
การปรับปรุงโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมด้วยเทคนิค Atom Search
Optimization กรณีศึกษาอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง
Improvement of Optimal Reservoir Rule Curve by Atom Search
Technique: A Case Study of Huai Luang Reservoir

¹นิวัตร ภูมิพันธ์, ¹บรรณณัติ บริบูรณ์, ²ชวิศร ปุคะภาค และ ³สุวัภทร โกษาแสง

¹Niwat Bhumiphan, ¹Banyat Boribum, ²Chawisorn Phukapak and ³Suwapat Kosasaeng

¹คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี,

²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

³ส่วนบริหารจัดการน้ำและบำรุงรักษาสำนักงานชลประทานที่ 5

¹Faculty of Technology, Udon Thani Rajabhat University, Udon Thani

²Faculty of Engineering, Rajabhat Maha Sarakham University, Mahasarakham

³Water Management and Maintenance Division, Regional Irrigation Office 5, Udon Thani

*ผู้พิมพ์หลัก: niwat.bh@udru.ac.th

*Corresponding author: niwat.bh@udru.ac.th

Received
01/02/2023

Reviewed
28/03/2023

Revised
18/04/2023

Accepted
29/04/2023

Abstract

The objective of this study was to investigate the best optimization of the reservoir rule curve by applying the atomic search optimization technique together with the simulation of the Huai Luang reservoir system, Udon Thani Province. In three cases, objective functions are utilized in the search for the optimal solution: the mean of the least water shortages, the least frequency of water shortages, and the smallest maximal shortage. The monthly data for the reservoir rule curve were considered. The data used in this study consisted of monthly average runoff into the reservoir from 1984-2022, hydrologic data, water demand information, and reservoir physical data. The results show that the new rule curve obtained using the Atom Search Optimization technique has a similar shape to the existing rule curve. When the new rule curve was tested and compared to the existing rule curve under identical conditions, the new rule curve was found to be more accurate. It was determined that the new rule curve mitigates water shortage and excess conditions more effectively than the existing rule curve. In addition, 1,000 sets of monthly runoff events were synthesized for the reservoir to evaluate

the efficiency of the new rule curve. It was found to perform slightly better than the existing rule curve.

Keyword: Reservoir rule curve, Optimization techniques, Atom Search Optimization, Reservoir Management

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีความมุ่งหมายเพื่อศึกษาหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของเส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิค Atom Search Optimization ร่วมกับการจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง จังหวัดอุดรธานี โดยกระบวนการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดจะใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 3 กรณี คือ ความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด ปริมาณการขาดแคลนสูงสุดที่น้อยที่สุด และค่าช่วงเวลาเฉลี่ยการเกิดการขาดแคลนนํ้า เพื่อพิจารณาข้อมูลเส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำแบบรายเดือนข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบไปด้วยปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำตั้งแต่ปี พ.ศ. 2527-2565 ข้อมูลอุทกวิทยา ข้อมูลความต้องการใช้น้ำ และข้อมูลทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำจากผลการศึกษาพบว่าเส้นโค้งควบคุมใหม่ที่ได้จากเทคนิค Atom Search Optimization แสดงรูปร่างคล้ายคลึงกับเส้นโค้งควบคุมเดิม เมื่อนำเส้นโค้งควบคุมใหม่ไปทดสอบและเปรียบเทียบกับเส้นโค้งควบคุมเดิมด้วยเงื่อนไขที่เหมือนกัน พบว่าเส้นโค้งควบคุมใหม่สามารถบรรเทาสภาวะการขาดแคลนนํ้าและน้ำไหลล้น ได้ดีกว่าเส้นโค้งควบคุมเดิม นอกจากนี้ยังได้สังเคราะห์เหตุการณ์ของปริมาณน้ำท่าแบบรายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ จำนวน 1,000 ชุด เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเส้นโค้งควบคุมใหม่พบว่าประสิทธิภาพดีกว่าเส้นโค้งควบคุมเดิมเล็กน้อย

คำสำคัญ: เส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ, การหาค่าที่ดีที่สุด, Atom Search Optimization, การจัดการอ่างเก็บน้ำ

บทนำ

ทรัพยากรน้ำเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างมากของประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาการขาดแคลนนํ้าในปัจจุบันจะยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้น การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร การขยายตัวของชุมชนเมือง การเจริญเติบโตของประเทศ และการผันแปรของสภาพภูมิอากาศ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดผลกระทบดังกล่าว (Deb, Tuppada, Dagupati, Srinivasan, & Varma, 2015) อีกทั้งปัจจุบันความต้องการใช้น้ำและความสามารถในการจัดสรรน้ำเป็นปัญหาที่มีความสำคัญมาก การจัดการน้ำเป็นกระบวนการที่สำคัญทำให้มั่นใจว่ามีทรัพยากรน้ำเพียงพอสำหรับการจัดสรรและการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพอย่างเป็นรูปธรรม (Ngene et al., 2021) การจัดการอ่างเก็บน้ำเป็นส่วนสำคัญของการจัดการทรัพยากรน้ำ ซึ่งแบ่งตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน (Soundharajan, Adeloye, & Remesan, 2016) การจำแนกประเภทอ่างเก็บน้ำตามลักษณะทางกายภาพหรือการจัดการของกลุ่มน้ำ (Wan, Guo, Lei, Jiang, & Wang, 2018) โดยทั่วไปอ่างเก็บน้ำสามารถจำแนกออกเป็นสองประเภทได้แก่อ่างเก็บน้ำแบบใช้ครั้งเดียวและอ่างเก็บน้ำอเนกประสงค์ (Shaikh & Pattanayek, 2022; Xu,

