



ระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบอ่างเดียว

วิทยานิพนธ์

ของ

รัตน์สุดา งามเสวีรัฐ

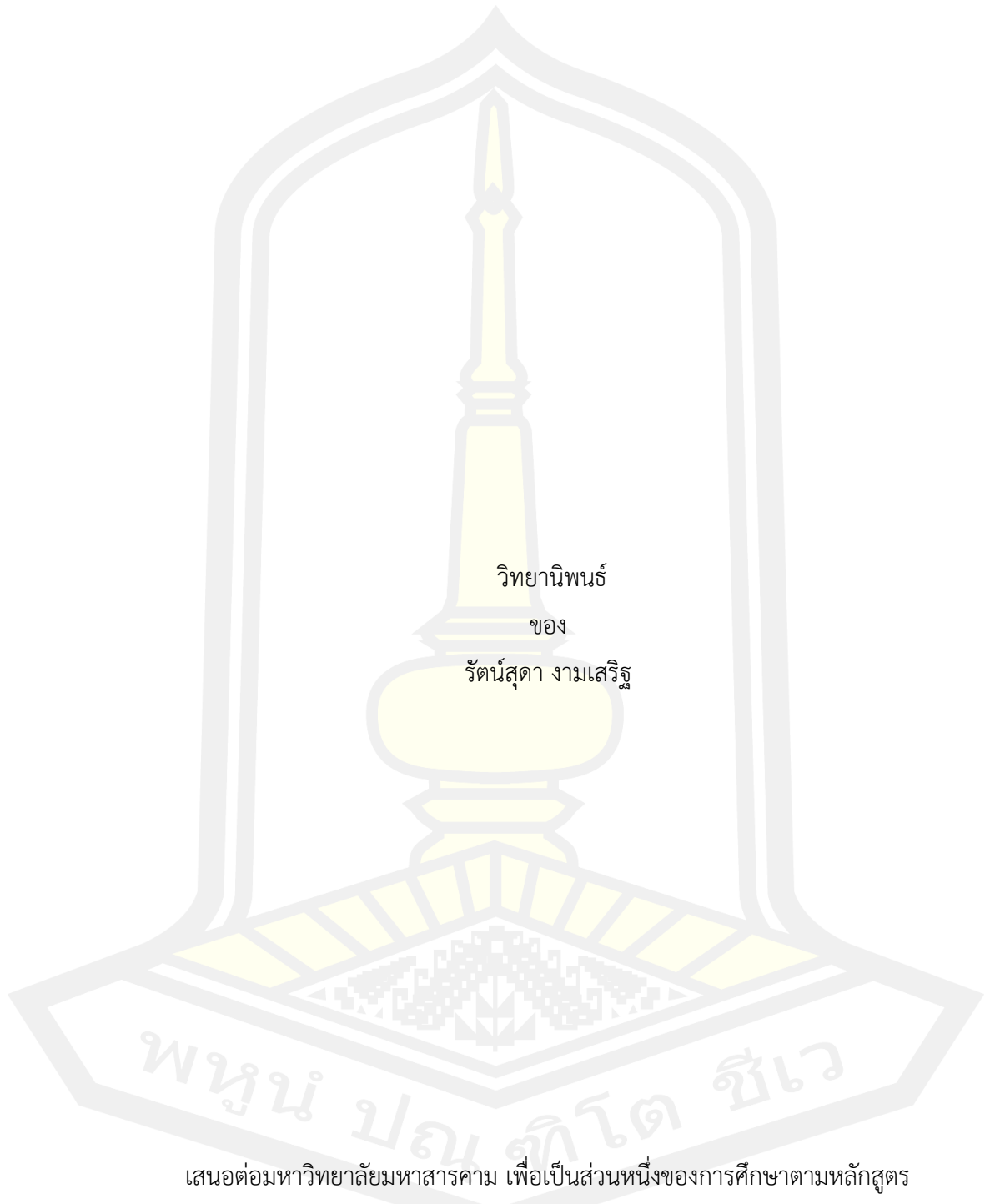
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

สิงหาคม 2565

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบอ่างเดียว



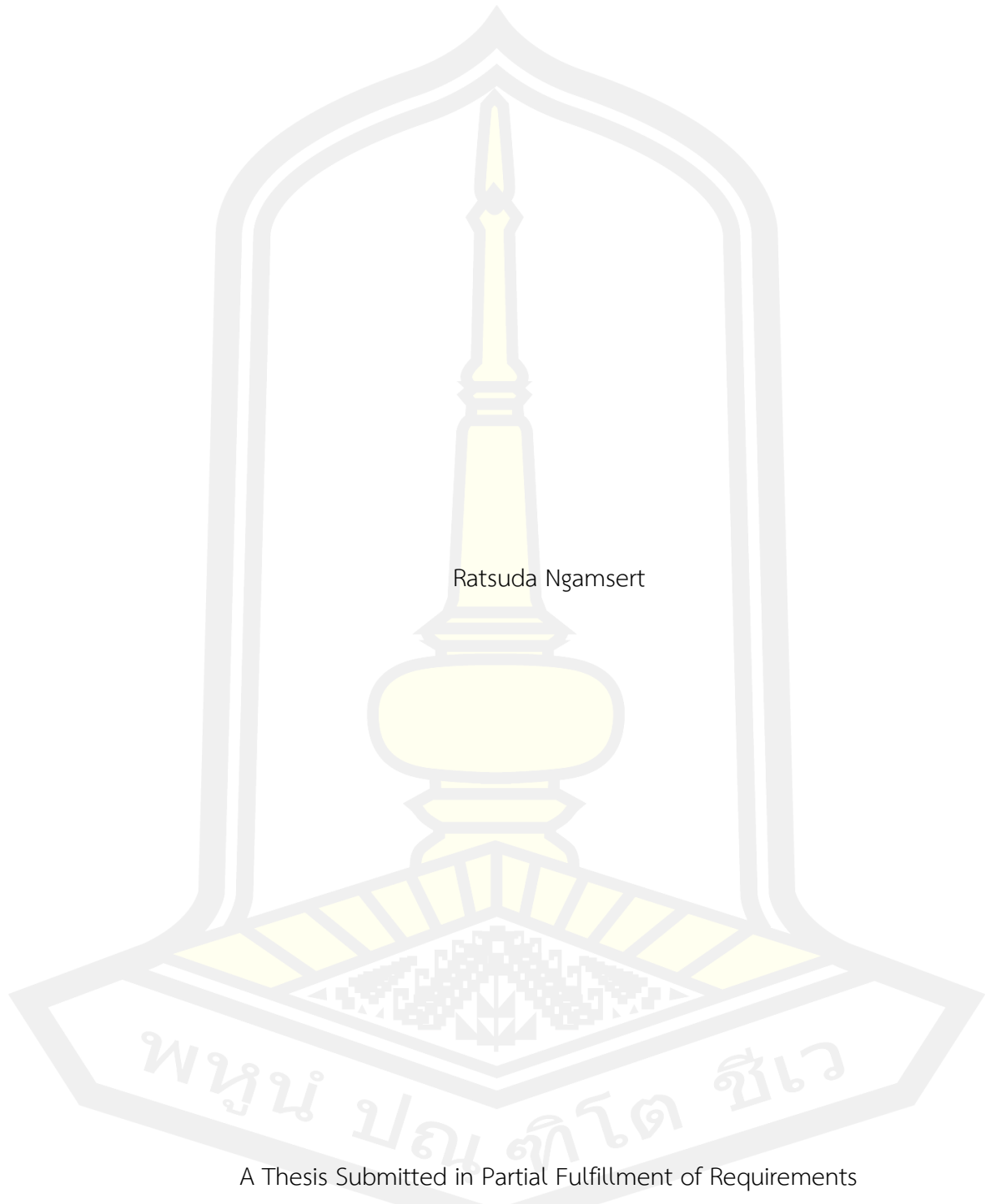
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

สิงหาคม 2565

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Decision Supporting System for Single Reservoir Operation



Ratsuda Ngamsert

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

August 2022

Copyright of Mahasarakham University

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนางสาวรัตน์สุดา งามเสริฐ  
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชา  
วิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. หริส ประสารน้ำ )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ศ. ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง )

กรรมการ

(รศ. ดร. เรืองรุชดี ชีระโรจน์ )

กรรมการ

(ผศ. ดร. ศิวา แก้วปลั่ง )

กรรมการ

(ผศ. ดร. รัตนา หอมวิเชียร )

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญา ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

(รศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป )

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	ระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบอ่างเดียว		
ผู้วิจัย	รัตน์สุดา งามเสริฐ		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง		
ปริญญา	ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2565

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ เพื่อพัฒนาทางเลือกสนับสนุนระบบการตัดสินใจ ในการจัดการน้ำทางวิศวกรรมสำหรับการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอ่างเดียว จากการสร้างทางเลือกตามสถานการณ์ที่แตกต่างกัน ภายใต้การประยุกต์ใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมเทคนิคใหม่ Marine Predators Algorithm (MPA) ปรับปรุงโครงสร้างควบคุมที่เหมาะสมสูงสุดของอ่างเก็บน้ำ ร่วมกับเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging rule (HR) และเกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน (SOP) ตลอดจนการพิจารณาปริมาณการตกตะกอนที่มีผลต่อระดับและพื้นที่เก็บกักของอ่างเก็บน้ำ เพื่อนำมาค้นหาโครงสร้างควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมที่สุด การศึกษานี้พิจารณาข้อมูลอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย เป็นกรณีศึกษา ซึ่งประกอบไปด้วย ข้อมูลน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำอดีต 52 ปี (พ.ศ.2512-2563) ปริมาณความต้องการใช้น้ำปัจจุบัน ข้อมูลอุทกวิทยา และข้อมูลทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำ และประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้างควบคุมที่ได้จากแบบจำลอง โดยใช้ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจากข้อมูลอดีตจำนวน 1,000 ชุดเหตุการณ์ ซึ่งแสดงผลในรูปแบบความถี่ ช่วงเวลาของเหตุการณ์ปริมาณน้ำ เฉลี่ย และปริมาณน้ำ สูงสุด ทั้งสถานการณ์น้ำขาดแคลน และน้ำไหลล้น จากนั้นนำไปสร้างชุดคำตอบภายใต้สถานการณ์ต่าง ๆ จำนวน 5 สถานการณ์ คือ สถานการณ์ปริมาณขาดแคลนน้ำแบบปกติ สถานการณ์ปริมาณขาดแคลนน้ำแบบรุนแรง สถานการณ์ปริมาณน้ำไหลล้นแบบปกติ สถานการณ์ปริมาณน้ำไหลล้นแบบรุนแรง และสถานการณ์ลดความถี่การขาดแคลนน้ำ

ผลการศึกษาพบว่าโครงสร้างควบคุมใหม่ที่ได้จากเทคนิค MPA ร่วมกับเกณฑ์การปล่อยน้ำ HR มีลักษณะเส้นโครงสร้างควบคุมที่สูงกว่าเส้นโครงสร้างควบคุมด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำ SOP และ เส้นโครงสร้างควบคุมเดิม นอกจากนี้ เส้นโครงสร้างใหม่ที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้เกณฑ์ HR สามารถบรรเทาสถานการณ์ขาดแคลนน้ำและสถานการณ์น้ำไหลล้นได้ดีกว่าทั้งเส้นโครงสร้างควบคุมเดิม และเส้นโครงสร้างควบคุมด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำ SOP ในแง่ของการลดลงปริมาณการขาดแคลนน้ำเฉลี่ย และปริมาณการขาดแคลนน้ำสูงสุด ซึ่งเป็นหนึ่งในแนวทางเลือกบนระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอ่างเดียวที่ดีที่สุดภายใต้สถานการณ์ทั้ง 5 จำนวน 10 ทางเลือก จาก 490 ทางเลือก ซึ่งเป็นทางเลือก

การตัดสินใจช่วยให้ผู้มีอำนาจตัดสินใจ ได้ข้อมูลประกอบการตัดสินใจ ในแต่ละแนวทางเลือกจะเกิดขึ้นหากมีการเลือกใช้งาน ตามบริบทและนโยบายการบริหารงานของอ่างเก็บน้ำ โดยผลลัพธ์เบื้องต้นที่จะเกิดขึ้นแต่ละแนวทางเลือกที่เลือกใช้ จะช่วยลดความรุนแรงหรือผลกระทบที่จะเกิดขึ้นแต่ละด้านแตกต่างกันไป ส่งผลทำให้เกิดประโยชน์ในการนำไปใช้วางแผนตัดสินใจทั้งในระยะสั้นและระยะยาวได้ตามความต้องการของผู้มีอำนาจตัดสินใจ รวมทั้งยังมีส่วนสำคัญ ในการกำหนดนโยบาย และตั้งเป้าหมายและการกำหนดวิสัยทัศน์ขององค์กรให้ประสบความสำเร็จ

คำสำคัญ : ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ, การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ, วิศวกรรมอ่างเก็บน้ำ, การหาค่าเหมาะสมที่สุด, Marine predators algorithm, เกณฑ์การปล่อยน้ำ Hedging rule, เกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน



<b>TITLE</b>	Decision Supporting System for Single Reservoir Operation		
<b>AUTHOR</b>	Ratsuda Ngamsert		
<b>ADVISORS</b>	Professor Anongrit Kangrang , Ph.D.		
<b>DEGREE</b>	Doctor of Philosophy	<b>MAJOR</b>	Civil Engineering
<b>UNIVERSITY</b>	Maharakham University	<b>YEAR</b>	2022

### ABSTRACT

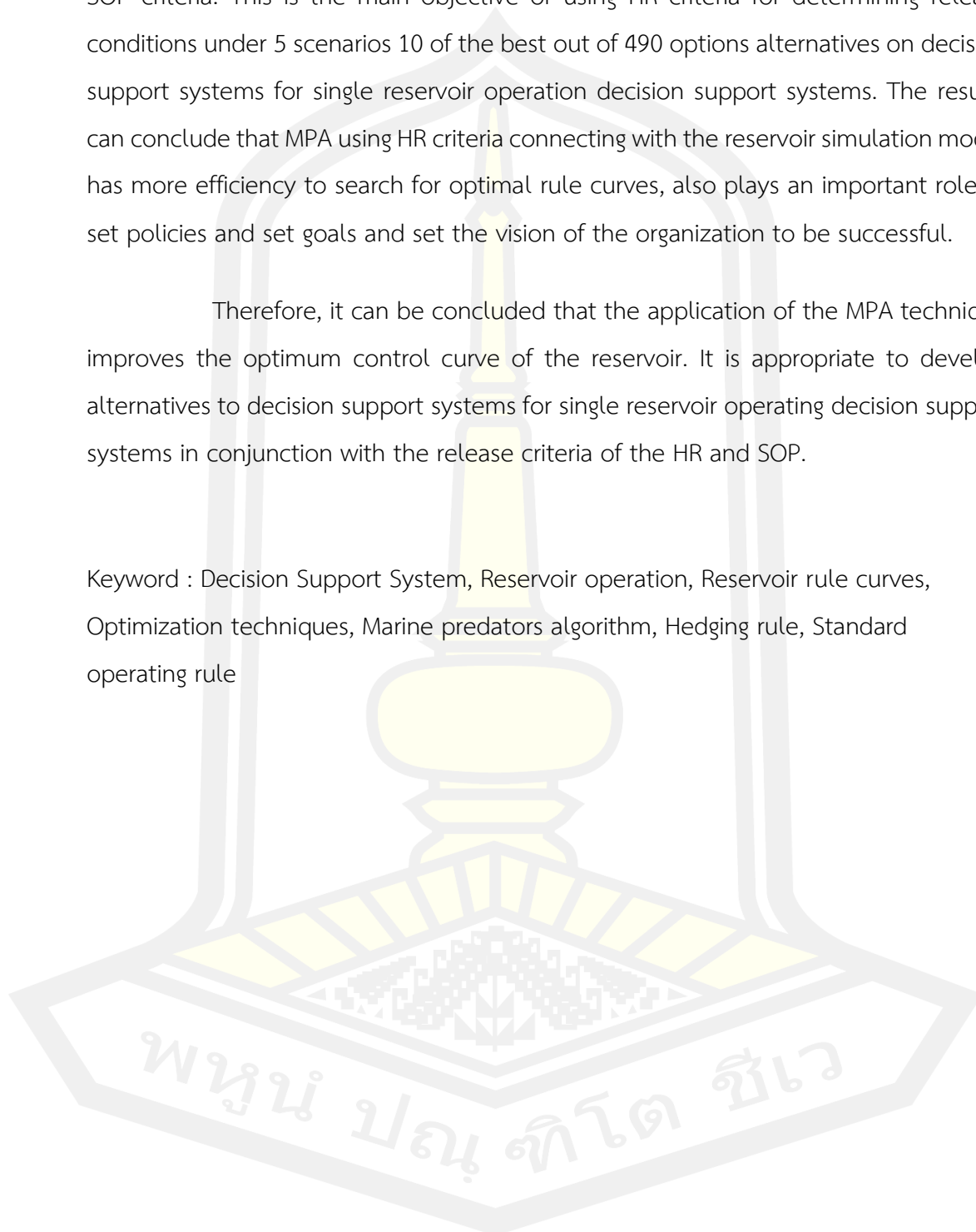
This research aims to develop alternatives to create alternative approaches to decision supporting systems for single reservoir management from making choices according to different situations under the application of the new optimization technique the Marine Predators algorithm (MPA) linked with the reservoir simulation model, in order to improve reservoir rule curves. The release criteria of the hedging rule (HR) and standard operating policy (SOP) were investigated in this study. The Ubolratana reservoir, located in Khon Kaen province in northeast Thailand was considered for this study. The information of reservoirs such as historic inflow data of 52 years (1969-2020), demand from the reservoir, hydrologic data, physical data and sedimentation volume were considered for the searching procedure. Moreover, this study synthesized 1,000 samples of inflow data that have flown into reservoirs in order to evaluate the efficiency of rule curves simulated from the proposed model, that presenting in terms of frequency, magnitude, and duration of water shortage and excess release water. Answer under 5 scenarios circumstances, including the typical case of a water scarcity, significant water shortage standard water overflow scenario both the condition of severe floods and the need to lessen the frequency of water shortages

The results that the patterns of optimal rule curves from MPA linked with reservoir simulation using HR criteria were higher than the patterns of existing rule curves for all other cases. The situations of water shortage from using optimal rule curves of HR criteria in terms of frequency were higher than when using SOP criteria,

whereas the average water shortage term using HR criteria was less than when using SOP criteria. This is the main objective of using HR criteria for determining release conditions under 5 scenarios 10 of the best out of 490 options alternatives on decision support systems for single reservoir operation decision support systems. The results can conclude that MPA using HR criteria connecting with the reservoir simulation model has more efficiency to search for optimal rule curves, also plays an important role to set policies and set goals and set the vision of the organization to be successful.

Therefore, it can be concluded that the application of the MPA technique improves the optimum control curve of the reservoir. It is appropriate to develop alternatives to decision support systems for single reservoir operating decision support systems in conjunction with the release criteria of the HR and SOP.

Keyword : Decision Support System, Reservoir operation, Reservoir rule curves, Optimization techniques, Marine predators algorithm, Hedging rule, Standard operating rule





## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ ข้อคิดเห็น ที่เป็นประโยชน์อย่างตลอดจนแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดระยะเวลาการศึกษา และการจัดทำ วิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หริส ประสารฉ่ำ ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ เรืองรุชต์ ชีระโรจน์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวา แก้วปลั่ง และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์รัตนา หอมวิเชียร กรรมการ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำที่เป็น ประโยชน์ อย่างยิ่งต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ และต่อยอดในอนาคต

ขอขอบคุณ ดร.ธีระวัฒน์ ทองวรรณ และ พี่ๆ น้องๆ นิสิตปริญญาเอก และปริญญาโท สาขา วิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่าน ที่ได้ให้การช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาตลอดมา

และสุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ ครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจ สนับสนุนด้านการศึกษา และการจัดทำวิทยานิพนธ์เสมอมา

รัตน์สุตา งามเสริฐ

พหุบัณฑิตศึกษา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ฌ
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญภาพประกอบ.....	ฒ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	5
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	6
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support System).....	8
2.1.1 การเปรียบเทียบระบบสนับสนุนการตัดสินใจกับระบบประมวลผลรายการ (Transaction Processing System).....	9
2.1.2 รูปแบบและความซับซ้อนของปัญหาในการตัดสินใจ.....	10
2.1.3 การตัดสินใจ (Decision Making).....	10
2.1.4 ระดับของการตัดสินใจภายในองค์กร.....	11
2.1.5 ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (DSS).....	12
2.1.6 ประโยชน์ของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ.....	14
2.1.7 องค์ประกอบหลักของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ.....	16

2.1.8 ส่วนประกอบของระบบ DSS.....	17
2.1.9 ประเภทของระบบ DSS ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ.....	19
2.2 วัฏจักรอุทกวิทยา (Hydrologic Cycle).....	19
2.3 สมดุลน้ำ ( Water Balance ).....	22
2.4 หลักสมดุลน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Water Balance of a Reservoir) .....	23
2.5 การจัดสรรน้ำ (Water Management) .....	25
2.6 ความต้องการใช้น้ำ (water demand).....	28
2.6.1 ความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค (Consumption demand) .....	28
2.6.2 ความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุตสาหกรรม (Industrial demand).....	29
2.6.3 ความต้องการน้ำเพื่อการท่องเที่ยว (Tourism demand).....	30
2.6.4 ความต้องการใช้น้ำเพื่อการปศุสัตว์.....	31
2.6.5 ความต้องการน้ำเพื่อรักษาสมดุลระบบนิเวศน์ทำนน้ำ.....	31
2.6.6 ความต้องการน้ำเพื่อการเกษตร.....	32
2.7 กระบวนการชะล้างพังทลายและการเกิดตะกอนในแหล่งน้ำ .....	36
2.7.1 ปริมาณตะกอน.....	36
2.7.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการชะล้างพังทลายของดิน .....	37
2.7.3 ผลเสียหายที่เกิดจากการชะล้างพังทลายของดิน .....	38
2.8 อ่างเก็บน้ำ (Reservoir) .....	38
2.8.1 คำจำกัดความของอ่างเก็บน้ำ (Definition of Reservoir).....	38
2.8.2 หน้าที่ของอ่างเก็บน้ำ (Function of Reservoirs).....	39
2.8.3 องค์ประกอบของอ่างเก็บน้ำ (Components of Reservoir) .....	42
2.8.4 โซนปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Storage Zone) .....	43
2.8.5 ประเภทของอ่างเก็บน้ำตามวัตถุประสงค์ของการใช้น้ำ .....	46
2.8.6 การปรับปรุงบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ (Improvement of Reservoir Operation). 46	

2.9 การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir operations) .....	47
2.9.1 หลักการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำด้วยโค้งควบคุม .....	47
2.9.2 การปรับปรุงระบบบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ .....	47
2.10 หลักการเกณฑ์การปล่อยน้ำของอ่างเก็บน้ำ.....	48
2.10.1 เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบมาตรฐาน (Standard Operating Policy) .....	49
2.10.2 เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging (Hedging Rules) .....	50
2.10.3 เกณฑ์การปล่อยน้ำเพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า (Hydropower Rules) .....	52
2.10.4 เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบสำรองปริมาตรว่าง (Space Rules) .....	53
2.10.5 เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Pack (Pack Rules).....	54
2.11 หลักการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำด้วยโค้งควบคุม .....	56
2.11.1 หลักการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำด้วยโค้งควบคุม .....	56
2.11.2 เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดสำหรับการหาโค้งควบคุม.....	58
2.12 Marine Predators Algorithm (MPA).....	64
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	71
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	85
3.1 การสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจ .....	86
3.2 พื้นที่การศึกษา.....	88
3.3 การประยุกต์ MPA เพื่อค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ.....	95
3.4 การจัดทำโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม .....	97
3.5 การประเมินโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม .....	101
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	102
4.1 ผลการค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ.....	102

4.1.1	โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ จากการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR (พิจารณาปริมาณตะกอน) ด้วยเทคนิค MPA เปรียบเทียบกับ GA และเทคนิค FPA กรณีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุด.....	102
4.1.2	โค้งควบคุมที่เหมาะสมอ่างเก็บน้ำ.....	103
4.1.3	โค้งควบคุมที่เหมาะสมอ่างเก็บน้ำ.....	106
4.2	ประสิทธิภาพโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ.....	109
4.2.1	ผลการประเมินประสิทธิภาพเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมด้วยเทคนิค MPA, GA และ FPA จากน้ำท่าอดีต.....	109
4.2.2	ผลการประเมินประสิทธิภาพของลู่เข้าคำตอบของการค้นหาเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำด้วยเทคนิค MPA, GA และ FPA.....	110
4.2.3	ผลการประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ ด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR และ SOP ในอ่างเก็บน้ำจากน้ำท่าอดีต .....	111
4.2.4	ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นของโค้งควบคุมที่เหมาะสม จากกรณีการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR และ SOP ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่าในอดีต 1,000 ชุดข้อมูล.....	117
4.2.5	ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นของโค้งควบคุมที่เหมาะสม (พิจารณาตะกอน) ใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR และ SOP ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่าในอดีต 1,000 ชุดเหตุการณ์ .....	133
4.3	ผลการสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจ .....	143
บทที่ 5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ .....	152
	บรรณานุกรม.....	161
	ภาคผนวก.....	163
	ประวัติผู้เขียน.....	170

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 2.1 ปริมาณการใช้น้ำในเขตพื้นที่ต่าง ๆ.....	29
ตาราง 2.2 อัตราการใช้น้ำอุปโภค บริโภคตามปริมาณประชากร.....	29
ตาราง 2.3 อัตราการใช้น้ำด้านอุตสาหกรรม.....	30
ตาราง 2.4 อัตราการใช้น้ำและจำนวนวันที่ใช้เลี้ยงสัตว์ .....	31
ตาราง 2.5 ตัวอย่างของค่าสัมประสิทธิ์พีชเฉลี่ยตลอดอายุที่ได้จากผลการทดลอง.....	35
ตาราง 3.1 ฐานข้อมูลที่ใช้ในการค้นหาโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ .....	86
ตาราง 3.2 เงื่อนไขการจัดทำโค้งควบคุมจากเทคนิค MPA .....	99
ตาราง 4.1 ผลการประเมินเหตุการณ์การขาดแคลนน้ำและการไหลล้นของโค้งควบคุมที่เหมาะสม จากเทคนิค MPA, GA และ FPA.....	109
ตาราง 4.2 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลส่วนเกินของโค้งควบคุมที่ เหมาะสม จากกรณีการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำในอดีต 52 ปี .....	112
ตาราง 4.3 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลส่วนเกินของโค้งควบคุมที่ เหมาะสม จากกรณีการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ SOP ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำในอดีต 52 ปี....	114
ตาราง 4.4 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นของโค้งควบคุมที่เหมาะสม จากกรณีการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำในอดีต 1,000 ชุดเหตุการณ์	117
ตาราง 4.5 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นของโค้งควบคุมที่เหมาะสม จากกรณีการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ SOP ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำในอดีต 1,000 ชุดเหตุการณ์ .....	122
ตาราง 4.6 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นของโค้งควบคุมที่เหมาะสม (พิจารณาตะกอน) ใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำในอดีต 1 ชุดเหตุการณ์ .....	128
ตาราง 4.7 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นของโค้งควบคุมที่เหมาะสม (พิจารณาตะกอน) ใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ SOP ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำในอดีต 1 ชุดเหตุการณ์ .....	130

ตาราง 4.8 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นของโค้งควบคุมที่เหมาะสม  
(พิจารณาตะกอน) ใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำในอดีต 1,000 ชุด  
เหตุการณ์..... 133

ตาราง 4.9 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นของโค้งควบคุมที่เหมาะสม  
(พิจารณาตะกอน) ใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ SOP ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำในอดีต 1,000 ชุด  
เหตุการณ์..... 137



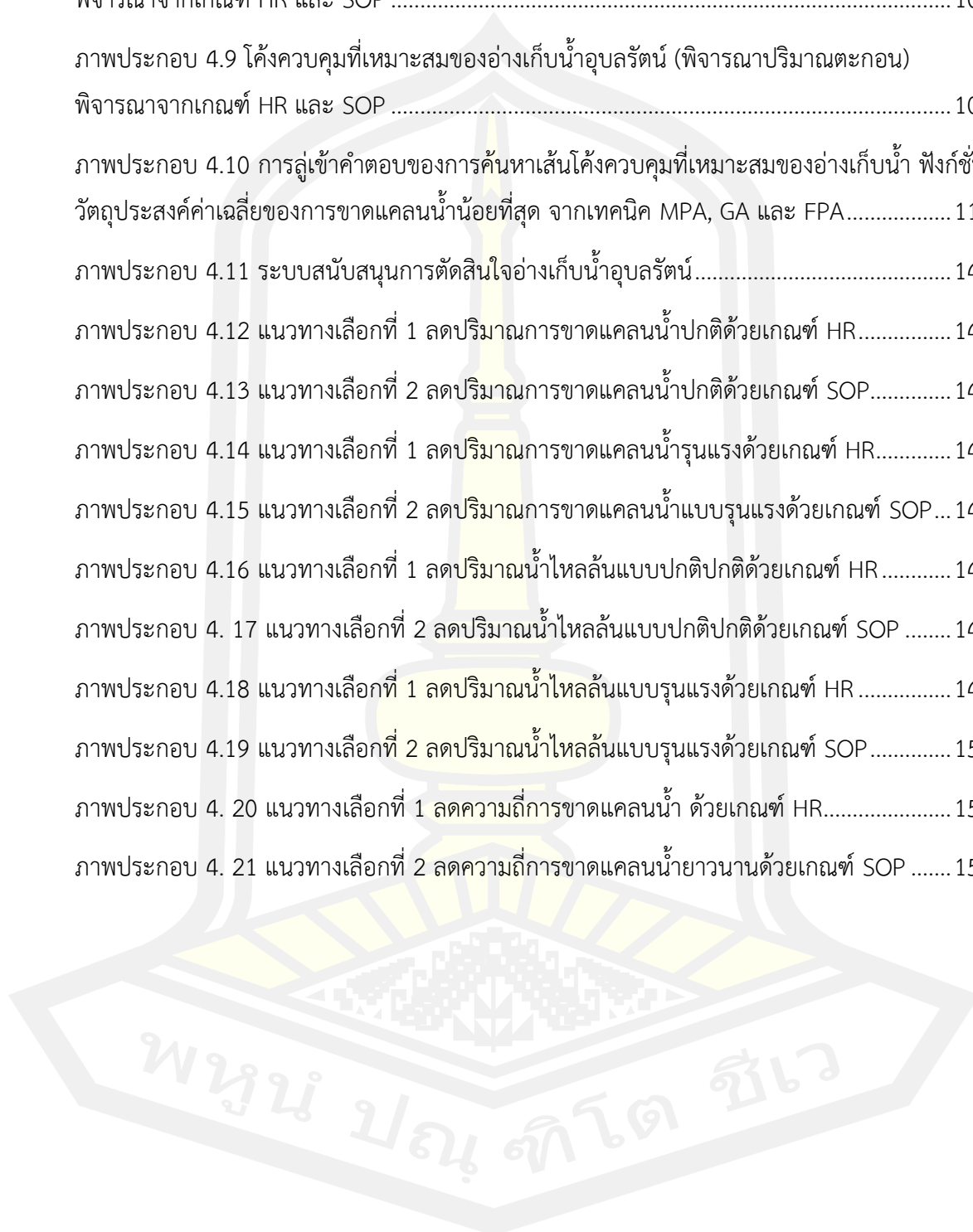
## สารบัญภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบ 2.1 ระดับของการตัดสินใจ .....	12
ภาพประกอบ 2.2 องค์ประกอบหลักของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ.....	17
ภาพประกอบ 2.3 วัฏจักรของอุทกวิทยา.....	20
ภาพประกอบ 2.4 ระบบอุทกวิทยา.....	21
ภาพประกอบ 2.5 แบบจำลองอย่างง่ายของสมดุลงน้ำ.....	22
ภาพประกอบ 2.6 แบบจำลองสมดุลงน้ำ.....	22
ภาพประกอบ 2.7 สมดุลงน้ำในอ่างเก็บน้ำ.....	24
ภาพประกอบ 2.8 สมดุลงน้ำในอ่างเก็บน้ำ.....	24
ภาพประกอบ 2.9 อ่างเก็บน้ำ.....	39
ภาพประกอบ 2.10 โซนปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ.....	44
ภาพประกอบ 2.11 ระดับน้ำต่าง ๆ ในอ่างเก็บน้ำ.....	48
ภาพประกอบ 2.12 เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบมาตรฐาน.....	50
ภาพประกอบ 2.13 เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging.....	51
ภาพประกอบ 2.14 แนวทางการปล่อยน้ำด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging.....	52
ภาพประกอบ 2.15 เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Pack (Pack Rules) ที่ช่วยเพิ่มการผลิตพลังงานไฟฟ้า.....	56
ภาพประกอบ 2.16 ตัวอย่างโครโมโซมที่ประกอบด้วยยีน 4 ตัว.....	59
ภาพประกอบ 2.17 รูปแบบของการแลกเปลี่ยนยีน.....	61
ภาพประกอบ 2.18 ขั้นตอนการทำงานของ GA.....	62
ภาพประกอบ 2.19 การสลับสายพันธุ์ (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) ของ MA.....	63
ภาพประกอบ 2.20 การสลับสายพันธุ์ (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) ของ SFL.....	63



ภาพประกอบ 2.21 กระบวนการค้นหา 3 ระยะ.....	67
ภาพประกอบ 2.22 กระบวนการทำงานอัลกอริทึม MPA.....	67
ภาพประกอบ 2.23 Pseudocode of MPA algorithm.....	70
ภาพประกอบ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	85
ภาพประกอบ 3.2 การสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจของอ่างเก็บน้ำ.....	87
ภาพประกอบ 3.3 ตำแหน่งที่ตั้งอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์.....	88
ภาพประกอบ 3.4 แผนผังของระบบอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์.....	89
ภาพประกอบ 3.5 ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ (พ.ศ.2512-2563).....	91
ภาพประกอบ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเก็บกัก-พื้นที่ผิวน้ำ ของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์.....	92
ภาพประกอบ 3.7 เกณฑ์ปล่อยน้ำ HR และ SOP.....	93
ภาพประกอบ 3.8 แผนผังการทำงานหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมด้วยวิธี MPA.....	97
ภาพประกอบ 4.1 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ จากเทคนิค MPA, GA และ FPA ด้วยเกณฑ์ HR.....	102
ภาพประกอบ 4.2 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ โดยพิจารณาจากเกณฑ์ HR และ SOP.....	103
ภาพประกอบ 4.3 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ โดยพิจารณาจากเกณฑ์ HR และ SOP.....	104
ภาพประกอบ 4.4 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ โดยพิจารณาจากเกณฑ์ HR และ SOP.....	104
ภาพประกอบ 4.5 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ โดยพิจารณาจากเกณฑ์ HR และ SOP.....	105
ภาพประกอบ 4.6 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ (พิจารณาปริมาณตะกอน) พิจารณาจากเกณฑ์ HR และ SOP.....	106
ภาพประกอบ 4.7 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ (พิจารณาปริมาณตะกอน) พิจารณาจากเกณฑ์ HR และ SOP.....	107

ภาพประกอบ 4.8 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ (พิจารณาปริมาณตะกอน) พิจารณาจากเกณฑ์ HR และ SOP .....	107
ภาพประกอบ 4.9 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ (พิจารณาปริมาณตะกอน) พิจารณาจากเกณฑ์ HR และ SOP .....	108
ภาพประกอบ 4.10 การเข้าสู่คำตอบของการค้นหาเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ ฟังก์ชัน วัตถุประสงค์ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด จากเทคนิค MPA, GA และ FPA.....	111
ภาพประกอบ 4.11 ระบบสนับสนุนการตัดสินใจอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์.....	144
ภาพประกอบ 4.12 แนวทางเลือกที่ 1 ลดปริมาณการขาดแคลนนํ้าปกติด้วยเกณฑ์ HR.....	145
ภาพประกอบ 4.13 แนวทางเลือกที่ 2 ลดปริมาณการขาดแคลนนํ้าปกติด้วยเกณฑ์ SOP.....	146
ภาพประกอบ 4.14 แนวทางเลือกที่ 1 ลดปริมาณการขาดแคลนนํ้ารุนแรงด้วยเกณฑ์ HR.....	147
ภาพประกอบ 4.15 แนวทางเลือกที่ 2 ลดปริมาณการขาดแคลนนํ้าแบบรุนแรงด้วยเกณฑ์ SOP...	147
ภาพประกอบ 4.16 แนวทางเลือกที่ 1 ลดปริมาณน้ำไหลล้นแบบปกติปกติด้วยเกณฑ์ HR .....	148
ภาพประกอบ 4. 17 แนวทางเลือกที่ 2 ลดปริมาณน้ำไหลล้นแบบปกติปกติด้วยเกณฑ์ SOP .....	149
ภาพประกอบ 4.18 แนวทางเลือกที่ 1 ลดปริมาณน้ำไหลล้นแบบรุนแรงด้วยเกณฑ์ HR .....	149
ภาพประกอบ 4.19 แนวทางเลือกที่ 2 ลดปริมาณน้ำไหลล้นแบบรุนแรงด้วยเกณฑ์ SOP .....	150
ภาพประกอบ 4. 20 แนวทางเลือกที่ 1 ลดความถี่การขาดแคลนนํ้า ด้วยเกณฑ์ HR.....	151
ภาพประกอบ 4. 21 แนวทางเลือกที่ 2 ลดความถี่การขาดแคลนนํ้ายาวนานด้วยเกณฑ์ SOP .....	151



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันการวางแผนและการจัดการระบบต่าง ๆ ค่อนข้างซับซ้อน โดยเฉพาะระบบทรัพยากรธรรมชาติ เนื่องจากถูกนำมาใช้ประโยชน์เพื่อดำรงชีวิต ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงไปของสถานะ เงื่อนไขทางธรรมชาติสิ่งที่เกิดขึ้นส่งผลกระทบต่ออย่างมากโดยเฉพาะทรัพยากรน้ำ สถานการณ์ทรัพยากรน้ำในปัจจุบันค่อนข้างของเสื่อมโทรมลงทั้งด้านปริมาณ และคุณภาพ ฉะนั้นเครื่องมือที่มีความสำคัญที่ช่วยสนับสนุนแนวทางการแก้ไขการบริหารจัดการอย่างมีประสิทธิภาพตลอดจนการคัดเลือกแนวทางที่เหมาะสมในแก้ไขปัญหาหรือสถานการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสมนั้นคือ ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ ซึ่งเป็นการบูรณาการระหว่างเทคโนโลยีกับการตัดสินใจ ภายใต้การพัฒนา 3 ระบบ ไปพร้อม ๆ กัน คือ ระบบการจัดการฐานข้อมูล (Data-base Management System) ระบบการจัดการฐานแบบจำลอง (Model-base Management System) และระบบการจัดการสื่อสารกับผู้ใช้งาน (Dialog Generation and Management System) ดังนั้นการนำระบบสนับสนุนการตัดสินใจมาประยุกต์ใช้ในงานจะยิ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ ในการคัดเลือกแนวทางที่เหมาะสมในแก้ไขปัญหาหรือสถานการณ์ต่าง ๆ ในเชิงคุณภาพของการตัดสินใจในการแก้ปัญหา และเพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานหรือนำไปปฏิบัติต่อไปในด้านการบริหารจัดการน้ำ

การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ คือ การวางแผน การปฏิบัติการ การติดตาม การประเมินผลและการวิเคราะห์ปรับปรุงแผนงาน เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของโครงการ จากสถานการณ์ปัจจุบันนั้นน้ำมีแนวโน้มที่จะเกิดวิกฤติในอนาคต จากการขยายตัวของเศรษฐกิจและสังคมทำให้ปริมาณความต้องการใช้น้ำเพิ่มขึ้นแต่ในขณะที่ปริมาณน้ำที่มีอยู่ค่อนข้างจำกัด ดังนั้นการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในปัจจุบันจึงมุ่งเน้นการบริหารจัดการน้ำทั้งประสิทธิภาพด้านเศรษฐศาสตร์ ความเป็นธรรมด้านสังคม และความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อให้สอดคล้องกับการจัดการน้ำ ทั้งการจัดการด้านต้นทุน (Supply management) ในแหล่งเก็บกักน้ำเช่น อ่างเก็บน้ำ แม่น้ำ ลำห้วย คลอง และการจัดการด้านความต้องการใช้น้ำ (Demand management) โดยการวิเคราะห์ความต้องการใช้น้ำทั้งหมดในลุ่มน้ำ การจัดสรรน้ำ การจัดการทรัพยากรน้ำร่วมกับทรัพยากรอื่น การมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้เสีย การจัดทำบัญชีความต้องการใช้น้ำทั้งในส่วนปัจจุบันและอนาคต เป็นต้น นอกจากนี้การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ ยังต้องคำนึงถึง เวลา งบประมาณ การยอมรับหรือการส่งผลกระทบต่อทรัพยากรด้านอื่นที่เกี่ยวข้องใน

ปัจจุบันนิยมใช้การจัดการทรัพยากรน้ำแบบไม่ใช้สิ่งก่อสร้าง (Non-construction) และยังเป็น การบริหารจัดการน้ำที่ประหยัดและส่งผลกระทบต่อด้านอื่นน้อยสุดและยังเป็นวิธีการที่รัฐบาลได้ทำ การสนับสนุนให้ทุกภาคส่วนได้เข้ามามีส่วนร่วมในการจัดการ เช่น การเพิ่มศักยภาพน้ำต้นทุน รูปแบบ การให้น้ำ ขุดลอกคลอง การอนุรักษ์ป่าต้นน้ำ การหารูปแบบการเพาะปลูกที่เหมาะสม การประมาณ ค่าประสิทธิภาพการชลประทาน และการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ

การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ เป็นหนึ่งในมาตรการที่มีประสิทธิภาพสำหรับการพัฒนา จัดการทรัพยากรน้ำแบบบูรณาการ อย่างเป็นขั้นตอน โดยอ่างเก็บน้ำ มีหน้าที่เก็บกัก จัดสรร บรรเทา อุทกภัย และภัยแล้ง ซึ่งบริหารอยู่ภายใต้ปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของอ่างเก็บ น้ำ ใช้หลักการบริหารจัดการด้านอุปทานควบคู่ไปกับด้านอุปสงค์ กล่าวคือบริหารจัดการน้ำให้ เพียงพอต่อความต้องการในช่วงเวลานั้น ๆ ตลอดจนถึงพิจารณา ประสิทธิภาพ ความเสมอภาค และ ความยั่งยืน ซึ่งบริหารอยู่ภายใต้ปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ที่มีภารกิจที่จะต้องตัดสินใจในการเก็บกักน้ำ จัดสรรน้ำเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ในแต่ละช่วงเวลาเป็นปริมาณเท่าใดโดยมีการวางแผนล่วงหน้า ซึ่ง ปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำนั้นมีเครื่องมือที่สำคัญ และจำเป็นพื้นฐานในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ คือ โค้งควบคุมการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Rule Curve) ซึ่งเป็นเกณฑ์การปล่อยน้ำที่พัฒนาขึ้น จากฐานแบบจำลองจากข้อมูลที่สำคัญ เช่นความต้องการใช้น้ำทำอย่าง ปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำท่าที่ ไหลเข้าอ่าง ลักษณะทางกายภาพของอ่าง เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้ส่วนใหญ่จะถูกจัดเก็บไว้ตั้งแต่อดีตที่ เริ่มมีการเก็บข้อมูลจนถึงปัจจุบัน ยิ่งข้อมูลมีระยะยาวมากเท่าไรเมื่อนำมาใช้ในการศึกษามากขึ้นยิ่ง ส่งผลให้การวิเคราะห์และการตัดสินใจน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้นอีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลเหล่านี้ควร ได้รับการตรวจสอบก่อนนำมาประกอบเป็นข้อมูลในการนำมาวิเคราะห์เสมอเพื่อความถูกต้อง การ พัฒนาฐานข้อมูลด้านแบบจำลองอ่างเก็บน้ำ ซึ่งเป็นแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสำหรับการจำลองระบบ การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำตามเงื่อนไขต่าง ๆ เพื่อใช้ในการวางแผนหรือปรับปรุงการบริหารจัดการอ่าง เก็บน้ำในอนาคตให้มีประสิทธิภาพ ดังนั้นโค้งควบคุมการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ถือได้ว่าเป็นอีกชุด คำตอบ หรือทางเลือกในการตัดสินใจของระบบบริหารจัดการน้ำ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สำคัญและจำเป็น พื้นฐานในการปรับปรุงการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Rule Curve) (Zhou et al., 2013; Zhao et al., 2016; Daus et al., 2021)

โค้งควบคุมการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ หรือเรียกสั้นๆ ว่า โค้งควบคุม (Rule Curve) ซึ่งถูก สร้างขึ้นจากการวิเคราะห์ข้อมูลอุทกวิทยาในอดีต (Historical data) ซึ่งมีเงื่อนไขต่าง ๆ กันร่วมกับ ความต้องการน้ำแสดงผลในรูปของเส้นโค้งควบคุมระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ ที่ ประกอบไปด้วยเส้นกราฟ สองเส้นคือ เส้นขอบบน (Upper Rule Curve, URC) กำหนดไว้ใช้ในฤดูฝนเพื่อให้มีพื้นที่รองรับน้ำ หลากและเก็บกักน้ำไว้ใช้อย่างเพียงพอในทุกกิจกรรมในแต่ละเดือน และยังเป็นน้ำต้นทุนในปีถัดไป ส่วนในฤดูแล้งเป็นกราฟเส้นขอบล่าง (Lower Rule Curve, LRC) เพื่อปล่อยหรือสำรองปริมาณน้ำที่

อยู่ระหว่างระดับน้ำควบคุมตอนล่างกับระดับน้ำเก็บกักต่ำสุดไว้สำหรับฤดูการเพาะปลูก นอกจากนี้ยังอาศัยเส้นกราฟนี้เป็นเครื่องมือ เพื่อไม่ให้น้ำในอ่างมากเกินไป อาจเป็นอันตรายต่อตัวเขื่อนได้ เช่นเดียวกันเพื่อไม่ให้น้ำเหลือน้อยเกินไปอาจจะก่อให้เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำในอนาคต จะเห็นได้ว่าการควบคุมระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำจะอยู่ภายใต้เส้นขอบบนและขอบล่างให้มากที่สุด อย่างไรก็ตาม จากสภาพอากาศ และสถานการณ์ฝนที่เปลี่ยนแปลงไปในปัจจุบัน การยึดโยงเพียงเส้นกราฟ 2 เส้นเฉกเช่นที่ผ่านมาอาจไม่เพียงพอ เนื่องจากการควบคุมระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำเป็นการใช้โค้งควบคุมบริหารจัดการในระยะยาว (Long Term Operation) นิยมใช้เป็นโค้งรายเดือน (Monthly rule curve) จะเห็นได้ว่าเมื่อนำโค้งควบคุมระดับเก็บกักน้ำมาใช้ในเวลานานอาจทำให้การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำด้อยประสิทธิภาพลง (Zhao et al., 2014; Zhao et al., 2016; Mensik et al., 2017) จึงจำเป็นต้องมีเส้นกราฟสำหรับบริหารจัดการน้ำเพื่อให้มีความยืดหยุ่นและสอดคล้องกับสถานการณ์ในแต่ละปี โดยใช้ข้อมูล ณ ปัจจุบัน เพื่อให้การบริหารจัดการน้ำมีความแม่นยำยิ่งขึ้น และลดความเสี่ยงไปในตัว ดังนั้นการบริหารจัดการน้ำโดยใช้เส้นกราฟบนและกราฟล่างจะไม่ตายตัวแบบเดิม แต่จะมีเส้นกราฟที่มีความยืดหยุ่นในการบริหารจัดการน้ำ แต่อย่างไรก็ตามโค้งควบคุมก็ยังมีหลักพื้นฐานในการนำมาประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำนั่นก็คือ การใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐานในสถานการณ์น้ำทั้งปกติและวิกฤต

เกณฑ์การปล่อยเป็นเงื่อนไขสำหรับควบคุมการปล่อยหรือกักเก็บน้ำสำหรับการทำงานของอ่างเก็บน้ำ เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Standard operating rule (SOP) คือการปล่อยน้ำให้มากที่สุดเท่าที่แหล่งกักเก็บสามารถจัดหาได้เพื่อให้เป็นไปตามเป้าหมาย (Chaleeraktrakoon and Kangrang., 2007; Chiamsathit et al., 2014) เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging rule (HR) ถูกนำมาใช้เพื่อลดความเสี่ยงและความเสียหายที่เกิดจากการขาดแคลนน้ำอย่างรุนแรงในอนาคต (Zhao et al., 2014; Sasireka and Neelakantan., 2017) เกณฑ์การปล่อยน้ำ SOP ได้รับความสนใจและได้รับการพัฒนาและนำไปใช้ในหลากหลายรูปแบบ อย่างไรก็ตาม เช่น เกณฑ์การปล่อยน้ำ SOP อาจทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำในปริมาณมากเพียงช่วงเดียว เนื่องจากปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่อ่างเก็บน้ำมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้น เพื่อลดผลกระทบในปัจจุบันและอนาคต เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging rule (HR) จึงได้รับการพัฒนาสำหรับการดำเนินงานของอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูแล้งภายใต้สภาวะต่าง ๆ ซึ่งใช้หลักการปล่อยสูง (Liu et al., 2018; Jamshidi and Shourian., 2019; Li et al., 2021; Allawi et al., 2019) ในการแจกจ่ายน้ำก่อนเกิดภาวะขาดน้ำ ได้ค้นพบเกณฑ์การปล่อยน้ำของ HR เพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำช่วงเดียวและลดปัญหาการขาดแคลนน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพสามารถบรรเทาความแห้งแล้งได้เช่นกัน นอกจากนี้เมื่อพิจารณาการจัดสรรความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรภายใต้ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสามารถบรรเทาความแห้งแล้งในปัจจุบันและอนาคตได้เป็นอย่างดี และยังคงเหมาะที่จะใช้ร่วมกับโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ สำหรับจัดการอ่างเก็บน้ำที่มี

ปริมาณน้ำท่ามากกว่าอ่างเก็บน้ำวิกฤตสำหรับจัดการทั้งสถานการณ์อุทกภัยและภัยแล้ง เช่น อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น ที่ประสบปัญหาการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ ภายใต้สถานการณ์การดังกล่าว และยังประสบปัญหาการตกตะกอนซึ่งส่งผลทำให้ ปริมาณเก็บกักเปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ การตกตะกอนของอ่างเก็บน้ำเป็นปัญหาสำคัญในหลายพื้นที่ โดยเฉพาะการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ ซึ่งอาจรุนแรงขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงการใช้พื้นที่เก็บกักน้ำ ทำให้ความจุของอ่างเก็บน้ำลดลงเมื่อเวลาผ่านไป (Viseras et al., 2009; Weiming et al., 2000; Ahmed and M. Sanchez., 2011; Chaoi et al., 2021; Iradukunda and Nyadawa., 2021) ส่งผลโดยตรงสำหรับการค้นหาโค้งควบคุมสำหรับใช้เป็นเกณฑ์การปล่อยน้ำ

การค้นหาเส้นโค้งควบคุมในอดีตเป็นใช้วิธีการค้นหาโค้งควบคุมด้วยการลองผิดลองถูก ซึ่งวิธีการนี้เหมาะสำหรับระบบอ่างเก็บน้ำที่มีความซับซ้อนน้อยและมีข้อมูลน้อย ดังนั้นอาจไม่เหมาะสมสำหรับการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำที่มีความซับซ้อนด้านข้อมูลมาก (Jain et al., 1998; Allawi et al., 2018) ต่อมาได้มีการนำเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมสูงสุด (Optimization techniques) สำหรับการหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำอย่างหลากหลาย เช่น การศึกษาเลียนแบบ (Simulation), โปรแกรมเชิงพลวัต (Dynamic programming) (Chaleeraktragoon et al., 2015; Chaleeraktragoon et al., 2014 ) Genetic algorithms (Prasanchum และ Kangrang et al., 2018; Ngoc et al., 2019; Kangrang et al., 2019; Thongwan et al., 2020) genetic programming (Moeini and K. Nasiri et al., 2021) tabu search (Thongwan et al., 2019; Kangrang et al., 2018) Harris hawks (Techarungruengsakul et al., 2022), wind driven optimization (Kangrang et al., 2019), firefly algorithm (Kangrang et al., 2019), flower pollination algorithm (Abdel-Basset et al., 2021; Bozorg-Haddad et al., 2021), grey wolf optimizer (Sinthuchai และ A. Kangrang., 2019), fast orthogonal search (FOS) (Osman et al., 2010) เป็นต้น เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุด ได้รับการพัฒนาด้านประสิทธิภาพให้สามารถประยุกต์ใช้งานได้อย่างหลากหลาย อย่างไรก็ตามแต่ละวิธีมีข้อจำกัด ความซับซ้อนและความเหมาะสมของการทำงานที่แตกต่างกันในการประยุกต์นำมาใช้งาน หากมีอัลกอริทึมที่ง่าย สามารถประยุกต์ใช้งานได้อย่างเหมาะสมก็จะเป็นที่น่าสนใจ โดยเฉพาะอัลกอริทึมในตระกูลเมตาฮีริสติก (metaheuristic) ถูกนำมาพัฒนาและประยุกต์ใช้งานอย่างหลากหลายในการแก้ไขปัญหาทางด้านตัวเลขและด้านวิศวกรรม เนื่องจากสามารถค้นหา global optimal ได้ค่อนข้างดี ในหลายๆ เทคนิคมีความชาญฉลาดในการค้นหาคำตอบที่แตกต่างกันไป ไม่ว่าจะเป็นเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมสูงสุดที่ได้รับแรงบันดาลใจมาจากวิวัฒนาการ พฤติกรรม และการสุ่มบางอย่างเพื่อเลียนแบบปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ดังนั้นหากมีเทคนิคการหาค่าเหมาะสมสูงสุดวิธีใหม่ที่จะประยุกต์ใช้งานง่ายและมีความเหมาะสมกับพื้นที่ศึกษาก็เป็นที่น่าสนใจ

เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมสูงสุดในกลุ่ม metaheuristic อีกหนึ่งเทคนิคที่น่าสนใจ คือ เทคนิค Marine Predators Algorithm (MPA) ที่ได้รับแรงบันดาลใจจากการหาอาหารของนักล่าทะเลผู้ยิ่งใหญ่และชาญฉลาด (Faramarzi et al., 2020) MPA ถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาทางวิศวกรรม (Milenković and M. Krstić., 2021; Ramezani et al., 2021; Shaheen et al., 2020; Islam et al., 2021; Sun and Gao et al., 2021) เช่น การออกแบบสปริงสำหรับแรงอัด ลำแสงเชื่อม และถังแรงดัน ฯลฯ จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า MPA ประสบความสำเร็จอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคอื่นภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน อย่างไรก็ตามยังไม่นิยมนำมาใช้หาโค้งควบคุมที่เหมาะสม แต่เทคนิคหาค่าความเหมาะสม ยังจำเป็นต้องใช้ในงานทางด้านแหล่งน้ำเพื่อปรับปรุงบริหารอ่างเก็บน้ำในการพัฒนาฐานแบบจำลองที่ถูกต้องเหมาะสมในการค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม

ดังนั้นจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำมีหลายองค์ประกอบในการนำมาพิจารณา หากมีการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับอ่างเก็บน้ำที่เป็นแบบอย่างเดียวที่บริหารภายใต้โค้งควบคุมด้วยเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิคใหม่ เพื่อการพัฒนาแนวทางเลือกที่เหมาะสมจากระบบสนับสนุนการตัดสินใจมาประยุกต์ใช้ในงานจะยิ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในเชิงคุณภาพของการตัดสินใจในการแก้ปัญหา เนื่องจากระบบสนับสนุนการตัดสินใจเป็นระบบที่พัฒนาจากองค์ความรู้หลายด้าน รวมทั้งองค์ความรู้ของแต่ละสาขาวิชาที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้งาน จึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการนำมาประยุกต์ใช้งานในการบริหารจัดการเหล่านี้ และเพื่อนำมาประยุกต์ใช้งาน หรือเป็นทางเลือกนำไปประกอบตัดตัดสินใจ

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาทางเลือกสนับสนุนระบบการตัดสินใจ ในการจัดการน้ำทางวิศวกรรมอ่างเก็บน้ำแบบอย่างเดียว จากการสร้างทางเลือกตามสถานการณ์ที่แตกต่างกัน โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเทคนิคใหม่นั้นคือ Marine Predators Algorithm (MPA) ด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging Rule ของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อพัฒนาทางเลือกสนับสนุนระบบการตัดสินใจ ในการจัดการน้ำทางวิศวกรรมอ่างเก็บน้ำแบบอย่างเดียว
2. เพื่อประยุกต์ใช้เทคนิค Marine Predators Algorithm (MPA) ด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging Rule เพื่อปรับปรุงโค้งควบคุมที่เหมาะสมสูงสุดของอ่างเก็บน้ำ

### 1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลที่ต้องใช้ในแบบจำลอง
  - 1.1 ข้อมูลอ่างเก็บน้ำ
    - 1.1.1 ลักษณะทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำ
    - 1.1.2 ระดับความจุของอ่างเก็บน้ำ ประกอบด้วย ระดับความจุของอ่างเก็บน้ำระดับความจุต่ำสุด ระดับความจุเก็บกักและระดับความจุสูงสุด
    - 1.1.3 ปริมาณตะกอนในอ่างเก็บน้ำ
    - 1.1.3 โค้งความสัมพันธ์ระดับเก็บกัก-ความจุ-พื้นที่ผิวน้ำ
  - 1.2 ข้อมูลอุตุวิทยามหาวิทยาลัย-อุทกวิทยา ระหว่างปี พ.ศ. 2512 – 2563
    - 1.2.1 ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ
    - 1.2.2 ปริมาณน้ำฝนรายเดือน
    - 1.2.3 ปริมาณการระเหยของอ่างเก็บน้ำ
    - 1.2.4 ปริมาณการไหลสูงสุดที่ด้านท้ายอ่างจะรับได้
  - 1.3 ข้อมูลปริมาณความต้องการใช้น้ำรายเดือนพื้นที่ท้ายอ่าง
    - 1.3.1 ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำเพื่อการชลประทาน
    - 1.3.2 ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค
  - 1.4 พื้นที่ชลประทานท้ายอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์
2. ช่วงข้อมูลปีฐานสำหรับข้อมูลปริมาณน้ำฝนและปริมาณความต้องการใช้น้ำท้ายอ่าง คือระหว่างปี พ.ศ. 2512 – 2563
3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์โค้งควบคุม (rule curve)
  - 3.1 โปรแกรม Matlab เวอร์ชัน 6.1 และ Rb2018
  - 3.2 เทคนิค Marine Predators Algorithm (MPA)
  - 3.3 เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging (HR)
  - 3.4 เกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน (SOP)
4. พื้นที่การวิจัย
  - 4.1 อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ ตำบลเขื่อนอุบลรัตน์ อำเภออุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น เป็นอ่างเก็บน้ำอเนกประสงค์

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อประยุกต์ใช้เทคนิค Marine Predators Algorithm (MPA) เพื่อปรับปรุงโค้งควบคุมที่เหมาะสมสูงสุดของอ่างเก็บน้ำ



2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพการประยุกต์การปล่อยน้ำแบบเกณฑ์การปล่อยน้ำที่แตกต่าง  
กัน

3. เพื่อพัฒนาศักยภาพ เพิ่มประสบการณ์การเรียนรู้ด้านการออกแบบและนำการจำลอง  
สภาพด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะกับสถานการณ์ปัจจุบัน

4. เพื่อเป็นแนวทางการสนับสนุนการตัดสินใจของผู้มีอำนาจในการตัดสินใจในการ  
ดำเนินการจัดการทรัพยากรน้ำที่เหมาะสม

5. สามารถเป็นประโยชน์ในฐานะข้อมูลงานวิจัย เพื่อนำไปใช้ประโยชน์แก่ผู้ที่มีความสนใจ  
หรือนำไปต่อยอดในงานวิศวกรรม ทางด้านการบริหารจัดการบริหารจัดการทรัพยากรแหล่งน้ำร่วมกับ  
การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ



## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้เป็นการศึกษาถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้เกิดความเข้าใจในทฤษฎี ต่าง ๆ ที่นำมาใช้ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยมีหัวข้อดังต่อไปนี้

1. ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ
2. วัฏจักรอุทกวิทยา (Hydrologic Cycle)
3. สมดุลน้ำ (Water Balance)
4. หลักการสมดุลน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Water Balance of a Reservoir)
5. การจัดการน้ำ (Water Management)
6. ความต้องการใช้น้ำ (water demand)
7. ปริมาณตะกอนในอ่างเก็บน้ำ
8. อ่างเก็บน้ำ (Reservoir)
9. การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir operations)
10. หลักการเกณฑ์การปล่อยน้ำของอ่างเก็บน้ำ
11. หลักการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำด้วยโค้งควบคุม
12. Marine Predators Algorithm (MPA)
13. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support System)

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support System; DSS) เป็นระบบย่อยหนึ่งในระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ โดยที่ระบบสนับสนุนการตัดสินใจจะช่วยผู้บริหารในเรื่องการตัดสินใจในเหตุการณ์หรือกิจกรรมทางธุรกิจที่ไม่มีโครงสร้างแน่นอน หรือกึ่งโครงสร้าง ระบบสนับสนุนการตัดสินใจอาจจะใช้กับบุคคลเดียวหรือช่วยสนับสนุนการตัดสินใจเป็นกลุ่ม นอกจากนั้นยังมีระบบสนับสนุนผู้บริหารเพื่อช่วยผู้บริหารในการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ ระบบสนับสนุนการตัดสินใจได้เริ่มขึ้นในช่วง ปี ค.ศ. 1970 โดยมีหลายบริษัทเริ่มที่จะพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อที่จะช่วยผู้บริหารในการตัดสินใจปัญหาที่ไม่มีโครงสร้างที่แน่นอน หรือกึ่งโครงสร้างโดยข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงตลอด ซึ่งระบบสารสนเทศเดิมที่ใช้ในลักษณะระบบการประมวลผลรายการ (Transaction processing system) ไม่สามารถกระทำได้ นอกจากนั้นยังมีวัตถุประสงค์เพื่อ

ลดแรงงาน ต้นทุนที่ต่ำลงและยังช่วยในเรื่องการวิเคราะห์การสร้างตัวแบบ (Model) เพื่ออธิบายปัญหาและตัดสินใจปัญหาต่าง ๆ จนกระทั่งปี ค.ศ. 1980 ความพยายามในการใช้ระบบนี้เพื่อช่วยในการสนับสนุนการตัดสินใจได้แพร่ออกไป ยังกลุ่มและองค์กรต่าง ๆ

DSS เป็นซอฟต์แวร์ที่ช่วยในการตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดการ การรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และการสร้างตัวแบบที่ซับซ้อน ภายใต้ซอฟต์แวร์เดียวกัน นอกจากนี้ DSS ยังเป็นการประสานการทำงานระหว่างบุคลากรกับเทคโนโลยีทางด้านซอฟต์แวร์ โดยเป็นการกระทำได้ต่อกัน เพื่อแก้ปัญหาแบบไม่มีโครงสร้าง และอยู่ภายใต้การควบคุมของผู้ใช้ตั้งแต่เริ่มต้นถึงสิ้นสุดขั้นตอน หรืออาจกล่าวได้ว่า DSS เป็นระบบที่โต้ตอบกันโดยใช้คอมพิวเตอร์ เพื่อหาคำตอบที่ง่าย สะดวก รวดเร็วจากปัญหาที่ไม่มีโครงสร้างที่แน่นอน ดังนั้นระบบการสนับสนุนการตัดสินใจ จึงประกอบด้วย ชุดเครื่องมือ ข้อมูล ตัวแบบ (Model) และทรัพยากรอื่น ๆ ที่ผู้ใช้หรือนักวิเคราะห์นำมาใช้ในการประเมินผลและแก้ไขปัญหา ดังนั้นหลักการของ DSS จึงเป็นการให้เครื่องมือที่จำเป็นแก่ผู้บริหาร ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีรูปแบบที่ซับซ้อน แต่มีวิธีการปฏิบัติที่ยืดหยุ่น DSS จึงถูกออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ไม่เพียงแต่การตอบสนองในเรื่องความต้องการของข้อมูลเท่านั้น

### 2.1.1 การเปรียบเทียบระบบสนับสนุนการตัดสินใจกับระบบประมวลผลรายการ (Transaction Processing System)

#### 1. ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

ประโยชน์	ใช้แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นใหม่ตามปัจจัยที่แตกต่างกันไป
ผู้ใช้	ผู้บริหารและที่ปรึกษา
เป้าหมาย	เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
ข้อมูลที่ใช้	ปัจจุบัน,อนาคต
วัตถุประสงค์ของการใช้	มีความยืดหยุ่นสามารถปรับปรุงเข้ากับสถานการณ์และปัญหาได้

#### 2. ระบบประมวลผลรายการ

ประโยชน์	ใช้กับการประมวลผลประจำ
ผู้ใช้	พนักงานทั่วไป
เป้าหมาย	เพื่อตอบสนองการดำเนินงานประจำวัน
ข้อมูลที่ใช้	อดีต
วัตถุประสงค์ของการใช้	มีลักษณะที่คงที่ ไม่เปลี่ยนแปลง

### 2.1.2 รูปแบบและความซับซ้อนของปัญหาในการตัดสินใจ

1. การตัดสินใจแบบมีโครงสร้าง (Structure Decision) การตัดสินใจลักษณะนี้จะเป็นการตัดสินใจที่มีกฎเกณฑ์ตายตัว เช่นการคิดค่าปรับในการลงทะเบียนล่าช้า การคิดภาษามูลค่าเพิ่มสินค้าชนิดที่ต้องมี VAT กรณีการตัดสินใจลักษณะนี้ จะเป็นการตัดสินใจในระดับ TPS ซึ่งเรามักจะใช้เป็นกฎในการกำหนดในตัว Software ที่ปฏิบัติงานเพื่อเป็นการลดภาระงานของมนุษย์เรามักจะเรียกการตัดสินใจในรูปแบบนี้ว่า Programmable Decision

2. การตัดสินใจแบบกึ่งโครงสร้าง (Semi Structure) การตัดสินใจแบบกึ่งโครงสร้างเป็นการตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรจำนวนมาก ด้วยเหตุผลนี้ผู้บริหารระดับสูงซึ่งทำการตัดสินใจจึงต้องมีทักษะเป็นอย่างดีเมื่อประสบปัญหาสามารถมองหาช่องทางและตัดสินใจได้อย่างรวดเร็ว โดยอาศัยประสบการณ์ วิจารณ์ญาณ ไหวพริบ ปฏิญาณ และความชำนาญในการแก้ปัญหา ตัวอย่างการตัดสินใจประเภทนี้ เช่น การตัดสินใจขยายโครงการ การตกลงใจผลิตสินค้าชนิดใหม่

3. การตัดสินใจแบบไม่มีโครงสร้าง (Non Structure Decision) ลักษณะการตัดสินใจประเภทนี้จะใช้สำหรับผู้บริหารระดับสูงในระดับกลยุทธ์ (Selecting Strategies ) ตัวอย่างการกำหนดกลยุทธ์ด้านการขายในรูปแบบต่าง ๆ ในลักษณะเช่นนี้ สารสนเทศจะมีส่วนสนับสนุนบ้างแต่น้ำหนักจะไปตกกับศิลปะและประสบการณ์ของผู้บริหารเป็นส่วนใหญ่ ระบบนี้จะอยู่ในระดับ ESS (Executive Support System) ตัวอย่างเช่นการกำหนดทิศทางในการดำเนินงานอีก 10 ปีข้างหน้าของบริษัท โดยการดูจากค่าพยากรณ์ในอนาคต

### 2.1.3 การตัดสินใจ (Decision Making)

กระบวนการตัดสินใจประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ

1.การใช้ความคิดประกอบเหตุผล (Intelligence) เป็นขั้นตอนที่รับรู้และตระหนักถึงปัญหาหรือโอกาสที่เกิดขึ้น ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหา นำข้อมูลมาวิเคราะห์และตรวจสอบเพื่อแยกแยะและกำหนดรายละเอียดของปัญหาหรือโอกาส

2.การออกแบบ (Design) เป็นขั้นตอนของการพัฒนาและวิเคราะห์ทางเลือกในการปฏิบัติที่เป็นไปได้ รวมถึงการตรวจสอบและประเมินทางเลือกในการแก้ปัญหา ซึ่งอาจใช้ตัวแบบเพื่อสร้างทางเลือกต่าง ๆ ในการแก้ปัญหา หรือออกแบบหนทางแก้ปัญหาที่ดีที่สุด

3.การคัดเลือก (Choice) ผู้ตัดสินใจจะเลือกแนวทางเลือกที่เหมาะสมกับปัญหาและสถานการณ์มากที่สุด โดยอาจใช้เครื่องมือมาช่วยวิเคราะห์ คำนวณค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนของแต่ละแนวทางเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าได้เลือกแนวทางที่ดีที่สุด

4.การนำไปใช้ (Implementation) เป็นขั้นตอนที่นำผลการตัดสินใจไปปฏิบัติ และคิดตามผลของการปฏิบัติเพื่อตรวจสอบว่าการดำเนินงานมีประสิทธิภาพหรือมีข้อขัดข้องประการใด จะต้องแก้ไขหรือปรับปรุงให้สอดคล้องและเหมาะสมกับสถานการณ์อย่างไร

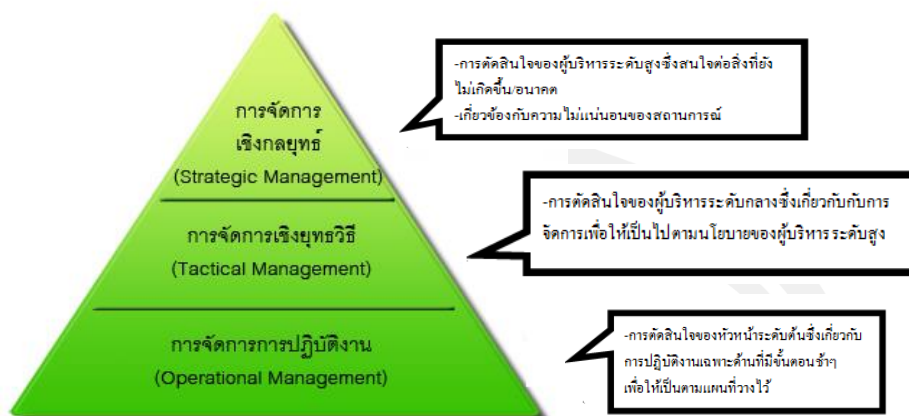
#### 2.1.4 ระดับของการตัดสินใจภายในองค์กร

การตัดสินใจสามารถถูกจำแนกให้สอดคล้องกับระดับของการจัดการออกดังแสดงในภาพประกอบ 2.1 โดยแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

1. การตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ (Strategic Decision Making) การตัดสินใจเชิงกลยุทธ์เป็นการตัดสินใจของผู้บริหารระดับสูง ที่ให้ความสนใจในอนาคต เช่น การกำหนดวิสัยทัศน์ขององค์กร การกำหนดนโยบายและการวางแผนระยะยาว เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่กำหนด โดยทั่วไปสิ่งแวดล้อมในการตัดสินใจของผู้บริหารระดับสูงจะมีการเปลี่ยนแปลงหรือมีความไม่แน่นอน และไม่สามารถกำหนดขั้นตอนการตัดสินใจที่ชัดเจนไว้ล่วงหน้าได้

2. การตัดสินใจเชิงยุทธวิธี (Tactical Decision Making) การตัดสินใจเชิงยุทธวิธีเป็นการตัดสินใจของผู้บริหารระดับกลาง ซึ่งจะเกี่ยวกับการจัดการเพื่อให้การดำเนินงานบรรลุตามเป้าหมายและวัตถุประสงค์ตามที่ผู้บริหารระดับสูงกำหนดไว้ การตัดสินใจในระดับนี้จะเกี่ยวข้องกับปัญหาในลักษณะแบบกึ่งโครงสร้าง เช่น การจัดสรรทรัพยากรที่จำเป็นเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ขององค์กร การจัดสรรงบประมาณ การกำหนดการผลิต การกำหนดยุทธวิธีทางการตลาด การวางแผนงบประมาณระยะกลาง และการทำโครงการต่าง ๆ เพื่อให้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

