



บทความวิจัย

ปรับปรุงเส้นโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมด้วยการค้นหาแบบทาบู กรณีศึกษาอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง

นิวัตกร ภูมิพันธุ์*

สาขาวิชาเทคโนโลยีโยธาสถาปัตยกรรม คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 06 5294 9145 อีเมล: niwat.bh@udru.ac.th

DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.05.010

รับเมื่อ 18 สิงหาคม 2563 แก้ไขเมื่อ 28 ตุลาคม 2563 ตอรับเมื่อ 23 พฤศจิกายน 2563 เผยแพร่ออนไลน์ 24 พฤษภาคม 2564

© 2021 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นศึกษาเพื่อหาค่าเหมาะสมที่สุดที่สุดของเส้นโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำด้วยวิธีการค้นหาแบบทาบู เพื่อปรับปรุงเส้นโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ โดยพิจารณาข้อมูลเส้นโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบรายเดือนของอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง จังหวัดอุดรธานี เป็นกรณีศึกษาในครั้งนี้ โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 3 กรณี คือ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด และปริมาณการขาดแคลนสูงสุดที่น้อยที่สุดในกระบวนการค้นหาค่าตอบที่ดีที่สุด ในการศึกษารุ่นนี้ข้อมูลที่ใช้ประกอบไปด้วยปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำตั้งแต่ พ.ศ. 2527-2559 ข้อมูลความต้องการใช้น้ำ ข้อมูลอุทกวิทยา และข้อมูลทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำ นอกจากนี้ยังได้สังเคราะห์ข้อมูลน้ำท่าแบบรายเดือน ที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจำนวน 1,000 เหตุการณ์ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเส้นโค้งกฎปฏิบัติการที่ได้จากแบบจำลอง ผลการศึกษาพบว่า เส้นโค้งกฎปฏิบัติการใหม่ ที่ได้นำฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้ง 3 กรณี มาใช้นั้น มีรูปร่างคล้ายคลึงกับเส้นโค้งกฎปฏิบัติการเดิม และเมื่อนำเส้นโค้งกฎปฏิบัติการควบคุมใหม่ไปทดสอบและเปรียบเทียบกับเส้นโค้งกฎปฏิบัติการเดิม โดยใช้เงื่อนไขเหมือนกันพบว่า เส้นโค้งกฎปฏิบัติการใหม่ที่ได้จากใช้ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ในกระบวนการค้นหาสามารถบรรเทาสภาวะน้ำท่วมและน้ำขาดแคลนได้ดีกว่าเส้นโค้งกฎปฏิบัติการเดิม จากนั้นนำเส้นโค้งกฎปฏิบัติการที่ได้จากค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดมาทดสอบและเปรียบเทียบกับเส้นโค้งกฎปฏิบัติการเดิม โดยใช้ข้อมูลการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่สังเคราะห์จากอดีต 33 ปี จำนวน 1,000 เหตุการณ์ พบว่ามีประสิทธิภาพดีกว่าเส้นโค้งกฎปฏิบัติการเดิม

คำสำคัญ: เส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ การหาค่าเหมาะสมที่สุด การค้นหาแบบทาบู การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ



Improvement of Optimal Reservoir Operation Rule Curve by Tabu Search: A Case Study of Huai Luang

Niwat Bhumiphan*

Faculty of Technology, Udon Thani Rajabhat University, Udon Thani, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 06 5294 9145, E-mail: niwat.bh@udru.ac.th

DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.05.010

Received 18 August 2020; Revised 28 October 2020; Accepted 23 November 2020; Published online: 24 May 2021

© 2021 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This research focuses on finding the optimal value of the rule curve by using the Tabu search method to improve the rule curves that considering monthly information of the rules curve of the Huai Luang reservoir Udon Thani province as a case study. The study applied 3 objective functions including a minimum average of water shortage, a minimum frequency of water shortage, and a minimum volume of highest water shortage in the optimal process of findings. In the study, the information for analysis consists of the average monthly inflow in the reservoir from 1984–2016 data, water demand data, hydrological data, and the physical feature of Huai Luang Reservoir data. Besides, it also synthesizes monthly inflow data that flows into the reservoir of 1,000 events to evaluate the efficiency of the rule curves obtained from the model. The result found that the proposed new rule curve, with 3 objective functions, similar with the existing rule curve. And when applied this new rule curve to experiment and comparison with the existing rule curve under the same condition. The result found that the new rule curve using average water shortage as an objective function in the searching process were more suitable than other rule curve including the existing rule curve. Afterward, take a rule curve that obtains from the minimum average water shortage to compare with the existing rule curve applied with the inflow in the reservoir which synthesis from 33 years past amount 1,000 events, also found that more suitable than the existing rule curve.

