



รายงานการวิจัยและนวัตกรรมฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา  
Development of Automated Reservoir Management System in  
Chao Phraya River Basin

โดย  
รศ.ดร.อารีญา ฤทธิมา และคณะ  
มหาวิทยาลัยมหิดล

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2566  
พ.ศ. 2567

รายงานการวิจัยและนวัตกรรมฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา  
Development of Automated Reservoir Management System in Chao Phraya River Basin

โดย  
รศ.ดร.อารีญา ฤทธิมา และคณะ  
มหาวิทยาลัยมหิดล

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2566  
พ.ศ. 2567

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการอนุมัติทุนอุดหนุนกิจกรรมส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยและนวัตกรรมจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2566 ภายใต้หัวข้อวิจัยเรื่อง “การพัฒนากระบวนการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา” โดยดำเนินการผ่านศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ทางคณะนักวิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานทุกท่านของสำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน กองการจัดการทรัพยากรน้ำ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และสำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเข้าร่วมกิจกรรม CO-RUN สนับสนุนด้านข้อมูลวิจัย รวมทั้งให้ข้อเสนอแนะในการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาเป็นอย่างดี นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำเพื่อปรับแก้รายงานวิจัยให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์

ทางคณะนักวิจัยหวังเป็นอย่างยิ่ง ผลลัพธ์จากงานวิจัยนี้จะได้รับการผลักดันให้เกิดการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ในการบริหารจัดการน้ำของประเทศต่อไป

รองศาสตราจารย์ ดร.อารียา ฤทธิมา  
หัวหน้าโครงการวิจัย

## บทสรุปผู้บริหาร

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาต่อยอดจากการดำเนินงานวิจัยของโครงการวิจัยในแผนงานที่ 3 เรื่อง “การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อเสริมการเพิ่มน้ำต้นทุนของเขื่อนหลักเพื่อการพัฒนาลุ่มน้ำเจ้าพระยา” ภายใต้แผนงานยุทธศาสตร์ของโครงการวิจัยเข้มแข็ง ด้านสังคม การบริหารจัดการน้ำ ประจำปีงบประมาณ 2564 สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ซึ่งบทบาทสำคัญของคณะวิจัยภายใต้โครงการวิจัยเข้มแข็งด้านการบริหารจัดการน้ำนั้น ได้มีการขับเคลื่อนผลการดำเนินงานวิจัยและผลลัพธ์จากงานวิจัยบางส่วนเพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์ผ่านกิจกรรม CO-RUN ในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา โดยในการทดสอบ CO-RUN ได้มีการเชื่อมโยงและส่งต่อข้อมูลผลลัพธ์ในแต่ละโครงการวิจัยย่อยของแผนงานวิจัยที่ 3 มาใช้ในงานบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำเพื่อกำหนดแนวทางการระบายน้ำล่วงหน้าทุกสัปดาห์ ด้วยเหตุนี้ ระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติ (Automated Reservoir Management System) จึงได้ถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นในโครงการวิจัยนี้ โดยระบบสามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติบนเว็บเซิร์ฟเวอร์ ทั้งในส่วนของการนำเข้าข้อมูลส่วนต่าง ๆ การรันโปรแกรมเพื่อประมวลผลผลลัพธ์จากแบบจำลองตามที่ได้ออกแบบและพัฒนาโดยอาศัยเทคโนโลยีด้านประดิษฐ์ไว้จากการดำเนินงานวิจัยที่ผ่านมา รวมถึงการแสดงผลจากแบบจำลองเพื่อรายงานผลและสนับสนุนการตัดสินใจในงานบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำแก่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการกำหนดการระบายน้ำรายวันของ 4 เขื่อนหลักในลุ่มน้ำเจ้าพระยา ได้แก่ เขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ โดยมีเป้าหมายที่จะเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนของเขื่อนหลักในระยะยาว เพื่อตอบสนองความต้องการน้ำในภาคเกษตรกรรมและนอกภาคเกษตรกรรมในบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศ

## บทคัดย่อ

เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) สำหรับงานด้านปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำและการปรับตัวมีชื่อเสียงมากขึ้น เป็นลำดับในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา มีการเน้นย้ำถึงความสำคัญของ AI ว่าเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพที่ช่วยให้สามารถใช้น้ำจากแหล่งน้ำที่มีอยู่ได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ AI ยังช่วยในการตัดสินใจที่ดีขึ้นในหลาย ๆ ด้านสำหรับผู้ปฏิบัติงานซึ่งกำลังเผชิญอยู่กับสถานการณ์น้ำท่วมและภัยแล้งที่รุนแรงได้เป็นอย่างดี งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจแบบอัตโนมัติที่ใช้ AI สำหรับการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบหลายอ่างในลุ่มน้ำเจ้าพระยา โดยมีจุดประสงค์เพื่อส่งมอบเครื่องมือปฏิบัติการที่ทันสมัยสำหรับหน่วยงานปฏิบัติการหลักในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในประเทศไทย ด้วยเหตุนี้ แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming, CP) สำหรับจำลองระบบการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบหลายอ่าง และแบบจำลองการพยากรณ์น้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำด้วยเทคนิคการเรียนรู้แบบเครื่อง (Machine Learning, ML) ได้ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา ทั้งนี้เพื่อกำหนดปริมาณการระบายน้ำที่เหมาะสมของ 4 เขื่อนหลัก ได้แก่ เขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ โดยระบบสามารถประมวลผลและแสดงผลผ่านเว็บเซิร์ฟเวอร์ที่สะดวกและใช้งานได้ง่าย โดยมีข้อมูลนำเข้าหลักในแบบจำลองได้แก่ ข้อมูลอ่างเก็บน้ำ ข้อมูลปริมาณฝนคาดการณ์ ข้อมูลพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ข้อมูลประมาณการ Potential Side Flow และข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการชลประทานที่ทำการประเมินโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม โดยสามารถเข้าถึงข้อมูลได้อย่างอัตโนมัติผ่าน API จากระบบคลังข้อมูลน้ำแห่งชาติ และโครงการวิจัยในแผนงานที่ 3 นอกจากนี้ ระบบยังออกแบบให้ผู้ใช้งานสามารถตั้งค่าสถานการณ์สมมติต่าง ๆ ของแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดได้ เช่น ประเภทของแบบจำลอง เปอร์เซ็นต์ Potential Side Flow ขีดจำกัดสูงสุดของปริมาณน้ำเก็บกัก และรูปแบบของข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำ ซึ่งพีเจอาร์แบบอินเทอร์แอกทีฟนี้ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถวิเคราะห์ผลลัพธ์และความสามารถของระบบได้อย่างชัดเจนแบบเรียลไทม์ อาจกล่าวได้ว่า ระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติที่พัฒนาจากงานวิจัยนี้นับได้ว่าเป็นเครื่องมือที่ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบหลายอ่างในลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่มีประสิทธิภาพจากความสามารถในการแสดงผลข้อมูลประกอบการตัดสินใจที่จะช่วยให้สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ (สทช.) สามารถนำไปใช้ในการกำหนดแผนการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำทั้งระยะสั้นและระยะยาวได้อย่างเหมาะสม ซึ่งจะช่วยเสริมสร้างความมั่นคงด้านน้ำและบรรเทาปัญหาอุทกภัยและภัยแล้งในภูมิภาคในที่สุด

**คำสำคัญ:** ระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติ เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ การเรียนรู้แบบเครื่องแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด ลุ่มน้ำเจ้าพระยา

### Abstract

Artificial Intelligence (AI) technologies for reservoir operation and adaptability have grown in reputation in recent decades. It is emphasized that AI is a powered solution to hold the key to optimizing current water supply sources properly. Moreover, AI can offer enhanced decision-making capabilities in various ways for dam operators facing critical flood and drought situations. This study developed the automated AI-based decision support system for multiple reservoir management in the Chao Phraya River Basin (CPYRB) aiming to deliver modern operative tool for key operational agencies in water resource management in Thailand. The Constraint Programming (CP) model for multiple reservoir operation system in CPYRB and reservoir inflow prediction model using Machine Learning (ML) technique were developed to specify the optimal volume of reservoir releases of 4 main dams namely, Bhumibol (BB), Sirikit (SK), Khwae Noi Bumrung Dan (KNB), and Pasak Cholasite (PS). The main focus of this study was to develop the automated reservoir management system which can be fully processed and visualized their results through a user-friendly web service. The key input data for the model such as reservoir data, predicted rainfall, predicted inflow, estimated potential side flow, and estimated satellite-based water demand was automatically accessed through an API from National Hydroinformatics Data Center, Thailand (NHC) and Research Project (Plan 3). Additionally, the provided CP model's scenario settings empower users to adjust factors like model types, percentage of potential side flow, storage limit, and water demand scenarios. This interactive feature allows users to proactively analyze diverse outcomes and explore the system's capabilities. As a result, the automated reservoir management system can be proven as an effective supportive tool in decision making for real-time multiple reservoir operation in CPYRB. This effectiveness stems from its ability to provide crucial information, allowing the Office of National Water Resource of Thailand (ONWR) to formulate effective short-term and long-term water resource management plans, ultimately strengthening water security against floods and droughts in the region.

**Key Words:** Automated Reservoir Management System, Artificial Intelligence Technology, Machine Learning, Constraint Programming, Chao Phraya River Basin

## สารบัญเรื่อง

เรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	(i)
บทคัดย่อ	(ii)
Abstract	(ii)
บทสรุปผู้บริหาร	(iii)
สารบัญเรื่อง	(iv)
สารบัญตาราง	(v)
สารบัญภาพ	(vi)
คำอธิบายสัญลักษณ์และตัวย่อที่ใช้ในการวิจัย	(vii)
บทที่ 1 บทนำ	1-1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1-1
1.2 วัตถุประสงค์	1-3
1.3 แผนการดำเนินการ	1-3
1.4 ขอบเขตการวิจัย	1-5
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1-5
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	2-1
2.1 หลักปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) ในงานบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ	2-1
2.2 เทคนิคการหาค่าที่ดีที่สุดกับการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ (Optimization Techniques for Reservoir Management)	2-2
2.3 เทคนิคการจำลองระบบกับการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ (Simulation Techniques for Reservoir Management)	2-5
2.4 งานบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำแบบอัจฉริยะ (SMART Dam-Reservoir Operation)	2-6
2.5 เทคนิคการพยากรณ์ข้อมูลทางอุทกวิทยา (Hydrological Prediction Techniques)	2-8
2.6 แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming Model)	2-17
2.7 เครื่องมือใช้งาน	2-19
บทที่ 3 ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย	3-1
3.1 แนวคิด ทฤษฎี และสมมติฐานงานวิจัย	3-1
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	3-2
บทที่ 4 ผลการวิจัย	4-1
4.1 ผลการวิเคราะห์สถานการณ์น้ำและแนวทางการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยา	4-1
4.2 ผลการดำเนินงานกิจกรรม MANUAL CO-RUN	4-13

## สารบัญเรื่อง (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.3 ผลการออกแบบและพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำ เจ้าพระยา	4-41
4.4 การถ่ายทอดผลงานวิจัยกับหน่วยงานผู้ใช้ประโยชน์	4-85
บทที่ 5 อภิปรายและวิจารณ์ผล	5-1
5.1 สรุปผลโครงการวิจัยระยะที่ 1-2 และสรุปผลงานวิจัยในแผนงานวิจัยที่ 3	5-1
5.2 อภิปรายและวิจารณ์ผลการวิเคราะห์สถานการณ์น้ำและแนวทางการบริหาร เขื่อน-อ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยา	5-7
5.3 อภิปรายและวิจารณ์ผลการดำเนินงานกิจกรรม MANUAL CO-RUN	5-8
5.4 อภิปรายและวิจารณ์ผลการออกแบบและพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบ อัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา	5-10
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	6-1
6.1 สรุปผลการวิจัย	6-1
6.2 ข้อเสนอแนะ	6-8
บรรณานุกรม	R-1
ภาคผนวก	A-1
ภาคผนวก A คู่มือการใช้งานระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำ เจ้าพระยา	A-1
ภาคผนวก B ภาพการประชุมกลุ่มย่อยในแผนงานที่ 3 และตัวแทนหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง	A-1
ภาคผนวก A คู่มือการใช้งานระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำ เจ้าพระยา	B-1
ภาคผนวก C สรุปโครงการวิจัย 1 หน้า	C-1
ภาคผนวก D สรุปโครงการวิจัย 5 บรรทัด	D-1
ภาคผนวก E สรุปงานวิจัยในรูปแบบ Info Graphic	E-1
ภาคผนวก F ประเมินผลการวิจัยในการนำไปใช้ประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรม	F-1
ภาคผนวก G รายชื่อคณะนักวิจัย	G-1



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 1-1	แผนการดำเนินงานวิจัย	1-3
ตารางที่ 4-1	ข้อมูลปริมาณน้ำเก็บกักใช้การของ 4 เขื่อนหลัก	4-1
ตารางที่ 4-2	ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างสะสมและปริมาณการระบายน้ำสะสมของ 4 เขื่อนหลัก	4-2
ตารางที่ 4-3	แผนการจัดสรรน้ำและปริมาณการระบายน้ำจริงในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาปี พ.ศ. 2565-2566	4-8
ตารางที่ 4-4	เปรียบเทียบผลการประมาณการความต้องการน้ำชลประทานสุทธิสูงสุด-แผนการจัดสรรน้ำ-ปริมาณการระบายน้ำจริงในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา	4-11
ตารางที่ 4-5	ข้อกำหนด 3 สถานการณ์สมมติของงานวิจัย	4-15
ตารางที่ 4-6	รหัสสถานีตรวจวัดน้ำท่าของเว็บเซอร์วิสของกรมชลประทาน	4-47
ตารางที่ 4-7	ฟิลด์และข้อมูลที่สามารถเข้าถึงได้ของข้อมูล Side Flow	4-47
ตารางที่ 4-8	รหัสเขื่อนของเว็บเซอร์วิสของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยและกรมชลประทาน	4-48
ตารางที่ 4-9	ฟิลด์และข้อมูลที่สามารถเข้าถึงได้ของข้อมูลอ่างเก็บน้ำ	4-48
ตารางที่ 4-10	คำอธิบายข้อมูลของไฟล์ model_status.json	4-59
ตารางที่ 4-11	ผลการทดสอบประสิทธิภาพด้วยเครื่องมือ Lighthouse ของระบบ	4-84
ตารางที่ 6-1	สถานการณ์น้ำของ 4 เขื่อนหลักในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาระหว่างกิจกรรม CO-RUN	6-1
ตารางที่ 6-2	ปริมาณการระบายน้ำเฉลี่ยรายวันของ 4 เขื่อนหลักในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา	6-2
ตารางที่ 6-3	ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนการระบายน้ำของ 4 เขื่อนหลักในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา	6-4
ตารางที่ 6-4	ผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำของ 4 เขื่อนหลักในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา	6-5
ตารางที่ 6-5	ผลผลิตที่ได้รับจากโครงการวิจัย	6-7
ตารางที่ 6-6	หลักเกณฑ์ข้อเสนอแนะในการตั้งค่าการใช้งานแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ	6-12
ตารางที่ 6-7	โครงสร้างของแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดสำหรับใช้ในการตั้งค่าการใช้งานระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา	6-13
ตารางที่ 6-8	ข้อกำหนดของรูปแบบข้อมูลความต้องการน้ำสำหรับใช้ในการตั้งค่าการใช้งานระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา	6-14
ตารางที่ 6-9	หลักเกณฑ์ข้อเสนอแนะในการกำหนดรูปแบบของแบบจำลองการโปรแกรมข้อจำกัดสำหรับใช้ในการตั้งค่าการใช้งานระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา	6-15
ตารางที่ 6-10	หลักเกณฑ์ข้อเสนอแนะในการกำหนดรูปแบบของข้อมูลความต้องการน้ำสำหรับใช้ในการตั้งค่าการใช้งานระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา	6-15

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ 1-1	การเชื่อมโยงข้อมูลผลลัพธ์จากโครงการวิจัยในแผนงานที่ 3 ของผลงานวิจัย ระยะที่ 2	1-3
ภาพที่ 2-1	กรอบความเชื่อมโยงการใช้แบบจำลองต่าง ๆ และโครงข่ายการนำเสนอผลผ่าน เว็บไซต์	2-7
ภาพที่ 2-2	ความสัมพันธ์ระหว่างปัญญาประดิษฐ์ การเรียนรู้แบบเครื่อง และการเรียนรู้เชิงลึก	2-9
ภาพที่ 2-3	โครงสร้างของระบบโครงข่ายประสาทเทียม	2-10
ภาพที่ 2-4	รูปแบบโครงสร้างของ ANFIS สำหรับโมเดล Fuzzy Sugeno แบบสองอินพุตที่มี กฎสี่ข้อ	2-12
ภาพที่ 2-5	โครงสร้างแบบจำลองของ XGBoost	2-14
ภาพที่ 2-6	ขั้นตอนในการตัดแต่งกิ่งต้นไม้โดยใช้ค่า Gain	2-15
ภาพที่ 2-7	โครงสร้างของโครงข่ายประสาท Long Short-Term Memory (LSTM)	2-16
ภาพที่ 2-8	การทำงานของเว็บแอปพลิเคชัน	2-20
ภาพที่ 3-1	โครงสร้างการทำงานระหว่างโมดูลคอมพิวเตอร์ของระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำ แบบอัตโนมัติ	3-4
ภาพที่ 4-1	ปริมาณน้ำไหลเข้าและปริมาณการระบายน้ำรายวันของเขื่อนภูมิพลในปี พ.ศ. 2566	4-3
ภาพที่ 4-2	ปริมาณน้ำไหลเข้าและปริมาณการระบายน้ำรายวันของเขื่อนสิริกิติ์ในปี พ.ศ. 2566	4-4
ภาพที่ 4-3	ปริมาณน้ำไหลเข้าและปริมาณการระบายน้ำรายวันของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน ในปี พ.ศ. 2566	4-4
ภาพที่ 4-4	ปริมาณน้ำไหลเข้าและปริมาณการระบายน้ำรายวันของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ในปี พ.ศ. 2566	4-4
ภาพที่ 4-5	ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายเดือนของเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์ในปี พ.ศ. 2566	4-6
ภาพที่ 4-6	ปริมาณการระบายน้ำรายเดือนของเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์ในปี พ.ศ. 2566	4-6
ภาพที่ 4-7	ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายเดือนของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนและเขื่อนป่า สักชลสิทธิ์	4-7
ภาพที่ 4-8	ปริมาณการระบายน้ำรายเดือนของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนและเขื่อนป่าสักชล สิทธิ์	4-7
ภาพที่ 4-9	แผนการระบายน้ำและการระบายน้ำจริงของเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์ปี พ.ศ. 2566	4-9
ภาพที่ 4-10	แผนการระบายน้ำและการระบายน้ำจริงของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนปี พ.ศ. 2566	4-10
ภาพที่ 4-11	แผนการระบายน้ำและการระบายน้ำจริงของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ปี พ.ศ. 2566	4-10

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ 4-12	เปรียบเทียบผลการประมาณการ NIR-แผนการจัดสรรน้ำ-ปริมาณการระบายน้ำจริง	4-12
ภาพที่ 4-13	เปรียบเทียบผลการประมาณการ NIR-แผนการจัดสรรน้ำ-ปริมาณการระบายน้ำจริงระหว่างปี พ.ศ. 2544-2566	4-12
ภาพที่ 4-14	ปริมาณฝนพยากรณ์ล่วงหน้ารายสัปดาห์ใน 4 ลุ่มน้ำหลักเหนือเขื่อนภูมิพลและสิริกิติ์ระหว่างวันที่ 1/4/2566-30/6/2566	4-13
ภาพที่ 4-15	ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยากรณ์ล่วงหน้าของเขื่อนภูมิพลระหว่างวันที่ 1/5/2566-26/6/2566	4-14
ภาพที่ 4-16	ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยากรณ์ล่วงหน้าของเขื่อนสิริกิติ์ระหว่างวันที่ 1/5/2566-26/6/2566	4-14
ภาพที่ 4-17	ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยากรณ์ล่วงหน้าของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนระหว่างวันที่ 1/5/2566-26/6/2566	4-14
ภาพที่ 4-18	ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยากรณ์ล่วงหน้าของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ระหว่างวันที่ 1/5/2566-26/6/2566	4-15
ภาพที่ 4-19	ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนภูมิพลระหว่างวันที่ 1/1/2566-5/6/2566 จากแบบจำลอง CP_S1	4-16
ภาพที่ 4-20	ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนสิริกิติ์ระหว่างวันที่ 1/1/2566-5/6/2566 จากแบบจำลอง CP_S1	4-16
ภาพที่ 4-21	ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนระหว่างวันที่ 1/1/2566-5/6/2566 จากแบบจำลอง CP_S1	4-17
ภาพที่ 4-22	ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ระหว่างวันที่ 1/1/2566-5/6/2566 จากแบบจำลอง CP_S1	4-17
ภาพที่ 4-23	ปริมาณฝนพยากรณ์รายลุ่มน้ำเหนือเขื่อนหลักรายสัปดาห์ระหว่างวันที่ 1/4/2566-16/7/2566 และพยากรณ์ล่วงหน้าระหว่างวันที่ 2/7/2566-16/7/2566 ด้วยแบบจำลอง BC_CFSV2	4-18
ภาพที่ 4-24	ปริมาณฝนตรวจวัดรายลุ่มน้ำเหนือเขื่อนรายสัปดาห์ระหว่างวันที่ 1/4/2566-1/7/2566 จากคลังข้อมูลน้ำแห่งชาติ	4-19
ภาพที่ 4-25	ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยากรณ์ล่วงหน้าของเขื่อนภูมิพลระหว่างวันที่ 1/5/2566-16/7/2566	4-19
ภาพที่ 4-26	ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยากรณ์ล่วงหน้าของเขื่อนสิริกิติ์ระหว่างวันที่ 1/5/2566-16/7/2566	4-20
ภาพที่ 4-27	ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยากรณ์ล่วงหน้าของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนระหว่างวันที่ 1/5/2566-16/7/2566	4-20

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ 4-28	ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพวยการณล่งหน้าของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ระหว่างวันที่ 1/5/2566-26/6/2566	4-20
ภาพที่ 4-29	ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนภูมิพลระหว่างวันที่ 1/1/2566-9/7/2566 จากแบบจำลอง CP_S1	4-21
ภาพที่ 4-30	ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนสิริกิติ์ระหว่างวันที่ 1/1/2566-9/7/2566 จากแบบจำลอง CP_S1	4-22
ภาพที่ 4-31	ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนระหว่างวันที่ 1/1/2566-9/7/2566 จากแบบจำลอง CP_S1	4-22
ภาพที่ 4-32	ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ระหว่างวันที่ 1/1/2566-9/7/2566 จากแบบจำลอง CP_S1	4-23
ภาพที่ 4-33	ปริมาณฝนพวยการณรากลุ่มน้ำเหนือเขื่อนหลักรายสัปดาห์ระหว่างวันที่ 1/4/2566-25/7/2566 และพวยการณล่งหน้าระหว่างวันที่ 26/7/2566-6/8/2566 ด้วยแบบจำลอง BC_CFSV2	4-24
ภาพที่ 4-34	ปริมาณฝนตรวจวัดรากลุ่มน้ำเหนือเขื่อนรายสัปดาห์ระหว่างวันที่ 1/4/2566-25/7/2566 จากคลังข้อมูลน้ำแห่งชาติ	4-25
ภาพที่ 4-35	ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพวยการณล่งหน้าของเขื่อนภูมิพลระหว่างวันที่ 1/5/2566-23/8/2566	4-25
ภาพที่ 4-36	ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพวยการณล่งหน้าของเขื่อนสิริกิติ์ระหว่างวันที่ 1/5/2566-23/8/2566	4-26
ภาพที่ 4-37	ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพวยการณล่งหน้าของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนระหว่างวันที่ 1/5/2566-23/8/2566	4-26
ภาพที่ 4-38	ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพวยการณล่งหน้าของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ระหว่างวันที่ 1/5/2566-23/8/2566	4-26
ภาพที่ 4-39	ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนภูมิพลระหว่างวันที่ 1/1/2566-13/8/2566 จากแบบจำลอง CP_S1	4-27
ภาพที่ 4-40	ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนสิริกิติ์ระหว่างวันที่ 1/1/2566-13/8/2566 จากแบบจำลอง CP_S1	4-28
ภาพที่ 4-41	ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนระหว่างวันที่ 1/1/2566-13/8/2566 จากแบบจำลอง CP_S1	4-28
ภาพที่ 4-42	ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ระหว่างวันที่ 1/1/2566-13/8/2566 จากแบบจำลอง CP_S1	4-29
ภาพที่ 4-43	ปริมาณฝนพวยการณรากลุ่มน้ำเหนือเขื่อนหลักรายสัปดาห์ระหว่างวันที่ 1/4/2566-29/8/2566 และพวยการณล่งหน้าระหว่างวันที่ 26/7/2566-13/9/2566 ด้วยแบบจำลอง BC_CFSV2	4-30

### สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ 4-44	ปริมาณฝนตรวจวัดรายลุ่มน้ำเหนือเขื่อนรายสัปดาห์ระหว่างวันที่ 1/4/2566-29/8/2566 จากคลังข้อมูลน้ำแห่งชาติ	4-31
ภาพที่ 4-45	ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยากร์ล่องหน้าของเขื่อนภูมิพลระหว่างวันที่ 1/5/2566-17/9/2566	4-31
ภาพที่ 4-46	ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยากร์ล่องหน้าของเขื่อนสิริกิติ์ระหว่างวันที่ 1/5/2566-17/9/2566	4-32
ภาพที่ 4-47	ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยากร์ล่องหน้าของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนระหว่างวันที่ 1/5/2566-17/9/2566	4-32
ภาพที่ 4-48	ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยากร์ล่องหน้าของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ระหว่างวันที่ 1/5/2566-17/9/2566	4-32
ภาพที่ 4-49	ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนภูมิพลระหว่างวันที่ 1/1/2566-13/9/2566 จากแบบจำลอง CP_S1	4-33
ภาพที่ 4-50	ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนสิริกิติ์ระหว่างวันที่ 1/1/2566-13/9/2566 จากแบบจำลอง CP_S1	4-34
ภาพที่ 4-51	ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนระหว่างวันที่ 1/1/2566-13/9/2566 จากแบบจำลอง CP_S1	4-34
ภาพที่ 4-52	ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ระหว่างวันที่ 1/1/2566-13/9/2566 จากแบบจำลอง CP_S1	4-35
ภาพที่ 4-53	ปริมาณฝนพยากร์รายลุ่มน้ำเหนือเขื่อนหลักรายสัปดาห์ระหว่างวันที่ 1/4/2566-15/11/2566 และพยากร์ล่องหน้าระหว่างวันที่ 16/11/2566-18/12/2566 ด้วยแบบจำลอง BC_CFSV2	4-36
ภาพที่ 4-54	ปริมาณฝนตรวจวัดรายลุ่มน้ำเหนือเขื่อนรายสัปดาห์ระหว่างวันที่ 1/4/2566-15/11/2566 จากคลังข้อมูลน้ำแห่งชาติ	4-37
ภาพที่ 4-55	ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยากร์ล่องหน้าของเขื่อนภูมิพลระหว่างวันที่ 1/5/2566-2/12/2566	4-37
ภาพที่ 4-56	ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยากร์ล่องหน้าของเขื่อนสิริกิติ์ระหว่างวันที่ 1/5/2566-2/12/2566	4-38
ภาพที่ 4-57	ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยากร์ล่องหน้าของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนระหว่างวันที่ 1/5/2566-2/12/2566	4-38
ภาพที่ 4-58	ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยากร์ล่องหน้าของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ระหว่างวันที่ 1/5/2566-2/12/2566	4-38
ภาพที่ 4-59	ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนภูมิพลระหว่างวันที่ 1/1/2566-16/11/2566 จากแบบจำลอง CP_S1	4-39

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ 4-60	ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนสิริกิติ์ระหว่างวันที่ 1/1/2566-16/11/2566 จากแบบจำลอง CP_S1	4-40
ภาพที่ 4-61	ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนระหว่างวันที่ 1/1/2566-16/11/2566 จากแบบจำลอง CP_S1	4-40
ภาพที่ 4-62	ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ระหว่างวันที่ 1/1/2566-16/11/2566 จากแบบจำลอง CP_S1	4-41
ภาพที่ 4-63	การเข้าถึงข้อมูลจากฐานข้อมูลคลังข้อมูลน้ำแห่งชาติผ่าน API	4-42
ภาพที่ 4-64	การเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างโครงการวิจัยภายใต้แผนงานที่ 3	4-43
ภาพที่ 4-65	สถาปัตยกรรมระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา	4-44
ภาพที่ 4-66	โครงสร้างของระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา	4-44
ภาพที่ 4-67	ตัวอย่างข้อมูลจากโมดูล Rainfall Data Acquisition	4-50
ภาพที่ 4-68	โครงสร้างตารางข้อมูล OBS_Rainfall	4-50
ภาพที่ 4-69	ตัวอย่างข้อมูลจากโมดูล Demand Data Acquisition	4-51
ภาพที่ 4-70	โครงสร้างตารางข้อมูล Demand	4-51
ภาพที่ 4-71	ตัวอย่างข้อมูลจากโมดูล Side Flow Data Acquisition	4-52
ภาพที่ 4-72	โครงสร้างตารางข้อมูล Side Flow	4-53
ภาพที่ 4-73	ตัวอย่างข้อมูล Side Flow จากกรมชลประทาน	4-53
ภาพที่ 4-74	ตัวอย่างข้อมูลอ่างเก็บน้ำจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	4-55
ภาพที่ 4-75	ตัวอย่างข้อมูลอ่างเก็บน้ำจากกรมชลประทาน	4-56
ภาพที่ 4-76	โครงสร้างตารางข้อมูล OBS_Inflow	4-56
ภาพที่ 4-77	โครงสร้างตารางข้อมูล OBS_Release	4-57
ภาพที่ 4-78	โครงสร้างตารางข้อมูล OBS_Storage	4-57
ภาพที่ 4-79	ตัวอย่างผลลัพธ์การดึงข้อมูลและปรับรูปแบบข้อมูลของเขื่อนภูมิพล	4-58
ภาพที่ 4-80	ภาพรวมการทำงานของโมดูล Model Training/Re-training	4-58
ภาพที่ 4-81	ภาพรวมการทำงานของโมดูล Inflow Prediction	4-60
ภาพที่ 4-82	การดึงข้อมูลจากพารามิเตอร์	4-61
ภาพที่ 4-83	การเปลี่ยนแปลงรูปแบบวันที่เริ่มต้นและสิ้นสุดในการหาค่าปริมาณการระบายน้ำ	4-62
ภาพที่ 4-84	ตัวอย่างข้อมูลสถานะของไฟล์ optimization_status.json	4-63
ภาพที่ 4-85	การดึงข้อมูลปริมาณน้ำเก็บกัก ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ปริมาณ Side Flow และปริมาณความต้องการน้ำ	4-65
ภาพที่ 4-86	แบบจำลองสำหรับการหาสัดส่วนความต้องการน้ำที่แต่ละเขื่อนต้องรับผิตชอบ	4-65
ภาพที่ 4-87	แบบจำลองสำหรับการหาปริมาณการระบายน้ำที่เหมาะสม	4-66
ภาพที่ 4-88	ตัวอย่างข้อมูลที่ส่งออกมาจากเว็บเซอร์วิส	4-67
ภาพที่ 4-89	ข้อมูลสถานะ	4-67

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ 4-90	โครงสร้างระบบแสดงข้อมูล Visualization ของระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา	4-69
ภาพที่ 4-91	Wireframe ของหน้าจอและเมนูข้างในระบบแสดงข้อมูล Visualization	4-69
ภาพที่ 4-92	Wireframe ของส่วนแสดงข้อมูล Visualization	4-70
ภาพที่ 4-93	โครงสร้างโมดูลในการแสดงผลของหน้าเว็บ	4-71
ภาพที่ 4-94	โมดูลหลักสำหรับการติดต่อดึงข้อมูลผ่าน REST APIs และฟังก์ชันใช้งานที่ใช้ร่วมกัน	4-71
ภาพที่ 4-95	ภาพรวมของโมดูลทั้งหมดในระบบแสดงผล Visualization	4-71
ภาพที่ 4-96	หน้าแรกของเว็บ Home	4-72
ภาพที่ 4-97	หน้าแสดงผลข้อมูล Inflow	4-73
ภาพที่ 4-98	หน้าแสดงหน้าจอ Retrain	4-73
ภาพที่ 4-99	หน้าแสดงผล Release และการใช้เมนู drop-down เพื่อเลือกรูปแบบการทำงานของเครื่องมือ	4-74
ภาพที่ 4-100	หน้าแสดงผลเครื่องมือ Release	4-76
ภาพที่ 4-101	หน้าแสดงผลข้อมูล Reservoir	4-77
ภาพที่ 4-102	หน้าแสดงผลข้อมูล Demand	4-78
ภาพที่ 4-103	หน้าแสดงผลข้อมูล Side Flow	4-78
ภาพที่ 4-104	หน้าแสดงผลข้อมูล Rainfall	4-79
ภาพที่ 4-105	ตัวอย่างของผลการทดสอบหน้าแรกของเว็บ หรือ Home ด้วยเครื่องมือ Lighthouse	4-80
ภาพที่ 4-106	การทดสอบหน้า Inflow Prediction ด้วยเครื่องมือ Lighthouse	4-80
ภาพที่ 4-107	การทดสอบหน้า Release Optimization ด้วยเครื่องมือ Lighthouse	4-81
ภาพที่ 4-108	การทดสอบหน้า Reservoir ด้วยเครื่องมือ Lighthouse	4-81
ภาพที่ 4-109	การทดสอบหน้า Rainfall ด้วยเครื่องมือ Lighthouse	4-82
ภาพที่ 4-110	การทดสอบหน้า Side Flow ด้วยเครื่องมือ Lighthouse	4-82
ภาพที่ 4-111	การทดสอบหน้า Demand ด้วยเครื่องมือ Lighthouse	4-83
ภาพที่ 4-112	การทดสอบหน้า Our Team ด้วยเครื่องมือ Lighthouse	4-83
ภาพที่ 4-113	การทดสอบหน้า System Information ด้วยเครื่องมือ Lighthouse	4-84
ภาพที่ 5-1	แนวคิดของการประมาณการปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม	5-5
ภาพที่ 5-2	โครงสร้างการทำงานของแบบจำลอง DWCM-AgWU	5-6
ภาพที่ 6-1	ระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา	6-7
ภาพที่ 6-2	การทำงานของอัลกอริทึม XGBoost ในการพยากรณ์	6-9

### คำอธิบายสัญลักษณ์และตัวย่อที่ใช้ในการวิจัย

CPY	=	ลุ่มน้ำเจ้าพระยา (Chao Phraya River Basin)
BB	=	เขื่อนภูมิพล (Bhumibol Dam)
SK	=	เขื่อนสิริกิติ์ (Sirikit Dam)
KNB	=	เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน (Khwae Noi Bumrung Dan Dam)
PS	=	เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ (Pasak Cholasite Dam)
RID	=	กรมชลประทาน (Royal Irrigation Department)
EGAT	=	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (Electricity Generating Authority of Thailand)
TMD	=	กรมอุตุนิยมวิทยา (Thai Meteorological Department)
ONWR	=	สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ (Office of The National Water Resources)
ML	=	การเรียนรู้แบบเครื่อง (Machine Learning)
XGBoost	=	อัลกอริทึม Extreme Gradient Boosting
LSTM	=	อัลกอริทึม Long Short-Term Memory
CP	=	การโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming)



## บทที่ 1 บทนำ

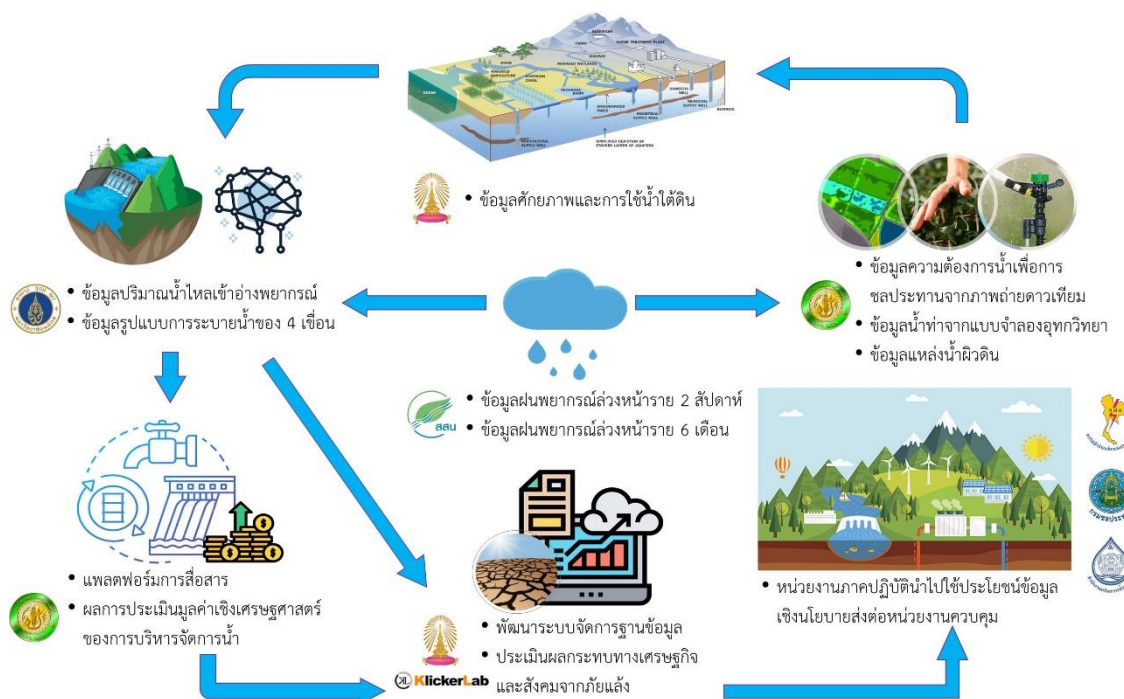
### 1.1 ความเป็นมาของโครงการ

ในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2559–2560 เป็นช่วงที่ประเทศไทยได้ก้าวเข้าสู่การบริหารจัดการน้ำตามนโยบายการพัฒนาประเทศไทย 4.0 หรือยุค “Water Intelligence System” โดยรัฐบาลได้ให้ความสำคัญกับภาคการเกษตรกรรมในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศที่มุ่งเน้นการบริหารจัดการด้วยเทคโนโลยี การพัฒนาเครื่องมือหรือนวัตกรรม หรือแพลตฟอร์มที่ทันสมัย เพื่อช่วยสนับสนุนงานด้านการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำเพื่อแก้ปัญหาวิกฤตน้ำทั้งจากอุทกภัยและภัยแล้ง และการบริหารจัดการด้านเกษตรกรรมที่ให้ผลตอบแทนคุ้มค่าบนพื้นฐานของการใช้ทรัพยากรที่จำเป็นให้น้อยที่สุด อย่างไรก็ตาม การบริหารจัดการน้ำของไทยยังประสบปัญหา เนื่องจากความไม่สมดุลระหว่างปริมาณน้ำต้นทุนที่มีความไม่แน่นอน ทั้งจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ และปริมาณความต้องการน้ำที่เพิ่มสูงขึ้นทั้งในภาคเกษตรกรรมและนอกภาคเกษตรกรรม และการวางแผนรับมือและการปรับตัวกับสถานการณ์ดังกล่าวจึงยังไม่เห็นเป็นรูปธรรมอย่างชัดเจน (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, 2561) ในช่วงปี พ.ศ. 2563 ที่ผ่านมา ต้นแบบการเกษตรกรรมอัจฉริยะ หรือที่เรียกว่า SMART Agriculture ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาในหลากหลายแพลตฟอร์ม ไม่ว่าจะเป็น การแสดงผลผ่านแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ หรือผ่านเว็บเบราว์เซอร์บนคอมพิวเตอร์ที่สามารถให้บริการข้อมูลแก่กลุ่มผู้ใช้งานเป้าหมายทั้งเกษตรกร และเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติการ อาจกล่าวได้ว่า ระบบการชลประทานอัจฉริยะ (SMART Irrigation System) เป็นส่วนที่สำคัญของงานพัฒนาการเกษตรกรรมอัจฉริยะ เนื่องจากการให้น้ำชลประทานถือเป็นปัจจัยนำเข้าหลักของกิจกรรมการเพาะปลูกพืชที่ส่งผลต่อผลผลิตพืชที่ได้

สำหรับโครงการวิจัยเรื่อง “การพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา” นี้ได้พัฒนาต่อยอดจากโครงการวิจัยระยะที่ 1 และระยะที่ 2 ซึ่งได้ดำเนินการแล้วเสร็จภายใต้แผนงานที่ 3 เรื่อง “การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อเสริมการเพิ่มน้ำต้นทุนของเขื่อนหลักเพื่อการพัฒนาลุ่มน้ำเจ้าพระยา” แผนงานยุทธศาสตร์ของโครงการวิจัยเข้มแข็ง ด้านสังคม การบริหารจัดการน้ำ สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) โดยมีเป้าประสงค์ที่จะผลักดันผลงานวิจัยที่ผ่านมาให้เกิดนวัตกรรมการบริหารจัดการน้ำจากอ่างเก็บน้ำอัตโนมัติตามนโยบายการพัฒนาประเทศในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาซึ่งเป็นลุ่มน้ำที่มีความสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจทั้งในภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมของประเทศ โดยนำเสนอแนวคิดการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำอัตโนมัติ (Automated Reservoir Management System) ในลักษณะของปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำร่วมกันแบบหลายอ่าง (Multiple Reservoir Re-operation System) รูปแบบใหม่อย่างเป็นระบบโดยอาศัยเทคโนโลยีด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) ในการบริหารจัดการเขื่อน-อ่างเก็บน้ำเพื่อการแก้ปัญหาอุทกภัยและภัยแล้งทั้งในระยะสั้นและระยะยาวในลุ่มน้ำเจ้าพระยา ยิ่งไปกว่านั้น โครงการวิจัยนี้ยังนับเป็นการพัฒนางานวิจัยให้สอดคล้องกับแผนแม่บทการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ 20 ปี (พ.ศ. 2561–2580) ในด้านการสร้างความมั่นคงของน้ำในภาคการผลิตภายใต้ยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2561–2580) และเป็น การเสริมสร้างความมั่นคงด้านทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาผ่านแนวคิดการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำอัตโนมัติด้วยเทคนิคปัญญาประดิษฐ์ เพื่อเพิ่มศักยภาพของน้ำต้นทุนและบรรเทาปัญหาอุทกภัยและภัยแล้งในอนาคต

สำหรับบทสรุปผลการวิจัยในระยะที่ 1 และระยะที่ 2 ที่ผ่านมา คณะนักวิจัยได้มีการออกแบบและ พัฒนาแบบจำลองการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำโดยอาศัยเทคโนโลยีด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่มาช่วยในการบริหารเขื่อนเพื่อเพิ่มศักยภาพของน้ำต้นทุน ระยะ

ยาวของเขื่อนภูมิพล (โครงการวิจัยระยะที่ 1) และขยายผลครอบคลุม 4 เขื่อนหลักในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา ได้แก่ เขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ (โครงการวิจัยระยะที่ 2) และได้มีการทดสอบการใช้งานของชุดเทคโนโลยีดำเนินการผ่านกิจกรรม CO-RUN ในช่วงเหตุการณ์พายุเตี้ยนหมู่ ปลายปี พ.ศ. 2564 (ระหว่างวันที่ 1 สิงหาคม พ.ศ. 2564 ถึงวันที่ 2 ธันวาคม พ.ศ. 2564) ที่มีการเชื่อมโยงข้อมูลผลลัพธ์จากโครงการวิจัยในแผนงานที่ 3 ซึ่งได้บูรณาการการดำเนินงานวิจัยตามกรอบการดำเนินงานดังรูปที่ 1 โดยได้มีการส่งต่อข้อมูลฝนพยากรณ์รายวันล่วงหน้าราย 2 สัปดาห์จากสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้แบบจำลอง BC-CFSV2 และข้อมูลน้ำท่าคาดการณ์ล่วงหน้า 7 วันซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง Distributed Water Circulation Model incorporating Agricultural Water Use (DWCM-AgWU) ที่พัฒนาขึ้นโดยทีมวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนเพื่อใช้จำลองสภาพน้ำฝน-น้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่างสำหรับใช้ประเมินศักยภาพของปริมาณน้ำท่า Side Flow ที่สถานีตรวจวัดหลักทางด้านท้ายเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ และเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน เพื่อนำมาเป็นข้อมูลพิจารณาปรับลดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนลงและเก็บกักน้ำส่วนนี้ไว้ในเขื่อนหลัก หากศักยภาพของข้อมูลน้ำท่า (Potential Side Flow) ทางด้านท้ายเขื่อนมีปริมาณเพียงพอ รวมทั้งรูปแบบของข้อมูลความต้องการน้ำในพื้นที่โครงการชลประทานที่ประมาณการโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม และปริมาณความต้องการน้ำนอกภาคเกษตรกรรมที่แนะนำโดยทีมวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ซึ่งพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ของศักยภาพของแหล่งน้ำผิวดินทั้งขนาดกลางและขนาดเล็ก และศักยภาพของแหล่งน้ำใต้ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา ทั้งนี้ ข้อมูลฝนพยากรณ์ถูกกำหนดให้เป็นข้อมูลนำเข้าไปในแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำล่วงหน้า ที่พัฒนาขึ้นด้วยเทคนิคการเรียนรู้แบบเครื่อง (Machine Learning) โดยทีมวิจัยมหาวิทยาลัยมหิดล และส่งต่อข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจากผลการพยากรณ์ และข้อมูลน้ำท่าคาดการณ์ล่วงหน้า 7 วันของสถานีหลักทางด้านท้ายเขื่อน รวมทั้งรูปแบบของข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำที่แนะนำสำหรับใช้เป็นตัวแปรนำเข้าไปเพื่อกำหนดการระบายน้ำล่วงหน้าด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming Model, CP) ทั้งนี้ผลการพยากรณ์ในช่วงสถานการณ์วิกฤตน้ำท่วมจากแบบจำลองทำให้ทราบถึงแนวโน้มของข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำของ 4 เขื่อนหลักที่มีความสอดคล้องกับข้อมูลจริง หรืออาจกล่าวได้ว่า ผลลัพธ์จากแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่พัฒนาขึ้นด้วยเทคนิคการเรียนรู้แบบเครื่องและมีการปรับพารามิเตอร์ของแบบจำลองอย่างต่อเนื่องเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการวางแผนและปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยา อีกทั้ง ผลการกำหนดปริมาณการระบายน้ำล่วงหน้าด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดโดยอาศัยข้อมูลพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนและข้อมูลปริมาณ Sideflow ล่วงหน้ายังช่วยแนะนำแนวทางการระบายน้ำซึ่งนับเป็นข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงสถานการณ์น้ำวิกฤตดังกล่าว



รูปที่ 1-1 การเชื่อมโยงข้อมูลผลลัพธ์จากโครงการวิจัยในแผนงานที่ 3 ของผลงานวิจัยระยะที่ 2

### 1.2 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยมีดังนี้

- (1) ปรับปรุงระบบการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาผ่านกิจกรรม CO-RUN โดยอาศัยข้อมูลจริงปัจจุบัน (Real Time Operation)
- (2) พัฒนาระบบเชื่อมโยงสารสนเทศเพื่อการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติ (Automated Reservoir Management System) ในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา
- (3) จัดกิจกรรมเพื่อถ่ายทอดผลงานวิจัยกับหน่วยงานผู้ใช้ประโยชน์
- (4) จัดทำข้อเสนอแนะในการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาเพื่อมุ่งเน้นการเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนในระบบ

### 1.3 แผนการดำเนินการ

แผนการดำเนินงานวิจัยครอบคลุมระยะเวลา 9 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2566-วันที่ 31 มกราคม พ.ศ. 2567 ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1-1

ตารางที่ 1-1 แผนการดำเนินงานวิจัย

แผนการดำเนินงาน รายการกิจกรรม	ช่วงเวลาดำเนินการวิจัย 17 ก.พ. 2565-16 ก.พ. 2566			ผลการ ดำเนินงาน	ร้อยละ ผลสำเร็จ
	เดือนที่				
	1-3	4-6	6-9		
1. การปรับปรุงระบบการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาผ่านกิจกรรม CO-RUN โดยอาศัยข้อมูลจริงปัจจุบัน (Real Time				20%	20%

แผนการดำเนินงาน รายการกิจกรรม	ช่วงเวลาดำเนินการวิจัย 17 ก.พ. 2565-16 ก.พ. 2566			ผลการ ดำเนิน งาน	ร้อยละ ผลสำเร็จ
	เดือนที่				
	1-3	4-6	6-9		
Operation) ทั้งในสถานการณ์ปกติ และพิบัติภัย					
1.1 การตรวจพิสูจน์ความถูกต้องของ แบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณ น้ำไหลเข้าอ่างล่องหน้า (Model Validation for Reservoir Inflow Prediction)					
1.2 การตรวจพิสูจน์ความถูกต้องของ แบบจำลองการโปรแกรมแบบ ข้อจำกัด (Constraint Programming)					
1.3 การจัดกิจกรรม CO-RUN เพื่อ ปรับปรุงระบบการบริหารเขื่อน- อ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยา					
2. การพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บ น้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา				60%	60%
2.1 การจัดประชุมเพื่อรับทราบความ ต้องการของผู้ใช้งานกลุ่มต่าง ๆ ในการออกแบบและพัฒนาระบบ การจัดการอ่างเก็บน้ำแบบ อัตโนมัติ					
2.2 การพัฒนาโมดูลทางคอมพิวเตอร์ เพื่อเชื่อมต่อเข้ากับเว็บเซอร์วิส (APIs) ในการดึงข้อมูลจาก แหล่งข้อมูล (Data Acquisition Module)					
2.3 การพัฒนาโมดูลทางคอมพิวเตอร์ เพื่อการเปลี่ยนแปลงและปรับ ข้อมูลให้เหมาะกับข้อมูลนำเข้า ของแบบจำลองการพยากรณ์ ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง และการ หาค่าที่ดีที่สุดด้วยแบบจำลองการ โปรแกรมแบบข้อจำกัด (Data Preparation Module)					
2.4 การพัฒนาโมดูลทางคอมพิวเตอร์ สำหรับการพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ ไหลเข้าอ่างด้วยแบบจำลอง ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) และเทคนิคการ					

แผนการดำเนินงาน รายการกิจกรรม	ช่วงเวลาดำเนินการวิจัย 17 ก.พ. 2565–16 ก.พ. 2566			ผลการ ดำเนิน งาน	ร้อยละ ผลสำเร็จ
	เดือนที่				
	1-3	4-6	6-9		
เรียนรู้แบบเครื่อง (Machine Learning)					
รวม				100.00	100.00

หมายเหตุ:   หมายถึง งานหรือกิจกรรมที่วางแผนไว้ว่าจะทำตามข้อเสนอโครงการ  
  หมายถึง งานหรือกิจกรรมที่ได้ทำแล้ว

#### 1.4 ขอบเขตการวิจัย

โครงการวิจัยนี้จะประยุกต์แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming, CP) และแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำด้วยเทคนิคการเรียนรู้แบบเครื่อง (Machine Learning, ML) ที่ได้รับการพัฒนาจากผลการวิจัยปีที่ 2 สำหรับใช้ในการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา ทั้งนี้เพื่อกำหนดรูปแบบการระบายน้ำรายวันของ 4 เขื่อนหลัก ได้แก่ (1) เขื่อนภูมิพล (2) เขื่อนสิริกิติ์ (3) เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และ (4) เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ ที่มีกรนำเข้าข้อมูลจากหน่วยงานต่าง ๆ ประมวลผล และแสดงผลลัพธ์บนเว็บแอปพลิเคชันแบบอัตโนมัติ โดยมีรายละเอียดของขอบเขตการดำเนินงานวิจัยดังนี้

- (1) ปรับปรุงระบบการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาผ่านกิจกรรม CO-RUN โดยอาศัยข้อมูลจริงปัจจุบัน (Real Time Operation) ทั้งในสถานการณ์ปกติและพิบัติภัย
- (2) พัฒนาระบบเชื่อมโยงสารสนเทศทั้งข้อมูลอุทกวิทยาอ่างเก็บน้ำและข้อมูลน้ำผิวดินในพื้นที่ราบภาคกลางเพื่อการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา และแสดงผลลัพธ์บนเว็บแอปพลิเคชันเพื่อรายงานผลให้สาธารณชนรับทราบ
- (3) จัดกิจกรรมเพื่อถ่ายทอดผลงานวิจัยกับหน่วยงานผู้ใช้ประโยชน์ในรูปแบบของการฝึกอบรม และ/หรือการจัดประชุม โดยครอบคลุมทั้งผู้ปฏิบัติงานเขื่อนในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา และตัวแทนผู้ปฏิบัติงานเขื่อนในพื้นที่ลุ่มน้ำอื่น ๆ ของประเทศ
- (4) จัดทำคู่มือข้อเสนอแนะในการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาเพื่อมุ่งเน้นการเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนในระบบ

#### 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

โครงการวิจัยนี้นับได้ว่าเป็นการยกระดับการพัฒนางานวิจัยของประเทศไทย ด้วยการบูรณาการองค์ความรู้ด้านวิศวกรรมทรัพยากรน้ำและเทคโนโลยีสารสนเทศมาพัฒนาต้นแบบนวัตกรรมในการจัดการเขื่อน-อ่างเก็บน้ำอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา โดยการดำเนินงานวิจัยในปีที่ 3 เป็นการสร้างความร่วมมือระหว่างคณะนักวิจัยและเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องผ่านกิจกรรมการดำเนินงานวิจัยในรูปแบบการประชุมกลุ่มย่อย เพื่อเป็นการเพิ่มช่องทางการสื่อสาร แลกเปลี่ยนข้อมูลและข้อคิดเห็นในลักษณะ 2 ทาง และผลักดันให้เกิดการนำผลลัพธ์จากงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ และบรรลุผลสัมฤทธิ์ตามเป้าหมายของโครงการวิจัย ซึ่งคาดว่าจะส่งผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงานในหน่วยงานภาครัฐในสายงานบริหารจัดการทรัพยากรน้ำทั้งในหน่วยงานปฏิบัติการ (Operator) และหน่วยงานควบคุมกำกับ (Regulator) และคาดว่าจะส่งผลกระทบต่อสังคมในการลดปัญหาอุทกภัยและภัยแล้งทั้งในระยะสั้นและระยะยาวที่จะสร้างความเสียหายในพื้นที่

ศึกษา โดยต้นแบบการจัดการเขื่อน-อ่างเก็บน้ำอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นจากโครงการวิจัยนี้คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อสำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ (สทนช.) ซึ่งเป็นหน่วยงานควบคุม กำกับ และดูแลด้านนโยบายในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำให้เป็นระบบในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา และขยายผลไปยังเขื่อนอื่น ๆ ของประเทศ

## บทที่ 2

### การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 หลักปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) ในงานบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ

หลักปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) ได้รับความนิยมน้อยมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานด้านการพยากรณ์ข้อมูลทางด้านทรัพยากรน้ำในปัจจุบันแทนที่แบบจำลองทางกายภาพ (Physical Model) และแบบจำลองทางสถิติ (Statistical Model) ที่ใช้กันอยู่เดิม เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่สามารถดำเนินการและประเมินผลได้ง่ายและเร็วทั้งในส่วนของการปรับเทียบแบบจำลองและการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง และยัง สามารถพัฒนาขึ้นมาโดยอาศัยข้อมูลนำเข้าน้อย นอกจากนี้ ยังพบว่าให้ค่าประสิทธิผลในการพยากรณ์สูงกว่า และมีความซับซ้อนน้อยกว่าแบบจำลองทางกายภาพทั่วไป ปัจจุบันได้มีการนำอัลกอริทึมในการเรียนรู้แบบ เครื่อง (Machine Learning) มาประยุกต์ใช้เพื่อการคำนวณตัวแปรต่าง ๆ ทางอุทกวิทยา (Hydrological Parameters) เช่น ระดับน้ำในเขื่อนและปริมาณน้ำไหลเข้าในอดีตเพื่อคำนวณระดับน้ำในเขื่อนในช่วงเวลา ข้างหน้า ซึ่งถูกรายงานว่าให้ค่าประสิทธิผลที่ค่อนข้างสูงในการพยากรณ์ทั้งระยะสั้นและระยะยาว (Mosavi et al., 2018) หากแบบจำลองการพยากรณ์ข้อมูลเหล่านี้มีความแม่นยำเพียงพอก็จะสามารถนำไปใช้ในต่อยอดใน การบริหารแผนการระบายน้ำจากอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Reoperation Scheme) ได้

เทคนิคการเรียนรู้แบบเครื่องที่ใช้การพยากรณ์ค่าตัวแปรต่าง ๆ ทางด้านอุทกวิทยามีมากมาย แต่จะ ยกตัวอย่างเทคนิคสำคัญต่าง ๆ ดังนี้

(1) เทคนิคโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ (Artificial Neural Networks, ANNs) เป็นเทคนิคจำลอง ระบบประสาทของมนุษย์บนคอมพิวเตอร์ โดยโครงข่ายประสาทมีการประมวลผลกระจายอยู่ในโครงสร้างเป็น ชั้น ๆ ซึ่งจะเรียนรู้แบบแผนพฤติกรรมจากชุดข้อมูลที่ป้อนให้โดยอาศัยการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่าง ๆ ใน โครงข่ายเพื่อผลการพยากรณ์ที่แม่นยำ ANNs เป็นเทคนิคพื้นฐานและยังคงมีการใช้ในผลงานวิจัยบ้างใน ปัจจุบัน เช่น การพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าของเขื่อน (El-Shafie & Nouredin, 2011; Valipour, Banihabib, & Behbahani, 2013) การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝน เป็นต้น

(2) เทคนิคอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้ (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, ANFIS) (Jang, 1993) เป็นการผสมผสานระหว่างโครงข่ายประสาทประดิษฐ์และระบบฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) เข้า ด้วยกัน เทคนิคนี้ได้ถูกใช้อย่างแพร่หลายในการพยากรณ์ตัวแปรต่าง ๆ เช่น การพยากรณ์ระดับน้ำในเขื่อน (Chang & Change, 2006; Hipni et al., 2013) การบริหารจัดการน้ำ (Valizadeh & El-Shafie, 2013) และการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝน

(3) แบบจำลองอนุกรมเวลา Auto-Regressive Integrated Moving Average, ARIMA เป็นเทคนิค ที่ใช้ในการพยากรณ์ข้อมูลที่เป็นอนุกรมเวลา (Time Series Data) โดยเฉพาะ โดยอาศัยพฤติกรรมของข้อมูล ในอดีตเพื่อกำหนดรูปแบบปัจจุบันรวมถึงอนาคต เทคนิคนี้เป็นอีกหนึ่งเทคนิคที่ได้รับความนิยมในการสร้าง แบบจำลองการพยากรณ์เกี่ยวกับตัวแปรน้ำ เพราะไม่ต้องคำนึงถึงปัจจัยแวดล้อมภายนอกมาก ตัวอย่างการ นำไปใช้ในงานวิจัยเช่น การพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Inflow) ในแต่ละช่วงเวลา (Valipour, Banihabib, & Behbahani, 2013; Rath, Samantaray, Bhoi, & Swain, 2017) หรือพยากรณ์ ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำที่ไหลเข้า (Mean Inflow) ในแต่ละช่วงเวลา (Rath, Samantaray, Bhoi, & Swain, 2017) เป็นต้น

(4) เทคนิค Support Vector Machine (SVM) นับเป็นเทคนิคที่เริ่มได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจาก มีความแม่นยำมากเมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคอื่น ๆ เทคนิคนี้เป็นการหา Hyperplane ที่แบ่งข้อมูลที่ตีที่สุด

ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น การพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าของเขื่อนจากปัจจัยต่าง ๆ ในชุดข้อมูล (Hipni et al., 2013; Babaei, Moeini, & Ehsanzadeh, 2019) เป็นต้น

(5) เทคนิค Extreme Gradient Boosting (XGBoost) เป็นเทคนิคที่พัฒนาจาก Gradient Boosting (8) (Chen & Guestrin, 2016) โดยเป็น Ensemble Learning Method เพื่อใช้ Classification และ Regression เทคนิคนี้จะสร้าง Learner หลาย ๆ ตัวและเรียนรู้เพื่อข้อผิดพลาด (Error) ของแต่ละ Learner และนำข้อผิดพลาดเหล่านั้นมาปรับแก้ไข ส่งผลให้แบบจำลองมีความแม่นยำสูง เทคนิคนี้เริ่มถูกนำมาใช้ในการพยากรณ์ต่าง ๆ เช่น การพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้า หรือแม้แต่การพยากรณ์ราคาหุ้น เป็นต้น ถึงแม้ว่ายังไม่มิตัวอย่างงานวิจัยทางด้านน้ำมากนัก แต่ด้วยลักษณะของข้อมูลของปริมาณน้ำไหลเข้าเป็นอนุกรมเวลา (Time Series) จึงสามารถปรับใช้เทคนิคนี้ในการพยากรณ์ได้

ผลงานวิจัยส่วนใหญ่ไม่ได้อาศัยเทคนิคการเรียนรู้แบบเครื่องเพียงเทคนิคเดียว แต่สร้างแบบจำลองการพยากรณ์ตัวแปรทางน้ำจากหลากหลายเทคนิค เปรียบเทียบค่าความแม่นยำ และหาแบบจำลองพยากรณ์ที่ดีที่สุด ทั้งนี้ล้วนขึ้นอยู่กับปริมาณข้อมูลที่มีอยู่ ลักษณะของข้อมูล ความสมบูรณ์ของข้อมูล การออกแบบ Input และ Output ของแบบจำลอง เป็นต้น ดังที่กล่าวมาข้างต้นว่า อัลกอริทึมทางการเรียนรู้แบบเครื่อง (Machine Learning) สามารถนำไปคำนวณหาและพยากรณ์ค่าตัวแปรต่าง ๆ โดยตัวแปรนั้นจะสามารถถูกนำไปใช้ต่อยอดในกระบวนการอื่น ๆ ได้

## 2.2 เทคนิคการหาค่าที่ดีที่สุดกับการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ (Optimization Techniques for Reservoir Management)

การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Management) หมายถึงกระบวนการดำเนินการอย่างเป็นขั้นตอนเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของอ่างเก็บน้ำตามที่ได้ตั้งไว้ หลักการสำคัญในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำนั้นจะต้องมองประเด็นของการบริหารจัดการด้านอุปทานน้ำในอ่าง (Water Supply Side Management) ควบคู่ไปกับการบริหารจัดการด้านอุปสงค์น้ำ (Water Demand Side Management) ซึ่งโจทย์หลักของการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำที่สำคัญก็คือทำอย่างไรจึงจะทำให้อุปทานของน้ำที่มีอยู่สามารถตอบสนองกับอุปสงค์น้ำในช่วงเวลาต่าง ๆ ได้เป็นที่พอใจ ทั้งนี้ ประเด็นของประสิทธิภาพ (Efficiency) ความเสมอภาค (Equity) และความยั่งยืน (Sustainability) จะต้องดึงมาประกอบการพิจารณาเพื่อให้บรรลุถึงเป้าหมายของการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำดังกล่าว

โดยทั่วไปแล้ว อ่างเก็บน้ำจะดำเนินการภายใต้เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operating Rule) ซึ่งเครื่องมือชี้แนวทางในการเก็บกักน้ำและปล่อยน้ำไปใช้ตามวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ของโครงการ การตัดสินใจปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาใด ๆ ให้เหมาะสมจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ในอ่าง (Available Water) ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง (Inflow) ปริมาณความต้องการน้ำ (Demand) และช่วงเวลาในปฏิบัติการ (Operating Time) ประกอบการพิจารณา เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่ได้รับความนิยม ได้แก่ โค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบ Hedging (Hedging Rule) เกณฑ์การปล่อยน้ำเชิงเส้น (Linear Release Rule) เกณฑ์การปล่อยน้ำที่เหมาะสมด้วยเทคนิคการหาค่าที่ดีที่สุด (Optimum Release Using Optimization Technique) เป็นต้น เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำบางประเภทพัฒนาขึ้นบนพื้นฐานของความรู้สึก (Intuition and Common Sense) ยกตัวอย่างเช่น การปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำแบบหลายอ่างที่พยายามจะจัดสรรน้ำให้เพียงพอกับความต้องการน้ำในกิจกรรมต่าง ๆ สูงสุดที่จำเป็นจะต้องลดหรือควบคุมให้เกิดการการสูญเสียน้ำจากอ่างเก็บน้ำน้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ หรือในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำสำหรับวัตถุประสงค์เพื่อการ



ชลประทาน ผู้ปฏิบัติการอาจปล่อยน้ำเพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดการขาดน้ำรุนแรงกับพืชบางชนิดและยอมให้เกิดความเสี่ยงที่จะเกิดการขาดน้ำกับพืชที่จะปลูกในอนาคต เป็นต้น อ่างเก็บน้ำจำนวนมากยังออกแบบขึ้นมาเพื่อเก็บกักน้ำไว้ในหลาย ๆ ปีข้างหน้า ด้วยเหตุนี้ นโยบายในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำจึงขึ้นอยู่กับเป้าหมายในระยะยาวที่ตั้งไว้ และการคาดการณ์ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอ่างเก็บน้ำ (Water Availability) จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลระยะยาวในการวิเคราะห์ นอกจากนี้ การคาดการณ์ปริมาณความต้องการน้ำในอนาคตยังเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อกำหนดการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำในระยะยาวให้เหมาะสมนั่นเอง (Jain & Singh, 2003)

การพัฒนาเทคนิคการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำโดยใช้แนวทางการสร้างแบบจำลองการคอมพิวเตอร์เพื่อจำลองสถานการณ์ควบคู่กับเทคนิคการหาค่าที่ดีที่สุด (Simulation-Optimization Techniques) เป็นแนวทางที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย (Fang et al., 2014; Fayaed et al., 2013; Rani & Moreira, 2010; Wurbs, 1993) และยังมีความท้าทายในเชิงของผลลัพธ์การคำนวณที่ยังอยู่ภายใต้สถานะที่มีความไม่แน่นอน ทั้งนี้เนื่องจากระบบการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำมีความซับซ้อนสูง มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลากหลายมิติ ทำให้งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาได้มีการนำเอาเทคนิคคอมพิวเตอร์ด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) มาประยุกต์ใช้งานมากขึ้น เช่น การพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Yang et al., 2017; Rieker & Labadie, 2012) การเตือนภัยน้ำท่วม (Campolo et al., 1999) การประเมินความต้องการน้ำ (Bennett et al., 2013; Liu, 2003) โดยเฉพาะการนำเอาหลักของฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำ (Chmielowski, 2016; Chang et al., 2002; Moeini et al., 2001; Cheng & Chau, 2001; Liou & Lo, 2005) งานวิจัยส่วนใหญ่ได้แปลงปัจจัยที่มีความสำคัญในระบบ แต่ไม่สามารถตรวจวัดหรือประเมินออกเป็นค่าตัวเลขได้ชัดเจน ข้อมูลเหล่านี้จะถูกแปลงเป็นข้อมูล Fuzzy Set และนำหลักการควบคุมแบบ Fuzzy Rule-Based Control มาออกแบบระบบควบคุมที่มีความซับซ้อนได้ง่ายและผลลัพธ์มีความน่าเชื่อถือ อย่างไรก็ตาม Jang et al. (1993) ได้นำเทคนิค Artificial Neural Network (ANN) มาใช้ในการสร้างข้อมูล Fuzzy Set และกำหนด Rule-Based System เพื่อให้ระบบควบคุมมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นเรียกว่า Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) ทั้งนี้ ได้มีงานวิจัยที่นำเทคนิคนี้ไปประยุกต์ใช้ในหลาย ๆ ด้าน (Hsu et al., 2015; Choong et al., 2015; Wei & Hsu, 2008)

เทคนิคการเรียนรู้แบบเสริมกำลัง (Reinforcement Learning, RL) (Richard, 2017) เป็นกระบวนการเรียนรู้แบบหนึ่งของกการการเรียนรู้แบบเครื่อง (Machine Learning) ซึ่งมีจุดเด่นอยู่ที่การเรียนรู้แบบลองผิดลองถูกโดยไม่จำเป็นต้องมีข้อมูลมาให้เรียนรู้ องค์ประกอบหลักมีอยู่ 2 ส่วน คือ (1) Agent และ (2) Environment โดยที่ Agent จะทำหน้าที่สั่งการให้ Environment ทำงานโดยการส่ง Action บางอย่างไปให้ Environment และ Environment จะส่ง State กลับไปที่ Agent เพื่อให้ Agent ตัดสินใจว่าจะส่ง Action ใดที่มีค่า Reward สูงสุดให้ Environment โครงสร้างภายในของ RL จะมีกระบวนการเรียนรู้แบบ Q Learning ในสมการ ในการนี้ Mahootchi et al. (2006) และ Wenwu et al. (2018) ได้ประยุกต์ RL ในการประมาณค่าที่ดีที่สุดในการบริหารจัดการน้ำโดยกำหนดปริมาตรน้ำในอ่างเก็บน้ำแทน State และการปล่อยน้ำ (Release) ในแต่ละรูปแบบเป็น Action และใช้ Q Learning ในการหาค่า Value Function หรือค่าสูงสุดในแต่ละ State ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า RL ให้ค่าความน่าเชื่อถือได้ของการปล่อยน้ำสูงกว่าแนวทางของ Stochastic Dynamic System

การใช้การโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical Programming) เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นมีหลายวิธี ยกตัวอย่างเช่น โปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) และโปรแกรมไม่เชิงเส้น

(Non-Linear Programming) แต่ในปัจจุบันการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำจะอยู่ภายใต้ความไม่แน่นอน ดังนั้น งานวิจัยส่วนใหญ่จะเริ่มนำการโปรแกรมเชิงเส้น (Kalbali et al., 2015; Wang et al., 2015) และการโปรแกรมเชิงสุ่ม (Stochastic Programming) (Prékopa, 2013; Bravo & Gonzalez, 2009; Housh et al., 2013; Yan & Li, 2018; Zhang et al., 2018) มาใช้ และสามารถเรียกปัญหาเหล่านี้ว่า Constraint Satisfaction Problems (Rossi et al., 2006) โดยสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวโดยใช้โปรแกรมเชิงข้อจำกัด (Constraint Programming) (Rossi et al., 2006) เพื่อนำมาแก้ไขเพื่อหาค่าที่เหมาะสมได้ โปรแกรมเชิงข้อจำกัดสามารถรองรับและแก้ปัญหาค่าได้หลายรูปแบบ เนื่องด้วยโปรแกรมเชิงข้อจำกัดนั้นสามารถกำหนดข้อจำกัด (Constraint) ได้หลายประเภท เช่น ข้อจำกัดที่เป็นตัวเลข ข้อจำกัดเชิงเส้น และข้อจำกัดที่เป็นตรรกะ เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ จึงพบว่าหลายงานวิจัยได้แสดงให้เห็นว่าการใช้โปรแกรมเชิงข้อจำกัดสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำได้

การพัฒนาแนวทางเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนให้กับอ่างเก็บน้ำด้วยเทคนิคการไม่ใช้สิ่งก่อสร้าง (Non-Structural Approach) เป็นมาตรการสำคัญอันหนึ่งในการลดความเสี่ยงจากภาวะความแห้งแล้ง อย่างไรก็ตาม การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation) มีความซับซ้อนเป็นอันมาก โดยเฉพาะการบริหารจัดการน้ำต้นทุนในระยะยาวของอ่างเก็บน้ำ เนื่องจากมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายด้าน เช่น สภาพภูมิอากาศ ภูมิประเทศ สภาพอุทกวิทยา รวมถึงปัจจัยทางด้านสังคม เป็นต้น นักวิจัยจำนวนมากได้พยายามที่จะพัฒนาเครื่องมือและเทคนิควิธีการเพื่อช่วยสนับสนุนการตัดสินใจให้กับผู้บริหารในการกำหนดกลยุทธ์การระบายน้ำที่เหมาะสมที่สุด โดยรูปแบบการระบายน้ำจากอ่างเก็บน้ำจำเป็นต้องใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์ การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำด้วยเทคนิคปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) มีการประยุกต์ใช้มานานกว่า 20 ปี จนถึงปัจจุบัน โดยแรกเริ่มนั้นเป็นการนำเทคนิค AI เช่น Expert System, Fuzzy Logic, Neural Networks, Data Mining, Genetic Algorithms หรือ Intelligent Agents มาประยุกต์ร่วมกับแบบจำลองทางด้านคณิตศาสตร์ (Mathematic Model) (Yeh, 1985) ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยหลากหลายด้าน เช่น งานวิจัยเชิงนโยบายปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Chang, Chen, & Chang, 2005; Jamshid Mousavi, Anzab, Asl-Rousta, & Kim, 2017; Kangrang & Chaleeraktragoon, 2007; Labadie, 2004; Mehta & Jain, 2009; Mokhtar, Ishak, & Norwawi, 2016; Pinthong, Das Gupta, Babel, & Weesakul, 2008; Rieker & Labadie, 2012; Wenwu, Mbanze, & Xueying, 2018) งานด้านพัฒนาแบบจำลองสำหรับปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ รวมถึงงานที่เกี่ยวข้องปัจจัยทางด้านอุทกวิทยา (Allawi et al., 2018; Bai, Chen, Xie, & Li, 2016; Bai, Xie, Wang, & Li, 2016; Kale, Nagdeve, & Wadtkar, 2012; Taghi Sattari, Yurekli, & Pal, 2012) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำยังมีความซับซ้อนหลายด้าน อันเนื่องมาจากลักษณะเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายด้านทั้งเชิงกายภาพ ชีวภาพ และเชิงสังคม ซึ่งไม่สามารถใช้เทคนิคหรือแนวทางใดทางหนึ่งมาบริหารจัดการได้

การพัฒนากลยุทธ์ในการระบายน้ำที่เหมาะสมในช่วงน้ำหลากและน้ำแล้งเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ Yeh (1985) กล่าวว่า ระบบการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่ดีต้องมีความยืดหยุ่น มีระบบที่สามารถคาดการณ์สถานการณ์ล่วงหน้าได้อย่างแม่นยำ ระบบมีความน่าเชื่อถือสามารถตอบสนองต่อความต้องการได้อย่างทั่วถึง ซึ่ง Fuzzy Logic แทนความยืดหยุ่นในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ANFIS เป็นการผสมผสานจุดเด่นในเรื่อง ANNs เข้ามาในโครงสร้างของ Fuzzy Logic น่าจะทำให้ระบบมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

## 2.3 เทคนิคการจำลองระบบกับการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ (Simulation Techniques for Reservoir Management)

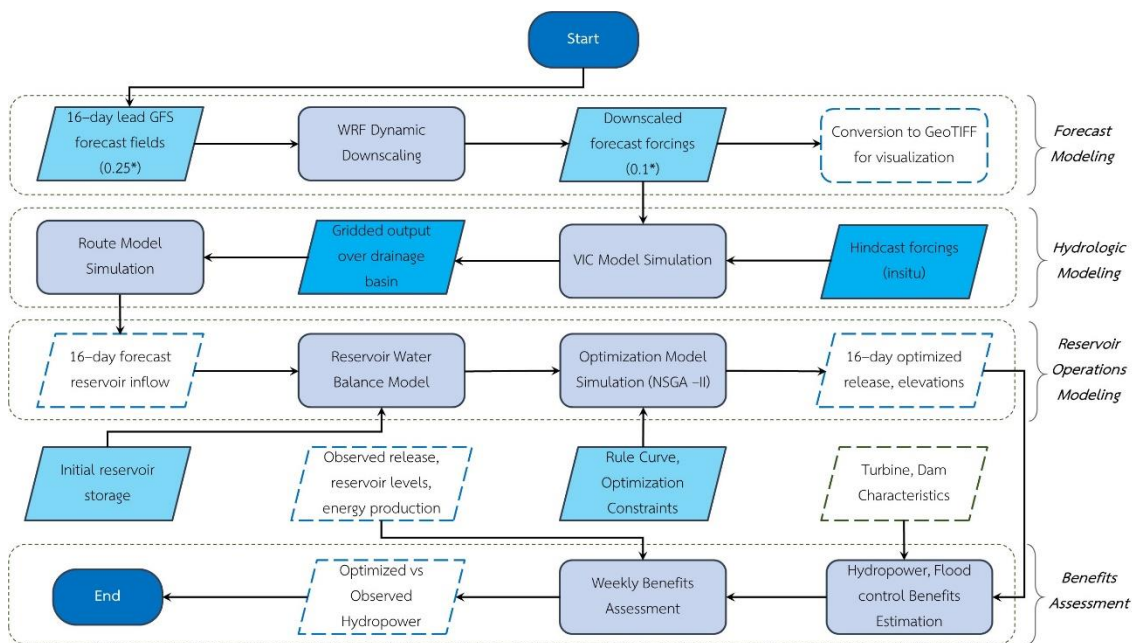
ในปัจจุบันเทคนิคการจำลองระบบ (Simulation Technique) ได้รับความนิยมนอย่างมากในการศึกษาและวิจัยในหลากหลายสาขาวิชา รวมถึงในงานด้านทรัพยากรน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่มีการพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์และอาศัยเทคนิคการจำลองระบบเพื่อทดสอบการปฏิบัติการตามแผนกลยุทธ์ต่าง ๆ สำหรับนำมาปรับใช้และเพิ่มประสิทธิภาพของการปฏิบัติงานจริงให้ดียิ่งขึ้น โดยทั่วไปแบบจำลองระบบที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำนั้นจะอาศัยหลักการสมดุลของน้ำในอ่างซึ่งประกอบไปด้วยการคำนวณปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสุทธิ ปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างสุทธิ และการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำเก็บกัก นอกจากนี้ อาจเกี่ยวข้องกับการประเมินมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์อันเนื่องมาจากความเสียหายจากน้ำท่วม ผลประโยชน์ที่ได้จากการผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำ ผลประโยชน์จากการชลประทาน และอื่น ๆ เป็นต้น อาจกล่าวได้ว่าแนวคิดเรื่องการจำลองระบบค่อนข้างง่ายในการทำความเข้าใจมากกว่าแนวคิดของแบบจำลองอื่น ๆ แบบจำลองระบบสามารถเลียนแบบได้ค่อนข้างเหมือนจริงทั้งในแง่ลักษณะของระบบอ่างเก็บน้ำ ตลอดจนแนวทางในการปฏิบัติการ นอกจากนี้ ยังมีความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนตัวแปรที่เกี่ยวข้องอีกด้วย ในขณะที่เดียวกันเวลาในการเตรียมข้อมูลป้อนเข้า ทดสอบแบบจำลอง และการคำนวณอื่น ๆ ยังน้อยกว่าของแบบจำลองการหาค่าที่ดีที่สุด ยิ่งไปกว่านั้นผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองยังสามารถ Trade-Off โดยเฉพาะอย่างอ่างเก็บน้ำแบบอเนกวัตถุประสงค์ รวมถึงเทคนิคการจำลองระบบยังมีประโยชน์ในการวิเคราะห์หานโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่ดีที่สุดอีกด้วย นอกจากนี้ ในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในเวลาจริงปัจจุบัน (Real Time Operation) ยังต้องการเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำโดยเฉพาะ ซึ่งเทคนิคการจำลองระบบจะช่วยให้สามารถสร้างเกณฑ์การปฏิบัติการดังกล่าวได้ค่อนข้างง่าย ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์จำนวนมากได้ถูกพัฒนาขึ้นและนำมาใช้ในการวิเคราะห์ ออกแบบ วางแผนและปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำอย่างแพร่หลายมาจนถึงปัจจุบัน ยิ่งไปกว่านั้นเมื่อเตรียมข้อมูลเพื่อใช้เป็นข้อมูลป้อนเข้าของซอฟต์แวร์หนึ่งสำหรับปัญหาหนึ่ง ๆ ยังสามารถดัดแปลงได้ง่าย ตลอดจนยังสามารถประเมินผลของการออกแบบและตัดสินใจปฏิบัติการกับทางเลือกอื่น ๆ ได้เร็วอีกด้วย

ตัวอย่างของการพัฒนาแบบจำลองระบบนั้นเกิดขึ้นจำนวนมากในช่วงก่อนปี ค.ศ. 1950 โดยเชื่อว่าถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกโดย Harvard Water Program สำหรับแบบจำลองระบบอ่างเก็บน้ำที่มีชื่อเสียงและใช้กันอย่างแพร่หลายเป็นอย่างมากคือ แบบจำลอง HEC-5 ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย Hydrologic Engineering Center นอกจากนี้ ยังมีแบบจำลองอื่น ๆ ที่ค่อนข้างมีชื่อเสียงอื่น ๆ เช่น แบบจำลองเอเคอร์ (Acres Model) แบบจำลองการสังเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำในลำน้ำและการควบคุมอ่างเก็บน้ำ (Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation Model, SSARR) แบบจำลองระบบแม่น้ำปฏิสัมพันธ์ (Interactive River System Operation, IRIS) และแพ็คเกจการวิเคราะห์สิทธิการใช้น้ำ (Water Right Analysis Package, WRAP) Lund และ Ferriera ได้ทำการศึกษาระบบอ่างเก็บน้ำในแม่น้ำ Missouri และพบว่าแบบจำลองระบบใช้ได้ดีกว่าสมการการถดถอยในการกำหนดและปรับปรุงเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ นอกจากนี้ Jain และ Goel ในปี ค.ศ. 1996 ยังได้นำเสนอแบบจำลองเพื่อการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อการอนุรักษ์ทั้งระบบโดยอาศัยได้เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ อย่างไรก็ตาม ถึงแม้จะมีแบบจำลองเพื่อจำลองการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำทั้งระบบจำนวนมาก ความต้องการที่จะพัฒนาแบบจำลองระบบอ่างเก็บน้ำของแต่ละอ่างยังเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อคงไว้ซึ่งลักษณะเฉพาะของอ่างเก็บน้ำนั้น ๆ

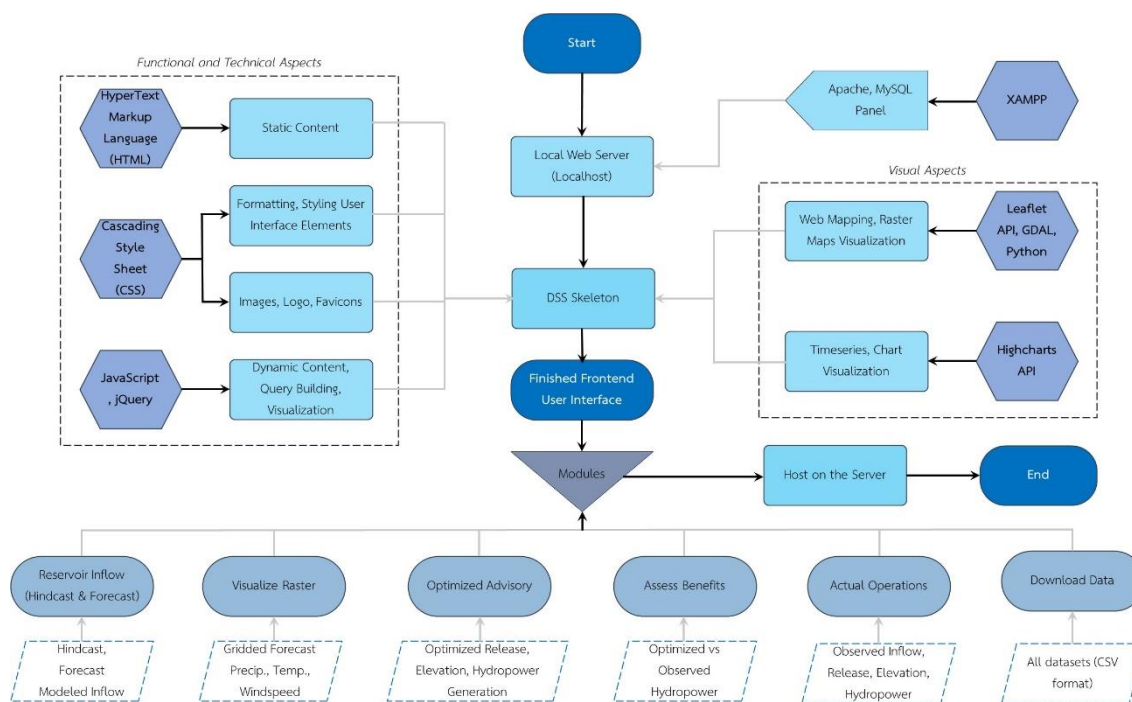
แบบจำลองระบบอ่างเก็บน้ำแบบหลายอ่าง (Multireservoir Simulation Models) ซึ่งพัฒนาขึ้นเพื่อประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจากนโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำรูปแบบต่าง ๆ นั้นนับได้ว่ามีประโยชน์อย่างมากหากนำผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองผลทั้งหมดมาศึกษาเพื่อเปรียบเทียบและประเมินผลที่ได้ซึ่งสามารถทำได้โดยการคำนวณหาค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความแปรปรวน (Variance) ตลอดจนการกระจายตัวทางด้านเวลา (Time Distribution) ของดัชนีแสดงผลการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Performance Indicators) เช่น ปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Storage Volume) ปริมาณน้ำที่ปล่อย (Release) ผลประโยชน์ที่ได้รับ (Associated Benefit) หรือความเสียหายที่เกิดขึ้น (Losses) เป็นต้น ซึ่งดัชนีชี้วัดเหล่านี้สามารถนำมาใช้เพื่อประเมินผลและเปรียบเทียบนโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำรูปแบบต่าง ๆ ได้ นอกจากนี้ การประเมินผลอาจปรากฏอยู่ในรูปของค่าดัชนีความน่าเชื่อถือได้ (Reliability Index) ดัชนีวัดความรุนแรง (Vulnerability Index) และดัชนีวัดความฟื้นตัวจากความล้มเหลว (Resiliency Index) เป็นต้น อาจกล่าวได้ว่าแบบจำลองระบบของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำนั้นเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการประเมินผลกระทบที่จะเป็นไปได้ของนโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำรูปแบบต่าง ๆ ตลอดจนสามารถทำนายสถานการณ์ของระบบในอนาคต เมื่อกำหนดสถานการณ์สมมติ (Scenarios) ทั้งในรูปของนโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ และผลการคาดการณ์ข้อมูลทางอุทกวิทยาในอนาคต

## 2.4 งานบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำแบบอัจฉริยะ (SMART Dam-Reservoir Operation)

Ahmad และ Hossain (2019) นำเสนอแนวคิดการบริหารเขื่อนแบบอัจฉริยะ (Smart Dam Operation) โดยใช้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support System, DSS) ซึ่งประยุกต์ใช้แบบจำลองที่มีความซับซ้อนยกตัวอย่างเช่น หลักปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) ที่สอดคล้องกับความต้องการน้ำของประชาชนท้ายเขื่อน เพื่อนำเสนอผลเป็นภาพผ่านเว็บไซต์ (Web-based Visualization) ที่ง่ายในการทำความเข้าใจสำหรับผู้ตัดสินใจด้านการจัดการน้ำ ผ่านการเปรียบเทียบระหว่างผลลัพธ์การระบายน้ำด้วยวิธี Smart Dam Operation และการดำเนินการแบบปกติ (Reference) โดยโครงสร้างการทำงานของการพัฒนา Smart Dam Operation ประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก ได้แก่ (1) การสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ (Forecast Modelling) (2) การสร้างแบบจำลองทางอุทกวิทยา (Hydrologic Modelling) (3) การสร้างแบบจำลองการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation Modeling) และ (4) การประเมินผลลัพธ์ (Benefit Assessment) ดังแสดงกรอบความเชื่อมโยงการใช้แบบจำลองต่าง ๆ และโครงข่ายการนำเสนอผลผ่านเว็บไซต์ในภาพที่ 2-1 ทั้งนี้ Ahmad และ Hossain (2019) ได้ทดสอบการใช้วิธี Smart Dam Operation สำหรับเขื่อน Detroit ในประเทศสหรัฐอเมริกาพบว่า วิธี Smart Dam Operation ส่งผลเชิงบวกต่อการสร้างพลังงานไฟฟ้าจากเขื่อนโดยไม่เพิ่มความเสี่ยงของการเกิดน้ำท่วม



(a) กรอบความเชื่อมโยงการใช้แบบจำลองต่าง ๆ ของการบริหารเขื่อนแบบอัจฉริยะ



(b) โครงข่ายการนำเสนอผลผ่านเว็บไซต์

ภาพที่ 2-1 กรอบความเชื่อมโยงการใช้แบบจำลองต่าง ๆ และโครงข่ายการนำเสนอผลผ่านเว็บไซต์  
ที่มา: Ahmad & Hossain (2019)

## 2.5 เทคนิคการพยากรณ์ข้อมูลทางอุทกวิทยา (Hydrological Prediction Techniques)

### 2.5.1 เทคนิคทางสถิติสำหรับการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลา (Statistical Techniques for Predicting Time-Based Data)

เทคนิคทางสถิติถูกนำมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ข้อมูลทางอุทกวิทยาที่มีลักษณะเป็นอนุกรมเวลาเพื่อพยากรณ์ค่าในอนาคตโดยใช้พฤติกรรมของข้อมูลในอดีต วิธีการทางสถิติอย่างง่าย เช่น เทคนิค ค่าเฉลี่ยการเคลื่อนที่อย่างง่าย (Simple Moving Average, SMA) และวิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing, SES) และแบบจำลองการถดถอยอัตโนมัติ เช่น AR, MA, ARMA และ ARIMA (Abraham & Ledolter, 2005) เป็นต้น ได้รับการนำไปใช้อย่างกว้างขวางสำหรับการพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลา ส่วนต่อไปนี้จะอธิบายความสำคัญของฟังก์ชันทางสถิติหรือกฎที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อค่าสังเกตกับผลลัพธ์ในอนาคต โดยศึกษาข้อมูลในอดีตของตัวแปรที่มีอิทธิพล ตัวอย่างวิธีการทางสถิติที่สำคัญสำหรับการพยากรณ์ข้อมูลทางอุทกวิทยาจะกล่าวถึงในส่วนต่อไป

#### 2.5.1.1 เทคนิคค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย (Simple Moving Average Technique)

วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่ายตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่าข้อมูลแบบลำดับ (Sequential Data) สำหรับช่วงเวลาที่แตกต่างกันและไม่มีความสัมพันธ์กัน กล่าวอีกนัยหนึ่งกระบวนการอนุกรมเวลาเป็นแบบคงที่ (Stationarity) การพยากรณ์ข้อมูลด้วยเทคนิค SMA จะดำเนินการตามค่าสังเกตข้อมูลล่าสุด และการสังเกตทั้งหมดจะได้รับการกำหนดน้ำหนักที่เท่ากัน

ให้  $N$  เป็นจำนวนการสังเกตและ  $X_t$  หมายถึงค่าที่แท้จริงของตัวแปร  $X$  ณ เวลา  $t$  ดังนั้น ค่าพยากรณ์ ( $F_{t+1}$ ) ของตัวแปร  $X$  ที่เวลา  $t+1$  จะถูกคำนวณตามสมการที่ 2-1

$$F_{t+1} = \frac{X_t + X_{t+1} + X_{t+2} + \dots + X_{t+1-N}}{N} \quad \text{-----}(2-1)$$

ไม่มีเกณฑ์ที่แน่นอนในการกำหนดจำนวนการสังเกต ( $N$ ) ควรใช้ค่า  $N$  ที่มีค่ามากหากความแปรผันในตัวแปรการพยากรณ์มีค่าคงที่พอสมควร และแนะนำให้ใช้ค่า  $N$  เล็กน้อยเมื่อตัวแปรการพยากรณ์มีค่าแตกต่างกัน ในทางปฏิบัติค่าของ  $N$  อยู่ระหว่าง 2-10 (Piriyakul, 2003)

#### 2.5.1.2 เทคนิคการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing Technique)

เทคนิคการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลถือว่ากระบวนการอนุกรมเวลาที่มีเสถียรภาพเหมาะสำหรับการพยากรณ์ข้อมูลที่ไม่มีแนวโน้มหรือฤดูกาล ค่าสังเกตล่าสุดจะถูกกำหนดให้มีค่าน้ำหนักความสำคัญมากที่สุดและลดลงตามลำดับสำหรับค่าสังเกตก่อนหน้า น้ำหนักความสำคัญที่กำหนดขึ้นอยู่กับค่าคงที่การทำให้เรียบ ( $\alpha$ ) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 และการพยากรณ์สำหรับช่วงเวลาล่วงหน้า  $t+1$  ( $F_{t+1}$ ) คำนวณจากข้อมูลอนุกรมเวลาสำหรับช่วงเวลา  $t$  ที่ผ่านมา ( $F_t$ ) ตามที่แสดงในสมการที่ 2-2

$$F_{t+1} = \alpha X_t + (1 - \alpha)F_t \quad \text{-----}(2-2)$$

การเลือกค่าคงที่การปรับให้เรียบเป็นสิ่งสำคัญในการพยากรณ์ในอนาคตสำหรับเทคนิคการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ค่าคงที่การปรับให้เรียบที่มีค่ามากแสดงว่าค่าสังเกตล่าสุดมีน้ำหนัก

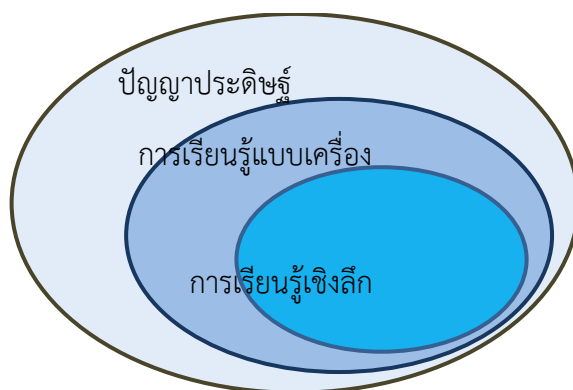
ความสำคัญมาก ในทางปฏิบัติค่าที่แนะนำของค่าคงที่การปรับให้เรียบจะอยู่ที่ 0.00 ถึง 1.00 (Ravinder, 2013)

## 2.5.2 เทคนิคปัญญาประดิษฐ์สำหรับการทำนายข้อมูลทางอุทกวิทยา (Artificial Intelligence Techniques for Hydrological Prediction)

หลักปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) ได้รับการผลักดันอย่างรวดเร็วในการพยากรณ์ข้อมูลทางอุทกวิทยา มีการระบุว่าหลักปัญญาประดิษฐ์ได้แทนที่แบบจำลองทางกายภาพและทางสถิติในปัจจุบัน เนื่องจากหลักปัญญาประดิษฐ์มีความสามารถในการดำเนินการและประเมินการตรวจสอบแบบจำลองอย่างก้าวหน้าและมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ หลักปัญญาประดิษฐ์ยังมีประสิทธิภาพในการพยากรณ์มากกว่าและซับซ้อนน้อยกว่าแบบจำลองทางกายภาพแบบดั้งเดิม (Mosavi et al., 2018)

การเรียนรู้แบบเครื่อง (Machine Learning, ML) เป็นสาขาย่อยของปัญญาประดิษฐ์ในด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ ทำให้ระบบสามารถทำงานได้โดยไม่ต้องมีปฏิสัมพันธ์กับมนุษย์ การเรียนรู้แบบเครื่องเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ ติความ การค้นพบรูปแบบและโครงสร้างในข้อมูล (Cerqueira, Torgo & Soares, 2019) ส่วนหลักของการเรียนรู้แบบเครื่องเกี่ยวข้องกับอัลกอริทึมการคำนวณ ตัวแปรและคุณลักษณะ และความรู้พื้นฐานสำหรับระบบเฉพาะตัว

การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning, DL) เป็นส่วนหนึ่งของการเรียนรู้แบบเครื่องที่อาศัยชั้นของอัลกอริทึมที่เรียกว่าโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network; ANN) (Shafie & Nouredin, 2010) การเรียนรู้เชิงลึกต้องการชุดข้อมูลขนาดใหญ่เพื่อรับรู้รูปแบบของข้อมูลที่สังเกตได้ในอดีตและเพื่อคาดการณ์ผลลัพธ์ในอนาคต ความสัมพันธ์ระหว่างปัญญาประดิษฐ์ การเรียนรู้แบบเครื่อง และการเรียนรู้เชิงลึกแสดงไว้ในภาพที่ 2-2



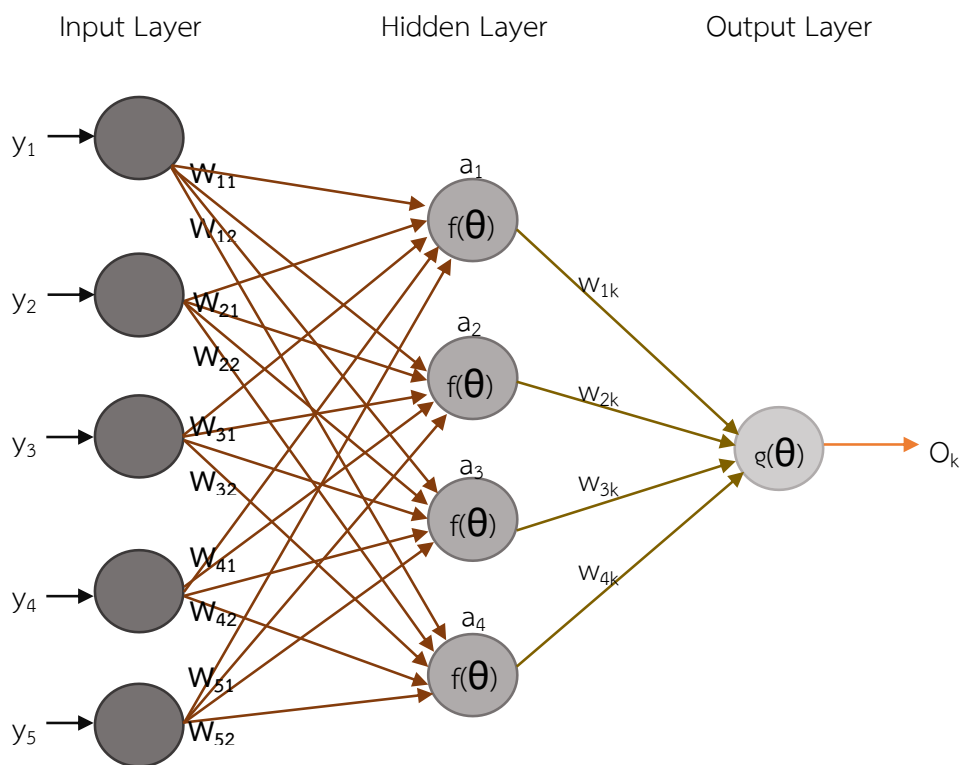
ภาพที่ 2-2 ความสัมพันธ์ระหว่างปัญญาประดิษฐ์ การเรียนรู้แบบเครื่อง และการเรียนรู้เชิงลึก

ในปัจจุบันมีเทคนิคการเรียนรู้แบบเครื่องจำนวนมากที่ใช้สำหรับการพยากรณ์ตัวแปรทางอุทกวิทยา อย่างไรก็ตาม ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างบางส่วน of เทคนิคที่สำคัญ

### 2.5.2.1 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks)

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks, ANNs) คือแบบจำลองของระบบคำนวณที่ได้แรงบันดาลใจจากเซลล์ประสาททางชีววิทยาของมนุษย์ (Linder, Mohamed, De Lorenzo, & Poppl, 2003) โครงข่ายประสาทเทียม ประกอบด้วยชุดสมการทางคณิตศาสตร์ที่เชื่อมโยงถึงกันเพื่อให้คล้าย

กับระบบเซลล์ประสาททางชีววิทยา ถือเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการประมาณค่าตัวแปรเอาต์พุตโดยพิจารณาจากตัวแปรอินพุตอิสระ กระบวนการฝึกอบรมที่ใช้ชุดข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตที่สอดคล้องกันนั้น จำเป็นสำหรับโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งมีสาม Layer หลักได้แก่ (1) Input Layer (2) Hidden Layer และ (3) Output Layer ดังที่แสดงในภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 โครงสร้างของระบบโครงข่ายประสาทเทียม  
ที่มา: Shafie & Nouredin (2010)

Input Layer มีหน้าที่รับผิดชอบในการยอมรับอินพุต โดยโครงข่ายประสาทเทียมต้องมี Input Layer เดียวเสมอและดำเนินการคำนวณเซลล์ประสาท จากนั้นจึงส่งผลไปยัง Layer ถัดไป Hidden Layers เชื่อมต่อกับ Input Layer และ Output Layer โดย Hidden Layers จะทำให้โครงข่ายประสาทเทียมเหนือกว่าอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบเครื่องส่วนใหญ่ เพราะเซลล์ประสาทจะคำนวณผลรวมค่าน้ำหนัก (Weight;  $W_{ij}$ ) โดยที่ปกติผลคูณของค่าน้ำหนักและอินพุตที่เข้าสู่โครงข่ายนั้น จะถูกนำมารวมกันและส่งผ่านเข้าไปในฟังก์ชัน (Transfer Function) เพื่อที่จะหาเอาต์พุตหรือผลลัพธ์ออกมา โดยกระบวนการนี้นั้นทำให้ง่ายต่อการใช้งานและสามารถนำไปใช้กับโครงสร้างวงจรโครงข่ายอื่นที่ใช้ฟังก์ชันผลรวม (Summing Function) และฟังก์ชันการส่งผ่านที่ต่างกัน โดยสมการทั่วไปของ Hidden Layers แสดงในสมการที่ 2-3

$$a_j = f\left(\sum_{i=1}^n w_{ij}y_i + b_j\right) \quad \text{-----}(2-3)$$



Output Layer มีหน้าที่จัดการและสร้างผลลัพธ์สุดท้าย โดยโครงข่ายประสาทเทียมต้องมี Output Layer เดียวเสมอซึ่งรับอินพุตจาก Layer ก่อนหน้าและทำการคำนวณผ่านเซลล์ประสาท จากนั้นจึงคำนวณเอาต์พุตโดยใช้สมการที่ 2-4

$$O_k = g \left( \sum_{j=1}^m w_{jk} y_j + b_k \right) \quad \text{-----}(2-4)$$

เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมประสบความสำเร็จในการใช้งานสำหรับปัญหามากมายในงานด้านต่าง ๆ รวมถึงการพยากรณ์ข้อมูลทางอุทกวิทยา เช่น ปริมาณน้ำไหลเข้าของอ่างเก็บน้ำ อัตราการไหลของน้ำในแม่น้ำ และข้อมูลปริมาณน้ำฝน เป็นต้น

### 2.5.2.2 ระบบอนุมานฟัซซีแบบปรับตัวได้ (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System)

เทคนิคการอนุมานฟัซซีแบบปรับตัวได้ (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, ANFIS) เป็นการบูรณาการระหว่างโครงข่ายประสาทเทียมและระบบตรรกศาสตร์แบบฟัซซีโดยถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระบบอนุมานฟัซซีและมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในการพยากรณ์ตัวแปรทางอุทกวิทยา เช่น ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Hipni et al., 2013) กระแสน้ำ และปริมาณน้ำฝน เป็นต้น

ระบบอนุมานฟัซซีแบบปรับตัวได้มีความสามารถในการเรียนรู้ จำแนกประเภท และคาดการณ์ข้อมูล ข้อดีของเทคนิคนี้คือความสามารถในการดึงกฎที่คลุมเครือจากข้อมูลตัวเลขและสร้างกฎพื้นฐานที่คลุมเครือได้ อย่างไรก็ตามข้อเสียของเทคนิคนี้คือใช้เวลาค่อนข้างนานสำหรับการฝึกอบรมชุดข้อมูลและค้นหาพารามิเตอร์ของโมเดล (Chang, Chang, & Chang, 2005)

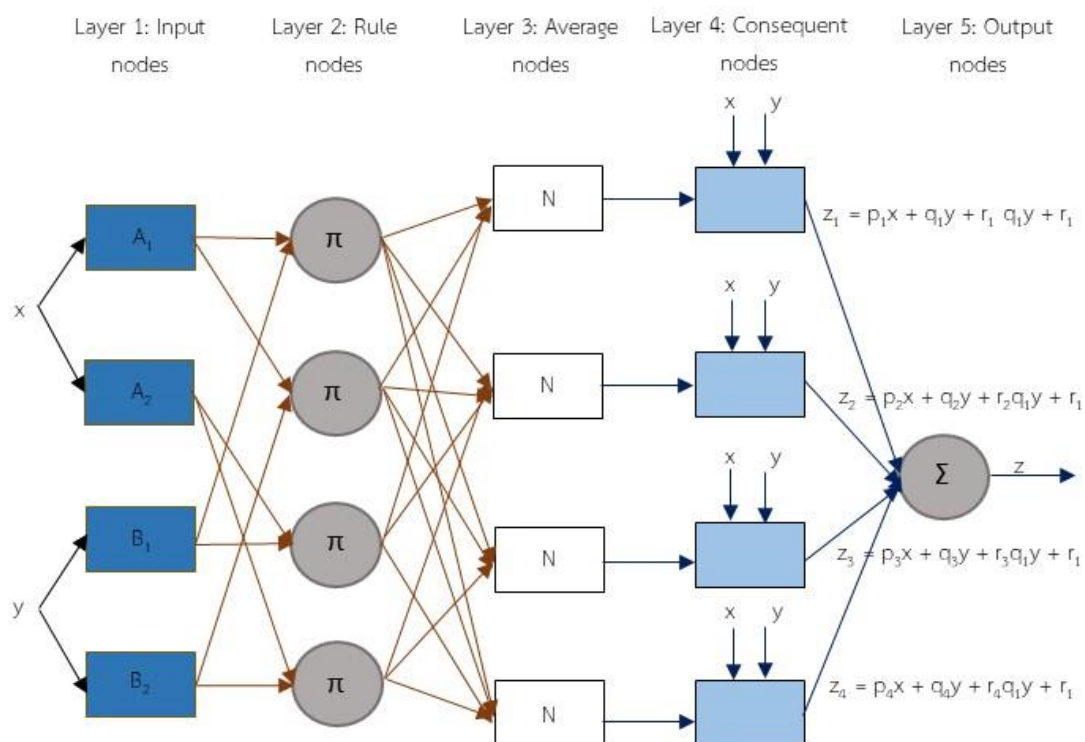
สำหรับโมเดลฟัซซี Sugeno จะมีกฎทั่วไปสองข้อในรูปแบบ (ถ้า...แล้ว) กล่าวคือหากระบบอนุมานฟัซซีมีสองอินพุตคือ  $x$  และ  $y$  และหนึ่งเอาต์พุตคือ  $z$  จะแสดงลักษณะโมเดลได้ดังนี้

กฎข้อ 1: ถ้า  $x$  คือ  $A_1$  และ  $y$  คือ  $B_1$  แล้ว  $z_1 = p_1x + q_1y + r_1$

กฎข้อ 2: ถ้า  $x$  คือ  $A_2$  และ  $y$  คือ  $B_2$  แล้ว  $z_2 = p_2x + q_2y + r_2$

เมื่อ  $p_i, q_i$  และ  $r_i$  ( $i = 1$  หรือ  $2$ ) คือ พารามิเตอร์เชิงเส้น

โดยทั่วไประบบอนุมานฟัซซีแบบปรับตัวได้จะมีโหนด 5 ชั้น ได้แก่ (1) Input Nodes (2) Rule Nodes (3) Average Nodes (4) Consequent Nodes และ (5) Output Nodes ดังแสดงในภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 รูปแบบโครงสร้างของ ANFIS สำหรับโมเดล Fuzzy Sugeno แบบสองอินพุตที่มีกฎสี่ข้อ  
ที่มา: Chang & Chang (2005)

แต่ละโหนดของ Layer 1 จะสร้างสมาชิกที่เป็นของชุดฟัซซีที่เหมาะสมแต่ละชุดโดยใช้ฟังก์ชันหรือกฎ (Rule Node) ใน Layer 2 ตัวดำเนินการค่าเฉลี่ยของโหนดใน Layer 3 จะถูกนำไปใช้เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ของเหตุการณ์ก่อนหน้าสำหรับ Rule Nodes นั้น ๆ โดยวัตถุประสงค์หลักคือการคำนวณอัตราส่วนของความแม่นยำของกฎข้อที่  $i$  ต่อผลรวมของความแรงในการยิงของกฎทั้งหมด ฟังก์ชันโหนดของเลเยอร์ที่สี่คำนวณการมีส่วนร่วมของกฎที่  $i$ -Th ในแต่ละข้อที่มีต่อเอาต์พุตทั้งหมด และกระบวนการ Defuzzification จะเปลี่ยนผลลัพธ์ฟัซซีของแต่ละกฎให้เป็นเอาต์พุตที่แม่นยำใน Layer สุดท้าย

### 2.5.2.3 เทคนิค Extreme Gradient Boosting (XGBoost)

Extreme Gradient Boosting (XGBoost) เป็นอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบเครื่องที่ริเริ่มในปี 2557 ได้รับการพัฒนาจาก Gradient Boosting เป็นวิธีการเรียนรู้สำหรับปัญหาการจำแนก (Classification) และการถดถอย (Regression) (Chen & Guestrin, 2016; Osman, Ahmed, Chow, Huang, & Shafie, 2020; Qin, Zhang, Bao, Zhang, Liu, & Lui, 2021) มีลักษณะโครงสร้างเลียนแบบจากต้นไม้ที่มีส่วนประกอบของ Root Node จากราก และส่วนที่เป็น leaf node ซึ่งเป็นส่วนใบของโครงสร้างต้นไม้ ซึ่งแต่ละโหนดจะทำหน้าที่ประเมินคะแนนในส่วนต่าง ๆ เพื่อให้ได้ผลพยากรณ์ที่มีค่าเหมาะสมที่สุด เนื่องจากประสิทธิภาพการเรียนรู้ที่ยืดหยุ่นและความรวดเร็วในการฝึกอบรมชุดข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ จึงมีความน่าสนใจอย่างมากในอัลกอริทึม XGBoost สำหรับการพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ข้อมูลทางอุทกวิทยา นอกจากนี้มีการศึกษาว่าอัลกอริทึม XGBoost สามารถเป็นเครื่องมือการพยากรณ์ที่สร้างความแม่นยำในการพยากรณ์มากกว่าอัลกอริทึมที่มีอยู่เช่น Support Vector Machines (SVM), Random Forest (RF) และอัลกอริทึม K-Nearest Neighbor (K-NN) (Wang, Chen, Jin, & Che, 2020) XGBoost ใช้กันอย่าง

แพร่หลายสำหรับปัญหาการเรียนรู้แบบมีผู้สอน Supervised Learning Problems) ซึ่งข้อมูลการฝึกอบรม  $y_i$  ใช้เพื่อพยากรณ์ตัวแปรเป้าหมาย  $p_i$  (Dornpunya et al., 2021)

องค์ประกอบพื้นฐานของการเรียนรู้ XGBoost คือฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ซึ่งต้องการประเมินค่าน้อยที่สุดของฟังก์ชันการสูญเสีย (Training Loss Function) โดย  $p_i$  แสดงถึงข้อมูลพยากรณ์หรือข้อมูลเป้าหมายที่ต้องการจากกระบวนการพยากรณ์ โดยหน้าที่ของการฝึกแบบจำลองคือการค้นหาพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด ( $\theta$ ) ที่เหมาะสมกับข้อมูลฝึกฝน  $y_i$  และ ข้อมูลเป้าหมาย  $p_i$  ในการฝึกแบบจำลองควรกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อให้เหมาะสมกับข้อมูลการฝึกอบรม โดยทั่วไปลักษณะของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ประกอบด้วยสองส่วนสำคัญ (1) Training Loss Function และ (2) Regularization Term ดังแสดงในสมการที่ 2-5

$$\text{Obj}(\theta) = L(\theta) + \Omega(\theta) \quad \text{-----}(2-5)$$

โดยที่  $L(\theta)$  = Training Loss Function  
 $\Omega(\theta)$  = Regularization Term  
 $\theta$  = พารามิเตอร์ที่ดีที่สุดที่เหมาะสมกับข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างของการฝึก ( $y_i$ ) และผลลัพธ์ที่คาดการณ์ไว้ ( $p_i$ )

Training Loss Function จะระบุถึงการพยากรณ์ของแบบจำลองที่สัมพันธ์กับข้อมูลการฝึกฝนสองแบบได้แก่ แบบ Regression และแบบ Classification โดยทั่วไปประเภท Training Loss Function คือการประเมินค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดโดยใช้ค่าทางสถิติได้แก่ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error) ตามที่กำหนดในสมการที่ 2-6 สำหรับแบบ Regression และสมการที่ 2-7 สำหรับแบบ Classification

$$L(\theta) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (y_i - p_i)^2 \quad \text{-----}(2-6)$$

