



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

รหัสโครงการ PSP6405030950

เรื่อง

การวิเคราะห์ภาวะการขาดแคลนน้ำในเขตลุ่มน้ำเพชรบุรี

Water Deficit Analysis of Phetchaburi River Basin

โดย

ดร.เกศวรา สิทธิโชค และคณะวิจัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

ภายใต้แผนงานวิจัย การเพิ่มผลสัมฤทธิ์และการลดความเสี่ยงในการบริหารจัดการ
ลุ่มน้ำเพชรบุรี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)

ปีงบประมาณ พ.ศ. 2564

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่องการวิเคราะห์ภาวะการขาดแคลนน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีได้รับทุนสนับสนุนจากการพัฒนาวิจัยการเกษตร สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ในปี พ.ศ. 2564 ทางผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) สำหรับการให้ทุนสนับสนุนการวิจัย ขอขอบคุณกรมฝนหลวงและการบินเกษตรสำหรับข้อมูลพื้นฐานของการปฏิบัติการฝนหลวง และข้อมูลการปฏิบัติการฝนหลวงและข้อมูลปริมาณฝนจากการตรวจวัดด้วยเรดาร์ในช่วงปีที่ผ่านมา และขอขอบคุณหน่วยงานอื่นๆที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กรมชลประทาน สำหรับการอนุเคราะห์ข้อมูลของการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ศึกษา กรมอุตุนิยมวิทยาและสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำสำหรับการอนุเคราะห์ข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยา คณะผู้วิจัยสามารถดำเนินการวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีโดยการสนับสนุนจากหน่วยงานข้างต้นด้วยดีตลอดการดำเนินการวิจัย

นอกจากนั้นคณะผู้วิจัยขอขอบคุณคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับข้อเสนอแนะ และข้อคิดเห็นในการดำเนินการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ในการสนับสนุนการวิจัยด้วยดีเสมอมา

คณะผู้วิจัย

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสภาพความชื้นในดินในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีจากการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมและแบบจำลองวิเคราะห์ความชื้นในดิน รวมถึงการประเมินถึงปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานจากแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าได้แก่แบบจำลอง SWAT และ DWCM-AgWU โดยนำข้อมูลการปฏิบัติการฝนหลวงร่วมพิจารณาในการศึกษา พร้อมทั้งการประยุกต์ข้อมูลปริมาณฝนคาดการณ์ล่วงหน้า 9 วันร่วมกับแบบจำลอง DWCM-AgWU เพื่อประเมินถึงปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานและปริมาตรน้ำในอ่างล่วงหน้า ผลการศึกษาพบว่าจากการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมได้มีการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนโดยใช้ข้อมูลตรวจวัดจากสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตร (สภษ.) หนองพลับ พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.72 และรากที่สองของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (RMSE) เท่ากับ 1.8 องศาเซลเซียส และผลการประเมินพื้นที่เพาะปลูกจากข้อมูลอนุกรมเวลาภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงปี 2015-2021 จะเห็นว่ารูปแบบการเพาะปลูกพืชในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีมีพื้นที่เพาะปลูกเฉลี่ยค่อนข้างมากในช่วงระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคมซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน โดยมีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 8 แสน ถึง 1 ล้าน 2 แสนไร่ หลังจากนั้นในเดือนพฤศจิกายนพื้นที่เพาะปลูกจะลดลงเหลือเฉลี่ยประมาณ 1 แสนไร่ โดยเป็นพื้นที่ไม่ผล/ไม่ยืนต้นและพื้นที่เพาะปลูกในเขตโครงการชลประทานเพชรบุรี นอกจากนี้ยังได้มีการตรวจวัดความชื้นในดินจากเซนเซอร์ความชื้นในดินแบบ IoT และได้ทำการสอบเทียบเซนเซอร์แบบคาปาซิทีฟและติดตั้งในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีจำนวน 10 จุด สามารถส่งข้อมูลความชื้นในดินแบบใกล้เวลาจริง (near real-time) ทุก 15 นาที จากนั้นได้มีการเก็บตัวอย่างเพื่อประเมินถึงค่าความชื้นในดินและนำผลการตรวจวัดมาประเมินกับค่าความชื้นที่ได้จากแบบจำลองสำหรับการใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างกันพบว่า ดัชนีการสอบเทียบโดยส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดีโดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.65-0.95, NSE มีค่าเท่ากับ 0.28-0.72 และ PBIAS เท่ากับ -12.71 ถึง 5.01 ยกเว้นเพียง 1 จุดที่ผลการประเมินมีค่าค่อนข้างต่ำเนื่องจากค่าของปริมาณฝนที่ตรวจวัดมีค่าความคลาดเคลื่อนจากปริมาณฝนที่เกิดขึ้นในพื้นที่จริง และสุดท้ายแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า SWAT และ DWCM-AgWU ได้ถูกนำมาใช้ในการประเมินค่าปริมาณน้ำท่าไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน โดยเมื่อพิจารณาความแตกต่างของปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นเมื่อไม่พิจารณาปริมาณฝนที่เกิดจากการปฏิบัติการฝนหลวงโดยพิจารณาเฉพาะพื้นที่ที่ระบุว่ามีการปฏิบัติการพบว่า ปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจะมีค่าลดลง อยู่ในช่วงระหว่าง 22.5-35.5 ล้าน ลบ.ม. และสุดท้ายแบบจำลอง DWCM-AgWU ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับปริมาณฝนพยากรณ์เพื่อประเมินปริมาณน้ำท่าและปริมาตรน้ำในอ่างเก็บน้ำซึ่งพบว่ามีความสอดคล้องกับแนวโน้มของข้อมูลในอดีตที่เกิดขึ้น

Abstract

The research aims to estimate soil moisture in the Phetchaburi River Basin using satellite data and a soil moisture analysis model. In addition, the inflow of Kaengkrachan Dam was calculated using rainfall-runoff models which were SWAT and DWCM-AgWU together with the operations of Royal Rainfall Making (RRM). Finally, forecasted rainfalls were used with DWCM-AgWU to predict Kaengkrachan inflows 9-days in advance. Results revealed that bias correction method was applied for Nonplub meteorological station with correlation coefficient of 0.72 and RMSE of 1.8 C. Cultivated area estimation using satellite during 2015-2021 presented that large cultivated area occurred during May-October with 800,000 – 1,200,000 rai. The area was then decrease in November around 100,000 rai. IOT Soil moisture sensors were then installed and calibrated for 10 stations for collecting soil moisture data every 15 mins. The observed soil moisture data were also used for the soil moisture model calibration showing moderate to high performance for most stations with R2 of 0.65-0.95, NSE of 0.28-0.72, and PBIAS of -12.71 to 5.01. Only one station showed less performance because of an error of rainfall data. Finally, the results of rainfall-runoff models showed that Kaengkrachan inflow was decreased around 22.5-25.5 mcm without RRM operation, and forecasts inflow 9-day in advance were generated with high agreement with historical inflows.

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1-1
1.2 วัตถุประสงค์	1-2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	1-2
1.4 ทฤษฎีและแนวคิดที่นำมาใช้ในงานวิจัย	1-2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1-3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การประเมินความชื้นในดินด้วยภาพถ่ายดาวเทียม	2-1
2.2 แบบจำลองวิเคราะห์ค่าความชื้นในดิน	2-3
2.3 แบบจำลองน้ำฝนน้ำท่า	2-12
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 การประเมินความชื้นในดินแบบใกล้เวลาจริง (Near-real time) โดยภาพถ่ายดาวเทียม	3-1
3.2 การประเมินความชื้นในดินโดยแบบจำลองวิเคราะห์ค่าความชื้น	3-2
3.3 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าที่เกิดจากการปฏิบัติการฝนหลวง	3-3
บทที่ 4 ผลการศึกษา	
4.1 ผลการประเมินความชื้นในดินโดยภาพถ่ายดาวเทียม	4-1
4.2 ผลการจำลองความชื้นโดยแบบจำลองวิเคราะห์ค่าความชื้น	4-14
4.3 ผลการประเมินปริมาณฝนหลวงและปริมาณน้ำท่าโดยแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า	4-19
เอกสารอ้างอิง	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1-1	วิธีสำรวจระยะไกลเพื่อศึกษาความชื้นในดิน	2-1
3.3-1	การปฏิบัติการฝนหลวงบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีระหว่างปี 2018-2021	3-4
4.1.1-1	สรุปค่าความถี่ แอมปริจูดและเฟสที่ใช้ในการประเมิน LST โดยวิธี TFA	4-3
4.1.3-1	การแปลผลดัชนี TVDI เปรียบเทียบกับสถานะความชื้นในดิน	4-10
4.2-1	ข้อมูลตำแหน่งและคุณสมบัติดินสำหรับประยุกต์ใช้แบบจำลองความชื้นในดิน	4-14
4.2-2	ดัชนีการสอบเทียบความชื้นในดินจากแบบจำลองกับการตรวจวัด	4-16
4.3.1-1	สรุปจำนวนการปฏิบัติการฝนหลวงรายเดือน	4-21
4.3.3-1	สัดส่วนปริมาณฝนหลวงต่อปริมาณฝนรวมรายเดือนทั้งหมดของการปฏิบัติการฝนหลวง	4-26
4.3.4-1	รายชื่ออ่างเก็บน้ำของกรมชลประทานที่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา	4-33

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
2.1-1	การแปลความหมายของค่าดัชนี TVDI จาก NDVI-Ts Feature Space	2-3
2.2-1	แผนผังการทำงานของแบบจำลอง	2-4
2.2.3-1	กราฟแสดงลักษณะการอุ้มน้ำของดิน	2-8
2.2.3-2	สมมูลน้ำในเขตรากพืช	2-10
2.2.3-3	สมมูลน้ำในเขตรากพืชที่ใช้สำหรับแบบจำลอง	2-11
2.2.3-4	สมมูลน้ำในนาข้าวสำหรับแบบจำลอง	2-12
2.3.1-1	แผนภาพวงจรรุทวิทยาที่ใช้ในแบบจำลอง SWAT	2-13
2.3.1-2	การเคลื่อนที่ของน้ำในแบบจำลอง SWAT	2-15
2.3.2-1	องค์ประกอบคำนวณของแบบจำลอง DWCM-AgWU	2-18
3.1	แผนการดำเนินงานของโครงการ	3-7
4.1.1-1	การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนค่าอุณหภูมิพื้นผิว (LST) จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม	4-2
4.1.1-2	การสร้างค่าอุณหภูมิพื้นผิว (LST) ด้วยวิธี TFA	4-3
4.1.1-3	ข้อมูล LST จากผลิตภัณฑ์ MOD11A2	4-3
4.1.2-1	เกณฑ์ลำดับขั้นในการตัดสินใจแบ่งลักษณะกิจกรรมในพื้นที่นาข้าว	4-5
4.1.2-2	ตัวอย่างการประเมินพื้นที่เพาะปลูกในกลุ่มน้ำเพชรบุรี	4-6
4.1.2-3	ผลการประเมินพื้นที่เพาะปลูกในกลุ่มน้ำเพชรบุรีช่วงปี พ.ศ. 2558 – 2564	4-7
4.1.3-1	NDVI-LST Feature Space ของพื้นที่เพาะปลูกในกลุ่มน้ำเพชรบุรี	4-8
4.1.3-2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนี TVDI กับ ความชื้นในดินโดยปริมาตร	4-8
4.1.3-3	แผนผังแสดงขั้นตอนการคำนวณค่าดัชนี TVDI และการแปลผลสถานะของค่าความชื้นในดิน	4-9
4.1.4-1 (A)	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า (V_{out}/V_{in}) จากเซนเซอร์ SoilStick และความชื้นในดินโดยปริมาตร (θ_v) และ (B) กราฟแสดงผลการตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) ของเซนเซอร์ในตรวจวัดความชื้นในดิน	4-12
4.1.4-2	ตำแหน่งที่ตั้งสถานีวัดความชื้นในดิน	4-13
4.1.4-3	ตัวอย่างเว็บไซต์ แดชบอร์ด และโมบายแอป สำหรับติดตามข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน	4-13
4.2-1	แผนที่จุดสอบเทียบประยุกต์ใช้แบบจำลองความชื้นดิน	4-15
4.2-2	การเปลี่ยนเทียบความชื้นในดินจากแบบจำลองในพื้นที่ตัวอย่าง PB22	4-17
4.2-3	การเปลี่ยนเทียบความชื้นในดินจากแบบจำลองในพื้นที่ตัวอย่าง PB23	4-17
4.2-4	การเปลี่ยนเทียบความชื้นในดินจากแบบจำลองในพื้นที่ตัวอย่าง PB33	4-18
4.2-5	การเปลี่ยนเทียบความชื้นในดินจากแบบจำลองในพื้นที่ตัวอย่าง PB42	4-18
4.3.1-1	ปริมาณฝนหลวงและฝนรวมทั้งหมดรายเดือนระหว่างปี 2018-2021 ช่วงวันที่มีการปฏิบัติการฝนหลวง (มม.)	4-22
4.3.1-2	ปริมาณฝนหลวงและฝนรวมทั้งหมดรายเดือนระหว่างปี 2018-2021 ช่วงวันที่มีการปฏิบัติการฝนหลวง (ล้าน ลบ.ม.)	4-23

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3.2-1 ปริมาณฝนเชิงพื้นที่ของ Station JAXA และ Radar วันที่ 23 เมษายน 2021	4-25
4.3.2-2 ปริมาณฝนเชิงพื้นที่ของ Station JAXA และ Radar วันที่ 19 พฤษภาคม 2021	4-25
4.3.2-3 ปริมาณฝนเชิงพื้นที่ของ Station JAXA และ Radar วันที่ 20 มิถุนายน 2021	4-25
4.3.4-1 ผลเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานรายปีของแบบจำลอง SWAT และ DWCM	4-28
4.3.4-2 ผลเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานโดยการพิจารณาฝนหลวง	4-29
4.3.4-3 กรอบความคิดในการพัฒนาระบบระบบพยากรณ์สำหรับปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำระยะสั้น	4-31
4.3.4-4 ความคิดรวบยอดในการใช้งาน Google Sheet API	4-31
4.3.4-5 ตัวอย่างข้อมูลภูมิอากาศตรวจวัดด้วยการเชื่อมโยงข้อมูลอัตโนมัติ API	4-32
4.3.4-6 อ่างเก็บน้ำของกรมชลประทานที่ครอบคลุมพื้นที่การศึกษา	4-33
4.3.4-7 ตัวอย่างข้อมูลอ่างเก็บน้ำด้วยการเชื่อมโยงข้อมูลอัตโนมัติ API	4-34
4.3.4-8 ตัวอย่างข้อมูลปริมาณน้ำฝนดาวเทียมเชื่อมโยงข้อมูลอัตโนมัติ API	4-35
4.3.4-9 ตัวอย่างข้อมูลปริมาณฝนดาวเทียม (3 มิ.ย. 2565)	4-35
4.3.4-10 ตัวอย่างข้อมูลสภาพอากาศพยากรณ์ล่วงหน้า 9 วันด้วยการเชื่อมโยงข้อมูลอัตโนมัติ API	4-36
4.3.4-11 ตัวอย่างข้อมูลปริมาณฝนพยากรณ์ล่วงหน้า 9 วัน	4-37
4.3.4-12 การพยากรณ์ปริมาณน้ำท่า 9 วันล่วงหน้า	4-38
4.3.4-13 การพยากรณ์ปริมาตรน้ำในอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน 9 วันล่วงหน้า	4-38

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

โครงการพระราชดำริฝนหลวงเป็นโครงการที่เกิดขึ้นจากพระราชดำริส่วนพระองค์ของพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช รัชการที่ 9 เพื่อบรรเทาปัญหาภัยแล้ง การขาดแคลนน้ำที่จะใช้ในการอุปโภคบริโภค รวมถึงน้ำที่จะใช้ในกิจกรรมการเกษตรที่เกิดขึ้นในหลายพื้นที่ของประเทศไทย โดยจากการเริ่มต้นโครงการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2498 จนถึงปัจจุบันได้แสดงให้เห็นแล้วว่าโครงการฝนหลวงสามารถช่วยบรรเทาปัญหาได้ในหลายมิติ เช่น การเพิ่มปริมาณน้ำเพื่อใช้ในการอุปโภคบริโภคและภาคการเกษตรในช่วงภาวะฝนทิ้งช่วง การป้องกันและแก้ไขปัญหาคุนคุณภาพน้ำและบำบัดภาวะมลพิษของสิ่งแวดล้อม การเพิ่มปริมาณน้ำในเขื่อนเพื่อเก็บกักไว้เป็นน้ำต้นทุนในด้านต่าง ๆ รวมถึงการผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติการฝนหลวงให้สอดคล้องกับความต้องการของประชาชนที่อยู่ในพื้นที่ในช่วงเวลาปัจจุบัน รวมถึงการวางแผนปฏิบัติการฝนหลวงในอนาคตให้สอดคล้องกับช่วงเวลาที่ขาดแคลนน้ำ การศึกษาถึงปริมาณน้ำฝน-น้ำท่าที่ได้จากปฏิบัติการฝนหลวงตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ร่วมกับการศึกษาถึงความต้องการน้ำของภาคส่วนต่าง ๆ ทั้งทางภาคเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และครัวเรือน ทั้งในเชิงของพื้นที่และเวลา และการศึกษาถึงสมดุลน้ำเพื่อประเมินถึงสภาวะการขาดแคลนน้ำที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้ จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะช่วยเสริมการวางแผนปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละครั้งให้ได้ประโยชน์ต่อประชาชนในพื้นที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งการดำเนินการศึกษานี้สอดคล้องกับนโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติในการที่จะนำผลการวิจัยและองค์ความรู้ที่ได้รับไปใช้ประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรม โดยการประสานงานทั้งทางด้านการวิจัยและการนำผลจากการวิจัยไปใช้ประโยชน์กับกรมฝนหลวงและการบินการเกษตร และสอดคล้องกับยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศตามแผนการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติในการเน้นที่จะพัฒนาทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และการวิจัย เพื่อเสริมสร้างความมั่นคงทางด้านการบริหารจัดการน้ำต่อไปในอนาคต

กรมฝนหลวงและการบินเกษตรได้มีการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อใช้ในการปฏิบัติการฝนหลวงซึ่งมีปัจจัยหลักที่ได้รับการพิจารณาหลายปัจจัย เช่น สภาพภูมิอากาศ ณ ปัจจุบัน และการร้องขอจากหน่วยงานราชการและประชาชน เป็นต้น อย่างไรก็ตามการพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ เช่น ปัจจัยทางด้านอุทกวิทยาและสภาพการขาดแคลนน้ำในพื้นที่ ทั้งในรูปแบบใกล้เวลาปัจจุบัน (Near-real time) และในช่วงอนาคตอันใกล้ จะสามารถส่งเสริมให้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงมีประสิทธิภาพและเหมาะสมทั้งช่วงเวลาและพื้นที่ที่ควรมีการปฏิบัติการฝนหลวง นอกจากนี้การประเมินปริมาณน้ำท่าที่จะเกิดขึ้นทั้งในช่วงปัจจุบันและอนาคตอันใกล้เป็นส่วนหนึ่งที่สามารถประเมินประสิทธิภาพของฝนหลวงในการปฏิบัติการแต่ละครั้งเพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาการปฏิบัติการฝนหลวงต่อไปในอนาคต

พื้นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี มีพื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 6,260 ตารางกิโลเมตร เป็นพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินหลากหลายประเภททั้งพื้นที่ป่าไม้ พื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่ชุมชนเมือง มีพื้นที่กักเก็บน้ำหลักได้แก่เขื่อนแก่งกระจานอยู่ในลุ่มน้ำเพชรบุรีตอนบน ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่ด้านเหนือเขื่อนจะเป็นพื้นที่ป่าอนุรักษ์ และมีเขื่อนเพชรทำหน้าที่ทดน้ำเข้าสู่ระบบชลประทานเพื่อใช้ในกิจกรรมการเกษตร โดยพื้นที่บริเวณลุ่มน้ำเพชรบุรีนี้ได้มีการปฏิบัติการฝนหลวงมาอย่างต่อเนื่องโดยศูนย์ฝนหลวงหัวหิน เพื่อเพิ่มความชุ่ม

ขึ้นในป่าและเพิ่มปริมาณน้ำในพื้นที่เก็บกักน้ำเมื่อมีปริมาณน้ำต่ำกว่าจุดที่กำหนด จากลักษณะของพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีที่ประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำในบางช่วง และลักษณะพื้นที่ที่มีความหลากหลายส่งผลต่อความต้องการน้ำที่แตกต่างกัน รวมถึงปฏิบัติการฝนหลวงในพื้นที่ที่มีมาอย่างต่อเนื่อง พื้นที่นี้จึงถูกเลือกให้เป็นพื้นที่ศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติการฝนหลวง

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อประเมินความชื้นในดินแบบใกล้เวลาจริง (Near-real time) โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมร่วมกับเซนเซอร์ตรวจวัดความชื้นดิน
- 2) เพื่อประเมินปริมาณความชื้นในดินโดยใช้แบบจำลองวิเคราะห์สภาพการขาดแคลนน้ำ
- 3) เพื่อประเมินปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติการฝนหลวงในช่วงปัจจุบันโดยแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า

1.3 ขอบเขตการวิจัย

การศึกษานี้ได้มีการกำหนดขอบเขตการวิจัยโดยพื้นที่ศึกษาที่ดำเนินการศึกษาวิจัยได้แก่พื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี นอกจากนี้ได้มีการกำหนดแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าที่นำมาใช้ในการศึกษาได้แก่แบบจำลอง SWAT และแบบจำลอง DWCM-AgWU

1.4 ทฤษฎีและแนวคิดที่นำมาใช้ในงานวิจัย

ในการส่งเสริมให้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงมีประสิทธิภาพมากขึ้น การผสมผสานวิธีการสำรวจจากระยะไกลด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียมร่วมกับเครื่องมือวัดความชื้นของดินและแบบจำลองวิเคราะห์สภาวะการขาดแคลนน้ำจะสามารถประเมินถึงพื้นที่ที่มีความต้องการน้ำและช่วงเวลาที่ต้องการน้ำเป็นไปอย่างถูกต้อง รวมทั้งการประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าจะสามารถประเมินปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นในแต่ละครั้งของการปฏิบัติการฝนหลวงซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการประเมินประสิทธิผลของการปฏิบัติการฝนหลวง โดยมีองค์ความรู้/แนวความคิดในงานวิจัยดังนี้

1) แนวความคิดการใช้เซนเซอร์ตรวจวัดความชื้นดินร่วมกับเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสิ่ง (internet of things: IoT) ซึ่งเป็นแนวคิดในการเชื่อมโยงเครื่องมือ อุปกรณ์แบบสมาร์ตและสิ่งต่าง ๆ ได้ทุกที่ตลอดเวลา ทุกการใช้งานผ่านเครือข่ายการสื่อสารและอินเทอร์เน็ตทั้งในรูปแบบการเชื่อมต่อผ่านสายและไร้สาย เครื่องมือดังกล่าวจึงมีความเหมาะสมในการทดแทนการตรวจวัดความชื้นดินโดยตรงจากภาคสนาม รวมทั้งสามารถนำมาตรวจสอบความสมเหตุสมผล (validation) จากการแปลผลข้อมูลความชื้นในดินจากภาพถ่ายดาวเทียม

2) แนวความคิดการเติมเต็มข้อมูลในส่วนที่ขาดหาย (gap-filling methods) ซึ่งเป็นแนวคิดในการจัดการข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่มีปัญหาจุดภาพมีเมฆปกคลุม ทำให้ไม่สามารถประเมินข้อมูลสภาพทางกายภาพของพื้นที่ผิวได้ ซึ่งมีเทคนิคหลายรูปแบบเพื่อสร้างข้อมูลใหม่ (reconstruct data) อาทิ การใช้ข้อมูลผสมผสานจากหลายดาวเทียม (data fusion) การใช้แบบจำลอง regression หรือ Artificial Neuron Networks (ANNs) เพื่อทำนายข้อมูลที่ขาดหายไป การประมาณค่าเชิงพื้นที่ (spatial interpolation) ด้วย

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นต้น ผลจากการเติมเต็มข้อมูลจะช่วยลดข้อจำกัดของข้อมูลภาพที่ขาดหายในช่วงที่มีเมฆปกคลุมโดยเฉพาะในช่วงฤดูฝนหรือช่วงก่อนปฏิบัติการทำฝนหลวง

3) แนวคิดการพยากรณ์ช่วงเวลาที่เกิดสภาพการขาดแคลนน้ำในดิน (soil moisture deficit, SMD) ซึ่งเป็นแนวคิดต่อยอดมาจากการประเมินความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ของพืช (available water capacity, AWC) และการวิเคราะห์สมดุลน้ำในเขตรากพืช ผนวกกับการใช้ข้อมูลพยากรณ์สภาพอากาศซึ่งจะสามารถคาดการณ์สภาพการขาดแคลนน้ำในดินล่วงหน้าได้ว่าพื้นที่ใดที่จะมีระดับความชื้นดินต่ำกว่าจุดวิกฤติ (critical point, CP) ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจปฏิบัติการทำฝนหลวงต่อไป รวมทั้งสามารถคำนวณปริมาณความต้องการน้ำที่เหมาะสมที่ต้องเติมให้แก่พืชซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจให้น้ำชลประทาน

4) แนวคิดการประยุกต์แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า โดยเป็นการต่อยอดจากผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง SWAT และแบบจำลอง DWCM-AgWU ในงานวิจัยในระยะที่ 1 สำหรับนำมาใช้ประเมินปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติการฝนหลวง โดยผลการประเมินดังกล่าวจะถูกส่งต่อไปใช้ประกอบการประเมินประสิทธิผลของการปฏิบัติการฝนหลวงต่อไป

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลผลิตที่ได้รับจากงานวิจัยนี้ได้แก่ เทคนิค วิธีการ และผลลัพธ์ของการประเมินถึงพื้นที่และช่วงเวลาการขาดแคลนน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำ และการประเมินปริมาณน้ำท่าในสภาวะปกติและจากการปฏิบัติการฝนหลวง นอกจากนี้กรมฝนหลวงและการบินเกษตรสามารถนำผลการประเมินสภาวะการขาดแคลนน้ำมาประกอบการวางแผนช่วงเวลาการปฏิบัติการฝนหลวงให้ได้มีประสิทธิภาพ และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กรมชลประทานสามารถนำแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าไปใช้ในการบริหารจัดการพื้นที่แหล่งได้ และสามารถนำข้อมูลสมดุลน้ำในอ่างเก็บน้ำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำให้เพียงพอต่อความต้องการ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การประเมินความชื้นในดินด้วยภาพถ่ายดาวเทียม

งานวิจัยจำนวนมากแสดงให้เห็นว่าความชื้นในดินโดยเฉพาะบริเวณผิวดินที่ระดับความลึกประมาณ 10 เซนติเมตรสามารถตรวจวัดด้วยวิธีการสำรวจจากระยะไกลด้วยภาพถ่ายดาวเทียมโดยใช้ช่วงคลื่นตามองเห็น (visible) ช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน (thermal infrared) และช่วงคลื่นไมโครเวฟ (microwave) ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อจำกัดแตกต่างกันไป ดังแสดงในตารางที่ 2.1-1 อย่างไรก็ตามวิธีการสำรวจระยะไกลไม่ได้ตรวจวัดข้อมูลความชื้นจากดินโดยตรง ดังนั้นจึงมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จำนวนมากที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อหาความสัมพันธ์และแปลผลการตรวจวัดจากช่วงคลื่นต่าง ๆ ให้เป็นค่าความชื้นในดิน (Wang and Qu, 2009)

แนวทางการประเมินความชื้นในดินที่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน ได้แก่ การประเมินจากดัชนีชี้วัดความแห้งแล้งด้วยภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งมีหลายดัชนีที่ได้รับการศึกษาวิจัย อาทิ Anomaly Vegetation Index (AVI) (Chen et al., 1994) Vegetation Condition Index (VCI) (Kogan, 1995) Apparent Thermal Inertia (ATI) (Price, 1985) Crop Water Stress Index (CWSI) (Jackson and Pinter, 1981) และ Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI) (Sandholt et al., 2002) จากดัชนีดังกล่าว TVDI เป็นดัชนีความแห้งแล้งทางการเกษตรที่สามารถตรวจวัดได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมซึ่งเป็นดัชนีที่ได้รับความนิยมในการใช้งานสูงเนื่องจากมีความเรียบง่ายและแม่นยำในการตรวจวัด (Bai et al., 2017) โดยเป็นการแปลความหมายทางกายภาพที่ได้จากการพล็อตกราฟปฏิสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิพื้นผิว (Ts) กับค่าดัชนีพืชพรรณ (VI) ซึ่งวิธีพล็อตกราฟนี้เป็นการลดทอนข้อมูลและพารามิเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการในเชิงกายภาพให้เหลือเพียงความสัมพันธ์แบบเอมพิริคัลบนแผนภาพปฏิสัมพันธ์พืช-อุณหภูมิพื้นผิว (Ts/VI) โดยอุณหภูมิพื้นผิวในที่นี้หมายถึงอุณหภูมิที่ผิวดินหรือพื้นผิวของสิ่งที่ปกคลุมดินนั้นอยู่ อุณหภูมิพื้นผิวสามารถหาได้จากข้อมูลในช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน โดยในช่วงคลื่นนี้จะแสดงค่าความร้อนที่แผ่ออกมาจากพื้นผิวดินต่าง ๆ ส่วนดัชนีพืชพรรณในที่นี้คำนวณจากการนำช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณมาทำสัดส่วนซึ่งกันและกัน แล้วให้ผลลัพธ์ในการจำแนกบริเวณที่มีพืชพรรณปกคลุม (biomass) กับบริเวณที่ไม่มีพืชพรรณ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการติดตามการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของพืชพรรณและสถานการณ์สิ่งแวดล้อมในพื้นที่ที่ศึกษา (ศุทธิณี, 2543) ตัวอย่างดัชนีพืชพรรณ เช่น ดัชนี NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ดัชนี SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) ดัชนี EVI (Enhanced Vegetation Index) เป็นต้น สำหรับดัชนีพืชพรรณที่นิยมใช้งานมากที่สุด ได้แก่ ดัชนี NDVI ซึ่งเป็นการทำสัดส่วนระหว่างช่วงคลื่น 2 ช่วงคลื่นที่ปรับให้เป็นลักษณะการกระจายแบบปกติ คือ นำช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้มาลบกับช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง แล้วหารด้วยผลบวกของช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และช่วงคลื่นตามองเห็นแสดงดังสมการที่ 2.1-1

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad [2.1-1]$$

โดย NIR = การสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (%)

RED = การสะท้อนในช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง (%)

โดยทั่วไป NDVI มีค่าระหว่าง -1 ถึง 1 โดยพื้นผิวที่มีพืชพรรณปกคลุมอยู่มากจะมีค่าการสะท้อนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้สูงกว่าช่วงคลื่นที่ตามองเห็นสีแดงทำให้ NDVI มีค่าเป็นบวก กรณีพื้นผิวที่มีพืชพรรณปกคลุมน้อยหรือเป็นพื้นดินเปล่าจะมีค่าการสะท้อนระหว่างทั้งสองช่วงคลื่นใกล้เคียงกันทำให้ NDVI มีค่าใกล้เคียงกับ 0 และกรณีพื้นผิวเป็นน้ำจะมีค่าการสะท้อนช่วงคลื่นที่ตามองเห็นสีแดงสูงกว่าช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ทำให้ NDVI มีค่าติดลบ

ตารางที่ 2.1-1 วิธีสำรวจระยะไกลเพื่อศึกษาความชื้นในดิน (ดัดแปลงจาก Wang and Qu, 2009 และ Zhang and Zhou, 2016)

ช่วงคลื่น	การตรวจวัด	ข้อดี	ข้อจำกัด
ช่วงคลื่นแสง (optical)	ค่าการสะท้อนพื้นผิว (surface reflectance)	ความละเอียดจุดภาพสูง มีข้อมูลช่วงคลื่นที่ใช้แปลผลได้หลากหลาย	เมฆปกคลุมภาพ และไม่สามารถถ่ายภาพในช่วงกลางคืน
ช่วงคลื่นความร้อน (thermal infrared)	อุณหภูมิพื้นผิว (surface temperature)	ความละเอียดจุดภาพสูง แปลความหมายทางกายภาพได้โดยตรง	เมฆปกคลุมภาพ และผลกระทบอื่น ๆ จากชั้นบรรยากาศ
ช่วงคลื่นไมโครเวฟแบบพาสซีฟ (passive microwave)	อุณหภูมิสัมบูรณ์จากการแผ่รังสีเชิงคลื่น (brightness temperature) ค่าคุณสมบัติไดอิเล็กทริกของพื้นผิว (dielectric properties)	ให้ความแม่นยำสูงมากกรณีที่เป็นพื้นดินเปิดโล่ง (bare soil) และไม่มีข้อจำกัดเรื่องเมฆและช่วงกลางคืน	ความละเอียดจุดภาพต่ำ ความขรุขระของพื้นผิว (surface roughness) และพืชพรรณปกคลุม
ช่วงคลื่นไมโครเวฟแบบแอคทีฟ (active microwave)	ค่าสัมประสิทธิ์ backscatter	ความละเอียดจุดภาพสูง ไม่มีข้อจำกัดเรื่องเมฆและช่วงกลางคืน	ความขรุขระของพื้นผิว (surface roughness) และพืชพรรณปกคลุม

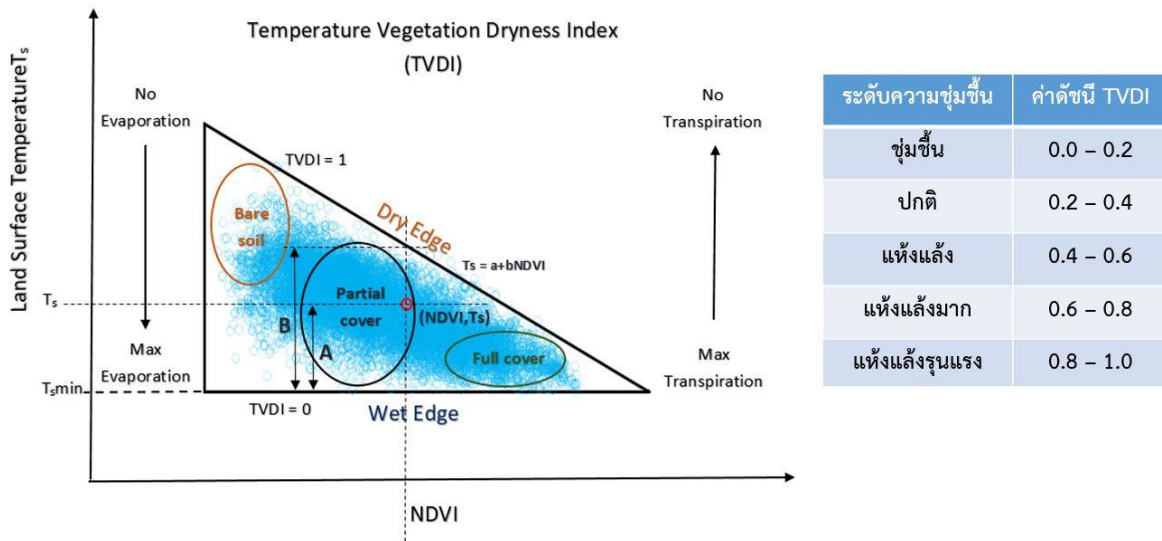
สำหรับวิธี TVDI จะนำค่า NDVI และ T_s มาสร้าง NDVI- T_s Feature Space ดังแสดงในรูปที่ 2.1-1 โดยกำหนดขอบเขตการคำนวณใน Feature Space เป็นพื้นที่รูปสามเหลี่ยมและคำนวณค่า Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI) ของแต่ละจุดภาพ (pixel) ตามวิธีของ Sandholt et al. (2002) ได้จากสัดส่วนระหว่างระยะ A กับ B และสามารถเขียนเป็นรูปสมการได้ดังต่อไปนี้

$$TVDI = \frac{A}{B} = \frac{T_s - T_{smin}}{a + bNDVI - T_{smin}} \quad [2.1-2]$$

