

การประยุกต์ใช้เทคนิคการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเส้นโค้ง ควมคุมอ่างเก็บน้ำ กรณีศึกษาอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง

นิวัตร ภูมิพันธ์* นพรัตน์ ธรรมวงษา และ ญัฐพงศ์ บุตรธนู

คณะเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

234 หมู่ 12 ตำบลสามพร้าว อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี 41000

รับบทความ 2 กรกฎาคม 2567 แก้ไขบทความ 1 มีนาคม 2568 ตอรับบทความ 4 เมษายน 2568

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เน้นการประยุกต์ใช้เทคนิคการค้นหาค่าที่เหมาะสมร่วมกับแบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำ เพื่อค้นหาเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมสำหรับอ่างเก็บน้ำ ซึ่งใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหาคำตอบ โดยคำตอบที่ค้นหา คือ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด ความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด และค่าเฉลี่ยของนํ้าไหลล้นน้อยที่สุด งานวิจัยนี้ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลนํ้าทำในอดีตแต่ละเดือนที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ ที่เกี่ยวข้องกับอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง ตำบลโคกสะอาด อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี ในช่วงเวลาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2527 ถึง 2566 รวมถึงข้อมูลเกี่ยวกับความต้องการใช้นํ้า และข้อมูลทางอุทกวิทยา รวมถึงข้อมูลทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำด้วย โดยข้อมูลเหล่านี้ใช้เพื่อหาความสัมพันธ์และแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับสร้างเส้นโค้งควบคุมการไหลของนํ้าในอ่างเก็บน้ำ นอกจากนี้ยังมีการจำลองเหตุการณ์ของปริมาณนํ้าท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำแบบรายเดือน จำนวน 1,000 ชุดเหตุการณ์ เพื่อใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของเส้นโค้งควบคุมที่สร้างขึ้นจากแบบจำลอง ซึ่งจะแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบของสถานการณ์ที่เกิดการขาดแคลนนํ้าและนํ้าไหลล้น โดยระบุช่วงเวลาของเหตุการณ์ ปริมาณนํ้าเฉลี่ย และปริมาณนํ้าสูงสุด การวิจัยนี้พบว่าเส้นโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำมีความคล้ายคลึงกันและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แม้ว่ามีจุดที่มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย การทดสอบและเปรียบเทียบเส้นโค้งควบคุมที่ได้จากแบบจำลองด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (GA) และการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเชิงขับเคลื่อนด้วยลม (WDO) กับเส้นโค้งควบคุมปัจจุบัน พบว่าเส้นโค้งควบคุมที่ได้จากแบบจำลองนั้นมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเล็กน้อย โดย GA ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดและเหมาะสมกับสถานการณ์นํ้าปกติ ผลการวิจัยชี้ให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้แบบจำลอง GA เพื่อพัฒนาเส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำมีความเป็นไปได้สูง ซึ่งสามารถนำไปสู่การปรับปรุงประสิทธิภาพของเส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำอย่างมีนัยสำคัญ และช่วยให้การจัดการทรัพยากรนํ้าในอนาคตมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ : เส้นโค้งควบคุม; การค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุด; ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม; การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเชิงขับเคลื่อนด้วยลม; การบริหารจัดการนํ้า

Application of Optimal Value Search Technique for Reservoir Rule Curves: A Case Study of Huai Luang

Niwat Bhumiphan* Nopparat Thamwongsa and Nuttapong Bootthanu

Faculty of Technology, Udon Thani Rajabhat University

234 Village No. 12, Sam Phrao Subdistrict, Mueang District, Udon Thani Province 41000

Received 2 July 2024; Revised 1 March 2025; Accepted 4 April 2025

Abstract

This research focuses on the application of optimum search techniques in combination with reservoir system simulation models to find appropriate rule curves for reservoirs. It uses the objective function of finding the answer. The answer searched for is the average of the least water shortage, the frequency of water shortages is minimal and the average of the least overflowing water. This research uses analysis of historical inflows data each month that flows into the reservoir. Related to Huai Luang Reservoir, Khok Sa-at Subdistrict, Mueang District, Udon Thani Province for the period from 1984 to 2023, including information on water demand. and hydrological information This also includes physical information about the reservoir. These data are used to find appropriate models for creating curve rules to control water flow in reservoirs. In addition, a series of 1,000 monthly inflows events into the reservoir are simulated to evaluate the effectiveness of the rule curves generated from the model. This results in situations of water shortages and overflow. by specifying the time period of the event average water volume and maximum water volume. This research found that the rule curves of the reservoirs are similar and tend in the same direction. Although there are points with slightly different values. Testing and comparing the rule curves obtained from the Genetic algorithm (GA) and Wind Driven Optimization (WDO) models with the current rule curves. It was found that the rule curves obtained from the model had slightly better performance, with GA giving the best results and being suitable for normal water situations. The results indicate that the feasibility of using GA models to develop reservoir rule curves is highly feasible. This can lead to a significant improvement in the efficiency of the reservoir rule curves. and help to make water resource management in the future more efficient.

Keywords : Rule curve; Optimal value search; Genetic algorithm; Wind Driven Optimization; Water management

* Corresponding Author. Tel.: +666 5294 9145, E-mail Address: niwat.bh@udru.ac.th

1. บทนำ

การจัดการทรัพยากรน้ำจำเป็นต้องมีการวางแผนอย่างดีและเหมาะสมเพื่อให้ทรัพยากรน้ำที่มีอย่างจำกัดสามารถสอดคล้องกับความต้องการ ด้านอุปโภค-บริโภค ในขณะเดียวกันควรให้ความสำคัญกับการเก็บรักษาแหล่งน้ำเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการ ในปัจจุบันแหล่งน้ำมีการเสื่อมโทรมทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ [1], [2] การวางแผนและการบริหารงานจึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการสนับสนุนการจัดการที่มีประสิทธิภาพ และการเลือกแนวทางแก้ไขปัญหาก็เหมาะสมมีความสำคัญอย่างยิ่ง การนำระบบสนับสนุนการตัดสินใจมาใช้ในการทำงานสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้อย่างมีนัยสำคัญ ด้วยเงื่อนไขที่ทำให้ตัดสินใจได้เชิงคุณภาพและนำแนวทางการจัดการไปใช้ ในด้านการจัดการน้ำ [3], [4]

