



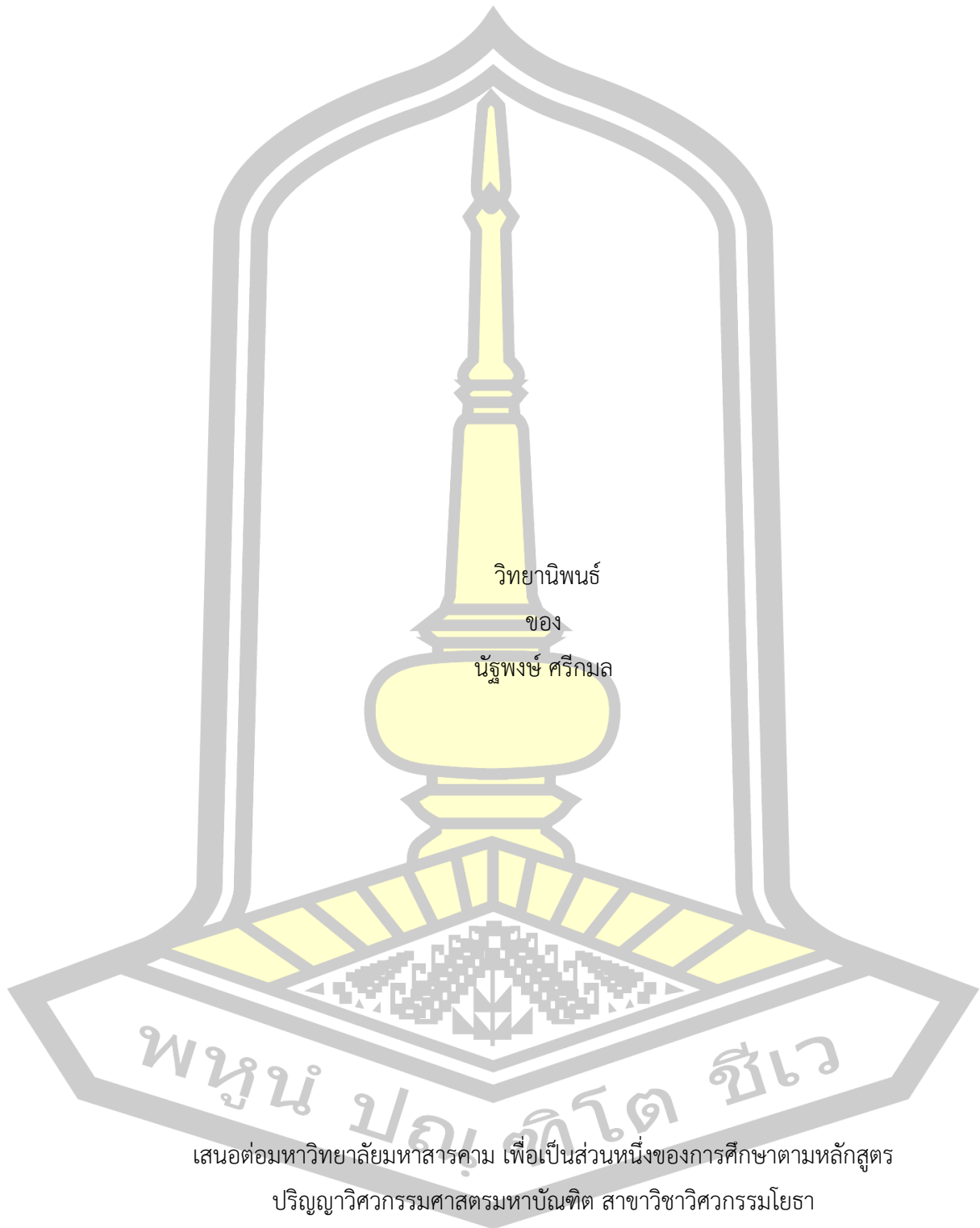
การปรับปรุงโครงสร้างของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์และอ่างเก็บน้ำน้ำอูนโดยใช้วิธีหึ่งห้อย

วิทยานิพนธ์  
ของ  
นัฐพงษ์ ศรีกมล

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา  
พฤษภาคม 2562

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การปรับปรุงโครงสร้างของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์และอ่างเก็บน้ำน้ำอูนโดยใช้วิธีหิ้งห้อย



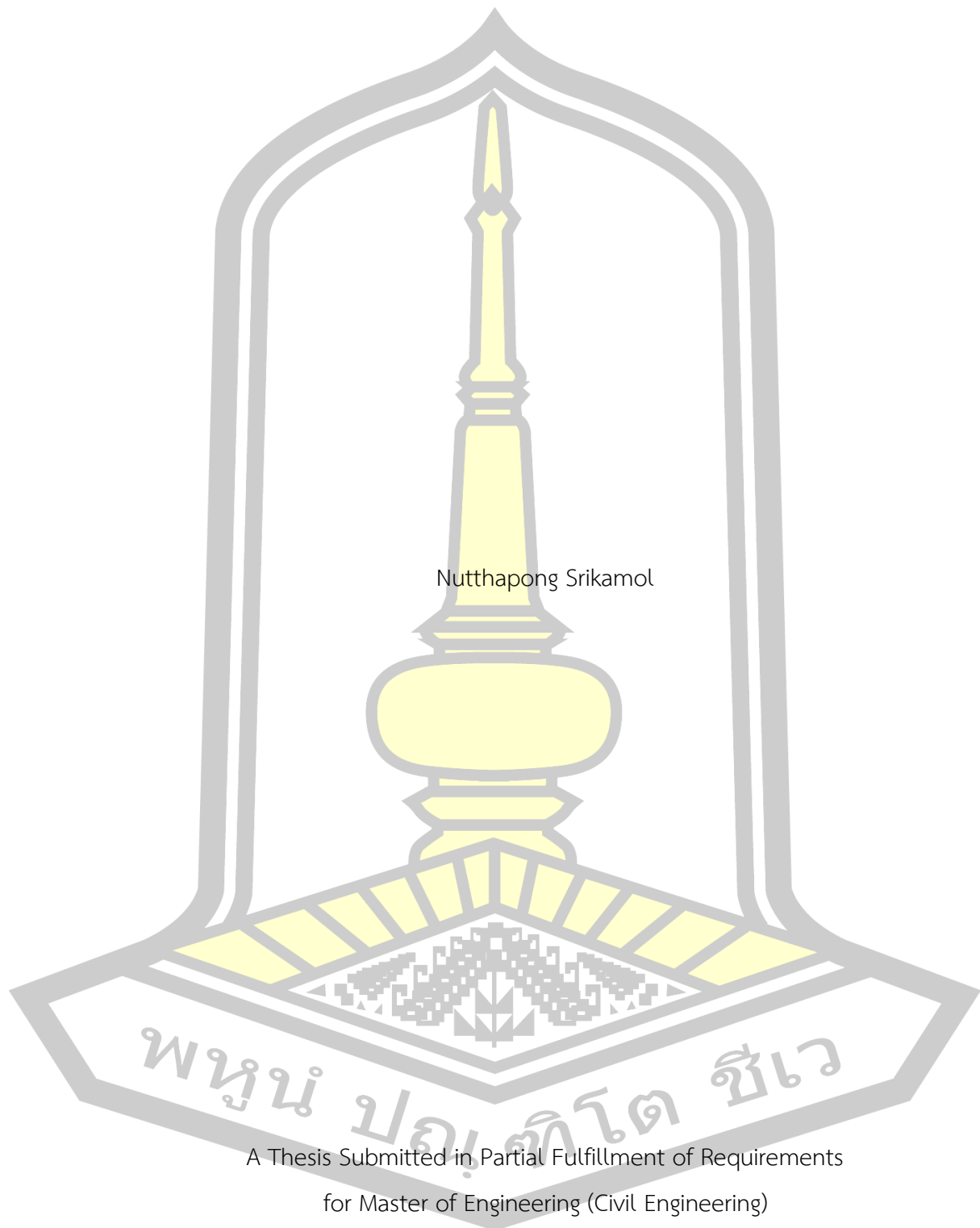
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

พฤษภาคม 2562

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Improvement of Rule Curves of Ubolrat and Naoon Reservoir Using Firefly Algorithm



Nutthapong Srikamol

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

May 2019

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายรัฐพงษ์ ศรีกมล แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(ศ. ดร. ขวลิต ชาลธิ์รักษตระกูล )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รศ. ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง )

กรรมการ

(ผศ. ดร. รัตนา หอมวิเชียร )

กรรมการ

(ผศ. ดร. ศีวา แก้วปลั่ง )

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

(รศ. ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง )

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ผศ. ดร. กฤษณ์ ชัยมุล )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

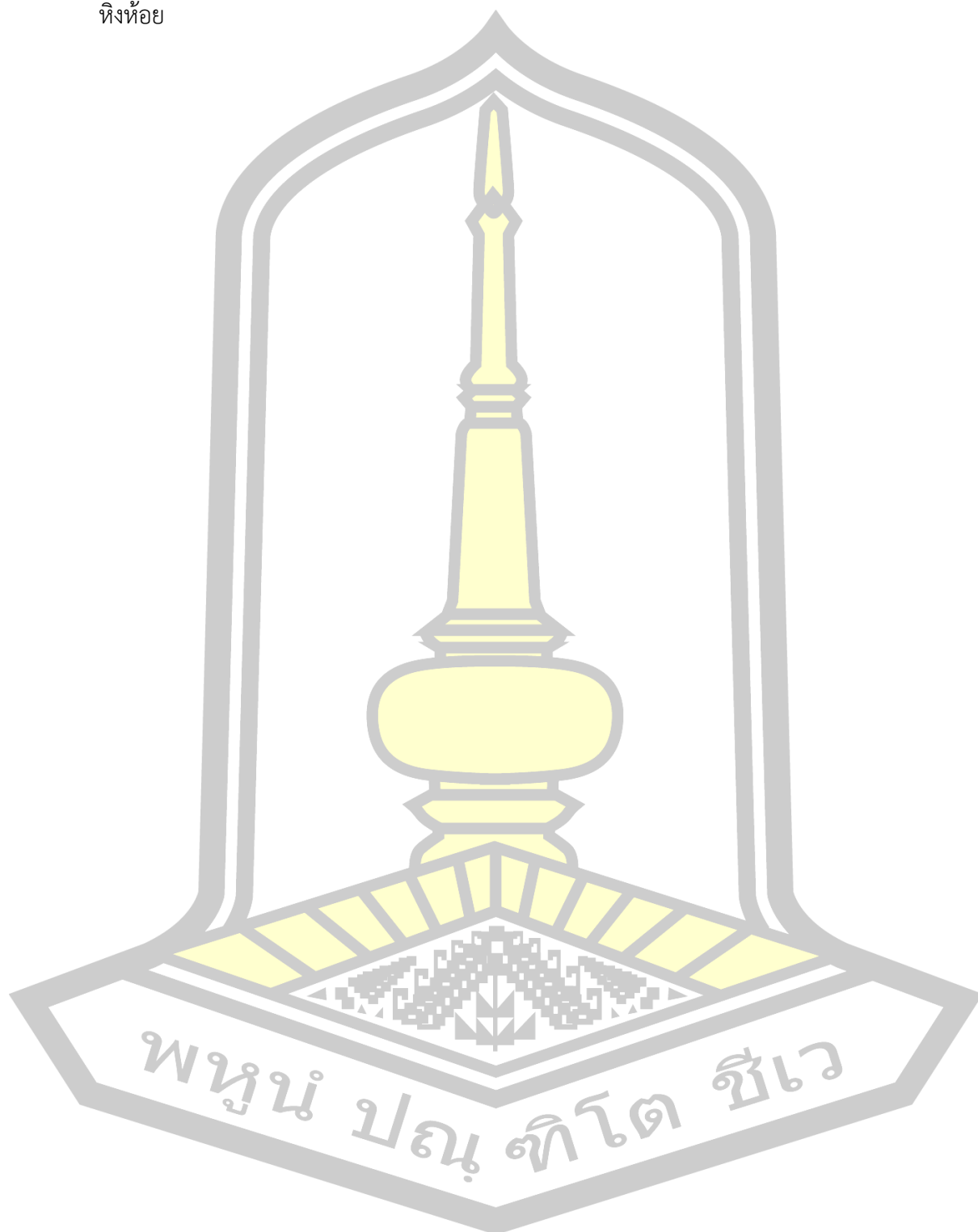
ชื่อเรื่อง	การปรับปรุงโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์และอ่างเก็บน้ำน้ำอูนโดยใช้วิธี หิ้งห้อย		
ผู้วิจัย	นัฐพงษ์ ศรีกมล		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง		
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2562

### บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีความมุ่งหมายเพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองหิ้งห้อย ร่วมกับแบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำ เพื่อปรับปรุงโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหา 4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด ค่าความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้อยที่สุด และค่าความถี่ของการไหลล้นน้อยที่สุดในกระบวนการค้นหาคำตอบ การศึกษานี้พิจารณาข้อมูลโค้งควบคุมรายเดือนของอ่างเก็บน้ำน้ำอูน จังหวัดสกลนคร และอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น เป็นกรณีศึกษา ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ข้อมูลอุทกวิทยา และข้อมูลทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำ นอกจากนี้ยังได้สังเคราะห์ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจากข้อมูลอดีตจำนวน 1,000 ชุดข้อมูล เพื่อใช้ประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมที่ได้จากแบบจำลอง ซึ่งแสดงผลในรูปแบบความถี่ ช่วงเวลาของเหตุการณ์ ปริมาณน้ำเฉลี่ย และปริมาณน้ำสูงสุด ทั้งสถานการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้น

ผลการศึกษาพบว่าโค้งควบคุมใหม่ที่ได้จากแบบจำลองหิ้งห้อยร่วมกับแบบจำลองการเลียนแบบมีลักษณะรูปร่างแตกต่างกับโค้งควบคุมเดิม เมื่อนำโค้งควบคุมใหม่นี้ไปทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพในการบรรเทาสถานการณ์น้ำขาดแคลนและสถานการณ์น้ำไหลล้น พบว่าโค้งควบคุมใหม่ที่ได้มีประสิทธิภาพดีกว่าทุกฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหา กล่าวคือโค้งควบคุมที่เกิดจากกรณีใดเมื่อนำไปประเมินประสิทธิภาพก็จะดีในสถานการณ์นั้นๆ โดยสรุปวิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยแบบจำลองหิ้งห้อยร่วมกับแบบจำลองการเลียนแบบอ่างเก็บน้ำสามารถประยุกต์ใช้ค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำได้ สามารถบรรเทาสภาวะน้ำไหลล้นและน้ำขาดแคลนได้ดีกว่าโค้งควบคุมเดิม ทั้งในกรณีใช้ข้อมูลน้ำท่าอดีตและกรณีใช้ข้อมูลน้ำท่าสังเคราะห์ 1,000 ชุด

คำสำคัญ : การจัดการอ่างเก็บน้ำ, โค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ, การหาค่าเหมาะสมที่สุด, แบบจำลอง  
หึ่งห้อย



**TITLE** Improvement of Rule Curves of Ubolrat and Nanoon Reservoir  
Using Firefly Algorithm

**AUTHOR** Nutthapong Srikamol

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

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

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

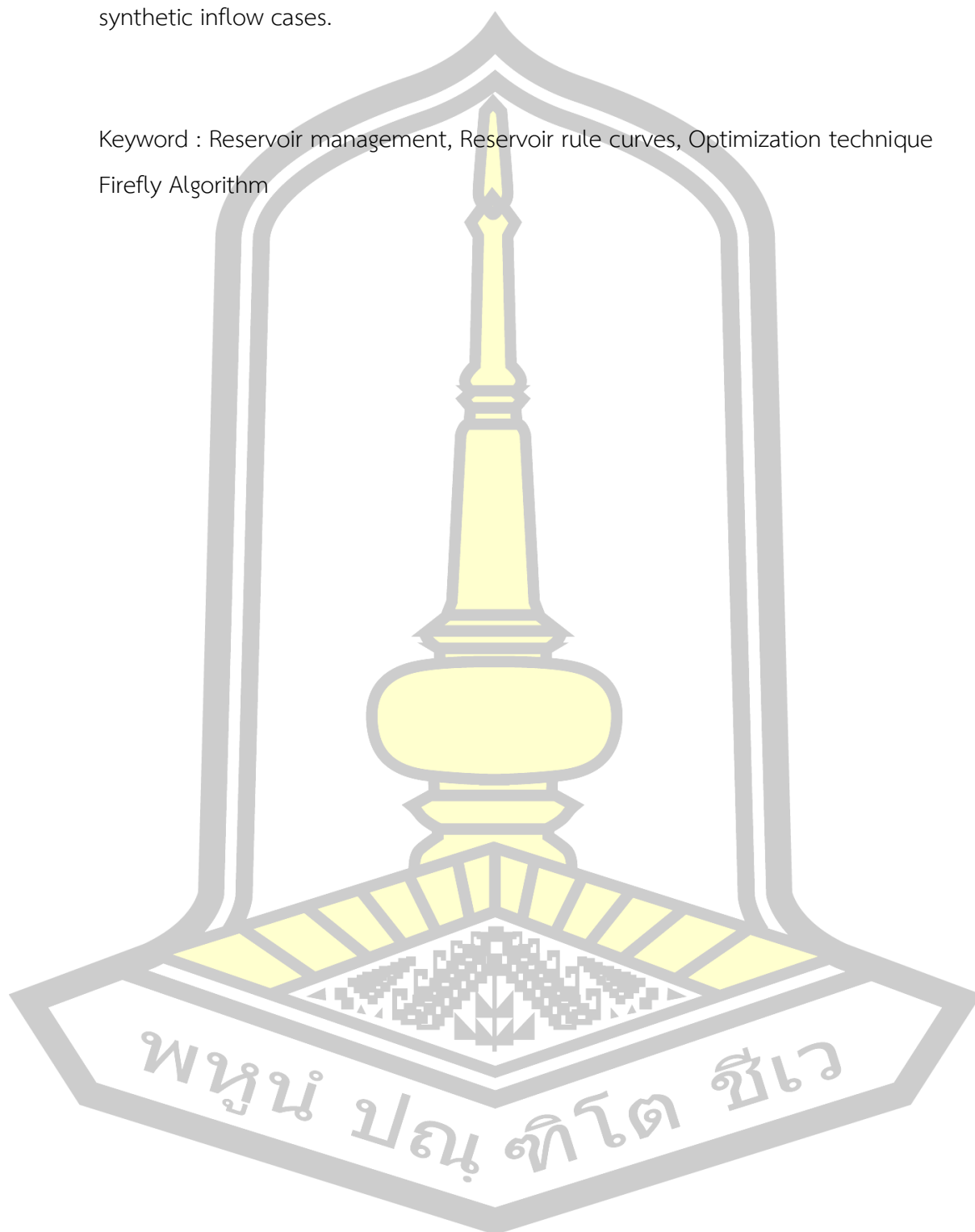
### ABSTRACT

This research aims to apply the Firefly Algorithm (FA) connected with a reservoir simulation model in order to improve reservoir rule curves. The four objective functions of search procedure were the minimal average water shortage, the frequency of water shortage, the minimal excess water and the frequency of excess water. Monthly rule curves of the Nam Oon reservoir located in Sakorn Nakhon province and the Ubonrat reservoir located in Khon Kaen province were considered for this study, which consists of average monthly inflows into the reservoir, net water demand from the reservoir, hydrological data and physical data of reservoir. The 1,000 samples of generated inflow data were used to evaluate the performance of the new obtained rule curves. The results presented situations of water shortage and excess water in terms of frequency, duration, amount of average and maximum.

The results found that the pattern of the obtained rule curves from the Firefly Algorithm connected with a reservoir simulation model was different from the existing rule curves. When using these new rule curves to test the efficiency of mitigating water shortages and overflow situations by new rule curves that were performing well in all objective function cases of the search procedure. The obtained rule curves caused by the searching case when evaluating performance, they will be good in that situation. Furthermore, the results found that the new obtained rule curves from Firefly Algorithm technique can alleviate situations of water shortage and

excess water more than the existing rule curves both considering historic inflow and synthetic inflow cases.

Keyword : Reservoir management, Reservoir rule curves, Optimization technique  
Firefly Algorithm





## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลือและการอนุเคราะห์ข้อมูลจากกรมชลประทาน เขื่อนน้ำอูน จังหวัดสกลนครและ เขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น ขอขอบพระคุณความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง ที่เป็นที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งคอยให้คำปรึกษา แนะนำ และเสนอแนะ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง รวมถึงแนวทางการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดระยะเวลาทำวิทยานิพนธ์ นอกจากนี้ขอขอบพระคุณคณะกรรมการควบคุมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านตลอดจนอาจารย์และเจ้าหน้าที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ดำเนินการไปอย่างเรียบร้อยได้ ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้กำลังใจและพลังในการดำรงชีวิตเสมอมา

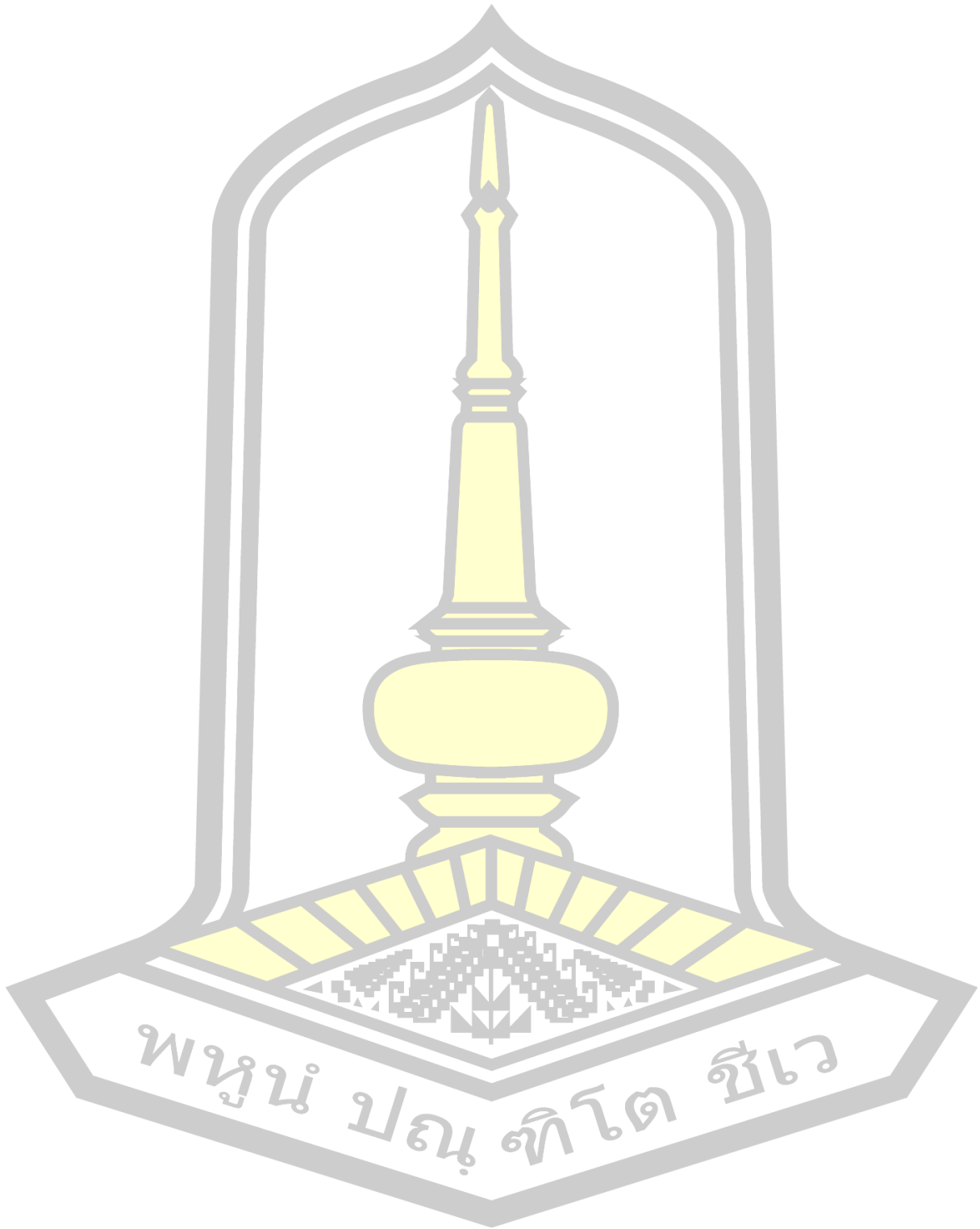
นัฐพงษ์ ศรีกมล



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพประกอบ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 หลักการและเหตุผล .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ปรัชญาเอกสารข้อมูล.....	4
2.1 การจัดการน้ำ.....	4
2.1.1 การจัดการด้านน้ำต้นทุน .....	6
2.1.2 การจัดการด้านความต้องการน้ำ.....	6
2.2 การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operations).....	8
2.2.1 ประเภทของอ่างเก็บน้ำ.....	8
2.2.2 หลักการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำด้วยโค้งควบคุม .....	8
2.2.3 การสร้างโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ แบบไม่ใช้โปรแกรมช่วย (Manual).....	12
2.3 การปรับปรุงโค้งควบคุม .....	20
2.3.1. เทคนิคการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธีการศึกษาเลียนแบบ (SM) .....	20
2.3.2. เทคนิคการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธีโปรแกรมเชิงพลวัต .....	22

2.3.3. เทคนิคการหาค่าเหมาะสมด้วยเทคนิคเจนีติกอัลกอริทึม.....	23
2.4 เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีหิ่งห้อย (Firefly Algorithm, FA).....	25
2.4.1 ที่มาและสมมุติฐานของอัลกอริทึมหิ่งห้อย .....	25
2.4.2 ความสว่างและการดึงดูดหิ่งห้อย.....	26
2.4.3 ขั้นตอนการดำเนินการของอัลกอริทึมหิ่งห้อย .....	28
2.5 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	30
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย .....	38
3.1 พื้นที่ศึกษา.....	39
3.2 วิธีการประยุกต์ใช้หิ่งห้อยอัลกอริทึมสำหรับหาโค้งควบคุมที่เหมาะสม.....	48
3.3 วิธีการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองที่เสนอ.....	52
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย .....	55
4.1 ผลการศึกษาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมที่พัฒนาด้วยวิธีหิ่งห้อย (FA).....	55
4.1.1 ผลการศึกษาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมที่พัฒนาด้วยวิธีหิ่งห้อย (FA) กรณีน้ำท่า รายเดือนในอดีต.....	56
4.1.2 ผลการศึกษาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมที่พัฒนาด้วยวิธีหิ่งห้อย (FA) กรณีน้ำท่า รายเดือนในอนาคต .....	66
4.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพระหว่างโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำเดิมที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันกับโค้ง ควบคุมที่พัฒนาด้วยวิธีหิ่งห้อย (FA) .....	71
4.2.1 กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต.....	72
4.2.2 กรณีน้ำท่ารายเดือนในอนาคต.....	79
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ .....	81
5.1 สรุปผล.....	81
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	82
บรรณานุกรม.....	84
ภาคผนวก.....	87



สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 2.1 การกรอกข้อมูลปริมาณการระเหยเฉลี่ย ที่ใช้คำนวณในโปรแกรม Excel..... 13

ตาราง 2.2 การกรอกข้อมูลการใช้น้ำด้านอุตสาหกรรม ที่ใช้คำนวณในโปรแกรม Excel ..... 13

ตาราง 2.3 การกรอกข้อมูลน้ำฝน ที่ใช้คำนวณในโปรแกรม Excel ..... 14

ตาราง 2.4 การกรอกข้อมูลอุบ้กอบริโภค ที่ใช้คำนวณในโปรแกรม Excel ..... 14

ตาราง 2.5 การกรอกข้อมูลร้กษาระบบนิเวศทำยน้ำ ที่ใช้คำนวณในโปรแกรม Excel..... 14

ตาราง 2.6 การกรอกข้อมูลฝนใช้การ ที่ใช้คำนวณในโปรแกรม Excel..... 15

ตาราง 2.7 การกรอกข้อมูลความต้องการด้านชลประทาน ที่ใช้คำนวณในโปรแกรม Excel..... 15

ตาราง 2.8 การกรอกข้อมูลปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำ ที่ใช้คำนวณในโปรแกรม Excel..... 15

ตาราง 2.9 ผลข้อมูล Net Demand From Reservoir ที่ได้จากการคำนวณในโปรแกรม Excel .... 16

ตาราง 2.10 ผลข้อมูลปริมาณน้ำที่สามารถใช้การ ที่ได้จากการคำนวณในโปรแกรม Excel..... 17

ตาราง 2.11 ผลข้อมูล Storage (S) ที่ได้จากการคำนวณในโปรแกรม Excel..... 18

ตาราง 2.12 ผลข้อมูลการสร้าง Rule Curves ที่ได้ในโปรแกรม Excel ..... 19

ตาราง 2.13 ผลข้อมูลการปล่อยน้ำตามความต้องการ ที่ได้ในโปรแกรม Excel ..... 19

ตาราง 2.14 สถานการณ์การขาดแคลนน้ำและการไหลล้น ที่ได้ในโปรแกรม Excel ..... 19

ตาราง 4.1 การประเมินประสิทธิภาพโค้งกฏปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) โดยใช้ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำน้ำอูน 25 ปี (พ.ศ.2536 – 2560)..... 72

ตาราง 4.2 การประเมินประสิทธิภาพโค้งกฏปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) โดยใช้ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำน้ำอูนสังเคราะห์ข้อมูลขึ้นมา 1,000 ชุดข้อมูล ..... 74

ตาราง 4.3 การประเมินประสิทธิภาพกฏปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) โดยใช้ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ 50 ปี (พ.ศ.2511 – 2560)..... 76

ตาราง 4.4 การประเมินประสิทธิภาพโค้งกฏปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) โดยใช้ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ สังเคราะห์ข้อมูลขึ้นมา 1,000 ชุดข้อมูล..... 77

ตาราง 4.5 การประเมินประสิทธิภาพโค้งกฏปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) โดยใช้ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำน้ำอูน 19 ปี (พ.ศ.2561 – 2579)..... 79

สารบัญภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบ 2.1 การแบ่งปริมาตรอ่างเก็บน้ำ.....	9
ภาพประกอบ 2.2 เกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน.....	10
ภาพประกอบ 2.3 การพร่องน้ำในช่วงเริ่มต้นฤดูฝน.....	21
ภาพประกอบ 2.4 การสำรองน้ำในช่วงฤดูแล้ง.....	21
ภาพประกอบ 3.1 ขั้นตอนการศึกษา.....	38
ภาพประกอบ 3.2 ที่ตั้งอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์.....	40
ภาพประกอบ 3.3 ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์.....	42
ภาพประกอบ 3.4 อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์.....	44
ภาพประกอบ 3.5 ที่ตั้งอ่างเก็บน้ำน้ำอูน.....	46
ภาพประกอบ 3.6 ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำน้ำอูน.....	48
ภาพประกอบ 3.7 อ่างเก็บน้ำน้ำอูน.....	48
ภาพประกอบ 3.8 แผนผังขั้นตอนการตรวจสอบคำตอบที่เป็นไปได้.....	51
ภาพประกอบ 4.1 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำน้ำอูน.....	56
ภาพประกอบ 4.2 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำน้ำอูน.....	57
ภาพประกอบ 4.3 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำน้ำอูน.....	58
ภาพประกอบ 4.4 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำน้ำอูน.....	59
ภาพประกอบ 4.5 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำน้ำอูน.....	60
ภาพประกอบ 4.6 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำน้ำอุบลรัตน์.....	61
ภาพประกอบ 4.7 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำน้ำอุบลรัตน์.....	62
ภาพประกอบ 4.8 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำน้ำอุบลรัตน์.....	63
ภาพประกอบ 4.9 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์.....	64
ภาพประกอบ 4.10 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์.....	65
ภาพประกอบ 4.11 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำน้ำอูน.....	66
ภาพประกอบ 4.12 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำน้ำอูน.....	67
ภาพประกอบ 4.13 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำน้ำอูน.....	68
ภาพประกอบ 4.14 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำน้ำอูน.....	69
ภาพประกอบ 4.15 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำน้ำอูน.....	70

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 หลักการและเหตุผล

น้ำ เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีปริมาณมากถึง 3 ใน 4 ส่วนของโลก นับเป็นองค์ประกอบหลักและมีความสำคัญอย่างยิ่งในการดำรงชีพของพืชและสัตว์ รวมถึงมนุษย์เราเอง และยังมี ความสำคัญในด้านต่างๆ ทั้ง การอุปโภค การบริโภค การเกษตรกรรม การประมง การอุตสาหกรรม การผลิตพลังงานกระแสไฟฟ้า การคมนาคม การท่องเที่ยว การรักษาระบบนิเวศน์ ตลอดจนใช้ในการ ชะล้างน้ำเสียในแหล่งน้ำและการผลักดันน้ำเค็ม จากการใช้ประโยชน์ทรัพยากรน้ำในธรรมชาติที่มีอยู่ อย่างจำกัด ทำให้เกิดวิกฤตการณ์เกี่ยวกับน้ำตามมา นับเป็นปัญหาหนึ่งที่สำคัญของทุกภาคส่วน

ในปัจจุบันประเทศไทยกำลังประสบปัญหาเกี่ยวกับภาวะน้ำท่วมและภัยแล้ง ในหลายพื้นที่ นับวัน ซึ่งมีผลมาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร การขยายตัวของชุมชนเมืองตามความ เจริญเติบโตของประเทศตลอดจนการผันแปรของสภาพภูมิอากาศ เนื่องจากปริมาณน้ำที่มีอยู่อย่าง จำกัดและมาพร้อมกับความต้องการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้นในทุกๆ ปี ทำให้เกิดปัญหาในการบริหารจัดการน้ำ ของอ่างเก็บน้ำในแต่ละแห่ง จากกรณีต่างๆรวมทั้งปัญหาน้ำท่วมใหญ่ในปี พ.ศ.2554 ที่เกิดขึ้น จำเป็นต้องพิจารณาถึงประเด็นที่เกี่ยวข้องและความสัมพันธ์ทั้งหมดในระบบอ่างเก็บน้ำ ทำให้ต้อง ศึกษาการจัดการน้ำให้มีความเหมาะสม เพื่อเป็นแนวทางในการบริหารจัดการน้ำให้มีประสิทธิภาพ

วิธีการจัดการน้ำซึ่งหลักโดยทั่วไปประกอบด้วย ด้านทรัพยากรน้ำต้นทุน (Supply Management) แนวทางการเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนให้กับลุ่มน้ำ เช่น การทำฝนหลวง การผันน้ำจาก ลุ่มน้ำข้างเคียง การสร้างเขื่อน อ่างเก็บน้ำ ฝายทดน้ำ แนวทางการเพิ่มศักยภาพให้น้ำต้นทุน การขุด ลอกแหล่งน้ำ การปรับปรุงอ่างเพื่อเพิ่มความจุ การสร้างระบบส่งน้ำ การอนุรักษ์ป่าต้นน้ำ การ ปรับปรุงระบบการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำและบริหารจัดการแหล่งน้ำหลายแหล่งร่วมกันโดยใช้ ระบบเครือข่ายน้ำ ด้านความต้องการใช้น้ำ (Demand Management) จะประกอบด้วย การ วิเคราะห์ความต้องการใช้น้ำทั้งหมดในลุ่มน้ำ เช่น ความต้องการในด้านอุปโภคและบริโภค การ ชลประทาน การอุตสาหกรรม การคมนาคม การท่องเที่ยว และการรักษาระบบนิเวศน์ การจัดสรรน้ำ การจัดการทรัพยากรน้ำร่วมกับทรัพยากรอื่น การมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้เสีย ตลอดจนการคำนวณ ปริมาณความต้องการของแต่ละภาคส่วนทั้งในปัจจุบันและในอนาคต การปรับปรุงการจัดการอ่าง วิธี หนึ่งสำหรับการจัดการน้ำในอ่างเก็บน้ำที่ไม่สิ้นเปลืองงบประมาณและมีประสิทธิภาพ คือการปรับปรุง การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ

ในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ เครื่องมือที่สำคัญและจำเป็นอย่างหนึ่งคือโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ โค้งปฏิบัติการของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation Rule Curves) ซึ่งได้มาโดยการคำนวณข้อมูลเชิงสถิติ โค้งปฏิบัติการดังกล่าวประกอบด้วยอย่างน้อย 2 เส้น คือ เกณฑ์เก็บกักสูงสุด (Upper Rule Curve) และเกณฑ์เก็บกักต่ำสุด (Lower Rule Curve) ทั้งนี้ การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำจะให้ปริมาณน้ำเฉลี่ยอยู่ระหว่างเส้นทั้งสอง และจะไม่ให้ปริมาณน้ำต่ำกว่าเส้นเกณฑ์เก็บกักต่ำ โค้งทั้งสองเส้นนั้นเป็นเพียงขอบเขตบนและล่างของช่วงการควบคุมระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ โดยจะพยายามควบคุมระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำให้ใกล้เคียงขอบเขตบนและล่างมากที่สุด ในฤดูฝนและฤดูแล้ง ซึ่งในการหาโค้งควบคุมที่เหมาะสม ได้มีการประยุกต์ใช้เทคนิคการหาค่าความเหมาะสมสูงสุดต่างๆ มาใช้อย่างแพร่หลาย เช่น เทคนิคการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธีการศึกษาเลียนแบบ เทคนิคการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธีโปรแกรมเชิงพลวัต เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมด้วยการจำลองการอบเหนียว เทคนิคการหาค่าเหมาะสมด้วยที่สุตดิฟเฟอร์เรนเชียลเอพวอลูชัน เทคนิควิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยระบบอาณาจักรมด เทคนิควิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบนกดูเหว่า เทคนิควิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค เกณฑ์การจัดสรรน้ำที่เหมาะสมด้วยวิธีเทคนิคการค้นหาแบบทาบู เกณฑ์การจัดสรรน้ำที่เหมาะสมด้วยเทคนิควิธีการอาณาจักรผึ้ง ซึ่งการนำเทคนิคเหล่านั้นมาประยุกต์ใช้กับปัญหาที่สนใจ ก็จะได้คำตอบใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามหากมีเทคนิคใหม่ที่สามารถใช้ได้สะดวกและยังให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน ก็เป็นที่น่าสนใจที่จะนำมาประยุกต์ใช้

เทคนิควิธีการหาค่าความเหมาะสมที่น่าสนใจอีกวิธีหนึ่งคือหิ่งห้อย (Firefly Algorithm, FA) (Yang, X.S., 2008) ได้ถูกนำเสนอครั้งแรกโดย Xin-She Yang ในปี ค.ศ. 2008 โดยได้แนวคิดจากการกระพริบแสงของหิ่งห้อยโดยการใช้แสงเป็นการหาคู่หรือล่อเหยื่อมาเป็นอาหาร ในการหาหิ่งห้อยตัวเมียจะถูกดึงดูดจากความสว่างและจังหวะกระพริบแสงของตัวผู้ หิ่งห้อยต่างจะชนิดกันจะมีการกระพริบแสงที่ต่างกันทั้งจังหวะและความเข้มของแสง ในการหาค่าที่ดีที่สุดมีการประยุกต์ใช้แสงของหิ่งห้อยเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดมีหลายงานวิจัยยกตัวอย่าง คือ Amir Hossein Gandomi , Xin-She Yang และ Amir Hossein Alavi (2011) ได้ศึกษาการออกแบบคานยื่นเหล็กรูปพรรณอย่างเหมาะสมด้วยวิธีหิ่งห้อยเทียบกับวิธีอื่น พบว่าวิธีหิ่งห้อยให้คำตอบที่เหมาะสมกว่าวิธีเจนีติกอัลกอริธึม และวิธีกลุ่มอนุภาค ส่วนวิธีฮาโมนีเสิร์ชพบว่าให้คำตอบที่ดีกว่าวิธีหิ่งห้อยเล็กน้อย, ภาสุระ อังกุลานนท์ (2014) ได้ทดสอบปัญหาแรงกดสปริงและแรงกระทำต่อสปริง ด้วยวิธีหิ่งห้อย และวิธีกลุ่มอนุภาค พบว่าวิธีหิ่งห้อยให้ผลดีกว่าทั้งเรื่องค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุดและระยะเวลาในการคำนวณ, เอกราช ประกอบกิจ (2015) ได้ใช้วิธีหิ่งห้อยในการออกแบบอย่างเหมาะสมสำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก พบว่าวิธีหิ่งห้อยให้คำตอบที่ดีกว่าวิธีฮาโมนีเสิร์ช และวิธีการจำลองการอบเหนียว เมื่อมีตัวแปรน้อย อย่างไรก็ตามยังไม่ปรากฏว่าได้ถูกนำมาใช้ในการค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมแต่อย่างใด



ดังนั้นในการศึกษาวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงจะประยุกต์ใช้เทคนิควิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีหึ่งห้อย (FA) ในการจัดการน้ำของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ อำเภออุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น และอ่างเก็บน้ำน้ำอูน อำเภอพังโคน จังหวัดสกลนคร

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ประยุกต์ใช้แบบจำลองหึ่งห้อย (FA) ปรับปรุงโครงสร้างของอ่างเก็บน้ำ
2. ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองที่เสนอ ในการปรับปรุงโครงสร้างของอ่างเก็บน้ำ

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. สร้างแบบจำลองเทคนิควิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีหึ่งห้อย (FA)
2. พื้นที่ศึกษาอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ มีความจุเท่ากับ 2,431.3 ล้าน ลบ.ม. คือ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ อ.อุบลรัตน์ จ.ขอนแก่น
3. พื้นที่ศึกษาอ่างเก็บน้ำน้ำอูน มีความจุเท่ากับ 520 ล้าน ลบ.ม. คือ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาน้ำอูน อำเภอพังโคน จังหวัดสกลนคร
4. ข้อมูลน้ำท่ารายเดือน จากสถานีวัดน้ำอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ และสถานีวัดน้ำโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาอ่างเก็บน้ำน้ำอูน
5. ความต้องการใช้น้ำของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ และโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาอ่างเก็บน้ำน้ำอูน
  - 5.1 พิจารณาการใช้น้ำด้านต่างๆ ได้แก่ การชลประทาน การอุปโภค-บริโภค การอุตสาหกรรม ผลิตไฟฟ้า และการรักษาระบบนิเวศท้ายน้ำ
  - 5.2 ข้อมูลที่นำมาใช้ในการศึกษาปริมาณความต้องการน้ำรวบรวมและอ้างอิงจากรายงานการศึกษาวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม โครงการปรับปรุงประสิทธิภาพการเก็บกักน้ำอุบลรัตน์ และอ่างเก็บน้ำน้ำอูน กรมชลประทาน
  - 5.3 พิจารณากรณีน้ำท่าไหลเข้าอ่างในอนาคต เพื่อทดสอบเปรียบเทียบโครงสร้าง

## ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

ในบทนี้เป็นการศึกษาถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้เกิดความเข้าใจในทฤษฎีต่างๆที่นำมาใช้อย่างเป็นลำดับ จึงขอนำเสนอทฤษฎีต่างๆ รวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามลำดับหัวข้อต่อไปนี้

1. การจัดการน้ำ
2. การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ
3. การปรับปรุงโค้งควบคุม
4. เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยหิ้งห้อยอัลกอริทึม
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รายละเอียดของแต่ละหัวข้อจะอธิบายดังต่อไปนี้

