

เกณฑ์การจัดสรรน้ำที่เหมาะสม โดยวิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิค วิธีอาณাজกรผึ้ง

Optimal Water Allocation Criteria using Artificial Bee Colony

ตระการ กาสีใส^{*} และอนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง²

Received: May, 2016; Accepted: August, 2016

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีความมุ่งหมายเพื่อประยุกต์ใช้วิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิควิธีการอาณাজกรผึ้ง ร่วมกับแบบจำลองการเลียนแบบเพื่อปรับปรุงโครงสร้างของอ่างเก็บน้ำ โดยใช้ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลน น้ำน้อยที่สุด ความถี่ของการขาดแคลนน้อยที่สุด และปริมาณการขาดแคลนสูงสุดที่น้อยที่สุด เป็นฟังก์ชัน วัตถุประสงค์ในกระบวนการค้นหาคำตอบ นอกจากนี้ยังได้สังเคราะห์ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ จำนวน 100 ชุด เพื่อใช้ประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้างที่ได้จากแบบจำลอง ซึ่งจะแสดงผลเป็นสถานการณ์ น้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้น ในรูปแบบความถี่ ช่วงเวลาของเหตุการณ์ ปริมาณน้ำเฉลี่ย และปริมาณน้ำสูงสุด การศึกษานี้พิจารณาข้อมูลโครงสร้างรายเดือนของอ่างเก็บน้ำลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ เป็นกรณีศึกษา ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำตั้งแต่ปี พ.ศ. 2511 - 2557 ความต้องการน้ำจากอ่างเก็บน้ำ และข้อมูลกายภาพของอ่างเก็บน้ำ

ผลการศึกษาพบว่าเมื่อใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้ง 3 รูปแบบข้างต้นนั้น จะได้โครงสร้างใหม่ที่มีรูปร่าง คล้ายคลึงกับโครงสร้างเดิม เมื่อนำโครงใหม่ที่หาโดยใช้ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้อยที่สุดเป็นฟังก์ชัน วัตถุประสงค์ในกระบวนการค้นหาคำตอบมาทดสอบและเปรียบเทียบกับโครงสร้างเดิมที่ใช้อยู่พบว่า สามารถ บรรเทาสภาวะน้ำท่วมและน้ำขาดแคลนได้ดีกว่าโครงสร้างที่เกิดจากการใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์อื่นและยังดีกว่า โครงสร้างเดิมด้วย จากนั้นเมื่อนำมาทดสอบและเปรียบเทียบกับโครงสร้างเดิมเพิ่มเติมอีก โดยการเพิ่ม การใช้น้ำชลประทาน 20% และเพิ่มปริมาณฝนใช้การ 20% และใช้ข้อมูลการไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำที่สังเคราะห์ ในอดีตจำนวน 47 ปี 100 ชุดข้อมูล พบว่าก็ยังดีกว่าโครงสร้างเดิมอีกด้วย

คำสำคัญ : โครงสร้างของอ่างเก็บน้ำ; การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด; ด้วยเทคนิควิธีการอาณাজกรผึ้ง; การบริหารจัดการ อ่างเก็บน้ำ

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

^{*} Corresponding Author E - mail Address: civil.emud@gmail.com

Abstract

This research aims to apply the Artificial Bee Colony technique connected with a simulation model in order to improve rule curve of the reservoir. The minimal average water shortage, minimal frequency of water shortages and minimal amount of water shortage were used to be the objective functions for searching procedure. In addition, 100 samples of generated inflow data were used to evaluate the performance of the new obtained rule curves. The results were presented situation of water shortage and excess release in term of frequency and duration, amount of average and maximum. Monthly rule curves of Lampao reservoir located in Kalasin province were considered in this study. The inflow record from 1968 to 2014, net water demand from the reservoir, hydrologic data and physical data of the Lampao reservoir were used in the study.

The results found that the proposed model with three objective functions provided the new rule curves. The patterns of these rule curves are similar due to seasonal inflow effect and the same conditions. These obtained rule curves were used to evaluate and compare with the existing rule curves. The results present that the rule curves of using average water shortage as an objective function in searching process were suitable than the other rule curves including the existing rule curves. Then, the obtained rule curves of the proposed model using average water shortage as an objective function were used to evaluate with synthetic inflow 100 samples. There were 3 conditions including normal condition, increasing 20% of water demand and increasing 20% effective rain fall. The results also found that the new rule curves of using average water shortage as an objective function can alleviate situations of water shortage and flood more than the other rule curves as well as existing rule curves.

Keywords: Reservoir Management; Reservoir Rule Curves; Optimization Techniques; Artificial Bee Colony; Reservoir Management

บทนำ

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญและเป็นปัจจัยหลักสำหรับการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิต ประเทศไทยถือว่ามีความอุดมสมบูรณ์ด้านเกษตรมากที่สุดแห่งหนึ่งของโลก เนื่องจากที่ตั้งของประเทศไทยอยู่ในเขตลมมรสุมที่พัดพาฝนเข้าตกในพื้นที่ ในสภาวะการณ์ปัจจุบันประเทศไทยเริ่มมีปัญหาด้านทรัพยากรน้ำที่ทวีความรุนแรงเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มของประชากร การเพิ่มพื้นที่การเกษตรกรรม ตลอดจนความต้องการใช้น้ำของภาคส่วนอุตสาหกรรม ดังนั้น จึงเป็นทรัพยากรธรรมชาติ ที่ต้องมีการบริหารจัดการทั้งปริมาณและคุณภาพอย่างเป็นรูปธรรม ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว โดยทั้งหน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน

ผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ควรมีกลไกสำคัญได้แก่ การมีส่วนร่วมของทุกฝ่ายในการทำงานแบบร่วมด้วยช่วยกันคิด ช่วยกันหารูปแบบและวิธีดำเนินการแก้ปัญหาต่าง ๆ แบบบูรณาการ จึงจะบังเกิดผลสัมฤทธิ์อย่างยั่งยืน โดยไม่เกิดความขัดแย้งในสังคม

ในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำนั้นใช้เครื่องมือพื้นฐานที่สำคัญและจำเป็นในการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำคือ โค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) อย่างไรก็ตามเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงและผันแปรของข้อมูลด้านเข้าที่ใช้ในการจัดการอยู่ ตลอดอีกทั้งไม่มีความแน่นอนตายตัว ซึ่งจะเป็นปัญหาแบบพลวัต ดังนั้นหากได้ใช้กฎการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบพลวัต ในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำจะทำให้มีความสอดคล้องและมีประสิทธิภาพในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำเพิ่มมากขึ้นได้

โค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำจะประกอบด้วย เส้นกราฟสองเส้นคือ เส้นบน (Upper Rule Curve) และเส้นล่าง (Lower Rule Curve) โค้งทั้งสองเส้นนั้นเป็นขอบเขตบนและล่างของช่วงการควบคุมระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ โดยจะพยายามควบคุมระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำให้อยู่ในช่วงของขอบเขตบนและล่างมากที่สุด [1] ส่วนใหญ่โค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำจะเป็นโค้งรายเดือน

การศึกษาเริ่มแรก ใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trial and Error) ร่วมกับการศึกษาเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Simulation) ในการกำหนดระดับของโค้งควบคุม [2] - [3] ต่อมาเริ่มใช้เทคนิคการหาค่าเหมาะสมสูงสุด (Optimization Techniques) ร่วมกับการศึกษาเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำเข้าช่วยในการค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสม เช่น เทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm, GA) [4] วิธีดิฟเฟอเรนเชียลเอฟโวลูชัน (Differential Evolution Algorithm, DE) [5] กระบวนการอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization, ACO) [6] และเทคนิคนกคูหา (Cuckoo Search Algorithms, CS) [7] - [8] เพื่อค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามยังมีเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด เทคนิคอื่นที่น่าสนใจอีกคือ เทคนิควิธีการอาณานิคมผึ้ง (Artificial Bee Colony) เป็นขบวนการในการหาค่าที่เหมาะสมโดยเลียนแบบจากพฤติกรรมในการหาอาหารของผึ้ง ผึ้งจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนจำนวนเท่า ๆ กัน คือ ผึ้งมีงานทำ (Employed Bees) และผึ้งเฝ้าดู (Onlooker Bees) โดยผึ้งมีงานทำจะออกหาอาหารแล้วกลับมาให้ข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งอาหารที่พบให้กับผึ้งเฝ้าดูที่รออยู่ในรัง ผึ้งเฝ้าดูจะเลือกผึ้งมีงานทำเพื่อตามออกไปเก็บอาหารขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ได้รับจากผึ้งมีงานทำ ถ้าอาหารแหล่งใดถูกเก็บจนหมด ผึ้งมีงานทำที่เป็นเจ้าของแหล่งอาหารนั้น จะกลายเป็นผึ้งสำรวจ (Scout Bees) เพื่อสำรวจหาแหล่งอาหารใหม่ ซึ่งเป็นกระบวนการหาค่าตอบประเภทที่อยู่ในกลุ่ม ไปประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหา เพื่อการค้นหาคำตอบที่รวดเร็ว การหาค่าหรือวิธีการที่เหมาะสมที่สุด จากค่าหรือวิธีการที่เป็นไปได้ทั้งหมดเพื่อให้ได้คำตอบที่ต้องการ เช่น ค่าน้อยที่สุดหรือมากที่สุดของปัญหาที่ต้องการแก้ปัญหา การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการประยุกต์ใช้ เทคนิควิธีการอาณานิคมผึ้ง ร่วมกับการศึกษาเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำ เพื่อหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมแบบพลวัต โดยใช้พื้นที่ศึกษาคืออ่างเก็บน้ำลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. สร้างแบบจำลองการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) โดยใช้เทคนิคอาณานิคมผึ้ง

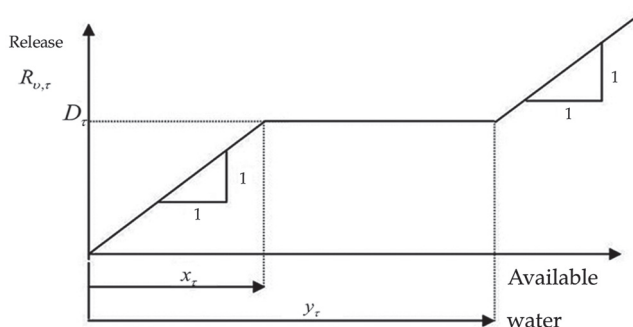
2. ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในการหาค่าโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) ของอ่างเก็บน้ำ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. แบบจำลองการเลียนแบบสภาพสมมูลน้ำ

การศึกษาเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำในแต่ละลุ่มน้ำนิยมใช้แบบจำลอง HEC-3, HEC-5 และ HEC-RAS [9] โดยใช้หลักการสมมูลน้ำ ในการศึกษาครั้งนี้ได้สร้างแบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำขึ้น โดยใช้หลักการเดียวกันกับแบบจำลองข้างต้น เพื่อให้สะดวกต่อการเชื่อมต่อกันด้วยเทคนิควิธีการอาณจักรผังและการพัฒนาในอนาคต ซึ่งแบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้สามารถใช้หาได้ทั้งสถานการณ์ขาดแคลนน้ำ และสถานการณ์ที่เกิดน้ำไหลล้นได้ (ความถี่ ขนาด ช่วงเวลา)

