



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

รหัสโครงการ PRP6305030930

เรื่อง

การเพิ่มผลสัมฤทธิ์และการลดความเสี่ยงในการบริหารจัดการน้ำ  
ลุ่มน้ำเพชรบุรีด้วยฝนหลวง

Performance improvement and Risk Reduction in Water  
Management of Phetchaburi River Basin using Royal Rainmaking.

โดย

ชื่อหัวหน้าโครงการ ผศ.ดร.ไชยาพงษ์ เทพประสิทธิ์ และคณะวิจัย

หน่วยงานที่รับทุน

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)

ปีงบประมาณ พ.ศ. 2563

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่องการเพิ่มผลสัมฤทธิ์และการลดความเสี่ยงในการบริหารจัดการน้ำลุ่มน้ำเพชรบุรีด้วยฝนหลวงได้รับทุนสนับสนุนจากการพัฒนาการวิจัยการเกษตร สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ในปี พ.ศ. 2563 โดยทางผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) สำหรับการให้ทุนสนับสนุนการวิจัยรวมถึงการประสานงานในด้านต่างๆในการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณกรมฝนหลวงและการบินเกษตรสำหรับองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องข้องการปฏิบัติการฝนหลวง ข้อมูลพื้นฐานของการปฏิบัติการฝนหลวง และข้อมูลปริมาณฝนจากการตรวจวัดด้วยเรดาร์ รวมถึงขอขอบคุณหน่วยงานอื่นๆที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กรมชลประทานสำหรับข้อมูลทางด้านอุทกวิทยาและการบริหารจัดการน้ำ กรมอุตุนิยมวิทยาและสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยา และกรมพัฒนาที่ดินสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน คณะผู้วิจัยสามารถดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ได้อย่างสำเร็จลุล่วง โดยได้รับการสนับสนุนในด้านต่างๆจากหน่วยงานข้างต้นด้วยดีตลอดการดำเนินงานวิจัย

นอกจากนั้นคณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับข้อเสนอแนะ และข้อคิดเห็นในการดำเนินการศึกษาวิจัยครั้งนี้ และขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ในการสนับสนุนการวิจัยด้วยดีเสมอมา

คณะผู้วิจัย

## บทคัดย่อ

แผนงานวิจัยการเพิ่มผลสัมฤทธิ์และการลดความเสี่ยงในการบริหารจัดการน้ำลุ่มน้ำเพชรบุรีด้วยฝนหลวง มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สถานภาพปัจจุบันของการขาดแคลนน้ำในลุ่มน้ำเพชรบุรี สำหรับการวางแผนการบริหารจัดการน้ำเชิงพื้นที่ด้วยการปฏิบัติการฝนหลวง เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าจากฝนตามธรรมชาติและการปฏิบัติการฝนหลวง เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองสมดุลน้ำ สำหรับการประเมินช่วงเวลาและปริมาณการขาดแคลนน้ำในลุ่มน้ำเพชรบุรีเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนปฏิบัติการฝนหลวง เพื่อพัฒนาระบบช่วยตัดสินใจในการทำฝนหลวงสำหรับการวางแผนการบริหารจัดการน้ำในลุ่มน้ำเพชรบุรี และประเมินผลสัมฤทธิ์ของการทำฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำ โดยแบ่งงานวิจัยออกเป็น 4 โครงการวิจัย ได้แก่ โครงการวิจัยที่ 1 การประเมินผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงกับฝนภาคพื้นดินในลุ่มน้ำเพชรบุรี โครงการวิจัยที่ 2 การวิเคราะห์ภาวะการขาดแคลนน้ำในลุ่มน้ำเพชรบุรี โครงการวิจัยที่ 3 การศึกษาผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงในการแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำ และโครงการวิจัยที่ 4 การพัฒนาระบบช่วยตัดสินใจในการทำฝนหลวงสำหรับการวางแผนการบริหารจัดการน้ำในลุ่มน้ำเพชรบุรี

โครงการวิจัยที่ 1 ทำการเปรียบเทียบข้อมูลฝนจากเรดาร์กับข้อมูลฝนภาคพื้นดิน ซึ่งได้จากการหาค่าฝนเฉลี่ยเชิงพื้นที่ด้วยเทคนิค IDW ผลที่ได้พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของปริมาณฝนเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของ 2 ชุดข้อมูลมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) เท่ากับ 0.21 ซึ่งมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างต่ำ และได้ทำการติดตั้งสถานีวัดน้ำฝนและข้อมูลภูมิอากาศเพิ่มเติมในบริเวณพื้นที่ตอนบน จำนวน 4 สถานี เพื่อทดสอบสมมติฐานของการติดตั้งสถานีต่อประสิทธิภาพการตรวจวัดข้อมูลฝน และได้ทำการจำลองข้อมูลปริมาณฝนจากเรดาร์ช่วงปี พ.ศ. 2561-2563 เข้ามาที่ตำแหน่งสถานีทั้ง 4 สถานี นำมาหาค่าเฉลี่ยปริมาณฝนเชิงพื้นที่เป็นรายวัน แล้วนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับข้อมูลอ้างอิงใหม่อีกครั้ง พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่า  $r$  เท่ากับ 0.54

โครงการวิจัยที่ 2 ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า 2 แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลอง SWAT และแบบจำลอง DWCM ร่วมกับแบบจำลองการบริหารจัดการน้ำ MIKE-BASIN เพื่อประเมินสภาวะการขาดแคลนน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีและผลของการปฏิบัติการฝนหลวงที่เกิดขึ้นต่อการลดลงของสภาวะการขาดแคลนน้ำ โดยทำการประยุกต์ใช้ข้อมูลการตรวจวัดปริมาณฝนจาก 3 แหล่งข้อมูล ได้แก่ ปริมาณฝนจากการตรวจวัด ณ สถานี (Station) ปริมาณฝนจากการตรวจวัดดาวเทียม (JAXA) และปริมาณฝนจากการตรวจวัดด้วยเรดาร์ (Radar) ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณฝน Radar จะให้ค่าปริมาณฝนที่สูงที่สุด ในขณะที่ปริมาณฝน Station จะให้ค่าปริมาณฝนที่ต่ำที่สุด ปริมาณฝนที่ประเมินได้ถูกนำมาประเมินปริมาณน้ำท่าไหลลงเขื่อนแก่งกระจานในช่วงปี 2018-2020 พบว่า ค่าเฉลี่ยจาก 2 แบบจำลองในช่วงเวลา 3 ปี ปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติการฝนหลวงแต่ละครั้งมีค่าเท่ากับ 3.26 ล้าน ลบ.ม สำหรับผลจากการศึกษาสภาวะการขาดแคลนน้ำ ในช่วงปี พ.ศ. 2545-2563 พบว่า สภาวะการขาดแคลนน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำและการบริหารจัดการน้ำที่ได้จากเขื่อนแก่งกระจานซึ่งเป็นเขื่อนขนาดใหญ่และเป็นเขื่อนหลักของพื้นที่ลุ่มน้ำ นอกจากนี้กรณีศึกษาปริมาณการขาดแคลนน้ำที่ลดลงเมื่อมีการปฏิบัติการฝนหลวงเปรียบเทียบกับกรณีเมื่อไม่