3.การตัดสินใจเชิงปฏิบัติการ (Operational Decision Making) การตัดสินใจเชิงปฏิบัติการเป็นการตัดสินใจของผู้บริหารระดับปฏิบัติการหรือหัวหน้างานซึ่งเกี่ยวข้องกับงานประจำหรือการปฏิบัติงานเฉพาะด้านต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นเป็นกิจวัตรเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าสามารถปฏิบัติงานเหล่านั้นได้ตามแผนที่วางไว้ได้อย่างสำเร็จและมีประสิทธิภาพ เช่น การตัดสินใจในกระบวนการสั่งซื้อการควบคุมสินค้าคงคลัง การตัดสินใจในระดับนี้เป็น การตัดสินใจเกี่ยวข้องกับปัญหาลักษณะแบบมีโครงสร้าง ซึ่งหลักเกณฑ์และวิธีการต่าง ๆ สามารถกำหนดไว้ล่วงหน้าและทำการตัดสินใจได้โดยอัตโนมัติเนื่องจากจะเป็นปัญหาในเรื่องที่ซ้ำ ๆ กัน



ภาพประกอบ 2.1 ระดับของการตัดสินใจ

ที่มา: <http://zigmagirl.exteen.com/20090120/entry>

#### 2.1.5 ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (DSS)

1. เน้นการใช้ฐานข้อมูลที่มาจากปัจจัยภายนอก (External Database) และใช้ตัวแบบคณิตศาสตร์ (Model Base) เช่นข้อมูลเกี่ยวกับคู่แข่งทางการค้า นโยบายของรัฐ วัตถุดิบ สิ่งแวดล้อม กฎหมายการค้า ฯลฯ

2. สนับสนุนการตัดสินใจสำหรับผู้บริหารทุกระดับ (Support All Level) ระบบสนับสนุนการตัดสินใจสามารถนำไปใช้โดยผู้บริหารทุกระดับตั้งแต่หัวหน้าสายงาน ผู้จัดการฝ่ายต่าง ๆ ผู้จัดการทั่วไป ผู้บริหารระดับสูง รวมถึงผู้บริหารที่เพิ่งได้รับการแต่งตั้งเข้ามาดำรงตำแหน่งและยังไม่ทราบแนวคิดการตัดสินใจขององค์กร

3. สนับสนุนการตัดสินใจเฉพาะบุคคลหรือกลุ่ม (Individual or Group) ในองค์กร ไม่ว่าจะเป็นหน่วยงานของรัฐหรือเอกชน การตัดสินใจส่วนมากจะกระทำหลังจากมีการปรึกษาหารือหรือกันอย่างกว้างขวาง นอกจากระบบสนับสนุนการตัดสินใจจะสามารถช่วยสนับสนุนผู้บริหารแก้ปัญหาเฉพาะบุคคลได้แล้วยังสามารถช่วยผู้บริหารในการตัดสินใจแบบกลุ่มได้ด้วย

4. สนับสนุนการตัดสินใจที่เกี่ยวข้องและซับซ้อน (Complexity) ระบบสนับสนุนการตัดสินใจระบบหนึ่งๆ จะมีแบบจำลองของการตัดสินใจหลายแบบ ซึ่งแบบจำลองของการตัดสินใจจะเกี่ยวเนื่องกันในลักษณะที่แก้ปัญหาจากปัญหาต่างๆ ไปยังปัญหาที่ซับซ้อนได้ ในระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่ซับซ้อนมากจะมีแบบจำลองของการตัดสินใจที่ง่ายรวมอยู่

5. สนับสนุนงานผู้เชี่ยวชาญ (Support Expert) การออกแบบและทางเลือก ระบบสนับสนุนการตัดสินใจสนับสนุนการทำงานทุกขั้นตอนของกระบวนการตัดสินใจ ได้แก่ งานผู้เชี่ยวชาญ โดยสามารถสะสมความรู้ใหม่เข้าไปเก็บไว้ในฐานข้อมูลความรู้ของผู้เชี่ยวชาญ สามารถออกแบบระบบ

สนับสนุนการตัดสินใจได้โดยการระบุทางเลือก การเสนอแนะแนวทางการแก้ปัญหา การค้นหาข้อมูล ในการแก้ปัญหา และการนำไปปฏิบัติได้จริง

6. สนับสนุนกระบวนการตัดสินใจที่มีการนำข้อมูลจากระบบต่าง ๆ มาใช้ ( Data Ware House) โดยจะพิจารณาความสอดคล้องกันระหว่างวิธีการตัดสินใจแต่ละคนกับระบบงานย่อยต่าง ๆ ที่ทำงานภายใต้สถานะแวดล้อมของระบบสนับสนุนการตัดสินใจเดียวกัน โดยระบบจะประมวลผลข้อมูลตามความต้องการของลักษณะงานมากกว่าประมวลผลตามสายงานของแต่ละแผนก

7. ยืดหยุ่นและง่ายต่อการเปลี่ยนแปลง ( Flexibility ) เมื่อผู้บริหารใช้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจไประยะหนึ่งก็จะมีข้อมูลเข้ามาสู่ฐานข้อมูลมากขึ้น แบบจำลองการตัดสินใจก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่เข้าสู่ระบบ ผู้ใช้สามารถปรับปรุงหรือปรับเปลี่ยนรูปแบบของหน้าที่พื้นฐานในระบบเสียใหม่ ซึ่งยังคงให้มีลักษณะการโต้ตอบอย่างรวดเร็วต่อสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไปได้เหมือนเดิม ระบบสนับสนุนการตัดสินใจมีความสามารถในการวิเคราะห์แบบเร่งด่วนได้อย่างทันทีทันใด

8. ง่ายต่อการใช้งาน ( Ease of Uses ) ผู้ใช้ระบบสามารถใช้งานระบบได้ง่ายขึ้น โดยไม่ต้องแก้ไขแบบจำลองทั้งหมดของระบบ ในกรณีที่ปัญหาที่มีลักษณะคล้ายกับปัญหาเดิมและได้มีการสร้างแบบจำลองของปัญหานั้นไว้แล้ว ผู้ใช้สามารถนำแบบจำลองนั้นมาทำการเปลี่ยนค่าตัวแปรต่าง ๆ เท่านั้น การออกแบบระบบได้รองรับความหลากหลายของความต้องการของผู้บริหารไว้แล้ว นอกจากนี้แล้วระบบยังมีการนำเอาภาพกราฟิกมาสร้างส่วนต่อประสานผู้ใช้ ( Graphic User Interface : GUI ) ซึ่งง่ายต่อการใช้งาน และง่ายต่อการโต้ตอบกับระบบ ซึ่งช่วยให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบดีขึ้น

9. เน้นประสิทธิภาพในการตัดสินใจ ( Efficient DSS) ระบบสนับสนุนการตัดสินใจเป็นระบบที่พยายามจะปรับปรุงประสิทธิภาพของการตัดสินใจให้บรรลุวัตถุประสงค์หรือจุดมุ่งหมายที่กำหนดไว้ โดยเน้นในเรื่องความถูกต้อง ทันท่วงทีและมีคุณภาพมากกว่าที่จะเน้นในเรื่องการประหยัดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้ทรัพยากรในระบบและค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเสียเวลาของการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์หรืออาจกล่าวได้ว่า ระบบสนับสนุนการตัดสินใจเน้นวัตถุประสงค์ของการตัดสินใจโดยไม่คำนึงถึงต้นทุนที่เกิดขึ้น

10. เป็นการตัดสินใจและควบคุมโดยคน ( Assist Manager) ระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่ออกแบบมีหลายรูปแบบที่อำนวยความสะดวกให้ผู้บริหารสามารถควบคุมกรรมวิธีการตัดสินใจแก้ปัญหาได้อย่างสมบูรณ์ทุกขั้นตอนโดยระบบจะถูกควบคุมด้วยคนตั้งแต่การกำหนดปัญหา การแก้ไขปัญหา การออกแบบการสร้างแบบจำลองที่ใช้ในการตัดสินใจ เช่น ในระบบการควบคุมสินค้าคงคลัง แล้วจัดสร้างแบบจำลองการกำหนดสินค้าใหม่ขึ้น ซึ่งในแบบจำลองนี้ผู้ควบคุมสามารถใช้วิธีวิเคราะห์แบบ “จะเกิดอะไรขึ้นถ้า....” ( what-if analysis) เป็นการตั้งข้อสมมติฐานบางอย่าง

เกี่ยวกับข้อมูลสินค้าผู้ควบคุมสินค้านำตัวแปรที่เกี่ยวข้องเข้ามาใช้ในแบบจำลองการกำหนดการส่งซื้อสินค้าใหม่

11. สนับสนุนให้เกิดวิวัฒนาการทางการเรียนรู้เพิ่มขึ้น เป็นระบบที่นำไปสู่การเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นเพราะมีแนวทางใหม่ในการตัดสินใจเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา แนวทางใหม่ที่เกิดขึ้นนั้นจะถูกนำไปปรับเปลี่ยนให้เหมาะกับการตัดสินใจ ซึ่งทำให้เกิดการเรียนรู้เพิ่มขึ้น

12. สนับสนุนให้ผู้ใช้สามารถสร้างระบบง่ายๆ ได้ด้วยตัวเอง ระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่ดีควรอำนวยความสะดวกให้ผู้ใช้สร้างระบบง่ายๆ ได้ด้วยตัวเอง เช่น สามารถสร้างระบบการคิดคำนวณต้นทุนสินค้าโดยจัดทำสมการค่าตัวแปรต่าง ที่มีผลต่อต้นทุนได้

13. มีการสร้างแบบจำลอง ( Modeling ) ในระบบสนับสนุนการตัดสินใจจะมีการใช้ประโยชน์จากแบบจำลองที่อาจเป็นแบบจำลองมาตรฐานทั่วไป หรือแบบจำลองที่สร้างขึ้นมาสำหรับงานประเภทใดประเภทหนึ่งโดยเฉพาะ แบบจำลองเหล่านี้จะมีความสามารถช่วยให้ผู้บริหารได้ทำการทดลองกลยุทธ์ต่าง ๆ ของตนเองภายใต้สถานการณ์ที่แตกต่างกันได้

14. เป็นศูนย์รวมความรู้ ( Knowledge Center ) ระบบสนับสนุนการตัดสินใจบางระบบจะมีระบบฐานความรู้ ( knowledge base ) เป็นส่วนประกอบ ซึ่งระบบฐานความรู้เป็นข้อมูลที่รวบรวมไว้ใช้ในการแก้ปัญหา เพื่อใช้เป็นฐานในการตัดสินใจของระบบผู้เชี่ยวชาญ ระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่มีระบบฐานความรู้เป็นองค์ประกอบจะทำให้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจนั้น สามารถเสนอแนะแนวทางการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนให้กับผู้บริหารในการตัดสินใจอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

#### 2.1.6 ประโยชน์ของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

1. มีความสามารถในการสนับสนุนการแก้ปัญหาที่ซับซ้อน สนับสนุนการตัดสินใจเกี่ยวกับปัญหาที่มีโครงสร้างไม่แน่นอนหรือกึ่งโครงสร้าง และระบบสนับสนุนการตัดสินใจยังเป็นระบบที่มีการจัดการเกี่ยวกับการรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การสร้างแบบจำลองที่ซับซ้อน และมีการโต้ตอบระหว่างผู้กับตัวระบบเอง จึงทำให้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจสามารถแก้ไขปัญหาที่ซับซ้อนได้

2. สามารถแสดงผลลัพธ์โต้ตอบต่อสถานการณ์ที่ไม่คาดคิดมาก่อนได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งผลลัพธ์นั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสถานการณ์หรือเงื่อนไขในการตัดสินใจ ระบบสนับสนุนการตัดสินใจมีความสามารถวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณได้อย่างสมบูรณ์ภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว หรือแม้แต่การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งของสถานการณ์ที่มีความซับซ้อนก็สามารถประเมินสถานการณ์นั้นได้ตรงตามวัตถุประสงค์ โดยผู้ใช้สามารถใช้ระบบสร้างแบบจำลองหลายรูปแบบให้มีลักษณะที่สอดคล้องกับสถานการณ์นั้น ๆ



3. ทำให้เกิดแนวความคิดและองค์ความรู้ใหม่ ผู้ใช้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจสามารถสอบแนวความคิดใหม่ๆ ของตนเองผ่านแบบจำลอง เช่นการวิเคราะห์ปัญหาแบบ “ จะเกิดอะไรขึ้นถ้า....” (what-if) ซึ่งสนับสนุนให้ได้คำตอบหรือความคิดใหม่ๆ

4. อำนวยความสะดวกในการสื่อสาร ในการตัดสินใจแบบกลุ่มระบบสนับสนุนการตัดสินใจสามารถอำนวยความสะดวกในการเก็บรวบรวมข้อมูลทดลองสร้างแบบจำลองในการตัดสินใจ โดยใช้ผู้มีส่วนร่วมกับระบบในการกำหนดแบบจำลอง นอกจากนี้ what-if analysis ยังช่วยให้พนักงานมีส่วนร่วมในการกำหนดตัวแปรในการปฏิบัติงานให้มีระบบได้นำไปใช้เป็นข้อมูลในการทดลองสร้างแบบจำลองที่ใช้ในการทำงานกลุ่มหรือเมื่อมีการประชุมเกิดขึ้น

5. ใช้ในการปรับปรุงและเพิ่มผลผลิตขององค์กร ระบบสนับสนุนการตัดสินใจมีความสามารถในการเพิ่มการควบคุมการจัดการและปรับปรุงผลผลิตขององค์กร เนื่องจากผู้บริหารสามารถตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

6. ประหยัดเวลาและต้นทุนในการดำเนินงาน การใช้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับงานที่ต้องดำเนินการเป็นประจำนั้น จะส่งผลให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายอย่างเห็นได้ชัดหรือลดต้นทุนที่อาจเกิดจากการตัดสินใจที่ผิดพลาดได้

7. สนับสนุนการตัดสินใจแบบมีวัตถุประสงค์ การตัดสินใจที่เป็นผลมาจากระบบสนับสนุนการตัดสินใจนั้นเกิดจากการกำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับวัตถุประสงค์ที่แน่นอน ทำให้มีความแน่นอนและวัตถุประสงค์ที่เด่นชัดกว่าการตัดสินใจที่เป็นผลมาจากการใช้เพียงสัญชาตญาณหรือกลางสังหรณ์เท่านั้น

8. เพิ่มประสิทธิภาพทางการจัดการ ทำให้ผู้บริหารใช้เวลาในกระบวนการตัดสินใจน้อยลงเพราะระบบสนับสนุนการตัดสินใจจะเป็นเครื่องมือกลั่นกรองการตัดสินใจที่มีเกณฑ์แน่นอน ทำให้ผู้บริหารสามารถใช้เวลาที่มีอยู่อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ วางแผน และการนำไปปฏิบัติจริงขององค์กร

9. ปรับปรุงความสามารถของนักวิเคราะห์ในการสร้างผลงานให้ได้มากขึ้น เช่น การใช้แบบจำลองทางการเงิน (Financial Model) เพื่อวิเคราะห์รายรับและรายจ่ายทางการเงิน ในแบบจำลองทางการเงินจะมีตัวแปรและข้อมูลทางการเงินที่เก็บรวบรวมไว้ในระบบซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นองค์ประกอบในการวิเคราะห์ได้ทันที ถ้านักวิเคราะห์ทำการวิเคราะห์เองโดยไม่ใช้แบบจำลองทางการเงินระบบสนับสนุนการตัดสินใจ นักวิเคราะห์ต้องทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องและสร้างแบบจำลองขึ้นมาเองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งเป็นงานที่ค่อนข้างยากและต้องใช้เวลาานาน

### 2.1.7 องค์ประกอบหลักของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

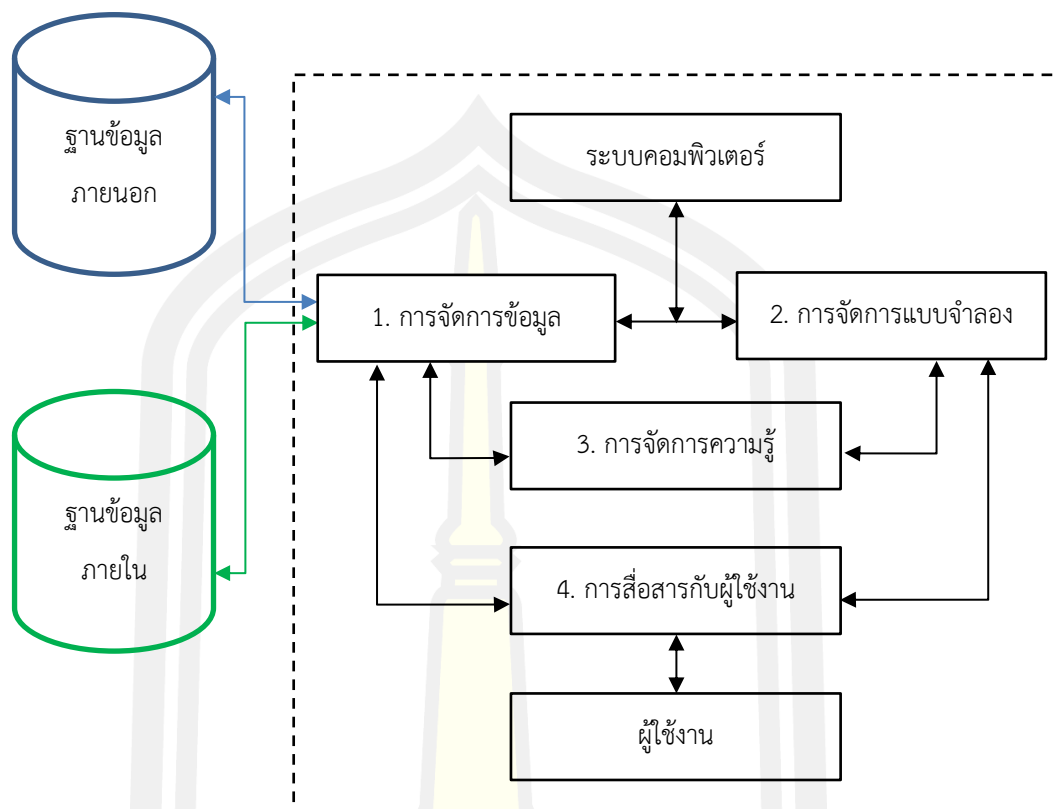
ระบบสนับสนุนการตัดสินใจมีองค์ประกอบหลัก 4 ส่วน ซึ่งจัดเก็บรวมกันไว้ในระบบคอมพิวเตอร์ โดยอาจมีการเพิ่มระบบย่อยและโปรแกรมบางส่วนเข้ามาช่วยสนับสนุนการทำงานขององค์ประกอบเหล่านี้ดังแสดงในภาพประกอบ 2.1 นอกจากนี้ก็กล่าวได้ว่า ผู้ใช้เป็นองค์ประกอบหนึ่งของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ เพราะผู้ซึ่งเป็นผู้เรียกระบบนี้ขึ้นมาใช้งานจะได้รับประโยชน์จากระบบนี้ ซึ่งเป็นผลมาจากการปฏิสัมพันธ์หรือโต้ตอบ (interact) ระหว่างคอมพิวเตอร์กับผู้ใช้ ระบบสนับสนุนการตัดสินใจประกอบด้วยองค์ประกอบต่าง ๆ

1. การจัดการข้อมูล (Data Management) เป็นการรวบรวมข้อมูลทั้งภายในและภายนอกองค์กรที่มีความสัมพันธ์กับองค์กรไว้ในฐานข้อมูล และอาศัยระบบจัดการฐานข้อมูล (Data Base Management System :DBMS ) เป็นเครื่องมือในการจัดการและบำรุงรักษาข้อมูลเหล่านั้น รวมถึงการจัดทำพจนานุกรมข้อมูล และจัดให้มีระบบอำนวยความสะดวกในการสอบถามข้อมูลจากฐานข้อมูล

2. การจัดแบบจำลอง (Model Management) เป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้ในระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่ใช้ในการวิเคราะห์ระบบงานต่าง ๆ การจัดการแบบจำลองประกอบด้วยชุดโปรแกรมสำเร็จรูปที่ทำหน้าที่จัดการแบบจำลองในงานต่าง ๆ เช่น แบบจำลองสถิติ แบบจำลองวิทยาการจัดการ หรือแบบจำลองการวิเคราะห์เชิงปริมาณอื่น ๆ นอกจากนี้แล้วการจัดการแบบจำลองยังมีความสามารถในการวิเคราะห์ระบบและจัดการแบบจำลองที่เหมาะสมกับผู้ใช้ด้วย

3. การจัดการความรู้ (Knowledge Management) เป็นระบบย่อยที่เพิ่มเติมขึ้นมาเพื่อสนับสนุนระบบย่อยอื่น ๆ ให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น หรือทำงานเป็นระบบย่อยอิสระก็ได้ ระบบการจัดการความรู้เป็นระบบที่เก็บรวบรวมความรู้หลากหลายประเภทที่มาจากแหล่งความรู้ต่าง ๆ ระบบจัดการความรู้จะเป็นส่วนประกอบที่ใช้ในการวินิจฉัยหรือการหาคำตอบให้กับการแก้ปัญหาในสถานการณ์ต่าง ๆ

4. การสื่อสารกับผู้ใช้งาน (Dialog Management) เป็นการจัดการโต้ตอบระหว่างผู้ใช้กับระบบสนับสนุนการตัดสินใจ โดยผู้ใช้สามารถสื่อสารและสั่งการผ่านระบบย่อยนี้ เพื่อทำงานกับระบบย่อยนี้ เพื่อทำงานกับระบบสนับสนุนการตัดสินใจได้



ภาพประกอบ 2.2 องค์ประกอบหลักของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

ที่มา: <https://sasivi.blogspot.com>

### 2.1.8 ส่วนประกอบของระบบ DSS

ระบบ DSS ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน

1. ส่วนจัดการข้อมูล (Data Management Subsystem) ประกอบด้วย ฐานข้อมูล ระบบจัดการฐานข้อมูล ส่วนสอบถามข้อมูล สารบัญข้อมูล ส่วนการดึงข้อมูล และข้อมูลที่ได้รับจากแหล่งต่าง ๆ ทั้งจากภายในและภายนอกองค์การ ระบบ DSS อาจเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลขององค์การหรือคลังข้อมูล (Data Warehouse) เพื่อดึงหรือกรองข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ในการตัดสินใจมาใช้

2. ส่วนจัดการโมเดลหรือส่วนจัดการแบบ (Model Management Subsystem) ประกอบด้วยแบบจำลอง (Model Base) ระบบจัดการฐานแบบจำลอง (Model Base Management System : MBMS) ภาษาแบบจำลอง (Model Language) สารบัญแบบจำลอง (Model Directory) ส่วนดำเนินการแบบจำลอง (Model Execution) ฐานแบบจำลอง (Model Base) จัดเก็บแบบจำลองต่าง ๆ ที่มีความสามารถในการวิเคราะห์ เช่น แบบจำลองทางการเงิน ทางคณิตศาสตร์ ทางสถิติ หรือแบบจำลองเชิงปริมาณ เป็นต้น และมีระบบจัดการฐานแบบจำลอง ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ในการสร้างและ

จัดการแบบจำลองรวมถึงอำนวยความสะดวกให้ผู้ใช้สามารถเรียกใช้แบบจำลองที่เหมาะสมโดยระบบจัดการฐานแบบจำลองมีหน้าที่หลัก ดังนี้

- 1) สร้างแบบจำลองของระบบสนับสนุนการตัดสินใจได้อย่างง่ายและรวดเร็ว
- 2) ให้ผู้ตัดสินใจสามารถจัดการหรือใช้แบบจำลองสำหรับการทดลองหรือวิเคราะห์ถึงการเปลี่ยนแปลงตัวแปรด้านปัจจัยนำเข้าว่า จะส่งผลต่อตัวแปรด้านผลผลิตอย่างไร (Sensitivity Analysis)

- 3) สามารถจัดเก็บและจัดการแบบจำลองต่างชนิดกัน
- 4) สามารถเข้าถึงและทำงานร่วมกับแบบจำลองสำเร็จรูปอื่นได้
- 5) สามารถจัดกลุ่มและแสดงสารบัญของแบบจำลอง
- 6) สามารถติดตามการใช้แบบจำลองและข้อมูล
- 7) สามารถเชื่อมโยงแบบจำลองต่าง ๆ เข้าด้วยกันอย่างเหมาะสม โดยผ่านทางฐานข้อมูลจัดการและบำรุง รักษาฐานแบบจำลอง แบบจำลองเพื่อการตัดสินใจมีหลายประเภท ระบบ DSS อาจถูกสร้างขึ้นมา โดยมีวัตถุประสงค์เฉพาะอย่าง ดังนั้น DSS ต่างระบบกันอาจประกอบด้วยแบบจำลองที่แตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ ตัวอย่างของแบบจำลอง มีดังนี้

- 1) แบบจำลองทางสถิติ (Statistic Model) ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลรูปแบบต่าง ๆ เช่น การวิเคราะห์ความถดถอย หรือการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ

- 2) แบบจำลองทางการเงิน (Financial Model) ใช้แสดงรายได้ รายจ่าย และกระแสการไหลของเงินสด ฯลฯ เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนทางการเงิน

- 3) แบบจำลองเพื่อหาจุดเหมาะสมที่สุด (Optimization Model) เป็นการหาค่าเหมาะสมที่สุดของตัวแปรตามเงื่อนไขที่กำหนด เช่น การหาผลตอบแทนที่สูงที่สุดโดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายต่ำสุด

- 4) แบบจำลองสถานการณ์ (Simulation Model) เป็นตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ใช้การสร้างชุดของสมการเพื่อแทนสภาพของระบบที่จะทำการศึกษาแล้วทำการทดลองจากตัวแบบเพื่อศึกษาสิ่งที่จะเกิดขึ้นกับระบบ

### 3. ส่วนการจัดการโต้ตอบ (Dialogue Management Subsystem)

ส่วนจัดการโต้ตอบหรืออาจเรียกว่าส่วนจัดการประสานผู้ใช้ (User Interface Management) ทำหน้าที่เป็นตัวกลางระหว่างผู้ใช้กับระบบ เพื่อให้การติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ใช้กับระบบเป็นไปด้วยความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน ผู้ใช้สามารถควบคุมข้อมูลนำเข้าและรูปแบบจำลองรวมอยู่ในการวิเคราะห์ได้ เช่น การใช้เมาส์ การใช้ระบบสัมผัสในการติดต่อกับระบบ การแสดงข้อมูลในลักษณะหน้าต่าง Window), การนำเสนอข้อมูลในรายละเอียดเจาะลึก (Drill-

down) และการนำเสนอข้อมูลด้วยสื่อประสมหรือมัลติมีเดีย เช่น กราฟิก หรือ รูปภาพ ชนิดหลักของ ส่วนต่อประสานผู้ใช้ ได้แก่ ส่วนต่อประสานแบบแสดงรายการเลือก(Menu-driven Interface) ส่วน ต่อประสานโดยใช้คำสั่ง(Command-driven Interface) และส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (Graphical-user Interface) สำหรับ DSS ขั้นสูง จะมีส่วนจัดการความรู้ (Knowledge-based Management Subsystem)เป็นอีกส่วนประกอบหนึ่ง

#### 2.1.9 ประเภทของระบบ DSS ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

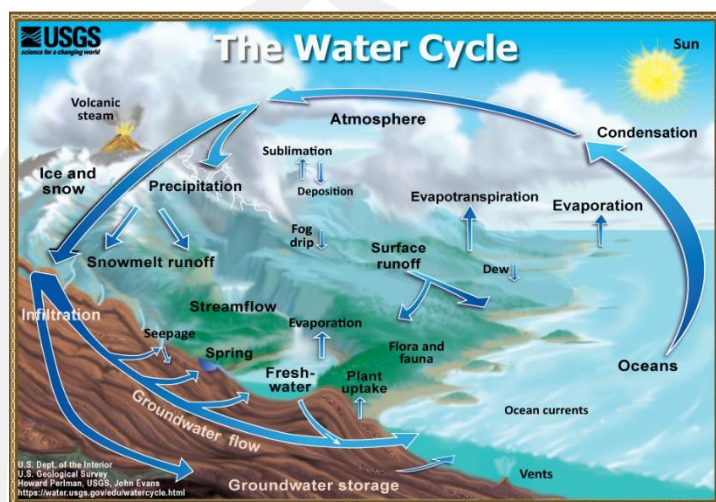
1. DSS แบบให้ความสำคัญกับข้อมูล (Data-Oriented DSS) เป็น DSS ที่ให้ ความสำคัญกับเครื่องมือในการจัดการและการวิเคราะห์ข้อมูล การทดสอบทางสถิติ ตลอดจนการจัด ข้อมูลในลักษณะต่าง ๆ เพื่อให้ผู้ใช้ทำความเข้าใจสารสนเทศ และสามารถตัดสินใจอย่างมี ประสิทธิภาพ

2. DSS แบบให้ความสำคัญกับแบบจำลอง (Model-Based DSS) เป็น DSS ที่ให้ ความสำคัญกับแบบจำลองการประมวลปัญหา โดยเฉพาะแบบจำลอง พื้นฐานทาง คณิตศาสตร์ (Mathematical Model) และแบบจำลองการวิจัยขั้นดำเนินงาน (Operation Research Model) ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้สามารถวิเคราะห์ปัญหา และปรับตัวแปรที่เกี่ยวข้อง เพื่อพิจารณา เลือทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด

## 2.2 วัฏจักรอุทกวิทยา (Hydrologic Cycle)

วัฏจักรอุทกวิทยา (Hydrologic Cycle) หรือวัฏจักรน้ำ (Water Cycle) เป็นการ หมุนเวียน เปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำอย่างต่อเนื่องและไม่มีที่สิ้นสุดภายในระบบโลก (Global System) ซึ่ง ประกอบด้วย 3 ระบบย่อยหลักได้แก่ ระบบชั้นน้ำบรรยากาศ (Atmospheric System) ระบบน้ำผิวดิน (Surface System) และระบบน้ำใต้ดิน (Groundwater System) โดยน้ำสามารถเปลี่ยนสถานะ ระหว่างของเหลว ของแข็ง และก๊าซได้ทุกที่ในวัฏจักรอุทกวิทยาโดยที่สมดุลของน้ำบนโลกยังคงมี ลักษณะคงที่ อาจกล่าวได้ว่าวัฏจักรอุทกวิทยาไม่มีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดกล่าวคือ วัฏจักรน้ำที่ สมบูรณ์ที่สุดเริ่มจาก เมฆ(Cloud) -> ฝน (Precipitation) -> การดัก (Interception) -> การตกผ่าน (Throughfall) -> การไหลป่า (Overland flow)-> การไหลในลำน้ำ (Stream flow) -> การแทรก ซึม(Infiltration) -> การซึมลึก (Percolation) -> การซึมออก (Exfiltration) -> การคายระเหย (Evapotranspiration) -> เมฆ (Cloud) ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความหนักเบา (Intensity)

ระยะเวลาตก (Duration) ปริมาณ (Depth) ความถี่ในการตก (Frequency) และการกระจาย (Area distribution) ดังแสดงในภาพประกอบ 2.3



ภาพประกอบ 2.3 วัฏจักรของอุทกวิทยา

ที่มา: Periman et al. (2013)

กล่าวโดยสรุปกระบวนการทางฟิสิกส์ที่สำคัญในวัฏจักรอุทกวิทยาหรือว่าวัฏจักรน้ำสามารถแยกได้เป็น 4 ประเภทคือ กระบวนการระเหย (Evaporation Process) กระบวนการเกิดฝน (Precipitation Process) กระบวนการซึมลงดิน (Infiltration Process) และกระบวนการเกิดน้ำท่า (Runoff Process) โดยมี รายละเอียดที่สำคัญดังนี้

1. กระบวนการการระเหย (Evaporation Process) เป็นการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำ บนพื้นผิวไปสู่บรรยากาศทั้งการระเหยเป็นไอ (Evaporation) โดยตรง และจากการคายน้ำ ของพืช (Transpiration) ซึ่งเรียกว่า Evapotranspiration

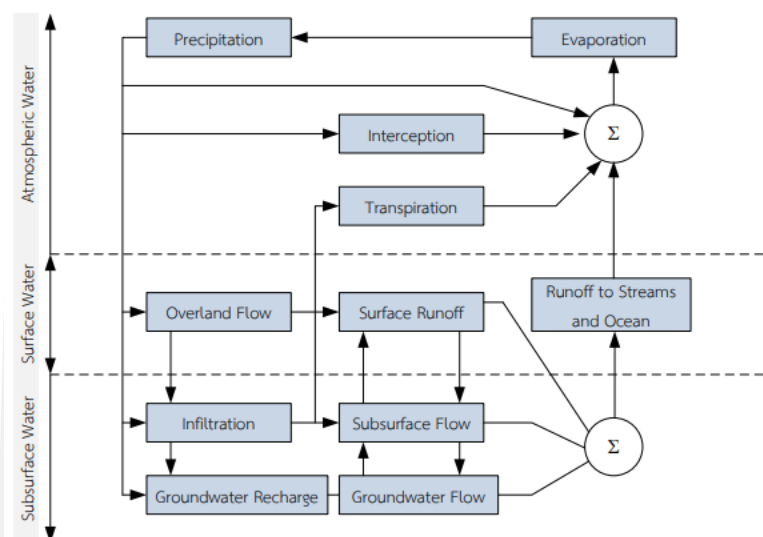
2. กระบวนการเกิดฝน (Precipitation Process) เป็นการตกลงมาของน้ำ ในบรรยากาศสู่พื้นผิวโลก โดยละอองน้ำ ในบรรยากาศจะรวมตัวกันเป็นก้อนเมฆ และในที่สุดกลั่นตัวเป็นฝนตกลงสู่ผิวโลก รวมถึงหิมะและลูกเห็บ

3. กระบวนการซึม (Infiltration Process) เป็นการไหลซึมของน้ำ บนพื้นผิวลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินอัตราการซึมจะขึ้นอยู่กับประเภทของดิน หิน และปัจจัยประกอบอื่น ๆ น้ำ ใต้ดินนั้นจะเคลื่อนตัวช้า และอาจไหลกลับขึ้นบนผิวดิน หรืออาจถูกกักอยู่ในชั้นหินเป็นเวลาหลายพันปี

4. กระบวนการเกิดน้ำ ท่า (Runoff Process) หรือกระบวนการน ไหลผ่านจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ เป็นลักษณะการไหลของน้ำ บนผิวดินไปสู่มหาสมุทร น้ำ ไหลลงสู่แม่น้ำ และไหลไปสู่มหาสมุทร

ซึ่งอาจจะถูกกักชั่วคราวตาม บึง หรือ ทะเลสาบ ก่อนไหลลงสู่มหาสมุทร น้ำ บางส่วนอาจกลายเป็นไอน้ำก่อนจะไหลกลับลงสู่มหาสมุทร

จากคำอธิบายวัฏจักรอุทกวิทยาที่กล่าวมาข้างต้น สามารถแบ่งระบบอุทกวิทยาได้เป็น 3 ระบบย่อยดังภาพประกอบ 2.4 ประกอบด้วย



ภาพประกอบ 2.4 ระบบอุทกวิทยา

ที่มา : Chow et al. (1988)

1. ระบบน้ำในบรรยากาศ (Atmospheric Water System) กระบวนการทางอุทกวิทยาที่สำคัญในระบบน้ำในบรรยากาศ (Atmospheric Water System) ได้แก่ กระบวนการเกิดฝน (Precipitation) การระเหย (Evaporation) การดัก (Interception) และการคายน้ำ (Transpiration)
2. ระบบน้ำผิวดิน (Surface Water System) กระบวนการทางอุทกวิทยาที่สำคัญในระบบน้ำผิวดิน (Surface Water System) ประกอบด้วย กระบวนการที่เกิดจากการไหลบนผิวดิน (Overland Flow) น้ำท่าผิวดิน (Surface Runoff) การไหลออกของน้ำใต้ผิวดินและน้ำใต้ดิน (Subsurface and Groundwater Outflow) การไหลในแม่น้ำและน้ำในทะเลมหาสมุทร
3. ระบบน้ำใต้ผิวดิน (Subsurface Water System) กระบวนการทางอุทกวิทยาที่สำคัญในระบบน้ำใต้ผิวดิน (Subsurface Water System) ประกอบด้วย การซึม (Infiltration) การเพิ่มน้ำใต้ดิน (Groundwater Recharge) การไหลใต้ผิวดิน (Subsurface Flow) และการไหลของน้ำใต้ดิน (Groundwater Flow)

## 2.3 สมดุลน้ำ ( Water Balance )

การวิเคราะห์สมดุลน้ำ คือการวิเคราะห์ปริมาณของน้ำฝนที่แปรสภาพเป็นปริมาณน้ำในลักษณะต่าง ๆ ของวัฏจักรน้ำ โดยสัดส่วนของน้ำจะเป็นเปลี่ยนแปลงที่ตกลงในพื้นที่แนวคิดสมการมีดังนี้

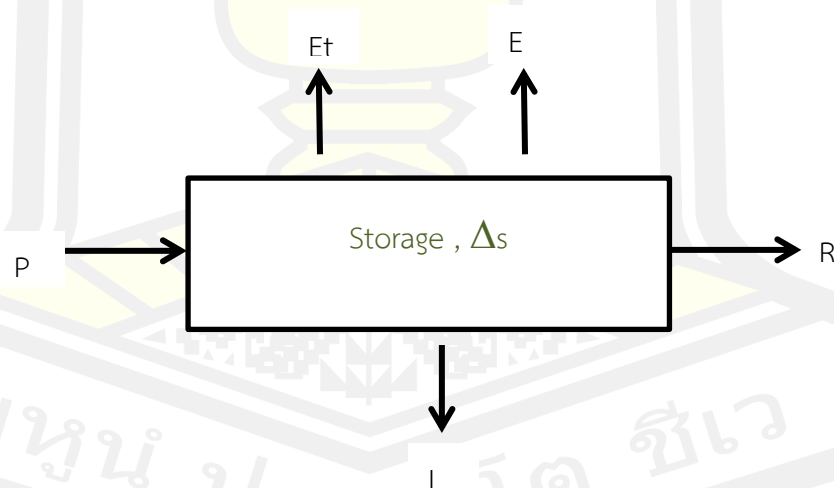


ภาพประกอบ 2.5 แบบจำลองอย่างง่ายของสมดุลน้ำ  
ที่มา: อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง (2553)

$$\text{Inflow} - \text{Outflow} = \text{Change of Storage}$$

$$I - O = \Delta s \quad (2.1)$$

ปริมาณการไหลเข้าสู่ระบบ - ปริมาณการไหลออกจากระบบ = การเปลี่ยนแปลงปริมาตร



ภาพประกอบ 2.6 แบบจำลองสมดุลน้ำ  
ที่มา: อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง (2553)

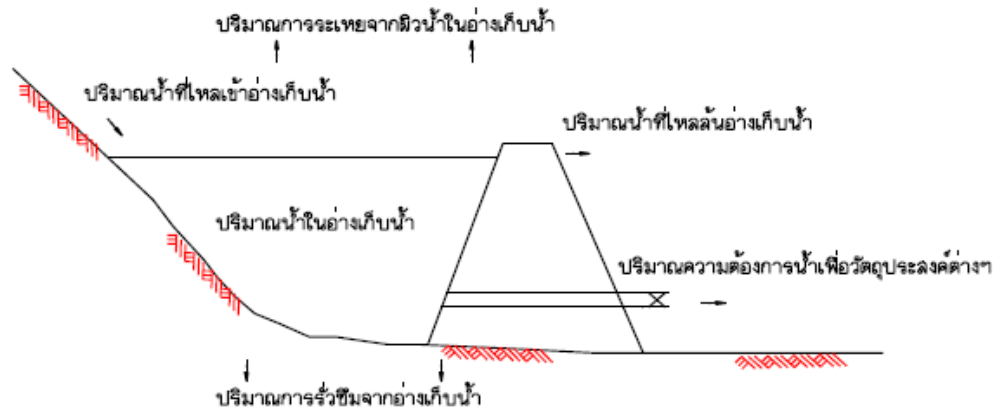
$$P - R - (E + ET + I) = \Delta s \quad (2.2)$$



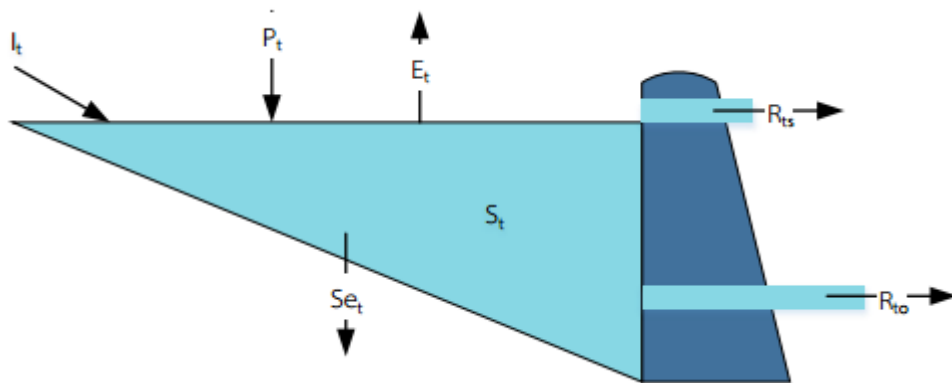
- ปริมาณน้ำฝนไหลเข้าระบบ (P)
- ปริมาณน้ำที่ไหลบนผิวดิน (R)
- ปริมาณการระเหยกลับไปสู่บรรยากาศ (Et)
- ปริมาณการซึม (I)
- การเปลี่ยนแปลงปริมาตรการกักเก็บ ( $\Delta S$ )

## 2.4 หลักสมดุลน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Water Balance of a Reservoir)

หลักการสมดุลน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Water Balance Approach) นับเป็นทฤษฎีพื้นฐานที่สำคัญสำหรับประยุกต์ใช้ในงานด้านการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการออกแบบหาขนาดความจุของอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม (Reservoir Sizing) สำหรับใช้งานเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ตลอดจนทำการวิเคราะห์สมดุลน้ำเพื่อประกอบการวางแผนและบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำให้มีประสิทธิภาพ สำหรับหลักการสมดุลของน้ำในอ่างเก็บน้ำนั้นเป็นลักษณะของการหาสมดุลของมวลน้ำทั้งหมดในอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Mass Balance) โดยค่าผลต่างระหว่างเทอมผลรวมของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธิ (Net Inflow) กับเทอมผลรวมของปริมาณน้ำที่ไหลออกจากอ่างเก็บน้ำสุทธิ (Net Outflow) ซึ่งจะเท่ากับการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Storage Change) ตลอดช่วงระยะเวลาที่พิจารณา ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างทั้งจากแหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน (Surface Inflow and Groundwater Inflow) รวมถึงปริมาณฝนที่ตกลงอ่างเก็บน้ำ (Precipitation) โดยตรงนับได้ว่าเป็นตัวแปรหลักของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำและยังเป็นแหล่งน้ำต้นทุนที่สำคัญของระบบอ่างเก็บน้ำในขณะที่ยังมีปริมาณน้ำที่ไหลออกจากอ่างเก็บน้ำเป็นผลจากปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างตามเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลานั้น ๆ โดยผ่านทางโครงสร้างของอาคารทางออก (Outlet Structure) ในช่วงของการปฏิบัติการปกติ (Normal Operation) และผ่านอาคารระบายน้ำล้น (Spillway) ในช่วงของการปฏิบัติการในสภาวะน้ำหลาก (Refilled Operation) นอกจากนี้ ยังรวมถึงข้อมูลปริมาณการสูญเสียน้ำทั้งจากการระเหยและการรั่วซึมออกจากอ่างเก็บน้ำดังแสดงรายละเอียดในภาพประกอบ 2.7 และภาพประกอบ 2.8



ภาพประกอบ 2.7 สมดุลน้ำในอ่างเก็บน้ำ  
ที่มา: อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง (2553)



ภาพประกอบ 2.8 สมดุลน้ำในอ่างเก็บน้ำ  
ที่มา: วราวุธ วุฒิวิณิชย์ และคณะ (2550)

สำหรับรูปแบบทั่วไปของสมการสมดุลของน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Water Balance Equation) มีลักษณะดังนี้ (วราวุธ วุฒิวิณิชย์ และคณะ, 2539)

$$S_{t+1} = S_t + I_t + P_t - R_t - E_t - S_{et} \quad (2.3)$$

- เมื่อ  $S_{t+1}$  คือปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลา  $t+1$
- $S_t$  คือปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลา  $t$
- $I_t$  คือปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลา  $t$

$P_t$	คือปริมาณฝนที่ตกลงอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลา $t$
$R_t$	คือผลรวมของปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำตามเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำผ่านอาคารทางออก ( $R_{ot}$ ) และอาคารระบายน้ำล้น ( $R_{ts}$ ) ในช่วงเวลา $t$ ซึ่งพิจารณาจากปัจจัยความต้องการน้ำและปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่
$E_t$	คือปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลา $t$
$S_{et}$	คือปริมาณน้ำที่รั่วซึมจากอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลา $t$

โดยสามารถประยุกต์ใช้สมการสมดุลของน้ำในอ่างเก็บน้ำเพื่อทำการวิเคราะห์สมดุลอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาต่าง ๆ เช่น สมดุลอ่างเก็บน้ำรายปี (Annual Reservoir Water Balance) สมดุลอ่างเก็บน้ำรายฤดูกาล (Seasonal Reservoir Water Balance) สมดุลอ่างเก็บน้ำรายเดือน (Monthly Reservoir Water Balance) และสมดุลอ่างเก็บน้ำรายวัน (Daily Reservoir Water Balance) เป็นต้น นอกจากนี้ ยังสามารถนำตัวแปรอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องมาพิจารณาร่วมด้วยไม่ว่าจะเป็น ปริมาณน้ำที่ถูกเก็บกักไว้บริเวณตลิ่ง (Bank Storage) ในช่วงที่ระดับน้ำเก็บกักในอ่างสูง หรือปริมาณน้ำที่สูญเสียออกไปจากบริเวณตลิ่ง (Bank Water Losses) ในช่วงที่ระดับน้ำเก็บกักในอ่างลดต่ำลง หรือปริมาณน้ำจากตลิ่งบางส่วนที่ไหลกลับเข้ามาয়อ่างเก็บน้ำ (Return Flow Volume) อีกครั้ง เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ปริมาณน้ำเก็บกักและปริมาณน้ำที่สูญเสียจากบริเวณตลิ่งนี้ ถือว่ามีค่าไม่มากนักเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำอื่น ๆ ดังนั้นจึงมักไม่นำมาคิดในการวิเคราะห์สมดุลน้ำในอ่างเก็บน้ำ

## 2.5 การจัดสรรน้ำ (Water Management)

การจัดการน้ำ คือการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในลุ่มน้ำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด กล่าวคือ การจัดการน้ำต้นทุนหรือเรียกว่าการจัดการด้านอุปทาน (Supply Management) และการจัดการด้านความต้องการสำหรับกิจกรรมการใช้น้ำ หรือที่เรียกว่าการจัดการด้านอุปสงค์ (Demand Management) ในการจัดการด้านอุปทานต้องพยายามใช้น้ำต้นทุนที่มีอยู่ให้เกิดประสิทธิภาพประกอบสูงสุด โดยพยายามใช้น้ำต้นทุนนั้นให้สอดคล้องกับความต้องการใช้น้ำในปัจจุบันปริมาณทรัพยากรน้ำมีอยู่อย่างจำกัด ทำให้ต้องมีการวางแผนการจัดการอย่างรอบคอบเพื่อไม่ให้เกิดวิกฤตการณ์น้ำ โดยมีงานหลายสาขาที่เกี่ยวข้อง เช่น ไฮดรอลิก การจัดการแหล่งน้ำรวมทั้งด้านสิ่งแวดล้อมร่วมกับการใช้ทรัพยากรด้านอื่น เช่น การใช้ที่ดิน แร่ธาตุ และการขยายตัวของชุมชน เป็นต้น เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด อนึ่งเพื่อป้องกันปัญหาทางด้านแหล่งน้ำ ที่จะส่งผลกระทบต่อปัญหาด้านอื่น ๆ เช่น กระบวนการผลิตอาหาร การเพาะปลูก การเลี้ยงสัตว์ และอุตสาหกรรมที่มีความ

จำเป็นต้องใช้น้ำเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งผลิตพลังงาน และรักษาสมดุลของสภาพสิ่งแวดล้อมอีกด้วยความต้องการน้ำที่มีมากขึ้น ทำให้ต้องมีการบริหารจัดการน้ำเพื่ออุปโภคบริโภคมากขึ้น การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในลุ่มน้ำ ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด จำเป็นต้องบริหารจัดการทั้งระบบซึ่งการบริหารทรัพยากรน้ำไม่ใช่เป็นเรื่องที่ทำกันวันต่อวันหรือปีต่อปี แต่ต้องเป็นการบริหารระยะยาวหลายปี มีการวางแผนล่วงหน้า โดยมีหลักการกระจายน้ำจากพื้นที่ ส่วนเกินไปยังพื้นที่ขาดแคลนในจังหวะเวลาที่พอดี ซึ่งก็คือ ต้องมีฐานข้อมูลปริมาณน้ำและความต้องการใช้น้ำในอดีตและปัจจุบัน จำแนกตามพื้นที่ ฤดูกาล ลักษณะการใช้ และผู้ใช้อย่างละเอียดรวมทั้งมีการคำนวณถึงภาวะในอนาคต แล้วมีโครงการต่าง ๆ มารองรับการจัดการน้ำต้นทุน (Supply Management) และการจัดการด้านความต้องการสำหรับกิจกรรมการใช้น้ำ (Demand Management)

1. การจัดการด้านน้ำต้นทุน การจัดการบริหารน้ำต้นทุนจะต้องพยายามใช้น้ำต้นทุนที่มีอยู่ให้ประสิทธิภาพที่สูงที่สุด โดยพยายามใช้น้ำต้นทุนนั้น ให้สอดคล้องกับความต้องการใช้น้ำอย่างไ้ก็ตามถ้าขนาดของต้นทุนไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำจะต้องพยายามหาน้ำมาเพิ่มเติมให้แก่ลุ่มน้ำก่อน เช่น การผลิตฝนหลวงเพื่อปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าในลุ่มน้ำ แต่การเพิ่มปริมาณน้ำให้แก่ลุ่มน้ำโดยการทำฝนหลวง จะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เฉพาะในกรณีของการขาดแคลนน้ที่เกิดขึ้นเนื่องจากฝนทิ้งช่วงในฤดูฝนเท่านั้น หรือการสร้างอ่างเก็บน้ำและระบบท่อเพิ่มเติมในพื้นที่ที่จำเป็น นอกจากนี้ยังหาน้ำต้นทุนได้จากแหล่งน้ำใต้ดิน ซึ่งเป็นแหล่งน้ำขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามวิธีนี้จะทำได้เฉพาะพื้นที่ที่น้ำใต้ดินมีคุณภาพเหมาะสมเท่านั้น หรือการจัดตั้งโครงการธนาคารน้ำเป็นการรวบรวมเก็บกักน้ำต้นทุน จากแหล่งน้ำธรรมชาติตามศักยภาพของพื้นที่ไม่ว่าจะเป็นแหล่งน้ำจากน้ำฝน แหล่งน้ำจากน้ำผิวดิน แหล่งน้ำจากน้ำใต้ดิน เพื่อเก็บออมสะสมไว้ใช้ประโยชน์ โดยมีการบริหารจัดการรวมกันอย่างมีประสิทธิภาพ เป็นธรรมและยั่งยืน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการจัดการด้านอุปทาน คือ การจัดการอ่างเก็บน้ำ แต่ปัจจุบัน การบริหารจัดการน้ำถูกกระจายไปสู่หน่วยงานต่าง ๆ จำนวนมากหลายกรม หลายกระทรวง โดยไม่มีฐานข้อมูลที่เป็นเอกภาพ ไม่มีใครรู้จริงว่า ในแต่ละประเทศไทยมีปริมาณน้ำเท่าใด กระจายในพื้นที่ใดบ้าง ลักษณะการใช้และผู้ใช้เป็นอย่างไร ในปีหน้าและปีต่อ ๆ ไปแต่ละพื้นที่มีน้ำพอใช้หรือไม่ แล้วควรจะมีโครงการผันน้ำ อย่างไรและที่ใดบ้าง เป็นต้นดังนั้นการใช้ทรัพยากรน้ำต้นทุนที่มีอยู่และการเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนให้แก่แหล่งน้ำธรรมชาติและอ่างเก็บน้ำที่ได้ก่อสร้างไว้แล้วให้เกิดประโยชน์สูงสุด นับเป็นอีกหนทางหนึ่งในการพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่แหล่งน้ำที่ควรจะดำเนินคู่ขนานกันไป นอกจากนั้นการกระจายน้ำไปยังพื้นที่ต่าง ๆ ให้แก่ราษฎรอย่างทั่วถึงนับเป็นความจำเป็นอย่างหนึ่งที่จะทำให้ราษฎรในพื้นที่ต่าง ๆ มีโอกาสได้มีน้ำใช้อย่างเพียงพออย่างน้อยเพื่อการอุปโภคบริโภคตลอดทั้งอันจะเป็นผลให้ราษฎรมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น

2. การจัดการด้านความต้องการน้ำ น้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิต ทั้งเพื่อการอุปโภคบริโภคและเพื่อการเพาะปลูกปริมาณน้ำที่มีอยู่ตามแหล่งน้ำธรรมชาติจะมีอยู่เฉพาะในช่วงฤดู

ฝน แม้ว่าทางหน่วยราชการต่าง ๆ จะได้ออกสร้างอ่างเก็บน้ำขนาดต่าง ๆ กระจายอยู่ตามพื้นที่ที่มีความเหมาะสม เพื่อเก็บกักน้ำไว้ใช้ในฤดูแล้งให้มากที่สุดก็ตามก็ยังมีน้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการซึ่งนับวันจะมีความต้องการน้ำเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วจากจำนวนราษฎรที่มากขึ้น และน้ำซึ่งเคยเป็นทรัพยากรที่คิดกันว่ามีมากมายในประเทศไทย ขณะนี้กำลังกลายเป็นทรัพยากรที่มีจำกัดและต้องแย่งชิงกัน ปัญหาเกิดจากความต้องการน้ำของกลุ่มต่าง ๆ ที่เพิ่มมากขึ้นในขณะที่การใช้น้ำยังขาดประสิทธิภาพ ปริมาณน้ำจืดที่หมุนเวียนในกระบวนการอุทกวิทยาตามธรรมชาติลดน้อยลงเนื่องจากการตัดไม้ทำลายป่า น้ำในบางส่วนก็เสื่อมคุณภาพจนยากต่อการนำมาใช้ประโยชน์ เนื่องจากน้ำเสียจากชุมชนและอุตสาหกรรม ตลอดจนสารเคมี กลยุทธ์และมาตรการเพื่อการจัดหาน้ำให้เพียงพอต่อความต้องการและควบคุมการใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพ เสมอภาค และยุติธรรม จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ นอกจากนี้การจัดการความขัดแย้งและการประสานการใช้น้ำระหว่างกลุ่มผลประโยชน์ต่าง ๆ อย่างยุติธรรม ยังเป็นฐานรากที่สำคัญสำหรับความมั่นคงของชุมชนและประเทศ

ในปัจจุบันชุมชนที่มีความเจริญและมีประชากรหนาแน่นส่วนใหญ่จะอยู่ในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์และน้ำเป็นปัจจัยสำคัญเพื่อการผลิตทางการเกษตร อุตสาหกรรม การคมนาคม ตลอดจนการท่องเที่ยวพักผ่อนหย่อนใจ และกิจกรรมอื่น ๆ ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อหาวิธีที่รัดกุม ในการวางแผนการดำเนินงานอ่างเก็บน้ำแบบรายเดือน สำหรับการใช้ที่ดินในปัจจุบัน และแนวโน้มการใช้ที่ดินในอนาคต และเสนอแผนการผันน้ำ ที่เหมาะสมเมื่อความต้องการใช้น้ำและปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเปลี่ยนไป ดังนั้นจึงควรมีการวางแผนการเพื่อรับมือและป้องกันวิกฤตการณ์การขาดแคลนน้ำจากสาเหตุต่าง ๆ เช่น ความต้องการน้ำใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น ความสมดุลของทรัพยากรน้ำระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝนไม่สมดุล รวมถึงการใช้น้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ที่ขาดแผนการใช้ที่รัดกุมและเหมาะสม รวมทั้งขาดองค์กระดัดชาติที่จะเข้ามาบริหารจัดการแหล่งน้ำ ตลอดจนแหล่งน้ำที่มีในปัจจุบันนี้มีสภาพเสื่อมโทรม เน่าเสียคุณภาพไม่เหมาะสม สามารถนำมาใช้ได้จากปัญหาที่กล่าวมานี้ เกิดจากสาเหตุหลายประการ เช่น

1. สภาพแหล่งต้นน้ำลำธารถูกทำลาย การบุกรุกทำลายแหล่งน้ำ ส่งผลให้พื้นที่ต้นน้ำลำธารอันเป็นแหล่งกำเนิด ไม่สามารถดูดซับหรือชะลอน้ำไว้ในดินเมื่อเกิดฝนตกหนักจึงทำให้น้ำไหลบ่ามาท่วมพื้นที่อย่างรวดเร็วและรุนแรง

2. สภาพน้ำท่า เนื่องจากปริมาณน้ำฝนที่ตกชุก ในทุก ๆ ภาคของประเทศมีปริมาณน้อยว่าเกณฑ์เฉลี่ย โดยเฉพาะในภาคเหนือ ภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีแนวโน้มลดลงส่งผลให้ปริมาณน้ำท่วมปริมาณลดลงไปด้วย

3. การใช้น้ำและความต้องการการน้ำเพิ่มขึ้นในทุกกลุ่มน้ำ กิจกรรมต่าง ๆ ทั้งทางอุตสาหกรรม เกษตรกรรม อุปโภคและบริโภค การท่องเที่ยว ตลอดจนการพัฒนาด้านสังคมและวัฒนธรรมเป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดความต้องการใช้น้ำเพิ่มมากขึ้น

4. การบุกรุกทำลายพื้นที่ชุ่มน้ำต่าง ๆ การขยายตัวของบ้านจัดสรรโรงงานอุตสาหกรรม การพัฒนาการคมนาคมขนส่ง โดยขาดการวางแผนก่อให้เกิดการบุกรุกทำลายพื้นที่ชุ่มน้ำหรืออาจทำให้มีการปนเปื้อนของสารพิษลงสู่แหล่งน้ำ เป็นต้น

## 2.6 ความต้องการใช้น้ำ (water demand)

การวิเคราะห์ระบบทรัพยากรน้ำมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาถึงความต้องการใช้น้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ภายในลุ่มน้ำ เช่น ด้านอุปโภคบริโภค การเกษตร อุตสาหกรรม และการท่องเที่ยว ทั้งนี้ความต้องการใช้น้ำ เพื่อกิจกรรมต่าง ๆ เหล่านี้ขึ้นอยู่กับเพิ่มขึ้นของประชากร การขยายตัวทางเศรษฐกิจการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรมและการท่องเที่ยว เป็นผลให้ประชากรทั้งในเมืองและชนบทมีความต้องการใช้น้ำเพิ่มขึ้น รวมทั้งการ ส่งเสริมการเกษตรโดยเฉพาะการใช้น้ำในภาคเกษตรซึ่งมีปริมาณร้อยละ 85 ของการใช้น้ำทั้งหมดมีการเพิ่มพื้นที่ เพาะปลูกในฤดูแล้งมากขึ้นทำให้มีแนวโน้มการใช้น้ำเพิ่มขึ้นในอนาคตในการประเมินความต้องการใช้น้ำภายในลุ่มน้ำได้ทำการพิจารณาแบ่งกิจกรรมการใช้น้ำในลุ่มน้ำดังนี้

1. ด้านอุปโภค บริโภค
2. ด้านอุตสาหกรรม
3. ด้านการท่องเที่ยว
4. ด้านการปศุสัตว์
5. ด้านรักษาสมดุลนิเวศน์ท่ายน้ำ เช่น การรักษาสภาพลำนน้ำ การเดินเรือการส่ง เสริม วัฒนธรรม และการส่งเสริมประเพณี เป็นต้น
6. ด้านการเกษตร โดยจะแยกประเมินเป็น 2 ระยะ คือ ปัจจุบันและในอนาคตอีก 10 ปี

### 2.6.1 ความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค (Consumption demand)

การประเมินความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค คำนวณได้จากการใช้ข้อมูลอัตรา ใช้น้ำคูณกับจำนวนประชากรในเขตเมืองและชนบทในพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งรวบรวมจากสำนักบริหารการ ทะเบียนกระทรวงมหาดไทยและสำนักงานสถิติแห่งชาติ โดยขั้นตอนการประเมิน สำหรับอัตราการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคในเขตเมืองและเขตชนบท กำหนดดังนี้

อัตราการใช้น้ำของประชากรในเขตเมืองและนอกเมือง จะมีค่าแปรเปลี่ยนตามจำนวนประชากร โดยกำหนดจำนวนประชากรเริ่มต้นที่ 3,000 คน ใช้น้ำในอัตรา 120 ลิตร /คน/วัน และเพิ่มขึ้นตามจำนวนประชากรจนถึงประชากรมากกว่า 50,000 คน ใช้น้ำในอัตรา 300 ลิตร/คน/วัน

ตาราง 2.1 ปริมาณการใช้น้ำในเขตพื้นที่ต่าง ๆ

พื้นที่	ปริมาณน้ำที่ใช้ (ลิตร/คน/วัน)
กรุงเทพมหานคร	300
นอกเขตเทศบาล	50
เทศบาลตำบล	120
เทศบาลเมือง	200
ชุมชนเมืองที่ยกฐานะเป็นเทศบาลตำบล	110

ที่มา: การประปาส่วนภูมิภาค อ้างโดยกรมทรัพยากรน้ำ (2549)

ตาราง 2.2 อัตราการใช้น้ำอุปโภค บริโภคตามปริมาณประชากร

ปริมาณประชากร (ราย)	อัตราการใช้น้ำ (ลิตร/คน/วัน)
3,000 - 10,000	120
10,001 - 20,000	170
20,001- 30,000	200
30,001- 50,000	250
มากกว่า 50,000	300

ที่มา: การประปาส่วนภูมิภาค อ้างโดยกรมทรัพยากรน้ำ (2549)

### 2.6.2 ความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุตสาหกรรม (Industrial demand)

โรงงานอุตสาหกรรมมีอยู่หลายประเภท บางประเภทจะไม่ต้องการน้ำใช้มากนักในกระบวนการผลิต เพียงแต่ใช้สำหรับห้องน้ำเท่านั้น แต่บางประเภทจะต้องการน้ำประปามากในกระบวนการผลิตทำให้จำเป็นต้องค้นคว้าหาข้อมูลของการใช้น้ำในโรงงานให้เป็นไปตามความเป็นจริงที่สุด โดยอาจพิจารณาอัตราการใช้น้ำประปาในหน่วยของลูกบาศก์เมตรต่อพื้นที่โรงงานหรือต่อน้ำหนักของสินค้าที่ผลิตได้ การประเมินอัตราการใช้น้ำเพื่อการอุตสาหกรรมตามประเภทของอุตสาหกรรมหลักในประเทศไทย ซึ่งได้ทำการประเมินโดยสำนักนโยบายสาธารณะ สำนักงานสภาที่ปรึกษาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ พ.ศ.2547 ได้แสดงรายละเอียดการประเมินไว้ในตาราง 2.3

สำหรับชุมชนหรือประเทศที่มีการพัฒนาทางอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง ปริมาณน้ำใช้เพื่อกิจการอาจมีสัดส่วนสูงกว่าปริมาณน้ำใช้ในครัวเรือนเป็นอย่างมาก เช่น ในประเทศอังกฤษ ร้อยละ 85 ของน้ำที่มีอยู่ถูกใช้ไปในกิจการอุตสาหกรรม ที่เหลือร้อยละ 15 จะใช้สำหรับในครัวเรือน การใช้น้ำส่วนใหญ่มักใช้เพื่อการระบายความร้อน ถัดลงมาคือการใช้ในสายการผลิต

ตาราง 2.3 อัตราการใช้น้ำด้านอุตสาหกรรม

รหัส	ประเภท	รายละเอียดประเภทอุตสาหกรรมหลัก	ปริมาณความต้องการ (ลบ.ม./ไร่/วัน)
01	Accessory	อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์	6
02	Chemical	อุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์	8
03	Food	อุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม	12
04	Metal	อุตสาหกรรมถลุง หล่อ โลหะ	5
05	Other	อุตสาหกรรมทั่วไป	7
06	Outside	อุตสาหกรรมกลางแจ้ง เช่น โม่-บดหิน คูตทราย เผ่าถ่าน หีบฝ้าย อบเมลดพีช	4
07	Paper	อุตสาหกรรมกระดาษ เช่น ผลิตเยื่อ กระดาษ ภาชนะจากกระดาษ ฯลฯ	4
08	Textile	อุตสาหกรรมสิ่งทอ ฟอกหนัง ย้อมสี	5
09	Unmetal	อุตสาหกรรมอโลหะ เช่น แก้ว กระเบื้องเคลือบ ปูนซีเมนต์ ฯลฯ	8
10	Wood	อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ไม้ เครื่องเรือน	3

ที่มา: สำนักนโยบายสาธารณะ สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (2547)

### 2.6.3 ความต้องการน้ำเพื่อการท่องเที่ยว (Tourism demand)

การประเมินความต้องการใช้น้ำเพื่อการท่องเที่ยว พิจารณาแบ่งประเภทความต้องการใช้น้ำของนักท่องเที่ยวออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. นักทัศนาจร หมายถึง นักท่องเที่ยวที่ไม่ค้างคืน
2. นักท่องเที่ยวที่ค้างคืน

โดยกำหนดให้นักท่องเที่ยวที่มีการพักค้างคืนเฉลี่ย 3 วัน มีอัตราการใช้น้ำเฉลี่ย 350 ลิตรต่อคนต่อวัน โดยพิจารณาจากอัตราการใช้น้ำของนักท่องเที่ยวที่พักในโรงแรมที่คิดในอัตรา 300-400 ลิตรต่อคนต่อวัน สำหรับนักทัศนาจรที่ไม่พักค้างคืน กำหนดให้มีการใช้น้ำในอัตราเฉลี่ย 30 ลิตรต่อคนต่อวัน



#### 2.6.4 ความต้องการใช้น้ำเพื่อการปศุสัตว์

การประเมินความต้องการใช้น้ำเพื่อการปศุสัตว์ ในที่นี้ครอบคลุมถึงฟาร์มปศุสัตว์และสัตว์เลี้ยงในครัวเรือน โดยรวบรวมจำนวนสัตว์เลี้ยงที่นิยมเลี้ยงของแต่ละจังหวัดในพื้นที่ลุ่มน้ำ จากข้อมูลสถิติของกรมปศุสัตว์ซึ่งได้มาจากสำนักงานสถิติแห่งชาติ ประกอบกับปริมาณน้ำใช้ของสัตว์แต่ละชนิดดังตาราง 2.4

ตาราง 2.4 อัตราการใช้น้ำและจำนวนวันที่ใช้เลี้ยงสัตว์

สัตว์	อัตราการใช้น้ำ(ลิตร/ตัว/วัน)
โค/กระบือ (Cattle/Bufaloes)	80
เป็ด/ไก่ (Duck/Chicken)	0.5
สุกร (Swine)	20
แพะ/แกะ (Goat/Sheep)	15

ที่มา: คู่มือปฏิบัติการจัดสรรน้ำ กรมชลประทาน เล่มที่ 8 (2551)

#### 2.6.5 ความต้องการน้ำเพื่อรักษาสมดุลระบบนิเวศน้้ายน้ำ

เนื่องจากการใช้น้ำในพื้นที่ต้นน้ำมีผลทำให้น้ำในพื้นที่ปลายน้ำลดลง จึงต้องมีการวางแผนและจัดการการใช้น้ำให้เกิดความเป็นธรรม หนึ่งในการใช้น้ำจะต้องมีการปล่อยน้ำลงท้ายน้ำในปริมาณที่เหมาะสม เป็นธรรมต่อผู้ที่อยู่ท้ายน้ำได้ใช้น้ำและเป็นการรักษาสมดุลนิเวศน้้ายน้ำ ความต้องการใช้น้ำเพื่อรักษาสมดุลนิเวศวิทยาท้ายน้ำ คือ ปริมาณน้ำต่ำสุดที่ไหลในฤดูแล้งของลำน้ำนั้น ๆ ในอดีต ซึ่งประเมินจากอัตราการไหลรายวัน ในช่วงระยะเวลาระหว่างเดือนมกราคมถึงเมษายน เนื่องจากเป็นช่วงที่อัตราการไหลมีค่าต่ำ และทำการวิเคราะห์จากสถิติข้อมูลน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำในลุ่มน้ำ ซึ่งค่าอัตราการไหลต่ำสุดที่ได้เป็นค่าที่ความมั่นคงไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของเวลา ณ สถานีที่นำมาวิเคราะห์ ผลที่ได้จะนำมากำหนดอัตราการไหลขั้นต่ำ (Minimum flow) ในทุกลำน้ำของลุ่มน้ำย่อยต่อพื้นที่รับน้ำ 1 ตารางกิโลเมตร ความต้องการปริมาณน้ำต่ำสุดด้านท้ายน้ำ โดยปกติจะกำหนดจากผลการวิเคราะห์ระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อมเพื่อรักษาสมดุลของระบบ และในบางครั้งก็จะกำหนดตามปริมาณความต้องการน้ำด้านท้ายน้ำ เช่น การชลประทาน-น้ำเสีย การรักษาระดับน้ำเพื่อการเดินเรือ ความต้องการด้านอุปโภค-บริโภค อุตสาหกรรม เป็นต้น ดังนั้น ปริมาณน้ำต่ำสุดด้านท้ายน้ำที่จำเป็นต้องรักษาไว้ในแต่ละโครงการจึงมีความแตกต่างกัน จากรายงานการศึกษาโครงการจัดทำแผนรวมการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำโขง (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) และรายงานการศึกษาโครงการจัดทำแผนรวมการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำกกและโขง (ภาคเหนือ) โดยกรมทรัพยากรน้ำ ปี พ.ศ. 2549 พิจารณาปริมาณน้ำต่ำสุดจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาหรือร้อยละ

ละของเวลาทั้งหมด กับข้อมูลอัตราการไหลที่เรียงกัน หรือเรียกว่า Flow duration curve ของปริมาณน้ำท่ารายเดือนโดยพิจารณาที่ค่าปริมาณน้ำท่าร้อยละ 90 ซึ่งจากการคำนวณตามเกณฑ์ดังกล่าว พบว่า กลุ่มน้ำโขง (ภาคเหนือ) มีความต้องการน้ำเพื่อรักษานิเวศท้ายน้ำ 20.45 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ส่วนกลุ่มน้ำโขง (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) มีความต้องการน้ำเพื่อรักษานิเวศท้ายน้ำ 529.3 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี รวมความต้องการน้ำเพื่อรักษานิเวศท้ายน้ำกลุ่มน้ำโขง 549.75 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี (สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร, 2556)

## 2.6.6 ความต้องการน้ำเพื่อการเกษตร

ความต้องการใช้น้ำเพื่อการเกษตรเป็นความต้องการใช้น้ำเพื่อการชลประทานเพื่อการเพาะปลูกพืชเป็นหลักโดยจะต้องคำนวณความต้องการใช้น้ำชลประทานสำหรับพื้นที่เพาะปลูกที่ตั้งอยู่ในโครงการชลประทานเป็นหลักซึ่งในความต้องการใช้น้ำด้านการเกษตรมีองค์ประกอบหลักที่ต้องนำมาใช้ประเมินดังนี้