โดย T_s คือ ค่าอุณหภูมิพื้นผิวที่ตำแหน่งใดๆ ใน NDVI- T_s Feature Space
 T_{smin} คือ ค่าอุณหภูมิพื้นผิวต่ำสุดในพื้นที่สามเหลี่ยมใน NDVI- T_s Feature Space
 NDVI คือ ค่าดัชนีพืชพรรณแตกต่างกันบนออร์มัลไลซ์
 a, b คือ พารามิเตอร์สำหรับนิยามค่า dry edge ที่ได้จากการประมาณค่าสมการถดถอยเชิงเส้นในรูป $T_{smax} = a + bNDVI$ โดย T_{smax} คือ ค่าอุณหภูมิพื้นผิวสูงสุด

โดยค่า TVDI มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1 ในที่นี้คือค่าที่อยู่ตามแนวเส้นขอบแห้ง (dry edge) ใน Feature Space ซึ่งหมายถึงไม่มีการคายระเหยน้ำหรือมีความชื้นในดินอย่างจำกัด ส่วนค่า TVDI ต่ำสุดเท่ากับ 0 ในที่นี้คือค่าที่อยู่ตามแนวเส้นขอบเปียก (wet edge) ใน Feature Space ซึ่งหมายถึงมีค่าการคายระเหยน้ำสูงสุดหรือมีความชื้นในดินอย่างไม่จำกัด (Sun et al., 2012) ทั้งนี้ พารามิเตอร์ a และ b ควรประมาณค่าจากพื้นที่

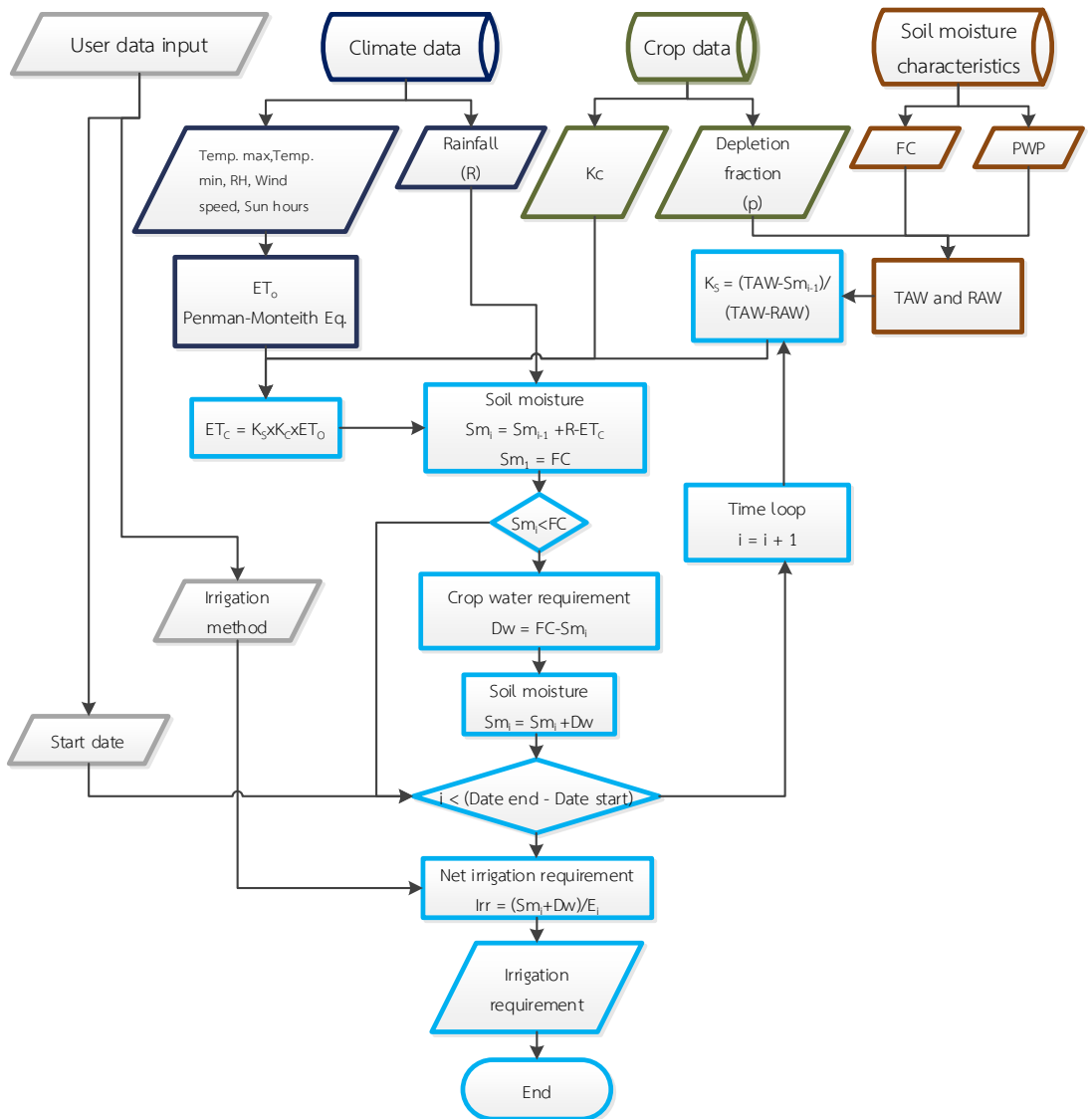
ขนาดใหญ่ที่มีจำนวนจุดภาพมากเพียงพอและครอบคลุมพื้นที่ตัวแทนตั้งแต่พื้นที่แห้งแล้งที่สุดและพื้นที่ชุ่มชื้นที่สุด รวมทั้งเป็นลักษณะพื้นที่ดินว่างเปล่าไปจนถึงพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมดินเต็มที่



รูปที่ 2.1-1 การแปลความหมายของค่าดัชนี TVDI จาก NDVI-Ts Feature Space (ดัดแปลงจาก Sandholt et al. (2002))

2.2 แบบจำลองวิเคราะห์ค่าความชื้นในดิน

แบบจำลองวิเคราะห์ค่าความชื้นในดินมีกระบวนการทำงานแสดงดังรูปที่ 2.2-1 ในการทำงาน of แบบจำลองถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนการนำเข้าข้อมูล การคำนวณ และแสดงผล การนำเข้าข้อมูล ประกอบด้วย การนำเข้าข้อมูลโดยประกอบด้วย ได้แก่ วันที่เริ่มทำการเพาะปลูก ชนิดพืชที่ปลูก วิธีการให้น้ำ และในส่วนของการนำเข้าข้อมูลโดยฐานข้อมูล ประกอบด้วย ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลจำเพาะของพืช และข้อมูลคุณสมบัติของดิน นอกเหนือจากนั้นจะเป็นส่วนของการคำนวณโดยแบบจำลองมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2.2-1 แผนผังการทำงานของแบบจำลอง

2.2.1 การคำนวณความต้องการใช้น้ำเพื่อการเกษตร

ความต้องการใช้น้ำ หมายถึง ปริมาณน้ำรวม (โดยคิดเป็นความลึกของน้ำ) ที่ต้องการเพื่อนำไปใช้ในการคายน้ำของพืช และการระเหยน้ำจากผิวดิน ความต้องการน้ำของพืชแต่ละชนิดย่อมไม่เท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากสรีระและกายวิภาคของพืช โดยน้ำเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการปลูกพืชเพื่อสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโต แต่น้ำที่ได้จากฝนมีปริมาณไม่เพียงพอและไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจึงต้องมีการส่งน้ำเพื่อทดแทนส่วนที่ขาดหายไป โดยความต้องการน้ำของพืชนั้น จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ฤดูกาลปลูก วิธีการปลูก ชนิดและอายุของพืชพันธุ์ ลักษณะของดิน และสภาพภูมิอากาศ เป็นต้น

1) ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ต้องให้แก่พืช

ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ต้องให้แก่พืช (**Gross Water Application; W_g**) หรือความต้องการน้ำชลประทาน คือปริมาณน้ำที่ต้องการให้น้ำกับพืชเพื่อเติมความชื้นในดินให้อยู่ในช่วงที่พืชสามารถนำน้ำมาใช้ประโยชน์ได้นอกจากปริมาณฝนใช้การ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับวิธีการให้น้ำ ชนิดดิน และสภาพพื้นที่เพาะปลูก

เป็นต้น ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ต้องให้แก่พืชจะทำให้ทุกจุดในพื้นที่เพาะปลูกได้รับน้ำเพียงพอหรือได้รับน้ำอย่างน้อยเท่ากับปริมาณน้ำสุทธิที่จะต้องให้แก่พืช (Net Water Appliation; W_n) หรือปริมาณน้ำที่เพิ่มระดับความชื้นถึงจุดความชื้นชลประทาน (Field Capacity) โดยการคำนวณปริมาณน้ำสุทธิที่จะต้องให้แก่พืชโดยไม่คำนึงถึงการควบคุมความเข้มข้นของเกลือในเขตราก สามารถคำนวณได้จาก **สมการที่ 2.2.1-1** เมื่อพิจารณาพร้อมกับ ประสิทธิภาพของระบบส่งน้ำและระบบให้น้ำ หรือประสิทธิภาพรวมของการชลประทาน จะสามารถคำนวณปริมาณน้ำทั้งหมดที่ต้องให้แก่พืชสามารถคำนวณได้จาก **สมการที่ 2.2.1-2** (วิบูลย์ บุญยธโรกุล, 2526)

$$W_n = ET_c + P - Re \quad [2.2.1-1]$$

โดยที่ W_n คือ ปริมาณน้ำสุทธิที่จะต้องให้แก่พืช (มิลลิเมตร)
 ET_c คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืช (มิลลิเมตร)
 P คือ ปริมาณน้ำที่รั่วซึมในแปลง (มิลลิเมตร)
 Re คือ ปริมาณฝนใช้การ (มิลลิเมตร)

$$W_g = \frac{W_n}{E_i} \quad [2.2.1-2]$$

โดยที่ W_g คือ ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ต้องให้แก่พืช (มิลลิเมตร)
 E_i คือ ประสิทธิภาพรวมของการชลประทาน (มิลลิเมตร)

2) ปริมาณการใช้น้ำของพืช

ในปัจจุบันกรมชลประทาน สังกัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ยึดหลักการคำนวณความต้องการน้ำของพืชอ้างอิงโดยวิธีการ Penman Monteith ที่มีการอาศัยทั้งปัจจัยทางด้านภูมิศาสตร์และปัจจัยทางด้านภูมิอากาศในการคำนวณ (ส่วนการใช้น้ำชลประทาน, 2555) ดัง **สมการที่ 2.2.1-3** ทำให้ผลการคำนวณมีความถูกต้องและแม่นยำใกล้เคียงกับความต้องการใช้น้ำของพืชจริงมากที่สุด ข้อมูลที่ต้องการในการคำนวณมีดังนี้

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad [2.2.1-3]$$

โดยที่ ET_o คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (mm/day)
 R_n คือ พลังงานการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สุทธิที่พื้นผิว (MJ/m²/day)
 T คือ อุณหภูมิอากาศ (°C)
 U_2 คือ ความเร็วลมที่ระดับ 2 เมตรจากผิวดิน (ms⁻¹)
 $e_s - e_a$ คือ ผลต่างระหว่างความดันไอน้ำอิ่มตัว (e_s) กับความดันไอน้ำจริงในอากาศ (e_a) (kPa)
 Δ คือ ความชันของโค้งของความดันไอน้ำอิ่มตัวหรือโค้งความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและแรงดันไอน้ำ (kPa/°C)

γ = ค่าคงที่ของเทอมความชื้น Psychrometric Constant (kPa/°C)

ปริมาณการใช้น้ำของพืช (Consumptive Use or Crop Evapotranspiration ; ET_c) คือปริมาณน้ำที่พืชนำไปใช้และปริมาณน้ำที่สูญเสียในบริเวณนั้นจากกระบวนการคายน้ำและการระเหย (การคายระเหย) ปัจจัยที่ส่งผลต่อความต้องการน้ำของพืชคือช่วงอายุของพืชและสภาพภูมิอากาศในพื้นที่เพาะปลูกในขณะนั้น

ซึ่งการหาค่าการใช้ น้ำของพืชมีอยู่หลายวิธีสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบหลักๆ ได้แก่ การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยวิธีการตรวจวัดเป็นวิธีการที่ใช้ในการวัดปริมาณการใช้น้ำในแปลงเพาะปลูกหรือแปลงตัวอย่าง และการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยอาศัยข้อมูลภูมิอากาศโดยมีการใช้เครื่องมือต่างๆ หรือเรียกว่าการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง เป็นวิธีการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยอาศัยข้อมูลภูมิอากาศพิจารณารวมกับชนิดและอายุของพืช ดังสมการที่ 2.2.1-4

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad [2.2.1-4]$$

โดยที่ ET_c คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืช (mm/day)
 K_c คือ สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช
 ET_o คือ ปริมาณการใช้น้ำอ้างอิง (mm/day)

3) ปริมาณฝนใช้การ

ปริมาณฝนใช้การฝนใช้การ (Effective Rainfall; Re) คือส่วนหนึ่งของปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมายังพื้นที่ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ตามวัตถุประสงค์หรือความต้องการใช้น้ำ สำหรับในด้านการชลประทาน ปริมาณฝนใช้การ หมายถึงน้ำฝนที่ตกลงในแปลงเพาะปลูก และมีประโยชน์ต่อการเตรียมแปลงเพาะปลูก หรือมีประโยชน์สำหรับพืชดูดน้ำเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและเพื่อการระเหยในแปลง

2.2.2 ปริมาณน้ำในดินที่มีความสำคัญทางด้านชลประทาน

1) ความชื้นชลประทาน

ความชื้นชลประทาน (Field Capacity; FC) คือความชื้นในดินหลังจากที่น้ำอิสระ (Free Water) ได้ถูกระบายออกจากช่องว่างขนาดใหญ่ เหลือเพียงแต่ปริมาณน้ำที่ถูกยึดหน่วงด้วยแรงดึง Capillary (Capillary Water) หรือปริมาณน้ำที่ดินสามารถดูดซับไว้ได้เต็มที่ ในการปฏิบัติงานไม่สามารถคำนวณหรือทดลองออกมามีค่าที่แน่นอน ในทางปฏิบัติสำหรับดินที่มีการระบายน้ำได้ดี ความชื้นชลประทานเป็นค่าความชื้นในดินหลังจากที่มีฝนตกหนักหรือหลังการให้น้ำ 2-3 วัน น้ำ จากการหาค่าความชื้นชลประทานสามารถหาได้จากทดลองหาปริมาณน้ำที่ดินดูดซับด้วยแรงดึงดูด 1/3 bar

2) ความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร

ความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Wilting Point; PWP) คือความชื้นในดินที่มีปริมาณต่ำ พืชไม่สามารถดูดซึมน้ำขึ้นมาใช้ได้ ทำให้พืชเกิดการเหี่ยวเฉาอย่างถาวร ส่งผลให้พืชตายจากการขาดน้ำ จากการหาค่าความชื้นที่จุดที่จุดเหี่ยวเฉาถาวรสามารถหาได้จากทดลองหาปริมาณน้ำที่ดินดูดซับด้วยแรงดึงดูด 15 bar

3) ปริมาณน้ำที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ทั้งหมด

ปริมาณน้ำที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ทั้งหมด (Total Available Water; TAW) คือปริมาณน้ำที่อยู่ในเขตรากพืชซึ่งอยู่ในรูปของความชื้นในดิน โดยปริมาณน้ำจะมีค่าเท่ากับปริมาณน้ำที่อยู่ระหว่างความชื้นชลประทานและความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร เป็นปริมาณน้ำที่พืชสามารถนำมาใช้ได้ แต่ถ้าหากมีปริมาณน้อยลงจะทำให้พืชสามารถนำน้ำมาใช้ได้ยากขึ้น โดยที่ถ้าหากปริมาณน้ำลดลงมากกว่าปริมาณน้ำที่พืชสามารถนำไปใช้ได้โดยไม่เกิดผลกระทบ (Readily Available Water; RAW) จะทำให้พืชสามารถนำน้ำขึ้นมาใช้นั้นน้อยกว่าการคายระเหยของพืชและทำให้พืชเริ่มเกิดอาการเหี่ยวเฉา

เมื่อพืชเกิดการขาดน้ำหรือปริมาณความชื้นในดินต่ำกว่าปริมาณน้ำที่พืชสามารถนำไปใช้ได้โดยไม่เกิดผลกระทบ (RAW) ปริมาณการใช้น้ำที่แท้จริงของพืช (Actual Evapotranspiration; ET_a) จะมีค่าน้อยกว่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (Crop Evapotranspiration; ET_c) ที่คำนวณได้ จากการคำนวณการใช้น้ำที่แท้จริงของพืชเมื่อพิจารณาพร้อมกับความชื้นในดินจะต้องปรับแก้ค่าด้วยสัมประสิทธิ์การขาดน้ำ (Water Stress Coefficient; K_s) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.2.2-1 และคำนวณการใช้น้ำที่แท้จริงได้ดังสมการที่ 2.2.2-2

$$K_s = \frac{TAW - D_r}{TAW - RAW} = \frac{TAW - D_r}{(1 - p)TAW} \quad [2.2.2-1]$$

$$ET_a = K_s \times K_c \times ET_o = K_s \times ET_c \quad [2.2.2-2]$$

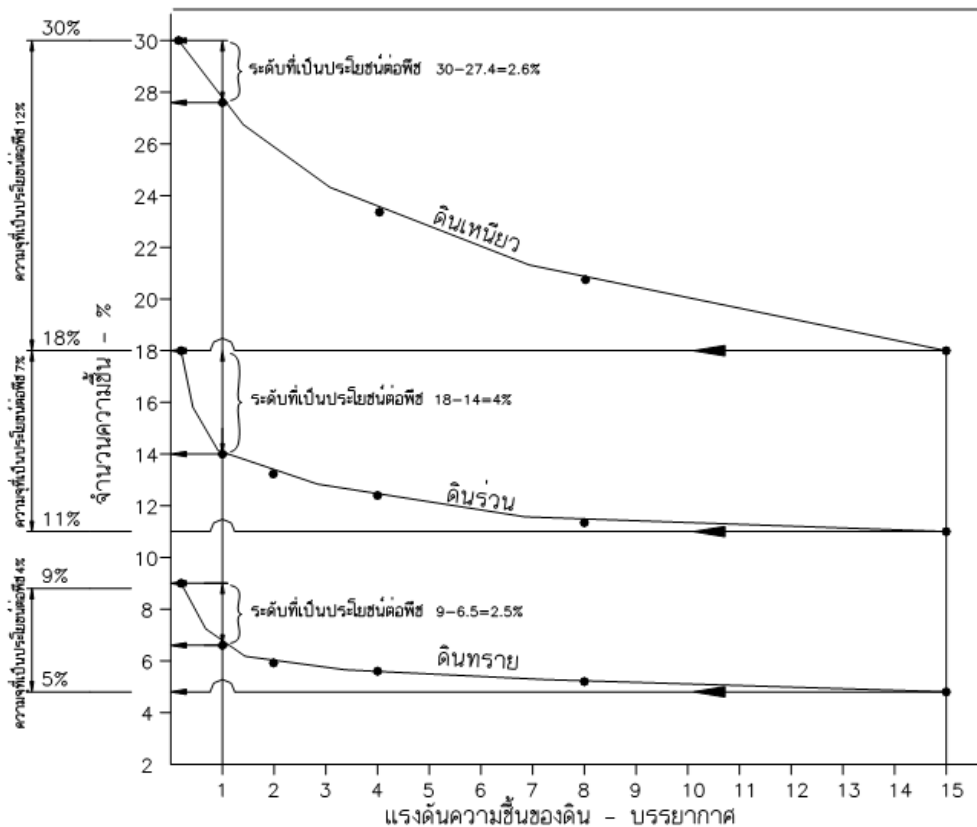
โดยที่	K_s	คือ สัมประสิทธิ์การขาดน้ำ
	TAW	คือ ปริมาณน้ำที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ทั้งหมด
	RAW	คือ ปริมาณน้ำที่พืชสามารถนำไปใช้ได้โดยไม่เกิดผลกระทบ
	D_r	คือ ปริมาณน้ำในดินที่สูญเสียออกไปจากการคายระเหย
	p	คือ อัตราส่วนของน้ำในดินที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ก่อนเกิดความเครียด (Depletion Fraction)
	ET_a	คือ ปริมาณการใช้น้ำที่แท้จริงของพืช (มิลลิเมตร)
	ET_c	คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืช (มิลลิเมตร)
	ET_o	คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มิลลิเมตร)
	K_c	คือ สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช

2.2.3 การพิจารณากำหนดการให้น้ำ

1) ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน

ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน เป็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงความชื้นในดินกับปริมาณความชื้นในดิน ซึ่งเรียกว่า เส้นกราฟความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (Soil Moisture Characteristics curve) เส้นกราฟความสามารถของน้ำในดิน เป็นเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในช่องว่างดินกับ

ค่าพลังงานกำกับกอนดิน โดยที่จุดความชื้นชลประทาน (Field Capacity Point) และความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Wilting Point) ส่วนตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงความชื้นที่พลังงานกำกับต่าง ๆ แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.2.3-1 กราฟแสดงความอุ่มน้ำของดินจะแตกต่างกันตามชนิดของดิน ซึ่งระดับความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะอยู่ระหว่างจุดความชื้นชลประทานและจุดเหี่ยวเฉาถาวร โดยกราฟแสดงความอุ่มน้ำของดินจะเป็นเกณฑ์กำหนดช่วงเวลาและปริมาณของน้ำที่เหมาะสมที่ต้องให้น้ำแก่พืช



รูปที่ 2.2.3-1 กราฟแสดงลักษณะการอุ่มน้ำของดิน (ที่มา: บุญมา, 2542)

2) กำหนดการให้น้ำพืช

กำหนดการให้น้ำของพืชเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดผลผลิตของพืชทั้งด้านปริมาณและด้านคุณภาพ ถ้าหากพืชมีการขาดน้ำในช่วงใดช่วงหนึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตได้ ซึ่งพืชแต่ละชนิดมีความทนทานต่อการขาดน้ำที่แตกต่างกัน เมื่อปริมาณน้ำในดินต่ำกว่าเกณฑ์จะทำให้พืชไม่สามารถนำน้ำมาใช้ตามความต้องการได้หรือการเกิดความเครียดของพืชซึ่งจะส่งผลกระทบต่อผลผลิต ปริมาณน้ำที่พืชสามารถนำมาใช้ได้โดยไม่ทำให้เกิดความเครียดคำนวณดังสมการที่ 2.2.3-1 โดยปริมาณน้ำที่พืชนำไปใช้ได้จะเป็นส่วนที่กำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสมแก่การให้น้ำ (Allen et al. , 1998)

$$RAW = p \times TAW$$

[2.2.3-1]

โดยที่ RAW คือ ความชื้นที่ยอมให้พืชนำไปใช้โดยไม่เกิดความเครียด (Readily Available Water)
 p คือ อัตราส่วนของน้ำในดินที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ก่อนเกิดความเครียด (Depletion Fraction)
 TAW คือ ปริมาณน้ำที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ทั้งหมด (Total Available Water)
 การปรับแก้อัตราส่วนของน้ำในดินที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ก่อนเกิดความเครียด เนื่องจากปริมาณการใช้น้ำของพืชมีค่าไม่เท่ากับ 5 mm/day จำเป็นต้องการการปรับแก้ค่า สามารถปรับแก้ค่า ได้ดังสมการที่ 2.2.3-2

$$p' = p + 0.04(5 - ET_c) \quad [2.2.3-2]$$

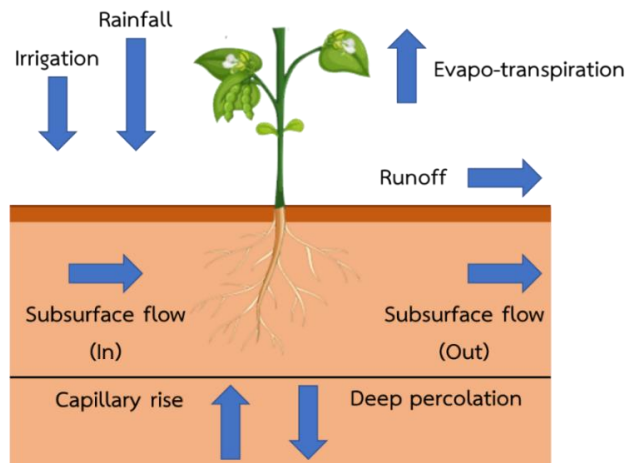
โดยที่ p' คือ อัตราส่วนของน้ำในดินที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ก่อนเกิดความเครียด (Depletion Fraction) หลังการปรับแก้ค่าเมื่อมีค่า ET_c ไม่เท่ากับ 5 mm/day
 p คือ อัตราส่วนของน้ำในดินที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ก่อนเกิดความเครียด (Depletion Fraction) เมื่อมีค่า ET_c เท่ากับ 5 mm/day
 ET_c คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืช (mm)

3) สมดุลน้ำในดิน

การคำนวณสมดุลน้ำในดินมีการใช้หลักของการอนุรักษ์มวลสาร (Conservation of Mass) ที่พิจารณาในระบบไม่มีการสูญหาย ดังนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงของน้ำในระบบเท่ากับ ผลต่างระหว่างน้ำที่ไหลเข้ากับไหลออกจากระบบ โดยกำหนดขอบเขตของระบบที่พิจารณาที่ผิวดินจนถึงเขตรากพืชแสดงดังรูปที่ 2.2.3-2 ซึ่งสามารถพิจารณาได้ดังสมการที่ 2.2.3-3

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = Re + IRR + CR - ET_c - DP + \Delta RO + \Delta SF \quad [2.2.3-3]$$

โดยที่ $\Delta S/\Delta t$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำที่อยู่ในดินเทียบกับเวลา
 Re คือ ปริมาณฝนใช้การ
 IRR คือ ปริมาณน้ำชลประทาน
 CR คือ ปริมาณน้ำที่ไหลขึ้นด้วยแรงคาปิลารี (Capillary Rise)
 ET_c คือ ปริมาณการคายระเหยน้ำ
 DP คือ ปริมาณน้ำที่ซึมลึกเลยเขตราก (Deep Percolation)
 ΔRO คือ ปริมาณน้ำท่าผิวดินสุทธิ (Surface Runoff) พิจารณาจากส่วนต่างระหว่างน้ำท่าผิวดินที่ไหลเข้ากับน้ำท่าที่ไหลออกจากระบบ
 ΔSF คือ ปริมาณน้ำไหลใต้ผิวดิน (Subsurface Outflow) พิจารณาส่วนต่างระหว่างน้ำที่ไหลเข้ากับน้ำที่ไหลออกทางใต้ผิวดิน



รูปที่ 2.2.3-2 สมดุลน้ำในเขตรากพืช

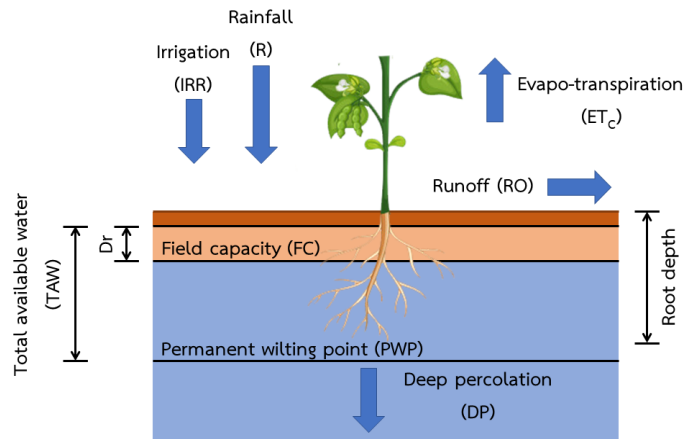
ที่มา: Hillel, 1998

สมดุลของน้ำในเขตราก คือการพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าและออกจากดินที่พิจารณาแสดงดังรูปที่ 2.2.3-3 โดยปริมาณน้ำที่ไหลเข้าทำให้ความชื้นดินสูงขึ้นคือ ปริมาณฝนใช้การที่ตกลงยังพื้นที่ หรือน้ำที่ได้จากการชลประทาน และปริมาณน้ำที่ไหลออกทำให้ความชื้นลดลงคือ การคายระเหย (Evapotranspiration) ในพื้นที่ ซึ่งด้านความชื้นในดินจะไม่พิจารณาถึงน้ำที่ไหลบ่าบนหน้าดินและน้ำที่ไหลซึมเลยเขตราก เนื่องจากการพิจารณาเฉพาะน้ำที่อยู่ในส่วนบริเวณรากของพืช

ปริมาณความชื้นในดินปัจจุบัน (Sm_i) มีการคำนวณจากวิธีการสมดุลน้ำสำหรับความลึกราก จะมีการพิจารณาถึงปริมาณความชื้นในวันก่อนหน้า (Sm_{i-1}), ปริมาณน้ำฝนใช้การที่เกิดขึ้นในวันนั้น (Re_i) ปริมาณน้ำชลประทานที่ให้ (IRR_i) และปริมาณการใช้น้ำของพืชในวันปัจจุบัน (ETC_i) เป็นไปตามสมการที่ 2.2.3-4 ซึ่งทั้งหมดเป็นหน่วยความลึกของน้ำ

$$Sm_i = Sm_{i-1} + Re_i + IRR_i - ETC_i \quad [2.2.3-4]$$

โดยที่	Sm_i	คือ ปริมาณความชื้นในดินปัจจุบัน
	Sm_{i-1}	คือ ปริมาณความชื้นในดินของวันก่อนหน้า
	Re_i	คือ ปริมาณฝนใช้การในวันปัจจุบัน
	IRR_i	คือ ปริมาณน้ำชลประทานที่พืชได้รับ
	ET_{ci}	คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืชในวันปัจจุบัน



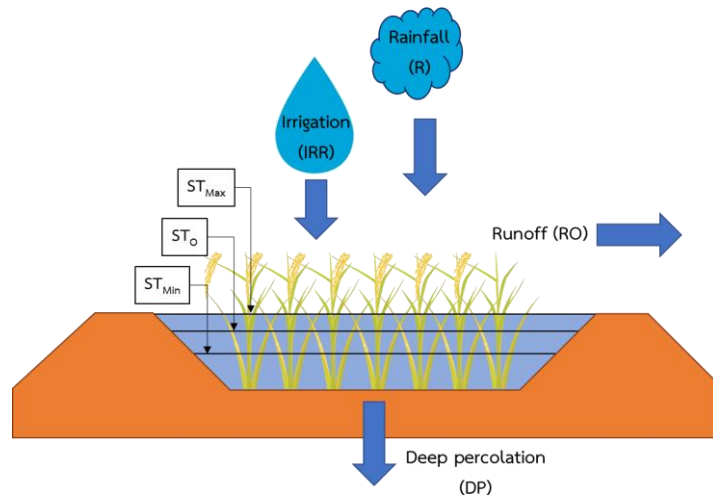
รูปที่ 2.2.3-3 สมดุลน้ำในเขตรากพืชที่ใช้สำหรับแบบจำลอง

4) สมดุลน้ำในนาข้าว

สมดุลน้ำในนาข้าวเป็นการพิจารณาปริมาณน้ำที่เข้าและออกจากนาข้าวแสดงดังรูปที่ 2.2.3-4 โดยเปรียบเทียบปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นและลดลงในหน่วยความลึกของน้ำ ปัจจัยที่ทำให้ปริมาณน้ำเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นคือ ปริมาณฝนใช้การในวันนั้น (Re_i) และปริมาณน้ำชลประทานที่ให้ (IRR_i) ปัจจัยที่ทำให้ปริมาณน้ำในแปลงนาลดลงคือ ปริมาณการใช้น้ำของข้าวในวันนั้น (ET_{c_i}) และปริมาณน้ำที่ไหลซึมเลยเขตราก (Dp) คำนวณได้ดังสมการที่ 2.2.3-5 (ฉลอง เกิดพิทักษ์, 2560)

$$ST_i = ST_{i-1} + Re_i + IRR_i - ET_{c_i} - Dp \quad [2.2.3-5]$$

โดยที่	ST_i	คือ ระดับน้ำในแปลงนาของวันปัจจุบัน
	ST_{i-1}	คือ ระดับน้ำในแปลงนาของวันก่อนหน้า
	Re_i	คือ ปริมาณฝนใช้การในวันปัจจุบัน
	IRR_i	คือ ปริมาณน้ำชลประทานที่พืชได้รับ
	ET_{c_i}	คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืชในวันปัจจุบัน
	Dp	คือ ปริมาณน้ำที่ไหลซึมเลยเขตราก



รูปที่ 2.2.3-4 สมดุลน้ำในนาข้าวสำหรับแบบจำลอง

5) การคำนวณปริมาณน้ำที่ให้แก่พืช

การคำนวณความลึกของน้ำที่ให้แก่พืช เป็นคำนวณปริมาณน้ำในหน่วยความลึกที่ต้องให้เพื่อเพิ่มความชุ่มชื้นให้แก่ดิน โดยจะพิจารณาความลึกของรากพืชร่วมด้วย โดยคำนวณปริมาณน้ำสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.2.3-6

$$dw = Pw \times As \times dp \quad [2.2.3-6]$$

โดยที่ dw คือ หน่วยความลึกของน้ำในดินที่จะให้ (มิลลิเมตร)
 dp คือ ความลึกของรากพืช (มิลลิเมตร)
 As คือ ความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน
 Pw คือ ร้อยละของความชื้นที่ต้องให้แก่พืชจากความชื้นที่กำหนดการให้น้ำถึงที่จุดความชื้นชลประทาน

2.3 แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า

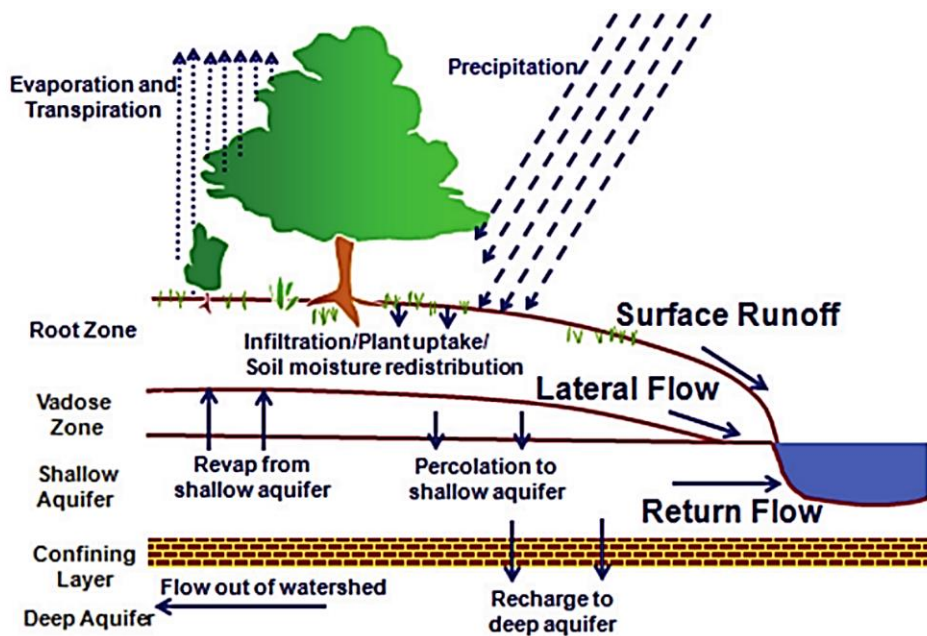
การศึกษาครั้งนี้ได้มีการประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า 2 แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลอง Soil and Water Assessment Tool (SWAT) และแบบจำลอง DWCM-AgWU โดยมีรายละเอียดของแต่ละแบบจำลองดังนี้

2.3.1 แบบจำลอง SWAT

แบบจำลอง SWAT (Soil and Water Assessment Tool) เป็นแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าที่พัฒนาโดยความร่วมมือระหว่าง USDA Agricultural Research Service (ARS) และ Blackland Research & Extension Center สามารถใช้ประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน และ/หรือการ

เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีผลต่อปริมาณน้ำ ปริมาณตะกอน สารเคมีที่ใช้ในการเกษตรในพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีลักษณะของดินและการใช้ประโยชน์ที่ดินที่หลากหลาย นอกจากนี้ยังสามารถใช้สำหรับพื้นที่ที่ไม่มีการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดทางด้านอุทกวิทยา (No gauge station) เพื่อใช้ประเมินถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ต้องการศึกษา

แบบจำลอง SWAT เป็นแบบจำลองทางกายภาพ (Physically based model) ซึ่งจะใช้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ลุ่มน้ำหลายปัจจัย เช่น สภาพอากาศ ลักษณะและคุณสมบัติของดิน ลักษณะของพื้นที่ลุ่มน้ำ เช่น ความสูงของพื้นที่ลุ่มน้ำ เส้นลำน้ำ การใช้ประโยชน์ที่ดิน เพื่อจำลองลักษณะด้านอุทกวิทยาของแหล่งน้ำ โดย SWAT มีลักษณะของแบบจำลองที่เป็นแบบ Distributed-parameter model ซึ่งจะแบ่งพื้นที่ในลุ่มน้ำหลักเป็นลุ่มน้ำย่อย (Sub-watershed) และในแต่ละลุ่มน้ำย่อยจะถูกแบ่งเป็นเป็นกลุ่มย่อยเรียกว่า Hydrological Response Unit (HRUs) โดยขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน ชนิดของดิน และความชันของพื้นที่ ซึ่งลักษณะทางด้านอุทกวิทยาในแต่ละ HRU จะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป โดยวงจรอุทกวิทยาที่ถูกใช้ในแบบจำลอง SWAT แสดงดังรูปที่ 2.3.1-1



รูปที่ 2.3.1-1 แผนภาพวงจรอุทกวิทยาที่ใช้ในแบบจำลอง SWAT (Amatya et.al., 2013)

แบบจำลอง SWAT จะจำลองลักษณะทางอุทกวิทยาโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนพื้นดิน (Land phase) และส่วนการเคลื่อนตัวของน้ำ (Routing phase) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) แบบจำลองในส่วนพื้นดิน (Land phase) ประกอบไปด้วยสมการหลักได้แก่สใช้สมการสมดุลน้ำ (Water balance equation) เป็นสมการหลักในการคำนวณ แสดงดังสมการที่ 2.3.1-1

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad [2.3.1-1]$$

โดยที่ SW_t คือ ปริมาณน้ำสุดท้ายที่คงเหลืออยู่ในดิน (มม.)