มีการปฏิบัติการฝนหลวง พบว่า การปฏิบัติการฝนหลวงสามารถลดการขาดแคลนน้ำได้ในหลายพื้นที่และยังสามารถเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนในช่วงต้นฤดูแล้งได้อยู่ในช่วงระหว่าง 1-60 ล้าน ลบ.ม. และผลการวิเคราะห์ดัชนีความแห้งแล้งด้านการเกษตรด้วยวิธี Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI) พบว่า ดัชนีความแห้งแล้ง TVDI สามารถนำมาประเมินติดตามสภาพความแห้งแล้งทางการเกษตรในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีได้ โดยสามารถใช้เกณฑ์ค่า TVDI สูงกว่า 0.67 เป็นเกณฑ์ที่เหมาะสมในการตัดสินใจปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงจากการขาดแคลนน้ำได้

โครงการวิจัยที่ 3 ทำการวิจัยแนวทางการเพิ่มผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงในการแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี ประกอบด้วย วิธีที่ 1 ทำการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นและความสัมพันธ์ของการเกิดฝนหลวงร่วมกับข้อมูลภูมิอากาศและผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศ วิธีที่ 2 ทำการศึกษาดัชนีประเมินผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำสำหรับลุ่มน้ำเพชรบุรี และวิธีที่ 3 ทำการวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปฏิบัติการฝนหลวง ผลการวิจัยวิธีที่ 1 พบว่า โอกาสการเกิดฝนมากที่สุดจากการปฏิบัติการฝนหลวงที่ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างร้อยละ 71-90 ความเร็วลมน้อยกว่า 20 นอต และปริมาณน้ำในบรรยากาศมีค่าระหว่าง 71-100 มม. ผลการวิจัยวิธีที่ 2 ได้สรุป 5 ดัชนีสำหรับการประเมินผลสัมฤทธิ์ฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำในลุ่มน้ำเพชรบุรี ได้แก่ ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำจากการปฏิบัติการฝนหลวง ปริมาณน้ำฝนที่ช่วยเหลือการเกษตร ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่เพิ่มขึ้น ณ สิ้นสุดฤดูฝน ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่เพิ่มขึ้น ณ สิ้นสุดฤดูแล้ง และ ปริมาณฝนที่ใช้ในการรักษาระบบนิเวศ ผลการวิจัยวิธีที่ 3 การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการจัดทำฝนหลวง พบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่า 0.1 ลบ.ม./ลบ.ม. ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยน้ำฝนที่ได้มีค่าต่ำกว่า 0.005 บาท ต่อ ลบ.ม. ของฝนที่ประเมินได้

โครงการวิจัยที่ 4 ได้ทำการพัฒนาระบบฐานข้อมูล และเซอร์วิสสำหรับการนำเข้าสู่ข้อมูลเพื่อสนับสนุนการจัดทำระบบช่วยตัดสินใจ โดยการรวบรวมข้อมูลที่สำคัญที่มีความจำเป็นต่อระบบช่วยตัดสินใจในการจัดทำฝนหลวง ประกอบด้วย ชุดข้อมูลการตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยา ชุดข้อมูลความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรของลุ่มน้ำเพชรบุรี ข้อมูลภาพการขยายการทำฝนเทียมในลุ่มน้ำเพชรบุรี นำมาออกแบบและพัฒนาระบบฐานข้อมูลระบบการจัดเก็บข้อมูล การนำเข้าสู่ข้อมูล การบริหารจัดการข้อมูล และการส่งออกข้อมูล เพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้ตัดสินใจปฏิบัติการทำฝนหลวง โดยทำการเชื่อมโยงงานระบบสารสนเทศแม่ข่ายเชิงพื้นที่เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวง (Fonluang Geo-Map Online)

**คำสำคัญ:** ผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวง, ฝนจากเรดาร์, วอเตอร์ฟุตพริ้นท์, ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ, ลุ่มน้ำเพชรบุรี

## Abstract

The goal of this research is to investigate the water shortage situation in Phetchaburi River basin for water management using Royal Rainmaking (RRM) operation. This goal comprises of three objectives; (1) the use of rainfall-runoff models to simulate runoffs generated by natural rainfalls and RRM's rainfall, (2) the use of water balance model to estimate the period and the level of water scarcity for RRM operation planning, Finally (3) the assessment of RRM performance to reduce the risk of water scarcity. This research is divided into four sub-projects that are (1) assessment of RRM Performance with ground-based rainfall in Phetchaburi River basin, (2) drought condition analysis of Phetchaburi River basin, (3) performance assessment of RRM for reducing water shortage and (4) development of RRM decision support systems for water planning and management in Phetchaburi River basin.

Rainfall radar and observed rainfalls from rain stations were compared in the first project. Inverse distance weight (IDW) was used to estimate areal average observed rainfalls. Results revealed that the correlation coefficient of these two data sets ( $r$ ) was low (0.21). In addition, four rain gauges and climate stations were installed in the upper basin. Rainfall radars during 2018-2020 were re-calculated together with new four stations and found that the relationship between rainfall radar and average observed rainfalls was increase with  $r$  of 0.54.

The second one, two rainfall-runoff models that were SWAT and DWCM together with MIKE-BASIN were applied to estimate the water deficit and the RRM operation affecting to water deficit reduction of the basin. Three sources of rainfall data that were rain gauges (Station), satellite rainfall data (JAXA) and radar rainfall data (Radar) were used. Results revealed that rainfall estimation using rainfall radar and rain gauges presented the highest and lowest rainfall amounts, respectively. Rainfall data generated above were used as input data in two rainfall-runoff models to estimate inflows of the Kaeng Krachan Dam during 2018-2020. The study found that each RRM operation generated 3.26 mcm of runoffs. The water scarcity of this basin was mainly related to water management of the Kaengkrachan dam that is the biggest and most important reservoir in this area. The results of this study also presented that the water scarcity was alleviated by RRM operation, for example, water amount around 1-14 mcm from RRM operation was able to reduce the water shortage of Huay Mae Prachan and also increased water budget at the beginning of dry season around 1-60 mcm. Finally, the study of spatial distribution of water scarcity using Terra/MODIS satellite together with temperature vegetation dryness index (TVDI) to estimate agricultural drought was conducted. Results revealed that TVDI was able to monitor agricultural drought in Phetchaburi River basin.

Higher 0.67 of TVDI was capable to use as RRM operation decision to alleviate the risk of water shortage.

The guidelines of RRM performance improvement to alleviate water shortage in the basin was studied in the third project. The methodology started with the study of probability and relationship of RRM operation together with climate data and atmospheric water. The index of RRM performance assessment to alleviate water shortage in the basin was then investigated. Finally, water footprint of RRM operation was revealed. Results showed that relative humidity around 71-90%, wind speed less than 20 knot and atmospheric water in between 71 and 100 mm was excellent condition for RRM operation. For RRM performance assessment to reduce the risk of water scarcity in this area, five index should be applied; inflow generated from RRM operations, rainfalls on agricultural activities, water amount in a reservoir at the end of rainy season, and rainfalls on ecosystem. Finally, water footprint of RRM operation was less than 0.1 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>. The expenditure of a unit of rainfall was 0.005 Bath/m<sup>3</sup>.