### 2.1 การจัดการน้ำ

การจัดการน้ำ คือการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในลุ่มน้ำ ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด กล่าวคือ การจัดการน้ำต้นทุน หรือเรียกว่าการจัดการด้านอุปทาน (Supply Management) และการจัดการด้านความต้องการสำหรับกิจกรรมการใช้น้ำ หรือที่เรียกว่าการจัดการด้านอุปสงค์ (Demand Management) ในการจัดการด้านอุปทาน จะต้องพยายามใช้น้ำต้นทุนที่มีอยู่ ทำให้เกิดประสิทธิภาพประกอบสูงสุด โดยพยายามใช้น้ำต้นทุนนั้น ให้สอดคล้องกับความต้องการใช้น้ำ ในปัจจุบันปริมาณทรัพยากรน้ำมีอยู่อย่างจำกัด ทำให้ต้องมีการวางแผนการจัดการอย่างรอบคอบ เพื่อไม่ทำให้เกิดวิกฤตการณ์น้ำ โดยมีงานหลายสาขาที่เกี่ยวข้อง เช่น ไฮดรอลิก การจัดการแหล่งน้ำ รวมทั้งด้านสิ่งแวดล้อม ร่วมกับการใช้ทรัพยากรด้านอื่น เช่น การใช้ที่ดิน แร่ธาตุ และการขยายตัวของชุมชน เป็นต้น เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด อนึ่งเพื่อป้องกันปัญหาทางด้านแหล่งน้ำ ที่จะส่งผลกระทบต่อปัญหาด้านอื่นๆ เช่น กระทบการผลิตอาหาร การเพาะปลูก การเลี้ยงสัตว์ และอุตสาหกรรมที่มีความจำเป็นต้องใช้น้ำเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งผลิตพลังงาน และรักษาสมดุลของสภาพสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ความต้องการน้ำที่มีมากขึ้น ทำให้ต้องมีการบริหารจัดการน้ำ เพื่ออุปโภค บริโภคมากขึ้น จากการเสด็จพระราชดำเนินไปเยี่ยมเยียนพสกนิกรนับตั้งแต่ทรงขึ้นครองราชย์ ทำให้ทรงตระหนักว่าภัยแล้งและน้ำเพื่อการเกษตรและบริโภคอุปโภคเป็นปัญหาที่รุนแรงและสำคัญที่สุด การจัดการทรัพยากรน้ำและการพัฒนาแหล่งน้ำเพื่อการเพาะปลูกและบริโภคอุปโภค

นับว่าเป็นงานที่มีความสำคัญ และมีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับประชาชนส่วนใหญ่ของประเทศในการช่วยให้เกษตรกรทำการเพาะปลูกได้อย่างสมบูรณ์ตลอดปี ในปัจจุบันพื้นที่การเพาะปลูกส่วนใหญ่ทุกภาคของประเทศเป็นพื้นที่เพาะปลูกนอกเขตชลประทาน ซึ่งต้องอาศัยเพียงน้ำฝน และน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติเป็นหลัก ทำให้พืชได้รับน้ำไม่สม่ำเสมอตามที่ต้องการ เป็นผลให้ผลผลิตที่ได้รับไม่ดีเท่าที่ควร พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ทรงใฝ่พระราชหฤทัยเกี่ยวกับการจัดการพัฒนาแหล่งน้ำเป็นอย่างยิ่ง มีพระราชดำริว่าน้ำคือปัจจัยสำคัญต่อมนุษย์และบรรดาสสิ่งมีชีวิตอย่างถ่องแท้ ดังพระราชดำรัส ณ สวนจิตรลดา เมื่อวันที่ 17 มีนาคม พ.ศ. 2529 ความตอนหนึ่งว่า " หลักสำคัญว่าต้องมีน้ำบริโภค น้ำใช้น้ำเพื่อการเพาะปลูก เพราะว่าชีวิตอยู่ที่นั่น ถ้ามีน้ำคนอยู่ได้ ถ้าไม่มีน้ำ คนอยู่ไม่ได้ ไม่มีไฟฟ้าคนอยู่ได้ แต่ถ้ามีไฟฟ้าไม่มีน้ำคนอยู่ไม่ได้ " ในการจัดการทรัพยากรน้ำนั้นทรงมุ่งขจัดปัญหาความแห้งแล้งอันเนื่องมาจากสภาพของป่าไม้ต้นน้ำเสื่อมโทรม ลักษณะดินเป็นดินปนทราย หรือการขาดแหล่งน้ำจืด การจัดการทรัพยากรน้ำโดยการพัฒนาแหล่งน้ำอันเนื่องมาจากพระราชดำรินั้น มีหลักและวิธีการที่สำคัญ ๆ คือ การพัฒนาแหล่งน้ำจะเป็นรูปแบบใด ต้องเหมาะสมกับรายละเอียดสภาพภูมิประเทศแต่ละท้องที่เสมอ และการพัฒนาแหล่งน้ำต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมในด้านเศรษฐกิจ และสังคมของท้องถิ่น หลีกเลี่ยงการเข้าไปสร้างปัญหาความเดือดร้อนให้กับคนกลุ่มหนึ่ง โดยสร้างประโยชน์ให้กับคนอีกกลุ่มหนึ่ง ไม่ว่าประโยชน์ทางด้านเศรษฐกิจเกี่ยวกับการลงทุนนั้นจะมีความเหมาะสมเพียงใดก็ตาม ด้วยเหตุนี้การทำงานโครงการพัฒนาแหล่งน้ำทุกแห่งจึงพระราชทานพระราชดำริไว้ว่า ราษฎรในหมู่บ้าน ซึ่งได้รับประโยชน์จะต้องดำเนินการแก้ไขปัญหาเรื่องที่ดิน โดยจัดการช่วยเหลือผู้ที่เสียประโยชน์ตามความเหมาะสมที่จะตกลงกันเอง เพื่อให้ทางราชการสามารถเข้าไปใช้ที่ดินทำการก่อสร้างได้ โดยไม่ต้องจัดซื้อที่ดิน ซึ่งเป็นพระบรมราโชบายที่มุ่งหวังให้ราษฎรมีส่วนร่วมกับรัฐบาล และช่วยเหลือเกื้อกูลกันภายในสังคมของตนเอง และมีความห่วงหาอาทรที่ต้องดูแลบำรุงรักษาสิ่งก่อสร้างนั้นต่อไป

การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในลุ่มน้ำ ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด จำเป็นต้องจัดหาทั้งระบบซึ่งการบริหารทรัพยากรน้ำไม่ใช่เป็นเรื่องที่ทำกันวันต่อวันหรือปีต่อปี แต่ต้องเป็นการบริหารระยะยาวหลายปี มีการวางแผนล่วงหน้า โดยมีหลักการกระจายน้ำจากพื้นที่ส่วนเกินไปยังพื้นที่ขาดแคลนในจังหวะเวลาที่พอดี ซึ่งก็คือ ต้องมีฐานข้อมูลปริมาณน้ำและความต้องการใช้น้ำในอดีตและปัจจุบัน จำแนกตามพื้นที่ ฤดูกาล ลักษณะการใช้ และผู้ใช้อย่างละเอียด รวมทั้งมีการคำนวณถึงภาวะในอนาคต แล้วมีโครงการต่างๆ มารองรับ

การจัดการน้ำต้นทุน หรือเรียกว่าการจัดการด้านอุปทาน (Supply Management) และการจัดการด้านความต้องการสำหรับกิจกรรมการใช้น้ำ หรือที่เรียกว่าการจัดการด้านอุปสงค์ (Demand Management)

### 2.1.1 การจัดการด้านน้ำต้นทุน

การจัดการบริหารน้ำต้นทุนจะต้องพยายามใช้น้ำต้นทุนที่มีอยู่ ทำให้เกิดประสิทธิภาพที่สูงสุด โดยพยายามใช้น้ำต้นทุนนั้น ให้สอดคล้องกับความต้องการใช้น้ำ อย่างไรก็ตามถ้าขนาดของต้นทุนไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำจะต้องพยายามหาน้ำมาเพิ่มเติมให้แก่ลุ่มน้ำก่อน เช่น การผลิตฝนหลวงเพื่อปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าในลุ่มน้ำ แต่การเพิ่มปริมาณน้ำให้แก่ลุ่มน้ำโดยการทำฝนหลวง จะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เฉพาะในกรณีของการขาดแคลนน้ำ ที่เกิดขึ้นเนื่องจากฝนทิ้งช่วงในฤดูฝนเท่านั้น หรือการสร้างอ่างเก็บน้ำและระบบท่อเพิ่มเติมในพื้นที่ที่จำเป็น นอกจากนี้ยังหาน้ำต้นทุนได้จากแหล่งน้ำใต้ดิน ซึ่งเป็นแหล่งน้ำขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามวิธีนี้จะทำได้เฉพาะพื้นที่ที่น้ำใต้ดินมีคุณภาพเหมาะสมเท่านั้น หรือการจัดตั้งโครงการธนาคารน้ำเป็นการรวบรวมเก็บกักน้ำต้นทุนจากแหล่งน้ำธรรมชาติตามศักยภาพของพื้นที่ไม่ว่าจะเป็นแหล่งน้ำจากน้ำฝน แหล่งน้ำจากน้ำผิวดิน แหล่งน้ำจากน้ำใต้ดิน เพื่อเก็บออมสะสมไว้ใช้ประโยชน์ โดยมีการบริหารจัดการร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพ เป็นธรรมและยั่งยืน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการจัดการด้านอุปทานในที่นี้ก็คือ การจัดการอ่างเก็บน้ำ แต่ปัจจุบัน การบริหารจัดการน้ำถูกกระจายไปสู่หน่วยงานต่างๆ จำนวนมากหลายกรมหลายกระทรวง โดยไม่มีฐานข้อมูลที่เป็นเอกภาพ ไม่มีใครรู้จริงๆว่า ในแต่ละปี ประเทศไทยมีปริมาณน้ำเท่าใด กระจายในพื้นที่ใดบ้าง ลักษณะการใช้และผู้ใช้เป็นอย่างไร ในปีหน้าและปีต่อไปแต่ละพื้นที่จะมีน้ำพอใช้หรือไม่ แล้วควรจะมีโครงการผันน้ำอย่างไรและที่ใดบ้าง เป็นต้น

ดังนั้นการใช้ทรัพยากรน้ำต้นทุนที่มีอยู่และการเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนให้แก่แหล่งน้ำธรรมชาติและอ่างเก็บน้ำที่ได้ก่อสร้างไว้แล้วให้เกิดประโยชน์สูงสุด นับเป็นอีกหนทางหนึ่งในการพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่แหล่งน้ำที่ควรจะดำเนินการคู่ขนานกันไป นอกจากนี้การกระจายน้ำไปยังพื้นที่ต่าง ๆ ให้แก่ราษฎรอย่างทั่วถึงนับเป็นความจำเป็นอย่างหนึ่งที่จะทำให้ราษฎรในพื้นที่ต่าง ๆ มีโอกาสได้มีน้ำใช้อย่างเพียงพออย่างน้อยเพื่อการอุปโภคบริโภคตลอดทั้งปี อันจะเป็นผลให้ราษฎรมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น

### 2.1.2 การจัดการด้านความต้องการน้ำ

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิต ทั้งเพื่อการอุปโภคบริโภคและเพื่อการเพาะปลูก ปริมาณน้ำที่มีอยู่ตามแหล่งน้ำธรรมชาติจะมีอยู่เฉพาะในช่วงฤดูฝน แม้ว่าทางหน่วยงานราชการต่าง ๆ จะได้ก่อสร้างอ่างเก็บน้ำขนาดต่าง ๆ กระจายอยู่ตามพื้นที่ที่มีความเหมาะสม เพื่อเก็บกักน้ำไว้ในฤดูแล้งให้มากที่สุดก็ตามก็ยังมีน้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการ ซึ่งนับวันจะมีความต้องการน้ำเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วจากจำนวนราษฎรที่มากขึ้น และน้ำซึ่งเคยเป็นทรัพยากรที่คิดกันว่ามิมีมากมายในประเทศไทย ขณะนี้กำลังกลายเป็นทรัพยากรที่มีจำกัดและต้องแย่งชิงกัน ปัญหาเกิดจากความต้องการน้ำของกลุ่มต่างๆ ที่เพิ่มมากขึ้นในขณะที่การใช้น้ำยังขาดประสิทธิภาพ ปริมาณน้ำจืดที่หมุนเวียนในกระบวนการอุทกวิทยาตามธรรมชาติลดน้อยลงเนื่องจากการตัดไม้ทำลายป่า น้ำในบางส่วนก็เสื่อม

คุณภาพจนยากต่อการนำมาใช้ประโยชน์ เนื่องจากน้ำเสียจากชุมชนและอุตสาหกรรม ตลอดจนสารเคมี

กลยุทธ์และมาตรการเพื่อการจัดหาน้ำให้เพียงพอต่อความต้องการและควบคุมการใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพ เสมอภาค และยุติธรรม จึงมีความสำคัญยิ่งต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ นอกจากนี้การจัดความขัดแย้งและการประสานการใช้น้ำระหว่างกลุ่มผลประโยชน์ต่างๆอย่างยุติธรรม ยังเป็นฐานรากที่สำคัญสำหรับความมั่นคงของชุมชนและประเทศ

ในปัจจุบัน ชุมชนที่มีความเจริญและมีประชากรหนาแน่นส่วนใหญ่จะอยู่ในเขตพื้นที่ลุ่มที่มีความอุดมสมบูรณ์และน้ำเป็นปัจจัยสำคัญเพื่อการผลิตทางการเกษตร อุตสาหกรรม การคมนาคม ตลอดจนการท่องเที่ยวพักผ่อนหย่อนใจ และกิจกรรมอื่นๆ ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อหาวิธีที่รัดกุม ในการวางแผนการดำเนินงานอ่างเก็บน้ำแบบรายเดือน สำหรับการใช้ที่ดินในปัจจุบัน และแนวโน้มการใช้ที่ดินในอนาคต และเสนอแผนการผันน้ำ ที่เหมาะสมเมื่อความต้องการใช้น้ำ และปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเปลี่ยนไป ดังนั้นจึงควรมีการวางแผนการเพื่อรับมือและป้องกันวิกฤตการณ์การขาดแคลนน้ำจากสาเหตุต่างๆ เช่น ความต้องการน้ำใช้ในกิจกรรมต่างๆ มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น ความสมดุลของทรัพยากรน้ำระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝนไม่สมดุล รวมถึงการใช้น้ำในกิจกรรมต่างๆ ที่ขาดแผนการใช้ที่รัดกุมและเหมาะสม รวมทั้งขาดองค์กรระดับชาติที่จะเข้ามาบริหารจัดการแหล่งน้ำ ตลอดจนแหล่งน้ำที่มีอยู่ในปัจจุบันมีสภาพเสื่อมโทรม เน่าเสีย คุณภาพไม่เหมาะสม ไม่สามารถนำมาใช้ได้ จากปัญหาที่กล่าวมานี้ เกิดจากสาเหตุหลายประการ เช่น

1) สภาพแหล่งต้นน้ำลำธารถูกทำลาย การบุกรุกทำลายแหล่งน้ำ ส่งผลให้ พื้นที่ต้นน้ำลำธารอันเป็นแหล่งกำเนิดน้ำ ไม่สามารถดูดซับหรือชะลอน้ำไว้ในดิน เมื่อเกิดฝนตกหนักจึงทำให้มีน้ำไหลบ่าลงมาท่วมพื้นที่ตอนล่างอย่างรวดเร็วและรุนแรง

2) สภาพน้ำท่า เนื่องจากปริมาณน้ำฝนที่ตกชุก ในทุกๆ ภาคของประเทศไทย ปริมาณน้อยกว่าเกณฑ์เฉลี่ย โดยเฉพาะในภาคเหนือ ภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีแนวโน้มลดลง ส่งผลให้ปริมาณน้ำท่ามีปริมาณลดลงไปด้วย

3) การใช้น้ำและความต้องการน้ำเพิ่มขึ้นในทุกลุ่มน้ำ กิจกรรมต่างๆ ทั้งทางอุตสาหกรรม เกษตรกรรม อุปโภคและบริโภค การท่องเที่ยว ตลอดจนการพัฒนาในด้านสังคมและวัฒนธรรมล้วนเป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดความต้องการใช้น้ำเพิ่มมากขึ้น

4) การบุกรุกทำลายพื้นที่ชุ่มน้ำต่างๆ การขยายตัวของบ้านจัดสรรโรงงานอุตสาหกรรม การพัฒนาการคมนาคมขนส่ง โดยขาดการวางแผนก่อให้เกิดการบุกรุกทำลายพื้นที่ชุ่มน้ำหรืออาจทำให้มีการปนเปื้อนของสารพิษลงสู่แหล่งน้ำ เป็นต้น

## 2.2 การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operations)

การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำหมายถึง การเก็บกักน้ำในอ่างเก็บน้ำและการส่งน้ำจากอ่างเก็บน้ำเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ โดยมีการวางแผนล่วงหน้าว่าควรเก็บกักและส่งน้ำจากอ่างเก็บน้ำในแต่ละช่วงเวลาเป็นปริมาณเท่าใด และมีการปฏิบัติตามแผนที่วางไว้ตราบเท่าที่สภาพในอนาคตเป็นไปตามที่คาดคะเนไว้ ถ้าสภาพในอนาคตต่างจากที่คาดคะเนไว้ในตอนวางแผนการปฏิบัติการอาจต่างจากแผนที่วางไว้เพื่อลดสถานะการขาดแคลนน้ำหรือน้ำล้นอ่าง

### 2.2.1 ประเภทของอ่างเก็บน้ำ

อ่างเก็บน้ำถ้าแบ่งตามวัตถุประสงค์ของการใช้น้ำจะแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ อ่างเก็บน้ำเอกประสงค์ (Single Purpose Reservoir) และอ่างเก็บน้ำเอนกประสงค์ (Multipurpose Reservoir)

#### 1) อ่างเก็บน้ำเอกประสงค์

เป็นอ่างเก็บน้ำที่ทำหน้าที่เก็บน้ำไว้ใช้สำหรับวัตถุประสงค์เพียงอย่างเดียวอย่างหนึ่งเท่านั้น เช่น การเกษตร หรือการอุปโภค-บริโภค หรือการผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งการบริหารจัดการน้ำในอ่างเก็บน้ำจะง่ายที่สุด เช่น อ่างเก็บน้ำสิรินธรมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว อ่างเก็บน้ำลำประเทวซึ่งมีไว้เพื่อทำการชลประทาน เป็นต้น

#### 2) อ่างเก็บน้ำเอนกประสงค์

เป็นอ่างเก็บน้ำที่ทำหน้าที่เก็บน้ำไว้ใช้สำหรับหลายวัตถุประสงค์พร้อมกัน เช่น การเกษตร การอุปโภค-บริโภค การอุตสาหกรรม การคมนาคม เป็นต้น ดังนั้นการบริหารจัดการน้ำย่อมมีความสลับซับซ้อนและยุ่งยากมากขึ้นกว่าอ่างเก็บน้ำเอกประสงค์ เช่น อ่างเก็บน้ำภูมิพล อ่างเก็บน้ำสิริกิติ์ ที่สร้างขึ้นมาเพื่อวัตถุประสงค์หลายอย่าง เช่น การผลิตกระแสไฟฟ้า การชลประทาน การเกษตร และอุตสาหกรรมบางประเภท

### 2.2.2 หลักการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำด้วยโค้งควบคุม

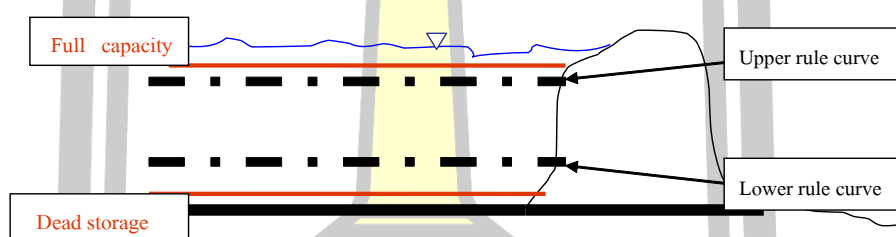
อ่างเก็บน้ำ คือ โกลโกที่มีมนุษย์สร้างขึ้นมา เพื่อทำหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลมาตามธรรมชาติ เพื่อวัตถุประสงค์อย่างใดอย่างหนึ่ง (Single Purpose Reservoir) หรือหลายอย่าง (Multipurpose Reservoir) เช่น การเกษตร การอุปโภค-บริโภค การอุตสาหกรรม การคมนาคม เป็นต้น

อ่างเก็บน้ำจะประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 3 ส่วน คือ ตัวอ่างเก็บน้ำ (Reservoir) ทางระบายน้ำล้น (Spillway) และอาคารทางออก (Outlet works)

ตัวอ่างเก็บน้ำ (Reservoir) เกิดจากการสร้างเขื่อนกันหุบเขา ปริมาตรอ่างเก็บน้ำขึ้นอยู่กับลักษณะหุบเขา และความสูงของเขื่อน อ่างเก็บน้ำจะแบ่งปริมาตรออกเป็นส่วนต่าง ๆ ซึ่ง

แสดงไว้ในภาพที่ 1 ดังนี้ ระดับต่ำสุด (Minimum Pool level) ระดับเก็บกักปกติ (Normal Pool level)

ระดับสูงสุด (Maximum level) และฟรีบอร์ด (Freeboard) ทางระบายน้ำล้นเป็นอาคารที่ทำหน้าที่ระบายน้ำส่วนเกินในยามที่คลื่นน้ำท่วมขนาดใหญ่เคลื่อนตัวผ่านอ่างเก็บน้ำ และอาคารทางออก เป็นอาคารที่ทำหน้าที่ควบคุมการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำเพื่อนำไปใช้ในวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ความสัมพันธ์ระหว่างความจุและผลผลิตของอ่างเก็บน้ำ จะบอกให้รู้ว่าความจุของอ่างเก็บน้ำที่ต่างกันย่อมมีผลผลิตที่แตกต่างกันด้วย ดังนั้นผลผลิตของอ่างเก็บน้ำจึงเป็นปริมาณน้ำที่จะสามารถนำเอาไปใช้จากอ่างเก็บน้ำได้ในช่วงระยะเวลาที่กำหนด โดยปกติช่วงระยะเวลาที่

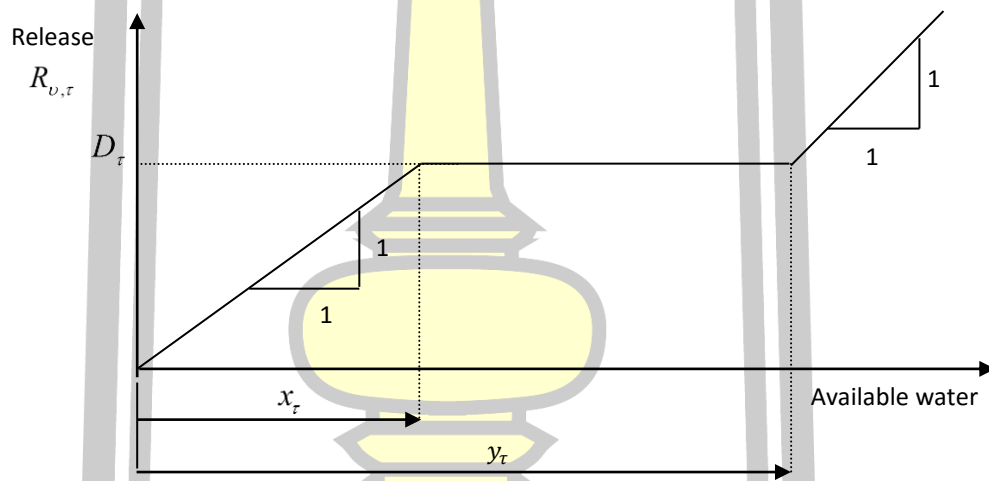


ภาพประกอบ 2.1 การแบ่งปริมาตรอ่างเก็บน้ำ

ที่มา: อนงค์ฤทธิ แข็งแรง (2551)

กำหนดคือ 1 ปี และผลผลิตของอ่างเก็บน้ำที่มีขนาดความจุที่กำหนดจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ซึ่งจะมีความผันแปรในแต่ละปี ดังนั้นในการออกแบบเพื่อความปลอดภัยจึงใช้ผลผลิตที่แน่นอน (Firm Yield) เป็นผลผลิตที่น้อยที่สุด ซึ่งจะเป็นปริมาณน้ำที่มากที่สุดที่จะประกันได้ว่าสามารถนำเอาไปใช้จากอ่างเก็บน้ำที่มีความจุที่กำหนดไว้ในช่วงเวลาวิกฤต (Critical Period) ซึ่งช่วงเวลาวิกฤตคือช่วงที่มีความแตกต่างของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำกับความต้องการใช้น้ำมากที่สุดซึ่งก็คือฤดูแล้ง ดังนั้นผลผลิตที่แน่นอนคือผลผลิตที่มีค่าน้อยที่สุดในช่วงอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำ ดังนั้นในปีที่แล้งที่สุดสามารถประกันได้ว่าจะมีน้ำใช้อย่างเพียงพอสำหรับความต้องการน้ำประเภทต่าง ๆ และหากมีปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำมากจะให้ผลผลิตมากกว่าผลผลิตที่แน่นอน ซึ่งส่วนนั้นเรียกว่าผลผลิตรอง (Secondary Yield) สามารถจะนำไปใช้กับวัตถุประสงค์อื่นที่รองลงมาได้ และอ่างเก็บน้ำไม่ว่าจะสร้างให้มีความจุขนาดใหญ่ได้เพียงใด ผลผลิตที่แน่นอนก็จะไม่มากเกินกว่าผลผลิตที่เป็นไปได้สูงสุด (Maximum Possible Yield) ซึ่งผลผลิตที่เป็นไปได้สูงสุดจะเท่ากับปริมาณ

น้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย (Mean Flow) หักด้วยการสูญเสียต่างๆ จากอ่างเก็บน้ำ หลังจากการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำแล้วเสร็จ เพื่อให้จะให้บรรลุวัตถุประสงค์และใช้ประโยชน์อย่างเต็มศักยภาพ การบริหารจัดการน้ำจากอ่างเก็บน้ำจึงมีความสำคัญยิ่ง ดังนั้นเพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้ควบคุมการใช้อ่างเก็บน้ำและปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ดังกล่าวมา และก่อให้เกิดผลผลิตในเชิงเศรษฐศาสตร์มากที่สุด จึงจำเป็นต้องมีการวางกฎการปฏิบัติงานของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operating Rules) ซึ่งกฎนี้จะใช้ในช่วงเวลาการปฏิบัติงานตามปกติ ไม่ใช่ช่วงหลังการก่อสร้างเสร็จใหม่ๆ หรือช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงวัตถุประสงค์การใช้อ่างเก็บน้ำ ในการเริ่มต้นคำนวณสภาพสมดุลน้ำของแต่ละอ่างจากโค้งควบคุม จะกำหนดให้ปริมาณเก็บกักเริ่มต้นของอ่างที่ระดับเต็มอ่างหรือระดับเก็บกักสูงสุด (Full Capacity) ส่วนปริมาณน้ำระบายจะหาได้ตามเกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน (Standard Operating Rule) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.2 และสมการที่ 2.1



ภาพประกอบ 2.2 เกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน

ที่มา: อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง (2551)

$$R_{v,\tau} = \begin{cases} D_{\tau} + W_{v,\tau} - y_{\tau}, & \text{for } W_{v,\tau} \geq y_{\tau} + D_{\tau} \\ D_{\tau}, & \text{for } x_{\tau} \leq W_{v,\tau} < y_{\tau} + D_{\tau} \\ D_{\tau} + W_{v,\tau} - x_{\tau}, & \text{for } x_{\tau} - D_{\tau} \leq W_{v,\tau} < x_{\tau} \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad \dots(2.1)$$

เมื่อ  $R_{v,\tau}$  คือปริมาณน้ำที่ระบายออกจากอ่างเก็บน้ำในช่วงปี  $v$  ของเดือน  $\tau$  ( $\tau =$



1 ถึง 12 แทนเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม)  $D_{\tau}$  เป็นความต้องการใช้น้ำทำอ่างของเดือน  $\tau$ ,  $x_{\tau}$  เป็นขอบเขตล่างของโค้งควบคุมของเดือน  $\tau$ ,  $y_{\tau}$  เป็นขอบเขตบนของโค้งควบคุมของเดือน  $\tau$  และ  $W_{v,\tau}$  เป็นปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ของอ่างในเดือน  $\tau$  จากนั้นคำนวณหาปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ของอ่างเก็บน้ำในเดือนถัดไป โดยใช้หลักสมการสมดุลน้ำต่อไปนี้

$$W_{v,\tau+1} = S_{v,\tau} + Q_{v,\tau} - R_{v,\tau} - E_{\tau} - DS \quad \dots(2.2)$$

เมื่อ  $S_{v,\tau}$  เป็นปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเมื่อสิ้นสุดเดือน  $\tau$ ,  $Q_{v,\tau}$  เป็นปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่างในเดือน  $\tau$  ปี  $v$ ,  $E_{\tau}$  เป็นค่าการระเหยรายเดือนเฉลี่ยเดือน  $\tau$  และ  $DS$  เป็นปริมาตรเก็บกักที่ไม่ได้ใช้การ (Dead Storage) เมื่อทำการจำลองสภาพสมดุลน้ำโดยใช้แบบจำลองการเลียนแบบสภาพสมดุลน้ำที่สร้างขึ้นจนครบจำนวนปีที่มีข้อมูลแล้ว ก็จะได้ผลการจำลองเป็นสถานการณ์ขาดแคลนน้ำ และสถานการณ์ที่เกิดน้ำส่วนเกินได้ (ความถี่ ขนาด ช่วงเวลา) จากนั้นก็ทำการบันทึกข้อมูลดังกล่าวไว้ สำหรับกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ต่อการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ ซึ่งมีหลายแบบแต่ละแบบจะบอกปริมาณน้ำที่ต้องปล่อยจากอ่างเก็บน้ำหรือไม่ก็บอกปริมาณน้ำที่ต้องการเก็บกักในอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาต่าง ๆ ของปีซึ่งเรียก โค้งกฎการปฏิบัติงาน (Rule Curves) และ หนึ่งในจำนวนที่มากมายของเครื่องมือที่มีประโยชน์ต่อการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ คือ โค้งกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation Rule Curves) โค้งกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำหรือบางครั้งเรียกว่าโค้งแนวปฏิบัติ (Guide Curves) ซึ่งจะได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางอุทกวิทยาในอดีต (Historical Data) ซึ่งมีเงื่อนไขต่าง ๆ กันร่วมกับความต้องการน้ำในการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำโดยเฉพาะอ่างเก็บน้ำแบบเอนกประสงค์นั้นจำเป็นต้องมีเกณฑ์ในการปฏิบัติงานแบบหลายเกณฑ์ร่วมกัน เช่น เกณฑ์ทางด้านสังคม เศรษฐศาสตร์และวิศวกรรมเป็นต้น ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์ มีความยุติธรรมและประสิทธิภาพมากที่สุด หลังจากนั้นจึงสร้างเป็นกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ และพัฒนาให้เป็นเครื่องมืออย่างง่ายในการปฏิบัติคือ โค้งกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำซึ่งหลักการของการพัฒนาโค้งกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ คือ ในช่วงฤดูฝนจะพร่องน้ำจากอ่างเก็บน้ำในแต่ละช่วงเวลาที่กำหนดในปริมาณเท่าใด เพื่อให้มีปริมาตรว่างสำหรับรับปริมาณน้ำหลากที่จะไหลเข้าอ่างเก็บน้ำโดยไม่เกิดการไหลล้นอ่าง ซึ่งจะก่อให้เกิดอุทกภัยในบริเวณด้านท้ายอ่างเก็บน้ำ หรือหากเกิดการไหลล้นอ่างเก็บน้ำก็ให้น้อยที่สุด และในขณะเดียวกันต้องรักษาปริมาณน้ำไว้ในอ่างเก็บน้ำสำหรับใช้ในฤดูแล้ง ซึ่งเส้นโค้งของกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเส้นนี้เรียกว่า Upper Rule Curve (URC) และในช่วงฤดูแล้งจะรักษาปริมาณน้ำไว้ในอ่างเก็บน้ำในแต่ละช่วงเวลาที่กำหนดไว้เท่าใดจึงจะลดความ

เสี่ยงต่อการเกิดน้ำแข็งอ่างเก็บน้ำ ซึ่งโค้งของกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเส้นนี้เรียกว่า Lower Rule Curve (LRC)

### 2.2.3 การสร้างโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ แบบไม่ใช่โปรแกรมช่วย (Manual)

โค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) จะถูกสร้างขึ้นโดยยึดหลักการปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุด ในขณะที่เดียวกันต้องปล่อยน้ำให้เพียงพอกับความต้องการด้านต่างๆ แนวคิดของโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ คือ การบริหารจัดการระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ ณ เวลาใดๆ ให้เป็นไปตามโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่สร้างขึ้นมา

ในการสร้างโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ นั้นมีเงื่อนไขมากมายที่นำมาพิจารณา เช่น ความต้องการน้ำด้านชลประทาน ด้านการอุปโภคบริโภค ด้านการอุตสาหกรรม เพื่อการรักษาระบบนิเวศ และอื่นๆ ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ และข้อกำหนดในการระบายน้ำของระบบชลประทาน เพื่อใช้เป็นแนวทางการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำให้เป็นอย่างเหมาะสม และมีประสิทธิภาพ สามารถบรรเทาผลกระทบน้ำท่วม และกักเก็บน้ำไว้ใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ ในช่วงฤดูแล้งได้อย่างเต็มศักยภาพ

#### 1) ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

การรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน ประกอบด้วย

##### 1.1) ข้อมูลอ่างเก็บน้ำ ประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญดังนี้

##### 1.1.1) ระดับความจุของอ่างเก็บน้ำ ประกอบด้วย ระดับความจุต่ำสุด

ระดับความจุเก็บกักและระดับความจุสูงสุด

##### 1.1.2) โค้งความสัมพันธ์ระดับเก็บกัก-ความจุ-พื้นที่ผิวน้ำ

##### 1.2) ข้อมูลอุตุ-อุทกวิทยา ประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญดังนี้

##### 1.2.1) ข้อมูลรายเดือนของปริมาณฝน

##### 1.2.2) ข้อมูลปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำ

##### 1.2.3) ข้อมูลปริมาณการระเหย

##### 1.3) ข้อมูลความต้องการใช้น้ำ ประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญดังนี้

##### 1.3.1) ความต้องการใช้น้ำเพื่อการชลประทาน

##### 1.3.2) ความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค/การประปา

##### 1.3.3) ความต้องการใช้น้ำเพื่อการคมนาคม/รักษาระบบนิเวศ

##### 1.3.4) ความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุตสาหกรรม และอื่น ๆ

#### 2) ขั้นตอนการสร้างโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ

การคำนวณและการจัดทำ Rule Curve ได้นำเสนอการคำนวณและจัดทำโค้งปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ด้วยเทคนิคของการทำสมดุลน้ำและใช้โปรแกรม Excel สำหรับการป้อนข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้ในการคำนวณ

ขั้นตอนที่ 1 กรอกข้อมูลปริมาณการระเหยเฉลี่ย การใช้น้ำด้านอุตสาหกรรม ข้อมูลน้ำฝน อุณหภูมิบริเวณ รัศมีระบบนิเวศ ฝนใช้การ ความต้องการด้านชลประทาน ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำ (ข้อมูลอย่างน้อย 3 ปีย้อนหลัง ปี พ.ศ. 2514 – พ.ศ. 2516) เป็นข้อมูลรายเดือน หน่วย ล้าน ลบ.ม. (MCM.) ดังแสดงในตาราง 2.1 – 2.7

ตาราง 2.1 การกรอกข้อมูลปริมาณการระเหยเฉลี่ย ที่ใช้คำนวณในโปรแกรม Excel

Evaporation ( E ) หน่วย MCM.												
พ.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2514	6.16	5.53	8.46	5.36	4.48	4.14	4.58	4.71	6.02	7.46	6.93	6.25
2515	6.16	5.53	8.46	5.36	4.48	4.14	4.58	4.71	6.02	7.46	6.93	6.25
2516	6.16	5.53	8.46	5.36	4.48	4.14	4.58	4.71	6.02	7.46	6.93	6.25

ตาราง 2.2 การกรอกข้อมูลการใช้น้ำด้านอุตสาหกรรม ที่ใช้คำนวณในโปรแกรม Excel

Industrial Demand ( Idd ) หน่วย MCM.												
พ.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2514	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
2515	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
2516	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45

พหุ ประถมศึกษา

ตาราง 2.3 การกรอกข้อมูลน้ำฝน ที่ใช้คำนวณในโปรแกรม Excel

Precipitation ( P ) หน่วย MCM.												
พ.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2514	1.30	6.80	14.20	27.70	61.4	76.20	73.50	95.10	84.30	33.10	4.90	1.00
2515	1.30	6.80	14.20	27.70	61.4	76.20	73.50	95.10	84.30	33.10	4.90	1.00
2516	1.30	6.80	14.20	27.70	61.4	76.20	73.50	95.10	84.30	33.10	4.90	1.00

ตาราง 2.4 การกรอกข้อมูลอุปโภคบริโภค ที่ใช้คำนวณในโปรแกรม Excel

Water Supply ( Ws ) หน่วย MCM.												
พ.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2514	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61
2515	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61
2516	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61

ตาราง 2.5 การกรอกข้อมูลรักษาระบบนิเวศทำนน้ำ ที่ใช้คำนวณในโปรแกรม Excel

Environment ( Ev ) หน่วย MCM.												
พ.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2514	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
2515	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
2516	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13

พหุ ประถมศึกษา

ตาราง 2.6 การกรอกข้อมูลฝนใช้การ ที่ใช้คำนวณในโปรแกรม Excel

Effective Rainfall (Eff_rainfall ) หน่วย MCM.												
พ.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2514	1.89	7.45	13.66	32.09	87.2	103.4	104.5	120.4	122.9	34.6	3.43	1.19
2515	1.89	7.45	13.66	32.09	87.2	103.4	104.5	120.4	122.9	34.6	3.43	1.19
2516	1.89	7.45	13.66	32.09	87.2	103.4	104.5	120.4	122.9	34.6	3.43	1.19

ตาราง 2.7 การกรอกข้อมูลความต้องการด้านชลประทาน ที่ใช้คำนวณในโปรแกรม Excel

Irrigation Demand ( Irr ) หน่วย MCM.												
พ.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2514	126.2	176.8	142.5	4.37	18.43	78.7	176.6	199.8	138.3	20.41	20.41	57.75
2515	126.2	176.8	142.5	4.37	18.43	78.7	176.6	199.8	138.3	20.41	20.41	57.75
2516	126.2	176.8	142.5	4.37	18.43	78.7	176.6	199.8	138.3	20.41	20.41	57.75

ตาราง 2.8 การกรอกข้อมูลปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำ ที่ใช้คำนวณในโปรแกรม Excel

Inflow หน่วย MCM (ข้อมูลปี พ.ศ.2514 – พ.ศ.2516)												
พ.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2514	12.45	17.75	13.21	20.00	36.89	83.78	738.5	484.6	291.9	195.1	15.70	18.45
2515	6.42	5.42	3.92	24.37	23.15	109.7	296.1	278.8	99.00	109.0	23.70	32.84
2516	0.74	37.51	1.47	3.13	30.37	104.6	344.9	444.1	302.2	165.7	28.26	14.98

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาความต้องการน้ำสุทธิจากอ่างเก็บน้ำ Net Demand from reservoir (ND) จากสมการ

ในเดือนที่ความต้องการด้านชลประทานมีปริมาณความต้องการสูงกว่าฝนใช้การ

$$\text{Net Demand} = Ev + Ws + Idd + ( Irr - \text{Eff\_rainfall} ) \quad \dots(2.3)$$

$$\begin{aligned} \text{ตัวอย่างเช่น เดือนมกราคม} &= 13+1.61+1.45+(126.2-1.89) \\ &= 140.3 \text{ ล้าน ลบ.ม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เดือนกุมภาพันธ์} &= 13+1.61+1.45+(176.8-7.45) \\ &= 185.4 \text{ ล้าน ลบ.ม.} \end{aligned}$$

ในเดือนที่ความต้องการด้านชลประทานมีปริมาณความต้องการต่ำกว่าฝนใช้การ

$$\text{Net Demand} = Ev + Ws + Idd \quad \text{เมื่อ } \text{Eff\_rainfall} > Irr \quad \dots(2.4)$$

$$\begin{aligned} \text{ตัวอย่างเช่น เดือนเมษายน} &= 13+1.61+1.45 \\ &= 16.06 \text{ ล้าน ลบ.ม.} \end{aligned}$$

เมื่อ	Ev	คือ ความต้องการด้านรักษาระบบนิเวศทำนน้ำ หน่วย ล้าน ลบ.ม.
	Ws	คือ ความต้องการด้านอุปโภคบริโภค หน่วย ล้าน ลบ.ม.
	Idd	คือ ความต้องการด้านอุตสาหกรรม หน่วย ล้าน ลบ.ม.
	Irr	คือ ความต้องการด้านชลประทาน หน่วย ล้าน ลบ.ม.
	Eff_rainfall	คือ ปริมาณฝนใช้การ หน่วย ล้าน ลบ.ม.

ตาราง 2.9 ผลข้อมูล Net Demand From Reservoir ที่ได้จากการคำนวณในโปรแกรม Excel

Net Demand From Reservoir (ND) หน่วย MCM.												
พ.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2514	140.3	185.4	144.9	16.06	16.06	16.06	88.17	95.41	31.46	16.06	33.0	72.6
2515	140.3	185.4	144.9	16.06	16.06	16.06	88.17	95.41	31.46	16.06	33.0	72.6
2516	140.3	185.4	144.9	16.06	16.06	16.06	88.17	95.41	31.46	16.06	33.0	72.6

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณหาปริมาณน้ำที่สามารถใช้การ  $W_t$  (available) (W) จาก

สมการ

$$W_t \text{ (available)} = S_t + Q_{\text{inflow}} + P_t - E_t \quad \dots(2.5)$$

เมื่อ  $W_t$  คือ ปริมาณน้ำที่สามารถนำไปใช้ในเดือน t  
(t = 1 ถึง 12 แทน เดือนมกราคม ถึง เดือนธันวาคม)

$S_t$  คือ ปริมาณน้ำที่เก็บกักของเดือน t

$Q_{\text{inflow}}$  คือ ปริมาณที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำของเดือน t

$P_t$  คือ ปริมาณฝนของเดือน t

$E_t$  คือ อัตราการคายระเหยของเดือน t

$$\begin{aligned} \text{ตัวอย่างเช่น เดือนมกราคม 2514} &= 1,981 + 12.45 + 1.30 - 6.16 \\ &= 1,989 \text{ ล้าน ลบ.ม. (กักเก็บปกติ=1,981 ล้าน ลบ.ม.)} \\ &= 1,981 \text{ ล้าน ลบ.ม. (ไหลล้น= 8 ล้าน ลบ.ม.)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ตัวอย่างเช่น เดือนกุมภาพันธ์ 2514} &= 1,841 + 17.75 + 6.80 - 5.53 \\ &= 1,860 \text{ ล้าน ลบ.ม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ตัวอย่างเช่น เดือนมีนาคม 2514} &= 1,674 + 13.21 + 14.20 - 8.46 \\ &= 1,693 \text{ ล้าน ลบ.ม.} \end{aligned}$$

หมายเหตุ กำหนดน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำของปีแรก  $S_{t=1} = 1,981$  ล้าน ลบ.ม.

