



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำแบบใช้เงื่อนไขหลาย
หลักเกณฑ์

โดย นายอนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง และคณะ

สิงหาคม 2555

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำแบบใช้เงินไขหลายหลักเกณฑ์

คณะผู้วิจัย

1. นายอนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง
2. นายสงวน ปัทมธรรมกุล
3. นายชวลิต ชาลีรักษ์ตระกูล

สังกัด

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
(ความเห็นในรายงานนี้ของผู้วิจัย สกอ. และ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษาและสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยที่ให้การสนับสนุนทุนพัฒนาศักยภาพในการทำงานวิจัยของอาจารย์รุ่นใหม่ ขอขอบคุณโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการสำหรับการทำวิจัย

คณะผู้วิจัย

สิงหาคม 2555

รหัสโครงการ : **MRG5480100**

ชื่อโครงการ :

ภาษาไทย การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำแบบใช้เงื่อนไขหลายหลักเกณฑ์

ภาษาอังกฤษ Reservoir operation using multi-criteria functions

คณะผู้วิจัย :

หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อ - นามสกุล นาย อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง
คุณวุฒิ ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา สาขาวิศวกรรมแหล่งน้ำ)
ตำแหน่ง รองศาสตราจารย์
สถานที่ทำงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
โทรศัพท์ 043 754 316 (ที่ทำงาน), 089 843 0017 (มือถือ)
E-mail: anongrit@hotmail.com

นักวิจัยที่ปรึกษา

ชื่อ - นามสกุล นาย สงวน ปัทมธรรมกุล
คุณวุฒิ Ph.D. (Civil Engineering in Hydrology and Water Resources)
ตำแหน่ง รองศาสตราจารย์
สถานที่ทำงาน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล
โทรศัพท์ (044) 255523-4 (ที่ทำงาน), 081 299 9067 (มือถือ)
E-mail: sanpat@kku.ac.th

ชื่อ - นามสกุล นายชวลิต ชาลีรักษ์ตระกูล
คุณวุฒิ Ph.D. (Water Resources)
ตำแหน่ง รองศาสตราจารย์
สถานที่ทำงาน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ศูนย์รังสิต ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 10210
โทรศัพท์: 0-2564-3001-9 ต่อ 3100
โทรสาร: 0-2564-3001-9 ต่อ 3039
E-mail: cchava@engr.tu.ac.th

ระยะเวลาโครงการ : 24 เดือน ตั้งแต่ 15 มิถุนายน 2554 ถึง 14 มิถุนายน 2556

Abstract

Nowadays, Climate change is being serious problem that affect to the uncertainty of rainfall and inflow to reservoir consequently. An alternative way to solve this problem is improvement reservoir operation. Rule curves of a reservoir are necessary monthly guides to those responsible for reservoir operation to achieve the minimum of water shortage in the long run. Often, they haven't been accepted to practical operation because of lacking water resources participation. This study therefore incorporated the expert operators to participate with optimization technique to find the optimum reservoir rule curves using multi criteria function. Moreover, the criterion of monthly release from reservoir is considered to mitigate water shortage in the future. The eight choices were made for administrative authority using in decision support and decision making on the water allocation from the Reservoir. These three criterions of the economy, equity and reliability were created to analyze for determining the best choice from eight made choices. The analysis hierarchy process (AHP) was used for analysis process. The developed reservoir operation model conducted on a differential evolution algorithm and reservoir simulation model. The Lampao reservoir located in Kalasin province, in the northeastern Thailand were considered in this study. The 500 samples of synthetic inflow data were used to evaluate the performance of the proposed method, and the results were compared with those of the existing model and those of the optimization model only.

The result was found that the accepted rule curves gave a lower frequency and smaller magnitude of water shortage than the existing rule curve, whilst the flood frequency of excess water release, the average excess water release, and the maximum excess water release were reduced. Compared to the differential evolution technique, the differential evolution with expert participation provided a similar pattern of rule curve but the new rule curves of differential evolution with expert participation were acceptable to operate reservoir. The priority criterion for water allocation was ranked as economy of 41.26%, equity of 33.79% and reliability of 24.95% respectively. The highest priority consist of the reduction of irrigation area 3% (1,277.60 hectares) reduction of aquatic farm area 3%, (35.68 hectares) and reduction the amount of water to maintain ecological balance of 3% ($0.39 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{month}$).

Keywords: Water resources management participation, Reservoir rule curves, Differential evolution algorithms, optimization technique, Analysis Hierarchy Process

บทคัดย่อ

ปัจจุบันสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากภาวะโลกร้อนก็มีผลโดยตรงต่อความไม่แน่นอนของฝนและปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ทางเลือกหนึ่งในการแก้ไขปัญหาคือการปรับปรุงการบริหารจัดการอ่างฯ โค้งควบคุมระดับอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) เป็นเครื่องมือที่จำเป็นพื้นฐานในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำเพื่อให้เกิดการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดในระยะยาว บ่อยครั้งที่โค้งควบคุมเหล่านี้ไม่ถูกยอมรับนำไปใช้ในทางปฏิบัติเนื่องจากขาดการมีส่วนร่วมในการจัดการน้ำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงรวมการมีส่วนร่วมของผู้เชี่ยวชาญด้านการบริหารอ่างเก็บน้ำเข้ากับเทคนิคการหาค่าเหมาะสมสูงสุดเพื่อค้นหาโค้งควบคุมระดับเก็บกักน้ำแบบใช้เงื่อนไขหลายหลักเกณฑ์ ยิ่งไปกว่านั้นเกณฑ์การปล่อยน้ำรายเดือนได้ถูกนำมาพิจารณาเพื่อบรรเทาการขาดแคลนในอนาคต ทางเลือกในการตัดสินใจ 8 ทางเลือกได้ถูกสร้างขึ้นเพื่อประกอบการตัดสินใจของผู้บริหารในการจัดสรรน้ำจากอ่างเก็บน้ำ เกณฑ์ในการพิจารณาได้แก่ ด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านความเท่าเทียม และด้านความเชื่อมั่น ซึ่งจะใช้ในการวิเคราะห์ทางเลือกตามวิธีของกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytical Hierarchy Process, AHP) ในการค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมจะพัฒนาวิธีการดิฟเฟอเรนเชียลเอฟโวลูชัน (Differential evolution algorithm) และแบบจำลองทางศาสตร์ของระบบอ่างเก็บน้ำโดยเลือกศึกษาอ่างเก็บน้ำลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ และนำข้อมูลน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่สังเคราะห์ขึ้นจำนวน 500 ชุดเหตุการณ์มาใช้สำหรับประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง และนำผลลัพธ์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับแบบจำลองเดิม

ผลการวิจัยพบว่า โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำใหม่จากแบบจำลองที่พัฒนามานี้ได้รับการยอมรับจากผู้บริหารจัดการอ่างเก็บน้ำและผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง เมื่อนำโค้งควบคุมที่ได้ไปประเมินประสิทธิภาพพบว่าให้ค่าความถี่และขนาดของการขาดแคลนน้ำต่ำกว่าของโค้งควบคุมเดิม ในขณะที่การปล่อยน้ำส่วนเกินลดลงเช่นเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบรูปร่างของโค้งควบคุมใหม่แบบไม่มีส่วนร่วมกับแบบมีส่วนร่วมพบว่าแนวโน้มใกล้เคียงกันแต่แบบมีส่วนร่วมจะถูกยอมรับให้นำไปใช้ในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ จากการใช่วิธีการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์เพื่อคัดเลือกทางเลือกโดยใช้เทคนิคของกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น พบว่าลำดับความสำคัญมากที่สุดคือด้านเศรษฐกิจ 43.1% ตามด้วยด้านความเท่าเทียม 33.2% และด้านความเชื่อมั่น 23.7% ตามลำดับ ซึ่งความสำคัญสูงสุดประกอบด้วยการลดพื้นที่การเกษตรลง 3% ประมาณ 7,985 ไร่ การลดพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำลง 3% ประมาณ 223 ไร่ และลดปริมาณการจัดสรรน้ำรักษาสมดุลนิเวศวิทยา 3% คิดเป็นเดือนละประมาณ 0.39 ล้าน ลบ.ม.

คำสำคัญ : การมีส่วนร่วมในการจัดการน้ำ, โค้งควบคุมระดับเก็บกักน้ำ, วิธีการดิฟเฟอเรนเชียลเอฟโวลูชัน, เทคนิคการหาค่าเหมาะสมสูงสุด, กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น

Executive Summary

การแก้ปัญหาด้านการบริหารจัดการน้ำด้วยวิธีการแบบไม่ใช่สิ่งก่อสร้างเป็นวิธีการที่ประหยัดและส่งผลกระทบท่อด้านอื่นน้อยที่สุด การเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำก็เป็นหนึ่งในแนวทางการแก้ปัญหาแบบไม่ใช่สิ่งก่อสร้าง การปรับปรุงการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่และกลางที่ใช้งานมาแล้วระยะเวลานานหนึ่งเป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากสภาพอ่างมีการเปลี่ยนแปลงไปจากสภาพเริ่มต้นใช้งาน มีตะกอนสะสมภายในอ่างเก็บน้ำเป็นผลให้สภาพอ่างตื้นเขิน ความต้องการน้ำท้ายอ่างเปลี่ยนไป ยิ่งไปกว่านั้นสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากภาวะโลกร้อนก็มีผลโดยตรงต่อความไม่แน่นอนของฝนและปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้า ทำให้มีปริมาณน้ำที่สามารถเก็บกักในอ่างน้อยลง ก่อให้เกิดปัญหาต่างๆตามมา เช่น ปัญหาภัยแล้ง ปัญหาการแย่งน้ำ รวมถึงปัญหาน้ำไม่เพียงพอต่อการเพาะปลูกพืชฤดูแล้ง ดังนั้นหากอ่างเก็บน้ำได้รับการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการจะเป็นประโยชน์โดยตรงต่อประชาชนในพื้นที่ท้ายอ่างฯ และต่อการวางแผนการบริหารจัดการน้ำของประเทศไทย

ปัจจุบัน ยุทธศาสตร์ในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำได้เน้นไปที่การวางแผนจัดการน้ำทั้งลุ่มน้ำ โดยการบูรณาการทั้งด้านการจัดการน้ำต้นทุน (Supply Management) และด้านความต้องการใช้น้ำ (Demand Management) ซึ่งในการจัดการด้านน้ำต้นทุนนั้นจะต้องพยายามใช้น้ำต้นทุนที่มีอยู่ ให้เกิดประสิทธิภาพที่สูงที่สุดสอดคล้องกับความต้องการใช้น้ำ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการจัดการด้านอุปทานในที่นี้ก็คือการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำนั่นเอง ในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำนั้นเครื่องมือที่จำเป็นพื้นฐานที่สำคัญได้แก่ โค้งควบคุมระดับอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) ซึ่งประกอบด้วยโค้งควบคุมเส้นบน (Upper Rule Curve) และโค้งควบคุมเส้นล่าง (Lower Rule Curve) ซึ่งอาจแสดงเป็นช่วงของระดับน้ำหรือปริมาตรน้ำเก็บกักก็ได้ การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำโดยวิธีใช้โค้งควบคุมนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุดในระยะยาว (Long term) สำหรับกิจกรรมการใช้น้ำที่อ่างสนับสนุนอยู่ งานวิจัยที่ผ่านมาพิจารณาการปล่อยน้ำภายใต้โค้งควบคุมตามความต้องการน้ำด้านท้ายอ่างโดยพิจารณาเพียงเกณฑ์เดียว เช่น เพื่อการเกษตร เพื่อผลิตไฟฟ้า เพื่อภาคอุตสาหกรรม หรือเพื่อการอุปโภคบริโภคเพียงอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น จึงส่งผลกระทบต่อความต้องการน้ำด้านที่เหลือทำให้เกิดการขาดแคลนนํ้าในปีถัดมา และอาจส่งผลกระทบต่อ การขาดแคลนนํ้าของอ่างในระยะยาวตามมา สำหรับเทคนิคการหาค่าเหมาะสมสูงสุด (Optimization techniques) ได้ถูกประยุกต์ใช้หาโค้งควบคุมรายเดือนมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น วิธีแบบจำลองการเลียนแบบ (Simulation study model, SM) โปรแกรมเชิงพลวัต (Dynamic Programming, DP) และเทคนิคเจนีติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm, GA) เป็นต้น สำหรับการมีส่วนร่วมของประชาชนหรือผู้มีส่วนได้เสียเป็นสิ่งที่จำเป็น และปัจจุบันรัฐบาลก็ยอมรับหลักการของการมีส่วนร่วม มีการกำหนดกรอบกฎหมายและกฎเกณฑ์เป็นส่วนสำคัญของกระบวนการมีส่วนร่วมของประชาชนที่เกี่ยวข้อง เนื่องจากกระบวนการตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำจะประกอบด้วยข้อจำกัดของอ่างเก็บน้ำ ความต้องการการใช้น้ำของภาคต่างๆและปัจจัยด้านสังคม

จึงจำเป็นต้องมีกฎเกณฑ์สำหรับตัดสินใจ ในการประเมินการตัดสินใจแบบใช้เงื่อนไขหลายหลักเกณฑ์ (Multi-criteria decision making, MCDM) ผลลัพธ์ที่ได้เป็นค่าดัชนีแสดงลำดับความสำคัญหรือความเหมาะสมของทางเลือกแต่ละทางเลือกในการปล่อยน้ำ

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาแบบจำลองการจัดการอ่างเก็บน้ำโดยอาศัยระเบียบวิธีการดิวเฟอเรนเชียลอีโวลูชัน (Differential evolution algorithm) และแบบจำลองทางชลศาสตร์ของระบบอ่างเก็บน้ำ รวมทั้งให้ผู้เชี่ยวชาญปรับแก้ค่าความน่าเชื่อถือที่ได้ก่อนนำไปใช้ ในการวิจัยจะพิจารณาข้อมูลค่าความรุนแรงเดือนของอ่างเก็บน้ำลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ เป็นกรณีศึกษา และนำข้อมูลน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่สระทรายชั้นจำนวน 500 ชุดเหตุการณ์มาใช้สำหรับประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง และนำผลลัพธ์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับแบบจำลองเดิม ส่วนการปล่อยน้ำจะเป็นเกณฑ์แบบใช้เงื่อนไขหลายหลักเกณฑ์ โดยใช้วิธีของกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytical Hierarchy Process, AHP)

ผลการวิจัยพบว่า ค่าความน่าเชื่อถืออ่างเก็บน้ำใหม่จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมานี้ได้รับการยอมรับจากผู้บริหารจัดการอ่างเก็บน้ำและผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง เมื่อนำค่าความน่าเชื่อถือที่ได้ไปประเมินประสิทธิภาพพบว่าให้ความถี่และขนาดของการเกิดภัยแล้งต่ำกว่าของค่าความน่าเชื่อถือเดิม ในขณะที่การปล่อยน้ำส่วนเกินลดลงเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความน่าเชื่อถืออ่างเก็บน้ำจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นที่ความต้องการน้ำเพิ่มขึ้น 20 เปอร์เซ็นต์ ก็ยังให้ผลของการขาดแคลนน้ำเฉลี่ยต่ำกว่าค่าความน่าเชื่อถือเดิมที่ความต้องการใช้น้ำปัจจุบัน จากการใช้วิธีการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์เพื่อคัดเลือกทางเลือกโดยใช้เทคนิคของกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น ในสภาวะที่ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำน้อยจะให้ความสำคัญด้านเศรษฐกิจ 43.1% ด้านความเท่าเทียม 33.2% ด้านความเชื่อมั่น 23.7% ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าหากปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำน้อย เจ้าหน้าที่ด้านการบริหารจัดการน้ำที่รับผิดชอบพื้นที่ชลประทานและการจัดสรรน้ำ เลือกที่จะดำเนินการลดพื้นที่การเกษตรลง 3% ประมาณ 7,985 ไร่ (รายงานการเพาะปลูกพืชฤดูแล้งปี 2554/2555 มีจำนวน 266,186 ไร่) ลดพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำลง 3% ประมาณ 223 ไร่ (รายงานการเพาะปลูกพืชฤดูแล้งปี 2554/2555 มีจำนวน 7,438 ไร่) และลดปริมาณการจัดสรรน้ำรักษาสมดุลนิเวศวิทยา 3% คิดเป็นเดือนละประมาณ 0.39 ล้าน ลบ.ม.

โดยสรุป ค่าความน่าเชื่อถือที่ได้จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นนี้มีประสิทธิภาพในการรองรับปริมาณความต้องการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้นในอนาคตได้ อีกทั้งยังได้รับการยอมรับจากผู้บริหารจัดการอ่างเก็บน้ำและผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ดังนั้นแบบจำลองนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการน้ำของอ่างเก็บน้ำและอาจนำไปใช้กับอ่างเก็บน้ำอื่นๆ ได้โดยเปลี่ยนฟังก์ชันวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัดของอ่างเก็บน้ำ

สารบัญ

	หน้าที่
วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	8
วิธีการทดลอง.....	9
1. การประมาณการความต้องการใช้น้ำรายเดือนด้านต่าง ๆ.....	9
2. การสร้างเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบใช้เงื่อนไขหลายหลักเกณฑ์.....	9
3. การพัฒนาเทคนิค CDE สำหรับค้นหาโค้งควบคุมรายเดือน.....	4
4. การบูรณาการผู้มีส่วนได้เสียกับการค้นหาโค้งควบคุมแบบใช้เงื่อนไขหลาย หลักเกณฑ์.....	17
5. การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง.....	19
ผลการทดลอง.....	16
1. การประมาณการความต้องการใช้น้ำรายเดือน.....	20
2. การสร้างเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบใช้เงื่อนไขหลายหลักเกณฑ์.....	21
3. การพัฒนาเทคนิค CDE สำหรับค้นหาโค้งควบคุมรายเดือน.....	23
4. การบูรณาการผู้มีส่วนได้เสียกับการค้นหาโค้งควบคุม.....	25
5. การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง.....	27
สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	34
ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต.....	35
เอกสารอ้างอิง.....	36
ภาคผนวก.....	37

สารบัญรูป

	หน้าที่
รูปที่ 1 การสร้างลำดับชั้นในการวิเคราะห์.....	12
รูปที่ 2 การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ.....	13
รูปที่ 3 เกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน.....	14
รูปที่ 4 ระดับน้ำต่างๆ สำหรับการวางแผนจัดการอ่างเก็บน้ำ.....	16
รูปที่ 5 การประยุกต์ใช้ DE ค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ.....	17
รูปที่ 6 การบูรณาการผู้มีส่วนได้เสียกับการค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ.....	18
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างเกณฑ์และน้ำหนักสำคัญ.....	22
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างเกณฑ์.....	23
รูปที่ 9 ผังการไหลของน้ำในระบบลุ่มน้ำลำปาว.....	24
รูปที่ 10 เปรียบเทียบโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำเดิมกับโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำใหม่ จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยระเบียบวิธีการดิฟเฟอเรนเชียลเอฟิโวลูชัน.....	24
รูปที่ 11 เปรียบเทียบโค้งควบคุมเดิมกับโค้งควบคุมใหม่ของอ่างเก็บน้ำจากแบบจำลอง ที่พัฒนาขึ้นด้วยระเบียบวิธีการ DE	26
รูปที่ 12 เปรียบเทียบโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยวิธีการ DE และโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยวิธีการ DE แบบมีส่วนร่วม	27
รูปที่ 13 ปริมาณน้ำเข้าอ่างเก็บน้ำหลายๆ เหตุการณ์ที่สังเคราะห์ขึ้นด้วยแบบจำลอง HEC4.....	28