ในการเริ่มต้นคำนวณ การเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำ จะกำหนดให้ปริมาณน้ำเก็บกักเริ่มต้นของอ่างที่ระดับเต็มอ่างหรือปริมาณเก็บกักสูงสุด (Full Capacity) ส่วนปริมาณน้ำระบายจากอ่างเก็บน้ำในแต่ละเดือน จะหาได้ตามเกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน (Standard Operating Rule) ดังแสดงในรูปที่ 1 และสมการที่ (1)



รูปที่ 1 เกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน

$$R_{v,\tau} = \begin{cases} D_\tau + W_{v,\tau} - y_\tau, & \text{for } W_{v,\tau} \geq y_\tau + D_\tau \\ D_\tau, & \text{for } x_\tau \leq W_{v,\tau} < y_\tau + D_\tau \\ D_\tau + W_{v,\tau} - x_\tau, & \text{for } x_\tau - D_\tau \leq W_{v,\tau} < x_\tau \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

เมื่อ $R_{v,\tau}$ คือปริมาณน้ำที่ระบายออกจากอ่างเก็บน้ำ (หน่วย ล้าน ลบ.ม.) ในช่วงปี v ของเดือน τ ($\tau = 1$ ถึง 12 แทนเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม) D_τ เป็นความต้องการใช้น้ำท้ายอ่างของเดือน τ (หน่วย ล้าน ลบ.ม.), x_τ เป็นขอบเขตล่างของโค้งควบคุมของเดือน τ , y_τ เป็นขอบเขตบนของโค้งควบคุมของเดือน τ และ $W_{v,\tau}$ เป็นปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ของอ่างในเดือน τ (หน่วย ล้าน ลบ.ม.) จากนั้นคำนวณหาน้ำต้นทุนที่มีอยู่ของอ่างเก็บน้ำในเดือนถัดไป โดยใช้หลักสมการสมมูลน้ำต่อไปนี้

$$W_{v,\tau+1} = S_{v,\tau} + Q_{v,\tau} - R_{v,\tau} - E_\tau - DS \quad (2)$$

เมื่อ $S_{v,\tau}$ เป็นปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเมื่อสิ้นสุดเดือน τ (หน่วย ล้าน ลบ.ม.), $Q_{v,\tau}$ เป็นปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่างในเดือน τ ปี v (หน่วย ล้าน ลบ.ม.), E_τ เป็นค่าการระเหยรายเดือนเฉลี่ยเดือน τ (หน่วย ล้าน ลบ.ม.) และ DS (Dead Storage) เป็นปริมาตรเก็บกักที่ไม่ได้ใช้การ (หน่วย ล้าน ลบ.ม.) เมื่อทำการจำลองสภาพสมดุลน้ำ โดยใช้แบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำ ที่สร้างขึ้นจนครบจำนวนปีที่มีข้อมูลแล้ว ก็จะได้ผลการจำลองเป็นสถานการณ์ขาดแคลนน้ำ และสถานการณ์ที่เกินน้ำส่วนเกิน (ความถี่ ขนาด ช่วงเวลา) จากนั้นก็ทำการบันทึกข้อมูลดังกล่าวไว้ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกลำนำไปใช้ในกระบวนการหาค่าเหมาะสมสูงสุดต่อไป

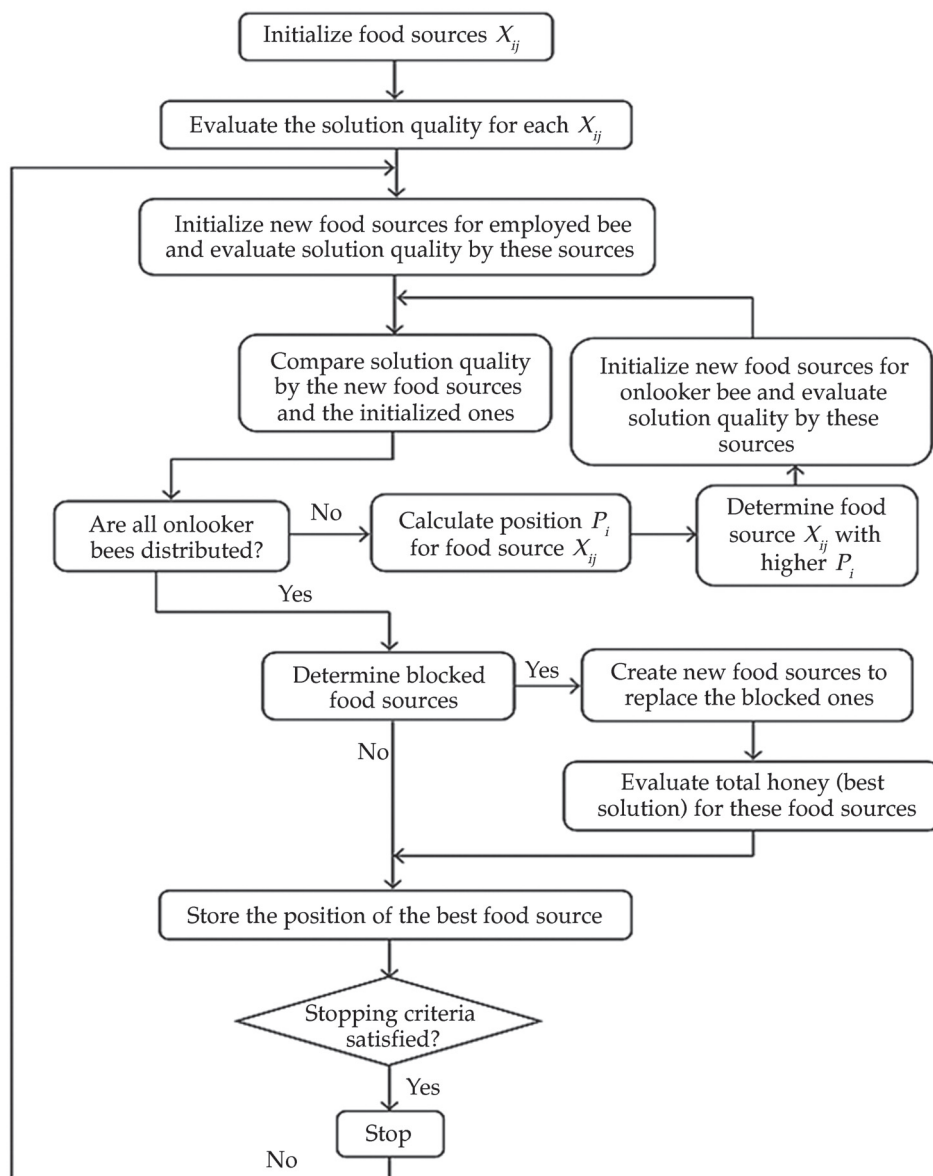
2. การประยุกต์วิธีการหาค่าที่เหมาะสมด้วยเทคนิควิธีการอาณาจักรพื้กับแบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำ

การคำนวณค่าโค้งควบคุม จากแบบจำลองด้วยเทคนิควิธีการอาณาจักรพื้ โดยกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการทำงาน จำนวนรอบของการทำงาน สร้างเริ่มต้น โดยการสร้างเซตของคำตอบ เริ่มต้นจากวิธีการคำนวณระยะทางที่ลัดได้มากที่สุดตามค่าเริ่มต้น ที่กำหนดโดยเส้นทางที่สร้างขึ้นจาก Saving Methods ซึ่งคือการเลือกค่าโค้งควบคุมแต่ละเดือนทั้ง 12 เดือน จำนวน 24 ค่าเป็นการสร้างค่าโค้งควบคุมเริ่มต้น หลังจากนั้นนำค่าโค้งควบคุมที่ได้มาดำเนินการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation Simulation) แล้วคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องปล่อยในแต่ละเดือน ภายใต้โค้งควบคุมชุดนี้ เพื่อนำไปประเมินสถานการณ์น้ำขาดแคลนตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหาคำตอบ การศึกษาครั้งนี้ใช้ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด ความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด และค่าปริมาณการขาดแคลนสูงสุดที่น้อยที่สุด เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหาคำตอบ กรณีใช้น้ำปกติและกรณีเพิ่มความถี่การใช้น้ำ ซึ่งแสดงดังสมการที่ (3) การทำงานของเทคนิคนี้ จะเป็นแบบวนซ้ำหากยังไม่ถึงเงื่อนไขที่ตั้งไว้จะทำงานต่อไปจนกระทั่งเมื่อครบรอบที่กำหนดและจะได้ค่าโค้งควบคุมที่เหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ 2

$$Min(Aver_Sh) = \frac{1}{n} \sum_{v=1}^n Sh_v \quad (3)$$

เมื่อ n เป็นความยาวของชุดข้อมูลปริมาณน้ำต้นทุน Sh_v ปริมาณน้ำที่ขาดในปี v (ปริมาณน้ำที่ปล่อยน้อยกว่าเป้าหมายความต้องการใช้น้ำ) กรณีความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุดจะเปลี่ยนฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการค้นหาคำตอบเป็นความถี่ของการขาดแคลนดังสมการที่ (4)

$$\frac{\text{จำนวนปีที่ขาดแคลน}}{\text{จำนวนปีของข้อมูลทั้งหมด}} \quad (4)$$



รูปที่ 2 การประยุกต์ด้วยเทคนิควิธการอาณัจกรผังกับแบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำ

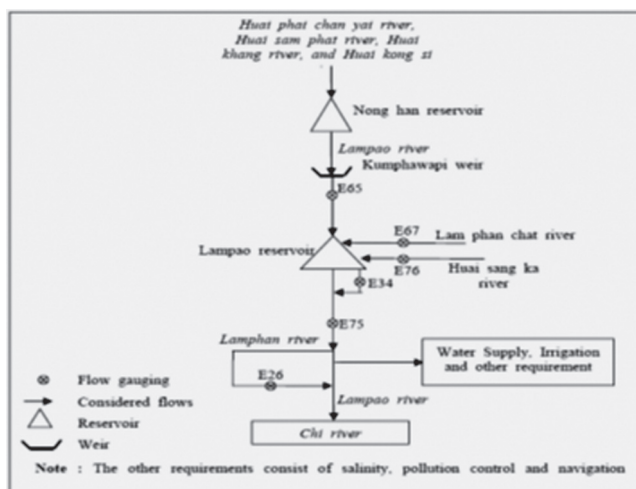
2. การประยุกต์ใช้ด้วยเทคนิควิธการอาณัจกรผัง

