

# การพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าในขนาดภายใต้การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางอุทกวิทยาและการปรับปรุงโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำน้ำอูนด้วยเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม

## Prediction of Future Inflow under Hydrological Variation Characteristics and Improvement of Nam Oon Reservoir Rule Curve using Genetic Algorithms Technique

เจษฎา ตงศิริ,<sup>1</sup> อนงกริต กังแรง<sup>2</sup>

Jessada Tongsir,<sup>1</sup> Anongrit Kangrang<sup>2</sup>

Received : 20 December 2017 ; Accepted : 11 July 2018

### บทคัดย่อ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการใช้ประโยชน์ที่ดินมีผลต่อปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำและการบริหารจัดการน้ำ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์แรกเพื่อประมาณค่าปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำน้ำอูนด้วยแบบจำลอง SWAT โดยพิจารณาสภาพภูมิอากาศขนาดจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศระดับภูมิภาค PRECIS ในสถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบ A2 และ B2 ซึ่งมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ A2 มากกว่า B2 และข้อมูลการใช้ที่ดินเหนืออ่างเก็บน้ำจากแผนที่ Agri-Map ซึ่งพื้นที่ปลูกข้าวลดลงและพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง อ้อย ข้าวโพดเพิ่มขึ้น วัตถุประสงค์ที่สองเพื่อปรับปรุงโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำโดยใช้เทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม (GAs) ร่วมกับแบบจำลองอ่างเก็บน้ำ โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำตั้งแต่ปี ค.ศ. 1992 – 2016 สังเคราะห์ข้อมูลน้ำท่า 1,000 เหตุการณ์จากข้อมูลอดีต เพื่อประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมโดยแสดงผลเป็นปริมาณน้ำที่ขาดแคลนและไหลล้น ในรูปความถี่ ขนาด และช่วงเวลา ผลการศึกษาพบว่าน้ำท่าอนาคตทั้งสองกรณีสูงกว่าน้ำท่าอดีต น้ำท่าอนาคต A2 มีปริมาณสูงกว่าน้ำท่าอนาคต B2 ส่วนโค้งควบคุมใหม่ที่สร้างขึ้นด้วยเทคนิค GAs สามารถลดสถานการณ์น้ำไหลล้นได้ดีกว่าโค้งควบคุมเดิมจากค่าการไหลล้น 0.997 เป็น 0.992 ครั้งต่อปี และลดปริมาณน้ำไหลล้นเฉลี่ยจาก 251.685 เป็น 246.222 ล้านลูกบาศก์เมตร

**คำสำคัญ :** โค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ การหาค่าเหมาะสมที่สุด การค้นหาแบบเจเนติกอัลกอริทึม การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ

### Abstract

Climate and land use changes affect to amount of water entering the Nam Oon reservoir and its water management. The purpose of this study was to estimate the amount of water flowing into the reservoir by SWAT model considering the climate data with the PRECIS regional climate model of A2 and B2 emission scenarios, with an increase in temperature A2, more B2 and the land use data over the reservoir from the map of Agri-Map, where the area of rice cultivation decreased and corn cassava planting area increased. Another objective was to improve reservoir rule curves by using Genetic Algorithms (GAs) with Reservoir Simulation model. The historical inflow data from 1992 to 2016, synthetic inflow data of 1,000 events and future inflow were used to evaluate the efficiency of the rule curves which showed situations of water shortage and excess release water in terms of frequency, magnitude and duration. The results show that the future inflows were higher than the historical inflow in both scenarios. Also, the future inflows of A2 scenario were higher than the inflows of B2 scenario. The new obtained rule curves from GAs can reduce the

<sup>1</sup> นิสิตปริญญาโท, <sup>2</sup> รองศาสตราจารย์, สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150,

<sup>1</sup> Graduate students, <sup>2</sup> Assoc. Prof., Civil Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand.

\* Corresponding author; Assoc. Prof. Anongrit Kangrang, Ph.D., Faculty of Engineering Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand. E-mail: anongrit.k@msu.ac.th

situations of excess release water better than the original control curve from a 0.997 to 0.992 times per year and reduce average overflow from 251.685 to 246.222 mcm.

**Key Words:** Reservoir rule curves, Optimization techniques, Genetic Algorithm-GAs, Reservoir management.

## บทนำ

น้ำเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตเพราะใช้น้ำทั้งเพื่อการอุปโภค บริโภค เพื่อการเกษตร เพื่ออุตสาหกรรม และในบางพื้นที่ยังใช้แม่น้ำเป็นเส้นทางในการคมนาคมอีกด้วย หากมีปริมาณน้ำให้ใช้น้อยเกินไปประชาชนจะเกิดการแย่งชิงน้ำเพื่อให้ตนเองได้น้ำไปใช้ประโยชน์ตามปริมาณที่ตนเองต้องการ แต่หากน้ำมีปริมาณมากเกินไปความต้องการจนความคุมไม่ได้จะเป็นปัญหาทำให้เกิดน้ำท่วม หรือถ้ามีมาก ๆ จะทำให้เกิดอุทกภัยซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อบ้านเรือน สิ่งปลูกสร้าง หรือแม้แต่ผลผลิตทางการเกษตรที่เกษตรกรเพาะปลูกไว้ เนื่องจากปริมาณน้ำฝนที่ตกแต่ละปีไม่แน่นอนและมีปริมาณมากบ้างน้อยบ้างขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในแต่ละปี

การพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจและสังคมที่มีความแตกต่างกันมีผลต่อภูมิอากาศที่อาจเปลี่ยนแปลงในอนาคตได้ ซึ่งเกิดจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เป็นผลของการพัฒนาด้านเทคโนโลยีอย่างรวดเร็วและการเร่งใช้พลังงานฟอสซิลซึ่งจะเป็นผลทำให้โลกร้อนขึ้น ปัจจุบันมีการจำลองภูมิอากาศที่อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงไปในอนาคต แบบจำลอง PRECIS<sup>3,7</sup> เป็นแบบจำลองที่สามารถคาดการณ์ภูมิอากาศที่จะเกิดขึ้นในอนาคตของพื้นที่ต่างๆ ได้ ทำให้สามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ประกอบการหาปริมาณน้ำท่าที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตเพื่อใช้ในการบริหารจัดการน้ำร่วมกับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

Agri-Map<sup>1</sup> เป็นแผนที่เกษตรเพื่อการบริหารจัดการเชิงรุกโดยบูรณาการข้อมูลพื้นฐานด้านการเกษตรจากทุกหน่วยงานในสังกัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ สำหรับใช้เป็นเครื่องมือบริหารจัดการการเกษตรไทยอย่างมีประสิทธิภาพครอบคลุมทุกพื้นที่ มีการปรับข้อมูลให้ทันสมัย และพัฒนาเพิ่มความสะดวกในการใช้งาน ให้เกิดการเข้าถึงข้อมูลโดยง่ายพร้อมกับสามารถติดตามข้อมูลความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้อง รอบด้าน ครอบคลุมการนำไปใช้ประโยชน์ทุกด้าน ที่สำคัญเป็นการนำเทคโนโลยีเข้ามาประยุกต์ใช้กับข้อมูลด้านการเกษตร ซึ่งสามารถตอบโจทย์การช่วยเหลือและแก้ปัญหาให้กับเกษตรกรไทยในรายพื้นที่ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ทำให้สามารถประเมินปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำได้อย่างถูกต้องจากข้อมูลการใช้ที่ดินในปัจจุบันและข้อมูลการส่งเสริมให้ปลูกพืชชนิดใดในอนาคต ยังทำให้สามารถส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูกได้ตรงกับความต้องการจริงด้วย

การหาปริมาณน้ำท่าให้มีความถูกต้องยังช่วยให้สามารถวางแผนการใช้น้ำในปีต่อไปได้อย่างถูกต้อง ซึ่งการประเมินปริมาณน้ำท่าในปัจจุบันมีการนำแบบจำลองทางอุทกวิทยาเข้ามาช่วยเพื่อให้สามารถทำงานได้สะดวกขึ้นและการประเมินปริมาณน้ำท่าให้ค่าที่มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นตามเทคโนโลยีใหม่ๆ ที่เกิดขึ้น แบบจำลองทางด้านอุทกวิทยาที่ถูกนำมาใช้เพื่อประเมินปริมาณน้ำท่ามีหลายแบบจำลองด้วยกัน โดยส่วนใหญ่เป็นแบบจำลองทางด้านแนวความคิด (Conceptual Model) ที่ต้องใช้ลักษณะทางกายภาพ และลักษณะทางอุทกวิทยาของกลุ่มน้ำในการจำลองกระบวนการเกิดน้ำท่า หรือเรียกว่า แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า เช่น SWAT<sup>2,4</sup> ซึ่งเป็นการนำข้อมูลของตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับหาปริมาณน้ำท่ามาวิเคราะห์ร่วมกัน เช่น ปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิเฉลี่ย ข้อมูลของดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ความยาวลำน้ำ ความลาดชัน รวมทั้งหน้าตัดของลำน้ำ เป็นต้น ซึ่งจะทำให้ได้ปริมาณน้ำท่าที่จะนำไปบริหารจัดการผ่านโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำต่อไป

โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำเป็นเครื่องมือที่สำคัญและจำเป็นในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ซึ่งประกอบไปด้วยระดับควบคุมตอนบน (Upper Rule Surface) และระดับควบคุมตอนล่าง (Lower Rule Surface) ภายใต้ข้อจำกัดของความจุอ่างเก็บน้ำ ความสามารถในการปล่อยน้ำตามความต้องการใช้น้ำแต่ละเดือนและปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ เพื่อให้มีน้ำต้นทุนเพียงพอสำหรับการบริหารจัดการน้ำช่วงต้นฤดูฝนในปีถัดไป

เทคนิคที่ใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมมี หลายวิธีด้วยกัน เช่น linear programming<sup>14</sup>, Dynamic programming<sup>10</sup>, Genetic Algorithms (GAs)<sup>6,8</sup>, วิธีดิฟเฟอเรนเชียลเอฟวิลูชัน (Differential Evolution Algorithm, DE)<sup>5</sup>, Cuckoo search algorithms<sup>15</sup>, Tabu Search<sup>13</sup> และ Ant colony optimization algorithms<sup>9</sup> เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีและความยากง่ายแตกต่างกันไป GAs เป็นการหาค่าที่เหมาะสมที่ใช้ในการค้นหาและแก้ปัญหาเพื่อให้ได้จุดที่เหมาะสมที่สุด ได้รับการพัฒนาโดยจำลองวิธีการมาจากกระบวนการทางพันธุกรรม หลักการของวิธีการนี้คือ สิ่งมีชีวิตทั้งหลายมีทั้งส่วนดีและส่วนไม่ดี ซึ่งสิ่งที่ดีจะได้รับการสนับสนุนและถ่ายทอดจากบรรพบุรุษไปสู่ บุตรหลานต่อไป

ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประมาณค่าปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจากข้อมูลการใช้ที่ดิน

Agri-Map โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT ส่วนการหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำในการวางแผนการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำ จะทำการศึกษาด้วยวิธีการของ Genetic Algorithms (GAs)

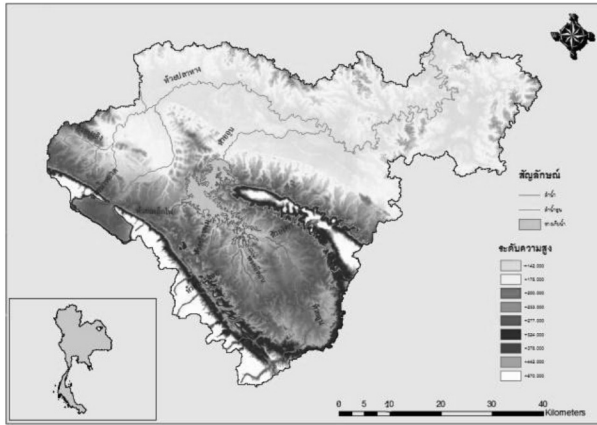


Figure 1 Nam Oon Basin

**อุปกรณ์และวิธีการศึกษา**

**1. ข้อมูลการใช้ที่ดินที่เหมาะสมกับพื้นที่ Agri-Map**

การจัดทำ Agri-Map<sup>1</sup> เพื่อใช้สำหรับการบริหารการเกษตรไทย โดยเป็นความร่วมมือระหว่างกระทรวงเกษตรและสหกรณ์กับกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อเป็นเครื่องมือแนะนำเกษตรกรว่าควรปลูกพืชชนิดใดตามความเหมาะสมของชนิดดิน แหล่งน้ำ สภาพอากาศและแหล่งรับซื้อ โดยสามารถตรวจสอบพื้นที่ผ่านระบบออนไลน์ ตามนโยบายของรัฐบาลที่ต้องการลดพื้นที่การปลูกข้าว จึงสามารถนำมาคาดการณ์อนาคตที่จะเกิดขึ้นในอีก 20 ปีข้างหน้าได้ โดยเฉพาะหากเกษตรกรมีการเปลี่ยนแปลงการปลูกพืช ที่เปลี่ยนแปลงไปตามสถานการณ์นั้นๆ ในอนาคต

**2. การประเมินน้ำท่าด้วยแบบจำลองทางอุทกวิทยา SWAT**

SWAT<sup>2,4</sup> เป็นแบบจำลองทางอุทกวิทยาที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่า การวิเคราะห์ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำท่าจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินซึ่งใช้แผนที่ Agri-Map<sup>1</sup> ในการวิเคราะห์ตามนโยบายของรัฐบาลที่ต้องการลดพื้นที่การปลูกข้าวในพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมและสภาพภูมิอากาศในอนาคตที่ได้จากแบบจำลอง Precis<sup>3,7</sup> ตามการขยายตัวทางเศรษฐกิจภายใต้กรณีคาดการณ์ A2 (พื้นที่ที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงถึงปานกลาง) และ B2 (พื้นที่ที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกปานกลางถึงต่ำ) ซึ่งข้อมูลสภาพภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษาได้นำข้อมูลมาจากการวิจัยของ จิรวัดน์ ศุภโกศล<sup>2</sup> ซึ่งได้ทำการศึกษาไว้แล้วเพื่อนำ

มาประเมินหาปริมาณน้ำท่าที่จะเกิดขึ้นในอนาคตและนำมาวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองจากสมการที่ (1)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (q_f - \bar{q}_f)(q_m - \bar{q}_m)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (q_f - \bar{q}_f)^2 \sum_{i=1}^n (q_m - \bar{q}_m)^2}} \quad (1)$$

เมื่อ r คือ สมการสำหรับสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ผลคูณโมเมนต์แบบเพียร์สัน  $q_f$  คือค่าที่วัดจากสถานีวัด  $q_m$  คือค่าเฉลี่ยจากสถานีวัด  $q_m$  คือค่าที่ได้จากแบบจำลอง  $q_m$  คือค่าเฉลี่ยจากแบบจำลอง

**3. แบบจำลองการเลียนแบบสภาพสมดุลงน้ำ**

การศึกษาเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำในแต่ละลุ่มน้ำนิยมใช้แบบจำลอง HEC-3, HEC-5 และ HEC-RAS<sup>11</sup> โดยใช้หลักการสมดุลงน้ำ ในการศึกษารังนี้ได้สร้างแบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำขึ้น โดยใช้หลักการเดียวกันกับแบบจำลองข้างต้น เพื่อให้สะดวกต่อการเชื่อมต่อกับเทคนิคการค้นหาลักษณะแบบ GAs<sup>6,8</sup> และการพัฒนาในอนาคต ซึ่งแบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้สามารถใช้หาได้ทั้งสถานการณ์ขาดแคลนน้ำ และสถานการณ์ที่เกิดน้ำไหลล้นได้ (ความถี่ ขนาด ช่วงเวลา)

ในการเริ่มต้นคำนวณการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำ จะกำหนดให้ปริมาณน้ำเก็บกักเริ่มต้นของอ่างที่ระดับเต็มอ่างหรือปริมาณเก็บกักสูงสุด (Full capacity) ส่วนปริมาณน้ำระบายจากอ่างเก็บน้ำในแต่ละเดือนจะหาได้ตามเกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน (Standard Operating Rule) ดังแสดงใน Figure 2 และสมการที่ 2

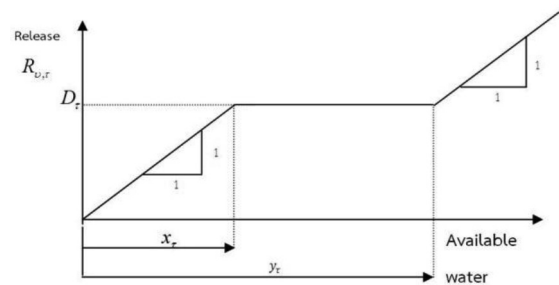


Figure 2 Standard operating rule

$$R_{v,t} = \begin{cases} D_t + W_{v,t} - y_t, & \text{for } W_{v,t} \geq y_t + D_t \\ D_t, & \text{for } x_t \leq W_{v,t} < y_t + D_t \\ D_t + W_{v,t} - x_t, & \text{for } x_t - D_t \leq W_{v,t} < x_t \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (2)$$

เมื่อ  $R_{v,t}$  คือปริมาณน้ำที่ระบายออกจากอ่างเก็บน้ำ (หน่วย ล้านลูกบาศก์เมตร) ในช่วงปี  $v$  ของเดือน  $t$  ( $t = 1$  ถึง 12 แทนเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม)  $D_t$  เป็นความต้องการใช้น้ำทำอ่างของเดือน  $t$  (หน่วย ล้านลูกบาศก์เมตร),  $x_t$  เป็นขอบเขตล่างของโค้งควบคุมของเดือน  $t$ ,  $y_t$  เป็นขอบเขตบนของโค้งควบคุมของเดือน  $t$  และ  $W_{v,t}$  เป็นปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ของอ่างในเดือน  $t$  (หน่วย ล้านลูกบาศก์เมตร) จากนั้นคำนวณหาปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ของอ่างเก็บน้ำในเดือนถัดไป โดยใช้หลักการสมดุลน้ำต่อไปนี้