สารบัญตาราง

	หน้าที่
ตาราง 1 รายละเอียดของผู้เชี่ยวชาญที่ดูแลและรับผิดชอบการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ.....	18
ตาราง 2 ความต้องการใช้น้ำรายเดือนจากอ่างเก็บน้ำลำปาว.....	20
ตาราง 3 ความต้องการใช้น้ำรายเดือนจากอ่างเก็บน้ำลำปาว กรณีเพิ่มพื้นที่ชลประทาน 50,000 ไร่	20
ตาราง 4 การวิเคราะห์ทางเลือกของการจัดสรรน้ำของอ่างเก็บน้ำลำปาว โดยใช้วิธี กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์.....	22
ตาราง 5 เกณฑ์การเก็บกักน้ำของอ่างเก็บน้ำลำปาวจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น ด้วยระเบียบวิธีการดิฟเฟอเรนเชียลเอพวอลูชัน.....	25
ตาราง 6 เกณฑ์การเก็บกักน้ำของอ่างเก็บน้ำลำปาวที่ใช้อยู่เดิม (โค้งควบคุมเดิม).....	25
ตาราง 7 เกณฑ์การเก็บกักน้ำของอ่างเก็บน้ำลำปาวจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วย ระเบียบวิธีการ DE (โค้งควบคุมใหม่แบบไม่มีส่วนร่วม).....	25
ตาราง 8 เกณฑ์การเก็บกักน้ำของอ่างเก็บน้ำลำปาวจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วย ระเบียบวิธีการ DE แบบมีส่วนร่วม (โค้งควบคุมใหม่แบบการมีส่วนร่วม).....	26
ตาราง 9 ผลการประเมินการขาดแคลนน้ำและการปล่อยน้ำส่วนเกินของโค้งควบคุมเดิม และโค้งควบคุมใหม่จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยระเบียบวิธีการ ดิฟเฟอเรนเชียลเอพวอลูชัน.....	29
ตาราง 10 ผลการประเมินการขาดแคลนน้ำและการปล่อยน้ำส่วนเกินของโค้งควบคุมใหม่ จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยระเบียบวิธีการดิฟเฟอเรนเชียลเอพวอลูชันกรณี ความต้องการใช้น้ำเพิ่มขึ้นจากความต้องการใช้น้ำปัจจุบัน.....	30
ตาราง 11 ผลการประเมินการขาดแคลนน้ำและการปล่อยน้ำส่วนเกินของโค้งควบคุมใหม่ จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยระเบียบวิธีการดิฟเฟอเรนเชียลเอพวอลูชันกรณี ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำลดลงจากปริมาณน้ำปัจจุบัน.....	31
ตาราง 12 ผลการประเมินการขาดแคลนน้ำและการปล่อยน้ำส่วนเกินของโค้งควบคุมใหม่ จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยระเบียบวิธีการ DE แบบมีส่วนร่วม กรณีความต้อง การใช้น้ำเพิ่มขึ้นจากความต้องการใช้น้ำปัจจุบัน.....	32
ตาราง 13 แสดงผลการประเมินการขาดแคลนน้ำและการปล่อยน้ำส่วนเกินของโค้งควบคุม แบบเดิม แบบใหม่ CDE และแบบใหม่ CDE แบบมีส่วนร่วม กรณีความต้อง การใช้น้ำปัจจุบัน.....	33

วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) สร้างแบบจำลองในการหาค่าเหมาะสมของโค้งควบคุม แบบใช้เงื่อนไขหลายหลักเกณฑ์ สำหรับบริหารจัดการปริมาตรเก็บกักในอ่างเก็บน้ำแบบอเนกประสงค์
- 2) พัฒนาเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบใช้เงื่อนไขหลายหลักเกณฑ์ สำหรับบริหารจัดการน้ำในอ่างเก็บน้ำแบบอเนกประสงค์
- 3) ทดสอบความเป็นไปได้ของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น โดยประยุกต์เข้ากับอ่างเก็บน้ำอเนกประสงค์ เพื่อค้นหาโค้งควบคุมรายเดือนของอ่างฯ พร้อมทั้งประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

วิธีการศึกษาทดลอง

1. การประมาณการความต้องการใช้น้ำรายเดือนด้านต่าง ๆ

รวบรวมข้อมูลจากรายงานการศึกษาวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม โครงการปรับปรุงประสิทธิภาพการเก็บกักน้ำอ่างเก็บน้ำลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ ซึ่งคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติได้เห็นชอบในรายงานซึ่งจะส่งผลให้อ่างเก็บน้ำลำปาว มีปริมาตรเก็บน้ำเพิ่มขึ้นจากเดิม 551 ล้าน ลบ.ม. (จากเดิม 1,430 ล้าน ลบ.ม.) เมื่อวันที่ 4 พฤษภาคม พ.ศ.2554 ซึ่งแสดงการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของกิจกรรมต่าง ๆ ได้แก่ การใช้น้ำชลประทานเพื่อการเกษตร (เช่น ข้าว พืชไร่ ผัก และอื่นๆ) และการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค การใช้น้ำเพื่อภาคอุตสาหกรรม การใช้น้ำเพื่อรักษาสภาพแวดล้อมท้ายน้ำ จากนั้นนำข้อมูลเหล่านี้มาวิเคราะห์หาค่าก่อนนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

2. การสร้างเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบใช้เงื่อนไขหลายหลักเกณฑ์

การสร้างเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบใช้เงื่อนไขหลายหลักเกณฑ์ในการศึกษาวิเคราะห์ โดยใช้เทคนิคของกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytical Hierarchy; AHP) โดยมีเป้าหมาย (Goal) คือการจัดสรรน้ำจากระบบอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมระหว่างผู้ใช้น้ำประเภทต่างๆ ในพื้นที่ศึกษาของอ่างเก็บน้ำลำปาว มีเกณฑ์ (Criteria) ที่ใช้พิจารณาประกอบด้วยผลประโยชน์ (Profitability) ความยุติธรรม (Equity) และความเชื่อมั่น (Reliability) โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

1) ศึกษาสถิติข้อมูลที่ใช้ ประกอบด้วย ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำลำปาว 40 ปี ระหว่าง พ.ศ.2511-2550 ความต้องการใช้น้ำ เพื่อกิจกรรมต่างๆ เช่น ด้านอุปโภคบริโภค อุตสาหกรรม ปศุสัตว์ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การชลประทาน จากรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม โครงการปรับปรุงประสิทธิภาพการเก็บกักน้ำอ่างเก็บน้ำลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ (กรมชลประทาน 2554)

2) ประสานงานกับเจ้าหน้าที่ที่มีความรู้ความสามารถในการจัดการน้ำในอ่างเก็บน้ำลำปาว ประกอบด้วย หัวหน้าฝ่ายจัดสรรน้ำ หัวหน้าฝ่ายส่งน้ำ ถึงขอบเขตพื้นที่เกษตรกรรมของประชาชน องค์กรผู้ใช้น้ำ ในเขตพื้นที่ชลประทานแต่ละฝ่ายส่งน้ำ

3) ศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนทางการเงินต่อไร่ของการผลิตเกษตรกรรมและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

4) สร้างลำดับชั้นในการวิเคราะห์ (Structuring the Hierarchy) ในการวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจเลือกของหรือทางเลือกที่ดีที่สุด ในการจัดสรรน้ำระหว่างกิจกรรมการใช้น้ำประเภทต่างๆ จากวัตถุประสงค์ในการวิจัยนี้ เพื่อจะวิเคราะห์ทางเลือกของการจัดสรรน้ำของอ่างเก็บน้ำลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยใช้วิธีกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ ดังนั้นจะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นลำดับชั้นดังรูปที่ 1 รายละเอียดจะได้นำเสนอดังนี้

(4.1) เป้าหมาย (Goal) การวิจัยนี้จะศึกษาในกรณีที่ปริมาณน้ำท่าไหลลง อ่างเก็บน้ำลำปาวมีปริมาณน้อย สามารถส่งน้ำให้พื้นที่ชลประทานเพียงพอในฤดูฝนซึ่งอาจจะก่อให้เกิดสภาวะการขาดแคลนน้ำได้ในฤดูแล้ง ส่งผลเป้าหมาย (Goal) ของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ คือ การจัดสรรน้ำในสภาวะการขาดแคลนน้ำ

(4.2) เกณฑ์ (Criteria) การวิจัยศึกษาถึงปัจจัยต่างๆที่จะมีผลต่อความสำเร็จ ในการบริหารจัดการน้ำ ได้แก่

- ก) ด้านเศรษฐกิจ ซึ่งก็คือปัจจัยการพัฒนาการใช้น้ำอย่างถูกต้องและ การเพิ่มผลผลิต พืชที่ปลูก เหมาะสมกับสภาพดิน ภูมิอากาศ เพื่อที่จะได้แสดงถึงมุมมองในด้านต้นทุนและผลตอบแทนทางการเงิน
- ข) ด้านความเท่าเทียม ความยุติธรรมซึ่งก็คือปัจจัยด้านสังคมความร่วมมือ ร่วมแรง ร่วมใจ เสมอภาค ความขัดแย้งขององค์กร ความเป็นธรรม พอเพียง ยั่งยืน ในระหว่างผู้ที่มีส่วนได้เสีย
- ค) ด้านความเชื่อมั่น ซึ่งก็คือปัจจัยปริมาณน้ำต้นทุนและประสิทธิภาพของระบบชลประทาน มีการวางแผนการจัดสรรน้ำ การดำเนินการตามแผนงานที่วางไว้ การประเมินแผนและผลที่ดำเนินการ วิเคราะห์และนำไปปรับปรุง

(4.3) ทางเลือก (Alternatives) การวิเคราะห์และคัดเลือกทางเลือกของการตัดสินใจอาศัยจากรายงาน การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม โครงการปรับปรุงประสิทธิภาพการเก็บกักน้ำอ่างเก็บน้ำลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ พบว่าความต้องการใช้น้ำปี พ.ศ.2551 เป็นดังนี้

ด้านอุปโภคบริโภค	19.284	ล้าน ลบ.ม./ปี
ด้านอุตสาหกรรม	17.340	ล้าน ลบ.ม./ปี
ด้านปศุสัตว์	1.088	ล้าน ลบ.ม./ปี
ด้านเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	104.844	ล้าน ลบ.ม./ปี
ด้านชลประทาน	959.400	ล้าน ลบ.ม./ปี

ซึ่งจากการวิจัยพบว่าสภาวะการขาดน้ำส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในฤดูแล้งและความต้องการใช้น้ำที่จะมีผลต่อการจัดสรรน้ำในสภาวะการขาดน้ำคือ ด้านเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและด้านชลประทาน

รายงานประมาณการเศรษฐกิจจังหวัดกาฬสินธุ์ ปี 2554 และ 2555 ฉบับที่ 3/2554 และฉบับที่ 4/2554 ด้านอุปทาน คาดว่าในปี 2555 การขยายตัวของภาคเกษตร (API) ร้อยละ 2.8 และ ร้อยละ 4.8 ตามลำดับ เป็นผลมาจากข้อจำกัดด้านพื้นที่และราคาที่คาดว่าจะปรับสูงขึ้น

ผลตอบแทนสุทธิในเขตพื้นที่ชลประทานด้านเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ จำนวน 22,000 บาท/ไร่
ด้านชลประทาน (ข้าวนาปรัง) จำนวน 3,100 บาท/ไร่

จากข้อมูลดังกล่าวจึงได้ทางเลือก (Alternatives) ที่ได้คำนึงถึงสัดส่วนผลิตภัณฑ์มวลรวมของ จังหวัดกาฬสินธุ์เป็นสำคัญ และข้อจำกัดในการลดพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ พื้นที่ชลประทาน (ข้าวนาปรัง) ที่ประชาชนจะยอมรับได้จำนวน 8 ทางเลือก ได้แก่

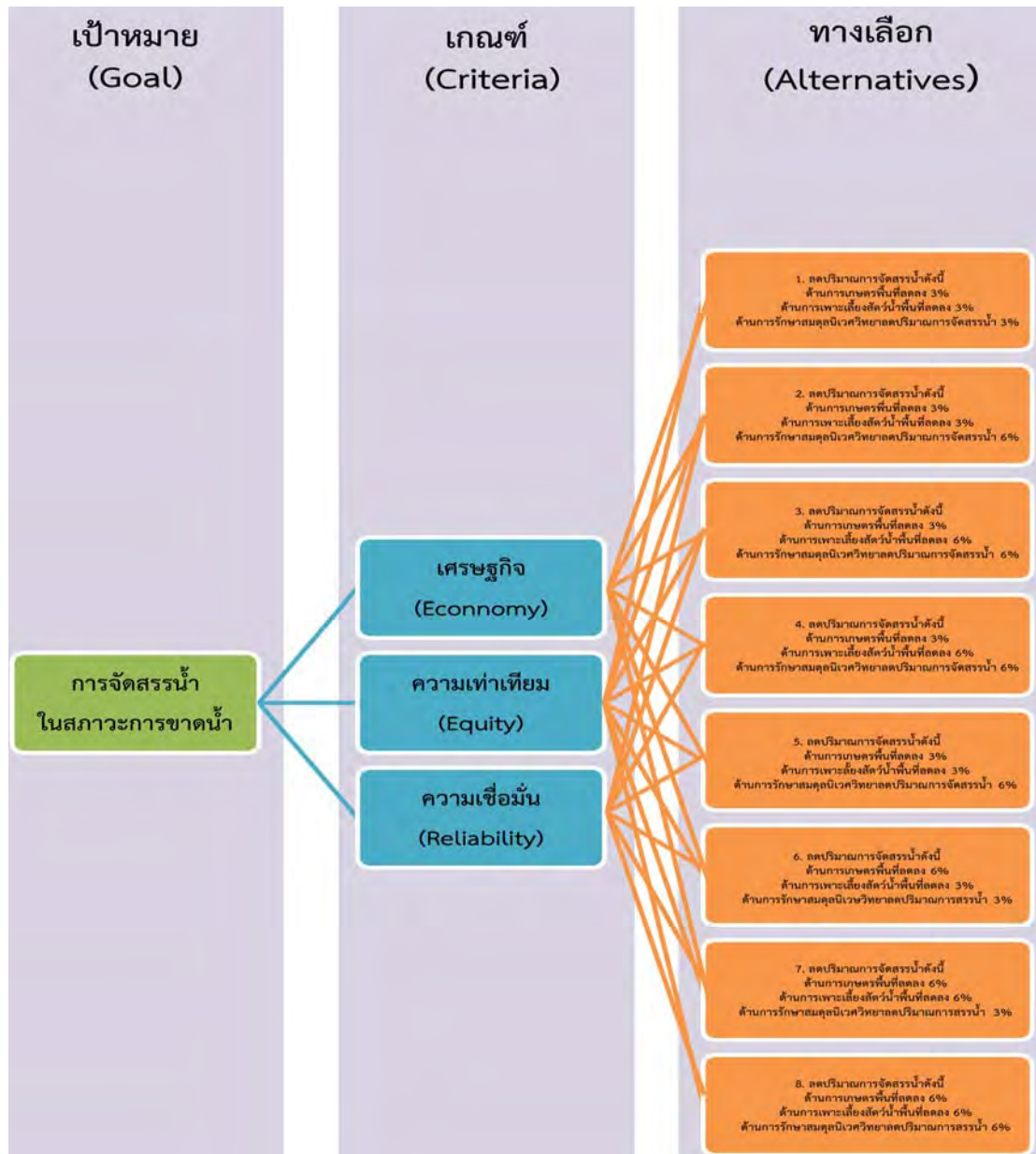
1. ลดปริมาณการจัดสรรน้ำดังนี้
 - ด้านการเกษตรพื้นที่ลดลง 3 %
 - ด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำพื้นที่ลดลง 3 %
 - ด้านการรักษาสมดุณิเวศวิทยาลดปริมาณการจัดสรรน้ำ 3 %
2. ลดปริมาณการจัดสรรน้ำดังนี้
 - ด้านการเกษตรพื้นที่ลดลง 3 %
 - ด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำพื้นที่ลดลง 3 %

- ด้านการรักษาสมดุลนิเวศวิทยาลดปริมาณการจัดสรรน้ำ 6 %
3. ลดปริมาณการจัดสรรน้ำดังนี้
 - ด้านการเกษตรพื้นที่ลดลง 3 %
 - ด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำพื้นที่ลดลง 6 %
 - ด้านการรักษาสมดุลนิเวศวิทยาลดปริมาณการจัดสรรน้ำ 3 %
 4. ลดปริมาณการจัดสรรน้ำดังนี้
 - ด้านการเกษตรพื้นที่ลดลง 3 %
 - ด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำพื้นที่ลดลง 6 %
 - ด้านการรักษาสมดุลนิเวศวิทยาลดปริมาณการจัดสรรน้ำ 6 %
 5. ลดปริมาณการจัดสรรน้ำดังนี้
 - ด้านการเกษตรพื้นที่ลดลง 6 %
 - ด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำพื้นที่ลดลง 3 %
 - ด้านการรักษาสมดุลนิเวศวิทยาลดปริมาณการจัดสรรน้ำ 3 %
 6. ลดปริมาณการจัดสรรน้ำดังนี้
 - ด้านการเกษตรพื้นที่ลดลง 6 %
 - ด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำพื้นที่ลดลง 3 %
 - ด้านการรักษาสมดุลนิเวศวิทยาลดปริมาณการจัดสรรน้ำ 6 %
 7. ลดปริมาณการจัดสรรน้ำดังนี้
 - ด้านการเกษตรพื้นที่ลดลง 6 %
 - ด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำพื้นที่ลดลง 6 %
 - ด้านการรักษาสมดุลนิเวศวิทยาลดปริมาณการจัดสรรน้ำ 3 %
 8. ลดปริมาณการจัดสรรน้ำดังนี้
 - ด้านการเกษตรพื้นที่ลดลง 6 %
 - ด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำพื้นที่ลดลง 6 %
 - ด้านการรักษาสมดุลนิเวศวิทยาลดปริมาณการจัดสรรน้ำ 6 %

จากเป้าหมาย เกณฑ์และทางเลือก สร้างลำดับชั้น (Structuring the Hierarchy) ในการวิเคราะห์ การจัดลำดับความสำคัญ (Setting Priority) ของน้ำหนักที่คำนวณได้จากการ ตอบแบบสอบถามของตัวแทนที่แสดงความเห็นโดยการเปรียบเทียบและวินิจฉัยละคู่ เพื่อให้น้ำหนัก ความสำคัญสัมพันธ์ในลำดับชั้นของเกณฑ์ ที่ใช้พิจารณาในการจัดสรรน้ำด้วยสเกลของการเปรียบเทียบ ความสำคัญ ในทำนองเดียวกันให้เปรียบเทียบและวินิจฉัยในลำดับชั้นของทางเลือกที่ละคู่ ในแต่ละ เกณฑ์ และวิเคราะห์หาน้ำหนักความสัมพันธ์ในชั้นของเกณฑ์และในชั้นของทางเลือก เพื่อคัดเลือก ทางเลือกของการจัดสรรน้ำตามเป้าหมายและเกณฑ์ที่ระบุไว้ด้วยเทคนิคของการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น โดยพิจารณาจากน้ำหนักความสำคัญสัมพันธ์ทั้งหมดสูงสุด ในการคำนวณลำดับความสำคัญจากข้อมูล

ของผู้ตอบแทนสอบถามแต่ละราย ในทุกลำดับขั้นต้องทดสอบความกลมกลืนของข้อมูล (Consistency Test) โดยให้อัตราส่วนความกลมกลืน (Consistency Ratio) มีค่าไม่เกิน 0.1

การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) ก่อนที่จะตัดสินใจเลือกทางเลือกเพื่อให้เกิดความมั่นใจจากความไม่แน่นอนของข้อมูลที่ใช้ในการตัดสินใจ ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์แล้วทางเลือกที่ดีที่สุดยังคงเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดหรือไม่



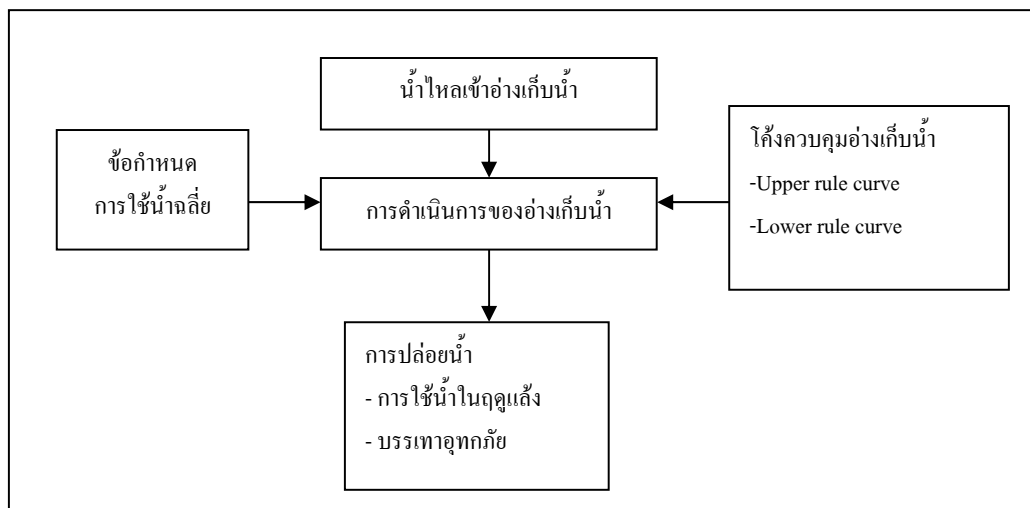
รูปที่ 1 การสร้างลำดับขั้นในการวิเคราะห์

