แบบฟอร์มรายงานการวิจัยและนวัตกรรม (โครงการวิจัยเดี่ยว)

Inception Report (2 เดือน)

โครงการ/โครงการย่อย(ไทย) การพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

(อังกฤษ) Development of Automated Reservoir Management System in Chao Phraya River Basin

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปี 2565 จำนวน 2,000,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 9 เดือน เริ่มทำการวิจัยเมื่อ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2566–31 มกราคม พ.ศ. 2566

รายงานความก้าวหน้าของการวิจัย ครั้งที่ 1 ระหว่าง 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2566 ถึง 30 มิถุนายน พ.ศ. 2566

รายนามหัวหน้าโครงการ (เดี่ยว)/โครงการย่อย และผู้ร่วมโครงการ พร้อมทั้งหน่วยงานที่สังกัดและรายละเอียดการติดต่อ

1. รศ.ดร.อารียา ฤทธิมา
   ตำแหน่งในโครงการ: หัวหน้าโครงการ
   ที่อยู่: ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา
   เลขที่ 25/25 ถ.พุทธมณฑล สาย 4 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170
   โทรศัพท์: 02–889–2138 ต่อ 6384 โทรสาร : 02–889–2138 ต่อ 6388
   โทรศัพท์มือถือ: 089–447–2497
   E–mail: areeya.rit@mahidol.ac.th
2. ผศ.ดร.ยุทธนา พันธุ์กมลศิลป์
   ที่อยู่: ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา
   เลขที่ 25/25 ถ.พุทธมณฑล สาย 4 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170
   โทรศัพท์: 02–889–2138 ต่อ 6384 โทรสาร : 02–889–2138 ต่อ 6388
   โทรศัพท์มือถือ: 089–447–2497
   E–mail: areeya.rit@mahidol.ac.th
3. อ.ดร.วุฒิชาติ แสวงผล
   ที่อยู่: คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยมหิดล
   เลขที่ 999 ถ.พุทธมณฑล สาย 4 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170
   โทรศัพท์: 02–441–0909 โทรสาร : 02–441–0808
   โทรศัพท์มือถือ: 083–906–9579
   E–mail: wudhichart.saw@mahidol.edu
4. อ.ดร.จิดาภา ไกรสังข์
   ตำแหน่งในโครงการ: ผู้ร่วมโครงการ

ที่อยู่: คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยมหิดล
เลขที่ 999 ถ.พุทธมณฑล สาย 4 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170
โทรศัพท์: 02–441–0909 โทรสาร : 02–441–0808
โทรศัพท์มือถือ : 064–414–6362
E–mail: jidapa.kra@mahidol.edu

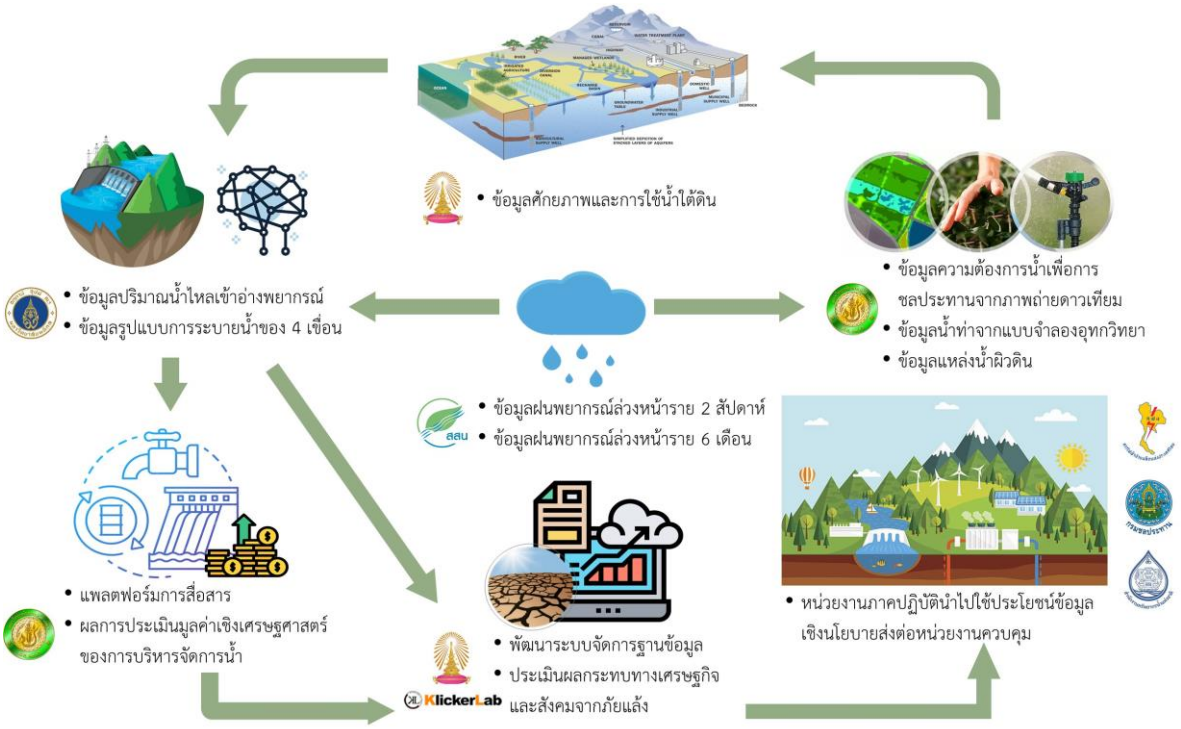
1. หลักการและเหตุผล (ระบุสาเหตุความจำเป็นที่ต้องดำเนินการวิจัย)

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

สำหรับโครงการวิจัยเรื่อง “การพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา” นี้ได้พัฒนาต่อยอดจากโครงการวิจัยระยะที่ 1 และระยะที่ 2 ซึ่งได้ดำเนินการแล้วเสร็จภายใต้แผนงานที่ 3 เรื่อง “การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อเสริมการเพิ่มน้ำต้นทุนของเขื่อนหลักเพื่อการพัฒนาลุ่มน้ำเจ้าพระยา” แผนงานยุทธศาสตร์ของโครงการวิจัยเข็มมุ่ง ด้านสังคม การบริหารจัดการน้ำ สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) โดยมีเป้าประสงค์ที่จะผลักดันผลงานวิจัยที่ผ่านมาให้เกิดนวัตกรรมการบริหารจัดการน้ำจากอ่างเก็บน้ำอัตโนมัติตามนโยบายการพัฒนาประเทศในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาซึ่งเป็นลุ่มน้ำที่มีความสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจทั้งในภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมของประเทศ โดยนำเสนอแนวคิดการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำอัตโนมัติ (Automated Reservoir Management System) ในลักษณะของปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำร่วมกันแบบหลายอ่าง (Multiple Reservoir Re–operation System) รูปแบบใหม่อย่างเป็นระบบโดยอาศัยเทคโนโลยีด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) ในการบริหารจัดการเขื่อน–อ่างเก็บน้ำเพื่อการแก้ปัญหาอุทกภัยและภัยแล้งทั้งใน

ระยะสั้นและระยะยาวในลุ่มน้ำเจ้าพระยา ยิ่งไปกว่านั้น โครงการวิจัยนี้ยังนับเป็นการพัฒนางานวิจัยให้สอดรับกับแผนแม่บทการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ 20 ปี (พ.ศ. 2561–2580) ในด้านการสร้างความมั่นคงของน้ำในภาคการผลิตภายใต้ยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2561–2580) และเป็นการเสริมสร้างความมั่นคงด้านทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาผ่านแนวคิดการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำอัตโนมัติด้วยเทคนิคปัญญาประดิษฐ์ เพื่อเพิ่มศักยภาพของน้ำต้นทุนและบรรเทาปัญหาอุทกภัยและภัยแล้งในอนาคต