ในการศึกษานี้เลือกประยุกต์ใช้ด้วยเทคนิควิธการอาณัจกรผังกับอ่างเก็บน้ำลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ ดังแสดงในรูปที่ 3 แผนผังของระบบอ่างเก็บน้ำลำปาวแสดงดังรูปที่ 4 จากรูปจะเห็นว่าอ่างเก็บน้ำลำปาว จะต้องปล่อยน้ำเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ คือ อุปโภค - บริโภค อุตสาหกรรม รักษาสภาพแวดล้อมท้ายน้ำ และเพื่อการชลประทานของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาลำปาว สำหรับพื้นที่เพาะปลูก 306,963 ไร่ ซึ่งเป็นความต้องการใช้น้ำส่วนใหญ่ที่สุด จากนั้นจะไหลลงสู่แม่น้ำชี เชื่อนลำปาวมีความจุ

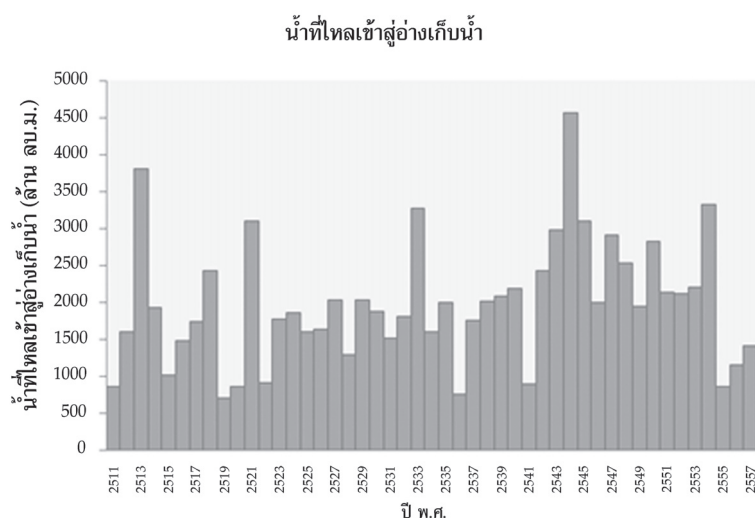
ของอ่างรวม 2,450 ล้าน ลบ.ม. ที่ระดับเก็บกักน้ำปกติ 164.00 ม.(รทก.) ปริมาตรเก็บกักที่ไม่ได้ใช้การ (Dead Storage) 100 ล้าน ลบ.ม. ที่ระดับ 174. ม. (รทก.) รูปที่ 5 แสดงปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำลำปาว ระหว่างปี พ.ศ. 2511 - 2557 เพื่อให้การแสดงผลสถานการณ์ขาดแคลนน้ำตามวัตถุประสงค์ของการค้นหาคำตอบที่ชัดเจน นอกจากนี้ยังได้สังเคราะห์ข้อมูลน้ำท่าจากข้อมูลอดีต 47 ปี จำนวน 100 ชุด เพื่อใช้ประเมินประสิทธิภาพของโครงการควบคุมที่ได้ในแต่ละกรณี ผลการประเมินจะแสดงในรูปสถานการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้น (ความถี่ ขนาด และช่วงเวลา)



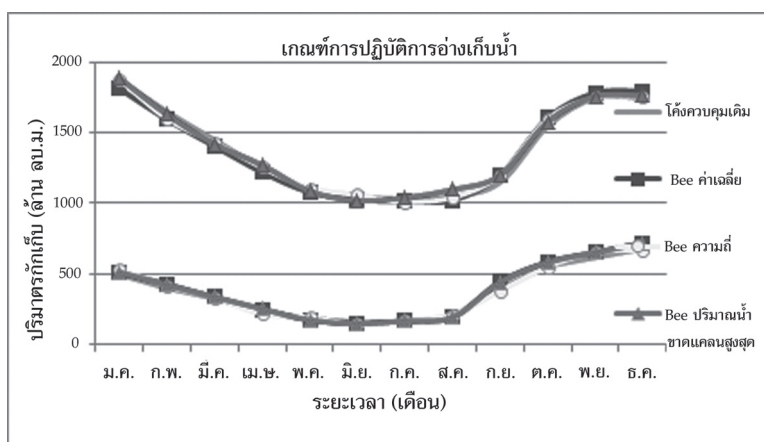
รูปที่ 3 อ่างเก็บน้ำลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์



รูปที่ 4 แผนผังของระบบอ่างเก็บน้ำลำปาว



รูปที่ 5 ข้อมูลน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในอดีตตั้งแต่ พ.ศ. 2511 - 2557



รูปที่ 6 โค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำลำปาวที่เส้นโค้ง Rule Curve เดิมและลักษณะเส้นโค้ง Rule Curve - Bee ใหม่ทั้ง 3 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ผลการวิเคราะห์

1. ผลการสร้างโค้งควบคุมจากข้อมูลอดีต

ผลการสร้างโค้งควบคุมจากข้อมูลอดีต ผลการสร้างโค้งควบคุมจากแบบจำลองการศึกษาเลียนแบบร่วมกับด้วยเทคนิควิธีการอาณาจักรผึ้งเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมด้วย โดยใช้ข้อมูลน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในอดีต 47 ปี (ระหว่างปี พ.ศ. 2511 - 2557) ใช้ความต้องการน้ำรายเดือน ซึ่งโค้งควบคุมที่ได้นี้จะใช้สำหรับกรณีที่สถานการณ์น้ำเป็นปกติทั่วไป ดังแสดงในรูปที่ 6 จากรูปจะเห็นได้ว่า โค้งควบคุมใหม่และเก่าทั้ง 3 ฟังก์ชัน วัตถุประสงค์ที่ได้มีลักษณะรูปร่างใกล้เคียงกัน ซึ่งได้รับอิทธิพลโดยตรงจากปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ โดยโค้งควบคุมใหม่ที่ได้มีรูปร่างคล้ายคลึงกับโค้งควบคุมเดิม อย่างไรก็ตาม