ตาราง 2.10 ผลข้อมูลปริมาณน้ำที่สามารถใช้การ ที่ได้จากการคำนวณในโปรแกรม Excel

Available Water (W) หน่วย MCM												
พ.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2514	1,981	1,860	1,693	1,590	1,668	1,808	1,981	1,981	1,981	1,981	1,979	1,959
2515	1,888	1,754	1,578	1,480	1,544	1,710	1,981	1,981	1,981	1,981	1,981	1,976
2516	1,899	1,797	1,619	1,499	1,571	1,731	1,981	1,981	1,981	1,981	1,981	1,958

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณหาปริมาณน้ำเก็บกักในอ่าง Storage (S) จากสมการ

$$S_{t+1} = S_t + Q_{\text{inflow}} + P_t - R_{t(\text{release})} - E_t \quad \dots(2.6)$$

เมื่อ

$S_{t+1}$  คือ ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเดือน t

(t= 1 ถึง 12 แทน เดือนมกราคม ถึง เดือนธันวาคม)

$S_t$  คือ ปริมาณน้ำในอ่างของเดือน t

$Q_{\text{inflow}}$  คือ ปริมาณที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำของเดือน t

$P_t$  คือ ปริมาณฝนของเดือน t

$R_{t(\text{release})}$  คือ การปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเดือน t

$E_t$  คือ อัตราการคายระเหยของเดือน t

ตัวอย่างเช่น เดือนมกราคม 2514 = กำหนดปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำของปีแรก

$$S_t = 1,981 \text{ ล้าน ลบ.ม.}$$

ตัวอย่างเช่น เดือนกุมภาพันธ์ 2514 =  $1,981 + 12.45 + 1.30 - 140.4 - 6.16$

$$= 1,841 \text{ ล้าน ลบ.ม.}$$

ตัวอย่างเช่น เดือนมีนาคม 2514 =  $1,841 + 17.75 + 6.80 - 185.1 - 5.53$

$$= 1,674 \text{ ล้าน ลบ.ม.}$$

ตาราง 2.11 ผลข้อมูล Storage (S) ที่ได้จากการคำนวณในโปรแกรม Excel

Storage หน่วย MCM (ข้อมูลปี พ.ศ.2514 - พ.ศ.2516)												
พ.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ษ.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2514	1,981	1,841	1,674	1,548	1,574	1,652	1,792	1,893	1,886	1,950	1,965	1,946
2515	1,886	1,747	1,569	1,433	1,464	1,528	1,694	1,893	1,886	1,850	1,965	1,948
2516	1,903	1,758	1,612	1,474	1,483	1,555	1,715	1,893	1,886	1,950	1,965	1,948

ขั้นตอนที่ 5 การสร้าง Rule Curves ตั้งสมมติฐานเนื่องจากการไหลของน้ำตามธรรมชาติจะมีความแตกต่างกันตามฤดูกาลในแต่ละเดือนและในแต่ละปี ดังนั้นการสร้าง Rule Curves จึงต้องใช้ข้อมูลสำหรับเป็นตัวแทนของปีน้ำมาก ปีน้ำปกติ และปีน้ำแล้ง มาเป็นตัวกำหนดหรือสร้าง Rule Curves กล่าวคือ ปริมาณน้ำตัวแทนปีน้ำมากจะใช้สร้างเส้น URC และปริมาณน้ำตัวแทนปีน้ำแล้งจะใช้สร้างเส้น LRC โดยการบริหารจัดการน้ำในปีต่างๆ จะต้องพยายามควบคุมให้อยู่ในช่วงระหว่าง URC และ LRC จากข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ พบว่า ช่วงฤดูฝนจะครอบคลุมระยะเวลา 5 เดือน นับตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม และอีก 7 เดือนที่เหลือจะเป็นช่วงฤดูแล้งเริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนพฤษภาคม ในการบริหารจัดการระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำโดยพิจารณาจากอัตราการไหลของน้ำ จะเห็นได้ว่าควรเก็บกักน้ำในอ่างฯให้มีระดับน้ำสูงที่สุดเท่าที่จะทำได้เมื่อสิ้นสุดฤดูฝน เพื่อให้มีปริมาณน้ำเพียงพอในความต้องการในช่วงฤดูแล้งและระดับน้ำในอ่างจะอยู่ที่ระดับต่ำสุดในเดือนพฤษภาคมเพื่อจะทำให้อ่างเก็บน้ำมีพื้นที่ว่างเพียงพอสำหรับกักเก็บน้ำในช่วงฤดูฝนต่อไป เพื่อให้การสร้าง Rule Curves สะท้อนให้เห็นถึงอัตราการไหลของน้ำตามธรรมชาติและความเป็นจริง ดังนั้นจึงได้นำข้อสมมติฐานดังต่อไปนี้มาใช้

1. การสร้างเส้น URC คือ ปริมาณน้ำทั้งหมดระหว่างเดือนของฤดูแล้งนั้นสามารถหาได้จากปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ บวกกับผลรวมของปริมาณน้ำรายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำของปีน้ำปกติในช่วงเวลาเดียวกัน และลบด้วยปริมาณการระเหยของน้ำในอ่างเก็บน้ำ แล้วลบด้วยปริมาณน้ำรวมสำหรับการบริหารจัดการในช่วงฤดูแล้งโดยการที่ปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำ



2. การสร้างเส้น LRC คือ ปริมาณน้ำเก็บกักต่ำสุด บวกกับต้องการน้ำ  
สุทธิจากอ่างเก็บน้ำ

ตาราง 2.12 ผลข้อมูลการสร้าง Rule Curves ที่ได้ในโปรแกรม Excel

Rule Curve หน่วย MCM พ.ศ.2514 – 2516												
พ.ศ.	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>
2514	240	285	145	116	116	116	190	195	131	116	133	172
2515	240	285	145	116	116	116	190	195	131	116	133	172
2516	240	285	145	116	116	116	190	195	131	116	133	172
พ.ศ.	X <sub>13</sub>	X <sub>14</sub>	X <sub>15</sub>	X <sub>16</sub>	X <sub>17</sub>	X <sub>18</sub>	X <sub>19</sub>	X <sub>20</sub>	X <sub>21</sub>	X <sub>22</sub>	X <sub>23</sub>	X <sub>24</sub>
2514	1,981	1,841	1,674	1,548	1,574	1,652	1,792	1,793	1,886	1,950	1,965	1,946
2515	1,886	1,747	1,569	1,433	1,464	1,528	1,694	1,893	1,886	1,950	1,965	1,948
2516	1,903	1,758	1,612	1,474	1,483	1,555	1,715	1,893	1,886	1,950	1,965	1,948

ขั้นตอนที่ 6 การพิจารณาการปล่อยน้ำตามความต้องการใช้น้ำในด้านต่างๆ  
แสดงในตาราง 2.12

ตาราง 2.13 ผลข้อมูลการปล่อยน้ำตามความต้องการ ที่ได้ในโปรแกรม Excel

Water Release หน่วย MCM.												
พ.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ษ.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2514	140	185	145	16	16	16	88	95	31	16	33	73
2515	140	185	145	16	16	16	88	95	31	16	33	73
2516	140	185	145	16	16	16	88	95	31	16	33	73

ขั้นตอนที่ 7 การตรวจสอบการขาดแคลนและการไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำ

ตาราง 2.14 สถานการณ์การขาดแคลนน้ำและการไหลล้น ที่ได้ในโปรแกรม Excel

Check หน่วย MCM.												
พ.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ษ.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2514	8	-	-	-	-	-	618	487	275	189	-	-
2515	-	-	-	-	-	-	78	281	82	103	6	-
2516	-	-	-	-	-	-	148	446	285	160	10	-

### 2.3 การปรับปรุงโค้งควบคุม

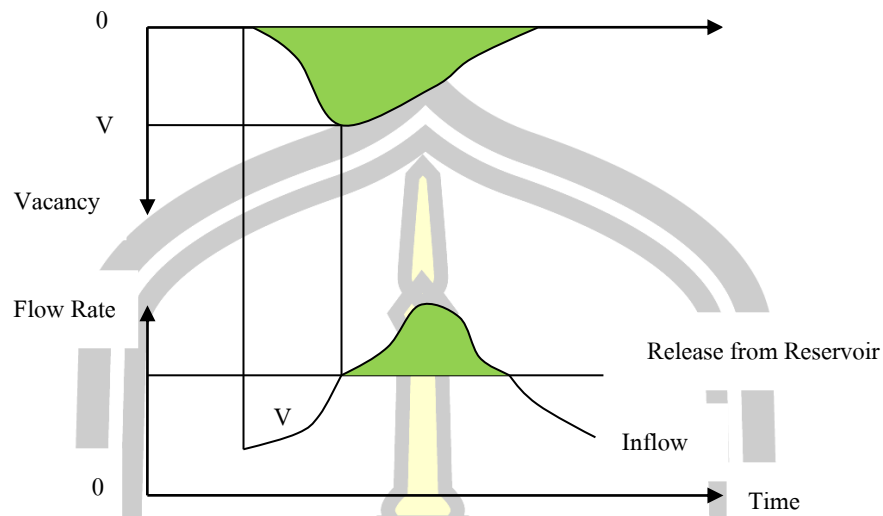
เทคนิคการหาเหมาะสมสูงสุดสำหรับหาโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ มีด้วยกันอยู่หลากหลายวิธี ดังนี้ การศึกษาเลียนแบบ (Simulation) โปรแกรมเชิงพลวัต (Dynamic Programming) เจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm) และวิธีหิ้งห้อย (FA) ซึ่งรายละเอียดของแต่ละเทคนิคจะอธิบายดังต่อไปนี้

#### 2.3.1. เทคนิคการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธีการศึกษาเลียนแบบ (SM)

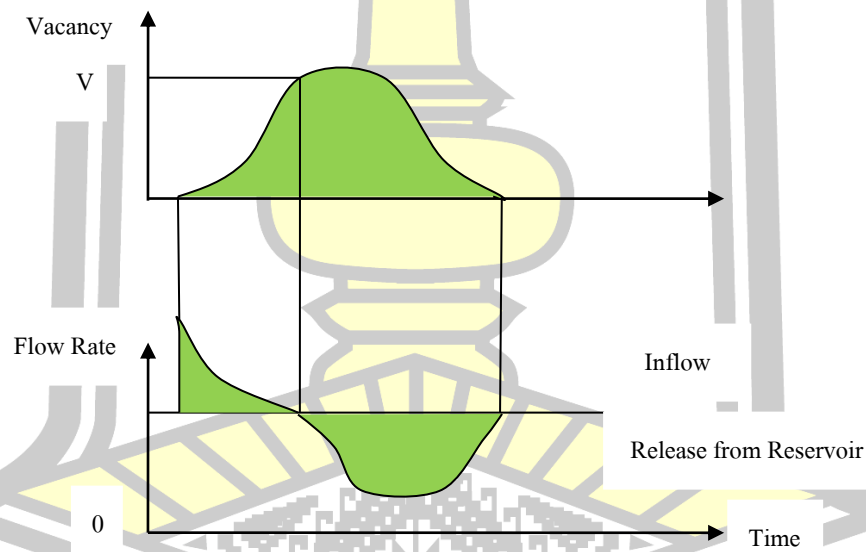
วิธีการศึกษาเลียนแบบเป็นกระบวนการจำลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมของระบบ จากกฎของการจัดการและควบคุม แต่ไม่สามารถประกันได้ว่ากฎของการจัดการและการควบคุมที่ดีที่สุดซึ่งในการพัฒนาโค้งของกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่ใช้วิธีนี้ได้แก่

1. การวิเคราะห์ระบบอ่างเก็บน้ำสำหรับการเก็บกักน้ำ (Reservoir System Analysis for Conservation) เป็นการจำลองพฤติกรรมของระบบอ่างเก็บน้ำจากกฎต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ว่าจะผันน้ำหรือขาดน้ำในช่วงใด เท่าใด เป็นต้น ซึ่งสามารถนำผลการวิเคราะห์จากระบบอ่างเก็บน้ำมาสร้างโค้งกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำได้ โดยทั่วไปก็คือโปรแกรม HEC-3

2. Vacancy-Minimum Storage Requirements Rule Curve จะอาศัยแนวคิดที่ว่า ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่จะเต็มอ่างพอดีเมื่อสิ้นฤดูฝน ในขณะที่เดียวกันเมื่อสิ้นสุดฤดูแล้ง ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำจะแห้งอ่างเก็บน้ำพอดี ดังนั้นในช่วงเริ่มต้นฤดูฝนจะต้องมีการพร่องน้ำในอ่างเก็บน้ำไว้เพื่อรองรับน้ำที่คาดว่าจะไหลเข้าอ่างเก็บน้ำตลอดช่วงฤดูฝนดังใน ภาพประกอบที่ 2.3 โดยปล่อยน้ำในอัตราที่เพิ่มขึ้น และในช่วงเริ่มต้นฤดูแล้งจะต้องสำรองน้ำในอ่างเก็บน้ำให้เพียงพอกับความ ต้องการตลอดช่วงฤดูแล้งดังในภาพประกอบที่ 2.4



ภาพประกอบ 2.3 การพร่องน้ำในช่วงเริ่มต้นฤดูฝน  
 ที่มา: อนงค์ฤทธิ แข็งแรง (2551)



ภาพประกอบ 2.4 การสำรองน้ำในช่วงฤดูแล้ง  
 ที่มา: อนงค์ฤทธิ แข็งแรง (2551)

3. Standard Operating Policy เป็นเกณฑ์ที่ค่อนข้างง่าย โดยจะปล่อยน้ำให้  
 เป็นไปตามความต้องการทุก ๆ ช่วงเวลา ดังนั้นหากปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำมีไม่เพียงพอตามความ  
 ต้องการ ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำก็จะลดลงเรื่อย ๆ ขณะเดียวกันในช่วงฤดูฝนที่มีน้ำมาก ระดับน้ำใน

อ่างเก็บน้ำก็จะเพิ่มสูงขึ้น จนกระทั่งปล่อยน้ำให้ไหลล้นอ่างเก็บน้ำต่อไปหรืออาจกล่าวได้ว่าเกณฑ์การปฏิบัติงานโดยวิธี 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 ทั้งนี้เพราะสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ตามวัตถุประสงค์และข้อจำกัดต่าง ๆ แต่อย่างไรก็ตามการใช้วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดจำเป็นต้องจำลองระบบเสียก่อนซึ่งในการพัฒนาโคงกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่ใช้วิธีนี้ได้แก่ Chance-Constrained Model with Linear Decision Rule เป็นการพัฒนากฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำด้วยแบบจำลอง โอกาส-ข้อจำกัด ร่วมกับกฎการตัดสินใจเชิงเส้น

### 2.3.2. เทคนิคการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธีโปรแกรมเชิงพลวัต

วิธีการศึกษาการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธีโปรแกรมเชิงพลวัตกับระบบทรัพยากรน้ำได้นำมาใช้กันอย่างกว้างขวางซึ่งเป็นรหัสเฉพาะปัญหา โดยโปรแกรมเชิงพลวัตจะแปลงปัญหาต่อเนื่องหรือการตัดสินใจหลายเป้าหมายซึ่งมีตัวแปรตัดสินใจที่สัมพันธ์กันไปสู่อนุกรมของปัญหาเป้าหมายเดียว โดยแต่ละปัญหาจะมีตัวแปรตัดสินใจตัวแปรเดียวหรือน้อยตัว หรืออีกนัยหนึ่งเทคนิคนี้ จะแตกตัวปัญหาตัวแปรตัดสินใจ  $N$  ไปสู่การแบ่ง  $N$  ตัว แต่เป็นการตัดสินใจเดียวของของปัญหาย่อยที่เรียกว่าวิธีการแตกสลาย (Decomposition) ซึ่งเป็นประโยชน์มากในการแก้ปัญหา ซึ่งมีความสลับซับซ้อนโดยปัญหาขนาดใหญ่ นั้นไปสู่อนุกรมของปัญหาย่อยซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเพื่อหาผลลัพธ์ของปัญหาใหญ่ทั้งหมดซึ่งคุณลักษณะการดำเนินงานของโปรแกรมเชิงพลวัตมีดังต่อไปนี้

1. ปัญหาจะแบ่งออกเป็นขั้นตอนโดยมีตัวแปรตัดสินใจอยู่ทุกขั้นตอน
2. แต่ละขั้นตอนมีจำนวนของเป้าหมายเกี่ยวข้องกับมัน
3. ผลการตัดสินใจแต่ละขั้นตอนจะมีผลตอบแทนโดยขึ้นอยู่กับฟังก์ชันการตอบแทนของขั้นตอน และโอนถ่ายจากตัวแปรเป้าหมายปัจจุบันไปสู่ตัวแปรเป้าหมายขั้นถัดไป โดยใช้ฟังก์ชันการโอนถ่ายเป้าหมาย

4. กำหนดเป้าหมายปัจจุบัน นโยบายความเหมาะสมของขั้นตอนที่เหลืออยู่เป็นอิสระของนโยบายขั้นตอนก่อน หลักการนี้เรียกว่าหลักการของ Bellman's ในการหาความเหมาะสม โดยทำหน้าที่เป็นหลักใหญ่ของโปรแกรมเชิงพลวัต

5. การหาผลลัพธ์เริ่มโดยการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมของแต่ละเป้าหมายที่เป็นไปได้ในขั้นตอนสุดท้ายเรียกว่าการย้อนกลับทางหลังหรือในขั้นตอนแรกเรียกว่าการย้ายไปข้างหน้า ขั้นตอนไปข้างหน้าคำนวณจากขั้นตอนแรกไปสู่ขั้นตอนสุดท้าย ขณะเดียวกันการคำนวณย้อนกลับเริ่มจากขั้นตอนสุดท้ายไปสู่ขั้นตอนแรก

6. ความสัมพันธ์ของ Recursive ซึ่งให้เห็นถึงนโยบายการหาความเหมาะสมของแต่ละเป้าหมายของขั้นตอน  $n$  ใดๆ ซึ่งสามารถพัฒนาได้ กำหนดนโยบายเหมาะสมของแต่ละเป้าหมายที่ขั้นตอนอันถัดไป  $n + 1$

ถึงแม้ว่าขอบเขตการของโปรแกรมเชิงพลวัตจะมีข้อดีหลายอย่างในการหาผลลัพธ์ของปัญหาทรัพยากรน้ำโดยเฉพาะการวิเคราะห์ที่เกี่ยวกับขอบเขตการหลายๆ ขั้นตอนจะใช้ได้ดีเป็นพิเศษแต่ยังมีข้อเสียอยู่ 2 ข้อใหญ่ คือ หน่วยความจำในคอมพิวเตอร์และเวลาที่ต้องการ ข้อเสียสองข้อนี้จะมีความสำคัญเป็นพิเศษภายใต้ 3 สถานการณ์ คือ เมื่อมีจำนวนของตัวแปรเป้าหมายมีมาก เมื่อโปรแกรมเชิงพลวัตประยุกต์ใช้กับแพชชั่นไม่ต่อเนื่อง (Discrete fashion) ต่อปริภูมิเป้าหมายต่อเนื่องกับปัญหาที่เกี่ยวข้องจะมีความยุ่งยากในการหาผลลัพธ์ของความเหมาะสมจริง และการเพิ่มจำนวนของความไม่ต่อเนื่อง (Discretization) หรือตัวแปรเป้าหมายเพิ่มจำนวนการประเมินของสูตรทำให้หน่วยความจำในคอมพิวเตอร์ต่อขั้นตอนปัญหาต้องใช้เวลาในการประเมินมากขึ้นเพราะการเพิ่มหน่วยความจำตามความต้องการของปัญหาในคอมพิวเตอร์มีผลทำให้เกินความจำที่มีอยู่ในคอมพิวเตอร์ทำให้ปัญหาไม่สามารถหาผลลัพธ์ได้

### 2.3.3. เทคนิคการหาค่าเหมาะสมด้วยเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม

พันธุกรรมทางคอมพิวเตอร์ หรือ Genetic Algorithms (GA) เป็นปัญญาประดิษฐ์ที่ใช้ในการค้นหาค่าสูงสุด ต่ำสุด หรือค่าอุดมภาพ (Optimisation Problem) ของฟังก์ชันใด ๆ ที่ต้องการ ไม่ว่าจะฟังก์ชันดังกล่าวจะเป็นแบบเส้นตรง (Linear) หรือไม่เป็นเส้นตรง (Non-linear) ก็ตาม GA ถูกคิดค้นขึ้นครั้งแรกโดย John Holland ในปี ค.ศ. 1971 และตีพิมพ์เผยแพร่ในหนังสือชื่อ "Adaptation in Natural and Artificial Systems" ในปี ค.ศ. 1975 และมีการนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาการหาความเหมาะสมในหลาย ๆ แขนงวิชาเรื่อยมา ไม่ว่าจะเป็นวิศวกรรม คอมพิวเตอร์ การวิจัยดำเนินการ อุตสาหกรรม ชีววิทยา ฟิสิกส์ การแพทย์ การบริหารธุรกิจ เป็นต้นวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่เลียนแบบกลไกการคัดเลือกตามธรรมชาติซึ่งมีรากฐานมาจากทฤษฎีวิวัฒนาการทางธรรมชาติ กล่าวคือตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable) ของปัญหาจะถูกแทนค่าโดยแถวของตัวเลข (String) หรือเรียกโดยใช้คำศัพท์ทางชีววิทยาว่าโครโมโซม (Chromosome) GA จะทำการสร้าง

โครโมโซมขึ้นมาชุดหนึ่ง เรียกว่า Population โดยแต่ละโครโมโซมจะประกอบไปด้วย บล็อกหรือยีน (Gene) ที่แทนค่าตัวแปรตัดสินใจแต่ละตัว ยีนในยุคเริ่มแรกของ GA จะประกอบไปด้วยตัวเลขไบนารี (Binary Bits) คือ 0 และ 1 ดังตัวอย่างในภาพประกอบ 5 ที่แต่ละยีนประกอบไปด้วยเลขไบนารี 3 ตัว หรือเรียกว่า 3 อัลลีลส์ (Alleles) ซึ่งเมื่อถอดรหัสแล้วจะได้ค่าของตัวแปรตัดสินใจออกมาซึ่งอาจจะ เป็นจำนวนจริง (Real-value) จำนวนเต็ม (Integer) เซต (Set) หรือเมตริกซ์ (Matrix) ก็ได้ ขึ้นอยู่กับ ผู้ศึกษาเป็นผู้กำหนดให้เหมาะสมกับปัญหา แต่ GA ในยุคหลังนิยมใช้จำนวนจริง (Real-value) แทน การใช้เลขแบบไบนารี ทำให้โครโมโซมสั้นลงเพราะไม่ต้องแบ่งยีนเป็นหลาย ๆ อัลลีลส์ เมื่อทำการ ถอดรหัสยีนทุกตัวในโครโมโซมออกมาเป็นตัวแปรและทำการแทนค่าตัวแปรเหล่านั้นลงไปฟังก์ชัน เป้าหมาย (Objective Function) แล้ว โครโมโซมหนึ่งก็จะให้ผลลัพธ์ออกมาเรียกว่าค่า Fitness ของ โครโมโซมนั้น ซึ่งค่า Fitness ของโครโมโซมแต่ละตัวใน Population นี้เป็นเพียงค่าที่เป็นไปได้ (Possible Solution) แต่อาจไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา โครโมโซมเหล่านี้จะต้องผ่าน กระบวนการของ GA ซึ่งเป็นกระบวนการที่เลียนแบบกลไกการคัดเลือกตามธรรมชาติอีก 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการคัดเลือก (Selection Operation) ขั้นตอนการแลกเปลี่ยนยีน (Crossover Operation) และขั้นตอนการดัดแปลงยีน (Mutation Operation)

#### 1. ขั้นตอนการคัดเลือก (Selection Operation)

หลักการของขั้นตอนการคัดเลือกก็คือ โครโมโซมที่มีค่า Fitness ดีที่สุดใน Population (สูงสุดหรือต่ำสุดแล้วแต่ประเภทของปัญหา) จะมีโอกาสถูกคัดเลือกให้เข้าไปสู่ กระบวนการในขั้นตอนถัดไปมากที่สุด วิธีที่ใช้กันโดยทั่วไป เรียกว่า Proportional Selection ซึ่ง กำหนดค่าความเป็นไปได้ในการถูกคัดเลือก (Probability of Selection,  $P_i$ ) ให้กับแต่ละโครโมโซม เท่ากับสัดส่วนของค่า Fitness ของโครโมโซมนั้นเทียบกับผลรวมของค่า Fitness ของโครโมโซม ทั้งหมดใน Population นอกจากนี้ยังมีวิธีการคัดเลือกแบบอื่นที่นิยมใช้กัน

#### 2. ขั้นตอนการแลกเปลี่ยนยีน (Crossover Operation)

ขั้นตอนนี้จะทำการสุ่มเลือกโครโมโซมใน Population นั้นมาทำการจับคู่ แลกเปลี่ยนยีนกัน โดยโอกาสที่แต่ละโครโมโซมจะถูกสุ่มขึ้นมาจับคู่กันขึ้นอยู่กับค่า Probability of Crossover ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ผู้ศึกษานำเข้าสู่กระบวนการ ส่วนประเภทของ Crossover จำแนก ไว้มีอยู่ 3 ประเภทคือ 1) Crossover 1 ตำแหน่ง (One-point Crossover) ซึ่งจะทำการแลกเปลี่ยน ยีนของโครโมโซมที่ถูกจับคู่กัน ณ ตำแหน่งยีนที่ถูกสุ่มขึ้นมาจนถึงยีนในตำแหน่งสุดท้าย 2) Crossover 2 ตำแหน่ง (Two-point Crossover) จะทำการแลกเปลี่ยนยีนที่อยู่ระหว่างตำแหน่งทั้ง 2 ที่ถูกสุ่มขึ้นมา และ 3) Crossover หลายตำแหน่ง (Uniform Crossover) นั้น ยีนที่อยู่ในตำแหน่ง เดียวกันของโครโมโซมที่ถูกจับคู่กันจะถูกสุ่มให้มีการแลกเปลี่ยนกันแบบยีนต่อยีน ดังแสดงใน ภาพประกอบ 2.6

### 3. ขั้นตอนการดัดแปลงเงิน (Mutation Operation)

ขั้นตอนนี้เงินจะถูกสุ่มดัดแปลงให้ผิดแผกไปจากเดิมโดยสิ้นเชิง และความเป็นไปได้ที่เงินจะถูกสุ่มขึ้นมาทำการดัดแปลงนั้นขึ้นอยู่กับค่า Probability of Mutation ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ผู้ศึกษานำเข้าสู่กระบวนการ ใน GA ที่ใช้รหัสแบบไบนารี การดัดแปลงเงินจะกระทำโดยการเปลี่ยนค่า 0 เป็น 1 หรือ 1 เป็น 0

สำหรับ GA ที่ใช้รหัสแบบจำนวนจริง (Real-value Coding) นั้น มีรูปแบบการดัดแปลงเงินที่มีรายละเอียดมากกว่าแบบไบนารีมากมาย โดย Michalewicz (1996) ได้จำแนกไว้ 3 แบบคือ 1) Uniform Mutation ซึ่งค่าของเงินจะถูกดัดแปลงภายในพิสัย (Range) ที่กำหนด 2) Non-uniform Mutation ซึ่งจะดัดแปลงเงินด้วยค่าที่ค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ ใน Generation ถัด ๆ ไปของกระบวนการ GA และ 3) Modified Uniform Mutation ซึ่งค่าของเงินจะถูกดัดแปลงโดยค่าคงที่เพียงค่าเดียว เมื่อผ่านขั้นตอนทั้งสามเรียบร้อยแล้วจะได้โครโมโซมชุดใหม่ที่แตกต่างไปจากเดิม โครโมโซมชุดนี้จะถูกนำไปแทนที่โครโมโซมชุดเดิมกลายเป็น Population ใหม่ กระบวนการทั้งหมดนี้เรียกว่าเป็นหนึ่ง Generation จากนั้น GA จะดำเนินการกระบวนการทั้งหมดกับ Population ใหม่นี้อีกครั้งหนึ่ง และกระทำซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะครบตามจำนวน Generation ที่ผู้ศึกษากำหนด และได้ชุดของโครโมโซมที่ให้ค่า Fitness ที่ดีที่สุดในตอนท้ายของกระบวนการ GA

## 2.4 เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีหิ่งห้อย (Firefly Algorithm, FA)

ในการแก้ปัญหาเชิงตัวเลขทางคณิตศาสตร์แบบเมตะฮิวริสติกเป็นที่นิยมมากที่สุด ในทางวิศวกรรม เมตะฮิวริสติกคือการแก้ปัญหาที่ไม่ได้ขึ้นกับคณณนาม หมายความว่าเราสามารถนำมาใช้แก้ปัญหาได้ทุกรูปแบบ ไม่เฉพาะเจาะจงว่าเป็นปัญหาใดปัญหาหนึ่งเท่านั้น แต่ถึงแม้จะเป็นวิธีที่สามารถแก้ปัญหาได้ทุกรูปแบบ คำตอบที่ได้อาจไม่ใช่ค่าที่ดีที่สุดแท้จริง โดยค่าที่ได้อาจเป็นค่าที่ดีที่สุดเฉพาะที่เท่านั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหาตัวแปรที่นำเข้ามาและวิธีเมตะฮิวริสติกที่ใช้แก้ปัญหา งานวิจัยนี้เลือกใช้อัลกอริธึมหิ่งห้อย ซึ่งเป็นวิธีเมตะฮิวริสติกวิธีหนึ่ง เพื่อนำมาใช้ปรับปรุงโครงสร้างของอ่างเก็บน้ำ โดยจะได้กล่าวถึงในรายละเอียดต่อไป

### 2.4.1 ที่มาและสมมติฐานของอัลกอริธึมหิ่งห้อย

อัลกอริธึมหิ่งห้อย (Firefly Algorithm, FA) (Yang X.S., 2008) ได้ถูกนำเสนอครั้งแรกโดย Xin-She Yang ในปี 2008 โดยได้แนวคิดจากการปล่อยแสงของหิ่งห้อยโดยใช้แสงเพื่อหาคู่หรือล่อเหยื่อ ในการหาคู่หิ่งห้อยจะเมียจะได้รับแรงดึงดูดจากแสงสว่างและจังหวะกระพริบที่หิ่งห้อยตัวผู้เปล่งแสงออกมา หิ่งห้อยต่างชนิดกันจะมีแสงสว่างและจังหวะกระพริบที่ต่างกัน และก็มีหิ่งห้อย

บางชนิดที่เลียนแบบการเปล่งแสงและจังหวะการกระพริบของหิ่งห้อยชนิดอื่น เพื่อล่อมาเป็นอาหาร Xin-She Yang ได้ประยุกต์พฤติกรรมเหล่านี้ของหิ่งห้อยมาเป็นวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสม โดยมี สมมุติฐาน ดังนี้

1. หิ่งห้อยทุกตัวนั้นไร้เพศ (Unisex) และหิ่งห้อยสามารถดึงดูดหากันได้ทุกตัว
2. ความน่าดึงดูดของหิ่งห้อยอยู่กับความสว่าง หิ่งห้อยตัวที่สว่างมากกว่าดึงดูดตัวที่สว่างน้อยกว่าให้เข้าหา ระยะทางระหว่างหิ่งห้อยก็มีผลกับความสว่างยิ่งหิ่งห้อยห่างกันมาก ความสว่างก็ยิ่งลดลง ความน่าดึงดูดก็จะลดลงตามระยะทาง หากไม่มีตัวที่สว่างกว่าหิ่งห้อยจะทำการเคลื่อนที่แบบสุ่ม
3. ความสว่างของหิ่งห้อยขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่หิ่งห้อยอยู่ในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Landscape of objective function) โดยความสว่างของหิ่งห้อยแปรผันตรงกับ คำตอบที่ตำแหน่งที่หิ่งห้อยตัวนั้นๆ อยู่

#### 2.4.2 ความสว่างและการดึงดูดหิ่งห้อย

ความสว่างของหิ่งห้อยจะแทนด้วยความเข้มของแสง ความเข้มของแสงจะออกจากตัวหิ่งห้อยตัวกำเนิดแสง หิ่งห้อยตัวที่สว่างน้อยกว่าจะได้รับแสงและถูกดึงดูดให้เข้าหา โดยจะได้รับ ความเข้มของแสงเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างหิ่งห้อยสองตัว โดยเขียนเป็นสมการดังนี้

$$I = I_0 e^{-\gamma r^2} \quad \dots(2.7)$$

และความน่าดึงดูดของหิ่งห้อยตัวกำเนิดแสงแปรผันตรงกับ ความเข้มของแสง จึงสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\beta = \beta_0 e^{-\gamma r^2} \quad \dots(2.8)$$

- โดยที่
- $I$  คือ ความเข้มแสงที่หิ่งห้อยตัวรับแสงที่ได้รับ
  - $I_0$  คือ ความเข้มแสงของตัวหิ่งห้อยที่กำเนิดแสง
  - $\beta$  คือ ความน่าดึงดูดที่ตัวหิ่งห้อยตัวกำเนิดแสงดึงดูดหิ่งห้อยตัวรับแสง
  - $\beta_0$  คือ ความน่าดึงดูดของตัวกำเนิดแสง
  - $\gamma$  คือ สัมประสิทธิ์การกรองแสงของตัวกลาง ( มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง  $\infty$  )
  - $r$  คือ ระยะห่างระหว่างหิ่งห้อยทั้งสองตัว



ตัวอย่างการคำนวณระยะห่างระหว่างหิ้งห้อยสองตัวสำหรับฟังก์ชันสองมิติ สามารถหาได้จากสมการ

$$r_{ij} = \sqrt{(x_{1,j} - x_{1,i})^2 + (x_{2,j} - x_{2,i})^2} \quad \dots(2.9)$$

โดยที่	$x_{1,i}$	คือ ตำแหน่งในแกน $x_1$	ของหิ้งห้อยตัวรับแสง
	$x_{1,j}$	คือ ตำแหน่งในแกน $x_1$	ของหิ้งห้อยตัวกำเนิดแสง
	$x_{2,i}$	คือ ตำแหน่งในแกน $x_2$	ของหิ้งห้อยตัวรับแสง
	$x_{2,j}$	คือ ตำแหน่งในแกน $x_2$	ของหิ้งห้อยตัวกำเนิดแสง

โดยระยะทิศทางที่หิ้งห้อยตัวรับแสงจะเคลื่อนที่เข้าหาหิ้งห้อยตัวกำเนิดแสง ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\bar{x}_1^{k+1} = \bar{x}_1^k + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq 1}}^N \beta_{ij} (\bar{x}_j^k - \bar{x}_i^k) + \alpha \bar{\epsilon}_i \quad \dots(2.10)$$

เมื่อ

$$\bar{x} = (x_1, x_2, x_3, \dots)$$

$$\bar{\epsilon} = (\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3, \dots)$$

$$\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3, \dots = \text{rand} - 0.5$$

โดยที่	$\bar{x}_i^{k+1}$	คือ ตำแหน่งหิ้งห้อยตัวรับแสงที่ $i$ หลังเคลื่อนที่
	$\bar{x}_i^k$	คือ ตำแหน่งหิ้งห้อยตัวรับแสงที่ $i$ ก่อนเคลื่อนที่
	$\bar{x}_j^k$	คือ ตำแหน่งหิ้งห้อยตัวกำเนิดแสงตัวที่ $j$ ก่อนเคลื่อนที่
	$N$	คือ จำนวนหิ้งห้อยทั้งหมด
	$\alpha$	คือ พารามิเตอร์การสุ่ม กำหนดค่าครั้งเดียวก่อนหิ้งห้อยเคลื่อนที่ มีผลต่อความเร็วในการลู่เข้าคำตอบ
	$\bar{\epsilon}_i$	คือ เวกเตอร์การเดินสุ่มของหิ้งห้อยตัวที่ $i$
	rand	คือ ค่าสุ่มตั้งแต่ 0 - 1 โดยสุ่มค่าทุกครั้งที่หิ้งห้อยมีการเคลื่อนที่และสุ่มแตกต่างกันสำหรับหิ้งห้อยแต่ละตัว

จากสมการที่ (2.8) จะเห็นได้ว่า หากหิ้งห้อยไม่ส่องแสง ( $\beta_0 = 0$ ) แล้วหิ้งห้อยทุกตัวจะเคลื่อนที่แบบสุ่มตลอดเวลา โดยหิ้งห้อยจะไม่ลู่เข้าคำตอบที่เหมาะสมและไม่สามารถให้คำตอบที่

เหมาะสมได้ ถึงแม้หิ้งห้อยจะเจอคำตอบที่เหมาะสมแล้ว แต่จะไม่สามารถดึงดูดหิ้งห้อยตัวอื่นๆมายังตำแหน่งนั้นได้ แล้วหิ้งห้อยตัวดังกล่าวก็จะเคลื่อนที่แบบสุ่มหึ่งค่าที่เหมาะสมไปคำตอบอื่นต่อไปโดยไม่มีจุดหมาย

สัมประสิทธิ์การกรองแสงของตัวกลาง ( $\gamma$ ) มีผลต่อความเร็วในการเคลื่อนตัวของหิ้งห้อยในทางปฏิบัติแล้วมักปรับค่าให้เหมาะสมฟังก์ชันปัญหา สำหรับพื้นที่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์มากหิ้งห้อยจะอยู่ห่างกัน ค่าสัมประสิทธิ์การกรองแสงของตัวกลางควรมีค่าต่ำเพื่อให้หิ้งห้อยสามารถส่องแสงหากันได้ หากค่าสัมประสิทธิ์การกรองแสงของตัวกลางมีมากเกินไป ( $\gamma \rightarrow \infty$ ) หิ้งห้อยจะมองไม่เห็นกัน และมีพฤติกรรมเคลื่อนที่แบบสุ่ม นั่นคือเป็นเหมือนกับหิ้งห้อยไม่ส่องแสง หากสัมประสิทธิ์การกรองแสงมีค่าน้อยเกินไป ( $\gamma \rightarrow 0$ ) แสงสว่างจากหิ้งห้อยตัวกำเนิดแสงจะไม่ลดลงตามระยะห่างระหว่างหิ้งห้อย และจะทำให้หิ้งห้อยเคลื่อนเข้าหาตัวที่สว่างที่สุดเท่านั้นส่งผลให้หิ้งห้อยจะไม่พบคำตอบที่เหมาะสมเฉพาะที่ ซึ่งเป็นพฤติกรรมเดียวกันกับวิธีความฉลาดแบบกลุ่ม (Particle Swarm Optimization) โดยทั่วไปแล้วจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การกรองแสงของตัวกลางอยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 10 (Xin She Yang 2010)

การลู่เข้าของคำตอบขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์การสุ่ม ( $\alpha$ ) หากพารามิเตอร์การสุ่มมีค่ามาก ( $\alpha \rightarrow \infty$ ) ระยะเวลาเคลื่อนที่ของหิ้งห้อยในแต่ละครั้งจะมากตามไปด้วย ทำให้หิ้งห้อยสามารถสำรวจพื้นที่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้อย่างรวดเร็วแต่หากพารามิเตอร์การสุ่มมีค่ามากเกินไปจะทำให้หิ้งห้อยเคลื่อนที่ได้เร็วเกินกว่าจะถูกดึงดูดจากแสงของหิ้งห้อยตัวอื่น ทำให้หิ้งห้อยมีพฤติกรรมเคลื่อนที่แบบสุ่มและไม่ลู่เข้าหาคำตอบ หากพารามิเตอร์การสุ่มมีค่าน้อย ( $\alpha \rightarrow 0$ ) จะทำให้ระยะเวลาเคลื่อนที่ของหิ้งห้อยในแต่ละครั้งน้อย ทำให้สำรวจค่าได้ละเอียดยิ่งขึ้น แต่ใช้จำนวนครั้งในการเคลื่อนที่มากขึ้น หากพารามิเตอร์การสุ่มค่าน้อยเกินไปหิ้งห้อยก็จะไม่ลู่เข้าคำตอบในเวลาที่กำหนดอีกทั้งยังไม่มี การสำรวจค่าที่เป็นได้อื่นๆ รอบๆ ตัวทำให้ค่าที่ได้อาจไม่ใช่คำตอบที่เหมาะสมที่สุด และหากหิ้งห้อยตัวรับแสงอยู่ห่างจากหิ้งห้อยตัวอื่นมากๆจนไม่สามารถรับแสงได้หิ้งห้อยตัวนั้นๆ จะหยุดการเคลื่อนที่ ไม่ลู่เข้าหาคำตอบเช่นกัน

จุดเด่นของอัลกอริทึมหิ้งห้อยคือการสำรวจพบคำตอบที่เหมาะสมเฉพาะที่ทั้งหมด เพื่อเป็นการรับรองว่าหิ้งห้อยสามารถค้นพบคำตอบที่เหมาะสมแท้จริงอย่างแน่นอน แต่ทั้งนี้จะต้องกำหนดจำนวนหิ้งห้อย ( $N$ ) สัมประสิทธิ์การกรองแสง ( $\gamma$ ) และพารามิเตอร์การสุ่ม ( $\alpha$ ) ให้เหมาะสมกับปัญหา

#### 2.4.3 ขั้นตอนการดำเนินการของอัลกอริทึมหิ้งห้อย

ขั้นตอนการหาคำตอบที่เหมาะสมด้วยอัลกอริทึมหิ้งห้อย มีทั้งหมด 10 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ฟังก์ชันข้อจำกัดและกำหนดขอบเขตตัวแปร

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดความน่าดึงดูดของตัวกำเนิดแสง จำนวนหิ่งห้อย ค่าสัมประสิทธิ์การกรองแสงของตัวกลางและตัวแปรระยะการเคลื่อนที่ จำนวนครั้งการเคลื่อนที่ หรือเงื่อนไขการหยุดเคลื่อนที่ของหิ่งห้อย

ขั้นตอนที่ 3 สุ่มตำแหน่งเริ่มต้นของหิ่งห้อยให้กระจายทั่วพื้นที่ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์และอยู่ภายในขอบเขตที่กำหนดแล้วเก็บค่าตำแหน่งของหิ่งห้อยทุกตัว

ขั้นตอนที่ 4 ตรวจสอบว่าหิ่งห้อยที่สุ่มออกมาอยู่ในฟังก์ชันข้อจำกัดหรือไม่หากไม่ให้สุ่มตัวที่ไม่ผ่านใหม่จนกว่าจะอยู่ในฟังก์ชันข้อจำกัดทุกตัวแล้วจึงดำเนินการต่อไปขั้นตอนที่ 5

ขั้นตอนที่ 5 ทำการเคลื่อนที่หิ่งห้อยตัวที่สว่างน้อยกว่าเข้าหาตัวที่สว่างมากกว่าทุกตัวด้วยสมการ (2.10)

ขั้นตอนที่ 6 ตรวจสอบว่าตัวแปรอยู่ในขอบเขตหรือไม่ หากไม่ ให้ปรับแก้ให้อยู่ในขอบเขต

ขั้นตอนที่ 7 ตรวจสอบว่าหิ่งห้อยทุกตัวอยู่ในฟังก์ชันข้อจำกัดหรือไม่ หากไม่ ให้ปรับแก้ให้อยู่ในฟังก์ชันข้อจำกัด