SW_0 คือ ปริมาณน้ำเริ่มต้นที่อยู่ในดินของวันที่ i (มม.)

- t คือ ช่วงเวลา (วัน)
- R_{day} คือ ปริมาณน้ำฝนของวันที่ i (มม.)
- Q_{surf} คือ ปริมาณน้ำผิวดินของวันที่ i (มม.)
- E_a คือ ปริมาณการคายระเหยน้ำ (Evapotranspiration) (มม.)
- W_{seep} คือ ปริมาณน้ำที่สูญเสียออกจากหน้าตัดดิน (Soil profile) ของวันที่ i (มม.)
- Q_{gw} คือ ปริมาณน้ำใต้ดินของวันที่ i (มม.)

โดยแบบจำลองในส่วนพื้นดินมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

1.1 สภาพภูมิอากาศ: ข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่ต้องนำเข้าสู่แบบจำลอง SWAT ได้แก่ ข้อมูลปริมาณฝนรายวันหรือรายชั่วโมง อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด ความชื้นแสงแดด ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์โดยสามารถนำเข้าได้จากข้อมูลการตรวจวัด หรือ SWAT สามารถสร้างข้อมูลขึ้นมาได้โดยการใช้แบบจำลองที่อยู่ในเรียกว่า Weather Generator

1.2 ปัจจัยทางด้านอุทกวิทยา: ปัจจัยทางด้านอุทกวิทยาที่เกี่ยวข้องในส่วนของพื้นดินประกอบด้วยหลายปัจจัย ได้แก่ ปริมาณน้ำกักเก็บของพืช (Canopy storage) การซึมของน้ำผ่านดิน (Infiltration) การซึมของน้ำผ่านดินแบบต่อเนื่องเมื่อไม่มีการเติมของน้ำบนดิน (Redistribution) อัตราการคายระเหย (Evapotranspiration) การไหลของน้ำด้านข้างชั้นใต้ดิน (Lateral subsurface flow) ปริมาณน้ำท่าผิวดิน (Surface runoff) แหล่งกักเก็บน้ำ (Ponds) ลำน้ำสายย่อย (Tributary channels) ปริมาณน้ำใต้ดินที่ไหลสู่ลำน้ำหลัก (Base flow) โดยรูปแบบการเคลื่อนที่ของน้ำใน SWAT แสดงดังรูปที่ 2.3.1-2

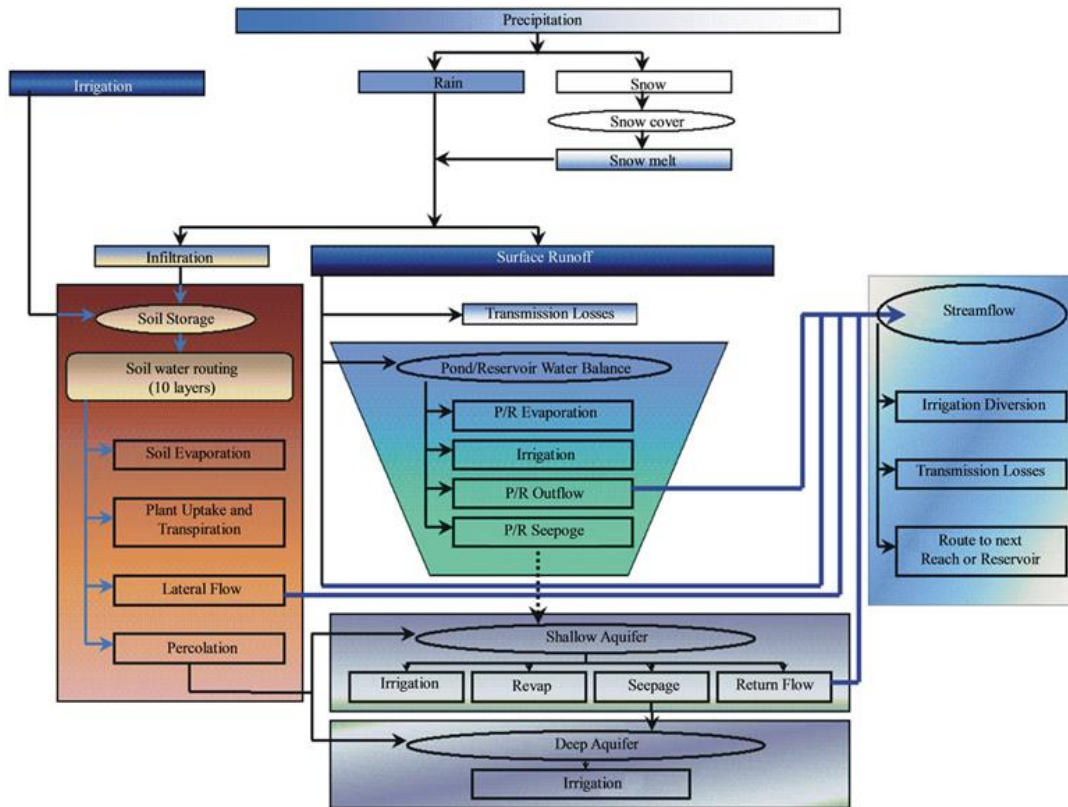
1.3 สิ่งปกคลุมผิวดิน: SWAT สามารถประเมินปัจจัยทางด้านอุทกวิทยาที่เกิดขึ้นกับกลุ่มน้ำเมื่อมีสิ่งปกคลุมดินที่แตกต่างกันโดยจะพิจารณาถึงลักษณะต่าง ๆ เช่น การเจริญเติบโตของพืช การคายระเหย รวมถึงปริมาณการใช้ธาตุอาหารของพืชแต่ละประเภท

1.4 การชะล้างพังทลายของดิน: SWAT ใช้สมการ Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE) เป็นสมการหลักในการประเมินถึงการชะล้างพังทลายของดิน

1.5 ธาตุอาหาร: SWAT สามารถใช้ในการประเมินถึงการเคลื่อนที่รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารประเภทต่าง ๆ โดยธาตุอาหารหลักที่สามารถใช้ SWAT ในการประเมินได้ได้แก่ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

1.6 สารกำจัดศัตรูพืช: สำหรับพื้นที่ทางการเกษตรที่มีการใช้สารกำจัดศัตรูพืช SWAT สามารถประเมินการเคลื่อนที่ของสารกำจัดศัตรูพืชที่จะลงสู่แหล่งน้ำ หรือสะสมอยู่ในชั้นดิน

1.7 การจัดการพื้นที่: เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน หรือการจัดการพื้นที่เพื่อใช้ในการเพาะปลูก SWAT สามารถประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการจัดการพื้นที่ที่จะมีผลต่อปัจจัยต่าง ๆ เช่นการเคลื่อนที่ของธาตุอาหาร หรือการเคลื่อนที่ของสารกำจัดศัตรูพืช เมื่อมีกิจกรรมการเพาะปลูกในพื้นที่ เป็นต้น



รูปที่ 2.3.1-2 การเคลื่อนที่ของน้ำในแบบจำลอง SWAT (Neitsch et al, 2011)

2) **แบบจำลองส่วนการเคลื่อนตัวของน้ำ (Routing phase)** ในแบบจำลอง SWAT จะแบ่งการจำลองออกเป็น 2 ส่วนหลักได้แก่ 1) การเคลื่อนตัวของน้ำในลำน้ำ (Routing in the main channel or reach) และ 2) การเคลื่อนตัวของน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Routing in the reservoir) โดยในส่วนการเคลื่อนตัวของน้ำแบ่งออกเป็น 4 ส่วนย่อยได้แก่ การเคลื่อนตัวของน้ำท่วม (Flood routing) การเคลื่อนตัวของตะกอน (Sediment routing) การเคลื่อนตัวของธาตุอาหาร (Nutrient routing) และการเคลื่อนตัวของสารกำจัดศัตรูพืช (Channel pesticide routing) สำหรับการเคลื่อนตัวของน้ำในอ่างเก็บน้ำจะแบ่งย่อยออกเป็น 4 ส่วนได้แก่ การไหลออกของน้ำจากอ่างเก็บน้ำ (Reservoir outflow) ตะกอนในอ่างเก็บน้ำ (Sediment routing) ธาตุอาหารในอ่างเก็บน้ำ (Reservoir nutrient) และสารกำจัดศัตรูพืชในอ่างเก็บน้ำ (Reservoir pesticides)

ในปัจจุบันแบบจำลอง SWAT ได้ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในหลายพื้นที่ทั่วโลก เนื่องจากความสามารถของแบบจำลองที่สามารถใช้ในการประเมินปัจจัยทางด้านอุทกวิทยาได้ในหลายส่วน เช่น ปริมาณน้ำท่า ปริมาณตะกอน และเรื่องของคุณภาพน้ำ นอกจากนี้แบบจำลอง SWAT ยังสามารถพิจารณาถึงผลการเปลี่ยนแปลงการจัดการพื้นที่ การใช้ประโยชน์ที่ดิน รวมถึงการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้นที่จะมีผลต่อปัจจัยทางด้านอุทกวิทยา จากการศึกษาของ Trambauer et al. (2013) ที่ได้ทำการศึกษา

เพื่อหาแบบจำลองที่เหมาะสมในการทำนายถึงสถานะแห้งแล้งในพื้นที่แอฟริกา โดยจากการเปรียบเทียบแบบจำลองทั้งสิ้น 16 แบบ พบว่าแบบจำลอง SWAT เป็นหนึ่งในห้าแบบจำลองที่เหมาะสมในการประเมินสถานะแห้งแล้ง เนื่องจากมีปัจจัยที่สำคัญที่ใช้ในการคำนวณเช่น Transmission losses ของทางน้ำ รวมถึงค่า re-infiltration และอัตราการระเหยของน้ำผิวดิน

แบบจำลอง SWAT ได้ถูกนำไปใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่าเพื่อใช้ในการบริหารจัดการลุ่มน้ำในหลากหลายด้าน เช่น การใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่าในสำหรับพื้นที่ที่ไม่มีการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัด ตัวอย่างเช่น Emam et al. (2016) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT ในการประเมินถึงปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยและปริมาณน้ำท่าสูงสุด ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ที่ไม่มีการติดตั้งสถานีตรวจวัดน้ำท่าบริเวณตอนกลางของประเทศเวียตนาม Ramos and Martinez-Casasnovia (2015) ได้ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำในดินและข้อมูลของปริมาณน้ำท่าเพื่อปรับเทียบแบบจำลอง SWAT สำหรับใช้ในพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีกิจกรรมทางการเกษตรและไม่มีการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัด โดยผลการศึกษาพบว่า SWAT สามารถประเมินปริมาณน้ำในดิน ปริมาณน้ำท่าผิวดิน และการชะล้างพังทลายของดินในช่วงที่มีระดับฝนเฉลี่ยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนั้นเป็นที่ทราบกันดีว่าปัจจัยการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นปัจจัยหลักซึ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้น ได้มีการศึกษาวิจัยโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT เพื่อประเมินผลถึงเรื่องดังกล่าวอย่างแพร่หลาย เช่น ลักษณะและคณะ (2557) ได้ประเมินการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่มีผลต่อปริมาณน้ำท่ารายวันและรายเดือนในพื้นที่ลุ่มน้ำชี โดยประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT ผลการศึกษาพบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากพื้นที่นาเป็นสิ่งปลูกสร้างร้อยละ 40 ส่งผลให้ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.2 และส่งผลต่อปริมาณน้ำท่าหลากในช่วงสูงสุด (Peak flow) ร้อยละ 18.3 Baker and Miller (2013) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT เพื่อประเมินถึงผลการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีต่อปริมาณน้ำท่าบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำอาฟริกาตะวันออก โดยผลการศึกษาพบว่าการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในบริเวณนี้ส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นของน้ำท่าผิวดินและลดลงของปริมาณน้ำใต้ดิน

การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่า หรือการเปลี่ยนแปลงปัจจัยทางด้านอุทกวิทยาอื่นๆในอนาคตยังสามารถประเมินได้โดยการใช้แบบจำลอง SWAT เช่นจากการศึกษาของ Sittichok et al. (2016) ได้ทำนายปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำ Sirba ในประเทศ Niger และ Burkina Faso โดยใช้แบบจำลอง SWAT ร่วมกับปริมาณฝนคาดการณ์ที่ได้จากการใช้ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเป็นตัวแปรตั้งต้น (Predictor) ซึ่งผลจากการสอบเทียบแบบจำลอง SWAT กับปริมาณน้ำท่าตรวจวัดให้ค่าความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดี และสามารถใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.3.2 แบบจำลอง DWCM-AgWU

แบบจำลอง Distributed Water Circulation Model incorporating with Agricultural Water Use (DWCM-AgWU) เริ่มพัฒนาขึ้นและประยุกต์ใช้กับลุ่มน้ำโขงในปี ค.ศ. 2008 โดยนักวิจัยจากสถาบัน National Institute for Rural Engineering โดยพื้นที่ลุ่มน้ำโขงถูกแบ่งเป็นพื้นที่ย่อย (เซลล์) ขนาด 10 กม.×10 กม. แบบจำลองคำนวณการไหลเวียนของน้ำในแต่ละเซลล์ตลอดพื้นที่ลุ่มน้ำโดยพิจารณาการใช้ น้ำทางภาคเกษตรโดยเฉพาะข้าวที่ใช้น้ำฝนในการเพาะปลูก (Rain-fed paddy) ผ่านแบบจำลองย่อย 4 แบบจำลอง (รูปที่ 2.3.2-1) ได้แก่

- แบบจำลองย่อยการประมาณการณ์การคายระเหยของพืชอ้างอิง
- แบบจำลองย่อยการพยากรณ์ระยะเวลาและพื้นที่การเพาะปลูก
- แบบจำลองย่อยการคำนวณใช้น้ำในนาข้าว
- แบบจำลองย่อยน้ำท่า

สำหรับการพัฒนาแบบจำลองย่อยเพื่อการพิจารณาน้ำทางด้านชลประทานประกอบด้วยไป ด้วย 2 ส่วนหลักได้แก่ แบบจำลองย่อยการบริหารจัดการน้ำในอ่างเก็บน้ำและแบบจำลองการจัดสรรน้ำพื้นที่ ชลประทาน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) แบบจำลองย่อยการบริหารจัดการน้ำอ่างเก็บน้ำ

แบบจำลองการจัดการอ่างเก็บน้ำถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มศักยภาพของโมเดลในการคำนวณการ ไหลเวียนของน้ำที่ผ่านกิจกรรมที่ควบคุมโดยการจัดการของมนุษย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งการจัดการน้ำในอ่างเก็บ น้ำ โดยแบบจำลองนี้ถูกเชื่อมโยงเข้ากับแบบจำลองย่อยน้ำท่าโดยสมมติว่าเขื่อนถูกสร้างกั้นลำน้ำระหว่างเซลล์ โดยแบบจำลองนี้คำนวณปริมาณน้ำเก็บกัก $V_{res}(t)$ โดยพิจารณาจากปริมาณน้ำไหลเข้า $Q_{res\ sin}$ ปริมาณน้ำที่ ระบายจากอ่างเก็บน้ำ $Q_{res\ out}$ และปริมาณน้ำที่เก็บกักในช่วงเวลาก่อนหน้า $V_{res}(t-1)$ โดยช่วงของการ คำนวณเป็นวันตามสมการที่ 2.3.2-1

$$V_{res}(t) = V_{res}(t-1) + (Q_{res\ sin}(t) - Q_{res\ out}(t))\Delta t \quad [2.3.2-1]$$

โดยที่ปริมาณน้ำไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำคือปริมาณน้ำที่ไหลจากเซลล์ด้านเหนือน้ำที่ได้จากการ คำนวณของแบบจำลองย่อยน้ำท่า และปริมาณน้ำที่ระบายจากอ่างเก็บน้ำนั้นคำนวณจากความต้องการน้ำ เพื่อชลประทาน เพื่ออุปโภคและบริโภค เพื่อรักษาระบบนิเวศ เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า และการระบายน้ำ ผ่านอาคารระบายน้ำล้น (spillway)

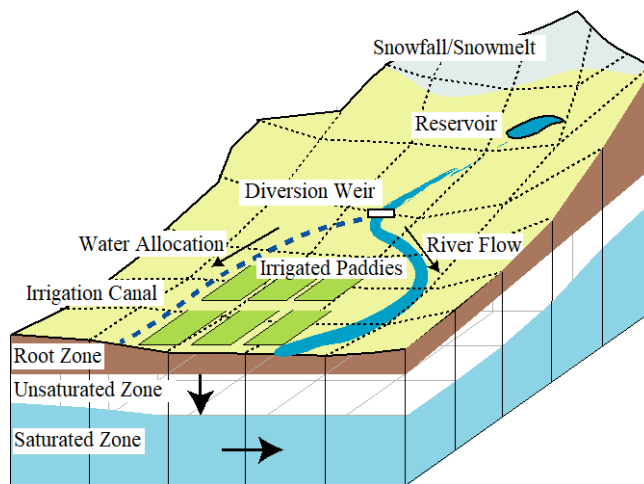
2) แบบจำลองการจัดสรรน้ำเพื่อพื้นที่ชลประทาน

แบบจำลองนี้ถูกเชื่อมโยงกับแบบจำลองย่อยการคำนวณใช้น้ำในนาข้าว เพื่อที่จะคำนวณ ปริมาณน้ำชลประทานที่ผันเข้าสำหรับพื้นที่นาข้าวในเขตชลประทาน โดยคำนึงถึงปริมาณความต้องการน้ำจาก นาข้าว (Q_{dmnd}) ความสามารถในการรับของอาคารรับน้ำ (Q_{cap}) และปริมาณน้ำที่มีอยู่ในแม่น้ำ (Q_{riv}) ตาม

สมการที่ 2.3.2-2 โดยที่ปริมาณน้ำที่ผันเข้าสู่พื้นที่ชลประทานจะพิจารณาจากปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดที่พิจารณาจากองค์ประกอบทั้งสามในสมการ

$$Q_{div} = \min(Q_{riv}, Q_{cap}, Q_{dmd}) \quad [2.3.2-2]$$

ปริมาณน้ำที่ผันเข้าสู่พื้นที่ชลประทานจะถูกส่งไปสู่พื้นที่นาข้าวในแต่ละเซลล์ตามลำดับโดยคำนึงถึงลำดับในการรับน้ำชลประทานของแต่ละคลองซอย คลองแยกซอย ระยะห่างของจุดที่ตั้งพื้นที่นาข้าวกับคลองส่งน้ำ และระดับพื้นที่ของนาข้าว



รูปที่ 2.3.2-1 องค์ประกอบคำนวณของแบบจำลอง DWCM-AgWU

แบบจำลอง DWCM-AgWU ได้ถูกพัฒนาโดยมีวัตถุประสงค์เริ่มต้นในการพัฒนาเพื่อคำนวณการไหลเวียนของน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำร่วมกับการใช้น้ำภาคเกษตรกรรม และมีงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาและประยุกต์ใช้แบบจำลองนี้อย่างต่อเนื่องและหลากหลาย โดยงานวิจัยที่มุ่งเน้นเพื่อศึกษาพฤติกรรมของการไหลของน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำ ร่วมกับการบริหารจัดการน้ำทั้งในระดับลุ่มน้ำ และ/หรือ โครงการชลประทาน เช่น (Masumoto et al., 2009; Taniguchi et al., 2009; Kudo et al., 2013 และ Vongphet et al. 2016) และงานวิจัยที่ไปประยุกต์ใช้กับการคำนวณปริมาณและทิศทางการไหลของน้ำหลากหรือน้ำท่วม เช่น (Yoshida et al., 2012; Vongphet et al. 2015 และ Yoshioka et al., 2015)

Masumoto et al., 2009 และ Taniguchi et al., 2009 พัฒนาแบบจำลอง DWCM-AgWU ขึ้นเพื่อวิเคราะห์วัฏจักรของน้ำร่วมกับการใช้น้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำโขง แบบจำลองมีเป้าหมายเพื่อคำนวณปริมาณน้ำท่าและปริมาณน้ำชลประทานที่เหมาะสมเพื่อพื้นที่นาข้าวในพื้นที่โครงการชลประทานของพื้นที่ลุ่มแม่น้ำโขง ต่อเนื่องหลายปี โดยพิจารณาน้ำชลประทานที่จัดสรรให้แก่ นาข้าวจากปริมาณน้ำที่มีในแม่น้ำที่ตำแหน่งหัวงาน กับความต้องการน้ำของนาข้าว โดยไม่มีการจัดสรรน้ำภายในพื้นที่โครงการ

Kudo et al., 2013 ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีต่อการไหลเวียนของน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำมูลและลุ่มน้ำชี ในการศึกษาครั้งนี้ผู้ทำการวิจัยได้ปรับปรุงแบบจำลองโดยพัฒนาแบบจำลองย่อยการบริหารจัดการน้ำในอ่างเก็บน้ำ และการจัดสรรน้ำในพื้นที่โครงการ (โดยรายละเอียดได้ถูกอธิบายไว้ในหัวข้อ 8). เพื่อหาแนวทางการบริหารจัดการน้ำร่วมกับโครงสร้างทางด้านชลประทาน เช่น อ่างเก็บน้ำ เขื่อนทดน้ำ และคลองส่งน้ำในพื้นที่โครงการชลประทานของพื้นที่ลุ่มน้ำมูล และลุ่มน้ำชี

Vongphet et al., 2014 & 2016 ประยุกต์ใช้แบบจำลองกับลุ่มน้ำเจ้าพระยา ซึ่งประกอบด้วย ลุ่มน้ำปิง วัง ยม น่าน เจ้าพระยา ป่าสัก สะแกกรัง โดยมีเป้าหมายเพื่อปรับปรุงแบบจำลองให้สามารถคำนวณ ปริมาณน้ำโดยพิจารณาการบริหารจัดการน้ำโดยโครงสร้างทางชลประทานทั้งอ่างเก็บน้ำ เขื่อนทดน้ำ และ คลองส่งน้ำ ทั้งในปีน้ำน้อยและปีน้ำท่วม โดยผู้ทำการวิจัยได้ปรับปรุงแบบจำลองย่อยด้านการบริหารจัดการน้ำ ในอ่างเก็บน้ำของ Kudo et al. (2013) ให้สามารถบริหารจัดการน้ำร่วมกันระหว่างอ่างเก็บน้ำหลายอ่าง เช่น อ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ และเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน เข้ากับพื้นที่โครงการชลประทานที่ตั้งอยู่ ระยะไกล เช่น โครงการชลประทานกำแพงเพชร โครงการชลประทานพิษณุโลก และโครงการชลประทาน เจ้าพระยาใหญ่ อีกทั้งเพิ่มหลักเกณฑ์ในการผันน้ำผ่านคลองชลประทานในฝั่งตะวันออกและฝั่งตะวันตกของ พื้นที่โครงการชลประทานเจ้าพระยาใหญ่ในช่วงเวลาน้ำหลาก

Yoshida et al., 2012 ศึกษาการปริมาณน้ำหลากบริเวณพื้นที่ราบของลุ่มน้ำจิม ประเทศ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว โดยการเปลี่ยนปริมาณน้ำท่า ณ จุดพื้นที่ศึกษาเป็นระดับน้ำ และ คำนวณปริมาณน้ำหลากที่ล้นข้ามตลิ่งผ่านสมการการไหลข้ามสันฝาย และคำนวณปริมาตรของน้ำท่วมทั้งหมด ในพื้นที่ลุ่มน้ำ

Vongphet et al. 2015 พัฒนาแบบจำลองต้นแบบ A Seamless-DIF ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ถูก พัฒนาต่อยอดจากแบบจำลอง DWCM-AgWU โดยการเพิ่มความสามารถของแบบจำลอง DWCM-AgWU ให้ สามารถคำนวณการเคลื่อนที่ของน้ำหลากแบบ 2 มิติ ภายใต้การบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา (Vongphet et al., 2014 & 2016) โดยแบบจำลองนี้สามารถเป็นเครื่องมือคำนวณการเคลื่อนที่ของน้ำภายใต้ ได้อย่างการบริหารจัดการน้ำ ต่อเนื่องทั้งในสภาวะปกติ น้ำท่วม และ แล้ง

Yoshioka et al. 2015 ประยุกต์ใช้แบบจำลองในพื้นที่ลุ่มน้ำแฉ่งซึ่งเป็นลำน้ำสาขาของพื้นที่ลุ่มน้ำจิม เพื่อศึกษาปริมาณน้ำหลากภายใต้การบริหารจัดการประตูระบายน้ำที่ปากแม่น้ำแฉ่งเนื่องจากระดับน้ำที่สูงใน แม่น้ำจิม เพื่อที่จะหาแนวทางป้องกันน้ำท่วมบริเวณพื้นที่ราบลุ่มของลุ่มน้ำแฉ่งเนื่องจากปรากฏการณ์น้ำเหิน (Backwater effect)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

กระบวนการดำเนินงานวิจัยในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ การประเมินสถานะความชื้นแบบใกล้เวลาจริง (Near-real time) โดยภาพถ่ายจากดาวเทียม (2) การประเมินสถานะการขาดแคลนน้ำในอนาคตอันใกล้โดยการใช้แบบจำลองวิเคราะห์สภาพการขาดแคลนน้ำ และ (3) การวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละครั้ง โดยมีภาพรวมการวิจัยแสดงดังรูปที่ 3.1 โดยข้อมูลที่ทำให้การรวบรวมได้แก่ข้อมูลสภาพอากาศ ลักษณะสภาพพื้นที่ ข้อมูลการเพาะปลูก ข้อมูลความต้องการน้ำในพื้นที่ และข้อมูลผลการปฏิบัติการฝนหลวงจะถูกนำเข้าสู่แบบจำลองเพื่อประเมินสถานะการขาดแคลนน้ำของพืช โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินสถานะการขาดแคลนน้ำของพืชในแต่ละจุดพื้นที่ที่ศึกษาจะถูกนำประเมินร่วมกับผลลัพธ์ข้อมูลค่าความชื้นได้จากภาพถ่ายดาวเทียมและจากการตรวจวัดความชื้น

3.1 การประเมินความชื้นในดินแบบใกล้เวลาจริง (Near-real time) โดยภาพถ่ายดาวเทียม

การประเมินสถานะการขาดแคลนน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมจะเป็นการศึกษาค้นคว้าโดยต่อยอดจากงานวิจัยในระยะที่ 1 เป็นการมุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงกระบวนการประมวลผลภาพเพื่อแก้ปัญหาข้อมูลภาพที่ไม่สมบูรณ์เพื่อให้เพียงพอต่อการใช้งาน และมีการติดตามตรวจสอบข้อมูลการตรวจวัดความชื้นในดินจากภาคสนาม โดยมีรายละเอียดการดำเนินงานดังนี้

3.1.1 การเติมเต็มข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในส่วนที่ขาดหายไป (gap-filling) และการทบทวนกระบวนการประมวลผลภาพ (image re-preprocessing)

1) ทบทวนชุดข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิว (surface temperature, T_s) จากภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ในงานวิจัยการวิเคราะห์ภาวะการขาดแคลนน้ำในเขตลุ่มน้ำเพชรบุรีในระยะที่ 1 โดยพิจารณาข้อมูลภาพที่มีจุดภาพขาดหายไปเนื่องจากสภาพเมฆปกคลุม จากนั้นจะคัดเลือกและประยุกต์เทคนิคการสร้างข้อมูลใหม่ (reconstruct) ที่เหมาะสมสำหรับเติมข้อมูลจุดภาพที่ขาดหายไปเนื่องจากสภาพเมฆบดบัง และตรวจสอบความน่าเชื่อถือของการคำนวณจากข้อมูลตรวจวัดโดยสถานีอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่

2) นำข้อมูลภาพอุณหภูมิพื้นผิวที่ได้รับการเติมเต็มข้อมูลไปปรับผลการคำนวณความชื้นและสภาพการขาดแคลนน้ำในดิน (SMD) จากค่าดัชนีความแห้งแล้งตามแนวทางปริภูมิอุณหภูมิพื้นผิว-ดัชนีพืชพรรณ (T_s/VI feature space) จากงานวิจัยในระยะที่ 1

3.1.2 การตรวจสอบความสมเหตุสมผลของการแปลผลความชื้นในดินจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมร่วมกับเซนเซอร์วัดความชื้นในดินแบบ IOT

1) สำรวจภาคสนาม เพื่อกำหนดจุดติดตั้งเครื่องมือวัดความชื้นในดินให้ครอบคลุมพื้นที่ทั้งในเขตและนอกเขตชลประทานและชนิดพืชที่แตกต่างกัน

2) สอบเทียบเซนเซอร์วัดความชื้นดินโดยคำนวณหาเนื้อดิน ค่าความชื้นที่จุดอิ่มตัว (saturate point: SAT) ค่าความชื้นชลประทาน (field capacity: FC) และค่าความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร (permanent wilting point: PWP) ของดินแต่ละชุดในทุกจุดที่ติดตั้งเซนเซอร์วัดความชื้นดิน จากนั้นแบ่งช่วงชั้นความชื้นในดินเทียบกับค่าสัญญาณทางไฟฟ้าที่ตรวจวัดจากเซนเซอร์ทีละช่วง และสร้างสมการสำหรับสอบเทียบค่าสัญญาณทางไฟฟ้ากับค่าความชื้นในดิน

3) ติดตั้งเซนเซอร์ตรวจวัดความชื้นดินในเขตรากพืช ทำการบันทึกจัดเก็บข้อมูลแบบอัตโนมัติ และแสดงผลความชื้นในดินอย่างต่อเนื่องแบบใกล้เวลาปัจจุบัน (near-real time) ผ่านเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตออฟติงส์ (internet of things, IoT)

4) ตรวจสอบความสมเหตุสมผลของการแปลผลความชื้นในดินจากภาพถ่ายดาวเทียมกับการตรวจวัดจากเครื่องมือที่ติดตั้งในภาคสนาม

3.2 การประเมินความชื้นในดินโดยแบบจำลองวิเคราะห์ค่าความชื้น

การคำนวณปริมาณความชื้นดินในวันปัจจุบันคำนวณโดยพิจารณาความชื้นในวันก่อนหน้าร่วมกับปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นและลดลง โดยที่ปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นพิจารณาจากปริมาณฝนใช้การที่ตกลงไปในพื้นที่และปริมาณน้ำชลประทานที่ส่งไปยังพื้นที่ซึ่งทำให้ความชื้นในดินสูงขึ้น ส่วนปริมาณน้ำที่ลดลงพิจารณาจากการคายระเหยน้ำ (การคายน้ำของพืชและการระเหยของน้ำบริเวณพื้นที่เพาะปลูก) โดยที่ความชื้นดินของวันเริ่มต้นมีค่าเท่ากับที่จุดความชื้นชลประทาน เมื่อปริมาณความชื้นในดินต่ำกว่าความชื้นที่จุดวิกฤติที่พิจารณาจากความสามารถในการขาดน้ำรวมกับคุณสมบัติของดิน จะมีการคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องให้แก่พืช และจะมีการคำนวณต่อในวันถัดไป หรือปริมาณความชื้นในดินสูงกว่าความชื้นที่จุดวิกฤติจะมีการคำนวณต่อในวันถัดไป ซึ่งแบบจำลองจะมีการคำนวณความชื้นในดินตั้งแต่วันที่เริ่มการเพาะปลูกพืชถึงวันปัจจุบัน และแสดงผลการจำลองความชื้นดินในวันปัจจุบัน โดยมีรายละเอียดของกระบวนการทำงานของแบบจำลองดังนี้

1) ฐานข้อมูลสภาพภูมิอากาศ นำเข้าข้อมูลโดยสถานีตรวจวัดอากาศอัตโนมัติที่ติดตั้งในพื้นที่ศึกษา มีการตรวจวัดทุก 15 นาที การเตรียมข้อมูลสำหรับน้ำเข้าแบบจำลองโดยการกำหนดช่วงข้อมูลโดยใช้ข้อมูลที่ตรวจวัด 07:00 น. ของวันก่อนหน้าถึง 06:59 น. เป็นค่าสภาพภูมิอากาศในวันปัจจุบันซึ่งเป็นรูปแบบข้อมูลแบบเดียวกับการรายงานผลจากการตรวจวัดโดยกรมอุตุนิยมวิทยา มีปัจจัยทางภูมิอากาศที่สำคัญในการคำนวณประกอบด้วย อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ความเร็วลมที่ความสูง 2 เมตร จากผิวดิน ความยาวชั่วโมงแสงแดด และปริมาณน้ำฝน

2) ฐานข้อมูลพืช รวบรวมข้อมูลของพืชที่จำเป็นต่อการคำนวณกำหนดการให้น้ำกับพืชคือข้อมูลทางกายภาพ ประกอบด้วยความยาวรากพืชใช้การ และข้อมูลพฤติกรรมการใช้ น้ำของพืช ประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop Coefficient) และค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นที่ยอมให้ลดลงได้ (Depletion

Fraction) ซึ่งข้อมูลของพืชจากฐานข้อมูลมีความสำคัญในการคำนวณปริมาณน้ำที่พืชใช้ ส่งผลต่อความชื้นในดินที่ลดลง การเก็บกักปริมาณน้ำในดินรวมถึงความสามารถในการทดต่อการขาดน้ำ

3) ฐานข้อมูลดิน นำเข้าคุณสมบัติของดินเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความสามารถในการเก็บกักน้ำในดิน ซึ่งมีความสำคัญต่อการกำหนดการให้น้ำพืชได้แก่ ความชื้นที่จุดชลประทาน (Field Capacity; FC) และความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาวร (Permanent Wilting Point; PWP) ซึ่งเป็นค่าที่หาได้จากการเก็บตัวอย่างดินและทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