### 1. พื้นที่ชลประทานในปัจจุบันและในอนาคต

พื้นที่ชลประทานในปัจจุบันและที่วางแผนในอนาคตสำหรับกลุ่มน้ำที่พิจารณาประกอบด้วยโครงการพัฒนาแหล่งน้ำทั้งขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดเล็ก รวมทั้งโครงการชลประทานสูบน้ำด้วยไฟฟ้า ซึ่งเป็นแหล่งน้ำต้นทุนในด้านการเกษตร อุปโภคบริโภค และการใช้น้ำเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ซึ่งข้อมูลพื้นที่ชลประทานเหล่านี้ได้รวบรวมมาจากสถิติโครงการชลประทานสำหรับข้อมูลพื้นที่ชลประทานทั้งในปัจจุบันและอนาคตที่รวบรวมได้นี้ จะนำไปใช้ในการคำนวณความต้องการใช้น้ำของพืชในการคำนวณสมดุลน้ำของกลุ่มน้ำต่อไป

### 2. รูปแบบการเพาะปลูกพืชและพื้นที่เพาะปลูกพืชฤดูฝนและฤดูแล้ง

ในการคำนวณความต้องการใช้น้ำของพืชจำเป็นต้องทราบรูปแบบการเพาะปลูก รวมทั้งพืชที่ใช้ในการเพาะปลูกแต่ละชนิดในแต่ละฤดูการ การกำหนดพื้นที่เพาะปลูกพืชชนิดต่าง ๆ ฤดูฝนและฤดูแล้งรวมทั้งปฏิทินปลูกพืชชนิดต่าง ๆ ในพื้นที่โครงการชลประทานในกลุ่มน้ำที่พิจารณา จะแยกพิจารณา ดังนี้ ในกรณีโครงการชลประทานขนาดใหญ่ พื้นที่เพาะปลูกพืชในฤดูฝนและฤดูแล้งคำนวณ ค่าเฉลี่ยของพื้นที่เพาะปลูกในฤดูต่าง ๆ โดยใช้ข้อมูลอดีตและให้ถือว่าเป็นรูปแบบการเพาะปลูกพืชโดยเฉลี่ยของกลุ่มน้ำต่าง ๆ ที่พิจารณานั้น สำหรับโครงการชลประทานขนาดกลาง (ความจุอ่างเก็บน้ำขนาด 30-90 ล้าน ลบ.ม.) ถ้าไม่มีสถิติของพื้นที่เพาะปลูกในฤดูฝนและฤดูแล้ง ให้คำนวณโดยใช้ข้อมูลรูปแบบการเพาะปลูกของโครงการชลประทานขนาดใหญ่ในบริเวณใกล้เคียงในกลุ่มน้ำเดียวกัน ประกอบกับข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกจากเกษตรจังหวัด โดยพิจารณาเป็นรายจังหวัดและรายอำเภอในพื้นที่ชลประทานของโครงการ ในกรณีโครงการของชลประทานขนาดกลาง ขนาดเล็กและโครงการสูบน้ำด้วยไฟฟ้าซึ่งไม่มีสถิติของพื้นที่เพาะปลูกของโครงการ ให้คำนวณจากข้อมูลการ

เพาะปลูกในพื้นที่ชลประทานขนาดใหญ่ในลุ่มน้ำประกอบด้วยรูปแบบการเพาะปลูกของโครงการขนาดใหญ่และข้อมูลการเกษตรรายจังหวัดและอำเภอ โดยพิจารณาเป็นกลุ่มของโครงการที่ตั้งอยู่ใกล้เคียงกันให้มีรูปแบบเหมือนกัน สัมประสิทธิ์การคายระเหยของพืชชนิดต่าง ๆ นำค่ามาจากการศึกษาและคำนวณไว้เป็นมาตรฐานโดยกรมชลประทานสำหรับการพยากรณ์การเพิ่มขึ้นของพื้นที่ชลประทานมีหลักเกณฑ์และข้อกำหนดดังนี้

1) สำหรับโครงการชลประทานขนาดใหญ่และขนาดกลางใช้สถิติของพื้นที่เพาะปลูกในพื้นที่โครงการเป็นข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์อัตราเพิ่มขึ้นในการคาดการณ์พื้นที่เพาะปลูกในอนาคตโดยมีเงื่อนไขคือพื้นที่เพาะปลูกที่มากที่สุดที่คาดการณ์ได้ต้องไม่เกินขนาดพื้นที่เพาะปลูกเป้าหมายของโครงการนั้น ๆ

2) สำหรับโครงการขนาดเล็กและโครงการสูบน้ำด้วยไฟฟ้า พิจารณาจากการเพิ่มของพื้นที่เพาะปลูกจากข้อมูลสถิติพื้นที่เพาะปลูกในอดีตจนถึงปัจจุบันโดยรวบรวมข้อมูลจากกรมชลประทานและรายงานการศึกษาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งอัตราเพิ่มขึ้นของพื้นที่เพาะปลูกในแต่ละโครงการจะแตกต่างกันและให้นำเอาอัตราเพิ่มขึ้นนี้ไปใช้ในการคาดการณ์พื้นที่เพาะปลูกในอนาคตอีก 10 ปีข้างหน้า

### 3. องค์ประกอบในการหาปริมาณการใช้น้ำของพืช

1) การคายน้ำของพืช (Transpiration, T) หมายถึง การระเหยของน้ำออกจากต้นพืชโดยผ่านทางปากใบและผิวใบมีหน่วยเป็นความลึกของน้ำ/หน่วยเวลาหรือปริมาตรของน้ำ/หน่วยเวลา/หน่วยพื้นที่ เช่นมิลลิเมตร/วัน

2) การระเหย (Evaporation, E) หมายถึง การระเหยของน้ำจากผิวน้ำและ/หรือผิวดิน มีหน่วยเป็นความลึกของน้ำ/หน่วยเวลาหรือปริมาตรของน้ำ/หน่วยเวลา/หน่วยพื้นที่ เช่น มิลลิเมตร/วัน

3) ปริมาณการใช้น้ำของพืช หรือ การคายระเหยน้ำของพืช (Crop Evapotranspiration, ET) หมายถึง ปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้จริง ๆ รวมถึงปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากแปลงปลูกโดยขบวนการคายน้ำของพืชและการระเหย มีหน่วยเป็นความลึกของน้ำ/หน่วยเวลาหรือปริมาตรของน้ำ/หน่วยเวลา /หน่วยพื้นที่ เช่นมิลลิเมตร/วัน

4) ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration, ETo) หรืออาจจะหมายถึงค่า Potential Evapotranspiration, ETp ด้วยนั้น หมายถึงหลักการในการคำนวณหาปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากพื้นที่เพาะปลูกที่มีพืชปกคลุมอยู่อย่างทั่วถึงโดยที่ดินจะต้องมีความชื้นอยู่อย่างเพียงพอกับความต้องการของพืชตลอดเวลาและพื้นที่เพาะปลูกนั้นจะต้องมีบริเวณกว้างใหญ่พอที่จะไม่ทำให้การระเหยและการคายน้ำของพืชต้องกระทบกระเทือนจากอิทธิพลภายนอกมากนัก เช่นการพัดผ่านของลมที่แห้งและร้อนทั้งนี้เพราะเพื่อต้องการให้ค่าปริมาณการใช้น้ำ

ของพืชอ้างอิงนี้ขึ้นอยู่กับความเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศรอบข้างแต่เพียงอย่างเดียว เช่น อิทธิพลที่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ชั่วโมงแสงแดด เป็นต้น การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง จะเป็นการนำเอาข้อมูลของสภาพภูมิอากาศ ณ ช่วงเวลาและสถานที่ที่ใช้ทดลองนั้นหรือเป็นสถานที่ที่จะนำค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิงไปใช้งาน ข้อมูลดังกล่าวจะต้องผ่านการตรวจสอบ วิเคราะห์ ปรับปรุงตลอดจนแบ่งช่วงให้ตรงกับช่วงการเจริญเติบโตหรืออายุพืชหรือช่วงเวลาที่นำไปใช้ โดยใช้สูตรหรือวิธีการคิดคำนวณที่ปัจจุบันนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น Modified Penman, Penman Monteith, Pan Method เป็นต้น

5) ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient, Kc) หมายถึง ค่าคงที่ของพืชที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่ทำการทดลองและตรวจวัดได้จากถังวัดการใช้น้ำของพืช (Lysimeter) กับผลการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET<sub>o</sub>) จากสูตรใดสูตรหนึ่ง โดยอยู่ในรูปสมการ (2.4)

$$ET = ET_o \times Kc \quad (2.4)$$

- เมื่อ ET คือ อัตราความต้องการใช้น้ำของพืชต่อหน่วยพื้นที่ (มม./วัน)  
 ET<sub>o</sub> คือ ค่าการคายระเหยรวมการระเหยน้ำอ้างอิงของพืช  
 Kc คือ สัมประสิทธิ์การใช้น้ำในแต่ละช่วงอายุสำหรับพืชชนิดต่าง ๆ

ค่าสัมประสิทธิ์พืชจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการนำไปใช้งานในด้านชลประทานและการเกษตร ในกรณีที่ต้องการปลูกพืชในท้องถิ่นอื่นที่ยังไม่มีการทำการทดลองหาปริมาณการใช้น้ำของพืชชนิดนั้นมาก่อนเลย เมื่อต้องการทราบก็สามารถนำค่า Kc มาคำนวณหาค่า ET ร่วมกับค่า ET<sub>o</sub> ที่ได้จากข้อมูลของสภาพภูมิอากาศของท้องถิ่นนั้นได้สิ่งสำคัญที่สุดของการนำค่าสัมประสิทธิ์พืชไปใช้งานคือ จะต้องจำไว้เสมอว่าพืชแต่ละชนิด Kc ที่ได้จากการคำนวณสูตรหลายค่าด้วยกัน ดังนั้นก่อนนำค่า Kc ไปใช้งานต้องตรวจสอบเสียก่อนว่าเป็นค่า Kc ของสูตรใดเพื่อจะได้นำค่า ET<sub>o</sub> ของสูตรนั้นมาใช้ เพื่อค่า ET ที่ถูกต้องและนำไปใช้งานงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ค่าสัมประสิทธิ์พืชจะมีค่าที่แตกต่างกันทั้งนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและช่วงการเจริญเติบโตของพืชและสูตรที่ใช้ในการคำนวณหา ET<sub>o</sub> เป็นสำคัญ

ตาราง 2.5 ตัวอย่างของค่าสัมประสิทธิ์พีชเฉลี่ยตลอดอายุที่ได้จากผลการทดลอง

สูตรหรือวิธีการคำนวณ	ค่าสัมประสิทธิ์พีชเฉลี่ยตลอดอายุ		
	ข้าว (117 วัน)	งาดำ(89 วัน)	มะระ(74 วัน)
Modified Penman	1.37	0.84	1.03
Blaney-Criddle	0.98	0.64	1.21
Pan Method	1.49	0.89	1.08

ความต้องการใช้น้ำชลประทานหรือการเกษตรเป็นการศึกษาความต้องการใช้น้ำนอกเหนือจากปริมาณฝนใช้การของพื้นที่เกษตรกรรมพื้นที่ต่าง ๆ ในพื้นที่ลุ่มน้ำโดยพิจารณาจากชนิดของพืช ขนาดพื้นที่ และปริมาณฝนใช้การ ในการประมาณการความต้องการใช้น้ำเพื่อการเกษตรกรรมของพื้นที่ลุ่มน้ำ อาจจัดกลุ่มพืชตามแผนที่ใช้งานประโยชน์ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน และปรับปรุงการจัดกลุ่มบางส่วนเพื่อความสะดวกในการศึกษา เช่น นาข้าว พืชไร่ผสม มันสำปะหลัง สับประรด ไม้ผลผสม ไม้ยืนต้นผสม ยางพารา มะพร้าว ป่าลัดใบเสียมโทรม ป่าเบญจพรรณ ไม้พุ่ม หึ่งหญ้าสลับไม้พุ่ม เป็นต้น พืชแต่ละกลุ่มจะมีปริมาณการใช้น้ำ และอายุพืชไม่เท่ากัน ข้อมูลอัตราการใช้น้ำตลอดอายุพืช (ลบ.ม. /ไร่) และอายุพืช(เดือน) แต่ละกลุ่มนั้นได้จากสมการ (2.5)

คำนวณหาความต้องการใช้น้ำชลประทานจากสมการ

$$V_a = ET \times A \quad (2.5)$$

เมื่อ  $V_a$  คือความต้องการใช้น้ำชลประทานประมาณการ  
 $ET$  คืออัตราความต้องการใช้น้ำของพืชต่อหน่วยพื้นที่ (มม. /วัน)  
 $A$  คือพื้นที่ชลประทาน

## 2.7 กระบวนการชะล้างพังทลายและการเกิดตะกอนในแหล่งน้ำ

กระบวนการพังทลายของดิน (Erosion process) จะเริ่มต้นจากความรุนแรงในการปะทะของเม็ดฝนที่มีต่ออนุภาคของดิน ทำให้อนุภาคของดินแตกกระจายไปอุดรูดิน เป็นเหตุให้อัตราการ ซึมของน้ำลงสู่ผิวดินลดน้อยลงจนไม่สามารถซึมผ่านผิวดินลงไปได้ น้ำส่วนใหญ่จึงไหลไปตาม ผิวน้ำดินพัดพาเอาดินเคลื่อนที่ไป (Transportation) จนเกิดการตกตะกอน (Sedimentation) ตามทางที่น้ำไหลผ่าน เช่น อ่างเก็บน้ำน้ำเขื่อน ท้องลำธาร ปากน้ำเป็นต้น และบางส่วนของตะกอนที่แขวนลอยอยู่ จะไหลไปตามกระแสน้ำและตกตะกอนในที่สุด

### 2.7.1 ปริมาณตะกอน

2.7.1.1 การพัดพาโดยกระแสน้ำเป็นขบวนการที่สำคัญที่สุด แบ่งออกได้เป็น ชนิดต่าง ๆ ดังนี้ - การพัดพาในสภาพสารละลาย (Solution load) สารต่าง ๆ ที่ละลายในน้ำในรูป ของสารละลายและอนุมูล (Colloid and ion) ถูกพัดพาออกไปไกลที่สุด เมื่อพบสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสารละลายก็จะตกตะกอน ได้แก่ อนุมูลโซเดียม แคลเซียม คาร์บอเนต เหล็ก ซิลิกา ซัลเฟต และคลอไรด์ เป็นต้น - การพัดพาในสภาพแขวนลอย (Suspension) เป็นขบวนการที่น้ำพัดพาอนุภาคเล็ก ๆ ในรูปสารแขวนลอยเช่น อนุภาคดินเหนียว และอนุภาคซิลต์ เป็นต้น ตกตะกอนเมื่อความเร็วของกระแสน้ำลดลง หรือน้ำหยุดไหล - การพัดพาโดยการกระดอน (Saltation) เป็นขบวนการที่อนุภาคเคลื่อนย้ายไป ตามพื้นของท้องน้ำในลักษณะกระดอนไปตามความลาดชันของพื้นลำธาร อนุภาคที่เคลื่อนย้ายไปมี ขนาดเท่าเม็ดทรายหรือโตกว่าเล็กน้อย ปัจจัยสำคัญที่ควบคุมคือ แรงเหวี่ยงของกระแสน้ำอนุภาค จะตกตะกอน เมื่อความเร็วของกระแสน้ำไม่สามารถจะยกอนุภาคเหล่านี้ ได้หรือมีสิ่งกีดขวาง ทางเดิน - การพัดพาโดยกลิ้งไป (Rolling) เป็นการกลิ้งไปโดยไม่มีการกระเด็น หรือกระดอนเกิดขึ้น เนื่องจากอนุภาคมีน้ำหนักมากเกินไปที่กระแสน้ำจะยกขึ้นได้เช่น ก้อนหินขนาดโตๆ การเคลื่อนย้ายของอนุภาค ก่อให้เกิดการขัดสีระหว่างอนุภาคกับพื้นลำธารหรือฝิ่งน้ำและ ขนาดของอนุภาคจะเล็กลงเรื่อย ๆ แต่ขณะเดียวกันอนุภาคก็จะมีมวลมากขึ้นด้วย ในช่วงของการพัดพานี้จะเห็นได้ว่าอนุภาคที่มีขนาดโต ซึ่งแม่น้ำไม่สามารถจะพัดพาไป ได้นั้นจะตกตะกอนใกล้กับต้นกำเนิด แต่ออนุภาคที่มีขนาดเล็กจะถูกพัดพาไกลออกไป ลักษณะการ จัดขนาดของอนุภาคโดยกระแสน้ำแบบนี้เรียกว่าการจัดขนาดตามแนวระนาบ (Lateral sorting) นอกจากนี้กระบวนการพัดพายังขึ้นอยู่กับความลาดชัน ปริมาณน้ำตะกอนที่ไหลในลักษณะของ โคลนถล่มสามารถพัดพาตะกอนหรือแม้แต่ก้อนหินขนาดใหญ่ที่ไหลมาจากต้นกำเนิดได้

2.7.1.2 ขบวนการทับถมตัวของตะกอน แม่น้ำแต่ละสายจะมีความสามารถในการพัดพาอนุภาคต่าง ๆ ได้แตกต่างกันไป ดังนั้น การทับถมจึงแตกต่างกันไปตามขนาดของอนุภาค

บริเวณสุดท้ายที่ตะกอนจะไปทับถมกันมากที่สุดคือ ระดับฐานของแม่น้ำ(Base level of river) นอกจากนี้ ระหว่างทางที่แม่น้ำไหลผ่านก็จะมี การทับถมมาตลอดทาง ในสภาพน้ำนิ่งหรือค่อนข้าง นิ่ง การตกตะกอนจะมีการแยกขนาดโดยอนุภาคที่มีขนาดใหญ่มีน้ำหนักมากหรือมีความถ่วงจำเพาะ มากจะตกตะกอนก่อน ส่วนพวกที่มีขนาดเล็ก หรือมีความถ่วงจำเพาะน้อยจะตกตะกอน ทีหลัง ลักษณะการตกตะกอนทับถมเช่นนี้จะทำให้มีการแยกขนาดขึ้น เรียกว่า การจัดขนาดตาม แนวตั้ง (Vertical sorting) โดยที่สาเหตุของการตกตะกอนทับถม มีดังนี้ - ความเร็วของกระแส น้ำลดลง ซึ่ง อาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงความลาดชัน หรือการคดเคี้ยวของแม่น้ำ- น้ำท่วมฝั่งเช่น ในฤดูน้ำหลากเมื่อน้ำท่วมฝั่งความเร็วของกระแสน้ำก็จะลดลง บนฝั่งทั้งสองด้าน - มีสิ่งกีดขวางทางอาจจะ เกิดจากแผ่นดินเลื่อนขวางในแม่น้ำหรือการมีสันทราย แอ่ง หรือสระต่าง ๆ รวมทั้งการสร้างเขื่อน - ปริมาณน้ำลดลงเกิดจากฝนตกน้อย มีอัตราการระเหยสูง - การเปลี่ยนลักษณะทางกายภาพของทาง น้ำ(Drainage pattern change)

2.7.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการชะล้างพังทลายของดิน การเกิดการชะล้างพังทลายของดินเป็น กระบวนการที่ซับซ้อนและมีส่วนเกี่ยวข้องกับปัจจัย ดังนี้

2.7.2.1 ฝน ความแรงของฝนที่ตกในแต่ละเวลาหรือความเข้มของฝน มีผลต่อการ ชะล้างพังทลายของดิน ความเข้มของฝนมากก็ย่อมมีความแรงของเม็ดฝนที่ปะทะกับดินมาก การชะ ล้างพังทลายของดินก็จะเกิดอย่างรุนแรง

2.7.2.2 คุณสมบัติของดิน ดินที่มีการจับตัวกันอย่างหลวมๆ จะถูกชะล้างพังทลาย ได้ง่าย ดินร่วนหรือดินทรายจะถูกน้ำเซาะกร่อนและพัดพาไปได้ง่ายกว่าดินเหนียว พื้นที่ที่มีการ ระบายน้ำไม่ดีหรือน้ำซึมลงไปดินได้น้อยเมื่อฝนตกจะมีน้ำไหลบ่าที่ผิวดินมาก การกัดกร่อนดิน ก็จะมีโอกาสเกิดการชะล้างพังทลายได้ง่ายขึ้น

2.7.2.3 ลักษณะภูมิประเทศ พื้นที่ที่มีความลาดชันมากและระยะของความลาดชัน ยาวก็ยิ่งเพิ่มความเร็วและความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดินมากขึ้น

2.7.2.4 วิธีทำการเกษตรในไร่ นาการใช้ที่ดินให้ถูกต้องตามสมรรถนะ การไถ พรวน และปลูกพืชให้ถูกวิธี เป็นการลดการชะล้างพังทลายของดินได้ เช่น ไถพรวนน้อยครั้งและไถ ตามแนว ระดับการปลูกพืชเป็นแถวตามระดับหรือขวางความลาดชัน การปลูกพืชถี่ เป็นต้น

2.7.2.5 วิธีการอนุรักษ์ดินและน้ำที่เหมาะสมในแต่ละสภาพพื้นที่ เช่น พื้นที่ลาดชัน น้อยก็ใช้วัสดุหรือพืชปกคลุมดิน พื้นที่ที่ลาดชันมากขึ้นก็ต้องใช้วิธีการอื่น เช่น การทำคันดินกัน น้ำทำ ร่องระบายน้ำถ้าหน้าดินถูกปล่อยว่างเปล่าจะรับแรงปะทะจากเม็ดฝนอย่างเต็มที่ เกิดการแตก สลาย ของดิน ทำให้การชะล้างพังทลายของดินมีมากขึ้น

### 2.7.3 ผลเสียหายที่เกิดจากการชะล้างพังทลายของดิน

2.7.3.1 ทำให้ผลผลิตทางการเกษตรลดลงเพราะน้ำซึ่งเป็นตัวการสำคัญ จะพัดพาเอาธาตุอาหาร ของพืชที่อยู่บริเวณผิวดินให้หมดไป หากต้องการทำการเกษตรในพื้นที่ที่ดินสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ไปแล้ว และต้องการให้ได้ผลดีเช่นเดิม ก็ต้องมีการใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ ทำให้การลงทุนในการเกษตรสูงขึ้น เมื่อคิดถึงรายได้รายจ่ายแล้วเกษตรกรอาจขาดทุน จึงเห็นได้ว่าการป้องกันการชะล้างพังทลายของดินดีกว่าและได้ผลกว่าการปรับปรุงดินที่ถูกชะล้างพังทลายแล้ว

2.7.3.2 ทำให้เกิดการทับถมของตะกอนดินในพื้นที่ที่ต่ำกว่า ทำให้แม่น้ำลำคลองหนอง บึง อ่าง เก็บน้ำเกิดการตื้นเขิน ลดความสามารถในการกักเก็บน้ำอาจก่อให้เกิดสภาวะน้ำท่วมอย่างฉับพลัน บางครั้งตะกอนดินอาจถูกน้ำพัดพาลงสู่ที่ต่ำ ทำให้เกิดความเสียหายแก่ไร่นา ไปทับถมดินที่มีความอุดมสมบูรณ์มากกว่า แม่น้ำบางสายอาจมีปัญหาต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขุดลอกร่องน้ำ เช่น ในพ.ศ. 2521 การทำเรือแห่งประเทศไทยต้องเสียงบประมาณค่าขุดลอกร่องน้ำจากท่าเรือคลองเตยไปจนถึงปากแม่น้ำเจ้าพระยาเป็นเงินถึง 112.5 ล้านบาท

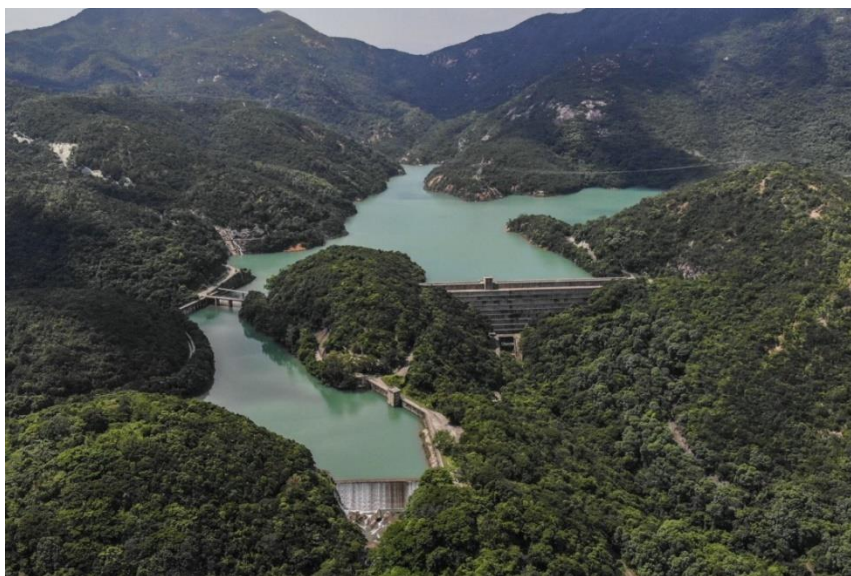
2.7.3.3 ทำให้การใช้ประโยชน์ที่ดินลำบากขึ้น เมื่อน้ำกัดเซาะพื้นที่ดิน ทำให้เกิดเป็นร่องทั้งเล็ก และใหญ่ มีผลทำให้เกิดความยากลำบากแก่การไถพรวน

## 2.8 อ่างเก็บน้ำ (Reservoir)

### 2.8.1 คำจำกัดความของอ่างเก็บน้ำ (Definition of Reservoir)

อ่างเก็บน้ำ (Reservoir) คือพื้นที่เก็บกักน้ำขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือที่มนุษย์สร้างขึ้นจากการสร้างเขื่อน (Dam) ซึ่งเป็นอาคารโครงสร้างทางชลศาสตร์ที่สร้างตัดขวางลำน้ำเพื่อควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลตามธรรมชาติ รวมถึงยกระดับน้ำหน้าเขื่อนให้สูงขึ้นส่งผลให้พื้นที่เก็บกักน้ำเหนือเขื่อนกลายเป็นอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่สำหรับนำไปใช้ในวัตถุประสงค์อย่างใดอย่างหนึ่ง โดยเฉพาะหรือหลายอย่างประกอบกันเช่น การอุปโภคบริโภค การชลประทาน การอุตสาหกรรม การรักษาระบบนิเวศน์ทางด้านท้ายน้ำการผลิตน้ำเค็มในช่วงฤดูแล้ง การควบคุมคุณภาพน้ำ การคมนาคมทางน้ำการประมง การควบคุมและบรรเทาน้ำท่วม แหล่งท่องเที่ยว และการผลิตพลังงานไฟฟ้า เป็นต้น (วรารุช วุฒิวิณิชย์ และคณะ, 2539) ดังแสดงในภาพประกอบ 2.9





ภาพประกอบ 2.9 อ่างเก็บน้ำ

ที่มา: <https://www.scmp.com> (2563)

## 2.8.2 หน้าที่ของอ่างเก็บน้ำ (Function of Reservoirs)

อ่างเก็บน้ำโดยเฉพาะอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่สามารถตอบสนองความต้องการน้ำได้ในหลาย ๆ วัตถุประสงค์ (Jain and Singh, 2003) โดยมีรายละเอียดที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. การชลประทาน (Irrigation) ความต้องการน้ำเพื่อการชลประทานเป็นปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้ในการเจริญเติบโตรวมทั้งการระเหยในแปลงเพาะปลูกหรืออาจเรียกว่า การคายระเหยน้ำของพืช (Evapotranspiration) ซึ่งมีลักษณะของการนำน้ำไปใช้แล้วหมดไป (Consumptive Use) โดยมีน้ำที่เหลือใช้บางส่วนที่ถูกดึงกลับไปใช้ในระบบได้อีกในรูปของ Return Flow แต่คิดเป็นสัดส่วนไม่มากนัก ความต้องการน้ำเพื่อการชลประทานสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ ในขณะที่เดียวกันจะผันแปรตามฤดูกาลโดยขึ้นอยู่กับรูปแบบการเพาะปลูกพืช (Cropping Pattern) โดยทั่วไปแล้วปริมาณความต้องการน้ำชลประทานในฤดูฝนจะไม่สูงนักเนื่องจากพืชใช้น้ำส่วนหนึ่งจากฝนใช้การ (Effective Rainfall) แต่จะมีปริมาณค่อนข้างสูงในช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาวน้ำหรับบางประเทศ ความรุนแรงของสถานการณ์ภัยแล้งที่เกิดขึ้นจึงขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ในอ่างเก็บน้ำในขณะนั้น ด้วยเหตุนี้ จึงจำเป็นที่จะเก็บกักน้ำไว้ในอ่างให้ได้มากที่สุดเพื่อให้เพียงพอกับปริมาณความต้องการน้ำในปัจจุบัน

2. การจัดหาน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคและอุตสาหกรรม (Municipal and Industrial Water Supply) โดยทั่วไปแล้วปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคและอุตสาหกรรมจะเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยในช่วงเวลาหนึ่งปี ซึ่งแตกต่างจากวัตถุประสงค์เพื่อการ

ชลประทานและการผลิตพลังงานไฟฟ้าซึ่งผันแปรตามช่วงฤดูกาลอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคและอุตสาหกรรมจะขึ้นอยู่กับอัตราการขยายตัวของประชากรที่เพิ่มสูงขึ้นตามเวลา นอกจากนี้ค่าปริมาณความต้องการน้ำสูงสุดจะเกิดขึ้นในช่วงฤดูแล้ง อาจกล่าวได้ว่าการคาดการณ์ข้อมูลการเพิ่มขึ้นของประชากรและการเจริญเติบโตของภาคอุตสาหกรรมในอนาคตถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลหลักที่สำคัญในการวางแผนโครงการพัฒนาแหล่งน้ำเพื่อประมาณการปริมาณความต้องการน้ำของโครงการได้อย่างถูกต้องและแม่นยำขึ้น

3. การผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำ (Hydroelectric Power) น้ำเป็นแหล่งพลังงานทดแทนอย่างหนึ่งที่น่ามาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิงในปัจจุบัน โดยถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มของพลังงานหมุนเวียนที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก และเป็นพลังงานที่สะอาดที่ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พลังงานน้ำถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าในรูปของไฟฟ้าพลังงานน้ำ (Hydropower) โดยการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำผ่านอาคารโรงไฟฟ้าซึ่งภายในจะประกอบไปด้วยกลไกที่ทำหน้าที่แปลงพลังงานน้ำให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้า ก่อนที่จะปล่อยออกทางด้านท้ายน้ำเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในกิจกรรมอื่น ๆ ต่อไป (Downstream Uses) ด้วยเหตุนี้ วัตถุประสงค์เพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าจึงเป็นส่วนหนึ่งของโครงการพัฒนาแหล่งน้ำอเนกประสงค์ ในปัจจุบันพบว่าเทคโนโลยีทางด้านไฟฟ้าพลังงานน้ำถูกพัฒนาขึ้นเป็นลำดับตั้งแต่โรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อรองรับกับความต้องการในพื้นที่ชุมชนเมืองขนาดใหญ่จนกระทั่งไปถึงโรงไฟฟ้าขนาดเล็กเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าไปใช้ในพื้นที่ชุมชนขนาดเล็กที่อยู่ห่างไกล มีการประมาณการว่าประมาณหนึ่งในสี่ของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั่วโลกเป็นไฟฟ้าพลังงานน้ำ สำหรับข้อดีของไฟฟ้าพลังงานน้ำมีดังต่อไปนี้

- 1) เป็นพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) ที่สามารถนำกลับมาใช้งานได้ใหม่
- 2) โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำมีอายุการใช้งานค่อนข้างยาว การปฏิบัติการและการบำรุงรักษาค่อนข้างน้อย
- 3) ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำไม่ก่อให้เกิดมลภาวะที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม กล่าวคือไม่มีการปล่อยพลังงานความร้อนและแก๊สอันตรายต่าง ๆ ออกมา
- 4) ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำค่อนข้างสูงตั้งแต่ 90% ขึ้นไปเมื่อเปรียบเทียบกับไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่มีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ
- 5) การควบคุมการเปิด-ปิดของระบบโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำทำได้ในเวลาอันสั้นโดยไม่ต้องสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นความต้องการพลังงานไฟฟ้าจะผันแปรตามฤดูกาล หรือแม้กระทั่งรายวันและรายชั่วโมงที่ปริมาณความต้องการไฟฟ้าไม่คงที่ในแต่ละวันหรือแต่ละชั่วโมง ทั้งนี้ ความผันแปรจะขึ้นอยู่กับประเภทของความต้องการไฟฟ้าในกิจกรรมต่าง ๆ เช่น ภาคอุตสาหกรรม ภาคชุมชนเมือง

และภาคเกษตรกรรม เป็นต้น ปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในพื้นที่ชุมชนเมืองจะอยู่ในช่วงฤดูร้อน และในแต่ละวันปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในช่วงตอนเช้าและตอนกลางคืน

4. การบรรเทาอุทกภัย (Flood Control) อ่างเก็บน้ำเพื่อการป้องกันน้ำท่วมสร้างและออกแบบขึ้นมาเพื่อลดขนาดปริมาณน้ำหลากขนาดใหญ่ที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำโดยการหน่วงน้ำส่วนหนึ่งไว้ในอ่างก่อนที่จะปล่อยออกสู่ทางด้านท้ายน้ำในช่วงเวลาถัดไป ทั้งนี้ เพื่อรักษาสมดุลของน้ำในอ่างเก็บน้ำและทางด้านท้ายน้ำด้วยเหตุนี้ ความสามารถในการรักษาปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำเพื่อให้เพียงพอที่จะรองรับปริมาณน้ำหลากที่จะไหลเข้าอ่างจึงเป็นตัวชี้วัดความสำเร็จในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อการป้องกันน้ำท่วม อย่างไรก็ตาม ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างจะต้องน้อยกว่าความจุเก็บกักท้ายลำนน้ำที่สามารถรับได้

5. การคมนาคมทางน้ำ (Navigation) อ่างเก็บน้ำเก็บกัก (Storage Reservoir) สามารถเก็บกักน้ำเพื่อประโยชน์ในการคมนาคมทางน้ำได้โดยการปล่อยน้ำจากอ่างเพื่อรักษาระดับน้ำทางด้านท้ายลำนน้ำที่จำเป็นต่อการสัญจรทางน้ำ ทั้งนี้ ปริมาณความต้องการน้ำหรือวัตถุประสงค์เพื่อการคมนาคมทางน้ำขึ้นอยู่กับประเภทและปริมาณของการจราจรทางน้ำเป็นสำคัญ นอกจากนี้ อิทธิพลของความผันแปรของระดับน้ำรายฤดูกาล (Seasonal Variation of Water Level) ยังเป็นตัวบ่งชี้ให้เห็นถึงปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการคมนาคมทางน้ำที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ในช่วงฤดูฝนจะพบว่าระดับน้ำในลำนน้ำส่วนใหญ่จะสูงพอที่จะสัญจรทางเรือได้ตลอดฤดูกาล หรือเกือบจะไม่มีความต้องการน้ำเพื่อการคมนาคมทางน้ำในช่วงฤดูฝนเลย อย่างไรก็ตาม ปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการคมนาคมทางน้ำจะเกิดขึ้นสูงสุดในช่วงฤดูแล้งซึ่งจำเป็นที่จะต้องปล่อยน้ำจากอ่างเพื่อรักษาระดับน้ำต่ำสุดที่สามารถใช้เป็นเส้นทางในการสัญจรทางเรือได้

6. การผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อน (Thermal Power Generation) น้ำเป็นตัวขับเคลื่อนที่สำคัญในขั้นตอนของการหล่อเย็นในการผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อน เนื่องจากในกระบวนการผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนต้องต้มน้ำให้มีอุณหภูมิสูงเพื่อให้เกิดเป็นไอน้ำที่มีแรงดันสูงเพียงพอที่จะใช้หมุนกังหันของเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า ดังนั้นไอน้ำและน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตไฟฟ้าแล้วจะถูกทำให้เย็นลงโดยผ่านกระบวนการหล่อเย็น (Cooling System) ซึ่งเป็นการนำน้ำจากโรงไฟฟ้ามาหล่อไว้ที่หอหล่อเย็น (Cooling Tower) และต้องใช้น้ำในปริมาณมากเพื่อปรับลดอุณหภูมิของน้ำก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำหรือนำกลับมาใช้งานใหม่ ซึ่งนับเป็นแนวทางการใช้ทรัพยากรน้ำให้เกิดความคุ้มค่าและอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

7. การพักผ่อนหย่อนใจ (Recreation) ประโยชน์ของการสร้างอ่างเก็บน้ำเพื่อใช้เป็นสถานที่ท่องเที่ยววนั้นจะพิจารณาจากกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเป็นหลัก เช่น การว่ายน้ำ การเล่นเรือ กีฬาทางน้ำ และกิจกรรมสันทนาการอื่น ๆ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม กิจกรรมเหล่านี้ ถือว่าเป็นผลพลอยได้ของการใช้ประโยชน์จากอ่างเก็บน้ำเพื่อวัตถุประสงค์อื่น ๆ สำหรับแนวทางในการปฏิบัติการอ่างเก็บ

น้ำนั้นต้องพยายามรักษาปริมาณน้ำเก็บกักไว้ให้เต็มอ่างหรือใกล้เต็มอ่างมากที่สุดโดยเฉพาะในช่วงฤดูของการท่องเที่ยว การเพิ่มและลดลงอย่างรวดเร็วของระดับน้ำในอ่างถือได้ว่าเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นอย่างมาก

8. การควบคุมน้ำทางด้านท้ายน้ำ (Minimum Flow Maintenance) บ่อยครั้งที่จำเป็นต้องปล่อยน้ำเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำทางด้านท้ายตามข้อกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำ หรือควบคุมระดับน้ำต่ำสุดให้สูงพอที่ไม่ส่งผลกระทบต่อ การดำรงชีพของประชาชนและสัตว์น้ำ รวมทั้งส่งผลกระทบต่อ การประกอบกิจกรรมต่าง ๆ ทางด้านท้ายน้ำเช่น การประมง กีฬาทางน้ำ การท่องเที่ยว เป็นต้น โดยทั่วไปปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำเพื่อควบคุมน้ำทางด้านท้ายน้ำจะผันแปรตามฤดูกาล นอกจากนี้ วัตถุประสงค์เพื่อการควบคุมน้ำทางด้านท้ายน้ำนั้นยังถูกจัดให้มีความสำคัญเป็นลำดับแรก ๆ อีกด้วย

### 2.8.3 องค์ประกอบของอ่างเก็บน้ำ (Components of Reservoir)

เขื่อน (Dam) และอ่างเก็บน้ำ (Reservoir) เป็นองค์ประกอบที่มาคู่กันและมีความสัมพันธ์ทั้งในแง่ของการออกแบบและการบริหารจัดการ โดยเขื่อนถูกออกแบบและก่อสร้างขึ้นเพื่อยกระดับน้ำให้สูงขึ้นทำให้เกิดอ่างเก็บน้ำหรือปริมาณเก็บกักในลำน้ำขนาดใหญ่ และทำหน้าที่หลักในการจัดสรรน้ำไปใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ ทางด้านท้ายน้ำผ่านทางโครงสร้างอาคารทางออก (Outlet Structure) และทางระบายน้ำล้น (Spillway) โดยองค์ประกอบของอ่างเก็บน้ำจะประกอบไปด้วย

1. เขื่อน-อ่างเก็บน้ำ (Dam-Reservoir) เขื่อนที่ออกแบบและก่อสร้างขึ้นเพื่อเก็บกักน้ำในช่วงฤดูฝนที่มีปริมาณน้ำมากมาเก็บกักไว้ในอ่างเก็บน้ำสำหรับนำมาใช้ประโยชน์เพื่อตอบสนองความต้องการน้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ในช่วงฤดูน้ำน้อยเรียกว่า “เขื่อนเก็บกักน้ำ (Storage Dam)” ซึ่งด้านหน้าเขื่อนจะกลายเป็น “อ่างเก็บน้ำเก็บกัก (Storage Reservoir)” ในความหมายโดยทั่วไปเขื่อนจะหมายถึงเขื่อนเก็บกักน้ำซึ่งมักตั้งอยู่บริเวณต้นน้ำเพื่อรับน้ำโดยตรงจากพื้นที่ลุ่มน้ำ (Watershed Area) ตัวอย่างเขื่อนเก็บกักน้ำในประเทศไทยที่สำคัญเช่น เขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนสิรินธร จ.กาญจนบุรี ซึ่งตั้งอยู่ทางตอนบนของลุ่มน้ำแม่กลอง เขื่อนภูมิพล จ.ตาก ในลุ่มน้ำปิง และเขื่อนสิริกิติ์ จ.น่าน ในลุ่มน้ำน่าน เป็นต้น สำหรับเขื่อนที่สร้างขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ในการควบคุมน้ำท่วมโดยเฉพาะ (Flood Control) โดยจะหน่วงคลื่นน้ำหลากเอาไว้ในอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูน้ำหลากก่อนที่จะค่อย ๆ ททยอยปล่อยน้ำส่วนเกินออกในอัตราที่ไม่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายทางด้านท้ายน้ำ จะเรียกว่า “เขื่อนชะลอน้ำ (Detention Dam)” และเรียกอ่างเก็บน้ำว่า “อ่างเก็บน้ำเพื่อควบคุมน้ำท่วม (Flood Control Reservoir)” ด้วยเหตุนี้เขื่อนชะลอน้ำจึงช่วยควบคุมปริมาณน้ำหลากที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำอย่างฉับพลันและช่วยป้องกันพื้นที่ทางด้านท้ายน้ำไม่ให้เกิดน้ำท่วมอย่างรุนแรง โดยปกติแล้วเขื่อนกัก

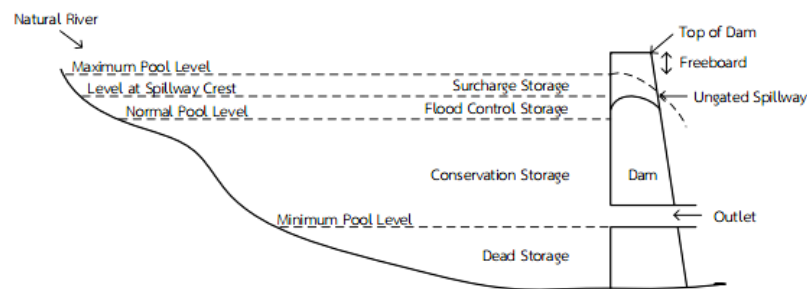
เก็บน้ำจะทำหน้าที่เก็บกักน้ำควบคู่ไปกับช่วยชะลอน้ำท่วมด้วยเขื่อนทดน้ำ (Diversion Dam) เป็นเขื่อนอีกประเภทหนึ่งที่สร้างขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ในการทดน้ำหน้าเขื่อนให้มีระดับสูงขึ้นและผันน้ำเข้าระบบคลองส่งน้ำ (Canal Distribution System) สำหรับนำไปใช้ในพื้นที่ชลประทานที่อยู่บริเวณไกล ๆ ได้ โดยทั่วไปเขื่อนทดน้ำจะมีความสูงไม่มากนักและมีปริมาตรเก็บกักน้ำหน้าเขื่อนขนาดเล็กและเรียกอ่างเก็บน้ำประเภทนี้ว่า “อ่างเก็บน้ำเพื่อสร้างสมดุล (Balancing Reservoir)” และถูกจัดให้อยู่ประเภทเดียวกันกับฝายเก็บกัก (Storage Weir) ด้วยเหตุนี้ ฝายทดน้ำจึงถูกนำมาใช้เรียกแทนเขื่อนทดน้ำยกตัวอย่างเช่น เขื่อนแม่กลอง และเขื่อนท่าทุ่งนา จ.กาญจนบุรีเป็นเขื่อนทดน้ำที่ออกแบบและก่อสร้างขึ้นเพื่อเสริมประสิทธิภาพและสร้างดุลยภาพในการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลองทางภาคตะวันตกของประเทศไทย เป็นต้น

2. ทางระบายน้ำล้น-อ่างเก็บน้ำ (Spillway-Reservoir) ทางระบายน้ำล้น (Spillway) เป็นอาคารประกอบของโครงสร้างตัวเขื่อนที่สร้างขึ้นเพื่อทำหน้าที่ระบายน้ำส่วนเกินจากอ่างเก็บน้ำไปยังท้ายน้ำในช่วงวิกฤตน้ำมาก ทั้งนี้ เพื่อป้องกันความเสียหายต่อเสถียรภาพของตัวเขื่อน ทางระบายน้ำล้นโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็นหลายประเภทไม่ว่าจะเป็น ทางระบายน้ำล้นแบบไหลข้าม (Overflow Spillway) ทางระบายน้ำล้นแบบรางเท (Chute Spillway) ทางระบายน้ำล้นแบบไหลด้านข้าง (Side Channel Spillway) ทางระบายน้ำล้นแบบท่อ (Shaft Spillway) ทางระบายน้ำล้นแบบไซฟอน (Siphon Spillway) หรืออาจเป็นทางระบายน้ำล้นแบบมีประตูควบคุม (Controlled/Gated Spillway) และแบบไม่มีประตูควบคุม (Uncontrolled/ Ungated Spillway) ซึ่งเหมาะกับประเภทของเขื่อน ตำแหน่งและลักษณะภูมิประเทศของแหล่งที่ตั้งเขื่อนที่แตกต่างกันออกไปอาจกล่าวได้ว่าความสามารถในการระบายผ่านทางระบายน้ำล้นในช่วงวิกฤตน้ำมากหรืออุทกภัยส่งผลต่อปริมาตรเก็บกักน้ำในอ่างเก็บน้ำและความปลอดภัยของตัวเขื่อนเป็นสิ่งสำคัญ

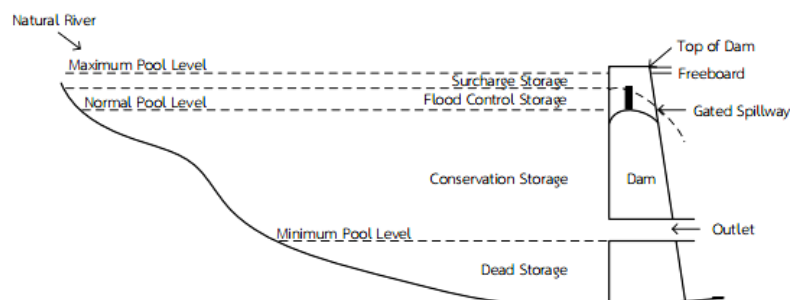
3. อาคารทางออก-อ่างเก็บน้ำ (Outlet Works-Reservoir) อาคารทางออก (Outlet Works) เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างตัวเขื่อนที่สำคัญเช่นเดียวกันซึ่งถูกออกแบบไว้สำหรับควบคุมการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำหน้าเขื่อนเพื่อนำไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ทางด้านท้ายน้ำในช่วงปกติ โดยขนาดของอาคารทางออกจะขึ้นอยู่กับปริมาณความต้องการน้ำสูงสุดจากอ่างเก็บน้ำและเขื่อนหน้าเขื่อน สำหรับลักษณะของอาคารทางออกที่พบเห็นกันโดยทั่วไปมีทั้งแบบท่อทางน้ำ (Sluiceway) และอาคารทางเข้า (Intake Tower)

#### 2.8.4 โซนปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Storage Zone)

ลักษณะสำคัญของอ่างเก็บน้ำทั้งแบบไม่มีประตูควบคุม (Ungated Spillway) และแบบมีประตูควบคุม (Gated Spillway) ประกอบด้วยโซนปริมาตรเก็บกักและระดับเก็บกัก แสดงไว้ในภาพประกอบ 2.10 โดยอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้



(a) อ่างเก็บน้ำแบบไม่มีประตูควบคุม (Ungated Spillway)



(b) อ่างเก็บน้ำแบบมีประตูควบคุม (Gated Spillway)

## ภาพประกอบ 2.10 โซนปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ

ที่มา: Jain and Singh (2003)

1. โซนปริมาตรเก็บกักไม่ใช้การ (Dead Storage Zone) โซนปริมาตรเก็บกักไม่ใช้การ (Dead Storage Zone) เป็นโซนที่อยู่ล่างสุดของอ่างเก็บน้ำโดยปริมาตรน้ำที่ถูกเก็บกักไว้ในส่วนนี้ เรียกว่า ปริมาตรเก็บกักไม่ใช้การ/ปริมาตรเก็บกักสูญเปล่า (Inactive Storage/Dead Storage) โดยปกติแล้วปริมาตรเก็บกักส่วนนี้ จะใช้เก็บกักตะกอนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำและยังเป็นเฮตนน้ำต่ำสุดของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำอีกด้วย นอกจากนี้ ยังอาจเป็นปริมาตรเก็บกักต่ำสุดที่ต้องรักษาไว้เพื่อทัศนียภาพที่ดีในการท่องเที่ยว โดยส่วนใหญ่แล้วอาคารระบายน้ำออก (Outlet) จะติดตั้งอยู่เหนือโซนปริมาตรเก็บกักไม่ใช้การและจะไม่ปล่อยน้ำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์ใด ๆ สำหรับปริมาตรเก็บกักที่อยู่เหนือปริมาตรเก็บกักไม่ใช้การจะเรียกว่า ปริมาตรเก็บกักใช้การ (Active/Live Storage)

2. โซนบัฟเฟอร์ (Buffer Zone) โซนบัฟเฟอร์ (Buffer Zone) เป็นโซนที่อยู่ติดกับปริมาตรเก็บกักไม่ใช้การและเป็นสัญญาณเตือนว่าภาวะแห้งแล้งกำลังเกิดขึ้น โดยส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วงหน้าแล้งวิกฤตที่ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำมีแนวโน้มลดลงจนถึงโซนนี้ การปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำจะปล่อยตามความจำเป็นเท่านั้น

3. โซนปริมาตรเก็บกักใช้การ (Active Storage Zone) โซนปริมาตรเก็บกักใช้การ (Active Storage/Conservation Zone) ถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อเก็บกักน้ำไปใช้สำหรับความต้องการน้ำในวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ตลอดอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำไม่ว่าจะเป็นการชลประทาน การอุปโภค

บริเวณ การผลิตพลังงานไฟฟ้า เป็นต้น หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นปริมาตรเก็บกักน้ำหลักที่ถูกดึงไปใช้ประโยชน์จากอ่างเก็บน้ำ

4. โซนปริมาตรเก็บกักส่วนเกิน (Surcharge Zone) โซนปริมาตรเก็บกักส่วนเกิน (Surcharge Zone) เป็นโซนเก็บกักน้ำส่วนที่อยู่เหนือโซนปริมาตรเก็บกักใช้การซึ่งสำรองปริมาตรอ่างเก็บน้ำส่วนหนึ่งไว้เพื่อป้องกันน้ำหลากขนาดใหญ่ที่จะไหลเข้าสู่อ่าง อย่างไรก็ตามหากเขื่อนถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อวัตถุประสงค์ในการควบคุมและบรรเทาอุทกภัยเป็นสิ่งสำคัญ อ่างเก็บน้ำนั้นจะมีการออกแบบโซนปริมาตรสำรองเพื่อการบรรเทาอุทกภัย (Flood Control Reserve Storage Zone) เสริมเข้ามาเพิ่มการรองรับน้ำที่จะไหลเข้าอ่างเก็บน้ำการออกแบบโซนปริมาตรเก็บกักส่วนเกินและโซนปริมาตรสำรองเพื่อการบรรเทาอุทกภัยนี้ จะพิจารณาเงื่อนไขของข้อมูลกราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบ (Design Flood Hydrograph) และข้อจำกัดในการระบายน้ำทางด้านท้ายน้ำทั้งนี้ น้ำหลากส่วนเกินจะถูกหน่วงไว้ในโซนเก็บกักนี้ ชั่วคราวเพื่อลดขนาดของน้ำท่วมสูงสุดก่อนที่จะค่อย ๆ ระบายออกทางด้านท้ายน้ำในอัตราที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายและสำรองปริมาตรอ่างเก็บน้ำเพื่อรองรับปริมาณน้ำหลากในช่วงเวลาถัดไป

5. ระดับเก็บกักปกติ (Normal Pool Level) ระดับเก็บกักปกติหรือระดับเก็บกักใช้การปกติ (Normal Pool Level, NPL/Full Reservoir Level, FRL) เป็นค่าระดับน้ำเก็บกักสูงสุดของอ่างเก็บน้ำในการปฏิบัติงานตามปกติ (Normal Operation) ซึ่งน้ำจะถูกเก็บกักไว้สำหรับนำไปใช้ตามความต้องการน้ำต่าง ๆ รวมถึงปริมาตรสำรองเพื่อป้องกันน้ำท่วมบางส่วนหรือทั้งหมดที่ปล่อยผ่านอาคารทางออก ระดับนี้ จะเป็นตัวกำหนดระดับสันทางระบายน้ำล้นแบบไม่มีประตูควบคุม (Ungated Spillway) ปริมาตรที่อยู่ระหว่างระดับเก็บกักต่ำสุดและระดับเก็บกักปกติเรียกว่า ปริมาตรใช้การ (Active Storage)

6. ระดับเก็บกักสูงสุด (Maximum Pool Level) ระดับเก็บกักสูงสุดหรือระดับเก็บกักใช้การสูงสุด (Maximum Pool Level, Max. PL/Maximum Water Level, Max. WL) เป็นค่าระดับน้ำสูงสุดที่จะยอมให้เกิดขึ้นในอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาที่มีน้ำท่วมใหญ่เคลื่อนตัวเข้าสู่อ่าง ปริมาตรอ่างเก็บน้ำที่อยู่ระหว่างระดับเก็บกักสูงสุดและระดับเก็บกักปกติเรียกว่า ปริมาตรเก็บกักส่วนเกิน (Surcharge Storage) และปริมาตรสำรองเพื่อป้องกันน้ำท่วม (Flood Control Reserve Storage) ซึ่งเป็นปริมาตรอ่างที่ทำหน้าที่หน่วงคลื่นน้ำท่วมไม่ให้เคลื่อนที่ไปทางด้านท้ายน้ำเร็วและมีอัตรามากเกินไปจนก่อให้เกิดน้ำท่วมทางด้านท้ายน้ำในการออกแบบปริมาตรเก็บกักส่วนนี้ จะต้องสัมพันธ์กับขนาดทางระบายน้ำล้น และคลื่นน้ำท่วมที่คาดว่าจะเคลื่อนตัวเข้าสู่อ่าง

7. ระดับเก็บกักต่ำสุด (Minimum Pool Level) ระดับเก็บกักต่ำสุดหรือระดับเก็บกักไม่ใช้การต่ำสุด (Minimum Pool Level, MPL/Dead Storage Level) เป็นค่าระดับน้ำเก็บกักต่ำสุดที่จะสามารถเอาน้ำจากอ่างออกไปใช้ได้ ระดับนี้ จะเป็นตัวกำหนดระดับปากของอาคารทางออก

(Outlet) ตัวที่อยู่ต่ำที่สุด ปริมาตรอ่างเก็บน้ำที่อยู่ต่ำกว่าระดับเก็บกักต่ำสุดนี้ เรียกว่า ปริมาตรสูญเปล่า (Dead Storage) ซึ่งจะไม่มีปริมาณน้ำในส่วนนี้ ไปใช้ โดยปกติแล้วปริมาตรสูญเปล่าเป็น ปริมาตรอ่างที่เผื่อไว้สำหรับการตกตะกอน (Sedimentation) ในช่วงอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำ

### 2.8.5 ประเภทของอ่างเก็บน้ำตามวัตถุประสงค์ของการใช้น้ำ

อ่างเก็บน้ำถ้าแบ่งตามวัตถุประสงค์ของการใช้น้ำจะแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ อ่างเก็บน้ำเอกประสงค์ (Single Purpose Reservoir) และอ่างเก็บน้ำอเนกประสงค์ (Multi-Purpose Reservoir)

1. อ่างเก็บน้ำเอกประสงค์ (Single Purpose Reservoir) เป็นอ่างเก็บน้ำที่ทำหน้าที่เก็บน้ำไว้ใช้สำหรับวัตถุประสงค์เพียงอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น เช่น การเกษตร หรือการอุปโภค-บริโภค หรือการผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งการบริหารจัดการน้ำในอ่างเก็บน้ำจะง่ายที่สุด

2. อ่างเก็บน้ำอเนกประสงค์ (Multi-Purpose Reservoir) เป็นอ่างเก็บน้ำที่ทำหน้าที่เก็บน้ำไว้ใช้สำหรับหลายวัตถุประสงค์พร้อมกัน เช่น การเกษตร การอุปโภค-บริโภค การอุตสาหกรรม การคมนาคม เป็นต้น ดังนั้นการบริหารจัดการน้ำย่อมมีความสลับซับซ้อนและยุ่งยากมากขึ้นกว่าอ่างเก็บน้ำเอกประสงค์

### 2.8.6 การปรับปรุงบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ (Improvement of Reservoir Operation)

การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ ประกอบด้วย การดำเนินงาน 4 ขั้นตอนคือการวางแผนปันน้ำ แผนการส่งน้ำ การดำเนินการส่งน้ำ และการประเมินผลการจัดการอ่างเก็บน้ำ แต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

1. การวางแผนแบ่งปันน้ำ ประกอบด้วย การกำหนดพื้นที่เป้าหมายของการส่งน้ำ การสำรวจความต้องการใช้น้ำจากกลุ่มผู้ใช้น้ำ การประเมินปริมาณน้ำต้นทุน การประเมินความต้องการใช้น้ำ การจัดทำร่างแผนการจัดสรรน้ำ การจัดทำร่างข้อต่อลงการใช้น้ำ และการพิจารณาข้อตกลงร่วมกัน

2. แผนการส่งน้ำ ประกอบด้วย ข้อตกลงในการส่งน้ำ เพื่อสอดคล้องกับความต้องการน้ำ ประชาสัมพันธ์ให้ผู้เกี่ยวข้องทราบ

3. ดำเนินการส่งน้ำ ประกอบด้วย การเปิดปิดอาคารส่งน้ำและระบายน้ำตามแผนการส่งน้ำการปรับแผนการส่งน้ำตามปริมาณน้ำต้นทุนจริง การบำรุงรักษาอาคารส่งน้ำ

4. การประเมินผลการจัดการอ่างเก็บน้ำ ประกอบด้วย การสรุปผลการดำเนินการส่งน้ำ การระบุปัญหาอุปสรรค แนวทางแก้ไขปัญหา และรายงานเพื่อประเมินผลการดำเนินการ



## 2.9 การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir operations)

การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำหมายถึงการเก็บกักน้ำในอ่างเก็บน้ำและส่งน้ำเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ โดยมีการวางแผนล่วงหน้าว่าควรเก็บกักและส่งน้ำจากอ่างเก็บน้ำในแต่ละช่วงเวลาเป็นปริมาณเท่าใด และได้มีการปฏิบัติตามแผนที่วางไว้ การปฏิบัติงานอาจแตกต่างจากแผนที่วางไว้เพื่อลดสถานะการขาดแคลนน้ำหรือน้ำล้นอ่าง

### 2.9.1 หลักการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำด้วยไค้ควบคุม

อ่างเก็บน้ำเป็นกลไกที่มนุษย์สร้างขึ้นมา เพื่อทำหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลมาตามธรรมชาติ เพื่อวัตถุประสงค์อย่างใดอย่างหนึ่ง (Single purpose reservoir) หรือหลายวัตถุประสงค์ (Multipurpose reservoir) เช่น การเกษตร การอุปโภค บริโภค การอุตสาหกรรม การคมนาคม เป็นต้น อ่างเก็บน้ำจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ ตัวอ่างเก็บน้ำ (Reservoir) ทางระบายน้ำล้น (Spillway) และอาคารทางออก (Outlet works)

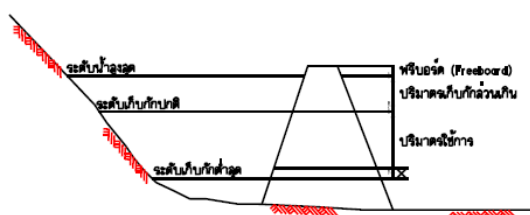
### 2.9.2 การปรับปรุงระบบบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ

การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำเกี่ยวข้องโดยตรงกับการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ (Reservoir operation) ซึ่งหมายถึงการเก็บกักน้ำในอ่างและการส่งน้ำเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ โดยมีการวางแผนล่วงหน้าว่าควรเก็บกักและส่งน้ำในแต่ละช่วงเวลาเป็นปริมาณเท่าใด และมีการปฏิบัติตามแผนที่วางไว้ตรงเท่าที่สภาพในอนาคตเป็นไปตามช่วงที่คาดการณ์ไว้ ถ้าสภาพในอนาคตแตกต่างจากที่คาดการณ์ไว้ในตอนวางแผน การปฏิบัติการอาจมีการปรับเปลี่ยนให้ต่างจากแผนที่วางไว้เพื่อลดสถานะการขาดแคลนน้ำหรือน้ำล้นอ่าง อ่างเก็บน้ำเป็นแหล่งน้ำผิวดินประเภทหนึ่ง ที่มีความสำคัญมากต่อการเก็บกักน้ำเพื่อนำน้ำไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ โดยมากอ่างเก็บน้ำจะรับน้ำมาจากน้ำฝนที่ไหลลงจากพื้นที่ที่สูงกว่าไหลลงมารวมกันที่อ่างเก็บน้ำ ดังนั้นความหมายของอ่างเก็บน้ำคือ ทะเลสาบน้ำจืดที่สร้างขึ้นโดยการก่อสร้างเขื่อนขวางปิดกั้นลำน้ำธรรมชาติ ทำให้เกิดแหล่งเก็บกักน้ำฝนให้มีปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการนำน้ำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ต่อไป ขนาดความจุของอ่างเก็บน้ำที่ต้องการจะเป็นผลรวมของปริมาณน้ำลักษณะต่าง ๆ ดังแสดงในสมการ 2.6 สำหรับระดับความลึกของอ่างเก็บน้ำสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ ดังแสดงในภาพประกอบ 2.9 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

$$V_T = V_R + E + P + F + S \quad (2.6)$$

เมื่อ  $V_T$  คือขนาดความจุของอ่างเก็บน้ำ

VR	คือปริมาณน้ำที่ต้องเก็บกัก
E	คือปริมาณน้ำที่ระเหยสู่บรรยากาศ
P	คือปริมาณน้ำซึมลงดินใต้อ่างและซึมผ่านใต้เขื่อน
F	คือปริมาณน้ำที่ไหลผ่านอ่างเก็บน้ำ
S	คือปริมาณตะกอนน้ำที่พัดพามาตกทับถมบริเวณก้นอ่างเก็บน้ำ



ภาพประกอบ 2.11 ระดับน้ำต่าง ๆ ในอ่างเก็บน้ำ

ที่มา: อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง (2553)

จากภาพประกอบ 2.11 ระดับน้ำสูงสุด (Maximum level) คือส่วนปริมาณน้ำสำหรับป้องกันน้ำท่วม ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของอ่างเก็บน้ำที่ออกแบบสำรองไว้เพื่อเก็บน้ำในฤดูน้ำหลาก เพื่อไม่ให้น้ำไหลบ่าไปท่วมพื้นที่ท้ายน้ำของอ่างเก็บน้ำ ระดับน้ำปกติในอ่างเก็บน้ำ (Normal level) เป็นส่วนปริมาณน้ำสำหรับใช้ประโยชน์ด้านต่าง ๆ เช่น การใช้อุปโภค บริโภค การชลประทาน การผลิตพลังงานและการคมนาคม เป็นต้น และระดับน้ำต่ำสุด (Minimum level) คือส่วนปริมาณน้ำก้นอ่าง เป็นปริมาณน้ำที่ต้องเก็บกักไว้ในอ่างเก็บน้ำตลอดเวลา เพื่อรักษาสภาพของอ่างเก็บน้ำให้กับสิ่งมีชีวิตในน้ำทั้งพืชและสัตว์ให้สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้

## 2.10 หลักการเกณฑ์การปล่อยน้ำของอ่างเก็บน้ำ

เกณฑ์ในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำรูปแบบต่าง ๆ ได้ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับใช้ปฏิบัติงานกับระบบอ่างเก็บน้ำโดยมีวัตถุประสงค์หลักก็เพื่อลดปริมาณการขาดน้ำที่คาดว่าจะเกิดขึ้นให้น้อยที่สุด ซึ่งเกณฑ์เหล่านี้ อาจอธิบายแนวคิดในการปล่อยน้ำหรือแสดงในรูปของระดับน้ำเก็บกักเป้าหมายของอ่างเก็บน้ำทั้งระบบเพื่อหลีกเลี่ยงสถานการณ์ที่จำเป็นต้องปล่อยน้ำส่วนเกินผ่านทางระบายน้ำล้นออกไป นอกจากนี้ ยังสามารถลดความรุนแรงของการขาดน้ำในระบบให้น้อยลงได้ด้วยการควบคุม

ของปริมาณน้ำที่ไหลล้นอ่างให้เกิดขึ้นน้อยที่สุดสำหรับเก็บกักน้ำบางส่วนไว้ใช้ในระบบนั่นเอง ด้วยเหตุนี้หลักการเกณฑ์การปล่อยน้ำของอ่างเก็บน้ำจึงถูกพัฒนานำมาใช้กันอย่างหลากหลายเช่น

### 2.10.1 เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบมาตรฐาน (Standard Operating Policy)

เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบมาตรฐาน (Standard Operating Policy, SOP) เป็นเกณฑ์การปล่อยน้ำที่ง่ายที่สุด บางครั้งอาจเรียกว่าเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบเชิงเส้นมาตรฐาน (Standard Linear Operating Policy, SLOP) ดังแสดงในภาพประกอบ 2.12 โดยในช่วงที่ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำมีน้อยกว่าปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมาย (Target Demand) ปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ในอ่างจะถูกปล่อยไปใช้ทั้งหมด ในขณะที่หากปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำมีมากกว่าปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมายแต่น้อยว่าผลรวมของปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมายและปริมาณน้ำเก็บกักสูงสุด จะทำการปล่อยน้ำเท่ากับความต้องการน้ำเป้าหมาย สำหรับปริมาณน้ำส่วนเกินจะเก็บกักไว้ในอ่างเก็บน้ำและในกรณีที่ปล่อยน้ำเท่ากับความต้องการน้ำเป้าหมายไปแล้ว แต่ไม่มีปริมาณอ่างมีพื้นที่ไม่เพียงพอที่จะเก็บกักน้ำส่วนเกินนี้ไว้ ปริมาณน้ำส่วนที่เกินความจุเก็บกักสูงสุดของอ่างเก็บน้ำจำเป็นต้องปล่อยออกไปในท้ายที่สุด หรือสามารถเขียนในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้ (Jain and Singh, 2003)

$$S_w \leq T; R = S_w \quad (2.7)$$

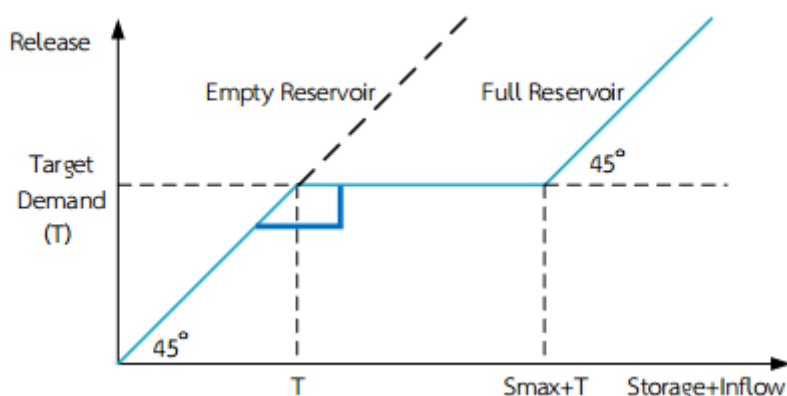
$$T \leq S_w \leq S_{\max} + T; R = T \quad (2.8)$$

$$S_w > S_{\max} + T; R = S_w - S_{\max} \quad (2.9)$$

เมื่อ	$S_w$	คือปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ในอ่างเก็บน้ำ
	$T$	คือความต้องการน้ำเป้าหมาย

จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำจะค่อย ๆ ลดลงจากสมการการปล่อยน้ำที่ 2.7 และกลับมาเต็มอ่างอีกครั้งจากสมการการปล่อยน้ำที่ 2.8 ซึ่งโชนการปล่อยน้ำที่เหมาะสมจะอยู่ระหว่างเส้นแสดงสถานะว่างและสถานะของน้ำเต็มความจุของอ่างเก็บน้ำอาจกล่าวได้ว่าการ

กำหนดการปล่อยน้ำในช่วงเวลาใด ๆ ด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบมาตรฐานจะไม่สัมพันธ์กับการกำหนดการปล่อยน้ำในช่วงเวลาอื่น ๆ เลย หรือเป็นแนวทางการปล่อยน้ำที่มีลักษณะแตกต่างกันไปตามช่วงเวลา ถึงแม้ว่านโยบายนี้จะถูกนำมาใช้ในการศึกษาเพื่อวางแผนการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ อย่างไรก็ตามเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบมาตรฐานไม่เหมาะสำหรับการปฏิบัติการระยะสั้นวันต่อวัน และอาจจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนแนวทางปฏิบัติเพื่อให้เกิดความยืดหยุ่นมากยิ่งขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ถ้าปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ในอ่างเก็บน้ำในขณะนั้นน้อยกว่าความต้องการน้ำในปัจจุบันและอีก 3 เดือนข้างหน้า ผู้ปฏิบัติงานอาจจำกัดปริมาณน้ำที่ปล่อยให้ลดลงจากความต้องการน้ำเป้าหมายเดิมในช่วงเวลาดังกล่าวได้ ทั้งนี้การจำกัดปริมาณน้ำที่ปล่อยให้ได้จะขึ้นอยู่กับสถานะของน้ำในอ่างเก็บน้ำนั้น ๆ ด้วยหรืออาจกำหนดในลักษณะเป็นระดับน้ำหลายๆ ชั้น โดยการนำเทคนิคการจำลองระบบมาประยุกต์ใช้เพื่อหาจำนวนชั้นระดับน้ำที่เหมาะสมเพื่อจำกัดปริมาณน้ำที่ปล่อยได้จากอ่างตามระดับน้ำเก็บกักที่มีในอ่างหรือเรียกว่า เกณฑ์การจำกัดการปล่อยน้ำ (Rationing Rule) ดังแสดงในภาพประกอบ 2.12



ภาพประกอบ 2.12 เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบมาตรฐาน

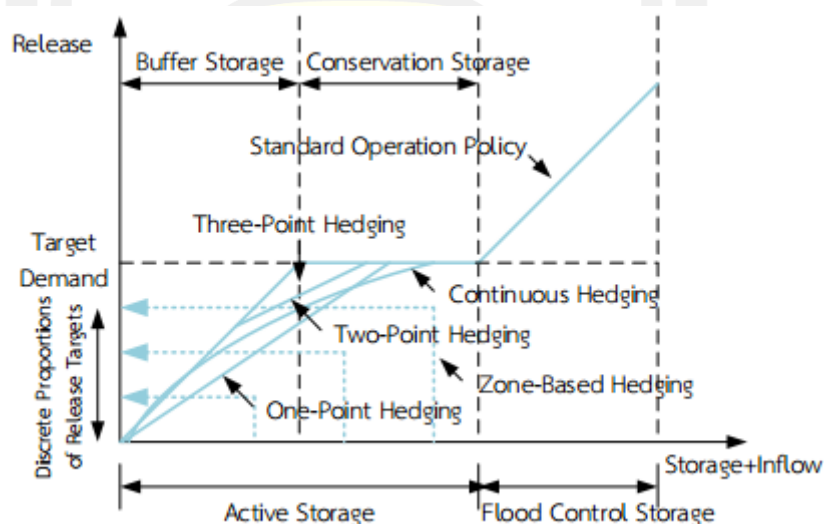
ที่มา : Jain and Singh (2003)

### 2.10.2 เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging (Hedging Rules)

เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging คือเกณฑ์การปล่อยน้ำที่พยายามลดการส่งน้ำในบางช่วงเวลาเพื่อเก็บกักน้ำไว้ใช้ในเวลาลัดไป แม้ว่าปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ในอ่างเก็บน้ำสามารถตอบสนองต่อปริมาณความต้องการใช้น้ำได้อย่างเต็มศักยภาพก็ตาม อาจกล่าวได้ว่าเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging เป็นความพยายามที่จะลดปัญหาการขาดน้ำอย่างรุนแรงที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคตด้วยการกระจายการขาดน้ำในเวลาปัจจุบันล่วงหน้าซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับระบบที่มีความต้องการใช้น้ำสูง แต่ประสบปัญหาในด้านความผันแปรของข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ โดยทั่วไป