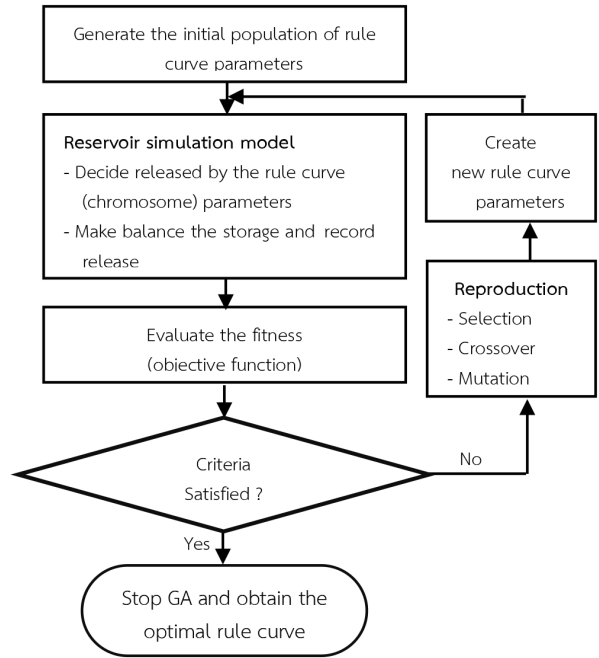
$$W_{v,t+1} = S_{v,t} + Q_{v,t} - R_{v,t} - E_t - DS \quad (3)$$

เมื่อ  $S_{v,t}$  เป็นปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเมื่อสิ้นสุดเดือน  $t$  (หน่วย ล้านลูกบาศก์เมตร),  $Q_{v,t}$  เป็นปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่างในเดือน  $t$  ปี  $v$  (หน่วย ล้านลูกบาศก์เมตร),  $E_t$  เป็นค่าการระเหยรายเดือนเฉลี่ยเดือน  $t$  (หน่วย ล้านลูกบาศก์เมตร) และ  $DS$  (dead storage) เป็นปริมาตรเก็บกักที่ไม่ได้ใช้การ (หน่วย ล้านลูกบาศก์เมตร)

เมื่อทำการจำลองสภาพสมดุลน้ำโดยใช้แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงระบบอ่างเก็บน้ำที่สร้างขึ้นจนครบจำนวนปีที่มีข้อมูลแล้ว จะได้ผลการจำลองเป็นสถานการณ์ขาดแคลนน้ำและสถานการณ์ที่เกิดน้ำส่วนเกิน (ความถี่ ขนาด ช่วงเวลา) จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลดังกล่าวไว้ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการหาค่าเหมาะสมที่สุดต่อไป

**4. การประยุกต์วิธีการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีเทคนิคการค้นหาแบบ GAs กับแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงระบบอ่างเก็บน้ำ**

การประยุกต์ใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม หรือ GAs<sup>6,8</sup> เชื่อมต่อกับแบบจำลองเปลี่ยนแปลงสถานการณ์เพื่อค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมมีขั้นตอนดังต่อไปนี้



**Figure 3** Application of GAs and Simulation Modeling<sup>6,8</sup>

4.1 GAs มีความต้องการรูปแบบการเข้ารหัส (encoding schemes) เพื่อต้องการปรับเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบของโครโมโซม (chromosome) จากนั้นจะมีการดำเนินการทางพันธุกรรม (genetic operation) หรือการผสมพันธุ์ (reproduction) ซึ่งประกอบด้วย การคัดเลือก (selection) การข้ามสายพันธุ์ (crossover) และการกลายพันธุ์ (mutation) ซึ่งจะทำให้เกิดกลุ่มโครโมโซมใหม่หลังจากที่ผ่านกระบวนการในขั้นตอนนี้

4.2 สำหรับในการศึกษานี้ ตัวแปรสำหรับการตัดสินใจ (decision variable) คือปริมาณน้ำที่เก็บกักเฉลี่ยในแต่ละเดือนของโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ ซึ่งจะกำหนดเป็นขอบเขตบน (upper bound) และขอบเขตล่าง (lower bound) โดยเป็นค่าที่อยู่ระหว่างโค้งควบคุมที่ใช้งานอยู่ ณ เวลาปัจจุบัน (existing rule curve)

4.3 หลังจากที่โครโมโซมจำนวน 1 ชุด (หรือโค้งควบคุมจำนวน 24 ค่า จากโค้งควบคุมบน 12 ค่า และโค้งควบคุมล่าง 12 ค่า) ซึ่งเป็นประชากรต้นกำเนิด (initial population) ได้ถูกคำนวณแล้วนั้น ปริมาณการปล่อยน้ำจะถูกคำนวณซ้ำอีกครั้งด้วยวิธีการแบบจำลองเปลี่ยนแปลงสถานการณ์โดยใช้โค้งควบคุมนี้

4.4 ปริมาณน้ำที่ถูกปล่อยจะถูกนำไปใช้เพื่อคำนวณหาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินค่าความเหมาะสม (fitness) ของ GAs

4.5 หลังจากนั้น กระบวนการทางพันธุกรรมที่ประกอบด้วย การคัดเลือก การข้ามสายพันธุ์ และการกลายพันธุ์ จะดำเนินการสร้างโค้งควบคุมขึ้นมาใหม่ในรุ่นถัดไป โดยขั้นตอนนี้จะมีการกระทำซ้ำจนกระทั่งได้โค้งควบคุมจำนวน 24 ค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยสามารถแสดงเป็นขั้นตอนการทำงานดัง Figure 3

โดยมีสมการฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function) ที่ใช้ในการค้นหาค่าตอบโค้งควบคุมที่เหมาะสมคือ ปริมาณน้ำไหลล้นเฉลี่ยน้อยที่สุด ดังแสดงในสมการ คือ

$$Min\ excess_{(avr)} = \frac{1}{n} \sum_{v=1}^n Sh_v \quad (4)$$

โดยที่ n = ผลรวมของจำนวนปีที่ต้องการพิจารณา  
 $Sh_v$  = ปริมาณน้ำที่ไหลล้นระหว่างปี V

**5. การค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมสำหรับอ่างเก็บน้ำน้ำอูน**

ในการศึกษานี้เลือกการประยุกต์ใช้เทคนิค GAs<sup>6,8</sup> เชื่อมต่อกับแบบจำลองการเลียนแบบอ่างเก็บน้ำน้ำอูน จังหวัดสกลนครซึ่งเป็นลำน้ำสาขาสำคัญของแม่น้ำสงคราม ต้นน้ำอยู่ที่อำเภอกุศุดบาก จังหวัดสกลนคร มีความจุที่ระดับเก็บกัก 520 ล้านลูกบาศก์เมตร ระดับน้ำเก็บกักปกติ 185 ม.รทก. ปริมาตรเก็บกักที่ไม่ได้ใช้การ (dead storage) 45 ล้านลูกบาศก์เมตร อ่างเก็บน้ำน้ำอูน จะต้องปล่อยน้ำเพื่อกิจกรรมต่างๆ คือ อุปโภค-บริโภคและเพื่อการชลประทานของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาน้ำอูน สำหรับพื้นที่เพาะปลูก 185,800 ไร่ ซึ่งมีความต้องการใช้น้ำส่วนใหญ่มากที่สุด จากนั้นจะไหลลงสู่แม่น้ำสงครามดังที่แสดงไว้ใน Figure 4

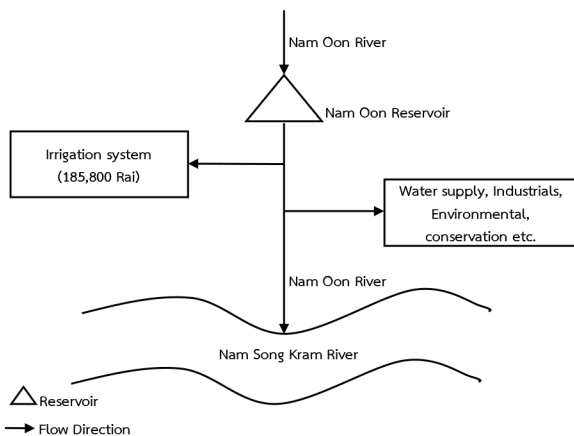


Figure 4 Nam Oon River basin Diagrammatic

**6. การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุม**

ในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองเทคนิคการค้นหาแบบ GAs จะดำเนินการโดยนำโค้งควบคุมของอ่างปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมใช้ในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในระยะยาวด้วยข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำด้วยข้อมูลที่สังเคราะห์ขึ้นมา 1,000 ชุดข้อมูล จากข้อมูลน้ำที่ไหล

