การพัฒนาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี ด้วยเทคนิคการหาค่าเหมาะสมสูงสุด

วิทยานิพนธ์

ของ

ภูมิพัฒน์ วงค์อามาตย์

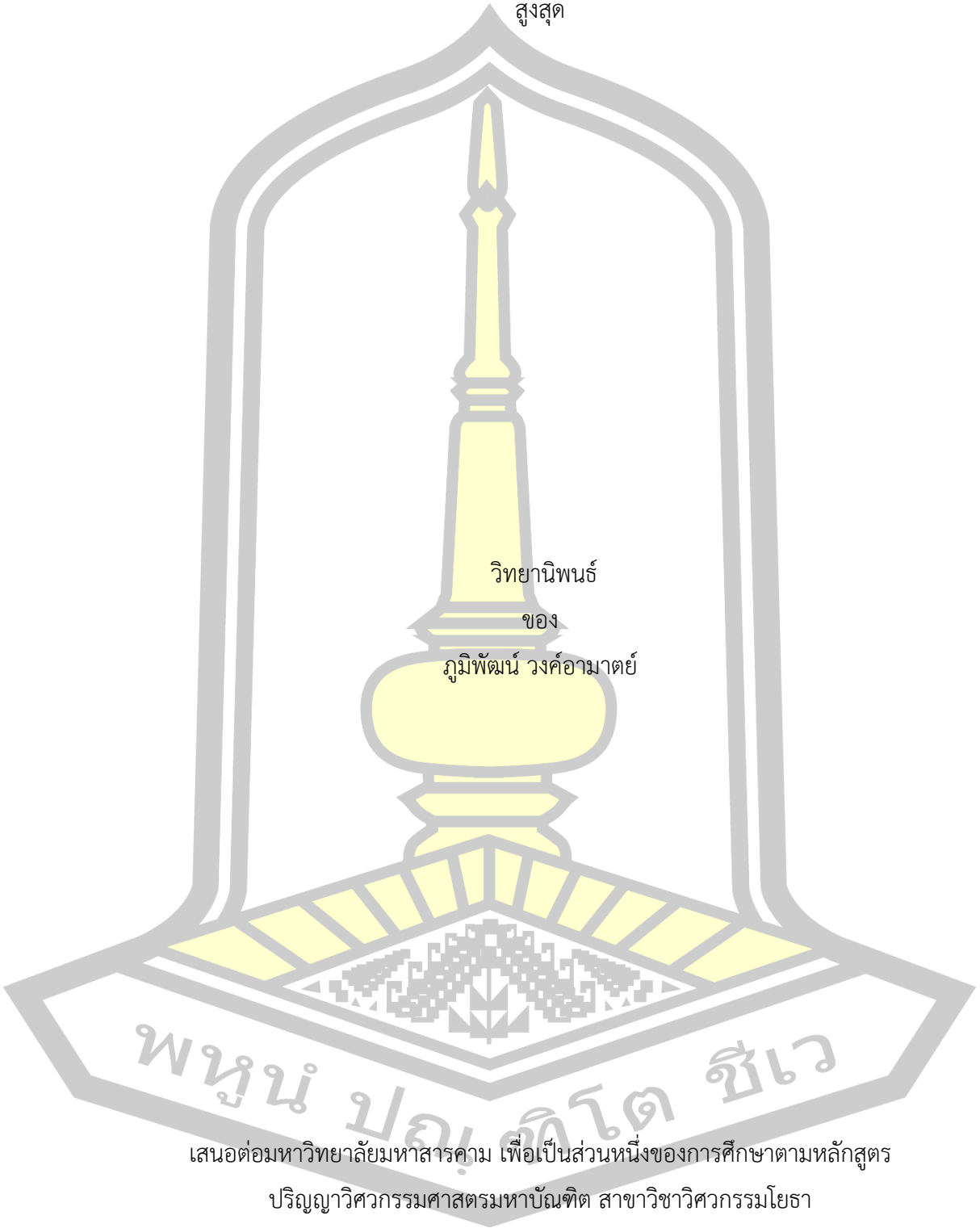
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

ธันวาคม 2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การพัฒนาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี ด้วยเทคนิคการหาค่าเหมาะสมสูงสุด



วิทยานิพนธ์

ของ

ภูมิพัฒน์ วงค์อามาตย์

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

ธันวาคม 2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Development of an optimal control curve for the Nong Han-Kumphawapi reservoir using the maximum suitability technique

Phumphat Wongarmart

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements

for Master of Engineering (Civil Engineering)

December 2024

Copyright of Mahasarakham University

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายภูมิพัฒน์ วงค์อามาตย์ แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผศ. ดร. หริส ประสารฉ่ำ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศ. ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง)

.....กรรมการ
(ผศ. ดร. ศิวา แก้วปลั่ง)

.....กรรมการ
(ผศ. ดร. รัตนา หอมวิเชียร)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....
(รศ. ดร. จักรมาส เลาหวณิช)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....
(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง การพัฒนาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี ด้วยเทคนิคการหาค่าเหมาะสมสูงสุด

ผู้วิจัย ภูมิพัฒน์ วงค์อามาตย์

อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมโยธา

มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2567

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีความมุ่งหมายเพื่อประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดภายใต้การประยุกต์ใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมเทคนิคใหม่ Electric Eel Foraging Optimization (EEFO) ร่วมกับแบบจำลองการเลียนแบบเพื่อปรับปรุงโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ โดยใช้ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้อยที่สุด ค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด และค่าความถี่การไหลล้นน้อยที่สุด เป็นฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ในกระบวนการค้นหาคำตอบ ร่วมกับเกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน (SOP) การศึกษานี้พิจารณาข้อมูลโค้งควบคุมรายเดือนของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี เป็นกรณีศึกษา ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี อดีต 17 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 - พ.ศ. 2565 ข้อมูลความต้องการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำ ข้อมูลอุทกวิทยา และข้อมูลทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำนอกจากนี้ยังได้สังเคราะห์ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ จำนวน 1,000 ชุดเหตุการณ์เพื่อใช้ประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมที่ได้จากแบบจำลอง ซึ่งจะแสดงผลเป็นสถานการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นในรูปแบบความถี่ ช่วงเวลาของเหตุการณ์ ปริมาณน้ำเฉลี่ย และปริมาณน้ำสูงสุด

ผลการศึกษาพบว่าเมื่อใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ทั้ง 4 รูปแบบข้างต้นนั้นจะได้โค้งควบคุมใหม่ที่มีรูปร่างคล้ายคลึงกับโค้งควบคุมเดิมทุกอ่าง เนื่องจากอิทธิพลของน้ำท่าในแต่ละฤดูกาลและเงื่อนไขอื่นที่เหมือนกัน เมื่อน้ำโค้งควบคุมใหม่เหล่านี้ไปทดสอบและเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิมที่ใช้อยู่ พบว่าโค้งใหม่ที่หาโดยใช้ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดเป็นฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ในกระบวนการค้นหา สามารถบรรเทาสภาวะน้ำไหลล้นและน้ำขาดแคลนได้ดีกว่าโค้งที่เกิดจากการใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์อื่น และยังดีกว่าโค้งควบคุมเดิมเหมือนกันทุกอ่าง ผลการศึกษาสรุปได้ว่าวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิค Electric Eel Foraging Optimization (EEFO) โดยใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ทั้ง 4 รูปแบบในการค้นหาคำตอบสามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับการศึกษาเลียนแบบเพื่อค้นหาโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำได้

คำสำคัญ : โค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ, การหาค่าเหมาะสมที่สุด, การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ, เกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน, Electric Eel Foraging Optimization

TITLE Development of an optimal control curve for the Nong Han-Kumphawapi reservoir using the maximum suitability technique

AUTHOR Phumphat Wongarmart

ADVISORS Professor Anongrit Kangrang , Ph.D.

DEGREE Master of Engineering **MAJOR** Civil Engineering

UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2024

ABSTRACT

The purpose of this research is to apply the optimization method by thespecific technique of Electric Eel Foraging Optimization (EEFO) cooperating with the reservoir simulationmodel in order to improve the rule curves of reservoir. The minimal water shortage, The minimal frequency of water shortage, The minimal average excess water The minimal frequency of excess water were used as the objective functions forsolving process. This study considered the monthly data of reservoir rule curves from the Nong Han-Kumphawapi Reservoir, Udon Thani province as the case studies. The monthly data were collected consists of the average inflow into the Nong Han-Kumphawapi Reservoir from 2006 to 2022 the water requirement from reservoirs, the hydrological data, and the physical data of reservoirs. Moreover, this study synthesized 1,000 samples of inflow data in order to evaluate the efficiency of obtained rule curves from the proposed model.The result were displayed the situations of water shortage and excess water in term of frequency, duration time of situation, the average water quantity, and the highest water quantity.

The results of this research shown that four objective functions above can produce the new rule curves which the physicals were similar to the current ones for all reservoir due to the influences of seasonal inflow and the same operation conditions. The results after testing new rule curves compared with the current ones shown that new rule curves improved by the objective function of the minimal average water shortage can diminish excess water and water shortage better than other rule curves produced by other objective functions and still better than current rule curves for all reservoirs. The results can conclude that EEFO with the four objective functions connecting with reservoir simulation model using the minimal average water shortage has more efficiency to search optimal rule curves.

Keyword : Reservoir rule curves, Reservoir operation, Standard Operating policy, Electric Eel Foraging Optimization

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาแลความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ ข้อคิดเห็น ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งรวมถึงแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หริส ประสารฉ่ำ ประธานกรรมการ ที่คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตนา หอมวิเชียร กรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวา แก้วปลั่ง กรรมการ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้ทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ ดร.สุวภัทร โกษาแสง ดร.รพีภัทร เตชะรุ่งเรืองสกุล และดร.รัตน์สุดา งามเสริฐ พี่ๆ น้องๆ นิสิตปริญญาเอก และปริญญาโท สาขาวิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่าน ที่ได้ให้การช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาตลอดมา

ขอขอบคุณโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษากุมภวาปี และส่วนบริหารจัดการน้ำและบำรุงรักษาสำนักงานชลประทานที่ 5 กรมชลประทาน ที่เอื้อเฟื้อสนับสนุนข้อมูลในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดาและทุกคนในครอบครัว ที่ได้ให้โอกาสในการศึกษาให้การสนับสนุน เป็นกำลังใจ และมีความห่วงใยที่ดีตลอดมา

ผู้วิจัยขออุทิศความดีที่เกิดจากการศึกษาในครั้งนี้ให้กับผู้มีพระคุณดังกล่าว ทุกท่าน

ภูมิพัฒน์ วงค์อามาตย์

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญรูปภาพ ..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 7

1.3 ขอบเขตการวิจัย 7

1.4 ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ 8

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 8

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9

2.1 การจัดการน้ำ 9

2.1.1 การจัดการน้ำแบบบูรณาการ 11

2.2 อ่างเก็บน้ำ (Reservoir) 13

2.2.1 เขื่อนและอ่างเก็บน้ำในประเทศไทย 13

2.2.2 การจำแนกตามขนาดของอ่างเก็บน้ำ 16

2.2.3 การจำแนกประเภทของอ่างเก็บน้ำตามวัตถุประสงค์ 19

2.2.4 การจำแนกประเภทของอ่างเก็บน้ำโดยใช้หลักเกณฑ์การเชื่อมโยงระบบ 21

2.2.5 การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ 22

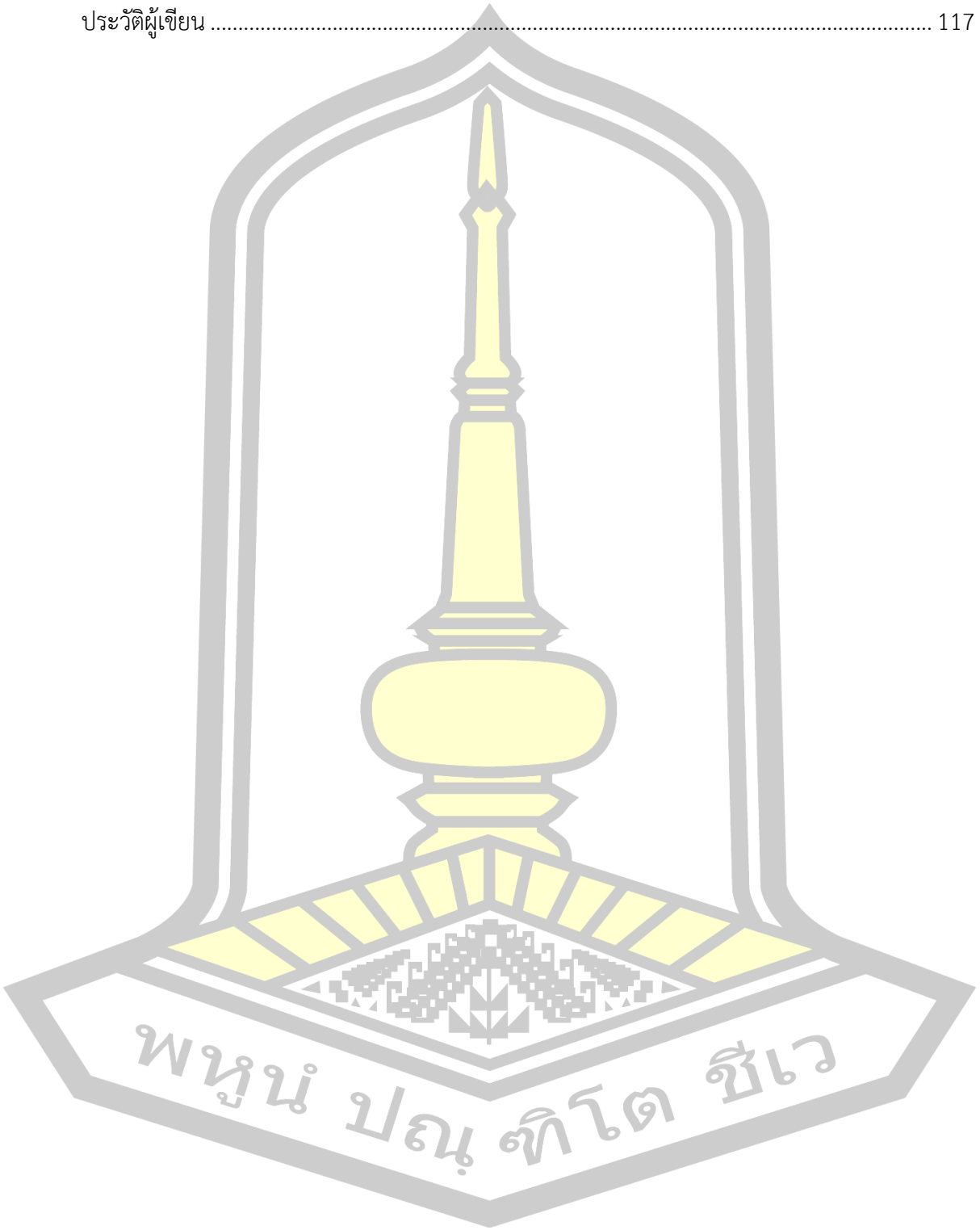
2.2.6 น้ำต้นทุน (Water budget) 22
2.2.7 การบริหารจัดการแหล่งน้ำ 23
2.3 การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operations).....24
2.3.1 หลักการเกณฑ์การปล่อยน้ำของอ่างเก็บน้ำ 26
2.3.1.1 เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบมาตรฐาน (Standard Operating Policy).....26
2.3.1.2 หลักการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำด้วยโค้งควบคุม.....28
2.4 การปรับปรุงโค้งควบคุม 32
2.4.1 การหาค่าเหมาะสมที่สุดสำหรับปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ.....32
2.4.2 ปรับโค้งควบคุมแบบลองผิดลองถูกในแบบจำลองระบบอ่างเก็บน้ำ.....32
2.4.3 ขั้นตอนการดำเนินการลองผิดลองถูกเพื่อหาโค้งควบคุมที่เหมาะสม.....33
2.4.4 เทคนิคการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธีการศึกษาเลียนแบบ (SM).....34
2.4.5 เทคนิคการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธีโปรแกรมเชิงพลวัตร.....38
2.4.6 เทคนิคการหาค่าเหมาะสมด้วยเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม.....39
2.4.7 วิธีดิฟเฟอร์เรนเชียลเอฟโวลูชั่น (Differential Evolution: DE).....42
2.4.8 เทคนิคอัลกอริทึมการจำลองการอบเหนียว (Simulated Annealing Algorithm: SA) 43
2.4.9 ชัฟเฟิลฟรอกลิปปิงอัลกอริทึม (Shuffled Frog Leaping Algorithm: SFLA).....43
2.5 เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิค Electric Eel Foraging Optimization (EEFO) 45
2.5.1 Electric eel foraging optimization (EEFO).....45
2.5.1.1 แรงบันดาลใจ.....45
2.5.1.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และอัลกอริทึม.....47
2.5.2 ขั้นตอนการทำงานของ EEFO 54
2.5.3 Pseudocode ของ EEFO 56

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....57
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....70
3.1 ข้อมูลพื้นที่ศึกษา.....71
3.1.1 ที่ตั้งโครงการ.....73
3.1.2 สภาพทั่วไปของโครงการ.....74
3.1.3 ลักษณะโครงการ.....76
3.1.4 หัวงาน ปตร.กุมภวาป.....77
3.2 การหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมโดยใช้เทคนิค Electric Eel Foraging Optimization (EEFO).....83
3.2.1. ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์สำหรับการประเมินคำตอบ.....84
3.2.2 การประยุกต์ EEFO เพื่อค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ.....85
3.2.3 จัดทำโค้งควบคุม.....87
3.2.4 การตรวจสอบโค้งควบคุมและประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุม.....88
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....90
4.1 ผลการสร้างโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุดของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี.....90
4.1.1 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี จากการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Standard Operating rule ด้วยเทคนิค EEFO เปรียบเทียบกับ GA กรณีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ดังแสดงในภาพประกอบ 42.....91
4.1.2 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี จากการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Standard Operating rule ด้วยเทคนิค EEFO เปรียบเทียบกับ GA กรณีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด ดังแสดงในภาพประกอบ 43.....92
4.1.3 โค้งควบคุมที่เหมาะสมอ่างเก็บน้ำโดยใช้น้ำท่าในช่วงเวลาอดีตของอ่างเก็บน้ำ 17 ปี (พ.ศ.2549-2565) จากการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Standard Operating rule

ด้วยเทคนิค EEFO ดังแสดงในภาพประกอบ 44-47 ตามกรณีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์การค้นหาดังต่อไปนี้ 93
4.1.3.1 กรณีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหาค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด 93
4.1.3.2 กรณีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหาค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด 95
4.1.3.3 กรณีใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหาเป็นค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด 97
4.1.3.4 กรณีใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหาเป็นค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด 98
4.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุม 101
4.2.1 ผลการประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมด้วยข้อมูลน้ำท่ารายเดือนจากอดีต 102
4.2.1.1 กรณีอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี ใช้ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนย้อนหลังในอดีต 17 ปี 102
4.2.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมด้วยข้อมูลน้ำท่ารายเดือนสังเคราะห์ ... 103
4.2.2.1 กรณีอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี ใช้ข้อมูลน้ำท่าที่สังเคราะห์ 103
4.2.3 ผลการประเมินประสิทธิภาพเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมด้วยเทคนิค EEFO และ GA จากน้ำท่าอดีต 106
4.2.4 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นของโค้งควบคุมที่เหมาะสม จากกรณีการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ SOP ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่าในอดีต 1,000 ชุดเหตุการณ์ 107
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 110
5.1 ผลการสร้างโค้งควบคุมที่เหมาะสม 110
5.2 ผลการประเมินโค้งควบคุมที่เหมาะสม 111
5.3 สรุป 112
5.4 ข้อเสนอแนะ 113

บรรณานุกรม 115

ประวัติผู้เขียน 117



สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี (ที่มา: โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษากุมภวาปี).....79

ตาราง 2 ข้อมูลฝนใช้การเฉลี่ยรายเดือนอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี (ที่มา: โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษากุมภวาปี).....80

ตาราง 3 ข้อมูลการระเหย การรั่วซึมเฉลี่ยรายเดือนอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี (ที่มา: โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษากุมภวาปี).....81

ตาราง 4 ข้อมูลฝนเฉลี่ยรายเดือนอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี (ที่มา: โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษากุมภวาปี).....81

ตาราง 5 ข้อมูลความต้องการใช้น้ำในเขตอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี (ที่มา: โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษากุมภวาปี).....82

ตาราง 6 การหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี และการประเมินประสิทธิภาพในแต่ละกรณี.....89

ตาราง 7 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี และโค้งควบคุมเดิมกรณีใช้ฟังก์ชั่นค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด.....94

ตาราง 8 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี และโค้งควบคุมเดิมกรณีใช้ฟังก์ชั่นค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด.....96

ตาราง 9 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี และโค้งควบคุมเดิมกรณีใช้ฟังก์ชั่นค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด.....97

ตาราง 10 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี และโค้งควบคุมเดิมกรณีใช้ฟังก์ชั่นค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด.....99

ตาราง 11 ผลการประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี ใช้ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนย้อนหลังในอดีต ตั้งแต่ พ.ศ.2549-2565 จำนวน 17 ปี..... 102

ตาราง 12 การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี ใช้ข้อมูลที่สังเคราะห์จากข้อมูลน้ำท่ารายเดือนอดีตตั้งแต่ พ.ศ. 2549 - 2565 จำนวน 17 ปี 1,000 ชุดเหตุการณ์..... 104

ตาราง 13 ผลการประเมินเหตุการณ์การขาดแคลนน้ำและการไหลล้นของโค้งควบคุมที่เหมาะสมจากเทคนิค EEFO และ GA ด้วยข้อมูลน้ำท่าในอดีต โดยใช้ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี 17 ปี (พ.ศ.2549-2565) 106

ตาราง 14 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นของโค้งควบคุมที่เหมาะสมจากกรณีการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ SOP ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่าในอดีต 1,000 ชุดเหตุการณ์ 107

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 ทิศทางการจัดการน้ำ....11
ภาพประกอบ 2 องค์ประกอบของการจัดการน้ำแบบผสมผสาน....12
ภาพประกอบ 3 เขื่อนเก็บน้ำที่มีความจุมากที่สุดในประเทศไทย 10 อันดับแรก....14
ภาพประกอบ 4 ปริมาณเก็บกักอ่างเก็บน้ำมากที่สุด 20 อันดับแรกในประเทศไทย....14
ภาพประกอบ 5 ระบบโครงการชลประทาน....16
ภาพประกอบ 6 ตำแหน่งที่ตั้งของอ่างเก็บน้ำในประเทศไทย....17
ภาพประกอบ 7 สถานการณ์น้ำของแต่ละอ่างเก็บน้ำ ณ วันที่ 18 มีนาคม พ.ศ.2567....18
ภาพประกอบ 8 อ่างเก็บน้ำแบบเดี่ยว....19
ภาพประกอบ 9 อ่างเก็บน้ำแบบเครือข่าย....19
ภาพประกอบ 10 เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบมาตรฐาน....27
ภาพประกอบ 11 การแบ่งปริมาตรอ่างเก็บน้ำ....28
ภาพประกอบ 12 เกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน....30
ภาพประกอบ 13 ขั้นตอนการลองผิดลองถูกในการหาโค้งควบคุมที่เหมาะสม....34
ภาพประกอบ 14 การพร่องน้ำในช่วงเริ่มต้นฤดูฝน....35
ภาพประกอบ 15 การสำรองน้ำในช่วงฤดูแล้ง....35
ภาพประกอบ 16 การประยุกต์เทคนิคการหาค่าเหมาะสมสูงสุดเชื่อมติดกับแบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำเพื่อค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสม....37
ภาพประกอบ 17 ขอบเขตของการค้นหาคำตอบโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุด....37
ภาพประกอบ 18 กระบวนการประเมินโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุด....38
ภาพประกอบ 19 ขั้นตอนการทำงานของ Genetic Algorithm....42
ภาพประกอบ 20 กลุ่มวิธีการหาเส้นโค้งกฎที่เหมาะสมที่สุด....45

ภาพประกอบ 21 โครงสร้างทางกายภาพและอวัยวะที่ผลิตไฟฟ้าของปลาไหลไฟฟ้า.....47
ภาพประกอบ 22 ขั้นตอนการกำหนดพื้นที่การพักผ่อนใน (a) พื้นที่ 2 มิติ และ (b) พื้นที่ 3 มิติ 50
ภาพประกอบ 23 ตัวอย่างการล่าโดยการโค้งงอ.....53
ภาพประกอบ 24 แผนผังรูปแบบของพฤติกรรมการย้ายถิ่นฐาน 54
ภาพประกอบ 25 แผนผังของ EEFO.....55
ภาพประกอบ 26 รหัสคอมพิวเตอร์ของ EEFO 56
ภาพประกอบ 27 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 70
ภาพประกอบ 28 ตำแหน่งตั้งโครงการ.....71
ภาพประกอบ 29 พื้นที่ศึกษา 72
ภาพประกอบ 30 แผนผังของระบบอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี.....73
ภาพประกอบ 31 แสดงที่ตั้งหัวงานโครงการ.....74
ภาพประกอบ 32 สภาพปัจจุบันด้านหน้าประตูระบายน้ำฝายกุมภวาปี.....78
ภาพประกอบ 33 สภาพปัจจุบันด้านท้ายอาคารฝายกุมภวาปี 78
ภาพประกอบ 34 กราฟข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี 79
ภาพประกอบ 35 กราฟข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี.....80
ภาพประกอบ 36 กราฟข้อมูลฝนใช้การเฉลี่ยรายเดือนอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี 80
ภาพประกอบ 37 กราฟข้อมูลการระเหย การรั่วซึมเฉลี่ยรายเดือนอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี ..81
ภาพประกอบ 38 กราฟข้อมูลฝนเฉลี่ยรายเดือนอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี.....82
ภาพประกอบ 39 กราฟข้อมูลความต้องการใช้น้ำในเขตอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี 82
ภาพประกอบ 40 การประยุกต์ใช้เทคนิค Electric Eel Foraging Optimization (EEFO).....83
ภาพประกอบ 41 แผนผังการทำงานหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมด้วยวิธี EEFO.....87
ภาพประกอบ 42 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี จากเทคนิค EEFO และ GA ด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Standard Operating rule 91

ภาพประกอบ 43 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี จากเทคนิค EEFO และ GA ด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Standard Operating rule 92

ภาพประกอบ 44 ลักษณะเส้นโค้งควบคุมเดิมและลักษณะเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี กรณีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหาเป็นค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด 95

ภาพประกอบ 45 ลักษณะเส้นโค้งควบคุมเดิมและลักษณะเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บ ..96

ภาพประกอบ 46 ลักษณะเส้นโค้งควบคุมเดิมและลักษณะเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บ ..98

ภาพประกอบ 47 ลักษณะเส้นโค้งควบคุมเดิมและลักษณะเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บ 100

ภาพประกอบ 48 ลักษณะเส้นโค้งควบคุมเดิมและลักษณะเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บ 100

ภาพประกอบ 49 จำนวนรอบในการลู่เข้าหาคำตอบของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี ของแบบจำลองวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธี EEFO ของทั้ง 4 ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหา 105

ภาพประกอบ 50 การลู่เข้าคำตอบของการค้นหาเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ จากเทคนิค EEFO และ GA 109

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

น้ำ เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญและจำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทั้ง มนุษย์ สัตว์ และพืช มนุษย์นับเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีการนำน้ำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ มากที่สุด เช่น เพื่อการอุปโภค-บริโภค การพลังงาน การเกษตรกรรม การอุตสาหกรรม การท่องเที่ยว การผลิตกระแสไฟฟ้า การรักษาสมดุล นิเวศวิทยา การผลักดันน้ำเค็ม และการชะล้างน้ำเสียในแหล่งน้ำ เป็นต้น ในสภาวการณ์ปัจจุบันทรัพยากรน้ำเป็นปัญหาที่มีความสำคัญอย่างยิ่งทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ กล่าวคือปัญหาการขาดแคลนน้ำซึ่งมีผลมาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร การขยายตัวของชุมชนเมืองตามความเจริญเติบโตของประเทศ ตลอดจนการผันแปรของสภาพภูมิอากาศ ส่วนบางปีฝนตกชุกอย่างต่อเนื่องจนเกิดปัญหาน้ำท่วม อันเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การเกิดภาวะฝนแล้ง ฝนทิ้งช่วงยาวนาน การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ตลอดจนการมีน้ำเสียหรือมลพิษทางน้ำเกิดขึ้นในหลายท้องที่ตามมา และการบริหารจัดการน้ำที่ขาดประสิทธิภาพ ซึ่งนับเป็นวิกฤตการณ์ที่เกี่ยวกับน้ำที่ต้องการการแก้ไขให้ดีขึ้นในอนาคต การหาทางแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับน้ำจึงเป็นเรื่องสำคัญในการพัฒนาทั้งทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม โดยการมองหาวิธีการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพและอย่างยั่งยืนจะเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในอนาคต

การจัดการน้ำ เป็นการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในขอบเขตลุ่มน้ำเพื่อแก้ไขปัญหาวิกฤตการณ์น้ำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด การจัดการน้ำแบ่งเป็น 2 ด้าน คือ การจัดการด้านน้ำต้นทุนและการจัดการด้านความต้องการใช้น้ำ ด้านน้ำต้นทุนมีแนวทางหลักที่สำคัญคือการเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนในลุ่มน้ำ เช่น การทำฝนหลวง การผันน้ำจากลุ่มน้ำข้างเคียงมาเติม การสร้างอ่างเก็บน้ำ การสร้างเขื่อน การสร้างฝายทดน้ำ และการเพิ่มศักยภาพให้น้ำต้นทุน เช่น การขุดลอกแหล่งน้ำ การปรับปรุงอ่างเก็บน้ำเพื่อเพิ่มความจุ การสร้างระบบการส่งน้ำ การอนุรักษ์ป่าต้นน้ำ การปรับปรุงการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ และการบริหารจัดการแหล่งน้ำหลายแหล่งร่วมกัน ส่วนการจัดการด้านความต้องการใช้น้ำนั้นประกอบด้วย การวิเคราะห์ความต้องการใช้น้ำในลุ่มน้ำ การจัดสรรน้ำตามความต้องการ การจัดการทรัพยากรน้ำร่วมกับทรัพยากรอื่น การมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้เสีย การจัดทำบัญชีความต้องการใช้น้ำในแต่ละภาคส่วนทั้งในปัจจุบันและในอนาคต การเพิ่มประสิทธิภาพ

การชลประทาน การปรับปรุงรูปแบบการให้น้ำ และการปรับเปลี่ยนมาปลูกพืชชนิดที่ใช้น้ำน้อยแทนการปลูกพืชที่ใช้น้ำมาก เป็นต้น

อ่างเก็บน้ำ คือกลไกที่มนุษย์สร้างขึ้นมาเพื่อเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ ที่ดำเนินการก่อสร้างโดยหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในด้านการบริหารจัดการน้ำ เพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์ตามพื้นที่ ซึ่งหน้าที่ของอ่างเก็บน้ำก็คือการรองรับปริมาณน้ำฝนในฤดูฝนเพื่อป้องกันน้ำหลาก และปล่อยน้ำมาใช้ตามความต้องการใช้น้ำท้ายอ่างในฤดูแล้ง ซึ่งการแบ่งประเภทของอ่างเก็บน้ำ โดยสามารถแบ่งประเภทของ อ่างเก็บน้ำตามขนาดความสามารถในการเก็บกักน้ำและขนาดของพื้นที่ชลประทาน สามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภทหลัก ได้แก่ อ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ มีปริมาณน้ำกักเก็บมากกว่าหรือเท่ากับ 100 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือมีพื้นที่ชลประทานมากกว่า 80,000 ไร่ อ่างเก็บน้ำขนาดกลาง มีปริมาณน้ำกักเก็บน้อยกว่า 100 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือมีพื้นที่ชลประทานระหว่าง 3,000 ถึง 80,000 ไร่ และอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก มีปริมาณน้ำกักเก็บน้อยกว่า 1 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือมีพื้นที่ชลประทานน้อยกว่า 3,000 ไร่ (กรมชลประทาน, 2562; วราวุธ วุฒิวณิชย์และคณะ, 2550) อ่างเก็บน้ำนอกจากจะแบ่งตามขนาดแล้ว ก็สามารถที่จะแบ่งตามการตอบสนองวัตถุประสงค์ ได้แก่ อ่างเก็บน้ำเอกประสงค์ (Single-purpose Reservoir) คือ อ่างเก็บน้ำที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อวัตถุประประสงค์เพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง และอ่างเก็บน้ำเอนกประสงค์ (Multi-purpose Reservoir) คือ อ่างเก็บน้ำที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อตอบสนองได้หลายวัตถุประสงค์ ได้แก่ การชลประทาน การจัดหาน้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภคและอุตสาหกรรม การผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำ การบรรเทาอุทกภัยหรือภัยแล้ง การคมนาคมทางน้ำ การควบคุมน้ำทางด้านท้ายน้ำ เป็นต้น ซึ่งการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำแบบเอกประสงค์นั้นจะมีวิธีการจัดการที่ไม่ยุ่งยากมากเท่ากับอ่างเก็บน้ำแบบเอนกประสงค์ เนื่องจากอ่างเก็บน้ำแบบเอนกประสงค์จะต้องมีการพิจารณาปัจจัยต่างๆ ที่มีมากกว่า แต่ถึงอย่างนั้น การจัดการกับอ่างเก็บน้ำทั้งสองประเภทที่ตอบสนองภายในอ่างเก็บน้ำแห่งเดียว และการแบ่งประเภทของอ่างเก็บน้ำขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพลุ่มน้ำ หรือลักษณะการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ อ่างเก็บน้ำแบบเดี่ยว (Single reservoir) และอ่างเก็บน้ำแบบเครือข่าย (Multi reservoir)

การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir management) คือ การวางแผนและการจัดการอ่างเก็บน้ำเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ พร้อมทั้งพิจารณาปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำให้มีความสมดุลกับความต้องการใช้น้ำด้านท้ายอ่าง ซึ่งปัญหาหลักของการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำคือ จะทำอย่างไรให้ปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ สามารถที่จะตอบสนองต่อความต้องการน้ำในช่วงเวลาต่างๆ กันได้อย่าง

เพียงพอและยั่งยืน เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาน้ำท่วมหรือการขาดแคลนน้ำ จากนิยามของการขาดแคลนน้ำ คือ การที่ปริมาณน้ำที่ปล่อยไปใช้ตามความต้องการน้อยกว่าปริมาณความต้องการใช้น้ำ ซึ่งเป็นเรื่องยากที่จะปล่อยน้ำได้ตามความต้องการใช้น้ำด้านท้ายอ่างอยู่เสมอ เนื่องจากปริมาณน้ำต้นทุนที่เหลืออยู่ในอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาต่างๆ ไม่เท่ากัน ซึ่งปัญหาในส่วนนี้ทำให้เกิดช่องว่างในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ ในการปฏิบัติงานจริงจึงต้องมีการวางแผนการปล่อยน้ำเพื่อให้ประชนผู้ใช้น้ำด้านท้ายอ่างได้รับประโยชน์สูงสุด และป้องกันการเกิดผลกระทบจากปัญหาด้านปริมาณน้ำให้ได้มากที่สุด เช่นเดียวกัน ปัญหาในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำเกิดจากความไม่แน่นอนของธรรมชาติและความต้องการใช้น้ำ เช่น การแปรผันของปริมาณฝน น้ำที่ไหลลงอ่าง น้ำที่ส่งไปใช้งานและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์และใช้ประโยชน์อย่างเต็มศักยภาพ การบริหารจัดการน้ำจากอ่างเก็บน้ำจึงมีความสำคัญยิ่ง ดังนั้นเพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้ควบคุมการใช้อ่างเก็บน้ำและปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ดังที่กล่าวมา และก่อให้เกิดผลผลิตในเชิงเศรษฐศาสตร์มากที่สุด จึงจำเป็นต้องมีการวางกฎการปฏิบัติการของอ่างเก็บน้ำ ซึ่งกฎนี้จะใช้ในช่วงเวลาการปฏิบัติงานตามปกติไม่ใช่ช่วงหลังการก่อสร้างเสร็จใหม่ๆ หรือช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงวัตถุประสงค์การใช้อ่างเก็บน้ำ

การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ คือการเก็บกักน้ำในอ่างเก็บน้ำและการส่งน้ำจากอ่างเก็บน้ำเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ โดยมีการวางแผนล่วงหน้าว่าควรจะเก็บกักและส่งน้ำจากอ่างเก็บน้ำในแต่ละช่วงเวลาเป็นปริมาณเท่าใดและมีการปฏิบัติการตามแผนที่วางไว้ตราบเท่าที่สภาพในอนาคตเป็นไปตามที่คาดคะเนไว้ ถ้าสภาพในอนาคตต่างจากที่คาดคะเนไว้ในตอนวางแผนการปฏิบัติการอาจแตกต่างจากแผนที่วางไว้เพื่อลดสภาวะการขาดแคลนน้ำหรือน้ำล้นอ่างเก็บน้ำโดยจะเป็นการอธิบายข้อมูลในรูปของระดับและเวลา หรือปริมาตรและเวลา ข้อมูลเหล่านี้ยังแสดงระดับเก็บกักน้ำในอ่างเก็บน้ำ ได้แก่ ระดับเก็บกักต่ำสุด (Minimum Pool Level) ระดับเก็บกักปกติ (Normal Pool Level) ระดับเก็บกักสูงสุด (Maximum Water Surface) โดยระดับเหล่านี้จะอยู่ภายใต้การใช้โค้งควบคุมปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สำคัญและจำเป็นพื้นฐานในการปรับปรุงการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Zhou et al., 2017) อย่างไรก็ตามมีอีกหนึ่งเกณฑ์ที่นำมาใช้จำลองการปล่อยน้ำเหมาะสำหรับอ่างที่มีสภาวะขาดแคลนน้ำที่ส่งผลกระทบรุนแรง คือเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging rule (Javad and Mojtaba, 2019) คือเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่พยายามลดการส่งน้ำในบางช่วงเวลาเพื่อเก็บกักน้ำไว้ใช้ในช่วงเวลาถัดไป โดยที่แม้ว่าปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ในอ่างจะสามารถตอบสนองต่อปริมาณความต้องการน้ำตามเป้าหมายได้อย่างเต็มศักยภาพก็

ตาม อาจกล่าวได้ว่าเกณฑ์การปฏิบัติการแบบ Hedging rule เป็นความพยายามที่จะลดปัญหาการขาดแคลนน้ำอย่างรุนแรงที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในอนาคต ด้วยการกระจายการขาดแคลนน้ำในเวลาปัจจุบันไปล่วงหน้า (H Baohui Men et al., 2019) ซึ่งเหมาะอย่างยิ่งสำหรับระบบที่มีความต้องการใช้น้ำสูง แต่ประสบปัญหาในด้านความผันแปรของข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ซึ่งจะมีความซับซ้อนมากขึ้นอีก เมื่อต้องนำมาปรับใช้กับอ่างเก็บน้ำที่ทำงานร่วมกันเป็นระบบ ที่ตอบสนองในความต้องการใช้น้ำร่วมกัน (Hong-bin et al., 2014) การปล่อยน้ำไปใช้ตามความต้องการใช้น้ำท้ายอ่างเราเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การจัดสรรน้ำ (Water allocation) คือการนำน้ำใช้ประโยชน์ทั้งทางด้านอุปโภค-บริโภค ด้านการเกษตร เป็นต้น ซึ่งเครื่องมือที่สำคัญที่ช่วยประกอบการตัดสินใจเพื่อที่จะจัดสรรน้ำคือ โค้งควบคุมการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Rule Curves)

โค้งควบคุมการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ หรือเรียกสั้นๆ ว่าโค้งควบคุมระดับอ่างเก็บน้ำหรือโค้งควบคุม (Rule Curve) เป็นโค้งควบคุมระดับอ่างเก็บน้ำ ซึ่งประกอบไปด้วยเส้นกราฟสองเส้นคือ เส้นบนแสดงถึงระดับควบคุมตอนบน (Upper Rule Curve, URC) คือ ระดับน้ำตอนบนที่กำหนดไว้เป็นมาตรฐานของอ่างเก็บน้ำในแต่ละเดือน จำเป็นต้องรักษาระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำไม่ให้มีระดับน้ำสูงเกินกว่าระดับควบคุมตอนบน ทั้งนี้เพื่อสำรองปริมาตรน้ำที่อยู่ระหว่างระดับน้ำควบคุมตอนบนกับระดับน้ำเก็บกักสูงสุดไว้สำหรับป้องกันน้ำท่วม ส่วนเส้นล่างแสดงระดับควบคุมตอนล่าง (Lower Rule Curve, LRC) คือ ระดับน้ำที่ควบคุมต่ำสุดในอ่างเก็บน้ำของแต่ละเดือนที่กำหนดไว้เป็นมาตรฐานไม่ให้มีระดับน้ำต่ำกว่าระดับควบคุมตอนล่าง ทั้งนี้เพื่อสำรองปริมาตรน้ำที่อยู่ระหว่างระดับน้ำควบคุมตอนล่างกับระดับน้ำเก็บกักต่ำสุดไว้สำหรับการเพาะปลูกในช่วงฤดูแล้งที่มีการขาดแคลนน้ำ จะเห็นได้ว่าการควบคุมระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำจะอยู่ภายใต้เส้นขอบบนและขอบล่างให้มากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามการควบคุมระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำเป็นการใช้โค้งควบคุมบริหารจัดการในระยะยาว (Long Term Operation) นิยมใช้เป็นโค้งรายเดือน (Monthly rule curve) จะเห็นได้ว่าเมื่อนำโค้งควบคุมระดับเก็บกักน้ำมาใช้ในเวลานานอาจทำให้การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำประสิทธิภาพลดลง จึงจำเป็นจะต้องปรับปรุงโค้งควบคุมให้มีประสิทธิภาพใหม่ในการค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำเพื่อใช้ในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำนั้น ในช่วงเริ่มต้นได้ใช้การค้นหาแบบลองผิดลองถูก (Trial and error) จนกระทั่งได้โค้งควบคุมที่ยอมรับได้ ต่อมาได้มีการประยุกต์วิธีการค้นหาแบบพลวัตดั้งเดิม (Dynamic programming) ร่วมกับการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสม (Chaleeraktrakoon and Kangrang, 2007; Ji et al., 2014) หลังจากนั้นเทคนิคทางวิวัฒนาการ (Evolution Algorithm) ก็ได้ถูกประยุกต์ใช้เพื่อค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมเช่นกัน (Ahmadianfar

et al., 2021) อย่างไรก็ตามการแก้ปัญหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมจะต้องมีการประเมินประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือด้วย

ในปัจจุบันได้มีการนำเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization techniques) สำหรับการหาโค้งควบคุมที่ดีที่สุดมาประยุกต์ใช้ในการหาค่าเหมาะสมร่วมกับแบบจำลองระบบอ่างเก็บน้ำเพื่อค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำจากเทคนิคง่ายๆที่ไม่ซับซ้อนมากไปจนถึงเทคนิคที่มีความยุ่งยากซับซ้อน เริ่มจากโดยใช้เทคนิคฮิวลิสติกและเมตาฮิวลิสติก (Heuristic Algorithm, Metaheuristic Algorithm) เช่น กระบวนการทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Process), การจำลองการอบเหนียว (Simulated Annealing Algorithm: SA), ซัฟเฟิลฟรอกลิปปิงอัลกอริทึม (Shuffled Frog Leaping Algorithm: SFLA) เป็นต้น ต่อมาโดยใช้เทคนิควิวัฒนาการ (Evolutionary Algorithm) เช่น เจเนติกอัลกอริทึม (GA), วิธีดิฟเฟอร์เรนเชียลเอฟโวลูชั่น (DE), เจเนติกโปรแกรมมิ่ง (GP) และอัลกอริทึมเชิงวัฒนธรรม (CA) เป็นต้น และโดยใช้เทคนิคการค้นหาแบบกลุ่ม (Swarm Algorithm) เช่น การเพิ่มประสิทธิภาพฝูงอนุภาค (PSO), อัลกอริทึมการค้นหานกกาเหว่า (CS), อัลกอริทึมหิ่งห้อย (FA), อัลกอริธึมการผสมเกสรดอกไม้ (FPA), เครื่องมือเพิ่มประสิทธิภาพหมาป่าสีเทา (GWO) การปรับให้เหมาะสมโดยลม (WDO), การปรับให้เหมาะสมฝูงมด (ACO), การปรับให้เหมาะสมการจับคู่ผึ้ง (HBMO) (Kangrang et al., 2023) เป็นต้น

กล่าวคือ Optimization เป็นวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดอย่างมีระบบ และเทคนิคการหาค่าที่ดีที่สุดหรือค่าเหมาะสมที่สุด (Optimization Technique) เป็นเครื่องมือที่สำคัญสามารถมาใช้ในการแก้ปัญหาทางด้านวิศวกรรมแหล่งน้ำได้เมื่อระบบทรัพยากรน้ำได้ถูกจำลองในรูปแบบทางคณิตศาสตร์แล้วเทคนิคขั้นสูงที่ถูกพัฒนาขึ้นและเป็นที่นิยมนำมาใช้กันในหลายสาขาแต่อย่างไรก็ตามเทคนิคต่างๆเหล่านี้ล้วนแล้วแต่มีข้อจำกัดในการทำงานของตนเองและเหมาะสมกับพื้นที่เฉพาะที่ปรับใช้เท่านั้น ซึ่งบางเทคนิคก็มีระบบที่ซับซ้อนและใหญ่เกินไป นอกจากนี้บางเทคนิคก็มีพารามิเตอร์มากเกินไปซึ่งส่งผลให้ยากต่อการใช้งานด้วยเหตุนี้ นักวิจัยจึงพยายามที่จะพัฒนาเทคนิคใหม่ๆในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ที่สามารถหาคำตอบได้อย่างแม่นยำและมีความง่ายมากยิ่งขึ้น หากมีเทคนิคการหาค่าเหมาะสมสูงสุดวิธีใหม่ที่จะประยุกต์ใช้งานง่ายและมีความเหมาะสมกับพื้นที่ ก็เป็นที่น่าศึกษา อย่างไรก็ตามยังมีเทคนิคใหม่ๆ ที่น่าสนใจที่สามารถนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาและหาค่าดังกล่าวได้เหมือนกัน

อีกหนึ่งเทคนิคใหม่ๆ ที่มีประสิทธิภาพในการค้นหาค่าที่เหมาะสม คือเทคนิค Electric Eel Foraging Optimization (EEFO) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ได้รับแรงบันดาลใจจากการค้นหาอาหารของปลาไหลไฟฟ้าในธรรมชาติ พฤติกรรมการหาอาหารใน EEFO มี 4 พฤติกรรม คือ การโต้ตอบ การพักผ่อน

การล่าเหยื่อ และการย้ายถิ่น พฤติกรรมการย้ายถิ่นของปลาไหลเพื่อให้ไปถึงสภาพแวดล้อมการเอาชีวิตรอด (Yao-sheng et al., 2014) และตำแหน่งเหยื่อและพฤติกรรมการสื่อสารของปลาไหลไฟฟ้า (Yilmaz & Sen, 2020) แต่เครื่องมือเพิ่มประสิทธิภาพในการศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่การสร้างแบบจำลองพฤติกรรมการหาอาหารอย่างชาญฉลาดทางสังคมของปลาไหลไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นจึงมีการเสนอและพัฒนาเครื่องมือเพิ่มประสิทธิภาพตัวใหม่ที่เลียนแบบพฤติกรรมการหาอาหารอย่างชาญฉลาดทางสังคมของปลาไหลไฟฟ้า ซึ่งมีชื่อว่าการเพิ่มประสิทธิภาพการหาอาหารปลาไหลไฟฟ้า (EEFO) ในการศึกษานี้ EEFO ได้รับการทดสอบโดยใช้ชุดฟังก์ชั่นการวัดประสิทธิภาพโดยรวม 23 รายการ ชุดการทดสอบ CEC2017 ชุดการทดสอบ CEC2011 และปัญหาทางวิศวกรรม 10 ประการ ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงศักยภาพเหนือกว่าของ EEFO เมื่อแก้ปัญหาในทางปฏิบัติแห่งความเป็นจริงที่ท้าทายมากมาย โดยรวมแล้วอัลกอริธึมที่นำเสนอแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ยอดเยี่ยมในแง่ของการแสวงหาประโยชน์ ความสามารถในการสร้างสมดุลระหว่างการใช้ประโยชน์ การสำรวจ และการหลีกเลี่ยง EEFO มีความสามารถที่โดดเด่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการหาค่าเหมาะที่สุดที่เกี่ยวข้องกับลักษณะเฉพาะแบบเดียว ข้อจำกัดและตัวแปรมากมาย

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีจำนวนอ่างเก็บน้ำขนาดกลาง และขนาดเล็กมากที่สุดในประเทศไทย ซึ่งแต่ละอ่างเก็บน้ำจะเกิดสถานการณ์น้ำที่แตกต่างกันในแต่ละปี ในบางปีเกิดสถานการณ์น้ำขาดแคลน ในบางปีเกิดสถานการณ์น้ำไหลล้น หนึ่งในตัวอย่างของอ่างเก็บน้ำที่เกิดปัญหาดังกล่าวคืออ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี ซึ่งลักษณะทางกายภาพของพื้นที่รับน้ำโดยรอบของอ่างเก็บน้ำ มีลำห้วยสาขาสายหลักที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำ จำนวน 10 ลำน้ำ โดยที่จุดไหลออกผ่านประตูระบายน้ำโครงการฝายกุมภวาปี ลงสู่ลำน้ำปาวด้านท้ายน้ำ จากสภาพภูมิประเทศช่วงตอนบนของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี ด้านนอกคันดิน เป็นพื้นที่ราบลุ่มแอ่งกระทะและเป็นพื้นที่ลุ่มต่ำ จึงเกิดปัญหาน้ำท่วมในทุกปีของช่วงฤดูฝน ในบริเวณที่รอยต่อปากลำห้วยแต่ละสาขาที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำ และเกิดปัญหาภัยแล้งเมื่อเกิดภาวะฝนตกน้อยหรือฝนทิ้งช่วงเป็นเวลานาน ส่งผลกระทบต่อผลผลิตทางการเกษตรและปริมาณน้ำสำรองเพื่อการอุปโภค-บริโภค อุสาหกรรม รักษาสมดุลระบบนิเวศ และกิจกรรมอื่นๆ

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งหมายที่จะทำการศึกษาการบริหารจัดการน้ำโดยไม่ใช่สิ่งก่อสร้าง โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเทคนิคใหม่นั่นคือ เทคนิค Electric Eel Foraging Optimization (EEFO) เพื่อค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี ด้วยการสร้างแบบจำลองการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ โดยใช้เทคนิคการหาค่าเหมาะสมสูงสุดร่วมกับแบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำ โดยใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน

(Standard Operating Rule) เพื่อสร้างโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมที่สุด โดยมีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์การไหลล้นของน้ำ และการขาดแคลนน้ำ หลังจากนั้นดำเนินการประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำโดยเทคนิค Genetic Algorithm ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีความนิยมในการจัดการปัญหาด้านวิศวกรรม

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ประยุกต์ใช้เทคนิค Electric Eel Foraging Optimization (EEFO) เพื่อปรับปรุงโค้งควบคุมที่เหมาะสมสูงสุดของอ่างเก็บน้ำ

2. ประเมินประสิทธิภาพเทคนิค Electric Eel Foraging Optimization (EEFO) ที่ใช้ค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมสูงสุดของอ่างเก็บน้ำ เปรียบเทียบกับเทคนิค Genetic Algorithm (GA) และโค้งควบคุมเดิม (Existing)