แล้วเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging จะปรากฏในรูปแบบต่าง ๆ ดังแสดงในภาพประกอบ 2.13 ดังนี้

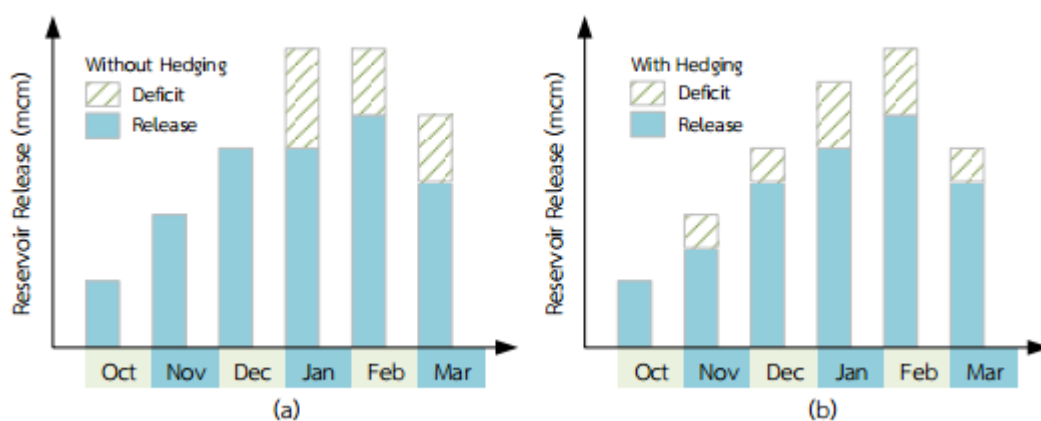
1. One-Point Hedging การปล่อยน้ำจะเริ่มต้นจากจุดกำเนิดและจะเพิ่มขึ้นในลักษณะเส้นตรงที่มีความชันน้อยกว่า 1 จนกระทั่งไปตัดเส้นระดับเป้าหมายของการปล่อยน้ำ
2. Two-Point Hedging เป็นเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging ที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงตัดผ่านจุดตัด 2 จุด คือ จุดแรกจะอยู่สูงกว่าจุดกำเนิดขึ้นไปและอยู่บนเส้นนโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบมาตรฐานในช่วงที่เกิดการขาดน้ำและจุดที่สองจะเป็นจุดตัดที่อยู่บนเส้นระดับเป้าหมายของการปล่อยน้ำโดยเส้นตรงที่ตัดผ่านนี้จะมีความชันน้อยกว่า 1
3. Three-Point Hedging เป็นเกณฑ์ที่เพิ่มจุดตรงกลางขึ้นอีกหนึ่งจุดจากเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Two-Point Hedging
4. Continuous Hedging สัดส่วนความชันของเกณฑ์การปฏิบัติอ่างเก็บน้ำในรูปแบบนี้จะมีลักษณะต่อเนื่อง
5. Multiple/Zone-Based Hedging กำหนดสัดส่วนการปล่อยน้ำในแต่ละโซนเก็บกักเทียบกับปริมาณความต้องการน้ำตามเป้าหมายของระบบในลักษณะของสัดส่วนการปล่อยน้ำแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Proportion)



ภาพประกอบ 2.13 เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging

ที่มา : Draper and Lund (2004)

วัตถุประสงค์หลักของเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging ก็คือการกระจายการขาดน้ำล่วงหน้าอย่างสม่ำเสมอเพื่อลดความรุนแรงของการขาดน้ำ ณ เวลาปัจจุบันลง กล่าวคือยอมที่จะให้เกิดการขาดน้ำครั้งละน้อย ๆ ได้เพื่อลดโอกาสความน่าจะเป็นของการขาดน้ำรุนแรงหรือผลิตพลังงานไฟฟ้าได้น้อยลง ดังแสดงผลกระทบของการปล่อยน้ำเพื่อการชลประทานและจัดหาน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคแบบไม่ใช้และใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging ในภาพประกอบ 2.13 จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำที่ปล่อยทั้งหมดจากอ่างเก็บน้ำและปริมาณการขาดน้ำทั้งหมดยังคงมีค่าเท่ากัน อย่างไรก็ตามผลจากเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบอื่นโดยไม่ใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging ทำให้ปริมาณการขาดน้ำสูงสุดเกิดขึ้นในเดือนมกราคม ร่องลงมาเกิดขึ้นในเดือนกุมภาพันธ์และมีนาคม ซึ่งผู้ปฏิบัติงานสามารถกระจายการขาดน้ำล่วงหน้าในเดือนพฤศจิกายนและธันวาคมโดยอาศัยเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging ส่งผลให้ความรุนแรงของการขาดน้ำในเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ลดความเสียหายน้อยลง ถึงแม้ว่าปริมาณการขาดน้ำทั้งหมดยังคงเท่าเดิมก็ตาม (Jain and Singh, 2003)



ภาพประกอบ 2.14 แนวทางการปล่อยน้ำด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging  
ที่มา : Jain and Singh (2003)

### 2.10.3 เกณฑ์การปล่อยน้ำเพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า (Hydropower Rules)

เกณฑ์การปล่อยน้ำเพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า (Hydropower Rules) ให้ได้คงที่สำหรับระบบอ่างเก็บน้ำแบบขนานนั้นจำเป็นต้องทราบค่าประสิทธิภาพในการเก็บกักน้ำของอ่างเก็บน้ำ  $j$  ซึ่งคำนวณได้จาก

$$V_j = \eta_j a_j j \quad (2.9)$$

เมื่อ  $j$  เป็นลำดับของอ่างเก็บน้ำในระบบอ่างเก็บน้ำแบบขนาน ถ้าอ่างเก็บน้ำใดมีค่า  $V_j$  ต่ำสุดจะปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำนั้นก่อน ในทางตรงกันข้ามอ่างเก็บน้ำใดมีค่า  $V_j$  สูงสุดจะพยายามเก็บกักน้ำไว้ในอ่างนั้นให้มากที่สุด (Lund and Guzman, 1999)

#### 2.10.4 เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบสำรองปริมาตรว่าง (Space Rules)

เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบสำรองปริมาตรว่าง (Space Rules) พัฒนาโดย Maass และคณะในปี ค.ศ.1962 ซึ่งเป็นลักษณะของการสำรองปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำไว้ให้มีขนาดเพียงพอหรือมากกว่าปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างคาดการณ์ หรือหากเป็นอ่างเก็บน้ำที่เก็บกักน้ำไว้ใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าซึ่งนอกเหนือจากจะต้องสำรองปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำไว้ให้เพียงพอกับปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างแล้ว ยังต้องคำนึงถึงศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าให้ได้สูงสุดอีกด้วย นอกจากนี้เกณฑ์การปล่อยน้ำนี้ ยังพยายามที่จะลดปริมาณน้ำส่วนเกินที่ปล่อยให้ไหลล้นอ่างไปให้ได้มากที่สุด และหลีกเลี่ยงสถานการณ์ในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบหลายอ่างที่ไม่มีประสิทธิภาพเช่น อ่างเก็บน้ำหนึ่งมีน้ำเต็มอ่างและจำเป็นต้องปล่อยน้ำส่วนเกินทิ้งไป ในขณะที่อ่างเก็บน้ำอื่น ๆ มีปริมาตรอ่างเก็บน้ำว่าง ด้วยเหตุนี้ การลดหรือจำกัดปริมาณน้ำที่ไหลล้นอ่างให้น้อยลงมากที่สุดจึงเป็นตัวบ่งบอกว่าเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบสำรองปริมาตรว่างมีความเหมาะสมในการปล่อยโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูน้ำมากของระบบนอกจากนี้ การเฝ้าติดตามปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างและคาดการณ์ค่าปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างในอนาคตยังเป็นสิ่งจำเป็น

เมื่อนำเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบสำรองปริมาตรว่าง (Space Rules) มาใช้กับระบบอ่างเก็บน้ำแบบขนาน จำเป็นต้องวิเคราะห์ค่าโอกาสความน่าจะเป็นที่ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำจะกลับมาเพิ่มอีกครั้งหลังสิ้นสุดวัฏจักรน้ำเพิ่ม-น้ำลดในระบบเพื่อเป็นข้อมูลประกอบในการตัดสินใจในบางสถานการณ์อ่างเก็บน้ำทุกอ่างในระบบอาจอยู่ในสถานะของน้ำเต็มอ่างและจำเป็นต้องปล่อยน้ำส่วนเกินไหลล้นออกไปพร้อม ๆ กัน หรือมีน้ำเต็มอ่างแต่ไม่มีการปล่อยน้ำส่วนเกินทิ้ง หรืออาจจะมีน้ำใกล้เต็มอ่าง ด้วยเหตุนี้หลักการสำรองปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำในระบบจึงขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างในช่วงวัฏจักรน้ำเพิ่ม-น้ำลดของอ่างเก็บน้ำโดยมีรูปสมการทางคณิตศาสตร์ของเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบสำรองปริมาตรว่างดังนี้

$$\frac{S_{\max j} - S_{jt} - I_{jt} + R_{jt}}{\sum_j^m (S_{\max j} - S_{jt} - I_{jt}) + R_T} = \frac{I_{j,n-t}}{\sum_j^m I_{j,n-t}} \quad (2.10)$$

เมื่อ  $S_{\max j}$  คือปริมาณน้ำเก็บกักสูงสุดของอ่างเก็บน้ำ  $j$  จากจำนวนทั้งหมด  $m$  อ่างเก็บน้ำของระบบอ่างเก็บน้ำแบบขนาน

$S_{ijt}$  คือปริมาณน้ำเก็บกักเริ่มต้นของอ่างเก็บน้ำ  $j$  ในเดือนที่  $t$  จากจำนวนทั้งหมด  $n$  เดือน

$I_{jt}$  คือปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ  $j$  ในเดือนที่  $t$

$R_{jt}$  คือปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำ  $j$  ในเดือนที่  $t$

$R_T$  คือผลรวมทั้งหมดของปริมาณน้ำที่จะต้องปล่อยตามเป้าหมาย

$I_{j,n-t}$  คือปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ  $j$  คาดการณ์สำหรับในช่วงเวลา  $n-t$  ในวัฏจักรน้ำเพิ่มน้ำลดของอ่างเก็บน้ำ

เมื่อแก้สมการที่ 2.10 จะได้สมการเพื่อหาปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำ  $j$  ในเดือนที่  $t$  ( $R_{jt}$ ) ได้ดังนี้

$$R_{jt} = \left[ \sum_j^m (S_{\max j} - S_{ijt} - I_{jt}) \right] + R_T \times \left[ \frac{I_{j,n-t}}{\sum_j^m I_{j,n-t}} \right] + S_{ijt} + I_{jt} - S_{\max j}$$

$$; 0 < R_{jt} < I_{jt} + S_{ijt}$$
(2.11)

เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบสำรองปริมาตรว่าง (Space Rules) มีประโยชน์อย่างมากกับระบบที่สามารถพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างได้ถูกต้องและมีความแม่นยำสูง นอกจากนี้ประสิทธิภาพของเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำรูปแบบนี้ ยังอาจจะสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรของข้อมูลปริมาณน้ำในลำน้ำรายเดือนเฉลี่ย หรือแม้กระทั่งปริมาณน้ำในลำน้ำใกล้เคียง ถึงแม้ว่าเกณฑ์ดังกล่าวนี้ พยายามที่จะลดปริมาณน้ำที่ไหลล้นอ่างลงให้เหลือน้อยที่สุดในช่วงเวลาที่ถัดไปของวัฏจักรน้ำเพิ่ม-น้ำลดของอ่างเก็บน้ำ อย่างไรก็ตามก็ไม่สามารถรับประกันได้ว่าจะสามารถลดปริมาณน้ำที่ไหลล้นอ่างลงให้เหลือน้อยที่สุดได้หากผลการพยากรณ์มีความคลาดเคลื่อนนอกจากนี้ ยังจะต้องประมาณการปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมายทั้งหมดอีกด้วย ตัวอย่างต่อไปนี้ เป็นการใช้อ่างเก็บน้ำแบบขนาน (Jain and Singh, 2003)

#### 2.10.5 เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Pack (Pack Rules)

เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Pack (Pack Rules) พัฒนาขึ้นโดย Maass และคณะในปี ค.ศ. 1962 เช่นเดียวกัน โดยอาศัยข้อมูลพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างล่วงหน้าในช่วงเวลา 2-3 เดือนถัดไปของวัฏจักรน้ำเพิ่ม-น้ำลด และพยายามหลีกเลี่ยงการปล่อยน้ำให้ไหลล้นอ่างโดยผ่านอาคารระบายน้ำล้นออกไปด้วยการค่อย ๆ เพิ่มปริมาณการปล่อยน้ำจากเดิมที่เวลาปัจจุบัน ด้วยเหตุนี้

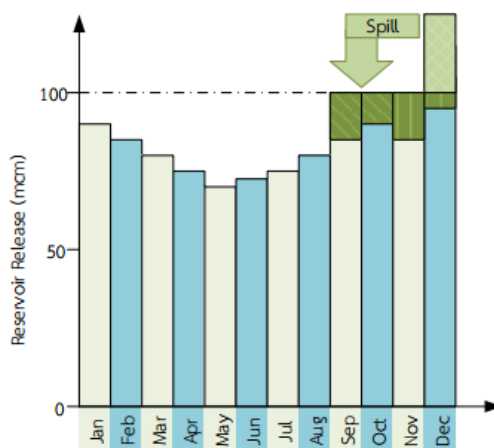


ปริมาณน้ำไหลล้นอ่างคาดการณ์ในอนาคตจึงถูกจำกัดให้น้อยลงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ดังแสดงในสมการ (2.12)

$$R_d = I_{n-t} - (S_{\max} - S_{Tt}) - P_{n-t} \quad (2.12)$$

- เมื่อ  $R_d$  คือปริมาณน้ำที่ปล่อยเพิ่มขึ้นในเดือนปัจจุบัน  $t$  สำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าสำรอง
- $I_{n-t}$  คือปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำคาดการณ์ที่เวลาล่วงหน้า  $n-t$  เดือนของวัฏจักรน้ำลด-น้ำเพิ่มของอ่างเก็บน้ำ
- $S_{\max}$  คือความจุเก็บกักสูงสุดของอ่างเก็บน้ำ
- $S_{Tt}$  คือปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำในช่วงสิ้นสุดเดือนปัจจุบัน  $t$  หลังจากมีปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างและทำการปล่อยน้ำเพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าแล้ว
- $P_{n-t}$  คือปริมาณน้ำเก็บกักสำหรับใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่เวลาล่วงหน้า  $n-t$  เดือนของวัฏจักรน้ำเพิ่ม-น้ำลดของอ่างเก็บน้ำ

ถ้าหากค่าในสมการทางด้านขวามือติดลบ ค่า  $R_d$  จะเท่ากับ 0 นอกจากนี้ ค่าในสมการยังขึ้นอยู่กับข้อจำกัด  $P_c \geq R_d \leq S_{Tt}$  ซึ่ง  $P_c$  เป็นปริมาณน้ำเก็บกักสำหรับใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าในเดือนปัจจุบันหลังจากปล่อยน้ำผ่านกังหันน้ำเพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าแล้วเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Pack (Pack Rules) สามารถประยุกต์ใช้ได้ในกรณีที่ต้องการปล่อยน้ำเกินปริมาณความต้องการที่กำหนดดังแสดงในภาพประกอบ 2.15 ซึ่งกำหนดให้วัฏจักรน้ำเพิ่ม-น้ำลดของอ่างเก็บน้ำเริ่มต้นในเดือนมกราคมและสิ้นสุดในเดือนธันวาคม เมื่อใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Pack (Pack Rules) พบว่าจะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าสำรอง (Secondary Energy) ได้ในเดือนพฤศจิกายนและธันวาคมตามที่แรงแง หากในช่วงสิ้นสุดเดือนสุดท้ายของวัฏจักรน้ำเพิ่ม-น้ำลดของอ่างเก็บน้ำมีปริมาณน้ำที่จะไหลล้นอ่างส่วนเกินตามที่แรงแงก็จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าสำรองเพิ่มเติม (Additional Secondary Energy) ได้ด้วยการปล่อยน้ำเพิ่มตั้งแต่ช่วงเดือนกันยายนและเดือนตุลาล่วงหน้า หรืออาจกล่าวได้ว่าแนวทางการประยุกต์ใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Pack (Pack Rules) นอกจากจะช่วยลดปริมาณน้ำที่ไหลล้นอ่างลงเพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในช่วงท้ายน้ำแล้ว ยังเป็นการช่วยเพิ่มการผลิตพลังงานไฟฟ้าสำรองขึ้นอีกด้วย (Jain and Singh, 2003)



ภาพประกอบ 2.15 เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Pack (Pack Rules) ที่ช่วยเพิ่มการผลิตพลังงานไฟฟ้า  
สำรองได้

ที่มา : Jain and Singh (2003)

## 2.11 หลักการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำด้วยโค้งควบคุม

### 2.11.1 หลักการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำด้วยโค้งควบคุม

อ่างเก็บน้ำเป็นกลไกที่มนุษย์สร้างขึ้นมา เพื่อทำหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลมาตามธรรมชาติ เพื่อวัตถุประสงค์อย่างใดอย่างหนึ่ง (Single purpose reservoir) หรือหลายวัตถุประสงค์ (Multipurpose reservoir) เช่น การเกษตร การอุปโภค บริโภค การอุตสาหกรรม การคมนาคม เป็นต้น อ่างเก็บน้ำจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ ตัวอ่างเก็บน้ำ (Reservoir) ทางระบายน้ำล้น (Spillway) และอาคารทางออก (Outlet works)

จากภาพประกอบ 2.11 แสดงถึงระดับสูงสุด (Maximum level) และฟรีบอร์ด (Freeboard) ทางระบายน้ำล้นเป็นอาคารที่ทำหน้าที่ระบายน้ำส่วนเกินในยามที่คลื่นน้ำท่วมขนาดใหญ่เคลื่อนตัวผ่านอ่างเก็บน้ำ และอาคารทางออกเป็นอาคารที่ทำหน้าที่ควบคุมการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำเพื่อนำไปใช้ในวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ความสัมพันธ์ระหว่างความจุและผลผลิตของอ่างเก็บน้ำ จะบอกถึงความจุของอ่างเก็บน้ำที่ต่างกันย่อมมีผลผลิตที่แตกต่างกันด้วย ดังนั้นผลผลิตของอ่างเก็บน้ำจึงเป็นปริมาณน้ำที่จะสามารถนำเอาไปใช้ได้ในช่วงระยะเวลาที่กำหนด โดยปกติช่วงระยะเวลาที่กำหนดคือ 1 ปี และผลผลิตของอ่างเก็บน้ำที่กำหนดขึ้นจะอยู่กับปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ซึ่งจะมีความผันแปรในแต่ละปี ดังนั้นการออกแบบเพื่อความปลอดภัยจึงใช้ผลผลิตที่แน่นอน (Firm yield) เป็นผลผลิตที่น้อยที่สุด ซึ่งจะเป็นปริมาณน้ำที่มากที่สุดที่จะประกันได้ว่าสามารถนำเอาไปใช้จากอ่างเก็บ

น้ำที่มีความจุที่กำหนดไว้ในช่วงเวลาวิกฤติ (Critical period) ซึ่งช่วงเวลาวิกฤติคือช่วงที่มีความแตกต่างของปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำกับความต้องการใช้น้ำมากที่สุดซึ่งก็คือฤดูแล้ง

ดังนั้นผลผลิตที่แน่นอนคือผลผลิตที่มีค่าน้อยที่สุดในช่วงอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำ ดังนั้นในปีที่แล้งที่สุดสามารถประกันได้ว่าจะมีน้ำใช้อย่างเพียงพอสำหรับความต้องการน้ำประเภทต่าง ๆ ซึ่งส่วนนั้นเรียกว่า ผลผลิตรอง (Secondary yield) สามารถจะนำไปใช้กับวัตถุประสงค์อื่นที่รองลงมาได้ และอ่างเก็บน้ำไม่ว่าจะสร้างให้มีความจุขนาดใหญ่ได้เพียงใด ผลผลิตที่แน่นอนก็จะไม่มากไปกว่าผลผลิตที่เป็นไปได้สูงสุด (Maximum possible yield) ซึ่งผลผลิตที่เป็นไปได้สูงสุดจะเท่ากับปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเฉลี่ย (Mean flow) หักด้วยการสูญเสียต่าง ๆ จากอ่างเก็บน้ำ หลังจากก่อสร้างอ่างเก็บน้ำแล้วเสร็จ เพื่อที่จะให้บรรลุวัตถุประสงค์และใช้ประโยชน์อย่างเต็มศักยภาพ การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ดังนั้นเพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้ควบคุมการใช้อ่างเก็บน้ำและปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กล่าวมา และก่อให้เกิดผลผลิตในเชิงเศรษฐศาสตร์มากที่สุด จึงจำเป็นต้องมีการวางกฎการปฏิบัติงานของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir operating rule) ซึ่งกฎนี้จะใช้ในช่วงเวลาการปฏิบัติงานตามปกติ ไม่ใช่ช่วงหลังการก่อสร้างใหม่ หรือช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงวัตถุประสงค์การใช้อ่างเก็บน้ำ ในการเริ่มต้นคำนวณสภาพสมดุลน้ำของแต่ละอ่างจากโค้งควบคุม จะกำหนดให้ปริมาตรเก็บกักเริ่มต้นของอ่างเก็บน้ำที่ระดับเต็มอ่างหรือระดับเก็บกักสูงสุด (Full capacity) ส่วนปริมาณน้ำระบายจะหาได้ตามเกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน (Standard operating rule) สำหรับกฎการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ต่อการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ซึ่งมีหลายแบบ แต่ละแบบจะบอกปริมาณน้ำที่ต้องปล่อยจากอ่างเก็บน้ำ หรือไม่ก็บอกปริมาณน้ำที่ต้องการเก็บกักในอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาต่าง ๆ ของปี ซึ่งเรียกว่า โค้งกฎการปฏิบัติงาน (Rule curves) และหนึ่งในจำนวนที่มากมายของเครื่องมือที่มีประโยชน์ต่อการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำคือ โค้งปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ (Reservoir operation rule curve) หรือบางครั้งเรียกว่า โค้งแนวปฏิบัติ (Guide curve) ซึ่งจะได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลอุทกวิทยาในอดีต (Historical data) ซึ่งมีเงื่อนไขต่าง ๆ กันร่วมกับความต้องการน้ำในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ โดยเฉพาะอ่างเก็บน้ำแบบเอนกประสงค์นั้น จำเป็นต้องมีเกณฑ์ในการปฏิบัติงานหลายเกณฑ์ร่วมกัน เช่น เกณฑ์ทางด้านสังคม เศรษฐศาสตร์และวิศวกรรม เป็นต้น ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์มีความยุติธรรมและประสิทธิภาพมากที่สุด หลังจากนั้นจึงสร้างเป็นกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ และพัฒนาให้เป็นเครื่องมืออย่างง่ายในการปฏิบัติคือ โค้งการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ ซึ่งหลักการของการพัฒนาโค้งกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำคือช่วงฤดูฝนจะพร่องน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำในแต่ละช่วงเวลาที่กำหนดในปริมาณเท่าใด เพื่อให้มีปริมาณว่างสำหรับรับปริมาณน้ำหลากที่จะไหลเข้าอ่างเก็บน้ำโดยไม่เกิดการไหลล้นอ่าง ซึ่งจะก่อให้เกิดอุทกภัยในบริเวณท้ายอ่างเก็บน้ำ หรือหากเกิดการไหลล้นอ่างก็ให้เกิดน้อยที่สุด และในขณะเดียวกันต้องรักษาปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำไว้ใช้ในฤดูแล้ง ซึ่งเส้นโค้งของกฎการปฏิบัติงานอ่าง

เก็บน้ำเส้นนี้เรียกว่า Upper Rule Curve (URC) และในช่วงฤดูแล้งจะรักษาปริมาณน้ำไว้ในอ่างเก็บน้ำในแต่ละช่วงเวลาที่กำหนดไว้เท่าใด จึงจะลดความเสี่ยงต่อการเกิดน้ำแห้งในอ่างเก็บน้ำ ซึ่งโค้งของกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเส้นนี้เรียกว่า Lower Rule Curve (LRC)

### 2.11.2 เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดสำหรับการหาโค้งควบคุม

เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดสำหรับการหาโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำคือ การศึกษาเลียนแบบ (simulation) ซึ่งเป็นกระบวนการจำลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมของระบบ จากกฎของการจัดการและควบคุม แต่ไม่สามารถประกันได้ว่ากฎของการจัดการและควบคุมนั้นดีที่สุด ซึ่งการพัฒนาโค้งของการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่ใช้วิธีนี้ได้แก่

1. การวิเคราะห์ระบบอ่างเก็บน้ำสำหรับการเก็บกักน้ำ (reservoir system analysis for conservation) เป็นการจำลองพฤติกรรมของระบบอ่างเก็บน้ำจากกฎต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ว่าจะผันน้ำหรือขาดน้ำในช่วงใด มีปริมาณเท่าใด เป็นต้น ซึ่งสามารถนำผลการวิเคราะห์จากระบบอ่างเก็บน้ำมาสร้างโค้งกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำได้ โดยทั่วไปคือแบบจำลอง HEC-3

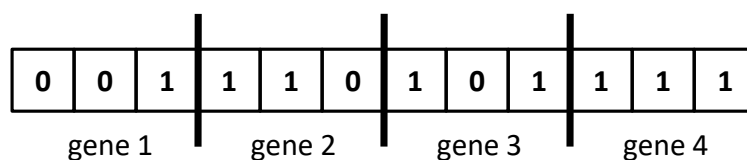
2. Vacancy – minimum storage requirements rule curve จะอาศัยแนวคิดที่ว่าปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่จะเต็มอ่างพอดีเมื่อสิ้นฤดูฝน ในขณะที่เดียวกันเมื่อสิ้นฤดูแล้ง ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำจะแห้งอ่างเก็บน้ำพอดี ดังนั้นในช่วงฤดูฝนจะต้องมีการพร่องน้ำในอ่างเก็บน้ำไว้เพื่อรองรับน้ำที่คาดว่าจะไหลเข้าอ่างตลอดช่วงฤดูฝน โดยปล่อยน้ำในอัตราที่เพิ่มขึ้น และในช่วงต้นฤดูแล้งจะต้องสำรองน้ำในอ่างเก็บน้ำให้เพียงพอกับความ ต้องการตลอดช่วงฤดูแล้ง

3. Standard operating policy เป็นเกณฑ์ที่ค่อนข้างง่าย โดยจะปล่อยน้ำให้เป็นไปตามความต้องการของทุกช่วงเวลา ดังนั้นหากปริมาณน้ำในอ่างมีไม่เพียงพอตามความต้องการ ระดับน้ำในอ่างก็จะลดลงเรื่อย ๆ ขณะเดียวกันในช่วงฤดูฝนที่มีน้ำมาก ระดับน้ำในอ่างก็จะเพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่งปล่อยให้ไหลล้นอ่างเก็บน้ำต่อไป หรืออาจกล่าวได้ว่าเกณฑ์การปฏิบัติงานโดยวิธี standard operating policy เป็นเกณฑ์ที่มีศักยภาพมาในการลดปริมาณการขาดน้ำทั้งหมด (total deficit) ในช่วงเวลาที่พิจารณา

4. Probability based rule curves เป็นวิธีที่ใช้หลักของทฤษฎีความน่าจะเป็นเพื่อพิจารณาการเก็บกักและการระบายน้ำที่ความเสี่ยงต่าง ๆ โดยในฤดูน้ำหลากจะพิจารณาว่าจะรักษา ระดับน้ำหรือปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่มากที่สุดที่จะทำให้ความเสี่ยงต่อการที่อ่างเก็บน้ำมีปริมาณไม่พอที่จะรับน้ำนองให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ในทางตรงกันข้ามฤดูแล้งจะพิจารณาว่าควรจะรักษา ระดับน้ำหรือปริมาณน้ำไว้เพื่อหลีกเลี่ยงความเสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำในอนาคตหรืออยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

5. Optimization เป็นกระบวนการหาคำตอบที่ดีที่สุด จากการจัดการตามวัตถุประสงค์ (Objectives) และข้อจำกัด (Constrain) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุด ทั้งนี้เพราะสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดตามวัตถุประสงค์และข้อจำกัดต่าง ๆ แต่อย่างไรก็ตามการใช้วิธีหาคำตอบที่ดีที่สุดมีความจำเป็นจะต้องจำลองระบบเสียก่อน ซึ่งในการพัฒนาโคงกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่ใช้วิธีนี้ได้แก่ Chance-constrained model with linear decision rule โดยเป็นการพัฒนากฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำด้วยแบบจำลอง โอกาส ข้อจำกัด ร่วมกับกฎการตัดสินใจเชิงเส้น ในปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด(Optimization Technique) มาค้นหาคำตอบที่เหมาะสม ซึ่งมีหลายวิธีเช่น

5.1 วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA) เป็นปัญญาประดิษฐ์ที่ใช้ในการค้นหา (Search) ความเหมาะสม (Optimization) การเรียนรู้ (Learning) ค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่า optimum (Optimization Problem) ของฟังก์ชันใด ๆ ที่ต้องการ ไม่ว่าจะฟังก์ชันดังกล่าวจะเป็นเส้นตรง (Linear) หรือไม่เป็นเส้นตรง (Non-Linear) ก็ตาม GA ถูกค้นขึ้นครั้งแรกโดย John Holland ในปี ค.ศ.1971 และมีการนำมาประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาความเหมาะสมในหลาย ๆ แขนงวิชาเรื่อยมา ไม่ว่าจะเป็นงานวิศวกรรม คอมพิวเตอร์ การวิจัยดำเนินการ อุตสาหกรรม ชีววิทยา ฟิสิกส์ การแพทย์ การบริหารธุรกิจ เป็นต้น วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่เลียนแบบกลไกการคัดเลือกตามธรรมชาติซึ่งมีรากฐานมาจากทฤษฎีวิวัฒนาการทางธรรมชาติ กล่าวคือ ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable) ของปัญหาจะถูกแทนค่าโดยแถวของตัวเลข (String) หรือเรียกโดยใช้ศัพท์ทางชีววิทยาว่าโครโมโซม (Chromosome) GA จะทำการสร้างโครโมโซมขึ้นมาเรียกว่า Population โดยแต่ละโครโมโซมจะประกอบไปด้วย บล็อกหรือยีน (Gene) ที่แทนค่าด้วยตัวแปรตัดสินใจแต่ละตัว ยีนในยุคเริ่มแรกของ GA จะประกอบด้วยเลขไบนารี (Binary Bits) คือ 0 และ 1 ดังแสดงในภาพประกอบ 2.16 ที่แต่ละยีนประกอบไปด้วยเลขไบนารี 3 ตัว หรือเรียกว่า 3 อัลลีลส์ (Alleles) ซึ่งเมื่อถอดรหัสแล้วจะได้ค่าของตัวแปรตัดสินใจออกมาซึ่งอาจจะเป็นจำนวนจริง (Real-Value) จำนวนเต็ม (Integer) เซต (Set) หรือแมทริกซ์ (Matrix) ซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ศึกษาเป็นผู้กำหนดให้เหมาะสมกับปัญหา



ภาพประกอบ 2.16 ตัวอย่างโครโมโซมที่ประกอบด้วยยีน 4 ตัว

โดยยีนแต่ละตัวจะประกอบด้วยตัวเลขไบนารี 3 ตัว

ที่มา: อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง (2551)

GA ในยุคหลังนิยมใช้จำนวนจริงแทนการใช้เลขไบนารี ทำให้โครโมโซมสั้นลง เนื่องจากไม่ต้องแบ่งยีนเป็นหลาย ๆ อัลลีลส์ เมื่อทำการถอดรหัสยีนทุกตัวในโครโมโซมออกมาเป็นตัวแปรและทำการแทนค่าตัวแปรเหล่านั้นลงในฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) แล้วโครโมโซมหนึ่งจะให้ผลลัพธ์ออกมาเรียกว่าค่า Fitness ของโครโมโซมนั้น ซึ่งค่า Fitness ของโครโมโซมแต่ละตัวใน Population นี้เป็นเพียงค่าที่เป็นไปได้ (Possible Solution) แต่อาจจะไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา โครโมโซมเหล่านี้จะต้องผ่านกระบวนการของ GA ซึ่งเป็นกระบวนการเลียนแบบกลไกการคัดเลือกตามธรรมชาติอีก 3 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการคัดเลือก ขั้นตอนการแลกเปลี่ยนยีน และขั้นตอนการดัดแปลงยีน ซึ่งในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 1) ขั้นตอนการคัดเลือก (Selection Operation)

หลักการของขั้นตอนการคัดเลือกคือ โครโมโซมที่มีค่า Fitness ดีที่สุดใน Population (สูงสุดหรือต่ำสุดแล้วแต่ประเภทของปัญหา) จะมีโอกาสถูกคัดเลือกให้เข้าไปสู่กระบวนการในขั้นตอนถัดไปมากที่สุด วิธีที่ใช้กันโดยทั่วไปเรียกว่า Proportional Selection ซึ่งกำหนดค่าความเป็นไปได้ในการถูกคัดเลือก (Probability of Selection,  $P_i$ ) ให้แต่ละโครโมโซมทั้งหมดใน Population

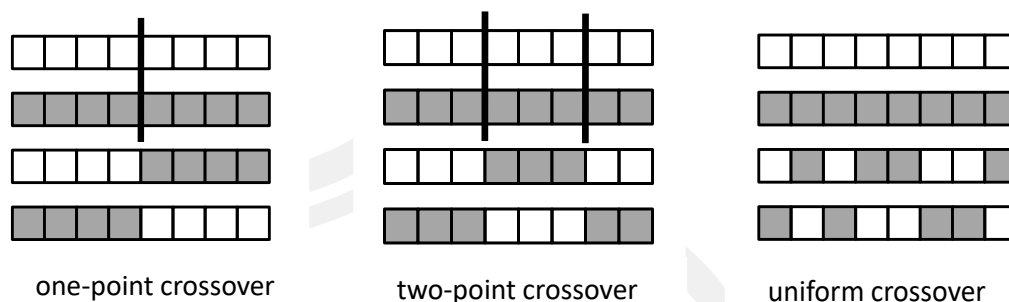
#### 2) ขั้นตอนการแลกเปลี่ยนยีน (Crossover Operation)

ขั้นตอนนี้จะทำการสุ่มเลือกโครโมโซมใน Population นั้นมาทำการจับคู่แลกเปลี่ยนยีนกัน โดยโอกาสที่แต่ละโครโมโซมจะถูกสุ่มขึ้นมาจับคู่กันขึ้นอยู่กับค่า Probability of Crossover ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ผู้ศึกษานำเข้าสู่กระบวนการ ส่วนประเภทของ Crossover จำแนกไว้มีอยู่ 3 ประเภทคือ

2.1) Crossover 1 ตำแหน่ง (One-Point Crossover) ซึ่งจะทำการแลกเปลี่ยนยีนของโครโมโซมที่ถูกจับคู่กัน ณ ตำแหน่งยีนที่ถูกสุ่มขึ้นมาจนถึงยีนในตำแหน่งสุดท้าย

2.2) Crossover 2 ตำแหน่ง (Two-Point Crossover) จะทำการแลกเปลี่ยนยีนที่อยู่ระหว่างตำแหน่งทั้ง 2 ที่ถูกสุ่มขึ้นมา และ

2.3) Crossover หลายตำแหน่ง (Uniform Crossover) ยีนที่อยู่ในตำแหน่งเดียวกันของโครโมโซมที่ถูกจับคู่กันจะถูกสุ่มให้มีการแลกเปลี่ยนกันแบบยีนต่อยีน Crossover ทั้ง 3 ประเภท ได้แสดงในภาพประกอบ 2.17 คือ



ภาพประกอบ 2.17 รูปแบบของการแลกเปลี่ยนยีน  
ที่มา: อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง (2551)

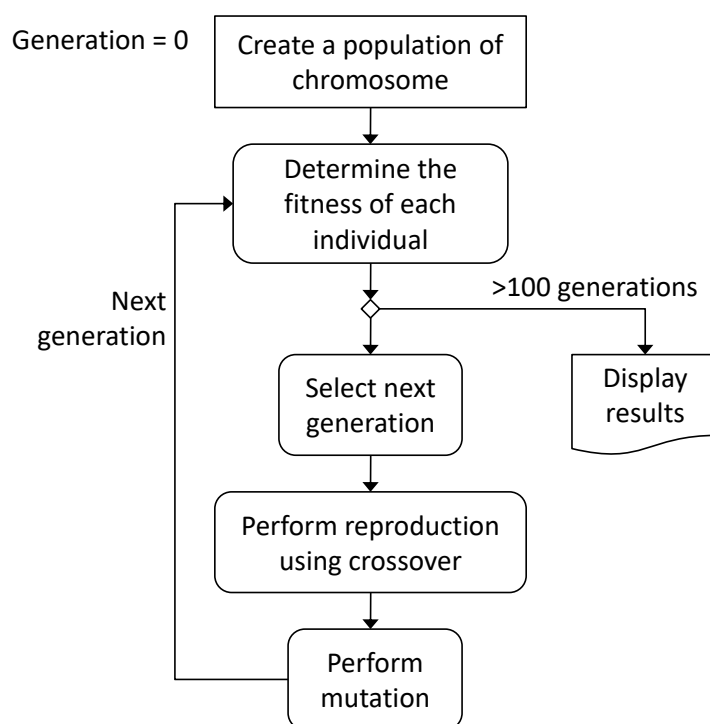
### 3) ขั้นตอนการดัดแปลงยีน (Mutation Operation)

ในขั้นตอนนี้ยีนจะถูกสุ่มดัดแปลงให้ผิดแผกไปจากเดิมโดยสิ้นเชิง และความเป็นไปได้ที่ยีนจะถูกสุ่มขึ้นมาทำการดัดแปลงนั้นขึ้นอยู่กับค่า Probability of Mutation ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ผู้ศึกษานำเข้าสู่กระบวนการใน GA ที่ใช้รหัสแบบไบนารี การดัดแปลงยีนจะกระทำโดยการเปลี่ยนค่า 0 เป็น 1 หรือ 1 เป็น 0 สำหรับ GA ที่ใช้รหัสแบบจำนวนจริง (Real-Value Coding) นั้น มีรูปแบบการดัดแปลงยีนที่มีรายละเอียดมากกว่าแบบไบนารีมากมาย โดย Michalewicz ได้จำแนกไว้ 3 แบบคือ

3.1) Uniform Mutation ซึ่งค่าของยีนจะถูกดัดแปลงภายในพิสัย (Range) ที่กำหนด

3.2) Non-Uniform Mutation ซึ่งจะดัดแปลงยีนด้วยค่าที่ค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ ใน generation ถัดไปของกระบวนการ GA และ

3.3) Modified Uniform Mutation ซึ่งค่าของยีนจะถูกดัดแปลงโดยค่าคงที่เพียงค่าเดียว เมื่อผ่านขั้นตอนทั้ง 3 นี้เรียบร้อยแล้วจะได้โครโมโซมชุดใหม่ที่แตกต่างไปจากเดิม โครโมโซมชุดนี้จะถูกแทนที่ด้วยโครโมโซมชุดเดิมที่กลายเป็น Population ใหม่ กระบวนการทั้งหมดนี้เรียกว่าเป็นหนึ่ง Generation จากนั้น GA จะดำเนินการกระบวนการทั้งหมดกับ Population ใหม่ อีกครั้งหนึ่ง และจะกระทำซ้ำไปเรื่อยๆ จนกว่าจะครบตามจำนวน Generation ที่ผู้ศึกษากำหนด และได้ใช้ชุดของโครโมโซมที่ทำให้ค่า Fitness ที่ดีที่สุดในตอนท้ายของกระบวนการ GA สำหรับขั้นตอนการทำงานของ GA ได้แสดงในภาพประกอบ 2.18

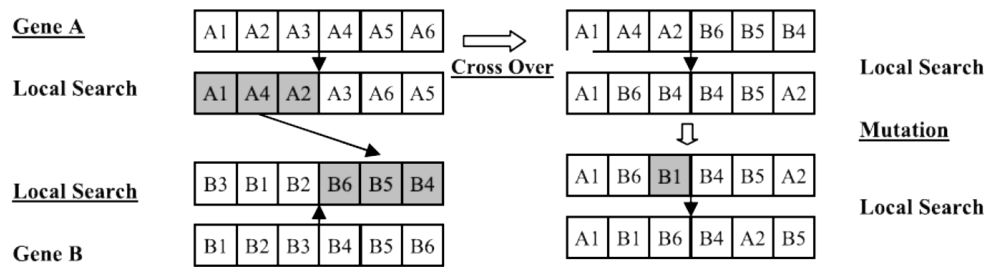


ภาพประกอบ 2.18 ขั้นตอนการทำงานของ GA  
ที่มา: อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง (2551)

5.2 มีมีติกอัลกอริธึม (Memetic Algorithm หรือ MA) ถูกคิดค้นโดย Merz และ Freisleben และมีลักษณะคล้ายกับ GA เพียงแต่ยีนส์ของโครโมโซมถูกเรียกว่า มีมี (Meme) แทน และมีลักษณะพิเศษกว่า GA ตรงที่โครโมโซมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพผ่านการค้นหาแบบเฉพาะที่ (Local Search) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพก่อนที่จะผ่านขบวนการทางพันธุกรรม (Crossover และ Mutation)

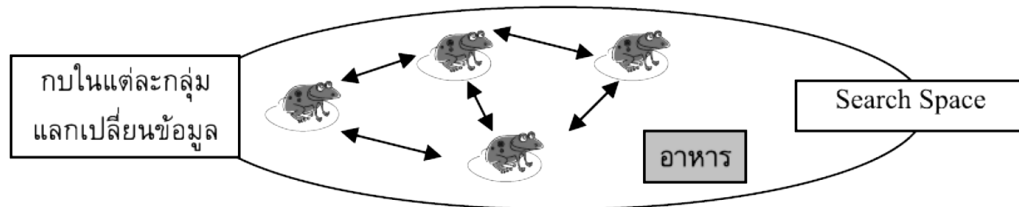
ขั้นตอนของ MA เริ่มต้นคล้ายกับ GA โดยที่ประชากรเบื้องต้นจะถูกสร้างขึ้นด้วยการสุ่ม หลังจากนั้นจะทำการค้นหาแบบ Local Search ของประชากรทุกตัวเพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพ การค้นหาแบบเฉพาะที่คือการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดภายในคำตอบข้างเคียง (Neighborhood) หรือ Local นั้นเอง หลังจากนั้นจะทำการ Crossover และ Mutation เพื่อหาโครโมโซมลูกหลานใหม่ต่อไป ดังในภาพประกอบ 2.19





ภาพประกอบ 2.19 การสลับสายพันธุ์ (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) ของ MA  
ที่มา: อนงค์ฤทธิ แข็งแรง (2551)

5.3 ซัฟเฟิลฟรอกลีปิง (Shuffled Frog Leaping Algorithm หรือ SFL) ถูกพัฒนาโดย Eusuff และ Lansey ซึ่งเป็นการผสมผสานระหว่าง MA และ PSO โดยที่ประชากรผลลัพธ์จะถูกสุ่มขึ้นมาแล้วทำการแบ่งเป็นหลายๆ กลุ่ม หรือ Memplex เพื่อค้นหาแหล่งอาหารโดยในแต่ละกลุ่มจะทำการค้นหาแบบ Local Search หลังจากนั้นกบจะแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกลุ่มด้วยการสับกลุ่ม (Shuffling) นั้นเอง ดังแสดงในภาพประกอบ 2.20



ภาพประกอบ 2.20 การสลับสายพันธุ์ (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) ของ SFL  
ที่มา: อนงค์ฤทธิ แข็งแรง (2551)

ขั้นตอนการทำงานของเทคนิค SFL เริ่มต้นด้วยการสร้างประชากรเริ่มต้นของกบ (Frogs) ขนาด  $P$  แล้วคำนวณค่า Fitness ของกบทั้งหมดและเรียงลำดับกบตามค่า Fitness จากมากไปน้อย แล้วทำการแบ่งกบออกเป็น  $m$  มีมิเพล็กซ์ (Memplex) โดยแต่ละมีมิเพล็กซ์จะมีกบจำนวน  $n$  ตัว ในการแบ่งกลุ่มจะจัดให้กบที่มีค่า Fitness สูงสุดอยู่ในมีมิเพล็กซ์ที่หนึ่ง กบตัวที่สองจัดให้อยู่ในมีมิเพล็กซ์ที่สอง กบตัวที่  $m$  จัดให้อยู่ในมีมิเพล็กซ์ที่  $m$  และกบตัวที่  $m+1$  จัดให้อย้อนกลับไปที่มีมิเพล็กซ์ที่หนึ่ง ในแต่ละมีมิเพล็กซ์จะค้นหาตัวที่มีค่า Fitness มากที่สุดและน้อยที่สุด ซึ่งแทนด้วย  $Y_{best}$  และ  $Y_{worst}$  ตามลำดับส่วนกบที่มีค่า Fitness มากที่สุดในทุกมีมิเพล็กซ์ให้แทนด้วย  $Y_{great}$  จากนั้นจะปรับปรุง

ค่า Fitness ของกบในแต่ละมีมีเพิลิก โดยจะปรับปรุงกบที่มีค่า Fitness น้อยที่สุดเพียงตัวเดียวให้มีค่า Fitness มากขึ้น

ตำแหน่งของกบตัวที่  $i$  หรือ  $D_i = \text{Unif}(0,1) \times (Y_{best} - Y_{worst})$

ตำแหน่งใหม่ของ  $Y_{worst} =$  ตำแหน่งปัจจุบัน  $Y_{worst} +$  ตำแหน่งของกบตัวที่  $i$ ,  
 $-D_{max} \leq D_i \leq D_{max}$

โดย  $D_{max}$  คือค่าสูงสุดในการเปลี่ยนตำแหน่งและจะมีการกำหนดจำนวนการทำซ้ำเพื่อปรับปรุง (Maximum Number of Iteration) ไว้ด้วย ซึ่งถ้าทำซ้ำจนครบจำนวนครั้งแล้วหากพบว่า ค่า Fitness ของกบตัวที่แย่ที่สุดตัวนั้นยังไม่ดีขึ้นหรือค่า Fitness ยังมีค่าไม่เท่ากับกบตัวที่ดีที่สุด  $Y_{great}$  แล้วกบตัวนี้จะถูกคัดออกแล้วจึงทำการสุ่มสร้างกบตัวใหม่ขึ้นมาแทน ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวจะถูกทำซ้ำในทุกๆ มีมีเพิลิก หลังจากนั้นจะทำการสับมีมีเพิลิก (Shuffling Memplex) โดยการรวมกบทุกตัวเข้าด้วยกันแล้วทำการเรียงลำดับกบตามค่า Fitness เหมือนตอนเริ่มต้น แล้วทำการปรับปรุงกบที่แย่อีกครั้งหนึ่งขั้นตอนจะหยุดก็ต่อเมื่อจำนวนครั้งที่ทำการสับมีมีเพิลิกเกินจำนวนการทำซ้ำที่ตั้งไว้

5.4 อัลกอริธึมแบบอาณานิคมมด Ant-Colony Optimization (ACO) เลียนแบบพฤติกรรมของมดจริงๆ ในธรรมชาติมดนั้นสามารถเดินทางจากรังของมันไปยังแหล่งอาหารและกลับมาสร้างได้โดยมดจะเลือกเส้นทางที่จะใช้เดินให้มีระยะทางรวมนั้นเกือบจะได้เป็นระยะทางที่สั้นที่สุด จากแนวคิดนี้ทำให้ Dorigo (Dorigo & Stutzle, 2004) ได้พัฒนาอัลกอริธึมอาณานิคมมดขึ้นมา ซึ่งนับเป็นอัลกอริธึมสำหรับหาค่าที่ดีที่สุดแบบหนึ่งซึ่งมีประสิทธิภาพในการทำงาน การหาค่าตอบที่ดีที่สุดแบบอัลกอริธึมอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization Algorithm) หรือต่อไปจะเรียกว่า ACO Algorithm เป็นการอัลกอริธึมซึ่งจำลองการทำงานมาจากชีวิตและพฤติกรรมจริงของการทำงานของมด โดยมดนั้นเกือบจะตาบอด (Dorigo & Gambardella, 1997) แต่อย่างไรก็ตามมดนั้นสามารถค้นหาเส้นทางจากรังของมันไปยังแหล่งอาหารและย้อนกลับมาที่รังของมันได้ โดยระยะทางที่มดใช้ในการเดินทางนั้นเกือบจะมีระยะทางใกล้เคียงกับเส้นทางที่สั้นที่สุด

## 2.12 Marine Predators Algorithm (MPA)

Marine Predators Algorithm (MPA) คืออัลกอริธึมที่มดทะเลเมตาฮีโรสติกอัลกอริธึมที่ได้รับแรงบันดาลใจจากการหาอาหารของสัตว์นักล่าแห่งท้องทะเล ทะเล กล่าวได้ว่าการไล่ล่าจะเกิดขึ้นจากทั้งจากผู้ล่าและเหยื่อ แต่ในขณะเดียวกันทั้งผู้ล่าและเหยื่อก็มองหาอาหารเช่นกัน โดย

MPA ได้พัฒนากลยุทธ์การจับเหยื่อที่ยอดเยียมและชาญฉลาดเพื่อนำมาค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดระหว่างผู้ล่าและเหยื่อ ของสัตว์นักล่าแห่งท้องทะเลร่วมกับอัตราการเผชิญหน้าที่เหมาะสมในระบบนิเวศทางทะเล ระหว่างผู้ล่าและเหยื่ออัลกอริทึมนี้ใช้การเลียนแบบกลยุทธ์การหาอาหารที่แพร่หลาย โดยการใช้หลักการเดินสุ่มหาค่าตอบ 2 แบบ ได้แก่ การเคลื่อนไหวแบบ Lévy และ Brownian

### 2.12.1 การพัฒนากระบวนการ MPA

การพัฒนาอัลกอริทึม MPA เป็นวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงเมตาฮิวริสติกที่เรียบง่ายและมีประสิทธิภาพ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การกำหนด MPA คล้ายกับอัลกอริทึมเมตาฮิวริสติกส่วนใหญ่ โดย MPA จะกำหนดประชากรกระจายไปทั่วพื้นที่การค้นหาอย่างสม่ำเสมอในครั้งแรก ดังสมการ (2.13)

$$X_0 = X_{min} + rand(X_{max} - X_{min}) \quad (2.13)$$

เมื่อ	$X_{min}$	คือขอบเขตล่างสำหรับตัวแปร
	$X_{max}$	คือขอบเขตบนสำหรับตัวแปร
	$rand$	คือเวกเตอร์สุ่มที่สม่ำเสมอในช่วง 0 ถึง 1

จากการอยู่รอดของทฤษฎีที่เหมาะสมที่สุดกล่าวกันว่านักล่าอันดับต้น ๆ ในธรรมชาติมีความสามารถในการหาอาหารมากกว่า ดังนั้นโซลูชันที่เหมาะสมที่สุดจึงได้รับการเสนอชื่อให้เป็นนักล่าอันดับต้น ๆ เพื่อสร้างเมทริกซ์ซึ่งเรียกว่า Elite อาร์เรย์ของเมทริกซ์นี้ดูแลการค้นหาและค้นหาเหยื่อโดยอาศัยข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งของเหยื่อดังสมการ (2.14)

$$Elite = \begin{bmatrix} X_{1,1}^I & X_{2,1}^I & \dots & X_{1,d}^I \\ X_{2,1}^I & X_{2,2}^I & \dots & X_{2,d}^I \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{n,1}^I & X_{n,2}^I & \dots & X_{n,d}^I \end{bmatrix}_{n \times d} \quad (10)$$

เมื่อ	$\bar{X}^I$	คือเวกเตอร์นักล่าอันดับต้น ๆ ซึ่งจำลอง n ครั้งเพื่อสร้างเมทริกซ์ชั้นยอด
	$n$	คือจำนวนตัวแทนการค้นหา
	$d$	คือจำนวนมิติ

มีข้อสังเกตว่าทั้งผู้ล่าและเหยื่อถือเป็นตัวแทนการค้นหา เนื่องจากเมื่อถึงเวลาที่นักล่ากำลังมองหาเหยื่อเหยื่อก็กำลังมองหาอาหารของมันเอง ในตอนท้ายของการวนซ้ำแต่ละครั้ง Elite จะได้รับการอัปเดตหากนักล่าอันดับสูงสุดถูกแทนที่โดยนักล่าที่เก่งกว่าเมทริกซ์อื่นที่มีมิติเดียวกับ Elite เรียกว่า Prey ซึ่งผู้ล่าจะอัปเดตตำแหน่งโดยเริ่มต้นจากการสร้างเหยื่อให้เหมาะสมกับนักล่าดังแสดงในสมการ (2.15)

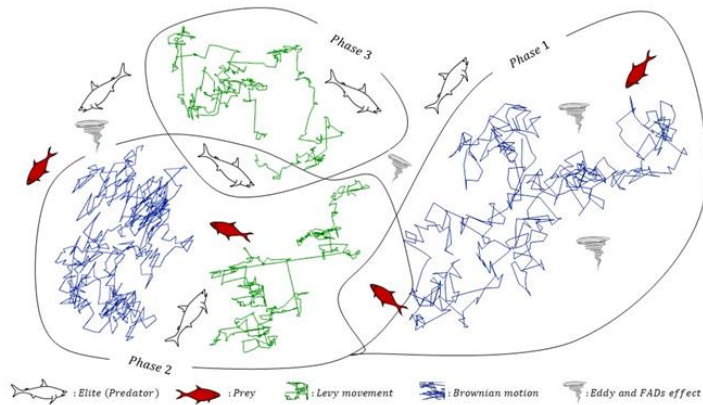
$$Prey = \begin{bmatrix} X_{1,1}^l & X_{2,1}^l & \cdots & X_{1,d}^l \\ X_{2,1}^l & X_{2,2}^l & \cdots & X_{2,d}^l \\ X_{3,1}^l & X_{3,2}^l & \vdots & X_{3,d}^l \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{n,1}^l & X_{n,2}^l & \cdots & X_{n,d}^l \end{bmatrix}_{n \times d} \quad (2.15)$$

เมื่อ  $X_{i,j}$  คือมิติ  $j$  ของเหยื่อ  $i$

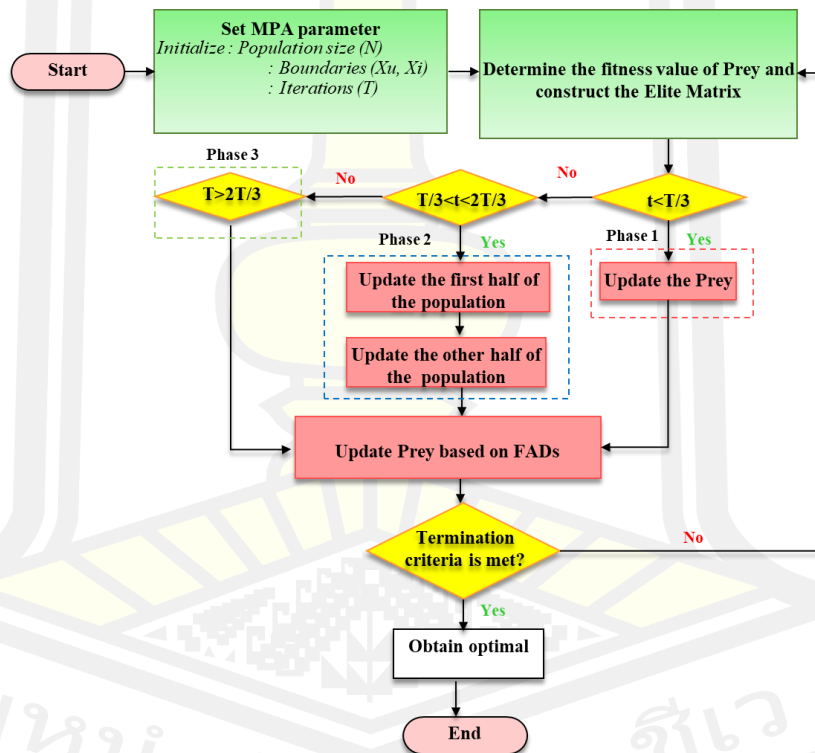
## 2. การเพิ่มประสิทธิภาพ MPA

การเพิ่มประสิทธิภาพ MPA แบ่งออกเป็นสามขั้นตอนหลัก ดังภาพประกอบ 2.21 และ 2.22 โดยพิจารณาจากอัตราส่วนความเร็วที่แตกต่างกันและในขณะเดียวกันก็เลียนแบบวิถีชีวิตทั้งหมดของผู้ล่าและเหยื่อ ได้แก่ (1) อัตราส่วนความเร็วสูงหรือเมื่อเหยื่อเคลื่อนที่เร็วกว่าผู้ล่า (2) อัตราส่วนความเร็วต่อหน่วยหรือเมื่อทั้งผู้ล่าและเหยื่อเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเกือบเท่ากันและ (3) อัตราส่วนความเร็วต่ำเมื่อผู้ล่าเคลื่อนที่เร็วกว่าเหยื่อ สำหรับแต่ละระยะที่กำหนดจะมีการระบุและกำหนดช่วงเวลาของการวนซ้ำ ขั้นตอนเหล่านี้กำหนดขึ้นตามกฎที่ควบคุมโดยธรรมชาติของผู้ล่าและการเคลื่อนที่ของเหยื่อในขณะที่เลียนแบบการเคลื่อนไหวของผู้ล่าและเหยื่อในธรรมชาติ ทั้งสามขั้นตอน ได้แก่

พหุ มณู ทิโต ชีเว



ภาพประกอบ 2.21 กระบวนการค้นหา 3 ระยะ  
 ที่มา: Afshin Faramarzi et al., (2020)



ภาพประกอบ 2.22 กระบวนการทำงานอัลกอริทึม MPA

ระยะที่ 1 อัตราส่วนความเร็วสูงหรือเมื่อนักล่าเคลื่อนที่เร็วกว่าเหยื่อ สถานการณ์นี้เกิดขึ้นในการทำซ้ำครั้งแรกของการเพิ่มประสิทธิภาพซึ่งการสำรวจมีความสำคัญ ตามกฎที่ดึงมาจากภาพประกอบ 2.22 ในอัตราส่วนความเร็วสูง ( $v \geq 10$ ) กลยุทธ์ที่ดีที่สุดสำหรับนักล่า จะไม่เคลื่อนที่เลย แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกฎนี้ตั้งสมการที่ (2.16)

While  $Iter < \frac{1}{3} Max\_Iter$

$$\overrightarrow{stepsize}_i = \overrightarrow{R}_B \otimes (\overrightarrow{Elite}_i - \overrightarrow{R}_B \otimes \overrightarrow{Prey}_i) \quad i = 1, \dots, n$$

$$\overrightarrow{Prey}_i = \overrightarrow{Prey}_i + P \cdot \overrightarrow{R} \otimes \overrightarrow{stepsize}_i \quad (2.16)$$

เมื่อ  $R_B$  คือเวกเตอร์ที่มีตัวเลขสุ่มตามการแจกแจงแบบปกติที่แสดงถึงการเคลื่อนที่ของ Brownian

$\otimes$  คือการคูณทางเข้า โดยการคูณ  $R_B$  ของเหยื่อเป็นการจำลองการเคลื่อนที่ของเหยื่อ  $P = 0.5$  เป็นจำนวนคงที่

$R$  คือเวกเตอร์ของตัวเลขสุ่มสม่ำเสมอใน  $[0,1]$  สถานการณ์นี้เกิดขึ้นในช่วงที่สามของการทำซ้ำเมื่อขนาดขั้นตอนหรือความเร็วในการเคลื่อนที่สูง สำหรับความสามารถในการสำรวจที่สูง

$Iter$  คือการวนซ้ำปัจจุบัน

$Max\_Iter$  คือค่าสูงสุดของการวนซ้ำ

ระยะที่ 2 อัตราส่วนความเร็วต่อหน่วยหรือเมื่อทั้งผู้ล่าและเหยื่อกำลังเคลื่อนที่ในจังหวะเดียวกัน มันเลียนแบบว่าทั้งคู่กำลังมองหาเหยื่อของมัน ส่วนนี้เกิดขึ้นในขั้นตอนกลางของการเพิ่มประสิทธิภาพที่การสำรวจพยายามแปลงเป็นการแสวงหาประโยชน์ชั่วคราว ในระยะนี้มีทั้งการสำรวจและการแสวงหาผลประโยชน์ ดังนั้นครึ่งหนึ่งของประชากรจึงถูกกำหนดให้สำรวจและอีกครึ่งหนึ่งสำหรับการค้นหาคำตอบ ในระยะนี้เหยื่อมีหน้าที่ในการค้นหาคำตอบและผู้ล่าเพื่อการสำรวจ ตามกฎในอัตราส่วนความเร็วต่อหน่วย ( $v \approx 1$ ) หากเหยื่อเคลื่อนที่แบบ Lévy กลยุทธ์ที่ดีที่สุดสำหรับนักล่าคือ Brownian ดังสมการ (2.17)

$$\overrightarrow{stepsize}_i = \overrightarrow{R}_L \otimes (\overrightarrow{Elite}_i - \overrightarrow{R}_L \otimes \overrightarrow{Prey}_i) \quad i = 1, \dots, n/2$$

$$\overrightarrow{Prey}_i = \overrightarrow{Prey}_i + P \cdot \overrightarrow{R} \otimes \overrightarrow{stepsize}_i \quad (2.17)$$

โดยที่  $R_L$  หมายถึงตัวเลขสุ่ม โดยที่ตัวเลขเหล่านี้ตามการเคลื่อนไหวของ Lévy ในการกระจาย ครั้งแรกแสดงถึงการเอารัดเอาเปรียบ (แสดงโดยผู้ล่า) นำไปใช้กับมัน ในขณะที่เหยื่อที่เป็นตัวแทนของประชากรในช่วงครึ่งหลัง ดังสมการ (2.18)

$$\begin{aligned}\overrightarrow{stepsize}_i &= \overline{R}_B \otimes \left( \overline{R}_B \otimes \overrightarrow{Elite}_i - \overrightarrow{Prey}_i \right) \quad i = n/2, \dots, n \\ \overrightarrow{Prey}_i &= \overrightarrow{Elite}_i + P.CF \otimes \overrightarrow{stepsize}_i\end{aligned}\quad (2.18)$$

Max\_iter คือจำนวนรุ่นทั้งหมด RB และElite จำลองการเคลื่อนไหวของนักล่าในแบบบราวเนียน ในขณะที่เหยื่อเปลี่ยนตำแหน่งขึ้นอยู่กับ การเคลื่อนไหวของนักล่าในแบบบราวเนียน

ระยะที่ 3 อัตราส่วนความเร็วต่ำเมื่อผู้ล่าเคลื่อนที่เร็วกว่าเหยื่อ ขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพ พวกมันแสดงเมื่อการเคลื่อนไหวของนักล่าเร็วกว่าเหยื่อ นักล่าใช้ประโยชน์จากเหยื่อที่ตรวจพบและโจมตีอย่างรวดเร็วเพื่อให้ได้มา ดังนั้นการค้นหาคำตอบในระยะนี้มีประสิทธิภาพสูงสุดซึ่งการเคลื่อนไหวที่ดีที่สุดสำหรับนักล่าในอัตราส่วนความเร็วต่ำ ( $v = 0.1$ ) คือ Lévy ระยะนี้ดำเนินการในช่วงที่สามของจำนวนการวนซ้ำ ( $Iter > 2/3 \text{ Max\_iter}$ ) นักล่าติดตาม Lévy นักล่าจะอัปเดตตำแหน่งในสมการ (2.19)

$$\begin{aligned}\overrightarrow{stepsize}_i &= \overline{R}_L \otimes \left( \overline{R}_L \otimes \overrightarrow{Elite}_i - \overrightarrow{Prey}_i \right) \quad i = 1, \dots, n \\ \overrightarrow{Prey}_i &= \overrightarrow{Elite}_i + P.CF \otimes \overrightarrow{stepsize}_i\end{aligned}\quad (2.19)$$

โดยการเพิ่มขนาด Elite เพื่อให้การเคลื่อนไหวของนักล่าอัปเดตไซต์เหยื่อ การเพิ่มสองเท่าของ  $R_L$  และ Elite ยังจำลองการเคลื่อนไหวของนักล่าภายในกลยุทธ์ของ Lévy

### 3. ผลกระทบของ FADs และ Eddy Formation

การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมในทะเลนักล่าเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมเช่นการก่อตัวของกระแสน้ำวนหรือเอฟเฟกต์อุปกรณรรวมปลา (FADs) จากการศึกษาของ Film alter และคณะ (2011) ฉลามใช้เวลามากกว่า 80% ในบริเวณใกล้เคียงกับ FAD และส่วนที่เหลืออีก 20% จะกระโดดไกลในมิติต่าง ๆ ที่อาจพบแวดล้อมด้วยการกระจายเหยื่ออีกแบบหนึ่ง FADs ถูกพิจารณาว่าเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในท้องถิ่นและผลกระทบที่ติดอยู่กับประเด็นเหล่านี้ในพื้นที่ค้นหา การพิจารณาการกระโดดที่ยาวขึ้นในระหว่างการจำลองสถานการณ์จะหลีกเลี่ยงความซับซ้อนในการปรับให้เหมาะสมในท้องถิ่น ดังนั้นสมการ (2.20)

$$\vec{Prey}_i = \begin{cases} \vec{Prey}_i + CF \left[ \vec{X}_{min} + \vec{R} \otimes (\vec{X}_{max} - \vec{X}_{min}) \right] \otimes \vec{U} & \text{if } r \leq FADs \\ \vec{Prey}_i + [FADs(1-r) + r] (\vec{Prey}_{r1} - \vec{Prey}_{r2}) & \text{if } r > FADs \end{cases} \quad (2.20)$$

โดยที่  $FADs = 0.2$  แสดงถึงความน่าจะเป็นของ FAD ที่ได้รับผลกระทบในกระบวนการปรับให้เหมาะสม  $U$  เป็นเวกเตอร์ของไบนารีที่มีเมทริกซ์ที่มีศูนย์และหนึ่ง สิ่งนี้ทำได้โดยการสร้างเวกเตอร์ที่กำหนดเองใน  $[0,1]$  และอัปเดตอาร์เรย์เป็นศูนย์หากน้อยกว่า 0.2 และอีกค่าหนึ่งหากมากกว่า  $r$  คือจำนวนเต็มโดยพลการ  $[0,1]$  ทั้งสอง ( $X_{min}$ ,  $X_{max}$ ) เป็นเวกเตอร์ที่ประกอบด้วย (lower, upper) ของมิติ  $r_1$  และ  $r_2$  แสดงถึงดัชนีของเหยื่อแบบสุ่ม

เมื่อการเพิ่มประสิทธิภาพอยู่ในขั้นตอนสุดท้าย อัลกอริทึมจำเป็นต้องมีความสามารถสูงสำหรับการแสวงหาผลประโยชน์ ระยะที่สามแสดงถึงระยะสุดท้ายของการปรับให้เหมาะสมเมื่อนักล่าเปลี่ยนพฤติกรรมจากกลยุทธ์ของบราวน์เป็นลิวาย เพื่อให้กระบวนการค้นหามีประสิทธิภาพมากขึ้นในพื้นที่เฉพาะ ในขณะที่เดียวกัน Convergence Factor (CF) ก็มีบทบาทที่เชื่อมโยงสำหรับผู้ล่า สิ่งนี้จำกัดการค้นหาในหลายส่วนของพื้นที่เฉพาะ นอกจากนี้ยังหลีกเลี่ยงความพยายามในการค้นหาที่ขยายจากขั้นตอนยาวอันเป็นผลมาจากการใช้กลยุทธ์ของลิวายส์สำหรับพื้นที่ที่ไม่มีแนวโน้มในขอบเขตการค้นหาคำตอบ โดย pseudocode ของอัลกอริทึม MPA แสดงได้ดังภาพประกอบ 2.23

```

Initialize search agents (Prey) populations  $i=1, \dots, n$ 
While termination criteria are not met
  Calculate the fitness and construct the Elite matrix
  If  $Iter < Max\_Iter/3$ 
    Update prey based on Equation (6)
  Else if  $Max\_Iter/3 < Iter < 2 * Max\_Iter/3$ 
    For the first half of the populations ( $i=1, \dots, n/2$ )
      Update prey based on Equation (7)
    For the other half of the populations ( $i=n/2, \dots, n$ )
      Update prey based on Equation (8)
  Else if  $Iter > 2 * Max\_Iter/3$ 
    Update prey based on Equation (9)
  End (if)
Accomplish memory saving and Elite update
Applying FADs effect and update based on Equation (10)
End while

```

ภาพประกอบ 2.23 Pseudocode of MPA algorithm.