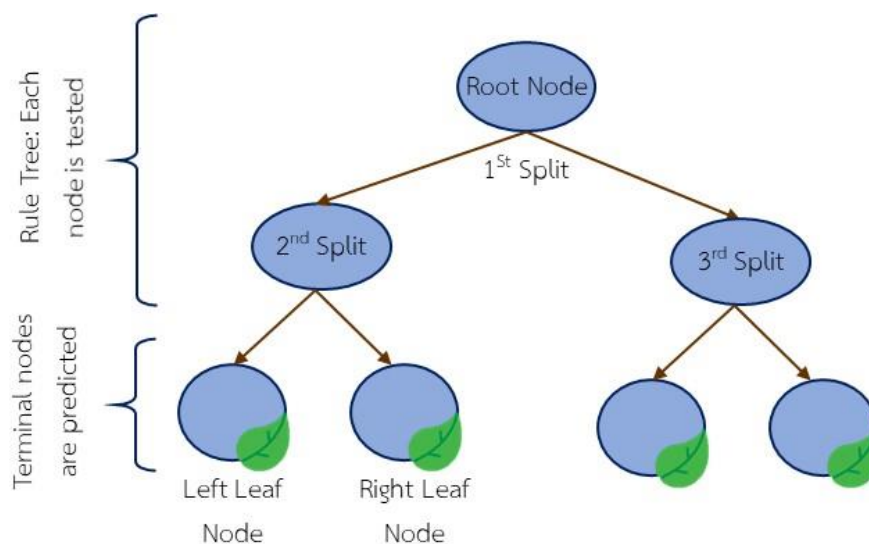
$$L(\theta) = -[y_i \log(p_i) + (1 - y_i) \log(1 - p_i)] \quad \text{-----}(2-7)$$

Regularization Term เป็นหนึ่งในส่วนสำคัญที่ช่วยควบคุมความซับซ้อนของแบบจำลองและหลีกเลี่ยงการ overfitting ซึ่งแสดงในสมการที่ 2-8

$$\Omega(\theta) = \gamma T + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^T O_{\text{value}}^2 \quad \text{-----}(2-8)$$

โดยที่ " $\gamma$ " คือไฮเปอร์พารามิเตอร์ที่ใช้ในการกำหนดการลดการสูญเสียขั้นต่ำที่จำเป็นในการสร้างพาร์ติชันเพิ่มเติมบนโหนดปลายสุดของต้นไม้ และ  $T$  คือจำนวนโหนดปลายทางหรือใบไม้ของต้นไม้ ในขณะที่ " $\lambda$ " เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้จัดการส่วน Regularization ของ XGBoost และ  $O_{\text{value}}$  คือค่าเอาต์พุตสำหรับโครงสร้างของต้นไม้ทั้งหมด

การพยากรณ์สำหรับข้อมูลค่าหนึ่งจะทำโดยการติดตามต้นไม้ที่แบ่งเป็นแต่ละโหนดจนกว่าโหนดสุดท้ายสำหรับการพยากรณ์จะสำเร็จ โครงสร้างของต้นไม้ถูกสร้างขึ้นส่วนราก (Root Node) จากนั้น Root Node จะแยกเป็นส่วนใบ (Leaf Node) ไปทางด้านซ้าย (The Leaf on the Left) และทางด้านขวา (The Leaf on the Right) และแบบจำลองจะเรียนรู้แตกแขนงเหมือนโครงสร้างต้นไม้จนกว่าข้อผิดพลาดหรือค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (MSE) จะมีค่าน้อยที่สุด โดยส่วนประกอบแผนผังการตัดสินใจของ XGBoost แสดงในภาพที่ 2-5

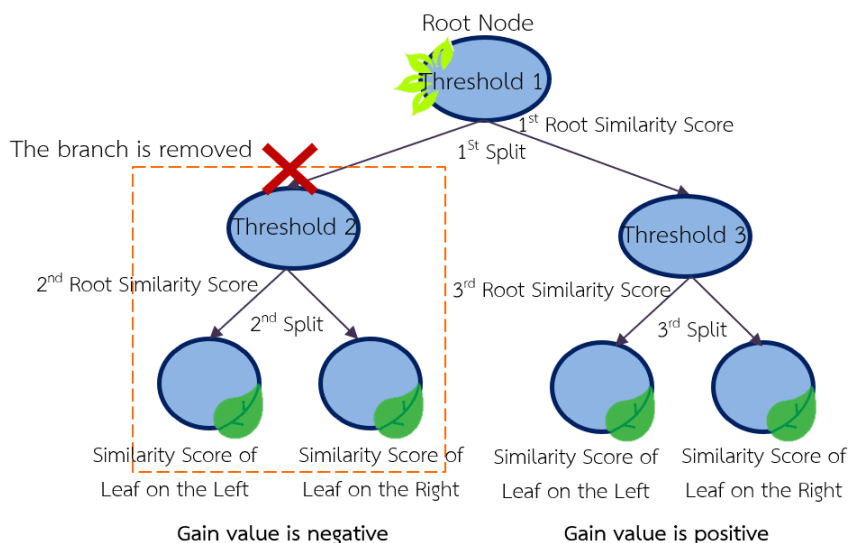


ภาพที่ 2-5 โครงสร้างแบบจำลองของ XGBoost

ฟังก์ชันการสูญเสีย  $L(\theta)$  จะระบุคะแนนของต้นไม้และใบและสังเกตได้ว่าการเรียนรู้โครงสร้างต้นไม้ที่ซับซ้อนกว่าปัญหาการปรับให้เหมาะสมแบบเดิม ๆ ซึ่งเป็นเรื่องยากที่จะเรียนรู้ต้นไม้ทั้งหมดพร้อมกัน ดังนั้นจึงใช้กลยุทธ์การแต่งเติมหรือตัดแต่งเพื่อแก้ไขสิ่งที่ได้เรียนรู้และเพิ่มต้นไม้ใหม่ที่ละต้นโดยการประเมินคะแนนความเหมือน (Similarity Score, Sim) ซึ่งคำนวณเพื่อระบุคะแนนของแต่ละโหนดโดยใช้สมการที่ 2-9

$$\text{Sim} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - p_i)}{n + \lambda} \quad \text{-----(2-9)}$$

หลังจากนั้น ค่า Gain จะถูกคำนวณเพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของโครงสร้างต้นไม้ที่แค่นั้น กล่าวคือระบุว่าต้นไม้สามารถแยกใบได้หรือไม่โดยหาค่า Gain เป็นลบ ส่วนใบจะถูกลบออกดังแสดงในภาพที่ 2-6 ซึ่งการดำเนินการลักษณะนี้ของ XGBoost เรียกว่าเทคนิคการตัดแต่งกิ่งในแบบจำลองแบบต้นไม้



ภาพที่ 2-6 ขั้นตอนในการตัดแต่งกิ่งต้นไม้โดยใช้ค่า Gain

ตามหลักการแล้ว การแจกแจงต้นไม้ที่เป็นไปได้ทั้งหมดและเลือกต้นไม้ที่ดีที่สุดจะประเมินตามค่า Gain ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2-10

$$\text{Gain Value} = \text{Sim}_{\text{left}} + \text{Sim}_{\text{right}} + \text{Sim}_{\text{root}} \text{-----}(2-10)$$

- โดยที่  $\text{Sim}_{\text{left}}$  = ค่า Similarity ของใบฝั่งซ้ายของกิ่งไม้
- $\text{Sim}_{\text{right}}$  = ค่า Similarity ของใบฝั่งขวาของกิ่งไม้
- $\text{Sim}_{\text{root}}$  = ค่า Similarity ของ Root Node ของกิ่งไม้

โครงสร้างแบบต้นไม้ได้รับการทำซ้ำ T รอบจนกว่าจะสร้างแบบจำลองตามจำนวนที่ต้องการได้ และเมื่อการเรียนรู้ของแบบจำลองสิ้นสุดลง ค่าเอาต์พุต ("Ovalue") ซึ่งคำนวณตามสมการที่ 2-11 สำหรับใบไม้ทั้งหมดจะถูกคำนวณเพื่อให้ได้ต้นไม้สุดท้ายของแบบจำลองแรก

$$O_{\text{value}} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - p_i)}{n + \lambda} \text{-----}(2-11)$$

นอกจากนี้ ความแม่นยำของแบบจำลองการพยากรณ์ยังถูกควบคุมด้วยอัตราการเรียนรู้ (Learning Rate,  $\epsilon$ ) ซึ่งกำหนดอัตราการเรียนรู้ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลการพยากรณ์ที่แม่นยำและหลีกเลี่ยงการเกิด Overfitting

สำหรับการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าของอ่างโดยเทคนิคการเรียนรู้แบบเครื่องของอัลกอริทึม XGBoost ณ เวลา  $t$  ( $p_t^t$ ) เกิดจากผลบวกของการพยากรณ์ก่อนหน้านี้ทั้งหมดที่ได้จากแบบจำลอง กล่าวอีกนัยหนึ่งคือการพยากรณ์ขั้นสุดท้ายคือผลบวกของค่าที่พยากรณ์เริ่มต้น ( $p_1^0$ ) และผลรวมของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ร่วมกับ Loss Function และ Regularization ดังแสดงในสมการที่ 2-12

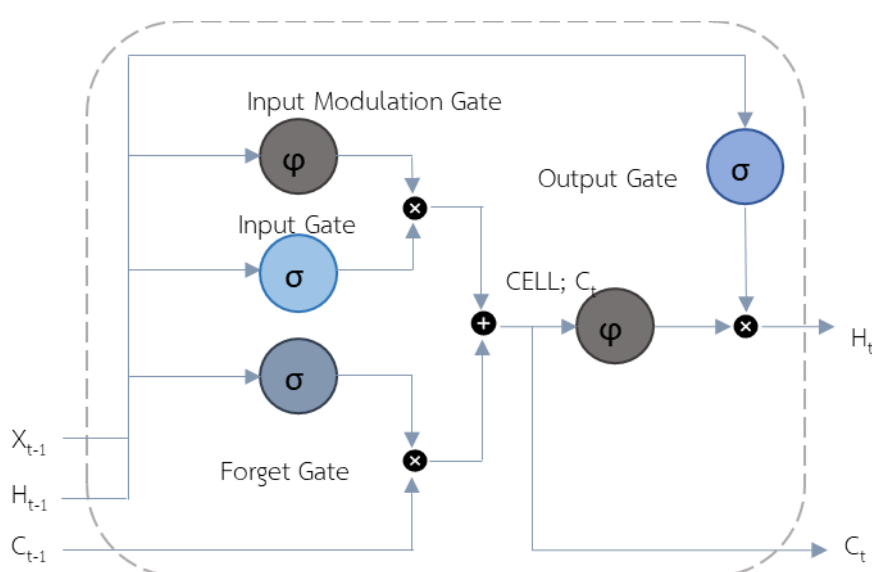
$$p_i^t = p_i^0 + \varepsilon \left[ \sum_{i=1}^n L(y_i, p_i^0 + O_{\text{value}}) + \frac{1}{2} \lambda O_{\text{value}}^2 \right] \quad \text{-----(2-12)}$$

#### 2.5.2.4 เทคนิค Long Short-Term Memory (LSTM)

เทคนิค Long Short-Term Memory (LSTM) เป็นแบบจำลองที่พัฒนามาจาก Recurrent Neural Network (RNN) ซึ่งเป็นการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ซึ่งเหมาะกับปัญหาการพยากรณ์ข้อมูลในลักษณะที่เป็นลำดับหรือข้อมูลอนุกรมเวลา เทคนิค LSTM ถูกเสนอโดย Hochreiter และ Schmidhuber (1997) เพื่อลดข้อจำกัดหรือความบกพร่องของเทคนิค RNN ให้มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์มากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ การเรียนรู้ของแบบจำลองการพยากรณ์โดยอาศัยอัลกอริทึม LSTM คือการศึกษาคุณสมบัติหลักและพึ่งพาข้อมูลอนุกรมเวลาในระยะยาวและเก็บข้อมูลไว้เพื่อเรียนรู้วนซ้ำไปมา โดยทั่วไป LSTM นิยมนำมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์หลายตัวแปร (Multivariate Prediction Model)

หลักการทำงานของ LSTM พยายามจดจำข้อมูลที่ผ่านมามาทั้งหมดและลบข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้องออกจากแบบจำลอง ดังนั้น แบบจำลอง LSTM จึงถูกจัดเรียงในรูปแบบของโครงสร้างลูกโซ่ ซึ่งประกอบด้วย 4 ประตู ได้แก่ (1) Forget Gate (2) Input Gate (3) Input Modulation Gate และ (4) Output Gate ซึ่งจะจัดการข้อมูลในสถานะเซลล์ (Cell State) และสื่อสารผ่านฟังก์ชันการเปิดใช้งาน (Activation Function)

ภาพที่ 2-7 แสดงโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม LSTM อินพุตคือสถานะเซลล์ (Cell State, C) สถานะที่ซ่อนอยู่ (Hidden State, H) และข้อมูลอินพุต (X) โดยโครงสร้างของ LSTM ทั่วไปสร้างขึ้นจากบล็อกหน่วยความจำต่างๆ ที่เรียกว่า "เซลล์" โดยสถานะปัจจุบันของเซลล์และสถานะที่ซ่อนอยู่จะถูกถ่ายโอนไปยังเซลล์ถัดไป Forget Gate จะตัดสินใจว่าจะลบหรือบันทึกข้อมูลก่อนหน้าจากสถานะเซลล์ ในขณะที่ Input Gate กำหนดขอบเขตของข้อมูลที่จะเขียนในสถานะเซลล์ และ Input Modulation Gate ถือเป็นส่วนหนึ่งของ Input Gate ซึ่งออกแบบมาเพื่อมอดูเลตข้อมูลใน Input Gate โดยเพิ่มความไม่เป็นเชิงเส้นให้กับข้อมูลและทำให้ข้อมูลมีค่าเป็นศูนย์ สำหรับ Output Gate จะกำหนดข้อมูลที่จะส่งผ่านเป็น Output Hidden State



ภาพที่ 2-7 โครงสร้างของโครงข่ายประสาท Long Short-Term Memory (LSTM)

LSTM (Jozefowicz, Zaremba & Sutskever, 2015) เป็นเทคนิคพิเศษที่ทำหน้าที่เสมือนประตู (Gate) ที่คอยควบคุมข้อมูลที่เข้ามาในแต่ละเซลล์ซึ่งประกอบด้วยฟังก์ชันต่าง ๆ ดังแสดงในสมการที่ 2-13 ถึงสมการที่ 2-17

$$C_t = C_{t-1}f_t + (N_t * I_t) \quad \text{-----}(2-13)$$

$$I_t = \sigma[W_i * (H_{t-1}, X_t) + B_i] \quad \text{-----}(2-14)$$

$$N_t = \tanh[W_n * (H_{t-1}, X_t) + B_n] \quad \text{-----}(2-15)$$

$$O_t = \sigma[W_o * (H_{t-1}, X_t) + B_o] \quad \text{-----}(2-16)$$

$$H_t = O_t * \tanh(C_t) \quad \text{-----}(2-17)$$

เมื่อ

$C_t$	=	บล็อกหน่วยความจำที่เวลา t
$C_{t-1}$	=	บล็อกหน่วยความจำที่เวลา t-1
$f_t$	=	Forget Gate ที่เวลา t
$N_t$	=	ฟังก์ชัน Hyperbolic Tangent (tanh) ที่เวลา t
$W_i, W_n, W_o$	=	Matrices ค่าน้ำหนักของแต่ละ Gates
$H_t$	=	ค่า Output ของ Cell State ที่เวลา t
$H_{t-1}$	=	ค่า Output ของ Cell State ที่เวลา t-1
$X_t$	=	ค่า Input ที่เข้ามาใน Cell State ที่เวลา t
$B_i, B_n, B_o$	=	ค่า Bias ของ Cell State
$I_t$	=	ฟังก์ชัน Sigmoid ( $\sigma$ ) ที่เวลา t
$C_t$	=	ค่า Candidate ของ Cell State ที่เวลา t
$O_t$	=	Output Gate ที่เวลา t

## 2.6 แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming Model)

แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming Model, CP) ถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาโจทย์การหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization Problem) โดยได้พัฒนาขึ้นบนพื้นฐานของการพัฒนาวิทยาการคอมพิวเตอร์ (Computer Science Fundamentals) เช่น การโปรแกรมเชิงตรรกะ (Logic Programming) และทฤษฎีกราฟ (Graph Theory) เป็นต้น ซึ่งมีความแตกต่างไปจากการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Programming) ทั่วไปซึ่งถูกพัฒนาขึ้นบนหลักการพีชคณิตเชิงเส้นเชิงตัวเลข (Numerical Linear Algebra)

การโปรแกรมแบบข้อจำกัดมีประโยชน์อย่างยิ่งในการแก้โจทย์ปัญหาจริงที่มีลักษณะเป็นปัญหาเชิงซ้อน (Combinatorial Problems) หรือปัญหาจริงที่เกี่ยวข้องกับการจัดลำดับและการจัดตารางที่มีความซับซ้อนสูง (Sequencing and Scheduling Problems) ไม่ว่าจะเป็น การจัดตารางที่เกี่ยวข้องกับคน เครื่องจักร หรือกระบวนการทำงานใด ๆ การโปรแกรมแบบข้อจำกัดสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ หากสามารถระบุความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables) กิจกรรม (Activities) และทรัพยากร

(Resources) แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดมักจะแสดงในรูปของการประกาศตัวแปร ได้แก่ ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables) ข้อจำกัด (Constraint) และวัตถุประสงค์ (Objectives) ที่จะทำการหาค่าต่ำสุด (Minimization) หรือการหาค่าสูงสุด (Maximization) ของโจทย์ปัญหานั้น ๆ ยิ่งไปกว่านั้น แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดยังสามารถหาค่าคำตอบของแบบจำลองการหาค่าที่ดีที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multiobjective Optimization) ได้อีกด้วย (Miettinen, 2012) แนวคิดของการโปรแกรมแบบข้อจำกัดคือการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด โดยสมการข้อจำกัดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องถูกทำให้เป็นที่พอใจในเวลาเดียวกัน ด้วยเหตุนี้ จึงจะต้องมีการระบุสภาพปัญหาจริงที่ประกอบด้วยตัวแปรที่ไม่ทราบค่าหลายตัวแปร โดยการโปรแกรมแบบข้อจำกัดจะพยายามค้นหาค่าของทุกตัวแปร โดยทั่วไปแล้วแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดที่เกี่ยวข้องกับเวลาแบ่งออกเป็น (1) การโปรแกรมแบบข้อจำกัดที่เวลาเดียวกัน (Temporal Concurrent Constraint Programming, TCC) และ (2) การโปรแกรมแบบข้อจำกัดที่เวลาไม่พร้อมเดียวกัน (Non-deterministic Temporal Concurrent Constraint Programming, MJV)

ปัญหาความพึงพอใจจากข้อจำกัด (Constraint Satisfaction Problems, CSP) เป็นลักษณะของปัญหาทางด้านคณิตศาสตร์ที่ต้องการแก้ปัญหาคำตอบที่มีข้อจำกัด (Constraint) โดยผลลัพธ์ที่ได้จะต้องไม่ขัดกับข้อจำกัดที่วางไว้ (Satisfaction) ปัญหาของ CSP จะประกอบไปด้วย จำนวนตัวแปร (Variable) ที่แน่นอน โดยแต่ละตัวแปรจะมีค่าที่อยู่ในโดเมน (Domain) ที่มีขอบเขต และเซตของข้อจำกัดที่มีการจำกัดค่าของตัวแปร โดยที่คำตอบที่ต้องการหาค่า (Solution) จะมีได้ก็ต่อเมื่อตัวแปรทุกตัวไม่ขัดกับข้อจำกัดที่มีอยู่

ข้อจำกัด (Constraint) คือ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหลายตัวที่จำกัดค่าตัวแปรเหล่านี้ที่จะเกิดขึ้นพร้อมกัน โดยทั่วไป CSP บนโดเมนที่มีขอบเขตจำกัดจะถูกกำหนดด้วย (1)  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  คือเซตของตัวแปรของปัญหา (2)  $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$  คือเซตของโดเมนของตัวแปร เช่น  $\forall k \in [1; n]$  และ  $x_k \in D_k$  และ (3)  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$  คือเซตของข้อจำกัด โดยที่  $C_i = (X_i, R_i)$  ถูกกำหนดโดยเซตของ  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  ของตัวแปร และความสัมพันธ์  $R_i \subset D_{i_1} \times \dots \times D_{i_k}$  ซึ่งกำหนดชุดของค่าตัวแปรของ  $X_i$

ข้อจำกัด (Constraint) จัดแบ่งออกเป็น 3 ประเภท (1) ข้อจำกัดส่วนขยาย (Extensional Constraints) เป็นข้อจำกัดที่ถูกกำหนดโดยการแจกแจงของค่าที่จะตอบสนอง (2) ข้อจำกัดทางคณิตศาสตร์ (Arithmetic Constraints) เป็นข้อจำกัดทางคณิตศาสตร์ที่ถูกกำหนดโดยนิพจน์เลขคณิต เช่น การใช้  $<, >, \leq, \geq, =, \neq, \dots$  และ (3) ข้อจำกัดทางตรรกะ (Logical Constraints) เป็นข้อจำกัดที่ถูกกำหนดขึ้นด้วยความหมายที่ชัดเจน เช่น AllDifferent, AtMost เป็นต้น

ปัญหาการหาค่าที่ดีที่สุดแบบข้อจำกัด (Constraint Optimization Problem, COP) เป็นลักษณะของ CSP ที่สัมพันธ์กับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) การหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) ก็คือการหาค่าคำตอบที่ทำให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีค่าน้อยที่สุด (Minimization) และมากที่สุด (Maximization) นั่นเอง ซึ่งในระหว่างการค้นหาคำตอบของ CSP ผู้ใช้งานสามารถหาคำตอบที่ทำให้ทุกข้อจำกัดได้รับการตอบสนอง และพิสูจน์ให้เห็นถึงค่าที่เหมาะสมของคำตอบที่ดีที่สุด และพิสูจน์ความไม่สามารถตอบสนองต่อปัญหานั้น ๆ

ลักษณะของข้อจำกัดที่ใช้กำหนดในแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดมีรูปแบบเฉพาะ อย่างไรก็ตาม ดี โดเมนที่นิยมนำมาใช้ประกอบด้วย โดเมนบูลีน (Boolean Domain) โดเมนจำนวนเต็ม (Integer Domain) โดเมนช่วงค่า (Interval Domain) โดเมนเชิงเส้น (Linear Domain) โดเมนขอบเขต (Finite Domain) และ โดเมนผสมผสาน (Mixed Domain) (Rossi et al., 2006)



## 2.7 เครื่องมือใช้งาน

### 2.7.1 ภาษา Python

ภาษาโปรแกรม Python เป็นภาษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ระดับสูง โดยถูกออกแบบมาให้เป็นภาษาสคริปต์ที่อ่านง่ายที่ตัดความซับซ้อนของโครงสร้างและไวยากรณ์ของภาษาออกไป ในส่วนของการแปลงชุดคำสั่งที่ผู้พัฒนาเขียนให้เป็นภาษาเครื่อง Python นั้น มีการทำงานแบบ Interpreter คือเป็นการแปลชุดคำสั่งทีละบรรทัด เพื่อป้อนเข้าสู่หน่วยประมวลผลให้คอมพิวเตอร์ทำงานตามที่ผู้พัฒนาต้องการ นอกจากนี้ ภาษาโปรแกรม Python ยังสามารถนำไปใช้ในการเขียนโปรแกรมได้หลากหลายประเภท โดยไม่ได้จำกัดอยู่ที่งานเฉพาะทางใดทางหนึ่ง (General Purpose Language) จึงทำให้มีการนำไปใช้กันแพร่หลายในหลายองค์กรใหญ่ระดับโลก เช่น Google, YouTube, Instagram, Dropbox และ NASA เป็นต้น (9Expert Company Limited, 2022)

### 2.7.2 เว็บแอปพลิเคชัน (Web Application)

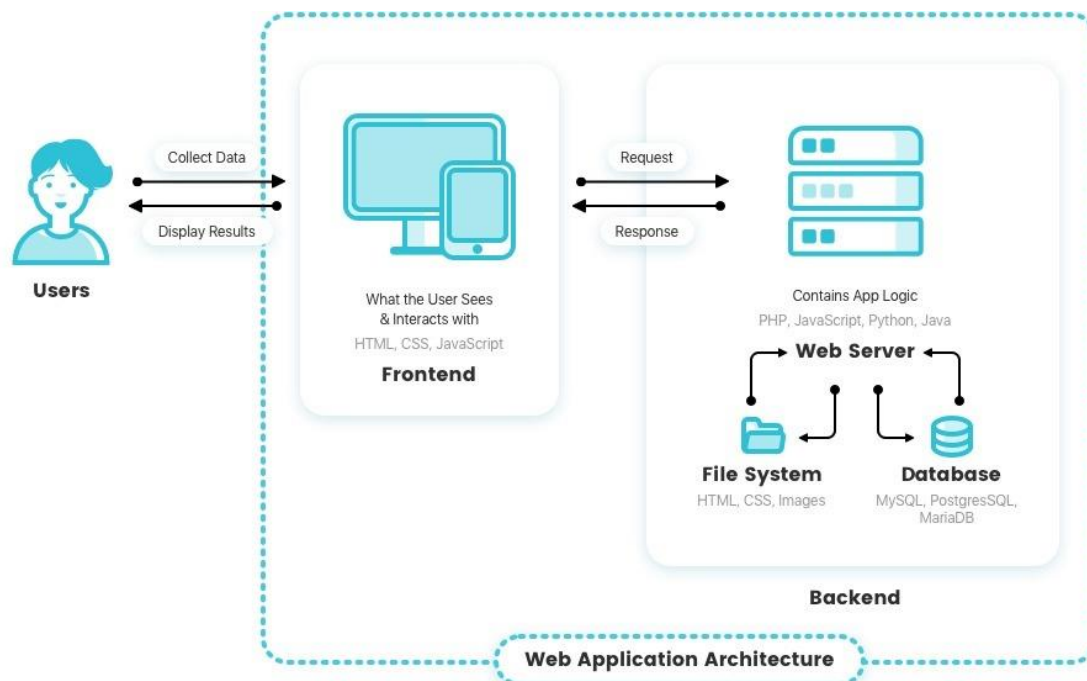
เว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) เป็นซอฟต์แวร์ (Software) ชนิดหนึ่งที่อยู่ในรูปแบบของเว็บไซต์ โดยตัวแอปพลิเคชันถูกจัดเก็บไว้ในเซิร์ฟเวอร์และใช้งานผ่านทางโปรแกรมเปิดเว็บ หรือเว็บเบราว์เซอร์ (Web Browser) บนอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น คอมพิวเตอร์ มือถือ เป็นต้น เว็บแอปพลิเคชันสามารถใช้งานได้มากกว่าการอ่านเนื้อหาจากเว็บไซต์ทั่วไป เพราะสามารถพิมพ์เอกสาร แต่งภาพ และเซฟเป็นไฟล์ได้อีกด้วย เว็บแอปพลิเคชันจะถูกเชื่อมต่อกับเครือข่ายที่ใช้งานได้ มีอินเทอร์เน็ตที่ถูกออกแบบให้ใช้งานโดยเฉพาะ และสามารถเข้าถึงได้ด้วย URL ผ่านเว็บเบราว์เซอร์

การทำงานของเว็บแอปพลิเคชันนั้นจะประกอบไปด้วย 4 ส่วนหลักดังนี้

- (1) เว็บเซิร์ฟเวอร์ (Web Server) เพื่อจัดการคำขอจาก Client
- (2) แอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ (Application Server) เพื่อจัดการคำสั่ง
- (3) ฐานข้อมูลสำหรับจัดการข้อมูล (Database)
- (4) เว็บเบราว์เซอร์ (Web Browser) เพื่อให้ฝั่งผู้ใช้งานเข้าถึงเว็บแอปพลิเคชันได้

การทำงานของเว็บแอปพลิเคชันมีขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 2-8 โดยมีรายละเอียดที่สำคัญดังนี้

- (1) ผู้ใช้งานส่งคำขอไปยังเว็บเซิร์ฟเวอร์ผ่านอินเทอร์เน็ตของเว็บแอปพลิเคชัน
- (2) เว็บเซิร์ฟเวอร์ส่งคำขอไปยังเว็บแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์
- (3) เว็บแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ดำเนินการตามคำสั่งที่ได้รับ จากนั้นสร้างผลลัพธ์ตามที่ต้องการ
- (4) เว็บแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ส่งผลลัพธ์ เช่น ข้อมูล ผลงานตามคำสั่งที่ได้รับ เป็นต้น กลับไปที่เว็บเซิร์ฟเวอร์
- (5) เว็บเซิร์ฟเวอร์ส่งต่อผลลัพธ์ไปยังอุปกรณ์ที่ส่งคำสั่งนั้น ๆ ซึ่งผลลัพธ์จะปรากฏบนหน้าจอหรือส่วนแสดงผลของอุปกรณ์ฝั่งผู้ใช้



ภาพที่ 2-8 การทำงานของเว็บแอปพลิเคชัน

ที่มา: <https://reinvently.com/blog/fundamentals-web-application-architecture/>

ในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันนั้น เริ่มต้นจากนักพัฒนาเว็บไซต์เขียนเว็บแอปพลิเคชันขึ้นมาด้วยสคริปต์ 2 แบบ ได้แก่

- (1) สคริปต์ของฝั่งเซิร์ฟเวอร์ (Server)
- (2) สคริปต์ของฝั่งอุปกรณ์ผู้ใช้ (Client)

โดยสคริปต์ฝั่งเซิร์ฟเวอร์เกี่ยวข้องกับการจัดเก็บและเรียกข้อมูลมักใช้ภาษา Python หรือ Java ในการเขียน ส่วนสคริปต์ของฝั่ง Client มักใช้ Java, Cascading Style Sheets (CSS) และ HTML5 เพื่อสร้างหน้าอินเทอร์เน็ตเฟสของเว็บแอปพลิเคชันขึ้นมา และเป็นภาษาที่เว็บเบราว์เซอร์ทั่วไปรองรับ

ความแตกต่างระหว่างเว็บแอปพลิเคชันกับเว็บไซต์คือ เว็บแอปพลิเคชันถูกออกแบบเพื่อมีปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้งาน (Dynamic Content/Interactive Content) โดยผู้ใช้เว็บแอปพลิเคชันสามารถอ่านและจัดการข้อมูลของเว็บได้ได้ และการทำงานเบื้องหลังของเว็บแอปพลิเคชันนั้นค่อนข้างซับซ้อน ในขณะที่เว็บไซต์โดยทั่วไปมักมีเนื้อหาคงที่ (Static Content) มีการอัปเดตน้อยกว่าเว็บแอปพลิเคชัน ผู้ใช้งานเว็บไซต์สามารถอ่านเนื้อหาของเว็บไซต์ได้เท่านั้น แต่ไม่สามารถจัดการเนื้อหาได้ และไม่มีฟีเจอร์ใด ๆ ที่โต้ตอบกับผู้ใช้งาน (Thaiware, 2566)

## บทที่ 3 ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1 แนวคิด ทฤษฎี และสมมติฐานงานวิจัย

แนวคิดในการพัฒนาข้อเสนอโครงการวิจัยนี้เป็นการพัฒนาต่อยอดจากโครงการวิจัยเรื่อง “กลยุทธ์การปรับเปลี่ยนแนวทางการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำสำหรับพัฒนาการบริหารจัดการน้ำต้นทุนในระยะยาวของเขื่อนภูมิพล (ระยะที่ 1) และการปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำรูปแบบใหม่สำหรับการบริหารจัดการน้ำต้นทุนระยะยาวในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาใหญ่ด้วยเทคนิคปัญญาประดิษฐ์ (ระยะที่ 2)” ที่ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ 2562 และสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2564 โดยทีมคณะผู้วิจัยได้เรียนรู้ และมีประสบการณ์ในการพัฒนาเครื่องมือเพื่อใช้ในการปรับเปลี่ยนแนวทางการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่อาศัยองค์ความรู้ที่ทันสมัยทางด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence-AI) มาใช้ในงานบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำ และพัฒนาต่อยอดในโครงการวิจัยนี้ไปเป็นการพัฒนางานบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำแบบอัจฉริยะในรูปแบบของ SMART Operation ในรูปแบบของการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาและรายงานผลการระบายน้ำจากแบบจำลองการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแนวทางใหม่ที่พัฒนาขึ้นบนพื้นฐานของการปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำแบบหลายอ่าง (Multiple Reservoir Operation System) เพื่อเป็นระบบสนับสนุนการตัดสินใจให้กับหน่วยงานภาครัฐในสายงานบริหารจัดการทรัพยากรน้ำทั้งในหน่วยงานปฏิบัติการ (Operator) และหน่วยงานควบคุมกำกับ (Regulator)

### 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

รายละเอียดของระเบียบวิธีวิจัยของข้อเสนอโครงการนี้มีดังนี้

#### 3.2.1 การปรับปรุงระบบการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาผ่านกิจกรรม CO-RUN โดยอาศัยข้อมูลจริงปัจจุบัน (Real Time Operation) ทั้งในสถานการณ์ปกติและพิบัติภัย

##### 3.2.1.1 การตรวจพิสูจน์ความถูกต้องของแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างล่องหน้า (Model Validation for Reservoir Inflow Prediction)

โครงการวิจัยปีที่ 2 ทางคณะผู้วิจัยได้พัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างล่องหน้าในระยะสั้นและระยะยาวทั้งในลักษณะของแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าแบบอย่างเดี่ยว (Univariate Prediction Model) และแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าแบบหลายอย่าง (Multivariate Prediction Model) โดยอาศัยหลักการปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) และเทคนิคการเรียนรู้แบบเครื่อง (Machine Learning, ML) โดยมีพื้นฐานมาจากระบบโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ (Artificial Neural Networks, ANNs) ด้วยเทคนิค Long Short-Term Memory (LSTM) ทั้งนี้แบบจำลองจะอยู่ในสภาพแวดล้อมการพัฒนา ดังนั้น เมื่อต้องนำแบบจำลองมาใช้งานจริงในโครงการวิจัยนี้จะต้องมีกระบวนการตรวจพิสูจน์ความถูกต้องและความแม่นยำของแบบจำลองโดยประเมินจากตัวชี้วัดประสิทธิภาพทางสถิติของการพยากรณ์กับชุดข้อมูลใหม่ ได้แก่ ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean Square Error, MSE) ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยยกกำลังสอง (Root Mean Square Error, RMSE) ค่า R-squared ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, Cor) และค่าความแม่นยำ Nash Sutcliffe Efficiency (NSE) ซึ่งหากพบว่าค่าความแม่นยำมีการเปลี่ยนแปลง คณะผู้วิจัยจะทำการปรับแต่งแบบจำลองให้มีความเหมาะสมตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ทั้งนี้

ในขั้นตอนการตรวจพิสูจน์แบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างล่องหน้าจะมีการปรับเปลี่ยนข้อมูลฝนตรวจวัดและข้อมูลฝนพยากรณ์ล่องหน้าจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ มาเป็นข้อมูลนำเข้าร่วมด้วย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการพยากรณ์ให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

### 3.2.1.2 การตรวจพิสูจน์ความถูกต้องของแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming)

เพื่อให้การทำงานของแบบจำลองการปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำด้วยเทคนิคการหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization Technique) ที่พัฒนาขึ้นโดยอาศัยหลักปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence-AI) โดยใช้แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming, CP) มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือได้ อีกทั้งยังสามารถปรับแต่งข้อมูลนำเข้าบางส่วนเพื่อให้แบบจำลองทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น ทางคณะผู้วิจัยจะดำเนินการศึกษาและหารือกับผู้ใช้งานเพื่อกำหนดสมการข้อจำกัดให้ครอบคลุมสถานการณ์อุทกภัยและภัยแล้งที่เกิดขึ้นและแนวทางปฏิบัติของหน่วยงานในการบริหารจัดการน้ำภายใต้ความเสี่ยงจากเหตุการณ์อุทกภัยและภัยแล้ง ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำมาใช้กำหนดค่าของตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสมในแบบจำลอง รวมทั้งข้อมูลนำเข้าที่สถานี C.29 จากนั้นคณะผู้วิจัยจะนำเข้ามาปรับแต่งแบบจำลองเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานนั้น ๆ

### 3.2.1.3 การจัดกิจกรรม CO-RUN เพื่อปรับปรุงระบบการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

จัดกิจกรรม CO-RUN ร่วมกันกับทีมวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน และสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) รวมทั้งตัวแทนผู้ใช้ประโยชน์จาก SWOC กรมชลประทาน และ WIC การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เพื่อทำการวิเคราะห์ผลลัพธ์ทั้งส่วนของผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำและผลการระบายน้ำของ 4 เขื่อนที่ได้จากแบบจำลองทั้งในช่วงวิกฤตอุทกภัยและภัยแล้ง วิเคราะห์หาอัตราส่วนการระบายน้ำที่เหมาะสมของทั้ง 4 เขื่อนหลักได้แก่ เขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ เพื่อสรุปแนวทางการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาให้กับหน่วยงานภาคปฏิบัติที่เกี่ยวข้อง

## 3.2.2 การพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา (Development of Automated Reservoir Management System in Chao Phraya River Basin)

### 3.2.2.1 การจัดประชุมเพื่อรับทราบความต้องการของผู้ใช้งานกลุ่มต่าง ๆ ในการออกแบบและพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติ

ในขั้นตอนแรกจะทำการจัดประชุมเพื่อรับทราบความต้องการของผู้ใช้งานกลุ่มต่าง ๆ ได้แก่ กรมชลประทาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และสำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ ในการออกแบบและพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติ (Automated Reservoir Management System) ในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

### 3.2.2.2 การพัฒนาโมดูลทางคอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมต่อเข้ากับเว็บเซิร์ฟเวอร์ (APIs) ในการดึงข้อมูลจากแหล่งข้อมูล (Data Acquisition Module)

เนื่องจากการใช้แบบจำลองแบบจำลองพยากรณ์เพื่อการคาดการณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำล่องหน้าและแบบจำลองการปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำด้วยเทคนิคการหาค่าที่ดีที่สุดต้องอาศัยข้อมูลหลายส่วน

ในการฝึกฝน เพื่อให้การใช้แบบจำลองมีความต่อเนื่อง คณะวิจัยจะต้องสร้างโมดูลทางคอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมต่อเข้ากับเว็บเซิร์ฟเวอร์หรือ API สำหรับการดึงข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ได้แก่

- (1) ข้อมูลสถานการณ์น้ำของเขื่อนภูมิพลรายวันจากฐานข้อมูลของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
- (2) ข้อมูลสถานการณ์น้ำของเขื่อนสิริกิติ์รายวันจากฐานข้อมูลของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
- (3) ข้อมูลสถานการณ์น้ำของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนรายวันจากฐานข้อมูลของกรมชลประทาน
- (4) ข้อมูลสถานการณ์น้ำของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์จากฐานข้อมูลของกรมชลประทาน
- (5) ข้อมูลฝนตรวจวัดรายวันจากระบบโทรมาตรของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
- (6) ข้อมูลฝนตรวจวัดรายวันและฝนพยากรณ์ล่วงหน้ารายสัปดาห์และรายเดือนจากฐานข้อมูลของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน)
- (7) ข้อมูลฝนพยากรณ์ล่วงหน้ารายสัปดาห์และรายเดือนที่ได้ปรับแต่งโดยทีมวิจัย ม.เกษตรศาสตร์
- (8) ข้อมูลประมาณการปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรกรรมโดยทีมวิจัย ม.เกษตรศาสตร์

ทั้งนี้การดึงข้อมูลจาก (1)–(6) จะเป็นการดึงข้อมูลจากแหล่งข้อมูลภายนอกผ่าน API ของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) ในขณะที่ (7)–(8) จะเป็นการดึงข้อมูลภายในจากคณะผู้วิจัยในโครงการ เมื่อได้ชุดข้อมูลมาแล้ว แต่ละชุดข้อมูลจะต้องผ่านการทำความสะอาดข้อมูลเบื้องต้น (Data Cleansing) และบันทึกลงในฐานข้อมูล เพื่อเตรียมการสร้างแบบจำลองหรือการใช้งานแบบจำลองในลำดับถัดไป

### 3.2.2.3 การพัฒนาโมดูลทางคอมพิวเตอร์เพื่อการเปลี่ยนแปลงและปรับข้อมูลให้เหมาะสมกับข้อมูลนำเข้าของแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง และการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Data Preparation Module)

ข้อมูลที่ได้จากการดึงข้อมูลในข้อที่ 3.2.2.2 นั้นอาจจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันในแต่ละแหล่งข้อมูล ซึ่งการที่แบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง และการหาค่าที่ดีที่สุดของการระบายน้ำด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming Model, CP) จะทำงานได้นั้น จำเป็นที่ต้องมีรูปแบบข้อมูลนำเข้าที่เหมาะสม ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า การเตรียมข้อมูล (Data Preparation) เพื่อใช้ในการเปลี่ยนแปลงและปรับข้อมูลนำเข้า เมื่อโมดูลนี้ทำการเปลี่ยนแปลงและปรับข้อมูลนำเข้าแล้วนั้น จะทำการเก็บไว้ในฐานข้อมูลที่ถูกพัฒนาขึ้นในข้อที่ 3.2.2.6 เพื่อใช้ในแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง และการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดต่อไป

### 3.3.2.4 การพัฒนาโมดูลทางคอมพิวเตอร์สำหรับการพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างด้วยแบบจำลองปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) และเทคนิคการเรียนรู้แบบเครื่อง (Machine Learning)

ในขั้นตอนนี้ คณะผู้วิจัยจะพัฒนาโมดูลทางคอมพิวเตอร์เพื่อนำแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างไปใช้ในเว็บแอปพลิเคชันที่จะถูกสร้างขึ้นในข้อที่ 3.2.2.7 ในรูปแบบเว็บเซิร์ฟเวอร์ ทั้งนี้ตัวโมดูลจะทำหน้าประสานการทำงาน เพื่อให้สามารถส่งต่อข้อมูลนำเข้าและผลลัพธ์การพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างในแต่ละเขื่อนสำหรับการแสดงผลในเว็บแอปพลิเคชัน

### 3.2.2.5 การพัฒนาโมดูลทางคอมพิวเตอร์สำหรับการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming Model, CP)

ขั้นตอนนี้จะเป็นพัฒนาการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming Model, CP) ให้เป็นโมดูลทางคอมพิวเตอร์เพื่อให้สามารถนำไปใช้ได้ในระบบเว็บแอปพลิเคชันที่จะถูกสร้างขึ้นในข้อที่ 3.2.2.7 โดยโมดูลนี้จะถูกพัฒนาในรูปแบบของเว็บเซอร์วิสที่จะทำหน้าที่ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดเพื่อให้ได้ผลการระบายน้ำที่ดีที่สุด และนำไปแสดงผลในระบบเว็บแอปพลิเคชัน

### 3.2.2.6 การพัฒนาฐานข้อมูล (Database Development) เพื่อรองรับระบบหลักในการพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง และการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด

ขั้นตอนนี้จะเป็นการพัฒนาฐานข้อมูลเพื่อรองรับการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันในข้อที่ 3.2.2.7 โดยปกติระบบเว็บแอปพลิเคชันจะต้องมีฐานข้อมูลที่ใช้ในการเก็บข้อมูลของระบบ นอกจากนี้ฐานข้อมูลนี้จะใช้ในการเก็บข้อมูลนำเข้าต่าง ๆ ที่มาจากการนำเข้าข้อมูลในข้อที่ 3.2.2.2

### 3.2.2.7 การพัฒนาระบบเว็บแอปพลิเคชันเพื่อเชื่อมต่อโมดูลต่าง ๆ กับผู้ใช้งาน ทดสอบระบบ และปรับปรุงแก้ไขส่วนต่าง ๆ ของระบบเว็บแอปพลิเคชัน

คณะผู้วิจัยจะดำเนินการพัฒนาระบบเว็บแอปพลิเคชันสำหรับการเชื่อมต่อการทำงานระหว่างโมดูล ดังแสดงในรูปที่ 3-1 ได้แก่

ส่วนที่ 1 โมดูลทางคอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมต่อเข้ากับเว็บเซอร์วิส (APIs) ในการดึงข้อมูลจากแหล่งข้อมูล

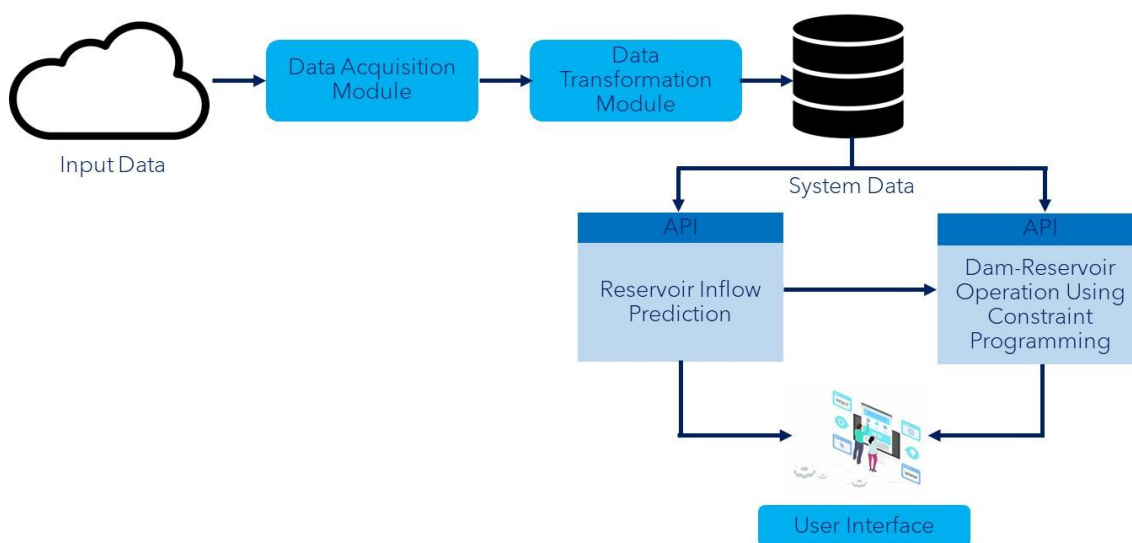
ส่วนที่ 2 โมดูลทางคอมพิวเตอร์เพื่อการเปลี่ยนแปลงและปรับข้อมูลให้เหมาะกับข้อมูลนำเข้า

ส่วนที่ 3 โมดูลทางคอมพิวเตอร์สำหรับการพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ

ส่วนที่ 4 โมดูลทางคอมพิวเตอร์สำหรับการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด

ส่วนที่ 5 ฐานข้อมูล (Database) เพื่อรองรับระบบหลัก

ส่วนที่ 6 ส่วนต่อประสานผู้ใช้ (User Interface หรือส่วนหน้าเว็บแอปพลิเคชัน)



รูปที่ 3-1 โครงสร้างการทำงานระหว่างโมดูลคอมพิวเตอร์ของระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติ

คณะผู้วิจัยคาดหวังให้ผู้ใช้สามารถใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน โดยสามารถนำเข้าสู่ข้อมูลเพื่อใช้แบบจำลองการพยากรณ์ หรือเรียกดูข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ รวมถึงผลลัพธ์ของแบบจำลองผ่านหน้าเว็บแอปพลิเคชัน เมื่อระบบได้รับข้อมูลนำเข้าจากผู้ใช้งาน ระบบจะเรียกการใช้งานโมดูลที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลเพื่อแปลงข้อมูลนำเข้า (เช่น โมดูลทางคอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมต่อเข้ากับเว็บเซอร์วิส หรือฐานข้อมูล และโมดูลทางคอมพิวเตอร์เพื่อการเปลี่ยนแปลงและปรับข้อมูลให้เหมาะกับข้อมูลนำเข้า) จากนั้นระบบจะทำการคำนวณการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำและกำหนดปริมาณการระบายน้ำที่ดีที่สุดด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด เมื่อได้ผลลัพธ์แล้ว ระบบจะแสดงผลลัพธ์ในหน้าเว็บแอปพลิเคชัน และในขั้นตอนสุดท้ายจะทำการทดสอบระบบ และปรับปรุงแก้ไขส่วนต่าง ๆ ของระบบเว็บแอปพลิเคชันซึ่งจะเป็นกระบวนการในการทดสอบการใช้งานของระบบเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการ (Requirement) ซึ่งจะได้มาซึ่งผลการทดสอบและการปรับปรุงที่ไม่กระทบต่อระบบหลักหรือความต้องการหลัก โดยหลักการที่คณะผู้วิจัยจะใช้นั้นคือ การทดสอบกับผู้ใช้ (Usability Testing)

### 3.2.3 จัดทำคู่มือระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา และจัดฝึกอบรมเพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ เทคโนโลยี และการใช้งานระบบเว็บแอปพลิเคชันในการบริหารเขื่อนในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา พร้อมแนวทางการขยายผลไปยังเขื่อนอื่น ๆ

#### 3.2.3.1 จัดทำคู่มือระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา

หลังการพัฒนาระบบแล้วเสร็จ ทางคณะผู้วิจัยจะจัดทำคู่มือระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา พร้อมข้อเสนอแนะในการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาเพื่อมุ่งเน้นการเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนในระบบ

#### 3.2.3.2 จัดฝึกอบรมเพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ เทคโนโลยี และการใช้งานระบบเว็บแอปพลิเคชันในการบริหารเขื่อนในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา

หลังการพัฒนาระบบแล้วเสร็จ ทางคณะผู้วิจัยจะจัดฝึกอบรมเพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ เทคโนโลยี และการใช้งานระบบเว็บแอปพลิเคชันของระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา เพื่อส่งต่อผลลัพธ์ที่ได้จากโครงการวิจัยให้กับกรมชลประทาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และสำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติต่อไป

#### 3.2.3.3 จัดกิจกรรมขยายผลงานวิจัยไปยังเขื่อนอื่น ๆ

หลังการพัฒนาระบบแล้วเสร็จ ทางคณะผู้วิจัยจะเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ผลงานวิจัยผ่านช่องทางต่าง ๆ ในรูปแบบการจัดฝึกอบรม การจัดประชุมกลุ่มย่อย และ/หรือการลงพื้นที่ภาคสนามของเขื่อนหลักในความรับผิดชอบของกรมชลประทาน ยกตัวอย่างเช่น เขื่อนหลักในกลุ่มน้ำมูลตอนบน (เขื่อนมูลบน เขื่อนลำเซาะ เขื่อนลำตะคอง เขื่อนลำพระเพลิง และเขื่อนลำเชียงไกรตอนล่าง) หรือการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ยกตัวอย่างเช่น เขื่อนอุบลรัตน์ ที่มีความเสี่ยงในการบริหารจัดการน้ำในสถานการณ์น้ำต่าง ๆ ทั้งนี้เพื่อรับข้อมูลชี้แนะแนวทาง และจัดฝึกอบรมในการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำอัตโนมัติเพื่อเป็นกรณีศึกษาตัวอย่างในการขยายผลและขับเคลื่อนงานวิจัยในอนาคต และจัดทำรายงานสรุปถึงแนวทางการขยายผลไปยังเขื่อนอื่น ๆ ของประเทศ

## บทที่ 4 ผลการวิจัย

### 4.1 ผลการวิเคราะห์สถานการณ์น้ำและแนวทางการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

#### 4.1.1 ข้อมูลปริมาณน้ำเก็บกักใช้การในอ่างเก็บน้ำ

ข้อมูลปริมาณน้ำเก็บกักใช้การของ 4 เขื่อนหลักได้แก่ เขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ในช่วงต้นฤดูแล้ง (1 พฤศจิกายน 2565) ช่วงต้นฤดูฝน (1 พฤษภาคม 2566) และช่วงเวลาปัจจุบัน (11 พฤศจิกายน 2566) ได้สรุปไว้ในตารางที่ 4-1 และข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างสะสมและปริมาณการระบายน้ำสะสมของ 4 เขื่อนหลักโดยคำนวณสะสมตั้งแต่วันที่ 1 พฤศจิกายน 2565 ได้สรุปไว้ในตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-1 ข้อมูลปริมาณน้ำเก็บกักใช้การของ 4 เขื่อนหลัก

เขื่อน	ปริมาณน้ำเก็บกักใช้การ (ล้าน ลบ.ม./%)		
	ช่วงต้นฤดูแล้ง (1 พฤศจิกายน 2565)	ช่วงต้นฤดูฝน (1 พฤษภาคม 2566)	ช่วงเวลาปัจจุบัน (11 พฤศจิกายน 2566)
ภูมิพล	8,185.72 (84.72%)	4,408.89 (45.63%)	6,471.65 (66.98%)
สิริกิติ์	4,011.20 (60.23%)	1,611.75 (24.20%)	3,254.46 (48.87%)
แควน้อยบำรุงแดน	920.85* (101.98%)	252.60 (27.97%)	908.75* (101.42%)
ป่าสักชลสิทธิ์	973.41* (101.71%)	228.56 (23.88%)	993.10* (103.77%)

หมายเหตุ: \* ปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำอยู่ในสถานะเต็มอ่าง

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำเก็บกักใช้การของ 4 เขื่อนหลักพบว่า ปริมาณน้ำเก็บกักใช้การของเขื่อนภูมิพลในช่วงต้นฤดูแล้งปี 2565/2566 มีค่าเท่ากับ 8,186 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็น 84.72% ของปริมาณน้ำเก็บกักใช้การ อย่างไรก็ตาม ในช่วงต้นฤดูฝนของปี 2566 ปริมาณน้ำเก็บกักใช้การลดลงเหลือ 4,409 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็น 45.63% ของปริมาณน้ำเก็บกักใช้การ และมีแนวโน้มลดลงในช่วงกลางฤดูฝน (14 มิถุนายน 2566) เหลือเพียง 3,453 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็น 35.74% ของปริมาณน้ำเก็บกักใช้การ อันเป็นผลจากการระบายน้ำไปใช้ในกิจกรรมการใช้น้ำเพื่อการเกษตรในช่วงฤดูฝน อย่างไรก็ตาม จากการเกิดเหตุการณ์พายุฝนในช่วงปลายเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม ทำให้มีปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพลเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำเก็บกักใช้การเพิ่มขึ้นเป็น 4,909 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็น 50.81% ของปริมาณน้ำเก็บกักใช้การ ณ วันที่ 15 ตุลาคม 2566 ซึ่งเป็นผลดีในแง่ของปริมาณน้ำต้นทุนที่เพิ่มสูงขึ้นสำหรับนำไปใช้ในระหว่างการเพาะปลูกฤดูแล้งปี 2566/2567

ในทำนองเดียวกัน ปริมาณน้ำเก็บกักใช้การของเขื่อนสิริกิติ์ในช่วงต้นฤดูแล้งปี 2565/2566 มีค่าเท่ากับ 4,011 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็น 60.23% ของปริมาณน้ำเก็บกักใช้การ ซึ่งมีปริมาณเก็บกักใช้การน้อยกว่าเขื่อนภูมิพลอย่างเห็นได้ชัด และในช่วงต้นฤดูฝนของปี 2566 ปริมาณน้ำเก็บกักใช้การของเขื่อน



สิริกิติ์ลดลงเหลือ 1,612 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็น 24.20% ของปริมาณน้ำเก็บกักใช้การเท่านั้น และยังมีแนวโน้มลดลงในช่วงกลางฤดูฝน (16 มิถุนายน 2566) เหลือเพียง 1,140 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็น 17.11% ของปริมาณน้ำเก็บกักใช้การ อย่างไรก็ตาม ปริมาณน้ำเก็บกักใช้การมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเป็น 2,989.33 หรือคิดเป็น 44.88% ณ วันที่ 15 ตุลาคม 2566 อันเนื่องมาจากปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในช่วงเดือนสิงหาคมถึงกลางเดือนตุลาคมเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งบ่งชี้ให้เห็นถึงปริมาณน้ำต้นทุนที่คาดว่าจะเพิ่มสูงขึ้นสำหรับนำไปใช้ในช่วงการเพาะปลูกฤดูแล้งปี 2566/2567 ร่วมกับปริมาณน้ำต้นทุนจากเขื่อนภูมิพล

สำหรับสถานะน้ำต้นทุนของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนและเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ในช่วงต้นการเพาะปลูกฤดูแล้งปี 2565/2566 พบว่า ปริมาณน้ำใช้การอยู่ในสถานะเต็มอ่างเนื่องจากประสบปัญหาอุทกภัยจากเหตุการณ์พายุฝน ในทำนองเดียวกัน ปริมาณน้ำเก็บกักใช้การในช่วงต้นฤดูฝนปี 2566 เหลือเพียง 252.60 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็น 27.97% ของปริมาณน้ำเก็บกักใช้การ สำหรับเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเหลือเพียง 228.56 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็น 23.88% ของปริมาณน้ำเก็บกักใช้การ สำหรับเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ นอกจากนี้ ปริมาณน้ำเก็บกักใช้การของทั้ง 2 เขื่อนในช่วงกลางฤดูฝน ณ วันที่ 14 มิถุนายน 2566 มีแนวโน้มลดลงจากการจัดสรรน้ำไปใช้ในช่วงฤดูฝน โดยมีปริมาณน้ำเก็บกักใช้การเพียง 146.60 และ 132.31 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็น 16.23% และ 13.83% ของปริมาณน้ำเก็บกักใช้การของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนและเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ในช่วงกลางเดือนตุลาคม (15 ตุลาคม 2566) ปริมาณน้ำเก็บกักใช้การเพิ่มสูงขึ้นถึง 853.78 และ 782.29 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็น 95.44% และ 81.74% ของปริมาณน้ำเก็บกักใช้การของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนและเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ ตามลำดับ และในช่วงกลางเดือนพฤศจิกายน (13 พฤศจิกายน 2566) ปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำอยู่ในสถานะเต็มอ่างเท่ากับ 909 และ 993 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็น 101.42% และ 103.77% ของปริมาณน้ำเก็บกักใช้การของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนและเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มใกล้เคียงกับสถานการณ์น้ำในปี 2565 ที่ผ่านมา อย่างไรก็ตาม ในภาพรวมทั้งระบบ ณ วันที่ 11-13 พฤศจิกายน 2566 พบว่า ปริมาณน้ำเก็บกักใช้การของทั้ง 4 เขื่อนมีค่าสูงถึง 11,628 ล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งจะต้องจัดสรรปริมาณน้ำต้นทุนนี้ไปใช้ให้เพียงพอกับความต้องการน้ำในภาคเกษตรกรรมในพื้นที่โครงการชลประทานตลอดช่วงการเพาะปลูกฤดูแล้งปี 2566/2567 และความต้องการน้ำนอกภาคเกษตรกรรมในลุ่มน้ำเจ้าพระยาอีกด้วย

ตารางที่ 4-2 ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างสะสมและปริมาณการระบายน้ำสะสมของ 4 เขื่อนหลัก

เขื่อน	ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างสะสม <sup>1/</sup> (ล้าน ลบ.ม.)			ปริมาณการระบายน้ำสะสม <sup>2/</sup> (ล้าน ลบ.ม.)		
	ช่วงต้นฤดู แล้ง <sup>3/</sup>	ช่วงต้นฤดู ฝน <sup>4/</sup>	ช่วงเวลา ปัจจุบัน <sup>5/</sup>	ช่วงต้นฤดู แล้ง <sup>3/</sup>	ช่วงต้นฤดู ฝน <sup>4/</sup>	ช่วงเวลา ปัจจุบัน <sup>5/</sup>
ภูมิพล	15.59	262.57	6,132.97	2.84	3,651.97	7,260.08
สิริกิติ์	7.58	323.04	4,230.38	9.04	2,913.87	4,218.18
แควน้อยบำรุงแดน	2.73	66.51	1,147.60	2.59	540.34	941.47
ป่าสักชลสิทธิ์	3.20	68.26	1,504.82	4.32	586.44	1,170.36

หมายเหตุ: <sup>1/</sup>ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างสะสมคำนวณตั้งแต่วันที่ 1 พ.ย. 2565

<sup>2/</sup>ปริมาณการระบายน้ำสะสมคำนวณตั้งแต่วันที่ 1 พ.ย. 2565

<sup>3/</sup>ช่วงต้นฤดูแล้งอาศัยข้อมูล ณ วันที่ 1 พ.ย. 2565

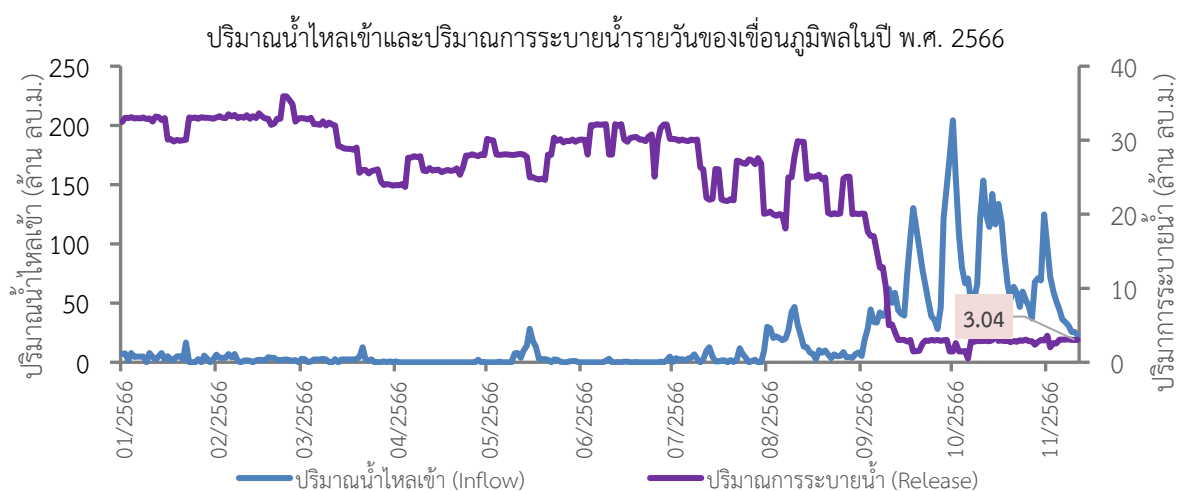
4/ ช่วงต้นฤดูฝนอาศัยข้อมูล ณ วันที่ 1 พ.ค. 2566

5/ ช่วงเวลาปัจจุบันอาศัยข้อมูล ณ วันที่ 11 พ.ย. 2566 เชื่อนภูมิพลและเชื่อนสิริกิติ์ และวันที่ 13 พ.ย. 2566 เชื่อนแควน้อยบำรุงแดนและเชื่อนป่าสักชลสิทธิ์

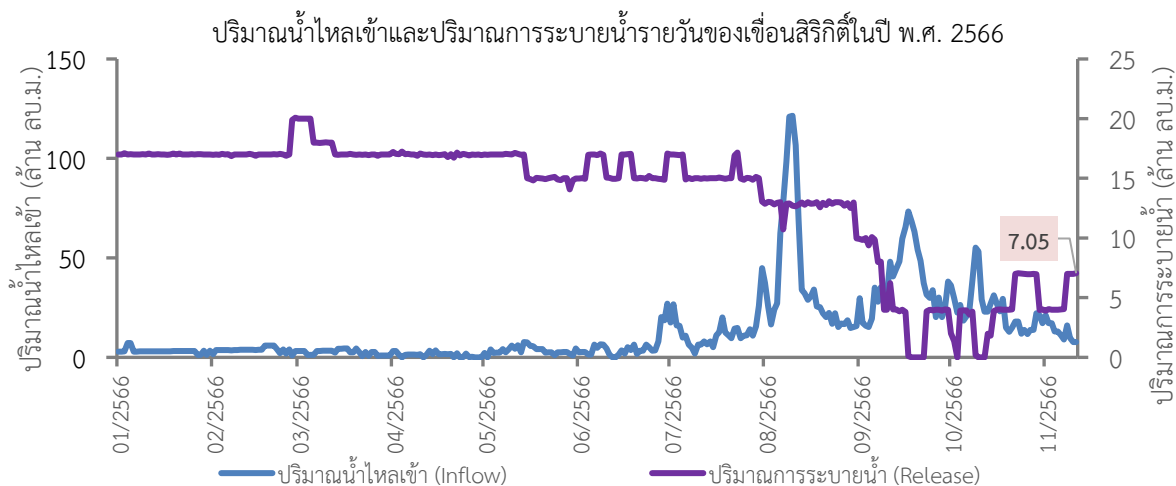
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างสะสมและปริมาณการระบายน้ำสะสมของ 4 เขื่อนหลักพบว่า ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างสะสมของเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ตั้งแต่ช่วงต้นการเพาะปลูกฤดูแล้งปี 2565/2566 ณ วันที่ 1 พฤศจิกายน 2565 ถึงช่วงวันที่ 11-13 พฤศจิกายน 2566 มีค่าเท่ากับ 6,133, 4,230, 1,148 และ 1,505 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ โดยปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสะสมของเขื่อนภูมิพลสูงกว่าเขื่อนสิริกิติ์ ในขณะที่ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสะสมของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนมีค่าใกล้เคียงกับเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์จากปัจจัยการเกิดพายุฝนในช่วงปลายฤดูฝนและมีสถานะของน้ำเก็บเต็มความจุอ่างเก็บน้ำ สำหรับปริมาณการระบายน้ำสะสมของเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ตั้งแต่ช่วงต้นฤดูแล้งปี 2565/2566 ถึงช่วงสิ้นสุดของการเพาะปลูกฤดูฝนและเริ่มต้นการเพาะปลูกฤดูแล้งปี 2566/2567 ของวันที่ 11-13 พฤศจิกายน 2566 มีค่าเท่ากับ 7,260, 4,218, 942 และ 1,170 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ โดยปริมาณน้ำระบายของเขื่อนภูมิพลมีค่าสูงกว่าปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสะสมอย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่ ปริมาณน้ำระบายของเขื่อนสิริกิติ์มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสะสม ในทางกลับกัน ปริมาณน้ำระบายจากเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนและเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์มีค่าต่ำกว่าปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสะสมอยู่เล็กน้อย

#### 4.1.2 ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำและปริมาณการระบายน้ำ

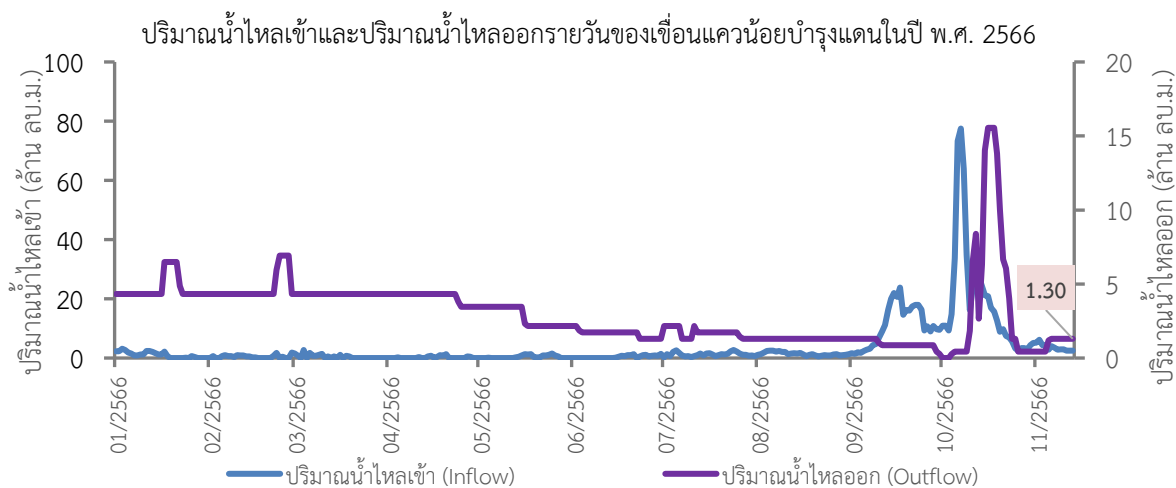
ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำและปริมาณการระบายน้ำรายวันของเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ ระหว่างวันที่ 1 มกราคม 2566-11 พฤศจิกายน 2566 แสดงในภาพที่ 4-1 ถึงภาพที่ 4-4



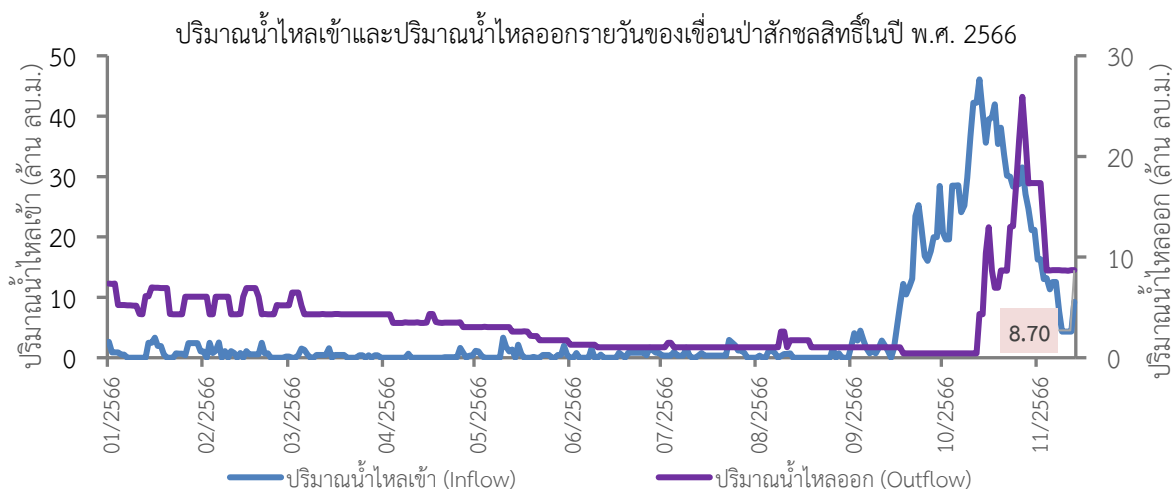
ภาพที่ 4-1 ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำและปริมาณการระบายน้ำรายวันของเขื่อนภูมิพลในปี พ.ศ. 2566



ภาพที่ 4-2 ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำและปริมาณการระบายน้ำรายวันของเขื่อนสิริกิติ์ในปี พ.ศ. 2566



ภาพที่ 4-3 ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำและปริมาณการระบายน้ำรายวันของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนในปี พ.ศ. 2566



ภาพที่ 4-4 ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำและปริมาณการระบายน้ำรายวันของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ในปี พ.ศ. 2566

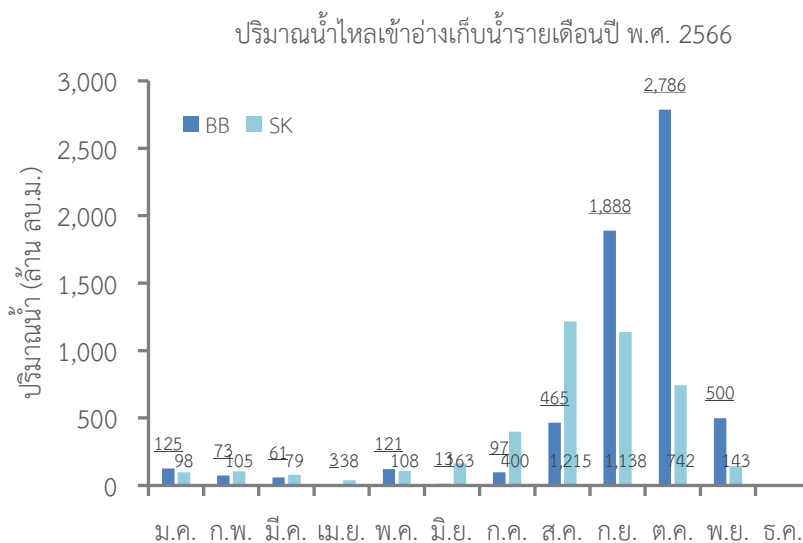
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำและปริมาณการระบายน้ำรายวันของเขื่อนภูมิพล ระหว่างวันที่ 1 มกราคม 2566-11 พฤศจิกายน 2566 พบว่า ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันเฉลี่ยของเขื่อนภูมิพลมีค่าเท่ากับ 19.47 ล้านลูกบาศก์เมตร และปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันสูงสุดสูงถึง 204.31 ล้านลูกบาศก์เมตร เกิดขึ้นในวันที่ 1 เดือนตุลาคม นอกจากนี้ ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันมีความผันแปรสูงในช่วงระหว่าง 0-204.31 ล้านลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ ปริมาณการระบายน้ำรายวันเฉลี่ยของเขื่อนภูมิพลมีค่าเท่ากับ 23.05 ล้านลูกบาศก์เมตร และปริมาณการระบายน้ำรายวันสูงสุดสูงถึง 35.94 ล้านลูกบาศก์เมตร ปริมาณการระบายน้ำรายวันผันแปรอยู่ในช่วงระหว่าง 0.51-35.94 ล้านลูกบาศก์เมตร

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำและปริมาณการระบายน้ำรายวันของเขื่อนสิริกิติ์ ระหว่างวันที่ 1 มกราคม 2566-11 พฤศจิกายน 2566 พบว่า ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันเฉลี่ยของเขื่อนสิริกิติ์มีค่าเท่ากับ 13.43 ล้านลูกบาศก์เมตร และปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันสูงสุดสูงถึง 121.46 ล้านลูกบาศก์เมตร เกิดขึ้นในเดือนสิงหาคม นอกจากนี้ ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันมีความผันแปรสูงในช่วงระหว่าง 0-121.46 ล้านลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ ปริมาณการระบายน้ำรายวันเฉลี่ยของเขื่อนสิริกิติ์มีค่าเท่ากับ 13.39 ล้านลูกบาศก์เมตร และปริมาณการระบายน้ำรายวันสูงสุดสูงถึง 20.08 ล้านลูกบาศก์เมตร ปริมาณการระบายน้ำรายวันผันแปรอยู่ในช่วงระหว่าง 0-20.08 ล้านลูกบาศก์เมตร

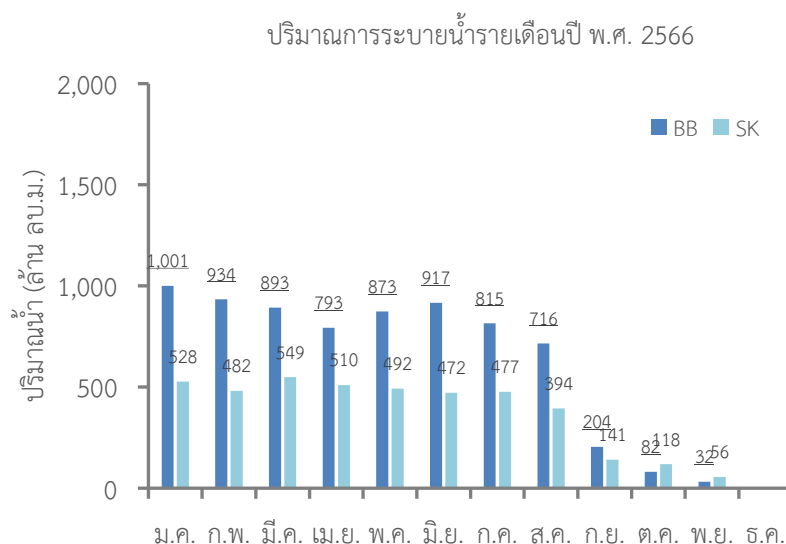
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำและปริมาณการระบายน้ำรายวันของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนระหว่างวันที่ 1 มกราคม 2566-13 พฤศจิกายน 2566 พบว่า ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันเฉลี่ยของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนมีค่าเท่ากับ 3.63 ล้านลูกบาศก์เมตร และปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันสูงสุดสูงถึง 77.51 ล้านลูกบาศก์เมตร เกิดขึ้นในเดือนตุลาคม นอกจากนี้ ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันมีความผันแปรสูงในช่วงระหว่าง 0-77.51 ล้านลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ ปริมาณการระบายน้ำรายวันเฉลี่ยของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนมีค่าเท่ากับ 2.97 ล้านลูกบาศก์เมตร และปริมาณการระบายน้ำรายวันสูงสุดสูงถึง 15.55 ล้านลูกบาศก์เมตร ปริมาณการระบายน้ำรายวันผันแปรอยู่ในช่วงระหว่าง 0-15.55 ล้านลูกบาศก์เมตร

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำและปริมาณการระบายน้ำรายวันของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ระหว่างวันที่ 1 มกราคม 2566-13 พฤศจิกายน 2566 พบว่า ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันเฉลี่ยของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์มีค่าเท่ากับ 4.75 ล้านลูกบาศก์เมตร และปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันสูงสุดสูงถึง 46.09 ล้านลูกบาศก์เมตร เกิดขึ้นในวันที่ 1 เดือนตุลาคม นอกจากนี้ ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันมีความผันแปรสูงในช่วงระหว่าง 0-46.09 ล้านลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ ปริมาณการระบายน้ำรายวันเฉลี่ยของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์มีค่าเท่ากับ 3.69 ล้านลูกบาศก์เมตร และปริมาณการระบายน้ำรายวันสูงสุดสูงถึง 25.92 ล้านลูกบาศก์เมตร ปริมาณการระบายน้ำรายวันผันแปรอยู่ในช่วงระหว่าง 0-25.92 ล้านลูกบาศก์เมตร

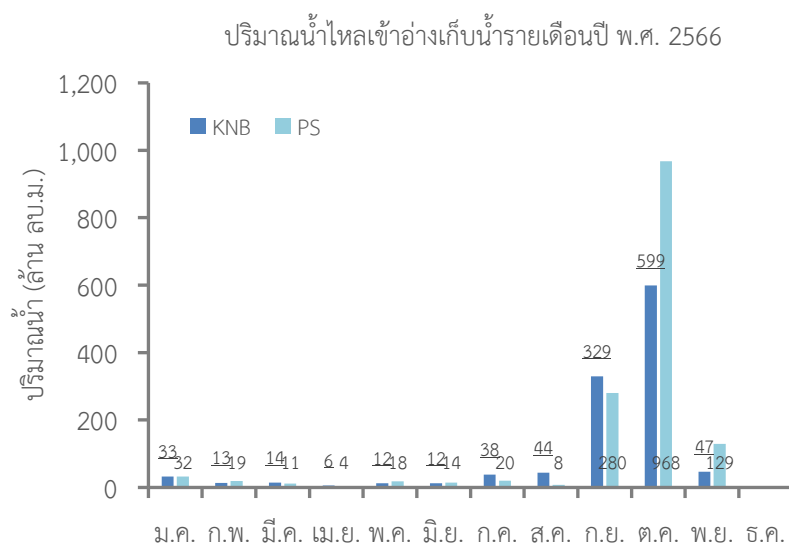
สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำและปริมาณการระบายน้ำรายเดือนของเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ ระหว่างวันที่ 1 มกราคม 2566-11/13 พฤศจิกายน 2566 แสดงในภาพที่ 4-5 ถึงภาพที่ 4-8



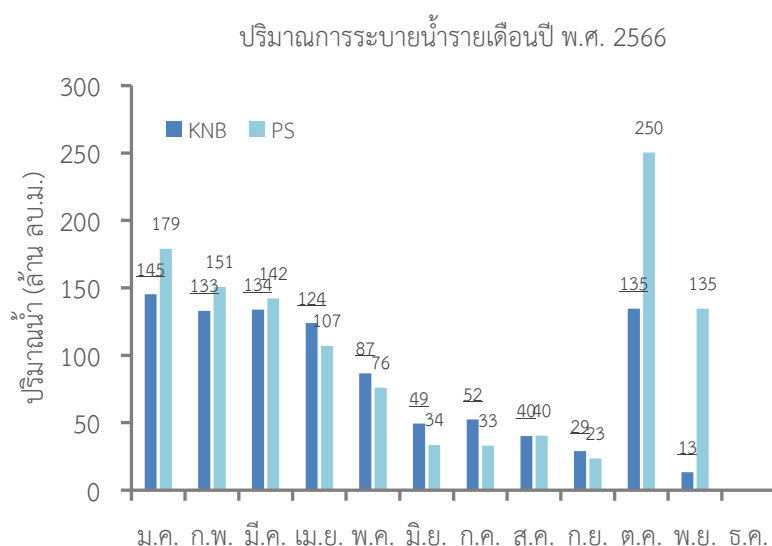
ภาพที่ 4-5 ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายเดือนของเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์ในปี พ.ศ. 2566 (หมายเหตุ: ข้อมูลถึงวันที่ 11 พฤศจิกายน 2566)



ภาพที่ 4-6 ปริมาณการระบายน้ำรายเดือนของเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์ในปี พ.ศ. 2566 (หมายเหตุ: ข้อมูลถึงวันที่ 11 พฤศจิกายน 2566)



ภาพที่ 4-7 ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายเดือนของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนและเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ ในปี พ.ศ. 2566 (หมายเหตุ: ข้อมูลถึงวันที่ 13 พฤศจิกายน 2566)



ภาพที่ 4-8 ปริมาณการระบายน้ำรายเดือนของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนและเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ ในปี พ.ศ. 2566 (หมายเหตุ: ข้อมูลถึงวันที่ 13 พฤศจิกายน 2566)

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำและปริมาณการระบายน้ำรายเดือนของเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์ระหว่างวันที่ 1 มกราคม 2566–11 พฤศจิกายน 2566 พบว่า ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายเดือนในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนกรกฎาคมของทั้ง 2 เขื่อนยังอยู่ในเกณฑ์ต่ำ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสถานะน้ำต้นทุนในอ่างเก็บน้ำที่มีจำกัดสำหรับจัดสรรไปใช้ในช่วงการเพาะปลูกฤดูฝน อย่างไรก็ตาม ตั้งแต่ช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคมพบว่า ปัจจัยปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งส่งผลดีทำให้ปริมาณน้ำต้นทุนทั้งจากเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์เพิ่มปริมาณสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคมของเขื่อนภูมิพลที่สามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ในปริมาณมากในช่วงเวลาสั้น ในขณะที่รูปแบบการระบายน้ำรายเดือนพบว่า มีการระบายน้ำจากทั้ง 2 เขื่อนในปริมาณสูงตั้งแต่เดือนมกราคมเป็นต้นมา และค่อย ๆ ปรับลดปริมาณ

การระบายน้ำลงตามสถานะของน้ำต้นทุนในอ่างเก็บน้ำที่มีจำกัดจนกระทั่งเดือนกันยายนที่มีปริมาณฝนใช้การในพื้นที่สูงขึ้น

ในทำนองเดียวกัน ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำและปริมาณการระบายน้ำรายเดือนของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนและเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ระหว่างวันที่ 1 มกราคม 2566–13 พฤศจิกายน 2566 พบว่า ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายเดือนในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคมของทั้ง 2 เขื่อนยังอยู่ในเกณฑ์ต่ำ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสถานะน้ำต้นทุนในอ่างเก็บน้ำที่มีจำกัดสำหรับจัดสรรไปใช้ในช่วงการเพาะปลูกฤดูฝนในลุ่มน้ำเจ้าพระยา อย่างไรก็ตาม ตั้งแต่ช่วงเดือนกันยายนและเดือนตุลาคมพบว่า ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและเกือบเต็มความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ ในขณะที่รูปแบบการระบายน้ำรายเดือนพบว่า มีการระบายน้ำจากทั้ง 2 เขื่อนในปริมาณสูงตั้งแต่เดือนมกราคมเป็นต้นมา และค่อย ๆ ปรับลดปริมาณการระบายน้ำลงตามสถานะของน้ำต้นทุนในอ่างเก็บน้ำที่มีจำกัดตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน อย่างไรก็ตาม ปริมาณการระบายน้ำในเดือนตุลาคมและเดือนพฤศจิกายนทั้งจากเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนและเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เพื่อปรับลดปริมาณน้ำเก็บกักในเขื่อนที่มีแนวโน้มเกินความจุเก็บกักในช่วงกลางเดือนพฤศจิกายน

#### 4.1.3 ข้อมูลแผนการจัดสรรน้ำและปริมาณการระบายน้ำจริง

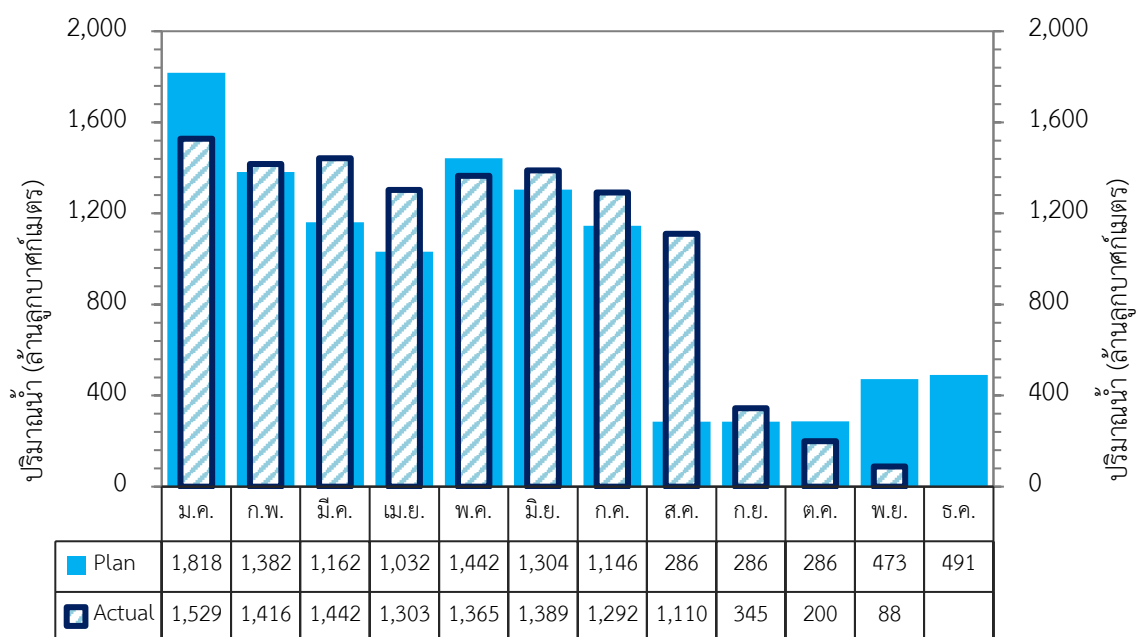
ข้อมูลแผนการจัดสรรน้ำและปริมาณการระบายน้ำจริงในลุ่มน้ำเจ้าพระยาครอบคลุม 4 เขื่อนหลักในปี 2565–2566 ได้แสดงผลการเปรียบเทียบไว้ในตารางที่ 4-3 ผลการวิเคราะห์พบว่า แผนการจัดสรรน้ำในช่วงฤดูแล้งปี 2565/2566 (เดือนพฤศจิกายน 2565–เดือนเมษายน 2566) มีปริมาณน้ำจัดสรรรวมทั้งสิ้น 7,450 ล้านลูกบาศก์เมตร และแผนการจัดสรรน้ำในช่วงฤดูฝนปี 2566 (เดือนพฤษภาคม 2566–เดือนตุลาคม 2566) มีปริมาณน้ำจัดสรรรวมทั้งสิ้น 4,750 ล้านลูกบาศก์เมตร อย่างไรก็ตาม ปริมาณการระบายน้ำจริงสูงกว่าแผนการจัดสรรน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีการเพิ่มการระบายน้ำของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนและเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ตั้งแต่เดือนตุลาคมและเดือนพฤศจิกายน โดยผลการเปรียบเทียบแผนการจัดสรรน้ำและปริมาณการระบายน้ำจริงแยกรายเขื่อนแสดงในภาพที่ 4-9 ถึงภาพที่ 4-11 จากการวิเคราะห์ปริมาณการระบายน้ำจริงของ 4 เขื่อนหลักตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม–11 พฤศจิกายน 2566 พบว่า มีปริมาณน้ำระบายรวมทั้งสิ้น 13,590 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยในจำนวนนี้เป็นปริมาณน้ำที่ระบายจากเขื่อนภูมิพลสูงสุดในปริมาณเท่ากับ 7,260 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็น 53.42% และจากเขื่อนสิริกิติ์ในปริมาณเท่ากับ 4,218 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็น 31.04% และจากเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนและเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ในปริมาณใกล้เคียงกันเท่ากับ 941.47 และ 1,170.36 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ หรือคิดเป็น 6.93% และ 8.61% ตามลำดับ

ตารางที่ 4-3 แผนการจัดสรรน้ำและปริมาณการระบายน้ำจริงในลุ่มน้ำเจ้าพระยาปี พ.ศ. 2565–2566

เดือน	ปี พ.ศ. 2565		ปี พ.ศ. 2566	
	ปริมาณน้ำจัดสรรตามแผน (ล้าน ลบ.ม.)	ปริมาณการระบายน้ำจริง (ล้าน ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำจัดสรรตามแผน (ล้าน ลบ.ม.)	ปริมาณการระบายน้ำจริง (ล้าน ลบ.ม.)
ม.ค.	668	848	1,818	1,853
ก.พ.	600	707	1,382	1,700
มี.ค.	678	824	1,162	1,718
เม.ษ.	705	773	1,032	1,534
พ.ค.	807	613	1,442	1,528

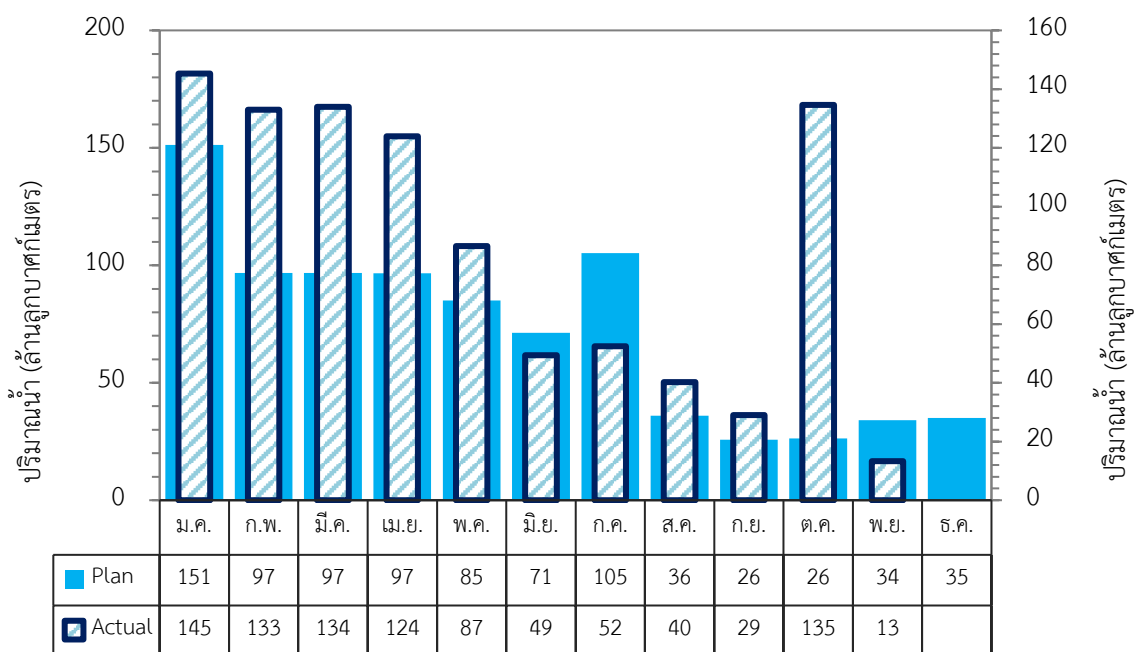
เดือน	ปี พ.ศ. 2565		ปี พ.ศ. 2566	
	ปริมาณน้ำจัดสรรตาม แผน (ล้าน ลบ.ม.)	ปริมาณการระบายน้ำ จริง (ล้าน ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำจัดสรรตาม แผน (ล้าน ลบ.ม.)	ปริมาณการระบายน้ำ จริง (ล้าน ลบ.ม.)
มี.ย.	773	870	1,304	1,472
ก.ค.	788	704	1,146	1,377
ส.ค.	281	230	286	1,191
ก.ย.	273	132	286	397
ต.ค.	277	111	286	585
พ.ย.	349	458	473	236*
ธ.ค.	1,707	1,044	491	
รายปี	7,907	7,315	11,108	13,590*

หมายเหตุ: \* ข้อมูลถึงวันที่ 11 พฤศจิกายน 2566

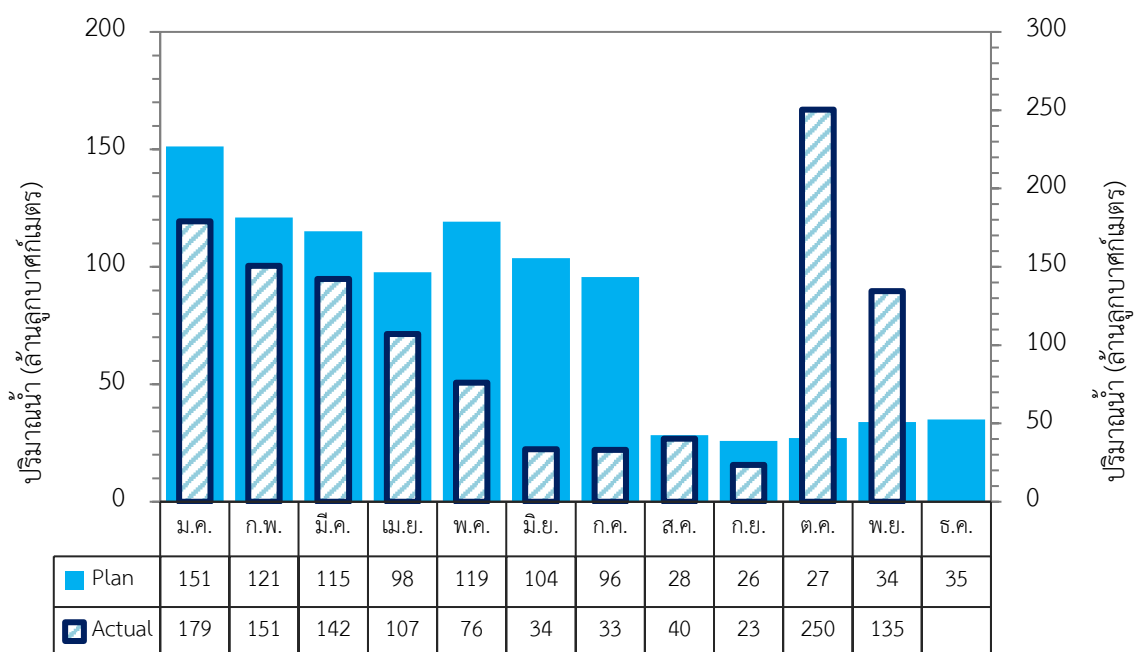


ภาพที่ 4-9 แผนการระบายน้ำและการระบายน้ำจริงของเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์ปี พ.ศ. 2566  
(หมายเหตุ: ข้อมูลถึงวันที่ 11 พฤศจิกายน 2566)





ภาพที่ 4-10 แผนการระบายน้ำและการระบายน้ำจริงของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนปี พ.ศ. 2566 (หมายเหตุ: ข้อมูลถึงวันที่ 13 พฤศจิกายน 2566)



ภาพที่ 4-11 แผนการระบายน้ำและการระบายน้ำจริงของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ปี พ.ศ. 2566 (หมายเหตุ: ข้อมูลถึงวันที่ 13 พฤศจิกายน 2566)

#### 4.1.4 สถานการณ์ความต้องการน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

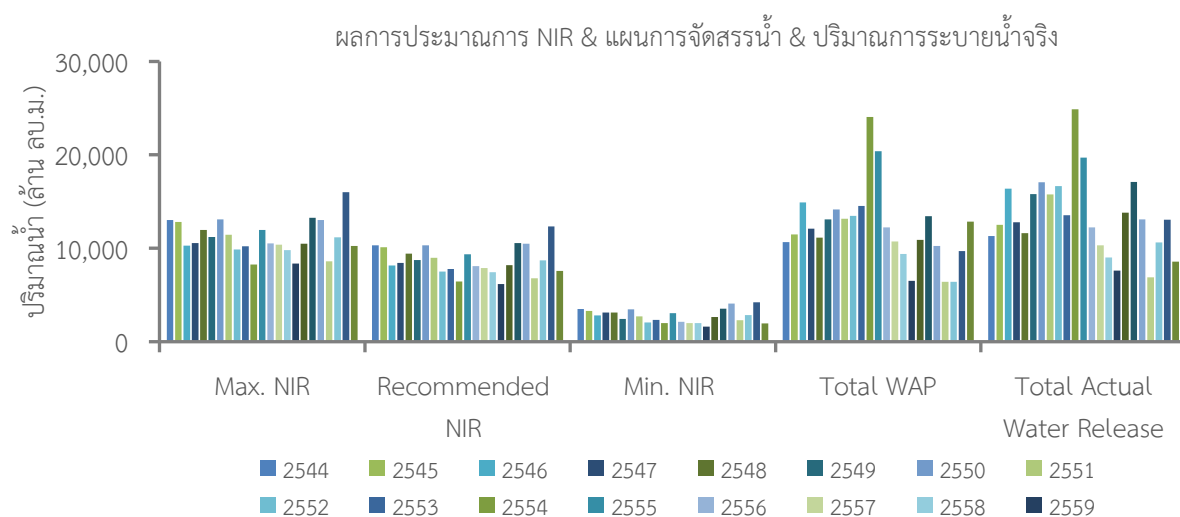
ในการศึกษานี้ได้กำหนดความต้องการน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาโดยอาศัยข้อมูลแผนการจัดสรรน้ำของกรมชลประทาน และผลการประมาณการความต้องการน้ำชลประทานสุทธิ (Net Irrigation Water

Requirement, NIR) ที่คำนวณโดยอาศัยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมโดยทีมวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ร่วมกับปริมาณความต้องการน้ำนอกภาคเกษตรกรรมจากแผนการจัดสรรน้ำของกรมชลประทาน สำหรับการประมาณการความต้องการน้ำชลประทานสุทธิในโครงการชลประทานเจ้าพระยาใหญ่ครอบคลุม 34 โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา โดยผลการประมาณการความต้องการน้ำชลประทานสุทธิใน 3 ลักษณะได้แก่ (1) การประมาณการปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิสูงสุด (Max. NIR) (2) การประมาณการปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิที่แนะนำ (Recommended NIR) โดยพิจารณาจากอัตราส่วนการจัดสรรน้ำ และ (3) การประมาณการปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิต่ำสุด (Min. NIR) ผลการเปรียบเทียบค่าประมาณการความต้องการน้ำชลประทานสุทธิสูงสุด แผนการจัดสรรน้ำ และปริมาณการระบายน้ำจริงในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาแสดงในตารางที่ 4-4 และภาพที่ 4-12 ถึงภาพที่ 4-13 โดยพบว่า ค่าเฉลี่ยระยะยาวรายปีของปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิสูงสุด ปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิที่แนะนำ และปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิต่ำสุดที่ได้จากการประมาณการมีค่าเท่ากับ 11,158, 8,688 และ 2,750 ล้านลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ ปริมาณน้ำจัดสรรตามแผนการจัดสรรน้ำสุทธิ และปริมาณการระบายน้ำจริงเฉลี่ยรายปีระยะยาวมีค่าเท่ากับ 12,261 และ 13,494 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

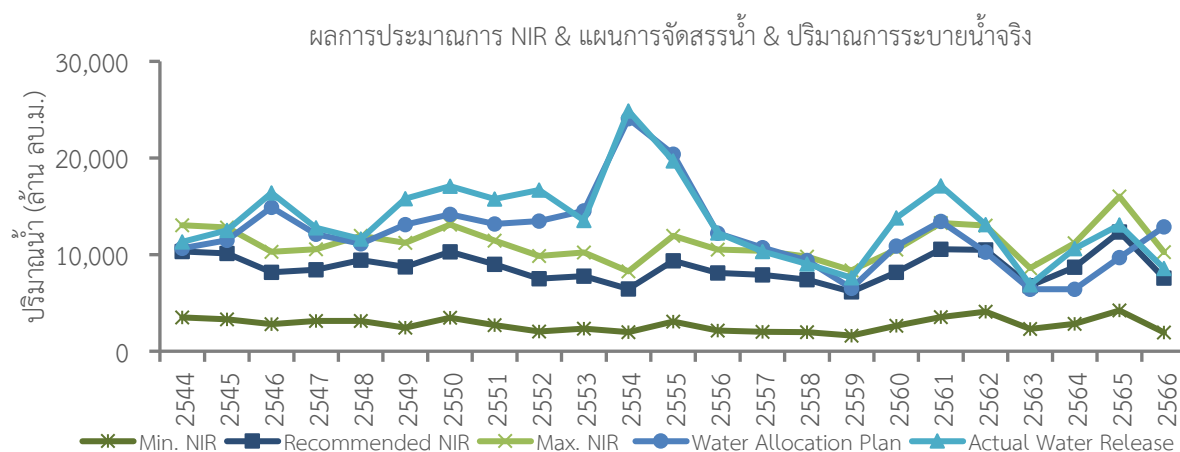
ตารางที่ 4-4 เปรียบเทียบผลการประมาณการความต้องการน้ำชลประทานสุทธิสูงสุด-แผนการจัดสรรน้ำ-ปริมาณการระบายน้ำจริงในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา

ปี	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)				
	ความต้องการน้ำชลประทานสุทธิสูงสุด	ความต้องการน้ำชลประทานสุทธิที่แนะนำ	ความต้องการน้ำชลประทานสุทธิต่ำสุด	แผนการจัดสรรน้ำสุทธิ	การระบายน้ำจริง
2544	13,027.54	10,334.26	3,497.91	10,672.25	11,306.20
2545	12,816.03	10,127.91	3,294.66	11,490.22	12,502.71
2546	10,293.89	8,155.05	2,811.16	14,902.32	16,381.17
2547	10,564.97	8,429.16	3,125.12	12,112.09	12,774.68
2548	11,961.86	9,414.02	3,133.05	11,124.63	11,627.13
2549	11,206.76	8,732.02	2,426.00	13,091.08	15,789.33
2550	13,092.76	10,304.88	3,471.67	14,163.21	17,076.28
2551	11,460.17	8,993.22	2,711.83	13,168.31	15,770.53
2552	9,875.12	7,517.32	2,050.16	13,458.08	16,671.92
2553	10,217.53	7,770.75	2,340.13	14,517.18	13,529.29
2554	8,266.35	6,440.58	1,992.24	24,068.03	24,880.58
2555	11,949.89	9,373.12	3,057.33	20,382.56	19,694.76
2556	10,525.04	8,101.37	2,139.13	12,224.92	12,231.29
2557	10,381.80	7,902.98	1,999.79	10,715.26	10,314.00
2558	9,801.16	7,425.75	1,990.30	9,409.01	9,030.68
2559	8,358.27	6,156.77	1,624.52	6,529.19	7,617.68
2560	10,507.43	8,187.07	2,641.83	10,893.15	13,810.67

ปี	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)				
	ความต้องการน้ำชลประทานสุทธิสูงสุด	ความต้องการน้ำชลประทานสุทธิที่แนะนำ	ความต้องการน้ำชลประทานสุทธิต่ำสุด	แผนการจัดสรรน้ำสุทธิ	การระบายน้ำจริง
2561	13,257.20	10,545.03	3,549.64	13,440.59	17,100.10
2562	13,012.81	10,500.98	4,084.60	10,263.09	13,099.60
2563	8,618.35	6,785.77	2,304.72	6,417.70	6,887.16
2564	11,177.62	8,699.34	2,833.61	6,418.69	10,629.38
2565	16,007.42	12,348.21	4,216.89	9,698.45	13,059.70
2566	10,258.53	7,586.57	1,944.05	12,864.40	8,579.77
ต่ำสุด	8,266.35	6,156.77	1,624.52	6,417.70	6,887.16
เฉลี่ย	11,158.20	8,688.35	2,749.58	12,261.93	13,494.11
สูงสุด	16,007.42	12,348.21	4,216.89	24,068.03	24,880.58



ภาพที่ 4-12 เปรียบเทียบผลการประมาณการ NIR-แผนการจัดสรรน้ำ-ปริมาณการระบายน้ำจริง



ภาพที่ 4-13 เปรียบเทียบผลการประมาณการ NIR-แผนการจัดสรรน้ำ-ปริมาณการระบายน้ำจริงระหว่าง

ปี พ.ศ. 2544–2566

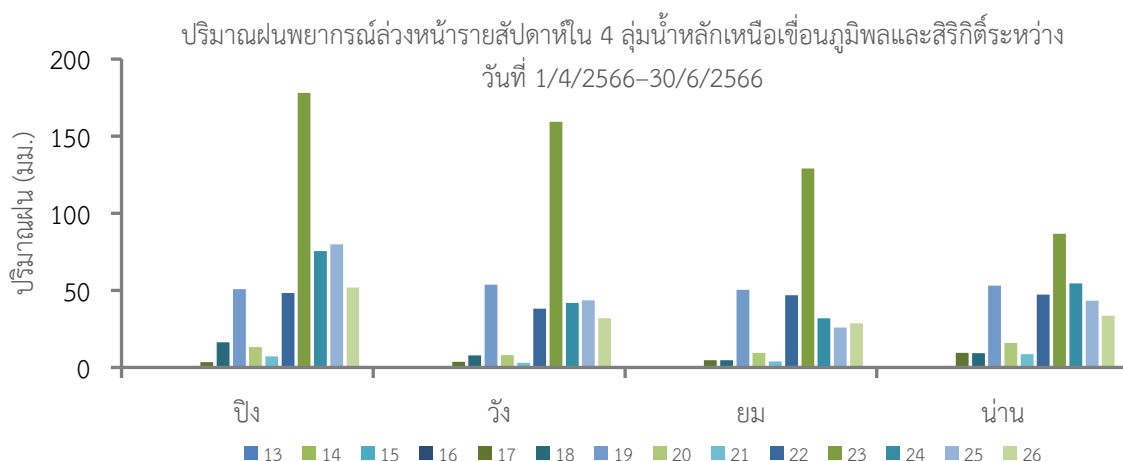
## 4.2 ผลการดำเนินงานกิจกรรม MANUAL CO-RUN

### 4.2.1 สรุปผลการดำเนินงานกิจกรรม MANUAL CO-RUN สัปดาห์ที่ 1–2

สรุปผลการดำเนินงานกิจกรรม MANUAL CO-RUN สัปดาห์ที่ 1–2 ตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน 2566 ถึงวันที่ 15 มิถุนายน 2566

#### 4.2.1.1 แนวโน้มข้อมูลฝนเหนือเขื่อน

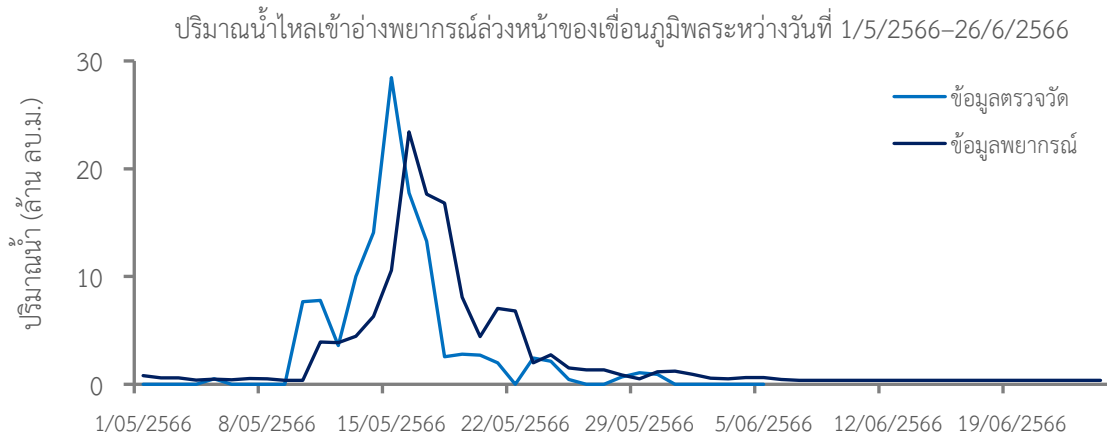
ข้อมูลฝนพยากรณ์จากแบบจำลอง BC\_CFSV2 ของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) (สสน.) พบว่า แนวโน้มฝนพยากรณ์รายสัปดาห์เหนือเขื่อนภูมิพลในเดือนมิถุนายนลดลง โดยมีปริมาณฝนในสัปดาห์ที่ 1–4 เท่ากับ 178.00, 75.40, 79.80 และ 51.80 มิลลิเมตร ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันแนวโน้มฝนพยากรณ์รายสัปดาห์เหนือเขื่อนสิริกิติ์ในเดือนมิถุนายนลดลง โดยมีปริมาณฝนในสัปดาห์ที่ 1–4 เท่ากับ 159.50, 41.80, 43.50 และ 31.80 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4–14



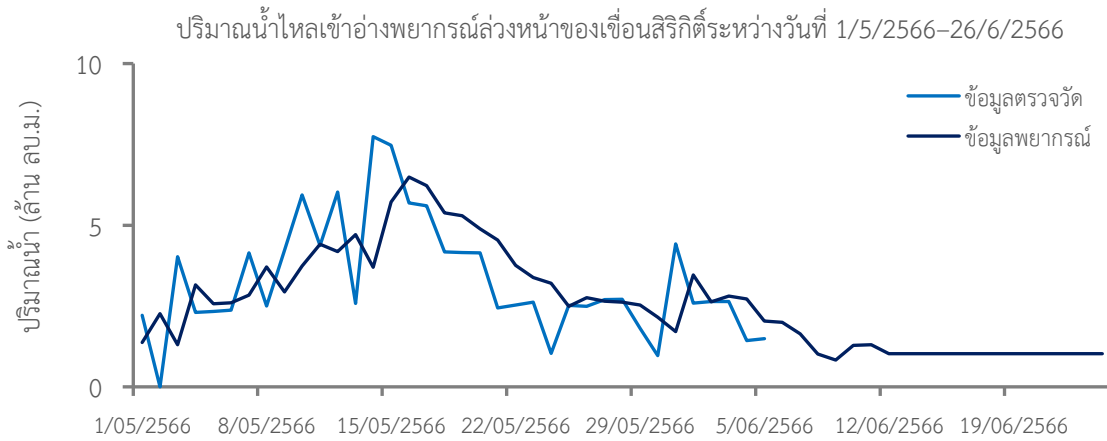
ภาพที่ 4–14 ปริมาณฝนพยากรณ์ล่วงหน้ารายสัปดาห์ใน 4 กลุ่มน้ำหลักเหนือเขื่อนภูมิพลและสิริกิติ์ระหว่างวันที่ 1/4/2566–30/6/2566

#### 4.2.1.2 ผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ

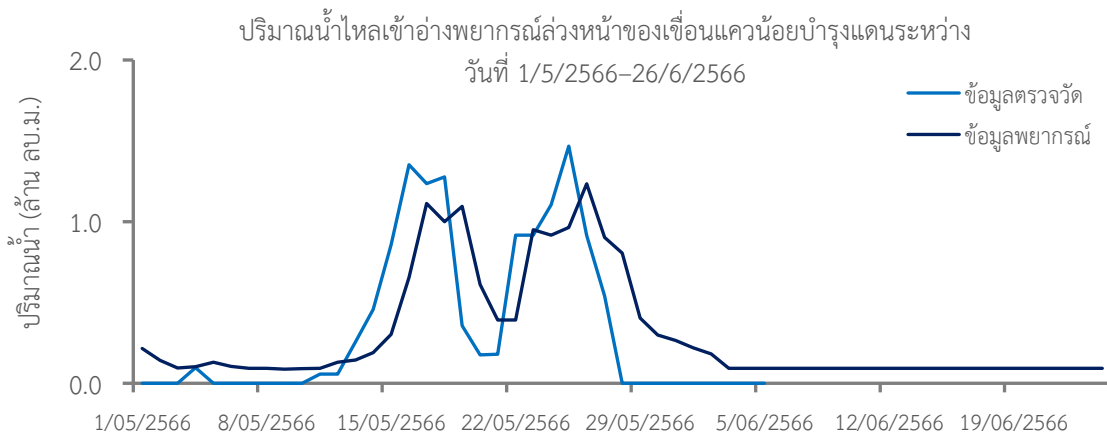
ผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันล่วงหน้าของ 4 เขื่อนหลักด้วยแบบจำลองการเรียนรู้แบบเครื่อง (Machine Learning, ML) พบว่า ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำพยากรณ์ถึงวันที่ 25 มิถุนายนของเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์มีแนวโน้มลดลงโดยมีค่าพยากรณ์เท่ากับ 0.37, 1.03, 0.09 และ 0.13 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ โดยผลการพยากรณ์ได้แสดงในภาพที่ 4–15 ถึงภาพที่ 4–18