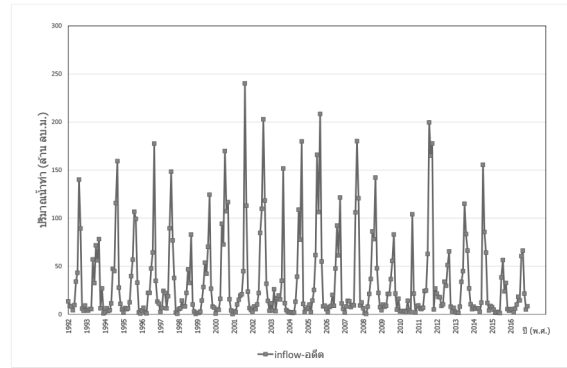


Figure 5 Inflow record from 1992 to 2016

เข้าสู่อ่างเก็บน้ำจำนวน 25 ปี ตั้งแต่ ค.ศ.1992–2016 ครอบคลุมเหตุการณ์ในอดีตที่เคยเกิดขึ้นดังที่แสดงไว้ใน Figure 5 ทำการจำลองสภาพการโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำในระยะยาวโดยดำเนินการจำลองปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของระบบจากกฎของการจัดการและควบคุมแล้วคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องปล่อยในแต่ละเดือนภายใต้โค้งของเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ผลการประเมินจะแสดงสถานการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้น (ความถี่ ขนาด และช่วงเวลา)

**ผลการศึกษาและอภิปรายผล**

**1. การวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ที่ดิน จากแผนที่**

**Agri-Map**

จากผลการวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ที่ดิน จากการใช้แผนที่ Agri-Map เป็นแนวทางและรัฐบาลต้องการลดพื้นที่ปลูกข้าวโดยให้ความสำคัญกับพืชทางเศรษฐกิจ 4 ชนิด พบว่าข้าวลดลง 4.64% มันสำปะหลังเพิ่มขึ้น 20.34% อ้อยเพิ่มขึ้น 14.00% และข้าวโพดเพิ่มขึ้น 2.54% และพืชอื่นๆ คงที่มีรายละเอียดตาม Figure 6

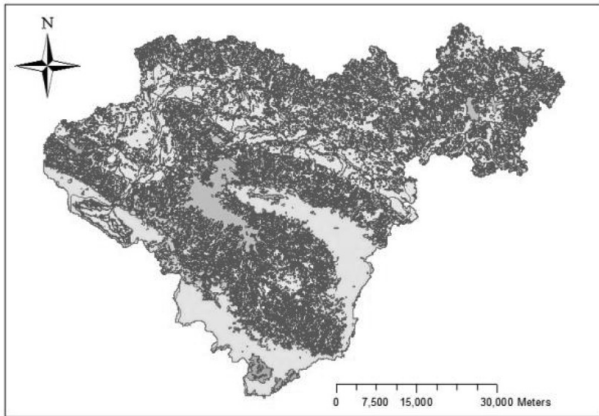


Figure 6 Landuse in Future from Agri-Map

## 2. การประเมินน้ำท่าด้วยแบบจำลองทางอุทกวิทยา SWAT

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองพบว่าตัวแปรที่มีความอ่อนไหวได้แก่ ALPHA\_BF, GWQMN, GW\_REVAP, CN2, SOL\_AWC, EPCO, ESCO, CH\_N2, GW\_DELAY, CANMX และ CH\_K2

ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่ารายปีจากแบบจำลองในช่วงที่พิจารณา (ค.ศ.1992-2016) มีค่าเท่ากับ 34.344 ล้านลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนจากสถานีตรวจวัดเท่ากับ 34.321 ล้านลูกบาศก์เมตร การประเมินความแม่นยำของผลการคำนวณด้วยค่า  $r^2$  สำหรับช่วงเปรียบเทียบ (ค.ศ.1992 - 2006) เท่ากับ ร้อยละ 80.33 ช่วงเปรียบเทียบ (ค.ศ. 2007 - 2016) เท่ากับ ร้อยละ 65.16 ตามลำดับ

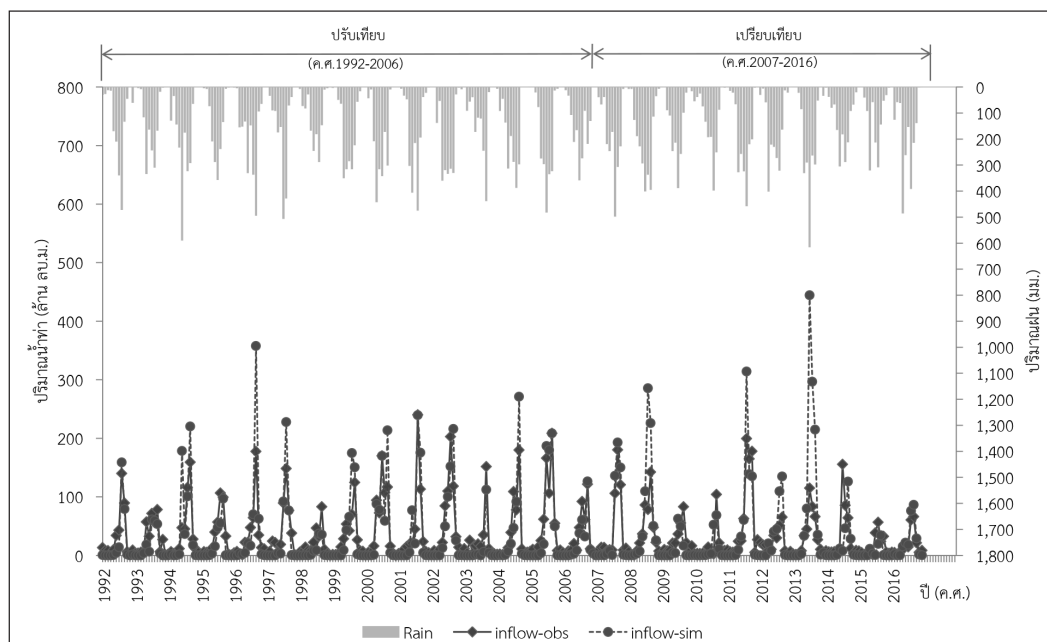


Figure 7 Comparison of between Runoff data from the measured station and the results from Simulation model. Year 1992-2016

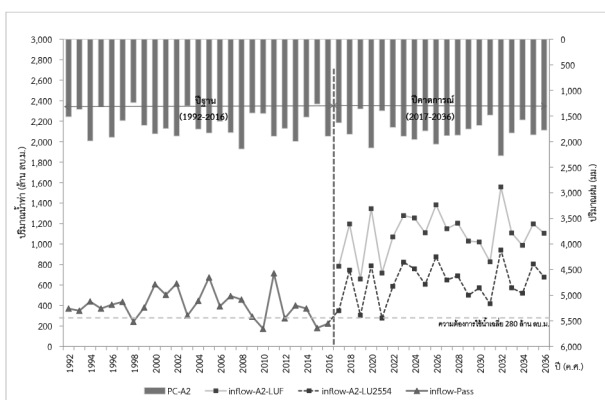


Figure 8 Calculation Runoff volume and rainfall level in the future under scenario A2. (A2 = Rating curve of land use changes)

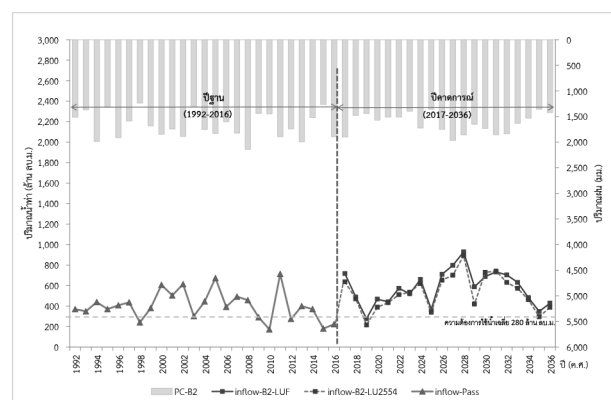


Figure 9 Calculation Runoff volume and rainfall level in the future under scenario B2. (B2 = Rating curve of land use changes)

### 3. การประมาณค่าปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างในอนาคต

ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยต่อปีในช่วงอนาคต (ค.ศ.2017-2036) ด้วยแบบจำลอง SWAT เมื่อนำเข้าข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากแบบจำลอง PRECIS รวมถึงการเปลี่ยนแปลงข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินจากนโยบายของรัฐบาล (Agri-Map) ภายใต้กรณีคาดการณ์ A2 และ B2 พบว่ามีค่า 1,098.66 และ 577.84 ล้านลูกบาศก์เมตรตาม

ลำดับ ซึ่งสูงกว่าข้อมูลจากสถานีตรวจวัดในปีฐาน (ค.ศ.1992-2016) ที่มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 404.30 ล้านลูกบาศก์เมตร อยู่ที่ 694.36 ล้านลูกบาศก์เมตร (ร้อยละ 171.74) และ 173.54 ล้านลูกบาศก์เมตร (ร้อยละ 42.92) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินมีผลทำให้ปริมาณน้ำท่าเปลี่ยนแปลง เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศที่จะเกิดขึ้นในอนาคตดังที่แสดงใน Figure 8 และ Figure 9