4) ปริมาณการคายระเหยของพืช นำเข้าข้อมูลจากฐานข้อมูลสภาพภูมิอากาศ โดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ความเร็วลมที่ความสูง 2 เมตรจากผิวดิน ความยาวชั่วโมงแสงแดด ที่เป็นข้อมูลรายวัน เพื่อคำนวณปริมาณการคายระเหยของพืชอ้างอิง (ET_0) และพิจารณารวมกับสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (K_c) จะได้ปริมาณการคายระเหยของพืช

5) การคำนวณความชื้นในดิน คำนวณโดยหลักสมดุลน้ำในดิน ข้อมูลพิจารณาคือความชื้นดินในวันก่อนหน้า ปริมาณการคายระเหยของพืชที่คำนวณได้ในแบบจำลอง ปริมาณฝนใช้การจากการนำเข้าโดยฐานข้อมูลสภาพภูมิอากาศ

3.3 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติการฝนหลวง

ในขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติการฝนหลวง แบบจำลอง SWAT และแบบจำลอง DWCM ที่ได้ทำการปรับเทียบและทวนสอบเสร็จสิ้นจากการศึกษาในปีที่ผ่านมาจะถูกนำมาใช้ในการประเมินปริมาณน้ำฝนที่เกิดจากการปฏิบัติการฝนหลวงในปัจจุบันและจากฝนธรรมชาติทั้งที่เกิดขึ้นในปัจจุบันและเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้ โดยการประเมินปริมาณน้ำท่าในช่วงปัจจุบันจะดำเนินการต่อเนื่องเช่นเดียวกับการดำเนินงานในปีที่ 1 ที่ได้ดำเนินการปรับเทียบและทวนสอบแบบจำลองโดยมีการใช้ข้อมูลปริมาณฝนจาก 3 แหล่ง ได้แก่ ปริมาณฝนตรวจวัดจากสถานี (Station) ปริมาณฝนดาวเทียม (JAXA) และปริมาณฝนเรดาร์ (Radar) เนื่องจากข้อจำกัดจากลักษณะของข้อมูลและช่วงระยะเวลาที่มีข้อมูล เช่นปริมาณฝนตรวจวัดจากสถานีจะไม่ครอบคลุมในพื้นที่สูงบริเวณด้านเหนือของอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน นอกจากนั้นการเข้าถึงข้อมูลของปริมาณฝนดาวเทียมและปริมาณฝนเรดาร์ที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งในการดำเนินงานในปีที่ 2 ในการประเมินความแตกต่างของปริมาณน้ำท่ายังแสดงให้เห็นถึงการใช้อุปกรณ์ปริมาณฝนจากทั้ง 3 แหล่งที่แตกต่างกัน โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1) ตรวจสอบการขึ้นปฏิบัติการของฝนหลวงในพื้นที่ศึกษาในช่วงปัจจุบัน พร้อมทั้งเก็บข้อมูลปริมาณฝนที่เกิดขึ้นในช่วงวันของการปฏิบัติการ

2) ตรวจสอบข้อมูลการพยากรณ์ฝน 7 วันล่วงหน้าจากหน่วยงานต่าง ๆ เช่น กรมอุตุนิยมวิทยาหรือหน่วยงานอื่น ๆ เช่น OpenWeather ของประเทศอังกฤษ พร้อมทั้งตรวจสอบความพร้อมในการดาวน์โหลดข้อมูล

- 3) นำข้อมูลปริมาณฝนที่จากการปฏิบัติการของฝนหลวง ข้อมูลตรวจวัดปริมาณฝนปัจจุบัน และจากการตรวจสอบข้อมูลพยากรณ์ 7 วันล่วงหน้าเข้าสู่แบบจำลอง
- 4) ประเมินถึงปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นโดยแบ่งได้ออกเป็น 2 ส่วนได้แก่
 - a. ปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติการฝนหลวง โดยจะพิจารณาเฉพาะในพื้นที่ที่มีการปฏิบัติการฝนหลวง
 - b. ปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจากฝนธรรมชาติ โดยจะพิจารณาในเขตพื้นที่ที่ไม่มีการปฏิบัติการฝนหลวงแต่มีการเกิดฝน
 - c. ปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจาก 7 วันล่วงหน้าโดยการพิจารณาจากข้อมูลพยากรณ์ที่ได้จากหน่วยงานที่มีการคาดการณ์ปริมาณฝน

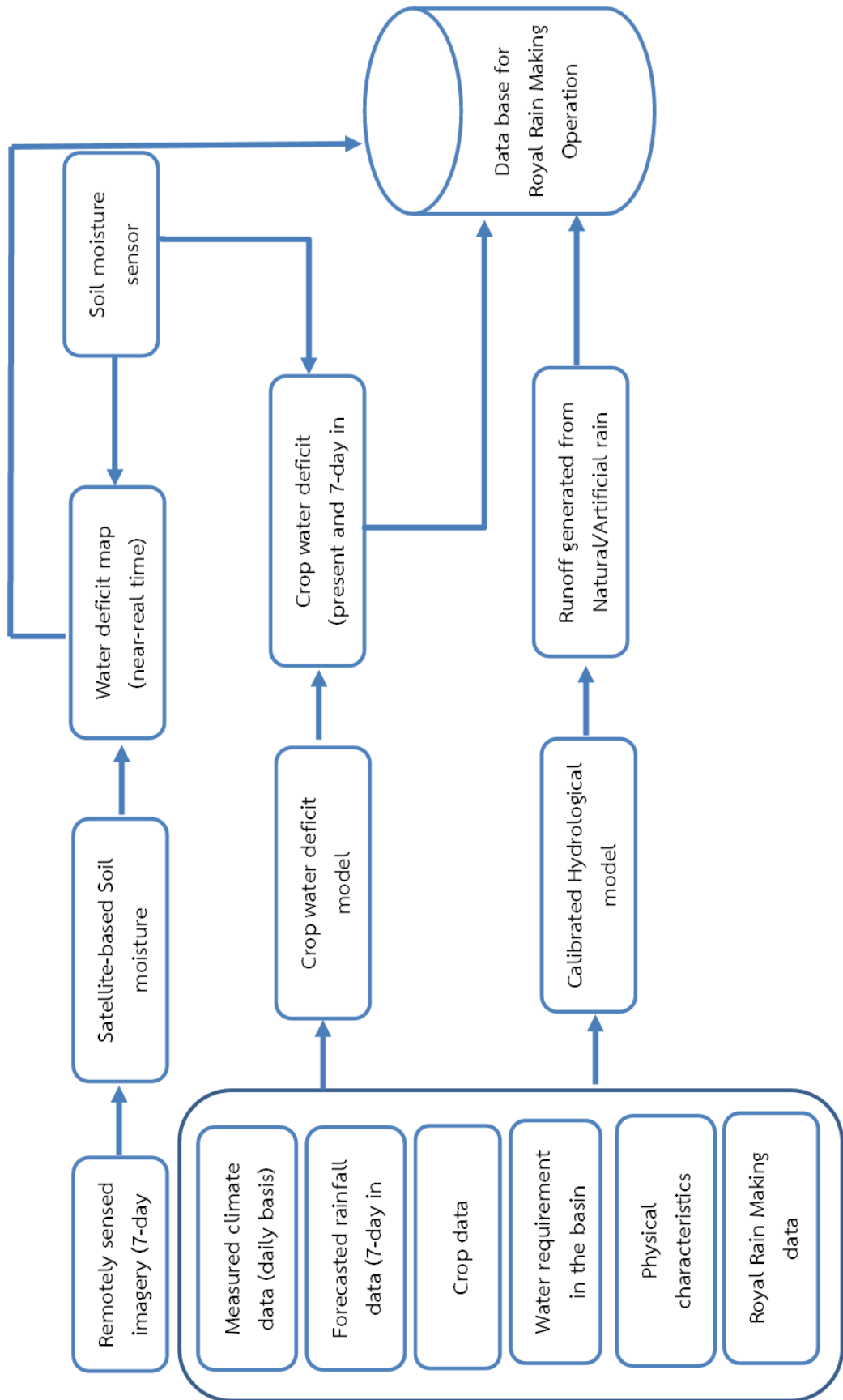
และจากการตรวจสอบข้อมูลการปฏิบัติการฝนหลวงโดยกรมฝนหลวงและการบินเกษตรได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลการปฏิบัติการฝนหลวงที่ผ่านมามาตั้งแต่ปี 2018-2021 ในช่วงโครงการของปีที่ 1 และการปฏิบัติการฝนหลวงในช่วงของโครงการวิจัยปีที่ 2 พร้อมทั้งข้อมูลปริมาณฝนที่คำนวณได้จากเรดาร์ตรวจวัดสภาพอากาศ โดยจากการสอบถามเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติการฝนหลวงพบว่า กรมฝนหลวงและการบินเกษตรจะประเมินปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจากฝนหลวงในการปฏิบัติการแต่ละครั้งอยู่ในช่วงระหว่าง 02.00 UTC – 14.00 UTC หรือในช่วงเวลาระหว่าง 9.00 – 21.00 น. รายละเอียดการปฏิบัติการฝนหลวงแสดงดังตารางที่ 3.3-1 โดยในปี 2018 มีการปฏิบัติการฝนหลวงตั้งแต่ต้นเดือนเมษายนจนถึงต้นเดือนพฤษภาคม จำนวนรวมทั้งสิ้น 20 ครั้ง ปี 2019 มีการปฏิบัติการฝนหลวงตั้งแต่ต้นเดือนมีนาคมจนถึงกลางเดือนมิถุนายน จำนวนรวมทั้งสิ้น 63 ครั้ง ปี 2020 มีการปฏิบัติการฝนหลวงตั้งแต่ต้นเดือนกุมภาพันธ์จนถึงปลายเดือนพฤษภาคมจำนวนรวมทั้งสิ้น 65 ครั้ง และปี 2021 มีการปฏิบัติการฝนหลวงจำนวน 93 ครั้ง รวมจำนวนวันที่มีการปฏิบัติการฝนหลวงระหว่างปี 2018-2021 จำนวนทั้งสิ้น 241 วัน

ตารางที่ 3.3-1 การปฏิบัติการฝนหลวงบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีระหว่างปี 2018-2021

วันที่	การปฏิบัติการฝนหลวงระหว่างปี 2018-2021			
	2018	2019	2020	2021
1	4/4/2561	3/4/2562	2/28/2563	3/3/2564
2	4/11/2561	3/15/2562	2/29/2563	3/9/2564
3	4/15/2561	3/19/2562	3/2/2563	3/10/2564
4	4/16/2561	3/20/2562	3/4/2563	3/13/2564
5	4/17/2561	3/21/2562	3/6/2563	3/15/2564
6	4/19/2561	3/26/2562	3/13/2563	3/22/2564
7	4/20/2561	3/27/2562	3/15/2563	3/26/2564
8	4/21/2561	3/28/2562	3/16/2563	3/29/2564
9	4/22/2561	3/29/2562	3/18/2563	3/30/2564
10	4/24/2561	3/30/2562	3/19/2563	3/31/2564
11	4/25/2561	3/31/2562	3/20/2563	4/1/2564
12	4/26/2561	4/1/2562	3/21/2563	4/2/2564
13	4/30/2561	4/2/2562	3/22/2563	4/8/2564
14	5/1/2561	4/3/2562	3/29/2563	4/10/2564
15	5/2/2561	4/5/2562	4/2/2563	4/11/2564

วันที่	การปฏิบัติการฝนหลวงระหว่างปี 2018-2021			
	2018	2019	2020	2021
16	5/3/2561	4/6/2562	4/3/2563	4/12/2564
17	5/4/2561	4/7/2562	4/4/2563	4/14/2564
18	5/5/2561	4/9/2562	4/5/2563	4/16/2564
19	5/7/2561	4/13/2562	4/6/2563	4/17/2564
20	5/8/2561	4/14/2562	4/7/2563	4/18/2564
21		4/15/2562	4/8/2563	4/19/2564
22		4/16/2562	4/9/2563	4/21/2564
23		4/17/2562	4/10/2563	4/22/2564
24		4/18/2562	4/11/2563	4/23/2564
25		4/19/2562	4/12/2563	4/25/2564
26		4/20/2562	4/13/2563	4/26/2564
27		4/22/2562	4/14/2563	4/27/2564
28		4/25/2562	4/15/2563	4/30/2564
29		4/26/2562	4/16/2563	5/1/2564
30		4/27/2562	4/17/2563	5/2/2564
31		4/28/2562	4/18/2563	5/10/2564
32		4/29/2562	4/19/2563	5/11/2564
33		4/30/2562	4/22/2563	5/15/2564
34		5/1/2562	4/25/2563	5/17/2564
35		5/2/2562	4/26/2563	5/19/2564
36		5/3/2562	4/27/2563	5/20/2564
37		5/4/2562	4/29/2563	5/21/2564
38		5/5/2562	4/30/2563	5/27/2564
39		5/6/2562	5/1/2563	5/28/2564
40		5/8/2562	5/2/2563	5/29/2564
41		5/9/2562	5/3/2563	5/31/2564
42		5/10/2562	5/5/2563	6/1/2564
43		5/11/2562	5/6/2563	6/2/2564
44		5/12/2562	5/7/2563	6/3/2564
45		5/13/2562	5/8/2563	6/4/2564
46		5/14/2562	5/9/2563	6/18/2564
47		5/15/2562	5/11/2563	6/19/2564
48		5/16/2562	5/12/2563	6/22/2564
49		5/17/2562	5/13/2563	6/24/2564
50		5/19/2562	5/14/2563	6/26/2564
51		5/20/2562	5/15/2563	7/1/2564
52		5/21/2562	5/17/2563	7/3/2564
53		5/22/2562	5/18/2563	7/4/2564
54		5/23/2562	5/19/2563	7/5/2564
55		5/24/2562	5/20/2563	7/6/2564
56		5/28/2562	5/21/2563	7/7/2564

วันที่	การปฏิบัติการฝนหลวงระหว่างปี 2018-2021			
	2018	2019	2020	2021
57		5/31/2562	5/22/2563	7/8/2564
58		6/1/2562	5/23/2563	7/9/2564
59		6/2/2562	5/24/2563	7/10/2564
60		6/3/2562	5/25/2563	7/12/2564
61		6/5/2562	5/26/2563	7/13/2564
62		6/8/2562	5/27/2563	7/14/2564
63		6/16/2562	5/28/2563	7/15/2564
64			5/29/2563	7/16/2564
65			5/31/2563	7/17/2564
66				7/29/2564
67				7/31/2564
68				8/4/2564
69				8/5/2564
70				8/8/2564
71				8/11/2564
72				8/12/2564
73				8/14/2564
74				8/16/2564
75				8/17/2564
76				8/18/2564
77				8/20/2564
78				8/22/2564
79				8/23/2564
80				8/24/2564
81				8/25/2564
82				8/26/2564
83				8/31/2564
84				9/1/2564
85				9/2/2564
86				9/6/2564
87				9/8/2564
88				9/9/2564
89				9/15/2564
90				9/16/2564
91				9/19/2564
92				9/20/2564
93				9/21/2564
รวมจำนวนวันที่ ปฏิบัติการฝนหลวง (วัน)	20	63	65	93



รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินงานของโครงการ

บทที่ 4 ผลการศึกษา

4.1 ผลการประเมินความชื้นในดินด้วยภาพถ่ายดาวเทียม

จากงานวิจัยในระยะเวลาที่ 1 ที่ได้ใช้ข้อมูลผลิตภัณฑ์ภาพถ่ายจากดาวเทียม Terra/MODIS คำนวณดัชนีความแห้งแล้งด้านการเกษตรด้วยวิธี Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI) และประเมินเป็นค่าความชื้นในดิน ซึ่งพบว่ามีข้อจำกัดบางประการที่ต้องศึกษาวิจัยต่อยอดจากงานวิจัยในระยะเวลาที่ 1 โดยในงานวิจัยระยะที่ 2 นี้จะเน้นไปที่การปรับปรุงและปรับแก้ความคลาดเคลื่อนข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม การกำหนดพื้นที่เพาะปลูก การแปลผลดัชนี TVDI และการตรวจวัดความชื้นในดินจากเซนเซอร์ความชื้นในดินแบบ IoT โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1.1 การปรับปรุงและปรับแก้ความคลาดเคลื่อนข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม

จากการวิจัยในระยะเวลาที่ 1 พบว่าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมีความไม่สมบูรณ์ โดยข้อมูลภาพอุณหภูมิพื้นผิว (land surface temperature, LST) จากผลิตภัณฑ์ MOD11A2 ยังไม่ได้ปรับแก้ความคลาดเคลื่อน จึงเลือกใช้ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวจากสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตร (สกษ.) หนองพลับ อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ช่วงปี พ.ศ. 2558-2563 (ค.ศ. 2015-2020) ที่ตรวจวัดในเวลา 10.00 น. ซึ่งเป็นเวลาที่ใกล้เคียงกับช่วงที่ดาวเทียมสำรวจข้อมูล มาทำการปรับแก้ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวจากภาพถ่ายดาวเทียมโดยเปรียบเทียบกับจุดภาพ LST ที่ตำแหน่งพิกัดตรงกับ สกษ.หนองพลับ ผลการตรวจสอบพบว่าค่า LST จากดาวเทียมมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอุณหภูมิพื้นผิวจากสถานีตรวจวัดดังแสดงในรูปที่ 4.1.1-1 โดยมีค่าสูงกว่าสถานีตรวจวัดประมาณร้อยละ 15 ดังนั้นจึงได้ทำการปรับแก้ค่า LST จากดาวเทียมด้วยสมการดังนี้

$$LST_{MOD11A2adj.} = \frac{LST_{MOD11A2}}{1.15}$$

โดย $LST_{MOD11A2adj.}$ = อุณหภูมิพื้นผิวที่ปรับแก้ความคลาดเคลื่อนแล้ว
 $LST_{MOD11A2}$ = อุณหภูมิพื้นผิวจากผลิตภัณฑ์ MOD11A2

นอกจากนี้ผลจากการวิจัยในระยะเวลาที่ 1 ซึ่งพบว่าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมีความไม่สมบูรณ์ โดยข้อมูลภาพอุณหภูมิพื้นผิว (land surface temperature, LST) จากผลิตภัณฑ์ MOD11A2 ภาพถ่ายดาวเทียม Terra/MODIS มีจุดภาพ (pixel) ขาดหายจำนวนมากเนื่องจากสภาพเมฆปกคลุมโดยเฉพาะในฤดูฝน (มิถุนายน-ตุลาคม) ทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลดัชนี TVDI เชิงพื้นที่ที่มีข้อจำกัด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องประยุกต์เทคนิคการเติมเต็มข้อมูลในส่วนที่ขาดหาย (gap-filling methods) ซึ่งเป็นแนวทางที่นิยมใช้ในการจัดการข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่มีปัญหาจุดภาพมีเมฆปกคลุม โดยมีเทคนิคหลายรูปแบบเพื่อสร้างข้อมูลใหม่ (reconstruct data) อาทิ การใช้ข้อมูลผสมผสานจากหลายดาวเทียม (data fusion) การใช้แบบจำลอง regression หรือ Artificial Neuron Networks (ANNs) เพื่อทำนายข้อมูลที่ขาดหายไป การประมาณค่าเชิงพื้นที่ (spatial interpolation) ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นต้น

งานวิจัยนี้เลือกใช้เทคนิค Temporal Fourier Analysis (TFA) ตามแนวทางของ Shiff et al. (2021) โดยใช้เทคนิคการเติมเต็มข้อมูลช่วงที่ขาดหายด้วยการปรับเทียบข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวช่วงกลางวัน (daytime

LST) จากภาพถ่ายดาวเทียมเข้ากับข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวน้ำจาก สกซ. หนองพลับ ค่า LST โดยวิธี TFA ดังสมการต่อไปนี้

$$LST_{TFA} = \overline{LST} + \sum_{i=1}^n A_i \cos(\omega_i t + \varphi_i)$$

โดย LST_{TFA} = อุณหภูมิพื้นผิวน้ำที่สร้างขึ้นจากวิธี TFA

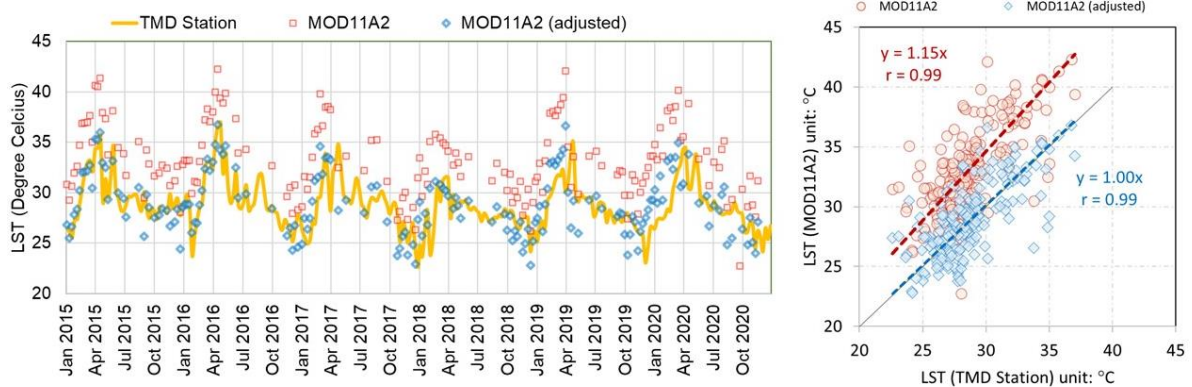
\overline{LST} = อุณหภูมิพื้นผิวน้ำเฉลี่ยในรอบปี

A_i = ค่าแอมพลิจูด (amplitude) ของฮาร์โมนิกที่ i

ω_i = ค่าความถี่ (frequency) ของฮาร์โมนิกที่ i มีค่าเท่ากับ $2\pi J/365$ โดย J = Julian Day

φ_i = ค่าเฟส (phase) ของฮาร์โมนิกที่ i

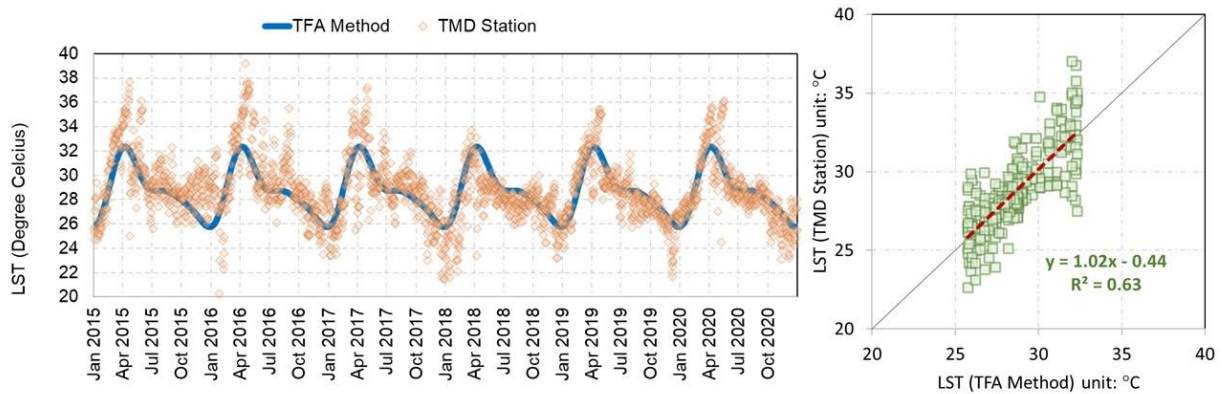
สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้จำนวน 3 ฮาร์โมนิก ($n = 3$) และทำการประมาณค่าแอมพลิจูดและเฟสโดยวิธี Generalized Reduced Gradient (GRG) Nonlinear โดยได้ค่าความถี่ แอมพลิจูด และเฟส ดังแสดงในตารางที่ 4.1.1-1 และผลการประมาณค่า LST โดยวิธี TFA ซึ่งจะประมาณค่าเป็น LST รายวันดังแสดงในภาพที่ 4.1.1-2 โดยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิพื้นผิวน้ำจากสถานีตรวจวัดพบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.72 และรากที่สองของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (RMSE) เท่ากับ 1.8 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.1.1-1 การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนค่าอุณหภูมิพื้นผิวน้ำ (LST) จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

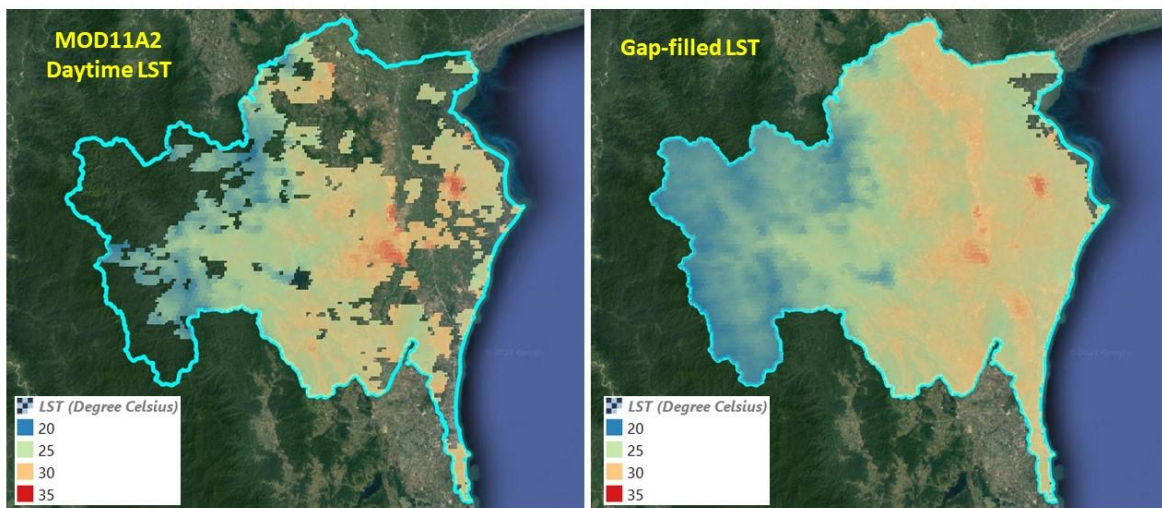
ตารางที่ 4.1.1-1 สรุปค่าความถี่ แอมพลิจูดและเฟสที่ใช้ในการประเมิน LST โดยวิธี TFA

Harmonic (i)	Frequency (ω)	Amplitude (A)	Phase (ϕ)
i = 1	0.017	2.250	4.029
i = 2	0.034	1.422	3.136
i = 3	0.052	0.429	1.747



รูปที่ 4.1.1-2 การสร้างค่าอุณหภูมิพื้นผิว (LST) ด้วยวิธี TFA

สำหรับอุณหภูมิพื้นผิวจากวิธี TFA ที่สร้างขึ้นนี้จะถูกนำไปเติมเต็มจุดภาพที่ขาดหายในภาพ MOD11A2 ดังแสดงในตัวอย่างในรูปที่ 4.1.1-3



รูปที่ 4.1.1-3 ข้อมูล LST จากผลิตภัณฑ์ MOD11A2 วันที่ 25 พฤษภาคม 2564 (ซ้าย) และข้อมูล Gap-filled LST โดยวิธี TFA (ขวา)

4.1.2 การกำหนดพื้นที่ที่มีการเพาะปลูก (cultivated area) จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

จากผลการวิจัยในระยะที่ 1 ได้ใช้ดัชนี TVDI ทำหน้าที่ประเมินระดับความแห้งแล้งทางการเกษตร ทั้งนี้หากในพื้นที่ที่มีระดับความแห้งแล้งอยู่ในเกณฑ์สูงแต่เป็นพื้นที่ที่ไม่มีการเพาะปลูก การปฏิบัติการฝนหลวงในพื้นที่ดังกล่าวจะไม่เกิดประโยชน์โดยตรงต่อพืช ดังนั้นจึงควรมีประเมินสภาพการเพาะปลูกของพืชควบคู่กับการประเมินความแห้งแล้ง ในงานวิจัยระยะที่ 2 จึงใช้ข้อมูลการใช้ที่ดินช่วงปี 2562-63 ของกรมพัฒนาที่ดิน คัดเลือกเฉพาะกลุ่มการใช้ที่ดินด้านการเกษตรแบ่งออกเป็นกลุ่มนาข้าว และกลุ่มพืชไร่/ไม้ยืนต้น

ในการระบุพื้นที่เพาะปลูก (cultivated area) โดยทั่วไปพื้นที่เพาะปลูกกลุ่มพืชไร่/ไม้ยืนต้นจะมีพืชพรรณปกคลุมดินโดยมีค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI เฉลี่ยสูงกว่า 0.4 ขึ้นไป ดังนั้นสามารถใช้เกณฑ์ NDVI > 0.4 เป็นเกณฑ์เบื้องต้นสำหรับระบุว่าพื้นที่เพาะปลูกพืชกลุ่มพืชไร่/ไม้ยืนต้นมีการเพาะปลูกพืช อย่างไรก็ตามสำหรับพื้นที่ปลูกข้าวจะมีความซับซ้อนของพื้นที่เนื่องจากในแต่ละฤดูของการเพาะปลูกจะมีสภาพสิ่งปกคลุมดินที่มีความผันแปรและผสมผสานกันระหว่างดิน-น้ำ-พืช โดยในช่วงเตรียมแปลงการขังน้ำไว้ในนาทำให้มีสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินเป็นผิวน้ำผสมกับดิน ในช่วงระหว่างการเพาะปลูกเมื่อต้นข้าวเริ่มเจริญเติบโตและมีการขังน้ำไว้ในนาทำให้มีสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินผสมระหว่างน้ำและพืช ในช่วงเก็บเกี่ยวมีการระบายน้ำออกจากแปลงนาและจะมีตอซังข้าวเหลือในนาทำให้มีสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินผสมระหว่างพืชและดิน ดังนั้นการใช้เกณฑ์จากดัชนี NDVI เพียงอย่างเดียวจึงไม่เพียงพอในการจำแนกพื้นที่เพาะปลูกข้าว

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์วิธีการประเมินพื้นที่เพาะปลูกจากงานวิจัยของ ชูพันธุ์ และคณะ (2563) โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Terra/MODIS ผลิตภัณฑ์ MOD09A1 ซึ่งเป็นค่าการสะท้อนพื้นผิว (surface reflectance) ที่ได้รับการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศ (atmospheric correction) นำมาคำนวณค่าดัชนี 3 รูปแบบได้แก่ ดัชนีพืชพรรณแบบ NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ดัชนีน้ำแบบ NDWI (Normalized Difference Water Index) (Gao, 1996) และดัชนีน้ำท่วม NDFI (Normalized Difference Flood Index) (Boschetti et al., 2014) ตามสมการดังนี้

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$$

$$NDWI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{NIR2}}{\rho_{NIR} + \rho_{NIR2}}$$

$$NDFI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{SWIR2}}{\rho_{NIR} + \rho_{SWIR2}}$$

โดย ค่าการสะท้อนของพื้นผิวในช่วงคลื่นแต่ละภาพมีความหมายดังนี้

ρ_{RED} คือ ภาพแบนด์ 1 ช่วงคลื่นที่ตามองเห็นสีแดง (Red, 620-670 nm)

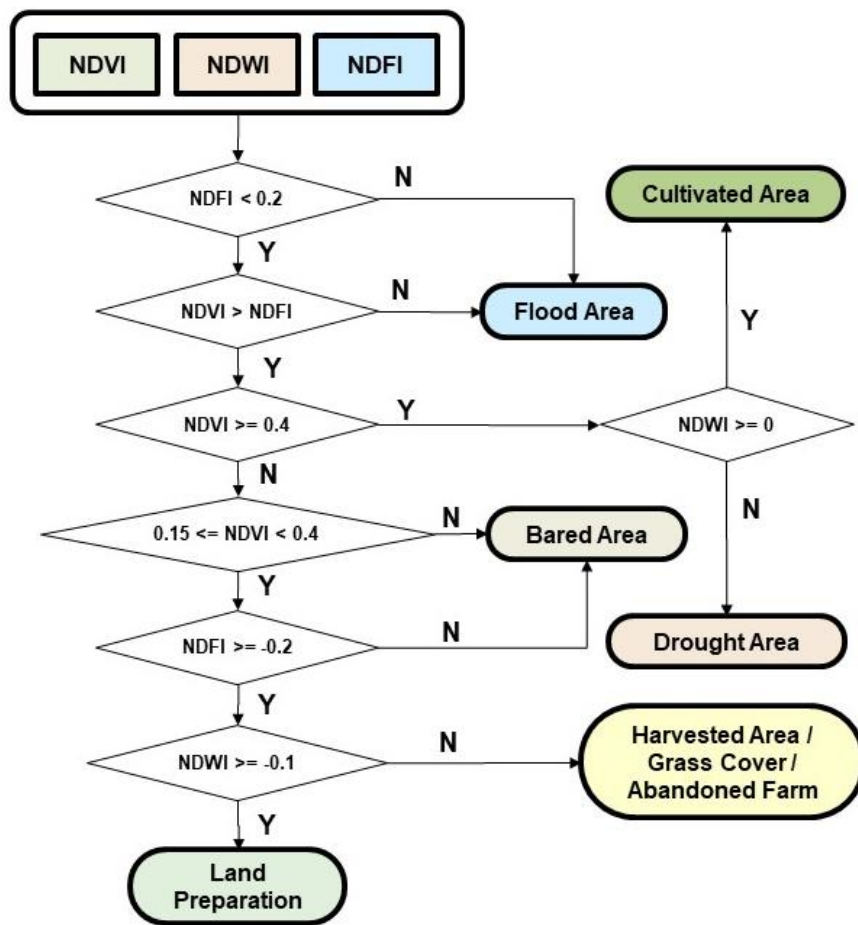
ρ_{NIR} คือ ภาพแบนด์ 2 ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near-infrared, 841-876 nm)

ρ_{NIR2} คือ ภาพแบนด์ 5 ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near-infrared, 1,230-1,250 nm)

ρ_{SWIR2} คือ ภาพแบนด์ 7 ช่วงคลื่นอินฟราเรดคลื่นสั้น (Shortwave-infrared, 2,105-2,155 nm)

ดัชนีทั้งสามชนิดจะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง -1 ถึง 1 สำหรับ NDVI จะเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงระดับความเป็นพืชพรรณปกคลุมดิน โดยพื้นที่ที่มีพืชพรรณปกคลุมอยู่หนาแน่นจะมีค่า NDVI เป็นบวก สำหรับ NDWI เป็นดัชนีที่มีความอ่อนไหวต่อค่าความชื้นของพื้นผิว จึงเหมาะสำหรับการตรวจวัดค่าความชื้นของพืชหรือความชื้นของดิน (Rokni et al., 2014) โดยพื้นที่ที่มีความชื้นของพื้นผิวสูงจะมีค่า NDWI เป็นค่าบวก ส่วน NDFI เป็นดัชนีที่มีความสามารถในการตรวจวัดน้ำท่วมขังในระดับต้นได้ดี (Boschetti et al., 2014) โดยพื้นที่ที่มีน้ำท่วมขังจะมีค่า NDFI เป็นค่าบวก