ภาพที่ 4-15 ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยุภรณ์ล่วงหน้าของเขื่อนภูมิพลระหว่างวันที่ 1/5/2566-26/6/2566



ภาพที่ 4-16 ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยุภรณ์ล่วงหน้าของเขื่อนสิริกิติ์ระหว่างวันที่ 1/5/2566-26/6/2566



ภาพที่ 4-17 ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยุภรณ์ล่วงหน้าของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนระหว่างวันที่ 1/5/2566-26/6/2566



ภาพที่ 4-18 ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพวยากรณล่งหน้าของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ระหว่างวันที่ 1/5/2566-26/6/2566

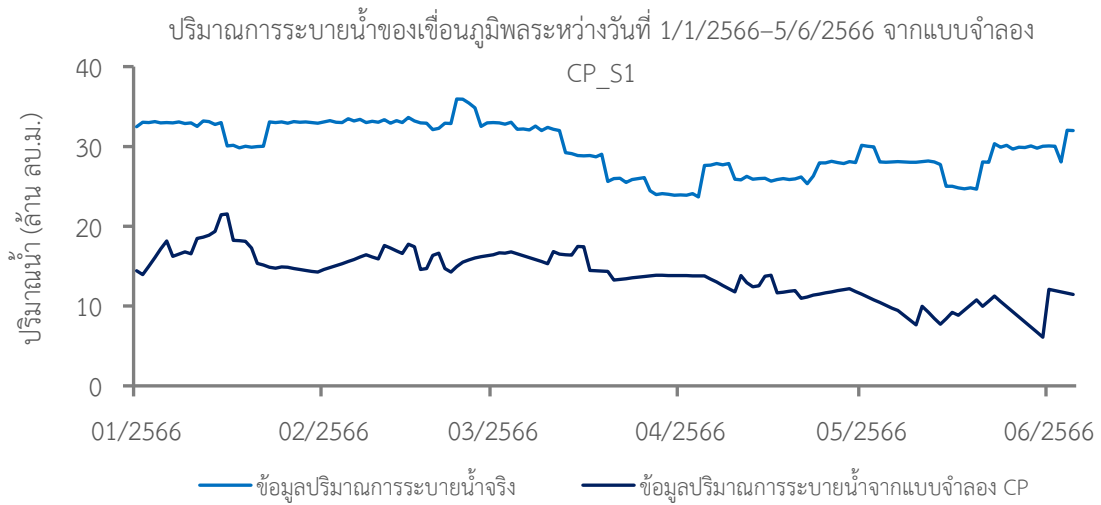
#### 4.2.1.3 ผลการกำหนดการระบายน้ำด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด

ผลการกำหนดการระบายน้ำของเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming, CP) (โดยพิจารณาการเดินทางของน้ำถึงโหนดความต้องการน้ำเป้าหมาย) 3 สถานการณ์สมมติได้สรุปไว้ในตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ข้อกำหนด 3 สถานการณ์สมมติของงานวิจัย

สถานการณ์สมมติ	รายละเอียด
สถานการณ์สมมติ 1 (S1)	อาศัยข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพวยากรณและข้อมูลความต้องการน้ำตามแผนการจัดสรรน้ำ
สถานการณ์สมมติ 2 (S2)	อาศัยข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพวยากรณ และข้อมูลความต้องการน้ำตามผลการประมาณการด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม (Max. NIR)
สถานการณ์สมมติ 3 (S3)	อาศัยข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพวยากรณและข้อมูลความต้องการน้ำตามผลการประมาณการด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมร่วมกับอัตราส่วนการจัดสรรน้ำที่แนะนำ (Recommended NIR)

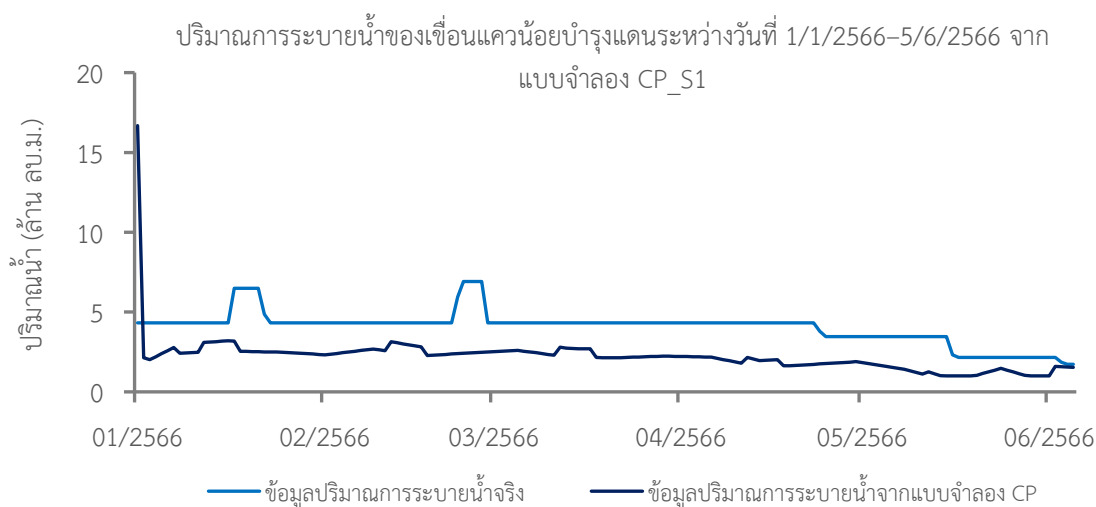
ผลการจำลองด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดของเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ และเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนทั้ง 3 สถานการณ์สมมติแนะนำให้ระบายน้ำตามรูปแบบของข้อมูลความต้องการน้ำและปรับลดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนลงตามเงื่อนไขของ Potential Side Flow ซึ่งมีแนวโน้มต่ำกว่าปริมาณการระบายน้ำจริง ในทำนองเดียวกัน ผลการจำลองของเขื่อนทั้ง 3 สถานการณ์สมมติแนะนำให้ระบายน้ำตามรูปแบบของข้อมูลความต้องการน้ำและปรับลดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนลงตามเงื่อนไขของ Potential Side Flow อย่างไรก็ตาม ปริมาณการระบายน้ำจากแบบจำลองมีแนวโน้มใกล้เคียงกับปริมาณการระบายน้ำจริงดังแสดงในภาพที่ 4-19 ถึงภาพที่ 4-21 ซึ่งเป็นผลการจำลองของสถานการณ์สมมติที่ 1



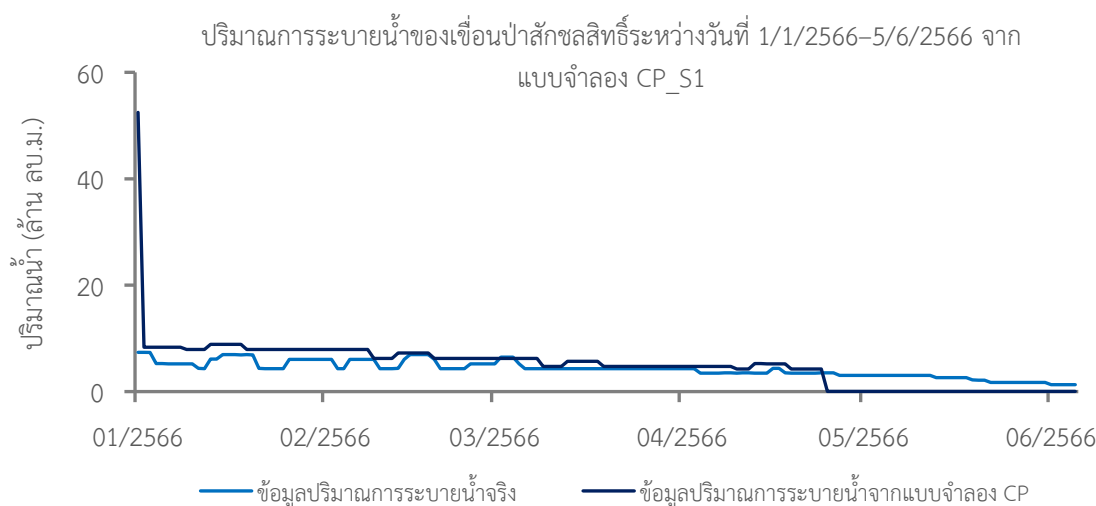
ภาพที่ 4-19 ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนภูมิพลระหว่างวันที่ 1/1/2566-5/6/2566 จากแบบจำลอง CP\_S1



ภาพที่ 4-20 ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนสิริกิติ์ระหว่างวันที่ 1/1/2566-5/6/2566 จากแบบจำลอง CP\_S1



ภาพที่ 4-21 ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนระหว่างวันที่ 1/1/2566-5/6/2566 จาก  
แบบจำลอง CP\_S1



ภาพที่ 4-22 ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ระหว่างวันที่ 1/1/2566-5/6/2566 จาก  
แบบจำลอง CP\_S1

#### 4.2.1.4 ข้อเสนอแนะในการบริหารเขื่อนในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาจากผล CO-RUN

จากแนวโน้มข้อมูลฝนเหนือเขื่อนและปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจากผลการพยากรณ์ล่วงหน้าด้วยแบบจำลอง ML ที่มีแนวโน้มลดลงถึงปลายเดือนมิถุนายน 2566 ประกอบกับแนวโน้มที่สูงขึ้นของข้อมูลน้ำท่าของสถานี W.4A และ Y.17 ที่นำมาพิจารณาเป็น Potential Side Flow เพื่อใช้ปรับลดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อน ด้วยเหตุนี้ แบบจำลอง CP จึงแนะนำให้กำหนดการระบายน้ำในช่วงต้นสัปดาห์แรกของเดือนมิถุนายนตามรูปแบบของข้อมูลความต้องการน้ำและปรับลดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนลงตามเงื่อนไขของ Potential Side Flow โดยเฉพาะอย่างยิ่งเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ และเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนที่แนะนำให้ลดการระบายน้ำในช่วงระหว่าง 11.47-12.09, 10.57-10.96, 1.00-1.60 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ สำหรับสถานการณ์สมมติ 1 และระหว่าง 9.43-16.42, 7.88-14.97, 1.00-1.55 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ สำหรับสถานการณ์สมมติ 2 และระหว่าง 8.08-8.61, 7.00, 1.00-1.40 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อ



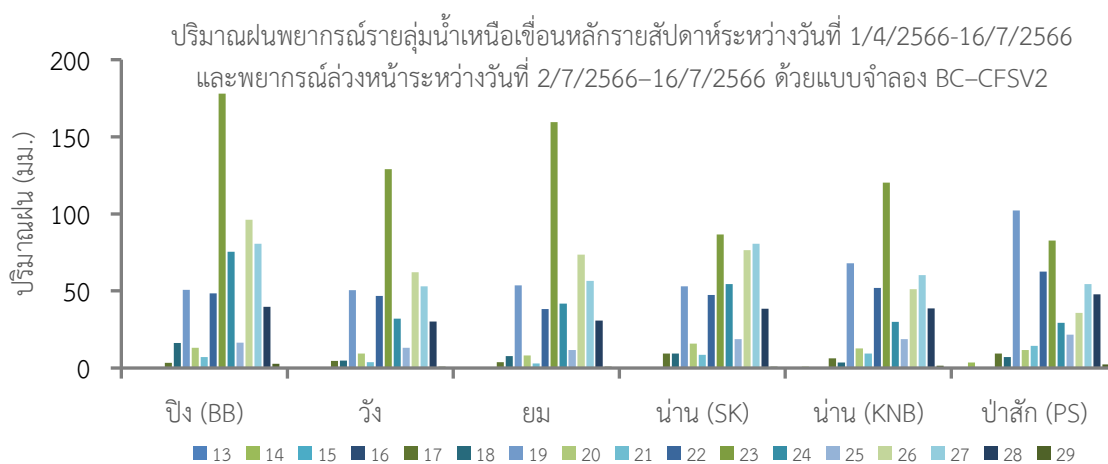
วัน ตามลำดับ สำหรับสถานการณ์สมมติ 3 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าปริมาณการระบายน้ำจริงของทั้ง 3 เขื่อน ในขณะที่รูปแบบการระบายน้ำของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์จากแบบจำลอง CP มีลักษณะใกล้เคียงทั้ง 3 สถานการณ์สมมติ และสอดคล้องกับผลการปฏิบัติงานจริงโดยแนะนำให้ระบายน้ำอยู่ที่ 0.03–0.04 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน

#### 4.2.2 สรุปผลการดำเนินงานกิจกรรม MANUAL CO-RUN สัปดาห์ที่ 3–4

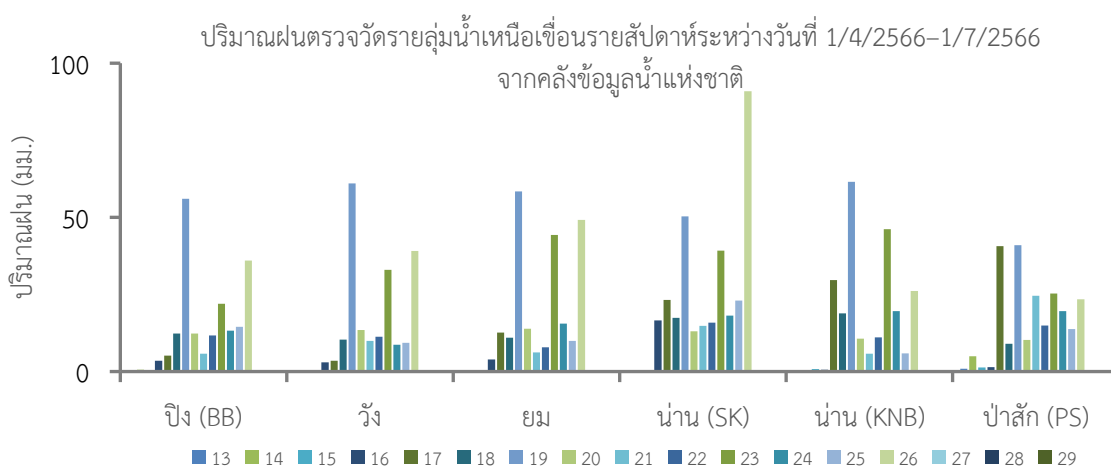
สรุปผลการดำเนินงานกิจกรรม MANUAL CO-RUN สัปดาห์ที่ 3–4 ตั้งแต่วันที่ 26 มิถุนายน 2566 ถึงวันที่ 9–16 กรกฎาคม 2566

##### 4.2.2.1 แนวโน้มข้อมูลฝนเหนือเขื่อน

ฝนพยากรณ์รายสัปดาห์เหนือเขื่อนภูมิพลในเดือนกรกฎาคมระหว่างวันที่ 2–16 กรกฎาคม จากแบบจำลอง BC\_CFSV2 พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในช่วงต้นสัปดาห์แรกและลดปริมาณลงมาในสัปดาห์ที่สอง โดยมีปริมาณฝนในสัปดาห์ที่ 1–2 เท่ากับ 80.60 และ 39.66 กรกฎาคม ตามลำดับ แนวโน้มฝนพยากรณ์รายสัปดาห์เหนือเขื่อนสิริกิติ์ในเดือนกรกฎาคมระหว่างวันที่ 2–16 กรกฎาคมพบว่า มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในช่วงต้นสัปดาห์แรกและลดปริมาณลงมาในสัปดาห์ที่สอง โดยมีปริมาณฝนในสัปดาห์ที่ 1–2 เท่ากับ 80.66 และ 38.51 มิลลิเมตร ตามลำดับ แนวโน้มฝนพยากรณ์รายสัปดาห์เหนือเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนในเดือนกรกฎาคมระหว่างวันที่ 2–16 กรกฎาคมพบว่า มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในช่วงต้นสัปดาห์แรกและลดปริมาณลงมาในสัปดาห์ที่สอง โดยมีปริมาณฝนในสัปดาห์ที่ 1–2 เท่ากับ 60.30 และ 38.66 มิลลิเมตร ตามลำดับ และแนวโน้มฝนพยากรณ์รายสัปดาห์เหนือเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ในเดือนกรกฎาคมระหว่างวันที่ 2–16 กรกฎาคมพบว่า มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในช่วงต้นสัปดาห์แรกและลดปริมาณลงมาในสัปดาห์ที่สอง โดยมีปริมาณฝนในสัปดาห์ที่ 1–2 เท่ากับ 54.54 และ 47.71 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4–23 และภาพที่ 4–24



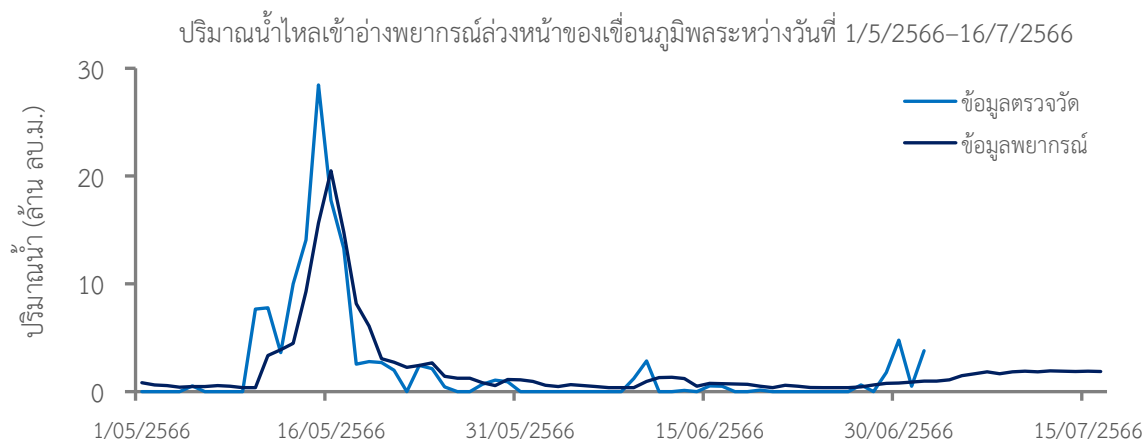
ภาพที่ 4–23 ปริมาณฝนพยากรณ์รายลุ่มน้ำเหนือเขื่อนหลักรายสัปดาห์ระหว่างวันที่ 1/4/2566–16/7/2566 และพยากรณ์ล่วงหน้าระหว่างวันที่ 2/7/2566–16/7/2566 ด้วยแบบจำลอง BC\_CFSV2



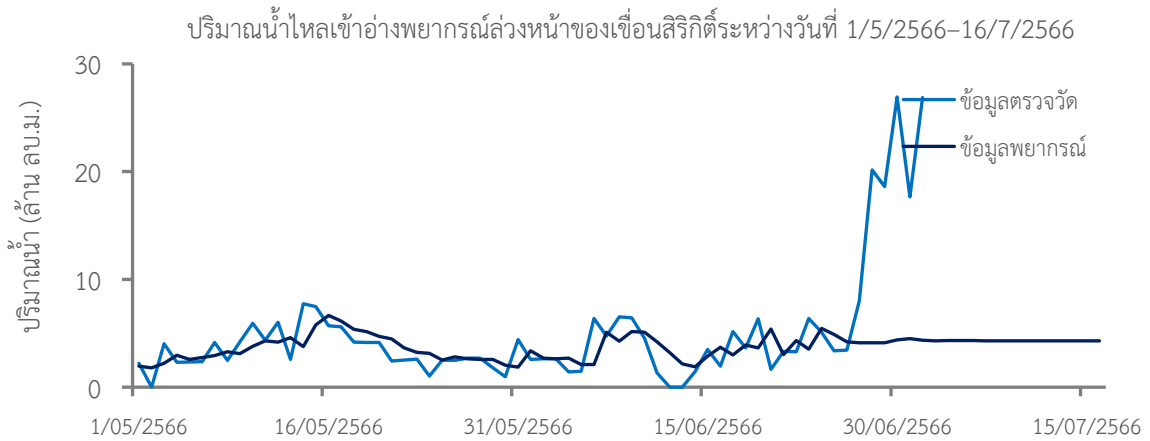
ภาพที่ 4-24 ปริมาณฝนตรวจวัดรายกลุ่มน้ำเหนือเขื่อนรายสัปดาห์ระหว่างวันที่ 1/4/2566-1/7/2566 จากคลังข้อมูลน้ำแห่งชาติ

#### 4.2.2.2 ผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ

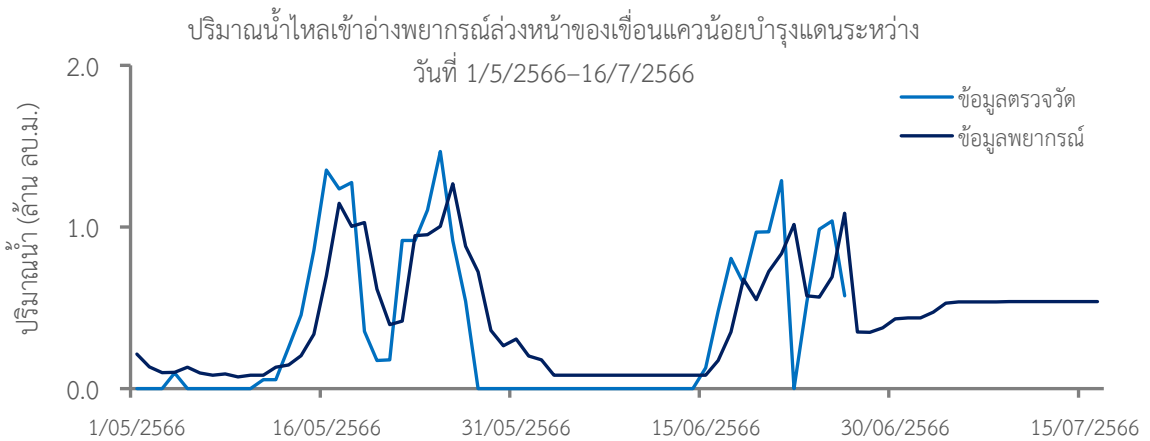
ผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันล่วงหน้าของ 4 เขื่อนหลักด้วยแบบจำลองการเรียนรู้แบบเครื่อง (Machine Learning, ML) พบว่า ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำพยากรณ์ระหว่างวันที่ 3-16 กรกฎาคมของเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์อยู่ในเกณฑ์น้อย โดยมีค่าพยากรณ์เฉลี่ยรายวันเท่ากับ 1.70, 4.31, 0.53 และ 0.62 ล้านลูกบาศก์เมตรตามลำดับ ผลการพยากรณ์แสดงดังภาพที่ 4-25 ถึงภาพที่ 4-28



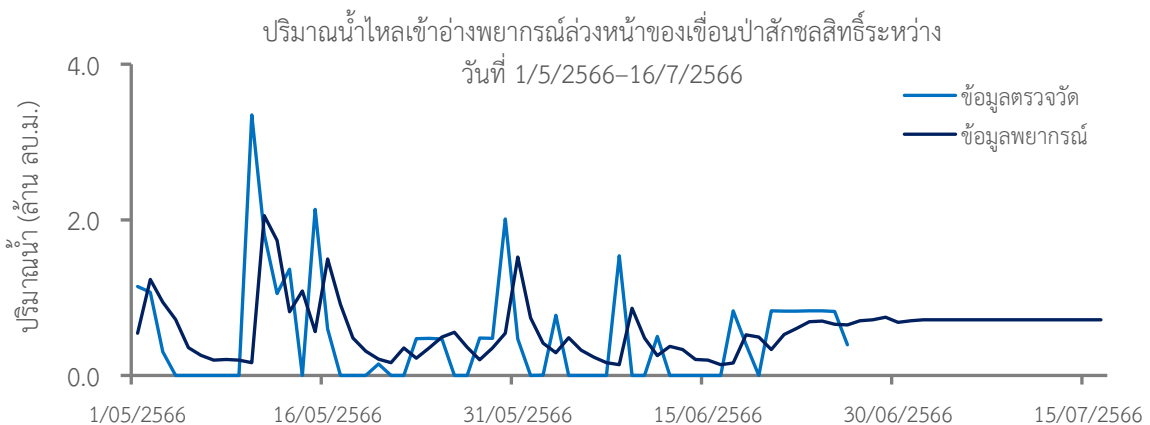
ภาพที่ 4-25 ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยากรณ์ล่วงหน้าของเขื่อนภูมิพลระหว่างวันที่ 1/5/2566-16/7/2566



ภาพที่ 4-26 ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยากรณ์ล่องหน้าของเขื่อนสิริกิติ์ระหว่างวันที่ 1/5/2566-16/7/2566



ภาพที่ 4-27 ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยากรณ์ล่องหน้าของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนระหว่างวันที่ 1/5/2566-16/7/2566



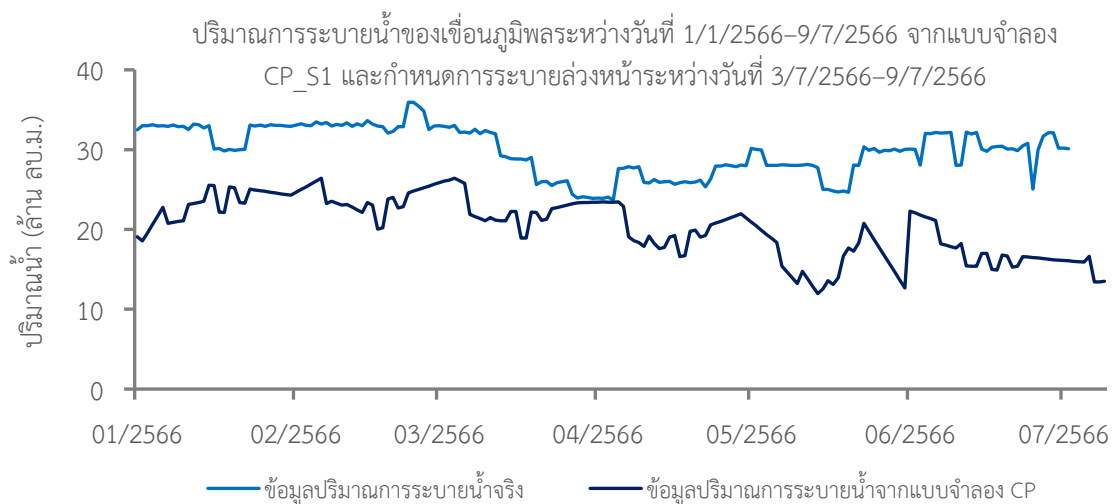
ภาพที่ 4-28 ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยากรณ์ล่องหน้าของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ระหว่างวันที่ 1/5/2566-26/6/2566

#### 4.2.2.3 ผลการกำหนดการระบายน้ำด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด

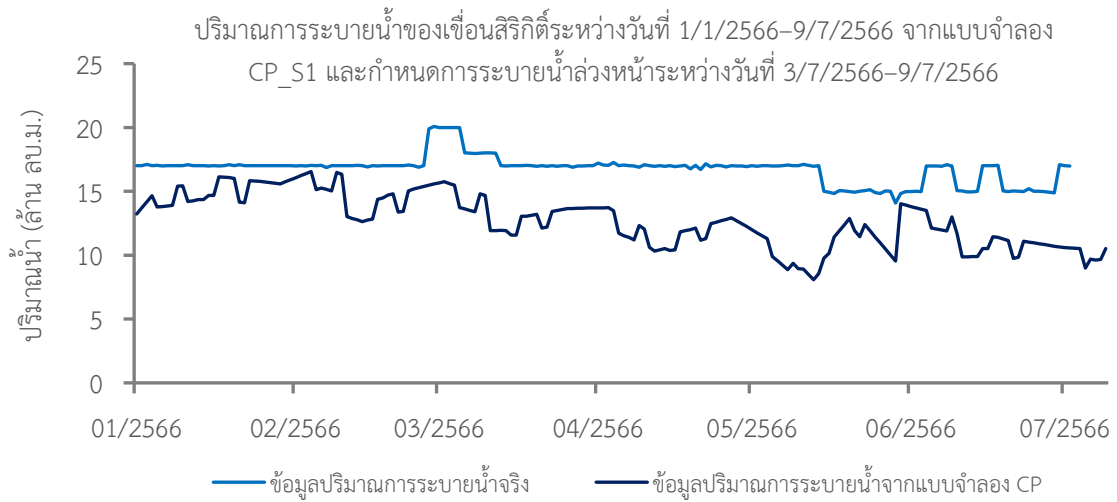
ผลการจำลองด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดทั้ง 3 สถานการณ์สมมติแนะนำให้ระบายน้ำจากเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์ตามรูปแบบของข้อมูลความต้องการน้ำและปรับลดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนลงตามเงื่อนไขของ Potential Side Flow ซึ่งมีแนวโน้มต่ำกว่าปริมาณการระบายน้ำจริง โดยมีค่าเฉลี่ยรายวันของปริมาณการระบายน้ำระหว่างวันที่ 3-9 กรกฎาคมเท่ากับ 14.97, 16.15 และ 12.01 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับสถานการณ์สมมติ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ สำหรับเขื่อนภูมิพล และเท่ากับ 9.93, 10.12 และ 7.08 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับสถานการณ์สมมติ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ สำหรับเขื่อนสิริกิติ์

ในทำนองเดียวกัน ผลการจำลองทั้ง 3 สถานการณ์สมมติแนะนำให้ระบายน้ำจากเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนและเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ตามรูปแบบของข้อมูลความต้องการน้ำและปรับลดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนลงตามเงื่อนไขของ Potential Side Flow ซึ่งมีแนวโน้มต่ำกว่าปริมาณการระบายน้ำจริง โดยมีค่าเฉลี่ยรายวันของปริมาณการระบายน้ำระหว่างวันที่ 27 มิถุนายน-9 กรกฎาคมเท่ากับ 1.56, 1.75 และ 1.64 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับสถานการณ์สมมติ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ สำหรับเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเท่ากับ 0.057, 0.058 และ 0.056 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับสถานการณ์สมมติ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ สำหรับเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ ดังแสดงผลการจำลองในภาพที่ 4-29 ถึงภาพที่ 4-32 ซึ่งเป็นผลการจำลองของสถานการณ์สมมติที่ 1

สำหรับผลรวมของปริมาณการระบายน้ำรายวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 27 มิถุนายน-9 กรกฎาคมของ 4 เขื่อนหลักเท่ากับ 26.52, 28.08 และ 20.79 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับสถานการณ์สมมติ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าปริมาณการระบายน้ำจริง



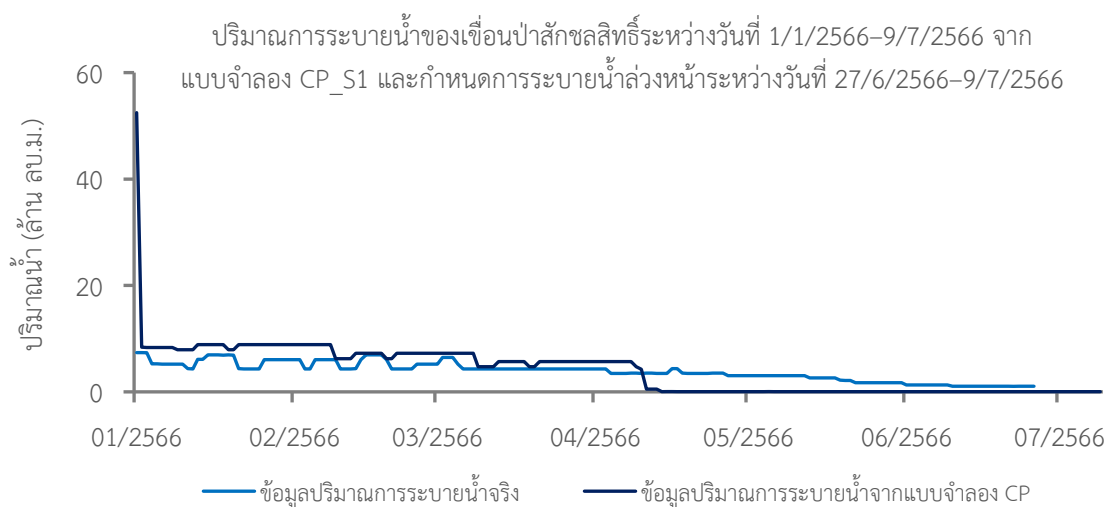
ภาพที่ 4-29 ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนภูมิพลระหว่างวันที่ 1/1/2566-9/7/2566 จากแบบจำลอง CP\_S1



ภาพที่ 4-30 ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนสิริกิติ์ระหว่างวันที่ 1/1/2566-9/7/2566 จากแบบจำลอง CP\_S1



ภาพที่ 4-31 ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนระหว่างวันที่ 1/1/2566-9/7/2566 จากแบบจำลอง CP\_S1



ภาพที่ 4-32 ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ระหว่างวันที่ 1/1/2566-9/7/2566 จาก  
แบบจำลอง CP\_S1

#### 4.2.2.4 ข้อเสนอแนะในการบริหารเขื่อนในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาจากผล CO-RUN

ถึงแม้ผลการพยากรณ์ข้อมูลฝนเหนือเขื่อนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในช่วงต้นสัปดาห์แรกของเดือนกรกฎาคม และลดปริมาณลงมากในสัปดาห์ที่สอง อย่างไรก็ตามก็ดี ผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำด้วยแบบจำลอง ML ของทั้ง 4 เขื่อนระหว่างวันที่ 3-16 กรกฎาคมนั้นพบว่า ยังอยู่ในเกณฑ์น้อย ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลตรวจวัดของทุกเขื่อน ยกเว้นเขื่อนสิริกิติ์ที่ความแม่นยำของการพยากรณ์ยังไม่สูงนัก อันเนื่องมาจากการปรับเปลี่ยนรูปแบบแนวโน้มข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่สูงขึ้นโดยเฉพาะในช่วงสัปดาห์ที่สอง ในขณะที่ข้อมูลน้ำท่าจากการคาดการณ์ล่วงหน้าด้วยแบบจำลองทางอุทกวิทยาของสถานี W.4A และ Y.17 เพื่อนำมาพิจารณาเป็น Potential Side Flow พบว่า ยังพอน้ำส่วนหนึ่งที่สามารถนำมาช่วยปรับลดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนลงได้บางส่วน ด้วยเหตุนี้ แบบจำลอง CP จึงแนะนำให้กำหนดการระบายน้ำในช่วงต้นสัปดาห์แรกและสัปดาห์ที่สองของเดือนกรกฎาคมตามรูปแบบของข้อมูลความต้องการน้ำและปรับลดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนลงตามเงื่อนไขของ Potential Side Flow โดยค่าปริมาณการระบายน้ำรายวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 27 มิถุนายน-9 กรกฎาคมของ 4 เขื่อนหลักเท่ากับ 26.52, 28.08 และ 20.79 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับสถานการณ์สมมติ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

#### 4.2.3 สรุปผลการดำเนินงานกิจกรรม MANUAL CO-RUN สัปดาห์ที่ 5-8

สรุปผลการดำเนินงานกิจกรรม MANUAL CO-RUN สัปดาห์ที่ 5-8 ตั้งแต่วันที่ 26 กรกฎาคม 2566 ถึงวันที่ 13-21 สิงหาคม 2566

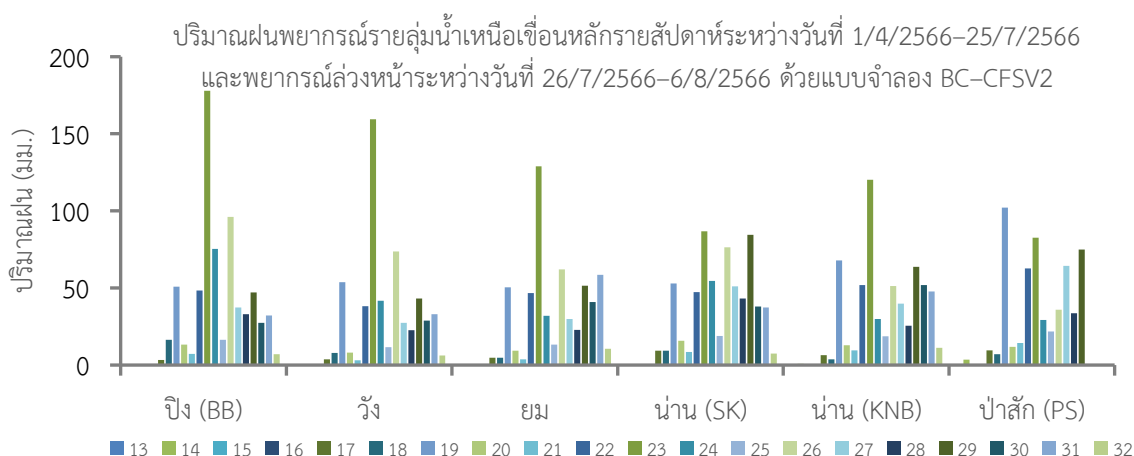
##### 4.2.3.1 แนวโน้มข้อมูลฝนเหนือเขื่อน

ฝนพยากรณ์รายสัปดาห์เหนือเขื่อนภูมิพลในเดือนกรกฎาคมและสิงหาคมระหว่างวันที่ 17 กรกฎาคม-5 สิงหาคมจากแบบจำลอง BC\_CFSV2 พบว่า มีแนวโน้มลดลงในช่วงกลางถึงปลายเดือนกรกฎาคม และลดลงอีกในช่วงสัปดาห์แรกของเดือนสิงหาคม โดยมีปริมาณฝนพยากรณ์สัปดาห์ที่ 3 และสัปดาห์ที่ 4 ของเดือนกรกฎาคมเท่ากับ 47.19 และ 40.23 มิลลิเมตร ตามลำดับ และปริมาณฝนพยากรณ์สัปดาห์ที่ 1 ของเดือนสิงหาคมเท่ากับ 35.71 มิลลิเมตร

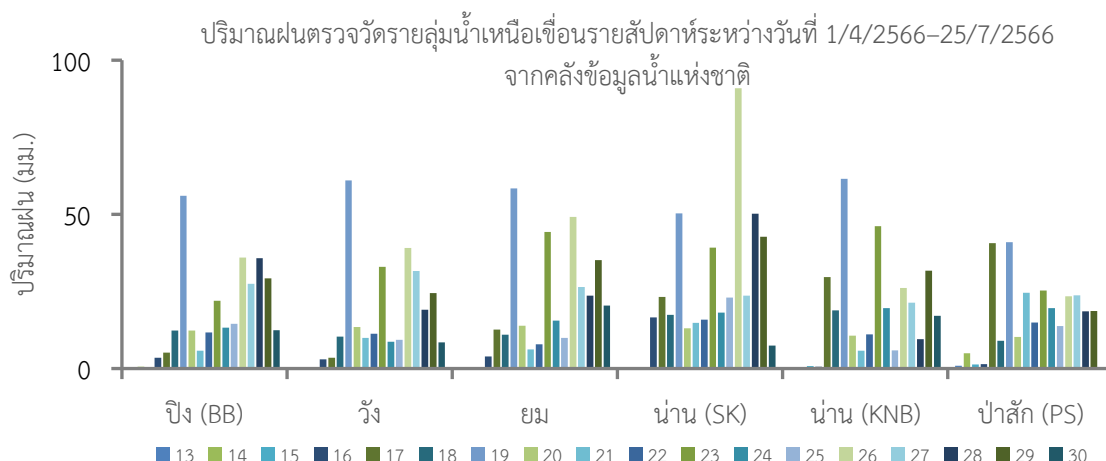
ฝนพยากรณ์รายสัปดาห์เหนือเขื่อนสิริกิติ์ในเดือนกรกฎาคมและสิงหาคมระหว่างวันที่ 17 กรกฎาคม-5 สิงหาคมจากแบบจำลอง BC\_CFSV2 พบว่า มีแนวโน้มลดลงในช่วงกลางถึงปลายเดือนกรกฎาคม และลดลงอีกในช่วงสัปดาห์แรกของเดือนสิงหาคม โดยมีปริมาณฝนพยากรณ์สัปดาห์ที่ 3 และสัปดาห์ที่ 4 ของเดือนกรกฎาคมเท่ากับ 43.11 และ 27.40 มิลลิเมตร ตามลำดับ และปริมาณฝนพยากรณ์สัปดาห์ที่ 1 ของเดือนสิงหาคมเท่ากับ 32.10 มิลลิเมตร

ฝนพยากรณ์รายสัปดาห์เหนือเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนในเดือนกรกฎาคมและสิงหาคมระหว่างวันที่ 17 กรกฎาคม-5 สิงหาคมจากแบบจำลอง BC\_CFSV2 พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในช่วงกลางเดือนกรกฎาคมและลดลงมาในช่วงปลายเดือนกรกฎาคมถึงต้นเดือนสิงหาคม โดยมีปริมาณฝนพยากรณ์สัปดาห์ที่ 3 และสัปดาห์ที่ 4 ของเดือนกรกฎาคมเท่ากับ 63.65 และ 37.92 มิลลิเมตร ตามลำดับ และปริมาณฝนพยากรณ์สัปดาห์ที่ 1 ของเดือนสิงหาคมเท่ากับ 37.39 มิลลิเมตร

ฝนพยากรณ์รายสัปดาห์เหนือเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ในเดือนกรกฎาคมและสิงหาคมระหว่างวันที่ 17 กรกฎาคม-5 สิงหาคมจากแบบจำลอง BC\_CFSV2 พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในช่วงกลางเดือนกรกฎาคมและลดลงมาในช่วงปลายเดือนกรกฎาคมถึงต้นเดือนสิงหาคม โดยมีปริมาณฝนพยากรณ์สัปดาห์ที่ 3 และสัปดาห์ที่ 4 ของเดือนกรกฎาคมเท่ากับ 74.97 และ 51.87 มิลลิเมตร ตามลำดับ และปริมาณฝนพยากรณ์สัปดาห์ที่ 1 ของเดือนสิงหาคมเท่ากับ 47.75 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 4-33 และภาพที่ 4-34



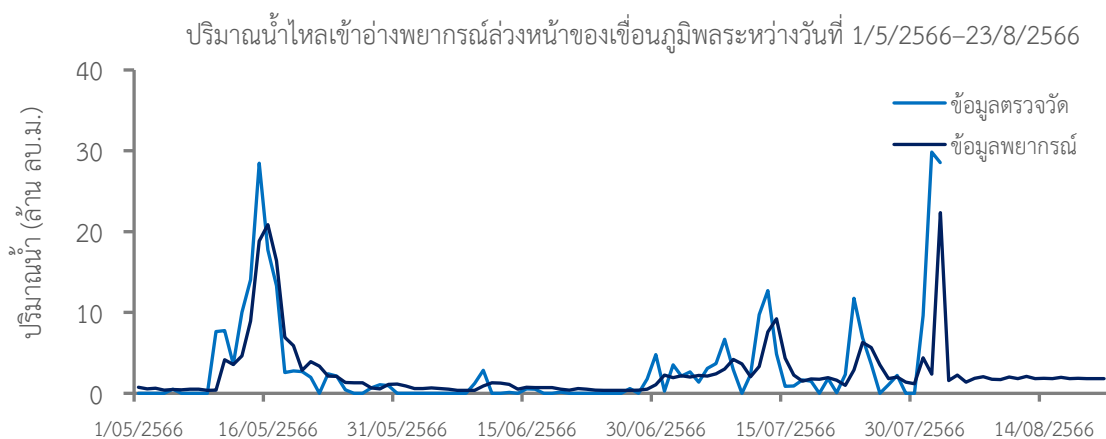
ภาพที่ 4-33 ปริมาณฝนพยากรณ์รายลุ่มน้ำเหนือเขื่อนหลักรายสัปดาห์ระหว่างวันที่ 1/4/2566-25/7/2566 และพยากรณ์ล่วงหน้าระหว่างวันที่ 26/7/2566-6/8/2566 ด้วยแบบจำลอง BC\_CFSV2



ภาพที่ 4-34 ปริมาณฝนตรวจวัดรายกลุ่มน้ำเหนือเขื่อนรายสัปดาห์ระหว่างวันที่ 1/4/2566–25/7/2566 จากคลังข้อมูลน้ำแห่งชาติ

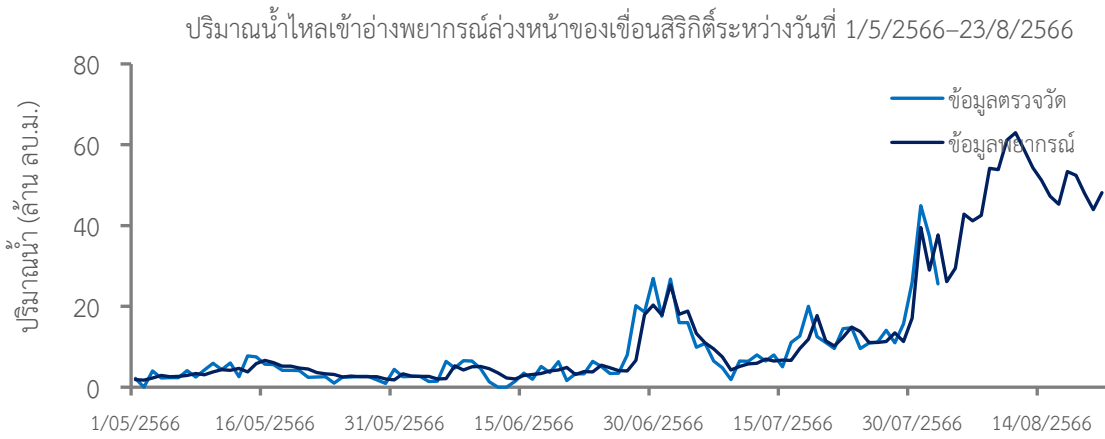
#### 4.2.3.2 ผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ

ผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันล่วงหน้าของ 4 เขื่อนหลักด้วยแบบจำลองการเรียนรู้แบบเครื่อง (Machine Learning, ML) พบว่า ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำพยากรณ์ระหว่างวันที่ 3–21 สิงหาคมของเขื่อนภูมิพลอยู่ในเกณฑ์น้อย โดยมีค่าพยากรณ์เฉลี่ยรายวันเท่ากับ 1.85 ล้านลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำพยากรณ์ของเขื่อนสิริกิติ์มีแนวโน้มสูงขึ้น โดยมีค่าพยากรณ์เฉลี่ยรายวันเท่ากับ 48.26 ล้านลูกบาศก์เมตร ในทำนองเดียวกัน ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำพยากรณ์ระหว่างวันที่ 3–21 สิงหาคมของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนและเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์อยู่ในเกณฑ์น้อย โดยมีค่าพยากรณ์เฉลี่ยรายวันเท่ากับ 0.87 และ 0.68 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ โดยผลการพยากรณ์แสดงดังภาพที่ 4-35 ถึงภาพที่ 4-38

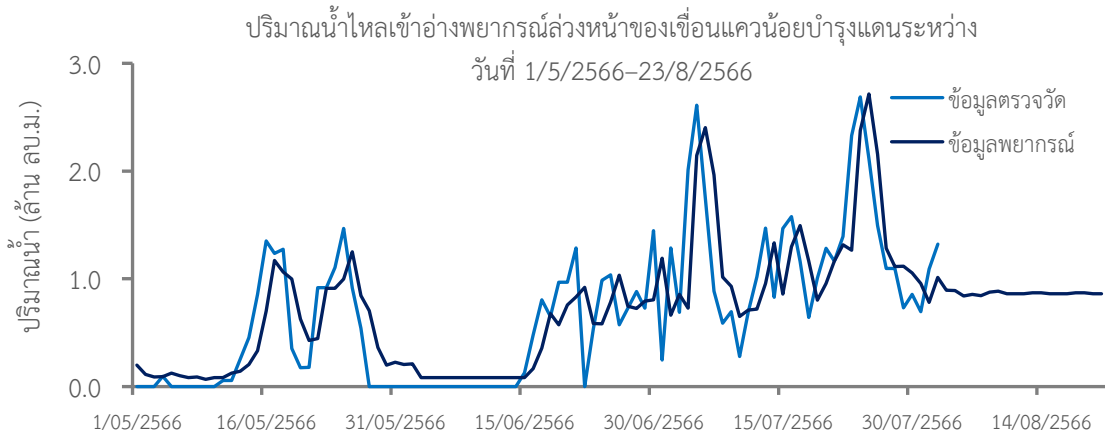


ภาพที่ 4-35 ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยากรณ์ล่วงหน้าของเขื่อนภูมิพลระหว่างวันที่ 1/5/2566–23/8/2566

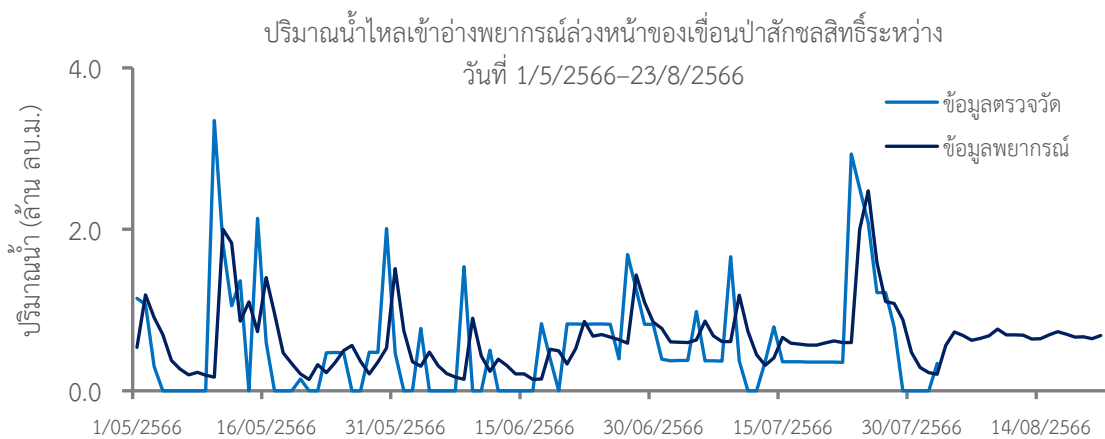




ภาพที่ 4-36 ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยากรณ์ล่องหน้าของเขื่อนสิริกิติ์ระหว่างวันที่ 1/5/2566-23/8/2566



ภาพที่ 4-37 ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยากรณ์ล่องหน้าของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนระหว่างวันที่ 1/5/2566-23/8/2566



ภาพที่ 4-38 ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยากรณ์ล่องหน้าของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ระหว่างวันที่ 1/5/2566-23/8/2566

#### 4.2.3.3 ผลการกำหนดการระบายน้ำด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด

ผลการจำลองด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดทั้ง 3 สถานการณ์สมมติแนะนำให้ระบายน้ำจากเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์ตามรูปแบบของข้อมูลความต้องการน้ำและปรับลดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนลงตามเงื่อนไขของ Potential Side Flow ซึ่งมีแนวโน้มต่ำกว่าปริมาณการระบายน้ำจริง โดยมีค่าเฉลี่ยรายวันของปริมาณการระบายน้ำระหว่างวันที่ 3-13 สิงหาคมเท่ากับ 9.10, 7.60 และ 6.80 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับสถานการณ์สมมติ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ สำหรับเขื่อนภูมิพล และเท่ากับ 7.50, 7.00 และ 7.00 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับสถานการณ์สมมติ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ สำหรับเขื่อนสิริกิติ์

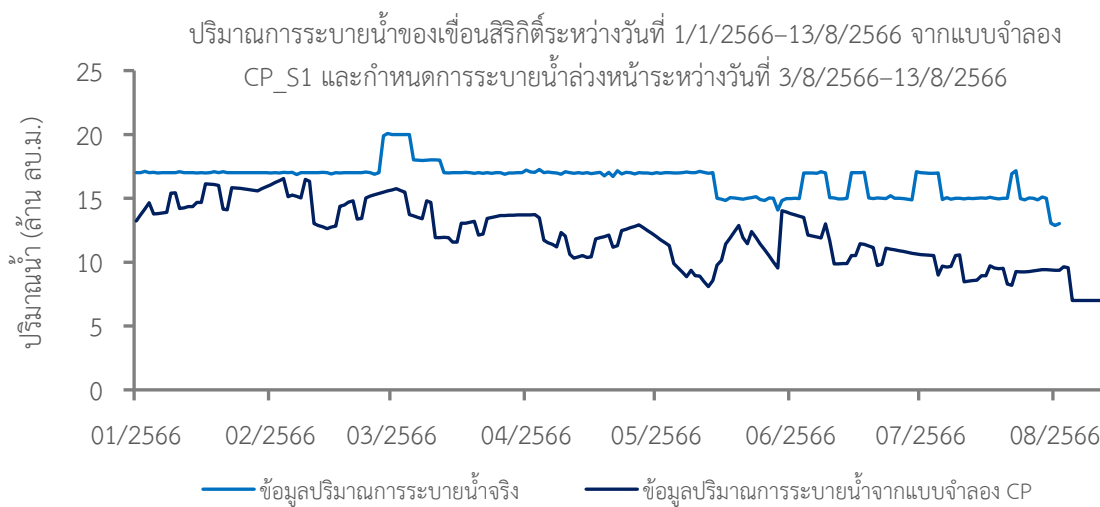
ในทำนองเดียวกัน ผลการจำลองทั้ง 3 สถานการณ์สมมติแนะนำให้ระบายน้ำจากเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนตามรูปแบบของข้อมูลความต้องการน้ำและปรับลดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนลงตามเงื่อนไขของ Potential Side Flow ซึ่งมีแนวโน้มต่ำกว่าปริมาณการระบายน้ำจริง โดยมีค่าเฉลี่ยรายวันของปริมาณการระบายน้ำระหว่างวันที่ 3-13 สิงหาคมเท่ากับ 1.20, 1.00 และ 1.00 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับสถานการณ์สมมติ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

ในขณะที่ ผลการจำลองทั้ง 3 สถานการณ์สมมติแนะนำให้ระบายน้ำจากเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ตามรูปแบบของข้อมูลความต้องการน้ำและปรับลดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนลงตามเงื่อนไขของ Potential Side Flow ปริมาณการระบายน้ำของสถานการณ์สมมติ 1 มีแนวโน้มใกล้เคียงกับปริมาณการระบายน้ำจริงมากที่สุด อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยรายวันของปริมาณการระบายน้ำระหว่างวันที่ 3-13 สิงหาคมเท่ากับ 0.5664, 0.0602 และ 0.0578 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับสถานการณ์สมมติ 1, 2 และ 3 ตามลำดับดังแสดงผลการจำลองในภาพที่ 4-39 ถึงภาพที่ 4-42 ซึ่งเป็นผลการจำลองของสถานการณ์สมมติที่ 1

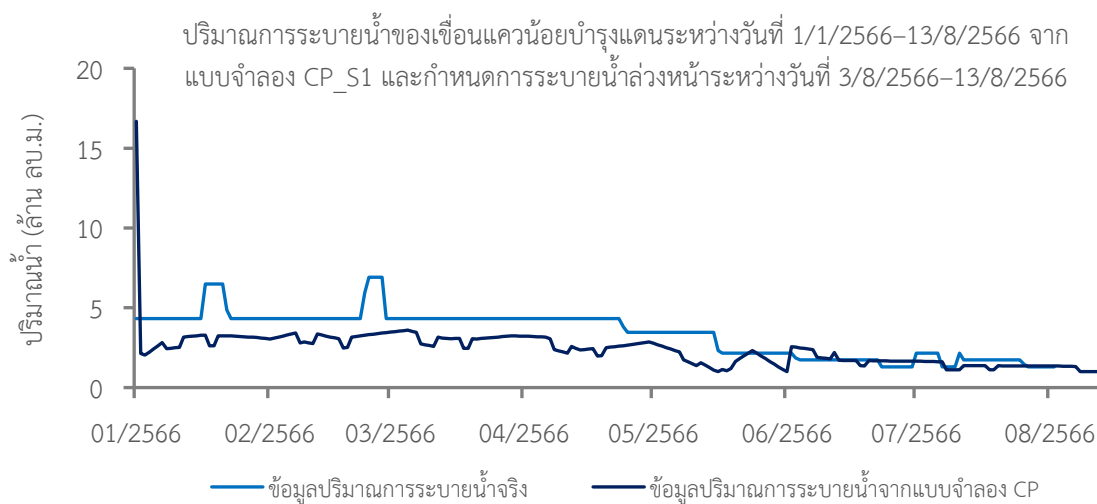
สำหรับผลรวมของปริมาณการระบายน้ำรายวันเฉลี่ยล่วงหน้าจากแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดระหว่างวันที่ 3-13 สิงหาคมของ 4 เขื่อนหลักเท่ากับ 18.28, 15.71 และ 14.90 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับสถานการณ์สมมติ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าปริมาณการระบายน้ำจริง



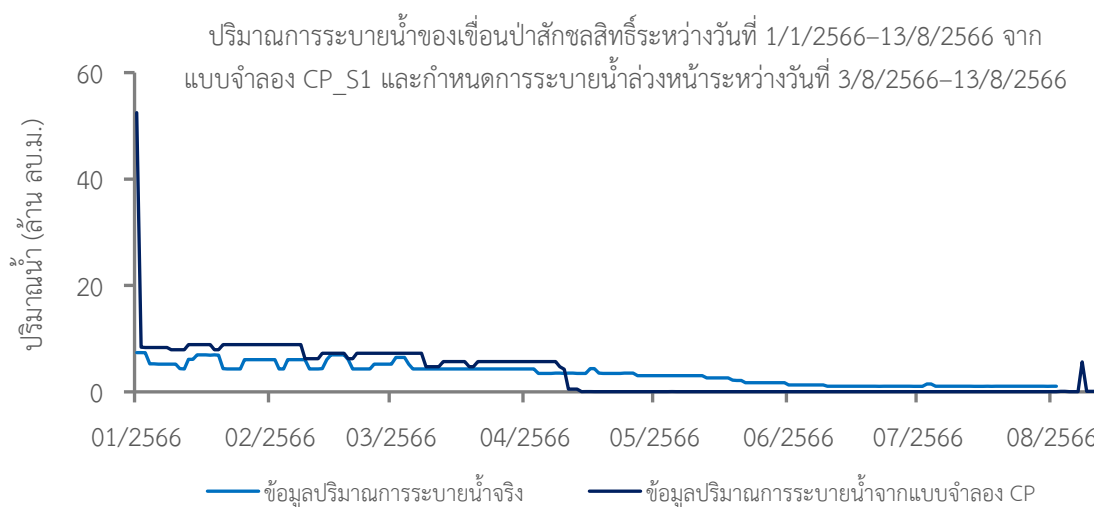
ภาพที่ 4-39 ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนภูมิพลระหว่างวันที่ 1/1/2566-13/8/2566 จากแบบจำลอง CP\_S1



ภาพที่ 4-40 ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนสิริกิติ์ระหว่างวันที่ 1/1/2566-13/8/2566 จากแบบจำลอง CP\_S1



ภาพที่ 4-41 ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนระหว่างวันที่ 1/1/2566-13/8/2566 จากแบบจำลอง CP\_S1



ภาพที่ 4-42 ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ระหว่างวันที่ 1/1/2566-13/8/2566 จากแบบจำลอง CP\_S1

#### 4.2.3.4 ข้อเสนอแนะในการบริหารเขื่อนในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาจากผล CO-RUN

ผลการพยากรณ์ข้อมูลฝนเหนือเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์มีแนวโน้มลดลงในช่วงกลางเดือนกรกฎาคม และลดปริมาณลงมาในช่วงปลายเดือนกรกฎาคมถึงช่วงต้นสัปดาห์แรกของเดือนสิงหาคม อย่างไรก็ตาม ผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำด้วยแบบจำลอง ML ของเขื่อนภูมิพลระหว่างวันที่ 3-21 สิงหาคมนั้นพบว่า ยังอยู่ในเกณฑ์น้อย โดยมีค่าพยากรณ์เฉลี่ยรายวันเท่ากับ 1.85 ล้านลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำของเขื่อนสิริกิติ์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่าพยากรณ์เฉลี่ยรายวันเท่ากับ 48.26 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนและเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์มีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าพยากรณ์เฉลี่ยรายวันเท่ากับ 0.87 และ 0.68 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการพยากรณ์ข้อมูลฝนเหนือเขื่อนที่มีแนวโน้มลดลงตั้งแต่ช่วงกลางเดือนกรกฎาคมและมีแนวโน้มคงที่ถึงช่วงต้นสัปดาห์แรกของเดือนสิงหาคม ในขณะที่ข้อมูลน้ำท่าจากการคาดการณ์ล่วงหน้าด้วยแบบจำลองทางอุทกวิทยาของสถานี W.4A และ Y.17 เพื่อนำมาพิจารณาเป็น Potential Side Flow พบว่า ยังพอน้ำส่วนหนึ่งที่สามารถนำมาช่วยปรับลดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนลงได้บางส่วน ด้วยเหตุนี้ แบบจำลอง CP จึงแนะนำให้กำหนดการระบายน้ำในช่วงต้นสัปดาห์ที่ 3 และสัปดาห์ที่ 4 ของเดือนกรกฎาคม ถึงสัปดาห์ที่ 1 ของเดือนสิงหาคมตามรูปแบบของข้อมูลความต้องการน้ำ และปรับลดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนลงตามเงื่อนไขของ Potential Side Flow โดยค่าปริมาณการระบายน้ำรายวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 3-13 สิงหาคมของ 4 เขื่อนหลักเท่ากับ 18.28, 15.71 และ 14.90 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับสถานการณ์สมมติ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

#### 4.2.4 สรุปผลการดำเนินงานกิจกรรม MANUAL CO-RUN สัปดาห์ที่ 9-11

สรุปผลการดำเนินงานกิจกรรม MANUAL CO-RUN สัปดาห์ที่ 9-11 ตั้งแต่วันที่ 22 สิงหาคม 2566 ถึงวันที่ 13-17 กันยายน 2566

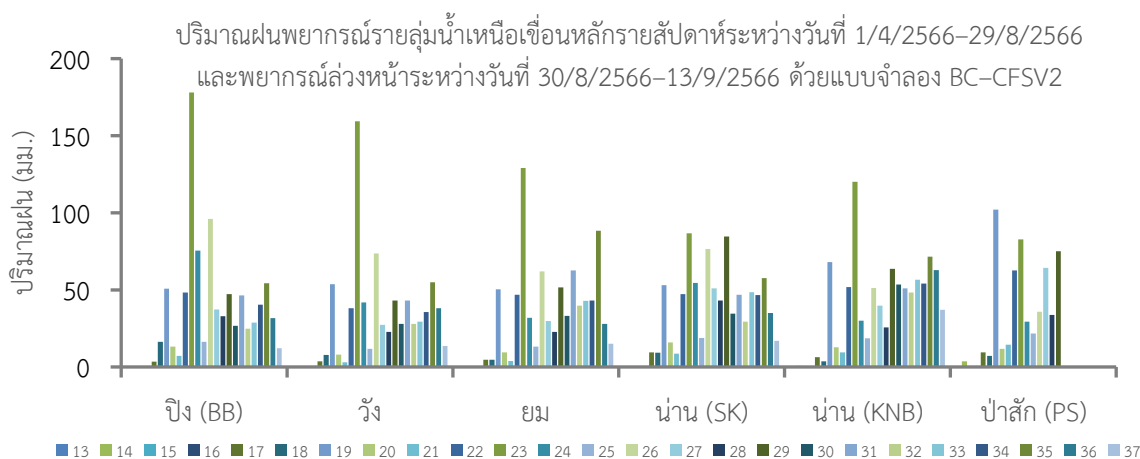
##### 4.2.4.1 แนวโน้มข้อมูลฝนเหนือเขื่อน

ฝนพยากรณ์รายสัปดาห์เหนือเขื่อนภูมิพลในเดือนสิงหาคมและกันยายนระหว่างวันที่ 6 สิงหาคม-17 กันยายนพบว่า มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ช่วงต้นเดือนถึงช่วงปลายเดือนสิงหาคมและลดลงเล็กน้อยในช่วงสัปดาห์แรกของเดือนกันยายน โดยมีปริมาณฝนพยากรณ์รายสัปดาห์ที่ 1-4 ของเดือนสิงหาคมเท่ากับ 28.87, 37.74, 50.84 และ 60.81 มิลลิเมตร ตามลำดับ และปริมาณฝนพยากรณ์รายสัปดาห์ที่ 1 ของเดือนกันยายนเท่ากับ 44.29 มิลลิเมตร

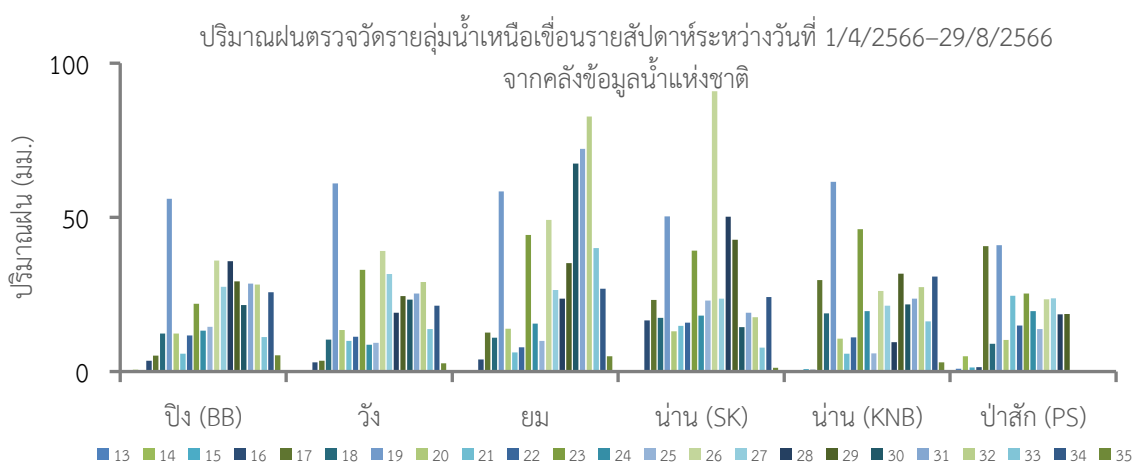
ในทำนองเดียวกัน ฝนพยากรณ์รายสัปดาห์เหนือเขื่อนสิริกิติ์ในเดือนสิงหาคมและกันยายนระหว่างวันที่ 6 สิงหาคม-17 กันยายนพบว่า มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ช่วงต้นเดือนถึงช่วงปลายเดือนสิงหาคมและลดลงเล็กน้อยในช่วงสัปดาห์แรกของเดือนกันยายน โดยมีปริมาณฝนพยากรณ์รายสัปดาห์ที่ 1-4 ของเดือนสิงหาคมเท่ากับ 24.89, 28.67, 40.45 และ 54.32 มิลลิเมตร ตามลำดับ และปริมาณฝนพยากรณ์รายสัปดาห์ที่ 1 ของเดือนกันยายนเท่ากับ 31.75 มิลลิเมตร

ในทำนองเดียวกัน ฝนพยากรณ์รายสัปดาห์เหนือเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนในเดือนสิงหาคมและกันยายนระหว่างวันที่ 6 สิงหาคม-17 กันยายนพบว่า มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ช่วงต้นเดือนถึงช่วงปลายเดือนสิงหาคมและลดลงเล็กน้อยในช่วงสัปดาห์แรกของเดือนกันยายน โดยมีปริมาณฝนพยากรณ์รายสัปดาห์ที่ 1-4 ของเดือนสิงหาคมเท่ากับ 29.33, 48.41, 46.52 และ 57.68 มิลลิเมตร ตามลำดับ และปริมาณฝนพยากรณ์รายสัปดาห์ที่ 1 ของเดือนกันยายนเท่ากับ 34.91 มิลลิเมตร

ฝนพยากรณ์รายสัปดาห์เหนือเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ในเดือนสิงหาคมและกันยายนระหว่างวันที่ 6 สิงหาคม-17 กันยายนพบว่า มีปริมาณอยู่ในเกณฑ์สูงกว่าเขื่อนอื่น ๆ โดยมีปริมาณฝนพยากรณ์รายสัปดาห์ที่ 1-4 ของเดือนสิงหาคมเท่ากับ 48.32, 56.56, 54.03 และ 71.64 มิลลิเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณฝนพยากรณ์รายสัปดาห์แรกของเดือนกันยายนสูงถึง 62.92 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 4-43 และภาพที่ 4-44



ภาพที่ 4-43 ปริมาณฝนพยากรณ์รายลุ่มน้ำเหนือเขื่อนหลักรายสัปดาห์ระหว่างวันที่ 1/4/2566-29/8/2566 และพยากรณ์ล่วงหน้าระหว่างวันที่ 26/7/2566-13/9/2566 ด้วยแบบจำลอง BC\_CFSV2



ภาพที่ 4-44 ปริมาณฝนตรวจวัดรายกลุ่มน้ำเหนือเขื่อนรายสัปดาห์ระหว่างวันที่ 1/4/2566–29/8/2566 จากคลังข้อมูลน้ำแห่งชาติ

#### 4.2.4.2 ผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ

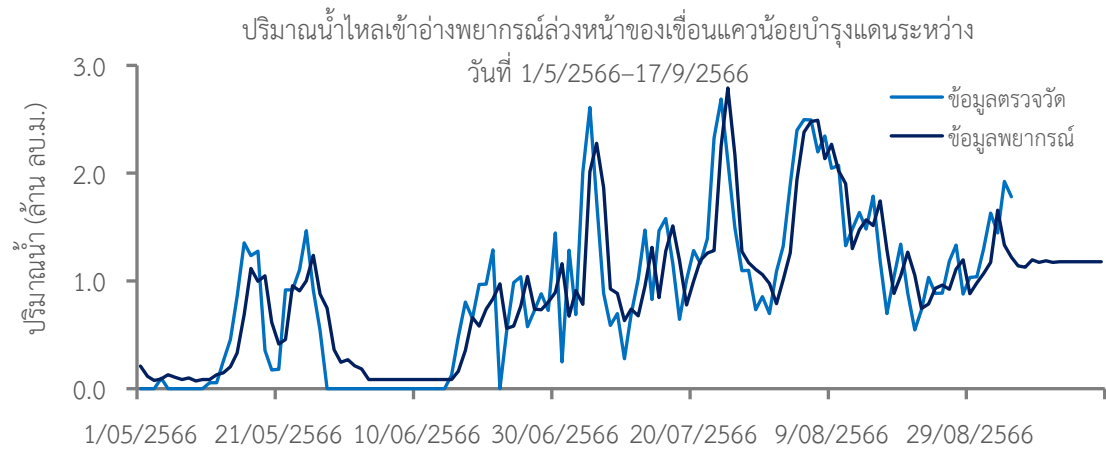
ผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันล่วงหน้าของ 4 เขื่อนหลักด้วยแบบจำลองการเรียนรู้แบบเครื่อง (Machine Learning, ML) พบว่า ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำพยากรณ์ระหว่างวันที่ 4–17 กันยายนของเขื่อนภูมิพลมีแนวโน้มสูงขึ้นตั้งแต่ช่วงต้นสัปดาห์แรกของเดือนกันยายน โดยมีค่าพยากรณ์รายวันอยู่ระหว่าง 20.75–59.47 ล้านลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำพยากรณ์ของเขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์มีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าพยากรณ์เฉลี่ยรายวันเท่ากับ 16.85, 1.17 และ 1.28 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ โดยผลการพยากรณ์แสดงดังภาพที่ 4-45 ถึงภาพที่ 4-48



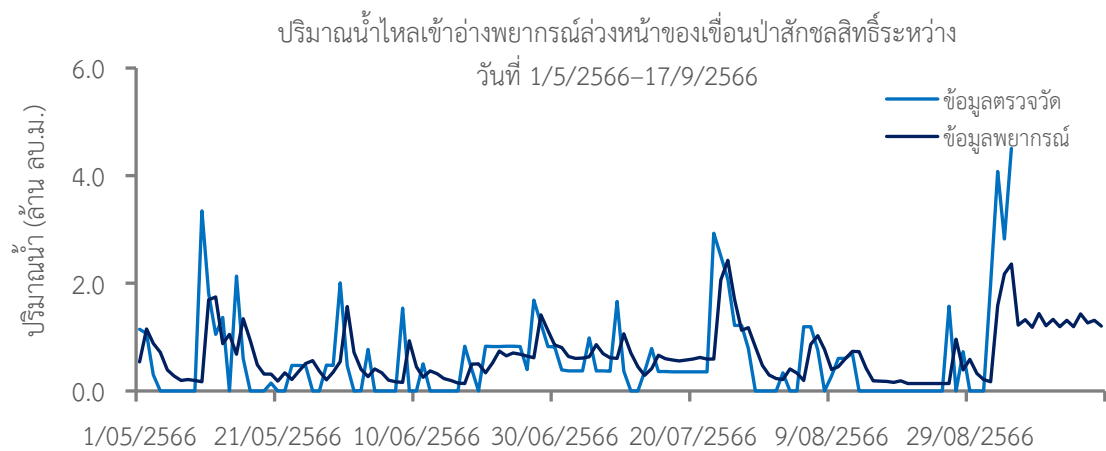
ภาพที่ 4-45 ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยากรณ์ล่วงหน้าของเขื่อนภูมิพลระหว่างวันที่ 1/5/2566–17/9/2566



ภาพที่ 4-46 ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพวยกรณ์ล่องหน้าของเขื่อนสิริกิติ์ระหว่างวันที่ 1/5/2566-17/9/2566



ภาพที่ 4-47 ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพวยกรณ์ล่องหน้าของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนระหว่างวันที่ 1/5/2566-17/9/2566



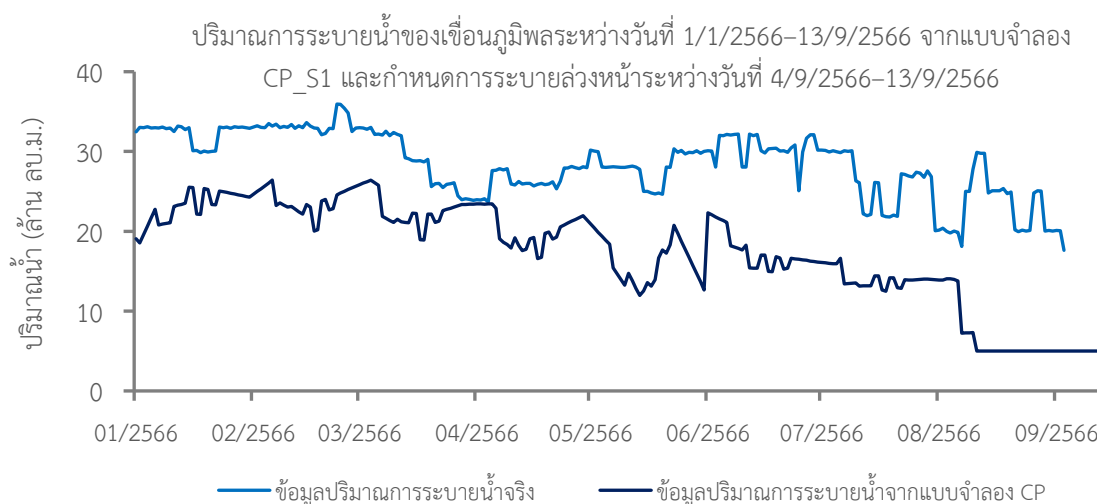
ภาพที่ 4-48 ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพวยกรณ์ล่องหน้าของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ระหว่างวันที่ 1/5/2566-17/9/2566

#### 4.2.4.3 ผลการกำหนดการระบายน้ำด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด

ผลการจำลองทั้ง 3 สถานการณ์สมมติระหว่างวันที่ 4-13 กันยายนแนะนำให้ระบายน้ำล่องหน้าจากเขื่อนภูมิพลในเกณฑ์ต่ำสุดเท่ากับ 5.00 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับสถานการณ์สมมติ 1 และมีค่าอยู่ระหว่าง 5.40-8.80 และ 5.00-7.80 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับสถานการณ์สมมติ 2 และ 3 ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณน้ำเก็บกักใช้การในวันที่ 3 กันยายนมีค่าเท่ากับ 17.05% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างน้อย

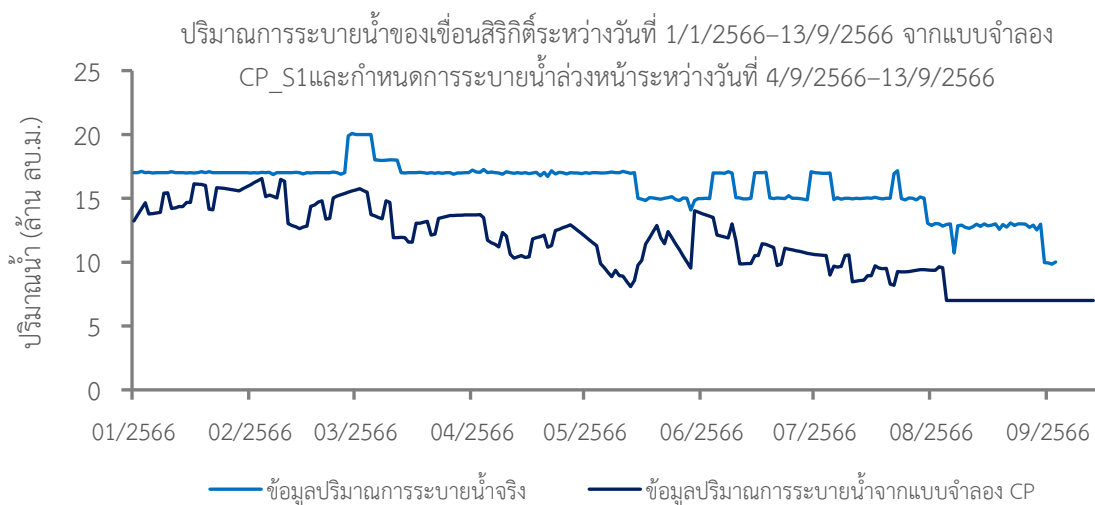
ในทำนองเดียวกัน ผลการจำลองทั้ง 3 สถานการณ์สมมติระหว่างวันที่ 4-13 กันยายนแนะนำให้ระบายน้ำล่องหน้าจากเขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ในเกณฑ์ต่ำสุดเท่ากับ 7.00, 1.00 และ 0.0550-0.3133 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณน้ำเก็บกักใช้การในวันที่ 3 กันยายนมีค่าเท่ากับ 24.38%, 16.89% และ 8.76% ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างน้อย

สำหรับผลรวมของปริมาณการระบายน้ำรายวันเฉลี่ยล่องหน้าจากแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดระหว่างวันที่ 4-13 กันยายนของ 4 เขื่อนหลักเท่ากับ 13.31, 14.41 และ 13.80 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับสถานการณ์สมมติ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มต่ำกว่าผลรวมปริมาณน้ำการระบายน้ำจริงของ 4 เขื่อนหลักเมื่อวันที่ 3 กันยายนที่มีค่าเท่ากับ 29.97 ล้านลูกบาศก์เมตร



ภาพที่ 4-49 ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนภูมิพลระหว่างวันที่ 1/1/2566-13/9/2566 จากแบบจำลอง CP\_S1





ภาพที่ 4-50 ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนสิริกิติ์ระหว่างวันที่ 1/1/2566-13/9/2566 จากแบบจำลอง CP\_S1



ภาพที่ 4-51 ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนระหว่างวันที่ 1/1/2566-13/9/2566 จากแบบจำลอง CP\_S1



ภาพที่ 4-52 ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ระหว่างวันที่ 1/1/2566-13/9/2566 จากแบบจำลอง CP\_S1

#### 4.2.4.4 ข้อเสนอแนะในการบริหารเขื่อนในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาจากผล CO-RUN

ผลการพยากรณ์ข้อมูลฝนเหนือเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ช่วงต้นเดือนถึงช่วงปลายเดือนสิงหาคมและลดลงเล็กน้อยในช่วงสัปดาห์แรกของเดือนกันยายน โดยเฉพาะอย่างยิ่งฝนพยากรณ์รายสัปดาห์เหนือเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์มีปริมาณอยู่ในเกณฑ์สูงกว่าเขื่อนอื่น ๆ ซึ่งคาดว่าจะช่วยให้ปริมาณน้ำเก็บกักใช้การของที่มีอยู่ค่อนข้างน้อยในช่วงต้นเดือนกันยายนเพิ่มปริมาณสูงขึ้น โดยผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำด้วยแบบจำลอง ML ของเขื่อนภูมิพลพบว่า มีแนวโน้มสูงขึ้นตั้งแต่ช่วงต้นสัปดาห์แรกของเดือนกันยายน โดยมีค่าพยากรณ์รายวันอยู่ระหว่าง 20.75-59.47 ล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งสอดคล้องตามปัจจัยฝนพยากรณ์ อย่างไรก็ตาม ผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำของเขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์มีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าพยากรณ์เฉลี่ยรายวันเท่ากับ 16.85, 1.17 และ 1.28 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งไม่สอดคล้องกับข้อมูลฝนพยากรณ์ที่ได้ ในขณะที่ข้อมูลน้ำท่าจากการคาดการณ์ล่วงหน้าด้วยแบบจำลองทางอุทกวิทยาของสถานี W.4A และ Y.17 เพื่อนำมาพิจารณาเป็น Potential Side Flow พบว่า ปริมาณน้ำที่จะนำมาช่วยปรับลดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนลงได้อยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างน้อย ด้วยเหตุนี้ แบบจำลอง CP จึงแนะนำให้ระบายน้ำของทุกเขื่อนล่วงหน้าในเกณฑ์ต่ำสุดกล่าวคือ ผลรวมปริมาณการระบายน้ำ 4 เขื่อนหลักระหว่างวันที่ 4-13 กันยายนของ 4 เขื่อนหลักเท่ากับ 13.31, 14.41 และ 13.80 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับสถานการณ์สมมติ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ เท่านั้น ซึ่งมีแนวโน้มต่ำกว่าผลรวมปริมาณน้ำการระบายน้ำจริงเมื่อวันที่ 3 กันยายนที่มีค่าเท่ากับ 29.97 ล้านลูกบาศก์เมตร

#### 4.2.5 สรุปผลการดำเนินงานกิจกรรม MANUAL CO-RUN สัปดาห์ที่ 12-16

สรุปผลการดำเนินงานกิจกรรม MANUAL CO-RUN สัปดาห์ที่ 12-16 ตั้งแต่วันที่ 18 กันยายน 2566 ถึงวันที่ 24 พฤศจิกายน 2566

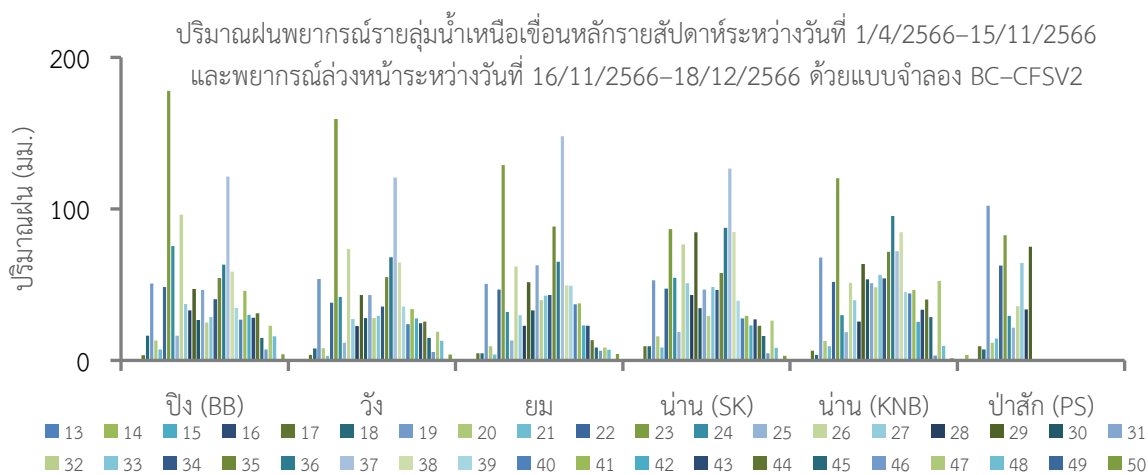
##### 4.2.4.1 แนวโน้มข้อมูลฝนเหนือเขื่อน

ฝนพยากรณ์รายสัปดาห์เหนือเขื่อนภูมิพลในเดือนกันยายนและธันวาคมระหว่างวันที่ 18 กันยายน-18 ธันวาคมพบว่า ตั้งแต่ช่วงกลางเดือนกันยายนถึงกลางเดือนพฤศจิกายน ปริมาณฝนพยากรณ์รายสัปดาห์ยังอยู่ในเกณฑ์สูงโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 19.71-100.14 มิลลิเมตร และมีแนวโน้มลดลงในช่วงปลายเดือนพฤศจิกายนจนถึงกลางเดือนธันวาคมโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.84-16.78 มิลลิเมตร

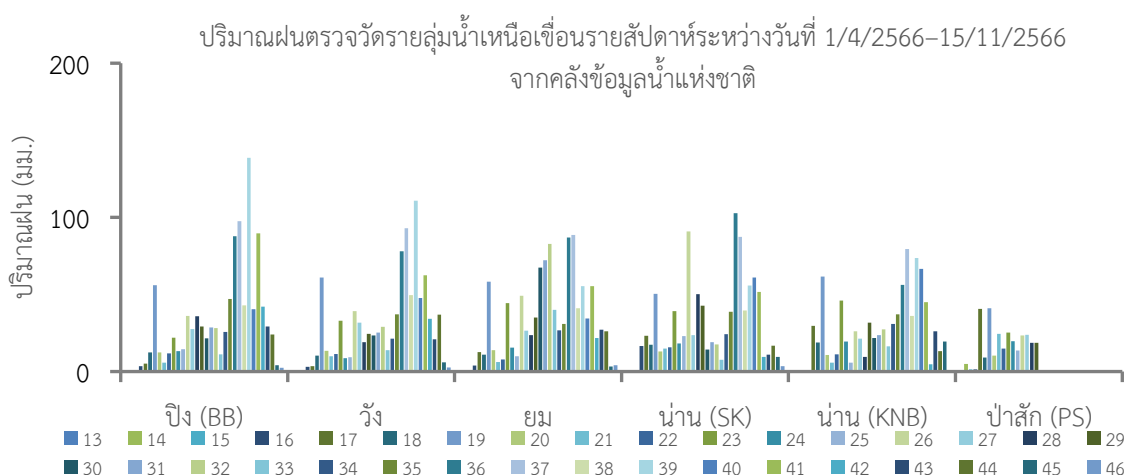
ในทำนองเดียวกัน ฝนพยากรณ์รายสัปดาห์เหนือเขื่อนสิริกิติ์ในเดือนกันยายนและธันวาคมระหว่างวันที่ 18 กันยายน-18 ธันวาคมพบว่า ตั้งแต่ช่วงกลางเดือนกันยายนถึงต้นเดือนพฤศจิกายน ปริมาณฝนพยากรณ์รายสัปดาห์ยังอยู่ในเกณฑ์สูงโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 13.29-49.52 มิลลิเมตร และมีแนวโน้มลดลงในช่วงปลายเดือนพฤศจิกายนจนถึงกลางเดือนธันวาคมโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.39-7.00 มิลลิเมตร

ในทำนองเดียวกัน ฝนพยากรณ์รายสัปดาห์เหนือเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนในเดือนกันยายนและธันวาคมระหว่างวันที่ 18 กันยายน-18 ธันวาคมพบว่า ตั้งแต่ช่วงกลางเดือนกันยายนถึงต้นเดือนพฤศจิกายน ปริมาณฝนพยากรณ์รายสัปดาห์ยังอยู่ในเกณฑ์สูงโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 22.82-84.74 มิลลิเมตร และมีแนวโน้มลดลงในช่วงปลายเดือนพฤศจิกายนจนถึงกลางเดือนธันวาคมโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.40-26.33 มิลลิเมตร

ในทำนองเดียวกัน ฝนพยากรณ์รายสัปดาห์เหนือเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ในเดือนกันยายนและธันวาคมระหว่างวันที่ 18 กันยายน-18 ธันวาคมพบว่า ตั้งแต่ช่วงกลางเดือนกันยายนถึงปลายเดือนพฤศจิกายน ปริมาณฝนพยากรณ์รายสัปดาห์ยังอยู่ในเกณฑ์สูงโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 25.39-84.62 มิลลิเมตร และมีแนวโน้มลดลงในช่วงเดือนธันวาคมโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.63-9.51 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 4-53 และภาพที่ 4-54



ภาพที่ 4-53 ปริมาณฝนพยากรณ์รายลุ่มน้ำเหนือเขื่อนหลักรายสัปดาห์ระหว่างวันที่ 1/4/2566-15/11/2566 และพยากรณ์ล่วงหน้าระหว่างวันที่ 16/11/2566-18/12/2566 ด้วยแบบจำลอง BC\_CFSV2



ภาพที่ 4-54 ปริมาณฝนตรวจวัดรายกลุ่มน้ำเหนือเขื่อนรายสัปดาห์ระหว่างวันที่ 1/4/2566-15/11/2566 จากคลังข้อมูลน้ำแห่งชาติ

#### 4.2.4.2 ผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ

ผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันล่วงหน้าของ 4 เขื่อนหลักด้วยแบบจำลองการเรียนรู้แบบเครื่อง (Machine Learning, ML) พบว่า ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำพยากรณ์ระหว่างวันที่ 12 พฤศจิกายน-2 ธันวาคมของเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์มีแนวโน้มลดลงจากแนวโน้มปริมาณฝนเหนือเขื่อนที่ลดลง โดยมีค่าพยากรณ์รายวันอยู่ระหว่าง 16.60-27.29 และ 8.49-18.24 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ในขณะที่ ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำพยากรณ์ระหว่างวันที่ 12 พฤศจิกายน-2 ธันวาคมของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนและเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์มีแนวโน้มลดลงจากปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างในช่วงต้นเดือนพฤศจิกายนและมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่จนถึงต้นเดือนธันวาคม โดยมีค่าพยากรณ์เฉลี่ยรายวัน 1.99 และ 2.33 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยผลการพยากรณ์แสดงดังภาพที่ 4-55 ถึงภาพที่ 4-58



ภาพที่ 4-55 ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยากรณ์ล่วงหน้าของเขื่อนภูมิพลระหว่างวันที่ 1/5/2566-2/12/2566



ภาพที่ 4-56 ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพวยการณล่งหน้าของเขื่อนสิริกิติ์ระหว่างวันที่ 1/5/2566-2/12/2566



ภาพที่ 4-57 ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพวยการณล่งหน้าของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนระหว่างวันที่ 1/5/2566-2/12/2566



ภาพที่ 4-58 ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพวยการณล่งหน้าของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ระหว่างวันที่ 1/5/2566-2/12/2566

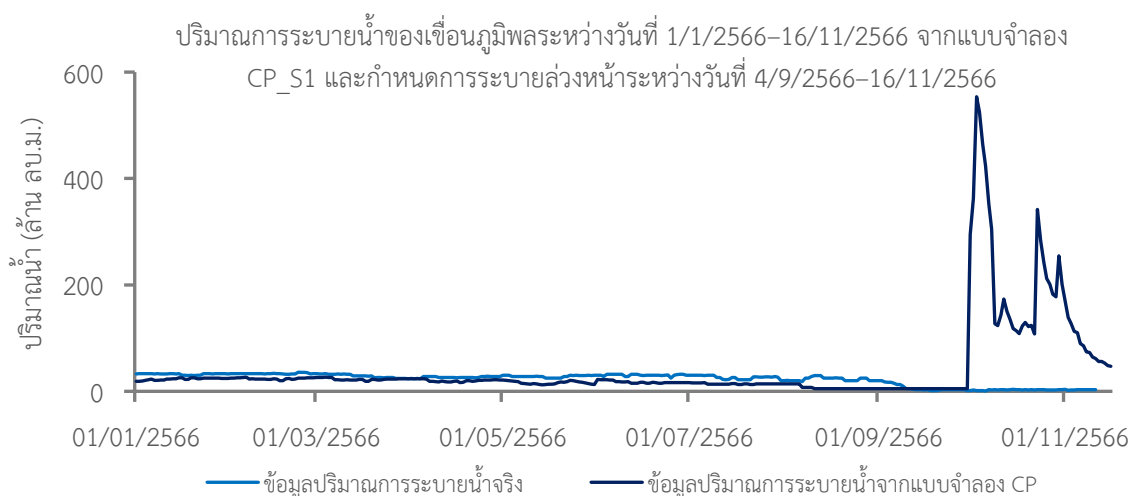
#### 4.2.4.3 ผลการกำหนดการระบายน้ำด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด

ผลการจำลองทั้ง 3 สถานการณ์สมมติระหว่างวันที่ 14 กันยายน-16 พฤศจิกายนแนะนำให้ระบายน้ำล่วงหน้าจากเขื่อนภูมิพลตามปัจจัยปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจากผลการพยากรณ์เพื่อปรับลดปริมาณน้ำเก็บกักลงที่มีแนวโน้มสูงขึ้นเกินระดับเก็บกักปกติจากข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่มีแนวโน้มสูงขึ้นตั้งแต่ช่วงปลายเดือนกันยายนถึงกลางเดือนพฤศจิกายน

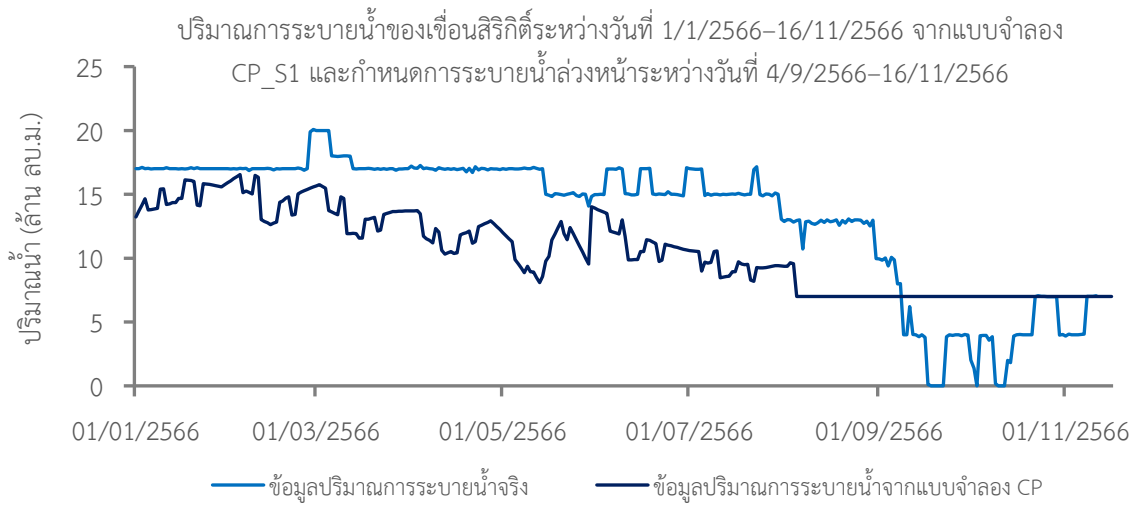
ในขณะที่ ผลการจำลองทั้ง 3 สถานการณ์สมมติระหว่างวันที่ 14 กันยายน-16 พฤศจิกายนแนะนำให้ระบายน้ำล่วงหน้าจากเขื่อนสิริกิติ์ในเกณฑ์ต่ำสุดเท่ากับ 7.00 ล้านลูกบาศก์เมตร เนื่องจากปริมาณน้ำเก็บกักใช้การในวันที่ 9 กันยายนมีค่าเท่ากับ 17.05% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างน้อย และเขื่อนภูมิพลมีปริมาณน้ำเก็บกักและปริมาณน้ำระบายในเกณฑ์สูงเพื่อใช้ตอบสนองความต้องการในลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง

ในทำนองเดียวกัน ผลการจำลองทั้ง 3 สถานการณ์สมมติระหว่างวันที่ 14 กันยายน-16 พฤศจิกายนแนะนำให้ระบายน้ำล่วงหน้าจากเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนและเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ตามปัจจัยปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจากผลการพยากรณ์เพื่อปรับลดปริมาณน้ำเก็บกักลงที่มีแนวโน้มสูงขึ้นเกินระดับเก็บกักปกติจากข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่มีแนวโน้มสูงขึ้นตั้งแต่ช่วง ปลายเดือนกันยายนถึงกลางเดือนพฤศจิกายน

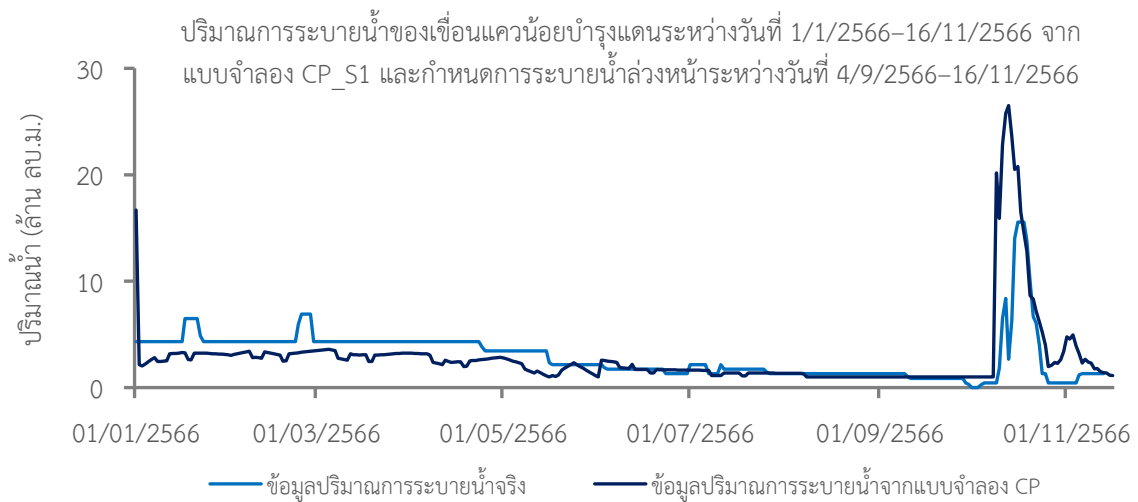
ปริมาณการระบายน้ำรายวันล่วงหน้าจากแบบจำลอง CP ระหว่างวันที่ 14 กันยายน-16 พฤศจิกายนของ 4 เขื่อนหลักทั้ง 3 สถานการณ์สมมติให้ผลเป็นไปในทำนองเดียวกันกล่าวคือ ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนภูมิพล เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์มีการกำหนดการระบายน้ำในเกณฑ์สูงตามปัจจัยปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำพยากรณ์และสถานะปริมาณน้ำเก็บกักเริ่มต้นที่อยู่ในเกณฑ์สูง ยกเว้นเขื่อนสิริกิติ์ที่กำหนดปริมาณน้ำระบายขั้นต่ำในช่วงดังกล่าวเท่ากับ 7 ล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งแนวทางการระบายน้ำของเขื่อนภูมิพลจากแบบจำลอง CP ให้ผลแตกต่างไปจากผลการปฏิบัติงานจริงในช่วงระหว่างวันที่ 14 กันยายน-16 พฤศจิกายนที่กำหนดปริมาณน้ำระบายขั้นต่ำเท่ากับ 3 ล้านลูกบาศก์เมตร ด้วยเหตุนี้ การนำแบบจำลอง CP ไปใช้งานในสถานการณ์ดังกล่าวนี้ จึงจำเป็นต้องกำหนดให้ระดับน้ำของเขื่อนภูมิพลไม่เกิน URC เพื่อไม่ให้ระดับน้ำเก็บกักเกินระดับเก็บกักปกติ อย่างไรก็ตาม ผลรวมปริมาณน้ำการระบายน้ำจริงของ 4 เขื่อนหลักเมื่อวันที่ 11 พฤศจิกายนที่มีค่าเท่ากับ 20.03 ล้านลูกบาศก์เมตร



ภาพที่ 4-59 ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนภูมิพลระหว่างวันที่ 1/1/2566-16/11/2566 จากแบบจำลอง CP\_S1



ภาพที่ 4-60 ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนสิริกิติ์ระหว่างวันที่ 1/1/2566-16/11/2566 จากแบบจำลอง CP\_S1



ภาพที่ 4-61 ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนระหว่างวันที่ 1/1/2566-16/11/2566 จากแบบจำลอง CP\_S1



ภาพที่ 4-62 ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ระหว่างวันที่ 1/1/2566-16/11/2566 จากแบบจำลอง CP\_S1

#### 4.2.4.4 ข้อเสนอแนะในการบริหารเขื่อนในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาจากผล CO-RUN

แผนพยากรณ์รายสัปดาห์เหนือเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์พบว่า ตั้งแต่ช่วงกลางเดือนกันยายนถึงกลางเดือนพฤศจิกายน ปริมาณฝนพยากรณ์รายสัปดาห์ยังอยู่ในเกณฑ์สูง และมีแนวโน้มลดลงในช่วงปลายเดือนพฤศจิกายนจนถึงกลางเดือนธันวาคม ซึ่งส่งผลทำให้ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำพยากรณ์ทั้ง 4 เขื่อนหลักมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ปริมาณการระบายน้ำรายวันล่วงหน้าจากแบบจำลอง CP ระหว่างวันที่ 14 กันยายน-16 พฤศจิกายนทั้ง 3 สถานการณ์สมมติให้ผลเป็นไปในทำนองเดียวกันกล่าวคือ ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนภูมิพล เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์มีการกำหนดการระบายน้ำในเกณฑ์สูงตามปัจจัยปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำพยากรณ์และสถานะปริมาณน้ำเก็บกักเริ่มต้นที่อยู่ในเกณฑ์สูง ยกเว้นเขื่อนสิริกิติ์ที่กำหนดปริมาณน้ำระบายขั้นต่ำในช่วงดังกล่าวเท่ากับ 7 ล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งแนวทางการระบายน้ำของเขื่อนภูมิพลจากแบบจำลอง CP ให้ผลแตกต่างไปจากการปฏิบัติงานจริงที่กำหนดปริมาณน้ำระบายขั้นต่ำเท่ากับ 3 ล้านลูกบาศก์เมตร ด้วยเหตุนี้ การนำแบบจำลอง CP ไปใช้งานในสถานการณ์ดังกล่าวนี้ จึงจำเป็นต้องกำหนดให้ระดับน้ำของเขื่อนภูมิพลไม่เกิน URC เพื่อไม่ให้ระดับน้ำเก็บกักเกินระดับเก็บกักปกติและลดความเสี่ยงของการระบายน้ำผ่านอาคารระบายน้ำล้น

### 4.3 ผลการออกแบบและพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา

#### 4.3.1 การเข้าถึงข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ

การเข้าถึงข้อมูลจากฐานข้อมูลคลังข้อมูลน้ำแห่งชาติผ่าน API ประกอบด้วยข้อมูลสมดุอ่างเก็บน้ำของ 4 เขื่อนหลักในความรับผิดชอบของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยและกรมชลประทานสามารถเข้าถึงข้อมูลย้อนหลังได้ 7 วัน ในขณะที่ข้อมูลน้ำท่าในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาสามารถเข้าถึงได้หมดทุกสถานี แต่แสดงผลข้อมูลของวันล่าสุดถึง 07:00 น. อย่างไรก็ตาม ข้อมูลย้อนหลังระยะยาวไม่สามารถไหลได้ สำหรับการเข้าถึงข้อมูลจากฐานข้อมูลคลังข้อมูลน้ำแห่งชาติผ่าน API แสดงในภาพที่ 4-63





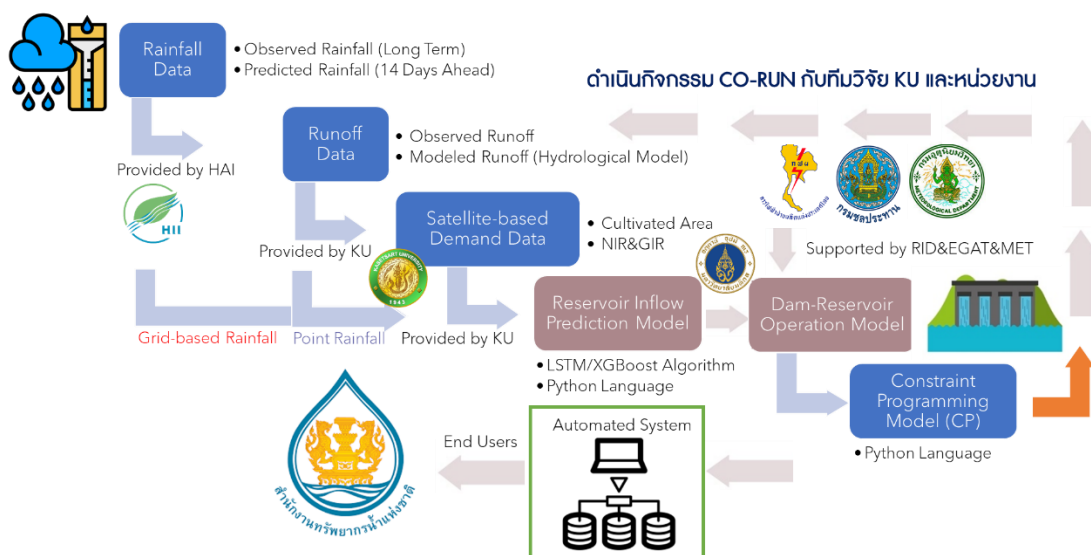
- (4) DCPY-LW คือ ความต้องการน้ำบริเวณลุ่มน้ำเจ้าพระยาส่วนล่างทางตะวันตก
- (5) DECO คือ ความต้องการน้ำเพื่อการรักษาระบบนิเวศท้ายน้ำ

4.3.1.3 ข้อมูลน้ำท่าคาดการณ์ล่วงหน้าจากแบบจำลองอุทกวิทยาอยู่ในชื่อ sideflow.json แสดงผลในหน่วยล้านลูกบาศก์เมตร

- (1) สถานี W.4A
- (2) สถานี Y.17
- (3) สถานี N.22A

### 4.3.2 แนวคิดในการออกแบบและพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

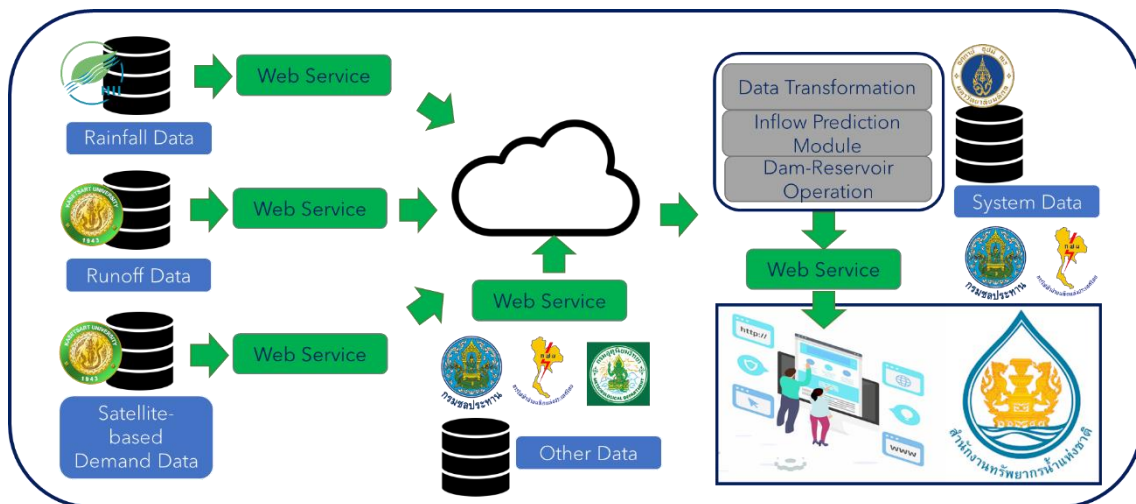
ระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยาถูกออกแบบให้มีการเชื่อมโยงข้อมูลจากคลังข้อมูลน้ำแห่งชาติ (National Hydroinformatics Data Center, NHDC) และข้อมูลผลลัพธ์ของโครงการวิจัยย่อยจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ในแผนงานที่ 3 ดังแสดงในภาพที่ 4-64



ภาพที่ 4-64 การเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างโครงการวิจัยภายใต้แผนงานที่ 3

#### 4.3.2.1 สถาปัตยกรรมระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา (System Architecture)

ระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยานี้ถูกออกแบบเป็นระบบกระจาย (Distributed System) เพื่อให้สะดวกต่อการทำงาน และทำให้ระบบมีความเป็นโมดูล (Modularity) ในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน โดยจะใช้การเชื่อมโยงข้อมูลผ่านทางเว็บเซอร์วิส หรือ API ดังภาพที่ 4-65 โดยรูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการเชื่อมโยงนั้นจะอยู่ในรูปแบบ JSON

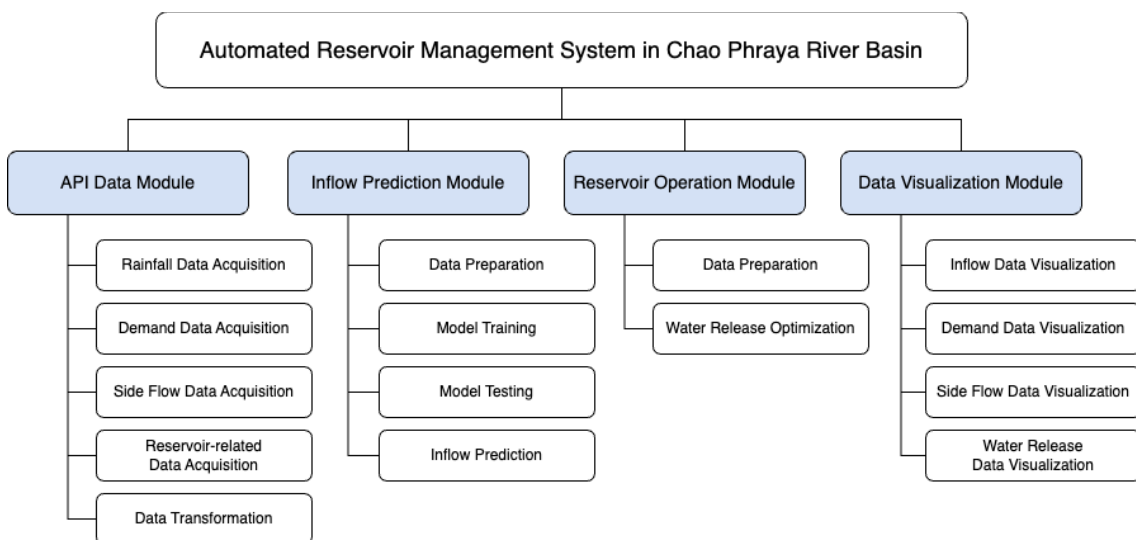


ภาพที่ 4-65 สถาปัตยกรรมระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

#### 4.3.2.2 โครงสร้างของระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา (Structure Chart)

การออกแบบระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยาแสดงในภาพที่ 4-66 โดยระบบนี้ถูกแบ่งออกเป็น 4 โมดูลย่อยดังนี้

- (1) โมดูลส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (API Data Module)
- (2) โมดูลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Inflow Prediction Module)
- (3) โมดูลการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำ (Dam-Reservoir Operation Module)
- (4) โมดูลการแสดงผลข้อมูล (Data Visualization Module)



ภาพที่ 4-66 โครงสร้างของระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

##### 4.3.2.2.1 โมดูลส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (API Data Module)

โมดูลส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์เป็นโมดูลที่ทำหน้าที่ในการบริหารจัดการข้อมูลที่ถูกนำเข้ามาในระบบจากแหล่งข้อมูลได้แก่ (1) คลังข้อมูลน้ำแห่งชาติ และ (2) ข้อมูลผลลัพธ์ของโครงการวิจัย

ย่อยจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ร่วมกับสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) (สสน.) ในแผนงานที่ 3 โดยในโมดูลนี้จะประกอบด้วยโมดูลย่อย ๆ ที่ทำหน้าที่ในการเชื่อมโยงข้อมูลจากแหล่งข้อมูลข้างต้น รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในโมดูลอื่น ๆ ดังนี้

- (1) Rainfall Data Acquisition ทำหน้าที่ในการเชื่อมโยงข้อมูลฝนพยากรณ์จากสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) (สสน.) และทำการวิเคราะห์ฝนเหนือเขื่อนโดยทีมวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- (2) Demand Data Acquisition ทำหน้าที่ในการเชื่อมโยงข้อมูลความต้องการน้ำจากทีมวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- (3) Side Flow Data Acquisition ทำหน้าที่ในการเชื่อมโยงข้อมูล Side Flow จากทีมวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- (4) Other Dam Related Data Acquisition ทำหน้าที่ในการเชื่อมโยงข้อมูลสมดุลงอ่างเก็บน้ำของ 4 เขื่อนหลักในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาจากคลังข้อมูลน้ำแห่งชาติ
- (5) Data Transformation ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงรูปแบบข้อมูลให้เหมาะสมกับโมดูลอื่น ๆ ได้แก่ โมดูลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ และโมดูลการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำ

#### 4.3.2.2.1.1 Rainfall Data Acquisition

##### (1) ข้อมูล

ข้อมูลที่นำเข้ามาจากโมดูลย่อยนี้มีรายละเอียดดังนี้

- (1.1) ข้อมูลฝนตรวจวัดรายวันและฝนพยากรณ์ล่วงหน้าจากฐานข้อมูลของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน)
- (1.2) ข้อมูลฝนพยากรณ์ล่วงหน้าที่ได้ปรับแต่งโดยทีมวิจัย ม.เกษตรศาสตร์

##### (2) การพัฒนาโมดูลย่อย Rainfall Data Acquisition

ทางทีมวิจัยได้จัดเตรียมรูปแบบตารางข้อมูลฝนจากการดึงข้อมูลในระบบฐานข้อมูล จากนั้นนำมาพัฒนาเว็บเซอร์วิส (APIs) สำหรับดึงข้อมูลฝน โดยพัฒนาไว้ 2 เว็บเซอร์วิสดังนี้

- (2.1) ข้อมูลฝนตรวจวัด (Observed Rainfall) ทั้งหมด
- (2.2) การค้นหาข้อมูลฝนตรวจวัด (Observed Rainfall)

ส่วนข้อมูลจำเพาะของเว็บเซอร์วิสจะอยู่ในเอกสารประกอบ SIP3\_API Specification สำหรับการพัฒนาเว็บเซอร์วิสนี้ได้ใช้ภาษาไพทอน (<https://www.python.org/>) และไลบรารี Flask (<https://flask.palletsprojects.com/en/3.0.x/>) เป็นเทคโนโลยีหลัก โดยในการพัฒนาเว็บเซอร์วิสได้ทำการต่อเข้ากับตารางข้อมูลฝนในฐานข้อมูล

#### 4.3.2.2.1.2 Demand Data Acquisition

##### (1) ข้อมูล

ข้อมูลหลักที่นำเข้ามาจากโมดูลย่อยนี้คือ ข้อมูลความต้องการน้ำเพื่อการชลประทานแยกตามโซนการจัดส่งน้ำที่ได้จากการประมาณการโดยทีมวิจัย ม.เกษตรศาสตร์ จากนั้นนำมาพัฒนาเว็บเซอร์วิส (APIs) สำหรับดึงข้อมูลความต้องการน้ำ

##### (2) การพัฒนาโมดูลย่อย Demand Data Acquisition

ทางทีมวิจัยได้ทำการจัดเตรียมรูปแบบตารางข้อมูลความต้องการน้ำจากการดึงข้อมูลในระบบฐานข้อมูล จากนั้นนำมาพัฒนาเว็บเซอร์วิส (APIs) สำหรับดึงข้อมูลความต้องการน้ำ โดยพัฒนาไว้ 2 เว็บเซอร์วิสดังนี้

(2.1) ข้อมูลความต้องการน้ำ (Demand) ทั้งหมด

(2.2) การค้นหาข้อมูลความต้องการน้ำ (Demand)

ส่วนข้อมูลจำเพาะของเว็บเซอร์วิสจะอยู่ในเอกสารประกอบ SIP3\_API Specification สำหรับการพัฒนาเว็บเซอร์วิสนี้ได้ใช้ภาษาไพทอน และไลบรารี Flask ซึ่งเป็นเทคโนโลยีหลักในการพัฒนา เว็บเซอร์วิสได้ทำการต่อเข้ากับตารางข้อมูลความต้องการน้ำในฐานข้อมูล

#### 4.3.2.2.1.3 Side Flow Data Acquisition

##### (1) ข้อมูล

ข้อมูลที่นำเข้ามาจากโมดูลย่อยนี้คือ ข้อมูลประมาณการปริมาณ Side Flow ล่วงหน้าจากแบบจำลองทางอุทกวิทยาโดยทีมวิจัย ม.เกษตรศาสตร์ จากนั้นนำมาพัฒนาเว็บเซอร์วิส (APIs) สำหรับดึงข้อมูลปริมาณ Side Flow

##### (2) การพัฒนาโมดูลย่อย Side Flow Data Acquisition

ทางทีมวิจัยได้ทำการจัดเตรียมรูปแบบตารางข้อมูล Side Flow จากการดึงข้อมูลในระบบฐานข้อมูล จากนั้นนำมาพัฒนาเว็บเซอร์วิส (APIs) สำหรับดึงข้อมูล Side Flow โดยพัฒนาไว้ 2 เว็บเซอร์วิสดังนี้

(2.1) ข้อมูล Side Flow ทั้งหมด

(2.2) การค้นหาข้อมูล Side Flow

ส่วนข้อมูลจำเพาะของเว็บเซอร์วิสจะอยู่ในเอกสารประกอบ SIP3\_API Specification สำหรับการพัฒนาเว็บเซอร์วิสนี้ได้ใช้ภาษาไพทอน และไลบรารี Flask ซึ่งเป็นเทคโนโลยีหลักในการพัฒนา เว็บเซอร์วิสได้ทำการต่อเข้ากับตารางข้อมูล Side Flow ในฐานข้อมูล

สำหรับข้อมูล Side Flow จากกรมชลประทาน ทางทีมวิจัยได้ทำการพัฒนาโมดูลเพื่อทำหน้าที่ในการเชื่อมโยงข้อมูลโดยใช้ภาษาไพทอนเช่นกัน ซึ่งเริ่มจากการกำหนดเว็บเซอร์วิส (APIs) ที่จะใช้ในการเข้าถึงข้อมูลดังนี้คือ

“<https://api->

[v3.thaiwater.net/api/v1/thaiwater30/api\\_service?mid=228&eid=EKQy1dGTTecBmpXfhmTv-](https://api-)

[0nR4dC6BYKBwJNIMVhGX3p6UJVJsKIDhcxCVB\\_dljHrBi772fwZIHgBh\\_nnjGx0IA”](https://api-)

ข้อมูลที่ได้มาจากเว็บเซอร์วิสนี้จะอยู่ในรูปแบบของ JSON จากนั้นกำหนดรหัสสถานีตรวจวัดน้ำท่า (ID) ที่ต้องการดึงข้อมูลดังแสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 รหัสสถานีตรวจวัดน้ำท่าของเว็บเซอร์วิสของกรมชลประทาน

สถานีน้ำท่า	รหัส (ID)	เว็บเซอร์วิส
W.4A	3018	กรมชลประทาน
N.22A	3292	กรมชลประทาน
Y.17	2906	กรมชลประทาน

จากนั้นทางทีมวิจัยได้ใช้ไลบรารี requests (<https://requests.readthedocs.io/en/latest/>) ของไพทอนในการดึงข้อมูลจากเว็บเซอร์วิส ซึ่งสามารถดึงข้อมูลต่าง ๆ ที่ต้องการได้จากข้อมูลที่มาจากเว็บเซอร์วิส ดังแสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 ฟیلด์และข้อมูลที่สามารถเข้าถึงได้ของข้อมูล Side Flow

ฟیلด์	ข้อมูลที่สามารถเข้าถึงได้
waterlevel_datetime	วันที่
discharge	ข้อมูลปริมาณ Side Flow

#### 4.3.2.2.1.4 Other Dam Related Data Acquisition

##### (1) ข้อมูล

ข้อมูลที่น่าเข้าจากโมดูลย่อยนี้มีรายละเอียดดังนี้

- (1.1) ข้อมูลอ่างเก็บน้ำของเขื่อนภูมิพลรายวันจากฐานข้อมูลของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
- (1.2) ข้อมูลอ่างเก็บน้ำของเขื่อนสิริกิติ์รายวันจากฐานข้อมูลของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
- (1.3) ข้อมูลอ่างเก็บน้ำของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนรายวันจากฐานข้อมูลของกรมชลประทาน
- (1.4) ข้อมูลอ่างเก็บน้ำของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์รายวันจากฐานข้อมูลของกรมชลประทาน

โดยรายละเอียดของข้อมูลอ่างเก็บน้ำของเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์ประกอบไปด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำเก็บกักรายวัน ข้อมูลปริมาณการระบายน้ำรายวัน ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวัน และข้อมูลปริมาณการระเหยของน้ำรายวัน สำหรับข้อมูลอ่างเก็บน้ำของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนและเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ประกอบไปด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำเก็บกักรายวัน ข้อมูลปริมาณน้ำไหลออกกสิทธิรายวัน และข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้ากสิทธิรายวัน

##### (2) การพัฒนาโมดูลย่อย Other Dam Related Data Acquisition

โมดูลย่อยนี้พัฒนาโดยใช้ภาษาไพทอนเช่นเดียวกัน ซึ่งเริ่มจากการกำหนดเว็บเซอร์วิส (APIs) ที่จะใช้ในการเข้าถึงข้อมูล โดยทีมวิจัยได้ใช้ข้อมูลทั้ง 2 เว็บเซอร์วิสดังนี้

- (2.1) ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย:

“https://api-  
v3.thaiwater.net/api/v1/thaiwater30/api\_service?mid=74&eid=m9fa5\_  
5ZCj7Lvjr3cl9Ci9pYWNUSbdZldyOnmyer2QdthEsH9F5GFz6L-  
evXcUydab09bcD7qEodxbILQE7Qg)”

(2.2) ข้อมูลจากกรมชลประทาน:

“https://api-  
v3.thaiwater.net/api/v1/thaiwater30/api\_service?mid=222&eid=\_DRRZi  
oMotNEt1bolbS7u5aVrJ0x503ZwOLg0O6VWcXYF-  
TJXsGsFGRhQzhX7yxjcsLuUKv\_kj3PB-c3tgIWQ”

ข้อมูลที่ได้มาจาก 2 เว็บไซต์นี้อยู่ในรูปแบบของ JSON จากนั้นกำหนดรหัสไอดีของเงื่อนไขที่ต้องการดึงข้อมูลดังแสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 4-8

**ตารางที่ 4-8** รหัสเงื่อนไขของเว็บไซต์ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยและกรมชลประทาน

เงื่อนไข	รหัสไอดี	เว็บไซต์
เงื่อนไขภูมิพล	43	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
เงื่อนไขสิริกิติ์	52	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
เงื่อนไขแควน้อยบำรุงแดน	41	กรมชลประทาน
เงื่อนไขป่าสักชลสิทธิ์	19	กรมชลประทาน

จากนั้นทางทีมวิจัยได้ใช้ไลบรารี requests ของไพทอนในการดึงข้อมูลจากเว็บไซต์ ซึ่งสามารถดึงข้อมูลต่าง ๆ ที่ต้องการได้จากข้อมูลที่มาจากเว็บไซต์ดังแสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 4-9

**ตารางที่ 4-9** ฟیلด์และข้อมูลที่สามารถเข้าถึงได้ของข้อมูลอ่างเก็บน้ำ

ฟیلด์	ข้อมูลที่สามารถเข้าถึงได้
dam_date	วันที่
dam_storage	ข้อมูลปริมาณเก็บกักน้ำรายวัน
dam_released	ข้อมูลปริมาณการระบายน้ำรายวัน
dam_evap	ข้อมูลปริมาณการระเหยรายวัน
dam_inflow	ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวัน

#### 4.3.2.2.1.5 Data Transformation

การพัฒนาโมดูลทางคอมพิวเตอร์ของระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาเพื่อทำการเปลี่ยนแปลงและปรับข้อมูลให้เหมาะกับข้อมูลนำเข้าของแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ และการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดมีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อให้โมดูลนี้ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงและปรับข้อมูลให้เหมาะกับข้อมูลนำเข้าของแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ และการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยแบบจำลองการโปรแกรม

แบบข้อจำกัดจากข้อมูลที่ได้รับมาจากโมดูลทางคอมพิวเตอร์ของระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา และ (2) เพื่อเชื่อมต่อเข้ากับเว็บเซอร์วิส (APIs) ในการดึงข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ

ในเบื้องต้นพบว่า ได้มีการสร้างฐานข้อมูลสำหรับเก็บข้อมูลจากโมดูลย่อยต่าง ๆ ดังนี้ (1) Rainfall Data Acquisition (2) Demand Data Acquisition (3) Side Flow Data Acquisition และ (4) Other Dam Related Data Acquisition อยู่แล้ว ดังนั้น ทางทีมวิจัยจึงได้ดำเนินการพัฒนาโมดูลทางคอมพิวเตอร์ของระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาเพื่อทำการเปลี่ยนแปลงและปรับข้อมูลให้เหมาะกับข้อมูลนำเข้าของแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ และการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดให้สามารถเปลี่ยนแปลงและปรับข้อมูลให้เหมาะสมกับฐานข้อมูลได้

### (1) การเปลี่ยนแปลงและปรับข้อมูลของโมดูล Rainfall Data Acquisition

จากการสำรวจข้อมูลที่ได้จากการเรียกเว็บเซอร์วิสจากโมดูล Rainfall Data Acquisition ข้อมูลที่ได้มานั้นพบว่า มีลักษณะดังภาพที่ 4-67 ซึ่งรายละเอียดของข้อมูลที่จะต้องนำออกมาจากชนิดของข้อมูลนี้ได้แก่ date, dam\_abbrev และ precipitation โดยการนำออกมานั้น ทางทีมวิจัยสามารถทำได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงข้อมูลชุดนี้เป็น DataFrame ของไลบรารี Pandas ในภาษาไพทอน จากนั้นจะสามารถนำเข้าข้อมูล date, dam\_abbrev และ precipitation โดยใช้ Key ของ DataFrame เมื่อได้ข้อมูลมาครบถ้วนแล้ว โมดูลนี้จะทำการใส่ข้อมูลลงในฐานข้อมูลตารางที่ชื่อว่า OBS\_Rainfall โดยใช้คำสั่ง

```
"cursor.execute('INSERT INTO OBS_Rainfall(date,dam_abbrev,precipitation)
VALUES(%s,%s,%s)')"
```

คำสั่งนี้อยู่ในไลบรารี mysql.connector โดยที่ (%s,%s,%s) คือ ข้อมูล date, dam\_abbrev และ precipitation ตามรูปแบบโครงสร้างตารางข้อมูลที่แสดงในภาพที่ 4-68

```
{
  "message": "Result from GET all data.",
  "results": [
    {
      "date": "2000-01-01",
      "dam_abbrev": "PS",
      "precipitation": 0
    },
    {
      "date": "2000-01-02",
      "dam_abbrev": "PS",
      "precipitation": 0
    },
    {
      "date": "2000-01-03",
      "dam_abbrev": "PS",
      "precipitation": 0
    },
    {
      "date": "2000-01-04",
      "dam_abbrev": "PS",
      "precipitation": 0
    },
    {
      "date": "2000-01-05",
      "dam_abbrev": "PS",
```

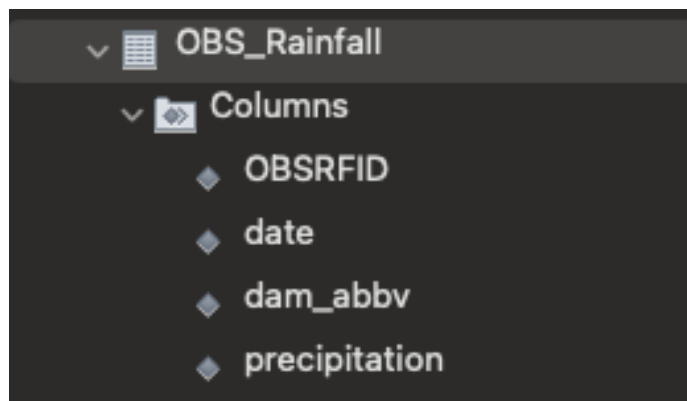


```

    "precipitation": 0
  }, ...]
}

```

ภาพที่ 4-67 ตัวอย่างข้อมูลจากโมดูล Rainfall Data Acquisition



ภาพที่ 4-68 โครงสร้างตารางข้อมูล OBS\_Rainfall

## (2) การเปลี่ยนแปลงและปรับข้อมูลของโมดูล Demand Data Acquisition

จากการสำรวจข้อมูลที่ได้จากการเรียกเว็บเซอร์วิสจากโมดูล Demand Data Acquisition ข้อมูลที่ได้มานั้นมีลักษณะดังภาพที่ 4-69 ซึ่งรายละเอียดของข้อมูลที่จะต้องนำออกมาจากชนิดของข้อมูลนี้ได้แก่ date, scenario, DLP, DLN, DKNB, DPS, DCPYUE, DCPYLE, DCPYUW, DCPYLW และ DECO โดยการนำออกมานั้น ทางทีมวิจัยสามารถทำได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงข้อมูลชุดนี้เป็น DataFrame ของไลบรารี Pandas ในภาษาไพทอน จากนั้นจะสามารถนำเข้าข้อมูล date, scenario, DLP, DLN, DKNB, DPS, DCPYUE, DCPYLE, DCPYUW, DCPYLW และ DECO โดยใช้ Key ของ DataFrame เมื่อได้ข้อมูลมาครบถ้วนแล้ว โมดูลนี้จะทำการใส่ข้อมูลลงในฐานข้อมูลตารางที่ชื่อว่า Demand โดยใช้คำสั่ง

```

“cursor.execute(‘INSERT INTO Demand(date,scenario,DLP,DLN,DKNB,DPS,
DCPYUE,DCPYLE,DCPYUW,DCPYLW,DECO)VALUES(%s,%s,%s,%s,%s,%s,%s,%s,%s,%s,%s,%s)’)”

```

คำสั่งนี้อยู่ในไลบรารี mysql.connector โดยที่ (%s,%s,%s,%s,%s,%s,%s,%s,%s,%s,%s,%s) คือ ข้อมูล date, scenario, DLP, DLN, DKNB, DPS, DCPYUE, DCPYLE, DCPYUW, DCPYLW และ DECO ตามรูปแบบโครงสร้างตารางข้อมูลที่แสดงในภาพที่ 4-70

```

{
  "message": "Result from GET all data.",
  "results": [
    {
      "date": "2023-01-01",
      "scenario": "Planned Demand",
      "DLP": 9.04,
      "DLN": 7.55,
      "DKNB": 0,
      "DPS": 0,
      "DCPYUE": 9.48,
      "DCPYLE": 8.85,

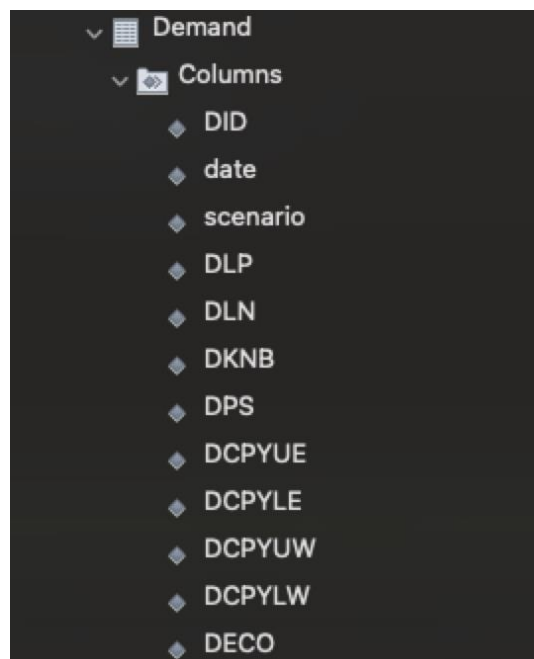
```

```

    "DCPYUW": 20.16,
    "DCPYLW": 3.58,
    "DECO": 0.89
  },
  {
    "date": "2023-01-02",
    "scenario": "Planned Demand",
    "DLP": 9.04,
    "DLN": 7.55,
    "DKNB": 0,
    "DPS": 0,
    "DCPYUE": 9.48,
    "DCPYLE": 8.85,
    "DCPYUW": 20.16,
    "DCPYLW": 3.58,
    "DECO": 0.89
  },
  {
    "date": "2023-01-03",
    "scenario": "Planned Demand",
    "DLP": 9.04,
    "DLN": 7.55,
    "DKNB": 0,
    "DPS": 0,
    "DCPYUE": 9.48,
    "DCPYLE": 8.85,
    "DCPYUW": 20.16,
    "DCPYLW": 3.58,
    "DECO": 0.89
  }, ...]
}

```

ภาพที่ 4-69 ตัวอย่างข้อมูลจากโมดูล Demand Data Acquisition



ภาพที่ 4-70 โครงสร้างตารางข้อมูล Demand

### (3) การเปลี่ยนแปลงและปรับข้อมูลของโมดูล Side Flow Data Acquisition

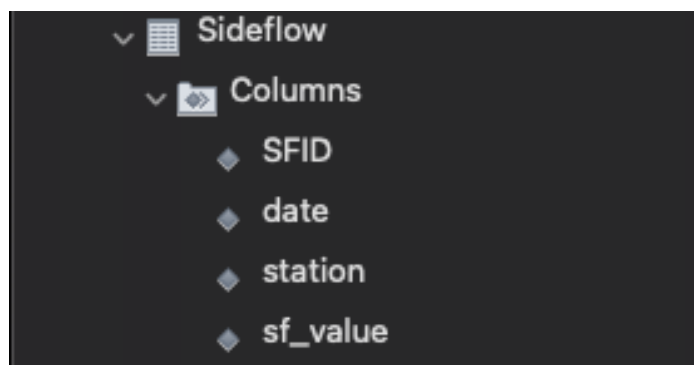
จากการสำรวจข้อมูลที่ได้จากการเรียกเว็บเซอร์วิสจากโมดูล Side Flow Data Acquisition ข้อมูลที่ได้มานั้นมีลักษณะดังภาพที่ 4-71 ซึ่งรายละเอียดของข้อมูลที่จะต้องนำออกมาจากชนิดของข้อมูลนี้ได้แก่ date, station และ sf\_value โดยการนำออกมานั้น ทางทีมวิจัยสามารถทำได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงข้อมูลชุดนี้เป็น DataFrame ของไลบรารี Pandas ในภาษาไพทอน จากนั้นจะสามารถนำเข้าข้อมูล date, station และ sf\_value โดยใช้ Key ของ DataFrame เมื่อได้ข้อมูลมาครบถ้วน โมดูลนี้จะทำการใส่ข้อมูลลงในฐานข้อมูลตารางที่ชื่อว่า Side Flow โดยใช้คำสั่ง

```
"cursor.execute('INSERT INTO Sideflow(date,station,sf_value) VALUES(%s,%s,%s)'"
```

คำสั่งนี้อยู่ในไลบรารี mysql.connector โดยที่ (%s,%s,%s) คือ ข้อมูล date, station และ sf\_value ตามรูปแบบโครงสร้างตารางข้อมูลที่แสดงในภาพที่ 4-72

```
{
  "message": "Result from GET all data.",
  "results": [
    {
      "date": "2023-01-01",
      "station": "W.4A",
      "sf_value": 24.62
    },
    {
      "date": "2023-01-02",
      "station": "W.4A",
      "sf_value": 24.25
    },
    {
      "date": "2023-01-03",
      "station": "W.4A",
      "sf_value": 23.52
    },
    {
      "date": "2023-01-04",
      "station": "W.4A",
      "sf_value": 21.66
    },
    {
      "date": "2023-01-05",
      "station": "W.4A",
      "sf_value": 20.79
    },
    ...,
  ]
}
```

ภาพที่ 4-71 ตัวอย่างข้อมูลจากโมดูล Side Flow Data Acquisition



ภาพที่ 4-72 โครงสร้างตารางข้อมูล Side Flow

สำหรับข้อมูลที่ได้มาจากเว็บเซอร์วิสของกรมชลประทาน

“<https://api->

[v3.thaiwater.net/api/v1/thaiwater30/api\\_service?mid=228&eid=EKQy1dGTTec](https://api-v3.thaiwater.net/api/v1/thaiwater30/api_service?mid=228&eid=EKQy1dGTTecBmpXfhmTv-)

[0nR4dC6BYKBwJNIMVhGX3p6UJVJsKIDhcxCVB\\_dljHrBi772fwZIHgBh\\_nnjGx0IA\)](https://api-v3.thaiwater.net/api/v1/thaiwater30/api_service?mid=228&eid=EKQy1dGTTecBmpXfhmTv-0nR4dC6BYKBwJNIMVhGX3p6UJVJsKIDhcxCVB_dljHrBi772fwZIHgBh_nnjGx0IA)”

จากโมดูล Side Flow Data Acquisition นั้นจะมีตัวอย่างข้อมูลซึ่งแสดงอยู่ในภาพที่ 4-73 ข้อมูล Side Flow จากกรมชลประทานที่ต้องดึงออกมานั้นได้แก่ discharge, tele\_station\_id และ waterlevel\_datetime โดยการนำออกมานั้น ทางทีมวิจัยสามารถทำได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงข้อมูลชุดนี้เป็น DataFrame ของไลบรารี Pandas ในภาษาไพทอน จากนั้นจะสามารถนำเข้าข้อมูล discharge, tele\_station\_id และ waterlevel\_datetime ของสถานี W.4A, N.22A และ Y.17 จากข้อมูลจากกรมชลประทาน โดยใช้ Key ของ DataFrame เมื่อได้ข้อมูลมาครบถ้วน

```
[
  {
    "discharge": 1.7,
    "tele_station_id": 1035512,
    "waterlevel_datetime": "2023-10-13T18:00:00+07:00",
    "waterlevel_m": 0.95
  },
  {
    "discharge": 11.1,
    "tele_station_id": 1117894,
    "waterlevel_datetime": "2023-10-13T18:00:00+07:00",
    "waterlevel_m": 2.07
  },
  {
    "discharge": 13.5,
    "tele_station_id": 2698,
    "waterlevel_datetime": "2023-10-13T18:00:00+07:00",
    "waterlevel_m": 2.6
  },
  ...
]
```

ภาพที่ 4-73 ตัวอย่างข้อมูล Side Flow จากกรมชลประทาน

เมื่อได้ข้อมูลมาครบถ้วน โมดูลนี้จะทำการจับคู่ไอดีของสถานีตรวจวัดน้ำเท่ากับชื่อของสถานี ดังนี้ (1) 3018 สถานีน้ำท่า W.4A (2) 3292 สถานีน้ำท่า N.22A และ (3) 2906 สถานีน้ำท่า Y.17 จากนั้นจะทำการใส่ข้อมูลลงในฐานข้อมูลตารางที่ชื่อว่า Side Flow โดยใช้คำสั่ง

```
“cursor.execute(“INSERT INTO Sideflow(date,station,sf_value)
VALUES(%s,%s,%s)”)
```

คำสั่งนี้อยู่ในไลบรารี mysql.connector โดยที่ (%s,%s,%s) คือ ข้อมูล waterlevel\_datetime, tele\_station\_id ที่เปลี่ยนเป็นชื่อสถานีแล้ว และ Discharge ตามรูปแบบโครงสร้างตารางข้อมูล ที่แสดงในภาพที่ 4-72

#### (4) การเปลี่ยนแปลงและปรับข้อมูลของโมดูล Other Dam Related Data Acquisition

ในโมดูล Other Dam Related Data Acquisition จะเรียกเว็บเซอร์วิสจำนวน 2 เว็บ เซอร์วิสดังนี้

(4.1) ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย:

```
“https://api-
v3.thaiwater.net/api/v1/thaiwater30/api_service?mid=74&eid=m9fa5_
5ZCj7Lvjr3cl9Ci9pYWNUSbdZldyOnmyer2QdthEsH9F5GFz6L-
evXcUydab09bcD7qEodxbILQE7Qg)”
```

(4.2) ข้อมูลจากกรมชลประทาน:

```
“https://api-
v3.thaiwater.net/api/v1/thaiwater30/api_service?mid=222&eid=_DRRZI
oMotNEt1bolbS7u5aVrJ0x503ZwOLg0O6VWcXYF-
TJjXsGsFGRhQzhX7yxjcsLuUKv_kj3PB-c3tgIWQ)”
```

ตัวอย่างข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และกรมชลประทานแสดงดังภาพที่ 4-74 และภาพที่ 4-75 ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยซึ่งเป็นข้อมูลอ่างเก็บน้ำของเขื่อนภูมิพล และเขื่อนสิริกิติ์ ข้อมูลที่ต้องดึงออกมานั้น ได้แก่ dam\_date, dam\_evap, dam\_id, dam\_inflow, dam\_level, dam\_losses, dam\_released, dam\_spilled และ dam\_storage สำหรับข้อมูลจากกรมชลประทานซึ่งเป็นข้อมูลอ่างเก็บน้ำของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ ข้อมูลที่ต้องดึงออกมานั้น ได้แก่ dam\_date, dam\_id, dam\_inflow, dam\_released และ dam\_storage โดยการนำออกมานั้น ทางทีมวิจัยสามารถทำได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงข้อมูลชุดนี้เป็น DataFrame ของไลบรารี Pandas ในภาษาไพทอน จากนั้นจะสามารถนำเข้าข้อมูลอ่างเก็บน้ำของเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์จากข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และข้อมูลอ่างเก็บน้ำของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนและเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์จากข้อมูลจากกรมชลประทาน โดยใช้ Key ของ DataFrame เมื่อได้ข้อมูลมาครบถ้วน

```
[
  {
    "dam_date": "2023-10-10",
    "dam_evap": 0.1,
    "dam_id": 50,
    "dam_inflow": 7.23,
```

```

    "dam_level": 99.67,
    "dam_losses": 0,
    "dam_released": 3.8,
    "dam_spilled": 0,
    "dam_storage": 750.2
  },
  {
    "dam_date": "2023-10-10",
    "dam_evap": 0.02,
    "dam_id": 55,
    "dam_inflow": 2.24,
    "dam_level": 57.95,
    "dam_losses": 0,
    "dam_released": 2,
    "dam_spilled": 0,
    "dam_storage": 42.12
  },
  {
    "dam_date": "2023-10-10",
    "dam_evap": 0.94,
    "dam_id": 44,
    "dam_inflow": 11.49,
    "dam_level": 141.79,
    "dam_losses": 0,
    "dam_released": 5,
    "dam_spilled": 0,
    "dam_storage": 1850.65
  }, ...
]

```

ภาพที่ 4-74 ตัวอย่างข้อมูลอ่างเก็บน้ำจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

```

[
  {
    "dam_date": "2023-10-11",
    "dam_id": 9,
    "dam_inflow": 1.764,
    "dam_inflow_acc": 106.872,
    "dam_inflow_acc_percent": 53.559297,
    "dam_inflow_avg": 199.539587,
    "dam_released": 0.033,
    "dam_released_acc": 176.002,
    "dam_storage": 143,
    "dam_storage_percent": 52,
    "dam_uses_water": 136,
    "dam_uses_water_percent": 49.454545
  },
  {
    "dam_date": "2023-10-11",
    "dam_id": 32,
    "dam_inflow": 2.278037,
    "dam_inflow_acc": 212.889137,
    "dam_inflow_acc_percent": 69.12185,
    "dam_inflow_avg": 307.991085,
    "dam_released": 0.72144,
    "dam_released_acc": 186.149705,
    "dam_storage": 222.94,
    "dam_storage_percent": 99.526786,
    "dam_uses_water": 218.42,
  }
]

```

```

    "dam_uses_water_percent": 97.508929
  },
  {
    "dam_date": "2023-10-11",
    "dam_id": 33,
    "dam_inflow": 7.89,
    "dam_inflow_acc": 156.21,
    "dam_inflow_acc_percent": 57.557992,
    "dam_inflow_avg": 271.395849,
    "dam_released": 1.16,
    "dam_released_acc": 110.32,
    "dam_storage": 282.24,
    "dam_storage_percent": 95.674576,
    "dam_uses_water": 262.24,
    "dam_uses_water_percent": 88.894915
  }, ...
]

```

#### ภาพที่ 4-75 ตัวอย่างข้อมูลอ่างเก็บน้ำจากกรมชลประทาน

โมดูลนี้จะทำการใส่ข้อมูลลงในฐานข้อมูลตารางต่อไปนี้ OBS\_Inflow, OBS\_Release และ OBS\_storage ตามข้อมูลที่เหมาะสม โครงสร้างของตาราง OBS\_Inflow, OBS\_Release และ OBS\_storage แสดงในภาพที่ 4-76 ถึงภาพที่ 4-78 โดยจะใช้ 3 คำสั่งดังต่อไปนี้

```

“cursor.execute(“INSERT INTO OBS_Inflow(date,dam_abbrev,obs_inflow)
VALUES(%s,%s,%s)””)”

```

คำสั่งนี้อยู่ในไลบรารี mysql.connector โดยที่ (%s,%s,%s) คือ ข้อมูล dam\_date, ข้อมูลตัวย่อของเขื่อนตามที่กำหนด และ dam\_inflow เพื่อใส่ข้อมูลในตาราง OBS\_Inflow

```

“cursor.execute(“INSERT INTO OBS_Release(date,dam_name,dam_abbrev,
obs_release) VALUES(%s,%s,%s,%s)””)”

```

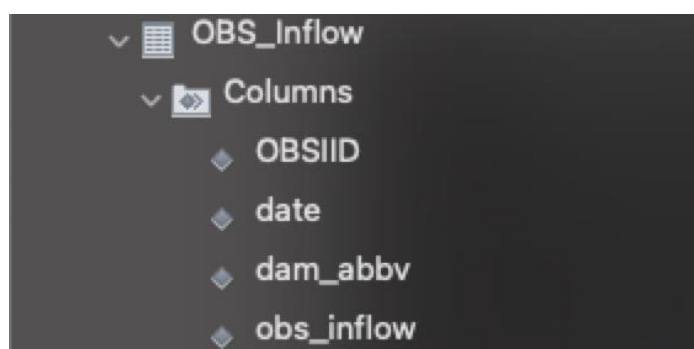
คำสั่งนี้อยู่ในไลบรารี mysql.connector โดยที่ (%s,%s,%s,%s) คือ ข้อมูล dam\_date, ชื่อเขื่อน, ข้อมูลตัวย่อของเขื่อนตามที่กำหนด และ dam\_released เพื่อใส่ข้อมูลในตาราง OBS\_Release

```

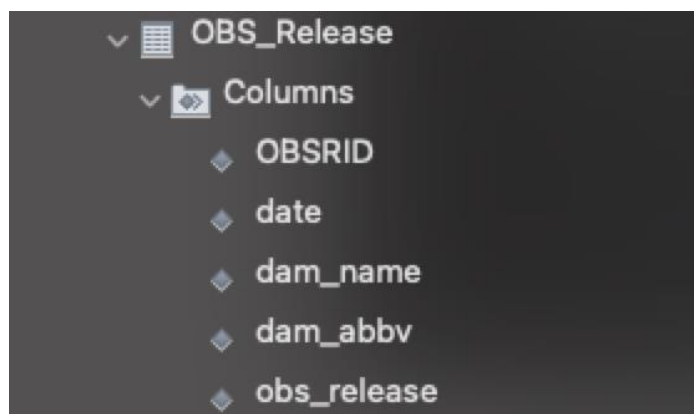
“cursor.execute(“INSERT INTO OBS_Storage(date,dam_name,dam_abbrev,
obs_storage) VALUES(%s,%s,%s,%s)””)”

```

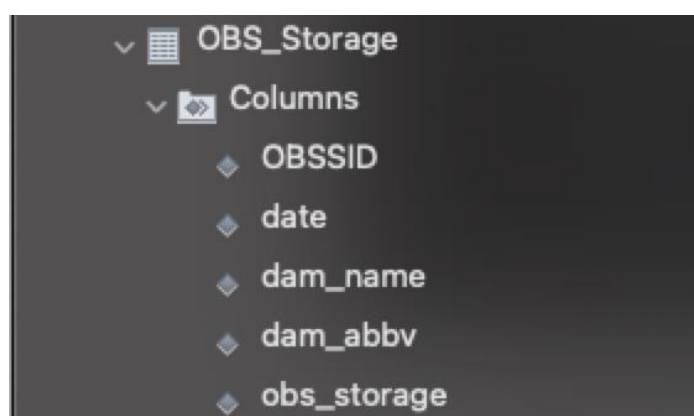
คำสั่งนี้อยู่ในไลบรารี mysql.connector โดยที่ (%s,%s,%s,%s) คือ ข้อมูล dam\_date, ชื่อเขื่อน, ข้อมูลตัวย่อของเขื่อนตามที่กำหนด และ dam\_storage เพื่อใส่ข้อมูลในตาราง OBS\_Storage



#### ภาพที่ 4-76 โครงสร้างตารางข้อมูล OBS\_Inflow



ภาพที่ 4-77 โครงสร้างตารางข้อมูล OBS\_Release



ภาพที่ 4-78 โครงสร้างตารางข้อมูล OBS\_Storage

#### 4.3.2.2.2 โมดูลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Inflow Prediction Module)

โมดูลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเป็นโมดูลแสดงผลพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำของ 4 เขื่อนหลักที่พัฒนาขึ้นโดยเทคนิคการเรียนรู้ด้วยเครื่อง (Machine Learning) โดยการออกแบบระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยาแบ่งโมดูลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเป็น 4 โมดูลย่อย ดังนี้

- (1) Data Preparation ทำหน้าที่ดึงข้อมูล และเตรียมข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบการใช้งานสำหรับใช้ในแบบจำลองการพยากรณ์
- (2) Model Training ทำหน้าที่ฝึกฝนแบบจำลองพยากรณ์จากข้อมูลที่กำหนด ในกรณีที่มีความต้องการที่จะฝึกฝนแบบจำลองใหม่
- (3) Model Testing ทำหน้าที่ทดสอบแบบจำลองพยากรณ์จากข้อมูลที่กำหนด ในกรณีที่ต้องการเรียกดูประสิทธิภาพการทำงานของแบบจำลองการพยากรณ์
- (4) Inflow Prediction ทำหน้าที่ประมวลผลแบบจำลองและคำนวณผลพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ

ในเบื้องต้น หากผู้ใช้งานต้องการพยากรณ์ผลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ผู้ใช้งานสามารถเรียกการทำงานของโมดูล Data Preparation และ Inflow Prediction ได้เท่าที่จำเป็น อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่



ผู้ใช้งานต้องการจะฝึกฝนแบบจำลอง (Retrain) ใหม่ด้วยข้อมูลที่เพิ่มเข้ามาที่หลังเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการพยากรณ์ ผู้ใช้งานจะสามารถเรียกการทำงานผ่านโมดูล Model Training และ Model Testing โดยมีรายละเอียดของการพัฒนาแต่ละโมดูล ดังนี้

### (1) การพัฒนาโมดูลย่อยสำหรับดึงและเตรียมข้อมูล Data Preparation

โมดูลย่อยนี้ทำหน้าที่ดึงข้อมูลสำหรับใช้ในแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างและเตรียมข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบการใช้งาน โดยโมดูลจะดึงข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างจากการสังเกตการณ์ (Observed Inflow) รายวันจากฐานข้อมูลผ่านเว็บเซอร์วิส (APIs) และปรับรูปแบบข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบตาราง จากนั้นข้อมูลจะถูกปรับรูปแบบให้เหมาะสมก่อนนำไปใช้ในขั้นตอน Training หรือ Re-training ยกตัวอย่างเช่น การปรับประเภทของข้อมูล เช่น date และการตั้งค่า index ของ dataframe เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 4-79

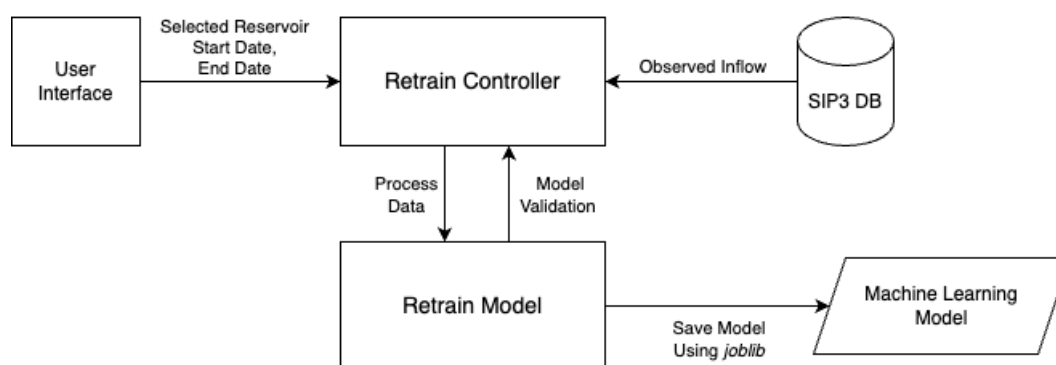
Select Dam: bb					Select Dam: bb	
	OBSIID	date	dam_abbrev	obs_inflow	date	obs_inflow
0	1	2010-01-01	BB	0.03	2010-01-01	0.03
1	2	2010-02-01	BB	0.39	2010-02-01	0.39
2	3	2010-03-01	BB	2.69	2010-03-01	2.69
3	4	2010-04-01	BB	0.71	2010-04-01	0.71
4	5	2010-05-01	BB	1.69	2010-05-01	1.69
...	...	...	...	...	...	...
4932	4933	2023-06-22	BB	0.00	2023-06-22	0.00
4933	4934	2023-06-23	BB	0.00	2023-06-23	0.00
4934	4935	2023-06-24	BB	0.00	2023-06-24	0.00
4935	4936	2023-06-25	BB	0.00	2023-06-25	0.00
4936	4937	2023-06-26	BB	0.00	2023-06-26	0.00

[4937 rows x 4 columns]      [4937 rows x 1 columns]

ภาพที่ 4-79 ตัวอย่างผลลัพธ์การดึงข้อมูลและปรับรูปแบบข้อมูลของเชื่อนภูมิพล

### (2) การพัฒนาโมดูลย่อยสำหรับการฝึกฝนแบบจำลอง Model Training/Re-training

โมดูลย่อยนี้ทำหน้าที่ฝึกฝน (Training) แบบจำลองการพยากรณ์จากข้อมูลที่กำหนดด้วยแบบจำลองปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) และเทคนิคการเรียนรู้แบบเครื่อง (Machine Learning) โดยมีภาพรวมการทำงานดังแสดงในภาพที่ 4-80



ภาพที่ 4-80 ภาพรวมการทำงานของโมดูล Model Training/Re-training

ในกรณีที่มีความต้องการที่จะฝึกฝนแบบจำลองหรือฝึกฝนแบบจำลองด้วยข้อมูลใหม่ (Re-training) โมดูลจะรับค่าพารามิเตอร์ดังนี้

- (1) selecteddam หรือชื่อเขื่อน โดยกำหนดค่าดังนี้
  - "BB": เขื่อนภูมิพล
  - "SK": เขื่อนสิริกิติ์
  - "KNB": เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน
  - "PS": เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์
- (2) startdate คือวันที่เริ่มของข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่ต้องการนำมาใช้ในการฝึกฝนแบบจำลองในรูปแบบปี-เดือน-วัน
- (3) enddate คือวันที่สุดท้ายของข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่ต้องการนำมาใช้ในการฝึกฝนแบบจำลองในรูปแบบปี-เดือน-วัน

หากผู้ใช้งานไม่ได้ทำการเลือกช่วงเวลาของชุดข้อมูล ระบบจะใช้ข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำทั้งหมดที่บันทึกในฐานข้อมูลมาทำการฝึกฝนแบบจำลอง ทั้งนี้ ทางทีมวิจัยได้นำอัลกอริทึม XGBoost จากไลบรารี skforecast (<https://skforecast.org/0.10.1/index.html>) มาสร้างแบบจำลองพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างรายวันโดยสามารถพยากรณ์ 7 วันล่วงหน้าได้

### (3) การพัฒนาโมดูลย่อยสำหรับการฝึกฝนแบบจำลอง Model Testing

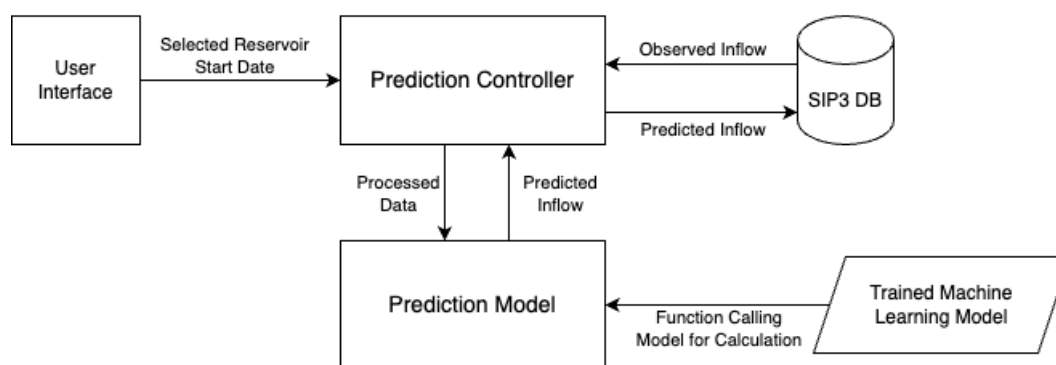
โมดูลย่อยนี้ทำหน้าที่ทดสอบแบบจำลองพยากรณ์ในกรณีที่ต้องการดูประสิทธิภาพการทำงานของแบบจำลองนั้น ๆ โดยโมดูลจะทำหน้าที่อ่านตัววัดประสิทธิผลของข้อมูลจากไฟล์ดังแสดงในตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-10 คำอธิบายข้อมูลของไฟล์ model\_status.json

ฟิลด์	คำอธิบายฟิลด์
status	สถานะการดำเนินงานของการฝึกฝนแบบจำลอง ได้แก่ <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) processing: อยู่ระหว่างการประมวลผล</li> <li>(2) done: เสร็จสิ้นการประมวลผล</li> </ol>
startdate	วันที่เริ่มของข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่ต้องการนำมาใช้ในการฝึกฝนแบบจำลองในรูปแบบปี-เดือน-วัน
enddate	วันที่สุดท้ายของข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่ต้องการนำมาในการฝึกฝนแบบจำลองในรูปแบบปี-เดือน-วัน
createdate	วันที่ในการฝึกฝนหรือสร้างแบบจำลองในรูปแบบปี-เดือน-วัน
score	MSE

### (4) การพัฒนาโมดูลย่อยสำหรับการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่าง Inflow Prediction

โมดูลย่อยนี้ทำหน้าที่ประสานการทำงานในพยากรณ์ผลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจากแบบจำลองที่สร้างไว้ในโมดูลย่อยที่ 2 โดยมีภาพรวมการทำงานดังแสดงในภาพที่ 4-81



ภาพที่ 4-81 ภาพรวมการทำงานของโมดูล Inflow Prediction

ในกรณีที่ต้องการจะพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ โมดูลจะรับค่าพารามิเตอร์ดังนี้

(1) selecteddam หรือชื่อเขื่อน โดยกำหนดค่าดังนี้

"BB": เขื่อนภูมิพล

"SK": เขื่อนสิริกิติ์

"KNB": เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน

"PS": เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์

(2) startdate คือ วันที่เริ่มต้นการพยากรณ์ในรูปแบบปี-เดือน-วัน หากไม่กำหนด จะมีค่าเริ่มต้นเป็นวันที่ปัจจุบัน

หลังจากกำหนดพารามิเตอร์เบื้องต้นแล้ว โมดูลจะดึงข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจากฐานข้อมูล ซึ่งชุดข้อมูลจะเป็นช่วงเวลาของ 7 วันย้อนหลัง (startdate-7) เพื่อนำมากำหนดวันที่ให้กับแบบจำลองที่ทำการฝึกฝนมา

#### 4.3.2.2.3 โมดูลการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำ (Dam-Reservoir Operation Module)

โมดูลการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำเป็นโมดูลที่ทำหน้าที่ตัดสินใจในการกำหนดปริมาณการระบายน้ำที่เหมาะสมรายวันด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming) โดยการออกแบบโมดูลนี้จะประกอบ 2 โมดูลย่อย ดังนี้

(1) Data Preparation ทำหน้าที่ในการเตรียมข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในโมดูล Water Release Optimization

(2) Water Release Optimization ทำหน้าที่ประมวลผลจากแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดเพื่อกำหนดปริมาณการระบายน้ำที่เหมาะสมรายวันของ 4 เขื่อนหลัก

##### 4.3.2.2.3.1 Data Preparation

เนื่องด้วยโมดูล Data Transformation ได้ทำการเปลี่ยนแปลงข้อมูลให้เหมาะสมกับโมดูล Water Release Optimization แล้ว โมดูล Data Preparation จึงเป็นโมดูลที่ใช้ในการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลที่ได้จัดเตรียมไว้

##### 4.3.2.2.3.2 Water Release Optimization

โมดูลนี้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดที่ใช้ในการหาค่าปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนในลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่ดีที่สุดที่พัฒนาขึ้นจากโครงการวิจัยระยะที่ 2 สามารถทำงานร่วมกับระบบเว็บแอปพลิเคชันในรูปแบบเว็บเซอร์วิสได้ โมดูลนี้ถูกพัฒนาโดยใช้ภาษาไพทอน และไลบรารี Flask ซึ่งเป็นเทคโนโลยีหลักในการพัฒนาเว็บเซอร์วิส ดังนั้น ผลลัพธ์ที่ได้ก็คือ แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดที่ใช้ในการหาค่าปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนในลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่ดีที่สุดที่อยู่ในรูปแบบของเว็บเซอร์วิส และเพื่อให้การทำงานของแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดที่ใช้ในการหาค่าการระบายน้ำจากเขื่อนในลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่ดีที่สุดนี้สามารถทำงานร่วมกับระบบเว็บแอปพลิเคชันได้ ทางทีมวิจัยจึงพัฒนาเว็บเซอร์วิส 2 เว็บเซอร์วิสดังนี้

- (1) เว็บเซอร์วิสสำหรับแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดที่ใช้ในการหาค่าการระบายน้ำจากเขื่อนในลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่ดีที่สุด
- (2) เว็บเซอร์วิสสำหรับการตรวจสอบสถานะของการทำงานของแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดที่ใช้ในการหาค่าการระบายน้ำจากเขื่อนในลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่ดีที่สุด

#### (1) เว็บเซอร์วิสสำหรับแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดที่ใช้ในการหาค่าการระบายน้ำจากเขื่อนในลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่ดีที่สุด

แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดที่ใช้ในการหาค่าการระบายน้ำจากเขื่อนในลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่ดีที่สุดนั้นได้ถูกพัฒนาขึ้นเป็นฟังก์ชันในภาษาไพทอนไว้แล้ว ทางคณะผู้จัดทำจึงทำการพัฒนาต่อยอดจากแบบจำลองนั้น เริ่มจากการตั้งพารามิเตอร์หรือตัวแปรที่จะรับจากผู้ใช้งานผ่านทาง URL ซึ่งมีดังนี้

- (1.1) startdate คือวันที่แรกที่ต้องการหาปริมาณการระบายน้ำที่เหมาะสม
- (1.2) enddate คือวันที่สุดท้ายที่ต้องการหาปริมาณการระบายน้ำที่เหมาะสม
- (1.3) modeltype คือค่าสำหรับใช้กำหนดรูปแบบในการคำนวณว่าเป็นแบบฤดูกาลหรือไม่ ซึ่งจะมี 2 แบบได้แก่ Yearly Constraint และ Seasonal Constraint
- (1.4) upperrule คือค่าสำหรับกำหนดค่าความจุน้ำสูงสุดของเขื่อนว่าเป็นตามค่าความจุสูงสุดตามปริมาตรหรือเป็นค่าควบคุมน้ำตอนบน (upper rule curve) ซึ่งจะมี 2 ค่าได้แก่ yes และ no
- (1.5) scenario คือค่าที่ใช้ในการเลือกสถานการณ์สมมติของปัจจัยความต้องการน้ำ โดยจะประกอบไปด้วย 3 สถานการณ์ได้แก่ Planned Demand, MaxNIR และ RecNIR

การดึงข้อมูลจากพารามิเตอร์เหล่านี้จะใช้ไลบรารี requests ของภาษาไพทอนดังแสดงในภาพที่ 4-82

```
start = requests.args.get('startdate')
end = requests.args.get('enddate')
model = requests.args.get('modeltype')
upperrule = requests.args.get('upperrule')
scenario = requests.args.get('scenario')
```

ภาพที่ 4-82 การดึงข้อมูลจากพารามิเตอร์

หลังจากทำการรับตัวแปรข้างต้นมาแล้ว ตัวโปรแกรมจะนำวันที่เริ่มต้นและสิ้นสุดสำหรับหาปริมาณการระบายน้ำที่เหมาะสมมาเปลี่ยนแปลงเพื่อใช้สำหรับดึงข้อมูลเข้าสู่แบบจำลองหาความต้องการน้ำต่อไปดังแสดงในภาพที่ 4-83 (วันที่สำหรับการใช้ในการคำนวณจำเป็นต้องใช้ข้อมูลของวันที่วันก่อนหน้าวันแรกที่ต้องการหา 10 วัน และต้องการข้อมูลวันที่หลังจากวันสุดท้ายที่ต้องการหาอีก 10 วัน เพื่อนำมาคำนวณตามวันที่ผู้ใช้งานใส่เข้ามา)

```
temp_start = datetime.strptime(start, "%Y-%m-%d")
temp_end = datetime.strptime(end, "%Y-%m-%d")
len_start = temp_start.date()
len_end = temp_end.date()
start_date = temp_start - timedelta(days=10)
end_date = temp_end + timedelta(days=10)
start_date = start_date.strftime("%Y-%m-%d")
end_date = end_date.strftime("%Y-%m-%d")
today = date.today().strftime("%Y-%m-%d")
test_date = datetime.strptime(start_date, "%Y-%m-%d")
nodays = len_end - len_start
len_date = nodays.days + 21
date_model = pd.date_range(test_date, periods=len_date)
datestr_list = [date_obj.strftime('%m/%d/%Y') for date_obj in date_model]
date_table = pd.date_range(temp_start, periods=len_date-20)
db_date = [date_obj.strftime('%Y-%m-%d') for date_obj in date_table]

use_data = []
use_data.append(datestr_list)
```

#### ภาพที่ 4-83 การเปลี่ยนแปลงรูปแบบวันที่เริ่มต้นและสิ้นสุดในการหาค่าปริมาณการระบายน้ำ

หลังจากทำการคำนวณวันที่เรียบร้อยแล้ว โมดูลจะทำการสร้างไฟล์ชื่อ optimization\_status.json เพื่อใช้ในเก็บสถานะของกระบวนการหาค่าปริมาณการระบายน้ำจากเงื่อนไขที่เหมาะสม ตัวอย่างของไฟล์ optimization\_status.json แสดงอยู่ในภาพที่ 4-84 ไฟล์นี้จะถูกใช้ในเว็บเซอร์วิสสำหรับการตรวจสอบสถานะของการทำงานของแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดที่ใช้ในการหาค่าปริมาณการระบายน้ำจากเงื่อนไขในลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่ดีที่สุด ซึ่งไฟล์นี้จะมีข้อมูลสถานะ Status ซึ่งเป็นสถานะในการคำนวณหาปริมาณการระบายน้ำที่เหมาะสมว่าเสร็จสิ้นหรือยังจะมี 2 สถานะคือ Processing และ Done

- (1) startdate คือวันที่แรกสำหรับการหาปริมาณการระบายน้ำที่เหมาะสมที่ผู้ใช้งานทำการใส่เข้ามา
- (2) enddate คือวันที่สุดท้ายสำหรับการหาปริมาณการระบายน้ำที่เหมาะสมที่ผู้ใช้งานทำการใส่เข้ามา
- (3) modeltype คือค่าสำหรับใช้กำหนดรูปแบบในการคำนวณว่าเป็นแบบฤดูกาลหรือไม่ที่ผู้ใช้งานทำการใส่เข้ามา
- (4) upperrulecurve คือค่าสำหรับกำหนดค่าความจุสูงสุดของเขื่อนว่าเป็นตามค่าความจุสูงสุดตามปริมาตรหรือเป็นค่าควบคุมน้ำตอนบน (Upper Rule Curve) ที่ผู้ใช้งานทำการใส่เข้ามา
- (5) scenario คือค่าสำหรับการดึงข้อมูลมาจากฐานข้อมูลตามสถานการณ์น้ำและ

ความต้องการที่ผู้ใช้งานทำการใส่เข้ามา  
 (6) processeddate คือวันที่ทำการใช้งานของการคำนวณหาปริมาณการระบายน้ำ  
 ที่เหมาะสม

```
{
  "status": "Done",
  "startdate": "2023-01-22",
  "enddate": "2023-02-13",
  "modeltype": "Seasonal",
  "upperrulecurve": "No",
  "scenario": "Planned Demand",
  "processeddate": "2023-10-09"
}
```

ภาพที่ 4-84 ตัวอย่างข้อมูลสถานะของไฟล์ optimization\_status.json

หลังจากทำการแก้ไขไฟล์ optmization\_status.json แล้ว โมดูลจะทำการดึงข้อมูลปริมาณน้ำเก็บกัก ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ปริมาณ Side Flow และปริมาณความต้องการน้ำ สำหรับการคำนวณหาปริมาณการระบายน้ำที่เหมาะสมโดยใช้ไลบรารี requests ผ่านเว็บเซอร์วิสในการดึงข้อมูลต่าง ๆ และหลังจากได้ค่าต่าง ๆ มาแล้ว ก็จะนำเข้าสู่ List ชื่อ use\_data เพื่อนำไปส่งต่อเข้าสู่แบบจำลองต่อไป และมีการเพิ่มเติมในส่วนของในกรณีที่ข้อมูลไม่เพียงพอสำหรับการคำนวณ ก็จะแสดง response เป็นข้อผิดพลาดตามข้อมูลที่ไม่มีพอนั้น ๆ ดังแสดงในภาพที่ 4-85

```
dam_arr = ['BB', 'SK', 'KNB', 'PS']
for i in dam_arr:
    storage_list = []
    inflow_list = []
    sideflow_list = []
    demand_LBB = []
    demand_LSK = []
    demand_LKNB = []
    demand_LPS = []
    demand_LCPY = []
    demand_LECO = []
    demand_LLE = []

    s_url =
    f"{root_url}/obsstorage/search?dam={i}&startdate={start_date}&enddat
    e={end_date}"
    s_json = json.loads(requests.get(s_url).text)
    s_data = s_json['results']

    i_url =
    f"{root_url}/predinflow/search?dam={i}&startdate={start_date}&enddat
    e={end_date}"
    i_json = json.loads(requests.get(i_url).text)
    i_data = i_json['results']

    if i == 'BB':
        f_url =
        f"{root_url}/sideflow/search?station=W.4A&startdate={start_date}&
        enddate={end_date}"
        f_json = json.loads(requests.get(f_url).text)
        f_data = f_json['results']
```

```

elif i == 'SK':
    f1_url =
        f"{root_url}/sideflow/search?station=N.22A&startdate={start_date}&
        enddate={end_date}"
    f1_json = json.loads(requests.get(f1_url).text)
    f1_data = f1_json['results']
    f2_url =
        f"{root_url}/sideflow/search?station=Y.17&startdate={start_date}&
        enddate={end_date}"
    f2_json = json.loads(requests.get(f2_url).text)
    f2_data = f2_json['results']

if i == 'PS':
    d_url =
        f"{root_url}/demand/search?scenario={scenario}&startdate=
        {start_date}&enddate={end_date}"
    d_json = json.loads(requests.get(d_url).text)
    d_data = d_json['results']

#error message return
if len_date != len(s_data):
    return {'Error Message': "Not Enough Storage Data"}, 404
elif len_date != len(i_data):
    return {'Error Message': "Not Enough Inflow Data"}, 404
elif i == 'BB':
    if len_date != len(f_data):
        return {'Error Message': "Not Enough Sideflow Data"}, 404
elif i == 'SK':
    if len_date != len(f1_data) or len_date != len(f2_data):
        return {'Error Message': "Not Enough Sideflow Data"}, 404
elif i == 'PS':
    if len_date != len(d_data):
        return {'Error Message': "Not Enough Demand Data"}, 404

for j in range(0, len_date):
    storage = s_data[j]['obs_storage']
    inflow = i_data[j]['pred_inflow']
    if i == 'BB':
        sideflow = f_data[j]['sf_value']
    elif i == 'SK':
        sideflow1 = f1_data[j]['sf_value']
        sideflow2 = f2_data[j]['sf_value']
        sideflow = sideflow1 + sideflow2

    storage_list.append(storage)
    inflow_list.append(inflow)
    if i == 'BB' or i == 'SK':
        sideflow_list.append(sideflow)
    if i == 'PS':
        demand_bb = d_data[j]['DLP']
        demand_sk = d_data[j]['DLN']
        demand_knb = d_data[j]['DKNB']
        demand_ps = d_data[j]['DPS']
        demand_ue = d_data[j]['DCPYUE']
        demand_le = d_data[j]['DCPYLE']
        demand_uw = d_data[j]['DCPYUW']
        demand_lw = d_data[j]['DCPYLW']
        demand_cpy = demand_ue + demand_le + demand_uw + demand_lw
        demand_eco = d_data[j]['DECO']
        demand_LBB.append(demand_bb)

```

```

demand_LSK.append(demand_sk)
demand_LKNB.append(demand_knb)
demand_LPS.append(demand_ps)
demand_LCPY.append(demand_cpy)
demand_LECO.append(demand_eco)
demand_LLE.append(demand_le)

use_data.append(storage_list)
use_data.append(inflow_list)
if i == 'BB' or i == 'SK':
    use_data.append(sideflow_list)
if i == 'PS':
    use_data.append(demand_LBB)
    use_data.append(demand_LSK)
    use_data.append(demand_LKNB)
    use_data.append(demand_LPS)
    use_data.append(demand_LCPY)
    use_data.append(demand_LECO)
    use_data.append(demand_LLE)

```

ภาพที่ 4-85 การดึงข้อมูลปริมาณน้ำเก็บกัก ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ปริมาณ Side Flow และปริมาณความต้องการน้ำ

หลังจากได้ข้อมูลจำเป็นทั้งหมดใน use\_data ก็ทำการนำเข้าสู่แบบจำลองสำหรับการหาสัดส่วนความต้องการน้ำที่แต่ละเขื่อนต้องรับผิดชอบ (Demand-Based Model) ดังแสดงในภาพที่ 4-86

```

print(f"-----Start Finding Demand Ratio-----")
DateT, Rt_bb, Rt_sk, Rt_knb, Rt_ps, RtCPY_bb, RtCPY_sk, RtCPY_knb,
RtCPY_ps, RtECO_bb, RtECO_sk, RtECO_knb, RtECO_ps, Wa_bb, Wa_sk, Wa_knb,
Wa_ps, We_bb, We_sk, We_knb, We_ps = lib.expdemand_model.demandin(
use_data[0], use_data[1], use_data[4], use_data[7], use_data[9],
use_data[2], use_data[5], use_data[8], use_data[10], eva, eva, eva, eva,
use_data[11], use_data[12], use_data[13], use_data[14], use_data[15],
use_data[16], use_data[17], use_data[3], use_data[6], numofdata,
sf_percent_bb, sf_percent_sk, seasonal_boolean, upper_boolean)
print(f"-----End Finding Demand Ratio-----")

```

ภาพที่ 4-86 แบบจำลองสำหรับการหาสัดส่วนความต้องการน้ำที่แต่ละเขื่อนต้องรับผิดชอบ

เมื่อได้ผลมาจากแบบจำลองสำหรับการหาสัดส่วนความต้องการน้ำที่แต่ละเขื่อนต้องรับผิดชอบ (Demand-Based Model) ก็นำผลดังกล่าวและข้อมูลจำเป็นจาก use\_data มาใช้งานต่อในแบบจำลองสำหรับการหาปริมาณการระบายน้ำที่เหมาะสม (Release-Based Model) เพื่อหาปริมาณการระบายน้ำที่เหมาะสมต่อไปดังแสดงในภาพที่ 4-87



```
print(f"-----Start Finding Release-----")
DateR, RS_bb, RR_bb, RS_sk, RR_sk, RS_knb, RR_knb, RS_psw, RR_psw =
lib.exprelease_model.releasein(DateT, In_bbw, In_skw, In_knbw, In_psw,
S_bbw, S_skw, S_knbw, S_psw, Eva_bbw, Eva_skw, Eva_knbw, Eva_psw, D_bbw,
D_skw, D_knbw, D_psw, D_cpyw, D_ecow, Hl_bbw, Hl_skw, SF_bbw, SF_skw,
numofdata-10, sf_percent_bb, sf_percent_sk, Rt_bb, Rt_sk, Rt_knb, Rt_psw,
RtCPY_bb, RtCPY_sk, RtCPY_knb, RtCPY_psw, RtECO_bb, RtECO_sk, RtECO_knb,
RtECO_psw, Wa_bb, Wa_sk, Wa_knb, Wa_psw, We_bb, We_sk, We_knb, We_psw,
upper_boolean)
print(f"-----End Finding Release-----")
```

#### ภาพที่ 4-87 แบบจำลองสำหรับการหาปริมาณการระบายน้ำที่เหมาะสม

หลังจากได้ค่าผลจากแบบจำลองสำหรับการหาปริมาณการระบายน้ำที่เหมาะสม (Release-Based Model) ก็ทำการแก้ไขหรือเพิ่มข้อมูลลงในฐานข้อมูล โดยตรวจสอบก่อนว่าวันที่ดังกล่าวเคยมีข้อมูลอยู่หรือไม่ หากมีอยู่แล้ว ให้ทำการแก้ไขข้อมูลของปริมาณน้ำเก็บกักในเขื่อนและปริมาณการระบายน้ำ แต่หากไม่มีข้อมูลในวันที่ดังกล่าว ให้ทำการเพิ่มข้อมูลของวันนั้น ๆ ในฐานข้อมูลแทน เมื่อทำการแก้ไขหรือเพิ่มข้อมูลผลของปริมาณเก็บกักน้ำในเขื่อนและปริมาณการระบายน้ำเสร็จแล้ว เว็บเซิร์ฟเวอร์จะส่งข้อมูลต่าง ๆ ออกมาในรูปแบบของ JSON ซึ่งแสดงในภาพที่ 4-88 จึงทำการแก้ไขไฟล์ optimization\_status.json เพื่อแก้ไขค่า Status จาก Processing เป็น Done เพื่อแสดงว่าการคำนวณเสร็จสิ้นแล้ว

```
{
  "message": "Result from search API.",
  "results": [
    {
      "Date": "2023-02-01",
      "BB_Storage": 10925.361707,
      "BB_Release": 9.4539104048,
      "SK_Storage": 5870.2376556,
      "SK_Release": 7,
      "KNB_Storage": 684.03797194,
      "KNB_Release": 1.5772670603,
      "PS_Storage": 673.43683767,
      "PS_Release": 6.2426594126
    },
    {
      "Date": "2023-02-02",
      "BB_Storage": 10919.47476,
      "BB_Release": 9.4455001498,
      "SK_Storage": 5865.7006737,
      "SK_Release": 7,
      "KNB_Storage": 682.50041941,
      "KNB_Release": 1.5737754431,
      "PS_Storage": 668.12415015,
      "PS_Release": 6.2426811073
    },
    {
      "Date": "2023-02-03",
      "BB_Storage": 10913.819872,
      "BB_Release": 9.4365680498,
      "SK_Storage": 5861.8398063,
      "SK_Release": 7,
      "KNB_Storage": 681.21271276,
      "KNB_Release": 1.5707417985,
      "PS_Storage": 662.43599071,
```

```

    "PS_Release": 6.2426521116
  }, ...
]
}

```

ภาพที่ 4-88 ตัวอย่างข้อมูลที่ส่งออกมาจากเว็บเซอร์วิส

## (2) เว็บเซอร์วิสสำหรับการตรวจสอบสถานะของการทำงานของแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดที่ใช้ในการหาค่าการระบายน้ำจากเขื่อนในลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่ดีที่สุด

เว็บเซอร์วิสนี้ทำหน้าที่หลักในการบอกสถานะของกระบวนการของแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดที่ใช้ในการหาค่าการระบายน้ำจากเขื่อนในลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่ดีที่สุดว่าเสร็จสิ้นหรือยัง เพื่อที่จะได้สามารถนำไปดำเนินการต่อในกระบวนการอื่น ๆ ได้ จึงการทำงานหลัก ๆ ของเว็บเซอร์วิสคือการอ่านข้อมูลจากไฟล์ optimization\_status.json และจะส่งข้อมูลสถานะออกมาดังแสดงในภาพที่ 4-89

```

{
  "status": "Done",
  "startdate": "2023-02-01",
  "enddate": "2023-02-25",
  "modeltype": "Seasonal",
  "upperrulecurve": "No",
  "scenario": "Planned Demand",
  "processeddate": "2023-10-12"
}

```

ภาพที่ 4-89 ข้อมูลสถานะ

### 4.3.2.2.4 โมดูลการแสดงผลข้อมูล (Data Visualization Module)

โมดูลการแสดงผลข้อมูลเป็นโมดูลที่ทำหน้าที่ในการแสดงผลข้อมูลต่าง ๆ บนหน้าเว็บแอปพลิเคชัน โมดูลนี้จะออกแบบให้มี 4 โมดูลย่อย ที่ทำหน้าที่ในการแสดงผลข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

- (1) Inflow Data Visualization ทำหน้าที่ในการแสดงผลข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนจากแบบจำลองการพยากรณ์
  - (2) Demand Data Visualization ทำหน้าที่ในการแสดงผลข้อมูลความต้องการน้ำจากการประมาณการด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม
  - (3) Side Flow Data Visualization ทำหน้าที่ในการแสดงผลข้อมูล Side Flow
  - (4) Water Release Data Visualization ทำหน้าที่ในการแสดงผลข้อมูลปริมาณการระบายน้ำรายวันจากแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด
- โดยมีรายละเอียดการพัฒนาโมดูลการแสดงผลข้อมูลแต่ละส่วนดังนี้

#### (1) การออกแบบและพัฒนาส่วนต่อกับผู้ใช้ User Interface

ทางทีมวิจัยได้พัฒนาระบบส่วนต่อกับผู้ใช้โดยนำข้อมูลที่เกี่ยวข้องมาแสดงในหน้าแบบแยกประเภทโมดูลงานที่ใช้ร่วมกัน โดยคำนึงรูปแบบการเรียกดูข้อมูลจากการกำหนดช่วงเวลา ลักษณะเจาะจง และรูปแบบการปฏิสัมพันธ์ระหว่างใช้งานข้อมูล ระบบส่วนต่อผู้ใช้นั้นจะเป็นส่วน Front-end ที่ติดต่อกับระบบ micro-web framework ที่ประสานข้อมูลจากฐานข้อมูลหลักของระบบ โดยเป็น Application Layer ที่แยก

ออกมาเน้นการติดต่อประสานผู้ใช้ โดยไม่คำนึงถึงรูปแบบการทำงานด้านหลัง ใช้การสื่อสารด้วย REST API Framework ทำให้สามารถดูแลและแก้ไขได้ตามกาลเวลาหากมีการเปลี่ยนแปลงของลักษณะผู้ใช้ที่เกี่ยวข้อง การออกแบบโมดูลที่แสดงข้อมูลในหน้าจะมี Module ที่สอดคล้องกับข้อมูลของแต่ละหน้าแสดงผล และมีโมดูลใช้งานส่วนกลางเพื่อสนับสนุนการดูแลการติดต่อระบบ micro-web framework API มีการใช้งานวาดกราฟแสดงผลจากระบบ ApexChart (<https://apexcharts.com/>) ที่มีความหลากหลายในการนำเสนอข้อมูลอย่างอิสระ และต่อยอดสร้างกราฟชนิดอื่นๆ ที่จำเป็นในอนาคตได้

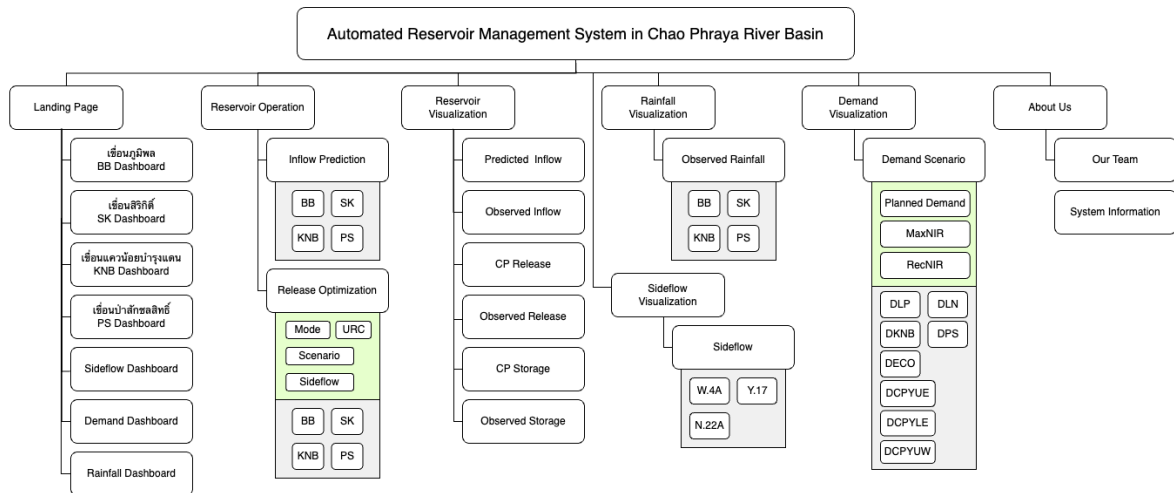
ระบบส่วนต่อกับผู้ใช้จะถูกพัฒนาด้วยเทคโนโลยีโครงสร้าง NextJS Framework (<https://nextjs.org/>) ซึ่งเป็นโครงสร้างของการทำระบบเว็บแอปพลิเคชันบนโครงสร้างของเทคโนโลยีภาษา React อีกทีหนึ่ง ซึ่งช่วยลดระยะเวลาการปรับแต่งรายละเอียดระบบในด้านการจัดการการเข้าถึงหน้าแสดงข้อมูล (Routing System) อีกทั้ง มีระบบสนับสนุนแผนการพัฒนาและนำไปติดตั้งใช้งานจริงได้รวดเร็ว นอกจากนี้ ตัวเทคโนโลยียังสนับสนุนการประมวลผลที่ฝั่งแม่ข่าย (Server-side Rendering) และลดการประมวลผลทางฝั่งผู้ใช้งาน (Client-side Rendering) อีกด้วย เทคโนโลยีนี้ได้รับการรีวิวจากบทความทางด้านเทคโนโลยีของบริษัท Thoughtworks (<https://www.thoughtworks.com/en-th/radar/languages-and-frameworks/next-js>) ว่าเป็นเทคโนโลยีที่สามารถนำมาใช้งานร่วมกับแพ็คเกจ NextUI (<https://nextui.org/>) ซึ่งเป็นส่วนประกอบทางด้านส่วนประสานที่ออกแบบมาใช้งานร่วมกับกับ NextJS Framework เพื่อให้สามารถหน้าส่วนประสานใช้งานอย่างรวดเร็วและสวยงาม

## (2) โครงสร้างของเว็บแอปพลิเคชัน (Navigation Diagram)

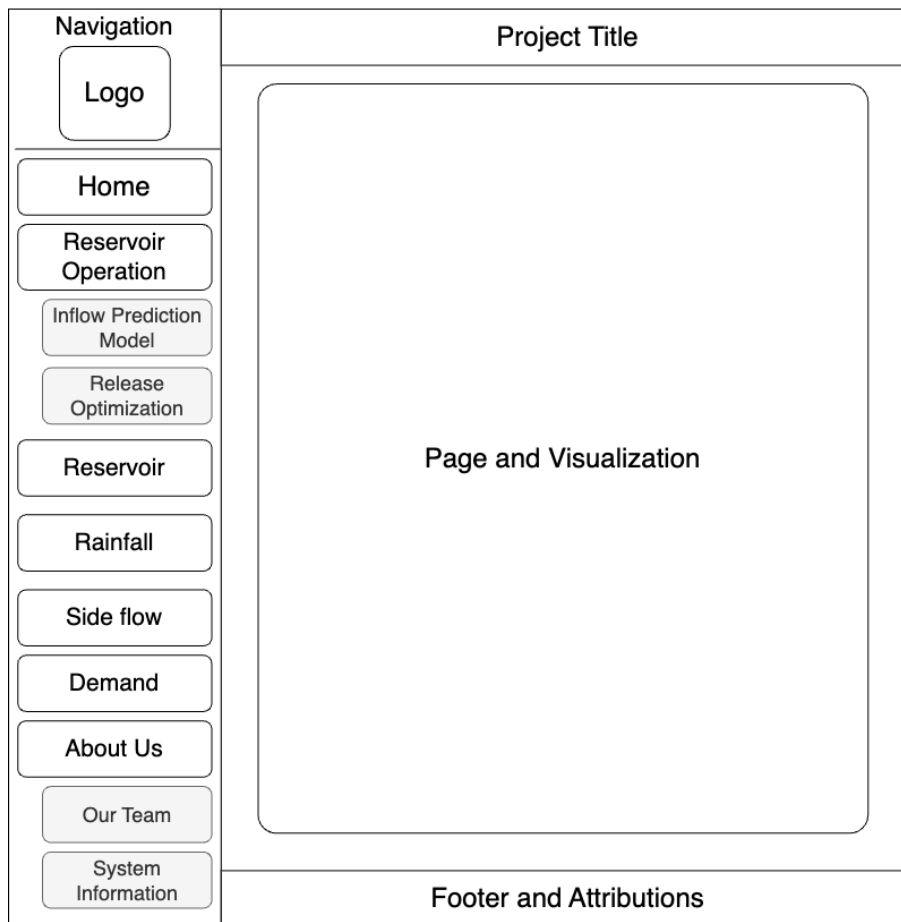
คณะผู้วิจัยได้พัฒนาระบบส่วนต่อผู้ใช้จะถูกเรียกว่า SIP3-FrontEnd โดยมีโครงสร้างของการเรียงหน้าและเนื้อหาภายในภาพรวมดังแสดงในภาพที่ 4-90 ประกอบด้วยหน้า 7 หน้า ได้แก่

- (2.1) หน้าข้อมูลภาพรวม (Landing Page)
- (2.2) หน้าแสดงข้อมูลการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำประกอบด้วย หน้าชุดคำสั่งการ เรียนรู้การพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ และหน้าชุดคำสั่งปริมาณ การระบายน้ำ
- (2.3) หน้าแสดงผลข้อมูลอ่างเก็บน้ำ
- (2.4) หน้าแสดงผลข้อมูลฝน
- (2.5) หน้าแสดงผลข้อมูล Side Flow
- (2.6) หน้าแสดงผลข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำ
- (2.7) หน้าแสดงผลข้อมูลเกี่ยวกับเรา

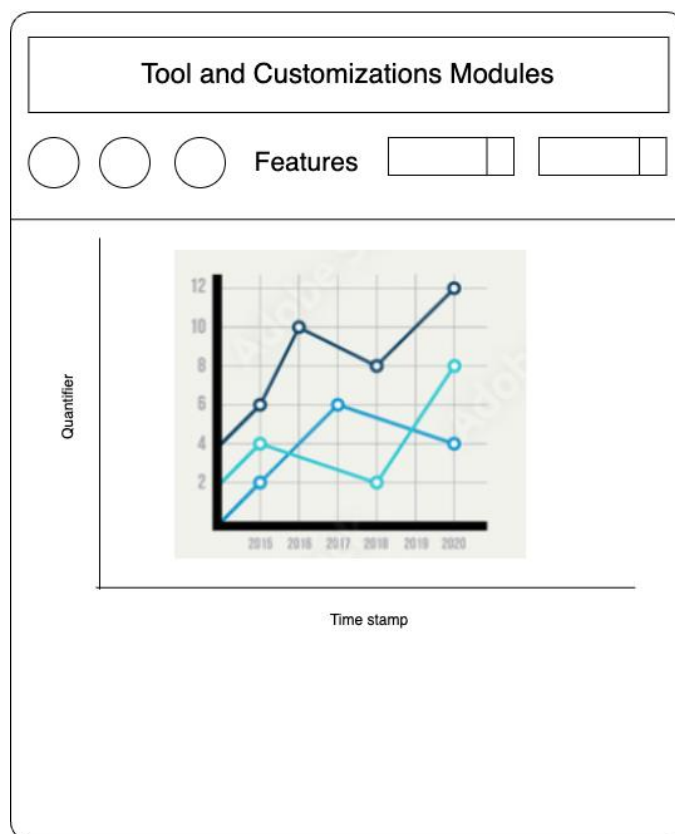
โดยทั้งหน้าเว็บ 7 หน้าจะถูกเข้าถึงด้วยการเลือกเมนู side-bar ที่แสดงชื่อหน้าที่เกี่ยวข้องในภาพที่ 4-91 ในแต่ละหน้าจะมีการเรียกใช้โมดูลที่ติดต่อไปยัง micro-web framework ผ่าน REST Api เพื่อ ดึงข้อมูลมาวาดแสดงผลเป็นกราฟ และสร้างฟอร์มเพื่อให้มีการกดปรับเปลี่ยนช่วงเวลาในการเรียกดูข้อมูลได้ อย่างอิสระ



ภาพที่ 4-90 โครงสร้างระบบของระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา



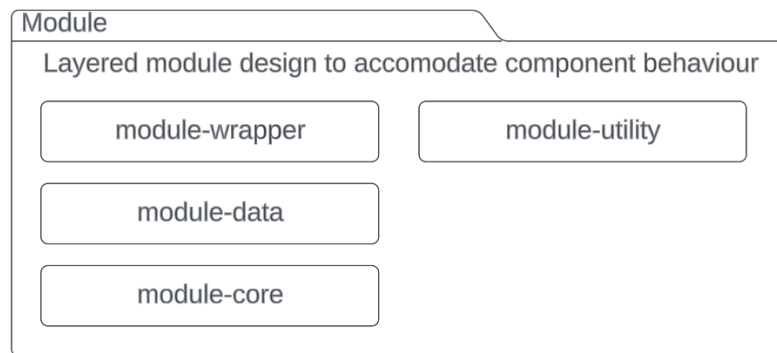
ภาพที่ 4-91 Wireframe ของหน้าจอและเมนูข้างในระบบแสดงข้อมูล Visualization



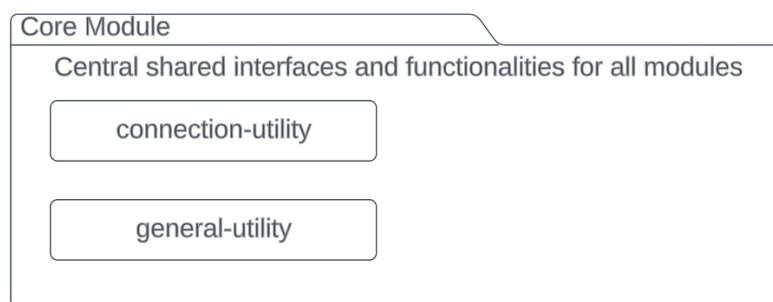
ภาพที่ 4-92 Wireframe ของส่วนแสดงข้อมูล Visualization

ภาพที่ 4-91 และ ภาพที่ 4-92 แสดงถึงการออกแบบ Wireframe ของหน้าจอและเมนูข้างในระบบแสดงข้อมูล Visualization โดยโมดูลของ sidebar จะทำการเรียกข้อมูลขึ้นมาแสดงผลตรงพื้นที่กลาง และเรียกใช้งานโมดูลที่สอดคล้องกับหน้านั้น ๆ คณะผู้วิจัยได้ออกแบบเป็นแพ็คเกจแยกแต่ละหน้า และมีโครงสร้างของแพ็คเกจดังแสดงในภาพที่ 4-93 โดยแบ่งออกเป็น module-wrapper เพื่อใช้เรียกใช้งาน และส่งชุดคำขอหรือข้อมูลนำเข้าไปยัง module-data เพื่อทำการดึงข้อมูลจาก APIs ที่เกี่ยวข้อง ประมวลผลและแปลงข้อมูล นำส่งไปยัง module-core และแสดงผลเป็นแผนภูมิในขั้นตอนสุดท้าย

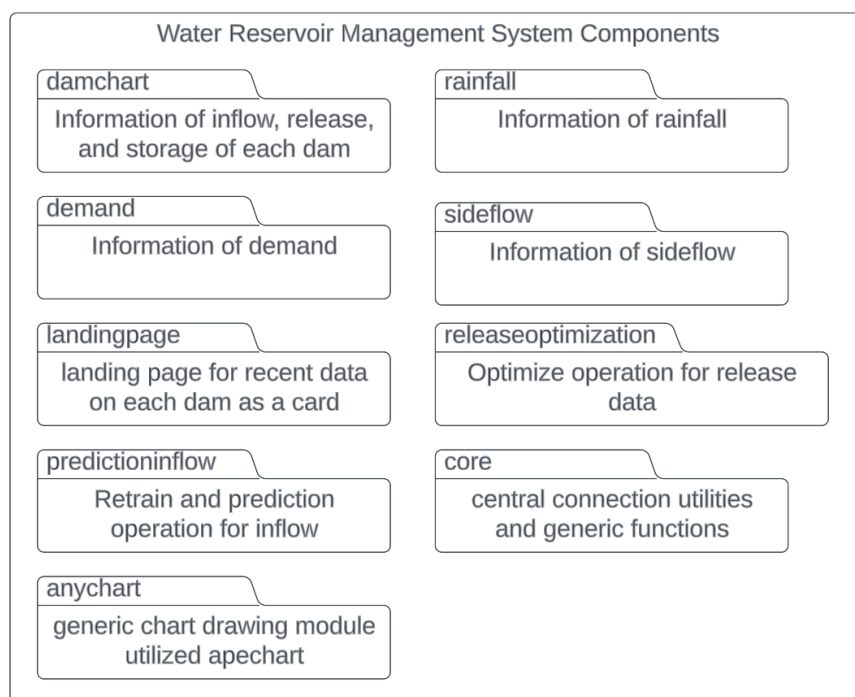
ภาพที่ 4-94 แสดงถึงโมดูลกลางที่ใช้เพื่อเก็บ URL สำหรับติดต่อ REST Api รวมถึง Type Interface การประมวลผลข้อมูลตอบรับ และเก็บฟังก์ชันทำงานกลางเพื่อให้ถูกเรียกได้รวมกันอย่างมีประสิทธิภาพ โดยภาพที่ 4-95 แสดงถึงภาพรวมของโมดูลทั้งหมดในระบบแสดงผลที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นจากรูปแบบที่ได้กล่าวมาข้างต้น เพื่อใช้ในการสร้างหน้าแสดงผลตามความต้องการของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกัน



ภาพที่ 4-93 โครงสร้างโมดูลในการแสดงผลของหน้าเว็บ



ภาพที่ 4-94 โมดูลหลักสำหรับการติดต่อดึงข้อมูลผ่าน REST APIs และฟังก์ชันใช้งานที่ใช้ร่วมกัน



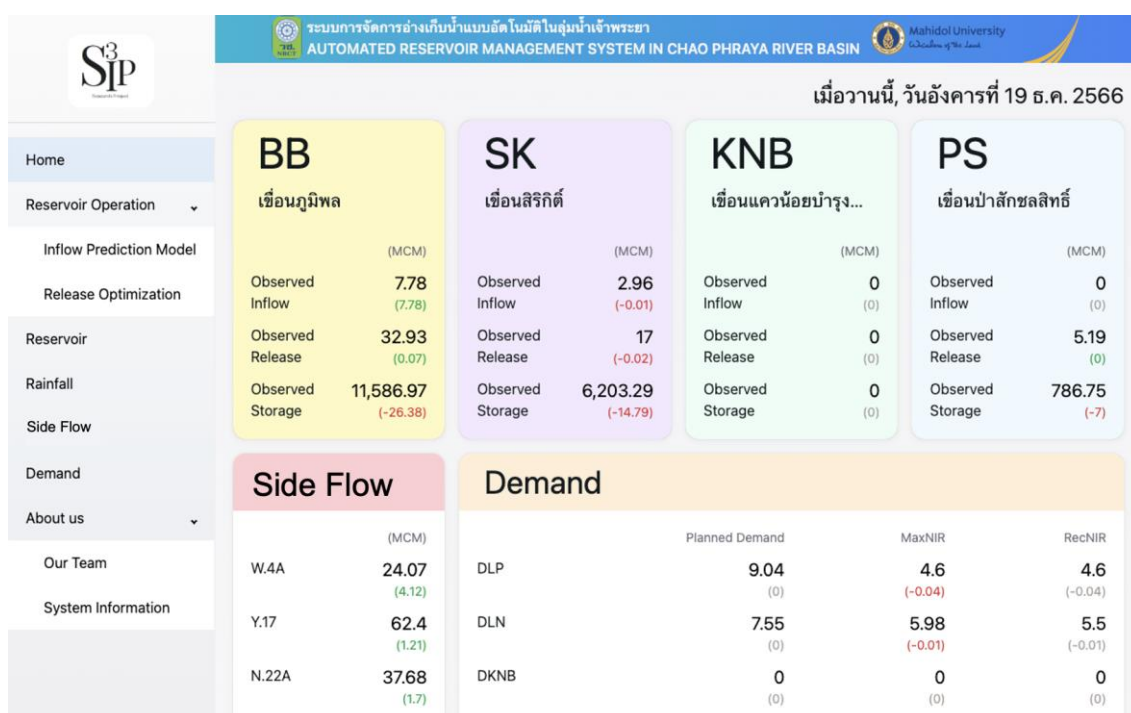
ภาพที่ 4-95 ภาพรวมของโมดูลทั้งหมดในระบบแสดงผล Visualization

### (3) การออกแบบและพัฒนาแผนภาพแสดงข้อมูล Visualization

จากโครงสร้างของเนื้อหาภายในหน้าเว็บ หน้าแสดงผลแต่ละหน้าได้ถูกออกแบบดังต่อไปนี้

#### หน้าแรกของเว็บ (Home)

หน้าแรกของเว็บมีการแสดงข้อมูลของเขื่อนทั้ง 4 เขื่อนในรูปแบบของการ์ดข้อมูลที่สำคัญ ได้แก่ Inflow, Release และ Storage โดยมีการใช้สีประกอบการเปลี่ยนแปลงของค่าวัดเพื่อแสดงความสัมพันธ์ในเชิงบวกหรือลบ เพื่อให้เป็นสิ่งที่แรกๆที่ผู้ใช้งานได้รับภาพรวมของเขื่อนอย่างรวดเร็วและกระชับ หน้ามีการออกแบบให้นำข้อมูลในอนาคตมาติดเพิ่มเป็นการดูได้อย่างลงตัว ทั้งนี้ยังมีการ์ดข้อมูลภาพรวม Rainfall, Side Flow และ Demand แสดงให้เห็นสำหรับวันที่ผ่านม่าสุดดังแสดงในภาพที่ 4-96



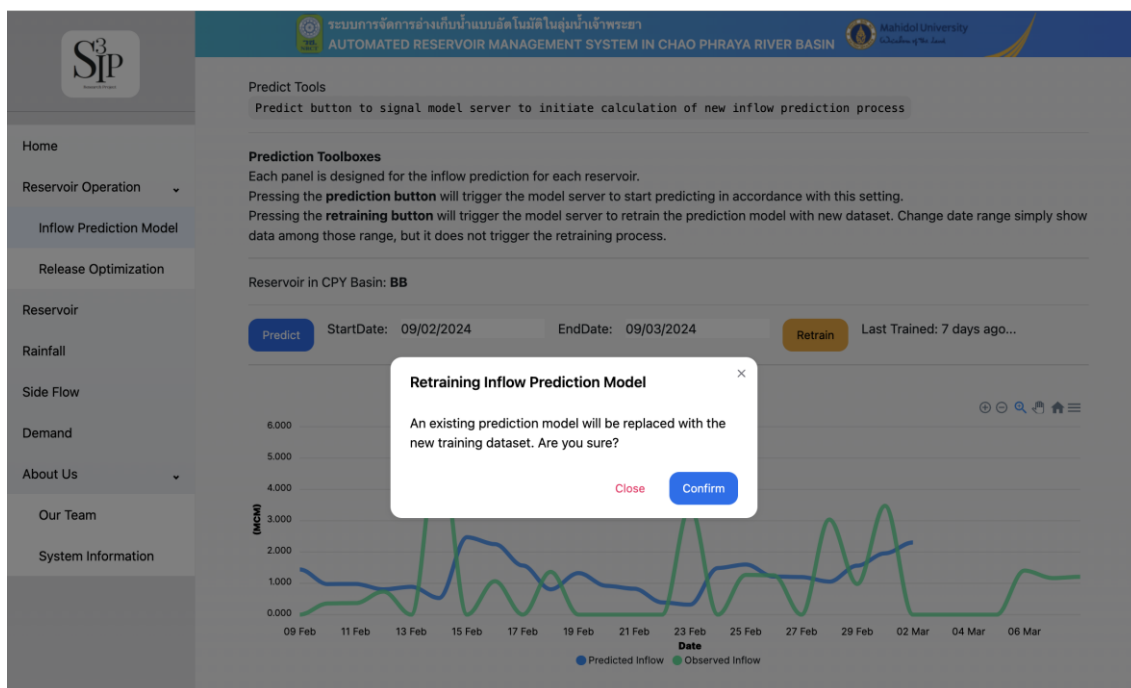
ภาพที่ 4-96 หน้าแรกของเว็บ Home

#### หน้าแสดงผลข้อมูล Inflow

ภาพที่ 4-97 แสดงผลข้อมูล Inflow และมีปุ่มสำหรับการฝึกฝนข้อมูลหรือ Retrain และการดูค่าพยากรณ์จากแบบจำลองหรือ Predict โดยระบบจะแสดงข้อมูล Predicted Inflow เปรียบเทียบกับค่าข้อมูล Observed Inflow ของแต่ละเขื่อนในช่วงเวลาที่กำหนดไว้ในเมนูปฏิทิน โดยมีปุ่ม Retrain เพื่อส่งชุดคำสั่งให้ Micro-Web Framework ทำการสั่งการปรับปรุงแบบจำลองการเรียนรู้ใหม่ และปุ่ม Predict เพื่อสั่งให้ทำการเริ่มพยากรณ์ Prediction Inflow ของแต่ละเขื่อน ภาพที่ 4-98 แสดงหน้าจอสำหรับการ Retrain แบบจำลอง



ภาพที่ 4-97 หน้าแสดงผลข้อมูล Inflow



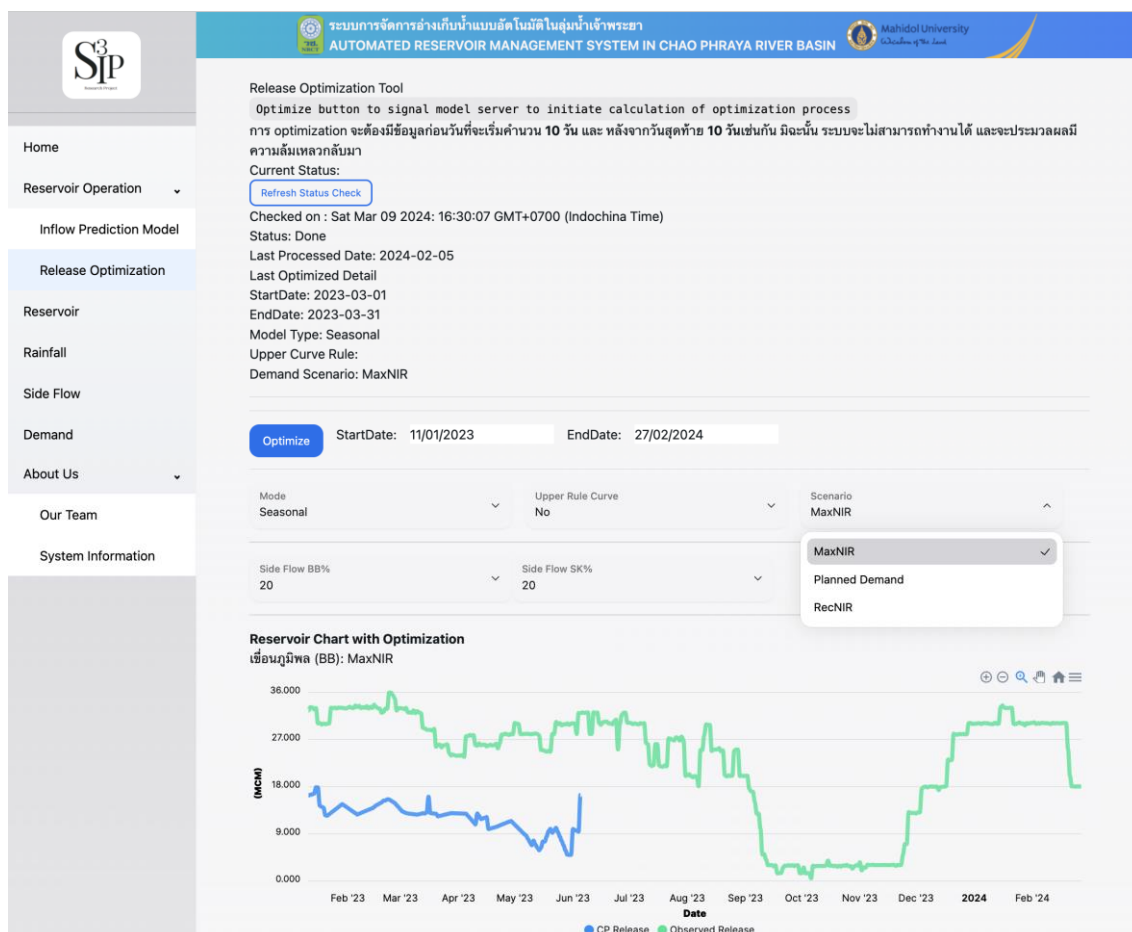
ภาพที่ 4-98 หน้าแสดงหน้าจอ Retrain

### หน้าแสดงผลข้อมูล Water Release

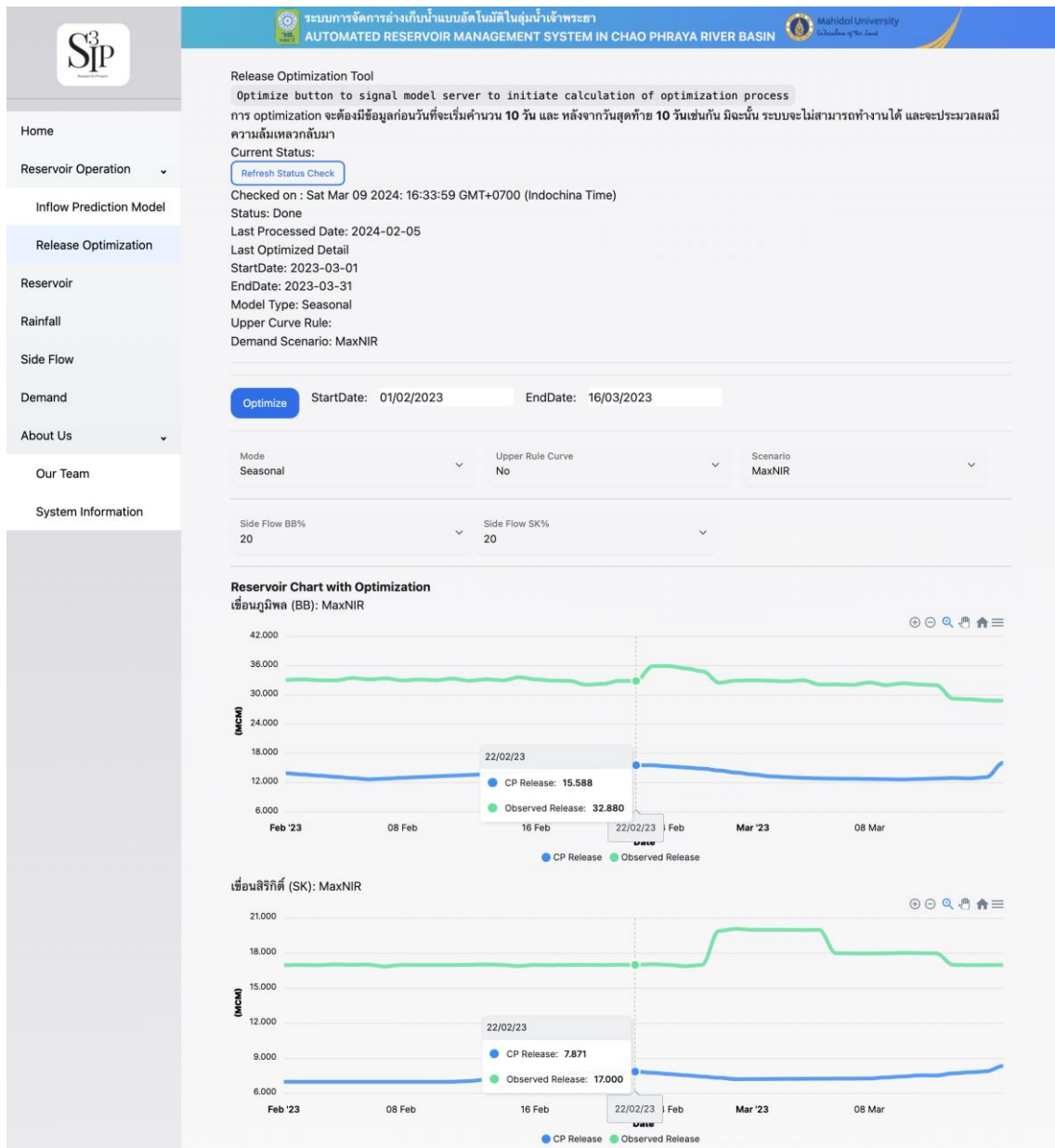
หน้าเครื่องมือเพื่อการคำนวณค่า Optimization Release จะแสดงผลข้อมูล CP Release และ Observed Release โดยแสดงผลทุกเขื่อน และดึงข้อมูลเฉพาะ Scenario ที่ถูกกำหนดไว้ ผู้ใช้งานจะสามารถกำหนดช่วงเวลาของข้อมูลโดยใช้ตัวเลือกปฏิทิน และกำหนดรูปแบบของการทำงานได้โดยแก้ไขเมนู Mode



และเลือกรูปแบบ Yearly Constraint หรือ Seasonal Constraint หลังจากนั้นทำการเลือกตั้งค่า Upper Rule Curve ว่าจะเป็น Yes หรือ No สุดท้ายคือการเลือก Scenario ซึ่งมีตัวเลือกเป็น MaxNIR, Planned Demand, และ RecNIR โดยการเลือกจะเป็นการใช้เมนูแบบ drop-down ดังแสดงในภาพที่ 4-99 และภาพที่ 4-100 โดยระบบจะเตือนเพื่อยืนยันการคำนวณก่อนทุกครั้ง



ภาพที่ 4-99 หน้าแสดงผล Release และการใช้เมนู drop-down เพื่อเลือกรูปแบบการทำงาน

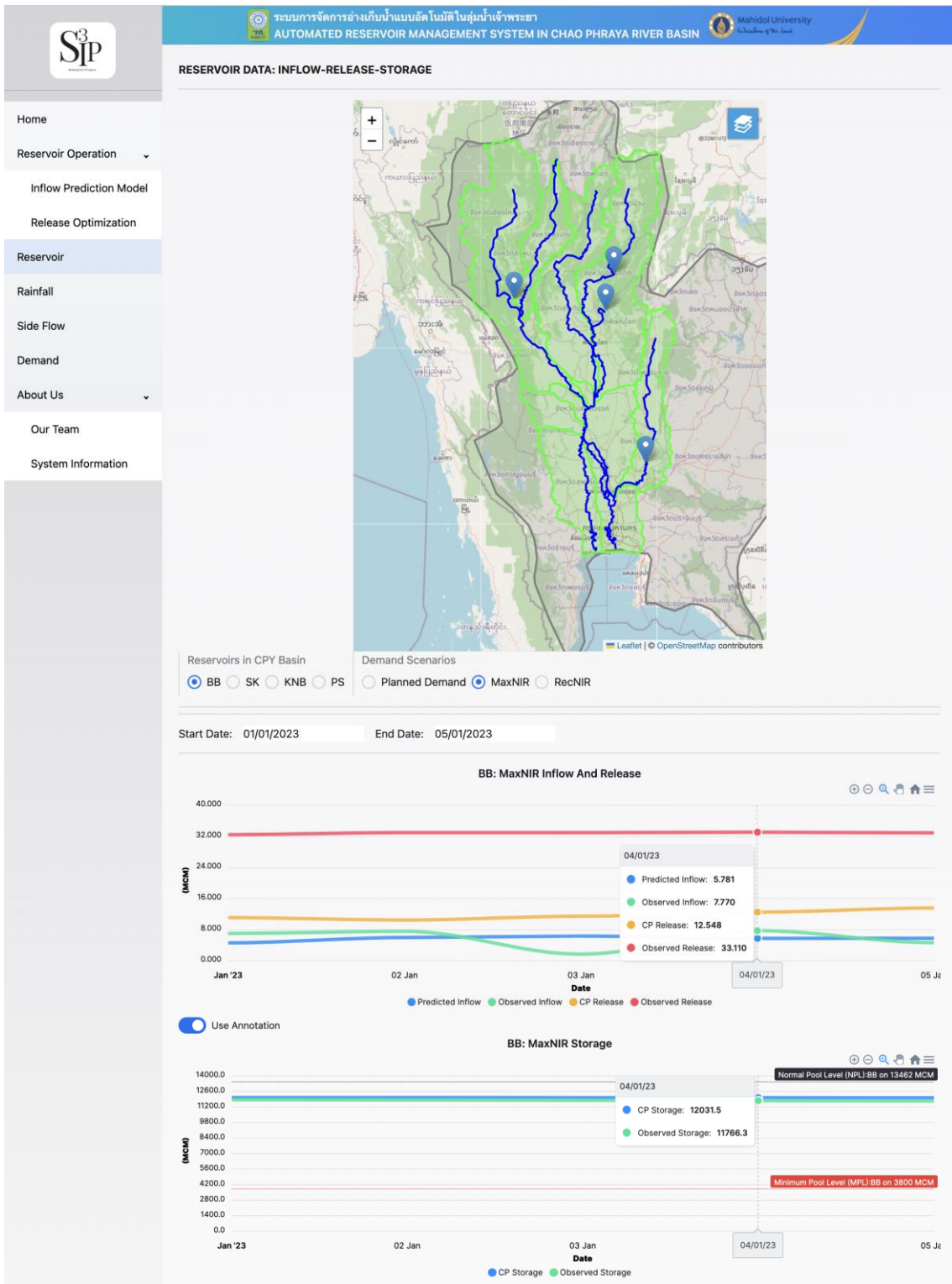




ภาพที่ 4-100 หน้าแสดงผลเครื่องมือ Release

#### หน้าแสดงผลข้อมูลอ่างเก็บน้ำ (Reservoir)

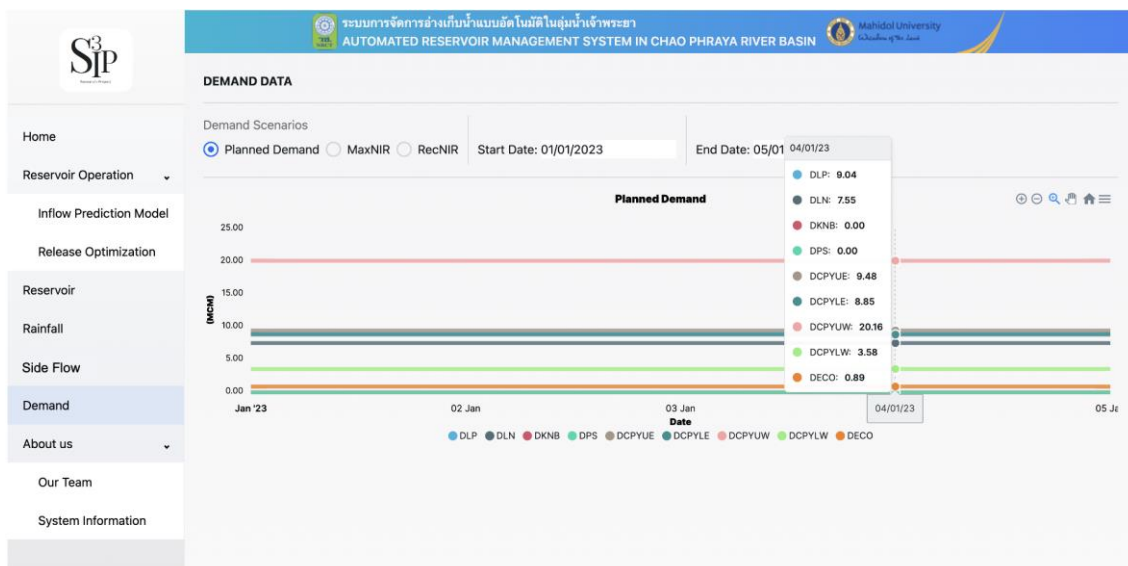
ภาพที่ 4-101 แสดงถึงหน้าทำการแสดงผลข้อมูล Inflow, Release และ Storage ของเขื่อนตามช่วงปฏิทินที่กำหนด โดยข้อมูล Storage จะถูกแยกออกเป็นกราฟที่สองเนื่องจากมีหน่วยวัดที่สูงกว่าสองค่าแรกมาก และสามารถเลือกเขื่อน ตามด้วยตัวเลือก Scenario เพื่อเปลี่ยนลักษณะจำเพาะของข้อมูลได้ ปุ่ม Sync Cursor จะอำนวยความสะดวกในการเปิดปิดการเชื่อมตำแหน่งของการดูค่าวัดบนกราฟบนล่าง ทำให้สามารถแยกดูข้อมูลคนละช่วงจำเพาะได้



ภาพที่ 4-101 หน้าแสดงผลข้อมูล Reservoir

### หน้าแสดงผลข้อมูล Demand

ภาพที่ 4-102 แสดงถึงหน้าแสดงผลข้อมูล Demand ตามตัวเลือก Scenario และช่วงปฏิทินที่สำหรับแสดงข้อมูล โดยมีค่า DLP, DLN, DKNB, DPS, DCPYUE, DCPYLW, DCPYUW และ DECO เพื่อให้สามารถเลื่อนวันที่เปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงได้อย่างอิสระ



ภาพที่ 4-102 หน้าแสดงผลข้อมูล Demand

### หน้าแสดงผลข้อมูล Side Flow

ภาพที่ 4-103 แสดงถึงหน้าทำการแสดงข้อมูล Side Flow จากสถานีวัดคือ W.4A, Y.17 และ N.22A โดยมีตัวเลือกรหัส และการกำหนดช่วงเวลาจากปฏิทินและการเลื่อนเคอร์เซอร์ดูข้อมูลเจาะจงของแต่ละช่วงเวลา



ภาพที่ 4-103 หน้าแสดงผลข้อมูล Side Flow

## หน้าแสดงผลข้อมูล Rainfall

ภาพที่ 4-104 แสดงถึงหน้าที่แสดงผลข้อมูล Rainfall ซึ่งเป็นปริมาณฝนเหนือเขื่อนทั้ง 4 เขื่อน โดยสามารถกดเลือกเขื่อนที่ต้องการดูข้อมูล และกำหนดช่วงเวลาจากปฏิทินได้อย่างอิสระ ค่า Rainfall จะถูกแสดงเมื่อทำการเลื่อนเคอร์เซอร์ไปบนแกนเวลา



ภาพที่ 4-104 หน้าแสดงผลข้อมูล Rainfall

### (4) การทดสอบระบบเว็บแอปพลิเคชัน

ทีมวิจัยได้ทำการทดสอบระบบเว็บแอปพลิเคชันด้วยเครื่องมือที่มีชื่อว่า Lighthouse (<https://chrome.google.com/webstore/detail/Lighthouse/blipmdconlkpinefehnmmjamfjpmjbk>) ซึ่งเป็น Developer Tools บนเว็บเบราว์เซอร์ Chrome ใช้งานการตรวจวัดและพัฒนาคุณสมบัติด้าน ศักยภาพและความถูกต้องของเว็บแอปพลิเคชัน โดยแบ่งหัวข้อการทดสอบทั้งหมด 4 หัวข้อดังนี้

(4.1) Performance คือตัวชี้วัดประสิทธิภาพด้านความเร็วในการแสดงผลเว็บไซต์

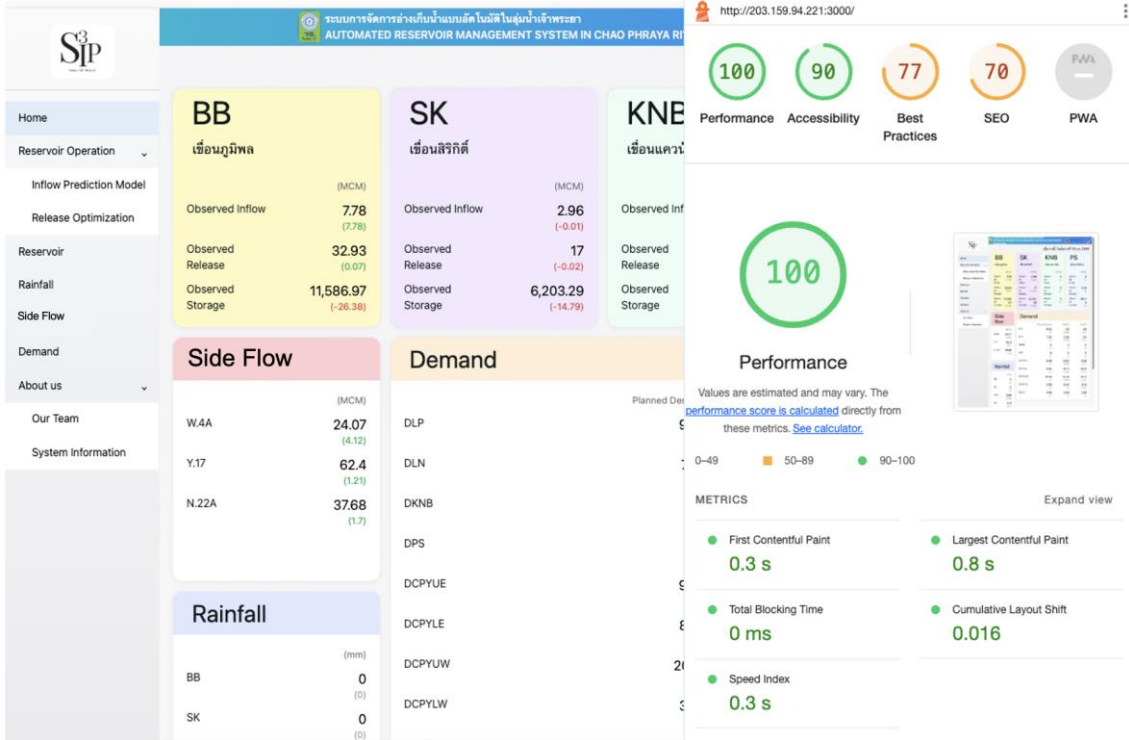
ประกอบด้วย การวัดการแสดงผลเนื้อหาส่วนแรก เวลาที่แสดงจนถึงเนื้อหาส่วนสุดท้าย ระยะเวลาในการโต้ตอบกับผู้ใช้และเสถียรของการเคลื่อนที่ขององค์ประกอบต่าง ๆ