Database and service development to support decision making of RRM operation was studied in the last project. Significant data needed for the decision making system was meteorological data, agricultural water requirement of Phetchaburi River basin and RRM operations in the basin. These data sets were used to develop database such as data collection, input data, data management and data export service and linking information system with Fonluang Geo-Map online to benefit for RRM decision makers.

**Key words:** RRM performance, rainfall radar, water footprint, decision making system, Phetchaburi river basin

## สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ	2
บทคัดย่อ	3
Abstract	5
1. บทนำ (Introduction)	8
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	8
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	9
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	9
1.4 ทฤษฎีและแนวคิดที่นำมาใช้ในงานวิจัย	10
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	11
2. วิธีดำเนินการวิจัย	13
2.1 การทบทวนเอกสารและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	13
2.2 การประเมินผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงกับฝนภาคพื้นดินในลุ่มน้ำเพชรบุรี	13
2.3 การวิเคราะห์ภาวะการขาดแคลนน้ำในลุ่มน้ำเพชรบุรี	13
2.4 การศึกษาผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงในการแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำ	14
2.5 การพัฒนาระบบช่วยตัดสินใจในการทำฝนหลวงสำหรับการวางแผนการบริหารจัดการน้ำในลุ่มน้ำเพชรบุรี	14
3. ผลการวิจัย	15
3.1 ผลการวิจัยการประเมินผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงกับฝนภาคพื้นดินในลุ่มน้ำเพชรบุรี	15
3.2 ผลการวิจัยการวิเคราะห์ภาวะการขาดแคลนน้ำลุ่มน้ำเพชรบุรี	16
3.3 ผลการวิจัยการศึกษาผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงในการแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำ	18
3.4 ผลการวิจัยการพัฒนาระบบช่วยตัดสินใจในการทำฝนหลวงสำหรับการวางแผนการบริหารจัดการน้ำในลุ่มน้ำเพชรบุรี	21
4. ข้อวิจารณ์	22
5. สรุปและข้อเสนอแนะ	23

## สารบัญรูป

รูปที่ 1	แผนผังความเชื่อมโยงระหว่างโครงการวิจัยย่อยภายใต้แผนงานวิจัยนี้	11
รูปที่ 2	การเข้าถึงระบบสารสนเทศแม่ข่ายเชิงพื้นที่เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวง	21

# 1. บทนำ

## 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ฝนตามธรรมชาติถือเป็นปัจจัยสำคัญในระบบอุทกวิทยาเป็นอย่างมากสำหรับการวางแผนการบริหารจัดการน้ำ แต่เนื่องจากลักษณะการกระจายตัวของฝนที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งระยะทาง เวลา และความหนักเบาของฝน จึงส่งผลให้พื้นที่ที่มีฝนตกน้อยหรือมีสถานะฝนทิ้งช่วงเป็นระยะเวลายาวนานเกิดภาวะแห้งแล้งและเกิดการขาดแคลนน้ำเพื่อการอุปโภค บริโภค และทำการเกษตรกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูเพาะปลูก เกษตรกรมักจะประสบความเดือดร้อนเนื่องจากบางครั้งเกิดภาวะฝนทิ้งช่วงในระยะเวลาวิกฤตของพืชผล กล่าวคือ หากขาดน้ำในระยะดังกล่าวจะทำให้ผลผลิตต่ำหรืออาจไม่มีผลผลิต รวมทั้งอาจทำให้ผลผลิตที่มีอยู่เสียหายได้ จึงสร้างความเดือดร้อนอย่างสาหัสและก่อให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจแก่เกษตรกรอย่างใหญ่หลวง นอกจากนี้ภาวะความต้องการใช้น้ำของประเทศนับวันจะทวีปริมาณความต้องการสูงขึ้นอย่างมหาศาล เพราะการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และการเพิ่มขึ้นของประชากร ซึ่งส่งผลให้ปริมาณน้ำต้นทุนจากทรัพยากรน้ำที่มีอยู่ไม่เพียงพอ

ด้วยพระเนตรที่ยาวไกลและความอัจฉริยะภาพของพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช บรมนาถบพิตร จึงทรงมีพระราชดำริครั้งแรก ในปี พ.ศ. 2498 แก่ ม.ร.ว.เทพฤทธิ์ เทวกุล ว่าจะทรงค้นหาวิธีการที่จะทำให้เกิดฝนตกนอกเหนือจากที่จะได้รับจากธรรมชาติ โดยการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาประยุกต์กับทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดมีศักยภาพของการเป็นฝนให้ได้ ด้วยทรงเชื่อมั่นในพระราชหฤทัยว่าด้วยลักษณะภูมิอากาศและภูมิประเทศของประเทศไทยจะสามารถดำเนินการให้บังเกิดผลสำเร็จได้อย่างแน่นอน เนื่องจากน้ำคือปัจจัยขั้นพื้นฐานที่สำคัญในการดำรงชีพของมนุษย์ การขาดแคลนน้ำจึงมิได้มีผลโดยตรงแค่เพียงความเป็นอยู่ของประชาชนเท่านั้น แต่ยังส่งผลกระทบต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศโดยรวมอีกด้วย และต่อมาได้ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้ทำการทดลองปฏิบัติการฝนหลวงขึ้นจริงในท้องฟ้าเป็นครั้งแรก เมื่อวันที่ 20 กรกฎาคม 2512 และยังคงเป็นศาสตร์แห่งพระราชาที่ช่วยบรรเทาความเดือดร้อนในเรื่องการขาดแคลนน้ำให้กับชาวบ้านเกษตรกรได้จนถึงทุกวันนี้

ต่อมากรมฝนหลวงและการบินเกษตร ได้ถูกจัดตั้งขึ้นใหม่โดยการยกฐานะขึ้นเป็นหน่วยงานระดับกรมในสังกัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เมื่อวันที่ 24 มกราคม 2556 ตามพระราชบัญญัติปรับปรุงกระทรวง ทบวง กรม (ฉบับที่ 10) ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 130 ตอนที่ 8 ก โดยมีภารกิจหลักในเรื่องของการบริหารจัดการน้ำในชั้นบรรยากาศให้เกิดฝนในปริมาณและการกระจายที่เหมาะสม การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการทำฝนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการน้ำในชั้นบรรยากาศ และการดัดแปรสภาพอากาศแก้ไขปัญหากลยุทธ์ภัยพิบัติอันเนื่องมาจากความผันแปรของภูมิอากาศและสภาวะโลกร้อน

ท่ามกลางสถานการณ์ที่มีความท้าทายหลากหลายประการ อาทิ ปัญหาวิกฤตภัยแล้งที่ทวีความรุนแรงและขยายวงกว้างมากขึ้นในทุกปี ปัญหาความยากลำบากในการขึ้นบินปฏิบัติการฝนหลวงอันเนื่องมาจากความผันแปรของฤดูกาลตามธรรมชาติ ปัญหาความท้าทายเชิงนโยบายอันเนื่องมาจากการเปิดเสรีทางการค้าและการลงทุน รวมถึงมุมมองความต้องการของผู้รับบริการและผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ปัจจัยแวดล้อมดังกล่าวข้างต้นส่งผลให้กรมฝนหลวงและการบินเกษตรไม่สามารถใช้วิธีการแบบเดิมในการแก้ปัญหาเฉพาะหน้าไปตามสถานการณ์ได้อีกต่อไป จำเป็นต้องทำการวิจัย พัฒนา นวัตกรรม และองค์ความรู้เพื่อปรับเปลี่ยนกระบวนการในการทำงานให้สอดคล้องกับกลไกการพัฒนาและทิศทางแนวโน้มของ

สถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไปโดยให้ความสำคัญกับการแก้ไขปัญหาภัยแล้งเชิงพื้นที่และมีการบูรณาการทำงานร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อาทิ กรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ และกรมทรัพยากรน้ำบาดาล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดความเสี่ยงในวางแผนการบริหารจัดการน้ำเชิงพื้นที่ด้วยการปฏิบัติการฝนหลวง ตลอดจนเพื่อลดปัจจัยเสี่ยงและข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการปฏิบัติงานพัฒนาปัจจัยโครงสร้างพื้นฐานขององค์กรให้เอื้อต่อสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลง รวมถึงการขับเคลื่อนยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศให้เป็นไปตามเป้าหมายและทิศทางที่กำหนดไว้

ดังนั้นภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งเป็นหน่วยงานที่มีบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญในการทำวิจัยและพัฒนาองค์ความรู้ด้านอุทกวิทยา การชลประทาน และการวางแผนการบริหารจัดการน้ำเชิงพื้นที่ รวมทั้งมีความพร้อมที่จะร่วมดำเนินงานพัฒนางานวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยี จึงมีความเหมาะสมที่จะเข้าร่วมแผนงานวิจัยเรื่องการเพิ่มผลสัมฤทธิ์และการลดความเสี่ยงในการบริหารจัดการน้ำเชิงพื้นที่ด้วยฝนหลวง โดยได้คัดเลือกพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี ซึ่งเป็นหนึ่งในโครงการความร่วมมือระหว่างกรมชลประทาน กรมฝนหลวง และกรมป่าไม้ ซึ่งประกอบด้วยลุ่มน้ำเพชรบุรีและลุ่มน้ำป่าสัก เพื่อให้การบริหารจัดการน้ำมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

แผนงานวิจัยนี้มีเป้าหมายที่จะศึกษาการเพิ่มผลสัมฤทธิ์และการลดความเสี่ยงในการบริหารจัดการน้ำลุ่มน้ำเพชรบุรีด้วยฝนหลวง ตามรายละเอียดวัตถุประสงค์ของการวิจัย ดังนี้

- 1) เพื่อวิเคราะห์สถานการณ์ปัจจุบันของการขาดแคลนน้ำในลุ่มน้ำเพชรบุรี สำหรับการวางแผนการบริหารจัดการน้ำเชิงพื้นที่ด้วยการปฏิบัติการฝนหลวง
- 2) เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าจากฝนตามธรรมชาติและจากการปฏิบัติการฝนหลวง
- 3) เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองสมดุลน้ำ สำหรับการประเมินช่วงเวลาและปริมาณการขาดแคลนน้ำในลุ่มน้ำเพชรบุรีเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนปฏิบัติการฝนหลวง
- 4) เพื่อพัฒนาระบบช่วยตัดสินใจในการทำฝนหลวงสำหรับการวางแผนการบริหารจัดการน้ำในลุ่มน้ำเพชรบุรี
- 5) ประเมินผลสัมฤทธิ์ของการทำฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำ

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

พื้นที่ศึกษาของงานวิจัย ครอบคลุม พื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี มีพื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 6,255 ตร.กม และมีขอบเขตของการวิจัยของโครงการวิจัยย่อย ดังนี้

**โครงการวิจัยย่อยที่ 1** รวบรวมและศึกษาข้อมูลจากการปฏิบัติการฝนหลวงในอดีตย้อนหลัง 10 ปี ในลุ่มน้ำเพชรบุรี และทำการติดตั้งสถานีตรวจวัดน้ำฝนและข้อมูลภูมิอากาศในพื้นที่ศึกษาจำนวน 4 สถานี

**โครงการวิจัยย่อยที่ 2** การประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า ซึ่งได้มีการกำหนดการใช้งานแบบจำลอง 2 แบบจำลองได้แก่ แบบจำลอง Soil and Water Assessment Tool (SWAT) เป็นแบบจำลองที่มีลักษณะเป็นแบบ Semi-distributed model และแบบจำลอง Distributed Water Circulation Model

incorporating with Agricultural Water Use (DWCM-AgWU) (DWCM) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่มีลักษณะแบบ Fully-distributed model นอกจากนั้นการประเมินปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจากฝนธรรมชาติและการปฏิบัติการฝนหลวงได้ดำเนินการศึกษาโดยเน้นในพื้นที่เหนือเขื่อนแก่งกระจาน เนื่องจากเป็นแหล่งกักเก็บน้ำหลักที่สำคัญต่อกิจกรรมการใช้น้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำ

**โครงการวิจัยย่อยที่ 3** การวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศ โดยวิธีการใช้ข้อมูลอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature) จากสถานีตรวจวัดภูมิอากาศ จำนวน 3 สถานี ในพื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำเพชรบุรีและพื้นที่ข้างเคียง ได้แก่ สถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหิน เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ และการประเมินวงจรชีวิตของกระบวนการจัดทำฝนหลวง โดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต หรือ Life Cycle Assessment, LCA ในการประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงย้อนหลัง 3 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ.2561-2563

**โครงการวิจัยย่อยที่ 4** ออกแบบและพัฒนาฐานข้อมูลใน Cloud Server โดยใช้พัฒนาฐานข้อมูลแบบ MySQL ซึ่งเป็นระบบจัดการฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database Management System) โดยใช้ภาษา SQL

#### 1.4 ทฤษฎีและแนวคิดที่นำมาใช้ในงานวิจัย

แผนงานวิจัยจะเป็นการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลด้านต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการศึกษา อาทิ ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในสนาม ข้อมูลฝนหลวง ข้อมูล DEM ข้อมูลน้ำในบรรยากาศ ข้อมูลการเพาะปลูก ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน และกายภาพของชนิดดิน ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม และข้อมูลการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ศึกษา โดยการศึกษาได้แบ่งออกเป็นโครงการวิจัยย่อย 4 โครงการ ได้แก่