ที่มา: Afshin Faramarzi et al., (2020)



## สรุปกระบวนการควบคุมความสัมพันธ์ เพื่อหาอาหารที่เหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิค MPA

- สัตว์นักล่าในทะเลใช้กลยุทธ์ของ Lévy สำหรับสภาพแวดล้อมที่มีเหยื่อที่มีความเข้มข้นต่ำ ในขณะที่ใช้การเคลื่อนไหวแบบบราวเนียนสำหรับพื้นที่ที่มีเหยื่อจำนวนมาก
- พวกเขาแสดงให้เห็นเปอร์เซ็นต์ที่เท่ากันของการเคลื่อนไหวของ Lévy และ Brownian ในช่วงชีวิตของพวกเขาในการสำรวจแหล่งที่อยู่อาศัยที่แตกต่างกัน
- เนื่องจากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ธรรมชาติ (การก่อตัวของกระแสน้ำวน) หรือที่เกิดจากมนุษย์ (FAD) พวกมันจึงเปลี่ยนพฤติกรรมเพื่อหวังว่าจะพบพื้นที่ที่มีการกระจายของเหยื่อที่แตกต่างกัน
- ในอัตราส่วนความเร็วต่ำ ( $v=0.1$ ) กลยุทธ์ที่ดีที่สุดสำหรับผู้ล่าคือเลวี เหยื่อกำลังเคลื่อนที่ใน Brownian หรือ Lévy;
- ในอัตราส่วนความเร็วต่อหน่วย ( $v=1$ ) หากเหยื่อเคลื่อนที่ในเลวี กลยุทธ์ที่ดีที่สุดสำหรับผู้ล่าคือบราวเนียน สถานการณ์อื่นๆ ขึ้นอยู่กับขนาดของระบบ
- ในอัตราส่วนความเร็วสูง ( $v \geq 10$ ) กลยุทธ์ที่ดีที่สุดสำหรับผู้ล่าจะไม่เคลื่อนไหวเลย ในกรณีนี้เหยื่อทั้งสองกำลังเคลื่อนที่บราวเนียนหรือเลวี
- พวกเขาใช้ประโยชน์จากความทรงจำที่ดีในการเตือนเพื่อนร่วมงานตลอดจนตำแหน่งของการหาอาหารสำเร็จ

## 2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.12.1 เกณฑ์การปล่อยน้ำ

Xuning Guo et al. (2013) ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเกณฑ์ดำเนินงานอ่างเก็บน้ำแบบหลายวัตถุประสงค์โดยใช้ NSPSO เพื่อสร้างหลักเกณฑ์การปล่อยปริมาณน้ำสำหรับการประปาจากอ่างเก็บน้ำแบบ Multi-reservoir ด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging rule โดยประยุกต์ใช้ non-dominated sorting particle swarm optimization (NSPSO) ใช้ระบบการเก็บน้ำหลายแห่ง

ที่ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำ Taize ในประเทศจีน เป็นกรณีศึกษา พบว่าโค้งปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เสนอนั้นสามารถลดค่าการขาดแคลนได้อย่างมากเมื่อเทียบกับวิธีการทั่วไปที่ใช้ในการควบคุมระบบอ่างเก็บน้ำ โค้งควบคุมที่เสนอสามารถป้องกันระยะเวลาสั้น ๆ ของการขาดแคลนอย่างรุนแรงในช่วงฤดูแล้ง เทคนิคการหารค่าที่เหมาะสม I-NPSO มีประสิทธิภาพที่ดีในการค้นหาค่าที่เหมาะสมหลายวัตถุประสงค์ของหลักเกณฑ์การปล่อยน้ำและการดำเนินงานที่เสนอ

Tongtiengang Zhao et al. (2013) พัฒนาเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging Rules (HR) สำหรับดำเนินงานการควบคุมน้ำท่วมอ่างเก็บน้ำภายใต้ความไม่แน่นอนทางอุทกวิทยาโดยใช้การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์และคณิตศาสตร์ เพื่อกำหนดและแสดงเหตุผลในการตัดสินใจการควบคุมอุทกภัยที่เหมาะสมที่สุด จำแนกประเภทการปฏิบัติงานของระดับความเสี่ยงจากอุทกภัยและการตัดสินใจการดำเนินงานที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากขนาดของน้ำท่วมและความไม่แน่นอนของการคาดการณ์ ซึ่ง นำไปสู่ความสมดุลที่เหมาะสมของความเสี่ยงน้ำท่วมช่วงเวลาปัจจุบันถูกลดลงโดยการป้องกันความเสี่ยงซึ่งจะเพิ่มน้ำท่วมความเสี่ยงในอนาคต พบว่าเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging Rules (HRs) ที่พัฒนาขึ้นได้อย่างเหมาะสมระหว่างช่วงเวลาปัจจุบันและอนาคต การป้องกันความเสี่ยงจากอุทกภัยที่เหมาะสมที่สุดแบ่งออกเป็นสามกรณีคือ (1) สำหรับน้ำท่วมที่คาดว่าจะมีขนาดใหญ่ การจัดเก็บน้ำท่วมทั้งหมดและความสามารถในการขนส่งช่องทางเกือบทั้งหมดจะถูกใช้ในระยะเวลาปัจจุบันเพื่อรับมือกับความเสี่ยง (2) สำหรับน้ำท่วมปานกลางคาดว่า EFSM ที่มีอยู่จะมีความสมดุลระหว่างช่วงเวลาปัจจุบันและอนาคต แต่ส่วนใหญ่ของ EFSM ทั้งหมดยังคงถูกจัดสรรให้อยู่ในขั้นตอนนี้ปัจจุบัน และ (3) สำหรับน้ำท่วมขนาดเล็กที่คาดหวังขั้นตอนนี้ในอนาคตจะได้รับการจัดสรร EFSM ที่มากขึ้นโดยทำให้พื้นที่อ่างเก็บน้ำว่างเปล่าในระยะเวลาปัจจุบัน การป้องกันความเสี่ยงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการปฏิบัติการอุทกภัยนั้นมีเส้นโค้งคล้ายกับการป้องกันความเสี่ยงสำหรับการจ่ายน้ำผลกระทบทางกายภาพของการป้องกันความเสี่ยงเน้นความสำคัญทางเศรษฐกิจของการปฏิบัตินี้เพื่อความสมดุลค่าเล็กน้อยของทรัพยากรการจัดการน้ำท่วมที่ขาดแคลนภายใต้ความไม่แน่นอน

Chuthamat Chiamsathit et al. (2014) ได้ศึกษาการประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมใหม่ภายใต้เกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน (SOP) โดยใช้แบบจำลอง WEAP พบว่าเส้นโค้งใหม่ที่ได้ภายใต้เกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน (SOP) มีประสิทธิภาพมากกว่าเส้นโค้งเดิมและการประเมินความน่าเชื่อถือทางสถิติของประสิทธิภาพโค้งควบคุม ยังพบว่าโค้งควบคุมใหม่นี้ยังมีประสิทธิภาพในการดำเนินอ่างเก็บน้ำอย่างมีนัยสำคัญตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการดำเนินงานอ่างเก็บน้ำเอนกประสงค์เพื่อป้องกันน้ำท่วมและการเพิ่มความต้องการใช้น้ำซึ่งครอบคลุมสู่ความยั่งยืน

Cao Huang et al. (2016) ได้ศึกษาประยุกต์ใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging Rules (HR) สำหรับอ่างเก็บน้ำแบบสองวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างความสมดุลระหว่างการใช้น้ำทางเศรษฐกิจและการใช้น้ำด้านสิ่งแวดล้อม และความสมดุลระหว่างปัจจุบันและสาธารณูปโภคน้ำใน

อนาคต โดยการวิเคราะห์เส้นโค้งการป้องกันความเสี่ยงสามชั้นตอน (THRCs) พบว่า THRCs สามารถบรรเทาทุกภัยและสามารถกักเก็บน้ำไว้ใช้ในอนาคตอย่างสมดุลตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ THRCs สามารถลดความซับซ้อนของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่จะเกิดขึ้นจริง THRCs ยังสามารถช่วยวิเคราะห์รายละเอียดเพิ่มเติมได้อีกต่อไปในอนาคตอีกด้วยเนื่องจากความซับซ้อนของการดำเนินงานอ่างเก็บน้ำที่เกิดขึ้นจริงจำเป็นต้องมีแบบจำลองที่มีรายละเอียดเพิ่มเติมเพื่อช่วยในการตัดสินใจในการดำเนินงาน

Yueyi Liu et al. (2018) ได้พัฒนาเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging Rules (HR) สำหรับการดำเนินงานอ่างเก็บน้ำโดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ความต้องการใช้น้ำทางเศรษฐกิจและนิเวศวิทยาและประเมินประสิทธิภาพในรูปของความผันแปรของช่วงเวลาประจำวันและพิจารณาการไหลเข้าของข้อมูลรายวันและข้อมูลการจัดเก็บพร้อมกันในการตัดสินใจ พบว่าภายใต้สถานการณ์การไหลเข้าที่แตกต่างกันเพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging Rules (HR) เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน (SOP) ค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ความต้องการใช้น้ำทางเศรษฐกิจและนิเวศวิทยาเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging Rules (HR) มีประสิทธิภาพในช่วงในปีที่แห้งแล้งโดยการลดปริมาณน้ำที่มนุษย์ต้องการเพื่อตอบสนองความต้องการของระบบนิเวศภายใต้เงื่อนไขการไหลเข้าสังเคราะห์กระบวนการปล่อยระบบนิเวศในปีที่แห้ง

Baohui Men et al. (2019) ได้ศึกษาการปรับปรุงเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging Rules (HR) ในชื่อของ joint hedging rule (JHR) และค้นหาขอบเขตต่ำสุดของ JHR ในกรณีการขาดแคลนน้ำ และประเมินประสิทธิภาพเกณฑ์การปล่อยน้ำ JHR เทียบกับเกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน (SOP) และเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging (HR) ในรูปของผลรวมของกำลังสองของอัตราส่วนการขาดแคลนน้ำต่อวันการปล่อยน้ำและอัตราส่วนการจัดเก็บ ณ สิ้นปี พบว่า JHR เป็นเกณฑ์การปล่อยน้ำที่มีประสิทธิภาพและน่าเชื่อถือสูง สำหรับบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำในพื้นที่ที่มีความแห้งแล้งหรือมีภาวะขาดแคลนน้ำ JHR สามารถลดการขาดแคลนในกรณีต่าง ๆ ได้เหนือกว่า SOP และ HR

### 2.13.2 ความต้องการใช้น้ำ

Sean A.Woznicki et al. (2015) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและความต้องการใช้น้ำชลประทาน เพื่อทำความเข้าใจการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศคาดว่าจะมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อการผลิตทางการเกษตร และจัดการทรัพยากรน้ำที่มีประสิทธิภาพ โดยใช้เครื่องมือประเมินดินและน้ำใช้เพื่อประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อความต้องการในการชลประทานของข้าวโพดและถั่วเหลืองในกลุ่มน้ำแม่น้ำคาลามาซูลู ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ลดทอนเชิงสถิติจากรูปแบบสภาพภูมิอากาศทั่วโลก 10 รูปแบบและสถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก 4 รูปแบบถูกใช้ในแบบจำลอง SWAT เพื่อพัฒนาประมาณการความ

ต้องการและผลผลิตการชลประทานในปี พ.ศ. 2020-2039 และ พ.ศ. 2060-2079 ได้มีการปรับเปลี่ยนสถานการณ์การปรับตัวเพื่อปรับเปลี่ยนวันที่ปลูก (ปลูกก่อนหน้าและต่อมาในช่วงฤดูปลูก) เพื่อใช้ประโยชน์จากช่วงเวลาที่ปริมาณน้ำฝนมากขึ้นหรือการเพิ่มอุณหภูมิต่ำลง พบว่าความไม่แน่นอนของความต้องการในการชลประทานเพิ่มขึ้นจากปี 2563-2582 ถึงปี พ.ศ. 2560 ถึง พ.ศ. 2522 โดยมีแนวโน้มที่ความต้องการลดลงต่อไปในอนาคตสำหรับข้าวโพดและถั่วเหลือง การเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาของความต้องการการชลประทานสูงสุดและการเพิ่มอุณหภูมิทำให้ผลผลิตข้าวโพดลดลง แต่ผลผลิตถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นภายใต้สภาวะดังกล่าวการปรับตัวของการปลูกก่อนหน้าทำให้เพิ่มความต้องการใช้น้ำชลประทานและการคายน้ำในขณะที่การปลูกพืชล่าช้าส่งผลให้ความต้องการลดลงสำหรับทั้งสองพืช

Surendran et al. (2015) ได้ศึกษาการสร้างแบบจำลองความต้องการน้ำประปาโดยใช้ FAO-CROPWAT และการประเมินแหล่งน้ำเพื่อการจัดการทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืน: กรณีศึกษาเขต Palakkad เขตตอนขึ้นประเทศอินเดีย โดยพิจารณาการปลูกพืชหลัก ได้แก่ ข้าว มะพร้าวกล้วย ผักพลัสยางพารา ชา ผลไม้กระป๋องน้ำ พริกแกง กะลามาพร้าว น้ำพริก กะหล่ำปลี กาแฟ ฝ้าย ฯลฯ ความต้องการน้ำทั้งหมดสำหรับพืชเหล่านี้ในโซนเกษตรนิเวศวิทยาต่าง ๆ ได้รับการคำนวณ จากการใช้การคายระเหย ( $ET_0$ ) และปริมาณน้ำฝนที่มีประสิทธิภาพในแต่ละหน่วยระบบนิเวศเกษตร (AEU) ความต้องการการชลประทานสุทธิความต้องการชลประทานขั้นต้นและช่วงชลประทานสำหรับพืชต่าง ๆ ที่ปลูกใน AEU ที่แตกต่างกันได้รับการคำนวณ ความต้องการการชลประทานขั้นต้นสำหรับอำเภอคือ 1,146 ม.<sup>3</sup> ซึ่งใน 981 ม.<sup>3</sup> มาจากน้ำผิวดินและ 165 ม.<sup>3</sup> จากแหล่งน้ำใต้ดิน การวิเคราะห์ความสมดุลของน้ำได้ถูกนำมาใช้ในสถานการณ์ปัจจุบันและความต้องการในอนาคตของการเกษตรความต้องการในประเทศและอุตสาหกรรม ในอนาคตคาดการณ์ความต้องการน้ำเพื่อการชลประทานรวมดื่มและวัตถุประสงค์อุตสาหกรรมจะเป็น 3,841 มม.<sup>3</sup> อย่างไรก็ตามข้อมูลสองส่วนนี้แสดงให้เห็นว่าทรัพยากรน้ำที่ใช้ประโยชน์ได้ของเขต Palakkad น้อยลงและจะสร้างสถานการณ์การขาดดุล การขาดดุลนี้แสดงให้เห็นว่าหากพื้นที่ทั้งหมดถูกนำมาภายใต้การชลประทานจะมีปีขาดดุลและในช่วงระยะเวลาดังกล่าวการขาดดุลการชลประทานหรือการลดพื้นที่ปัญหาการอาจต้องถูกนำมาใช้ ได้มีการกล่าวถึงรูปแบบกว้าง ๆ ในเอกสารพร้อมทั้งแนวทางในการจัดการแหล่งน้ำในอนาคต

Katrin Drastig et al. (2016) ได้ศึกษาความต้องการน้ำชลประทานของพืชผลทางการเกษตรที่คัดเลือกในเยอรมนีระหว่างปี พ.ศ. 2445 ถึง พ.ศ. 2553 เพื่อคำนวณและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และระยะเวลาในการทำงานของชลประทาน ของข้าวสาลีฤดูใบไม้ผลิข้าวโอต ข้าวสาลีฤดูหนาวและมันสำปะหลังระหว่างปี พ.ศ. 2445 และ พ.ศ. 2553 ในประเทศเยอรมนีโดยใช้แบบจำลอง AgroHyd Farmmodel ภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ และการเปลี่ยนแปลงในการปลูกพืชรูปแบบและพื้นที่เพาะปลูกในช่วงศตวรรษที่ผ่านมา จากการศึกษาชี้ให้เห็น

ว่าผลกระทบจากการเลือกปลูกพืชผล (ในกรณีนี้การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการปลูกพืชในประเทศเยอรมันนี้) มีอิทธิพลต่อทรัพยากรน้ำในระดับภูมิภาคมากขึ้นกว่าความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ แต่อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในแหล่งน้ำก็มีความสัมพันธ์กันกับผลผลิตของพืชซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่จะนำมาพิจารณา

Eun-MiHong et al. (2016) ได้ศึกษาการกำหนดความต้องการชลประทานสำหรับพืชไร๋โดยใช้แบบจำลองความชื้นในดินภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในเกาหลีใต้ โดยประมาณค่า ETo ในแต่ละวันโดยใช้ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาและสมการ Penman-Monteith ตามคำแนะนำขององค์การอาหารและการเกษตรของสหประชาชาติ วิเคราะห์ 29 พืชไร่ที่สำคัญในประเทศเกาหลีใต้ ใช้ฐานข้อมูลข้อมูลพืชผล ดินและข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและได้ทำการศึกษาโดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศจากอดีต (พ.ศ. 2524-2553) และการคาดการณ์ในอนาคต (พ.ศ. 2554-2100) โดยใช้รูปแบบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ วิเคราะห์และประเมินผลการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และระยะเวลาของ IR เพาะปลูกสำหรับพืชแต่ละชนิดเพื่อพิจารณาว่าพืชและพื้นที่ใดมีความเสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ผลการศึกษานี้สามารถใช้เป็นตัวพยากรณ์ความต้องการในการเพาะปลูกภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและเป็นแนวทางในการปรับปรุงแบบการเพาะปลูกการปรับระบบชลประทานและการจัดการน้ำในดินของพืชไร่บนดินภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และรูปแบบการเพาะปลูกในอนาคต

Ying and Yanjun. (2016) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุปสงค์และอุปทานของแหล่งน้ำทางการเกษตรภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่คาดการณ์ในอนาคตในพื้นที่แห้งแล้งของจีนตะวันตกเฉียงเหนือ ด้วยจำลองแบบ CMIP5 เพื่อ แนวโน้มของสภาพอากาศในอนาคตและความต้องการใช้น้ำจะประมาณค่าขึ้น พบว่าผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิต่อความต้องการน้ำชลประทานจะเพิ่มขึ้น ช่วง 60 ปี ข้างหน้า เมื่อเทียบกับความต้องการ ในช่วงปี ค.ศ. 1971-2000 ส่วนน้ำท่าประจำปีจะเพิ่มขึ้น 4.8-8.5 พันล้าน ม.<sup>3</sup> ซึ่งเทียบเท่าหรือน้อยกว่าความต้องการน้ำชลประทานที่เพิ่มขึ้น (อุตสาหกรรมและระบบนิเวศไม่ได้พิจารณา) นี้ความขัดแย้งด้านน้ำประปาและน้ำต้นทุนจะส่งผลให้เกิดภาวะขาดแคลนน้ำมากขึ้นในอนาคต

JunguoLiu et al. (2016) ได้ศึกษาการประเมินภาวะขาดแคลนน้ำด้วยการพิจารณาความต้องการในการไหลของน้ำปริมาณและคุณภาพน้ำ ในการศึกษานี้ได้พัฒนาแนวทางในการประเมินความขาดแคลนน้ำด้วยการพิจารณาทั้งปริมาณและคุณภาพของน้ำในขณะเดียวกันก็พิจารณา EFR โดยใช้วิธีวัดปริมาณคุณภาพ - EFR (QOE) สำหรับลุ่มน้ำแม่น้ำ Huangqihai ในมองโกเลียในประเทศจีน พบว่าเพื่อให้ระบบนิเวศของแม่น้ำมีระดับ "ดี" (เหมาะสำหรับการว่ายน้ำการประมงและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ) 26% ของน้ำสีฟ้าทั้งหมดควรจัดสรรทรัพยากรให้ตรงกับ EFR ตัวบ่งชี้ความขาดแคลนน้ำตามปริมาณและคุณภาพตามตัวบ่งชี้คือ 1.3 และ 14.2 ตามลำดับ ทั้งสองข้างอยู่เหนือ

เกณฑ์ 1.0 ตัวบ่งชี้การขาดแคลนน้ำของ QQE จะแสดงเป็น 1.3 (26%) | 14.2 บ่งชี้ว่าลุ่มน้ำต้องเผชิญกับปัญหาความขาดแคลนที่เกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำและคุณภาพน้ำในอัตราที่กำหนดของ EFR การใช้น้ำในปัจจุบันส่งผลให้ระบบนิเวศของลุ่มน้ำลดลงและ EFR ไม่สามารถพบได้ภายใน 3 เดือนของปี ในการแก้ไขสถานการณ์นโยบายในอนาคตควรมุ่งเน้นที่จะลดการใช้น้ำและปล่อยมลพิษให้สอดคล้องกับ EFR เพื่อรักษาระบบนิเวศของแม่น้ำที่มีสุขภาพดีและปรับปรุงการบำบัดมลพิษอย่างมาก

Hossam Moursi et al. (2017) ได้ศึกษาการประเมินความไม่แน่นอนทางการเกษตรของน้ำในอ่างเก็บน้ำกึ่งแห้งแล้งและหิมะถล่มภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศการวางแผนและการจัดการทรัพยากรน้ำมีความสำคัญในภูมิภาคกึ่งแห้งแล้งเพื่อลดความขาดแคลนน้ำ โดยใช้การคาดการณ์สภาพภูมิอากาศรวมทั้งการคาดการณ์จากแบบจำลอง Aqua Crop (ความขาดแคลนของน้ำถูกกำหนดโดยใช้ดัชนีเปรียบเทียบน้ำที่มีอยู่กับความต้องการน้ำของพืชที่คาดการณ์ไว้ตามแบบจำลอง) จากองค์การอาหารและการเกษตร เพื่อประเมินความเสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำในปี พ.ศ. 2543-2542 เปรียบเทียบน้ำที่มีอยู่กับความต้องการน้ำของพืชที่คาดการณ์ไว้ พบว่าดัชนีการตกตะกอนนอกฤดูเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่ส่งผลต่อความขาดแคลนน้ำในลุ่มน้ำตามด้วยความต้องการใช้น้ำและอุณหภูมิในช่วงฤดูเพาะปลูก การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงการประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่อาจเกิดขึ้นต่อการขาดแคลนน้ำในลุ่มน้ำ Sevier River ของยูทาห์ซึ่งมีแหล่งน้ำที่ขับเคลื่อนด้วยเกล็ดหิมะและความต้องการน้ำในการเกษตรสูงโดยใช้กรอบการตัดสินใจ ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นความกังวลของผู้บริหารและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในพื้นที่ลุ่มน้ำกึ่งแห้งแล้งและมีปริมาณน้ำที่จำกัด

Saeid Sajedipour et al. (2017) ได้ศึกษาการประเมินความต้องการน้ำด้านสิ่งแวดล้อมด้วยวิธีทางนิเวศวิทยา: กรณีศึกษาทะเลสาบ Bakhtegan ประเทศอิหร่านในฐานะที่เป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญการทำลายพื้นที่ชุ่มน้ำอาจส่งผลกระทบต่อหลายด้านของระบบนิเวศในโลกรวมถึงการลดความหลากหลายทางชีวภาพและการให้บริการทางนิเวศวิทยาของพื้นที่ชุ่มน้ำตลอดจนก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและภาวะโลกร้อน การศึกษาทางนิเวศวิทยาวิธีการทางวิศวกรรมและการวิเคราะห์ทางสถิติสามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบสาเหตุและชดเชยผลกระทบนี้ในแนวทางที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดเพื่อที่นอกเหนือจากการรักษาแหล่งทรัพยากรทางนิเวศวิทยาที่สำคัญที่สุดแห่งหนึ่งแล้วการจัดการทรัพยากรน้ำสามารถทำได้โดยการประเมินความต้องการน้ำ Bakhtegan Lake ซึ่งเป็นหนึ่งในพื้นที่ชุ่มน้ำระดับโลกในอิหร่านที่มีบทบาทสำคัญในระดับภูมิภาคและค่าที่อยู่อาศัยที่หลากหลายได้รับเลือกให้เป็นกรณีศึกษาในการวิจัยในปัจจุบัน ได้มีการนำวิธีการทางนิเวศวิทยาใช้ในการประเมินความต้องการน้ำในสิ่งแวดล้อม อันเป็นผลมาจากการตรวจสอบอย่างลึกซึ้งเกี่ยวกับปัจจัยทางเศรษฐกิจและสังคมปัจจัยทางฟิสิกส์เคมีชีวภาพและระบบ

นิเวศวิทยานกฟลามิงโกที่ยิ่งใหญ่ได้รับเลือกให้เป็นตัวบ่งชี้การประมาณค่าหลัก ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนกฟลามิงโกกับพื้นที่ผิวของทะเลสาบได้รับการศึกษาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความต้องการด้านสิ่งแวดล้อมของทะเลสาบโดยมุ่งเน้นการอยู่รอดของนกฟลามิงโก การวิเคราะห์ความต้องการน้ำต้องมีค่าเท่ากับ 680 และ 1870 ล้านลูกบาศก์เมตรเป็นระดับต่ำสุดและที่พึงประสงค์ตามลำดับ หลังจากการตรวจสอบความสมดุลของน้ำของทะเลสาบ Bakhtegan ปริมาณน้ำที่ต้องการเข้าสู่ทะเลสาบผ่าน Kor River ถูกคำนวณ

Sun S.K et al. (2018) ได้ทำการศึกษาการประเมินความต้องการน้ำในการเกษตรภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตสามแห่งในที่ราบสูงเมืองหลวงของมณฑลส่านซีตอนเหนือ (LPNS) ประเทศจีน ด้วยแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมและการหาค่าสัมประสิทธิ์การเพาะปลูกพืชด้วยสมการ Penman-Monteith พบว่าอุณหภูมิการตกตะกอนที่มีประสิทธิภาพและความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นความเร็วลมลดลงเล็กน้อยและแนวโน้มของระยะเวลาแสงแดดไม่ชัดเจน ความต้องการน้ำชลประทานของพืชหลักมีแนวโน้มลดลงภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต ความต้องการน้ำชลประทานมีแนวโน้ม ความต้องการน้ำชลประทานของอุตสาหกรรมเกษตรพบว่าแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

### 12.13.3 การประเมินประมาณตะกอนในอ่างเก็บน้ำที่มีผลต่อความจุของอ่างเก็บน้ำ

Hosseinjanzadeh et.al. (2015) การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเสนอวิธีการเอ็มไพริคัลใหม่สำหรับการทำนายการกระจายตัวของตะกอนซึ่งง่ายและมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการลดพื้นที่ของ (Borland & Miller, 1958) วิธีการเพิ่มพื้นที่ของ (Cristofano, 1953) และวิธีการเชิงประจักษ์ของ Mohammadzadeh-Habili และ Heidarpour (2010) ในการศึกษาครั้งนี้มีการตรวจวัดตะกอน 25 ครั้งใน 16 อ่างเก็บน้ำในสหรัฐอเมริกา โดยใช้เส้นโค้งความลึกเดิมและหลังการตกตะกอน – ความจุในการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่เสนอใหม่ ผลลัพธ์ที่ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่สำรวจได้ในสองตัวอย่างคือ อ่างเก็บน้ำ Box Butte และ Keene Creek โดยการสุ่มจากอ่างเก็บน้ำ 16 แห่ง ผลการศึกษาพบว่า สมการใหม่ที่นำเสนอมีความถูกต้องแม่นยำอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ในการทำนายการกระจายตัวของตะกอนทั้งสองอ่างเก็บน้ำ

Muhammad Usman Rashid et.al. (2015) งานวิจัยนี้จะพัฒนาโมเดลใหม่ เพื่อที่จะหาโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำแบบทำงานต่อเนื่องกัน โดยพิจารณาการไหลของตะกอนร่วมด้วย โดยจะคำนึงถึงการใช้งานที่เหมาะสมสำหรับสถานการณ์ต่าง ๆ เช่นการเพิ่มการชลประทานสูงสุด ตะกอนการผลิตไฟฟ้า และลดความเสียหายจากการเกิดน้ำท่วม เกณฑ์ในการเลือกพื้นที่ศึกษาก็คือ ต้องเป็นชุดอ่างเก็บน้ำคือทำงานแบบอนุกรมกัน มีข้อมูลเพียงพอ และเป็นอ่างอนุกรมประสงค์ จึงเลือกพื้นที่ศึกษาคือแม่น้ำสินธุในประเทศปากีสถาน ซึ่งจะมีอ่างเก็บน้ำที่เป็นชุดอยู่ 3 อ่างก็คือ อ่างเก็บน้ำ ทาร์

เบลา ไตเมอบาซา และคาสมา ในการศึกษาจะเลือก 2 อ่างเก็บน้ำคือ ทาร์เบลา และ ไตเมอบาซา โดยจะสร้างโมเดลใหญ่ที่สามารถพิจารณาองค์ประกอบย่อย ๆ ได้หลายส่วน ได้แก่ Reservoirs Operation Optimization considering Sediment Evacuation (RESOOSE) Model และ Objective Function and Developing Different Scenarios. จากการศึกษาพบว่าประสบความสำเร็จในการพัฒนาและดำเนินการตามวิธีการ RESOOSE ที่ปรับการทำงานของอ่างเก็บน้ำแบบชุดที่พิจารณาการไหลตะกอนด้วย สำหรับตอบสนองวัตถุประสงค์หลายประการเช่น การชลประทานสูงสุด ผลิตไฟฟ้า การกักเก็บน้ำเพื่อรักษาระบบนิเวศและลดความเสียหายจากน้ำท่วม การศึกษาแสดงให้เห็นว่าค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์อาจเพิ่มขึ้นถึง 11, 13 และ 84% เพื่อประโยชน์อย่างใดอย่างหนึ่งเช่นการชลประทานการไฟฟ้าพลังน้ำและการอนุรักษ์การจัดเก็บในขณะที่น้ำท่วมความเสียหายอาจลดลง 80%

Mohammad Ezz-Aldeen et.al. (2018) ได้ศึกษาการประเมินปริมาณน้ำท่าและปริมาณตะกอนประจำปีของกลุ่มน้ำ Dokan โดยใช้แบบจำลองการประเมินดินและน้ำ (SWAT) เพื่อประเมินความสัมพันธ์เปรียบเทียบกับค่าทั้งหมดจากกลุ่มน้ำทั้งสองและแม่น้ำ Lesser Zab ที่มีปริมาณตะกอนสูงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ เพื่อช่วยในกระบวนการพัฒนาแผนและกลยุทธ์เพื่อจัดการการไหลเข้าของตะกอนและการทับถมของตะกอน โปรแกรม SUFI-2 ถูกนำไปใช้สำหรับแบบจำลองที่ได้รับการปรับเทียบตามการวัดภาคสนามที่มีอยู่ของสันปันน้ำ Derbendekhan ที่อยู่ติดกันซึ่งมีการก่อตัวทางธรณีวิทยาลักษณะและสภาพอากาศคล้ายกัน สำหรับช่วงเวลาการสอบเทียบ (1961–1968) เกณฑ์ทางสถิติที่พิจารณาของค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณาและประสิทธิภาพของแบบจำลอง Nash–Sutcliffe คือ 0.75 และ 0.64 สำหรับการไหลบ่าขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 0.65 และ 0.63 สำหรับภาระตะกอนตามลำดับ เทคนิคการปรับภูมิภาคสำหรับการแปลงพารามิเตอร์จาก Derbendekhan ไปสู่กลุ่มน้ำ Dokan ถูกนำไปใช้ นอกจากนี้แบบจำลองนั้นได้รับการตรวจสอบความถูกต้องตามพารามิเตอร์ที่แปลงและการไหลที่สังเกตได้ที่บริเวณกลุ่มน้ำ Dokan สำหรับช่วงเวลา (2504-2507) ได้ให้ผลลัพธ์ที่สมเหตุสมผลสำหรับสัมประสิทธิ์การกำหนดและประสิทธิภาพของ Nash–Sutcliffe ซึ่งเท่ากับ 0.68 และ 0.64 ตามลำดับ ผลของการจำลอง SWAT สำหรับกลุ่มน้ำ Dokan ในช่วงเวลานั้น (พ.ศ. 2502-2557) ระบุว่าปริมาณน้ำไหลบ่าประจำปีโดยเฉลี่ยซึ่งเข้าสู่อ่างเก็บน้ำประมาณ 2,300 ล้านลูกบาศก์เมตร (MCM) ตะกอนทั้งหมดที่ส่งไปยังอ่างเก็บน้ำมีค่าประมาณ 72 ล้าน ลบ.ม. ในช่วง 56 ปีของการสร้างเขื่อนซึ่งเทียบเท่ากับ 10% ของการเก็บกักน้ำที่ Dead Storage และได้นำเสนอสูตรการถดถอยสองสูตรเพื่อสร้างความสัมพันธ์ปริมาณปริมาตรน้ำท่าประจำปีและปริมาณตะกอนที่มีความลึกของฝนประจำปีสำหรับพื้นที่ศึกษา นอกจากนี้ยังมีการสร้างการกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณตะกอนประจำปีโดยเฉลี่ยเพื่อสร้างลุ่มน้ำย่อยของพื้นที่ที่มีความสัมพันธ์ของภาระตะกอนสูง



ไพลิน คำเมือง (2563) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบเพื่อหาดัชนีน้ำที่เหมาะสมจากดัชนี 3 ชนิดคือ NDWI MNDWI และ WRI เพื่อใช้สำหรับหาพื้นที่ผิวน้ำของอ่างเก็บน้ำเขื่อนอุบลรัตน์จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM โดยเลือกช่วงที่อ่างเก็บน้ำมีระดับน้ำแตกต่างกัน 8 ช่วงเวลา ในระหว่างปี พ.ศ. 2551-2553 ร่วมกับข้อมูลระดับน้ำ ณ วันที่ถ่ายภาพ และสร้างกราฟเพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและความจุของอ่างเก็บน้ำที่ได้จากข้อมูลดาวเทียม กับ ข้อมูลที่อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ทำการสำรวจครั้งล่าสุดเมื่อปี พ.ศ. 2552 ผลการศึกษาพบว่า ดัชนี MNDWI เป็นดัชนีที่เหมาะสมที่สุด ให้ค่ารากที่สองของคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) เท่ากับ 5.16 คิดเป็นความคลาดเคลื่อน 0.4 เปอร์เซ็นต์ และทำการประมาณความจุปัจจุบันของอ่างเก็บน้ำเขื่อนอุบลรัตน์ โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 OLI ใช้ภาพ 8 ช่วงเวลา ระหว่างปี พ.ศ. 2560-2564 พบว่า จากปี พ.ศ.2552-2564 อ่างเก็บน้ำเขื่อนอุบลรัตน์มีความจุลดลง 363.29 ล้าน ลบ.ม. หรือ เท่ากับ 12.7 เปอร์เซ็นต์คิดเป็นอัตราการตกตะกอนเฉลี่ย เท่ากับ 33.03 ล้าน ลบ.ม. ต่อปี วิธีการที่นำเสนอในการศึกษานี้สามารถเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการประมาณความจุอ่างเก็บน้ำที่ต้องการศึกษาได้ เนื่องจากให้ผลการประมาณที่มีความแม่นยำ ใช้ระยะเวลาและงบประมาณน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับการสำรวจภาคสนาม

#### 2.13.4 Optimization

วิชณุกรณ์ และ อนงค์ฤทธิ์ (2008) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมการจำลองการอบเหนียวเพื่อหาค่าเหมาะสมของ โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำสิรินธร และอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ โดยการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมการจำลองการอบเหนียวเชื่อมต่อกับแบบจำลองการเลียนแบบ เพื่อหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ โดยใช้ปริมาณการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุดเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการค้นหาค่าตอบโค้งควบคุม แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นนี้ได้ถูกประยุกต์ใช้ค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมสำหรับอ่างเก็บน้ำเก็บน้ำสิรินธร และอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ พบว่าของ โค้งควบคุมได้ของอ่างเก็บน้ำสิรินธรมีลักษณะรูปร่างแตกต่างจากโค้งควบคุมเดิมอย่างชัดเจน เมื่อนำโค้งควบคุมนี้ไปทดสอบสภาพสมดุลของอ่างเก็บน้ำน้ำสิรินธรและอ่างเก็บน้ำน้ำอุบลรัตน์ พบว่าโค้งควบคุมใหม่นี้ให้ค่าความถี่ของปริมาณการขาดแคลนนํ้า ปริมาณการขาดแคลนนํ้าเฉลี่ย ความถี่ของปริมาณการไหลล้นและปริมาณการไหลล้นลดลงจากกรณีที่ใช้โค้งควบคุม เทคนิคอัลกอริทึมการจำลองการอบเหนียวสามารถประยุกต์ใช้โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ และโค้งควบคุมที่ได้ใหม่สามารถบรรเทาสถานการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นได้ดีกว่าโค้งควบคุมเดิม

Hormwichian et al. (2009) ได้ศึกษาแบบจำลอง A Conditional Genetic Algorithm (CGAs) สำหรับการค้นหาโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำที่ดีที่สุด เพื่อลดปัญหาการขาดแคลนนํ้าโดยใช้อ่างเก็บน้ำลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยเป็น

กรณีศึกษา พบว่าโค้งควบคุมที่ได้จาก GAs คล้ายกับโค้งควบคุมเดิมที่มีอยู่ ส่วน CGAs ให้การคำนวณที่รวดเร็วกว่า GAs แบบเดิม เมื่อนำโค้งควบคุมนี้ไปจำลองสภาพสมมูลของอ่างเก็บน้ำลำปาว เปรียบเทียบกันพบว่า CGAs พบว่าโค้งควบคุมใหม่นี้สถานการณ์ปริมาณการขาดแคลนน้ำ และสถานการณ์ปริมาณไหลล้นลดลงจากการใช้โค้ง GAs เดิมที่มีอยู่

รัตนา และคณะ (2010) ได้ศึกษาการพัฒนาโค้งควบคุมโดยใช้วิธีดิฟเฟอเรนเชียลเอฟโวลูชันเพื่อการพัฒนาแบบจำลองการจัดการอ่างเก็บน้ำโดยอาศัยระเบียบวิธีการดิฟเฟอเรนเชียลเอฟโวลูชันและแบบจำลองทางศาสตร์ของระบบอ่างเก็บน้ำในการวิจัยจะพิจารณาข้อมูลโค้งควบคุมรายเดือนของอ่างเก็บน้ำลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ เป็นกรณีศึกษา พบว่าโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำใหม่จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมาให้ความถี่และขนาดของการเกิดภัยแล้งต่ำกว่าของโค้งควบคุมเดิมและโค้งควบคุมที่ได้จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมามีประสิทธิภาพในการรองรับปริมาณความต้องการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้นในอนาคตได้ หรือเปลี่ยนฟังก์ชันวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัดของอ่างเก็บน้ำอื่น ๆ

Kangrang et al. (2011) ศึกษาการใช้เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยวิธี GA และสมการสมดุลน้ำ (Genetic Algorithms and Water Balance Equation, GAs-WB) เชื่อมต่อกับวิธีแบบจำลองสถานการณ์ เพื่อวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน จังหวัดมหาสารคาม ซึ่งเป็นอ่างเก็บน้ำมีวัตถุประสงค์การใช้งานเพื่อป้องกันน้ำท่วมและภัยแล้ง โดยได้กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการหาค่าตอบคือค่าเฉลี่ยการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ผลจากการสร้างโค้งควบคุมใหม่ที่ปรับปรุงด้วยวิธี GAs-WB นั้นมีลักษณะที่คล้ายคลึงกับโค้งควบคุมเดิมใช้งานอยู่ในปัจจุบัน โดยในช่วงฤดูฝนอ่างเก็บน้ำเก็บน้ำจะลดปริมาตรเก็บกักลงเพื่อรับน้ำเพิ่มเพื่อวัตถุประสงค์การบรรเทาปัญหา น้ำท่วม และในช่วงฤดูแล้งจะมีการปล่อยน้ำเพิ่มมากขึ้นเพื่อลดการขาดแคลนน้ำ นอกจากนี้ยังได้ประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมสำหรับการใช้งานในระยะเวลาที่ยาวนานมากขึ้น ด้วยการสังเคราะห์เหตุการณ์ที่มีปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 20 และ 30 สำหรับการประเมินสถานการณ์ขาดแคลนน้ำและน้ำท่วมที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งชี้ให้เห็นว่าเมื่อปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเพิ่มขึ้นจะเป็นสาเหตุการขาดแคลนน้ำลดลงแต่ในทางตรงกันข้ามอาจจะทำให้เกิดเหตุการณ์น้ำท่วมเพิ่มขึ้นในพื้นที่ท้ายน้ำ

Trieu Anh Ngoc et al. (2014) ได้เสนอการค้นหาค่าโค้งควบคุมที่เหมาะสมด้วย constrained genetic algorithm (CGA) ร่วมกับฟังก์ชันปรับโทษภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด พบว่า CGA มีประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้งานกับฟังก์ชันปรับโทษ สามารถหลีกเลี่ยงการเลือกจุดที่แย่ในการค้นหาค่าโค้งควบคุมที่เหมาะสมนอกจากนี้โค้งควบคุมที่ได้จาก CGA ยังสามารถ ปริมาณการขาดแคลนน้ำ ได้ทั้งสามกรณีที่พิจารณาอย่างมีนัยสำคัญ และปริมาณความต้องการใช้น้ำยังถูกจัดสรรอย่างสมเหตุสมผลอีกด้วย เมื่อนำไปทดสอบประสิทธิภาพยังสามารถสรุปได้ว่าโค้งควบคุมที่ได้จาก CGA มีประสิทธิภาพดีกว่าโค้งควบคุมเดิม

วิรัตน์ และคณะ (2015) ได้ศึกษาเกณฑ์การจัดสรรน้ำที่เหมาะสมด้วยวิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคเพื่อค้นหาโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำที่ดีที่สุด ใช้ปริมาณการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในกระบวนการค้นหาคำตอบ โดยใช้อ่างเก็บน้ำลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ เป็นกรณี พบว่าโค้งควบคุมที่ได้จากวิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบจำลองการเลียนแบบ มีรูปร่างคล้ายคลึงกับโค้งควบคุมเดิม โดยโค้งควบคุมใหม่เส้นล่างจะสูงกว่าโค้งควบคุมเดิมในช่วงฤดูแล้ง เพื่อเก็บกักน้ำไว้ตอบสนองความต้องการใช้น้ำ ส่วนโค้งควบคุมใหม่เส้นบนนั้นต่ำกว่าโค้งควบคุมเดิมทำให้ต้องพร่องน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเพื่อลดความเสี่ยงโอกาสที่จะเกิดปัญหาน้ำท่วมในฤดูฝน ตลอดจนสามารถรองรับน้ำได้เพิ่มขึ้น ส่วนผลการประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมใหม่ที่ได้พบว่าสถานการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นมีค่าลดลงเล็กน้อย โดยรวมวิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบจำลองการเลียนแบบสามารถประยุกต์ใช้ค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ และโค้งควบคุมที่ได้ใหม่สามารถบรรเทาสถานการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นได้ดี

ตระการ และอนงค์ฤทธิ์. (2016) ได้ศึกษาเกณฑ์การจัดสรรน้ำที่เหมาะสม โดยวิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิค วิธีอาณาจักรผึ้ง เพื่อประยุกต์ใช้วิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิควิธีการอาณาจักรผึ้งร่วมกับแบบจำลองการเลียนแบบเพื่อปรับปรุงโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ โดยใช้ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด และปริมาณการขาดแคลนสูงสุดที่น้อยที่สุดเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในกระบวนการค้นหาคำตอบ โดยใช้อ่างเก็บน้ำลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ เป็นกรณีศึกษาพบว่า เมื่อใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้ง 3 รูปแบบข้างต้น จะได้โค้งควบคุมใหม่ที่มีรูปร่างคล้ายคลึงกับโค้งควบคุมเดิม เมื่อนำโค้ง ใหม่ที่หาโดยใช้ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในกระบวนการค้นหาคำตอบมาทดสอบและเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิมที่ใช้อยู่พบว่า สามารถบรรเทาสภาวะน้ำท่วมและน้ำขาดแคลนได้ดีกว่าโค้งที่เกิดจากการใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์อื่นและยังดีกว่าโค้งควบคุมเดิม

Saremi et al. (2017) เสนอ อัลกอริทึมการปรับแต่งตึกแทน (GOA) ในการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดและเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของ GOA อัลกอริทึมที่เสนอเลียนแบบพฤติกรรมการบินป่าของตึกแทนธรรมชาติในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ถูกเสนอเพื่อจำลองแรงผลักและแรงดึงดูดระหว่างตึกแทน โดยใช้เกณฑ์มาตรฐานและปัญหา CEC2005 เพื่อค้นหาารูปร่างที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโครงถักคานขนาด 52 บาร์และ 3 บาร์ ผลการวิจัยพบว่าอัลกอริทึมที่เสนอสามารถให้ผลลัพธ์ที่เหนือกว่าเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมที่นำมาเปรียบเทียบและล่าสุดในวรรณกรรม ผลของการใช้งานจริงยังพิสูจน์ข้อดีของ GOA ในการแก้ปัญหาจริงด้วยช่องว่างการค้นหาที่ไม่รู้จัก

ปกรณ และปกรณ (2018) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับค้นหาโค้งกฎการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ โดยใช้วิธีฮาร์โมนีเชอร์ร่วมกับแบบจำลองการเลียนแบบ โดย

พิจารณาปริมาณการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุดร่วมกับ ปริมาณนํ้าไหลล้นอย่างน้อยที่สุดเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในกระบวนการค้นหาค่าตอบ พบว่าโด้งกฎการปฏิบัติกรอ้างเก็บนํ้า ที่ได้จากวิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้วิธีฮาร์โมนีเซิร์ชร่วมกับแบบจำลองการเลียนแบบมีประสิทธิภาพที่ดีเนื่องจากไม่มีเหตุการณ์นํ้า ขาดแคลนและนํ้าไหลล้นอ้างเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ทดสอบจำนวน 216 เดือน เมื่อเทียบกับโด้งกฎการปฏิบัติกรอ้างเก็บนํ้าเดิมซึ่งมีนํ้าขาดแคลนจำนวน 11 ครั้ง โดยโด้งควบคุมเส้นล่งใหม่ มีรูปร่างแตกต่างจากโด้งควบคุมของอ้างเก็บนํ้า เดิมเล็กน้อยคือในช่วงฤดูแล้ง จะสูงกว่โด้งควบคุมของอ้างเก็บนํ้า เดิมเล็กน้อยเพื่อเก็บกักนํ้า ไว้ตอบสนองความต้องการใช้นํ้าส่วนโด้งควบคุมเส้นล่งใหม่ จะสูงกว่โด้งควบคุมของอ้างเก็บนํ้าเดิม เพื่อกักเก็บนํ้าไว้ตอบสนองความต้องการใช้นํ้า

Teerawat Thongwan et al. (2019) ได้ศึกษาโด้งควบคุมอ้างเก็บนํ้าในอนาคตแบบหลายวัตถุประสงค์โดยใช้อัลกอริธึม tabu และอัลกอริธึมพันธุกรรม เพื่อค้นหาโด้งควบคุมในอนาคตของอ้างเก็บนํ้า ภายใต้การใช้งานหลายวัตถุประสงค์และการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศในอนาคต โดยใช้เทคนิค conditional tabu search algorithm (CTSA) และ conditional genetic algorithm (CGA) ร่วมกับแบบจำลองเลียนแบบอ้างเก็บนํ้า ใช้อ้างเก็บนํ้าอุบลรัตน์ ประเทศไทย เป็นกรณีศึกษา พบว่าโด้งควบคุมใหม่ที่พัฒนาจากเทคนิค CTSA และ CGA แสดงประสิทธิภาพที่เหมาะสมกว่การโด้งควบคุมเดิมที่ใช้อยู่ ภายใต้ฟังก์ชันเอนกประสงค์และการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างสองสถานการณ์นํ้าท่า โดยใช้ข้อมูลนํ้าท่าอดีตปี 1966–2016 (2017–2041) เป็นตัวแปรควบคุม

ธีระวัฒน์ และอนงค์ฤทธิ์ (2020). ปรับปรุงโด้งควบคุมของอ้างเก็บนํ้า โดยประยุกต์ใช้เทคนิคเจเนติกอัลกอริธึม (GA) เทคนิคการถ่วงล่ง เกสรดอกไม้ (FPA) เทคนิค Wind Driven Optimization (WDO) และ เทคนิค Genetic Programming (GP) ที่เชื่อมต่อกับแบบจำลองการเลียนแบบระบบอ้างเก็บนํ้าซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลปริมาณนํ้าท่า เฉลี่ยรายเดือนที่ไหลเข้าอ้างเก็บนํ้า โดยกระบวนการมีส่วนร่วม ข้อมูลความต้องการใช้นํ้าด้านท้ายอ้างโดยกระบวนการมีส่วนร่วม ข้อมูลอุทกวิทยา และข้อมูลทางกายภาพของอ้างเก็บนํ้าห้วยสะแบกและอ้างเก็บนํ้าห้วยลิ่งโจน จังหวัดยโสธร เป็นกรณีศึกษา โดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหาของ อ้างเก็บนํ้าห้วยสะแบกคือค่าเฉลี่ยของการไหลล้นนํ้าน้อยที่สุด และ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหาของอ้างเก็บนํ้าห้วยลิ่งโจนคือ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด นอกจากนี้ยังได้ประเมินประสิทธิภาพของโด้งกฎปฏิบัติกรอ้างเก็บนํ้าที่ได้จากแบบจำลอง ซึ่งแสดงผลในรูปแบบความถี่ ช่วงเวลาของเหตุการณ์ ปริมาณนํ้าเฉลี่ย และปริมาณนํ้าสูงสุดทั้งสถานการณ์นํ้าไหลล้นและนํ้าขาดแคลน พบว่าโด้งควบคุมของอ้างเก็บนํ้าที่ได้จากแบบจำลองเมื่อนำไปทดสอบและเปรียบเทียบกับโด้งควบคุมเดิมที่ใช้อยู่ โด้งควบคุม ของอ้างเก็บนํ้าที่ค้นหาโดยเทคนิค GA, WDO, GP และ FPA สามารถ บรรเทาสภาวะนํ้าไหลล้นและนํ้าขาดแคลนได้ดีกว่โด้งควบคุมเดิม

### 2.13.5 Marine Predators Algorithm (MPA)

Afshin Faramarzi และคณะ (2020) เสนอ Marine Predators Algorithm (MPA) ในการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดและเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของ MPA ที่ได้รับแรงบันดาลใจจากการหาอาหารของสัตว์นักล่าแห่งท้องทะเล โดย MPA ได้พัฒนากลยุทธ์การจับเหยื่อที่ยอดเยี่ยมและชาญฉลาดเพื่อนำมาคั้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมด้วยการใช้เกณฑ์มาตรฐานและปัญหาการออกแบบทางวิศวกรรม เพื่อตรวจสอบความแตกต่างกันของประสิทธิภาพในการค้นหา วิเคราะห์การลู่เข้าและการทดสอบทางสถิติเพื่อยืนยันประสิทธิภาพของ MPA เปรียบเทียบกับอัลกอริทึมในกลุ่มเมตาฮีริสติก พบว่าอัลกอริทึม MPA ได้รับการทดสอบกับ 30 ฟังก์ชันมาตรฐานและฟังก์ชันวิศวกรรม 8 ปัญหา การเปรียบเทียบ MPA ด้วย PSO, GA, GSA, CS, SSA, CMA-ES SHADE และ LSHADE-cnEpSin เวอร์ชันมาตรฐานแสดงให้เห็นถึงความเหนือกว่าของ MPA ในการแก้ปัญหา พฤติกรรมการลู่เข้าและการค้นหา Global optimal ผลลัพธ์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่ามีนัยสำคัญทางสถิติที่ชัดเจนถึงความแตกต่างระหว่างประสิทธิภาพของ MPA และอัลกอริทึมอื่น ๆ ที่นำมาเปรียบเทียบ ดังนั้นสรุปได้ว่าคำตอบในการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุด MPA นั้นที่ได้มีคุณภาพดีกว่าอัลกอริทึมอื่นที่นำมาเปรียบเทียบทั้งการลู่เข้าหาคำตอบและการค้นหาคำตอบตามวัตถุประสงค์และยังสามารถนำมาแก้ไขปัญหาด้านวิศวกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Mohamed A. M. Shaheen และคณะ (2020) ได้เสนอการวางแผนระบบไฟฟ้ากำลังอย่างเหมาะสมมีผลอย่างมากต่อสถานการณ์ทางเศรษฐกิจของประเทศต่าง ๆ สำหรับการป้องกันและความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้า ปัญหาการจ่ายพลังงานปฏิกริยาที่เหมาะสม (ORPD) ถือเป็นประเด็นสำคัญ ORPD เป็นปัญหาการปรับให้เหมาะสมที่ไม่เป็นเชิงเส้น ไม่นูน และต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่อง โดยการเสนอ MPA และ PSO เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพที่เชื่อถือได้จึงเป็นงานที่ท้าทายในการแก้ปัญหา การเพิ่มประสิทธิภาพนี้ การศึกษานี้เสนออัลกอริทึม MPA การปรับให้เหมาะสมที่มีประสิทธิภาพและยืดหยุ่นด้วยพารามิเตอร์ที่ปรับได้ขั้นต่ำ อัลกอริทึม MPA และอัลกอริทึม PSO ในชื่อการเพิ่มประสิทธิภาพกลุ่มอนุภาค (IMPAPSO) สำหรับจัดการกับความไม่เป็นเชิงเส้นของ ORPD IMPAPSO ได้รับการประเมินโดยใช้กรณีทดสอบต่าง ๆ รวมถึง IEEE 30 บัส, IEEE 57 บัส และระบบบัส IEEE 118 ประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการเพิ่มประสิทธิภาพที่เสนอได้รับการตรวจสอบผ่านการศึกษาร่วมกันเปรียบเทียบอย่างเข้มงวดกับวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพอื่นๆ มีการเพิ่มประสิทธิภาพอย่างเห็นได้ชัดในพฤติกรรมเครือข่ายพลังงานไฟฟ้าเมื่อใช้วิธี IMPAPSO นอกจากนี้ ความเร็วการบรรจบกันที่สูงของ IMPAPSO ยังเป็นคุณลักษณะที่สังเกตได้เมื่อเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมอื่นๆ ที่นำมาเปรียบเทียบในการศึกษา

Mehdi Ramezani และคณะ (2021) เสนอการปรับปรุงกระบวนการค้นหา Marine Predators Algorithm (MPA) ในการเพิ่มประสิทธิภาพการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดและเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของ MPA ที่ได้รับแรงบันดาลใจจากการหาอาหารของสัตว์นักล่าแห่งท้องทะเล โดย MPA ได้ปรับปรุงกระบวนการค้นหาคำตอบในพื้นที่โดยอาศัยวิธีการเรียนรู้แบบฝ่ายตรงข้าม การปรับตัวของประชากร และการสลับระหว่างขั้นตอนการสำรวจและค้นหาคำตอบ ในฟังก์ชันการทดสอบมาตรฐาน รวมถึงการทดสอบ CEC-06 2019 และปัญหาทางวิศวกรรมตามการควบคุม PID ที่ใช้กับมอเตอร์ DC เพื่อประเมินประสิทธิภาพของ MPA ที่ปรับปรุงแล้ว ผลการจำลองจะถูกเปรียบเทียบกับ MPA ดั้งเดิม และ MPA ที่ปรับปรุงประสิทธิภาพ และอัลกอริทึม Particle Swarm Optimization, Grasshopper Optimization Algorithm, JAYA Algorithm, Equilibrium Optimization Algorithm, Whale Optimization Algorithm, Differential Search Algorithm และ League Championship Algorithm ผลการศึกษาพบว่า ถูกเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมนักล่าทางทะเลดั้งเดิมและอัลกอริทึมการเพิ่มประสิทธิภาพล้ำสมัยห้าประการ ได้แก่ Particle Swarm Optimization, Grasshopper Optimization Algorithm, JAYA Algorithm, Equilibrium Optimization Algorithm, Whale Optimization Algorithm, Differential Search Algorithm และ League Championship Algorithm ผลการจำลองได้พิสูจน์ว่า MPA ที่ปรับปรุงกระบวนการค้นหาคำตอบให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมอื่นๆ ที่นำมาเปรียบเทียบภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน

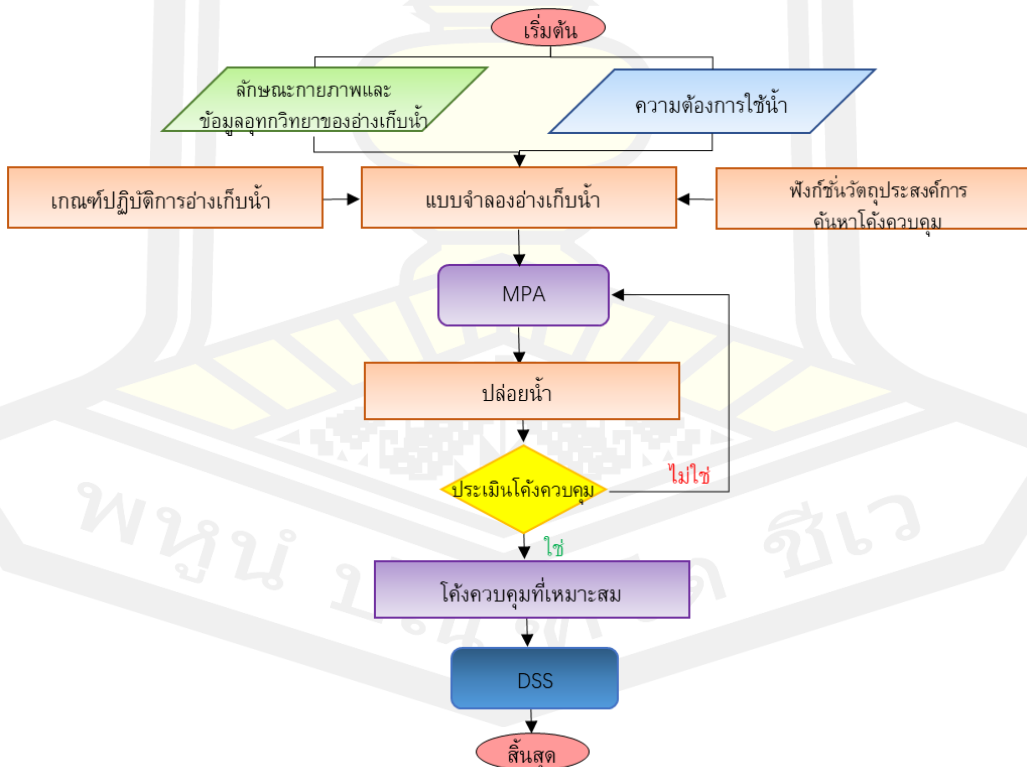
Chang-Jian Sun และ Fang Gao (2021) ได้เสนอการปรับปรุงกระบวนการค้นหาคำตอบของ อัลกอริทึม MPA เป็นวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพตามประชากรแบบใหม่ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในแอปพลิเคชันการเพิ่มประสิทธิภาพในโลกแห่งความเป็นจริง จาก MPA แบบเดิมสามารถตกอยู่ในความเหมาะสมในท้องถิ่นได้อย่างง่ายดายเนื่องจากขาดความหลากหลายของประชากรในระยะท้ายของการเพิ่มประสิทธิภาพ เพื่อเอาชนะข้อบกพร่องนี้ ได้เสนอรูปแบบ MPA ที่มีอัลกอริทึมการกระจายการประเมินแบบผสม (EDA) และกลยุทธ์การเดินสุ่มแบบเกาส์เซียน กล่าวคือ HEGMPA ประชากรเริ่มต้นสร้างขึ้นโดยใช้การทำแผนที่ลูกบาศก์เพื่อเพิ่มความหลากหลายของบุคคลในประชากร จากนั้น EDA จะถูกดัดแปลงเป็น MPA เพื่อปรับเปลี่ยนทิศทางการวิวัฒนาการโดยใช้ข้อมูลการกระจายประชากร ซึ่งจะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการบรรจบกันของอัลกอริทึม นอกจากนี้, กลยุทธ์การเดินสุ่มแบบเกาส์เซียนพร้อมวิธีแก้ปัญหาระดับกลางถูกใช้เพื่อช่วยให้อัลกอริทึมกำจัดภาวะชะงักงัน อัลกอริทึมที่เสนอได้รับการตรวจสอบโดยการจำลองโดยใช้ชุดทดสอบ CEC2014 ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของ HEGMPA มีความสามารถในการแข่งขันมากกว่าอัลกอริทึมเปรียบเทียบกับอื่น ๆ โดยมีการปรับปรุงที่สำคัญในแง่ของความแม่นยำในการลู่เข้าและความเร็วในการลู่เข้า

### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินงานวิจัย

บทนี้เป็นการอธิบายถึงวิธีดำเนินการวิจัยเสนอรายละเอียดวิธีการดำเนินการวิจัยโดยแบ่งออกเป็นระบบสนับสนุนการตัดสินใจ พื้นที่การศึกษาจะอธิบายสภาพข้อมูลทั่วไป ลักษณะทางกายภาพ อุทกวิทยา ปริมาณน้ำไหลเข้า หัวข้อต่อมาการบริหารอ่างเก็บน้ำ แสดงถึงรายละเอียดของการปรับปรุงโค้งควบคุมที่เหมาะสมสูงสุดด้วยเทคนิค Optimization ประเมินผลประสิทธิภาพโค้งควบคุมใหม่ รวมถึงอธิบายถึงขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัยดังหัวข้อต่อไปนี้

- 1) การสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจ
- 2) พื้นที่ศึกษา
- 3) การประเมินปริมาตรก่อนในอ่างเก็บน้ำ
- 4) การประยุกต์ MPA เพื่อค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ
- 5) การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ



ภาพประกอบ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

### 3.1 การสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

การสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจ จะใช้ทั้งข้อมูลในรูปแบบของฐานข้อมูลเชิงคุณลักษณะที่จะได้จากรายงาน การเก็บข้อมูลจริง เอกสารวิชาการต่าง ๆ และมาพัฒนาเป็นฐานข้อมูล และกำหนดเงื่อนไขในการวิเคราะห์เพื่อนำไปสู่การเสนอแนวทางเลือกในการสนับสนุนการตัดสินใจในการวางแผนการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอ่างเดี่ยวให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

#### 3.1.1 การสร้างฐานข้อมูล

ฐานข้อมูลที่จะใช้ประกอบในการค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ เพื่อใช้ประกอบเป็นทางเลือกในการตัดสินใจในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ สำหรับในการวิจัยนี้ มีชั้นฐานข้อมูลดังแสดงในตาราง 3.1 ประกอบด้วย

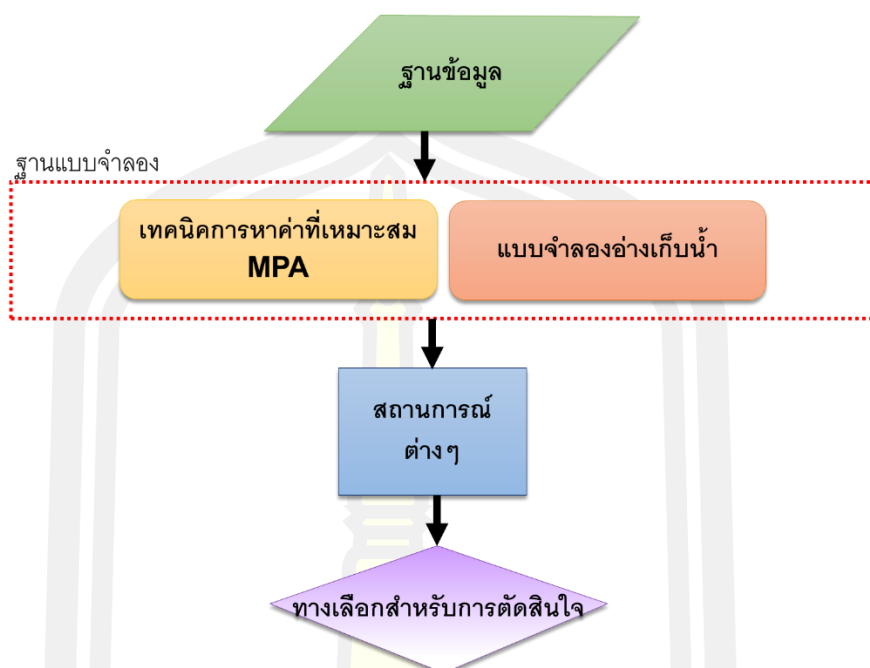
ตาราง 3.1 ฐานข้อมูลที่ใช้ในการค้นหาโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ

ลำดับที่	ชั้นฐานข้อมูล	แหล่งข้อมูล/ที่มา
1	ข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.)
2	ข้อมูลความต้องการใช้น้ำทำอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์	กรมชลประทาน
3	ข้อมูลปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์	กรมอุตุนิยมวิทยา
4	ข้อมูลทางอุทกวิทยาของอ่างเก็บน้ำ อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์	กรมอุตุนิยมวิทยา
5	ข้อมูลพื้นฐานของอ่างเก็บน้ำ อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.)
6	ข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสังเคราะห์ 1,000 เหตุการณ์ อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์	HEC-4

#### 3.1.2 การสร้างฐานแบบจำลอง

ฐานแบบที่จะใช้ประกอบในการค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ เพื่อใช้ประกอบเป็นทางเลือกในการตัดสินใจในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ โดยใช้ฐานแบบจำลองดังแสดงในภาพประกอบ 3.2





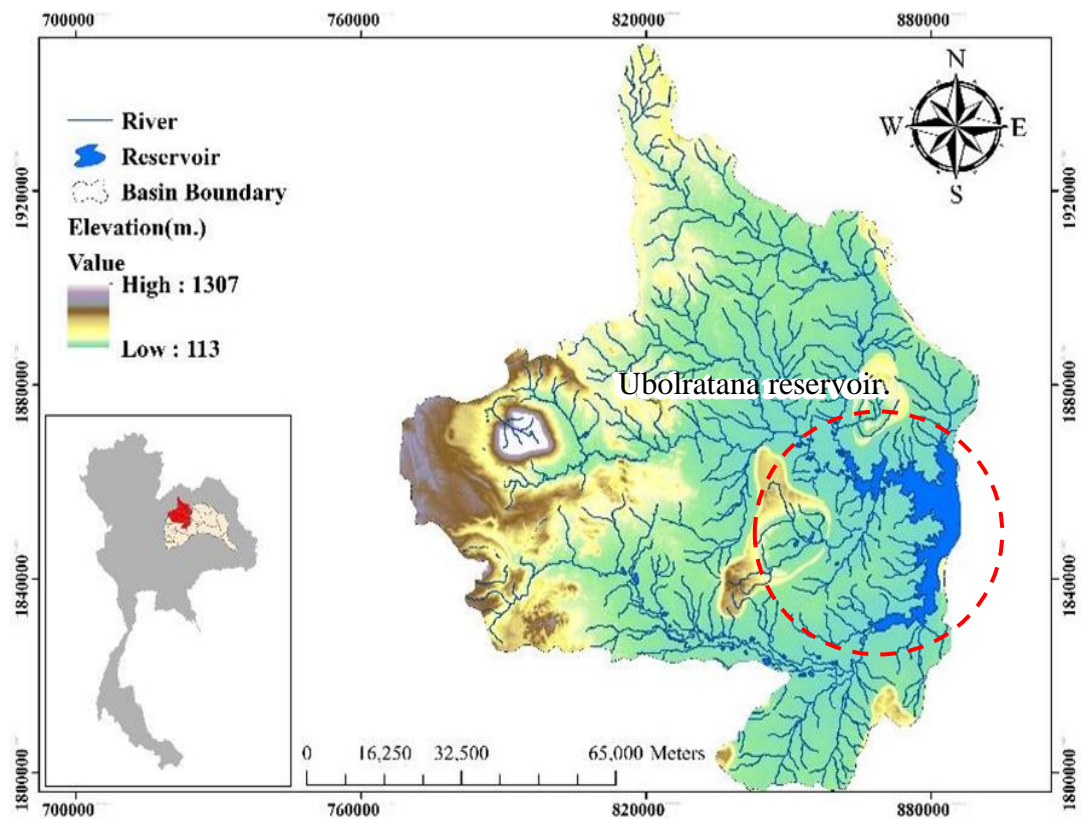
ภาพประกอบ 3.2 การสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจของอ่างเก็บน้ำ

### 3.1.3 การสร้างส่วนการจัดการโต้ตอบ

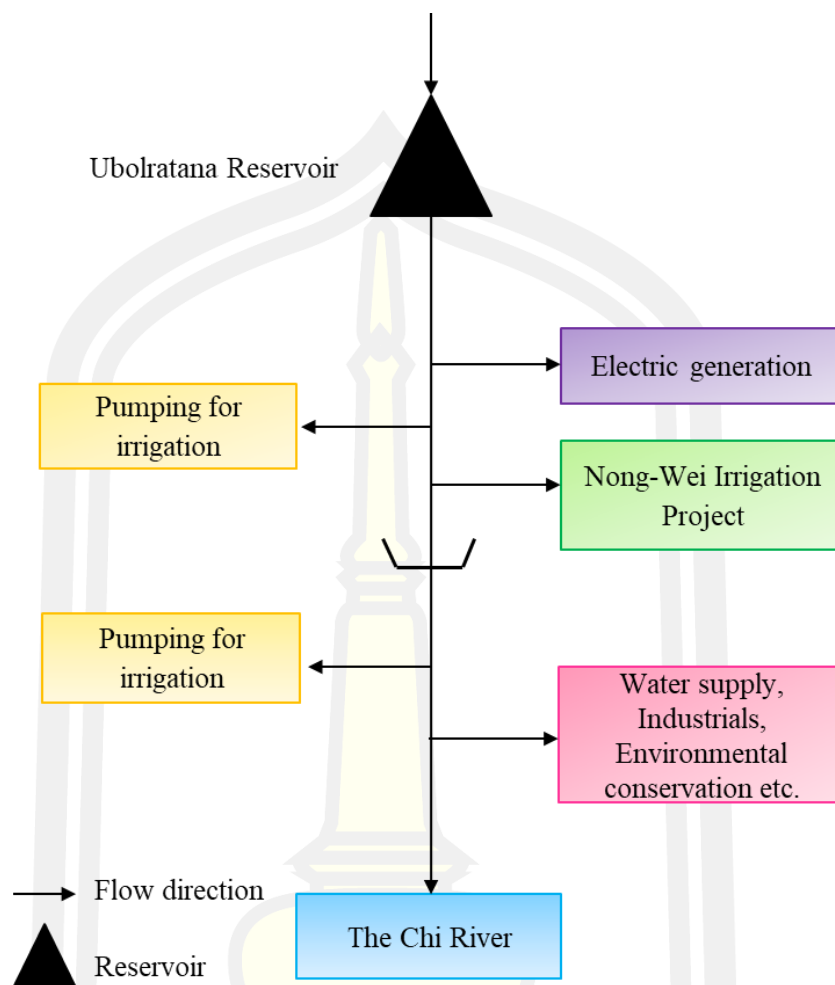
ในส่วนของการจัดการโต้ตอบ หรือการแสดงผลที่จะใช้ประกอบในการค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ สำหรับในการวิจัยนี้ จะแสดงผลเป็นสถานการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ทั้งด้านการขาดแคลนน้ำ และการไหลล้น เมื่อเลือกใช้โค้งควบคุมแบบต่าง ๆ ภายใต้เงื่อนไขของฐานข้อมูลและฐานแบบจำลองที่แสดงผลออกมาให้ชุดคำตอบแนวทางเลือกสำหรับการตัดสินใจ

### 3.2 พื้นที่การศึกษา

ในการศึกษาส่วนแรกเป็นการศึกษาทำความเข้าใจเกี่ยวกับรายละเอียดกระบวนการของกรณีศึกษา คือ อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ ที่ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ จังหวัดขอนแก่น ตำแหน่งที่ตั้งอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ ดังแสดงภาพประกอบ 3.3 ลักษณะทางกายภาพและระบบอุทกวิทยาของอ่างเก็บน้ำ ซึ่งประกอบด้วยปริมาณน้ำที่ระดับเก็บกักปกติและที่ระดับต่ำสุด แล้วยังต้องใช้สถิติข้อมูลรายเดือนที่มีการบันทึกไว้ทั้งหมด ตลอดจนการจัดสรรน้ำไปสู่ความต้องการใช้น้ำของพื้นที่ท้ายน้ำตามวัตถุประสงค์ต่าง ๆ



ภาพประกอบ 3.3 ตำแหน่งที่ตั้งอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์

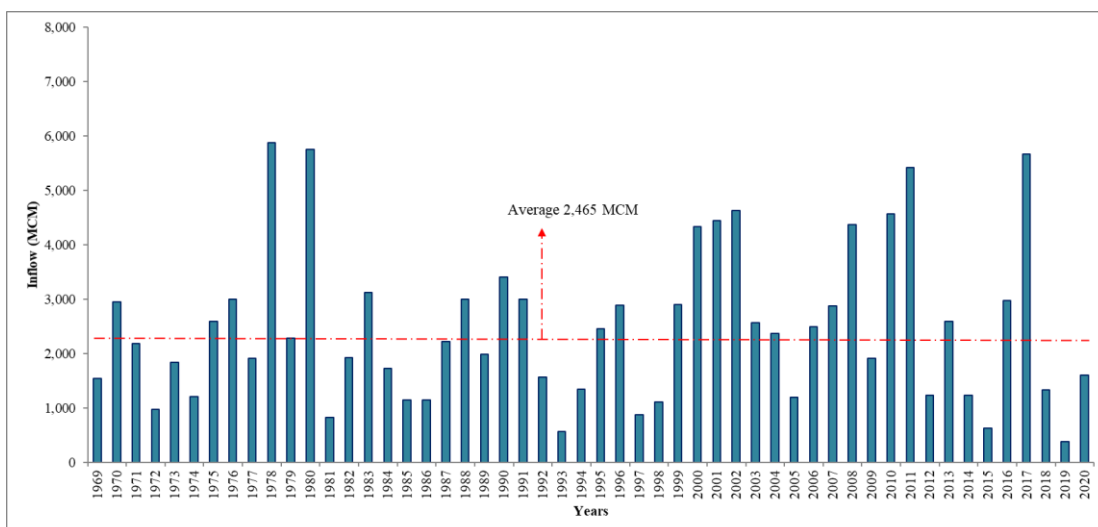


ภาพประกอบ 3.4 แผนผังของระบบอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์  
ที่มา: โรงไฟฟ้าพลังน้ำภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (2545)

อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ ตั้งอยู่ตำบลเขื่อนอุบลรัตน์ อำเภออุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น (ลองจิจูด  $102^{\circ}37'06.0''E$  และละติจูด  $16^{\circ}46'31.4''N$ ) เป็นอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ ซึ่งมีรูปแบบการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอ่างเดี่ยว เป็นอ่างเก็บน้ำอเนกประสงค์ ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า (สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 55 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง) การชลประทาน (มีพื้นที่ชลประทานมากกว่า 300,000 ไร่) การบรรเทาอุทกภัย (บรรเทาภาวะน้ำท่วมที่เกิดขึ้นอย่างกะทันหันในฤดูฝนบริเวณแนวฝังบ้านน้ำพองถึงแม่น้ำชีไหลลดน้อยลง) และการประมง โดยเริ่มก่อสร้างเมื่อปี พ.ศ. 2507 และเริ่มใช้งานเมื่อปี พ.ศ. 2509 ส่วนลักษณะตัวเขื่อนนั้นเป็นเขื่อนหินทิ้ง มีแกนกลางเป็นดินเหนียว สูง 32 เมตร โดยที่สันเขื่อนอยู่ที่ระดับ 185.00 ม.รทก. เป็นเขื่อนไฟฟ้าพลังน้ำแห่งแรกที่มีการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ได้สร้างขึ้นในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และเป็นแห่งที่สี่ ของประเทศไทยต่อมา