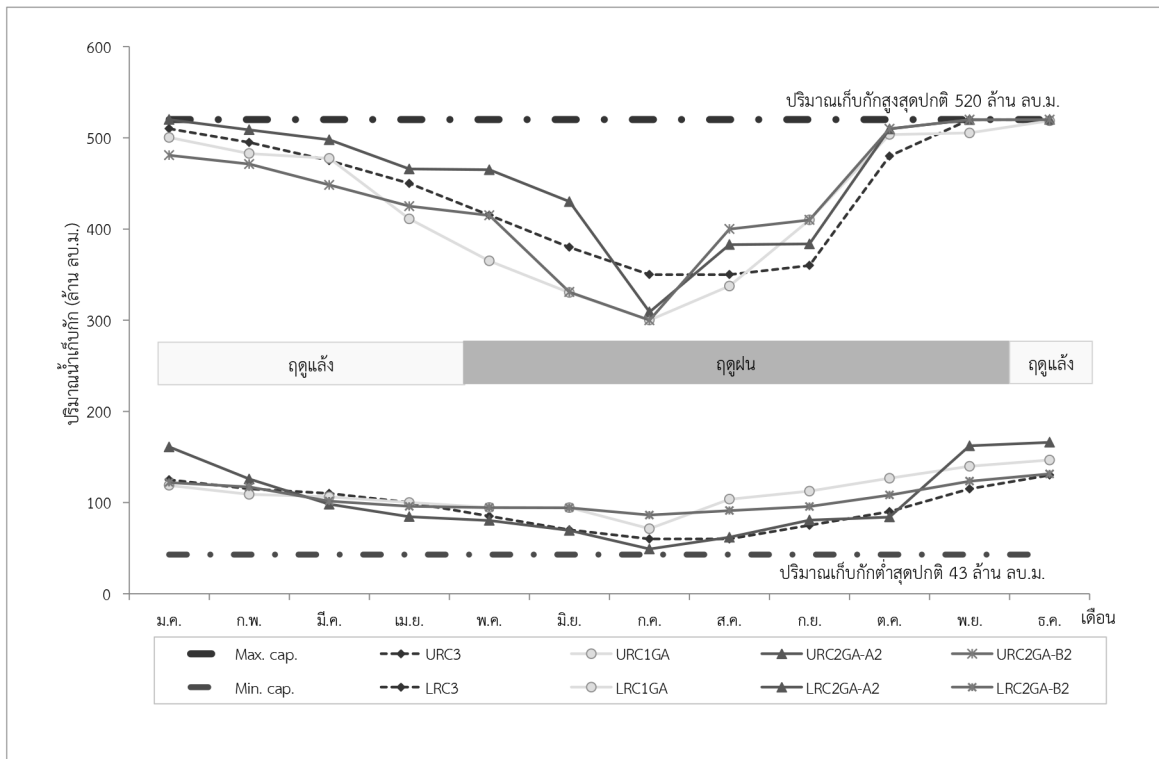


Figure 10 Reservoir rule curves Nam Oon reservoir original and characteristic Genetic Algorithms curves

### 4. ผลการสร้างโค้งควบคุมจากข้อมูลอดีตและข้อมูลอนาคต

4.1 โค้งควบคุมที่สร้างจากข้อมูลในอดีต (historical rule curve; RC1GA) กรณีพิจารณาเกิดการไหลล้นน้อยที่สุดโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่สร้างจากเทคนิค GAs เชื่อมต่อการจำลองสถานการณ์อ่างเก็บน้ำโดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าในอดีตระหว่าง ค.ศ.1992-2016 (25 ปี) มีค่าปริมาณน้ำเก็บกักของโค้งควบคุมบน (upper rule curve; URC1GA) และโค้งควบคุมล่าง (lower rule curve; LRC1GA) ดังแสดงใน Figure10 ซึ่งพบว่า RC1GA มีลักษณะรูปร่างที่ลู่ไปกับโค้งควบคุมเดิม (RC3) ที่ใช้งานอยู่ สามารถอธิบายคือ URC1GA ลักษณะของเส้นโค้ง จะมีแนวโน้มเกณฑ์การเก็บกักที่ต่ำกว่าโค้งควบคุมบนเดิม (URC3) ในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายน-สิงหาคม อธิบายเกณฑ์ในช่วงนี้ได้ว่า URC1GA มีความ

ต้องการลดปริมาตรเก็บกักน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บกักน้ำจากปริมาณฝนและปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูฝน สามารถรองรับปริมาณน้ำหลากได้ดีขึ้น เพื่อลดการไหลล้นของน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำและในเดือนกันยายน-ตุลาคม URC1GA จะมีแนวโน้มเกณฑ์การเก็บกักที่สูงกว่า URC3 อธิบายเกณฑ์ในช่วงนี้ได้ว่า URC1GA มีความต้องการเพิ่มปริมาตรเก็บกักน้ำเพื่อให้มีน้ำไว้ใช้ในช่วงฤดูแล้งเพิ่มขึ้น ลดปริมาณการปล่อยน้ำ ซึ่งจะช่วยให้พื้นที่ที่ท้ายน้ำลดความเสี่ยงที่จะเกิดภัยน้ำท่วม และที่สำคัญที่สุดสำหรับการตอบโจทยวิกฤตประสงค์หลักของการสร้างโค้งควบคุมใหม่ด้วยเทคนิค GAs ที่ต้องการให้เกิดเหตุการณ์ไหลล้นของปริมาณน้ำเฉลี่ยน้อยที่สุด โดย URC1GA จะทำให้อ่างเก็บน้ำมีปริมาณน้ำเก็บกักเพิ่มขึ้นสูงกว่า URC3 ในช่วงสิ้นฤดูฝนเดือนกันยายน ซึ่งจะส่งผลให้มีปริมาณน้ำที่เพียงพอต่อการใช้งาน

สำหรับในช่วงฤดูแล้ง สอดคล้องกับ LRC1GA ที่มีความต้องการให้เก็บน้ำไว้ในอ่างเพิ่มขึ้นทำให้ยังมีน้ำเพียงพอสำหรับใช้ในฤดูแล้ง ตั้งแต่เดือนมกราคม-เมษายน LRC-1GA แสดงเกณฑ์การเก็บกักน้ำมีค่าที่ใกล้เคียงกับโค้งควบคุมล่างเดิม (LRC3) โดยมีค่าต่ำกว่า อธิบายได้ว่าในช่วงเวลานี้ อ่างเก็บน้ำสามารถปล่อยน้ำได้มากกว่าเกณฑ์เดิมซึ่งจะทำให้เพิ่มโอกาสที่ปริมาณน้ำจะมีเพียงพอต่อความต้องการ รวมถึงการลดความเสี่ยงที่จะเกิดปัญหาการไหลล้นของน้ำในอ่างได้ หลังจากนั้นช่วงเดือนพฤษภาคม-ธันวาคม LRC1GA แสดงเกณฑ์การเก็บกักน้ำมีค่าที่สูงกว่า LRC3 อธิบายได้ว่า RC1GA สามารถเก็บน้ำได้มากกว่า RC3 ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มโอกาสที่ปริมาณน้ำจะมีเพียงพอต่อความต้องการมากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง

4.2 โค้งควบคุมที่สร้างจากข้อมูลในอนาคต (future rule curve; RC2GA) กรณีพิจารณาเกิดการไหลล้นน้อยที่สุด RC2GA คือโค้งควบคุมที่สร้างจากข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตระหว่าง ค.ศ.2017 - 2036 (20 ปี) มีค่าปริมาณน้ำเก็บกักของโค้งควบคุมบน (URC2GA) และโค้งควบคุมล่าง (LRC2GA) ดังแสดงใน Figure10 กรณีคาดการณ์ A2 (RC2GA-A2), กรณีคาดการณ์ B2 (RC2GA-B2) โดยเทคนิค GAs เชื่อมต่อกับแบบจำลองเลียนแบบสถานการณ์อ่างเก็บน้ำ สามารถอธิบายโดยพบว่า URC2GA-A2 ในช่วงระหว่างเดือนสิงหาคม - มิถุนายน จะมีปริมาณการเก็บกักมากกว่า URC3 ทำให้มีน้ำเพียงพอสำหรับส่งให้พื้นที่เพาะปลูกและสามารถเพิ่มพื้นที่ชลประทานได้ในอนาคต สำหรับเดือนกรกฎาคมจะมีปริมาณน้ำเก็บกักน้อยกว่า URC3 เพื่อลดการไหลล้นของน้ำในช่วงฤดูฝน กรณี URC2GA-B2 ในช่วงระหว่างเดือนสิงหาคม-ธันวาคม จะมีปริมาณการเก็บกักมากกว่า URC3 ทำให้มีปริมาณน้ำมากขึ้นไว้ใช้ในฤดูแล้ง สำหรับเดือน มกราคม - กรกฎาคม URC2GA-B2 จะมีการกักเก็บน้อยกว่า URC3 เพื่อเป็นการพร่องน้ำลดการไหลล้นของน้ำในช่วงฤดูฝน LRC2GA-A2 ในเดือนพฤศจิกายน - กุมภาพันธ์ จะมีลักษณะเกณฑ์กักเก็บน้ำ