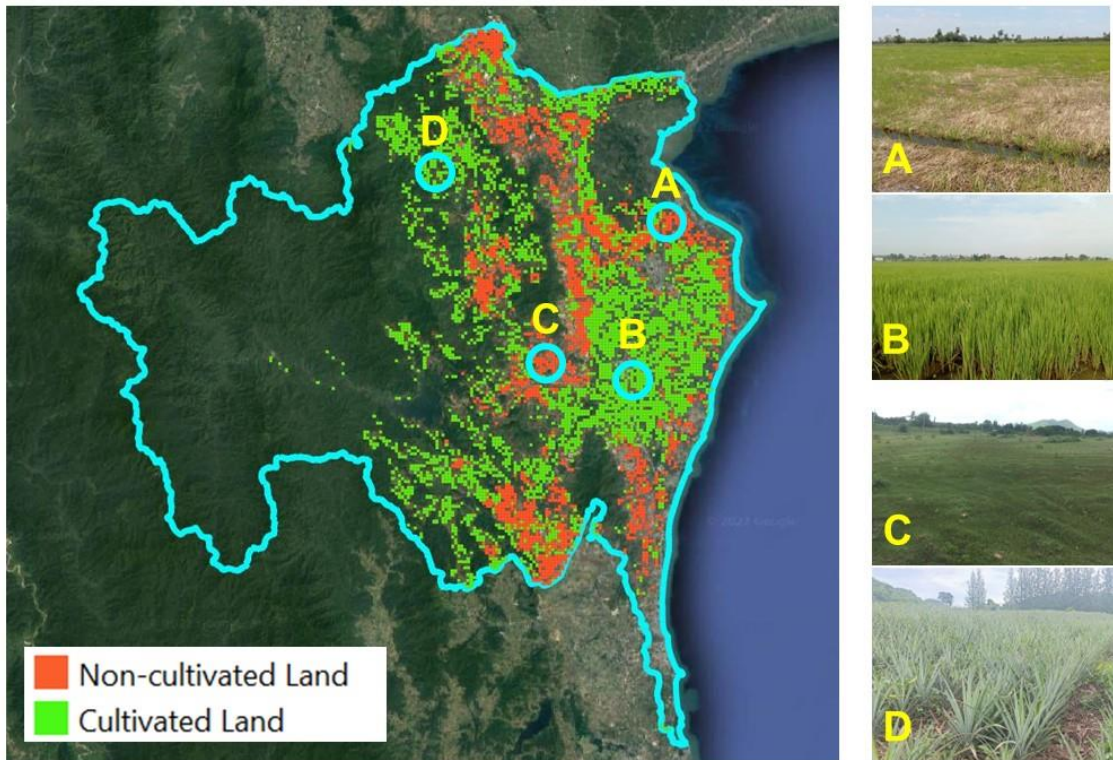
สำหรับเกณฑ์ลำดับขั้นในการตัดสินใจแบ่งลักษณะกิจกรรมในพื้นที่นาข้าวจากดัชนี NDVI, NDWI และ NDFI ดังแสดงในรูปที่ 4.1.2-1



รูปที่ 4.1.2-1 เกณฑ์ลำดับขั้นในการตัดสินใจแบ่งลักษณะกิจกรรมในพื้นที่นาข้าว (ดัดแปลงจาก ชูพันธุ์ และคณะ, 2563)

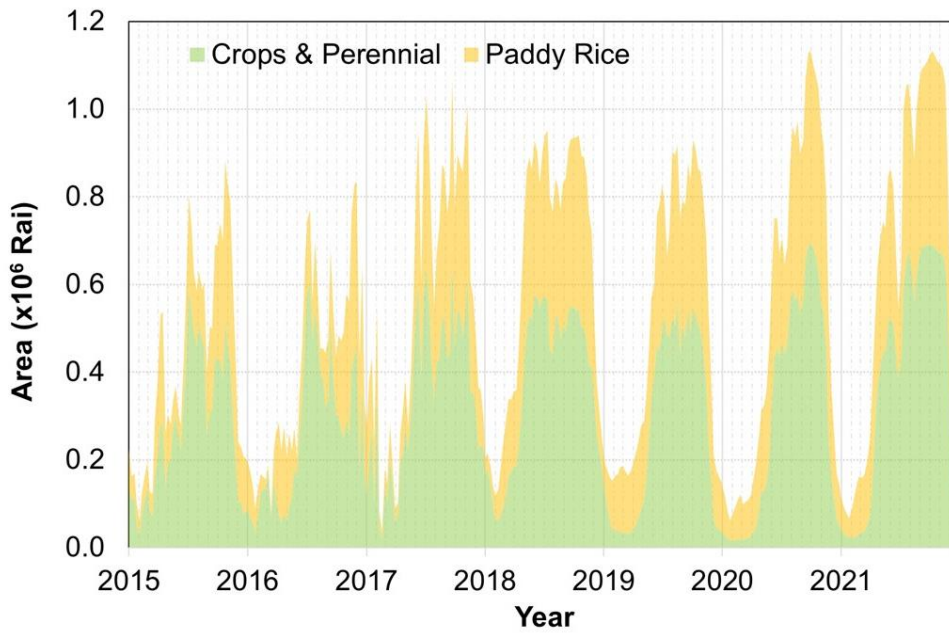
ตัวอย่างผลการประเมินพื้นที่เพาะปลูกดังแสดงในรูปที่ 4.1.2-2 โดยใช้ข้อมูล MOD09A1 วันที่ 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2565 คำนวณจากเกณฑ์ดัชนีที่กำหนดข้างต้น เปรียบเทียบกับผลการสำรวจภาคสนามวันที่ 5 – 12 พฤษภาคม พ.ศ. 2565 พบว่า การแปลผลพื้นที่เพาะปลูกจากภาพถ่ายดาวเทียมมีความสอดคล้องกับผลการสำรวจภาคสนาม ดังตัวอย่าง เช่น พื้นที่ A เป็นพื้นที่นาข้าวที่เก็บเกี่ยวแล้วจึงถือว่าไม่เป็นพื้นที่เพาะปลูก พื้นที่ B เป็นนาข้าวที่อยู่ในช่วงการเจริญเติบโต พื้นที่ C จากข้อมูลการใช้ที่ดินเป็นพื้นที่ปลูกข้าวโพดแต่จาก

การสำรวจภาคสนามพบว่าไม่มีการเพาะปลูกเป็นพื้นที่รกร้าง ส่วนพื้นที่ D เป็นพื้นที่เพาะปลูกสลับประปรายในช่วงการเจริญเติบโต เป็นต้น



รูปที่ 4.1.2-2 ตัวอย่างการประเมินพื้นที่เพาะปลูกในกลุ่มน้ำเพชรบุรี ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม วันที่ 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2565 ข้อมูลสำรวจภาคสนามวันที่ 5 – 12 พฤษภาคม พ.ศ. 2565

ผลการประเมินพื้นที่เพาะปลูกจากข้อมูลอนุกรมเวลาภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงปี พ.ศ. 2558-2564 (ค.ศ. 2015-2021) ดังแสดงในรูปที่ 4.1.2-3 จะเห็นว่ารูปแบบการเพาะปลูกพืชในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีมีพื้นที่เพาะปลูกเฉลี่ยค่อนข้างมากในช่วงระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคมซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน โดยมีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 8 แสน ถึง 1 ล้าน 2 แสนไร่ หลังจากนั้นในเดือนพฤศจิกายนพื้นที่เพาะปลูกจะลดลงเหลือเฉลี่ยประมาณ 1 แสนไร่ โดยเป็นพื้นที่ไม่ผล/ไม่ยืนต้นและพื้นที่เพาะปลูกในเขตโครงการชลประทานเพชรบุรี



รูปที่ 4.1.2-3 ผลการประเมินพื้นที่เพาะปลูกในลุ่มน้ำเพชรบุรีช่วงปี พ.ศ. 2558 - 2564

4.1.3 การแปลผลดัชนี TVDI เป็นค่าความชื้นในดินและการขาดแคลนน้ำ

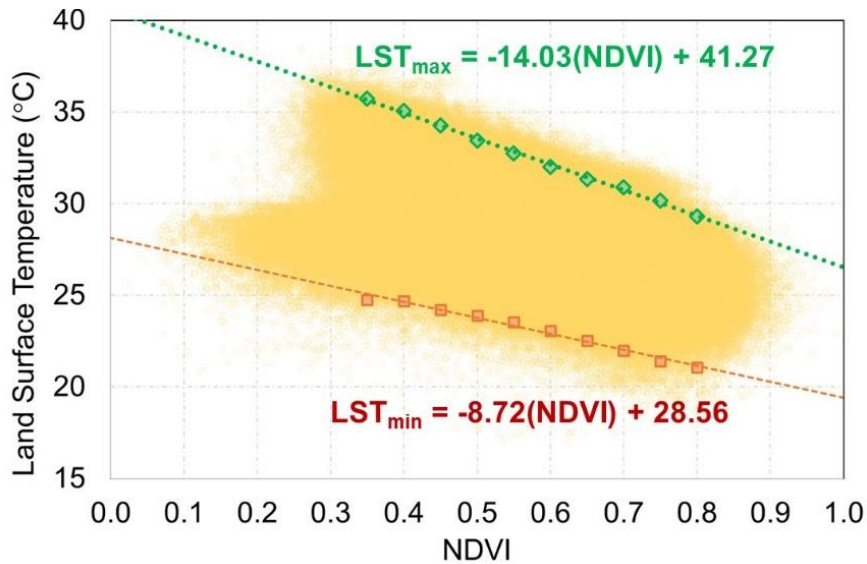
การแปลผลดัชนี TVDI เป็นค่าความชื้นในดินในงานวิจัยระยะที่ 2 นี้ ได้ปรับปรุงวิธีการเพิ่มเติมจากงานวิจัยในระยะที่ 1 ดังต่อไปนี้

1) การแปลผลข้อมูล NDVI และ LST เป็นค่าดัชนี TVDI เนื่องจากการปรับปรุงข้อมูล LST ให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น ดังนั้น การจัดทำแผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram) เพื่อนำมาทำ NDVI-LST Feature Space และการสร้างเส้น Wet Edge และ Dry Edge สำหรับคำนวณ TVDI จึงต้องกำหนดค่าใหม่ โดยกำหนดให้เส้น Wet Edge และ Dry Edge ที่ได้จากการ Curve Fitting และสร้างสมการถดถอยเชิงเส้น ดังแสดงในรูปที่ 4.1.3-1 มีค่าดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Wet Edge: } LST_{min} = -8.72(NDVI) + 28.56$$

$$\text{Dry Edge: } LST_{max} = -14.93(NDVI) + 41.27$$

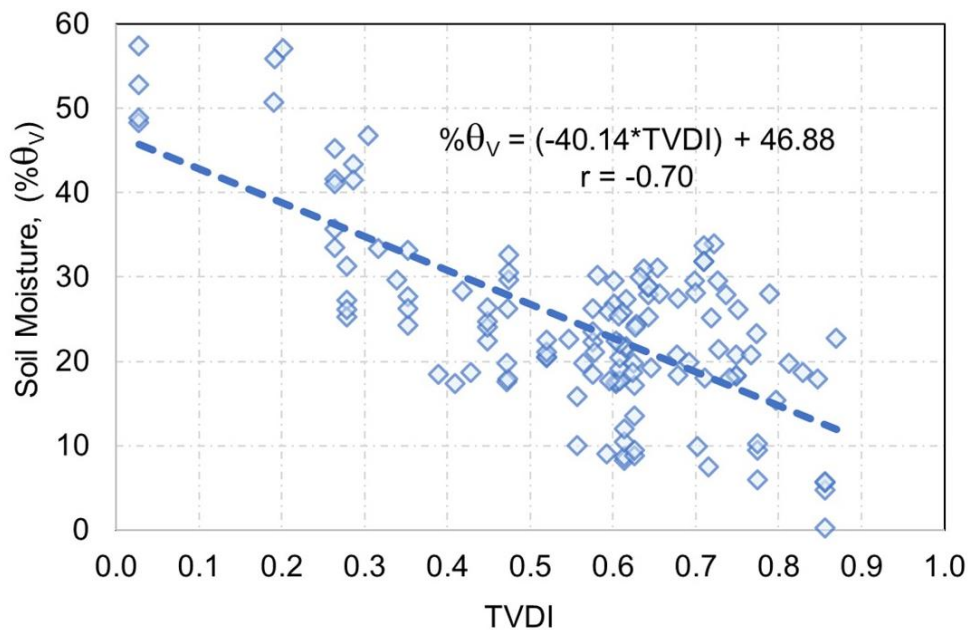
$$TVDI = \frac{LST - LST_{min}}{LST_{max} - LST_{min}}$$



รูปที่ 4.1.3-1 NDVI-LST Feature Space ของพื้นที่เพาะปลูกในลุ่มน้ำเพชรบุรี

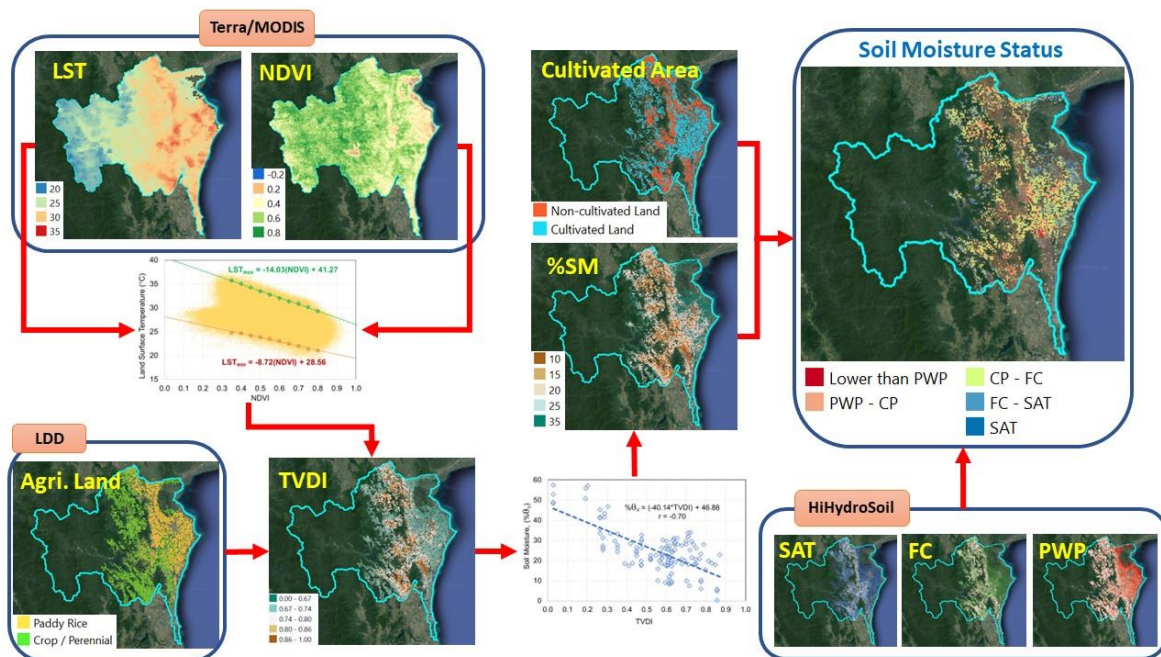
2) การแปลผลดัชนี TVDI เป็นค่าความชื้นในดินโดยปริมาตร โดยการเก็บตัวอย่างดินแบบไม่ทำลาย โครงสร้างในพื้นที่จำนวน 129 ตัวอย่างเพื่อหาค่าความชื้นในดินโดยปริมาตร (Volumetric Soil Moisture Content, θ_v) และพล็อตกราฟเทียบกับค่า TVDI ซึ่งจะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า TVDI กับ θ_v ดังแสดงในรูปที่ 4.1.3-2 พบว่า TVDI มีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าความชื้นในดินโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ -0.70 โดยสามารถประมาณตัวแบบในสมการถดถอยเชิงเส้นได้ดังต่อไปนี้

$$\% \theta_v = -40.14(TVDI) + 46.88$$



รูปที่ 4.1.3-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนี TVDI กับ ความชื้นในดินโดยปริมาตร

3) การแปลผลค่าดัชนี TVDI และค่าความชื้นในดินให้เป็นสถานะระดับความชื้นที่บ่งชี้ถึงความแห้งแล้งและความขาดแคลนน้ำ โดยได้วิเคราะห์ช่วงระดับความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (total available water, TAW) ในเชิงพื้นที่ โดยใช้ข้อมูลจาก HiHydroSoil (Simons et al., 2020) ซึ่งเป็นแผนที่ข้อมูลกริดความชื้นที่ระดับค่าความชื้นที่จุดอิ่มตัว (saturation point: SAT) ค่าความชื้นชลประทาน (field capacity: FC) ค่าความชื้นที่จุดวิกฤติ (critical point: CP) และค่าความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาวร (permanent wilting point: PWP) ของดิน จากนั้นใช้ข้อมูลความชื้นในดินโดยปริมาตรที่คำนวณได้ นำมาเทียบอ้างอิงกับค่าความชื้นที่จุด SAT, FC, CP และ PWP โดยกำหนดให้ความชื้นในดินต่ำกว่าจุดวิกฤติเป็นพื้นที่ที่ถือว่าเริ่มมีการขาดแคลนน้ำ ซึ่งโดยทั่วไปที่ความชื้นดินต่ำกว่าจุดวิกฤติพืชจะมีอัตราการคายน้ำลดลงและอาจทำให้ปริมาณผลผลิตลดลงหรือทำให้คุณภาพการผลิตลดลง นอกจากนี้ เมื่อนำแผนที่แสดงการเพาะปลูก (cultivated area) มาร่วมวิเคราะห์ จะช่วยให้การแปลผลค่าระดับความชื้นในดินสัมพันธ์กับกิจกรรมการเพาะปลูกพืชด้วย โดยขั้นตอนการคำนวณดัชนี TVDI และการแปลผลสถานะของค่าความชื้นในดิน สรุปดังในรูปที่ 4.1.3-3 ทั้งนี้ เมื่อสามารถระบุพื้นที่ที่ความชื้นในดินต่ำกว่าจุดวิกฤติได้ จะสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการปฏิบัติการฝนหลวงได้ต่อไป



รูปที่ 4.1.3-3 แผนผังแสดงขั้นตอนการคำนวณค่าดัชนี TVDI และการแปลผลสถานะของค่าความชื้นในดิน

เมื่อนำค่าสถานะความชื้นในดินเปรียบเทียบกับผลการแปลผลดัชนี TVDI ตามวิธีของ Shi et al. (2020) ซึ่งแบ่งระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งออกเป็น 5 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.1.3-1 พบว่า ค่า TVDI ที่ 0.67 ซึ่งเป็นค่าที่เริ่มแสดงถึงความแห้งแล้งเล็กน้อยสอดคล้องกับสถานะความชื้นในดินที่มีค่าความชื้นใกล้จุดวิกฤติ ค่า TVDI ที่มีค่าระหว่าง 0.67 – 0.86 สอดคล้องกับสถานะความชื้นในดินในช่วงระหว่าง CP และ PWP ที่แสดงถึงการขาดแคลนน้ำ และเมื่อค่า TVDI มีค่าสูงกว่า 0.87 จะสัมพันธ์กับสถานะความชื้นในดินที่ต่ำกว่าจุด PWP ซึ่งเป็นช่วงความชื้นที่ขาดแคลนน้ำรุนแรงเสี่ยงต่อการเกิดความเสียหายต่อพืชผลทางการเกษตรได้ (วรารุช และคณะ, 2558)

ตารางที่ 4.1.3-1 การแปลผลดัชนี TVDI เปรียบเทียบกับสถานะความชื้นในดิน

การแปลผลดัชนี TVDI ตามวิธีของ Shi et al. (2020)		ค่าระดับความชื้นในดิน
TVDI Range	Drought Intensity	
0.00 < TVDI ≤ 0.67	Normal	สูงกว่า CP (ไม่ขาดแคลนน้ำ)
0.67 < TVDI ≤ 0.74	Slight	อยู่ในช่วงระหว่าง CP และ PWP (ขาดแคลนน้ำ)
0.74 < TVDI ≤ 0.80	Moderate	
0.80 < TVDI ≤ 0.86	Severe	
0.86 < TVDI ≤ 1.00	Excessive	ต่ำกว่า PWP (ขาดแคลนน้ำรุนแรง)

4.1.4 การตรวจวัดความชื้นในดินร่วมกับเซนเซอร์ความชื้นในดินแบบ IoT

ในขั้นตอนการประเมินผลและตรวจสอบความถูกต้องของการแปลผลภาพถ่ายจากดาวเทียมเป็นค่าความชื้นในดิน จำเป็นต้องมีการเก็บตัวอย่างดินในภาคสนามเพื่อนำมาหาค่าความชื้น อย่างไรก็ตามวิธีดังกล่าวมีข้อจำกัดทั้งด้านแรงงาน เครื่องมือและเวลา ดังนั้น ในงานวิจัยระยะที่ 2 นี้จึงเลือกใช้เซนเซอร์วัดความชื้นในดินแบบ IoT ชนิดคาปาซิทีฟ (Capacitive Soil Moisture Sensor) ซึ่งจะช่วยลดข้อจำกัดด้านราคาของเครื่องมือและด้านระยะเวลาในการเก็บข้อมูลเนื่องจากสามารถตรวจวัดข้อมูลได้แบบ Real-time และสามารถจัดเก็บข้อมูลไว้บน Cloud

งานวิจัยนี้เลือกใช้เซนเซอร์ SoilStick เกษตรไทย IoT (บริษัทดูอินไทย จำกัด, ประเทศไทย) ซึ่งเป็นเซนเซอร์ชนิดคาปาซิทีฟแบบต้นทุนต่ำ โดยจำเป็นต้องสอบเทียบมาตรฐานค่าตรวจวัดให้เป็นค่าความชื้นในดิน จึงได้ทำการสอบเทียบค่า Voltage ของเซนเซอร์ให้เป็นความชื้นในดินโดยปริมาตร (θ_v) โดยสามารถคำนวณได้จากความชื้นในดินโดยน้ำหนักดินแห้ง (θ_m) คูณกับความถ่วงจำเพาะของดิน (A_s) ดังสมการต่อไปนี้

$$\theta_m = \frac{m_w}{m_s}$$

$$\theta_v = A_s \times \theta_m$$

โดย θ_v = ความชื้นในดินโดยปริมาตร ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)

θ_m = ความชื้นในดินโดยน้ำหนักดินแห้ง ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)

A_s	= ความถ่วงจำเพาะของดิน
m_w	= น้ำหนักของน้ำในดิน
m_s	= น้ำหนักของดินแห้ง

ทั้งนี้โดยทั่วไป ความหนาแน่นรวมของน้ำมีค่าประมาณ 1 g.cm^{-3} ดังนั้นหากต้องการแปลงหน่วยความชื้นในดินโดยน้ำหนักเป็นความชื้นในดินโดยปริมาตร สามารถคูณด้วยค่าความหนาแน่นรวมของดิน (Soil Bulk Density) ได้

ทำการปรับเทียบมาตรฐาน (Calibration) ระหว่างค่าสัดส่วนแรงดันไฟฟ้า (V_{out}/V_{in}) กับความชื้นในดินโดยปริมาตรที่ระดับความชื้นตั้งแต่ 0.06 ถึง $0.46 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ โดยใช้เซนเซอร์ SoilStick จำนวน 3 ชุด จากนั้นพล็อตกราฟหาสมการปรับเทียบมาตรฐาน ค่า Coefficient of Determination (R^2) และค่า Root Mean Square Error (RMSE) แล้วนำสมการที่ปรับเทียบแล้วบันทึกลงในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการตรวจสอบความสมเหตุสมผล (Validation) ผลการทดสอบปรับเทียบมาตรฐานดังแสดงในรูปที่ 4.1.4-1 (A) พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นโดยปริมาตรและอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า V_{output} และ V_{input} อยู่ในรูปสมการเส้นตรง ดังสมการต่อไปนี้ โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.86

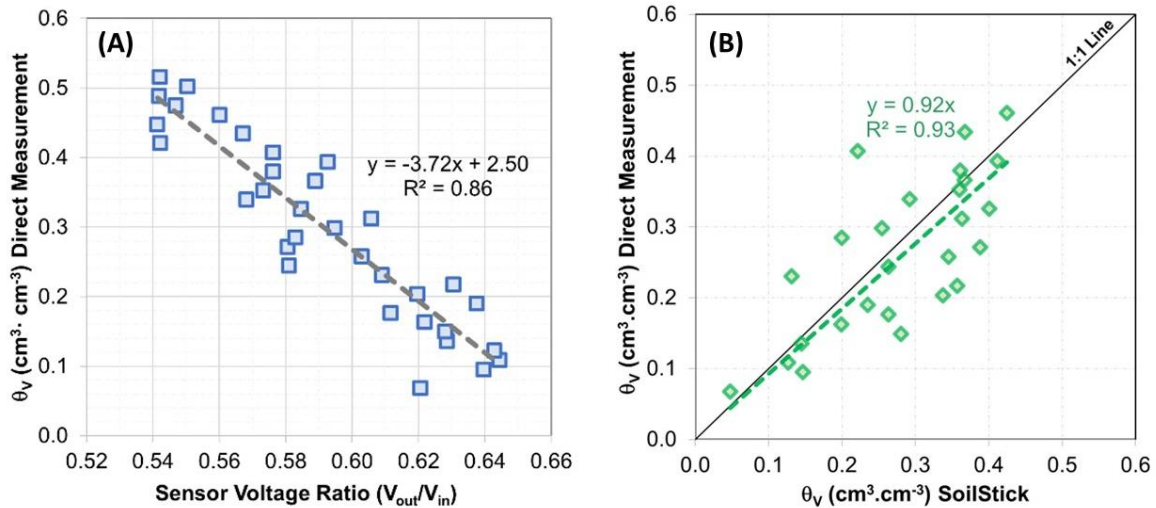
$$\theta_v = - 3.72(V_{out}/V_{in}) + 2.50$$

สมการดังกล่าวสามารถปรับใช้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์โดยพิจารณาค่าแรงดันไฟฟ้าใช้งาน (V_{in}) ทารปรับแก้ในสมการ อาทิ บอร์ด NodeMCU มีค่า V_{in} เท่ากับ 3.3 โวลต์ บอร์ด Arduino มีค่า V_{in} เท่ากับ 5 โวลต์ ดังนั้น สมการที่จะใช้สำหรับบอร์ด NodeMCU และบอร์ด Arduino ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{NodeMCU: } \theta_v = - 1.13(V_{out}) + 2.50$$

$$\text{Arduino: } \theta_v = - 0.74(V_{out}) + 2.50$$

เมื่อนำสมการดังกล่าวไปใช้กับเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน SoilStick ร่วมกับบอร์ด NodeMCU แล้วทำการตรวจสอบความสมเหตุสมผล (Validation) ดังแสดงผลในรูปที่ 4.1.4-1 (B) พบว่า เซนเซอร์ SoilStick ตรวจวัดความชื้นได้ใกล้เคียงกับวิธีการวัดโดยตรง โดยมีค่า RMSE เท่ากับ $0.079 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ (7.9%)



รูปที่ 4.1.4-1 (A) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า (V_{out}/V_{in}) จากเซนเซอร์ SoilStick และความชื้นในดินโดยปริมาตร (θ_v) และ (B) กราฟแสดงผลการตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) ของเซนเซอร์ในตรวจวัดความชื้นในดิน

งานวิจัยนี้ได้ประสานงานกับอาสาสมัครพลหลวงและเกษตรกรในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีเพื่อทำการติดตั้งสถานีวัดความชื้นในดินจำนวน 10 แห่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.1.4-2 และแสดงรูปตัวอย่างเว็บไซต์ แดชบอร์ด และโมบายแอป ดังในรูปที่ 4.1.4-3 โดยคัดเลือกเฉพาะพื้นที่ที่มีการใช้ที่ดินสำหรับปลูกพืชไร่/ไม้ผล เนื่องจากในพื้นที่นาข้าวเมื่อทำการเพาะปลูกข้าวและมีการขังน้ำไว้ในนาจะมีสถานะความชื้นในระดับจุดอิ่มตัวด้วยน้ำตลอดเวลาจึงไม่เหมาะสมสำหรับติดตั้งเซนเซอร์วัดความชื้น อย่างไรก็ตามในการศึกษาวิจัยในระยะที่ 2 นี้ มีอุปสรรคในงานวิจัยจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 ทำให้การติดตั้งเซนเซอร์ความชื้นในดินล่าช้าจึงส่งผลให้ข้อมูลความชื้นในดินที่ได้จากเซนเซอร์มีไม่เพียงพอในการวิเคราะห์ข้อมูลและนำไปใช้ในกระบวนการประเมินผลและตรวจสอบความถูกต้องของการแปลผลภาพถ่ายจากดาวเทียม จึงจำเป็นต้องมีการจัดเก็บข้อมูลต่อเนื่องและศึกษาเพิ่มเติมในอนาคตต่อไป



รูปที่ 4.1.4-2 ตำแหน่งที่ตั้งสถานีวัดความชื้นในดิน



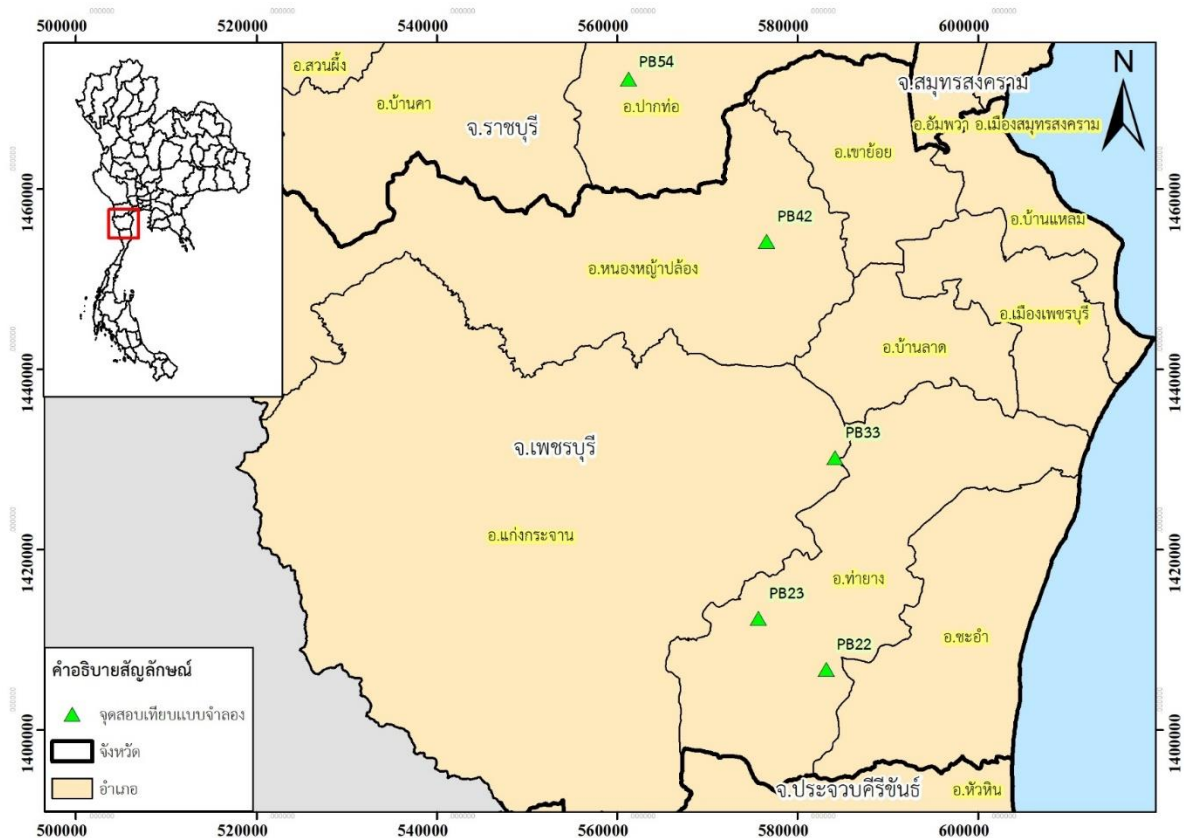
รูปที่ 4.1.4-3 ตัวอย่างเว็บไซต์ แดชบอร์ด และโมบายแอป สำหรับติดตามข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน

4.2 ผลการจำลองความชื้นโดยแบบจำลองวิเคราะห์ค่าความชื้น

การประยุกต์ใช้แบบจำลองความชื้นในดินในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี ทำการสุ่มตัวอย่างพื้นที่เพาะปลูก 5 พื้นที่ประกอบด้วยจุดเก็บตัวอย่างดิน PB22, PB23, BP33, PB42 และ PB54 โดยในพื้นที่ที่มีการเพาะปลูก PB22 เป็นพื้นที่เพาะปลูกอ้อย, PB23 เป็นพื้นที่เพาะปลูกมะม่วง, PB33 และ PB42 เป็นพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมัน, PB54 เป็นพื้นที่เพาะปลูกยางพารา มีรายละเอียดข้อมูลแสดงดังตารางที่ 4.2-1 และมีตำแหน่งแสดงดังภาพที่ 4.2-1 โดยพื้นที่ศึกษาทั้งหมดอยู่นอกพื้นที่ชลประทาน ดังนั้นจึงไม่มีการกำหนดการให้น้ำชลประทานให้กับพื้นที่เพาะปลูก

ตารางที่ 4.2-1 ข้อมูลตำแหน่งและคุณสมบัติดินสำหรับประยุกต์ใช้แบบจำลองความชื้นในดิน

ตำแหน่ง	Latitude	Longitude	อำเภอ	จังหวัด	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	คุณสมบัติดิน	
						FC (% โดยปริมาตร)	PWP (% โดยปริมาตร)
PB22	12.7246	99.7669	ท่ายาง	เพชรบุรี	อ้อย	29.16	18.44
PB23	12.7756	99.6976	ท่ายาง	เพชรบุรี	มะม่วง	26.70	16.54
PB33	12.9367	99.7762	แก่งกระจาน	เพชรบุรี	ปาล์มน้ำมัน	37.03	22.11
PB42	13.1535	99.7071	หนองหญ้าปล้อง	เพชรบุรี	ปาล์มน้ำมัน	35.71	21.02
PB54	13.3166	99.5661	ปากท่อ	ราชบุรี	ยางพารา	28.24	17.36



รูปที่ 4.2-1 แผนที่จุดสอบเทียบประยุกต์ใช้แบบจำลองความชื้นดิน

จากการจำลองความชื้นในดินเปรียบเทียบกับแบบจำลองความชื้นในดินเทียบกับการเก็บตัวอย่างดินเข้าห้องทดลองเพื่อหาความชื้นในดินจริง พบค่าความชื้นในดินจากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับการเก็บตัวอย่างมาทดสอบ ค่าจากการจำลองและการเก็บตัวอย่างมีความพันกันสูง มีดัชนีการสอบเทียบดังตารางที่ 4.2-2 โดยผลการจำลองเปรียบเทียบค่าจากแบบจำลองและการนำตัวอย่างดินตรวจวัดมีดังนี้

- พื้นที่ PB22 เป็นพื้นที่เพาะปลูกอ้อย แสดงการเปรียบเทียบการจำลองความชื้นในดินแสดงดังรูปที่ 4.2-2 โดยค่าความชื้นในดินจากแบบจำลองมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับความชื้นดินจากการตรวจวัด โดยจะค่าความชื้นดินในวันที่ 1 มิถุนายน 2565 เท่านั้นที่แบบจำลองมีค่าสูงกว่าความชื้นดินจากการตรวจวัด

- พื้นที่ PB23 เป็นพื้นที่เพาะปลูกมะม่วง แสดงการเปรียบเทียบการจำลองความชื้นในดินแสดงดังรูปที่ 4.2-3 โดยค่าความชื้นในดินจากแบบจำลองมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับความชื้นดินจากการตรวจวัด โดยจะค่าความชื้นดินในวันที่ 14 มิถุนายน 2565 แบบจำลองมีค่าต่ำกว่าความชื้นดินจากการตรวจวัดอย่างมาก ทำให้ค่า R^2 มีค่าต่ำมาก โดยมีค่าเท่ากับ 0.12 และค่า NSE ที่ต่ำมากเช่นเดียวกัน โดยมีค่าเท่ากับ -0.52 ซึ่งจากการตรวจสอบพบว่าวันที่ 9 -14 มิถุนายน 2565 ปริมาณฝนที่ตกลงในพื้นที่จากการตรวจวัดพบว่ามีปริมาณน้อยมากทำให้ค่าความชื้นในดินของแบบจำลองในช่วงดังกล่าวไม่สัมพันธ์กับค่าในการตรวจวัดความชื้นในดิน เมื่อ

ทำการเปรียบเทียบค่าจากแบบจำลองกับความชื้นในดินโดยไม่นำค่าวันที่ 14 มิถุนายน 2565 มาเปรียบเทียบ ทำให้ค่า R² RMSE ARE PBIAS NSE เท่ากับ 0.998, 1.06 3.93 -3.08 และ 0.87 ตามลำดับ