Lyon, Mao, Dai, & Jarsjö, 2020) อย่างไรก็ตาม ยังคงมีความยุ่งยากในการจัดการทรัพยากรน้ำ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องด้านปริมาณน้ำ และนโยบายการปล่อยน้ำที่ต้องมีการปรับเปลี่ยนตามรูปแบบตามความต้องการใช้น้ำ (Choi et al., 2020; Fayaed et al., 2019)

เครื่องมือพื้นฐานที่สำคัญของการจัดการอ่างเก็บน้ำ คือ เส้นโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) ซึ่งประกอบไปด้วย เส้นโค้งควบคุมบน (Upper Rule Surface) และเส้นโค้งควบคุมล่าง (Lower Rule Surface) เส้นกราฟสองเส้นนี้เป็นเส้นโค้งควบคุมการปล่อยน้ำ ซึ่งจะควบคุมระดับน้ำให้อยู่ในขอบเขตของเส้นโค้งควบคุมบนและเส้นโค้งควบคุมล่างของแต่ละช่วงเวลาให้มากที่สุด ภายใต้ข้อจำกัดของอ่างเก็บน้ำ (Chang, Chen, & Chang, 2005; Vudhivanich & Rittima, 2003) อย่างไรก็ตาม ยังมีการค้นพบของข้อมูลที่ใช้ในการจัดการอยู่ตลอด ซึ่งจะเป็นปัญหาแบบพลวัต ดังนั้นหากได้ใช้เส้นโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำแบบพลวัตจะทำให้มีความสอดคล้อง และมีประสิทธิภาพในการจัดการอ่างเก็บน้ำเพิ่มมากขึ้น (Bhumiphan, 2021) ความซับซ้อนของปัญหาทรัพยากรน้ำในปัจจุบันจำเป็นต้องได้รับการพิจารณาพร้อมกัน การประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการวางแผนและวิเคราะห์น้ำตามวัตถุประสงค์ของอ่างเก็บน้ำ รวมทั้งข้อมูลน้ำท่วมและภัยแล้ง ซึ่งสามารถนำไปสู่กระบวนการตัดสินใจที่ดียิ่งขึ้น (Jonoski & Popescu, 2012)

การกำหนดเส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำส่วนใหญ่จะใช้วิธีลองผิดลองถูก (trial and error) ร่วมกับการศึกษาเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำ (reservoir simulation) นอกจากนั้นยังมีเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization techniques) ที่ใช้ศึกษาการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำ เทคนิคการหาค่าเหมาะสมการค้นหาค้นหาโค้งควบคุมมีหลายวิธี ด้วยกัน เช่น linear programming (Stedinger, 1984) Dynamic programming (Kumar & Baliarsingh, 2003) Differential Evolution Algorithm (DE) (Rattana, Anongrit, Alongkorn, Chavalit, & Sanguan, 2012) Ant Colony Optimization (ACO) (Kangrang & Lokham, 2013) Cuckoo Search Algorithms (CS) (Yang & Deb, 2009) และ Tabu Search (Bhumiphan, 2021; Marchand, Gendreau, Blais, & Guidi, 2019; Saimuang & Kangrang, 2017) อย่างไรก็ตาม ยังมีอีกเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการค้นหาโซลูชันที่ดีที่สุด คือ เทคนิค Atom Search Optimization (ASO) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมแบบอิวิริสติกที่ได้รับแรงบันดาลใจจากไดนามิกของโมเลกุลพื้นฐาน ASO เลียนแบบการเคลื่อนที่ของอะตอมที่ควบคุมโดยแรงปฏิกิริยา โดยมีการทดสอบด้วยฟังก์ชันต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบและถูกนำไปใช้กับโซลูชันการประมาณค่าพารามิเตอร์ทางอุทกธรณีวิทยาเพื่อตรวจสอบความถูกต้องเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ การค้นพบนี้แสดงให้เห็นว่า ASO มีความสามารถใช้เป็นแนวทางทางเลือกในการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมด้านต่างๆ ได้ (Almagboul et al., 2019; Barshandeh & Haghzadeh, 2021; Zhao, Wang, & Zhang, 2019) อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ไม่ได้ใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถรวมคำตอบได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพซึ่งสามารถใช้ค้นหาเส้นโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ

อ่างเก็บน้ำห้วยหลวงเป็นอ่างเก็บน้ำสำคัญของจังหวัดอุดรธานี อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงมีต้นกำเนิดจากเทือกเขาภูพานใน เขตอำเภอหนองวัวซอ ซึ่งความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค อุตสาหกรรม และภาคเกษตรกรรม จะใช้น้ำจากแหล่งเดียวกัน คือ อ่างเก็บน้ำห้วยหลวง ในช่วงปี