อยู่ในระดับสูงกว่า LRC3 ทำให้มีน้ำสำหรับส่งให้พื้นที่เพาะปลูกได้มากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง ในเดือนมีนาคม-ตุลาคม LRC-2GA-A2 จะมีลักษณะเกณฑ์กักเก็บน้ำอยู่ในระดับต่ำกว่า LRC3 ยกเว้นเดือนกันยายน ซึ่งทำให้มีพื้นที่กักเก็บน้ำได้มากขึ้นในช่วงฤดูฝนเพื่อลดการไหลล้น LRC2GA-B2 ในเดือนธันวาคม-เมษายนจะมีลักษณะเกณฑ์กักเก็บน้ำอยู่ในระดับต่ำกว่า LRC3 จะหมายถึงอ่างเก็บน้ำสามารถปล่อยน้ำได้เพิ่มมากขึ้นกว่าโค้งเดิม ทำให้ตอบสนองความต้องการใช้น้ำ ในเขตพื้นที่ชลประทานมากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง ในช่วงเดือนพฤษภาคม-พฤศจิกายน LRC2GA-B2 จะมีลักษณะเกณฑ์กักเก็บน้ำอยู่ในระดับสูงกว่า LRC3 เป็นการเพิ่มการเก็บกักในช่วงฤดูฝนทำให้มีน้ำไว้ใช้ในฤดูแล้งเพิ่มขึ้น

## 5. ผลการประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมใหม่

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีเทคนิคการค้นหาแบบ GAs จะดำเนินการเปรียบเทียบกับ RC3 จะมีการประเมินประสิทธิภาพฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการไหลล้นของน้ำน้อยที่สุดเป็น 3 วัตถุประสงค์ คือ 1.) ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำหรือการไหลล้นน้อยที่สุด 2.) ความถี่ของการขาดแคลนน้ำหรือการไหลล้นน้อยที่สุด 3.) ค่าปริมาณการขาดแคลนหรือการไหลล้นสูงสุด ซึ่งประเมินโดยการจำลองสภาพสมดุลน้ำของอ่างเก็บน้ำน้ำอูน ใช้ข้อมูลย้อนหลังจากการบันทึก 25 ปี ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1992-2016 ประกอบไปด้วยปริมาณน้ำต้นทุนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำปริมาณความต้องการน้ำรายเดือนแต่ละกิจกรรมการใช้น้ำ อัตราการระเหยเฉลี่ยรายเดือน ข้อมูลโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูง - พื้นที่ผิวน้ำ - ปริมาตร ความจุของอ่างเก็บน้ำน้ำอูน ข้อมูลปริมาตรต่ำสุด - สูงสุดของระดับน้ำเก็บกักในการประเมินสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ และการไหลล้น พร้อมทั้งนำไปประเมินประสิทธิภาพของ โค้งควบคุมที่ได้ในแต่ละกรณี โดยใช้ข้อมูลน้ำท่าสังเคราะห์ 25 ปี จำนวน 1,000 ชุด ผลการประเมินได้แสดงใน Table 1



**Table 1** The assessment of Water management Situation between new Rule curve and old Rule curve. From 25 years return period data with 1 event

Situation	Rule curve	Frequency (Times/year)	Volume (Million cubic meters)		Time period (year)	
			Average	Maximum	Average	Maximum
Shortage	RC1	0	0	0	0	0
	RC2-A2	0	0	0	0	0
	RC2-B2	0	0	0	0	0
	RC3	0	0	0	0	0
Excess water	RC1	1	248.614	469.466	25	25
	RC2-A2	1	251.994	470.517	25	25
	RC2-B2	1	248.779	470.286	25	25
	RC3	1	254.577	475.949	25	25

โดยจะเป็นการประเมินระหว่างโค้ง RC1, RC2-A2, RC2-B2 และ RC3 หากประเมินโค้งควบคุมที่ถูกสร้างขึ้นจากปริมาณน้ำทำนองดีดเหมือนกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่า RC1 มีค่าความถี่ของการไหลล้นของน้ำ 1 ครั้ง ต่อปี ปริมาณน้ำไหลล้นเฉลี่ย 248.614 ล้านลูกบาศก์เมตร ต่ำกว่าค่าของ RC3 ที่มีค่าเท่ากับ 1 ครั้งต่อปี ปริมาณน้ำไหลล้นเฉลี่ย 254.577 ล้านลูกบาศก์เมตร และต่ำกว่าโค้งควบคุมที่สร้างจากข้อมูลอนาคต RC2-A2 และ RC2-B2 ซึ่งมีปริมาณการไหลล้นเฉลี่ย 251.994 และ 248.779 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ จากผลลัพธ์เหล่านี้สามารถอธิบายได้ว่า RC1 มีประสิทธิภาพที่ดีและเหมาะสมกับเหตุการณ์สถานการณ์น้ำปกติ สามารถลดความถี่การไหลล้นได้ดีกว่า RC3 และโค้งควบคุมที่สร้างจากข้อมูลอนาคต RC2-A2 และ RC2-B2 สำหรับความถี่ของการขาดแคลนนั้นพบว่าทั้งโค้ง RC1, RC2-A2, RC2-B2, และ RC3 ไม่ทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำ

Table 2 ผลการประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำนองดีดสังเคราะห์ จำนวน 1,000 ชุด

เหตุการณ์ ผลการประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำนองดีดสังเคราะห์ จำนวน 1,000 ชุด เหตุการณ์ให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับการประเมินใน Table 1 หรืออธิบายได้ว่า RC1 มีประสิทธิภาพดีกว่า RC3 โดยสถานการณ์น้ำขาดแคลนมีค่าเป็น 0.00 แสดงว่าน้ำไม่ขาดแคลนในเขื่อนน้ำอูนสำหรับการใช้น้ำตามเหตุการณ์ปกติ และจะช่วยลดโอกาสการเกิดความถี่น้ำไหลส่วนเกินจาก 0.997 ครั้งต่อปี เหลือ 0.992 ครั้งต่อปี สามารถลดปริมาณน้ำไหลส่วนเกินเฉลี่ยจาก 251.685 ล้านลูกบาศก์เมตร ลดลงเหลือ 246.222 ล้านลูกบาศก์เมตร และลดช่วงเวลาเฉลี่ยการเกิดน้ำไหลส่วนเกินลดลงจาก 24.145 ปี เหลือ 22.817 ปี หากนำมาประเมินประสิทธิภาพ RC1 กับ RC2-A2 และ RC2-B2 ยังพบว่าประสิทธิภาพของ RC1 มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ช่วยลดโอกาสการเกิดความถี่น้ำไหลส่วนเกินจาก 0.992, 0.993 และ 0.997 ครั้งต่อปี ตามลำดับ สามารถลดปริมาณน้ำไหลส่วนเกินเฉลี่ย 246.222, 249.128 และ 246.347 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

**Table 2** The assessment of Water management Situation between new Rule curve and old Rule curve. From 25 years return period data with 1,000 events

Situation	Rule curve		Frequency (Times/year)	Volume (Million cubic meters)		Time period (year)	
			Average	Maximum	Average	Maximum	
Shortage	RC1	$\mu$	0	0	0	0	0
		$\sigma$	0	0	0	0	0
	RC2-A2	$\mu$	0	0	0	0	0
		$\sigma$	0	0	0	0	0
	RC2-B2	$\mu$	0	0	0	0	0
		$\sigma$	0	0	0	0	0
	RC3	$\mu$	0	0	0	0	0
		$\sigma$	0	0	0	0	0
Excess water	RC1	$\mu$	0.992	246.222	513.846	22.817	23.743
		$\sigma$	0.013	23.407	71.19	4.955	3.188
	RC2-A2	$\mu$	0.993	249.128	503.799	22.967	23.812
		$\sigma$	0.018	23.468	68.81	4.809	3.138
	RC2-B2	$\mu$	0.997	246.347	513.503	24.113	24.475
		$\sigma$	0.012	23.399	76.61	3.308	2.152
	RC3	$\mu$	0.997	251.685	518.077	24.145	24.478
		$\sigma$	0.018	23.467	76.702	3.268	2.185

## 6. ผลการประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมใหม่ กรณีการเปลี่ยนแปลงความต้องการน้ำ

จากการทดสอบในหัวข้อ 4 นั้นพบว่าโค้งควบคุมที่ได้จากการใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์การหาค่าเฉลี่ยของการไหลล้นของน้ำน้อยที่สุด สามารถบรรเทาหน้าขาดแคลนและน้ำไหลล้นได้ดีกว่าโค้งเดิม ดังนั้นจึงนำโค้ง ควบคุมที่ได้มาทดสอบเพิ่มเติมอีก โดยการเพิ่มการใช้น้ำชลประทาน ร้อยละ 50 และใช้ข้อมูล 25 ปี ตั้งแต่ ค.ศ. 1992-2016 ประกอบด้วย การไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำที่สังเคราะห์ในอดีตจำนวน 25 ปี 1,000 ชุด ข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำรายเดือนแต่ละกิจกรรมการใช้น้ำ อัตราการระเหยเฉลี่ยรายเดือน ข้อมูลโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูง – พื้นที่ผิวน้ำ - ปริมาตรความจุของอ่างเก็บน้ำอ่างนอน ข้อมูลปริมาตรต่ำสุด-สูงสุดของระดับน้ำเก็บกัก