ยังมีจุดที่แตกต่างกัน เช่น โค้งควบคุมใหม่เส้นล่างจะสูงกว่าโค้งควบคุมเดิมในช่วงฤดูแล้ง คือ ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน เพื่อเก็บกักน้ำไว้ตอบสนองความต้องการใช้น้ำ ส่วนโค้งควบคุมใหม่เส้นโค้งบนมีรูปร่างใกล้เคียงกับเส้นโค้งเดิม โดยเฉพาะช่วงเดือนกรกฎาคม - ธันวาคม เพื่อเก็บกักน้ำไว้ตอบสนองความต้องการใช้น้ำในเขตพื้นที่ชลประทานในฤดูแล้ง

2. ผลการประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมใหม่

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิควิธีการอาณัติกรัง จะดำเนินการเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเก่า จะมีการประเมินประสิทธิภาพฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของความขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุดเป็น 3 วัตถุประสงค์ คือ 1) ค่าเฉลี่ยของความขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด 2) ความถี่ของความขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด 3) ค่าปริมาณการขาดแคลนสูงสุดที่น้อยที่สุด ซึ่งประเมินโดยการจำลองสภาพสมมูลน้ำของอ่างเก็บน้ำลำปาว ใช้ข้อมูลย้อนหลังจากการบันทึก 47 ปี ตั้งแต่ปี 2511 - 2557 ประกอบไปด้วยปริมาณน้ำต้นทุนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ปริมาณความต้องการน้ำรายเดือน แต่ละกิจกรรมการใช้น้ำปี อัตราการระเหยเฉลี่ยรายเดือน ข้อมูลโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูง - พื้นที่ผิวน้ำ - ปริมาตรความจุของอ่างเก็บน้ำลำปาว ข้อมูลปริมาตรต่ำสุด - สูงสุดของระดับน้ำเก็บกัก ในการประเมินสถานการณ์การขาดแคลนนํ้า และการไหลล้น พร้อมทั้งนำไปประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมที่ได้ในแต่ละกรณีโดยใช้ข้อมูลน้ำท่าสังเคราะห์ 47 ปี จำนวน 100 ชุด

ตารางที่ 1 การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) เพื่อประเมินสถานการณ์การขาดแคลนนํ้า โดยทำการพิจารณาค่าเฉลี่ยความถี่ ค่าขาดแคลนสูงสุด ของการขาดแคลนนํ้า น้อยที่สุด ใช้ข้อมูลของอ่างเก็บน้ำลำปาว 47 ปี พ.ศ. 2511 - 2557

สถานการณ์	เส้นโค้ง	ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
			ค่าเฉลี่ย	ค่ามากที่สุด	ค่าเฉลี่ย	ค่ามากที่สุด
ขาดแคลนนํ้า	เดิม	0.745	189.234	549.00	3.889	7.000
	ค่าเฉลี่ย	0.723	183.787	534.00	3.778	7.000
	ค่าความถี่	0.723	183.234	578.00	3.778	7.000
	ค่าขาดแคลนสูงสุด	0.745	185.766	530.00	3.889	7.000
การไหลล้น	เดิม	0.702	524.459	2,869.787	3.667	13.000
	ค่าเฉลี่ย	0.702	517.249	2,868.675	3.667	14.000
	ค่าความถี่	0.702	517.249	2,868.675	3.667	14.000
	ค่าขาดแคลนสูงสุด	0.702	519.896	2,868.500	3.667	14.000

ตารางที่ 2 การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) เพื่อประเมินสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ โดยทำการพิจารณาค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด ใช้ข้อมูลของอ่างเก็บน้ำลำปาวที่สังเคราะห์ ในอดีตตั้งแต่ พ.ศ. 2511 - 2557 จำนวน 47 ปี 100 ชุดข้อมูล

สถานการณ์	เส้นโค้ง	ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)			
			ค่าเฉลี่ย	ค่ามากที่สุด	ค่าเฉลี่ย	ค่ามากที่สุด		
ขาดแคลนน้ำ	เดิม	μ	0.811	206.075	596.580	5.762	12.800	
		σ	0.726	541.156	2,539.602	4.032	9.970	
	ใหม่ค่าเฉลี่ย	μ	0.759	192.092	595.780	4.547	11.000	
		σ	0.718	525.637	2,521.418	3.968	9.670	
	ค่าความถี่	μ	0.781	192.939	598.270	5.017	11.660	
		σ	0.713	526.480	2,522.894	3.883	9.610	
	ค่าการขาดแคลน สูงสุด	μ	0.766	204.553	588.370	4.660	11.160	
		σ	0.729	537.427	2,532.887	4.020	10.210	
	การไหลล้น	เดิม	μ	0.046	22.690	140.814	1.822	5.164
			σ	0.058	68.737	583.904	1.126	3.465
ใหม่ค่าเฉลี่ย		μ	0.051	22.622	141.434	1.395	4.418	
		σ	0.058	68.547	583.860	1.040	3.330	
ค่าความถี่		μ	0.050	22.377	148.017	1.630	4.818	
		σ	0.056	69.024	586.219	1.009	3.405	
ค่าการขาดแคลน สูงสุด		μ	0.051	22.999	143.245	1.303	3.976	
		σ	0.054	69.011	585.748	0.945	3.613	