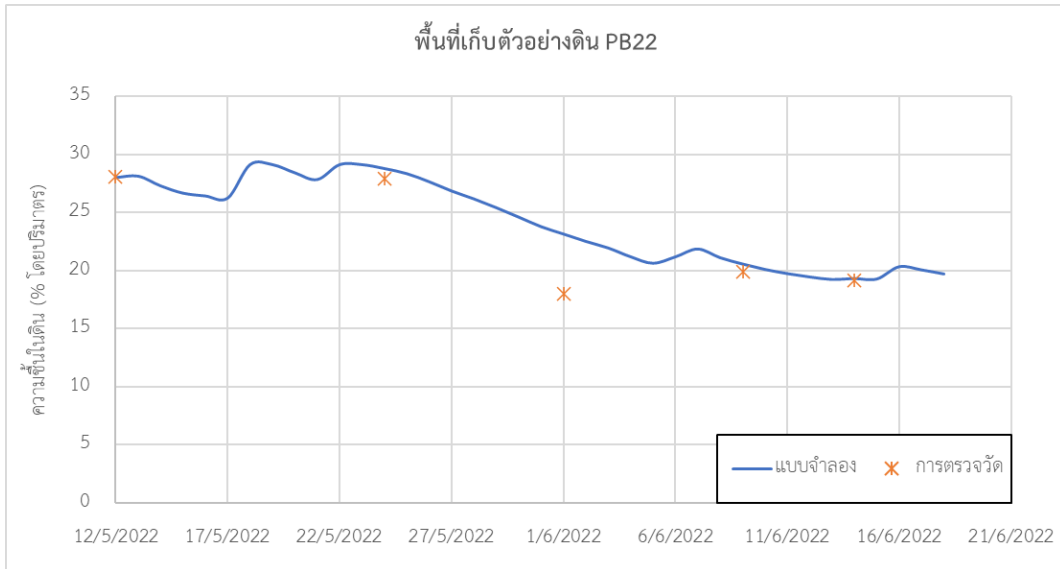
- พื้นที่ PB33 เป็นพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมัน แสดงการเปรียบเทียบการจำลองความชื้นในดินแสดงดังรูปที่ 4.2-4 โดยค่าความชื้นในดินจากแบบจำลองมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับความชื้นดินจากการตรวจวัดมีความสัมพันธ์สูง แต่ยังคงมีความคลาดเคลื่อนจากการจำลองอยู่ในบางช่วง

- พื้นที่ PB42 เป็นพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมัน แสดงการเปรียบเทียบการจำลองความชื้นในดินแสดงดังรูปที่ 4.2-5 โดยค่าความชื้นในดินจากแบบจำลองมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับความชื้นดินจากการตรวจวัดมีความสัมพันธ์สูง แต่ยังคงมีความคลาดเคลื่อนจากการจำลองอยู่ในบางช่วง

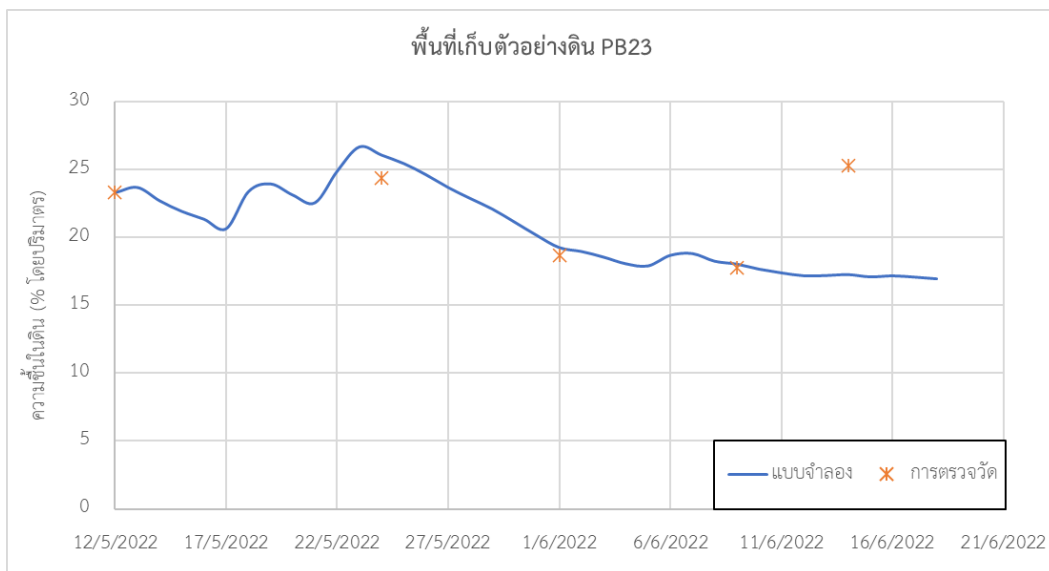
- พื้นที่ PB54 เป็นพื้นที่เพาะปลูกยางพารา แสดงการเปรียบเทียบการจำลองความชื้นในดินแสดงดังรูปที่ 4.2-6 โดยค่าความชื้นในดินจากแบบจำลองมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับความชื้นดินจากการตรวจวัดมีความสัมพันธ์สูง แต่มีค่าจากการตรวจวัดในวันที่ 9 มิถุนายน 2565 จากการตรวจวัดที่มีค่าต่ำมากซึ่งต้องตรวจสอบค่าจากการตรวจวัดในวันดังกล่าวอีกครั้ง

ตารางที่ 4.2-2 ดัชนีการสอบเทียบความชื้นในดินจากแบบจำลองกับการตรวจวัด

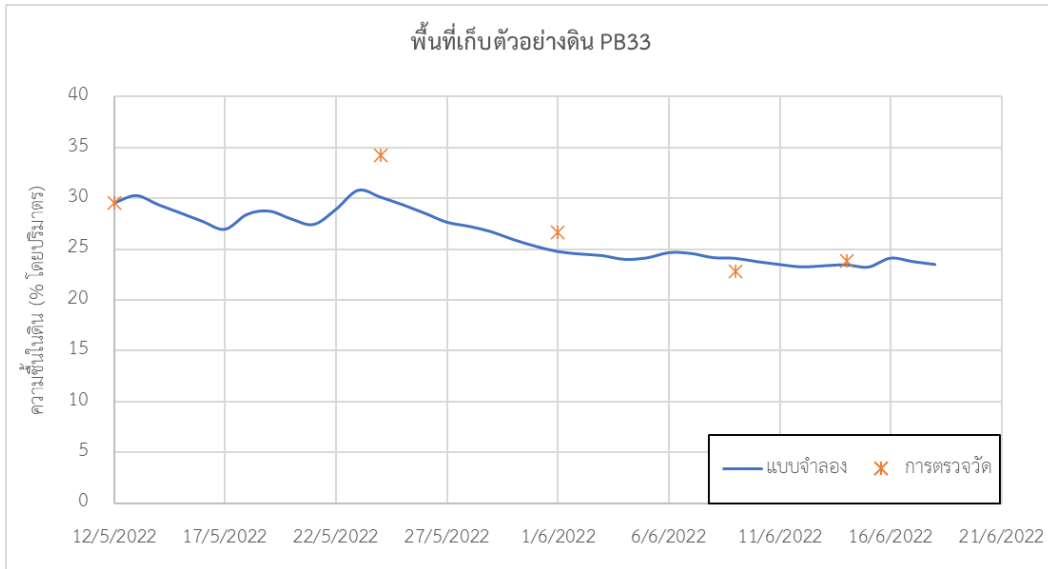
ตำแหน่ง	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	ดัชนีการสอบเทียบ				
		R ²	RMSE	ARE	PBIAS	NSE
PB22	อ้อย	0.74	2.64	8.99	-6.07	0.55
PB23	มะม่วง	0.12	4.14	10.92	5.01	-0.52
PB33	ปาล์มน้ำมัน	0.95	2.37	6.58	3.67	0.72
PB42	ปาล์มน้ำมัน	0.77	3.11	12.59	-1.89	0.59
PB54	ยางพารา	0.65	4.82	27.51	-12.71	0.28



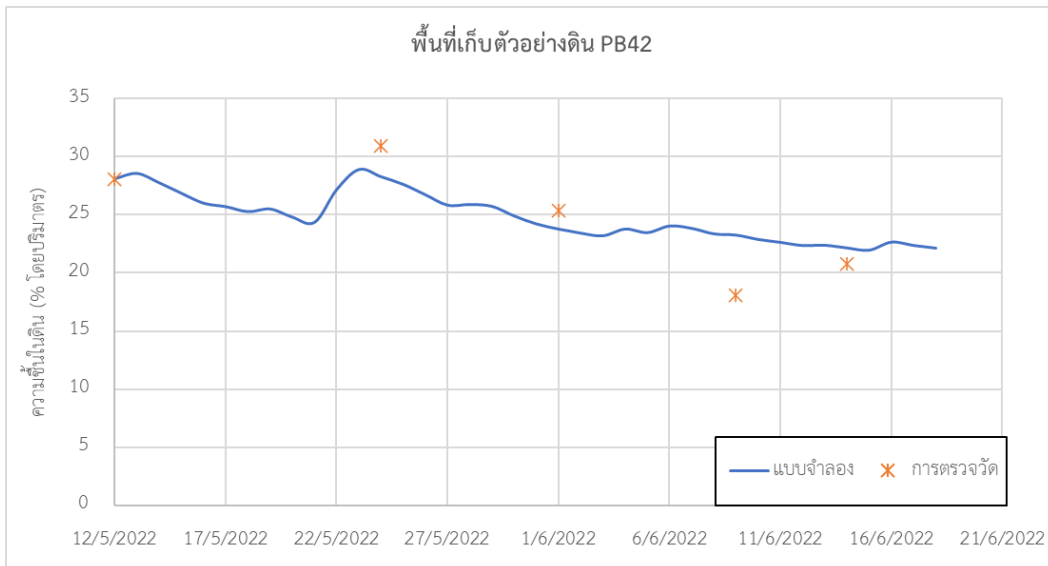
รูปที่ 4.2-2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินจากแบบจำลองในพื้นที่ตัวอย่าง PB22



รูปที่ 4.2-3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินจากแบบจำลองในพื้นที่ตัวอย่าง PB23



รูปที่ 4.2-4 การเปรียบเทียบความชื้นในดินจากแบบจำลองในพื้นที่ตัวอย่าง PB33



รูปที่ 4.2-5 การเปรียบเทียบความชื้นในดินจากแบบจำลองในพื้นที่ตัวอย่าง PB42



รูปที่ 4.2-6 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินจากแบบจำลองในพื้นที่ตัวอย่าง PB54

4.3 ผลการประเมินปริมาณฝนหลวงและปริมาณน้ำท่าโดยแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า

4.3.1 การประเมินปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจากปฏิบัติการฝนหลวง

จากข้อมูลการปฏิบัติการฝนหลวงระหว่างปี 2018-2021 รายละเอียดแสดงดัง**บทที่ 3** โดยมีการปฏิบัติการฝนหลวงในปี 2018 ช่วงระหว่างเดือนเมษายน-พฤษภาคม จำนวนทั้งสิ้น 20 วัน ปฏิบัติการฝนหลวงในปี 2019 ช่วงระหว่างเดือน มีนาคม-มิถุนายน จำนวนทั้งสิ้น 63 วัน ปฏิบัติการฝนหลวงในปี 2020 ช่วงระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-พฤษภาคมจำนวนทั้งสิ้น 65 วัน และปี 2021 ช่วงระหว่างเดือนมีนาคม-มิถุนายน จำนวนทั้งสิ้น 93 วัน ข้อมูลการปฏิบัติการฝนหลวงดังกล่าวร่วมกับพื้นที่ที่มีการปฏิบัติการฝนหลวงได้ถูกนำมาประเมินถึงปริมาณฝนที่เกิดขึ้น โดยได้ดำเนินการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณฝนรวมทั้งหมดของพื้นที่ลุ่มน้ำและปริมาณฝนหลวงที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติการฝนหลวงตามพื้นที่ที่กำหนด รายละเอียดแสดงดัง **ตารางที่ 4.3.1-1** ซึ่งการวิเคราะห์ปริมาณฝนดังกล่าวได้ใช้ข้อมูลปริมาณฝนจากแหล่งข้อมูล 3 แหล่ง ได้แก่ ปริมาณฝนจากสถานีตรวจวัด (Station) ปริมาณฝนดาวเทียม (JAXA) และปริมาณฝนเรดาร์ (Radar) โดยข้อกำหนดในการวิเคราะห์ปริมาณฝนได้แก่

- 1) ปริมาณฝนหลวงที่เกิดขึ้นคำนวณในช่วงเวลา 12 ชม. 02.00 UTC – 14.00 UTC และคำนวณเฉพาะพื้นที่ในกรวยจากการปฏิบัติการของฝนหลวง ณ วันนั้นๆ โดยที่
 - ปริมาณฝนสถานี (Station): มีรูปแบบข้อมูลเป็นปริมาณรายวัน 24 ชั่วโมง วิเคราะห์โดยจากการประมาณค่าเชิงพื้นที่ด้วยวิธี Inverse Distance Weight จากนั้นคำนวณปริมาณฝน 12 ชม. จากข้อมูลฝนต้นฉบับ 24 ชม. โดยเปรียบเทียบอัตราส่วนที่ได้จากการคำนวณปริมาณฝนทั้งหลวงต่อปริมาณฝนทั้งหมดในขั้นตอนของการประเมินฝนดาวเทียม

- ปริมาณฝนดาวเทียม (JAXA): มีรูปแบบข้อมูลเป็นกริด โดยมีขนาดของกริดเท่ากับ 10x10 กม. วิเคราะห์โดยการคำนวณปริมาณฝน 12 ชม. จากข้อมูลต้นฉบับฝน JAXA ราย 1 ชั่วโมง
- ปริมาณฝน Radar: มีรูปแบบข้อมูลเป็นพิกัด และทำการปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของกริดขนาด 1x1 กม. โดยข้อมูลปริมาณฝน Radar ไม่ได้ดำเนินการปรับในเรื่องของช่วงเวลาเนื่องจากกรมฝนหลวงฯ ได้มีการประเมินฝนเป็นราย 12 ชม.

2) ปริมาณฝนรวมในพื้นที่ลุ่มน้ำคำนวณจากปริมาณฝนรายวัน 24 ชั่วโมง โดยในการคำนวณจะประเมินทั้งพื้นที่ของลุ่มน้ำ โดยที่

- ปริมาณฝนสถานี (Station): รูปแบบข้อมูลเป็นปริมาณรายวัน 24 ชั่วโมง วิเคราะห์โดยการประมาณค่าเชิงพื้นที่ด้วยวิธี Inverse Distance Weight (IDW)
- ปริมาณฝนดาวเทียม (JAXA): มีรูปแบบข้อมูลเป็นกริด โดยมีขนาดของกริดเท่ากับ 10x10 กม. วิเคราะห์โดยการคำนวณปริมาณฝน 24 ชม. จากข้อมูลต้นฉบับฝน JAXA รายชั่วโมง
- ปริมาณฝน Radar: มีรูปแบบข้อมูลเป็นพิกัด และทำการปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของกริด โดยข้อมูลปริมาณฝน Radar ไม่ได้ดำเนินการปรับในเรื่องของช่วงเวลาเนื่องจากกรมฝนหลวงฯ มีข้อมูลปริมาณฝนในรูปแบบของราย 24 ชั่วโมง

จากการปฏิบัติการฝนหลวงในช่วงปี 2018-2021 เมื่อพิจารณาการปฏิบัติการรายเดือนพบว่า ในปี 2018 การปฏิบัติการฝนหลวงในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีอยู่ในช่วงระหว่างเดือน เมษายน-พฤษภาคม จำนวน 20 ครั้ง โดยมีการปฏิบัติการเดือนเมษายนจำนวน 13 ครั้ง และเดือนพฤษภาคมจำนวน 7 ครั้ง ซึ่งผลจากการปฏิบัติการเมื่อประเมินจากแหล่งข้อมูล Station/JAXA/Radar ปริมาณฝนหลวงที่เกิดในช่วงเดือนเมษายนมีค่ามากกว่าเดือนพฤษภาคมเล็กน้อย โดยปริมาณฝนในเดือนเมษายนมีค่าเท่ากับ 40.52/61.4/85.97 มม. คิดเป็น 76.19/116.52/131.77 ล้าน ลบม.

ในปี 2019 มีการปฏิบัติการอยู่ในช่วงระหว่างเดือนมีนาคม-มิถุนายนจำนวนทั้งสิ้น 63 ครั้ง โดยมีการปฏิบัติการส่วนใหญ่อยู่ในช่วงเดือนเมษายนและเดือนพฤษภาคมจำนวน 22 และ 24 ครั้งตามลำดับ ผลจากการปฏิบัติการเมื่อประเมินจากแหล่งข้อมูล Station/JAXA/Radar พบว่าเดือนเมษายนมีปริมาณฝนหลวงเกิดขึ้นในพื้นที่ที่ปฏิบัติการเท่ากับ 11.73/90.55/177.69 มม. คิดเป็นปริมาณฝน 22.88/186.69/343.47 ล้าน ลบ.ม. ในขณะที่เดือนพฤษภาคมมีปริมาณฝนหลวงเกิดขึ้นเท่ากับ 65.93/70.72/180.13 มม. คิดเป็น 118.13/112.71/331.67 ล้าน ลบ.ม. และปี 2020 มีการปฏิบัติการฝนหลวงในช่วงระหว่างเดือนมีนาคม-พฤษภาคม

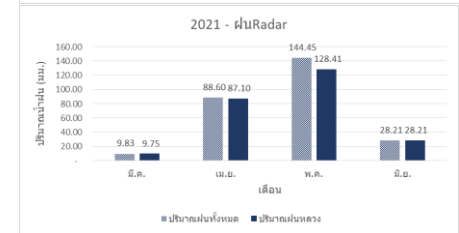
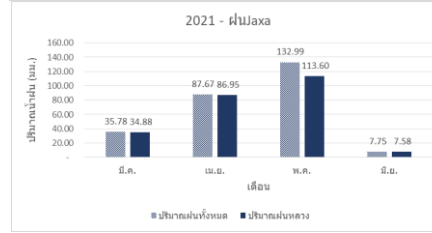
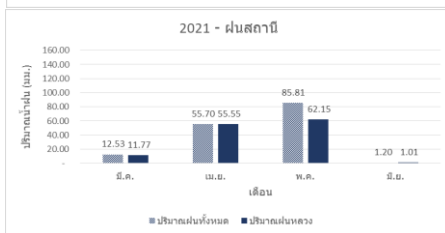
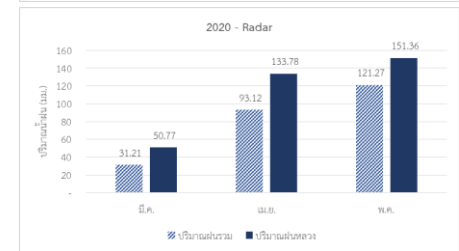
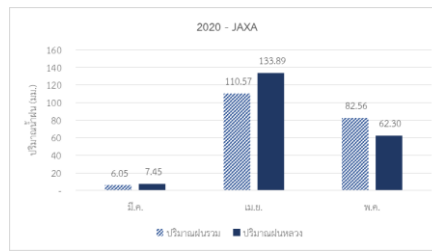
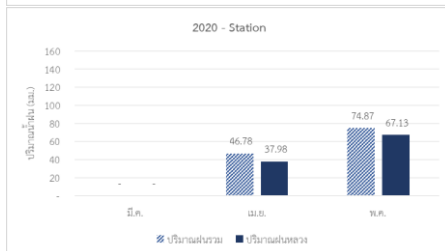
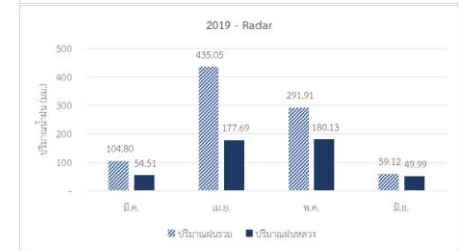
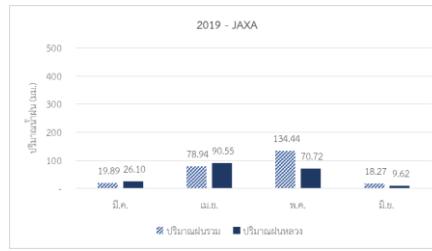
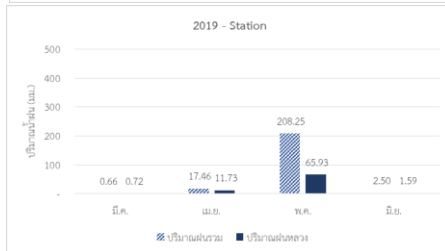
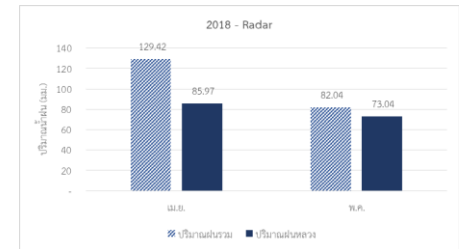
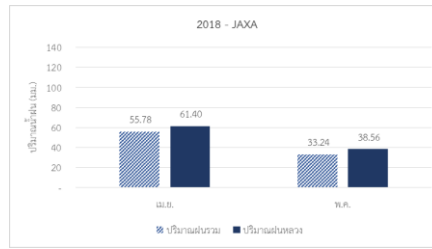
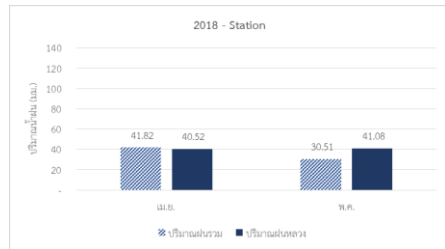
ปี 2020 มีการปฏิบัติการฝนหลวงเกิดในช่วงระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-พฤษภาคม โดยมีการปฏิบัติการรวมทั้งสิ้น 65 ครั้ง การปฏิบัติการส่วนใหญ่เกิดขึ้นในเดือนเมษายนและเดือนพฤษภาคมจำนวนทั้งสิ้น 24 และ 27 ครั้งตามลำดับ ผลจากการปฏิบัติการเมื่อประเมินจากแหล่งข้อมูล Station/JAXA/Radar พบว่าปริมาณฝนที่เกิดขึ้นในเดือนเมษายนมีค่าเท่ากับ 37.98/133.89/133.78 มม. คิดเป็น

127.80/380.58/372.76 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ และเดือนพฤษภาคมมีปริมาณฝนหลวงเกิดขึ้นเท่ากับ 67.13/62.30/151.36 มม. คิดเป็น 189.12/231.52/493.82 ล้าน ลบ.ม.

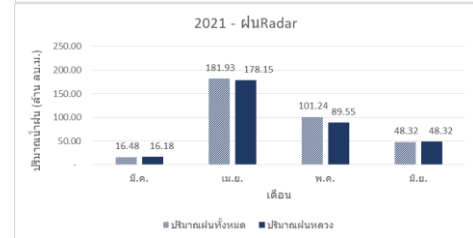
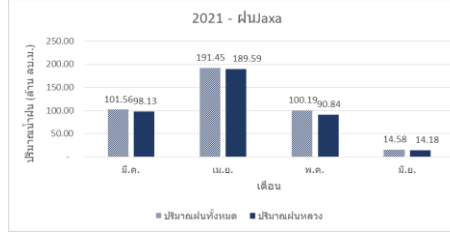
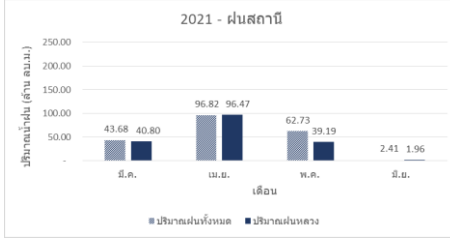
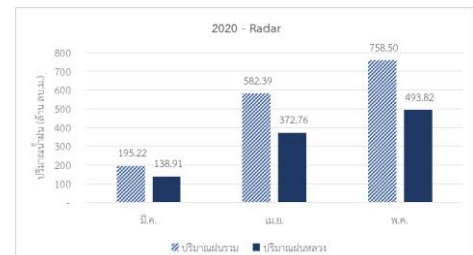
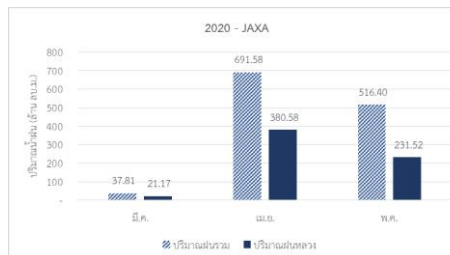
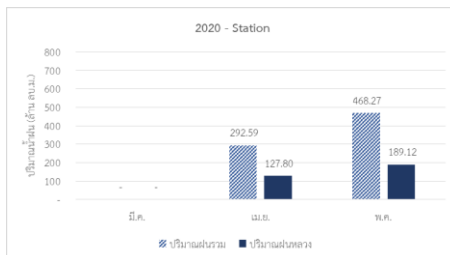
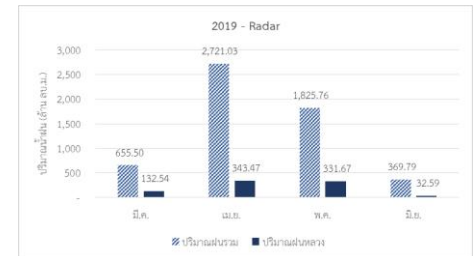
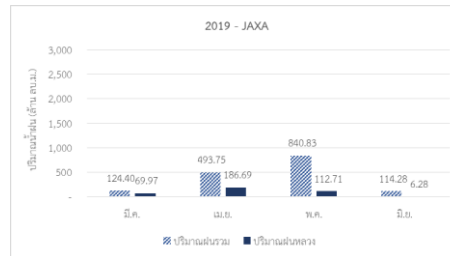
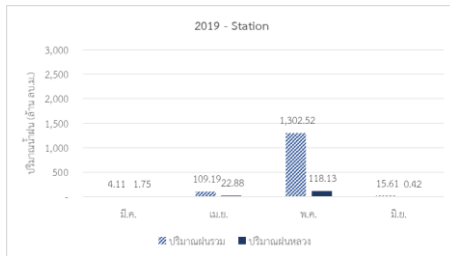
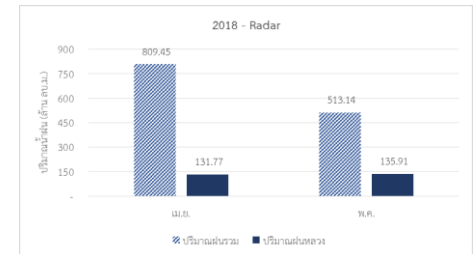
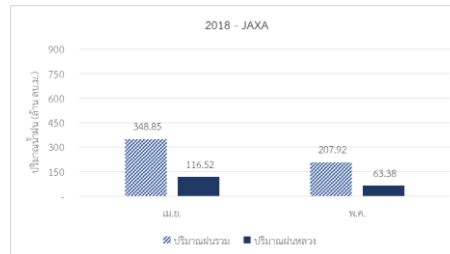
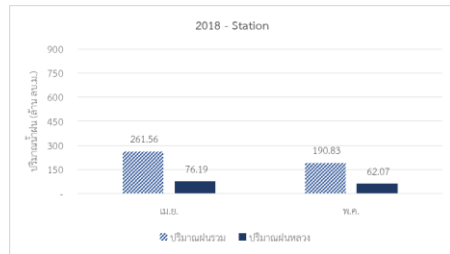
ปี 2021 มีการปฏิบัติการฝนหลวงเกิดในช่วงระหว่างเดือนมีนาคม-มิถุนายน โดยมีการปฏิบัติการรวมทั้งสิ้น 93 วัน การปฏิบัติการส่วนใหญ่เกิดขึ้นในเดือนเมษายน กรกฎาคม และสิงหาคมจำนวนทั้งสิ้น 18,17 และ 16 ครั้งตามลำดับ ผลจากการปฏิบัติการเมื่อประเมินจากแหล่งข้อมูล Station/JAXA/Radar พบว่าปริมาณฝนที่เกิดขึ้นในเดือนเมษายน กรกฎาคม และสิงหาคม มีค่าโดยประมาณอยู่ในช่วง 62.15-55.55/86.95-113.60/87.10-128.41 มม. คิดเป็น 39.19-86.47/90.84-189.59/89.55 - 178.15 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ ตารางที่ 4.3.1-1 และรูปที่ 4.3.1-1 และ 4.3.1-2 แสดงรายละเอียดจำนวนครั้งของการปฏิบัติการ ปริมาณฝนรวมและปริมาณฝนหลวงที่เกิดขึ้นในช่วงของการปฏิบัติการ

ตารางที่ 4.3.1-1 สรุปจำนวนการปฏิบัติการฝนหลวงรายเดือน

จำนวนการปฏิบัติการฝนหลวง (ครั้ง)				
ปี	2018	2019	2020	2021
กุมภาพันธ์	-	-	2	-
มีนาคม	-	11	12	10
เมษายน	13	22	24	18
พฤษภาคม	7	24	27	13
มิถุนายน	-	6	-	9
กรกฎาคม	-	-	-	17
สิงหาคม	-	-	-	16
กันยายน	-	-	-	10
รวม	20	63	65	93



รูปที่ 4.3.1-1 ปริมาณฝนหลวงและฝนรวมทั้งหมดรายเดือนระหว่างปี 2018-2021 ช่วงวันที่มีการปฏิบัติการฝนหลวง (มม.)

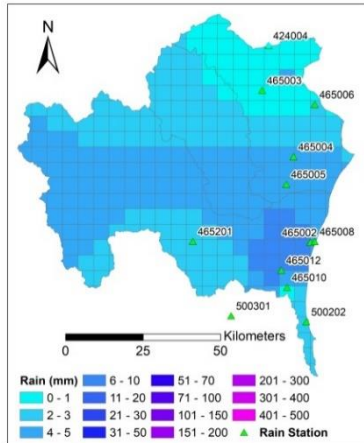


รูปที่ 4.3.1-2 ปริมาณฝนหลวงและฝนรวมทั้งมตรรายเดือนระหว่างปี 2018-2021 ช่วงวันที่มีการปฏิบัติการฝนหลวง (ล้าน ลบ.ม.)

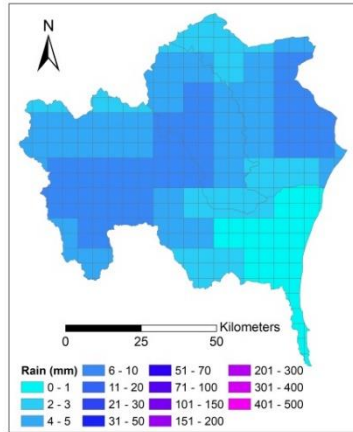
4.3.2 ผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจากแหล่งข้อมูลที่แตกต่างกัน

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณฝนจากทั้ง 3 แหล่งข้อมูลพบว่า ปริมาณฝนที่เกิดจากการคำนวณโดยใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดที่สถานีและข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม JAXA จะให้ผลที่ใกล้เคียงกันทั้งในการประเมินปริมาณฝนรวมและปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจากฝนหลวง แต่จะเห็นได้ว่าปริมาณฝนที่ได้จากการประเมินโดย Radar จะให้ค่าผลรวมที่ค่อนข้างสูงแตกต่างจากปริมาณฝนทั้งของสถานีและ JAXA โดยเฉพาะในช่วงปี 2018 และ 2019 ปริมาณฝนที่คำนวณจากฝน Radar ให้ค่าปริมาณฝนรวมที่สูงมาก

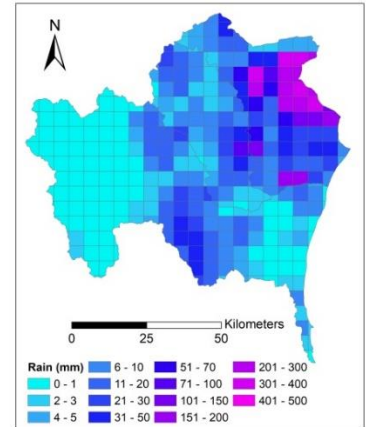
จากข้อมูลตั้งต้นของปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจากทั้ง 3 แหล่งข้อมูล ตัวอย่างข้อมูลแสดงดังรูปที่ 4.3.2-1 ถึง รูปที่ 4.3.2-5 พบว่า ดังตัวอย่างวันที่ 23 เมษายน 2021 (รูปที่ 4.3.2-1) ปริมาณฝนส่วนใหญ่ในพื้นที่ของกลุ่มน้ำเพชรบุรีเมื่อทำการตรวจวัดจากสถานีให้ค่าต่ำกว่า 6 มม. และปริมาณฝนส่วนใหญ่เมื่อทำการวิเคราะห์จากข้อมูล JAXA ให้ผลในพื้นที่กลุ่มน้ำเพชรบุรีอยู่ในช่วงระหว่าง 0-10 มม. แต่ข้อมูลปริมาณฝนจาก Radar แสดงผลในพื้นที่กลุ่มน้ำตอนล่างอยู่ในช่วงประมาณ 0-400 มม. ในขณะที่กลุ่มน้ำตอนบนบางพื้นที่มีค่าสูงถึง 0-30 มม. ลักษณะปริมาณฝนที่เกิดขึ้นในรูปแบบดังกล่าวยังพบได้ในวันอื่นๆ เช่นวันที่ 19 พฤษภาคม 2021 และวันที่ 20 มิถุนายน 2021 (รูปที่ 3.1-4 และ 3.1-5) ซึ่งปริมาณฝนที่ประเมินได้จาก Radar ในพื้นที่กลุ่มน้ำตอนบนมีค่าสูงถึง 0-400 มม. ในขณะที่ปริมาณฝนที่สูงขนาดนี้ไม่พบในข้อมูลฝนจากสถานีตรวจวัดและข้อมูลฝนจาก JAXA



Station

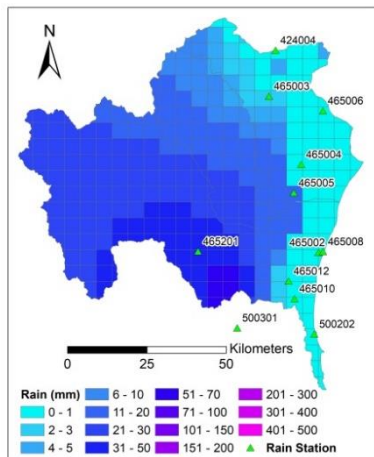


JAXA

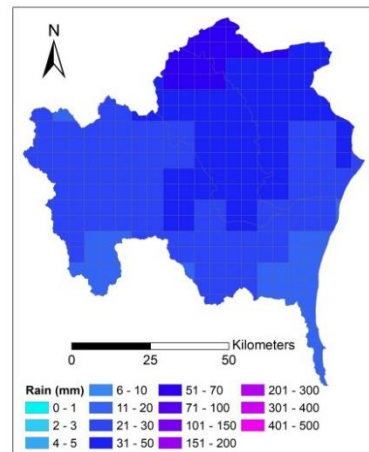


Radar

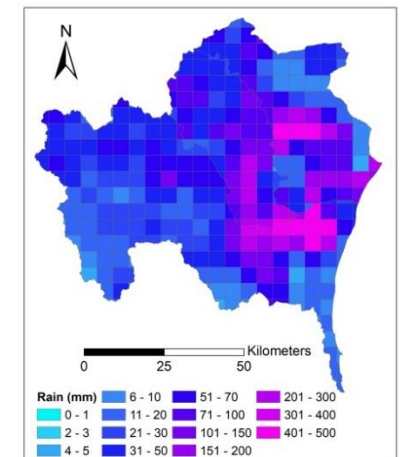
รูปที่ 4.3.2-1 ปริมาณฝนเชิงพื้นที่ของ Station JAXA และ Radar วันที่ 23 เมษายน 2021