Keywords: Reservoir Operation Rules Curves, Optimization Techniques, Tabu Search, Reservoir Management

1. บทนำ

ทรัพยากรน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการดำรงชีวิต ปัจจุบันปัญหาการขาดแคลนนํ้าวันจะยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้น ส่งผลกระทบทั้งทางด้านการอุปโภค-บริโภค ด้านการเกษตร ด้านอุตสาหกรรม เป็นต้น ซึ่งมีหลายปัจจัยที่ทำให้เกิดผลกระทบดังกล่าว เช่น การขยายตัวของชุมชนเมือง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หากให้ใช้นํ้าปริมาณน้อยเกินไปจะเกิดการแย่งชิงนํ้าเพื่อสนองประโยชน์ตามความต้องการของตนเอง และหากให้ปริมาณนํ้ามากเกินไปจะเกิดความเสียหายต่อบ้านเรือน สิ่งปลูกสร้าง รวมไปถึงผลผลิตทางการเกษตรได้ ดังนั้นการจัดสรรนํ้าต้องมีการบริหารจัดการทั้งด้านปริมาณ และด้านคุณภาพอย่างเป็นรูปธรรม และมีความเหมาะสมกับสภาพการณ์ปัจจุบันทั้งในระยะสั้นและระยะยาว เนื่องจากสภาพอากาศในแต่ละปีมีความไม่แน่นอนทำให้ปริมาณนํ้าฝนที่ตกในแต่ละปีนั้นมีปริมาณที่ไม่แน่นอนไปด้วย ปัจจุบันการจัดการนํ้าต้องอาศัยข้อมูลจากทุกมิติมีการบูรณาการกับผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายทั้งหน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน รวมไปถึงชุมชนในลุ่มนํ้า ไม่ให้เกิดความขัดแย้งและได้ผลสัมฤทธิ์ที่ยั่งยืนต่อไป

เส้นโค้งควบคุมของอ่างเก็บนํ้า (Rule Curve) เป็นเครื่องมือพื้นฐานที่สำคัญของการบริหารจัดการอ่างเก็บนํ้า แต่ยังมีกรณีผันแปรของข้อมูลที่ใช้ในการจัดการอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นหากนำเส้นโค้งกฎการปฏิบัติการอ่างเก็บนํ้าแบบพลวัตมาใช้บริหารจัดการอ่างเก็บนํ้าจะทำให้มีความสอดคล้อง และมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น เส้นโค้งควบคุมของอ่างเก็บนํ้าจะเป็นเส้นกราฟสองเส้นเพื่อควบคุมการปล่อยนํ้า จะประกอบด้วย เส้นโค้งบน (Upper Rule Curve) และเส้นโค้งล่าง (Lower Rule Curve) ซึ่งเป็นการใช้วิธีแบบลองผิดลองถูก (Trial and Error) [1] ซึ่งเส้นกราฟสองเส้นจะมีขอบเขตบนและล่าง ซึ่งจะพยายามควบคุมระดับนํ้าในอ่างเก็บนํ้าไม่ให้เกินจากช่วงของขอบเขตเส้นบนและเส้นล่าง [2] นอกจากนี้ยังมีการนำเทคนิคการหาค่าเหมาะสมสูงสุด (Optimization Techniques) มาศึกษาเพื่อหาโค้งควบคุมการปล่อยนํ้าใน

ระบบอ่างเก็บนํ้าที่เหมาะสมที่สุด เช่น Genetic Algorithm (GAs) [3]-[6] Linear Programming [7] Dynamic programming [8] Differential Evolution Algorithm (DE) [9] Ant Colony Optimization (ACO) [10], [11] และ Cuckoo Search Algorithms (CS) [12], [13] แต่ยังมีเทคนิคอื่นๆ อีกที่น่าสนใจ คือ วิธีการค้นหาแบบทาบ (Tabu Search) [14] ซึ่งจะมีจุดเด่น คือ ไม่ใช้การสุ่มหรือการเลือกจากความน่าจะเป็น และเป็นเทคนิคการค้นหาแบบดีเทอร์มินิสติก (Deterministic) มีการนำเทคนิคการค้นหาแบบทาบมาใช้มาปรับปรุงเส้นโค้งปฏิบัติการอ่างเก็บนํ้าที่มีวัตถุประสงค์เพื่อการเกษตรเป็นหลัก [15]