การจัดการทรัพยากรน้ำควรเน้นไปที่การวางแผนอย่างรอบคอบและประหยัด การวางแผนทรัพยากรน้ำเป็นขั้นตอนสำคัญที่จะทำให้มีทรัพยากรน้ำที่เพียงพอในอนาคต แม้ว่าในสถานการณ์ปัจจุบันอาจจะบรรลุวัตถุประสงค์ แต่สถานการณ์ในอนาคตอาจส่งผลให้เกิดวิกฤตการณ์ในการจัดการตามวัตถุประสงค์ที่ผ่านมา ดังนั้นการจัดการทรัพยากรน้ำในปัจจุบันจึงมุ่งเน้นไปที่การจัดการน้ำอย่างประหยัด และความยั่งยืนต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด [5] นอกจากนี้การจัดการทรัพยากรน้ำยังต้องคำนึงถึงการสร้างและปรับปรุงโครงสร้างพื้นที่รวมถึงการระบายน้ำเพื่อลดการท่วมและการขาดแคลนน้ำ การสร้างการตัดสินใจที่มีความคิดริเริ่มและใช้ข้อมูลที่เหมาะสมในการจัดการทรัพยากรน้ำเป็นสิ่งสำคัญ [6] การบริหารจัดการน้ำจึงต้องมีความประหยัดและมีผลกระทบต่อด้านอื่นๆ น้อยที่สุด และเป็นแนวทางให้ทุกภาคส่วนเข้ามามีส่วนร่วมในการบริหารจัดการ

การจัดการอ่างเก็บน้ำถือเป็นมาตรการอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากในการพัฒนาการจัดการ

ทรัพยากรน้ำแบบบูรณาการ การควบคุมน้ำท่วมและความแห้งแล้งทั้งหมดอยู่ภายใต้การดำเนินการของอ่างเก็บน้ำ การทำให้บรรลุเป้าหมายของอ่างเก็บน้ำจะใช้การจัดการด้านอุปทานและด้านอุปสงค์เข้าด้วยกัน ดังนั้นการวางแผนการดำเนินงานอ่างเก็บน้ำล่วงหน้าจึงเป็นเครื่องมือสำคัญ พื้นฐานการจัดการอ่างเก็บน้ำทั่วไปจะใช้เส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ ซึ่งเป็นเกณฑ์การปล่อยน้ำที่พัฒนามาจากฐานแบบจำลองด้วยข้อมูลที่สำคัญ เช่น ความต้องการน้ำ ปริมาณฝน ปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำ ลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำและอ่างเก็บน้ำ อย่างไรก็ตามข้อมูลเหล่านี้ควรได้รับการตรวจสอบความถูกต้องก่อนนำไปวิเคราะห์เพื่อพัฒนาแบบจำลองระบบปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำภายใต้สภาวะต่างๆ ให้มีประสิทธิภาพในการจัดการอ่างเก็บน้ำในอนาคต ดังนั้นเส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำจึงถือเป็นทางเลือกอีกชุดหนึ่งในการตัดสินใจเกี่ยวกับระบบการจัดการน้ำ และเป็นเครื่องมือที่สำคัญพื้นฐานสำหรับการปรับปรุงการดำเนินงานของอ่างเก็บน้ำ [7], [8]

เส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำซึ่งสร้างขึ้นจากการวิเคราะห์ข้อมูลอุทกวิทยาในอดีตที่มีเงื่อนไขแตกต่างกัน โดยความต้องการน้ำจะแสดงในรูปแบบของเส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ ประกอบด้วยเส้นกราฟสองเส้นดังนี้ เส้นโค้งควบคุมน้ำสูงสุด (Upper Rule Curve, URC) มีไว้สำหรับใช้ในฤดูฝนเพื่อให้มีพื้นที่รับน้ำและกักเก็บน้ำสำหรับกิจกรรมทั้งหมดในแต่ละเดือนอย่างเพียงพอ รวมถึงปริมาณน้ำในปีถัดไป ส่วนในฤดูแล้งจะใช้ เส้นโค้งควบคุมน้ำต่ำสุด (Lower Rule Curves, LRC) เพื่อตัดสินใจปล่อยน้ำหรือควบคุมระดับน้ำกับระดับน้ำกักเก็บต่ำสุดสำหรับฤดูเพาะปลูกด้านการเกษตร เส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำเป็นเครื่องมือในการหลีกเลี่ยงการกักเก็บน้ำมากเกินไป เนื่องจากอาจทำให้น้ำล้นอ่างส่งผลทำให้เขื่อนแตก ในขณะที่ปริมาณน้ำที่น้อยเกินไปอาจทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำในอนาคต เห็นได้ชัดว่าเส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำด้านบนและเส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บ

น้ำด้านล่างคือส่วนสำคัญที่สุดในการจัดการระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ อย่างไรก็ตามเพื่อปรับปรุงความแม่นยำของการจัดการน้ำและสามารถลดความเสี่ยงโดยรวม เส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำจะต้องมีความยืดหยุ่นและสอดคล้องกับทุกสถานการณ์ปัจจุบัน [9]

ในอดีตการกำหนดเส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำอาศัยวิธีการลองผิดลองถูก ซึ่งเหมาะสำหรับระบบที่ซับซ้อนน้อยโดยอิงจากการคำนวณประสิทธิภาพในอดีต อย่างไรก็ตามสำหรับการจัดการอ่างเก็บน้ำที่ซับซ้อนและมีการขยายตัวของความต้องการน้ำอย่างต่อเนื่องวิธีการเหล่านี้อาจไม่เพียงพอ [10] เพื่อแก้ไขจำกัดเหล่านี้ การค้นหาแบบวิธีเชิงพันธุกรรม (GA) [11], [12] การค้นหาแบบทาบ (TA) [13], [14] การเพิ่มประสิทธิภาพที่ขับเคลื่อนด้วยลม (WDO) [15], Atom Search Technique (AST) [16], [17] และอื่นๆ อัลกอริธึมเหล่านี้เป็นการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดอย่างมีประสิทธิภาพ การเพิ่มประสิทธิภาพอ่างเก็บน้ำโดยใช้เทคนิคการค้นหาที่เหมาะสมที่สุดมีความสำคัญอย่างยิ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพสูงสุด และสามารถช่วยให้เกิดการตัดสินใจอย่างรอบรู้เพื่อการจัดการทรัพยากรน้ำอย่างคุ้มค่าและอย่างยั่งยืน [18] การพัฒนาเส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำจะช่วยปรับปรุงการจัดการอ่างเก็บน้ำได้อย่างมีนัยสำคัญ ทำให้ผู้มีอำนาจตัดสินใจมีทางเลือกที่ยืดหยุ่นซึ่งสอดคล้องกับความต้องการทางวิศวกรรมสามารถอำนวยความสะดวกในการแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นสำหรับการกักเก็บน้ำและความท้าทายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง แนวทางในการจัดการกับปัญหาเหตุการณ์ที่มีอิทธิพลต่อทรัพยากรน้ำยังส่งผลกระทบต่อคน สัตว์ และพืช จำเป็นต้องมีการวางแผนอย่างเป็นระบบ และต้องพิจารณาองค์ประกอบข้อมูลหลายประการ เช่น ข้อมูลทางกายภาพ ข้อมูลอุทกวิทยา และปริมาณตะกอนในพื้นที่ ตลอดจนการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดและเหมาะสมกับสถานการณ์ต่าง ๆ [19], [20] ระบบ