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา

ฝายกุมภวาปี หัวงานตั้งอยู่ในลุ่มน้ำลำปาวตอนบน เขตตำบลเวียงคำ อำเภอกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี ลักษณะโครงการเป็นโครงกาชลประทานประเภทประตูระบายน้ำ (ปตร.) สร้างปิดกั้นลำน้ำลำปาว ที่ท้ายหนองหาน-กุมภวาปี ที่เส้นรุ้งที่ 17°04’35’’ เหนือ และเส้นแวงที่ 103°01’26’’ ตะวันออก หรือที่พิกัด 48QTD897-891 ในแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 ระวางหมายเลข 5643 III ประตูระบายน้ำ เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กแบบบานโค้ง (Radial Gate) ความกว้างบานระบาย 12.00 ม. ความสูงบานระบาย 4.30 ม. จำนวนบานระบาย 5 บาน อัตราการระบายน้ำสูงสุด 230.00 ลบ.ม./วินาที หนองหาน-กุมภวาปี มีพื้นที่รับน้ำ 1,447.3 ตร.กม. ปริมาณเก็บกัก 102 ล้าน ลบ.ม. และสถานีสูบน้ำด้วยไฟฟ้า จำนวน 14 สถานี พื้นที่ชลประทาน 48,950 ไร่ พื้นที่รับประโยชน์ 19,580 ไร่

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.1 โปรแกรม Matlab เวอร์ชั่น 6.1

2.2 เทคนิค Electric Eel Foraging Optimization (EEFO)

3. ขอบเขตการศึกษา

การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลที่ต้องใช้ในแบบจำลอง

3.1 ข้อมูลอ่างเก็บน้ำ

3.1.1 ลักษณะทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำ

3.1.2 ระดับความจุของอ่างเก็บน้ำ ประกอบด้วย ระดับความจุต่ำสุด ระดับความจุเก็บกัก และระดับความจุสูงสุด

3.2 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา-อุทกวิทยา

3.2.1 ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ

3.2.2 ปริมาณน้ำฝนรายเดือน

3.2.3 ปริมาณการระเหยของอ่างเก็บน้ำ

3.2.4 ปริมาณน้ำฝนใช้การรายเดือน

3.3 ข้อมูลปริมาณความต้องการใช้น้ำรายเดือนพื้นที่ท้ายอ่าง

3.3.1 ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำเพื่อการชลประทาน

3.3.2 ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค

3.3.3 ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำเพื่อการอุตสาหกรรม

1.4 ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์

จะดำเนินการเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเทคนิคใหม่ที่เสนอ เทคนิค Electric Eel Foraging Optimization (EEFO) เทคนิค Genetic algorithm (GA) และโค้งควบคุมเดิม (Existing) โดยการประเมินประสิทธิภาพฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ 4 ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ คือ

1. ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด
2. ค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด
3. ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด
4. ค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ได้โค้งควบคุมที่เหมาะสมสูงสุดของอ่างเก็บน้ำ

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้เป็นการศึกษาถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้เกิดความเข้าใจ จึงขอนำเสนอทฤษฎีต่างๆ รวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามลำดับหัวข้อต่อไปนี้

1. การจัดการน้ำ
2. อ่างเก็บน้ำ
3. การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ
4. การปรับปรุงโค้งควบคุม
5. เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิค Electric Eel Foraging Optimization (EEFO)
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

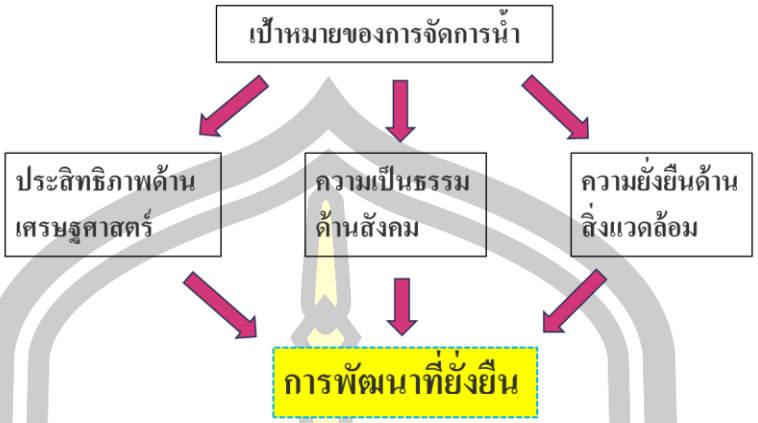
2.1 การจัดการน้ำ

การจัดการน้ำเป็นกระบวนการที่มุ่งหวังให้ทรัพยากรน้ำในลุ่มน้ำนั้นมีประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อการใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่ โดยการจัดการด้านน้ำต้นทุนและด้านความต้องการใช้น้ำเรียกว่า การจัดการด้านอุปทานและอุปสงค์ในการจัดการด้านอุปทานนั้น เราจะใช้ประโยชน์จากน้ำต้นทุนที่มีอยู่อย่างเต็มที่ให้เหมาะสมกับความต้องการใช้น้ำและในปัจจุบันที่ปริมาณทรัพยากรน้ำมีขีดจำกัด จึงจำเป็นต้องมีการวางแผนการจัดการอย่างรอบคอบเพื่อป้องกันวิกฤตการณ์น้ำและงานหลายสาขาที่เกี่ยวข้อง เช่น ไฮโดรลิก การจัดการแหล่งน้ำ รวมถึงด้านสิ่งแวดล้อมและการใช้ทรัพยากรด้านอื่น เช่น การใช้ที่ดินและแร่ธาตุ นอกจากนี้ การจัดการน้ำยังมีผลต่อการผลิตพลังงานและสมดุลของสิ่งแวดล้อมด้วย ความต้องการน้ำที่เพิ่มขึ้นนั้นจะส่งผลให้ต้องมีการบริหารจัดการน้ำให้อย่างเหมาะสมเพื่อการอุปโภค-บริโภคที่มากขึ้น และมีการพัฒนาแหล่งน้ำให้กับการเพาะปลูก ซึ่งทำให้งานนี้มีความสำคัญและมีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับประชาชนในการช่วยให้เกษตรกรสามารถเพาะปลูกได้อย่างสมบูรณ์ตลอดปี ในปัจจุบันพื้นที่การเพาะปลูกส่วนใหญ่ทุกภาคของประเทศเป็นพื้นที่เพาะปลูกนอกเขตชลประทาน ซึ่งต้องอาศัยเพียงน้ำฝนและน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติเป็นหลัก ทำให้พืชได้รับน้ำไม่สม่ำเสมอตามที่ต้องการเป็นผลให้ผลผลิตที่ได้รับไม่ดีเท่าที่ควร พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ทรงใฝ่พระราชหฤทัยเกี่ยวกับการจัดการพัฒนาแหล่งน้ำเป็นอย่างยิ่ง มีพระราชดำริว่าน้ำคือปัจจัยสำคัญ

ต่อมนุษย์และบรรดาสิ่งมีชีวิตอย่างถ่องแท้ ดังพระราชดำรัส ณ สวนจิตรลดา เมื่อวันที่ 17 มีนาคม พ.ศ. 2529 ความตอนหนึ่งว่า " หลักสำคัญว่าต้องมีน้ำบริโภค น้ำใช้น้ำเพื่อการเพาะปลูก เพราะว่าชีวิตอยู่ที่นั่น ถ้ามีน้ำคนอยู่ได้ ถ้าไม่มีน้ำ คนอยู่ไม่ได้ ไม่มีไฟฟ้าคนอยู่ได้ แต่ถ้ามีไฟฟ้าไม่มีน้ำคนอยู่ไม่ได้ " ในการจัดการทรัพยากรน้ำนั้นทรงมุ่งขจัดปัญหาความแห้งแล้งอันเนื่องมาจากสภาพของป่าไม้ต้นน้ำเสื่อมโทรม ลักษณะดินเป็นดินปนทรายหรือการขาดแหล่งน้ำจืด การจัดการทรัพยากรน้ำโดยการพัฒนาแหล่งน้ำอันเนื่องมาจากพระราชดำรินั้น มีหลักและวิธีการที่สำคัญๆ คือ การพัฒนาแหล่งน้ำจะเป็นรูปแบบใด ต้องเหมาะสมกับรายละเอียดสภาพภูมิประเทศแต่ละท้องที่เสมอ และการพัฒนาแหล่งน้ำต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมในด้านเศรษฐกิจ และสังคมของท้องถิ่น หลีกเลี่ยงการเข้าไปสร้างปัญหาความเดือดร้อนให้กับคนกลุ่มหนึ่ง โดยสร้างประโยชน์ให้กับคนอีกกลุ่มหนึ่ง ไม่ว่าประโยชน์ทางด้านเศรษฐกิจเกี่ยวกับการลงทุนนั้นจะมีความเหมาะสมเพียงใดก็ตาม ด้วยเหตุนี้การทำงานโครงการพัฒนาแหล่งน้ำทุกแห่งจึงพระราชทานพระราชดำริไว้ว่า ราษฎรในหมู่บ้าน ซึ่งได้รับประโยชน์จะต้องดำเนินการแก้ไขปัญหาเรื่องที่ดิน โดยจัดการช่วยเหลือผู้ที่เสียประโยชน์ตามความเหมาะสมที่จะตกลงกันเอง เพื่อให้ทางราชการสามารถเข้าไปใช้ที่ดินทำการก่อสร้างได้โดยไม่ต้องจัดซื้อที่ดิน ซึ่งเป็นพระบรมราโชบายที่มุ่งหวังให้ราษฎรมีส่วนร่วมกับรัฐบาล และช่วยเหลือเกื้อกูลกันภายในสังคมของตนเองและมีความหวงแหนที่จะต้องดูแลบำรุงรักษาสิ่งก่อสร้างนั้นต่อไป (Vorawoot and Punpoon., 2003)

การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในลุ่มน้ำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ด้วยเหตุผลความจำเป็นข้างต้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องปรับเปลี่ยนรูปแบบการจัดการทรัพยากรน้ำเพื่อให้เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืน จะเห็นได้ว่าหลักพื้นฐานสำคัญของการจัดการน้ำเพื่อให้เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืน ดังแสดงในภาพประกอบ 1 ประกอบด้วย หลักประสิทธิภาพด้านเศรษฐศาสตร์ หลักความเป็นธรรมด้านสังคม และหลักความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นแกนที่สำคัญจะต้องถูกนำไปใช้ให้เกิดผลในทางปฏิบัติ

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 1 ทิศทางการจัดการน้ำ

ที่มา: อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง (2552)

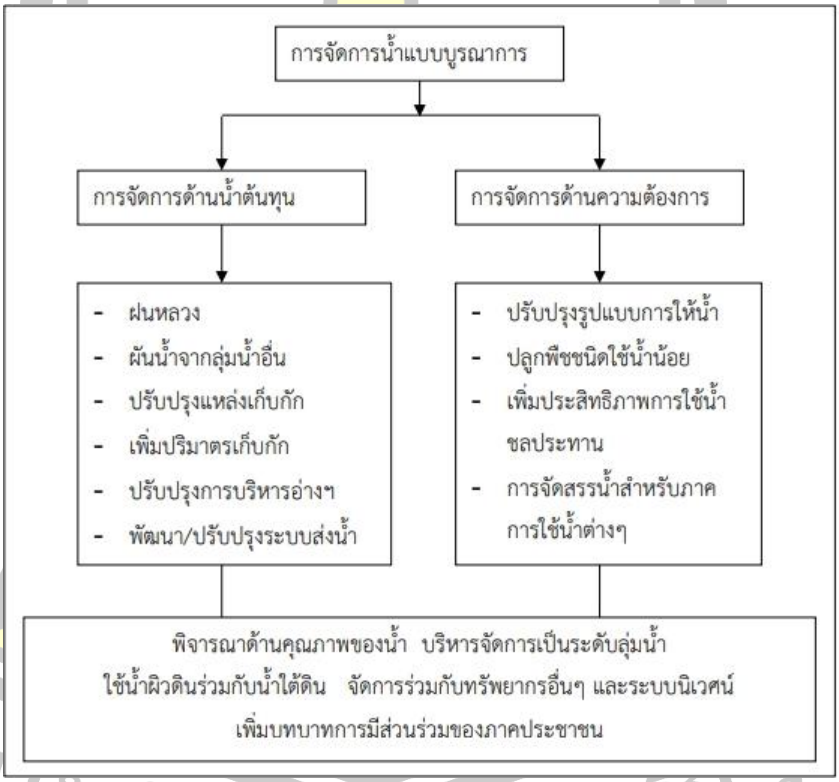
2.1.1 การจัดการน้ำแบบบูรณาการ

การจัดการน้ำแบบบูรณาการเป็นการจัดการน้ำที่ผสมผสานความร่วมมือทั้งด้านการจัดการน้ำต้นทุน (Supply management) การจัดการด้านความต้องการใช้น้ำ (Demand management) และด้านคุณภาพของน้ำ โดยบริหารจัดการเป็นระดับลุ่มน้ำตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำทั้งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินรวมทั้งการจัดการร่วมกับทรัพยากรอื่นๆ และระบบนิเวศ มีการเพิ่มบทบาทการมีส่วนร่วมของภาคประชาชนในการจัดการน้ำโดยเฉพาะสตรี ตลอดจนการจัดสรรน้ำระหว่างภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรม เพื่อประโยชน์และตอบสนองความต้องการของผู้ใช้น้ำทุกๆ ภาคส่วนในสังคม

การบูรณาการแบบครบวงจร จะเริ่มตั้งแต่การจัดการน้ำต้นทุน โดยพยายามหาน้ำมาเพิ่มหรือมาเติมให้กับลุ่มน้ำ เช่น การทำฝนหลวง การผันน้ำจากลุ่มน้ำข้างเคียงมาเติม อีกทั้งการเพิ่มปริมาตรเก็บกักน้ำโดยการพัฒนาและปรับปรุงแหล่งกักเก็บน้ำไม่ว่าจะเป็นอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ขนาดกลาง หรือแหล่งน้ำในชุมชน และการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพในการเก็บกักน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งจะช่วยชะลอปริมาณน้ำไหลหลากท่วมพื้นที่ตอนล่างด้วย เมื่อสามารถเก็บกักน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว ต่อไปคือพัฒนาระบบการแจกจ่ายและจัดส่งน้ำจากแหล่งน้ำต้นทุนไปยังพื้นที่เกษตรกรรมให้เพียงพอและทั่วถึง ทั้งด้วยการลำเลียงผ่านแม่น้ำลำคลอง คลองส่งน้ำชลประทานระบบท่อส่งน้ำและสูบน้ำตามความเหมาะสมของพื้นที่ เพื่อให้การบริหารจัดการน้ำต้นทุนมีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะต้องบูรณาการความร่วมมือกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่างๆ เช่น กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงพาณิชย์ และกระทรวงพลังงาน ที่สำคัญคือ

จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนรูปแบบการบริหารจัดการให้เป็นเชิงรุกมากขึ้น โดยร่วมกับหน่วยงานท้องถิ่น จัดตั้งกลุ่มผู้ใช้น้ำ และเสริมสร้างความเข้มแข็งให้เกษตรกรมีส่วนร่วมบริหารจัดการน้ำได้อย่างแท้จริง ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการชลประทานในทางอ้อมอีกด้วย

ส่วนการจัดการในด้านความต้องการใช้น้ำนั้นเป็นการจัดการที่พิจารณาความต้องการใช้น้ำในภาคส่วนต่างๆ ประกอบ เช่น ภาคการอุปโภค-บริโภค ภาคการเกษตร ภาคอุตสาหกรรม ภาคการคมนาคม และภาคการรักษาระบบนิเวศ เป็นต้น ตลอดจนการปรับปรุงรูปแบบการให้น้ำแบบต่างๆ ทั้งระบบน้ำหยด ระบบมินิสปริงเกลอร์ และระบบสปริงเกลอร์ เพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำชลประทาน อีกทั้งการเปลี่ยนไปปลูกพืชชนิดอื่นที่ใช้น้ำน้อยกว่าแต่ให้ผลตอบแทนต่อพื้นที่ในปริมาณใกล้เคียงกัน เป็นต้น ดังแสดงในภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 องค์ประกอบของการจัดการน้ำแบบผสมผสาน
ที่มา: อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง (2552)

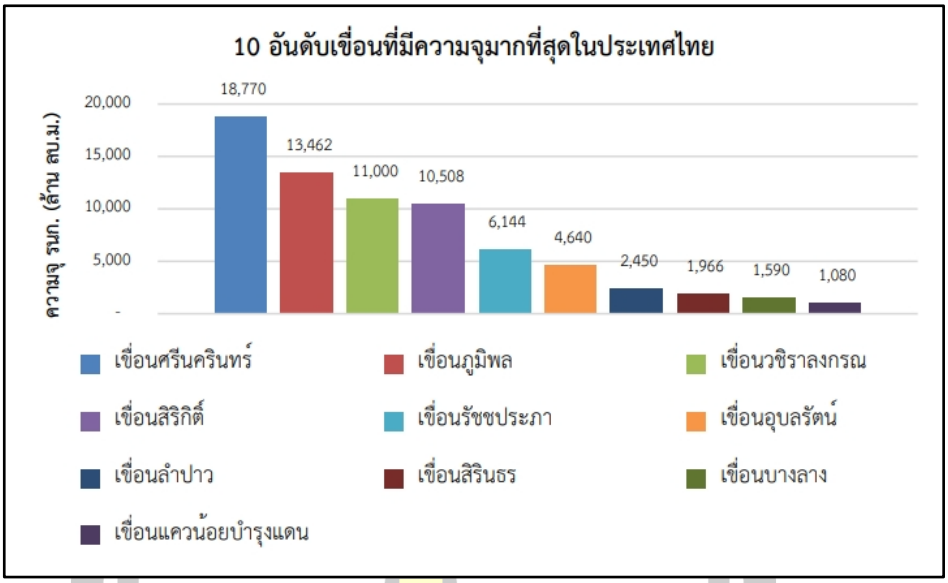
2.2 อ่างเก็บน้ำ (Reservoir)

2.2.1 เขื่อนและอ่างเก็บน้ำในประเทศไทย

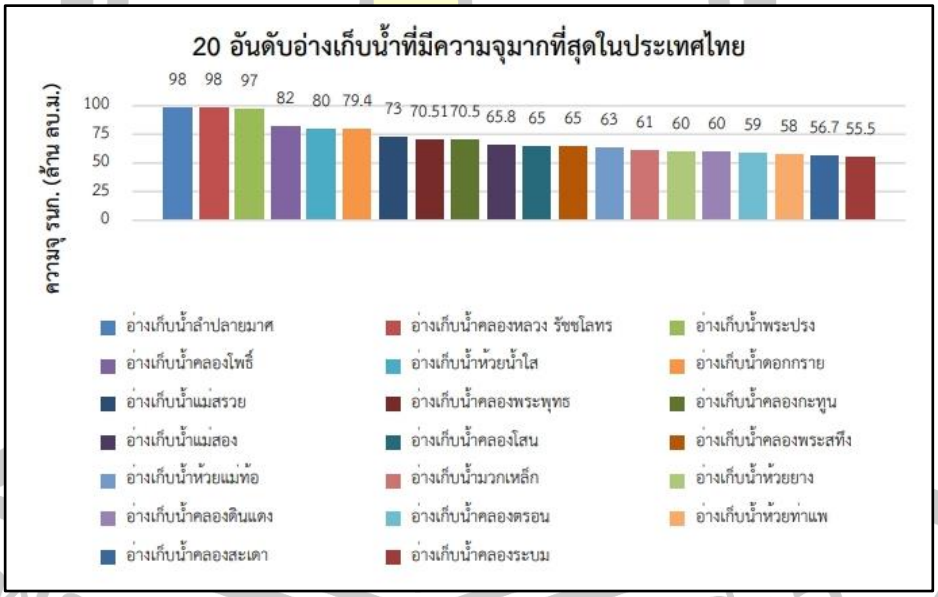
เขื่อนและอ่างเก็บน้ำในประเทศไทยเป็นส่วนสำคัญของการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มพื้นที่ในการเก็บรักษาน้ำที่จำเป็นสำหรับการเกษตร การผลิตพลังงานไฟฟ้า การบริโภคน้ำประปา และการอุตสาหกรรม เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการของประชาชนและเศรษฐกิจได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้เขื่อนและอ่างเก็บน้ำยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชนในบริเวณใกล้เคียงด้วย ดังนั้น การวางแผนและการดำเนินงานที่มีความรอบคอบเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้การใช้น้ำเป็นประโยชน์สูงสุดและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้

เขื่อนที่สำคัญในประเทศไทยมีหลากหลาย มีเขื่อนและอ่างเก็บน้ำเป็นจำนวนมากกระจายอยู่ทั่วทั้ง 22 ลุ่มน้ำของประเทศ อาทิ เขื่อนศรีนครินทร์ (เขื่อนเจ้าเณร) ที่ตั้งอยู่ในจังหวัดกาญจนบุรี มีความจุในการเก็บน้ำมากที่สุดในประเทศไทย คือ 18,770 ล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีบทบาทในการสร้างพลังงานไฟฟ้าและจัดเก็บน้ำเพื่อการเกษตรและบำรุงรักษานิเวศ ในขณะเดียวกัน เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ในจังหวัดลพบุรี เป็นเขื่อนดินที่ยาวที่สุดในประเทศไทย มีประโยชน์ในการจัดเก็บน้ำและการปรับปรุงสภาพนิเวศในพื้นที่รอบๆ เขื่อนนี้ด้วย และเขื่อนขุนด่านปราการชล จังหวัดนครนายก เป็นเขื่อนคอนกรีตอัดบดยาวที่สุดในประเทศไทย 10 อันดับเขื่อนเก็บน้ำที่มีความจุมากที่สุดในประเทศไทย ดังแสดงในภาพประกอบ 3 ส่วนอ่างเก็บน้ำที่มีความจุมากที่สุด 20 อันดับแรกของประเทศไทยดังแสดงในภาพประกอบ 4

เนื่องจากเขื่อนและอ่างเก็บน้ำมีบทบาทสำคัญ การที่จะบริหารจัดการเขื่อนและอ่างเก็บน้ำเหล่านี้เพื่อให้ได้ผลผลิตที่สูงสุดและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต้องพิจารณาความเป็นไปได้ทั้งด้านเทคนิค การวางแผน การจัดการน้ำ และการรับฟังความคิดเห็นจากทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง เช่น ชุมชนท้องถิ่น เจ้าของที่ดิน และผู้เชี่ยวชาญทางด้านน้ำ เพื่อให้การใช้น้ำและการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชนเป็นส่วนสำคัญในการดำเนินโครงการเช่นนี้ เพื่อให้มีการปรับปรุงและแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต งานเขื่อนและอ่างเก็บน้ำในประเทศไทยเป็นส่วนสำคัญของการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มพื้นที่และปริมาตรในการเก็บรักษาน้ำใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า และตอบสนองความต้องการของประชาชนและเศรษฐกิจ การวางแผนและการดำเนินงานในเชิงรักษาสิ่งแวดล้อมและการมีส่วนร่วมของสังคมเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้การใช้น้ำเป็นประโยชน์สูงสุดและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้



ภาพประกอบ 3 เขื่อนเก็บน้ำที่มีความจุมากที่สุดในประเทศไทย 10 อันดับแรก
ที่มา: ระบบฐานข้อมูลน้ำในอ่างเก็บน้ำ กรมชลประทาน, (2566)



ภาพประกอบ 4 ปริมาณเก็บกักอ่างเก็บน้ำมากที่สุด 20 อันดับแรกในประเทศไทย
ที่มา: ระบบฐานข้อมูลน้ำในอ่างเก็บน้ำ กรมชลประทาน, (2566)

อ่างเก็บน้ำ (Reservoir) คือ พื้นที่เก็บกักน้ำขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือที่มนุษย์ สร้างขึ้นจากการสร้างเขื่อน (Dam) ซึ่งเป็นอาคารโครงสร้างทางชลศาสตร์ที่สร้างตัดขวางลำน้ำ

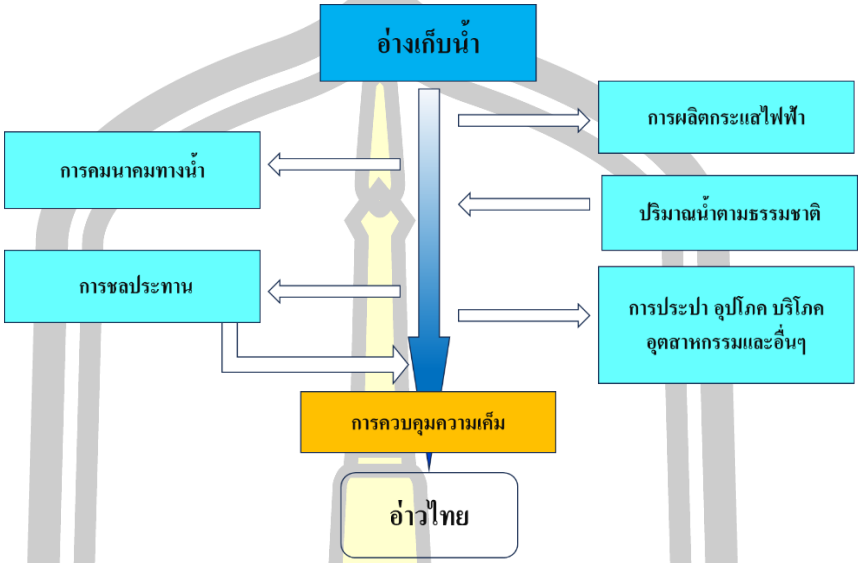
เพื่อควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลตามธรรมชาติ รวมถึงยกระดับน้ำหน้าเขื่อนให้สูงขึ้น ส่งผลให้พื้นที่เก็บกักน้ำเหนือเขื่อน กลายเป็นอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ สำหรับนำไปใช้ในวัตถุประสงค์อย่างใดอย่างหนึ่งโดยเฉพาะ หรือหลายอย่างประกอบกัน เช่น การอุปโภค-บริโภค การชลประทาน การอุตสาหกรรม การรักษาระบบนิเวศทางด้านท้ายน้ำ การผลักดันน้ำเค็มในช่วงฤดูแล้ง การควบคุมคุณภาพน้ำ การคมนาคมทางน้ำ การประมง การควบคุมและบรรเทาน้ำท่วม แหล่งท่องเที่ยว และการผลิตพลังงานไฟฟ้า เป็นต้น อ่างเก็บน้ำจะประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 3 ส่วน คือ ตัวอ่างเก็บน้ำ (Reservoir) ทางระบายน้ำล้น (Spillway) และอาคารทางออก (Outlet Works) (อนงค์ฤทธิ์, 2563)

ตัวอ่างเก็บน้ำ (Reservoir) เกิดจากการสร้างเขื่อนกั้นระหว่างหุบเขา แม่น้ำ ทางน้ำ หรือช่องแคบที่น้ำไหลผ่าน ปริมาตรอ่างเก็บน้ำขึ้นอยู่กับลักษณะหุบเขา ช่องแคบ ทางน้ำ และความสูงของเขื่อน ซึ่งประกอบด้วย ระดับต่ำสุด (Minimum Pool Level) ระดับเก็บกักปกติ (Normal Pool Level) ระดับสูงสุด (Maximum Level) และฟรีบอร์ด (Freeboard)

ทางระบายน้ำล้น (Spillway) เป็นอาคารที่ทำหน้าที่ระบายน้ำส่วนเกินในยามที่คลื่นน้ำท่วม ขนาดใหญ่เคลื่อนตัวผ่านอ่างเก็บน้ำ ซึ่งความจุจากระดับเก็บกักปกติในช่วงที่มีปริมาณน้ำไหลหลากเข้าอ่างเก็บน้ำมากๆ เพื่อความปลอดภัยต่อตัวเขื่อนและเป็นการชะลอปริมาณน้ำส่วนเกินนี้ไปก่อให้เกิดน้ำท่วมทางด้านท้ายอ่างเก็บน้ำ ซึ่งขนาดและลักษณะของทางระบายน้ำล้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของปริมาณน้ำสูงสุดที่ใช้ในการออกแบบเป็นสำคัญอาคารส่งน้ำเป็นอาคารประกอบเขื่อนที่ทำหน้าที่ในการควบคุมการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเข้าสู่ระบบส่งน้ำชลประทานเพื่อนำไปใช้ในวัตถุประสงค์ต่างๆ

อ่างเก็บน้ำเป็นส่วนหนึ่งของโครงการชลประทานที่ตั้งอยู่ในพื้นที่หัวงานของอาคารชลประทาน มีบทบาทสำคัญในการสร้างแหล่งน้ำที่ใช้ในการรักษาความเพียงพอของพื้นที่ชลประทานในภาคท้ายของอ่างเก็บน้ำ โครงการชลประทานประเภทนี้มีคุณสมบัติเป็นอ่างเก็บน้ำที่เชื่อมโยงกันเป็นระบบ เพื่อให้การเก็บกักน้ำเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยทั่วไประบบชลประทานในประเทศไทยจะเริ่มจากอ่างเก็บน้ำ ซึ่งเป็นแหล่งน้ำต้นทุนของระบบอ่างเก็บน้ำของประเทศไทยอยู่ภายใต้การดูแลของหลายหน่วยงาน เช่น การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย กรมชลประทาน และองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น เป็นต้น น้ำจากแหล่งน้ำต้นทุนเหล่านี้จะถูกปล่อยออกจากอ่างผ่านเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า และไหลลงมาตามแม่น้ำสามารถใช้เพื่อการคมนาคมและการประมงได้ เมื่อจะนำน้ำเหล่านี้ไปใช้สำหรับการชลประทานน้ำจะถูกส่งเข้าสู่หัวงาน โดยการเพิ่มเฮดให้กับน้ำด้วยการสร้าง

เขื่อนกั้นลำน้ำหรือบางแห่งอาจเพิ่มเฮดโดยการติดตั้งสถานีสูบน้ำ น้ำที่เหลือจากการใช้ในโครงการชลประทานจะไหลกลับมายังแม่น้ำสายหลัก (อนงค์ฤทธิ์, 2553) ดังแสดงในภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 ระบบโครงการชลประทาน

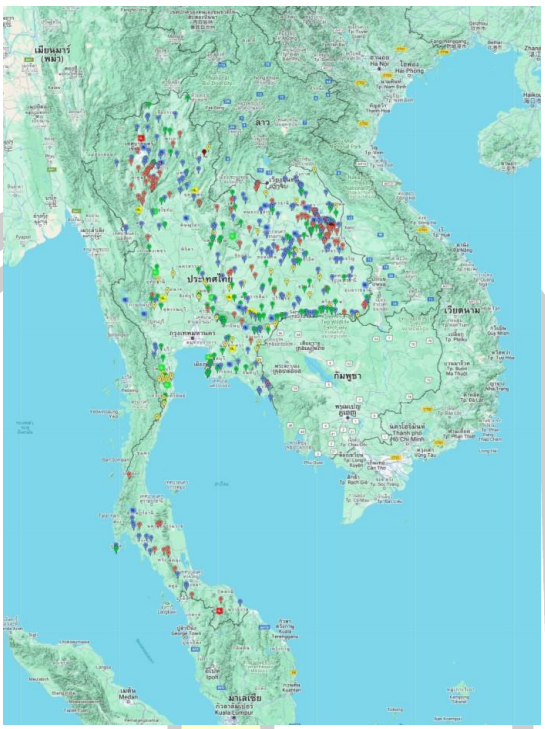
ที่มา: อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง, (2553)

2.2.2 การจำแนกตามขนาดของอ่างเก็บน้ำ

อ่างเก็บน้ำในประเทศไทย มีอ่างขนาดใหญ่จำนวน 35 แห่ง ที่ดูแลโดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และกรมชลประทาน อ่างขนาดกลางจำนวน 435 แห่ง และขนาดเล็กจำนวน 4,156 แห่ง ดังแสดงในภาพประกอบ 6 ในปัจจุบันการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการบริหารจัดการน้ำทำได้ยากขึ้น เนื่องจากปัญหาด้านระเบียบ กฎหมาย หรือการขออนุญาตใช้พื้นที่ในการก่อสร้างรายละเอียดของอ่างเก็บน้ำแต่ละขนาดจะได้อธิบายดังต่อไปนี้

1) อ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก

อ่างเก็บน้ำขนาดเล็กเป็นรูปแบบที่มีความเหมาะสมในพื้นที่ที่มีการจัดเก็บน้ำในปริมาณน้อยๆ ซึ่งมักจะใช้สำหรับการเก็บน้ำในการเชื่อมโยงระหว่างการเกษตรและการใช้น้ำในชีวิตประจำวัน พื้นที่ที่อาจเลือกสร้างอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กได้แก่พื้นที่นาหรือพื้นที่ในชุมชนที่ต้องการสะสมน้ำเพื่อการใช้เองและการเคลื่อนย้ายน้ำในกลุ่มของครัวเรือน อ่างเก็บน้ำขนาดเล็กมักมีความสูงไม่เกิน 15 เมตรและความจุน้อยกว่า 1 ล้านลูกบาศก์เมตร การก่อสร้างอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กมักมีค่าใช้จ่ายที่ไม่สูงมากและสามารถเสร็จสิ้นภายในระยะเวลาประมาณ 1 ปี โดยไม่ค่อยมีความยุ่งยากในการปรับปรุงรากฐานของเขื่อน



ภาพประกอบ 6 ตำแหน่งที่ตั้งของอ่างเก็บน้ำในประเทศไทย
ที่มา: ระบบฐานข้อมูลน้ำในอ่างเก็บน้ำ กรมชลประทาน, (2566)

2) อ่างเก็บน้ำขนาดกลาง

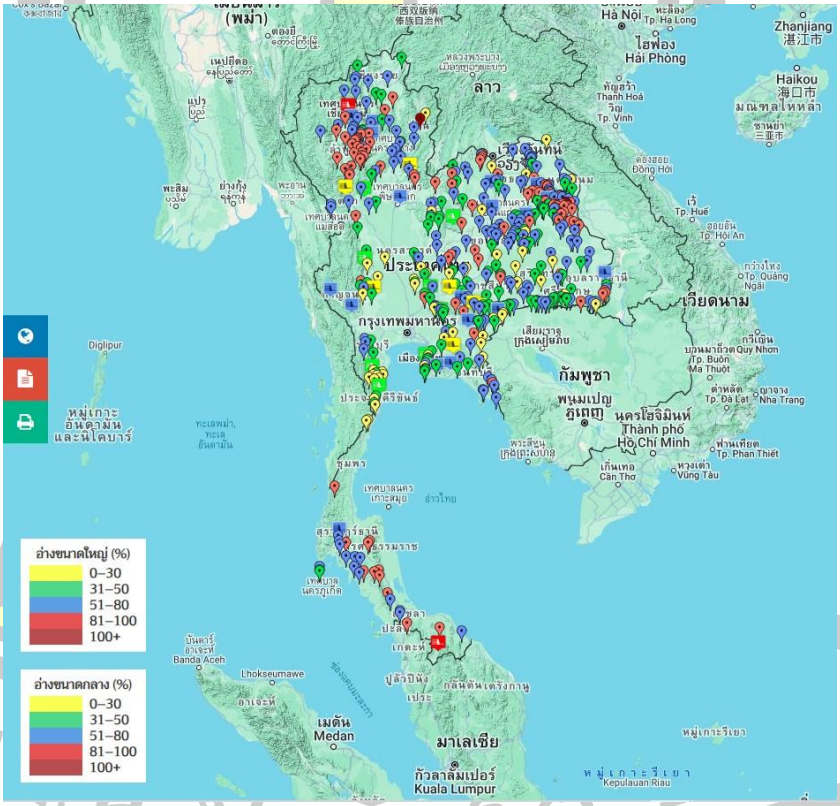
อ่างเก็บน้ำขนาดกลางมีความสามารถในการจัดเก็บน้ำที่มากขึ้นและมีความสูงตั้งแต่ 15 ถึง 40 เมตร ความจุของอ่างเก็บน้ำขนาดกลางอาจอยู่ในช่วง 1 ถึง 100 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำขนาดกลางมีค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับขนาดเล็ก และมักจะเป็นการลงทุนที่มีความซับซ้อนมากขึ้นด้วยการซื้อที่ดินสำหรับการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำขนาดกลาง เป็นส่วนหนึ่งของการบริหารจัดการและมีระยะเวลาการก่อสร้างที่อาจล่าช้าลงเมื่อเทียบกับขนาดเล็ก การปรับปรุงฐานรากเขื่อนในอ่างเก็บน้ำขนาดกลางนั้นมีความจำเป็นมากขึ้น เนื่องจากสภาพแวดล้อมและการระบายน้ำที่ซับซ้อนมากขึ้น

3) อ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่

อ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่เป็นรูปแบบที่มีความสามารถในการจัดเก็บน้ำอย่างมาก โดยมีความสูงตั้งแต่ 15 เมตรขึ้นไป ความจุของอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่มีค่ามากกว่า 100 ล้านลูกบาศก์เมตร การก่อสร้างอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่มีค่าใช้จ่ายที่สูงและมีความซับซ้อนที่สูงมาก เช่น การปรับปรุงรากฐานของเขื่อนและสภาพแวดล้อมที่ซับซ้อน การก่อสร้างอาจใช้ระยะเวลานานถึง 3 ปี ขึ้นไป และ

ต้องมีการศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในระดับละเอียด เนื่องจากขนาดใหญ่ของโครงการอ่างเก็บน้ำนี้การปรับปรุงฐานรากเขื่อนก็เป็นสิ่งสำคัญเนื่องจากการรักษาความคงทนของโครงสร้างและการประสานกับสภาพแวดล้อมและการใช้ประโยชน์ในอนาคต

อ่างเก็บน้ำทุกขนาดมีบทบาทสำคัญในการจัดเก็บน้ำและการใช้ประโยชน์ทางน้ำในท้องถิ่น การวางแผนและการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำขึ้นอยู่กับความต้องการและเป้าหมายของแต่ละพื้นที่ โดยคำนึงถึงปัจจัยทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมเพื่อให้เกิดความยั่งยืน และเป็นประโยชน์สูงสุดในการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรน้ำในอ่างเก็บน้ำนั้น อีกทั้งยังต้องพิจารณาเรื่องของการบริหารจัดการน้ำในกระบวนการที่มีความรับผิดชอบและความเข้าใจทางเทคนิคในการทำงานเพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์จากน้ำในอ่างเก็บน้ำได้อย่างเหมาะสมและยั่งยืน ปัจจุบันกรมชลประทานได้พัฒนาระบบการรายงานสถานการณ์น้ำของแต่ละอ่างดังแสดงในภาพประกอบ 7

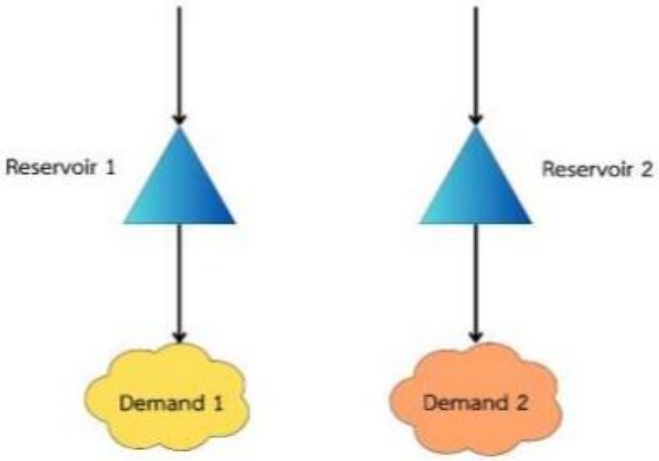


ภาพประกอบ 7 สถานการณ์น้ำของแต่ละอ่างเก็บน้ำ ณ วันที่ 18 มีนาคม พ.ศ.2567

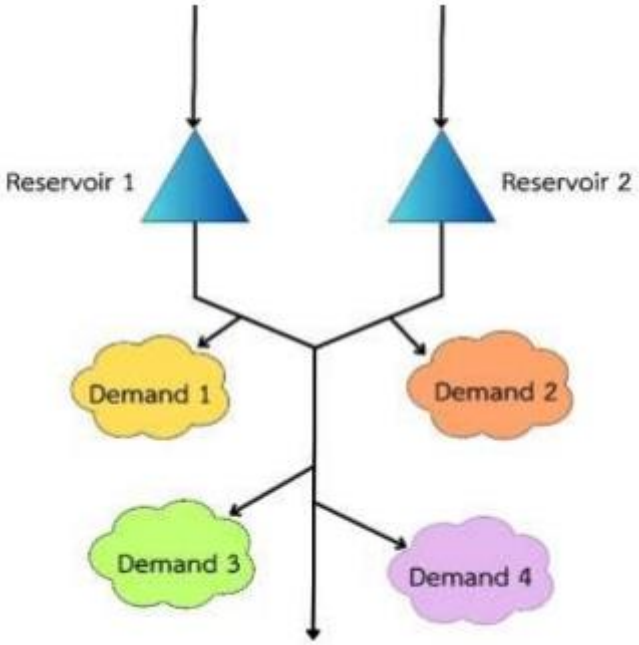
ที่มา: ระบบฐานข้อมูลน้ำในอ่างเก็บน้ำ กรมชลประทาน, (2566)

2.2.3 การจำแนกประเภทของอ่างเก็บน้ำตามวัตถุประสงค์

การจำแนกประเภทของอ่างเก็บน้ำตามวัตถุประสงค์ของอ่างจะพิจารณาจากแนวทางการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำซึ่งแบ่งได้ 2 ประเภท ได้แก่ อ่างเก็บน้ำแบบเดี่ยว (Single Reservoir) และอ่างเก็บน้ำแบบเครือข่าย (Multi Reservoir) ดังแสดงในภาพประกอบ 8 และภาพประกอบ 9



ภาพประกอบ 8 อ่างเก็บน้ำแบบเดี่ยว
(ดัดแปลงจาก: Jain and Singh, 2003)



ภาพประกอบ 9 อ่างเก็บน้ำแบบเครือข่าย
(ดัดแปลงจาก: Jain and Singh, 2003)

1) อ่างเก็บน้ำเอกประสงค์

อ่างเก็บน้ำเอกประสงค์ คือ อ่างเก็บน้ำที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อการใช้ประโยชน์เพียงเจาะจงเพื่อวัตถุประสงค์เดียว โดยจะมุ่งเน้นในการสร้างระบบที่สามารถตอบสนองความต้องการของการใช้น้ำแบบเฉพาะเจาะจงในประเด็นที่นำมาศึกษา เช่น ใช้เพื่อการชลประทานเท่านั้น การออกแบบและก่อสร้างอ่างเก็บน้ำเอกประสงค์จำเป็นต้องคำนึงถึงความต้องการที่แตกต่างจากอ่างเก็บน้ำปกติ โดยจะต้องมีการวิเคราะห์และวางแผนในเชิงลึกลงเพื่อให้ระบบน้ำสามารถสร้างผลประโยชน์เฉพาะเจาะจงได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและการจัดการกับปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการใช้งานอ่างเก็บน้ำนี้

ในบางกรณี อ่างเก็บน้ำเอกประสงค์อาจถูกสร้างขึ้นเพื่อรองรับความต้องการ ในการบริโภคน้ำที่เพิ่มขึ้นในระยะยาวหรือเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้า เมื่อการระบายน้ำที่เกิดขึ้นในอ่างเก็บน้ำสามารถใช้เพื่อสร้างกระแสไฟฟ้าได้ อันเป็นการนำเอาประโยชน์จากน้ำมาใช้ในหลากหลายด้านของการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคมให้เกิดความยั่งยืนและมีประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรน้ำในพื้นที่นั้น และอ่างเก็บน้ำเอกประสงค์จะต้องมีการบริหารจัดการที่มุ่งหวังเพื่อสร้างผลประโยชน์ที่ยั่งยืนและมีความเป็นไปได้อย่างเต็มที่ในการใช้ประโยชน์จากน้ำในอนาคต

2) อ่างเก็บน้ำเอนกประสงค์

อ่างเก็บน้ำเอนกประสงค์เป็นแบบอ่างเก็บน้ำที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อการใช้ประโยชน์ที่หลากหลายและเป็นหลายวัตถุประสงค์ นอกจากการใช้ในการชลประทานแล้ว ยังมีการใช้เพื่อความต้องการที่แตกต่างเช่น การบริโภคน้ำ การอุตสาหกรรม และการผลิตพลังงานไฟฟ้า อ่างเก็บน้ำเอนกประสงค์ทำให้เกิดผลประโยชน์จากน้ำในพื้นที่เดียวกันอย่างหลากหลาย และเป็นวิธีการที่สร้างผลกระทบทางเศรษฐกิจและสังคมในลักษณะที่หลากหลาย

การออกแบบและก่อสร้างอ่างเก็บน้ำเอนกประสงค์จำเป็นต้องคำนึงถึงความต้องการในการสร้างผลประโยชน์ที่หลากหลาย ซึ่งอาจทำให้มีความซับซ้อนในการบริหารจัดการและการวางแผนการใช้ประโยชน์จากน้ำที่สูงขึ้น โดยต้องพิจารณาถึงปัจจัยทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม เพื่อให้การนำน้ำมาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพในกิจกรรมต่างๆ เป็นไปอย่างมีประสิทธิผลและยั่งยืน

อ่างเก็บน้ำเอนกประสงค์ยังเกี่ยวข้องกับการปรับปรุงสภาพแวดล้อมในพื้นที่ที่มีผลกระทบจากการสร้างและการใช้ประโยชน์จากน้ำ การวางแผนและการบริหารจัดการสภาพแวดล้อมในระยะยาวเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ความยั่งยืนแก่การใช้ประโยชน์จากอ่างเก็บน้ำ

เอนกประสงค์ รวมถึงการรักษาสภาพแวดล้อมที่ดีและการตรวจสอบผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนการใช้งาน การเข้าใจและการรับฟังความต้องการของสังคมและกิจกรรมในพื้นที่จะเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการกำหนดวิธีการที่เหมาะสมในการใช้ประโยชน์จากอ่างเก็บน้ำเอนกประสงค์ให้มีประสิทธิผลสูงสุดและไม่ส่งผลกระทบที่ไม่พึงประสงค์ในระยะยาว

2.2.4 การจำแนกประเภทของอ่างเก็บน้ำโดยใช้หลักเกณฑ์การเชื่อมโยงระบบ

การจำแนกประเภทของอ่างเก็บน้ำโดยใช้หลักเกณฑ์การเชื่อมโยงระบบอ่างเก็บน้ำ แบ่งได้ 2 ประเภท คือ อ่างเก็บน้ำแบบเดี่ยว และอ่างเก็บน้ำแบบเครือข่าย รายละเอียดของอ่างแต่ละประเภทจะได้อธิบายดังต่อไปนี้

1) อ่างเก็บน้ำแบบเดี่ยว (Single Reservoir)

เป็นอ่างเก็บน้ำที่ประกอบไปด้วยอ่างเก็บน้ำเพียงแห่งเดียวเก็บกักน้ำไว้เพื่อใช้ประโยชน์ต่างๆ ตามความต้องการน้ำท้ายอ่าง โดยจะเก็บกักและระบายน้ำให้กับความต้องการน้ำท้ายอ่างตามแผนปฏิบัติการของอ่างเก็บน้ำนั้นๆ เพียงลำพัง หากเกิดสถานการณ์น้ำขาดแคลนในระบบอ่างเก็บน้ำนั้นก็จะไม่มีการส่งน้ำจากอ่างอื่นๆ มาช่วยเหลือหรือบรรเทาสถานการณ์ได้

2) อ่างเก็บน้ำแบบเครือข่าย

อ่างเก็บน้ำแบบเครือข่าย (Network of Reservoirs) เป็นแนวคิดที่มุ่งหวังให้การจัดการน้ำมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยการเชื่อมโยงหรือต่อเข้ากันของอ่างเก็บน้ำหลายแห่ง ให้เป็นระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บรักษาน้ำและการนำน้ำไปใช้ อ่างเก็บน้ำแต่ละแห่งจะทำหน้าที่เก็บกักน้ำจากพื้นที่และระบายน้ำผ่านระบบเชื่อมโยงไปยังอ่างเก็บน้ำอื่นๆ ที่ยังไม่เต็มหรือใช้น้ำเพื่อประโยชน์อื่นๆ ซึ่งมีการเชื่อมโยงกัน 2 ลักษณะ คือ แบบอนุกรม และแบบขนาน แนวคิดนี้ช่วยลดปัญหาการสูญเสียน้ำที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากน้ำที่มีมากเกินไปในพื้นที่อ่างเก็บน้ำเดี่ยว โดยทำให้มีระบบเชื่อมโยงเพื่อนำน้ำที่เหลือจากอ่างเก็บน้ำหนึ่งไปยังอ่างเก็บน้ำอื่นๆ ที่ยังไม่เต็ม ทำให้น้ำไม่ถูกสูญเสียโดยเปล่าประโยชน์และช่วยในการการจัดการน้ำให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นในการรองรับความต้องการทางน้ำในพื้นที่ นอกจากประโยชน์ในการเก็บรักษาน้ำและลดสูญเสียน้ำ แนวคิดนี้ยังสามารถช่วยในการระบายน้ำที่เกินจากพื้นที่น้ำท่วมไปยังอ่างเก็บน้ำที่ว่างอีกด้วย นอกจากนี้อ่างเก็บน้ำแบบเครือข่ายยังสามารถเพิ่มความยืดหยุ่นในการจัดการน้ำในกรณีของภัยพิบัติและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ไม่แน่นอนได้อีกด้วย ดังนั้น อ่างเก็บน้ำแบบเครือข่ายเป็นแนวทางการจัดการน้ำที่มีการคิดค้นเพื่อให้การใช้น้ำเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืนในระยะยาว การพิจารณาแนวคิดการใช้อ่างเก็บน้ำแบบเครือข่ายจะต้องคำนึงถึงปริมาณน้ำที่ต้องการ พื้นที่ในการสร้างอ่างเก็บน้ำ ความ

สอดคล้องกับเป้าหมายทางการใช้น้ำและการจัดการน้ำในทุกมิติเพื่อให้การบริหารจัดการน้ำเป็นไปอย่างเหมาะสมและยั่งยืนในระยะยาว

2.2.5 การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ

การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Management) เป็นกระบวนการที่สำคัญและมี ประสิทธิภาพในการเก็บกักและจัดสรรการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรน้ำในพื้นที่ โดยมีกระบวนการดำเนินการอย่างเป็นขั้นตอน เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ผ่านการการควบคุมปริมาณน้ำต้นทุนและความต้องการใช้น้ำเพื่อการใช้ประโยชน์ที่เหมาะสมและลดความเสี่ยงจากภัยธรรมชาติ เช่น อุทกภัยและภัยแล้ง ปัจจุบันการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำยังต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพ ความเสมอภาค และความยั่งยืน สามารถตอบสนองกับความต้องการปัจจุบันอย่างเต็มศักยภาพภายใต้เงื่อนไขและแนวทางความยั่งยืนในอนาคต การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำเพื่อความยั่งยืนจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายๆ ด้านให้ครบถ้วน

2.2.6 น้ำต้นทุน (Water budget)

เป็นเครื่องมือพื้นฐานที่ใช้ในการประเมินการใช้โดยสัมพันธ์กับเงื่อนไขที่มีอิทธิพลสำคัญของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าและไหลออกจากระบบนิเวศวิทยาของธรรมชาติในพื้นที่ที่กำหนดไว้และเงื่อนไขอื่นๆ เช่น ระบบและคุณลักษณะทางนิเวศวิทยาอื่นๆ ตลอดจนองค์ประกอบทางสังคมและเศรษฐกิจ น้ำต้นทุนสามารถแยกวิเคราะห์ส่วนประกอบหลักได้แก่ น้ำไหลเข้า (Inflows) คือปริมาณน้ำที่เข้ามาในระบบนิเวศวิทยา เช่น น้ำฝนที่ตกลงมาในพื้นที่นั้น น้ำที่ตกลงจากลมและน้ำที่ไหลลงมาจากภูเขาหรือที่สูงกว่าน้ำไหลออก (Outflows) ปริมาณน้ำที่ออกจากระบบ เช่น น้ำที่ระเหยผ่านกระบวนการของพืช (การระเหย) น้ำที่ไหลลงสู่ลำธาร แม่น้ำ หรือทะเล น้ำที่นำไปใช้ในชลประทานและน้ำที่รั่วไหลออกไปยังคลองและการเก็บรักษา (Storage) ปริมาณน้ำที่ถูกเก็บรักษาในระบบนิเวศวิทยา เช่น น้ำที่รักษาไว้ในห้วย หนอง คลอง บึง อ่างเก็บน้ำ บ่อเก็บน้ำ หรือการเก็บน้ำในพืชและดิน ซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับน้ำต้นทุนนี้ช่วยให้ผู้วางแผนเข้าใจและสามารถวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบนิเวศวิทยาของพื้นที่ในระยะเวลาที่กำหนด สำคัญในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ ช่วยในการตัดสินใจเกี่ยวกับการใช้น้ำในเชิงเกษตร การพัฒนาเมือง ระบบสาธารณูปโภค และกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับน้ำและสิ่งแวดล้อมทางน้ำทั้งในมิติธรรมชาติและมนุษย์จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาแหล่งน้ำ ดังนี้ การสร้างเขื่อน การสร้างอ่างเก็บน้ำ การสร้างสระเก็บกักน้ำ การสร้างฝายทดน้ำ เป็นต้น

การเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุน การเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนให้กับลุ่มน้ำ เป็นวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการน้ำในลุ่มน้ำ ทำให้ปริมาณน้ำในบริเวณดังกล่าวเพิ่มขึ้น วิธีหนึ่งที่สำคัญคือการค้นหาแหล่งน้ำเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำในลุ่มน้ำ ซึ่งเมื่อได้แหล่งน้ำเพิ่มเติมแล้ว ขั้นตอนถัดไป

คือการเพิ่มศักยภาพน้ำต้นทุน ซึ่งเป็นกระบวนการที่สำคัญในการจัดการน้ำ โดยเพิ่มศักยภาพน้ำต้นทุนเพื่อเก็บรักษาน้ำไว้เพื่อใช้ในภายหลัง ดังนั้น การจัดการน้ำต้นทุนเป็นเรื่องสำคัญที่ต้องพิจารณาโดยการใช้ประโยชน์จากน้ำต้นทุนที่มีให้มากที่สุด การเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนและศักยภาพน้ำต้นทุนจะต้องเป็นไปในทิศทางที่สอดคล้องกับความต้องการใช้น้ำ การเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนและศักยภาพน้ำต้นทุนสามารถดำเนินการได้ดังนี้ การอนุรักษ์ป่าต้นน้ำ การขุดลอกแหล่งน้ำ การทำฝนหลวง การผันน้ำระหว่างลุ่มน้ำ เป็นต้น

2.2.7 การบริหารจัดการแหล่งน้ำ

การบริหารจัดการแหล่งน้ำหลายแหล่งร่วมกันผ่านระบบเครือข่ายน้ำเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน และสำคัญในการทำให้ทรัพยากรน้ำเป็นไปอย่างยั่งยืน ซึ่งรวมถึงการควบคุมและปรับปรุงการจัดการน้ำในพื้นที่และระบบน้ำที่มีต่อกัน โดยเป็นการสร้างความเชื่อมโยงระหว่างแหล่งน้ำต่างๆ เพื่อให้สามารถใช้จากน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพและเต็มความสามารถ ทั้งนี้จำเป็นต้องพิจารณาถึงแนวคิดการบริหารจัดการร่วมและความร่วมมือระหว่างส่วนราชการ ชุมชน และเครือข่ายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการนี้ การบริหารจัดการแหล่งน้ำหลายแหล่งร่วมกันผ่านระบบเครือข่ายน้ำมีหลักการเพื่อการทำงานที่มีประสิทธิภาพ โดยในขั้นตอนแรกจะเริ่มจากการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์เพื่อทราบถึงปริมาณน้ำที่เข้ามาในแต่ละแหล่ง รวมถึงคุณภาพของน้ำ ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับการวางแผนในการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำ เนื่องจากปัจจัยหลายประการที่มีผลต่อการไหลเข้ามาในแหล่งน้ำสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามภูมิอากาศ และสภาพการใช้น้ำในพื้นที่การวางแผนล่วงหน้าในการเก็บกักและส่งน้ำจากอ่างเก็บน้ำจึงมีความสำคัญเพื่อให้การใช้น้ำเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและไม่ก่อให้เกิดสภาวะการขาดแคลนน้ำหรือน้ำท่วมอ่าง การปรับแผนล่วงหน้านี้จำเป็นต้องเป็นไปตามคาดการณ์ที่เป็นไปได้ของสภาพภูมิอากาศและสถานการณ์ในอนาคต การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำมีการคำนึงถึงการประเมินความต้องการการเก็บกักและปล่อยน้ำในแต่ละช่วงเวลา ในที่สุดการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำจะมีความสำคัญในการจัดการระบบอ่างเก็บน้ำแบบเดี่ยวหรือระบบเครือข่ายอ่างเก็บน้ำ โดยการดำเนินการในกรณีที่สภาวะการภูมิอากาศหรือสถานการณ์มีการเปลี่ยนแปลงจากแผนการวางแผน จะสามารถปรับปรุงแผนการบริหารจัดการน้ำให้เข้ากับสภาวะการเปลี่ยนแปลงได้ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพและมีความยืดหยุ่นในการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรน้ำอย่างเหมาะสม การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำเกี่ยวข้องโดยตรงกับการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation) ซึ่งหมายถึงการเก็บกักน้ำในอ่างเก็บน้ำและการส่งน้ำจากอ่างเก็บน้ำเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ การบริหารจัดการนี้มีลักษณะการวางแผนล่วงหน้าเพื่อเก็บกักและส่งน้ำจากอ่าง

เก็บน้ำในแต่ละช่วงเวลา เพื่อให้การใช้น้ำเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและเพื่อการคาดการณ์การใช้น้ำในอนาคต

2.3 การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operations)

การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ หมายถึงการเก็บกักน้ำในอ่างเก็บน้ำและการส่งน้ำไปใช้ในวัตถุประสงค์ต่างๆ โดยมีการวางแผนไว้ล่วงหน้า ว่าควรจะเก็บกักและส่งน้ำในแต่ละเดือนเท่าใด โดยการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำจะดำเนินการตามแผนที่วางไว้ หากสภาพที่คาดคะเนไว้มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำท่าและการใช้น้ำด้านต่างๆ ก็จะปฏิบัติการแตกต่างกันออกไปจากแผนที่วางไว้เพื่อลดสถานการณ์การน้ำขาดแคลนหรือการน้ำไหลล้น

โซนปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Storage Zone ลักษณะสำคัญของอ่างเก็บน้ำทั้ง แบบไม่มีประตูควบคุม (Ungated Spillway) และแบบมีประตูควบคุม (Gated Spillway) ประกอบด้วยโซนปริมาตรเก็บกักและระดับเก็บกัก (Jain และ Singh, 2003)

1) โซนปริมาตรเก็บกักไม่ใช้การ (Dead Storage Zone)

โซนปริมาตรเก็บกักไม่ใช้การ (Dead Storage Zone) เป็นโซนที่อยู่ล่างสุดของอ่างเก็บน้ำ โดยปริมาตรน้ำที่ถูกเก็บกักไว้ในส่วนนี้ เรียกว่า ปริมาตรเก็บกักไม่ใช้การ/ปริมาตรเก็บกักสูญเปล่า (Inactive Storage/Dead Storage) โดยปกติแล้วปริมาตรเก็บกักส่วนนี้จะใช้เก็บกักตะกอนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำและยังเป็นเฮดน้ำต่ำสุดของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำอีกด้วย นอกจากนี้ยังอาจเป็นปริมาตรเก็บกักต่ำสุดที่จะต้องรักษาไว้เพื่อทัศนียภาพที่ดีในการท่องเที่ยว โดยส่วนใหญ่แล้วอาคารระบายน้ำออก (Outlet) จะติดตั้งอยู่เหนือโซนปริมาตรเก็บกักไม่ใช้การและจะไม่ปล่อยน้ำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์ใดๆ สำหรับปริมาตรเก็บกักที่อยู่เหนือปริมาตรเก็บกักไม่ใช้การจะเรียกว่า ปริมาตรเก็บกักใช้การ (Active/Live Storage)

2) โซนบัฟเฟอร์ (Buffer Zone)

โซนบัฟเฟอร์ (Buffer Zone) เป็นโซนที่อยู่ติดกับปริมาตรเก็บกักไม่ใช้การและเป็น สัญญาณเตือนว่าภาวะแห้งแล้งกำลังจะเกิดขึ้น โดยส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วงหน้าแล้งวิกฤตที่ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำมีแนวโน้มลดลงจนถึงโซนนี้ การปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำจะปล่อยตามความจำเป็นเท่านั้น

3) โซนปริมาตรเก็บกักใช้การ (Active Storage Zone)

โซนปริมาตรเก็บกักใช้การ (Active Storage/Conservation Zone) ถูกออกแบบขึ้นมา เพื่อเก็บกักน้ำไปใช้สำหรับความต้องการน้ำในวัตถุประสงค์ต่างๆ ตลอดอายุการใช้

งานของอ่างเก็บน้ำไม่ว่าจะเป็นการชลประทาน การอุปโภคบริโภค การผลิตพลังงานไฟฟ้า เป็นต้น หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นปริมาตรเก็บกักน้ำหลักที่ถูกดึงไปใช้ประโยชน์จากอ่างเก็บน้ำ

4) โซนปริมาตรเก็บกักส่วนเกิน (Surcharge Zone)

โซนปริมาตรเก็บกักส่วนเกิน (Surcharge Zone) เป็นโซนเก็บกักน้ำส่วนที่อยู่เหนือโซน ปริมาตรเก็บกักใช้การซึ่งสำรองปริมาตรอ่างเก็บน้ำส่วนหนึ่งไว้เพื่อป้องกันน้ำหลากขนาดใหญ่ที่จะไหลเข้าสู่อ่าง อย่างไรก็ตามหากเขื่อนถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อวัตถุประสงค์ในการควบคุมและบรรเทาอุทกภัยเป็นสำคัญ อ่างเก็บน้ำนั้นจะมีการออกแบบโซนปริมาตรสำรองเพื่อการบรรเทาอุทกภัย (Flood Control Reserve Storage Zone) เสริมเข้ามาเพิ่มการรองรับน้ำที่จะไหลเข้าอ่างเก็บน้ำการออกแบบโซนปริมาตรเก็บกักส่วนเกินและโซนปริมาตรสำรองเพื่อการบรรเทาอุทกภัยนี้จะพิจารณาเงื่อนไขของข้อมูลกราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบ (Design Flood Hydrograph) และข้อจำกัดในการระบายน้ำทางด้านท้ายน้ำทั้งนี้ น้ำหลากส่วนเกินจะถูกหน่วงไว้ในโซนเก็บกักนี้ชั่วคราวเพื่อลดขนาดของน้ำท่วมสูงสุดก่อนที่จะค่อยๆ ระบายออกทางด้านท้ายน้ำในอัตราที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายและสำรอง ปริมาตรอ่างเก็บน้ำเพื่อรองรับปริมาณน้ำหลากในช่วงเวลาถัดไป

5) ระดับเก็บกักปกติ (Normal Pool Level)

ระดับเก็บกักปกติหรือระดับเก็บกักใช้การปกติ (Normal Pool Level, NPL/Full Reservoir Level, FRL) เป็นค่าระดับน้ำเก็บกักสูงสุดของอ่างเก็บน้ำในการปฏิบัติงานตามปกติ (Normal Operation) ซึ่งน้ำจะถูกเก็บกักไว้สำหรับนำไปใช้ตามความต้องการน้ำต่างๆ รวมถึงปริมาตรสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วมบางส่วนหรือทั้งหมดที่ปล่อยผ่านอาคารทางออก ระดับนี้จะเป็นตัวกำหนดระดับสันทางระบายน้ำล้นแบบไม่มีประตูควบคุม (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) และปริมาตรสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วม (Flood Control Reserve Storage) ซึ่งเป็นปริมาตรอ่างที่ทำหน้าที่หน่วงคลื่นน้ำท่วมไม่ให้เคลื่อนที่ไปทางด้านท้ายน้ำเร็วและมีอัตรามากเกินไปจนก่อให้เกิดน้ำท่วมทางด้าน

ท้ายน้ำในการออกแบบปริมาตรเก็บกักส่วนนี้จะต้องสัมพันธ์กับขนาดทางระบายน้ำล้นและคลื่นน้ำท่วมที่คาดว่าจะเคลื่อนตัวเข้าสู่อ่าง

7) ระดับเก็บกักต่ำสุด (Minimum Pool Level)

ระดับเก็บกักต่ำสุดหรือระดับเก็บกักไม่ใช้การต่ำสุด (Minimum Pool Level, MPL/Dead Storage Level) เป็นค่าระดับน้ำเก็บกักต่ำสุดที่จะสามารถเอาน้ำจากอ่างออกไปใช้ได้ ระดับนี้จะเป็นตัวกำหนดระดับปากของอาคารทางออก (Outlet) ตัวที่อยู่ต่ำที่สุด ปริมาตรอ่างเก็บน้ำที่อยู่ต่ำกว่าระดับเก็บกักต่ำสุดนี้ เรียกว่า ปริมาตรสูญเปล่า (Dead Storage) ซึ่งจะไม่มีการนำปริมาณน้ำในส่วนนี้ไปใช้ โดยปกติแล้วปริมาตรสูญเปล่าเป็นปริมาตรอ่างที่เผื่อไว้สำหรับการตกตะกอน (Sedimentation) ในช่วงอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำ

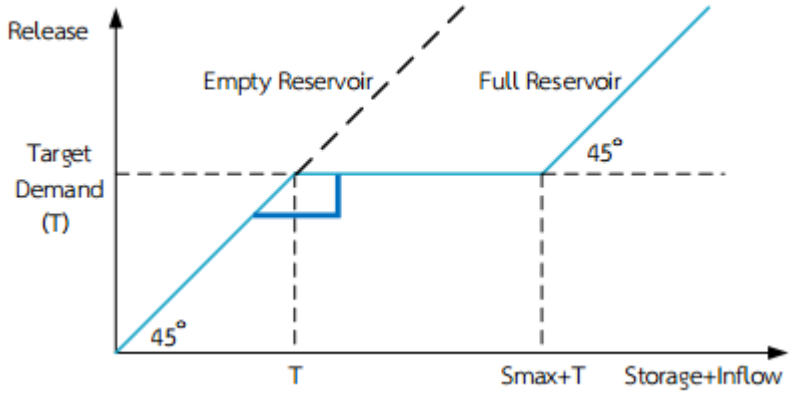
2.3.1 หลักการเกณฑ์การปล่อยน้ำของอ่างเก็บน้ำ

เกณฑ์ในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำรูปแบบต่างๆ ได้ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับใช้ปฏิบัติงานกับระบบอ่างเก็บน้ำโดยมีวัตถุประสงค์หลักก็เพื่อลดปริมาณการขาดน้ำที่คาดว่าจะเกิดขึ้นให้น้อยที่สุด ซึ่งเกณฑ์เหล่านี้ อาจอธิบายแนวคิดในการปล่อยน้ำหรือแสดงในรูปของระดับน้ำเก็บกักเป้าหมายของอ่างเก็บน้ำทั้งระบบเพื่อหลีกเลี่ยงสถานการณ์ที่จำเป็นต้องปล่อยน้ำส่วนเกินผ่านทางระบายน้ำล้นออกไป นอกจากนี้ ยังสามารถลดความรุนแรงของการขาดน้ำในระบบให้น้อยลงได้ด้วยการควบคุมของปริมาณน้ำที่ไหลล้นอ่างให้เกิดขึ้นน้อยที่สุดสำหรับเก็บกักน้ำบางส่วนไว้ใช้ในระบบนั่นเอง ด้วยเหตุนี้หลักการเกณฑ์การปล่อยน้ำของอ่างเก็บน้ำจึงถูกพัฒนานำมาใช้งานอย่างหลากหลาย (อนงค์ฤทธิ์, 2563) รายละเอียดดังนี้

2.3.1.1 เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบมาตรฐาน (Standard Operating Policy)

เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบมาตรฐาน (Standard Operating Policy, SOP) เป็นเกณฑ์การปล่อยน้ำที่ง่ายที่สุด บางครั้งอาจเรียกว่าเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบเชิงเส้นมาตรฐาน (Standard Linear Operating Policy, SLOP) โดยในช่วงที่ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำมีน้อยกว่าปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมาย (Target Demand) ปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ในอ่างจะถูกปล่อยไปใช้ทั้งหมดในขณะที่หากปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำมีมากกว่าปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมายแต่น้อยกว่าผลรวมของปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมายและปริมาณน้ำเก็บกักสูงสุด จะทำการปล่อยน้ำเท่ากับความต้องการน้ำเป้าหมายสำหรับปริมาณน้ำส่วนเกินจะเก็บกักไว้ในอ่างเก็บน้ำ และในกรณีที่ปล่อยน้ำเท่ากับความต้องการน้ำเป้าหมายไปแล้ว แต่ไม่มีปริมาตรอ่างมีพื้นที่ไม่เพียงพอที่จะเก็บกักน้ำส่วนเกินนี้ไว้ ปริมาณน้ำส่วนที่เกินความจุเก็บกักสูงสุดของอ่างเก็บน้ำจำเป็นต้องปล่อยออกไปในท้ายที่สุด (Jain & Singh, 2003)

การปล่อยน้ำที่เหมาะสมจะอยู่ระหว่างเส้นแสดงสถานะว่างและสถานะของน้ำเต็มความจุของอ่างเก็บน้ำอาจกล่าวได้ว่าการกำหนดการปล่อยน้ำในช่วงเวลาใดๆ ด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบมาตรฐานจะไม่สัมพันธ์กับการกำหนดการปล่อยน้ำในช่วงเวลาอื่นๆ หรือเป็นแนวทางการปล่อยน้ำที่มีลักษณะแตกต่างกันไปตามช่วงเวลา ถึงแม้ว่านโยบายนี้จะถูกนำมาใช้ในการศึกษาเพื่อวางแผนการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ อย่างไรก็ตามเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบมาตรฐานไม่เหมาะสำหรับการปฏิบัติการระยะสั้นวันต่อวัน และอาจจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนแนวทางปฏิบัติเพื่อให้เกิดความยืดหยุ่นมากยิ่งขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ถ้าปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ในอ่างเก็บน้ำในขณะนั้นน้อยกว่าความต้องการน้ำในปัจจุบันและอีก 3 เดือนข้างหน้า ผู้ปฏิบัติงานอาจจำกัดปริมาณน้ำที่ปล่อยให้ลดลงจากความต้องการน้ำเป้าหมายเดิมในช่วงเวลาดังกล่าวได้ ทั้งนี้การจำกัดปริมาณน้ำที่ปล่อยให้ได้จะขึ้นอยู่กับสถานะของน้ำในอ่างเก็บน้ำนั้นๆ ด้วยหรืออาจกำหนดในลักษณะเป็นระดับน้ำหลายๆ ขั้น โดยการนำเทคนิคการจำลองระบบมาประยุกต์ใช้เพื่อหาจำนวนขั้นระดับน้ำที่เหมาะสมเพื่อจำกัดปริมาณน้ำที่ปล่อยได้จากอ่างตามระดับน้ำเก็บกักที่มีในอ่างหรือเรียกว่า เกณฑ์การจำกัดการปล่อยน้ำ (Rationing Rule) ดังแสดงในภาพประกอบ 10



ภาพประกอบ 10 เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบมาตรฐาน

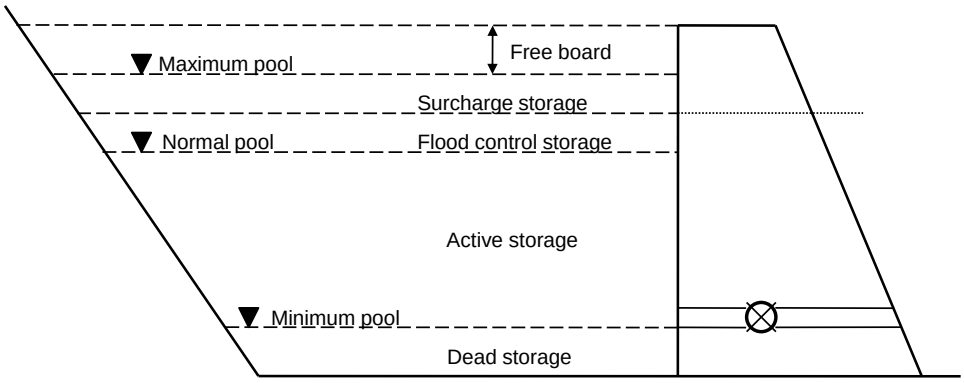
ที่มา : Jain & Singh (2003)

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

2.3.1.2 หลักการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำด้วยโค้งควบคุม

อ่างเก็บน้ำ คือ กลไกที่มนุษย์สร้างขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลมาตามธรรมชาติ หรือเพื่อวัตถุประสงค์อย่างใดอย่างหนึ่ง (Single Purpose Reservoir) หรือหลายอย่าง (Multipurpose Reservoir) เช่น การชลประทาน การอุปโภค-บริโภค การผลิตไฟฟ้า การท่องเที่ยว การรักษาระบบนิเวศ เป็นต้น อ่างเก็บน้ำประกอบด้วย ตัวอ่างเก็บน้ำ ทางระบายน้ำล้นและอาคารทางออก

ตัวอ่างเก็บน้ำ เกิดจากการสร้างสันเขื่อนกั้นน้ำขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ ชนิดและความสูงของเขื่อนเพิ่มกั้นและเก็บกักน้ำเอาไว้ ตัวอ่างจะมีการเก็บกักในส่วนต่างๆ ซึ่งแสดงไว้ในภาพประกอบ 11 ดังนี้ ระดับต่ำสุด (Minimum Pool level) ระดับเก็บกักปกติ (Normal Pool level) ระดับสูงสุด (Maximum level) และฟรีบอร์ด (Freeboard) ทางระบายน้ำล้นเป็นอาคารที่ทำหน้าที่ระบายน้ำส่วนเกินในยามที่คลื่นน้ำท่วมขนาดใหญ่เคลื่อนตัวผ่านอ่างเก็บน้ำ และอาคารทางออกเป็นอาคารที่ทำหน้าที่ควบคุมการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำเพื่อนำไปใช้ในวัตถุประสงค์ต่างๆ



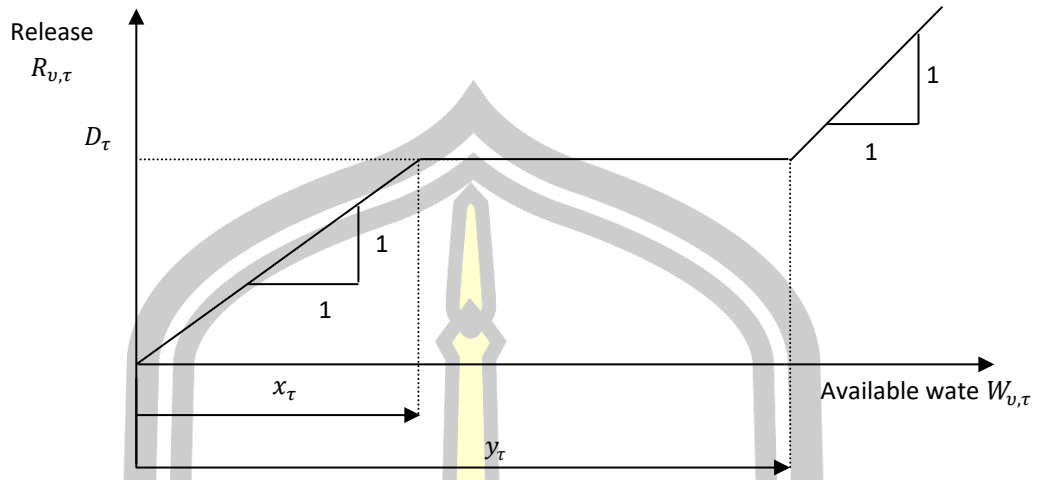
ภาพประกอบ 11 การแบ่งปริมาตรอ่างเก็บน้ำ
ที่มา: อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง (2563)

ความสัมพันธ์ระหว่างความจุและผลผลิตของอ่างเก็บน้ำ จะบอกให้รู้ว่าความจุของอ่างเก็บน้ำที่ต่างกันย่อมมีผลผลิตที่แตกต่างกันด้วย ดังนั้นผลผลิตของอ่างเก็บน้ำจึงเป็นปริมาณน้ำที่จะสามารถนำเอาไปใช้จากอ่างเก็บน้ำได้ในช่วงระยะเวลาที่กำหนด โดยปกติช่วงระยะเวลาที่กำหนดคือ 1 ปี และผลผลิตของอ่างเก็บน้ำที่มีขนาดความจุที่กำหนดจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ซึ่งจะมีความผันแปรในแต่ละปี ดังนั้นในการออกแบบเพื่อความปลอดภัยจึงใช้ผลผลิตที่แน่นอน

(Firm Yield) เป็นผลผลิตที่น้อยที่สุด ซึ่งจะเป็นปริมาณน้ำที่มากที่สุดที่จะประกันได้ว่าสามารถนำเอาไปใช้จากอ่างเก็บน้ำที่มีความจุที่กำหนดไว้ในช่วงเวลาที่วิกฤต (Critical Period) ซึ่งช่วงเวลาวิกฤตคือช่วงที่มีความแตกต่างของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำกับความต้องการใช้น้ำมากที่สุดซึ่งก็คือฤดูแล้ง ดังนั้นผลผลิตที่แน่นอนคือผลผลิตที่มีค่าน้อยที่สุดในช่วงอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำ ดังนั้นในปีที่แล้งที่สุดสามารถประกันได้ว่าจะมีน้ำใช้อย่างเพียงพอสำหรับความต้องการน้ำประเภทต่างๆ และหากมีปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำมากจะให้ผลผลิตมากกว่าผลผลิตที่แน่นอน ซึ่งส่วนนั้นเรียกว่าผลผลิตรอง (Secondary Yield) สามารถจะนำไปใช้กับวัตถุประสงค์อื่นที่รองลงมาได้ และอ่างเก็บน้ำไม่ว่าจะสร้างให้มีความจุขนาดใหญ่ได้เพียงใด ผลผลิตที่แน่นอนก็จะไม่มากเกินกว่าผลผลิตที่เป็นไปได้สูงสุด (Maximum Possible Yield) ซึ่งผลผลิตที่เป็นไปได้สูงสุดจะเท่ากับปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย (Mean Flow) หักด้วยการสูญเสียต่างๆ จากอ่างเก็บน้ำหลังจากการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำแล้วเสร็จ เพื่อที่จะให้บรรลุวัตถุประสงค์และใช้ประโยชน์อย่างเต็มศักยภาพ การบริหารจัดการน้ำจากอ่างเก็บน้ำจึงมีความสำคัญยิ่ง

ดังนั้นเพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้ควบคุมการใช้อ่างเก็บน้ำและปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ดังที่กล่าวมา และก่อให้เกิดผลผลิตในเชิงเศรษฐศาสตร์มากที่สุด จึงจำเป็นต้องมีการวางกฎการปฏิบัติงานของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operating Rules) ซึ่งกฎนี้จะใช้ในช่วงเวลาการปฏิบัติงานตามปกติ ไม่ใช่ช่วงหลังการก่อสร้างเสร็จใหม่ๆ หรือช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงวัตถุประสงค์การใช้อ่างเก็บน้ำ ในการเริ่มต้นคำนวณสภาพสมดุลน้ำของแต่ละอ่างจากโค้งควบคุม จะกำหนดให้ปริมาตรเก็บกักเริ่มต้นของอ่างที่ระดับเต็มอ่างหรือระดับเก็บกักสูงสุด (Full capacity) ส่วนปริมาณน้ำระบายจะหาได้ตามเกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน (Standard operating rule) ดังแสดงในภาพประกอบ 12 สมการที่ 2.3 และสมการที่ 2.4

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 12 เกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน

ที่มา: อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง (2551)

$$R_{\upsilon,\tau} = \begin{cases} D_\tau + W_{\upsilon,\tau} - y_\tau, \text{ for } W_{\upsilon,\tau} \geq y_\tau + D_\tau \\ D_\tau, \text{ for } x_\tau \leq W_{\upsilon,\tau} < y_\tau + D_\tau \\ D_\tau + W_{\upsilon,\tau} - x_\tau, \text{for } x_\tau - D_\tau \leq W_{\upsilon,\tau} < x_\tau \\ 0, \text{otherwise.} \end{cases} \quad (2.3)$$

เมื่อ $R_{\upsilon,\tau}$ คือปริมาณน้ำที่ระบายออกจากอ่างเก็บน้ำในช่วงปี υ ของเดือน τ (τ = 1 ถึง 12 แทนเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม) D_τ เป็นความต้องการใช้น้ำท้ายอ่างของเดือน τ, x_τ เป็นขอบเขตล่างของโค้งควบคุมของเดือน τ, y_τ เป็นขอบเขตบนของโค้งควบคุมของเดือน τ และ $W_{\upsilon,\tau}$ เป็นปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ของอ่างในเดือน τจากนั้นคำนวณหาน้ำต้นทุนที่มีอยู่ของอ่างเก็บน้ำในเดือนถัดไป โดยใช้หลักสมการสมดุลน้ำต่อไปนี้

$$W_{\upsilon,\tau+1} = S_{\upsilon,\tau} + Q_{\upsilon,\tau} - R_{\upsilon,\tau} - E_\tau - DS \quad (2.4)$$

เมื่อ $S_{\upsilon,\tau}$ เป็นปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเมื่อสิ้นสุดเดือน τ, $Q_{\upsilon,\tau}$ เป็นปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่างในเดือนτ ปี υ,E_τ เป็นค่าการระเหยรายเดือนเฉลี่ยเดือน τ และ *DS*

เป็นปริมาตรเก็บกักที่ไม่ได้ใช้การ (dead storage) เมื่อทำการจำลองสภาพสมดุลน้ำโดยใช้แบบจำลองการเลียนแบบสภาพสมดุลน้ำที่สร้างขึ้นจนครบจำนวนปีที่มีข้อมูลแล้ว ก็จะได้ผลการจำลองเป็นสถานการณ์ขาดแคลนน้ำ และสถานการณ์ที่เกิดน้ำส่วนเกินได้ (ความถี่ ขนาด ช่วงเวลา) จากนั้นก็ทำการบันทึกข้อมูลดังกล่าวไว้เพื่อใช้ในการพิจารณาต่อไป

สำหรับกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ต่อการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ ซึ่งมีหลายแบบแต่ละแบบจะบอกปริมาณน้ำที่ต้องปล่อยจากอ่างเก็บน้ำหรือไม่ก็บอกปริมาณน้ำที่ต้องการเก็บกักในอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาต่างๆ ของปีซึ่งเรียก โค้งกฎการปฏิบัติงาน (Rule Curves) และหนึ่งในจำนวนที่มากมายของเครื่องมือที่มีประโยชน์ต่อการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ คือ โค้งกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation Rule Curves)โค้งกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำหรือบางครั้งเรียกว่าโค้งแนวปฏิบัติ (guide curves) ซึ่งจะได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางอุทกวิทยาในอดีต (historical data) ซึ่งมีเงื่อนไขต่างๆ กันร่วมกับความต้องการน้ำในการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำโดยเฉพาะอ่างเก็บน้ำแบบเอนกประสงค์นั้นจำเป็นต้องมีเกณฑ์ในการปฏิบัติงานแบบหลายเกณฑ์ร่วมกัน เช่น เกณฑ์ทางด้านสังคม เศรษฐศาสตร์และวิศวกรรม เป็นต้น ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์ มีความยุติธรรมและประสิทธิภาพมากที่สุด หลังจากนั้นจึงสร้างเป็นกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ และพัฒนาให้เป็นเครื่องมืออย่างง่ายในการปฏิบัติคือ โค้งกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำซึ่งหลักการของการพัฒนาโค้งกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ คือในช่วงฤดูฝนจะพร่องน้ำจากอ่างเก็บน้ำในแต่ละช่วงเวลาที่กำหนดในปริมาณเท่าใด เพื่อให้มีปริมาตรว่างสำหรับรับปริมาณน้ำหลากที่จะไหลเข้าอ่างเก็บน้ำโดยไม่เกิดการไหลล้นอ่าง ซึ่งจะก่อให้เกิดอุทกภัยในบริเวณด้านท้ายอ่างเก็บน้ำ หรือหากเกิดการไหลล้นอ่างเก็บน้ำก็ให้เกิดน้อยที่สุด และในขณะเดียวกันต้องรักษาปริมาณน้ำไว้ในอ่างเก็บน้ำสำหรับใช้ในฤดูแล้ง ซึ่งเส้นโค้งของกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเส้นนี้เรียกว่า Upper Rule Curve (URC) และในช่วงฤดูแล้งจะรักษาปริมาณน้ำไว้ในอ่างเก็บน้ำในแต่ละช่วงเวลาที่กำหนดไว้เท่าใดจึงจะลดความเสี่ยงต่อการเกิดน้ำแห้งอ่างเก็บน้ำ ซึ่งโค้งของกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเส้นนี้เรียกว่า Lower Rule Curve (LRC)

เพื่อให้เกิดความเข้าใจในการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำอย่างละเอียด จะได้นำเสนอตัวอย่างการจำลองระบบอ่างเก็บน้ำ และการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำตามตัวอย่างต่อไปนี้ ซึ่งรายละเอียดเหล่านี้สามารถที่จะอยู่ในแบบจำลองหรือโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนขึ้นเพื่อช่วยในการทำงานให้สะดวกและรวดเร็ว และจะถูกประยุกต์กับเทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดต่างๆ เพื่อค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมต่อไป

2.4 การปรับปรุงโค้งควบคุม

2.4.1 การหาค่าเหมาะสมที่สุดสำหรับปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ

เทคนิคการหาค่าที่ดีที่สุดขั้นสูงนับเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่สามารถมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาทางด้านวิศวกรรมแหล่งน้ำได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ซึ่งประยุกต์ใช้โดยตรงในการค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ เทคนิคการหาค่าที่ดีที่สุดขั้นสูงที่ได้ถูกประยุกต์ใช้ร่วมกับการจำลองระบบอ่างเก็บน้ำเพื่อค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุดมีหลากหลายเทคนิค เริ่มตั้งแต่แบบง่ายๆ ไปจนถึงแบบซับซ้อน โดยประยุกต์ใช้กับอ่างเก็บน้ำทั้งแบบอ่างเดี่ยวและอ่างแบบเครือข่ายมีทั้งประยุกต์ใช้กับอ่างในประเทศไทยและอ่างในประเทศอื่นๆ อีกหลายประเทศ

การปรับปรุงการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำผ่านทางการปรับปรุงโค้งควบคุมสำหรับปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเป็นหนึ่งในแนวทางการบริหารจัดการน้ำแบบไม่ใช้สิ่งก่อสร้าง การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำโดยใช้โค้งควบคุมเป็นการบริหารจัดการในระยะยาว (Long Term Operation) ซึ่งส่วนใหญ่นิยมใช้เป็นโค้งรายเดือน (Monthly Rule Curve) เมื่อโค้งควบคุมระดับเก็บกักน้ำถูกใช้มานานก็อาจทำให้การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำด้อยประสิทธิภาพลง เนื่องจากสภาพเหนืออ่างเปลี่ยนไปอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก (Global Climate Change) และการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use Change) ด้านเหนืออ่างเก็บน้ำ อีกทั้งเมื่อความต้องการใช้น้ำในกิจกรรมต่างๆ ด้านท้ายอ่างเก็บน้ำมีการเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำที่มีประสิทธิภาพประสิทธิผลและความยืดหยุ่น จึงจำเป็นต้องอาศัยเทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุด (Optimization Technique) สำหรับการปรับปรุงและค้นหาโค้งควบคุมรายเดือนที่เหมาะสมในระยะเริ่มต้นนั้น จะใช้แบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Simulation) เพื่อหาคำตอบโดยสมมุติโค้งควบคุมเริ่มต้นที่เป็นไปได้ (Initial Feasible Rule Curves) และปรับโค้งควบคุมนี้แบบลองผิดลองถูก (Trial and Error) จนกระทั่งได้โค้งควบคุมที่เหมาะสมเทคนิคการหาคำตอบของแบบจำลองการเลียนแบบนี้เข้าใจง่ายและเหมาะสมกับระบบที่ไม่ซับซ้อนมากอย่างไรก็ตามแบบจำลองนี้จะยุ่งยากมากขึ้นเมื่อมีระบบอ่างเก็บน้ำมีความซับซ้อนมากขึ้นยิ่งไปกว่านั้นเนื่องจากกระบวนการในการค้นหาคำตอบต้องอาศัยประสบการณ์ของวิศวกรผู้คำนวณคำตอบที่ได้จึงไม่แน่นอนว่าจะเป็นโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุดหรือไม่

2.4.2 ปรับโค้งควบคุมแบบลองผิดลองถูกในแบบจำลองระบบอ่างเก็บน้ำ

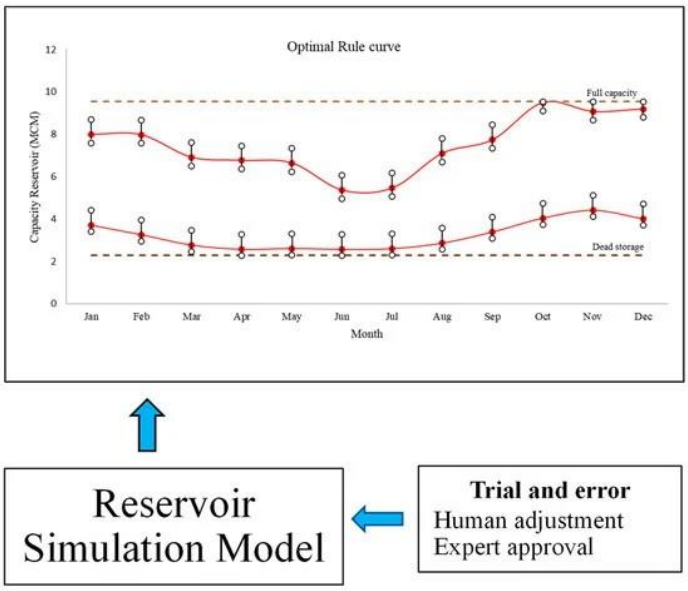
สำหรับการปรับโค้งควบคุมแบบลองผิดลองถูกเพื่อให้ได้โค้งควบคุมรายเดือนที่เหมาะสมใน ระยะเริ่มต้นจะใช้แบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Simulation) ซึ่งเป็น

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำการคำนวณวิเคราะห์สมดุลน้ำของอ่างเก็บน้ำอย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะมีความน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของการระบุตัวแปรต่างๆ และการแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรเหล่านั้น ในปัจจุบันมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับวิเคราะห์สมดุลน้ำเพื่อใช้ในการบริหารจัดการน้ำในลุ่มน้ำหลายรูปแบบในลักษณะของโปรแกรมสำเร็จรูป เช่น AISP (AISP, 1999) HEC-3 (HEC-3, 1974) และ MIKE SHE (Zhang, 2008) เป็นต้น ซึ่งแต่ละโปรแกรมมีหลักการและสมมติฐานเดียวกันคือ ใช้สมการสมดุลมวล (Conservative of Mass) ที่คำนึงถึง Inflow, Outflow, Evaporation, Storage, Infiltration และ Rainfall ในรูปแบบต่างๆ ผลจากการวิเคราะห์จะคล้ายคลึงกัน แต่จะแตกต่างกันเฉพาะรายละเอียดในการป้อนข้อมูลและการแสดงผล

2.4.3 ขั้นตอนการดำเนินการลองผิดลองถูกเพื่อหาโค้งควบคุมที่เหมาะสม

ขั้นตอนแรกสมมุติโค้งควบคุมเริ่มต้นที่เป็นไปได้ (Initial Feasible Rule Curves) ซึ่งจะต้องอาศัยประสบการณ์ของวิศวกรผู้คำนวณโดยปกติจะกำหนดให้โค้งควบคุมเส้นบนอยู่ต่ำกว่าระดับเก็บกักปกติ (Normal High Water Level) และโค้งควบคุมเส้นล่างอยู่สูงกว่าระดับเก็บกักที่ไม่สามารถใช้การได้ (Dead Storage) จากนั้นจะดำเนินการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำตามสถานการณ์ของข้อมูลอดีตที่มี เช่น ข้อมูลน้ำท่า ข้อมูลความต้องการใช้น้ำรายเดือน ข้อมูลการระเหย ข้อมูลพื้นฐานอื่นๆของอ่างเก็บน้ำ จากผลของการระบายน้ำตามกระบ วนการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำข้างต้น จะนำมาเปรียบเทียบกับความต้องการใช้น้ำรายเดือนตลอดช่วงระยะเวลาที่พิจารณาโดยแสดงผลการเปรียบเทียบสถานการณ์ของการขาดแคลนน้ำและการไหลล้นในเทอมของความถี่และค่าเฉลี่ย จากนั้นดำเนินการปรับโค้งควบคุมนี้แบบลองผิดลองถูก (Trial and Error) และดำเนินการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำใหม่อีกครั้งจนกระทั่งยอมรับค่าการขาดแคลนและการไหลล้นได้ก็จะหยุดปรับและยอมรับโค้งควบคุมสุดท้ายนั้น ดังแสดงในภาพประกอบ 13

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



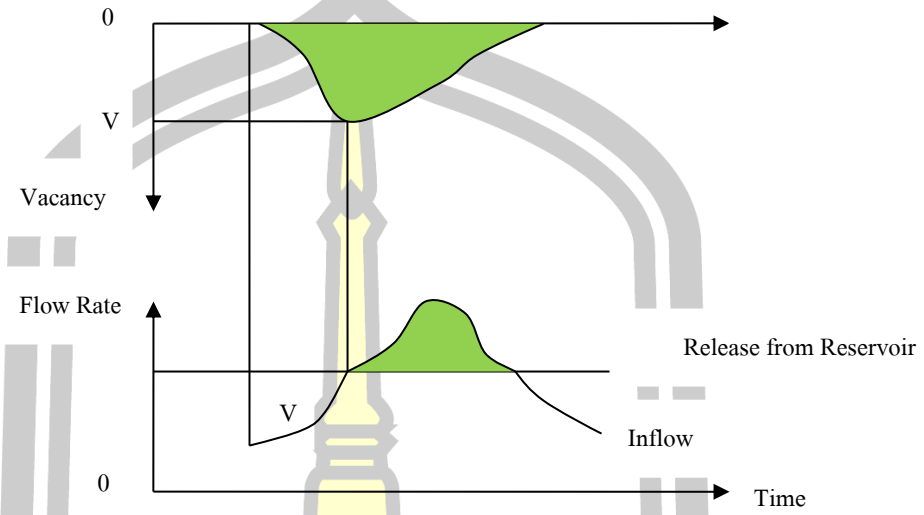
ภาพประกอบ 13 ขั้นตอนการลองผิดลองถูกในการหาโค้งควบคุมที่เหมาะสม
(ที่มา: Kangrang et al., 2023)

2.4.4 เทคนิคการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธีการศึกษาเลียนแบบ (SM)

วิธีการศึกษาเลียนแบบเป็นกระบวนการจำลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมของระบบจากกฎของการจัดการและควบคุม แต่ไม่สามารถประกันได้ว่ากฎของการจัดการและการควบคุมนั้นดีที่สุด ซึ่งในการพัฒนาโค้งของกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่ใช้วิธีนี้ ได้แก่

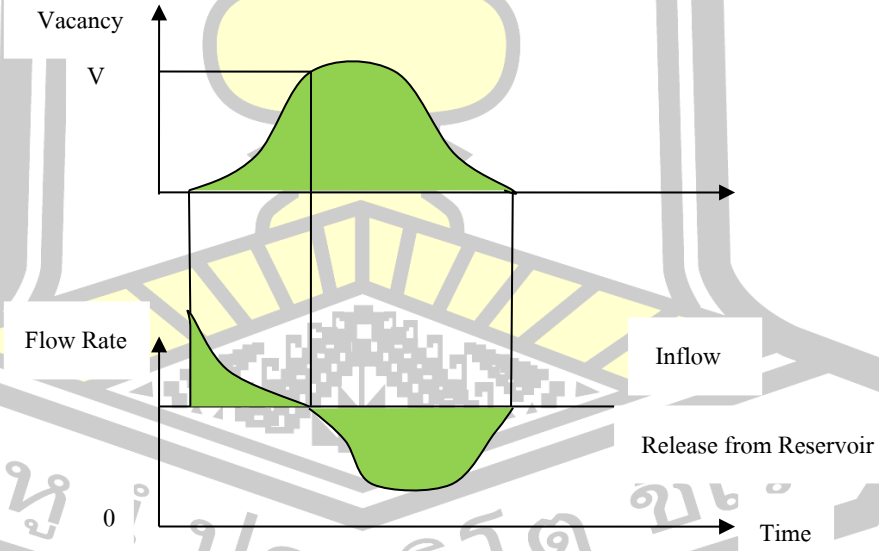
1) การวิเคราะห์ระบบอ่างเก็บน้ำสำหรับการเก็บกักน้ำ (Reservoir System Analysis for Conservation) เป็นการจำลองพฤติกรรมของระบบอ่างเก็บน้ำจากกฎต่างๆ ที่กำหนดไว้ว่าจะผันน้ำหรือขาดน้ำในช่วงใด เท่าใด เป็นต้น ซึ่งสามารถนำผลการวิเคราะห์จากระบบอ่างเก็บน้ำมาสร้างโค้งกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำได้ โดยทั่วไปก็คือโปรแกรม HEC-4

2) Vacancy-Minimum Storage Requirements Rule Curve จะอาศัยแนวคิดที่ว่า ปริมาตรน้ำในอ่างเก็บน้ำที่จะเต็มอ่างพอดีเมื่อสิ้นฤดูฝน ในขณะเดียวกันเมื่อสิ้นสุดฤดูแล้งปริมาตรน้ำในอ่างเก็บน้ำจะแห้งอ่างเก็บน้ำพอดี ดังนั้นในช่วงเริ่มต้นฤดูฝนจะต้องมีการพร่องน้ำในอ่างเก็บน้ำไว้เพื่อรองรับน้ำที่คาดว่าจะไหลเข้าอ่างเก็บน้ำตลอดช่วงฤดูฝน ดังแสดงในภาพประกอบ 14 โดยปล่อยน้ำในอัตราที่เพิ่มขึ้น และในช่วงเริ่มต้นฤดูแล้งจะต้องสำรองน้ำในอ่างเก็บน้ำให้เพียงพอกับความต้องการตลอดช่วงฤดูแล้ง ดังแสดงในภาพประกอบ 15



ภาพประกอบ 14 การพร่องน้ำในช่วงเริ่มต้นฤดูฝน

ที่มา: อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง (2551)



ภาพประกอบ 15 การสำรองน้ำในช่วงฤดูแล้ง

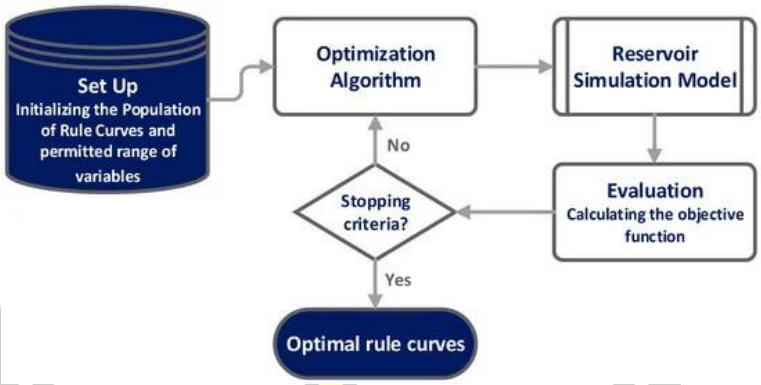
ที่มา: อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง (2551)

3) Standard Operating Policy เป็นเกณฑ์ที่ค่อนข้างง่าย โดยจะปล่อยน้ำให้เป็นไปตามความต้องการทุกๆ ช่วงเวลา ดังนั้นหากปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำมีไม่เพียงพอตามความต้องการ ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำก็จะลดลงเรื่อยๆ ขณะเดียวกันในช่วงฤดูฝนที่มีน้ำมาก ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำก็จะเพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่งปล่อยน้ำให้ไหลล้นอ่างเก็บน้ำต่อไปหรืออาจกล่าวได้ว่าเกณฑ์การปฏิบัติงานโดยวิธี Standard Operating Policy นี้เป็นเกณฑ์ที่มีศักยภาพมากในการลดประมาณการขาดน้ำทั้งหมด (Total deficit) ในช่วงเวลาที่พิจารณา

4) Probability Based Rule Curves เป็นวิธีที่ใช้หลักการของทฤษฎีความน่าจะเป็น เพื่อพิจารณาการเก็บกักและการระบายน้ำที่ความเสี่ยงต่างๆ โดยในฤดูน้ำหลากจะพิจารณาว่าจะรักษาระดับน้ำหรือปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่มากที่สุดที่จะทำให้ความเสี่ยงต่อการที่อ่างเก็บน้ำมีปริมาตรไม่พอที่จะรับน้ำนองอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ในทางตรงข้ามฤดูแล้งจะพิจารณาว่า ควรจะรักษาระดับน้ำหรือปริมาณน้ำไว้เพื่อหลีกเลี่ยงความเสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำในอนาคต หรือความเสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำในอนาคตอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

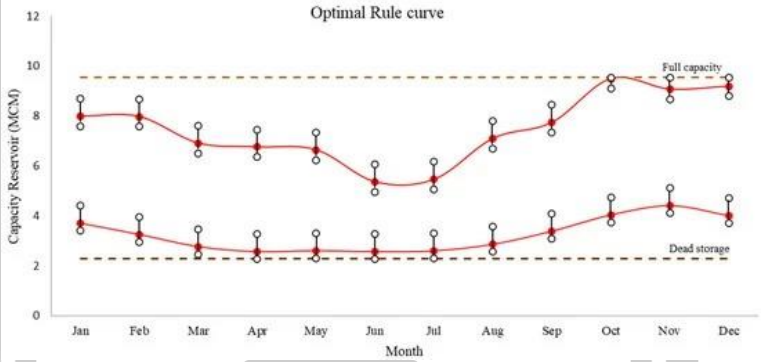
5) Optimization เป็นกระบวนการหาคำตอบที่ดีที่สุด จากการจัดการตามวัตถุประสงค์ (objectives) และข้อจำกัด (Constraint) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุด ทั้งนี้เพราะสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ตามวัตถุประสงค์และข้อจำกัดต่างๆ แต่อย่างไรก็ตามการใช้วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดจำเป็นที่จะต้องจำลองระบบเสียก่อนซึ่งในการพัฒนาโค้งกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่ใช้วิธีนี้ได้แก่ Chance-Constrained Model with Linear Decision Rule เป็นการพัฒนากฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำด้วยแบบจำลอง โอกาส-ข้อจำกัด ร่วมกับกฎการตัดสินใจเชิงเส้น

ต่อมาได้มีการประยุกต์ใช้เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดมาค้นหาคำตอบโค้งควบคุมที่เหมาะสม โดยการประยุกต์เทคนิคการหาค่าเหมาะสมสูงสุดเชื่อมติดกับแบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำเพื่อค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสม ซึ่งมีตัวแปรตัดสินใจคือค่าโค้งควบคุมรายเดือนทั้ง 24 ค่า ของแต่ละอ่างภายใต้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหาคำตอบ กระบวนการค้นหาคำตอบจะดำเนินการวนรอบไปเรื่อยๆ จนกระทั่งเข้าเกณฑ์เงื่อนไขของการค้นหาก็จะหยุดการค้นหาและได้ค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ดังแสดงในภาพประกอบ 16 โดยมีขอบเขตของการค้นหาคำตอบคือระหว่างปริมาตรเก็บกักปกติและค่าปริมาณการเก็บกักที่ไม่สามารถนำมาใช้การได้ ดังแสดงในภาพประกอบ 17



ภาพประกอบ 16 การประยุกต์เทคนิคการหาค่าเหมาะสมสูงสุดเชื่อมติดกับแบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำเพื่อค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสม

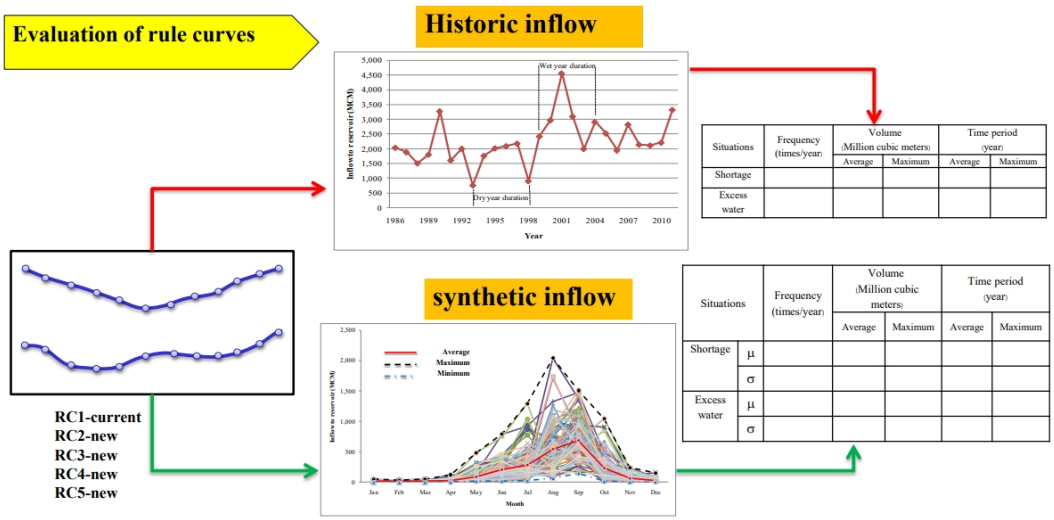
(ที่มา: Kangrang et al., 2023)



ภาพประกอบ 17 ขอบเขตของการค้นหาคำตอบโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุด

(ที่มา: Kangrang et al., 2023)

เมื่อดำเนินการค้นหาจนได้โค้งควบคุมที่เหมาะสมแล้วนำโค้งเหล่านั้นมาประเมินประสิทธิภาพโดยการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำกับข้อมูลน้ำท่าสังเคราะห์และแสดงผลลัพธ์ออกมาในรูปของสถานการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้น ดังแสดงในภาพประกอบ 18 เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ค้นหาคำตอบโค้งควบคุมที่เหมาะสมมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีซึ่งจะได้นำเสนอแต่ละวิธีตามลำดับดังนี้



ภาพประกอบ 18 กระบวนการประเมินโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุด

(ที่มา: Kangrang et al., 2023)

2.4.5 เทคนิคการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธีโปรแกรมเชิงพลวัตร

วิธีการศึกษาการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธีโปรแกรมเชิงพลวัตรกับระบบทรัพยากรน้ำได้นำมาใช้กันอย่างกว้างขวางซึ่งเป็นรหัสเฉพาะปัญหาโดยโปรแกรมเชิงพลวัตรจะแปลงปัญหาต่อเนื่องหรือการตัดสินใจหลายเป้าหมายซึ่งมีตัวแปรตัดสินใจที่สัมพันธ์กันไปสู่อนุกรมของปัญหาเป้าหมายเดียวโดยแต่ละปัญหาจะมีตัวแปรตัดสินใจตัวแปรเดียวหรือน้อยตัว หรืออีกนัยหนึ่งเทคนิคนี้จะแตกตัวปัญหาตัวแปรตัดสินใจ N ไปสู่การแบ่ง N ตัว แต่เป็นการตัดสินใจเดียวของของปัญหาย่อย ที่เรียกว่าวิธีการแตกสลาย (Decomposition) ซึ่งเป็นประโยชน์มากในการแก้ปัญหา ซึ่งมีความสลับซับซ้อนโดยปัญหาขนาดใหญ่นั้นไปสู่อนุกรมของปัญหาย่อยซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเพื่อหาผลลัพธ์ของปัญหาใหญ่ทั้งหมดซึ่งคุณลักษณะการดำเนินงานของโปรแกรมเชิงพลวัตรมีดังต่อไปนี้

1) ปัญหาจะแบ่งออกเป็นขั้นตอนโดยมีตัวแปรตัดสินใจอยู่ทุกขั้นตอน

2) แต่ละขั้นตอนมีจำนวนของเป้าหมายเกี่ยวข้องกับมัน

3) ผลการตัดสินใจแต่ละขั้นตอนจะมีผลตอบแทนโดยขึ้นอยู่กับฟังก์ชั่นการตอบแทนของขั้นตอน และโอนถ่ายจากตัวแปรเป้าหมายปัจจุบันไปสู่ตัวแปรเป้าหมายขั้นถัดไป โดยใช้ฟังก์ชั่นการโอนถ่ายเป้าหมาย

4) กำหนดเป้าหมายปัจจุบัน นโยบายความเหมาะสมของขั้นตอนที่เหลืออยู่เป็นอิสละของนโยบายขั้นตอนก่อน หลักการนี้เรียกว่าหลักการของ Bellman’s ในการหาความเหมาะสมโดยทำหน้าที่เป็นหลักใหญ่ของโปรแกรมเชิงพลวัตร

5) การหาผลลัพธ์เริ่มโดยการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมของแต่ละเป้าหมายที่เป็นไปได้ในขั้นตอนสุดท้ายเรียกว่าการย้อนกลับทางหลังหรือในขั้นตอนแรกเรียกว่าการย้ายไปข้างหน้าขั้นตอนไปข้างหน้าคำนวณจากขั้นตอนแรกไปสู่ขั้นตอนสุดท้าย ขณะเดียวกันการคำนวณย้อนกลับเริ่มจากขั้นตอนสุดท้ายไปสู่ขั้นตอนแรก

6) ความสัมพันธ์ของ Recursive ชี้ให้เห็นถึงนโยบายการหาความเหมาะสมของแต่ละเป้าหมายของขั้นตอน n ใดๆ ซึ่งสามารถพัฒนาได้ กำหนดนโยบายเหมาะสมของแต่ละเป้าหมายที่ขั้นตอนอันถัดไป $n + 1$

วิธี DP มีจุดเด่นที่สามารถนำมาใช้ค้นหาคำตอบสำหรับปัญหาที่ไม่เชิงเส้นและปัญหาที่มีการตัดสินใจหลายขั้นตอนได้ดังนั้น DP จึงมีความเหมาะสมกับปัญหาที่เป็นขั้นตอนอย่างการหาโค้งควบคุมที่เป็นรายเดือน เพราะคำตอบที่ได้สัมพันธ์กันตลอดทั้งระยะเวลา 12 เดือนที่พิจารณาอย่างไรก็ตาม DP ก็มีขีดจำกัดตรงที่ว่าเมื่อตัวแปรอธิบายสภาพระบบ (State Variables) มากจะทำให้การคำนวณค้นหาคำตอบด้วย DP ยากขึ้น ต่อมาจึงได้มีการพัฒนาวิธี DP แบบมีเงื่อนไข (Conditional) ที่มีประสิทธิภาพในการค้นหาโค้งควบคุมรายเดือน ของระบบอ่างเก็บน้ำหลายอ่างในคราวเดียวกันโดยใช้เทคนิค Principal of Progressive Optimality (PPO) ซึ่งจะช่วยให้การค้นหาคำตอบที่เหมาะสมของ DP แบบมีเงื่อนไขสะดวกขึ้นด้วยการจำกัดมิติให้อยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงคำตอบเท่านั้นสามารถลดมิติของการค้นหาคำตอบได้ ทำให้การค้นหาด้วย DPPPO ลู่เข้าหาคำตอบได้เร็ว เทคนิค DP-PPO มีประสิทธิภาพในการค้นหาโค้งควบคุมรายเดือนที่เหมาะสม และให้ผลลัพธ์โค้งควบคุมที่เกือบเป็นคำตอบเดียวกันไม่ว่าค่าเริ่มต้นของคำตอบที่เป็นไปได้จะเป็นกรณีใด

2.4.6 เทคนิคการหาค่าเหมาะสมด้วยเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม

พันธุกรรมทางคอมพิวเตอร์ หรือ Genetic Algorithms (GA) เป็นปัญญาประดิษฐ์ที่ใช้ในการค้นหาค่าสูงสุด ต่ำสุด หรือค่าอุตมภาพ (Optimization Problem) ของฟังก์ชั่นใดๆ ที่ต้องการไม่ว่าฟังก์ชั่นดังกล่าวจะเป็นแบบเส้นตรง (Linear) หรือไม่เป็นเส้นตรง (Non-linear) ก็ตาม (กัมปนาท ภักดีกุล, 2544) GA ถูกคิดค้นขึ้นครั้งแรกโดย John Holland ในปี ค.ศ. 1971 และตีพิมพ์เผยแพร่ในหนังสือชื่อ "Adaptation in Natural and Artificial Systems" ในปี ค.ศ. 1975 และมีการนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาการหาความเหมาะสมในหลายๆ แขนงวิชาเรื่อยมา ไม่ว่าจะเป็นวิศวกรรม

คอมพิวเตอร์ การวิจัยดำเนินการ อุตสาหกรรม ชีววิทยา ฟิสิกส์ การแพทย์ การบริหารธุรกิจ เป็นต้น วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่เลียนแบบกลไกการคัดเลือกตามธรรมชาติซึ่งมีรากฐานมาจากทฤษฎีวิวัฒนาการทางธรรมชาติ กล่าวคือตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable) ของปัญหาจะถูกแทนค่าโดยแถวของตัวเลข (String) หรือเรียกโดยใช้คำศัพท์ทางชีววิทยาว่าโครโมโซม (Chromosome) GA จะทำการสร้างโครโมโซมขึ้นมาชุดหนึ่ง เรียกว่า Population โดยแต่ละโครโมโซมจะประกอบไปด้วยบล็อกหรือจีน (Gene) ที่แทนค่าตัวแปรตัดสินใจแต่ละตัว จีนในยุคเริ่มแรกของ GA จะประกอบไปด้วยตัวเลขไบนารี่ (Binary Bits) คือ 0 และ 1 แต่ละจีนประกอบไปด้วยเลขไบนารี่ 3 ตัวหรือเรียกว่า 3 อัลลีลส์ (Alleles) ซึ่งเมื่อถอดรหัสแล้วจะได้ค่าของตัวแปรตัดสินใจออกมาซึ่งอาจจะเป็นจำนวนจริง (Real-value) จำนวนเต็ม (Integer) เซต (Set) หรือเมตริกซ์ (Matrix) ก็ได้ ขึ้นอยู่กับผู้ศึกษาเป็นผู้กำหนดให้เหมาะสมกับปัญหา แต่ GA ในยุคหลังนิยมใช้จำนวนจริง (Real-value) แทนการใช้เลขแบบไบนารี่ ทำให้โครโมโซมสั้นลงเพราะไม่ต้องแบ่งจีนเป็นหลายๆ อัลลีลส์ เมื่อทำการถอดรหัสจีนทุกตัวในโครโมโซมออกมาเป็นตัวแปรและทำการแทนค่าตัวแปรเหล่านั้นลงไปในฟังก์ชั่นเป้าหมาย (Objective Function) แล้วโครโมโซมหนึ่งก็จะให้ผลลัพธ์ออกมาเรียกว่าค่า Fitness ของโครโมโซมนั้น ซึ่งค่า Fitness ของโครโมโซมแต่ละตัวใน Population นี้เป็นเพียงค่าที่เป็นไปได้ (Possible Solution) แต่อาจไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา โครโมโซมเหล่านี้จะต้องผ่านกระบวนการของ GA ซึ่งเป็นกระบวนการที่เลียนแบบกลไกการคัดเลือกตามธรรมชาติอีก 3 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการคัดเลือก (Selection Operation) ขั้นตอนการแลกเปลี่ยนจีน (Crossover Operation) และขั้นตอนการดัดแปลงจีน (Mutation Operation)

1) ขั้นตอนการคัดเลือก (Selection Operation)

หลักการของขั้นตอนการคัดเลือกก็คือ โครโมโซมที่มีค่า Fitness ดีที่สุดใน Population (สูงสุดหรือต่ำสุดแล้วแต่ประเภทของปัญหา) จะมีโอกาสถูกคัดเลือกให้เข้าไปสู่กระบวนการในขั้นตอนถัดไปมากที่สุดวิธีที่ใช้กันโดยทั่วไป เรียกว่า Proportional Selection (Goldberg, 1989) ซึ่งกำหนดค่าความเป็นไปได้ในการถูกคัดเลือก (Probability of Selection, Pi) ให้กับแต่ละโครโมโซมเท่ากับสัดส่วนของค่า Fitness ของโครโมโซมนั้นเทียบกับผลรวมของค่า Fitness ของโครโมโซมทั้งหมดใน Population นอกจากนี้ยังมีวิธีการคัดเลือกแบบอื่นที่นิยมใช้กัน

2) ขั้นตอนการแลกเปลี่ยนจีน (Crossover Operation)

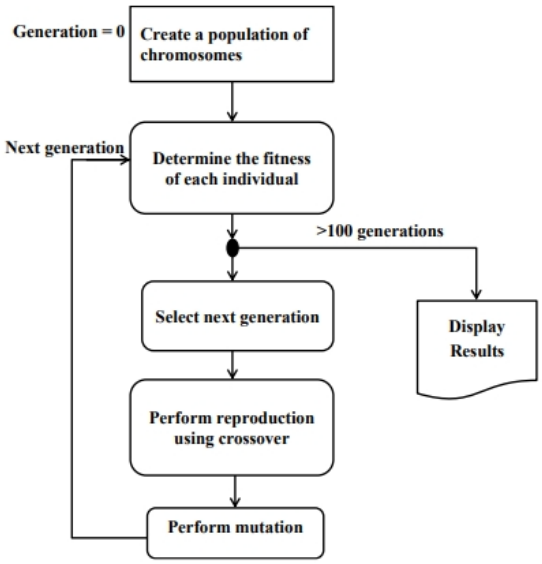
ขั้นตอนนี้จะทำการสุ่มเลือกโครโมโซมใน Population นั้นมาทำการจับคู่แลกเปลี่ยนจีนกัน โดยโอกาสที่แต่ละโครโมโซมจะถูกสุ่มขึ้นมาจับคู่กันขึ้นอยู่กับค่า Probability of

Crossover ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ผู้ศึกษานำเข้าสู่กระบวนการ ส่วนประเภทของ Crossover จำแนกไว้มีอยู่ 3 ประเภทคือ 1) Crossover 1 ตำแหน่ง (One-point Crossover) ซึ่งจะทำการแลกเปลี่ยนจีนของโครโมโซมที่ถูกจับคู่กัน ณ ตำแหน่งจีนที่ถูกสุ่มขึ้นมาจนถึงจีนในตำแหน่งสุดท้าย 2) Crossover 2 ตำแหน่ง (Two-point Crossover) จะทำการแลกเปลี่ยนจีนที่อยู่ระหว่างตำแหน่งทั้ง 2 ที่ถูกสุ่มขึ้นมา และ 3) Crossover หลายตำแหน่ง (Uniform Crossover) นั้น จีนที่อยู่ในตำแหน่งเดียวกันของโครโมโซมที่ถูกจับคู่กันจะถูกสุ่มให้มีการแลกเปลี่ยนกันแบบจีนต่อจีน

3) ขั้นตอนการดัดแปลงจีน (Mutation Operation)

ขั้นตอนนี้จีนจะถูกสุ่มดัดแปลงให้ผิดแปลกไปจากเดิมโดยสิ้นเชิง และความเป็นไปได้ที่จีนจะถูกสุ่มขึ้นมาทำการดัดแปลงนั้นขึ้นอยู่กับค่า Probability of Mutation ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ผู้ศึกษานำเข้าสู่กระบวนการ ใน GA ที่ใช้รหัสแบบไบนารี่ การดัดแปลงจีนจะกระทำโดยการเปลี่ยนค่า 0 เป็น 1 หรือ 1 เป็น 0 สำหรับ GA ที่ใช้รหัสแบบจำนวนจริง (Real-value Coding) นั้น มีรูปแบบการดัดแปลงจีนที่มีรายละเอียดมากกว่าแบบไบนารี่มากมาย โดย Michalewicz (1996) ได้จำแนกไว้ 3 แบบคือ 1) Uniform Mutation ซึ่งค่าของจีนจะถูกดัดแปลงภายในพิสัย (Range) ที่กำหนด 2) Non-uniform Mutation ซึ่งจะดัดแปลงจีนด้วยค่าที่ค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ ใน Generation ถัดๆ ไปของกระบวนการ GA และ 3) Modified Uniform Mutation ซึ่งค่าของจีนจะถูกดัดแปลงโดยค่าคงที่เพียงค่าเดียว เมื่อผ่านขั้นตอนทั้งสามเรียบร้อยแล้วจะได้โครโมโซมชุดใหม่ที่แตกต่างไปจากเดิม โครโมโซมชุดนี้จะถูกนำไปแทนที่โครโมโซมชุดเดิมกลายเป็น Population ใหม่ กระบวนการทั้งหมดนี้เรียกว่าเป็นหนึ่ง Generation จากนั้น GA จะดำเนินการกระบวนการทั้งหมดกับ Population ใหม่นี้อีกครั้งหนึ่งและกระทำซ้ำไปเรื่อยๆ จนกว่าจะครบตามจำนวน Generation ที่ผู้ศึกษากำหนด และได้ชุดของโครโมโซมที่ให้ค่า Fitness ที่ดีที่สุดในตอนท้ายของกระบวนการ GA ขั้นตอนการทำงานของ Genetic Algorithm ดังแสดงในภาพประกอบ 19

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 19 ขั้นตอนการทำงานของ Genetic Algorithm
(ดัดแปลงจาก Goldberg, 1989)

สำหรับเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm: GA) นั้นเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด มีพื้นฐานมาจากทฤษฎีวิวัฒนาการ (Evolution Theory) ซึ่งเหมาะกับการใช้แก้ปัญหาที่ซับซ้อน กระบวนการค้นหาคำตอบเป็นแบบสุ่ม (Random) มีการแลกเปลี่ยนลักษณะบ่งชี้ของประชากรคำตอบแต่ละตัว และมีโอกาสที่จะได้คำตอบที่ลู่เข้าหาคำตอบที่แท้จริง (Global Optimum) เทคนิค GA ได้ถูกประยุกต์ให้เชื่อมติดกับแบบจำลองการศึกษาเลียนแบบเพื่อใช้หาคำตอบของโค้งควบคุมที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยที่จะต้องพิจารณาร่วมด้วยเพื่อให้ได้โค้งควบคุมที่เหมาะสมและสามารถใช้งานได้จริง จำนวน 6 ปัจจัย ได้แก่ 1) การใช้ฟังก์ชั่นเงื่อนไขความราบเรียบ 2) ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหาคำตอบที่เหมาะสม 3) ความยาวของข้อมูลน้ำท่า 4) สภาวะเริ่มต้นของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ 5) การมีส่วนของผู้เชี่ยวชาญในการปรับแก้ไข และ 6) ขนาดของอ่างเก็บน้ำ

2.4.7 วิธีดิฟเฟอร์เรนเชียลเอฟโวลูชั่น (Differential Evolution: DE)

เป็นอีกเทคนิคหนึ่งในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดโดยประมาณ (Near Global Optimum) ซึ่งวิธีการ DE ใช้หลักการทฤษฎีจำลองกระบวนการวิวัฒนาการทางธรรมชาติเช่นเดียวกับวิธีการ GA อีกทั้งวิธีการ DE มีโครงสร้างที่ซับซ้อนน้อยกว่าและใช้ค่าจำนวนจริงในการคำนวณโดยไม่ต้องแปลงเป็นเลขฐานสอง ทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้งาน ซึ่งทำให้วิธีการ DE จะลู่เข้าหาคำตอบที่

เหมาะสมที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วกว่าวิธีการ GA วิธีการ DE ได้ถูกประยุกต์ใช้ในการค้นหาโค้งควบคุมรายเดือนที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ เช่นกัน รวมทั้งการพิจารณาปัจจัยการมีส่วนของผู้เชี่ยวชาญในการปรับแก้ไขโค้งควบคุมด้วย

2.4.8 เทคนิคอัลกอริทึมการจำลองการอบเหนียว (Simulated Annealing Algorithm: SA)

เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบสุ่ม โดยมีลักษณะในการค้นหาคำตอบของปัญหาคือ ในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการค้นหาจะยอมให้การค้นหาวิ่งในทิศทางที่ไม่ดีได้ เพื่อเป็นการสำรวจคำตอบแบบหยาบๆ ก่อน แล้วจึงค้นหาแบบละเอียดในช่วงที่เป็นไปได้ในภายหลัง วิธีการ SA ได้ถูกประยุกต์ให้เชื่อมติดกับแบบจำลองการศึกษาเลียนแบบเพื่อใช้หาคำตอบของโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่นกัน

2.4.9 ซัฟเฟิลฟรอกลิปปิงอัลกอริทึม (Shuffled Frog Leaping Algorithm: SFLA)

เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบสุ่มถูกพัฒนาขึ้นโดยมีแนวคิดว่าประชากรของกบอาศัยอยู่ในบึง ซึ่งกบแต่ละตัวจะมีความคิดของตัวเองและมันจะแลกเปลี่ยนความคิดระหว่างกันเพื่อกระโดดไปหาจุดที่มีอาหารมากที่สุดในบึง SFLA จะใช้เวลาในการหาคำตอบที่ดีกว่าเนื่องจากเป็นการผสมผสานระหว่างมีมีติกอัลกอริทึม (Memeplex Algorithm: MA) และเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบ กลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO) ประชากรผลลัพธ์จะถูกสุ่มขึ้นมาแล้วถูกแบ่งเป็น หลายๆ กลุ่ม หรือ Memeplex เพื่อค้นหาแหล่งอาหารโดยในแต่ละกลุ่มจะทำการค้นหาแบบ Local Search หลังจากนั้นกบจะแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกลุ่มด้วยการสับกลุ่ม (Shuffling) วิธี SFLA สามารถประยุกต์ใช้ค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของโค้งควบคุมรายเดือนของระบบอ่างเก็บน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ยังมีเทคนิคอื่นๆ อีกที่ได้ถูกประยุกต์ใช้หาโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุดเช่นกัน อาทิ เช่น เทคนิคอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization: ACO) เทคนิคนกดุเหว่า (Cuckoo Search Algorithms: CSA) และเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO) เป็นต้น อย่างไรก็ตามการค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำสำหรับปรับปรุงระบบการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำยังคงต้องได้รับการพัฒนาเพื่อให้คำตอบที่เหมาะสมสามารถรองรับสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไปในอนาคตอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงด้านความต้องการใช้น้ำในกิจกรรมต่างๆ ได้อีกทั้งยังต้องการพัฒนาให้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาตัดสินใจสำหรับช่วงเวลาที่สั้นลงเป็นรายสัปดาห์หรือรายวันสำหรับกรณีเหตุการณ์วิกฤติให้ได้อีกด้วย

จากประวัติและวิวัฒนาการของการประยุกต์ใช้เทคนิคการหาค่าเหมาะสมสูงสุดค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุด สามารถแบ่งประเภทของการเทคนิคที่ถูกนำมาประยุกต์ในแต่ละช่วงเวลาได้ 5 กลุ่ม ดังแสดงในภาพประกอบ 20 ซึ่งจะเริ่มจากการเทคนิคง่ายๆที่ไม่ซับซ้อนมากไปจนถึงเทคนิคที่มีความยุ่งยากซับซ้อนและมีการพิจารณาเงื่อนไขและปัจจัยอื่นๆ มาประกอบด้วยดังต่อไปนี้

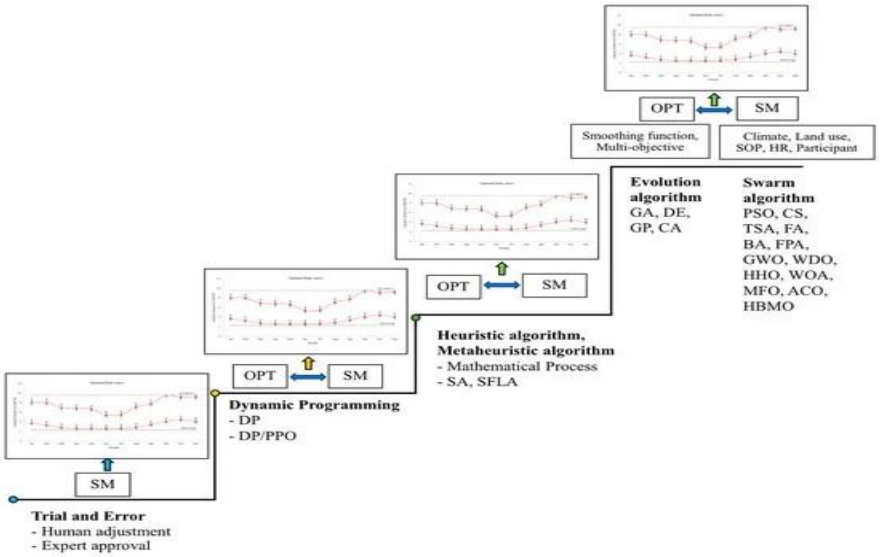
1) การใช้เทคนิคการลองผิดลองถูกในการปรับค่าโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำผ่านการจำลอง ระบบอ่างเก็บน้ำและการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ซึ่งดำเนินการโดยวิศวกรที่มีประสบการณ์หรือผู้เชี่ยวชาญ

2) การประยุกต์ใช้การหาค่าเหมาะสมที่สุดร่วมกับการจำลองระบบอ่างเก็บน้ำเพื่อค้นหาโค้ง ควบคุมที่เหมาะสมที่สุดของอ่างเก็บน้ำโดยใช้โปรแกรมเชิงพลวัต (Dynamic Programming) ซึ่งเริ่มตั้งแต่การใช้แบบจำลองเชิงพลวัตดั้งเดิมและการใช้แบบจำลองเชิงพลวัตที่ถูกพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

3) การประยุกต์ใช้การหาค่าเหมาะสมที่สุดร่วมกับการจำลองระบบอ่างเก็บน้ำเพื่อค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุดของอ่างเก็บน้ำโดยใช้เทคนิคฮิวลิสติกและเมตาฮิวลิสติก (Heuristic Algorithm, Metaheuristic Algorithm) เช่น กระบวนการทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Process) การจำลองการอบเหนียว (Simulated Annealing Algorithm: SA) ซัฟเฟิลฟรอกลิปปิงอัลกอริทึม (Shuffled Frog Leaping Algorithm: SFLA) เป็นต้น

4) การประยุกต์ใช้การหาค่าเหมาะสมที่สุดร่วมกับการจำลองระบบอ่างเก็บน้ำเพื่อค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุดของอ่างเก็บน้ำโดยใช้เทคนิควิวัฒนาการ (Evolutionary Algorithm) เช่น เจเนติกอัลกอริทึม (GA), วิธีดิฟเฟอร์เรนเชียลเอฟโวลูชั่น (DE), เจเนติก โปรแกรมมิ่ง (GP) และอัลกอริทึมเชิงวัฒนธรรม (CA) เป็นต้น

5) การประยุกต์ใช้การหาค่าเหมาะสมที่สุดร่วมกับการจำลองระบบอ่างเก็บน้ำเพื่อค้นหาโค้ง ควบคุมที่เหมาะสมที่สุดของอ่างเก็บน้ำโดยใช้เทคนิคการค้นหาแบบกลุ่ม (Swarm Algorithm) เช่น การเพิ่มประสิทธิภาพฝูงอนุภาค (PSO), อัลกอริทึมการค้นหานกกาเหว่า (CS), อัลกอริทึมหิ่งห้อย (FA), อัลกอริธึมการผสมเกสรดอกไม้ (FPA), เครื่องมือเพิ่มประสิทธิภาพหมาป่าสีเทา (GWO) การปรับให้เหมาะสมโดยลม (WDO) การปรับให้เหมาะสมฝูงมด (ACO) การปรับให้เหมาะสมการจับคู่ผึ้งน้ำผึ้ง (HBMO) เป็นต้น



ภาพประกอบ 20 กลุ่มวิธีการหาเส้นโค้งกฎที่เหมาะสมที่สุด

(ที่มา: Kangrang et al., 2023)

2.5 เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิค Electric Eel Foraging Optimization (EEFO)

การค้นหาอาหารของปลาไหลไฟฟ้าในธรรมชาติ พฤติกรรมการหาอาหารใน EEFO มี 4 พฤติกรรม คือ การโต้ตอบ การพักผ่อน การล่าเหยื่อ และการย้ายถิ่น พฤติกรรมการย้ายถิ่นของปลาไหลเพื่อให้ไปถึงสภาพแวดล้อมการเอาชีวิตรอด (Yao-sheng et al., 2014) และตำแหน่งเหยื่อและพฤติกรรมการสื่อสารของปลาไหลไฟฟ้า (Yilmaz & Sen, 2020) แต่เครื่องมือเพิ่มประสิทธิภาพในการศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่การสร้างแบบจำลองพฤติกรรมการหาอาหารอย่างชาญฉลาดทางสังคมของปลาไหลไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นจึงมีการเสนอและพัฒนาเครื่องมือเพิ่มประสิทธิภาพตัวใหม่ที่เลียนแบบพฤติกรรมการหาอาหารอย่างชาญฉลาดทางสังคมของปลาไหลไฟฟ้า ซึ่งมีชื่อว่าการเพิ่มประสิทธิภาพการหาอาหารปลาไหลไฟฟ้า (EEFO) ซึ่งจะอธิบายไว้ในส่วนย่อยต่อไป

2.5.1 Electric eel foraging optimization (EEFO)

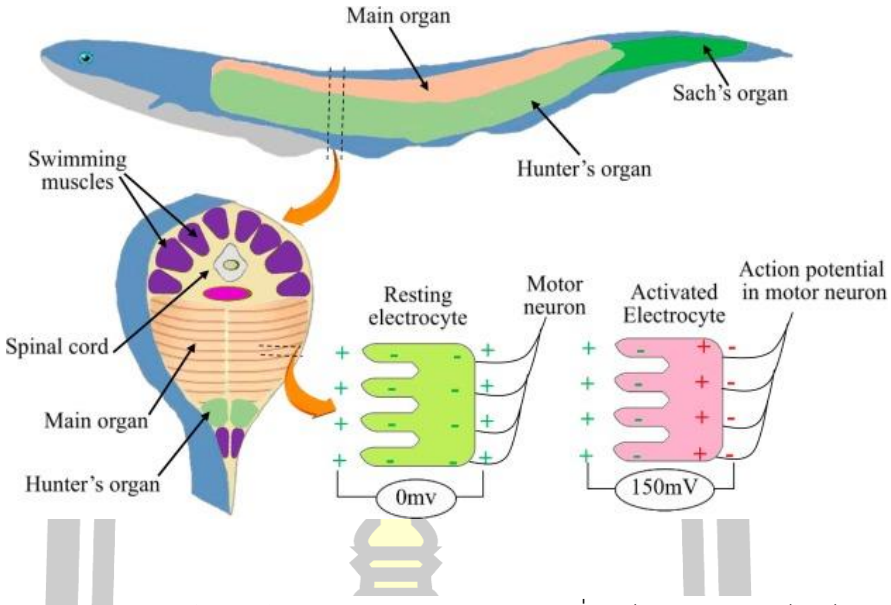
ส่วนนี้อธิบายถึงแรงบันดาลใจและความคิดเกี่ยวกับ EEFO รวมถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ขั้นตอนการดำเนินงานและความซับซ้อนของ EEFO

2.5.1.1 แรงบันดาลใจ

ปลาไหลไฟฟ้าเป็นนักล่าที่โดดเด่นในโลกสัตว์ ปลาไหลไฟฟ้ามาจากอเมริกาใต้อยู่ในวงศ์ Gymnotidae (Wikipedia, 2022) และมีความโดดเด่นด้วยความสามารถในการปล่อยแรงดันไฟฟ้าที่สามารถช็อคปลาในน้ำจืด ปลาไหลไฟฟ้าที่โตเต็มวัยสามารถปล่อยแรงดันไฟฟ้าได้ 300-

800 V เพื่อทำให้เหยื่อมึนงงและกินไป ดังนั้นปลาไหลไฟฟ้าจึงถูกเรียกว่า "สายไฟฟ้าแรงสูง" ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ปลาไหลไฟฟ้ามีอวัยวะไฟฟ้า 3 คู่ซึ่งประกอบด้วยเซลล์กำเนิดไฟฟ้าหลายพันเซลล์ที่เรียกว่า electrocytes ในร่างกาย ซึ่ง electrocytes เหล่านี้สามารถเก็บพลังงานที่คล้ายกับแบตเตอรี่ขนาดเล็กได้ (National Geographic, 2022) ภาพประกอบ 21 แสดงโครงสร้างกายภาพและอวัยวะที่สร้างไฟฟ้าของปลาไหลไฟฟ้า ปลาไหลไฟฟ้ามักจะสร้างประมาณ 10 V เพื่อนำทางเคลื่อนที่และค้นหาเหยื่อเนื่องจากสายตาที่ไม่ดี ปลาไหลไฟฟ้าใช้การตอบรับจากสัญญาณไฟฟ้าเหล่านี้เพื่อติดตามและหาเหยื่อที่เคลื่อนไหวอย่างมีประสิทธิภาพและตำแหน่งอย่างแม่นยำ (Catania, 2015a) นอกจากนี้ แรงดันไฟฟ้าสูงถูกใช้เพื่อป้องกันตัวจากศัตรูในฐานะอาวุธและการปล่อยแรงดันไฟฟ้าต่ำถูกใช้สำหรับการสื่อสารระหว่างปลาไหลไฟฟ้าด้วยกันเอง ปลาไหลไฟฟ้ายังสามารถตรวจจับและอิงข้อมูลการปล่อยไฟฟ้าจากปลาไหลไฟฟ้าอื่นได้ (Nationalzoo, 2022) แรงดันไฟฟ้านี้เป็นวิธีการสื่อสารและการป้องกันที่เชี่ยวชาญ เมื่อปลาไหลไฟฟ้าพบเหยื่อเขาจะปล่อยแรงดันไฟฟ้าจำนวนมากออกมาอย่างรวดเร็วและช็อคเหยื่อ ความสามารถนี้ยังเป็นกลยุทธ์ในการหาอาหารที่มีประสิทธิภาพอย่างมากในโลกทางชีววิทยาอีกด้วย การศึกษาใหม่ชี้ให้เห็นว่าปลาไหลไฟฟ้าเป็นแบบฝูง ปลาไหลไฟฟ้าใช้การล่าแบบกลุ่มเพื่อล่าอาหารเหมือนสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม นั่นเพราะกลุ่มของปลาไหลไฟฟ้าสามารถประสานการทำงานร่วมกันได้ รวมทั้งการพักผ่อน การโต้ตอบ การล่าเหยื่อ และการย้ายถิ่นเพื่อมองหาเหยื่อและกระทำการล่าแบบกลุ่ม(Bastos et al., 2021) เมื่อทำการล่าแบบกลุ่ม ปลาไหลไฟฟ้ามักจะรวมตัวกันว่ายวนรอบ และกลุ่มเหยื่อเข้าด้วยกันในรูปแบบ "ลูกบอลเหยื่อ" ก่อนที่จะพร้อมกันทำการโจมตีโดยใช้การปล่อยแรงดันไฟฟ้าสูงต่อลูกบอลเหยื่อ พฤติกรรมการล่าแบบกลุ่มนี้เพิ่มโอกาสในการหาเหยื่อมากขึ้น โดยเฉพาะเมื่อมีปลามากมาย จากพฤติกรรมการล่าที่ถูกปรับปรุงนี้ EEFO ถูกออกแบบขึ้นมา

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 21 โครงสร้างทางกายภาพและอวัยวะที่ผลิตไฟฟ้าของปลาไหลไฟฟ้า (Salama, 2019, Nikki, 2016)

2.5.1.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และอัลกอริทึม

การใช้ประโยชน์และการสำรวจของ EEFO ถูกสร้างจากแรงบันดาลใจของการล่าแบบกลุ่มของปลาไหลไฟฟ้า ซึ่งรวมถึงพฤติกรรมในการโต้ตอบ การพักผ่อน การย้ายถิ่น และการล่าเหยื่อ (Bastos et al., 2021) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของพฤติกรรมในการหาอาหารมีดังต่อไปนี้

1) การโต้ตอบ

เมื่อปลาไหลไฟฟ้าเผชิญหน้ากับฝูงปลา พวกเขาจะโต้ตอบโดยการว่ายวนรอบและปั่นป่วนกันเอง จากนั้นปลาไหลไฟฟ้าจะเริ่มว่ายรอบในรูปแบบวงกลมไฟฟ้าขนาดใหญ่เพื่อจับปลาขนาดเล็กจำนวนมากที่จุดกลางของวงกลม (Smithsonian, 2021, Carson, 2021) ใน EEFO แต่ละปลาไหลไฟฟ้าเป็นผู้มีความเป็นไปได้และผลการเลือกตัวเลือกที่ดีที่สุดที่ได้รับในแต่ละขั้นตอนถือเป็นเหยื่อที่ตั้งใจ การโต้ตอบบ่งบอกว่าแต่ละตัวจะโต้ตอบร่วมกันโดยใช้ข้อมูลตำแหน่งของปลาไหลไฟฟ้า พฤติกรรมนี้ถือได้ว่าเป็นพฤติกรรมขั้นตอนการสำรวจของระดับโลกได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปลาไหลไฟฟ้าแต่ละตัวสามารถโต้ตอบกับปลาไหลไฟฟ้าใดๆที่เลือกแบบสุ่มจากประชากรโดยใช้ข้อมูลตำแหน่งของทุกๆตัวในประชากร การอัปเดตตำแหน่งของปลาไหลไฟฟ้าเกี่ยวข้องกับการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปลาไหลไฟฟ้าที่เลือกแบบสุ่มกับศูนย์ของประชากร

นอกจากนี้ ปลาไหลไฟฟ้ายังสามารถโต้ตอบกับปลาไหลไฟฟ้าอื่นที่เลือกแบบสุ่มภายในประชากรโดยใช้ข้อมูลภูมิภาคในพื้นที่ค้นหาตำแหน่งของปลาไหลไฟฟ้า ถูกอัปเดตโดยการกำหนดความแตกต่างระหว่างปลาไหลไฟฟ้าที่ถูกเลือกแบบสุ่มจากประชากรและปลาไหลไฟฟ้าที่สร้างขึ้นแบบสุ่มภายในพื้นที่ค้นหา การโต้ตอบระหว่างปลาไหลไฟฟ้าถูกทำเครื่องหมายด้วยการปั่นป่วน ซึ่งหมายถึงการเคลื่อนไหวแบบสุ่มในทิศทางต่างๆ ต่อไปนี้คือแบบจำลองที่แสดงการปั่นป่วนนี้

$$C = n_1 \times B \tag{1}$$

$$n_1 \sim N(0,1) \tag{2}$$

$$B = [b_1, b_2, \cdots b_k, \cdots, b_d] \tag{3}$$

$$b(k) = \begin{cases} 1 & if\ k == g\{l \\ 0 & else \end{cases} \tag{4}$$

$$g = randperm(d) \tag{5}$$

$$l = 1, \cdots, \lceil (\frac{T\text{ - }t}{T} \times r_1 \times (d\text{ - }2)\ +\ 2) \rceil \tag{6}$$

ที่ T คือจำนวนการทำซ้ำสูงสุด พฤติกรรมการโต้ตอบสามารถกำหนดได้เป็น

$$\begin{cases} \begin{cases} v_i(t\ +\ 1)\ =\ x_j(t) + C \times (\bar{x}(t) - x_i(t))\ p_1\ >\ 0.5 \\ v_i(t\ +\ 1)\ =\ x_j(t) + C \times (x_r(t) - x_i(t))\ p_1 \leqslant 0.5 \end{cases} fit(x_j(t)) < fit(x_i(t)) \\ \begin{cases} v_i(t\ +\ 1)\ =\ x_i(t) + C \times (\bar{x}(t) - x_j(t))\ p_2\ >\ 0.5 \\ v_i(t\ +\ 1)\ =\ x_i(t) + C \times (x_r(t) - x_j(t))\ p_2 \leqslant 0.5 \end{cases} fit(x_j(t)) \geqslant fit(x_i(t)) \end{cases} \tag{7}$$

$$\bar{x}(t) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i(t) \quad (8)$$

$$x_r = Low + r \times (Up - Low) \quad (9)$$

โดยที่ p_1 และ p_2 เป็นตัวเลขสุ่มในช่วง (0, 1) $fit(x(i))$ คือความเหมาะสมของตำแหน่งของปลาไหลไฟฟ้าผู้ทดสอบที่ i, xj คือตำแหน่งของปลาไหลไฟฟ้าที่ถูกเลือกแบบสุ่มจากประชากรปัจจุบันและ $j \neq i$, n คือขนาดของประชากร, r_1 เป็นตัวเลขสุ่มในช่วง (0, 1), r เป็นเวกเตอร์สุ่มในช่วง (0, 1), และ , Low และ Up คือขอบเขตล่างและขอบเขตบนตามลำดับตามสมการ (7), พฤติกรรมการโต้ตอบช่วยให้ปลาไหลไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่งต่างๆ ในพื้นที่ค้นหา ซึ่งสามารถมีส่วนสำคัญในการสำรวจของ EEFO ในพื้นที่ค้นหาทั้งหมดได้

2) การพักผ่อน

ใน EEFO พื้นที่การพักผ่อนควรถูกสร้างขึ้นก่อนที่ปลาไหลไฟฟ้าจะมีพฤติกรรมการพักผ่อน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาพื้นที่การพักผ่อนถูกกำหนดขึ้นในพื้นที่ที่มีโครงสร้างอย่างหนึ่งของเวกเตอร์ตำแหน่งของปลาไหลไฟฟ้าถูกฉายลงบนเส้นทแยงมุมหลักในพื้นที่ค้นหา เพื่อระบุพื้นที่การพักผ่อนของปลาไหลไฟฟ้า ทั้งพื้นที่ค้นหาและตำแหน่งของปลาไหลไฟฟ้าถูกปรับให้มีขอบเขตอยู่ในช่วง 0-1 มิติ มิติที่ถูกเลือกแบบสุ่มของตำแหน่งของปลาไฟถูกฉายลงบนเส้นทแยงมุมหลักของพื้นที่ค้นหาที่ปรับให้มีขอบเขต ตำแหน่งที่ฉายลงมาถือเป็นศูนย์กลางของพื้นที่การพักผ่อนของปลาไหลไฟฟ้า ภาพประกอบ 22 แสดงขั้นตอนการกำหนดพื้นที่การพักผ่อนของปลาไหลไฟฟ้าในพื้นที่ 2 มิติและ 3 มิติตามลำดับ พื้นที่การพักผ่อนสามารถอธิบายได้เป็น

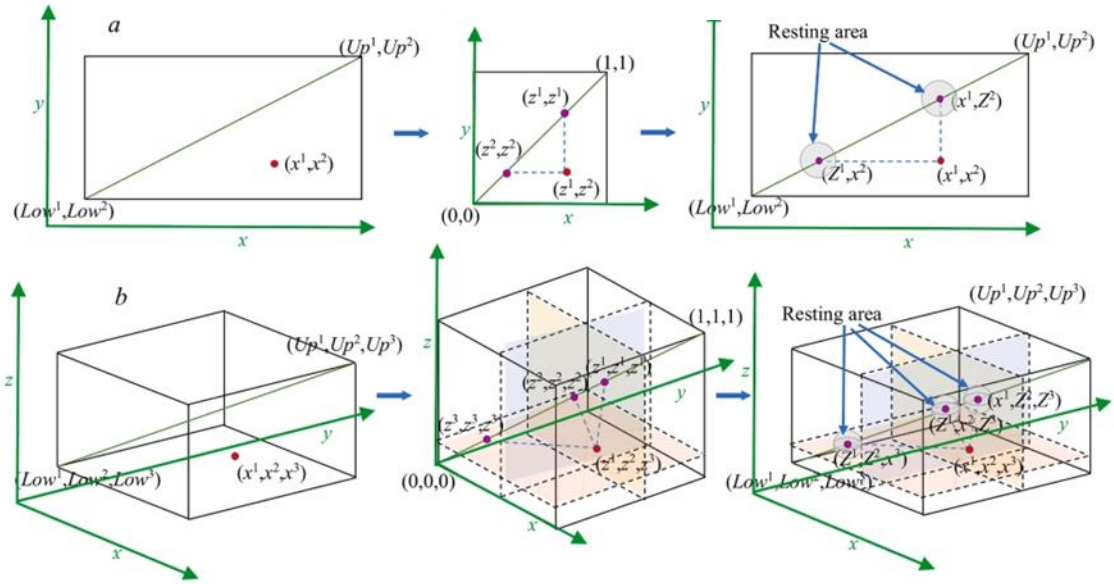
$$\{X | X - Z(t)| \leqslant \alpha_0 \times |Z(t) - x_{prey}(t)|\} \quad (10)$$

$$\alpha_0 = 2 \cdot \left(e - e^{\frac{t}{T}}\right) \quad (11)$$

$$Z(t) = Low + z(t) \times (Up - Low) \quad (12)$$

พหุน ปถ ศิโต ชีเว

$$z\{t = \frac{x_{rand\{n}^{rand\{d}\{t - Low^{rand\{d}}{Up^{rand\{d} - Low^{rand\{d}} \quad (13)$$



ภาพประกอบ 22 ขั้นตอนการกำหนดพื้นที่การพักผ่อนใน (a) พื้นที่ 2 มิติ และ (b) พื้นที่ 3 มิติ

ที่ x_{prey} คือเวกเตอร์ตำแหน่งของสมการที่ดีที่สุดที่ได้รับจนถึงตอนนี้, α_0 คือขอบเขตเริ่มต้นของพื้นที่การพักผ่อน, ส่วน $\alpha_0 \times \left| Z(_t) - x_{prey}(t) \right|$ แสดงถึงขอบเขตของพื้นที่การพักผ่อน, $x_{rand(n)}^{rand(d)}$ คือตำแหน่งสุ่มในมิติที่ถูกเลือกแบบสุ่มจากประชากรปัจจุบัน, z คือตัวเลขที่ได้รับการปรับให้เป็นมาตรฐาน ดังนั้นตำแหน่งการพักผ่อนของปลาไหลไฟฟ้าได้รับภายในพื้นที่การพักผ่อนก่อนที่จะดำเนินการพักผ่อน

$$R_i(t+1) = Z(t) + \alpha \times \left| Z(t) - x_{prey}(t) \right| \quad (14)$$

$$\alpha = \alpha_0 \times \sin(2\pi r_2) \quad (15)$$

ที่ α เป็นขนาดของพื้นที่การพักผ่อนและ r_2 เป็นตัวเลขสุ่มในช่วง (0,1) สเกล α ช่วยให้ขอบเขตของพื้นที่การพักผ่อนลดลงเมื่อการทำซ้ำดำเนินต่อไป ซึ่งจะเพิ่มความชำนาญในการใช้ประโยชน์ในการค้นหาโดยการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างเหมาะสม

เมื่อพื้นที่การพักผ่อนถูกกำหนดไว้แล้ว ปลาไหลไฟฟ้าจะเคลื่อนที่ไปยังพื้นที่นั้นเพื่อพักผ่อน กล่าวคือ ปลาไหลไฟฟ้าจะปรับตำแหน่งของตัวเองไปที่พื้นที่พักผ่อนพร้อมกับพักผ่อนตามตำแหน่งการพักผ่อนของตัวเองในพื้นที่การพักผ่อน พฤติกรรมการพักผ่อนสามารถแสดงได้ดังนี้

$$v_i(t+1) = R_i(t+1) + n_2 \times (R_i(t+1) round(rand) \times x_i(t)) \quad (16)$$

$$n_2 \sim N(0,1) \quad (17)$$

3. การล่าเหยื่อ

เมื่อปลาไหลไฟฟ้าพบเหยื่อ พวกเขาไม่ไปรวมกลุ่มเพื่อล่าโดยเร็ว แต่พวกเขามักจะว่ายวนร่วมกันในรูปแบบของวงกลมขนาดใหญ่และล้อมรอบเหยื่อ ในขณะเดียวกันพวกเขาจะสื่อสารและร่วมมือกันผ่านการปล่อยกระแสไฟฟ้าแรงต่ำ ซึ่งเมื่อพฤติกรรมการโต้ตอบของปลาไหลไฟฟ้ารุนแรงขึ้น วงกลมที่เกิดไฟฟ้าจะลดลง ในที่สุดปลาไหลไฟฟ้าจะนำกลุ่มของฝูงปลาตั้งแต่ปลายลึกไปจนถึงปลายตื้น ที่นั่นพวกเขาก็จะเป็นเหยื่อที่ง่ายต่อการจับ ตามพฤติกรรมนี้ วงกลมที่ปลาไหลไฟฟ้าเข้าทำหน้าที่เป็นพื้นที่การล่า ณ ขณะนี้เหยื่อจะเริ่มวิ่งรอบในพื้นที่การล่า ดังนั้นเหยื่อจะเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วและต่อเนื่องจากความกลัว พื้นที่การล่าสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$\{X | X - x_{prey}(t)| \leqslant \beta_0 \times |\bar{x}(t) - x_{pery}(t)| \} \quad (18)$$

$$\beta_0 = 2 \times \left(e - e^{\frac{t}{T}}\right) \quad (19)$$

ที่ β_0 เป็นขนาดเริ่มต้นของพื้นที่การล่าจากสมการ (18) ปลาไหลไฟฟ้าจะเน้นที่เหยื่อ x_{prey} ด้วยระยะการล่าที่กำหนดโดยส่วน $\beta_0 \times \left| x(t) - x_{pery}(t) \right|$ ดังนั้นตำแหน่งใหม่ของปลาไหลไฟฟ้าเทียบกับตำแหน่งก่อนหน้าภายในพื้นที่การล่าเหยื่อสามารถสร้างขึ้นได้ดังนี้

$$H_{prey}(t+1) = x_{prey}(t) + \beta \times |\bar{x}(t) - x_{pery}(t)| \quad (20)$$

$$\beta = \beta_0 \times \sin(2\pi r_3) \quad (21)$$

ที่ β เป็นขนาดของพื้นที่การล่าและ r_3 เป็นตัวเลขสุ่มในช่วง (0,1) มาตรา β ทำให้ขอบเขตของพื้นที่การล่าเล็กลงเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการใช้ประโยชน์ในการล่าเหยื่อ

หลังจากกำหนดพื้นที่การล่าได้แล้ว ปลาไหลไฟฟ้าจะเริ่มดำเนินการล่าในพื้นที่การล่า ในขณะที่ล่า ปลาไหลไฟฟ้าจะมีความรวดเร็วในการหาตำแหน่งใหม่ของเหยื่อและโค้งงอเพื่อนำหัวและหางของมันมารวมกันกับเหยื่อระหว่างนั้นก็จะส่งกระแสไฟฟ้าระดับสูงออกมารอบๆ สีเทา (Catania, 2019, Catania, 2015b) พฤติกรรมการล่าที่สังเกตเห็นใน EEFO เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวโค้งงอ โดยที่ตำแหน่งของปลาไหลไฟฟ้าจะถูกอัปเดตไปยังตำแหน่งใหม่ของเหยื่อ พฤติกรรมการโค้งงอที่ปลาไหลไฟฟ้าแสดงในขณะที่ล่า สามารถอธิบายได้ดังนี้

$$v_i(t+1) = H_{prey}(t+1) + \eta \times (H_{prey}(t+1)\text{-}round(rand) \times x_i(t)) \quad (22)$$

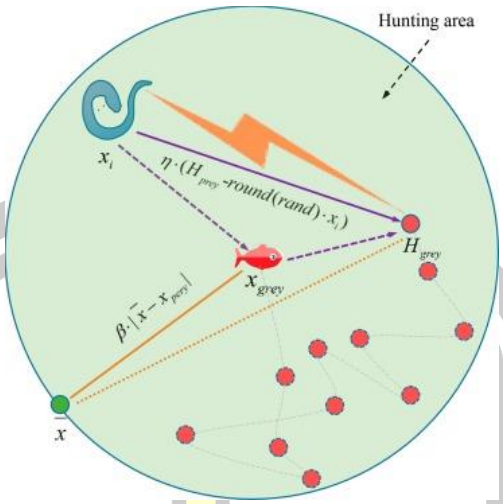
โดยที่ η บ่งชี้ถึงปัจจัยการโค้งงอ ซึ่งถูกกำหนดเป็น

$$\eta = e^{\frac{r_4(1-t)}{T}} \times \cos(2\pi r_4) \quad (23)$$

ที่ r_4 เป็นตัวเลขสุ่มในช่วง (0,1)