ขั้นตอนที่ 8 เปรียบเทียบค่าจากหิ่งห้อยทุกตัว เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการเคลื่อนที่ครั้งนี้

ขั้นตอนที่ 9 ตรวจสอบข้อกำหนดการหยุดเคลื่อนที่ หากผ่านข้อกำหนดให้ดำเนินการต่อขั้นตอนที่ 10 หากไม่ผ่านให้ดำเนินการซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 5

ขั้นตอนที่ 10 ใช้ค่าที่ได้จากขั้นตอนที่ 9 เป็นคำตอบค่าที่เหมาะสมที่สุด และจบการคำนวณ

---

### Firefly Algorithm

---

Objective function  $f(x)$ ,  $x = (x_1, \dots, x_d)^T$

Generate initial population of fireflies  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ )

Light intensity  $I_i$  at  $x_i$  is determined by  $f(x_i)$

Define light absorption coefficient  $\gamma$

**While** ( $t < \text{MaxGeneration}$ )

**for**  $l = 1 : n$  all  $n$  fireflies

**for**  $j = 1 : n$  all  $n$  fireflies (inner loop)

---

---

```

if ( $l_i < l_j$ ) , Move firefly I towards j ; end if
    Vary attractiveness with distance r via  $\exp [-r]$ 
    Evaluate new solutions and update light intensity
end for j
end for i
Rank the fireflies and find the current global best g *
end while
Postprocess results and visualization

```

---

## 2.5 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่ผ่านมาด้านการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำต่างๆ พบว่า Neelakantan และPundarikanthan (2000) ได้ศึกษาการใช้น้ำของอ่างเก็บน้ำสำหรับการผลิตประปาที่เมืองเชนไน(Chennai City) ประเทศอินเดีย โดยกล่าวถึงการผลิตที่ได้จากเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำรูปแบบหนึ่งที่เรียกว่า หลักการอนุรักษ์น้ำ (Hedging Rule) ซึ่งเป็นวิธีการที่ยอมให้เกิดการขาดน้ำขึ้นที่ละน้อยตั้งแต่ในช่วงระยะเวลาแรก ๆ ของการส่งน้ำเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการขาดน้ำอย่างรุนแรงในภายหลังเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากเกณฑ์การปฏิบัติงานมาตรฐาน (Standard Operating Rule) ซึ่งเป็นวิธีการส่งน้ำตามความต้องการ โดยในช่วงฤดูแล้งยอมให้มีการใช้น้ำจนอ่างเก็บน้ำแห้งได้ หรือในช่วงฤดูฝนมีปริมาณน้ำท่ามากจะยอมให้น้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจนกระทั่งเต็ม และส่วนที่เกินสามารถไหลล้นออกไปจากอ่างเก็บน้ำได้ (วิธีการนี้มีความเหมาะสมในกรณีที่ต้องการผลรวมของการขาดแคลนน้ำตลอดช่วงเวลาน้อยที่สุด) ผลการศึกษาพบว่า เกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำโดยอาศัยหลักการอนุรักษ์น้ำสามารถลดดัชนีการขาดน้ำ (Overall Deficit Index) ซึ่งเป็นผลรวมของการขาดน้ำยกกำลังสองได้ดีกว่าการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำตามเกณฑ์การปฏิบัติงานมาตรฐาน

ด้านพัฒนาเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสม (Optimization Technique) สำหรับค้นหาค่าควบคุม ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีได้แก่ วิธีแบบจำลองการเลียนแบบ (Simulation Study Model, SM)วิธีโปรแกรมเชิงพลวัต (Dynamic Programming, DP)และเทคนิคเจนีติกอัลกอริธึม (Genetic Algorithm, GA) เป็นต้น ซึ่งมีทั้งงานวิจัยที่ดำเนินการในประเทศไทยและต่างประเทศ ส่วนใหญ่ประยุกต์ใช้หาค่าควบคุมรายเดือนของอ่างเก็บน้ำโดยใช้ฟังก์ชันของการค้นหาค่าตอบค่าควบคุม

เพียงเกณฑ์เดียวเท่านั้น รายละเอียดของงานที่เกี่ยวข้องพอสรุปได้ดังต่อไปนี้ วิธีการศึกษาเลียนแบบ (Simulation) ในประเทศไทยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมโดยใช้ นั้น มีการศึกษาและนำผลมาใช้งานจริงกับอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่โดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (Electricity Generating Authority of Thailand--EGAT, 2002; EGAT, 2004) ซึ่งเป็นผู้กำกับดูแล อ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่เกือบทั้งหมดของประเทศการค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของไฟฟ้าฝ่ายผลิต แห่งประเทศไทย (กฟผ.) จะใช้แบบจำลอง HEC-3 (U.S. HEC-3, 1974) ในการทำปฏิบัติการอ่างเก็บ น้ำ โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการค้นหาค่าตอบคือเพื่อให้เกิดการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด ซึ่งในการ ค้นหาโค้งควบคุมที่ให้ค่าของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุดนี้จะสมมุติโค้งควบคุมเริ่มต้นที่เป็นไปได้ (Initial Feasible Rule Curves) และปรับโค้งควบคุมนี้แบบลองผิดลองถูก (Trial and Error) จนกระทั่งได้โค้งควบคุมที่เหมาะสม ซึ่งให้การขาดแคลนนํ้าในระยะยาวน้อยที่สุดตามฟังก์ชัน วัตถุประสงค์ที่ดีที่สุด ซึ่งวิธีนี้ กฟผ. ได้ใช้ในการหาโค้งควบคุมรายเดือนของอ่างเก็บน้ำ เช่น เขื่อนภูมิ พล เขื่อนสิริกิติ์ อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ เขื่อนบางลาง และเขื่อนห้วยกุ่ม เป็นต้น นอกจากนี้

Chaiyasing (1997) ก็ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-5 หาโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ เขื่อนสิริกิติ์โดยการสร้างโค้งควบคุมย่อยสำหรับวัตถุประสงค์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า การชลประทาน และการป้องกันน้ำท่วม แล้วจึงหาโค้งควบคุมย่อยเหล่านั้นมาจำลองกับระบบอ่างเก็บน้ำเพื่อหาโค้ง ควบคุมที่ให้ค่าการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด โดยการปรับระดับเก็บกักในแต่ละเดือนแบบลองผิดลองถูก (Trial and Error) เพื่อให้เกิดการขาดแคลนและการระบายน้ำล้นน้อยที่สุดเช่นกัน

วิธีการศึกษาเลียนแบบ (Simulation) ในต่างประเทศ Jain et al. (1998) ได้พัฒนา แบบจำลองที่ใช้เทคนิคการศึกษาเลียนแบบเพื่อหาโค้งควบคุมรายเดือนที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ อเนกประสงค์ในระบบลุ่มน้ำ Sabarmati ของประเทศอินเดีย โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการค้นหา ตอบคือเพื่อให้เกิดการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด โดยการสมมุติโค้งควบคุมเริ่มต้นที่เป็นไปได้ (Initial Feasible Rule Curves) และปรับโค้งควบคุมนี้แบบลองผิดลองถูก (Trial and Error) จนกระทั่งได้ โค้งควบคุมที่เหมาะสมเช่นกัน อย่างไรก็ตามการค้นหาโค้งควบคุมโดยวิธีการศึกษาเลียนแบบข้างต้นนี้จะ ซับซ้อนสำหรับกรณีหลายอ่างเก็บน้ำในระบบเดียวกัน ยิ่งไปกว่านั้นเนื่องจากกระบวนการในการ ค้นหาค่าตอบต้องอาศัยประสบการณ์ของวิศวกรผู้คำนวณค่าตอบที่ได้จึงไม่แน่ว่าจะเป็นโค้งควบคุมที่ เหมาะสมหรือไม่

วิธีโปรแกรมเชิงพลวัต (Dynamic Programming, DP) ซึ่งมีจุดเด่นที่สามารถนำมาใช้ ค้นหาตอบสำหรับปัญหาที่ไม่เชิงเส้น และปัญหาที่มีการตัดสินใจหลายขั้นตอน (Bellman, 1959; Yakowitz, 1982; Esogbue, 1989) ดังนั้น DP จึงเหมาะกับปัญหาที่เป็นขั้นตอนอย่างการหาโค้ง ควบคุมที่เป็นรายเดือนหรือรายสัปดาห์ เพราะค่าตอบที่ได้สัมพันธ์กันตลอดทั้งระยะเวลา 12 เดือนที่ พิจารณาสำหรับการหาค้นโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำโดยใช้ DP นั้น Chaleeraktragoon และ

Kangrang (2007) ได้พัฒนาโปรแกรมเชิงพลวัตแบบมีเงื่อนไข (Conditional Dynamic Programming, CDP) ให้เป็นทางเลือกในการค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสม โดยประยุกต์ใช้ค้นหาคำตอบโค้งควบคุมรายเดือนที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์ เทคนิค CDP เป็นเทคนิคสำหรับปัญหาแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear) ที่มีการค้นหาคำตอบเป็นขั้นๆ (Stage) ซึ่งทำให้เหมาะสำหรับนำมาใช้หาโค้งควบคุมที่ละช่วงเวลา อย่างไรก็ตาม DP ก็มีขีดจำกัดตรงที่ว่าเมื่อตัวแปรอธิบายสภาพระบบ (State Variables) มากจะทำให้การคำนวณค้นหาคำตอบด้วย DP ยากขึ้น

เทคนิคเจนีติกอัลกอริธึม (Genetic Algorithm, GA) ในประเทศไทย สมฤทัย ทะสวดก และ สุวัฒนา จิตตลดากร (2547) ได้เสนอวิธี GA สำหรับกำหนดระดับควบคุมที่เหมาะสมในการจัดการอ่างเก็บน้ำเขื่อนลำปาวตามความต้องการด้านท้ายน้ำในที่นี่ใช้ค่าสูงสุดของพื้นที่ภายในโค้งควบคุมระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ อย่างไรก็ตามโค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิค GA ร่วมกับบบจำลองการศึกษาเลียนแบบข้างต้นยังมีความแปรปรวนของโค้งไม่สอดคล้องกับการใช้งานจริง ต่อมา Anongrit และ Chakeeraktragoon (2007) จึงได้ประยุกต์ใช้สมการเงื่อนไข (Conditional Function) ร่วมกับการค้นหาด้วยเทคนิค GA เพื่อลดความแปรปรวนของโค้งควบคุม แม้ว่าเทคนิค GA มีพื้นฐานมาจากทฤษฎีวิวัฒนาการ (Evolution Theory) ซึ่งเหมาะกับการใช้แก้ปัญหาที่ซับซ้อน กระบวนการค้นหาคำตอบเป็นแบบสุ่ม (Random) มีการแลกเปลี่ยนลักษณะบ่งชี้ของประชากรคำตอบแต่ละตัว และมีโอกาสที่จะได้คำตอบที่ลู่อุ้เข้าหาคำตอบที่แท้จริง (Global Optimum) มากกว่าแต่กระบวนการลู่อุ้เข้าหาคำตอบค่อนข้างช้า

เทคนิคเจนีติกอัลกอริธึม (Genetic Algorithm, GA) ในต่างประเทศที่ปรากฏนั้น พบว่า Chang และ Yang (2002) ได้ประยุกต์ GA ร่วมกับ HEC-5 เพื่อหาโค้งควบคุมรายเดือนที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำในประเทศไต้หวัน ซึ่งเป็นการเชื่อมการศึกษาเลียนแบบของระบบลุ่มน้ำเข้ากับการค้นหาคำตอบของเทคนิคเจนีติกอัลกอริธึม โดยใช้ดัชนีของการขาดแคลนน้ำ (Shortage Index) น้อยที่สุดเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหาคำตอบ ต่อมา Chang et al. (2003) ได้ประยุกต์ GA ร่วมกับ HEC-3 เพื่อหาโค้งควบคุมการปล่อยน้ำล้นตะกอนที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำในประเทศไต้หวันอีกเช่นกัน โดยการเชื่อมการศึกษาเลียนแบบของระบบลุ่มน้ำเข้ากับการค้นหาคำตอบของเทคนิคเจนีติกอัลกอริธึม และใช้ดัชนีของการขาดแคลนน้ำ (Shortage Index) น้อยที่สุดเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหาคำตอบเช่นเดียวกัน จากนั้น Chang et al. (2005) ก็ได้พัฒนา GA แบบ Binary Coded และแบบ Real Coded ร่วมกับ HEC-5 เพื่อหาโค้งควบคุมรายเดือนที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอเนกประสงค์ในประเทศไต้หวันอีก ซึ่งเป็นการเชื่อมการศึกษาเลียนแบบของระบบลุ่มน้ำแบบอ่างเก็บน้ำเดี่ยวเข้ากับการค้นหาคำตอบของเทคนิคเจนีติกอัลกอริธึม โดยใช้ดัชนีของการขาดแคลนน้ำ (Shortage index) น้อยที่สุดเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหาคำตอบ ซึ่งให้ผลดีกว่า

คำตอบเดิม (โค้งควบคุมที่ใช้อยู่เดิม) ขณะที่ GA แบบ Real Coded จะมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบ Binary Coded

Anongrit et al. (2009) ได้ใช้วิธีสติก อัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์สำหรับความต้องการใช้น้ำต่างๆ เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำเป็นเครื่องมือขั้นพื้นฐาน ซึ่งโค้งควบคุมดังกล่าวจะแสดงขอบเขตบนและขอบเขตล่างเพื่อให้เกิดการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดในระยะยาวโดยโค้งได้ถูกใช้ร่วมกับเกณฑ์อื่นๆ ที่พิจารณาในช่วงระยะสั้นๆ เป็นรายวันหรือรายสัปดาห์โดยปริมาณที่เหลือจะต้องอยู่ภายในช่วงของโค้งควบคุมของเดือนนั้นๆ ผลการศึกษาพบว่าโค้งควบคุมที่ได้จากแบบจำลองที่เสนอมีลักษณะรูปร่างที่ใกล้เคียงกับโค้งควบคุมเดิม เมื่อนำโค้งควบคุมนี้ไปจำลองสภาพสมดุลของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์

วิชฎุภกรณ ชัยภูมิ (2010) ได้ศึกษาโดยใช้โค้งควบคุมรายเดือนที่ได้จากอัลกอริทึมการจำลองการอบเหนียวของอ่างเก็บน้ำสิรินธรซึ่งมีลักษณะไม่สอดคล้องกับโค้งควบคุมเดิมโดยโค้งควบคุมใหม่มีลักษณะต่ำลงมาจากโค้งควบคุมเดิมเส้นขอบเขตบนในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนธันวาคมจึงทำให้มีพื้นที่เก็บกักน้ำได้ดีกว่าโค้งเดิมในช่วงฤดูน้ำหลาก ส่วนเส้นขอบเขตล่างในช่วงฤดูแล้งสามารถปล่อยน้ำตามความต้องการได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมรายเดือนเดิมของอ่างเก็บน้ำและอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ โค้งควบคุมใหม่ที่ได้เส้นขอบเขตบนระดับเก็บกักสูงกว่าโค้งควบคุมเดิม ในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนธันวาคมทำให้เส้นขอบเขตบนในช่วงฤดูน้ำหลากโค้งควบคุมที่ได้จากการอัลกอริทึมการจำลองการอบเหนียวนี้สามารถเก็บกักปริมาณน้ำได้น้อยกว่าโค้งควบคุมเดิมแต่ในช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคมโค้งควบคุมใหม่สามารถเก็บกักน้ำไว้ใช้ในช่วงฤดูแล้งเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการได้ดีกว่าโค้งควบคุมเดิม ส่วนเส้นขอบเขตล่างที่ได้จากโค้งควบคุมใหม่มีลักษณะสอดคล้องกับโค้งควบคุมเดิมแต่ในช่วงฤดูแล้ง โค้งควบคุมใหม่มีระดับเก็บกักต่ำกว่าโค้งควบคุมเดิมจึงทำให้มีโอกาสที่จะปล่อยน้ำตามความต้องการได้ดีกว่าโค้งควบคุมเดิม และเมื่อนำโค้งควบคุมใหม่และโค้งควบคุมเก่าของอ่างเก็บน้ำทั้งสองไปจำลองระบบกับข้อมูลสังเคราะห์จำนวน 100 ชุด โดยการลดปริมาณน้ำทำสังเคราะห์ลง 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่าโค้งควบคุมใหม่ของอ่างเก็บน้ำสิรินธรและอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ สามารถบรรเทาสถานการณ์ภัยแล้งและอุทกภัยได้ดีกว่าโค้งควบคุมเดิม

รัตนา หอมวิเชียร (2011) ได้พัฒนาโค้งควบคุมโดยใช้วิธีดิฟเฟอเรนเชียลเอฟโวลูชัน และเมื่อทำการเปรียบเทียบโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยระเบียบวิธีการดิฟเฟอเรนเชียลเอฟโวลูชันกับโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยวิธีการอื่นได้แก่ระเบียบวิธีการเชิงพันธุกรรม ซึ่งเป็นระเบียบวิธีการล่าสุดที่ลู่เข้าหาคำตอบแบบ Global โดยสามารถแก้ปัญหาที่มีคำตอบอยู่เป็นจำนวนมาก มีขนาดใหญ่ และสลับซับซ้อน และหาคำตอบได้รวดเร็วกว่าวิธีการอื่นๆ พบว่าทั้งสองวิธีให้โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำลักษณะเหมือนกัน การเกิดการขาดแคลนน้ำและการปล่อยน้ำส่วนเกินเหมือนกันเนื่องจากทั้งสองวิธีเป็นระเบียบวิธีการที่ลู่เข้าหาคำตอบแบบ Global

เหมือนกัน ซึ่งแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยระเบียบวิธีการดิฟเฟอร์เรนเชียลเอฟโวลูชันลู่เข้าหาคำตอบได้รวดเร็วกว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยระเบียบวิธีการเชิงพันธุกรรม เนื่องจากมีโครงสร้างของระเบียบวิธีการแตกต่างกันและพารามิเตอร์ที่ใช้ของระเบียบวิธีการดิฟเฟอร์เรนเชียลเอฟโวลูชันเป็นจำนวนจริง ทำให้การลู่เข้าหาคำตอบได้รวดเร็วกว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม ดังนั้นจะเห็นได้ว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยระเบียบวิธีการดิฟเฟอร์เรนเชียลเอฟโวลูชันสามารถค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมได้อย่างมีประสิทธิภาพ นำไปใช้ประโยชน์ในการบริหารจัดการน้ำได้ดี

เชษฐพันธ์ โล่ห์คำ (2012) ได้หาเกณฑ์การจัดสรรน้ำที่เหมาะสมด้วยกระบวนการอานานิคมมต กรณีศึกษา โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาลำปาว ซึ่งการใช้วิธีการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์เพื่อคัดเลือกทางเลือกโดยใช้เทคนิคของกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytical Hierarchy; AHP) ในสภาวะที่ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำน้อย จะให้ความสำคัญด้านเศรษฐกิจ 43.1% ด้านความเท่าเทียม 33.2% ด้านความเชื่อมั่น 23.7% ส่งผลให้หากปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำน้อย เจ้าหน้าที่ส่วนใหญ่ที่มีความชำนาญในด้านการบริหารจัดการน้ำ รับผิดชอบพื้นที่ชลประทานและสามารถชี้แจงเหตุและผลการจัดสรรน้ำ เลือกที่จะดำเนินการลดพื้นที่การเกษตรลง 3% ประมาณ 7,985 ไร่ คิดเป็นผลตอบแทนประมาณ 24,755,298 บาท ลดพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำลง 3% ประมาณ 223 ไร่ คิดเป็นผลตอบแทนประมาณ 4,909,080 บาท และลดปริมาณการจัดสรรน้ำรักษาสมดุลนิเวศวิทยาลง 3% คิดเป็นเดือนละประมาณ 0.39 ล้าน ลบ.ม. แสดงว่าโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาลำปาว ให้ความสำคัญด้านเศรษฐกิจ สังคม และการจัดการ หลีกเลี่ยงการเกิดปัญหาความขัดแย้งด้านความต้องการใช้น้ำในแต่ละกิจกรรม ตลอดจนตำแหน่งพื้นที่ทำการเกษตร ไม่ว่าจะเป็นอย่างต้นคลอง กลางคลอง และปลายคลอง ปัญหาความขัดแย้งของตำแหน่งพื้นที่ทำการเกษตรค่อนข้างละเอียดอ่อน การแก้ปัญหาการจัดการน้ำไม่ว่าจะเพิ่มหรือลดพื้นที่ทางการเกษตร ควรที่จะมีการสร้างองค์ความรู้กระบวนการชุมชนเข้มแข็ง เป็นแนวทางในการจัดสรรน้ำโดยเกษตรกรมีส่วนร่วม ซึ่งอาจจะต้องใช้กระบวนการมีส่วนร่วมต่างๆ อาทิ กระบวนการ PIM (Participatory Irrigation Management 11 ขั้นตอน) กระบวนการ JMC (Joint Management Committee Of Irrigation) และกระบวนการชุมชนเข้มแข็งต่างๆ มาประยุกต์ ปรับใช้ ตลอดจนการประสานความร่วมมือของคณะกรรมการจัดการชลประทาน ซึ่งประกอบด้วย เกษตรกร กรมชลประทาน องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในด้านต่างๆ

วิทวัส พาโคทหม (2014) ได้หาเกณฑ์การจัดสรรน้ำที่เหมาะสมด้วยเทคนิคคนกดูเหว่า ซึ่งจากการประเมินประสิทธิภาพของโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ของอ่างเก็บน้ำที่ได้จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยเทคนิคคนกดูเหว่า (CS) ผลการประเมินพบว่าโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยแบ่งออกเป็นกรณีดังนี้ กรณีที่ 1 ความต้องการใช้น้ำปกติโดยใช้ข้อมูลน้ำที่



ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ 44 ปี (พ.ศ. 2511–2554) สถานการณ์การขาดแคลนน้ำ ความถี่ของปริมาณน้ำที่ขาดแคลน ปริมาณน้ำที่ขาดแคลนเฉลี่ย และช่วงเวลาการขาดแคลนเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 0.743, 78.194 และ 3.635 ตามลำดับ กรณีที่ 2 ความต้องการใช้น้ำปกติโดยใช้ข้อมูล สังเคราะห์น้ำต้นทุนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายเดือนจากข้อมูลเดิม 44 ปี จำนวน 100 ชุดเหตุการณ์ สถานการณ์การขาดแคลนน้ำ ความถี่ของปริมาณน้ำที่ขาดแคลน ปริมาณน้ำที่ขาดแคลนเฉลี่ย และช่วงเวลาการขาดแคลนเฉลี่ย มีค่าลดลงเท่ากับ 0.763, 84.109 และ 3.980 ตามลำดับ สถานการณ์การไหลล้น พบว่า ความถี่ของการไหลล้น การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย และช่วงเวลาการไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.929, 917.501 และ 13.624 ตามลำดับสถานการณ์การไหลล้น พบว่า ความถี่ของการไหลล้น การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย และช่วงเวลาการไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.945, 910.468 และ 16.933 ตามลำดับ กรณีที่ 3 กรณีเพิ่มพื้นที่ชลประทาน 50,000 ไร่โดยใช้ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ 44 ปี (พ.ศ. 2511–2554) สถานการณ์การขาดแคลนน้ำ ความถี่ของปริมาณน้ำที่ขาดแคลน ปริมาณน้ำที่ขาดแคลนเฉลี่ย และช่วงเวลาการขาดแคลนเฉลี่ย มีค่าลดลงเท่ากับ 0.749, 127.035 และ 3.712 ตามลำดับ สถานการณ์การไหลล้น พบว่า ความถี่ของการไหลล้น การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย และช่วงเวลาการไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.923, 816.966 และ 13.443 ตามลำดับ กรณีที่ 4 กรณีเพิ่มพื้นที่ชลประทาน 50,000 ไร่โดยใช้ข้อมูลสังเคราะห์น้ำต้นทุนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายเดือนจากข้อมูลเดิม 44 ปี จำนวน 100 ชุดเหตุการณ์ สถานการณ์การขาดแคลนน้ำ ความถี่ของปริมาณน้ำที่ขาดแคลน ปริมาณน้ำที่ขาดแคลนเฉลี่ย และช่วงเวลาการขาดแคลนเฉลี่ยมีค่าลดลงเท่ากับ 0.800, 144.540 และ 4.765 ตามลำดับ สถานการณ์การไหลล้น พบว่า ความถี่ของการไหลล้น การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย และช่วงเวลาการไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.915, 835.837 และ 11.588 ตามลำดับ

วิรัตน์ นวนนุกูล (2014) ผลการศึกษาพบว่าโค้งควบคุมที่ได้จากวิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบจำลองการเลียนแบบ มีรูปร่างคล้ายคลึงกับโค้งควบคุมเดิม โดยโค้งควบคุมใหม่เส้นล่างจะสูงกว่าโค้งควบคุมเดิมในช่วงฤดูแล้งคือตั้งแต่เดือนธันวาคมถึงเดือนพฤษภาคม เพื่อเก็บกักน้ำไว้ตอบสนองความต้องการใช้น้ำ ส่วนโค้งควบคุมใหม่เส้นบนนั้นต่ำกว่าโค้งควบคุมเดิมในช่วงเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคม ทำให้ต้องพร่องน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเพื่อลดความเสี่ยงโอกาสที่จะเกิดปัญหาน้ำท่วมในฤดูฝน ตลอดจนสามารถรองรับน้ำได้เพิ่มขึ้น ส่วนผลการประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมใหม่ที่ได้พบว่า สถานการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นมีค่าลดลงเล็กน้อย และเมื่อทดลองเพิ่มพื้นที่ชลประทานอีก 50,000 ไร่ พบว่าโค้งควบคุมใหม่นี้ยังสามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำได้ แต่สถานการณ์น้ำขาดแคลนจะเพิ่มสูงขึ้นอีก โดยสรุป วิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบจำลองการเลียนแบบสามารถประยุกต์ใช้ค้นหาโค้งควบคุมที่

เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ และโค้งควบคุมที่ได้ใหม่สามารถบรรเทาสถานการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นได้ดี

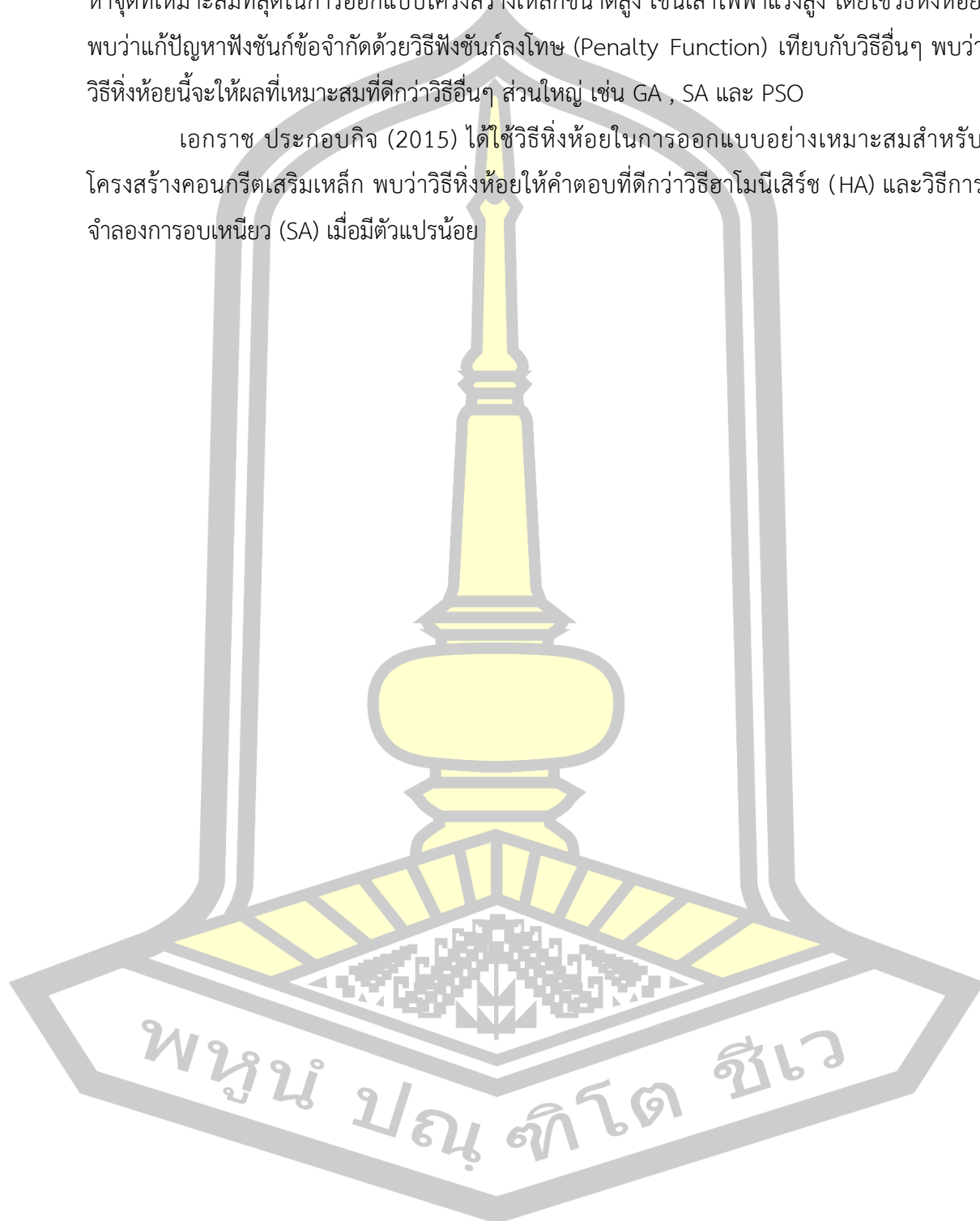
เกียรติพงศ์ สายเมือง (2015) ได้หาเกณฑ์การจัดสรรน้ำที่เหมาะสมด้วยวิธีเทคนิคการค้นหาแบบทาบ ผลการศึกษาพบว่าเมื่อใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้ง 3 รูปแบบข้างต้นนั้นจะได้โค้งควบคุมใหม่ที่มีรูปร่างคล้ายคลึงกับโค้งควบคุมเดิม เนื่องจากอิทธิพลของน้ำท่าในแต่ละฤดูกาลและเงื่อนไขอื่นที่เหมือนกัน เมื่อนำโค้งควบคุมใหม่เหล่านี้ไปทดสอบและเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิมที่ใช้อยู่พบว่าโค้งใหม่ที่หาโดยใช้ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุดเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในกระบวนการค้นหา สามารถบรรเทาสภาวะน้ำท่วมและน้ำขาดแคลนได้ดีกว่าโค้งที่เกิดจากการใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์อื่นและยังดีกว่าโค้งควบคุมเดิมด้วย หลังจากนั้นนำโค้งควบคุมที่ได้จากค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุดมาทดสอบและเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิมเพิ่มเติมอีก โดยการเพิ่มการใช้น้ำชลประทาน 20% และเพิ่มปริมาณฝนใช้การ 20% ใช้ข้อมูลการไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำที่สังเคราะห์ในอดีตจำนวน 47 ปี 100 ชุดข้อมูล พบว่ายังก็ดีกว่าโค้งควบคุมเดิมอีกด้วย

ตระการ กาสีใส (2015) ได้หาเกณฑ์การจัดสรรน้ำที่เหมาะสมด้วยเทคนิควิธีการอาณาจักรผึ้ง ผลการศึกษาพบว่าเมื่อใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้ง 3 รูปแบบข้างต้นนั้นจะได้โค้งควบคุมใหม่ที่มีรูปร่างคล้ายคลึงกับโค้งควบคุมเดิม เนื่องจากอิทธิพลของน้ำท่าในแต่ละฤดูกาลและเงื่อนไขอื่นที่เหมือนกัน เมื่อนำโค้งควบคุมใหม่เหล่านี้ไปทดสอบและเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิมที่ใช้อยู่พบว่าโค้งใหม่ที่หาโดยใช้ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุดเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในกระบวนการค้นหา สามารถบรรเทาสภาวะน้ำท่วมและน้ำขาดแคลนได้ดีกว่าโค้งที่เกิดจากการใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์อื่นและยังดีกว่าโค้งควบคุมเดิมด้วย หลังจากนั้นนำโค้งควบคุมที่ได้จากค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุดมาทดสอบและเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิมเพิ่มเติมอีก โดยการเพิ่มการใช้น้ำชลประทาน 20% และเพิ่มปริมาณฝนใช้การ 20% ใช้ข้อมูลการไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำที่สังเคราะห์ในอดีตจำนวน 47 ปี 100 ชุดข้อมูล พบว่ายังก็ดีกว่าโค้งควบคุมเดิมอีกด้วย

ภาสุระ อังกุลานนท์ (2014) ได้ทดสอบปัญหาแรงกดสปริงและแรงกระทำต่อสปริง ด้วยวิธีหิ่งห้อย และวิธีกลุ่มอนุภาค พบว่าวิธีหิ่งห้อยให้ผลดีกว่าทั้งเรื่องค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุดและระยะเวลาในการคำนวณ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ A.Baghiani, M.H.Makiabadi และ M.Sarcheshmehpour (2014) ซึ่งได้นำวิธีหิ่งห้อย มาออกแบบโครงถักเหล็กรูปพรรณในแบบจำลอง 2 มิติ และ 3 มิติ เปรียบเทียบกับวิธี GA และ PSO โดยพบว่าวิธีหิ่งห้อยมีค่าเหมาะสมและประหยัดที่สุด และยังได้พัฒนาสมการการเคลื่อนที่ของหิ่งห้อยใหม่โดยใช้ชื่อว่า AFA (Accelerated Firefly Algorithm) โดยให้ค่าคำตอบที่ดีกว่าวิธีหิ่งห้อยเดิม โดยที่ค่า เบี่ยงเบนมาตรฐานของคำตอบในการออกแบบแต่ละครั้งก็ต่ำอีกด้วย

Siamak Talatahari , Amir Hossein Gandomi and Gun Jin You (2014) ได้ศึกษาการหาจุดที่เหมาะสมที่สุดในการออกแบบโครงสร้างเหล็กขนาดสูง เช่นเสาไฟฟ้าแรงสูง โดยใช้วิธีหึ่งห้อยพบว่าแก้ปัญหาฟังก์ชันข้อจำกัดด้วยวิธีฟังก์ชันลงโทษ (Penalty Function) เทียบกับวิธีอื่นๆ พบว่าวิธีหึ่งห้อยนี้จะให้ผลที่เหมาะสมที่ดีกว่าวิธีอื่นๆ ส่วนใหญ่ เช่น GA , SA และ PSO

เอกราช ประกอบกิจ (2015) ได้ใช้วิธีหึ่งห้อยในการออกแบบอย่างเหมาะสมสำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก พบว่าวิธีหึ่งห้อยให้คำตอบที่ดีกว่าวิธีฮิวโมเนียเสิร์ช (HA) และวิธีการจำลองการอบเหนียว (SA) เมื่อมีตัวแปรน้อย

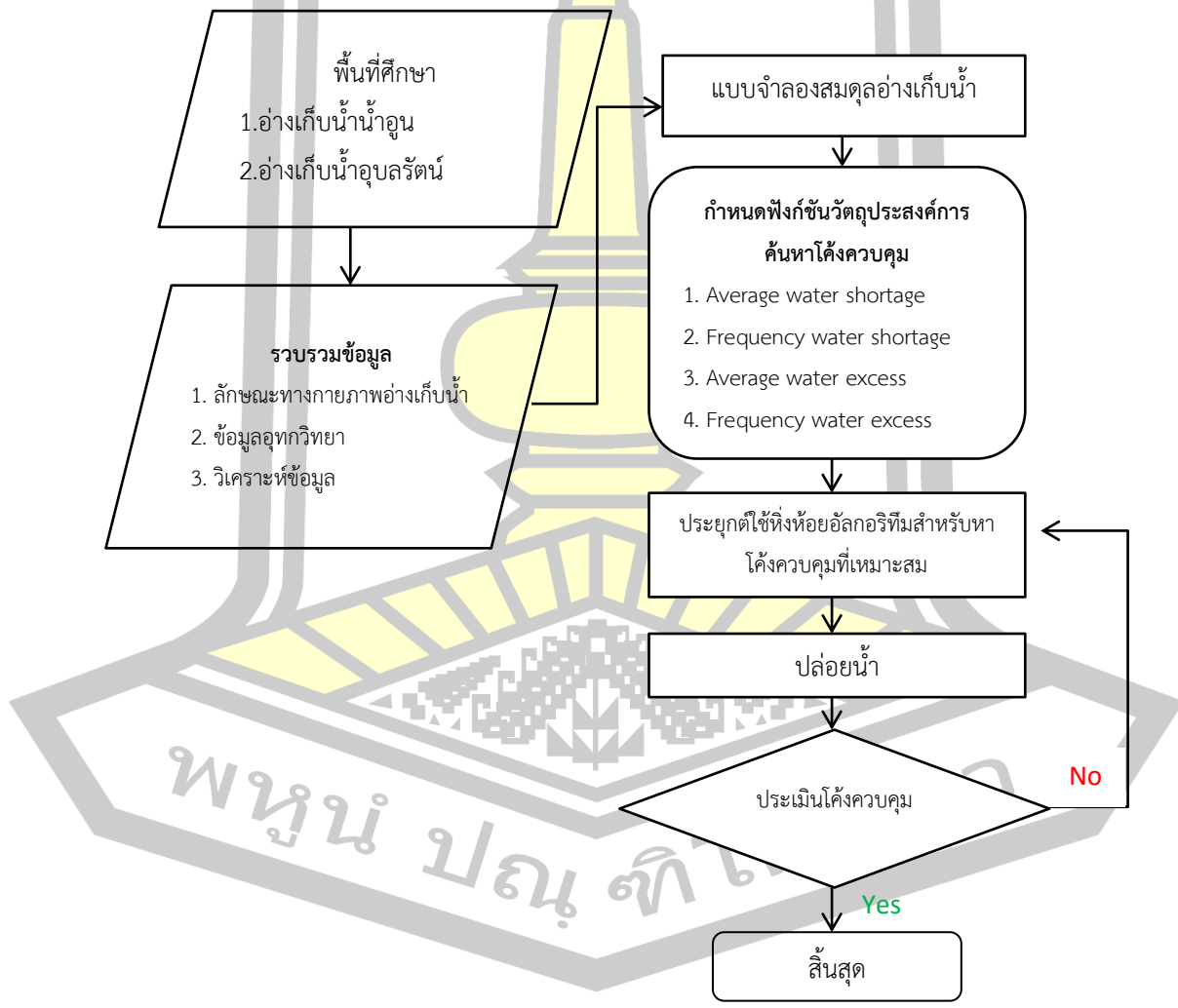


### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

บทนี้เป็นการอธิบายถึงวิธีดำเนินการวิจัย ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ต่อเนื่องจึงจะอธิบายถึงขั้นตอนและวิธีการศึกษาดังหัวข้อต่อไปนี้

1. พื้นที่ศึกษา
2. วิธีการประยุกต์ใช้หิ้งหอยอัลกอริทึมสำหรับหาโค้งควบคุมที่เหมาะสม
3. วิธีการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง



ภาพประกอบ 3.1 ขั้นตอนการศึกษา

### 3.1 พื้นที่ศึกษา

#### อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์

ข้อมูลที่สำคัญใช้ในการศึกษานอกจากลักษณะทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำ ซึ่งประกอบด้วยปริมาณน้ำที่ระดับเก็บกักปกติและที่ระดับต่ำสุด แล้วยังต้องใช้สถิติข้อมูลรายเดือนที่มีการบันทึกไว้ทั้งหมด ดังนี้

#### 1. ข้อมูลอุตุวิทยา

##### 1.1 ปริมาณน้ำฝนที่เฉลี่ยรายเดือนไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ

ปริมาณน้ำฝนส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วงฤดูฝนตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม โดยปริมาณฝนเฉลี่ยในปี 47 ที่ผ่านมาเฉลี่ยปริมาณน้ำท่าเท่ากับ 943 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี โดยเริ่มมีฝนตกในเดือนกุมภาพันธ์ เดือนที่ฝนตกหนักมากที่สุดคือ เดือนตุลาคม เฉลี่ย 273.5 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อเดือน และเดือนที่มีปริมาณฝนตกน้อยที่สุดคือ เดือนธันวาคม เฉลี่ย 21.5 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อเดือน

##### 1.2 อัตราการระเหย

การระเหยรายปีเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 122 มิลลิเมตรต่อปี เดือนที่มีอัตราการระเหยมากที่สุดคือ เดือนเมษายน มีค่า 162 มิลลิเมตร และเดือนที่อัตราการระเหยน้อยที่สุดคือ เดือนมิถุนายน มีค่า 99 มิลลิเมตร

##### 1.3 ปริมาณความต้องการใช้น้ำ

อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ มีการสร้างเขื่อนขึ้นมาเพื่อ กักเก็บน้ำปิดกั้นลำน้ำพอง เพื่อกักเก็บน้ำในฤดูฝนไว้ มิให้ไหลลงไปท่วมพื้นที่ตอนล่าง และน้ำที่กักเก็บไว้สามารถนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้า เกษตรกรรม การประมง คมนาคม และการท่องเที่ยว ซึ่งน้ำที่ปล่อยผ่านการผลิตไฟฟ้าแล้วจะถูกส่งเข้าสู่ระบบชลประทาน ให้แก่พื้นที่เกษตรกรรมที่จังหวัดขอนแก่นและมหาสารคาม ประมาณ 300,000 ไร่ ช่วยให้ทำการ เพาะปลูกได้ปีละ 2 ครั้ง และสามารถปลูกพืชในฤดูแล้ง

##### 1.4 การใช้น้ำเพื่อการอุตสาหกรรมผลิตกระแสไฟฟ้า

ความต้องการใช้น้ำของโรงไฟฟ้าจะกำหนดไว้ที่กำลังผลิตต่ำสุด เพื่อให้การผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นเรื่องรองจากการใช้น้ำอื่นๆ

