณหา Rule Curve ที่เหมาะสมของโครงการอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบกและโครงการอ่างเก็บน้ำห้วยลึงโจน สำหรับเป็นเกณฑ์ในการปล่อยน้ำเพื่อความต้องการน้ำด้านต่างๆ ท้ายอ่างเก็บน้ำ ซึ่งภายในโปรแกรมจะประกอบไปด้วยแบบจำลองสภาพอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Simulation Model) จำลองสภาพน้ำโดยอาศัยหลักสมดุลน้ำและใช้วิธี Wind Driven Optimization (WDO) ในการหา Rule Curve ที่เหมาะสม แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของ WDO แสดงดังภาพประกอบ 3.14



ภาพประกอบ 3. 14 แผนผังการทำงานหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมด้วยเทคนิค WDO

ในการหา Rule Curve ที่เหมาะสมด้วยวิธี Wind Driven Optimization แบ่งเป็นขั้นตอนได้ ดังนี้

1. กำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ช่วงขอบเขตของ Upper Rule Curve และ Lower Rule Curve เป็นประชากรเริ่มต้น (Initial Population) ที่ต้องการให้ WDO ค้นหาที่เหมาะสม
2. กำหนด Objective Function ในการหา Rule Curve ที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ สำหรับการศึกษานี้ได้ใช้การคำนวณหาความขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุดเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการศึกษา โดยพิจารณาความต้องการน้ำ 3 ประเภท คือ การชลประทานเพื่อเพาะปลูก การอุปโภคบริโภค และความต้องการน้ำเพื่อรักษาระบบนิเวศวิทยาทำอ่างเก็บน้ำ
3. กำหนดตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables) ในการศึกษานี้ตัวแปรตัดสินใจก็คือ ระดับควบคุมตอนบน (Upper Rule Surface) หรือ ปริมาตรวิกฤติสูงสุด (Volume Upper Critical,  $V_{uc}$ ) และระดับควบคุมตอนล่าง (Lower Rule Surface) หรือ ปริมาตรวิกฤติต่ำสุด (Volume Lower



Critical,  $V_c$ ) โดยประยุกต์ใช้ Genetic Algorithms สุ่ม Rule Curve ขึ้นมาหลายชุดแล้วทำการจำลองสภาพอ่าง Rule Curve ที่เหมาะสมก็คือ Rule Curve ที่พิจารณาวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด

4. ค้นหาค่าตอบด้วยวิธี Wind Driven Optimization โดยจะทำการค้นหา Particle ที่ดีที่สุด โดยคำนึงถึง Objective function

5. ขั้นตอนการจำลองสภาพอ่าง (Reservoir Simulation) จะดำเนินการจำลองเป็นรายเดือน โดย 1 ปี มี 12 เดือนโดยเริ่มจำลองสภาพตั้งแต่เดือนมกราคมปี พ.ศ. 2537 ไปจนถึงเดือนธันวาคมปี พ.ศ. 2560 ของอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน ส่วนอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบกเริ่มจำลองสภาพตั้งแต่เดือนมกราคมปี พ.ศ. 2539 ไปจนถึงเดือนธันวาคมปี พ.ศ. 2560 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีการจัดการอ่างเก็บน้ำ การจำลองสภาพจะใช้ค่า Rule Curve ที่ได้จากการสุ่มในแต่ละ Population ทำการจำลองการปล่อยน้ำ ตามสมการที่ 2-8 แล้วคำนวณค่าต่างๆ ได้แก่ ปริมาณอ่างในแต่ละเดือน ปริมาณการไหลล้น (Spillage) การขาดแคลนนํ้า (Shortage) แล้วนำค่าที่ได้ไปรวมในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) เป็นค่าความเหมาะสม (Fitness Value)

6. พิจารณาความเหมาะสมตามตัวแปรตัดสินใจที่ต้องการ กลับไปทำซ้ำในขั้นตอนที่ 1 หรือขั้นตอนที่ 4 ใหม่จนกว่าจะได้ค่าที่เหมาะสม

7. ได้โค้งควบคุมสำหรับอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม

8. จบการทำงาน

### 3.7.1 จัดทำโค้งควบคุม

การจัดทำโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิคการค้นหาด้วย Wind Driven Optimization โดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการค้นหาค่าตอบคือ มีปริมาณการขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุด โดยใช้ข้อมูลจากปริมาณน้ำท่ารายเดือน ข้อมูลความต้องการใช้น้ำในกิจกรรมต่างๆ ตั้งแต่อดีตจนถึงอนาคต และข้อมูลทางอุทุนิยมวิทยาต่างๆ โดยแบ่งการศึกษาเป็น 2 สถานการณ์ คือ ใช้ข้อมูลในช่วงอดีต และ ใช้ข้อมูลในช่วงอนาคต ดังนี้

1. การจัดทำโค้งควบคุมจากข้อมูลในอดีต สำหรับกรณีสถานการณ์น้ำท่าปกติ

1.1 เตรียมข้อมูลทางอุทกวิทยา ระหว่าง พ.ศ. 2537 – 2560 (อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน) และ พ.ศ. 2539 – 2560 (อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก) เป็นข้อมูลรายเดือน เพื่อใช้สำหรับการสร้างโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ ได้แก่ ปริมาณน้ำท่า ปริมาณฝนเฉลี่ย ปริมาณฝนใช้การรายเดือน และปริมาณการระเหยรายเดือน

1.2 จัดเตรียมข้อมูลความต้องการใช้น้ำด้านท้ายน้ำคือ ความต้องการน้ำเพื่อการชลประทาน ความต้องการน้ำเพื่ออุปโภค-บริโภค ซึ่งได้จากข้อมูลของโครงการ

1.3 สร้างโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ โดยการใช้เทคนิคหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธี Wind Driven Optimization (WDO) โดยการกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือมีปริมาณการไหลล้นเฉลี่ย น้อยที่สุด

2. การจัดทำโค้งควบคุมที่สร้างจากข้อมูลในอนาคต สำหรับกรณีที่น้ำท่าได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ และการใช้ที่ดิน

2.1 จัดเตรียมข้อมูลฝนเฉลี่ยรายเดือน คำนวณปริมาณฝนใช้การรายเดือนและปริมาณการระเหยรายเดือน ระหว่าง พ.ศ. 2561 – 2579 เป็นกรณี B2

2.2 จัดเตรียมข้อมูลน้ำท่ารายเดือนในอนาคต ระหว่าง พ.ศ. 2560 – 2579 (19 ปี) เป็นข้อมูลที่แปลงค่ามาจากปริมาณน้ำท่าในพื้นที่เหนืออ่างที่คาดว่าจะได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกและการใช้ที่ดินในอนาคตจาก Agri-Map โดยสามารถแบ่งการคาดการณ์เป็นกรณีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบ B2

2.3 จัดเตรียมข้อมูลความต้องการใช้น้ำด้านท้ายน้ำคือ ความต้องการน้ำเพื่อการชลประทาน ความต้องการน้ำเพื่ออุปโภค-บริโภค โดยใช้ข้อมูลเช่นเดียวกับกรณีอดีต

2.4 สร้างโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ โดยการใช้เทคนิคหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธี Wind Driven Optimization (WDO) โดยการกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือมีปริมาณการไหลล้นเฉลี่ย น้อยที่สุด และปริมาณการขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุด ของทั้งสองอ่างเก็บน้ำ ได้แก่

1. ชุดข้อมูลน้ำท่ารายเดือนในอนาคต B2 และการใช้ที่ดินอนาคต Agri-map (RC2-AGRI)
2. ชุดข้อมูลน้ำท่ารายเดือนในอนาคต B2 การใช้ที่ดินอนาคต Agri-map และกระบวนการมีส่วนร่วม (RC2-AGRI-PAR)

2.5 โค้งควบคุมที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันคือโค้งควบคุมที่อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจนและอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบกใช้ในการจัดสรรน้ำให้กับส่วนต่างๆ ในปัจจุบัน โดยโค้งควบคุมนี้จะใช้เพื่อเป็นการตรวจสอบและประเมินประสิทธิภาพกับโค้งควบคุมใหม่ที่ได้สร้างขึ้น

### 3.7.2 ตรวจสอบโค้งควบคุมและประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุม

เป็นการตรวจสอบว่าโค้งควบคุมที่เราสร้างขึ้นนั้นสามารถนำมาใช้ได้กับเหตุการณ์ต่างๆ จากข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าอ่างในอดีตและข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าอ่างในอนาคตที่เกิดจากการใช้ที่ดินและภูมิอากาศในอนาคตที่เปลี่ยนแปลง เพื่อประเมินว่าโค้งควบคุมที่ได้มีความสอดคล้องกับเหตุการณ์ต่างๆ ตลอดช่วงที่พิจารณาหรือไม่ คือมีช่วงของการขาดแคลนน้ำในช่วงฤดูแล้งและช่วงของการไหล

ล้นในช่วงอุทกภัย มากน้อยเพียงใด สามารถทำได้โดยการใช้ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนในอดีตซึ่งมีข้อมูลอยู่ในช่วง พ.ศ. 2537 – 2560 (อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน) และ พ.ศ. 2539 – 2560 (อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก) เป็นข้อมูลตั้งต้นเพื่อนำไปสังเคราะห์โดยใช้ HEC4 จำนวน 1,000 เหตุการณ์ หรือ 24,000 และ 22,000 เหตุการณ์ โดยประเมินความถี่ของการเกิดการไหลล้นหรือขาดแคลน ค่าเฉลี่ยและค่ามากที่สุดของปริมาณและช่วงเวลาที่เกิดโดยแยกพิจารณา ดังนี้

1. การนำโค้งควบคุมที่ได้มาทดสอบกับข้อมูลน้ำท่าในอดีตในช่วง พ.ศ. 2537 – 2560 (อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน) และ พ.ศ. 2539 – 2560 (อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก)
2. การนำโค้งควบคุมที่ได้มาทดสอบกับข้อมูลน้ำท่าสังเคราะห์จำนวน 1,000 เหตุการณ์ ซึ่งใช้ข้อมูลน้ำท่าอดีต 24 ปี และ 22 ปี เป็นข้อมูลตั้งต้น
3. การนำโค้งควบคุมที่ได้มาทดสอบกับข้อมูลน้ำท่าในอนาคตที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ B2 และการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน Agri-map
4. การนำโค้งควบคุมที่ได้มาทดสอบกับข้อมูลน้ำท่าในอนาคตที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ B2 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน Agri-map และกระบวนการมีส่วนร่วม



## บทที่ 4

### ผลการศึกษา

ผลของการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำที่ส่งผลกระทบต่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำและอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบกและอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน ที่ได้แสดงรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการไว้ในบทที่ 3 แล้วนั้น ได้นำมาแสดงรายละเอียดไว้ในบทนี้ โดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ส่วนแรกเป็นการแสดงผลของข้อมูลสภาพภูมิอากาศในอนาคตที่คำนวณได้จาก PRECIS ส่วนที่สองเป็นการสร้างแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินคาดการณ์ในอนาคตจากนโยบายของรัฐบาลที่ต้องการลดพื้นที่การปลูกพืชที่ไม่เหมาะสมกับพื้นที่โดยใช้ข้อมูลจาก Agri-Map และผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม ส่วนที่สามเป็นการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าในอนาคตจากการใช้แบบจำลอง SWAT โดยเป็นการตรวจสอบความแม่นยำของผลคำนวณและสร้างปริมาณน้ำท่าในอนาคตที่คาดว่าจะได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกและการใช้ประโยชน์ที่ดิน สำหรับส่วนที่สี่เป็นการจัดทำโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมเนื่องจากปริมาณน้ำท่าที่เปลี่ยนแปลง โดยใช้แบบจำลองการเลียนแบบสถานการณ์เชื่อมต่อกับเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิค Wind driven optimization รวมถึงการประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมที่สร้างขึ้น รายละเอียดของผลการศึกษาสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

#### 4.1 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

##### 4.1.1 การเปรียบเทียบและสอบเทียบข้อมูลสภาพภูมิอากาศปีฐาน

เมื่อได้นำข้อมูลสภาพภูมิอากาศระหว่างสถานีตรวจวัดและข้อมูลที่คำนวณจาก PRECIS กรณีคาดการณ์ B2 ในปีฐานจำนวน 21 ปี ระหว่างปี พ.ศ. 2540-2559 และ พ.ศ. 2560 มาเปรียบเทียบกัน พบว่าข้อมูลจากสถานีตรวจวัดและจากแบบจำลองมีค่าความแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น ปริมาณฝนจากสถานีตรวจวัดจะมีค่าเฉลี่ยรายเดือนสูงกว่าแบบจำลอง หรืออุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดจากสถานีตรวจวัดมีค่าเฉลี่ยรายเดือนต่ำกว่าข้อมูลจากแบบจำลอง ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องมีการเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองเพื่อปรับลดความคลาดเคลื่อน หลังจากนั้นจึงทำการสอบเทียบกับข้อมูลปี พ.ศ. 2560 เพื่อให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือและสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ด้านอุทกวิทยาต่อไป ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริงระหว่างปี พ.ศ. 2540-2560 จะใช้สำหรับเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองในปีเดียวกันโดยจะต้องทำการเฉลี่ยข้อมูลเป็นรายเดือนสำหรับแต่ละปีจาก ความแตกต่าง

ของข้อมูล ผู้ศึกษาจึงได้นำข้อมูลสภาพภูมิอากาศ 3 ประเภท คือ ปริมาณฝน (PC) อุณหภูมิสูงสุด (TX) และอุณหภูมิต่ำสุด (TN) นำมาหาค่าเฉลี่ยเป็นรายเดือนในปีเดียวกัน และ คำนวณหาค่าความแตกต่างระหว่างข้อมูลจริงกับแบบจำลอง กรณีคาดการณ์ B2 ซึ่งจะทำให้ได้ค่าคงที่ (C) ซึ่งสามารถสร้างได้จากสมการ 3.1-3.3 ดังแสดงในบทที่ 3 สำหรับใช้ในการปรับค่าที่ได้จากแบบจำลองกรณี B2 เป็นรายเดือนที่ตำแหน่งนั้นๆ ดังแสดงในตาราง 4.1 ดังนี้

ตาราง 4. 1 ค่าคงที่ C สำหรับการปรับลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลสภาพภูมิอากาศจาก PRECIS กรณี B2

เดือน	กรณีคาดการณ์ B2		
	$C_{B2-PC}$	$C_{B2-TX}$	$C_{B2-TN}$
มกราคม	0.0205	-3.0132	2.1493
กุมภาพันธ์	0.6304	1.0955	0.2319
มีนาคม	0.2598	5.4399	-0.6438
เมษายน	0.3006	6.9677	-0.1987
พฤษภาคม	0.9123	5.9701	0.1312
มิถุนายน	0.6358	6.3789	1.6135
กรกฎาคม	0.8056	5.1159	2.0981
สิงหาคม	0.9282	3.9734	2.2911
กันยายน	1.8392	2.8762	2.6516
ตุลาคม	0.9356	1.2691	2.0680
พฤศจิกายน	0.4510	-1.4511	1.4168
ธันวาคม	0.2171	-4.7202	1.2564

การปรับเทียบผลจากแบบจำลองสามารถทำได้โดยใช้ค่า C โดยสมการ 3.1-3.3 ผลของการปรับเทียบข้อมูลระหว่าง พ.ศ. 2540-2559 และสอบเทียบกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคือ พ.ศ. 2560 แสดงได้ด้วยค่า  $R^2$  และค่า RE ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

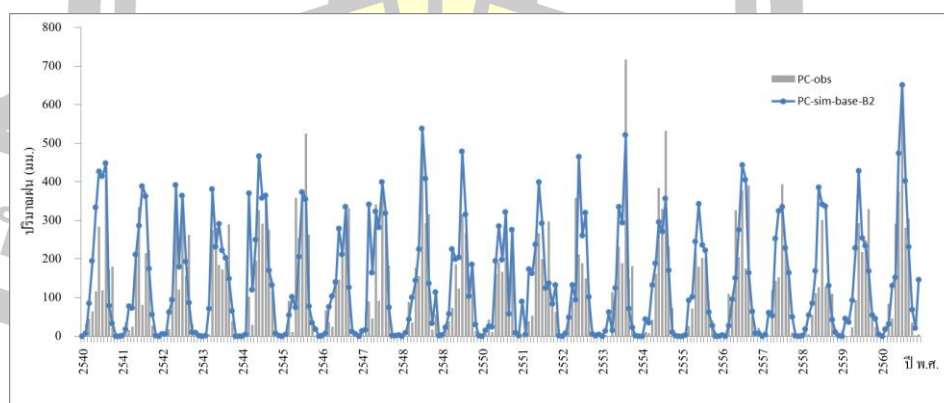
1) ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนช่วงปีฐาน

การเปรียบเทียบปริมาณฝนในช่วงปีฐาน (พ.ศ. 2540-2560) ที่คำนวณได้จากแบบจำลองซึ่งยังไม่ผ่านการปรับลดความคลาดเคลื่อนพบว่ามีความมากกว่าค่าปริมาณฝนจากสถานีตรวจวัดจากกรณี

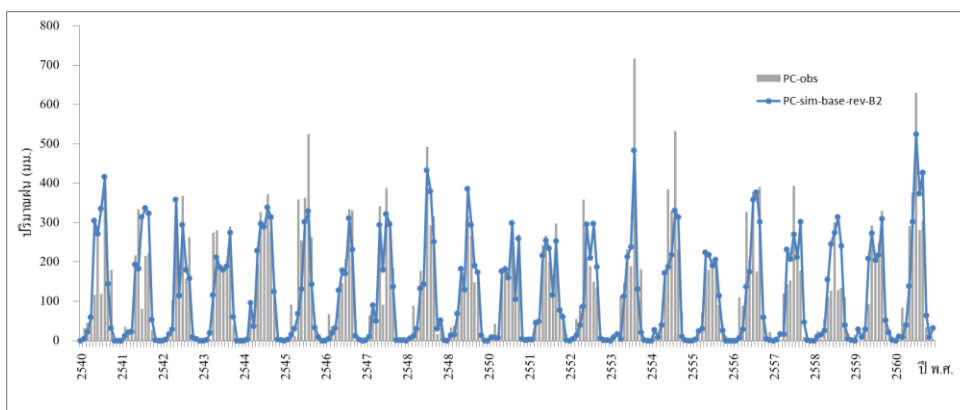
คาดการณ์ B2 การพิจารณาความสัมพันธ์ของข้อมูลได้แสดงค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.65 ค่า RE เท่ากับร้อยละ 12.45 ผลการปรับลดความคลาดเคลื่อนปริมาณฝนจากแบบจำลองด้วยการใช้ค่าคงที่  $C_{pc}$  พบว่าค่า  $R^2$  ที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.75 เมื่อนำค่า  $C_{pc}$  ไปทำการสอบเทียบความแม่นยำของผลการปรับแก้และค่า  $C_{pc}$  โดยใช้ช่วงข้อมูลปี พ.ศ. 2560 พบว่าค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.85 เมื่อนำข้อมูลปริมาณฝนที่ได้ผ่านการปรับลดความคลาดเคลื่อนแล้วมาเปรียบเทียบกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดระหว่าง พ.ศ. 2540-2560 อีกครั้ง พบว่ามีความเข้ากันได้ของข้อมูลที่แสดงด้วยค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.76 ค่า RE เท่ากับร้อยละ 8.43 ผลการปรับเทียบและสอบเทียบข้อมูลปริมาณฝนสามารถแสดงได้ใน ตาราง 4.2 ภาพประกอบ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

ตาราง 4. 2 ผลการปรับเทียบและสอบเทียบข้อมูลปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนระหว่าง พ.ศ. 2540-2560 จากสถานีตรวจวัดเปรียบเทียบกับ PRECIS กรณี B2

ความคลาดเคลื่อน	กรณี คาดการณ์	ปริมาณฝนรายเฉลี่ยรายเดือน (มม.)		$R^2$	RE (%)
		สถานี	แบบจำลอง		
ยังไม่ปรับลด	B2	1,465.38	1,647.86	0.65	12.45
ผ่านการปรับลด แล้ว	B2	1,465.38	1,391.48	0.76	5.04



ภาพประกอบ 4. 1 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนระหว่าง พ.ศ. 2540-2560 จากสถานีตรวจวัดเปรียบเทียบกับ PRECIS กรณี B2 ก่อนการปรับลดความคลาดเคลื่อน



ภาพประกอบ 4. 2 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนระหว่าง พ.ศ. 2540-2560 จากสถานีตรวจวัด  
เปรียบเทียบกับ PRECIS กรณี B2 เมื่อปรับลดความคลาดเคลื่อนแล้ว

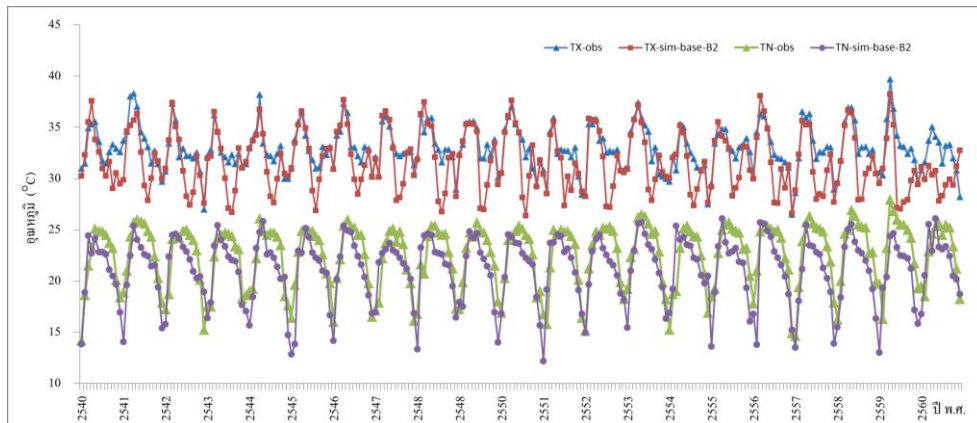
## 2. อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนช่วงปีฐาน

ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดและต่ำสุดที่คำนวณได้จาก PRECIS จากกรณีคาดการณ์ B2 จะมีค่าต่ำกว่าข้อมูลจากสถานีตรวจวัดดังแสดงได้จากค่า RE เท่ากับร้อยละ 3.64 ร้อยละ 5.78 การตรวจสอบความเข้ากันได้ดีของทั้งสองข้อมูลจากแบบจำลองและสถานีตรวจวัด จากการประเมินด้วยค่า  $R^2$  พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.54 และ 0.69 ตามลำดับ

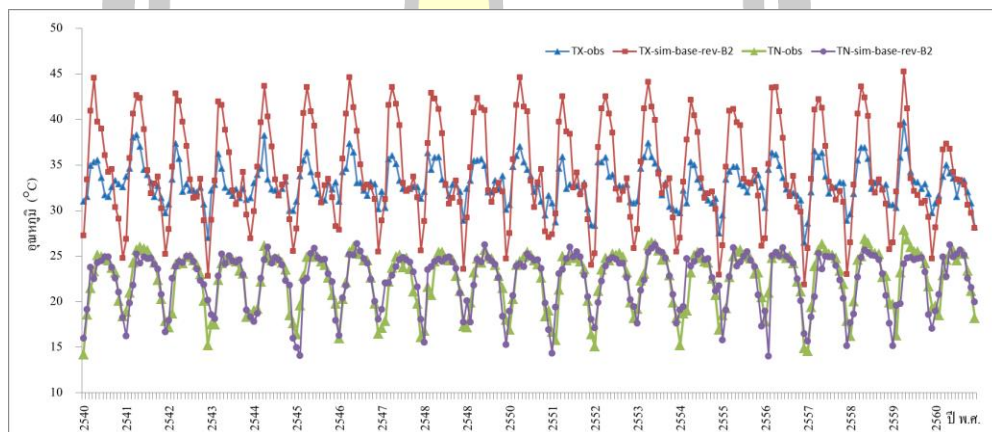
การปรับลดคลาดเคลื่อนด้วยการใช้ค่า  $C_{tx}$  และ  $C_{tn}$  ที่ได้จากการคำนวณ (จากตาราง 4.1) สำหรับกรณี B2 ผลการปรับเทียบให้ค่า  $R^2$  คือ 0.76 และ 0.76 และผลการสอบเทียบให้ค่า  $R^2$  คือ 0.80 และ 0.80 ตามลำดับ การเปรียบเทียบข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน ระหว่าง พ.ศ. 2540-2560 ค่า RE มีค่าร้อยละ 3.95 และร้อยละ 3.65 ค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.76 และ 0.76 ตามลำดับ

ตาราง 4. 3 ผลการปรับเทียบและสอบเทียบข้อมูลปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนระหว่าง พ.ศ. 2540-2560 จากสถานีตรวจวัดเปรียบเทียบกับ PRECIS กรณี B2

ความคลาด เคลื่อน	กรณี คาดการณ์	ประเภท	อุณหภูมิรายเดือน (มม.)		$R^2$	RE (%)
			สถานี	แบบจำลอง		
ยังไม่ปรับลด	B2	อุณหภูมิสูงสุด	32.9	31.7	0.54	3.64
		อุณหภูมิต่ำสุด	22.5	21.2	0.69	5.78
ผ่านการปรับ ลดแล้ว	B2	อุณหภูมิสูงสุด	32.9	34.2	0.76	3.95
		อุณหภูมิต่ำสุด	22.5	22.4	0.76	3.65