Station

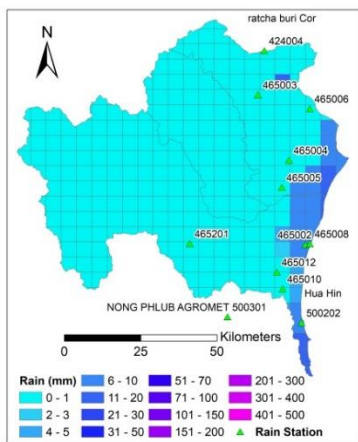


JAXA

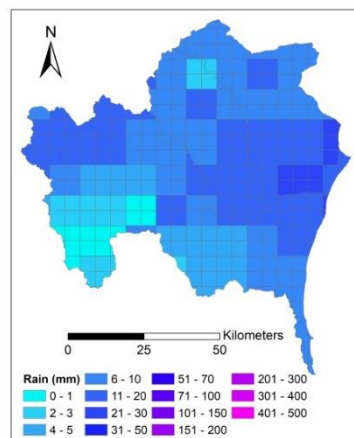


Radar

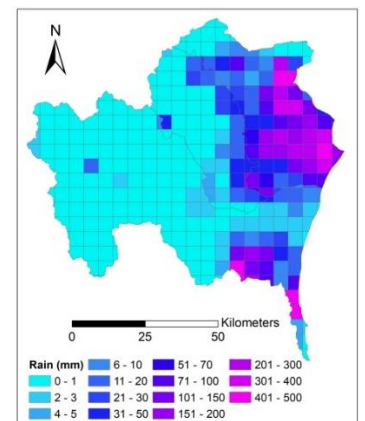
รูปที่ 4.3.2-2 ปริมาณฝนเชิงพื้นที่ของ Station JAXA และ Radar วันที่ 19 พฤษภาคม 2021



Station



JAXA



Radar

รูปที่ 4.3.2-3 ปริมาณฝนเชิงพื้นที่ของ Station JAXA และ Radar วันที่ 20 มิถุนายน 2021

4.3.3. สรุปการประเมินปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติการฝนหลวง

จากผลการประเมินปริมาณฝนที่เกิดขึ้นในช่วงการปฏิบัติการฝนหลวงโดยประเมินจากปริมาณฝนที่เกิดขึ้นในช่วงระหว่างเวลา 02.00 UTC-14.00 UTC เฉพาะในพื้นที่ที่มีการปฏิบัติการฝนหลวงเปรียบเทียบกับปริมาณฝนรวมทั้งหมด 24 ชม. สัดส่วนของปริมาณฝนหลวงต่อปริมาณฝนรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีรายเดือนมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 3%-100% ขึ้นอยู่กับแหล่งข้อมูลที่นำมาประเมินปริมาณฝนที่เกิดขึ้น โดยหากพิจารณาจากแหล่งข้อมูลปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัด (Station) พบว่าสัดส่วนปริมาณฝนหลวงต่อปริมาณฝนรวมทั้งหมดรายเดือนมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 3%-100% ในขณะที่หากประเมินจากแหล่งข้อมูลปริมาณฝนจากดาวเทียม (JAXA) จะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 5%-99% และผลการประเมินจากการใช้ข้อมูลจาก Radar พบว่าปริมาณฝนหลวงต่อปริมาณฝนรวมทั้งหมดมีค่าสูงที่สุดโดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 9%-100% ตารางที่ 4.3.3-1 และรูปที่ 4.3.3-1 และ 4.3.3-2 แสดงสัดส่วนเปรียบเทียบปริมาณฝนหลวงต่อปริมาณฝนรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 4.3.3-1 สัดส่วนปริมาณฝนหลวงต่อปริมาณฝนรวมรายเดือนทั้งหมดของการปฏิบัติการฝนหลวง

ปี	เดือน	ปริมาณฝน (ล้าน ลบ.ม.)								
		Station			JAXA			Radar		
		Rainfall	RRM	RRM/ Rainfall (%)	Rainfall	RRM	RRM/ Rainfall (%)	Rainfall	RRM	RRM/ Rainfall (%)
2018	เม.ย.	261.56	76.19	29	348.85	116.52	33	809.45	131.77	16
	พ.ค.	190.83	62.07	33	207.92	63.38	30	513.14	135.91	26
2019	มี.ค.	4.11	1.75	43	124.40	69.97	56	655.50	132.54	20
	เม.ย.	109.19	22.88	21	493.75	186.69	38	2,721.03	343.47	13
	พ.ค.	1,302.52	118.13	9	840.83	112.71	13	1,825.76	331.67	18
	มิ.ย.	15.61	0.42	3	114.28	6.28	5	369.79	32.59	9
2020	มี.ค.	-	-	-	37.81	21.17	56	195.22	138.91	71
	เม.ย.	292.59	127.80	44	691.58	380.58	55	582.39	372.76	64
	พ.ค.	468.27	189.12	40	516.40	231.52	45	758.50	493.82	65
2021	มี.ค.	43.68	40.80	93	101.56	98.13	96	16.48	16.18	98
	เม.ย.	96.82	96.47	100	191.45	189.59	99	181.93	173.15	95
	พ.ค.	62.73	39.19	62	100.19	90.84	90	101.24	89.55	88
	มิ.ย.	2.41	1.96	81	14.58	14.18	97	48.32	48.32	100

ข้อจำกัดหลักในการวิเคราะห์ถึงปริมาณฝนรวมและปริมาณฝนหลวงที่เกิดขึ้นคือการเลือกแหล่งข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ ในการประเมินปริมาณฝนโดยทั่วไปปริมาณฝนตรวจวัดจากสถานี (Station) จะถูกนำมาใช้ในการประเมิน ซึ่งวิธีการเฉลี่ยปริมาณฝนเชิงพื้นที่เช่น Thiessen Polygon จะถูกนำมาใช้ในการประเมินถึงปริมาณฝนเฉลี่ยในพื้นที่ที่สนใจหรือพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด อย่างไรก็ตามการประเมินปริมาณฝนหลวง

จำเป็นต้องใช้ข้อมูลปริมาณฝนที่มีความละเอียดมากกว่าปริมาณฝนสะสม 24 ชม. เนื่องจากในการปฏิบัติการฝนหลวงแต่ละครั้งจะทำการประเมินปริมาณฝนที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา 02.00 UTC-14.00 UTC ข้อมูลปริมาณฝนที่มีความถี่ในการเก็บข้อมูลมากกว่า 24 ชม. เช่น ปริมาณฝนรายชั่วโมงหรือปริมาณฝนรายวัน จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษา ซึ่งสถานีตรวจวัดปริมาณฝน (Station) ที่มีการตรวจวัดในช่วงความถี่ดังกล่าวยังมีอยู่ไม่มากนัก ดังนั้นข้อมูลปริมาณฝนดาวเทียม (JAXA) และข้อมูลปริมาณฝนเรดาร์ (Radar) จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาคั้งนี้

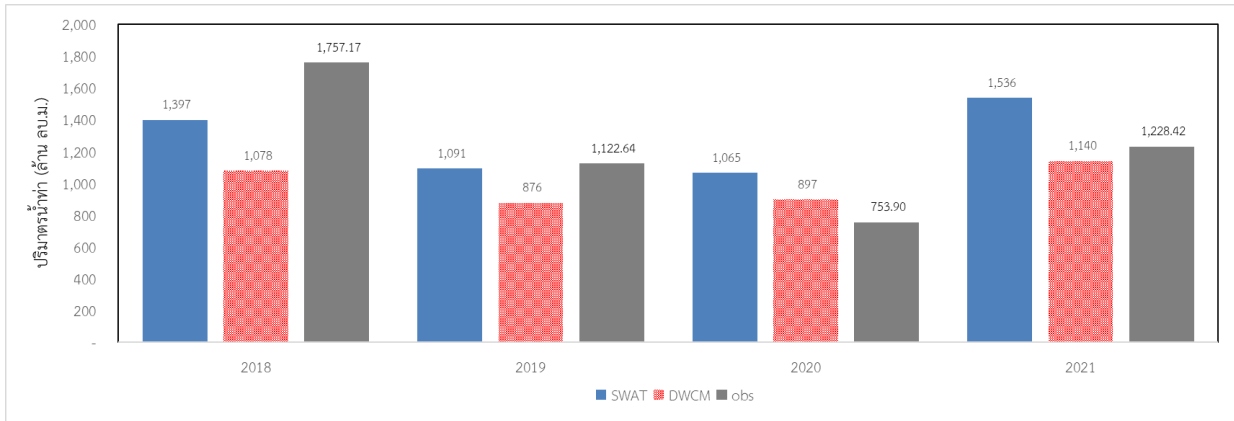
อย่างไรก็ตามข้อมูลปริมาณฝนดาวเทียม (JAXA) และข้อมูลปริมาณฝนเรดาร์ (Radar) จำเป็นต้องมีการปรับค่า (Bias correction) เปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณฝนตรวจวัดจากสถานี ซึ่งการศึกษาคั้งนี้ได้มีการปรับค่าปริมาณฝนดาวเทียม (Bias correction) และปริมาณฝนเรดาร์ (Radar) ได้มีการปรับค่าโดยการใช้อัตราส่วน Z-R ซึ่งข้อมูลปริมาณฝนเรดาร์ (Radar) ดังกล่าวได้รับความอนุเคราะห์จากกรมฝนหลวงและการบินเกษตร จากผลการศึกษาข้างต้นจะเห็นได้ว่าข้อมูลปริมาณฝนรวมและปริมาณฝนหลวงที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ด้วยแหล่งข้อมูลฝนที่แตกต่างกันจะให้ค่าปริมาณฝนที่มีความแตกต่างกันเป็นอย่างมากในบางช่วงเวลา ดังนั้นการศึกษาคั้งนี้จึงเลือกใช้แหล่งข้อมูล รวมถึงการวิธีการปรับค่าปริมาณฝนจากดาวเทียม (JAXA) และปริมาณฝนจากเรดาร์ (Radar) ควรมีการศึกษาอย่างละเอียดต่อไปในอนาคต

4.3.4 การประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อประเมินปริมาณน้ำท่าไหลลงอ่างเก็บน้ำ

จากโครงการในระยะที่ 1 ได้มีการปรับเทียบและทวนสอบแบบจำลองทั้ง 2 แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลอง Soil and Water Assessment Tool (SWAT) และแบบจำลอง Distributed Water Circulation Model incorporating with Agricultural Water Use (DWCM-AgWU) เสร็จสิ้นโดยเป็นการปรับเทียบจากการใช้ข้อมูลปริมาณฝนจาก 3 แหล่งข้อมูล ได้แก่ ข้อมูลของปริมาณฝนจากการตรวจวัดด้วยดาวเทียม (JAXA) ปริมาณฝนจากสถานีตรวจวัด (Station) และปริมาณฝนจากการตรวจวัดด้วยเรดาร์ (Radar) พบว่าข้อมูลปริมาณฝนตรวจวัดโดยดาวเทียมให้ผลที่ได้จากแบบจำลองใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการตรวจวัดมากที่สุด ดังนั้นข้อมูลปริมาณฝนจากภาพถ่ายดาวเทียมจึงได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ต่อเนื่องในการประเมินถึงปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน โดยมีรายละเอียดการศึกษาดังนี้

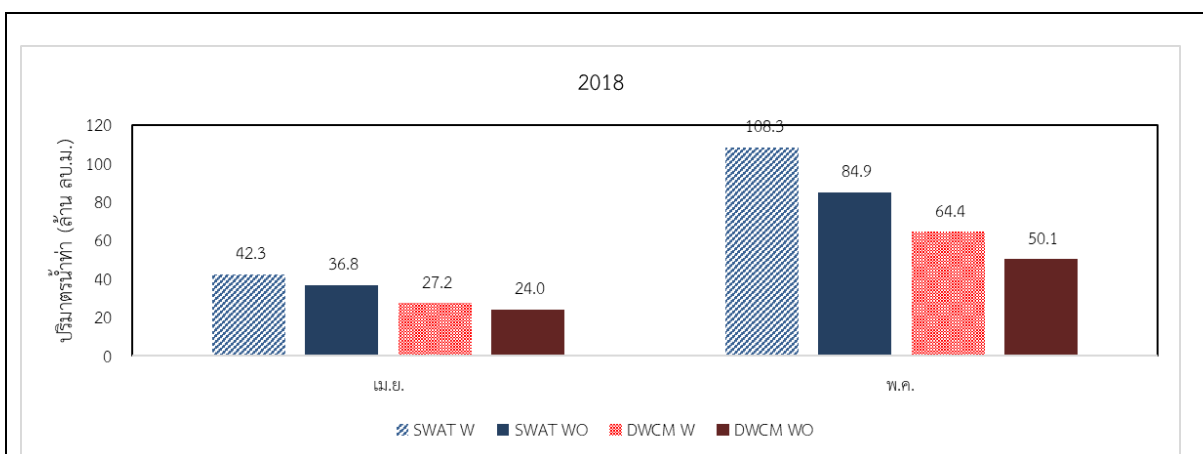
1) การประเมินปริมาณน้ำท่าไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานโดยแบบจำลอง SWAT และ DWCM

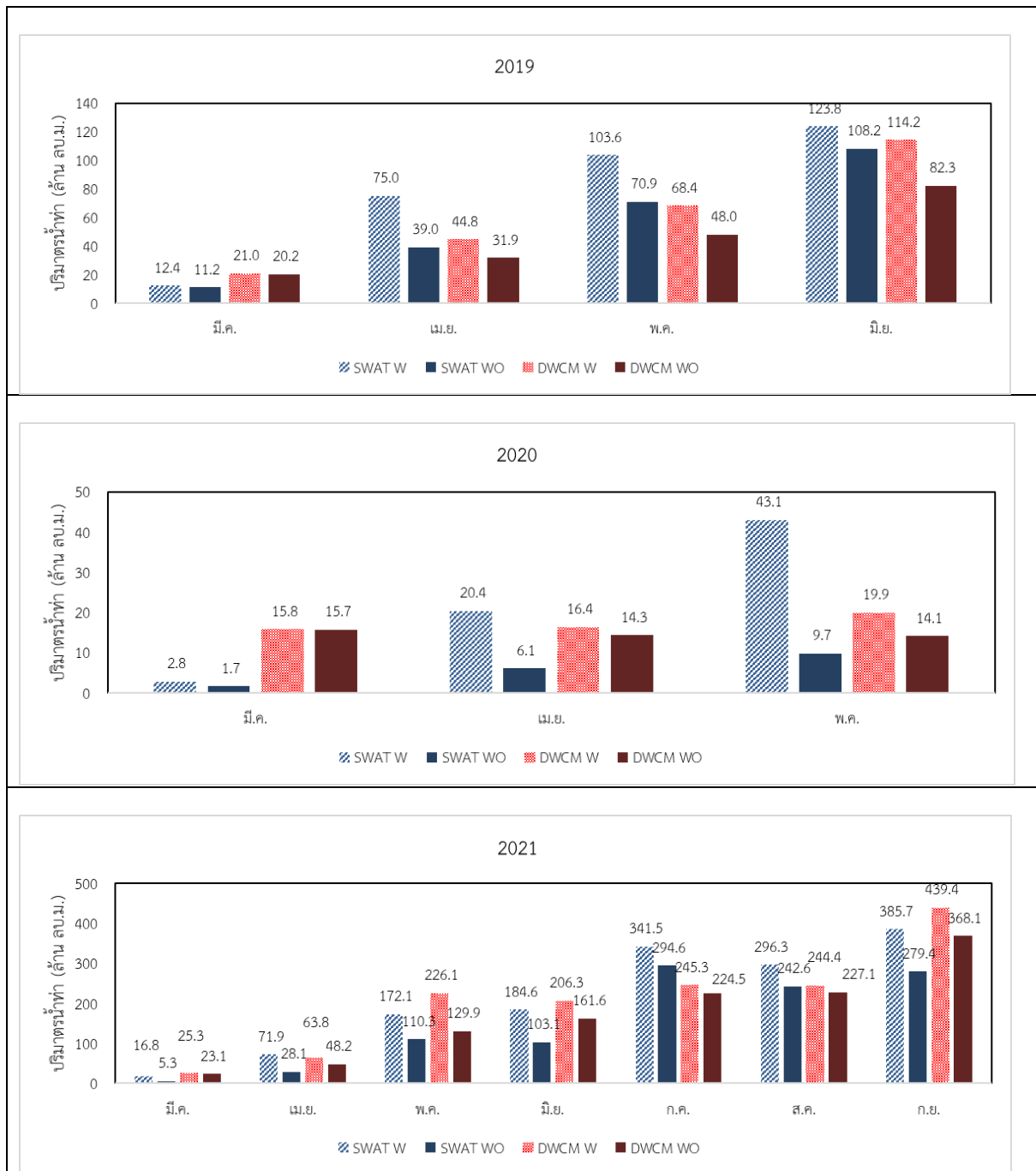
ผลการประเมินปริมาณน้ำท่าไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานในช่วงปี 2018-2021 จากแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า 2 แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลอง SWAT และแบบจำลอง DWCM พบว่า ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีจากการประเมินโดยใช้ปริมาณฝนตรวจวัดจากภาพถ่ายดาวเทียมมีค่าเท่ากับ 1,272 และ 998 ล้าน ลบ.ม. และปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,216 ล้าน ลบ.ม. โดยเมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อน (Percent error) เฉลี่ยในช่วงปี 2018-2021 ของทั้ง 2 แบบจำลองพบว่ามีค่าเท่ากับ 5% และ 17% ตามลำดับ โดยในช่วงปริมาณน้ำท่าสูงสุดของปี 2018 แบบจำลอง DWCM จะมีค่าความคลาดเคลื่อนที่สูงกว่าแบบจำลอง SWAT ในขณะที่ช่วงปริมาณน้ำท่าน้อยที่สุดในปี 2020 แบบจำลอง SWAT จะมีค่าความคลาดเคลื่อนที่สูงกว่าแบบจำลอง DWCM ผลของปริมาณน้ำท่ารายปีแสดงดังรูปที่ 4.3.4-1



รูปที่ 4.3.4-1 ผลเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานรายปีของแบบจำลอง SWAT และ DWCM

นอกจากนั้นการศึกษาค้างนี้ยังได้พิจารณาปริมาณน้ำท่าโดยแบ่งเป็น 2 กรณี ได้แก่ กรณีที่พิจารณาจากปริมาณฝนรวมทั้งหมด และกรณีที่พิจารณาปริมาณฝนโดยไม่นำปริมาณฝนที่เกิดจากฝนหลวงมาร่วมในการคำนวณ ผลการประเมินปริมาณน้ำท่ารายเดือนในเฉพาะช่วงเดือนที่มีการปฏิบัติการฝนหลวงในปี 2018-2021 (รูปที่ 4.3.4-2) จากปริมาณฝนรวมทั้งหมดพบว่าปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วงระหว่าง 2.8-385.7 ล้าน ลบ.ม. สำหรับแบบจำลอง SWAT และ 15.79-439.4 ล้าน ลบ.ม. สำหรับแบบจำลอง DWCM โดยที่ช่วงเดือนที่มีปริมาณน้ำต่ำสุดได้แก่เดือน มีนาคม 2020 และปริมาณน้ำสูงสุดได้แก่เดือน กันยายน 2021 และมีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยของทุกช่วงเดือนที่มีการปฏิบัติการฝนหลวงของแบบจำลอง SWAT และ DWCM เท่ากับ 125 และ 115 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาความแตกต่างของปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นเมื่อไม่พิจารณาปริมาณฝนที่เกิดจากการปฏิบัติการฝนหลวงโดยพิจารณาเฉพาะพื้นที่ที่ระบุว่าจะมีการปฏิบัติการพบว่า ปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจะมีค่าลดลง โดยแบบจำลอง SWAT จะมีค่าความแตกต่างของปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นเท่ากับ 35.5 ล้าน ลบ.ม. ในขณะที่แบบจำลอง DWCM จะมีความแตกต่างเท่ากับ 22.5 ล้าน ลบ.ม.





รูปที่ 4.3.4-2 ผลเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานโดยการพิจารณาฝนหลวง

2) การพัฒนาระบบการพยากรณ์สำหรับปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำระยะสั้น

ระบบพยากรณ์สำหรับปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำระยะสั้นพัฒนาขึ้นเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจความเหมาะสมในการปฏิบัติการทำฝนหลวงในพื้นที่ลุ่มน้ำเหนืออ่างเก็บน้ำเพื่อให้มีปริมาณน้ำท่าไหลลงอ่างเก็บน้ำให้มีความสอดคล้องต่อสถานการณ์ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ ซึ่งเป็นปฏิบัติการเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอ่างเก็บน้ำเขื่อนแก่งกระจาน ซึ่งเป็นอ่างเก็บน้ำที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อการบริหารจัดการน้ำในลุ่มน้ำเพชรบุรี เนื่องจากมีเป็นแหล่งน้ำต้นทุนหลักสำหรับกิจกรรมการใช้น้ำส่วนใหญ่ของลุ่มน้ำทั้งอุปโภค-บริโภค รักษาระบบนิเวศ อุตสาหกรรม และการเกษตร โดยแนวความคิดของการพัฒนามุ่งเน้นให้มีการ

พยากรณ์ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำล่งหน้าในระยะสั้น (9 วัน) เพื่อแสดงแนวโน้มของปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ ร่วมกับข้อมูลปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ โดยพิจารณาจากปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำซึ่งประเมินจากข้อมูลฝน พยากรณ์และแผนการจัดสรรน้ำรายสัปดาห์ ซึ่งเป็นการอัปเดตข้อมูลเรียลไทม์ในรูปแบบอัตโนมัติรายวัน โดย การศึกษาครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง DWCM มาใช้ในระบบการพยากรณ์

(1) โครงสร้างของระบบการพยากรณ์สำหรับการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำระยะสั้น

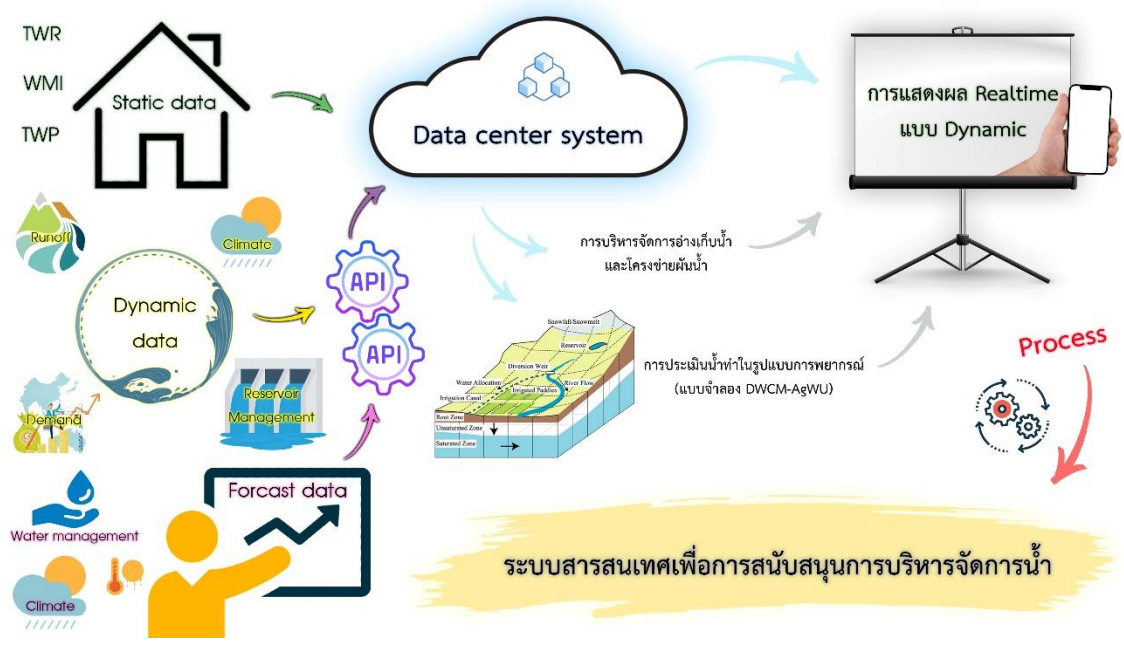
โครงสร้างของระบบการพยากรณ์ดังกล่าวประกอบด้วย 1) ส่วนข้อมูลนำเข้า (Input) 2) ส่วน กระบวนการ (Process) และ 3) ส่วนการแสดงผล (Output) แสดงดังรูปที่ 4.3.4-3 โดยมีรายละเอียดของ ส่วนงานในการพัฒนาระบบดังต่อไปนี้

- **ส่วนข้อมูลนำเข้า (input)** จะเป็นการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการน้ำที่ครอบคลุมทุกมิติทั้งด้านน้ำต้นทุน ความต้องการน้ำ การบริหารจัดการน้ำ และโครงการพัฒนา แหล่งน้ำต่าง ๆ โดยมีการจำแนกประเภทข้อมูลเป็น 3 รูปแบบ ประกอบด้วย 1) ข้อมูล Static เป็นข้อมูลทาง กายภาพที่มีการบันทึกไม่มีการแปรผันตามช่วงเวลาต่าง ๆ สำหรับข้อมูล Static ในงานวิจัยที่มีการรวบรวม ข้อมูล เช่น ข้อมูลกายภาพอ่างเก็บน้ำและข้อมูลกายภาพของกลุ่มน้ำ 2) ข้อมูล Dynamic เป็นข้อมูลที่มีความ ผันแปรตามช่วงเวลาหรือเป็นข้อมูลที่มีการแสดงผลในสถานการณ์ปัจจุบัน (Real time) ข้อมูลภูมิอากาศ (Climate), ข้อมูลปริมาณน้ำท่า (Runoff), ข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำ (Water Demand) เป็นต้น และ 3) ข้อมูล Forecast เป็นข้อมูลพยากรณ์ล่งหน้าในช่วงเวลาต่าง ๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการ คาดการณ์แนวโน้ม การเปลี่ยนแปลงเพื่อการเตรียมตัวรับมือกับสถานการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตได้อย่างเหมาะสม เช่น ข้อมูล อุตุ - อุทกวิทยา, ข้อมูลรูปแบบการบริหารจัดการน้ำ เป็นต้น

โดยส่วนการนำเข้าข้อมูลมีการประยุกต์ใช้เทคนิคพิเศษ คือ การเก็บรวบรวมข้อมูล อัตโนมัติ (API) ซึ่งจะเป็นเครื่องสำคัญในการรวบรวมผลข้อมูลทั้ง 3 รูปแบบ และนำเข้าสู่ฐานข้อมูล (Data center system) ในระบบต่อไป

- **ส่วนกระบวนการ (Process)** ในกระบวนการพัฒนาระบบมีการประยุกต์ใช้ แบบจำลองในการวิเคราะห์ ประเมินผล โดยมีการพัฒนาแบบจำลองให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสำหรับ พื้นที่การศึกษาซึ่งจะสามารถรับข้อมูลนำเข้าจากฐานข้อมูลมาผ่านกระบวนการไปสู่การแสดงผลต่อไป ซึ่งใน งานวิจัยนี้มีการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประเมินปริมาณน้ำท่า (DWCM – AgWU) โดยมุ่งเน้นไปที่รูปแบบการ พยากรณ์ล่งหน้าระยะสั้น และแบบจำลองการบริหารจัดการน้ำในการจำลองการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ และโครงข่ายน้ำในกรณีต่าง ๆ

- **ส่วนการแสดงผล (Output)** เป็นการแสดงผลข้อมูลจากฐานข้อมูล (Data center system) และผลจากแบบจำลองทั้งปริมาณน้ำท่าและการบริหารจัดการน้ำซึ่งเป็นการแสดงผลข้อมูลแบบ Realtime ซึ่งระบบฐานข้อมูลเชื่อมโยงการแสดงผลกับโครงการย่อยที่ 4 ต่อไป



รูปที่ 4.3.4-3 กรอบความคิดในการพัฒนาระบบระบบพยากรณ์สำหรับปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำระยะสั้น

(2) ระบบการเชื่อมโยงข้อมูลเรียลไทม์อัตโนมัติ

Application Programming Interface (API) คือ การเชื่อมโยงข้อมูลจากระบบหนึ่งไปสู่อีกระบบ เพื่อให้ซอฟต์แวร์ภายนอกสามารถเข้าถึงข้อมูลนั้น ๆ เช่น การเข้าดูข้อมูล, การอัปเดตข้อมูล เป็นต้น โดยที่ API เป็นต้นกลางในการรับคำสั่ง ประมวลผล และส่งข้อมูลแบบอัตโนมัติ เพื่ออำนวยความสะดวก และลดความผิดพลาดจากคน โดยระบบ API มีอยู่หลายรูปแบบ โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้ API ในการรับข้อมูลจากหน่วยงานต่าง ๆ ประกอบด้วย ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลอ่างเก็บน้ำ และ ข้อมูลสภาพอากาศพยากรณ์ล่วงหน้า 9 วัน และยังใช้ API ในระบบ Google Sheet API เพื่อนำเข้าและแสดงผลข้อมูลใน Google Sheet ซึ่งมีรูปแบบเดียวกับ Excel ที่ถูกเก็บไว้ใน Google Drive แสดงความคิดเห็นรวบยอดในการเชื่อมโยงข้อมูลโดยใช้ Google Sheet API ดังรูปที่ 4.3.4-4



รูปที่ 4.3.4-4 ความคิดเห็นรวบยอดในการใช้งาน Google Sheet API

โดยข้อมูลที่ได้รับจากหน่วยงานผู้ให้บริการด้วยระบบ API มีรูปแบบเป็นไฟล์ประเภท JSON ประกอบด้วย ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลอ่างเก็บน้ำ และข้อมูลสภาพภูมิอากาศพยากรณ์ล่วงหน้า 9 วัน โดยดำเนินการเชื่อมโยงข้อมูลอ่างเก็บน้ำจากกรมชลประทาน และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาทั้งในรูปแบบตรวจวัดรายวัน และพยากรณ์ล่วงหน้าระยะสั้นจากกรมอุตุนิยมวิทยา และข้อมูลฝนดาวเทียม GSMAP จาก Japan Aerospace Exploration Agency JAXA โดยตัวอย่างของ JSON สำหรับการเชื่อมโยงข้อมูลอ่างเก็บน้ำ ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาตรวจวัดและพยากรณ์ และข้อมูลฝนดาวเทียมแสดงดังภาคผนวกที่ x โดยมีรายละเอียดของข้อมูลดังต่อไปนี้

1) ข้อมูลภูมิอากาศตรวจวัดรายวันที่รวบรวมจากกรมอุตุนิยมวิทยา ประกอบด้วย อุณหภูมิสูงสุด, อุณหภูมิต่ำสุด, อุณหภูมิเฉลี่ย, ความชื้นสัมพัทธ์, ความเร็วลม และปริมาณฝน จำนวน 9 สถานี ได้แก่ 1. สถานีอุตุนิยมวิทยาหนองพลับ สกษ. จ.ประจวบคีรีขันธ์, 2. สถานีอุตุนิยมวิทยาหัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์, 3. สถานีอุตุนิยมวิทยาเพชรบุรี จ.เพชรบุรี, 4. สถานีอุตุนิยมวิทยาสมุทรสงคราม จ.สมุทรสงคราม, 5. สถานีอุตุนิยมวิทยาราชบุรี จ.ราชบุรี โดยเริ่มเชื่อมโยงข้อมูลอัตโนมัติตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ.2565 จนถึงปัจจุบัน แสดงตัวอย่างผลการรวบรวมข้อมูลภูมิอากาศตรวจวัดซึ่งมีรูปแบบเป็น Google Sheet ดังรูปที่ 4.3.4-5

Station Number	48474					
Station Name Th	หนองพลับ สกษ.					
Station Name Eng	NONG PHLUB AGROMET.					
Province	ประจวบคีรีขันธ์					
Latitude	12.58333333333333333333333333333333					
Longitude	99.73333333333333333333333333333333					
Date	MaxTemp(celcius)	MinTemp(celcius)	AverageTemp(celcius)	Humidity(%)	Windspeed(km/h)	Rainfall(mm)
1/1/2022						
1/2/2022						
1/3/2022						
1/4/2022	30.7	20.3	20.5	92	0	0
1/5/2022	31.6	20.4	20.5	92	0	0
1/6/2022	31.7	18.8	19	95	0	0
1/7/2022	32.2	18.5	18.9	91	0	0
1/8/2022	32.7	19.6	20.2	89	0	0
1/9/2022	32.4	18	18.1	94	0	0
1/10/2022	32.4	17.8	18.5	90	0	0
1/11/2022	33	18.4	18.6	89	0	0
1/12/2022	33	19	19.2	93	0	0
13/1/2022	31.5	22	22	95	0	0
14/1/2022	32	18.8	19	90	0	0
15/1/2022	31.6	19.2	19.5	95	0	0
16/1/2022	31.8	18.5	18.7	95	0	0
17/1/2022	32	18.7	19	92	0	0
18/1/2022	32.8	19.2	19.5	88	0	0
19/1/2022						
20/1/2022	31.2	19.3	19.8	92	0	0
21/1/2022	31.4	22.2	22.5	95	0	0.2
22/1/2022	32	20.8	21.2	96	0	8.2
23/1/2022						
24/1/2022						
25/1/2022	32.7	18.5	18.7	91	0	0

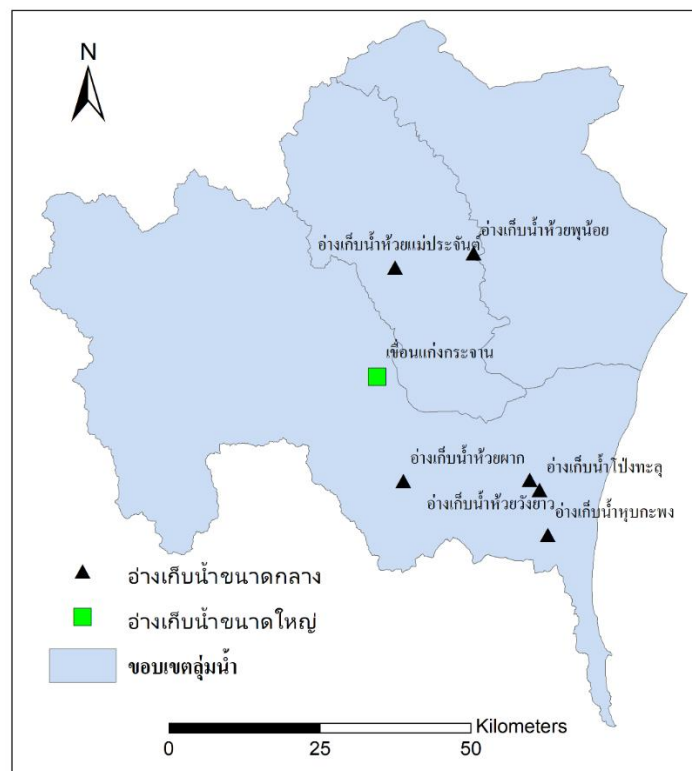
รูปที่ 4.3.4-5 ตัวอย่างข้อมูลภูมิอากาศตรวจวัดด้วยการเชื่อมโยงข้อมูลอัตโนมัติ API

2) ข้อมูลอ่างเก็บน้ำของกรมชลประทานที่อยู่ในขอบเขตพื้นที่การศึกษาลุ่มน้ำเพชรบุรี โดยเป็นข้อมูลอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่และขนาดกลางรวมทั้งหมด 7 แห่ง โดยเป็นอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ 1 แห่ง

และ อ่างเก็บน้ำขนาดกลาง 6 แห่ง โดยมีรูปแบบเป็นข้อมูลรายวัน โดยเริ่มเชื่อมโยงข้อมูลอัตโนมัติตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ.2564 จนถึงปัจจุบัน แสดงรายชื่อสถานีตรวจวัดน้ำทำดังตารางที่ 4.3.4-1 และ รูปที่ 4.3.4-6 แสดงตัวอย่างผลการรวบรวมข้อมูลอ่างเก็บน้ำซึ่งมีรูปแบบเป็น Google Sheet ดังรูปที่ 4.3.4-7

ตารางที่ 4.3.4-1 รายชื่ออ่างเก็บน้ำของกรมชลประทานที่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา

code	ชื่ออ่างเก็บน้ำ	Lat	Long
200601	เขื่อนแก่งกระจาน	12.932	99.628
rsv415	อ่างเก็บน้ำห้วยพูน้อย	13.116	99.776
rsv416	อ่างเก็บน้ำห้วยวังยาว	12.776	99.860
rsv417	อ่างเก็บน้ำโป่งทะลุ	12.761	99.875
rsv418	อ่างเก็บน้ำหุบกะพง	12.694	99.888
rsv421	อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์	13.095	99.656
rsv467	อ่างเก็บน้ำห้วยผาก	12.775	99.668