สำหรับบทสรุปผลการวิจัยในระยะที่ 1 และระยะที่ 2 ที่ผ่านมา คณะนักวิจัยได้มีการออกแบบและพัฒนาแบบจำลองการบริหารเขื่อน–อ่างเก็บน้ำโดยอาศัยเทคโนโลยีด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่มาช่วยในการบริหารเขื่อนเพื่อเพิ่มศักยภาพของน้ำต้นทุน ระยะยาวของเขื่อนภูมิพล (โครงการวิจัยระยะที่ 1) และขยายผลครอบคลุม 4 เขื่อนหลักในลุ่มน้ำเจ้าพระยา ได้แก่ เขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ (โครงการวิจัยระยะที่ 2) และได้มีการทดสอบการใช้งานของชุดเทคโนโลยีดำเนินการผ่านกิจกรรม CO–RUN ในช่วงเหตุการณ์พายุเตี้ยนหมู่ปลายปี พ.ศ. 2564 (ระหว่างวันที่ 1 สิงหาคม พ.ศ. 2564 ถึงวันที่ 2 ธันวาคม พ.ศ. 2564) ที่มีการเชื่อมโยงข้อมูลผลลัพธ์จากโครงการวิจัยในแผนงานที่ 3 ซึ่งได้บูรณาการการดำเนินงานวิจัยตามกรอบการดำเนินงานดังรูปที่ 1 โดยได้มีการส่งต่อข้อมูลฝนพยากรณ์รายวันล่วงหน้าราย 2 สัปดาห์จากสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) และข้อมูลน้ำท่าคาดการณ์ล่วงหน้า 7 วันจากแบบจำลองอุทกวิทยา (Hydrological Model) ที่พัฒนาขึ้นโดยทีมวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน และใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำล่วงหน้าที่พัฒนาขึ้นด้วยเทคนิคการเรียนรู้แบบเครื่อง (Machine Learning) โดยทีมวิจัยมหาวิทยาลัยมหิดล และส่งต่อข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจากผลการพยากรณ์และข้อมูลน้ำท่าคาดการณ์ล่วงหน้า 7 วันของสถานีหลักทางด้านท้ายเขื่อนเป็นตัวแปรนำเข้าเพื่อกำหนดการระบายน้ำด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming Model, CP) ล่วงหน้า 7 วัน ทั้งนี้ผลการพยากรณ์ในช่วงสถานการณ์วิกฤตน้ำท่วมจากแบบจำลองทำให้ทราบถึงแนวโน้มของข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำของ 4 เขื่อนหลักที่มีความสอดคล้องกับข้อมูลจริง หรืออาจกล่าวได้ว่า ผลลัพธ์จากแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่พัฒนาขึ้นด้วยเทคนิคการเรียนรู้แบบเครื่องและมีการปรับพารามิเตอร์ของแบบจำลองอย่างต่อเนื่องเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการวางแผนและปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยา อีกทั้ง ผลการกำหนดปริมาณการระบายน้ำล่วงหน้าด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดโดยอาศัยข้อมูลพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนและข้อมูลปริมาณ Sideflow ล่วงหน้ายังช่วยแนะนำแนวทางการระบายน้ำซึ่งนับเป็นข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงสถานการณ์น้ำวิกฤตดังกล่าว



รูปที่ 1 การเชื่อมโยงข้อมูลผลลัพธ์จากโครงการวิจัยในแผนงานที่ 3 ของผลงานวิจัยระยะที่ 2

2. วัตถุประสงค์ (เป้าหมายการดำเนินการวิจัย)

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยมีดังนี้

(1) ปรับปรุงระบบการบริหารเขื่อน–อ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาผ่านกิจกรรม CO–RUN โดยอาศัยข้อมูลจริงปัจจุบัน (Real Time Operation)

(2) พัฒนาระบบเชื่อมโยงสารสนเทศเพื่อการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติ (Automated Reservoir Management System) ในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

(3) จัดกิจกรรมเพื่อถ่ายทอดผลงานวิจัยกับหน่วยงานผู้ใช้ประโยชน์

(4) จัดทำข้อเสนอแนะในการบริหารเขื่อน–อ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาเพื่อมุ่งเน้นการเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนในระบบ

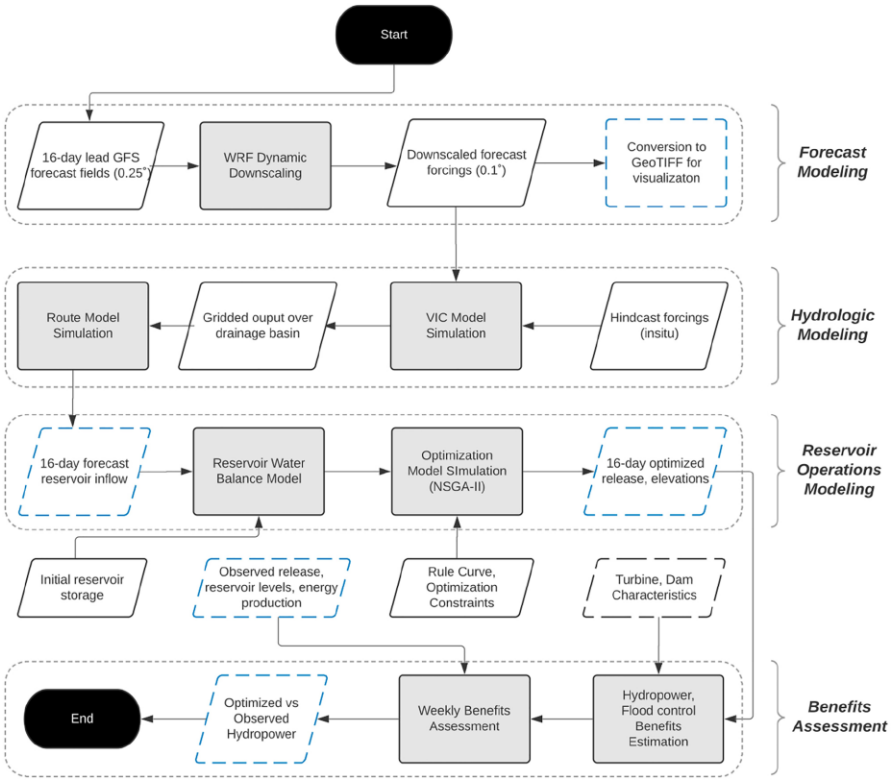
3. ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

3.1 การทบทวนวรรณกรรม

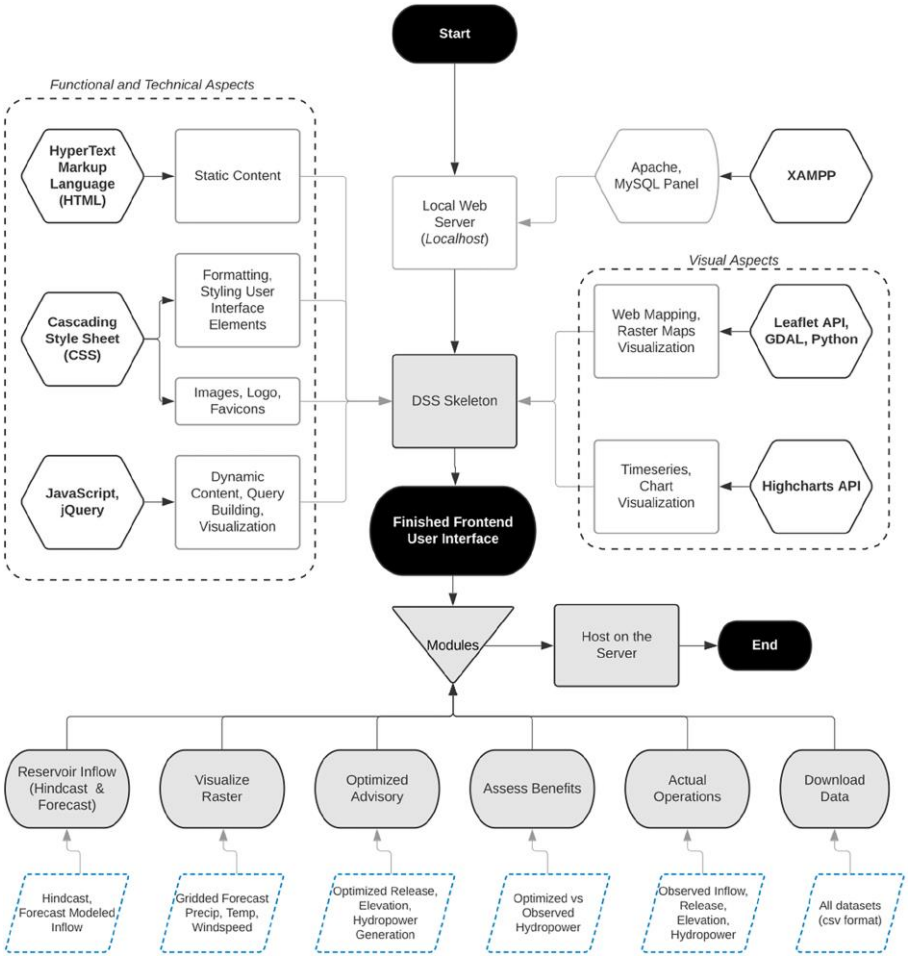
3.1.1 งานบริหารเขื่อน–อ่างเก็บน้ำแบบอัจฉริยะ (SMART Dam–Reservoir Operation)