อ่างเก็บนํ้าห้วยหลวง อยู่ในพื้นที่ลุ่มห้วยหลวงซึ่งเป็นลุ่มนํ้าสายสำคัญของจังหวัดอุดรธานี มีต้นกำเนิดจากเทือกเขาภูพานในเขตอำเภอหนองวัวซอ จังหวัดอุดรธานี ประกอบด้วย ห้วยโขง ห้วยตาลเทียม ห้วยดําป่าไหลมารวมกันเป็นห้วยหลวง มีความยาวตลอดลุ่มนํ้ากว่า 100 กิโลเมตร มีพื้นที่ลุ่มนํ้าคาบเกี่ยว 3 จังหวัด คือ หนองบัวลำภู อุดรธานี และหนองคาย มีเนื้อที่ลุ่มนํ้าประมาณ 2,588,724 ไร่ พื้นที่ลุ่มนํ้าห้วยหลวงเผชิญกับความเสี่ยงกับภาวะนํ้าท่วม โดยเฉพาะใน พ.ศ. 2554 เกิดฝนตกหนัก ปริมาณฝนที่ตกมากในพื้นที่ลุ่มนํ้าห้วยหลวง ทำให้ปริมาณนํ้าในอ่างเก็บนํ้าห้วยหลวงเกินระดับกักเก็บ ทำให้เกิดนํ้าท่วม นอกจากนั้นด้านความผันผวนของปริมาณนํ้า โดยเฉพาะการขาดแคลนนํ้าในช่วงฤดูแล้ง ที่แล้งจัดและหน้าร้อนที่ยาวนานขึ้นเสี่ยงต่อการขาดแคลนนํ้าที่ครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างเกือบทั้งจังหวัด จังหวัดอุดรธานีเผชิญกับความเสี่ยงซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตหลายประการ ส่งผลกระทบต่อภาคส่วนต่างๆ ที่มีความจำเป็นต้องใช้นํ้า ทั้งในเขตชุมชนเมืองที่ต้องการนํ้าเพื่อการอุปโภค-บริโภค อุตสาหกรรม และภาคเกษตรกรรม ที่ต้องใช้นํ้าจากแหล่งเดียวกัน อ่างเก็บนํ้าห้วยหลวงเป็นแหล่งนํ้าสำคัญในการผลิตนํ้าเพื่อการอุปโภค-บริโภคเป็นหลัก ส่งผลกระทบต่อภาคอุตสาหกรรม และพื้นที่เกษตรโดยรอบ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำวิธีการค้นหาแบบทาบมาใช้เพื่อปรับปรุงเส้นโค้งปฏิบัติการอ่างเก็บนํ้าที่เหมาะสมของอ่างเก็บนํ้าห้วยหลวง จังหวัดอุดรธานี ซึ่งเป็นอ่างเก็บนํ้า



ที่มุ่งเน้นการผลิตน้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค และภาคอุตสาหกรรมเป็นหลัก

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 แบบจำลองสภาพสมมูลน้ำ

การศึกษาสภาพสมมูลน้ำใช้แบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำด้วยหลักการสมมูลน้ำ โดยทั่วไปจะใช้แบบจำลอง HEC-3, HEC-5 และ HEC-RAS [16] การศึกษาในครั้งนี้ได้ใช้การจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำด้วยแบบจำลอง HEC-RESSIM ซึ่งนิยมนำมาใช้ในปัจจุบัน สามารถใช้ได้ทั้งสถานการณ์ขาดแคลนน้ำ และสถานการณ์ที่เกิดน้ำส่วนเกินได้สะดวกต่อการเชื่อมต่อกับแบบจำลองการค้นหาแบบทาบ การเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำจะกำหนดปริมาตรเก็บกักสูงสุด (Full Capacity) และในส่วปริมาณน้ำที่ระบายจากอ่างเก็บน้ำในแต่ละเดือนจะหาได้จากการคำนวณตามเกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน (Standard Operating Rule) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ทั่วไป ดังแสดงในรูปที่ 1 และสมการที่ (1) [15]

$$R_{u,t} = \begin{cases} D_t + W_{u,t} + y_t, & \text{for } W_{u,t} \geq y_t + D_t, \\ D_t, & \text{for } x_t \leq W_{u,t} < y_t + D_t, \\ D_t + W_{u,t} + x_t, & \text{for } x_t, -D_t \leq W_{u,t} < x_t, \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (1)$$

โดย $R_{u,t}$ คือ ปริมาณน้ำที่ระบายออกจากอ่างเก็บน้ำ (หน่วย ล้าน ลบ.ม.) ในช่วงปี n ของเดือน t ($t = 1$ ถึง 12 แทนเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม)

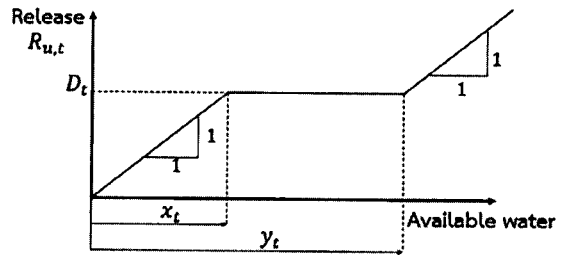
D_t คือ ความต้องการใช้น้ำทำอ่างเก็บน้ำของเดือน (หน่วย ล้าน ลบ.ม.)

X_t คือ ขอบเขตล่างของเส้นโค้งกฎปฏิบัติการของแต่ละเดือน

t, y_t คือ ขอบเขตบนของเส้นโค้งกฎปฏิบัติการของเดือน

$W_{u,t}$ คือ ปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ของอ่างในเดือน t (หน่วย ล้าน ลบ.ม.)