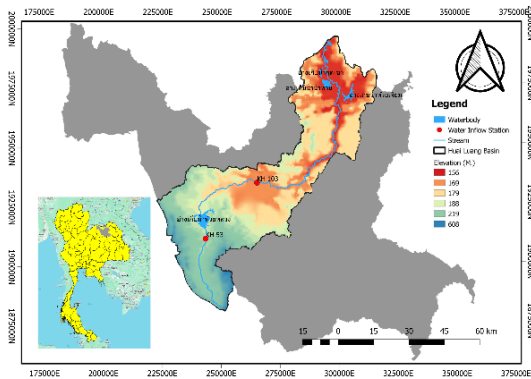
สนับสนุนการตัดสินใจในการจัดการทรัพยากรน้ำเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายประการโดยตรง เช่น ปัจจัยทางสังคม ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม ปัจจัยทางเศรษฐกิจ และปัจจัยทางวิศวกรรม ตลอดจนการจัดการอ่างเก็บน้ำ ระบบสนับสนุนการตัดสินใจเป็นระบบที่พัฒนาจากองค์ความรู้หลายด้าน รวมถึงองค์ความรู้ของแต่ละสาขาวิชาที่นำมาประยุกต์ใช้ การวิจัยก่อนหน้านี้เปิดเผยว่าการจัดการอ่างเก็บน้ำเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายประการ [16] เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงคุณภาพในการตัดสินใจในการแก้ปัญหาการจัดการทรัพยากรน้ำ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำเพื่อสนับสนุนระบบการตัดสินใจสำหรับการจัดการอ่างเก็บน้ำเดียวโดยการตัดสินใจเลือกตามสถานการณ์ที่แตกต่างกันโดยใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม (GA) และการเพิ่มประสิทธิภาพที่ขับเคลื่อนด้วยลม (WDO) เชื่อมโยงกับแบบจำลองอ่างเก็บน้ำ สำหรับเกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน (SOR)

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 พื้นที่ศึกษา

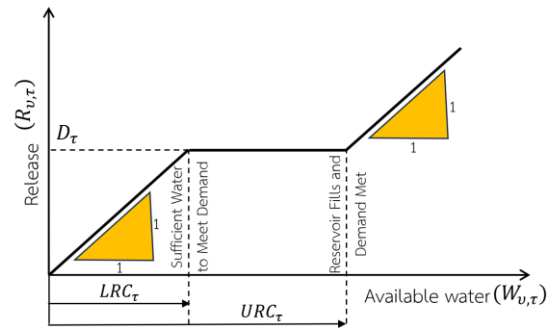
แบบจำลองที่นำเสนอจะถูกนำไปใช้กับอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง ตำบลโคกสะอาด อำเภอเมืองอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี ซึ่งตั้งอยู่ที่พิกัด 48 QTE455222 ระวาง 5543 IV เส้นละติจูดที่ 17.3 N ลองติจูด 102.4 E เป็นเขื่อนดินปิดกั้นลำห้วยหลวงและลำห้วยกระต๊อบ มีความจุ 118.362 ล้านลูกบาศก์เมตร มีพื้นที่รับน้ำรวมประมาณ 20,000 ไร่ ครอบคลุมพื้นที่การเกษตร 87,000 ไร่ ดังแสดงในรูปที่ 1 อ่างเก็บน้ำห้วยหลวงแม้จะมีจุดประสงค์เพื่อการเกษตร การประมง และอุตสาหกรรม แต่สิ่งสำคัญของอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง คือ การจ่ายน้ำเพื่อการผลิตประปา และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเนื่องมาจากการขยายตัวของตัวเมืองและประชากร



รูปที่ 1 ลุ่มน้ำห้วยหลวง

2.2 แบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำ

การศึกษาการจำลองพฤติกรรมของระบบน้ำในลุ่มน้ำด้วยแบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำโดยใช้หลักการสมมูลน้ำ การสร้างแบบจำลองของระบบอ่างเก็บน้ำเป็นขั้นตอนสำคัญในกระบวนการนี้ นิยมใช้แบบจำลอง HEC-3, HEC-5 และ HEC-RAS [21], [22] การสมมูลน้ำในการศึกษานี้เป็นการสร้างแบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำโดยเรายึดหลักการเดียวกันกับแบบจำลองที่กล่าวมาเพื่อเพิ่มความสมบูรณ์ในการเชื่อมต่อกับ GA และ WDO แบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้จะมีสามารถในการหาสถานการณ์ที่ขาดแคลนน้ำและสถานการณ์น้ำไหลล้นได้ รวมถึงความถี่ของการเกิดขึ้น ปริมาณน้ำ และช่วงเวลา โดยใช้หลักการเดียวกันกับแบบจำลองที่กล่าวมาเพื่อการวางแผนและการจัดการทรัพยากรน้ำในอนาคต เริ่มต้นการคำนวณระบบการจัดการน้ำในอ่างเก็บน้ำต้องสำรวจปริมาณน้ำเริ่มต้นที่อ่างเก็บน้ำสามารถรองรับได้เต็มที่ (Full capacity) เพื่อหาปริมาณกักเก็บสูงสุด จากนั้นจะคำนวณปริมาณน้ำที่ควรปล่อยระบายออกในแต่ละเดือนจะต้องเป็นไปตามเกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน (SOR) แสดงในรูปที่ 2 การกำหนดปริมาณน้ำนี้จะใช้สมการ (1) เพื่อให้ได้ข้อมูลเพียงพอในการวางแผนการจัดการน้ำ ในระบบนี้จะต้องคำนวณเพื่อให้ได้ปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่จะปล่อยระบายในแต่ละเดือนตามที่กำหนดไว้



รูปที่ 2 เกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน

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

โดยที่

$R_{v,\tau}$ = ปริมาณน้ำที่ระบายออกจากอ่างเก็บน้ำ (หน่วย ล้าน ลบ.ม.) ในช่วงปี n ของเดือน τ ($\tau = 1$ ถึง 12 แทน เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม)

D_{τ} = ความต้องการใช้น้ำทำอ่างของเดือน τ (หน่วย ล้าน ลบ.ม.)

LRC_{τ} = ขอบเขตล่างของเส้นโค้งควบคุมของแต่ละเดือน τ

URC_{τ} = ขอบเขตบนของเส้นโค้งควบคุมของเดือน τ

$W_{v,\tau}$ = ปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ของอ่างในเดือน τ (หน่วย ล้าน ลบ.ม.)