(4.2) Accessibility คือตัวชี้วัดด้านองค์ประกอบและฟังก์ชันต่าง ๆ ภายในหน้าเว็บที่สามารถแสดงผลและทำงานได้บนอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นอย่างดี

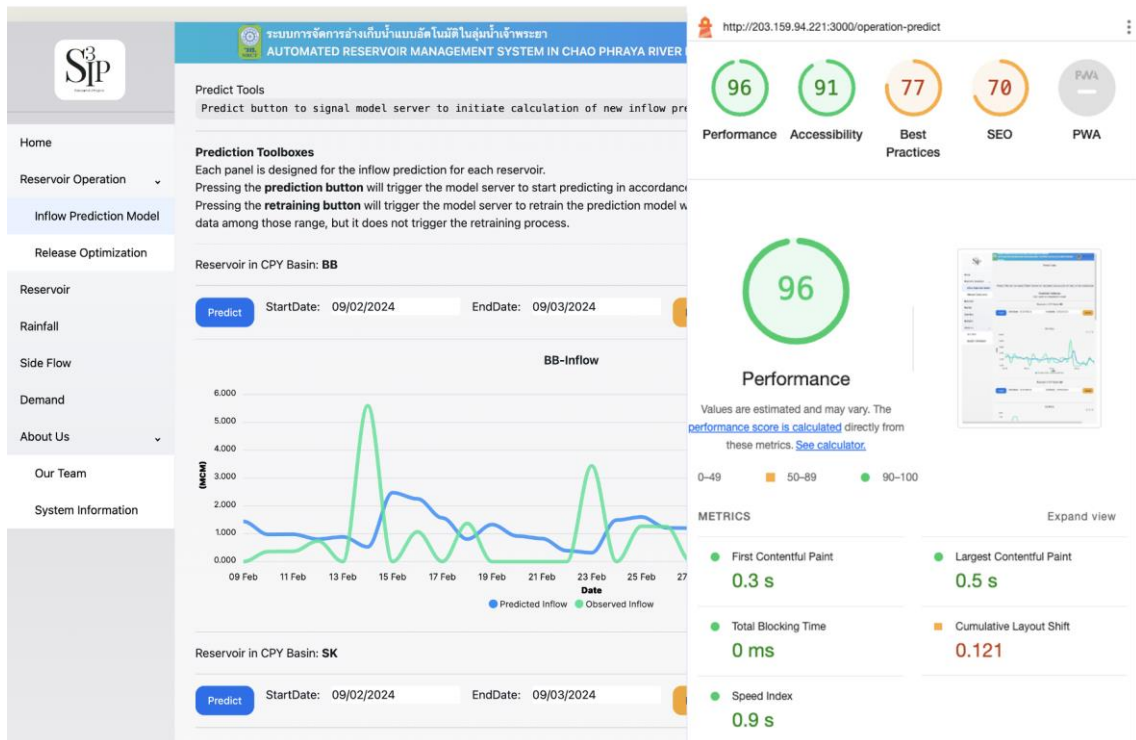
(4.3) Best Practices คือตัวชี้วัดของการพัฒนาเว็บไซต์ตามมาตรฐานการของ W3C

(4.4) SEO คือตัวชี้วัดด้านประสิทธิภาพต่อการติดอันดับการค้นหาของ Search Engine

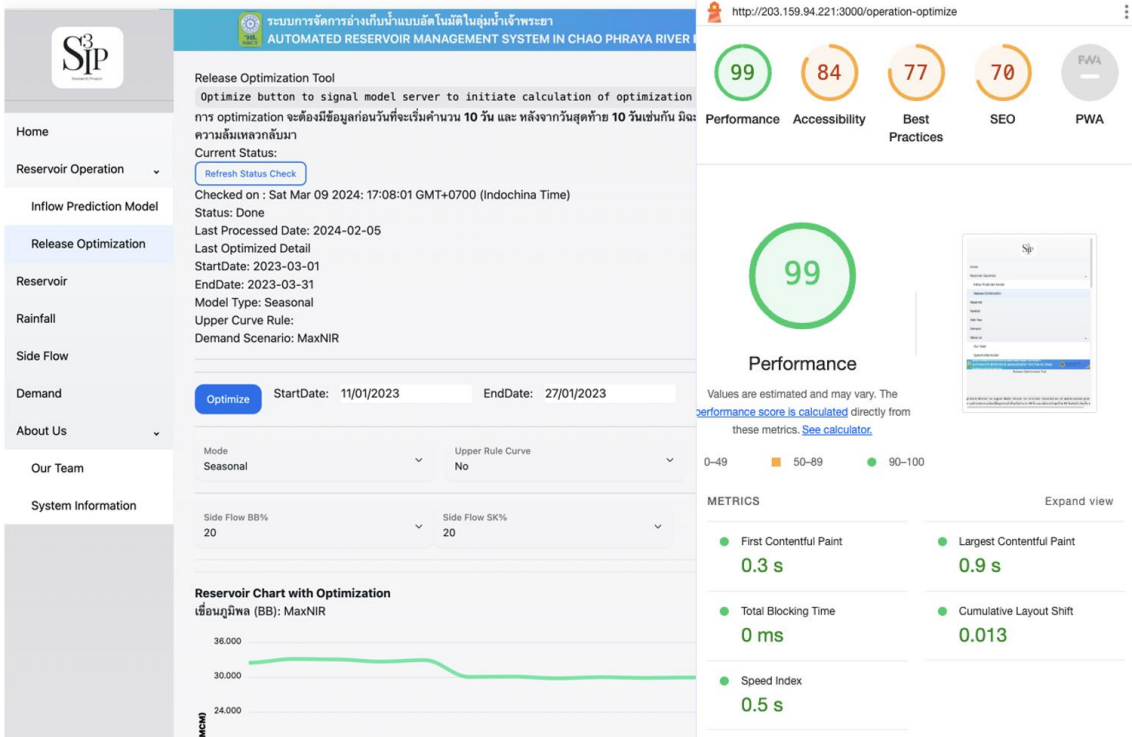
การทดสอบเป็นการทดสอบบนเครื่องแม่ข่ายในระบบสร้างตัวใช้งานสำหรับนำไปติดตั้ง (Production Build) ภาพที่ 4-105 ถึงภาพที่ 4-113 แสดงตัวอย่างของผลการทดสอบหน้าต่าง ๆ ของระบบ ทั้ง 7 หน้า



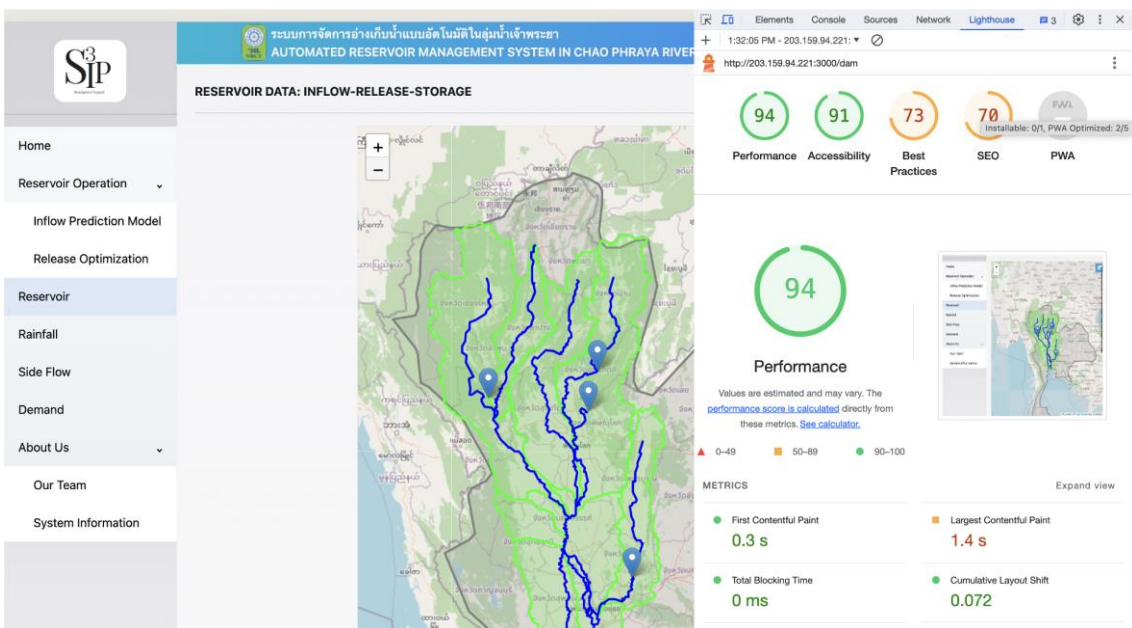
ภาพที่ 4-105 ตัวอย่างของผลการทดสอบหน้าแรกของเว็บ หรือ Home ด้วยเครื่องมือ Lighthouse



ภาพที่ 4-106 การทดสอบหน้า Inflow Prediction ด้วยเครื่องมือ Lighthouse

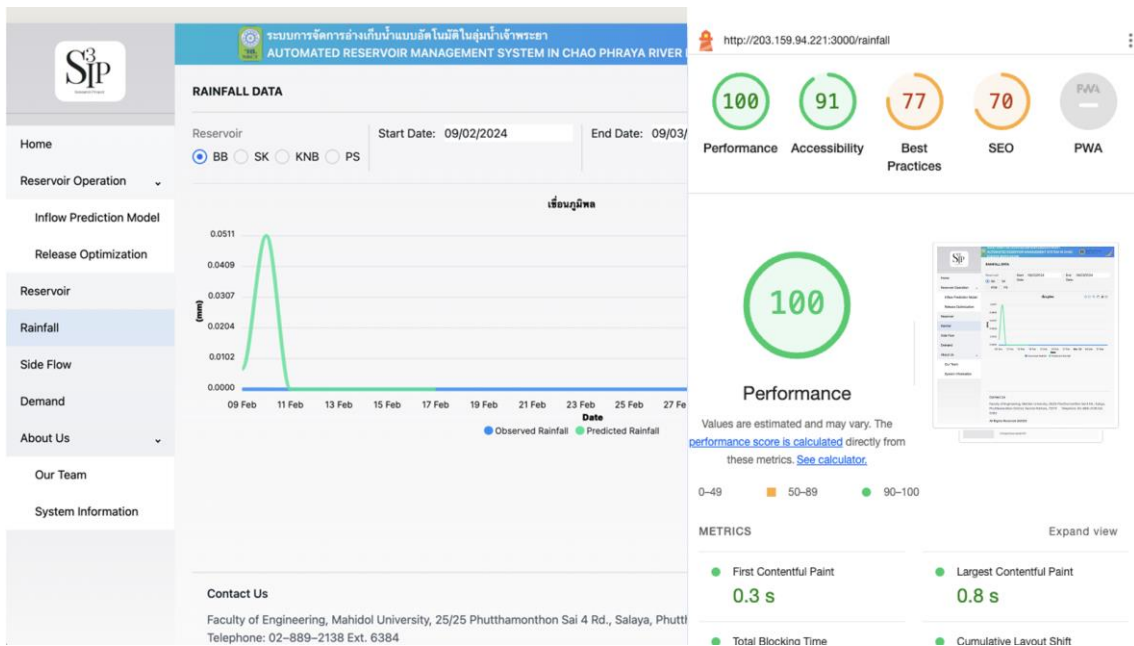


ภาพที่ 4-107 การทดสอบหน้า Release Optimization ด้วยเครื่องมือ Lighthouse

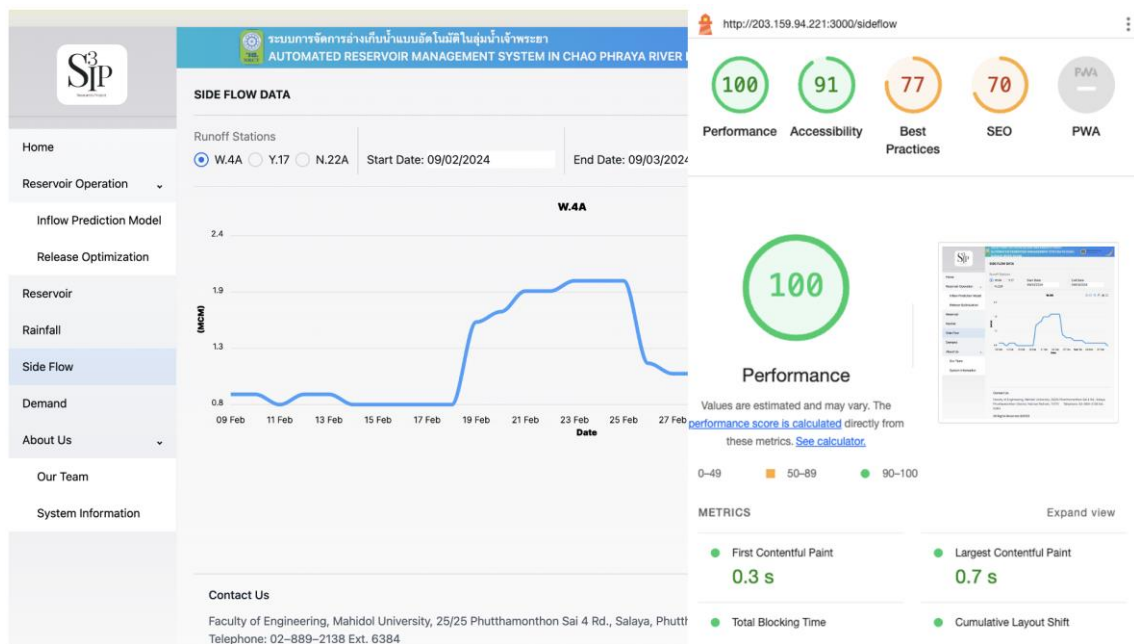


ภาพที่ 4-108 การทดสอบหน้า Reservoir ด้วยเครื่องมือ Lighthouse

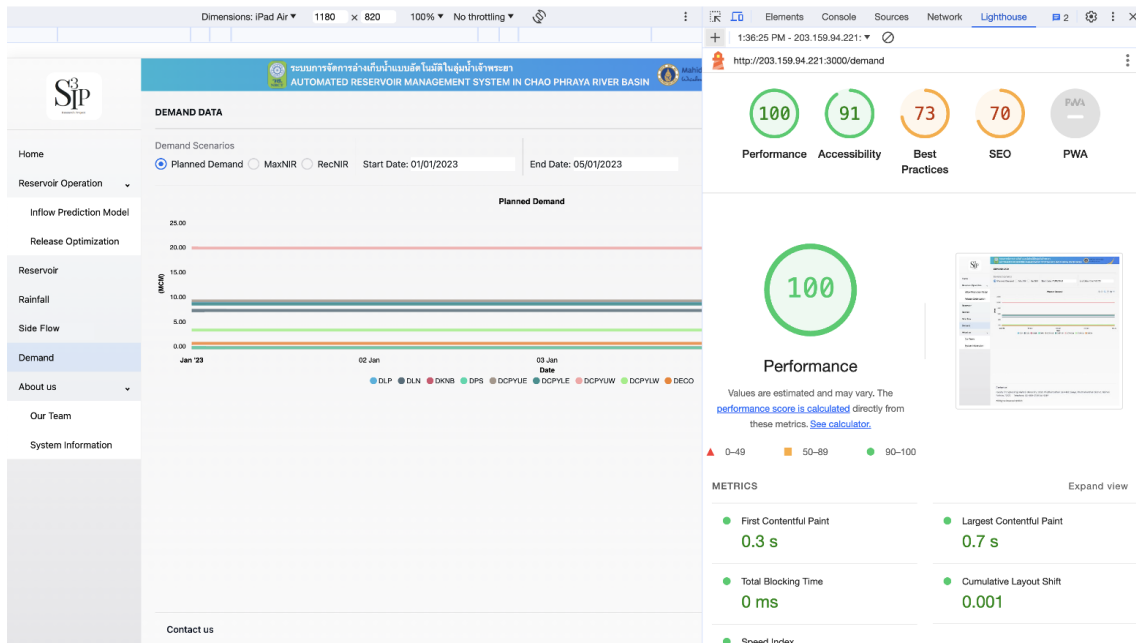




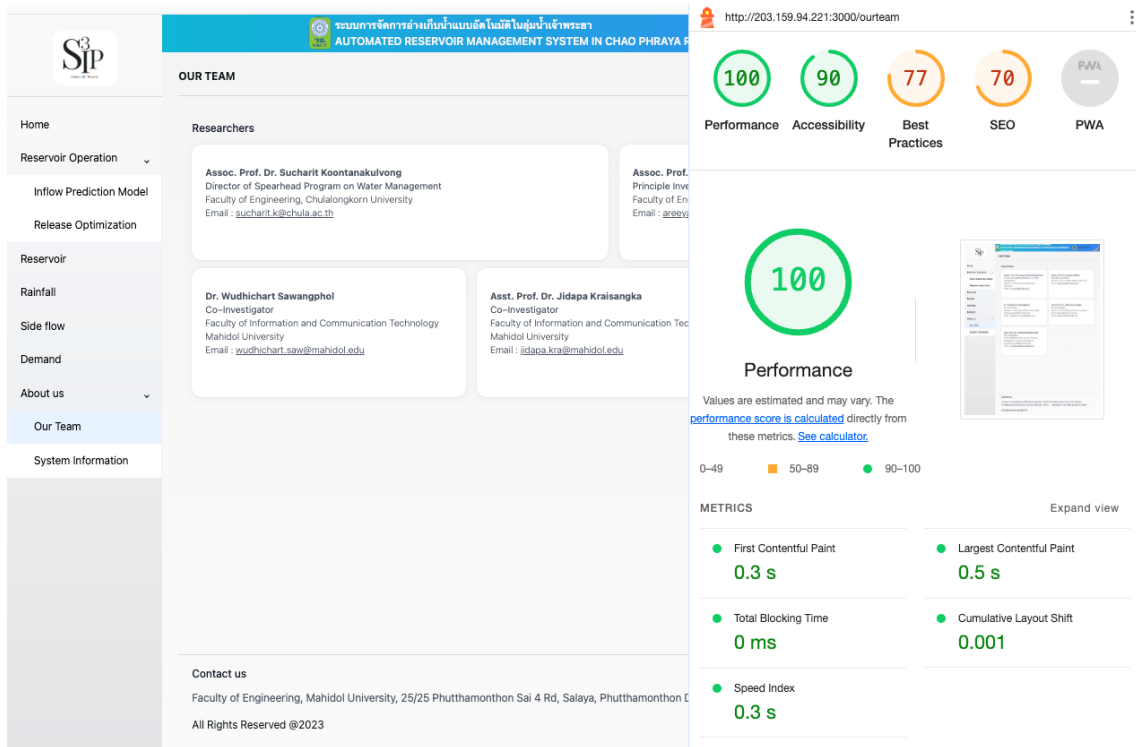
ภาพที่ 4-109 การทดสอบหน้า Rainfall ด้วยเครื่องมือ Lighthouse



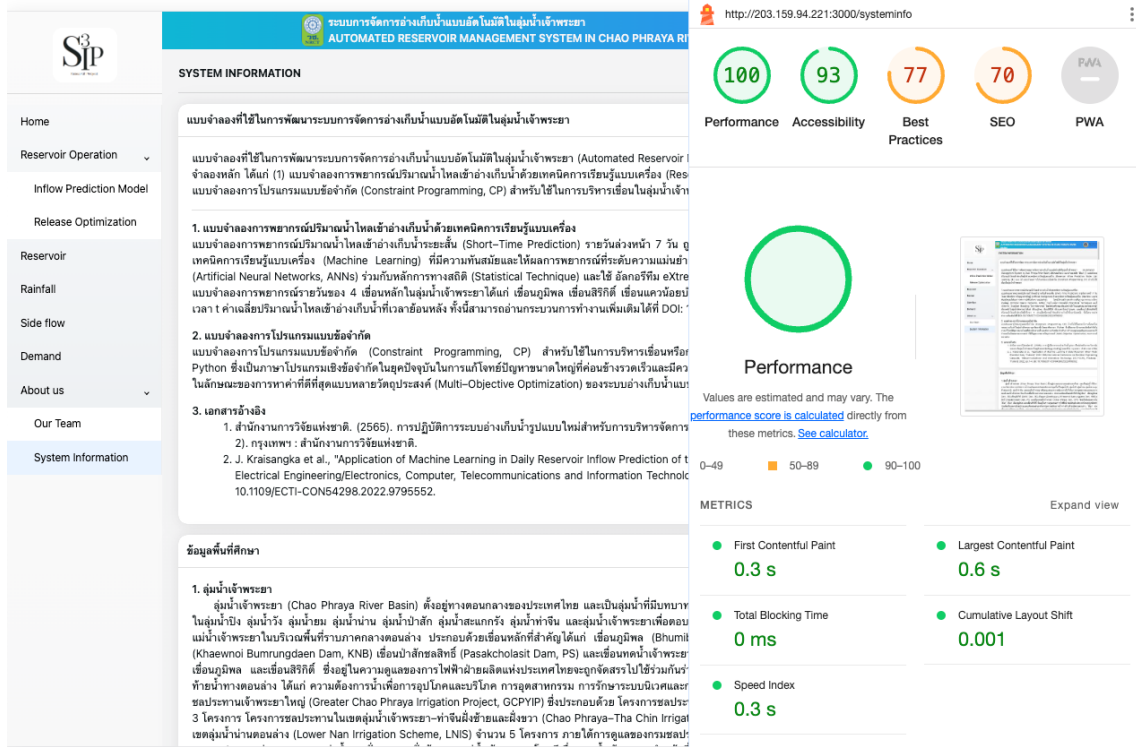
ภาพที่ 4-110 การทดสอบหน้า Side Flow ด้วยเครื่องมือ Lighthouse



ภาพที่ 4-111 การทดสอบหน้า Demand ด้วยเครื่องมือ Lighthouse



ภาพที่ 4-112 การทดสอบหน้า Our Team ด้วยเครื่องมือ Lighthouse



ภาพที่ 4-113 การทดสอบหน้า System Information ด้วยเครื่องมือ Lighthouse

ทางทีมวิจัยได้สรุปผลการทดสอบในตารางที่ 4-11 หากหน้าเว็บได้มีคะแนนอย่างน้อย 85 คะแนน จะถือว่าผ่านการทดสอบจากผลการทดสอบ โดยพบว่า ในหัวข้อ Performance มีคะแนนที่สูงและสามารถเรนเดอร์หน้าได้อย่างรวดเร็ว โดยมีหน้า Dam ที่อาจจะได้รับการปรับปรุงให้มีความเร็วในการแสดงผลที่มากขึ้นในอนาคต ในด้านการเข้าถึงจะยังต้องมีการสำรวจข้อมูลแทรกเพื่อให้มีการใช้ Screen Reader อ่านหน้าข้อมูลได้ง่ายขึ้นในอนาคต ในส่วนของ Search Engine Optimization หรือ SEO จะไม่อยู่ในขอบเขตของการพัฒนาระบบแสดงข้อมูลนี้

ตารางที่ 4-11 ผลการทดสอบประสิทธิภาพด้วยเครื่องมือ Lighthouse ของระบบ

หน้าเว็บ	Performance (100)	Accessibility (100)	Best Practices (100)	SEO (100)
Landing Page (Home)	100	90	77	70
Inflow Prediction	96	91	77	70
Release Optimization	99	84	77	70
Reservoir	94	91	73	70
Rainfall	100	91	77	70
Side Flow	100	91	77	70
Demand	100	91	73	70
Our Team	100	91	77	70
System Information	100	93	77	70

หน้าเว็บ	Performance (100)	Accessibility (100)	Best Practices (100)	SEO (100)
ค่าเฉลี่ย	98.7	90.3	76.1	70

#### 4.4 การถ่ายทอดผลงานวิจัยกับหน่วยงานผู้ใช้ประโยชน์

งานวิจัยนี้คาดว่าจะดำเนินการถ่ายทอดผลงานวิจัยให้กับเจ้าหน้าที่ฝ่ายปฏิบัติการของหน่วยงานผู้ใช้ประโยชน์ได้แก่ กรมชลประทาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และสำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ จำนวนกว่า 20 คน ได้ในช่วงเดือนมีนาคม 2567 หลังการดำเนินงานวิจัยแล้วเสร็จ

## บทที่ 5 อภิปรายและวิจารณ์ผล

### 5.1 สรุปผลโครงการวิจัยระยะที่ 1-2 และสรุปผลงานวิจัยในแผนงานวิจัยที่ 3

#### 5.1.1 โครงการวิจัยระยะที่ 1-2 งานบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำ

โครงการวิจัยระยะที่ 1 เรื่อง “โครงการกลยุทธ์การปรับเปลี่ยนแนวทางการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำสำหรับพัฒนาการบริหารจัดการน้ำต้นทุนในระยะยาวของเขื่อนภูมิพล (ระยะที่ 1)” ดำเนินการโดยทีมวิจัยมหาวิทยาลัยมหิดล ถูกพัฒนาขึ้นภายใต้แผนงานยุทธศาสตร์ของโครงการวิจัยเข้มมุ่ง ด้านสังคม การบริหารจัดการน้ำ ประจำปีงบประมาณ 2562 สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ โดยทีมวิจัยได้ทำการออกแบบและพัฒนาแบบจำลองการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำโดยอาศัยเทคโนโลยีด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่มาช่วยในการบริหารเขื่อนเพื่อเพิ่มศักยภาพของน้ำต้นทุนระยะยาวของเขื่อนภูมิพล (กรณีอ่างเดียว) ทีมวิจัยได้นำเสนอ 2 แบบจำลองได้แก่ (1) แบบจำลองฟัซซีลอจิก (Conventional Fuzzy Logic Model) และ (2) แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming) ในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำของเขื่อนภูมิพลเพื่อทำการกำหนดปริมาณการระบายน้ำรายวัน และทำการทดสอบประสิทธิผลในแง่ของการเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนระหว่างปี พ.ศ. 2543-2561 ซึ่งตั้งเป้าหมายที่จะเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนให้ได้ 15% จากค่าเฉลี่ยระยะยาว ผลการวิจัยให้ข้อสรุปที่สำคัญดังนี้

##### 5.1.1.1 แบบจำลองฟัซซีลอจิก (Conventional Fuzzy Logic Model)

- (1) กรณีกำหนดปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมายตามแผนการจัดสรรน้ำของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (สภาพจริง) ผลการจำลองพบว่า การใช้แบบจำลองฟัซซีลอจิกในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำสามารถเพิ่มปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำได้ถึงประมาณ 1,167 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี โดยสามารถเพิ่มปริมาณน้ำเก็บกักในช่วงฤดูแล้งได้เพิ่มขึ้น 11.57% เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำเก็บกักจริงในช่วงฤดูแล้งระหว่างปี พ.ศ. 2543-2561 ยิ่งไปกว่านั้น แบบจำลองฟัซซียังสามารถเพิ่มการผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำได้สูงขึ้นไปจนถึง 249.54 กิกะวัตต์-ชั่วโมงต่อปี โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำในช่วงฤดูฝนที่เพิ่มสูงขึ้น
- (2) กรณีปรับลดพื้นที่เพาะปลูกของโครงการเจ้าพระยาใหญ่ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555-2561 โดยแนะนำให้พื้นที่เพาะปลูกฤดูฝนเท่ากับ 7 ล้านไร่ พื้นที่เพาะปลูกฤดูแล้ง 5 ล้านไร่ ในปีน้ำมาก พื้นที่เพาะปลูกฤดูฝนเท่ากับ 6 ล้านไร่ พื้นที่เพาะปลูกฤดูแล้ง 4 ล้านไร่ ในปีน้ำปกติ และพื้นที่เพาะปลูกฤดูฝนเท่ากับ 5 ล้านไร่ พื้นที่เพาะปลูกฤดูแล้ง 2 ล้านไร่ ในปีน้ำน้อย ผลการจำลองพบว่า การใช้แบบจำลองฟัซซีลอจิกสามารถเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนของเขื่อนภูมิพลในช่วงฤดูแล้งสูงถึง +16.15% เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำเก็บกักจริงในช่วงฤดูแล้งระหว่างปี พ.ศ. 2543-2561
- (3) กรณีพิจารณาปริมาณ Side Flow สถานี W.4A ในการกำหนดการระบายน้ำจากเขื่อนภูมิพล และ กำหนดปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมายตามแผนการจัดสรรน้ำของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ผลการจำลองพบว่า การใช้แบบจำลองฟัซซีลอจิกในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำสามารถเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนของเขื่อนภูมิพลในช่วงฤดูแล้งสูงถึง +19.37% เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำเก็บกักจริงในช่วงฤดูแล้งระหว่างปี พ.ศ. 2543-2561

- (4) สาเหตุที่แบบจำลองพีชชีสามารถจำลองกระบวนการตัดสินใจในการระบายน้ำจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพลได้ดี เนื่องจากแบบจำลองถูกออกแบบให้มีระบบกลไกควบคุมการระบายน้ำ 3 โมดูล คือ (1) กลไกการระบายน้ำในช่วงฤดูแล้ง (2) กลไกการระบายน้ำฤดูฝน และ (3) กลไกการปรับแก้ค่าการระบายน้ำ โดยช่วงฤดูแล้งแบบจำลองพิจารณาการระบายน้ำจากข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ และปริมาณความต้องการน้ำ ส่วนช่วงฤดูฝนพิจารณาปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสะสมที่พยากรณ์ไว้ล่วงหน้า 7 วัน ปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำ และระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ นอกจากนี้ แบบจำลองออกแบบและพัฒนาโดยได้ประมาณค่าการระบายน้ำและมีกลไกในการปรับแก้ค่าปริมาณการระบายน้ำโดยพิจารณาจากสภาพน้ำในลำน้ำที่อยู่ท้ายน้ำ และระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ ส่งผลให้สามารถลดปริมาณน้ำระบายจากเขื่อนลงได้ส่วนหนึ่งและเก็บกักน้ำในส่วนนี้ไว้ในอ่างสำหรับใช้ในฤดูแล้ง

#### 5.1.1.2 แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming)

- (1) กรณีกำหนดสมการข้อจำกัดรายปี และกำหนดปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมายตามแผนการจัดสรรน้ำของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (สภาพจริง) ผลการจำลองพบว่า การใช้แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ สามารถเพิ่มปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำได้ถึงประมาณ 956 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี โดยสามารถเพิ่มปริมาณน้ำเก็บกักในช่วงฤดูแล้งได้เพิ่มขึ้น 10.36% เมื่อเปรียบเทียบกับผลการระบายน้ำจริงในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2543-2561 ยิ่งไปกว่านั้น แบบจำลองการโปรแกรมเชิงข้อจำกัดยังสามารถเพิ่มการผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำได้สูงขึ้นถึง 90.89 กิกะวัตต์-ชั่วโมงต่อปี โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำในช่วงฤดูฝนที่เพิ่มสูงขึ้น
- (2) กรณีกำหนดสมการข้อจำกัดรายฤดูกาล และกำหนดปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมายตามแผนการจัดสรรน้ำของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (สภาพจริง) ผลการจำลองพบว่า การใช้แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ สามารถเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนของเขื่อนภูมิพลในช่วงฤดูแล้งสูงถึง +9.41% เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำเก็บกักจริงในช่วงฤดูแล้งระหว่างปี พ.ศ. 2543-2561
- (3) กรณีกำหนดสมการข้อจำกัดรายฤดูกาล และกำหนดปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมายตามแผนการจัดสรรน้ำของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (สภาพจริง) ร่วมกับพิจารณาปริมาณ Side Flow สถานี W.4A ผลการจำลองพบว่า การใช้แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ สามารถเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนของเขื่อนภูมิพลในช่วงฤดูแล้งสูงถึง +13.12% เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำเก็บกักจริงในช่วงฤดูแล้งระหว่างปี พ.ศ. 2543-2561
- (4) แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดกำหนดแนวทางการระบายน้ำในช่วงฤดูแล้งตามปัจจัยความต้องการน้ำท้ายเขื่อน ในขณะที่ในช่วงฤดูฝนจะพิจารณากำหนดการระบายน้ำตามปัจจัยของสถานะน้ำต้นทุนในอ่างเก็บน้ำขณะนั้นและปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำพยากรณ์ล่วงหน้า 3 เดือน นอกจากนี้ แบบจำลองการโปรแกรมข้อจำกัดได้กำหนดให้ปริมาณการระบายน้ำในช่วงฤดูแล้งคิดเป็น 80% ของปริมาณความต้องการน้ำทั้งหมดซึ่งหักลบ 50% ของปริมาณ Side Flow ทางซ้ายท้ายเขื่อนแล้ว ในทำนองเดียวกัน ในช่วงฤดูฝนกำหนดให้มีการระบายน้ำเท่ากับ 100% ของปริมาณความต้องการน้ำทั้งหมด ซึ่งหักลบ 50% ของปริมาณ Side Flow ทางซ้ายท้ายเขื่อนแล้ว

โครงการวิจัยระยะที่ 2 เรื่อง “การปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำรูปแบบใหม่สำหรับการบริหารจัดการน้ำต้นทุนระยะยาวในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาด้วยเทคนิคปัญญาประดิษฐ์ (ระยะที่ 2)” ถูกพัฒนาขึ้นภายใต้แผนงานยุทธศาสตร์ของโครงการวิจัยเข้มมุ่ง ด้านสังคม การบริหารจัดการน้ำ ประจำปีงบประมาณ 2564 สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ โดยได้ทำการพัฒนาแบบจำลองการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำโดยอาศัยเทคโนโลยีด้านปัญญาประดิษฐ์เพื่อเพิ่มศักยภาพของน้ำต้นทุนระยะยาวของ 4 เขื่อนหลักในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา ได้แก่ เขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ โดยได้นำเสนอ 2 แบบจำลองได้แก่ (1) แบบจำลองการเรียนรู้แบบเสริมกำลัง (Reinforcement Learning Model) และ (2) แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming) และทำการทดสอบประสิทธิผลในแง่ของการปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาในระยะยาวระหว่างปี พ.ศ. 2543-2561 ซึ่งผลการวิจัยให้ข้อสรุปที่สำคัญดังนี้

- (1) แบบจำลองการเรียนรู้แบบเสริมกำลัง (Reinforcement Learning Model) เหมาะสำหรับใช้ในงานด้านการวางแผนปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำ (Planning) โดยแบบจำลองสามารถหาค่าการระบายน้ำที่ดีที่สุดที่ทำให้ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำทั้งระบบเข้าใกล้ค่าปริมาณน้ำเก็บกักเป้าหมายที่ได้ตั้งค่าไว้รายเดือน ด้วยเหตุนี้ ผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนเส้นปริมาณน้ำเก็บกักเป้าหมายได้ให้สอดคล้องตามสถานการณ์น้ำและเป้าหมายการเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนเมื่อสิ้นสุดฤดูฝน และใช้แบบจำลองการเรียนรู้แบบเสริมกำลังในการหาค่าปริมาณการระบายน้ำรายวันที่เหมาะสมจากอ่างเก็บน้ำ
  - (2) แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming Model, CP) เหมาะสำหรับใช้ในงานด้านการปฏิบัติการ (Operation) โดยงานวิจัยนี้ได้กำหนดรูปแบบของแบบจำลองใน 2 รูปแบบคือ (1) รูปแบบที่ 1 แบบจำลองที่ไม่ได้พิจารณาระยะเวลาในการเดินทางของน้ำในการกำหนดรูปแบบการระบายน้ำจากเขื่อน (Release-Based Model) และ (2) รูปแบบที่ 2 แบบจำลองที่พิจารณาระยะเวลาในการเดินทางของน้ำไปถึงโหนดความต้องการน้ำในแต่ละพื้นที่ในการกำหนดรูปแบบการระบายน้ำจากเขื่อน (Demand-Based Model) และได้กำหนดการตั้งค่าการใช้งานแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดจำนวน 21 กรณี เพื่อจำลองการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำร่วมกันแบบหลายอ่างในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา
- ผลการจำลองในภาพรวมพบว่า สามารถเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนของทั้งระบบสูงขึ้น 1,320-1,340 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี หรือประมาณ 13% เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำเก็บกักจริงในช่วงต้นฤดูแล้งระหว่างปี พ.ศ. 2543-2563 อีกทั้งการพิจารณาศักยภาพของน้ำท่าทางด้านท้ายของเขื่อนหลักโดยกำหนดค่าเท่ากับ 20% ในแบบจำลองทำให้ปริมาณน้ำต้นทุนของทั้ง 4 เขื่อนสูงขึ้นในช่วงระหว่าง 1,107-1,275 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี เมื่อเทียบกับข้อมูลจริง

สำหรับโครงการวิจัยระยะที่ 3 ได้ถูกพัฒนาต่อยอดจากโครงการวิจัยระยะที่ 1 และระยะที่ 2 ภายใต้โครงการวิจัยในชื่อเรื่อง “การพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา” โดยมีเป้าประสงค์ที่จะผลักดันผลงานวิจัยที่ผ่านมาให้เกิดนวัตกรรมระบบการจัดการน้ำจากอ่างเก็บน้ำอัตโนมัติตามนโยบายการพัฒนาประเทศในพื้นที่กลุ่มน้ำเจ้าพระยา โดยนำเสนอแนวความคิดพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติ (Automated Reservoir Management System) ในลักษณะของปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำร่วมกันแบบหลายอ่าง (Multiple Reservoir Re-operation System) รูปแบบใหม่อย่างเป็นระบบโดยอาศัยเทคโนโลยีด้านปัญญาประดิษฐ์ในการบริหารจัดการเขื่อน-อ่างเก็บน้ำเพื่อการแก้ปัญหาอุทกภัยและ

ภัยแล้งทั้งในระยะสั้นและระยะยาวในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา โดยผลการศึกษาศึกษาสามารถพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันของระบบระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่สามารถทำงาน ประมวลผล และแสดงผลลัพธ์บนเว็บเซอร์วิสเพื่อรายงานผลลัพธ์เพื่อแนะนำการระบายน้ำให้ผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องรับทราบ

### 5.1.2 สรุปผลงานวิจัยในแผนงานวิจัยที่ 3

จากความสำเร็จของโครงการวิจัยในแผนงานที่ 3 เรื่อง “การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อเสริมการเพิ่มน้ำต้นทุนของเขื่อนหลักเพื่อการพัฒนาในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา” ระยะที่ 1 และระยะที่ 2 ซึ่งได้กล่าวรายละเอียดไว้ในเนื้อหาบทที่ 1 หัวข้อ 1.1 แล้วนั้น ข้อสรุปของผลการวิจัยจากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยต่าง ๆ และส่งต่อผลลัพธ์มาใช้ในการบริหารจัดการเขื่อน-อ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำเจ้าพระยามีสาระสำคัญดังนี้

#### 5.1.2.1 เทคโนโลยีการคาดการณ์ฝน (Rainfall Forecasting Technology)

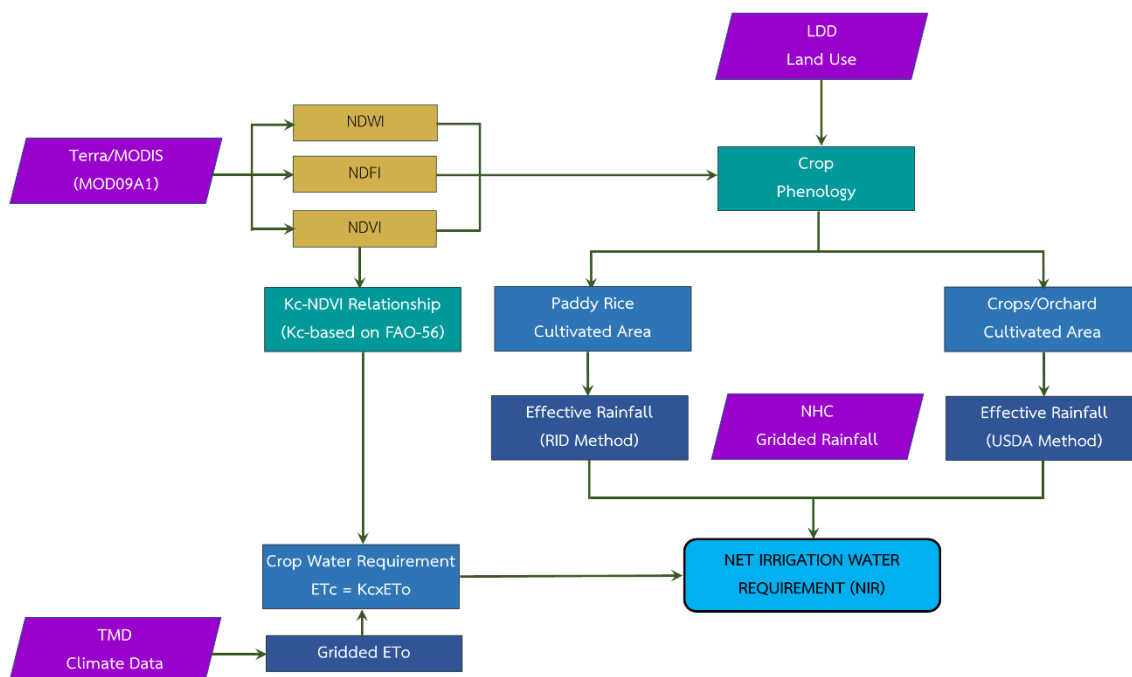
โครงการวิจัยเรื่อง “การวิจัยและพัฒนาระบบคาดการณ์ฝนเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการน้ำในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา” ภายใต้แผนงานวิจัยที่ 3 ดำเนินการโดยสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองคาดการณ์ฝนราย 2 สัปดาห์ (ระยะสั้น) สำหรับใช้ในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ โดยได้พัฒนาแบบจำลองคู่ควบ WRF-ROMS ซึ่งเป็นการทำ Dynamical Downscaling กับข้อมูลคาดการณ์ฝนของ CFSV2 (Climate Forecast System) จาก National Centers for Environmental Prediction (NCEP) และแบบจำลองการคาดการณ์ฝนรายเดือนล่วงหน้า 6 เดือน (ระยะยาว) สำหรับใช้ในการวางแผนการบริหารจัดการน้ำ โดยได้นำเสนอ 3 เทคนิค ได้แก่ (1) CFSV2-BC: ใช้วิธีทางสถิติในการปรับแก้ผลการคาดการณ์ (2) ML-SimIDX2: ใช้วิธี Machine Learning (ML) ในการสร้างแบบจำลองจากดัชนีต่าง ๆ และ (3) Ensemble DL: การรวมแบบจำลองการเรียนรู้ที่มีความแตกต่างกันและเป็นอิสระต่อกันมาเพื่อจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองการคาดการณ์ฝนระยะสั้น 2 สัปดาห์ด้วยแบบจำลอง BC-CFSV2 และแบบจำลอง WRF-ROMS-CFSV2 และแบบจำลองการคาดการณ์ฝนระยะยาว 6 เดือนด้วยแบบจำลอง BC-CFSV2 ในพื้นที่กลุ่มน้ำเจ้าพระยาพบว่า ให้ผลการคาดการณ์ที่มีความแม่นยำในเกณฑ์ดี กล่าวคือ ค่าสัมพัทธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนจากการตรวจวัดและการคาดการณ์อยู่ที่ระดับ 0.60-0.70 นอกจากนี้ การใช้เทคนิค Ensemble Learning (AI) ในการปรับแก้ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนยังสามารถสร้าง One-Map Monthly Rain Forecast ที่มีความแม่นยำมากขึ้นเพื่อสนับสนุนงานบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำและการบริหารจัดการน้ำในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา

#### 5.1.2.2 เทคโนโลยีภาพถ่ายดาวเทียมในการประมาณการความต้องการน้ำชลประทาน

จากศักยภาพของเทคโนโลยีภาพถ่ายดาวเทียม (Satellite Imagery Technology) ที่สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลทรัพยากรได้อย่างต่อเนื่องและมีความน่าเชื่อถือสูง ด้วยเหตุนี้ โครงการวิจัยเรื่อง “โครงการประเมินปริมาณความต้องการน้ำและปริมาณน้ำผิวดิน เพื่อการบริหารจัดการน้ำในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา” ดำเนินการโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เพาะปลูกในเขตพื้นที่โครงการชลประทานเจ้าพระยาใหญ่สำหรับการประมาณการปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิ (Net Irrigation Water Requirement, NIR) ในอดีตถึงปัจจุบัน รวมทั้งคาดการณ์ปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทูล่วงหน้า โดยตั้งฐานข้อมูลฝนคาดการณ์มาร่วมพิจารณาในการประมาณการปริมาณฝนใช้การ (Effective Rainfall) อาจกล่าวได้ว่า ข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำชลประทานที่แท้จริงนับเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการ



พิจารณากำหนดการระบายน้ำจากเขื่อนให้สอดคล้องตามปริมาณน้ำความต้องการน้ำที่ผันแปรในแต่ละช่วงฤดูการเพาะปลูก โดยแนวคิดของการประมาณการปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมได้แสดงไว้ในภาพที่ 5-1



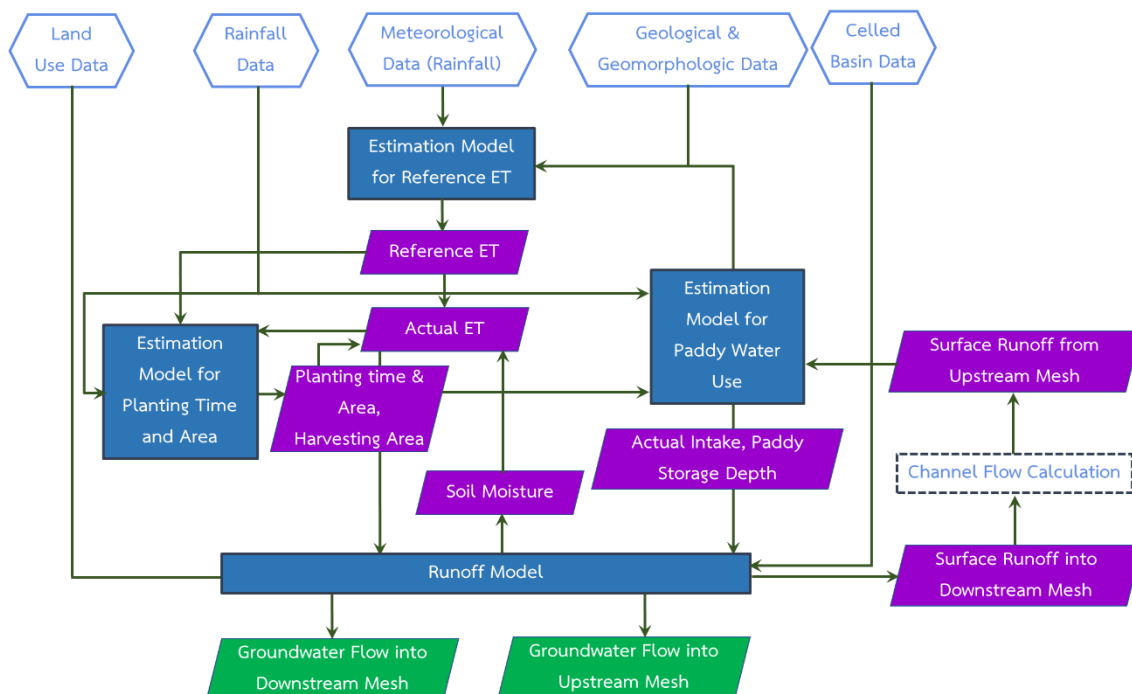
ภาพที่ 5-1 แนวคิดของการประมาณการปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

ผลการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภาพถ่ายดาวเทียมในการประมาณการความต้องการน้ำชลประทานพบว่า ค่าประมาณการปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิ (NIR) ในพื้นที่โครงการชลประทานเจ้าพระยาใหญ่ระหว่างปี พ.ศ. 2544-2566 เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 11,158 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี และที่แนะนำไปใช้ในการจัดสรรน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 8,868 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี และเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 2,750 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี สำหรับใช้พิจารณากำหนดปริมาณน้ำจัดสรรในช่วงปีน้ำน้อยวิกฤต

### 5.1.2.3 แบบจำลองสภาพทางอุทกวิทยาสำหรับใช้ประมาณการปริมาณน้ำท่า

การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ได้รับความนิยมนานเป็นเวลายาวนานตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบันในการจำลองสภาพทางอุทกวิทยาที่เกิดขึ้นในระดับลุ่มน้ำ ซึ่งโครงการวิจัยเรื่อง “โครงการประเมินปริมาณความต้องการน้ำและปริมาณน้ำผิวดิน เพื่อการบริหารจัดการน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยา” ดำเนินการโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภายใต้แผนงานวิจัยที่ 3 นี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง Distributed Water Circulation Model incorporating Agricultural Water Use (DWCM-AgWU) เพื่อจำลองสภาพน้ำฝน-น้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่างสำหรับใช้ประเมินศักยภาพของปริมาณน้ำท่า Side Flow ที่สถานีตรวจวัดหลักทางด้านท้ายเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ และเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน เพื่อนำมาเป็นข้อมูลพิจารณาปรับลดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนลงและเก็บกักน้ำส่วนนี้ไว้ในเขื่อนหลัก หากศักยภาพของข้อมูลน้ำท่า (Potential Side Flow) ทางด้านท้ายเขื่อนมีปริมาณเพียงพอแบบจำลอง DWCM-AgWU เป็นแบบจำลองที่ประเมินพารามิเตอร์แบบกระจายตัวที่ถูกพัฒนาขึ้นเริ่มแรกเพื่อ

ใช้ในการวิเคราะห์การใช้น้ำในลุ่มน้ำแม่โขง (Masumoto et al., 2016) และเหมาะกับการประยุกต์ใช้งานในพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีการเพาะปลูกข้าว โดยโครงสร้างการทำงานของแบบจำลอง DWCM-AgWU แสดงไว้ในภาพที่ 5-2



ภาพที่ 5-2 โครงสร้างการทำงานของแบบจำลอง DWCM-AgWU  
ที่มา: Masumoto et al., 2016

ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพทางอุทกวิทยา DWCM-AgWU สำหรับใช้ประมาณการปริมาณน้ำทำให้ค่าประมาณการของปริมาณน้ำท่า Side Flow ที่สถานีตรวจวัดน้ำท่าหลักในลุ่มน้ำเจ้าพระยาเพื่อสนับสนุนงานบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำพบว่า ปริมาณ Side Flow ที่สถานีตรวจวัดน้ำท่า C.2 ประมาณการในระหว่างเดือนธันวาคม-เมษายนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,430 ล้านลูกบาศก์เมตร อีกทั้งผลการประมาณศักยภาพของการใช้น้ำจากแหล่งน้ำอื่น (Other Sources) ในพื้นที่โครงการชลประทานรายปีเฉลี่ยเท่ากับ 2,020 ล้านลูกบาศก์เมตร (ฤดูฝน 655 ล้านลูกบาศก์เมตร และฤดูแล้ง 1,365 ล้านลูกบาศก์เมตร) โดยแยกเป็นปริมาณน้ำใต้ดินที่สามารถนำมาใช้ได้รายปีเฉลี่ย 804 ล้านลูกบาศก์เมตร และปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็กรายปีเฉลี่ย 1,216 ล้านลูกบาศก์เมตร

#### 5.1.2.4 เทคโนโลยีในการพัฒนาระบบฐานข้อมูลน้ำใต้ดินและการจัดการน้ำใต้ดินร่วมกับน้ำผิวดิน

โครงการวิจัยเรื่อง “การพัฒนาระบบการจัดการน้ำบาดาลสำหรับการวางแผนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการน้ำร่วมกับน้ำผิวดินบริเวณด้านเหนือของที่ราบภาคกลางตอนล่าง” ดำเนินการโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภายใต้แผนงานวิจัยที่ 3 นี้ยังได้พัฒนาเครื่องมือและเทคโนโลยีสำหรับการพัฒนาระบบการจัดการน้ำใต้ดิน โดยได้พัฒนาแบบจำลองน้ำใต้ดิน (Groundwater Flow Model) เพื่อประเมินหาศักยภาพของแหล่งน้ำใต้ดินในเขตพื้นที่ราบภาคกลางตอนล่างครอบคลุม 7 จังหวัดได้แก่ ได้แก่ ชัยนาท สิงห์บุรี ลพบุรี อ่างทอง สุพรรณบุรี สระบุรี และพระนครศรีอยุธยา รวมทั้งเลือก

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาชั้นสูตเป็นพื้นที่ศึกษาในระดับโครงการตัวอย่าง สำหรับใช้ในการวางแผนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการบริหารจัดการน้ำใต้ดินร่วมกับน้ำผิวดิน และบรรเทาความเสียหายจากปัญหาการขาดแคลนน้ำในพื้นที่เกษตรกรรม อีกทั้งหารูปแบบการใช้น้ำใต้ดินร่วมกับน้ำผิวดินที่เหมาะสมตามศักยภาพของน้ำใต้ดินและสถานะของน้ำต้นทุนในเขื่อนหลักของกลุ่มน้ำเจ้าพระยา ผลการศึกษาน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาด้านเหนือของที่ราบภาคกลางตอนล่าง (จังหวัดชัยนาท สิงห์บุรี อ่างทอง พระนครศรีอยุธยา ลพบุรี สระบุรี และสุพรรณบุรี) จากงานวิจัยนี้พบว่า ปริมาณการใช้น้ำใต้ดินระหว่างปี พ.ศ. 2553-2564 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 404 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ปริมาณน้ำใต้ดินที่สามารถใช้ได้ (Groundwater Potential) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 804 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี และปริมาณการเติมน้ำใต้ดินจากน้ำฝน น้ำท่า และชั้นน้ำใต้ดินข้างเคียงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 557 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี

## 5.2 อภิปรายและวิจารณ์ผลการวิเคราะห์สถานการณ์น้ำและแนวทางการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา

สถานการณ์น้ำต้นทุนของ 4 เขื่อนหลักในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาได้แก่ เขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ตั้งแต่ต้นปีเดือนมกราคมถึงกลางเดือนกันยายนปี พ.ศ. 2566 พบว่า มีปริมาณน้ำเก็บกักใช้การค่อนข้างน้อย และมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากปริมาณน้ำถูกจัดสรรไปใช้ในช่วงการเพาะปลูกฤดูแล้งปี 2565/2566 ส่งผลให้ในช่วงต้นเดือนพฤษภาคมที่ผ่านมา ปริมาณน้ำเก็บกักใช้การของ 4 เขื่อนหลักมีค่าเท่ากับ 6,502 ล้านลูกบาศก์เมตร ในขณะที่แผนการจัดสรรน้ำในช่วงการเพาะปลูกฤดูฝนปี 2566 กำหนดไว้ที่ 5,000 ล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งบ่งชี้ให้เห็นถึงแนวโน้มที่จะบริหารจัดการน้ำภายใต้ต้นทุนที่มีอยู่จำกัด และคาดว่าจะส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำต้นทุนจากอ่างเก็บน้ำที่จะจัดสรรไปใช้ได้ไม่เพียงพอตลอดช่วงการเพาะปลูกฤดูแล้ง 2566/2567 อย่างไรก็ตาม จากสภาพความแปรปรวนของข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในช่วงเดือนสิงหาคมถึงพฤศจิกายนพบว่า เหตุการณ์ฝนตกหนักติดต่อกันในช่วงปลายฤดูของการเพาะปลูกฤดูฝน ส่วนหนึ่งกลายเป็นฝนใช้การในพื้นที่โครงการชลประทานเจ้าพระยาใหญ่ที่สามารถช่วยลดปริมาณน้ำที่จะต้องระบายจากเขื่อนหลักลงได้ และมีปริมาณน้ำส่วนหนึ่งไหลลงอ่างเก็บน้ำกลายเป็นน้ำต้นทุนหลักที่จะจัดสรรน้ำไปใช้ในระหว่างการเพาะปลูกฤดูแล้ง 2566/2567 (พฤศจิกายน 2566-เมษายน 2567) ส่งผลให้ในช่วงต้นฤดูแล้งเดือนพฤศจิกายนมีปริมาณน้ำเก็บกักใช้การจากเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์เพิ่มขึ้นเป็น 9,727 ล้านลูกบาศก์เมตร ณ วันที่ 11 พฤศจิกายน 2566 และเพียงพอสำหรับใช้ตามแผนการจัดสรรน้ำในช่วงการเพาะปลูกฤดูแล้ง 2566/2567 ที่กำหนดไว้ที่ 6,100 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยในจำนวนนี้เป็นปริมาณน้ำจัดสรรข้ามลุ่มจากลุ่มน้ำแม่กลองเท่ากับ 500 ล้านลูกบาศก์เมตร

อย่างไรก็ดี แนวทางการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาในช่วงปลายเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนพฤศจิกายน 2566 ยังคงอยู่ภายใต้ความเสี่ยง เนื่องจากสภาพความแปรปรวนที่ค่อนข้างสูงของข้อมูลฝนในพื้นที่และปัจจัยปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ส่งผลให้ปริมาณน้ำเก็บกักของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนและเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์อยู่ในสถานะเต็มความจุอ่างเก็บน้ำโดยมีปริมาณน้ำเก็บกักใช้การอยู่ที่ 101% และ 104% ตามลำดับ ตามที่ได้รายงานข้อมูลไว้โดยคลังข้อมูลน้ำแห่งชาติ เมื่อวันที่ 11 พฤศจิกายน 2566 ด้วยเหตุนี้ ภาวะเสี่ยงภัยน้ำท่วมทางด้านท้ายเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์และด้านท้ายเขื่อนเจ้าพระยาในพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซากยังต้องติดตามและเฝ้าระวังอย่างใกล้ชิดในช่วงปลายปี 2566 นี้ ทั้งนี้เพื่อบรรเทาความเสียหายจากเหตุการณ์น้ำท่วมรุนแรงให้เกิดผลกระทบและความเสียหายทางเศรษฐกิจของประเทศ

### 5.3 อภิปรายและวิจารณ์ผลการดำเนินงานกิจกรรม MANUAL CO-RUN

เนื่องจากแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดถูกออกแบบและพัฒนาสำหรับใช้ในการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำในระบบอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยา โดยมีเป้าหมายหลักที่จะเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนจากระบบให้สูงขึ้นเป็น 15% จากค่าเฉลี่ยระยะยาวทั้งหมด ซึ่งกำหนดให้การตัดสินใจระบายน้ำล่วงหน้าในช่วงเวลาต่าง ๆ ในปริมาณที่แตกต่างกันอยู่บนพื้นฐานของสถานะน้ำต้นทุนที่มีอยู่ และความถูกต้องและความแม่นยำของข้อมูล 4 ส่วนหลักที่ได้จากการพยากรณ์และจากการคาดการณ์ล่วงหน้า 14 วันได้แก่ (1) ข้อมูลพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำของ 4 เขื่อนหลักจากแบบจำลองการเรียนรู้แบบเครื่อง (2) ข้อมูลคาดการณ์ปริมาณ Side Flow ของสถานีตรวจวัดน้ำท่า W.4A และ Y.17 จากแบบจำลองอุทกวิทยา (3) ข้อมูลพยากรณ์ฝนเหนือเขื่อนของ 4 เขื่อนหลักจากแบบจำลอง BC-CFSV2 และ (4) ข้อมูลคาดการณ์ปริมาณความต้องการน้ำในพื้นที่โครงการชลประทาน 3 สถานการณ์โดยอาศัยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อติดตามขนาดพื้นที่เพาะปลูกสำหรับใช้ในการประมาณการหาค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (Crop Evapotranspiration) และปริมาณน้ำชลประทานสุทธิ (Net Irrigation Water Requirement) ด้วยเหตุนี้ ผลลัพธ์จากการดำเนินงานกิจกรรม MANUAL CO-RUN จากแบบจำลองการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำซึ่งจัดขึ้นในช่วงระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน 2566 ถึงวันที่ 11 พฤศจิกายน 2566 ที่สถานะน้ำต้นทุนเริ่มต้นของ 4 เขื่อนหลักอยู่ในเกณฑ์น้อยและมีปริมาณค่อนข้างจำกัดกับปริมาณความต้องการน้ำในช่วงปลายฤดูการเพาะปลูกฤดูฝนปี 2566 ส่งผลให้ข้อเสนอแนะในการบริหารเขื่อนในลุ่มน้ำเจ้าพระยาจากผล CO-RUN ตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงต้นเดือนกันยายนเป็นไปในทิศทางเดียวกันกล่าวคือ แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดแนะนำให้กำหนดการระบายน้ำตามรูปแบบของข้อมูลความต้องการน้ำ และปรับลดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนลงตามเงื่อนไขของ Potential Side Flow ที่สามารถดึงมาใช้ได้ ส่งผลให้แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดแนะนำให้ระบายน้ำของทุกเขื่อนล่วงหน้าในเกณฑ์ต่ำสุดเพื่อประหยัดน้ำไว้ในอ่างเก็บน้ำ อย่างไรก็ตาม ในช่วงปลายเดือนกันยายนถึงกลางเดือนพฤศจิกายนที่ปริมาณฝนมีแนวโน้มสูงขึ้นทั้งเหนือเขื่อนและท้ายเขื่อน ด้วยเหตุนี้ แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดจึงแนะนำให้ระบายน้ำล่วงหน้าจากเขื่อนภูมิพล เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ตามปัจจัยปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่ได้จากผลการพยากรณ์ เพื่อปรับลดปริมาณน้ำเก็บกักลงที่มีแนวโน้มสูงขึ้นเกินระดับเก็บกักปกติ ยกเว้นเขื่อนสิริกิติ์ที่แบบจำลองแนะนำให้ระบายน้ำล่วงหน้าในเกณฑ์ต่ำสุด เนื่องจากปริมาณน้ำเก็บกักใช้การยังอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างน้อย สำหรับรายละเอียดที่สำคัญมีดังนี้

แนวโน้มข้อมูลฝนเหนือเขื่อนและปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจากผลการพยากรณ์ล่วงหน้าด้วยแบบจำลองการเรียนรู้แบบเครื่องที่มีแนวโน้มลดลงจากต้นเดือนถึงปลายเดือนมิถุนายน 2566 ประกอบกับแนวโน้มที่สูงขึ้นของข้อมูลน้ำท่าของสถานี W.4A และ Y.17 ที่นำมาพิจารณาเป็น Potential Side Flow เพื่อใช้ปรับลดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อน ด้วยเหตุนี้ แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดจึงแนะนำให้กำหนดการระบายน้ำในช่วงต้นสัปดาห์แรกของเดือนมิถุนายนตามรูปแบบของข้อมูลความต้องการน้ำ และปรับลดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนลงตามเงื่อนไขของ Potential Side Flow โดยผลรวมปริมาณการระบายน้ำ 4 เขื่อนหลักระหว่างวันที่ 1-5 มิถุนายนมีค่าเท่ากับ 24.02, 21.88 และ 16.67 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับสถานการณ์สมมติ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ เท่านั้น ซึ่งมีค่าต่ำกว่าผลรวมปริมาณน้ำการระบายน้ำจริงเมื่อวันที่ 5 มิถุนายนที่มีค่าเท่ากับ 52.02 ล้านลูกบาศก์เมตร

ในทำนองเดียวกัน ผลการพยากรณ์ข้อมูลฝนเหนือเขื่อนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในช่วงต้นสัปดาห์แรกของเดือนกรกฎาคม และลดปริมาณลงมาในสัปดาห์ที่สอง อย่างไรก็ตาม ผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำด้วยแบบจำลองการการเรียนรู้แบบเครื่องของทั้ง 4 เขื่อนระหว่างวันที่ 3-16 กรกฎาคมนั้นพบว่า ยังอยู่ใน

เกณฑ์น้อย ในขณะที่ข้อมูลน้ำท่าจากการคาดการณ์ล่วงหน้าด้วยแบบจำลองทางอุทกวิทยาของสถานี W.4A และ Y.17 เพื่อนำมาพิจารณาเป็น Potential Side Flow พบว่า ยังพอน้ำส่วนหนึ่งที่สามารถนำมาช่วยปรับลดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนลงได้บางส่วน ด้วยเหตุนี้ แบบจำลอง CP จึงแนะนำให้กำหนดการระบายน้ำในช่วงต้นสัปดาห์แรกและสัปดาห์ที่สองของเดือนกรกฎาคมตามรูปแบบของข้อมูลความต้องการน้ำและปรับลดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนลงตามเงื่อนไขของ Potential Side Flow โดยค่าปริมาณการระบายน้ำรายวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 27 มิถุนายน-9 กรกฎาคมของ 4 เขื่อนหลักเท่ากับ 16.99, 18.55 และ 15.58 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับสถานการณ์สมมติ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าผลรวมปริมาณน้ำการระบายน้ำจริงเมื่อวันที่ 26 มิถุนายนที่มีค่าเท่ากับ 47.29 ล้านลูกบาศก์เมตร

ผลการพยากรณ์ข้อมูลฝนเหนือเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์ยังอยู่ในเกณฑ์น้อยและมีแนวโน้มลดลงในช่วงกลางเดือนกรกฎาคม และลดปริมาณลงมาในช่วงปลายเดือนกรกฎาคมถึงช่วงต้นสัปดาห์แรกของเดือนสิงหาคม ประกอบกับผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนและเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์มีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ ในขณะที่ข้อมูลน้ำท่าจากการคาดการณ์ล่วงหน้าด้วยแบบจำลองทางอุทกวิทยาของสถานี W.4A และ Y.17 เพื่อนำมาพิจารณาเป็น Potential Side Flow พบว่า ยังพอน้ำส่วนหนึ่งที่สามารถนำมาช่วยปรับลดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนลงได้บางส่วน ด้วยเหตุนี้ แบบจำลอง CP จึงแนะนำให้กำหนดการระบายน้ำในช่วงต้นสัปดาห์ที่ 3 และสัปดาห์ที่ 4 ของเดือนกรกฎาคม ถึงสัปดาห์ที่ 1 ของเดือนสิงหาคมตามรูปแบบของข้อมูลความต้องการน้ำและปรับลดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนลงตามเงื่อนไขของ Potential Side Flow โดยค่าปริมาณการระบายน้ำรายวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 3-13 สิงหาคมของ 4 เขื่อนหลักเท่ากับ 18.28, 15.71 และ 14.90 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับสถานการณ์สมมติ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มต่ำกว่าผลรวมปริมาณน้ำการระบายน้ำจริงเมื่อวันที่ 2 สิงหาคมที่มีค่าเท่ากับ 35.75 ล้านลูกบาศก์เมตร

ผลการพยากรณ์ข้อมูลฝนเหนือเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ช่วงต้นเดือนถึงช่วงปลายเดือนสิงหาคมและลดลงเล็กน้อยในช่วงสัปดาห์แรกของเดือนกันยายน โดยเฉพาะอย่างยิ่งฝนพยากรณ์รายสัปดาห์เหนือเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์มีปริมาณอยู่ในเกณฑ์สูงกว่าเขื่อนอื่น ๆ ในขณะที่ข้อมูลน้ำท่าจากการคาดการณ์ล่วงหน้าด้วยแบบจำลองทางอุทกวิทยาของสถานี W.4A และ Y.17 เพื่อนำมาพิจารณาเป็น Potential Side Flow พบว่า ปริมาณน้ำที่จะนำมาช่วยปรับลดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนลงได้อยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างน้อย ด้วยเหตุนี้ แบบจำลอง CP จึงแนะนำให้ระบายน้ำของทุกเขื่อนล่วงหน้าในเกณฑ์ต่ำสุดกล่าวคือ ผลรวมปริมาณการระบายน้ำ 4 เขื่อนหลักระหว่างวันที่ 4-13 กันยายนของ 4 เขื่อนหลักเท่ากับ 13.31, 14.41 และ 13.80 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับสถานการณ์สมมติ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ เท่านั้น ซึ่งมีแนวโน้มต่ำกว่าผลรวมปริมาณน้ำการระบายน้ำจริงเมื่อวันที่ 3 กันยายนที่มีค่าเท่ากับ 29.97 ล้านลูกบาศก์เมตร

ฝนพยากรณ์รายสัปดาห์เหนือเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์พบว่า ตั้งแต่ช่วงกลางเดือนกันยายนถึงกลางเดือนพฤศจิกายน ปริมาณฝนพยากรณ์รายสัปดาห์ยังอยู่ในเกณฑ์สูง และมีแนวโน้มลดลงในช่วงปลายเดือนพฤศจิกายนจนถึงกลางเดือนธันวาคม ซึ่งส่งผลทำให้ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำพยากรณ์ทั้ง 4 เขื่อนหลักมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ปริมาณการระบายน้ำรายวันล่วงหน้าจากแบบจำลอง CP ระหว่างวันที่ 14 กันยายน-16 พฤศจิกายนทั้ง 3 สถานการณ์สมมติ ให้ผลเป็นไปในทำนองเดียวกันกล่าวคือ ปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนภูมิพล เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์มีการกำหนดการระบายน้ำในเกณฑ์สูงตามปัจจัยปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำพยากรณ์และสถานะปริมาณน้ำเก็บ

กักเริ่มต้นที่อยู่ในเกณฑ์สูง ยกเว้นเงื่อนไขที่ที่กำหนดปริมาณน้ำระบายขั้นต่ำในช่วงดังกล่าวเท่ากับ 7 ล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งแนวทางการระบายน้ำของเขื่อนภูมิพลจากแบบจำลอง CP ให้ผลแตกต่างไปจากการปฏิบัติงานจริงที่กำหนดปริมาณน้ำระบายขั้นต่ำเท่ากับ 3 ล้านลูกบาศก์เมตร ด้วยเหตุนี้ การนำแบบจำลอง CP ไปใช้งานในสถานการณ์น้ำดังกล่าวนี้ จึงจำเป็นต้องกำหนดให้ระดับน้ำของเขื่อนภูมิพลไม่เกิน URC เพื่อไม่ให้ระดับน้ำเก็บกักเกินระดับเก็บกักปกติและลดความเสี่ยงของการระบายน้ำผ่านอาคารระบายน้ำล้น

#### 5.4 อภิปรายและวิจารณ์ผลการออกแบบและพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา

ระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นในลักษณะระบบกระจาย (Distributed System) เพื่อให้สะดวกต่อการทำงาน และทำให้ระบบมีความเป็นโมดูล (Modularity) ในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน โดยจะใช้การเชื่อมโยงข้อมูลผ่านทางเว็บเซอร์วิส หรือ API โดยระบบนี้จะแบ่งออกเป็น 4 โมดูลย่อยดังนี้

- (1) โมดูลส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (API Data Module)
- (2) โมดูลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Inflow Prediction Module)
- (3) โมดูลการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำ (Dam-Reservoir Operation Module)
- (4) โมดูลการแสดงผลข้อมูล (Data Visualization Module)

นอกจากนี้ ข้อเสนอแนะจากหน่วยงานผู้ใช้ประโยชน์จากผลของการจัดประชุมระดมสมองเพื่อสำรวจความต้องการและรวบรวมความคิดเห็นส่วนหนึ่งถูกนำมาใช้ในการพัฒนาและปรับปรุงระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาตามกรอบเวลาของการดำเนินงานวิจัยไม่ว่าจะเป็น การแสดงผลข้อมูลนำเข้า การแสดงผลของข้อมูลฝนพยากรณ์เหนือเขื่อน และข้อมูลฝนตรวจวัดเหนือเขื่อนของกรมอุตุนิยมวิทยา การแสดงผลการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองและข้อมูลตรวจวัดจริงได้แก่ ข้อมูลฝน ข้อมูลปริมาณการระบายน้ำ ข้อมูลปริมาณน้ำเก็บกัก และการแสดงผลในลักษณะของ GIS-Based Visualization อย่างไรก็ดี การพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาเป็นการแสดงผลข้อมูลในลักษณะ Map-Based Visualization ที่ยังไม่ Interactive โดยที่สาระสำคัญหลักของการแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่ยังครบถ้วนประกอบด้วย ระบบเขื่อน อ่างเก็บน้ำ แม่น้ำ สถานีตรวจวัดน้ำท่าหลักที่ใช้ในการพิจารณาศักยภาพของ Potential Side Flow และโครงการชลประทาน

## บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 6.1 สรุปผลการวิจัย

#### 6.1.1 ผลการปรับปรุงการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาผ่านกิจกรรม CO-RUN โดยอาศัยข้อมูลจริงปัจจุบัน

ผลการปรับปรุงการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาผ่านกิจกรรม CO-RUN โดยอาศัยข้อมูลจริงปัจจุบันซึ่งดำเนินการระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน 2566 ถึง วันที่ 24 พฤศจิกายน 2566 ซึ่งครอบคลุมวิกฤตน้ำน้อยในช่วงระหว่างสัปดาห์ 1-11 และวิกฤตน้ำมากในช่วงระหว่างสัปดาห์ 12-16 ตามที่ได้สรุปสถานการณ์น้ำไว้ในตารางที่ 6-1 ผลการวิจัยได้ทำการวิเคราะห์ในรูปของปริมาณการระบายน้ำรายวัน อัตราการส่วนการระบายน้ำ และผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำโดยได้สรุปไว้ตารางที่ 6-2 ถึงตารางที่ 6-4 ดังนี้

**ตารางที่ 6-1** สถานการณ์น้ำของ 4 เขื่อนหลักในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาระหว่างกิจกรรม CO-RUN

สัปดาห์ที่	ช่วงเวลา	สถานการณ์น้ำในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา
1-2	วันที่ 1 มิถุนายน 2566 ถึงวันที่ 15 มิถุนายน 2566	วิกฤตน้ำน้อย: น้ำของทั้ง 4 เขื่อนอยู่ในเกณฑ์น้อย กล่าวคือ ปริมาณน้ำเก็บกักเริ่มต้นของ BB, SK, KNB และ PS เท่ากับ 35.74%, 17.11%, 16.23%, 13.83% ตามลำดับ (ข้อมูล BB & SK ณ วันที่ 5 มิถุนายน 2567 และข้อมูล KNB & PS ณ วันที่ 14 มิถุนายน 2567)
3-4	วันที่ 26 มิถุนายน 2566 ถึงวันที่ 9-16 กรกฎาคม 2566	วิกฤตน้ำน้อย: น้ำของทั้ง 4 เขื่อนอยู่ในเกณฑ์น้อยลง กล่าวคือ ปริมาณน้ำเก็บกักเริ่มต้นของ BB, SK, KNB และ PS เท่ากับ 26.83%, 13.37%, 15.04%, 12.87% ตามลำดับ (ข้อมูล BB & SK ณ วันที่ 2 กรกฎาคม 2567 และข้อมูล KNB & PS ณ วันที่ 26 มิถุนายน 2567)
5-8	วันที่ 26 กรกฎาคม 2566 ถึงวันที่ 13-21 สิงหาคม 2566	วิกฤตน้ำน้อย: น้ำของทั้ง 4 เขื่อนอยู่ในเกณฑ์น้อยลง กล่าวคือ ปริมาณน้ำเก็บกักเริ่มต้นของ BB, SK, KNB และ PS เท่ากับ 20.17%, 21.58%, 14.06%, 9.27% ตามลำดับ (ข้อมูล ณ วันที่ 13 สิงหาคม 2567)
9-11	วันที่ 22 สิงหาคม 2566 ถึงวันที่ 13-17 กันยายน 2566	วิกฤตน้ำน้อย: น้ำของทั้ง 4 เขื่อนอยู่ในเกณฑ์น้อย แต่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในเขื่อน BB, SK และ KNB กล่าวคือ ปริมาณน้ำเก็บกักเริ่มต้นของ BB, SK, KNB และ PS เท่ากับ 20.61%, 28.22%, 19.30%, 7.61% ตามลำดับ (ข้อมูล ณ วันที่ 13 กันยายน 2567)
12-16	วันที่ 18 กันยายน 2566 ถึงวันที่ 24 พฤศจิกายน 2566	วิกฤตน้ำมาก: น้ำของทั้ง 4 เขื่อนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจากปัจจัยพายุฝนที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่เพิ่มสูงขึ้นในช่วงระยะเวลาอันสั้นกล่าวคือ ปริมาณน้ำเก็บกักเริ่มต้นของ BB, SK, KNB และ PS เท่ากับ 50.81%, 44.88%, 94.55%, 81.74% ตามลำดับ (ข้อมูล BB & SK ณ วันที่ 15 ตุลาคม 2567 และข้อมูล KNB & PS ณ วันที่ 26 ตุลาคม 2567)

## (1) ปริมาณการระบายน้ำเฉลี่ยรายวัน

จากข้อมูลสรุปในตารางที่ 6-2 พบว่า ในช่วงวิกฤตน้ำน้อยระหว่างสัปดาห์ 1-11 แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดได้พิจารณาปรับลดปริมาณการระบายน้ำรายวันจากทั้ง 4 เชื้อนลงน้อยกว่าปริมาณการระบายน้ำจริงทั้งระบบ ทั้งนี้เนื่องจากการกำหนดปริมาณการระบายน้ำจากแบบจำลองในช่วงวิกฤตน้ำน้อยนั้น พิจารณาจากปัจจัยปริมาณความต้องการน้ำที่ได้จากการคำนวณทั้งในกรณีสถานการณ์สมมติ 1, 2 และปริมาณความต้องการน้ำที่ขอรับการจัดสรรน้ำจากเชื้อนในกรณีสถานการณ์สมมติ 3 ซึ่งผลการคำนวณนั้นได้นำปัจจัยผลใช้การมาพิจารณาปรับลดปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิไปแล้วส่วนหนึ่ง อีกทั้งอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญในการพิจารณาปรับลดปริมาณการระบายน้ำจากเชื้อนลงคือ ปริมาณน้ำ Potential Side Flow ของสถานีตรวจวัดหลักทางด้านท้ายเชื้อน ซึ่งในแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดนี้ได้กำหนดเปอร์เซ็นต์ Potential Side Flow ไว้ที่ 20% ของสถานีตรวจวัด W.4A, Y.17 และ N.22A ด้วยเหตุนี้ ส่งผลให้ปริมาณการระบายน้ำเฉลี่ยรายวันของ 4 เชื้อนหลักในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาจึงมีปริมาณน้อยกว่าปริมาณการระบายน้ำจริง และส่งผลต่อเนื่องให้ปริมาณน้ำเก็บกักในเชื้อนหลักที่ได้จากแบบจำลองมีแนวโน้มสูงกว่าปริมาณน้ำเก็บกักจริงสำหรับนำไปใช้ในช่วงฤดูการเพาะปลูกถัดไป

ตารางที่ 6-2 ปริมาณการระบายน้ำเฉลี่ยรายวันของ 4 เชื้อนหลักในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา

สัปดาห์ ที่	ปริมาณการระบายน้ำเฉลี่ยรายวันจริง (ล้าน ลบ.ม.)					ปริมาณการระบายน้ำเฉลี่ยรายวันจากแบบจำลอง CP สถานการณ์สมมติ 1 (S1) (ล้าน ลบ.ม.)				
	BB	SK	KNB	PS	Total	BB	SK	KNB	PS	Total
1-2	30.44	15.79	1.93	1.30	49.46	11.78	10.75	1.45	0.04	24.02
3-4	29.94	15.00	1.30	1.04	47.28	14.97	9.93	1.56	0.06	26.52
5-8	20.38	13.03	1.30	1.04	35.75	9.08	7.47	1.15	0.57	18.28
9-11	17.62	10.01	1.30	1.04	29.97	5.00	7.00	1.00	0.31	13.31
12-16	3.03	7.05	1.30	8.65	20.03	52.14	7.00	1.31	3.23	63.68
สัปดาห์ ที่	ปริมาณการระบายน้ำเฉลี่ยรายวันจากแบบจำลอง CP สถานการณ์สมมติ 2 (S2) (ล้าน ลบ.ม.)					ปริมาณการระบายน้ำเฉลี่ยรายวันจากแบบจำลอง CP สถานการณ์สมมติ 3 (S3) (ล้าน ลบ.ม.)				
	BB	SK	KNB	PS	Total	BB	SK	KNB	PS	Total
1-2	11.01	9.42	1.41	0.04	21.88	8.34	7.00	1.29	0.04	16.67
3-4	16.15	10.12	1.75	0.06	28.08	12.01	7.08	1.64	0.06	20.79
5-8	7.60	7.00	1.04	0.06	15.71	6.81	7.00	1.03	0.06	14.90
9-11	6.36	7.00	1.00	0.05	14.41	5.75	7.00	1.00	0.05	13.80
12-16	52.14	7.00	1.31	7.51	67.96	52.14	7.00	1.31	5.35	65.79

หมายเหตุ: สถานการณ์สมมติ 1 (S1): อาศัยข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยากรณ์ & ข้อมูลความต้องการน้ำตามแผนการจัดสรรน้ำ

สถานการณ์สมมติ 2 (S2): อาศัยข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยากรณ์ & ข้อมูลความต้องการน้ำตามผลการประมาณการด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม (Max. NIR)

สถานการณ์สมมติ 3 (S3): อาศัยข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยากรณ์ & ข้อมูลความต้องการน้ำตามผลการประมาณการด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมร่วมกับอัตราส่วนการจัดสรรน้ำที่แนะนำ (Recommended NIR)

นอกจากนี้ จากการเปรียบเทียบผลการระบายน้ำด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดในช่วงวิกฤตน้ำน้อย เมื่ออาศัยข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยากรณ์เป็นข้อมูลนำเข้า และปรับเปลี่ยนเงื่อนไขของ



ข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำในภาคเกษตรกรรมจำนวน 3 สถานการณ์สมมติได้แก่ สถานการณ์สมมติ 1 (S1) อาศัยข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำตามแผนการจัดสรรน้ำ (WAP) สถานการณ์สมมติ 2 (S2) อาศัยข้อมูลความต้องการน้ำตามผลการประมาณการด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม (Max. NIR) และสถานการณ์สมมติ 3 (S3) อาศัยข้อมูลความต้องการน้ำตามผลการประมาณการด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมร่วมกับอัตราส่วนการจัดสรรน้ำที่แนะนำ (Recommended NIR) โดยที่ข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำนอกภาคเกษตรกรรมนั้นได้กำหนดตามแผนการจัดสรรน้ำทุกกรณี ซึ่งผลการจำลองในสถานการณ์น้ำน้อยพบว่า ปริมาณการระบายน้ำเฉลี่ยรายวันของสถานการณ์สมมติ 1 มีแนวโน้มสูงกว่าสถานการณ์สมมติ 2 อยู่เล็กน้อย (ยกเว้นสัปดาห์ที่ 3-4) และสูงกว่าสถานการณ์สมมติ 3 ซึ่งสะท้อนถึงการบริหารจัดการน้ำภายใต้ข้อจำกัดของปริมาณน้ำต้นทุนในอ่างเก็บน้ำและจำเป็นต้องจัดสรรน้ำจากเขื่อนในปริมาณเท่าที่จำเป็นจริง ๆ

อย่างไรก็ดี ในช่วงวิกฤตน้ำมากระหว่างสัปดาห์ 12-16 ซึ่งปริมาณน้ำเก็บกักเริ่มต้นของทั้ง 4 เขื่อนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจากปัจจัยพายุฝนที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่เพิ่มปริมาณสูงขึ้นในช่วงระยะเวลาอันสั้น ผลการจำลองพบว่า แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดมีการปรับเพิ่มสัดส่วนปริมาณการระบายน้ำสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการระบายน้ำจริง โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากเขื่อนภูมิพลที่มีการปรับเพิ่มปริมาณการระบายน้ำขึ้นจากปัจจัยการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้า และยังให้ผลเป็นไปในทำนองเดียวกันทั้ง 3 สถานการณ์สมมติที่ปรับเปลี่ยนปัจจัยปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิ ในขณะที่สถานการณ์น้ำต้นทุนของเขื่อนสิริกิติ์ยังอยู่ในเกณฑ์น้อย ด้วยเหตุนี้แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดจึงกำหนดปริมาณการระบายน้ำเฉลี่ยรายวันในเกณฑ์ต่ำสุด และเป็นไปในทำนองเดียวกันกับเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ที่แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดยังคงกำหนดปริมาณการระบายน้ำในเกณฑ์ต่ำ หรือกล่าวสรุปได้ว่า ในช่วงวิกฤตน้ำมากระหว่างนั้น แบบจำลองจะนำปัจจัยปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่ได้จากการพยากรณ์ ประกอบกับสถานะของปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำเริ่มต้นมาพิจารณาเพื่อกำหนดสัดส่วนปริมาณการระบายน้ำที่เหมาะสม โดยมีการปรับเพิ่มปริมาณการระบายน้ำสูงขึ้นหากสถานะของอ่างเก็บน้ำมีแนวโน้มที่จะเต็มอ่าง และมีการปรับลดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนอื่น ๆ ลง หากสถานะของอ่างเก็บน้ำยังอยู่ในเกณฑ์ปกติ

## (2) ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนการระบายน้ำ

ในทำนองเดียวกัน เมื่อทำการวิเคราะห์อัตราส่วนการระบายน้ำของ 4 เขื่อนหลักในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่แสดงผลในตารางที่ 6-3 พบว่า ในช่วงวิกฤตน้ำน้อยระหว่างสัปดาห์ 1-11 อัตราส่วนการระบายน้ำจริงเฉลี่ยของเขื่อนภูมิพลจะสูงกว่าเขื่อนสิริกิติ์อย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่อัตราส่วนการระบายน้ำจริงของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนมีค่าใกล้เคียงกับเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ ซึ่งแตกต่างจากผลที่ได้จากแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดที่อัตราส่วนการระบายน้ำของเขื่อนภูมิพลสูงกว่าเขื่อนสิริกิติ์ไม่มากนักในช่วงต้นสัปดาห์ที่ 1-8 และมีการปรับเพิ่มอัตราส่วนการระบายน้ำของเขื่อนสิริกิติ์สูงขึ้นในช่วงปลายสัปดาห์ที่ 9-11 ในขณะที่อัตราส่วนการระบายน้ำจริงของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนมีค่าสูงกว่ากับเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์อย่างชัดเจน หรืออาจสรุปได้ว่าแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดแนะนำอัตราส่วนการระบายน้ำที่แตกต่างไปจากการระบายน้ำจริงในช่วงสถานการณ์น้ำน้อย จากแนวคิดพื้นฐานในการพัฒนาแบบจำลองและข้อกำหนดของเวลาเดินทางของน้ำที่นำมาประกอบการพิจารณาเพื่อกำหนดค่าการระบายน้ำที่เหมาะสมที่สุด และจัดส่งน้ำไปถึงโหนดความต้องการน้ำต่าง ๆ ตามข้อกำหนดของเวลาเดินทางของน้ำ

ในขณะที่ ในช่วงวิกฤตน้ำมากระหว่างสัปดาห์ 12-16 แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดได้เพิ่มอัตราส่วนการระบายน้ำจากเขื่อนภูมิพลในปริมาณที่สูงขึ้นเพื่อตอบสนองปริมาณความต้องการน้ำในกลุ่ม

เจ้าพระยาจากผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ด้วยเหตุนี้ อัตราการระบายน้ำของเขื่อนภูมิพลจึงสูงถึง 0.82, 0.77 และ 0.79 สำหรับสถานการณ์สมมติ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 6-3 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนการระบายน้ำของ 4 เขื่อนหลักในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา

สัปดาห์ ที่	อัตราส่วนการระบายน้ำจริงเฉลี่ย					อัตราส่วนการระบายน้ำเฉลี่ยจากแบบจำลอง CP สถานการณ์สมมติ 1 (S1) (ล้าน ลบ.ม.)				
	BB	SK	KNB	PS	Total	BB	SK	KNB	PS	Total
1-2	0.62	0.32	0.04	0.03	1.00	0.49	0.45	0.06	0.00	1.00
3-4	0.63	0.32	0.03	0.02	1.00	0.56	0.37	0.06	0.00	1.00
5-8	0.57	0.36	0.04	0.03	1.00	0.50	0.41	0.06	0.03	1.00
9-11	0.59	0.33	0.04	0.03	1.00	0.38	0.53	0.08	0.02	1.00
12-16	0.15	0.35	0.06	0.43	1.00	0.82	0.11	0.02	0.05	1.00
สัปดาห์ ที่	อัตราส่วนการระบายน้ำเฉลี่ยจากแบบจำลอง CP สถานการณ์สมมติ 2 (S2) (ล้าน ลบ.ม.)					อัตราส่วนการระบายน้ำเฉลี่ยจากแบบจำลอง CP สถานการณ์สมมติ 3 (S3) (ล้าน ลบ.ม.)				
	BB	SK	KNB	PS	Total	BB	SK	KNB	PS	Total
1-2	0.50	0.43	0.06	0.00	1.00	0.50	0.42	0.08	0.00	1.00
3-4	0.58	0.36	0.06	0.00	1.00	0.58	0.34	0.08	0.00	1.00
5-8	0.48	0.45	0.07	0.00	1.00	0.46	0.47	0.07	0.00	1.00
9-11	0.44	0.49	0.07	0.00	1.00	0.42	0.51	0.07	0.00	1.00
12-16	0.77	0.10	0.02	0.11	1.00	0.79	0.11	0.02	0.08	1.00

หมายเหตุ: สถานการณ์สมมติ 1 (S1): อาศัยข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยากรณ์ & ข้อมูลความต้องการน้ำตามแผนการจัดสรรน้ำ

สถานการณ์สมมติ 2 (S2): อาศัยข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยากรณ์ & ข้อมูลความต้องการน้ำตามผลการประมาณการด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม (Max. NIR)

สถานการณ์สมมติ 3 (S3): อาศัยข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างพยากรณ์ & ข้อมูลความต้องการน้ำตามผลการประมาณการด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมร่วมกับอัตราส่วนการจัดสรรน้ำที่แนะนำ (Recommended NIR)

### (3) ผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ

ผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำของ 4 เขื่อนหลักในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาตามที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 6-4 พบว่า ผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจากแบบจำลองให้แนวโน้มของข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเป็นไปในทิศทางเดียวกันข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจริง ครอบคลุมทั้งวิกฤตน้ำน้อยและวิกฤตน้ำมาก กล่าวคือ ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำอยู่ในเกณฑ์น้อยในช่วงสัปดาห์ที่ 1-4 และปรับเพิ่มสูงขึ้นในสัปดาห์ที่ 5-11 โดยเฉพาะเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์ และในช่วงสัปดาห์ 12-16 ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำมีแนวโน้มลดลงทั้ง 4 เขื่อนหลัก ด้วยเหตุนี้ จึงส่งผลกระทบต่อข้อกำหนดปริมาณการระบายน้ำจากแบบจำลองที่แตกต่างไปจากผลการปฏิบัติงานจริง อย่างไรก็ตาม ผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำของเขื่อนสิริกิติ์และเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนในช่วงสัปดาห์ที่ 9-11 ซึ่งเป็นช่วงเปลี่ยนแนวโน้มของข้อมูลพบว่า ผลการพยากรณ์ให้ค่าความแม่นยำไม่สูงนักเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจริง และจำเป็นต้องฝึกฝนแบบจำลองใหม่เพื่อเพิ่มระดับความแม่นยำของการพยากรณ์ในช่วงเปลี่ยนแนวโน้มข้อมูล

ตารางที่ 6-4 ผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำของ 4 เขื่อนหลักในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา

สัปดาห์ ที่	ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันเฉลี่ยจริง (ล้าน ลบ.ม.)					ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันเฉลี่ยพยากรณ์ (ล้าน ลบ.ม.)				
	BB	SK	KNB	PS	Total	BB	SK	KNB	PS	Total
1-2 <sup>1/</sup>	0.27	3.76	0.39	0.41	4.83	0.37	1.12	0.09	0.24	1.82
3-4 <sup>2/</sup>	3.85	8.38	1.18	0.48	13.90	1.70	4.31	0.53	0.72	7.27
5-8 <sup>3/</sup>	18.45	51.44	1.65	0.28	71.82	1.85	48.26	0.87	0.68	51.65
9-11 <sup>4/</sup>	50.65	41.12	10.63	2.48	104.87	38.53	16.78	1.18	1.36	57.84
12-16 <sup>5/</sup>	14.65	6.12	1.46	1.48	23.71	22.25	12.07	1.99	2.33	38.64

หมายเหตุ: <sup>1/</sup> ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 6-26 มิถุนายน 2566

<sup>2/</sup> ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 3-16 กรกฎาคม 2566

<sup>3/</sup> ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 3-21 สิงหาคม 2566

<sup>4/</sup> ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 4-17 กันยายน 2566

<sup>5/</sup> ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 12 พฤศจิกายน -2 ธันวาคม 2566

อาจกล่าวโดยสรุปได้ว่า การปรับปรุงการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาผ่านกิจกรรม CO-RUN ทั้งในสถานการณ์น้ำน้อยและน้ำมากด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดที่พัฒนาขึ้นจากงานวิจัยเพื่อกำหนดปริมาณการระบายน้ำที่เหมาะสมทั้ง 4 เขื่อนหลักในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา ภายใต้สมมติฐานของข้อมูลที่น่ามาใช้ประกอบการพิจารณาที่มีความถูกต้องและแม่นยำไม่ว่าจะเป็น ข้อมูลผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ข้อมูลการประมาณการ Potential Side Flow จากแบบจำลองทางอุทกวิทยา และ ข้อมูลประมาณการปริมาณความต้องการน้ำจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง ความถูกต้องการผลลัพธ์จากแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดขึ้นอยู่กับความถูกต้องและความแม่นยำของข้อมูลประกอบการตัดสินใจตามที่สรุปข้างต้น อย่างไรก็ตาม ผลการจำลองทำให้เห็นภาพของการบริหารจัดการน้ำในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่แตกต่างไปจากผลการปฏิบัติงานจริง โดยให้ข้อสรุปที่สำคัญดังนี้

- (1) ในช่วงสถานการณ์น้ำน้อยปี 2566 แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดกำหนดอัตราส่วนการระบายน้ำจากเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์ในอัตราใกล้เคียงกันซึ่งแตกต่างจากผลการปฏิบัติงานจริงที่จัดสรรน้ำจากเขื่อนภูมิพลในอัตราส่วนที่สูงกว่า นอกจากนี้ แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดยังใช้น้ำจาก 2 เขื่อนหลักนี้ในการตอบสนองปริมาณความต้องการน้ำร่วมกันในกลุ่มน้ำเจ้าพระยามากกว่า 90% ซึ่งสอดคล้องกับผลการปฏิบัติงานจริง
- (2) ในช่วงสถานการณ์น้ำมากปี 2566 แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดกำหนดอัตราส่วนการระบายน้ำของเขื่อนหลักแตกต่างไปจากผลการปฏิบัติงานจริง เนื่องจากสถานะอ่างเก็บน้ำเริ่มต้นมีปริมาณน้ำเก็บกักเพิ่มสูงขึ้นจากแนวคิดของการเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนของแบบจำลอง ดังนั้นการเพิ่มปริมาณการระบายน้ำหรือแนวคิดของการพร่องน้ำในอ่างเก็บน้ำในช่วงสถานการณ์น้ำมาก ในขณะเดียวกันยังเป็นการใช้น้ำก่อนเดียวกันเพื่อตอบสนองปริมาณความต้องการน้ำร่วมกันในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาในแบบจำลองนั้นจึงผันแปรแตกต่างกันตามสถานะน้ำต้นทุนเริ่มต้น และผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเป็นสำคัญ
- (3) ผลการจำลองระบบด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดในช่วงสถานการณ์น้ำน้อยปี 2566 ของสถานการณ์สมมติ 1 และสถานการณ์สมมติ 2 ที่กำหนดปริมาณความต้องการน้ำในภาคเกษตรกรรมในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาตามแผนการจัดสรรน้ำและผลการประมาณการโดยใช้ข้อมูล

ภาพถ่ายดาวเทียมในลักษณะ Max.NIR ให้ผลการจำลองไม่แตกต่างกันมากนักในแง่ของปริมาณน้ำที่ระบายจากเขื่อนหลักทั้งหมด อย่างไรก็ตาม การกำหนดสถานการณ์สมมติ 3 ที่อาศัยข้อมูลความต้องการน้ำตามผลการประมาณการด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมร่วมกับอัตราส่วนการจัดสรรน้ำที่แนะนำ (Recommended NIR) นั้น ผลการจำลองพบว่า การกำหนดปริมาณการระบายน้ำของเกือบทุกเขื่อนอยู่ในเกณฑ์ขั้นต่ำ ซึ่งแนวทางดังกล่าวนี้อาจส่งผลกระทบต่อความรุนแรงของการขาดแคลนน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงกลางหรือปลายฤดูการเพาะปลูกฤดูฝนที่พืชจำเป็นต้องใช้น้ำอย่างเพียงพอเพื่อการเจริญเติบโต และหากได้รับน้ำไม่เพียงพออาจส่งผลกระทบต่อปริมาณผลผลิตพืชที่ลดลงตามมา

- (4) การขับเคลื่อนให้มีการนำข้อมูลผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำซึ่งเป็นข้อมูลในอนาคตมาใช้ประกอบการตัดสินใจเพื่อปรับปรุงแนวทางการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาเป็นสิ่งสำคัญเพื่อกำหนดแนวทางการระบายน้ำให้มีความเหมาะสมตามสถานการณ์น้ำ และบรรลุเป้าหมายการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำที่มุ่งหมายที่จะให้เกิดการใช้น้ำอย่างคุ้มค่า และเกิดความยั่งยืนและความมั่นคงในระยะยาว

### 6.1.2 ผลการพัฒนากระบวนการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

ระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา (Development of Automated Reservoir Management System in Chao Phraya River Basin) ถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นภายใต้แนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องมือสำหรับใช้สนับสนุนการตัดสินใจในการกำหนดปริมาณการระบายน้ำรายวันของเขื่อนหลักในลุ่มน้ำเจ้าพระยาได้แก่ (1) เขื่อนภูมิพล (2) เขื่อนสิริกิติ์ (3) เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และ (4) เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ ณ เวลาจริงปัจจุบัน โดยได้นำแบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้นโดยอาศัยองค์ความรู้ทางด้านปัญญาประดิษฐ์จากผลการวิจัยที่ดำเนินการแล้วเสร็จในปีที่ 2 ภายใต้โครงการวิจัยเข้มมุ่ง สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ได้แก่ (1) การพยากรณ์ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำด้วยหลักการปัญญาประดิษฐ์โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้แบบเครื่อง (Machine Learning) และ (2) การพัฒนาแบบจำลองการปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำร่วมกันด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming) ที่ได้กำหนดรูปแบบของแบบจำลองบนพื้นฐานของการตั้งเป้าหมายที่จะเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุน (ปริมาณน้ำเก็บกัก) ของทั้ง 4 เขื่อนหลักให้สูงขึ้น 15% จากฐานข้อมูลในอดีตเมื่อสิ้นสุดฤดูฝน ณ วันที่ 31 ตุลาคม สำหรับนำไปใช้ในระหว่างการเพาะปลูกฤดูแล้งของปีถัดไป ทั้งนี้เพื่อบรรเทาปัญหาการขาดแคลนน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยา และลดความเสี่ยงของการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำในช่วงน้ำน้อยสำหรับจัดสรรน้ำไปใช้อย่างเพียงพอตลอดช่วงฤดูการเพาะปลูก

ระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยาได้ถูกพัฒนาขึ้นในรูปแบบของระบบเว็บแอปพลิเคชันที่เชื่อมต่อการทำงานในลักษณะโมดูลจำนวน 4 ส่วนหลักได้แก่

- (1) โมดูลส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (API Data Module)
- (2) โมดูลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Inflow Prediction Module)
- (3) โมดูลการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำ (Dam-Reservoir Operation Module)
- (4) โมดูลการแสดงผลลัพธ์ข้อมูล (Data Visualization Module)

ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่ทำงานบนระบบเว็บแอปพลิเคชันได้ที่ <http://203.159.94.221/> (ระบบอัปเดตล่าสุด ณ วันที่ 10 มีนาคม 2567) โดยส่วนหน้าเว็บแอปพลิเคชันที่เชื่อมต่อกับผู้ใช้งานแสดงในภาพที่ 6-1



ภาพที่ 6-1 ระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

นอกจากนี้ ระบบเว็บแอปพลิเคชันได้ผ่านการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานด้วยเครื่องมือที่มีชื่อว่า Lighthouse ใน 4 หัวข้อหลักได้แก่

- (1) Performance คือตัวชี้วัดประสิทธิภาพด้านความเร็วในการแสดงผลเว็บไซต์
- (2) Accessibility คือตัวชี้วัดด้านองค์ประกอบและฟังก์ชันต่าง ๆ ภายในหน้าเว็บที่สามารถแสดงผลและทำงานได้บนอุปกรณ์ต่าง ๆ
- (3) Best Practices คือตัวชี้วัดของการพัฒนาเว็บไซต์ตามมาตรฐานการของ W3C และ
- (4) SEO คือตัวชี้วัดด้านประสิทธิภาพต่อการติดอันดับการค้นหาของ Search Engine

โดยผลการศึกษาพบว่าหัวข้อ 1-3 ให้ค่าคะแนนมากกว่า 85 คะแนน ซึ่งถือว่าผ่านการทดสอบระบบเว็บแอปพลิเคชัน ยกเว้นในส่วนของ Search Engine Optimization หรือ SEO ในหัวข้อที่ 4 ที่ไม่อยู่ในขอบเขตของการพัฒนาระบบแสดงผลข้อมูลนี้

### 6.1.3 สรุปผลผลิตที่ได้จากโครงการวิจัย

สรุปผลผลิตที่ได้จากโครงการวิจัยโดยครอบคลุมถึงองค์ความรู้ การพัฒนากำลังคน การเผยแพร่องค์ความรู้ทางวิชาการไว้ในตารางที่ 6-5

ตารางที่ 6-5 ผลผลิตที่ได้รับจากโครงการวิจัย

ผลผลิตที่ได้รับจากโครงการวิจัย	จำนวน	รายละเอียดของผลผลิต
องค์ความรู้	1 แบบจำลอง	แบบจำลองการพยากรณ์ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำของ 4 เขื่อนหลักที่สามารถแสดงผลลัพท์ผ่านเว็บแอปพลิเคชัน

ผลผลิตที่ได้รับจากโครงการวิจัย		จำนวน	รายละเอียดของผลผลิต
	แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดในการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา	1 แบบจำลอง	แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดในการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่สามารถแสดงผลผ่านเว็บแอปพลิเคชัน
การพัฒนา กำลังคน	นศ.ระดับปริญญาตรี	1 คน	หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.มหิดล
การประชุม เผยแพร่ผลงาน/ สัมมนาระดับชาติ	นำเสนอแบบปากเปล่า	1 ครั้ง	คาดว่าจะดำเนินการหลังการพัฒนา ระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบ อัตโนมัติให้แล้วเสร็จสมบูรณ์

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

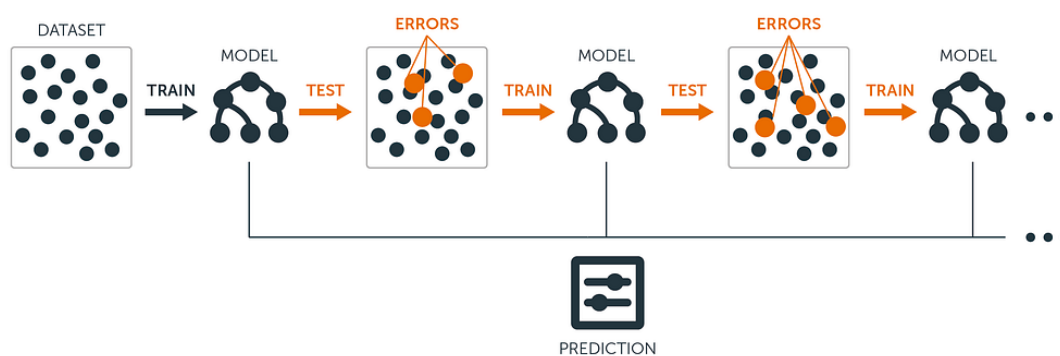
ข้อเสนอแนะในการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาด้วยระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำอัตโนมัติสรุปรายละเอียดได้ดังนี้

### 6.2.1 ผลการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

#### 6.2.1.1 แบบจำลองที่ใช้ในการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

##### 6.2.2.1.1 แบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำด้วยเทคนิคการเรียนรู้แบบเครื่อง

(1) แบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำด้วยเทคนิคการเรียนรู้แบบเครื่องที่ใช้ในการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยานี้เป็นแบบจำลองการพยากรณ์แบบอย่างเดี่ยวรายวันที่พัฒนาขึ้นจากโครงการวิจัยเชิงมุ่งระยะที่ 2 โดยแบบจำลองถูกพัฒนาด้วยอัลกอริทึม XGBoost ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีของ Ensemble Learning Method (ประกอบด้วย Bagging, Boosting และ Stacking) ที่เป็นการเรียนรู้แบบ Multiple-Learners ที่มีประสิทธิภาพสูงและเป็นที่ยอมรับในงานด้านการพยากรณ์ โดยวิธี Boosting เป็นการเรียนรู้แบบเป็นลำดับ กล่าวคือ Learner ก่อนหน้าเรียนรู้ แล้วนำเอา”ข้อผิดพลาด (Error)” ของตัวเองมาปรับปรุง Learner ต่อ ๆ ไป เพื่อลดความผิดพลาดจาก Learner ก่อนหน้า ส่งผลให้มีความแม่นยำสูงดังแสดงในภาพที่ 6-2 แต่อัลกอริทึมนี้อาจทำให้เกิด Overfitting ได้ง่าย อย่างไรก็ตาม อัลกอริทึม XGBoost ถูกแต่งเสริมเติมแต่งจาก Gradient Boosting เพื่อเพิ่มความสามารถ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความสามารถในการลดการเกิด Overfitting และสามารถจัดการกับ Missing Value อัตโนมัติได้ดีขึ้น



ภาพที่ 6-2 การทำงานของอัลกอริทึม XGBoost ในการพยากรณ์  
ที่มา: <https://medium.com/>

(2) แบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่เลือกใช้ในการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติของ 4 เขื่อนหลักในกลุ่มน้ำเจ้าพระยานั้น คณะผู้วิจัยได้เลือกแบบจำลองที่มีรูปแบบโครงสร้างของตัวแปรนำเข้าอย่างง่ายประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่เวลา  $t$ ,  $t-1$ ,  $t-2$ , ...,  $t-7$  ที่ให้ค่าประสิทธิผลของการพยากรณ์อยู่ในเกณฑ์ดี และให้ค่าประสิทธิผลไม่แตกต่างไปจากแบบจำลองที่นำข้อมูลตัวแปรนำเข้าอื่น ๆ มาใช้ร่วมด้วย เช่น ข้อมูลค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่เวลา  $t-1$ ,  $t-3$  และ  $t-7$  และข้อมูลสภาพภูมิอากาศ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ค่า Lead Time ในการพยากรณ์ล่วงหน้าที่จะแนะนำจากข้อสรุปของงานวิจัยระยะที่ 2 นั้นไม่ควรเกิน 7 วัน หากเกินค่านี้ ค่าประสิทธิผลทางสถิติของการพยากรณ์จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ หรือความแม่นยำของการพยากรณ์จะลดลงเมื่อ Lead Time มากขึ้นนั่นเอง

(3) จุดอ่อนของแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำคือ ผลการพยากรณ์รายวันให้ค่าสูงสุดของปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันต่ำกว่าข้อมูลสังเกต (Underestimated) ในทางกลับกัน ผลการพยากรณ์รายวันให้ค่าต่ำสุดของปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสูงกว่าข้อมูลสังเกต (Overestimated) อีกทั้งประสิทธิผลของการพยากรณ์ยังอยู่ในเกณฑ์ต่ำในช่วงที่มีการปรับเปลี่ยนแนวโน้มของข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำอย่างรวดเร็ว ยกตัวอย่างเช่นในช่วงที่เกิดพายุฝนที่แนวโน้มปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเพิ่มปริมาณสูงขึ้นจากเดิมอย่างรวดเร็ว หรือช่วงเปลี่ยนฤดูกาล ด้วยเหตุนี้ การปรับค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองด้วยการฝึกฝนแบบจำลองใหม่ (Retrain) ให้มีความเหมาะสมจึงยังมีความสำคัญ เพื่อนำข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่ได้จากการพยากรณ์ในช่วงสถานการณ์น้ำวิกฤตมาใช้ประกอบการกำหนดกลยุทธ์ในการบริหารเขื่อนของผู้ปฏิบัติการต่อไป นอกจากนี้ มีโอกาสที่แบบจำลองการพยากรณ์จะให้ค่าประสิทธิผลในการเรียนรู้จากชุดข้อมูลฝึกฝนสูงจนเกินไป แต่เมื่อนำแบบจำลองไปใช้กับชุดข้อมูลตรวจสอบและประสิทธิผลของการพยากรณ์ของแบบจำลองลดลง กล่าวคือ แบบจำลองเกิดการ Overfitting กับชุดฝึกฝน หรือแบบจำลองมีความซับซ้อนมากเกินไป ดังนั้น ผู้ใช้งานต้องพิจารณาความถูกต้องของผลลัพธ์จากการพยากรณ์อย่างละเอียด เพื่อทำการฝึกฝนแบบจำลองใหม่ จนกระทั่งแน่ใจว่าแบบจำลองไม่เกิดการ Overfitting ก่อนทำการพยากรณ์ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำล่วงหน้า ยิ่งไปกว่านั้น การนำแบบจำลองการพยากรณ์ที่ให้ค่าประสิทธิผลสูงสุดของแต่ละเขื่อนไปใช้ในการพยากรณ์ที่ Lead Time  $t+1$ , ...,  $t+7$  ที่ยาวขึ้น ส่งผลให้ค่าประสิทธิผลของแบบจำลองมีแนวโน้มลดลง ด้วยเหตุนี้ ในการใช้งานระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาในแผนการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำนั้น จำเป็นต้องทำ

การฝึกฝนแบบจำลองใหม่เพื่อปรับพารามิเตอร์ให้สอดคล้องกับรูปแบบของข้อมูลนำเข้า ทั้งนี้เพื่อให้แบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันของทั้ง 4 เขื่อนหลักมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และเป็นเครื่องมือที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบริหารเขื่อน ณ เวลาจริงปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงสถานการณ์น้ำวิกฤต

#### 6.2.2.1.2 แบบจำลองการปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำด้วยการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming Model)

(1) แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming, CP) สำหรับใช้ในการบริหารเขื่อนหรือการปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาถูกพัฒนาขึ้นด้วยภาษา Python ซึ่งเป็นภาษาโปรแกรมเชิงข้อจำกัดในยุคปัจจุบันในการแก้โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ค่อนข้างรวดเร็วและมีความทันสมัย สำหรับการกำหนดรูปแบบปัญหาและการแก้ปัญหาโจทย์จะกำหนดในลักษณะของการหาค่าที่ดีที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Optimization) ของระบบอ่างเก็บน้ำแบบหลายอ่าง โดยในการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยานี้ได้เลือกใช้แบบจำลองที่พิจารณาระยะเวลาในการเดินทางของน้ำไปถึงโหนดความต้องการน้ำในแต่ละพื้นที่ในการกำหนดรูปแบบการระบายน้ำจากเขื่อน (Demand-Based Model) ที่คำนึงถึงความมั่นคงและความยั่งยืนของการบริหารจัดการน้ำทั้งระยะสั้นและระยะยาว และบรรลุเป้าหมายในการเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนในอ่างเก็บน้ำ 15% จากฐานข้อมูลระยะยาวตามโจทย์งานวิจัย