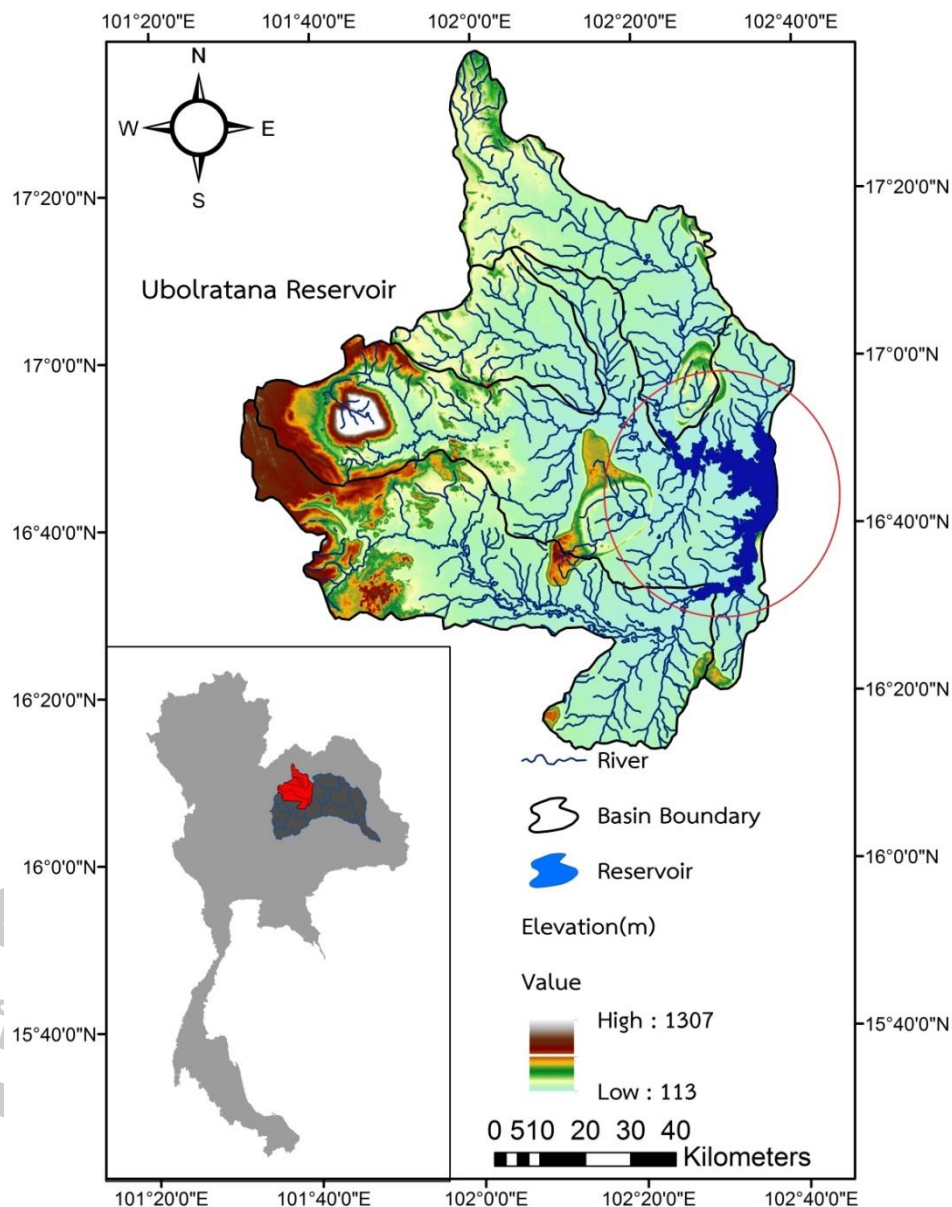
##### 1.5 การใช้น้ำเพื่อการชลประทานที่ปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำ

เมื่อก่อสร้างอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์แล้วเสร็จ กรมชลประทาน จึงได้จัดทำฝายทดน้ำหนองหวาย ขึ้นที่ตำบลหนองหวาย อำเภอโนนพอง จังหวัดขอนแก่น เป็นโครงการที่ก่อตั้งขึ้นเพื่อช่วยแก้ไขปัญหาความแห้งแล้ง และขาดแคลนน้ำในเขตจังหวัดขอนแก่น และมหาสารคาม โครงการนี้ตั้งอยู่ตอนใต้ของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ ลงมาประมาณ 25 กิโลเมตร เพื่อส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูก ใน

เขตโครงการและการเพาะปลูกพืชในฤดูแล้ง มีพื้นที่ครอบคลุม อำเภอเมือง อำเภอกระนวน จังหวัดขอนแก่น และอำเภอโกสุมพิสัย อำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม น้ำจากฝายหนองหวาย สามารถส่งให้แก่พื้นที่เพาะปลูก จำนวน 302,500 ไร่ และปลูกพืชฤดูแล้งได้อีก 190,000 ไร่

## 2. ข้อมูลอ่างเก็บน้ำ

### 2.1 ที่ตั้งโครงการ



ภาพประกอบ 3.2 ที่ตั้งอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์

อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ เดิมชื่อ เขื่อนพองหนีบ สร้างปิดกั้นแม่น้ำพองที่อำเภออุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น เป็นเขื่อน ไฟฟ้าพลังน้ำแห่งแรกๆ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ได้สร้างขึ้นในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และเป็นแห่งที่สอง ของประเทศไทยต่อมาจาก เขื่อนภูมิพล

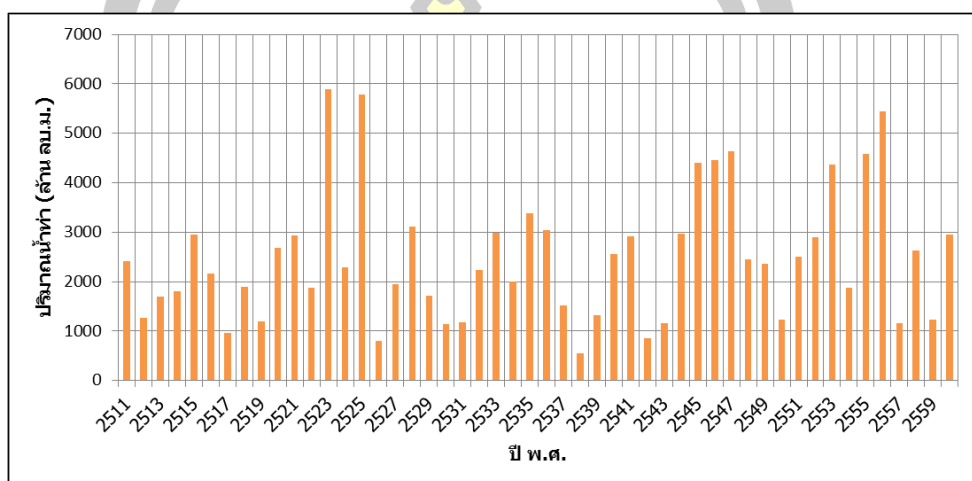
อำเภออุบลรัตน์เป็นอำเภอที่ตั้งอยู่ตอนเหนือของพื้นที่จังหวัดขอนแก่น เมื่อ พ.ศ. 2507 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้สร้างเขื่อนอเนกประสงค์กั้นลำน้ำพอง ตรงบริเวณที่เขากุพานและภูค่าจตุกัน ซึ่งชาวบ้านเรียกว่า "พองหนีบ" ซึ่งต่อมาได้รับพระราชทานนามว่า "อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์" ตามพระนามของสมเด็จพระเจ้าลูกยาเธอเจ้าฟ้าอุบลรัตน์ราชกัลยา เขื่อนนี้สร้างขึ้นเพื่อกักเก็บน้ำไว้ผลิตกระแสไฟฟ้า และเพื่อใช้ในการเกษตร รวมทั้งเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ปลา เมื่อ พ.ศ. 2517 กระทรวงมหาดไทยได้ประกาศพระราชกฤษฎีกาจัดตั้งเป็นกิ่งอำเภอ โดยแยกออกจากอำเภอน้ำพอง เนื่องจากประชากรอาศัยอยู่อย่างกระจัดกระจาย การคมนาคม ไม่สะดวก ประกอบกับอำเภอน้ำพองมีอาณาเขตกว้างขวาง เพื่อสะดวกในการปกครองดูแล และรักความสงบเรียบร้อย มีประชากร 3 ตำบล ได้แก่ ตำบลโคกสูง ตำบลนาคำ และตำบลบ้านดง ขอแยกตัวแบ่งเขตการปกครองเป็น "กิ่งอำเภออุบลรัตน์" ในเขตพื้นที่ 3 ตำบลดังกล่าว โดยให้มีชื่อสอดคล้องกับชื่ออ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ที่ตั้งอยู่ใกล้กับสถานที่ตั้งกิ่งอำเภอ มีเนื้อที่การปกครองประมาณ 485 ตารางกิโลเมตร ห่างจากจังหวัดขอนแก่นประมาณ 50 กิโลเมตร ต่อมาเมื่อวันที่ 25 มีนาคม 2522 ได้มีพระราชกฤษฎีกายกฐานะเป็น "อำเภออุบลรัตน์" ได้รับการพัฒนา และมีประชากรอาศัยอยู่หนาแน่น และเป็นสถานที่ท่องเที่ยวที่สำคัญของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปัจจุบันมีเขตการปกครอง 6 ตำบล 70 หมู่บ้าน

อำเภออุบลรัตน์ ตั้งอยู่ทางทิศเหนือของจังหวัดขอนแก่น โดยอยู่ห่างจากอำเภอมืองขอนแก่นประมาณ 51 กิโลเมตร โดยทางรถยนต์ตามทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2109 ระหว่างอำเภออุบลรัตน์ไปถึงทางแยกสายมิตรภาพ อุดรธานี-ขอนแก่น มีพื้นที่ครอบคลุมทั้งหมด 485 ตารางกิโลเมตร หรือ ประมาณ 303,125 ไร่ โดยมีอาณาเขตดังนี้

ทิศเหนือ	ติดต่อกับตำบลนาจิว อำเภอเขาสวนกวาง
ทิศใต้	ติดต่อกับตำบลป่าหวายนั่ง ตำบลโคกงาม อำเภอบ้านฝาง และตำบลหนองผือ อำเภอหนองเรือ จังหวัดขอนแก่น
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับตำบลเมืองแรม อำเภอเขาสวนกวาง จังหวัดขอนแก่น
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับตำบลนาหว้า ตำบลทุ่งชมพู ตำบลกุดขอนแก่น ตำบลบ้านค้อ และตำบลโคกใหญ่ อำเภอภูเวียง จังหวัดขอนแก่น

## 2.2 ตัวเขื่อน

เป็นหินถมแกนดินเหนียว มีความยาว 885 เมตร สูง 32 เมตร ระดับสันเขื่อนอยู่ที่ +185 เมตร (รทก.-ระดับน้ำทะเลปานกลาง) สันเขื่อนกว้าง 6 เมตร ฐานเขื่อนกว้าง 120 เมตร อ่างเก็บน้ำมีความจุ 2263 ล้านลูกบาศก์เมตร



ภาพประกอบ 3.3 ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์

## 2.3 อาคารโรงไฟฟ้า

ตั้งอยู่ทางด้านซ้ายมือตัวเขื่อน ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดกำลังผลิต 8400 กิโลวัตต์ จำนวน 3 เครื่อง รวมกำลังผลิตทั้งสิ้น 25200 กิโลวัตต์ อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ เริ่มก่อสร้างเมื่อปี 2507 แล้วเสร็จในปี 2509 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เสด็จพระราชดำเนินพร้อมด้วย สมเด็จพระนางเจ้าฯ พระบรมราชินีนาถ และ สมเด็จพระเจ้าลูกเธอ เจ้าฟ้าอุบลรัตน์ราชกัญญาฯ ไปทรงประกอบพิธีเปิดเขื่อนเมื่อวันที่ 14 มีนาคม 2506 ต่อมา กฟผ. ได้ทำการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเขื่อนในการบรรเทา อุทกภัยให้สูงขึ้น และเป็นการเสริมความปลอดภัยให้แก่ตัวเขื่อนโดยการเสริมสันเขื่อนจากระดับ +185 เมตร (รทก.) เป็นที่ระดับ +188.10 เมตร (รทก.) ส่วนฐานเขื่อนด้านท้ายขยายจากเดิมซึ่งกว้าง 120 เมตร เป็น 125 เมตร โดยเริ่มดำเนินการตั้งแต่ปลายปี 2527 และปรับปรุงแล้วเสร็จเมื่อต้นปี 2530

## 2.4 ลักษณะภูมิประเทศ และอากาศ

ลักษณะพื้นที่โดยทั่วไปของอำเภออุบลรัตน์ มีสภาพเป็นที่ลุ่ม ๆ ดอน ๆ พื้นที่ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นภูเขาเตี้ย ๆ และเนินดินขนาดใหญ่ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากที่เป็นพื้นที่อยู่ติดกับ



ภูเขา กล่าวคือมีเทือกเขาภูพานคำตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกของอำเภอ ในลักษณะทอดยาวจากทิศเหนือไปทางทิศใต้ จึงทำให้พื้นที่เป็นดั่งกล่าวสภาพอากาศของอำเภออุบลรัตน์ มี 3 ฤดู โดยแต่ละฤดู จะมีสภาพที่แตกต่างกันมาก คือในฤดูร้อนจะร้อนอบอ้าว ส่วนในฤดูหนาวจะหนาวจัด คงมีแต่เพียงฤดูฝนที่อากาศค่อนข้างจะสบาย มีปริมาณน้ำฝนน้อย

#### 2.5 สภาพอากาศในแต่ละช่วงของอำเภออุบลรัตน์ ดังนี้

ฤดูฝน โดยทั่วไปจะมีฝนตกเพียงเล็กน้อย แต่จะตกในช่วงเดือนกันยายนถึงตุลาคม

ฤดูหนาว อากาศหนาวจัดระหว่างเดือนธันวาคมถึงมีนาคม

ฤดูร้อน อากาศร้อนอบอ้าว และจะแล้งมากช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม

การระเหยรายปีเฉลี่ยมีค่า 1853.8 มิลลิเมตร เดือนที่มีอัตราการระเหยมากที่สุดคือ เดือนมีนาคม 194.7 มิลลิเมตร และเดือนที่มีอัตราการระเหยน้อยที่สุดคือเดือนกันยายนมีค่า 120.0 มิลลิเมตร

#### 2.6 ประโยชน์ที่ได้จากอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์

อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ เป็นเขื่อนอเนกประสงค์ที่เอื้ออำนวยประโยชน์ต่อประชาชนในด้านต่างๆ ดังนี้

##### 2.6.1 ด้านชลประทานและการเกษตร

น้ำที่ปล่อยผ่านการผลิตไฟฟ้าแล้วจะถูกส่งเข้าสู่ระบบชลประทาน ให้แก่พื้นที่เกษตรกรรมที่จังหวัดขอนแก่นและมหาสารคาม ประมาณ 300000 ไร่ ช่วยให้ทำการ เพาะปลูกได้ปีละ 2 ครั้ง และสามารถปลูกพืชในฤดูแล้งได้ด้วย

##### 2.6.2 ด้านการเกษตร

อำเภออุบลรัตน์มีพื้นที่การเกษตรกรรม 204,071 ไร่ ส่วนใหญ่เป็นการเพาะปลูกโดยอาศัยน้ำฝนธรรมชาติ ผลผลิตขั้นสูงสุดของการเกษตรกรรมได้จากพืชหลักเศรษฐกิจที่สำคัญ คือ มันสำปะหลัง อ้อย ข้าว โดยมีพื้นที่การเกษตรโดยเฉลี่ยดังนี้ พื้นที่ทำไร่ จำนวน 138,867 ไร่ พื้นที่ทำนา จำนวน 60,315 ไร่ และพื้นที่ทำสวน จำนวน 4,869 ไร่

##### 2.6.3 ด้านการประมง

อ่างเก็บน้ำอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ เป็นแหล่งประมงขนาดใหญ่ที่สำคัญแห่งหนึ่งของ ประเทศ ทำรายได้ ปีหนึ่งๆ ให้แก่ประชาชนในภูมิภาคนี้เป็นจำนวนมาก ช่วยยกระดับมาตรฐาน การครองชีพของประชาชนให้สูงขึ้น

##### 2.6.4 ด้านการบรรเทาอุทกภัย

ภายหลังการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์สามารถบรรเทาภาวะน้ำท่วมที่เกิดขึ้น อย่าง กะทันหันในฤดูฝน บริเวณแนวฝั่ง ลำน้ำพองถึงแม่น้ำชีให้ลดน้อยลง

#### 2.6.5 ด้านคมนาคม

อ่างเก็บน้ำของเขื่อนไซ้เป็นเส้นทางคมนาคมทางน้ำที่สำคัญ ประชาชนใช้เป็น เส้นทางสัญจร ไปมาหาสู่กันอย่างสะดวกและรวดเร็ว ทั้งยังเป็นสถานที่ท่องเที่ยวและพักผ่อนหย่อนใจ ของประชาชนทั่วไป



ภาพประกอบ 3.4 อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์

#### อ่างเก็บน้ำน้ำออน

พื้นที่รับน้ำฝนเหนือที่ตั้งเขื่อน 1,100 ตารางกิโลเมตร และมีพื้นที่ผิวน้ำ 85 ตารางกิโลเมตร ข้อมูลที่สำคัญต้องใช้ในการศึกษานอกจากลักษณะทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำ ซึ่งประกอบด้วย ปริมาณน้ำที่ระดับเก็บกักปกติและที่ระดับต่ำสุด แล้วยังต้องใช้สถิติข้อมูลรายเดือนที่มีการบันทึกไว้ทั้งหมด ดังนี้

##### 1. ข้อมูลอุตุทกวิทยา

##### 1.1 ปริมาณน้ำฝนที่เฉลี่ยรายเดือนไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ

ปริมาณน้ำฝนส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วงฤดูฝนตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม โดยปริมาณฝนเฉลี่ยในปี 30 ที่ผ่านมาเฉลี่ยปริมาณน้ำท่าเท่ากับ 468 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี โดยเริ่มมีฝนตกในเดือนกุมภาพันธ์ เดือนที่ฝนตกหนักมากที่สุดคือ เดือนตุลาคม เฉลี่ย 186.2 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อเดือน และเดือนที่มีปริมาณฝนตกน้อยที่สุดคือ เดือนธันวาคม เฉลี่ย 31.7 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อเดือน

##### 1.2 อัตราการระเหย

การระเหยรายปีเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 96 มิลลิเมตรต่อปี เดือนที่มีอัตราการระเหยมากที่สุดคือ เดือนเมษายน มีค่า 162 มิลลิเมตร และเดือนที่อัตราการระเหยน้อยที่สุดคือ เดือนมิถุนายน มีค่า 99 มิลลิเมตร

### 1.3 ปริมาณความต้องการใช้น้ำ

อ่างเก็บน้ำน้ำอูน เป็นโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาน้ำอูน เป็นโครงการชลประทานขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในจำนวนหลายโครงการของการพัฒนาแหล่งน้ำในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่ได้รับคัดเลือกไว้เมื่อ พ.ศ. 2497 เพื่อเก็บกักน้ำและแพร่กระจายน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูก ซึ่งช่วยขจัดปัญหาการขาดแคลนน้ำในช่วงขาดฝนและในฤดูแล้ง รวมทั้งบรรเทาอุทกภัยในลุ่มน้ำห้วยปลาหางกับตอนล่างของลุ่มน้ำสงคราม

## 2. ข้อมูลอ่างเก็บน้ำ

### 2.1 ที่ตั้งโครงการ

โครงการส่งน้ำและรักษาน้ำอูนตั้งอยู่ที่บ้านหนองบัว ตำบลแร่ อำเภอพังโคน จังหวัดสกลนคร อยู่ห่างจากอำเภอพังโคน 12 กิโลเมตร และห่างจากกรุงเทพฯ 680 กิโลเมตร ทางเข้าอ่างเก็บน้ำน้ำอูนจะแยกจากทางหลวงสายพังโคน วาริชภูมิที่กิโลเมตร 4.948 ไปตามถนนลาดยางประมาณ 6 กิโลเมตร

### 2.2 ตัวเขื่อน

เป็น เขื่อนดิน แบบ Zone Type มีความยาว 3,300 เมตร สูง 28.50 เมตร ระดับสันเขื่อนอยู่ที่ +190 เมตร (รทก. -ระดับน้ำทะเลปานกลาง) สันเขื่อนกว้าง 8 เมตร ฐานเขื่อนกว้าง 188 เมตร อ่างเก็บน้ำมีความจุ 520 ล้านลูกบาศก์เมตร และความจุของอ่างเก็บน้ำที่ระดับต่ำสุด 45 ล้าน ลูกบาศก์เมตร

### 2.3 สภาพลำน้ำ

ลำน้ำอูน เป็นสาขาหนึ่งของแม่น้ำสงครามมีความยาว 295 กิโลเมตร ต้นน้ำเกิดจากเทือกเขาภูพาน ซึ่งอยู่ในเขตอำเภอกุดบากจังหวัดสกลนคร ไหลผ่าน อำเภอพังโคนและอำเภอพรรณานิคม แล้วไหลลงสู่แม่น้ำสงครามในเขตอำเภอสรีสงคราม จังหวัดนครพนม

### 2.4 สภาพอากาศในแต่ละช่วงของอำเภอพังโคน ดังนี้

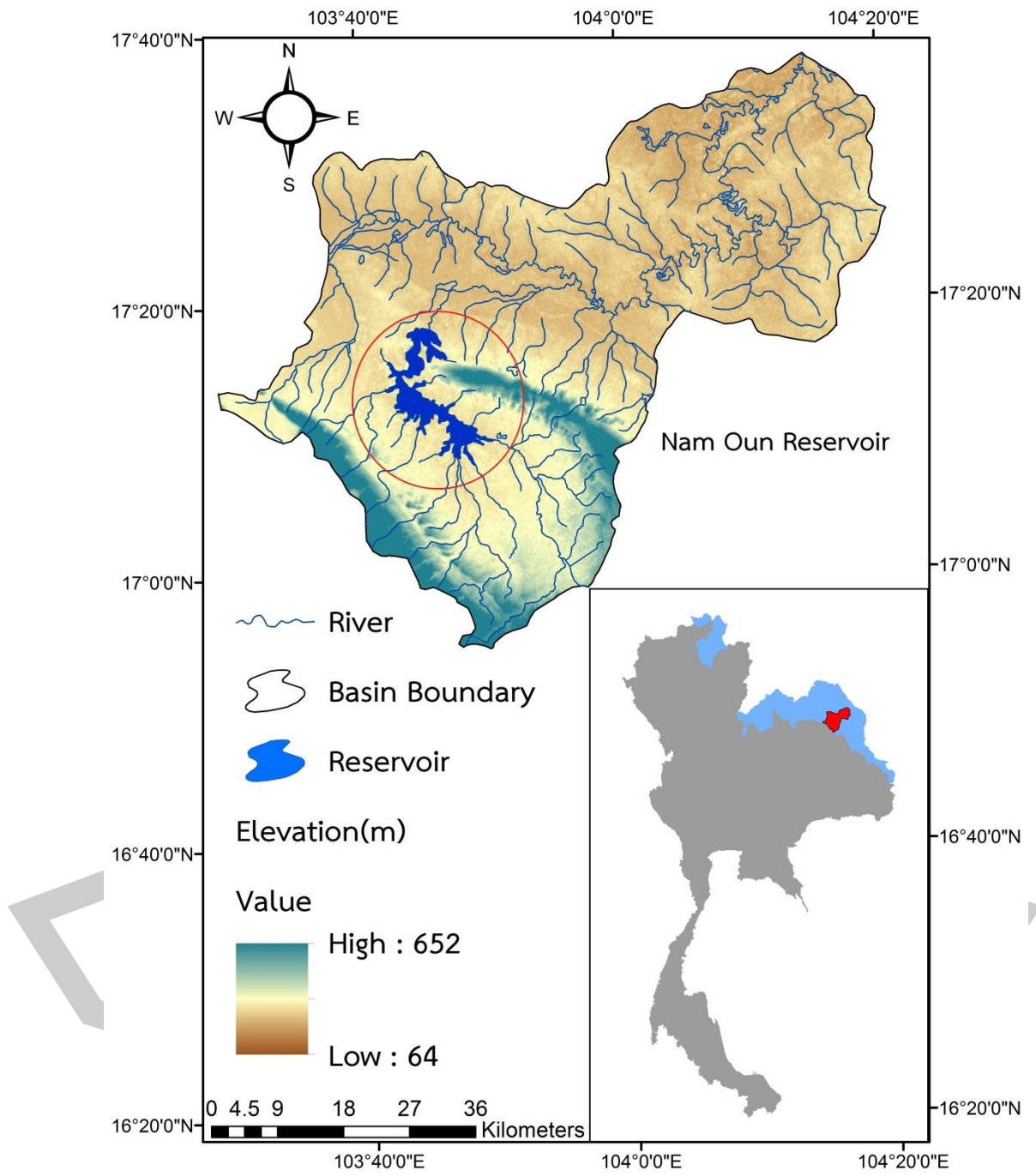
ฤดูฝน โดยทั่วไปจะมีฝนตกเพียงเล็กน้อย แต่จะตกในช่วงเดือนกันยายนถึงตุลาคม

ฤดูหนาว อากาศหนาวจัดระหว่างเดือนธันวาคมถึงมีนาคม

ฤดูร้อน อากาศร้อนอบอ้าว และจะแล้งมากช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือน

พฤษภาคม

การระเหยรายปีเฉลี่ยมีค่า 1251.6 มิลลิเมตร เดือนที่มีอัตราการระเหยมากที่สุดคือ เดือน มีนาคม 124.7 มิลลิเมตร และเดือนที่มีอัตราการระเหยน้อยที่สุดคือเดือนกันยายนมีค่า 110.0 มิลลิเมตร



ภาพประกอบ 3.5 ที่ตั้งอ่างเก็บน้ำน้ำอูน

## 2.5 ประโยชน์ที่ได้จากอ่างเก็บน้ำน้ำอูน

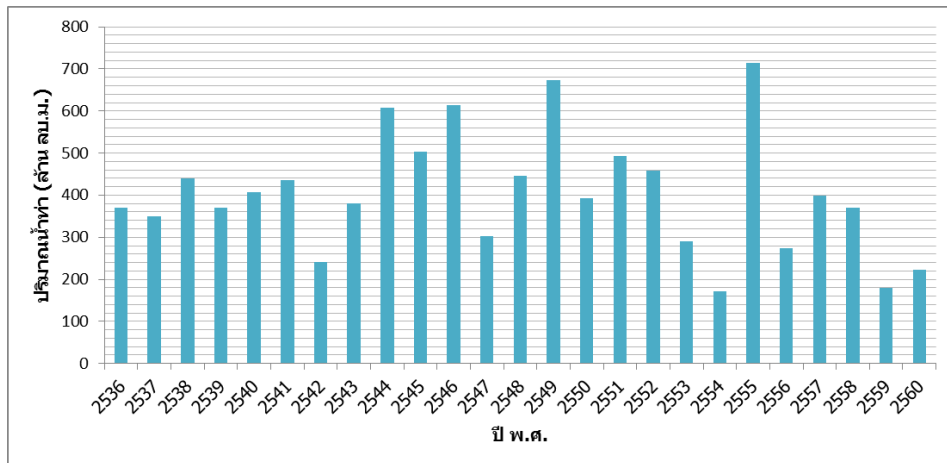
โครงการชลประทานน้ำอูนสามารถส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกในเขตโครงการได้ประมาณ 185,800 ไร่ ต่อมาได้ดำเนินงานพัฒนาชนบทโดยร่วมมือกับเกษตรกรในเขตโครงการในด้านต่างๆ เพื่อพัฒนาอาชีพของเกษตรกรโดยมุ่งในด้านการพัฒนารูปแบบธุรกิจการเกษตรระหว่างภาคเอกชนและเกษตรกรในการใช้น้ำชลประทานให้เป็นประโยชน์ทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เพื่อยกมาตรฐานการครองชีพของราษฎรให้ดีขึ้น ปัจจุบันเกษตรกรในเขตโครงการนับได้ว่าเป็นเกษตรกรก้าวหน้าและเป็นตัวอย่างแก่เกษตรกรในท้องถิ่นอื่น ดังมีโครงการดังต่อไปนี้

### 2.5.1 โครงการพัฒนาชนบทแบบผสมผสานในบริเวณโครงการชลประทานน้ำอูน

ดำเนินการระหว่าง พ.ศ. 2521 - 2528 เพื่อจัดระบบในการแพร่กระจายน้ำชลประทาน ในระดับไร่นา เพื่อเพิ่มผลผลิตจากการใช้น้ำชลประทาน ซึ่งจะเป็นพื้นฐานของการพัฒนาคุณภาพชีวิต โดยมีหน่วยราชการต่างๆ จาก 4 กระทรวงร่วมปฏิบัติงาน คือ กรมชลประทาน กรมส่งเสริมการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรมประมง กรมพัฒนาชุมชน กรมการศึกษาออกโรงเรียน สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุขและกรมประชาสัมพันธ์ นอกจากนี้ ยังมีหน่วยราชการที่เกี่ยวข้องมาร่วมดำเนินการ คือ กรมปศุสัตว์ สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร สำนักงานจัดรูปที่ดินกลาง และกรมส่งเสริมสหกรณ์

### 2.5.2 โครงการพัฒนาเกษตรอุตสาหกรรมในบริเวณโครงการชลประทานน้ำอูน

ดำเนินการระหว่าง พ.ศ. 2530 - 2534 เพื่อพัฒนาอาชีพของเกษตรกร ที่อยู่ในเขตจัดรูปที่ดินให้สามารถผลิตสินค้าเกษตรกร ที่อยู่ในเขตจัดรูปที่ดินให้สามารถผลิตสินค้าเกษตรแบบครบวงจร โดยดำเนินงานในลักษณะที่ก่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรน้ำ ดิน และแรงงานในพื้นที่ชลประทานน้ำอูน ให้เกิดประโยชน์สูงสุดโดยภาคเอกชนเป็นผู้นำ เกษตรกรเป็นผู้ปฏิบัติ และภาครัฐบาลเป็นฝ่ายสนับสนุนและให้ความช่วยเหลือ เพื่อให้เกิดการพัฒนารูปแบบการผลิตและการตลาดร่วมกันในอนาคตโดยให้สอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 6 ในประการที่เกี่ยวกับแผนพัฒนาระบบการผลิตการตลาด และการสร้างงาน



ภาพประกอบ 3.6 ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำน้ำอูน



ภาพประกอบ 3.7 อ่างเก็บน้ำน้ำอูน

### 3.2 วิธีการประยุกต์ใช้หิ้งห้อยอัลกอริทึมสำหรับหาโค้งควบคุมที่เหมาะสม

การนำหิ้งห้อยอัลกอริทึมเพื่อประยุกต์ ใช้ในงานวิจัยด้านแหล่งน้ำนั้น จะต้องมีการปรับ องค์ประกอบของหิ้งห้อยอัลกอริทึมให้เข้ากับปัญหานั้นๆ ซึ่งในการนำหิ้งห้อยอัลกอริทึมเพื่อนำมาใช้

แก้ปัญหาเพื่อหาโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์นั้น จะต้องมีการปรับองค์ประกอบเพื่อให้หิ้งห้อยอัลกอริทึมสามารถทำงานเพื่อแก้ปัญหาของระดับโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำร่วมกับแบบจำลองอ่างเก็บน้ำที่สร้างขึ้นซึ่งมีข้อมูลของอ่างเก็บน้ำเป็นตัวแปรในการหาคำตอบ เริ่มต้นการทำงานโดยให้หิ้งห้อยอัลกอริทึมสร้างค่าคำตอบของโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำในแต่ละเดือนเป็นขึ้นมาเป็นค่าแรกหลังจากนั้นนำคำตอบที่ได้มาเปรียบเทียบกับแบบจำลองซึ่งมีข้อมูลของอ่างเก็บน้ำได้แก่ ข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง ได้แก่ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน ข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือน และข้อมูลปริมาณที่ปล่อยน้ำออกจากอ่างซึ่ง ได้แก่ ปริมาณการปล่อยน้ำเพื่อการชลประทาน อุตสาหกรรม อุปโภค บริโภค ข้อมูลปริมาณการระเหย เป็นต้น นำข้อมูลเหล่านั้นมาคำนวณปริมาตรเก็บกักและปริมาณน้ำที่สามารถปล่อยได้ ในแบบจำลองอ่างเก็บน้ำ นำคำตอบที่ได้มาประเมินผลโดยคำตอบนั้นต้องใกล้เคียงกับความต้องการหรือฟังก์ชันวัตถุประสงค์ถ้าคำตอบนั้นตรงกับความต้องการหรือฟังก์ชันวัตถุประสงค์แล้วก็ให้หิ้งห้อยอัลกอริทึมยอมรับคำตอบนั้นแล้วหยุดการทำงาน แต่ถ้าคำตอบนั้น ยังไม่ตรงกับความต้องการก็ให้หิ้งห้อยอัลกอริทึมกลับไปสร้างค่าระดับโค้งควบคุมใหม่อีกครั้ง แล้วเปรียบเทียบกับชุดข้อมูลอ่างเก็บน้ำในแบบจำลองประเมินผลคำตอบที่ได้จนได้คำตอบที่ดีที่สุดจึงให้หิ้งห้อยอัลกอริทึมยอมรับคำตอบนั้นและหยุดการทำงาน ซึ่งส่วนประกอบที่สำคัญของหิ้งห้อยอัลกอริทึมที่ต้องปรับให้เข้ากับปัญหามิดังนี้

#### 1. การสร้างค่าคำตอบค่าระดับโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำใหม่

สำหรับการสร้างคำตอบขึ้นมาใหม่ในการแก้ปัญหาของระดับโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำคือ ปริมาณของโค้งควบคุมเส้นบนและโค้งควบคุมเส้นล่างควรอยู่ในช่วงใดเพื่อให้เกิดการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดในระยะยาว ซึ่งปริมาณน้ำที่เหลือจะต้องอยู่ในโค้งควบคุมของเดือนนั้นๆ โดยให้การขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดในระยะยาว เป็นวัตถุประสงค์หลักในการสร้างคำตอบใหม่ขึ้นมา ซึ่งในการสร้างคำตอบใหม่ขึ้นมานั้น ต้องถูกต้องตามหลักการปฏิบัติการของอ่างเก็บน้ำและเกิดการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ซึ่งในการสร้างคำตอบขึ้นมาใหม่เพื่อหาปริมาณของโค้งควบคุมเส้นบน และโค้งควบคุมเส้นล่าง จะเป็นไปได้หลายรูปแบบและการปรับแก้เพื่อหาปริมาณนั้นจะปรับแก้ทั้งระบบ และได้สร้างคำตอบขึ้นมาใหม่เพื่อหาปริมาณของโค้งควบคุมเส้นบน และโค้งควบคุมเส้นล่าง โดยเปรียบเทียบกับระดับโค้งควบคุมเดิมที่มีอยู่แล้ว โดยสมมติให้ปริมาณของโค้งควบคุมเส้นบน และโค้งควบคุมเส้นล่างมีปริมาณเท่าไรก็ได้ตั้งแต่เดือนที่ 1 ถึง 12

ในการสร้างคำตอบใหม่ขึ้นมานั้น ข้อมูลเข้าจะประกอบด้วย ปริมาณน้ำที่ปล่อยเพื่อการชลประทาน ปริมาณน้ำที่ปล่อยเพื่อการอุปโภคและบริโภค ปริมาณน้ำที่ปล่อยเพื่ออุตสาหกรรม ปริมาณการระเหยรายเดือน ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน และข้อมูลน้ำท่าที่ไหลเข้าเขื่อนหลังจากนั้นการค้นหาคำตอบใหม่จะถูกสร้างจากคำตอบเดิม โดยมีการเปลี่ยนแปลงคำตอบเล็กน้อย หลังจากนั้นจะมีการเปรียบเทียบคำตอบเก่ากับคำตอบใหม่โดยการหาผลต่างของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ของคำตอบ

ใหม่และคำตอบเก่า หลังจากนั้นคำตอบจะถูกตรวจสอบเงื่อนไขของระดับโค้งควบคุมเส้นบน และระดับโค้งควบคุมเส้นล่างว่าคำตอบตรงกับเงื่อนไขของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ หรือไม่ ถ้าไม่ได้คำตอบนั้น จะถูกยกเลิกและสร้างคำตอบใหม่ขึ้นมา ในการปรับแก้คำตอบนั้นบางครั้งอาจทำให้แนวโน้มของคำตอบไปผิดทางทำให้ไม่สามารถที่จะได้คำตอบที่ตรงตามเงื่อนไขได้ ดังนั้นจึงมีการกำหนดรอบเพื่อการปรับแก้ค้นหาคำตอบใหม่ซึ่งหากคำตอบมีการเปลี่ยนแปลงเกินกว่ารอบที่กำหนดแล้วยังไม่ผ่านเงื่อนไขก็ให้กลับมาเริ่มต้นใหม่อีกครั้งที่จุดเดิมซึ่งเคยผ่านเงื่อนไขของฟังก์ชันวัตถุประสงค์

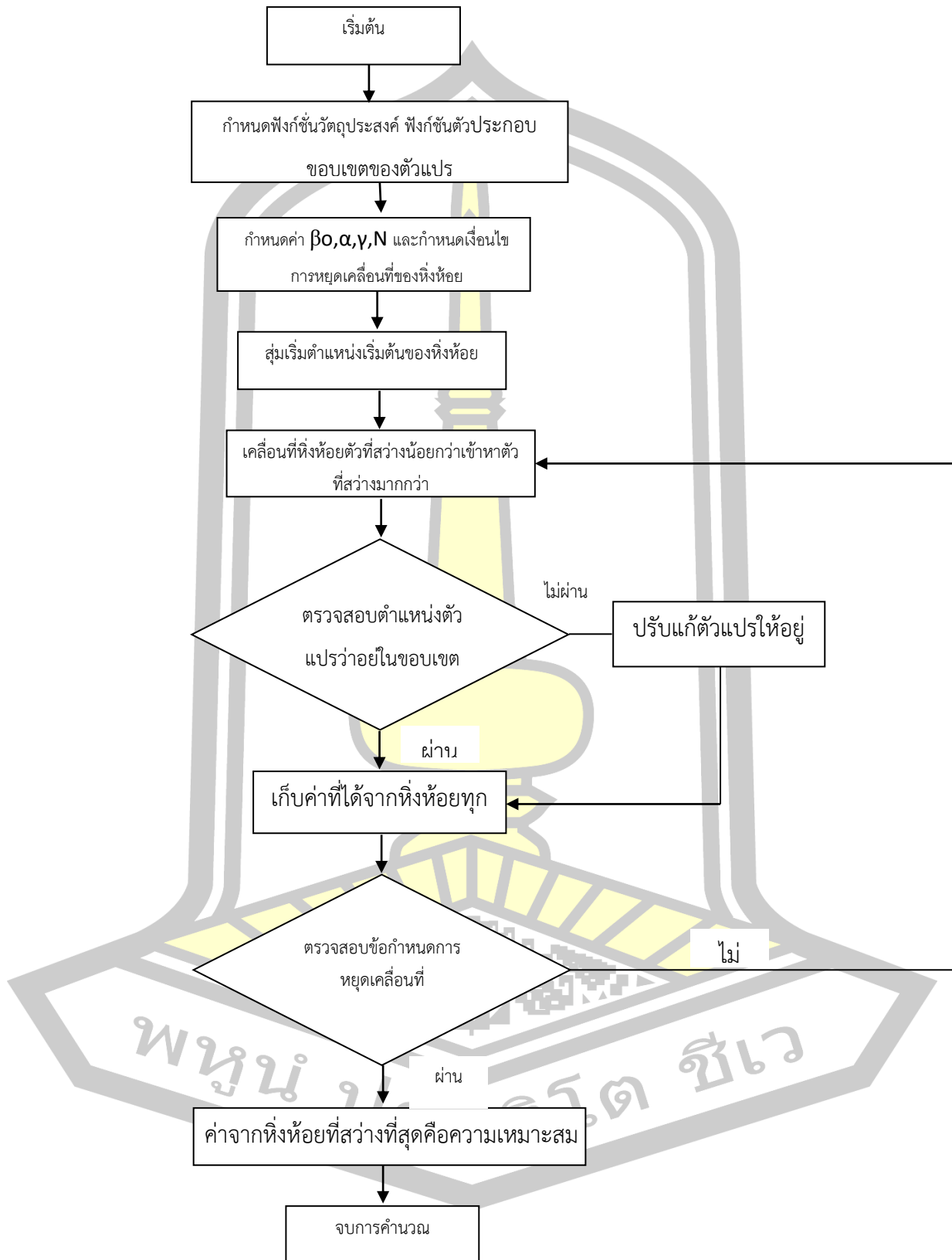
## 2. คำตอบที่เหมาะสม

ในปัญหาสำหรับการหาปริมาณของระดับโค้งควบคุมเส้นบนและระดับโค้งควบคุมเส้นล่างนั้น คำตอบที่สร้างขึ้นใหม่อาจเป็นคำตอบที่ใช้ไม่ได้ เนื่องจากการหาปริมาณของระดับโค้งควบคุมเส้นบนและระดับโค้งควบคุมเส้นล่าง ต้องคำนึงถึงเงื่อนไขของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ว่าตรงตามเงื่อนไขหรือไม่ ดังนั้นคำตอบที่ถูกสร้างขึ้นใหม่นี้จะต้องถูกต้องตามเงื่อนไข ซึ่งคำตอบที่ผ่านถูกต้องตามเงื่อนไขและสามารถใช้น้ำต้นทุนที่มีอยู่ ให้เกิดประสิทธิภาพที่สูงสุด โดยพยายามใช้น้ำต้นทุนนั้นให้สอดคล้องกับความต้องการใช้น้ำนั้น เป็นคำตอบที่เป็นไปได้ ซึ่งขั้นตอนในการตรวจสอบความถูกต้องเป็นดังแสดงใน ภาพประกอบที่ 3.5 และเป็นไปตามเงื่อนไขของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เงื่อนไขปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ กฎการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ และโค้งกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ

จากแผนผังในภาพประกอบ 3.5 แสดงกระบวนการตรวจสอบคำตอบที่เป็นไปได้ ข้อมูลเข้าจะประกอบด้วย ปริมาณน้ำที่ปล่อยเพื่อการชลประทาน ปริมาณน้ำที่ปล่อยเพื่อการอุปโภคและบริโภค ปริมาณน้ำที่ปล่อยเพื่ออุตสาหกรรม ปริมาณการระเหยรายเดือน ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน และข้อมูลน้ำท่าที่ไหลเข้าเขื่อน จากนั้นข้อมูลเข้าเหล่านั้นจะถูกนำไปคำนวณเพื่อหาปริมาณของระดับโค้งควบคุมเส้นบนและระดับโค้งควบคุมเส้นล่าง โดยกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำด้วยแบบจำลองขึ้นมาใหม่โดยกระบวนการของแบบจำลองประกอบด้วย การนำเข้าข้อมูลพื้นฐานการสร้างคำตอบขึ้นมาใหม่จากการสุ่มแล้วนำไปคำนวณในแบบจำลองจากนั้นนำไปวิเคราะห์ว่าตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดหรือไม่ถ้าไม่ให้กลับไปแก้ไขคำตอบใหม่แต่ถ้าตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดก็ให้เลือกคำตอบนั้น เป็นคำตอบที่เป็นไปได้และหยุดการทำงาน