3. การพัฒนาเทคนิค CDE สำหรับค้นหาโค้งความคุ้มรายเดือน

3.1 การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ

การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำหมายถึง การเก็บกักน้ำในอ่างเก็บน้ำและการส่งน้ำจากอ่างเก็บน้ำเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ โดยมีการวางแผนล่วงหน้าว่าจะเก็บกักและส่งน้ำจากอ่างเก็บน้ำในแต่ละช่วงเวลาเป็นปริมาณเท่าใด และมีการปฏิบัติการตามแผนที่วางไว้ตราบเท่าที่สภาพในอนาคตเป็นไปได้ตามที่คาดคะเนไว้ ถ้าสภาพในอนาคตต่างจากที่คาดคะเนไว้ในตอนวางแผน การปฏิบัติการอาจต่างจากแผนที่วางไว้เพื่อลดสภาวะการขาดแคลนน้ำหรือน้ำล้นอ่าง

ในระบบอ่างเก็บน้ำโดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยน้ำต้นทุนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำโดยมีวัตถุประสงค์ในการปล่อยน้ำของอ่างเก็บน้ำ กิจกรรมการใช้น้ำต่างๆที่อ่างสนับสนุนอยู่ซึ่งอยู่ในรูปของความต้องการใช้น้ำ และโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำที่ใช้สำหรับเป็นเงื่อนไขในการปล่อยน้ำดังแสดงในรูปที่ 2



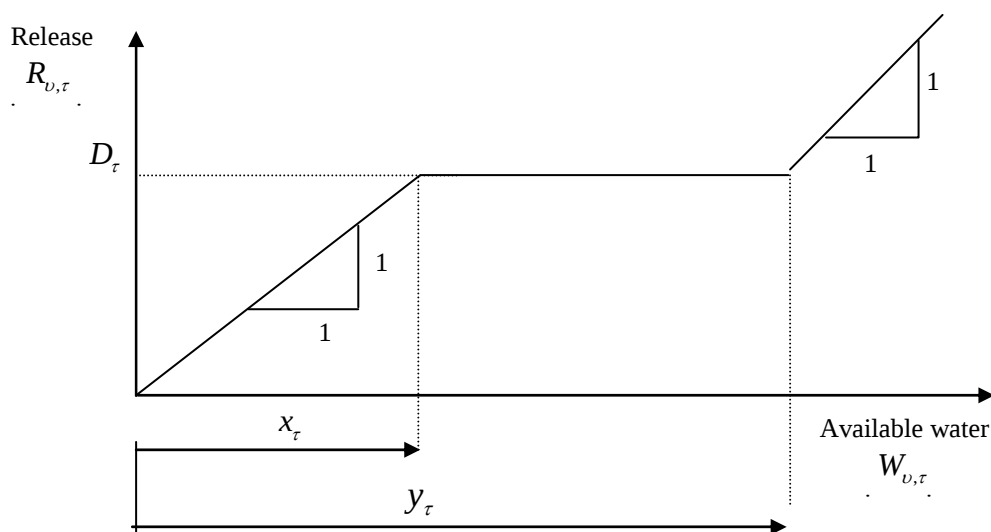
รูปที่ 2 การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ

ในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเป็นรายเดือนข้อมูลทุกอย่างจะต้องเป็นรายเดือน การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำก็จะเริ่มด้วยการสมมุติให้มีปริมาณน้ำเก็บกักเต็มอ่างก่อน จากนั้นคำนวณหาปริมาณน้ำที่สามารถจะนำไปใช้ได้ในแต่ละวันโดยใช้หลักสมการสมดุลน้ำต่อไปนี้

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

เมื่อ $S_{v,\tau}$ เป็นปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเมื่อสิ้นสุดเดือน t , $Q_{v,\tau}$ เป็นปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่างในเดือน τ ปี v , E_τ เป็นค่าการระเหยรายเดือนเฉลี่ย และ DS เป็นปริมาตรเก็บกักที่ไม่ได้ใช้การ (dead storage) เสร็จแล้วคำนวณหาปริมาณน้ำที่จะต้องปล่อยในแต่ละเดือนโดยพิจารณาจากความต้องการใช้น้ำรวมทุกกิจกรรมร่วมกับโค้งควบคุมและเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบหลายหลักเกณฑ์ที่

สร้างขึ้น ซึ่งปริมาณน้ำที่จะระบายหาได้ตามเกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน (Standard operating rule) ดังแสดงในรูปที่ 3 และสมการที่ 2



รูปที่ 3 เกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน

$$R_{v,\tau} = \begin{cases} D_\tau + W_{v,\tau} - y_\tau, & \text{for } W_{v,\tau} \geq y_\tau + D_\tau \\ D_\tau, & \text{for } x_\tau \leq W_{v,\tau} < y_\tau + D_\tau \\ D_\tau + W_{v,\tau} - x_\tau, & \text{for } x_\tau - D_\tau \leq W_{v,\tau} < x_\tau \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (2)$$

เมื่อ $R_{v,\tau}$ คือปริมาณน้ำที่ระบายออกจากอ่างเก็บน้ำในช่วงปี V ของเดือน τ ($\tau = 1$ ถึง 12 แทนเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม) D_τ เป็นความต้องการใช้น้ำทำอ่างของเดือน τ , x_τ เป็นขอบเขตล่างของโค้งควบคุมของเดือน τ , y_τ เป็นขอบเขตบนของโค้งควบคุมของเดือน τ และ $W_{v,\tau}$ เป็นปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ของอ่างในเดือน τ

จากสมการที่ 2 จะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณน้ำต้นทุนมีมากกว่าขอบเขตบนจะต้องปล่อยน้ำให้เท่ากับความต้องการทำน้ำเป็นอย่างน้อย และหากมีอยู่มากกว่านี้ก็ให้ปล่อยออกจนกระทั่งเหลืออยู่เท่ากับโค้งควบคุมเส้นบนพอดี สำหรับกรณีที่ปริมาณน้ำต้นทุนมีอยู่ระหว่างโค้งควบคุมเส้นบนและเส้นล่างก็ให้ปล่อยเท่ากับความต้องการทำน้ำพอดี และเมื่อปล่อยออกแล้วจะต้องมีปริมาณน้ำเหลืออยู่เท่ากับโค้งควบคุมเส้นล่างพอดี ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อปริมาณน้ำอยู่สูงกว่าโค้งควบคุมเส้นล่างเพียงเล็กน้อยก็จะปล่อยเท่ากับส่วนที่อยู่สูงกว่าเท่านั้น ซึ่งจะทำให้มีปริมาณน้ำที่ปล่อยน้อยกว่าความต้องการทำน้ำสำหรับกรณีอื่นๆจะไม่ปล่อยน้ำเลย เมื่อปล่อยน้ำเสร็จแล้วให้คำนวณหาปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ของอ่างเก็บน้ำ

ในเดือนถัดไป อีกครั้งตามสมการที่ 1 ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนครบจำนวนเดือนที่มีข้อมูลอดีตหรือภายในช่วงเวลาที่เลือกข้อมูลถัดมา

เมื่อทำการจำลองสภาพสมมูลน้ำโดยใช้แบบจำลองการเลียนแบบสภาพสมมูลน้ำที่สร้างขึ้นจนครบจำนวนปีที่มีข้อมูลแล้ว ก็จะได้ผลการจำลองเป็นสถานการณ์ขาดแคลนน้ำ และสถานการณ์ที่เกิดน้ำส่วนเกินได้ (ความถี่ ขนาด ช่วงเวลา) จากนั้นก็ทำการบันทึกข้อมูลดังกล่าวไว้

ในการจำลองการศึกษาเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำ สามารถแบ่งระดับเก็บกักของอ่างเก็บน้ำได้ดังนี้

Minimum pool level คือ ระดับน้ำต่ำสุดที่สามารถปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำไปใช้ได้โดยระดับเก็บกักนี้จะเป็นตัวกำหนดระดับของทางส่งน้ำออกต่ำสุด (Outlet)

Normal pool level คือ ระดับเก็บกักน้ำสูงสุดในการใช้งานตามปกติ โดยระดับเก็บกักนี้จะเป็นตัวกำหนดระดับสันของทางระบายน้ำล้น (Spillway) แบบไม่มีประตูควบคุม

Maximum pool level คือ ระดับน้ำสูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่น้ำท่วมเคลื่อนตัวเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ

Freeboard คือ ระยะระหว่างระดับน้ำสูงสุดและระดับสันเขื่อน เพื่อความปลอดภัยไม่ให้น้ำไหลล้นสันเขื่อนขณะที่น้ำเคลื่อนผ่านอ่างเก็บน้ำ

Surcharge storage คือ ความจุชั่วคราวเพื่อหน่วงคลื่นน้ำท่วมไม่ให้เคลื่อนตัวไปทางท้ายน้ำเร็วและมากเกินไปจนก่อให้เกิดน้ำท่วมและเพื่อความปลอดภัยของตัวเขื่อน แล้วระบายออกที่ทางระบายน้ำล้นฉุกเฉิน (Emergency spillway) โดยความจุอยู่ระหว่างระดับน้ำสูงสุดและระดับน้ำเก็บกักปกติ

Flood control storage คือ ความจุเก็บกักเพื่อรองรับในสภาวะน้ำท่วมชั่วคราว แล้วค่อยๆ ระบายน้ำออกโดยไม่กระทบกับพื้นที่ท้ายน้ำ โดยความจุอยู่ระหว่างระดับสันของทางระบายน้ำล้นฉุกเฉินและระดับเก็บกักปกติ

Active storage คือ ความจุใช้การ เพื่อเก็บกักน้ำสำหรับความต้องการน้ำของพื้นที่ท้ายน้ำตามวัตถุประสงค์ต่าง ๆ โดยความจุอยู่ระหว่างรับน้ำเก็บกักต่ำสุดและระดับน้ำเก็บกักปกติ

Dead storage คือ ความจุสำหรับรองรับการตกตะกอนในช่วงอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำหรือเพื่อการ การท่องเที่ยว และการอนุรักษ์สภาพแวดล้อม โดยความจุอยู่ต่ำกว่าระดับเก็บกักต่ำสุด ดังแสดงในรูปที่ 4

เงื่อนไขที่ใช้ในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำมีดังต่อไปนี้

1) ข้อจำกัดปริมาณความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ

ข้อจำกัดนี้เป็นการกำหนดขอบเขตบนและขอบเขตล่างให้กับตัวแปรการตัดสินใจ โดยจะกำหนดปริมาณความจุเก็บกักสูงสุดและต่ำสุดของอ่างเก็บน้ำ ให้ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่ระหว่างช่วงเวลา t ใดๆ ไม่สูงกว่าความจุเก็บกักสูงสุดและไม่ต่ำกว่าความจุต่ำสุดที่กำหนดให้

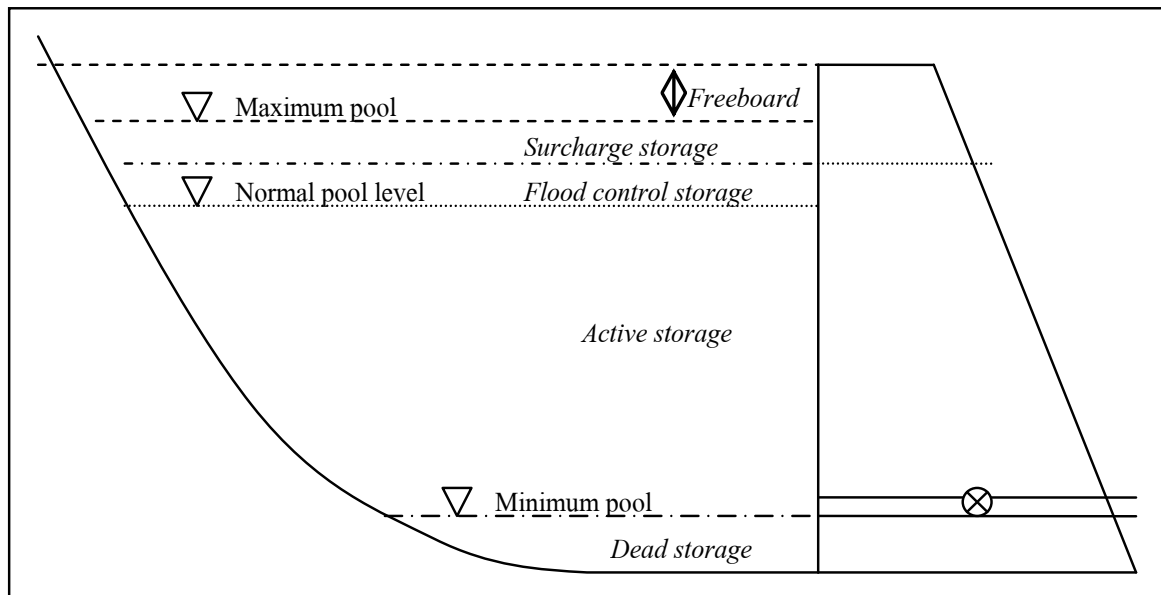
2) ข้อจำกัดในการปล่อยน้ำของอ่างเก็บน้ำ

การปล่อยน้ำของอ่างเก็บน้ำสำหรับวัตถุประสงค์ต่างๆ ในแต่ละช่วงเวลาจะแตกต่างกันออกไป เช่นในฤดูฝนประชากรมีน้ำฝนไว้ใช้พอเพียง หรือช่วงที่เกษตรกรทำการเก็บเกี่ยวผลผลิต ช่วงการ

บำรุงรักษาคลองชลประทานประจำปี จึงไม่จำเป็นต้องปล่อยน้ำ ส่วนปริมาณน้ำสูงสุดที่สามารถปล่อยจากอ่างเก็บน้ำมี 2 ค่า คือ ค่าที่ใช้ในกรณีปกติและกรณีในฤดูน้ำหลาก

3) ข้อจำกัดการปล่อยน้ำเพื่อรักษาสภาพสมดุลนิเวศท้ายน้ำ

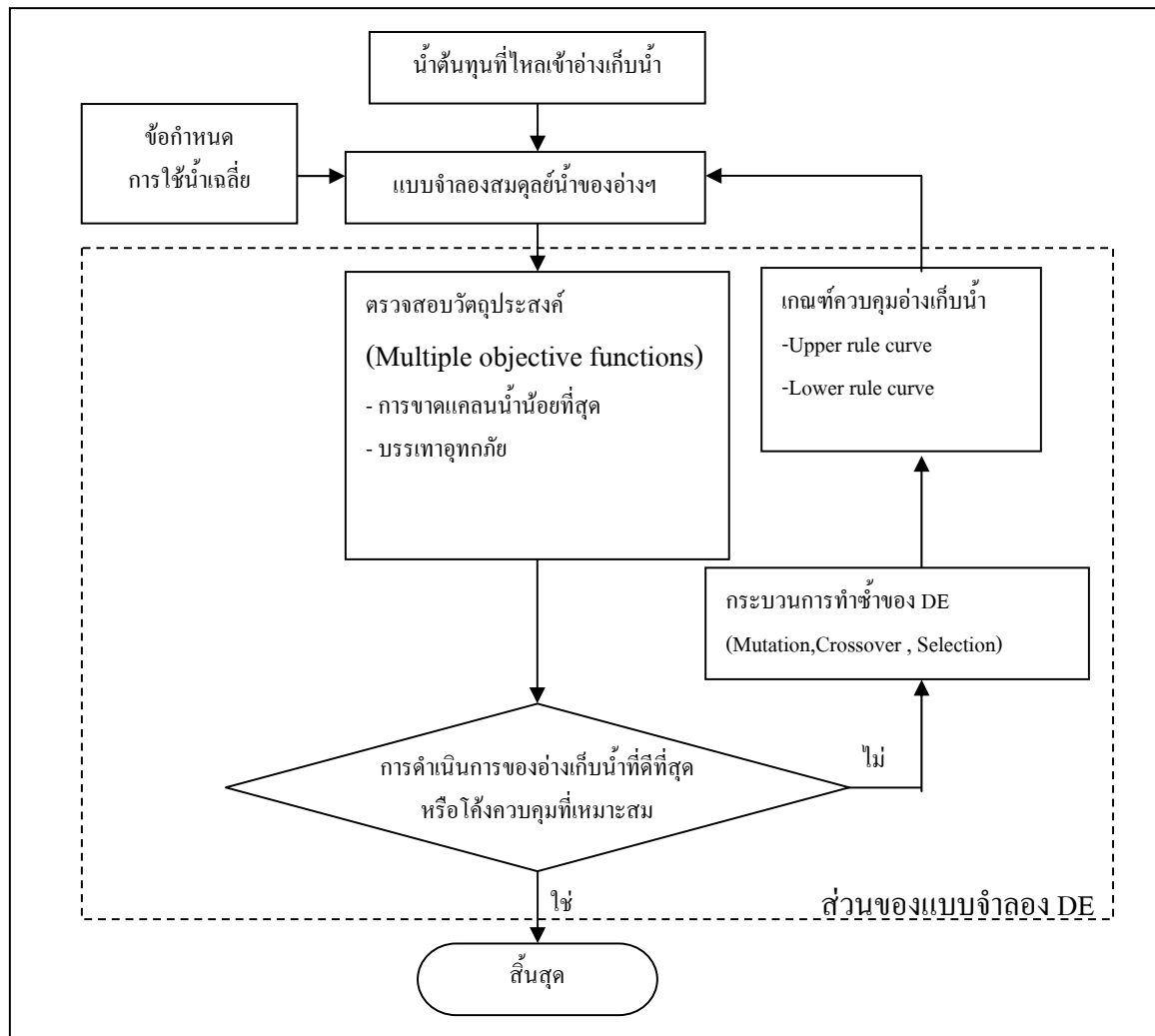
เพื่อเป็นการรักษาสภาพนิเวศน์และสมดุลท้ายน้ำจะต้องปล่อยน้ำจำนวนหนึ่งไว้ตลอดเวลา ซึ่งปริมาณน้ำส่วนนี้ขึ้นอยู่กับแต่ละพื้นที่



รูปที่ 4 ระดับน้ำต่างๆ สำหรับการวางแผนจัดการอ่างเก็บน้ำ

3.2 การพัฒนาระเบียบวิธีการ DE สำหรับหาโค้งควบคุมที่เหมาะสม

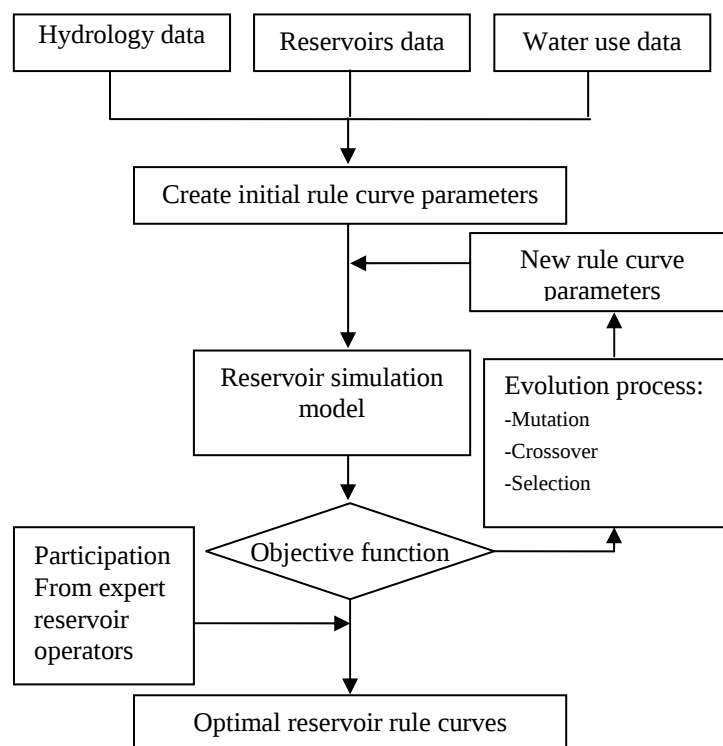
การประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีการ DE สำหรับค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ จะทำการสร้างแบบจำลองสมดุลย์น้ำของอ่างเก็บน้ำดังรายละเอียดข้างต้น เสร็จแล้วเชื่อมต่อเข้ากับแบบจำลอง DE ซึ่งแบบจำลอง DE จะสร้างโค้งควบคุมที่เป็นไปได้เริ่มต้นทั้งเส้นล่างและเส้นบนแบบเป็นรายเดือน จากนั้นโค้งควบคุมเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ร่วมกับเกณฑ์การปล่อยน้ำในแบบจำลองการศึกษาเลียนแบบ เพื่อพิจารณาปล่อยน้ำในแต่ละวันจนครบจำนวนข้อมูลอดีตที่เลือกไว้ จากนั้นประเมินคำตอบโค้งควบคุมตามวัตถุประสงค์ของการค้นหาคำตอบ แล้วเข้าสู่กระบวนการของวิธี DE อีกครั้ง เพื่อสร้างชุดคำตอบใหม่สำหรับส่งไปใช้ในแบบจำลองการศึกษาเลียนแบบ ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนกระทั่งได้คำตอบที่ดีที่สุด จึงให้แบบจำลองยอมรับคำตอบนั้นและหยุดการทำงานดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การประยุกต์ใช้ DE ค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ