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

โดยที่

$S_{v,\tau}$ = ปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเมื่อสิ้นสุดเดือน τ (หน่วย ล้าน ลบ.ม.)

$Q_{v,\tau}$ = ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่างในเดือน τ ปี n (หน่วย ล้าน ลบ.ม.)

E_{τ} = ค่าการระเหยรายเดือนเฉลี่ยเดือน τ (หน่วย ล้าน ลบ.ม.)

DS = ปริมาตรเก็บกักที่ไม่ได้ใช้การ (หน่วย ล้าน ลบ.ม.) เมื่อทำการจำลองสภาพสมดุลน้ำโดยใช้แบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำที่สร้างขึ้นจนครบจำนวนปีที่มีข้อมูลแล้ว ผลการจำลองจะแบ่งออกเป็นสถานการณ์การขาดแคลนน้ำและสถานการณ์การน้ำไหลล้น โดยจะถูกบันทึกข้อมูลตามความถี่และช่วงเวลาของเหตุการณ์ต่างๆ เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการหาค่าเหมาะสมที่สุดต่อไป

2.2.1 การประยุกต์วิธีเชิงพันธุกรรมกับแบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำ

การประยุกต์ใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม (GA) เพื่อค้นหาเส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม สามารถเรียบเรียงได้ดังนี้ ขั้นตอนหนึ่ง การเตรียมข้อมูลเริ่มต้น GA มีความต้องการรูปแบบการเข้ารหัส เพื่อปรับเปลี่ยนตัวแปรสำหรับการตัดสินใจให้อยู่ในรูปแบบของโครโมโซม โดยปริมาณน้ำที่เก็บกักเฉลี่ยในแต่ละเดือนของเส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำจะถูกกำหนดขอบเขตบน (Upper Rule Curves) และขอบเขตล่าง (Lower Rule Curves) ตามเส้นโค้งควบคุมที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน (Existing Rule Curve) ขั้นตอนที่สองจะเป็นการสร้างประชากรต้นกำเนิด หลังจากการเข้ารหัสตัวแปรการตัดสินใจเสร็จสิ้น จะมีการดำเนินการทางพันธุกรรม หรือการผสมพันธุ์ โดยประกอบด้วย การคัดเลือกโครโมโซมที่มีความเหมาะสมสูงสุดจากประชากรต้นกำเนิดเพื่อนำมาใช้ในการรวมวิธีต่อไป การข้ามสายพันธุ์จะทำการผสมพันธุ์ระหว่างโครโมโซมสองตัวเพื่อสร้างโครโมโซมลูกใหม่ การกลายพันธุ์จะทำการเปลี่ยนแปลงบางส่วนของโครโมโซมในระดับย่อยเพื่อสร้างความหลากหลายในประชากร ขั้นตอนที่สาม การคำนวณปริมาณการปล่อยน้ำหลังจากประชากรต้นกำเนิดได้ถูกสร้างขึ้นแล้ว ปริมาณน้ำที่ถูกปล่อยจะถูกคำนวณโดยใช้เส้นโค้งควบคุมใหม่ที่ได้จาก

โครโมโซมที่ถูกเลือก โดยใช้วิธีการแบบจำลองเลียนแบบสถานการณ์ ขั้นตอนที่สอง การคำนวณค่าความเหมาะสม (fitness) ปริมาณน้ำที่ถูกปล่อยจะถูกนำไปใช้เพื่อคำนวณค่าความเหมาะสมของโครโมโซมที่เลือกในขั้นตอนการคัดเลือก ค่าความเหมาะสมนี้จะใช้ในกระบวนการคัดเลือกต่อไปเพื่อสร้างประชากรในรุ่นถัดไปของ GA ขั้นตอนสุดท้ายเป็นกระบวนการทางพันธุกรรมที่ประกอบด้วย การคัดเลือก การข้ามสายพันธุ์ และการกลายพันธุ์ จะดำเนินการสร้างโค้งควบคุมขึ้นมาใหม่ในรุ่นถัดไป โดยขั้นตอนนี้จะมีการกระทำซ้ำจนกระทั่งได้เส้นโค้งควบคุมจำนวน 24 ค่าที่เหมาะสมที่สุด ดูตัวอย่างการทำงานในรูปที่ 3 โดยมีสมการฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) ที่ใช้ในการค้นหาคำตอบเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสม คือ ปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุด ดังแสดงในสมการ (3)

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

โดยที่

n = ความยาวของชุดข้อมูลปริมาณน้ำต้นทุน

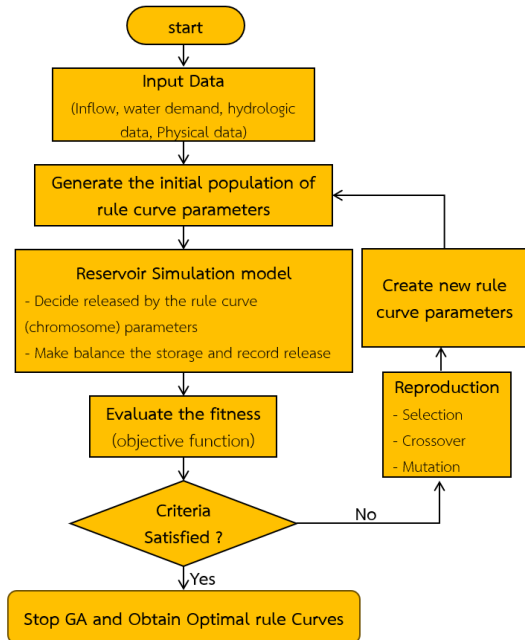
Sh_v = ปริมาณน้ำที่ขาดในปี v (ปริมาณน้ำที่ปล่อยน้อยกว่าเป้าหมายความต้องการใช้น้ำ) กรณีความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุดจะเปลี่ยนฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการค้นหาคำตอบเป็นความถี่ของการขาดแคลนดังสมการ (4)

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

โดยที่

Y_n = จำนวนปีที่ขาดแคลนนํ้า

$\sum Y_{in}$ = จำนวนปีของข้อมูลปริมาณน้ำท่าทั้งหมด

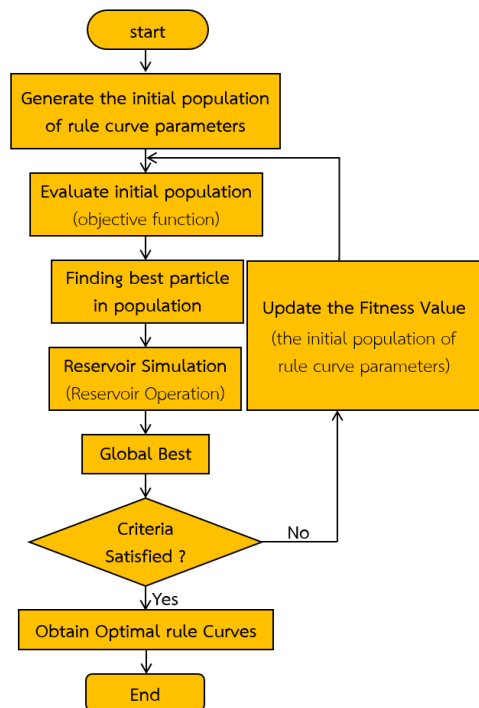


รูปที่ 3 การประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรมสำหรับการค้นหาเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุด

2.2.2 การประยุกต์ใช้วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพที่ขับเคลื่อนด้วยลมกับแบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำ

การคำนวณหาค่าเส้นโค้งควบคุมในแบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพที่ขับเคลื่อนด้วยลม (WDO) กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการทำงานและจำนวนรอบการทำงานที่ต้องการ สร้างประชากรเริ่มต้นโดยการสร้างเซตของคำตอบเริ่มต้น เลือกค่าเส้นโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำแต่ละเดือนทั้ง 12 เดือน (รวม 24 ค่า) เป็นเส้นโค้งควบคุมเริ่มต้น จากนั้นเป็นการปรับปรุงประชากรด้วยการสร้างเซตของคำตอบใกล้เคียงที่เป็นไปได้ โดยการเลือกเซตคำตอบใกล้เคียงที่ดีที่สุดตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ทำการตรวจสอบเงื่อนไขการพิจารณา (Aspiration Criteria) ตรวจสอบเงื่อนไขสำหรับพิจารณาเซตของคำตอบข้างเคียง ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด (Stopping Criteria) หากผลลัพธ์ที่ได้ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ กระบวนการนี้จะ

ทำซ้ำไปเรื่อยๆ จนกว่าจะได้ผลลัพธ์ที่ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดและได้ค่าเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุด และจะนำค่าเส้นโค้งควบคุมที่ได้มาใช้ในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation Simulation) คำนวณปริมาณน้ำตามความต้องการของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการค้นหาคำตอบแต่ละรอบการทำงาน การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นการใช้ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุดและค่าเฉลี่ยของน้ำไหลล้นน้อยที่สุดเป็นฟังก์ชันหลักในการค้นหาคำตอบ โดยคำตอบจะถูกค้นหาในกรณีที่มีการใช้นํ้าปกติและกรณีที่มีความต้องการใช้นํ้าเพิ่มขึ้น ซึ่งจะแสดงดังสมการ (3) การทำงานของเทคนิคนี้เป็นแบบวนซ้ำจนกว่าจะประสบความสำเร็จตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ และจะสิ้นสุดเมื่อครบรอบที่กำหนด ซึ่งจะได้รับค่าเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุดในที่สุด ดูตัวอย่างการทำงานในรูปที่ 4



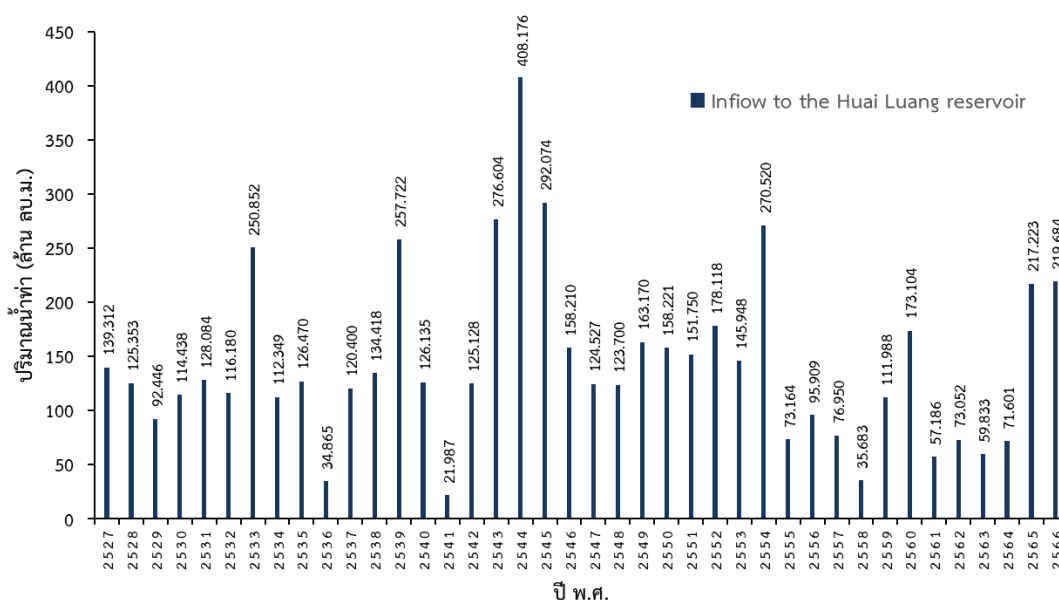
รูปที่ 4 การประยุกต์ใช้การเพิ่มประสิทธิภาพที่ขับเคลื่อนด้วยลมสำหรับการค้นหากฎโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุด

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง เทคนิคการค้นหาแบบ GA และ WDO จะดำเนินการ โดยใช้ค่าเส้นโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้สามารถปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในระยะยาวได้ ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินจะได้อาจากการสังเคราะห์ จำลองสถานการณ์ 1,000 ชุดเหตุการณ์ จากข้อมูล ปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่อ่างเก็บน้ำในระยะเวลา 40 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2527–2566 แสดงในรูปที่ 5 การประเมิน จะครอบคลุมเหตุการณ์ที่คาดการณ์ว่าจะเกิดขึ้นทั้งหมด รวมถึงเหตุการณ์ในอดีตที่เคยเกิดขึ้นแล้ว เพื่อศึกษา พฤติกรรมของระบบจากเกณฑ์ของการจัดการและ ควบคุม จากนั้นจะคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องปล่อยในแต่ละ เดือนตามเส้นโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ และจะนำ ผลลัพธ์มาแสดงเป็นสถานการณ์ขาดแคลนน้ำและน้ำ ไหลล้นอ่างเก็บน้ำ รวมถึงความถี่ของเหตุการณ์ ปริมาณ และช่วงเวลาที่เกิดขึ้น