จากเขื่อนภูมิพล สร้างปิดกั้นแม่น้ำพอง ตรงบริเวณที่เรียกว่า "พองหนีบ" ตำบลโคกสูง อำเภอ น้ำพอง (ปัจจุบันเป็นอำเภออุบลรัตน์) จังหวัดขอนแก่น อยู่ห่างจากตัวจังหวัดขอนแก่น ประมาณ 51 กิโลเมตร โดยเริ่มก่อสร้างเมื่อปี พ.ศ. 2507 แล้วเสร็จในปี พ.ศ.2509 ต่อมาในปี พ.ศ. 2521 และ พ.ศ. 2523 ได้เกิดอุทกภัยขนาดใหญ่มาก การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยจึงได้จัดทำโครงการปรับปรุงเขื่อนอุบลรัตน์ เพื่อให้สามารถเผชิญกับอุทกภัยขนาดเช่นที่เคยเกิดขึ้นหรือขนาดใหญ่กว่าที่เคยเกิดขึ้นได้ งานก่อสร้างปรับปรุงเขื่อนอุบลรัตน์ได้เริ่มขึ้นเมื่อปลายปี พ.ศ. 2527 และแล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2530 อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์เป็นอ่างเก็บน้ำอเนกประสงค์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อความหลากหลายของวัตถุประสงค์ รวมถึงการผลิตไฟฟ้า ชลประทาน การเกษตร ป้องกันน้ำท่วมประปา การประมงอุตสาหกรรม การขนส่งระหว่างเมืองและการอนุรักษ์ระบบนิเวศ โดยอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์มีพื้นที่ของอ่างเก็บน้ำ 370 ตารางกิโลเมตร (ที่ระดับเก็บกักน้ำปกติ)พื้นที่รับน้ำ 12,000 ตารางกิโลเมตร อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีคือ 27 °C และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปีคือ 1,411 มม. ปริมาตรเก็บกักสูงสุด 2,431 ล้าน ลบ.ม. ปริมาตรเก็บกักต่ำสุด 581.67 ล้าน ลบ.ม. (สำหรับการผลิตไฟฟ้า) ปริมาตรเก็บกักต่ำสุด 33 ล้าน ลบ.ม. (สำหรับการชลประทาน) ปริมาณน้ำไหลเข้าเฉลี่ยในอ่างเก็บน้ำอยู่ที่ 2,451.741 ล้าน ลบ.ม. ต่อปี โดยสถิติปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนอุบลรัตน์สะสม 52 ปี ระหว่าง ปี พ.ศ. 2512-2563 ดังแสดงภาพประกอบ 3.5 มีปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำต่ำกว่าค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำไหลเข้าอ่าง จำนวน 27 ปี และปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสูงกว่าค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำไหลเข้าอ่าง จำนวน 17 ปี แสดงให้เห็นถึงอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ มีปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำทั้งน้อยและมากกว่าระดับน้ำเฉลี่ยจำนวนหลายปี ส่งผลทำให้อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำและเกิดปัญหาน้ำไหลล้น ซึ่งสอดคล้องกับปัญหาของการบริหารอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ในหลายปีที่ผ่านมา





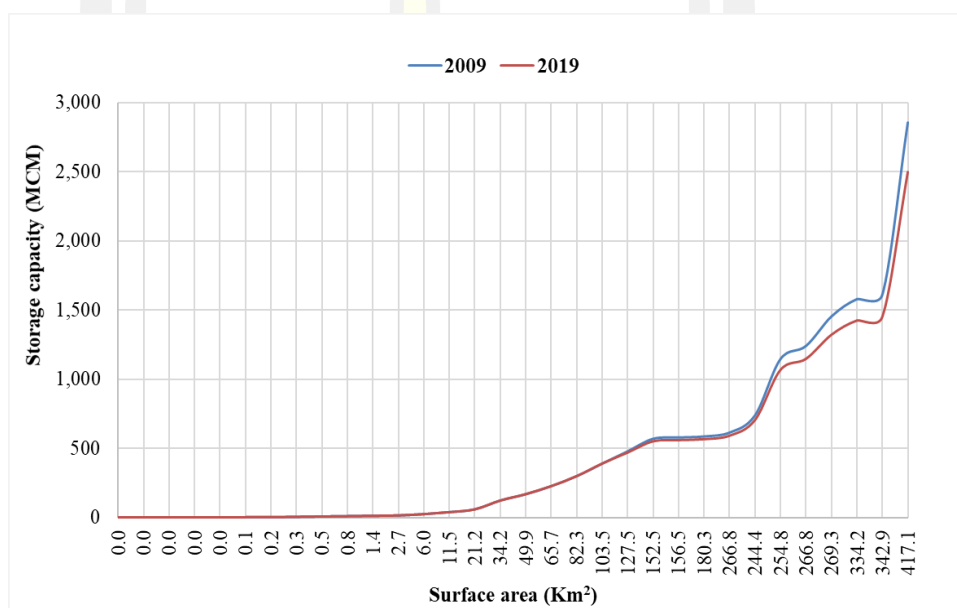
ภาพประกอบ 3.5 ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ (พ.ศ.2512-2563)

### 3.3 การประเมินปริมาณตะกอนในอ่างเก็บน้ำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การตัดไม้ทำลายป่าและการใช้ที่ดินของมนุษย์เป็นสาเหตุหลักของการกัดเซาะของตะกอนที่ลงสู่แม่น้ำ และทำให้เกิดการสะสมของตะกอนเป็นผลให้ความจุระดับ และพื้นผิวของอ่างเก็บน้ำลดลง ซึ่งจะส่งผลต่อการวางแผนและการจัดการน้ำของอ่างเก็บน้ำในระยะยาว

โดยในปี พ.ศ. 2564 ไพลิน คำเมือง ได้ทำการเปรียบเทียบเพื่อหาดัชนีน้ำที่เหมาะสมจากดัชนี 3 ชนิดคือ NDWI MNDWI และ WRI เพื่อใช้สำหรับหาพื้นที่ผิวน้ำของอ่างเก็บน้ำเขื่อนอุบลรัตน์จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM โดยเลือกช่วงที่อ่างเก็บน้ำมีระดับน้ำแตกต่างกัน 8 ช่วงเวลา ในระหว่างปี พ.ศ. 2551-2553 ร่วมกับข้อมูลระดับน้ำ ณ วันที่ถ่ายภาพ และสร้างกราฟเพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและความจุของอ่างเก็บน้ำที่ได้จากข้อมูลดาวเทียม กับ ข้อมูลที่อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ทำการสำรวจครั้งล่าสุดเมื่อปี พ.ศ. 2552 ผลการศึกษาพบว่า ดัชนี MNDWI เป็นดัชนีที่เหมาะสมที่สุด ให้ค่ารากที่สองของคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) เท่ากับ 5.16 คิดเป็นความคลาดเคลื่อน 0.4 เปอร์เซ็นต์ และทำการประมาณความจุปัจจุบันของอ่างเก็บน้ำเขื่อนอุบลรัตน์ โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 OLI ใช้ภาพ 8 ช่วงเวลา ระหว่างปี พ.ศ. 2560-2564 พบว่า จากปี พ.ศ.2552-2564 อ่างเก็บน้ำเขื่อนอุบลรัตน์มีความจุลดลง 363.29 ล้าน ลบ.ม. หรือ เท่ากับ 12.7 เปอร์เซ็นต์คิดเป็นอัตราการตกตะกอนเฉลี่ย เท่ากับ 33.03 ล้าน ลบ.ม. ต่อปี วิธีการที่น่าเสนอในการศึกษานี้สามารถเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการประมาณความจุอ่างเก็บน้ำที่ต้องการศึกษาได้ เนื่องจากให้ผลการประมาณที่มีความแม่นยำ ใช้ระยะเวลาและงบประมาณน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบ

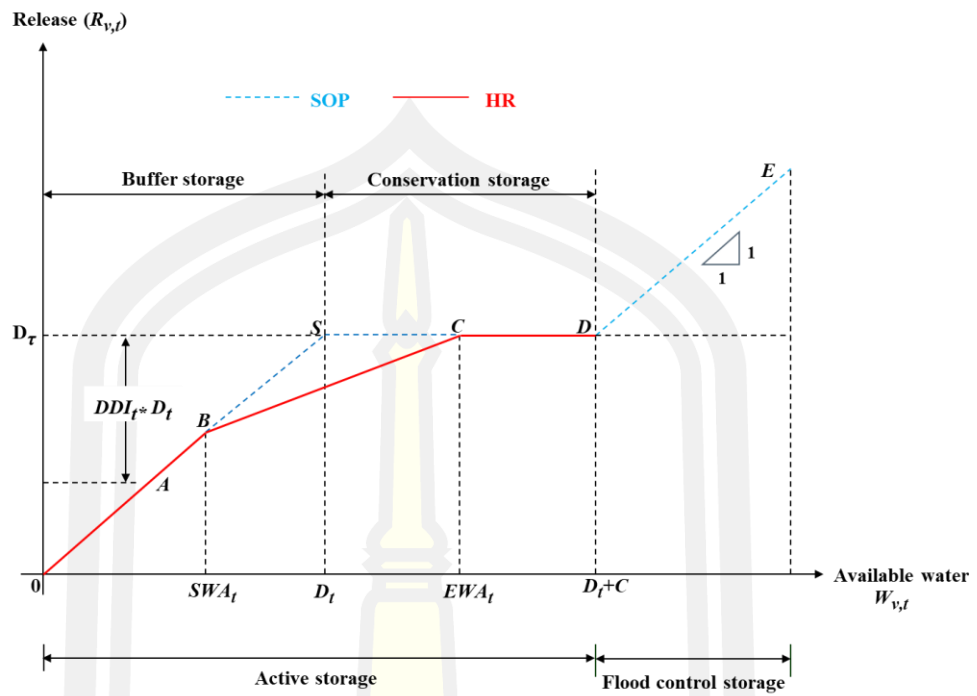
กับการสำรวจภาคสนาม จากการศึกษาี้แสดงให้เห็นว่าสามารถนำข้อมูลจัดทำเส้นโค้งพื้นที่ผิวหน้า และโค้งความจุ เพื่อหาสมการพื้นที่ผิวใหม่ในการนำมาพิจารณาสำหรับปรับปรุงระดับกักเก็บของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ สำหรับการใช้เป็นเงื่อนไขการพิจารณาในการพัฒนาทางเลือกของระบบสนับสนุน การตัดสินใจสำหรับการบริหารอ่างเก็บน้ำที่ถูกสร้างมานานและปัญหาการสะสมของปริมาณตะกอน การศึกษาี้ใช้ข้อมูลกรณีพิจารณาการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำสำหรับการนำมาสร้างสมการพื้นที่ผิวใหม่ ดังแสดงภาพประกอบ 3.6



ภาพประกอบ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเก็บกัก-พื้นที่ผิวหน้า ของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ พ.ศ.2552 และ 2562

### 3.4 แบบจำลองอ่างเก็บน้ำ

การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำดำเนินการภายใต้แบบจำลองเลียนแบบอ่างเก็บน้ำ จากสมการสมดุลน้ำ โดยพิจารณาจากเส้นโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำและเกณฑ์การปล่อยน้ำ เริ่มต้นจากการคำนวณปริมาณน้ำใช้การได้ ตามแนวคิดสมดุลน้ำ ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายเดือน ความต้องการใช้น้ำทำอ่างเก็บน้ำรายเดือน สำหรับการศึกษาครั้งนี้ ได้มีการสร้างแบบจำลองการทำงานของอ่างเก็บน้ำตามแนวคิดเรื่องความสมดุลของน้ำ ตามภายใต้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging (HR) และเกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน (SOP) แสดงดังภาพประกอบ 3.7 การคำนวณการปล่อยน้ำภายใต้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR และเกณฑ์การปล่อยน้ำ SOP แสดงไว้ในสมการ (3.1) และ (3.2) ตามลำดับ



ภาพประกอบ 3.7 เกณฑ์ปล่อยน้ำ HR และ SOP

เงื่อนไข เกณฑ์การปล่อยน้ำ HR มีดังนี้:

เมื่อ  $0 \leq 1 - DDID_t \leq SWA_t$

$$R_{v,\tau} = \begin{cases} WA_\tau & \text{if } WA_\tau < SWA_\tau \\ D_\tau + (SWA_\tau - D_\tau) \frac{WA_\tau - EWA_\tau}{SWA_\tau - EWA_\tau} & \text{if } SWA_\tau \leq WA_\tau \leq EWA_\tau \\ D_\tau & \text{if } EWA_\tau \leq WA_\tau < D_\tau + C \\ WA_\tau - C & \text{if } WA_\tau \geq D_\tau + C \\ 0, \text{ otherwise} & \end{cases} \quad (3.1)$$

- โดยที่  $R_{v,\tau}$  คือ การปล่อยรวมของแหล่งกักเก็บรวม ณ เวลา  $\tau$
- $SWA_\tau$  คือ ปริมาณน้ำเริ่มต้นของแหล่งกักเก็บรวม ณ เวลา  $\tau$
- $EWA_\tau$  คือ จุดสิ้นสุดปริมาณน้ำของแหล่งกักเก็บรวม ณ เวลา  $\tau$
- $D_\tau$  คือ ความต้องการน้ำสำหรับระบบจ่ายน้ำ ณ เวลา  $\tau$

เงื่อนไข เกณฑ์การปล่อยน้ำ SOP มีดังนี้:

$$R_{v,\tau} = \begin{cases} D_\tau + W_{v,\tau} - D_\tau + C, & \text{for } W_{v,\tau} \geq D_\tau + C + D_\tau \\ D\tau, & \text{for } D_\tau \leq W_{v,\tau} < D_\tau + C + D_\tau \\ D_\tau + W_{v,\tau} - D_v, & \text{for } D_\tau - D_\tau \leq W_{v,\tau} < D_\tau \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.2)$$

โดยที่  $R_{v,\tau}$  คือการปล่อยน้ำในช่วงปี  $v$  และเดือน  $\tau$  ( $\tau = 1$  ถึง 12 แทน มกราคมถึงธันวาคม)  
 $D_\tau$  คือความต้องการน้ำสุทธิต่อวันระหว่างเดือน  $\tau$   
 $D_v$  คือเส้นโค้งควบคุมเส้นล่างของเดือน  $\tau$   
 $D_\tau + C$  คือเส้นโค้งควบคุมเส้นบนของเดือน  $\tau$   
 $W_{v,\tau}$  คือน้ำที่มีอยู่โดยการคำนวณแนวคิดความสมดุลของน้ำระหว่างปี  $v$  และเดือน  $\tau$  ตามที่อธิบายไว้ในสมการ (3.3)

$$W_{v,\tau} = S_{v,\tau} - Q_{v,\tau} - R_{v,\tau} - E_{v,\tau} \quad (3.3)$$

โดยที่  $S_{v,\tau}$  คือน้ำที่เก็บไว้ ณ สิ้นเดือน  $\tau$   
 $Q_{v,\tau}$  คือการไหลเข้ารายเดือนไปยังอ่างเก็บน้ำ  
 $E_{v,\tau}$  คือค่าเฉลี่ยของการสูญเสียการระเหย นโยบายการดำเนินงาน มักจะจัดเก็บน้ำที่มีอยู่ ( $W_{v,\tau}$ ) เพื่อลดความเสี่ยงของการขาดแคลนน้ำในอนาคตเมื่อ  $0 \leq W_{v,\tau} < D_\tau - D_v$  ภายใต้การดำเนินงานระยะยาว

2.4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์การค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมในการศึกษานี้ คือ ปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุด (3.4), ค่าความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด (3.5), ปริมาณน้ำไหลล้นเฉลี่ยน้อยที่สุด (3.6) และ ค่าความถี่ของน้ำไหลล้นน้อยที่สุดค่าเฉลี่ย (3.7) แสดงสมการดังนี้

ปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุดต่อปี

$$\text{Min}H_{(avr)} = \frac{1}{n} \sum_{v=1}^n Sh_v \quad (3.4)$$

ความถี่การขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด



$$MinFre_{(i)} = \frac{1}{n} \sum_{v=1}^n Sh_v \quad (3.5)$$

ปริมาณน้ำไหลล้นเฉลี่ยน้อยที่สุดต่อปีขั้นต่ำ

$$MinP_{(avr)} = \frac{1}{n} \sum_{v=1}^n Sp_v \quad (3.6)$$

ค่าความถี่ของน้ำไหลล้นน้อยที่สุดค่าเฉลี่ย

$$MinFre_{(i)} = \frac{1}{n} \sum_{v=1}^n Sp_v \quad (3.7)$$

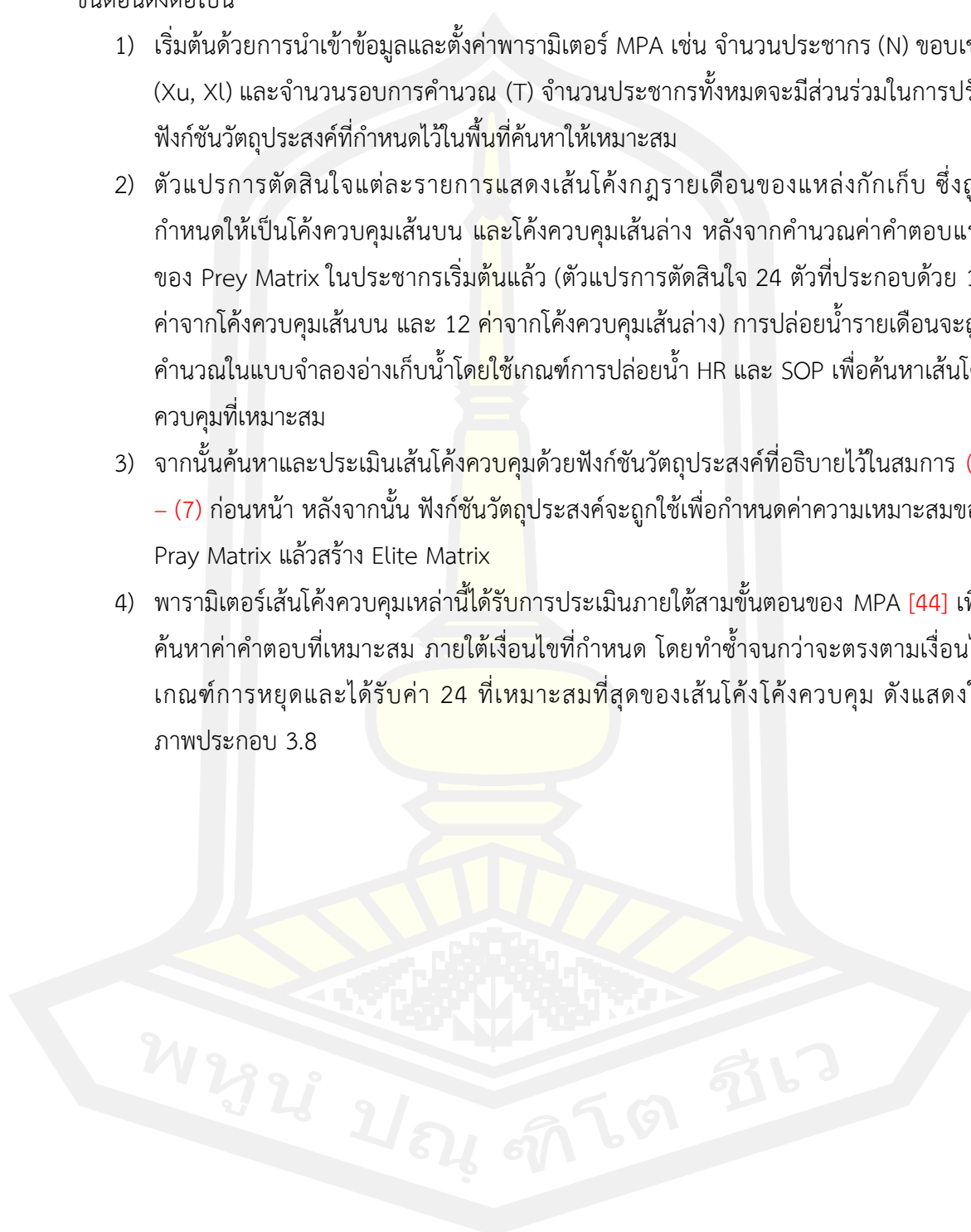
โดย	$H_{(avr)}$	คือค่าเฉลี่ยการขาดแคลนน้ำต่อปี
	$Fre_{(i)}$	คือความถี่ของการขาดแคลนน้ำ
	$n$	คือขนาดทั้งหมดของปีที่ทำการตรวจสอบ
	$Sh_v$	คือค่าเฉลี่ยการขาดแคลนน้ำโดยเฉลี่ยในปี $v$ (ปีที่ปล่อยน้ำออกน้อยกว่าเป้าหมาย อุปสงค์)
	$Sp_v$	คือน้ำที่ปล่อยส่วนเกินในระหว่างปีที่ $v$ (ปีที่ปล่อยออกมากกว่าความต้องการเป้าหมาย)

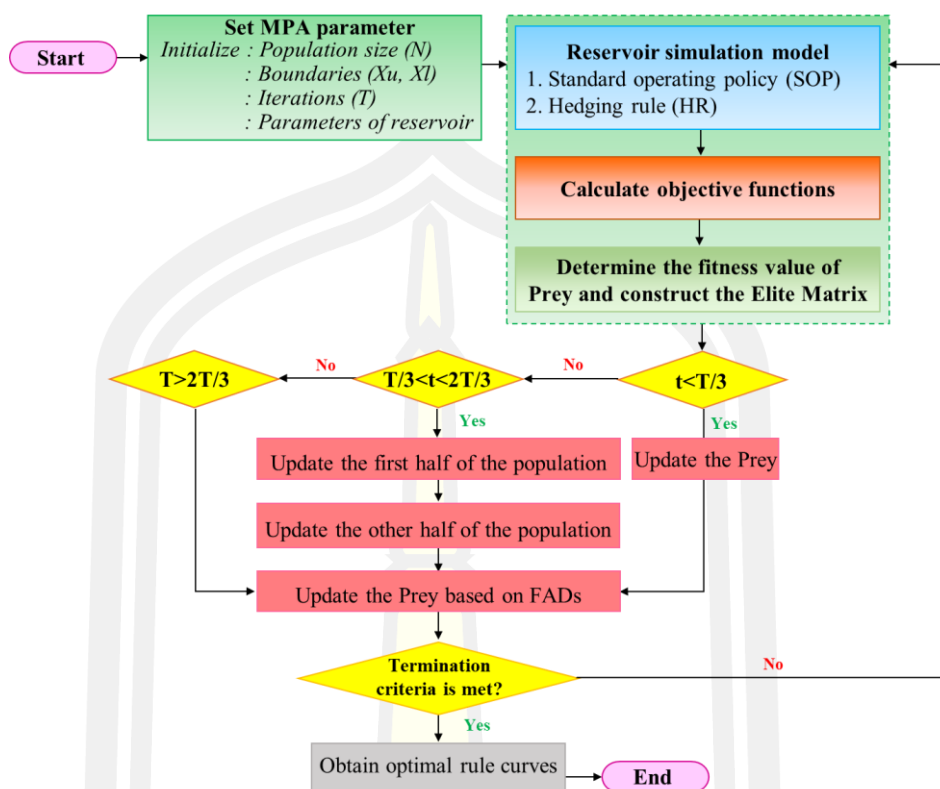
### 3.3 การประยุกต์ MPA เพื่อค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ

3.2.1 การค้นหาโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำการจัดทำโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการสร้างแบบจำลองการเลียนแบบสถานการณ์ เชื่อมต่อการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธี Marine Predators Algorithm (MPA) โดยประยุกต์การปล่อยน้ำด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR และ SOP ร่วมกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการหาคำตอบคือ ปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุด, ค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด, ปริมาณน้ำไหลล้นเฉลี่ยน้อยที่สุด และ ค่าความถี่ของน้ำไหลล้นน้อยที่สุดค่าเฉลี่ย และนำข้อมูลสถานการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือน ข้อมูลทางอุตุนิยมิวิทยา ความต้องการใช้น้ำในกิจกรรมต่าง ๆ นำมาสร้างโค้งควบคุมที่มีความเหมาะสม ตามสถานการณ์นั้นตั้งนั้นเพื่อให้โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำสามารถใช้งานได้อย่างเหมาะสม ครอบคลุมทุก สถานการณ์ ทุกช่วงเวลา นำข้อมูลเหล่านั้นมาคำนวณปริมาตรเก็บกักและปริมาณน้ำที่สามารถปล่อยได้ ใน

แบบจำลองอ่างเก็บน้ำ โดยการทำงานหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำด้วยวิธี MPA มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) เริ่มต้นด้วยการนำเข้าสู่ข้อมูลและตั้งค่าพารามิเตอร์ MPA เช่น จำนวนประชากร (N) ขอบเขต (Xu, Xl) และจำนวนรอบการคำนวณ (T) จำนวนประชากรทั้งหมดจะมีส่วนร่วมในการปรับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ในพื้นที่ค้นหาที่เหมาะสม
- 2) ตัวแปรการตัดสินใจแต่ละรายการแสดงเส้นโค้งการเปลี่ยนแปลงของแหล่งกักเก็บ ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นโค้งควบคุมเส้นบน และโค้งควบคุมเส้นล่าง หลังจากคำนวณค่าคำตอบแรกของ Prey Matrix ในประชากรเริ่มต้นแล้ว (ตัวแปรการตัดสินใจ 24 ตัวที่ประกอบด้วย 12 ค่าจากโค้งควบคุมเส้นบน และ 12 ค่าจากโค้งควบคุมเส้นล่าง) การปล่อยน้ำรายเดือนจะถูกคำนวณในแบบจำลองอ่างเก็บน้ำโดยใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำ HR และ SOP เพื่อค้นหาเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสม
- 3) จากนั้นค้นหาและประเมินเส้นโค้งควบคุมด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่อธิบายไว้ในสมการ (4) – (7) ก่อนหน้า หลังจากนั้น ฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะถูกใช้เพื่อกำหนดค่าความเหมาะสมของ Pray Matrix แล้วสร้าง Elite Matrix
- 4) พารามิเตอร์เส้นโค้งควบคุมเหล่านี้ได้รับการประเมินภายใต้สามขั้นตอนของ MPA [44] เพื่อค้นหาค่าคำตอบที่เหมาะสม ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด โดยทำซ้ำจนกว่าจะตรงตามเงื่อนไขเกณฑ์การหยุดและได้รับค่า 24 ที่เหมาะสมที่สุดของเส้นโค้งโค้งควบคุม ดังแสดงในภาพประกอบ 3.8





ภาพประกอบ 3.8 แผนผังการทำงานหาคำควบคุมที่เหมาะสมด้วยวิธี MPA

### 3.4 การจัดทำคำควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม

#### 3.4.1 การจัดทำคำควบคุมจากเทคนิค MPA เทียบกับเทคนิค GA และ FPA

การจัดทำคำควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ จากเทคนิค MPA, GA และ FPA ด้วยเกณฑ์ HR จากการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR (พิจารณาปริมาณตะกอน) โดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ การค้นหาคือ ปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุด โดยใช้ปริมาณน้ำท่าอดีต 52 ปี

#### 3.4.2 การจัดทำคำควบคุมจากเทคนิค MPA ด้วยเกณฑ์ HR

การจัดทำคำควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ จากเทคนิค MPA ด้วยเกณฑ์ HR จากการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ การค้นหา 4 ฟังก์ชัน คือ ปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุด ความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด เฉลี่ยของการไหลล้นนํ้าน้อยที่สุด และ ความถี่ของการไหลล้นนํ้าน้อยที่สุด โดยใช้น้ำท่าในระยะเวลาอดีตของอ่างเก็บน้ำ 52 ปี (พ.ศ. 2512-2563) ช่วง 10 ปี ที่เกิดผลรวมสถานการณ์ปริมาณนํ้าน้อยที่สุด (พ.ศ. 2532-2541) และ ปริมาณน้ำมากที่สุด (พ.ศ. 2545-2554) และ ช่วง 20 ปี ที่เกิดผลรวมสถานการณ์ปริมาณนํ้าน้อยที่สุด (พ.ศ. 2524-2543) และปริมาณน้ำมากที่สุด (พ.ศ. 2542-2561)

### 3.4.2 การจัดทำโค้งควบคุมจากเทคนิค MPA ด้วยเกณฑ์ HR พิจารณาตะกอน

การจัดทำโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ จากเทคนิค MPA ด้วยเกณฑ์ HR จากการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ การค้นหา 4 ฟังก์ชัน คือ ปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุด ความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด เฉลี่ยของการไหลล้นนํ้าน้อยที่สุด และ ความถี่ของการไหลล้นนํ้าน้อยที่สุด โดยใช้น้ำทำในช่วงเวลาอดีตของอ่างเก็บน้ำ 52 ปี (พ.ศ. 2512-2563) ช่วง 10 ปี ที่เกิดผลรวมสถานการณ์ปริมาณนํ้าน้อยที่สุด (พ.ศ. 2532-2541) และ ปริมาณน้ำมากที่สุด (พ.ศ. 2545-2554) และ ช่วง 20 ปี ที่เกิดผลรวมสถานการณ์ปริมาณนํ้าน้อยที่สุด (พ.ศ. 2524-2543) และปริมาณน้ำมากที่สุด (พ.ศ. 2542-2561)

### 3.4.2 การจัดทำโค้งควบคุมจากเทคนิค MPA ด้วยเกณฑ์ SOP

การจัดทำโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ จากเทคนิค MPA ด้วยเกณฑ์ SOP จากการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ SOP ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ การค้นหา 4 ฟังก์ชัน คือ ปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุด ความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด เฉลี่ยของการไหลล้นนํ้าน้อยที่สุด และ ความถี่ของการไหลล้นนํ้าน้อยที่สุด โดยใช้น้ำทำในช่วงเวลาอดีตของอ่างเก็บน้ำ 52 ปี (พ.ศ. 2512-2563) ช่วง 10 ปี ที่เกิดผลรวมสถานการณ์ปริมาณนํ้าน้อยที่สุด (พ.ศ. 2532-2541) และ ปริมาณน้ำมากที่สุด (พ.ศ. 2545-2554) และ ช่วง 20 ปี ที่เกิดผลรวมสถานการณ์ปริมาณนํ้าน้อยที่สุด (พ.ศ. 2524-2543) และปริมาณน้ำมากที่สุด (พ.ศ. 2542-2561)

### 3.4.2 การจัดทำโค้งควบคุมจากเทคนิค MPA ด้วยเกณฑ์ SOP พิจารณาตะกอน

การจัดทำโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ จากเทคนิค MPA ด้วยเกณฑ์ SOP จากการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ SOP ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ การค้นหา 4 ฟังก์ชัน คือ ปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุด ความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด เฉลี่ยของการไหลล้นนํ้าน้อยที่สุด และ ความถี่ของการไหลล้นนํ้าน้อยที่สุด โดยใช้น้ำทำในช่วงเวลาอดีตของอ่างเก็บน้ำ 52 ปี (พ.ศ. 2512-2563) ช่วง 10 ปี ที่เกิดผลรวมสถานการณ์ปริมาณนํ้าน้อยที่สุด (พ.ศ. 2532-2541) และ ปริมาณน้ำมากที่สุด (พ.ศ. 2545-2554) และ ช่วง 20 ปี ที่เกิดผลรวมสถานการณ์ปริมาณนํ้าน้อยที่สุด (พ.ศ. 2524-2543) และปริมาณน้ำมากที่สุด (พ.ศ. 2542-2561)

ตาราง 3.2 เงื่อนไขการจัดทำโค้งควบคุมจากเทคนิค MPA

ลำดับ	โค้งควบคุม	เกณฑ์การปล่อยน้ำ		พิจารณาปริมาณตะกอน	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์				ช่วงข้อมูลน้ำท่าอดีต (ปี)		
		HR	SOP		Avs	Fqs	Exr	Fqex	10	20	52
1.	HR1-Avs [10]	✓	-	-	✓	-	-	-	✓	-	-
2.	HR2-Avs [20]	✓	-	-	✓	-	-	-	-	✓	-
3.	HR3-Avs [52]	✓	-	-	✓	-	-	-	-	-	✓
4.	HR1-Fqs [10]	✓	-	-	-	✓	-	-	✓	-	-
5.	HR2-Fqs [20]	✓	-	-	-	✓	-	-	-	✓	-
6.	HR3-Fqs [52]	✓	-	-	-	✓	-	-	-	-	✓
7.	HR1-Exr [10]	✓	-	-	-	-	✓	-	✓	-	-
8.	HR2-Exr [20]	✓	-	-	-	-	✓	-	-	✓	-
9.	HR3-Exr [52]	✓	-	-	-	-	✓	-	-	-	✓
10.	HR1-Fqex [10]	✓	-	-	-	-	-	✓	✓	-	-
11.	HR2-Fqex [20]	✓	-	-	-	-	-	✓	-	✓	-
12.	HR3-Fqex [52]	✓	-	-	-	-	-	✓	-	-	✓
13.	SOP1-Avs [10]	-	✓	-	✓	-	-	-	✓	-	-
14.	SOP2-Avs [20]	-	✓	-	✓	-	-	-	-	✓	-
15.	SOP3-Avs [52]	-	✓	-	✓	-	-	-	-	-	✓
16.	SOP1-Fqs [10]	-	✓	-	-	✓	-	-	✓	-	-
17.	SOP2-Fqs [20]	-	✓	-	-	✓	-	-	-	✓	-
18.	SOP3-Fqs [52]	-	✓	-	-	✓	-	-	-	-	✓
19.	SOP1-Exr [10]	-	✓	-	-	-	✓	-	✓	-	-
20.	SOP2-Exr [20]	-	✓	-	-	-	✓	-	-	✓	-
21.	SOP3-Exr [52]	-	✓	-	-	-	✓	-	-	-	✓
22.	SOP1-Fqex [10]	-	✓	-	-	-	-	✓	✓	-	-
23.	SOP2-Fqex [20]	-	✓	-	-	-	-	✓	-	✓	-
24.	SOP3-Fqex [52]	-	✓	-	-	-	-	✓	-	-	✓
25.	HR1s-Avs [10]	✓	-	✓	✓	-	-	-	✓	-	-
26.	HR2s-Avs [20]	✓	-	✓	✓	-	-	-	-	✓	-

ลำดับ	ไค้ควบคุม	เกณฑ์การปล่อยน้ำ		พิจารณาปริมาณตะกอน	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์				ช่วงข้อมูลน้ำท่าอดีต (ปี)		
		HR	SOP		Avs	Fqs	Exr	Fqex	10	20	52
27.	HR3s-Avs [52]	✓	-	✓	✓	-	-	-	-	-	✓
28.	HR1s-Fqs [10]	✓	-	✓	-	✓	-	-	✓	-	-
29.	HR2s-Fqs [20]	✓	-	✓	-	✓	-	-	-	✓	-
30.	HR3s-Fqs [52]	✓	-	✓	-	✓	-	-	-	-	✓
31.	HR1s-Exr [10]	✓	-	✓	-	-	✓	-	✓	-	-
32.	HR2s-Exr [20]	✓	-	✓	-	-	✓	-	-	✓	-
33.	HR3s-Exr [52]	✓	-	✓	-	-	✓	-	-	-	✓
34.	HR1s-Fqex [10]	✓	-	✓	-	-	-	✓	✓	-	-
35.	HR2s-Fqex [20]	✓	-	✓	-	-	-	✓	-	✓	-
36.	HR3s-Fqex [52]	✓	-	✓	-	-	-	✓	-	-	✓
37.	SOP1s-Avs [10]	-	✓	✓	✓	-	-	-	✓	-	-
38.	SOP2s-Avs [20]	-	✓	✓	✓	-	-	-	-	✓	-
39.	SOP3s-Avs [52]	-	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	✓
40.	SOP1s-Fqs [10]	-	✓	✓	-	✓	-	-	✓	-	-
41.	SOP2s-Fqs [20]	-	✓	✓	-	✓	-	-	-	✓	-
42.	SOP3s-Fqs [52]	-	✓	✓	-	✓	-	-	-	-	✓
43.	SOP1s-Exr [10]	-	✓	✓	-	-	✓	-	✓	-	-
44.	SOP2s-Exr [20]	-	✓	✓	-	-	✓	-	-	✓	-
45.	SOP3s-Exr [52]	-	✓	✓	-	-	✓	-	-	-	✓
46.	SOP1s-Fqex [10]	-	✓	✓	-	-	-	✓	✓	-	-
47.	SOP2s-Fqex [20]	-	✓	✓	-	-	-	✓	-	✓	-
48.	SOP3s-Fqex [52]	-	✓	✓	-	-	-	✓	-	-	✓

หมายเหตุ: Avs = ปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุด Exr = เฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด

Fqs = ความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด Fqex = ความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด

### 3.5 การประเมินความเสี่ยงควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม

การประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของโค้งคุมทั้งสถานการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้น ภายใต้การประเมินประสิทธิภาพด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำ HR และ SOP จากสถานการณ์น้ำท่าในอดีต 52 ปี และน้ำท่าสังเคราะห์ 1,000 เหตุการณ์ ซึ่งค่าของการประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมที่ได้จะแสดงในรูปของ ค่าความถี่ ปริมาณและช่วงเวลา เฉลี่ย และมากที่สุด ซึ่งในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด MPA มี 4 กรณี คือ

1. กรณีเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging (HR)
  - ประเมินประสิทธิภาพกับโค้งของเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่สร้างจากข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ จำนวน 52 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2512- 2563
  - ประเมินประสิทธิภาพกับโค้งของเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่สร้างจากข้อมูลสังเคราะห์ขึ้นมา 1,000 ชุดข้อมูล ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ ตั้งแต่ พ.ศ. 2512 - 2563
2. กรณีเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging (HR) พิจารณาตะกอน
  - ประเมินประสิทธิภาพกับโค้งของเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่สร้างจากข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ จำนวน 52 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2512- 2563
  - ประเมินประสิทธิภาพกับโค้งของเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่สร้างจากข้อมูลสังเคราะห์ขึ้นมา 1,000 ชุดข้อมูล ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ ตั้งแต่ พ.ศ. 2512 - 2563
3. กรณีเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบมาตรฐาน (SOP)
  - ประเมินประสิทธิภาพกับโค้งของเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่สร้างจากข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ จำนวน 52 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2512- 2563
  - ประเมินประสิทธิภาพกับโค้งของเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่สร้างจากข้อมูลสังเคราะห์ขึ้นมา 1,000 ชุดข้อมูล ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ ตั้งแต่ พ.ศ. 2512 - 2563
4. กรณีเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบมาตรฐาน (SOP) พิจารณาตะกอน
  - ประเมินประสิทธิภาพกับโค้งของเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่สร้างจากข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ จำนวน 52 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2512- 2563
  - ประเมินประสิทธิภาพกับโค้งของเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่สร้างจากข้อมูลสังเคราะห์ขึ้นมา 1,000 ชุดข้อมูล ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ ตั้งแต่ พ.ศ. 2512 - 2563

## บทที่ 4

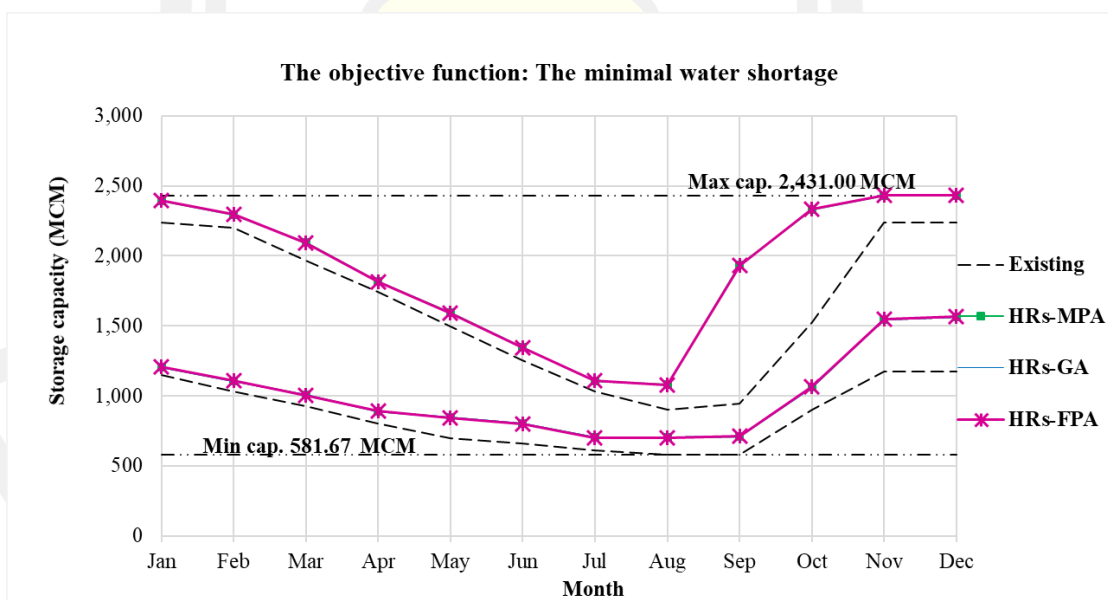
### ผลการศึกษา

บทนี้เป็นการอธิบายถึงผลการวิจัยและการอภิปราย ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ต่อเนื่องจึงอธิบายถึงผลการวิจัยและการอภิปรายดังหัวข้อต่อไปนี้

- 1) ผลการศึกษาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ
- 2) ผลการประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ
- 3) ระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ

#### 4.1 ผลการค้นหาค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ

4.1.1 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ จากการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR (พิจารณาปริมาณตะกอน) ด้วยเทคนิค MPA เปรียบเทียบกับ GA และเทคนิค FPA กรณีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุด ดังแสดงในภาพประกอบ 4.1



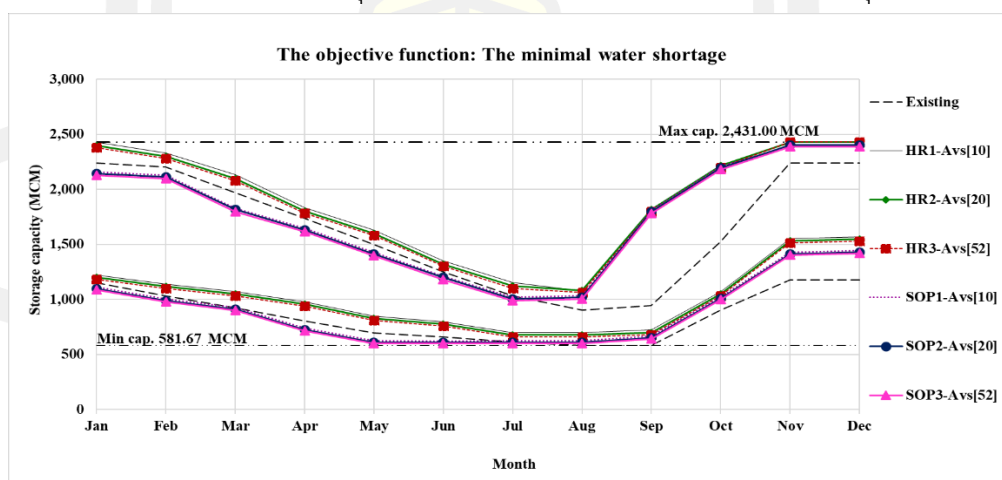
ภาพประกอบ 4.1 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ จากเทคนิค MPA, GA และ FPA ด้วยเกณฑ์ HR



จากภาพประกอบ 4.1 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ จากการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR (พิจารณาปริมาณตะกอน) ด้วยเทคนิค MPA เปรียบเทียบกับ GA และเทคนิค FPA กรณีฟังก์ชันวัตถุประสงค์การค้นหาคือ ปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุด จากน้ำท่าอดีต 52 ปี (พ.ศ.2512-2563) พบว่า ลักษณะเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ จากเทคนิค MPA, GA และ FPA มีลักษณะรูปร่างคล้ายคลึงกัน เนื่องจากใช้เงื่อนไขการค้นหาเดียวกัน นอกจากนี้ ลักษณะเส้นโค้งควบคุมเส้นบนจากเทคนิค MPA, GA และ FPA (HRs-MPA, HRs-GA และ HRs-FPA ตามลำดับ) สูงกว่าเส้นโค้งควบคุมเดิม (Existing) เพื่อรักษาปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำไว้เพื่อป้องกันความเสี่ยงที่จะเกิดการขาดแคลนน้ำในช่วงฤดูแล้งถัดไป ทั้งนี้ยังช่วยลดปริมาณน้ำไหลล้น เนื่องจากมีปริมาณของพื้นที่ของอ่างเก็บน้ำเหลือพอที่จะรองรับน้ำหลากได้ ส่วนโค้งควบคุมเส้นล่างยกสูงกว่าชั้นกว่า เส้นโค้งควบคุมเดิม (Existing) เพื่อลดปริมาณการปล่อยน้ำเพื่อให้น้ำไว้ใช้น้ำตลอดฤดูแล้ง ซึ่งเส้นระดับของเส้นของขอบเขตล่างนี้สามารถควบคุมการปล่อยน้ำโดยการลดการปล่อยน้ำในระดับที่ต่ำกว่าความต้องการตามแนวคิดเกณฑ์การปล่อยน้ำ HR คือลดโอกาสการเกิดปัญหาปริมาณการขาดแคลนน้ำปริมาณที่มากในช่วงเวลาเดียว

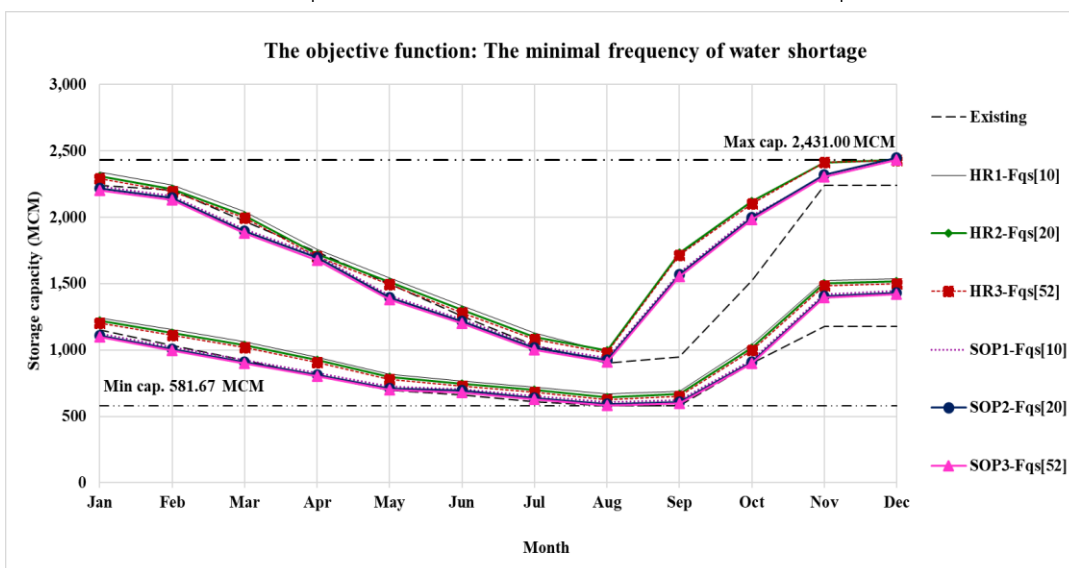
4.1.2 โค้งควบคุมที่เหมาะสมอ่างเก็บน้ำโดยใช้น้ำท่าในช่วงเวลาอดีตของอ่างเก็บน้ำ 52 ปี (พ.ศ. 2512-2563) ช่วง 10 ปี [10] ที่เกิดผลรวมสถานการณ์ปริมาณน้ำน้อยที่สุด (พ.ศ. 2532-2541) และปริมาณน้ำมากที่สุด (พ.ศ. 2545-2554) และ ช่วง 20 ปี [20] ที่เกิดผลรวมสถานการณ์ปริมาณน้ำน้อยที่สุด (พ.ศ. 2524-2543) และปริมาณน้ำมากที่สุด (พ.ศ.2542-2561) ด้วย MPA ด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR และ SOP ดังแสดงในภาพประกอบ 4.2-4.5 ตามกรณีฟังก์ชันวัตถุประสงค์การค้นหาดังต่อไปนี้

1) กรณีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด



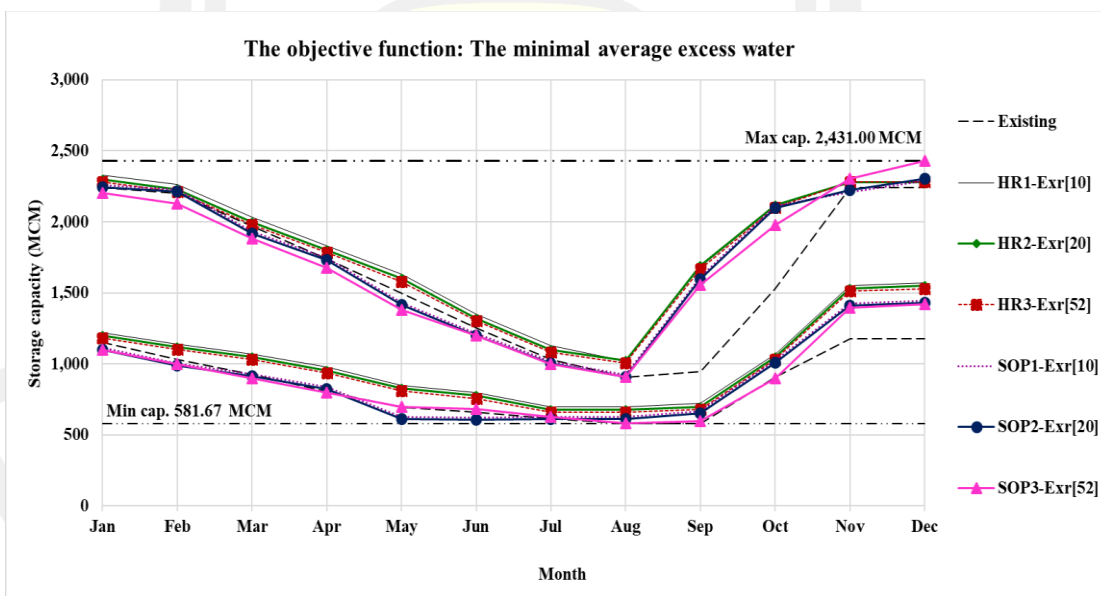
ภาพประกอบ 4.2 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ โดยพิจารณาจากเกณฑ์ HR และ SOP

2) กรณีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ค่าความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด



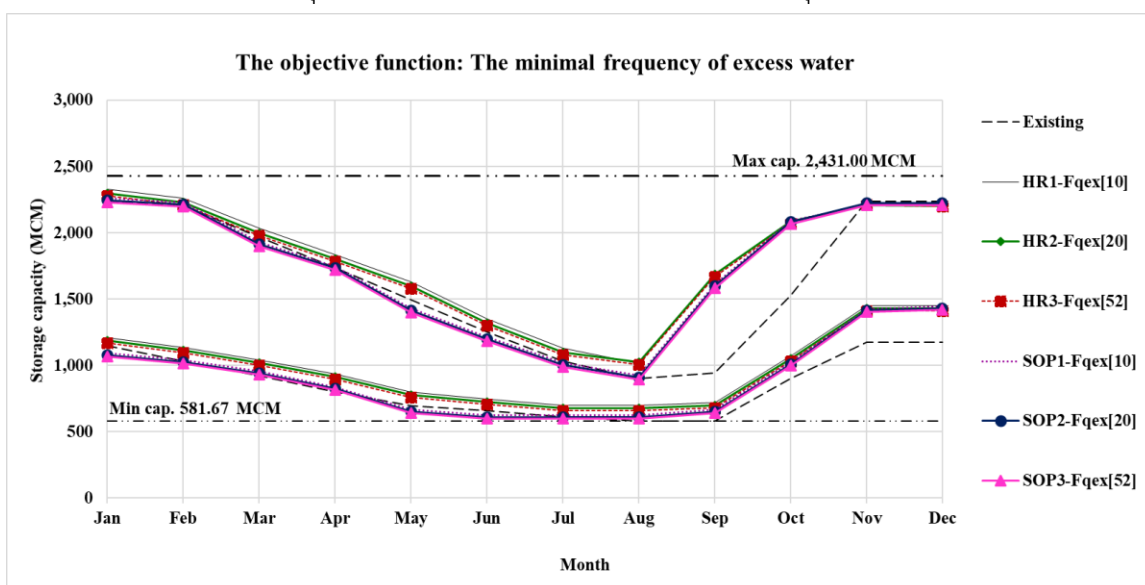
ภาพประกอบ 4.3 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ โดยพิจารณาจากเกณฑ์ HR และ SOP

3) กรณีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นนํ้าน้อยที่สุด



ภาพประกอบ 4.4 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ โดยพิจารณาจากเกณฑ์ HR และ SOP

## 4) กรณีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด

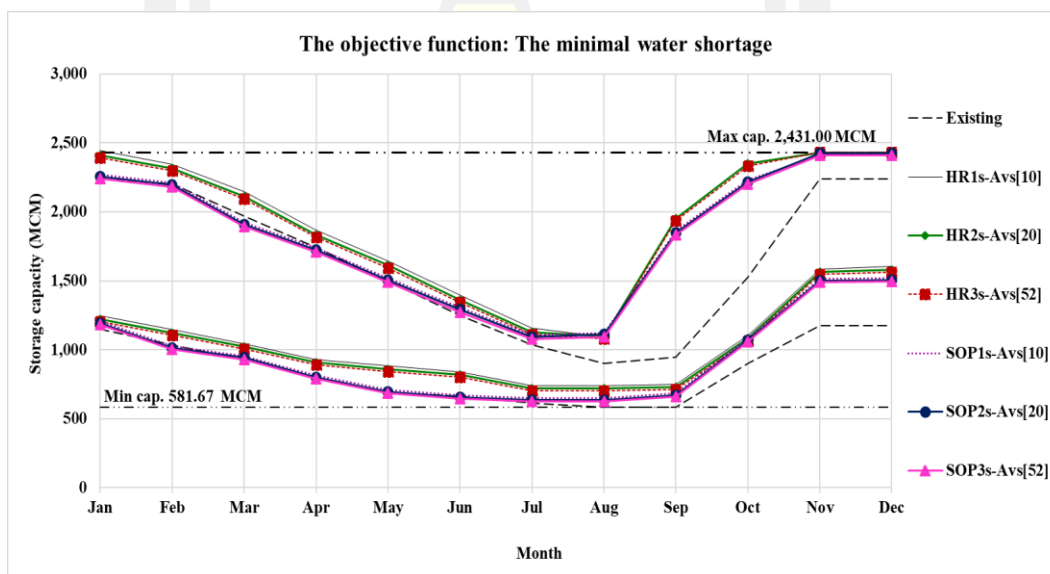


ภาพประกอบ 4.5 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ โดยพิจารณาจากเกณฑ์ HR และ SOP

จากภาพประกอบ 4.2-4.5 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์การค้นหาคือปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุด ค่าความถี่ของการขาดแคลนน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด และ ค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด ของ โดยใช้ น้ำท่าในช่วงเวลาอดีตของอ่างเก็บน้ำ 52 ปี (พ.ศ. 2512-2563) ช่วง 10 ปี [10] ที่เกิดผลรวมสถานการณ์ปริมาณน้ำน้อยที่สุด (พ.ศ. 2532-2541) และปริมาณน้ำมากที่สุด (พ.ศ. 2545-2554) และ ช่วง 20 ปี [20] ที่เกิดผลรวมสถานการณ์ปริมาณน้ำน้อยที่สุด (พ.ศ. 2524-2543) และปริมาณน้ำมากที่สุด (พ.ศ. 2542-2561) ด้วย MPA ด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR และ SOP พบว่า ลักษณะเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR ทุกฟังก์ชัน มีลักษณะเส้นโค้งควบคุมเส้นบนสูงกว่าในทุกคาบการเกิดซ้ำของเส้นโค้งควบคุมด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ SOP และ เส้นโค้งควบคุมเดิม (Existing) เพื่อรักษาปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำไว้เพื่อป้องกันความเสี่ยงที่จะเกิดการขาดแคลนน้ำในช่วงฤดูแล้งถัดไป ทั้งนี้ยังช่วยลดปริมาณน้ำไหลล้นเนื่องจากมีปริมาตรของพื้นที่ของอ่างเก็บน้ำเหลือพอที่จะรองรับน้ำหลากได้ ส่วนโค้งควบคุมเส้นล่าง ยกสูงชันกว่า เส้นโค้งควบคุมเดิม (Existing) เพื่อลดปริมาณการปล่อยน้ำเพื่อให้น้ำไว้ใช้น้ำตลอดฤดูแล้ง ซึ่งเส้นระดับของเส้นของขอบเขตล่างนี้สามารถควบคุมการปล่อยน้ำโดยการลดปริมาณการปล่อยน้ำในระดับที่ต่ำกว่าความต้องการเพื่อลดโอกาสการเกิดปัญหาปริมาณการขาดแคลนน้ำปริมาณที่มากในช่วงเวลาเดียว ตามแนวคิดเกณฑ์การปล่อยน้ำ HR

4.1.3 โค้งควบคุมที่เหมาะสมอ่างเก็บน้ำโดยใช้น้ำทำในช่วงเวลาอดีตของอ่างเก็บน้ำ 52 ปี (พ.ศ. 2512-2563) ช่วง 10 ปี [10] ที่เกิดผลรวมสถานการณ์ปริมาณน้ำน้อยที่สุด (พ.ศ. 2532-2541) และปริมาณน้ำมากที่สุด (พ.ศ. 2545-2554) และ ช่วง 20 ปี [20] ที่เกิดผลรวมสถานการณ์ปริมาณน้ำน้อยที่สุด (พ.ศ. 2524-2543) และปริมาณน้ำมากที่สุด (พ.ศ.2542-2561) (พิจารณาปริมาณตะกอน) ด้วย MPA ด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR และ SOP แสดงดังภาพประกอบ 4.6-4.9 ตามกรณีฟังก์ชันวัตถุประสงค์การค้นหาดังต่อไปนี้

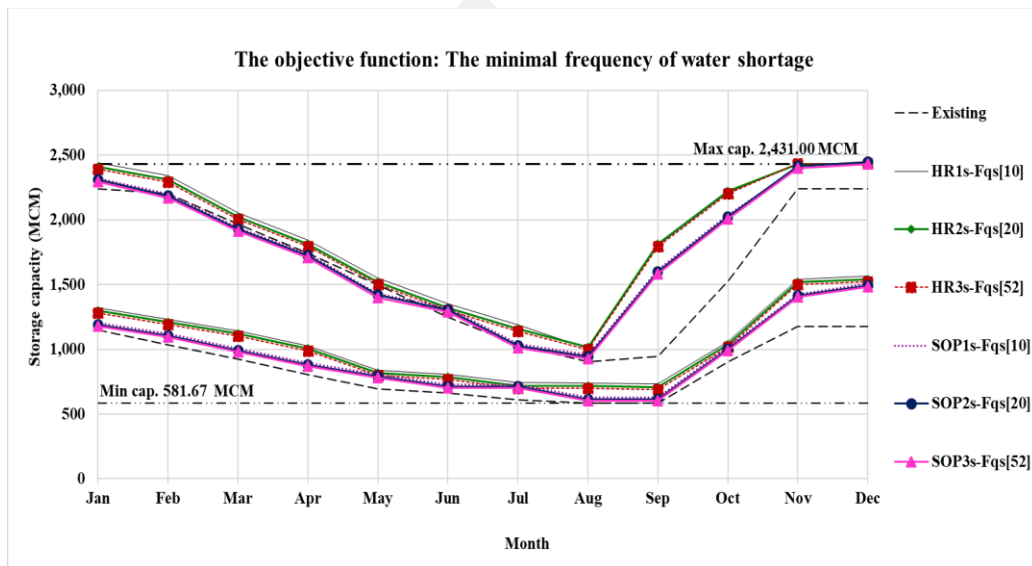
1) กรณีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด



ภาพประกอบ 4.6 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ (พิจารณาปริมาณตะกอน)  
พิจารณาจากเกณฑ์ HR และ SOP

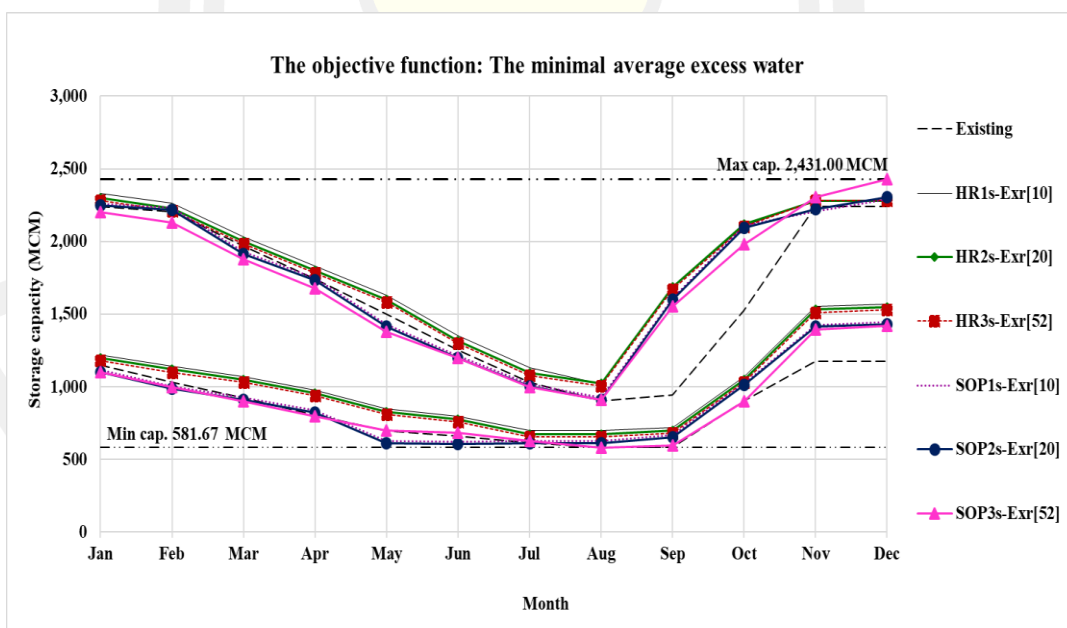
พหุบัณฑิต ชีวะ

2) กรณีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ค่าความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด



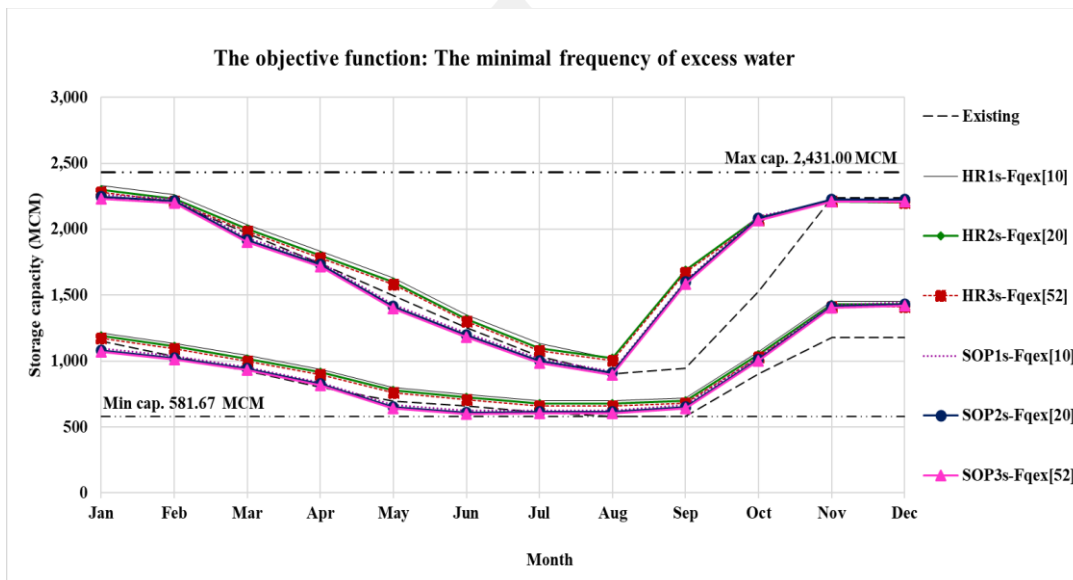
ภาพประกอบ 4.7 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ (พิจารณาปริมาณตะกอน) พิจารณาจากเกณฑ์ HR และ SOP

3) กรณีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นนํ้าน้อยที่สุด



ภาพประกอบ 4.8 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ (พิจารณาปริมาณตะกอน) พิจารณาจากเกณฑ์ HR และ SOP

#### 4) กรณีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด



ภาพประกอบ 4.9 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ (พิจารณาปริมาณตะกอน)

พิจารณาจากเกณฑ์ HR และ SOP

จากภาพประกอบ 4.6-4.9 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์การค้นหาคือ ปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุด ค่าความถี่ของการขาดแคลนน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด และ ค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด โดยการพิจารณาปริมาณตะกอนอ่างเก็บน้ำ ของโดยใช้น้ำท่าในช่วงเวลาอดีตของอ่างเก็บน้ำ 52 ปี (พ.ศ. 2512-2563) ช่วง 10 ปี [10] ที่เกิดผลรวมสถานการณ์ปริมาณน้ำน้อยที่สุด (พ.ศ. 2532-2541) และปริมาณน้ำมากที่สุด (พ.ศ. 2545-2554) และ ช่วง 20 ปี [20] ที่เกิดผลรวมสถานการณ์ปริมาณน้ำน้อยที่สุด (พ.ศ. 2524-2543) และปริมาณน้ำมากที่สุด (พ.ศ. 2542-2561) ด้วย MPA เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR และ SOP พบว่าลักษณะของเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุดจาก MPA เมื่อพิจารณาการตกตะกอนและการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำ HR สูงกว่าเส้นโค้งที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำ SOP รวมถึงเส้นโค้งควบคุมเดิม (Existing) นอกจากนี้ เส้นโค้งควบคุมด้านล่างจาก MPA ที่พิจารณาการตกตะกอนโดยใช้เกณฑ์ HR นั้นสูงกว่าเส้นโค้งควบคุมด้านล่างของการใช้เกณฑ์ SOP สำหรับเงื่อนไขเดียวกัน โดยเฉพาะในฤดูแล้ง (มีนาคม-พฤษภาคม) นอกจากนี้เส้นโค้งควบคุมเส้นบนยังสูงกว่าเช่นกัน ในช่วงปลายฤดูฝน (พฤศจิกายน) เนื่องจากเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุดจาก MPA เมื่อพิจารณาการตกตะกอนโดยใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR พยายามกักเก็บน้ำโดยจำกัดการปล่อยน้ำในช่วงฤดูแล้ง (มีนาคม-พฤษภาคม) ดังนั้นการปล่อยน้ำในช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคมที่ควบคุมโดยเกณฑ์การปล่อยน้ำ HR จึงน้อยกว่าการปล่อยน้ำที่ควบคุมโดยเกณฑ์การปล่อยน้ำ SOP

ทุกปี ซึ่งหมายความว่าเส้นโค้งที่ดีที่สุดจาก MPA เมื่อพิจารณาการตกตะกอนโดยใช้ HR พยายามกักเก็บน้ำโดยจำกัดการปล่อยน้ำในช่วงฤดูแล้งตามแนวคิดของการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR ด้วยเหตุนี้ ความสามารถในการกักเก็บน้ำเมื่อสิ้นสุดฤดูฝนโดยใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำ HR โดยพิจารณาจากการตกตะกอนจึงสูงกว่าเมื่อใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำ SOP และเส้นโค้งควบคุมเดิม (Existing) ในการกักเก็บน้ำ เพื่อลดปัญหาการขาดแคลนน้ำอย่างรุนแรงในฤดูแล้งถัดไป นี่คือนโยบายหลักของการใช้เกณฑ์ HR สำหรับการทำงานของอ่างเก็บน้ำที่ประสบปัญหาภัยแล้ง

#### 4.2 ประสิทธิภาพโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ

4.2.1 ผลการประเมินประสิทธิภาพเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมด้วยเทคนิค MPA, GA และ FPA จากน้ำท่าอดีต

การประเมินประสิทธิภาพเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมจากเทคนิค MPA, GA และ FPA จากการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR (พิจารณาปริมาณตะกอน) ด้วยเทคนิค MPA เปรียบเทียบกับ GA และเทคนิค FPA กรณีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุด ถูกนำมาใช้เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการบรรเทาปัญหาการขาดแคลนน้ำและสถานการณ์น้ำไหลล้น ประเมินประสิทธิภาพจากข้อมูลการไหลเข้าน้ำท่าในอดีต 52 ปี (พ.ศ.2512-2563) ผลการประเมินประสิทธิภาพเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมด้วยเทคนิค MPA, GA, FPA และ โค้งควบคุมเดิม (Existing) แสดงดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 ผลการประเมินเหตุการณ์การขาดแคลนน้ำและการไหลล้นของโค้งควบคุมที่เหมาะสมจากเทคนิค MPA, GA และ FPA โดยใช้ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ 52 ปี (พ.ศ.2512-2563)

สถานการณ์	โค้งควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
น้ำขาด แคลน	Existing	0.865	349.654	870.000	7.500	19.000
	HR-MPAs	0.731	95.558	693.000	3.375	5.000
	HR-GAs	0.730	95.556	693.000	3.375	5.000
	HR-FPAs	0.730	95.559	693.000	3.375	5.000
น้ำไหลล้น	Existing	0.965	1,369.506	4,113.159	16.667	25.000
	HR-MPAs	0.962	1,147.727	4,105.658	11.750	24.000

สถานการณ์	โด้งควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
	HR-GAs	0.962	1,147.727	4,105.658	11.750	24.000
	HR-FPAs	0.962	1,147.728	4,105.658	11.750	24.000

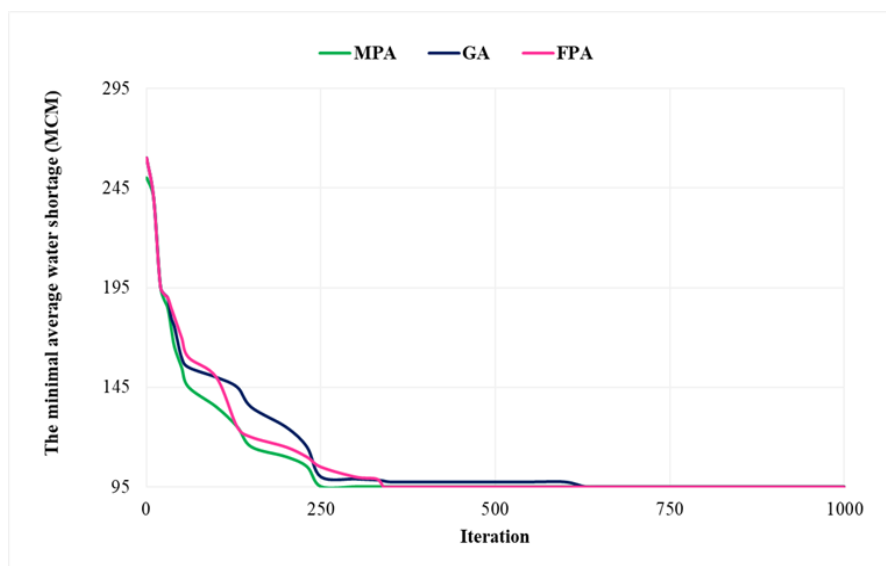
จากตาราง 4.1 พบว่าสถานการณ์การขาดแคลนน้ำและน้ำไหลล้นเมื่อใช้เส้นโด้งควบคุมที่เหมาะสมด้วยเทคนิค MPA, GA และ FPA ให้ค่าแตกต่างกันเล็กน้อยเนื่องจากรูปแบบของเส้นโด้งควบคุมที่ได้มีลักษณะคล้ายคลึงกัน หรืออธิบายได้ว่าโด้งควบคุมจากเทคนิค MPA (HR-MPAs), GA (HR-GAs) และ (FPAHR-FPAs) มีค่าความถี่ของการขาดแคลนของน้ำ 0.731, 0.730 และ 0.730 ครั้งต่อปี ตามลำดับ ปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ย 95.556, 95.558 และ 95.559 ล้านลูกบาศก์เมตรตามลำดับ ซึ่งจากค่าที่ได้นั้นต่ำกว่าค่าของการใช้โด้งควบคุมเดิม (Existing) ที่มีค่าเท่ากับ 0.865 ครั้งต่อปี ปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ย 349.654 ล้านลูกบาศก์เมตร ดังนั้นสรุปได้ว่าเทคนิค MPA เชื่อมแบบจำลองอ่างเก็บน้ำโดยพิจารณาจากการตกตะกอนและใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR เพื่อค้นหาเส้นโด้งควบคุมที่เหมาะสมอย่างมีประสิทธิภาพ เช่นเดียวกับโด้งควบคุมที่ได้จากการค้นหาด้วยเทคนิค GA และ FPA