ภาพประกอบ 4. 3 อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือนระหว่าง พ.ศ. 2540-2560 จากสถานีตรวจวัดเปรียบเทียบกับ PRECIS กรณี B2 ก่อนการปรับลดความคลาดเคลื่อน



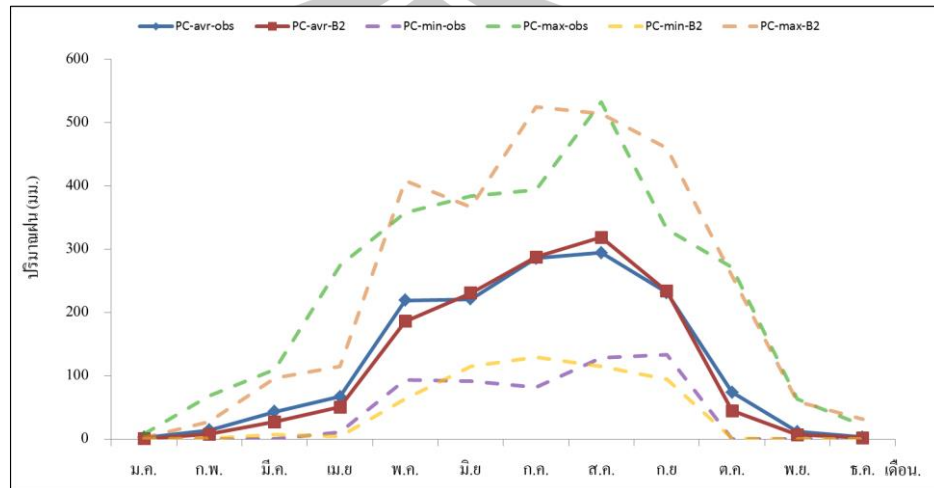
ภาพประกอบ 4. 4 อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือนระหว่าง พ.ศ. 2540-2560 จากสถานีตรวจวัดเปรียบเทียบกับ PRECIS กรณี B2 เมื่อปรับลดความคลาดเคลื่อนแล้ว

#### 4.1.2 การคาดการณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคต

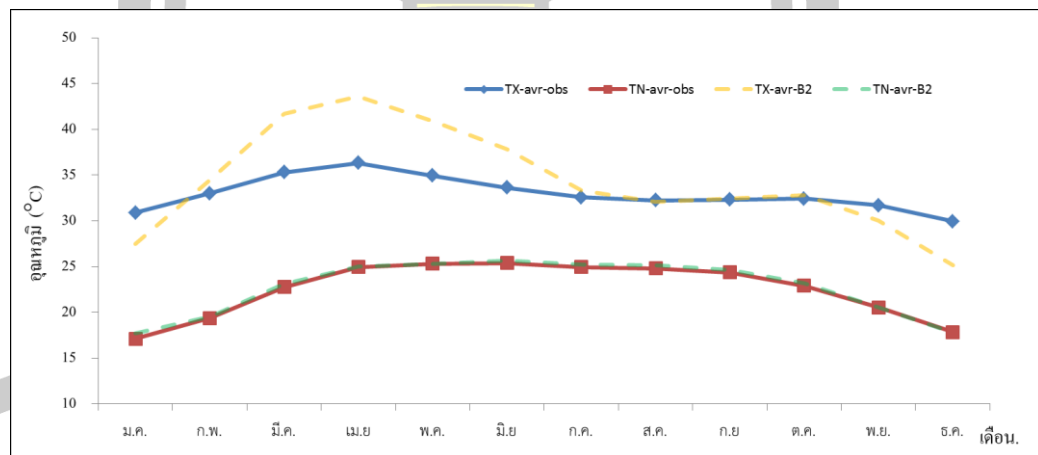
ผลการคำนวณข้อมูลสภาพภูมิอากาศในอนาคต (พ.ศ. 2561-2579) ที่ได้ผ่านการปรับลดค่าความคลาดเคลื่อนแล้ว เปรียบเทียบกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดช่วงปฐฐาน (พ.ศ. 2540-2560) ในส่วนของปริมาณฝนรวมรายปี ข้อมูลระหว่างปฐฐานจากสถานีตรวจวัดมีค่าเท่ากับ 1,465.38 มิลลิเมตร ในขณะที่แบบจำลองได้แสดงค่าปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีในอนาคตกรณี B2 ต่ำกว่าข้อมูลจากสถานีตรวจวัดเท่ากับ 1,395.40 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณาเป็นช่วงฤดูกลาง พบว่าในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน-พฤศจิกายน) ปริมาณฝนคาดการณ์จากกรณี B2 มีค่าสูงกว่า ข้อมูลจากสถานีตรวจวัด (1,117.41 มิลลิเมตร) เท่ากับ 4.58 มิลลิเมตร ในขณะที่ช่วงฤดูแล้ง (ธันวาคม-พฤษภาคม)



แบบจำลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณฝนคาดการณ์ในช่วงเวลานี้มีค่าน้อยกว่าข้อมูลจากสถานีตรวจวัด 74.55 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพประกอบ 4.5



ภาพประกอบ 4. 5 การเปรียบเทียบปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนปฐาน (พ.ศ. 2540-2560) กับอนาคต (พ.ศ. 2561-2579) ระหว่างสถานีตรวจวัดกับ PRECIS

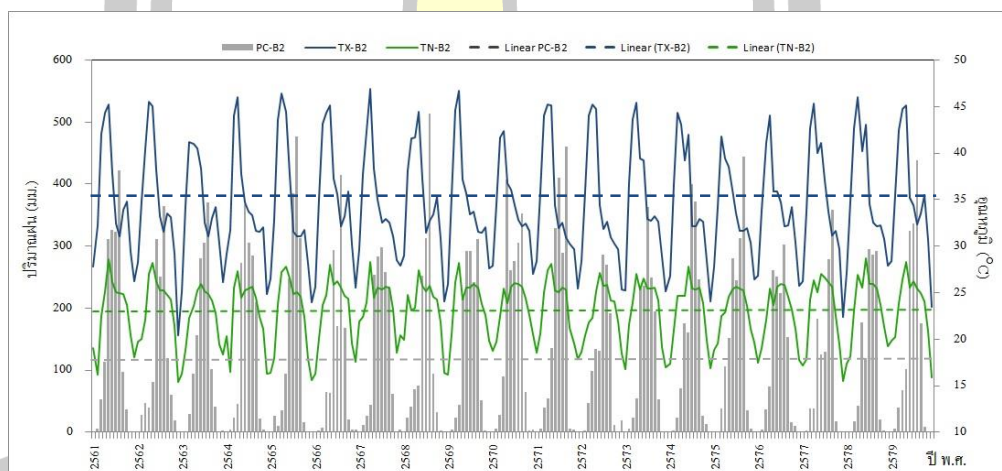


ภาพประกอบ 4. 6 เปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือนปฐาน (พ.ศ. 2540-2560) กับอนาคต (พ.ศ. 2561-2579) ระหว่างสถานีตรวจวัดกับ PRECIS

ภาพประกอบ 4.6 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือนจากสถานีตรวจวัดในปฐานและแบบจำลองกรณี B2 ในปคาคการณ์ โดยแสดงให้เห็นว่าค่าอุณหภูมิที่คำนวณได้จากแบบจำลองทั้งสองกรณี มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิระหว่างปฐาน ค่าอุณหภูมิสูงสุด จาก

แบบจำลองและข้อมูลจากสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝนมีค่าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 34.3 และ 32.9 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยข้อมูลจากแบบจำลองจะมีค่าสูงกว่าข้อมูลจากสถานีตรวจวัดเท่ากับ 1.40 องศาเซลเซียส ในส่วนของค่าอุณหภูมิที่ต่ำสุด มีค่าจากแบบจำลองกรณี B2 และสถานีตรวจวัดเท่ากับ 22.7 และ 23.1 องศาเซลเซียส โดยข้อมูลจากแบบจำลองจะมีค่าต่ำกว่าข้อมูลจากสถานีตรวจวัดเท่ากับ 0.4 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิเป็นค่าเฉลี่ยรายเดือนในกรณีของ อุณหภูมิสูงสุด พบว่าช่วงเวลาระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงมิถุนายน เป็นช่วงที่แบบจำลองทั้งสองกรณี มีค่าสูงกว่าข้อมูลปริมาณมากที่สุดระหว่าง 1.5 ถึง 7.3 องศาเซลเซียส ช่วงเวลาระหว่างเดือนกรกฎาคม ถึง มกราคมจะมีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกับปริมาณ ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดรายเดือนจากแบบจำลองแสดงให้เห็น ถึงค่าที่สูงกว่าข้อมูลจากสถานีตรวจวัดในปริมาณตลอดช่วงระยะ 1 ปี

สำหรับภาพประกอบ 4.7 แสดงถึงแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นของปริมาณฝน อุณหภูมิสูงสุด และต่ำสุดในระยะเวลาช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2561-2579 ที่คำนวณได้จากแบบจำลองกรณี B2 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ปริมาณฝนในช่วงปีคาดการณ์มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.0005 มิลลิเมตร อุณหภูมิสูงสุดมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.0014 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดมีค่าเฉลี่ยสูงขึ้น 0.001 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 4. 7 ปริมาณฝน อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด ระหว่าง พ.ศ. 2561-2579 ที่คำนวณได้จาก PRECIS กรณี B2

#### 4.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การสร้างแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินปีฐานในพื้นที่ศึกษาคือพื้นที่ลุ่มน้ำอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก มีพื้นที่ประมาณ 48 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่ลุ่มน้ำอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน มีพื้นที่

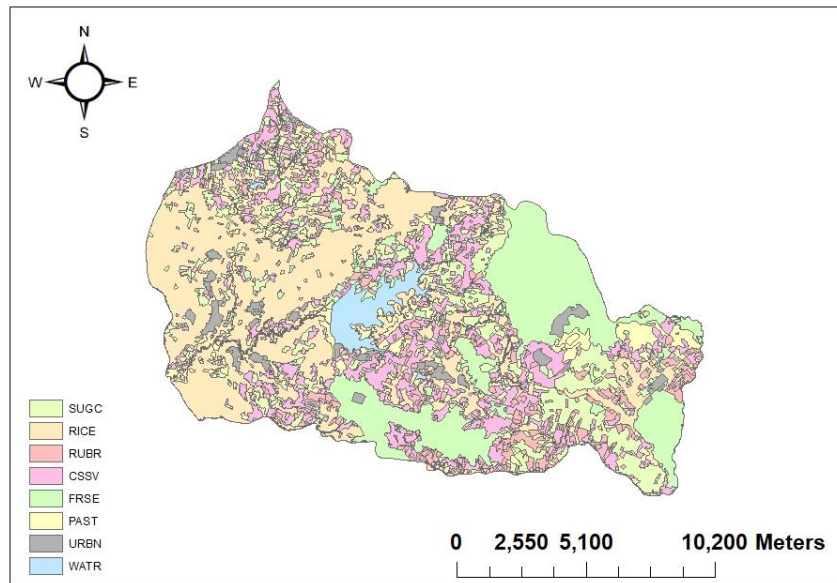
ประมาณ 54 ตารางกิโลเมตร จากผลการใช้ข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินจังหวัดยโสธร การใช้เทคนิคจากแบบจำลอง ArcGIS สามารถหาพื้นที่การใช้ประโยชน์ของกลุ่มน้ำเพื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยแผนที่ Agri-Map ซึ่งเป็นแนวทางตามนโยบาย 20 ปีของรัฐบาลโดยกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ที่ส่งเสริมให้เกษตรกรเพาะปลูกพืชที่มีความเหมาะสมกับพื้นที่และใกล้เคียงแหล่งรับซื้อผลผลิต เพื่อส่งเสริมสร้างแผนที่ในอนาคตและนำไปใช้งานต่อไป

#### 4.2.1 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินปีฐาน

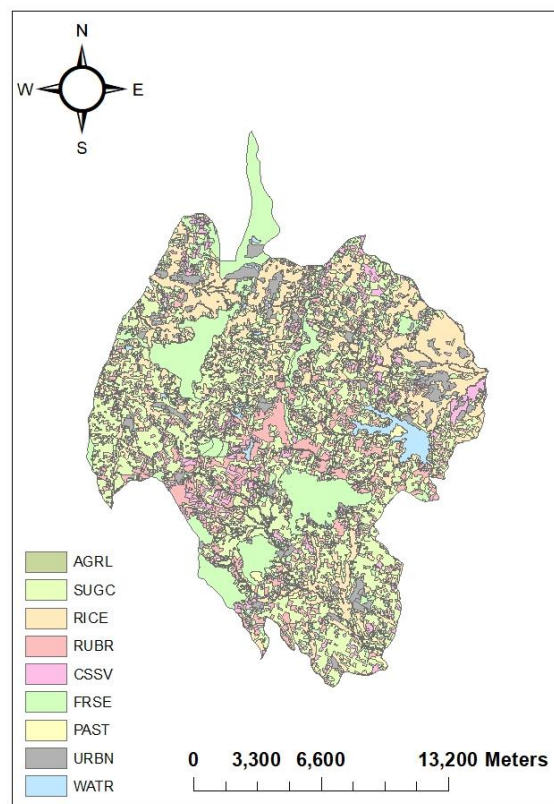
การสร้างแผนที่การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต จำเป็นจะต้องมีแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินในอดีตที่ได้มีการจัดทำไว้แล้ว ในการศึกษา ผู้ศึกษาเลือกใช้แผนที่ปีฐานเป็นแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2560 โดยได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน สำหรับการแบ่งประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินจากแผนที่ฐานในการศึกษานี้ ได้จัดหมวดหมู่ชนิดของการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นทั้งหมด 9 ชนิดดังแสดงในตาราง 4.4 และภาพประกอบ 4.8, 4.9

ตาราง 4. 4 ชนิดของการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ลำดับที่	ภาษาไทย	ภาษาอังกฤษ	อักษรย่อ
1	พืชไร่ผสม	Agriculture land-Generic	AG
2	อ้อย	Sugarcane	SG
3	นาข้าว	Rice	RC
4	ยางพารา	Para Rubber	PR
5	มันสำปะหลัง	Cassava	CS
6	สวนป่าสมบูรณ์	Forest-Evergreen	FE
7	ทุ่งหญ้า/ไม้ละเมาะ	Pasture	PT
8	ชุมชน	Urban	UB
9	แหล่งน้ำ	Water	WT



ภาพประกอบ 4. 8 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ลุ่มน้ำอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน พ.ศ. 2560



ภาพประกอบ 4. 9 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ลุ่มน้ำอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน พ.ศ. 2560

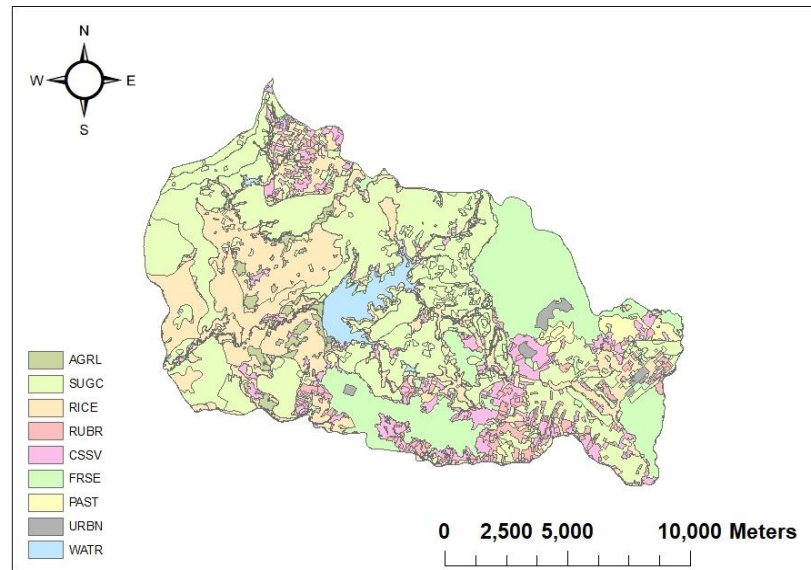
#### 4.2.2 แผนที่ใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต

การสร้างแผนที่การใช้ที่ดินในอนาคตด้วยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2560 ซึ่งเป็นแผนที่ Agri-Map ที่นำมาใช้ในการพิจารณาเป็นแนวทางตามนโยบาย 20 ปีของรัฐบาลโดยกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ที่ส่งเสริมให้เกษตรกรเพาะปลูกพืชที่มีความเหมาะสมกับพื้นที่ และใกล้แหล่งรับซื้อผลผลิตและมีความเหมาะสมกับภูมิอากาศ โดยมีแนวทางการพิจารณาเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินของแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต เน้นพืชเศรษฐกิจที่รัฐบาลส่งเสริมให้เพาะปลูกหลัก 4 ชนิดโดย ให้ความสำคัญแก่ข้าวเป็นอันดับ 1 เนื่องจากเป็นพืชหลักที่เกษตรกรปลูก มีแหล่งรับซื้ออยู่ทั่วทั้งพื้นที่และเป็นพืชหลักที่บริโภคภายในประเทศ, ให้ความสำคัญแก่อ้อยเป็นลำดับที่ 2 เนื่องจากเป็นพืชที่เกษตรกรปลูกอยู่เดิมในพื้นที่และมีแหล่งรับซื้อในพื้นที่ใกล้เคียง ให้ความสำคัญแก่มันสำปะหลังเป็นอันดับที่ 3 เนื่องจากเป็นพืชที่เกษตรกรปลูกอยู่เดิมในพื้นที่และมีลานมันซึ่งเป็นแหล่งรับซื้ออยู่ใกล้พื้นที่ และให้ความสำคัญแก่ข้าวโพดเป็นลำดับสุดท้ายที่ใช้ในการพิจารณาด้วย Agri-Map ครั้งนี้เนื่องจากเป็นพืชที่เกษตรกรปลูกอยู่เดิมในพื้นที่ โดยมีแนวทางดังนี้

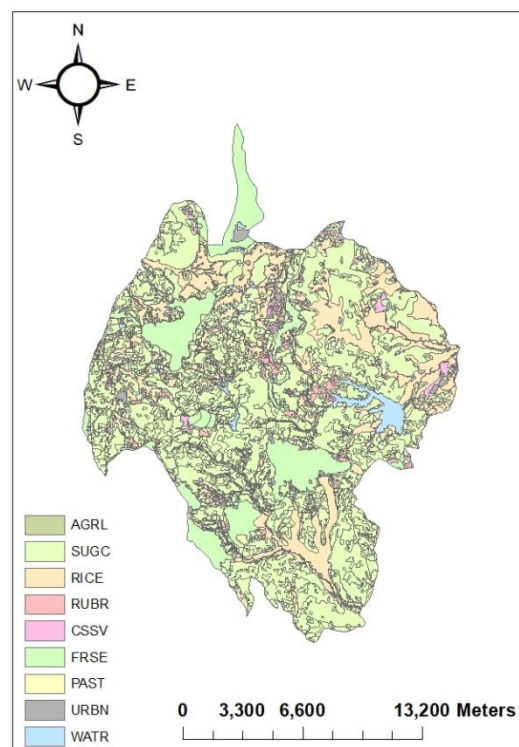
1. เดิมเป็นพื้นที่เพาะปลูกข้าวและจากข้อมูลแผนที่ Agri-Map ระบุว่าไม่เหมาะสมในการปลูกข้าว จะเปลี่ยนพื้นที่ดังกล่าวเป็น อ้อย, มันสำปะหลังหรือข้าวโพด ที่เหมาะสมตามลำดับ
2. เดิมเป็นพื้นที่ปลูกอ้อยและจากข้อมูลแผนที่ Agri-Map ระบุว่าไม่เหมาะสมในการปลูกอ้อย จะเปลี่ยนพื้นที่ดังกล่าวเป็น ข้าว, มันสำปะหลัง หรือข้าวโพด ที่เหมาะสมตามลำดับ
3. เดิมเป็นพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังและจากข้อมูลแผนที่ Agri-Map ระบุว่าไม่เหมาะสมในการปลูกมันสำปะหลัง จะเปลี่ยนพื้นที่ดังกล่าวเป็น ข้าว, อ้อย หรือข้าวโพด ที่เหมาะสมตามลำดับ
4. เดิมเป็นพื้นที่ปลูกข้าวโพดและจากข้อมูลแผนที่ Agri-Map ระบุว่าไม่เหมาะสมในการปลูกข้าวโพด จะเปลี่ยนพื้นที่ดังกล่าวเป็น ข้าว, อ้อย หรือมันสำปะหลัง ที่เหมาะสมตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์พื้นที่ลุ่มน้ำอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก พบว่าข้าวลดลง 13.84% อ้อยเพิ่มขึ้น 46.79% มันสำปะหลังลดลง 3.40% และข้าวโพดเพิ่มขึ้น 1.29%

จากผลการวิเคราะห์พื้นที่ลุ่มน้ำอ่างเก็บน้ำห้วยสิงโจน พบว่าข้าวลดลง 4.82% อ้อยเพิ่มขึ้น 27.65% มันสำปะหลังลดลง 1.69% และข้าวโพดเพิ่มขึ้น 0.52%



ภาพประกอบ 4. 10 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินพื้นที่ลุ่มน้ำอ่างเก็บน้ำห้วย  
สะแบกระหว่าง พ.ศ. 2561-2579



ภาพประกอบ 4. 11 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินพื้นที่ลุ่มน้ำอ่างเก็บน้ำห้วย  
สิงโจนระหว่าง พ.ศ. 2561-2579

#### 4.1.3 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินปีอนาคต ปรับแก้ด้วยกระบวนการมีส่วนร่วม

จากการลงพื้นที่เก็บข้อมูลแบบสอบถามการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก และพื้นที่ลุ่มน้ำอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจนนัน เมื่อนำแบบสอบถามมาวิเคราะห์ผลจะได้ค่าร้อยละของการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำเพื่อมาปรับแก้แผนที่การเพาะปลูก Agri-map ดังแสดงผลในตาราง 4.6 และ 4.8 และ ภาพประกอบ 4.12 และ 4.13

##### 1. พื้นที่ลุ่มน้ำ อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก

###### 1.1 สภาพข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินของกลุ่มตัวอย่างที่ได้จากแบบสอบถาม

จากผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ใช้พื้นที่ไปสำหรับการปลูกข้าว คิดเป็นร้อยละ 28.35 รองลงมาได้แก่ ใช้ปลูกอ้อย ที่อยู่อาศัย มันสำปะหลัง บ่อน้ำ เกษตรกรรมทั่วไป ยางพารา ปาล์มน้ำมัน และทุ่งเลี้ยงสัตว์ คิดเป็นร้อยละ 16.08, 15.55, 14.24, 12.34, 8.01, 3.67, , 1.38, 0.39 ของการใช้ประโยชน์ที่ดินทั้งหมดของกลุ่มตัวอย่าง ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 4.5

ตาราง 4. 5 จำนวนร้อยละของพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินของกลุ่มตัวอย่าง

รูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน	ขนาดพื้นที่ทั้งหมด		หมายเหตุ
	ไร่	ร้อยละ	
ข้าว	432	28.35	ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ
อ้อย	245	16.08	
มันสำปะหลัง	217	14.24	
ยางพารา	56	3.67	
ปาล์มน้ำมัน	21	1.38	
ทุ่งเลี้ยงสัตว์	6	0.39	
บ่อน้ำ	188	12.34	
เกษตรกรรมทั่วไป	122	8.01	
ที่อยู่อาศัย	237	15.55	
รวม	1,524	100.00	

ตาราง 4. 6 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระดับการมีส่วนร่วมส่วนของกลุ่มตัวอย่าง อ่างเก็บน้ำ  
ห้วยสะแบก

คำถาม	$\bar{X}$	S.D.	ระดับ
<b>1.การมีส่วนร่วมในการวางแผน</b>			
1.1 ท่านเคยเข้าร่วมประชุมชี้แจงความคิดเห็น ผังเมืองรวมจังหวัดยโสธรที่ประกาศเป็นกฎกระทรวงอยู่หรือไม่	3.13	0.34	ปานกลาง
1.2 ท่านเคยเข้าร่วมกิจกรรมที่ทางภาครัฐจัดขึ้นเพื่อจัดทำข้อตกลงต่างๆ กับชุมชน หรือไม่	3.96	0.43	มาก
1.3 ท่านเคยเสนอความคิดเห็น แจ้งความต้องการและปัญหาให้กับภาครัฐรับทราบ หรือไม่	3.91	0.42	มาก
รวม	3.67	0.40	มาก
<b>2. การมีส่วนร่วมในการดำเนินงาน</b>			
2.1 ท่านได้เข้าร่วมปฏิบัติตามนโยบาย แผนงานโครงการหรือกิจกรรมที่อาศัยการบริหารส่วนท้องถิ่น และนำไป ดำเนินการในท้องถิ่นให้บรรลุตามเป้าหมาย	3.44	0.38	ปานกลาง
2.2 ท่านได้มีส่วนร่วมประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้การดำเนินงานบรรลุผลสำเร็จ เช่น ประชาชนในท้องถิ่นและหน่วยงานต่าง ๆ	3.76	0.41	มาก
2.3 ท่านเคยประชาสัมพันธ์ข้อตกลง เพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจในท้องถิ่นของตนเอง หรือไม่	3.29	0.36	ปานกลาง
รวม	3.50	0.38	ปานกลาง
<b>3.การมีส่วนร่วมในการติดตามและประเมินผล</b>			
3.1 ท่านเคยเป็นกรรมการตรวจสอบการดำเนินกิจกรรมกับทางภาครัฐ หรือไม่	2.69	0.29	ปานกลาง
3.2 ท่านมีส่วนร่วมในการติดตามผลของการแสดงความคิดเห็น	3.14	0.35	ปานกลาง
3.3 ท่านมีส่วนร่วมในการติดตามและประเมินผลความสำเร็จของโครงการ หรือไม่	3.79	0.41	มาก
รวม	3.21	0.35	ปานกลาง