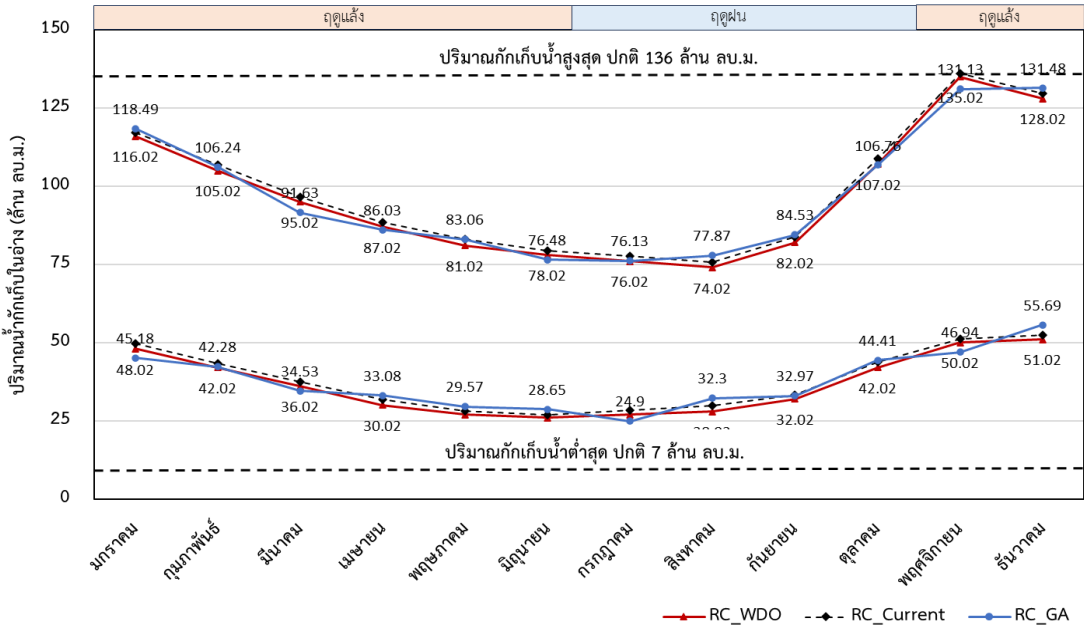
3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลจากการสร้างเส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำจาก แบบจำลองการเลียนแบบรวมกับการค้นหาด้วย GA และ WDO ถูกนำมาเปรียบเทียบกับเส้นโค้งควบคุมที่ใช้ใน

ปัจจุบัน (Current) โดยใช้ข้อมูลปริมาณความต้องการใช้น้ำแบบรายเดือนซึ่งเส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่ได้จะใช้ สำหรับกรณีที่สถานการณ์น้ำปกติทั่วไป ดังแสดงในรูปที่ 6 จากภาพจะเห็นได้ว่าเส้นโค้งควบคุมใหม่ตามฟังก์ชัน วัตถุประสงค์ที่ได้จากการค้นหาด้วย GA และ WDO มี แนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันแต่มีหลายจุดที่ได้ค่าแตกต่างกัน ในเดือนกรกฎาคม เส้นโค้งควบคุมจากแบบจำลอง WDO จะเป็นการพร่องน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำที่คล้ายคลึง กัน ในช่วงฤดูฝนของเส้นโค้งควบคุมที่ได้จากการค้นหาด้วย GA จะเป็นการพร่องน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำน้ำมากที่สุด ใน เดือนสิงหาคมซึ่งจะคล้ายคลึงกับเส้นโค้งควบคุมปัจจุบัน เพื่อให้ให้อ่างเก็บน้ำมีปริมาตรเพียงพอที่จะรับน้ำฝน หรือ รองรับปริมาณน้ำท่าเพื่อป้องกันการเกิดน้ำไหลล้นอ่างได้ ช่วงฤดูแล้งตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมิถุนายนเส้น โค้งควบคุมทั้งสามมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่ง จะ เป็นการลดการปล่อยน้ำออกจากอ่าง เพื่อกักเก็บน้ำในอ่าง ไว้ใช้ตามวัตถุประสงค์ ส่งผลให้มีน้ำเหลืออยู่ในอ่างเก็บน้ำ มากขึ้น ช่วยลดการขาดแคลนน้ำในช่วงหน้าแล้งได้ดี และ เส้นโค้งควบคุมทั้งสามจะค่อยๆ สูงขึ้นในเดือนกันยายนถึง เดือนพฤศจิกายน ซึ่งทำให้การกักเก็บน้ำไว้ได้มากขึ้นและ เป็นช่วงสิ้นสุดฤดูกาลเพาะปลูกในหลายพื้นที่



รูปที่ 5 ข้อมูลน้ำท่าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2527–2566



รูปที่ 6 Optimal rule curves of the Huai Luang reservoir

ตารางที่ 1 ผลประเมินเส้นโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ จากข้อมูลปริมาณน้ำทำในอดี้อยหลัง จำนวน 40 ปี

Rule curves	Frequency	Volume (MCM/year)		Time period (year)	
	(Time/year)	Average	Maximum	Average	Maximum
Shortage					
RC_Current	0.08	0.40	7.00	1.50	2.00
RC_GA	0.08	0.26	5.00	1.50	2.00
RC_WDO	0.08	0.37	6.00	1.50	2.00
Overflow					
RC_Current	0.87	92.67	356.24	8.25	16.00
RC_GA	0.87	92.27	358.51	8.25	16.00
RC_WDO	0.87	92.31	356.03	8.25	16.00

ตารางที่ 2 ผลประเมินเส้นโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ จากข้อมูลการสังเคราะห์เหตุการณ์ จำนวน 1,000 ชุดเหตุการณ์

Rule curves		Frequency (Time/year)	Volume (MCM/year)		Time period (year)	
			Average	Maximum	Average	Maximum
Shortage						
RC_Current	μ	0.00	0.00	0.11	0.03	0.03
	σ	0.01	0.03	0.80	0.20	0.20
RC_GA	μ	0.00	0.00	0.05	0.02	0.03
	σ	0.01	0.02	0.47	0.21	0.21
RC_WDO	μ	0.00	0.00	0.09	0.03	0.03

Rule curves		Frequency (Time/year)	Volume (MCM/year)		Time period (year)	
			Average	Maximum	Average	Maximum
	σ	0.01	0.03	0.75	0.19	0.20
Overflow						
RC_Current	μ	0.99	91.71	285.16	30.03	33.88
	σ	0.02	11.06	63.12	10.08	6.59
RC_GA	μ	0.99	91.33	285.86	30.43	33.67
	σ	0.02	11.07	63.45	10.20	6.74
RC_WDO	μ	0.99	91.34	285.55	31.77	34.03
	σ	0.02	11.06	63.13	9.96	6.50