พฤติกรรมการล่าเหยื่อของปลาไหลไฟฟ้าถูกแสดงไว้ในภาพประกอบ 23 เมื่อเหยื่อถูกล้อมรอบโดยปลาไหลไฟฟ้าบางตำแหน่งของรอยเท้าสีเทาที่ระบุด้วยจุดสีแดงถูกสร้างขึ้นเนื่องจากเหยื่อได้ทำการดำน้ำ ณ จุดนี้ ปลาไหลไฟฟ้าจะส่งกระแสไฟฟ้าให้กับเหยื่อโดยพฤติกรรมการโค้งงอและตำแหน่งรอยเท้าจะถูกใช้ในการอัปเดตตำแหน่งใหม่ของปลาไหลไฟฟ้าในการทำวนซ้ำครั้งถัดไป

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 23 ตัวอย่างการล่าโดยการโค้งงอ

4. การย้ายถิ่น

เมื่อปลาไหลไฟฟ้าพบเหยื่อ พวกเขามักจะอพยพจากพื้นที่การพักผ่อนไปยังพื้นที่การล่า เพื่อจำลองทางคณิตศาสตร์ของพฤติกรรมการอพยพของปลาไหลไฟฟ้า ใช้สมการดังต่อไปนี้

$$v_i(t+1) = -r_5 \times R_i(t+1) + r_6 \times H_r(t+1) - L \times (H_r(t+1) - x_i(t)) \quad (24)$$

$$H_r(t+1) = x_{prey}(t) + \beta \times |\bar{x}(t) - x_{prey}(t)| \quad (25)$$

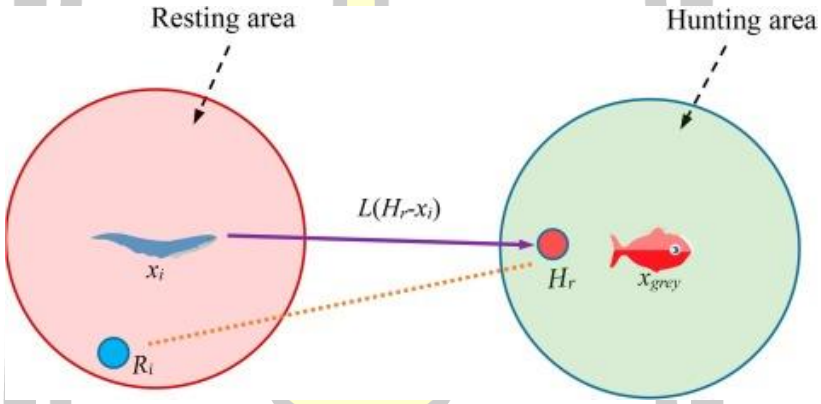
ที่ H_r สามารถพิจารณาได้ว่าเป็นตำแหน่งใดๆ ภายในพื้นที่การล่าเหยื่อ r_5 และ r_6 เป็นตัวเลขสุ่มในช่วง (0,1) ส่วน $(H_r(t+1)\text{-}x_i(t))$ แสดงถึงการเคลื่อนที่ของปลาไหลไฟฟ้าไปยังพื้นที่การล่าเหยื่อ L เป็นฟังก์ชั่นการบินเลวี ซึ่งถูกนำมาใช้กับขั้นตอนการแสวงหาประโยชน์ของ EEFO เพื่อหลีกเลี่ยงการติดอยู่ในตำแหน่งตัวเลือกท้องถิ่น L สามารถรับได้ดังนี้ (Viswanathan et al., 1996)

$$L = 0.01 \times \left| \frac{u \cdot \sigma}{|v|^{\frac{1}{\beta}}} \right| \quad (26)$$

$$u, v \sim N(0,1) \quad (27)$$

$$\sigma = \left(\frac{\Gamma(1+b) \times \sin\left(\frac{\pi b}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{1+b}{2}\right) \times b \times 2^{\frac{b-1}{2}}} \right)^{\frac{1}{b}} \tag{28}$$

ที่ Γ คือ ฟังก์ชั่นแกมมามาตรฐาน และ b = 1.5 แผนผังแบบแบ่งประเภทของพฤติกรรมการย้ายถิ่นของปลาไหลไฟฟ้าอธิบายไว้ในภาพประกอบ 24



ภาพประกอบ 24 แผนผังรูปแบบของพฤติกรรมการย้ายถิ่นฐาน

ปลาไหลไฟฟ้าสามารถรับรู้ตำแหน่งของเหยื่อผ่านกระแสไฟฟ้าแรงต่ำ จึงสามารถปรับตำแหน่งของตนเองได้ในทุกๆ ช่วงเวลา หากปลาไหลไฟฟ้ารับรู้ถึงการเคลื่อนไหวของเหยื่อในกระบวนการหาอาหาร พวกเขาจะเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่เป็นตัวเลือก มิฉะนั้นปลาไหลไฟฟ้าจะอยู่ที่ตำแหน่งปัจจุบัน ตำแหน่งของปลาไหลไฟฟ้าได้รับการอัปเดตโดย (Zhao et al., 2022b)

$$x_i(t+1) = \begin{cases} x_i(t) & fit(x_i(t)) \leqslant fit(v_i(t+1)) \\ v_i(t+1) & fit(x_i(t)) > fit(v_i(t+1)) \end{cases} \tag{29}$$

2.5.2 ขั้นตอนการทำงานของ EEFO

1. เริ่มต้นโดยกำหนดพารามิเตอร์ : กำหนดขนาดของประชากรปลาไหลไฟฟ้าและจำนวนการทำวนซ้ำสูงสุด และการสร้างประชากรปลาไหลไฟฟ้าโดยเริ่มต้นแบบสุ่มในการกระจายแบบเดียวกัน

2. การทำงานในแต่ละรอบของการทำซ้ำ

2.1 เมื่อพารามิเตอร์พลังงาน E > 1 ปลาไหลไฟฟ้าจะทำการสำรวจโดยใช้พฤติกรรมการโต้ตอบ

2.2 เมื่อพารามิเตอร์พลังงาน E ≤ 1 ปลาไหลไฟฟ้าจะทำการแสวงหาประโยชน์โดยใช้พฤติกรรมการพักผ่อน การอพยพ และการล่าเหยื่อ โดยมีความน่าจะเป็นเท่ากัน

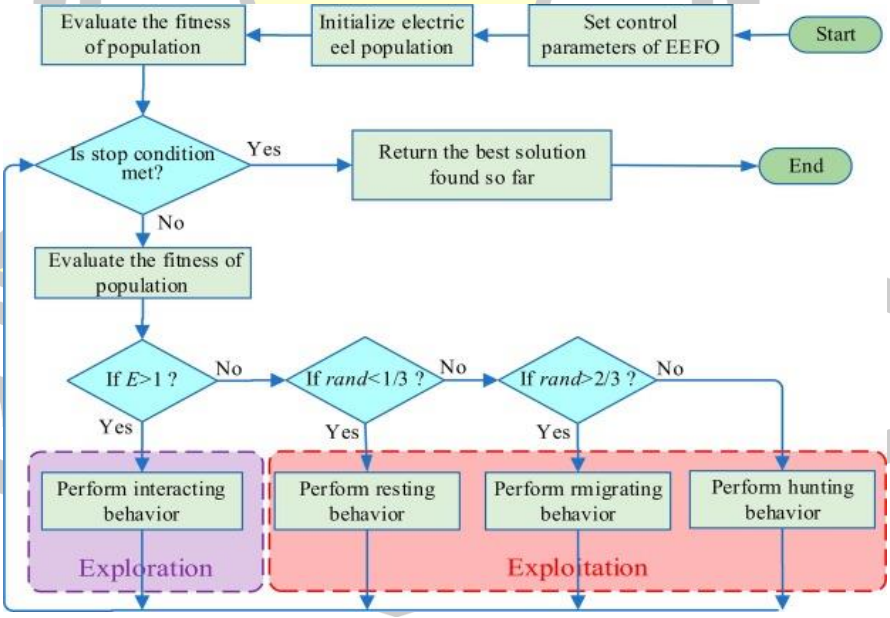
3. การสร้างคำตอบใหม่ : ใช้ทุกกรณีกับทุกปลาไหลไฟฟ้าเพื่อสร้างคำตอบที่เสนอใหม่และเปรียบเทียบกับคำตอบปัจจุบัน

4. การอัปเดตคำตอบที่ดีที่สุด : อัปเดตคำตอบที่ดีที่สุดที่พบจนถึงปัจจุบัน

5. การลดพลังงาน E : พลังงาน E จะลดลงเรื่อยๆ ทุกครั้งที่ทำการทำวนซ้ำ เมื่อการลดลงมากพอ ปลาไหลไฟฟ้าจะสลับจากการสำรวจเป็นการแสวงหาประโยชน์

6. การทำวนซ้ำต่อไป : ขั้นตอนนี้จะทำวนซ้ำไปเรื่อยๆ จนกว่าเงื่อนไขการหยุดจะถูกตรวจพบ

เมื่อการหยุดเกิดขึ้น คำตอบที่ดีที่สุดที่พบจะถูกบันทึกไว้ กระบวนการและรหัสเทียบของ EEFO สามารถดูได้ในภาพประกอบ 25 และ Algorithm 1 ตามลำดับ ขั้นตอนการทำงานของ EEFO สามารถอธิบายได้ดังนี้



ภาพประกอบ 25 แผนผังของ EEFO

2.5.3 Pseudocode ของ EEFO

Pseudocode ของอัลกอริทึม EEFO ที่นำเสนอแสดงในภาพประกอบ 26

Algorithm 1 Pseudo-code of EEFO.

Set parameters n and T .
Randomly initialize the eel population X_i $(i = 1,\ldots,n)$ and evaluate their fitness Fit_i , and X_{prev} is the best solution found so far.
While the stopping condition is not satisfied do
For each eel X_i **do**
Calculate E using Eq. (30).
If $E > 1$
Perform the interacting behavior using Eq. (7).
Evaluate the fitness Fit_i .
Else
If $rand > 1/3$
Determining the resting region using Eq. (14).
Perform the resting behavior using Eq. (16).
Evaluate the fitness Fit_i .
Else If $rand > 2/3$
Perform the migrating behavior using Eq. (24).
Else
Determining the hunting region using Eq. (20).
Perform the hunting behavior using Eq. (22).
End If
End If
Update each eel's position using Eq. (29).
End For
Update the best solution found so far X_{prev} .
End While
Return X_{prey} .

ภาพประกอบ 26 รหัสคอมพิวเตอร์ของ EEFO

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ด้านพัฒนาเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสม (Optimization Technique) สำหรับค้นหาโค้งควบคุม ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีได้แก่ วิธีแบบจำลองการเลียนแบบ (Simulation Study Model, SM) วิธีโปรแกรมเชิงพลวัตร (Dynamic Programming, DP) และเทคนิคเจนีติกอัลกอริธึม (GeneticAlgorithm, GA) เป็นต้น ซึ่งมีทั้งงานวิจัยที่ดำเนินการในประเทศไทยและต่างประเทศส่วนใหญ่ประยุกต์ใช้หาโค้งควบคุมรายเดือนของอ่างเก็บน้ำโดยใช้ฟังก์ชั่นของการค้นหาคำตอบโค้งควบคุมเพียงเกณฑ์ที่แตกต่างกันไปตามบริบทของอ่างเก็บน้ำนั้นๆ รายละเอียดของงานที่เกี่ยวข้องพอสรุปได้ดังต่อไปนี้

วิธีการศึกษาเลียนแบบ (Simulation) ในประเทศไทยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมโดยใช้นั้น มีการศึกษาและนำผลมาใช้งานจริงกับอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่โดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (Electricity Generating Authority of Thailand--EGAT, 2002; EGAT, 2004) ซึ่งเป็นผู้กำกับดูแลอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่เกือบทั้งหมดของประเทศการค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) จะใช้แบบจำลอง HEC-3 (U.S. HEC-3, 1974) ในการทำปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำโดยใช้ฟังชั่นวัตถุประสงค์ในการค้นหาคำตอบคือเพื่อให้เกิดการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ซึ่งในการค้นหาโค้งควบคุมที่ให้ค่าของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดนี้จะสมมุติโค้งควบคุมเริ่มต้นที่เป็นไปได้ (Initial Feasible Rule Curves) และปรับโค้งควบคุมนี้แบบลองผิดลองถูก (Trial and Error) จนกระทั่งได้โค้งควบคุมที่เหมาะสม ซึ่งให้การขาดแคลนน้ำในระยะยาวน้อยที่สุดตามฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุด ซึ่งวิธีนี้ กฟผ. ได้ใช้ในการหาโค้งควบคุมรายเดือนของอ่างเก็บน้ำ เช่น เขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิตติ์ เขื่อนอุบลรัตน์ เขื่อนบางลาง และเขื่อนห้วยกุ่ม เป็นต้น

(Chaiyasing, 1997) ก็ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-5 หาโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำสิริกิติ์โดยการสร้างโค้งควบคุมย่อยสำหรับวัตถุประสงค์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า การชลประทาน และการป้องกันน้ำท่วม แล้วจึงนำโค้งควบคุมย่อยเหล่านั้นมาจำลองกับระบบอ่างเก็บน้ำเพื่อหาโค้งควบคุมที่ให้ค่าการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด โดยการปรับระดับเก็บกักในแต่ละเดือนแบบลองผิดลองถูก (Trial and Error) เพื่อให้เกิดการขาดแคลนและการระบายน้ำล้นน้อยที่สุดเช่นกัน

วิธีการศึกษาเลียนแบบ (Simulation) ในต่างประเทศ (Jain et al., 1998) ได้พัฒนาแบบจำลองที่ใช้เทคนิคการศึกษาเลียนแบบเพื่อหาโค้งควบคุมรายเดือนที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอเนกประสงค์ในระบบลุ่มน้ำ Sabarmati ของประเทศอินเดีย โดยใช้ฟังชั่นวัตถุประสงค์ในการค้นหาตอบคือเพื่อให้เกิดการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด โดยการสมมุติโค้งควบคุมเริ่มต้นที่เป็นไปได้ (Initial

Feasible Rule Curves) และปรับโค้งควบคุมนี้แบบลองผิดลองถูก (Trial and Error) จนกระทั่งได้โค้งควบคุมที่เหมาะสมเช่นกัน อย่างไรก็ตามการหาโค้งควบคุมโดยวิธีการศึกษาเลียนแบบข้างต้นนี้จะซับซ้อนสำหรับกรณีหลายอ่างเก็บน้ำในระบบเดียวกัน ยิ่งไปกว่านั้นเนื่องจากกระบวนการในการค้นหาคำตอบต้องอาศัยประสบการณ์ของวิศวกรผู้คำนวณคำตอบที่ได้จึงไม่แน่ว่าจะเป็นโค้งควบคุมที่เหมาะสมหรือไม่

วิธีโปรแกรมเชิงพลวัตร (Dynamic Programming, DP) ซึ่งมีจุดเด่นที่สามารถนำมาใช้ค้นหาตอบสำหรับปัญหาที่ไม่เชิงเส้น และปัญหาที่มีการตัดสินใจหลายขั้นตอน (Bellman, 1959; Yakowitz, 1982; Esogbue, 1989) ดังนั้น DP จึงเหมาะกับปัญหาที่เป็นขั้นตอนอย่างการหาโค้งควบคุมที่เป็นรายเดือนหรือรายสัปดาห์ เพราะคำตอบที่ได้สัมพันธ์กันตลอดทั้งระยะเวลา 12 เดือนที่พิจารณาสำหรับการหาค้นโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำโดยใช้ DP

(Chaleeraktrakoon and Kangrang., 2005) ได้พัฒนาโปรแกรมเชิงพลวัตรแบบมีเงื่อนไข (Conditional Dynamic Programming, CDP) ให้เป็นทางเลือกในการค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมโดยประยุกต์ใช้ค้นหาคำตอบโค้งควบคุมรายเดือนที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำภูมิพลและเขื่อนสิริกิตติ์ เทคนิค CDP เป็นเทคนิคสำหรับปัญหาแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear) ที่มีการค้นหาคำตอบเป็นขั้นๆ (Stage) ซึ่งทำให้เหมาะสำหรับนำมาใช้หาโค้งควบคุมทีละช่วงเวลา อย่างไรก็ตาม DP ก็มีขีดจำกัดตรงที่ว่าเมื่อตัวแปรอธิบายสภาพระบบ (State Variables) มากจะทำให้การคำนวณค้นหาคำตอบด้วย DP ยากขึ้น

เทคนิคเจเนติกอัลกอริธึม (Genetic Algorithm, GA) ในประเทศไทย (สมฤทัย และ สุวัฒนา. , 2547) ได้เสนอวิธี GA สำหรับกำหนดระดับควบคุมที่เหมาะสมในการจัดการอ่างเก็บน้ำเขื่อนลำปาวตามความต้องการด้านท้ายน้ำในที่นี้ใช้ค่าสูงสุดของพื้นที่ภายในโค้งควบคุมระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดเป็นฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ อย่างไรก็ตามโค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิค GA ร่วมกับแบบจำลองการศึกษาเลียนแบบข้างต้นยังมีความแปรปรวนของโค้งไม่สอดคล้องกับการใช้งานจริง

เทคนิคเจนีติกอัลกอริธึม (Genetic Algorithm, GA) ในต่างประเทศที่ปรากฏนั้น พบว่า (Chang and Yang., 2002) ได้ประยุกต์ GA ร่วมกับ HEC-5 เพื่อหาโค้งควบคุมรายเดือนที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำในประเทศไต้หวัน ซึ่งเป็นการเชื่อมการศึกษาเลียนแบบของระบบลุ่มน้ำเข้ากับการค้นหาคำตอบของเทคนิคเจนีติกอัลกอริธึม โดยใช้ดัชนีของการขาดแคลนน้ำ (Shortage Index) น้อยที่สุดเป็นฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหาคำตอบ

(Chang et al. 2003) ได้ประยุกต์ GA ร่วมกับ HEC-3 เพื่อหาโค้งควบคุมการปล่อยน้ำล้างตะกอนที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำในประเทศไต้หวันอีกเช่นกัน โดยการเชื่อมการศึกษาเลียนแบบของระบบลุ่มน้ำเข้ากับการค้นหาคำตอบของเทคนิคเจนีติกอัลกอริธึมและใช้ดัชนีของการขาดแคลนน้ำ (Shortage Index) น้อยที่สุดเป็นฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหาคำตอบเช่นเดียวกัน

(Chang et al., 2005) ก็ได้พัฒนา GA แบบ Binary Coded และแบบ Real Coded ร่วมกับ HEC-5 เพื่อหาโค้งควบคุมรายเดือนที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอเนกประสงค์ในประเทศไต้หวันอีก ซึ่งเป็นการเชื่อมการศึกษาเลียนแบบของระบบลุ่มน้ำแบบอ่างเก็บน้ำเดียวเข้ากับการค้นหาคำตอบของเทคนิคเจนีติกอัลกอริธึม โดยใช้ดัชนีของการขาดแคลนน้ำ (Shortage index) น้อยที่สุดเป็นฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหาคำตอบ ซึ่งให้ผลดีกว่าคำตอบเดิม (โค้งควบคุมที่ใช้อยู่เดิม) ขณะที่ GA แบบ Real Coded จะมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบ Binary Coded

วิษณุกรณ์, (2553) ได้ศึกษาโดยใช้โค้งควบคุมรายเดือนที่ได้จากอัลกอริทึมการจำลองการอบเหนียวของอ่างเก็บน้ำสิรินธรซึ่งมีลักษณะไม่สอดคล้องกับโค้งควบคุมเดิมโดยโค้งควบคุมใหม่จะมีลักษณะต่ำลงไปจากโค้งควบคุมเดิม เส้นขอบเขตบนในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนธันวาคมจึงทำให้มีพื้นที่เก็บกักน้ำเพิ่มได้ดีกว่าโค้งควบคุมเดิมในช่วงฤดูน้ำหลาก ส่วนเส้นขอบเขตล่างในช่วงฤดูแล้งสามารถปล่อยน้ำตามความต้องการได้มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมรายเดือนเดิมของอ่างเก็บน้ำสิรินธรและอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ โค้งควบคุมใหม่ที่ได้เส้นขอบเขตบนระดับเก็บกักสูงขึ้นกว่าโค้งควบคุมเดิมในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนธันวาคมทำให้โค้งควบคุมที่ได้จากอัลกอริทึมการจำลองการอบเหนียวนี้สามารถเก็บกักปริมาณน้ำได้น้อยกว่าโค้งควบคุมเดิม แต่ในช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคมโค้งควบคุมใหม่สามารถเก็บกักน้ำไว้ใช้ในช่วงฤดูแล้งเพื่อตอบสนองความต้องการใช้น้ำได้ดีกว่าโค้งควบคุมเดิม ส่วนเส้นล่างที่ได้จากโค้งควบคุมใหม่มีลักษณะสอดคล้องกับโค้งควบคุมเดิมแต่ในช่วงฤดูแล้ง โค้งควบคุมใหม่มีระดับเก็บกักต่ำกว่าโค้งควบคุมเดิมจึงทำให้มีโอกาสที่จะปล่อยน้ำตามความต้องการได้ดีกว่าโค้งเดิม และเมื่อนำโค้งควบคุมใหม่และโค้งควบคุมเดิมของอ่างเก็บน้ำทั้งสองไปจำลองระบบกับข้อมูลสังเคราะห์จำนวน 100 ชุด โดยการลดปริมาณน้ำท่าลง 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ พบว่าโค้งควบคุมใหม่ของอ่างเก็บน้ำสิรินธรและอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ สามารถบรรเทาสถานการณ์ภัยแล้งและอุทกภัยได้ดีกว่าโค้งควบคุมเดิม

รัตนา, (2554) ได้พัฒนาโค้งควบคุมโดยใช้วิธีดิฟเฟอร์เรนเชียลเอฟโวลูชั่นและเมื่อทำการเปรียบเทียบโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น ด้วยระเบียบวิธีการดิฟเฟอร์เรนเชียลเอฟโวลูชั่นกับโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยวิธีการอื่นได้แก่ ระเบียบวิธีการ

เชิงพันธุกรรม ซึ่งเป็นระเบียบวิธีการล่าสุดที่ลู่เข้าหาคำตอบแบบ Global โดยสามารถแก้ปัญหาที่มีคำตอบอยู่เป็นจำนวนมาก มีขนาดใหญ่และสลับซับซ้อนและหาคำตอบได้รวดเร็วกว่าวิธีการอื่นๆ พบว่าทั้งสองวิธีให้โค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำในลักษณะเหมือนกัน การเกิดการขาดแคลนน้ำและการปล่อยน้ำส่วนเกินเหมือนกันเนื่องจากทั้งสองวิธีเป็นระเบียบวิธีการที่ลู่เข้าหาคำตอบแบบ Global เหมือนกัน ซึ่งแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยระเบียบวิธีการที่ลู่เข้าหาคำตอบได้รวดเร็วกว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยระเบียบวิธีเชิงพันธุกรรม เนื่องจากมีโครงสร้างของระเบียบวิธีการแตกต่างกันและพารามิเตอร์ที่ใช้ของระเบียบวิธีการดิฟเฟอร์เรนเชียลเอฟโวลูชั่นเป็นจำนวนจริงจึงทำให้ลู่เข้าหาคำตอบได้รวดเร็วกว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยระเบียบวิธีการเชิงพันธุกรรม ดังนั้นจะเห็นได้ว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยระเบียบวิธีดิฟเฟอร์เรนเชียลเอฟโวลูชั่น สามารถค้นหาโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมอย่างมีประสิทธิภาพ นำไปใช้ประโยชน์ในการบริหารจัดการน้ำได้ดี

เชษฐพันธุ์, (2555) ได้หาเกณฑ์การจัดสรรน้ำที่เหมาะสมด้วยกระบวนการอาณานิคม กรณีศึกษาโครงการส่งและบำรุงรักษาลำปาว ซึ่งการใช้วิธีการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์เพื่อคัดเลือกทางเลือกโดยใช้เทคนิคของกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น ในสภาวะที่ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำน้อย จะให้ความสำคัญด้านเศรษฐกิจ 43.1% ด้านความเท่าเทียม 33.2% ด้านความเชื่อมั่น 23.7% ส่งผลให้หากปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำน้อยเจ้าหน้าที่ส่วนใหญ่ที่มีความชำนาญในด้านการบริหารจัดการน้ำ รับผิดชอบพื้นที่ชลประทานและสามารถชี้แจงเหตุผลการจัดสรรน้ำ เลือกที่จะดำเนินการลดพื้นที่การเกษตรลง 3% ประมาณ 7,985 ไร่ คิดเป็นผลตอบแทน ประมาณ 24,755,298 บาท ลดพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำลง 3% ประมาณ 233 ไร่ คิดเป็นผลตอบแทน ประมาณ 4,909,080 บาท และลดปริมาณการจัดสรรน้ำรักษาสมดุลนิเวศวิทยาลง 3% คิดเป็นเดือนละประมาณ 0.39 ล้าน ลบ.ม. แสดงว่าโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาลำปาว ให้ความสำคัญด้าน เศรษฐกิจ สังคม และการจัดการหลีกเลี่ยงการเกิดปัญหาความขัดแย้งด้านความต้องการใช้น้ำแต่ละ กิจกรรม ตลอดจนตำแหน่งพื้นที่ทำการเกษตร ไม่ว่าจะเป็นช่วงต้นคลอง กลางคลอง และปลายคลอง ปัญหาความขัดแย้งของตำแหน่งพื้นที่ทำการเกษตรค่อนข้างละเอียดอ่อน การแก้ปัญหาการจัดการน้ำไม่ว่าจะเพิ่มหรือลดพื้นที่ทางการเกษตรควรที่จะมีการสร้างองค์ความรู้กระบวนการชุมชนแข็งแรง เป็นแนวทางในการจัดสรรน้ำโดยเกษตรกรมีส่วนร่วม ซึ่งอาจจะต้องใช้กระบวนการมีส่วนร่วมต่างๆ อาทิ กระบวนการ PIM (Participatory Irrigation Management 11 ขั้นตอน) กระบวนการ JMC (Joint Management Committee of Irrigation) และกระบวนการชุมชนเข้มเข็งต่างๆ มาประยุกต์ ปรับใช้ ตลอดจนการ

ประสานความร่วมมือของคณะกรรมการจัดการชลประทานซึ่งประกอบด้วย เกษตรกร กรมชลประทาน องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในด้านต่าง ๆ

วิทวัส, (2557) ได้หาเกณฑ์การจัดสรรน้ำที่เหมาะสมด้วยเทคนิคนกดุเหว่า ซึ่งจากการประเมินประสิทธิภาพของโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ของอ่างเก็บน้ำที่ได้จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยเทคนิคนกดุเหว่า (CS) ผลการประเมินพบว่าโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยแบ่งออกเป็นกรณีดังนี้ กรณีที่ 1 ความต้องการใช้น้ำปกติโดยใช้ข้อมูลน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ 44 ปี (พ.ศ. 2511-2554) สถานการณ์การขาดแคลนน้ำ ความถี่ของปริมาณน้ำที่ขาดแคลน ปริมาณน้ำที่ขาดแคลนเฉลี่ย และช่วงเวลาการขาดแคลนเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.743, 78.194 และ 3.635 ตามลำดับ กรณีที่ 2 ความต้องการใช้น้ำปกติโดยใช้ข้อมูลสังเคราะห์น้ำต้นทุนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายเดือนจากข้อมูลเดิม 44 ปี จำนวน 100 ชุดเหตุการณ์ สถานการณ์การขาดแคลนน้ำ ความถี่ของปริมาณน้ำที่ขาดแคลน ปริมาณน้ำที่ขาดแคลนเฉลี่ย และช่วงเวลาการขาดแคลนเฉลี่ย มีค่าลดลงเท่ากับ 0.763, 84.109 และ 3.980 ตามลำดับ สถานการณ์การไหลล้นพบว่า ความถี่ของการไหลล้น การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย และช่วงเวลาการไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้น เท่ากับ 0.929, 917.501 และ 13.624 ตามลำดับ สถานการณ์การไหลล้น พบว่า ความถี่ของการไหลล้น การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.945, 910.468 และ 16.933 ตามลำดับ กรณีที่ 3 กรณีเพิ่มพื้นที่ชลประทาน 50,000 ไร่ โดยใช้ข้อมูลที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ 44 ปี (พ.ศ. 2511-2554) สถานการณ์การขาดแคลนน้ำ ความถี่ของปริมาณน้ำที่ขาดแคลน ปริมาณน้ำที่ขาดแคลนเฉลี่ย และช่วงเวลาการขาดแคลนเฉลี่ย มีค่าลดลงเท่ากับ 0.749, 127.035 และ 3.712 ตามลำดับ สถานการณ์การไหลล้นพบว่า ความถี่ของการไหลล้น การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยและช่วงเวลาการไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้น เท่ากับ 0.923, 816.966 และ 13.443 ตามลำดับ กรณีที่ 4 กรณีเพิ่มพื้นที่ชลประทาน 50,000 ไร่ โดยใช้ข้อมูลสังเคราะห์น้ำต้นทุนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายเดือน จากข้อมูลเดิม 44 ปี จำนวน 100 ชุดเหตุการณ์ สถานการณ์การขาดแคลนน้ำความถี่ของปริมาณน้ำที่ขาดแคลน ปริมาณน้ำที่ขาดแคลนเฉลี่ย และช่วงเวลาการขาดแคลนเฉลี่ยมีค่าลดลงเท่ากับ 0.800, 144.540 และ 4.765 ตามลำดับ สถานการณ์การไหลล้นพบว่า ความถี่ของการไหลล้น การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย และช่วงเวลาการไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.915, 835.837 และ 11.588 ตามลำดับ

เกียรติพงศ์, (2559) ประยุกต์ใช้วิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีทดนิการค้นหาแบบทาบูร่วมกับแบบจำลองการเลียนแบบเพื่อปรับปรุงโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำโดยมีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ 3

กรณี คือ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด และปริมาณการขาดแคลนสูงสุดที่น้อยที่สุด เป็นฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ในกระบวนการค้นหาคำตอบ การศึกษานี้พิจารณาข้อมูลโค้งควบคุมรายเดือนของอ่างเก็บน้ำลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ เป็นกรณีศึกษาผลการศึกษาพบว่าเมื่อใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้ง 3 รูปแบบข้างต้นนั้นจะได้โค้งควบคุมใหม่ที่มีรูปร่างคล้ายคลึงกับโค้งควบคุมเดิม เนื่องจากอิทธิพลของน้ำท่าในแต่ละฤดูกาลและเงื่อนไขอื่นที่เหมือนกัน เมื่อนำโค้งควบคุมใหม่เหล่านี้ไปทดสอบและเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิมที่ใช้อยู่พบว่าโค้งใหม่ที่หาโดยใช้ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดเป็นฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ในกระบวนการค้นหาสามารถบรรเทาสภาวะน้ำท่วมและน้ำขาดแคลนได้ดีกว่าโค้งที่เกิดจากการใช้ ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์อื่น และยังดีกว่าโค้งควบคุมเดิมด้วย หลังจากนั้นนำโค้งควบคุมที่ได้จากเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดมาทดสอบและเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิมเพิ่มเติมอีก โดยการเพิ่มการใช้น้ำชลประทาน 20% และเพิ่มปริมาณฝนใช้การ 20% ใช้ข้อมูลการไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำที่สังเคราะห์ในอดีต 47 ปี จำนวน 100 ชุดข้อมูลพบว่า ดีกว่าโค้งควบคุมเดิมอีกด้วย

ตระการ, (2559) ประยุกต์ใช้วิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิควิธีการอาณาจักรผึ้งร่วมกับแบบจำลองการเลียนแบบเพื่อปรับปรุงโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ โดยใช้ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด และปริมาณการขาดแคลนสูงสุดที่น้อยที่สุด เป็นฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ในกระบวนการค้นหาคำตอบ นอกจากนี้ยังได้สังเคราะห์ข้อมูลน้ำทราย เดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจำนวน 100 ชุด เพื่อใช้ประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมที่ได้จากแบบจำลอง ซึ่งจะแสดงผลเป็นสถานการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้น ในรูปแบบความถี่ ช่วงเวลา ของเหตุการณ์ ปริมาณน้ำเฉลี่ย และปริมาณน้ำสูงสุด โดยศึกษาพิจารณาข้อมูลโค้งควบคุมรายเดือน ของอ่างเก็บน้ำลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ เป็นกรณีศึกษาซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำตั้งแต่ปี พ.ศ. 2511-2557 ผลการศึกษาพบว่าเมื่อใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ทั้ง 3 รูปแบบข้างต้นนั้น จะได้โค้งควบคุมใหม่ที่มีรูปร่างคล้ายคลึงกับโค้งควบคุมเดิม เมื่อนำโค้งใหม่ที่หาโดยใช้ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดเป็นฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ในกระบวนการค้นหาคำตอบมาทดสอบ และเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิมที่ใช้อยู่พบว่า สามารถบรรเทาสภาวะน้ำท่วมและน้ำขาแคลนได้ดีกว่าโค้งที่เกิดจากการใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์อื่นและดีกว่าโค้งควบคุมเดิมด้วย จากนั้นเมื่อนำมาทดสอบและเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิมเพิ่มเติมอีก โดยการเพิ่มการใช้น้ำชลประทาน 20% และเพิ่มปริมาณฝนใช้การ 20% และใช้ข้อมูลการไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำที่สังเคราะห์ในอดีตจำนวน 47 ปี 100 ชุดข้อมูลพบว่า ดีกว่าโค้งควบคุมเดิมอีกด้วย

เจษฎา, (2561) ได้ศึกษาประมาณค่าปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำน้ำอูน ด้วยแบบจำลอง SWAT โดยพิจารณาสภาพภูมิอากาศอนาคตจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศระดับภูมิภาค PRECIS ในสถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบ A2 และ B2 ซึ่งมีการเพิ่มขึ้นของ อุณหภูมิ A2 มากกว่า B2 และข้อมูลการใช้ที่ดินเหนืออ่างเก็บน้ำจากแผนที่ Agri-Map ซึ่งพื้นที่ปลูกข้าวลดลงและพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง อ้อย ข้าวโพดเพิ่มขึ้น วัตถุประสงค์ที่สองเพื่อปรับปรุงโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำโดยใช้เทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม (GAs) ร่วมกับแบบจำลองอ่างเก็บน้ำ โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำตั้งแต่ปี ค.ศ. 1992-2016 สังเคราะห์ข้อมูลน้ำท่า 1,000 เหตุการณ์จากข้อมูลอดีต เพื่อประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุม โดยแสดงผลเป็นปริมาณน้ำที่ขาดแคลนและไหลล้น ในรูปความถี่ ขนาด และช่วงเวลา ผลการศึกษาพบว่าน้ำท่าอนาคตทั้งสองกรณีสูงกว่าน้ำท่าอดีต น้ำท่าอนาคต A2 มีปริมาณสูงกว่าน้ำท่าอนาคต B2 ส่วนโค้งควบคุมใหม่ที่สร้าง ขึ้นด้วยเทคนิค GAs สามารถลดสถานการณ์น้ำไหลล้นได้ดีกว่าโค้งควบคุมเดิมจากความถี่การไหลล้น 0.997 เป็น 0.992 ครั้งต่อปี และลดปริมาณน้ำไหลล้นเฉลี่ยจาก 251.685 เป็น 246.222 ล้าน ลูกบาศก์เมตร

ปกรณ์ และ ปกรณ์.,(2018) ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้วิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับค้นหาโค้งกฎการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำโดยใช้วิธีฮาร์โมนีเซิร์ชร่วมกับแบบจำลองการเลียนแบบ โดยพิจารณาปริมาณการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดร่วมกับปริมาณน้ำล้นอ่างน้อยที่สุด เป็นฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ในกระบวนการค้นหาคำตอบ ประกอบด้วย 24 ตัวแปรตัดสินใจสำหรับโค้งเกณฑ์การควบคุมบน (12 ตัวแปร) และล่าง (12 ตัวแปร) ตามช่วงเวลาที่พิจารณาเป็นรายเดือน ผลการศึกษาพบว่าโค้งกฎการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่ได้จากวิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้วิธีฮาร์โมนีเซิร์ชร่วมกับแบบจำลองการเลียนแบบมีประสิทธิภาพที่ดีเนื่องจากไม่มีเหตุการณ์น้ำขาดแคลน และน้ำไหลล้นอ่างเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ทดสอบจำนวน 216 เดือน เมื่อเทียบกับโค้งกฎการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเดิมซึ่งมีน้ำขาดแคลนจำนวน 11 ครั้ง เกิดเป็นปริมาณน้ำที่ขาดเท่ากับ 18.0 ล้านลูกบาศก์เมตร และน้ำไหลล้นอ่างจำนวน 2 ครั้ง คิดเป็นปริมาณน้ำที่ไหลล้นอ่าง 243.68 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยโค้งควบคุมเส้นล่างใหม่ มีรูปร่างแตกต่างจากโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำเดิมเล็กน้อย คือในช่วงฤดูแล้งตั้งแต่เดือนเมษายนถึงปลายเดือนพฤษภาคม จะสูงกว่าโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำเดิมเล็กน้อย เพื่อเก็บกักน้ำไว้ตอบสนองความต้องการใช้น้ำ ส่วนโค้งควบคุมเส้นบนใหม่ในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนตุลาคม จะสูงกว่าโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำเดิม เพื่อกักเก็บน้ำไว้ตอบสนองความต้องการใช้น้ำ

ทัตตวัฒน์, (2562) ประยุกต์ใช้วิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการถ่ายละอองเรณูดอกไม้ร่วมกับแบบจำลองการเลียนแบบเพื่อปรับปรุงโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ โดยใช้ค่าเฉลี่ยของการขาด

แคลนน้ำน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ยการไหลล้นน้อยที่สุด ความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ความถี่ของการไหลล้นน้อยที่สุด เป็นฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ในกระบวนการค้นหาคำตอบโค้งควบคุมที่เหมาะสม การศึกษานี้พิจารณาข้อมูลโค้งควบคุมรายเดือนของอ่างเก็บน้ำน้ำอูน จังหวัดสกลนคร อ่างเก็บน้ำลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ และอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น เป็นกรณีศึกษาผลการศึกษาพบว่าเมื่อใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ทั้ง 4 รูปแบบข้างต้นนั้นจะได้โค้งควบคุมใหม่ที่มีรูปร่างคล้ายคลึงกับโค้งควบคุมเดิมทุกอ่าง เนื่องจากอิทธิพลของน้ำท่าในแต่ละฤดูกาล และเงื่อนไขอื่นในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เหมือนกัน เมื่อนำโค้งควบคุมใหม่เหล่านี้ไปประเมินและเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิมที่ใช้อยู่ พบว่าโค้งใหม่ที่หาโดยใช้ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดเป็นฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ในกระบวนการค้นหา สามารถบรรเทาสภาวะน้ำท่วมและน้ำขาดแคลนได้ดีกว่าโค้งที่เกิดจากการใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์อื่น และยังดีกว่าโค้งควบคุมเดิมเหมือนกันทุกอ่าง

นัฐพงษ์, (2562) ได้ศึกษาปรับปรุงโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำน้ำอูนโดยใช้วิธีหิ่งห้อยร่วมกับแบบจำลอง โดยมีค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด เป็นฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ในการค้นหาโค้งควบคุม ข้อมูลที่นำมาพิจารณาในการศึกษาครั้งนี้คือ ข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536-2560 ข้อมูลความต้องการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำน้ำอูน และโค้งควบคุมรายเดือนของอ่างเก็บน้ำน้ำอูน จังหวัดสกลนคร เป็นกรณีศึกษา นอกจากนี้ยังได้สังเคราะห์ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจำนวน 1,000 ชุด เพื่อใช้ประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมที่ได้จากแบบจำลองซึ่งจะแสดงผลเป็นสถานการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้น ในรูปแบบความถี่ ช่วงเวลาของเหตุการณ์ ปริมาณน้ำเฉลี่ย และปริมาณน้ำสูงสุด ผลการศึกษาพบว่า โค้งควบคุมใหม่ที่ได้มีลักษณะคล้ายคลึงกับโค้งควบคุมเดิม เนื่องจากข้อมูลและเงื่อนไขที่นำมาใช้ เหมือนกันเมื่อนำโค้งควบคุมใหม่เหล่านี้ไปทดสอบและเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิมที่ใช้อยู่ และโค้ง ควบคุมที่ค้นหาด้วยเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม พบว่าโค้งใหม่สามารถบรรเทาสภาวะน้ำท่วม และน้ำขาดแคลนได้ดีกว่าโค้งควบคุมเดิม แต่น้อยกว่าโค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม หลังจากนั้นนำโค้งควบคุมมาทดสอบกับข้อมูลน้ำไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำสังเคราะห์ พบว่าโค้งควบคุมจากเทคนิคหิ่งห้อยมีประสิทธิภาพมากกว่าโค้งควบคุมเดิม แต่ต่ำกว่าโค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม

นัฐพิทักษ์, (2562) ประยุกต์ใช้วิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีเทคนิคการค้นหาแบบหมาป่าสีเทาร่วมกับแบบจำลองการเลียนแบบเพื่อปรับปรุงโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ โดยใช้ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ยการไหลล้นน้อยที่สุด ความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ความถี่ของการไหลล้นน้อยที่สุดเป็นฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ในกระบวนการค้นหาคำตอบโค้งควบคุมที่เหมาะสม

การศึกษานี้พิจารณาข้อมูลโค้งควบคุมรายเดือนของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น อ่างเก็บน้ำลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ และอ่างเก็บน้ำน้ำอูน จังหวัดสกลนคร เป็นกรณีศึกษา ผลการศึกษาพบว่าเมื่อใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ทั้ง 4 รูปแบบข้างต้นนั้นจะได้โค้งควบคุมใหม่ที่มีรูปร่างคล้ายคลึงกับโค้งควบคุมเดิมทุกอ่าง เนื่องจากอิทธิพลของน้ำท่าในแต่ละฤดูกาล และเงื่อนไขอื่นในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เหมือนกัน เมื่อนำโค้งควบคุมใหม่เหล่านี้ไปประเมินและเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิมที่ใช้อยู่ พบว่าโค้งใหม่ที่หาโดยใช้ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดเป็นฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ ในกระบวนการค้นหาสามารถบรรเทาสภาวะน้ำท่วม และน้ำขาดแคลนได้ดีกว่าโค้งที่เกิด จากการใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์อื่น และยังดีกว่าโค้งควบคุมเดิมเหมือนกันทุกอ่าง ผลการศึกษาสรุปได้ว่าวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยด้วยเทคนิคหมาป่าสีเทาโดยใช้ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดเป็นฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ในกระบวนการค้นหาสามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับการศึกษาเลียนแบบ เพื่อค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำได้

รพีภัทร, (2562) ประยุกต์ใช้วิธี Wind Driven Optimization ร่วมกับแบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำเพื่อค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ โดยมีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหาคือค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด การศึกษานี้พิจารณาข้อมูลโค้งควบคุมรายเดือนของอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน จังหวัดยโสธร เป็นกรณีศึกษา ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537 - พ.ศ. 2560 ข้อมูลความต้องการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำ ข้อมูลอุทกวิทยา และข้อมูลทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน นอกจากนี้ยังได้สังเคราะห์ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจำนวน 1,000 ชุด เพื่อใช้ประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมที่ได้จากแบบจำลอง ซึ่งจะแสดงผลเป็นสถานการณ์น้ำขาดแคลน และน้ำไหลล้น ในรูปแบบความถี่ ช่วงเวลาของเหตุการณ์ ปริมาณน้ำเฉลี่ย และปริมาณน้ำสูงสุด ผลการศึกษาพบว่าโค้งควบคุมใหม่ที่ได้ลู่ไปในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากอิทธิพลของน้ำท่าในแต่ละฤดูกาลและเงื่อนไขอื่นที่เหมือนกัน เมื่อนำโค้งควบคุมใหม่เหล่านี้ไปทดสอบและเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิมที่ใช้อยู่ และโค้งควบคุมที่ค้นหาด้วยเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม พบว่าโค้งใหม่สามารถบรรเทาสภาวะน้ำท่วมและน้ำขาดแคลนได้ดีกว่าโค้งควบคุมเดิม แต่น้อยกว่าโค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม หลังจากนั้นนำโค้งควบคุมมาทดสอบกับข้อมูลน้ำไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำสังเคราะห์ พบว่าโค้งควบคุมจากเทคนิค Wind Driven Optimization มีประสิทธิภาพมากกว่าโค้งควบคุมเดิม แต่ต่ำกว่าโค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึมเล็กน้อย

เอกพงษ์, (2562) ประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยการค้นหาแบบแบท ร่วมกับแบบจำลองการเลียนแบบเพื่อปรับปรุงโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น และอ่างเก็บน้ำน้ำอูน จังหวัดสกลนคร โดยใช้ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้อยที่สุด ค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด และค่าความถี่การไหลล้นน้อยที่สุด เป็นฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ในกระบวนการค้นหาคำตอบ ผลการศึกษาพบว่าเมื่อใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ ทั้ง 4 รูปแบบข้างต้นนั้นจะได้โค้งควบคุมใหม่ที่มีรูปร่างคล้ายคลึงกับโค้งควบคุมเดิมทุกอ่าง เนื่องจากอิทธิพลของน้ำท่าในแต่ละฤดูกาลและเงื่อนไขอื่นที่เหมือนกัน เมื่อนำโค้งควบคุมใหม่เหล่านี้ไปทดสอบและเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิมที่ใช้อยู่ พบว่าโค้งใหม่ที่หาโดยใช้ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดเป็นฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ในกระบวนการค้นหา สามารถบรรเทาสภาวะน้ำไหลล้นและน้ำขาดแคลนได้ดีกว่าโค้งที่เกิดจากการใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์อื่น และยังดีกว่าโค้งควบคุมเดิมเหมือนกันทุกอ่าง ผลการศึกษาสรุปได้ว่าวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยการค้นหาแบบแบท โดยใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ทั้ง 4 รูปแบบในการค้นหาคำตอบสามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับการศึกษาเลียนแบบเพื่อค้นหาโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำได้

สุวภัทร, (2565) การปฏิบัติการเครือข่ายอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม โดยวิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิควิธีค้นหาอะตอมการบริหารจัดการน้ำของเครือข่ายอ่างเก็บน้ำหลายอ่างที่ดำเนินการในรูปแบบอ่างเดี่ยว จะทำให้อ่างเก็บน้ำที่อยู่ตอนล่างประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำหรือปัญหาการน้ำไหลล้นสูงมากขึ้น การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบเครือข่ายเป็นแนวทางลดปัญหาน้ำท่วมและภัยแล้งในพื้นที่ท้ายอ่างที่สอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำที่มีความซับซ้อน การวิจัยครั้งนี้มีความมุ่งหมายเพื่อประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิควิธีค้นหาอะตอม (ASO) ร่วมกับแบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำ เพื่อค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของเครือข่ายอ่างเก็บน้ำโดยมีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหาคือค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำต่อปีน้อยที่สุด และค่าเฉลี่ยของการไหลล้นต่อปีน้อยที่สุด ระบบเครือข่ายอ่างเก็บน้ำที่ศึกษาประกอบด้วยอ่างเก็บน้ำ จำนวน 5 แห่ง ในพื้นที่จังหวัดสกลนคร ได้แก่ อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำบ่อ อ่างเก็บน้ำห้วยทรายตอนบน 1 อ่างเก็บน้ำห้วยทราย ตอนบน 2 อ่างเก็บน้ำห้วยทรายตอนบน 3 และอ่างเก็บน้ำห้วยทรายขมิ้น การศึกษานี้พิจารณาโค้งควบคุมแบบรายเดือน ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำตั้งแต่ปี พ.ศ.2548-พ.ศ.2563 ข้อมูลความต้องการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำ ข้อมูลอุทกวิทยาและข้อมูลทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำ นอกจากนี้ยังได้ประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมที่ได้จากแบบจำลองโดยเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ดำเนินการแบบอ่างเดี่ยวและดำเนินการแบบเครือข่ายอ่างเก็บน้ำ ซึ่งจะ

แสดงผลเป็นสถานการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้น ในรูปแบบความถี่ ปริมาณน้ำเฉลี่ย และปริมาณน้ำสูงสุด นอกจากนี้ยังประเมินประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบโค้งควบคุมด้วยเทคนิค ASO กับการค้นหาคำตอบด้วยเทคนิค GA

รัตน์สุดา, (2565) ระบบสนันสนุนการตัดสินใจสำหรับปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบอ่างเดียว เพื่อพัฒนาทางเลือกสนับสนุนระบบการตัดสินใจในการจัดการน้ำทางวิศวกรรมสำหรับการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอ่างเดียว จากการสร้างทางเลือกตามสถานการณ์ที่แตกต่างกันภายใต้การประยุกต์ใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมเทคนิคใหม่ Marine Predators Algorithm (MPA) ปรับปรุงโค้งควบคุมที่เหมาะสมสูงสุดของอ่างเก็บน้ำร่วมกับเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging rule (HR) และเกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน (SOP) ตลอดจนการพิจารณาปริมาณการตกตะกอนที่มีผลต่อระดับและพื้นที่เก็บกักของอ่างเก็บน้ำเพื่อนำมาค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมที่สุด การศึกษานี้พิจารณาข้อมูลอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทยเป็นกรณีศึกษา ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำอดีต 52 ปี (พ.ศ.2512-2563) ปริมาณความต้องการใช้น้ำปัจจุบัน ข้อมูลอุทกวิทยาและข้อมูลทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำและประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมที่ได้จากแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจากข้อมูลอดีตจำนวน 1,000 ชุดเหตุการณ์ ซึ่งแสดงผลในรูปแบบความถี่ ช่วงเวลาของเหตุการณ์ปริมาณน้ำเฉลี่ยและปริมาณน้ำสูงสุด ทั้งสถานการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้น จากนั้นนำไปสร้างชุดคำตอบภายใต้สถานการณ์ต่างๆ จำนวน 5 สถานการณ์ คือ สถานการณ์ปริมาณขาดแคลนน้ำแบบปกติสถานการณ์ปริมาณขาดแคลนน้ำแบบรุนแรง สถานการณ์ปริมาณน้ำไหลล้นแบบปกติสถานการณ์ปริมาณน้ำไหลล้นแบบรุนแรง และสถานการณ์ลดความถี่การขาดแคลนน้ำ

รพีภัทร, (2565) ระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบเครือข่าย เพื่อพัฒนาแนวทางเลือกระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการจัดการน้ำทางวิศวกรรมของอ่างเก็บน้ำแบบเครือข่ายโดยการหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมนำไปสร้างทางเลือกใภายใต้ 4 สถานการณ์ คือ สถานการณ์การขาดแคลนน้ำปกติสถานการณ์การขาดแคลนน้ำสูง ส่งผลกระทบรุนแรง สถานการณ์น้ำท่วมจากการไหลล้นปกติและสถานการณ์น้ำท่วมจากการไหลล้นปกติสูง ส่งผลกระทบรุนแรงโดยประยุกต์ใช้เทคนิค Harris Hawks Optimization (HHO) ที่เชื่อมโยงกับแบบจำลองเลียนแบบอ่างเก็บน้ำเพื่อประเมินทางเลือกในการตัดสินใจสำหรับระบบอ่าง เก็บน้ำเครือข่ายในประเทศไทย ซึ่งประกอบด้วยอ่างเก็บน้ำภูมิพลและอ่างเก็บน้ำสิริกิติ์ โดยมีวัตถุประสงค์ของการค้นหาได้แก่ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ค่าสูงสุดของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด และค่าเฉลี่ยของการไหลล้น

น้อยที่สุด โดยใช้ร่วมกับเกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน (SOP) และเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Hedging rule (HR) ผลการค้นหาและทดสอบประสิทธิภาพของโค้งควบคุม พบว่าเกิดทางเลือกที่ดีที่สุดในการตัดสินใจด้วยสถานการณ์น้ำ 4 สถานการณ์สำหรับการบริหารอ่างเก็บน้ำแบบเครือข่ายจำนวน 8 ทางเลือกจาก 152 ทางเลือกโดยส่วนมากจะเป็นจากโค้งควบคุมที่เกิดจากเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR ซึ่งบรรเทาสถานการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นได้ดีทั้งในเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบมาตรฐาน (SOP) และเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ HR

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิคใหม่ เทคนิค Electric Eel Foraging Optimization (EEFO)