(2) จุดเด่นที่สำคัญของแบบจำลองการปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำด้วยการโปรแกรมแบบข้อจำกัดที่ใช้ในการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยานี้คือ สามารถแก้ปัญหาโจทย์เพื่อหาค่าปริมาณการระบายน้ำที่เหมาะสมรายวันของทั้ง 4 เขื่อนหลักให้สอดคล้องตามโหนดความต้องการน้ำในแต่ละกิจกรรมการใช้น้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาโดยคำนึงถึงปริมาณและระยะเวลาเดินทางของน้ำที่จะจัดส่งไปถึงแต่ละโหนดความต้องการน้ำ รวมทั้งวัตถุประสงค์ในการเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนทั้งระบบ อีกทั้งยังทำให้เขื่อนแควน้อยบำรุงแดนและเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์มีบทบาทในการเพิ่มการระบายน้ำเพื่อตอบสนองความต้องการน้ำทั้งในภาคเกษตรกรรมและรักษาระบบนิเวศท้ายเขื่อนได้มากขึ้น เนื่องจากข้อกำหนดในแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดกำหนดให้ระยะทางเดินทางของน้ำถึงโหนดความต้องการน้ำในภาคเกษตรกรรมในพื้นที่โครงการชลประทานเจ้าพระยาใหญ่และโหนดความต้องการน้ำเพื่อรักษาระบบนิเวศท้ายเขื่อนสั้นกว่าปริมาณน้ำที่ระบายจากเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์ ส่งผลให้แบบจำลองแนะนำให้ระบายน้ำจากเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนและเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ก่อน ด้วยเหตุนี้ แนวทางดังกล่าวจึงช่วยประหยัดน้ำและเพิ่มปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำของเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์ได้ตามเป้าหมายในการเพิ่มน้ำต้นทุนระยะยาวที่ตั้งไว้ อีกทั้งยังช่วยลดความผันผวนของปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนและเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ในช่วงกลางถึงช่วงปลายฤดูฝนที่มีความเสี่ยงที่น้ำจะเต็มอ่างอยู่บ่อยครั้ง และเกิดปัญหาน้ำท่วมตามมาทางด้านท้ายเขื่อนจากปริมาณน้ำที่ระบายในอัตราสูงเพื่อพร่องน้ำในอ่างเก็บน้ำสำหรับรองรับน้ำที่คาดว่าจะไหลมาสมทบเพิ่มเติม

(3) ผู้ใช้งานสามารถนำข้อมูล Side Flow ที่มีศักยภาพทางด้านท้ายเขื่อนมาเป็นข้อกำหนดในการกำหนดการระบายน้ำของแบบจำลองการปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำด้วยการโปรแกรมแบบข้อจำกัดร่วมด้วย ซึ่งผลลัพธ์จากงานวิจัยแสดงให้เห็นว่า การพิจารณาข้อมูล Side Flow ของสถานีตรวจวัดน้ำท่า W.4A ท้ายเขื่อนภูมิพล และสถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.17 และ N.22A ท้ายเขื่อนสิริกิติ์สามารถปรับลดปริมาณการ



ระบายน้ำจากเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนในเขื่อนสำหรับใช้ในช่วงเวลาถัดไปได้ในระดับที่น่าพอใจ

(4) ผู้ใช้งานสามารถกำหนดเงื่อนไขข้อจำกัดด้านกายภาพของระบบ ข้อจำกัดด้านปัจจัยน้ำต้นทุน และข้อจำกัดด้านปัจจัยความต้องการน้ำในแบบจำลองการปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำด้วยการโปรแกรมแบบข้อจำกัด เพื่อให้สอดคล้องกับหลักปฏิบัติและข้อพิจารณาอื่น ๆ ของหน่วยงาน เช่น การควบคุมระดับน้ำเก็บกักตอนบน (Upper Rule Curve) ของแต่ละเขื่อนเพื่อลดความเสี่ยงที่จะเกิดการไหลล้นอ่างและอุทกภัยตามมา การคำนึงถึงศักยภาพของแหล่งน้ำต้นทุนสำรองอื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็นแหล่งน้ำผิวดินขนาดเล็กและแหล่งน้ำใต้ดินในพื้นที่เพื่อปรับลดปริมาณความต้องการน้ำจากเขื่อนและนำเข้าไปในแบบจำลอง เป็นต้น

(5) จุดแข็งของการพัฒนาแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดเพื่อหาค่าปริมาณการระบายน้ำจากอ่างเก็บน้ำที่ดีที่สุดในแต่ละช่วงเวลาของ 4 เขื่อนหลักในลุ่มน้ำเจ้าพระยา คือ แบบจำลองถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้ภาษาไพทอน (Python) ซึ่งเป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่มีผู้พัฒนาและใช้งานเป็นจำนวนมาก ทำให้ผู้พัฒนาสามารถพัฒนาแบบจำลองแบบข้อจำกัดได้ง่ายขึ้น อีกทั้งภาษาไพทอนยังมีชุดคำสั่งที่สามารถใช้ในการพัฒนาแบบจำลองโปรแกรมแบบข้อจำกัดได้และยังสามารถใช้งานกับ Constraint Solver ได้หลายรูปแบบ จากจุดแข็งนี้ผู้ใช้งานสามารถเลือก Constraint Solver ที่เหมาะกับแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดที่ถูกพัฒนาขึ้น ด้วยเหตุนี้ การแก้ปัญหาของแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดจึงมีความเร็วในการแก้ปัญหาโจทย์สูง นอกจากนี้ การจำลองระบบการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในลักษณะของปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำร่วมกันแบบหลายอ่างในลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่พัฒนาขึ้นด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดนี้ทำให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด หรืออาจกล่าวได้ว่าค่าปริมาณการระบายน้ำของแต่ละเขื่อนในแต่ละช่วงเวลาเป็นค่าที่ดีที่สุด (Optimal Water Release) ในขณะเดียวกันผู้ใช้งานสามารถกำหนดปริมาณการระบายน้ำรายวันล่วงหน้าจากผลลัพธ์ของแบบจำลองเพื่อใช้ในการวางแผนการระบายน้ำทั้งระบบให้มีความเหมาะสม หรือหากมีการปรับเปลี่ยนแผนการจัดสรรน้ำระหว่างสัปดาห์ก็สามารถผลลัพธ์จากแบบจำลองเพื่อแนะนำการระบายน้ำในปริมาณที่แตกต่างกันจากทั้ง 4 เขื่อน ยิ่งไปกว่านั้น ยังสามารถพัฒนาร่วมกับโปรแกรมภาษาอื่น ๆ เช่น Java, JavaScript และ C# เป็นต้น ในรูปแบบของส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (Application Programming Interface, API) ได้อีกด้วย อีกทั้งยังสามารถพัฒนาในลักษณะของแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดที่มีหลายสมการวัตถุประสงค์ อย่างไรก็ตาม จุดอ่อนของการพัฒนาแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดคือ การไม่สนับสนุนการเปลี่ยนแปลงแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดแบบไดนามิกส์ (หรือไม่เป็นที่นิยม) กล่าวคือเมื่อแบบจำลองถูกสร้างแล้วจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงระหว่างการแก้ปัญหาเพื่อหาค่าที่ดีที่สุด ดังนั้น ผู้พัฒนาต้องทำการวิเคราะห์และกำหนดข้อจำกัดของปัญหาโจทย์จริงให้แล้วเสร็จก่อนที่จะพัฒนาแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด

(6) แบบจำลองการปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำด้วยการโปรแกรมแบบข้อจำกัดที่ประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยานี้ นับได้ว่าเป็นการนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์สมัยใหม่ที่มีการดึงข้อมูลสารสนเทศน้ำล่วงหน้าจากแบบจำลองการพยากรณ์น้ำที่อาศัยเทคนิคการเรียนรู้แบบเครื่อง (Machine Learning) และการนำข้อมูลปริมาณน้ำท่าคาดการณ์ (Potential Side Flow) ทำเขื่อนมาเป็นข้อพิจารณาในการกำหนดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนที่เหมาะสมและบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้โดยมุ่งเน้นที่จะเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนของเขื่อนหลักในระยะยาว อีกทั้งยังเป็นการบรรเทาความเสียหายรุนแรงจากภัยแล้งและอุทกภัยในพื้นที่

### 6.2.1.2 ระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา

(1) ระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่พัฒนาจากงานวิจัยนี้ถูกออกแบบให้ใช้งานได้ง่ายและมีความสะดวกต่อผู้ใช้งานโดยแบ่งระบบออกเป็น 4 โมดูลย่อยได้แก่ (1.1) โมดูลส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (API Data Module) ซึ่งทำหน้าที่ในการบริหารจัดการข้อมูลที่ถูกนำเข้ามาในระบบจากแหล่งข้อมูล (1.2) โมดูลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Inflow Prediction Module) ซึ่งเป็นโมดูลแสดงผลพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำของ 4 เขื่อนหลักที่พัฒนาขึ้นโดยเทคนิคการเรียนรู้ด้วยเครื่อง (Machine Learning) (1.3) โมดูลการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำ (Dam-Reservoir Operation Module) ที่ทำหน้าที่ตัดสินใจในการกำหนดปริมาณการระบายน้ำที่เหมาะสมรายวันด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming) และ (1.4) โมดูลการแสดงผลข้อมูล (Data Visualization Module) ซึ่งทำหน้าที่ในการแสดงผลข้อมูลต่าง ๆ บนหน้าเว็บแอปพลิเคชัน ด้วยเหตุนี้ผู้ใช้งานสามารถกดปุ่มเพื่อให้ระบบประมวลผล เรียกดูผลลัพธ์จากแบบจำลอง และแสดงผลเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดผ่านระบบแอปพลิเคชันของแต่ละโมดูลได้

(2) ผู้ใช้งานสามารถพยากรณ์ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันล่วงหน้าที่ Lead Time ได้ไม่จำกัด อย่างไรก็ตาม ค่าประสิทธิผลทางสถิติของการพยากรณ์น้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันล่วงหน้าจะยังอยู่ในเกณฑ์ดี หาก Lead Time ไม่เกิน 7 วัน อย่างไรก็ตาม เนื่องจากข้อกำหนดสำหรับนำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสำหรับใช้ในแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดสำหรับการบริหารเขื่อนเพื่อกำหนดปริมาณการระบายน้ำรายวันที่จะต้องมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า  $\pm 10$  วัน ดังนั้น ผู้ใช้งานต้องกำหนด Lead Time สำหรับพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำล่วงหน้าในระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติขั้นต่ำอย่างน้อย 10 วัน ทั้งนี้ ความแม่นยำของการพยากรณ์ลดลงตาม Lead Time ที่ยาวขึ้น สำหรับข้อเสนอในการฝึกฝนแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำได้สรุปไว้ในตารางที่ 6-6

ตารางที่ 6-6 หลักเกณฑ์ข้อเสนอแนะในการตั้งค่าการใช้งานแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ

หลักเกณฑ์พิจารณา	รายละเอียด
จำนวน Lead Time ของการพยากรณ์ที่ให้ค่าความแม่นยำในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (วัน)	1-7
การตั้งค่า Lead Time ของการพยากรณ์ในระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติ (วัน)	อย่างน้อย 10
ความถี่ของการฝึกฝนแบบจำลองเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการพยากรณ์	ทุก 15-30 วัน และช่วงเปลี่ยนแนวโน้มข้อมูลและฤดูกาล (Transition Trend)
ค่าประสิทธิผลทางสถิติของการพยากรณ์ที่ยอมรับได้	$R^2 > 0.75$ ระดับดี (Substantial Level) $0.25 \leq R^2 \leq 0.75$ ระดับปานกลาง (Moderate Level) $R^2 < 0.25$ ระดับน้อย (Weak Level) (Hair et al., 2011; Henseler et al., 2009)

(3) โครงสร้างของแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดถูกออกแบบและพัฒนาสำหรับใช้ในการบริหารเขื่อนเพื่อกำหนดปริมาณการระบายน้ำรายวันของ 4 เขื่อนหลัก ได้แก่ เขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกกำหนดประเภทของแบบจำลอง

(Type of Model) การตั้งค่าระดับควบคุมตอนบน (Rule Curve) เปอร์เซนต์ Side Flow (Percent of Potential Side Flow) ของสถานีตรวจวัดน้ำท่าหลัก 3 สถานีที่ตั้งอยู่ทางด้านท้ายเขื่อน และรูปแบบของข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่แยกตามโหมดความต้องการน้ำ (Zone-Based Water Demand) ได้ โดยมีรายละเอียดสรุปไว้ในตารางที่ 6-7 ดังนี้

ตารางที่ 6-7 โครงสร้างของแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดสำหรับใช้ในการตั้งค่าการใช้งานระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

ข้อกำหนด	รายละเอียด
ประเภทของแบบจำลอง	2 ประเภทได้แก่ (1) แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดรายฤดูกาล (Constraint Programming Model with Seasonal Constraints) และ (2) แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดรายปี (Constraint Programming Model with Yearly Constraints)
การตั้งค่าระดับควบคุมตอนบน (Rule Curve)	2 รูปแบบได้แก่ (1) Yes และ (2) No
เปอร์เซนต์ Side Flow (Percent of Potential Side Flow)	6 รูปแบบได้แก่ 5%, 10%, 15%, 20%, 25% และ 30% ทางด้านท้ายของเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์
รูปแบบของข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่แยกตามโหมดความต้องการน้ำ (Zone-Based Water Demand)	3 รูปแบบได้แก่ (1) MaxNIR (2) Planned Demand และ (3) RecNIR

(3.1) ประเภทของแบบจำลองกำหนดไว้ 2 ประเภทได้แก่ (3.1.1) แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดรายฤดูกาล (Constraint Programming Model with Seasonal Constraints) และ (3.1.2) แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดรายปี (Constraint Programming Model with Yearly Constraints) โดยได้ทำการปรับค่าปริมาณความต้องการน้ำภายใต้สมมติฐานที่ว่า ในช่วงฤดูฝน (พ.ค.-ต.ค.) ศักยภาพของปริมาณน้ำต้นทุนของเขื่อนหลักสามารถระบายน้ำได้อย่างเต็มที่ตามปัจจัยปริมาณความต้องการน้ำโดยคิดเป็น 100% แต่ในฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ษ.) ศักยภาพของปริมาณน้ำต้นทุนของเขื่อนหลักในการตอบสนองปริมาณความต้องการน้ำมีจำกัด ดังนั้น จึงพิจารณาปัจจัยความต้องการน้ำเพียง 80% ที่จะได้รับการจัดสรรน้ำจากเขื่อน

(3.2) การตั้งค่าระดับควบคุมตอนบน (Rule Curve) กำหนดไว้ 2 รูปแบบได้แก่ (3.2.1) Yes หมายถึงการตั้งค่าให้ปริมาณน้ำเก็บกักของแต่ละเขื่อนไม่เกินค่าระดับควบคุมตอนบน เมื่อทำการจำลองระบบการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในแต่ละช่วงเวลา และ (3.2.2) No หมายถึงการตั้งค่าให้ปริมาณน้ำเก็บกักของแต่ละเขื่อนไม่เกินค่าระดับเก็บกักปกติ (Normal Pool/Water Level) เมื่อทำการจำลองระบบการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในแต่ละช่วงเวลา โดยวัตถุประสงค์ของการตั้งค่าระดับควบคุมตอนบนไว้ก็เพื่อลดความเสี่ยงในการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำในสภาวะน้ำมากวิกฤต และมีโอกาสสูงที่จะระบายน้ำส่วนเกินผ่านทางระบายน้ำล้นและเกิดปัญหาน้ำท่วมตามมาทางด้านท้ายเขื่อน

(3.3) ผู้ใช้งานสามารถกำหนดเปอร์เซนต์ปริมาณ Side Flow ทางด้านท้ายของเขื่อนภูมิพล ที่พิจารณาจากสถานีตรวจวัดน้ำท่า W.4A (ตั้งอยู่ทางด้านท้ายของแม่น้ำวัง) และเปอร์เซนต์ปริมาณ Side Flow ทางด้านท้ายของเขื่อนสิริกิติ์ที่พิจารณาจากสถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.17 (ตั้งอยู่ทางด้านท้ายของแม่น้ำยม) และ

สถานีตรวจวัดน้ำท่า N.22A (ตั้งอยู่ทางด้านท้ายของแม่น้ำแควน้อย) ได้เป็น 10%, 15%, 20%, 25% และ 30%

(3.4) ผู้ใช้งานสามารถกำหนดรูปแบบของข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยา สำหรับใช้ในการเรียกดูผลลัพธ์ในการกำหนดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนได้ใน 3 รูปแบบคือ (3.3.1) MaxNIR ซึ่งเป็นปริมาณความต้องการน้ำในภาคเกษตรกรรมตามผลการประมาณการด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในลักษณะ Maximum Net Irrigation Water Requirement ร่วมกับปริมาณความต้องการน้ำนอกภาคเกษตรกรรมที่ประมาณการตามแผนการจัดสรรน้ำ (3.3.2) Planned Demand กำหนดให้ข้อมูลความต้องการน้ำทั้งในภาคเกษตรกรรมและนอกภาคเกษตรกรรมเป็นไปตามแผนการจัดสรรน้ำ และ (3.3.3) RecNIR ซึ่งเป็นข้อมูลความต้องการน้ำในภาคเกษตรกรรมตามผลการประมาณการด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมร่วมกับอัตราส่วนการจัดสรรน้ำที่แนะนำในลักษณะ Recommended Net Irrigation Water Requirement ร่วมกับปริมาณความต้องการน้ำนอกภาคเกษตรกรรมที่ประมาณการตามแผนการจัดสรรน้ำ ตามที่ได้สรุปไว้ในตารางที่ 6-8

**ตารางที่ 6-8** ข้อกำหนดของรูปแบบข้อมูลความต้องการน้ำสำหรับใช้ในการตั้งค่าการใช้งานระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

สถานการณ์สมมติ	ข้อมูลความต้องการน้ำ	
	ความต้องการน้ำในภาคเกษตรกรรม <sup>1/</sup>	ความต้องการน้ำนอกภาคเกษตรกรรม <sup>2/</sup>
S1. Maximum NIR	Maximum NIR (แยกตามโซนการจัดส่งน้ำ)	RID Plan 2023 (ข้อมูลปีปัจจุบัน)
S2. Planned Demand (Water Allocation Plan)	RID Plan 2023 (ข้อมูลปีปัจจุบัน)	RID Plan 2023 (ข้อมูลปีปัจจุบัน)
S3. Recommended NIR	Recommended NIR (ข้อมูลปีปัจจุบัน)	RID Plan 2023 (ข้อมูลปีปัจจุบัน)

หมายเหตุ: <sup>1/</sup> ข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำในภาคเกษตรกรรมในพื้นที่โครงการชลประทานเจ้าพระยาใหญ่ครอบคลุม 34 โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา

<sup>2/</sup> ข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำนอกภาคเกษตรกรรมครอบคลุมความต้องการน้ำเพื่อการรักษาระบบนิเวศ และความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคและการอุตสาหกรรมทางด้านท้ายน้ำของแต่ละเขื่อน

(4) หลักเกณฑ์ข้อเสนอแนะในการกำหนดรูปแบบของแบบจำลองการโปรแกรมข้อจำกัด สำหรับใช้ในการตั้งค่าการใช้งานระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยาเพื่อกำหนดปริมาณการระบายน้ำในช่วงสถานการณ์น้ำวิกฤตน้ำน้อยและวิกฤตน้ำมากซึ่งประกอบด้วยเงื่อนไขของการตั้งค่าประเภทแบบจำลอง ระดับควบคุมตอนบน (Upper Rule Curve, URC) และเปอร์เซ็นต์ปริมาณ Side Flow ได้สรุปไว้ในตารางที่ 6-9

ตารางที่ 6-9 หลักเกณฑ์ข้อเสนอแนะในการกำหนดรูปแบบของแบบจำลองการโปรแกรมข้อจำกัดสำหรับใช้ในการตั้งค่าการใช้งานระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

แบบจำลอง	ลักษณะการตั้งค่า	รายละเอียด	สถานการณ์น้ำ	
			ช่วงน้ำน้อย	ช่วงน้ำมาก
ประเภทของแบบจำลอง	รายฤดูกาล	ยอมให้มีการขาดน้ำในช่วงฤดูแล้ง 20% ของปริมาณความต้องการน้ำ	✓	
	รายปี	ระบายน้ำจากเขื่อนเพียงพอและไม่เกิดการขาดน้ำ		✓
ระดับควบคุมตอนบน (Rule Curve)	Yes (ลดความเสี่ยงที่น้ำจะเต็มความจุอ่าง)	ปริมาณน้ำเก็บกักเริ่มต้น (Initial Storage) อยู่ในเกณฑ์สูงกว่า URC		✓
	No (ความเสี่ยงที่น้ำจะเต็มความจุอ่างอยู่ในเกณฑ์ต่ำ)	ปริมาณน้ำเก็บกักเริ่มต้น (Initial Storage) อยู่ในเกณฑ์ต่ำ-สูง	✓	
เปอร์เซ็นต์ปริมาณ Side Flow	5-10%	ปริมาณน้ำทำตรวจวัดและคาดการณ์อยู่ในเกณฑ์น้อย	✓	
	10-30%	ปริมาณน้ำทำตรวจวัดและคาดการณ์อยู่ในเกณฑ์สูง		✓

(5) การใช้งานระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำอัตโนมัติเพื่อกำหนดปริมาณการระบายน้ำในช่วงสถานการณ์น้ำวิกฤตน้ำน้อยและวิกฤตน้ำมากนั้น จะต้องตรวจสอบการนำเข้รูปแบบของข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาอย่างละเอียดและรอบคอบ และสอดคล้องตามสถานะน้ำต้นทุนในอ่างเก็บน้ำที่มีอยู่และแนวโน้มปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาขณะนั้น โดยขอยกตัวอย่างหลักเกณฑ์ข้อเสนอแนะเบื้องต้นตามที่สรุปไว้ในตารางที่ 6-10 โดยในช่วงสถานการณ์น้ำวิกฤตน้ำน้อยควรเลือก RecNIR ในการตั้งค่าการใช้งานระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติ ในขณะที่ในช่วงสถานการณ์น้ำปกติและสถานการณ์น้ำมาก ผู้ใช้งานสามารถตั้งค่าการใช้งานทั้งแบบ MaxNIR และ Planned Demand ได้เนื่องจากสถานะปริมาณน้ำต้นทุนทั้งระบบอยู่ในเกณฑ์ปานกลางถึงสูง

ตารางที่ 6-10 หลักเกณฑ์ข้อเสนอแนะในการกำหนดรูปแบบของข้อมูลความต้องการน้ำสำหรับใช้ในการตั้งค่าการใช้งานระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

ตัวแปรพิจารณา	ประเภท	หลักเกณฑ์	ข้อมูลความต้องการน้ำ 3 สถานการณ์		
			MaxNIR	Planned Demand	RecNIR
สถานะปริมาณน้ำต้นทุนทั้งระบบ	ต่ำ	$AS \leq 20\%$			✓
	ปานกลาง	$20\% < AS < 80\%$	✓	✓	
	สูง	$AS \geq 80\%$	✓	✓	

ตัวแปรพิจารณา	ประเภท	หลักเกณฑ์	ข้อมูลความต้องการน้ำ 3 สถานการณ์		
			MaxNIR	Planned Demand	RecNIR
ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำทั้งระบบ	ต่ำ	$AS \leq 20\%$			✓
	ปานกลาง	$20\% < AS < 80\%$	✓	✓	
	สูง	$AS \geq 80\%$	✓	✓	

หมายเหตุ: AS หมายถึงปริมาณน้ำเก็บกักใช้การของ 4 เขื่อนหลักในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

(6) ข้อมูลความต้องการน้ำที่ประมาณการโดยใช้แผนการจัดสรรน้ำนั้น จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนชุดข้อมูลนี้โดยอาศัยข้อมูลในปัจจุบันประกอบด้วย แผนการจัดสรรน้ำและเพาะปลูกพืชฤดูแล้งในเขตพื้นที่ชลประทาน และแผนการจัดสรรน้ำและเพาะปลูกพืชฤดูฝนในเขตพื้นที่ชลประทาน ซึ่งครอบคลุมปริมาณความต้องการน้ำในภาคเกษตรกรรมและนอกภาคเกษตรกรรม และหากมีการปรับเปลี่ยนแผนการจัดสรรน้ำระหว่างสัปดาห์ ผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนชุดข้อมูลดังกล่าวนี้ได้

(7) ข้อมูลความต้องการน้ำของทั้ง 3 สถานการณ์สมมติต้องจัดเตรียมข้อมูลโดยแยกออกเป็น 9 โซนการจัดส่งน้ำประกอบด้วย DLP, DLN, DKNB, DPS, DCPYUE, DCPYLE, DCPYUW, DCPYLW และ DECO ซึ่งครอบคลุมปริมาณความต้องการน้ำในภาคเกษตรกรรมในพื้นที่โครงการชลประทานเจ้าพระยาใหญ่ครอบคลุม 34 โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา และปริมาณความต้องการน้ำนอกภาคเกษตรกรรมครอบคลุมความต้องการน้ำเพื่อการรักษาระบบนิเวศ และความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคและการอุตสาหกรรมทางด้านทำนน้ำของแต่ละเขื่อน

(8) รายละเอียดข้อเสนอแนะอื่น ๆ กล่าวไว้ในคู่มือการใช้งานระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

## 6.2.2 แนวทางการปรับปรุงระบบในอนาคต

แนวทางการปรับปรุงระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยามีข้อเสนอแนะดังนี้

(1) การเพิ่มเติมการแสดงผลของระบบในลักษณะของ GIS-Based Visualization ที่ Interactive ทั้งในส่วนของการนำเข้าไปในส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ระบบเขื่อน อ่างเก็บน้ำ แม่น้ำ สถานีตรวจวัดน้ำท่าหลักที่ใช้ในการพิจารณาศักยภาพของ Potential Side Flow และโครงการชลประทาน และข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง ได้แก่ ผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวัน และปริมาณการระบายน้ำที่เหมาะสมรายวันของ 4 เขื่อนหลักในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

(2) การเพิ่มสิทธิในการเข้าถึงช่วงข้อมูลระยะยาวของนักวิจัยผ่านเว็บเซอร์วิส (APIs) จากคลังข้อมูลน้ำแห่งชาติโดยครอบคลุมถึง ข้อมูลอ่างเก็บน้ำ ข้อมูลฝน ข้อมูลน้ำท่า และข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

### บรรณานุกรม

- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2563). สรุปสถานการณ์น้ำและการบริหารจัดการน้ำในอ่างเก็บน้ำ กพผ. ประจำปี 2562. กรุงเทพฯ : แผนกบริหารจัดการน้ำ กองจัดการทรัพยากรน้ำ.
- กรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2559). โครงการศึกษาความมั่นคงของกลุ่มน้ำ อย่างยั่งยืนทั้ง 25 กลุ่มน้ำ. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ภาวดี ทองอุไทย. (2550). เอกสารประกอบคำบรรยายเศรษฐศาสตร์ทรัพยากรมนุษย์เบื้องต้น ส่วนที่ 2 ประชากร และการพัฒนา. กรุงเทพฯ: คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- วนิดา พงษ์ศักดิ์ชาติ. (2559). การใช้โปรแกรม R เพื่อการวิจัย. ชลบุรี: ภาควิชาคณิตศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- วรารุช วุฒิวณิชย์. (2563). การวิเคราะห์ความแม่นยำของแบบจำลองโดยใช้ Nash–Sutcliffe Efficiency และ  $R^2$ , ออนไลน์. สืบค้นจากอินเทอร์เน็ต, <http://irre.ku.ac.th/PubArt/pubart/95-Jan-4-2553-Nash%20Efficiency.pdf>, เมื่อวันที่ 31 มีนาคม 2565.
- สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (องค์การมหาชน). (2555). การดำเนินการด้านการรวบรวม ข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลโครงการพัฒนาระบบคลังข้อมูล 25 กลุ่มน้ำ และแบบจำลองน้ำท่วมน้ำแล้ง: กลุ่มน้ำมูล. กรุงเทพฯ: สสนก.
- Abraham, B., & Ledolter, J. (2005). *Statistical methods for forecasting*. John Wiley & Sons, Inc., Publication. 8–78.
- Ahmad, S.K. & Hossain, F. (2019). A web-based decision support system for smart dam operations using weather forecasts. *Journal of Hydroinformatics*, 21(5), 687–707.
- Allawi, M.F., Jaafar, O., Mohamad Hamzah, F., Mohd, N.S., Deo, R. C., & El-Shafie, A. (2018). Reservoir inflow forecasting with a modified coactive neuro-fuzzy inference system: a case study for a semi-arid region. *Theoretical and Applied Climatology*, 134(1), 545–563.
- Babaei, M., Moeini, R., & Ehsanzadeh, E. (2019). Artificial neural network and support vector machine models for inflow prediction of dam reservoir (Case Study: Zayandehroud Dam Reservoir). *Water Resources Management*, 33(6), 2203–2218.
- Bai, Y., Chen, Z., Xie, J., & Li, C. (2016). Daily reservoir inflow forecasting using multiscale deep feature learning with hybrid models. *Journal of Hydrology*, 532, 193–206.
- Bai, Y., Xie, J., Wang, X., & Li, C. (2016). Model fusion approach for monthly reservoir inflow forecasting. *Journal of Hydroinformatics*, 18(4), 634–650.
- Bennett, C., Stewart, R.A., & Beal, C.D. (2013). ANN-based residential water end-use demand forecasting model. *Expert Systems with Applications*. 40(4), 1014–1023.
- Bravo, M., & Gonzalez, I. (2009). Applying stochastic goal programming: a case study on water use planning. *European Journal of Operational Research*, 196(3), 1123–1129.
- Campolo, M., Andreussi, P., & Soldati, A. (1999). River flood forecasting with a neural network model. *Water Resources Research*. 35(4), 1191–1197.

- Cerqueira, V., Torgo, L., & Soares, C. (2019). Machine learning vs statistical methods for time-series forecasting: Size matters. arXiv preprint arXiv:1909.13316.
- Chang, F.J., & Change, Y.T. (2006). Adaptive neuro-fuzzy inference system for prediction of water level in reservoir. *Advances in Water Resource*, 29(1), 1–10.
- Chang, F.J., Chen, L., & Chang, L.C. (2005). Optimizing the reservoir operating rule curves by genetic algorithms. *Hydrological processes*, 19(11), 2277–2289.
- Chang, F.J., Hui, S.C., & Chen, Y.C. (2002). Reservoir operation using grey fuzzy stochastic dynamic programming. *Hydrological processes*, 16(12), 2395–2408.
- Cheng, C., & Chau, K.W. (2001). Fuzzy iteration methodology for reservoir flood control operation. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 37(5), 1381–1388.
- Chen, T. & Guestrin, C. (2016). Xgboost: A scalable tree boosting system. In *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 785–794.
- Chmielowski, W.Z. (2016). *Fuzzy control in environmental engineering*. Switzerland: Springer International Publishing.
- Choong, S.M., & El-Shafie, A. (2015). State-of-the-art for modelling reservoir inflows and management optimization. *Water Resources Management*, 29(4), 1267–1282.
- Dornpunya, P., Rittima, A., Phankamolasil, Y., Tabucanon, A.S., Sawangphol, W., Kraisangka, J. et al. (2021). The predictability of reservoir inflow prediction model for Sirikit Dam using XGBoost machine learning algorithm. In *Proceedings of the 5th International Conference on Water Resource Engineering (ICWRE5)*. 31–39.
- El-Shafie, A., & Noureldin, A. (2011). Generalized versus non-generalized neural network model for multi-lead inflow forecasting at Aswan High Dam. *Hydrology and Earth System Sciences*, 7(5), 841–858.
- Fang, H.B., Hu, T.S., Zeng, X., & Wu, F.Y. (2014). Simulation-optimization model of reservoir operation based on target storage curves. *Water Science and Engineering*, 7(4), 433–445.
- Fayaed, S.S., El-Shafie, A., & Jaafar, O. (2013). Integrated Artificial Neural Network (ANN) and Stochastic Dynamic Programming (SDP) model for optimal release policy. *Water Resources Management*, 27(10), 3679–3696.
- Hipni, A., El-shafie, A., Najah, A., Karim, O. A., Hussain, A., & Mukhlisin, M. (2013). Daily forecasting of dam water levels: comparing a Support Vector Machine (SVM) Model with Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS). *Water Resource Management*, 27, 3803–3823.
- Housh, M., Ostfeld, A., & Shamir, U. (2013). Limited multi-stage stochastic programming for managing water supply systems. *Environmental modelling & software*, 41, 53–64.



- Hsu, N.S., Huang, C.L., & Wei, C.C. (2015). Multi-phase intelligent decision model for reservoir real-time flood control during typhoons. *Journal of Hydrology*, 522, 11–34.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). *Climate change 2013: The physical science basis*. United Kingdom: Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2018). *Global warming of 1.5°C*. United Kingdom: Cambridge University Press.
- Jain, S.K., & Singh, V.P. (2003). *Water resources systems planning and management*. New York: Elsevier Science.
- Jozefowicz, R., Zaremba, W., & Sutskever, I. (2015, June). An empirical exploration of recurrent network architectures. *International conference on machine learning*, PMLR (37), 2342–2350.
- Kalbali, E., Sabouni, M. S., & Ziaee, S. (2015). Application of mathematical programming model for optimal allocation of Voshmgir Dam water for various consumptions (Case Study: Golestan Province). *International Journal of Applied*, 5(2), 19–33.
- Kale, M., Nagdeve, M., & Wadatkar, S. (2012). Reservoir inflow forecasting using artificial neural network. *Hydrol. J.*, 35(1–2), 52–61.
- Kangrang, A., & Chaleeraktragoon, C. (2007). Genetic algorithms connected simulation with smoothing function for searching rule curves. *American Journal of Applied Sciences*, 4(2), 73–79.
- Linder, R., Mohamed, E. I., De Lorenzo, A., & Pöpl, S. J. (2003). The capabilities of artificial neural networks in body composition research. *Acta Diabetologica*, 40(1): s9–s14.
- Liou, Y.T., & Lo, S.L. (2005). A fuzzy index model for trophic status evaluation of reservoir waters. *Water Research*, 39(7), 1415–1423.
- Liu, J., Savenije, H.H.G., & Xu, J. (2003). Forecast of water demand in Weinan City in China using WDF-ANN model. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 28(4), 219–224.
- Mahootchi, M., Tizhoosh, H., & Ponnambalam, K. (2006). Reservoir operation optimization by reinforcement learning. *The proceedings of the International Conference on Storm water and Urban Water Systems*, Monograph.
- Masumoto, T., Yoshida, T. & Kudo, R. (2016). Basin-scale irrigation planning in areas with scarce data. *Irrig. and Drain.* 65: 22–30 (2016).
- Mehta, R., & Jain, S.K. (2009). Optimal operation of a multi-purpose reservoir using neuro-fuzzy technique. *Water Resources Management*, 23(3), 509–529.
- Moieni, R., Afshar, A., & Afshar, M.H. (2011). Fuzzy rule-based model for hydropower reservoirs operation. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 33(2), 171–178.

- Mokhtar, S.A., Ishak, W.H.W., & Norwawi, N.M. (2016). Modeling reservoir water release decision using adaptive neuro fuzzy inference system. *Journal of Information and Communication Technology*, 15(2), 141–152.
- Mosavi, A., Ozturk, P., & Chau, K. W. (2018). Flood prediction using machine learning models: Literature review. *Journal of Water*, 10(11), 1536: 1–40.
- Osman, A. I. A., Ahmed, A. N., Chow, M. F., Huang, Y. F., & El-Shafie, A. (2021). Extreme gradient boosting (Xgboost) model to predict the groundwater levels in Selangor Malaysia. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(2): 1545–1556.
- Pablo Ortiz-Partida, J., Lane, B.A., & Sandoval-Solis, S. (2016). Economic effects of a reservoir re-operation policy in the Rio Grande/Bravo for integrated human and environmental water management. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 8(2016), 130–144.
- Paradis, E. (2015). *R for beginners*. Institut des Sciences de l' \_ Evolution, Universit\_e Montpellier, France.
- Pinthong, P., Das Gupta, A., Babel, M. S., & Weesakul, S. (2008). Improved Reservoir Operation Using Hybrid Genetic Algorithm and Neurofuzzy Computing. *Water Resources Management*, 23(4), 697.
- Piriyakul, M. (2003). *Advanced forecasting techniques*, 1<sup>st</sup> edition, Ramkhamhaeng University Publication. 1–324.
- Prékopa, A. (2013). *Stochastic programming*. Springer Science & Business Media, 324.
- Qin, C., Zhang, Y., Bao, F., Zhang, C., Liu, P., & Liu, P. (2021). XGBoost optimized by adaptive particle swarm optimization for credit scoring. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021(6655510): 1–18.
- Rani, D., & Moreira, M.M. (2010). Simulation-optimization modeling: a survey and potential application in reservoir systems operation. *Water Resources Management*, 24(6), 1107–1138.
- Rath, A., Samantaray, S., Bhoi, K.S., & Swain, P.C. (2017). Flow forecasting of Hirakud Reservoir with ARIMA model. In *2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS)* (pp. 2952–2960). IEEE.
- Ravinder, H.V. (2013). Determining the optimal values of exponential smoothing constants—does solver really work?. *American Journal of Business Education*, 6(3): 347–360.
- Rieker, J.D., & Labadie, J.W. (2012). An intelligent agent for optimal river-reservoir system management. *Water Resources Research*, 48(9).
- Rossi, F., Van Beek, P., & Walsh, T. (2006). *Handbook of constraint programming*. New York: Elsevier Science.
- Stuckey, P.J., Kim, M., Tack, G. (2018). *MiniZinc Handbook* (Release 2.2.1).

- Taghi Sattari, M., Yurekli, K., & Pal, M. (2012). Performance evaluation of artificial neural network approaches in forecasting reservoir inflow. *Applied Mathematical Modelling*, 36(6), 2649–2657.
- Thaiware. (2566). Web Application คืออะไร? Retrieved December 10, 2023 from <https://tips.thaiware.com/1772.html>.
- Valipour, M., Banihabib, M.E., & Behbahani, S.M.R. (2013). Comparison of the ARMA, ARIMA, and the autoregressive artificial neural network models in forecasting the monthly inflow of Dez dam reservoir. *Journal of hydrology*, 476, 433–441.
- Valizadeh, N., & El-Shafie, A. (2013). Forecasting the level of reservoirs using multiple input fuzzification in ANFIS. *Water Resource Management*, 27(33), 3319–3331.
- Vonk, E. (2013). Dam reoperation as an adaptation strategy for shifting patterns of water supply and demand (Master Thesis). University of Twente, Enschede.
- Vuolo, F., De Michele, C., & Lazzaro, U. (2006). Success stories: analysis and evaluation of the Italian case–study of Demeter in the Destra Sele plain earth observation for vegetation monitoring and water management, International conference, Napoli, Italy.
- Wang, L., Wang, X., Chen, A., Jin, X., & Che, H. (2020). Prediction of type 2 diabetes risk and its effect evaluation based on the XGBoost model. *Healthcare*, 8(3): 247.
- Wang, Z., Yang, J., Deng, X., & Lan, X. (2015). Optimal water resources allocation under the constraint of land use in the Heihe River Basin of China. *Sustainability*, 7(2), 1558–1575.
- Wei, C.C., & Hsu, N.S. (2008). Derived operating rules for a reservoir operation system: comparison of decision trees, neural decision trees and fuzzy decision trees. *Water Resources Research*, 44(2).
- Wenwu, L., Mbanze, D., & Xueying, Z. (2018). Model dependent reinforcement learning algorithm for reservoir operation stochastic optimization. *Int J Hydro*, 2(5), 579–585.
- Wurbs Ralph, A. (1993). Reservoir–system simulation and optimization models. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 119(4), 455–472.
- Yan, Z., & Li, M. (2018). A stochastic optimization model for agricultural irrigation water allocation based on the field water cycle. *Water*, 10(8), 1031.
- Yang, T., Asanjan, A.A., Welles, E., Gao, X., Sorooshian, S., & Liu, X. (2017). Developing reservoir monthly inflow forecasts using artificial intelligence and climate phenomenon information. *Water Resources Research*, 53(4), 2786–2812.
- Zhang, C., Engel, B.A., Guo, P., Liu, X., Guo, S., Zhang, F., & Wang, Y. (2018). Double–sided stochastic chance–constrained linear fractional programming model for managing irrigation water under uncertainty. *Journal of hydrology*, 564, 467–475.

## ภาคผนวก

## ภาคผนวก A

คู่มือการใช้งานระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา



คู่มือการใช้งานระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา  
Manual on Automated Reservoir Management System in Chao Phraya River Basin



จัดทำโดยคณะนักวิจัย ม.มหิดล

รศ.ดร.อารียา ฤทธิมา

ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

ผศ.ดร.ยุทธนา พันธุ์กลมศิลป์

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและการจัดการภัยพิบัติ

อ.ดร.วุฒิชชาติ แสงผล

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร

ผศ.ดร.จิตาภา ไกรสังข์

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร

## กิตติกรรมประกาศ

คู่มือการใช้งานระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา จัดทำขึ้นเพื่อเป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยที่ได้รับการอนุมัติทุนอุดหนุนกิจกรรมส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยและนวัตกรรมจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2566 ภายใต้หัวข้อวิจัยเรื่อง “การพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา” ซึ่งเน้นการผ่านศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำคู่มือการใช้งานของระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่พัฒนาขึ้นจากโครงการวิจัย พร้อมจัดทำข้อเสนอแนะในการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาด้วยระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำอัตโนมัติ เพื่อส่งต่อผลลัพธ์และผลผลิตจากโครงการวิจัยสู่หน่วยงานผู้ใช้ประโยชน์ ไม่ว่าจะเป็น กรมชลประทาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และสำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ

ทางคณะนักวิจัยหวังเป็นอย่างยิ่ง ผลลัพธ์และผลผลิตจากงานวิจัยนี้จะได้รับการผลักดันให้เกิดการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ในการบริหารจัดการน้ำของประเทศต่อไป

รองศาสตราจารย์ ดร.อารียา ฤทธิมา  
หัวหน้าโครงการวิจัย

## สารบัญเรื่อง

เรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	(i)
สารบัญเรื่อง	(iv)
บทที่ 1 บทนำ	1-1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1-1
1.2 แบบจำลองที่ใช้ในการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติ	1-1
1.3 แนวคิดและหลักการในการพัฒนาแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด	1-2
1.4 พื้นที่ศึกษา	1-16
บทที่ 2 โครงสร้างของระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติ	2-1
2.1 แนวคิดในการออกแบบและพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา	2-1
2.2 โครงสร้างของระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติ	2-3
2.3 ระบบเชื่อมโยงฐานข้อมูลจากคลังข้อมูลน้ำแห่งชาติของระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติ	2-6
บทที่ 3 วิธีการใช้งานระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา	3-1
3.1 การแสดงผลระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา	3-1
3.2 วิธีการใช้งานระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา	3-9
บทที่ 4 ข้อเสนอแนะ	4-1
4.1 เป้าหมายการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา	4-1
4.2 แบบจำลองที่ใช้ในการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา	4-1
4.3 ระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา	4-4
บรรณานุกรม	R-1



## บทที่ 1 บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการ

คู่มือการใช้งานระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา จัดทำขึ้นเพื่อเป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยที่ได้รับการอนุมัติทุนอุดหนุนกิจกรรมส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยและนวัตกรรมจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2566 ภายใต้หัวข้อวิจัยเรื่อง “การพัฒนากระบวนการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา” โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำคู่มือการใช้งานของระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นจากโครงการวิจัย พร้อมจัดทำข้อเสนอแนะในการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาด้วยระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำอัตโนมัติ เพื่อส่งต่อผลลัพธ์และผลผลิตจากโครงการวิจัยสู่หน่วยงานผู้ใช้ประโยชน์ ไม่ว่าจะเป็น กรมชลประทาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และสำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ

### 1.2 แบบจำลองที่ใช้ในการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติ

แบบจำลองที่ใช้ในการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา (Automated Reservoir Management System in Chao Phraya River Basin) ประกอบด้วย 2 แบบจำลองหลัก ได้แก่ (1) แบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำด้วยเทคนิคการเรียนรู้แบบเครื่อง (Reservoir Inflow Prediction Model Using Machine Learning, ML) และ (2) แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming, CP) สำหรับใช้ในการบริหารเขื่อนในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา

#### 1.2.1 แบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำด้วยเทคนิคการเรียนรู้แบบเครื่อง

แบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำระยะสั้น (Short-Time Prediction) รายวันล่วงหน้า 7 วัน ถูกพัฒนาขึ้นโดยอาศัยหลักการปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) ด้วยเทคนิคการเรียนรู้แบบเครื่อง (Machine Learning) ที่มีความทันสมัยและให้ผลการพยากรณ์ที่ระดับความแม่นยำสูง โดยมีโครงสร้างการทำงานพื้นฐานมาจากระบบโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ (Artificial Neural Networks, ANNs) ร่วมกับหลักการทางสถิติ (Statistical Technique) และใช้ อัลกอริทึม eXtreme Gradient Boosting ในการพยากรณ์ โดยโครงสร้างของตัวแปรนำเข้าไปในแบบจำลองการพยากรณ์รายวันของ 4 เขื่อนหลักในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาได้แก่ เขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์นั้น ได้เลือกใช้แบบจำลองที่มีโครงสร้างของตัวแปรนำเข้าไปไม่ซับซ้อน เข้าใจง่าย และให้ผลการพยากรณ์อยู่ในเกณฑ์ดี ประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่เวลา  $t-1, t-2, \dots, t-7$

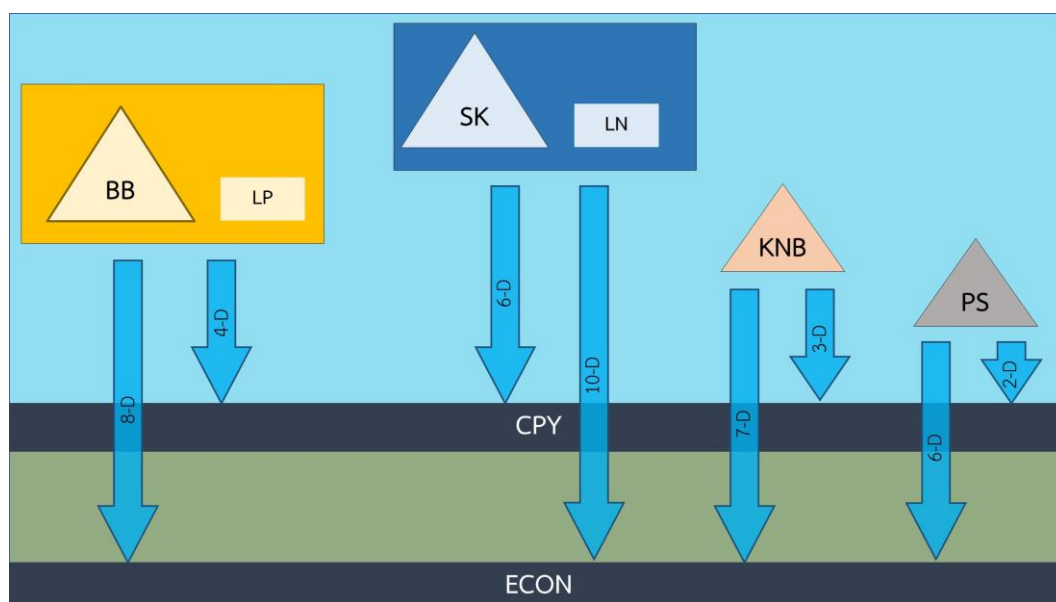
#### 1.2.2 แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด

แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming, CP) สำหรับใช้ในการบริหารเขื่อนหรือการปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาถูกพัฒนาขึ้นโดยอาศัยภาษา Python ซึ่งเป็นภาษาโปรแกรมเชิงข้อจำกัดในยุคปัจจุบันในการแก้โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ค่อนข้างรวดเร็วและมีความทันสมัย สำหรับการกำหนดรูปแบบปัญหาและการแก้ปัญหาโจทย์จะกำหนดในลักษณะของการหาค่าที่ดีที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Optimization) ของระบบอ่างเก็บน้ำแบบหลายอ่าง

### 1.3 แนวคิดและหลักการในการพัฒนาแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด

แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดสำหรับการระบายน้ำจากอ่างเก็บน้ำในลักษณะของปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำร่วมกันแบบหลายอ่างในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาใหญ่ได้ถูกออกแบบและพัฒนาให้ครอบคลุมอ่างเก็บน้ำของ 4 เขื่อนหลักดังนี้ (1) เขื่อนภูมิพล (2) เขื่อนสิริกิติ์ (3) เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และ (4) เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ การพัฒนาแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดได้กำหนดระบบการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาเป็น 4 ระบบย่อยตามเขื่อนทั้ง 4 เขื่อน โดยคำนึงถึงความต้องการน้ำทุกกิจกรรมการใช้น้ำ ได้แก่ ความต้องการน้ำภาคการเกษตรกรรม ความต้องการน้ำนอกภาคการเกษตรกรรม และความต้องการน้ำเพื่อการรักษาระบบนิเวศท้ายเขื่อนภาพที่ 1-1 แสดงองค์ประกอบต่อไปนี้ สีเหลี่ยมสีฟ้าแสดงถึงเขื่อน สีเหลี่ยมสีแดงแสดงถึงโหนดความต้องการน้ำโดยแบ่งตามตัวอักษรดังนี้

- (1) ระบบเขื่อนประกอบด้วย BB คือเขื่อนภูมิพล SK คือเขื่อนสิริกิติ์ KNB คือเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และ PS คือเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์
- (2) โหนดความต้องการน้ำกำหนดใน 2 ลักษณะคือ โหนดความต้องการน้ำในพื้นที่แยกอ่างเก็บน้ำ (Local Demand) ได้แก่ LP ครอบคลุมความต้องการน้ำในภาคการเกษตรกรรมและนอกภาคการเกษตรกรรมท้ายเขื่อนภูมิพลในโซนส่งน้ำลุ่มน้ำปิงตอนล่าง (Lower Ping Water Distribution Zone) และ LN ครอบคลุมความต้องการน้ำในภาคการเกษตรกรรมและนอกภาคการเกษตรกรรมท้ายเขื่อนสิริกิติ์ในโซนส่งน้ำลุ่มน้ำน่านตอนล่าง (Lower Nan Water Distribution Zone) และโหนดความต้องการน้ำร่วมกัน (Joint Demand) ได้แก่ CPY ครอบคลุมความต้องการน้ำในภาคการเกษตรกรรมและนอกภาคการเกษตรกรรมบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาฝั่งตะวันตกและฝั่งตะวันออกในโซนส่งน้ำลุ่มน้ำเจ้าพระยา-ท่าจีน (Chao Phraya-Tha Chin Water Distribution Zone) และ ECON เป็นความต้องการน้ำเพื่อการรักษาระบบนิเวศท้ายเขื่อนเจ้าพระยา



ภาพที่ 1-1 การกำหนดระบบการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาโดยพิจารณาระยะเวลาในการเดินทางของน้ำ

แนวคิดหลักจะพิจารณาว่าความต้องการน้ำบริเวณไหนและการระบายน้ำจากเขื่อนไหนจะช่วยในการรับผิตชอบส่วนนั้น ๆ เพื่อนำไปสร้างเป็นสมการแบบข้อจำกัดโดยมีข้อกำหนดดังนี้

- (1) โหนดความต้องการน้ำ LP อยู่บริเวณท้ายเขื่อนภูมิพล ดังนั้น น้ำจากเขื่อนภูมิพล (BB) จะถูกจัดสรรไปให้กับโหนดความต้องการน้ำนี้
- (2) โหนดความต้องการน้ำ LN จะอยู่บริเวณเขื่อนสิริกิติ์ ดังนั้น น้ำจากเขื่อนสิริกิติ์ (SK) จะถูกจัดสรรไปให้กับโหนดความต้องการน้ำนี้
- (3) โหนดความต้องการน้ำ CPY กำหนดให้เป็นความต้องการน้ำร่วมกันที่จะต้องได้รับการจัดสรรน้ำจากเขื่อนภูมิพล (BB) เขื่อนสิริกิติ์ (SK) เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน (KNB) และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ (PS) ซึ่งมีปริมาณความต้องการน้ำสูงสุด
- (4) โหนดความต้องการน้ำ ECON ด้านท้ายเขื่อนทดน้ำเจ้าพระยาได้กำหนดให้เป็นความต้องการน้ำร่วมกันที่จะต้องได้รับการจัดสรรน้ำจากเขื่อนภูมิพล (BB) เขื่อนสิริกิติ์ (SK) เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน (KNB) และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ (PS)

อย่างไรก็ดี เนื่องจากปริมาณน้ำที่ระบายจากเขื่อนหลักแต่ละเขื่อนมีระยะเวลาเดินทาง (Travel Time) ที่น้ำจะไปถึงโหนดความต้องการน้ำในแต่ละพื้นที่แตกต่างกัน ด้วยเหตุนี้ ในการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยาจึงได้นำแบบจำลองที่พิจารณาระยะเวลาในการเดินทางของน้ำไปถึงโหนดความต้องการน้ำในแต่ละพื้นที่มาใช้ในการกำหนดรูปแบบการระบายน้ำจากเขื่อน (Demand-Based Model) โดยในเบื้องต้นได้กำหนดให้ระยะเวลาในการเดินทางของน้ำขึ้นอยู่กับระยะทางจากที่ตำแหน่งที่ตั้งเขื่อนและโหนดความต้องการน้ำ และกำหนดให้มีหน่วยเป็นวันเนื่องจากเป็นหน่วยข้อมูลที่เล็กที่สุดดังนี้

- (1) โหนดความต้องการน้ำ CPY กำหนดให้ระยะเวลาในการเดินทางของน้ำจากเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์เท่ากับ 4, 6, 3 และ 2 วัน ตามลำดับ
- (2) โหนดความต้องการน้ำ ECO กำหนดให้ระยะเวลาในการเดินทางของน้ำจากเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์เท่ากับ 8, 10, 7 และ 6 วัน ตามลำดับ

### 1.3.1 การกำหนดรูปแบบของแบบจำลอง

ในการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยานั้นได้เลือกแบบจำลองที่พิจารณาระยะเวลาในการเดินทางของน้ำไปถึงโหนดความต้องการน้ำในแต่ละพื้นที่ในการกำหนดรูปแบบการระบายน้ำจากเขื่อน (Demand-Based Model) ซึ่งโครงสร้างของแบบจำลองถูกพัฒนาให้เชื่อมโยงกับแบบจำลองที่ไม่ได้พิจารณาระยะเวลาในการเดินทางของน้ำในการกำหนดรูปแบบการระบายน้ำจากเขื่อน (Release-Based Model) เพื่อหาปริมาณการระบายน้ำที่เหมาะสมรายวันของแต่ละอ่างเก็บน้ำ โดยมีรายละเอียดของการกำหนดรูปแบบของแบบจำลองดังนี้

#### 1.3.1.1 แบบจำลองที่พิจารณาระยะเวลาในการเดินทางของน้ำไปถึงโหนดความต้องการน้ำในแต่ละพื้นที่ในการกำหนดรูปแบบการระบายน้ำจากเขื่อน (Demand-Based Model)

##### 1.3.1.1.1 ตัวแปรนำเข้าของแบบจำลอง

ตัวแปรนำเข้าของแบบจำลองที่พิจารณาระยะเวลาในการเดินทางของน้ำไปถึงโหนดความต้องการน้ำในแต่ละพื้นที่ในการกำหนดรูปแบบการระบายน้ำจากเขื่อน (Demand-Based Model) ประกอบด้วย

- (1)  $D_t$  คือปริมาณความต้องการน้ำที่เวลา  $t$  ของแต่ละโหนดความต้องการน้ำตามที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น
- (2)  $SF_t$  คือปริมาณ Sideflow ที่เวลา  $t$  ที่พิจารณาจากสถานีตรวจวัดน้ำท่าหลักในระบบ โดยที่แต่ละตัวแปรเหล่านี้จะถูกสร้างขึ้นสำหรับอ่างเก็บน้ำทั้ง 4 อ่างในพื้นที่ศึกษา เช่น ตัวแปรปริมาณ Sideflow ประกอบด้วย  $SF_{tBB}$ ,  $SF_{tSK}$ ,  $SF_{tKNB}$ , และ  $SF_{tPS}$  ซึ่งกำหนดให้เป็นปริมาณ Sideflow ของสถานีตรวจวัดหลักด้านท้ายน้ำของเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ เป็นต้น

### 1.3.1.1.2 ตัวแปรตัดสินใจของแบบจำลอง

ในส่วนของตัวแปรการตัดสินใจของแบบจำลองที่พิจารณาระยะเวลาในการเดินทางของน้ำไปถึงโหนดความต้องการน้ำในแต่ละพื้นที่ในการกำหนดรูปแบบการระบายน้ำจากเขื่อน (Demand-Based Model) ประกอบด้วย

- (1) ปริมาณการระบายน้ำที่เหมาะสมรายวันคาดการณ์ตามโหนดความต้องการน้ำต่าง ๆ (Optimum Daily Release,  $R_t$ ) ยกตัวอย่างเช่น
  - $R_{tLpbb}$  คือปริมาณการระบายน้ำคาดการณ์ของเขื่อนภูมิพลเพื่อตอบสนองโหนดความต้องการน้ำ LP
  - $R_{tCpybb}$  คือปริมาณการระบายน้ำคาดการณ์ของเขื่อนภูมิพลเพื่อตอบสนองโหนดความต้องการน้ำ CPY
  - $R_{tCpysk}$  คือปริมาณการระบายน้ำคาดการณ์ของเขื่อนสิริกิติ์เพื่อตอบสนองโหนดความต้องการน้ำ CPY
- (2) ค่าน้ำหนักในการจัดสรรน้ำให้เพียงพอกับความต้องการน้ำของแต่ละอ่างเก็บน้ำ (Weight,  $W$ ) เพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลองการหาค่าที่ดีที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Optimization) ในการกำหนดปริมาณการระบายน้ำที่เหมาะสมรายวันของแต่ละอ่างเก็บน้ำ

ผลลัพธ์ที่ได้ของตัวแปรการตัดสินใจนี้จะนำไปใช้ต่อในแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดเพื่อการหาปริมาณการระบายน้ำของแต่ละเขื่อนในแต่ละวัน (Release-Based Model) ต่อไปเพื่อหาปริมาณการระบายน้ำที่เหมาะสมรายวันของแต่ละอ่างเก็บน้ำ

### 1.3.1.2 แบบจำลองที่ไม่ได้พิจารณาระยะเวลาในการเดินทางของน้ำในการกำหนดรูปแบบการระบายน้ำจากเขื่อน (Release-Based Model)

#### 1.3.1.2.1 ตัวแปรนำเข้าของแบบจำลอง

ตัวแปรนำเข้าของแบบจำลองที่ไม่ได้พิจารณาระยะเวลาในการเดินทางของน้ำในการกำหนดรูปแบบการระบายน้ำจากเขื่อน (Release-Based Model) ประกอบด้วย

- (1)  $S_t$  คือปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำที่เวลา  $t$
- (2)  $I_t$  คือปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่เวลา  $t$
- (3)  $E_t$  คือปริมาณน้ำที่สูญเสียจากอ่างเก็บน้ำในรูปของการระเหยที่เวลา  $t$
- (4)  $S_{URC}$  คือปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำระดับน้ำควบคุมตอนบนที่เวลา  $t$

(5)  $H_t$  คือระดับความสูงของเฮดน้ำที่เวลา  $t$

(6)  $D_t$  คือปริมาณความต้องการน้ำที่เวลา  $t$  ของแต่ละโหนดความต้องการน้ำตามที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น

(7)  $SF_t$  คือปริมาณ Sideflow ที่เวลา  $t$  ที่พิจารณาจากสถานีตรวจวัดน้ำท่าหลักในระบบ

โดยที่แต่ละตัวแปรเหล่านี้จะถูกสร้างขึ้นสำหรับอ่างเก็บน้ำทั้ง 4 อ่างในพื้นที่ศึกษา เช่น ตัวแปรของปริมาณเก็บกักในอ่างเก็บน้ำประกอบด้วย  $S_{tBB}$ ,  $S_{tSK}$ ,  $S_{tKNB}$  และ  $S_{tPS}$  ซึ่งกำหนดให้เป็นปริมาณเก็บกักในอ่างเก็บน้ำของเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ เป็นต้น

### 1.3.1.2.2 ตัวแปรตัดสินใจของแบบจำลอง

ในส่วนของตัวแปรการตัดสินใจของแบบจำลองที่ไม่ได้พิจารณาระยะเวลาในการเดินทางของน้ำในการกำหนดรูปแบบการระบายน้ำจากเขื่อน (Release-Based Model) ประกอบด้วย

- (1) ปริมาณการระบายน้ำที่เหมาะสมรายวันของแต่ละอ่างเก็บน้ำ (Optimum Daily Release,  $R_t$ )
- (2) ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำที่เวลา  $t+1$  (Ending Water Storage,  $S_{t+1}$ )
- (3) ค่าน้ำหนักในการจัดสรรน้ำให้เพียงพอกับความต้องการน้ำของแต่ละอ่างเก็บน้ำ (Weight,  $W$ ) เพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลองการหาค่าที่ดีที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Optimization) ในการกำหนดปริมาณการระบายน้ำที่เหมาะสมรายวันของแต่ละอ่างเก็บน้ำ

### 1.3.1.3 การกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

#### 1.3.1.3.1 แบบจำลองที่พิจารณาระยะเวลาในการเดินทางของน้ำไปถึงโหนดความต้องการน้ำในแต่ละพื้นที่ในการกำหนดรูปแบบการระบายน้ำจากเขื่อน (Demand-Based Model)

สำหรับแบบจำลองที่พิจารณาระยะเวลาในการเดินทางของน้ำไปถึงโหนดความต้องการน้ำในแต่ละพื้นที่ในการกำหนดรูปแบบการระบายน้ำจากเขื่อน (Demand-Based Model) ได้กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) จำนวน 1 ฟังก์ชันหลัก ดังนี้

- (1) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการลดปริมาณการระบายน้ำจากอ่างเก็บน้ำ (Minimization of Release):  $\text{Min}F_5(x) = \text{Min}(R_t)$  เมื่อ  $R_t$  เป็นค่าของปริมาณการระบายน้ำจากอ่างเก็บน้ำที่เวลา  $t$  เพื่อใช้ในการปริมาณคาดการณ์ปริมาณการระบายน้ำเหมาะสมกับโหนดความต้องการในแต่ละพื้นที่

#### 1.3.1.3.2 แบบจำลองที่ไม่ได้พิจารณาระยะเวลาในการเดินทางของน้ำในการกำหนดรูปแบบการระบายน้ำจากเขื่อน (Release-Based Model)

แบบจำลองที่ไม่ได้พิจารณาระยะเวลาในการเดินทางของน้ำในการกำหนดรูปแบบการระบายน้ำจากเขื่อน (Release-Based Model) ได้กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ประกอบด้วย 5 ฟังก์ชันหลัก ดังนี้

- (1) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการตอบสนองความต้องการน้ำเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ทางด้านท้ายเขื่อนโดยลดปัญหาการขาดแคลนน้ำให้เหลือน้อยที่สุด (Minimization of Water

Demand Deficit):  $\text{Min}F_1(X) = \sum_{t=1}^N (D_{\text{all}t} - R_{\text{all}t})^2$  เมื่อ  $F_1(X)$  เป็นฟังก์ชันผลรวมของผลต่างระหว่างความต้องการน้ำและค่าการปล่อยน้ำยกกำลังสอง (Sum of Squared Deviation of Releases from Downstream Water Demands) ของทุกอ่างเก็บน้ำตั้งแต่เวลา  $t=1, \dots, t=N$

- (2) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าให้ได้สูงสุด (Maximization of Hydropower Generation):  $\text{Max}F_2(X) = \sum_{t=1}^N e \cdot \gamma \cdot R_t \cdot H_t \cdot \Delta t$  เมื่อ  $F_2(X)$  เป็นฟังก์ชันผลรวมของค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปีเฉลี่ย (Annual Energy Production) ของทุกอ่างเก็บน้ำตั้งแต่เวลา  $t=1, \dots, t=N$
- (3) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการเพิ่มปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำด้วยแนวคิดการลดการปล่อยน้ำส่วนเกินในช่วงน้ำหลาก (Minimization of Surplus Release during Refilled Period):  $\text{Min}F_3(X) = \sum_{t=1}^N \text{abs}(S_t - S_{\text{URC}})$  เมื่อ  $F_3(X)$  เป็นฟังก์ชันผลรวมของผลต่างสัมบูรณ์ระหว่างปริมาณน้ำเก็บกักที่เวลาใด ๆ กับปริมาณน้ำเก็บกักที่เส้นโค้งระดับควบคุมน้ำตอนบน (Upper Rule Curve) ของทุกอ่างเก็บน้ำตั้งแต่เวลา  $t=1, \dots, t=N$
- (4) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการเพิ่มปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำในอนาคต (Maximization of Next Day Storage):  $\text{Max}F_4(x) = \text{Max}(S_{t+1})$  เมื่อ  $S_{t+1}$  เป็นค่าของปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำที่เวลา  $t+1$
- (5) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการลดปริมาณการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำ (Minimization of Release):  $\text{Min}F_5(x) = \text{Min}(R_t)$  เมื่อ  $R_t$  เป็นค่าของปริมาณการระบายน้ำจากอ่างเก็บน้ำที่เวลา  $t$

#### 1.3.1.4 การพัฒนาสมการข้อจำกัด (Constraint)

รายละเอียดของการกำหนดสมการข้อจำกัดของแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดสำหรับการระบายน้ำจากอ่างเก็บน้ำในลักษณะของปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำร่วมกันแบบหลายอ่างในลุ่มน้ำเจ้าพระยามีดังต่อไปนี้

##### 1.3.1.4.1 แบบจำลองที่พิจารณาระยะเวลาในการเดินทางของน้ำไปถึงโหนดความต้องการน้ำในแต่ละพื้นที่ในการกำหนดรูปแบบการระบายน้ำจากเขื่อน (Demand-Based Model)

- (1) สมการข้อจำกัดของสมดุลอ่างเก็บน้ำ:  $S_{t+1} = S_t + I_t - E_t - R_t$
- (2) สมการข้อจำกัดของปริมาณน้ำเก็บกัก:  $S_{\text{min}} \leq S_t \leq S_{\text{max}}$   
โดยที่  $S_{\text{min}}$  คือปริมาณน้ำเก็บกักต่ำสุดของแต่ละอ่างเก็บน้ำ และ  $S_{\text{max}}$  คือปริมาณน้ำเก็บกักสูงสุดของแต่ละอ่างเก็บน้ำ สำหรับการกำหนดค่า  $S_{\text{min}}$  และ  $S_{\text{max}}$  นั้นจะกำหนดตามข้อมูลเขื่อนที่ระบุในคู่มือการระบายน้ำของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยและกรมชลประทานในหน่วยล้านลูกบาศก์เมตร ดังนี้
  - (2.1) BB:  $S_{\text{min}} = 3,800$  และ  $S_{\text{max}} = 13,462$  ล้านลูกบาศก์เมตร
  - (2.2) SK:  $S_{\text{min}} = 2,850$  และ  $S_{\text{max}} = 9,510$  ล้านลูกบาศก์เมตร
  - (2.3) KNB:  $S_{\text{min}} = 36$  และ  $S_{\text{max}} = 939$  ล้านลูกบาศก์เมตร

(2.4) PS:  $S_{\min} = 3$  และ  $S_{\max} = 960$  ล้านลูกบาศก์เมตร

(3) สมการข้อจำกัดของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้:  $G_{\min} \leq G_t \leq G_{\max}$

โดยที่  $G_{\min}$  คือพลังงานไฟฟ้าต่ำสุดที่สามารถผลิตได้  $G_{\max}$  คือพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถผลิตได้ และ  $G_t$  คือพลังงานผลิตไฟฟ้าที่เวลา  $t$  ใด ๆ ของแต่ละอ่างเก็บน้ำซึ่ง

สามารถคำนวณได้จากสมการ  $G_t = \frac{\left(\left(\frac{e}{100}\right) * \gamma * \left(\frac{R_t * 10^6}{24 * 60 * 60}\right) * H_t * \Delta t\right)}{10^3}$  สำหรับค่าประสิทธิภาพ

ของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำสุทธิ (Overall Efficiency) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 91.27% และ  $\gamma$  มีค่าเท่ากับ 9.81 กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร

(4) สมการข้อจำกัดอื่น ๆ:  $S_{t+1}, S_t, I_t, E_t, R_t \geq 0$

(5) สมการข้อจำกัดของการระบายน้ำให้สอดคล้องกับโหนดความต้องการน้ำ: การกำหนดสมการข้อจำกัดนี้ได้แนวคิดมาจากภาพที่ 1 ซึ่งงานวิจัยนี้ได้แยกระบบการจัดสรรน้ำจากเขื่อนหลักเป็น 4 ระบบย่อยตามโหนดความต้องการน้ำ รวมทั้งยังได้กำหนดตัวแปรสำหรับโหนดความต้องการน้ำของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์เพิ่มเติมไว้ด้วย ดังนี้

(5.1) ตัวแปรนำเข้าของความต้องการน้ำ (Water Demand)

(5.1.1)  $D_{tbb}$  กำหนดให้เป็นปริมาณความต้องการน้ำที่เวลา  $t$  ที่โหนดความต้องการน้ำ LP บริเวณท้ายเขื่อนภูมิพลซึ่งจะต้องได้รับการระบายน้ำจากเขื่อนภูมิพลโดยตรง โดยปริมาณความต้องการน้ำนี้ครอบคลุมปริมาณความต้องการน้ำในภาคเกษตรกรรมครอบคลุม 3 โครงการชลประทานหลักได้แก่ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาท่อทองแดง โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาวังบัว และโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาวังยางและหนองขวัญ รวมทั้งปริมาณความต้องการน้ำนอกภาคเกษตรกรรมท้ายเขื่อนภูมิพล

(5.1.2)  $D_{tsk}$  กำหนดให้เป็นปริมาณความต้องการน้ำที่เวลา  $t$  ที่โหนดความต้องการน้ำ LN บริเวณท้ายเขื่อนสิริกิติ์ซึ่งจะต้องได้รับการระบายน้ำจากเขื่อนสิริกิติ์โดยตรง โดยปริมาณความต้องการน้ำนี้ครอบคลุมปริมาณความต้องการน้ำในภาคเกษตรกรรมครอบคลุม 5 โครงการชลประทานหลักได้แก่ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาตงเศรษฐี โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเนตรศวร โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพลาญชุมพล โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาท่าบัว และโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษายม-น่าน รวมทั้งปริมาณความต้องการน้ำนอกภาคเกษตรกรรมท้ายเขื่อนสิริกิติ์

(5.1.3)  $D_{tcpy}$  กำหนดให้เป็นปริมาณความต้องการน้ำที่เวลา  $t$  ที่โหนดความต้องการน้ำร่วมกัน CPY ที่จะต้องได้รับการระบายน้ำจากเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ และเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน โดยปริมาณความต้องการน้ำนี้ครอบคลุมปริมาณความต้องการน้ำในภาคเกษตรกรรมครอบคลุม 26 โครงการชลประทานหลักในพื้นที่โครงการชลประทานเจ้าพระยาฝั่งตะวันตกและฝั่งตะวันออก รวมทั้งปริมาณความต้องการน้ำนอกภาคเกษตรกรรมในพื้นที่

- (5.1.4)  $D_{tknb}$  กำหนดให้เป็นปริมาณความต้องการน้ำที่เวลา  $t$  ทุกกิจกรรมการใช้น้ำของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน
- (5.1.5)  $D_{tps}$  กำหนดให้เป็นปริมาณความต้องการน้ำที่เวลา  $t$  ทุกกิจกรรมการใช้น้ำของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์
- (5.2) ตัวแปรตัดสินใจของค่าน้ำหนักคาดการณ์ในการระบายน้ำให้เพียงพอกับความต้องการน้ำของแต่ละอ่างเก็บน้ำ (Weight,  $W$ )
- (5.2.1)  $W_{tawssbb}$  กำหนดให้เป็นค่าน้ำหนักคาดการณ์ในการระบายน้ำที่เวลา  $t$  จากเขื่อนภูมิพลให้เพียงพอกับปริมาณความต้องการน้ำ  $D_{tcpy}$
- (5.2.2)  $W_{tawssk}$  กำหนดให้เป็นค่าน้ำหนักคาดการณ์ในการระบายน้ำที่เวลา  $t$  จากเขื่อนสิริกิติ์ให้เพียงพอกับปริมาณความต้องการน้ำ  $D_{tcpy}$
- (5.2.3)  $W_{tawsknb}$  กำหนดให้เป็นค่าน้ำหนักคาดการณ์ในการระบายน้ำที่เวลา  $t$  จากเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนให้เพียงพอกับปริมาณความต้องการน้ำ  $D_{tcpy}$
- (5.2.4)  $W_{tawspss}$  กำหนดให้เป็นค่าน้ำหนักคาดการณ์ในการระบายน้ำที่เวลา  $t$  จากเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ให้เพียงพอกับปริมาณความต้องการน้ำ  $D_{tcpy}$
- (5.2.5)  $W_{tecobbb}$  กำหนดให้เป็นค่าน้ำหนักคาดการณ์ในการระบายน้ำที่เวลา  $t$  จากเขื่อนภูมิพลให้เพียงพอกับปริมาณความต้องการน้ำ  $D_{teco}$
- (5.2.6)  $W_{tecosk}$  กำหนดให้เป็นค่าน้ำหนักคาดการณ์ในการระบายน้ำที่เวลา  $t$  จากเขื่อนสิริกิติ์ให้เพียงพอกับปริมาณความต้องการน้ำ  $D_{teco}$
- (5.2.7)  $W_{tecoknb}$  กำหนดให้เป็นค่าน้ำหนักคาดการณ์ในการระบายน้ำที่เวลา  $t$  จากเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนให้เพียงพอกับปริมาณความต้องการน้ำ  $D_{teco}$
- (5.2.8)  $W_{tecops}$  กำหนดให้เป็นค่าน้ำหนักคาดการณ์ในการระบายน้ำที่เวลา  $t$  จากเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ให้เพียงพอกับปริมาณความต้องการน้ำ  $D_{teco}$
- (5.3) ตัวแปรตัดสินใจของการหาปริมาณการระบายน้ำคาดการณ์ (Water Release) ของเขื่อนตามปัจจัยความต้องการน้ำ
- (5.3.1)  $R_{tlpbb}$  กำหนดให้เป็นปริมาณการระบายน้ำคาดการณ์ที่เวลา  $t$  จากเขื่อนภูมิพลเพื่อสนองความต้องการน้ำ LP
- (5.3.2)  $R_{tcpybb}$  กำหนดให้เป็นปริมาณการระบายน้ำคาดการณ์ที่เวลา  $t$  จากเขื่อนภูมิพลเพื่อสนองความต้องการน้ำ CPY
- (5.3.3)  $R_{tecobbb}$  กำหนดให้เป็นปริมาณการระบายน้ำคาดการณ์ที่เวลา  $t$  จากเขื่อนภูมิพลเพื่อสนองความต้องการน้ำ ECO
- (5.3.4)  $R_{tlnsk}$  กำหนดให้เป็นปริมาณการระบายน้ำคาดการณ์ที่เวลา  $t$  จากเขื่อนสิริกิติ์เพื่อสนองความต้องการน้ำ LN
- (5.3.5)  $R_{tcpysk}$  กำหนดให้เป็นปริมาณการระบายน้ำคาดการณ์ที่เวลา  $t$  จากเขื่อนสิริกิติ์เพื่อสนองความต้องการน้ำ CPY
- (5.3.6)  $R_{tecosk}$  กำหนดให้เป็นปริมาณการระบายน้ำคาดการณ์ที่เวลา  $t$  จากเขื่อนสิริกิติ์เพื่อสนองความต้องการน้ำ ECO



- (4.3.7)  $R_{tknb}$  กำหนดให้เป็นปริมาณการระบายน้ำคาดการณ์ที่เวลา  $t$  จากเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนเพื่อโหนดความต้องการน้ำของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน
- (5.3.8)  $R_{tcpyknb}$  กำหนดให้เป็นปริมาณการระบายน้ำคาดการณ์ที่เวลา  $t$  จากเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนเพื่อโหนดความต้องการน้ำ CPY
- (5.3.9)  $R_{teco knb}$  กำหนดให้เป็นปริมาณการระบายน้ำคาดการณ์ที่เวลา  $t$  จากเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนเพื่อโหนดความต้องการน้ำ ECO
- (5.3.10)  $R_{t ps}$  กำหนดให้เป็นปริมาณการระบายน้ำคาดการณ์ที่เวลา  $t$  จากเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์เพื่อโหนดความต้องการน้ำของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์
- (5.3.11)  $R_{tcpy ps}$  กำหนดให้เป็นปริมาณการระบายน้ำคาดการณ์ที่เวลา  $t$  จากเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์เพื่อโหนดความต้องการน้ำ CPY
- (5.3.12)  $R_{teco ps}$  กำหนดให้เป็นปริมาณการระบายน้ำคาดการณ์ที่เวลา  $t$  จากเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์เพื่อโหนดความต้องการน้ำ ECO

(5.4) หลังจากที่ได้กำหนดตัวแปรข้างต้นแล้ว งานวิจัยนี้ได้กำหนดสมการข้อจำกัดของการระบายน้ำให้เหมาะสมกับความต้องการน้ำ โดยนำปริมาณ Sideflow บริเวณท้ายเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ และเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนมาร่วมพิจารณา 20% โดยพิจารณาจากข้อมูลปริมาณน้ำท่าของสถานีตรวจวัดหลักจำนวน 3 สถานีได้แก่ สถานี W.4A ท้ายเขื่อนภูมิพล และสถานี Y.17 และ N.22A ท้ายเขื่อนสิริกิติ์เพื่อปรับลดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนลงดังนี้

- (5.4.1) สมการข้อจำกัดในการระบายน้ำจากเขื่อนภูมิพลเพื่อโหนดความต้องการน้ำ LP:

$$R_{t pbb} \geq D_{tbb} - (0.2 * SF_{tbb})$$

- (5.4.2) สมการข้อจำกัดในการระบายน้ำจากเขื่อนภูมิพลเพื่อโหนดความต้องการน้ำ CPY:

$$R_{t cpybb} \geq W_{tawsbb} * D_{t cpy}$$

- (5.4.3) สมการข้อจำกัดในการระบายน้ำจากเขื่อนภูมิพลเพื่อโหนดความต้องการน้ำ

ECO:

$$R_{t ecobb} \geq W_{t ecobb} * D_{t eco}$$

- (5.4.4) สมการข้อจำกัดในการระบายน้ำจากเขื่อนสิริกิติ์เพื่อโหนดความต้องการน้ำ LP:

$$R_{t lnsk} \geq D_{t sk} - (0.2 * SF_{t sk})$$

- (5.4.5) สมการข้อจำกัดในการระบายน้ำจากเขื่อนสิริกิติ์เพื่อโหนดความต้องการน้ำ CPY:

$$R_{t cpy sk} \geq W_{tawssk} * D_{t cpy}$$

- (5.4.6) สมการข้อจำกัดในการระบายน้ำจากเขื่อนสิริกิติ์เพื่อโหนดความต้องการน้ำ ECO:

$$R_{t ecosk} \geq W_{t ecosk} * D_{t eco}$$

- (5.4.7) สมการข้อจำกัดในการระบายน้ำจากเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนเพื่อโหนดความต้องการน้ำของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน:

$$R_{t knb} \geq D_{t knb}$$

- (5.4.8) สมการข้อจำกัดในการระบายน้ำจากเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนเพื่อโหนดความ

ต้องการน้ำ CPY:

$$R_{\text{tcpyknb}} \geq W_{\text{tawsknb}} * D_{\text{tcpy}}$$

(5.4.9) สมการข้อจำกัดในการระบายน้ำจากเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนเพื่อเฝ้าระวังความต้องการน้ำ CPY:

ต้องการน้ำ ECO:

$$R_{\text{tecoknb}} \geq W_{\text{tecoknb}} * D_{\text{teco}}$$

(5.4.10) สมการข้อจำกัดในการระบายน้ำจากเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์เพื่อเฝ้าระวังความต้องการน้ำของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์:

$$R_{\text{tps}} \geq D_{\text{tps}}$$

(5.4.11) สมการข้อจำกัดในการระบายน้ำจากเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์เพื่อเฝ้าระวังความต้องการน้ำ CPY:

$$R_{\text{tcpyps}} \geq W_{\text{tawspys}} * D_{\text{tcpy}}$$

(5.4.12) สมการข้อจำกัดในการระบายน้ำจากเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์เพื่อเฝ้าระวังความต้องการน้ำ ECO:

$$R_{\text{tecops}} \geq W_{\text{tecops}} * D_{\text{teco}}$$

(5.4.13) สมการข้อจำกัดเพื่อควบคุมค่าน้ำหนักในการระบายน้ำให้เพียงพอกับความต้องการน้ำของทุกอ่างเก็บน้ำ:

$$W_{\text{tawsbb}} + W_{\text{tawssk}} + W_{\text{tawsknb}} + W_{\text{tawspys}} = 1$$

$$W_{\text{tecobb}} + W_{\text{teconsk}} + W_{\text{tecoknb}} + W_{\text{tecops}} = 1$$

จากสมการข้างต้น งานวิจัยนี้จึงจำเป็นต้องหาค่าน้ำหนักคาดการณ์ในการระบายน้ำให้เพียงพอกับความต้องการน้ำของแต่ละอ่างเก็บน้ำ  $W$  เนื่องด้วยเงื่อนไขที่ว่าแต่ละเขื่อนต้องระบายน้ำล่วงหน้าเพื่อให้ น้ำที่ระบายจากเขื่อนเดินทางไปถึงเฝ้าระวังความต้องการน้ำ CPY และเฝ้าระวังความต้องการน้ำที่ Eco ซึ่งน้ำที่ระบายจากแต่ละเขื่อนมีระยะเวลาเดินทางของน้ำแตกต่างกัน ด้วยเหตุนี้ คณะผู้วิจัยได้พัฒนารูปแบบการหาค่าน้ำหนักคาดการณ์ในการรับผิดชอบความต้องการน้ำของแต่ละอ่างเก็บน้ำ  $W$  มาทั้งหมด 2 รูปแบบดังนี้

(1) รูปแบบที่ 1

รูปแบบที่ 1 กำหนดให้การคำนวณค่าน้ำหนักคาดการณ์ในการระบายน้ำให้เพียงพอกับตามความต้องการน้ำของแต่ละอ่างเก็บน้ำขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ  $I_x$  ของแต่ละเขื่อนซึ่งมีระยะเวลาในการเดินทางของน้ำจากเขื่อนถึงเฝ้าระวังความต้องการน้ำที่แตกต่างกันโดยใช้สมการต่อไปนี้

$$I_{\text{cpy}} = I_{t-4bb} + I_{t-6sk} + I_{t-3knb} + I_{t-2ps}$$

โดยที่  $I_{\text{cpy}}$  คือปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำทั้งหมดของเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ที่ต้องระบายน้ำให้เพียงพอกับเฝ้าระวังความต้องการน้ำ CPY จากนั้นกำหนดค่าน้ำหนักคาดการณ์ในการระบายน้ำให้เพียงพอกับเฝ้าระวังความต้องการน้ำ CPY ของแต่ละอ่างเก็บน้ำโดยคิดเป็น  $W_{\text{tawsx}} = \frac{I_x}{I_{\text{cpy}}}$  โดยที่  $I_x$  คือปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำของแต่ละอ่างเก็บน้ำในแต่ละเวลา

$$I_{\text{eco}} = I_{t-8bb} + I_{t-10sk} + I_{t-7knb} + I_{t-6ps}$$

โดยที่  $I_{eco}$  คือปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำทั้งหมดของเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ที่ต้องระบายน้ำให้เพียงพอโหนดความต้องการน้ำ ECO จากนั้นกำหนดค่าน้ำหนักคาดการณ์ในการระบายน้ำให้เพียงพอกับโหนดความต้องการน้ำ ECO ของแต่ละอ่างเก็บน้ำโดยคิดเป็น  $W_{teco_x} = \frac{I_x}{I_{eco}}$  โดยที่  $I_x$  คือปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำของแต่ละอ่างเก็บน้ำในแต่ละเวลา

## (2) รูปแบบที่ 2

รูปแบบที่ 2 ได้นำปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการสมดุลน้ำในอ่างเก็บน้ำมาใช้ในการหาค่าน้ำหนักคาดการณ์ในการระบายน้ำให้เพียงพอกับความต้องการน้ำของแต่ละอ่างเก็บน้ำ

- โดยชั้นแรกงานวิจัยนี้ได้ทำการคำนวณหาค่าผลรวมของปริมาณน้ำเก็บกักในระบบอ่างเก็บน้ำที่จะต้องระบายน้ำให้เพียงพอกับโหนดความต้องการน้ำ CPY ดังนี้คือ

$$S_{cpy} = S_{cpybb} + S_{cpysk} + S_{cpyknb} + S_{cpypys}$$

โดยที่ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำของแต่ละเขื่อนนั้นจะคำนวณด้วยสมการสมดุลน้ำในอ่างเก็บน้ำที่เวลาต่าง ๆ ดังนี้คือ

$$S_{cpybb} = S_{t-1cpybb} + (I_{t-4bb} - E_{t-4bb} - (R_{t-1cpybb} + (D_{t-4bb} - (0.2 * SF_{t-4bb}))))$$

$$S_{cpysk} = S_{t-1cpysk} + (I_{t-6sk} - E_{t-6sk} - (R_{t-1cpysk} + (D_{t-6sk} - (0.2 * SF_{t-6sk}))))$$

$$S_{cpyknb} = S_{t-1cpyknb} + (I_{t-3knb} - E_{t-3knb} - (R_{t-1cpyknb} + (D_{t-3knb} - (0.2 * SF_{t-3knb}))))$$

$$S_{cpypys} = S_{t-1cpypys} + (I_{t-2ps} - E_{t-2ps} - (R_{t-1cpypys} + (D_{t-2ps} - (0.2 * SF_{t-2ps}))))$$

โดยที่  $S_{cpybb}$  คือปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำที่ได้จากการจำลองเพื่อโหนดความต้องการน้ำ CPY ของเขื่อนภูมิพล  $S_{cpysk}$  คือปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำที่ได้จากการจำลองเพื่อโหนดความต้องการน้ำ CPY ของเขื่อนสิริกิติ์  $S_{cpyknb}$  คือปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำที่ได้จากการจำลองเพื่อโหนดความต้องการน้ำ CPY ของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และ  $S_{cpypys}$  คือปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำที่ได้จากการจำลองเพื่อโหนดความต้องการน้ำ CPY ของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ ในที่นี้ ค่าเริ่มต้นของปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำที่ได้จากการจำลองของเขื่อนต่าง ๆ คำนวณจากปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำที่ได้จากการจำลองตามระยะเวลาที่น้ำเดินทางมาโหนดความต้องการน้ำ CPY จากนั้นค่าน้ำหนักคาดการณ์ในการระบายน้ำให้เพียงพอกับความต้องการน้ำ CPY ของแต่ละอ่างเก็บน้ำคิดเป็น  $W_{taws_x} = \frac{S_x}{S_{cpy}}$  โดยที่  $S_x$  คือปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำที่ได้จากการจำลองของแต่ละอ่างเก็บน้ำในแต่ละเวลาตามสมการข้างต้น อย่างไรก็ตาม ถ้าค่า  $(R_x + (D_x - (0.2 * SF_x)) < R_{min}$  กำหนดให้  $S_x = I_x - E_x - R_{min}$

- งานวิจัยนี้ได้ทำการคำนวณหาค่าผลรวมของปริมาณน้ำเก็บกักในระบบอ่างเก็บน้ำที่จะต้องระบายน้ำให้เพียงพอกับโหนดความต้องการน้ำ ECO ดังนี้คือ

$$S_{eco} = S_{ecobb} + S_{ecosk} + S_{ecoknb} + S_{ecops}$$

โดยที่ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำของแต่ละเขื่อนนั้นจะคำนวณด้วยสมการสมมูลน้ำในอ่างเก็บน้ำที่เวลาต่าง ๆ ดังนี้คือ

$$S_{ecobb} = S_{t-1ecobb} + (I_{t-8bb} - E_{t-8bb} - (R_{t-1ecobb} + (D_{t-8bb} - (0.2 * SF_{t-8bb}))))$$

$$S_{ecosk} = S_{t-1ecosk} + (I_{t-10sk} - E_{t-10sk} - (R_{t-1ecosk} + (D_{t-10sk} - (0.2 * SF_{t-10sk}))))$$

$$S_{ecoknb} = S_{t-1ecoknb} + (I_{t-7knb} - E_{t-7knb} - (R_{t-1ecoknb} + (D_{t-7knb} - (0.2 * SF_{t-7knb}))))$$

$$S_{ecops} = S_{t-1ecops} + (I_{t-6ps} - E_{t-6ps} - (R_{t-1ecops} + (D_{t-6ps} - (0.2 * SF_{t-6ps}))))$$

โดยที่  $S_{ecobb}$  คือปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำที่ได้จากการจำลองเพื่อโหลดความต้องการน้ำ ECO ของเขื่อนภูมิพล  $S_{ecosk}$  คือปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำที่ได้จากการจำลองเพื่อโหลดความต้องการน้ำ ECO ของเขื่อนสิริกิติ์  $S_{ecoknb}$  คือปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำที่ได้จากการจำลองเพื่อโหลดความต้องการน้ำ ECO ของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และ  $S_{ecops}$  คือปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำที่ได้จากการจำลองเพื่อโหลดความต้องการน้ำ ECO ของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ ในที่นี้ ค่าเริ่มต้นของปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำที่ได้จากการจำลองของเขื่อนต่าง ๆ คำนวณจากปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำตามระยะเวลาที่น้ำเดินทางมาถึงโหลดความต้องการน้ำ ECO จากนั้นคำนวณน้ำหนักคาดการณ์ในการระบายน้ำให้เพียงพอกับโหลดความต้องการน้ำ ECO ของแต่ละอ่างเก็บน้ำคิดเป็น  $W_{teco_x} = \frac{S_x}{S_{eco}}$  โดยที่  $S_x$  คือปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำที่ได้จากการจำลองของแต่ละอ่างเก็บน้ำในแต่ละเวลาตามสมการข้างต้น อย่างไรก็ตาม ถ้าค่า  $(R_x + (D_x - (0.2 * SF_x)) < R_{min}$  กำหนดให้  $S_x = I_x - E_x - R_{min}$

อย่างไรก็ดี ผลการวิจัยพบว่า รูปแบบที่ 2 ให้ค่าน้ำหนักคาดการณ์ในการระบายน้ำให้เพียงพอกับความต้องการน้ำของแต่ละอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม เมื่อได้ประยุกต์ใช้กับฐานข้อมูลระยะยาวของอ่างเก็บน้ำระหว่างปี พ.ศ. 2543–2563 จำนวน 21 ปี นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ยังได้ดำเนินการพัฒนาแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดใน 2 รูปแบบ โดยกำหนดให้สมการข้อจำกัดแตกต่างกันตามปัจจัยฤดูกาลคือ (1) แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดรายฤดูกาล (Constraint Programming Model with Seasonal Constraints) และ (2) แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดรายปี (Constraint Programming Model with Yearly Constraints) โดยได้ทำการปรับค่าปริมาณความต้องการน้ำภายใต้สมมติฐานที่ว่า ในช่วงฤดูฝน (พ.ค.–ต.ค.) ศักยภาพของปริมาณน้ำต้นทุนของเขื่อนหลักสามารถระบายน้ำได้อย่างเต็มที่ตามปัจจัยปริมาณความต้องการน้ำโดยคิดเป็น 100% แต่ในฤดูแล้ง (พ.ย.–เม.ษ.) ศักยภาพของปริมาณน้ำต้นทุนของเขื่อนหลักในการตอบสนองปริมาณความต้องการน้ำมีจำกัด ดังนั้น จึงพิจารณาปัจจัยความต้องการน้ำเพียง 80% ที่ได้รับการจัดสรรน้ำจากเขื่อน

#### 1.3.1.4.2 แบบจำลองที่ไม่ได้พิจารณาระยะเวลาในการเดินทางของน้ำในการกำหนดรูปแบบการระบายน้ำจากเขื่อน (Release-Based Model)

(1) สมการข้อจำกัดของสมมูลอ่างเก็บน้ำ:  $S_{t+1} = S_t + I_t - E_t - R_t$

(2) สมการข้อจำกัดของปริมาณน้ำเก็บกัก:  $S_{min} \leq S_t \leq S_{max}$

โดยที่  $S_{min}$  คือปริมาณน้ำเก็บกักต่ำสุดของแต่ละอ่างเก็บน้ำ และ  $S_{max}$  คือปริมาณน้ำเก็บกักสูงสุดของแต่ละอ่างเก็บน้ำ สำหรับการกำหนดค่า  $S_{min}$  และ  $S_{max}$  นั้นจะกำหนดตามข้อมูลเขื่อนที่ระบุในคู่มือการระบายน้ำของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยและกรมชลประทานในหน่วยล้านลูกบาศก์เมตร ดังนี้

$$(2.1) \text{ BB: } S_{min} = 3,800 \text{ และ } S_{max} = 13,462 \text{ ล้านลูกบาศก์เมตร}$$

$$(2.2) \text{ SK: } S_{min} = 2,850 \text{ และ } S_{max} = 9,510 \text{ ล้านลูกบาศก์เมตร}$$

$$(2.3) \text{ KNB: } S_{min} = 36 \text{ และ } S_{max} = 939 \text{ ล้านลูกบาศก์เมตร}$$

$$(2.4) \text{ PS: } S_{min} = 3 \text{ และ } S_{max} = 960 \text{ ล้านลูกบาศก์เมตร}$$

$$(3) \text{ สมการข้อจำกัดของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้: } G_{min} \leq G_t \leq G_{max}$$

โดยที่  $G_{min}$  คือพลังงานไฟฟ้าต่ำสุดที่สามารถผลิตได้  $G_{max}$  คือพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถผลิตได้ และ  $G_t$  คือพลังงานผลิตไฟฟ้าที่เวลา  $t$  ใด ๆ ของแต่ละอ่างเก็บน้ำซึ่ง

$$\text{สามารถคำนวณได้จากสมการ } G_t = \frac{\left( \left( \frac{e}{100} \right) * \gamma * \left( \frac{R_t * 10^6}{24 * 60 * 60} \right) * H_t * \Delta t \right)}{10^3} \text{ สำหรับค่าประสิทธิภาพ}$$

ของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำสุทธิ (Overall Efficiency) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 91.27% และ  $\gamma$  มีค่าเท่ากับ 9.81 กิโลวัตต์ต่อลูกบาศก์เมตร

$$(4) \text{ สมการข้อจำกัดอื่น ๆ: } S_{t+1}, S_t, I_t, E_t, R_t \geq 0$$

(5) สมการข้อจำกัดของการระบายน้ำให้สอดคล้องกับโหนดความต้องการน้ำ: การกำหนดสมการข้อจำกัดนี้ได้แนวคิดมาจากภาพที่ 1 ซึ่งงานวิจัยนี้ได้แยกกระบวนการจัดสรรน้ำจากเขื่อนหลักเป็น 4 ระบบย่อยตามโหนดความต้องการน้ำ รวมทั้งยังได้กำหนดตัวแปรสำหรับโหนดความต้องการน้ำของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์เพิ่มเติมไว้ด้วย ดังนี้

(5.1) ตัวแปรนำเข้าของความต้องการน้ำ (Water Demand)

(5.1.1)  $D_{tbb}$  กำหนดให้เป็นปริมาณความต้องการน้ำที่เวลา  $t$  ที่โหนดความต้องการน้ำ LP บริเวณท้ายเขื่อนภูมิพลซึ่งจะต้องได้รับการจัดสรรน้ำจากเขื่อนภูมิพลโดยตรง โดยปริมาณความต้องการน้ำนี้ครอบคลุมปริมาณความต้องการน้ำในภาคเกษตรกรรมครอบคลุม 3 โครงการชลประทานหลักได้แก่ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาท่อทองแดง โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาวังบัว และโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาวังยางและหนองขวัญ รวมทั้งปริมาณความต้องการน้ำนอกภาคเกษตรกรรมท้ายเขื่อนภูมิพล

(5.1.2)  $D_{tsk}$  กำหนดให้เป็นปริมาณความต้องการน้ำที่เวลา  $t$  ที่โหนดความต้องการน้ำ LN บริเวณท้ายเขื่อนสิริกิติ์ซึ่งจะต้องได้รับการจัดสรรน้ำจากเขื่อนสิริกิติ์โดยตรง โดยปริมาณความต้องการน้ำนี้ครอบคลุมปริมาณความต้องการน้ำในภาคเกษตรกรรมครอบคลุม 5 โครงการชลประทานหลักได้แก่ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาตงเศรษฐี โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษานเรศวร โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพลายชุมพล โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาท่าบัว และโครงการส่งน้ำ

และบำรุงรักษายาม-น่าน รวมทั้งปริมาณความต้องการน้ำนอกภาคเกษตรกรรม  
ท้ายเขื่อนสิริกิติ์

- (5.1.3)  $D_{txcpy}$  กำหนดให้เป็นปริมาณความต้องการน้ำที่เวลา  $tx$  ที่โหนดความต้องการน้ำ  
ร่วมกัน CPY ที่จะต้องได้รับการจัดสรรน้ำจากเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ และเขื่อน  
แควน้อยบำรุงแดน โดยปริมาณความต้องการน้ำนี้ครอบคลุมปริมาณความ  
ต้องการน้ำในภาคเกษตรกรรมครอบคลุม 26 โครงการชลประทานหลักในพื้นที่  
โครงการชลประทานเจ้าพระยาฝั่งตะวันตกและฝั่งตะวันออก รวมทั้งปริมาณ  
ความต้องการน้ำนอกภาคเกษตรกรรมในพื้นที่
- (5.1.4)  $D_{txeco}$  กำหนดให้เป็นปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการรักษาระบบนิเวศที่เวลา  $tx$   
ที่โหนดความต้องการน้ำ ECON ท้ายเขื่อนทดน้ำเจ้าพระยา
- (5.1.5)  $D_{tknb}$  กำหนดให้เป็นปริมาณความต้องการน้ำที่เวลา  $t$  ทุกกิจกรรมการใช้น้ำของ  
เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน
- (5.1.6)  $D_{tpps}$  กำหนดให้เป็นปริมาณความต้องการน้ำที่เวลา  $t$  ทุกกิจกรรมการใช้น้ำของ  
เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์
- (5.2) ตัวแปรตัดสินใจของค่าน้ำหนักในการระบายน้ำให้เพียงพอกับความต้องการน้ำของ  
แต่ละอ่างเก็บน้ำ (Weight,  $W$ )
- (5.2.1)  $W_{txawsbb}$  กำหนดให้เป็นค่าน้ำหนักในการระบายน้ำจากเขื่อนภูมิพลให้เพียงพอ  
กับปริมาณความต้องการน้ำ  $D_{txcpy}$
- (5.2.2)  $W_{txawssk}$  กำหนดให้เป็นค่าน้ำหนักในการระบายน้ำจากเขื่อนสิริกิติ์ให้เพียงพอ  
กับปริมาณความต้องการน้ำ  $D_{txcpy}$
- (5.2.3)  $W_{txawsknb}$  กำหนดให้เป็นค่าน้ำหนักในการระบายน้ำจากเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน  
ให้เพียงพอกับปริมาณความต้องการน้ำ  $D_{txcpy}$
- (5.2.4)  $W_{txawspss}$  กำหนดให้เป็นค่าน้ำหนักในการระบายน้ำจากเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ให้  
เพียงพอกับปริมาณความต้องการน้ำ  $D_{txcpy}$
- (5.2.5)  $W_{txecobb}$  กำหนดให้เป็นค่าน้ำหนักในการระบายน้ำจากเขื่อนภูมิพลให้เพียงพอ  
กับปริมาณความต้องการน้ำ  $D_{txeco}$
- (5.2.6)  $W_{txecosk}$  กำหนดให้เป็นค่าน้ำหนักในการระบายน้ำจากเขื่อนสิริกิติ์ให้เพียงพอ  
กับปริมาณความต้องการน้ำ  $D_{txeco}$
- (5.2.7)  $W_{txecoknb}$  กำหนดให้เป็นค่าน้ำหนักในการระบายน้ำจากเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน  
ให้เพียงพอกับปริมาณความต้องการน้ำ  $D_{txeco}$
- (5.2.8)  $W_{txecops}$  กำหนดให้เป็นค่าน้ำหนักในการระบายน้ำจากเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ให้  
เพียงพอกับปริมาณความต้องการน้ำ  $D_{txeco}$
- (5.3) ตัวแปรตัดสินใจในการระบายน้ำ (Final Water Release)
- (5.3.1)  $FR_{tbb}$  กำหนดให้เป็นปริมาณการระบายน้ำที่เวลา  $t$  จากเขื่อนภูมิพล
- (5.3.2)  $FR_{tsk}$  กำหนดให้เป็นปริมาณการระบายน้ำที่เวลา  $t$  จากเขื่อนสิริกิติ์
- (5.3.3)  $FR_{tknb}$  กำหนดให้เป็นปริมาณการระบายน้ำที่เวลา  $t$  จากเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน

(5.3.4)  $FR_{tps}$  กำหนดให้เป็นปริมาณการระบายน้ำที่เวลา  $t$  จากเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์

(5.4) หลังจากที่ได้กำหนดตัวแปรข้างต้นแล้ว งานวิจัยนี้ได้กำหนดสมการข้อจำกัดของการระบายน้ำให้เหมาะสมกับความต้องการน้ำ โดยนำปริมาณ Sidelow บริเวณท้ายเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ และเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนมาร่วมพิจารณา 20% โดยพิจารณาจากข้อมูลปริมาณน้ำท่าของสถานีตรวจวัดหลักจำนวน 3 สถานีได้แก่ สถานี W.4A ท้ายเขื่อนภูมิพล และสถานี Y.17 และ N.22A ท้ายเขื่อนสิริกิติ์เพื่อปรับลดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนลงดังนี้

(5.4.1) สมการข้อจำกัดในการระบายน้ำจากเขื่อนภูมิพล:

$$FR_{tbb} \geq R_{txlpbb} + R_{txcpybb} + R_{txecobb}$$

$$FR_{tbb} \geq D_{tbb} + (W_{txawssbb} * D_{txcpy}) + (W_{txecobb} * D_{txeco}) - (0.2 * SF_{tbb})$$

(5.4.2) สมการข้อจำกัดในการระบายน้ำจากเขื่อนสิริกิติ์:

$$FR_{tsk} \geq R_{txlnsk} + R_{txcpysk} + R_{txecosk}$$

$$FR_{tsk} \geq D_{tsk} + (W_{txawssk} * D_{txcpy}) + (W_{txecosk} * D_{txeco}) - (0.2 * SF_{tsk})$$

(5.4.3) สมการข้อจำกัดในการระบายน้ำจากเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน:

$$FR_{tknb} \geq R_{txknb} + R_{txcpyknb} + R_{txecoknb}$$

$$FR_{tknb} \geq D_{tknb} + (W_{txawssknb} * D_{txcpy}) + (W_{txecoknb} * D_{txeco})$$

(5.4.4) สมการข้อจำกัดในการระบายน้ำจากเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์:

$$FR_{tps} \geq R_{txps} + R_{txcypsp} + R_{txecops}$$

$$FR_{tps} \geq D_{tps} + (W_{txawssps} * D_{txcpy}) + (W_{txecops} * D_{txeco})$$

(5.4.5) สมการข้อจำกัดเพื่อควบคุมค่าน้ำหนักในการระบายน้ำให้เพียงพอกับความต้องการน้ำของทุกอ่างเก็บน้ำ:

$$W_{txawssbb} + W_{txawssk} + W_{txawssknb} + W_{txawssps} = 1$$

$$W_{txecobb} + W_{txeconsk} + W_{txecoknb} + W_{txecops} = 1$$

(5.5) การกำหนดสมการข้อจำกัดเพื่อควบคุมปริมาณน้ำหลากในช่วงฤดูฝนของเขื่อนภูมิพลตามแนวทางการระบายน้ำของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยดังนี้

$$(5.5.1) (S_{tbb} \geq 12,157.2 \text{ และ } S_{tbb} < 12,483.4) \rightarrow FR_{tbb} \geq 0.3 * I_{tbb}$$

$$(5.5.2) (S_{tbb} \geq 12,483.4 \text{ และ } S_{tbb} < 12,809.6) \rightarrow FR_{tbb} \geq 0.5 * I_{tbb}$$

$$(5.5.3) (S_{tbb} \geq 12,809.6 \text{ และ } S_{tbb} < 13,298.9) \rightarrow FR_{tbb} \geq 0.7 * I_{tbb}$$

$$(5.5.4) (S_{tbb} \geq 13,298.9) \rightarrow FR_{tbb} \geq I_{tbb}$$

เมื่อปริมาณน้ำเก็บกักที่เวลา  $t$  ใด ๆ แสดงผลในหน่วยล้านลูกบาศก์เมตร

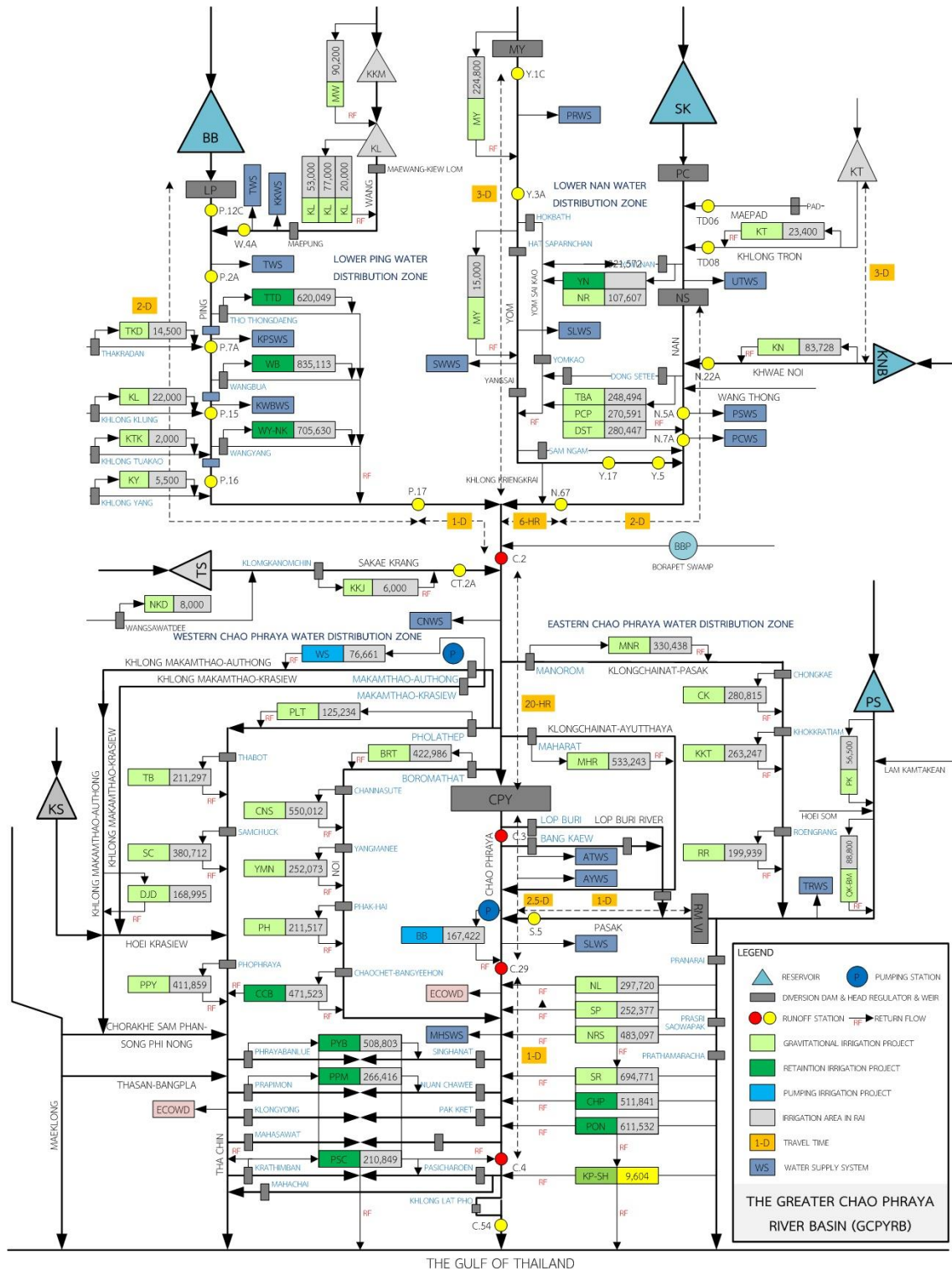
จากสมการข้อจำกัดข้างต้นจะเป็นการหาปริมาณการระบายน้ำที่เหมาะสมรายวันของแต่ละอ่างเก็บน้ำ ดังนั้น ค่าของตัวแปรนำเข้าต่าง ๆ ที่มาจากแบบจำลองที่พิจารณาระยะเวลาในการเดินทางของน้ำไปถึงโหนดความต้องการน้ำในแต่ละพื้นที่ในการกำหนดรูปแบบการระบายน้ำจากเขื่อน (Demand-Based Model) นั้นจะนำเข้ามาตามช่วงเวลาจากเขื่อนถึงพื้นที่ของความต้อการน้ำเช่น ถ้าคำนวณต้องการหา  $FR_{tbb}$

ของวันที่  $t$  ค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสมการข้อจำกัดสำหรับหาค่า  $FR_{tbb}$  โดยที่คำนึงถึงโหนดความต้องการที่ CPY เช่น  $R_{tcpybb}$  และ  $D_{tcpy}$  เป็นต้น จะต้องใช้ของวันที่  $t+4$  ตามระยะเวลาที่แสดงในภาพที่ 1-1 ข้างต้น

#### 1.4 พื้นที่ศึกษา

ลุ่มน้ำเจ้าพระยา (Chao Phraya River Basin) ตั้งอยู่ทางตอนกลางของประเทศไทย และเป็นลุ่มน้ำที่มีบทบาทสำคัญในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำร่วมกันแบบคลัสเตอร์ครอบคลุมพื้นที่ในลุ่มน้ำปิง ลุ่มน้ำวัง ลุ่มน้ำยม ลุ่มน้ำน่าน ลุ่มน้ำป่าสัก ลุ่มน้ำสะแกกรัง ลุ่มน้ำท่าจีน และลุ่มน้ำเจ้าพระยาเพื่อตอบสนองความต้องการน้ำทั้งในภาคเกษตรกรรมและนอกภาคเกษตรกรรมสองฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยาในบริเวณพื้นที่ราบภาคกลางตอนล่าง ประกอบด้วยเขื่อนหลักที่สำคัญได้แก่ เขื่อนภูมิพล (Bhumibol Dam, BB) เขื่อนสิริกิติ์ (Sirikit Dam, SK) เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน (Khaewnoi Bumrungdaen Dam, KNB) เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ (Pasakcholasit Dam, PS) และเขื่อนทดน้ำเจ้าพระยา (Chao Phraya Dam, CPY) โดยน้ำต้นทุนจากเขื่อนเก็บกักหลักได้แก่ ได้แก่ เขื่อนภูมิพล และเขื่อนสิริกิติ์ ซึ่งอยู่ในความดูแลของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยจะถูกจัดสรรไปใช้ร่วมกันร่วมกับเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนเพื่อตอบสนองกิจกรรมความต้องการน้ำทางด้านทำนน้ำทางตอนล่าง ได้แก่ ความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภค การอุตสาหกรรม การรักษาระบบนิเวศ และการผลักดันน้ำเค็ม การผลิตพลังงานไฟฟ้า และการชลประทานในเขตโครงการชลประทานเจ้าพระยาใหญ่ (Greater Chao Phraya Irrigation Project, GCPYIP) ซึ่งประกอบด้วย โครงการชลประทานในเขตลุ่มน้ำปิงตอนล่าง (Lower Ping Irrigation Scheme, LPIS) จำนวน 3 โครงการ โครงการชลประทานในเขตลุ่มน้ำเจ้าพระยา-ท่าจีนฝั่งซ้ายและฝั่งขวา (Chao Phraya-Tha Chin Irrigation Scheme, CPY-TCIS) จำนวน 26 โครงการ และโครงการชลประทานในเขตลุ่มน้ำน่านตอนล่าง (Lower Nan Irrigation Scheme, LNIS) จำนวน 5 โครงการ ภายใต้การดูแลของกรมชลประทาน โดยปริมาณน้ำที่ระบายจากเขื่อนภูมิพลและสิริกิติ์จะถูกจัดสรรไปใช้เพื่อการชลประทานผ่านระบบคลองส่งน้ำทางฝั่งขวาและฝั่งซ้ายของแม่น้ำเจ้าพระยา โดยมีเขื่อนทดน้ำเจ้าพระยาทำหน้าที่ผันน้ำเข้าระบบคลองส่งน้ำ รวมทั้งระบายน้ำท้ายเขื่อนส่วนหนึ่งเพื่อรักษาระบบนิเวศและช่วยผลักดันน้ำเค็มที่รุกกล้าเข้ามาบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา ดังแสดงแผนผังระบบอ่างเก็บน้ำในภาพที่ 1-2 ด้วยเหตุนี้ การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมโดยเฉพาะจากเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์ซึ่งเป็นเขื่อนเก็บกักหลักขนาดใหญ่ในพื้นที่จึงมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อประสิทธิภาพ ความยั่งยืน และความมั่นคงในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ราบภาคกลางของประเทศไทย