จากตาราง 4.6 พบว่าระดับการมีส่วนร่วมในการใช้ประโยชน์ที่ดินของกลุ่มตัวอย่าง อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก มีดังต่อไปนี้

1. การมีส่วนร่วมในด้านการวางแผนรวมอยู่ในระดับมาก ( $\bar{X} = 3.67$ ) เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อเรียงจากมากไปน้อยได้ดังนี้ เข้าร่วมกิจกรรมที่ทางภาครัฐจัดขึ้นเพื่อจัดทำข้อตกลงต่างๆ กับชุมชน, เสนอความคิดเห็น แจ้งความต้องการและปัญหาให้กับภาครัฐรับทราบ, เข้าร่วมประชุมชี้แจงความคิดเห็น ผังเมืองรวมจังหวัดด้วยโสธรที่ประกาศเป็นกฎกระทรวงอยู่

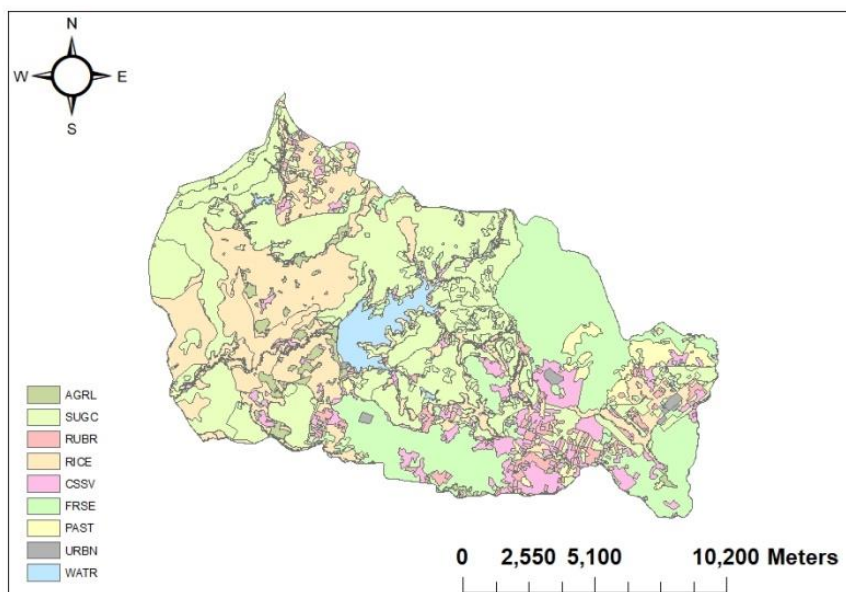
2. การมีส่วนร่วมในการดำเนินงานรวมอยู่ในระดับปานกลาง ( $\bar{X} = 3.50$ ) เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อเรียงจากมากไปน้อยได้ดังนี้ มีส่วนร่วมประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้การดำเนินงานบรรลุผลสำเร็จ, เข้าร่วมปฏิบัติตามนโยบาย แผนงาน โครงการหรือกิจกรรมที่อาศัยการบริหารส่วนท้องถิ่น และได้นำไป ดำเนินการในท้องถิ่นให้บรรลุตามเป้าหมาย, ประชาสัมพันธ์ข้อตกลง เพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจในท้องถิ่นของตนเอง

3. การมีส่วนร่วมในการติดตามและประเมินผลรวมอยู่ในระดับปานกลาง ( $\bar{X} = 3.21$ ) เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อเรียงจากมากไปน้อยได้ดังนี้ มีส่วนร่วมในการติดตามและประเมินผลความสำเร็จของโครงการ, ท่านมีส่วนร่วมในการติดตามผลของการแสดงความคิดเห็น, เป็นกรรมการตรวจสอบการดำเนินกิจกรรมกับทางภาครัฐ

เมื่อนำแผนที่ฐานที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วมมาใช้เป็นแผนที่ปฏิฐานกับแผนที่การเพาะปลูกพืช Agri-Map จะได้ร้อยละของแผนที่ Agri-Map เพื่อนำไปคาดการณ์น้ำท่าอนาคต ดังตาราง 4.7 และภาพประกอบ 4.12

ตาราง 4. 7 ร้อยละของการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก จากการมีส่วนร่วม

ชนิดของการใช้ประโยชน์ที่ดิน	ร้อยละ
พืชไร่ผสม	1.29
อ้อย	57.87
นาข้าว	9.83
ยางพารา	1.38
มันสำปะหลัง	3.40
สวนป่าสมบูรณ์	12.55
ทุ่งหญ้า/ไม้ละเมาะ	0.12
ชุมชน	7.27
แหล่งน้ำ	2.20



ภาพประกอบ 4. 12 ปรับแก้แผนที่การใช้ที่ดินพื้นที่ลุ่มน้ำอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก  
ด้วยกระบวนการมีส่วนร่วม

## 2. พื้นที่ลุ่มน้ำ อ่างเก็บน้ำห้วยลึงโจน

2.1 สภาพข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินของกลุ่มตัวอย่างที่ได้จากแบบสอบถาม  
จากผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ใช้พื้นที่ไปสำหรับการปลูกข้าว คิด  
เป็นร้อยละ 29.52 รองลงมาได้แก่ ใช้ปลูกอ้อย ที่อยู่อาศัย มันสำปะหลัง เกษตรกรรมทั่วไป บ่อน้ำ  
ยางพารา ปาล์มน้ำมัน และทุ่งเลี้ยงสัตว์ คิดเป็นร้อยละ 20.25, 17.82, 12.47, 9.47, 7.74, 1.83,  
0.61, 0.31 ของการใช้ประโยชน์ที่ดินทั้งหมดของกลุ่มตัวอย่าง ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 4.8

พหุ ประถมศึกษา ชีวะ

ตาราง 4. 8 จำนวนร้อยละของพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินของกลุ่มตัวอย่าง

รูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน	ขนาดพื้นที่ทั้งหมด		หมายเหตุ
	ไร่	ร้อยละ	
ข้าว	580	29.52	มากกว่า 1 ข้อ
อ้อย	398	20.25	
มันสำปะหลัง	245	12.47	
ยางพารา	36	1.83	
ปาล์มน้ำมัน	12	0.61	
ทุ่งเลี้ยงสัตว์	6	0.31	
บ่อน้ำ	152	7.74	
เกษตรกรรมทั่วไป	186	9.47	
ที่อยู่อาศัย	350	17.82	
รวม	1,965	100.00	

ตาราง 4. 9 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระดับการมีส่วนร่วมของกิจกรรมของกลุ่มตัวอย่าง ว่างเก็บน้ำ  
ห้วยลิงโจน

คำถาม	$\bar{X}$	S.D.	ระดับ
<b>1.การมีส่วนร่วมในการวางแผน</b>			
1.1 ท่านเคยเข้าร่วมประชุมชี้แจงความคิดเห็น ผังเมืองรวมจังหวัดยโสธรที่ประกาศเป็นกฎกระทรวงอยู่หรือไม่	3.26	0.35	ปานกลาง
1.2 ท่านเคยเข้าร่วมกิจกรรมที่ทางภาครัฐจัดขึ้นเพื่อจัดทำข้อตกลงต่างๆ กับชุมชน หรือไม่	3.98	0.44	มาก
1.3 ท่านเคยเสนอความคิดเห็น แจ้งความต้องการ และปัญหาให้กับภาครัฐรับทราบ หรือไม่	3.65	0.39	มาก
รวม	3.63	0.39	มาก

ตาราง 4.9 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระดับการมีส่วนร่วมของกลุ่มตัวอย่าง อ่างเก็บน้ำ  
ห้วยลิงโจน (ต่อ)

คำถาม	$\bar{X}$	S.D.	ระดับ
<b>2. การมีส่วนร่วมในการดำเนินงาน</b>			
2.1 ท่านได้เข้าร่วมปฏิบัติตามนโยบาย แผนงาน โครงการหรือกิจกรรมที่อาศัยการบริหารส่วนท้องถิ่น และได้นำไป ดำเนินการในท้องถิ่นให้บรรลุตาม เป้าหมาย	3.54	0.38	มาก
2.2 ท่านได้มีส่วนร่วมประสานงานกับหน่วยงานที่ เกี่ยวข้อง เพื่อให้การดำเนินงานบรรลุผลสำเร็จ เช่น ประชาชนในท้องถิ่นและหน่วยงานต่าง ๆ	3.63	0.39	มาก
2.3 ท่านเคยประชาสัมพันธ์ข้อตกลง เพื่อสร้างความรู้ ความเข้าใจในท้องถิ่นของตนเอง หรือไม่	3.26	0.36	ปานกลาง
รวม	3.48	0.38	ปานกลาง
<b>3.การมีส่วนร่วมในการติดตามและประเมินผล</b>			
3.1 ท่านเคยเป็นกรรมการตรวจสอบการดำเนิน กิจกรรมกับทางภาครัฐ หรือไม่	2.93	0.32	ปานกลาง
3.2 ท่านมีส่วนร่วมในการติดตามผลของการแสดง ความคิดเห็น	3.61	0.41	มาก
3.3 ท่านมีส่วนร่วมในการติดตามและประเมินผล ความสำเร็จของโครงการ หรือไม่	2.90	0.31	ปานกลาง
รวม	3.15	0.35	ปานกลาง

จากตาราง 4.9 พบว่าระดับการมีส่วนร่วมในการใช้ประโยชน์ที่ดินของกลุ่มตัวอย่าง อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน มีดังต่อไปนี้

1. การมีส่วนร่วมในด้านการวางแผนรวมอยู่ในระดับมาก ( $\bar{X} = 3.63$ ) เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อเรียงจากมากไปน้อยได้ดังนี้ เข้าร่วมกิจกรรมที่ทางภาครัฐจัดขึ้นเพื่อจัดทำข้อตกลงต่างๆ กับชุมชน, เสนอความคิดเห็น แจ้งความต้องการและปัญหาให้กับภาครัฐรับทราบ, เข้าร่วมประชุมชี้แจงความคิดเห็น ผังเมืองรวมจังหวัดยโสธรที่ประกาศเป็นกฎกระทรวงอยู่

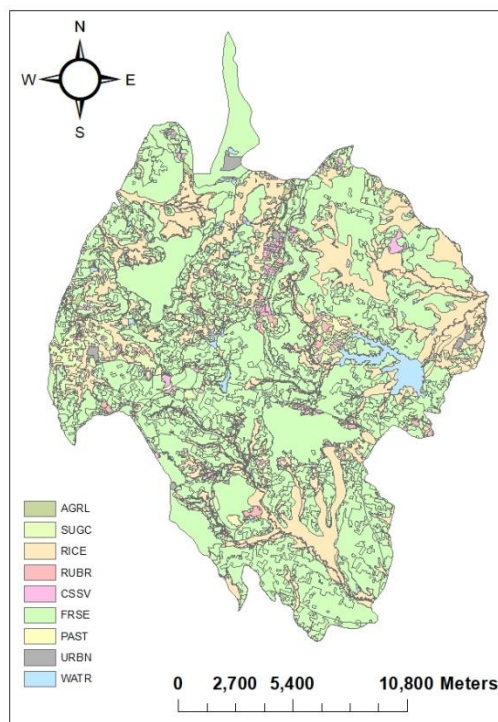
2. การมีส่วนร่วมในการดำเนินงานรวมอยู่ในระดับปานกลาง ( $\bar{X} = 3.48$ ) เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อเรียงจากมากไปน้อยได้ดังนี้ มีส่วนร่วมประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้การดำเนินงานบรรลุผลสำเร็จ, เข้าร่วมปฏิบัติตามนโยบาย แผนงาน โครงการหรือกิจกรรมที่อาศัยการบริหารส่วนท้องถิ่น และได้นำไป ดำเนินการในท้องถิ่นให้บรรลุตามเป้าหมาย, ประชาสัมพันธ์ ข้อตกลง เพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจในท้องถิ่นของตนเอง

3. การมีส่วนร่วมในการติดตามและประเมินผลรวมอยู่ในระดับปานกลาง ( $\bar{X} = 3.15$ ) เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อเรียงจากมากไปน้อยได้ดังนี้ ท่านมีส่วนร่วมในการติดตามผลของการแสดงความคิดเห็น, เป็นกรรมการตรวจสอบการดำเนินกิจกรรมกับทางภาครัฐ, มีส่วนร่วมในการติดตามและประเมินผลความสำเร็จของโครงการ

เมื่อนำแผนที่ฐานที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วมมาตัดทับกับแผนที่การเพาะปลูกพืช Agri-Map จะได้ค่าร้อยละของแผนที่ Agri-Map เพื่อนำไปคาดการณ์น้ำท่าอนาคต ดังตาราง 4.10 และภาพประกอบ 4.13

ตาราง 4. 10 ร้อยละของการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน จากการมีส่วนร่วม

ชนิดของการใช้ประโยชน์ที่ดิน	ร้อยละ
พืชไร่ผสม	2.20
อ้อย	61.15
นาข้าว	11.95
ยางพารา	6.19
มันสำปะหลัง	1.16
สวนป่าสมบูรณ์	9.95
ทุ่งหญ้า/ไม้ละเมาะ	0.12
ชุมชน	7.27
แหล่งน้ำ	2.20



ภาพประกอบ 4. 13 ปรับแก้แผนที่การใช้ที่ดินพื้นที่ลุ่มน้ำอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน  
ด้วยกระบวนการมีส่วนร่วม

#### 4.3 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำทำด้วยแบบจำลอง SWAT

ในส่วนนี้จะเป็นการแสดงถึงรายละเอียดการจัดเตรียมข้อมูลเพื่อนำเข้าสู่แบบจำลองอุทกวิทยา SWAT ข้อมูลสำคัญที่แบบจำลองต้องการได้แก่ ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ แบบจำลองความสูงเชิงเลข แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน แผนที่ลำน้ำ ที่ตั้งสถานีวัดน้ำท่า ที่ตั้งสถานีตรวจวัดอากาศ ที่ตั้งอ่างเก็บน้ำ เป็นต้น รวมถึงข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนจากอ่างเก็บน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำ ด้วยเหตุที่อ่างเก็บน้ำไม่มีสถานีวัดน้ำท่าโดยตรง และไม่มีสถานีข้อมูลน้ำท่าอยู่ใกล้เคียงบริเวณอ่างเก็บน้ำในระยะทางที่เพียงพอ ดังนั้นจึงเลือกใช้ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนทุติยภูมิจากการเก็บข้อมูลของอ่างเก็บน้ำซึ่งคำนวณด้วยสมการสมดุลน้ำช่วงระหว่างปีฐานเพื่อใช้สำหรับการปรับเทียบและสอบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้จากแบบจำลอง ลำดับขั้นตอนของการดำเนินการเกี่ยวกับแบบจำลอง SWAT มีดังต่อไปนี้

#### 4.3.1 การเปรียบเทียบและสอบเทียบแบบจำลอง

ข้อมูลที่น่าเข้าสู่แบบจำลอง SWAT สำหรับการคำนวณปริมาณน้ำท่าในช่วงปีฐานเพื่อใช้สำหรับการเปรียบเทียบและสอบเทียบความแม่นยำจากผลการคำนวณของแบบจำลองแบ่งออกเป็น (1) ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) ได้แก่ ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model, DEM) ความละเอียดที่ 30x30 เมตร แผนที่ลำน้ำ (Digital Stream Map) แผนที่ชนิดของดิน (Soil Type Map) มาตรฐาน 1:50,000 และแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use Map) จากกรมพัฒนาที่ดิน โดยเป็นข้อมูลใน พ.ศ. 2560 (2) ข้อมูลสภาพเชิงภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดระหว่าง พ.ศ. 2540-2560 จำนวน 6 ชนิด ได้แก่ ปริมาณฝน อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และพลังงานแสงอาทิตย์ (3) ข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากอ่างเก็บน้ำระหว่าง พ.ศ. 2548-2560 โดยข้อมูลระหว่าง พ.ศ. 2548-2554 จะใช้สำหรับการเปรียบเทียบ และข้อมูล พ.ศ. 2560 จะใช้สำหรับการสอบเทียบผลการคำนวณจากแบบจำลอง

#### 4.3.2 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง

เนื่องจากแบบจำลอง SWAT จะนำเอาข้อมูลเชิงพื้นที่ต่างๆ ไปประมวลผลเพื่อสร้างเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย (Sub-Basin) โดยในแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยนั้นๆ จะประกอบด้วยหน่วยย่อยที่เรียกว่าหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (Hydrologic Response Unit, HRU) ซึ่งจะมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่สามารถปรับแต่งได้เพื่อให้ผลการคำนวณจากแบบจำลองมีความใกล้เคียงกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดมากที่สุด หรือเรียกว่าการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง (Model Sensitivity Analysis) โดยจะเป็นการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากที่ได้มีการตั้งค่าอัตโนมัติเริ่มต้นไว้ในแบบจำลอง หลังจากขั้นตอนการสร้างสภาพทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำในแบบจำลองแล้ว วิธีการโดยทั่วไปในการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์เพื่อวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองดำเนินการได้โดยทดลองปรับค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญให้เปลี่ยนไปจากค่าเดิมที่ตั้งต้นไว้ทีละตัว โดยปรับทั้งในทิศทางเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามสัดส่วนที่เท่าๆ กันภายในช่วงของค่าที่แนะนำสำหรับแต่ละพารามิเตอร์ การเปลี่ยนแปลงนี้จะทำให้ผลการคำนวณจากแบบจำลองมีความแตกต่างจากผลที่ได้จากการกำหนดค่าตั้งต้นการคำนวณครั้งแรก ผลต่างของปริมาณน้ำท่านี้แสดงถึงความอ่อนไหวหรือนัยสำคัญของพารามิเตอร์นั้นๆ ที่มีต่อแบบจำลอง

ค่าพารามิเตอร์จำนวน 8 ค่าของแบบจำลองที่มีความอ่อนไหวมากที่สุดได้ถูกคัดเลือกสำหรับใช้วิเคราะห์ความอ่อนไหว ผลการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลองมีความใกล้เคียงกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดมากที่สุด ได้แสดงไว้ในตาราง 4.11 และ 4.12 ปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง SWAT ระหว่าง พ.ศ. 2548-2554

จะถูกเลือกใช้เพื่อการวิเคราะห์ความอ่อนไหว โดยจะถูกนำไปปรับเทียบกับข้อมูลปริมาณน้ำท่าสำหรับช่วงเวลาเดียวกันระหว่างข้อมูลสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ

ตาราง 4. 11 ค่าพารามิเตอร์ความอ่อนไหวสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำ อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก

ที่	ชื่อพารามิเตอร์	รายละเอียด	ค่าที่ปรับแก้แล้ว
1	ALPHA_BF	Base Flow Alpha Factor	0.9
2	GWQMN	Threshold Water Depth in the Shallow Aquifer for Flow	1000
3	GW_REVAP	Water Uptake Directly from the Shallow Aquifer by Deep Tree	0.10
4	CN2	Initial Curve Number (II) Value	90
5	SOL_AWC	Available Water Capacity	0.9
6	EPCO	Plant Uptake Compensation Factor	0.9
7	ESCO	Soil Evaporation Compensation Factor	0.1
8	GW_DELAY	Groundwater Delay Time	31

ตาราง 4. 12 ค่าพารามิเตอร์ความอ่อนไหวสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำ อ่างเก็บน้ำห้วยลึงโจน

ที่	ชื่อพารามิเตอร์	รายละเอียด	ค่าที่ปรับแก้แล้ว
1	ALPHA_BF	Base Flow Alpha Factor	0.9
2	GWQMN	Threshold Water Depth in the Shallow Aquifer for Flow	1000
3	GW_REVAP	Water Uptake Directly from the Shallow Aquifer by Deep Tree	0.18
4	CN2	Initial Curve Number (II) Value	80
5	SOL_AWC	Available Water Capacity	0.1
6	EPCO	Plant Uptake Compensation Factor	0.1
7	ESCO	Soil Evaporation Compensation Factor	0.9
8	GW_DELAY	Groundwater Delay Time	31



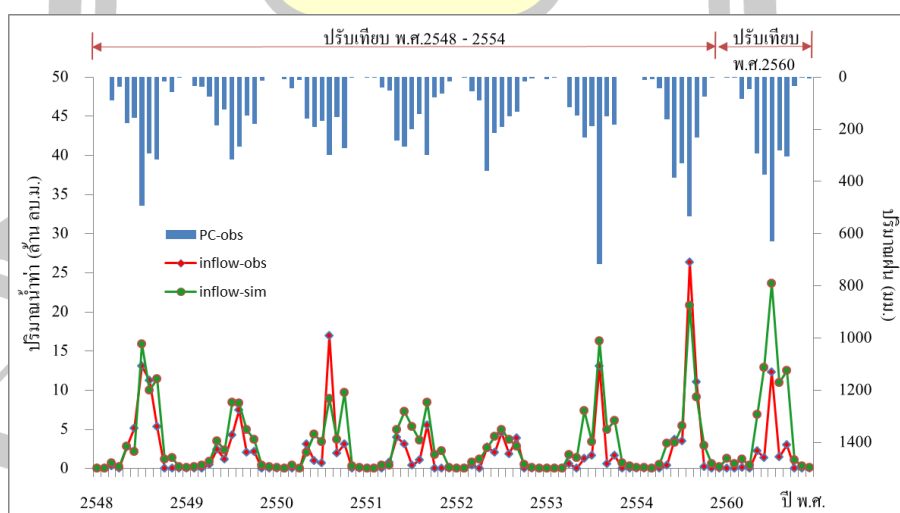
### 4.3.3 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

#### 1. อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก

ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนจากแบบจำลองในช่วงของการปรับเทียบ (พ.ศ. 2548-2554) มีค่าเท่ากับ 3.052 ล้านลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนจากอ่างเก็บน้ำเท่ากับ 2.135 ล้านลูกบาศก์เมตร การประเมินความแม่นยำของผลการคำนวณด้วยค่า  $R^2$ , RE และ  $E_{ns}$  สำหรับช่วงปรับเทียบเท่ากับ 0.76, ร้อยละ 42.95 และ 0.71 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ความแม่นยำที่ยอมรับได้ ในการสอบเทียบจะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างผลการคำนวณจากแบบจำลองที่เป็นอิสระและปราศจากการปรับแต่งกับข้อมูลจากอ่างเก็บน้ำ ใน พ.ศ. 2560 โดยได้แสดงค่า  $R^2$ , RE และ  $E_{ns}$  เท่ากับ 0.78, ร้อยละ 93.92 และ 0.56 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ความแม่นยำที่ยอมรับได้เช่นเดียวกับการปรับเทียบ ค่าดัชนีสำหรับประเมินความแม่นยำของแบบจำลอง SWAT ได้แสดงไว้ในตาราง 4.11 และผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าได้แสดงในภาพประกอบ 4.14

ตาราง 4. 13 ค่าดัชนีสำหรับประเมินความแม่นยำของผลการคำนวณจากแบบจำลอง SWAT

ช่วงประเมิน/ค่าดัชนี	$R^2$	RE (%)	$E_{ns}$
การปรับเทียบ (พ.ศ. 2548-2554)	0.76	42.95	0.71
การสอบเทียบ (พ.ศ. 2560)	0.78	93.92	0.56



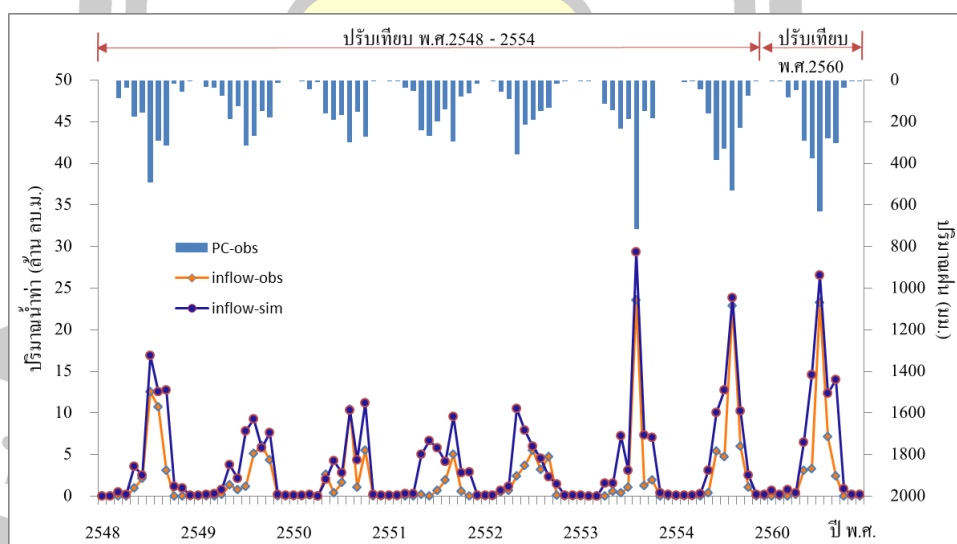
ภาพประกอบ 4. 14 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าระหว่างข้อมูลจากอ่างเก็บน้ำและผลการคำนวณจากแบบจำลองระหว่าง พ.ศ. 2548-2554 อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก

#### 2. อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน

ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนจากแบบจำลองในช่วงของการปรับเทียบ (พ.ศ. 2548-2554) มีค่าเท่ากับ 3.790 ล้านลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนจากอ่างเก็บน้ำเท่ากับ 2.002 ล้านลูกบาศก์เมตร การประเมินความแม่นยำของผลการคำนวณด้วยค่า  $R^2$ , RE และ  $E_{ns}$  สำหรับช่วงปรับเทียบเท่ากับ 0.70, ร้อยละ 89.31 และ 0.49 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ความแม่นยำที่ยอมรับได้ ในการสอบเทียบจะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างผลการคำนวณจากแบบจำลองที่เป็นอิสระและปราศจากการปรับแต่งกับข้อมูลจากอ่างเก็บน้ำ ใน พ.ศ. 2560 โดยได้แสดงค่า  $R^2$ , RE และ  $E_{ns}$  เท่ากับ 0.98, ร้อยละ 43.025 และ 0.38 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ความแม่นยำที่ยอมรับได้เช่นเดียวกับการปรับเทียบ ค่าดัชนีสำหรับประเมินความแม่นยำของแบบจำลอง SWAT ได้แสดงไว้ในตาราง 4.14 และผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าได้แสดงในภาพประกอบ 4.15

ตาราง 4. 14 ค่าดัชนีสำหรับประเมินความแม่นยำของผลการคำนวณจากแบบจำลอง SWAT

ช่วงประเมิน/ค่าดัชนี	$R^2$	RE (%)	$E_{ns}$
การปรับเทียบ (พ.ศ. 2548-2554)	0.81	89.31	0.49
การสอบเทียบ (พ.ศ. 2560)	0.77	43.025	0.38



ภาพประกอบ 4. 15 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าระหว่างข้อมูลจากอ่างเก็บน้ำและผลการคำนวณจากแบบจำลองระหว่าง พ.ศ. 2548-2554 อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน

#### 4.3.4 ปริมาณน้ำท่าคาดการณ์ในอนาคต

ปริมาณน้ำท่าในอนาคตปีคาดการณ์ระหว่าง พ.ศ. 2561-2579 ที่คาดว่าจะได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการใช้ประโยชน์ที่ดิน ภายใต้กรณีคาดการณ์ B2 ของ IPCC SRES สามารถดำเนินการได้โดยกรนำเข้าข้อมูลสภาพภูมิอากาศจำนวน 6 ชนิด จากแบบจำลอง PRECIS กรณี B2 ที่ได้ผ่านการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนแล้ว และเปลี่ยนแปลงข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตจากนโยบายของรัฐบาลที่ใช้แผนที่ Agri-Map เป็นเครื่องมือการสนับสนุนการเพาะปลูกในแต่ละพื้นที่ และนำไปผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม โดยใช้คาพารามิเตอร์ความอ่อนไหวที่ได้ผ่านการปรับแก้มาแล้วเป็นค่าตั้งต้น เพื่อคำนวณปริมาณน้ำท่าด้วยแบบจำลองในช่วงเวลาอนาคต ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าในช่วงเวลาระหว่าง พ.ศ. 2561-2579 จาก SWAT แสดงได้ดังต่อไปนี้

##### 4.3.4.1 อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก

###### 1) ปริมาณน้ำท่ารวมต่อปี

ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยต่อปีในช่วงอนาคต (พ.ศ. 2561-2579) ด้วยแบบจำลอง SWAT เมื่อนำเข้าข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากแบบจำลอง PRECIS ภายใต้กรณีคาดการณ์ B2 รวมถึงการเปลี่ยนแปลงข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินจากนโยบายของรัฐบาล (Agri-Map) และ (Agri-Map) ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม พบว่ามีค่า 32.283 และ 31.795 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าข้อมูลจากอ่างเก็บน้ำในปฏิฐาน (พ.ศ. 2548-2554) ที่มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 25.613 ล้านลูกบาศก์เมตร อยู่ที่ 6.670 ล้านลูกบาศก์เมตร (ร้อยละ 26.04) และ 6.182 ล้านลูกบาศก์เมตร (ร้อยละ 24.14) ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 4.15

ตาราง 4. 15 ปริมาณน้ำท่ารวมเฉลี่ยต่อปี

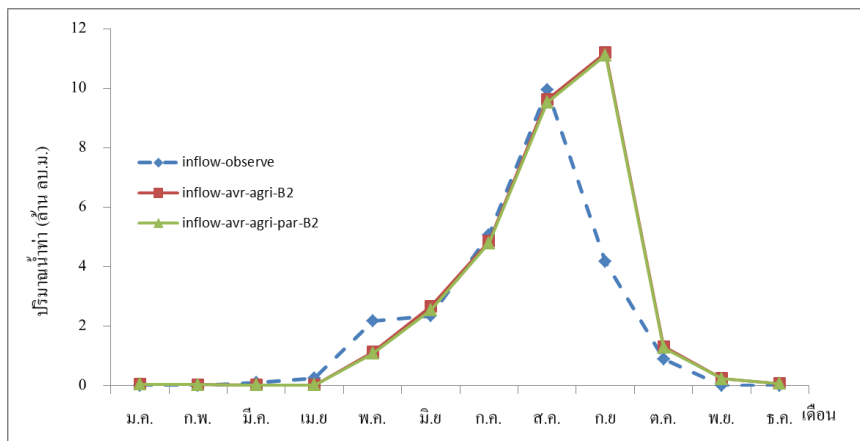
ช่วงเวลา	ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)		
	ปริมาณเฉลี่ยต่อปี	ปริมาณที่ต่างจากปฏิฐาน	คิดเป็น (%)
ปฏิฐาน	25.613	-	-
ปีคาดการณ์ Agri-Map	32.283	6.670	26.04
ปีคาดการณ์ Agri-Map -Participation	31.795	6.182	24.14

## 2) ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนตามช่วงฤดูกาล

ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือน เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลจากอ่างเก็บน้ำในปฏิฐาน (พ.ศ. 2548-2560) พบว่าในช่วงฤดูฝนหรือระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนพฤศจิกายนกรณีคาดการณ์ (Agri-Map) และ (Agri-Map) ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม มีค่าเฉลี่ย 4.987 และ 4.115 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ มีค่าสูงกว่าปฏิฐานที่มีค่าเฉลี่ย 3.517 ล้านลูกบาศก์เมตร เท่ากับ 1.830 และ 0.958 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 57.97 และ 30.35 ตามลำดับ ช่วงสิ้นสุดฤดูฝนระหว่างเดือนธันวาคมถึงเมษายน กรณีคาดการณ์ (Agri-Map) มีค่าเฉลี่ย 0.043 ล้านลูกบาศก์เมตร มีค่าต่ำกว่าปฏิฐานที่มีค่าเฉลี่ย 0.072 ล้านลูกบาศก์เมตร เท่ากับ 0.029 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 40.28 และ กรณีคาดการณ์ (Agri-Map) ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม มีค่าเฉลี่ย 0.043 ล้านลูกบาศก์เมตร มีค่าต่ำกว่าปฏิฐานที่มีค่าเฉลี่ย 0.072 ล้านลูกบาศก์เมตร เท่ากับ 0.029 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 40.28 ดังแสดงในตาราง 4.14 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนระหว่าง พ.ศ. 2561-2579 ที่คำนวณจากแบบจำลอง SWAT เปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนปฏิฐานจากอ่างเก็บน้ำ แสดงได้ดังภาพประกอบ 4.16 ซึ่งจะแสดงได้ชัดเจนว่าช่วงฤดูฝนระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนพฤศจิกายน ปริมาณน้ำท่าในกรณีคาดการณ์ Agri-Map จะมีค่าเฉลี่ยรายเดือนสูงกว่าข้อมูลปฏิฐาน เช่นเดียวกันกับกรณีคาดการณ์ Agri-Map ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม

ตาราง 4. 16 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนปีคาดการณ์และปฏิฐานตามช่วงฤดูกาล อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก

ช่วงเวลา	ช่วง พ.ศ.-พ.ย. (ล้าน ลบ.ม.)			ช่วง ธ.ค.-เม.ย. (ล้าน ลบ.ม.)		
	ปริมาณเฉลี่ย	ปริมาณที่ต่างจากปีฐาน	คิดเป็น (%)	ปริมาณเฉลี่ย	ปริมาณที่ต่างจากปีฐาน	คิดเป็น (%)
ปฏิฐาน	3.157	-	-	0.072	-	-
ปีคาดการณ์ Agri-Map	4.987	1.830	57.97	0.043	0.029	40.28
ปีคาดการณ์ Agri-Map -Participation	4.115	0.958	30.05	0.043	0.029	40.28

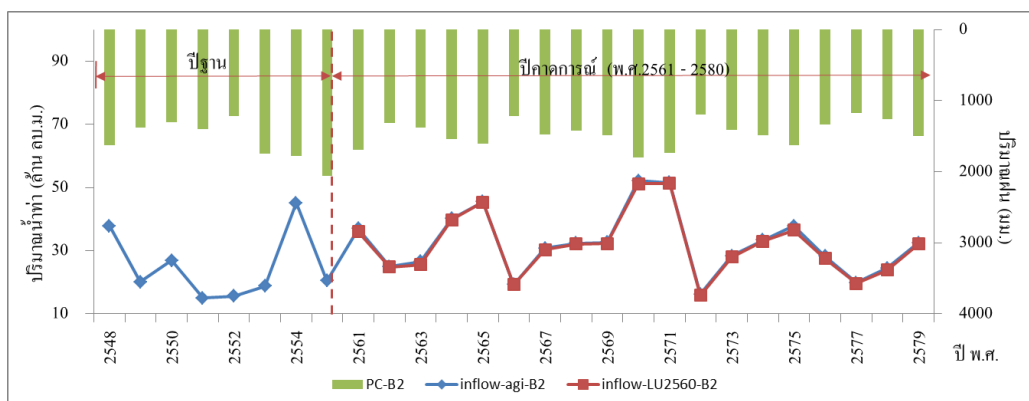


ภาพประกอบ 4. 16 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนระหว่างผลการคำนวณจากแบบจำลองปีศาจการณณ์และข้อมูลจากอ่างเก็บน้ำปัฐาน อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก

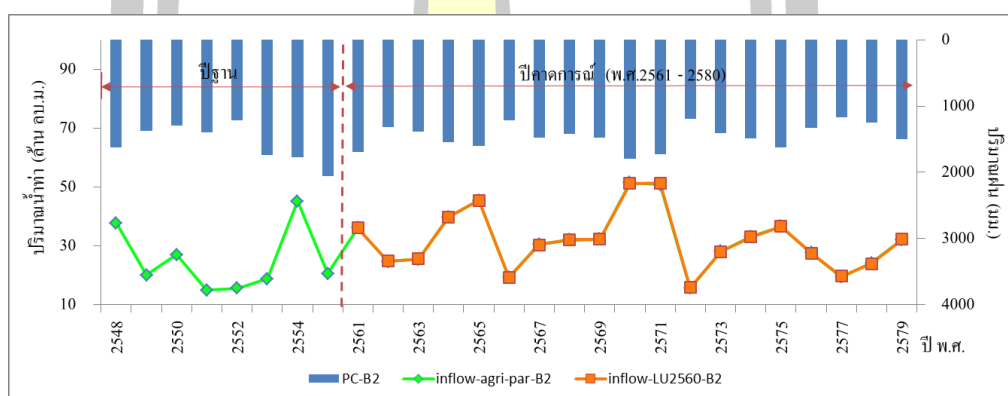
### 3) แนวโน้มปริมาณน้ำท่าในระยะยาว 19 ปี

ปริมาณน้ำท่ารายปีระหว่างปี พ.ศ. 2561-2579 ที่ได้จากอ่างเก็บน้ำและการคำนวณจากแบบจำลอง SWAT ได้แสดงในภาพประกอบ 4.17 และ 4.18 เพื่อแสดงให้เห็นความแตกต่างของปริมาณน้ำท่า ในกรณีที่ไม่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต ข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2560 จะถูกทดลองใช้เพื่อเป็นตัวแทนสำหรับการคำนวณปริมาณน้ำท่าตลอดระยะเวลา 19 ปีอนาคต (พ.ศ. 2561-2579) มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการเปรียบเทียบและแสดงความแตกต่างกับปริมาณน้ำท่าที่ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างต่อเนื่อง โดยใช้เงื่อนไขเดียวกันคือการนำเข้าข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงในอนาคตที่ได้จากแบบจำลอง PRECIS กรณีคาดการณ์ B2 แบ่งเป็นกรณีคาดการณ์แผนที่ Agri-Map และ Agri-Map ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ลุ่มน้ำอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก

ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2560 พบว่าภายใต้กรณีคาดการณ์แบบ และ B2 มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีคือ 31.810 ล้านลูกบาศก์เมตร เมื่อเปลี่ยนแปลงข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินตามนโยบายของรัฐบาลในอนาคต 20 ปี แล้วนำไปผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีคือ 30.118 และ 29.775 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าข้อมูลการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2560 อยู่ที่ 1.692 ล้านลูกบาศก์เมตร (ร้อยละ 5.32) และ 2.035 ล้านลูกบาศก์เมตร (ร้อยละ 6.40) ตามลำดับ



ภาพประกอบ 4. 17 ปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง กรณีคาดการณ์จากแผนที่ Agri-Map ระหว่าง พ.ศ. 2561-2579 อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก



ภาพประกอบ 4. 18 ปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง กรณีคาดการณ์จากแผนที่ Agri-Map ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม ระหว่าง พ.ศ. 2561-2579 อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก

#### 4.3.4.2 อ่างเก็บน้ำห้วยลิ่งโจน

##### 1) ปริมาณน้ำท่ารวมต่อปี

ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยต่อปีในช่วงอนาคต (พ.ศ. 2561-2579) ด้วยแบบจำลอง SWAT เมื่อนำเข้าข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากแบบจำลอง PRECIS ภายใต้กรณีคาดการณ์ B2 รวมถึงการเปลี่ยนแปลงข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินจากนโยบายของรัฐบาล (Agri-Map) และ (Agri-Map) ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม พบว่ามีค่า 24.970 และ 24.746 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าข้อมูลจากอ่างเก็บน้ำในปีฐาน (พ.ศ. 2548-2554) ที่มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 24.027 ล้านลูกบาศก์เมตร อยู่ที่ 0.943 ล้านลูกบาศก์เมตร (ร้อยละ 3.92) และ 0.719 ล้านลูกบาศก์เมตร (ร้อยละ 2.99) ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 4.17

ตาราง 4. 17 ปริมาณน้ำท่ารวมเฉลี่ยต่อปี

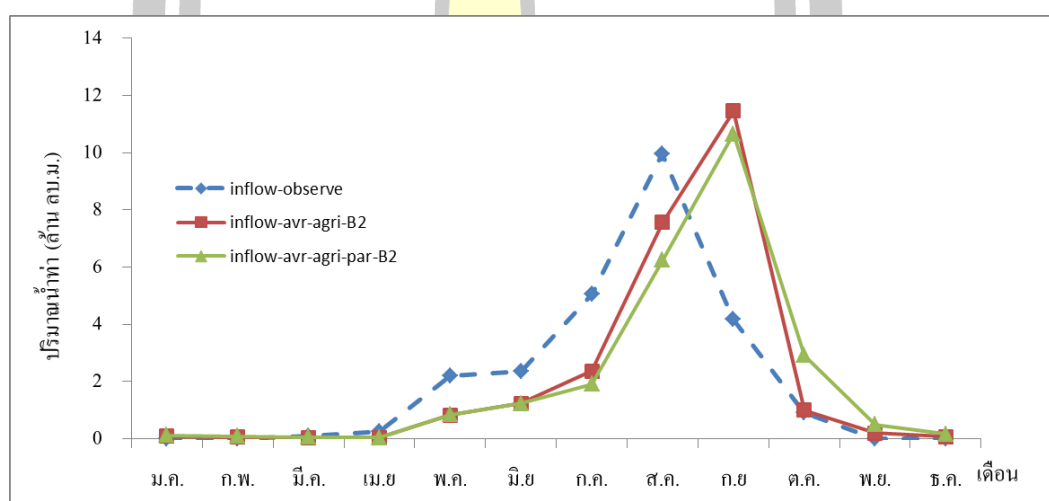
ช่วงเวลา	ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)		
	ปริมาณเฉลี่ยต่อปี	ปริมาณที่ต่างจากปีฐาน	คิดเป็น (%)
ปีฐาน	24.027	-	-
ปีคาดการณ์ Agri-Map	24.970	0.943	3.92
ปีคาดการณ์ Agri-Map -Participation	24.746	0.719	2.99

## 2) ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนตามช่วงฤดูกาล

ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือน เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลจากอ่างเก็บน้ำในปีฐาน (พ.ศ. 2548-2560) พบว่าในช่วงฤดูฝนหรือระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนพฤศจิกายนกรณีคาดการณ์ (Agri-Map) และ (Agri-Map) ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม มีค่าเฉลี่ย 3.916 และ 3.470 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ มีค่าสูงกว่าปีฐานที่มีค่าเฉลี่ย 4.291 ล้านลูกบาศก์เมตร เท่ากับ 0.375 และ 0.821 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 8.74 และ 19.13 ตามลำดับ ช่วงสิ้นสุดฤดูฝนระหว่างเดือนธันวาคมถึงเมษายน กรณีคาดการณ์ (Agri-Map) มีค่าเฉลี่ย 0.058 ล้านลูกบาศก์เมตร มีค่าต่ำกว่าปีฐานที่มีค่าเฉลี่ย 0.038 ล้านลูกบาศก์เมตร เท่ากับ 0.020 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 52.63 และ กรณีคาดการณ์ (Agri-Map) ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม มีค่าเฉลี่ย 0.090 ล้านลูกบาศก์เมตร มีค่าต่ำกว่าปีฐานที่มีค่าเฉลี่ย 0.038 ล้านลูกบาศก์เมตร เท่ากับ 0.052 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 136.84 ดังแสดงในตาราง 4.18 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนระหว่าง พ.ศ. 2561-2579 ที่คำนวณจากแบบจำลอง SWAT เปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนปีฐานจากอ่างเก็บน้ำ แสดงได้ดังภาพประกอบ 4.19 ซึ่งจะแสดงได้ชัดเจนว่าช่วงฤดูฝนระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนพฤศจิกายน ปริมาณน้ำท่าในกรณีคาดการณ์ Agri-Map จะมีค่าเฉลี่ยรายเดือนสูงกว่าข้อมูลปีฐาน เช่นเดียวกันกับกรณีคาดการณ์ Agri-Map ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม

ตาราง 4. 18 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนปีคาดการณ์และปีฐานตามช่วงฤดูกาล  
อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน

ช่วงเวลา	ช่วง พ.ค.-พ.ย. (ล้าน ลบ.ม.)			ช่วง ธ.ค.-เม.ย. (ล้าน ลบ.ม.)		
	ปริมาณเฉลี่ย	ปริมาณที่ต่างจากปีฐาน	คิดเป็น (%)	ปริมาณเฉลี่ย	ปริมาณที่ต่างจากปีฐาน	คิดเป็น (%)
ปีฐาน	4.291	-	-	0.038	-	-
ปีคาดการณ์ Agri-Map	3.916	0.375	8.74	0.058	0.020	52.63
ปีคาดการณ์ Agri-Map-Participation	3.470	0.821	19.13	0.090	0.052	136.84



ภาพประกอบ 4. 19 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนระหว่างผลการคำนวณจากแบบจำลองปีคาดการณ์และข้อมูลจากอ่างเก็บน้ำปีฐาน อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน

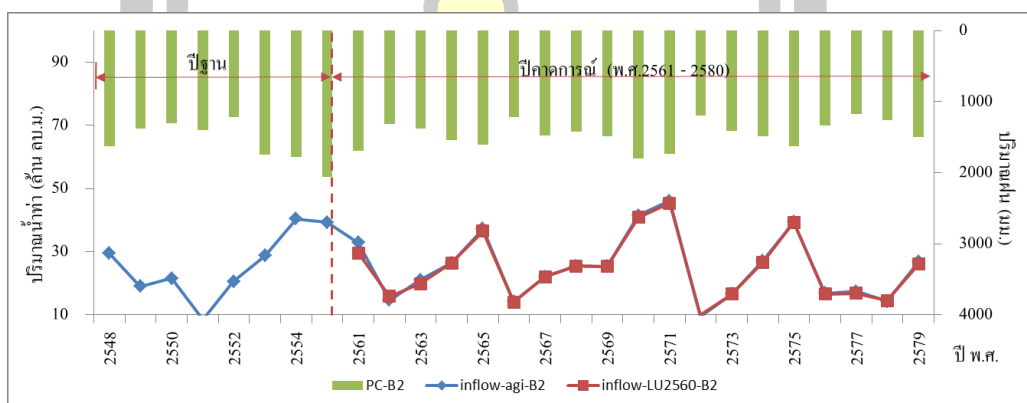
### 3) แนวโน้มปริมาณน้ำท่าในระยะยาว 19 ปี

ปริมาณน้ำท่ารายปีระหว่างปี พ.ศ. 2561-2579 ที่ได้จากอ่างเก็บน้ำและการคำนวณจากแบบจำลอง SWAT ได้แสดงในภาพประกอบ 4.20 และ 4.21 เพื่อแสดงให้เห็นความแตกต่างของปริมาณน้ำท่า ในกรณีที่มิได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต ข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2560 จะถูกทดลองใช้เพื่อเป็นตัวแทนสำหรับการคำนวณปริมาณน้ำท่าตลอดระยะเวลา 19 ปีอนาคต (พ.ศ. 2561-2579) มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการเปรียบเทียบและแสดงความแตกต่างกับปริมาณน้ำท่าที่ได้รับอิทธิพลจากการ

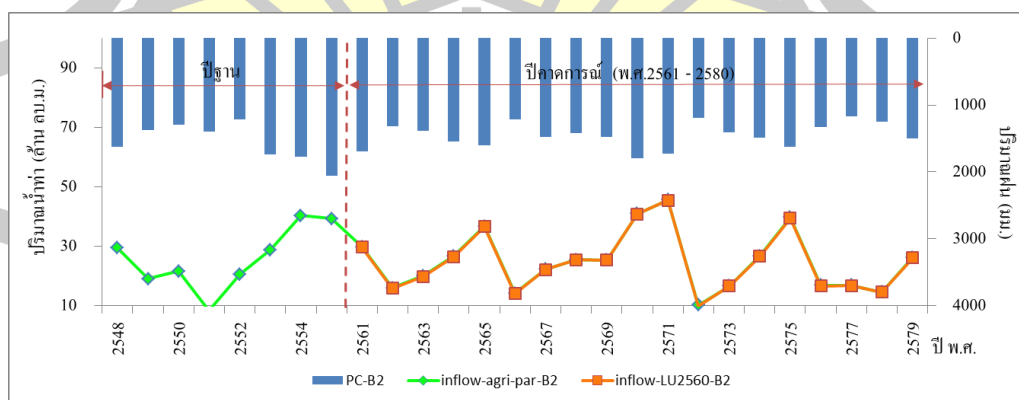


เปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างต่อเนื่อง โดยใช้เงื่อนไขเดียวกันคือการนำเข้าข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงในอนาคตที่ได้จากแบบจำลอง PRECIS กรณีคาดการณ์ B2 แบ่งเป็นกรณีคาดการณ์แผนที่ Agri-Map และ Agri-Map ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ลุ่มน้ำอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน

ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2560 พบว่าภายใต้กรณีคาดการณ์แบบ และ B2 มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีคือ 24.607 ล้านลูกบาศก์เมตร เมื่อเปลี่ยนแปลงข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินตามนโยบายของรัฐบาลในอนาคต 20 ปี แล้วนำไปผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีคือ 25.256 และ 25.099 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าข้อมูลการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2560 อยู่ที่ 0.649 ล้านลูกบาศก์เมตร (ร้อยละ 2.64) และ 0.492 ล้านลูกบาศก์เมตร (ร้อยละ 2.00) ตามลำดับ