พูน ปรณ ทิโต ชิว





ภาพประกอบ 3.8 แผนผังขั้นตอนการตรวจสอบคำตอบที่เป็นไปได้

### 3. ฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับการประเมินคำตอบ

ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดของระดับโค้งควบคุมเส้นบนและระดับโค้งควบคุมเส้นล่าง นั้น ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นฟังก์ชันประเมินความดีของคำตอบ ในการประเมินว่าคำตอบที่ดีที่สุดสร้างขึ้นใหม่ดีหรือไม่ดีนั้นจะวัดจากความต้องการสำหรับกิจกรรมการใช้น้ำ โดยจะต้องพยายามใช้น้ำต้นทุนที่มีอยู่ให้เกิดประสิทธิภาพที่สูงสุด โดยพยายามใช้น้ำต้นทุนนั้น ให้สอดคล้องกับความต้องการใช้น้ำ ในขณะที่ไม่ทำให้น้ำเกิดการขาดแคลน จากนั้นนำค่าเหล่านี้ไปใช้เป็นค่าของโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำในแบบจำลองการศึกษาเลียนแบบ แล้วคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องปล่อยในแต่ละเดือนภายใต้โค้งควบคุมชุดนี้ เพื่อนำไปประเมินสถานการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้น ซึ่งนำไปใช้ในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหาคำตอบการศึกษาครั้งนี้ใช้ค่าปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ย ปริมาณน้ำไหลล้นเฉลี่ย ความถี่ของการขาดแคลน ความถี่ของการไหลล้น เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหาคำตอบ ซึ่งแสดงดัง สมการที่ 3.1, 3.2, 3.3 และ 3.4

$$Min(Aver) = \frac{1}{n} \sum_{v=1}^n Sh_v \quad \dots (3.1)$$

$$Min(Aver) = \frac{1}{n} \sum_{v=1}^n Sp_v \quad \dots (3.2)$$

$$Fre = \frac{1}{n} \sum_{v=1}^n h_v \quad \dots (3.3)$$

$$Fre = \frac{1}{n} \sum_{v=1}^n p_v \quad \dots (3.4)$$

เมื่อ  $h$  เป็นความยาวของชุดข้อมูลปริมาณน้ำต้นทุน  $Sh_v$  ปริมาณน้ำที่ขาดในปี  $v$  (ปริมาณน้ำที่ปล่อยน้อยกว่าเป้าหมายความต้องการใช้น้ำ)

เมื่อ  $g$  เป็นความยาวของชุดข้อมูลปริมาณน้ำต้นทุน  $Sp_v$  ปริมาณน้ำที่เกินในปี  $v$  (ปริมาณน้ำที่ปล่อยมากกว่าเป้าหมายความต้องการใช้น้ำ)

### 3.3 วิธีการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองที่เสนอ

ในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีเทคนิคการค้นหาคำตอบด้วยวิธีห้อย มีวิธีวิจัยขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.3.1 ดำเนินการคือ นำโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) ที่เหมาะสมใช้ในวิธีการการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในระยะยาวด้วยข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำด้วยข้อมูลที่สังเคราะห์ขึ้นมา 1,000 ชุดข้อมูล จากข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำจำนวน 50 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2511 – 2560 สำหรับอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ และ จำนวน 25 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2536 – 2560 สำหรับอ่างเก็บน้ำน้ำอูน ครอบคลุมเหตุการณ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นได้รวมถึงเหตุการณ์ในอดีตที่เคยเกิดขึ้นผ่านมา ทำการจำลองสภาพการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในระยะยาวด้วยดำเนินการจำลองปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation Simulation) เพื่อศึกษาพฤติกรรมของระบบจากกฎของการจัดการและควบคุม แล้วคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องปล่อยในแต่ละเดือนภายใต้โค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ

3.3.2 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบหึ่งห้อย มี 2 กรณี คือ

1. กรณีความต้องการใช้น้ำปกติ

1.1 อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์

1.1.1 ประเมินประสิทธิภาพกับโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ ที่สร้างจากข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ จำนวน 50 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2511 – 2560

1.1.2 ประเมินประสิทธิภาพกับโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ ที่สร้างจากข้อมูลสังเคราะห์ขึ้นมาน้อย 1000 ชุดข้อมูล (ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ จำนวน 50 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2511 – 2560)

1.2 อ่างเก็บน้ำน้ำอูน

1.2.1 ประเมินประสิทธิภาพกับโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ ที่สร้างจากข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ จำนวน 25 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2536 – 2560

1.2.2 ประเมินประสิทธิภาพกับโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ ที่สร้างจากข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำในอนาคต (เลขฐาน ตงศิริ, 2559) จำนวน 19 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2561 – 2579

1.2.3 ประเมินประสิทธิภาพกับโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ ที่สร้างจากข้อมูลสังเคราะห์ขึ้นมาน้อย 1000 ชุดข้อมูล (ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ จำนวน 50 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2511 – 2560)

3.3.3 ประเมินสถานการณ์การขาดแคลนน้ำและสถานการณ์การขาดแคลนและไหลล้นเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เพื่อหาโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แสดงถึงสถานการณ์การขาดแคลนน้ำและสถานการณ์การไหลล้น โดยทำการพิจารณา

1) ความถี่ของการเกิดสถานการณ์ขาดแคลนน้ำและสถานการณ์การไหลล้น ซึ่งหาได้จากกรณีที่เกิดสถานการณ์ขาดแคลนน้ำหรือสถานการณ์การไหลล้น

2) ปริมาณน้ำสถานการณ์ขาดแคลนน้ำและสถานการณ์การไหลล้น ซึ่งปริมาณน้ำหาได้จากกราฟที่เกิดสถานการณ์ขาดแคลนน้ำหรือสถานการณ์การไหลล้น

3) ช่วงเวลาการเกิดสถานการณ์ขาดแคลนน้ำและสถานการณ์การไหลล้น ซึ่งปริมาณน้ำหาได้จากกราฟที่เกิดสถานการณ์ขาดแคลนน้ำหรือสถานการณ์การไหลล้น

3.3.3 ทำการเปรียบเทียบผลการศึกษากับงานวิจัยเดิมที่มีอยู่แล้ว เพื่อทำการสรุปผลการวิจัย โดยรูปร่างของโค้งควบคุมได้จากแบบจำลองโดยใช้ฟังก์ชันอัลกอริทึมมาใช้ในการหาค่าที่ดีที่สุดซึ่งมีสถานการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้น เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหาค่าตอบรูปร่างของโค้งเส้นบนควรจะลดต่ำกว่าเส้นเดิมมากในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ก็เพื่อรักษาปริมาณน้ำในอ่างไว้เพื่อป้องกันความเสี่ยงที่จะเกิดการขาดแคลนน้ำในฤดูแล้งแล้วยังไม่ทำให้ปริมาณน้ำส่วนเกินเพิ่มมากขึ้นด้วยเนื่องจากปริมาณน้ำเหลือมากพอที่จะรองรับฤดูน้ำหลากด้วย ส่วนโค้งควบคุมเส้นล่างควรจะอยู่ต่ำกว่าโค้งควบคุมเส้นเดิมโดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูแล้งช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายนเพื่อที่จะสามารถปล่อยน้ำตามความต้องการได้ตามเป้าหมายมากขึ้น



## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงานวิจัย

บทนี้เป็นการอธิบายถึงผลการวิจัยและการอภิปราย ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ต่อเนื่อง จึงจะอธิบายถึงผลการวิจัยและการอภิปรายดังหัวข้อต่อไปนี้

1. ผลการศึกษาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมที่พัฒนาด้วยวิธีหึ่งห้อย (FA)
2. ผลการประเมินประสิทธิภาพระหว่างโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำเดิมที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน กับโค้งควบคุมที่สร้างขึ้นใหม่ด้วยวิธีหึ่งห้อย (FA)

รายละเอียดของผลการศึกษาสามารถแสดงได้ดังนี้

#### 4.1 ผลการศึกษาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมที่พัฒนาด้วยวิธีหึ่งห้อย (FA)

โค้งควบคุมปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่สร้างจากวิธีหึ่งห้อย (FA) เชื่อมต่อกับแบบจำลองสมดุล อ่างเก็บน้ำน้ำอูนและอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ รายละเอียดในการค้นหามีดังนี้

1. อ่างเก็บน้ำน้ำอูน
  - 1.1 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนในอดีต 25 ปี ระหว่าง พ.ศ. 2536-2560
  - 1.2 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนในอนาคต 19 ปี ระหว่าง พ.ศ. 2561-2579
2. อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์
  - 2.1 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนในอดีต 50 ปี ระหว่าง พ.ศ. 2511-2560
3. ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหาโค้งปฏิบัติการเก็บน้ำ

การกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหาโดยกำหนดให้อ่างเก็บน้ำน้ำอูนและ อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหา 4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ดังนี้

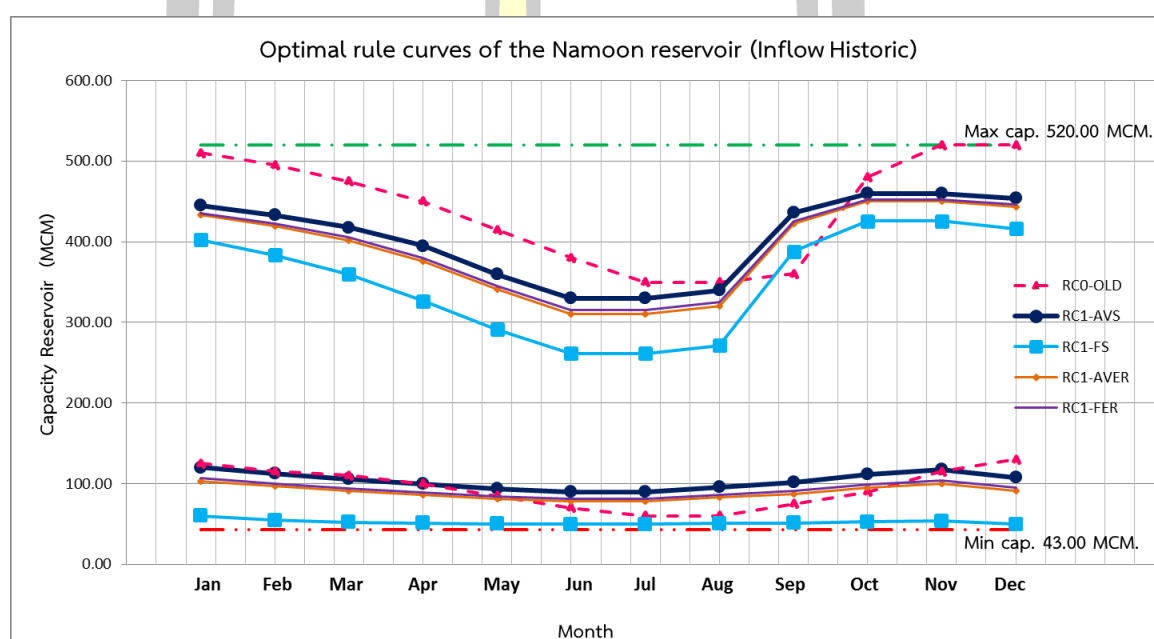
- 3.1 ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด (Average water shortage)
- 3.2 ค่าความถี่ของการคลานแคลนนํ้าน้อยที่สุด (Frequency water shortage)
- 3.3 ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นนํ้าน้อยที่สุด (Average water excess)
- 3.4 ค่าความถี่ของการไหลล้นนํ้าน้อยที่สุด (Frequency water excess)

รายละเอียดผลการโค้งปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำดังแสดงในหัวข้อถัดไป

#### 4.1.1 ผลการศึกษาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมที่พัฒนาด้วยวิธีหึ่งห้อย (FA) กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต

##### 1. โค้งควบคุมปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำน้ำอูน กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 25 ปี

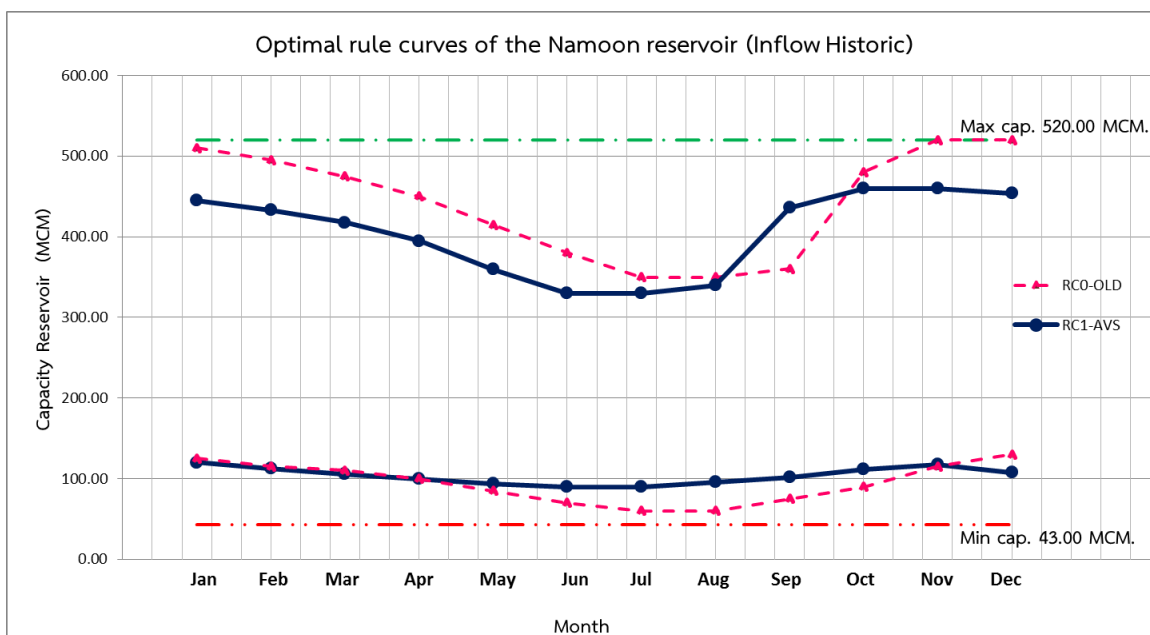
1.1 โค้งควบคุมปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำน้ำอูน กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 25 ปี (พ.ศ. 2536-2560) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหา 4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด(AVS), ค่าความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด (FS), ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด (AVER), ค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด (FER) เส้นโค้งที่ได้ดังแสดงในภาพประกอบ 4.1



ภาพประกอบ 4.1 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำน้ำอูน (กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 25 ปี ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหา 4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์)

จากภาพประกอบ 4.1 พบว่า โค้งควบคุมใหม่ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหา 4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ได้มีลักษณะรูปร่างแตกต่างกับโค้งควบคุมเดิม ระดับโค้งควบคุมใหม่ เส้นบนและเส้นล่างจะยกสูงกว่าหรือต่ำโค้งควบคุมเดิม สามารถอธิบายโค้งควบคุมเส้นใหม่ที่ได้ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหา 4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ดังนี้

1. โค้งควบคุมปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำน้ำอูน กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 25 ปี (พ.ศ. 2536-2560) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหาคือ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด (AVS) ดังแสดงในภาพประกอบ 4.2



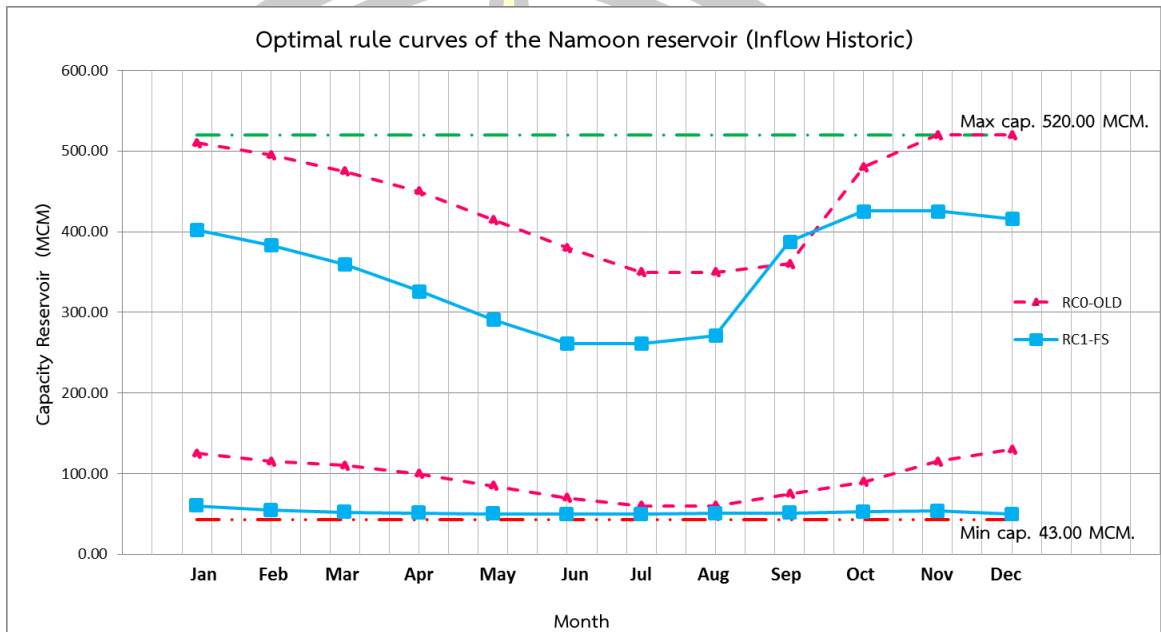
ภาพประกอบ 4.2 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำน้ำจูน  
(กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 25 ปี ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด)

จากภาพประกอบ 4.2 พบว่า โค้งควบคุมใหม่ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 25 ปี ที่ได้มีลักษณะรูปร่างแตกต่างกับโค้งควบคุมเดิม กล่าวคือ

1) โค้งควบคุมใหม่เส้นบนจะต่ำกว่าโค้งควบคุมเดิมมีแนวโน้มเกณฑ์การเก็บกักที่ต่ำกว่า URC0-OLD ในช่วงระหว่างเดือนตุลาคม-สิงหาคม อธิบายเกณฑ์ในช่วงนี้ได้ว่า URC1-AVS มีความต้องการลดปริมาณเก็บกักน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บกักน้ำจากปริมาณฝนและปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูฝน สามารถรองรับปริมาณน้ำหลากได้ดีขึ้นเพื่อลดการไหลล้นของน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ

2) โค้งควบคุมใหม่เส้นล่างจะต่ำกว่าโค้งควบคุมเดิมมีแนวโน้มเกณฑ์แสดงให้เห็นถึงในช่วงต้นฤดูแล้งตั้งแต่เดือนมกราคม-เมษายน LRC1-AVS แสดงเกณฑ์การเก็บกักน้ำมีค่าที่ต่ำกว่า อธิบายได้ว่าอ่างเก็บน้ำสามารถเพิ่มปริมาณการปล่อยน้ำได้มากกว่าเกณฑ์เดิม ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มโอกาสที่ปริมาณน้ำจะมีความเพียงพอต่อความต้องการมากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง บางช่วงที่โค้งควบคุมใหม่เส้นล่างสูงกว่าโค้งควบคุมเส้นเดิม ซึ่งเส้นระดับของเส้น LRC1-AVS ของขอบเขตล่างนี้จะทำให้โอกาสที่จะปล่อยน้ำตามความต้องการใช้น้ำอย่างมีเป้าหมายมากขึ้นจึงลดปัญหาการขาดแคลนนํ้าในช่วงเวลาดังกล่าวได้

2. โค้งควบคุมปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำน้ำอูน กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 25 ปี (พ.ศ. 2536-2560) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหาคือ ค่าความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด (FS) ดังแสดงในภาพประกอบ 4.3



ภาพประกอบ 4.3 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำน้ำอูน (กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 25 ปี ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: ค่าความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด)

จากภาพประกอบ 4.3 พบว่า โค้งควบคุมใหม่ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ค่าความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 25 ปี ที่ได้มีลักษณะรูปร่างแตกต่างกับโค้งควบคุมเดิม กล่าวคือ

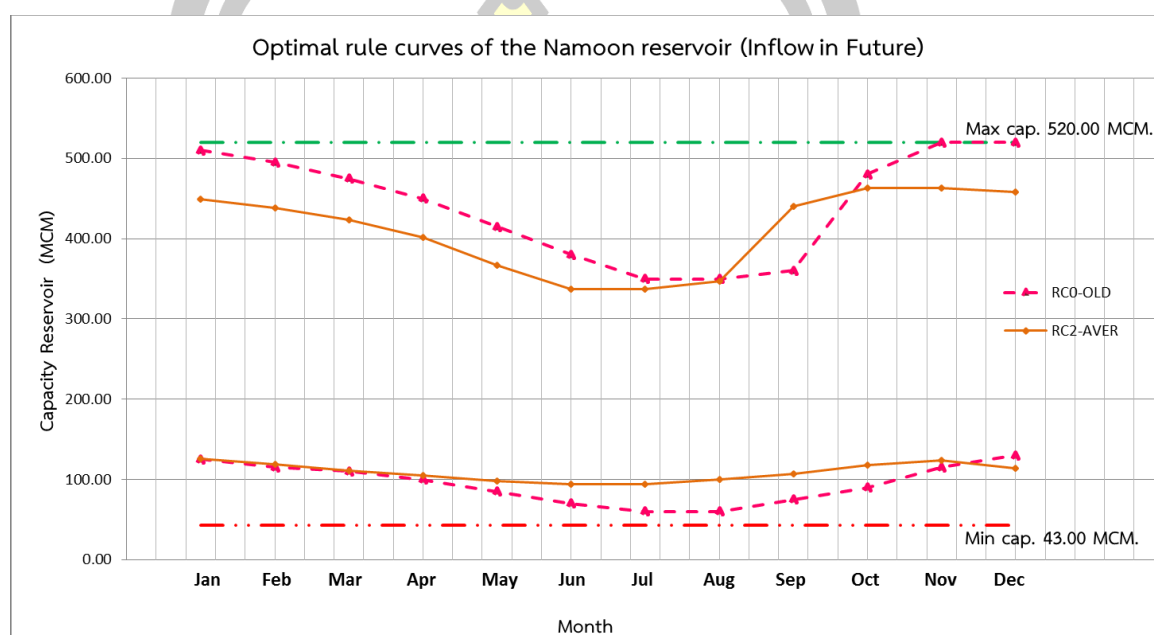
1) โค้งควบคุมใหม่เส้นบนจะต่ำกว่าโค้งควบคุมเดิมมีแนวโน้มเกณฑ์การเก็บกักที่ต่ำกว่า URC0-OLD ในช่วงระหว่างเดือนตุลาคม-สิงหาคม อธิบายเกณฑ์ในช่วงนี้ได้ว่า URC1-FS มีความต้องการลดปริมาตรเก็บกักน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บกักน้ำจากปริมาณฝนและปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูฝน สามารถรองรับปริมาณน้ำหลากได้ดีขึ้นเพื่อลดการไหลล้นของน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ

2) โค้งควบคุมใหม่เส้นล่างจะต่ำกว่าโค้งควบคุมเดิมมีแนวโน้มเกณฑ์แสดงให้เห็นถึงในช่วงต้นฤดูแล้งตั้งแต่เดือนมกราคม-เมษายน LRC1-FS แสดงเกณฑ์การเก็บกักน้ำมี



ค่าที่ต่ำกว่า อธิบายได้ว่าอ่างเก็บน้ำสามารถเพิ่มปริมาณการปล่อยน้ำได้มากกว่าเกณฑ์เดิม ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มโอกาสที่ปริมาณน้ำจะมีความเพียงพอต่อความต้องการมากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง

3. โค้งควบคุมปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำน้ำอูน กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 25 ปี (พ.ศ. 2536-2560) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหาคือ ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด (AVER) ดังแสดงในภาพประกอบ 4.4



ภาพประกอบ 4.4 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำน้ำอูน  
(กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 25 ปี ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด)

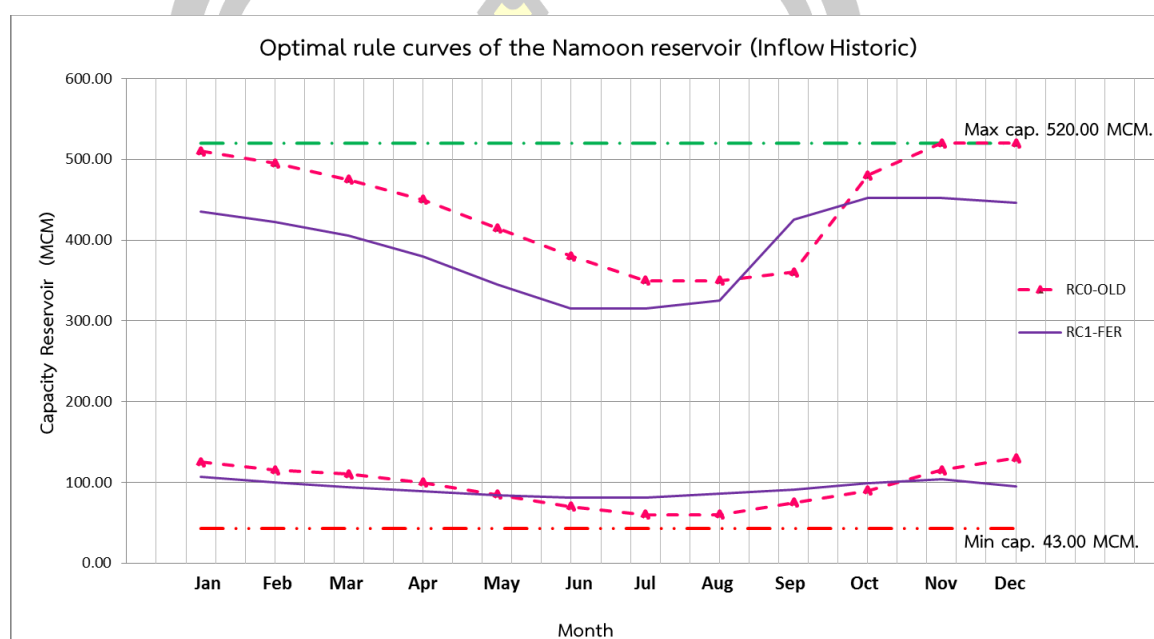
จากภาพประกอบ 4.4 พบว่า โค้งควบคุมใหม่ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 25 ปี ที่ได้มีลักษณะรูปร่างแตกต่างกับโค้งควบคุมเดิม กล่าวคือ

1) โค้งควบคุมใหม่เส้นบนจะต่ำกว่าโค้งควบคุมเดิมมีแนวโน้มเกณฑ์การเก็บกักที่ต่ำกว่า URC0-OLD ในช่วงระหว่างเดือนตุลาคม-สิงหาคม อธิบายเกณฑ์ในช่วงนี้ได้ว่า URC1-AVER มีความต้องการลดปริมาตรเก็บกักน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บกักน้ำจากปริมาณฝนและปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูฝน สามารถรองรับปริมาณน้ำหลากได้ดีขึ้นเพื่อลดการไหลล้นของน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ

2) โค้งควบคุมใหม่เส้นล่างจะสูงกว่าโค้งควบคุมเดิม URC0-OLD ทำให้ LRC1-AVER มีแนวโน้มเกณฑ์ ลดปริมาณการปล่อยน้ำในฤดูเพาะปลูกขึ้นในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งทำให้มี

พื้นที่กักเก็บน้ำได้มากขึ้น ทำให้ตอบสนองความต้องการใช้น้ำในเขตพื้นที่ชลประทานมากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง เป็นการเพิ่มการเก็บกักในช่วงฤดูฝนทำให้น้ำไว้ใช้ในช่วงฤดูแล้งเพิ่มขึ้น

4. โค้งควบคุมปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำน้ำอูน กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 25 ปี (พ.ศ. 2536-2560) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหาคือ ค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด (FER) ดังแสดงในภาพประกอบ 4.5



ภาพประกอบ 4.5 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำน้ำอูน  
(กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 25 ปี ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: ค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด)

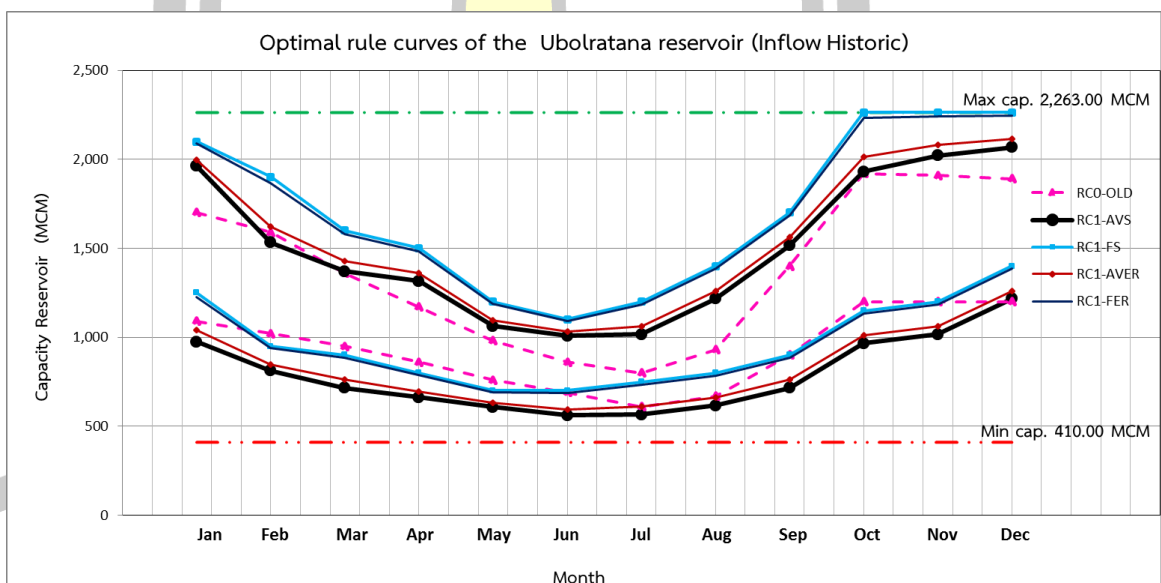
จากภาพประกอบ 4.5 พบว่า โค้งควบคุมใหม่ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 25 ปี ที่ได้มีลักษณะรูปร่างแตกต่างกับโค้งควบคุมเดิม กล่าวคือ

1) โค้งควบคุมใหม่เส้นบนจะต่ำกว่าโค้งควบคุมเดิมมีแนวโน้มเกณฑ์การเก็บกักที่ต่ำกว่า URC0-OLD ในช่วงระหว่างเดือนตุลาคม-สิงหาคม อธิบายเกณฑ์ในช่วงนี้ได้ว่า URC1-FER มีความต้องการลดปริมาณเก็บกักน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บกักน้ำจากปริมาณฝนและปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูฝน สามารถรองรับปริมาณน้ำหลากได้ดีขึ้นเพื่อลดการไหลล้นของน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ

2) โค้งควบคุมใหม่เส้นล่างจะต่ำกว่าโค้งควบคุมเดิมมีแนวโน้มเกณฑ์ แสดงให้เห็นถึงในช่วงต้นฤดูแล้งตั้งแต่เดือนมกราคม-เมษายน LRC1-FER แสดงเกณฑ์การเก็บกักน้ำมีค่าที่ต่ำกว่า อธิบายได้ว่าอ่างเก็บน้ำสามารถเพิ่มปริมาณการปล่อยน้ำได้มากกว่าเกณฑ์เดิม ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มโอกาสที่ปริมาณน้ำจะมีความเพียงพอต่อความต้องการมากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง บางช่วงที่โค้งควบคุมใหม่เส้นล่างสูงกว่าโค้งควบคุมเส้นเดิม ซึ่งเส้นระดับของเส้น LRC1-FER ของขอบเขตล่างนี้จะทำให้โอกาสที่จะปล่อยน้ำตามความต้องการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นจึงลดปัญหาการขาดแคลนน้ำในช่วงเวลาดังกล่าวได้

## 2. โค้งควบคุมปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 50 ปี

2.1 โค้งควบคุมปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 50 ปี (พ.ศ. 2511-2560) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหา 4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด (AVS), ค่าความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด (FS), ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นนํ้าน้อยที่สุด (AVER), ค่าความถี่ของการไหลล้นนํ้าน้อยที่สุด (FER) เส้นโค้งที่ได้ตั้งแสดงในภาพประกอบ 4.6

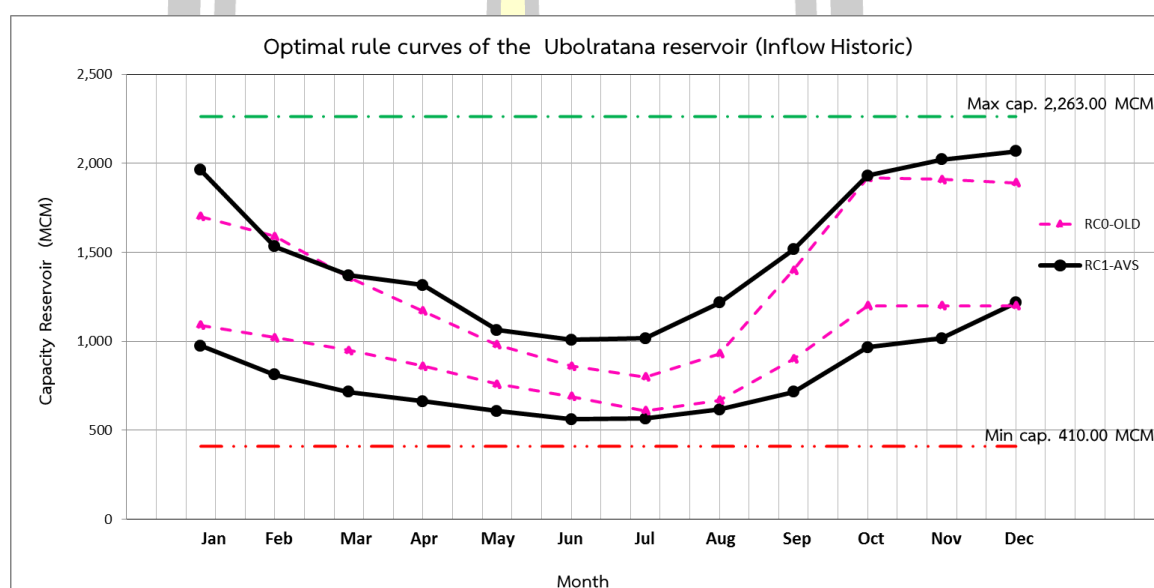


ภาพประกอบ 4.6 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ (กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 50 ปี ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหา 4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์)

จากภาพประกอบ 4.6 พบว่า โค้งควบคุมใหม่ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหา 4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ได้มีลักษณะรูปร่างแตกต่างกับโค้งควบคุมเดิม ระดับโค้งควบคุมใหม่

เส้นบนและเส้นล่างจะยกสูงกว่าหรือต่ำไค้คงควบคุมเดิม สามารถอธิบายไค้คงควบคุมเส้นใหม่ที่ได้ตาม ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหา 4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ดังนี้

1. ไค้คงควบคุมปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 50 ปี (พ.ศ. 2511-2560) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหาคือ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด (AVS) ดังแสดงในภาพประกอบ 4.7



ภาพประกอบ 4.7 ไค้คงควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ (กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 50 ปี ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด)

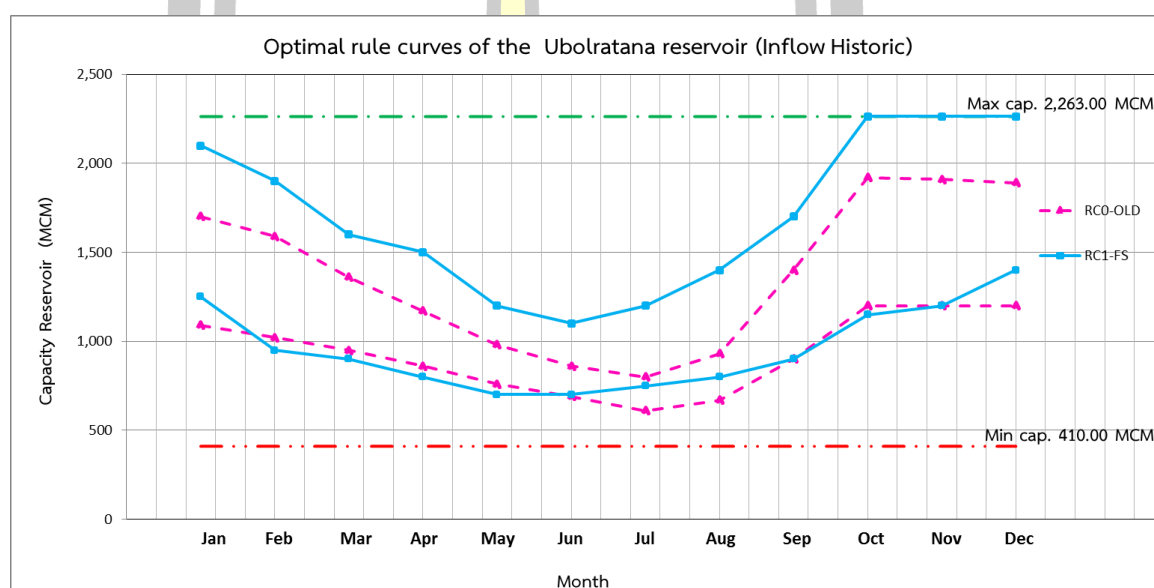
จากภาพประกอบ 4.7 พบว่า ไค้คงควบคุมใหม่ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 50 ปี ที่ได้มีลักษณะรูปร่าง แตกต่างกับไค้คงควบคุมเดิม กล่าวคือ

1) ไค้คงควบคุมใหม่เส้นบนจะสูงกว่าไค้คงควบคุมเดิมมีแนวโน้มเกณฑ์ การเก็บกักที่สูงกว่า URC0-OLD อธิบายเกณฑ์ในช่วงนี้ได้ว่า URC1-AVS มีความต้องการเพิ่มปริมาณ การเก็บกักน้ำเพื่อเพิ่มปริมาณการเก็บกักน้ำสำรองไว้ในฤดูการเพาะปลูกในฤดูแล้งสามารถบรรเทาความ เสี่ยงการขาดแคลนนํ้าในฤดูเพาะปลูกถัดไป

2) ไค้คงควบคุมใหม่เส้นล่างจะต่ำกว่าไค้คงควบคุมเดิม URC0-OLD มี แนวโน้มเกณฑ์ LRC1-AVS แสดงเกณฑ์การเก็บกักน้ำมีค่าที่ต่ำกว่า URC0-OLD อธิบายได้ว่าอ่างเก็บ

น้ำสามารถเพิ่มปริมาณการปล่อยน้ำได้มากกว่าเกณฑ์เดิม ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มโอกาสที่ปริมาณน้ำจะมีความเพียงพอต่อความต้องการมากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง

2. โค้งควบคุมปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำน้ำอุบลรัตน์ กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 50 ปี (พ.ศ. 2511-2560) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหาคือ ค่าความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด (FS) ดังแสดงในภาพประกอบ 4.8



ภาพประกอบ 4.8 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำน้ำอุบลรัตน์ (กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 50 ปี ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: ค่าความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด)

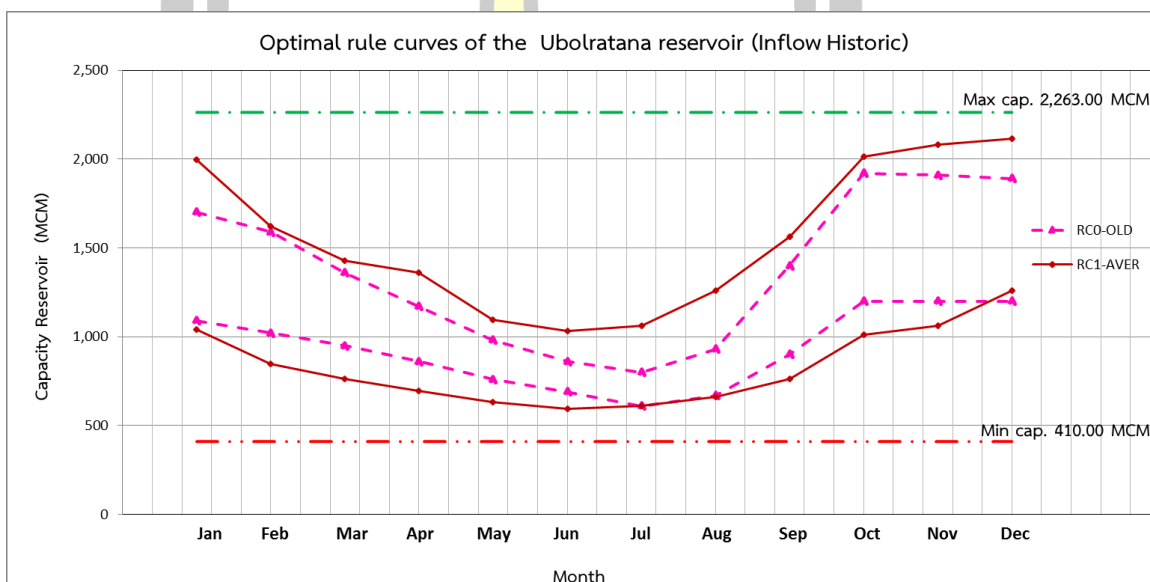
จากภาพประกอบ 4.8 พบว่า โค้งควบคุมใหม่ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ค่าความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 50 ปี ที่ได้มีลักษณะรูปร่างแตกต่างกับโค้งควบคุมเดิม กล่าวคือ

1) โค้งควบคุมใหม่เส้นบนจะสูงกว่าโค้งควบคุมเดิมมีแนวโน้มเกณฑ์การเก็บกักที่สูงกว่า URCO-OLD อธิบายเกณฑ์ในช่วงนี้ได้ว่า URC1-FS มีความต้องการเพิ่มปริมาณการเก็บกักน้ำเพื่อเพิ่มปริมาณการเก็บกักน้ำสำรองไว้ในฤดูการเพาะปลูกในฤดูแล้งสามารถบรรเทาความเสี่ยงการขาดแคลนนํ้าในฤดูเพาะปลูกถัดไป

2) โค้งควบคุมใหม่เส้นล่างจะต่ำกว่าโค้งควบคุมเดิมมีแนวโน้มเกณฑ์แสดงให้เห็นถึงในช่วงต้นฤดูแล้งตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์-เมษายน LRC1-FS แสดงเกณฑ์การเก็บกักน้ำมี

ค่าที่ต่ำกว่า อธิบายได้ว่าอ่างเก็บน้ำสามารถเพิ่มปริมาณการปล่อยน้ำได้มากกว่าเกณฑ์เดิม ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มโอกาสที่ปริมาณน้ำจะมีความเพียงพอต่อความต้องการมากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง บางช่วงที่โค้งควบคุมใหม่เส้นล่างสูงกว่าโค้งควบคุมเส้นเดิม ซึ่งเส้นระดับของเส้น LRC1-FER ของขอบเขตล่างนี้จะทำให้โอกาสที่จะปล่อยน้ำตามความต้องการใช้น้ำอย่างมีเป้าหมายมากขึ้นจึงลดปัญหาการขาดแคลนน้ำในช่วงเวลาดังกล่าว

3. โค้งควบคุมปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 50 ปี (พ.ศ. 2511-2560) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหาคือ ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด (AVER) ดังแสดงในภาพประกอบ 4.9