4. การบูรณาการผู้มีส่วนได้เสียกับการค้นหาโค้งควบคุมแบบใช้เงื่อนไขหลายหลักเกณฑ์

ผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง เช่น กลุ่มผู้ใช้น้ำ ผู้เชี่ยวชาญ ผู้ทรงคุณวุฒิ จะมีส่วนในการค้นหาโค้งควบคุมแบบใช้เงื่อนไขหลายหลักเกณฑ์ โดยเฉพาะการจัดให้มีการเสนอความเห็นต่อโค้งควบคุมที่ได้จากแบบจำลอง เพื่อรับรู้และนำความคิดเห็นอย่างมีส่วนร่วมของผู้เชี่ยวชาญที่ดูแลและรับผิดชอบการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir operation) มาปรับปรุงโค้งควบคุมอีกครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 6 สำหรับผู้เชี่ยวชาญที่ดูแลและรับผิดชอบการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่ได้เข้ามามีส่วนร่วมมีรายละเอียดดังตารางที่



รูปที่ 6 การบูรณาการผู้มีส่วนได้เสียกับการค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ

ตารางที่ 1 รายละเอียดของผู้เชี่ยวชาญที่ดูแลและรับผิดชอบการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ

ชื่อ-สกุล	ตำแหน่งงาน	อายุ (ปี)	ระดับ การศึกษา	ประสบการณ์ การทำงาน	ลักษณะงานที่รับผิดชอบ
นายฤทัย จำปานิล	-หัวหน้าฝ่ายวิศวกรรม -รักษาการหัวหน้าฝ่าย จัดสรรน้ำและปรับปรุง ระบบชลประทาน -นายช่างชลประทาน อาวุโส	50	ป.ตรี	28	-วางแผนงานวิศวกรรม ควบคุม งบประมาณของโครงการ พิจารณาความ เหมาะสม ในการปรับปรุงบำรุงรักษา โครงการ ได้แก่ งานปรับปรุงระบบ ชลประทาน งานซ่อมแซมระบบ ชลประทาน งานขุดลอกคลองส่งน้ำ และ คลองระบายน้ำ
นายนิธิต วงษ์เวช	-หัวหน้าฝ่ายส่งน้ำและ บำรุงรักษาที่ 1 -นายช่างชลประทาน อาวุโส	48	ป.ตรี	24	-ควบคุมการจัดการน้ำในอ่างเก็บน้ำลำ ปาว 0818718003 SEC1LAMPAO@gmail.com
นาย สมเกียรติ กิ ติวุฒิชูศิลป์	-หัวหน้าฝ่ายส่งน้ำและ บำรุงรักษาที่ 1 -นายช่างชลประทาน ชำนาญงาน	44	ป.โท	22	-บริหารจัดการน้ำชลประทาน -งานซ่อมแซมปรับปรุงบำรุงรักษาระบบ ชลประทาน -สนับสนุนการมีส่วนร่วมขององค์กรผู้ใช้น้ำ ชลประทาน -วางแผนในงานซ่อมแซมปรับปรุงระบบ ชลประทานและจัดทำประมาณการ

5. การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

หลังจากได้โค้งควบคุมที่เหมาะสมสำหรับการดำเนินการของอ่างเก็บน้ำ จากนั้นต้องทำการประเมินประสิทธิภาพการดำเนินการของอ่างโดยใช้มูลน้ำทำสังเคราะห์ด้วยแบบจำลอง HEC-4 จำนวน 500 ชุดเหตุการณ์ และนำผลลัพธ์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับแบบจำลองเดิม แล้วนำเข้าแบบจำลองสมดุลน้ำของอ่างเก็บน้ำเพื่อประเมินการปล่อยน้ำว่าสอดคล้องกับความต้องการใช้น้ำมากน้อยเพียงใดเมื่อเทียบกับการดำเนินงานของอ่างเก็บน้ำที่ผ่านมา

ผลการทดลอง

1. การประมาณการความต้องการใช้น้ำรายเดือน

จากการรวบรวมข้อมูลจากรายงานการศึกษาวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม โครงการปรับปรุงประสิทธิภาพการเก็บกักน้ำอ่างเก็บน้ำลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ ซึ่งคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติได้เห็นชอบในรายงานซึ่งจะส่งผลให้อ่างเก็บน้ำลำปาว มีปริมาตรเก็บน้ำเพิ่มขึ้นจากเดิม 551 ล้าน ลบ.ม. (จากเดิม 1,430 ล้าน ลบ.ม.) เมื่อวันที่ 4 พฤษภาคม พ.ศ.2554 พบว่าด้านการประเมินความต้องการน้ำของพื้นที่โครงการปรับปรุงประสิทธิภาพการเก็บกักน้ำอ่างเก็บน้ำลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ สภาพปัจจุบัน (ปี พ.ศ. 2551) ความต้องการใช้น้ำในกิจกรรมการใช้น้ำที่สำคัญ ดังนี้

ความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคบริเวณพื้นที่โครงการปัจจุบัน (ปี พ.ศ. 2551) มีค่าประมาณ 19.28 ล้าน ลบ.ม./ปี

ความต้องการน้ำเพื่ออุตสาหกรรมบริเวณพื้นที่โครงการปัจจุบัน (ปี พ.ศ. 2551) มีค่าประมาณ 17.34 ล้าน ลบ.ม./ปี

ความต้องการใช้น้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำบริเวณพื้นที่โครงการปัจจุบัน (ปี พ.ศ. 2551) มีค่าประมาณ 104.84 ล้าน ลบ.ม./ปี

ความต้องการใช้น้ำเพื่อชลประทาน ก่อนปรับปรุงตัวเขื่อน มีค่าประมาณ 960 ล้าน ลบ.ม./ปี

ความต้องการใช้น้ำเพื่อรักษาสมดุลระบบนิเวศท้ายน้ำอย่างน้อยในอัตรา 5 ลบ.ม./วินาที หรืออย่างน้อยประมาณเดือนละ 13 ล้าน ลบ.ม.

ซึ่งปัจจุบันในปี พ.ศ. 2554 พื้นที่โครงการ ได้เปลี่ยนการใช้ประโยชน์ที่ดิน การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพิ่มสูงขึ้นเป็น 207.96 ล้าน ลบ.ม./ปี ความต้องการใช้น้ำเพื่อชลประทาน มีค่าประมาณ 951.73 ล้าน ลบ.ม./ปี และได้นำข้อมูลความต้องการใช้น้ำมาเป็นข้อมูลที่ใช้ในสร้างแบบจำลองสำหรับโค้งควบคุมระดับเก็บกักน้ำดังนี้

ตารางที่ 2 ความต้องการใช้น้ำรายเดือนจากอ่างเก็บน้ำลำปาว (ล้าน ลบ.ม.)

กิจกรรม	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
อุปโภคบริโภค	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61
อุตสาหกรรม	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
การเพาะเลี้ยงสัตว์	19.29	19.29	4.28	4.28	18.34	20.38	20.38	20.38	20.38	20.32	20.32	20.32
ชลประทาน	106.88	157.43	138.22	-	-	58.50	156.17	179.35	117.84	-	-	37.34
รักษาสมดุล	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00

ตารางที่ 3 ความต้องการใช้น้ำรายเดือนจากอ่างเก็บน้ำลำปาว กรณีเพิ่มพื้นที่ชลประทาน 50,000 ไร่ (ล้าน ลบ.ม.)

กิจกรรม	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
อุปโภค บริโภค	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61
อุตสาหกรรม	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
การ เพาะเลี้ยง สัตว์	19.29	19.29	4.28	4.28	18.34	20.38	20.38	20.38	20.38	20.32	20.32	20.32
ชลประทาน	132.12	185.81	151.43	4.37	18.43	86.67	202.36	232.03	165.04	20.41	20.41	59.55
รักษาสมดุล	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00

2. การสร้างเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบใช้เงื่อนไขหลายหลักเกณฑ์

การเลือกทางเลือกของการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ในการศึกษานี้จะวิเคราะห์ โดยใช้เทคนิคของกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytical Hierarchy; AHP) โดยมีเป้าหมาย (Goal) คือการจัดสรรน้ำจากระบบอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมระหว่างผู้ใช้น้ำประเภทต่างๆ ในพื้นที่ศึกษาของอ่างเก็บน้ำลำปาวผลการวิเคราะห์ด้วย AHP พบว่าการจัดสรรน้ำในสถานะที่ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำน้อยจะให้ความสำคัญด้านเศรษฐกิจ 43.1% ด้านความเท่าเทียม 33.2% ด้านความเชื่อมั่น 23.7% ดังรูปที่ 7 และตารางที่ 4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าในทัศนคติของเจ้าหน้าที่ที่มีความรู้ความสามารถในการจัดการน้ำในอ่างเก็บน้ำลำปาวตลอดจนประชาชนผู้ที่มีส่วนได้เสียคำนึงด้านเศรษฐกิจ ผลตอบแทนของประชาชนผู้ใช้น้ำเป็นหลัก ตามด้วยความเท่าเทียมและความเชื่อมั่น ส่งผลให้เกิดทางเลือกที่มีความเหมาะสมในการจัดสรรน้ำทั้ง 3 ด้านและได้รับความสำคัญมากถึง 26.5% คือ

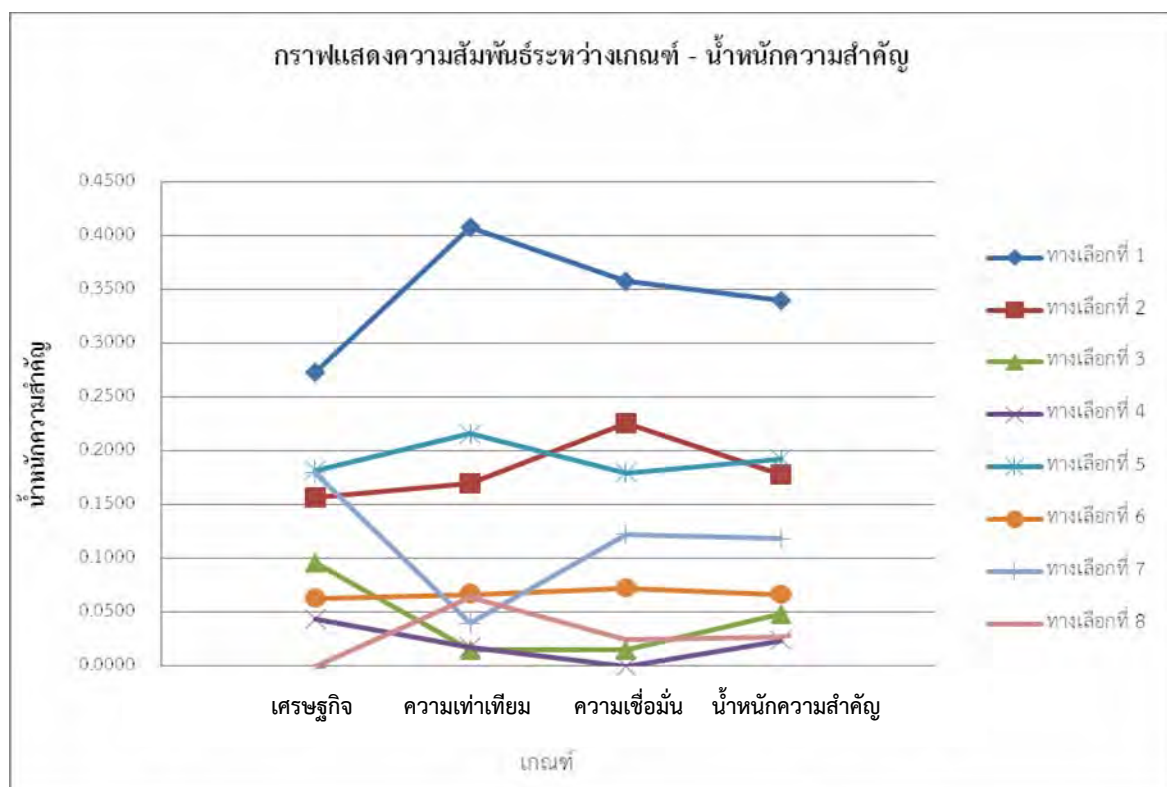
- ลดพื้นที่การเกษตรลง 3% ประมาณ 7,985 ไร่ (รายงานการเพาะปลูกพืชฤดูแล้งปี 2554/2555 266,186 ไร่) คิดเป็นผลตอบแทนประมาณ 24,755,298 บาท

- ลดพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำลง 3% ประมาณ 223 ไร่ (รายงานการเพาะปลูกพืชฤดูแล้งปี 2554/2555 7,438 ไร่) คิดเป็นผลตอบแทนประมาณ 4,909,080 บาท

- ลดปริมาณการจัดสรรน้ำรักษาสมดุลนิเวศวิทยา 3% คิดเป็นเดือนละประมาณ 0.39 ล้าน ลบ.ม.

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ทางเลือกของการจัดสรรน้ำของอ่างเก็บน้ำลำปาว โดยใช้วิธีกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

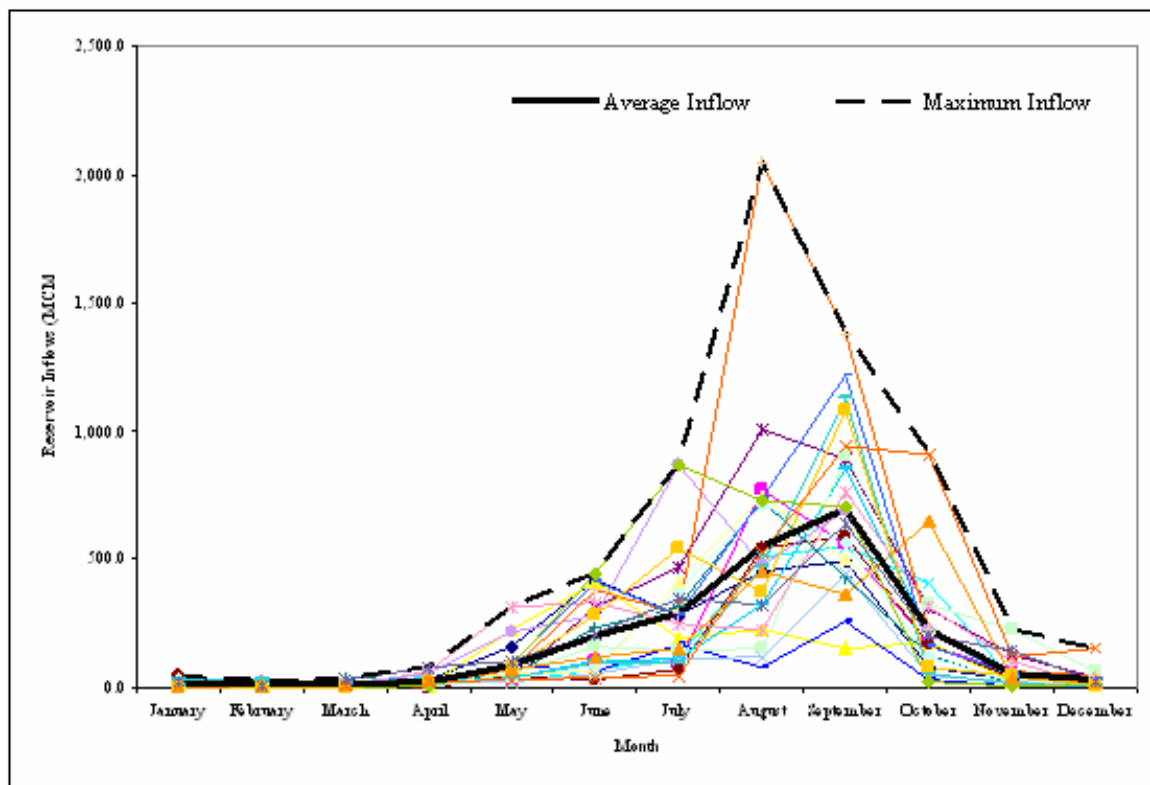
ทางเลือก	เกณฑ์			น้ำหนักความสำคัญ
	เศรษฐกิจ 0.4126	ความเท่าเทียม 0.3379	ความเชื่อมั่น 0.2495	
1	0.2736	0.4080	0.3580	0.3401
2	0.1569	0.1703	0.2259	0.1786
3	0.0961	0.0155	0.0155	0.0488
4	0.0438	0.0181	0.0000	0.0242
5	0.1824	0.2161	0.1800	0.1932
6	0.0634	0.0674	0.0728	0.0671
7	0.1797	0.0399	0.1228	0.1183
8	0.0000	0.0648	0.0251	0.0281



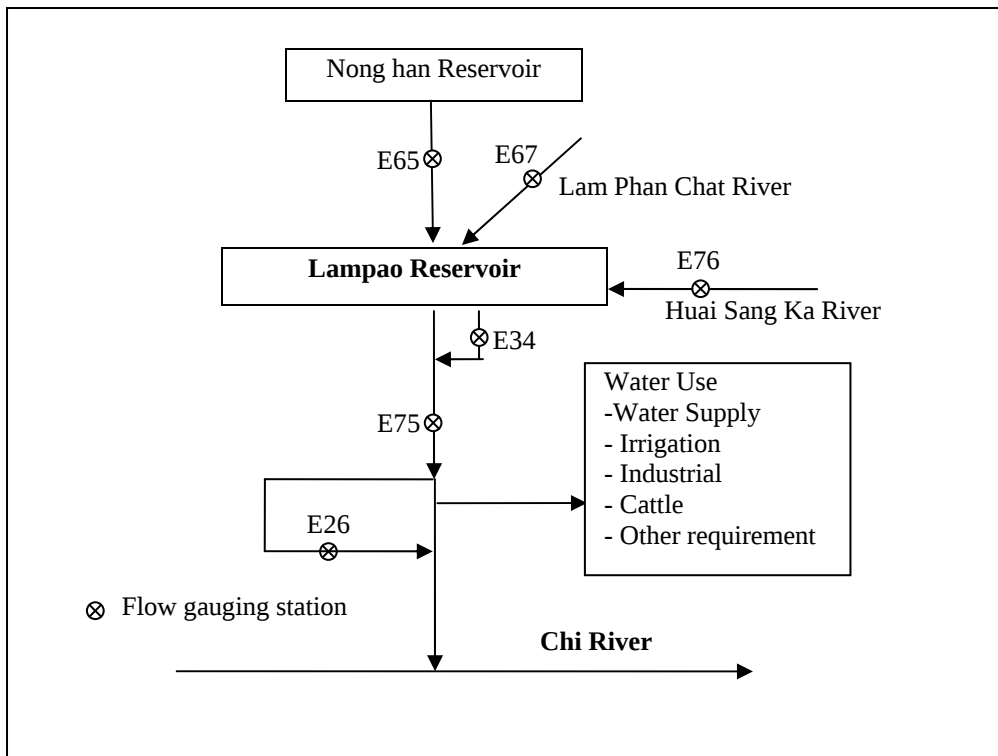
3. การพัฒนาเทคนิค CDE สำหรับค้นหาโค้งควบคุมรายเดือน

หลังจากสร้างแบบจำลองจึงได้รวบรวมข้อมูลและดำเนินการนำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (ดังรูปที่ 8) ข้อมูลการระเหย ข้อมูลความต้องการใช้น้ำ ข้อมูลปริมาณฝน ตามแผนผังการไหลของน้ำดังรูปที่ 9 และข้อมูลโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำเดิมเพื่อนำไปประมวลผลในแบบจำลองการจัดการอ่างเก็บน้ำที่พัฒนาขึ้นด้วยระเบียบวิธีการดิฟเฟอเรนเชียลเอวอลูชันได้โค้งควบคุมใหม่ดังแสดง