ภาพที่ 1-2 ฝั่งน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา

1.4.1 รายละเอียดของข้อมูลพื้นฐานของเขื่อน-อ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

1.4.1.1 เขื่อนภูมิพล (Bhumibol Dam)

เขื่อนภูมิพล (Bhumibol Dam, BB) เป็นเขื่อนคอนกรีตโค้งอเนกประสงค์แห่งแรกของประเทศไทย เดิมชื่อเขื่อนยันฮี ต่อมาเมื่อวันที่ 25 กรกฎาคม พ.ศ. 2500 พระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช

ได้พระราชทานพระปรมาภิไธยให้เป็นชื่อเขื่อนว่า เขื่อนภูมิพล ลักษณะของเขื่อนเป็นเขื่อนคอนกรีตโค้ง (Concrete Arch Dam) เพียงแห่งเดียวในประเทศไทยและเอเชียอาคเนย์ และเป็นอันดับที่ 8 ของโลก สร้างปิดกั้นลำน้ำปิงที่บริเวณเขาแก้ว อำเภอสามเงา จังหวัดตาก เขื่อนภูมิพลนับเป็นแหล่งกักเก็บน้ำหลักของกลุ่มน้ำปิง โดยมีน้ำจากกลุ่มน้ำวังมาสมทบที่บ้านตาก อำเภอสามเงา จังหวัดตาก ซึ่งอยู่ท้ายเขื่อนภูมิพลลงมา กลุ่มน้ำวังปัจจุบันไม่มีแหล่งเก็บน้ำขนาดใหญ่ น้ำจากทั้งสองลุ่มน้ำนี้นับเป็นแหล่งน้ำที่สำคัญที่ช่วยหล่อเลี้ยงภาคเกษตรกรรมตลอดลุ่มน้ำปิงตอนล่างตั้งแต่จังหวัดตาก กำแพงเพชร ลงมาถึงนครสวรรค์ และลุ่มน้ำเจ้าพระยา โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพื่อการเกษตรกรรมบริเวณพื้นที่ราบภาคกลางสองฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยาในพื้นที่โครงการชลประทานเจ้าพระยาใหญ่ รวมพื้นที่มากกว่า 10 ล้านไร่ รวมทั้งเพื่อการอุปโภคบริโภค การอุตสาหกรรม การท่องเที่ยว และการผลักดันน้ำเค็ม ทางตอนล่างของกลุ่มน้ำ หรืออาจกล่าวได้ว่า การบริหารจัดการน้ำในลุ่มน้ำปิงนับเป็นส่วนหนึ่งของการบริหารจัดการน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยา (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2561ก) สำหรับรายละเอียดของข้อมูลพื้นฐานเขื่อนภูมิพลแสดงในตารางที่ 1-1

ตารางที่ 1-1 ข้อมูลพื้นฐานเขื่อนภูมิพล

ข้อมูลพื้นฐาน	หน่วย	เขื่อน-อ่างเก็บน้ำ
<b>ลักษณะตัวเขื่อน</b>		
ชนิด	-	คอนกรีตโค้ง
ความสูง	เมตร	154
ความยาวของสันเขื่อน	เมตร	486
ความกว้างของสันเขื่อน	เมตร	6
ความกว้างของฐานเขื่อน	เมตร	56
ระดับที่สันเขื่อน	เมตร รทก.	261
<b>ลักษณะของอ่างเก็บน้ำ</b>		
ระดับน้ำเก็บกักสูงสุด	เมตร รทก.	260.00
ระดับน้ำเก็บกักปกติ	เมตร รทก.	260.00
ระดับน้ำเก็บกักต่ำสุด	เมตร รทก.	213.00
ระดับน้ำต่ำสุดที่ผลิตไฟฟ้า	เมตร รทก.	213
ระดับเขื่อนน้ำ	เมตร	47
ระดับน้ำท้ายเขื่อน	เมตร รทก.	138
ปริมาณน้ำเก็บกักสูงสุด	ล้านลูกบาศก์เมตร	13,462
ปริมาณน้ำเก็บกักปกติ	ล้านลูกบาศก์เมตร	13,462
ปริมาณน้ำเก็บกักต่ำสุด	ล้านลูกบาศก์เมตร	3,800
ปริมาณน้ำใช้การ	ล้านลูกบาศก์เมตร	9,662
ปริมาณน้ำไม่ใช้การ	ล้านลูกบาศก์เมตร	3,800
ปริมาณน้ำใช้งานที่ผลิตไฟฟ้า	ล้านลูกบาศก์เมตร	9,662
พื้นที่รับน้ำ	ตารางกิโลเมตร	26,386
พื้นที่ผิวน้ำที่ระดับเก็บกักสูงสุด	ตารางกิโลเมตร	318
ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย (2555-2563)	ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี	3,913
ปริมาณการสูญเสียน้ำจากการระเหยและรั่วซึม	ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี	432

ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2555)

#### 1.4.1.2 เขื่อนสิริกิติ์ (Sirikit Dam)

เขื่อนสิริกิติ์ (Sirikit Dam, SK) หรือเดิมชื่อว่า “เขื่อนผาช่อม” เป็นเขื่อนดินที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย ก่อสร้างขึ้นตามโครงการพัฒนาลุ่มน้ำน่าน ตั้งอยู่ที่ตำบลผาเสียด อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ โดยก่อสร้างปิดกั้นแม่น้ำน่านบริเวณเขาผาช่อม ต่อมาได้รับพระบรมราชานุญาตให้เชิญพระนามาภิไธย สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ ในรัชกาลที่ 9 ขนานนามว่า “เขื่อนสิริกิติ์” จัดเป็นเขื่อนดินที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในประเทศไทย เขื่อนแห่งนี้เดิมอยู่ในความดูแลของกรมชลประทานกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ภายหลังจากที่ได้มีการติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ หลังจากนั้นจึงได้มอบให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยเป็นผู้รับผิดชอบดูแลต่อไป เขื่อนสิริกิติ์ดำเนินการก่อสร้างโดยกรมชลประทานเมื่อปี พ.ศ. 2506 แล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2515 ลักษณะของเขื่อนเป็นเขื่อนดิน แกนกลางเป็นดินเหนียว อ่างเก็บน้ำสามารถเก็บกักน้ำได้ 9,510 ล้านลูกบาศก์เมตร ความจุของอ่างมากเป็นที่สามารถจากเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนภูมิพล โรงไฟฟ้าและองค์ประกอบดำเนินการก่อสร้างโดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) เมื่อปี พ.ศ. 2511 แล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2515 ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า รวม 4 เครื่อง กำลังผลิตเครื่องละ 125,000 กิโลวัตต์ รวมกำลังผลิต 500,000 กิโลวัตต์ ให้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยปีละ 1,000 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง พระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช บรมนาถบพิตร และสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ ในรัชกาลที่ 9 เสด็จพระราชดำเนินพร้อมด้วยสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ไปทรงประกอบพิธีเปิดเขื่อนสิริกิติ์และโรงไฟฟ้าเมื่อวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2520

เขื่อนสิริกิติ์จัดเป็นเขื่อนอเนกประสงค์ที่ใช้ประโยชน์หลากหลายประการ ที่สำคัญได้แก่ การชลประทานในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาใหญ่ โดยน้ำจากอ่างเก็บน้ำจะถูกระบายออกไปยังพื้นที่เพาะปลูกในทุ่งราบสองฝั่งแม่น้ำน่านกับพื้นที่ทุ่งเจ้าพระยาทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้งในปริมาณที่ได้มีการตกลงร่วมกันไว้กับกรมชลประทาน การบรรเทาอุทกภัยโดยอ่างเก็บน้ำจะทำหน้าที่ช่วยเก็บกักน้ำที่อาจจะไหลบ่าลงมา ช่วยลดการเกิดอุทกภัยในทุ่งราบสองฝั่งแม่น้ำน่าน ตลอดจนทุ่งเจ้าพระยาลงมาถึงกรุงเทพมหานคร และที่สำคัญเขื่อนยังสามารถผลิตกระแสไฟฟ้า โดยน้ำที่ระบายออกไปเพื่อการชลประทานจะผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 4 เครื่อง ให้พลังไฟฟ้า 500,000 กิโลวัตต์ ซึ่งเป็นการช่วยเสริมระบบไฟฟ้าของประเทศให้มั่นคงยิ่งขึ้น นอกจากนี้ เขื่อนสิริกิติ์ยังช่วยในด้านการประมง การคมนาคมทางน้ำ และการท่องเที่ยวอีกด้วย (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2561ข) สำหรับรายละเอียดของข้อมูลพื้นฐานเขื่อนสิริกิติ์แสดงในตารางที่ 1-2

ตารางที่ 1-2 ข้อมูลพื้นฐานเขื่อนสิริกิติ์

ข้อมูลพื้นฐาน	หน่วย	เขื่อน-อ่างเก็บน้ำ
ลักษณะตัวเขื่อน		
ชนิด	-	เขื่อนดิน
ความสูง	เมตร	114.60
ความยาวของสันเขื่อน	เมตร	800
ความกว้างของสันเขื่อน	เมตร	12
ความกว้างของฐานเขื่อน	เมตร	630
ระดับที่สันเขื่อน	เมตร รทก.	169.00
ลักษณะของอ่างเก็บน้ำ		
ระดับน้ำเก็บกักสูงสุด	เมตร รทก.	165.60
ระดับน้ำเก็บกักปกติ	เมตร รทก.	160.00
ระดับน้ำเก็บกักต่ำสุด	เมตร รทก.	128.00

ข้อมูลพื้นฐาน	หน่วย	เขื่อน-อ่างเก็บน้ำ
ปริมาณน้ำเก็บกักสูงสุด	ล้านลูกบาศก์เมตร	10,500
ปริมาณน้ำเก็บกักปกติ	ล้านลูกบาศก์เมตร	9,510
ปริมาณน้ำเก็บกักต่ำสุด	ล้านลูกบาศก์เมตร	2,850
ปริมาณน้ำใช้การ	ล้านลูกบาศก์เมตร	6,660
ปริมาณน้ำไม่ใช้การ	ล้านลูกบาศก์เมตร	2,850
พื้นที่รับน้ำ	ตารางกิโลเมตร	13,300
พื้นที่ผิวน้ำที่ระดับเก็บกักสูงสุด	ตารางกิโลเมตร	259.60

ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2555)

#### 1.4.1.3 เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน (Khaewnoi Bumrungdaen Dam)

เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน (Khaewnoi Bumrungdaen Dam, KNB) เป็นส่วนหนึ่งของโครงการเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดพิษณุโลก เป็นโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช เพื่อช่วยเหลือราษฎรในพื้นที่ลุ่มน้ำแควน้อยตอนล่าง ท้องที่ประสบปัญหาอุทกภัย รวมทั้งเป็นแหล่งน้ำสำหรับการเพาะปลูกทั่วไปฤดูฝนและฤดูแล้ง ตลอดจนสำหรับการอุปโภคบริโภค เขื่อนแควน้อยบำรุงแดนมีลักษณะเป็นเขื่อนหินถมตาดหน้าด้วยคอนกรีต ความสูง 75 เมตร ความยาว 681 เมตร มีพื้นที่อ่างเก็บน้ำที่ระดับเก็บกักปกติอยู่ที่ 61.39 ตารางกิโลเมตร ความจุอ่างเก็บน้ำที่ระดับเก็บกักปกติ 939 ล้านลูกบาศก์เมตร ส่งน้ำให้พื้นที่การเกษตร 155,166 ไร่ ครอบคลุมพื้นที่อำเภอวัดโบสถ์ อำเภอวังทอง อำเภอเมืองพิษณุโลก และอำเภอบางกระพุ่ม จังหวัดพิษณุโลกกันแม่น้ำแควน้อย อาคารโรงไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยใช้ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตั้งอยู่บนฝั่งซ้ายของเขื่อนแควน้อย บริเวณท้ายน้ำของ River Outlet (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2561ค) สำหรับรายละเอียดของข้อมูลพื้นฐานเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนแสดงในตารางที่ 1-3

ตารางที่ 1-3 ข้อมูลพื้นฐานเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน

ข้อมูลพื้นฐาน	หน่วย	เขื่อน-อ่างเก็บน้ำ
ลักษณะตัวเขื่อน		
ชนิด	-	เขื่อนหินถมตาดหน้าด้วยคอนกรีต
ความสูง	เมตร	75
ความยาวที่สันเขื่อน	เมตร	681
ระดับที่สันเขื่อน	เมตร รทก.	135.00
ลักษณะของอ่างเก็บน้ำ		
ระดับน้ำเก็บกักสูงสุด	เมตร รทก.	130.00
ระดับน้ำเก็บกักปกติ	เมตร รทก.	90.00
ระดับน้ำเก็บกักต่ำสุด	เมตร รทก.	88.60
ปริมาณน้ำเก็บกักสูงสุด	ล้านลูกบาศก์เมตร	939
ปริมาณน้ำเก็บกักปกติ	ล้านลูกบาศก์เมตร	769
ปริมาณน้ำเก็บกักต่ำสุด	ล้านลูกบาศก์เมตร	36
ปริมาณน้ำใช้การ	ล้านลูกบาศก์เมตร	733
ปริมาณน้ำไม่ใช้การ	ล้านลูกบาศก์เมตร	36

ข้อมูลพื้นฐาน	หน่วย	เขื่อน-อ่างเก็บน้ำ
พื้นที่รับน้ำ	ตารางกิโลเมตร	4,254
ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย (2555-2563)	ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี	5,084

#### 1.4.1.4 เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ (Pasakcholasit Dam, PS)

เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ (Pasakcholasit Dam, PS) เป็นโครงการตามพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดชที่ทรงดำริให้สร้างเขื่อนเพื่อเก็บกักน้ำและแก้ไขปัญหาน้ำท่วม โดยพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดชได้พระราชทานนามว่า “เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์” และเสด็จทรงเปิดเขื่อนฯ เมื่อวันที่ 25 พฤศจิกายน พ.ศ. 2542 บ้านหนองบัว ที่ตั้งเขื่อนอยู่ที่ตำบลหนองบัว อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี และบ้านคำพราน ตำบลคำพราน อำเภอวังม่วง จังหวัดสระบุรี

“แม่น้ำป่าสัก” เป็นแม่น้ำสายสำคัญที่สุดสายหนึ่งของชาวจังหวัดลพบุรีและสระบุรี ประชาชนจะได้ประโยชน์จากแม่น้ำป่าสักอย่างมหาศาล ไม่ว่าจะเป็นด้านเกษตรกรรมหรือการประมง แต่ในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคมของทุกปี จะเกิดน้ำท่วมฉับพลันในหลายพื้นที่ของจังหวัดลพบุรี เช่น ตำบลมะนาวหวาน ตำบลหนองบัว อำเภอพัฒนานิคม ตำบลลำน้ำรายณ์ อำเภอชัยบาดาล และหมู่บ้านใกล้เคียงอีกรวมไปถึงจังหวัดสระบุรี จังหวัดพระนครศรีอยุธยา กรุงเทพมหานคร และปริมาณชล สำหรับในช่วงเดือนมกราคม ถึงเดือนพฤษภาคม พื้นที่ในลุ่มน้ำป่าสักก็จะประสบภาวะแห้งแล้ง ขาดแคลนน้ำใช้เพื่อการเกษตรและอุปโภค บริโภค ในปี พ.ศ. 2508 กรมชลประทานได้เริ่มศึกษาโครงการเขื่อนเก็บกักน้ำแม่น้ำป่าสัก แต่เนื่องจากค่าใช้จ่ายสูงจึงได้ระงับโครงการฯ พระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดชทรงมีพระราชกรณียกิจมากมายหลายด้าน แต่หลายครั้งที่พระองค์เสด็จพระราชดำเนินมาเยี่ยมราษฎรจังหวัดลพบุรีด้วยความห่วงใย และได้เสด็จไปทอดพระเนตรพื้นที่ในเขตอำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรีที่กำลังประสบปัญหาอยู่ด้วยสายพระเนตรอันยาวไกล และด้วยความห่วงใยในพสกนิกรของพระองค์ ด้วยพระอัจฉริยภาพที่ล้ำลึก และเป็นพระมหากษัตริย์นักพัฒนาที่ยิ่งใหญ่ ทรงแก้ปัญหาให้ “ความโหดร้าย” ของแม่น้ำป่าสักกลับกลายเป็น “ความสงบเสงี่ยม” ที่น่านิยม พระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช ทรงหาทางแก้ไขปัญหาคความเดือดร้อนของประชาชน เมื่อวันที่ 19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2532 พระองค์ท่านได้มีพระราชดำริให้กรมชลประทานดำเนินการศึกษาความเหมาะสมของโครงการเขื่อนกักเก็บน้ำแม่น้ำป่าสักอย่างเร่งด่วน เพื่อแก้ปัญหาความขาดแคลนน้ำ เป็นประโยชน์ต่อพื้นที่เพาะปลูก และบรรเทาอุทกภัยที่เกิดขึ้น (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2561ง) สำหรับรายละเอียดของข้อมูลพื้นฐานเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์แสดงในตารางที่ 1-4

ตารางที่ 1-4 ข้อมูลพื้นฐานเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์

ข้อมูลพื้นฐาน	หน่วย	เขื่อน-อ่างเก็บน้ำ
ลักษณะตัวเขื่อน		
ชนิด	-	เขื่อนดินแกนดินเหนียว
ความสูง	เมตร	31.5
ความยาวที่สันเขื่อน	เมตร	4,860
ระดับที่สันเขื่อน	เมตร รทก.	46.50
ลักษณะของอ่างเก็บน้ำ		
ระดับน้ำเก็บกักสูงสุด	เมตร รทก.	43.00
ระดับน้ำเก็บกักปกติ	เมตร รทก.	42.00
ระดับน้ำเก็บกักต่ำสุด	เมตร รทก.	29.00

ข้อมูลพื้นฐาน	หน่วย	เขื่อน-อ่างเก็บน้ำ
ปริมาณน้ำเก็บกักสูงสุด	ล้านลูกบาศก์เมตร	960
ปริมาณน้ำเก็บกักปกติ	ล้านลูกบาศก์เมตร	785
ปริมาณน้ำเก็บกักต่ำสุด	ล้านลูกบาศก์เมตร	3
ปริมาณน้ำใช้การ	ล้านลูกบาศก์เมตร	782
ปริมาณน้ำไม่ใช้การ	ล้านลูกบาศก์เมตร	3
พื้นที่รับน้ำ	ตารางกิโลเมตร	14,520
ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย	ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี	2,400

#### 1.4.2 โครงการชลประทานเจ้าพระยาใหญ่

โครงการชลประทานเจ้าพระยาใหญ่ (Greater Chao Phraya Irrigation Project) เป็นโครงการพัฒนาลุ่มน้ำเจ้าพระยาเพื่อการเพาะปลูกสำหรับพื้นที่ราบภาคกลางสองฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยาโดยมีขอบเขตตั้งแต่จังหวัดชัยนาทถึงอ่าวไทย เดิมการเพาะปลูกในเขตพื้นที่ต้องอาศัยน้ำฝนเป็นหลัก อย่างไรก็ตาม ในปีฝนแล้งเกษตรกรมักได้รับความเดือดร้อนจากปัญหาการขาดแคลนน้ำอยู่เป็นประจำ ทำให้กรมชลประทานได้ทำการพัฒนาโครงการชลประทานเจ้าพระยาใหญ่ขึ้นโดยได้เริ่มเตรียมงานเบื้องต้นในปี พ.ศ. 2494 และเริ่มงานก่อสร้างเขื่อนเจ้าพระยา พร้อมกับระบบคลองส่งน้ำในปี พ.ศ. 2495 จนแล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2500 ในปัจจุบันโครงการชลประทานเจ้าพระยาใหญ่ได้รับการจัดสรรน้ำจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ เป็นหลัก โดยมีพื้นที่ชลประทานที่ได้รับการจัดสรรน้ำครอบคลุมโครงการชลประทานลุ่มน้ำปิงตอนล่าง โครงการชลประทานลุ่มน้ำเจ้าพระยา-ท่าจีน และโครงการชลประทานลุ่มน้ำน่านตอนล่าง รวมเป็นพื้นที่ชลประทานกว่า 8,848,684 ไร่ ดังแสดงในตารางที่ 1-5 หน่วยงานที่รับผิดชอบในการจัดสรรน้ำในพื้นที่ชลประทานเป็นของสำนักชลประทานที่ 4 ครอบคลุมพื้นที่โครงการชลประทานลุ่มน้ำปิงตอนล่างในเขตจังหวัดตาก กำแพงเพชร และนครสวรรค์ สำนักชลประทานที่ 3 ครอบคลุมพื้นที่โครงการชลประทานลุ่มน้ำน่านตอนล่างในเขตจังหวัดอุตรดิตถ์ พิษณุโลก พิจิตร และนครสวรรค์ และสำนักชลประทานที่ 10, 11 และ 12 ครอบคลุมพื้นที่โครงการชลประทานลุ่มน้ำเจ้าพระยา-ท่าจีนในหลายเขตจังหวัดของภาคกลาง ซึ่งทำหน้าที่ในการควบคุมอาคารต่าง ๆ ในระบบคลองส่งน้ำ โดยมีฝ่ายจัดสรรน้ำเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบในการกำหนดปริมาณน้ำผ่านอาคารหลักที่สำคัญในระบบ และฝ่ายจัดสรรน้ำยังทำหน้าที่ติดต่อประสานงานกับหน่วยงานอื่น ๆ เช่น การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เพื่อขอให้ทำการระบายน้ำจากเขื่อนภูมิพลและสิริกิติ์ หรือกรมส่งเสริมการเกษตรเพื่อกำหนดเป้าหมายพื้นที่เพาะปลูกในแต่ละช่วงฤดู เป็นต้น (กรมทรัพยากรน้ำ, 2559)

ตารางที่ 1-5 รายละเอียดสำคัญของโครงการชลประทานในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาใหญ่

ลำดับ	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา	พื้นที่โครงการชลประทาน (ไร่)	สำนักชลประทานที่	ประเภทโครงการประทาน
โครงการชลประทานลุ่มน้ำปิงตอนล่าง				
1	ท่อทองแดง	643,125	4	ชลประทานแบบรับน้ำนอง
2	วังบัว	446,250	4	ชลประทานแบบรับน้ำนอง
3	วังยาง-หนองขวัญ	559,375	4	ชลประทานแบบรับน้ำนอง
	รวม	1,648,750		
โครงการชลประทานลุ่มน้ำเจ้าพระยา-ท่าจีน				
1	วัดสิงห์	67,744	12	ชลประทานแบบสูบน้ำ

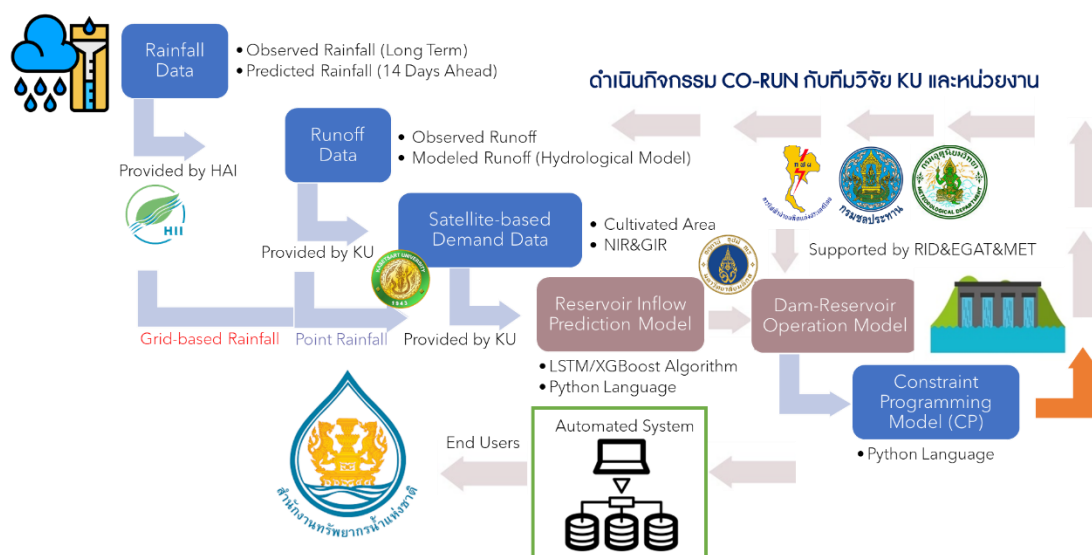
ลำดับ	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา	พื้นที่โครงการชลประทาน (ไร่)	สำนักชลประทานที่	ประเภทโครงการประทาน
2	บางบาล	137,000	12	ชลประทานแบบสูบน้ำ
3	พลเทพ	96,300	12	ชลประทานแบบแรงโน้มถ่วง
4	ท่าโบสถ์	196,356	12	ชลประทานแบบแรงโน้มถ่วง
5	สามชุก	305,000	12	ชลประทานแบบแรงโน้มถ่วง
6	ดอนเจดีย์	146,000	12	ชลประทานแบบแรงโน้มถ่วง
7	โพธิ์พระยา	370,000	12	ชลประทานแบบแรงโน้มถ่วง
8	บรมธาตุ	365,000	12	ชลประทานแบบแรงโน้มถ่วง
9	ชัยสุนทร	448,250	12	ชลประทานแบบแรงโน้มถ่วง
10	ยางมณี	210,321	12	ชลประทานแบบแรงโน้มถ่วง
11	ผักไห่	206,000	12	ชลประทานแบบแรงโน้มถ่วง
12	มหาราช	485,400	10	ชลประทานแบบแรงโน้มถ่วง
13	มโนรมย์	284,265	10	ชลประทานแบบแรงโน้มถ่วง
14	ช่องแค	238,739	10	ชลประทานแบบแรงโน้มถ่วง
15	โคกกระเทียม	205,470	10	ชลประทานแบบแรงโน้มถ่วง
16	เริงราว	179,000	10	ชลประทานแบบแรงโน้มถ่วง
17	ป่าสักใต้	240,600	10	ชลประทานแบบแรงโน้มถ่วง
18	นครหลวง	267,048	10	ชลประทานแบบแรงโน้มถ่วง
19	รังสิตเหนือ	455,500	11	ชลประทานแบบแรงโน้มถ่วง
20	รังสิตใต้	526,000	11	ชลประทานแบบแรงโน้มถ่วง
21	เจ้าเจ็ดบางยี่หน	406,000	11	ชลประทานแบบรับน้ำนอง
22	พระยาบันลือ	358,650	11	ชลประทานแบบรับน้ำนอง
23	พระพิมล	266,000	11	ชลประทานแบบรับน้ำนอง
24	ภาษีเจริญ	124,800	11	ชลประทานแบบรับน้ำนอง
25	คลองด่าน	525,000	11	ชลประทานแบบรับน้ำนอง
26	พระองค์ไชยานุชิต	510,000	11	ชลประทานแบบรับน้ำนอง
รวม		7,620,443		
โครงการชลประทานลุ่มน้ำน่านตอนล่าง				
1	พลาญชุมพล	270,481	3	ชลประทานแบบแรงโน้มถ่วง
2	ดงเศรษฐี	280,359	3	ชลประทานแบบแรงโน้มถ่วง
3	ท่าบัว	248,419	3	ชลประทานแบบแรงโน้มถ่วง
4	นเรศวร	107,567	3	ชลประทานแบบแรงโน้มถ่วง
5	ยมน่าน	321,415	3	ชลประทานแบบรับน้ำนอง
รวม		1,228,241		
รวมพื้นที่		8,848,684		

หมายเหตุ: ข้อมูลพื้นที่ชลประทานจาก Shape File ปี พ.ศ. 2560

## บทที่ 2 โครงสร้างของระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติ

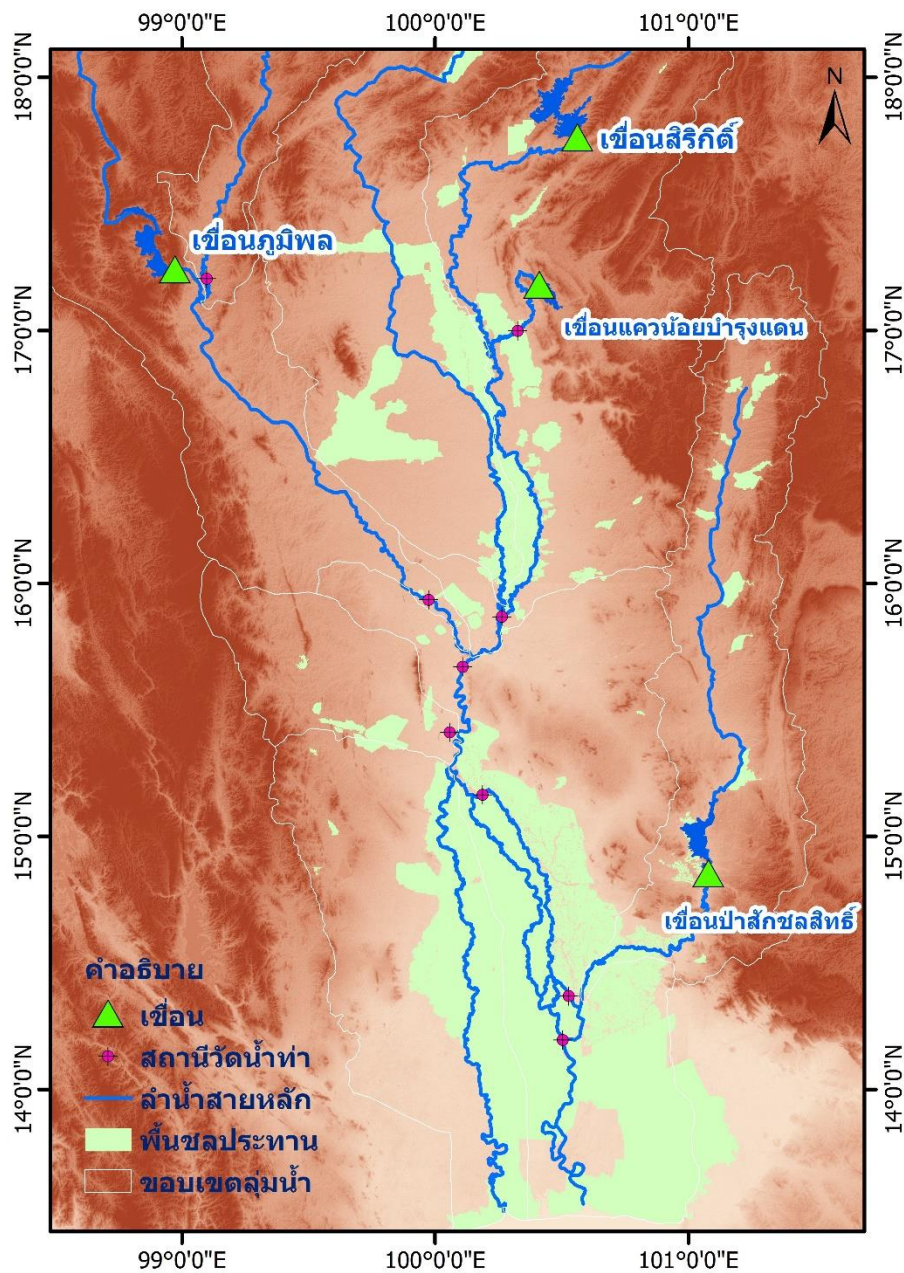
### 2.1 แนวคิดในการออกแบบและพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา

ระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นให้มีความสามารถกำหนดการระบายน้ำรายวันของ 4 เขื่อนหลักได้แก่ เขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ บนพื้นฐานของการเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนของระบบเมื่อสิ้นสุดฤดูฝนระยะยาว โดยระบบถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นให้สามารถประมวลผลและแสดงผลลัพท์บนเว็บแอปพลิเคชันในลักษณะ Fully Automated ที่เชื่อมโยงข้อมูลนำเข้าจากคลังข้อมูลน้ำแห่งชาติ (National Hydroinformatics Data Center, NHDC) ได้แก่ (1) ข้อมูลสมดุอ่างเก็บน้ำของ 4 เขื่อนหลักในความรับผิดชอบของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยและกรมชลประทาน (2) ข้อมูลน้ำท่าตรวจวัดของ 3 สถานีหลักในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา ประกอบด้วย สถานีตรวจวัดน้ำท่า W.4A, Y.17 และ N.22A และ (3) ข้อมูลฝนตรวจวัดของสถานีที่อยู่บริเวณเหนือเขื่อนหลักทั้ง 4 เขื่อนของกรมอุตุนิยมวิทยา รวมทั้งข้อมูลนำเข้าซึ่งเป็นผลลัพธ์ของโครงการวิจัยย่อยจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ในแผนงานที่ 3 ได้แก่ (1) ข้อมูลปริมาณฝนพยากรณ์ล่วงหน้าด้วยแบบจำลอง BC-CFSV2 เหนือเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ (2) ข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำคาดการณ์ล่วงหน้าแยกตามโซนการจัดส่งน้ำจำนวน 9 โซน และ (3) ข้อมูลน้ำท่าคาดการณ์ล่วงหน้าจากแบบจำลองอุทกวิทยาของ 3 สถานีหลักข้างต้นเพื่อนำมากำหนด Potential Side Flow เพื่อพิจารณาลดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนหลักในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา ดังแสดงการทำงานของระบบในภาพที่ 2-1 และแผนที่แสดงพื้นที่ศึกษาในการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาในภาพที่ 2-2



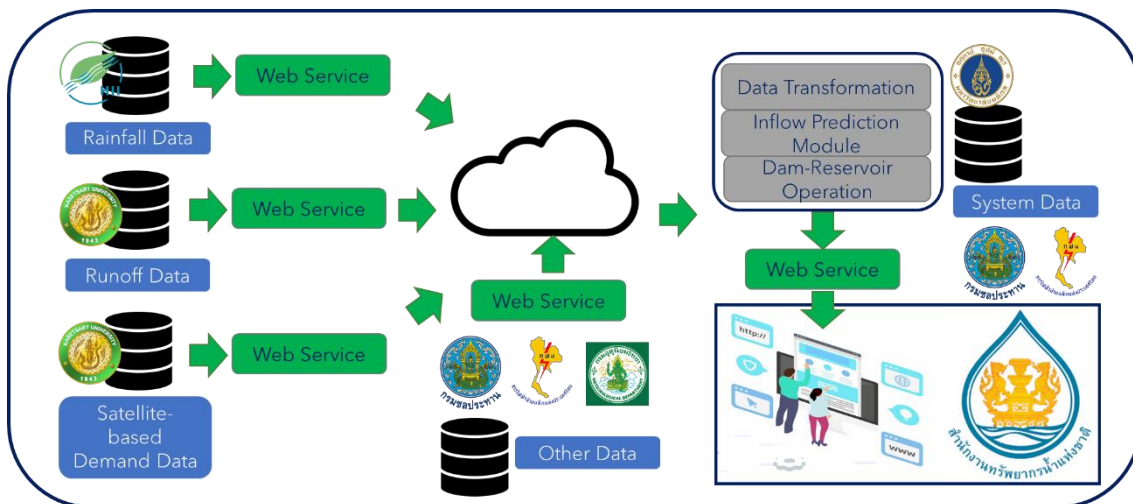
ภาพที่ 2-1 การเชื่อมโยงข้อมูลนำเข้าระหว่างโครงการวิจัยภายใต้แผนงานที่ 3 และจากหน่วยงาน





ภาพที่ 2-2 แผนที่แสดงพื้นที่ศึกษาในการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา

สถาปัตยกรรมของระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา (System Architecture) ถูกออกแบบเป็นระบบกระจาย (Distributed System) เพื่อให้สะดวกต่อการทำงาน และทำให้ระบบมีความเป็นโมดูล (Modularity) ในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน โดยจะใช้บริการเชื่อมโยงข้อมูลผ่านทางเว็บเซอร์วิส หรือ API ดังภาพที่ 2-3 โดยรูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการเชื่อมโยงนั้นจะอยู่ในรูปแบบ JSON

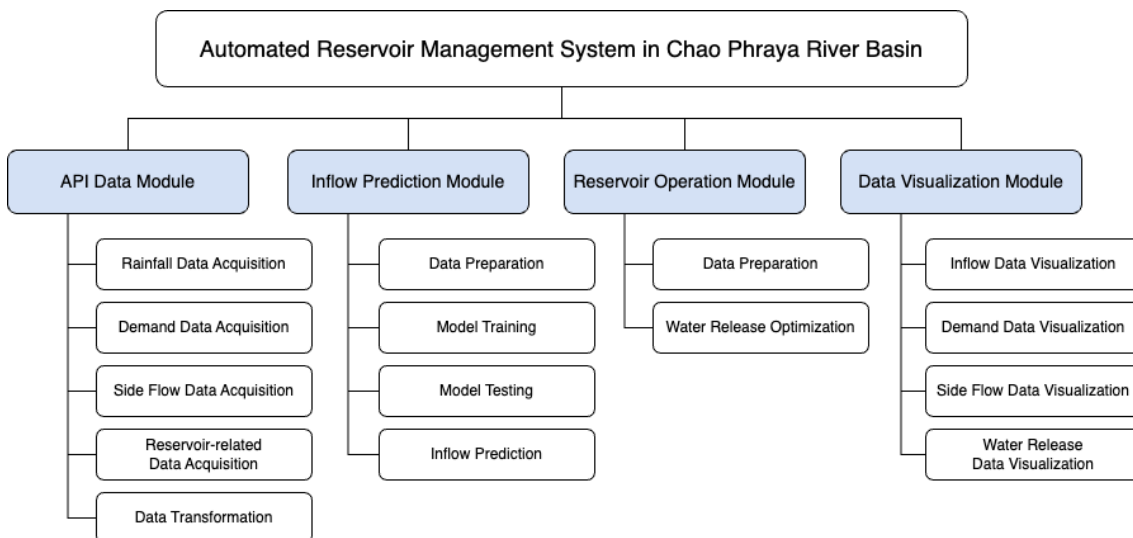


ภาพที่ 2-3 สถาปัตยกรรมระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

## 2.2 โครงสร้างของระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติ

การออกแบบระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยาแสดงอยู่ในภาพที่ 2-4 โดยระบบนี้จะแบ่งออกเป็น 4 โมดูลย่อยดังนี้

- (1) โมดูลส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (API Data Module)
- (2) โมดูลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Inflow Prediction Module)
- (3) โมดูลการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำ (Dam-Reservoir Operation Module)
- (4) โมดูลการแสดงผลพัทธ์ข้อมูล (Data Visualization Module)



ภาพที่ 2-4 โครงสร้างของระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

### 2.2.1 โมดูลส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (API Data Module)

โมดูลส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์เป็นโมดูลที่ทำหน้าที่ในการบริหารจัดการข้อมูลที่ถูกนำเข้ามาในระบบจากแหล่งข้อมูลได้แก่ (1) คลังข้อมูลน้ำแห่งชาติ และ (2) ข้อมูลผลลัพธ์ของโครงการวิจัยย่อยจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ร่วมกับสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) (สสน.) ในแผนงานที่ 3

โดยในโมดูลนี้จะประกอบด้วยโมดูลย่อย ๆ ที่ทำหน้าที่ในการเชื่อมโยงข้อมูลจากแหล่งข้อมูลข้างต้น และรวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในโมดูลอื่น ๆ ดังนี้

- (1) Rainfall Data Acquisition ทำหน้าที่ในการเชื่อมโยงข้อมูลฝนพยากรณ์จากสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) (สสน.) และทำการวิเคราะห์ฝนเหนือเขื่อน โดยที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- (2) Demand Data Acquisition ทำหน้าที่ในการเชื่อมโยงข้อมูลความต้องการน้ำจากทีมวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- (3) Side Flow Data Acquisition ทำหน้าที่ในการเชื่อมโยงข้อมูล Side Flow จากทีมวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- (4) Other Dam Related Data Acquisition ทำหน้าที่ในการเชื่อมโยงข้อมูลสมดุลง่ายเก็บน้ำของ 4 เขื่อนหลักในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาจากคลังข้อมูลน้ำแห่งชาติ
- (5) Data Transformation ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงรูปแบบข้อมูลให้เหมาะสมกับโมดูลอื่น ๆ ได้แก่ โมดูลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ และโมดูลการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำ

### 2.2.2 โมดูลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Inflow Prediction Module)

โมดูลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเป็นโมดูลแสดงผลพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำของ 4 เขื่อนหลักที่พัฒนาขึ้นโดยเทคนิคการเรียนรู้ด้วยเครื่อง (Machine Learning) โดยการออกแบบระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาแบ่งโมดูลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเป็น 4 โมดูลย่อย ดังนี้

- (1) Data Preparation ทำหน้าที่ดึงข้อมูล และเตรียมข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบการใช้งานสำหรับใช้ในแบบจำลองการพยากรณ์
- (2) Model Training ทำหน้าที่ฝึกฝนแบบจำลองพยากรณ์จากข้อมูลที่กำหนด ในกรณีที่มีความต้องการที่จะฝึกฝนแบบจำลองใหม่
- (3) Model Testing ทำหน้าที่ทดสอบแบบจำลองพยากรณ์จากข้อมูลที่กำหนด ในกรณีที่ต้องการเรียกดูประสิทธิภาพการทำงานของแบบจำลองการพยากรณ์
- (4) Inflow Prediction ทำหน้าที่ประมวลผลแบบจำลองและคำนวณผลพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ

ในเบื้องต้น หากผู้ใช้งานต้องการพยากรณ์ผลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ผู้ใช้งานสามารถเรียกการทำงานของโมดูล Data Preparation และ Inflow Prediction ได้เท่านั้น อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ผู้ใช้งานต้องการจะฝึกฝนแบบจำลอง (Retrain) ใหม่ด้วยข้อมูลที่เพิ่มเข้ามาทีหลังเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการพยากรณ์ ผู้ใช้งานสามารถเรียกการทำงานผ่านโมดูล Model Training และ Model Testing

### 2.2.3 โมดูลการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำ (Dam-Reservoir Operation Module)

โมดูลการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำเป็นโมดูลที่ทำหน้าที่ตัดสินใจในการกำหนดปริมาณการระบายน้ำที่เหมาะสมรายวันด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming) โดยการออกแบบโมดูลนี้จะประกอบ 2 โมดูลย่อย ดังนี้

- (1) Data Preparation ทำหน้าที่ในการเตรียมข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในโมดูล Water Release Optimization
- (2) Water Release Optimization ทำหน้าที่ประมวลผลจากแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดเพื่อกำหนดปริมาณการระบายน้ำที่เหมาะสมรายวันของ 4 เขื่อนหลัก

### 2.2.4 โมดูลการแสดงผลข้อมูล (Data Visualization Module)

โมดูลการแสดงผลข้อมูลเป็นโมดูลที่ทำหน้าที่ในการแสดงผลข้อมูลต่าง ๆ บนหน้าเว็บแอปพลิเคชัน โมดูลนี้จะออกแบบให้มี 4 โมดูลย่อย ที่ทำหน้าที่ในการแสดงผลข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

- (1) Inflow Data Visualization ทำหน้าที่ในการแสดงผลข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนจากแบบจำลองการพยากรณ์
- (2) Demand Data Visualization ทำหน้าที่ในการแสดงผลข้อมูลความต้องการน้ำจากการประมาณการด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม
- (3) Side Flow Data Visualization ทำหน้าที่ในการแสดงผลข้อมูล Side Flow
- (4) Water Release Data Visualization ทำหน้าที่ในการแสดงผลข้อมูลปริมาณการระบายน้ำรายวันจากแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด

โดยมีรายละเอียดการพัฒนาโมดูลการแสดงผลข้อมูลแต่ละส่วนดังนี้

#### 2.2.4.1 การออกแบบและพัฒนาส่วนต่อกับผู้ใช้ User Interface

ทางทีมวิจัยได้พัฒนาระบบส่วนต่อกับผู้ใช้โดยนำข้อมูลที่เกี่ยวข้องมาแสดงในหน้าแบบแยกประเภท โมดูลงานที่ใช้ร่วมกัน โดยคำนึงรูปแบบการเรียกดูข้อมูลจากการกำหนดช่วงเวลา ลักษณะเจาะจง และรูปแบบการปฏิสัมพันธ์ระหว่างใช้งานข้อมูล ระบบส่วนต่อกับใช้นั้นจะเป็นส่วน Front-end ที่ติดต่อกับระบบ micro-web framework ที่ประสานข้อมูลจากฐานข้อมูลหลักของระบบ โดยเป็น Application Layer ที่แยกออกมาเน้นการติดต่อกับส่วนผู้ใช้ โดยไม่คำนึงถึงรูปแบบการทำงานด้านหลัง ใช้การสื่อสารด้วย REST API Framework ทำให้สามารถถูกดูแลและแก้ไขได้ตามกาลเวลาหากมีการเปลี่ยนแปลงของลักษณะผู้ใช้ที่เกี่ยวข้อง การออกแบบโมดูลที่แสดงข้อมูลในหน้าจะมี Module ที่สอดคล้องกับข้อมูลของแต่ละหน้าแสดงผล และมีโมดูลใช้งานส่วนกลางเพื่อสนับสนุนการดูแลการติดต่อกับระบบ micro-web framework API มีการใช้งานวาดกราฟแสดงผลจากระบบ ApexChart (<https://apexcharts.com/>) ที่มีความหลากหลายในการนำเสนอข้อมูลอย่างอิสระ และต่อยอดสร้างกราฟชนิดอื่นๆ ที่จำเป็นในอนาคตได้

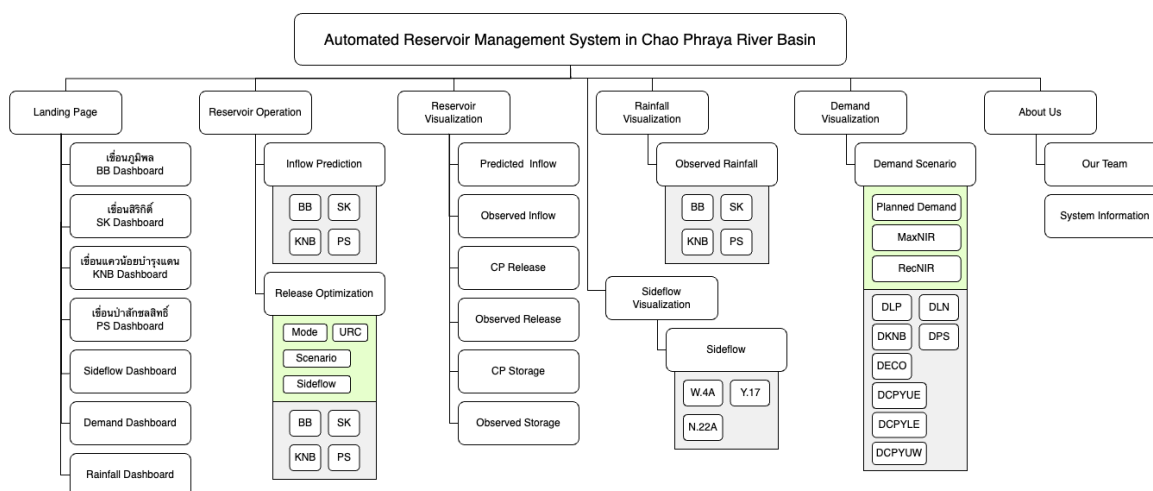
ระบบส่วนต่อกับผู้ใช้ จะถูกพัฒนาด้วยเทคโนโลยีโครงสร้าง NextJS Framework (<https://nextjs.org/>) ซึ่งเป็นโครงสร้างของการทำระบบเว็บแอปพลิเคชันบนโครงสร้างของเทคโนโลยีภาษา React อีกทีหนึ่ง ซึ่งช่วยลดระยะเวลาการปรับแต่งรายละเอียดระบบในด้านการจัดการการเข้าถึงหน้าแสดงผลข้อมูล (Routing System) อีกทั้ง มีระบบสนับสนุนแผนการพัฒนาและนำไปติดตั้งใช้งานจริงได้รวดเร็ว นอกจากนี้ ตัวเทคโนโลยียังสนับสนุนการประมวลผลที่ฝั่งแม่ข่าย (Server-side Rendering) และลดการประมวลผลทางฝั่งผู้ใช้งาน (Client-side Rendering) อีกด้วย เทคโนโลยีนี้ได้รับการรีวิวจากบทความรีวิวทางด้านเทคโนโลยีของบริษัท Thoughtworks (<https://www.thoughtworks.com/en-th/radar/languages-and-frameworks/next-js>) ว่าเป็นเทคโนโลยีที่สามารถนำมาใช้งานร่วมกับแพ็คเกจ NextUI (<https://nextui.org/>) ซึ่งเป็นส่วนประกอบทางด้านส่วนประสานที่ออกแบบมาใช้งานร่วมกับ NextJS Framework เพื่อให้สามารถหน้าส่วนประสานใช้งานอย่างรวดเร็วและสวยงาม

### 2.2.4.2 โครงสร้างของเว็บแอปพลิเคชัน (Navigation Diagram)

ระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยาเป็นระบบเว็บแอปพลิเคชันถูกพัฒนาด้วยเทคโนโลยีโครงสร้าง NextJS Framework โดยมีโครงสร้างของการเรียงหน้าและเนื้อหาภายในภาพรวมดังแสดงภาพที่ 2-5 ประกอบด้วยหน้า 9 องค์ประกอบ ได้แก่

- (2.1) หน้าข้อมูลภาพรวม (Landing Page)
- (2.2) หน้าชุดคำสั่งการเรียนรู้การพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Inflow Prediction Model Page)
- (2.3) หน้าชุดคำสั่งการคำนวณปริมาณการระบายน้ำ (Release Optimization)
- (2.4) หน้าข้อมูลผลการจำลองระบบอ่างเก็บน้ำ (Reservoir)
- (2.5) หน้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนเหนือเขื่อน (Rainfall)
- (2.6) หน้าข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำ (Demand)
- (2.7) หน้าแสดงผลข้อมูลน้ำท่า (Side Flow)
- (2.8) หน้าแสดงผลข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำ (Water Demand)
- (2.9) หน้าคำอธิบายคณะผู้จัดทำและคำอธิบายระบบ (About Us)

โดยหน้าเว็บทั้งหมดจะถูกเข้าถึงด้วยการเลือกเมนู side-bar ที่แสดงชื่อหน้าที่เกี่ยวข้อง ในแต่ละหน้าจะมีการเรียกใช้โมดูลที่ติดต่อไปยัง micro-web framework ผ่าน REST Api เพื่อดึงข้อมูลมาวาดแสดงผลเป็นกราฟ และสร้างฟอร์มเพื่อให้มีการกดปรับเปลี่ยนช่วงเวลาในการเรียกดูข้อมูลได้อย่างอิสระ



ภาพที่ 2-5 โครงสร้างระบบของระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

### 2.3 ระบบเชื่อมโยงฐานข้อมูลจากคลังข้อมูลน้ำแห่งชาติของระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติ

ระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยาได้พัฒนาระบบเชื่อมโยงฐานข้อมูลจากคลังข้อมูลน้ำแห่งชาติ (thaiwater.net) ในรูปแบบของการแลกเปลี่ยนข้อมูลแบบ JSON (JavaScript Object Notation) โดยข้อมูลที่ถูกรวบรวมเข้าสู่ระบบประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากสถานีตรวจวัดน้ำท่า ข้อมูลปริมาณน้ำในเขื่อน ข้อมูลปริมาณฝน โดยข้อมูลเหล่านี้ถูกเชื่อมโยงจากหน่วยงานเจ้าของข้อมูลคือ กรมชลประทาน กรมอุตุนิยมวิทยา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ

(องค์การมหาชน) โดยแสดงชื่อข้อมูลจากฐานข้อมูลคลังข้อมูลน้ำแห่งชาติในตารางที่ 2-1 และแสดงโครงสร้างของฐานข้อมูลของแต่ละชุดข้อมูลในภาพที่ 2-6 ถึง ภาพที่ 2-9

ตารางที่ 2-1 การเชื่อมโยงข้อมูลจากคลังข้อมูลน้ำแห่งชาติ

หน่วยงานเจ้าของข้อมูล	ชื่อข้อมูล
กรมชลประทาน	ข้อมูลน้ำในเขื่อนใหญ่
	ข้อมูลพื้นฐานของเขื่อนขนาดใหญ่ เช่น รหัส ชื่อ พิกัด เป็นต้น
	ข้อมูลสถานีวัดน้ำท่าจากศูนย์อุทกวิทยา ภาค 1-8
	ข้อมูลพื้นฐานของสถานีวัดน้ำท่าจากศูนย์อุทกวิทยา ภาค 1-8
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	ข้อมูลอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ (รายวัน)
	ข้อมูลอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ (รายชั่วโมง)
	ข้อมูลพื้นฐานเขื่อน
กรมอุตุนิยมวิทยา	ข้อมูลฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติ (WMO)
	ข้อมูลพื้นฐานของสถานีวัดสภาพอากาศ
สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน)	ข้อมูลพื้นฐานของสถานีโทรมาตร เช่น รหัส ชื่อ พิกัด เป็นต้น
	ข้อมูลฝนรายวันจากข้อมูลโทรมาตร
	ข้อมูลฝนรายชั่วโมงจากข้อมูลโทรมาตร

<b>ข้อมูลน้ำในเขื่อนใหญ่</b> dam_date <b>dam_id</b> dam_inflow dam_inflow_acc dam_inflow_acc_percent dam_inflow_avg dam_released dam_released_acc dam_storage dam_storage_percent dam_uses_water dam_uses_water_percent	<b>สถานีวัดน้ำท่าจากศูนย์อุทกวิทยา ภาค1-8</b> discharge <b>tele_station_id</b> waterlevel_datetime waterlevel_m
<b>ข้อมูลพื้นฐานของเขื่อนขนาดใหญ่ เช่น รหัส, ชื่อ, พิกัด ฯลฯ</b> agency_id amphoe_name avg_inflow avg_inflow_endyear avg_inflow_intyear dam_lat dam_long dam_name <b>dam_oldcode</b> downstream_storage emer_watergate_level id max_inflow max_inflow_date max_old_storage max_storage max_water_level maxos_date min_old_storage min_storage min_water_level minos_date normal_storage normal_water_level normal_watergate_level power_install power_intake_level province_name rainfall_yearly ridge_spillway_level service_watergate_level tailrace_level top_spillway_level tumbon_name used_genpower uses_water water_shed	<b>ข้อมูลพื้นฐานของสถานีวัดน้ำท่าจากศูนย์อุทกวิทยา ภาค1-8</b> agency_id amphoe_name ground_level hydro_id <b>id</b> province_name qmax riverbank station_type_msl tele_station_lat tele_station_lng tele_station_name tele_station_offset <b>tele_station_oldcode</b> tele_station_type tumbon_name

ภาพที่ 2-6 โครงสร้างฐานข้อมูลจากกรมชลประทาน

<b>ข้อมูลอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ (รายวัน)</b>	<b>พื้นฐานเขื่อน</b>
dam_date	agency_id
dam_evap	avg_inflow
<b>dam_id</b>	avg_inflow_intyear
dam_inflow	dam_lat
dam_level	dam_long
dam_losses	<b>dam_name</b>
dam_released	downstream_storage
dam_spilled	emer_watergate_level
dam_storage	id
	max_inflow
<b>ข้อมูลอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ (รายชั่วโมง)</b>	max_inflow_date
dam_datetime	max_old_storage
<b>dam_id</b>	max_storage
dam_inflow	max_water_level
dam_level	maxos_date
dam_released	min_old_storage
dam_spilled	min_storage
dam_storage	min_water_level
	minos_date
	normal_storage
	normal_water_level
	normal_watergate_level
	power_install
	power_intake_level
	power_intake_storage
	rainfall_yearly
	ridge_spillway_level
	service_watergate_level
	tailrace_level
	top_spillway_level
	used_genpower
	uses_water
	water_shed

ภาพที่ 2-7 โครงสร้างฐานข้อมูลจากการไฟฟ้าผลิตแห่งประเทศไทย

<b>ฝน จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติ (WMO)</b>
rainfall24h
rainfall3h
rainfall_date_calc
rainfall_datetime
<b>tele_station_id</b>
<b>ข้อมูลพื้นฐานของสถานีวัดสภาพอากาศ</b>
agency_id
id
tele_station_lat
tele_station_long
tele_station_name
<b>tele_station_oldcode</b>

ภาพที่ 2-8 โครงสร้างฐานข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา



พื้นฐานของสถานีโทรมาตร เช่น รหัส, ชื่อ, พิกัด	ฝน 1 วัน จากข้อมูลโทรมาตร
agency_id	rainfall_datetime
ground_level	rainfall_datetime_calc
id	rainfall_value
left_bank	tele_station_id
right_bank	
tele_station_lat	
tele_station_long	
tele_station_name	
tele_station_offset	
tele_station_oldcode	
tele_station_type	
ฝน รายชั่วโมง จากข้อมูลโทรมาตร	
rainfall10m	
rainfall1h	
rainfall24h	
rainfall_date_calc	
rainfall_datetime	
rainfall_today	
tele_station_id	

ภาพที่ 2-9 โครงสร้างฐานข้อมูลจากสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน)

เว็บเซอร์วิสของคลังข้อมูลน้ำแห่งชาติปรับเปลี่ยนสถานะข้อมูลเป็นรายวัน ระบบสามารถเชื่อมโยงโดยการอ่านข้อมูลเป็นเวลาปัจจุบันรายวัน แต่ยังไม่สามารถอ่านข้อมูลลักษณะย้อนหลังได้ ข้อมูลที่ถูกอ่านจากคลังข้อมูลน้ำแห่งชาติได้ถูกนำเข้าไปใช้ในกระบวนการตัดสินใจแบบอัตโนมัติและถูกแสดงผลเป็นกราฟประกอบด้วย สถานะของปริมาณน้ำในเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ รวมถึงข้อมูลปริมาณน้ำท่า

### บทที่ 3 วิธีการใช้งานระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

ระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยาเป็นระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ถูกพัฒนาด้วยเทคโนโลยีโครงสร้าง NextJS Framework ตามที่ได้กล่าวในรายละเอียดในเนื้อหาของบทที่ 2 สำหรับการแสดงผลและวิธีการใช้งานระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยามีรายละเอียดที่สำคัญดังนี้

#### 3.1 การแสดงผลระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

จากโครงสร้างของเนื้อหาของระบบเว็บแอปพลิเคชันหน้าได้ออกแบบให้แสดงผลข้อมูลจำนวน 9 หน้า ได้แก่ (1) หน้าข้อมูลภาพรวม (Home Page) (2) หน้าชุดคำสั่งการเรียนรู้และการฝึกฝนแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Inflow Prediction Model Page) (3) หน้าชุดคำสั่งการคำนวณปริมาณการระบายน้ำ (Release Optimization Page) (4) หน้าแสดงผลข้อมูลผลการจำลองระบบอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Page) (5) หน้าแสดงผลข้อมูลปริมาณน้ำฝนเหนือเขื่อน (Rainfall Page) (6) หน้าข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำ (Water Demand Page) (7) หน้าแสดงผลข้อมูลปริมาณน้ำท่า (Side Flow Page) (8) หน้าแสดงผลข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำ (Water Demand Page) และ (9) หน้ารายชื่อคณะผู้จัดทำและคำอธิบายระบบ (About Us Page) โดยแต่ละหน้ามีรายละเอียดที่สำคัญดังนี้

##### 3.1.1 หน้าแรกของเว็บ (Home Page)

หน้าแรกของเว็บแสดงในภาพที่ 3-1 ซึ่งแสดงสถานะภาพรวมของข้อมูล ณ วันปัจจุบันประกอบด้วยข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่าง (Inflow) ปริมาณการระบายน้ำ (Release) และปริมาณการกักเก็บน้ำ (Storage) ของ 4 เขื่อนหลักในลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา ได้แก่ (1) เขื่อนภูมิพล (BB) (2) เขื่อนสิริกิติ์ (SK) (3) เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน (KNB) และ (4) เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ (PS) ในรูปแบบของการ์ดข้อมูลที่สำคัญ ณ วันนั้น ๆ ทั้งนี้ยังมีการ์ดข้อมูลภาพรวมปริมาณน้ำฝนในแต่ละสถานี (Rainfall) ปริมาณน้ำท่า (Side flow) และปริมาณความต้องการน้ำ (Water Demand) โดยมีการใช้สีประกอบการเปลี่ยนแปลงของค่าข้อมูลเพื่อแสดงความสัมพันธ์ในเชิงบวกหรือลบเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลก่อนหน้า 1 วัน

ระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา  
AUTOMATED RESERVOIR MANAGEMENT SYSTEM IN CHAO PHRAYA RIVER BASIN

เมื่อวานนี้, วันศุกร์ที่ 26 ม.ค. 2567

หมายเหตุ: ตัวเลขในวงเล็บสีเขียวและสีแดงหมายถึงค่าของข้อมูลในวันนี้เทียบกับข้อมูลเมื่อวาน

Reservoir	Observed Inflow (MCM)	Observed Release (MCM)	Observed Storage (MCM)
BB (เขื่อนภูมิพล)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
SK (เขื่อนสิริกิติ์)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
KNB (เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
PS (เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

Side Flow	Observed (MCM)
W.4A	0 (0)
Y.17	0 (0)
N.22A	0 (0)

Demand	Planned Demand	MaxNIR	RecNIR
DLP	0 (0)	0 (0)	0 (0)
DLN	0 (0)	0 (0)	0 (0)
DKNB	0 (0)	0 (0)	0 (0)
DPS	0 (0)	0 (0)	0 (0)
DCPYUE	0 (0)	0 (0)	0 (0)
DCPYLE	0 (0)	0 (0)	0 (0)
DCPYUW	0 (0)	0 (0)	0 (0)
DCPYLW	0 (0)	0 (0)	0 (0)
DECO	0 (0)	0 (0)	0 (0)

Rainfall (mm)	Observed (mm)
BB	0 (0)
SK	0 (0)
KNB	0 (0)
PS	0 (0)

Contact Us  
Faculty of Engineering, Mahidol University, 25/25 Phutthamonthon Sai 4 Rd., Salaya, Phutthamonthon District, Nakhon Pathom, 73170 Telephone: 02-889-2138 Ext. 6384  
All Rights Reserved @2023

ภาพที่ 3-1 หน้าแรกของเว็บ (Home)

### 3.1.2 หน้าชุดคำสั่งการเรียนรู้และการฝึกฝนแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Inflow Prediction Model Page)

หน้าชุดคำสั่งการเรียนรู้และการฝึกฝนแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำแสดงผลข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำของแต่ละเขื่อนในลุ่มน้ำเจ้าพระยา โดยมีปุ่มสำหรับการดูค่าพยากรณ์จากแบบจำลองหรือ Predict และการฝึกฝนข้อมูลหรือ Retrain โดยระบบจะแสดงข้อมูล Predicted Inflow เปรียบเทียบกับค่าข้อมูล Observed Inflow ของแต่ละเขื่อนในช่วงเวลาที่กำหนดไว้ในเมนูปฏิทิน โดยมีปุ่ม Retrain เพื่อส่งชุดคำสั่งให้ Micro-web Framework ทำการสั่งการปรับปรุงแบบจำลองการเรียนรู้ใหม่ และปุ่ม Predict เพื่อสั่งทำการเริ่มพยากรณ์ Prediction Inflow ของแต่ละเขื่อน

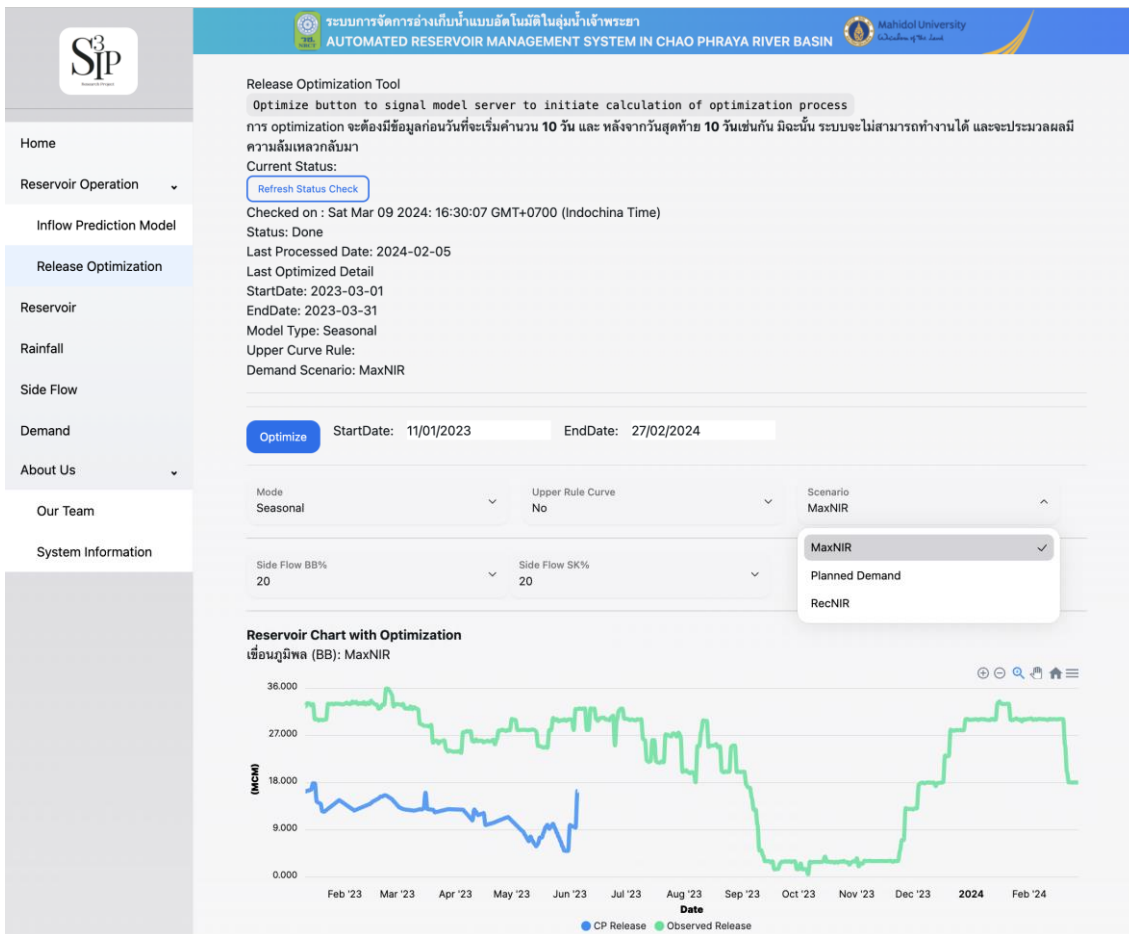
ภาพที่ 3-2 แสดงถึงตัวอย่างการแสดงผลเปรียบเทียบค่าพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจากแบบจำลอง (Predicted Inflow) กับค่าสังเกตปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Observed Inflow) รายวันในหน่วยล้านลูกบาศก์เมตรของเขื่อนภูมิพลตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2567 ถึงวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2567 โดยผู้ใช้งานสามารถนำเมาส์ไปวางบนแผนภูมิเพื่ออ่านค่าตัวเลข หรือย่อขยายแกนข้อมูล



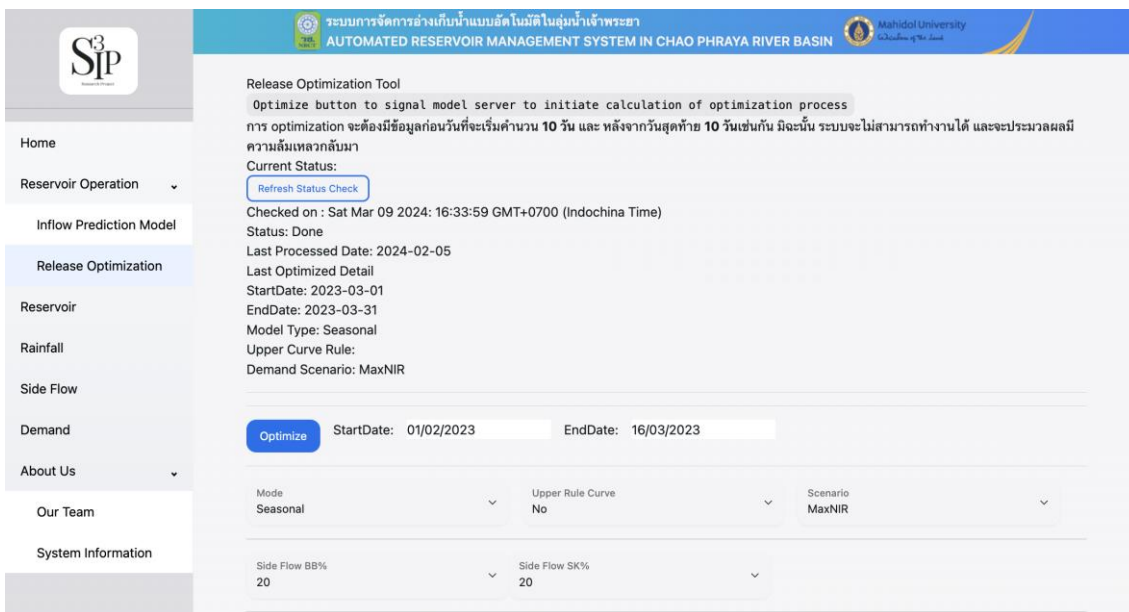
ภาพที่ 3-2 หน้าแสดงผลข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวัน

### 3.1.3 หน้าชุดคำสั่งการคำนวณปริมาณการระบายน้ำ (Release Optimization Page)

หน้าชุดคำสั่งการคำนวณปริมาณการระบายน้ำ (Release Optimization) จะแสดงข้อมูลปริมาณการระบายน้ำรายวันที่ประมวลผลด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (CP Release) ที่พัฒนาขึ้นและทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณการระบายน้ำจริง (Observed Release) รายวันของทุกเขื่อนในหน่วยล้านลูกบาศก์เมตร โดยแสดงผลลัพธ์ของข้อมูลเฉพาะ Scenario ที่กำหนดโดยผู้ใช้งาน ทั้งนี้ ผู้ใช้งานสามารถกำหนดช่วงเวลาของข้อมูลโดยใช้ตัวเลือกปฏิทิน และกำหนดรูปแบบการทำงานของแบบจำลองได้โดยปรับเปลี่ยนเมนู Mode และเลือกประเภทของแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดที่จัดเตรียมไว้ 2 ประเภท คือ Yearly Constraint Model และ Seasonal Constraint Model หลังจากนั้นทำการเลือกตั้งค่า Upper Rule Curve ที่กำหนดไว้ 2 ลักษณะ คือ Yes หรือ No เพื่อให้ปริมาณน้ำเก็บกักที่ได้จากการประมวลผลด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดไม่เกินระดับ Upper Rule Curve หรือไม่เกินระดับ Normal Pool Level และสุดท้ายผู้ใช้งานสามารถกำหนด Scenario ข้อมูลความต้องการน้ำของระบบซึ่งสามารถตั้งค่าได้ 3 รูปแบบได้แก่ MaxNIR, Planned Demand, และ RecNIR โดยการเลือกใช้เมนูแบบ Drop-down ดังแสดงในภาพที่ 3-3 และภาพที่ 3-4 โดยระบบจะเตือนเพื่อยืนยันการคำนวณก่อนทุกครั้ง



ภาพที่ 3-3 หน้าแสดงผล Release และการใช้เมนู Drop-down เพื่อเลือกรูปแบบการทำงาน

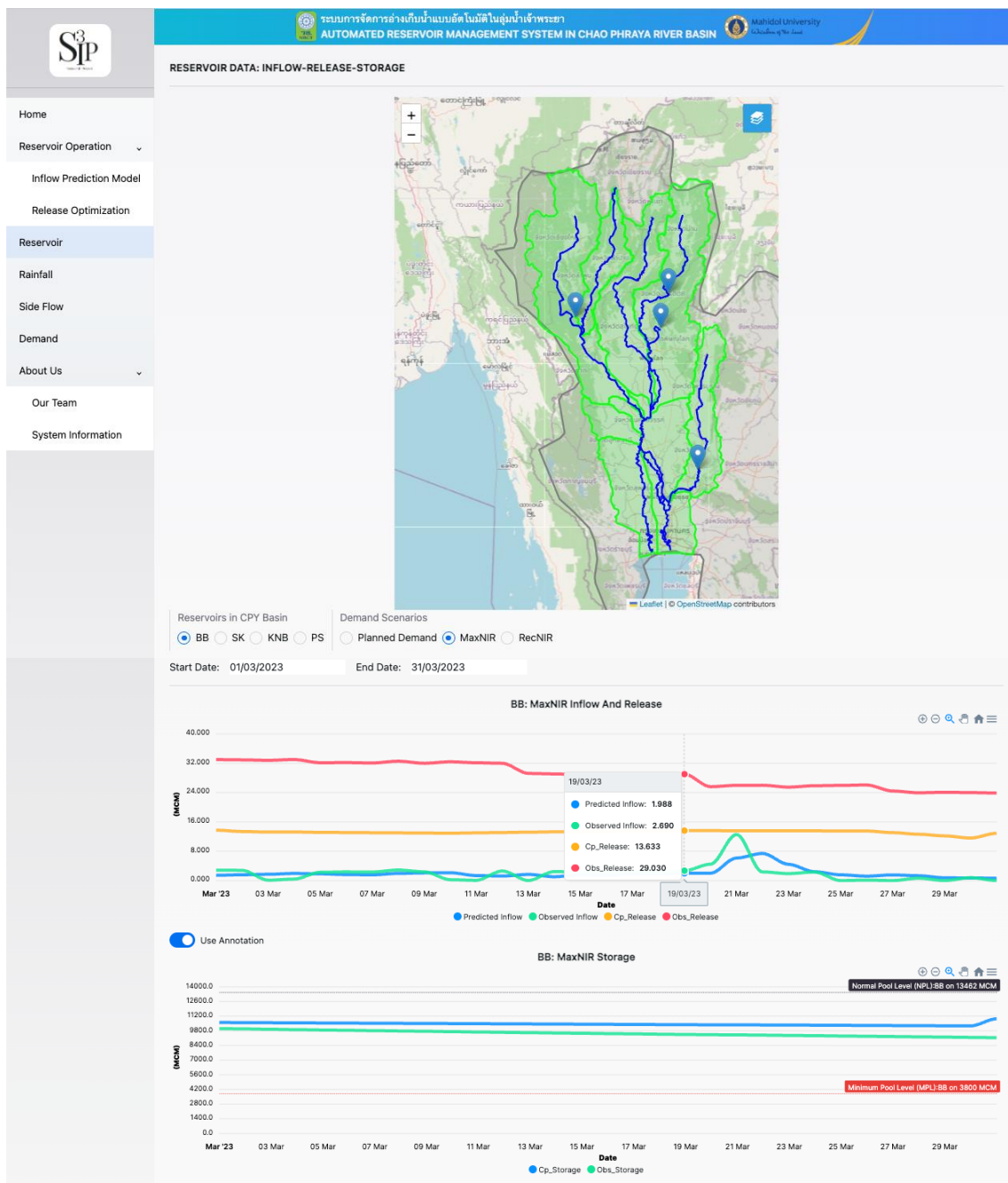




ภาพที่ 3-4 หน้าแสดงผลข้อมูลปริมาณการระบายน้ำ

### 3.1.4 หน้าแสดงผลข้อมูลผลการจำลองระบบอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Page)

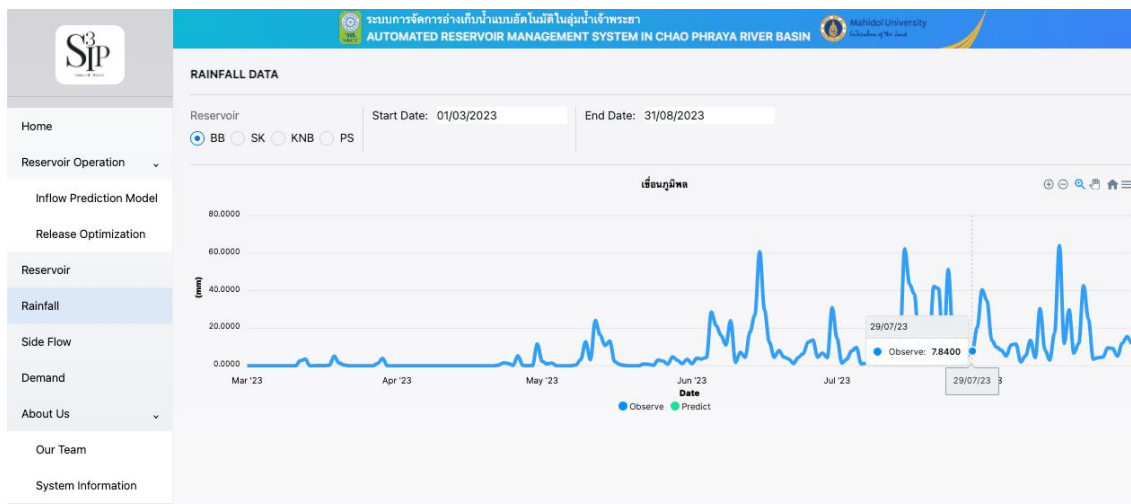
หน้าแสดงผลข้อมูลผลการจำลองระบบอ่างเก็บน้ำแสดงผลข้อมูลที่ซึ่งแสดงตำแหน่งที่ตั้งของทั้ง 4 เขื่อนหลัก เมื่อผู้ใช้งานทำการเลือกเขื่อน Scenario และช่วงเวลาในการประมวลผลแล้ว ระบบจะทำการแสดงผลข้อมูลทั้งสองแผนภูมิ ได้แก่ (1) ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวัน (Inflow) ร่วมกับปริมาณการระบายน้ำรายวัน (Release) ในหน่วยล้านลูกบาศก์เมตร และ (2) ปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำรายวัน (Water Storage) ในหน่วยล้านลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้ผู้ใช้สามารถปรับ Scenario เพื่อเปลี่ยนลักษณะจำเพาะของข้อมูลได้โดยใช้ปุ่ม Sync Cursor ซึ่งจะอำนวยความสะดวกในการเปิดปิดการเชื่อมตำแหน่งของการดูค่าวัดบนกราฟบนล่าง ทำให้สามารถแยกดูข้อมูลคนละช่วงจำเพาะได้ ภาพที่ 3-5 แสดงตัวอย่างข้อมูลของเขื่อนภูมิพลของ Demand Scenarios: MaxNIR ระหว่างวันที่ 1 มีนาคม 2566 และ 31 มีนาคม 2566



ภาพที่ 3-5 หน้าแสดงผลข้อมูลผลการจำลองระบบอ่างเก็บน้ำ

### 3.1.5 หน้าแสดงผลข้อมูลปริมาณฝนเหนือเขื่อน (Rainfall Page)

หน้าแสดงผลข้อมูลปริมาณน้ำฝนเหนือเขื่อน (Rainfall) แสดงผลข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันของสถานีเหนือเขื่อนจากการตรวจวัด (Observed Rainfall) ที่ได้ทำการคัดเลือก และจากการพยากรณ์ด้วยแบบจำลอง BC-CFSV2 (Predicted Rainfall) ที่ทำการแปลงข้อมูลเป็นปริมาณฝนรายจุดเหนือเขื่อนทั้ง 4 เขื่อนในหน่วยมิลลิเมตร โดยผู้ใช้สามารถเลือกเขื่อนและช่วงเวลาสำหรับเรียกดูข้อมูล ทั้งนี้ระบบจะแสดงผลในรูปแบบแผนภูมิและค่า Rainfall จะถูกแสดงเมื่อทำการเลื่อนเคอร์เซอร์ไปบนแกนเวลาดังแสดงในภาพที่ 3-6



ภาพที่ 3-6 หน้าแสดงผลข้อมูลปริมาณน้ำฝนเหนือเขื่อน

### 3.1.6 หน้าแสดงผลข้อมูลปริมาณน้ำท่า (Side Flow Page)

หน้าแสดงผลข้อมูลปริมาณน้ำท่านี้ได้แสดงผลข้อมูลน้ำท่าคาดการณ์ล่วงหน้าจากแบบจำลองอุทกวิทยาของ 3 สถานีหลักได้แก่ สถานี W.4A, Y.17 และ N.22A จากผลการศึกษาของทีมวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ทำการพัฒนาระบบการจำลองแบบอัตโนมัติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าผิวดินและประเมินความต้องการน้ำชลประทานเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยา เพื่อนำมาใช้กำหนด Potential Side Flow สำหรับพิจารณาปรับลดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนหลักในลุ่มน้ำเจ้าพระยาตามเปอร์เซ็นต์ของ Side Flow ที่ผู้ใช้งานระบุในหน้าแสดงผลข้อมูลผลการจำลองระบบอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Page) โดยระบบแสดงผลข้อมูลปริมาณ Side Flow รายวันในหน่วยล้านลูกบาศก์เมตร ผู้ใช้งานสามารถเลือกสถานีตรวจวัดน้ำท่าตามรหัสสถานีที่ระบุ และกำหนดช่วงเวลาจากปฏิทิน รวมทั้งสามารถเลื่อนเคอร์เซอร์เพื่อเรียกดูข้อมูลเจาะจงของแต่ละช่วงเวลาได้ดังแสดงในภาพที่ 3-7

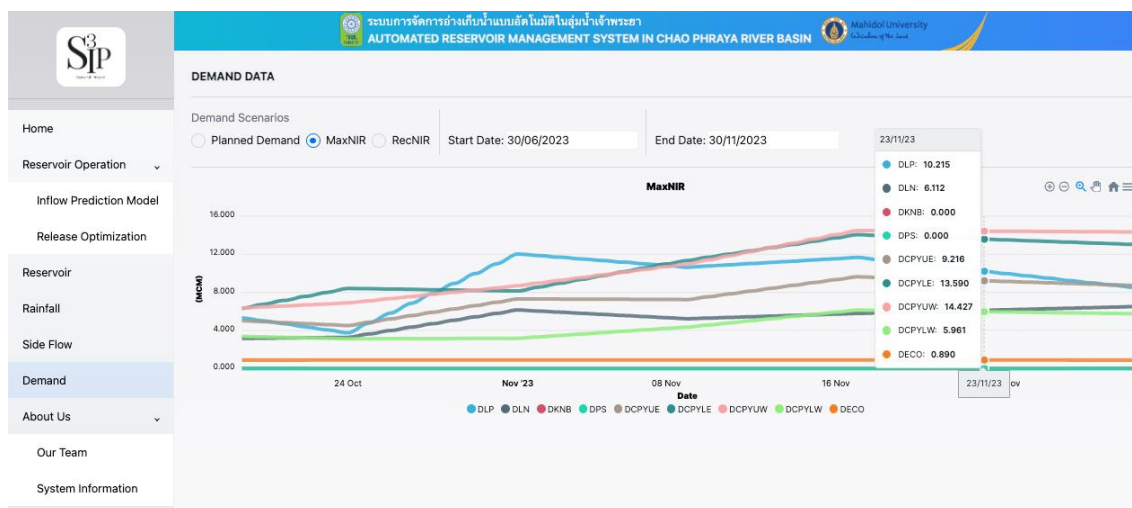


ภาพที่ 3-7 หน้าแสดงผลข้อมูลปริมาณ Side Flow จากการคาดการณ์ล่วงหน้า



### 3.1.7 หน้าแสดงผลข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำ (Water Demand Page)

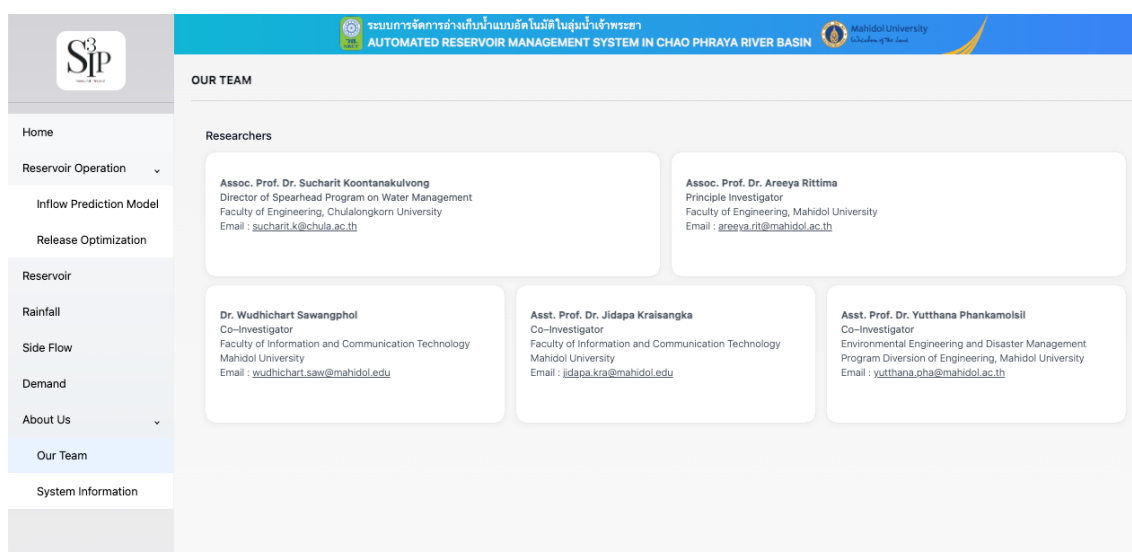
หน้าแสดงผลข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำคาดการณ์ล่วงหน้ารายวันแยกตามโซนการจัดส่งน้ำจำนวน 9 โซนในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาตามรูปแบบ Scenario ที่ผู้ใช้งานได้เลือก และช่วงปฏิทินที่กำหนดสำหรับแสดงข้อมูลประกอบด้วย DLP, DLN, DKNB, DPS, DCPYUE, DCPYUW, DCPYLW และ DECO เพื่อให้สามารถเลื่อนวันที่เปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงได้อย่างอิสระดังแสดงในภาพที่ 3-8 ข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำคาดการณ์ล่วงหน้าแสดงผลลัพธ์ในหน่วยล้านลูกบาศก์เมตร



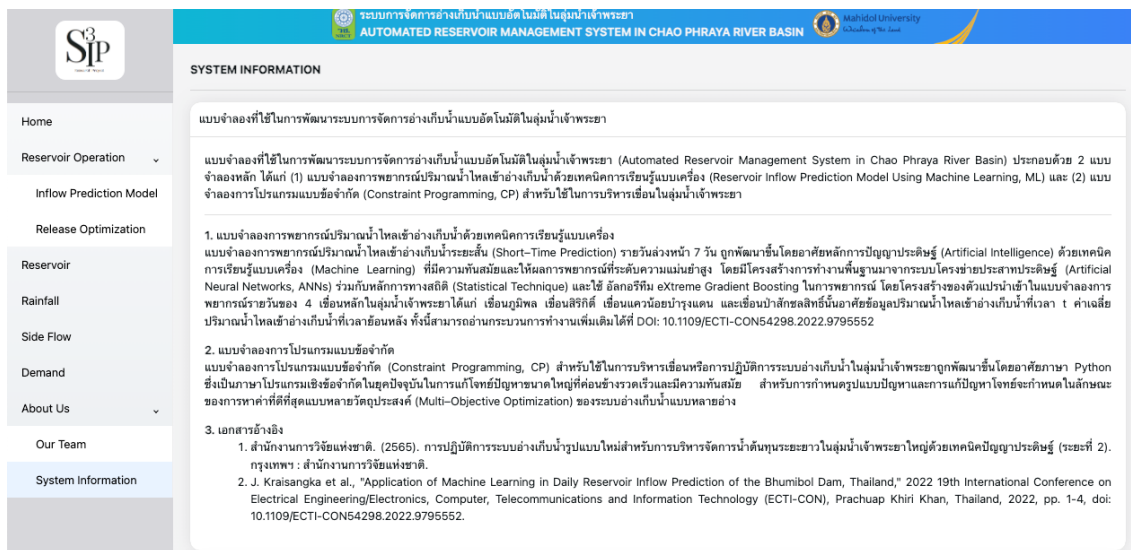
ภาพที่ 3-8 หน้าแสดงผลข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำ

### 3.1.8 หน้าแสดงรายชื่อคณะผู้จัดทำและคำอธิบายระบบ (About Us Page)

หน้าแสดงรายชื่อคณะผู้จัดทำและคำอธิบายระบบได้แสดงเนื้อหาข้อมูลใน 2 ส่วนหลัก ได้แก่ (1) คณะผู้จัดทำ (Our Team) ดังแสดงในภาพที่ 3-9 และ (2) คำอธิบายระบบ (System Information) ดังแสดงในภาพที่ 3-10



ภาพที่ 3-9 หน้าแสดงรายชื่อคณะผู้จัดทำ



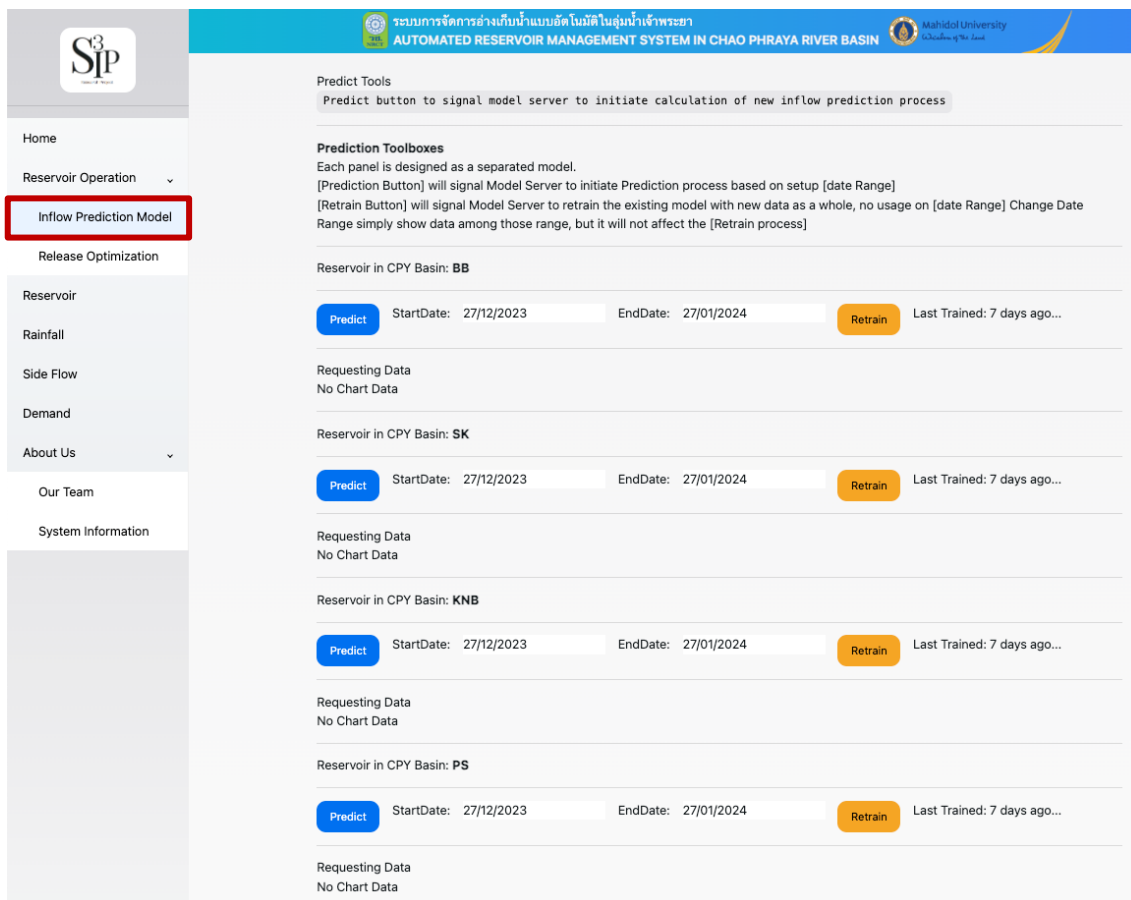
ภาพที่ 3-10 หน้าแสดงคำอธิบายระบบ

### 3.2 วิธีการใช้งานระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

#### 3.2.1 วิธีการใช้งานแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Inflow Prediction Model)

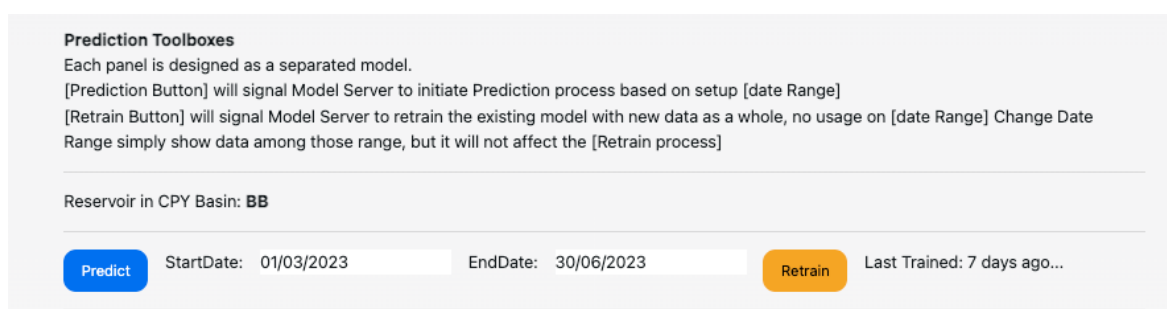
ผู้ใช้งานสามารถเรียกดูข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำของแต่ละเขื่อนโดยมีขั้นตอนดังนี้

- (1) ไปที่แถบคำสั่ง “Inflow Prediction Model” เพื่อเข้าสู่หน้าชุดคำสั่งการเรียนรู้แบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำดังแสดงในภาพที่ 3-11






ภาพที่ 3-11 เลือกแถบคำสั่ง “Inflow Prediction Model” เพื่อเข้าสู่หน้าชุดคำสั่งการเรียนรู้แบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ

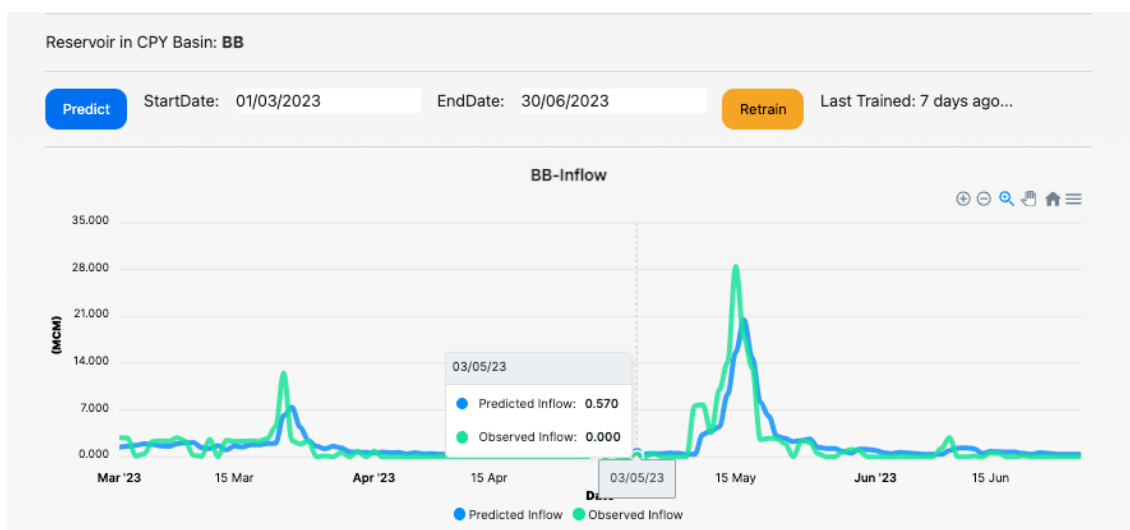
- (2) ใส่ช่วงเวลาที่ต้องการแสดงข้อมูลของเขื่อนนั้น ๆ และกดปุ่ม “Predict” ยกตัวอย่างเช่น ต้องการแสดงผลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำของเขื่อนภูมิพลระหว่างวันที่ 1 มีนาคม 2566–31 มีนาคม 2566 ดังแสดงในภาพที่ 3-12



ภาพที่ 3-12 การระบุช่วงเวลาที่ต้องการแสดงข้อมูลของเขื่อน

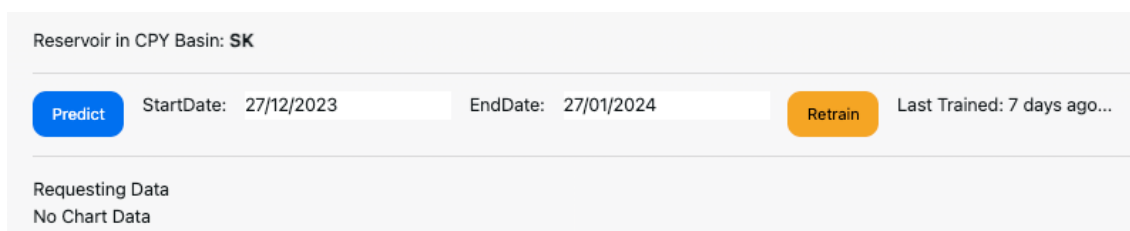
ระบบจะคำนวณและแสดงผลในแผนภูมิ โดยผู้ใช้งานสามารถนำเมาส์ (หรือ Cursor) ไปวางบนเส้นเพื่ออ่านข้อมูลตัวเลขผลลัพธ์การพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Predicted Inflow) และปริมาณน้ำ

ไหลเข้าอ่างจริง (Observed Inflow) ของวันนั้น ๆ ทั้งนี้ผู้ใช้สามารถกดสัญลักษณ์    เพื่อ Zoom in หรือ Zoom out ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 3-13



ภาพที่ 3-13 การคลิกเมาส์เพื่ออ่านค่าข้อมูลผลลัพธ์จากการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ

ในกรณีที่เขื่อนนั้น ๆ ไม่มีข้อมูล ระบบจะมีคำเตือนว่า “No Chart Data” ดังแสดงในภาพที่ 3-14

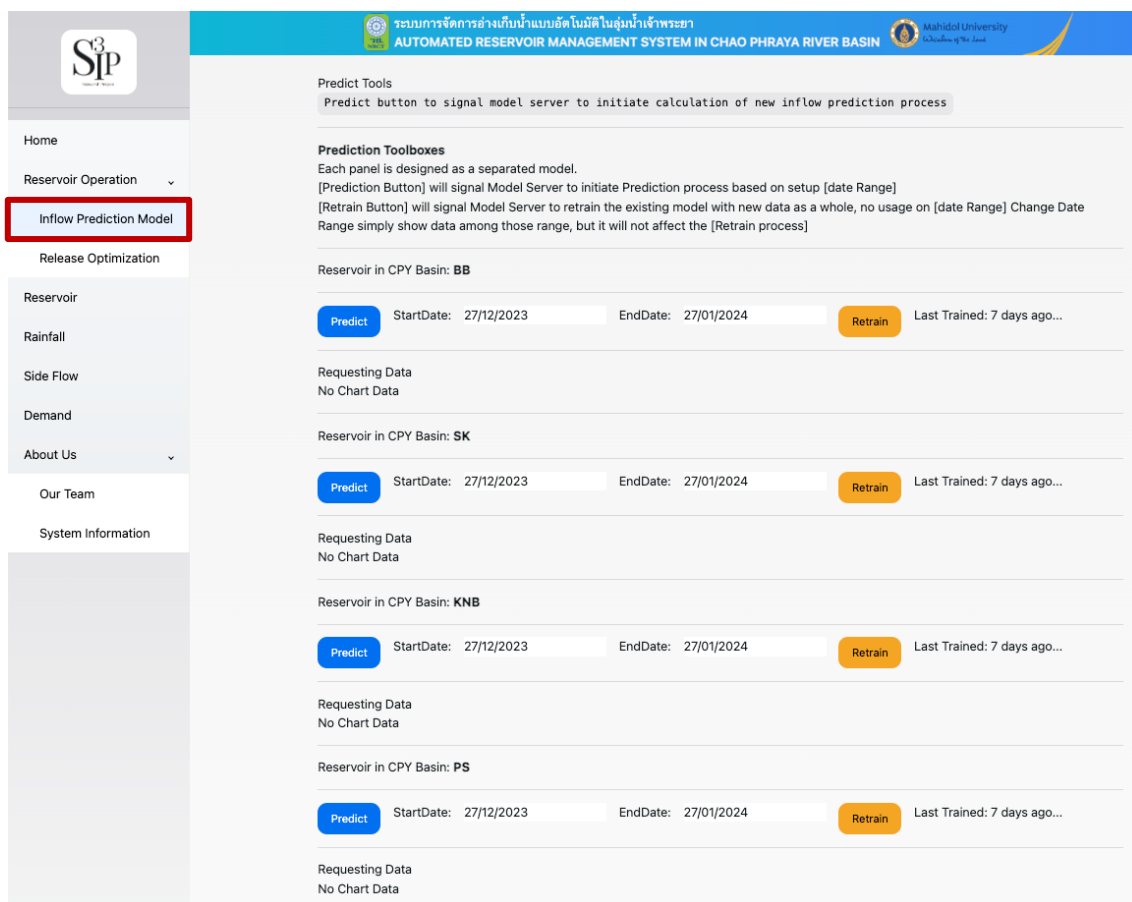


ภาพที่ 3-14 การแสดงคำเตือนกรณีไม่ปรากฏข้อมูลในช่วงเวลาที่กำหนด

### 3.2.2 วิธีการใช้งานระบบการฝึกฝนแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Retraining Inflow Prediction Model)

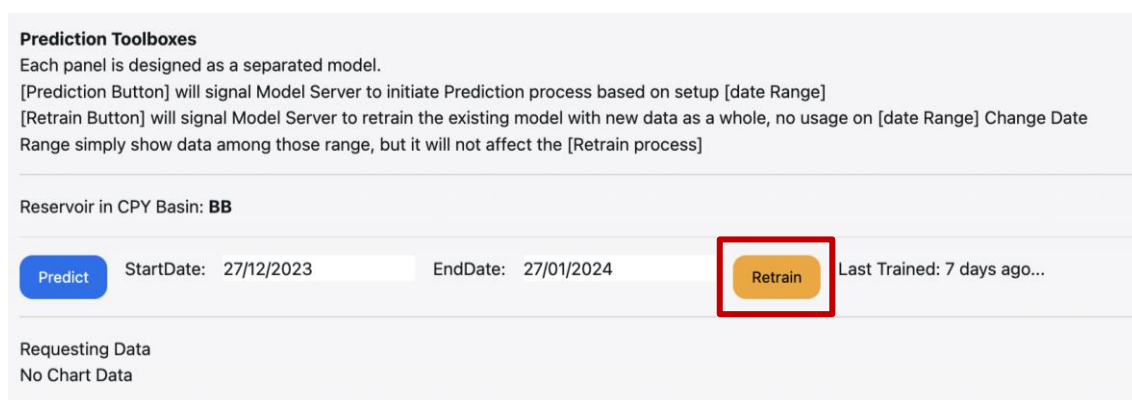
เมื่อผู้ใช้งานต้องการที่จะฝึกฝนแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำของเขื่อนนั้น ๆ สามารถดำเนินการและเรียกดูข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างแต่ละเขื่อนโดยมีขั้นตอนดังนี้

- (1) ไปที่แถบคำสั่ง “Inflow Prediction Model” เพื่อเข้าสู่หน้าชุดคำสั่งการฝึกฝนแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำดังแสดงในภาพที่ 3-15



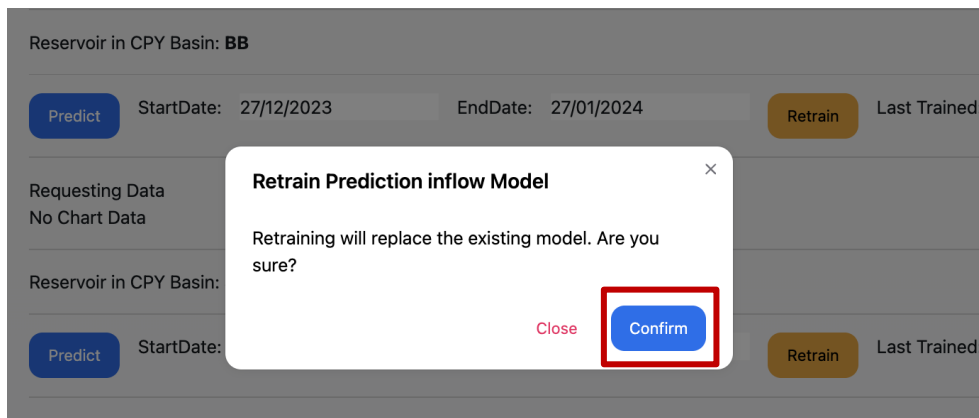
ภาพที่ 3-15 เลือกแถบคำสั่ง “Inflow Prediction Model” เพื่อเข้าสู่หน้าชุดคำสั่งการฝึกฝนแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ

(2) กดปุ่ม “Retrain” ของเซ션ที่ต้องการทำการฝึกฝนแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำด้วยข้อมูลทั้งหมด และจะปรากฏกล่องข้อความเพื่อยืนยันดังแสดงในภาพที่ 3-16



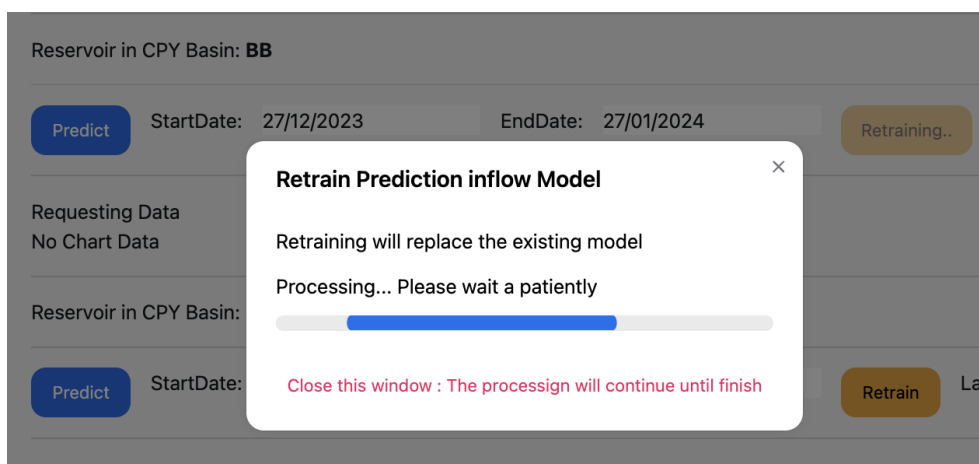
ภาพที่ 3-16 การแสดงกล่องข้อความเพื่อยืนยันการฝึกฝนแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ

- (3) หากผู้ใช้งานต้องการที่จะฝึกฝนแบบจำลองด้วยข้อมูลใหม่ทั้งหมด โดยระบบจะลบแบบจำลองเดิมและแทนด้วยแบบจำลองที่ถูกฝึกฝนใหม่ สามารถกด “Confirm” เพื่อยืนยันดังแสดงในภาพที่ 3-17



ภาพที่ 3-17 การแสดงกล่องข้อความเพื่อยืนยันการฝึกฝนแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำด้วยชุดข้อมูลใหม่ทั้งหมด

ระบบจะทำการฝึกฝนแบบจำลองซึ่งอาจใช้เวลาาน โดยจะมีแถบบอกสถานะของการฝึกฝนแบบจำลอง ทั้งนี้ผู้ใช้งานสามารถปิดหน้าต่างสถานะได้ เมื่อแบบจำลองได้ถูกฝึกฝนแล้วจะมีสถานะปรากฏแจ้งให้สามารถใช้แบบจำลองในการพยากรณ์เป็นลำดับถัดไป ดังแสดงในภาพที่ 3-18



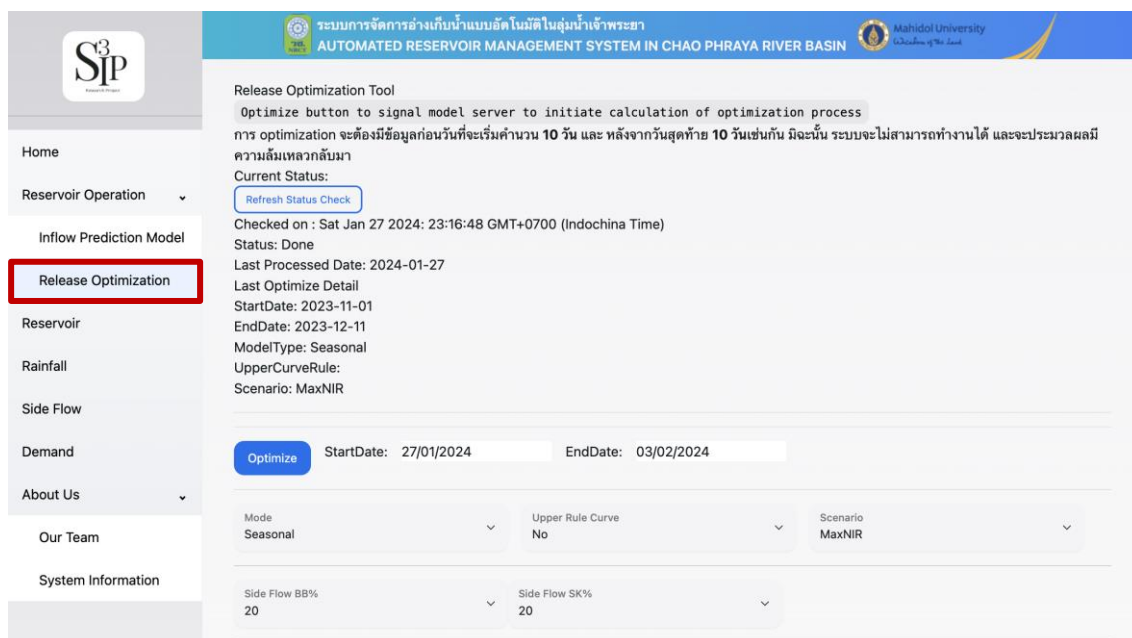
ภาพที่ 3-18 การแสดงกล่องข้อความเพื่อแสดงสถานะของการฝึกฝนแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ

### 3.2.3 วิธีการใช้งานแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดเพื่อคำนวณปริมาณการระบายน้ำ (Release Optimization)

เมื่อผู้ใช้งานต้องการประมวลผลผลลัพธ์จากแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดเพื่อกำหนดปริมาณการระบายน้ำที่เหมาะสมรายวันของ 4 เขื่อนหลักจากหน้า Release Optimization ตามที่ได้ตั้งค่าทั้งในส่วน of ประเภทของแบบจำลอง ข้อกำหนดของเปอร์เซ็นต์ปริมาณ Side Flow ที่จะนำมาใช้ปรับลดปริมาณการ

ระบายน้ำจากเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์ ข้อกำหนดในการตั้งค่าระดับน้ำเก็บกักที่ Upper Rule Curve และข้อกำหนดสถานการณ์สมมติของข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำในระบบ ขั้นตอนการใช้งานมีรายละเอียดดังนี้

- (1) ไปที่แถบคำสั่ง “Release Optimization” เพื่อเข้าสู่หน้าชุดคำสั่งการคำนวณปริมาณการระบายน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 3-19