Ahmad และ Hossain (2019) นำเสนอแนวคิดการบริหารเขื่อนแบบอัจฉริยะ (Smart Dam Operation) โดยใช้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support System, DSS) ซึ่งประยุกต์ใช้แบบจำลองที่มีความซับซ้อนยกตัวอย่างเช่น หลักปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) ที่สอดรับกับความต้องการน้ำของประชาชนท้ายเขื่อน เพื่อนำเสนอผลเป็นภาพผ่านเว็บไซต์ (Web–based Visualization) ที่ง่ายในการทำความ

เข้าใจสำหรับผู้ตัดสินใจด้านการจัดการน้ำ 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 และโครงข่ายการนำเสนอผลผ่านเว็บไซต์ในรูปที่ 2 ทั้งนี้ Ahmad และ Hossain (2019) ได้ทดสอบการใช้วิธี Smart Dam Operation สำหรับเขื่อน Detroit ในประเทศสหรัฐอเมริกาพบว่า วิธี Smart Dam Operation ส่งผลเชิงบวกต่อการสร้างพลังงานไฟฟ้าจากเขื่อนโดยไม่เพิ่มความเสี่ยงของการเกิดน้ำท่วม



(2.a) กรอบความเชื่อมโยงการใช้แบบจำลองต่าง ๆ ของการบริหารเขื่อนแบบอัจฉริยะ



(2.b) โครงข่ายการนำเสนอผลผ่านเว็บไซต์

รูปที่ 2 กรอบความเชื่อมโยงการใช้แบบจำลองต่าง ๆ และโครงข่ายการนำเสนอผลผ่านเว็บไซต์
ที่มา: Ahmad & Hossain (2019)

3.1.2 หลักปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) ในงานบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ

หลักปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) ได้รับความนิยมอย่างมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานด้านการพยากรณ์ข้อมูลทางด้านทรัพยากรน้ำในปัจจุบันแทนที่แบบจำลองทางกายภาพ (Physical Model) และแบบจำลองทางสถิติ (Statistical Model) ที่ใช้กันอยู่เดิม เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่สามารถดำเนินการและประเมินผลได้ง่ายและเร็วทั้งในส่วนของการปรับเทียบแบบจำลองและการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง และยังสามารถพัฒนาขึ้นมาโดยอาศัยข้อมูลนำเข้าน้อย นอกจากนี้ยังพบว่าให้ค่าประสิทธิผลในการพยากรณ์สูงกว่าและมีความซับซ้อนน้อยกว่าแบบจำลองกายภาพทั่วไป ปัจจุบันได้มีการนำอัลกอริทึมในด้านการเรียนรู้แบบเครื่อง (Machine Learning) มาประยุกต์ใช้เพื่อการคำนวณตัวแปรต่าง ๆ ทางอุทกวิทยา (Hydrological Parameters) เช่น ระดับน้ำในเขื่อนและปริมาณน้ำไหลเข้าในอดีตเพื่อคำนวณระดับน้ำในเขื่อนที่ช่วงเวลาข้างหน้า ซึ่งถูกรายงานว่าให้ค่าประสิทธิผลที่ค่อนข้างสูงในการพยากรณ์ทั้งระยะสั้นและระยะยาว (Mosavi et al., 2018) หากแบบจำลองการ

พยากรณ์ข้อมูลเหล่านี้มีความแม่นยำเพียงพอก็จะสามารถนำไปใช้ในต่อยอดในการบริหารแผนการระบายน้ำจากอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Reoperation Scheme) ได้

เทคนิคการเรียนรู้แบบเครื่องที่ใช้การพยากรณ์ค่าตัวแปรต่าง ๆ ทางด้านอุทกวิทยามีมากมาย แต่จะยกตัวอย่างเทคนิคสำคัญต่าง ๆ ดังนี้

(1) Artificial Neural Networks (ANNs) เทคนิคโครงข่ายประสาทประดิษฐ์เป็นเทคนิคจำลองระบบประสาทของมนุษย์บนคอมพิวเตอร์ โดยโครงข่ายประสาทมีการประมวลผลกระจายอยู่ในโครงสร้างเป็นชั้น ๆ ซึ่งจะเรียนรู้แบบแผนพฤติกรรมจากชุดข้อมูลที่ป้อนให้โดยอาศัยการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในโครงข่ายเพื่อผลการพยากรณ์ที่แม่นยำ ANNs เป็นเทคนิคพื้นฐานและยังคงมีการใช้ในผลงานวิจัยบ้างในปัจจุบัน เช่น การจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าของเขื่อน (El–Shafie & Noureldin, 2011; Valipour, Banihabib, & Behbahani, 2013) เป็นต้น

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

(3) Auto Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการพยากรณ์ข้อมูลที่เป็นอนุกรมเวลา (Time Series Data) โดยเฉพาะ โดยอาศัยพฤติกรรมของข้อมูลในอดีตเพื่อกำหนดรูปแบบปัจจุบันรวมถึงอนาคต เทคนิคนี้เป็นอีกหนึ่งเทคนิคที่ได้รับความนิยมในการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์เกี่ยวกับตัวแปรน้ำ เพราะไม่ต้องคำนึงถึงปัจจัยแวดล้อมภายนอกมาก ตัวอย่างการนำไปใช้ในงานวิจัยเช่น การพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Inflow) ในแต่ละช่วงเวลา (Valipour, Banihabib, & Behbahani, 2013; Rath, Samantaray, Bhoi, & Swain, 2017) หรือพยากรณ์ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำที่ไหลเข้า (Mean Inflow) ในแต่ละช่วงเวลา (Rath, Samantaray, Bhoi, & Swain, 2017) เป็นต้น

(4) Support Vector Machine (SVM) เป็นเทคนิคที่เริ่มได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากมีความแม่นยำมากเมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคอื่น ๆ เทคนิคนี้เป็นการหา Hyperplane ที่แบ่งข้อมูลที่ดีที่สุด ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น การพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าของเขื่อนจากปัจจัยต่าง ๆ ในชุดข้อมูล (Hipni et al., 2013; Babaei, Moeini, & Ehsanzadeh, 2019)

(5) 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 ตัวอย่าง เช่น การพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้า หรือแม้แต่การพยากรณ์ราคาหุ้น ถึงแม้ว่ายังไม่มีตัวอย่างงานวิจัยทางด้านน้ำมากนัก

แต่ด้วยลักษณะของข้อมูลของปริมาณน้ำไหลเข้าเป็นอนุกรมเวลา (Time Series) จึงสามารถปรับใช้เทคนิคนี้ในการพยากรณ์ได้

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

3.1.3 เทคนิคการหาค่าที่ดีที่สุดกับการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ (Optimization Techniques for Reservoir Management)

การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Management) หมายถึงกระบวนการดำเนินการอย่างเป็นขั้นตอนเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของอ่างเก็บน้ำตามที่ได้ตั้งไว้ หลักการสำคัญในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำนั้นจะต้องมองประเด็นของการบริหารจัดการด้านอุปทานน้ำในอ่าง (Water Supply Side Management) ควบคู่ไปกับการบริหารจัดการด้านอุปสงค์น้ำ (Water Demand Side Management) ซึ่งโจทก์หลักของการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำที่สำคัญก็คือทำอย่างไรจึงจะทำให้อุปทานของน้ำที่มีอยู่สามารถตอบสนองกับอุปสงค์น้ำในช่วงเวลาต่าง ๆ ได้เป็นที่พอใจ ทั้งนี้ประเด็นของประสิทธิภาพ (Efficiency) ความเสมอภาพ (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 หรือในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำสำหรับวัตถุประสงค์เพื่อการชลประทาน ผู้ปฏิบัติการอาจปล่อยน้ำเพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดการขาดน้ำรุนแรงกับพืชบางชนิดและยอมให้เกิดความเสี่ยงที่จะเกิดการขาดน้ำกับพืชที่จะปลูกในอนาคต เป็นต้น อ่างเก็บน้ำจำนวนมาก