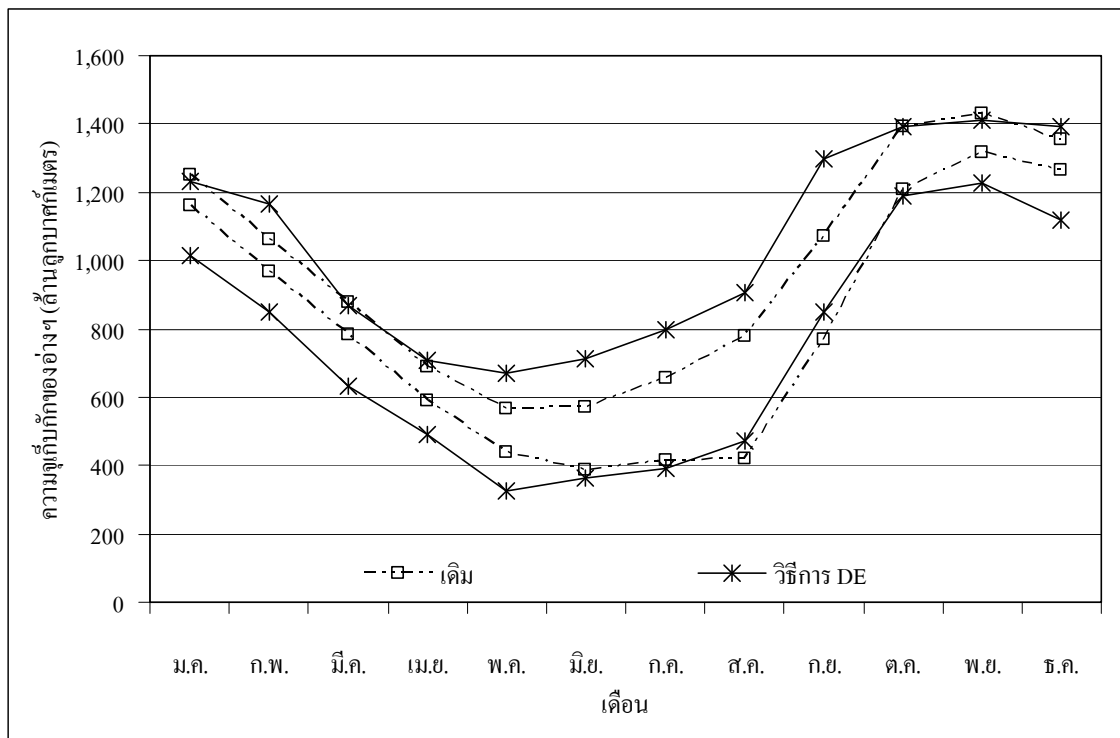
ในรูปที่ 10 และตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่า โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยระเบียบวิธีการดิฟเฟอเรนเชียลเอพวอลูชันจะมีระดับเก็บกักต่ำกว่าโค้งควบคุมเดิมในช่วงหน้าแล้งเดือนมกราคมถึงพฤษภาคม ทำให้สามารถปล่อยน้ำได้มากขึ้นเพื่อลดการขาดแคลนน้ำ และช่วงหน้าฝนเดือนมิถุนายนถึงกันยายน ปริมาตรเก็บกักสูงสุดมีค่ามากทำให้สามารถเก็บกักน้ำลดการปล่อยน้ำให้น้อยลงเพื่อบรรเทาผลกระทบการเกิดน้ำท่วมนอกจากนี้ช่วงสิ้นสุดฝนคือ เดือนตุลาคมถึงธันวาคม ปริมาตรเก็บกักสูงสุดจะเต็มพิกัดเพื่อให้สามารถสำรองน้ำไว้ใช้ในช่วงหน้าแล้งที่น้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำน้อย ซึ่งจะช่วยบรรเทาการขาดแคลนน้ำช่วงหน้าแล้งในปีถัดไปได้



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างเกณฑ์



รูปที่ 9 ผังการไหลของน้ำในระบบลุ่มน้ำลำปาว



รูปที่ 10 เปรียบเทียบโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำเดิมกับโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำใหม่ จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยระเบียบวิธีการดิฟเฟอเรนเชียลเอพวอลูชัน

ตารางที่ 5 เกณฑ์การเก็บกักน้ำของอ่างเก็บน้ำลำปาวจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยระเบียบ
วิธีการดิฟเฟอเรนเชียลเอฟโฟลูชัน

เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
โค้งควบคุม เส้นล่าง	1,015	848	632	489	327	363	393	470	850	1,188	1,226	1,120
โค้งควบคุม เส้นบน	1,230	1,165	868	708	668	714	799	907	1,300	1,393	1,412	1,394

4. การบูรณาการผู้มีส่วนได้เสียกับการค้นหาโค้งควบคุม

การบูรณาการผู้มีส่วนเกี่ยวข้องเข้ากับการค้นหาโค้งควบคุมแบบใช้เงื่อนไขหลายหลักเกณฑ์ ดำเนินการโดยการจัดให้มีการเสนอความเห็นต่อโค้งควบคุมที่ได้จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น เพื่อรับรู้ และนำความคิดเห็นอย่างมีส่วนร่วมของผู้เชี่ยวชาญที่ดูแลและรับผิดชอบการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำมา ปรับปรุงโค้งควบคุมอีกครั้ง ผลที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมที่ใช้อยู่เดิม (ตารางที่ 6) และโค้ง ควบคุมที่ได้จากแบบจำลอง DE ที่พัฒนาขึ้นแบบไม่มีส่วนร่วม (ตารางที่ 7) โค้งควบคุมที่ปรับตามการมี ส่วนร่วมแล้วแสดงดังรูปที่ 12

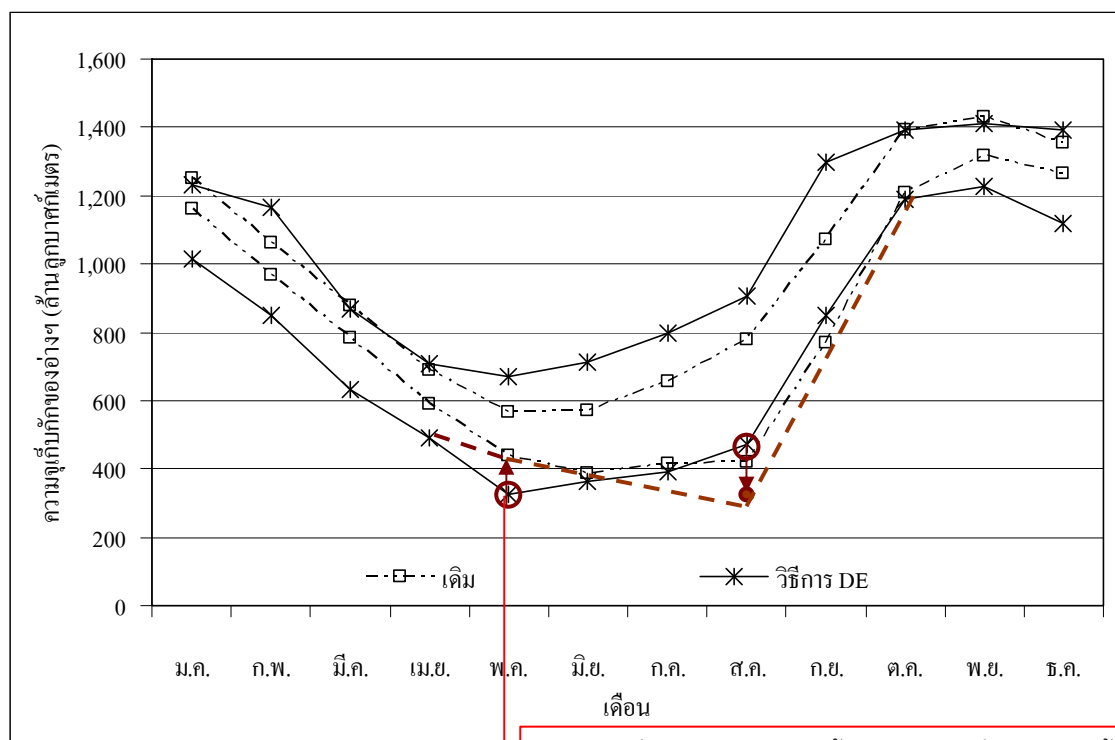
ตารางที่ 6 เกณฑ์การเก็บกักน้ำของอ่างเก็บน้ำลำปาวที่ใช้อยู่เดิม (โค้งควบคุมเดิม)

เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
โค้งควบคุม เส้นล่าง	1,160	969	785	592	437	387	416	422	768	1,209	1,315	1,264
โค้งควบคุม เส้นบน	1,251	1,061	878	688	566	569	656	778	1070	1,393	1,430	1,356

หมายเหตุ: เริ่มใช้ตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม 2548

ตารางที่ 7 เกณฑ์การเก็บกักน้ำของอ่างเก็บน้ำลำปาวจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยระเบียบวิธีการ
DE (โค้งควบคุมใหม่แบบไม่มีส่วนร่วม)

เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
โค้งควบคุม เส้นล่าง	1,015	848	632	489	327	363	393	470	850	1,188	1,226	1,120
โค้งควบคุม เส้นบน	1,230	1,165	868	708	668	714	799	907	1300	1,393	1,412	1,394

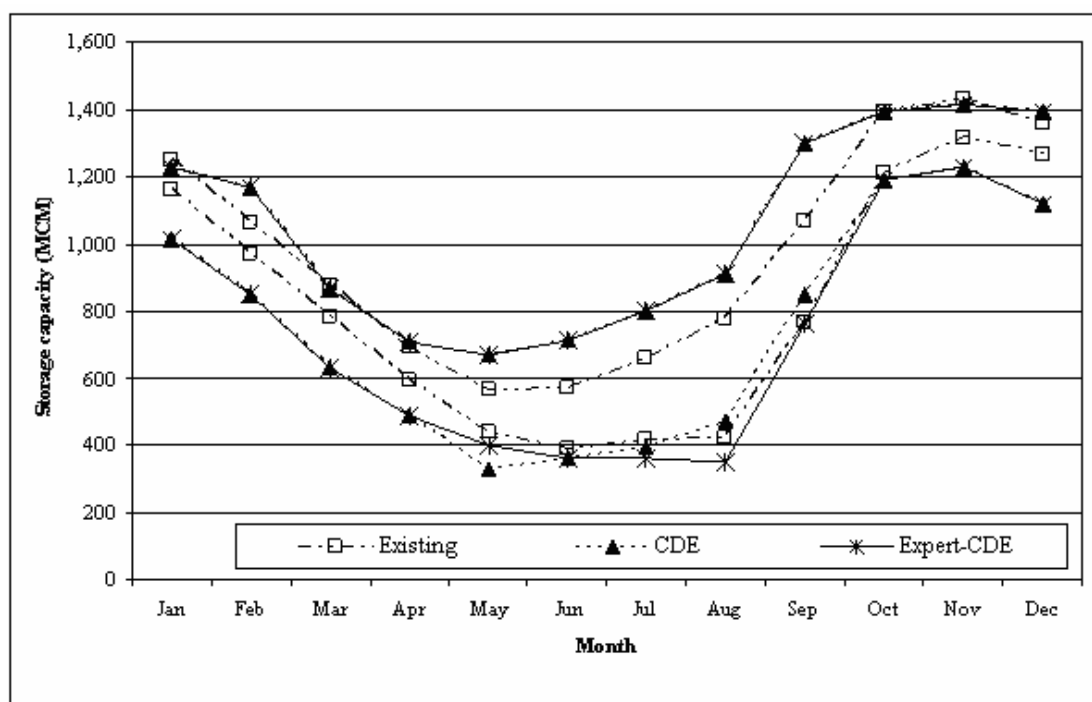


คุณนริศ:ต่ำกว่า 350 MCM น้ำเข้าคลอง 2 ฝั่งไม่ได้ ส่งน้ำลำบาก
คุณฤทัย:ต่ำไป เอาขึ้นมาที่ 400 MCM

รูปที่ 11 เปรียบเทียบโค้งควบคุมเดิมกับโค้งควบคุมใหม่ของอ่างเก็บน้ำจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วย
ระเบียบวิธีการ DE

ตารางที่ 8 เกณฑ์การเก็บกักน้ำของอ่างเก็บน้ำลำปาวจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยระเบียบวิธีการ
DE แบบมีส่วนร่วม (โค้งควบคุมใหม่แบบการมีส่วนร่วม)

เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
โค้งควบคุม เส้นล่าง	1,015	848	632	489	400	363	360	350	760	1,188	1,226	1,120
โค้งควบคุม เส้นบน	1,230	1,165	868	708	668	714	799	907	1,300	1,393	1,412	1,394

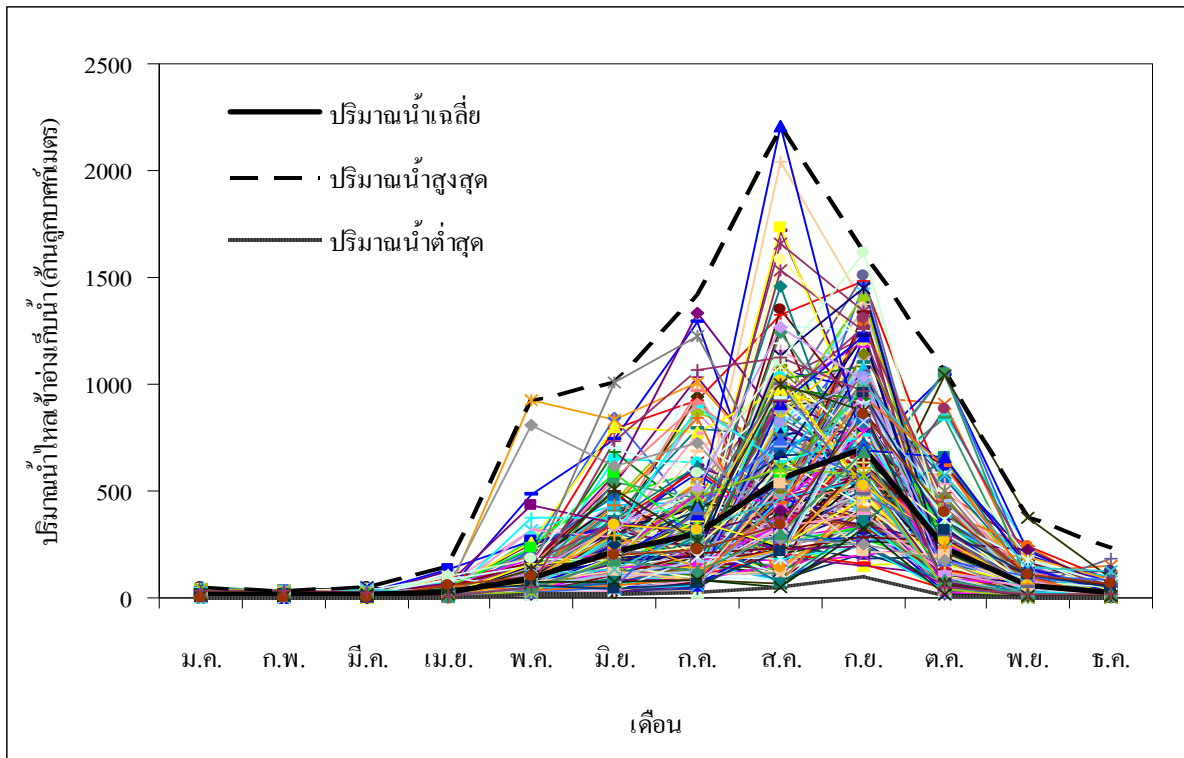


รูปที่ 12 เปรียบเทียบโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยวิธีการ DE และโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยวิธีการ DE แบบมีส่วนร่วม

5. การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่สร้างขึ้นจะสามารถนำไปใช้งานจริงได้ผลดีแค่ไหน ขึ้นอยู่กับโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่ได้ต้องใช้งานได้ครอบคลุมทุกๆ กรณีหรือทุกเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องที่อาจจะเกิดขึ้นได้ จึงได้ทำการใช้แบบจำลองอุทกวิทยา HEC4 สังเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายเดือนจากข้อมูลเดิม 23 ปี (พ.ศ. 2529 ถึง พ.ศ. 2551) ให้เป็นข้อมูลสังเคราะห์จำนวน 500 ชุดเหตุการณ์ ดังรูปที่ 13 ข้อมูลปริมาณน้ำเข้าอ่างเก็บน้ำครอบคลุมเหตุการณ์หลายๆเหตุการณ์ตั้งแต่สถานการณ์เหตุการณ์ปกติไปจนถึงเหตุการณ์ที่รุนแรง

จากรูปที่ 13 จะเห็นได้ว่ามีเหตุการณ์หรือสถานการณ์รุนแรง เช่น กรณีที่มีปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำน้อยที่สุด และกรณีที่มีปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสูงสุดของแต่ละเดือนที่คาดการณ์ว่าจะเกิดขึ้นได้ต่อเนื่องกัน เพื่อที่จะรองรับกับสถานการณ์ในอนาคต ทั้งนี้ในปัจจุบันสถานการณ์หนึ่งที่เป็นผลกระทบรุนแรงต่อการบริหารจัดการน้ำคือสภาพอากาศที่ได้รับผลจากภาวะโลกร้อนเกิดปรากฏการณ์สภาพอากาศแปรปรวนอย่างหนัก จึงต้องมีการนำสถานการณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำหลายๆสถานการณ์มาพิจารณาหรือประเมินผลการจัดการอ่างเก็บน้ำในครั้งนี้



รูปที่ 13 ปริมาณน้ำเข้าอ่างเก็บน้ำหลายๆ เหตุการณ์ที่สังเคราะห์ขึ้นด้วยแบบจำลอง HEC4

จากการนำโค้งควบคุมเดิมและโค้งควบคุมจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยระเบียบวิธีการดิฟเฟอเรนเชียลเอพวอลูชันไปวิเคราะห์กับข้อมูลปริมาณน้ำเข้าอ่างเก็บน้ำที่สังเคราะห์ขึ้นได้ผลดังแสดงในตารางที่ 9 จะเห็นว่า โค้งควบคุมจากระเบียบวิธีการดิฟเฟอเรนเชียลเอพวอลูชันมีความถี่ของการเกิดการขาดแคลนน้ำเฉลี่ย เท่ากับ 0.443 ครั้งต่อปี ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ขาดแคลนเท่ากับ 106.3 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี และปริมาณน้ำที่ขาดแคลนสูงสุด เท่ากับ 470.7 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี โดยโค้งควบคุมนี้จะให้ผลที่ดีกว่าโดยช่วยบรรเทาความถี่และขนาดของการเกิดการขาดแคลนน้ำลงจากโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำเดิม และปริมาณการปล่อยน้ำส่วนเกินยังลดจากเดิมเหลือเป็นความถี่ของการปล่อยน้ำส่วนเกินเฉลี่ย เท่ากับ 0.8 ครั้งต่อปี ปริมาณการปล่อยน้ำส่วนเกินเฉลี่ยเท่ากับ 698.4 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี และปริมาณการปล่อยน้ำส่วนเกินสูงสุด เท่ากับ 2,593 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ซึ่งปริมาณน้ำส่วนเกินที่ลดลงทำให้การที่มีปริมาณน้ำส่วนเกินไปเสริมทำให้เกิดน้ำท่วมทางด้านท้ายน้ำจึงน้อยลงเนื่องจากบางส่วนถูกเก็บกักเอาไว้ในอ่างเก็บการบรรเทาการเกิดน้ำท่วมทางด้านท้ายน้ำและสำรองน้ำไว้ใช้ในช่วงหน้าแล้งในปีถัดไปได้

ตารางที่ 9 ผลการประเมินการขาดแคลนน้ำและการปล่อยน้ำส่วนเกินของโค้งควบคุมเดิมและ
โค้งควบคุมใหม่จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยระเบียบวิธีการดิฟเฟอเรนเชียลเอฟโวลูชัน

สภาวะ	โค้งควบคุม		ความถี่	ปริมาณน้ำ		ระยะเวลา (ปี)	
			(ครั้ง/ปี)	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด
การขาด แคลนน้ำ	เดิม	μ	0.926	327.2	669.9	13	16.4
		σ	0.049	20.6	85.6	6.3	4.8
	ระเบียบ วิธีการDE	μ	0.443	106.3	470.7	2.6	4.2
		σ	0.083	22	114.9	0.8	1.5
การปล่อย น้ำ ส่วนเกิน	เดิม	μ	0.979	922.6	2738.1	18.2	20.1
		σ	0.029	25.2	565.7	6.3	4.3
	ระเบียบ วิธีการDE	μ	0.800	698.4	2593.0	4.5	8.7
		σ	0.061	27.3	579.9	1.7	3.0