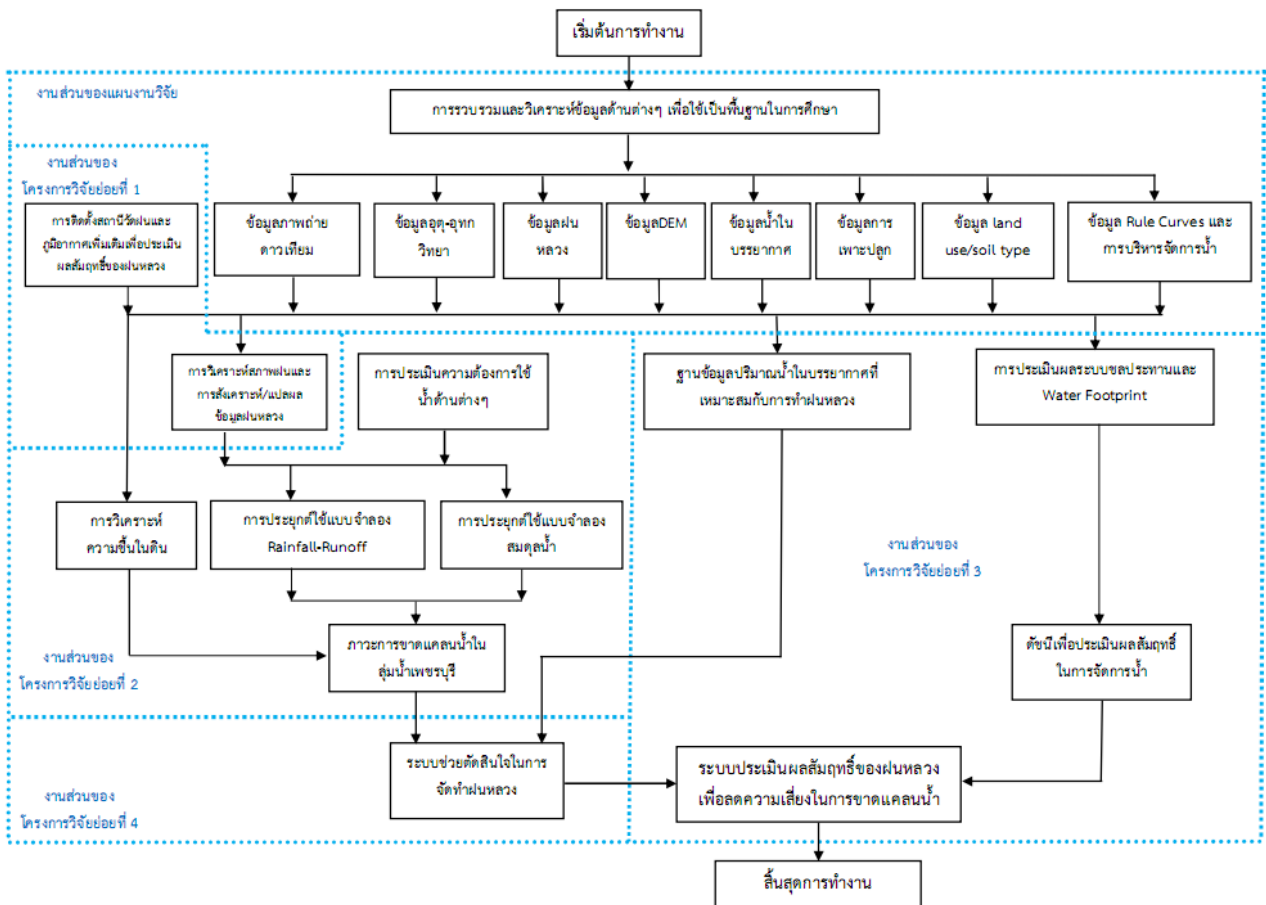
**โครงการวิจัยย่อยที่ 1** ดำเนินการวิจัยวิเคราะห์สภาพฝนและการสังเคราะห์/แปลผลข้อมูลฝนหลวงด้วยข้อมูลฝนภาคพื้นดิน รวมทั้งมีการคัดเลือกและติดตั้งสถานีวัดฝนและภูมิอากาศเพิ่มเติมในพื้นที่โครงการลุ่มน้ำเพชรบุรี เพื่อประเมินผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงกับฝนภาคพื้นดินในลุ่มน้ำเพชรบุรี

**โครงการวิจัยย่อยที่ 2** ดำเนินการวิจัยวิเคราะห์ภาวะการขาดแคลนน้ำในเขตลุ่มน้ำเพชรบุรี ประกอบด้วย การประเมินปริมาณน้ำท่าจากน้ำฝนในสภาวะต่าง ๆ การประเมินความต้องการใช้น้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งด้านอุปโภค-บริโภค การเกษตรกรรม อุตสาหกรรม ท่องเที่ยว และการรักษาระบบนิเวศทำนน้ำ รวมทั้งการประเมินความชื้นในดินจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม และทำการศึกษาสมดุลน้ำเพื่อประเมินช่วงเวลาและปริมาณการขาดแคลนน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนปฏิบัติการฝนหลวง ซึ่งจะพิจารณาจากดัชนีเพื่อประเมินสภาวะการขาดแคลนน้ำจากผลการศึกษาในครั้งนี้

**โครงการวิจัยย่อยที่ 3** ดำเนินการวิจัยศึกษาผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงในการแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำ ซึ่งประกอบด้วย เป็นการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นและความสัมพันธ์ของการเกิดฝนหลวงร่วมกับข้อมูลภูมิอากาศและผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศ การศึกษาดัชนีประเมินผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำสำหรับลุ่มน้ำเพชรบุรี และการวิเคราะห์ห้วงเวลาของการปฏิบัติการฝนหลวง

**โครงการวิจัยย่อยที่ 4** ดำเนินการวิจัยออกแบบและพัฒนาระบบช่วยตัดสินใจในการจัดทำฝนหลวงและทำการพัฒนาระบบประเมินผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำร่วมกับดัชนีเพื่อประเมินผลสัมฤทธิ์ในการจัดการน้ำที่ได้จากผลการศึกษาในครั้งนี้

โครงการวิจัยย่อยทั้ง 4 โครงการ จะเชื่อมโยงกันดังแสดงแผนผังความเชื่อมโยงระหว่างโครงการวิจัยย่อยภายใต้แผนงานวิจัยนี้ในรูปที่ 1 ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำเชิงพื้นที่ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อด้านน้ำ ด้านการเกษตรกรรม และด้านการชลประทาน ซึ่งจะต้องทำนายผลกระทบดังกล่าวในอนาคตและหาแนวทางรับมือหรือปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวที่มีความเหมาะสม มั่นคง และยั่งยืนต่อไป



รูปที่ 1 แผนผังความเชื่อมโยงระหว่างโครงการวิจัยย่อยภายใต้แผนงานวิจัยนี้

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สร้างนักวิจัยรุ่นใหม่
- 2) การตีพิมพ์บทความในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ และ/หรือ ระดับชาติ
- 3) การใช้ผลงานวิจัยเป็นเอกสารประกอบการสอนในหลักสูตรวิศวกรรมชลประทานทั้งในระดับปริญญาตรี และบัณฑิตศึกษา
- 4) ทราบถึงสถานการณ์ปัจจุบันของการขาดแคลนน้ำในกลุ่มน้ำเพชรบุรี เพื่อใช้ในการวางแผนการบริหารจัดการน้ำเชิงพื้นที่ด้วยการทำฝนหลวง

- 5) สามารถคาดการณ์น้ำจากฝนตามธรรมชาติและฝนหลวง จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าที่พัฒนาขึ้น
- 6) สามารถประเมินช่วงเวลาและปริมาณการขาดแคลนน้ำในกลุ่มน้ำเพชรบุรีเพื่อหาความต้องการฝนหลวง จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองสมดุลน้ำที่พัฒนาขึ้น
- 7) สามารถวางแผนการบริหารจัดการน้ำในกลุ่มน้ำเพชรบุรี จากระบบช่วยตัดสินใจในการทำฝนหลวงที่พัฒนาขึ้น
- 8) สามารถประเมินผลสัมฤทธิ์ของการทำฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำการประเมินผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงกับฝนภาคพื้นดินในกลุ่มน้ำเพชรบุรี

## 2. วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยมีขั้นตอนสรุปได้ดังนี้

### 2.1 การทบทวนเอกสารและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ดำเนินการรวบรวมข้อมูลจากกรมฝนหลวงและการบินเกษตร กรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ และกรมอุตุนิยมวิทยา และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อาทิเช่น