จากนั้นคำนวณหาต้นทุนที่มีอยู่ของอ่างเก็บน้ำในเดือนถัดไป โดยใช้หลักสมการสมมูลน้ำดังสมการที่ (2)



รูปที่ 1 การปล่อยน้ำมาตรฐาน

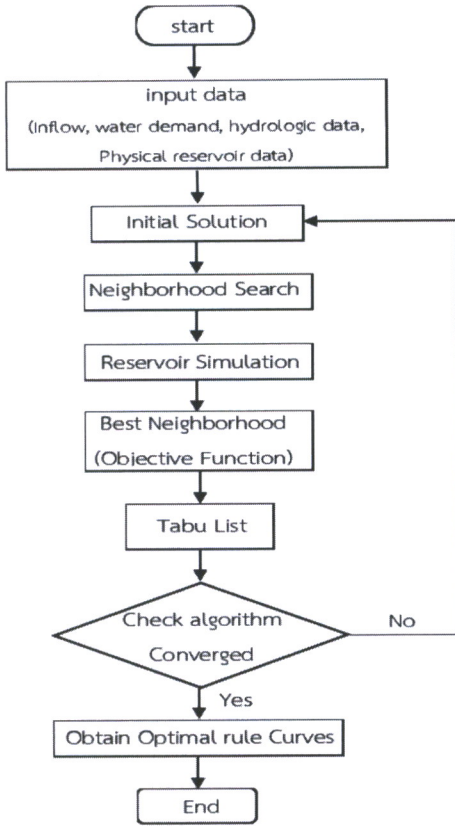
$$R_{u,t+1} = S_{u,t} + Q_{u,t} + R_{u,t} + E_t + DS \quad (2)$$

โดย $S_{u,t}$ คือ ปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเมื่อสิ้นสุด เดือน t (หน่วย ล้าน ลบ.ม.) $Q_{u,t}$ คือ ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่างในเดือน t ปี n (หน่วย ล้าน ลบ.ม.) E_t คือ ค่าการระเหยรายเดือนเฉลี่ยเดือน t (หน่วย ล้าน ลบ.ม.) และ DS คือ ปริมาตรเก็บกักที่ไม่ได้ใช้การ (หน่วย ล้าน ลบ.ม.)

ผลการจำลองเป็นสถานการณ์ขาดแคลนน้ำ และสถานการณ์ที่เกิดน้ำส่วนเกิน จะแสดงในรูปความถี่ ขนาดช่วงเวลา และถูกนำไปใช้ในกระบวนการหาค่าเหมาะสมต่อไป

2.2 วิธีการหาค่าที่เหมาะสมด้วยการค้นหาแบบทาบกับแบบจำลองการเลียนแบบ

การประยุกต์ใช้เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยการค้นหาแบบทาบ เชื่อมต่อกับแบบจำลองเลียนแบบสถานการณ์เพื่อค้นหาเส้นโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม โดยกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการทำงาน จำนวนรอบของการทำงาน เริ่มต้นโดยการสร้างเซตของคำตอบเริ่มต้น คือการเลือกค่าเส้นโค้งกฎปฏิบัติการของแต่ละเดือน 12 เดือน จำนวน 24 ค่า จากนั้นสร้างเซตของคำตอบใกล้เคียงและที่เป็นไปได้ที่สุด ตรวจสอบเงื่อนไขเกณฑ์พิจารณาตามวัตถุประสงค์ โดยใช้เป็นเงื่อนไขสำหรับพิจารณาเซตคำตอบข้างเคียงและตรวจสอบรอบของการทำงาน จากนั้นนำค่าเส้นโค้งกฎปฏิบัติการที่ได้มาดำเนินการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ แล้วคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องปล่อยในแต่ละเดือนภายใต้เส้นโค้งกฎปฏิบัติการเพื่อนำไปประเมินสถานการณ์น้ำขาดแคลนตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการ

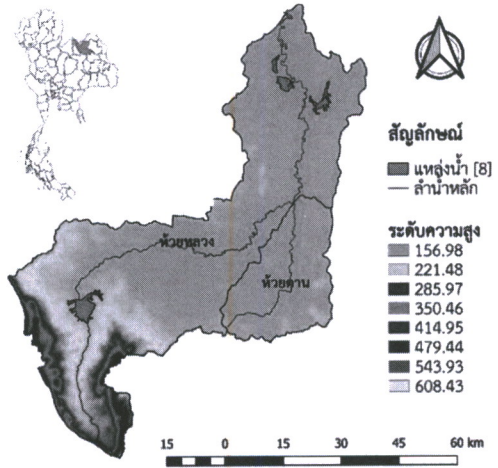


รูปที่ 2 การประยุกต์ใช้เทคนิคการค้นหาของทาบูเพื่อจำลองระบบอ่างเก็บน้ำ

ค้นหาคำตอบ การศึกษาครั้งนี้ใช้ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด และค่าปริมาณการขาดแคลนสูงสุดที่น้อยที่สุด เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหาคำตอบกรณีใช้น้ำปกติซึ่งแสดงดังสมการที่ (3) [15] การค้นหาของทาบูเป็นเทคนิคที่ทำงานแบบวนซ้ำ หากไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้จะทำงานต่อไปจนกระทั่งเมื่อครบจำนวนรอบที่ได้กำหนดจะได้ค่าเส้นโค้งกฎปฏิบัติการที่เหมาะสมที่สุดดังแสดงในรูปที่ 2

$$\text{Min}(AverSH) = \frac{1}{n} \sum_{v=1}^n SH_v \quad (3)$$

โดย n คือ ความยาวของชุดข้อมูลปริมาณน้ำต้นทุน SH_v คือ ปริมาณน้ำที่ขาดแคลนในปี v กรณีความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดจะเปลี่ยน