μ ค่าเฉลี่ย σ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ พบว่าแบบจำลองวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิควิธีอาณาจักรผึ้ง ปริมาณน้ำที่มีค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุดเท่ากับ 183.787 ล้าน ลบ.ม. สถานการณ์การไหลล้นพบว่า การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 517.249 ล้าน ลบ.ม. และสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ พบว่าโค้งควบคุมเดิมของอ่างเก็บน้ำลำปาว ปริมาณน้ำที่ขาดแคลนเฉลี่ยเท่ากับ 189.234 ล้าน ลบ.ม. และสถานการณ์การไหลล้น การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 524.459 ล้าน ลบ.ม. จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำที่มีค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด ของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิควิธีอาณาจักรผึ้ง มีค่าน้อยกว่าโค้งควบคุมเดิมของอ่างเก็บน้ำลำปาวตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ค่าปริมาณการขาดแคลนสูงสุดที่น้อยที่สุดเท่ากับ 595.780 ล้าน ลบ.ม. สถานการณ์การไหลล้นพบว่า การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 141.434 ล้าน ลบ.ม. และค่ามากที่สุดของปริมาณน้ำพบว่า โค้งควบคุมเดิมของอ่างเก็บน้ำลำปาว ค่าปริมาณการขาดแคลนสูงสุดที่น้อยที่สุดเท่ากับ 596.580 ล้าน ลบ.ม. และสถานการณ์การไหลล้น การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 140.814 ล้าน ลบ.ม. จะเห็นได้ว่า ค่ามากที่สุดของปริมาณน้ำของสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ ด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิควิธีการอาณาจักรผึ้ง มีค่าน้อยกว่าโค้งควบคุมเดิมของอ่างเก็บน้ำลำปาวเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาที่ได้ค้นหา

2. ผลการประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมใหม่กรณีการเปลี่ยนแปลงความต้องการน้ำ

จากการทดสอบผลการประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมใหม่นั้นพบว่า โค้งควบคุมที่ได้จากการใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์การหาค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด สามารถบรรเทาน้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นได้ดีกว่าโค้งที่เกิดจากค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุดและค่าปริมาณการขาดแคลนสูงสุดที่น้อยที่สุด ดังนั้นจึงนำโค้งควบคุม ที่ได้จากค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุดมาทดสอบเพิ่มเติมอีก โดยการเพิ่มการใช้น้ำชลประทาน 20% และเพิ่มปริมาณฝนใช้การ 20% และใช้ข้อมูล 47 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2511 - พ.ศ. 2557 ประกอบด้วย การไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำที่สังเคราะห์ในอดีตจำนวน 47 ปี 100 ชุดข้อมูล ปริมาณความต้องการน้ำรายเดือนแต่ละกิจกรรมการใช้น้ำปี อัตราการระเหยเฉลี่ยรายเดือน ข้อมูลโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูง - พื้นที่ผิวน้ำ - ปริมาตรความจุของอ่างเก็บน้ำลำปาว ข้อมูลปริมาตรต่ำสุด - สูงสุดของระดับน้ำเก็บกัก

ตารางที่ 3 การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) กรณีน้ำด้านชลประทานเพิ่มขึ้น 20% เพื่อประเมินสถานการณ์การขาดแคลนนํ้าโดยทำการพิจารณาค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด ใช้ข้อมูลของอ่างเก็บน้ำลำปาวที่สังเคราะห์ในอดีตตั้งแต่ พ.ศ. 2511 - 2557 จำนวน 47 ปี 100 ชุดข้อมูล

สถานการณ์	เส้นโค้ง	ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)		
			ค่าเฉลี่ย	ค่ามากที่สุด	ค่าเฉลี่ย	ค่ามากที่สุด	
ขาดแคลนน้ำ	เดิม	μ	0.981	350.954	903.990	43.180	43.180
		σ	0.622	413.114	2,287.885	2.949	7.190
	ใหม่	μ	0.870	332.935	897.730	8.724	17.310
		σ	0.604	393.181	2,258.090	2.830	6.870
การไหลล้น	เดิม	μ	0.009	30.144	172.440	0.386	0.386
		σ	0.059	62.997	564.096	0.610	2.107
	ใหม่	μ	0.044	31.102	165.462	4.741	7.063
		σ	0.059	61.689	562.441	0.585	2.200

μ ค่าเฉลี่ย σ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4 การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) กรณีฝนใช้การเพิ่มขึ้น 20% เพื่อประเมินสถานการณ์การขาดแคลนน้ำโดยทำการพิจารณาค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ใช้ข้อมูลของอ่างเก็บน้ำลำปาวที่สังเคราะห์ในอดีตตั้งแต่ พ.ศ. 2511 - 2557 จำนวน 47 ปี 100 ชุดข้อมูล

สถานการณ์	เส้นโค้ง	ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)		
			ค่าเฉลี่ย	ค่ามากที่สุด	ค่าเฉลี่ย	ค่ามากที่สุด	
ขาดแคลนน้ำ	เดิม	μ	0.805	200.081	583.370	5.587	12.620
		σ	0.730	547.938	2,552.495	4.057	10.110
	ใหม่	μ	0.751	185.931	583.230	4.386	10.720
		σ	0.723	532.220	2,531.951	3.983	9.890
การไหลล้น	เดิม	μ	0.047	22.149	139.454	1.801	5.185
		σ	0.057	68.965	584.847	1.068	3.567
	ใหม่	μ	0.050	22.255	142.660	1.329	4.068
		σ	0.058	68.975	584.798	0.973	3.408