พ.ศ. 2554 ได้เกิดฝนตกหนักมีปริมาณมากในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง ต้องเผชิญกับความเสี่ยงกับภาวะน้ำท่วม ส่งผลให้ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงเกินระดับกักเก็บ (Water Resources and Environment Institute, 2015) นอกจากนั้นการขาดแคลนน้ำ เนื่องจากความผันผวนของปริมาณน้ำในช่วงฤดูแล้งที่ยาวนานขึ้น ทำให้การขาดแคลนน้ำครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างเกือบทั้งจังหวัด ส่งผลกระทบต่อภาคส่วนต่างๆ ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตที่มีความจำเป็นต้องการใช้น้ำ เช่น การจัดสรรน้ำด้านอุตสาหกรรม และภาคเกษตรกรรม เนื่องจากอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงเป็นแหล่งน้ำสำคัญในการผลิตน้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภคเป็นหลัก

การวิจัยนี้มีความมุ่งหมายเพื่อศึกษากลยุทธ์การจัดการน้ำที่เหมาะสมที่สุด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้เส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงด้วยเทคนิค Atom Search Optimization (ASO) เพื่อค้นหาเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมแบบพลวัต โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหา คือ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด ค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด และปริมาณการขาดแคลนน้ำสูงสุดที่น้อยที่สุด จากปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำตั้งแต่ พ.ศ. 2527-2565

วิธีการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา

การศึกษานี้เลือกอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง ซึ่งเป็นอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ เป็นเขื่อนดิน สูง 12 เมตร ยาว 4.90 กิโลเมตร ตั้งอยู่ที่ตำบลโคกสะอาด อำเภอเมืองอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี ประเทศไทย หรือที่พิกัด $17^{\circ}22'30.8''\text{N}$ $102^{\circ}36'20.5''\text{E}$ อยู่ในความรับผิดชอบของกรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ สามารถกักเก็บน้ำได้สูงสุด 152.77 ล้าน ลบ.ม. ปริมาตรเก็บกักน้ำต่ำที่สุด (dead storage) 6.83 ล้าน ลบ.ม. พื้นที่อ่างเก็บน้ำประมาณ 20,000 ไร่ เป็นอ่างเก็บน้ำเพื่อการเกษตร การประมง และการจ่ายน้ำเพื่อการผลิตประปา และมีพื้นที่รับประโยชน์ประมาณ 84,000 ไร่

2. ข้อมูลที่ใช้ศึกษา

อ่างเก็บน้ำห้วยหลวงมีสถานีวัดน้ำท่าจากสถานี KH.53 ดังแสดงใน Figure 1 ศูนย์อุทกวิทยาและบริหารจัดการน้ำภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน กรมชลประทาน ซึ่งได้แสดงสถิติข้อมูลรายละเอียดของสถานีวัดปริมาณท่ารายวัน

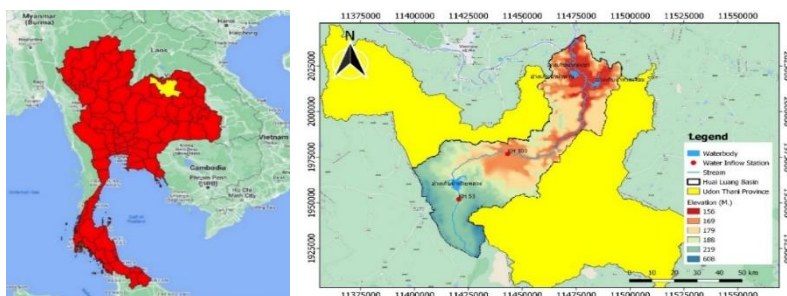


Figure 1 ลุ่มน้ำห้วยหลวง

Figure 2 แสดงปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง ระหว่างปี พ.ศ. 2527-2565 ในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองจะดำเนินการโดยนำเส้นโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมที่สุดใช้ในการควบคุมอ่างเก็บน้ำในระยะยาว ด้วยข้อมูลที่สังเคราะห์เหตุการณ์ขึ้นมา 1,000 ชุด จากปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำห้วยหลวงจำนวน 38 ปี ด้วยแบบจำลอง HEC-4 (Plermkamon, 1993) ครอบคลุมเหตุการณ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้น ดำเนินการจำลองระบบควบคุมอ่างเก็บน้ำ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของระบบการจัดการและการควบคุม แล้วคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องปล่อยในแต่ละเดือนภายใต้เส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ ผลการประเมินจะแสดงในรูปของความถี่ ปริมาณช่วงเวลาของสถานการณ์ขาดแคลนน้ำและน้ำไหลล้น

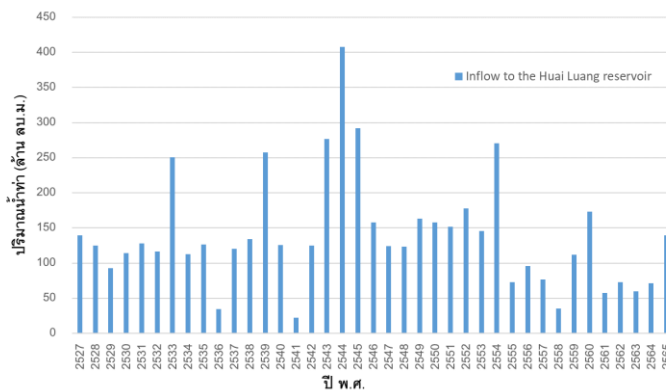


Figure 2 ปริมาณน้ำท่าอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงในช่วงปี พ.ศ. 2527 ถึง พ.ศ. 2565