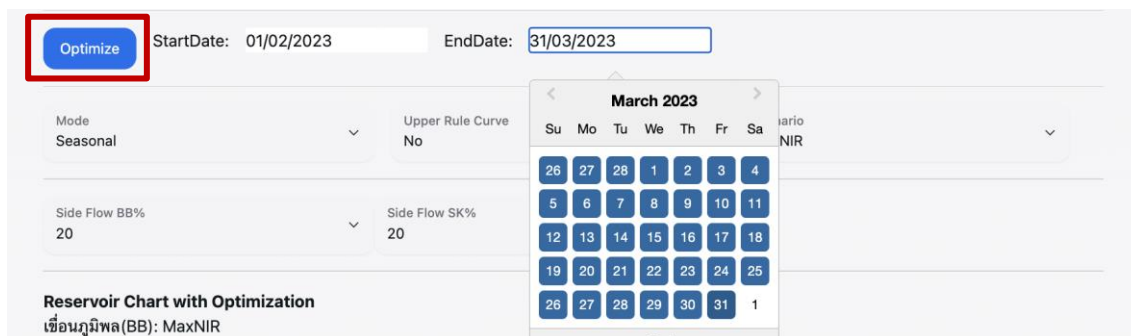


ภาพที่ 3-19 แถบคำสั่ง “Release Optimization” เพื่อเข้าสู่หน้าชุดคำสั่งการคำนวณปริมาณการระบายน้ำจากแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด

- (2) เลือกช่วงเวลาจากปุ่มปฏิทิน และเลือกรูปแบบการตั้งค่าแบบจำลอง ได้แก่

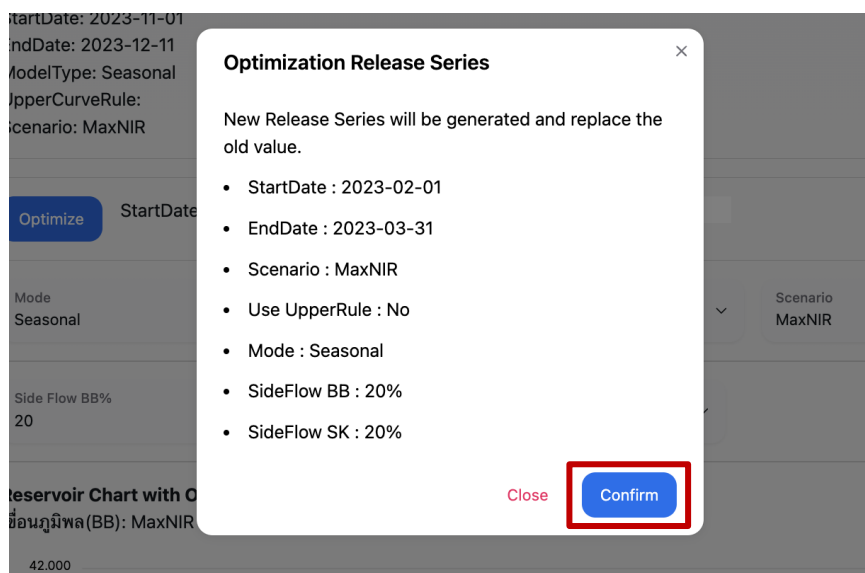
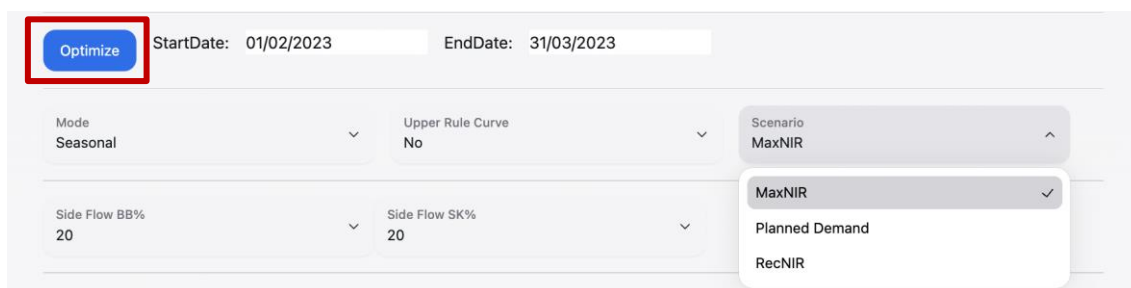
- ประเภทของแบบจำลอง หรือ Mode: Yearly หรือ Seasonal
- การตั้งค่าระดับเก็บกักที่ Upper Rule Curve: Yes หรือ No
- รูปแบบข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำ หรือ Water Demand Scenario: MaxNIR, Planned Demand หรือ RecNIR
- เปอร์เซ็นต์ปริมาณ Potential Side Flow ของเขื่อนภูมิพล หรือ Side Flow BB%: 0, 10, 15, 20, 25, หรือ 30
- เปอร์เซ็นต์ปริมาณ Potential Side Flow ของเขื่อนสิริกิติ์ หรือ Side Flow SK%: 0, 10, 15, 20, 25, หรือ 30

ดังแสดงตัวอย่างการตั้งค่ารูปแบบของแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดเพื่อคำนวณปริมาณการระบายน้ำรายวันจาก 4 เขื่อนหลัก ดังแสดงในภาพที่ 3-20



ภาพที่ 3-20 ตัวอย่างการตั้งค่ารูปแบบของแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดเพื่อคำนวณปริมาณการระบายน้ำรายวันจาก 4 เขื่อนหลัก

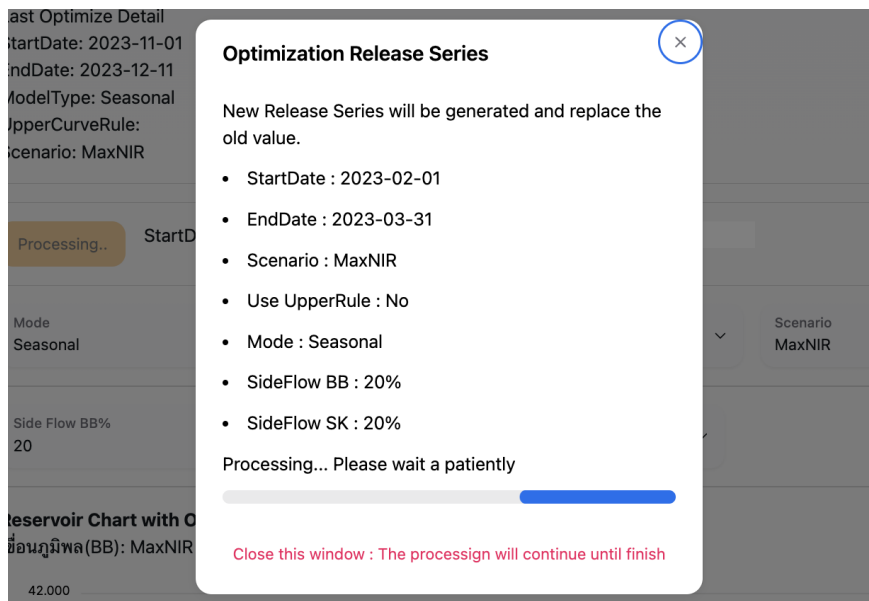
(3) กดปุ่ม “Optimize” จากนั้นระบบจะแสดงกล่องข้อความเพื่อให้ผู้ใช้งานยืนยันการตั้งค่าการใช้งานแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด ดังแสดงในภาพที่ 3-21




ภาพที่ 3-21 การแสดงกล่องข้อความเพื่อให้ผู้ใช้งานยืนยันการตั้งค่าการใช้งานแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด

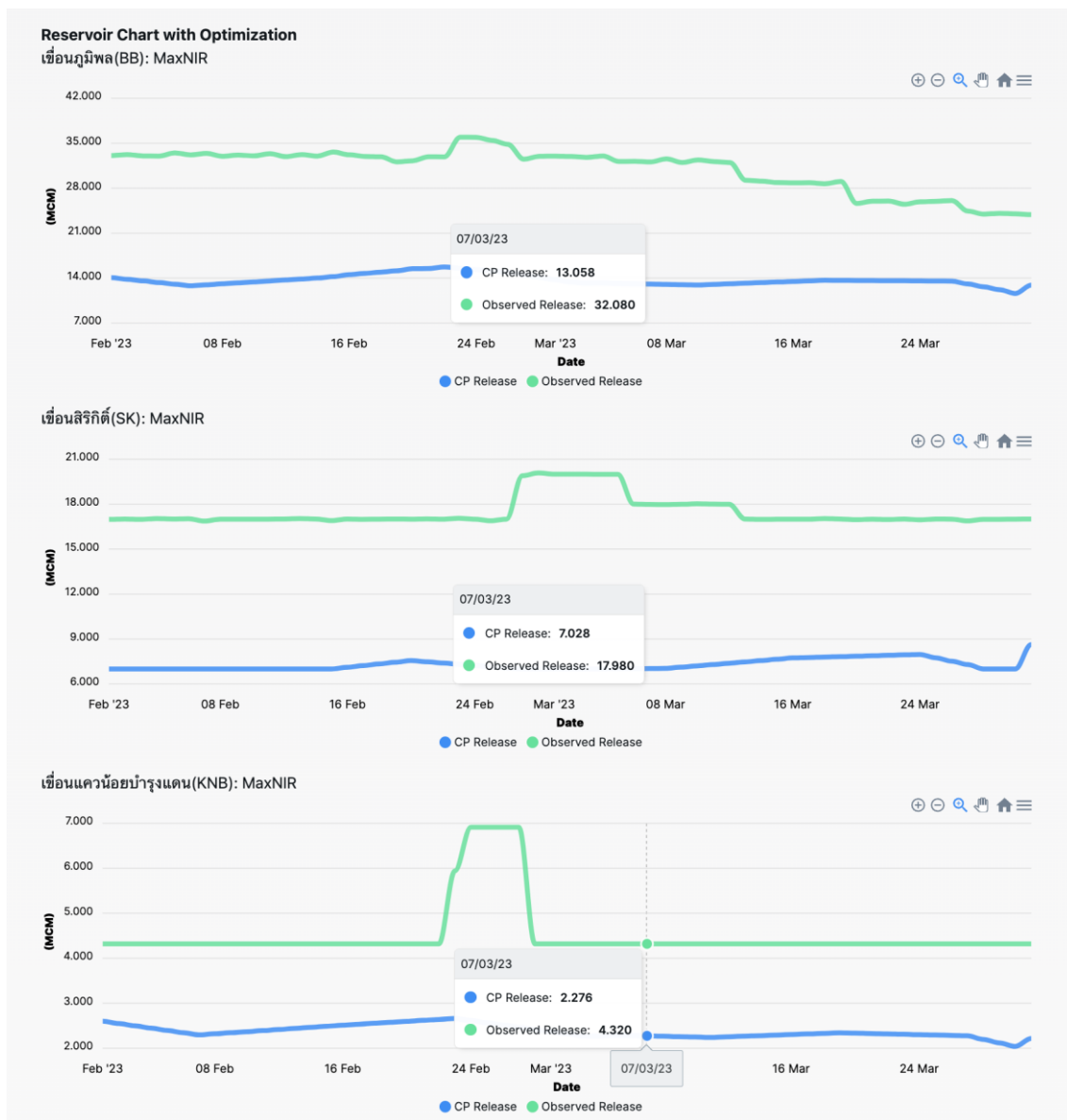
(4) เมื่อกด “Confirm” เพื่อให้ยืนยันการคำนวณปริมาณการระบายน้ำ ระบบจะคำนวณโดยอาจใช้เวลา ทั้งนี้ผู้ใช้งานสามารถปิดหน้าต่างรอการคำนวณได้ ดังแสดงในภาพที่ 3-22





ภาพที่ 3-22 การแสดงกล่องข้อความเพื่อแสดงสถานะการประมวลผลด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด

- (5) ผลลัพธ์ปริมาณการระบายน้ำจะแสดงผลในรูปแบบแผนภูมิหลังจากเสร็จสิ้นการประมวลผลโดยผู้ใช้งานสามารถนำเมาส์ (หรือ Cursor) ไปวางบนเส้น เพื่ออ่านข้อมูลตัวเลขผลลัพธ์ปริมาณการระบายน้ำจากแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (CP Release) และปริมาณการระบายน้ำจริง (Observed Release) ของวันนั้น ๆ ทั้งนี้ผู้ใช้งานสามารถกดสัญลักษณ์  เพื่อ Zoom in หรือ Zoom out ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 3-23

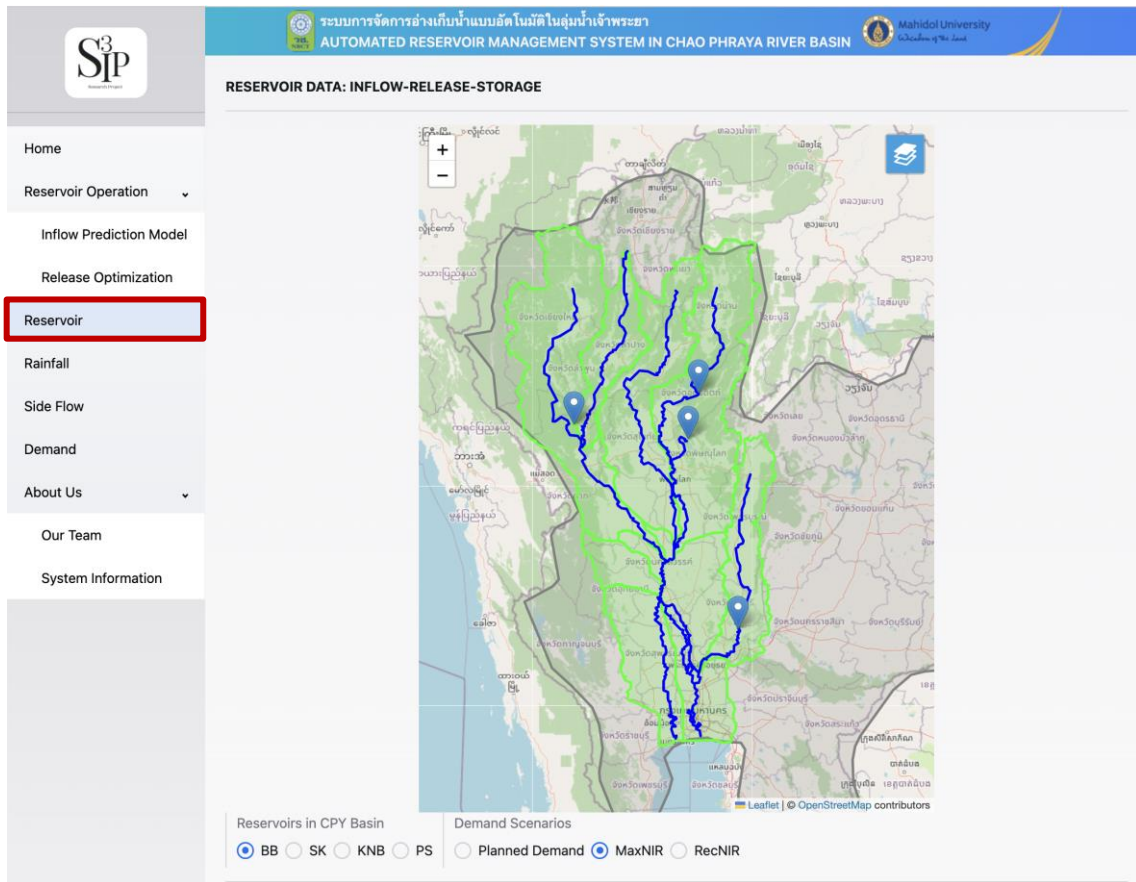


ภาพที่ 3-22 การแสดงผลลัพท์ปริมาณการระบายน้ำที่เหมาะสมรายวันของ 4 เขื่อนหลักด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด

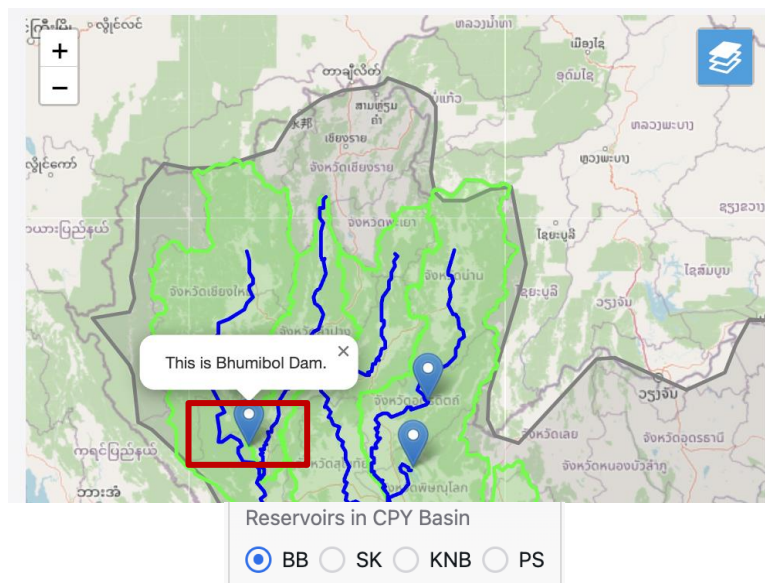
### 3.2.4 วิธีการใช้งานเพื่อเรียกดูข้อมูลผลการจำลองระบบอ่างเก็บน้ำ (Reservoir)

เมื่อผู้ใช้งานต้องการเรียกดูข้อมูลอ่างเก็บน้ำซึ่งเป็นผลลัพธ์จากการจำลองระบบเขื่อน-อ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation) ด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด และแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสามารถทำตามขั้นตอนได้ดังนี้

- (1) ไปที่แถบคำสั่ง “Reservoir” เพื่อเข้าสู่หน้าข้อมูลผลการจำลองระบบอ่างเก็บน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 3-24

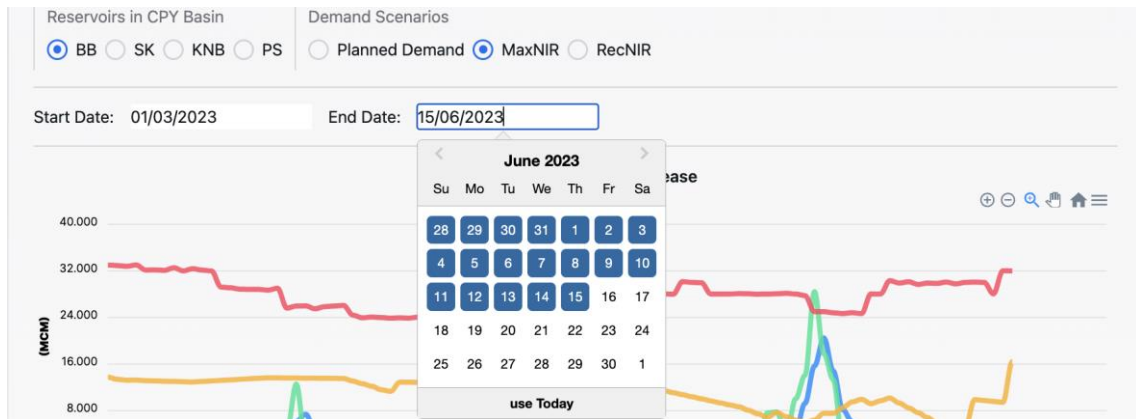


ภาพที่ 3-24 เลือกแถบคำสั่ง “Reservoir” เพื่อเรียกดูข้อมูลผลการจำลองระบบอ่างเก็บน้ำ  
 (2) เลือกเงื่อนไขที่ต้องการเรียกดูข้อมูลอ่างเก็บน้ำ โดยกดที่เครื่องหมายหมุดบนแผนที่ หรือสามารถกดเลือกที่ชื่อเงื่อนไขได้โดยตรง ดังแสดงในภาพที่ 3-25



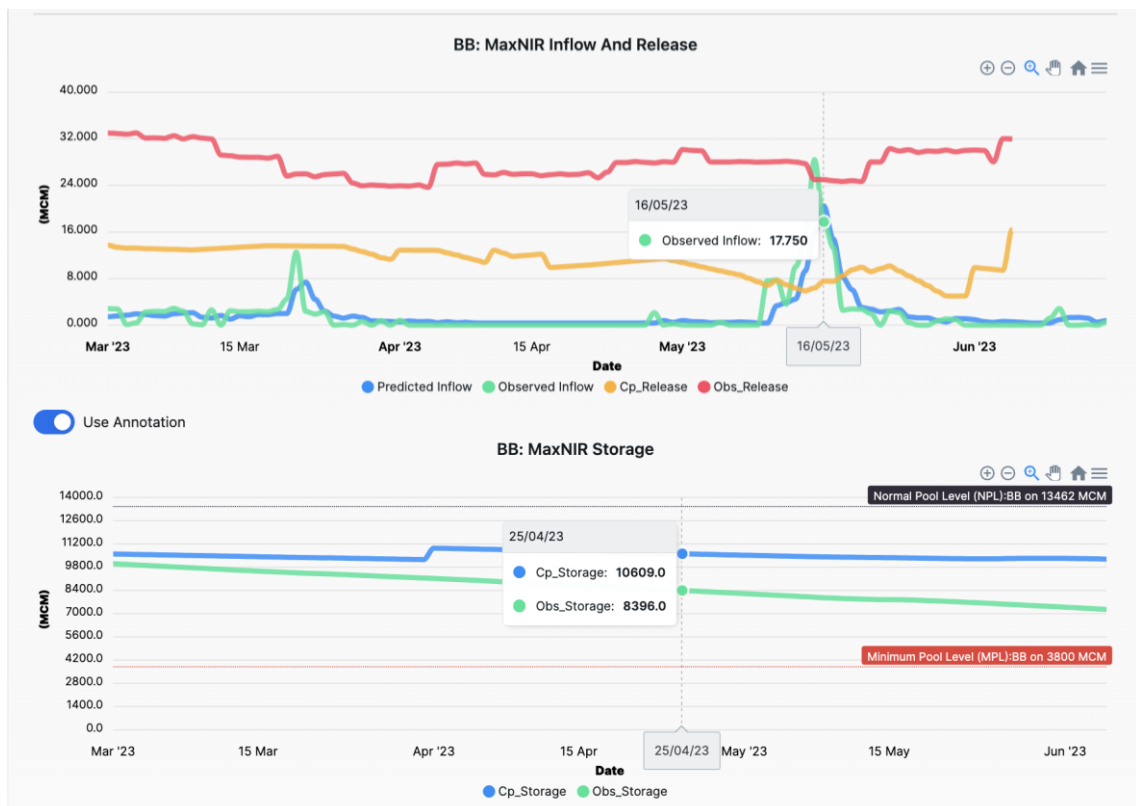
ภาพที่ 3-25 การเลือกเงื่อนไขเพื่อเรียกดูผลการจำลองระบบอ่างเก็บน้ำ

(3) เลือก Demand Scenario และช่วงเวลาของข้อมูลที่ต้องการแสดงจากปฏิทินเพื่อแสดงผลการทำงานของระบบอ่างเก็บน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 3-26

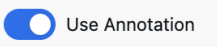


ภาพที่ 3-26 การเลือก Demand Scenario และช่วงเวลาของข้อมูลที่ต้องการ

(4) ระบบจะแสดงผลในรูปแบบแผนภูมิประกอบด้วย แผนภูมิข้อมูล Inflow และ Release และ แผนภูมิ Storage โดยผู้ใช้นำเมาส์ (หรือ Cursor) ไปวางบนเส้น เพื่ออ่านข้อมูลตัวเลขของวันนั้น ๆ ทั้งนี้ผู้ใช้สามารถกดสัญลักษณ์ เพื่อ Zoom in หรือ Zoom out ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 3-27



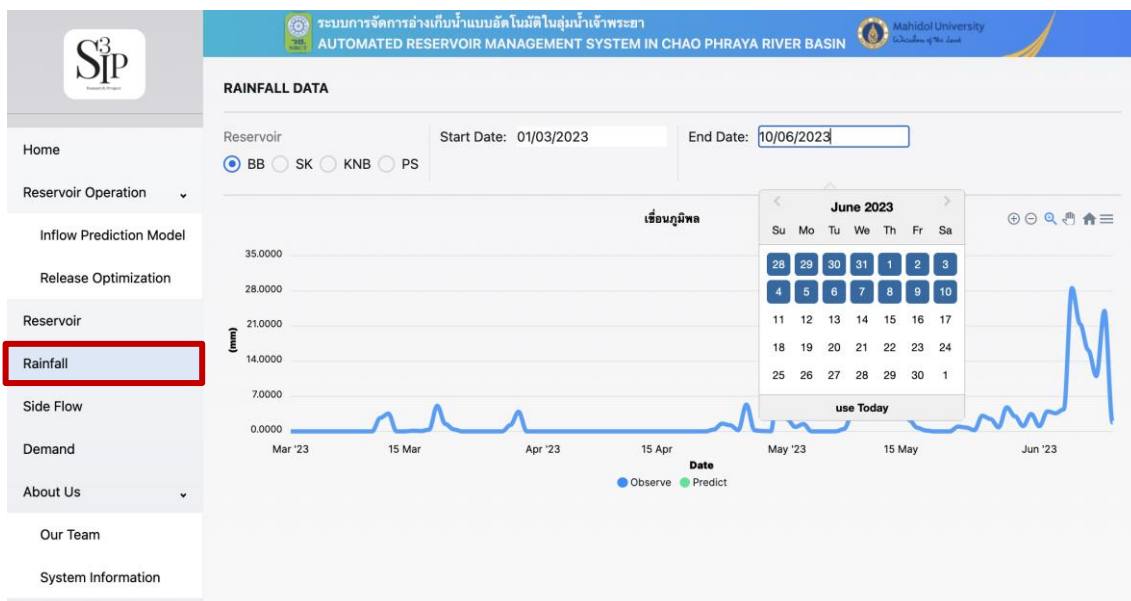
ภาพที่ 3-27 การแสดงผลการจำลองระบบอ่างเก็บน้ำ

ผู้ใช้สามารถปิดการแสดงผลข้อมูลปริมาณเก็บกักที่ระดับเก็บกักปกติ (Normal Pool Level) และระดับเก็บกักต่ำสุด (Minimum Pool Level) ของแต่ละเขื่อนได้โดยกดที่สวิตช์ 

### 3.2.5 วิธีการใช้งานเพื่อเรียกดูข้อมูลปริมาณฝนเหนือเขื่อน (Rainfall)

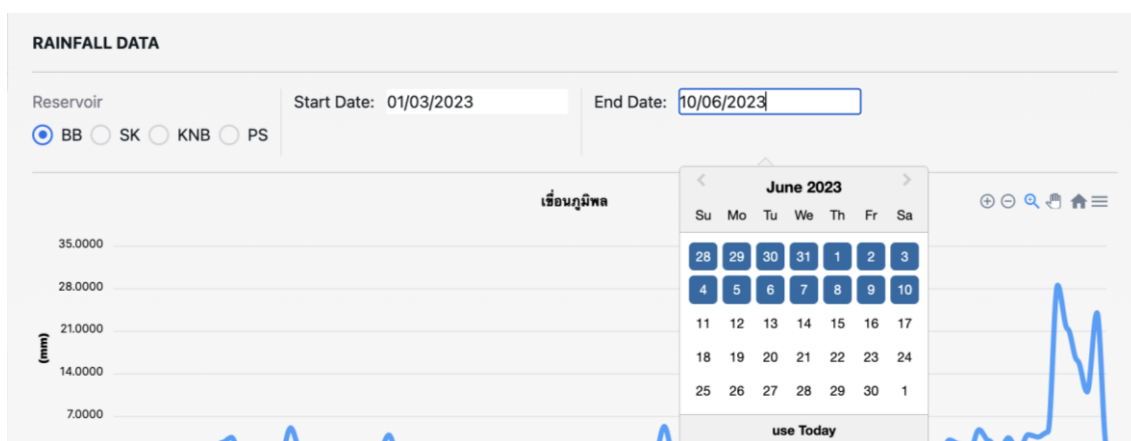
เมื่อผู้ใช้งานต้องการเรียกดูข้อมูลปริมาณฝนเหนือเขื่อนทั้ง 4 เขื่อนหลักทั้งจากการพยากรณ์ล่วงหน้า และจากการตรวจวัดสามารถทำตามขั้นตอนได้ดังนี้

(1) ไปที่แถบคำสั่ง “Rainfall” เพื่อเข้าสู่หน้าข้อมูลปริมาณฝนเหนือเขื่อน ดังแสดงในภาพที่ 3-28




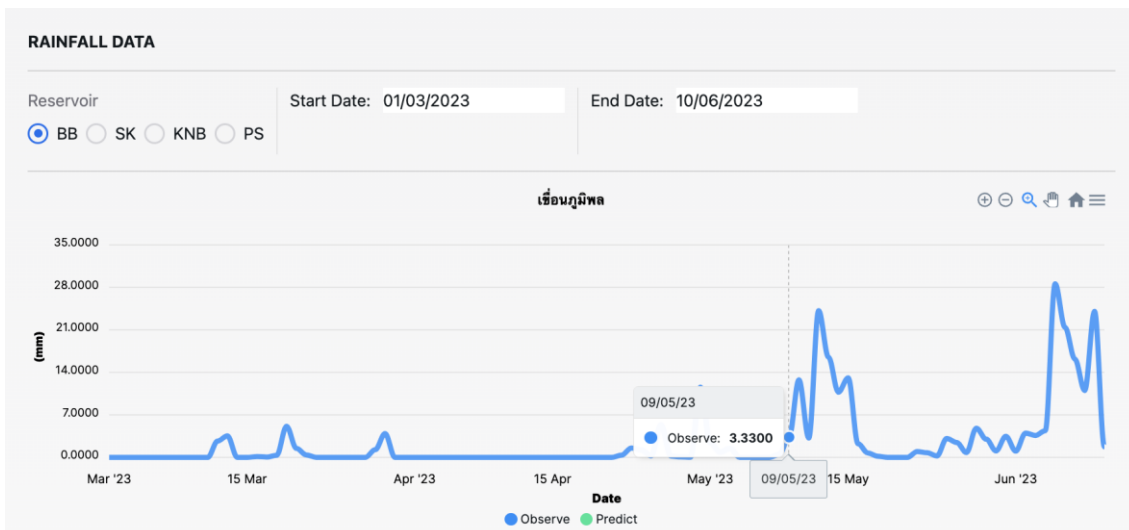
ภาพที่ 3-28 เลือกแถบคำสั่ง “Rainfall” เพื่อเข้าสู่หน้าข้อมูลปริมาณฝนเหนือเขื่อนและเรียกดูผล

(2) เลือกเขื่อนและช่วงเวลาที่ต้องการดูข้อมูลปริมาณฝนเหนือเขื่อน ดังแสดงในภาพที่ 3-29



ภาพที่ 3-29 การเลือกเขื่อนและช่วงเวลาเพื่อเรียกดูข้อมูลปริมาณฝนเหนือเขื่อน

(3) ระบบจะแสดงผลในรูปแบบแผนภูมิปริมาณฝนเหนือเขื่อน โดยผู้ใช้งานสามารถนำเมาส์ (หรือ Cursor) ไปวางบนเส้น เพื่ออ่านข้อมูลตัวเลขของวันนั้น ๆ ทั้งนี้ผู้ใช้งานสามารถกดสัญลักษณ์  เพื่อ Zoom in หรือ Zoom out ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 3-30

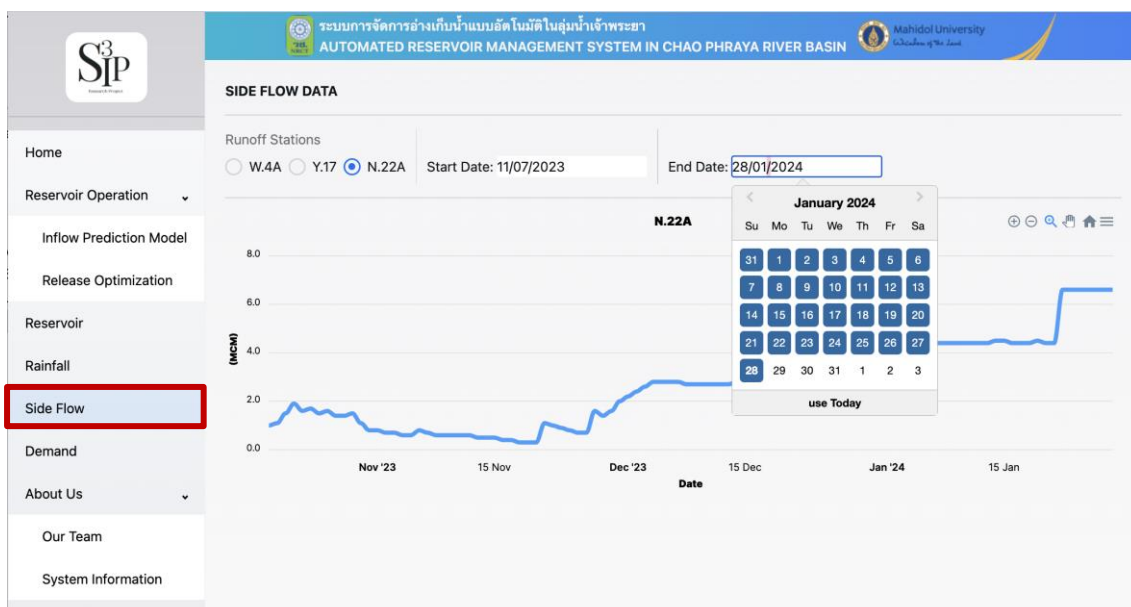


ภาพที่ 3-30 การแสดงผลข้อมูลปริมาณฝนเหนือเขื่อน

### 3.2.6 วิธีการใช้งานเพื่อเรียกดูข้อมูลปริมาณน้ำท่า (Side Flow)

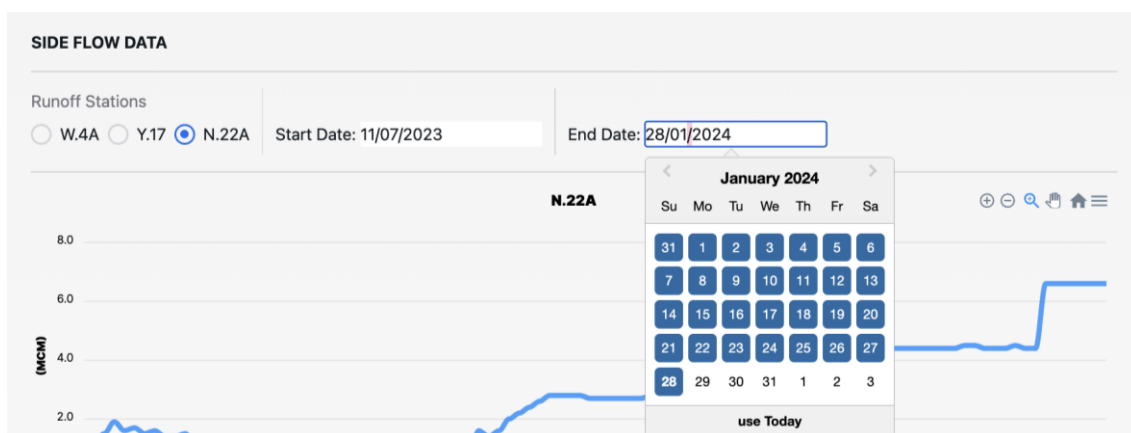
เมื่อผู้ใช้งานต้องการเรียกดูข้อมูลปริมาณน้ำท่าในแต่ละสถานีตรวจวัดน้ำทางด้านท้ายเขื่อนเพื่อพิจารณาถึง Potential Side Flow ที่นำมาใช้ปรับลดปริมาณการระบายน้ำของเขื่อนหลักสามารถทำตามขั้นตอนได้ดังนี้

(1) ไปที่แถบคำสั่ง “Side Flow” เพื่อเข้าสู่หน้าข้อมูลปริมาณน้ำท่า ดังแสดงในภาพที่ 3-31







ภาพที่ 3-31 เลือกแถบคำสั่ง “Side Flow” เพื่อเรียกดูข้อมูลปริมาณน้ำท่าท้ายเขื่อน

- (2) เลือกชื่อสถานีตรวจวัดน้ำท่าและช่วงเวลาที่ต้องการเรียกดูข้อมูลปริมาณน้ำท่าท้ายเขื่อน ดังแสดงในภาพที่ 3-32



ภาพที่ 3-32 การเลือกสถานีตรวจวัดน้ำท่าและช่วงเวลาเพื่อเรียกดูข้อมูลปริมาณน้ำท่าท้ายเขื่อน

- (3) ระบบจะแสดงผลในรูปแบบแผนภูมิปริมาณน้ำท่า โดยผู้ใช้สามารถนำเมาส์ (หรือ Cursor) ไปวางบนเส้น เพื่ออ่านข้อมูลตัวเลข ของวันนั้น ๆ ทั้งนี้ผู้ใช้สามารถกดสัญลักษณ์     เพื่อ Zoom in หรือ Zoom out ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 3-33

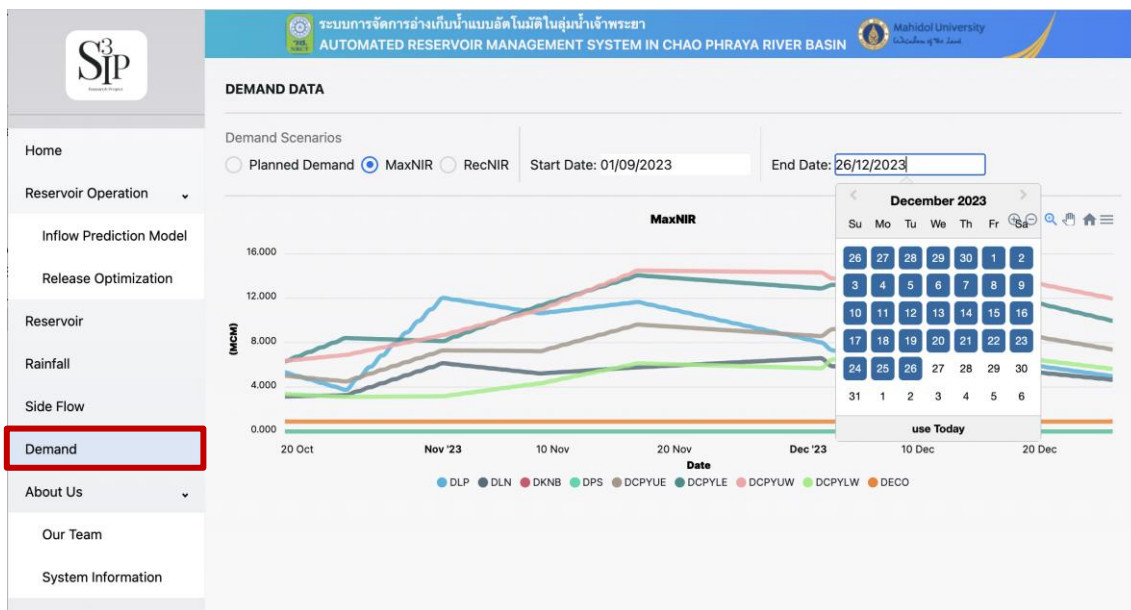


ภาพที่ 3-33 การแสดงผลข้อมูลปริมาณน้ำท่าท้ายเขื่อน

### 3.2.7 วิธีการใช้งานเพื่อเรียกดูข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำ (Water Demand)

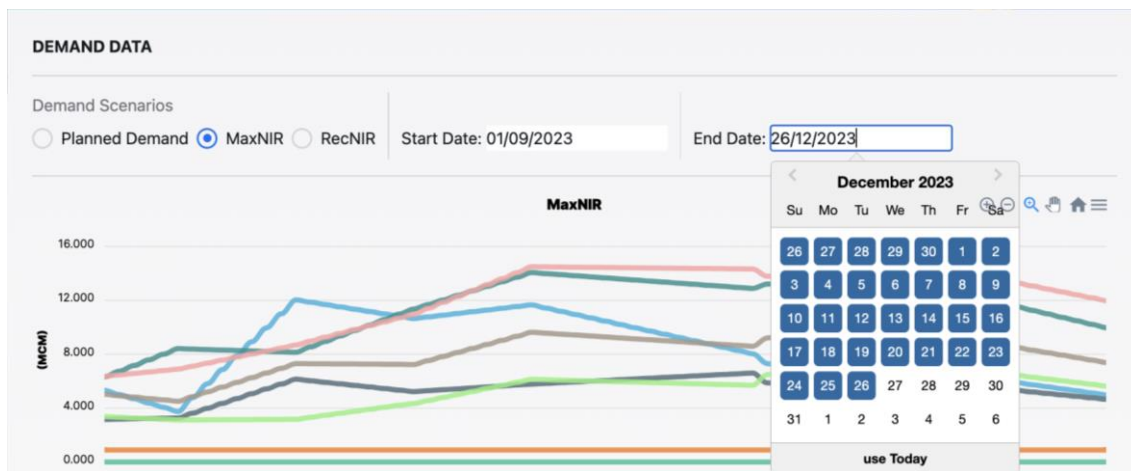
เมื่อผู้ใช้งานต้องการเรียกดูข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำในแต่ละ Scenario ที่ได้ตั้งค่าแยกตามโซนการส่งน้ำสามารถทำตามขั้นตอนได้ดังนี้

- (1) ไปที่แถบคำสั่ง “Demad” เพื่อเข้าสู่หน้าข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 3-34



ภาพที่ 3-34 เลือกแถบคำสั่ง “Demand” เพื่อเรียกดูข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำตาม Scenario ที่ระบุ

(2) เลือก Demand Scenario และช่วงเวลาที่ต้องการดูข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำตาม Scenario ที่ระบุ ดังแสดงในภาพที่ 3-35



ภาพที่ 3-35 การเลือก Demand Scenario และช่วงเวลาเพื่อข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำตาม Scenario ที่ระบุ



## บทที่ 4 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาด้วยระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำอัตโนมัติสรุปรายละเอียดได้ดังนี้

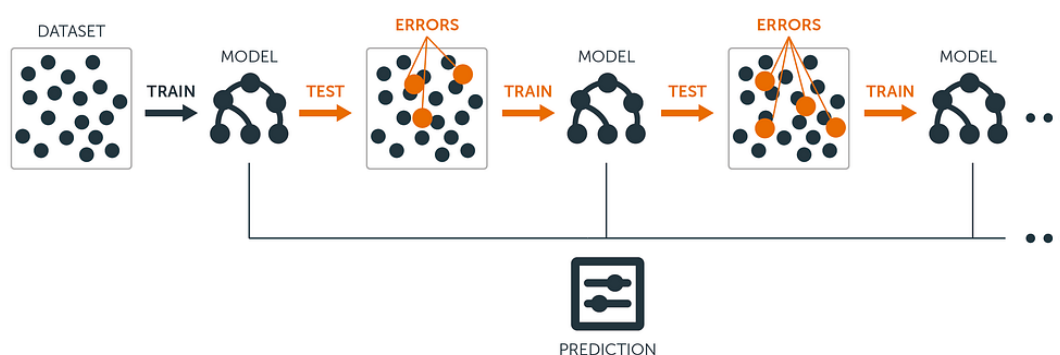
### 4.1 เป้าหมายการพัฒนากระบวนการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา

ระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา (Development of Automated Reservoir Management System in Chao Phraya River Basin) ถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นภายใต้แนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องมือสำหรับใช้สนับสนุนการตัดสินใจในการกำหนดปริมาณการระบายน้ำรายวันของเขื่อนหลักในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาได้แก่ (1) เขื่อนภูมิพล (2) เขื่อนสิริกิติ์ (3) เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และ (4) เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ โดยตั้งเป้าหมายที่จะเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุน (ปริมาณน้ำเก็บกัก) ของทั้ง 4 เขื่อนหลักให้สูงขึ้น 15% จากฐานข้อมูลในอดีตเมื่อสิ้นสุดฤดูฝน ณ วันที่ 31 ตุลาคม สำหรับนำไปใช้ในระหว่างการเพาะปลูกฤดูแล้งของปีถัดไป ทั้งนี้เพื่อบรรเทาปัญหาการขาดแคลนน้ำในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา และลดความเสี่ยงของการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำในช่วงน้ำน้อยสำหรับจัดสรรน้ำไปใช้อย่างเพียงพอตลอดช่วงฤดูการเพาะปลูก

### 4.2 แบบจำลองที่ใช้ในการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา

#### 4.2.1 แบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำด้วยเทคนิคการเรียนรู้แบบเครื่อง

(1) แบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำด้วยเทคนิคการเรียนรู้แบบเครื่องที่ใช้ในการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยานี้เป็นแบบจำลองการพยากรณ์แบบอ่วงเดี่ยวรายวันที่พัฒนาขึ้นจากโครงการวิจัยเข้มข้นระยะที่ 2 โดยแบบจำลองถูกพัฒนาด้วยอัลกอริทึม XGBoost ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีของ Ensemble Learning Method (ประกอบด้วย Bagging, Boosting และ Stacking) ที่เป็นการเรียนรู้แบบ Multiple-Learners ที่มีประสิทธิภาพสูงและเป็นที่ยอมรับในงานด้านการพยากรณ์ โดยวิธี Boosting เป็นการเรียนรู้แบบเป็นลำดับ กล่าวคือ Learner ก่อนหน้าเรียนรู้ แล้วนำเอา "ข้อผิดพลาด (Error)" ของตัวเองมาปรับปรุง Learner ต่อ ๆ ไป เพื่อลดความผิดพลาดจาก Learner ก่อนหน้า ส่งผลให้มีความแม่นยำสูงดังแสดงในภาพที่ 5-1 แต่อัลกอริทึมนี้อาจทำให้เกิด Overfitting ได้ง่าย องค์กรที่อัลกอริทึม XGBoost ถูกแต่งเสริมเติมแต่งจาก Gradient Boosting เพื่อเพิ่มความสามารถ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความสามารถในการลดการเกิด Overfitting และสามารถจัดการกับ Missing Value อัตโนมัติได้ดีขึ้น



ภาพที่ 5-1 การทำงานของอัลกอริทึม XGBoost ในการพยากรณ์  
ที่มา: <https://medium.com/>

(2) แบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่เลือกใช้ในการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติของ 4 เขื่อนหลักในกลุ่มน้ำเจ้าพระยานั้น คณะผู้วิจัยได้เลือกแบบจำลองที่มีรูปแบบโครงสร้างของตัวแปรนำเข้าอย่างง่ายประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่เวลา  $t, t-1, t-2, \dots, t-7$  ที่ให้ค่าประสิทธิผลของการพยากรณ์อยู่ในเกณฑ์ดี และให้ค่าประสิทธิผลไม่แตกต่างกันไปจากแบบจำลองที่นำข้อมูลตัวแปรนำเข้าอื่น ๆ มาใช้ร่วมด้วย เช่น ข้อมูลค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่เวลา  $t-1, t-3$  และ  $t-7$  และข้อมูลสภาพภูมิอากาศ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ค่า Lead Time ในการพยากรณ์ล่วงหน้าที่เหมาะสมจากข้อสรุปของงานวิจัยระยะที่ 2 นั้นไม่ควรเกิน 7 วัน หากเกินค่านี้ ค่าประสิทธิผลทางสถิติของการพยากรณ์จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ หรือความแม่นยำของการพยากรณ์จะลดลงเมื่อ Lead Time มากขึ้นนั่นเอง

(3) จุดอ่อนของแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำคือ ผลการพยากรณ์รายวันให้ค่าสูงสุดของปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันต่ำกว่าข้อมูลสังเกต (Underestimated) ในทางกลับกัน ผลการพยากรณ์รายวันให้ค่าต่ำสุดของปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสูงกว่าข้อมูลสังเกต (Overestimated) อีกทั้งประสิทธิผลของการพยากรณ์ยังอยู่ในเกณฑ์ต่ำในช่วงที่มีการปรับเปลี่ยนแนวโน้มของข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำตรวจวัด ยกตัวอย่างเช่นในช่วงที่เกิดพายุฝนที่แนวโน้มปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเพิ่มปริมาณสูงขึ้นจากเดิมอย่างรวดเร็ว หรือช่วงเปลี่ยนฤดูกาล ด้วยเหตุนี้ การปรับค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองด้วยการฝึกฝนแบบจำลองใหม่ (Retrain) ให้มีความเหมาะสมจึงยังมีความสำคัญ เพื่อนำข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่ได้จากการพยากรณ์ในช่วงสถานการณ์น้ำวิกฤตมาใช้ประกอบการกำหนดกลยุทธ์ในการบริหารเขื่อนของผู้ปฏิบัติการต่อไป นอกจากนี้ มีโอกาสที่แบบจำลองการพยากรณ์จะให้ค่าประสิทธิผลในการเรียนรู้จากชุดข้อมูลฝึกฝนสูงจนเกินไป แต่เมื่อนำแบบจำลองไปใช้กับชุดข้อมูลตรวจสอบและประสิทธิผลของการพยากรณ์ของแบบจำลองลดลง กล่าวคือ แบบจำลองเกิดการ Overfitting กับชุดฝึกฝน หรือแบบจำลองมีความซับซ้อนมากเกินไป ดังนั้น ผู้ใช้งานต้องพิจารณาความถูกต้องของผลลัพธ์จากการพยากรณ์อย่างละเอียด เพื่อทำการฝึกฝนแบบจำลองใหม่ จนกระทั่งแน่ใจว่าแบบจำลองไม่เกิดการ Overfitting ก่อนทำการพยากรณ์ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำล่วงหน้า ยิ่งไปกว่านั้น การนำแบบจำลองการพยากรณ์ที่ให้ค่าประสิทธิผลสูงสุดของแต่ละเขื่อนไปใช้ในการพยากรณ์ที่ Lead Time  $t+1, \dots, t+7$  ที่ยาวขึ้น ส่งผลให้ค่าประสิทธิผลของแบบจำลองมีแนวโน้มลดลง ด้วยเหตุนี้ ในการใช้งานระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาในแผนการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำนั้น จำเป็นต้องทำการฝึกฝนแบบจำลองใหม่เพื่อปรับพารามิเตอร์ให้สอดคล้องกับรูปแบบของข้อมูลนำเข้า ทั้งนี้เพื่อให้แบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันของทั้ง 4 เขื่อนหลักมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และเป็นเครื่องมือที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบริหารเขื่อน ณ เวลาจริงปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงสถานการณ์น้ำวิกฤต

#### 4.2.2 แบบจำลองการปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำด้วยการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming Model)

(1) แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming, CP) สำหรับใช้ในการบริหารเขื่อนหรือการปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาถูกพัฒนาขึ้นด้วยภาษา Python ซึ่งเป็นภาษาโปรแกรมเชิงข้อจำกัดในยุคปัจจุบันในการแก้โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ค่อนข้างรวดเร็วและมีความทันสมัยสำหรับการกำหนดรูปแบบปัญหาและการแก้ปัญหาโจทย์จะกำหนดในลักษณะของการหาค่าที่ดีที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Optimization) ของระบบอ่างเก็บน้ำแบบหลายอ่าง โดยในการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาได้เลือกใช้แบบจำลองที่พิจารณาระยะเวลาใน

การเดินทางของน้ำไปถึงโหนดความต้องการน้ำในแต่ละพื้นที่ในการกำหนดรูปแบบการระบายน้ำจากเขื่อน (Demand-Based Model) ที่คำนึงถึงความมั่นคงและความยั่งยืนของการบริหารจัดการน้ำทั้งระยะสั้นและระยะยาว และบรรลุเป้าหมายในการเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนในอ่างเก็บน้ำ 15% จากฐานข้อมูลระยะยาวตามโจทย์งานวิจัย

(2) จุดเด่นที่สำคัญของแบบจำลองการปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำด้วยการโปรแกรมแบบข้อจำกัดที่ใช้ในการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยานี้คือ สามารถแก้ปัญหาโจทย์เพื่อหาค่าปริมาณการระบายน้ำที่เหมาะสมรายวันของทั้ง 4 เขื่อนหลักให้สอดคล้องตามโหนดความต้องการน้ำในแต่ละกิจกรรมการใช้น้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาโดยคำนึงถึงปริมาณและระยะเวลาเดินทางของน้ำที่จะจัดส่งไปถึงแต่ละโหนดความต้องการน้ำ รวมทั้งวัตถุประสงค์ในการเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนทั้งระบบ อีกทั้งยังทำให้เขื่อนแควน้อยบำรุงแดนและเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์มีบทบาทในการเพิ่มการระบายน้ำเพื่อตอบสนองความต้องการน้ำทั้งในภาคเกษตรกรรมและรักษาระบบนิเวศท้ายเขื่อนได้มากขึ้น เนื่องจากข้อกำหนดในแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดกำหนดให้ระยะทางเดินทางของน้ำถึงโหนดความต้องการน้ำในภาคเกษตรกรรมในพื้นที่โครงการชลประทานเจ้าพระยาใหญ่และโหนดความต้องการน้ำเพื่อรักษาระบบนิเวศท้ายเขื่อนสั้นกว่าปริมาณน้ำที่ระบายจากเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์ ส่งผลให้แบบจำลองแนะนำให้ระบายน้ำจากเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนและเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ก่อน ด้วยเหตุนี้ แนวทางดังกล่าวจึงช่วยประหยัดน้ำและเพิ่มปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำของเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์ได้ตามเป้าหมายในการเพิ่มน้ำต้นทุนระยะยาวที่ตั้งไว้ อีกทั้งยังช่วยลดความผันผวนของปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนและเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ในช่วงกลางถึงช่วงปลายฤดูฝนที่มีความเสี่ยงที่น้ำจะเต็มอ่างอยู่บ่อยครั้ง และเกิดปัญหาน้ำท่วมตามมาทางด้านท้ายเขื่อนจากปริมาณน้ำที่ระบายในอัตราสูงเพื่อพร่องน้ำในอ่างเก็บน้ำสำหรับรองรับน้ำที่คาดว่าจะไหลมาสมทบเพิ่มเติม

(3) ผู้ใช้งานสามารถนำข้อมูล Side Flow ที่มีศักยภาพทางด้านท้ายเขื่อนมาเป็นข้อกำหนดในการกำหนดการระบายน้ำของแบบจำลองการปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำด้วยการโปรแกรมแบบข้อจำกัดร่วมด้วย ซึ่งผลลัพธ์จากงานวิจัยแสดงให้เห็นว่า การพิจารณาข้อมูล Side Flow ของสถานีตรวจวัดน้ำท่า W.4A ท้ายเขื่อนภูมิพล และสถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.17 และ N.22A ท้ายเขื่อนสิริกิติ์สามารถปรับลดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนในเขื่อนสำหรับใช้ในระยะเวลาถัดไปได้ในระดับที่น่าพอใจ

(4) ผู้ใช้งานสามารถกำหนดเงื่อนไขข้อจำกัดด้านกายภาพของระบบ ข้อจำกัดด้านปัจจัยน้ำต้นทุนและข้อจำกัดด้านปัจจัยความต้องการน้ำในแบบจำลองการปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำด้วยการโปรแกรมแบบข้อจำกัด เพื่อให้สอดคล้องกับหลักปฏิบัติและข้อพิจารณาอื่น ๆ ของหน่วยงาน เช่น การควบคุมระดับน้ำเก็บกักตอนบน (Upper Rule Curve) ของแต่ละเขื่อนเพื่อลดความเสี่ยงที่จะเกิดการไหลล้นอ่างและอุทกภัยตามมา การคำนึงถึงศักยภาพของแหล่งน้ำต้นทุนสำรองอื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็นแหล่งน้ำผิวดินขนาดเล็กและแหล่งน้ำใต้ดินในพื้นที่เพื่อปรับลดปริมาณความต้องการน้ำจากเขื่อนและนำเข้าไปในแบบจำลอง เป็นต้น

(5) จุดแข็งของการพัฒนาแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดเพื่อหาค่าปริมาณการระบายน้ำจากอ่างเก็บน้ำที่ดีที่สุดในแต่ละช่วงเวลาของ 4 เขื่อนหลักในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา คือ แบบจำลองถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้ภาษาไพทอน (Python) ซึ่งเป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่มีผู้พัฒนาและใช้งานเป็นจำนวนมาก ทำให้ผู้พัฒนาสามารถพัฒนาแบบจำลองแบบข้อจำกัดได้ง่ายขึ้น อีกทั้งภาษาไพทอนยังมีชุดคำสั่งที่สามารถใช้ในการพัฒนาแบบจำลองโปรแกรมแบบข้อจำกัดได้และยังสามารถใช้งานกับ Constraint Solver ได้หลายรูปแบบ จากจุด

ขณะนี้ผู้ใช้งานสามารถเลือก Constraint Solver ที่เหมาะกับแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดที่ถูกพัฒนาขึ้น ด้วยเหตุนี้ การแก้ปัญหาของแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดจึงมีความเร็วในการแก้ปัญหา โจทย์สูง นอกจากนี้ การจำลองระบบการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในลักษณะของปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำร่วมกันแบบหลายอ่างในลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่พัฒนาขึ้นด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดนี้ทำให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด หรืออาจกล่าวได้ว่าค่าปริมาณการระบายน้ำของแต่ละเขื่อนในแต่ละช่วงเวลาเป็นค่าที่ดีที่สุด (Optimal Water Release) ในขณะเดียวกันผู้ใช้งานสามารถกำหนดปริมาณการระบายน้ำรายวันล่วงหน้าจากผลลัพธ์ของแบบจำลองเพื่อใช้ในการวางแผนการระบายน้ำทั้งระบบให้มีความเหมาะสม หรือหากมีการปรับเปลี่ยนแผนการจัดสรรน้ำระหว่างสัปดาห์ก็สามารถผลลัพธ์จากแบบจำลองเพื่อแนะนำการระบายน้ำในปริมาณที่แตกต่างกันจากทั้ง 4 เขื่อน ยิ่งไปกว่านั้น ยังสามารถพัฒนาร่วมกับโปรแกรมภาษาอื่น ๆ เช่น Java, JavaScript และ C# เป็นต้น ในรูปแบบของส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (Application Programming Interface, API) ได้อีกด้วย อีกทั้งยังสามารถพัฒนาในลักษณะของแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดที่มีหลายสมการวัตถุประสงค์ อย่างไรก็ตาม จุดอ่อนของการพัฒนาแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดคือ การไม่สนับสนุนการเปลี่ยนแปลงแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดแบบไดนามิกส์ (หรือไม่เป็นที่นิยม) กล่าวคือเมื่อแบบจำลองถูกสร้างแล้วจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงระหว่างการแก้ปัญหาเพื่อหาค่าที่ดีที่สุด ดังนั้น ผู้พัฒนาต้องทำการวิเคราะห์และกำหนดข้อจำกัดของปัญหาโจทย์จริงให้แล้วเสร็จก่อนที่จะพัฒนาแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด

(6) แบบจำลองการปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำด้วยการโปรแกรมแบบข้อจำกัดที่ประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยานี้ นับได้ว่าเป็นการนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์สมัยใหม่ที่มีการดึงข้อมูลสารสนเทศน้ำล่วงหน้าจากแบบจำลองการพยากรณ์น้ำที่อาศัยเทคนิคการเรียนรู้แบบเครื่อง (Machine Learning) และการนำข้อมูลปริมาณน้ำท่าคาดการณ์ (Potential Side Flow) ท้ายเขื่อนมาเป็นข้อพิจารณาในการกำหนดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนที่เหมาะสมและบรรลुวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้โดยมุ่งเน้นที่จะเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนของเขื่อนหลักในระยะยาว อีกทั้งยังเป็นการบรรเทาความเสียหายรุนแรงจากภัยแล้งและอุทกภัยในพื้นที่

#### 4.3 ระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

(1) ระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่พัฒนาจากงานวิจัยนี้ถูกออกแบบให้ใช้งานได้ง่ายและมีความสะดวกต่อผู้ใช้งานโดยแบ่งระบบออกเป็น 4 โมดูลย่อยได้แก่ (1.1) โมดูลส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (API Data Module) ซึ่งทำหน้าที่ในการบริหารจัดการข้อมูลที่ถูกนำเข้ามาในระบบจากแหล่งข้อมูล (1.2) โมดูลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Inflow Prediction Module) ซึ่งเป็นโมดูลแสดงผลพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำของ 4 เขื่อนหลักที่พัฒนาขึ้นโดยเทคนิคการเรียนรู้ด้วยเครื่อง (Machine Learning) (1.3) โมดูลการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำ (Dam-Reservoir Operation Module) ที่ทำหน้าที่ตัดสินใจในการกำหนดปริมาณการระบายน้ำที่เหมาะสมรายวันด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming) และ (1.4) โมดูลการแสดงผลข้อมูล (Data Visualization Module) ซึ่งทำหน้าที่ในการแสดงผลข้อมูลต่าง ๆ บนหน้าเว็บแอปพลิเคชัน ด้วยเหตุนี้ผู้ใช้งานสามารถกดปุ่มเพื่อให้ระบบประมวลผล เรียกดูผลลัพธ์จากแบบจำลอง และแสดงผลเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดผ่านระบบแอปพลิเคชันของแต่ละโมดูลได้

(2) ผู้ใช้งานสามารถพยากรณ์ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันล่วงหน้าที่มี Lead Time ได้ไม่จำกัด อย่างไรก็ตาม ค่าประสิทธิภาพทางสถิติของการพยากรณ์น้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันล่วงหน้าจะยังอยู่ใน

เกณฑ์ดี หาก Lead Time ไม่เกิน 7 วัน อย่างไรก็ตาม เนื่องจากข้อกำหนดสำหรับนำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสำหรับใช้ในแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดสำหรับใช้ในการบริหารเขื่อนเพื่อกำหนดปริมาณการระบายน้ำรายวันที่จะต้องมีความสอดคล้องกับข้อมูลนำเข้าอย่างน้อย  $\pm 10$  วัน ดังนั้น ผู้ใช้งานต้องกำหนด Lead Time สำหรับพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำล่วงหน้าในระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติขั้นต่ำอย่างน้อย 10 วัน ทั้งนี้ ความแม่นยำของการพยากรณ์ลดลงตาม Lead Time ที่ยาวขึ้น สำหรับข้อแนะนำในการฝึกฝนแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำได้สรุปไว้ในตารางที่ 5-1

**ตารางที่ 5-1** หลักเกณฑ์ข้อเสนอแนะในการตั้งค่าการใช้งานแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ

หลักเกณฑ์พิจารณา	รายละเอียด
จำนวน Lead Time ของการพยากรณ์ที่ให้ค่าความแม่นยำในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (วัน)	1-7
การตั้งค่า Lead Time ของการพยากรณ์ในระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติ (วัน)	อย่างน้อย 10
ความถี่ของการฝึกฝนแบบจำลองเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการพยากรณ์	ทุก 15-30 วัน และช่วงเปลี่ยนแนวโน้มข้อมูลและฤดูกาล (Transition Trend)
ค่าประสิทธิภาพทางสถิติของการพยากรณ์ที่ยอมรับได้	$R^2 > 0.75$ ระดับดี (Substantial Level) $0.25 \leq R^2 \leq 0.75$ ระดับปานกลาง (Moderate Level) $R^2 < 0.25$ ระดับน้อย (Weak Level) (Hair et al., 2011; Henseler et al., 2009)

(3) โครงสร้างของแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดถูกออกแบบและพัฒนาสำหรับใช้ในการบริหารเขื่อนเพื่อกำหนดปริมาณการระบายน้ำรายวันของ 4 เขื่อนหลัก ได้แก่ เขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกกำหนดประเภทของแบบจำลอง (Type of Model) การตั้งค่าระดับควบคุมตอมนบน (Rule Curve) เปอร์เซนต์ Side Flow (Percent of Potential Side Flow) ของสถานีตรวจวัดน้ำท่าหลัก 3 สถานีที่ตั้งอยู่ทางด้านท้ายเขื่อน และรูปแบบของข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่แยกตามโซนความต้องการน้ำ (Zone-Based Water Demand) ได้ โดยมีรายละเอียดสรุปไว้ในตารางที่ 5-2 ดังนี้

**ตารางที่ 5-2** โครงสร้างของแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดสำหรับใช้ในการตั้งค่าการใช้งานระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา

ข้อกำหนด	รายละเอียด
ประเภทของแบบจำลอง	2 ประเภทได้แก่ (1) แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดรายฤดูกาล (Constraint Programming Model with Seasonal Constraints) และ (2) แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดรายปี (Constraint Programming Model with Yearly Constraints)

ข้อกำหนด	รายละเอียด
การตั้งค่าระดับควบคุมตอนบน (Rule Curve)	2 รูปแบบได้แก่ (1) Yes และ (2) No
เปอร์เซ็นต์ Side Flow (Percent of Potential Side Flow)	6 รูปแบบได้แก่ 5%, 10%, 15%, 20%, 25% และ 30% ทางด้านท้ายของเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์
รูปแบบของข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่แยกตามโหมดความต้องการน้ำ (Zone-Based Water Demand)	3 รูปแบบได้แก่ (1) MaxNIR (2) Planned Demand และ (3) RecNIR

(3.1) ประเภทของแบบจำลองกำหนดไว้ 2 ประเภทได้แก่ (3.1.1) แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดรายฤดูกาล (Constraint Programming Model with Seasonal Constraints) และ (3.1.2) แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดรายปี (Constraint Programming Model with Yearly Constraints) โดยได้ทำการปรับค่าปริมาณความต้องการน้ำภายใต้สมมติฐานที่ว่า ในช่วงฤดูฝน (พ.ค.-ต.ค.) ศักยภาพของปริมาณน้ำต้นทุนของเขื่อนหลักสามารถระบายน้ำได้อย่างเต็มที่ตามปัจจัยปริมาณความต้องการน้ำโดยคิดเป็น 100% แต่ในฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ษ.) ศักยภาพของปริมาณน้ำต้นทุนของเขื่อนหลักในการตอบสนองปริมาณความต้องการน้ำมีจำกัด ดังนั้น จึงพิจารณาปัจจัยความต้องการน้ำเพียง 80% ที่จะได้รับการจัดสรรน้ำจากเขื่อน

(3.2) การตั้งค่าระดับควบคุมตอนบน (Rule Curve) กำหนดไว้ 2 รูปแบบได้แก่ (3.2.1) Yes หมายถึงการตั้งค่าให้ปริมาณน้ำเก็บกักของแต่ละเขื่อนไม่เกินค่าระดับควบคุมตอนบน เมื่อทำการจำลองระบบการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในแต่ละช่วงเวลา และ (3.2.2) No หมายถึงการตั้งค่าให้ปริมาณน้ำเก็บกักของแต่ละเขื่อนไม่เกินค่าระดับเก็บกักปกติ (Normal Pool/Water Level) เมื่อทำการจำลองระบบการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในแต่ละช่วงเวลา โดยวัตถุประสงค์ของการตั้งค่าระดับควบคุมตอนบนไว้ก็เพื่อลดความเสี่ยงในการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำในสภาวะน้ำมากวิกฤต และมีโอกาสสูงที่จะระบายน้ำส่วนเกินผ่านทางระบายน้ำล้นและเกิดปัญหาน้ำท่วมตามมาทางด้านท้ายเขื่อน

(3.3) ผู้ใช้งานสามารถกำหนดเปอร์เซ็นต์ปริมาณ Side Flow ทางด้านท้ายของเขื่อนภูมิพล ที่พิจารณาจากสถานีตรวจวัดน้ำท่า W.4A (ตั้งอยู่ทางด้านท้ายของแม่น้ำวัง) และเปอร์เซ็นต์ปริมาณ Side Flow ทางด้านท้ายของเขื่อนสิริกิติ์ที่พิจารณาจากสถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.17 (ตั้งอยู่ทางด้านท้ายของแม่น้ำยม) และสถานีตรวจวัดน้ำท่า N.22A (ตั้งอยู่ทางด้านท้ายของแม่น้ำแควน้อย) ได้เป็น 10%, 15%, 20%, 25% และ 30%

(3.4) ผู้ใช้งานสามารถกำหนดรูปแบบของข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาสำหรับใช้ในการเรียกดูผลลัพธ์ในการกำหนดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนได้ใน 3 รูปแบบคือ (3.3.1) MaxNIR ซึ่งเป็นปริมาณความต้องการน้ำในภาคเกษตรกรรมตามผลการประมาณการด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในลักษณะ Maximum Net Irrigation Water Requirement ร่วมกับปริมาณความต้องการน้ำนอกภาคเกษตรกรรมที่ประมาณการตามแผนการจัดสรรน้ำ (3.3.2) Planned Demand กำหนดให้ข้อมูลความต้องการน้ำทั้งในภาคเกษตรกรรมและนอกภาคเกษตรกรรมเป็นไปตามแผนการจัดสรรน้ำ และ (3.3.3) RecNIR ซึ่งเป็นข้อมูลความต้องการน้ำในภาคเกษตรกรรมตามผลการประมาณการด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมร่วมกับอัตราส่วนการจัดสรรน้ำที่แนะนำในลักษณะ Recommended Net Irrigation Water Requirement ร่วมกับปริมาณความต้องการน้ำนอกภาคเกษตรกรรมที่ประมาณการตามแผนการจัดสรรน้ำตามที่ได้สรุปไว้ในตารางที่ 5-3

ตารางที่ 5-3 ข้อกำหนดของรูปแบบข้อมูลความต้องการน้ำสำหรับการตั้งค่าการใช้งานระบบการจัดการ  
อ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

สถานการณ์สมมติ	ข้อมูลความต้องการน้ำ	
	ความต้องการน้ำในภาค เกษตรกรรม <sup>1/</sup>	ความต้องการน้ำนอกภาค เกษตรกรรม <sup>2/</sup>
S1. Maximum NIR	Maximum NIR (แยกตามโซนการจัดส่งน้ำ)	RID Plan 2023 (ข้อมูลปัจจุบัน)
S2. Planned Demand (Water Allocation Plan)	RID Plan 2023 (ข้อมูลปัจจุบัน)	RID Plan 2023 (ข้อมูลปัจจุบัน)
S3. Recommended NIR	Recommended NIR (ข้อมูลปัจจุบัน)	RID Plan 2023 (ข้อมูลปัจจุบัน)

หมายเหตุ: <sup>1/</sup> ข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำในภาคเกษตรกรรมในพื้นที่โครงการชลประทานเจ้าพระยาใหญ่ครอบคลุม 34  
โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา

<sup>2/</sup> ข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำนอกภาคเกษตรกรรมครอบคลุมความต้องการน้ำเพื่อการรักษาระบบนิเวศ และ  
ความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคและการอุตสาหกรรมทางด้านทำน้ำของแต่ละเขื่อน

(4) หลักเกณฑ์ข้อเสนอแนะในการกำหนดรูปแบบของแบบจำลองการโปรแกรมข้อจำกัดสำหรับการใช้  
การตั้งค่าการใช้งานระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยาเพื่อกำหนดปริมาณการ  
ระบายน้ำในช่วงสถานการณ์น้ำวิกฤตน้ำน้อยและวิกฤตน้ำมากซึ่งประกอบด้วยเงื่อนไขของการตั้งค่าประเภท  
แบบจำลอง ระดับควบคุมตอนบน (Upper Rule Curve, URC) และเปอร์เซ็นต์ปริมาณ Side Flow ได้สรุปไว้  
ในตารางที่ 5-4

ตารางที่ 5-4 หลักเกณฑ์ข้อเสนอแนะในการกำหนดรูปแบบของแบบจำลองการโปรแกรมข้อจำกัดสำหรับใช้  
ในการตั้งค่าการใช้งานระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

แบบจำลอง	ลักษณะการตั้งค่า	รายละเอียด	สถานการณ์น้ำ	
			ช่วงน้ำน้อย	ช่วงน้ำมาก
ประเภทของแบบจำลอง	รายฤดูกาล	ยอมให้มีการขาดน้ำในช่วง ฤดูแล้ง 20% ของปริมาณ ความต้องการน้ำ	✓	
	รายปี	ระบายน้ำจากเขื่อนเพียงพอ และไม่เกิดการขาดน้ำ		✓
ระดับควบคุมตอนบน (Rule Curve)	Yes (ลดความ เสี่ยงที่น้ำจะเต็ม ความจุอ่าง)	ปริมาณน้ำเก็บกักเริ่มต้น (Initial Storage) อยู่ใน เกณฑ์สูงกว่า URC		✓
	No (ความเสี่งที่ น้ำจะเต็มความจุ อ่างอยู่ในเกณฑ์ต่ำ)	ปริมาณน้ำเก็บกักเริ่มต้น (Initial Storage) อยู่ใน เกณฑ์ต่ำ-สูง	✓	

แบบจำลอง	ลักษณะการตั้งค่า	รายละเอียด	สถานการณ์น้ำ	
			ช่วงน้ำน้อย	ช่วงน้ำมาก
เปอร์เซ็นต์ปริมาณ Side Flow	5-10%	ปริมาณน้ำทำตรวจวัดและคาดการณ์อยู่ในเกณฑ์น้อย	✓	
	10-30%	ปริมาณน้ำทำตรวจวัดและคาดการณ์อยู่ในเกณฑ์สูง		✓

(5) การใช้งานระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำอัตโนมัติเพื่อกำหนดปริมาณการระบายน้ำในช่วงสถานการณ์น้ำวิกฤตน้ำน้อยและวิกฤตน้ำมากนั้น จะต้องตรวจสอบการนำเข้รูปแบบของข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาอย่างละเอียดและรอบคอบ และสอดคล้องตามสถานะน้ำต้นทุนในอ่างเก็บน้ำที่มีอยู่และแนวโน้มปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาขณะนั้น โดยขอยกตัวอย่างหลักเกณฑ์ข้อเสนอแนะเบื้องต้นตามที่สรุปไว้ในตารางที่ 5-5 โดยในช่วงสถานการณ์น้ำวิกฤตน้ำน้อยควรเลือก RecNIR ในการตั้งค่าการใช้งานระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติ ในขณะที่ในช่วงสถานการณ์น้ำปกติและสถานการณ์น้ำมาก ผู้ใช้งานสามารถตั้งค่าการใช้งานทั้งแบบ MaxNIR และ Planned Demand ได้เนื่องจากสถานะปริมาณน้ำต้นทุนทั้งระบบอยู่ในเกณฑ์ปานกลางถึงสูง

**ตารางที่ 5-5** หลักเกณฑ์ข้อเสนอแนะในการกำหนดรูปแบบของข้อมูลความต้องการน้ำสำหรับใช้ในการตั้งค่าการใช้งานระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา

ตัวแปรพิจารณา	ประเภท	หลักเกณฑ์	ข้อมูลความต้องการน้ำ 3 สถานการณ์		
			MaxNIR	Planned Demand	RecNIR
สถานะปริมาณน้ำต้นทุนทั้งระบบ	ต่ำ	$AS \leq 20\%$			✓
	ปานกลาง	$20\% < AS < 80\%$	✓	✓	
	สูง	$AS \geq 80\%$	✓	✓	
ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำทั้งระบบ	ต่ำ	$AS \leq 20\%$			✓
	ปานกลาง	$20\% < AS < 80\%$	✓	✓	
	สูง	$AS \geq 80\%$	✓	✓	

หมายเหตุ: AS หมายถึงปริมาณน้ำเก็บกักใช้การของ 4 เขื่อนหลักในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา

(6) ข้อมูลความต้องการน้ำที่ประมาณการโดยใช้แผนการจัดสรรน้ำนั้น จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนชุดข้อมูลนี้โดยอาศัยข้อมูลในปัจจุบันประกอบด้วย แผนการจัดสรรน้ำและเพาะปลูกพืชฤดูแล้งในเขตพื้นที่ชลประทาน และแผนการจัดสรรน้ำและเพาะปลูกพืชฤดูฝนในเขตพื้นที่ชลประทาน ซึ่งครอบคลุมปริมาณความต้องการน้ำในภาคเกษตรกรรมและนอกภาคเกษตรกรรม และหากมีการปรับเปลี่ยนแผนการจัดสรรน้ำระหว่างสัปดาห์ ผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนชุดข้อมูลดังกล่าวนี้ได้

(7) ข้อมูลความต้องการน้ำของทั้ง 3 สถานการณ์สมมติต้องจัดเตรียมข้อมูลโดยแยกออกเป็น 9 โซนการจัดส่งน้ำประกอบด้วย DLP, DLN, DKNB, DPS, DCPYUE, DCPYLE, DCPYUW, DCPYLW และ DECO ซึ่งครอบคลุมปริมาณความต้องการน้ำในภาคเกษตรกรรมในพื้นที่โครงการชลประทานเจ้าพระยาใหญ่



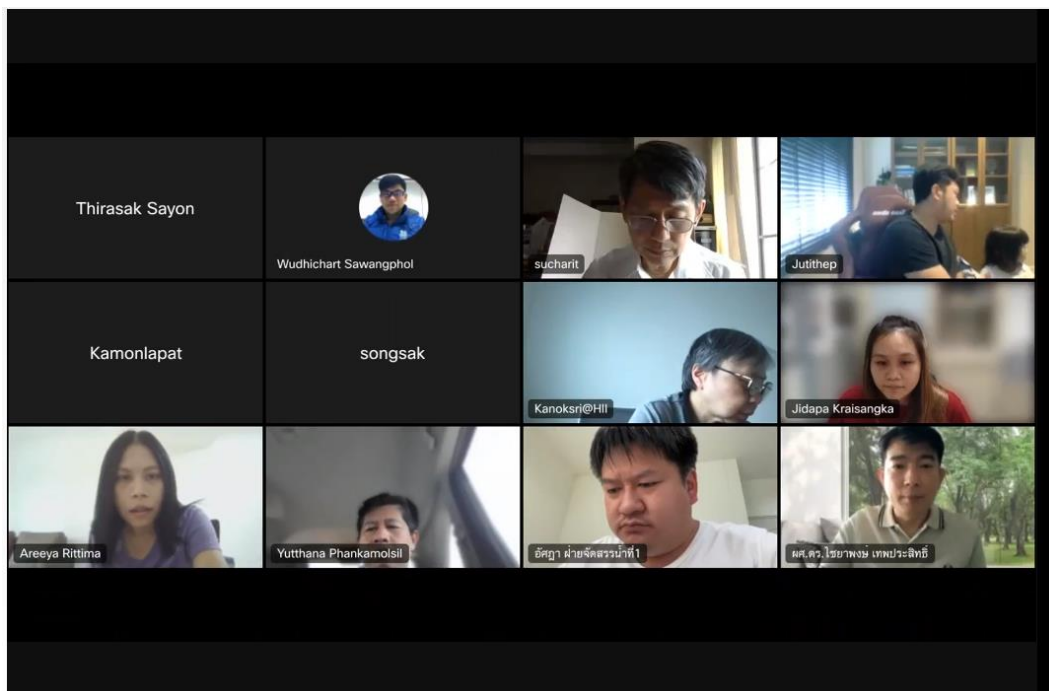
ครอบคลุม 34 โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา และปริมาณความต้องการน้ำนอกภาคเกษตรกรรม ครอบคลุมความต้องการน้ำเพื่อการรักษาระบบนิเวศ และความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคและการอุตสาหกรรมทางด้านทำนน้ำของแต่ละเขื่อน

## บรรณานุกรม

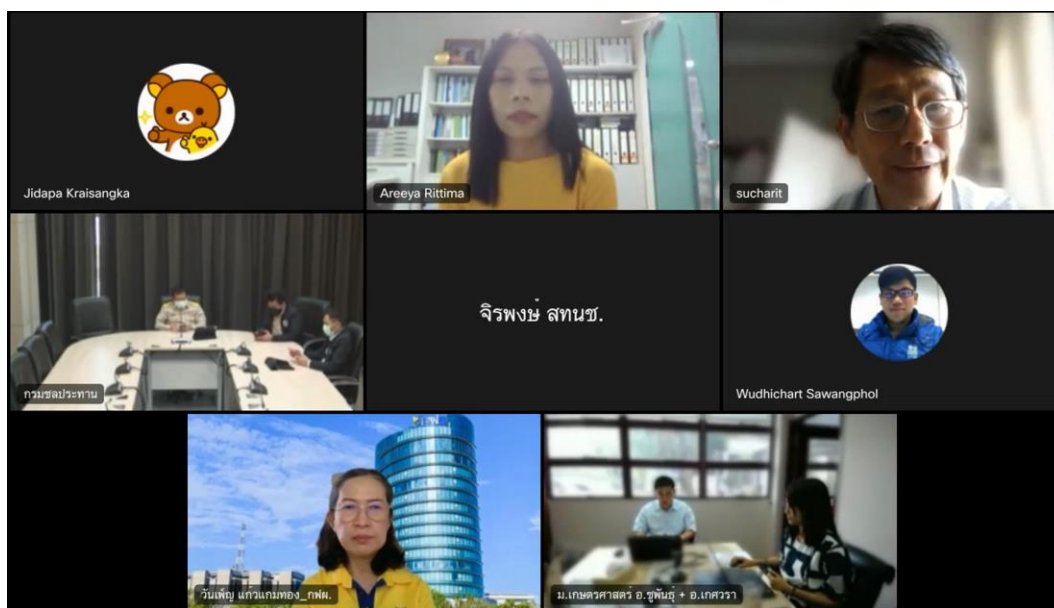
- กรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2559). โครงการศึกษาความมั่นคงของกลุ่มน้ำ  
อย่างยั่งยืนทั้ง 25 กลุ่มน้ำ. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2555). คู่มือการระบายน้ำลุ่มน้ำเจ้าพระยา. กรุงเทพฯ: แผนกวางแผน  
ปฏิบัติการพลังน้ำ ฝ่ายควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า.
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2559). การพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำที่  
เหมาะสมของกลุ่มน้ำแม่กลอง. กรุงเทพฯ: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2561ก). เชื้อนภูมิพล. สืบค้นจากอินเทอร์เน็ต,  
<https://www.egat.co.th/>, เมื่อวันที่ 1 กันยายน 2564.
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2561ข). เชื้อนสิริกิติ์. สืบค้นจากอินเทอร์เน็ต,  
<https://www.egat.co.th/>, เมื่อวันที่ 1 กันยายน 2564.
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2561ค). เชื้อนแควน้อยบำรุงแดน. สืบค้นจากอินเทอร์เน็ต,  
<https://www.egat.co.th/>, เมื่อวันที่ 1 กันยายน 2564.
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2561ง). เชื้อนป่าสักชลสิทธิ์. สืบค้นจากอินเทอร์เน็ต,  
<https://www.egat.co.th/>, เมื่อวันที่ 1 กันยายน 2564.

**ภาคผนวก B**

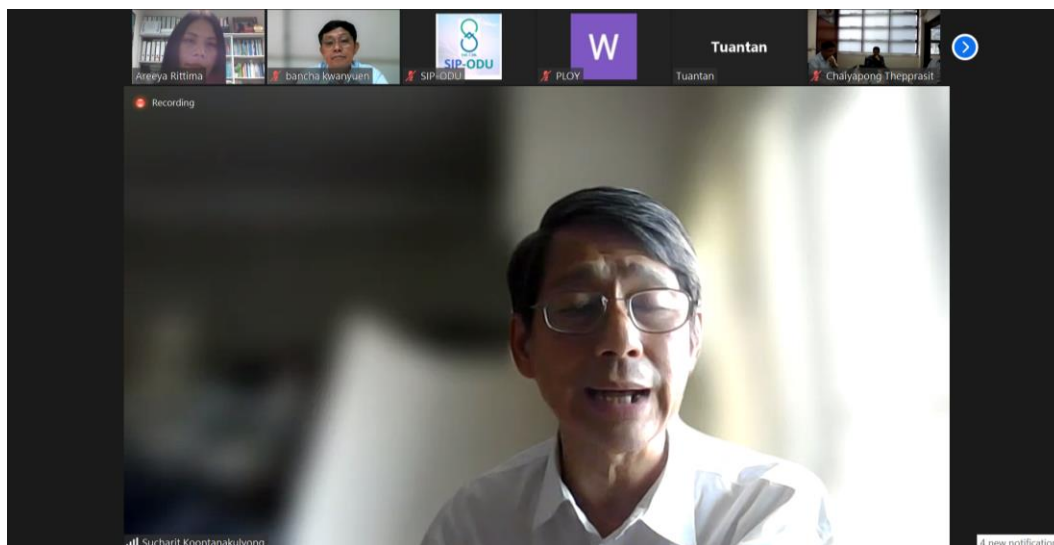
ภาพการประชุมกลุ่มย่อยในแผนงานที่ 3 และตัวแทนหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง



ภาพผนวกที่ B-1 การประชุมกลุ่มย่อยในแผนงานที่ 3 และตัวแทนหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อเข้าร่วมกิจกรรม CO-RUN เมื่อวันที่ 5 มิถุนายน 2566



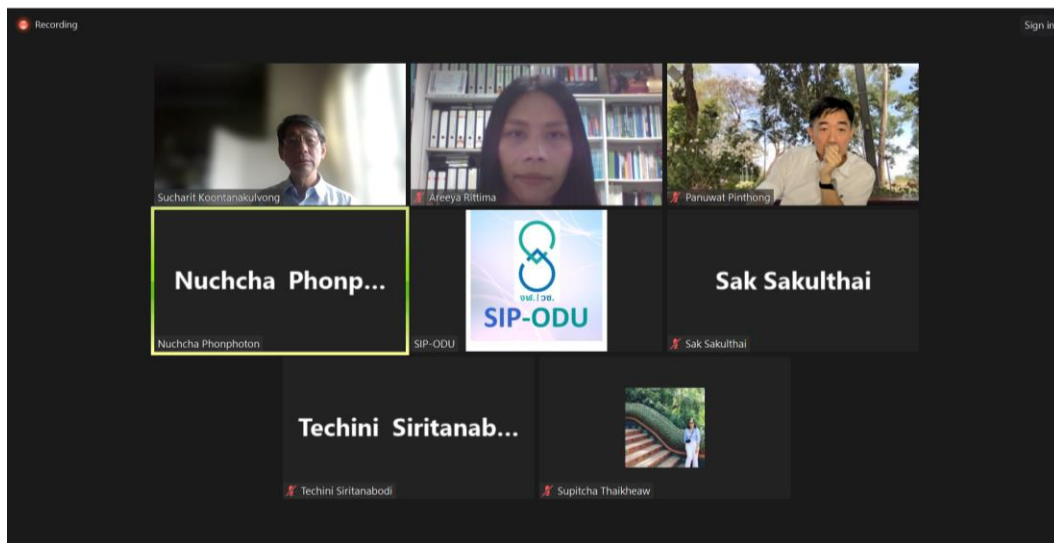
ภาพผนวกที่ B-2 การประชุมกลุ่มย่อยในแผนงานที่ 3 และตัวแทนหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อสำรวจความต้องการใช้งานระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา เมื่อวันที่ 26 มิถุนายน 2566



ภาพผนวกที่ B-3 การประชุมในแผนงาน เมื่อวันที่ 16 สิงหาคม 2566



ภาพผนวกที่ B-4 การประชุมโปรแกรมติดตามความก้าวหน้าโครงการวิจัยโดยคณะกรรมการกำกับงานวิจัย วช. แผนงานที่ 3 เมื่อวันที่ 23 พฤศจิกายน 2566 กรมชลประทาน



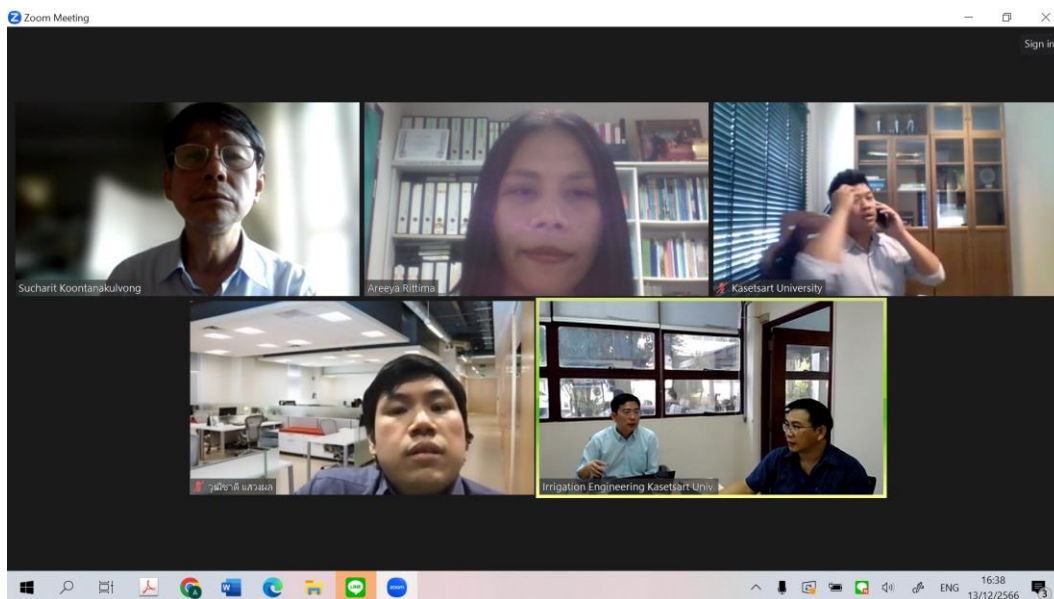
ภาพผนวกที่ B-5 การประชุมในแผนงาน เมื่อวันที่ 14 พฤศจิกายน 2566



ภาพผนวกที่ B-6 การประชุมเสนอผลงานวิจัยและนวัตกรรมสู่การปรับปรุงการบริหารจัดการน้ำด้วย  
วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและนวัตกรรม พร้อมจัดทำข้อเสนอเชิงนโยบาย แผนงานที่ 3  
เมื่อวันที่ 14 พฤศจิกายน 2566 โรงแรมปทุมวัน ปริ้นเซส



ภาพผนวกที่ B-7 การประชุม Technical Session สำหรับร่างรายงานฉบับสมบูรณ์ แผนงานยุทธศาสตร์ เป้าหมายด้านสังคม แผนงานการบริหารจัดการน้ำ ระยะที่ 3 เมื่อวันที่ 29 พฤศจิกายน



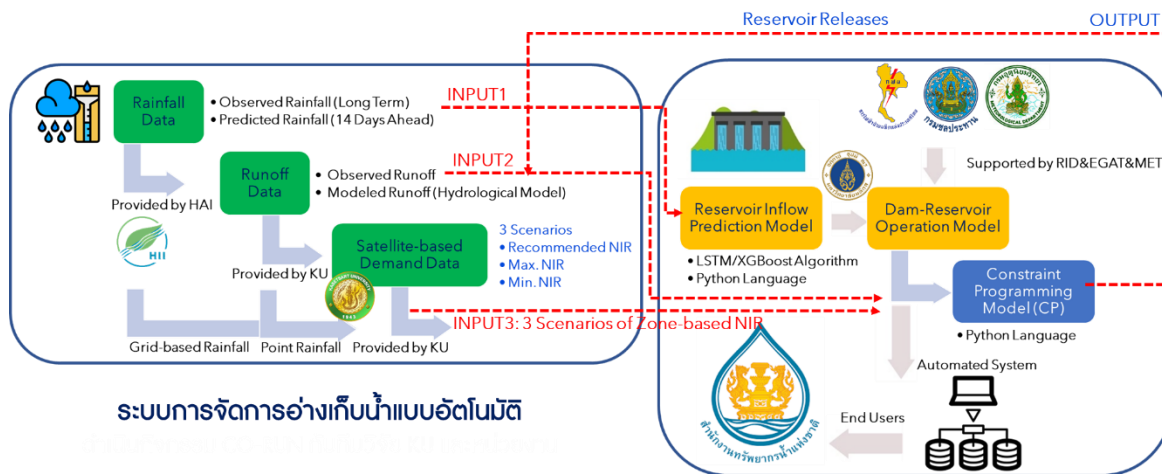
ภาพผนวกที่ B-8 การประชุมในแผนงาน เมื่อวันที่ 13 ธันวาคม 2566

ภาคผนวก C  
สรุปโครงการวิจัย 1 หน้า



**แบบฟอร์มสรุปโครงการวิจัย 1 หน้า**

1. ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา  
(ภาษาอังกฤษ) Development of Automated Reservoir Management System in Chao Phraya River Basin
2. ชื่อ-สกุล นักวิจัย (ภาษาไทย) รศ.ดร.อารีญา ฤทธิมา  
(ภาษาอังกฤษ) Assoc.Prof.Dr.Areeya Rittima
3. ที่อยู่ติดต่อได้ 25/25 ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ถ.พุทธมนตลสาย 4 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170  
เบอร์โทรศัพท์ 02-889-2138 ต่อ 6384  
E-mail areeya.rit@mahidol.ac.th
4. ชื่อหน่วยงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
5. ปี พ.ศ. ที่ดำเนินการเสร็จ 2566
6. คำค้น Key word ปัญญาประดิษฐ์ แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด การเรียนรู้แบบเครื่อง ระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติ ลุ่มน้ำเจ้าพระยา  
Artificial Intelligence, Constraint Programming Model, Machine Learning, Automated Reservoir Management System, Chao Phraya River Basin
7. อ้างอิง -
8. รูปภาพหรือภาพเคลื่อนไหว



**9. คำอธิบาย 1 หน้ากระดาษ A4**

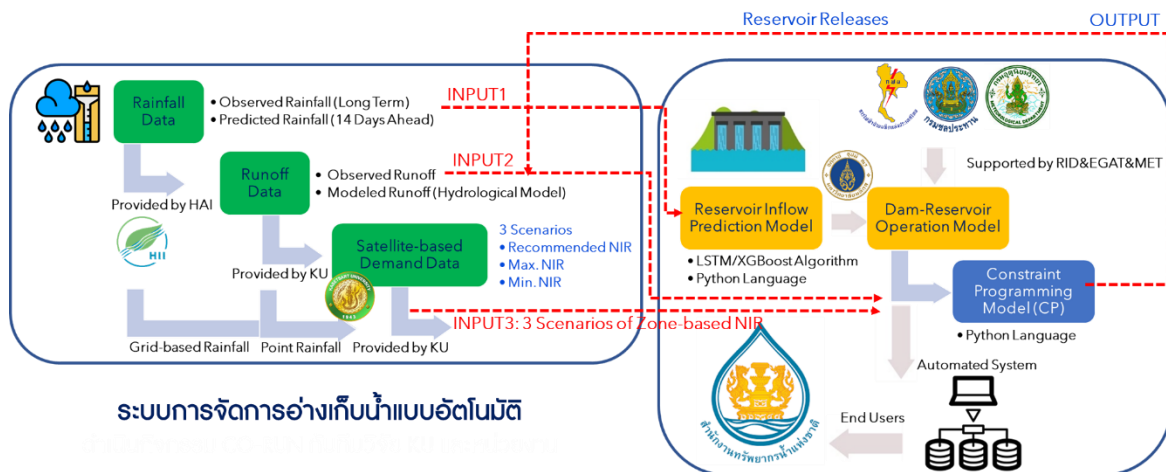
โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะประยุกต์แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming, CP) และแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำด้วยเทคนิคการเรียนรู้แบบเครื่อง (Machine Learning, ML) ที่ได้รับการพัฒนาจากผลการวิจัยปีที่ 2 สำหรับใช้ในการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา ทั้งนี้เพื่อกำหนดรูปแบบการระบายน้ำรายวันของ 4 เขื่อนหลัก ได้แก่ (1) เขื่อนภูมิพล (2) เขื่อนสิริกิติ์ (3) เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และ (4) เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ ที่มีการนำเข้าข้อมูลจากหน่วยงานต่าง ๆ ประมวลผล และแสดงผลลัพท์บนเว็บแอปพลิเคชันแบบอัตโนมัติ โดยมีรายละเอียดของขอบเขตการดำเนินงานวิจัยดังนี้ (1) ปรับปรุงระบบการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาผ่านกิจกรรม

CO-RUN โดยอาศัยข้อมูลจริงปัจจุบัน (Real Time Operation) ทั้งในสถานการณ์ปกติและพิบัติภัย (2) พัฒนาระบบเชื่อมโยงสารสนเทศทั้งข้อมูลอุทกวิทยาอ่างเก็บน้ำและข้อมูลน้ำผิวดินในพื้นที่ราบภาคกลางเพื่อการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา และแสดงผลลัพท์บนเว็บแอปพลิเคชันเพื่อรายงานผลให้สาธารณชนรับทราบ (3) จัดกิจกรรมเพื่อถ่ายทอดผลงานวิจัยกับหน่วยงานผู้ใช้ประโยชน์ในรูปแบบของการฝึกอบรม และ/หรือการจัดประชุม โดยครอบคลุมทั้งผู้ปฏิบัติงานเขื่อนในลุ่มน้ำเจ้าพระยา และตัวแทนผู้ปฏิบัติงานเขื่อนในพื้นที่ลุ่มน้ำอื่น ๆ ของประเทศ และ (4) จัดทำคู่มือข้อเสนอแนะในการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาเพื่อมุ่งเน้นการเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนในระบบ

ภาคผนวก D  
สรุปโครงการวิจัย 5 บรรทัด

### แบบฟอร์มสรุปโครงการวิจัย 5 บรรทัด

1. ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา  
(ภาษาอังกฤษ) Development of Automated Reservoir Management System in Chao Phraya River Basin
2. ชื่อ-สกุล นักวิจัย (ภาษาไทย) รศ.ดร.อารีญา ฤทธิมา  
(ภาษาอังกฤษ) Assoc.Prof.Dr.Areeya Rittima
3. ที่อยู่ติดต่อได้ 25/25 ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ถ.พุทธมนตลสาย 4 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170  
เบอร์โทรศัพท์ 02-889-2138 ต่อ 6384  
E-mail areeya.rit@mahidol.ac.th
4. ชื่อหน่วยงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
5. ปี พ.ศ. ที่ดำเนินการเสร็จ 2566
6. คำค้น Key word ปัญญาประดิษฐ์ แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด การเรียนรู้แบบเครื่อง ระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติ ลุ่มน้ำเจ้าพระยา  
Artificial Intelligence, Constraint Programming Model, Machine Learning, Automated Reservoir Management System, Chao Phraya River Basin
7. อ้างอิง -
8. รูปภาพหรือภาพเคลื่อนไหว



### 9. คำอธิบาย 5 บรรทัด

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะประยุกต์แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming, CP) และแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำด้วยเทคนิคการเรียนรู้แบบเครื่อง (Machine Learning, ML) สำหรับใช้ในการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา ทั้งนี้เพื่อกำหนดรูปแบบการระบายน้ำรายวันของ 4 เขื่อนหลัก ได้แก่ (1) เขื่อนภูมิพล (2) เขื่อนสิริกิติ์ (3) เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และ (4) เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ ที่มีกรนำเข้าข้อมูลจากหน่วยงานต่าง ๆ ประมวลผล และแสดงผลลัพท์บนเว็บแอปพลิเคชันแบบอัตโนมัติ

10. นำเข้าข้อมูลสรุปโครงการวิจัย 5 บรรทัดในระบบ EXPLORE ผ่านเว็บไซต์ [www.thai-explore.net](http://www.thai-explore.net)

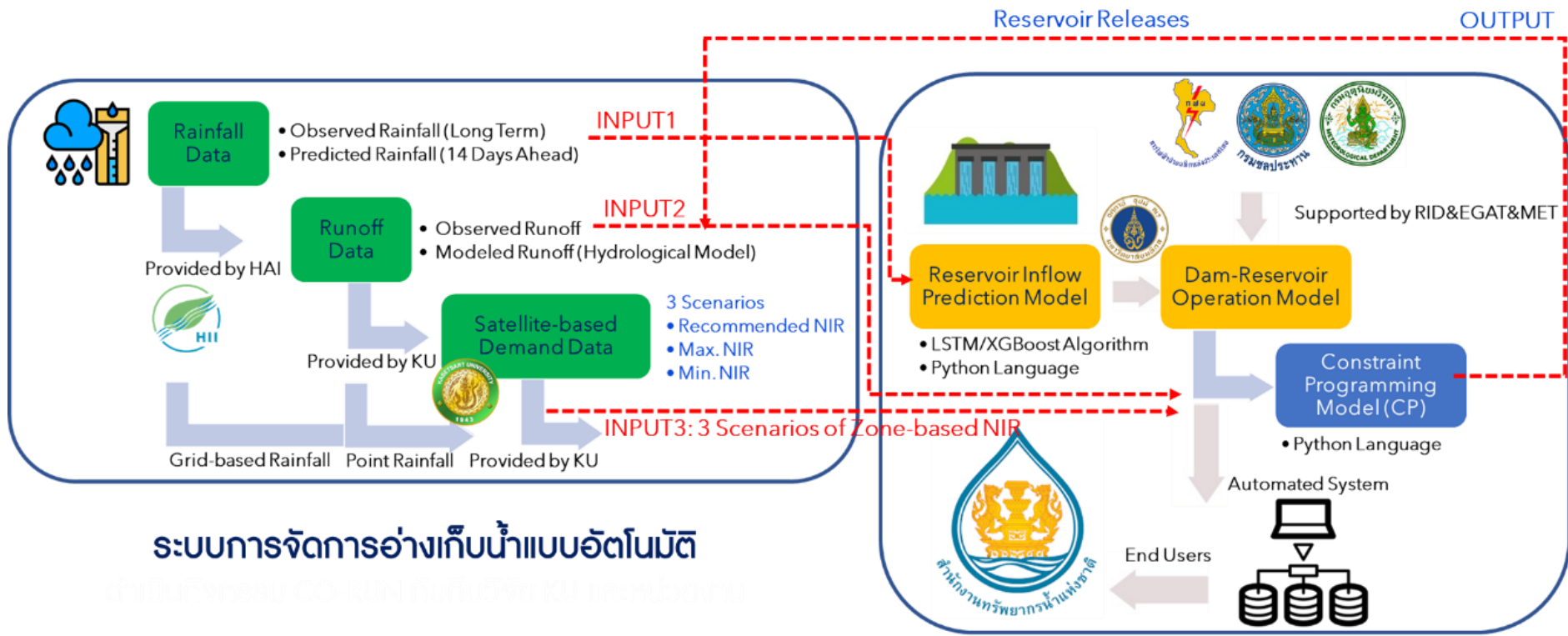
**ภาคผนวก E**  
สรุปรงานวิจัยในรูปแบบ Info Graphic

## แบบฟอร์มสรุปงานวิจัยในรูปแบบ Info Graphic

### 1. ตราสัญลักษณ์ของ วช. และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง



2. ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา  
(ภาษาอังกฤษ) Development of Automated Reservoir Management System in Chao Phraya River Basin
3. ชื่อ-สกุล นักวิจัย (ภาษาไทย) รศ.ดร.อารีญา ฤทธิมา  
(ภาษาอังกฤษ) Assoc.Prof.Dr.Areeya Rittima
4. E-mail areeya.rit@mahidol.ac.th
5. ชื่อหน่วยงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล



**ระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติ**

ดำเนินการโดย CG-RIWA กับทีมวิจัย KU และพันธมิตร



**ภาคผนวก F**

ประเมินผลการวิจัยในการนำไปใช้ประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรม

## แบบฟอร์มประเมินผลการวิจัยในการนำไปใช้ประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรมที่ได้รับการจัดสรรงบประมาณ

### ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อโครงการวิจัย	การพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา
ชื่อนักวิจัย	รศ.ดร.อารีญา ฤทธิมา
หน่วยงาน	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
งบประมาณที่ได้รับการสนับสนุน	2,000,000 บาท
ปีงบประมาณที่ได้รับการสนับสนุน	2565
วัน/เดือน/ปี ที่ดำเนินการวิจัยแล้วเสร็จ	ตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม 2566 สิ้นสุดวันที่ 31 มกราคม 2567
เป้าหมายดำเนินการ	พัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา
พื้นที่การใช้ประโยชน์	พื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาครอบคลุม 4 เขื่อนหลัก ได้แก่ เขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ และพื้นที่ โครงการชลประทานเจ้าพระยาใหญ่

### ส่วนที่ 2 ผลการวิจัยและการนำไปใช้ประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรม

#### 2.1 การนำไปใช้ประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรม

- มตินโยบาย** หมายถึง การมีเอกสารแสดงความสนใจ ความต้องการ หรือการนำข้อมูลและแนวทางแก้ไขซึ่งได้จากผลงานวิจัย สิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมมาใช้ประกอบการแก้ไขปัญหาสำคัญและปัญหาเร่งด่วนของประเทศในองค์กร หรือหน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชน
- ปัญหาสำคัญ/ปัญหาเร่งด่วนของประเทศ: ปัญหาอุทกภัยและภัยแล้งจากผลพวงของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการเพิ่มขึ้นของปริมาณความต้องการน้ำในภาคเกษตรกรรมและนอกภาคเกษตรกรรมในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา
  - องค์กร หรือหน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชนที่นำงานวิจัยไปใช้ประโยชน์: สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ กรมชลประทาน และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
  - ช่วงเวลาที่นำงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ (วัน/เดือน/ปี): หลังจากงานวิจัยแล้วเสร็จและผ่านการตรวจพิสูจน์ความถูกต้องและข้อจำกัดต่าง ๆ ของการใช้งานแบบจำลองตามบริบทที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่
  - ลักษณะการนำงานวิจัยไปใช้ประโยชน์: สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ กรมชลประทาน และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยสามารถนำระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่ได้พัฒนาขึ้นจากงานวิจัยนี้ไปใช้เป็นเครื่องมือในจำลองผลเพื่อกำหนดการระบายน้ำล่วงหน้าสำหรับวางแผนและบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาอย่างเป็นระบบและเกิดความยั่งยืนในระยะยาว
  - การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นต่อองค์กร หรือหน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชน: เสถียรภาพและความมั่นคงด้านน้ำที่สูงขึ้นจากการพัฒนาระบบการจัดการเขื่อน-อ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา คาดว่าจะช่วยขับเคลื่อนการพัฒนาเศรษฐกิจทั้งภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรมบริเวณที่ราบภาคกลางของประเทศ

- มติวิชาการ** หมายถึง การมีเอกสารแสดงถึงการอ้างอิง (Citations) บทความวิจัยที่ได้รับการ

ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ ซึ่งมี Peer-review

-คณะนักวิจัยได้เผยแพร่องค์ความรู้และเทคโนโลยีจากงานวิจัยนี้ในรูปแบบของการนำเสนอและตีพิมพ์ผลงานในที่ประชุมทางวิชาการและวารสารทางวิชาการทั้งในระดับชาติและระดับนานาชาติ

**มิติเชิงสังคม/ชุมชน** หมายถึง การมีเอกสารแสดงความสนใจ หรือความต้องการเข้ารับการถ่ายทอดความรู้ของชุมชน ท้องถิ่น หรือองค์กร (ไม่ใช่หน่วยงานต้นสังกัดของนักวิจัย/หน่วยงานให้ทุน) ที่แสดงให้เห็นถึงการนำงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ และรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นต่อชุมชน ท้องถิ่น องค์กร

-ชื่อชุมชน ท้องถิ่น หรือองค์กรที่นำงานวิจัยไปใช้ประโยชน์: เกษตรกรและกลุ่มผู้ใช้น้ำภาคส่วนต่าง ๆ ในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา

-ช่วงเวลาที่นำงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ (วัน/เดือน/ปี): หลังจากงานวิจัยแล้วเสร็จและผ่านการตรวจพิสูจน์ความถูกต้องและข้อจำกัดต่าง ๆ ของการใช้งานแบบจำลองตามบริบทที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่

-ลักษณะการนำงานวิจัยไปใช้ประโยชน์: เกษตรกรและกลุ่มผู้ใช้น้ำภาคส่วนต่าง ๆ รับรู้และเข้าใจถึงแนวทางปฏิบัติของกรมชลประทานในการปรับเปลี่ยนแนวทางการจัดสรรน้ำตามสถานการณ์น้ำ และการเตรียมความพร้อมในการรับมือกับผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในกรณีของน้ำต้นทุนมีจำกัด

-การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นต่อชุมชน ท้องถิ่น องค์กร: ผลจากการบริหารเขื่อน-อ่างเก็บน้ำที่มุ่งเน้นการเพิ่มน้ำต้นทุนในอ่างเก็บน้ำก่อนฤดูแล้งและเพิ่มประสิทธิภาพของการบริหารจัดการน้ำในการลดหรือบรรเทาปัญหาอุทกภัยและภัยแล้งทั้งในระยะสั้นและระยะยาวในพื้นที่ศึกษาจะทำให้กลุ่มเกษตรกรและกลุ่มผู้ใช้น้ำภาคส่วนต่าง ๆ สามารถนำน้ำไปใช้ในกิจกรรมเหล่านั้นได้อย่างเต็มศักยภาพ ส่งผลทำให้ผลผลิตในภาคการเกษตรกรรม ภาคการอุตสาหกรรมขยายตัวเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มการเจริญเติบโตด้านเศรษฐกิจของประเทศ และลดความเสียหายทางเศรษฐกิจจากปัญหาอุทกภัยและภัยแล้งที่เกิดขึ้น

**มิติพาณิชย์** หมายถึง การมีเอกสารแสดงความสนใจ หรือความต้องการในการนำผลงานวิจัย สิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมไปพัฒนา/ปรับปรุงกระบวนการผลิตและจำหน่ายในภาคการผลิตและภาคอุตสาหกรรม

-ภาคการผลิตและภาคอุตสาหกรรมที่นำงานวิจัยไปใช้ประโยชน์: ไม่มี

-ช่วงเวลาที่นำงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ (วัน/เดือน/ปี): ไม่มี

-ลักษณะการนำงานวิจัยไปใช้ประโยชน์: ไม่มี

-การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นต่อภาคการผลิตและภาคอุตสาหกรรม: ไม่มี

## 2.2 ทรัพย์สินทางปัญญาที่เกิดจากงานวิจัย

ไม่มี

## 2.3 ผู้ได้รับผลประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรม

โครงการวิจัยนี้นับได้ว่าเป็นการยกระดับการพัฒนางานวิจัยของประเทศไทย ด้วยการบูรณาการองค์ความรู้ด้านวิศวกรรมทรัพยากรน้ำและเทคโนโลยีสารสนเทศมาพัฒนาต้นแบบนวัตกรรมในการจัดการเขื่อน-อ่างเก็บน้ำอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา โดยการดำเนินงานวิจัยในปีที่ 3 เป็นการสร้างความร่วมมือระหว่างคณะนักวิจัยและเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องผ่านกิจกรรมการดำเนินงานวิจัยใน

รูปแบบการประชุมกลุ่มย่อย เพื่อเป็นการเพิ่มช่องทางการสื่อสาร แลกเปลี่ยนข้อมูลและข้อคิดเห็นในลักษณะ 2 ทาง และผลักดันให้เกิดการนำผลลัพธ์จากงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ และบรรลุผลสัมฤทธิ์ตามเป้าหมายของโครงการวิจัย ซึ่งคาดว่าจะส่งผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงานในหน่วยงานภาครัฐ ในสายงานบริหารจัดการทรัพยากรน้ำทั้งในหน่วยงานปฏิบัติการ (Operator) และหน่วยงานควบคุมกำกับ (Regulator) และคาดว่าจะส่งผลกระทบต่อสังคมในการลดปัญหาอุทกภัยและภัยแล้งทั้งในระยะสั้นและระยะยาวที่จะสร้างความเสียหายในพื้นที่ศึกษา โดยต้นแบบการจัดการเขื่อน-อ่างเก็บน้ำอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นจากโครงการวิจัยนี้คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อสำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ (สทนช.) ซึ่งเป็นหน่วยงานควบคุม กำกับ และดูแลด้านนโยบายในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำให้เป็นระบบในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา และขยายผลไปยังเขื่อนอื่น ๆ ของประเทศ

#### 2.4 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงานวิจัย (งานวิจัยที่แล้วเสร็จ)

- ไม่มีปัญหาและอุปสรรค  
 มีปัญหาและอุปสรรค (โปรดระบุสาเหตุ)

#### 2.5 ผลกระทบจากการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

- ไม่มีผลกระทบ  
 มีผลกระทบ (โปรดระบุสาเหตุ)

ความถูกต้องของผลลัพธ์ที่แสดงผลในรูปแบบของการกำหนดปริมาณการระบายน้ำจากเขื่อนหลักทั้ง 4 เขื่อนล่วงหน้าจากระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยานี้ขึ้นอยู่กับความถูกต้องและแม่นยำของข้อมูลตัดสินใจได้แก่ (1) ปริมาณฝนคาดการณ์ (2) ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำพยากรณ์ (3) ปริมาณน้ำท่าคาดการณ์ และ (4) ปัจจัยปริมาณความต้องการน้ำคาดการณ์

ลงชื่อ .....

(รศ.ดร.อารีญา ฤทธิมา)

หัวหน้าโครงการวิจัย

ภาคผนวก G  
รายชื่อคณบดีนักวิจัย

### รายชื่อคณะนักวิจัย

รศ.ดร.อารีญา ฤทธิมา (หัวหน้าโครงการวิจัย)  
ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล  
E-mail: areeya.rit@mahidol.ac.th

ผศ.ดร.ยuthana พันธุ์กมลศิลป์ (ผู้ร่วมโครงการวิจัย)  
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและการจัดการภัยพิบัติ มหาวิทยาลัยมหิดล  
E-mail: yutthana.pha@mahidol.ac.th

อ.ดร.วุฒิชชาติ แสงผล (ผู้ร่วมโครงการวิจัย)  
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยมหิดล  
E-mail: wudhichart.saw@mahidol.edu

ผศ.ดร.จิตาภา ไกรสังข์ (ผู้ร่วมโครงการวิจัย)  
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยมหิดล  
E-mail: jidapa.kra@mahidol.edu