μ ค่าเฉลี่ย σ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ จากแบบจำลองวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิควิธีการอาณาจักรผึ้ง ได้ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดเท่ากับ 332.935 ล้าน ลบ.ม. สถานการณ์การไหลล้นพบว่า การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 31.102 ล้าน ลบ.ม. และสถานการณ์การขาดแคลนน้ำของโค้งควบคุมเดิมของอ่างเก็บน้ำลำปาว ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด 350.954 ล้าน ลบ.ม. และสถานการณ์การไหลล้น การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 30.144 ล้าน ลบ.ม. จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำที่ขาดแคลนเฉลี่ย ของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิควิธีการอาณาจักรผึ้ง มีค่าน้อยกว่าโค้งควบคุมเดิมของอ่างเก็บน้ำลำปาวตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา

จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าสถานการณ์การขาดแคลนน้ำจากแบบจำลองวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิควิธีการอาณาจักรผึ้ง ได้ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด 185.931 ล้าน ลบ.ม. สถานการณ์การไหลล้นพบว่า การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 22.225 ล้าน ลบ.ม. และสถานการณ์การขาดแคลนน้ำของโค้งควบคุมเดิมของอ่างเก็บน้ำลำปาว ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด 200.081 ล้าน ลบ.ม. และสถานการณ์การไหลล้น การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 22.149 ล้าน ลบ.ม. จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำที่ขาดแคลนเฉลี่ย ของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิควิธีการอาณาจักรผึ้ง มีค่าน้อยกว่าโค้งควบคุมเดิมของอ่างเก็บน้ำลำปาวตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา

สรุปผลการดำเนินการ

ผลการศึกษาพบว่าเมื่อใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้งรูปแบบข้างต้นนั้น จะได้โค้งควบคุมใหม่ที่มีรูปร่างคล้ายคลึงกับโค้งควบคุมเดิม อย่างไรก็ตามยังมีจุดที่แตกต่างกัน เช่น โค้งควบคุมใหม่เส้นล่างจะสูงกว่าโค้งควบคุมเดิมในช่วงฤดูแล้ง คือตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน เพื่อเก็บกักน้ำไว้ตอบสนองความต้องการใช้น้ำ ส่วนโค้งควบคุมใหม่เส้นโค้งบนมีรูปร่างใกล้เคียงกับเส้นโค้งเดิม โดยเฉพาะช่วงเดือนกรกฎาคม - ธันวาคม เพื่อเก็บกักน้ำไว้ตอบสนองความต้องการใช้น้ำในเขตพื้นที่ชลประทานในฤดูแล้ง ถัดไปเมื่อนำโค้งเหล่านี้ไปทดสอบและเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิมที่ใช้อยู่พบว่า โค้งใหม่ที่ทำโดยใช้ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุดเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในกระบวนการค้นหา สามารถบรรเทาสภาวะน้ำท่วมและน้ำขาดแคลนได้ดีกว่าโค้งที่เกิดจากการใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์อื่นและยังดีกว่าโค้งควบคุมเดิมด้วย หลังจากนั้นนำโค้งควบคุมที่ได้จากค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด มาทดสอบและเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมเดิมเพิ่มเติมอีก โดยการเพิ่มการใช้น้ำชลประทาน 20% และเพิ่มปริมาณฝนใช้การ 20% ใช้ข้อมูลการไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำที่สังเคราะห์ในอดีตจำนวน 47 ปี 100 ชุดข้อมูล พบว่ายังก็ดีกว่าโค้งควบคุมเดิมอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ กรมชลประทาน ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลต่าง ๆ ในการใช้ในการศึกษารั้งนี้ ขอคุณอาจารย์สุภารัตน์ คำปลิว สำหรับการจัดเตรียมข้อมูลสังเคราะห์

References

- [1] Kumar, D. and Baliarsingh, F. (2003). Folded Dynamic Programming for Optimal Operation of Multireservoir System. *Water Resour Manage.* Vol. 17. pp. 337-353
- [2] Electricity Generating Authority of Thailand, (EGAT). (2545). Reservoir Operation (Rule Curve) Ubolratana Dam. (in Thai)
- [3] Electricity Generating Authority Thailand, (EGAT). (2547). Reservoir Operation (Rule Curve) Bhumibol Dam and Sirikit Dam. (in Thai)
- [4] Chang J.F., Chen L. and Chang C.L. (2005). Optimizing Reservoir Operating Rule Curves by Genetic Algorithms. *Hydrological Processes.* Vol. 19. pp. 2277-2289
- [5] Hormwichian R. and Kangrang A. (2012) Coupled-Operations Model and a Conditional Differential Evolution Algorithm for Improving Reservoir Management. *International Journal of Physical Sciences.* Vol. 7. No. 42. pp. 5701-5710
- [6] Kangrang A. and Lokham C. (2013). Optimal Reservoir Rule Curves Considering Conditional ant Colony Optimization with Simulation Model. *American Journal of Applied Sciences.* Vol. 13. No. 1. pp. 154-160

- [7] Jarunsiriphaisan, K. and Chiewchanwattana, S. (2012). Accuracy Improvement of Least Squares Support Vector Machines using Cuckoo Search Algorithm. (in Thai)
- [8] X.-S. Yang and S. Deb. (2009). Cuckoo Search Via Lavy Flights. In Proceeding of World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing (NaBIC 2009), India. pp. 210-214
- [9] Leticia B. Rodriguez. (2008). Fully Conservative Coupling of HEC-RAS with MODFLOW to Simulate Stream-Aquifer Interactions in a Drainage Basin. Journal of Hydrology. Vol. 353. pp. 129-142