3. แบบจำลองการเลียนแบบสภาพสมมูลน้ำ

การศึกษาเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำในแต่ละลุ่มน้ำในการศึกษาครั้งนี้จะใช้หลักการสมมูลน้ำ สร้างแบบจำลองการ เลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำขึ้น โดยทั่วไปนิยมใช้แบบจำลอง HEC-3, HEC-5 และ HEC-RAS (Rodriguez, Cello, Vionnet, & Goodrich, 2008) โดยใช้หลักการเดียวกันกับแบบจำลองข้างต้น เพื่อให้สะดวกต่อการเชื่อมต่อการค้นหาคำตอบด้วยเทคนิค Atom Search Optimization (ASO) รวมไปถึงการพัฒนาในอนาคตต่อไป ซึ่งแบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้สามารถใช้หาได้ทั้งสถานการณ์ขาดแคลนน้ำ และสถานการณ์ที่เกิดน้ำไหลล้นได้ เช่น ความถี่ ขนาด ช่วงเวลา ในการเริ่มต้นคำนวณการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำ จะกำหนดให้ปริมาตรน้ำเก็บกักเริ่มต้นที่ปริมาตรเก็บกักสูงสุด (Full capacity) ส่วนปริมาณน้ำที่ระบายจากอ่างเก็บน้ำในแต่ละเดือนจะหาได้ตามเกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน (Standard Operating Rule) ดังแสดงใน Figure 3 และสมการที่ (1)

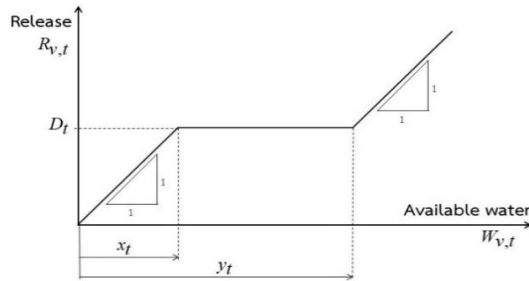


Figure 3 เกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน

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

โดย $R_{v,t}$ คือ ปริมาณน้ำที่ระบายออกจากอ่างเก็บน้ำ (หน่วย ล้าน ลบ.ม.) ในช่วงปี v ของเดือน t ($t = 1$ ถึง 12 แทน เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม) D_t คือ ความต้องการใช้น้ำทำอ่างของเดือน t (หน่วย ล้าน ลบ.ม.) x_t คือ ขอบเขตล่างของเส้นโค้งควบคุมของแต่ละเดือน t , y_t คือ ขอบเขตบนของเส้นโค้งควบคุมของเดือน t และ $W_{v,t}$ คือ ปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ของอ่างในเดือน t (หน่วย ล้าน ลบ.ม.) จากนั้นคำนวณหาต้นทุนที่มีอยู่ของอ่างเก็บน้ำในเดือนถัดไป โดยใช้หลักสมการสมดุลน้ำ ดังสมการ (2)

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

โดย $S_{v,t}$ คือ ปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเมื่อสิ้นสุดเดือน t (หน่วย ล้าน ลบ.ม.) $Q_{v,t}$ คือ ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่างในเดือน t ปี u (หน่วย ล้าน ลบ.ม.) E_t คือ ค่าการระเหยรายเดือนเฉลี่ยเดือน t (หน่วย ล้าน ลบ.ม.) และ DS (dead storage) คือ ปริมาตรเก็บกักที่ไม่ได้ใช้การ (หน่วย ล้าน ลบ.ม.) เมื่อทำการจำลองสภาพสมดุลน้ำโดยใช้แบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำที่สร้างขึ้นจนครบจำนวนปีที่มีข้อมูล แล้วก็จะได้ผลการจำลองเป็นสถานการณ์ขาดแคลนน้ำ และสถานการณ์ที่เกิดน้ำไหลล้น ซึ่งจะแสดงในรูปของความสัมพันธ์ ปริมาณ และช่วงเวลา จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลดังกล่าวไว้ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการหาค่าเหมาะสมสูงสุดต่อไป

การประยุกต์ใช้เทคนิค Atom Search Optimization ค้นหาเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุด

การประยุกต์ใช้เทคนิค ASO เพื่อค้นหาค่าเหมาะสมที่สุดจะทำการเชื่อมต่อกับแบบจำลองเลียนแบบสถานการณ์เพื่อค้นหาเส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม ดังแสดงใน Figure 4 ASO ถูกสร้างขึ้นและประกอบเข้ากับแบบจำลองอ่างเก็บน้ำ ASO พัฒนาขึ้นโดยใช้หลักการเดียวกันกับ (Almagboul et al., 2019; Zhao et al., 2019) ขั้นตอนเริ่มต้นด้วยการสร้างชุดของอะตอมเริ่มต้นของเส้นโค้งควบคุม (X) การค้นหาขอบเขตฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และเกณฑ์การหยุด จากนั้นชุดของอะตอมเริ่มต้นของเส้นโค้งควบคุม จะถูกส่งไปยังแบบจำลองอ่างเก็บน้ำทีละตัว โดยพิจารณาจากข้อมูลนำเข้าและข้อมูลทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำ คำนวณโดยใช้เส้นโค้งควบคุมเริ่มต้นตามจำลองช่วงเวลา จากนั้นคำนวณฟังก์ชันวัตถุประสงค์และประเมินชุดของเส้นโค้งควบคุมเริ่มต้น จากการยอมรับการวนซ้ำครั้งแรกและครั้งถัดไป เส้นโค้งควบคุมที่ยอมรับใหม่จะถูกนำมาใช้เพื่อแทนที่ชุดของอะตอมเริ่มต้น ขั้นตอนนี้ถูกทำซ้ำจนกระทั่งเส้นโค้งควบคุมที่มีความเหมาะสมที่สุด