รูปที่ 3 ตำแหน่งลุ่มน้ำห้วยหลวง

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการค้นหาคำตอบเป็นความถี่ของการขาดแคลนดังสมการที่ (4)

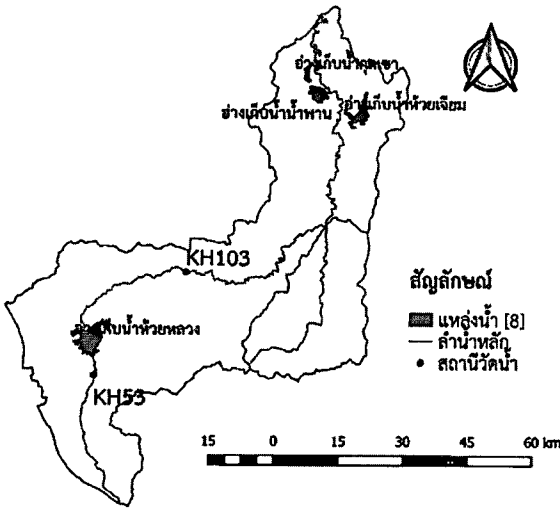
$$\frac{Y_n}{\sum Y_n} \quad (4)$$

โดย Y_n คือ จำนวนปีที่ขาดแคลน และ $\sum Y_n$ คือ จำนวนปีของข้อมูลน้ำท่าทั้งหมด

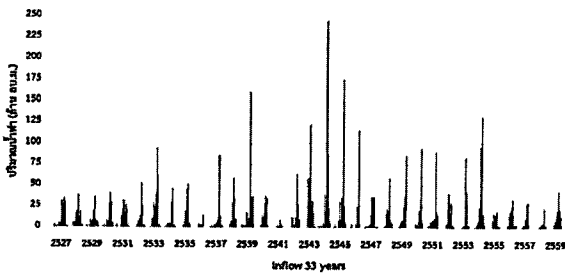
3. การประยุกต์ใช้การค้นหาแบบทาบู

การศึกษานี้เลือกประยุกต์ใช้การค้นหาแบบทาบูกับอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง อำเภอกุดจับ จังหวัดอุดรธานี อ่างเก็บน้ำห้วยหลวง เป็นเขื่อนดิน สูง 12 เมตร ยาว 4.90 กิโลเมตร สามารถกักเก็บน้ำได้ประมาณ 113 ล้านลูกบาศก์เมตร

ปริมาตรเก็บกักที่ไม่ได้ใช้การ (Dead Storage) 6.82 ล้าน ลบ.ม. เป็นอ่างเก็บน้ำเพื่อการผลิตประปา อุตสาหกรรมการเกษตร ตามลำดับ พื้นที่อ่างเก็บน้ำประมาณ 20,000 ไร่ และมีพื้นที่รับประโยชน์ประมาณ 80,000 ไร่ (รูปที่ 3) อ่างเก็บน้ำห้วยหลวงมีสถานีวัดน้ำท่าจากสถานี KH.53 ศูนย์อุทกวิทยาและบริหารจัดการน้ำภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน กรมชลประทาน (รูปที่ 4) ซึ่งสถานีวัดปริมาณน้ำท่าแสดงรายละเอียดของสถิติข้อมูลของปริมาณน้ำท่ารายวัน ปริมาณน้ำท่ารายเดือน และปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย ปริมาณ



รูปที่ 4 สถานีสำรวจปริมาณน้ำลุ่มน้ำห้วยหลวง



รูปที่ 5 ข้อมูลน้ำท่า ตั้งแต่ พ.ศ. 2527-2559

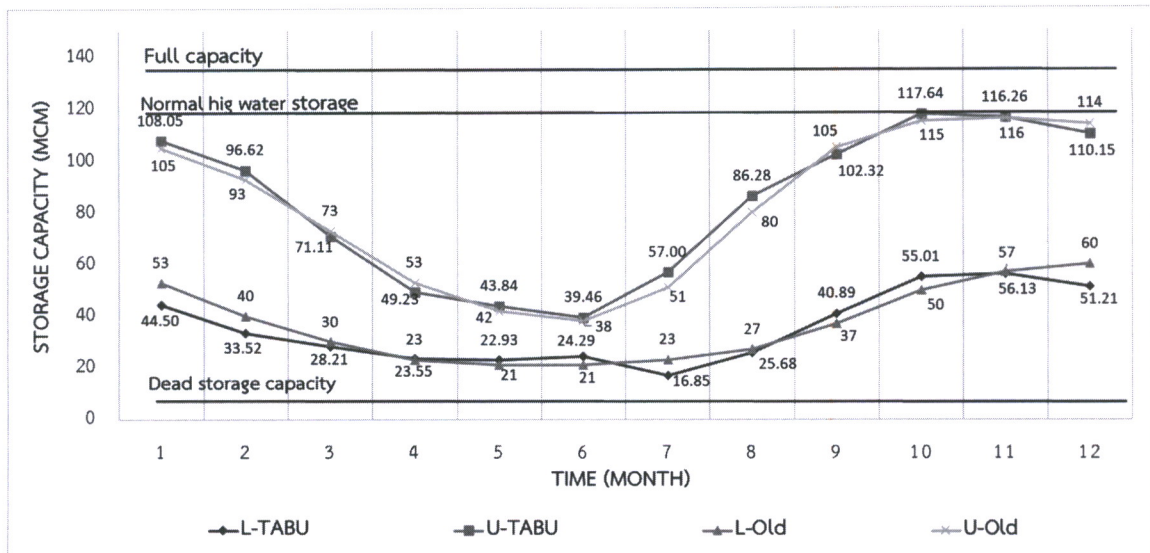
น้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง ระหว่าง พ.ศ. 2527-2559 นำมาใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองการค้นหาแบบทาบูจะดำเนินการโดยนำเส้นโค้งควบคุมปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมที่สุดมาใช้ในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำด้วยข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำด้วยข้อมูลที่สังเคราะห์ขึ้นมา จำนวน 1,000 เหตุการณ์ ครอบคลุมเหตุการณ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้น จำนวน 33 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2527-2559 (รูปที่ 5) เพื่อศึกษาพฤติกรรมของระบบจากการจัดการน้ำและควบคุม แล้วคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องปล่อยในแต่ละเดือนภายใต้เส้นโค้งปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำจะแสดงผลการประเมินในแคลนและน้ำส่วนเกินรูป ความถี่ ขนาด และช่วงเวลา ของสถานการณ์น้ำขาด

4. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผลการสร้างเส้นโค้งปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำใหม่ด้วยการค้นหาแบบทาบู (TABU) เปรียบเทียบกับเส้นโค้งปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเดิม (Old) โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าในอดีต จำนวน 33 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2527-2559 โดยใช้ความต้องการรายเดือนซึ่งเส้นโค้งปฏิบัติการได้นี้ มีรูปร่างคล้ายคลึงกัน (รูปที่ 6) แต่อย่างไรก็ตาม ยังมีจุดที่แตกต่างกัน ดังนี้ เส้นโค้งปฏิบัติการที่ได้จากการค้นหาด้วยวิธีแบบทาบูเส้นล่าง (L-TABU) จะอยู่ต่ำกว่าเส้นโค้งปฏิบัติการเดิม (L-Old) ดังนี้ เดือนมกราคมถึงปลายเดือนมีนาคม กรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคม และเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม เส้นโค้งปฏิบัติการที่ได้จากการค้นหาด้วยวิธีแบบทาบูเส้นบน (U-TABU) จะอยู่สูงกว่าเส้นโค้งปฏิบัติการเดิม (U-Old) ในเดือนมกราคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ เดือนพฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคมและเดือนตุลาคม การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองการค้นหาแบบทาบู จะดำเนินการเปรียบเทียบเส้นโค้งปฏิบัติการใหม่กับเส้นโค้งปฏิบัติการเดิม โดยมีการประเมินประสิทธิภาพฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการขาดแคลนน้อยที่สุดออกเป็น 3 วัตถุประสงค์ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยการขาดแคลนน้อยที่สุด ความถี่ของการขาดแคลนน้อยที่สุด และค่าปริมาณการขาดแคลนสูงสุดที่น้อยที่สุด ซึ่งประเมินโดยการจำลองสภาพสมมูลน้ำของอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงโดยใช้ข้อมูลในอดีต จำนวน 33 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2527-2559 คือ ปริมาณน้ำต้นทุนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ อัตราการระเหยเฉลี่ยรายเดือน ปริมาตรความจุของอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง ข้อมูลเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงพื้นที่ผิวน้ำ ข้อมูล ปริมาตรกักเก็บน้ำสูงสุดและต่ำสุด ในการประเมินสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ และน้ำส่วนเกิน พร้อมทั้งนำไปประเมินประสิทธิภาพของเส้นโค้งปฏิบัติการที่ได้ในแต่ละกรณีโดยใช้ข้อมูลน้ำท่าสังเคราะห์ จำนวน 33 ปี 1,000 เหตุการณ์

ตารางที่ 1 ได้แสดงผลการศึกษาสมมูลน้ำจากการประเมินระหว่างเส้นโค้งปฏิบัติการใหม่และเส้นโค้งปฏิบัติการเดิม จะเห็นว่าเส้นโค้งปฏิบัติการใหม่ ให้ผลลัพธ์ของสถานการณ์น้ำขาดแคลนของเส้นโค้งปฏิบัติการใหม่

นิวัตร ภูมิพันธุ์, “ปรับปรุงเส้นโค้งปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมด้วยการค้นหาแบบทาบู กรณีศึกษาอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง.”