ยังออกแบบขึ้นมาเพื่อเก็บกักน้ำไว้ใช้ในหลาย ๆ ปีข้างหน้า ด้วยเหตุนี้ นโยบายในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำจึงขึ้นอยู่กับเป้าหมายในระยะยาวที่ตั้งไว้ และการคาดการณ์ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอ่างเก็บน้ำ (Water Availability) จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลระยะยาวในการวิเคราะห์ นอกจากนี้การคาดการณ์ปริมาณความต้องการน้ำในอนาคตยังเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อกำหนดการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำในระยะยาวให้เหมาะสมนั่นเอง (Jain & Singh, 2003)

การพัฒนาเทคนิคการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำโดยใช้แนวทางการสร้างแบบจำลองการคอมพิวเตอร์เพื่อจำลองสถานการณ์ควบคู่กับเทคนิคการหาค่าที่ดีที่สุด (Simulation–Optimization Techniques) เป็นแนวทางที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย (Fang et al., 2014; Fayaed et al., 2013; Rani & Moreira, 2010; Wurbs, 1993) และยังมีความท้าทายในเชิงของผลลัพธ์การคำนวณที่ยังอยู่ภายใต้สภาวะที่มีความไม่แน่นอน 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) โดยเฉพาะการนำเอาหลักของฟัซซี่ลอจิก (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–Base 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) เป็นกระบวนการเรียนรู้แบบหนึ่งของ 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 โปรแกรมเชิงข้อจำกัดสามารถรองรับและแก้ปัญหาได้หลายรูปแบบ เนื่องด้วยโปรแกรมเชิงข้อจำกัดนั้นสามารถกำหนดข้อจำกัด (Constraint) ได้หลายประเภท เช่น ข้อจำกัดที่เป็นตัวเลข ข้อจำกัดเชิงเส้น และข้อจำกัดที่เป็นตรรกะ เป็นต้น ด้วยเหตุนี้จึงพบว่าหลายงานวิจัยได้แสดงให้เป็นว่าการใช้โปรแกรมเชิงข้อจำกัดสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำได้

3.1.4 เทคนิคการจำลองระบบกับการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ (Simulation Techniques for Reservoir Management)

ในปัจจุบันเทคนิคการจำลองระบบ (Simulation Technique) ได้รับความนิยมอย่างมากในการศึกษาและวิจัยในหลากหลายสาขาวิชา รวมถึงในงานด้านทรัพยากรน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่มีการพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์และอาศัยเทคนิคการจำลองระบบเพื่อทดสอบการปฏิบัติการตามแผนกลยุทธ์ต่าง ๆ สำหรับนำมาปรับใช้และเพิ่มประสิทธิภาพของการปฏิบัติงานจริงให้ดียิ่งขึ้น โดยทั่วไปแบบจำลองระบบที่เกี่ยวข้องการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำนั้นจะอาศัยหลักการสมดุลของน้ำในอ่างซึ่งประกอบไปด้วยการคำนวณปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสุทธิ ปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างสุทธิ และการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำเก็บกัก นอกจากนี้อาจเกี่ยวข้องกับการประเมินมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์อันเนื่องมาจากความเสียหายจากน้ำท่วม ผลประโยชน์ที่ได้จากการผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำ ผลประโยชน์จากการชลประทาน และอื่น ๆ เป็นต้น อาจกล่าวได้ว่าแนวคิดเรื่องการจำลองระบบค่อนข้างง่ายในการทำความเข้าใจมากกว่าแนวคิดของแบบจำลองอื่น ๆ แบบจำลองระบบสามารถเลียนแบบได้ค่อนข้างเหมือนจริงทั้งในแง่ลักษณะของระบบอ่างเก็บน้ำ ตลอดจนแนวทางในการปฏิบัติการ นอกจากนี้ยังมีความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนตัวแปรที่เกี่ยวข้องอีกด้วย ในขณะเดียวกันเวลาในการเตรียมข้อมูลป้อนเข้า ทดสอบแบบจำลอง และการคำนวณอื่น ๆ ยังน้อยกว่าของแบบจำลองการหาค่าที่ดีที่สุด ยิ่งไปกว่านั้นผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองยังสามารถ Trade–Off โดยเฉพาะอย่างอ่างเก็บน้ำแบบอเนกวัตถุประสงค์ รวมถึงเทคนิคการจำลองระบบยังมีประโยชน์ในการวิเคราะห์หานโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่ดีที่สุดอีกด้วย นอกจากนี้ในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เวลาจริงปัจจุบัน (Real Time Operation) ยังต้องการเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำโดยเฉพาะ ซึ่งเทคนิคการจำลองระบบจะช่วยให้สามารถสร้างเกณฑ์การปฏิบัติการดังกล่าวได้ค่อนข้างง่าย ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์จำนวนมากได้ถูกพัฒนาขึ้นและนำมาใช้ในการวิเคราะห์ ออกแบบ วางแผนและปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำอย่างแพร่หลายมาจนถึงปัจจุบัน ยิ่งไปกว่านั้นเมื่อเตรียมข้อมูลเพื่อใช้เป็นข้อมูลป้อนเข้าของซอฟต์แวร์

หนึ่งสำหรับปัญหาหนึ่ง ๆ ยังสามารถดัดแปลงได้ง่าย ตลอดจนยังสามารถประเมินผลของการออกแบบและตัดสินใจปฏิบัติการกับทางเลือกอื่น ๆ ได้เร็วอีกด้วย

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

แบบจำลองระบบอ่างเก็บน้ำแบบหลายอ่าง (Multireservoir Simulation Models) ซึ่งพัฒนาขึ้นเพื่อประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจากนโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำรูปแบบต่าง ๆ นั้นนับได้ว่ามีประโยชน์อย่างมาก หากนำผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองผลทั้งหมดมาศึกษาเพื่อเปรียบเทียบและประเมินผลที่ได้ซึ่งสามารถทำได้โดยการคำนวณหาค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความแปรปรวน (Variance) ตลอดจนการกระจายตัวทางด้านเวลา (Time Distribution) ของดัชนีแสดงผลการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Performance Indicators) เช่น ปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Storage Volume) ปริมาณน้ำที่ปล่อย (Release) ผลประโยชน์ที่ได้รับ (Assosicated Benefit) หรือความเสียหายที่เกิดขึ้น (Losses) เป็นต้น ซึ่งดัชนีชี้วัดเหล่านี้สามารถนำมาใช้เพื่อประเมินผลและเปรียบเทียบนโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำรูปแบบต่าง ๆ ได้ นอกจากนี้การประเมินผลอาจปรากฏอยู่ในรูปของค่าดัชนีความน่าเชื่อถือได้ (Reliability Index) ดัชนีวัดความรุนแรง (Vulnerability Index) และดัชนีวัดความฟื้นตัวจากความล้มเหลว (Resiliency Index) เป็นต้น อาจกล่าวได้ว่าแบบจำลองระบบของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำนั้นเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการประเมินผลกระทบที่จะเป็นไปได้ของนโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำรูปแบบต่าง ๆ ตลอดจนสามารถทำนายสถานภาพของระบบในอนาคต เมื่อกำหนดสถานการณ์สมมุติ (Scenarios) ทั้งในรูปของนโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำและผลการคาดการณ์ข้อมูลทางอุทกวิทยาในอนาคต

3.2 เอกสารอ้างอิง

สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์กรมหาชน). (2561). การบริหารจัดการน้ำอย่างเหมาะสมเพื่อปฏิรูปภาคการใช้น้ำเกษตรกรรมของประเทศไทย ; ข้อเสนอเชิงนโยบายเกษตร. กรุงเทพฯ : สำนักส่งเสริมการใช้ประโยชน์ สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร.

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.

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.

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.