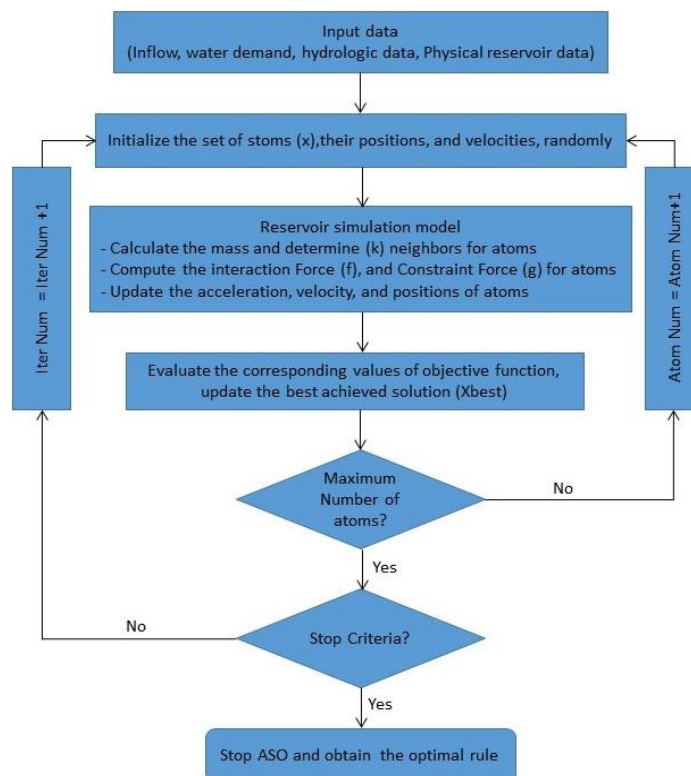


Figure 4 การประยุกต์ใช้เทคนิค Atom Search Optimization เพื่อจำลองระบบอ่างเก็บน้ำ

โดยกำหนดสมการฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function) ในการสร้างโค้งควบคุมที่เหมาะสม คือ ปริมาณน้ำไหลล้นเฉลี่ยน้อยที่สุด ดังแสดงในสมการ (3)

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

โดย n คือ ผลรวมของจำนวนปีที่ต้องการพิจารณา

Sh คือ ปริมาณน้ำที่ไหลล้นระหว่างปี v

i คือ หมายเลขการวนซ้ำ

กรณีความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุดจะเปลี่ยนฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการค้นหาคำตอบเป็นความถี่ของการขาดแคลนน้ำดังสมการ (4)

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

โดย Y_n คือ จำนวนปีที่ขาดแคลนน้ำ และ $\sum Y_{in}$ คือจำนวนปีของข้อมูลปริมาณน้ำท่าทั้งหมด

การประเมินประสิทธิภาพของเส้นโค้งควบคุมที่ได้จากแบบจำลองด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในอดีตตั้งแต่ปี 2527-2565 และข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจากการสร้างสถานการณ์ต่าง ๆ ด้วยการสังเคราะห์เหตุการณ์ที่เกิดขึ้น จำนวน 1,000 ชุด เพื่อศึกษาพฤติกรรมของระบบการจัดการน้ำและการควบคุม แล้วคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องปล่อยในแต่ละเดือน ดังนั้นการประเมินประสิทธิภาพของเส้นโค้งควบคุมที่ได้จากแบบจำลองกับโค้งควบคุมที่ใช้ในปัจจุบัน จะแสดงผลการประเมินน้ำขาดแคลนน้ำและน้ำไหลล้นในรูปของความถี่ ขนาด และช่วงเวลาของสถานการณ์ต่าง ๆ

ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผลการสร้างเส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำใหม่ที่ได้จากเทคนิค ASO เปรียบเทียบกับเส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำเดิม (Existing) โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในอดีตจำนวน 38 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2527– 2565 โดยใช้ข้อมูลความต้องการน้ำแบบรายเดือน การประเมินประสิทธิภาพฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุดออกเป็น 3 วัตถุประสงค์ ได้แก่ ความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด ปริมาณการขาดแคลนสูงสุดที่น้อยที่สุด และค่าช่วงเวลาเฉลี่ยการเกิดการขาดแคลนน้ำ ซึ่งจะประเมินด้วยการจำลองสภาพสมมูลน้ำของอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงจากข้อมูลน้ำในอดีต จำนวน 38 ปี ได้แก่ ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ อัตราการระเหยเฉลี่ยรายเดือน ปริมาตรความจุของอ่างเก็บน้ำ