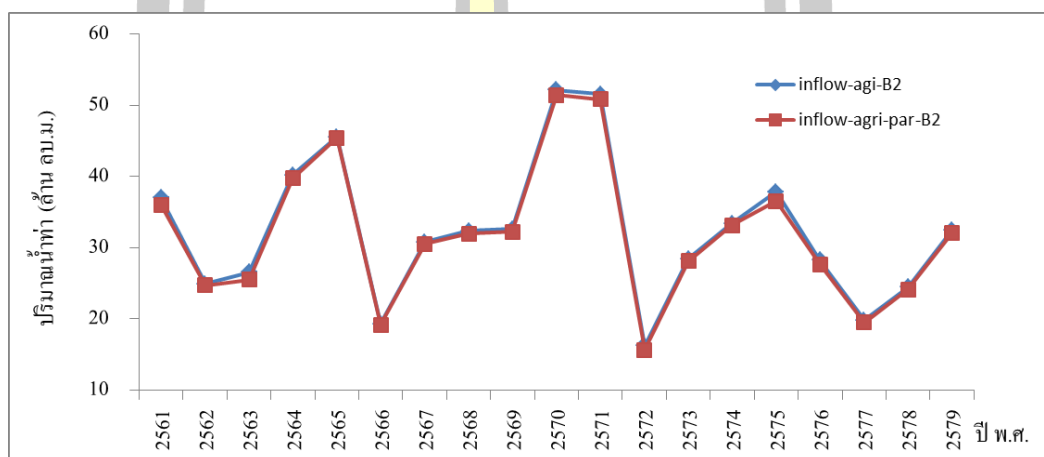
ภาพประกอบ 4. 20 ปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง กรณีคาดการณ์จากแผนที่ Agri-Map ระหว่าง พ.ศ. 2561-2579 อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน



ภาพประกอบ 4. 21 ปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง กรณีคาดการณ์จากแผนที่ Agri-Map ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม ระหว่าง พ.ศ. 2561-2579 อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน

#### 4.3.5 ปริมาณน้ำท่ารายปีที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในป้อนาคต

ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยเดือนที่คำนวณได้จากแบบจำลอง SWAT ณ ตำแหน่งของการไหลเข้าของน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ กรณีคาดการณ์ทั้งสองแบบ มีวัตถุประสงค์เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการสร้างเครื่องควบคุมอ่างเก็บน้ำในอนาคตต่อไป ผลการประเมินปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก และอ่างเก็บน้ำห้วยลึงโจนระหว่าง พ.ศ. 2561-2579 (19 ปี) โดยปริมาณน้ำท่ารายปีได้แสดงไว้ในตาราง 4.19 และ 4.20



ภาพประกอบ 4. 22 ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบกในอนาคต กรณีคาดการณ์จากแผนที่ Agri-Map และแผนที่ Agri-Map ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม

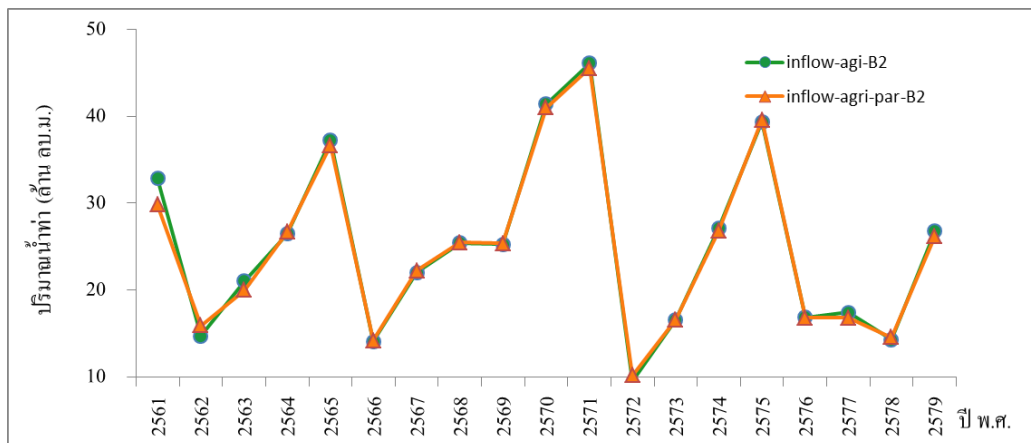


ตาราง 4. 19 ปริมาณน้ำท่ารายปีที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก ระหว่าง พ.ศ. 2561-2579 กรณี  
 คาดการณ์จากแผนที่ Agri-Map และแผนที่ Agri-Map ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม

พ.ศ.	ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)	
	Inflow AgriMap-B2	Inflow Agrimap-Parcipation-B2
2561	36.984	36.010
2562	24.899	24.716
2563	26.551	25.480
2564	40.153	39.723
2565	45.527	45.419
2566	19.238	19.133
2567	30.773	30.509
2568	32.334	31.931
2569	32.608	32.236
2570	52.105	51.382
2571	51.542	50.853
2572	16.169	15.608
2573	28.414	28.100
2574	33.365	33.129
2575	37.806	36.539
2576	28.188	27.643
2577	19.820	19.454
2578	24.436	24.134
2579	32.467	32.099

ตาราง 4. 20 ปริมาณน้ำท่ารายปีที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน ระหว่าง พ.ศ. 2561-2579 กรณี  
 คาดการณ์จากแผนที่ Agri-Map และแผนที่ Agri-Map ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม

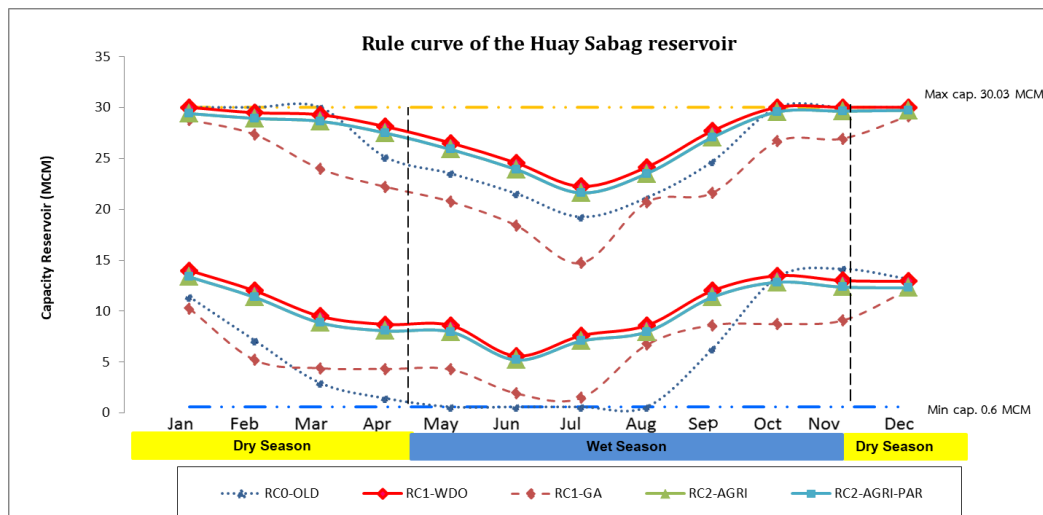
พ.ศ.	ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)	
	Inflow Agri-map-B2	Inflow Agri-map-Parcipation-B2
2561	32.834	29.824
2562	14.671	15.882
2563	21.035	19.993
2564	26.435	26.657
2565	37.233	36.644
2566	14.086	14.166
2567	22.027	22.208
2568	25.396	25.476
2569	25.278	25.348
2570	41.414	40.988
2571	46.110	45.553
2572	9.524	10.137
2573	16.590	16.601
2574	27.091	26.744
2575	39.373	39.589
2576	16.829	16.806
2577	17.414	16.803
2578	14.299	14.563
2579	26.780	26.191



ภาพประกอบ 4. 23 ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำห้วยสิงโจนในอนาคต กรณีคาดการณ์จากแผนที่ Agri-Map และแผนที่ Agri-Map ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม

#### 4.4 ผลการจัดทำโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมด้วยเทคนิค Wind driven optimization

ผลการจัดทำโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมด้วยเทคนิค WDO เชื่อมต่อกับแบบจำลองการเลียนแบบสถานการณ์อ่างเก็บน้ำโดยใช้ค่าการขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุดเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหา การจัดทำโค้งควบคุมจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ประเภทแรกจะใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากช่วงเวลาอดีต อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก ระหว่าง พ.ศ. 2539-2560 (22 ปี) และอ่างเก็บน้ำห้วยสิงโจน ระหว่าง พ.ศ. 2537-2560 (24 ปี) ซึ่งจะใช้สำหรับกรณีสถานการณ์น้ำเป็นปกติ แสดงด้วยสัญลักษณ์ RC1-WDO และประเภทที่สองจะใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าในช่วงเวลาอนาคตระหว่าง พ.ศ. 2561-2579 (19 ปี) โดยมีสถานการณ์ที่ปริมาณน้ำท่าได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกรณีคาดการณ์ B2 และการใช้ประโยชน์ที่ดินกรณีคาดการณ์จากแผนที่ Agri-Map และแผนที่ Agri-Map ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม แสดงด้วยสัญลักษณ์ RC2-AGRI และ RC2-AGRI-PAR ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การอธิบายลักษณะของโค้งควบคุมที่ได้จัดทำขึ้นใหม่นี้จะมีการนำไปเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิมที่ใช้งานอยู่ ณ เวลาปัจจุบัน หรือ RC1-OLD และโค้งใหม่ที่ค้นหาด้วยเทคนิค GA (RC1-GA) ที่มีประสิทธิภาพในการค้นหาโค้งควบคุมสูง เพื่อแสดงให้เห็นลักษณะรูปร่างที่มีความแตกต่าง รวมถึงการอธิบายประสิทธิภาพของโค้งควบคุมใหม่ที่มีความเหมาะสม การจัดทำโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมสำหรับอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบกและอ่างเก็บน้ำห้วยสิงโจน สามารถแสดงผลการศึกษาได้ดังต่อไปนี้



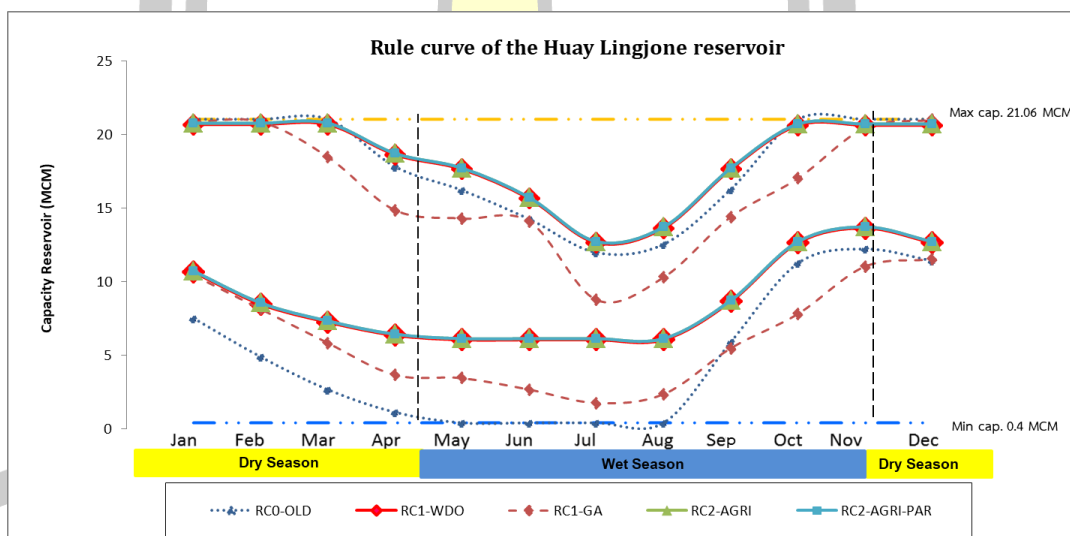
ภาพประกอบ 4. 24 โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก เชื่อมต่อกับแบบจำลองเลียนแบบสถานการณ์อ่างเก็บน้ำโดยพิจารณาความถี่ของการขาดแคลนน้อยที่สุด

ตาราง 4. 21 เกณฑ์การเก็บกักน้ำของอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบกโค้งควบคุมเดิม (RC0), พิจารณาความถี่ของการขาดแคลนน้อยที่สุดที่พัฒนาด้วย WDO และ GA จากข้อมูลในอดีต (RC1) และข้อมูลในอนาคต (RC2) (หน่วย: ล้าน ลบ.ม.)

เดือน	RC0-OLD		RC1-WDO		RC1-GA		RC2-AGRI		RC2-AGRI- -PAR	
	URC0	LRC0	URC1	LRC1	URC1	LRC1	URC2	LRC2	URC2-	LRC2-
	OLD	OLD	WDO	WDO	GA	GA	AGRI	AGRI	Par	Par
ม.ค.	30.03	11.41	30.03	14.00	28.81	10.26	29.42	13.36	29.42	13.36
ก.พ.	30.03	7.12	29.50	12.00	27.35	5.20	28.94	11.36	28.94	11.36
มี.ค.	30.03	2.95	29.30	9.50	23.99	4.39	28.66	8.86	28.66	8.86
เม.ย.	25.14	1.44	28.14	8.70	22.22	4.32	27.5	8.06	27.50	8.06
พ.ค.	23.53	0.60	26.53	8.60	20.76	4.27	25.89	7.96	25.89	7.96
มิ.ย.	21.57	0.60	24.57	5.60	18.42	1.92	23.93	5.2	23.93	5.20
ก.ค.	19.26	0.60	22.26	7.60	14.73	1.48	21.62	7.07	21.62	7.07
ส.ค.	21.16	0.60	24.16	8.60	20.72	6.70	23.52	7.96	23.52	7.96

ตาราง 4.21 เภณฑ์การเก็บกักน้ำของอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบกโค้งควบคุมเดิม (RC0), พิจารณาความถี่ของการขาดแคลนน้ำที่พัฒนาด้วย WDO และ GA จากข้อมูลในอดีต (RC1) และข้อมูลในอนาคต (RC2) (หน่วย: ล้าน ลบ.ม.) (ต่อ)

เดือน	RC0-OLD		RC1-WDO		RC1-GA		RC2-AGRI		RC2-AGRI- -PAR	
	URC0	LRC0	URC1	LRC1	URC1	LRC1	URC2	LRC2	URC2- AGRI- Par	LRC2- AGRI- Par
	- OLD	- OLD	- WDO	- WDO	- GA	- GA	- AGRI	- AGRI		
ก.ย.	24.70	6.27	27.70	12.00	21.61	8.63	27.06	11.36	27.06	11.36
ต.ค.	30.03	13.35	30.03	13.48	26.69	8.74	29.58	12.84	29.58	12.84
พ.ย.	30.03	14.15	30.03	13.00	26.96	9.09	29.65	12.36	29.65	12.36
ธ.ค.	30.03	13.17	30.03	12.94	29.17	12.10	29.73	12.3	29.73	12.30



ภาพประกอบ 4. 25 โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจนกับแบบจำลองเลียนแบบสถานการณ์อ่างเก็บน้ำโดยพิจารณาความถี่ของการขาดแคลนน้ำที่ต่ำสุด

ตาราง 4. 22 เกณฑ์การเก็บกักน้ำของอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจนโค้งควบคุมเดิม (RC0), พิจารณาค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำที่ต่ำที่สุดที่พัฒนาด้วย WDO และ GA จากข้อมูลในอดีต (RC1) และข้อมูลในอนาคต (RC2) (หน่วย: ล้าน ลบ.ม.)

เดือน	RC0-OLD		RC1-WDO		RC1-GA		RC2-AGRI		RC2-AGRI- -PAR	
	URC0 - OLD	LRC0 - OLD	URC1 - WDO	LRC1 - WDO	URC1 - GA	LRC1 - GA	URC2 - AGRI	LRC2 - AGRI	URC2- AGRI- Par	LRC2- AGRI- Par
ม.ค.	21.06	7.52	20.70	10.65	20.89	10.44	20.79	10.73	20.79	10.73
ก.พ.	21.06	4.89	20.70	8.47	20.88	8.14	20.79	8.56	20.79	8.56
มี.ค.	21.06	2.66	20.70	7.25	18.49	5.83	20.79	7.33	20.79	7.33
เม.ย.	17.83	1.12	18.65	6.35	14.87	3.65	18.73	6.43	18.73	6.43
พ.ค.	16.22	0.40	17.65	6.05	14.30	3.44	17.73	6.13	17.73	6.13
มิ.ย.	14.26	0.40	15.65	6.05	14.10	2.66	15.73	6.13	15.73	6.13
ก.ค.	11.98	0.40	12.65	6.05	8.76	1.75	12.73	6.13	12.73	6.13
ส.ค.	12.55	0.40	13.65	6.05	10.30	2.35	13.73	6.13	13.73	6.13
ก.ย.	16.29	5.90	17.65	8.65	14.41	5.48	17.73	8.73	17.73	8.73
ต.ค.	21.06	11.26	20.65	12.65	17.03	7.81	20.73	12.73	20.73	12.73
พ.ย.	21.06	12.23	20.65	13.65	20.47	11.04	20.73	13.73	20.73	13.73
ธ.ค.	21.06	11.43	20.65	12.65	21.01	11.52	20.73	12.73	20.73	12.73

4.4.1 โค้งควบคุมที่สร้างจากข้อมูลในอดีต (Historical Rule Curve, RC1-NEW) กรณีพิจารณาเกิดการขาดแคลนน้ำที่ต่ำที่สุด

โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่สร้างจากเทคนิค WDO เชื่อมต่อการจำลองสถานการณ์อ่างเก็บน้ำโดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าในอดีตระหว่าง พ.ศ. 2537-2559 (อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก) และ พ.ศ. 2539-2559 (อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก) มีค่าปริมาณน้ำเก็บกักของโค้งควบคุมบนและโค้งควบคุมล่างดังแสดงในตาราง 4.21 ซึ่งพบว่าโค้งควบคุมใหม่ มีลักษณะรูปร่างที่ลู่ไปกับโค้งควบคุมเดิมที่ใช้งานอยู่ ซึ่งมีบางค่าที่แตกต่างกัน แต่การลู่ขึ้นลู่ลงไปในทิศทางเดียวกัน สามารถอธิบายลักษณะและรายละเอียดได้ดังนี้

1) โค้งควบคุมบน (Upper Rule Curve, URC0-OLD) ลักษณะของเส้นโค้ง URC1-GA จะมีแนวโน้มเกณฑ์การเก็บกักที่ต่ำกว่า URC0-OLD ในช่วงระหว่างเดือน



พฤศจิกายน-สิงหาคม อธิบายเกณฑ์ในช่วงนี้ได้ว่า URC1-GA มีความต้องการลดปริมาตรเก็บกักน้ำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บกักน้ำจากปริมาณฝนและปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูฝน สามารถรองรับปริมาณน้ำหลากได้ดีขึ้นเพื่อลดการไหลล้นของน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำและในช่วงเดือน กันยายน-ตุลาคม URC1-WDO จะมีแนวโน้มเกณฑ์การเก็บกักที่สูงกว่า RC0-OLD อธิบายเกณฑ์ ในช่วงนี้ได้ว่า URC1-WDO มีความต้องการเพิ่มปริมาตรเก็บกักน้ำเพื่อให้มีน้ำไว้ใช้ในช่วงฤดูแล้ง เพิ่มขึ้น ลดปริมาณการปล่อยน้ำ ซึ่งจะช่วยให้พื้นที่ท้ายน้ำลดความเสี่ยงที่จะเกิดภัยน้ำท่วม และที่สำคัญที่สุดสำหรับการตอบโจทย์วัตถุประสงค์หลักของการสร้างโค้งควบคุมใหม่ ที่ต้องการให้เกิดเหตุการณ์ขาดแคลนของปริมาณน้ำเฉลี่ยน้อยที่สุด โดยโค้ง URC1-WDO จะทำให้อ่างเก็บน้ำมีปริมาณน้ำเก็บกักเพิ่มขึ้นสูงกว่า RC0-OLD ในช่วงสิ้นฤดูฝนเดือนกันยายน ซึ่งจะส่งผลให้มีปริมาณน้ำที่เพียงพอต่อการใช้งานสำหรับในช่วงฤดูแล้ง สอดคล้องกับเกณฑ์โค้งควบคุมล่างของ URC1-WDO ที่มีความต้องการให้เก็บน้ำไว้ในอ่างเพิ่มขึ้นทำให้ยังมีน้ำเพียงพอสำหรับใช้ในช่วงฤดูแล้ง

2) โค้งควบคุมล่าง (Lower Rule Curve, LRC0-OLD) แสดงให้เห็นถึงในช่วงต้นฤดูแล้งตั้งแต่เดือนมกราคม-เมษายน LRC0-OLD แสดงเกณฑ์การเก็บกักน้ำมีค่าที่ต่ำกว่า LRC1-WDO, LRC1-GA โดยมีค่าต่ำกว่า อธิบายได้ว่าอ่างเก็บน้ำสามารถเก็บน้ำได้มากกว่าเกณฑ์เดิม ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มโอกาสที่ปริมาณน้ำจะมีความเพียงพอต่อความต้องการมากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง

4.4.2 โค้งควบคุมที่สร้างจากข้อมูลในอนาคต (Future Rule Curve, RC2) กรณีพิจารณาเกิดการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด

RC2 คือโค้งควบคุมที่สร้างจากข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตระหว่าง พ.ศ. 2561-2579 (19 ปี) กรณีคาดการณ์แผนที่ Agri-Map (RC2-AGRI), กรณีคาดการณ์แผนที่ Agri-Map ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม (RC2-AGRI-PAR) โดยเทคนิค WDO เชื่อมต่อกับแบบจำลองเลียนแบบสถานการณ์อ่างเก็บน้ำ สามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

1) โค้งควบคุมบน (URC2) จากการพิจารณาพบว่าโค้งใหม่กรณี URC2-AGRI, URC2-AGRI-PAR จะมีปริมาณการเก็บกักไปในแนวทางเดียวกันกับโค้ง URC0-OLD แต่ในช่วงฤดูแล้งสำหรับเดือน เมษายน-กรกฎาคม โค้งใหม่กรณี URC2-AGRI, URC2-AGRI-PAR อยู่สูงกว่าโค้งควบคุม URC0-OLD ทำให้มีปริมาณกักเก็บน้ำมากขึ้น ทำให้น้ำเพียงพอสำหรับส่งให้พื้นที่เพาะปลูกและสามารถเพิ่มพื้นที่ชลประทานได้ในอนาคต ทำให้มีปริมาณน้ำมากขึ้นไว้ใช้ในช่วงฤดูแล้ง

2) โค้งควบคุมล่าง (LRC2) โค้ง LRC2-AGRI, LRC2-AGRI-PAR จะมีลักษณะเกณฑ์กักเก็บน้ำอยู่ในระดับสูงกว่าเกณฑ์เดิมหรือ RC0-OLD ทำให้มีน้ำสำหรับส่งให้พื้นที่เพาะปลูกได้มากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งทำให้มีพื้นที่กักเก็บน้ำได้มากขึ้น หมายถึงอ่างเก็บน้ำสามารถ

ปล่อยน้ำได้เพิ่มมากขึ้นกว่าโค้งเดิม ทำให้ตอบสนองความต้องการใช้น้ำในเขตพื้นที่ชลประทานมากขึ้น ในช่วงฤดูแล้ง เป็นการเพิ่มการเก็บกักในช่วงฤดูฝนทำให้น้ำไว้ใช้ในฤดูแล้งเพิ่มขึ้น

#### 4.5 ผลการประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ

การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการทดสอบการทำงาน of โค้งควบคุมเพื่อที่จะรู้ถึงผลลัพธ์ว่าสามารถรองรับกับสถานการณ์น้ำที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากความไม่แน่นอนต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นช่วงเวลาในอดีตที่ผ่านมา หรืออาจจะเกิดในอนาคต วิธีการประเมินจะเป็นการหาค่าตอบของควมถี่ในการขาดแคลนน้ำ ความถี่ในการไหลล้น ปริมาณเฉลี่ย และช่วงเวลาของการเกิดสถานการณ์ โดยเปรียบเทียบการทำงานของโค้งควบคุมใหม่กับโค้งควบคุมที่ใช้อยู่ปัจจุบัน สำหรับเหตุการณ์ที่นำมาทดสอบโค้งควบคุม ประกอบด้วย

##### 4.5.1 อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก

1) สถานการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนในอดีต ระหว่าง พ.ศ. 2539-2560 จำนวน 22 ปี โดยแบ่งออกเป็น

1.1) ปริมาณน้ำท่ารายเดือนในอดีต จำนวน 1 ชุดเหตุการณ์

1.2) ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่สังเคราะห์จากข้อมูลในอดีต จำนวน 1,000 ชุดเหตุการณ์

2) สถานการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนในอนาคต ระหว่าง พ.ศ. 2561-2579 จำนวน 19 ปี กรณีการเปลี่ยนแปลงของก๊าซเรือนกระจก B2 โดยแบ่งออกเป็น

2.1) ปริมาณน้ำท่ารายเดือนในอนาคต กรณีคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน Agri-Map จำนวน 1 ชุดเหตุการณ์

2.2) ปริมาณน้ำท่ารายเดือนในอนาคต กรณีคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน Agri-Map ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วมจำนวน 1 ชุดเหตุการณ์

4.5.1.1 ผลการประเมินโค้งควบคุมด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากช่วงเวลาอดีตระหว่าง พ.ศ. 2537-2560 จำนวน 22 ปี จำนวน 1 ชุดเหตุการณ์ โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด

ผลการประเมินได้แสดงได้ดังตาราง 4.23 จะเห็นได้ว่าทุกโค้งควบคุม เมื่อนำมาประเมินประสิทธิภาพแล้วไม่เกิดสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริงของอ่างเก็บน้ำที่ไม่มีการเกิดสถานการณ์การขาดแคลนน้ำขึ้น ดังนั้นจึงมาดูที่ผลของการลด