4.2.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพของลู่อู่เข้าคำตอบของการค้นหาเส้นโด้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำด้วยเทคนิค MPA, GA และ FPA

ผลการประเมินประสิทธิภาพของลู่อู่เข้าคำตอบของการค้นหาเส้นโด้งควบคุมที่เหมาะสมจากเทคนิค MPA, GA และ FPA จากการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR (พิจารณาปริมาณตะกอน) ด้วยเทคนิค MPA เปรียบเทียบกับ GA และเทคนิค FPA กรณีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุด ดังแสดงในภาพประกอบ 4.10

พหุ ประสิทธิภาพ





ภาพประกอบ 4.10 การลู่เข้าคำตอบของการค้นหาเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนําน้อยที่สุด จากเทคนิค MPA, GA และ FPA

จากภาพประกอบ 4.10 ซึ่งบ่งชี้ว่าได้เส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมด้วยเทคนิค MPA ลู่เข้าหาคำตอบในรอบที่ 350 ในขณะที่การลู่เข้าคำตอบด้วยเทคนิค GA และ FPA คือ 630 และ 450 ตามลำดับ สรุปได้ว่าเทคนิค MPA มีประสิทธิภาพที่สูงกว่าเทคนิค GA และ FPA ในการค้นหาเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า เทคนิค MPA สามารถค้นหาเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำมีประสิทธิภาพเช่นเดียวกับเทคนิค GA และ FPA อย่างไรก็ตาม แม้ว่าผลลัพธ์จะเท่ากัน แต่ความเร็วในการลู่เข้าหาคำตอบหรือความซับซ้อนของกระบวนการค้นหาคำตอบก็เป็นปัจจัยสำคัญเช่นกัน ซึ่ง MPA สามารถจัดการได้ดีกว่าเทคนิคอื่นที่นำมาเปรียบเทียบ

#### 4.2.3 ผลการประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ ด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR และ SOP ในอ่างเก็บน้ำจากน้ำท่าอดีต

การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ ภายใต้เกณฑ์การปล่อยน้ำ HR และ SOP สถานการณ์การน้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้น จากโค้งควบคุมใหม่ที่สร้างขึ้นจาก MPA ภายใต้การใช้เกณฑ์ปล่อยน้ำ HR และ SOP (ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: น้ำขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุด ค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ยของน้ำไหลล้นน้อยที่สุด ค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด) โดยการประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมใช้ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ด้วยข้อมูลอดีต 52 ปี (พ.ศ.2512–2563) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แสดงถึงสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ และน้ำไหลล้นของอ่างเก็บน้ำเมื่อใช้โค้งควบคุมใหม่ที่ได้จากเทคนิค MPA และ โค้งควบคุมเดิม (Existing)

ภายใต้การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำใช้เกณฑ์ปล่อยน้ำ HR และ SOP ดังแสดงในตาราง 4.2 และ 4.3

ตาราง 4.2 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลส่วนเกินของโค้งควบคุมที่เหมาะสม จากกรณีการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่าอดีต 52 ปี

สถานการณ์	โค้งควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
น้ำขาด แคลน	Existing	0.673	204.308	865.000	3.889	8.000
	HR1-Avs[10]	0.696	184.529	829.000	3.882	7.000
	HR2-Avs[20]	0.672	164.529	785.000	3.813	7.000
	HR3-Avs[52]	0.654	115.769	742.000	3.778	7.000
	HR1-Fqs[10]	0.649	143.258	847.000	3.791	7.000
	HR2-Fqs[20]	0.653	141.018	803.000	3.702	7.000
	HR3-Fqs[52]	0.635	129.558	760.000	3.667	7.000
	HR1-Exr[10]	0.629	138.352	859.000	3.680	7.000
	HR2- Exr[20]	0.633	136.152	815.000	3.591	7.000
	HR3- Exr[52]	0.615	124.692	772.000	3.556	7.000
	HR1- Fqex [10]	0.629	128.019	859.000	3.680	7.000
	HR2- Fqex [20]	0.633	122.779	815.000	3.591	7.000
	HR3- Fqex [52]	0.615	118.019	772.000	3.556	7.000
	SOP1-Avs[10]	0.678	139.965	864.000	3.724	7.000
	SOP2-Avs[20]	0.674	138.645	845.000	3.635	7.000
	SOP3-Avs[52]	0.692	126.865	832.000	3.600	7.000
	SOP1-Fqs[10]	0.563	153.441	979.000	2.851	7.000
	SOP2-Fqs[20]	0.559	151.991	975.000	2.762	7.000
	SOP3-Fqs[52]	0.577	140.231	962.000	2.727	7.000
	SOP1-Exr[10]	0.578	154.337	900.000	4.124	7.000

สถานการณ์	โค้งควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
	SOP2-Exr[20]	0.574	152.287	856.000	4.035	7.000
	SOP3-Exr[52]	0.592	140.577	813.000	4.000	7.000
	SOP1-Fqex [10]	0.578	154.527	861.100	4.124	7.000
	SO2-Fqex [20]	0.574	152.587	857.120	4.035	7.000
	SOP3-Fqex [52]	0.592	140.827	814.000	4.000	7.000
น้ำไหลล้น	Existing	0.923	1,230.310	4,126.736	9.600	21.000
	HR1-Avs[10]	0.879	1,120.609	4,140.159	6.267	10.000
	HR2-Avs[20]	0.883	1,118.675	4,119.159	6.178	10.000
	HR3-Avs[52]	0.865	1,107.549	4,113.159	6.143	10.000
	HR1-Fqs[10]	0.841	1,134.148	4,160.197	9.124	13.000
	HR2-Fqs[20]	0.845	1,132.748	4,162.007	9.035	13.000
	HR3-Fqs[52]	0.827	1,120.988	4,148.107	9.000	13.000
	HR1-Exr[10]	0.879	1,132.993	4,182.886	9.124	13.000
	HR2- Exr[20]	0.883	1,131.173	4,161.756	9.035	13.000
	HR3- Exr[52]	0.865	1,119.433	4,155.656	9.000	13.000
	HR1- Fqex [10]	0.879	1,126.920	4,177.361	9.124	13.000
	HR2- Fqex [20]	0.883	2,269.160	4,156.591	9.035	13.000
	HR3- Fqex [52]	0.865	1,113.160	4,150.361	9.000	13.000
	SOP1-Avs[10]	0.822	1,132.334	4,179.957	5.374	9.000
	SOP2-Avs[20]	0.828	1,130.394	4,158.957	5.285	9.000
	SOP3-Avs[52]	0.808	1,118.634	4,152.957	5.250	9.000
	SOP1-Fqs[10]	0.899	1,149.061	4,178.986	11.624	24.000
	SOP2-Fqs[20]	0.885	1,147.081	4,159.876	11.535	24.000
	SOP3-Fqs[52]	0.885	1,135.321	4,153.876	11.500	24.000
SOP1-Exr[10]	0.899	1,152.547	4,184.358	11.624	24.000	

สถานการณ์	โค้งควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
	SOP2-Exr[20]	0.903	1,151.247	4,164.328	11.535	24.000
	SOP3-Exr[52]	0.885	1,139.487	4,158.318	11.500	24.000
	SOP1-Fqex [10]	0.899	1,152.784	4,185.328	11.624	24.000
	SO2-Fqex [20]	0.903	1,151.384	4,164.338	11.535	24.000
	SOP3-Fqex [52]	0.885	1,139.624	4,158.318	11.500	24.000

ตาราง 4.3 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลส่วนเกินของโค้งควบคุมที่เหมาะสม จากกรณีการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ SOP ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำในอดีต 52 ปี

สถานการณ์	โค้งควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
น้ำขาด แคลน	Existing	0.673	204.308	865.000	3.889	8.000
	HR1-Avs[10]	0.865	349.654	870	7.5	19
	HR2-Avs[20]	0.794	272.318	853.000	4.104	7.000
	HR3-Avs[52]	0.770	252.318	809.000	4.035	7.000
	HR1-Fqs[10]	0.752	203.558	766.000	4.000	7.000
	HR2-Fqs[20]	0.744	219.412	835.000	4.124	7.000
	HR3-Fqs[52]	0.748	217.172	833.000	4.035	7.000
	HR1-Exr[10]	0.730	205.712	790.000	4.000	7.000
	HR2- Exr[20]	0.764	223.141	848.000	4.013	7.000
	HR3- Exr[52]	0.768	220.941	834.000	3.924	7.000
	HR1- Fqex [10]	0.750	209.481	791.000	3.889	7.000
	HR2- Fqex [20]	0.764	216.250	891.000	4.013	7.000
	HR3- Fqex [52]	0.768	211.010	847.000	3.924	7.000

สถานการณ์	โค้งควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
สถานการณ์	SOP1-Avs[10]	0.750	206.250	804.000	3.889	7.000
	SOP2-Avs[20]	0.659	261.062	932.000	4.235	7.000
	SOP3-Avs[52]	0.655	259.742	913.000	4.146	7.000
	SOP1-Fqs[10]	0.673	247.962	900.000	4.111	7.000
	SOP2-Fqs[20]	0.648	245.979	908.000	4.999	8.000
	SOP3-Fqs[52]	0.644	244.529	904.000	4.910	8.000
	SOP1-Exr[10]	0.662	232.769	891.000	4.875	8.000
	SOP2- Exr[20]	0.659	260.414	857.000	4.999	8.000
	SOP3- Exr[52]	0.655	258.364	813.000	4.910	8.000
	SOP1- Fqex [10]	0.673	246.654	770.000	4.875	8.000
	SO2- Fqex [20]	0.678	260.431	817.100	4.999	8.000
	SOP3- Fqex [52]	0.674	258.491	813.120	4.910	8.000
น้ำไหล ส่วนเกิน	Existing	0.692	246.731	770.000	4.875	8.000
	HR1-Avs[10]	0.962	1,189.590	4,150.360	16.667	25.000
	HR2-Avs[20]	0.956	1,204.780	4,140.160	16.124	25.000
	HR3-Avs[52]	0.960	1,202.846	4,119.160	16.035	25.000
	HR1-Fqs[10]	0.942	1,191.720	4,113.160	16.000	25.000
	HR2-Fqs[20]	0.946	1,382.670	4,160.200	24.624	25.000
	HR3-Fqs[52]	0.950	1,381.270	4,162.010	24.535	25.000
	HR1-Exr[10]	0.932	1,369.510	4,148.110	24.500	25.000
	HR2- Exr[20]	0.937	1,212.240	4,182.890	16.124	25.000
	HR3- Exr[52]	0.941	1,210.420	4,161.760	16.035	25.000
	HR1- Fqex [10]	0.923	1,198.680	4,155.660	16.000	25.000
	HR2- Fqex [20]	0.937	1,210.250	4,153.740	16.124	25.000
	HR3- Fqex [52]	0.941	2,352.490	4,132.970	16.035	25.000

สถานการณ์	โค้งควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
	SOP1-Avs[10]	0.923	1,196.490	4,126.740	16.000	25.000
	SOP2-Avs[20]	0.916	1,234.190	4,179.960	25.124	25.000
	SOP3-Avs[52]	0.922	1,232.250	4,158.960	25.035	25.000
	SOP1-Fqs[10]	0.902	1,220.490	4,152.960	25.000	25.000
	SOP2-Fqs[20]	0.917	1,255.170	4,178.990	25.124	25.000
	SOP3-Fqs[52]	0.903	1,253.190	4,159.880	25.035	25.000
	SOP1-Exr[10]	0.903	1,241.430	4,153.880	25.000	25.000
	SOP2- Exr[20]	0.919	1,254.580	4,184.360	25.124	25.000
	SOP3- Exr[52]	0.923	1,253.280	4,164.330	25.035	25.000
	SOP1- Fqex [10]	0.905	1,241.520	4,158.320	25.000	25.000
	SO2- Fqex [20]	0.916	1,254.820	4,185.330	25.124	25.000
	SOP3- Fqex [52]	0.920	1,253.420	4,164.340	25.035	25.000

จากตาราง 4.3 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นของโค้งควบคุมที่เหมาะสม จากกรณีการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่าในอดีต 52 ปี (พ.ศ. 2512-2563) พบว่าโค้งควบคุม HR3-Avs[52] ที่เกิดจากเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็น ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด ที่ช่วงข้อมูลน้ำท่าอดีต 52 ปี มีค่าน้อยที่สุดในสถานการณ์ขาดแคลนน้ำ คือ 115.769 MCM/ปี และ 742.00 MCM/ปี สำหรับค่าเฉลี่ยการขาดแคลนน้ำและการขาดแคลนน้ำสูงสุดตามลำดับ ในขณะที่ความถี่ของการขาดแคลนน้ำมีค่าเท่ากับ 0.654 ครั้ง/ปี ซึ่งมีค่าน้อยกว่าโค้งควบคุมที่สร้างเกณฑ์การปล่อยน้ำ SOP และโค้งควบคุมเดิม (Existing) มากไปกว่านั้นสถานการณ์น้ำไหลล้น เมื่อใช้โค้งควบคุม HR3-Avs[52] มีค่าต่ำสุดที่ 1,107.54 MCM/ปี และ 4,113.159 MCM/ปี สำหรับน้ำไหลล้นเฉลี่ย และน้ำไหลล้นสูงสุดตามลำดับ ในขณะที่ความถี่ของการขาดแคลนน้ำมีค่าเท่ากับ 0.654 ครั้ง/ปี และจากตาราง 4.3 ผลการประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมเมื่อใช้การไหลเข้า ในอดีต 52 ปี (พ.ศ.2512-2563) ภายใต้การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมด้วยเกณฑ์ปล่อยน้ำแบบ SOP ก็เช่นเดียวกัน

ดังนั้นสรุปได้ว่าสถานการณ์การขาดแคลนน้ำและน้ำไหลล้นเมื่อใช้เส้นโค้งควบคุมที่สร้างจากเทคนิค MPA โดยพิจารณาจาก HR นั้นน้อยกว่าสถานการณ์การขาดแคลนน้ำและน้ำไหลล้นของการใช้เส้นโค้งควบคุมที่ได้รับจาก MPA โดยพิจารณาจาก SOP และโค้งควบคุมเดิม (Existing) ดังนั้นเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR จึงควบคุมการปล่อยน้ำอย่างจำกัดเพื่อการประหยัดน้ำบรรเทาการขาดน้ำในฤดูแล้งถัดไป อย่างไรก็ตาม เกณฑ์การปล่อยน้ำ SOP นั้นปล่อยน้ำเพื่อตอบสนองความต้องการเป้าหมายสำหรับช่วงเวลาที่พิจารณาซึ่งอาจส่งผลให้เกิดปริมาณการขาดแคลนน้ำที่มาปริมาณมาก ดังนั้นเกณฑ์ SOP จึงมีความเหมาะสมน้อยกว่าเกณฑ์ HR สำหรับอ่างเก็บน้ำที่มีปัญหาภัยแล้งบ่อย

4.2.4 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นของโค้งควบคุมที่เหมาะสม จากกรณีการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR และ SOP ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำในอดีต 1,000 ชุดข้อมูล

การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ ในระยะยาวโดยใช้ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ด้วยข้อมูลที่สังเคราะห์จากข้อมูลอดีต 52 ปี (พ.ศ.2512 – 2563) จำนวน 1,000 ชุด ข้อมูล (ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: น้ำขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุด ค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ยของน้ำไหลล้นน้อยที่สุด ค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด) เมื่อใช้โค้งควบคุมใหม่ที่ได้จากเทคนิค MPA และ โค้งควบคุมเดิม (Existing) ภายใต้การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำใช้เกณฑ์ปล่อยน้ำ HR และ SOP ดังแสดงในตาราง 4.4 และ 4.5

ตาราง 4.4 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นของโค้งควบคุมที่เหมาะสม จากกรณีการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำในอดีต 1,000 ชุดเหตุการณ์

สถานการณ์	โค้งควบคุม		ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
				เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
น้ำขาด แคลน	Existing	$\mu$	0.942	324.962	839.000	12.250	22.000
		$\sigma$	0.545	0.876	0.464	0.576	0.435
	HR1-Avs[10]	$\mu$	0.870	260.722	762.000	5.604	14.000
		$\sigma$	0.453	0.753	0.557	0.678	0.672
	HR2-Avs[20]	$\mu$	0.864	240.722	718.000	5.535	14.000
		$\sigma$	0.687	0.546	0.378	0.553	0.547

สถานการณ์	โด้งควบคุม		ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
				เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
HR3-Avs[52]	$\mu$		0.846	191.962	675.000	5.500	14.000
	$\sigma$		0.275	0.243	0.275	0.875	0.775
HR1-Fqs[10]	$\mu$		0.829	208.756	630.000	6.553	14.000
	$\sigma$		0.272	0.083	0.354	0.735	0.225
HR2-Fqs[20]	$\mu$		0.813	206.556	586.000	6.464	14.000
	$\sigma$		0.724	0.234	0.876	0.348	0.774
HR3-Fqs[52]	$\mu$		0.805	195.096	543.000	6.429	14.000
	$\sigma$		0.245	0.386	0.673	0.731	0.753
HR1-Exr[10]	$\mu$		0.879	216.773	707.000	6.553	19.000
	$\sigma$		0.731	0.863	0.875	0.854	0.428
HR2- Exr[20]	$\mu$		0.883	215.453	688.000	6.464	19.000
	$\sigma$		0.853	0.445	0.454	0.375	0.753
HR3- Exr[52]	$\mu$		0.865	203.673	675.000	6.429	19.000
	$\sigma$		0.764	0.876	0.873	0.533	0.876
HR1- Fqex [10]	$\mu$		0.860	220.222	762.000	5.624	14.000
	$\sigma$		0.757	0.875	0.627	0.867	0.448
HR2- Fqex [20]	$\mu$		0.864	218.172	718.000	5.535	14.000
	$\sigma$		0.546	0.567	0.387	0.767	0.863
HR3- Fqex [52]	$\mu$		0.846	206.462	675.000	5.500	14.000
	$\sigma$		0.377	0.475	0.578	0.374	0.845
SOP1-Avs[10]	$\mu$		0.918	237.856	891.000	9.524	20.000
	$\sigma$		0.254	0.422	0.753	0.754	0.545
SOP2-Avs[20]	$\mu$		0.922	235.806	847.000	9.435	20.000
	$\sigma$		0.466	0.587	0.374	0.783	0.375



สถานการณ์	โด้งควบคุม		ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
				เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
สถานการณ์	SOP3-Avs[52]	μ	0.904	224.096	804.000	9.400	20.000
		σ	0.875	0.748	0.275	0.586	0.535
	SOP1-Fqs[10]	μ	0.838	257.375	919.000	9.524	25.000
		σ	0.877	0.858	0.574	0.959	0.537
	SOP2-Fqs[20]	μ	0.812	255.325	875.000	9.435	25.000
		σ	0.738	0.868	0.980	0.887	0.585
	SOP3-Fqs[52]	μ	0.801	243.615	832.000	9.400	25.000
		σ	0.786	0.385	0.863	0.838	0.537
	SOP1-Exr[10]	μ	0.956	248.375	891.000	16.457	42.000
		σ	0.455	0.388	0.278	0.272	0.422
	SOP2- Exr[20]	μ	0.960	246.325	847.000	16.368	42.000
		σ	0.752	0.537	0.575	0.775	0.734
	SOP3- Exr[52]	μ	0.942	234.615	804.000	16.333	42.000
		σ	0.754	0.343	0.354	0.237	0.534
	SOP1- Fqex [10]	μ	0.956	248.414	891.000	16.457	42.000
		σ	0.543	0.427	0.537	0.757	0.345
	SOP2- Fqex [20]	μ	0.960	246.364	847.000	16.368	42.000
		σ	0.235	0.368	0.544	0.537	0.274
SOP3- Fqex [52]	μ	0.942	234.654	804.000	16.333	42.000	
	σ	0.538	0.857	0.353	0.376	0.557	
น้ำไหลล้น	Existing	μ	0.981	1,288.659	6,568.954	25.500	38.000
		σ	0.527	0.544	0.375	0.755	0.572
	HR1-Avs[10]	μ	0.956	1,127.094	6,380.849	12.374	28.000
		σ	0.453	0.376	0.537	0.772	0.768
	HR2-Avs[20]	μ	0.960	1,125.044	6,336.849	12.285	28.000

สถานการณ์	โด้งควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
		$\sigma$				
HR3-Avs[52]	$\mu$	0.942	1,113.334	6,290.849	12.250	28.000
	$\sigma$	0.783	0.534	0.375	0.832	0.732
HR1-Fqs[10]	$\mu$	0.956	1,137.199	6,380.849	12.374	28.000
	$\sigma$	0.546	0.564	0.542	0.462	0.464
HR2-Fqs[20]	$\mu$	0.960	1,135.149	6,336.849	12.285	28.000
	$\sigma$	0.553	0.655	0.466	0.845	0.856
HR3-Fqs[52]	$\mu$	0.942	1,123.439	6,293.849	12.250	28.000
	$\sigma$	0.846	0.465	0.964	0.654	0.346
HR1-Exr[10]	$\mu$	0.956	1,145.220	6,380.849	12.374	28.000
	$\sigma$	0.646	0.486	0.466	0.766	0.846
HR2- Exr[20]	$\mu$	0.960	1,143.170	6,336.849	12.285	28.000
	$\sigma$	0.782	0.752	0.786	0.535	0.357
HR3- Exr[52]	$\mu$	0.942	1,131.460	6,293.849	12.250	28.000
	$\sigma$	0.633	0.377	0.387	0.378	0.373
HR1- Fqex [10]	$\mu$	0.956	1,148.848	6,380.849	12.374	28.000
	$\sigma$	0.254	0.743	0.374	0.375	0.374
HR2- Fqex [20]	$\mu$	0.960	1,146.798	6,336.849	12.285	28.000
	$\sigma$	0.375	0.355	0.344	0.273	0.224
HR3- Fqex [52]	$\mu$	0.942	1,135.088	6,293.849	12.250	28.000
	$\sigma$	0.767	0.732	0.277	0.342	0.751
SOP1-Avs[10]	$\mu$	0.918	1,162.711	6,380.849	52.124	52.000
	$\sigma$	0.574	0.524	0.372	0.358	0.347
SOP2-Avs[20]	$\mu$	0.922	1,160.661	6,336.849	52.035	52.000

สถานการณ์	โด้งควบคุม	ความถี่	ปริมาณน้ำ		ช่วงเวลา (ปี)		
		(ครั้ง/ปี)	(ล้าน ลบ.ม.)		เฉลี่ย	มากที่สุด	
			เฉลี่ย	มากที่สุด			
		$\sigma$	0.247	0.387	0.755	0.387	0.637
	SOP3-Avs[52]	$\mu$	0.904	1,148.951	6,293.849	52.000	52.000
		$\sigma$	0.277	0.757	0.654	0.577	0.754
	SOP1-Fqs[10]	$\mu$	0.956	1,193.456	6,380.849	52.124	52.000
		$\sigma$	0.278	0.385	0.387	0.357	0.378
	SOP2-Fqs[20]	$\mu$	0.960	1,191.406	6,336.849	52.035	52.000
		$\sigma$	0.387	0.384	0.357	0.687	0.575
	SOP3-Fqs[52]	$\mu$	0.942	1,179.696	6,293.849	52.000	52.000
		$\sigma$	0.563	0.272	0.375	0.754	0.752
	SOP1-Exr[10]	$\mu$	0.956	1,198.178	6,467.849	25.748	47.000
		$\sigma$	0.757	0.875	0.387	0.786	0.687
	SOP2- Exr[20]	$\mu$	0.960	1,196.128	6,423.849	25.659	47.000
		$\sigma$	0.785	0.275	0.757	0.387	0.278
	SOP3- Exr[52]	$\mu$	0.995	1,184.418	6,380.849	25.624	47.000
		$\sigma$	0.752	0.838	0.387	0.382	0.452
	SOP1- Fqex	$\mu$	0.995	1,184.418	6,380.849	25.624	47.000
	[10]	$\sigma$	0.723	0.696	0.624	0.654	0.567
	SOP2- Fqex	$\mu$	0.999	1,182.368	6,336.849	25.535	47.000
	[20]	$\sigma$	0.465	0.385	0.687	0.385	0.374
	SOP3- Fqex	$\mu$	0.981	1,170.658	6,293.849	25.500	47.000
	[52]	$\sigma$	0.674	0.385	0.374	0.842	0.354

$\mu$  = ค่าเฉลี่ย  $\sigma$  = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 4.5 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นของโค้งควบคุมที่เหมาะสม จากกรณีการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ SOP ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำในอดีต 1,000 ชุดเหตุการณ์

สถานการณ์	โค้งควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)		
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด	
น้ำขาด แคลน	Existing	$\mu$	0.673	166.423	721.000	3.500	8.000
		$\sigma$	0.524	0.543	0.243	0.357	0.345
	HR1- Avs[10]	$\mu$	0.774	157.625	697.000	4.004	8.000
		$\sigma$	0.873	0.783	0.544	0.324	0.383
	HR2- Avs[20]	$\mu$	0.768	137.625	653.000	3.935	8.000
		$\sigma$	0.375	0.875	0.527	0.388	0.377
	HR3- Avs[52]	$\mu$	0.750	88.865	462.000	3.900	8.000
		$\sigma$	0.272	0.752	0.372	0.867	0.385
	HR1- Fqs[10]	$\mu$	0.764	118.487	634.000	4.024	8.000
		$\sigma$	0.725	0.378	0.546	0.573	0.387
	HR2- Fqs[20]	$\mu$	0.768	116.287	590.000	3.935	8.000
		$\sigma$	0.752	0.384	0.567	0.372	0.754
	HR3- Fqs[52]	$\mu$	0.750	104.827	547.000	3.900	8.000
		$\sigma$	0.424	0.354	0.374	0.237	0.387
	HR1- Exr[10]	$\mu$	0.764	110.062	639.000	4.024	8.000
		$\sigma$	0.010	0.012	0.011	0.001	0.002
	HR2- Exr[20]	$\mu$	0.768	108.742	620.000	3.935	8.000
		$\sigma$	0.575	0.237	0.868	0.372	0.372
	HR3- Exr[52]	$\mu$	0.750	96.962	607.000	3.900	8.000
		$\sigma$	0.273	0.754	0.757	0.355	0.452
HR1- Fqex [10]	$\mu$	0.745	101.414	654.000	3.579	8.000	
	$\sigma$	0.347	0.354	0.235	0.487	0.374	
HR2- Fqex [20]	$\mu$	0.749	99.364	610.000	3.490	8.000	
	$\sigma$	0.325	0.353	0.385	0.852	0.372	

สถานการณ์	โด้งควบคุม		ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
				เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
HR3- Fqex [52]	$\mu$	0.731	87.654	567.000	3.455	8.000	
	$\sigma$	0.234	0.527	0.245	0.575	0.274	
SOP1- Avs[10]	$\mu$	0.860	115.106	456.000	5.624	16.000	
	$\sigma$	0.354	0.387	0.324	0.354	0.355	
SOP2- Avs[20]	$\mu$	0.864	113.056	462.000	5.535	16.000	
	$\sigma$	0.575	0.638	0.378	0.378	0.257	
SOP3- Avs[52]	$\mu$	0.846	101.346	369.000	5.500	16.000	
	$\sigma$	0.238	0.855	0.275	0.355	0.273	
SOP1- Fqs[10]	$\mu$	0.745	137.222	642.000	3.579	9.000	
	$\sigma$	0.574	0.569	0.372	0.378	0.575	
SOP2- Fqs[20]	$\mu$	0.749	135.172	598.000	3.490	9.000	
	$\sigma$	0.754	0.317	0.722	0.542	0.214	
SOP3- Fqs[52]	$\mu$	0.731	123.462	555.000	3.455	9.000	
	$\sigma$	0.375	0.575	0.387	0.372	0.747	
SOP1- Exr[10]	$\mu$	0.879	135.414	716.000	6.553	16.000	
	$\sigma$	0.272	0.277	0.754	0.378	0.744	
SOP2- Exr[20]	$\mu$	0.883	133.364	672.000	6.464	16.000	
	$\sigma$	0.287	0.872	0.372	0.342	0.575	
SOP3- Exr[52]	$\mu$	0.865	121.654	629.000	6.429	16.000	
	$\sigma$	0.575	0.752	0.272	0.254	0.274	
SOP1- Fqex [10]	$\mu$	0.879	135.587	717.000	6.553	16.000	
	$\sigma$	0.234	0.324	0.272	0.757	0.745	
SOP2- Fqex [20]	$\mu$	0.883	133.537	673.000	6.464	16.000	
	$\sigma$	0.275	0.572	0.875	0.572	0.575	
	$\mu$	0.865	121.827	630.000	6.429	16.000	

สถานการณ์	โด้งควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)		
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด	
	SOP3- Fqex [52]	σ	0.254	0.252	0.557	0.372	0.865
น้ำไหลกลับ	Existing	μ	0.962	1,136.474	6,025.519	16.667	28.000
		σ	0.527	0.575	0.742	0.757	0.274
	HR1- Avs[10]	μ	0.918	1,031.116	5,855.539	9.524	28.000
		σ	0.545	0.275	0.388	0.375	0.327
	HR2- Avs[20]	μ	0.922	1,029.066	5,981.519	9.435	28.000
		σ	0.572	0.523	0.375	0.387	0.387
	HR3- Avs[52]	μ	0.904	1,017.356	5,938.519	9.400	28.000
		σ	0.385	0.754	0.383	0.373	0.542
	HR1- Fqs[10]	μ	0.937	1,051.215	6,013.784	12.124	28.000
		σ	0.566	0.946	0.143	0.166	0.126
	HR2- Fqs[20]	μ	0.941	1,049.165	5,969.784	12.035	28.000
		σ	0.161	0.615	0.549	0.642	0.168
	HR3- Fqs[52]	μ	0.923	1,037.455	5,926.784	12.000	28.000
		σ	0.196	0.584	0.464	0.587	0.648
	HR1- Exr[10]	μ	0.937	1,044.606	6,025.519	12.124	28.000
		σ	0.345	0.168	0.326	0.498	0.864
	HR2- Exr[20]	μ	0.941	1,042.556	5,981.519	12.035	28.000
		σ	0.487	0.595	0.449	0.668	0.215
	HR3- Exr[52]	μ	0.923	1,030.846	5,938.519	12.000	28.000
		σ	0.587	0.589	0.949	0.489	0.484
	HR1- Fqex [10]	μ	0.937	1,037.298	5,985.862	12.124	28.000
		σ	0.491	0.484	0.594	0.648	0.549
	HR2- Fqex [20]	μ	0.941	1,035.248	5,941.862	12.035	28.000
		σ	0.685	0.484	0.445	0.488	0.975

สถานการณ์	โด้งควบคุม		ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
				เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
HR3- Fqex [52]	$\mu$	0.923	1,023.538	5,898.862	12.000	28.000	
	$\sigma$	0.894	0.894	0.484	0.456	0.549	
SOP1- Avs[10]	$\mu$	0.918	1,046.391	6,035.752	11.874	27.000	
	$\sigma$	0.879	0.478	0.894	0.878	0.498	
SOP2- Avs[20]	$\mu$	0.922	1,044.341	5,991.752	11.785	27.000	
	$\sigma$	0.898	0.483	0.487	0.151	0.894	
SOP3- Avs[52]	$\mu$	0.904	1,012.631	5,918.752	11.750	27.000	
	$\sigma$	0.448	0.198	0.448	0.484	0.745	
SOP1- Fqs[10]	$\mu$	0.956	1,074.980	5,990.148	12.374	28.000	
	$\sigma$	0.556	0.561	0.794	0.756	0.499	
SOP2- Fqs[20]	$\mu$	0.960	1,072.930	5,946.148	12.285	28.000	
	$\sigma$	0.849	0.794	0.894	0.489	0.651	
SOP3- Fqs[52]	$\mu$	0.942	1,061.220	5,903.148	12.250	28.000	
	$\sigma$	0.741	0.185	0.189	0.156	0.188	
SOP1- Exr[10]	$\mu$	0.956	1,075.378	6,020.365	12.374	28.000	
	$\sigma$	0.461	0.199	0.184	0.118	0.151	
SOP2- Exr[20]	$\mu$	0.960	1,073.328	5,976.365	12.285	28.000	
	$\sigma$	0.498	0.848	0.818	0.451	0.845	
SOP3- Exr[52]	$\mu$	0.942	1,061.618	5,933.365	12.250	28.000	
	$\sigma$	0.496	0.485	0.894	0.185	0.194	
SOP1- Fqex [10]	$\mu$	0.956	1,075.626	6,020.365	12.374	28.000	
	$\sigma$	0.468	0.452	0.496	0.896	0.944	
SOP2- Fqex [20]	$\mu$	0.960	1,073.576	5,976.365	12.285	28.000	
	$\sigma$	0.716	0.899	0.189	0.197	0.168	
	$\mu$	0.942	1,061.866	5,933.365	12.250	28.000	

สถานการณ์	โค้งควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)		
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด	
	SOP3- Fqex [52]	$\sigma$	0.884	0.452	0.682	0.517	0.891

$\mu$  = ค่าเฉลี่ย  $\sigma$  = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตาราง 4.4 การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ ในระยะยาวโดยใช้ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ด้วยข้อมูลที่สังเคราะห์จากข้อมูลอดีต 52 ปี (พ.ศ.2512 – 2563) จำนวน 1,000 ชุดข้อมูล (ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: น้ำขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุด ค่าความถี่น้ำขาดแคลนน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ยของน้ำไหลล้นน้อยที่สุด ค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด) เมื่อใช้โค้งควบคุมใหม่ที่ได้จากเทคนิค MPA และ โค้งควบคุมเดิม (Existing) ภายใต้การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำใช้เกณฑ์ปล่อยน้ำ HR เพื่อประเมินสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ การไหลล้น พบว่าโค้งควบคุม HR3-Avs[52] มีปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุด ปริมาณน้ำน้ำขาดแคลนมากที่สุด ค่าความถี่น้ำขาดแคลนมีค่า  $191.962 \pm 0.243$  ล้าน ลบ.ม.  $675.000 \pm 0.275$  ล้าน ลบ.ม. และ  $0.845 \pm 0.275$  ครั้ง/ปี ตามลำดับ สถานการณ์การไหลล้น พบว่า ปริมาณค่าเฉลี่ยของน้ำไหลล้นน้อยที่สุด ปริมาณค่าเฉลี่ยของน้ำไหลล้นมากที่สุด และค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด มีค่า  $1,113.334 \pm 0.534$  ล้าน ลบ.ม.  $6,290.849 \pm 0.534$  ล้าน ลบ.ม. และ  $0.942 \pm 0.783$  ครั้ง/ปี ตามลำดับ โดยภาพรวมแล้วสถานการณ์น้ำขาดแคลนและสถานการณ์น้ำไหลล้นจากการใช้โค้งควบคุมใหม่ด้วยเกณฑ์ HR จะมีค่าน้อยกว่าโค้งควบคุมเดิม (Existing)

จากตาราง 4.5 การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ ในระยะยาวโดยใช้ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ด้วยข้อมูลที่สังเคราะห์จากข้อมูลอดีต 52 ปี (พ.ศ.2512 – 2563) จำนวน 1,000 ชุดข้อมูล (ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: น้ำขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุด ค่าความถี่น้ำขาดแคลนน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ยของน้ำไหลล้นน้อยที่สุด ค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด) เมื่อใช้โค้งควบคุมใหม่ที่ได้จากเทคนิค MPA และ โค้งควบคุมเดิม (Existing) ภายใต้การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำใช้เกณฑ์ปล่อยน้ำ HR เพื่อประเมินสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ การไหลล้น พบว่าโค้งควบคุม SOP3-Avs[52] มีปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุด ปริมาณน้ำน้ำขาดแคลนมากที่สุด ค่าความถี่น้ำขาดแคลนมีค่า  $101.346 \pm 0.855$  ล้าน ลบ.ม.  $369.000 \pm 0.275$  ล้าน ลบ.ม. และ  $0.845 \pm 0.238$  ครั้ง/ปี ตามลำดับ สถานการณ์การไหลล้น พบว่า ปริมาณค่าเฉลี่ยของน้ำไหลล้นน้อยที่สุด ปริมาณค่าเฉลี่ยของน้ำไหลล้นมากที่สุด และค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด มีค่า  $1,012.631 \pm 0.198$  ล้าน ลบ.ม.  $5,918.752 \pm 0.448$  ล้าน ลบ.ม. และ  $0.904 \pm 0.448$  ครั้ง/ปี ตามลำดับ



4.2.4 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นของโค้งควบคุมที่เหมาะสม (พิจารณาตะกอน) ใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR และ SOP ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำในอดีต 1 ชุดเหตุการณ์

ผลการประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมที่เหมาะสมภายใต้เกณฑ์การปล่อยน้ำ HR และ SOP สถานการณ์การขาดแคลนน้ำและน้ำไหลล้นที่เกิดจากการใช้เส้นโค้งควบคุมใหม่ที่สร้างขึ้นจาก MPA ที่มีเกณฑ์ HR และเกณฑ์ SOP (พิจารณาตะกอน) แสดงไว้ในตาราง 4.6 และ 4.7 จะเห็นได้ว่า สถานการณ์การขาดแคลนน้ำเมื่อใช้การไหลเข้าในอดีต 52 ปี ภายใต้การทดสอบบนเกณฑ์ HR เส้นโค้ง HR3s-Avs[52] ที่เกิดจากเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR (พิจารณาปริมาณตะกอน) โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็น ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด น้ำท่าอดีตในช่วง 52 ปี มีค่าน้อยที่สุดในสถานการณ์ขาดแคลนน้ำ คือ 95.558 ล้าน ลบ.ม/ปี และ 693.000 ล้าน ลบ.ม/ปี สำหรับค่าเฉลี่ยการขาดแคลนน้ำและการขาดแคลนน้ำสูงสุดตามลำดับ ในขณะที่ความถี่ของการขาดแคลนน้ำมีค่าเท่ากับ 0.684 ครั้ง/ปี ซึ่งมีค่าน้อยกว่าโค้งควบคุมที่สร้างเกณฑ์การปล่อยน้ำ SOP และโค้งควบคุมเดิม (Existing) มากไปกว่านั้นสถานการณ์น้ำไหลล้น เมื่อใช้โค้งควบคุม HR3-Avs[52] มีค่าต่ำสุดที่ 95.558 ล้าน ลบ.ม/ปี และ 1,098.936 ล้าน ลบ.ม/ปี สำหรับน้ำไหลล้นเฉลี่ย และน้ำไหลล้นสูงสุดตามลำดับ ในขณะที่ความถี่ของการขาดแคลนน้ำมีค่าเท่ากับ 0.883 ครั้ง/ปี และจากตาราง 4.3 ผลการประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมเมื่อใช้การไหลเข้า ในอดีต 52 ปี (พ.ศ.2512–2563) ภายใต้การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมด้วยเกณฑ์ปล่อยน้ำแบบ SOP ก็เช่นเดียวกัน

นอกจากนี้ผลลัพธ์ที่แสดงตาราง 4.6 และ 4.7 ยังระบุด้วยว่าสถานการณ์การขาดแคลนน้ำและปริมาณน้ำไหลล้นมีความแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาถึงการตกตะกอนหรือไม่กรณีพิจารณาการตกตะกอนแบบพิจารณาและไม่พิจารณาได้รับการประเมินโดยใช้พื้นที่ผิวน้ำและเส้นโค้งความจุ การสะสมของตะกอนจากปริมาณน้ำฝนที่ไหลลงสู่อ่างเก็บน้ำส่งผลให้ความจุอ่างเก็บน้ำลดลง จึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงการสะสมของตะกอนในระยะยาวของอ่างเก็บน้ำ ดังนั้น การทำงานของอ่างเก็บน้ำในระยะยาวโดยพิจารณาจากการสะสมของตะกอนจึงเป็นตัวแปรสำคัญในการทำงาน เพื่อให้เกิดความยั่งยืนในอนาคตสามารถสรุปได้ว่า MPA ที่เชื่อมโยงกับการจำลองแหล่งกักเก็บโดยใช้เกณฑ์ HR และการพิจารณาการตกตะกอนสามารถใช้เพื่อค้นหาวิธีแก้ปัญหาเส้นโค้งกฎที่เหมาะสมที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตาราง 4.6 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นของโค้งควบคุมที่เหมาะสม (พิจารณาตะกอน) ใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำในอดีต 1 ชุดเหตุการณ์

สถานการณ์	โค้งควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
น้ำขาด แคลน	Existing	0.673	204.308	865.000	3.889	8.000
	HR1s-Avs[10]	0.726	164.318	780.000	3.479	7.000
	HR2s-Avs[20]	0.702	124.318	736.000	3.410	7.000
	HR3s-Avs[52]	0.684	95.558	693.000	3.375	5.000
	HR1s-Fqs[10]	0.533	141.758	809.000	3.902	7.000
	HR2s-Fqs[20]	0.537	139.518	765.000	3.813	7.000
	HR3s-Fqs[52]	0.519	128.058	722.000	3.778	7.000
	HR1s-Exr[10]	0.649	130.737	802.000	3.791	7.000
	HR2s- Exr[20]	0.653	128.537	758.000	3.702	7.000
	HR3s- Exr[52]	0.635	117.077	715.000	3.667	7.000
	HR1s- Fqex [10]	0.629	114.692	831.000	3.680	7.000
	HR2s- Fqex [20]	0.633	109.452	787.000	3.591	7.000
	HR3s- Fqex [52]	0.615	104.692	744.000	3.556	7.000
	SOP1s-Avs[10]	0.621	130.850	867.000	3.424	7.000
	SOP2s-Avs[20]	0.617	129.530	848.000	3.335	7.000
	SOP3s-Avs[52]	0.635	117.750	835.000	3.300	7.000
	SOP1s-Fqs[10]	0.601	155.191	880.000	3.680	7.000
	SOP2s-Fqs[20]	0.597	153.741	876.000	3.591	7.000
	SOP3s-Fqs[52]	0.615	141.981	863.000	3.556	7.000
	SOP1s-Exr[10]	0.601	160.356	960.000	3.680	7.000
	SOP2s- Exr[20]	0.597	158.306	916.000	3.591	7.000
SOP3s- Exr[52]	0.615	146.596	873.000	3.556	7.000	

สถานการณ์	โค้งควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
	SOP1s- Fqex [10]	0.601	129.681	764.100	3.680	7.000
	SOP2s- Fqex [20]	0.597	127.741	760.120	3.591	7.000
	SOP3s- Fqex [52]	0.615	115.981	717.000	3.556	7.000
น้ำไหลล้น	Existing	0.923	1,230.310	4,113.160	9.600	21.000
	HR1s-Avs[10]	0.879	1,100.870	4,132.660	5.374	9.000
	HR2s-Avs[20]	0.883	1,098.936	4,111.660	5.285	9.000
	HR3s-Avs[52]	0.865	1,087.810	4,105.660	5.250	9.000
	HR1s-Fqs[10]	0.822	1,133.670	4,158.930	9.124	13.000
	HR2s-Fqs[20]	0.826	1,132.270	4,160.740	9.035	13.000
	HR3s-Fqs[52]	0.808	1,120.510	4,146.840	9.000	13.000
	HR1s-Exr[10]	0.860	1,124.950	4,183.400	7.457	13.000
	HR2s-Exr[20]	0.864	1,123.130	4,162.270	7.368	13.000
	HR3s-Exr[52]	0.846	1,111.390	4,156.170	7.333	13.000
	HR1s-Fqex [10]	0.860	1,115.590	4,184.410	7.457	13.000
	HR2s-Fqex [20]	0.864	2,257.830	4,163.640	7.368	13.000
	HR3s-Fqex [52]	0.846	1,101.830	4,157.410	7.333	13.000
	SOP1s-Avs[10]	0.841	1,120.380	4,170.350	6.267	10.000
	SOP2s-Avs[20]	0.847	1,118.440	4,149.350	6.178	10.000
	SOP3s-Avs[52]	0.827	1,106.680	4,143.350	6.143	10.000
	SOP1s-Fqs[10]	0.899	1,148.670	4,175.730	11.624	24.000
	SOP2s-Fqs[20]	0.885	1,146.690	4,156.620	11.535	24.000
SOP3s-Fqs[52]	0.885	1,134.930	4,150.620	11.500	24.000	

สถานการณ์	โค้งควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
	SOP1s-Exr[10]	0.899	1,155.850	4,180.180	11.624	24.000
	SOP2s- Exr[20]	0.903	1,154.550	4,160.150	11.535	24.000
	SOP3s- Exr[52]	0.885	1,142.790	4,154.140	11.500	24.000
	SOP1s- Fqex [10]	0.860	1,131.450	4,185.350	7.457	13.000
	SOP2s- Fqex [20]	0.864	1,130.050	4,164.360	7.368	13.000
	SOP3s- Fqex [52]	0.846	1,118.290	4,158.340	7.333	13.000

ตาราง 4.7 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นของโค้งควบคุมที่เหมาะสม (พิจารณาตะกอน) ใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ SOP ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำในอดีต 1 ชุดเหตุการณ์

สถานการณ์	โค้งควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
น้ำขาด แคลน	Existing	0.865	349.654	870.000	7.500	19.000
	HR1s-Avs[10]	0.773	234.741	804.000	3.104	7.000
	HR2s-Avs[20]	0.749	194.741	760.000	3.035	7.000
	HR3s-Avs[52]	0.731	165.981	717.000	3.000	5.000
	HR1s-Fqs[10]	0.706	215.296	884.000	4.124	7.000
	HR2s-Fqs[20]	0.710	213.056	840.000	4.035	7.000
	HR3s-Fqs[52]	0.692	201.596	797.000	4.000	7.000
	HR1s-Exr[10]	0.687	203.679	856.000	4.013	7.000
	HR2s-Exr[20]	0.691	201.479	812.000	3.924	7.000

สถานการณ์	โศกภัยควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
สถานการณ์	HR3s-Exr[52]	0.673	190.019	769.000	3.889	7.000
	HR1s-Fqex [10]	0.687	206.462	872.000	4.013	7.000
	HR2s-Fqex [20]	0.691	201.222	828.000	3.924	7.000
	HR3s-Fqex [52]	0.673	196.462	785.000	3.889	7.000
	SOP1s-Avs[10]	0.678	216.446	905.000	4.124	7.000
	SOP2s-Avs[20]	0.674	215.126	886.000	4.035	7.000
	SOP3sAvs[52]	0.692	203.346	873.000	4.000	7.000
	SOP1s-Fqs[10]	0.517	233.037	878.000	4.346	7.000
	SOP2s-Fqs[20]	0.513	231.587	874.000	4.257	7.000
	SOP3s-Fqs[52]	0.531	219.827	861.000	4.222	7.000
	SOP1s-Exr[10]	0.553	265.510	959.000	4.346	7.000
	SOP2s-Exr[20]	0.549	263.460	915.000	4.257	7.000
	SOP3s-Exr[52]	0.567	251.750	872.000	4.222	7.000
	SOP1-Fqex [10]	0.563	261.123	915.100	4.346	7.000
	SOP2-Fqex [20]	0.559	259.183	911.120	4.257	7.000
	SOP3-Fqex [52]	0.577	247.423	868.000	4.222	7.000
น้ำไหลล้น	Existing	0.965	1,369.510	4,113.160	16.667	25.000
	HR1s-Avs[10]	0.976	1,160.790	4,132.660	11.874	24.000
	HR2s-Avs[20]	0.980	1,158.856	4,111.660	11.785	24.000
	HR3s-Avs[52]	0.962	1,147.730	4,105.660	11.750	24.000
	HR1s-Fqs[10]	0.918	1,199.970	4,158.930	24.124	24.000
	HR2s-Fqs[20]	0.922	1,198.570	4,160.740	24.035	24.000
	HR3s-Fqs[52]	0.904	1,186.810	4,146.840	24.000	24.000
	HR1s-Exr[10]	0.937	1,189.950	4,183.400	15.791	24.000
HR2s- Exr[20]	0.941	1,188.130	4,162.270	15.702	24.000	

สถานการณ์	โค้งควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
	HR3s- Exr[52]	0.923	1,176.390	4,156.170	15.667	24.000
	HR1s- Fqex [10]	0.937	1,198.800	4,184.410	16.124	25.000
	HR2s- Fqex [20]	0.941	2,341.040	4,163.640	16.035	25.000
	HR3s- Fqex [52]	0.923	1,185.040	4,157.410	16.000	25.000
	SOP1s-Avs[10]	0.937	1,201.200	4,170.350	16.124	24.000
	SOP2s-Avs[20]	0.943	1,199.260	4,149.350	16.035	24.000
	SOP3s-Avs[52]	0.923	1,187.500	4,143.350	16.000	24.000
	SOP1s-Fqs[10]	0.956	1,226.510	4,175.730	24.624	25.000
	SOP2s-Fqs[20]	0.942	1,224.530	4,156.620	24.535	25.000
	SOP3s-Fqs[52]	0.942	1,212.770	4,150.620	24.500	25.000
	SOP1s-Exr[10]	0.976	1,257.280	4,180.180	25.124	25.000
	SOP2s- Exr[20]	0.980	1,255.980	4,160.150	25.035	25.000
	SOP3s- Exr[52]	0.962	1,244.220	4,154.140	25.000	25.000
	SOP1s- Fqex [10]	0.918	1,253.660	4,185.350	25.124	25.000
	SOP2s- Fqex [20]	0.922	1,252.260	4,164.360	25.035	25.000
	SOP3s- Fqex [52]	0.904	1,240.500	4,158.340	25.000	25.000



4.2.5 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นของโค้งควบคุมที่เหมาะสม (พิจารณาตะกอน) ใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR และ SOP ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำในอดีต 1,000 ชุดเหตุการณ์

ตาราง 4.8 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นของโค้งควบคุมที่เหมาะสม (พิจารณาตะกอน) ใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำในอดีต 1,000 ชุดเหตุการณ์

สถานการณ์	โค้งควบคุม		ความถี่ (ครั้ง/ ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
				เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
น้ำขาด แคลน	Existing	$\mu$	0.942	334.962	889.000	10.250	22.000
		$\sigma$	0.151	0.889	0.849	0.848	0.817
	HR1s- Avs[10]	$\mu$	0.620	207.779	711.000	3.204	10.000
		$\sigma$	0.744	0.498	0.849	0.179	0.640
	HR2s- Avs[20]	$\mu$	0.614	187.779	667.000	3.135	10.000
		$\sigma$	0.548	0.518	0.589	0.741	0.868
	HR3s- Avs[52]	$\mu$	0.596	139.019	624.000	3.100	10.000
		$\sigma$	0.746	0.849	0.849	0.848	0.849
	HR1s- Fqs[10]	$\mu$	0.879	211.525	685.000	6.553	16.000
		$\sigma$	0.496	0.489	0.897	0.489	0.416
	HR2s- Fqs[20]	$\mu$	0.883	209.325	641.000	6.464	16.000
		$\sigma$	0.184	0.194	0.137	0.198	0.848
	HR3s- Fqs[52]	$\mu$	0.865	197.865	598.000	6.429	16.000
		$\sigma$	0.484	0.897	0.841	0.897	0.849
	HR1s-Exr[10]	$\mu$	0.841	197.062	582.000	4.902	10.000
		$\sigma$	0.595	0.841	0.651	0.485	0.449
	HR2s- Exr[20]	$\mu$	0.845	195.742	563.000	4.813	10.000
		$\sigma$	0.449	0.154	0.655	0.659	0.499

สถานการณ์	โด้งควบคุม		ความถี่ (ครั้ง/ ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
				เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
HR3s- Exr[52]	$\mu$	0.827	183.962	550.000	4.778	10.000	
	$\sigma$	0.235	0.484	0.484	0.489	0.849	
HR1s- Fqex [10]	$\mu$	0.860	204.683	762.000	5.624	19.000	
	$\sigma$	0.234	0.848	0.489	0.898	0.494	
HR2s- Fqex [20]	$\mu$	0.864	202.633	718.000	5.535	19.000	
	$\sigma$	0.266	0.591	948.000	0.494	0.448	
HR3s- Fqex [52]	$\mu$	0.846	190.923	675.000	5.500	19.000	
	$\sigma$	0.268	0.488	0.491	0.484	0.894	
SOP1s- Avs[10]	$\mu$	0.860	202.798	762.000	5.624	14.000	
	$\sigma$	0.549	0.554	0.496	0.446	0.697	
SOP2s- Avs[20]	$\mu$	0.864	200.748	718.000	5.535	14.000	
	$\sigma$	0.123	0.642	0.461	0.644	0.464	
SOP3s- Avs[52]	$\mu$	0.846	189.038	675.000	5.500	14.000	
	$\sigma$	0.354	0.364	0.465	0.464	0.113	
SOP1s- Fqs[10]	$\mu$	0.937	224.106	628.000	12.124	37.000	
	$\sigma$	0.141	0.648	0.494	0.746	0.464	
SOP2s- Fqs[20]	$\mu$	0.941	222.056	584.000	12.035	37.000	
	$\sigma$	0.133	0.642	0.461	0.563	0.146	
SOP3s- Fqs[52]	$\mu$	0.923	210.346	541.000	12.000	37.000	
	$\sigma$	0.163	0.652	0.456	0.451	0.146	
SOP1s- Exr[10]	$\mu$	0.956	252.587	919.000	16.457	42.000	
	$\sigma$	0.156	0.164	0.146	0.446	0.164	
SOP2s- Exr[20]	$\mu$	0.960	250.537	875.000	16.368	42.000	
	$\sigma$	0.332	0.621	0.461	0.644	0.669	
	$\mu$	0.942	238.827	832.000	16.333	42.000	



สถานการณ์	โด้งควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)		
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด	
	SOP3s- Exr[52]	$\sigma$	0.342	0.141	0.146	0.465	0.494
	SOP1s-Fqex [10]	$\mu$	0.956	248.760	919.000	16.457	42.000
		$\sigma$	0.212	0.131	0.631	0.641	0.361
	SOP12s- Fqex [20]	$\mu$	0.960	246.710	875.000	16.368	42.000
		$\sigma$	0.166	0.163	0.146	0.264	0.641
	SOP3s-Fqex [52]	$\mu$	0.942	235.000	832.000	16.333	42.000
$\sigma$		0.126	0.164	0.416	0.161	0.641	
น้ำไหลล้น	Existing	$\mu$	0.981	1,288.659	6,468.954	25.500	38.000
		$\sigma$	0.654	0.465	0.462	0.166	0.542
	HR1s- Avs[10]	$\mu$	0.937	1,076.818	6,380.849	12.124	27.000
		$\sigma$	0.152	0.612	0.121	0.316	0.145
	HR2s- Avs[20]	$\mu$	0.941	1,074.768	6,236.849	12.035	27.000
		$\sigma$	0.125	0.321	0.325	0.362	0.523
	HR3s- Avs[52]	$\mu$	0.923	1,063.058	6,193.849	12.000	27.000
		$\sigma$	0.131	0.612	0.213	0.333	0.235
	HR4s- Fqs[10]	$\mu$	0.956	1,135.649	6,380.849	12.374	28.000
		$\sigma$	0.316	0.662	0.613	0.631	0.316
	HR5s- Fqs[20]	$\mu$	0.960	1,133.599	6,336.849	12.285	28.000
		$\sigma$	0.152	0.661	0.161	0.261	0.661
	HR6s- Fqs[52]	$\mu$	0.942	1,121.889	6,293.849	12.250	28.000
		$\sigma$	0.615	0.166	0.615	0.261	0.261
	HR7s-Exr[10]	$\mu$	0.956	1,121.046	6,380.849	12.374	28.000
		$\sigma$	0.135	0.164	0.661	0.161	0.615
	HR8s-Exr[20]	$\mu$	0.960	1,118.996	6,336.849	12.285	28.000

สถานการณ์	โด้งควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)		
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด	
		$\sigma$	0.322	0.132	0.216	0.215	0.562
	HR9s-Exr[52]	$\mu$	0.942	1,107.286	6,293.849	12.250	28.000
		$\sigma$	0.165	0.561	0.162	0.641	0.315
	HR10s-Fqex [10]	$\mu$	0.956	1,130.462	6,380.849	12.374	28.000
		$\sigma$	0.162	0.164	0.484	0.564	0.132
	HR11s-Fqex [20]	$\mu$	0.960	1,128.412	6,336.849	12.285	162.000
		$\sigma$	0.165	0.466	0.544	0.235	0.546
	HR12s-Fqex [52]	$\mu$	0.942	1,116.702	6,293.849	12.250	28.000
		$\sigma$	0.325	0.162	0.464	0.452	0.615
	SOP1s- Avs[10]	$\mu$	0.976	1,123.291	6,380.849	16.791	33.000
		$\sigma$	0.261	0.262	0.223	0.624	0.254
	SOP2s- Avs[20]	$\mu$	0.980	1,121.241	6,336.849	16.702	33.000
		$\sigma$	0.162	0.115	0.662	0.166	0.541
	SOP3s- Avs[52]	$\mu$	0.962	1,109.531	6,293.849	16.667	33.000
		$\sigma$	0.636	0.642	0.911	0.261	0.224
	SOP1s- Fqs[10]	$\mu$	0.995	1,159.754	6,380.849	25.624	39.000
		$\sigma$	0.462	0.544	0.164	0.145	0.664
	SOP2s- Fqs[20]	$\mu$	0.999	1,157.704	6,336.849	25.535	39.000
		$\sigma$	0.665	0.465	0.164	0.462	0.562
	SOP3s- Fqs[52]	$\mu$	0.981	1,145.994	6,293.849	25.500	39.000
		$\sigma$	0.262	0.661	0.156	0.161	0.642
	SOP1s- Exr[10]	$\mu$	1.014	1,186.986	6,380.849	52.124	52.000
		$\sigma$	0.226	0.146	0.624	0.154	0.146
	SOP2s- Exr[20]	$\mu$	1.018	1,184.936	6,336.849	52.035	52.000
		$\sigma$	0.461	0.365	0.546	0.625	0.542

สถานการณ์	โด้งควบคุม		ความถี่ (ครั้ง/ ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
				เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
SOP3s- Exr[52]	$\mu$	1.000	1,173.226	6,293.849	52.000	52.000	
	$\sigma$	0.331	0.611	0.612	0.412	0.642	
SOP1s-Fqex [10]	$\mu$	1.014	1,183.472	6,380.849	52.124	52.000	
	$\sigma$	0.648	0.465	0.654	0.531	0.462	
SOP2s-Fqex [20]	$\mu$	1.018	1,181.422	6,336.849	52.035	52.000	
	$\sigma$	0.655	0.161	0.642	0.461	0.425	
SOP3s-Fqex [52]	$\mu$	1.000	1,169.712	6,293.849	52.000	52.000	
	$\sigma$	0.545	0.146	0.415	0.103	0.646	

$\mu$  = ค่าเฉลี่ย  $\sigma$  = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 4.9 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นของโด้งควบคุมที่เหมาะสม (พิจารณาตะกอน) ใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ SOP ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำในอดีต 1,000 ชุด เหตุการณ์

สถานการณ์	โด้งควบคุม		ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
				เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
น้ำขาด แคลน	Existing	$\mu$	0.673	166.423	721.000	3.500	8.000
		$\sigma$	0.155	0.161	0.615	0.162	0.512
	HR1s- Avs[10]	$\mu$	0.466	135.837	592.000	2.979	6.000
		$\sigma$	0.152	0.155	0.165	0.541	0.545
	HR2s- Avs[20]	$\mu$	0.460	115.837	548.000	2.910	6.000
		$\sigma$	0.236	0.269	0.515	0.541	0.221
	HR3s- Avs[52]	$\mu$	0.442	67.077	505.000	2.875	6.000
		$\sigma$	0.324	0.352	0.324	0.254	0.633

สถานการณ์	โด่งควบคุม		ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
				เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
HR1s- Fqs[10]	$\mu$	0.860	113.814	721.000	7.457	16.000	
	$\sigma$	0.365	0.541	0.516	0.652	0.166	
HR2s- Fqs[20]	$\mu$	0.864	111.614	677.000	7.368	16.000	
	$\sigma$	0.482	0.632	0.489	0.155	0.158	
HR3s- Fqs[52]	$\mu$	0.846	100.154	634.000	7.333	16.000	
	$\sigma$	0.541	0.515	0.185	0.548	0.855	
HR1s-Exr[10]	$\mu$	0.745	100.908	623.000	3.291	7.000	
	$\sigma$	0.195	0.545	0.512	0.614	0.355	
HR2s- Exr[20]	$\mu$	0.749	99.588	604.000	3.202	7.000	
	$\sigma$	0.693	0.565	0.652	0.231	0.623	
HR3s- Exr[52]	$\mu$	0.731	87.808	591.000	3.167	7.000	
	$\sigma$	0.656	0.661	0.521	0.466	0.652	
HR1s- Fqex [10]	$\mu$	0.745	87.241	624.000	3.579	8.000	
	$\sigma$	0.449	0.008	0.009	0.005	0.007	
HR2s- Fqex [20]	$\mu$	0.749	85.191	580.000	3.490	8.000	
	$\sigma$	0.151	0.163	0.512	0.132	0.612	
HR3s- Fqex [52]	$\mu$	0.731	73.481	537.000	3.455	8.000	
	$\sigma$	0.153	0.351	0.168	0.561	0.614	
SOP1s- Avs[10]	$\mu$	0.726	97.856	495.000	3.207	8.000	
	$\sigma$	0.562	0.563	0.651	0.156	0.612	
SOP2s- Avs[20]	$\mu$	0.730	95.806	451.000	3.118	8.000	
	$\sigma$	496.000	0.495	0.166	0.516	0.641	
SOP3s- Avs[52]	$\mu$	0.712	84.096	408.000	3.083	8.000	
	$\sigma$	0.151	0.312	0.156	0.516	0.141	
	$\mu$	0.802	139.164	572.000	4.680	9.000	

สถานการณ์	โครงสร้างควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)		
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด	
สถานการณ์	SOP1s- Fqs[10]	σ	0.166	0.116	0.652	0.116	0.261
		μ	0.806	137.114	528.000	4.591	9.000
	SOP2s- Fqs[20]	σ	0.561	0.515	0.165	0.161	0.165
		μ	0.788	125.404	485.000	4.556	9.000
	SOP3s- Fqs[52]	σ	0.185	0.984	0.158	0.166	0.156
		μ	0.802	137.260	653.000	4.680	9.000
	SOP1s- Exr[10]	σ	0.166	0.961	0.616	0.156	0.612
		μ	0.806	135.210	609.000	4.591	9.000
	SOP2s- Exr[20]	σ	0.163	0.611	0.551	0.245	0.561
		μ	0.788	123.500	566.000	4.556	9.000
	SOP3s- Exr[52]	σ	0.416	0.164	0.854	0.612	0.511
		μ	0.802	105.587	552.000	4.680	9.000
	SOP1s-Fqex [10]	σ	0.156	0.416	0.151	0.548	0.151
		μ	0.806	103.537	508.000	4.591	9.000
	SOP12s- Fqex [20]	σ	0.168	0.565	0.516	0.155	0.169
		μ	0.788	91.827	465.000	4.556	9.000
SOP3s-Fqex [52]	σ	0.162	0.561	0.181	0.151	0.623	
	μ	0.981	1,288.659	5,868.954	25.500	38.000	
น้ำไหลกลับ	Existing	σ	0.156	0.562	0.166	0.626	0.162
		μ	0.899	1,007.621	5,935.693	9.324	27.000
	HR1s- Avs[10]	σ	0.423	0.654	0.615	0.634	0.612
		μ	0.903	1,005.571	5,891.693	9.235	27.000
	HR2s- Avs[20]	σ	0.315	0.364	0.622	0.652	0.631
		μ	0.885	993.861	5,848.693	9.200	27.000

สถานการณ์	โค้งควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
HR3s-Avs[52]	σ	0.641	0.655	0.646	0.152	0.625
	μ	0.918	1,044.482	6,063.849	9.524	28.000
HR4s-Fqs[10]	σ	0.563	0.625	0.625	0.154	0.156
	μ	0.922	1,042.432	6,019.849	9.435	28.000
HR5s-Fqs[20]	σ	0.235	0.316	0.420	0.364	0.152
	μ	0.904	1,030.722	5,976.849	9.400	28.000
HR6s-Fqs[52]	σ	0.321	0.622	0.615	0.261	0.616
	μ	0.918	1,031.350	5,995.023	11.874	27.000
HR7s-Exr[10]	σ	0.142	0.633	0.648	0.615	0.462
	μ	0.922	1,029.300	5,951.023	11.785	27.000
HR8s-Exr[20]	σ	0.121	0.008	0.009	0.005	0.007
	μ	0.904	1,017.590	5,908.023	11.750	27.000
HR9s-Exr[52]	σ	0.261	0.161	0.623	0.165	0.611
	μ	0.918	1,020.956	5,901.951	11.874	27.000
HR10s-Fqex [10]	σ	0.352	0.664	0.164	0.612	0.652
	μ	0.922	1,018.906	5,857.951	11.785	27.000
HR11s-Fqex [20]	σ	0.646	0.656	0.616	0.631	0.661
	μ	0.904	1,007.196	5,814.951	11.750	27.000
HR12s-Fqex [52]	σ	0.266	0.145	0.634	0.165	0.156
	μ	0.918	1,024.614	6,011.454	11.874	27.000
SOP1s-Avs[10]	σ	0.326	0.263	0.241	0.642	0.652
	μ	0.922	1,022.564	5,967.454	11.785	27.000
SOP2s-Avs[20]	σ	0.416	0.623	0.642	0.654	0.264
	μ	0.904	1,010.854	5,924.454	11.750	27.000

สถานการณ์	โด่งควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
SOP3s-Avs[52]	σ	0.262	0.624	0.236	0.164	0.158
SOP1s-Fqs[10]	μ	0.956	1,074.546	5,972.514	12.374	28.000
	σ	0.652	0.235	0.612	0.696	0.646
SOP2s-Fqs[20]	μ	0.960	1,072.496	5,928.514	12.285	28.000
	σ	0.256	0.621	0.141	0.565	0.126
SOP3s-Fqs[52]	μ	0.942	1,060.786	5,885.514	12.250	28.000
	σ	0.116	0.341	0.621	0.156	0.261
SOP1s-Exr[10]	μ	0.956	1,074.406	6,063.849	12.374	28.000
	σ	0.631	0.611	0.136	0.564	0.416
SOP2s-Exr[20]	μ	0.960	1,072.356	6,019.849	12.285	28.000
	σ	0.261	0.165	0.156	0.665	0.615
SOP3s-Exr[52]	μ	0.942	1,060.646	5,976.849	12.250	28.000
	σ	0.167	0.155	0.234	0.321	0.124
SOP1s-Fqex [10]	μ	0.937	1,044.823	5,992.457	12.124	28.000
	σ	0.654	0.615	0.156	0.654	0.232
SOP2s-Fqex [20]	μ	0.941	1,042.773	5,948.457	12.035	28.000
	σ	0.543	0.231	0.262	0.015	0.646
SOP3s-Fqex [52]	μ	0.923	1,031.063	5,905.457	12.000	28.000
	σ	0.268	0.331	0.612	0.164	0.652

μ = ค่าเฉลี่ย σ = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

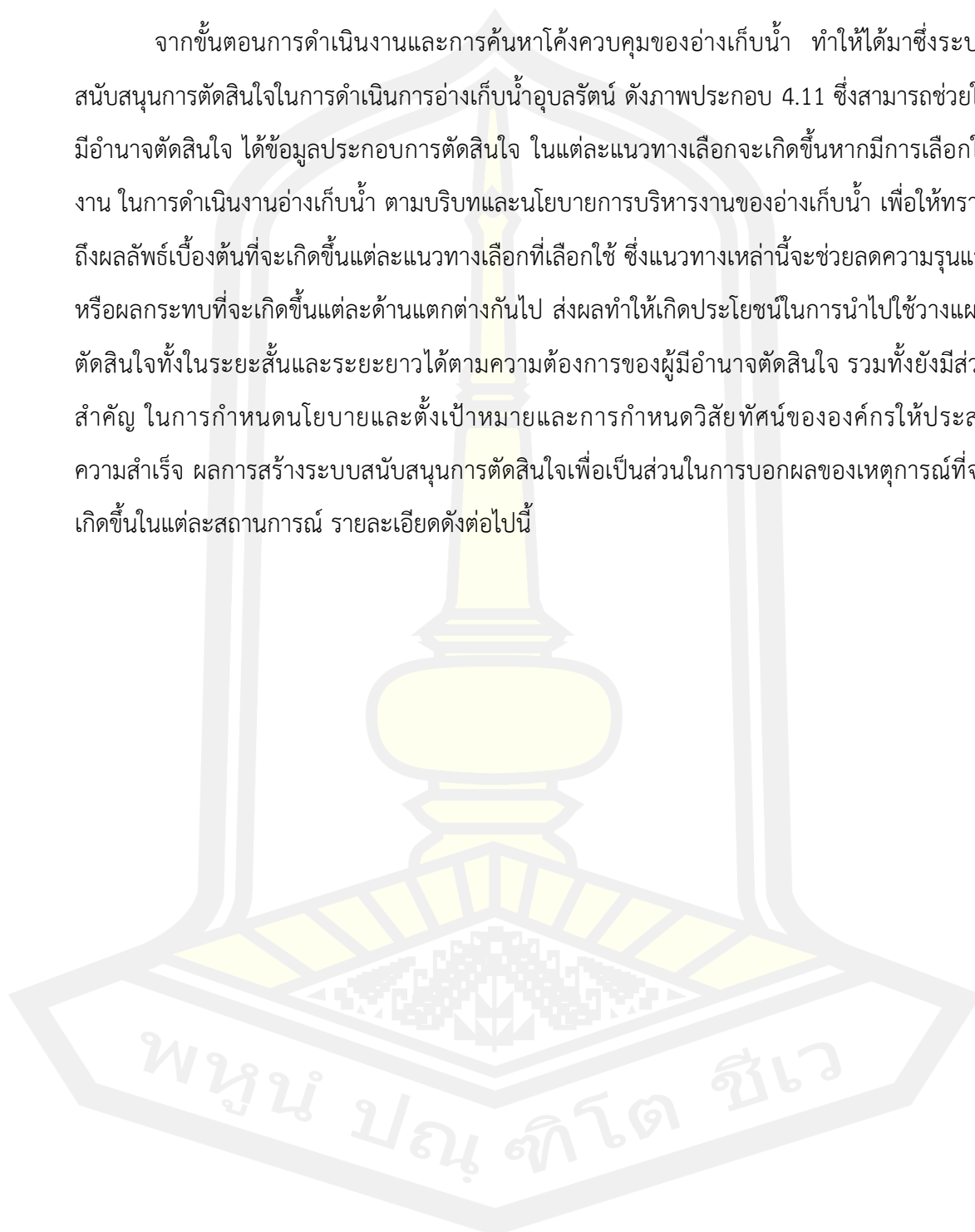
จากตาราง 4.8 การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ ในระยะยาวโดยใช้ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ด้วยข้อมูลที่สังเคราะห์จากข้อมูลอดีต 52 ปี (พ.ศ.2512 – 2563) จำนวน 1,000 ชุดข้อมูล (ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: น้ำขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุด ค่าความถี่น้ำขาดแคลนน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ยของน้ำไหลล้นน้อยที่สุด ค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด) เมื่อใช้โค้งควบคุมใหม่ที่ได้จากเทคนิค MPA และ โค้งควบคุมเดิม (Existing) ภายใต้การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำใช้เกณฑ์ปล่อยน้ำ HR เพื่อประเมินสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ การไหลล้น พบว่าโค้งควบคุม HR3-Avs[52] ที่คาบการเกิดซ้ำ 52 ปี มีปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุด ปริมาณน้ำน้ำขาดแคลนมากที่สุด ค่าความถี่น้ำขาดแคลนมีค่า  $139.019 \pm 0.849$  ล้าน ลบ.ม.  $624.000 \pm 0.849$  ล้าน ลบ.ม. และ  $0.596 \pm 0.746$  ครั้ง/ปี ตามลำดับ สถานการณ์การไหลล้น พบว่า ปริมาณค่าเฉลี่ยของน้ำไหลล้นน้อยที่สุด ปริมาณค่าเฉลี่ยของน้ำไหลล้นมากที่สุด และค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด มีค่า  $1,063.058 \pm 0.612$  ล้าน ลบ.ม.  $6,193.849 \pm 0.213$  ล้าน ลบ.ม. และ  $0.923 \pm 0.131$  ครั้ง/ปี ตามลำดับ โดยภาพรวมแล้วสถานการณ์น้ำขาดแคลนและสถานการณ์น้ำไหลล้นจากการใช้โค้งควบคุมใหม่ด้วยเกณฑ์ HR จะมีค่าน้อยกว่าโค้งควบคุมเดิม (Existing)