- 1) รวบรวมข้อมูลอุตุ-อุทกวิทยา
- 2) รวบรวมข้อมูลการดำเนินงานของการทำฝนหลวงในอดีตถึงปัจจุบันในพื้นที่ศึกษา
- 3) รวบรวมข้อมูล DEM
- 4) รวบรวมข้อมูลการเพาะปลูก
- 5) รวบรวมข้อมูล land use/soil type
- 6) รวบรวมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม
- 7) รวบรวมข้อมูล Rule Curves ของอ่างเก็บน้ำที่สำคัญ
- 8) รวบรวมข้อมูลการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ศึกษา

นอกจากนี้ยังได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ได้แก่ การเก็บตัวอย่างดินจากภาคสนาม เพื่อหาค่าความชื้นในดิน โดยทำการเก็บตัวอย่างดิน จำนวน 50 จุด จุดละประมาณ 2-5 ตัวอย่าง

### 2.2 การประเมินผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงกับฝนภาคพื้นดินในกลุ่มน้ำเพชรบุรี

การประเมินผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงกับฝนภาคพื้นดินในกลุ่มน้ำเพชรบุรีเป็นการดำเนินงานของโครงการวิจัยที่ 1 มีขั้นตอนสรุปได้ดังนี้

- 1) การวิเคราะห์สถิติข้อมูลข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและข้อมูลภูมิอากาศในสนาม
- 2) การสังเคราะห์และแปลผลข้อมูลจากการปฏิบัติการฝนหลวงในอดีตย้อนหลัง 10 ปีในกลุ่มน้ำเพชรบุรี
- 3) การคัดเลือกและติดตั้งสถานีตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ศึกษา

### 2.3 การวิเคราะห์ภาวะการขาดแคลนน้ำในกลุ่มน้ำเพชรบุรี

การวิเคราะห์ภาวะการขาดแคลนน้ำในกลุ่มน้ำเพชรบุรีเป็นการดำเนินงานของโครงการวิจัยที่ 2 มีขั้นตอนสรุปได้ดังนี้

- 1) การจัดทำแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าสำหรับพื้นที่กลุ่มน้ำเพชรบุรี โดยใช้แบบจำลอง SWAT และแบบจำลอง DWCM-AgWU เพื่อประเมินปริมาณน้ำท่าไหลลงอ่างเก็บน้ำ
- 2) การประเมินความต้องการใช้น้ำจากกิจกรรมต่าง ๆ

3) การจัดทำแบบสมดุลงน้ำสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี โดยใช้แบบจำลอง Mike Hydro Basin เพื่อประเมินการขาดแคลนน้ำ ณ กิจกรรมการใช้น้ำ

4) การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อประเมินการขาดแคลนน้ำเชิงพื้นที่

#### 2.4 การศึกษาผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงในการแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ของฝนหลวงในการแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำเป็นการดำเนินงานของโครงการวิจัยที่ 3 มีขั้นตอนสรุปได้ดังนี้

- 1) การวิเคราะห์สถิติข้อมูลภูมิอากาศ และการประเมินปริมาณน้ำในบรรยากาศ
- 2) การวิเคราะห์ดัชนีผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำ
- 3) การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตฝนหลวง
- 4) การจัดทำฐานข้อมูลอุตุวิทยามหาวิทยาลัย

#### 2.5 การพัฒนาระบบช่วยตัดสินใจในการทำฝนหลวงสำหรับการวางแผนการบริหารจัดการน้ำในลุ่มน้ำเพชรบุรี

การพัฒนาระบบช่วยตัดสินใจในการทำฝนหลวงสำหรับการวางแผนการบริหารจัดการน้ำในลุ่มน้ำเพชรบุรีเป็นการดำเนินงานของโครงการวิจัยที่ 4 มีขั้นตอนสรุปได้ดังนี้

- 1) ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง และเชื่อมโยงข้อมูลจากโครงการวิจัยที่ 1 2 และ 3
- 2) การศึกษาออกแบบและพัฒนาระบบฐานข้อมูล
- 3) การศึกษาออกแบบและพัฒนาระบบช่วยตัดสินใจในการทำฝนหลวง

### 3. ผลการวิจัย

ผลการวิจัยของทั้ง 4 โครงการวิจัยย่อยของแผนงานวิจัยการเพิ่มผลสัมฤทธิ์และการลดความเสี่ยงในการบริหารจัดการน้ำลุ่มน้ำเพชรบุรีด้วยฝนหลวง สามารถสรุปได้ดังนี้

#### 3.1 ผลการวิจัยการประเมินผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงกับฝนภาคพื้นดินในลุ่มน้ำเพชรบุรี

##### 1) ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและข้อมูลภูมิอากาศที่ผ่านการวิเคราะห์แล้ว

ข้อมูลหลักที่ดำเนินการรวบรวม ได้แก่ ข้อมูลปฏิบัติการฝนหลวงรายวัน ซึ่งประกอบไปด้วย วัน-เวลาในการทำฝนหลวง ขอบเขตแนวบินในแต่ละปฏิบัติการ จากกรมฝนหลวงและการบินเกษตร และ ข้อมูลปริมาณฝนรายชั่วโมงจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน)

##### 2) ผลการสังเคราะห์และแปลผลข้อมูลจากการปฏิบัติการฝนหลวงในอดีตย้อนหลัง 10 ปี ในลุ่มน้ำเพชรบุรี

จากปฏิบัติการการทำฝนหลวงในเขตพื้นที่จังหวัดเพชรบุรี ระหว่างปี พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2563 จำนวน 108 ปฏิบัติการ ทำการเปรียบเทียบข้อมูลฝนจากเรดาร์กับข้อมูลฝนภาคพื้นดินของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) ซึ่งได้จากการหาค่าฝนเฉลี่ยเชิงพื้นที่ด้วยเทคนิค IDW พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของปริมาณฝนเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของ 2 ชุดข้อมูลมีค่า  $r = 0.21$  ซึ่งมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างต่ำ เมื่อพิจารณาจากแผนที่เส้นชั้นน้ำฝนรายวันเปรียบเทียบกันระหว่างข้อมูลฝนเรดาร์และค่าเฉลี่ยจากฝนภาคพื้นดินพบว่า ในบริเวณตอนบนของลุ่มน้ำซึ่งเป็นพื้นที่เป้าหมายในการทำฝนหลวงเพื่อเติมน้ำลงเขื่อนแก่งกระจาน มีจำนวนสถานีฝนไม่ครอบคลุมแนวทางการบิน ทำให้มีความแตกต่างของค่าฝนเฉลี่ยค่อนข้างสูง จึงเสนอให้มีการติดตั้งสถานีวัดน้ำฝนเพิ่มเติมในบริเวณพื้นที่ตอนบนของลุ่มน้ำ

##### 3) ระบบฐานข้อมูลฝนหลวงและฝนภาคพื้นดินของสถานีที่ติดตั้งเพิ่มเติม

มีฐานข้อมูลฝนหลวงและฝนภาคพื้นดินในช่วงปี 2561-2563 แต่สำหรับสถานีที่ติดตั้งเพิ่มเติมในปี 2563 เนื่องจากในการติดตั้งฯ ดำเนินการแล้วเสร็จภายหลังการทำปฏิบัติการฝนหลวงปี พ.ศ. 2563 สิ้นสุดลง (ปฏิบัติการฝนหลวงปี 2563 เริ่มต้นเดือนกุมภาพันธ์ สิ้นสุดสิ้นเดือนพฤษภาคม 2563) จึงต้องรอผลการตรวจวัดในปี 2564 เพื่อจัดเก็บลงฐานข้อมูลต่อไป