ข้อมูลเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงพื้นที่ผิวน้ำ ข้อมูลปริมาณการกักเก็บน้ำสูงสุดและต่ำสุด ในการประเมินสถานการณ์การขาดแคลนน้ำและน้ำไหลล้น ซึ่งเส้นโค้งควบคุมได้นี้มีรูปร่างคล้ายคลึงกัน ดังแสดงใน Figure 5 แต่อย่างไรก็ตามยังมีความแตกต่างกันดังนี้ เส้นโค้งควบคุมใหม่ เส้นล่าง (LRC-ASO) และเส้นบน (URC-ASO) จะอยู่สูงกว่าเส้นโค้งควบคุมเดิม และการประเมินประสิทธิภาพของเส้นโค้งควบคุมใหม่ เมื่อดำเนินการเปรียบเทียบกับเส้นโค้งควบคุมเดิม พบว่าผลการประเมินแสดงใน Table 1 จะเห็นว่าเส้นโค้งควบคุมใหม่ให้ผลลัพธ์ของสถานการณ์น้ำขาดแคลนของเส้นโค้งควบคุมใหม่ มีค่าเท่ากับ 0.08 ครั้งต่อปี และสามารถลดการขาดแคลนน้ำจาก 0.40 ล้าน ลบ.ม ลดลงเหลือ 0.34 ล้าน ลบ.ม และมีค่าช่วงเวลาเฉลี่ยการเกิดการขาดแคลนน้ำเท่ากัน คือ 1.50 ปี กรณีการเกิดน้ำไหลล้น มีค่าความถี่ของการไหลล้นของน้ำเท่ากัน คือ 0.87 ครั้งต่อปี มีปริมาณน้ำไหลล้น 92.08 ล้าน ลบ.ม ซึ่งน้อยกว่าเส้นโค้งควบคุมเดิม 92.31 ล้าน ลบ.ม จากผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นว่าเส้นโค้งควบคุมจากเทคนิค ASO มีประสิทธิภาพดีกว่าเส้นโค้งควบคุมเดิมทั้งในกรณีสถานการณ์ขาดแคลนน้ำและกรณีการเกิดน้ำไหลล้น และเหมาะสมกับสถานการณ์น้ำปกติทั่วไป จากนั้นได้ทำการประเมินประสิทธิภาพเส้นโค้งควบคุมใหม่จากข้อมูลปริมาณน้ำท่าในอดีตที่สังเคราะห์เหตุการณ์ขึ้น จำนวน 1,000 ชุด ซึ่งผลการประเมินแสดงใน Table 2 พบว่าผลลัพธ์ของสถานการณ์น้ำขาดแคลนน้ำไม่มีโอกาสเกิดขึ้น และโอกาสการเกิดความถี่ของน้ำไหลล้นให้ผลลัพธ์ที่เท่ากัน คือ 0.99 ครั้งต่อปี แต่ช่วยลดปริมาณน้ำไหลล้นเฉลี่ยจาก 91.34 ล้าน ลบ.ม เป็น 91.04 ล้าน ลบ.ม และลดช่วงเวลาเฉลี่ยการเกิดน้ำไหลล้นจาก 30.77 ปี ลดลงเหลือ 30.62 ปี จากผลการประเมินประสิทธิภาพนี้แสดงให้เห็นว่าเส้นโค้งควบคุมที่ถูกสร้างขึ้นใหม่มีประสิทธิภาพดีกว่าเส้นโค้งควบคุมเดิมเล็กน้อย อย่างไรก็ตามการที่ URC พร่องน้ำลงในช่วงฤดูฝน เป็นการป้องกันน้ำท่วมท้ายน้ำขณะเดียวกันท้ายฤดูฝนจะมีการเพิ่มการกักเก็บให้ได้น้ำเต็มอ่างเพื่อนำมาใช้ในฤดูแล้ง อ่างเก็บน้ำห้วยหลวงเป็นอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ที่มุ่งเน้นการผลิตน้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค ในเขตชุมชนเมือง และภาคอุตสาหกรรมเป็นหลัก หากมีการขยายพื้นที่การเกษตรในอนาคตอาจส่งผลต่อการขาดแคลนน้ำ และยังมีผลกระทบอีกทางหนึ่งคือปัญหาจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ เป็นจำต้องการศึกษาหาแบบจำลองที่เหมาะสมเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อความต้องการใช้น้ำในอนาคต