จากตาราง 4.9 การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ ในระยะยาวโดยใช้ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ด้วยข้อมูลที่สังเคราะห์จากข้อมูลอดีต 52 ปี (พ.ศ.2512 – 2563) จำนวน 1,000 ชุดข้อมูล (ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: น้ำขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุด ค่าความถี่น้ำขาดแคลนน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ยของน้ำไหลล้นน้อยที่สุด ค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด) เมื่อใช้โค้งควบคุมใหม่ที่ได้จากเทคนิค MPA และ โค้งควบคุมเดิม (Existing) ภายใต้การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำใช้เกณฑ์ปล่อยน้ำ SOP เพื่อประเมินสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ การไหลล้น พบว่าโค้งควบคุม SOP3-Avs[52] มีปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุด ปริมาณน้ำน้ำขาดแคลนมากที่สุด ค่าความถี่น้ำขาดแคลนมีค่า  $67.077 \pm 0.352$  ล้าน ลบ.ม.  $505.000 \pm 0.324$  ล้าน ลบ.ม. และ  $0.442 \pm 0.324$  ครั้ง/ปี ตามลำดับ สถานการณ์การไหลล้น พบว่า ปริมาณค่าเฉลี่ยของน้ำไหลล้นน้อยที่สุด ปริมาณค่าเฉลี่ยของน้ำไหลล้นมากที่สุด และค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด มีค่า  $993.861 \pm 0.655$  ล้าน ลบ.ม.  $5,848.693 \pm 0.646$  ล้าน ลบ.ม. และ  $0.885 \pm 0.641$  ครั้ง/ปี ตามลำดับ

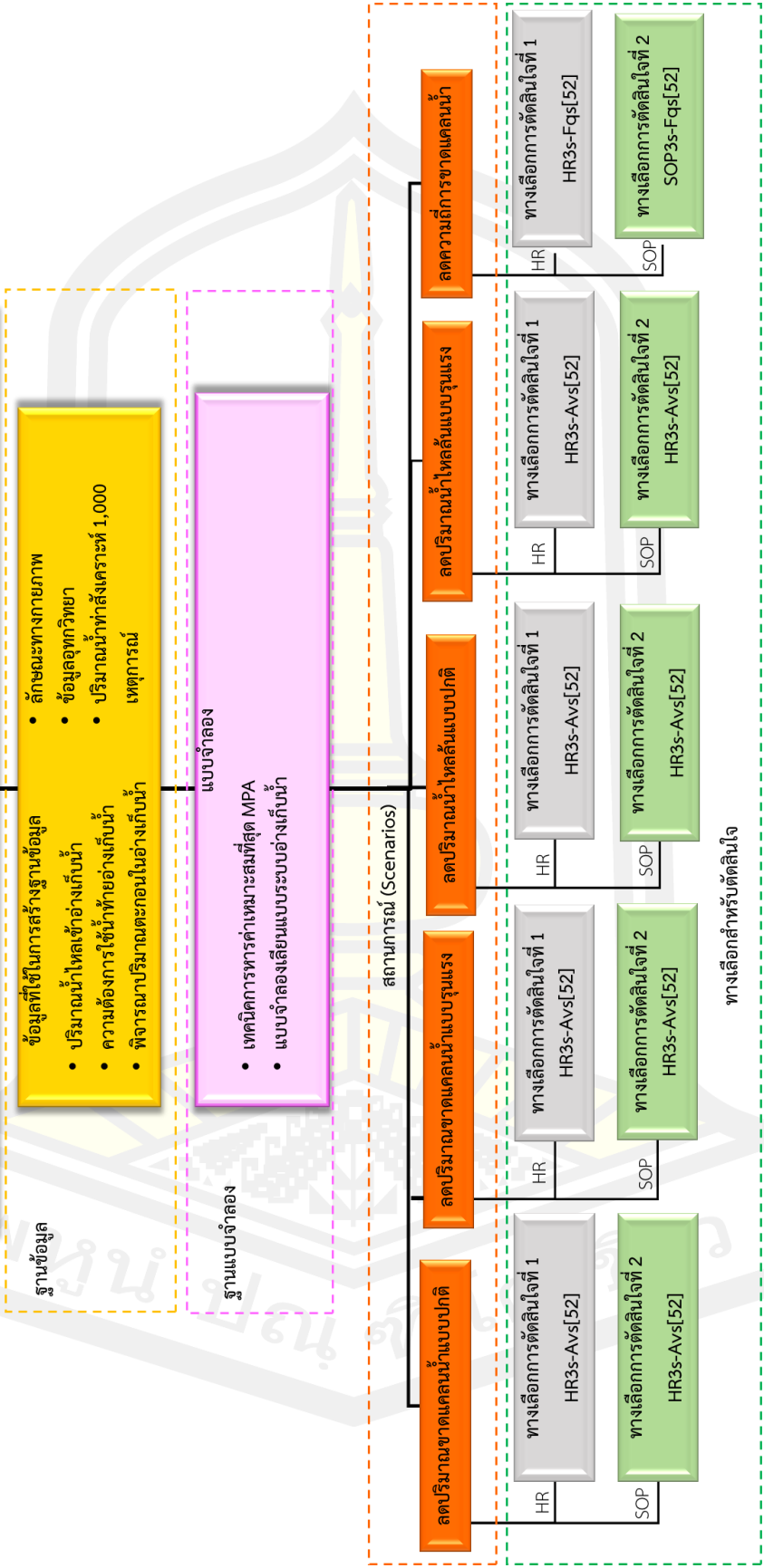


### 4.3 ผลการสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

จากขั้นตอนการดำเนินงานและการค้นหาปัจจัยควบคุมของอ่างเก็บน้ำ ทำให้ได้มาซึ่งระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการดำเนินการอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ ดังภาพประกอบ 4.11 ซึ่งสามารถช่วยให้มีอำนาจตัดสินใจ ได้ข้อมูลประกอบการตัดสินใจ ในแต่ละแนวทางเลือกจะเกิดขึ้นหากมีการเลือกใช้งาน ในการดำเนินงานอ่างเก็บน้ำ ตามบริบทและนโยบายการบริหารงานของอ่างเก็บน้ำ เพื่อให้ทราบถึงผลลัพธ์เบื้องต้นที่จะเกิดขึ้นแต่ละแนวทางเลือกที่เลือกใช้ ซึ่งแนวทางเหล่านี้จะช่วยลดความรุนแรงหรือผลกระทบที่จะเกิดขึ้นแต่ละด้านแตกต่างกันไป ส่งผลทำให้เกิดประโยชน์ในการนำไปใช้วางแผนตัดสินใจทั้งในระยะสั้นและระยะยาวได้ตามความต้องการของผู้มีอำนาจตัดสินใจ รวมทั้งยังมีส่วนสำคัญ ในการกำหนดนโยบายและตั้งเป้าหมายและการกำหนดวิสัยทัศน์ขององค์กรให้ประสบความสำเร็จ ผลการสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อเป็นส่วนในการบอกผลของเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในแต่ละสถานการณ์ รายละเอียดดังต่อไปนี้



# ระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับอ่างเก็บน้ำ



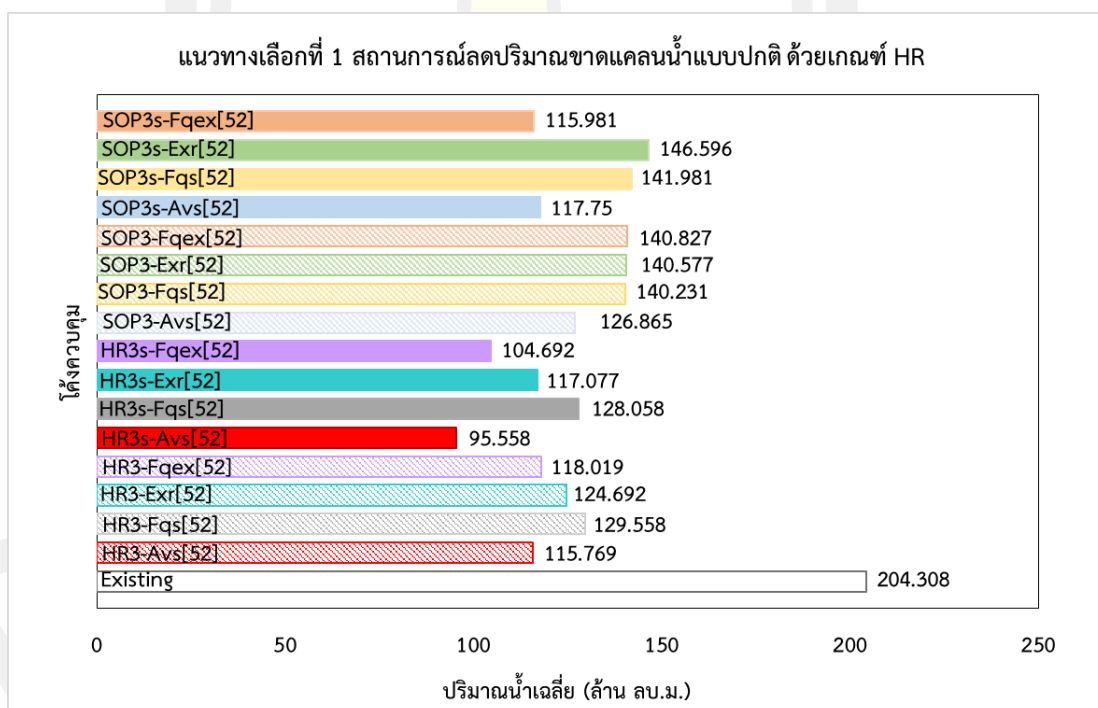
ภาพประกอบ 4.1.1 ระบบสนับสนุนการตัดสินใจอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์

จากภาพประกอบ 4.11 แสดงถึงแนวทางเลือกสำหรับการตัดสินใจในสถานการณ์ต่าง ๆ ตามบริบทของอ่างเก็บน้ำที่เคยเกิดขึ้น โดยรายละเอียดแต่ละสถานการณ์แต่ละแนวทางเลือกสำหรับการตัดสินใจ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 4.3.1 ผลทางเลือกของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

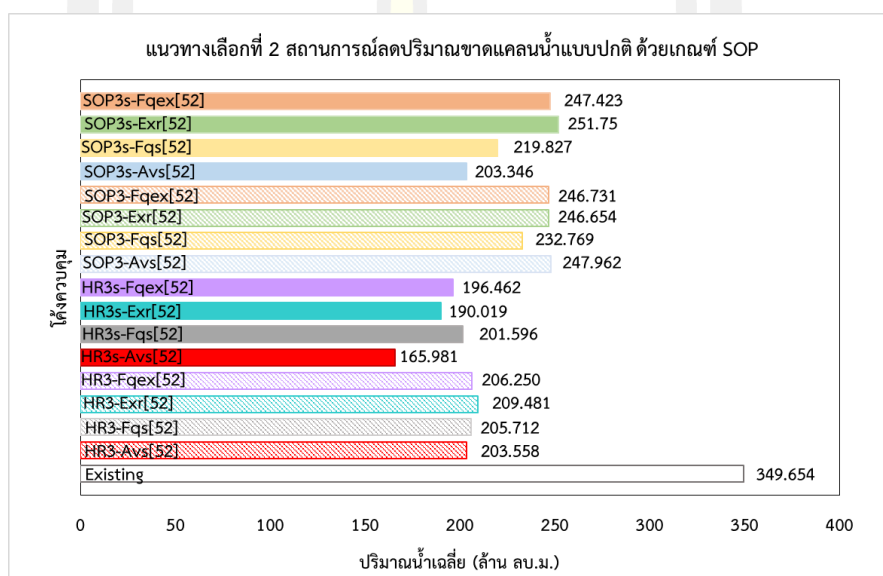
##### 1) สถานการณ์ปริมาณขาดแคลนน้ำแบบปกติ

1.1) ทางเลือกที่ 1 สถานการณ์ปริมาณขาดแคลนน้ำแบบปกติ เมื่อสถานการณ์ของอ่างเก็บน้ำมีการขาดแคลนน้ำปกติ และผู้ใช้งานหรือผู้ตัดสินใจต้องการจะปล่อยน้ำด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำ HR ทางเลือกการตัดสินใจที่ดีที่สุดที่เหมาะสมจะนำไปคือ เส้นโค้ง HR3s-Avs[52] เป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ใน 17 ทางเลือกของเกณฑ์การปล่อยน้ำ HR ซึ่งโค้งที่เสนอทำให้เกิดค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุดโดยมีค่าการขาดแคลนเฉลี่ย 95.558 ล้านลูกบาศก์เมตร ดังแสดงในภาพประกอบ 4.12



ภาพประกอบ 4.12 แนวทางเลือกที่ 1 ลดปริมาณการขาดแคลนน้ำปกติด้วยเกณฑ์ HR

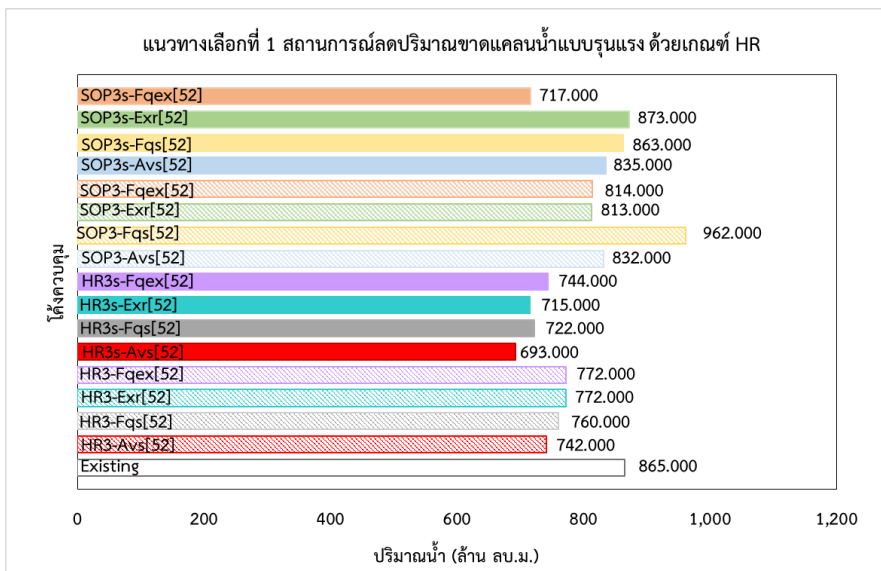
1.2) ทางเลือกที่ 2 สถานการณ์ปริมาณขาดแคลนน้ำแบบปกติ เมื่อสถานการณ์ของอ่างเก็บน้ำมีการขาดแคลนน้ำปกติ และผู้ใช้งานหรือผู้ตัดสินใจต้องการจะปล่อยน้ำด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำ SOP ทางเลือกการตัดสินใจที่ดีที่สุดที่เหมาะสมจะนำไปใช้คือ เส้นโค้ง HR3s-Avs[52] เป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ใน 17 ทางเลือกของเกณฑ์การปล่อยน้ำ SOP ซึ่งโค้งที่เสนอทำให้เกิดค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุดโดยมีค่าการขาดแคลนเฉลี่ย 165.981 ล้านลูกบาศก์เมตร ดังแสดงในภาพประกอบ 4.13



ภาพประกอบ 4.13 แนวทางเลือกที่ 2 ลดปริมาณการขาดแคลนน้ำปกติด้วยเกณฑ์ SOP

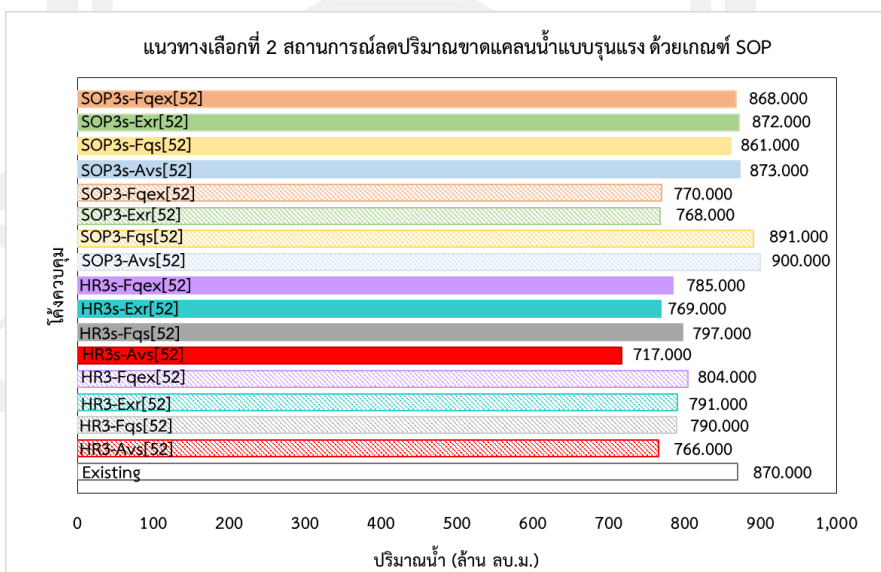
## 2) สถานการณ์ปริมาณขาดแคลนน้ำแบบรุนแรง

2.1) ทางเลือกที่ 1 สถานการณ์ปริมาณขาดแคลนน้ำแบบรุนแรงเมื่อสถานการณ์ของอ่างเก็บน้ำมีการขาดแคลนน้ำรุนแรง และผู้ใช้งานหรือผู้ตัดสินใจต้องการจะปล่อยน้ำด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำ HR ทางเลือกการตัดสินใจที่ดีที่สุดที่เหมาะสมจะนำไปใช้คือ เส้นโค้ง HR3s-Avs[52] เป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ใน 17 ทางเลือกของเกณฑ์การปล่อยน้ำ HR ซึ่งโค้งที่เสนอทำให้เกิดปริมาณการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด โดยมีค่าการขาดแคลนน้ำคือ 693.000 ล้านลูกบาศก์เมตร ดังแสดงในภาพประกอบ 4.14



ภาพประกอบ 4.14 แนวทางเลือกที่ 1 ลดปริมาณการขาดแคลนน้ำรุนแรงด้วยเกณฑ์ HR

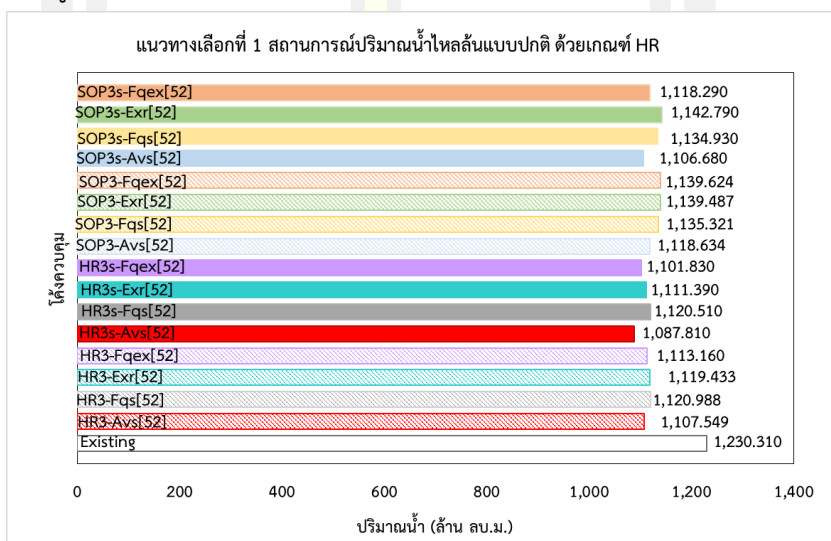
2.2) ทางเลือกที่ 2 สถานการณ์ปริมาณการขาดแคลนน้ำแบบรุนแรงเมื่อสถานการณ์ของอ่างเก็บน้ำมีการขาดแคลนน้ำรุนแรง และผู้ใช้งานหรือผู้ตัดสินใจต้องการจะปล่อยน้ำด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำ SOP ทางเลือกการตัดสินใจที่ดีที่สุดที่เหมาะสมจะนำไปใช้คือ เส้นโค้ง HR3s-Avs[52] เป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ใน 17 ทางเลือกของเกณฑ์การปล่อยน้ำ SOP ซึ่งโค้งที่เสนอทำให้เกิดปริมาณการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด โดยมีค่าการขาดแคลนน้ำคือ 717.000 ล้านลูกบาศก์เมตร ดังแสดงในภาพประกอบ 4.15



ภาพประกอบ 4.15 แนวทางเลือกที่ 2 ลดปริมาณการขาดแคลนน้ำแบบรุนแรงด้วยเกณฑ์ SOP

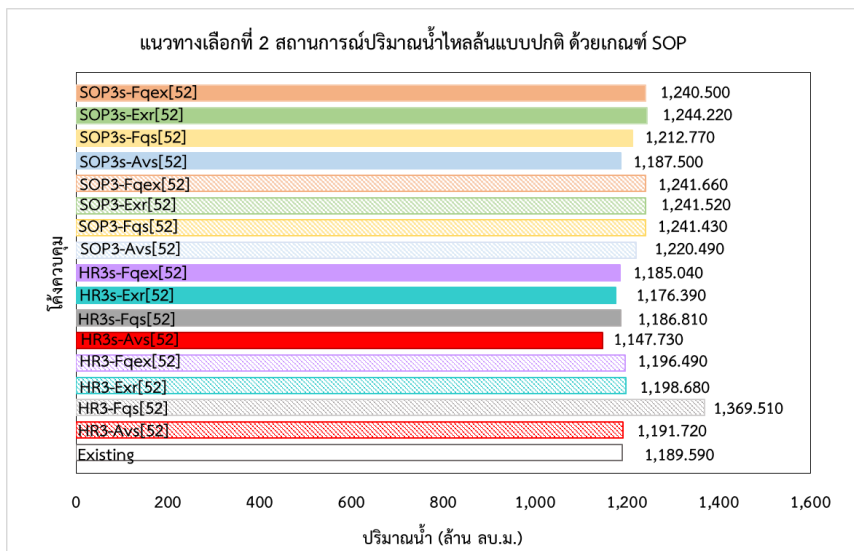
### 3) สถานการณ์ปริมาณน้ำไหลล้นแบบปกติ

3.1) ทางเลือกที่ 1 สถานการณ์ปริมาณน้ำไหลล้นแบบปกติเมื่อสถานการณ์ของอ่างเก็บน้ำมีปริมาณน้ำไหลล้นแบบปกติ และผู้ใช้งานหรือผู้ตัดสินใจต้องการจะปล่อยน้ำด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำ HR ทางเลือกการตัดสินใจที่ดีที่สุดที่เหมาะสมจะนำไปคือ เส้นโค้ง HR3s-Avs[52] เป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ใน 17 ทางเลือกของเกณฑ์การปล่อยน้ำ HR ซึ่งเป็นโค้งที่ทำให้เกิดค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับทุกเส้นโค้งอื่นๆ โดยมีค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด 1,087.810 ล้านลูกบาศก์เมตร ดังแสดงในภาพประกอบ 4.16



ภาพประกอบ 4.16 แนวทางเลือกที่ 1 ลดปริมาณน้ำไหลล้นแบบปกติปกติด้วยเกณฑ์ HR

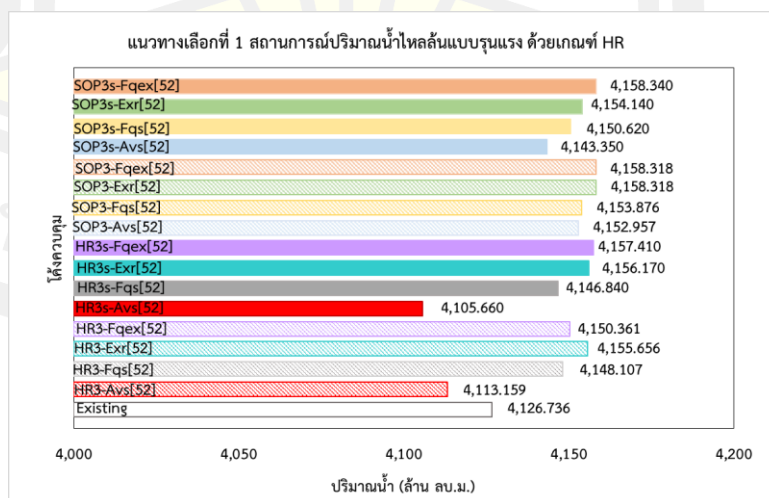
3.2) ทางเลือกที่ 2 สถานการณ์ปริมาณน้ำไหลล้นแบบปกติเมื่อสถานการณ์ของอ่างเก็บน้ำมีปริมาณน้ำไหลล้นแบบปกติ และผู้ใช้งานหรือผู้ตัดสินใจต้องการจะปล่อยน้ำด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำ SOP ทางเลือกการตัดสินใจที่ดีที่สุดที่เหมาะสมจะนำไปคือ เส้นโค้ง HR3s-Avs[52] เป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ใน 17 ทางเลือกของเกณฑ์การปล่อยน้ำ SOP ซึ่งเป็นโค้งที่ทำให้เกิดค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับทุกเส้นโค้งอื่นๆ โดยมีค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด 1,147.730 ล้านลูกบาศก์เมตร ดังแสดงในภาพประกอบ 4.17



ภาพประกอบ 4. 17 แนวทางการเลือกที่ 2 ลดปริมาณน้ำไหลล้นแบบปกติปกติด้วยเกณฑ์ SOP

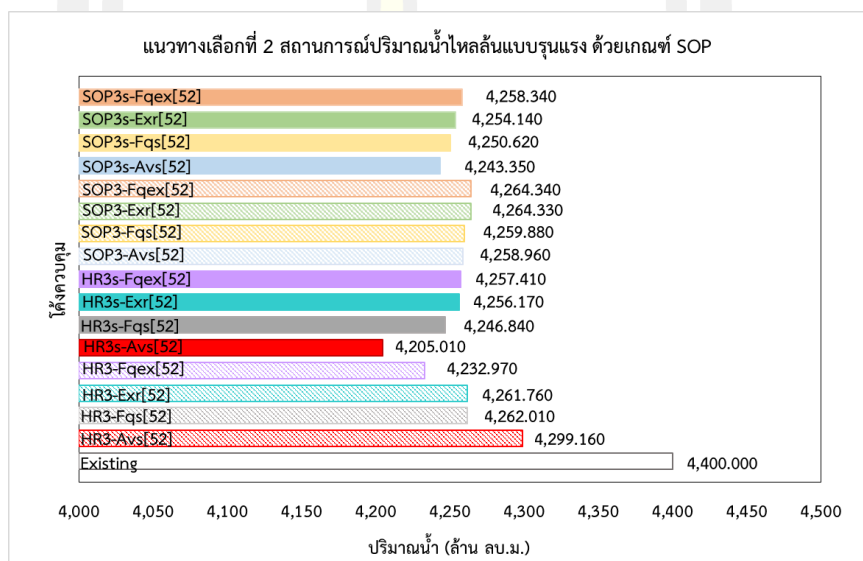
4) สถานการณ์ปริมาณน้ำไหลล้นแบบรุนแรง

4.1) ทางเลือกที่ 1 สถานการณ์ปริมาณน้ำไหลล้นแบบรุนแรงเมื่อสถานการณ์ของอ่างเก็บน้ำมีปริมาณน้ำไหลล้นแบบรุนแรงและผู้ใช้งานหรือผู้ตัดสินใจต้องการจะปล่อยน้ำด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำ HR ทางเลือกการตัดสินใจที่ดีที่สุดที่เหมาะสมจะนำไปคือ เส้นโค้ง HR3s-Avs[52] เป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ใน 17 ทางเลือกของเกณฑ์การปล่อยน้ำ HR ซึ่งเป็นโค้งที่ทำให้เกิดค่ามากที่สุดของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับทุกเส้นโค้งอื่น ๆ โดยมีค่ามากที่สุดของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด 4,105.660 ล้านลูกบาศก์เมตร ดังแสดงในภาพประกอบ 4.18



ภาพประกอบ 4.18 แนวทางการเลือกที่ 1 ลดปริมาณน้ำไหลล้นแบบรุนแรงด้วยเกณฑ์ HR

4.2) ทางเลือกที่ 2 สถานการณ์ปริมาณน้ำไหลล้นแบบรุนแรงเมื่อสถานการณ์ของอ่างเก็บน้ำมีปริมาณน้ำไหลล้นแบบรุนแรงและผู้ใช้งานหรือผู้ตัดสินใจต้องการจะปล่อยน้ำด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำ SOP ทางเลือกการตัดสินใจที่ดีที่สุดที่เหมาะสมจะนำไปคือ เส้นโค้ง HR3s-Avs[52] เป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ใน 17 ทางเลือกของเกณฑ์การปล่อยน้ำ SOP ซึ่งเป็นโค้งที่ทำให้เกิดค่ามากที่สุดของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับทุกเส้นโค้งอื่น ๆ โดยมีค่ามากที่สุดของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด 4,205.000 ล้านลูกบาศก์เมตร ดังแสดงในภาพประกอบ 4.19

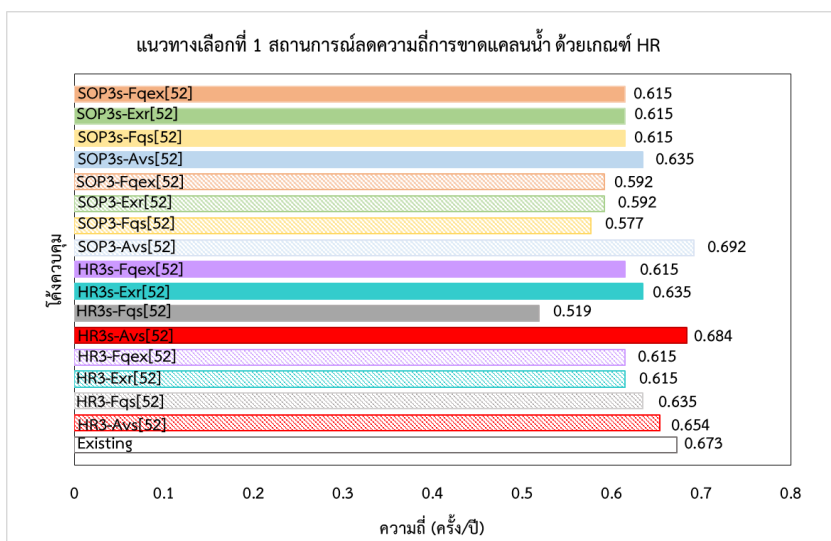


ภาพประกอบ 4.19 แนวทางเลือกที่ 2 ลดปริมาณน้ำไหลล้นแบบรุนแรงด้วยเกณฑ์ SOP

## 5) สถานการณ์ลดความถี่การขาดแคลนน้ำ

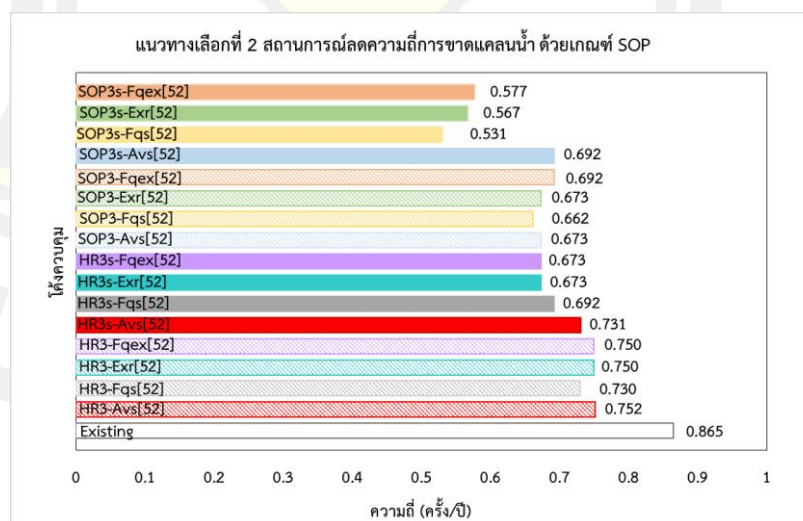
5.1) ทางเลือกที่ 1 สถานการณ์ลดความถี่การขาดแคลนน้ำ เมื่อสถานการณ์ของอ่างเก็บน้ำมีขาดแคลนน้ำยาวนาน และผู้ใช้งานหรือผู้ตัดสินใจต้องการจะปล่อยน้ำด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำ HR ทางเลือกการตัดสินใจที่ดีที่สุดที่เหมาะสมจะนำไปคือ เส้นโค้ง HR3s-Fqs [52] ฟังก์ชันค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด เป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ใน 17 ทางเลือกของเกณฑ์ทดสอบ HR ซึ่งโค้งที่เสนอทำให้เกิดค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด คือ 0.519 ครั้ง/ปี ดังแสดงในภาพประกอบ 4.20





ภาพประกอบ 4. 20 แนวทางเลือกที่ 1 ลดความถี่การขาดแคลนน้ำ ด้วยเกณฑ์ HR

5.2) ทางเลือกที่ 2 สถานการณ์ลดความถี่การขาดแคลนน้ำ เมื่อสถานการณ์ของอ่างเก็บน้ำมีขาดแคลนน้ำยาวนาน และผู้ใช้งานหรือผู้ตัดสินใจต้องการจะปล่อยน้ำด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำ SOP ทางเลือกการตัดสินใจที่ดีที่สุดที่เหมาะสมจะนำไปคือ เส้นโค้ง SOP3s-Fqs [52] ฟังก์ชันค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด เป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ใน 17 ทางเลือกของเกณฑ์ทดสอบ SOP ซึ่งโค้งที่เสนอทำให้เกิดค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด คือ 0.531 ครั้ง/ปี ดังแสดงในภาพประกอบ 4.21



ภาพประกอบ 4. 21 แนวทางเลือกที่ 2 ลดความถี่การขาดแคลนน้ำยาวนานด้วยเกณฑ์ SOP

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

บทนี้เป็นการสรุปผลการศึกษาตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย และการแสดงข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปศึกษาต่อยอดในอนาคต ดังต่อไปนี้

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาทางเลือกสนับสนุนระบบการตัดสินใจสำหรับการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอ่างเดี่ยว จากการสร้างทางเลือกตามสถานการณ์ที่แตกต่างกัน โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเทคนิคใหม่นั้นคือ Marine Predators Algorithm (MPA) ด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging Rule ตลอดจนการพิจารณาปริมาณการตกตะกอนที่มีผลต่อระดับเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ เพื่อนำมาค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมที่สุด ของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น

5.1 สรุปผลการค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุด ด้วยเทคนิค MPA ที่เชื่อมแบบจำลองอ่างเก็บน้ำ โดยพิจารณาร่วมกับการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำของ HR และ SOP และฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการหาคำตอบคือ ปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุด, ค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด, ปริมาณน้ำไหลล้นเฉลี่ยน้อยที่สุด และ ค่าความถี่ของน้ำไหลล้นน้อยที่สุดค่าเฉลี่ย พบว่า ลักษณะเส้นโค้งมีทิศทางสอดคล้องกับเส้นโค้งควบคุมเดิมแต่เส้นโค้งขอบบนและเส้นโค้งขอบล่าง มีค่าระดับน้ำสูงกว่าเส้นโค้งควบคุมเดิม (Existing) เพื่อรักษาปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำไว้เพื่อป้องกันความเสี่ยงที่จะเกิดการขาดแคลนน้ำในช่วงฤดูแล้งถัดไป ทั้งนี้ยังช่วยลดปริมาณน้ำไหลล้น เนื่องจากมีปริมาตรของพื้นที่ของอ่างเก็บน้ำเหลือพอที่จะรองรับน้ำหลากได้ ส่วนโค้งควบคุมเส้นล่างยกสูงกว่าขึ้นกว่า เส้นโค้งควบคุมเดิม (Existing) เพื่อลดปริมาณการปล่อยน้ำเพื่อให้น้ำไว้ใช้น้ำตลอดฤดูแล้ง ซึ่งเส้นระดับของเส้นของขอบเขตล่างนี้สามารถควบคุมการปล่อยน้ำโดยการลดการปล่อยน้ำในระดับที่ต่ำกว่าความต้องการตามแนวคิดเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR คือลดโอกาสการเกิดปัญหาปริมาณการขาดแคลนน้ำปริมาณที่มากในช่วงเวลาเดียว

การประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุด ด้วยเทคนิค MPA ที่เชื่อมแบบจำลองอ่างเก็บน้ำ โดยพิจารณาร่วมกับการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำของ HR และ SOP ข้อมูลน้ำท่าในอดีต 52 ปี และข้อมูลสังเคราะห์ 1,000 ชุด พบว่าโค้งควบคุมที่ได้มีความเหมาะสมสามารถควบคุมการบริหารจัดการน้ำบรรเทาการขาดแคลนน้ำ และการไหลล้นได้ดีกว่าโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำเดิม และ SOP นอกจากนี้ผลการประเมินพบว่าโค้งควบคุมใหม่ที่สร้างจากสถานการณ์ใด เมื่อนำมาทดสอบประสิทธิภาพส่วนมากจะดีที่สุดสถานการณ์นั้น ๆ ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นว่าเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุดจากการพิจารณาการตกตะกอนค่าคำตอบสมเหตุผลมากกว่า

แบบจำลองที่ไม่ได้พิจารณาทุกกรณี นอกจากนี้ สถานการณ์การขาดแคลนน้ำและปริมาณน้ำส่วนเกินค่อนข้างแตกต่างกับกรณีพิจารณาและไม่พิจารณากรณีตกตะกอน สรุปได้ว่าตะกอนสะสมจากปริมาณน้ำฝนที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำต้องพิจารณาให้เข้าใจถึงการสะสมของตะกอนในระยะยาวของอ่างเก็บน้ำ

5.2 ผลการพัฒนาทางเลือกระบบสนับสนุนการตัดสินใจ จากการศึกษาโค้งควบคุมใหม่ที่ได้จากเทคนิค MPA ร่วมกับเกณฑ์การปล่อยน้ำ HR มีลักษณะเส้นโค้งควบคุมที่สูงกว่าเส้นโค้งควบคุมด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำ SOP และ เส้นโค้งควบคุมเดิม นอกจากนี้ เส้นโค้งกฎใหม่ที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้เกณฑ์ HR สามารถบรรเทาสถานการณ์ขาดแคลนน้ำและสถานการณ์น้ำไหลล้นได้ดีกว่าทั้งเส้นโค้งควบคุมเดิม และเส้นโค้งควบคุมด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำ SOP ในแง่ของการลดลงปริมาณการขาดแคลนน้ำเฉลี่ย และปริมาณการขาดแคลนน้ำสูงสุด ซึ่งเป็นหนึ่งในแนวทางเลือกบนระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอ่างเดียวที่ดีที่สุดภายใต้สถานการณ์ทั้ง 5 จำนวน 10 ทางเลือก จาก 490 ทางเลือก ซึ่งเป็นทางเลือกการตัดสินใจช่วยให้ผู้มีอำนาจตัดสินใจ ได้ข้อมูลประกอบการตัดสินใจ ในแต่ละแนวทางเลือกจะเกิดขึ้นหากมีการเลือกใช้งาน ตามบริบทและนโยบายการบริหารงานของอ่างเก็บน้ำ โดยผลลัพธ์เบื้องต้นที่จะเกิดขึ้นแต่ละแนวทางเลือกที่เลือกใช้ จะช่วยลดความรุนแรงหรือผลกระทบที่จะเกิดขึ้นแต่ละด้านแตกต่างกันไป ส่งผลทำให้เกิดประโยชน์ในการนำไปใช้วางแผนตัดสินใจทั้งในระยะสั้นและระยะยาวได้ตามความต้องการของผู้มีอำนาจตัดสินใจ รวมทั้งยังมีส่วนสำคัญ ในการกำหนดนโยบายและตั้งเป้าหมายและการกำหนดวิสัยทัศน์ขององค์กรให้ประสบความสำเร็จ

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า MPA กับ HR ใช้เพื่อค้นหาเส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งการบรรเทาสถานการณ์น้ำท่วมและภัยแล้ง นอกจากนี้ เทคนิค MPA ยังค้นหาเส้นโค้งเหมาะสมได้เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิค GA และ FPA และยังสามารถนำเส้นโค้งควบคุมและค่าประเมินโค้งควบคุมที่ได้ นำมาใช้เป็นข้อมูลสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจ เพื่อให้ผู้มีอำนาจตัดสินใจสามารถสามารถเลือกแนวทางตามสถานการณ์ที่เกิดขึ้นเพื่อบรรเทาสถานการณ์น้ำขาดแคลน และบรรเทาอุทกภัยได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย

#### ข้อเสนอแนะ

1. ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ มีประเด็นต่าง ๆ ที่ต้องนำมาพิจารณา เพื่อให้สามารถนำมาพัฒนาให้ระบบมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น เช่น ความเห็นของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในพื้นที่ เศรษฐกิจ สังคม สิ่งแวดล้อม

2. ควรใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยาที่สามารถทำนายปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ในอนาคต เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์ในการจัดทำโค้งควบคุมที่เหมาะสมในอนาคต โดยพิจารณาวัตถุประสงค์ตามแนวโน้มความต้องการใช้น้ำที่อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน
3. โค้งปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ที่คำนวณได้ควรที่จะมีการปรับปรุง เป็นระยะ เพื่อให้มีความทันสมัยสอดคล้องกับปริมาณน้ำต้นทุนสภาพ น้ำฝนน้ำท่า ปริมาณความต้องการใช้น้ำที่เปลี่ยนแปลงไป ตลอดจนพื้นที่ผลกระทบของพื้นที่ท้ายน้ำ



### 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.
- เจษฎา แก้วกัลยา. (2535). *เอกสารประกอบการเรียนวิชา Water Management*. ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ตระการ กาสีใส และ อนงคฤทธิ์ แข็งแรง. (2559). *เกณฑ์การจัดสรรน้ำที่เหมาะสม โดยวิธีหาค่าที่เหมาะสม ที่สุดด้วยเทคนิค วิธีอาณาจักรฝั่ง*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- ณัฐวุฒิ สร้อยประเสริฐ. (2550). *การประยุกต์พันธุกรรมคอมพิวเตอร์เพื่อการจัดสรรน้ำ ณ เวลาจริง : กรณีศึกษา โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร.
- ธนชาติ สุขอนันตวงษ์. (2547). *การประยุกต์เจเนติกอัลกอริทึมในการวางแผนการปล่อยน้ำจากเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร.
- ธนัญชัย ลีภักดีปรีดา. (2543). *การหาค่าเหมาะสมที่สุด หลักการพื้นฐานและขั้นตอนวิธีการ*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- บัญชา ขวัญยืน. (2541). *การวิเคราะห์ระบบเพื่อการวางแผนและการจัดการโครงการชลประทาน*. นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม.
- บุญชม ศรีสะอาด. *การวิจัยเบื้องต้น*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สุวีริยาสาส์น, 2543.
- บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธ์. *ระเบียบวิธีการวิจัยทางสังคมศาสตร์*. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์และปกเจริญผล. 2540.

- ปกรณ ฌ ศิริ และ ดร.ปกรณ ดิษฐกิจ. โศกฏการปฏิบัติกรอังกเก็บน้ำที่เหมะสมโดยใช่วิธีฮาโมนี เซิร์ช: กรณศึกษาอังกเก็บน้ำห้วยน้ำใส, NGRC การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับ บัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 19. 9 มีนาคม 2561.
- รัตน์า หอมวิเชียร อนงคฤทธิ์ แข็งแรง และ อลงกรณ ละมอม. (2553). การพัฒนาโคงควบคุมโดยใช่วิธีดิฟเฟอร์เรนเชียลเอฟโวลูชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมมหาบัณฑิต. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- วรารุช วุฒินิชย์. (2539). *อุทกวิทยาประยุกต์*. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม.
- วรารุช วุฒินิชย์, ทองเปลว กองจันทร์, และวัชระ เสือดี. (2550). *อุทกวิทยาประยุกต์ทางวิศวกรรม*. กรุงเทพมหานคร: สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์
- วิรัตน์ นวนนกุล. (2557). เภณฑการจัตสรน้ำที่เหมะสมด้วยวิธีการหาค่าที่เหมะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- วิชญกรณ ชัยภูมิ และอนงคฤทธิ์ แข็งแรง. (2557) การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมการจำลองการอบเหนียวเพื่อหาค่าที่เหมะสมของโคงควบคุมอังกเก็บน้ำสิรินธรและอังกเก็บน้ำอุบลรัตน์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- อนงคฤทธิ์ แข็งแรง. (2551). *การปฏิบัติกรอังกเก็บน้ำโดยใชโคงควบคุมที่เหมะสม*. มหาสารคาม: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- อนงคฤทธิ์ แข็งแรง. (2553). *เอกสารคำสอนการวางแผนและจัดการทรัพยากรน้ำระดับลุ่มน้ำ*. วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- ไพลิน คำเมือง. (2563). การประเมินดัชนีน้ำสำหรับการประมาณความจ้อังกเก็บน้ำอุบลรัตน์โดยใช้การรับรู้ระยะไกล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- Abdel-Basset, M., Mohamed, R., Saber, S., Askar, S. S., and Abouhawwash, M. 2021. Modified flower pollination algorithm for global optimization, *Mathematics*, vol. 9, no. 14.
- Ahmed, K. B., and Sanchez, M. 2011. A study of the factors and processes involved in the sedimentation of Tarbela reservoir, Pakistan, *Environ. Earth Sci.*, vol. 62, no. 5, pp. 927–933.
- Allawi, M.F., Jaafar, O., and Mohamad Hamzah, F. 2018. Operating a reservoir system based on the shark machine learning algorithm,” *Environ Earth Sci*, 77, 366.
- Bozorg-Haddad, O., Azad, M., Fallah-Mehdipour, E., Delpasand, M., and Chu, X. 2021.

Verification of FPA and PSO algorithms for rule curve extraction and optimization of single- And multi-reservoir systems' operations considering their specific purposes,

*Water Sci. Technol. Water Supply*, vol. 21, no. 1, pp. 166–188, 2021.

Chaleeraktragoon. C., and Chinsomboon, Y. 2015. Dynamic rule curves for flood control of a multipurpose dam, *J. Hydro-Environment Res.*, vol. 9, no. 1, pp. 133–144.

Chaleeraktragoon, C. and Kangrang, A. 2007. Dynamic programming with the principle of progressive optimality for searching rule curves, *Canadian Journal of Civil Engineering*, vol. 34, pp. 170–176, 2007.

Chaleeraktragoon. C., and Worawiwat, A. 2020. Dynamic rule curves for multipurpose reservoir operation for different floods, *J. Water Clim. Chang.*, vol. 11, no. 4, pp. 1001–1008,

Chao, Y. C., Hsieh, T.C., Chen, C.W., Cheng, C.T., Li, C.T., Yeh, K.C., and Chen, Y.M. 2021. Impact assessment of reservoir desolation measures for downstream riverbed migration in climate change: A case study in northern Taiwan, *Journal of Hydro-environment Research*, Volume 37, 2021, Pages 67-81, ISSN 1570-6443,

Chiamsathit, C., Adeloye, A. J., and Soundharajan, B. S. 2014. Assessing Competing Policies at Ubonratana Reservoir, Thailand, *Proc. Inst. Civ. Eng. Water Manag.*, vol. 167, no. 10, pp. 551–560.

Daus, M., Koberger, K., Koca, K., Beckers, F., Encinas Fernández, J., Weisbrod, B., Dietrich, D., Gerbersdorf, S.U., Glaser, R., Haun, S., Hofmann, H., Martin-Creuzburg, D., Peeters, F., and Wieprecht, S. 2021. Interdisciplinary Reservoir Management—A Tool for Sustainable Water Resources Management. *Sustainability* 2021, 13, 4498.

Draper, A., and Lund, R. 2004. Optimal hedging and carry over storage value. *J. Water Resour. Plann. Manage.*, ASCE, 130 (1), 83-87.

Faramarzi, A., Heidarinejad, M., Mirjalili, S., and Gandomi, A. H. 2020. Marine Predators Algorithm: A nature-inspired metaheuristic, *Expert Syst. Appl.*, vol. 152, p. 113377.

- Hormwichian, R., Kangrang, A. and LAMOM, A. 2009. A conditional Algorithm Model for Searching Optimal Reservoir Rule Curves, *J. Applied Sci.* 9(19), 3575-3580 , 27-34.
- Irudukunda, P., and Nyadawa, M. O. 2021. Impact of Sedimentation on Water Seepage Capacity in Lake Nakuru, Kenya,” *Appl. Environ. Soil Sci.*, vol. 2021.
- Islam, M. Z., Othman, M. L., Wahab, N. I. A., Veerasamy, V., Opu, S. R., Inbamani, A., and Annamalai, V. 2021. Marine predators algorithm for solving single-objective optimal power flow,” *PLoS One*, vol. 16, no. 8 August, pp. 1–27.
- Jain, S. K., Goel, M. K., and Agarwal, P. K. 1998. Reservoir operation studies of Sabarmati system, “India. *Journal of water resources planning and management*, 124(1), 31-37.
- Jain, S.K., and Singh, V.P. 2003. Water resources systems planning and management. New York: Elsevier Science.
- Jamshidi, J. and Shourian, M. 2019. Hedging Rules-Based Optimal Reservoir Operation Using Bat Algorithm, *Water Resour. Manag.*, vol. 33, no. 13, pp. 4525–4538.
- Kangrang A., Compliew S., and Hormwichian, R. 2011. Optimal Reservoir Rule Curves Using Simulated Annealing. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Water Management*, 164(WM1).
- Kangrang, A., Prasanchum, H., and Hormwichian, R. 2018. Development of Future Rule Curves for Multipurpose Reservoir Operation Using Conditional Genetic and Tabu Search Algorithms,” *Advances in Civil Engineering*, vol. 2018.
- Kangrang, A., Prasanchum, H., and Hormwichian, R. 2019. Active future rule curves for multi-purpose reservoir operation on the impact of climate and land use changes, *J. Hydro- Environment Res.*, vol. 24, no. February, pp. 1–13.
- Kangrang, A., Srikamol, N., Hormwichia, R., Prasanchum, H., and Sriwanphen, O. 2019. Alternative Approach of Firefly Algorithm for Flood Control Rule Curves,” *Asian J. Sci. Res.*, vol. 12, no. 3, pp. 431–439.
- Kangrang, A., Techarungruengsakul, R., Hormwichian, R., and Sriwanpheng, O. 2019. Alternative Approach of Wind Driven Optimization for Flood Control Rule Curves, *J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 14, no. 21, pp. 8026–8033.
- Liu, Y., Zhao, J. and Zheng, H. 2018. Piecewise-linear hedging rules for reservoir



- operation with economic and ecologic objectives. *Water (Switzerland)*, 10(7), 1–20.
- Lund, J.R., and Guzman, J. 1999. Derived operating rules for reservoirs in series or in parallel. *J. Water Resour. Plann. Manage.*, 125 (3), 143-153.
- Mensika, P., and Martona, D. 2016. Hybrid optimization method for strategic control of water withdrawal from water reservoir with using support vector machines. *Procedia Engineering*, 186, 491-498.
- Milenković, B., and Krstić, M. 2021. Marine predators' algorithm: Application in applied mechanics," *Tehnika*, vol. 76, no. 5, pp. 613–620.
- Moeini, R., and Nasiri, K. 2021. Hybridizing ANN-NSGA-II model with genetic programming method for reservoir operation rule curve determination (Case study Zayandehroud dam reservoir), *Soft Comput.*, vol. 25, no. 22, pp. 14081–14108.
- Moursi, H., Kim, D. and Kaluarachchi, J. 2017. A probabilistic assessment of agricultural water scarcity in a semi-arid and snowmelt-dominated river basin under climate change, *Agricultural Water Management*. 193, 142-152.
- Ngoc, T. A., Hiramatsu, K., and Harada, M. 2014. Optimizing the rule curves of multi-use reservoir operation using a genetic algorithm with a penalty strategy," *Paddy Water Environ.*, vol. 12, no. 1, pp. 125–137.
- Osman, A., Afan, H.A., Allawi, M.F., Jaafar, O., Noureldin, A., Hamzah, F.M., Ahmed, A.N., El-Shafie, A. 2020. Adaptive Fast Orthogonal Search (FOS) algorithm for forecasting streamflow, *Journal of Hydrology*, 586, 124896, 2020.
- Prasanchum, H., and Kangrang, A. 2018. Optimal reservoir rule curves under climatic and land use changes for Lampao Dam using Genetic Algorithm, *KSCE J. Civ. Eng.*, vol. 22, no. 1, pp. 351–364, 2018.
- Ramezani, M., Bahmanyar, D., and Razmjoooy, N. 2021. A New Improved Model of Marine Predator Algorithm for Optimization Problems, *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 46, no. 9, pp. 8803–8826.
- Sajedipour, S., Zarei, H. and Oryan, S. 2017. Estimation of environmental water requirements via an ecological approach: A case study of Bakhtegan Lake, Iran, *Ecological Engineering*. 100, 246-255.

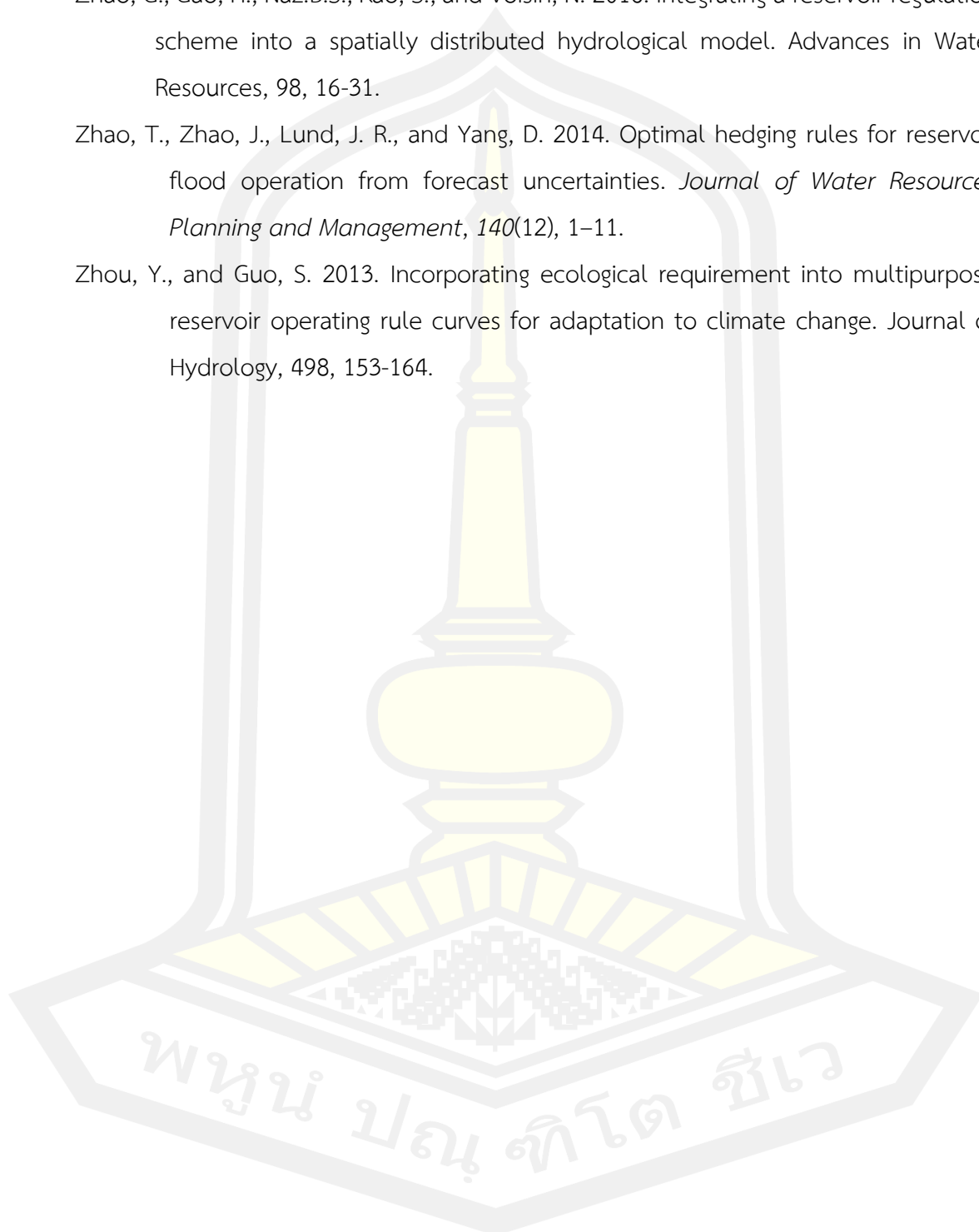
- Saremi, S., Mirjalili, S., and Lewis, A. 2017. Grasshopper Optimization Algorithm: Theory and application. *Advances in Engineering Software*, 105, 30–47.
- Sasireka, K., and Neelakantan, T. R. 2017. Optimization of hedging rules for hydropower reservoir operation. *Scientia Iranica*, 24(5), 2242–2252.
- Sinthuchai, N., and Kangrang, A. 2019. Improvement of Reservoir Rule Curves using Grey Wolf Optimizer, *J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 14, no. 24, pp. 9847–9856.
- Shaheen, M. A. M., Yousri, D., Fathy, A., Hasanien, H. M., Alkuhayli, A., and Muyeen, S. M. 2020. A Novel Application of Improved Marine Predators Algorithm and Particle Swarm Optimization for Solving the ORPD Problem, *Energies*, vol. 13, no. 21.
- Sun, C. J., and Gao, F. 2021. “A Tent Marine Predators Algorithm with Estimation Distribution Algorithm and Gaussian Random Walk for Continuous Optimization Problems, *Computational Intelligence and Neuroscience*, vol. 2021, Article ID 7695596, 17 pages.
- Sun, S.K, Li, C., Wu, P.T., Zhao, X.N. and Wang, Y.B. 2018. Irrigation water demand of selected agricultural crops in Germany between 1902 and 2010, *Ecological Indicators*. 84, 811-819.
- Techarungrungsakul, R., and Kangrang, A. 2022. Application of Harris Hawks Optimization with Reservoir Simulation Model Considering Hedging Rule for Network Reservoir System, *Sustainability* 2022, 14, 4913.
- Thongwan, T., Kangrang, A., and Prasanchum, H. 2019. Multi-objective future rule curves using conditional tabu search algorithm and conditional genetic algorithm for reservoir operation, *Heliyon*, vol. 5, no. 9, p. e02401.
- Thongwan, T., Kangrang, A., Techarungrungsakul, R., and Ngamsert, R. 2020. Future Inflow under Land Use and Climate Changes and Participation Process into the Medium-Sized Reservoirs in Thailand, *Adv. Civ. Eng.*, vol. 2020.
- Viseras, C., Fernández, J., García-García, F., Soria, J. M., Calvache, M. L., and Jáuregui, P. 2009. Dynamics of sedimentary environments in the accelerated siltation of a reservoir: The case of Alhama de Granada, southern Spain, *Environ. Geol.*, vol. 56, no. 7, pp. 1353–1369.
- Weiming, W., Wang, S.Y., and Yafei, J. 2000. Nonuniform sediment transport in alluvial

rivers,” *Journal of Hydraulic Research*, 38:6, 427-434.

Zhao, G., Gao, H., Naz.B.S., Kao, S., and Voisin, N. 2016. Integrating a reservoir regulation scheme into a spatially distributed hydrological model. *Advances in Water Resources*, 98, 16-31.

Zhao, T., Zhao, J., Lund, J. R., and Yang, D. 2014. Optimal hedging rules for reservoir flood operation from forecast uncertainties. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 140(12), 1-11.

Zhou, Y., and Guo, S. 2013. Incorporating ecological requirement into multipurpose reservoir operating rule curves for adaptation to climate change. *Journal of Hydrology*, 498, 153-164.



บรรณานุกรม





ภาคผนวก

พหุมนุ ปณฺ ทิโต ชีเว

ตาราง 5.1 ข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์

ปี/เดือน	ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)													รายปี
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม	
2509	-	-	-	3.14	157.89	252.54	166.97	207.31	1,198.94	121.87	221.27	26.01	2,355.94	
2510	-	62.07	-	4.76	11.55	72.91	58.70	10.73	511.59	517.33	21.69	-	1,271.33	
2511	17.68	26.40	18.79	17.56	127.07	240.76	320.08	239.62	360.59	320.91	11.68	-	1,701.14	
2512	28.09	29.33	-	4.79	4.85	48.92	173.92	75.68	932.41	381.53	149.47	20.81	1,849.80	
2513	2.53	8.04	10.29	27.01	61.90	462.01	180.43	500.81	1,080.82	347.02	260.32	6.27	2,947.45	
2514	-	21.23	10.46	6.31	27.56	59.72	271.39	367.87	786.96	616.67	11.23	0.37	2,179.77	
2515	-	0.41	18.44	38.35	0.56	7.68	69.06	31.85	125.92	588.67	47.79	41.64	970.37	
2516	2.21	-	2.70	12.59	56.09	162.47	216.88	121.93	805.05	462.10	-	-	1,842.02	
2517	13.11	27.00	25.93	24.99	4.25	25.72	31.16	213.58	291.09	378.02	130.69	44.16	1,209.70	
2518	15.17	7.86	26.42	29.58	78.08	223.79	425.61	150.02	770.03	804.61	39.32	21.28	2,591.77	
2519	35.79	56.71	49.92	16.68	135.55	62.71	69.59	135.94	938.60	918.83	551.26	30.94	3,002.52	

ตาราง 5.1 ข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ (ต่อ)

ปี/เดือน	ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)													รายปี
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.		
2520	21.16	4.03	44.80	40.27	45.60	55.20	19.69	155.54	1,336.04	118.56	40.88	28.51	1,910.28	
2521	9.57	4.38	14.12	20.08	57.12	31.61	1,013.15	1,066.51	2,263.64	1,347.21	31.16	28.69	5,887.24	
2522	11.18	9.21	13.52	25.34	119.23	1,030.32	158.97	295.08	259.03	330.32	11.43	15.52	2,279.15	
2523	8.61	10.44	19.07	8.43	229.38	1,580.15	416.42	331.91	2,070.21	1,004.58	70.22	5.40	5,754.82	
2524	9.44	45.68	3.41	13.84	45.88	43.06	187.63	160.75	71.18	142.85	86.42	14.56	824.70	
2525	10.46	13.55	17.56	25.17	37.42	62.23	27.43	18.85	594.51	937.53	147.64	27.27	1,919.62	
2526	32.47	20.27	16.18	18.30	34.78	217.40	286.49	837.96	858.29	573.59	179.81	43.68	3,119.22	
2527	28.49	16.90	22.29	41.92	28.58	132.77	99.97	159.28	277.65	838.83	47.40	32.77	1,726.85	
2528	17.99	23.46	12.22	25.91	70.60	73.54	81.27	70.59	216.07	358.09	147.04	55.34	1,152.12	
2529	17.97	8.71	10.88	48.16	195.21	187.22	77.27	124.69	314.47	58.06	77.37	26.31	1,146.32	
2530	13.28	20.09	39.43	37.66	34.88	111.21	32.50	273.81	781.72	728.15	112.43	37.27	2,222.43	

ตาราง 5.1 ข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ (ต่อ)

ปี/เดือน	ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)														รายปี
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม	รายปี	
2531	29.91	29.80	19.78	33.91	97.61	195.79	250.19	190.19	325.63	1,524.57	254.78	47.90	3,000.06		
2532	29.96	15.42	17.20	20.88	56.39	113.70	182.91	130.79	462.21	831.52	97.63	26.42	1,985.03		
2533	19.21	33.99	33.63	21.75	153.62	295.57	152.57	147.04	515.62	1,740.88	258.75	35.90	3,408.53		
2534	21.82	17.75	24.36	29.43	45.63	71.75	47.83	557.45	1,254.61	834.48	51.96	46.77	3,003.84		
2535	59.73	27.76	20.28	19.73	42.13	105.91	126.63	398.94	355.61	326.34	48.65	30.15	1,561.86		
2536	17.84	26.59	18.18	29.71	43.03	40.17	46.76	25.54	222.41	68.82	12.34	15.30	566.69		
2537	16.50	17.03	19.71	15.24	63.85	54.30	83.88	36.97	722.73	254.25	27.20	37.50	1,349.17		
2538	15.35	11.86	7.56	30.86	52.60	61.46	194.58	674.17	982.22	369.45	56.18	26.50	2,482.79		
2539	30.28	25.54	61.60	61.83	97.71	93.10	89.32	80.94	1,013.93	754.74	544.01	43.97	2,896.97		
2540	38.07	34.30	65.91	67.38	51.21	54.87	61.21	68.80	139.22	278.00	45.89	21.47	926.32		
2541	20.15	25.73	19.14	29.81	30.91	39.03	118.74	336.14	312.88	168.47	43.95	20.19	1,165.15		



ตาราง 5.1 ข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ (ต่อ)

ปี/เดือน	ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)													รายปี
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.		
2542	16.90	16.29	22.70	56.25	268.86	354.74	198.80	164.45	720.53	596.98	478.17	36.00	2,930.67	
2543	35.25	29.52	24.33	206.60	1,012.38	668.31	581.43	351.46	992.39	296.71	146.70	28.80	4,373.88	
2544	33.34	19.82	63.00	33.00	146.00	206.29	108.92	1,234.58	1,124.35	999.87	443.27	34.89	4,447.33	
2545	28.07	33.61	61.72	36.81	112.42	132.35	57.52	87.79	3,020.00	593.57	406.65	48.41	4,618.92	
2546	31.13	42.46	73.54	35.54	45.12	100.07	178.14	325.23	1,403.00	199.73	34.72	21.97	2,490.65	
2547	35.05	33.28	31.45	69.15	46.19	273.66	404.82	810.59	568.81	46.55	22.78	26.48	2,368.81	
2548	41.91	23.63	29.36	49.85	57.99	75.63	134.55	67.30	501.52	111.60	109.06	27.49	1,229.90	
2549	24.55	39.11	34.41	58.70	125.72	81.93	61.60	94.78	523.74	1,349.95	69.74	31.77	2,496.00	
2550	32.42	49.95	20.91	31.31	86.22	40.00	47.61	355.78	689.29	1,372.73	110.07	39.91	2,876.19	
2551	37.26	33.67	55.33	89.36	236.72	238.02	188.94	229.90	1,635.16	846.59	731.75	58.66	4,381.36	
2552	27.80	22.11	59.55	41.86	177.93	147.17	152.21	78.26	391.34	712.50	81.70	28.45	1,920.89	

ตาราง 5.1 ข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ (ต่อ)

ปี/เดือน	ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)													รายปี
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.		
2553	34.40	14.33	21.17	21.07	29.14	46.45	121.32	1,084.00	1,217.00	1,641.22	269.62	71.25	4,570.97	
2554	27.86	25.66	29.90	29.12	186.33	253.13	237.11	642.51	2,432.97	1,413.44	103.99	40.51	5,422.53	
2555	54.82	17.06	27.87	30.49	85.42	155.20	55.25	54.44	536.92	163.17	21.80	16.02	1,218.47	
2556	15.76	4.75	15.04	19.28	42.97	60.89	249.59	236.03	991.03	821.17	85.26	53.58	2,595.36	
2557	30.65	23.23	17.22	25.15	55.70	66.84	73.72	105.85	369.67	329.66	100.71	30.13	1,228.54	
2558	19.13	36.06	14.39	27.45	29.13	33.05	47.80	60.00	82.49	235.58	30.73	11.34	627.16	
2559	17.09	6.80	9.40	23.39	19.55	35.36	135.46	190.85	859.44	919.93	705.45	55.21	2,977.94	
2560	37.29	17.00	39.25	13.34	435.23	367.36	669.41	785.28	860.00	2,228.89	172.00	42.48	5,667.53	
2561	28.61	27.28	28.86	48.94	245.70	178.31	267.57	110.98	224.54	114.10	41.77	15.24	1,331.89	
2562	14.28	19.97	24.79	19.40	60.29	44.94	10.48	45.87	131.82	2.60	4.76	7.67	386.87	
2563	3.51	9.83	11.38	13.44	24.31	24.53	33.45	175.16	293.00	772.61	244.55	21.24	1,627.01	

## คำอธิบายคำย่อ

[10]	ช่วง 10 ปี ปริมาณน้ำท่าที่เกิดผลรวมสถานการณ์ปริมาณน้ำน้อยที่สุด (พ.ศ. 2532-2541) และปริมาณน้ำมากที่สุด
[20]	ช่วง 20 ปี ปริมาณน้ำท่าที่เกิดผลรวมสถานการณ์ปริมาณน้ำน้อยที่สุด (พ.ศ. 2524-2543) และปริมาณน้ำมากที่สุด (พ.ศ. 2542-2561)
[52]	ช่วงเวลาอดีตปริมาณน้ำท่าของอ่างเก็บน้ำ 52 ปี (พ.ศ. 2512-2563)
Avs	The minimal average water shortage per year หรือฟังก์ชันปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุดต่อปี
DSS	Decision Support System หรือระบบสนับสนุนการตัดสินใจ
Existing	เส้นโค้งควบคุมเส้นเดิม หรือเส้นโค้งควบคุมที่ใช้ในปัจจุบัน
Exr	The minimal frequency of water shortage หรือฟังก์ชันเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด
FPA	เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสม Flower Pollination Algorithm
Fqex	The minimal frequency of excess water ฟังก์ชันความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด
Fqs	The minimal frequency of water shortage หรือฟังก์ชันความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด
GA	เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสม Genetic algorithms
HR	เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging Rule
HR-FPA <sub>s</sub>	เส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุดจากการค้นหาด้วยเทคนิค FPA โดยพิจารณาปริมาณตะกอน
HR-GA <sub>s</sub>	เส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุดจากการค้นหาด้วยเทคนิค GA โดยพิจารณาปริมาณตะกอน
HR-MPA <sub>s</sub>	เส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุดจากการค้นหาด้วยเทคนิค MPA โดยพิจารณาปริมาณตะกอน
LRC	Lower Rule Curve หรือเส้นโค้งควบคุมเส้นล่าง
MPA	เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสม Marine Predators Algorithm
SOP	เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบมาตรฐาน Standard operating rule
URC	Upper Rule Curve หรือเส้นโค้งควบคุมเส้นบน

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาว รัตน์สุดา งามเสริฐ
วันเกิด	วันที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2537
สถานที่เกิด	อำเภอเมืองสกลนคร จังหวัดสกลนคร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 23 หมู่ 11 ตำบลห้วยยาง อำเภอเมืองสกลนคร จังหวัดสกลนคร รหัสไปรษณีย์ 47000
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2555 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสกลนครพัฒนศึกษา อำเภอเมือง สกลนคร จังหวัดสกลนคร พ.ศ. 2560 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรม สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ. 2562 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ. 2565 ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (ปร.ด.) สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผลงานวิจัย	Applying of Marine Predators Algorithm Linked with Reservoir Simulation Model considering Sedimentation for Reservoir Operation

พูน ปณ ทิโต ชีเว