หมายเหตุ : μ = ค่าเฉลี่ย, σ = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

นอกจากนี้เมื่อเกิดกรณีการเปลี่ยนแปลงความต้องการใช้น้ำเพิ่มขึ้น 10% 20% และ 30% จากความต้องการใช้น้ำเดิมในปัจจุบัน แล้ววิเคราะห์ผลการประเมินโค้งควบคุมจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยระเบียบวิธีการดิฟเฟอเรนเชียลเอฟโวลูชันนั้น ได้ผลประเมินดังแสดงในตารางที่ 10 ถึง 13 จากตารางจะเห็นได้ว่าถึงแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงในอนาคต ความต้องการใช้น้ำเพิ่มขึ้น 20% โค้งควบคุมจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยระเบียบวิธีการดิฟเฟอเรนเชียลเอฟโวลูชัน (ความถี่ของการเกิดการขาดแคลนน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 0.869 ครั้งต่อปี ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ขาดแคลนเท่ากับ 285.2 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี และปริมาณน้ำที่ขาดแคลนสูงสุดเท่ากับ 774.1 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี) เมื่อเทียบกับผลประเมินโค้งควบคุมเดิมกับความต้องการใช้น้ำปัจจุบันในตารางที่ 9 (ความถี่ของการเกิดการขาดแคลนน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 0.926 ครั้งต่อปี ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ขาดแคลนเท่ากับ 327.2 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี และปริมาณน้ำที่ขาดแคลนสูงสุดเท่ากับ 669.9 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี) ก็ยังคงให้ผลของการเกิดการขาดแคลนน้ำที่ต่ำกว่าโค้งควบคุมน้ำเดิมที่ใช้ความต้องการน้ำอยู่ในปัจจุบัน อย่างไรก็ตามจากเหตุการณ์ทั้งหมดจะเกิดปริมาณน้ำที่การขาดแคลนน้ำสูงสุดมากกว่าโค้งควบคุมเดิมแต่ระยะเวลาในการเกิดสั้น ส่วนปริมาณน้ำส่วนเกินเนื่องจากการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้ความถี่และขนาดของการปล่อยน้ำส่วนเกินนั้นลดลง ให้ผลกระทบในทางตรงข้ามกับการเกิดการขาดแคลนน้ำ ซึ่งจากความต้องการน้ำที่เพิ่มขึ้นหากมีการจัดการใช้พื้นที่ให้เหมาะสมกับฤดูกาล หรือเพาะปลูกให้เหมาะสมกับปริมาณน้ำที่มีอยู่ก็จะเป็นแนวทางหนึ่งในการช่วยลดปัญหาการขาดแคลนน้ำให้ลดน้อยลงได้เช่นกันโดยวิธีนี้จำเป็นต้องคำนึงถึงหลักในทางเศรษฐศาสตร์เพื่อให้ผู้ใช้น้ำได้ผลผลิตและความเป็นอยู่ที่ดีกว่าเดิม หากทำการเปลี่ยนแปลงการใช้พื้นที่ให้เหมาะสมให้ผู้ใช้น้ำได้ใช้งานจริงจะต้องทำให้เป็นทางเลือกที่ดีอีกทางหนึ่งแก่ผู้ใช้น้ำ

ตารางที่ 10 ผลการประเมินการขาดแคลนน้ำและการปล่อยน้ำส่วนเกินของโครงการใหม่
จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยระเบียบวิธีการดิฟเฟอเรนเชียลเอพวอลูชันกรณี
ความต้องการใช้น้ำเพิ่มขึ้นจากความต้องการใช้น้ำปัจจุบัน

สภาวะ	กรณีความต้องการใช้น้ำเพิ่มขึ้น		ความถี่	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม./ปี)		ระยะเวลา (ปี)	
			(ครั้ง/ปี)	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด
การขาด แคลนน้ำ	10%	μ	0.670	183.6	618.6	3.7	6.9
		σ	0.076	24.8	128.1	1.2	2.4
	20%	μ	0.869	285.2	774.1	8.5	13.0
		σ	0.054	25.7	136.7	4.4	4.3
	30%	μ	0.953	389.1	922.3	18.1	19.9
		σ	0.033	26.3	142.2	5.8	3.9
การปล่อย น้ำส่วนเกิน	10%	μ	0.742	620.1	2476.7	3.6	7.3
		σ	0.062	29.6	576.8	1.2	2.6
	20%	μ	0.700	565.6	2394.1	3.2	6.5
		σ	0.064	30.9	572.3	1.0	2.4
	30%	μ	0.659	513.6	2310.9	2.8	5.8
		σ	0.067	31.1	571.0	0.8	2.0

หมายเหตุ : μ = ค่าเฉลี่ย, σ = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 11 ผลการประเมินการขาดแคลนน้ำและการปล่อยน้ำส่วนเกินของโค้งควบคุมใหม่
จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยระเบียบวิธีการดิฟเฟอเรนเชียลเอพวอลูชันกรณีปริมาณ
น้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำลดลงจากปริมาณน้ำปัจจุบัน

สภาวะ	กรณีปริมาณน้ำไหลเข้าอ่าง เก็บน้ำลดลง		ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม./ปี)		ระยะเวลา (ปี)	
				ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด
การขาด แคลนน้ำ	10%	μ	0.577	154.3	570.1	3.3	5.7
		σ	0.081	22.8	124.2	1.1	2.0
	20%	μ	0.711	217.2	668.7	4.5	7.8
		σ	0.077	23.4	121.8	1.7	2.8
	30%	μ	0.840	304.0	782.7	7.3	11.6
		σ	0.066	21.9	121.3	3.6	4.0
การปล่อย น้ำส่วนเกิน	10%	μ	0.716	513.9	2177.8	3.2	6.7
		σ	0.062	27.2	539.4	1.0	2.3
	20%	μ	0.607	355.2	1762.4	2.4	4.9
		σ	0.066	27.3	479.8	0.6	1.6
	30%	μ	0.479	221.3	1353.9	1.8	3.6
		σ	0.066	25.7	421.6	0.4	1.3

หมายเหตุ : μ = ค่าเฉลี่ย, σ = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ส่วนกรณีหากมีปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำลดลง 10% 20% และ 30% จากปริมาณน้ำปัจจุบัน เมื่อนำไปใช้กับโค้งควบคุมใหม่จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยระเบียบวิธีการดิฟเฟอเรนเชียลเอพวอลูชันได้ผลการประเมินดังแสดงในตารางที่ 12 และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลในตารางที่ 11 พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำลดลงส่งผลให้การขาดแคลนน้ำเพิ่มความรุนแรงมากขึ้น แต่มีผลกระทบน้อยต่อการเกิดน้ำท่วมด้านท้ายน้ำเพราะการปล่อยน้ำส่วนเกินลดน้อยลง อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำลดลง 20 % โดยใช้โค้งควบคุมใหม่นี้ (ความถี่ของการเกิดการขาดแคลนน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 0.711 ครั้งต่อปี ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ขาดแคลนเท่ากับ 217.2 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี และปริมาณน้ำที่ขาดแคลนสูงสุดเท่ากับ 668.7 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี) จะส่งผลต่อความขาดแคลนน้ำและการปล่อยน้ำส่วนเกินน้อยกว่ากรณีใช้โค้งควบคุมเดิมกับปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเดิมดังตารางที่ 9 (ความถี่ของการเกิดการขาดแคลนน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 0.926 ครั้งต่อปี ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ขาดแคลนเท่ากับ 327.2 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี และปริมาณน้ำที่ขาดแคลนสูงสุดเท่ากับ 669.9 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี)

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า โค้งควบคุมใหม่ที่ได้มีประสิทธิภาพ ไม่ว่าจะประสบกับสถานการณ์ใดทั้งการเปลี่ยนแปลงความต้องการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้นหรือปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำลดน้อย โค้งควบคุมใหม่นี้ก็สามารถนำไปใช้งานได้ดี

ตารางที่ 12 ผลการประเมินการขาดแคลนน้ำและการปล่อยน้ำส่วนเกินของโค้งควบคุมใหม่จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยระเบียบวิธีการ DE แบบมีส่วนร่วม กรณีความต้องการใช้น้ำเพิ่มขึ้นจากความต้องการใช้น้ำปัจจุบัน

สภาวะ	กรณีความต้องการใช้น้ำเพิ่มขึ้น		ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม./ปี)		ระยะเวลา (ปี)	
				ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด
การขาดแคลนน้ำ	10%	μ	0.670	183.6	618.6	3.7	6.9
		σ	0.076	24.8	128.1	1.2	2.4
	20%	μ	0.869	285.2	774.1	8.5	13.0
		σ	0.054	25.7	136.7	4.4	4.3
	30%	μ	0.953	389.1	922.3	18.1	19.9
		σ	0.033	26.3	142.2	5.8	3.9
การปล่อยน้ำส่วนเกิน	10%	μ	0.742	620.1	2476.7	3.6	7.3
		σ	0.062	29.6	576.8	1.2	2.6
	20%	μ	0.700	565.6	2394.1	3.2	6.5
		σ	0.064	30.9	572.3	1.0	2.4
	30%	μ	0.659	513.6	2310.9	2.8	5.8
		σ	0.067	31.1	571.0	0.8	2.0

หมายเหตุ: μ = ค่าเฉลี่ย, σ = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 13 แสดงผลการประเมินการขาดแคลนน้ำและการปล่อยน้ำส่วนเกินของโค้งควบคุมแบบเดิม แบบใหม่ CDE และแบบใหม่ CDE แบบมีส่วนร่วม กรณีความต้องการใช้น้ำต้องการใช้น้ำปัจจุบัน จากตารางจะเห็นได้ว่าโค้งควบคุมใหม่ CDE แบบมีส่วนร่วมให้ค่าความถี่ของการขาดแคลนเป็น 0.451 ± 0.085 ครั้งต่อปี ขนาดของการขาดแคลนเฉลี่ยเป็น 108.89 ± 22.48 ล้าน ลบ.ม./ปี และขนาดของการขาดแคลนสูงสุดเป็น 476.27 ± 118.63 ล้าน ลบ.ม./ปี ซึ่งค่านี้ใกล้เคียงกับผลของการใช้โค้งควบคุมจากวิธี CDE แบบไม่มีส่วนร่วม แต่น้อยกว่าผลของการใช้โค้งควบคุมเดิมอย่างเห็นได้ชัด ส่วนค่าความถี่ของการไหลล้นเป็น 0.795 ± 0.061 ครั้งต่อปี ขนาดของการไหลล้นเฉลี่ยเป็น 691.02 ± 27.66

ล้าน ลบ.ม./ปี และขนาดของการขาดแคลนสูงสุดเป็น $2,584.17 \pm 580.94$ ล้าน ลบ.ม./ปี ซึ่งค่าเหล่านี้ก็ใกล้เคียงกับผลของการใช้โค้งควบคุมจากวิธี CDE แบบไม่มีส่วนร่วมเช่นกัน

ตารางที่ 13 แสดงผลการประเมินการขาดแคลนน้ำและการปล่อยน้ำส่วนเกินของโค้งควบคุมแบบเดิม แบบใหม่ CDE และแบบใหม่ CDE แบบมีส่วนร่วม กรณีความต้องการใช้น้ำต้องการใช้น้ำปัจจุบัน

สภาวะ	โค้งควบคุม		ความถี่	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม./ปี)		ระยะเวลา (ปี)	
			(ครั้ง/ปี)	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด
การขาด แคลนน้ำ	เดิม	μ	0.926	327.21	669.93	13.02	16.36
		σ	0.049	20.65	85.66	6.37	4.79
	วิธีการ CDE	μ	0.402	96.8	411.6	2.1	3.7
		σ	0.056	20.2	97.3	0.7	1.3
	วิธีการ CDE แบบมีส่วนร่วม	μ	0.451	108.89	476.27	2.65	4.32
		σ	0.085	22.48	118.63	0.80	1.58
การปล่อย น้ำส่วนเกิน	เดิม	μ	0.979	922.58	2738.02	18.16	20.07
		σ	0.029	25.19	565.68	6.27	4.28
	วิธีการ CDE	μ	0.817	707.5	2,631.0	4.8	10.8
		σ	0.063	28.1	582.4	1.9	3.4
	วิธีการ CDE แบบมีส่วนร่วม	μ	0.795	691.02	2584.17	4.40	8.50
		σ	0.061	27.66	580.94	1.67	2.95

หมายเหตุ: μ = ค่าเฉลี่ย, σ = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

โครงการวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาแบบจำลองการจัดการอ่างเก็บน้ำโดยอาศัยระเบียบวิธีการดิฟเฟอเรนเชียลเอฟวอลูชัน (Differential evolution algorithm) และแบบจำลองทางชลศาสตร์ของระบบอ่างเก็บน้ำ รวมทั้งให้ผู้เชี่ยวชาญปรับแก้ค่าความคลุมเครือที่ได้ก่อนนำไปใช้ ในการวิจัยจะพิจารณาข้อมูลค่าความคลุมเครือรายเดือนของอ่างเก็บน้ำลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ เป็นกรณีศึกษา และนำข้อมูลน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่สังเคราะห์ขึ้นจำนวน 500 ชุดเหตุการณ์มาใช้สำหรับประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง และนำผลลัพธ์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับแบบจำลองเดิม ส่วนการปล่อยน้ำจะเป็นเกณฑ์แบบใช้เงื่อนไขหลายหลักเกณฑ์ โดยใช้วิธีของกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytical Hierarchy Process, AHP)

ผลการวิจัยพบว่าค่าความคลุมเครืออ่างเก็บน้ำใหม่จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมานี้ได้รับการยอมรับจากผู้บริหารจัดการอ่างเก็บน้ำและผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง เมื่อนำค่าความคลุมเครือที่ได้ไปประเมินประสิทธิภาพพบว่าให้ความถี่และขนาดของการเกิดภัยแล้งต่ำกว่าของค่าความคลุมเครือเดิม ในขณะที่การปล่อยน้ำส่วนเกินลดลงเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความคลุมเครืออ่างเก็บน้ำจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นที่ความต้องการน้ำเพิ่มขึ้น 20 เปอร์เซ็นต์ ก็ยังให้ผลของการขาดแคลนน้ำเฉลี่ยต่ำกว่าค่าความคลุมเครือเดิมที่ความต้องการใช้น้ำปัจจุบัน จากการใช้วิธีการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์เพื่อคัดเลือกทางเลือกโดยใช้เทคนิคของกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น ในสถานะที่ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำน้อยจะให้ความสำคัญด้านเศรษฐกิจ 43.1% ด้านความเท่าเทียม 33.2% ด้านความเชื่อมั่น 23.7% ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าหากปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำน้อย เจ้าหน้าที่ด้านการบริหารจัดการน้ำที่รับผิดชอบพื้นที่ชลประทานและการจัดสรรน้ำ เลือกที่จะดำเนินการลดพื้นที่การเกษตรลง 3% ประมาณ 7,985 ไร่ (รายงานการเพาะปลูกพืชฤดูแล้งปี 2554/2555 มีจำนวน 266,186 ไร่) ลดพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำลง 3% ประมาณ 223 ไร่ (รายงานการเพาะปลูกพืชฤดูแล้งปี 2554/2555 มีจำนวน 7,438 ไร่) และลดปริมาณการจัดสรรน้ำรักษาสมดุลนิเวศวิทยา 3% คิดเป็นเดือนละประมาณ 0.39 ล้าน ลบ.ม.

โดยสรุป ค่าความคลุมเครือที่ได้จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นนี้มีประสิทธิภาพในการรองรับปริมาณความต้องการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้นในอนาคตได้ อีกทั้งยังได้รับการยอมรับจากผู้บริหารจัดการอ่างเก็บน้ำและผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ดังนั้นแบบจำลองนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการน้ำของอ่างเก็บน้ำและอาจนำไปใช้กับอ่างเก็บน้ำอื่นๆ ได้โดยเปลี่ยนฟังก์ชันวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัดของอ่างเก็บน้ำ

1. การใช้วิธีการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์เพื่อคัดเลือกทางเลือกโดยใช้เทคนิคของกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytical Hierarchy; AHP) ในสภาวะที่ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำน้อย ไปใช้ในพื้นที่อื่นๆหรือใช้ในพื้นที่ที่ศึกษาอีกครั้ง อาจจะต้องทำการทบทวน ปรับปรุงน้ำหนักความสำคัญของการลดปริมาณการจัดสรรน้ำในแต่ละกิจกรรม ตลอดจนพิจารณาความเหมาะสมของจำนวนพื้นที่ของแต่ละฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาของโครงการ เพื่อให้มีความเหมาะสมกับสถานการณ์ ข้อจำกัดในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นด้านต้นทุนคลอง กลางคลอง และปลายคลอง ลดปัญหาความขัดแย้ง ของมวลชน ซึ่งจะต้องมีการยอมรับและจัดทำข้อตกลงระหว่างกลุ่มพื้นที่เกษตรกรรม ให้คณะกรรมการจัดการชลประทาน (ถ้ามี) พิจารณหาข้อตกลงร่วม (MOU : Memorandum Of Understanding)
2. การใช้วิธีการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์เพื่อคัดเลือกทางเลือกโดยใช้เทคนิคของกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytical Hierarchy; AHP) เหมาะสมสำหรับใช้หาลำดับความสำคัญที่มีเกณฑ์จำนวนไม่มาก และมีผู้ตัดสินใจจำนวนน้อย เพราะถ้าหากมีเกณฑ์มากการเปรียบเทียบจะมากและยากขึ้น อาจส่งผลให้ผู้ตัดสินใจวิเคราะห์ปัญหาเกิดความสับสนในการเปรียบเทียบ ผลที่ได้อาจจะคลาดเคลื่อน ไม่ถูกต้องเท่าที่ควร
3. การค้นหาโค้งควบคุมโดยวิธีการดิฟเฟอเรนเชียลเอฟวอลูชัน (Differential evolution algorithm) และแบบจำลองทางศาสตร์ของระบบอ่างเก็บน้ำ รวมทั้งให้ผู้เชี่ยวชาญปรับแก้โค้งควบคุมที่ได้ก่อนนำไปใช้สามารถนำไปใช้กับอ่างเก็บน้ำอื่นๆ ได้โดยเปลี่ยนฟังก์ชันวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัดของอ่างเก็บน้ำ
4. ควรใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยาที่สามารถทำนายปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในอนาคตเพื่อนำมาใช้วิเคราะห์ในการจัดทำ Rule Curve ที่เหมาะสมในอนาคต โดยพิจารณาวัตถุประสงค์ตามแนวโน้มความต้องการใช้น้ำที่อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน

- กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2551. รายงานสารสนเทศโครงการชลประทาน
ปีงบประมาณ พ.ศ. 2551.
- พระราชบัญญัติกำหนดแผนและขั้นตอนการกระจายอำนาจให้แก่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น พ.ศ. 2542
- ไพโรจน์ เกรียงศิริ 2542 การจัดการด้านวิศวกรรมและการหาความเหมาะสมกับทรัพยากรน้ำ เล่มที่ 1-2
สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ กทม.
- มิ่งสรรพ ขาวสะอาด และคณะ “แนวนโยบายการจัดการน้ำสำหรับประเทศไทย” สำนักงานกองทุน
สนับสนุนการวิจัย (สกว.), รายงาน, 2544.
- สงวน ปัทมธรรมกุล 2529 การวิเคราะห์ระบบทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- สมฤทัย ทะสะดวง และ สุวัฒนา จิตตลดาการ 2548 การประเมินประสิทธิภาพวิธีการดิฟเฟอเรนเชียล
เอฟโวลูชันสำหรับการหาความเหมาะสมในการจัดการอ่างเก็บน้ำ เอกสารประกอบการประชุม
วิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 10: WE89
- สุวัฒนา จิตตลดาการ และ อนุพงษ์ เปรมปรี 2548 การออกแบบระบบท่อจ่ายน้ำอย่างเหมาะสมด้วย
วิธีดิฟเฟอเรนเชียลเอฟโวลูชัน เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่
10: WE81
- Adeloye, A. J., Nawaz, N. R., Montaseri, M. 1999. Climate Change Water Resources
Planning Impacts Incorporating Reservoir Surface Net Evaporation Fluxes: A Case
Study. *International Journal of Water Resources Development*, Volume 15, Issue 4,
pages 561 – 581.
- Bellman, R., 1959. Dynamic Programming. Princeton University Press, Princeton, New Jersey
- Boonyasirikul, T. “Optimal Operation Policy for Real-Time Reservoir Management.” The 6th
National Conference on Civil Engineering, Thailand, Vol. 2 (2000): WAR-(61-66).
- Chaiyasing, S. (1997) “Determination of the Rule Curves of the Sirikit Dam for Hydropower,
Irrigation and Flood Control.” AIT Master Thesis, No. WM-96-14, AIT, Bangkok,
Thailand.
- Chaiyasing, S. “Determination of the Rule Curves of the Sirikit Dam for Hydropower, Irrigation
and Flood Control.” AIT Master Thesis, No. WM-96-14, AIT, Bangkok, Thailand, 1997.
- Chaleeraktragoon, C., and Kangrang, A. (2007) “Dynamic Programming with the Principle of
Progressive Optimality for Searching Rule Curves.” *Canadian Journal of Civil
Engineering*, Vol. 34, pp. 170-176.