รูปที่ 4.3.4-6 อ่างเก็บน้ำของกรมชลประทานที่ครอบคลุมพื้นที่การศึกษา

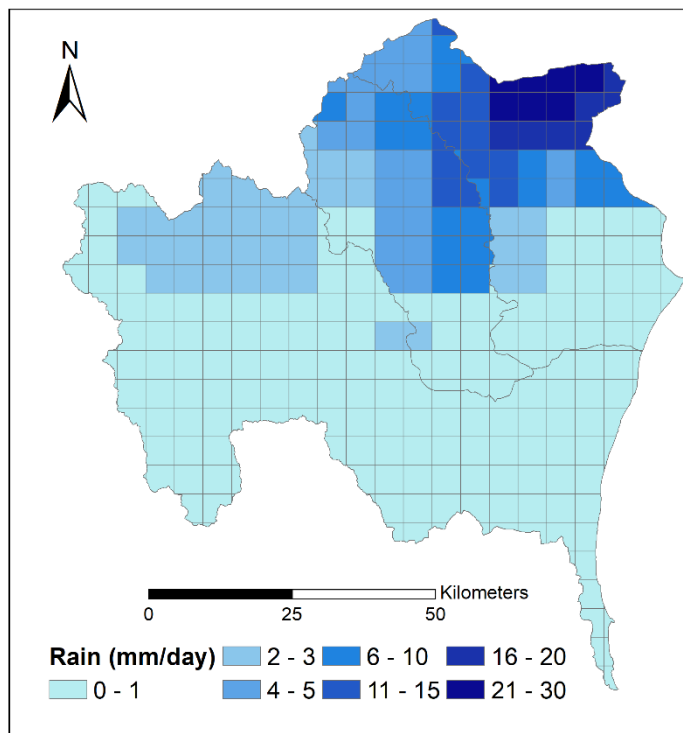
Name	เขื่อนแก่งกระจาน			อ่างเก็บน้ำห้วยพุน้อย			อ่างเก็บน้ำห้วยวังยาว		
Latitude	12.93162			13.11630836			12.7763108		
Longitude	99.62814			99.77597261			99.86039349		
qmax	900			0.32			0.265		
qmin	65			0.6			0.005		
Tambon name	แก่งกระจาน						เขาใหญ่		
Ampur name	แก่งกระจาน						ชะอำ		
Province name	เพชรบุรี						เพชรบุรี		
type	big			medium			medium		
project_name				โครงการชลประทานจังหวัดเพชรบุรี			โครงการชลประทานจังหวัดเพชรบุรี		
office_name				สำนักงานชลประทานที่ 14			สำนักงานชลประทานที่ 14		
Date	Inflow	Outflow	Storage	rsv415			rsv416		
1/1/2021	0.73	1.47	520.16	0		0 60.31	0		0 89.06
1/2/2021	0	0	0	0		0 60.31	0		0 88.68
1/3/2021	0.32	1.47	518.03	0		0 60.31	0		0 88.68
1/4/2021	0.75	1.47	517.18	0		0 60.31	0		0 88.68
1/5/2021	0.6	1.3	515.06	0		0 60.31	0		0 88.3
1/6/2021	0	0	0	0		0 60.31	0		0 87.92
1/7/2021	0.57	1.3	514.22	0		0 60.31	0		0 87.92
1/8/2021	0.63	1.3	513.37	0		0 60.31	0		0 87.92
1/9/2021	0	0	0	0		0 126.25	0		0 86.04
1/10/2021	0.57	1.3	511.68	0		0 60.31	0		0 86.04
1/11/2021	0.58	1.3	510.84	0		0 60.31	0		0 85.66
1/12/2021	0.58	1.3	510	0		0 125.63	0		0 85.66
1/13/2021	0.63	1.3	509.16	0		0 60.31	0		0 85.28
1/14/2021	0	1.51	507.48	0		0 60.31	0		0 84.91
1/15/2021	0.87	1.56	504.96	0		0 60.31	0		0 84.91
1/16/2021	0.8	1.52	504.96	0		0 60.31	0		0 84.15
1/17/2021	0.82	1.54	504.13	0		0 60.31	0		0 83.77
1/18/2021	0.83	1.55	503.29	0		0 60.31	0		0 83.77
1/19/2021	0.59	1.3	502.46	0		0 60.31	0		0 83.4
1/20/2021	0	0	0	0		0 60.31	0		0 83.4

รูปที่ 4.3.4-7 ตัวอย่างข้อมูลอ่างเก็บน้ำด้วยการเชื่อมโยงข้อมูลอัตโนมัติ API

3) ข้อมูลฝนดาวเทียม Gsmap จาก JAXA Global Rainfall Watch System พัฒนาโดย Earth Observation Research Center, Japan Aerospace Exploration Agency ในรูปแบบข้อมูลรายจุดตามพิกัดละติจูด และ ลองจิจูด ที่ครอบคลุมพื้นที่การศึกษา จำนวนทั้งหมด 352 จุด โดยเริ่มเชื่อมโยงข้อมูลอัตโนมัติตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ.2565 จนถึงปัจจุบัน แสดงตัวอย่างปริมาณฝนซึ่งมีรูปแบบเป็น Google Sheet ดังรูปที่ 4.3.4-8 และแสดงตัวอย่างซึ่งถูกนำข้อมูลเข้าสู่แบบจำลอง DWCM-AgWU ในรูปแบบเชิงพื้นที่ดังรูปที่ 4.3.4-9

Latitude	12.42568	12.43888	12.46312	12.46879	12.51106	12.51556	12.53598	12.55582	12.61552	12.60304
Longitude	99.97668	99.96411	99.97355	99.95935	99.97289	99.95354	99.96893	99.94762	99.91807	99.9399
1/1/2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1/2/2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1/3/2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1/4/2022	0.16	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0	0	0
1/5/2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1/6/2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1/7/2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1/8/2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1/9/2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1/10/2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1/11/2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1/12/2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13/1/2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14/1/2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15/1/2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16/1/2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17/1/2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18/1/2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19/1/2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20/1/2022	0.79	0.85	0.99	0.98	0.99	0.99	1	0.97	0.92	0.97
21/1/2022	0.19	0.2	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	1.25	1.2	1.26
22/1/2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23/1/2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24/1/2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25/1/2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26/1/2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27/1/2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28/1/2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29/1/2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 4.3.4-8 ตัวอย่างข้อมูลปริมาณน้ำฝนดาวเทียมเชื่อมโยงข้อมูลอัตโนมัติ API

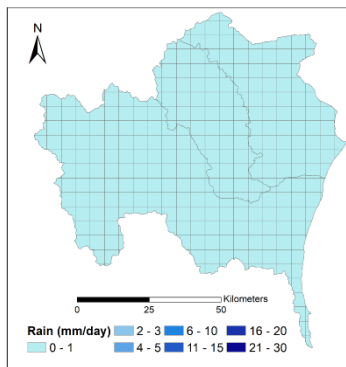


รูปที่ 4.3.4-9 ตัวอย่างข้อมูลปริมาณฝนดาวเทียม (3 มิ.ย. 2565)

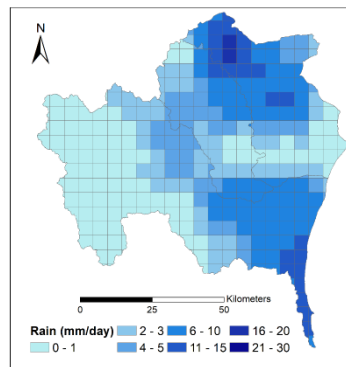
4) ข้อมูลสภาพอากาศพยากรณ์ล่วงหน้า 9 วัน ของกรมอุตุนิยมวิทยาในรูปแบบข้อมูลรายจุดตามพิกัด ละติจูด และ ลองจิจูด ที่ครอบคลุมพื้นที่การศึกษา จำนวนทั้งหมด 27 จุด ประกอบด้วย ปริมาณฝน, ความชื้นสัมพัทธ์, อุณหภูมิสูงสุด, อุณหภูมิต่ำสุด และ ความเร็วลมที่ระดับ 10 เมตร โดยเริ่มเชื่อมโยงข้อมูลอัตโนมัติตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ.2565 จนถึงปัจจุบัน แสดงตัวอย่างผลการรวบรวมข้อมูลสภาพอากาศพยากรณ์ล่วงหน้า 9 วัน ซึ่งมีรูปแบบเป็น Google Sheet ดังรูปที่ 4.3.4-10 และแสดงตัวอย่างปริมาณฝนพยากรณ์ล่วงหน้า 9 วัน ซึ่งถูกนำข้อมูลเข้าสู่แบบจำลอง DWCM-AgWU ในรูปแบบเชิงพื้นที่ ดังรูปที่ 4.3.4-11

Latitude		12.53265	12.69531	12.69531	12.69531	12.69531	12.69531
Longitude		99.88662	99.2199	99.38658	99.55326	99.71994	99.88662
25/1/2022	2/2/2022	2.8	0	1.4	5.3	4.1	2.2
26/1/2022	3/2/2022						
27/1/2022	4/2/2022						
28/1/2022	5/2/2022						
29/1/2022	6/2/2022						
30/1/2022	7/2/2022	1	1.4	1.5	2.5	1.1	0.9
31/1/2022	8/2/2022	1.8	0	0.2	0.6	1.2	1.8
1/2/2022	9/2/2022						
2/2/2022	10/2/2022	0.1	0.8	7	2	10.4	0
3/2/2022	11/2/2022	0	0	0.2	4.1	3.3	0
4/2/2022	12/2/2022	1.6	25.9	14.6	16.7	10.2	4.3
5/2/2022	13/2/2022	36.3	2	17.2	62	101.9	30.9
6/2/2022	14/2/2022	48.7	21.4	20.9	67.6	101.8	29.2
7/2/2022	15/2/2022	27.9	17.3	32.8	70.3	41.3	51.7

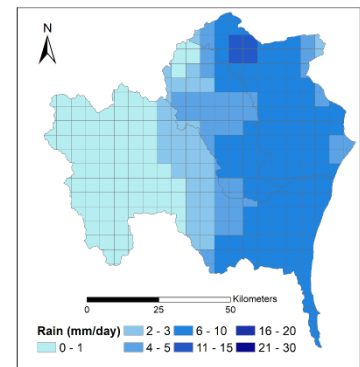
รูปที่ 4.3.4-10 ตัวอย่างข้อมูลสภาพอากาศพยากรณ์ล่วงหน้า 9 วันด้วยการเชื่อมโยงข้อมูลอัตโนมัติ API



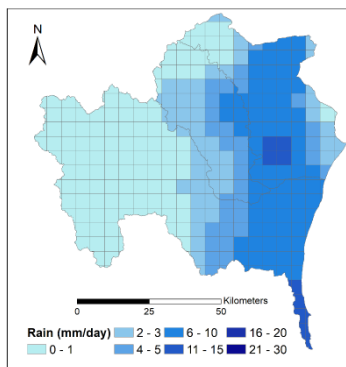
19 มิ.ย. 65



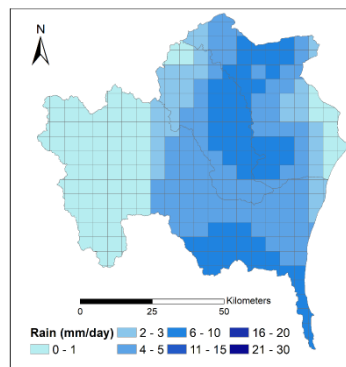
20 มิ.ย. 65



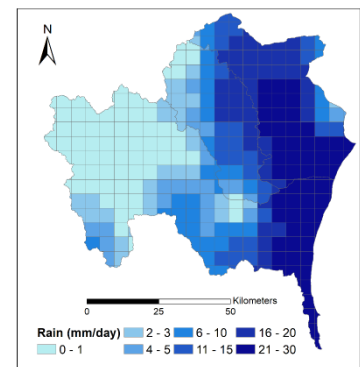
21 มิ.ย. 65



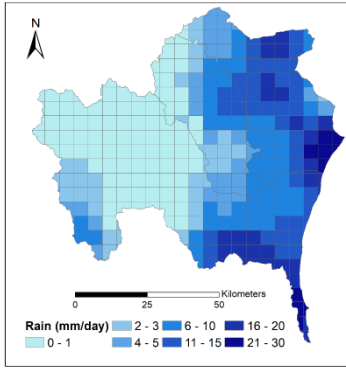
22 มิ.ย. 65



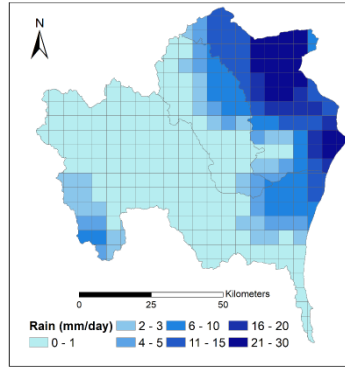
23 มิ.ย. 65



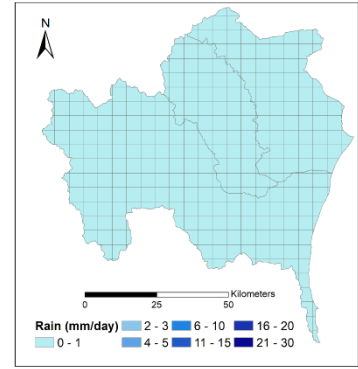
24 มิ.ย. 65



25 มิ.ย. 65



26 มิ.ย. 65



27 มิ.ย. 65

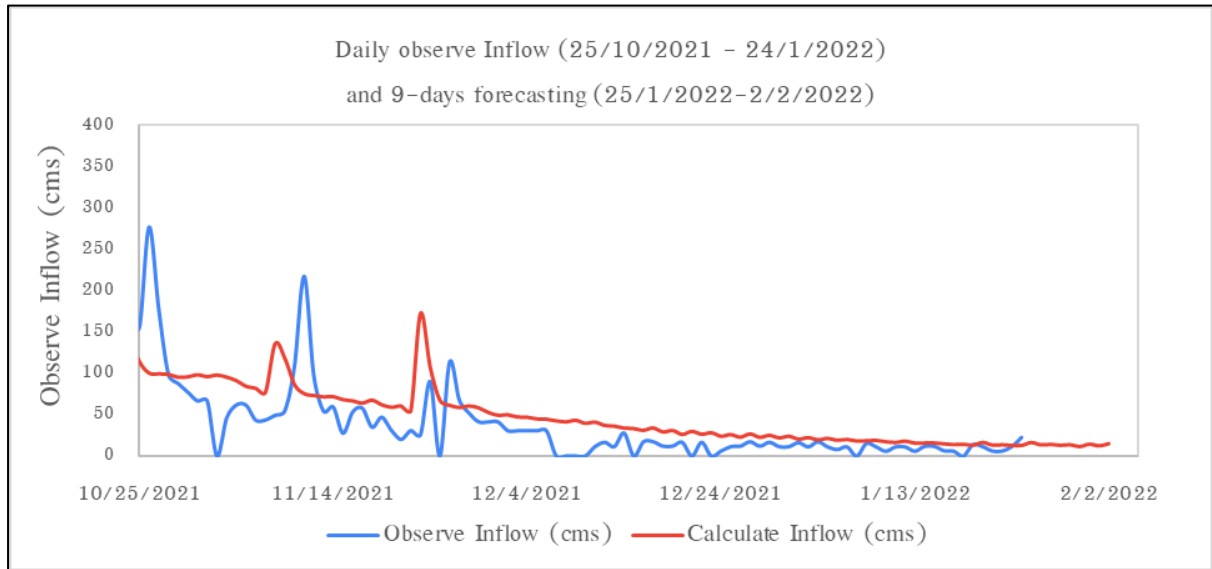
รูปที่ 4.3.4-11 ตัวอย่างข้อมูลปริมาณฝนพยากรณ์ล่วงหน้า 9 วัน (ตั้งแต่วันที่ 19 มิ.ย. 65 ถึง 27 มิ.ย. 65)

(3) ผลการจำลองการพยากรณ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำระยะสั้น

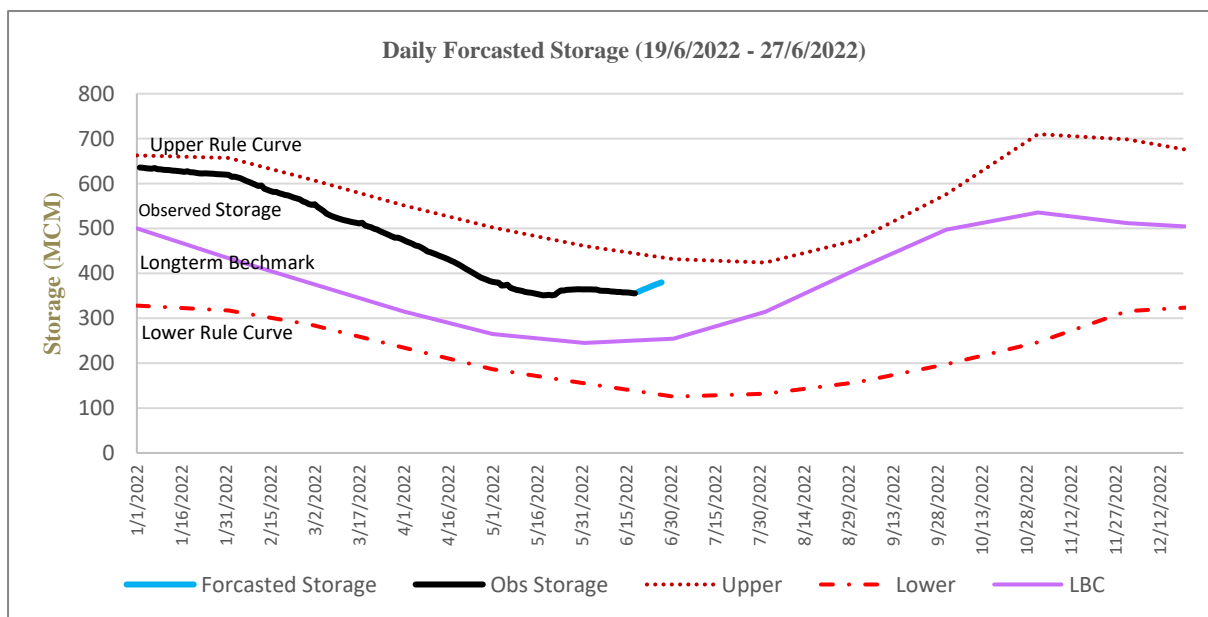
จากการนำข้อมูลปริมาณฝนจากการตรวจวัดโดยดาวเทียมมาประเมินปริมาณน้ำท่าตั้งแต่ช่วงอดีต-ปัจจุบัน และการนำข้อมูลปริมาณฝนพยากรณ์ล่วงหน้า 9 วันมาประเมินปริมาณน้ำท่าที่จะเกิดขึ้นในอนาคตโดยแบบจำลอง ผลการประเมินแสดงดังรูปที่ 4.3.4-12 พบว่าในช่วงระหว่างวันที่ 25/10/2021 – 24/1/2022 พบว่าในช่วงปลายฤดูฝนระหว่างเดือนตุลาคม-เดือนพฤศจิกายนปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดมีค่าเท่ากับ 75 cms ในขณะที่ผลที่ได้จากแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 83 cms และในช่วงเดือนธันวาคม-เดือนมกราคม ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดและจากการคำนวณโดยแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 15 และ 26 cms ตามลำดับ ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่าในช่วงปริมาณน้ำมาก (Extreme event) แบบจำลองจะยังไม่สามารถประเมินผลได้ใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดเท่าที่ควร แต่ในช่วงปริมาณน้ำปานกลางถึงช่วงปริมาณน้ำน้อยแบบจำลองจะให้ค่าที่มีความสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด และผลจากการประเมินปริมาณน้ำท่าพยากรณ์ในช่วงเวลา 9 วัน ตั้งแต่วันที่ 25/1/2022 – 2/2/2022 ปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจะมีแนวโน้มที่ต่อเนื่องไปจากปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด

ผลจากการประเมินปริมาณน้ำท่าไหลลงอ่างเก็บน้ำร่วมกับข้อมูลการบริหารจัดการน้ำที่สามารถที่จะนำมาคาดการณ์ปริมาตรน้ำที่มีอยู่ในอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานได้ โดยจากรูปที่ 4.3.4-13 แสดงการคาดการณ์ปริมาตรน้ำในอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานในช่วงระหว่างวันที่ 19/6/2022 – 27/6/2022 เป็นระยะเวลา 9 วันล่วงหน้าต่อเนื่องจากผลที่ได้จากการตรวจวัดปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน ซึ่งปริมาตรน้ำในอ่างเก็บน้ำตั้งแต่วันที่ 1/6/2022 – 18/6/2022 มีปริมาตรน้ำในอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 360 ล้าน ลบ.ม. แต่จากผลการคาดการณ์ 9 วันล่วงหน้าพบว่าจากปริมาตรน้ำในอ่างเก็บน้ำ ณ วันที่ 18/6/2022 มีค่าเท่ากับ 355 ล้าน ลบ.ม. ในช่วงระยะเวลา 9 วันล่วงหน้าปริมาตรน้ำในอ่างเก็บน้ำจะมีเพิ่มขึ้นจนกระทั่ง ณ วันที่ 27/6/2022 จะมีปริมาตรน้ำเท่ากับ 379 ล้าน ลบ.ม. หรือปริมาตรน้ำเฉลี่ยในช่วง 9 วันล่วงหน้ามีค่าเท่ากับ 369 ล้าน ลบ.ม. ซึ่งเมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาพิจารณาพร้อมกับข้อมูลการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ ได้แก่ ระดับน้ำควบคุมตอนบน (Upper Rule Curve, URC) ระดับน้ำควบคุมตอนล่าง (Lower Rule Curve, LRC) และเส้นเกณฑ์ปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำอ้างอิง (Long-term Benchmark Curve, LBC) ซึ่งเป็นเกณฑ์เฉลี่ยทางสถิติของเส้นการบริหารจัดการน้ำในอดีตเพื่อใช้เป็นแนวทางในการบริหารจัดการน้ำ จะสามารถนำมาช่วยเป็น

ข้อมูลสนับสนุนในการบริหารจัดการน้ำในช่วงระยะเวลาใกล้ รวมถึงเป็นข้อมูลสนับสนุนการประเมินถึงสถานการณ์ในการปฏิบัติการฝนหลวงได้ต่อไปในอนาคต



รูปที่ 4.3.4-12 การพยากรณ์ปริมาณน้ำท่า 9 วันล่วงหน้า



รูปที่ 4.3.4-13 การพยากรณ์ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน 9 วันล่วงหน้า

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อประเมินปริมาณความชื้นในดินในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีโดยการประยุกต์ใช้วิธีการ 2 วิธีการหลักได้แก่ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมและการใช้แบบจำลองวิเคราะห์ค่าความชื้น นอกจากนี้ยังได้มีการประเมินถึงปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นในพื้นที่เพื่อประเมินถึงปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน ซึ่งเป็นอ่างเก็บน้ำหลักในพื้นที่ศึกษาโดยมีการพิจารณาถึงการปฏิบัติการฝนหลวงที่เกิดขึ้นในพื้นที่สรุปผลการศึกษาในแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

5.1 สรุปผลการประเมินค่าความชื้นโดยภาพถ่ายดาวเทียม

ผลการประเมินความชื้นในดินจากข้อมูลผลิตภัณฑ์ภาพถ่ายจากดาวเทียม Terra/MODIS คำนวณดัชนีความแห้งแล้งด้านการเกษตรด้วยวิธี Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI) เป็นการศึกษาวิจัยต่อยอดจากงานวิจัยในระยะที่ 1 โดยเน้นไปที่การปรับปรุงและปรับแก้ความคลาดเคลื่อนข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม การกำหนดพื้นที่เพาะปลูก การแปลผลดัชนี TVDI และการตรวจวัดความชื้นในดินจากเซนเซอร์ความชื้นในดินแบบ IoT โดยผลการวิจัยพบว่าการปรับปรุงข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมด้วยการเติมเต็มข้อมูลในส่วนที่ขาดหาย (gap-filling) ซึ่งจากงานวิจัยระยะที่ 1 พบว่าข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิว (surface temperature) ไม่สมบูรณ์เพียงพอสำหรับใช้งาน ในงานวิจัยระยะที่ 2 นี้ได้ใช้เทคนิค Temporal Fourier Analysis (TFA) เพื่อสร้างข้อมูลใหม่ (reconstruct) จากนั้นตรวจสอบความน่าเชื่อถือและปรับแก้ความคลาดเคลื่อนโดยใช้ข้อมูลตรวจวัดจากสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตร (สกษ.) นองพลับ พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.72 และรากที่สองของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (RMSE) เท่ากับ 1.8 องศาเซลเซียส และผลการประเมินพื้นที่เพาะปลูกจากข้อมูลอนุกรมเวลาภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงปี 2015-2021 จะเห็นว่ารูปแบบการเพาะปลูกพืชในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีมีพื้นที่เพาะปลูกเฉลี่ยค่อนข้างมากในช่วงระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคมซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน โดยมีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 8 แสน ถึง 1 ล้าน 2 แสนไร่ หลังจากนั้นในเดือนพฤศจิกายนพื้นที่เพาะปลูกจะลดลงเหลือเฉลี่ยประมาณ 1 แสนไร่ โดยเป็นพื้นที่ไม่ผลไม่ยืนต้นและพื้นที่เพาะปลูกในเขตโครงการชลประทานเพชรบุรี นอกจากนี้ยังได้มีการตรวจวัดความชื้นในดินจากเซนเซอร์ความชื้นในดินแบบ IoT ได้ทำการสอบเทียบเซนเซอร์แบบคาปาซิทีฟและติดตั้งในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีจำนวน 10 จุด สามารถส่งข้อมูลความชื้นในดินแบบใกล้เวลาจริง (near real-time) ทุก 15 นาที

5.2 สรุปผลการประเมินค่าความชื้นโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองวิเคราะห์ค่าความชื้น

ผลจากการประเมินค่าความชื้นโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองวิเคราะห์ค่าความชื้นโดยการนำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการตรวจวัดค่าความชื้นภาคสนามในพื้นที่นอกเขตชลประทานจำนวน 5 พื้นที่พบว่าผลที่ได้จากแบบจำลองของตำแหน่งที่ตรวจวัดโดยส่วนใหญ่มีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดในภาคสนาม โดยมีการประเมินด้วยการใช้ดัชนีสอบเทียบจำนวน 5 ดัชนี ได้แก่ R^2 , RMSE, ARE, PBIAS และ NSE พบว่าตำแหน่งที่ตรวจวัดโดยส่วนใหญ่ 4 สถานีจาก 5 สถานี มีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.65-0.95, 2.37-4.82%, 6.58-27.51, -12.71 ถึง 3.67 และ 0.28-0.72 ตามลำดับ โดยมีเพียงหนึ่งตำแหน่งตรวจวัดที่มีค่าไม่เป็นไปตามที่ตรวจวัดได้จากภาคสนามซึ่งเมื่อทำการตรวจสอบแล้วพบว่า

ในช่วงเวลาที่ทำกรเก็บตัวอย่างมีการเกิดฝนในพื้นที่แต่จากข้อมูลปริมาณฝนพบว่าไม่มีปริมาณฝนเกิดขึ้นในพื้นที่ส่งผลให้ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองมีค่าแตกต่างจากค่าที่ได้จากการตรวจวัด

5.3 การประเมินปริมาณน้ำท่าไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน

ผลจากการประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า SWAT และ DWCM เพื่อประเมินปริมาณน้ำท่าไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานพบว่าแบบจำลองประเมินปริมาณน้ำท่ารายปีในช่วงปี 2018-2021 มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 5% และ 17% จากแบบจำลอง SWAT และ DWCM ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างของปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นเมื่อไม่พิจารณาปริมาณฝนที่เกิดจากการปฏิบัติการฝนหลวงโดยพิจารณาเฉพาะพื้นที่ที่ระบุว่ามีปฏิบัติการพบว่า ปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจะมีค่าลดลง โดยแบบจำลอง SWAT จะมีค่าความแตกต่างของปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นเท่ากับ 35.5 ล้าน ลบ.ม. ในขณะที่แบบจำลอง DWCM จะมีความแตกต่างเท่ากับ 22.5 ล้าน ลบ.ม.

นอกจากการประเมินถึงปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นตั้งแต่อดีต-ปัจจุบันแล้ว การศึกษาครั้งนี้ยังได้มีการพัฒนาระบบเพื่อให้สามารถคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าในอนาคตล่วงหน้า 9 วันได้ โดยการประยุกต์ใช้ข้อมูลปริมาณฝนพยากรณ์จากกรมอุตุนิยมวิทยาร่วมกับแบบจำลอง DWCM ซึ่งเป็นแบบจำลองที่มีลักษณะเป็น Distributed model มาใช้ในการคาดการณ์ โดยผลจากการคาดการณ์พบว่าปริมาณน้ำท่าล่วงหน้า 9 วันมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับข้อมูลตั้งแต่อดีต - ปัจจุบัน ซึ่งข้อมูลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ายังสามารถนำไปใช้ในการคำนวณเพื่อประเมินถึงปริมาณน้ำคงเหลือในอ่างเก็บน้ำ โดยการพิจารณาร่วมกับข้อมูลการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ ได้แก่ ระดับน้ำควบคุมตอนบน (Upper Rule Curve, URC) ระดับน้ำควบคุมตอนล่าง (Lower Rule Curve, LRC) และเส้นเกณฑ์ปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำอ้างอิง (Long-term Benchmark Curve, LBC) ซึ่งเป็นเกณฑ์เฉลี่ยทางสถิติของเส้นการบริหารจัดการน้ำในอดีตเพื่อใช้เป็นแนวทางในการบริหารจัดการน้ำ จะสามารถนำมาช่วยเป็นข้อมูลสนับสนุนในการบริหารจัดการน้ำในช่วงระยะเวลาใกล้ รวมถึงเป็นข้อมูลสนับสนุนการประเมินถึงสถานการณ์ในการปฏิบัติการฝนหลวงได้ต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- ฉลอง เกิดพิทักษ์. (2560). แบบจำลองความต้องการน้ำชลประทานและการประยุกต์ใช้งาน. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชูพันธุ์ ชมภูจันทร์, เสกสรรค์ มธลาภรังสรรค์, นิธิรัชต์ สงวนเดือน, ชัยศรี สุขสาโรจน์, ธันวดี สุขสาโรจน์, Takatori Nagano และ Akihiko Kotera. (2563). การประเมินปริมาณความต้องการน้ำในพื้นที่ราบภาคกลาง (ระยะที่ 1): รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.), กรุงเทพมหานคร.
- บุญมา ป่านประดิษฐ์. (2546). หลักการชลประทาน. นครปฐม : ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ลักขณา สุวรรณชัย, อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง, นิดา ชัยมูล, รัตนา หอมวิเชียร และสุตารัตน์ คำปลิว. 2557. การประยุกต์ใช้แบบจำลองความสัมพันธ์ดินและน้ำในการประเมินปริมาณน้ำท่ากับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในลุ่มน้ำชีส่วนที่ 4. วารสารมหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 33.
- วรารุช วุฒิวณิชย์, นิมิตร เติตฉันทพิพัฒน์ และ พงศธร โสภากพันธ์. (2558). วิศวกรรมชลประทานเบื้องต้น. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน 2558.
- วิบูลย์ บุญยธโรกุล. (2526). หลักการชลประทาน. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศุทธิณี ดนตรี. 2543. ความรู้พื้นฐานด้านการสำรวจระยะไกล. เอกสารประกอบการสอน ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- Amatya, D. M., Rossi, C. G., Saleh, A., Dai, Z., Youssef, M. A., Williams, R. G., Bosch, D. D., Chescheir, G. M., Sun, G., Skaggs, R. W., Trettin, C. C., Vance, E. D., Nettles, J. E. and Tian, S. 2013. Review of nitrogen fate models applicable to forest landscapes in the Southern U.S. American Society of Agricultural and Biological Engineers 56(5):1731-1757.
- Bai, J., Yu Y., & Di, L. (2017). Comparison between TVDI and CWSI for drought monitoring in the Guanzhong Plain, China. Journal of Integrative Agriculture, 16, 389-397.
- Baker, T.J. and Miller, S.N. 2013. Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to assess land use impact on water resources in an East African watershed. Journal of Hydrology, 486, 100-111.
- Boschetti M., Nutini F., Manfron G., Brivio P. A., and Nelson A. (2014). Comparative analysis of normalised difference spectral indices derived from MODIS for detecting surface water in flooded rice cropping systems. PLoS ONE, 9(2), e88741.
- Chen, W.Y., Xiao, Q.G., & Shen, Y.W. (1994). Application of the anomaly vegetation index to monitoring heavy drought in 1992. Remote Sensing of Environment, 9, 106-112.
- Daniel Hillel. (1998). Environmental Soil Physics. U.S.A.: Department of Plant and Soil Sciences, University of Massachusetts

- Emam, A.R., Kappas, M., Nguyen, L.H.K. and Renchin, T. 2016. Hydrological modeling in an ungauged basin of central Vietnam using SWAT model. *Hydrology and Earth System Sciences*, doi:10.5194/hess-2016-44.
- Gao B. C. (1996). NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257–266.
- Jackson, R.D., & Pinter, P.J. (1981). Detection of water stress in wheat by measurement of reflected solar and emitted thermal IR radiation. In: *Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing*. 399–406. September 8-11, 1981, Avignon, France: Institute National de la Recherche Agronomique.
- Kogan, F.N. (1995). Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research*, 15, 91–100.
- Neitsch S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R. 2011. Soil and Water Assessment Tool theoretical documentation version 2009. Texas Water Resources Institute Technical Report No. 406, Texas A&M University System, College Station, Texas.
- Price, J.C. (1985). On the analysis of thermal infrared imagery: The limited utility of apparent thermal inertia. *Remote Sensing of Environment*, 18, 59–73.
- Ramos, M.C. and Martinez-Casasnovas, J.A. 2015. Soil water content, runoff and soil loss prediction in a small-ungauged agricultural basin in the Mediterranean region using the Soil and Water Assessment Tool. *The Journal of Agricultural Science*, 153, 3, 481-496.
- Richard G. Allen, Luis S. Pereira, Dirk Raes, Martin Smith. (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Rokni K., Ahmad A., Selamat A., and Hazini S. (2014). Water feature extraction and change detection using multitemporal landsat imagery. *Remote Sensing*, 6(5), 4173–4189.
- Sandholt, I., Rasmussen, K., & Ersen J. (2002). A simple interpretation of the surface temperature vegetation index space for assessment of surface moisture status. *Remote Sensing of Environment*, 79, 213–214.
- Shi S., Yao F., Zhang J., and Yang S. (2020). Evaluation of Temperature Vegetation Dryness Index on Drought Monitoring over Eurasia. *IEEE Access*, 8, 30050–30059.
- Shiff S., Helman D., and Lensky I.M. (2021). Worldwide continuous gap-filled MODIS land surface temperature dataset. *Scientific Data*, 8(1), 1–10.
- Simons G., Koster R., and Droogers P. (2020). HiHydroSoil v2.0-High Resolution Soil Maps of Global Hydraulic Properties, FutureWater Report 213. Retrieved from
- Sittichok K., Djibo, A.G., Seidou, O., Saley, H.M., Karambiri, H. and Paturel, J. (2016). Statistical seasonal rainfall and streamflow forecasting for the Sirba watershed, West Africa, using sea-surface temperatures. *Hydrolog. Sci. J.*, 61, 805-815.

Trambauer, P., Maskey, S., Winseminus, H., Werner, M. and Uhlenbrook, S. (2013). A review of continental scale hydrological models and their suitability for drought forecasting in (sub-Saharan) Africa. *Phy. Chem. Earth.*, 66, 16-26.

Wang, L.L. & Qu, J.J. (2009). Satellite remote sensing applications for surface soil moisture monitoring: A review. *Frontiers of Earth Science in China*, 3(2), 237-247.

Yang, S., Zhang, D., Sun, L., Wang, Y., & Gao, Y. (2020) Assessing drought conditions in cloudy regions using reconstructed land surface temperature. *Journal of Meteorological Research*, 34, 264–279.

Zhang, D.J. & Zhou, G.Q. (2016). Estimation of soil moisture from optical and thermal remote sensing: A review. *Sensors*, 16, 1308.