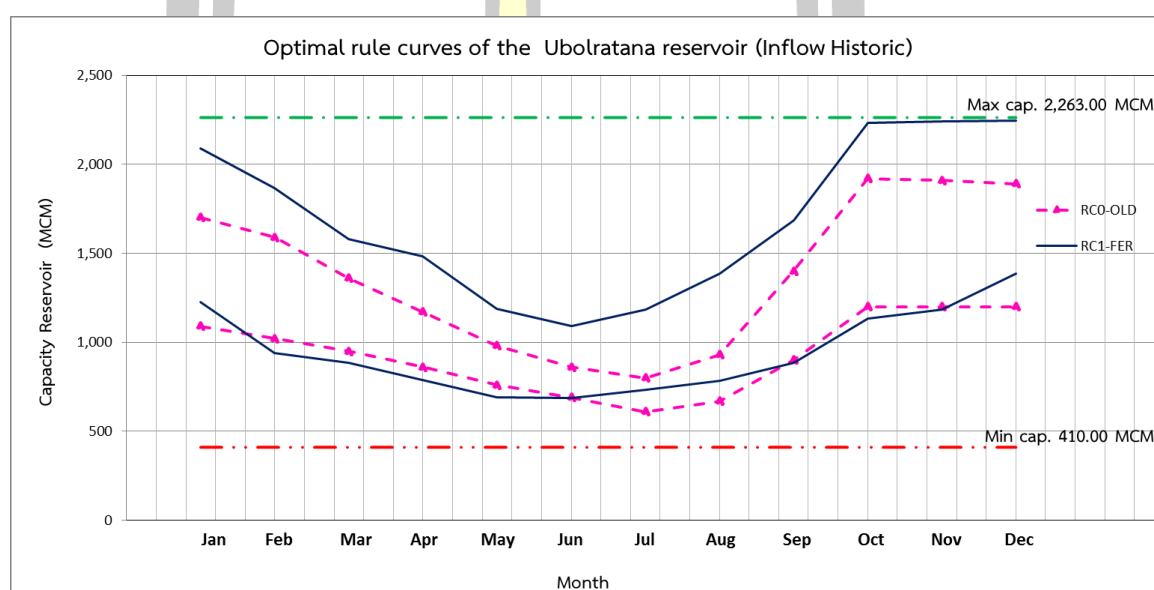
ภาพประกอบ 4.9 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์  
(กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 50 ปี ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด)

จากภาพประกอบ 4.9 พบว่า โค้งควบคุมใหม่ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 50 ปี ที่ได้มีลักษณะรูปร่างแตกต่างกับโค้งควบคุมเดิม กล่าวคือ

1) โค้งควบคุมใหม่เส้นบนจะสูงกว่าโค้งควบคุมเดิมมีแนวโน้มเกณฑ์การเก็บกักที่สูงกว่า URC0-OLD อธิบายเกณฑ์ในช่วงนี้ได้ว่า URC1-AVER มีความต้องการเพิ่มปริมาณการเก็บกักน้ำสำรองไว้ในฤดูการเพาะปลูกในฤดูแล้งสามารถบรรเทาความเสี่ยงการขาดแคลนน้ำในฤดูเพาะปลูกถัดไป

2) ใ้คงควบคุมใหม่เส้นล่าง LRC1-AVER จะต่ำกว่าใ้คงควบคุมเดิม URC0-OLD มีแนวโน้มเกณฑ์ แสดงเกณฑ์การเก็บกักน้ำมีค่าที่ต่ำกว่า อธิบายได้ว่าอ่างเก็บน้ำสามารถเพิ่มปริมาณการปล่อยน้ำได้มากกว่าเกณฑ์เดิม ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มโอกาสที่ปริมาณน้ำจะมีความเพียงพอต่อความต้องการมากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง

4. ใ้คงควบคุมปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำน้ำออน กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 50 ปี (พ.ศ. 2511-2560) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหาคือ ค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด (FER) ดังแสดงในภาพประกอบ 4.10



ภาพประกอบ 4.10 ใ้คงควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ (กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 50 ปี ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: ค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด)

จากภาพประกอบ 4.10 พบว่า ใ้คงควบคุมใหม่ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 50 ปี ที่ได้มีลักษณะรูปร่างแตกต่างกับใ้คงควบคุมเดิม กล่าวคือ

1) ใ้คงควบคุมใหม่เส้นบน URC1-FER จะสูงกว่าใ้คงควบคุมเดิม URC0-OLD มีแนวโน้มเกณฑ์การเก็บกักที่สูงกว่า URC0-OLD อธิบายเกณฑ์ได้ว่า URC1-FER มีความต้องการเพิ่มปริมาตรเก็บกักน้ำจากเดิม เพื่อตอบสนองความต้องการใช้น้ำเพิ่มมากขึ้น

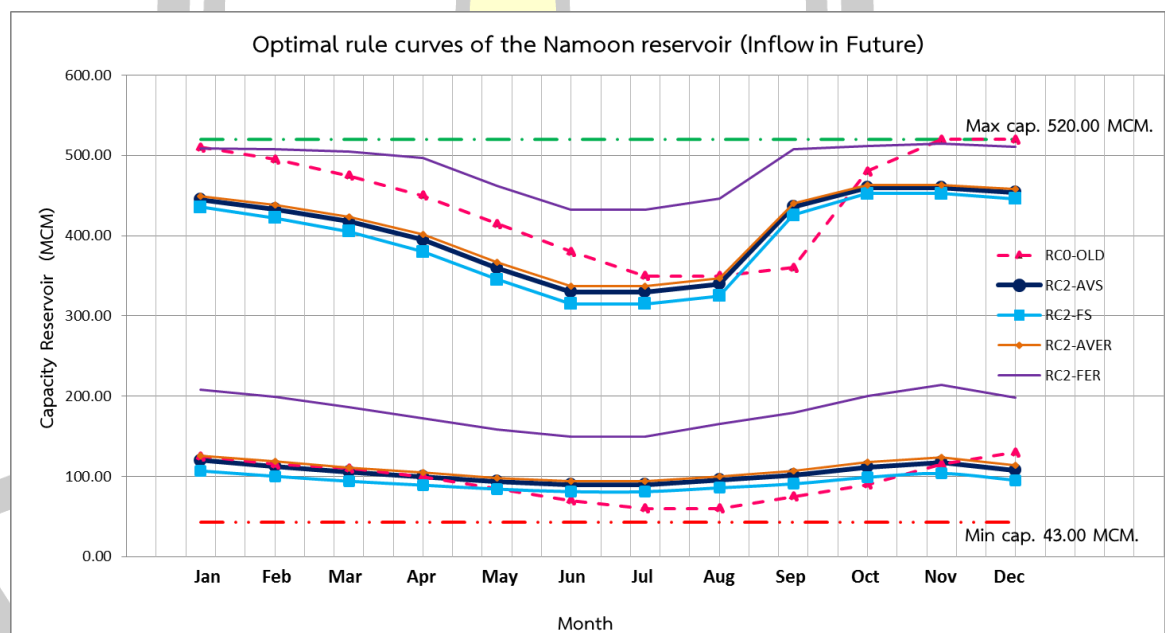
2) ใ้คงควบคุมใหม่เส้นล่างจะต่ำกว่าใ้คงควบคุมเดิมมีแนวโน้มเกณฑ์ แสดงให้เห็นถึงในช่วงต้นฤดูแล้งตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์-พฤษภาคม LRC1-FER แสดงเกณฑ์การเก็บกัก

น้ำมีค่าที่ต่ำกว่าเกณฑ์เดิม อธิบายได้ว่าอ่างเก็บน้ำสามารถเพิ่มปริมาณการปล่อยน้ำได้มากกว่าเกณฑ์เดิม ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มโอกาสที่ปริมาณน้ำจะมีความเพียงพอต่อความต้องการมากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง บางช่วงที่โค้งควบคุมใหม่เส้นล่างสูงกว่าโค้งควบคุมเส้นเดิม ซึ่งเส้นระดับของเส้น LRC1-FER ของขอบเขตล่างนี้จะทำให้โอกาสที่จะปล่อยน้ำตามความต้องการใช้น้ำอย่างมีเป้าหมายมากขึ้นจึงลดปัญหาการขาดแคลนน้ำในช่วงเวลาดังกล่าวได้

4.1.2 ผลการศึกษาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมที่พัฒนาด้วยวิธีหิ้งห้อย (FA) กรณีน้ำทำรายเดือนในอนาคต

### 1. โค้งควบคุมปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำน้ำอูน กรณีน้ำทำรายเดือนในอนาคต 19 ปี

1.1 โค้งควบคุมปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำน้ำอูน กรณีน้ำทำรายเดือนในอนาคต 19 ปี (พ.ศ. 2561-2579) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหา 4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด (AVS), ค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด (FS), ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด (AVER), ค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด (FER) เส้นโค้งที่ได้ดังแสดงในภาพประกอบ 4.11



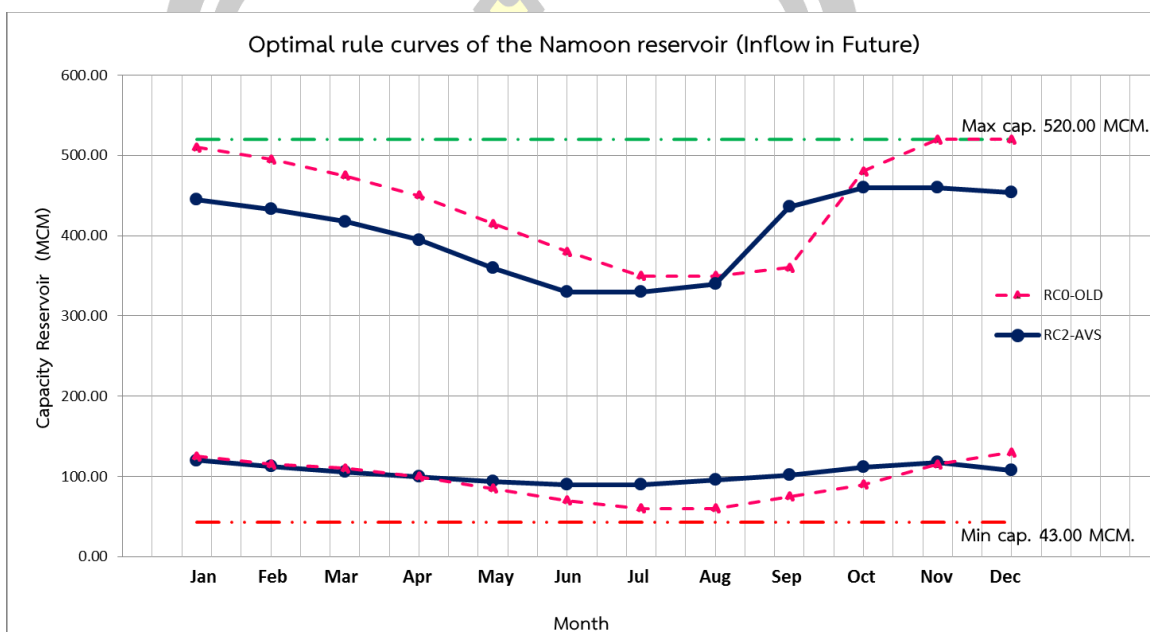
ภาพประกอบ 4.11 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำน้ำอูน (กรณีน้ำทำรายเดือนในอนาคต 19 ปี ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหา 4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์)

จากภาพประกอบ 4.11 พบว่า โค้งควบคุมใหม่ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหา 4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ได้มีลักษณะรูปร่างแตกต่างกับโค้งควบคุมเดิม ระดับโค้งควบคุมใหม่



เส้นบนและเส้นล่างจะยกสูงกว่าหรือต่ำโคงควบคุมเดิม สามารถอธิบายโคงควบคุมเส้นใหม่ที่ได้ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหา 4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ดังนี้

1. โคงควบคุมปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำน้ำอูน กรณีน้ำท่ารายเดือนในอนาคต 19 ปี (พ.ศ. 2561-2579) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหาคือ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด (AVS) ดังแสดงในภาพประกอบ 4.12



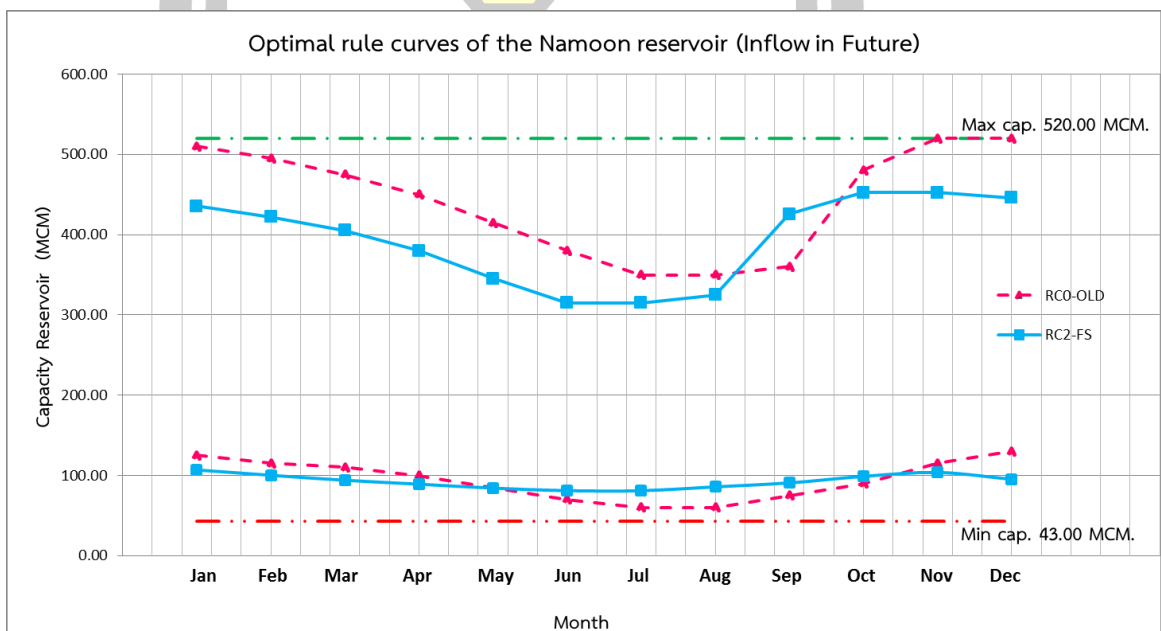
ภาพประกอบ 4.12 โคงควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำน้ำอูน (กรณีน้ำท่ารายเดือนในอนาคต 19 ปี ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด)

จากภาพประกอบ 4.12 พบว่า โคงควบคุมใหม่ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด กรณีน้ำท่ารายเดือนในอนาคต 19 ปี ที่ได้มีลักษณะรูปร่างแตกต่างกับโคงควบคุมเดิม กล่าวคือ

1) โคงควบคุมใหม่เส้นบน URC2-AVS จะต่ำกว่าโคงควบคุมเดิม URC0-OLD มีแนวโน้มเกณฑ์การเก็บกักที่ต่ำกว่า URC0-OLD ในช่วงระหว่างเดือนตุลาคม-สิงหาคม อธิบายเกณฑ์ในช่วงนี้ได้ว่า URC2-AVS มีลักษณะต่ำลงโดยเฉพาะในช่วงฤดูฝนมีระดับเส้นโคงที่ต่ำลงแสดงถึงการพร่องน้ำออกไว้สำหรับรองรับปริมาณน้ำท่าที่จะไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสามารถบรรเทาอุทกภัย และเป็นการเพิ่มพื้นที่ในการเก็บกักน้ำสำรองไว้ในฤดูการเพาะปลูกในฤดูแล้งสามารถบรรเทาความเสี่ยงการขาดแคลนนํ้าในฤดูเพาะปลูกถัดไป

2) ใ้คงควบคุมใหม่เส้นล่าง LRC2-AVS จะต่ำกว่าใ้คงควบคุมเดิมมีแนวโน้มน้เกณฑ์แสดงให้เห้จนถึงในช่วงต้นฤดูแล้้งตั้งแต่เดือนมกราคม-เมษายน LRC2-AVS แสดงเห้เกณฑ์การเพิ่มปริมาณการปล่อยน้ำได้มากกว่าเกณฑ์เดิม ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มโอกาสที่ปริมาณน้ำจะมีความเพียงพอต่อความต้องการมากขึ้นในช่วงฤดูแล้้ง บางช่วงที่ใ้คงควบคุมใหม่เส้นล่างสูงกว่าใ้คงควบคุมเส้นเดิม ซึ่งเส้นระดับของเส้น LRC1-AVS ของขอบเขตล่างนี้จะทำให้โอกาสที่จะปล่อยน้ำตามความต้องการใช้น้มีเป้าหมายมากขึ้นจึงลดปัญหาการขาดแคลนน้ในช่วงเวลาดังกล่าวได้

2. ใ้คงควบคุมปฏิบัติการอ่างเก็บน้้าน้ออน กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 19 ปี (พ.ศ. 2561-2579) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหาคือ ค่าความถี่ของการขาดแคลนน้้าน้อยที่สุด (FS) ดังแสดงในภาพประกอบ 4.13



ภาพประกอบ 4.13 ใ้คงควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้้าน้ออน (กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 19 ปี ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: ค่าความถี่ของการขาดแคลนน้้าน้อยที่สุด)

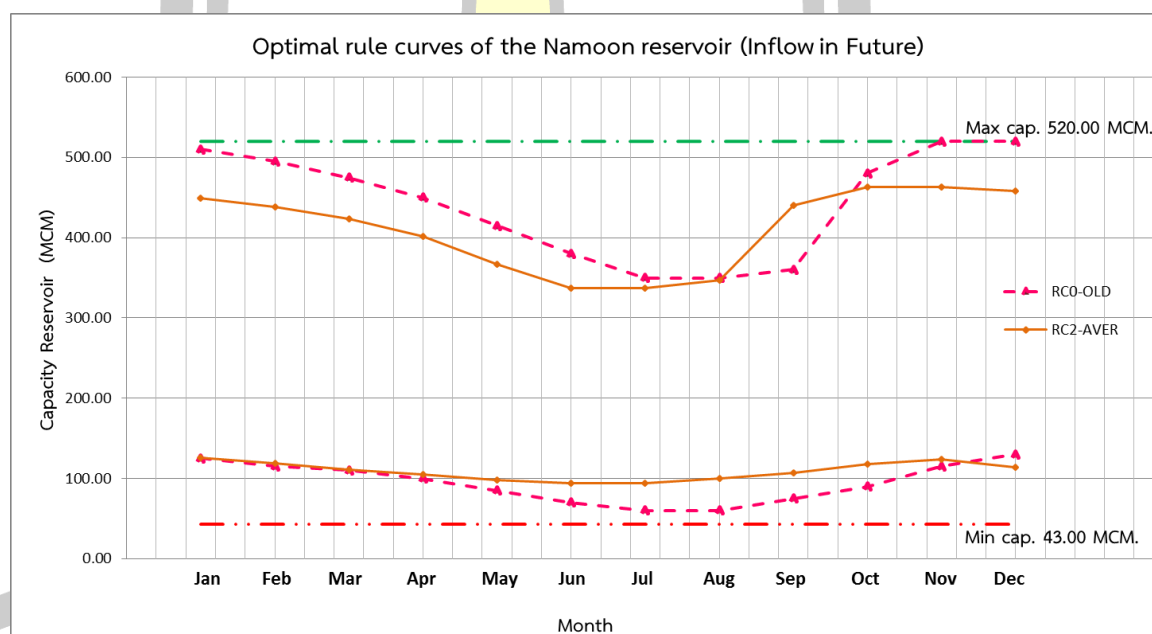
จากภาพประกอบ 4.13 พบว่า ใ้คงควบคุมใหม่ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ค่าความถี่ของการขาดแคลนน้้าน้อยที่สุด กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 19 ปี ที่ได้มีลักษณะรูปร่างแตกต่างกับใ้คงควบคุมเดิม กล่าวคือ

1) ใ้คงควบคุมใหม่เส้นบน URC2-FS จะต่ำกว่าใ้คงควบคุมเดิม URCO-OLD มีแนวโน้มน้เกณฑ์การเก็บกักที่ต่ำกว่าเกณฑ์เดิม ในช่วงระหว่างเดือนตุลาคม-สิงหาคม อธิบายเห้ในช้่นนี้ได้ว่า URC2-FS ทำการพร่องน้้าออกไว้สำหรับรองรับปริมาณน้ำท่าที่จะไหลเข้าอ่างเก็บ

น้ำสามารถบรรเทาอุทกภัย และเป็นการเพิ่มพื้นที่ในการเก็บกักน้ำสำรองไว้ในฤดูการเพาะปลูกในฤดูแล้ง

2) โค้งควบคุมใหม่เส้นล่าง LRC2-FS จะต่ำกว่าโค้งควบคุมเดิม LRC0-OLD มีแนวโน้มเกณฑ์แสดงให้เห็นถึงในช่วงต้นฤดูแล้งตั้งแต่เดือนมกราคม-เมษายน LRC2-FS แสดงเกณฑ์การเก็บกักน้ำมีค่าที่ต่ำกว่า อธิบายได้ว่าอ่างเก็บน้ำสามารถเพิ่มปริมาณการปล่อยน้ำได้มากกว่าเกณฑ์เดิม ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มโอกาสที่ปริมาณน้ำจะมีความเพียงพอต่อความต้องการมากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง และบางช่วงที่โค้งควบคุมใหม่เส้นล่างสูงกว่าโค้งควบคุมเส้นเดิม เป็นการลดปริมาณการปล่อยน้ำจะทำให้โอกาสที่จะปล่อยน้ำตามความต้องการใช้น้ำอย่างมีเป้าหมายมากขึ้น

3. โค้งควบคุมปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำน้ำอูน กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 19 ปี (พ.ศ. 2561-2579) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหาคือ ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด (AVER) ดังแสดงในภาพประกอบ 4.14



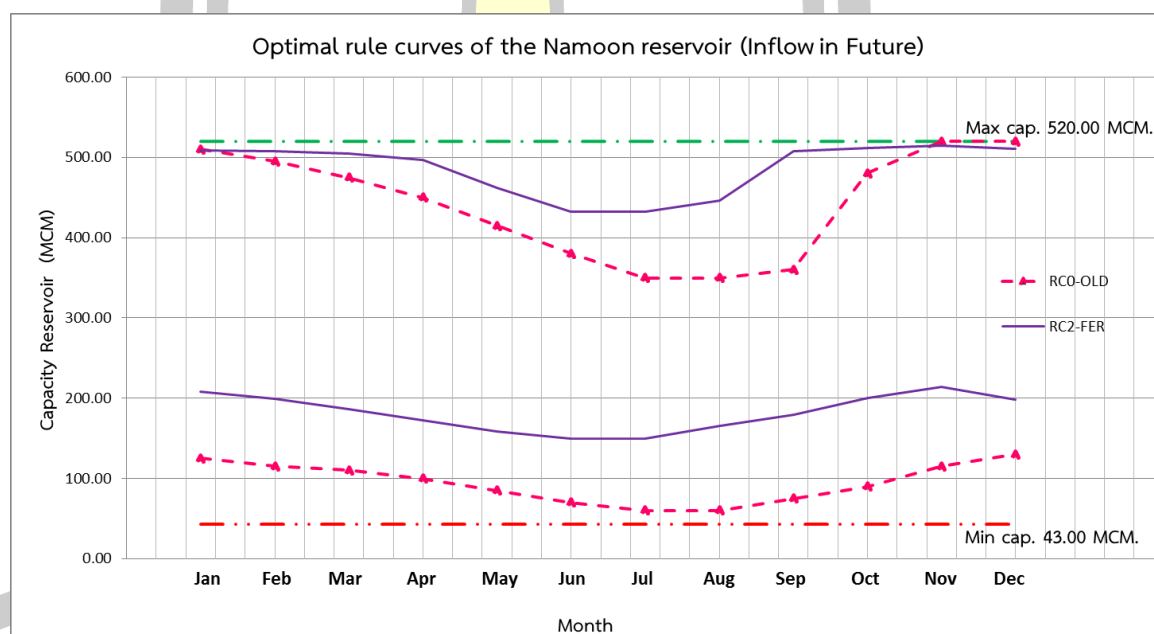
ภาพประกอบ 4.14 โค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำน้ำอูน (กรณีน้ำท่ารายเดือนในอนาคต 19 ปี ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด)

จากภาพประกอบ 4.14 พบว่า โค้งควบคุมใหม่ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด กรณีน้ำท่ารายเดือนในอนาคต 19 ปี ที่ได้มีลักษณะรูปร่างแตกต่างกับโค้งควบคุมเดิม กล่าวคือ

1) ใ้คงควบคุมใหม่เส้นบน URC2-AVER จะต่ำกว่าใ้คงควบคุมเดิม URC0-OLD มีแนวโน้มเกณฑ์การเก็บกักที่ต่ำกว่า URC0-OLD ในช่วงระหว่างเดือนตุลาคม-สิงหาคม อธิบายเกณฑ์ในช่วงนี้ได้ว่า URC2-AVER ลดปริมาณเก็บกักน้ำหรือการปล่อยน้ำออกเพื่อเพิ่มพื้นที่รองรับปริมาณน้ำและลดการไหลล้นของน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บกักน้ำจากปริมาณฝนและปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูฝน

2) ใ้คงควบคุมใหม่เส้นล่าง LRC2-AVER จะสูงกว่าใ้คงควบคุมเดิม URC0-OLD ทำให้ LRC2-AVER มีแนวโน้มเกณฑ์ลดปริมาณการปล่อยน้ำในฤดูเพาะปลูกในช่วงฤดูแล้งเพื่อให้ปริมาณน้ำที่เพียงพอตลอดระยะเวลาการเพาะปลูกพื้นที่ชลประทาน

4. ใ้คงควบคุมปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำน้ำอูน กรณีน้ำท่ารายเดือนในอนาคต 19 ปี (พ.ศ. 2561-2579) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหาคือ ค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด (FER) ดังแสดงในภาพประกอบ 4.15



ภาพประกอบ 4.15 ใ้คงควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำน้ำอูน (กรณีน้ำท่ารายเดือนในอนาคต 19 ปี ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: ค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด)

จากภาพประกอบ 4.15 พบว่า ใ้คงควบคุมใหม่ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด กรณีน้ำท่ารายเดือนในอนาคต 19 ปี ที่ได้มีลักษณะรูปร่างแตกต่างกับใ้คงควบคุมเดิม กล่าวคือ

1) โค้งควบคุมใหม่เส้นบน URC2-FER จะสูงกว่าโค้งควบคุมเดิมมีแนวโน้มเกณฑ์การเก็บกักที่สูงกว่า URC0-OLD อธิบายเกณฑ์ในช่วงนี้ได้ว่า URC2-FER ลดปริมาณการปล่อยน้ำจากเดิม ซึ่ง ทำให้มีปริมาณกักเก็บน้ำมากขึ้น ทำให้น้ำเพียงพอสำหรับส่งให้พื้นที่เพาะปลูกและสามารถเพิ่มพื้นที่ชลประทานได้ในอนาคต และตอบสนองความต้องการใช้น้ำในเขตพื้นที่ชลประทานมากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง

2) โค้งควบคุมใหม่เส้นล่าง LRC2-FER จะสูงกว่าโค้งควบคุมเดิม LRC0-OLD มีแนวโน้มเกณฑ์แสดงถึงการลดปริมาณการปล่อยน้ำลงจากเกณฑ์เดิม ทำให้มีน้ำสำหรับส่งให้พื้นที่เพาะปลูกได้มากขึ้นในตลอดช่วงฤดูแล้ง ทำให้น้ำเพียงพอสำหรับส่งให้พื้นที่เพาะปลูกและสามารถเพิ่มพื้นที่ชลประทานได้ในอนาคต

#### 4.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพระหว่างโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำเดิมที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันกับโค้งควบคุมที่พัฒนาด้วยวิธีหึ่งห้อย (FA)

การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการทดสอบการทำงาน of โค้งควบคุมเพื่อที่จะรู้ถึงผลลัพธ์ว่าสามารถรองรับกับสถานการณ์น้ำที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากความไม่แน่นอนต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นช่วงเวลาในอดีตที่ผ่านมา หรืออาจจะเกิดในอนาคต วิธีการประเมินจะเป็นการหาค่าตอบของควมถี่ในการขาดแคลนน้ำ ความถี่ในการไหลล้น ปริมาณเฉลี่ย และช่วงเวลาของการเกิดสถานการณ์ โดยเปรียบเทียบการทำงานของโค้งควบคุมใหม่ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหา 4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ กับโค้งควบคุมที่ใช้อยู่ปัจจุบัน สำหรับเหตุการณ์ที่นำมาทดสอบโค้งควบคุม ประกอบด้วย

##### 1. อ่างเก็บน้ำน้ำอูน

1) สถานการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนในอดีต ระหว่าง พ.ศ. 2536-2560 จำนวน 25 ปี โดยแบ่งออกเป็น

1.1) ปริมาณน้ำท่ารายเดือนในอดีต จำนวน 1 ชุดเหตุการณ์

1.2) ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่สังเคราะห์จากข้อมูลในอดีต จำนวน 1,000 ชุดเหตุการณ์

2) สถานการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนในอนาคต ระหว่าง พ.ศ. 2561-2579 จำนวน

19 ปี

2.1) ปริมาณน้ำท่ารายเดือนในอนาคต จำนวน 1 ชุดเหตุการณ์

## 2. อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์

1) สถานการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนในอดีต ระหว่าง พ.ศ. 2511-2560 จำนวน 50 ปี โดยแบ่งออกเป็น

1.1) ปริมาณน้ำท่ารายเดือนในอดีต จำนวน 1 ชุดเหตุการณ์

1.2) ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่สังเคราะห์จากข้อมูลในอดีต จำนวน 1,000 ชุดเหตุการณ์

### 4.2.1 กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต

1. ผลประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำน้ำอูน กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 25 ปี

การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) โดยใช้ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำน้ำอูนด้วยข้อมูลอดีต 25 ปี (พ.ศ.2536 – 2560) เพื่อประเมินสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ การไหลล้น ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แสดงถึงสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ และไหลล้นของอ่างเก็บน้ำน้ำอูนเมื่อใช้โค้งควบคุมที่พัฒนาด้วยวิธีหึ่งห้อย (FA) ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหา 4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด (RC1-AVS), ค่าความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด (RC1-FS), ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นนํ้าน้อยที่สุด (RC1-AVER), ค่าความถี่ของการไหลล้นนํ้าน้อยที่สุด (RC1-FER) เปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิม (RC0-OLD) ดังแสดงในตาราง 4.1

ตาราง 4.1 การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) โดยใช้ข้อมูลน้ำที่เข้าสู่อ่างเก็บน้ำน้ำอูน 25 ปี (พ.ศ.2536 – 2560)

สถานการณ์	โค้งควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
ขาดแคลน	RC0-OLD	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	RC1-AVS	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	RC1-FS	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	RC1-AVER	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	RC1-FER	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
น้ำไหลส่วนเกิน	RC0-OLD	0.880	298.509	440.100	11.000	18.000
	RC1-AVS	0.845	212.978	431.585	11.500	18.000
	RC1-FS	0.861	282.001	542.398	25.000	25.000

ตาราง 4.1 การประเมินประสิทธิภาพโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) โดยใช้ข้อมูลน้ำที่เข้าสู่อ่างเก็บน้ำน้ำอูน 25 ปี (พ.ศ.2536 – 2560) (ต่อ)

สถานการณ์	โค้งควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
น้ำไหลส่วนเกิน	RC1-AVER	0.820	214.002	431.664	11.500	18.000
	RC1-FER	0.818	213.768	431.648	11.500	18.000

จากตาราง 4.1 การประเมินประสิทธิภาพโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) โดยใช้ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำน้ำอูนด้วยข้อมูลอดีต 25 ปี (พ.ศ.2536 – 2560) เพื่อประเมินสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ การไหลล้น พบว่าความถี่ของปริมาณน้ำที่ขาดแคลน ปริมาณน้ำที่ขาดแคลนเฉลี่ย และช่วงเวลาการขาดแคลนเฉลี่ย โค้งควบคุมใหม่ที่พัฒนาด้วยวิธีหึ่งห้อย (FA) ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหา 4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด (RC1-AVS), ค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด (RC1-FS), ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด (RC1-AVER), ค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด (RC1-FER) พบว่าโค้งควบคุมจากแบบจำลองการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีหึ่งห้อย (FA) ทั้ง 4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิม กรณีสถานการณ์ขาดแคลนน้ำพบว่า โค้งควบคุมที่ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์อื่นๆ และโค้งควบคุมเดิม ไม่มีความถี่ของปริมาณน้ำที่ขาดแคลน ปริมาณน้ำที่ขาดแคลนเฉลี่ย และช่วงเวลาการขาดแคลนเฉลี่ยน้ำน้อยที่สุด กรณีสถานการณ์การไหลล้น พบว่า (RC1-FER) พบว่า ความถี่ของการไหลล้น การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย และช่วงเวลาการไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยมีค่าน้อยที่สุดคือ 0.818 ครั้ง/ปี 213.768 ล้าน ลบ.ม. และ 11.500 ปี ตามลำดับ รองลงมาคือ (RC1-AVER), (RC1-AVS), (RC1-FS) และ (RC0-OLD) ตามลำดับ สามารถอธิบายได้ว่า (RC1-FER) นั้นมีประสิทธิภาพประกอบดีกว่าโค้งควบคุมที่ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์อื่นๆ และโค้งควบคุมเดิมเหมาะสมกับเหตุการณ์สถานการณ์น้ำปกติ สามารถลดการไหลล้นได้ดีกว่าโค้งควบคุมที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

การประเมินประสิทธิภาพโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) ในระยะยาวโดยใช้ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำน้ำอูนด้วยข้อมูลที่สังเคราะห์จากข้อมูลอดีต 25 ปี (พ.ศ.2536 – 2560) จำนวน 1,000 ชุดข้อมูล เพื่อประเมินสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ การไหลล้น ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แสดงถึงสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ และไหลล้นของอ่างเก็บน้ำน้ำอูนเมื่อใช้โค้งควบคุมใหม่ที่พัฒนาด้วยวิธีหึ่งห้อย (FA) ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหา 4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด (RC1-AVS), ค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด (RC1-FS), ค่าเฉลี่ย

ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด (RC1-AVER), ค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด (RC1-FER) เปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิม (RC0-OLD) ดังแสดงในตาราง 4.2

ตาราง 4.2 การประเมินประสิทธิภาพโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) โดยใช้ข้อมูลน้ำที่เข้าสู่อ่างเก็บน้ำน้ำอุโมงค์เคราะห์ข้อมูลขึ้นมา 1,000 ชุดข้อมูล

สถานการณ์	โค้งควบคุม		ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)		
				เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด	
ขาดแคลน	RC0-OLD	$\mu$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
		$\sigma$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	RC1-AVS	$\mu$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
		$\sigma$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	RC1-FS	$\mu$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
		$\sigma$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	RC1-AVER	$\mu$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
		$\sigma$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	RC1-FER	$\mu$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
		$\sigma$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	น้ำไหล ส่วนเกิน	RC0-OLD	$\mu$	0.880	298.509	440.100	11.000	18.000
			$\sigma$	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
		RC1-AVS	$\mu$	0.840	212.978	431.585	11.500	18.000
			$\sigma$	0.001	0.010	0.002	0.000	0.000
RC1-FS		$\mu$	0.870	295.001	542.398	25.000	25.000	
		$\sigma$	0.004	0.014	0.120	0.000	0.000	
RC1-AVER		$\mu$	0.831	214.002	431.664	11.500	18.000	
		$\sigma$	0.011	0.003	0.020	0.000	0.000	
RC1-FER		$\mu$	0.829	213.768	431.648	11.500	18.000	
		$\sigma$	0.001	0.021	0.010	0.000	0.000	

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



จากตาราง 4.2 การประเมินประสิทธิภาพโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) ในระยะยาวโดยใช้ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำน้ำอุบลรัตน์ด้วยข้อมูลที่สังเคราะห์จากข้อมูลอดีต 25 ปี (พ.ศ.2536 – 2560) จำนวน 1,000 ชุดข้อมูล เมื่อใช้โค้งควบคุมใหม่ที่พัฒนาด้วยวิธีหึ่งห้อย (FA) ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหา 4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด (RC1-AVS), ค่าความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด (RC1-FS), ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นนํ้าน้อยที่สุด (RC1-AVER), ค่าความถี่ของการไหลล้นนํ้าน้อยที่สุด (RC1-FER) เปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิม (RC0-OLD) เพื่อประเมินสถานการณ์การขาดแคลนนํ้า การไหลล้น พบว่าโค้งควบคุมจากแบบจำลองการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีหึ่งห้อย (FA) ทั้ง 4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิม กรณีสถานการณ์ขาดแคลนนํ้าพบว่า โค้งควบคุมที่ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์อื่นๆ และโค้งควบคุมเดิม ไม่มีความถี่ของปริมาณนํ้าที่ขาดแคลน ปริมาณนํ้าที่ขาดแคลนเฉลี่ย และช่วงเวลาการขาดแคลนเฉลี่ยนํ้าน้อยที่สุด กรณีสถานการณ์การไหลล้น พบว่า (RC1-FER) ค่าความถี่ของการไหลล้น การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย และช่วงเวลาการไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยมีค่าน้อยที่สุดคือ  $0.829 \pm 0.001$  ครั้ง/ปี  $213.768 \pm 0.021$  ล้าน ลบ.ม. และ  $18.000 \pm 0.000$  ปี ตามลำดับ รองลงมาคือ (RC1-AVER), (RC1-AVS), (RC1-FS) และ (RC0-OLD) ตามลำดับ สามารถอธิบายได้ว่า (RC1-FER) นั้นมีประสิทธิภาพประกอบดีกว่าโค้งควบคุมที่ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์อื่นๆ และโค้งควบคุมเดิมเหมาะสมกับเหตุการณ์สถานการณ์นํ้าปกติ สามารถลดการไหลล้นได้ดีกว่าโค้งควบคุมที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

## 2. ผลประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำน้ำอุบลรัตน์ กรณีน้ำท่ารายเดือนในอดีต 50 ปี

การประเมินประสิทธิภาพโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) โดยใช้ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ ด้วยข้อมูลอดีต 50 ปี (พ.ศ.2511 – 2560) เพื่อประเมินสถานการณ์การขาดแคลนนํ้า การไหลล้น ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แสดงถึงสถานการณ์การขาดแคลนนํ้า และไหลล้นของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ เมื่อใช้โค้งควบคุมที่พัฒนาด้วยวิธีหึ่งห้อย (FA) ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหา 4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด (RC1-AVS), ค่าความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด (RC1-FS), ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นนํ้าน้อยที่สุด (RC1-AVER), ค่าความถี่ของการไหลล้นนํ้าน้อยที่สุด (RC1-FER) เปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิม (RC0-OLD) ดังแสดงในตาราง 4.3

ตาราง 4.3 การประเมินประสิทธิภาพกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) โดยใช้ข้อมูลน้ำที่ไหล  
อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ 50 ปี (พ.ศ.2511 – 2560)

สถานการณ์	โค้งควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
ขาดแคลน	RC0-OLD	0.469	102.163	580.000	2.556	5.000
	RC1-AVS	0.224	42.612	467.000	1.833	3.000
	RC1-FS	0.265	43.714	473.000	2.167	3.000
	RC1-AVER	0.350	66.612	487.000	1.833	3.000
	RC1-FER	0.386	69.327	491.000	2.000	3.000
น้ำไหลส่วนเกิน	RC0-OLD	0.878	1,190.718	4,910.226	7.167	17.000
	RC1-AVS	0.832	1,090.408	4,710.016	4.237	11.000
	RC1-FS	0.864	1,125.288	3,913.617	4.242	9.000
	RC1-AVER	0.822	1,014.298	3,829.417	4.222	10.000
	RC1-FER	0.826	1,008.538	3,852.214	4.128	12.000

จากตาราง 4.3 การประเมินประสิทธิภาพโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) โดยใช้ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ ด้วยข้อมูลอดีต 50 ปี (พ.ศ.2511 – 2560) เพื่อประเมินสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ การไหลล้น พบว่าความถี่ของปริมาณน้ำที่ขาดแคลน ปริมาณน้ำที่ขาดแคลนเฉลี่ย และช่วงเวลาการขาดแคลนเฉลี่ย โค้งควบคุมใหม่ที่พัฒนาด้วยวิธีหึ่งห้อย (FA) ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหา 4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด (RC1-AVS), ค่าความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด (RC1-FS), ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นนํ้าน้อยที่สุด (RC1-AVER), ค่าความถี่ของการไหลล้นนํ้าน้อยที่สุด (RC1-FER) เปรียบเทียบกับ โค้งควบคุมเดิม (RC0-OLD) เพื่อประเมินสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ การไหลล้น พบว่าโค้งควบคุม จากแบบจำลองการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีหึ่งห้อย (FA) ทั้ง 4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เปรียบเทียบกับ โค้งควบคุมเดิม กรณีสถานการณ์ขาดแคลนน้ำพบว่า (RC1-AVS) มีความถี่ของปริมาณน้ำที่ขาดแคลน ปริมาณน้ำที่ขาดแคลนเฉลี่ย และช่วงเวลาการขาดแคลนเฉลี่ยนํ้าน้อยที่สุดคือ 0.224 ครั้ง/ปี 42.612 ล้าน ลบ.ม. และ 1.833 ปี ตามลำดับ รองลงมาคือ (RC1-FS), (RC1-AVER), (RC1-FER) และ (RC0-OLD) ตามลำดับ จากผลลัพธ์เหล่านี้สามารถอธิบายได้ว่า (RC1-AVS) นั้นมีประสิทธิภาพประคอบ ดีกว่าโค้งควบคุมที่ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์อื่นๆ และโค้งควบคุมเดิมเหมาะสมกับเหตุการณ์สถานการณ์ น้ำปกติ สามารถลดการขาดแคลนได้ดีกว่าโค้งควบคุมที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน กรณีสถานการณ์การไหล

ล้น พบว่า (RC1-AVER) พบว่า ความถี่ของการไหลล้น การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย และช่วงเวลา การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยมีค่าน้อยที่สุดคือ 0.822 ครั้ง/ปี 1,014.298 ล้าน ลบ.ม.และ 4.222 ปี ตามลำดับ รองลงมาคือ (RC1-FER), (RC1-AVS), (RC1-FS) และ (RC0-OLD) ตามลำดับ สามารถ อธิบายได้ว่า (RC1-AVER) นั้นมีประสิทธิภาพประกอบดีกว่าโค้งควบคุมที่ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์อื่นๆ และโค้งควบคุมเดิมเหมาะสมกับเหตุการณ์สถานการณ์น้ำปกติ สามารถลดการไหลล้นได้ดีกว่าโค้ง ควบคุมที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

การประเมินประสิทธิภาพโค้งกฎปฏิบัติกรอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) ในระยะยาวโดยใช้ ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ ด้วยข้อมูลที่สังเคราะห์จากข้อมูลอดีต 50 ปี (พ.ศ.2511 – 2560) จำนวน 1,000 ชุดข้อมูล เพื่อประเมินสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ การไหลล้น ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ แสดงถึงสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ และไหลล้นของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ เมื่อใช้โค้งควบคุมใหม่ที่ พัฒนาด้วยวิธีหึ่งห้อย (FA) ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหา 4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด (RC1-AVS), ค่าความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด (RC1-FS), ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นนํ้าน้อยที่สุด (RC1-AVER), ค่าความถี่ของการไหลล้นนํ้าน้อยที่สุด (RC1-FER) เปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิม (RC0-OLD) ดังแสดงในตาราง 4.4

ตาราง 4.4 การประเมินประสิทธิภาพโค้งกฎปฏิบัติกรอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) โดยใช้ข้อมูลน้ำที่ เข้าสู่อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ สังเคราะห์ข้อมูลขึ้นมา 1,000 ชุดข้อมูล

สถานการณ์	โค้งควบคุม		ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
				เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
ขาดแคลน	RC0-OLD	$\mu$	0.490	102.178	580.000	2.567	5.000
		$\sigma$	0.021	0.015	0.000	0.011	0.000
	RC1-AVS	$\mu$	0.265	42.714	473.000	2.167	3.000
		$\sigma$	0.041	0.000	0.000	0.002	0.000
	RC1-FS	$\mu$	0.246	42.571	491.000	2.143	3.000
		$\sigma$	0.019	0.000	0.000	0.004	0.000
	RC1-AVER	$\mu$	0.324	66.612	477.000	1.833	3.000
		$\sigma$	0.026	0.000	0.125	0.002	0.000
	RC1-FER	$\mu$	0.376	69.339	490.000	2.143	3.000
		$\sigma$	0.010	0.012	0.011	0.001	0.000
		$\sigma$	0.000	0.016	0.003	0.011	0.000