(Yao-sheng et al., 2014) โดยได้รับแรงบันดาลใจจากพฤติกรรมการย้ายถิ่นของปลาไหลไฟฟ้าเพื่อพัฒนาอัลกอริธึมแบบฝูงปลาไหลไฟฟ้าแบบแยกใหม่ โดยมีขั้นแรกเป็นการวิเคราะห์พฤติกรรมของปลาไหลและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากพฤติกรรมสำคัญ ซึ่งประกอบด้วยการปรับตัวตามความเข้มข้น การเรียนรู้ในบริเวณใกล้เคียง และการกลายพันธุ์ทางเพศ อัลกอริธึมแบบฝูงปลาไหลไฟฟ้าแบบแยกถูกสร้างขึ้นเพื่อแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดแบบผสมผสาน การทดลองเชิงตัวเลขที่ใช้ปัญหา TSP และการจัดตารางเวลา การเรียงสับเปลี่ยน แสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมมีความสามารถในการปรับให้เหมาะสมและแม่นยำในการแก้ปัญหาเหล่านี้ ในท้ายที่สุดบทความเน้นว่าการพัฒนาอัลกอริทึมที่มีความเหมาะสมและแม่นยำเป็นสิ่งสำคัญในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์และการประยุกต์ใช้งานในสถานการณ์จริง

(Yilmaz & Sen, 2020) ได้ใช้พฤติกรรมของฝูงในธรรมชาติเป็นแรงบันดาลใจในการสร้างอัลกอริธึมการหาค่าเหมาะที่สุดแบบฮิวริสติก พวกเขาได้สนใจมากในการเรียนรู้และปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมที่ซับซ้อน โดยเฉพาะสำหรับปัญหาที่มีลักษณะของมิติสูง ความซับซ้อนและลักษณะอื่นๆ ที่คล้ายคลึงกัน พวกเขาได้แนะนำอัลกอริธึมฮิวริสติกใหม่ในการศึกษานี้ โดยได้รับแรงบันดาลใจจากตำแหน่งแหล่งอาหารและพฤติกรรมการสื่อสารของปลาไหลไฟฟ้า ปลาไหลไฟฟ้าที่ออกหากินในเวลากลางคืนมีสายตาไม่ดีมากและอาศัยอยู่ในน้ำที่มีความขุ่นและน้ำโคลน การรับรู้สภาพแวดล้อมด้วยสายพันธุ์เหล่านี้ถือว่าเป็นประสิทธิภาพสำหรับการค้นหาในระดับท้องถิ่นและระดับโลก และเป็นเหตุผลหลักในการนำมาเป็นแบบจำลองในการศึกษานี้ การเพิ่มประสิทธิภาพของปลาไหลไฟฟ้า (EFO) ได้รับการนำเสนอและเปรียบเทียบกับอัลกอริธึมที่มีความนิยมอื่นๆ ในการทดลอง รวมถึงการจำลองฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์พื้นฐาน 50 รายการและฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน 30 รายการ ปัญหาการจัดกลุ่ม 13 รายการ และการออกแบบในโลกแห่งความ

เป็นจริง 5 รายการ ซึ่งเป็นชุดเกณฑ์มาตรฐานในการทดลอง ผลการจำลองระบุว่า EFO มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าหรือมีการแข่งขันอยู่ในระดับสูงกับอัลกอริธึมอื่นๆ ในการแก้ไขปัญหาที่ได้รับการศึกษา

(Bastos et al., 2021) ได้สำรวจการล่าเหยื่อแบบสังคมที่เป็นกลยุทธ์ที่พบบ่อยในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม แต่มีความไม่พบอย่างน้อยในปลา ผลการศึกษารายงานพฤติกรรมการล่าเหยื่อแบบสังคมที่ไม่คาดคิดโดยปลาไหลไฟฟ้าซึ่งเป็นพฤกษาที่โดดเด่นเป็นผู้ล่าเดี่ยวในป่าสาบอะเมซอน การสังเกตการณ์ที่ทำไว้ในปีต่างๆ และบันทึกวิดีโอแสดงให้เห็นว่า ปลาไหลไฟฟ้ามีการเก็บกลุ่ม ห่วงล้อมกลุ่มของปลาที่มีขนาดเล็กและทำการโจมตีร่วมกันด้วยการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงในการโจมตีบอลเหยื่อ การค้นพบเหล่านี้ท้าทายสมมติฐานที่ปลาไหลไฟฟ้าอาจมีกลยุทธ์การหาอาหารเพียงหนึ่ง และขยายความรู้ของเราเกี่ยวกับการล่าเหยื่อแบบสังคมไปสู่สิ่งมีชีวิตที่ใช้การปล่อยกระแสไฟฟ้าสูงในการล่า ซึ่งเสนอมุมมองใหม่สำหรับการศึกษาเรื่องประสาทการล่าและการหนี

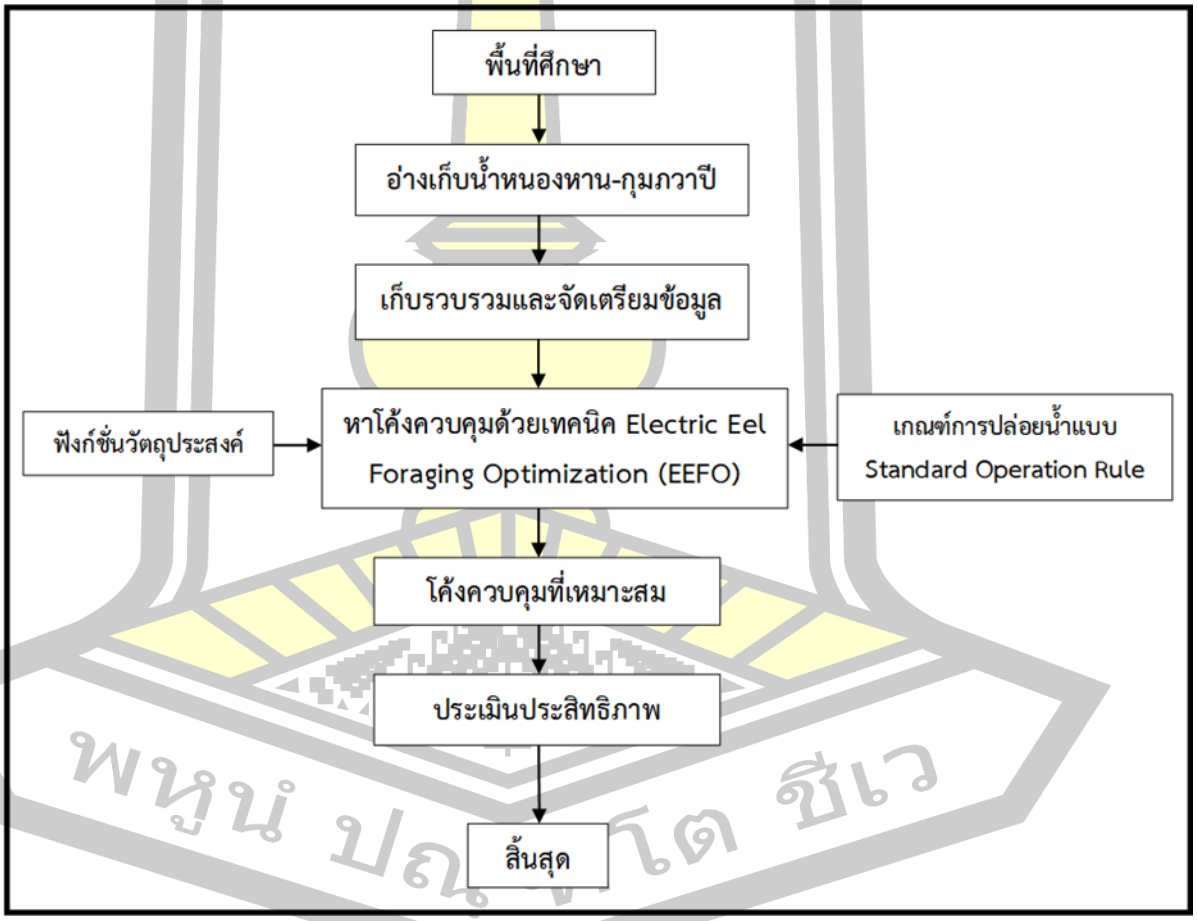
(Catania, 2015a) ได้เสนอว่าปลาไหลไฟฟ้า (Electrophorus electricus) ใช้กลยุทธ์การโจมตีที่แตกต่างกันเพื่อทำให้เหยื่อไม่สามารถเคลื่อนไหวได้ การโจมตีของปลาไหลไฟฟ้าจะมีการปล่อยกระแสไฟฟ้าในรูปของชุดกระแสไฟฟ้าสูงความยาว 1 มิลลิวินาที ซึ่งสามารถกระตุ้นเซลล์ประสาทเคลื่อนไหวของเหยื่อและกระตุ้นกล้ามเนื้อได้ การโจมตีทั่วไปทำให้เกิดการกระตุ้นกล้ามเนื้อในรูปแบบของการกระชากที่สั้นๆ ซึ่งทำให้ปลาไหลไฟฟ้าสามารถกลืนเหยื่อขนาดเล็กได้เร็วๆ ในการต่อสู้กับเหยื่อขนาดใหญ่ ปลาไหลไฟฟ้ามักจะหงายตัวเพื่อนำหางของตนไปยังด้านตรงข้ามของเหยื่อ เพื่อทำให้เหยื่ออยู่ระหว่างทั้งสองข้างของอวัยวะไฟฟ้า จากนั้นพวกเขาจะส่งชุดกระแสไฟฟ้าสูงความยาวไปยังเหยื่อ การบันทึกวิดีโอจากอิเล็กโทรดที่วางไว้ภายในเหยื่อแสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมการหงายตัวนี้ทำให้ความเข้มของฟิลด์ภายในเหยื่อที่ถูกกระชากมีสองเท่า ซึ่งทำให้การกระตุ้นของเซลล์ประสาทของเหยื่อสามารถเป็นไปได้อย่างเชื่อถือได้ ชุดกระแสที่จำลองหรือชุดกระแสจากตัวกระตุ้นที่เป็นปลาไหลไฟฟ้าที่นำมาใช้กับการเตรียมกล้ามเนื้อของเหยื่อผลิตผลออกมา

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้เป็นขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัยโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุด ของอ่างเก็บน้ำด้วยเทคนิควิธี Electric eel foraging optimization (EEFO) ซึ่งจะมีหัวข้อและวิธีการดำเนินงาน ดังนี้

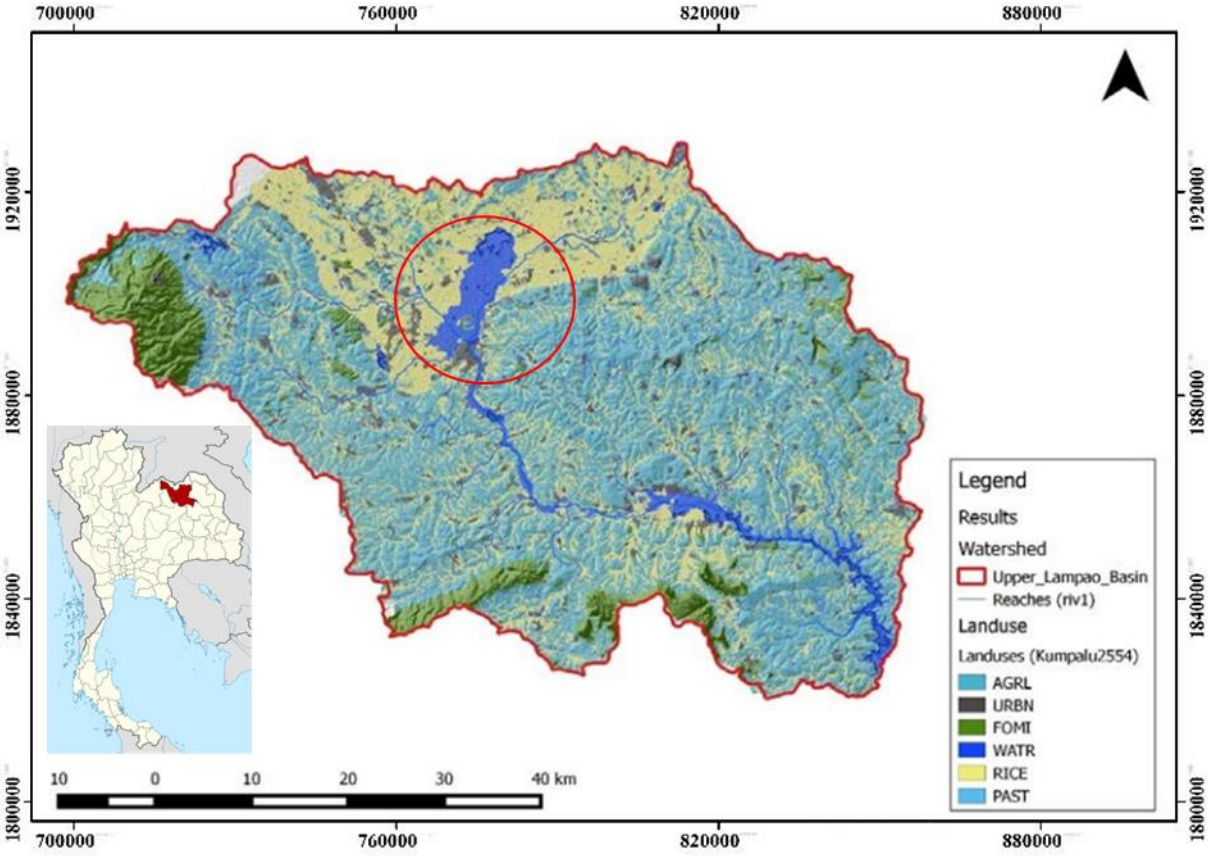
1. พื้นที่ศึกษา
2. การหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมโดยใช้เทคนิค Electric Eel Foraging Optimization (EEFO)



ภาพประกอบ 27 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

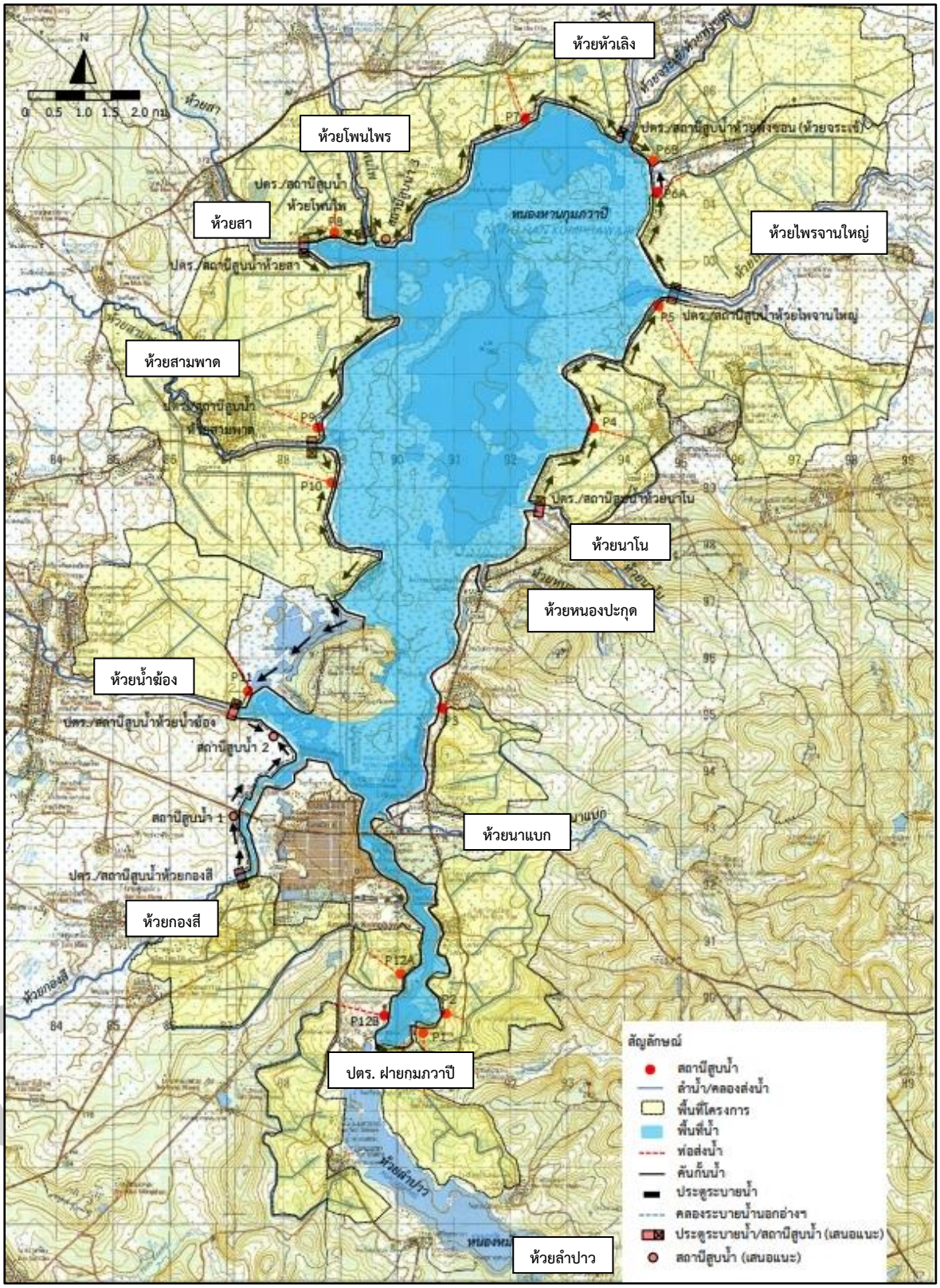
3.1 ข้อมูลพื้นที่ศึกษา

ในการทำการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกพื้นที่ศึกษาเป็นอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี หัวงานตั้งอยู่ในลุ่มน้ำลำปาวตอนบน เขตตำบลเวียงคำ อำเภอกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี ลักษณะโครงการเป็นโครงการชลประทานประเภทประตูระบายน้ำ (ปตร.) สร้างปิดกั้นลำน้ำลำปาว ที่ท้ายหนองหาน-กุมภวาปี ข้อมูลรายละเอียดดังแสดงในภาพประกอบ 28 , ภาพประกอบ 29 และภาพประกอบ 30



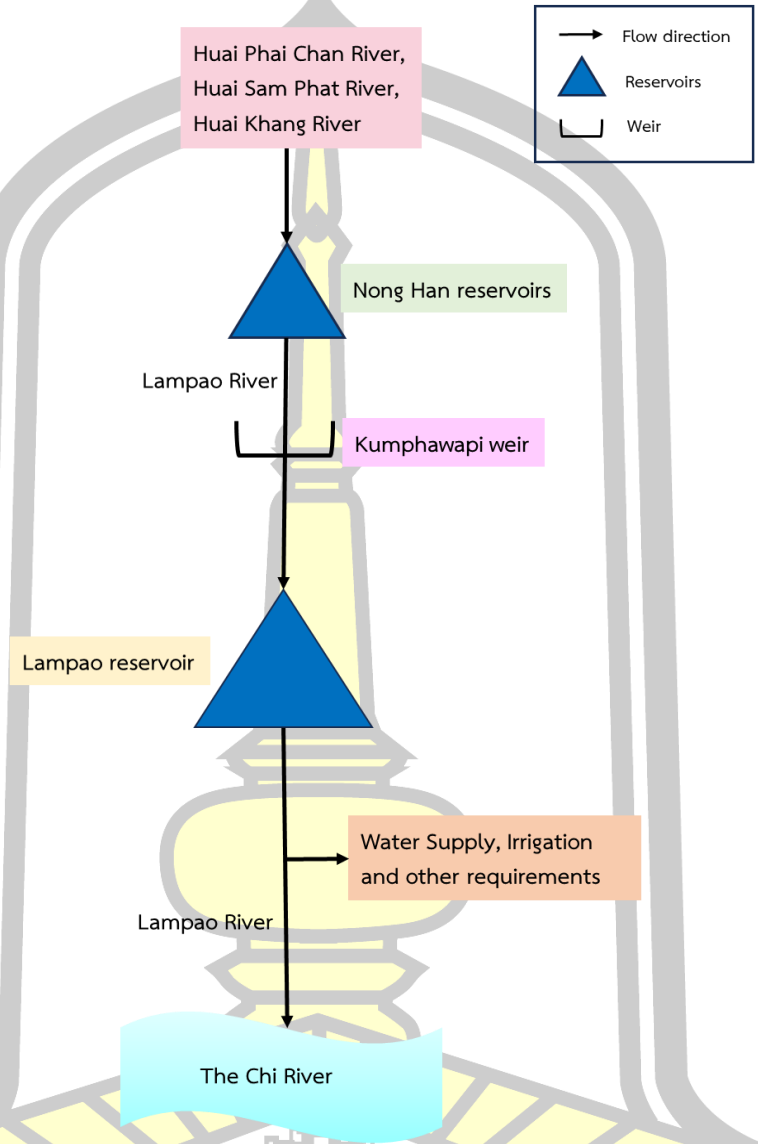
ภาพประกอบ 28 ตำแหน่งตั้งโครงการ
ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 29 พื้นที่ศึกษา

ที่มา: โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษากุมภวาปี



ภาพประกอบ 30 แผนผังของระบบอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี

3.1.1 ที่ตั้งโครงการ

โครงการฝายกุมภวาปี มีที่ตั้งหัวงานอยู่ที่ ตำบลเวียงคำ อำเภอกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี ที่เส้นรุ้งที่ 17° 04’ 35’’ เหนือ และเส้นแวงที่ 103° 01’ 26’’ ตะวันออก หรือที่พิกัด 48 QTD897-891 ในแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 ระวางหมายเลข 5643 III อยู่ห่างจากอำเภอกุมภวาปี

ประมาณ 5.3 กม. และห่างจากกรุงเทพฯ ประมาณ 540 กม. ดังแสดงในภาพประกอบ 31 มีอาณาเขตติดต่อดังนี้

ทิศเหนือ ติดต่อ อำเภอหนองหาน จังหวัดอุดรธานี

ทิศตะวันออก ติดต่อ อำเภอกู่แก้ว และศรีธาตุ จังหวัดอุดรธานี

ทิศตะวันตก ติดต่อ อำเภอหนองแสง จังหวัดอุดรธานี

ทิศใต้ ติดต่อ อำเภอโนนสะอาด จังหวัดอุดรธานี และอำเภอกระนวน จังหวัดขอนแก่น

ภาพประกอบ 31 แสดงที่ตั้งหัวงานโครงการ

ที่มา: โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษากุมภวาปี

3.1.2 สภาพทั่วไปของโครงการ

โครงการฝายกุมภวาปี ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำลำปาวตอนบน หัวงานตั้งอยู่ในเขตตำบลเวียงคำ อำเภอกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี ลักษณะโครงการเป็นโครงกาชลประทานประเภทประตูระบายน้ำ (ปตร.) สร้างปิดกั้นลำน้ำลำปาว ที่ท้ายหนองหาน-กุมภวาปี มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเป็นแหล่งกักเก็บ

น้ำไว้ใช้ในการอุปโภค-บริโภค ประปา อุตสาหกรรม การเกษตร บรรเทาอุทกภัย รักษาระบบนิเวศพื้นที่ชุ่มน้ำ เพาะพันธุ์ปลาประมง และเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญ เป็นต้น

เนื่องจากโครงการได้ดำเนินการก่อสร้างมานานมากกว่า 20 ปี ทำให้องค์ประกอบของโครงการทั้งในส่วนของหัวงาน คือ ประตูระบายน้ำและระบบชลประทานซึ่งประกอบด้วยสถานีสูบน้ำด้วยไฟฟ้า 14 สถานี ส่งน้ำให้กับพื้นที่ชลประทานรวม 48,950 ไร่ มีความเสื่อมโทรมไปตามระยะเวลาใช้งานรวมทั้งมีปัญหาในด้านต่างๆ คือ (1) ปัญหาอุทกภัย เนื่องจากระดับน้ำในหนองหานกุมภวาปีสูงในฤดูฝนทำให้การระบายน้ำจากพื้นที่รอบหนองหาน-กุมภวาปีระบายได้ช้า (2) ปัญหาภัยแล้ง เมื่อเกิดภาวะฝนตกน้อยหรือฝนทิ้งช่วงเป็นเวลานาน ส่งผลกระทบต่อผลผลิตทางการเกษตรและปริมาณน้ำสำรองเพื่อการอุปโภค-บริโภค อุสาหกรรม รักษาสมดุลระบบนิเวศ และกิจกรรมอื่นๆ (3) ปัญหาคุณภาพน้ำและดินเค็ม เนื่องจากเป็นแหล่งรองรับการระบายน้ำจากกิจกรรมต่างๆ ของประชาชนที่อยู่โดยรอบ และพื้นที่หนองหาน-กุมภวาปีเกือบทั้งหมดตั้งอยู่บนดินเค็ม จึงมีปัญหาเรื่องความเค็มของดินและน้ำที่มีผลต่อการปลูกพืชและการใชน้ำ (4) ปัญหาความขัดแย้งเรื่องการใช้น้ำของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่อยู่ด้านเหนือและท้ายน้ำ (5) ปัญหาข้อจำกัดบางประการในการบริหารจัดการที่ทำให้ไม่สามารถบริหารจัดการน้ำได้อย่างเต็มศักยภาพ เนื่องจากหนองหาน-กุมภวาปี เป็นพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความสำคัญระดับนานาชาติและ (6) ปัญหาอัตรากำลังไม่เพียงพอที่จะดูแลและบำรุงรักษาอาคารต่างๆ ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

3.1.2.1 วัตถุประสงค์หลักของโครงการ

1) เพื่อกักเก็บน้ำสำหรับการอุปโภค-บริโภค การประปา และการอุตสาหกรรม

2) เพื่อกักเก็บน้ำสำหรับการเกษตรกรรม

3) เพื่อบรรเทาปัญหาอุทกภัยในพื้นที่ลุ่มต่ำรอบหนองหาน-กุมภวาปี

4) เพื่อรักษาระบบนิเวศพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความสำคัญระดับนานาชาติ

5) เพื่อเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ปลาสำหรับการประมง

6) เพื่อเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญของจังหวัดอุดรธานี

หนองหาน-กุมภวาปี จัดเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความสำคัญระดับนานาชาติ มีพื้นที่ 38.74 ตร.กม. หรือ 24,213 ไร่ มีความยาวจากเหนือไปใต้ประมาณ 13 กม. และจากตะวันตกไปตะวันออกประมาณ 5 กม. นอกจากนี้ยังมีหนองหมัดที่อยู่ทางด้านท้ายน้ำของ ปตร.กุมภวาปี ที่มีพื้นที่ประมาณ 2.32 ตร.กม. หรือ 1,450 ไร่ ซึ่งปริมาณน้ำที่ระบายผ่านทาง ปตร.กุมภวาปี จะไหลผ่านหนองหมัด

และห้วยลำปาว (ลำน้ำลำปาวตอนบน) ไปลงอ่างเก็บน้ำลำปาว ลักษณะภูมิประเทศเป็นพื้นที่ราบลุ่มแอ่งกระทะ โดยมีความลาดเอียงเข้าหาหนองหาน-กุมภวาปี ประกอบด้วยลุ่มน้ำสาขาย่อยต่างๆ ที่ไหลลงหนองหาน-กุมภวาปี ทางทิศตะวันออก ได้แก่ ลุ่มน้ำห้วยนาแบก ห้วยหนองปะกุด ห้วยนาโน และห้วยไพจานใหญ่ จากต้นน้ำที่ระดับประมาณ +230.00 ถึง +280.00 ม.รทก. ส่วนทางทิศเหนือ ได้แก่ ห้วยพังซอน (ห้วยจระเข้) ห้วยโพนไพ และห้วยสา จากต้นน้ำที่ระดับประมาณ +185.00 ถึง +200.00 ม.รทก. และทางทิศตะวันตก ได้แก่ ลุ่มน้ำห้วยสามพาด ห้วยน้ำฆ้อง และห้วยกองสี จากต้นน้ำที่ระดับประมาณ +480.00 ถึง +600.00 ม.รทก. ไหลลงหนองหาน-กุมภวาปี ที่มีระดับพื้นที่รอบหนองหานฯ ส่วนใหญ่อยู่ที่ระดับประมาณ +168.00 ถึง +170.00 ม.รทก.

3.1.3 ลักษณะโครงการ

ลักษณะและองค์ประกอบหลักของโครงการสรุปได้ดังนี้

3.1.3.1 ลักษณะทางอุทกวิทยา

- พื้นที่รับน้ำฝนเหนือที่ตั้ง ปตร.	1,435	ตร.กม.
- ปริมาณฝนลุ่มน้ำเฉลี่ย	1,300	มม./ปี (เฉลี่ย 30 ปี)
- ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย	638	ล้าน ลบ.ม./ปี (เฉลี่ย 30 ปี)

3.1.3.2 แหล่งกักเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี

- ระดับน้ำกักเก็บ	+169.50	ม.รทก.
- ระดับน้ำสูงสุด	+171.50	ม.รทก.
- ระดับน้ำต่ำสุด	+167.00	ม.รทก.
- ความจุที่ระดับน้ำกักเก็บ	106.00	ล้าน ลบ.ม.
- ความจุที่ระดับน้ำต่ำสุด	16.00	ล้าน ลบ.ม.
- ความจุใช้งาน	90.00	ล้าน ลบ.ม.
- พื้นที่ผิวน้ำที่ระดับน้ำกักเก็บ	38.00	ตร.กม.

3.1.3.3 ประตูระบายน้ำ

- อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กแบบบานโค้ง (Radial Gate)		
- ความกว้างบานระบาย	12.00	ม.
- ความสูงบานระบาย	4.30	ม.

- จำนวนบานระบาย	5	บาน
- อัตราการระบายน้ำสูงสุด	230.00	ลบ.ม./วินาที

3.1.3.4 คันดินกั้นน้ำรอบแหล่งกักเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี

- จำนวนคันดิน	13	ช่วง
- จำนวนอาคารระบายน้ำ	58	แห่ง
- ความสูงคันดิน	4	ม.
- ความกว้างหลังคันดิน	3-6	ม.
- ความยาวรวม	112	กม.
- ระดับหลังคันดิน	+171.50 ถึง +172.00	ม.รทก.

3.1.3.5 สถานีสูบน้ำด้วยไฟฟ้า

- จำนวน	14	สถานี
- จำนวนเครื่องสูบน้ำ แบบ 2 ทาง	23	เครื่อง
- อัตราการสูบน้ำรวม	10.75	ลบ.ม./วินาที

3.1.3.6 ระบบส่งน้ำ

- คลองส่งน้ำสายใหญ่	22	สาย
- ความยาวรวม	67.55	กม.
- คลองส่งน้ำสายซอย	40	สาย
- ความยาวรวม	43.99	กม.
- ความยาวรวมทั้งสิ้น	111.54	กม.
- พื้นที่โครงการส่งน้ำฯ	59,229	ไร่
- พื้นที่ชลประทาน	48,950	ไร่

3.1.4 หัวงาน ปตร.กุมภวาป

สภาพโครงสร้างหลักของ ปตร.กุมภวาปี ได้แก่ สภาพตอม่อคอนกรีตสะพานรถยนต์ข้ามพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ฯลฯ ยังคงสภาพมั่นคงแข็งแรง ถึงแม้จะมีสภาพเก่าทรุดโทรมเนื่องจากใช้งานมานานในส่วนของบานระบายบานโค้งและอุปกรณ์สำหรับยกบานยังสามารถใช้งานได้ตามปกติ เนื่องจากเพิ่งซ่อมบำรุงครั้งใหญ่ช่วงปลายปีที่ผ่านมา สภาพด้านเหนือน้ำของ ปตร. ในส่วนของโครงสร้างป้องกันการกัดเซาะ ได้แก่ ลาดป้องกันตลิ่งทั้งซ้ายและขวา ซึ่งเป็นคอนกรีตดาดอยู่ในสภาพ

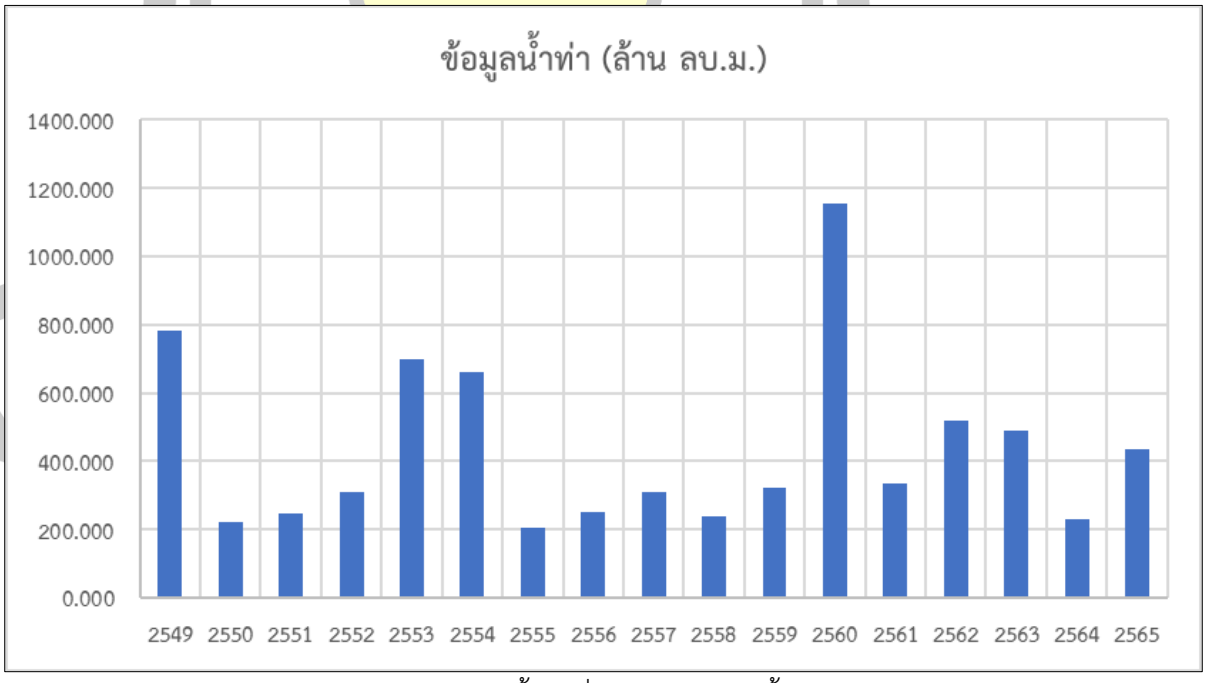
ดี ไม่พบรอยชำรุดแตกเสียหาย ถึงแม้จะมีสภาพทรุดโทรม มีเศษวัชพืชหรือสวะลอยมาติดด้านหน้าทั้ง 2 ฝั่ง สภาพด้านท้าย ปตร. ในส่วนโครงสร้างป้องกันการกัดเซาะ ได้แก่ ลาดด้านข้างทั้ง 2 ฝั่ง ที่เป็นหินเรียงยาแนวและคอนกรีตดาดสภาพมั่นคงแข็งแรง ไม่พบรอยแตกชำรุด หรือรอยกัดเซาะ มีวัชพืชเล็กน้อยขึ้นตามลาดตลิ่งทั้ง 2 ฝั่ง แต่ไม่ส่งผลกระทบกับความมั่นคงแข็งแรง ดังแสดงในภาพประกอบ 32 และภาพประกอบ 33

ภาพประกอบ 32 สภาพปัจจุบันด้านหน้าประตูระบายน้ำฝายกุมภวาปี

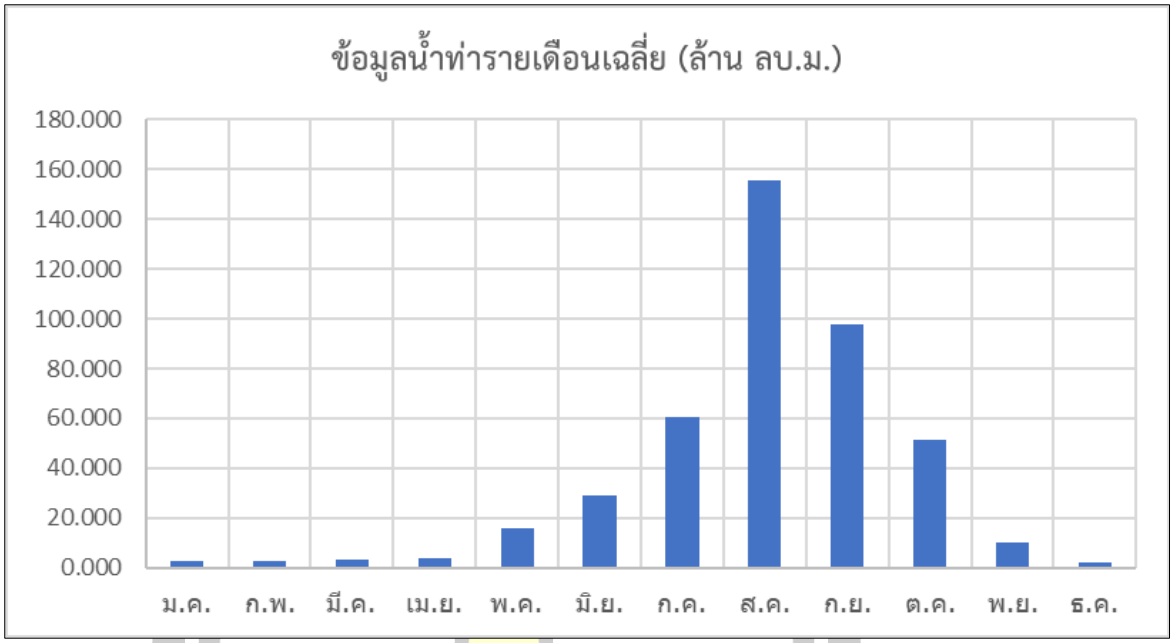
ภาพประกอบ 33 สภาพปัจจุบันด้านท้ายอาคารฝายกุมภวาปี

ตาราง 1 ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี (ที่มา: โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษากุมภวาปี)

ปี/เดือน	ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)												
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวมรายปี
2549	3.147	3.142	3.127	3.400	11.061	16.850	55.607	500.392	119.816	51.836	12.391	1.549	782.318
2550	3.244	4.538	1.894	2.618	17.580	7.056	14.959	77.989	80.501	3.675	6.005	2.586	222.646
2551	3.236	3.116	1.869	5.597	5.189	50.550	48.412	63.609	52.610	8.859	3.354	1.619	248.022
2552	2.746	4.043	3.959	2.213	8.481	7.056	20.519	128.028	80.501	43.179	7.737	2.478	310.940
2553	2.179	2.106	3.463	5.447	58.035	13.177	55.180	404.066	64.592	61.881	26.914	2.524	699.565
2554	3.155	3.155	4.338	3.594	36.515	60.110	59.167	137.351	199.731	140.737	7.737	3.959	659.550
2555	5.124	3.171	4.945	1.693	15.636	71.991	51.911	33.134	9.593	3.454	3.612	1.089	205.354
2556	1.912	1.463	0.867	1.801	3.828	10.580	51.691	47.600	63.631	41.165	22.514	2.478	249.530
2557	2.355	2.490	2.372	7.188	5.336	10.259	48.412	128.028	80.501	11.740	6.538	3.127	308.346
2558	3.142	4.129	5.656	3.234	3.510	5.054	27.626	38.823	62.940	70.428	8.899	3.038	236.479
2559	4.381	3.211	1.906	3.870	19.832	36.208	33.500	74.124	75.306	43.179	22.742	2.863	321.121
2560	3.703	2.721	5.834	7.495	35.969	96.861	392.894	259.597	146.743	197.659	4.690	2.175	1156.342
2561	3.155	3.926	3.463	4.545	12.232	13.177	50.681	155.387	80.857	2.142	2.834	1.832	334.231
2562	2.100	2.144	1.922	2.618	11.061	7.683	0.296	161.614	313.303	9.236	5.074	2.016	519.068
2563	0.515	0.619	3.471	2.828	3.265	6.707	16.039	266.078	92.821	80.539	16.111	0.877	489.870
2564	3.610	3.155	2.754	5.597	5.915	47.486	43.803	15.775	41.585	49.417	8.244	2.530	229.872
2565	2.982	2.946	3.240	3.984	15.840	28.800	60.669	155.725	97.815	51.195	10.337	2.296	435.828
เฉลี่ยรายเดือน	2.982	2.946	3.240	3.984	15.840	28.800	60.669	155.725	97.815	51.195	10.337	2.296	435.828



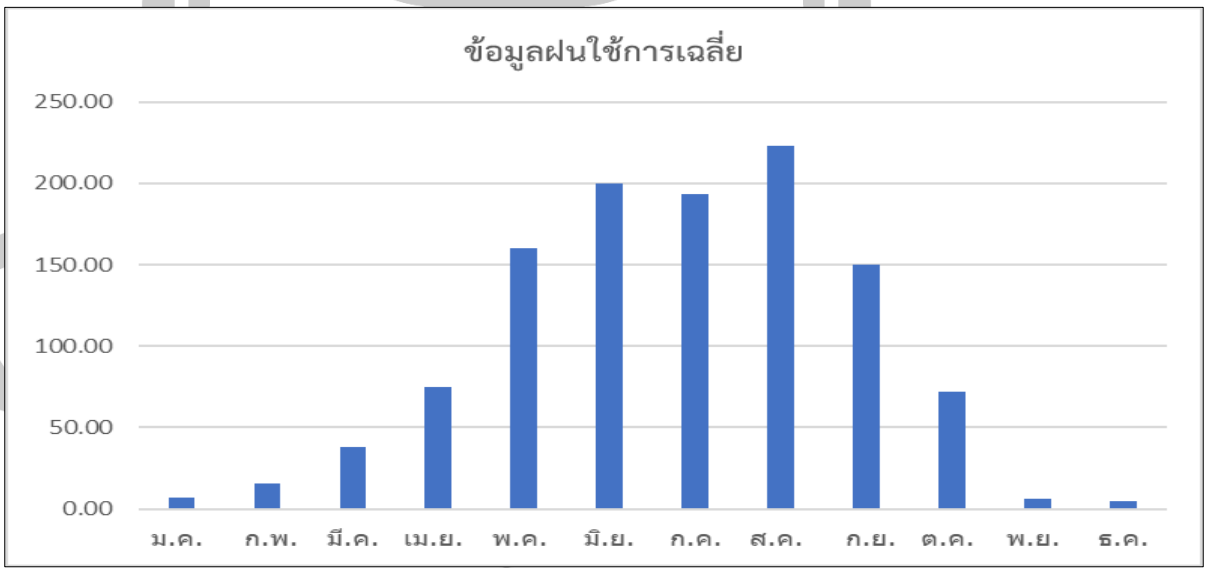
ภาพประกอบ 34 กราฟข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี (ที่มา: โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษากุมภวาปี)



ภาพประกอบ 35 กราฟข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี (ที่มา: โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษากุมภวาปี)

ตาราง 2 ข้อมูลฝนใช้การเฉลี่ยรายเดือนอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี (ที่มา: โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษากุมภวาปี)

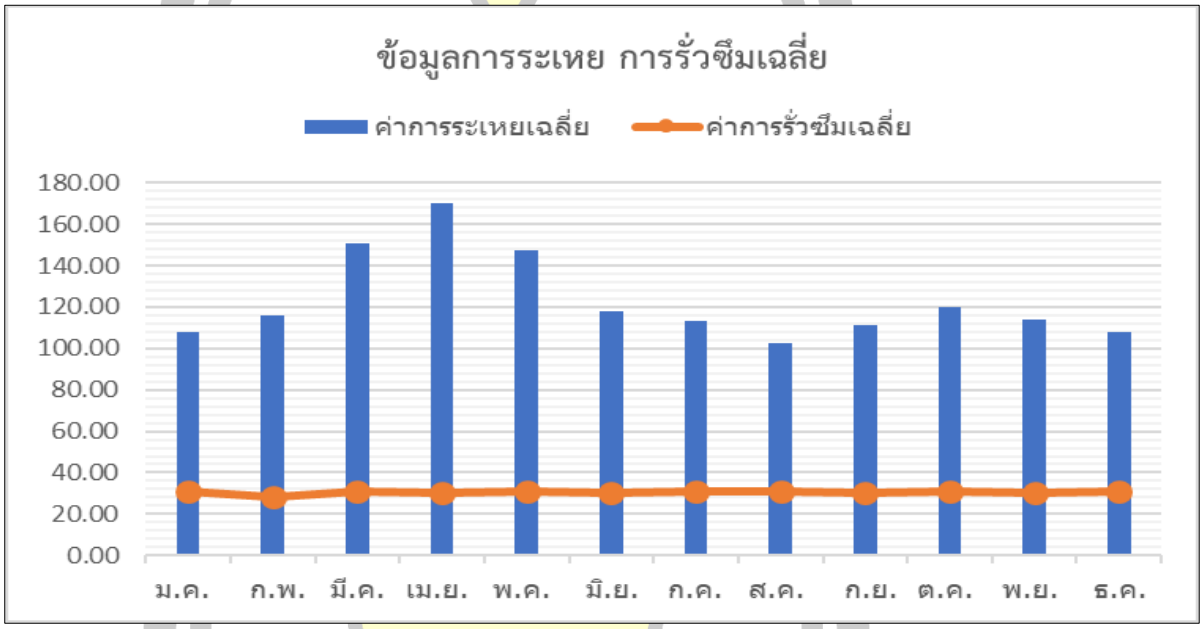
ชนิดข้อมูล	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ฝนใช้การเฉลี่ย	7.10	15.40	38.30	74.90	159.90	199.90	193.10	222.70	150.30	71.90	6.50	4.50



ภาพประกอบ 36 กราฟข้อมูลฝนใช้การเฉลี่ยรายเดือนอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี (ที่มา: โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษากุมภวาปี)

ตาราง 3 ข้อมูลการระเหย การรั่วซึมเฉลี่ยรายเดือนอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี (ที่มา: โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษากุมภวาปี)

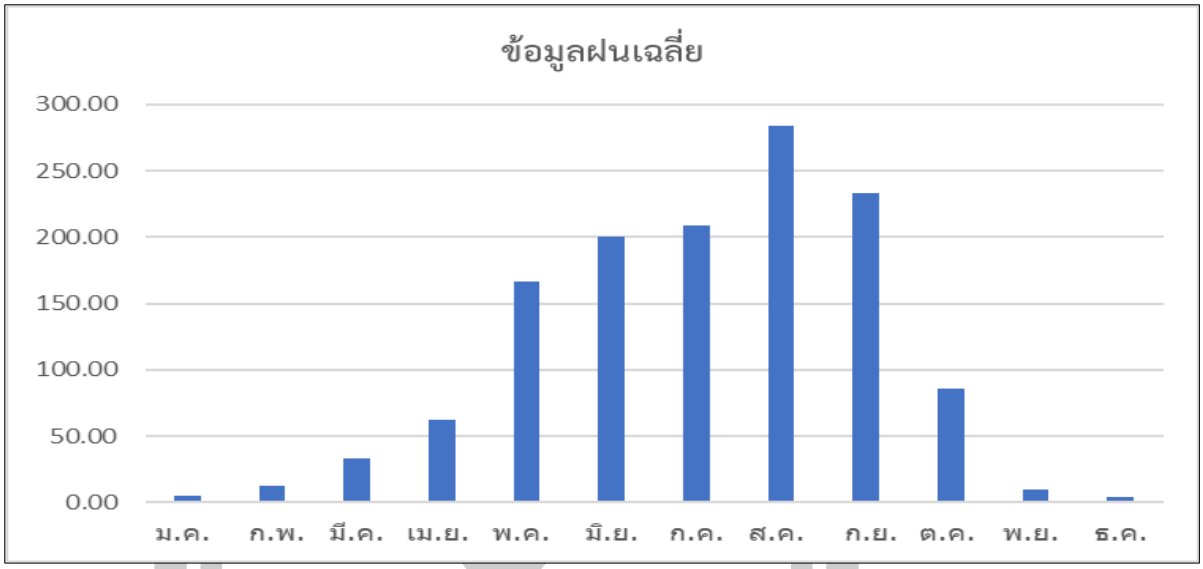
ชนิดข้อมูล	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
การระเหยเฉลี่ย	107.60	115.60	150.70	170.40	147.50	117.70	113.50	102.60	111.00	120.00	114.00	107.80
การรั่วซึมเฉลี่ย	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31



ภาพประกอบ 37 กราฟข้อมูลการระเหย การรั่วซึมเฉลี่ยรายเดือนอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี (ที่มา: โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษากุมภวาปี)

ตาราง 4 ข้อมูลฝนเฉลี่ยรายเดือนอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี (ที่มา: โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษากุมภวาปี)

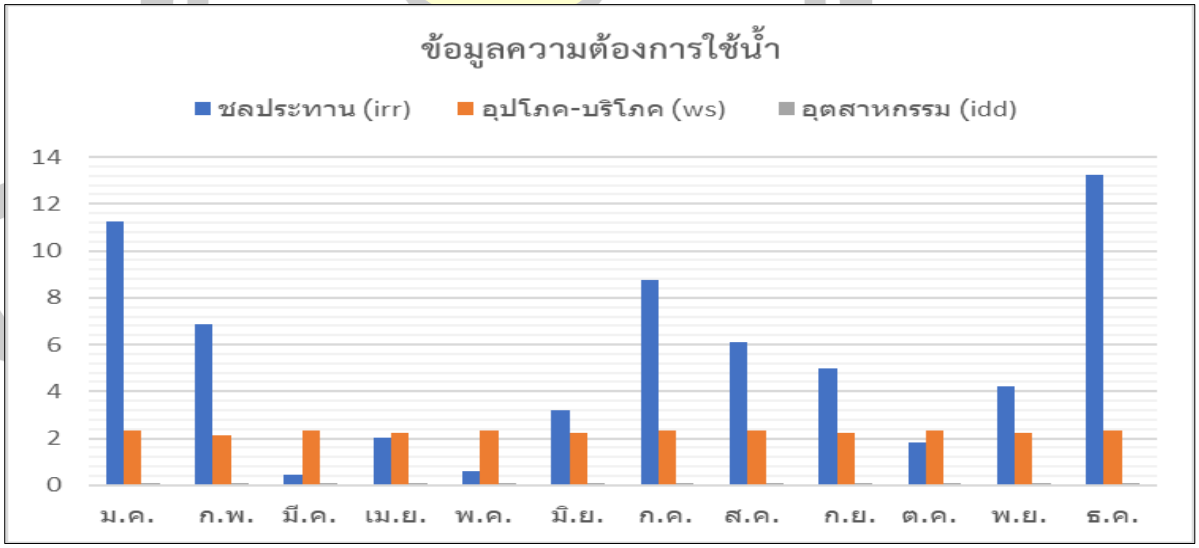
ชนิดข้อมูล	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ฝนเฉลี่ย	4.83	12.31	33.60	61.91	166.22	200.24	209.10	284.20	233.43	85.77	9.76	4.35



ภาพประกอบ 38 กราฟข้อมูลฝนเฉลี่ยรายเดือนอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี
(ที่มา: โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษากุมภวาปี)

ตาราง 5 ข้อมูลความต้องการใช้น้ำในเขตอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี (ที่มา: โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษากุมภวาปี)