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., Hui, S.C., & Chen, Y.C. (2002). Reservoir operation using grey fuzzy stochastic dynamic programming. Hydrological processes, 16(12), 2395–2408.

Chen, T. & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A Scalable Tree Boosting System. 785–794. 10.1145/2939672.2939785.

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.

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.

Jain, S.K., & Singh, V.P. (2003). Water resources systems planning and management. New York: Elsevier Science.

Jang, J.S.R. (1993). ANFIS: adaptive–network–based fuzzy inference systems. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 23(3), 665–685.

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.

Liou, Y.T., & Lo, S.L. (2005). A fuzzy index model for trophic status evaluation of reservoir waters. Water Research, 39(7), 1415–1423.

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.

Moeini, R., Afshar, A., & Afshar, M.H. (2001). Fuzzy rule–based model for hydropower reservoirs operation. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 33(2), 171–178.

Mosavi, A., Ozturk, P., & Chau, K. (2018). Flood prediction using machine learning, literature review.

Prékopa, A. (2013). Stochastic programming. Springer Science & Business Media, 324.

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.

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. (Eds.). (2006). Handbook of constraint programming. New

York: Elsevier Science.

Valizadeh, N., & El–Shafie, A. (2013). Forecasting the level of reservoirs using multiple input fuzzification in ANFIS. Water Resource Management, 27(33), 3319–3331.

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.

Wang, W.C., Chau, K.W., Xu, D.M., & Chen, X.Y. (2015). Improving forecasting accuracy of annual runoff time series using ARIMA based on EEMD decomposition. Water Resources Management, 29(8), 2655–2675.

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).

Wurbs, R.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. MDPI AG. Retrieved from http://dx.doi.org/10.3390/w10081031.

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.

4. ความเชื่อมโยงของกิจกรรมภายใต้โครงการ

โครงการวิจัยนี้นับได้ว่าเป็นการบูรณาการวิจัยร่วมกันระหว่างสถาบันการศึกษาในการดำเนินการวิจัยในรูปของคณะผู้วิจัยในระดับประเทศซึ่งเป็นผู้มีความรู้ ความเชี่ยวชาญ และประสบการณ์ทั้งในด้านวิศวกรรมชลประทาน วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ และเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบการจัดการเขื่อน–อ่างเก็บน้ำอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา โดยมีกรมชลประทาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย สถาบันสารสนเทศ

ทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) กรมอุตุนิยมวิทยา และสำนักทรัพยากรน้ำแห่งชาติซึ่งเป็นหน่วยงานภาครัฐที่สนับสนุนข้อมูล ให้คำปรึกษา และนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำของประเทศ

5. ระเบียบวิธีวิจัย (ขอบเขตการวิจัย ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยตลอดโครงการ)

5.1 ขอบเขตการวิจัย

โครงการวิจัยนี้จะประยุกต์แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (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 ประมวลผลและแสดงผลลัพธ์บนเว็บแอปพลิเคชันแบบอัตโนมัติ โดยมีรายละเอียดของขอบเขตการดำเนินงานวิจัยดังนี้

(1) ปรับปรุงระบบการบริหารเขื่อน–อ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาผ่านกิจกรรม CO–RUN โดยอาศัยข้อมูลจริงปัจจุบัน (Real Time Operation) ทั้งในสถานการณ์ปกติและพิบัติภัย

(2) พัฒนาระบบเชื่อมโยงสารสนเทศทั้งข้อมูลอุทกวิทยาอ่างเก็บน้ำและข้อมูลน้ำผิวดินในพื้นที่ราบภาคกลางเพื่อการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา และแสดงผลลัพธ์บนเว็บแอปพลิเคชันเพื่อรายงานผลให้สาธารณชนรับทราบ

(3) จัดกิจกรรมเพื่อถ่ายทอดผลงานวิจัยกับหน่วยงานผู้ใช้ประโยชน์ในรูปแบบของการฝึกอบรม และ/หรือการจัดประชุม โดยครอบคลุมทั้งผู้ปฏิบัติงานเขื่อนในลุ่มน้ำเจ้าพระยา และตัวแทนผู้ปฏิบัติงานเขื่อนในพื้นที่ลุ่มน้ำอื่น ๆ ของประเทศ

(4) จัดทำคู่มือข้อเสนอแนะในการบริหารเขื่อน–อ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาเพื่อมุ่งเน้นการเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนในระบบ

5.2 รายละเอียดของขั้นตอนการดำเนินงานจริงตามแผนการดำเนินงาน

รายละเอียดของระเบียบวิธีวิจัยของข้อเสนอโครงการนี้มีดังนี้

5.2.1 การปรับปรุงระบบการบริหารเขื่อน–อ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาผ่านกิจกรรม CO–RUN โดยอาศัยข้อมูลจริงปัจจุบัน (Real Time Operation) ทั้งในสถานการณ์ปกติและพิบัติภัย

5.2.1.1 การตรวจพิสูจน์ความถูกต้องของแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างล่วงหน้า (Model Validation for Reservoir Inflow Prediction)

โครงงานวิจัยปีที่ 2 ทางคณะผู้วิจัยได้พัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างล่วงหน้าในระยะสั้นและระยะยาวทั้งในลักษณะของแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าแบบอ่างเดี่ยว (Univariate Prediction Model) และแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าแบบหลายอ่าง (Multivariate Prediction Model) โดยอาศัยหลักการปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) และเทคนิคการเรียนรู้แบบเครื่อง (Machine

Learning, ML) โดยมีพื้นฐานมาจากระบบโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ (Artificial Neural Networks, ANNs) ด้วยเทคนิค Long Short–Term Memory (LSTM) ทั้งนี้แบบจำลองจะอยู่ในสภาพแวดล้อมการพัฒนา ดังนั้น เมื่อต้องนำแบบจำลองมาใช้งานจริงในโครงการวิจัยนี้จะต้องมีกระบวนการตรวจพิสูจน์ความถูกต้องและความแม่นยำของแบบจำลองโดยประเมินจากตัวชี้วัดประสิทธิผลทางสถิติของการพยากรณ์กับชุดข้อมูลใหม่ 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 ทั้งนี้ในขั้นตอนการตรวจพิสูจน์แบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างล่วงหน้าจะมีการปรับเปลี่ยนข้อมูลฝนตรวจวัดและข้อมูลฝนพยากรณ์ล่วงหน้าจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ มาเป็นข้อมูลนำเข้าร่วมด้วย เพื่อเพิ่มประสิทธิผลของการพยากรณ์ให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

5.2.1.2 การตรวจพิสูจน์ความถูกต้องของแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming)

เพื่อให้การทำงานของแบบจำลองการปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำด้วยเทคนิคการหาค่าที่ดีสุด (Optimization Technique) ที่พัฒนาขึ้นโดยอาศัยหลักปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence–AI) โดยใช้แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming, CP) มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือได้ อีกทั้งสามารถปรับแต่งข้อมูลนำเข้าบางส่วนเพื่อให้แบบจำลองทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น ทางคณะผู้วิจัยจะดำเนินการศึกษาและหารือกับผู้ใช้งานเพื่อกำหนดสมการข้อจำกัดให้ครอบคลุมสถานการณ์อุทกภัยและภัยแล้งที่เกิดขึ้นและแนวทางปฏิบัติของหน่วยงานในการบริหารจัดการน้ำภายใต้ความเสี่ยงจากเหตุการณ์อุทกภัยและภัยแล้ง ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำมาใช้กำหนดค่าของตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสมในแบบจำลอง รวมทั้งข้อมูลน้ำท่าที่สถานี C.29 จากนั้นคณะผู้วิจัยจะนำเข้ามาปรับแต่งแบบจำลองเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานนั้น ๆ

5.2.1.3 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

5.2.2 การพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา (Development of

Automated Reservoir Management System in Chao Phraya River Basin)

5.2.2.1 การจัดประชุมเพื่อรับทราบความต้องการของผู้ใช้งานกลุ่มต่าง ๆ ในการออกแบบและพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติ

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

5.2.2.2 การพัฒนาโมดูลทางคอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมต่อเข้ากับเว็บเซอร์วิส (APIs) ในการดึงข้อมูลจากแหล่งข้อมูล (Data Acquisition Module)