รูปที่ 6 เปรียบเทียบกฎเส้นโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำโค้งอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงเดิมและที่ได้จากวิธีการค้นหาแบบทาบ

ตารางที่ 1 ประเมินผลเส้นโค้งกฎปฏิบัติการของอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง จากข้อมูลในอดีตย้อนหลัง 33 ปี พ.ศ. 2527-2559

Situations/Rule curves	Frequency (Time/year)	Volume (MCM/year)		Time Period (year)	
		Average	Maximum	Average	Maximum
Water Deficit					
Old	0.152	1.848	19.000	1.667	2.000
TABU	0.152	1.545	17.000	1.667	2.000
Excess Water					
Old	1.000	89.599	355.635	33.000	33.000
TABU	1.000	89.526	354.033	33.000	33.000

มีค่าเท่ากับ 0.152 ครั้งต่อปี และสามารถลดการขาดแคลนน้ำจาก 1.848 ล้าน ลบ.ม ลดลงเหลือ 1.545 ล้าน ลบ.ม และมีค่าช่วงเวลาเฉลี่ยการเกิดการขาดแคลนน้ำเท่ากัน คือ 1.667 ครั้งต่อปี การเกิดน้ำส่วนเกิน มีค่าความถี่ของการไหลล้นของน้ำเท่ากัน คือ 1.00 ครั้งต่อปี สามารถลดปริมาณน้ำไหลล้นจาก 89.599 ล้าน ลบ.ม เหลือ 89.526 ล้าน ลบ.ม จากผลลัพธ์เหล่านี้สามารถอธิบายได้ว่าเส้นโค้งกฎปฏิบัติการใหม่มีประสิทธิภาพดีกว่าเส้นโค้งกฎปฏิบัติการเดิม และเหมาะสมกับเหตุการณ์สถานการณ์น้ำปกติ

ตารางที่ 2 แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพเส้นโค้งกฎปฏิบัติการใหม่จากข้อมูลปริมาณน้ำทำในอดีตที่สังเคราะห์ขึ้น จำนวน 1,000 เหตุการณ์ พบว่า ผลลัพธ์ของสถานการณ์น้ำขาดแคลนมีโอกาสดังขึ้น จาก 0.097 ครั้งต่อปี เหลือ 0.069 ครั้งต่อปี สามารถลดปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ยจาก 0.763 ล้าน ลบ.ม ลดลงเหลือ 0.581 ล้าน ลบ.ม และลดช่วงเวลาเฉลี่ยการเกิดน้ำขาดแคลน จาก 1.468 ปี เป็น 1.140 ปี และสามารถช่วยลดโอกาสการเกิดความถี่น้ำส่วนเกินจาก 0.974 ครั้งต่อปี เป็น 0.972 ครั้งต่อปี ปริมาณน้ำส่วนเกิน



ตารางที่ 2 ประเมินผลเส้นโค้งกฏปฏิบัติการของอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงจากการสังเคราะห์ข้อมูลน้ำท่าแบบรายเดือน 1,000 ชุดเหตุการณ์ จากข้อมูลในอดีตย้อนหลัง 33 ปี (พ.ศ. 2527-2559)

Situations/Rule curves		Frequency (Time/year)	Volume (MCM/year)		Time Period (year)	
			Average	Maximum	Average	Maximum
Water Deficit						
Old	μ	0.097	0.763	10.236	1.468	1.754
	σ	0.067	0.626	6.300	0.722	0.927
TABU	μ	0.069	0.581	10.442	1.140	1.339
	σ	0.050	0.540	7.119	0.609	0.795
Excess Water						
Old	μ	0.974	95.450	336.407	22.511	26.904
	σ	0.028	13.029	81.687	9.578	6.620
TABU	μ	0.972	95.395	336.179	21.846	26.439
	σ	0.029	13.069	81.403	9.550	6.699

เฉลี่ยจาก 95.450 ล้าน ลบ.ม เป็น 95.395 ล้าน ลบ.ม และลดช่วงเวลาเฉลี่ยการเกิดน้ำส่วนเกินจาก 22.511 ปี ลดลงเหลือ 21.846 ปี จากผลการประเมินประสิทธิภาพนี้ พบว่าเส้นโค้งควบคุมที่ถูกสร้างขึ้นใหม่มีประสิทธิภาพดีกว่าเส้นโค้งควบคุมเดิม

5. สรุป

การปรับปรุงเส้นโค้งกฏปฏิบัติการของอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง โดยการประยุกต์ใช้การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการค้นหาแบบทาบ โดยการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันวัตถุประสงค์พบว่า ทั้ง 3 กรณี ได้เส้นโค้งกฏปฏิบัติการที่มีรูปร่างคล้ายคลึงกัน และผลการประเมินสถานการณ์การขาดแคลนยังได้ผลที่ดีกว่าเส้นโค้งกฏปฏิบัติการเดิม [15] เส้นโค้งกฏปฏิบัติการใหม่ที่ได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์มาทดสอบและเปรียบเทียบกับเส้นโค้งกฏปฏิบัติการเดิมโดยใช้ข้อมูลการไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำที่สังเคราะห์ในอดีตจำนวน 33 ปี 1,000 เหตุการณ์ พบว่า เส้นโค้งกฏปฏิบัติการที่มีรูปร่างคล้ายคลึงกัน แต่ยังมีจุดที่ต่างกันเล็กน้อย เส้นโค้งกฏปฏิบัติการใหม่เส้นล่าง (L-TABU) จะอยู่ต่ำกว่าเส้นโค้ง