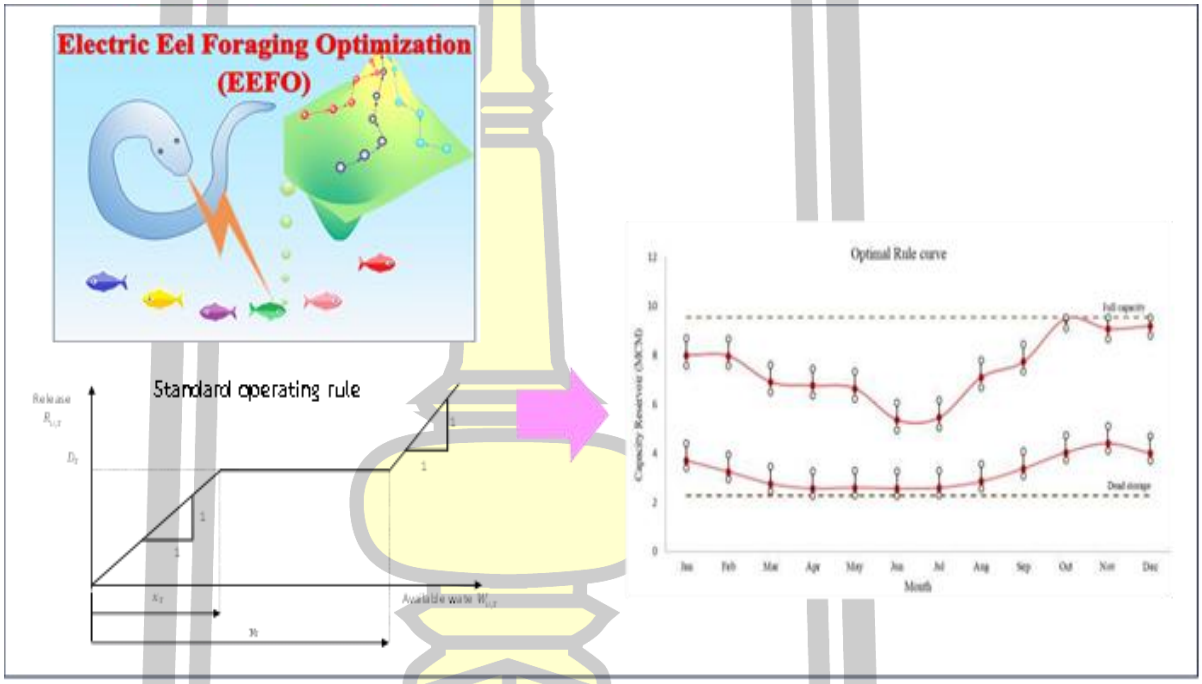
ชนิดข้อมูล	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ชลประทาน (irr)	11.27	6.89	0.45	2.01	0.62	3.19	8.77	6.09	4.99	1.84	4.23	13.24
อุปโภค-บริโภค (ws)	2.3339	2.1081	2.3339	2.2586	2.3339	2.2586	2.3339	2.3339	2.2586	2.3339	2.2586	2.3339
อุตสาหกรรม (idd)	0.1218	0.1100	0.1218	0.1179	0.1218	0.1179	0.1218	0.1218	0.1179	0.1218	0.1179	0.1218



ภาพประกอบ 39 กราฟข้อมูลความต้องการใช้น้ำในเขตอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี
(ที่มา: โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษากุมภวาปี)

3.2 การหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมโดยใช้เทคนิค Electric Eel Foraging Optimization (EEFO)

ในการศึกษานี้ ได้พัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้ในการคำนวณหา Rule Curve ที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี สำหรับเป็นเกณฑ์ในการปล่อยน้ำเพื่อความต้องการน้ำด้านต่างๆ ท้ายอ่างเก็บน้ำ ซึ่งภายในโปรแกรมจะประกอบไปด้วยแบบจำลองสภาพอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Simulation Mode) จำลองสภาพน้ำโดยอาศัยหลักสมดุลน้ำในการหา Rule Curve ที่เหมาะสม โดยใช้วิธี Electric Eel Foraging Optimization (EEFO) ในการหา Rule Curve ที่เหมาะสม เปรียบเทียบกับเทคนิค Genetic Algorithm (GA) ภาพประกอบ 40



ภาพประกอบ 40 การประยุกต์ใช้เทคนิค Electric Eel Foraging Optimization (EEFO) เพื่อปรับปรุงโค้งควบคุม

ในการหา Rule Curve ที่เหมาะสมด้วยวิธี Electric Eel Foraging Optimization (EEFO) แบ่งเป็นขั้นตอนได้ ดังนี้

1. กำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ช่วงขอบเขตของ Upper Rule Curve และ Lower Rule Curve เป็นประชากรเริ่มต้น (Initial Population) ที่ต้องการให้ EEFO ค้นหาค่าที่เหมาะสม

2. กำหนด Objective Function ในการหา Rule Curve ที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำสำหรับการศึกษานี้ ได้ใช้การคำนวณหาค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด และค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด เป็นฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการศึกษา โดยพิจารณาความต้องการน้ำท้ายอ่างเก็บน้ำ

3. กำหนดตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables) ในการศึกษานี้ ตัวแปรตัดสินใจก็คือระดับควบคุมตอนบน (Upper Rule Surface) หรือปริมาตรวิกฤติสูงสุด (Volume Upper Critical, Vuc) และระดับควบคุมตอนล่าง (Lower Rule Surface) หรือปริมาตรวิกฤติต่ำสุด (Volume Lower Critical, Vlc) โดยประยุกต์ใช้ EEFO สุ่ม Rule Curve ขึ้นมาหลายชุด จับมาค้นหาคำตอบ แล้วทำการจำลองสภาพอ่าง Rule Curve ที่เหมาะสมก็คือ Rule Curve ที่พิจารณาวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดค่าที่เหมาะสมที่สุดตามวัตถุประสงค์

4. ค้นหาคำตอบด้วยวิธี Electric Eel Foraging Optimization (EEFO) โดยจะทำการค้นหา Particle ที่ดีที่สุดโดยคำนึงถึง Objective function

5. ขั้นตอนการจำลองสภาพอ่าง (Reservoir Simulation) จะดำเนินการจำลองเป็นรายเดือน โดย 1 ปี มี 12 เดือนโดยเริ่มจำลองสภาพตั้งแต่เดือนมกราคมปี พ.ศ.2549 ไปจนถึงเดือนธันวาคมปี พ.ศ.2565 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีการจัดการอ่างเก็บน้ำ การจำลองสภาพจะใช้ค่า Rule Curve ที่ได้จากการสุ่มในแต่ละ Population ทำการจำลองการปล่อยน้ำตามสมการ แล้วคำนวณค่าต่างๆ ได้แก่ ปริมาตรอ่างในแต่ละเดือน ปริมาณการไหลล้น (Spillage) การขาดแคลนน้ำ (Shortage) แล้วนำค่าที่ได้ไปรวมในฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective Function) เป็นค่าความเหมาะสม (Fitness Value)

6. พิจารณาความเหมาะสมตามตัวแปรตัดสินใจที่ต้องการกลับไปทำซ้ำในขั้นตอนที่ 1 หรือ ขั้นตอนที่ 4 ใหม่จนกว่าจะได้ค่าที่เหมาะสม

7. ได้โค้งควบคุมสำหรับอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม

8. จบการทำงาน

3.2.1. ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์สำหรับการประเมินคำตอบ

ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดของระดับโค้งควบคุมเส้นบนและระดับโค้งควบคุมเส้นล่าง นั้น ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์เป็นฟังก์ชั่นประเมินคำตอบ ในการประเมินว่าคำตอบดีที่สร้างขึ้นมาใหม่ดีหรือไม่ดีนั้นจะวัดจากความต้องการสำหรับกิจกรรมการใช้น้ำ โดยจะต้องพยายามใช้น้ำต้นทุนที่มีอยู่ ให้เกิด

ประสิทธิภาพที่สูงสุด โดยพยายามใช้น้ำต้นทุนนั้น ให้สอดคล้องกับความต้องการใช้น้ำ ในขณะที่ไม่ทำให้น้ำเกิดการขาดแคลน จากนั้นนำค่าเหล่านี้ไปใช้เป็นค่าของโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำในแบบจำลองการศึกษาเลียนแบบ แล้วคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องปล่อยในแต่ละเดือนภายใต้โค้งควบคุมชุดนี้ เพื่อนำไปประเมินสถานการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้น ซึ่งนำไปใช้ในฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหาคำตอบการศึกษาครั้งนี้มีอยู่ 4 ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์

คือ

1. ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด
2. ค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด
3. ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด
4. ค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด

เป็นฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหาคำตอบ ซึ่งแสดงดังสมการที่ 3.1 และ 3.2

$$Aver = \frac{1}{n}\sum_{\upsilon=1}^{n} Sh_{\upsilon} \tag{3.1}$$

เมื่อ n = ความยาวของชุดข้อมูลปริมาณน้ำท่า (ปี)

$Sh\upsilon$ = ปริมาณน้ำที่ขาดแคลนในปีที่ ν

$$Fre = \frac{1}{n}\sum_{\upsilon=1}^{n} p_{\upsilon} \tag{3.2}$$

เมื่อ $p\nu$ = 1 สำหรับปีที่เกิดเหตุการณ์น้ำขาดแคลน

= 0 สำหรับปีที่ไม่เกิดเหตุการณ์น้ำขาดแคลน

3.2.2 การประยุกต์ EEFO เพื่อค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ

3.2.2.1 การค้นหาโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำการจัดทำโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมที่สุด ด้วยวิธีการสร้างแบบจำลองการเลียนแบบสถานการณ์ เชื่อมต่อกับการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดด้วย วิธี Electric Eel Foraging Optimization (EEFO) โดยประยุกต์การปล่อยน้ำด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ SOP ร่วมกับฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ในการหาคำตอบคือ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้อยที่สุด และ

ค่าความถี่ของการไหลล้นน้อยที่สุด และนำข้อมูลสถานการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือน ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา ความต้องการใช้น้ำในกิจกรรมต่างๆ นำมาสร้างโค้งควบคุมที่มีความเหมาะสม ตามสถานการณ์นั้น ดังนั้นเพื่อให้โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำสามารถใช้งานได้อย่างเหมาะสม ครอบคลุมทุกสถานการณ์ ทุกช่วงเวลา นำข้อมูลเหล่านั้นมาคำนวณปริมาตรเก็บกักและปริมาณน้ำที่สามารถปล่อยได้ ในแบบจำลองอ่างเก็บน้ำ โดยการทำงานหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำด้วยวิธี EEFO มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

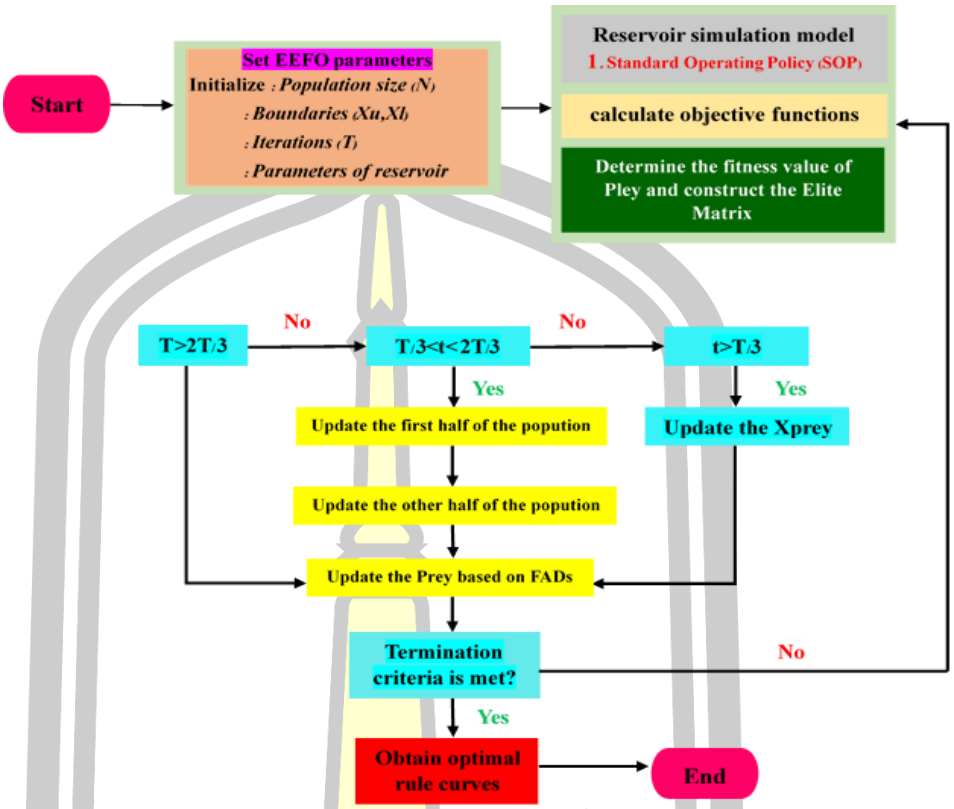
1) เริ่มต้นด้วยการนำเข้าข้อมูลและตั้งค่าพารามิเตอร์ EEFO เช่น จำนวนประชากร (N) ขอบเขต (Xu, Xl) และจำนวนรอบการคำนวณ (T) จำนวนประชากรทั้งหมดจะมีส่วนร่วมในการปรับฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ในพื้นที่ค้นหาให้เหมาะสม

2) ตัวแปรการตัดสินใจแต่ละรายการแสดงเส้นโค้งกฎรายเดือนของแหล่งกักเก็บ ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นโค้งควบคุมเส้นบน และโค้งควบคุมเส้นล่าง หลังจากคำนวณค่าคำตอบแรกของ Prey Matrix ในประชากรเริ่มต้นแล้ว (ตัวแปรการตัดสินใจ 24 ตัวที่ประกอบด้วย 12 ค่าจากโค้งควบคุมเส้นบน และ 12 ค่าจากโค้งควบคุมเส้นล่าง) การปล่อยน้ำรายเดือนจะถูกคำนวณในแบบจำลองอ่างเก็บน้ำโดยใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำ SOP เพื่อค้นหาเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสม

3) จากนั้นค้นหาและประเมินเส้นโค้งควบคุมด้วยฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ หลังจากนั้นฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์จะถูกใช้เพื่อกำหนดค่าความเหมาะสมของ Pray Matrix แล้วสร้าง Elite Matrix

4) พารามิเตอร์เส้นโค้งควบคุมเหล่านี้ ได้รับการประเมินภายใต้สามขั้นตอนของ EEFO เพื่อค้นหาค่าคำตอบที่เหมาะสม ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด โดยทำซ้ำจนกว่าจะตรงตามเงื่อนไขเกณฑ์การหยุดและได้รับค่า 24 ค่าที่เหมาะสมที่สุดของเส้นโค้งโค้งควบคุม ดังแสดงในภาพประกอบ 41

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 41 แผนผังการทำงานหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมด้วยวิธี EEFO

3.2.3 จัดทำโค้งควบคุม

การจัดทำโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิคการค้นหาด้วยวิธี Electric Eel Foraging Optimization (EEFO) และวิธีเชิงพันธุกรรม Genetic Algorithm (GA) โดยมีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ในการค้นหาคำตอบคือ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้อยที่สุด และค่าความถี่ของการไหลล้นน้อยที่สุด โดยใช้ข้อมูลจากปริมาณน้ำท่ารายเดือนข้อมูลความต้องการใช้น้ำในกิจกรรมต่างๆ ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันและข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆ ดังนี้

1. เตรียมข้อมูลทางอุทกวิทยา ระหว่าง พ.ศ. 2549-2565 เป็นข้อมูลรายเดือนเพื่อใช้ สำหรับการสร้างโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ ได้แก่ ปริมาณน้ำท่า ปริมาณฝนเฉลี่ย ปริมาณฝนใช้การรายเดือน และปริมาณการระเหยรายเดือน

2. จัดเตรียมข้อมูลความต้องการใช้น้ำด้านท้ายน้ำ คือ ความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรกรรม ความต้องการน้ำเพื่ออุปโภค-บริโภค ซึ่งได้จากข้อมูลของโครงการ

3. สร้างโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ โดยการใช้เทคนิคหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธี Electric Eel Foraging Optimization (EEFO) และวิธีเชิงพันธุกรรม Genetic Algorithm (GA) โดยการกำหนดฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์คือ มีปริมาณค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด และค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด ด้วยการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Standard Operating rule

3.2.4 การตรวจสอบโค้งควบคุมและประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุม

เป็นการตรวจสอบว่าโค้งควบคุมที่เราสร้างขึ้นนั้นสามารถนำมาใช้ได้กับเหตุการณ์ต่างๆ จากข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในอดีตและข้อมูลน้ำท่าที่สังเคราะห์ขึ้น เพื่อประเมินว่าโค้งควบคุมที่ได้มีความสอดคล้องกับเหตุการณ์ต่างๆ ตลอดช่วงที่พิจารณาหรือไม่ คือมีช่วงของการขาดแคลนน้ำในช่วงฤดูแล้งและช่วงของการไหลล้นในช่วงอุทกภัยมากน้อยเพียงใด สามารถทำได้โดยการใช้ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนในอดีตซึ่งมีข้อมูลอยู่ในช่วง พ.ศ. 2549 - 2565 โดยประเมินความถี่ของการเกิดการไหลล้น หรือการขาดแคลน ค่าเฉลี่ย ค่ามากสุดของปริมาณและช่วงเวลาที่เกิด โดยแยกพิจารณาดังนี้

1. การนำโค้งควบคุมที่ได้มาทดสอบกับข้อมูลน้ำท่าในอดีตในช่วง พ.ศ. 2549-2565 ด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Standard Operating Rule

2. การนำโค้งควบคุมที่ได้มาทดสอบกับข้อมูลน้ำท่าอดีตรายเดือนสังเคราะห์จำนวน 1,000 ชุดเหตุการณ์

3. เปรียบเทียบประสิทธิภาพโค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิคการค้นหาด้วย Electric Eel Foraging Optimization (EEFO) กับโค้งควบคุมที่ใช้งานในปัจจุบัน และโค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิควิธีเชิง พันธุกรรม Genetic Algorithm (GA) โดยการเปรียบเทียบจากการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง 6 การหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี และการประเมินประสิทธิภาพในแต่ละกรณี

โค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี			**การประเมินประสิทธิภาพ**		
โค้งควบคุมที่ได้	**ข้อมูลอดีต (น้ำท่าอดีต)**	**ข้อมูลอนาคต (น้ำท่าอนาคต)**	**ข้อมูลอดีต (น้ำท่าอดีต)**	**ข้อมูลอนาคต (น้ำท่าอนาคต)**	**ข้อมูลสังเคราะห์ (น้ำท่าอดีต)**
RC-Existing	17 ปี	-	17 ปี	-	1,000 ชุด
RC1-Avs-Shortage	17 ปี	-	17 ปี	-	1,000 ชุด
RC2-Fqs-Shortage	17 ปี	-	17 ปี	-	1,000 ชุด
RC3-Exr-Excess	17 ปี	-	17 ปี	-	1,000 ชุด
RC4-Fqex-Excess	17 ปี	-	17 ปี	-	1,000 ชุด

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

บทที่ 4
ผลการศึกษา

บทนี้ เป็นการอธิบายถึงผลการวิจัยและการอภิปราย ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ต่อเนื่อง จึงอธิบายถึงผลการวิจัยและการอภิปรายดังหัวข้อต่อไปนี้

1. ผลการค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ

โดยผลของการค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุดของอ่างเก็บน้ำจะแยกแสดงตามฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหา คือ

- ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด (The minimal water shortage; Avs-Shortage)
- ค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด (The minimal frequency of water shortage; Fqs-Shortage)
- ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด (The minimal average excess water; Exr-Excess)
- ค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด (The minimal frequency of excess water; Fqex-Excess)

2. ผลการประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ

ในการปรับปรุงโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ โดยการนำโค้งควบคุมที่ได้ไปประเมินในแบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Simulation Model) ซึ่งจะแยกพิจารณาเป็น 2 กรณี คือ กรณีใช้น้ำท่าอดีต และกรณีใช้น้ำท่าสังเคราะห์ จำนวน 1,000 ชุดเหตุการณ์ จากข้อมูลในอดีต

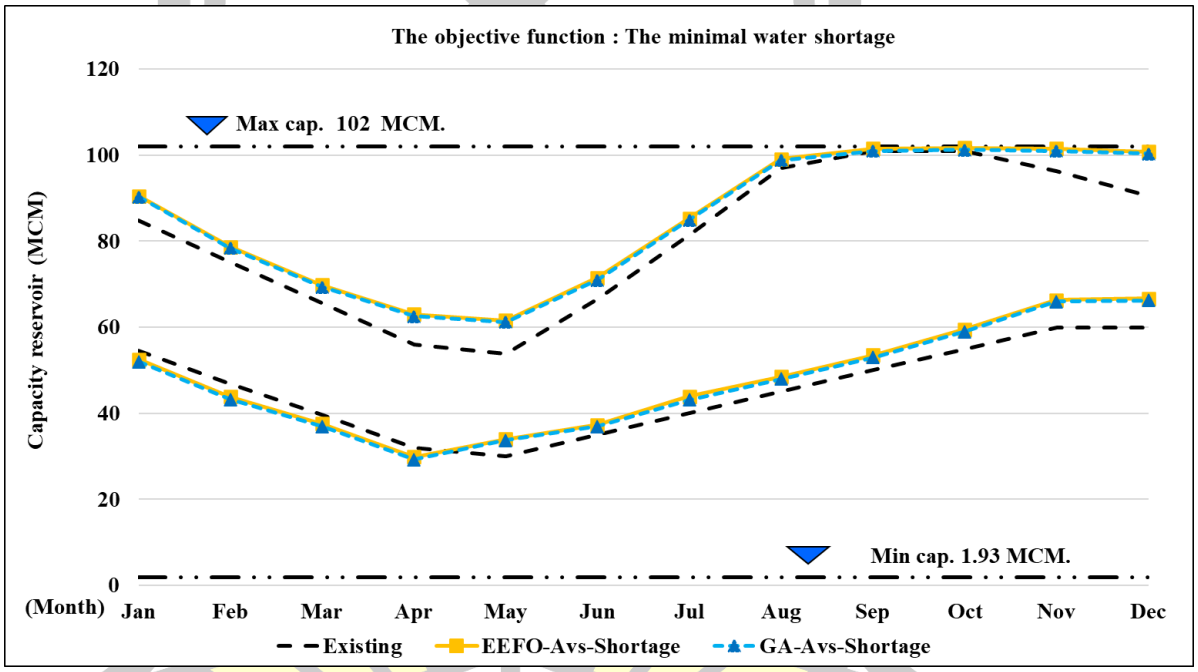
รายละเอียดของทั้งสองหัวข้อข้างต้นจะได้นำเสนอดังต่อไปนี้

4.1 ผลการสร้างโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุดของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี

ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธี EEFO สำหรับการปรับปรุงโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปีในครั้งนี้ มีข้อมูลย้อนหลังจากการบันทึก 17 ปี ตั้งแต่ปี 2549-2565 สำหรับอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี ประกอบไปด้วยปริมาณน้ำต้นทุนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ปริมาณความต้องการน้ำรายเดือนแต่ละกิจกรรมการใช้น้ำรายปี อัตราการระเหยเฉลี่ยราย

เดือน ข้อมูลโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูง-พื้นที่ผิวน้ำ-ปริมาตรความจุของอ่างเก็บน้ำ ข้อมูลปริมาตรต่ำสุด-สูงสุดของระดับน้ำเก็บกัก นำเข้าสู่แบบจำลองการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ได้ประยุกต์ขึ้น โดยแบบจำลองจะดำเนินการภายใต้ การกำหนดเกณฑ์การปล่อยน้ำและเกณฑ์การเก็บกักน้ำตามเงื่อนไขต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง จัดทำโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมสำหรับอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี

4.1.1 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี จากการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Standard Operating rule ด้วยเทคนิค EEFO เปรียบเทียบกับ GA กรณีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ดังแสดงในภาพประกอบ 42

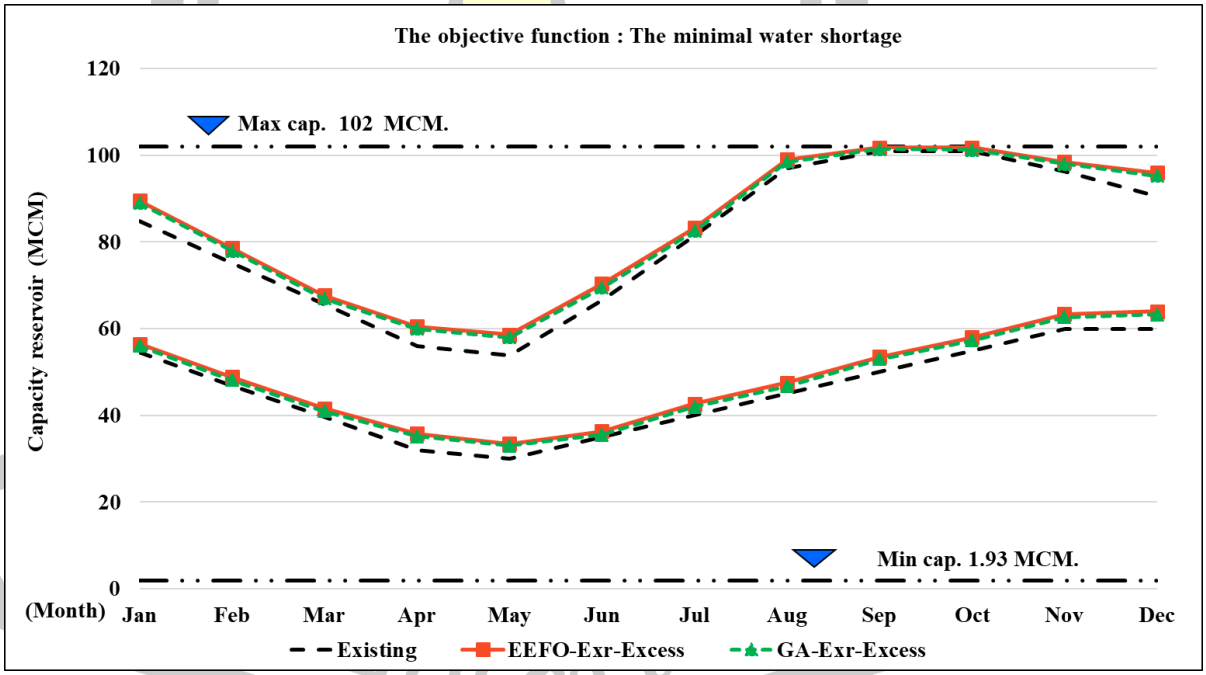


ภาพประกอบ 42 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี จากเทคนิค EEFO และ GA ด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Standard Operating rule

จากภาพประกอบ 42 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี จากการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Standard Operating rule ด้วยเทคนิค EEFO เปรียบเทียบกับ GA ของการขาดแคลน กรณีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์การค้นหาคือ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด จากน้ำท่าอดีต 17 ปี (พ.ศ.2549-2565) พบว่า ลักษณะเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ

หนองหาน-กุมภวาปี จากเทคนิค EEFO และ GA มีลักษณะรูปร่างคล้ายคลึงกัน เนื่องจากใช้เงื่อนไขการค้นหาเดียวกัน นอกจากนี้ ลักษณะเส้นโค้งควบคุมเส้นบนจากเทคนิค EEFO และ GA สูงกว่าเส้นโค้งควบคุมเดิม (Existing) เพื่อรักษาปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำไว้เพื่อป้องกันความเสี่ยงที่จะเกิดการขาดแคลนน้ำในช่วงฤดูแล้งถัดไป ทั้งนี้ ยังช่วยลดปริมาณน้ำไหลล้น เนื่องจากมีปริมาตรของพื้นที่ของอ่างเก็บน้ำเหลือพอที่จะรองรับน้ำหลากได้ ส่วนโค้งควบคุมเส้นล่างยกสูงขึ้นกว่าเส้นโค้งควบคุมเดิม (Existing) แสดงให้เห็นถึงในช่วงต้นฤดูแล้งตั้งแต่เดือนมกราคม-เมษายนของโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ ซึ่งจะช่วยลดการปล่อยน้ำลงเพื่อลดการขาดแคลนน้ำเพื่อกักเก็บน้ำไว้ใช้ในฤดูการเพาะปลูกถัดไป หลังจากนั้นเส้นกราฟจะยกสูงขึ้นเพื่อเตรียมปล่อยน้ำตามความต้องการท้ายอ่างเพื่อเพิ่มการชลประทาน และช่วยทำให้อ่างเก็บน้ำมีปริมาตรที่จะสามารถรองรับน้ำที่จะมาในฤดูการถัดไปได้

4.1.2 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี จากการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Standard Operating rule ด้วยเทคนิค EEFO เปรียบเทียบกับ GA กรณีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด ดังแสดงในภาพประกอบ 43



ภาพประกอบ 43 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี จากเทคนิค EEFO และ GA ด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Standard Operating rule

จากภาพประกอบ 43 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี จากการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Standard Operating rule ด้วยเทคนิค EEFO เปรียบเทียบกับ GA ของการไหลล้น กรณีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์การค้นหาคือ ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด จากน้ำท่าอดีต 17 ปี (พ.ศ.2549-2565) พบว่า ลักษณะเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี จากเทคนิค EEFO และ GA มีลักษณะรูปร่างคล้ายคลึงกัน เนื่องจากใช้เงื่อนไขการค้นหาเดียวกัน นอกจากนี้ ลักษณะเส้นโค้งควบคุมเส้นบนจากเทคนิค EEFO และ GA (SOP-EEFO และ SOP-GA ตามลำดับ) สูงกว่าเส้นโค้งควบคุมเดิม (Existing) กล่าวคือ จะเห็นได้ว่ามีความต้องการเพิ่มปริมาตรเก็บกักน้ำเพื่อให้มีน้ำสำรองในฤดูการเพาะปลูกพืชฤดูแล้งและสามารถบรรเทาความเสี่ยงการขาดแคลนน้ำในฤดูการเพาะปลูกถัดไป ทั้งนี้ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บกักน้ำจากปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูฝน สามารถรองรับปริมาณน้ำหลากได้ดีขึ้นเพื่อลดการไหลล้นของน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ และลดปริมาณการปล่อยน้ำซึ่งจะช่วยทำให้พื้นที่ท้ายน้ำลดความเสี่ยงที่จะเกิดภัยน้ำท่วม ส่วนโค้งควบคุมใหม่เส้นล่างเมื่อเทียบกับโค้งควบคุมเดิมจะสูงกว่าโค้งควบคุมเดิมซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่การเก็บกักในช่วงฤดูฝนทำให้มีน้ำไว้ใช้ในฤดูแล้งเพิ่มขึ้น ทำให้ตอบสนองความต้องการใช้น้ำในเขตพื้นที่ชลประทานมากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง และทำให้โอกาสที่จะปล่อยน้ำตามความต้องการใช้น้ำอย่างมีเป้าหมายมากขึ้น

4.1.3 โค้งควบคุมที่เหมาะสมอ่างเก็บน้ำโดยใช้น้ำท่าในช่วงเวลาอดีตของอ่างเก็บน้ำ 17 ปี (พ.ศ.2549-2565) จากการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Standard Operating rule ด้วยเทคนิค EEFO ดังแสดงในภาพประกอบ 44-47 ตามกรณีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์การค้นหาดังต่อไปนี้

4.1.3.1 กรณีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหาค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด

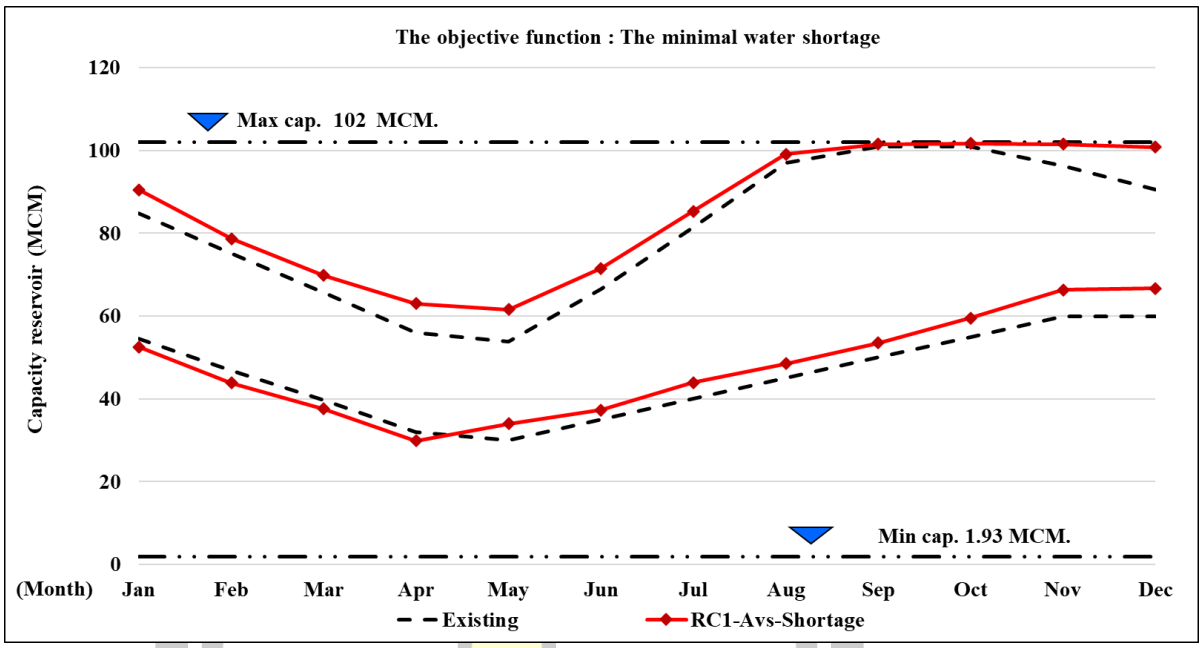
การศึกษาแบบจำลองการจัดการน้ำได้นำวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยการค้นหาแบบ EEFO มาพัฒนาเพื่อค้นหาโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม ซึ่งใช้ข้อมูลย้อนหลังจากการบันทึกโดยกำหนดขอบเขตการค้นหาในช่วงที่สูงกว่าเส้นโค้งควบคุมเดิม และต่ำกว่าเส้นโค้งควบคุมเดิม มีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหาเป็นค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด โดยแบบจำลองได้โค้งควบคุมใหม่นำมาเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิม ดังแสดงในภาพประกอบ 4.3 จากภาพประกอบจะเห็นได้ว่า โค้งควบคุมใหม่ตามฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด (RC1-Avs-Shortage) มีลักษณะทิศทางสอดคล้องกันกับโค้งควบคุมเดิม (RC-Existing) กล่าวคือ โค้งควบคุมใหม่เส้นบนเมื่อเทียบกับโค้งควบคุมเดิมจะสูงกว่าโค้งควบคุมเดิม จะเห็นได้ว่ามีความต้องการเพิ่มปริมาตรเก็บกักน้ำเพื่อให้มีน้ำสำรองในฤดูการเพาะปลูกพืชฤดูแล้งและสามารถบรรเทาความเสี่ยงการขาดแคลนน้ำในฤดูการเพาะปลูกถัดไป ทั้งนี้ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บกักน้ำจากปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูฝน สามารถรองรับปริมาณน้ำหลากได้ดี

ขึ้นเพื่อลดการไหลล้นของน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ และลดปริมาณการปล่อยน้ำซึ่งจะช่วยทำให้พื้นที่ท้ายน้ำลดความเสี่ยงที่จะเกิดภัยน้ำท่วม ส่วนโค้งควบคุมใหม่เส้นล่างจะต่ำกว่าโค้งควบคุมเดิม แสดงให้เห็นถึงในช่วงฤดูแล้งตั้งแต่เดือนมกราคม-เมษายน อธิบายได้ว่าอ่างเก็บน้ำสามารถเพิ่มปริมาณการปล่อยน้ำได้มากกว่าเกณฑ์เดิม ซึ่งจะช่วยทำให้เพิ่มโอกาสที่ปริมาณน้ำจะมีความเพียงพอต่อความต้องการมากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง บางช่วงที่โค้งควบคุมใหม่เส้นล่างสูงกว่าโค้งควบคุมเส้นเดิม เพื่อลดปริมาณการปล่อยน้ำในฤดูเพาะปลูกขึ้นในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่การเก็บกักในช่วงฤดูฝนทำให้มีน้ำไว้ใช้ในฤดูแล้งเพิ่มขึ้น ทำให้ตอบสนองความต้องการใช้น้ำในเขตพื้นที่ชลประทานมากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง และทำให้โอกาสที่จะปล่อยน้ำตามความต้องการใช้น้ำอย่างมีเป้าหมายมากขึ้น

ตาราง 7 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี และโค้งควบคุมเดิมกรณีใช้ฟังก์ชั่นค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด

โค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี (Existing)												
เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
URL	84.82	75.21	65.60	55.98	53.90	66.50	81.50	97.00	101.00	101.00	96.27	90.55
LRC	54.55	46.86	39.67	31.98	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	60.00
โค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำที่ประยุกต์ใช้ด้วยเทคนิค Electric Eel Foraging Optimization (EEFO) (Avs-Shortage)												
URL	90.50	78.70	69.80	63.00	61.60	71.50	85.30	99.10	101.50	101.75	101.55	100.85
LRC	52.50	43.85	37.60	29.90	34.00	37.30	43.90	48.55	53.55	59.50	66.35	66.70
หมายเหตุ หน่วย : ล้าน ลบ.ม.												

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 44 ลักษณะเส้นโค้งควบคุมเดิมและลักษณะเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี กรณีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหาเป็นค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด

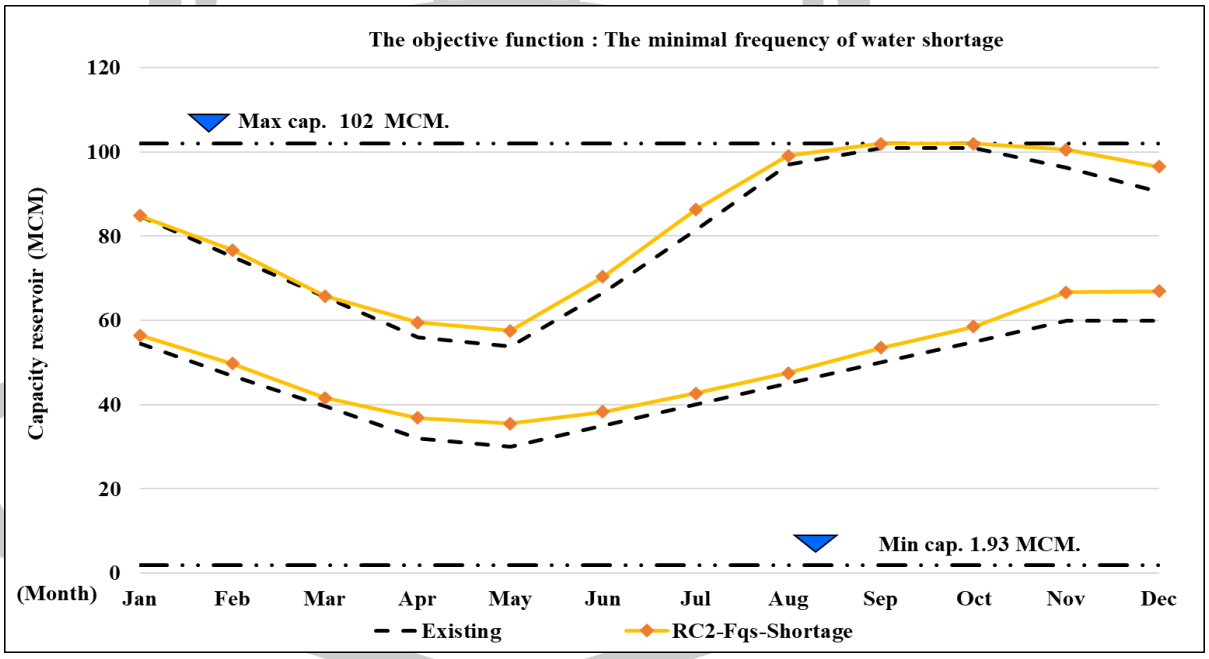
4.1.3.2 กรณีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหาค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด

ใช้เกณฑ์การหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยการค้นหาแบบ EEFO โดยเปลี่ยนฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหาเป็นค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดมาทำการพัฒนาเพื่อค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม โดยแบบจำลองได้โค้งควบคุมใหม่นำมาเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิม ดังแสดงในภาพประกอบ 4.4 จากภาพประกอบจะเห็นได้ว่า โค้งควบคุมใหม่ตามฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด (RC2-Fqs-Shortage) มีลักษณะทิศทางสอดคล้องกันกับโค้งควบคุมเดิม (RC-Existing) กล่าวคือ โค้งควบคุมใหม่เส้นบนเมื่อเทียบกับโค้งควบคุมเดิม จะเห็นได้ว่าในช่วงเดือนเมษายน-ธันวาคม มีความต้องการเพิ่มปริมาตรเก็บกักน้ำเพื่อให้มีน้ำสำรองในฤดูการเพาะปลูกพืชฤดูแล้งและสามารถบรรเทาความเสี่ยงการขาดแคลนน้ำในฤดูการเพาะปลูกถัดไป ทั้งนี้ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บกักน้ำจากปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูฝน สามารถรองรับปริมาณน้ำหลากได้ดีขึ้นเพื่อลดการไหลล้นของน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ และลดปริมาณการปล่อยน้ำซึ่งจะช่วยทำให้พื้นที่ท้ายน้ำลดความเสี่ยงที่จะเกิดภัยน้ำท่วม เพื่อลดปริมาณการปล่อยน้ำในฤดูเพาะปลูกขึ้นในช่วงฤดูแล้ง ส่วนโค้งควบคุมใหม่เส้นล่างเมื่อเทียบกับ

โค้งควบคุมเดิมจะสูงกว่าโค้งควบคุมเดิมซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่การเก็บกักในช่วงฤดูฝนทำให้มีน้ำไว้ใช้ในฤดูแล้งเพิ่มขึ้น ทำให้ตอบสนองความต้องการใช้น้ำในเขตพื้นที่ชลประทานมากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง และทำให้โอกาสที่จะปล่อยน้ำตามความต้องการใช้น้ำอย่างมีเป้าหมายมากขึ้น

ตาราง 8 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี และโค้งควบคุมเดิมกรณีใช้ฟังก์ชั่นค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด

โค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี (Existing)												
เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
URL	84.82	75.21	65.60	55.98	53.90	66.50	81.50	97.00	101.00	101.00	96.27	90.55
LRC	54.55	46.86	39.67	31.98	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	60.00
โค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำที่ประยุกต์ใช้ด้วยเทคนิค Electric Eel Foraging Optimization (EEFO) (Fqs-Shortage)												
URL	84.85	76.70	65.80	59.50	57.60	70.40	86.30	99.10	101.95	101.95	100.55	96.50
LRC	56.50	49.80	41.60	36.85	35.50	38.30	42.70	47.50	53.55	58.50	66.70	67.00
หมายเหตุ หน่วย : ล้าน ลบ.ม.												



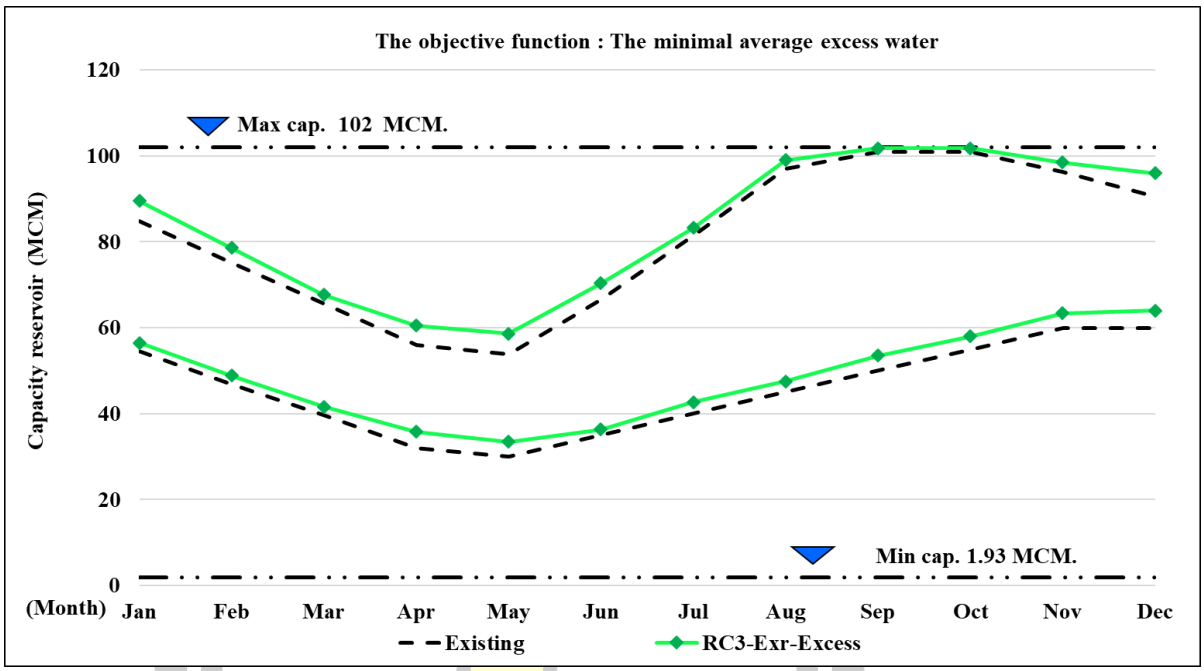
ภาพประกอบ 45 ลักษณะเส้นโค้งควบคุมเดิมและลักษณะเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี กรณีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหาเป็นค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด

4.1.3.3 กรณีใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหาเป็นค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด

ใช้เกณฑ์การหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยการค้นหาแบบ EEFO โดยเปลี่ยนฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหาเป็นค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุดมาทำการพัฒนาเพื่อค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม โดยแบบจำลองได้โค้งควบคุมใหม่นำมาเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิม ดังแสดงในภาพประกอบ 4.5 จากภาพประกอบจะเห็นได้ว่า โค้งควบคุมใหม่ตามฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด (RC3-Exr-Excess) มีลักษณะทิศทางสอดคล้องกันกับโค้งควบคุมเดิม (RC-Existing) กล่าวคือ โค้งควบคุมใหม่เส้นบนเมื่อเทียบกับโค้งควบคุมเดิมจะสูงกว่าโค้งควบคุมเดิม จะเห็นได้ว่ามีความต้องการเพิ่มปริมาตรเก็บกักน้ำเพื่อให้มีน้ำสำรองในฤดูการเพาะปลูกพืชฤดูแล้งและสามารถบรรเทาความเสี่ยงการขาดแคลนน้ำในฤดูการเพาะปลูกถัดไป ทั้งนี้ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บกักน้ำจากปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูฝน สามารถรองรับปริมาณน้ำหลากได้ดีขึ้นเพื่อลดการไหลล้นของน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ และลดปริมาณการปล่อยน้ำซึ่งจะช่วยทำให้พื้นที่ท้ายน้ำลดความเสี่ยงที่จะเกิดภัยน้ำท่วม ส่วนโค้งควบคุมใหม่เส้นล่างเมื่อเทียบกับโค้งควบคุมเดิมจะสูงกว่าโค้งควบคุมเดิมซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่การเก็บกักในช่วงฤดูฝน ทำให้มีน้ำไว้ใช้ในฤดูแล้งเพิ่มขึ้น ทำให้ตอบสนองความต้องการใช้น้ำในเขตพื้นที่ชลประทานมากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง และทำให้โอกาสที่จะปล่อยน้ำตามความต้องการใช้น้ำอย่างมีเป้าหมายมากขึ้น

ตาราง 9 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี และโค้งควบคุมเดิมกรณีใช้ฟังก์ชั่นค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด

โค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี (Existing)												
เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
URL	84.82	75.21	65.60	55.98	53.90	66.50	81.50	97.00	101.00	101.00	96.27	90.55
LRC	54.55	46.86	39.67	31.98	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	60.00
โค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำที่ประยุกต์ใช้ด้วยเทคนิค Electric Eel Foraging Optimization (EEFO) (Exr-Excess)												
URL	89.50	78.60	67.70	60.50	58.60	70.40	83.30	99.00	101.80	101.80	98.50	96.00
LRC	56.50	48.85	41.60	35.80	33.50	36.30	42.70	47.50	53.55	58.00	63.35	64.00
หมายเหตุ หน่วย : ล้าน ลบ.ม.												



ภาพประกอบ 46 ลักษณะเส้นโค้งควบคุมเดิมและลักษณะเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี กรณีใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหาเป็นค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด

4.1.3.4 กรณีใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหาเป็นค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด

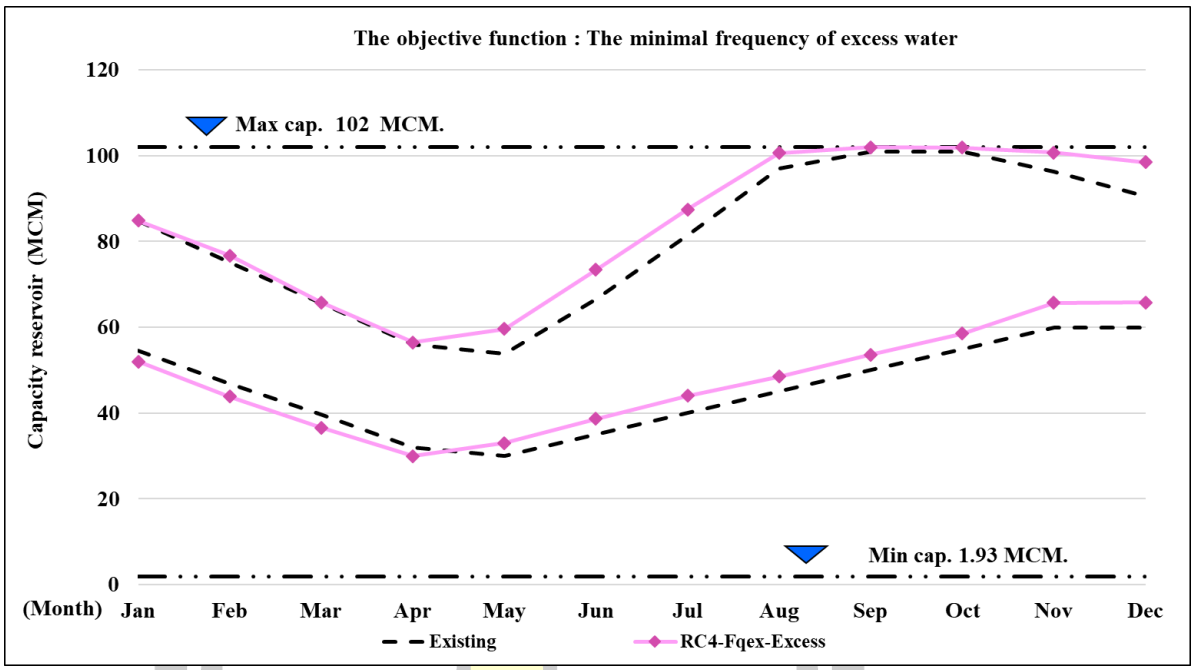
ใช้เกณฑ์การหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยการค้นหาแบบ EEFO โดยเปลี่ยนฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหาเป็นค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุดมาทำการพัฒนาเพื่อค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม โดยแบบจำลองได้โค้งควบคุมใหม่นำมาเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิม ดังแสดงในภาพประกอบ 4.6 จากภาพประกอบจะเห็นได้ว่า โค้งควบคุมใหม่ตามฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด (RC4-Fre-Excess) มีลักษณะทิศทางสอดคล้องกันกับโค้งควบคุมเดิม (RC-Existing) กล่าวคือ โค้งควบคุมใหม่เส้นบนเมื่อเทียบกับโค้งควบคุมเดิม จะเห็นได้ว่าในช่วงเดือนพฤษภาคม-ธันวาคม มีความต้องการเพิ่มปริมาตรเก็บกักน้ำเพื่อให้มีน้ำสำรองในฤดูการเพาะปลูกพืชฤดูแล้งและสามารถบรรเทาความเสี่ยงการขาดแคลนน้ำในฤดูการเพาะปลูกถัดไป ทั้งนี้ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บกักน้ำจากปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูฝน สามารถรองรับปริมาณน้ำหลากได้ดีขึ้นเพื่อลดการไหลล้นของน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ และลดปริมาณการปล่อยน้ำซึ่งจะช่วยทำให้พื้นที่ท้ายน้ำลดความเสี่ยงที่จะเกิดภัยน้ำท่วม เพื่อลดปริมาณการ

ปล่อยน้ำในฤดูเพาะปลูกขึ้นในช่วงฤดูแล้ง ส่วนโค้งควบคุมใหม่เส้นล่างจะต่ำกว่าโค้งควบคุมเดิม แสดงให้เห็นถึงในช่วงฤดูแล้งตั้งแต่เดือนมกราคม-เมษายน อธิบายได้ว่าอ่างเก็บน้ำสามารถเพิ่มปริมาณการปล่อยน้ำได้มากกว่าเกณฑ์เดิม ซึ่งจะช่วยทำให้เพิ่มโอกาสที่ปริมาณน้ำจะมีความเพียงพอต่อความต้องการมากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง บางช่วงที่โค้งควบคุมใหม่เส้นล่างสูงกว่าโค้งควบคุมเส้นเดิม เพื่อลดปริมาณการปล่อยน้ำในฤดูเพาะปลูกขึ้นในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่การเก็บกักในช่วงฤดูฝนทำให้มีน้ำไว้ใช้ในฤดูแล้งเพิ่มขึ้น ทำให้ตอบสนองความต้องการใช้น้ำในเขตพื้นที่ชลประทานมากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง และทำให้โอกาสที่จะปล่อยน้ำตามความต้องการใช้น้ำอย่างมีเป้าหมายมากขึ้น

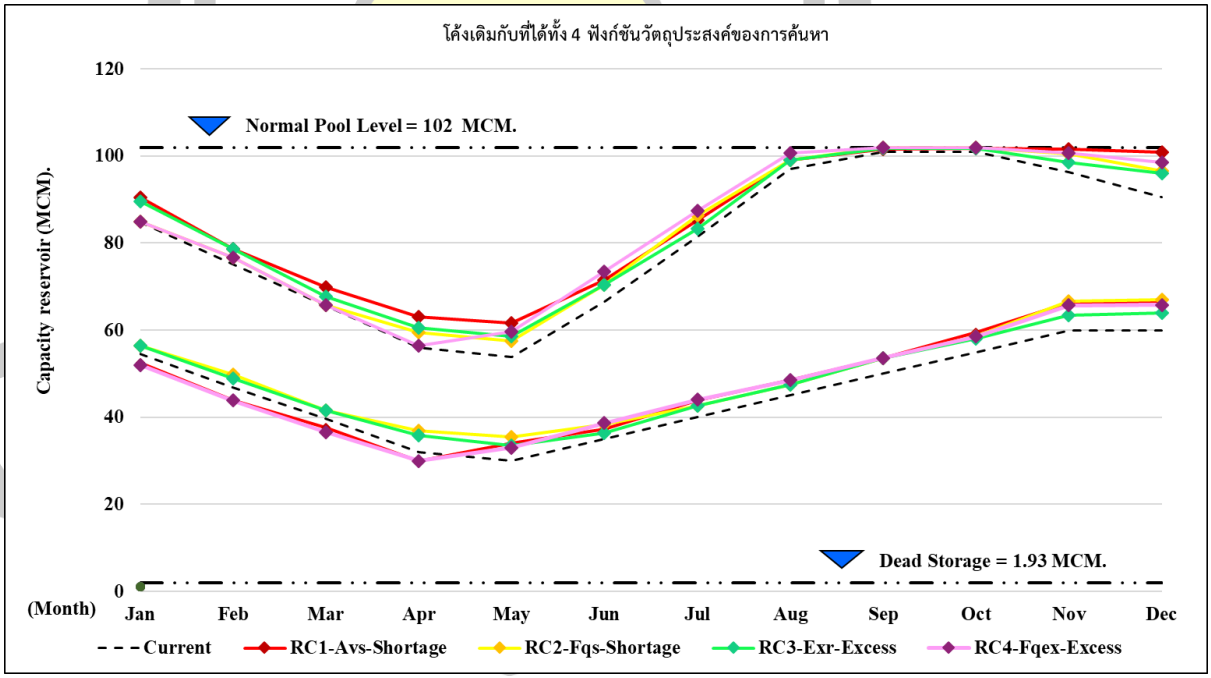
ตาราง 10 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี และโค้งควบคุมเดิมกรณีใช้ฟังก์ชั่นค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด

โค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี (Existing)												
เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
URL	84.82	75.21	65.60	55.98	53.90	66.50	81.50	97.00	101.00	101.00	96.27	90.55
LRC	54.55	46.86	39.67	31.98	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	60.00
โค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำที่ประยุกต์ใช้ด้วยเทคนิค Electric Eel Foraging Optimization (EEFO) (Fqex-Excess)												
URL	84.85	76.70	65.80	56.50	59.60	73.40	87.50	100.60	101.95	101.90	100.70	98.50
LRC	52.00	43.85	36.60	30.00	33.00	38.70	44.00	48.50	53.60	58.50	65.70	65.80
หมายเหตุ หน่วย : ล้าน ลบ.ม.												