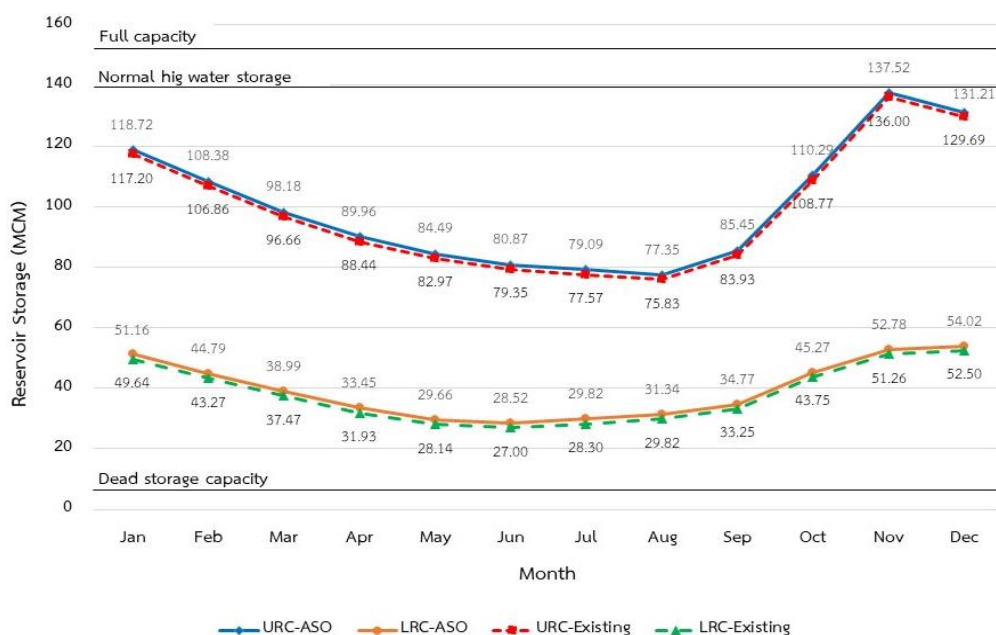


Figure 5 เปรียบเทียบเส้นโค้งควบคุมเดิมกับแบบจำลอง ASO ของอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง

Table 1 ประเมินผลเส้นโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง จากข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในอดีตตั้งแต่ปี พ.ศ. 2527– 2565 จำนวน 38 ปี

Situations/Rule curves	Frequency (Time/year)	Volume (MCM/year)		Time period (year)	
		Average	Maximum	Average	Maximum
Shortage Water					
ASO	0.08	0.34	6.00	1.50	2.00
Existing	0.08	0.40	7.00	1.50	2.00
Excess Water					
ASO	0.87	92.08	355.74	8.25	16.00
Existing	0.87	92.31	356.03	8.25	16.00

Table 2 ประเมินผลเส้นโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง จากข้อมูลการสังเคราะห์เหตุการณ์ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ จำนวน 1,000 ชุด

Situations /Rule curves		Frequency (Time/year)	Volume (MCM/year)		Time period (year)	
			Average	Maximum	Average	Maximum
Shortage Water						
ASO	μ	0.00	0.00	0.08	0.03	0.03
	σ	0.01	0.03	0.69	0.19	0.20
Existing	μ	0.00	0.00	0.11	0.03	0.03
	σ	0.01	0.03	0.80	0.20	0.20
Excess Water						
ASO	μ	0.99	91.04	284.81	30.62	33.08
	σ	0.02	11.06	63.13	10.13	6.63
Existing	μ	0.99	91.34	285.16	30.77	33.88
	σ	0.02	11.06	63.12	10.08	6.59

หมายเหตุ: μ = ค่าเฉลี่ย, σ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สรุปผลการวิจัย

การปรับปรุงเส้นโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง ด้วยการประยุกต์ใช้การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิค Atom Search Optimization โดยการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันวัตถุประสงค์ พบว่าทั้ง 3 กรณี ให้เส้นโค้งควบคุมที่มีรูปร่างคล้ายคลึงกัน แต่ยังคงมีความแตกต่างกันคือเส้นโค้งควบคุมใหม่ คือ เส้นล่าง (LRC-ASO) และเส้นบน (URC-ASO) อยู่สูงกว่าเส้นโค้งควบคุมเดิมเล็กน้อย อย่างไรก็ตามพบว่า มีแนวโน้มการสูงขึ้นและลู่ไปในทิศทางเดียวกัน ทำให้ลดการปล่อยน้ำช่วงฤดูแล้งส่งผลทำให้มีน้ำเหลือเก็บในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายนลดการขาดแคลนน้ำในช่วงเวลาสำคัญได้ดี และเส้นโค้งควบคุมจะเริ่มสูงขึ้นในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคมทำให้มีการกักเก็บน้ำได้มากขึ้น อันเนื่องมาจากเป็นช่วงที่สิ้นสุดฤดูการเพาะปลูก และผลการประเมินสถานการณ์การขาดแคลนน้ำของเส้นโค้งควบคุมใหม่ได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าเส้นโค้งควบคุมเดิมในสถานการณ์น้ำปกติทั่วไป เมื่อนำเส้นโค้งควบคุมใหม่มาทดสอบและเปรียบเทียบกับเส้นโค้งควบคุมเดิม โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจากการสังเคราะห์เหตุการณ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้น จำนวน 1,000 ชุด พบว่าเส้นโค้งควบคุมที่ถูกร่างขึ้นใหม่มีประสิทธิภาพดีกว่าเส้นโค้งควบคุมเดิมเล็กน้อย จากการศึกษาพบว่าอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงที่มุ่งเน้นการผลิตน้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค และภาคอุตสาหกรรมเป็นหลักนั้นสามารถใช้เส้นโค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิค Atom Search Optimization ได้ และยังสามารถลดการขาดแคลนน้ำและการไหลล้นของน้ำอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงได้ มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเส้นโค้งควบคุมเดิมอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ ส่วนบริหารจัดการน้ำและบำรุงรักษาสำนักงานชลประทานที่ 5 จังหวัดอุดรธานี ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลต่าง ๆ ในการใช้ในการวิจัยครั้งนี้