กฏปฏิบัติการเดิม (L-Old) ในช่วงเดือนมกราคมถึงปลายเดือนมีนาคม จะเริ่มสูงขึ้นในช่วงเดือนเมษายนจนถึงเดือนมิถุนายนแล้วจะเริ่มต่ำลงในช่วงต้นเดือนมิถุนายนถึงต้นเดือนสิงหาคม เส้นจะเริ่มสูงขึ้นอีกในช่วงกลางเดือนสิงหาคมถึงเดือนพฤศจิกายนและต่ำลงในเดือนธันวาคม เพื่อให้สามารถเก็บกักน้ำไว้ตอบสนองความต้องการใช้น้ำ เส้นโค้งกฏปฏิบัติการใหม่เส้นบน (U-TABU) มีรูปร่างคล้ายคลึงกันมีจุดที่แตกต่างกันคือ เส้นโค้งกฏปฏิบัติการใหม่จะอยู่สูงกว่าเส้นโค้งกฏปฏิบัติการเดิม (U-Old) ในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ และจะต่ำลงในช่วงกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนเมษายน และจะเริ่มขึ้นในช่วงกลางเดือนเมษายนถึงกลางเดือนสิงหาคม และต่ำลงในเดือนกันยายนและจะสูงในช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤศจิกายนและต่ำลงในเดือนธันวาคม เพื่อให้สามารถเก็บกักน้ำไว้ตอบสนองความต้องการใช้น้ำในช่วงฤดูแล้ง จากการศึกษาพบว่า เส้นโค้งกฏปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่สร้างขึ้นจากการค้นหาด้วยวิธีแบบทาบสามารถนำมาใช้กับอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงที่มุ่งเน้นการผลิตน้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค และภาคอุตสาหกรรมเป็นหลักและประสิทธิภาพดีกว่าเส้นโค้งกฏปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเดิม

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณคณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ และกรมชลประทาน กรมพัฒนาที่ดิน กรมอุตุนิยมวิทยา ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลต่างๆ ในการใช้ในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] *Bhumibol and Sirikit Reservoir Operation Manual*, EGAT, Generating Authority of Thailand, 2004.
- [2] D. N. Kumar and F. Baliarsingh, "Folded dynamic programming for optimal operation of multireservoir system," *Water Resources Management*, vol. 17, pp. 337–353, 2003.
- [3] R. Jones, *Generating High Resolution Climate Change Scenarios using PRECIS*. Met Office Hadley Centre, UK: Exeter, 2004, pp. 40.
- [4] R. Hormwichian, A. Kangrang, and A. Lamom, "Aconditional genetic algorithm model for searching optimal reservoir rule curves," *Journal of Applied Sciences*, vol. 9, no. 19, pp. 3575–3580, 2009.
- [5] J. F. Chang, L. Chen, and C. L. Chang, "Optimizing the reservoir operating rule curves by genetic algorithms," *Hydrological Processes*, vol. 19, no. 11, pp. 2277–2289, 2005.
- [6] A. Kangrang and C. Chaleeraktragoon, "Genetic algorithms connected simulation with smoothing function for searching rule curves," *American Journal of Applied Sciences*, vol. 4, no. 2, pp. 73–79, 2007.
- [7] R. Stedinger, "The performance of LDR models for preliminary design and reservoir operation," *Water Resources Research*, vol. 20, no. 2, pp. 215–224, 1984.
- [8] D. N. Kumar and F. Baliarsingh, "Folded dynamic programming for optimal operation of multireservoir system," *Water Resour Manage*, vol. 17, no. 8, pp. 337–353, 2003.
- [9] R. Hormwichian, A. Kangrang, A. Lamom, and C. Chaleeraktragoon "Coupled operations model and a conditional differential evolution algorithm for improving reservoir management," *International Journal of Physical Sciences*, vol. 4, no. 42, pp. 5701–5710, 2012.
- [10] A. Kangrang and C. Lokham, "Optimal reservoir rule curves considering conditional ant colony optimization with simulation model," *American Journal of Applied Sciences*, vol. 13, no. 1, pp. 154–160, 2013.
- [11] A. Afshar, F. Massoumi, A. Afahar, and M. A. Marino, "State of the art review of ant colony optimization applications in water resource management," *Water Resources Management*, vol. 29, pp. 3891–3904, 2015.
- [12] X. S. Yang and S. Deb, "Cuckoo search via Lavy flights," in *Deb, S., Abraham, A., & Herrera, F. (Eds.), World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing*, December 2009, pp. 210–214.
- [13] B. Ming, J. X. Chang, Q. Huang, Y. M. Wang, and S. Z. Huang, "Optimal operation of multi-reservoir system based-on cuckoo search algorithm," *Water Resources Management*, vol. 29, no. 15, pp. 5671–5687, 2015.
- [14] A. Kangrang, H. Prasanchum, and R. Hormwichian, "Development of future rule curves for multipurpose reservoir operation using conditional genetic and tubu search algorithms," *Advances in Civil Engineering*, vol. 2018, no. 2, pp. 1–10, 2018.



- [15] K. Saimuang and A. Kangrang, "Optimal water allocation criteria using the tabu search technique," *Journal of Science and Technology Mahasarakham University*, vol 36, no 1, pp. 1-9, 2017.
- [16] L. B. Rodriguez, P. A. Cello, and C. A. Vionnet, "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, 2008.