เนื่องจากการใช้แบบจำลองแบบจำลองพยากรณ์เพื่อการคาดการณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำล่วงหน้าและแบบจำลองการปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำด้วยเทคนิคการหาค่าที่ดีสุดต้องอาศัยข้อมูลหลายส่วนในการฝึกฝน เพื่อให้การใช้แบบจำลองมีความต่อเนื่อง คณะวิจัยจะต้องสร้างโมดูลทางคอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมต่อเข้ากับเว็บเซอร์วิสหรือ 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

5.2.2.3 การพัฒนาโมดูลทางคอมพิวเตอร์เพื่อการเปลี่ยนแปลงและปรับข้อมูลให้เหมาะกับข้อมูลนำเข้าของแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง และการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Data Preparation Module)

ข้อมูลที่ได้จากการดึงข้อมูลในข้อที่ 5.2.2.2 นั้นอาจจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันในแต่ละแหล่งข้อมูล ซึ่งการที่แบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง และการหาค่าที่ดีที่สุดของการระบายน้ำด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming Model, CP) จะทำงานได้นั้น จำเป็นที่ต้องมีรูปแบบข้อมูลนำเข้า

ที่เหมาะสม ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า การเตรียมข้อมูล (Data Preparation) เพื่อใช้ในการเปลี่ยนแปลงและปรับข้อมูลนำเข้า เมื่อโมดูลนี้ทำการเปลี่ยนแปลงและปรับข้อมูลนำเข้าแล้วนั้น จะทำการเก็บไว้ในฐานข้อมูลที่ถูกพัฒนาขึ้นในข้อที่ 5.2.2.6 เพื่อใช้ในแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง และการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดต่อไป

5.2.2.4 การพัฒนาโมดูลทางคอมพิวเตอร์สำหรับการพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างด้วยแบบจำลองปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) และเทคนิคการเรียนรู้แบบเครื่อง (Machine Learning)

ในขั้นตอนนี้ คณะผู้วิจัยจะพัฒนาโมดูลทางคอมพิวเตอร์เพื่อนำแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างไปใช้ในเว็บแอปพลิเคชันที่จะถูกสร้างขึ้นในข้อที่ 5.2.2.7 ในรูปแบบเว็บเซอร์วิส ทั้งนี้ตัวโมดูลจะทำหน้าประสานการทำงาน เพื่อให้สามารถส่งต่อข้อมูลนำเข้าและผลลัพธ์การพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างในแต่ละเขื่อนสำหรับการแสดงผลในเว็บแอปพลิเคชัน

5.2.2.5 การพัฒนาโมดูลทางคอมพิวเตอร์สำหรับการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming Model, CP)

ขั้นตอนนี้จะเป็นพัฒนาการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming Model, CP) ให้เป็นโมดูลทางคอมพิวเตอร์เพื่อให้สามารถนำไปใช้ได้ในระบบเว็บแอปพลิเคชันที่จะถูกสร้างขึ้นในข้อที่ 5.2.2.7 โดยโมดูลนี้จะถูกพัฒนาในรูปแบบของเว็บเซอร์วิสที่จะทำหน้าที่ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัดเพื่อให้ได้ผลการระบายน้ำที่ดีที่สุด และนำไปแสดงผลในระบบเว็บแอปพลิเคชัน

5.2.2.6 การพัฒนาฐานข้อมูล (Database Development) เพื่อรองรับระบบหลักในการพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง และการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด

ขั้นตอนนี้จะเป็นการพัฒนาฐานข้อมูลเพื่อรองรับการพัฒนาระบบเว็บแอปพลิเคชันในข้อที่ 5.2.2.7 โดยปกตินั้นระบบเว็บแอปพลิเคชันจะต้องมีฐานข้อมูลที่ใช้ในการเก็บข้อมูลของระบบ นอกจากนี้ ฐานข้อมูลนี้จะใช้ในการเก็บข้อมูลนำเข้าต่าง ๆ ที่มาจากการนำเข้าข้อมูลในข้อที่ 5.2.2.2

5.2.2.7 การพัฒนาระบบเว็บแอปพลิเคชันเพื่อเชื่อมต่อโมดูลต่าง ๆ กับผู้ใช้งาน ทดสอบระบบและปรับปรุงแก้ไขส่วนต่าง ๆ ของระบบเว็บแอปพลิเคชัน

คณะผู้วิจัยจะดำเนินการพัฒนาระบบเว็บแอปพลิเคชันสำหรับการเชื่อมต่อการทำงานระหว่างโมดูลดังแสดงในรูปที่ 3 ได้แก่

ส่วนที่ 1 โมดูลทางคอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมต่อเข้ากับเว็บเซอร์วิส (APIs) ในการดึงข้อมูลจากแหล่งข้อมูล

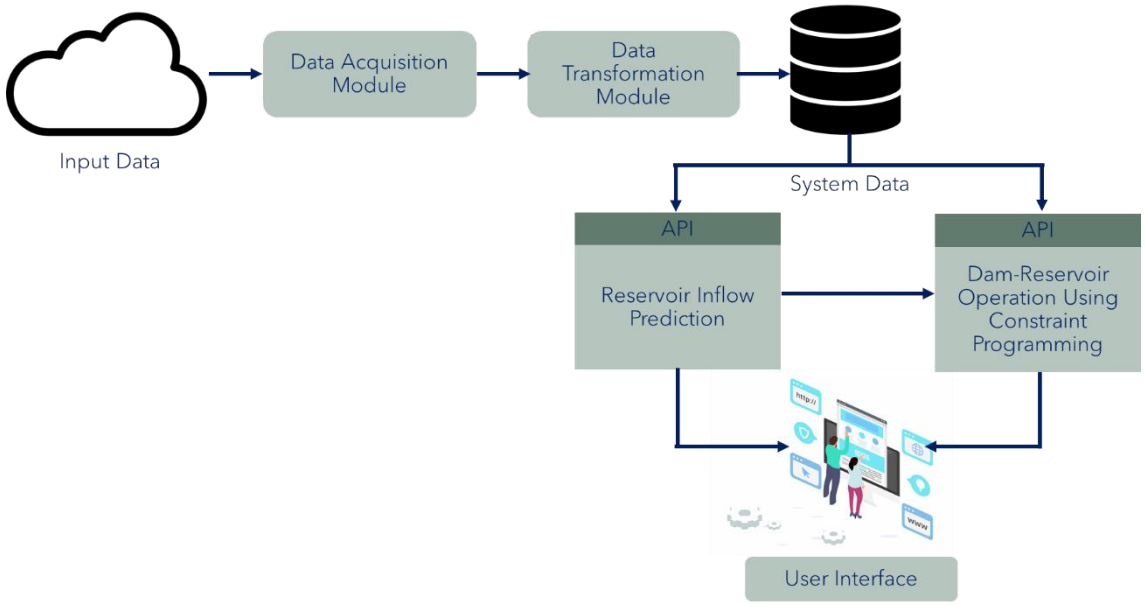
ส่วนที่ 2 โมดูลทางคอมพิวเตอร์เพื่อการเปลี่ยนแปลงและปรับข้อมูลให้เหมาะกับข้อมูลนำเข้า

ส่วนที่ 3 โมดูลทางคอมพิวเตอร์สำหรับการพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ

ส่วนที่ 4 โมดูลทางคอมพิวเตอร์สำหรับการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด

ส่วนที่ 5 ฐานข้อมูล (Database) เพื่อรองรับระบบหลัก

ส่วนที่ 6 ส่วนต่อประสานผู้ใช้ (User Interface หรือส่วนหน้าเว็บแอปพลิเคชัน)



รูปที่ 3 โครงสร้างการทำงานระหว่างโมดูลคอมพิวเตอร์ของระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติ

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

5.2.3 จัดทำคู่มือระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา และจัดฝึกอบรมเพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ เทคโนโลยี และการใช้งานระบบเว็บแอปพลิเคชันในการบริหารเขื่อนในลุ่มน้ำเจ้าพระยา พร้อมแนวทางการขยายผลไปยังเขื่อนอื่น ๆ

5.2.3.1 จัดทำคู่มือระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

หลังการพัฒนาระบบแล้วเสร็จ ทางคณะผู้วิจัยจะจัดทำคู่มือระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา พร้อมข้อเสนอแนะในการบริหารเขื่อน–อ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาเพื่อมุ่งเน้นการเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนในระบบ

5.2.3.2 จัดฝึกอบรมเพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ เทคโนโลยี และการใช้งานระบบเว็บแอปพลิเคชันในการบริหารเขื่อนในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

หลังการพัฒนาระบบแล้วเสร็จ ทางคณะผู้วิจัยจะจัดฝึกอบรมเพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ เทคโนโลยี และการใช้งานระบบเว็บแอปพลิเคชันของระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยาเพื่อส่งต่อผลลัพธ์ที่ได้จากโครงการวิจัยให้กับกรมชลประทาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และสำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติต่อไป

5.2.3.3 จัดกิจกรรมขยายผลงานวิจัยไปยังเขื่อนอื่น ๆ

หลังการพัฒนาระบบแล้วเสร็จ ทางคณะผู้วิจัยจะเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ผลงานวิจัยผ่านช่องทางต่าง ๆ ในรูปแบบการจัดฝึกอบรม การจัดประชุมกลุ่มย่อย และ/หรือการลงพื้นที่ภาคสนามของเขื่อนหลักในความรับผิดชอบของกรมชลประทาน ยกตัวอย่างเช่น เขื่อนหลักในลุ่มน้ำมูลตอนบน (เขื่อนมูลบน เขื่อนลำแชะ เขื่อนลำตะคอง เขื่อนลำพระเพลิง และเขื่อนลำเชียงไกรตอนล่าง) หรือการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ยกตัวอย่างเช่น เขื่อนอุบลรัตน์ ที่มีความเสี่ยงในการบริหารจัดการน้ำในสถานการณ์น้ำต่าง ๆ ทั้งนี้เพื่อรับข้อมูล ชี้แนะแนวทาง และจัดฝึกอบรมในการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำอัตโนมัติเพื่อเป็นกรณีศึกษาตัวอย่างในการขยายผลและขับเคลื่อนงานวิจัยในอนาคต และจัดทำรายงานสรุปถึงแนวทางการขยายผลไปยังเขื่อนอื่น ๆ ของประเทศ

5.3 สรุปผลการดำเนินงานเปรียบเทียบกับแผนการดำเนินงานทั้งหมด

สรุปผลการดำเนินงานเปรียบเทียบกับแผนการดำเนินงานทั้งหมดในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สรุปผลการดำเนินงานเปรียบเทียบกับแผนการดำเนินงานทั้งหมด

เดือนที่	แผนการดำเนินงานวิจัย	ผลการดำเนินงานวิจัยในช่วงเดือนพฤษภาคม–มิถุนายน พ.ศ. 2566
1–2	1. การปรับปรุงระบบการบริหารเขื่อน–อ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาผ่านกิจกรรม CO–RUN โดยอาศัยข้อมูลจริงปัจจุบัน (Real Time Operation) ทั้งในสถานการณ์ปกติและพิบัติภัย 2. จัดประชุมเพื่อรับทราบความต้องการของผู้ใช้งานกลุ่มต่าง ๆ ได้แก่ กรมชลประทาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และสำนักงานทรัพยากรน้ำ	1. จัดประชุมภายในแผนงานที่ 3 และตัวแทนหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อหารือในประเด็นการจัดกิจกรรม CO–RUN และการออกแบบระบบการบริหารเขื่อน–อ่างเก็บน้ำอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่สามารถเชื่อมโยงข้อมูลจากหน่วยงานต่าง ๆ และผลลัพธ์ในการพัฒนาระบบการจำลองแบบอัตโนมัติสำหรับคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าผิวดิน

เดือนที่	แผนการดำเนินงานวิจัย	ผลการดำเนินงานวิจัยในช่วงเดือนพฤษภาคม–มิถุนายน พ.ศ. 2566
	แห่งชาติ ในการออกแบบและพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา	และประเมินความต้องการน้ำชลประทานเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยา 2. ปรับปรุงระบบการบริหารเขื่อน–อ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาผ่านกิจกรรม CO–RUN โดยอาศัยข้อมูลจริงปัจจุบัน (Real Time Operation) ทั้งในสถานการณ์ปกติและพิบัติภัย 3. จัดประชุมเพื่อรับทราบความต้องการของผู้ใช้งานกลุ่มต่าง ๆ ได้แก่ กรมชลประทาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และสำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ ในการออกแบบและพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา
3–4	1. การปรับปรุงระบบการบริหารเขื่อน–อ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาผ่านกิจกรรม CO–RUN โดยอาศัยข้อมูลจริงปัจจุบัน (Real Time Operation) ทั้งในสถานการณ์ปกติและพิบัติภัย 2. การพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา (บางส่วน)	ยังไม่ได้ดำเนินการ
5–6	1. การพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา (แล้วเสร็จ)	ยังไม่ได้ดำเนินการ
7–9	1. การพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา (แล้วเสร็จ) 2. จัดทำคู่มือระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา และจัดฝึกอบรมเพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ เทคโนโลยี และการใช้งานระบบเว็บแอปพลิเคชันในการบริหารเขื่อนในลุ่มน้ำเจ้าพระยา 3. ฝึกอบรมเพื่อขยายผลแนวคิดการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติไปยังเขื่อนอื่น ๆ	ยังไม่ได้ดำเนินการ

6. รายงานแผนและผลการดำเนินการวิจัย และการวิเคราะห์ผลการวิจัย (ตามขั้นตอนที่ 4)

6.1 ตารางเปรียบเทียบผลการดำเนินงานกับแผนการดำเนินการที่ตั้งไว้ (Gantt Chart)

ตารางที่ 4 แผนการดำเนินงานรายกิจกรรม

แผนการดำเนินงานรายกิจกรรม	ช่วงเวลาดำเนินการวิจัย 1 พ.ค. 2566–31 ม.ค. 2567									ผลการดำเนินงาน	ร้อยละผลสำเร็จ
	ปี 2566								ปี 2567		
	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.		
1. การปรับปรุงระบบการบริหารเขื่อน–อ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาผ่านกิจกรรม CO–RUN โดยอาศัยข้อมูลจริงปัจจุบัน (Real Time Operation) ทั้งในสถานการณ์ปกติและพิบัติภัย											
1.1 การตรวจพิสูจน์ความถูกต้องของแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างล่วงหน้า (Model Validation for Reservoir Inflow Prediction)											
1.2 การตรวจพิสูจน์ความถูกต้องของแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming)											
1.3 การจัดกิจกรรม CO–RUN เพื่อปรับปรุงระบบการบริหารเขื่อน–อ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยา											
2. การพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา											
2.1 การจัดประชุมเพื่อรับทราบความต้องการของผู้ใช้งานกลุ่มต่าง ๆ ในการออกแบบและพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติ											
2.2 การพัฒนาโมดูลทางคอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมต่อเข้ากับเว็บเซอร์วิส (APIs) ในการดึงข้อมูลจากแหล่งข้อมูล (Data Acquisition Module)											
2.3 การพัฒนาโมดูลทางคอมพิวเตอร์เพื่อการเปลี่ยนแปลงและปรับข้อมูลให้เหมาะกับข้อมูลนำเข้าของแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างและการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Data Preparation Module)											
2.4 การพัฒนาโมดูลทางคอมพิวเตอร์สำหรับการพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างด้วยแบบจำลองปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) และเทคนิคการเรียนรู้แบบเครื่อง (Machine Learning)											

2.5 การพัฒนาโมดูลทางคอมพิวเตอร์สำหรับการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด (Constraint Programming Model, CP)											
2.6 การพัฒนาฐานข้อมูล (Database Development) เพื่อรองรับระบบหลักในการพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างและการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยแบบจำลองการโปรแกรมแบบข้อจำกัด											
2.7 การพัฒนาระบบเว็บแอปพลิเคชันเพื่อเชื่อมต่อโมดูลต่าง ๆ กับผู้ใช้งาน ทดสอบระบบ และปรับปรุงแก้ไขส่วนต่าง ๆ ของระบบเว็บแอปพลิเคชัน											
3. จัดทำคู่มือระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา และจัดฝึกอบรมเพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ เทคโนโลยี และการใช้งานระบบเว็บแอปพลิเคชันในการบริหารเขื่อนในลุ่มน้ำเจ้าพระยา พร้อมแนวทางการขยายผลไปยังเขื่อนอื่น ๆ											
3.1 จัดทำคู่มือระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา											
3.2 จัดฝึกอบรมเพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ เทคโนโลยี และการใช้งานระบบเว็บแอปพลิเคชันในการบริหารเขื่อนในลุ่มน้ำเจ้าพระยา											
3.3 จัดกิจกรรมขยายผลงานวิจัยไปยังเขื่อนอื่น ๆ											
รวม										100.00	10.00