ปริมาณการไหลล้นของโค้งควบคุม โดยการประเมินระหว่าง RC0-OLD และ RC1-WDO, RC1-GA ซึ่งเป็นโค้งควบคุมที่ถูกสร้างขึ้นจากปริมาณน้ำทำในอดีตเหมือนกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าทุกโค้งควบคุม มีค่าความถี่ของการไหลล้นของน้ำ 1 ครั้งต่อปี แต่มีปริมาณน้ำไหลล้นเฉลี่ยแตกต่างกัน ซึ่งโค้งควบคุม RC0-OLD มีค่าการไหลล้นเฉลี่ย 3.991 ล้านลูกบาศก์เมตร สูงกว่าค่าของการใช้โค้งควบคุม RC1-WDO, RC2-AGRI, RC2-AGRI-PAR ที่มีค่าปริมาณน้ำไหลล้นเฉลี่ย 3.973 ล้านลูกบาศก์เมตร และ โค้งควบคุม RC1-GA ที่มีค่าปริมาณน้ำไหลล้นเฉลี่ย 3.159 ล้านลูกบาศก์เมตร และ จากผลลัพธ์เหล่านี้สามารถอธิบายได้ว่าโค้งควบคุม RC1-GA ที่ถูกสร้างจากเทคนิค GAs นั้น มีประสิทธิภาพที่ดีและเหมาะสมกับเหตุการณ์สถานการณ์ น้ำปกติ สามารถลดความถี่การไหลล้นได้ดีกว่าโค้งควบคุมที่ใช้งานอยู่ในช่วงเวลาปัจจุบันหรือ RC0-OLD

หากนำมาประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุม พบว่าประสิทธิภาพของโค้งควบคุม RC1-GA มีประสิทธิภาพดีที่สุด รองลงมาคือโค้งควบคุม RC1-WDO, RC1-GA, RC2-AGRI, RC2-AGRI-PAR และ RC0-OLD มีประสิทธิภาพด้อยที่สุด

ตาราง 4. 23 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลส่วนเกินของโค้งควบคุม RC0-OLD, RC1-WDO, RC1-GA, RC2-AGRI และ RC2-AGRI-PAR ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำในอดีต 22 ปี 1 ชุดเหตุการณ์ โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้อยที่สุด

สถานการณ์	โค้งควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
ขาดแคลน	RC0-OLD	0	0.000	0.000	0	0
	RC1-WDO	0	0.000	0.000	0	0
	RC1-GA	0	0.000	0.000	0	0
	RC2-AGRI	0	0.000	0.000	0	0
	RC2-AGRI-PAR	0	0.000	0.000	0	0
น้ำไหล ส่วนเกิน	RC0-OLD	1	3.991	6.491	22	22
	RC1-WDO	1	3.973	6.491	22	22
	RC1-GA	1	3.159	5.659	22	22
	RC2-AGRI	1	3.973	6.491	22	22
	RC2-AGRI-PAR	1	3.973	6.491	22	22

4.5.1.2 ผลการประเมินโค้งควบคุมด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สังเคราะห์ข้อมูลในอดีต 22 ปี (ระหว่าง พ.ศ. 2539-2560) จำนวน 1,000 ชุดเหตุการณ์ โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด

ผลการประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่าในอดีตสังเคราะห์ จำนวน 1,000 ชุดเหตุการณ์ ดังแสดงในตาราง 4.22 ให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับการประเมินในข้อ 4.5.1 คือไม่เกิดสถานการณ์การขาดแคลนนํ้าในอ่างเก็บน้ำ แต่เมื่อนำมาประเมินกับสถานการณ์น้ำ 1,000 เหตุการณ์นี้ พบว่า โค้งควบคุม RC2-AGRI และ RC2-AGRI-PAR มีประสิทธิภาพลดการไหลล้นลดลง เทียบเท่ากับโค้งควบคุม RC1-WDO การไหลล้นเฉลี่ยเท่ากับ 3.976 หรืออธิบายได้ว่าโค้งควบคุม RC1-GA สามารถลดปริมาณน้ำไหลส่วนเกินเฉลี่ยเหลือ 3.159 จาก 3.990 ล้านลูกบาศก์เมตร

หากนำมาประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุม พบว่าประสิทธิภาพของโค้งควบคุม RC1-GA มีประสิทธิภาพดีที่สุดใน รองลงมาคือโค้งควบคุม RC1-WDO, RC1-GA, RC2-AGRI, RC2-AGRI-PAR และ RC0-OLD มีประสิทธิภาพด้อยที่สุด

ตาราง 4. 24 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลส่วนเกินของโค้งควบคุม RC0-OLD, RC1-WDO, RC1-GA, RC2-AGRI และ RC2-AGRI-PAR ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่าในอดีต 22 ปี 1,000 ชุดเหตุการณ์ โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด

สถานการณ์	โค้งควบคุม		ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
				เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
ขาดแคลน	RC0-OLD	$\mu$	0	0	0	0	0
		$\sigma$	0	0	0	0	0
	RC1-WDO	$\mu$	0	0	0	0	0
		$\sigma$	0	0	0	0	0
	RC1-GA	$\mu$	0	0	0	0	0
		$\sigma$	0	0	0	0	0
	RC2-AGRI	$\mu$	0	0	0	0	0
		$\sigma$	0	0	0	0	0
	RC2-AGRI-PAR	$\mu$	0	0	0	0	0
		$\sigma$	0	0	0	0	0

ตาราง 4.24 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลส่วนเกินของโค้งควบคุม RC0-OLD, RC1-WDO, RC1-GA, RC2-AGRI และ RC2-AGRI-PAR ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำในอดีต 22 ปี 1,000 ชุดเหตุการณ์ โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้อยที่สุด (ต่อ)

สถานการณ์	โค้งควบคุม		ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
				เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
น้ำไหลส่วนเกิน	RC0-OLD	μ	1	3.990	6.491	22	22
		σ	0	0.006	0.000	0	0
	RC1-WDO	μ	1	3.976	6.491	22	22
		σ	0	0.011	0.000	0	0
	RC1-GA	μ	1	3.159	5.659	22	22
		σ	0	0.000	0.000	0	0
	RC2-AGRI	μ	1	3.976	6.491	22	22
		σ	0	0.011	0.000	0	0
	RC2-AGRI-PAR	μ	1	3.976	6.491	22	22
		σ	0	0.011	0.000	0	0

4.5.1.3 ผลการประเมินโค้งควบคุมด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำในอนาคตรหว่าง พ.ศ. 2561-2579 จากแบบจำลอง SWAT กรณิศาคาการณ์แผนที่ Agri-Map และแผนที่ Agri-Map ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม อย่างละ 1 ชุดเหตุการณ์ โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้อยที่สุด การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมในส่วนนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการแสดงให้เห็นถึงการใช้งานโค้งควบคุมในสถานการณ์อนาคตที่ถูกจัดสร้างขึ้นจากข้อมูลปริมาณน้ำทำที่ได้จากแบบจำลอง SWAT ในกรณิศาคาการณ์เดียวกัน กรณิศาคาการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบ B2 กับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน Agri-Map คือโค้งควบคุม RC2-AGRI และโค้งควบคุม RC2-AGRI และข้อมูลปริมาณน้ำทำในกรณิศาคาการณ์ B2 กับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน Agri-Map ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม คือโค้งควบคุม RC2-AGRI-PAR จะถูกประเมินประสิทธิภาพด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำอนาคตทั้ง 2 กรณี โดยจะประเมินร่วมกับโค้งควบคุม RC1-GA, RC1-WDO และ RC0-OLD ซึ่งผลการประเมินได้แสดงในตาราง 4.25 และตาราง 4.26 ตามลำดับ

ผลการประเมินโค้งควบคุมพบว่าทั้งสองสถานการณ์น้ำทำ ได้ค่าการประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมเท่ากันคือ ในสถานการณ์น้ำทำในอนาคตทั้งสองกรณี ก็ยังไม่เกิด

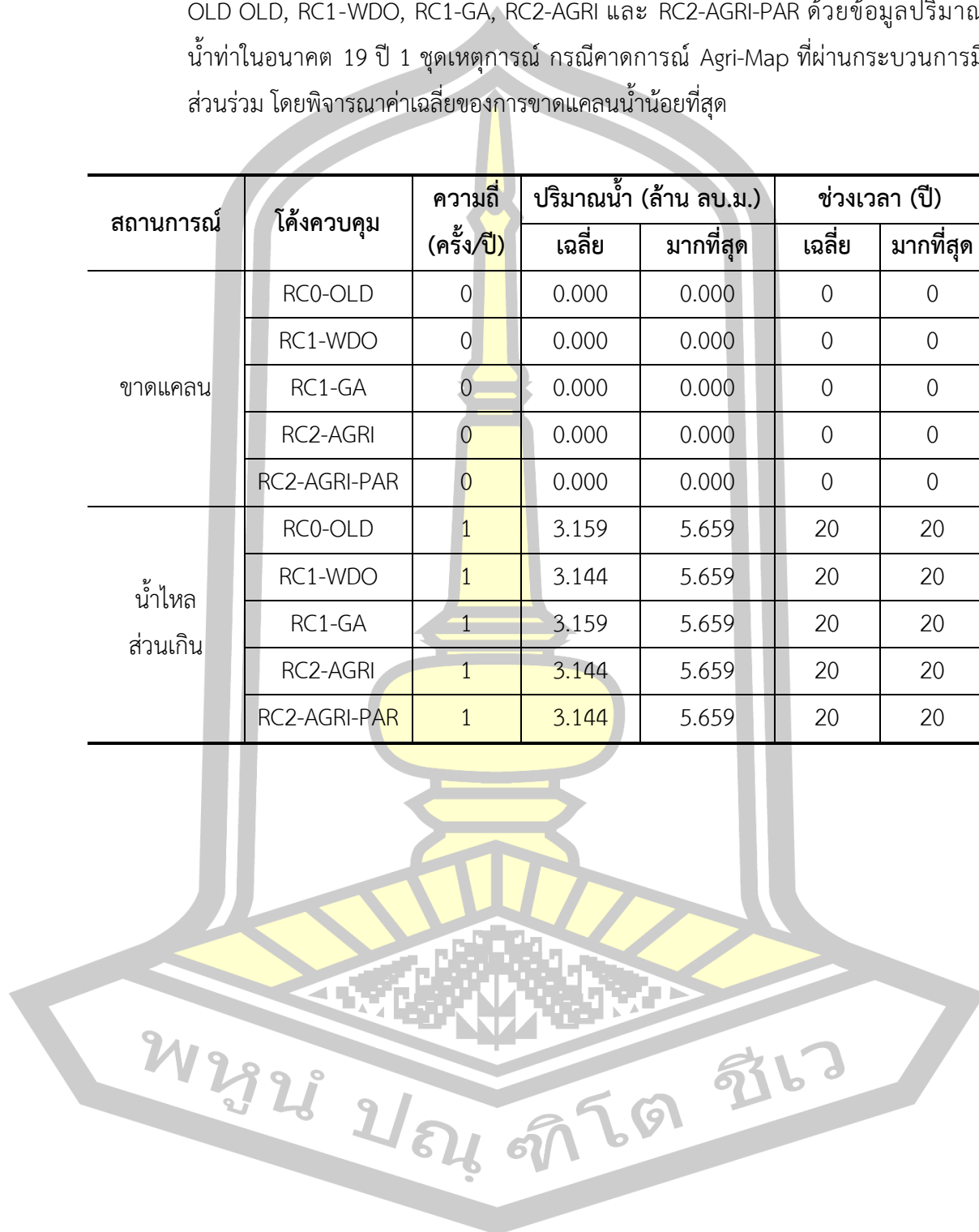
สถานการณ์การขาดแคลนน้ำ จึงมาพิจารณาสถานการณ์การไหลล้น พบว่าในสถานการณ์น้ำทำ  
อนาคตทั้งสองแบบ โค้งควบคุม RC1-GA มีประสิทธิภาพในการลดค่าเฉลี่ยการไหลล้นเท่ากับ 3.144  
ล้านลูกบาศก์เมตร จาก RC0-OLD ซึ่งมีค่าเฉลี่ยการไหลล้นเท่ากับ 3.159 ล้านลูกบาศก์เมตร และโค้ง  
ควบคุม RC1-WDO, RC2-AGRI และ RC2-AGRI-PAR มีประสิทธิภาพในการลดค่าเฉลี่ยการไหลล้น  
เท่ากับ 3.144 จะเห็นได้ว่าโค้งควบคุมที่สร้างจากสถานการณ์น้ำทำอนาคต จะสามารถบรรเทา  
สถานการณ์อ่างเก็บน้ำได้ดีกว่าโค้งควบคุมที่สร้างจากสถานการณ์น้ำทำอดีต จึงมีความเหมาะสมที่  
จะนำไปใช้ค้นหาโค้งควบคุมที่มีประสิทธิภาพ

ตาราง 4. 25 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลส่วนเกินของโค้งควบคุม RC0-  
OLD, RC1-WDO, RC1-GA, RC2-AGRI และ RC2-AGRI-PAR ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำใน  
อนาคต 19 ปี 1 ชุดเหตุการณ์ กรณีคาดการณ์ Agri-Map ที่โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยของการ  
ขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด

สถานการณ์	โค้งควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
ขาดแคลน	RC0-OLD	0	0.000	0.000	0	0
	RC1-WDO	0	0.000	0.000	0	0
	RC1-GA	0	0.000	0.000	0	0
	RC2-AGRI	0	0.000	0.000	0	0
	RC2-AGRI-PAR	0	0.000	0.000	0	0
น้ำไหล ส่วนเกิน	RC0-OLD	1	3.159	5.659	20	20
	RC1-WDO	1	3.144	5.659	20	20
	RC1-GA	1	3.159	5.659	20	20
	RC2-AGRI	1	3.144	5.659	20	20
	RC2-AGRI-PAR	1	3.144	5.659	20	20

ตาราง 4. 26 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลส่วนเกินของโค้งควบคุมRC0-OLD OLD, RC1-WDO, RC1-GA, RC2-AGRI และ RC2-AGRI-PAR ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำในอนาคต 19 ปี 1 ชุดเหตุการณ์ กรณีคาดการณ์ Agri-Map ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด

สถานการณ์	โค้งควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
ขาดแคลน	RC0-OLD	0	0.000	0.000	0	0
	RC1-WDO	0	0.000	0.000	0	0
	RC1-GA	0	0.000	0.000	0	0
	RC2-AGRI	0	0.000	0.000	0	0
	RC2-AGRI-PAR	0	0.000	0.000	0	0
น้ำไหล ส่วนเกิน	RC0-OLD	1	3.159	5.659	20	20
	RC1-WDO	1	3.144	5.659	20	20
	RC1-GA	1	3.159	5.659	20	20
	RC2-AGRI	1	3.144	5.659	20	20
	RC2-AGRI-PAR	1	3.144	5.659	20	20



#### 4.5.2 อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน

1) สถานการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนในอดีต ระหว่าง พ.ศ. 2537-2560 จำนวน 24 ปี โดยแบ่งออกเป็น

- 1.1) ปริมาณน้ำท่ารายเดือนในอดีต จำนวน 1 ชุดเหตุการณ์
- 1.2) ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่สังเคราะห์จากข้อมูลในอดีต จำนวน 1,000 ชุดเหตุการณ์

2) สถานการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนในอนาคต ระหว่าง พ.ศ. 2561-2579 จำนวน 19 ปี กรณีการเปลี่ยนแปลงของก๊าซเรือนกระจก B2 โดยแบ่งออกเป็น

- 2.1) ปริมาณน้ำท่ารายเดือนในอนาคต กรณีคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน Agri-Map จำนวน 1 ชุดเหตุการณ์
- 2.2) ปริมาณน้ำท่ารายเดือนในอนาคต กรณีคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน Agri-Map ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วมจำนวน 1 ชุดเหตุการณ์

4.5.2.1 ผลการประเมินโค้งควบคุมด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากช่วงเวลาอดีตระหว่าง พ.ศ. 2539-2560 จำนวน 24 ปี จำนวน 1 ชุดเหตุการณ์ โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด

ผลการประเมินได้แสดงได้ดังตาราง 4.8 โดยการประเมินระหว่าง RC0-OLD, RC1-WDO และ RC1-GA ซึ่งเป็นโค้งควบคุมที่ถูกสร้างขึ้นจากปริมาณน้ำท่าในอดีตเหมือนกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าโค้งควบคุม RC1-WDO มีค่าความถี่ของการขาดแคลนของน้ำ 0.458 ครั้งต่อปี ปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ย 2.167 ล้านลูกบาศก์เมตร ต่ำกว่าค่าของการใช้โค้งควบคุม RC0-OLD หรือโค้งควบคุมเดิมที่มีค่าเท่ากับ 0.792 ครั้งต่อปี ปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ย 4.917 ล้านลูกบาศก์เมตร จากผลลัพธ์เหล่านี้สามารถอธิบายได้ว่าโค้งควบคุม RC1-WDO ที่ถูกสร้างจากเทคนิค WDO นั้น มีประสิทธิภาพที่ดีและเหมาะสมกับเหตุการณ์สถานการณ์น้ำปกติ สามารถลดความถี่การขาดแคลนและการไหลล้นได้ดีกว่าโค้งควบคุมที่ใช้งานอยู่ในช่วงเวลาปัจจุบันหรือ RC0-OLD และโค้งควบคุมจากการค้นหาด้วยเทคนิค GA อีกด้วย

หากนำมาประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุม RC1-WDO กับโค้งควบคุม RC2-AGRI และ RC2-AGRI-PAR ยังพบว่าประสิทธิภาพของโค้งควบคุมทั้งสามโค้ง มีประสิทธิภาพดีที่สุดใน



ตาราง 4. 27 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลส่วนเกินของโค้งควบคุม RC0-OLD, RC1-WDO, RC1-GA, RC2-AGRI และ RC2-AGRI-PAR ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำในอดีต 24 ปี 1 ชุดเหตุการณ์ โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้อยที่สุด

สถานการณ์	โค้งควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
ขาดแคลน	RC0-OLD	0.792	4.917	12.000	3.800	8.000
	RC1-WDO	0.458	2.167	11.000	2.200	3.000
	RC1-GA	0.542	2.250	11.000	3.250	6.000
	RC2-AGRI	0.458	2.167	11.000	2.200	3.000
	RC2-AGRI-PAR	0.458	2.167	11.000	2.200	3.000
น้ำไหล ส่วนเกิน	RC0-OLD	0.958	9.191	15.857	11.500	22.000
	RC1-WDO	0.875	6.484	13.705	5.250	12.000
	RC1-GA	0.917	6.684	13.705	7.330	14.000
	RC2-AGRI	0.875	6.480	13.705	5.250	12.000
	RC2-AGRI-PAR	0.875	6.480	13.705	5.250	12.000

4.4.2 ผลการประเมินโค้งควบคุมด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำที่สังเคราะห์ข้อมูลในอดีต 24 ปี (ระหว่าง พ.ศ. 2537-2560) จำนวน 1,000 ชุดเหตุการณ์ โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้อยที่สุด

ผลการประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำในอดีตสังเคราะห์ จำนวน 1,000 ชุดเหตุการณ์ ดังแสดงในตาราง 4.28 ให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับการประเมินในข้อ 4.5.2.1 หรืออธิบายได้ว่าโค้งควบคุม RC1-WDO มีค่าความถี่ของการขาดแคลนของน้ำ 0.513 ครั้งต่อปี ปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ย 2.532 ล้านลูกบาศก์เมตร ต่ำกว่าค่าของการใช้โค้งควบคุม RC0-OLD หรือโค้งควบคุมเดิมที่มีค่าเท่ากับ 0.717 ครั้งต่อปี ปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ย 4.599 ล้านลูกบาศก์เมตร จากผลลัพธ์เหล่านี้สามารถอธิบายได้ว่าโค้งควบคุม RC1-WDO ที่ถูกสร้างจากเทคนิค WDO นั้น มีประสิทธิภาพที่ดีและเหมาะสมกับเหตุการณ์สถานการณ์น้ำปกติ สามารถลดความถี่การขาดแคลนและการไหลล้นได้ดีกว่าโค้งควบคุมที่ใช้งานอยู่ในช่วงเวลาปัจจุบันหรือ RC0-OLD และโค้งควบคุมจากการค้นหาด้วยเทคนิค GA อีกด้วย

ตาราง 4. 28 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลส่วนเกินของโค้งควบคุม RC0-OLD, RC1-WDO, RC1-GA, RC2-AGRI และ RC2-AGRI-PAR ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำในอดีต 24 ปี 1,000 ชุดเหตุการณ์ โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้อยที่สุด

สถานการณ์	โค้งควบคุม		ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)		
				เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด	
ขาดแคลน	RC0-OLD	μ	0.717	4.599	10.819	5.388	9.433	
		σ	0.137	1.041	2.506	3.422	4.074	
	RC1-WDO	μ	0.513	2.532	10.432	3.615	6.111	
		σ	0.147	0.964	2.805	1.959	2.808	
	RC1-GA	μ	0.532	2.640	10.517	3.852	6.500	
		σ	0.148	0.978	2.935	2.080	2.951	
	RC2-AGRI	μ	0.513	2.533	10.437	3.623	6.126	
		σ	0.147	0.964	2.821	1.976	2.840	
	RC2-AGRI-PAR	μ	0.513	2.533	10.437	3.623	6.126	
		σ	0.147	0.964	2.821	1.976	2.840	
	น้ำไหลส่วนเกิน	RC0-OLD	μ	0.958	9.621	15.725	15.902	19.105
			σ	0.046	1.526	0.509	7.160	4.987
RC1-WDO		μ	0.836	7.527	15.569	6.894	11.895	
		σ	0.083	1.751	0.926	4.327	4.740	
RC1-GA		μ	0.861	7.796	15.564	7.684	12.702	
		σ	0.077	1.719	0.872	4.800	4.883	
RC2-AGRI		μ	0.836	7.526	15.572	6.878	11.891	
		σ	0.083	1.751	0.916	4.301	4.730	
RC2-AGRI-PAR		μ	0.836	7.526	15.572	6.878	11.891	
		σ	0.083	1.751	0.916	4.301	4.730	

4.5.2.3 ผลการประเมินโค้งควบคุมด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่าในอนาคตรหว่าง พ.ศ. 2561-2579 ที่วิเคราะห์จากแบบจำลอง SWAT กรณีคาดการณ์แผนที่ Agri-Map และแผนที่ Agri-Map ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม อย่างละ 1 ชุดเหตุการณ์ โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด

การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมในส่วนนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการแสดงให้เห็นถึงการใช้งานโค้งควบคุมในสถานการณ์อนาคตที่ถูกจัดสร้างขึ้นจากข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง SWAT ในกรณีคาดการณ์เดียวกัน กรณีคาดการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบ B2 กับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน Agri-Map คือโค้งควบคุม RC2-AGRI และโค้งควบคุม RC2-AGRI และข้อมูลปริมาณน้ำท่าในกรณีคาดการณ์ B2 กับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน Agri-Map ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม คือโค้งควบคุม RC2-AGRI-PAR จะถูกประเมินประสิทธิภาพด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่าอนาคตทั้ง 2 กรณี โดยจะประเมินร่วมกับโค้งควบคุม RC1-GA, RC1-WDO และ RC0-OLD ซึ่งผลการประเมินได้แสดงในตาราง 4.29 และตาราง 4.30 ตามลำดับ

ผลการประเมินโค้งควบคุม RC2-AGRI, RC2-AGRI-PAR, RC0-OLD, RC1-WDO และ RC1-GA สำหรับสถานการณ์การคาดการณ์แผนที่ Agri-Map ในกรณีน้ำขาดแคลนน้อยที่สุด พบว่า RC1-WDO, RC2-AGRI, RC2-AGRI-PAR จะให้ค่าความถี่, ค่ามากที่สุด และช่วงเวลาในการขาดแคลนน้ำต่ำที่สุด เท่ากับ 0.350, 4.000, 1.750 ตามลำดับ เป็นโค้งที่ดีที่สุดที่ช่วยลดปริมาณการขาดแคลนน้ำเฉลี่ยต่ำที่สุดคือ 0.850 ล้านลูกบาศก์เมตร ดังนั้น RC1-WDO, RC2-AGRI, RC2-AGRI-PAR จึงมีค่าความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในสถานการณ์คาดการณ์แผนที่ Agri-Map ในกรณีน้ำขาดแคลนน้อยที่สุด ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่า RC1-GA และ RC0-OLD รวมถึงในสถานการณ์น้ำไหลล้นอีกด้วย