- Chang, L.C., and Yang, C.C. (2002) "Optimizing the Rule Curves for Multi-Reservoir Operations Using a Genetic Algorithm and HEC-5." *Journal of Hydrosience and Hydraulic Engineering*, Vol. 20, No. 1, pp. 59-75.
- Chang, F.J., Lai, J.S., and Kao, L.S. (2003) "Optimization of Operation Rule Curves and Flushing Schedule in a Reservoir." *Hydrological Processes*, Vol. 17, pp. 1623-1640.
- Chang, F.J., Chen, L., and Chang, L.C. (2005) "Optimizing Reservoir Operating Rule Curves by Genetic Algorithms." *Hydrological Processes*, Vol. 19, No. 11, pp. 2277-2289.
- Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT) "Review of Operating Rule Curves of Bhumibhol and Sirikit Reservoirs." EGAT Research Report, Code No. 60-57, Bangkok, Thailand, 1991.
- Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT) "Manual for operating the Bhumibol and Sirikit Reservoirs." EGAT Research Report. Bangkok, Thailand, 2004.
- Esogbue, O.A., 1989. *Dynamic Programming for Optimal Water Resources Systems Analysis*.
- Goldberg, David E. 1989. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley, Reading, Mass. USA.
- Haupt, Randy L., and Haupt, Sue Ellen. 2004. *Practical genetic algorithms*. "Differential Evolution": <http://www.icsi.berkeley.edu/~storn/code.html> (Accessed in March 2008)
- HEC-3 (US Army Corp. of Hydrologic Engineering Center) "HEC-3 Reservoir System Analysis for Conservation." User's Manual, California, U.S.A., 1974.
- Heidari, M., Chow, V. T., Kokotovic, P. V., and Meredith, D. D. "Discrete Differential Dynamic Programming Approach to Water Resources Systems Optimization." *Water Resources Research*, Vol. 7 No.2 (1971): 273-282.
- Jain, S.K., Goel, M.K., and Agarwal, P.K. 1998 "Reservoir Operation Study of Sabamati System, India." *Journal of Water Resource Planning and Management*, Vol. 124, No. 1, pp. 31-38.
- Jayawardena, A.W., Muttill, N. and Fernando, T.M.K.G. 2005. *Rainfall-Runoff Modelling using Genetic Programming*. In Zerger, A. and Argent, R.M. (eds.) MODSIM 2005 International Congress on Modelling and Simulation. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, December 2005, pp. 1841-1847. ISBN: 0-9758400-2-9.

- Kangrang, A. and Chaleeraktragoon, C., 2007. Genetic Algorithms Connected Simulation with Smoothing Function for Searching Rule Curves. *American Journal of Applied Sciences*, 4(2): 73-79.
- Karaboga, D., and Ökdem, S. 2004. A Simple and Global Optimization Algorithm for Engineering Problems: Differential Evolution Algorithm. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 12(1), 53-60. Retrieved from Academic Search Elite database.
- Karl O. Jones., and Andre Bouffet. 2007. Comparison of ant colony optimization and differential evolution. *ACM International Conference Proceeding Series*; Vol. 285, New York.,USA. : <http://doi.acm.org/10.1145/1330598.1330627> (Accessed in March 2009)
- Kirkpatrick, S., C.D. Gelatt Jr., and M.P. Vecchi. 1983. Optimization by simulated annealing. *Science* 220(4598):671-680.
- Kumar, D., and Baliarsingh, F. "Folded Dynamic Programming for Optimal Operation of Multireservoir System." *Water Resources Management*, Vol. 17 (2003): 337-353.
- Michalewicz, Zbigniew. 1999. *Genetic Algorithms + data structures = evolution programs*, Springer-Verlag, New York, Inc., New York, USA.
- Oliveira R. and Daniel P. Loucks. "Operating Rules for Multireservoir Systems." *Water Resources Research*, Vol. 33, No.4 (1997): 839-852.
- Roger, L.S., Tan, M. S., and G.P. Rangaiah. 2005. Global optimization of benchmark and phase equilibrium problems using differential evolution: http://www.ies.org.sg/journal/current/v46/v462_3.pdf (Accessed in March 2009)
- Saaty, T.L. 1980. *The Analytical Hierarchy Process*. McGraw Hill, New York.
- Storn, R. and Price, K. 1995. Differential Evolution - a Simple and Efficient Adaptive Scheme for Global Optimization over Continuous Spaces, Technical Report TR-95-012, ICSI, March 1995, <ftp.icsi.berkeley.edu>.
- Vaisakh, K. and Srinivas, L.R. 2008. Differential evolution approach for optimal power flow solution. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. pp.261-268.
- Yakowitz S. Dynamic Programming Applications in Water Resource. *Water Resources Research*, Vol. 18, No. 4 (1982): 673-696.
- Yeh, C.-H. (1997) "Applying Multi-objective Genetic Algorithms for Planning of Flood Detention Dams System." *Taiwan Water Conservancy*, Vol. 45, No. 2, pp. 70-81.

ภาคผนวก

Expert Participation in Optimization Model for Optimal Reservoir Rule Curves

Anongrit Kangrang^{1*}, Chavalit Chaleeraktrakoon², Sanguan Patamatamkul³ and Ratana Hormwichian⁴

^{1*}Faculty of Engineering, Mahasakham University, Kantarawichai, Maha sarakham, Thailand 44150; PH (66) 43-754316 ext. 3091; FAX (66) 43 -754316; email: anongrit@hotmail.com

²Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University, Klong Luang, Pathumthani, Thailand 12120; PH (66) 2564 3001; FAX (66) 2564 3001; email: cchava@engr.tu.ac.th

³Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University, Muang, Phitsanulok, Thailand 65000; email: sanpat@kku.ac.th

⁴Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Mahasakham University, Kantharawichai, Maha Sarakham, Thailand 44150 ; PH (66) 43-754316; FAX (66) 43-754316; email: rat_hom@yahoo.com

The research is financed by: The Thailand Research Fund (TRF), Office of the Higher Education Commission and Mahasarakham University, The project no MRG5480100

Abstract

Reservoir rule curves are basic guide line for long term operation. Often, they haven't been accepted to practical operation because of lacking water resources participation. This study therefore incorporated the expert operators to participate with optimization technique to find the optimum reservoir rule curves. The developed reservoir operation model conducted on a differential evolution algorithm and reservoir simulation model. The Lampao reservoir located in Kalasin province, in the northeastern Thailand were considered in this study. The synthetic inflow data were used to evaluate the performance of the proposed method, and the results were compared with those of the existing model and those of the optimization model only. The result was found that the accepted rule curves gave a lower frequency and smaller magnitude of water shortage than the existing rule curve, whilst the flood frequency of excess water release, the average excess water release, and the maximum excess water release were reduced. Compared to the differential evolution technique, the differential evolution with expert participation provided a similar pattern of rule curve but the new rule curves of differential evolution with expert participation were acceptable to operate reservoir.

Keywords: water resources management participation, reservoir rule curves, differential evolution algorithms, optimization technique

1. Introduction

Water requirements for agriculture, water supply, industry, power generation, ecology and environment have increased in concert with population growth, lifestyle changes and economic expansion. This is especially true in the northeast region of Thailand where the population faces annual problematic droughts and floods. As such, a criterion of optimal water operation for storage reservoirs should be

established that recognizes that the amount of water storage in the area is limited. A reservoir operation that uses rule curves can improve water budgeting, better respond to water requirements, provide positive solutions to flood problems, and achieve long term operation planning. (Kangrang et al., 2011).

Generally, reservoir operating systems function with a water release budget. The stored water is released under certain conditions for a multitude of purposes that are defined by water use criteria and reservoir operating rule curves. The reservoir operating rule curves have been found to provide the best all around budgeting solution. Typically, reservoir operating systems have been large and complex. The searching of the optimum rule curves is a non-linear optimization problem. Years ago, the optimization technique being applied to search the optimal rule curves was performed with a reservoir simulation model (Jain et al., 1998). The rule curves obtained by this method are not guaranteed to yield the optimal curves because of human adjustment in the trial and error process. Later “dynamic programming” (DP) was applied to solve non-linear problems in water resource areas (Esogbue, 1989; Kumar and Baliarsingh, 2003). However, DP method suffered from computational overburden for its large dimensionality (Hota et al., 2009). The “dynamic programming with the principle of progressive optimality” (DP/PPO) was developed to search the optimal rule curves of single and multiple reservoirs (Chaleeraktragoon and Kangrang, 2007).

The “genetic algorithm” (GA) has been widely used to solve complex problems (Chen et al., 2002; Muttill and Chau, 2006; Wang et al., 2009; Chau et al., 2005; Yeh, 1997). The best part of the GA is that it can handle any type of objective function of the search. The GA was applied to the reservoir operation model, studied in this paper, as it has been in several studies (Chang et al., 2003; Chang et al., 2005; Hormwichian et al., 2009). In the last decade, a “simulated annealing algorithm” (SA) was applied to solve the optimization problem (Locatelli, 2000; Teegavarapu and Simonovic, 2002; Lamom et al., 2008). Rather, the SA does not always guarantee the globally optimal solution. Sometime, they can produce suboptimal or near globally optimal solution (Hota et al., 2009). More recently, the SA has been applied to search the optimal reservoir rule curves (Kangrang et al., 2011).

The “differential evolution algorithm” (DE) is a new heuristic approach for minimizing possible nonlinear and non differentiable continuous space function. It will be demonstrated that the new method converges faster and with more certainty than Adaptive simulated annealing as well as the Annealed nelder and Mead approach, both of which have a reputation for being very powerful. The differential evolution requires few control variables, but it is robust and easy to use especially in the more difficult functions, and lends itself very well to parallel computation. It uses a simulation of natural evolution, the same as the GA (Price and Storn, 1997). The DE is a search technique based on the mechanism of natural selection and genetics. It has a robust random search capability and an approach to global optimum values. The DE structure is less complex than that of the GA. As a result, the DE finds the answer efficiently and faster than GA for solving complex equations in the mathematics field. When comparing DE with another well known method such as GA, SA, Nelder-Mead simplex search method (SM), and Least squares technique (LS). It can obtain optimum solutions more easily than other (Wang and Ye, 2009). The DE uses fewer control parameters, namely, number of population including a scaling factor, combination coefficient and crossover rate (Karaboga and Okdem, 2004; Bardsiri and Rafsanjani, 2011; Li et al., 2011). The DE can evenly solve both single and multi-objective optimization problems (Adeyemo and Otieno, 2009; Adeyemo et al., 2010). The DE has been used to the model calibration in the water resource field (Liu and Sun, 2010). Therefore, it can be said that the DE is a suitable alternative technique used to find the optimal rule curves within the limited boundaries of reservoir operation.

Integrated water resources management is the practice of making decisions and taking actions while considering multiple viewpoints of how water should be managed. These decisions and actions relate to situations such as river basin planning, organization of task forces, planning of new capital facilities,

controlling reservoir releases. The need for multiple viewpoints is caused by competition for water and by complex institutional constraints. The decision-making process is often lengthy and involves many participants (GWP, 2000). There are great challenges in a transition to participatory decision-making in water systems management especially public participation (Song et al., 2011). Effective public participation is the key factor to improve the efficiency of the river basin's water resource management and succeed in its comprehensive management (Jingling et al., 2010). Mathematical models and algorithms have to be re-considered within a methodological framework, in which stakeholder participation and cross-disciplinary approaches are given a central role. The combination between traditional control techniques with preference and subjective aspects of decision-making promotes to get the effective and efficient management of water systems. These can reduce the gap between theories and practice (Castelletti et al., 2008). A participation of stakeholders is the procedure to promote an optimization approach in order to accept for performing by operators who working on reservoir operation.

This paper involved expert participation into optimization model for searching reservoir rule curves. The expert operators were director on reservoir operation, senior operations engineer and technical operations engineer. The differential evolution algorithm connected with the reservoir simulation model was performed for searching the operating rule curves. A conditional constraint was applied to the search process to reduce the fluctuation of the obtained operating rules, and a minimum average water shortage was adopted to be the objective function of the search process. Comparison of the conditional differential evolution model (CDE) and the expert participation-conditional differential evolution model (Expert-CDE) as well as the simulation model was shown to demonstrate the effectiveness of the proposed model. The reservoir operation model was applied to determine the optimum rule curves of the Lampao reservoir in the Northeast region of Thailand.

2. Materials and Methods

The differential Evolution Algorithm (DE) is similar to the Genetic Algorithms (GA) used for solving non-linear problems. Both algorithms discover the optimum point using the concept of the genetic process of the theory of evolution, or survival theory of Charles Darwin (Darwin, 1959). The theory was created to help people understand the natural operation of the evolution of life and provides the guidance people need to identify and solve problems by viewing minimum or maximum points. All life is composed of good and bad characteristics. In life, good characteristic transfer to the genetic makeup, while bad characteristics are held for further consideration. This operation is presented in the pattern of chromosomes which uses the Fitness function that judges the objective function in each chromosome. The chromosome will consider which chromosome should generate or should not. So the algorithm will base on natural genetic transferring by mutation, crossover and selection. It's assist to find diverse answer that cover in all answer of problem.

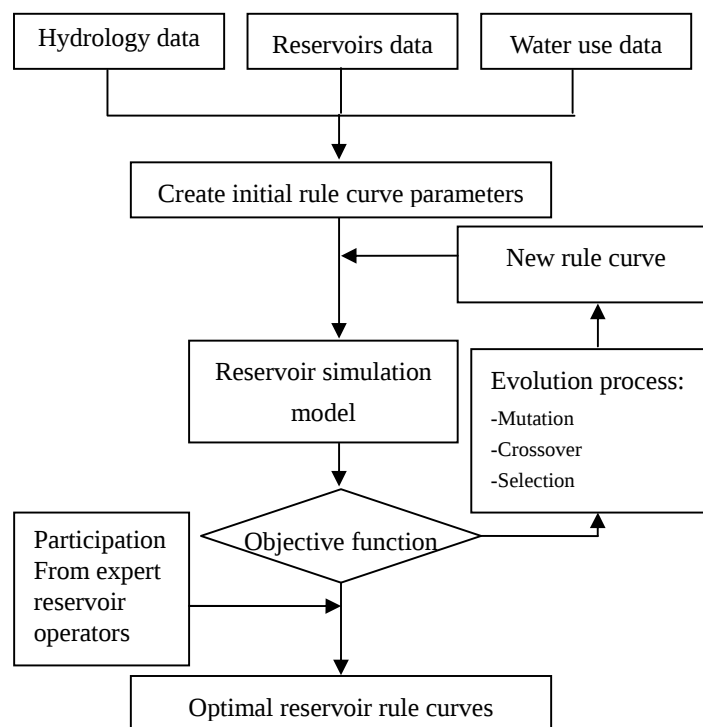
2.1 Reservoir Simulation Model

Generally, a reservoir system comprises available water that flows into the reservoir with a single or multipurpose downstream service area. The reservoirs usually operate under water usage criteria and reservoir rule curves. The reservoir rule curves have been found to offer the most equitable solution to all operational problems. A new reservoir operation model was constructed on the concept of water balance, and it can be used to simulate reservoir operation effectively (Hormwichian et al., 2009). The reservoir operating policies are based on the reservoir rule curves and the principles of a water balance concept. The reservoir system operated along the standard operating policy as expressed in Chaleeraktrakoon and Kangrang 2007.

There are policies for releasing water from a reservoir: if available water is in a range of the upper and lower rule level, then requirements are satisfied in full; if available water is over the top of the upper rules level then the water is spilled from the reservoir to the downstream river in order to maintain the water level at the upper rule level so, the excess release will be found in this case; and if available water is below the lower rule level the release water is reduced from requirement for this reason, the water deficit will be met in this case.

The release water of the reservoir based on above policies was used to calculate the situations of water shortage and excess water release, namely, the number of failures in a year, the number of excess water releases, as well as the average annual shortage. These are shown in Figure 1. The results will be recorded for use in the developed CDE and Expert-CDE model.

Figure 1. Integration of Expert-CDE and Simulation Model.



2.2 Development of Conditional Differential Evolution Model

The developed CDE for the simulation model is described as follows. The CDE requires encoding schemes that transform the decision variables into chromosome (lower rule curves and upper rule curve-- x_t, y_t). Then, the differential evolution operations (reproduction, mutation and crossover) are performed. These CDE operations will generate new sets of chromosomes. The most common encoding schemes use binary strings. In this study, each decision variable represents a monthly level of the rule curves of reservoirs that described in the mentioned release policies.

After the chromosomes of the initial population have been determined, the release water is calculated

in simulation model using these rule curves. Then, the release water is used to calculate the objective function for evaluating DE fitness. Next, the reproduction including selection, mutation and crossover is performed for creating new rule curves parameters in the next generation. This procedure is repeated until the criterion is satisfied as described in Figure 1. There are 24 parameters (rule curve levels) which are represented by the chromosomes. The objective function of searching the optimal rule curves is the minimum of the average water shortage (MCM/year) obtained from the simulation model as following.

$$f_i (x_\tau, y_\tau) = \text{Min} \left(\frac{1}{n} \sum_{v=1}^n Sh_v \right) \quad (1)$$

$$\text{if } R_\tau < D_\tau; \text{Then } Sh_v = \sum_{\tau=1}^{12} (D_\tau - R_\tau) \quad (2)$$

$$\text{Else } Sh_v = 0$$

Where R_τ is the release discharges from the reservoir during year v and period τ ($\tau = 1$ to 12 , representing January to December); D_τ is the water requirement of month τ ; x_τ is lower rule curve of month τ ; y_τ is upper rule curve of month τ ; n is the total number of considered year. Sh_v is water deficit during year v (year that releases does not meet 100% of target demand) and i is iteration number of each generation

The boundary of the search for each generation is limited in order to reduce the fluctuation of the obtained rule curves. The range of searching for the lower and upper rule curves is fixed on the dead storage and normal high water level respectively.

2.3 Expert participation in optimization model for searching accepted rule curves

The optimal rule curves were provided from CDE will be considered by stakeholders who was expert on in the reservoir operation section. This developed model was called Expert-CDE. The expert operators were director on reservoir operation, senior operations engineer and technical operations engineer. Surveying, interviewing, observation, focus group discussion and workshop were used in expert participation process. Their suggestions were performed for adjusting the final rule curves. Then these adjusted rule curves were used to run again in simulation model for evaluating the objective function. These situations were sent to the expert operator again for approving the new adjusted rule curves. This process was done until the new adjusted rule curves accepted by the expert operators. Then these accepted rule curves were used to run with the 500 samples of synthetic inflow for evaluating the expert-CDE technique. Comparison of the CDE model and the Expert-CDE model as well as the existing model was performed with these synthetic inflows to demonstrate the effectiveness of the developed model.

3. Illustrative Application

In this study the Lampao reservoir was considered. It is an important reservoir in the northeast of Thailand located on the Lampao basin as shown in Figure 2. The capacity of the reservoir is 1,430 MCM (million cubic meters) with an irrigation covering area of 502 square kilometers. Figure 3 shows a schematic diagram of the Lampao basin and the average yearly rainfall is approximately 1,400 mm per year. The average inflow of the reservoir is 2,230 MCM / year and maximum flood volume at 500 years of return period is 5,482 cubic meters per second. Monthly inflow data of the Lampao reservoir from 1986 to 2008 (23 years) as presented in Figure 4 were used in simulation model.

Figure 2. Location of the Lampao reservoir.



Figure 3. Schematic diagram of flows in the Lampao river basin.