Table 3 ผลการประเมินโค้งควบคุมด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำที่สังเคราะห์ข้อมูลในอดีต 25 ปี จำนวน 1,000 ชุดเหตุการณ์ โดยเพิ่มความต้องการใช้น้ำจากการขยายพื้นที่ชลประทาน ร้อยละ 50 ของพื้นที่ปัจจุบัน มีวัตถุประสงค์เพื่อ

ต้องการทดสอบประสิทธิภาพของ RC1 ในกรณีที่มีความต้องการน้ำเพิ่มสูงขึ้นในอนาคตเนื่องจากการขยายพื้นที่ชลประทานเพิ่มเป็น ร้อยละ 50 ของพื้นที่ปัจจุบัน ในสถานการณ์ที่ปริมาณอาจมีความผันแปร โดยได้สังเคราะห์ปริมาณน้ำทำจากข้อมูลในอดีตจำนวน 1,000 ชุดเหตุการณ์ ผลการประเมินซึ่งอธิบายได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการใช้น้ำชลประทานขึ้นอีก ร้อยละ 50 RC1 มีประสิทธิภาพดีกว่า RC3 โดยสถานการณ์น้ำขาดแคลน พบว่ามีโอกาสเกิดการขาดแคลน จาก 0.935 ครั้งต่อปี เหลือ 0.003 ครั้งต่อปี สามารถลดปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ยจาก 6.725 ล้านลูกบาศก์เมตร ลดเหลือ 0.074 ล้านลูกบาศก์เมตรและลดช่วงเวลาเฉลี่ยการเกิดการขาดแคลนน้ำ จาก 12.170 ปี เป็น 0.073 ปี และจะช่วยลดโอกาสการเกิดความถี่น้ำไหลส่วนเกินจาก 0.925 ครั้งต่อปี เป็น 0.911 ครั้งต่อปี สามารถลดปริมาณน้ำไหลส่วนเกินเฉลี่ยจาก 174.932 ล้านลูกบาศก์เมตร ลดเหลือ 164.996 ล้านลูกบาศก์เมตร และลดช่วงเวลาเฉลี่ยการเกิดน้ำไหลส่วนเกินลดลงจาก 11.730 ปี เหลือ 10.644 ปี หากนำมาประเมิน

ประสิทธิภาพ RC1 กับ RC2-A2 และ RC2-B2 ยังพบว่า ประสิทธิภาพของ RC1 มีประสิทธิภาพดีที่สุด ช่วยลดโอกาส การเกิดความถี่การขาดแคลน จาก 0.003, 0.939 และ 0.004 ครั้งต่อปี ตามลำดับ สามารถลดปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ย 0.074, 12.235 และ 0.084 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ช่วย

ลดโอกาสการเกิดความถี่น้ำไหลส่วนเกินจาก 0.911, 0.933 และ 0.913 ครั้งต่อปี ตามลำดับ สามารถลดปริมาณน้ำไหล ส่วนเกินเฉลี่ย 164.669, 177.688 และ 165.547 ล้านลูกบาศก์ เมตร ตามลำดับ

**Table 3** The assessment of Water management Situation between RC1 rule curve and RC3 rule curve. From 25 years return period data with 1,000 events by increasing 50% of the irrigation water requirements area

Situation	Rule curve		Frequency (Times/year) Average	Volume (Million cubic meters)		Time period (year)	
				Maximum	Average	Maximum	
Shortage	RC1	$\mu$	0.003	0.074	1.734	0.073	0.074
		$\sigma$	0.013	0.351	8.288	0.292	0.298
	RC2-A2	$\mu$	0.939	12.235	13.598	12.590	17.160
		$\sigma$	0.043	0.591	4.228	6.541	5.297
	RC2-B2	$\mu$	0.004	0.084	1.243	0.097	0.098
		$\sigma$	0.011	0.278	6.632	0.252	0.258
RC3	$\mu$	0.935	6.725	10.981	12.170	16.859	
	$\sigma$	0.044	0.662	12.428	6.420	5.303	
Excess water	RC1	$\mu$	0.911	164.669	443.921	10.644	15.350
		$\sigma$	0.062	23.385	76.704	6.110	5.423
	RC2-A2	$\mu$	0.933	177.688	443.542	12.672	17.048
		$\sigma$	0.053	23.281	66.121	6.882	5.542
	RC2-B2	$\mu$	0.913	165.547	437.725	10.780	15.567
		$\sigma$	0.061	23.394	76.191	6.145	5.424
RC3	$\mu$	0.925	174.932	449.550	11.730	16.297	
	$\sigma$	0.055	23.347	71.315	6.525	5.455	

**Table 4** The assessment of Water management Situation between RC1 rule curve, RC2 rule curve and RC3 rule curve. From 20 years next period data with A2 events

Situation	Rule curve	Frequency (Times/year)	Volume (Million cubic meters)		Time period (year)	
			Average	Maximum	Average	Maximum
Shortage	RC1	0	0	0	0	0
	RC2-A2	0	0	0	0	0
	RC2-B2	0	0	0	0	0
	RC3	0	0	0	0	0
Excess water	RC1	1	1019.50	1729.46	20	20
	RC2-A2	1	1012.98	1729.46	20	20
	RC2-B2	1	1016.26	1729.46	20	20
	RC3	1	1016.38	1729.46	20	20

ผลการประเมิน RC2-A2, RC1, RC3 และ RC2-B2 สำหรับสถานการณ์ A2 จาก Table 4 ในกรณีน้ำขาดแคลนพบว่าไม่เกิดการขาดแคลนน้ำ สำหรับสถานการณ์ A2 ในกรณีน้ำไหลส่วนเกินพบว่า RC2-A2 จะให้ค่าความถี่, ค่ามากที่สุด และช่วงเวลาในการไหลส่วนเกินเท่ากับ RC1, RC3 และ RC2-B2 แต่ RC2-A2 เป็นโค้งที่ดีที่สุดที่ช่วยลดปริมาณน้ำไหลส่วนเกินเฉลี่ย คือ 1,012.98, 1,019.50, 1,016.38 และ 1,016.26 ล้านลูกบาศก์เมตรตามลำดับ ดังนั้น RC2-A2 จึงมีค่าความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในสถานการณ์ A2 สามารถบรรเทาสถานการณ์น้ำไหลส่วนเกินได้มีประสิทธิภาพมากกว่า RC1 และ RC3

สำหรับผลการประเมิน RC2-B2, RC1, RC3 และ RC2-A2 สำหรับสถานการณ์ B2 จาก Table 5 ในกรณีน้ำขาดแคลนพบว่าไม่เกิดการขาดแคลนน้ำสำหรับสถานการณ์ B2 ในกรณีน้ำไหลส่วนเกินพบว่า RC2-B2 จะให้ค่าความถี่ และช่วงเวลาในการไหลส่วนเกินเท่ากับ RC1, RC3 และ RC2-A2 แต่ RC2-B2 เป็นโค้งที่ดีที่สุดที่ช่วยลดปริมาณน้ำไหลส่วนเกินเฉลี่ย คือ 374.787, 377.339, 376.384 และ 378.524 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ดังนั้น RC2-B2 จึงมีค่าความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในสถานการณ์ B2 สามารถบรรเทาสถานการณ์น้ำไหลส่วนเกินได้มีประสิทธิภาพมากกว่า RC1 และ RC3

**Table 5** The assessment of Water management Situation between RC1 rule curve, RC2 rule curve and RC3 rule curve. From 20 years next period data with B2 events

Situation	Rule curve	Frequency (Times/year)	Volume (Million cubic meters)		Time period (year)	
			Average	Maximum	Average	Maximum
Shortage	RC1	0	0	0	0	0
	RC2-A2	0	0	0	0	0
	RC2-B2	0	0	0	0	0
	RC3	0	0	0	0	0
Excess water	RC1	1	377.339	1077.863	20	20
	RC2-A2	1	376.384	1029.700	20	20
	RC2-B2	1	374.787	1050.890	20	20
	RC3	1	378.524	1039.352	20	20

**สรุปผลการวิจัย**

การประยุกต์ใช้การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีเทคนิคการค้นหาค่าแบบ GAs เพื่อปรับปรุงโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำโดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์การไหลล้นน้อยที่สุดพบว่า ได้โค้งควบคุมที่มีรูปร่างใกล้เคียงกันและโค้งควบคุมที่สร้างจากเทคนิค GAs เชื่อมต่อกับแบบจำลองเลียนแบบสถานการณ์ที่สร้างจาก ข้อมูลปริมาณน้ำท่าและปริมาณฝนในอนาคตที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน นำมาใช้เป็นข้อมูลสำหรับการจัดสร้าง ระหว่าง ค.ศ.2017-2036 (20 ปี) พบว่าโค้งควบคุมใหม่มีประสิทธิภาพในการจัดสรรทรัพยากรน้ำตามวัตถุประสงค์หลักคือป้องกันการไหลล้นของน้ำได้ดีกว่าโค้งควบคุมเดิม ดังแสดงได้จากโค้งควบคุมบน มีเกณฑ์กักเก็บน้ำอยู่ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์เดิม ซึ่งจะหมายถึงอ่างเก็บน้ำสามารถปล่อยน้ำได้เพิ่มมากขึ้นกว่าโค้งเดิมทำให้สามารถ