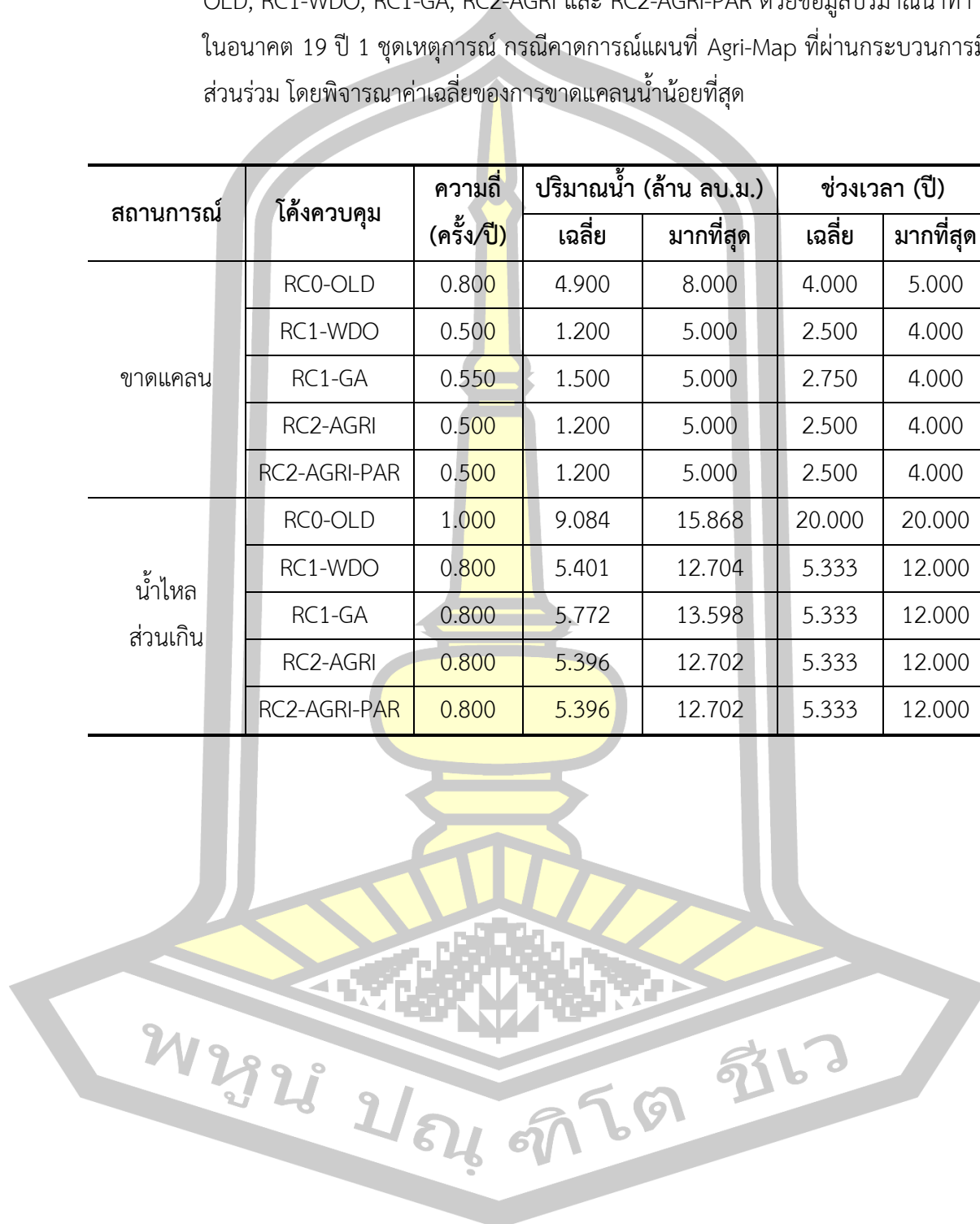
ตาราง 4. 29 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลส่วนเกินของโค้งควบคุม RC0-OLD, RC1-WDO, RC1-GA, RC2-AGRI และ RC2-AGRI-PAR ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่าในอนาคต 19 ปี 1 ชุดเหตุการณ์ กรณีคาดการณ์แผนที่ Agri-Map โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด

สถานการณ์	โค้งควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
ขาดแคลน	RC0-OLD	0.800	4.950	8.000	4.000	5.000
	RC1-WDO	0.350	0.850	5.000	1.750	4.000
	RC1-GA	0.500	1.150	6.000	2.500	4.000
	RC2-AGRI	0.350	0.850	5.000	1.750	4.000
	RC2-AGRI-PAR	0.350	0.850	5.000	1.750	4.000
น้ำไหล ส่วนเกิน	RC0-OLD	1.000	8.849	15.868	20.000	20.000
	RC1-WDO	0.800	4.861	12.839	5.333	12.000
	RC1-GA	0.800	5.131	13.598	5.333	12.000
	RC2-AGRI	0.800	4.857	12.839	5.333	12.000
	RC2-AGRI-PAR	0.800	4.857	12.839	5.333	12.000

ผลการประเมินโค้งควบคุม RC2-AGRI, RC2-AGRI-PAR, RC0-OLD, RC1-WDO และ RC1-GA สำหรับสถานการณ์การคาดการณ์แผนที่ Agri-Map ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วมพบว่าสอดคล้องกับตาราง 4.27 คือในกรณีน้ำขาดแคลนน้อยที่สุด พบว่า RC1-WDO, RC2-AGRI, RC2-AGRI-PAR จะให้ค่าความถี่, ค่ามากที่สุด และช่วงเวลาในการไหลส่วนเกินต่ำที่สุด เท่ากับ 0.500, 4.000, 2.500 ตามลำดับ เป็นโค้งที่ดีที่สุดที่ช่วยลดปริมาณการขาดแคลนนํ้าเฉลี่ยต่ำที่สุดคือ 1.200 ล้านลูกบาศก์เมตร ดังนั้น RC1-WDO, RC2-AGRI, RC2-AGRI-PAR จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในสถานการณ์คาดการณ์แผนที่ Agri-Map ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม ในกรณีน้ำขาดแคลนน้อยที่สุด ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่า RC1-GA และ RC0-OLD รวมถึงในสถานการณ์น้ำไหลล้นอีกด้วย จะเห็นได้ว่าโค้งควบคุมที่สร้างจากสถานการณ์น้ำท่าอนาคต จะสามารถบรรเทาสถานการณ์อ่างเก็บน้ำได้ดีกว่าโค้งควบคุมที่สร้างจากสถานการณ์น้ำท่าอดีต

ตาราง 4. 30 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลส่วนเกินของโค้งควบคุม RC0-OLD, RC1-WDO, RC1-GA, RC2-AGRI และ RC2-AGRI-PAR ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำในอนาคต 19 ปี 1 ชุดเหตุการณ์ กรณีคาดการณ์แผนที่ Agri-Map ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด

สถานการณ์	โค้งควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
ขาดแคลน	RC0-OLD	0.800	4.900	8.000	4.000	5.000
	RC1-WDO	0.500	1.200	5.000	2.500	4.000
	RC1-GA	0.550	1.500	5.000	2.750	4.000
	RC2-AGRI	0.500	1.200	5.000	2.500	4.000
	RC2-AGRI-PAR	0.500	1.200	5.000	2.500	4.000
น้ำไหล ส่วนเกิน	RC0-OLD	1.000	9.084	15.868	20.000	20.000
	RC1-WDO	0.800	5.401	12.704	5.333	12.000
	RC1-GA	0.800	5.772	13.598	5.333	12.000
	RC2-AGRI	0.800	5.396	12.702	5.333	12.000
	RC2-AGRI-PAR	0.800	5.396	12.702	5.333	12.000



## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้เป็นการนำเสนอการสรุปผลการศึกษาตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย และการแสดงข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปศึกษาต่อในอนาคต รายละเอียดของการสรุปผลและข้อเสนอแนะสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

#### 5.1 สรุปผล

การวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อทำการศึกษาใน 2 วัตถุประสงค์หลัก ลำดับแรกคือการศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกและการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบกและอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจนในช่วงเวลาอนาคต ระหว่าง พ.ศ. 2561-2579 โดยกระบวนการมีส่วนร่วม ซึ่งปริมาณน้ำท่าที่มีการเปลี่ยนแปลงนี้จะไปใช้เป็นข้อมูลที่น่าไปสู่การปรับปรุงโครงสร้างอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมโดยใช้เทคนิค Wind driven optimization เชื่อมต่อกับแบบจำลองเลียนแบบสถานการณ์ ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ลำดับถัดมา พร้อมทั้งดำเนินการประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้างอ่างเก็บน้ำที่สร้างขึ้นใหม่ด้วยเทคนิค WDO ในสถานการณ์น้ำต่างๆ ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต การสรุปผลของแต่ละวัตถุประสงค์สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

##### 5.1.1 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกและการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ โดยกระบวนการมีส่วนร่วม

จากการใช้ข้อมูลภูมิอากาศอนาคตที่ได้จากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศระดับภูมิภาค PRECIS ในอนาคตระหว่าง พ.ศ. 2561-2579 การสร้างแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษาด้วยพิจารณาจากแผนที่ Agri-Map และนโยบายของรัฐบาลที่ส่งเสริมการเพาะปลูกในอนาคต จากปี พ.ศ. 2561-2579 เพื่อแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต ผลการเปลี่ยนแปลงแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินบ่งบอกถึงการขยายตัวหรือลดลงของพื้นที่การปลูกข้าว อ้อยมันสำปะหลัง และข้าวโพด ส่วนพืชอื่นๆ ยังคงเป็นข้อมูลตามแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2560 และนำไปผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำในอนาคต การใช้แบบจำลอง SWAT เพื่อประเมินปริมาณน้ำท่าที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงจากสองปัจจัย, สภาพภูมิอากาศและการใช้ประโยชน์ที่ดิน และนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ตรวจวัดจริงในปี พ.ศ. 2548-2560 ภายใต้การคาดการณ์ B2 ร่วมกับการคาดการณ์การใช้ประโยชน์

ที่ดินจากแผนที่ Agri-Map และ ภายใต้การคาดการณ์ B2 ร่วมกับการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน จากแผนที่ Agri-Map ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม ผลการจำลองปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีชี้ให้เห็นถึง แนวโน้มที่เพิ่มขึ้นกว่าปีฐานคือ อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก ต่างจากปีฐานร้อยละ 23.31 และ 21.45 ตามลำดับ อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน ต่างจากปีฐานร้อยละ 1.16 และ 0.40 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบ ความแตกต่างของปริมาณน้ำท่าทั้งสองแบบพบว่า การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน Agri-Map ให้ปริมาณน้ำท่าที่สูงกว่า การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน Agri-Map ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก แตกต่างอยู่ที่ร้อยละ 1.53 และอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน แตกต่างอยู่ที่ร้อยละ 0.90 นอกจากนี้ ยังพบว่าปริมาณฝนเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำท่า และปัจจัยการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่จะทำให้ปริมาณน้ำท่าเปลี่ยนแปลงด้วยเช่นกัน

#### 5.1.2 การปรับปรุงโครงสร้างควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม โดยใช้วิธีการ Wind Driven Optimization (WDO)

โครงสร้างที่สร้างจากเทคนิค WDO เชื่อมต่อกับแบบจำลองเลียนแบบ สถานการณ์ที่สร้างจากข้อมูลปริมาณน้ำท่าและปริมาณฝนในอนาคตที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน นำมาใช้เป็นข้อมูลสำหรับการจัดสร้าง ระหว่าง พ.ศ. 2561-2579 (19 ปี) พบว่าโครงสร้างใหม่มีประสิทธิภาพในการจัดสรรทรัพยากรน้ำตามวัตถุประสงค์หลักคือป้องกันการขาดแคลนของน้ำได้ดีกว่าโครงสร้างเดิม ดังแสดงได้จากโครงสร้างควบคุมบน มีเกณฑ์กักเก็บน้ำอยู่ในระดับสูงกว่าเกณฑ์เดิม ซึ่งจะหมายถึงอ่างเก็บน้ำสามารถเก็บน้ำฝนได้เพิ่มมากขึ้นกว่าโครงสร้างเดิม ทำให้สามารถกักเก็บน้ำไว้ในฤดูแล้ง หรือขยายพื้นที่ชลประทานให้เพิ่มขึ้นได้ในอนาคต ลดโอกาสการขาดแคลนของน้ำ พร้อมทั้งยังสามารถนำน้ำที่ต้องปล่อยออกนั้นไปขยายพื้นที่ชลประทานให้เพิ่มขึ้นได้ในอนาคต ช่วงปลายฤดูฝนโครงสร้างใหม่จะสูงกว่าโครงสร้างเดิมทำให้สามารถเก็บกักน้ำที่ไหลมาในช่วงปลายฤดูฝนไว้ใช้ในฤดูแล้งได้ สำหรับทั้งสองสถานการณ์น้ำท่าอนาคต ซึ่งมีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสูงกว่าสถานการณ์ปัจจุบัน โครงสร้างควบคุมบนมีเกณฑ์การรักษาระดับน้ำในช่วงฤดูฝนไว้สูงกว่าโครงสร้างเดิม ทำให้สามารถเก็บน้ำที่ไหลเข้าอ่างไว้เพื่อรอการพร่องน้ำแต่จะมีประโยชน์อย่างมากในกรณีที่ฤดูฝนเริ่มต้นช้ากว่าฤดูกาลปกติ ซึ่งอาจเกิดจากผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกทำให้มีน้ำไว้ใช้ประโยชน์ในช่วงต้นฤดูฝน และในช่วงกลางฤดูฝนจะพร่องน้ำให้ต่ำกว่าเกินควบคุมเดิมเพื่อรอรับน้ำใหม่ที่จะไหลเข้าอ่างในช่วงปลายฤดูฝนสามารถบรรเทาสถานการณ์ไหลล้นของน้ำส่วนเกิน ส่วนโครงสร้างเส้นล่างมีเกณฑ์กักเก็บน้ำสูงกว่าเกณฑ์เดิม ทำให้ลดการปล่อยน้ำออกจากอ่างเพื่อกักเก็บน้ำไว้ใช้ตามความต้องการทำนอง ซึ่งทำให้ลดสถานการณ์ขาดแคลนน้ำของอ่างเก็บน้ำได้ดียิ่งขึ้น

ผลการประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมจะเห็นได้ว่าโค้งควบคุมใหม่ที่สร้างจากข้อมูลปริมาณน้ำท่าในอดีต (RC1-WDO) (RC1-GA) และปริมาณน้ำท่าในอนาคตจากสถานการณ์กรณีคาดการณ์แผนที่ Agri-Map (RC2-AGRI) และแผนที่ Agri-Map ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วมแล้ว (RC2-AGRI-PAR) รวมถึงโค้งควบคุมเดิม (RC0-OLD) เพื่อประเมินค่าความถี่ในการขาดแคลนน้ำเฉลี่ย ปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ย และช่วงเวลาที่เกิดการขาดแคลนน้ำเฉลี่ย โดยใช้ข้อมูลสถานการณ์น้ำท่าในอดีต 22, 24 ปี และอนาคต 19 ปี รวมถึงการประเมินประสิทธิภาพด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากการสังเคราะห์ จำนวน 1,000 เหตุการณ์ ผลการประเมินพบว่าโค้งควบคุมใหม่ที่สร้างจากเทคนิค WDO สามารถลดความถี่ในการขาดแคลนน้ำเฉลี่ยต่อปี ลดค่าปริมาณขาดแคลนน้ำเฉลี่ย รวมถึงลดช่วงเวลาในการขาดแคลนน้ำส่วนเกินได้ดีกว่าโค้งควบคุมเดิม อีกทั้งยังไม่ทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำทั้งในกรณีที่ทดสอบกับข้อมูลปริมาณน้ำท่าในอดีต 22, 24 ปี 1 ชุดเหตุการณ์ และปริมาณน้ำท่าสังเคราะห์จากข้อมูลอดีต 22, 24 ปี จำนวน 1,000 ชุดเหตุการณ์รวมถึงการทดสอบกับปริมาณน้ำท่าอนาคต 19 ปี ในกรณีคาดการณ์แผนที่ Agri-Map และ Agri-Map ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม อย่างละ 1 ชุดเหตุการณ์ พบว่าโค้งควบคุมใหม่ที่สร้างจากเทคนิค WDO ยังมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าโค้งควบคุมเดิม ด้วยเหตุนี้จึงสามารถสรุปได้ว่าโค้งควบคุมที่พัฒนาจากเทคนิค WDO เชื่อมต่อการจำลองสถานการณ์อ่างเก็บน้ำ มีความเหมาะสม สามารถที่จะลดโอกาสในการเกิดเหตุการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำที่ไหลล้นได้ในอนาคต ทั้งในสถานการณ์การคาดการณ์แผนที่ Agri-Map และ Agri-Map ที่ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม ได้ดีกว่าโค้งควบคุมเดิมที่ใช้งานอยู่ในเวลาปัจจุบัน

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ให้ลองใช้โมเดลของการจำลองสภาพภูมิอากาศแบบอื่นๆ เพื่อนำมาศึกษาวิจัยแล้วเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้ เช่น ใช้โมเดล MM5 หรือ โมเดล GFDL-R30 เพื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโค้งควบคุมที่เกิดขึ้น

5.2.2 ทดลองเปลี่ยนแปลงรูปแบบหรือชนิดของการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบอื่นๆ เช่น การเพิ่มพื้นที่ป่า การเพิ่มพื้นที่อยู่อาศัยมากขึ้น และการเพิ่มพื้นที่ของพืชชนิดอื่นที่อาจเป็นพืชเศรษฐกิจที่เกษตรกรนิยมปลูกในอนาคต เป็นต้น

5.2.3 สามารถเปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับการค้นหาคำตอบ เงื่อนไข และข้อจำกัด สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้กับอ่างเก็บน้ำในพื้นที่อื่นๆ ได้

5.2.4 สามารถสร้างโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำด้วยเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมแบบอื่นๆ และนำผลที่ได้มาอภิปรายเปรียบเทียบกัน



บรรณานุกรม



## บรรณานุกรม

- กรมทรัพยากรน้ำ. (2552). *มาตรฐานการแบ่งลุ่มน้ำหลักและลุ่มน้ำสาขาของประเทศไทย อ้างอิงแผนที่ภูมิประเทศชุด L7018 มาตราส่วน 1:50,000*. ส่วนวิจัยและพัฒนาทรัพยากรน้ำ. กรมทรัพยากรน้ำ. กรุงเทพมหานคร.
- กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2549). *แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model : DEM) มาตราส่วน 1 : 4,000*. [ออนไลน์]. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. แหล่งที่มา: <http://www.lddservice.org/services/dem.php> [สืบค้นเมื่อ 14 พฤศจิกายน 2560].
- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2548). *สถิติภูมิอากาศของประเทศไทย ในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543)*. กรมอุตุนิยมวิทยา. กรุงเทพมหานคร.
- กิตติยา เกียรตินคร. (2551). *การประเมินปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำสาขาที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบน*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กิริติ ลีวัจนกุล. (2554). *อุทกวิทยา*. พิมพ์ครั้งที่ 3. ปทุมธานี: สำนักพิมพ์ SPEC.
- คณะทำงานย่อยคู่มือการบริหารจัดการน้ำ กรมชลประทาน. (2556). *คู่มือปฏิบัติงาน เล่มที่ 2/16 การประเมินปริมาณน้ำท่าไหลลงอ่างเก็บน้ำ*. ม.ป.ท.: กรมชลประทาน.
- จิรวัดณ์ ศุภโกศล. (2559). *ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำสงคราม*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- เฉลิมรัฐ แสงมณี. (2552). *ผลของการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศต่อปริมาณน้ำที่นำมาใช้ในลุ่มน้ำชี*. วารสารวิจัย มข. 14 (7), 601-610.
- เชษฐพันธ์ โลหคำ. (2555). *เกณฑ์การจัดสรรน้ำที่เหมาะสมด้วยกระบวนการอาณานิคมดกรณีศึกษา โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาลำปาว*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- เทวินทร์ แก้วเมืองมูล. (2552). *การประเมินประสิทธิภาพการใช้น้ำเพื่อการเกษตรในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ทา จังหวัดลำพูน โดยใช้แบบจำลอง SWAT*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นัฐพล ทองแท่ง และเสรี สุภราทิตย์. (2557). *ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อปริมาณฝนประเทศไทย*. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19, 14-16 พฤษภาคม 2557 ขอนแก่น.

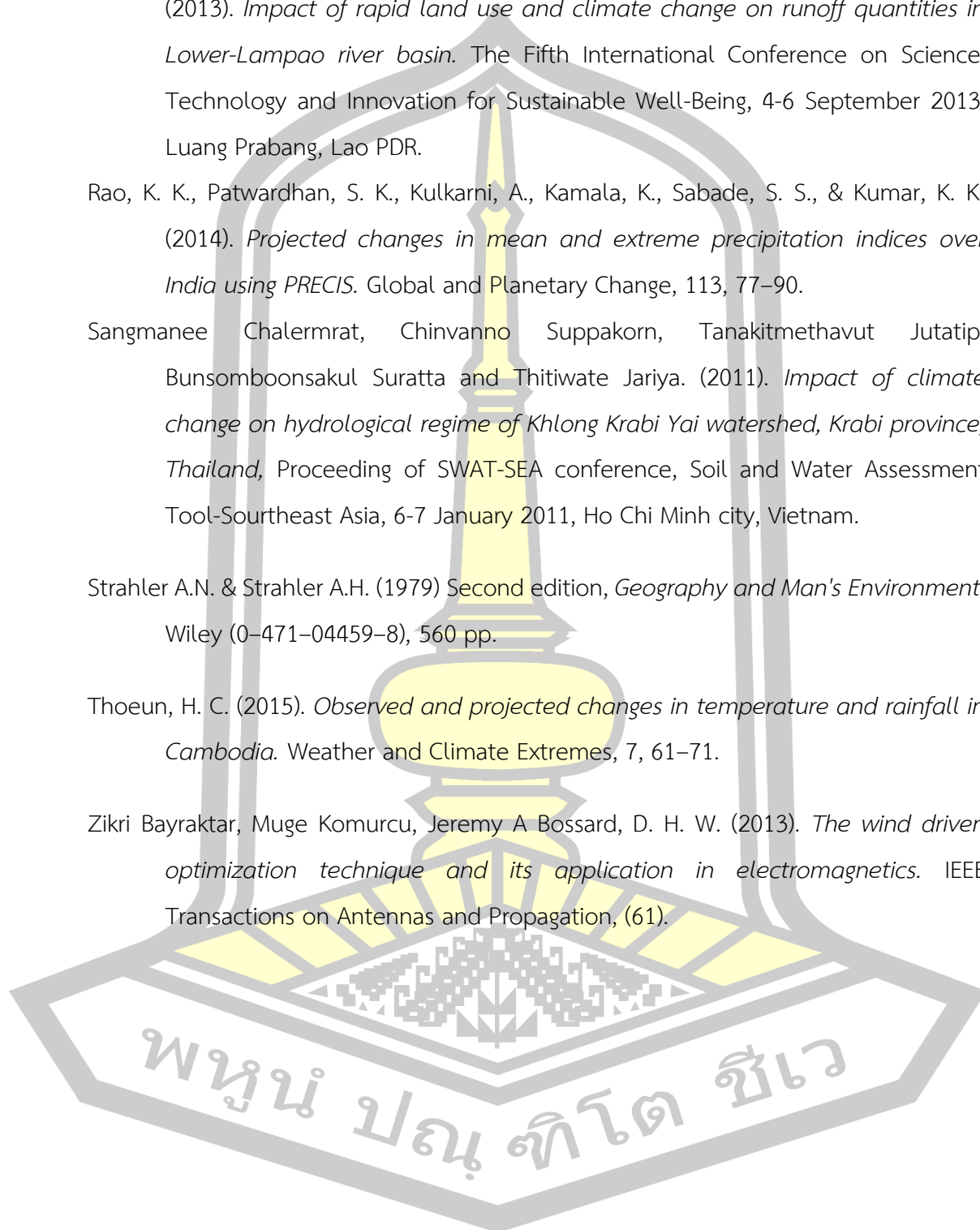
- ปกรณ ฌ ศิริ และ ดร.ปกรณ ดิษฐกิจ. *โค้งกฎการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมโดยใช้วิธีฮาโมนี*  
*เซิร์ช: กรณีศึกษาอ่างเก็บน้ำห้วยใส, NGRC การประชุมวิชาการเสนองผลงานวิจัยระดับ*  
*บัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 19 มีนาคม 2561.*
- รัตน หอมวิเชียร. (2553). *การพัฒนาโค้งควบคุมโดยวิธีดิฟเฟอเรนเชียลเอพวอลูชัน. วิทยานิพนธ์*  
*ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.*
- วรารุช วุฒิวิณชัย. (2539). *อุทกวิทยาประยุกต์. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะ*  
*วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม.*
- วรารุช วุฒิวิณชัย. (2543). *เกณฑ์การจำลองหา Probability Based Rule Curves ของอ่างเก็บน้ำ*  
*เอกสารประกอบการสอนวิชา 207591 (เทคนิคการวิจัยทางวิศวกรรม ชลประทาน)*  
*ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต*  
*กำแพงแสน นครปฐม.*
- วิเชียร ปลื้มกลม. (2536). *การสังเคราะห์ข้อมูลน้ำท่าโดยใช้โปรแกรม HEC-4. วารสารวิจัย มข.,*  
 20(1), 31-37.
- วินัย วังพิมูล. (2552). *คู่มือปฏิบัติการประยุกต์ใช้งานแบบจำลอง SWAT. ม.ป.ท.: ม.ป.พ.*
- วิโรจน์ ชัยธรรม. (2528). *อุทกวิทยา. ขอนแก่น: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์,*  
*มหาวิทยาลัยขอนแก่น.*
- วีระพล แต่สมบัติ. (2531). *อุทกวิทยาประยุกต์. กรุงเทพฯ: พิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์.*
- สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (องค์การมหาชน). (2555). *การดำเนินการด้านการ*  
*รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล โครงการพัฒนาระบบคลังข้อมูล 25 ลุ่มน้ำและ*  
*แบบจำลองน้ำท่วมน้ำแล้ง, หน้า 11.*
- สิริรักษ์ อินทรรักษา. (2555). *การประยุกต์เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเพื่อการศึกษาปริมาณน้ำท่า โดย*  
*ใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา (SWAT) กรณีศึกษา : ลุ่มน้ำแม่จาง จังหวัดลำปาง. วิทยานิพนธ์*  
*ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยบูรพา.*
- สุพจน์ เจริญสุข. (2550). *เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนอย่างง่าย. ส่วนวิจัยต้นน้ำ สำนักอนุรักษ์และจัดการ*  
*ต้นน้ำ.*
- สุภักดิ์ กุลโท. (2555). *การประมาณปริมาณน้ำท่าจากข้อมูลการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินที่*  
*อาศัยแบบจำลอง CA-Markov โดยแบบจำลอง SWAT: กรณีศึกษาลุ่มน้ำย่อยห้วยตุงในลุ่ม*  
*น้ำมูล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.*
- โสภิตา สุรินทะ. (2553). *การมีส่วนร่วมในการจัดการน้ำของประชาชน : กรณีศึกษาการพัฒนาห้วย*  
*ทราย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ. วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต*  
*มหาวิทยาลัยศิลปากร.*