μ = ค่าเฉลี่ย, σ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 1 พบว่าผลลัพธ์สถานการณ์ขาดแคลนน้ำของเส้นโค้งควบคุมทั้ง 3 มีค่าความถี่เท่ากัน คือ 0.08 ครั้ง/ปี ปริมาณการขาดแคลนน้ำเฉลี่ย พบว่าการค้นหาด้วย GA และ WDO สามารถลดปริมาณการขาดแคลนน้ำได้ดีว่าเส้นโค้งควบคุมปัจจุบัน คือ 0.26 0.37 และ 0.4 ล้าน ลบ.ม./ปี ตามลำดับ และเส้นโค้งควบคุมทั้ง 3 มีช่วงเวลาการเกิดการขาดแคลนน้ำเฉลี่ยเท่ากัน คือ 1.50 ปี ผลลัพธ์สถานการณ์น้ำไหลล้น มีค่าความถี่ของน้ำไหลล้นอ่างเท่ากันทั้ง 3 เส้นโค้งควบคุม คือ 0.87 ครั้ง/ปี ปริมาณน้ำไหลล้นพบว่าเส้นโค้งควบคุมที่ได้จากการค้นหาด้วย GA และ WDO สามารถลดปริมาณน้ำไหลล้นได้ดีว่าเส้นโค้งควบคุมปัจจุบัน คือ 92.27 92.31 และ 92.67 ล้าน ลบ.ม./ปี ตามลำดับ และเส้นโค้งควบคุมทั้ง 3 มีช่วงเวลาการเกิดน้ำไหลล้นเฉลี่ยเท่ากัน คือ 8.25 ปี จากผลลัพธ์เหล่านี้สามารถอธิบายได้ว่าเส้นโค้งควบคุมที่ได้จากการค้นหาด้วย GA และ WDO ให้ประสิทธิภาพดีกว่าเส้นโค้งควบคุมปัจจุบันเล็กน้อย โดยการค้นหาด้วย GA ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเหมาะสมกับสถานการณ์น้ำปกติ

จากตารางที่ 2 ผลลัพธ์จากการประเมินประสิทธิภาพของเส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำทั้ง 3 จากข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการค้นหาด้วย GA และ

WDO เปรียบเทียบกับเส้นโค้งควบคุมปัจจุบัน จากการสังเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่อ่างเก็บน้ำในอดีตตั้งแต่ พ.ศ. 2527-2566 มาจำลองสถานการณ์ 1,000 ชุดเหตุการณ์ พบว่าผลลัพธ์ของเส้นโค้งควบคุมทั้ง 3 ไม่เกิดสถานการณ์ขาดแคลนน้ำ มีช่วงเวลาการเกิดการขาดแคลนน้ำเฉลี่ยโดยเส้นโค้งควบคุมจากการค้นหาด้วย GA และ WDO ให้ประสิทธิภาพดีกว่าเส้นโค้งควบคุมปัจจุบันเล็กน้อย คือ 0.02 0.03 และ 0.03 ปี ตามลำดับ ผลลัพธ์ของสถานการณ์น้ำไหลล้นอ่างของเส้นโค้งควบคุมทั้ง 3 พบว่ามีค่าความถี่เท่ากัน คือ 0.99 ครั้ง/ปี ปริมาณน้ำไหลล้นพบว่ากฎโค้งควบคุมที่ได้จากการค้นหาด้วย GA และ WDO สามารถลดปริมาณน้ำไหลล้นได้ดีว่าเส้นโค้งควบคุมปัจจุบัน คือ 91.33 91.34 และ 91.71 ล้าน ลบ.ม./ปี ตามลำดับ ช่วงเวลาการเกิดน้ำไหลล้นเฉลี่ย พบว่าเส้นโค้งควบคุมจากการค้นหาด้วย GA และ WDO สามารถช่วงเวลาการเกิดน้ำไหลล้นเฉลี่ยได้ดีกว่าเส้นโค้งควบคุมปัจจุบัน คือ 31.43 30.77 และ 31.03 ปี ตามลำดับ จากผลการประสิทธิภาพของเส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำทั้ง 3 พบว่าเส้นโค้งควบคุมจากการค้นหาด้วย GA และ WDO ให้ประสิทธิภาพดีกว่าเส้นโค้งควบคุมปัจจุบันเล็กน้อย โดยการค้นหาด้วย GA ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเหมาะสมกับสถานการณ์น้ำปกติ

4. สรุป

การประยุกต์ใช้เทคนิคการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสร้างเส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงจากแบบจำลองการเลียนแบบรวมกับการค้นหาด้วย GA และ WDO โดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 3 กรณี คือ ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้ามากที่สุด และค่าเฉลี่ยของน้ำไหลล้นน้อยที่สุด พบว่าเส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำมีหลายจุดที่ได้ค่าแตกต่างกันแต่มีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกัน และผลประเมินสถานการณ์ขาดแคลนนํ้า พบว่าเส้นโค้งควบคุมที่ได้จากการค้นหาด้วย GA และ WDO ให้ประสิทธิภาพดีกว่าเส้นโค้งควบคุมปัจจุบันเล็กน้อย โดยการค้นหาด้วย GA ให้ผลลัพธ์ดีที่สุดเหมาะสมกับสถานการณ์น้ำปกติ นอกจากนี้เส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่ได้การค้นหาด้วย GA และ WDO ถูกนำมาเปรียบเทียบกับเส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่ใช้ในปัจจุบัน โดยการสังเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่อ่างเก็บน้ำในอดีต ตั้งแต่ พ.ศ. 2527–2566 มาจำลองสถานการณ์ 1,000 ชุดเหตุการณ์ พบว่าเส้นโค้งควบคุมใหม่ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ได้จากการค้นหาด้วย GA และ WDO มีหลายจุดที่ได้ค่าแตกต่างกันแต่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ในช่วงฤดูฝนของเส้นโค้งควบคุมจากการค้นหาด้วย GA จะพร่องน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำมากที่สุดในเดือนกรกฎาคม แต่เส้นโค้งควบคุมจากแบบจำลอง WDO จะพร่องน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำมากที่สุดในเดือนสิงหาคมซึ่งจะคล้ายคลึงกับเส้นโค้งควบคุมปัจจุบัน ทำให้อ่างเก็บน้ำสามารถรองรับปริมาณน้ำท่าและป้องกันการเกิดน้ำไหลล้นอ่างเก็บน้ำ ช่วงฤดูแล้งตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมิถุนายนเส้นโค้งควบคุมทั้งสามมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน เพื่อลดการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำ ส่งผลให้มีปริมาณน้ำเหลืออยู่ในอ่างเก็บน้ำมากพอที่จะใช้ตามวัตถุประสงค์ สามารถช่วยลดการขาดแคลนนํ้าในช่วงหน้าแล้งได้ดี และในเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายนเส้นโค้งควบคุมทั้งสามจะค่อยๆ สูงขึ้น ซึ่งทำให้การกัก