References

- Almagboul, M. A., Shu, F., Qian, Y., Zhou, X., Wang, J., & Hu, J. (2019). Atom search optimization algorithm based hybrid antenna array receive beamforming to control sidelobe level and steering the null. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 111, 152854.
- Barshandeh, S., & Haghzadeh, M. (2021). A new hybrid chaotic atom search optimization based on tree-seed algorithm and Levy flight for solving optimization problems. *Engineering with Computers*, 37(4), 3079-3122.
- Bhumiphan, N. (2021). Improvement of Optimal Reservoir Operation Rule Curve by Tabu Search: A Case Study of Huai Luang. *Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, 31(3), 461-470.
- Chang, F. J., Chen, L., & Chang, L. C. (2005). Optimizing the reservoir operating rule curves by genetic algorithms. *Hydrological Processes: An International Journal*, 19(11), 2277-2289.
- Choi, Y., Lee, E., Ji, J., Ahn, J., Kim, T., & Yi, J. (2020). Development and evaluation of the hydropower reservoir rule curve for a sustainable water supply. *Sustainability*, 12(22), 9641.
- Deb, D., Tuppada, P., Daggupati, P., Srinivasan, R., & Varma, D. (2015). Spatio-temporal impacts of biofuel production and climate variability on water quantity and quality in upper Mississippi River basin. *Water*, 7(7), 3283-3305.
- Fayaed, S. S., Fiyadh, S. S., Khai, W. J., Ahmed, A. N., Afan, H. A., Ibrahim, R. K., . . . Binti Jaafar, W. Z. (2019). Improving dam and reservoir operation rules using stochastic dynamic programming and artificial neural network integration model. *Sustainability*, 11(19), 5367.
- Jonoski, A., & Popescu, I. (2012). Distance learning in support of water resources management: an online course on decision support systems in river basin management. *Water Resources Management*, 26(5), 1287-1305.
- Kangrang, A., & Lokham, C. (2013). Optimal Reservoir Rule Curves Considering Conditional Ant Colony Optimization with. *Journal of applied sciences*, 13(1), 154-160.
- Kumar, D. N., & Baliarsingh, F. (2003). Folded dynamic programming for optimal operation of multireservoir system. *Water Resources Management*, 17(5), 337-353.

- Marchand, A., Gendreau, M., Blais, M., & Guidi, J. (2019). Optimized operating rules for short-term hydropower planning in a stochastic environment. *Computational Management Science*, 16(3), 501-519.
- Ngene, B. U., Nwafor, C. O., Bamigboye, G. O., Ogbiye, A. S., Ogundare, J. O., & Akpan, V. E. (2021). Assessment of water resources development and exploitation in Nigeria: A review of integrated water resources management approach. *Heliyon*, 7(1), e05955.
- Plermkamon, V. (1993). Runoff Generation by HEC-4. *Engineering and Applied Science Research*, 20(1), 31-37.
- Rattana, H., Anongrit, K., Alongkorn, L., Chavalit, C., & Sanguan, P. (2012). Coupled-operations model and a conditional differential evolution algorithm for improving reservoir management. *International Journal of Physical Sciences*, 7(42), 5701-5710.
- Rodriguez, L. B., Cello, P. A., Vionnet, C. A., & Goodrich, D. (2008). Fully conservative coupling of HEC-RAS with MODFLOW to simulate stream-aquifer interactions in a drainage basin. *Journal of Hydrology*, 353(1-2), 129-142.
- Saimuang, K., & Kangrang, A. (2017). Optimal water allocation criteria using the Tabu Search technique. *Journal of Science and Technology Mahasarakham University*, 36(1), 1-9.
- Shaikh, S. A., & Pattanayek, T. (2022). Implicit stochastic optimization for deriving operating rules for a multi-purpose multi-reservoir system. *Sustainable Water Resources Management*, 8(5), 1-13.
- Soundharajan, B.-S., Adeloye, A. J., & Remesan, R. (2016). Evaluating the variability in surface water reservoir planning characteristics during climate change impacts assessment. *Journal of Hydrology*, 538, 625-639.
- Stedinger, J. R. (1984). The performance of LDR models for preliminary design and reservoir operation. *Water Resources Research*, 20(2), 215-224.
- Vudhivanich, V., & Rittima, A. (2003). Development of Probability Based Rule Curves for a Reservoir. *Agriculture and Natural Resources*, 37(2), 234-242.
- Wan, W., Guo, X., Lei, X., Jiang, Y., & Wang, H. (2018). A novel optimization method for multi-reservoir operation policy derivation in complex inter-basin water transfer system. *Water Resources Management*, 32(1), 31-51.
- Water Resources and Environment Institute. (2015). Development Plan for the Lower Huai Luang Basin, Udon Thani and Nong Khai Provinces. Retrieved from <https://home.kku.ac.th/wrei/index.php/work?showall=1&limitstart=>

- Xu, D., Lyon, S. W., Mao, J., Dai, H., & Jarsjö, J. (2020). Impacts of multi-purpose reservoir construction, land-use change and climate change on runoff characteristics in the Poyang Lake basin, China. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 29, 100694.
- Yang, X.-S., & Deb, S. (2009). *Cuckoo search via Lévy flights*. Paper presented at the 2009 World congress on nature & biologically inspired computing (NaBIC).
- Zhao, W., Wang, L., & Zhang, Z. (2019). Atom search optimization and its application to solve a hydrogeologic parameter estimation problem. *Knowledge-Based Systems*, 163, 283-304.