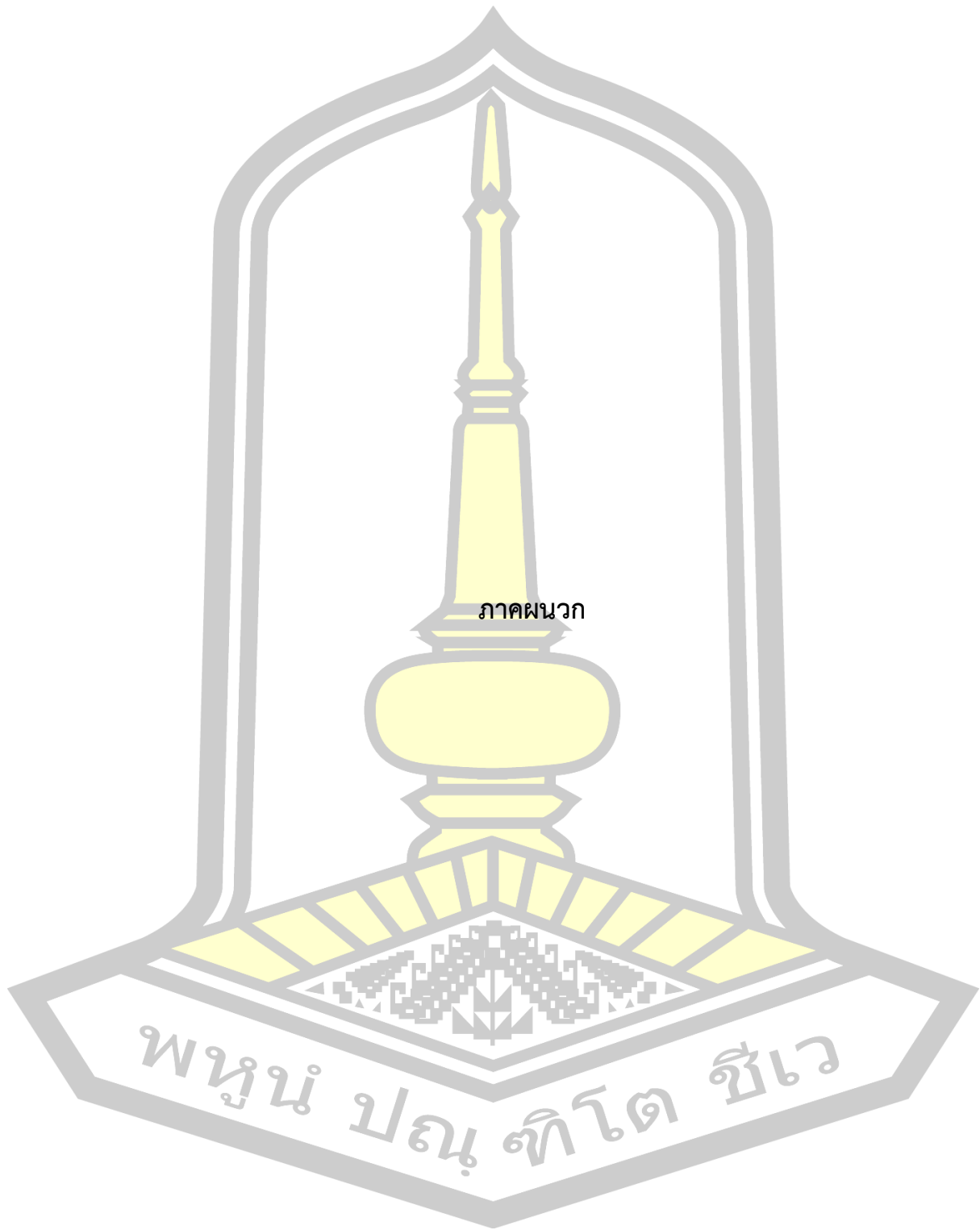
- อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง. (2550). *การวางแผนและจัดการทรัพยากรน้ำระดับลุ่มน้ำ*. มหาสารคาม: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- (2551). *การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำโดยใช้โค้งควบคุมที่เหมาะสม*. มหาสารคาม: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- (2553) *วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดในการพัฒนาโครงการแหล่งน้ำ*. มหาสารคาม: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- อำนาจ ชิดไธสง, กัณษริย์ บุญประกอบ, เจียมใจ เครือสุวรรณ, และ ศุภกร ชินวรรณ. (2553). *การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย เล่มที่ 2 แบบจำลองสภาพภูมิอากาศและสภาพภูมิอากาศในอนาคต*. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- โอฬาร เวศอุไร. (2548). *ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำน้ำดอนบนโดยใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา SWAT*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Apipalakul, C., Wirojangud, W. and Ngang, T.K. (2015). *Development of Community Participation on Water Resource Conflict Management. Procedia Social and Behavioral Sciences*, (108), 325-330.
- Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S. and Williams, J.R. (1998). *Large area hydrologic modelling and assessment*. *Water Resources Association* 34(1), 73-89.
- Basco-Carrera L., Warren A., Beek E., Jonoski A and Giardino A. (2017). *Collaborative modelling or participatory modelling? A framework for water resources management*. *Environmental Modelling & Software*, (91), 95-110.
- Bayraktar, Z., Komurcu, M., Bossard, J. A., & Werner, D. H. (2013). *The wind driven optimization technique and its application in electromagnetics*. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 61(5), 2745–2757.
- Bhandari, A. K., Singh, V. K., Kumar, A., & Singh, G. K. (2014). *Cuckoo search algorithm and wind driven optimization based study of satellite image segmentation for multilevel thresholding using Kapur's entropy*. *Expert Systems with Applications*, 41(7), 3538–3560.
- Chaleeraktragoon C. & Kangrang A. (2005). *A Dynamic Programming for Searching Rule Curves. The proceeding of International Conference on World Water and Environmental Resource Congress*, 15-19 May, Anchorage, Alaska, USA.

- Chow, V.T., Maidment D.R. and Mays, L.W. (1988). *Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill, 1988.
- Du, J., Qian, L., Rui, H., Zuo, T., Zheng, D., Xu, Y., & Xu, C. Y. (2012). *Assessing the effects of urbanization on annual runoff and flood events using an integrated hydrological modeling system for Qinhuai River basin, China*. *Journal of Hydrology*, 464–465, 127–139.
- Gashaw, T., Tulu, T., Argaw, M., & Worqlul, A. W. (2018). Modeling the hydrological impacts of land use/land cover changes in the Andassa watershed, Blue Nile Basin, Ethiopia. *Science of the Total Environment*, 619–620, 1394–1408.
- IPCC. (2001). *Climate Change (2001): Synthesis Report. 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, W. T. (Eds.) United Kingdom: Cambridge University Press, Cambridge.
- Islam Nazrul Md, Rafiuddin M, Ahmed Ahsan and Kolli Kumar Rupa. (2008). *Calibration of PRECIS in employment future scenarios in Bangladesh*. *International Journal of Climatology*, (28), 617-628
- Jingling , L. Yun, L. Liya, S. Zhiguo, C. and Baogiang, Z. 2010. *Public participation in water resources management of Haihe river basin, China: the analysis and evaluation of status quo*. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, (2),
- Kangrang Anongrit and Chaleeraktragoon Chavalit. (2007). *Genetic algorithm connected simulation with smoothing function for searching rules curves*. *American Journal of Applied Sciences*, (4), 73-79.
- Kangrang A., Compliew S. & Hormwichian R. (2011). *Optimal Reservoir Rule Curves Using Simulated Annealing*. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Water Management*, 164(WM1), 27-34.
- Kangrang Anongrit, Lehner Anges and Mayrhofer Peter. (2011). *An improvement of small reservoir rule curves using genetic algorithms and water balance equation*. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, (5), 707-714.

- Kumar, N., Tischbein, B., Kusche, J., Laux, P., Beg, M. K., & Bogardi, J. J. (2017). *Impact of climate change on water resources of upper Kharun catchment in Chhattisgarh, India*. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 13(September), 189–207.
- Kundu, S. Khare, D. and Mondal, A. (2017). *Individual and combined impacts of future climate and land use changes on the water balance*. *Ecological Engineering*, (105), 42-57.
- Kundu, S. Khare, D. and Mondal, A. (2017). *Past, present and future land use changes and their impact on water balance*. *Journal of Environmental Management*, (197), 582-596..
- Kuntiyawichai K., Dau Q.V., Inthavong S. (2017). *Community engagement for irrigation water management in Lao PDR*. *Journal of Water and Land Development*. No. 35 p. 121–128.
- Nagaraj, Y., Madipalli, P., Rajan, J., Kumar, P. K., & Narasimhadhan, A. V. (2018). *Segmentation of intima media complex from carotid ultrasound images using wind driven optimization technique*. *Biomedical Signal Processing and Control*, 40, 462–472.
- NASA-CASA Project. (2007). *Soil Water Assessment Tool: Joint USDA-NASA Applications*. [Online]. Available from: <https://geo.arc.nasa.gov/sge/casa/hydrologic/swat.html> [accesses November 2017].
- Pandey A and Parhi D. R. (2017). *Optimum path planning of mobile robot in unknown static and dynamic environments using Fuzzy-Wind Driven Optimization algorithm*. *Defence Technology*, (13), 47-58.
- Ponpang-Nga P and Techamahasaranont J. (2016). *Effects of climate and land use changes on water balance in upstream in the Chao Phraya River basin, Thailand*. *Agriculture and Natural Resources*, (50), 310-320.
- Powell D. (2012). *Satellites show groundwater dropping globally*. *Sci News* 181(1):5-6.

- Prasanchum Haris, Kangrang Anongrit, Hormwichian Rattana and Compliew Sudarat. (2013). *Impact of rapid land use and climate change on runoff quantities in Lower-Lampao river basin*. The Fifth International Conference on Science, Technology and Innovation for Sustainable Well-Being, 4-6 September 2013, Luang Prabang, Lao PDR.
- Rao, K. K., Patwardhan, S. K., Kulkarni, A., Kamala, K., Sabade, S. S., & Kumar, K. K. (2014). *Projected changes in mean and extreme precipitation indices over India using PRECIS*. *Global and Planetary Change*, 113, 77–90.
- Sangmanee Chalermrat, Chinvanho Suppakorn, Tanakitmethavut Jutatip, Bunsomboonsakul Suratta and Thitiwate Jariya. (2011). *Impact of climate change on hydrological regime of Khlong Krabi Yai watershed, Krabi province, Thailand*, Proceeding of SWAT-SEA conference, Soil and Water Assessment Tool-Southeast Asia, 6-7 January 2011, Ho Chi Minh city, Vietnam.
- Strahler A.N. & Strahler A.H. (1979) Second edition, *Geography and Man's Environment*, Wiley (0-471-04459-8), 560 pp.
- Thoeun, H. C. (2015). *Observed and projected changes in temperature and rainfall in Cambodia*. *Weather and Climate Extremes*, 7, 61–71.
- Zikri Bayraktar, Muge Komurcu, Jeremy A Bossard, D. H. W. (2013). *The wind driven optimization technique and its application in electromagnetics*. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, (61).

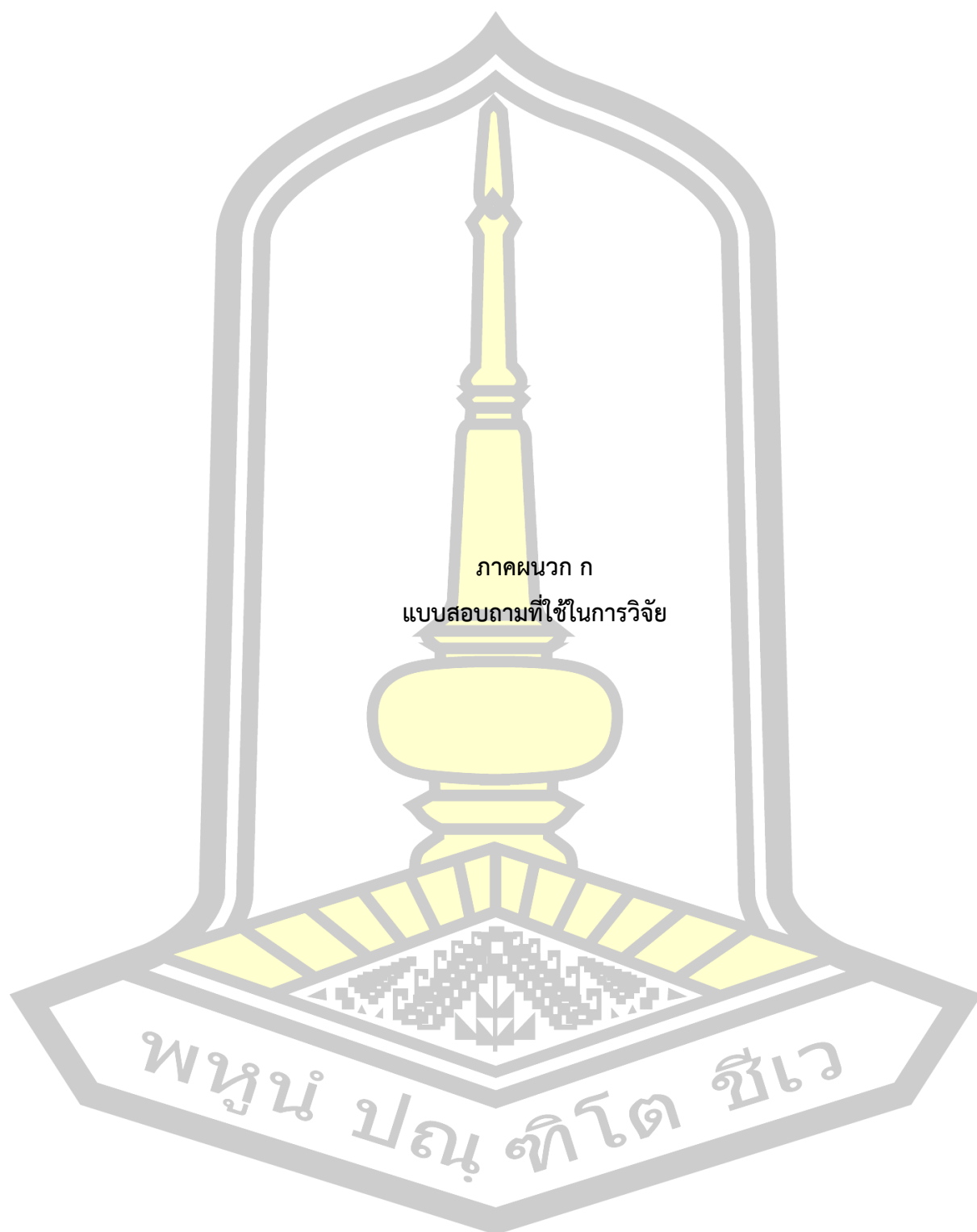




ภาคผนวก

พหุณฺ์ ปณฺุ ทิโต สีเว





ภาคผนวก ก  
แบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัย

พหุมน์ ปณฺ ทิโต ชีเว

**แบบสอบถาม**  
**การใช้ประโยชน์ที่ดินบนพื้นที่เหนืออ่างเก็บน้ำโดยกระบวนการมีส่วนร่วม**

\*\*\*\*\*

**ส่วนที่ 1 : ข้อมูลทั่วไปของครัวเรือนตัวอย่าง**

**คำชี้แจง** กรุณากรอกข้อมูลในช่องว่าง หรือทำเครื่องหมาย  ลงใน

เพศ  ชาย  หญิง อายุ ..... ปี อาชีพ .....

ระดับการศึกษา  ประถมศึกษา  มัธยมศึกษา  ปริญญาตรี  สูงกว่าปริญญาตรี

หมู่บ้าน/ชุมชน ..... หมู่ที่..... ตำบล .....

อบต./เทศบาล ..... อำเภอ ..... จังหวัด.....

สมาชิกในกลุ่มสังคม (เช่น คณะกรรมการหมู่บ้าน).....

**ส่วนที่ 2 : ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินของครัวเรือนตัวอย่าง**

1. ที่ดินในความครอบครองทั้งหมดของครัวเรือน จำนวน ..... ไร่
2. กิจกรรมการใช้ประโยชน์ที่ดินของครัวเรือน

ประเภท	จำนวน (ไร่)
<input type="checkbox"/> ข้าว	
<input type="checkbox"/> อ้อย	
<input type="checkbox"/> มันสำปะหลัง	
<input type="checkbox"/> ยางพารา	
<input type="checkbox"/> ปาล์มน้ำมัน	
<input checked="" type="checkbox"/> พืชเลี้ยงสัตว์	
<input type="checkbox"/> บ่อน้ำ	
<input type="checkbox"/> เกษตรกรรมทั่วไป	
ระบุ .....	
ระบุ .....	
<input type="checkbox"/> สวน	
ระบุ .....	
ระบุ .....	
<input type="checkbox"/> ที่อยู่อาศัย	

## ส่วนที่ 3 : ข้อมูลการมีส่วนร่วม

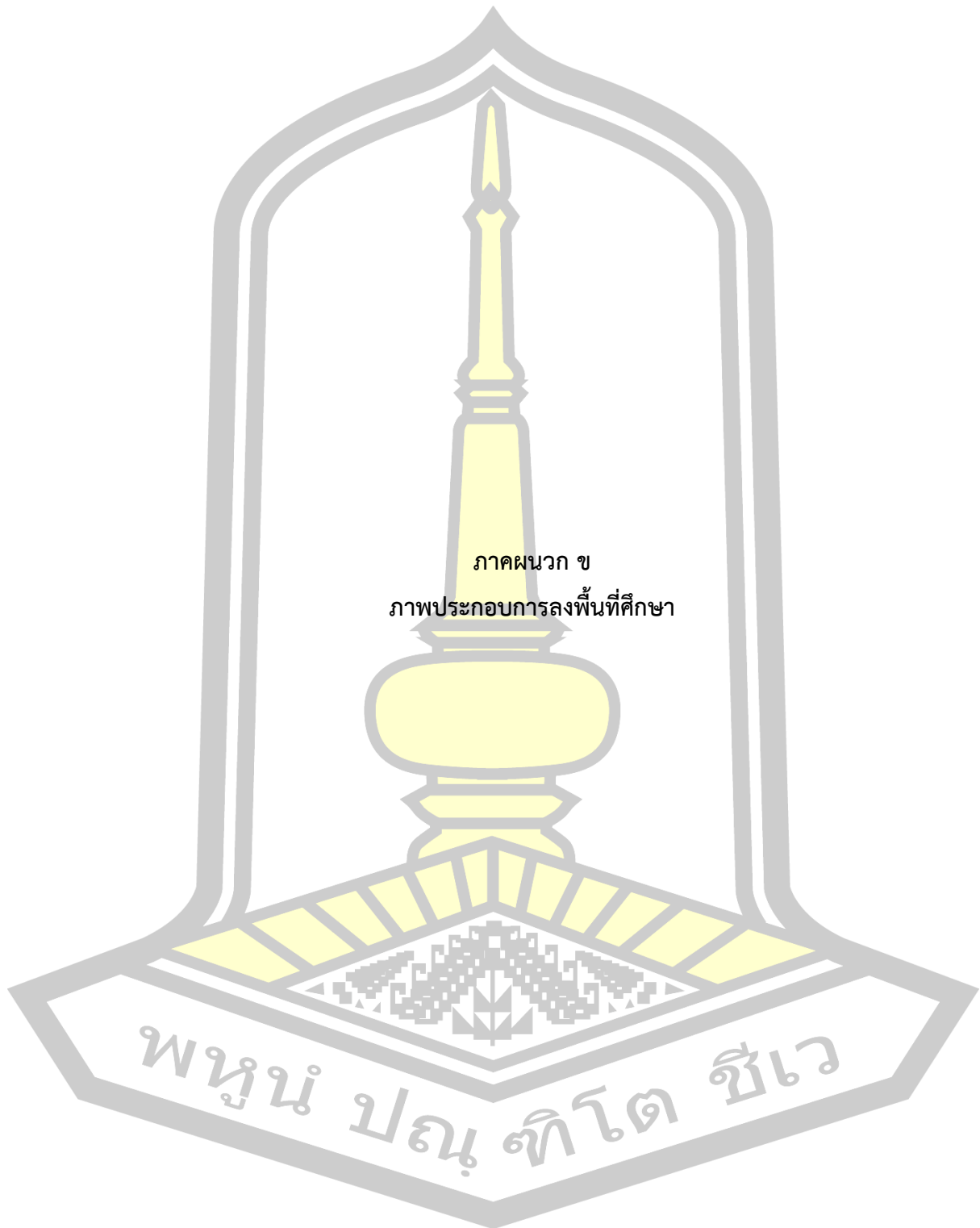
**คำชี้แจง** โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องระดับการมีส่วนร่วมที่ตรงกับหมายเลขที่ตรงกับความเป็นจริงของท่าน

- 5 หมายถึง มากที่สุด  
 4 หมายถึง มาก  
 3 หมายถึง ปานกลาง  
 2 หมายถึง น้อย  
 1 หมายถึง ไม่มีส่วนร่วม

คำถาม	ระดับการมีส่วนร่วม				
	5	4	3	2	1
<b>การมีส่วนร่วมในการวางแผน</b>					
1. ท่านเคยเข้าร่วมประชุมชี้แจงความคิดเห็น ผังเมืองรวมจังหวัดโยธาธรที่ประกาศเป็นกฎกระทรวงอยู่หรือไม่					
2. ท่านเคยเข้าร่วมกิจกรรมที่ทางภาครัฐจัดขึ้นเพื่อจัดทำข้อตกลงต่างๆ กับชุมชน หรือไม่					
3. ท่านเคยเสนอความคิดเห็น แจ้งความต้องการและปัญหาให้กับภาครัฐรับทราบ หรือไม่					
<b>การมีส่วนร่วมในการดำเนินงาน</b>					
4. ท่านได้เข้าร่วมปฏิบัติตามนโยบาย แผนงาน โครงการ หรือกิจกรรมที่อาศัยการบริหารส่วนท้องถิ่น และได้นำไปดำเนินการในท้องถิ่นให้บรรลุตามเป้าหมาย					
5. ท่านได้มีส่วนร่วมประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้การดำเนินงานบรรลุผลสำเร็จ เช่น ประชาชนในท้องถิ่นและหน่วยงานต่าง ๆ					
6. ท่านเคยประชาสัมพันธ์ข้อตกลง เพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจในท้องถิ่นของตนเอง หรือไม่					
<b>การมีส่วนร่วมในการติดตามและประเมินผล</b>					
7. ท่านเคยเป็นกรรมการตรวจสอบการดำเนินกิจกรรมกับทางภาครัฐ หรือไม่					
8. ท่านมีส่วนร่วมในการติดตามผลของการแสดงความคิดเห็น					
9. ท่านมีส่วนร่วมในการติดตามและประเมินผลความสำเร็จของโครงการ หรือไม่					

ข้อเสนอแนะ.....

ขอขอบคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม





ภาพประกอบ ข. 1 เรียกประชุมผู้มีส่วนร่วม อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน



ภาพประกอบ ข. 2 เรียกประชุมผู้มีส่วนร่วม อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน





ภาพประกอบ ข. 3 สํารวจการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษาจริง



ภาพประกอบ ข. 4 สํารวจการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษาจริง



ภาพประกอบ ข. 5 การให้ความร่วมมือของผู้มีส่วนร่วม



ภาพประกอบ ข. 6 การให้ความร่วมมือของผู้มีส่วนร่วม

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นาย รพีภัทร เตชะรุ่งเรืองสกุล
วันเกิด	วันที่ 10 ธันวาคม พ.ศ. 2537
สถานที่เกิด	อำเภอโพนทอง จังหวัดร้อยเอ็ด
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 76 หมู่ 3 บ้านหนองแวงแห่ ตำบลหนองใหญ่ อำเภอโพนทอง จังหวัดร้อยเอ็ด รหัสไปรษณีย์ 45110
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2555 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนโพนทองพัฒนวิทยา อำเภอ โพนทอง จังหวัดร้อยเอ็ด พ.ศ. 2560 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรม สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ. 2562 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พูนัน ปณฺ ทิโต ชีเว