หมายเหตุ : ให้ระบุเดือนที่เริ่มดำเนินการวิจัยตามสัญญารับทุน

หมายถึง งานหรือกิจกรรมที่วางแผนไว้ว่าจะทำตามข้อเสนอโครงการ

หมายถึง งานหรือกิจกรรมที่ได้ทำแล้ว

6.2 รายละเอียดของขั้นตอนการดำเนินงานจริงตามแผนงาน ณ ช่วงเวลาที่รายงาน

6.2.1 จัดประชุมภายในแผนงานที่ 3 และตัวแทนหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อหารือในประเด็นการจัดกิจกรรม CO–RUN และการออกแบบระบบการบริหารเขื่อน–อ่างเก็บน้ำอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่สามารถเชื่อมโยงข้อมูลจากหน่วยงานต่าง ๆ และผลลัพธ์ในการพัฒนาระบบการจำลองแบบอัตโนมัติสำหรับคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าผิวดินและประเมินความต้องการน้ำชลประทานเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยา เมื่อวันที่ 5 มิถุนายน 2566

6.2.2 วิเคราะห์สถานการณ์น้ำและแนวทางการบริหารเขื่อน–อ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาตั้งแต่ 1 พฤศจิกายน 2565 ถึงปัจจุบัน (มิถุนายน 2566)

6.2.3 จัดกิจกรรม CO–RUN เพื่อปรับปรุงระบบการบริหารเขื่อน–อ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยา โดยอาศัยข้อมูลจริงปัจจุบัน (Real Time Operation) และจัดทำรายงานสรุปผลการดำเนินงานกิจกรรม MANUAL CO–RUN สัปดาห์ที่ 1–4 (1–30 มิถุนายน 2566)

6.2.4 จัดประชุมเพื่อรับทราบความต้องการของผู้ใช้งานกลุ่มต่าง ๆ ได้แก่ กรมชลประทาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และสำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ ในการออกแบบและพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา เมื่อวันที่ 26 มิถุนายน 2566

6.3 สรุปผลการดำเนินงาน ณ ช่วงเวลาที่รายงาน

ข้อสรุปที่สำคัญที่ได้จากโครงการวิจัยที่ดำเนินการวิจัยในช่วงระหว่างวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2566 ถึงวันที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2566 มีดังนี้

6.3.1 ผลการวิเคราะห์สถานการณ์น้ำและแนวทางการบริหารเขื่อน–อ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาตั้งแต่ 1 พฤศจิกายน 2565 ถึงปัจจุบัน (มิถุนายน 2566)

6.3.2 รายงานสรุปผลการดำเนินงานกิจกรรม MANUAL CO–RUN สัปดาห์ที่ 1–4 (1–30 มิถุนายน 2566)

6.3.3 ผลการออกแบบและพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

6.3.4 ข้อเสนอแนะจากหน่วยงานผู้ใช้ประโยชน์ในการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

6.4 สถานที่ทำวิจัย/ทำกิจกรรม

โครงการวิจัยนี้นับได้ว่าเป็นการบูรณาการวิจัยร่วมกันระหว่างสถาบันการศึกษาในการดำเนินการวิจัยในรูปของคณะผู้วิจัยซึ่งประกอบด้วย (1) ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และ (2) สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและการจัดการภัยพิบัติ มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี และ (3) คณะเทคโนโลยีและสารสนเทศเพื่อการสื่อสาร มหาวิทยาลัยมหิดล โดยมีกรมชลประทาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) กรมอุตุนิยมวิทยา และสำนักทรัพยากรน้ำแห่งชาติซึ่งเป็นหน่วยงานภาครัฐที่สนับสนุนข้อมูล ให้คำปรึกษา และนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำของประเทศ โดยการดำเนินงานวิจัยนี้สามารถใช้สถานที่ของมหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตศาลายา ซึ่งมีปัจจัยสนับสนุนงานวิจัยไม่ว่าจะเป็น อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ ห้องเรียน และห้องประชุม เป็นต้น ในการวิเคราะห์ผลและจัดประชุมเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยี

6.5 รายละเอียดอื่น ๆ เช่น เครื่องมือการวิจัยต่าง ๆ (แบบสอบถาม แบบวัด ฯลฯ) บทความ/report (ถ้ามี)

รายงานสรุปผลการดำเนินงานกิจกรรม MANUAL CO–RUN สัปดาห์ที่ 1–4 (1–30 มิถุนายน 2566) และรายงานความก้าวหน้า ครั้งที่ 1 (2 เดือน)

7. งบประมาณที่ได้ใช้จ่ายไปแล้วนับตั้งแต่เริ่มโครงการ

ตารางที่ 9 งบประมาณการใช้จ่ายเงินของโครงการวิจัยงวดที่ 1

หมวดรายการงบประมาณ	งบประมาณ (บาท)			หมายเหตุ
	ที่ได้รับอนุมัติ	ใช้จริง	คงเหลือ	
1. งบบุคลากร		–	–	
1.1 หมวดค่าตอบแทน	300,000	–	–	
1.2 หมวดค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย	180,000	–	–	
1.3 ค่าใช้สอย (ประกันสังคมนายจ้างสมทบ)	1,360,454.55	–	–	
2. งบดำเนินงาน (ค่าใช้สอย ค่าวัสดุ)	5,000	–	–	
3. งบลงทุน (ค่าที่ดิน ค่าครุภัณฑ์)	–	–	–	
4. ค่าธรรมเนียมอุดหนุนสถาบัน	154,545.45	–	–	
รวมทั้งสิ้น	2,000,000	–	–	

8. งานตามโครงการที่จะทำในระยะต่อไป

กิจกรรมการดำเนินงานโครงการวิจัยในระยะต่อไปประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่

8.1 การพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

8.2 จัดกิจกรรม CO–RUN รายสัปดาห์เพื่อการปรับปรุงระบบการบริหารเขื่อน–อ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาโดยอาศัยข้อมูลจริงปัจจุบัน (Real Time Operation)

8.3 ทำการพัฒนาระบบการจัดการอ่างเก็บน้ำแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำเจ้าพระยา (บางส่วน)

9. คำชี้แจงเกี่ยวกับอุปสรรคหรือปัญหา พร้อมวิธีการแก้ปัญหา (ถ้ามี)

9.1 การเซ็นสัญญาทุนวิจัยดำเนินการล่าช้าในระดับโครงการวิจัยย่อย ส่งผลต่อการจัดกิจกรรม CO–RUN และการดำเนินงานวิจัยในขั้นตอนอื่น ๆ ล่าช้าออกไป

9.2 ข้อมูลน้ำท่าที่รวบรวมได้ไม่สมบูรณ์และต่อเนื่อง ต้องใช้เวลาในการรวบรวมข้อมูลจากกรมชลประทาน

10. แผนการบริหารความเสี่ยง

ไม่มี

ลงชื่อ.....**หัวหน้าโครงการ**

รองศาสตราจารย์ ดร.อารียา ฤทธิมา

วันที่ 30 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2566

หมายเหตุ : 1. การจัดทำรายงานความก้าวหน้าต้องประกอบด้วยส่วนของแผนงานวิจัย และแต่ละโครงการย่อยตามที่ระบุในข้อเสนอโครงการ **โดยจัดส่งผ่านระบบ NRIIS และรูปแบบเอกสาร**

2. การจัดทำรายงานความก้าวหน้าต้องนำเสนอรายละเอียดที่สื่อให้คณะผู้ตรวจสอบทางวิชาการอ่านและเข้ากระบวนการทำงานที่ผ่านมาทั้งหมดอย่างชัดเจนเพื่อเป็นประโยชน์ต่อนักวิจัยในการอนุมัติเบิกจ่ายงบประมาณในงวดต่อไป