##### 4) ผลการประเมินผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงกับฝนภาคพื้นดินในลุ่มน้ำเพชรบุรี

ผลการเปรียบเทียบระหว่างฝนหลวงจากฝนกริดเรดาร์กับข้อมูลภาคพื้นดินให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์  $r = 0.21$  คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการติดตั้งสถานีวัดน้ำฝนและข้อมูลภูมิอากาศเพิ่มเติมในบริเวณพื้นที่ตอนบน จำนวน 4 สถานี จากนั้น เพื่อทดสอบสมมติฐานของการติดตั้งสถานีต่อประสิทธิภาพการตรวจวัดข้อมูลฝน จึงได้ทำการจำลองข้อมูลปริมาณฝนจากเรดาร์ช่วงปี พ.ศ. 2561-2563 เข้ามาที่ตำแหน่งสถานีทั้ง 4 สถานี นำมาหาค่าเฉลี่ยปริมาณฝนเชิงพื้นที่เป็นรายวัน แล้วนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับข้อมูลอ้างอิงใหม่อีกครั้งหนึ่ง พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่า  $r = 0.54$  แต่อย่างไรก็ตาม ยังคงต้องรอผลการตรวจวัดจริงในช่วงของการทำปฏิบัติการฝนหลวงปี พ.ศ. 2564 จาก

อุปกรณ์ตรวจวัดที่ได้ทำการติดตั้งเพิ่มเติมนี้ และนำผลที่ได้มาประเมินผลสัมฤทธิ์ของการทำปฏิบัติการฝนหลวง ในปี พ.ศ. 2564 ต่อไป

### 3.2 ผลการวิจัยการวิเคราะห์ภาวะการขาดแคลนน้ำลุ่มน้ำเพชรบุรี

#### 1) การประเมินปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติการฝนหลวง

การศึกษาครั้งนี้ได้ประเมินปริมาณฝนจาก 3 แหล่งข้อมูลได้แก่ ปริมาณฝนตรวจวัดสถานี (Station) โดยกรมอุตุนิยมวิทยา ปริมาณฝนจากภาพถ่ายดาวเทียม (JAXA) พัฒนาโดย Earth Observation Research Center, Japan Aerospace Exploration Agency และปริมาณฝนจากการตรวจวัดด้วยเรดาร์ (Radar) จากกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ช่วงเวลาที่ประเมินปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติการฝนหลวงประเมินจากการปฏิบัติการฝนหลวงระหว่างปี 2018-2020 ช่วงเวลา 02.00 UTC – 14.00 UTC โดยการปฏิบัติการฝนหลวงจะอยู่ในช่วงระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-มิถุนายน มีจำนวนวันที่ปฏิบัติการของปี 2018 2019 และ 2020 เท่ากับ 20 63 และ 65 วันตามลำดับ และประเมินการจากพื้นที่เป้าหมายของการปฏิบัติการฝนหลวง

จากการใช้ข้อมูลประเมินปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจากทั้ง 3 แหล่งข้อมูลพบว่าปริมาณฝน Radar จะให้ค่าปริมาณฝนที่สูงที่สุด ในขณะที่ปริมาณฝน Station จะให้ค่าปริมาณฝนที่ต่ำที่สุด โดยหากพิจารณาจากข้อมูลในช่วง 3 ปี เฉพาะในช่วงที่มีการปฏิบัติการฝนหลวงจะพบว่า ในการปฏิบัติการฝนหลวงแต่ละครั้ง ข้อมูลฝน Station และ JAXA จะประเมินปริมาณฝนที่เกิดขึ้นเฉลี่ย 5 และ 8 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ ในขณะที่ข้อมูลฝน Radar จะสามารถประเมินปริมาณฝนที่เกิดขึ้นได้สูงมากถึง 14 ล้าน ลบ.ม. และเมื่อประเมินถึงสัดส่วนการเกิดขึ้นของฝนหลวงต่อฝนธรรมชาติในวันที่มีการปฏิบัติการฝนหลวง พบว่าจากข้อมูลปริมาณฝนทั้ง 3 แหล่งข้อมูลจะให้ค่าสัดส่วนปริมาณฝนจากการปฏิบัติการฝนหลวงต่อฝนธรรมชาติเฉลี่ย 3 ปี อยู่ในช่วงระหว่าง 27%-36% จากข้อมูลปริมาณฝนทั้ง 3 แหล่งข้อมูล

#### 2) การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าจากฝนธรรมชาติและปฏิบัติการฝนหลวง

ผลจากการประเมินปริมาณฝนทั้งจากปริมาณฝนธรรมชาติและการประเมินร่วมกับการปฏิบัติการฝนหลวงข้างต้นได้ถูกนำมาใช้ในการประเมินถึงปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นของอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า 2 แบบจำลองได้แก่ แบบจำลอง Soil and Water Assessment Tool (SWAT) และแบบจำลอง Distributed Water Circulation Model incorporating with Agricultural Water Use (DWCM-AgWU) ร่วมกับแบบจำลองการบริหารจัดการน้ำ MIKE-BASIN ซึ่งประเมินปริมาณน้ำท่าจำเป็นต้องมีการประเมินถึงปริมาณความต้องการน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำ เพื่อนำมาใช้ในการประเมินสถานะการขาดแคลนน้ำทั้งในกรณีไม่มีฝนหลวง และในกรณีที่มีฝนหลวงร่วมด้วย ซึ่งการศึกษาครั้งนี้จึงได้นำข้อมูลปริมาณฝนทั้ง 3 แหล่งข้อมูลมาใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่าโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองแบบจำลอง SWAT-MIKE และ DWCM-MIKE ได้ถูกนำมาสอบเทียบและทวนสอบแบบจำลอง ซึ่งทั้ง 2 แบบจำลองให้ผลการประเมินค่าความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้-เกณฑ์ที่มีความถูกต้องสูง ยกเว้นผลที่ได้จากการใช้ข้อมูลปริมาณฝน Radar ที่ให้ค่าความถูกต้องที่ค่อนข้างต่ำทั้ง 2 แบบจำลอง

จากการประเมินปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานจากแบบจำลองทั้ง 2 แบบจำลอง ในช่วงปี 2018-2020 พบว่าปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้จากแบบจำลอง SWAT จะมีค่าสูงกว่าแบบจำลอง DWCM โดยค่าความแตกต่างของแบบจำลองทั้ง 2 แบบจำลองรายปีมีค่าประมาณ 380 ล้าน ลบ.ม. และเมื่อ

เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณน้ำท่าเมื่อใช้แหล่งข้อมูลฝนที่แตกต่างกันพบว่า ปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มเช่นเดียวกับปริมาณฝน โดยปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการประเมินโดยปริมาณฝน Radar มีค่าสูงที่สุดในขณะที่ปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้จากฝน Station ให้ค่าปริมาณน้ำท่าที่ต่ำที่สุด