เก็บน้ำได้มากขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการใช้น้ำ จากผลการประเมินประสิทธิภาพของเส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำทั้ง 3 แบบ พบว่าเส้นโค้งควบคุมจากการค้นหาด้วย GA และ WDO ให้ประสิทธิภาพดีกว่าเส้นโค้งควบคุมปัจจุบันเล็กน้อย โดยการค้นหาด้วย GA ให้ผลลัพธ์ดีที่สุดเหมาะสมกับสถานการณ์น้ำปกติ เส้นโค้งควบคุมจากการค้นหาด้วย GA และ WDO สามารถนำมาบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง เพื่อให้สามารถจัดสรรน้ำให้เพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้น ทั้งในภาคอุปโภค-บริโภคและภาคอุตสาหกรรม ซึ่งมีแนวโน้มสูงขึ้นจากการขยายตัวของเมืองและประชากร เพื่อพัฒนาแผนการจัดการน้ำที่เหมาะสมยิ่งขึ้น ควรมีระบบเชื่อมต่อเพื่อแจ้งหน่วยงานที่รับผิดชอบให้ดำเนินการแก้ไขสถานการณ์เหล่านี้ อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพในอนาคต

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ที่ให้การสนับสนุนทุนต่างๆ ในการใช้ในการวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Kangrang, H. Prasanchum, R. Hormwichian, R. Techarungruengsakul, R. Ngamsert, N. Phookinghin and J. Wangthken, “Improvement of water management project by correcting irrigation water requirement in farmer participation and optimization,” *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, vol. 25, no. 5, pp. 852-863, 2019.
- [2] Z. Unnisa, A. Govind, B. Lasserre and M. Marchetti, “Water Balance Trends along Climatic Variations in the Mediterranean Basin over the Past Decades,” *Water*, vol. 15, no. 10, May. 2023.

- [3] S.K. Ahmad, and F. Hossain, “A web-based decision support system for smart dam operations using weather forecasts,” *Journal of Hydroinformatics*, vol. 21, no. 5, pp. 687-707, 2019.
- [4] J. M. B. dos Santos Amorim, S. D. T. M. Bezerra, M. M. Silva and L. C. O. de Sousa, “Multicriteria decision support for selection of alternatives directed to integrated urban water management,” *Water Resources Management*, vol. 34, pp. 4253-4269, 2020.
- [5] T. Kojiri, T. Hamaguchi and M. Ode, “Assessment of global warming impacts on water resources and ecology of a river basin in Japan,” *Journal of Hydro-environment Research*, vol. 1, no. 3-4, pp. 164-175, Apr. 2008.
- [6] Y. Guo, S. Huang, Q. Huang, H. Wang, W. Fang, Y. Yang and L. Wang, “Assessing socioeconomic drought based on an improved Multivariate Standardized Reliability and Resilience Index,” *Journal of Hydrology*, vol. 568, pp. 904-918, Jan. 2019.
- [7] G. Zhao, H. Gao, B.S. Naz, S.C. Kao and N. Voisin, “Integrating a reservoir regulation scheme into a spatially distributed hydrological model,” *Advances in Water Resources*, vol. 98, pp. 16-31, Dec. 2016.
- [8] M. Daus, K. Koberger, K. Koca, F. Beckers, J. E. Fernández, B. Weisbrod, D. Dietrich, S. U. Gerbersdorf, R. Glaser, S. Haun, H. Hofmann, D. Martin-Creuzburg, F. Peeters and S. Wieprecht, “Interdisciplinary reservoir management— a tool for sustainable water resources management,” *Sustainability*, vol. 13, no. 8, pp. 4498, Apr. 2021.
- [9] P. Mensik and D. Marton, “Hybrid optimization method for strategic control of water withdrawal from water reservoir with using support vector machines,” *Procedia Engineering*, vol. 186, pp. 491-498, 2017.
- [10] C. Chaleeraktragoon and A. Worawiwat, “Dynamic rule curves for multipurpose reservoir operation for different floods,” *Journal of Water and Climate Change*, vol. 11, no. 4, Dec. 2020.
- [11] T.A. Ngoc, K. Hiramatsu and M. Harada, “Optimizing the rule curves of multi-use reservoir operation using a genetic algorithm with a penalty strategy,” *Paddy and Water environment*, vol. 12, pp. 125-137, Mar. 2014.
- [12] A. Tayebian, T. A. M. Ali, A. H. Ghazali and M. A. Malek, “Optimization of exclusive release policies for hydropower reservoir operation by using genetic algorithm,” *Water Resources Management*, vol. 30, pp. 1203-1216, Jan. 2016.
- [13] T. Thongwan, A. Kangrang and H. Prasanchum, “Multi-objective future rule curves using conditional tabu search algorithm and conditional genetic algorithm for reservoir operation,” *Heliyon*, vol. 5, no. 9, Sep. 2019.

- [14] N. Bhumiphan, "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*, vol. 31, on. 3, pp. 461-470, Jul.-Sep. 2021.
- [15] A. Kangrang, R. Techarungruengsakul, R. Hormwichian and O. Sriwanpheng, "Alternative approach of wind driven optimization for flood control rule curves," *Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 14, no. 16, pp. 8026-8033, 2019.
- [16] S. Kosasaeng, N. Yamoat, S.M. Ashrafi and A. Kangrang, "Extracting Optimal Operation Rule Curves of Multi- Reservoir System Using Atom Search Optimization, Genetic Programming and Wind Driven Optimization," *Sustainability*, vol. 14, no. 23, Dec. 2022.
- [17] N. Bhumiphan, B. Boribum, C. Phukapak and S. Kosasaeng, "Improvement of Optimal Reservoir Rule Curve by Atom SearchTechnique: A Case Study of Huai Luang Reservoir," *Journal of Science and Technology, Rajabhat Maha Sarakham University*, vol. 6, no. 1, pp. 31-44, Jan.-Apr. 2023.
- [18] A. Dinar, A. Tieu and H. Huynh, "Water scarcity impacts on global food production," *Global Food Security*, vol. 23, pp. 212-226, 2019.
- [19] A. Phumiphan and A. Kangrang, "Development of decision-making support tools for future reservoir management under climate and land cover variability: A case study," *International Review of Civil Engineering*, vol. 12, no. 4, pp. 271-283, 2021.
- [20] A.A. Zamani, H.R. Abbasi, V. Alipour, M. Peyravi, P. Shojaei, A. Goli and L. Mohammadinia, "Alternative water resources selection to supply drinking water in flood disasters by multicriteria decision- making techniques (DANP and VIKOR)," *Journal of Environmental and Public Health*, vol. 2022, no. 1, Jun. 2022.
- [21] L.B. Rodriguez, P.A. Cello, C.A. Vionnet and D. Goodrich, "Fully conservative coupling of HEC-RAS with MODFLOW to simulate stream-aquifer interactions in a drainage basin," *Journal of Hydrology*, vol. 353, no. 1, pp. 129-142, May. 2008.
- [22] N. Kaewthong, P. Ditthakit, S. Nakrod and C. Buathongkhue, "The Application of HEC-HMS and HEC-RAS Mathematical Models for Study of Flood Mitigation in Cha-Uat, Nakhon Si Thammarat," *Journal of Science & Technology MSU*, vol. 39, no. 3, pp. 264-272, Sep. 2020.