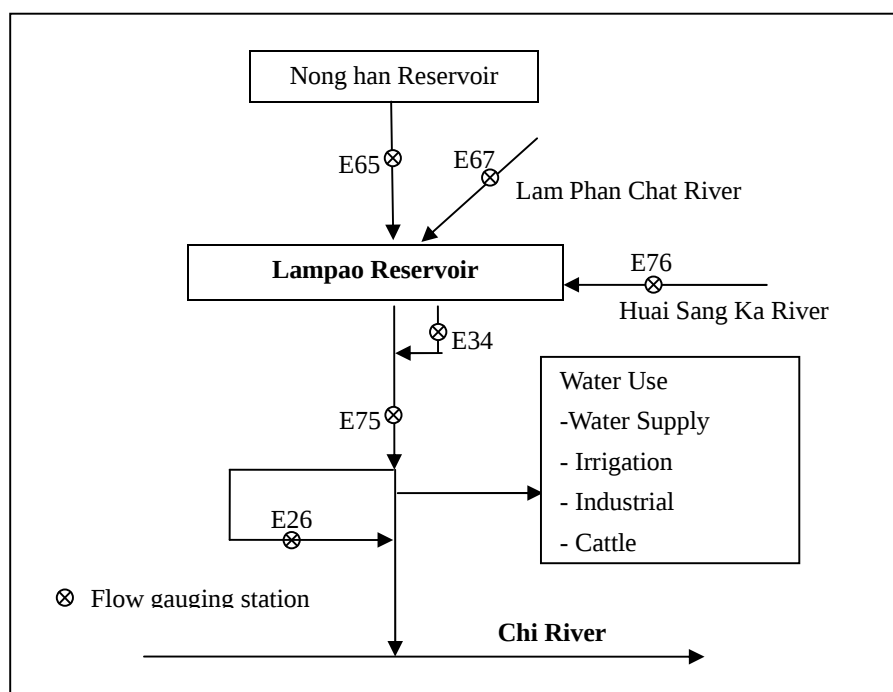
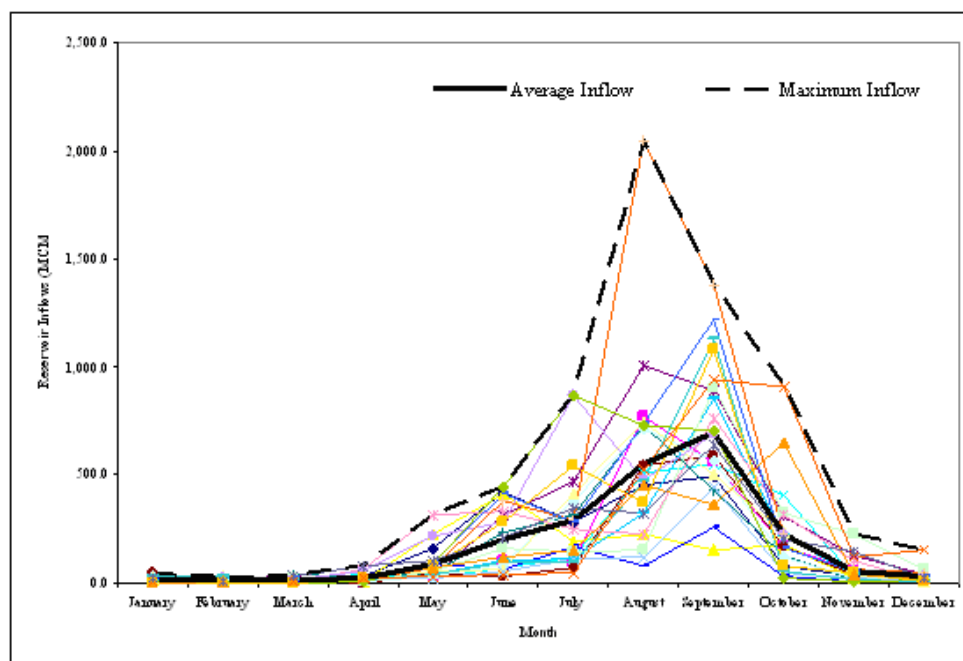
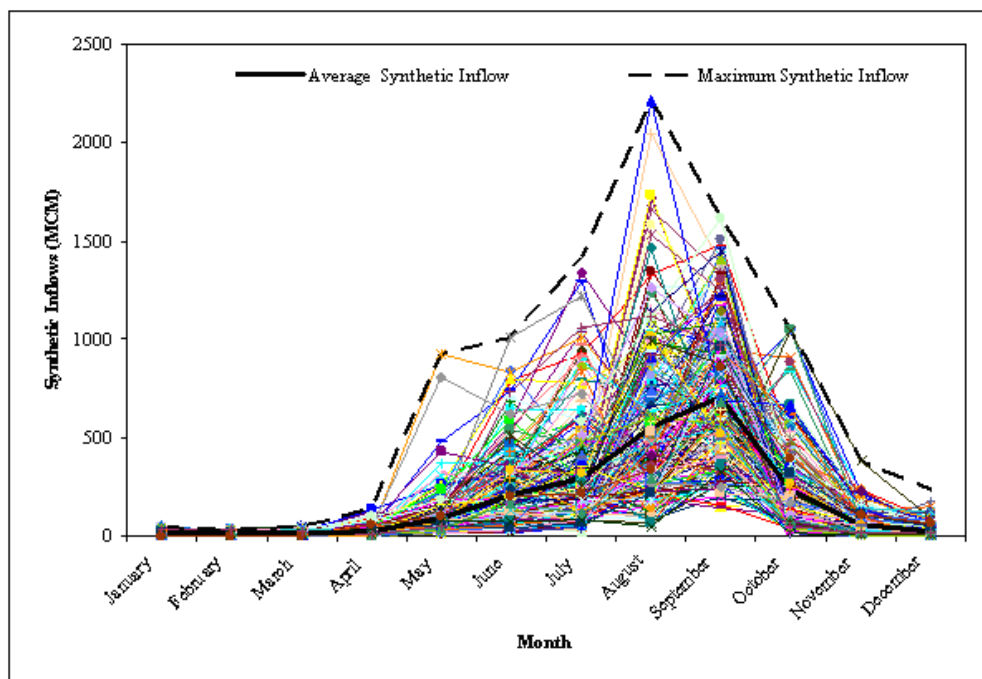


Figure 4. The observed inflows of Lampao reservoir.



The study used a DE algorithm in connection with a reservoir operation model to find optimal rule curves through the Matlab toolbox (CDE). The optimal rule curve can then be applied to an actual scenario depending on whether the rule curve can be used to cover every case or event that might occur. Thus, “HEC-4 Monthly Streamflow Simulation” (HEC-4) model was used to create synthetic inflow data into the monthly inflows of the reservoir as a synthetic data set of 500 events as presented in Figure 5. Then, input synthetic inflow data were used to assess the efficiency of the new rule curves and compare them with the existing rule curves and also between the CDE and Expert-CDE models under the same conditions (objective function and constraints). Moreover, the new rule curves were assessed in various other situations, i.e., water requirement increases, and inflow decreases to judge the impact of how these things will effect future operations.

Figure 5. Synthetic inflows of Lampao reservoir.

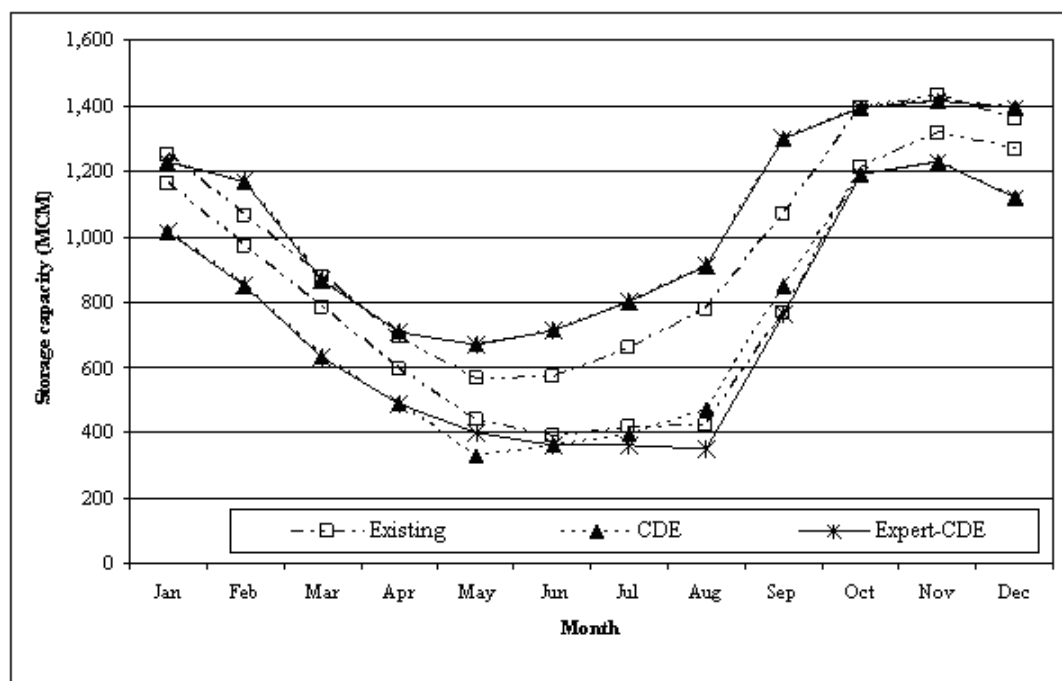


4. Results and Discussion

These data of inflow, evaporation, water requirement and monthly rainfall were imported for processing in the simulation and the CDE models, the optimal rule curves were obtained from those models. The Expert-CDE was performed for finding accepted rule curves. These new rule curves of two methods were plotted in order to compare them with the existing rule curves as shown in Figure 6. The results show that the patterns of accepted rule curve obtained from the Expert-CDE and the CDE

are similar. There are slightly different only some month such as lower rule curves of May, July and August. These differences because the mentioned lower rule curves were adjusted by the operators based on their experiences. These adjustments of participation process lead to an acceptance of stakeholders that the accepted rule curves will be used to operate by the operator according to the previous studies (Song et al., 2011; Jingling et al., 2010). Moreover, the acceptance of rule curves from Expert-CDE can reduce the gap between theory computation and practical operation according to the study of Castelletti et al. (2008).

Figure 6. Optimal rule curves of the Lampao reservoir (new and existing system).



The obtained rule curves also indicated that the water storage levels of the new lower rule curves of Expert-CDE is higher than the rule curves of CDE in May in order to reduce water release for maintaining water for next month. Whereas, the lower rule curves of Expert-CDE during July-August are lower than the lower rule curves of CDE in order to release water on demand. This will help alleviate water shortages in these months.

The performance of the Expert-CDE model was evaluated with monthly synthetic inflow data, these results are shown in Table 1. The results indicate that, the average frequency of water shortage was 0.451 ± 0.085 times per year, the average magnitude of water shortage was 108.89 ± 22.48 million cubic meters per year and the maximum magnitude of water shortage was 476.27 ± 118.63 million cubic

meters per year. These are close to the results of using the CDE rule curves; however, they are still smaller than the results of using the existing currently rule curves. The average frequency of excess water release was 0.795 ± 0.061 times per year, the average magnitude of excess water release was 691.02 ± 27.66 million cubic meters per year and the maximum magnitude of excess water release was $2,584.17 \pm 580.94$ million cubic meters per year. This is less than when using the existing curves. These results are also close to those using the rule curves of CDE.

Table 1. Frequency, magnitude and duration of water shortage and excess water release of the reservoir systems.

Situations	Rule Curves		Frequency	Magnitude (MCM/year)		Duration (year)	
			(times/year)	Average	Maximum	Average	Maximum
Water shortage	Existing	μ	0.926	327.21	669.93	13.02	16.36
		σ	0.049	20.65	85.66	6.37	4.79
	CDE	μ	0.402	96.8	411.6	2.1	3.7
		σ	0.056	20.2	97.3	0.7	1.3
	Expert-CDE	μ	0.451	108.89	476.27	2.65	4.32
		σ	0.085	22.48	118.63	0.80	1.58
Excess release water	Existing	μ	0.979	922.58	2738.02	18.16	20.07
		σ	0.029	25.19	565.68	6.27	4.28
	CDE	μ	0.817	707.5	2,631.0	4.8	10.8
		σ	0.063	28.1	582.4	1.9	3.4
	Expert-CDE	μ	0.795	691.02	2584.17	4.40	8.50
		σ	0.061	27.66	580.94	1.67	2.95

Note: μ = mean, σ = standard deviation

Table 2 shows the situations of water shortage and excess release using the rule curves from the proposed new reservoir operation model and the existing model when the water requirements were increased by 10%, 20% and 30%. The results indicate that the water shortage situation increased when the water demands were increased. Water shortage and excess release were the greatest when the water demands were increased to 30%. The results also indicate that the situations of water shortage and excess release of water, using the Expert-CDE's rule curves are close to the situation of using CDE's rule curves. In addition their situations are smaller than the situations of the existing rule curves when increasing the water requirement. All runs of searching by DE were fast, because the DE method has a different structure model with the GA, and the parameters used are real numbers according to the study of Karaboga and Okdem (2004).

Table 2. Frequency, magnitude and duration of water shortage and excess water release of the reservoir systems when the water requirements were changed up.

Situations		Rule Curves		Frequency	Magnitude (MCM/year)		Duration (year)	
				(times/year)	Average	Maximum	Average	Maximum
Water shortage	increase demands 10%	Existing	μ	0.966	403.06	773.14	18.31	20.13
			σ	0.032	21.09	92.33	5.80	3.75
		CDE	μ	0.670	183.6	618.6	3.7	6.9
			σ	0.076	24.8	128.1	1.2	2.4
		Expert-CDE	μ	0.666	182.08	606.63	3.65	6.86
			σ	0.078	24.87	125.53	1.22	2.43
	increase demands 20%	Existing	μ	0.982	487.07	883.93	21.59	22.06
			σ	0.023	22.43	97.25	3.43	2.14
		CDE	μ	0.869	285.2	774.1	8.5	13.0
			σ	0.054	25.7	136.7	4.4	4.3
		Expert-CDE	μ	0.869	282.66	757.07	8.52	13.02
			σ	0.054	25.39	131.87	4.42	4.30
	increase demands 30%	Existing	μ	0.994	581.46	1008.10	22.78	22.82
			σ	0.015	23.82	111.59	1.02	0.54
		CDE	μ	0.953	389.1	922.3	18.1	19.9
			σ	0.033	26.3	142.2	5.8	3.9
		Expert-CDE	μ	0.972	479.01	976.87	19.63	20.92
			σ	0.029	25.00	120.09	5.25	3.38
Excess release water	increase demands 10%	Existing	μ	0.955	841.27	2637.23	14.04	17.39
			σ	0.040	24.95	558.22	6.64	4.90
		CDE	μ	0.742	620.1	2476.7	3.6	7.3
			σ	0.062	29.6	576.8	1.2	2.6
		Expert-CDE	μ	0.742	618.98	2479.64	3.58	7.25
			σ	0.062	29.60	577.21	1.20	2.61
	increase demands 20%	Existing	μ	0.915	768.14	2548.40	10.01	14.32
			σ	0.052	26.66	560.61	5.46	4.68
		CDE	μ	0.700	565.6	2394.1	3.2	6.5
			σ	0.064	30.9	572.3	1.0	2.4
		Expert-CDE	μ	0.696	563.74	2392.46	3.14	6.45
			σ	0.063	30.59	572.96	1.04	2.36
	increase demands 30%	Existing	μ	0.882	706.20	2460.18	7.67	12.29
			σ	0.057	27.19	546.02	4.23	4.36
		CDE	μ	0.659	513.6	2310.9	2.8	5.8
			σ	0.067	31.1	571.0	0.8	2.0
		Expert-CDE	μ	0.774	599.93	2347.43	4.12	8.18
			σ	0.063	32.24	552.03	1.52	2.84

Note: μ = mean, σ = standard deviation

5. Conclusions

This study therefore involved the expert operators to participate in optimization model to find the optimum reservoir rule curves for accepting to practice. The expert operators were director on reservoir operation, senior operations engineer and technical operations engineer. The expert participation processes were interviewing, observation, focus group discussion and workshop. Their suggestions were performed for adjusting the final rule curves until the new adjusted rule curves accepted. Then these accepted rule curves were used to run with the 500 samples of synthetic inflow for evaluating the Expert-CDE technique. Comparison of the CDE model and the Expert-CDE model as well as the existing model was performed with these synthetic inflows to demonstrate the effectiveness of the developed method. The Lampao reservoir located in Kalasin province, in the northeastern Thailand were considered in this study.

The result was found that the pattern of accepted rule curves of the differential evolution with expert participation (Expert-CDE) were similar to the pattern of rule curve of the conditional differential evolution. Moreover, the new rule curves of Expert-CDE were accepted to perform in reservoir operation. In addition, the new rule curves of Expert-CDE gave a lower frequency and smaller magnitude of water shortage than the existing rule curve, whilst the flood frequency of excess water release, the average excess water release, and the maximum excess water release were reduced. It was also found that with a 20% increase in water demand, the new reservoir operation model's rule curve yielded a lower average water shortage than the existing rule curve with the current water requirement. This indicated that the rule curve obtained from the proposed method could effectively support the increasing requirement for water in the near future. In conclusion, the proposed expert participation with optimization model could enhance the performance of Lampao reservoir, and it might be applied to other reservoirs by adjusting the objective functions, constraint equations of the reservoir and operator participation.

References

- Castelletti, A., Pianosi, F., & Soncinisessa, R. (2008). Integration, participation and optimal control in water resources planning and management. *Applied Mathematics and Computation*, 206, No. 1, 21-33
- Chaleeraktragoon, C., & Kangrang, A. (2007). Dynamic programming with the principle of progressive optimality for searching rule curves. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 34, No.2, 170–176
- Chang, J.F., Lai, S.J., & Kao, S.L. (2003). Optimization of operation rule curves and flushing schedule in a reservoir. *Hydrological Processes*, 17, 1623–1640
- Chang, J.F., Chen, L., & Chang, C.L. (2005). Optimizing reservoir operating rule curves by genetic algorithms. *Hydrological Processes*, 19, 2277–2289
- Chao-Hsien, Y. (1997). Applying multiobjective genetic algorithms for planning of flood detention dams system. *Taiwan Water Conservancy*, 45, No. 2, 70-81
- Darwin, C. (1959). The origin of species. University of Pennsylvania Press, Philadelphia
- Esogbue, A.O. (1989). Dynamic programming for optimal water resources systems analysis, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, pp. 435
- Giles, J.E., & Wunderlich, W.O. (1981). Weekly multipurpose planning model for TVA reservoir system. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 107(WR2): 495-511
- Global Water Partnership (2000). Integrated Water Resources Management, Global Water Partnership Technical Advisory Committee, Background Paper no.4

- Hormwichian, R., Kangrang, A., & Lamom, A. (2009). A conditional genetic algorithm model for searching optimal reservoir rule curves. *Journal of Applied Sciences*, 9, No. 19, 3575-3580
- Jain, S.K., Goel, M.K., & Agarwal, P.K. (1998). Reservoir operation study of sabamati system, India. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 124, No.1, 31–38
- Kangrang, A., Compliew, S., & Hormwichian, R. (2011). Optimal reservoir rule curves using simulated annealing. *Proceedings of the ICE - Water Management*, 164 (WM1):27 –34
- Karaboga, D., & Ökdem, S. (2004). A simple and global optimization algorithm for engineering problems: Differential evolution algorithm. *Turkish journal of electrical engineering & computer sciences*, 12, No. 1, 53-60
- Kumar, D., & Baliarsingh, F. (2003). Folded dynamic programming for optimal operation of multireservoir system. *Water Resources Management*, 17, 337-353
- Lamom, A., Thepchatri, T., & Rivepiboon, W. (2008). Heuristic algorithm in optimal discrete structural designs. *American Journal of Applied Sciences*, 5, No. 8, 943–951
- Jinling, L., Yun, L., Liya, S., Zhiguo, C., & Baoqing, Z. (2010). Public participation in water resources management of Haihe river basin, China: the analysis and evaluation of status quo. *Procedia Environmental Sciences*, 2, 1750-1758
- Locatelli, M. (2000). Simulated annealing algorithms for continuous global optimization: convergence conditions. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 104, No. 1, 121–133
- Song, X., Mulder, K., Frostell, B., Ravesteijn, W., & Wennersten, R. (2011). Transition in public participation in Chinese water management. *Proceedings of the ICE - Engineering Sustainability*, 164 (ES1): 71 –83
- Storn, R., & Price, K. (1997). Differential evolution – A simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of global optimization*, 11, No. 4, 341-359
- Teegavarapu, R.S.V., & Simonovic, S.P. (2002). Optimal operation of reservoir systems using simulated annealing. *Water Resources Management*, 16, No. 5, 401-428