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 47 ลักษณะเส้นโค้งควบคุมเดิมและลักษณะเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี กรณีใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหาเป็นค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด



ภาพประกอบ 48 ลักษณะเส้นโค้งควบคุมเดิมและลักษณะเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี ของแบบจำลองทั้ง 4 ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหา

จากภาพประกอบ 48 จะเห็นได้ว่าโค้งควบคุมใหม่ที่ได้ทั้ง 4 ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์มีลักษณะทิศทางสอดคล้องกันกับโค้งควบคุมเดิม (RC-Existing) กล่าวคือ โค้งควบคุมใหม่เส้นบนเมื่อเทียบกับโค้งควบคุมเดิมจะสูงกว่าโค้งควบคุมเดิม จะเห็นได้ว่ามีความต้องการเพิ่มปริมาตรเก็บกักน้ำเพื่อให้มีน้ำสำรองในฤดูการเพาะปลูกพืชฤดูแล้งและสามารถบรรเทาความเสี่ยงการขาดแคลนน้ำในฤดูการเพาะปลูกถัดไป ทั้งนี้ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บกักน้ำจากปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูฝน สามารถรองรับปริมาณน้ำหลากได้ดีขึ้นเพื่อลดการไหลล้นของน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ และลดปริมาณการปล่อยน้ำซึ่งจะช่วยทำให้พื้นที่ท้ายน้ำลดความเสี่ยงที่จะเกิดภัยน้ำท่วม ส่วนโค้งควบคุมใหม่เส้นล่างจะต่ำกว่าโค้งควบคุมเดิม แสดงให้เห็นถึงในช่วงฤดูแล้งตั้งแต่เดือนมกราคม-เมษายน อธิบายได้ว่าอ่างเก็บน้ำสามารถเพิ่มปริมาณการปล่อยน้ำได้มากกว่าเกณฑ์เดิม ซึ่งจะช่วยทำให้เพิ่มโอกาสที่ปริมาณน้ำจะมีความเพียงพอต่อความต้องการมากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง บางช่วงที่โค้งควบคุมใหม่เส้นล่างสูงกว่าโค้งควบคุมเส้นเดิม เพื่อลดปริมาณการปล่อยน้ำในฤดูเพาะปลูกขึ้นในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่การเก็บกักในช่วงฤดูฝนทำให้มีน้ำไว้ใช้ในฤดูแล้งเพิ่มขึ้น ทำให้ตอบสนองความต้องการใช้น้ำในเขตพื้นที่ชลประทานมากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง และทำให้โอกาสที่จะปล่อยน้ำตามความต้องการใช้น้ำอย่างมีเป้าหมายมากขึ้น

4.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุม

การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการทดสอบการทำงานของโค้งควบคุมเพื่อที่จะรู้ถึงผลลัพธ์ว่าสามารถรองรับกับสถานการณ์น้ำที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากความไม่แน่นอนต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นช่วงเวลาในอดีตที่ผ่านมา หรืออาจจะเกิดในอนาคตวิธีการประเมินจะเป็นการหาคำตอบของความถี่ในการขาดแคลนน้ำ ความถี่ในการไหลล้น ปริมาณเฉลี่ยและช่วงเวลาของการเกิดสถานการณ์ โดยเปรียบเทียบการทำงานของโค้งควบคุมใหม่ตามฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหา 4 ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ กับโค้งควบคุมที่ใช้อยู่ปัจจุบัน สำหรับเหตุการณ์ที่นำมาทดสอบโค้งควบคุม ประกอบด้วย

1) สถานการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนในอดีต ระหว่าง พ.ศ.2549-2565 จำนวน 17 ปี โดยแบ่งออกเป็น

1.1) ปริมาณน้ำท่ารายเดือนในอดีต จำนวน 1 ชุดเหตุการณ์

1.2) ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่สังเคราะห์จากข้อมูลในอดีต จำนวน 1,000 ชุดเหตุการณ์

4.2.1 ผลการประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมด้วยข้อมูลน้ำท่ารายเดือนจากอดีต

4.2.1.1 กรณีอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี ใช้ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนย้อนหลังในอดีต 17 ปี

การประเมินประสิทธิภาพโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ โดยใช้ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี ด้วยข้อมูลอดีต 17 ปี (พ.ศ.2549-2565) เพื่อประเมินสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ การไหลล้น ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แสดงถึงสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ และไหลล้น ของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี เมื่อใช้โค้งควบคุมที่พัฒนาด้วยวิธี EEFO ตามฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหา 4 ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด (RC1-Avs-Shortage), ค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด (RC2-Fqs-Shortage), ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด (RC3-Exr-Excess), ค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด (RC4-Fqex-Excess) เปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิม (RC-Existing) ดังแสดงในตาราง 11

ตาราง 11 ผลการประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี ใช้ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนย้อนหลังในอดีต ตั้งแต่ พ.ศ.2549-2565 จำนวน 17 ปี

สถานการณ์	โค้งควบคุม	ความถี่	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม)		ช่วงเวลา (ปี)	
		(ครั้ง/ปี)	ค่าเฉลี่ย	ค่ามากที่สุด	ค่าเฉลี่ย	ค่ามากที่สุด
ขาดแคลนน้ำ	RC0-Existing	0.499	5.247	11.040	7.997	13.000
	RC1-Avs-Shortage	0.494	4.349	10.324	7.939	12.000
	RC2-Fqs-Shortage	0.496	4.364	10.412	7.934	12.000
	RC3-Exr-Excess	0.497	4.386	10.417	7.919	12.000
	RC4-Fqex-Excess	0.498	4.395	10.420	7.916	12.000
การไหลล้น	RC0-Existing	0.499	132.897	327.024	8.931	14.000
	RC1-Avs-Shortage	0.498	132.060	326.348	8.812	13.000
	RC2-Fqs-Shortage	0.498	132.063	326.351	8.826	13.000
	RC3-Exr-Excess	0.497	132.053	326.321	8.810	13.000
	RC4-Fqex-Excess	0.497	132.056	326.336	8.827	13.000

จากตาราง 11 การประเมินประสิทธิภาพโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ โดยใช้ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี ด้วยข้อมูลอดีต 17 ปี (พ.ศ.2549-2565) เพื่อประเมินสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ และการไหลล้น พบว่า ผลการประเมินโค้งควบคุมจากแบบจำลองการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธี EEFO ทั้ง 4 ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์เปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิม กรณีสถานการณ์ขาดแคลนน้ำ พบว่า (RC1-Avs-Shortage) มีค่าเฉลี่ยการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดคือ 4.349 ล้านลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือ (RC2-Fqs-Shortage), (RC3-Exr-Excess), (RC4-Fqex-Excess) และ (RC-Existing) ตามลำดับ จากผลลัพธ์เหล่านี้สามารถอธิบายได้ว่า (RC1-Avs-Shortage) นั้นมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าโค้งควบคุมที่ใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์อื่นๆ และโค้งควบคุมที่ได้จากแบบจำลองทั้ง 4 ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ยังสามารถลดค่าความถี่ ปริมาณน้ำเฉลี่ย ปริมาณน้ำมากที่สุด ช่วงเวลาเฉลี่ยและช่วงเวลามากที่สุดได้ดีกว่าโค้งควบคุมเดิมเหมาะสมกับเหตุการณ์สถานการณ์น้ำปกติ สามารถลดการขาดแคลนได้ดีกว่าโค้งควบคุมที่ใช้งานอยู่ในช่วงเวลาปัจจุบัน กรณีสถานการณ์การไหลล้น พบว่า (RC3-Exr-Excess) มีค่าเฉลี่ยการไหลล้นน้ำน้อยที่สุดคือ 132.053 ล้านลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือ (RC4-Fqex-Excess), (RC1-Avs-Shortage), (RC2-Fqs-Shortage) และ (RC-Existing) ตามลำดับ จากผลลัพธ์เหล่านี้สามารถอธิบายได้ว่า (RC3-Exr-Excess) นั้นมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าโค้งควบคุมที่ใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์อื่นๆ และโค้งควบคุมที่ได้จากแบบจำลองทั้ง 4 ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ยังสามารถลดค่าความถี่ ปริมาณน้ำเฉลี่ย ปริมาณน้ำมากที่สุด ช่วงเวลาเฉลี่ยและช่วงเวลามากที่สุดได้ดีกว่าโค้งควบคุมเดิมเหมาะสมกับเหตุการณ์สถานการณ์น้ำปกติ สามารถลดการไหลล้นได้ดีกว่าโค้งควบคุมที่ใช้งานอยู่ในช่วงเวลาปัจจุบัน

4.2.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมด้วยข้อมูลน้ำท่ารายเดือนสังเคราะห์

4.2.2.1 กรณีอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี ใช้ข้อมูลน้ำท่าที่สังเคราะห์

การประเมินประสิทธิภาพโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ในระยะยาวโดยใช้ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี ด้วยข้อมูลอดีต 17 ปี (พ.ศ.2549-2565) จำนวน 1,000 ชุดข้อมูล เพื่อประเมินสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ การไหลล้น ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แสดงถึงสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ และไหลล้น ของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี เมื่อใช้โค้งควบคุมที่พัฒนาด้วยวิธี EEFO ตามฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหา 4 ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด (RC1-Avs-Shortage), ค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด (RC2-Fqs-Shortage), ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด (RC3-Exr-Excess), ค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด (RC4-Fqex-Excess) เปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิม (RC-Existing) ดังแสดงในตาราง 12

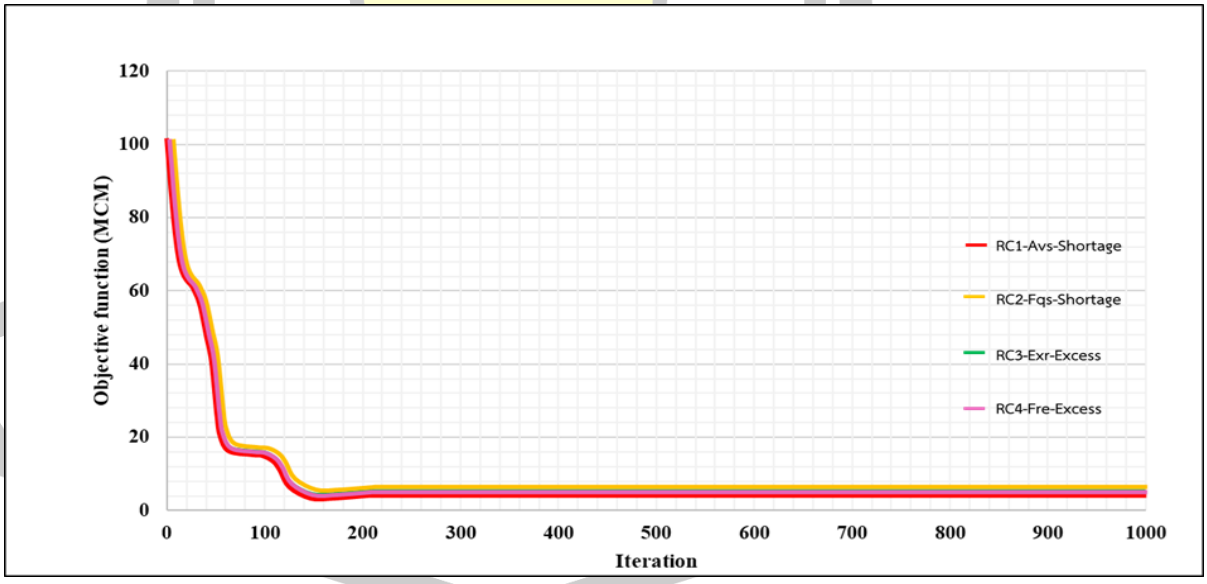
ตาราง 12 การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี ใช้ข้อมูลที่สังเคราะห์จากข้อมูลน้ำท่ารายเดือนอดีตตั้งแต่ พ.ศ. 2549 - 2565 จำนวน 17 ปี 1,000 ชุดเหตุการณ์

สถานการณ์	โค้งควบคุม		ความถี่	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม)		ช่วงเวลา (ปี)	
			(ครั้ง/ปี)	ค่าเฉลี่ย	ค่ามากที่สุด	ค่าเฉลี่ย	ค่ามากที่สุด
ขาดแคลนน้ำ	RC0-Existing	σ	0.520	5.262	11.040	8.008	13.000
		μ	0.021	0.015	0.000	0.120	0.000
	RC1-Avs-Shortage	σ	0.535	3.849	10.314	8.273	12.000
		μ	0.024	0.000	0.000	0.020	0.000
	RC2-Fqs-Shortage	σ	0.477	3.864	10.482	7.910	12.000
		μ	0.032	0.000	0.000	0.004	0.000
	RC3-Exr-Excess	σ	0.471	4.386	10.487	7.919	12.000
		μ	0.018	0.000	0.115	0.012	0.000
	RC4-Fqex-Excess	σ	0.488	4.407	10.490	8.059	12.000
		μ	0.026	0.016	0.004	0.018	0.000
การไหลล้น	RC0-Existing	σ	0.499	132.897	327.024	8.931	14.000
		μ	0.000	0.014	0.006	0.200	0.000
	RC1-Avs-Shortage	σ	0.493	132.060	326.348	8.812	13.000
		μ	0.002	0.005	0.013	0.000	0.000
	RC2-Fqs-Shortage	σ	0.507	132.163	326.351	8.826	13.000
		μ	0.015	0.001	0.005	0.004	0.000
	RC3-Exr-Excess	σ	0.508	132.053	326.321	8.810	13.000
		μ	0.012	0.014	0.002	0.005	0.000
	RC4-Fqex-Excess	σ	0.508	132.056	326.336	8.827	13.000
		μ	0.003	0.002	0.024	0.001	0.000

μ = ค่าเฉลี่ย **σ** = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตาราง 4.6 การประเมินประสิทธิภาพโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ โดยใช้ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี เพื่อประเมินสถานการณ์การขาดแคลนน้ำและการไหลล้น พบว่า ผลการประเมินโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี จากแบบจำลองการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธี EEFO ทั้ง 4 ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์เปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิม กรณีสังเคราะห์จากข้อมูลน้ำท่ารายเดือนอดีตตั้งแต่ พ.ศ.2549-2565 จำนวน 17 ปี 1,000 ชุดเหตุการณ์ สถานการณ์ขาดแคลนน้ำ พบว่า (RC1-Avs-Shortage) มีค่าเฉลี่ยการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดคือ 3.849 ล้าน

ลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือ (RC2-Fqs-Shortage) = 3.864 ล้านลูกบาศก์เมตร (RC3-Exr-Excess) = 4.386 ล้านลูกบาศก์เมตร (RC4-Fqex-Excess) = 4.407 ล้านลูกบาศก์เมตร และ (RC-Existing) = 5.262 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ จากผลลัพธ์เหล่านี้สามารถอธิบายได้ว่า (RC1-Avs-Shortage) นั้นมีประสิทธิภาพลดการขาดแคลนน้ำดีกว่าโค้งควบคุมที่ใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์อื่นๆ และโค้งควบคุมที่ได้จากแบบจำลองทั้ง 4 ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ยังสามารถลดค่าความถี่ ปริมาณน้ำเฉลี่ย ปริมาณน้ำมากที่สุด ช่วงเวลาเฉลี่ย และช่วงเวลามากที่สุดได้ดีกว่าโค้งควบคุมเดิม ส่วนสถานการณ์การไหลล้นพบว่า (RC3-Exr-Excess) มีค่าเฉลี่ยการไหลล้นน้ำน้อยที่สุดคือ 132.053 ล้านลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือ (RC4-Fqex-Excess) = 132.056 ล้านลูกบาศก์เมตร (RC1-Avs-Shortage) = 132.060 ล้านลูกบาศก์เมตร (RC2-Fqs-Shortage) = 132.163 ล้านลูกบาศก์เมตร และ (RC-Existing) = 132.897 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ จากผลลัพธ์เหล่านี้สามารถอธิบายได้ว่า (RC3-Avs-Shortage) นั้นมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าโค้งควบคุมที่ใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์อื่นๆ และโค้งควบคุมที่ได้จากแบบจำลองทั้ง 4 ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ ยังสามารถลดค่าความถี่ ปริมาณน้ำเฉลี่ย ปริมาณน้ำมากที่สุด ช่วงเวลาเฉลี่ย และช่วงเวลามากที่สุดได้ดีกว่าโค้งควบคุมเดิมเหมาะสมกับเหตุการณ์สถานการณ์น้ำปกติ สามารถลดการไหลล้นได้ดีกว่าโค้งควบคุมที่ใช้งานอยู่ในช่วงเวลาปัจจุบัน



ภาพประกอบ 49 จำนวนรอบในการลู่เข้าหาคำตอบของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี ของแบบจำลองวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธี EEFO ของทั้ง 4 ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของการค้นหา

จากภาพประกอบ 55 จะเห็นได้ว่ากระบวนการทำซ้ำนั้นจะมีการหยุดทำงานของแบบจำลองโดยอาศัย 2 เงื่อนไข ได้แก่ 1) กำหนดจำนวนรอบให้แก่แบบจำลองแล้วนำมาพิจารณาค่าที่ได้ว่าให้ค่าที่เหมาะสมหรือไม่ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้กำหนดค่าที่เหมาะสมไว้ที่ 1,000 รอบ 2) พิจารณาความแตกต่างของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ ในแต่ละรอบเทียบกับรอบถัดไป หากมีความแตกต่างน้อยมากหรือมีค่าเข้าสู่ค่าคงที่จึงถือว่าค่าสุดท้ายเป็นคำตอบที่ดีที่สุด ในการพัฒนาแบบจำลองการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธี EEFO เพื่อค้นหาโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปีที่เหมาะสมนั้นแบบจำลองจะลู่เข้าหาคำตอบตามฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์เฉลี่ยที่จำนวนรอบที่ 151

4.2.3 ผลการประเมินประสิทธิภาพเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมด้วยเทคนิค EEFO และ GA จากน้ำท่าอดีต

การประเมินประสิทธิภาพเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมจากเทคนิค EEFO และ GA จากการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ SOP ด้วยเทคนิค EEFO เปรียบเทียบกับเทคนิค GA กรณีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ถูกนำมาใช้เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการบรรเทาปัญหาการขาดแคลนน้ำและสถานการณ์น้ำไหลล้น ประเมินประสิทธิภาพจากข้อมูลการไหลเข้าน้ำท่าในอดีต 17 ปี (พ.ศ.2549-2565) ผลการประเมินประสิทธิภาพเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมด้วยเทคนิค EEFO และ GA และโค้งควบคุมเดิม (Existing) แสดงดังตาราง 13

ตาราง 13 ผลการประเมินเหตุการณ์การขาดแคลนน้ำและการไหลล้นของโค้งควบคุมที่เหมาะสมจากเทคนิค EEFO และ GA ด้วยข้อมูลน้ำท่าในอดีต โดยใช้ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี 17 ปี (พ.ศ.2549-2565)

สถานการณ์	โค้งควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม)		ช่วงเวลา (ปี)	
			ค่าเฉลี่ย	ค่ามากที่สุด	ค่าเฉลี่ย	ค่ามากที่สุด
ขาดแคลนน้ำ	RC0-Existing	0.499	5.247	11.040	7.997	13.000
	RC1-EEFO	0.494	4.347	10.324	7.939	12.000
	RC2-GA	0.497	4.349	10.325	7.939	12.000
การไหลล้น	RC0-Existing	0.499	132.897	327.024	8.931	14.000
	RC1-EEFO	0.497	132.053	326.321	8.810	13.000
	RC2-GA	0.497	132.054	326.323	8.810	13.000

จากตาราง 13 พบว่าสถานการณ์การขาดแคลนน้ำและน้ำไหลล้นเมื่อใช้เส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมด้วยเทคนิค EEFO และ GA ให้ค่าแตกต่างกันเล็กน้อยเนื่องจากรูปแบบของเส้นโค้งควบคุมที่ได้มีลักษณะคล้ายคลึงกัน หรืออธิบายได้ว่าโค้งควบคุมจากเทคนิค EEFO และ GA มีค่าความถี่ของการขาดแคลนของน้ำ 0.494 และ 0.497 ครั้งต่อปี ตามลำดับ ปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ย 4.347 และ 4.349 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งจากค่าที่ได้นั้นต่ำกว่าค่าของการใช้โค้งควบคุมเดิม (Existing) ที่มีค่าเท่ากับ 0.499 ครั้งต่อปี ปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ย 5.247 ล้านลูกบาศก์เมตร ดังนั้นสรุปได้ว่าเทคนิค EEFO เชื่อมแบบจำลองอ่างเก็บน้ำโดยใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ SOP เพื่อค้นหาเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมอย่างมีประสิทธิภาพ เช่นเดียวกับโค้งควบคุมที่ได้จากการค้นหาด้วยเทคนิค GA

4.2.4 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นของโค้งควบคุมที่เหมาะสมจากกรณีการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ SOP ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่าในอดีต 1,000 ชุดเหตุการณ์

การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ ในระยะยาวโดยใช้ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี ด้วยข้อมูลที่สังเคราะห์จากข้อมูลอดีต 17 ปี (พ.ศ.2549-2565) จำนวน 1,000 ชุด เหตุการณ์ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด และค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด เมื่อใช้โค้งควบคุมใหม่ที่ได้จาก เทคนิค EEFO และโค้งควบคุมเดิม (Existing) ภายใต้การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมที่เหมาะสม ของอ่างเก็บน้ำใช้เกณฑ์ปล่อยน้ำ SOP ดังแสดงในตาราง 14

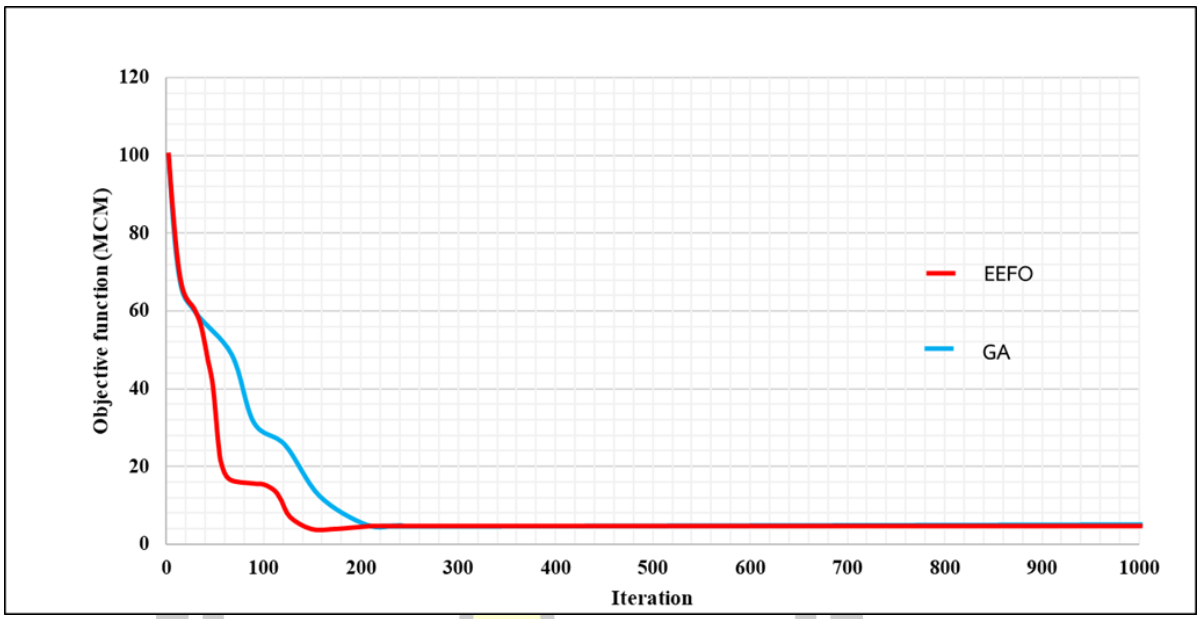
ตาราง 14 ผลการประเมินเหตุการณ์ปริมาณน้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นของโค้งควบคุมที่เหมาะสมจากกรณีการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ SOP ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่าในอดีต 1,000 ชุดเหตุการณ์

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

สถานการณ์	โค้งควบคุม		ความถี่	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม)		ช่วงเวลา (ปี)	
			(ครั้ง/ปี)	ค่าเฉลี่ย	ค่ามากที่สุด	ค่าเฉลี่ย	ค่ามากที่สุด
ขาดแคลนน้ำ	RC0-Existing	σ	0.553	5.551	11.766	8.095	14.000
		μ	0.021	0.015	0.000	0.011	0.000
	RC1-EEFO	σ	0.511	5.147	11.424	8.248	12.000
		μ	0.041	0.000	0.000	0.002	0.000
	RC2-GA	σ	0.523	5.149	11.605	8.126	12.000
		μ	0.019	0.000	0.000	0.004	0.000
การไหลล้น	RC0-Existing	σ	0.526	134.786	325.568	9.230	13.000
		μ	0.000	0.016	0.003	0.011	0.000
	RC1-EEFO	σ	0.507	133.147	324.555	9.677	12.000
		μ	0.004	0.002	0.011	0.000	0.000
	RC2-GA	σ	0.510	133.148	325.335	9.660	12.000
		μ	0.012	0.014	0.002	0.004	0.000

μ = ค่าเฉลี่ย σ = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตาราง 14 การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ ในระยะยาวโดยใช้ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี ด้วยข้อมูลที่สังเคราะห์จากข้อมูลอดีต 17 ปี (พ.ศ. 2549-2565) จำนวน 1,000 ชุดข้อมูล (ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์: ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด และค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด) เมื่อใช้โค้งควบคุมใหม่ที่ได้จากเทคนิค EEFO , GA และโค้งควบคุมเดิม (Existing) ภายใต้การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บใช้เกณฑ์ปล่อยน้ำ SOP เพื่อประเมินสถานการณ์การขาดแคลนน้ำการไหลล้น พบว่าโค้งควบคุม RC1-EEFO มีปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุด ปริมาณน้ำขาดแคลนมากที่สุด ค่าความถี่น้ำขาดแคลนมีค่า 5.147±0.012 ล้าน ลบ.ม. 11.424±0.035 ล้าน ลบ.ม. และ 0.511±0.041 ครั้ง/ปี ตามลำดับ สถานการณ์การไหลล้น พบว่า ปริมาณค่าเฉลี่ยของน้ำไหลล้นน้อยที่สุด ปริมาณค่าเฉลี่ยของน้ำไหลล้นมากที่สุด และค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด มีค่า 133.147±0.002 ล้าน ลบ.ม. 324.555±0.011 ล้าน ลบ.ม.และ 0.507±0.014 ครั้ง/ปี ตามลำดับ โดยภาพรวมแล้วสถานการณ์น้ำขาดแคลนและสถานการณ์น้ำไหลล้นจากการใช้โค้งควบคุมใหม่ด้วยเกณฑ์ SOP จะมีค่าน้อยกว่าโค้งควบคุมเดิม (Existing)



ภาพประกอบ 50 การลู่เข้าคำตอบของการค้นหาเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ จากเทคนิค EEFO และ GA

จากภาพประกอบ 50 การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการทดสอบการทำงานของโค้งควบคุมเพื่อที่จะรู้ถึงผลลัพธ์หรือสถานการณ์ที่จะเกิดขึ้นว่าโค้งควบคุมสามารถรองรับกับสถานการณ์น้ำที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากความไม่แน่นอนต่างๆ เพื่อที่จะนำมาเป็นทางเลือกในการตัดสินใจในการนำโค้งควบคุมเหล่านั้นไปปฏิบัติจริง วิธีการประเมินจะเป็นการหาคำตอบ ของความถี่ในการขาดแคลนน้ำ ความถี่ในการไหลล้น ปริมาณเฉลี่ย และช่วงเวลาของการเกิดสถานการณ์ โดยเปรียบเทียบการทำงานของโค้งควบคุมใหม่กับโค้งควบคุมที่ใช้อยู่ปัจจุบัน ซึ่ง 1 ชุดโค้งควบคุมในตารางทดสอบ คือผลของโค้งควบคุมทั้งสองอ่างเก็บน้ำจำนวน 24 จุดนำมาทดสอบพร้อมกัน สำหรับเหตุการณ์ที่นำมาทดสอบโค้งควบคุมซึ่งบ่งชี้ว่าได้เส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมด้วยเทคนิค EEFO ลู่เข้าหาคำตอบในรอบที่ 151 ในขณะการลู่เข้าคำตอบด้วยเทคนิค GA คือ 215 ตามลำดับ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า เทคนิค EEFO สามารถค้นหาโค้งควบคุมที่ เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำมีประสิทธิภาพเช่นเดียวกับเทคนิค GA อย่างไรก็ตาม แม้ว่าผลลัพธ์จะเท่ากัน แต่ความเร็วในการลู่เข้าหาคำตอบหรือความซับซ้อนของกระบวนการค้นหาคำตอบก็เป็นปัจจัยสำคัญเช่นกัน ซึ่ง EEFO สามารถจัดการได้ดีกว่าเทคนิคอื่นที่นำมาเปรียบเทียบ

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

บทนี้ เป็นการสรุปผลการศึกษาตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย และการแสดงข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปศึกษาต่อยอดในอนาคต รายละเอียดของการสรุปผลและข้อเสนอแนะสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้เทคนิค Electric Eel Foraging Optimization (EEFO) เพื่อปรับปรุงโค้งควบคุมที่เหมาะสมสูงสุดของอ่างเก็บน้ำ ด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบมาตรฐาน Standard Operating Rule โดยการประเมินประสิทธิภาพฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ทั้ง 4 ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ คือ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด และค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด เพื่อนำมาค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมที่สุดของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี

5.1 ผลการสร้างโค้งควบคุมที่เหมาะสม

การศึกษาและการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธี EEFO เพื่อสร้างโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี อำเภอกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี สามารถสรุปได้ดังนี้

ผลการสร้างโค้งควบคุมโดยใช้ข้อมูลน้ำท่าอดีต พบว่า โค้งควบคุมใหม่ที่ได้จากการค้นหาด้วยวิธี EEFO ของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี ทั้ง 4 ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ คือ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด และค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด มีลักษณะสอดคล้องไปกับโค้งควบคุมที่ได้จากข้อมูลน้ำท่าในอดีต กล่าวคือโค้งควบคุมใหม่เส้นล่างในช่วงเดือนมกราคม-เมษายน มีค่าต่ำกว่าโค้งควบคุมเดิมที่ใช้อยู่ในสถานการณ์ปัจจุบัน ทำให้สามารถเพิ่มปริมาณการปล่อยน้ำได้มากขึ้นในช่วงเดือนพฤษภาคม-ธันวาคม มีค่าสูงกว่าโค้งควบคุมเดิม สามารถเพิ่มปริมาณการเก็บกักน้ำในช่วงฤดูฝน ลดปัญหาการขาดแคลนน้ำและตอบสนองความต้องการใช้น้ำในเขตพื้นที่ชลประทานในช่วงฤดูแล้งได้มากขึ้น หรือมีค่าต่ำกว่าโค้งควบคุมเดิม ทำให้สามารถเพิ่มปริมาณการปล่อยน้ำได้มากขึ้น ลดปัญหาสถานการณ์การขาดแคลนน้ำและตอบสนองความต้องการใช้น้ำในเขตพื้นที่ชลประทานได้มากกว่าโค้งควบคุมเดิมที่ใช้อยู่ในสถานการณ์ปัจจุบัน ส่วนโค้งควบคุมใหม่เส้นบนในช่วงเดือนเมษายน-สิงหาคม มีค่าต่ำกว่าโค้งควบคุมเดิม สามารถเพิ่มปริมาณการปล่อยน้ำในช่วงฤดูแล้ง เพื่อลดปัญหาสถานการณ์การขาดแคลน

น้ำได้มากกว่าโค้งควบคุมเดิม หรือมีค่าสูงกว่าโค้งควบคุมเดิม ทำให้สามารถเพิ่มปริมาณการเก็บกักน้ำได้มากขึ้น เพื่อลดปัญหาสถานการณ์การไหลล้นได้มากกว่าโค้งควบคุมเดิมที่ใช้อยู่ในสถานการณ์ปัจจุบันและมีการหยุดรอบการค้นหาเฉลี่ยอยู่ที่ 151 รอบ

5.2 ผลการประเมินโค้งควบคุมที่เหมาะสม

ผลการประเมินประสิทธิภาพโดยใช้ข้อมูลน้ำท่าอดีต พบว่า อ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี กรณีสถานการณ์ขาดแคลนน้ำ พบว่า (RC1-Avs-Shortage) มีค่าเฉลี่ยการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดเท่ากับ 4.349 ล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่าโค้งควบคุมที่ใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์อื่นๆ และโค้งควบคุมเดิมเหมาะสมกับเหตุการณ์สถานการณ์น้ำปกติ สามารถลดการขาดแคลนได้ดีกว่าโค้งควบคุมที่ใช้งานอยู่ในช่วงเวลาปัจจุบัน กรณีสถานการณ์การไหลล้น พบว่า (RC3-Exr-Excess) มีค่าเฉลี่ยการไหลล้นน้ำน้อยที่สุดเท่ากับ 132.053 ล้านลูกบาศก์เมตร สามารถอธิบายได้ว่า (RC3-Exr-Excess) นั้นมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าโค้งควบคุมที่ใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์อื่นๆ และโค้งควบคุมเดิมเหมาะสมกับเหตุการณ์สถานการณ์น้ำปกติ สามารถลดการไหลล้นได้ดีกว่าโค้งควบคุมที่ใช้งานอยู่ในช่วงเวลาปัจจุบัน

ผลการประเมินประสิทธิภาพโดยใช้ข้อมูลน้ำท่าสังเคราะห์ พบว่า อ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี สถานการณ์ขาดแคลนน้ำ พบว่า (RC1-Avs-Shortage) มีค่าเฉลี่ยการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดเท่ากับ 3.849 ล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า สามารถลดการขาดแคลนน้ำดีกว่าโค้งควบคุมที่ใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์อื่นๆ และโค้งควบคุมเดิม ส่วนสถานการณ์การไหลล้น พบว่า (RC3-Exr-Excess) มีค่าเฉลี่ยการไหลล้นน้ำน้อยที่สุดเท่ากับ 132.053 ล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า สามารถลดการไหลล้นดีกว่าโค้งควบคุมที่ใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์อื่นๆ และโค้งควบคุมเดิมเหมาะสมกับเหตุการณ์สถานการณ์น้ำปกติ สามารถลดการไหลล้นได้ดีกว่าโค้งควบคุมที่ใช้งานอยู่ในช่วงเวลาปัจจุบัน

ผลการเปรียบเทียบโค้งควบคุมที่ได้จากการค้นหาแบบใช้ปริมาณน้ำท่าในอดีตและข้อมูลน้ำท่าสังเคราะห์ โค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิค EEFO เชื่อมต่อกับแบบจำลองอ่างเก็บน้ำ พบว่าโค้งควบคุมใหม่ที่ได้ของอ่างเก็บน้ำหนองหาน-กุมภวาปี มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน เป็นไปตามวัตถุประสงค์คือ ปริมาณการไหลล้นเฉลี่ยน้อยที่สุด ดังแสดงได้จากในช่วงฤดูฝน โค้งควบคุมเส้นบน มีเกณฑ์เก็บกักน้ำสูงขึ้นกว่าเกณฑ์เก็บกักของโค้งควบคุมเดิมที่มีอยู่ ซึ่งหมายความว่า อ่างเก็บน้ำจะสามารถเก็บกักน้ำได้มากขึ้น เพื่อลดสถานการณ์การไหลล้น พร้อมทั้งมีปริมาณน้ำไว้ใช้ในช่วงฤดูแล้ง ส่วนในช่วงฤดูแล้ง มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน เป็นไปตามวัตถุประสงค์คือปริมาณการขาดแคลน

เฉลี่ยน้อยที่สุด ดังแสดงได้จากโค้งควบคุมเส้นล่าง มีเกณฑ์เก็บกักน้ำต่ำขึ้นกว่าเกณฑ์เก็บกักของโค้งควบคุมเดิมที่มีอยู่ ซึ่งหมายความว่า สามารถปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำได้มากขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการด้านชลประทานในฤดูแล้ง ส่งผลให้สามารถลดสถานการณ์น้ำขาดแคลน และโค้งควบคุมเส้นล่างเริ่มสูงขึ้นในเดือนพฤษภาคม เพื่อเก็บกักน้ำให้มากขึ้นในช่วงฤดูฝน และผลการประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์ของโค้งควบคุมใหม่ที่ได้จากปริมาณน้ำท่าในอดีตและข้อมูลสังเคราะห์น้ำท่าในอดีตจำนวน 1,000 เหตุการณ์ ด้วยเทคนิค Electric Eel Foraging Optimization (EEFO) และ Genetic Algorithm ผลการประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์ของโค้งควบคุมใหม่ตามวัตถุประสงค์ของอ่างเก็บน้ำ พบว่า โค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิค Electric Eel Foraging Optimization (EEFO) มีประสิทธิภาพมากที่สุด จากที่กล่าวมาสามารถสรุปได้ว่า โค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิค Electric Eel Foraging Optimization (EEFO) มีประสิทธิภาพมากที่สุด ทั้งในกรณีใช้ข้อมูลน้ำท่าในอดีตและข้อมูลสังเคราะห์น้ำท่าในอดีต เนื่องจากสามารถลดโอกาสในการเกิดเหตุการณ์ขาดแคลนน้ำและไหลล้นได้ดีขึ้น จากโค้งควบคุม พบว่า เส้นโค้งใหม่จะอยู่สูงกว่าเส้นโค้งปัจจุบัน ซึ่งจะมีแนวโน้มเกณฑ์การเก็บกักที่สูงกว่า มีความต้องการเพิ่มปริมาตรเก็บกักน้ำเพื่อให้มีน้ำไว้ใช้ในช่วงฤดูแล้งเพิ่มขึ้น ลดปริมาณการปล่อยน้ำ ซึ่งจะช่วยทำให้พื้นที่ท้ายน้ำลดความเสี่ยงที่จะเกิดภัยน้ำท่วม ส่วนโค้งควบคุมเส้นล่าง เส้นกราฟจะยกสูงขึ้นเพื่อเตรียมปล่อยน้ำตามความต้องการท้ายอ่างเพื่อเพิ่มการชลประทานและช่วยให้ทำให้อ่างเก็บน้ำมีปริมาตรที่จะสามารถรองรับน้ำที่จะมาในฤดูการถัดไปได้

5.3 สรุป

ผลลัพธ์โค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิค EEFO ที่เชื่อมแบบจำลองอ่างเก็บน้ำ โดยพิจารณาร่วมกับการใช้เกณฑ์การปล่อยน้ำของ SOP ทุกฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ในการหาคำตอบ คือ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด และค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด พบว่าลักษณะเส้นโค้งมีทิศทางสอดคล้องกับโค้งควบคุมเดิม แต่โค้งควบคุมเส้นบนและโค้งควบคุมเส้นล่าง มีค่าระดับน้ำสูงกว่าโค้งควบคุมเดิม (Existing) เพื่อรักษาปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำไว้เพื่อป้องกันความเสี่ยงที่จะเกิดการขาดแคลนน้ำในช่วงฤดูแล้ง ปล่อยน้ำตามความต้องการท้ายอ่างเพื่อเพิ่มการชลประทาน และช่วยให้ทำให้อ่างเก็บน้ำมีปริมาตรที่จะสามารถรองรับน้ำที่จะมาในฤดูการถัดไปได้ ทั้งนี้ยังช่วยลดปริมาณน้ำไหลล้น เนื่องจากมีปริมาตรของพื้นที่ของอ่างเก็บน้ำเหลือพอที่จะรองรับน้ำหลากได้ การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมที่เหมาะสมเหมาะสมที่สุด ด้วยเทคนิค EEFO และเกณฑ์การปล่อยน้ำ SOP สามารถบรรเทา

สถานการณ์ขาดแคลนน้ำและการไหลล้นได้ดีกว่าโค้งควบคุมเดิม ผลลัพธ์ที่ได้สามารถเป็นแนวทางด้านข้อมูลเพื่อใช้ในการประกอบการตัดสินใจของผู้มีอำนาจตัดสินใจ เลือกแนวทางตามสถานการณ์ที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.4 ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะด้านการเก็บรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติม

1.1 ข้อมูลน้ำท่าในอนาคต : เพื่อให้แบบจำลองแม่นยำมากขึ้น ควรเก็บรวบรวมข้อมูลน้ำท่าที่มีความละเอียด เช่น ในรูปแบบรายวันหรือรายสัปดาห์ เพื่อให้แบบจำลองสามารถปรับตัวตามการเปลี่ยนแปลงของน้ำท่าในแต่ละช่วงเวลาได้แม่นยำขึ้น และจะทำให้สามารถศึกษาผลกระทบต่อการจัดการน้ำได้ดีขึ้น

1.2 ข้อมูลภูมิอากาศในอนาคต : แนะนำให้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่อาจส่งผลต่อปริมาณน้ำท่า โดยพิจารณาถึงปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ และการระเหย เพื่อวางแผนจัดการน้ำได้อย่างยั่งยืน และควรนำข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ ไปประเมินผลกระทบต่อปริมาณน้ำท่าและระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำในระยะยาว

1.3 ข้อมูลความต้องการใช้น้ำรายปี : ควรเก็บข้อมูลการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำจากกลุ่มผู้ใช้น้ำต่างๆ เช่น เกษตรกร ชุมชน หรืออุตสาหกรรม เพื่อให้การจัดการน้ำสามารถตอบสนองความต้องการใช้น้ำที่แตกต่างกันได้

2. ข้อเสนอแนะด้านการปรับปรุงวิธีการวิเคราะห์และคำนวณ

2.1 การเปรียบเทียบกับเทคนิคอื่น : ลองเปรียบเทียบ EEFO กับเทคนิค Metaheuristics อื่นๆ นอกเหนือจาก Genetic Algorithm (GA) เพื่อหาวิธีที่ให้ผลลัพธ์เหมาะสมที่สุดในการหาค่าของโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ

3. ข้อเสนอแนะด้านการวิเคราะห์ผลลัพธ์และการนำไปใช้

3.1 การวิเคราะห์ความไวของพารามิเตอร์ : แนะนำให้มีการวิเคราะห์ว่าพารามิเตอร์ใดของ EEFO ที่มีผลกระทบต่อผลลัพธ์มากที่สุด เพื่อให้สามารถปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์นั้นๆ ได้อย่างเหมาะสม

3.2 การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ : ควรมีการประเมินต้นทุนและผลประโยชน์ของการใช้โค้งควบคุมใหม่ เช่น ต้นทุนในการเก็บกักน้ำหรือลดการสูญเสียน้ำ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจของผู้บริหาร

3.3 การพิจารณาด้านสิ่งแวดล้อมและชุมชน : ควรศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ผลกระทบต่อระบบนิเวศในอ่างเก็บน้ำและพื้นที่ใกล้เคียงและผลกระทบต่อชุมชนที่ใช้น้ำ เพื่อให้การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำเกิดประโยชน์อย่างสมดุลและยั่งยืน

ข้อเสนอแนะเหล่านี้จะช่วยให้ผู้ที่ศึกษาต่อสามารถพัฒนาการวิจัยได้ลึกขึ้นและมีประสิทธิภาพมากขึ้น และยังสามารถปรับปรุงและพัฒนาผลลัพธ์ที่ดียิ่งขึ้น อีกทั้งยังช่วยให้สามารถนำไปปรับใช้จริงกับการจัดการอ่างเก็บน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

บรรณานุกรม

กรมชลประทาน. (2564). ข้อมูลสารสนเทศโครงการชลประทานปี 2564. เข้าถึงได้จาก https://www.rid.go.th/index.php/th/report/conclusion

อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง. (2551). การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำโดยใช้โค้งควบคุมที่เหมาะสม. มหาสารคาม: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง. (2552). การวางแผนและจัดการทรัพยากรน้ำระดับลุ่มน้ำ. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง. (2555). การจัดการทรัพยากรน้ำ. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง. (2563). การหาค่าเหมาะที่สุดขั้นสูงสำหรับการจัดการน้ำ. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

อารียา ฤทธิมา. (2561). อ่างเก็บน้ำและการวางแผนปฏิบัติการ (*Reservoir Systems and Operation Planning)*. ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

Bastos, D. A., Zuanon, J., Rapp Py-Daniel, L., and de Santana, C. D. (2021). Social predation in electric eels. *Ecology and Evolution,* 11(3), 1088-1092.

Bastos, D. A., Zuanon, J., Rapp Py-Daniel, L., and de Santana, C. D. (2021). Social predation in electric eels. *Ecol Evol,* 11(3), 1088-1092.

CARSON, M. (2021). Electric Eels More Creative, Social Hunters Than Previously Thought. Retrieved from https://www.courthousenews.com/electric-eels-more-creative-social-hunters-than-previously-thought/

Catania, Kenneth C. (2015). Electric Eels Concentrate Their Electric Field to Induce Involuntary Fatigue in Struggling Prey. *Current Biology,* 25(22), 2889-2898.

Chaleeraktrakoon, C., and Kangrang, A. (2007). Dynamic programming with the principle of progressive optimality for searching rule curves. *Canadian Journal of Civil Engineering,* 34, 170-176.

Draper, A. J., and Lund, J. R. (2004). Optimal Hedging and Carryover Storage Value. *Journal of Water Resources Planning and Management,* 130(1), 83-87.

Goldberg, D. E. (1989). *Genetic algorithms in search optimization and machine learning*. Addison-Wesley: London.

Jain, S. K., and Singh, V. P. (2003). Water Resources Systems Planning and Management. *Elsevier Science B.V.*

K.C. Catania. (2015). Electric eels concentrate their electric field to induce involuntary fatigue in struggling prey. *Current Biology,* 25(22), 2889-2898.

Kangrang, A., Prasanchum, H., Sriworamas, K., Ashrafi, S. M., Hormwichian, R., Techarungruengsakul, R., and Ngamsert, R. (2023). Application of Optimization Techniques for Searching Optimal Reservoir Rule Curves: A Review. *Water,* 15(9), 1669.

Neelakantan, T. R., and Pundarikanthan, N. V. (2000). Neural Network-Based Simulatio Optimization Model for Reservoir Operation. *Journal of Water Resources Planning and Management,* 126(2), 57-64.

Techarungruengsakul, R., and Kangrang, A. (2022). Application of Harris Hawks Optimization with Reservoir Simulation Model Considering Hedging Rule for Network Reservoir System. *Sustainability,* 14(9), 4913.

Viswanathan, G., Afanasyev, V., Murphy, E., Prince, P., and Stanley, H. (1996). Lévy flight search patterns of wandering albatrosses. *Nature,* 381.

Yılmaz, S., and Sen, S. (2020). Electric fish optimization: a new heuristic algorithm inspired by electrolocation. *Neural Computing and Applications,* 32(15), 11543-11578.

Zhao, S., Zhang, T., Ma, S., and Wang, M. (2022). Sea-horse optimizer: a novel nature-inspired meta-heuristic for global optimization problems. *Applied Intelligence,* 53, 1-28.

Zhao, W., Wang, L., Zhang, Z., Fan, H., Zhang, J., Mirjalili, S., . . . Cao, Q. (2023). Electric Eel Foraging Optimization: A new bio-inspired optimizer for engineering applications. *Expert Systems with Applications,* 238, 122200.

Yao-sheng, S., Zhang-can, H., Yu, C., and Chao, Y. (2014, 26-28 April 2014). *A new discrete eel swarm intelligence algorithm.* Paper presented at the 2014 4th IEEE International Conference on Information Science and Technology.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นาย ภูมิพัฒน์ วงค์อามาตย์
วันเกิด	วันที่ 21 มิถุนายน พ.ศ. 2531
สถานที่เกิด	อำเภอจตุรพักตรพิมาน จังหวัดร้อยเอ็ด
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 71 หมู่ 15 บ้านกอก ตำบลดงแดง อำเภอจตุรพักตรพิมาน จังหวัดร้อยเอ็ด รหัสไปรษณีย์ 45180
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	วิศวกรชลประทาน
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น
ประวัติการศึกษา	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนจตุรพักตรพิมาน อำเภอจตุรพักตรพิมาน จังหวัดร้อยเอ็ด ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมโยธา-ชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พหูน ปณฺ ฑิโต ชีเว