พร่องน้ำในช่วงต้นฤดูฝนเพื่อรองรับน้ำที่ไหลเข้าอ่างในช่วงปลายฤดูฝน ลดโอกาสการไหลล้นของน้ำส่วนเกิน พร้อมทั้งยังสามารถนำน้ำที่ต้องปล่อยออกนั้นไปขยายพื้นที่ชลประทานให้เพิ่มขึ้นได้ในอนาคต ช่วงปลายฤดูฝนโค้งควบคุมใหม่จะสูงกว่าโค้งควบคุมเดิมทำให้สามารถเก็บกักน้ำที่ไหลมาในช่วงปลายฤดูฝนไว้ใช้ช่วงฤดูแล้งได้ สำหรับสถานการณ์ A2 ซึ่งมีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสูงกว่าสถานการณ์ปัจจุบัน โค้งควบคุมบนมีเกณฑ์การรักษาระดับน้ำในช่วงฤดูฝนไว้สูงกว่าโค้งเดิม ทำให้สามารถเก็บกักน้ำที่ไหลเข้าอ่างไว้เพื่อรอการพร่องน้ำแต่จะมีประโยชน์อย่างมากในกรณีที่ฤดูฝนเริ่มต้นช้ากว่าฤดูกาลปกติ ซึ่งอาจเกิดจากผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกทำให้มีน้ำไว้ใช้ประโยชน์ในช่วงต้นฤดูฝน และในช่วงกลางฤดูฝนจะพร่องน้ำให้ต่ำกว่าเกณฑ์ควบคุมเดิมเพื่อรองรับน้ำใหม่ที่จะไหลเข้าอ่างในช่วงปลายฤดูฝนสามารถบรรเทาสถานการณ์ไหลล้นของ

น้ำส่วนเกิน สำหรับสถานการณ์ B2 มีเกณฑ์กักเก็บน้ำอยู่ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์เดิม ซึ่งจะหมายถึงอ่างเก็บน้ำสามารถปล่อยน้ำในช่วงฤดูฝนเพื่อรองรับน้ำที่จะไหลเข้าอ่างในช่วงปลายฤดูฝน ลดโอกาสการไหลล้นของน้ำส่วนเกิน พร้อมทั้งยังสามารถนำน้ำที่ต้องปล่อยออกนั้นไปขยายพื้นที่ชลประทานให้เพิ่มขึ้นได้ในอนาคต ช่วงปลายฤดูฝนโค้งควบคุมใหม่จะสูงกว่าโค้งควบคุมเดิมทำให้สามารถเก็บกักน้ำที่ไหลมาในช่วงปลายฤดูฝนไว้ใช้ในฤดูแล้งได้

ผลการประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมจะเห็นได้ว่า โค้งควบคุมใหม่ที่สร้างจากข้อมูลปริมาณน้ำทำในอดีต RC1 และปริมาณน้ำทำอนาคต RC2-A2 และ RC2-B2 รวมถึงโค้งควบคุม RC3 เพื่อประเมินค่าความถี่ในการไหลล้นน้ำส่วนเกินเฉลี่ย ปริมาณน้ำเฉลี่ยและช่วงเวลาที่เกิดการไหลล้นน้ำส่วนเกินเฉลี่ย โดยใช้ข้อมูลสถานการณ์น้ำทำในอดีต 25 ปี และอนาคต 20 ปี รวมถึงการประเมินประสิทธิภาพด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำจากการสังเคราะห์ จำนวน 1,000 เหตุการณ์ ผลการประเมินพบว่าโค้งควบคุมใหม่ที่สร้างจากเทคนิค GAs สามารถลดความถี่ในการไหลล้นน้ำส่วนเกินเฉลี่ยต่อปี ลดค่าปริมาณน้ำไหลล้นส่วนเกินเฉลี่ยรวมถึงลดช่วงเวลาในการไหลล้นน้ำส่วนเกินได้ดีกว่าโค้งควบคุมเดิม อีกทั้งยังไม่ทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำ ทั้งในกรณีที่ทดสอบกับข้อมูลปริมาณน้ำทำในอดีต 25 ปี 1 ชุดเหตุการณ์ และปริมาณน้ำทำสังเคราะห์จากข้อมูลอดีต 25 ปี จำนวน 1,000 ชุดเหตุการณ์รวมถึงการทดสอบกับปริมาณน้ำทำอนาคต 20 ปี ในกรณีคาดการณ์ A2 และ B2 อย่างละ 1 ชุดเหตุการณ์ นอกจากนี้โค้งควบคุมใหม่ที่สร้างจากเทคนิค GAs ยังมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าโค้งควบคุมเดิม เมื่อเกิดสถานการณ์เพิ่มความต้องการใช้น้ำในอนาคต เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ชลประทาน ร้อยละ 50 ยังลดความถี่ในการขาดแคลนน้ำเฉลี่ยต่อปี ลดค่าปริมาณการขาดแคลนน้ำเฉลี่ย รวมถึงลดช่วงเวลาในการขาดแคลนน้ำได้ดีกว่าโค้งควบคุมเดิม ด้วยเหตุนี้จึงสามารถสรุปได้ว่าโค้งควบคุมเดิมด้วยเหตุผลนี้จึงสามารถสรุปได้ว่าโค้งควบคุมที่พัฒนาจากเทคนิค GAs เชื่อมต่อการจำลองสถานการณ์อ่างเก็บน้ำ มีความเหมาะสม สามารถที่จะลดโอกาสในการเกิดเหตุการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำที่ไหลล้นได้ในอนาคต ทั้งในสถานการณ์ A2 และ B2 ได้ดีกว่า โค้งควบคุมเดิมที่ใช้งานอยู่ในเวลาปัจจุบัน

จากผลการวิจัยจะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำทำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำน้ำอันได้เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศทำให้หากมีการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะต้องมีการปรับปรุงโค้งควบคุมอีกครั้งเพื่อให้การบริหารจัดการน้ำเป็นไปโดยง่ายและตรงกับสภาพความเป็นจริงกับปริมาณ

น้ำทำที่ไหลเข้าสู่อ่างฯ

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ กรมชลประทาน กรมพัฒนาที่ดิน กรมอุตุนิยมวิทยา ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษารังนี้

## เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2559. คู่มือแผนที่เกษตรเพื่อการบริหารจัดการเชิงรุก. <http://agri-map-online.moac.go.th>
- จิรวัดณ์ ศุภโกศล. 2559. ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำสงคราม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- ศุภกร ชินวรรณ. 2553. การจัดทำภาพถ่ายอนาคตการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทยจากผลของแบบจำลองภูมิอากาศระดับท้องถิ่น PRECIS. [http://sites3.iwlearn3.webfactional.com/thailandadaptation/Documents/e-library/e-library\\_files/04ClimatechangelscenarioThailandPRECIS.pdf](http://sites3.iwlearn3.webfactional.com/thailandadaptation/Documents/e-library/e-library_files/04ClimatechangelscenarioThailandPRECIS.pdf)
- โอพาร เวศอุไร. 2548. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อน้ำทำในพื้นที่ลุ่มน้ำน่านตอนบน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Hormwichian R. & Kangrang A. (2012) Coupled-operations model and a conditional differential evolution algorithm for improving reservoir management. *International Journal of Physical Sciences*, 7(42), 5701–5710.
- Hormwichian R, Kangrang A, Lamom A (2009). A-conditional genetic algorithm model for searching optimal reservoir rule curves. *Journal of Applied Sciences*, 9(19):3575-3580.
- Jones, R.G., Noguer, M., Hassell, D.C., Hudson, D., Wilson, S.S., Jenkins, G.J. and Mitchell, J.F.B. (2004). Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS, Met Office Hadley Centre, Exeter, UK, 40pp
- Kangrang A. & Chaleeraktragoon C. (2007). Genetic algorithms connected simulation with smoothing function for searching rule curves. *American Journal*

9. Kangrang A. & Lokham C. (2013). Optimal reservoir rule curves considering conditional ant colony optimization with simulation model. *American Journal of Applied Sciences*, 13(1), 154–160
10. Kumar D. and Baliarsingh F. (2003). Folded dynamic programming for optimal operation of multireservoir system. *Water Resour Manage*, 17, 337-353, 2003.
11. Leticia B. Rodriguez. (2008). Fully conservative coupling of HEC-RAS with MODFLOW to simulate stream–aquifer interactions in a drainage basin. *Journal of Hydrology*, 353, 129–142.
12. P. Pheerawat & P. Udmale (2017). Impacts of Climate Change on Rainfall Erosivity in the Huai Luang Watershed, Thailand. *Journal of Atmosphere*,
13. Saimuang K. & Kangrang A. (2016). Optimal Water Allocation Criteria using the Tabu Search Technique. *J Sci Technol MSU*. Vol 36. No 1, January - February 2017, 1-9
14. Stedinger. (1984), The Performance of LDR Models for Preliminary Design and Reservoir Operation. *Water Resources, Research*. Vol.20(2): 215-224
15. Yang, X.S. & Deb, S. (2009). Cuckoo search via Levy flights. In Deb, S., Abraham, A., & Herrera, F. (Eds.). *World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing*, 9-11 December 2009, pp. 210 – 214, Coimbatore, India.