ตาราง 4.4 การประเมินประสิทธิภาพโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) โดยใช้ข้อมูลน้ำที่เข้าสู่อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ สักระยะที่ข้อมูลขึ้นมา 1,000 ชุดข้อมูล (ต่อ)

สถานการณ์	โค้งควบคุม		ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
				เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
น้ำไหล ส่วนเกิน	RC0-OLD	$\mu$	0.878	1,190.558	4,910.226	7.167	16.000
		$\sigma$	0.000	0.016	0.003	0.011	0.000
	RC1-AVS	$\mu$	0.836	1,022.248	4,913.617	4.232	9.000
		$\sigma$	0.004	0.002	0.011	0.000	0.000
	RC1-FS	$\mu$	0.876	1,023.501	3,852.214	4.212	9.000
		$\sigma$	0.012	0.014	0.002	0.004	0.000
	RC1-AVER	$\mu$	0.831	1,019.257	3,829.417	4.201	9.000
		$\sigma$	0.015	0.001	0.005	0.003	0.000
	RC1-FER	$\mu$	0.826	1,014.020	3,849.566	4.125	9.000
		$\sigma$	0.004	0.011	0.021	0.001	0.000

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

จากตาราง 4.4 การประเมินประสิทธิภาพโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) ในระยะยาวโดยใช้ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ ด้วยข้อมูลที่สังเคราะห์จากข้อมูลอดีต 50 ปี (พ.ศ.2511 – 2560) จำนวน 1,000 ชุดข้อมูล เมื่อใช้โค้งควบคุมใหม่ที่พัฒนาด้วยวิธีหึ่งห้อย (FA) ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหา 4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด (RC1-AVS), ค่าความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด (RC1-FS), ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นนํ้าน้อยที่สุด (RC1-AVER), ค่าความถี่ของการไหลล้นนํ้าน้อยที่สุด (RC1-FER) เปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิม (RC0-OLD) เปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิม (RC0-OLD) เพื่อประเมินสถานการณ์การขาดแคลนนํ้า การไหลล้น พบว่าโค้งควบคุมจากแบบจำลองการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีหึ่งห้อย (FA) ทั้ง 4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิม กรณีสถานการณ์ขาดแคลนนํ้าพบว่า (RC1-FS) มีความถี่ของปริมาณน้ำที่ขาดแคลน ปริมาณน้ำที่ขาดแคลนเฉลี่ย และช่วงเวลาการขาดแคลนเฉลี่ยนํ้าน้อยที่สุดคือ  $0.246 \pm 0.019$  ครั้ง/ปี  $42.571 \pm 0.000$  ล้าน ลบ.ม. และ  $3.000 \pm 0.000$  ปี ตามลำดับ รองลงมาคือ (RC1-AVS), (RC1-AVER), (RC1-FER) และ (RC0-OLD) ตามลำดับ จากผลลัพธ์เหล่านี้สามารถอธิบายได้ว่า (RC1-FS) นั้นมีประสิทธิภาพประอบดีกว่าโค้งควบคุมที่ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์อื่นๆ และโค้งควบคุมเดิมเหมาะสมกับเหตุการณ์สถานการณ์นํ้าปกติ สามารถลด

การขาดแคลนได้ดีกว่าโค้งควบคุมที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน กรณีสถานการณ์การไหลล้น พบว่า (RC1-FER) พบว่า ความถี่ของการไหลล้น การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย และช่วงเวลาการไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยมีค่าน้อยที่สุดคือ  $0.826 \pm 0.004$  ครั้ง/ปี  $1,014.020 \pm 0.011$  ล้าน ลบ.ม. และ  $4.125 \pm 0.001$  ปี ตามลำดับ รองลงมาคือ (RC1-AVER), (RC1-AVS), (RC1-FS) และ (RC0-OLD) ตามลำดับ สามารถอธิบายได้ว่า (RC1-FER) นั้นมีประสิทธิภาพประกอบดีกว่าโค้งควบคุมที่ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์อื่นๆ และโค้งควบคุมเดิมเหมาะสมกับเหตุการณ์สถานการณ์น้ำปกติ สามารถลดการไหลล้นได้ดีกว่าโค้งควบคุมที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

#### 4.2.2 กรณีน้ำท่ารายเดือนในอนาคต

##### 1. ผลประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำน้ำอูน กรณีน้ำท่ารายเดือนในอนาคต 19 ปี

การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) โดยใช้ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำน้ำอูนในอนาคตระหว่าง 19 ปี (พ.ศ. 2561-2579) เพื่อประเมินสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ การไหลล้น ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แสดงถึงสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ และไหลล้นของอ่างเก็บน้ำน้ำอูนเมื่อใช้โค้งควบคุมที่พัฒนาด้วยวิธีหิ้งห้อย (FA) ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหา 4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด (RC2-AVS), ค่าความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด (RC2-FS), ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นนํ้าน้อยที่สุด (RC2-AVER), ค่าความถี่ของการไหลล้นนํ้าน้อยที่สุด (RC2-FER) เปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิม (RC0-OLD) ดังแสดงในตาราง 4.5

ตาราง 4.5 การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) โดยใช้ข้อมูลน้ำที่เข้าสู่อ่างเก็บน้ำน้ำอูน 19 ปี (พ.ศ.2561 – 2579)

สถานการณ์	โค้งควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
ขาดแคลน	RC0-OLD	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	RC2-AVS	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	RC2-FS	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	RC2-AVER	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	RC2-FER	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
น้ำไหลส่วนเกิน	RC0-OLD	1.000	890.936	1,316.493	19.000	19.000
	RC2-AVS	1.000	886.941	1,342.773	19.000	19.000

ตาราง 4.5 การประเมินประสิทธิภาพโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) โดยใช้ข้อมูลน้ำที่เข้าสู่อ่างเก็บน้ำน้ำอูน 19 ปี (พ.ศ.2561 – 2579) (ต่อ)

สถานการณ์	โค้งควบคุม	ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
			เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด
น้ำไหลส่วนเกิน	RC2-FS	1.000	888.664	1,342.851	19.000	19.000
	RC2-AVER	1.000	884.872	1,342.870	19.000	19.000
	RC2-FER	1.000	882.664	1,342.851	19.000	19.000

จากตาราง 4.5 การประเมินประสิทธิภาพโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) โดยใช้ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำน้ำอูนในอนาคตรหว่าง 19 ปี (พ.ศ. 2561-2579) เพื่อประเมินสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ การไหลล้น ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แสดงถึงสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ และไหลล้นของอ่างเก็บน้ำน้ำอูนเมื่อใช้โค้งควบคุมที่พัฒนาด้วยวิธีหึ่งห้อย (FA) ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหา 4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด (RC2-AVS), ค่าความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด (RC2-FS), ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นนํ้าน้อยที่สุด (RC2-AVER), ค่าความถี่ของการไหลล้นนํ้าน้อยที่สุด (RC2-FER) เปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิม (RC0-OLD) เพื่อประเมินสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ การไหลล้น พบว่าโค้งควบคุมจากแบบจำลองการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีหึ่งห้อย (FA) ทั้ง 4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิมกรณีสถานการณ์ขาดแคลนน้ำพบว่า โค้งควบคุมที่ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์อื่นๆ และโค้งควบคุมเดิม ไม่มีความถี่ของปริมาณน้ำที่ขาดแคลน ปริมาณน้ำที่ขาดแคลนเฉลี่ย และช่วงเวลาการขาดแคลนเฉลี่ยน้ำน้อยที่สุด ส่วนกรณีสถานการณ์การไหลล้น พบว่า (RC2-FER) มีค่าความถี่ของการไหลล้น การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย และช่วงเวลาการไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยมีค่าน้อยที่สุดคือ 1.000 ครั้ง/ปี 882.664 ล้าน ลบ.ม. และ 19.000 ปี ตามลำดับ รองลงมาคือ (RC2-AVER), (RC2-AVS), (RC2-FS) และ (RC0-OLD) ตามลำดับ สามารถอธิบายได้ว่า (RC2-FER) นั้นมีประสิทธิภาพประอบดีกว่าโค้งควบคุมที่ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์อื่นๆ และโค้งควบคุมเดิมเหมาะสมกับเหตุการณ์สถานการณ์น้ำปกติสามารถลดการไหลล้นได้ดีกว่าโค้งควบคุมที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

บทนี้เป็นการสรุปถึงวิธีการศึกษาการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดพัฒนาด้วยวิธีหึ่งห้อย (FA) เพื่อสร้างโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำน้ำอูน อำเภอพังโคน จังหวัดสกลนคร และอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ อ.อุบลรัตน์ จ.ขอนแก่น สามารถสรุปได้ดังนี้

วิธีการหาเหมาะสมที่สุดแบบด้วยวิธีหึ่งห้อย (FA) เป็นอีกหนึ่งเทคนิคหนึ่งในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมโดยประมาณ ซึ่งวิธีการ FA ใช้หลักการทฤษฎีจำลองกระบวนการวิวัฒนาการทางธรรมชาติ โดยใช้แนวคิดจากการปล่อยแสงของหึ่งห้อยโดยใช้แสงเพื่อหาคู่หรือล่อเหยื่อ ในการหาหึ่งห้อยจะเมื่อยจะได้รับแรงดึงดูดจากแสงสว่างและจิงหะการกระพริบที่หึ่งห้อยตัวผู้เปล่งแสงออกมา หึ่งห้อยต่างชนิดกันจะมีแสงสว่างและจิงหะการกระพริบที่ต่างกัน และก็มีหึ่งห้อยบางชนิดที่เลียนแบบการเปล่งแสงและจิงหะการกระพริบของหึ่งห้อยชนิดอื่น เพื่อล่อมาเป็นอาหาร Xin-She Yang ได้ประยุกต์พฤติกรรมเหล่านี้ของหึ่งห้อยมาเป็นวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสม สามารถประยุกต์ใช้ค้นหาโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำรายเดือนได้ โดยได้แสดงตัวอย่างประยุกต์หาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอ่างเก็บน้ำน้ำอูน และอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ ตามฟังก์ชั้วัตถุประสงค์ของการค้นหา 4 ฟังก์ชั้วัตถุประสงค์ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด (AVS), ค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด (FS), ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด (AVER), ค่าความถี่ของการไหลล้นน้ำน้อยที่สุด (FER) เปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิม (RCO-OLD) ร่วมกับข้อมูลอดีตและข้อมูลอนาคต (เฉพาะอ่างเก็บน้ำน้ำอูน) พบว่าโค้งควบคุมใหม่มีประสิทธิภาพในการจัดสรรทรัพยากรน้ำตามวัตถุประสงค์หลักคือป้องกันการขาดแคลนของน้ำได้ดีกว่าโค้งควบคุมเดิมซึ่งจะหมายถึงอ่างเก็บน้ำสามารถเก็บน้ำฝนได้เพิ่มมากขึ้นกว่าโค้งเดิม ทำให้สามารถกักเก็บน้ำไว้ในฤดูแล้ง หรือขยายพื้นที่ชลประทานให้เพิ่มขึ้นได้ในอนาคต ลดโอกาสการขาดแคลนของน้ำ พร้อมทั้งยังสามารถนำน้ำที่จะต้องปล่อยออกนั้นไปขยายพื้นที่ชลประทานให้เพิ่มขึ้นได้ในอนาคต ช่วงปลายฤดูฝนโค้งควบคุมใหม่จะสูงกว่าโค้งควบคุมเดิมทำให้สามารถเก็บกักน้ำที่ไหลมาในช่วงปลายฤดูฝนไว้ในช่วงฤดูแล้งได้ สำหรับทั้งสองสถานการณ์น้ำท่าอนาคต ซึ่งมีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสูงกว่าสถานการณ์ปัจจุบัน โค้งควบคุมบนมีเกณฑ์การรักษาระดับน้ำในช่วงฤดูฝนไว้สูงกว่าโค้งเดิม ทำให้สามารถเก็บน้ำที่ไหลเข้าอ่างไว้เพื่อรอการพร่องน้ำแต่จะมีประโยชน์อย่างมากในกรณีที่ฤดูฝนเริ่มต้นช้ากว่าฤดูกาล

ปกติ ซึ่งอาจเกิดจากผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกทำให้มีน้ำไว้ใช้ประโยชน์ ในช่วงต้นฤดูฝน และในช่วงกลางฤดูฝนจะพร่องน้ำให้ต่ำกว่าเกินควบคุมเดิมเพื่อรองรับน้ำใหม่ที่จะไหลเข้าอ่างในช่วงปลายฤดูฝนสามารถบรรเทาสถานการณ์ไหลล้นของน้ำส่วนเกิน ส่วนโค้งควบคุมเส้นล่างมีเกณฑ์กักเก็บน้ำสูงกว่าเกณฑ์เดิม ทำให้ลดการปล่อยน้ำออกจากอ่างเพื่อกักเก็บน้ำไว้ใช้ตามความต้องการทำอ่าง ซึ่งทำให้ลดสถานการณ์ขาดแคลนน้ำของอ่างเก็บน้ำได้ดียิ่งขึ้น

ผลการประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมจะเห็นได้ว่าโค้งควบคุมใหม่ที่สร้างจากข้อมูลปริมาณน้ำทำในอดีตและอนาคต (เฉพาะอ่างเก็บน้ำน้ำอูน) ด้วยเทคนิค FA เพื่อประเมินค่าความถี่ในการขาดแคลนน้ำเฉลี่ย ปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ย และช่วงเวลาที่เกิดการขาดแคลนน้ำเฉลี่ย โดยใช้ข้อมูลสถานการณ์น้ำทำในอดีต 25, 50 ปี และอนาคต 19 ปี รวมถึงการประเมินประสิทธิภาพด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำจากการสังเคราะห์ จำนวน 1,000 เหตุการณ์ ผลการประเมินพบว่าโค้งควบคุมใหม่ที่สร้างจากสถานการณ์ใด เมื่อนำมาทดสอบประสิทธิภาพจะดีที่สุดในสถานการณ์นั้นๆ และพบว่าเทคนิค FA สามารถค้นหาคำตอบของวัตถุประสงค์ที่ต้องการ สามารถลดความถี่ในการขาดแคลนน้ำเฉลี่ยต่อปี ลดค่าปริมาณขาดแคลนน้ำเฉลี่ย รวมถึงลดช่วงเวลาในการขาดแคลนน้ำส่วนเกินได้ดีกว่าโค้งควบคุมเดิมได้อีกด้วย เหตุนี้จึงสามารถสรุปได้ว่าโค้งควบคุมที่พัฒนาจากเทคนิค FA เชื่อมต่อการจำลองสถานการณ์อ่างเก็บน้ำ มีความเหมาะสม สามารถที่จะลดโอกาสในการเกิดเหตุการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำที่ไหลล้นได้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ผลจากการสร้างวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบด้วยวิธีหึ่งห้อย (FA) สำหรับโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) ของอ่างเก็บน้ำน้ำอูนและอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ ให้เกิดความขาดแคลนน้ำและการไหลล้นน้อยที่สุด พบว่าให้ผลตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งเอาไว้ ดังนั้นหากทำการเปลี่ยนวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัดต่างๆ ให้เหมาะสมกับสภาวะอื่นๆ ก็สามารถประยุกต์ใช้โค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) กับสภาวะอื่นๆ ได้ เช่น ป้องกันบรรเทาอุทกภัยในสภาวะน้ำมาก การเพิ่มพื้นที่ชลประทานมากที่สุด
2. การสร้างแบบจำลองวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีหึ่งห้อย (FA) สำหรับโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) ของอ่างเก็บน้ำน้ำอูนและอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ ได้พิจารณาการเป็นรายเดือน ดังนั้น การศึกษาในครั้งต่อไปควรจะมีการพิจารณาการดำเนินงานอ่างเก็บน้ำทั้งสองเป็นรายสัปดาห์ หรือรายวัน ตามแผนการความต้องการใช้น้ำของ แต่ละฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาของโครงการนั้นๆ



3. ควรใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยาที่สามารถทำนายปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ในอนาคต เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์ในการจัดทำ Rule Curve ที่เหมาะสมในอนาคต โดยพิจารณาวัตถุประสงค์ตามแนวโน้มความต้องการใช้น้ำที่อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน

4. โค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) ที่คำนวณได้ควรที่จะมีการปรับปรุง เป็นระยะ เพื่อให้มีความทันสมัยสอดคล้องกับสภาพน้ำต้นทุนสภาพ น้ำฝนน้ำท่า สภาพการใช้น้ำ ตลอดจนพื้นที่ผลกระทบของพื้นที่ท้ายน้ำ

5. ควรเพิ่มน้ำท่ารายสัปดาห์ รายวัน หรือน้ำท่ารายเดือนอนาคตอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์ในการจัดทำ Rule Curve ที่เหมาะสมในอนาคต



### บรรณานุกรม

- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (EGAT). (2545). คู่มือปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเขื่อนอุบลรัตน์. นนทบุรี: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (EGAT). (2547). คู่มือปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำภูมิพลและสิริกิติ์. นนทบุรี: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.
- สมฤทัย ทะสดวง และสุวัฒนา จิตตลดากร. (2547). การกำหนดระดับควบคุมที่เหมาะสมสำหรับอ่างเก็บน้ำด้วยเจเนติกแอลกอริทึม. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 9, 19-21 พฤษภาคม.
- วิชญ์กรณ์ ชัยภูมิ. (2553). การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมการจำลองการอบเหนียวเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ สิรินคร และ อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มหาสารคาม.
- รัตนา หอมวิเชียร. (2554). การพัฒนาโค้งควบคุมโดยใช้วิธีดิฟเฟอเรนเชียลเอฟโวลูชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิตมหาบัณฑิตมหาสารคาม มหาสารคาม.
- เชษฐพันธ์ โล่ห์คำ. (2555). เภณฑ์การจัดสรรน้ำที่เหมาะสมด้วยกระบวนการอาณานิคมลด กรณีศึกษาโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาลำปาว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิตมหาบัณฑิตมหาสารคาม มหาสารคาม.
- วิทวัส พาโคกทม. (2557). เภณฑ์การจัดสรรน้ำที่เหมาะสมด้วยเทคนิคคนกดูเหว้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิตมหาบัณฑิตมหาสารคาม มหาสารคาม.
- วิรัตน์ นวนนกุล. (2557). เภณฑ์การจัดสรรน้ำที่เหมาะสมด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิตมหาบัณฑิตมหาสารคาม มหาสารคาม.
- เกียรติพงศ์ สายเมือง. (2558). เภณฑ์การจัดสรรน้ำที่เหมาะสมด้วยวิธีเทคนิคการค้นหาแบบทาบู. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิตมหาบัณฑิตมหาสารคาม มหาสารคาม.
- ตระการ กาสีใส. (2558). เภณฑ์การจัดสรรน้ำที่เหมาะสมด้วยเทคนิควิธีการอาณาจักรผึ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิตมหาบัณฑิตมหาสารคาม มหาสารคาม.
- ภาสุระ อังกุลานนท์. (2557) การศึกษาเปรียบเทียบวิธีไฟฟูเลย์และวิธีกลุ่มอนุภาคสำหรับปัญหาการทดสอบสปริง. การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ ราชภัฏเพชรบุรีวิจัยเพื่อแผ่นดินไทยที่ยั่งยืน ครั้งที่ 5.
- เอกราช ประกอบกิจ (2558). การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมหึ่งห้อยในการออกแบบอย่างเหมาะสมสำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรุงเทพมหานคร.

- Afshar M.H. (2010). A parameter free Continuous Ant Colony Optimization Algorithm for the Optimal Design of Storm Sewer Networks: Constrained And Unconstrained Approach. *Advances in Engineering Software*, 41. 188–195.
- Bellman R. (1959). *Dynamic Programming*. New Jersey: Princeton University Press.
- Chaleeraktragoon C. & Kangrang A. (2005). A Dynamic Programming for Searching Rule Curves. *The proceeding of International Conference on World Water and Environmental Resource Congress*, 15-19 May, Anchorage, Alaska, USA.
- Chang J.F., Lai S.J. & Kao S.L. (2003). Optimization of Operation Rule Curves and Flushing Schedule in a Reservoir. *Hydrological Processes*, 17(8), pp. 1623-1640.
- Chang C.L. & Yang C.C. (2002). Optimizing the Rule Curve for Multi-Reservoir Operations Using a Genetic Algorithm and HEC-5. *Journal of Hydrosience and Hydraulic Engineering*, 20(1), 59-75.
- Chang J.F., Chen L. & Chang C.L. (2005). Optimizing Reservoir Operating Rule Curves by Genetic Algorithms. *Hydrological Processes*, 19, pp 2277–2289.
- Esogbue O.A. (1989). *Dynamic Programming for Optimal water Resources System Analysis*. New Jersey: Hall PTR Upper Saddle River.
- Holland, J. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Michigan: University of Michigan Press.
- Jain S.K., Goel, M.K. & Agarwal P.K. (1998). Reservoir Operation Study of Sabamati System, India. *Journal of Water Resource Planning and Management*, 124(1), 31-38.
- Kangrang A. & Chaleeraktragoon C. (2007) Genetic Algorithms Connected Simulation with Smoothing Function for Searching Rule Curves. *American Journal of Applied Sciences*, 4(2), 73–79.
- Kangrang A., Compliew S. & Hornwichian R. (2011). Optimal Reservoir Rule Curves Using Simulated Annealing. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Water Management*, 164(WM1), 27-34. *Industrial Engineering*. 3, 375-386.
- Neelakantan T.R. & Pundarikanthan N.V. (2000). Neural Network-Based Simulation Optimization Model for Reservoir Operation. *Journal of Water Resources*

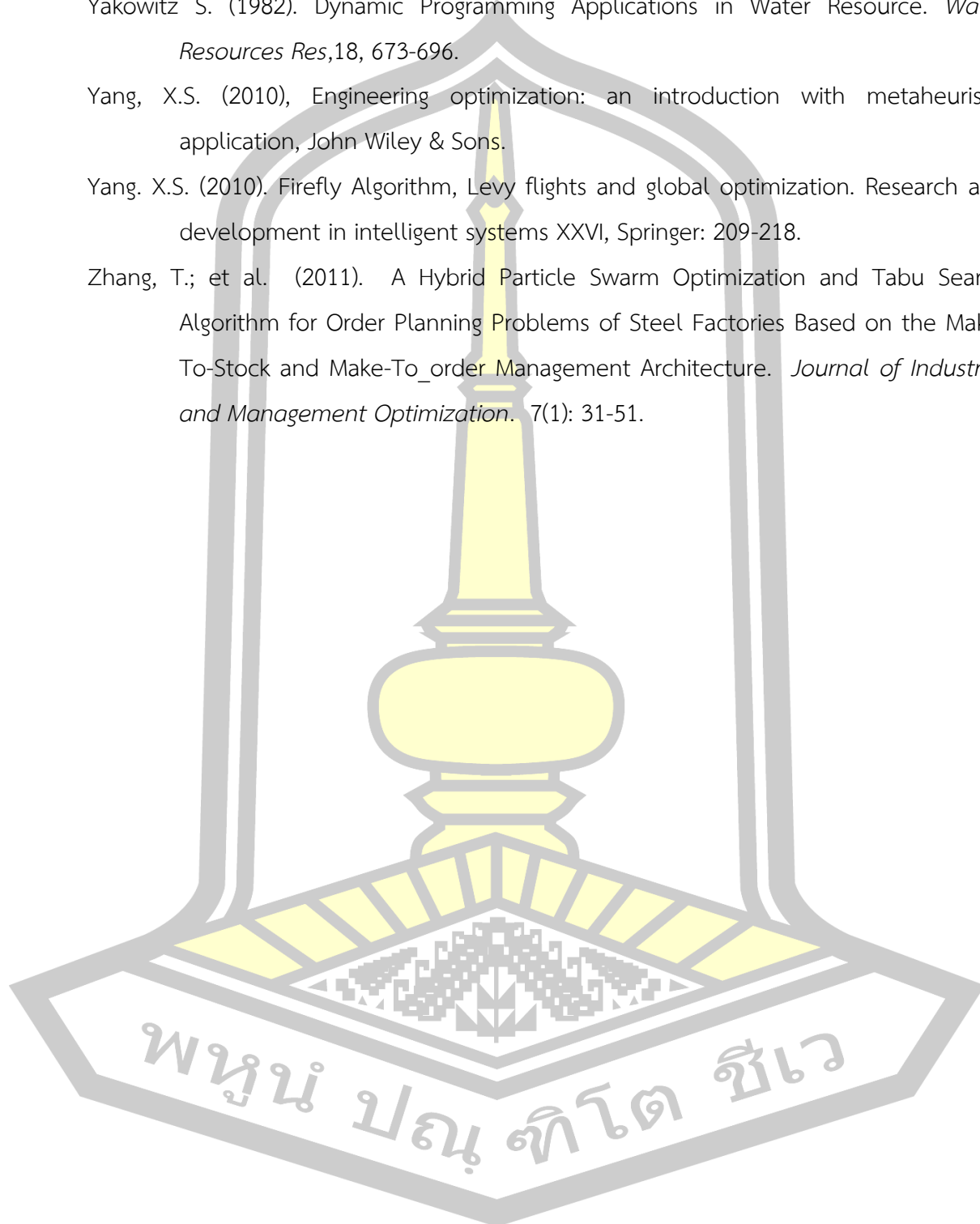
*Planning and Management*, 126(2), 57-64.

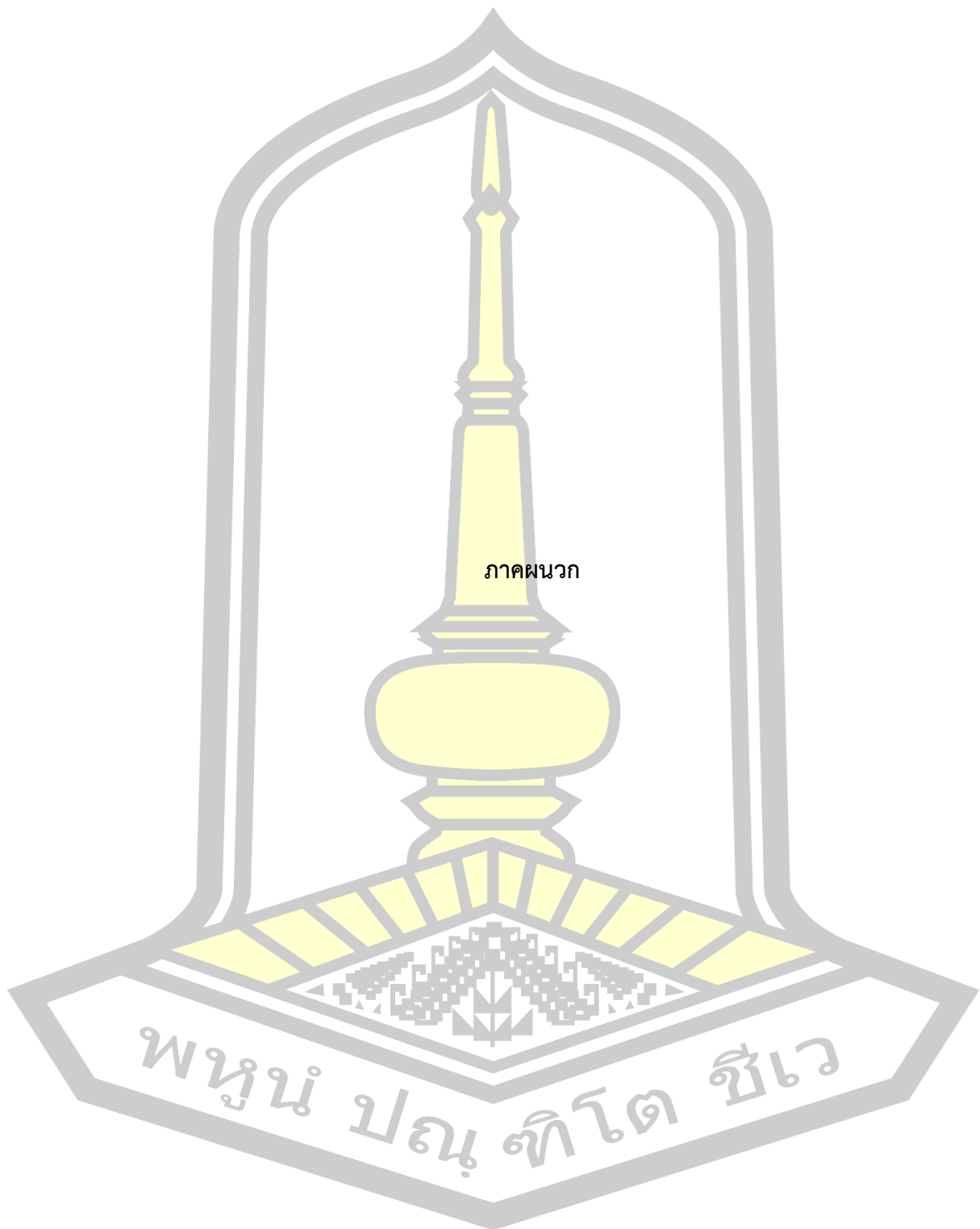
Yakowitz S. (1982). Dynamic Programming Applications in Water Resource. *Water Resources Res*,18, 673-696.

Yang, X.S. (2010), Engineering optimization: an introduction with metaheuristic application, John Wiley & Sons.

Yang. X.S. (2010). Firefly Algorithm, Levy flights and global optimization. *Research and development in intelligent systems XXVI*, Springer: 209-218.

Zhang, T.; et al. (2011). A Hybrid Particle Swarm Optimization and Tabu Search Algorithm for Order Planning Problems of Steel Factories Based on the Make-To-Stock and Make-To\_order Management Architecture. *Journal of Industrial and Management Optimization*. 7(1): 31-51.





ตาราง ข้อมูลปริมาณน้ำในอดีตที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์

ปี	ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)													รายปี
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.		
2513	0.00	62.07	0.00	3.14	157.89	252.54	166.97	207.31	1198.94	121.87	221.27	26.01	2418.01	
2514	17.68	26.40	18.79	4.76	11.55	72.91	58.70	10.73	511.59	517.33	21.69	0.00	1272.13	
2515	28.09	29.33	0.00	17.56	127.07	240.76	320.08	239.62	360.59	320.91	11.68	0.00	1695.69	
2516	2.53	8.04	10.29	4.79	4.85	48.92	173.92	75.68	932.41	381.53	149.47	20.81	1813.24	
2517	0.00	21.23	10.46	27.01	61.90	462.01	180.43	500.81	1080.82	347.02	260.32	6.27	2958.28	
2518	0.00	0.41	18.44	6.31	27.56	59.72	271.39	367.87	786.96	616.67	11.23	0.37	2166.93	
2519	2.21	0.00	2.700	38.35	0.56	7.68	69.06	31.85	125.92	588.67	47.79	41.64	956.43	
2520	13.11	27.00	25.93	12.59	56.09	162.47	216.88	121.93	805.05	462.10	0.00	0.00	1903.15	

ตาราง ข้อมูลปริมาณน้ำในเขตที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ (ต่อ)

ปี	ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)													รายปี
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.		
2521	15.17	7.86	26.42	24.99	4.25	25.72	31.16	213.58	291.09	378.02	130.69	44.16	1193.11	
2522	35.79	56.71	49.92	29.58	78.08	223.79	425.61	150.02	770.03	804.61	39.32	21.28	2684.74	
2523	21.16	4.03	44.80	16.68	135.55	62.71	69.59	135.94	938.60	918.83	551.26	30.94	2930.09	
2524	9.57	4.38	14.12	40.27	45.60	55.20	19.69	155.54	1336.04	118.56	40.88	28.51	1868.36	
2525	11.18	9.21	13.52	20.08	57.12	31.61	1013.15	1066.51	2263.64	1347.21	31.16	28.69	5893.08	
2526	8.61	10.44	19.07	25.34	119.23	1030.32	158.97	295.08	259.03	330.32	11.43	15.52	2283.36	
2527	9.44	45.68	3.41	8.43	229.38	1580.15	416.42	331.91	2070.21	1004.58	70.22	5.40	5775.23	
2528	10.46	13.55	17.56	13.84	45.88	43.06	187.63	160.75	71.18	142.85	86.42	14.56	807.74	

ตาราง ข้อมูลปริมาณน้ำในเขตที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ (ต่อ)

ปี	ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)													รายปี
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.		
2529	32.47	20.27	16.18	25.17	37.42	62.23	27.43	18.85	594.51	937.53	147.64	27.27	1946.97	
2530	28.49	16.90	22.29	18.30	34.78	217.40	286.49	837.96	858.29	573.59	179.81	43.68	3117.98	
2531	17.99	23.46	12.22	41.92	28.58	132.77	99.97	159.28	277.65	838.83	47.40	32.77	1712.84	
2532	17.97	8.71	10.88	25.91	70.60	73.54	81.27	70.59	216.07	358.09	147.04	55.34	1136.01	
2533	13.28	20.09	39.43	48.16	195.21	187.22	77.27	124.69	314.47	58.06	77.37	26.31	1181.56	
2534	29.91	29.80	19.78	37.66	34.88	111.21	32.50	273.81	781.72	728.15	112.43	37.27	2229.12	
2535	29.96	15.42	17.20	33.91	97.61	195.79	250.19	190.19	325.63	1524.57	254.78	47.90	2983.15	
2536	19.21	33.99	33.63	20.88	56.39	113.70	182.91	130.79	462.21	831.52	97.63	26.42	2009.28	



ตาราง ข้อมูลปริมาณน้ำในอดีที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ (ต่อ)

ปี	ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)													รายปี
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม	
2537	21.82	17.75	24.36	21.75	153.62	295.57	152.57	147.04	515.62	1740.88	258.75	35.90	3385.63	
2538	59.73	27.76	20.28	29.43	45.63	71.75	47.83	557.45	1254.61	834.48	51.96	46.77	3047.68	
2539	17.84	26.59	18.18	19.73	42.13	105.91	126.63	398.94	355.61	326.34	48.65	30.15	1516.70	
2540	16.50	17.03	19.71	29.71	43.03	40.17	46.76	25.54	222.41	68.82	12.34	15.30	557.32	
2541	15.35	11.86	7.56	15.24	63.85	54.30	83.88	36.97	722.73	254.25	27.20	37.50	1330.69	
2542	30.28	25.54	61.60	30.86	52.60	61.46	194.58	674.17	982.22	369.45	56.18	26.50	2565.44	
2543	38.07	34.30	65.91	61.83	97.71	93.10	89.32	80.94	1013.93	754.74	544.01	43.97	2917.83	
2544	20.15	25.73	19.14	67.38	51.21	54.87	61.21	68.80	139.22	278.00	45.89	21.47	853.07	

ตาราง ข้อมูลปริมาณน้ำในอดีที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ (ต่อ)

ปี	ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)													รายปี
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.		
2545	16.90	16.29	22.70	29.81	30.91	39.03	118.74	336.14	312.88	168.47	43.95	20.19	1156.01	
2546	35.25	29.52	24.33	56.25	268.86	354.74	198.80	164.45	720.53	596.98	478.17	36.00	2963.88	
2547	33.34	19.82	63.00	206.60	1012.38	668.31	581.43	351.46	992.39	296.71	146.70	28.80	4400.94	
2548	28.07	33.61	61.72	33.00	146.00	206.29	108.92	1234.58	1124.35	999.87	443.27	34.89	4454.57	
2549	31.13	42.46	73.54	36.81	112.42	132.35	57.52	87.79	3020.00	593.57	406.65	48.41	4642.65	
2550	35.05	33.28	31.45	35.54	45.12	100.07	178.14	325.23	1403.00	199.73	34.72	21.97	2443.30	
2551	41.91	23.63	29.36	69.15	46.19	273.66	404.82	810.59	568.81	46.55	22.78	26.48	2363.93	
2552	24.55	39.11	34.41	49.85	57.99	75.63	134.55	67.30	501.52	111.60	109.06	27.49	1233.06	

ตาราง ข้อมูลปริมาณน้ำในอดีตที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ (ต่อ)

ปี	ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)													รายปี
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ธ.ค.	
2553	32.42	49.95	20.91	58.70	125.72	81.93	61.60	94.78	523.74	1349.95	69.74	31.77	2501.21	
2554	37.26	33.67	55.33	31.31	86.22	40.00	47.61	355.78	689.29	1372.73	110.07	39.91	2899.18	
2555	27.80	22.11	59.55	89.36	236.72	238.02	188.94	229.90	1635.16	846.59	731.75	58.66	4364.56	
2556	34.40	14.33	21.17	41.86	177.93	147.17	152.21	78.26	391.34	712.50	81.70	28.45	1881.32	
2557	27.86	25.66	29.90	21.07	29.14	46.45	121.32	1084.00	1217.00	1641.22	269.62	71.25	4584.49	
2558	54.82	17.06	27.87	29.12	186.33	253.13	237.11	642.51	2432.97	1413.44	103.99	40.51	5438.86	
2559	15.76	4.75	15.04	30.49	85.42	155.20	55.25	54.44	536.92	163.17	21.80	16.02	1154.26	
2560	30.65	23.23	17.22	19.28	42.97	60.89	249.59	236.03	991.03	821.17	85.26	53.58	2630.90	

ตารางความต้องการในการใช้ในเขตโครงการสงฆ์และบำรุงรักษาอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ (ล้าน ลบ.ม.)

ชนิดการใช้น้ำ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
อุปโภค-บริโภค (Wsr)	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
อุตสาหกรรม (lrd)	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
ชลประทาน (lrr)	114.32	103.26	143.72	94.83	16.22	31.62	114.32	130.66	116.95	130.66	0.00	16.33
รักษาสมดุล (Env)	129.00	134.00	123.00	161.00	152.00	99.00	106.00	110.00	96.00	119.00	109.00	126.00

ตาราง ข้อมูลปริมาณน้ำในอดีตที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำน่าน

ปี	ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)													รายปี
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.		
2536	13.40	8.56	8.25	4.30	9.65	33.99	43.20	140.06	89.37	5.97	3.75	9.14	369.64	
2537	4.01	3.90	5.45	5.45	57.21	32.53	71.78	56.12	78.21	6.25	27.03	0.99	348.93	
2538	2.20	6.46	3.43	4.33	11.38	47.30	45.04	115.80	159.31	27.77	10.92	5.06	439.00	
2539	1.75	6.50	5.31	6.14	12.47	39.68	56.80	106.64	99.27	32.89	2.06	0.74	370.25	
2540	4.18	6.82	2.25	1.01	22.39	22.37	47.69	64.41	177.55	34.74	13.25	11.13	407.79	
2541	2.59	6.65	24.47	22.18	6.17	18.87	89.45	148.45	76.91	37.83	1.87	0.58	436.02	
2542	5.38	6.20	14.32	8.44	8.18	22.31	46.73	32.61	82.94	10.18	3.00	0.45	240.74	
2543	1.71	1.35	2.78	14.38	28.44	53.71	42.18	70.22	124.52	26.58	8.01	6.96	380.84	

ตาราง ข้อมูลปริมาณน้ำในอดีตที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำผานอง (ต่อ)

ปี	ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)													รายปี
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.		
2544	0.74	5.22	4.61	16.10	94.12	72.59	169.87	107.25	116.65	15.76	3.99	0.20	607.10	
2545	3.16	2.42	10.33	15.19	19.41	20.96	44.83	240.15	113.06	23.56	6.54	4.55	504.16	
2546	2.76	8.26	5.32	10.19	22.03	84.69	109.83	202.86	118.36	31.84	13.88	3.73	613.75	
2547	11.43	3.90	26.03	3.33	16.73	19.65	15.46	34.91	151.70	11.59	4.47	2.84	302.04	
2548	1.86	2.25	1.38	1.88	13.11	39.19	108.88	77.66	179.90	10.91	2.56	5.44	445.02	
2549	7.10	10.16	2.35	14.29	25.29	61.66	165.98	106.39	208.47	54.89	8.25	9.08	673.91	
2550	5.27	2.13	7.56	8.59	20.22	8.86	47.69	92.25	61.27	121.48	11.24	5.71	392.27	
2551	1.88	8.09	13.96	13.73	7.46	9.79	9.25	106.03	180.13	120.70	9.15	12.40	492.57	

ตาราง ข้อมูลปริมาณน้ำในอดีตที่ทะเลข้างกับน้ำจืด (ต่อ)

ปี	ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)													รายปี
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.		
2552	6.29	1.32	0.44	7.94	21.17	36.63	86.21	78.14	142.28	47.88	22.31	7.33	457.94	
2553	4.28	10.11	7.84	8.76	21.20	21.18	36.59	55.51	83.04	21.58	4.86	16.31	291.26	
2554	3.14	3.30	2.98	3.53	2.64	14.08	4.30	2.56	104.03	21.51	1.93	8.39	172.39	
2555	9.30	6.27	5.38	6.90	24.22	24.77	62.79	199.56	165.04	177.72	5.13	26.80	713.88	
2556	21.70	17.98	17.79	8.70	10.40	33.96	29.72	51.17	65.43	7.89	2.83	6.67	274.24	
2557	2.68	1.51	1.52	7.94	33.82	44.93	115.04	83.43	66.27	26.94	10.44	5.30	399.82	
2558	7.93	5.99	5.91	6.36	2.67	12.07	155.57	85.61	64.18	11.82	3.93	8.57	370.61	
2559	7.53	4.88	1.61	1.89	2.57	1.30	38.42	56.48	23.87	32.61	5.39	3.76	180.31	

ตาราง ข้อมูลปริมาณน้ำในอดีตที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำน่าน (ต่อ)

ปี	ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)											รายปี	
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.		ธ.ค.
2560	5.37	4.80	2.20	5.98	10.13	18.26	14.52	60.57	66.27	21.51	5.13	8.39	223.13



ตารางความต้องการในการใช้ในเขตโครงการสงฆ์และบำรุงรักษาอ่างเก็บน้ำอูน (ล้าน ลบ.ม.)

ชนิดการใช้น้ำ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
อุปโภค-บริโภค (Ws)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
อุตสาหกรรม (Idd)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ชลประทาน (Irr)	30.91	28.76	31.77	12.79	0.20	9.25	29.44	30.10	29.76	46.47	4.27	26.20
รักษาสมดุล (Env)	155.63	146.15	164.68	165.10	150.90	130.65	132.46	122.43	129.68	151.19	149.04	153.38

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นาย อนุรักษ์ ศรีกมล
วันเกิด	วันที่ 11 เมษายน พ.ศ. 2526
สถานที่เกิด	อำเภอเมืองร้อยเอ็ด จังหวัดร้อยเอ็ด
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 10 ถนนคุ้มศรีสุวรรณ ตำบลในเมือง อำเภอเมืองร้อยเอ็ด จังหวัดร้อยเอ็ด รหัสไปรษณีย์ 45000
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	วิศวกรชลประทานปฏิบัติการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเสียวใหญ่ ตำบลบรบือ อำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม รหัสไปรษณีย์ 44130
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2550 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมโยธา และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ แขวง วงศ์สว่าง เขตบางซื่อ จังหวัดกรุงเทพมหานคร พ.ศ.2562 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิศวกรรม โยธา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พูน ปณ ทัโต ชีเว