นอกจากนี้จากการศึกษาครั้งนี้ยังพบว่าจากการปฏิบัติการฝนหลวงในช่วงปี 2008-2010 สามารถประเมินปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติการฝนหลวงได้ โดยปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละครั้งมีค่าเฉลี่ยจากทั้ง 2 แบบจำลอง จากการนำเข้าสู่ข้อมูลปริมาณฝนทั้ง 3 ประเภท ได้แก่ ปริมาณ Station ปริมาณฝน JAXA และปริมาณฝน Radar มีค่าเท่ากับ 0.97, 2.83 และ 5.98 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ ซึ่งเมื่อประเมินค่าเฉลี่ยจากปริมาณฝนทั้ง 3 แหล่ง พบว่า ปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติการฝนหลวงแต่ละครั้งมีค่าเท่ากับ 3.26 ล้าน ลบ.ม. จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจากการประเมินด้วยปริมาณฝน Radar ให้ค่าที่สูงที่สุด และเป็นไปตามปริมาณฝนที่ประเมินได้ข้างต้น

3) การวิเคราะห์ภาวะการขาดแคลนน้ำจากกิจกรรมความต้องการใช้น้ำต่างๆโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองสมดุลน้ำและการจำลองปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ

ผลจากการศึกษาภาวะการขาดแคลนน้ำตั้งแต่อดีต-ปัจจุบัน (2002-2020) พบว่าอ่างเก็บน้ำโดยส่วนใหญ่ โดยเฉพาะอ่างเก็บน้ำวังยาวเป็นอ่างเก็บน้ำที่พบกับภาวะความรุนแรงของการขาดแคลนน้ำสูงที่สุดในทุกกรณีของการศึกษา ในขณะที่อ่างเก็บน้ำห้วยทราย อุตสาหกรรมเพชรบุรี และประปาเพชรบุรี ไม่พบภาวะการขาดแคลนน้ำ และโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรีพบภาวะการขาดแคลนน้ำอยู่ในช่วงระหว่างเล็กน้อย - ปานกลาง ซึ่งภาวะการขาดแคลนน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำและการบริหารจัดการน้ำที่ได้จากเขื่อนแก่งกระจานซึ่งเป็นเขื่อนขนาดใหญ่และเป็นเขื่อนหลักของพื้นที่ลุ่มน้ำ

นอกจากนี้การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ยังได้ประเมินถึงปริมาณของการขาดแคลนน้ำที่ลดลงเมื่อมีการปฏิบัติการฝนหลวงเปรียบเทียบกับเมื่อไม่มีการปฏิบัติการฝนหลวง พบว่าการปฏิบัติการฝนหลวงสามารถลดการขาดแคลนน้ำได้ในหลายพื้นที่ เช่น กิจกรรมการใช้น้ำ ณ อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ ซึ่งสามารถลดการขาดแคลนน้ำได้อยู่ระหว่าง 1-14 ล้าน ลบ.ม. ขึ้นอยู่กับการประเมินโดยแบบจำลองและการเลือกใช้ข้อมูลปริมาณฝน และยังสามารถเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนสำหรับในช่วงต้นฤดูแล้งได้อยู่ในช่วงระหว่าง 1-60 ล้าน ลบ.ม.

4) การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อประเมินการขาดแคลนน้ำเชิงพื้นที่

ผลการวิเคราะห์ภาวะการขาดแคลนน้ำเชิงพื้นที่โดยวิธีสำรวจระยะไกลด้วยภาพถ่ายดาวเทียมใน Terra/MODIS ประเมินดัชนีความแห้งแล้งด้านการเกษตรด้วยวิธี Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI) โดยแบ่งเป็นกลุ่มพื้นที่นาข้าวและกลุ่มพื้นที่พืชไร่/พืชสวน ผลการพบว่าดัชนีความแห้งแล้ง TVDI สามารถนำมาประเมินติดตามสภาพความแห้งแล้งทางการเกษตรในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีได้ ค่าดัชนี TVDI แสดงให้เห็นว่าในช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคม พื้นที่การเกษตรทางทิศตะวันตกซึ่งอยู่นอกเขตพื้นที่ชลประทาน มีสภาพความแห้งแล้งค่อนข้างสูง สอดคล้องกับผลการสำรวจภาคสนาม จากผลการศึกษาพบว่าปฏิบัติการฝนหลวงในช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคมเป็นช่วงเวลาที่มีความเหมาะสมเนื่องจากเป็นช่วงที่มีระดับความรุนแรงจากความแห้งแล้งสูง โดยสามารถใช้เกณฑ์ค่า TVDI สูงกว่า 0.67 เป็นเกณฑ์ที่เหมาะสมในการตัดสินใจปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงจากการขาดแคลนน้ำได้

### 3.3 ผลการวิจัยการศึกษาผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงในการแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำ

#### 1) การรวบรวมข้อมูลภูมิอากาศ และการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศ

งานวิจัยนี้ได้ทำการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลภูมิอากาศ จากสถานีตรวจวัด จำนวน 3 สถานี ในช่วงเวลา 30 ปี (2533-2562) ประกอบด้วย สถานีหัวหิน เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ และได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศจากข้อมูลอุณหภูมิจุดน้ำค้างราย 3 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณน้ำในบรรยากาศรายวันเฉลี่ยของสถานีหัวหิน เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ มีค่าอยู่ระหว่าง 51.23-75.00 มม. 53.33-80.71 มม. และ 52.31-77.85 มม. ตามลำดับ และปริมาณน้ำในบรรยากาศรายวันสูงสุดที่สถานีหัวหิน เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ มีค่าอยู่ระหว่าง 60.21-84.04 มม. 61.55-92.27 มม. และ 60.97-89.84 มม. ตามลำดับ

#### 2) ดัชนีผลสัมฤทธิ์ฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำ

ผลวิจัยสรุปดัชนีผลสัมฤทธิ์ฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำของกลุ่มน้ำเพชรบุรี ได้ดังนี้

(1) ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำจากการปฏิบัติการฝนหลวง

(2) ปริมาณน้ำฝนที่ช่วยเหลือการเกษตร ซึ่งพิจารณาจากความสามารถในการส่งน้ำ (Delivery Performance Ratio, DPR) และความรุนแรงของสภาวะการขาดแคลนน้ำ

(3) ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่เพิ่มขึ้น ณ สิ้นสุดฤดูฝน (เดือนพฤศจิกายน) โดยพิจารณาจาก อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน ปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 530 ล้าน ลบ.ม. อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ ปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 22.5 ล้าน ลบ.ม. และอ่างเก็บน้ำห้วยผาก ปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 20.5 ล้าน ลบ.ม.

(4) ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่เพิ่มขึ้น ณ สิ้นสุดฤดูแล้ง (เดือนเมษายน) โดยพิจารณาจาก อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน ปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 260 ล้าน ลบ.ม. อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ ปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 16 ล้าน ลบ.ม. และอ่างเก็บน้ำห้วยผาก ปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 15 ล้าน ลบ.ม.

(5) ปริมาณฝนที่ใช้ในการรักษาระบบนิเวศ เป็นการพิจารณาฝนหลวงที่ช่วยในด้านความชื้นในดิน และน้ำใต้ดิน ซึ่งพิจารณาจากค่าดัชนีความแห้งแล้ง (Temperature Vegetation Dryness Index, TVDI)

#### 3) ระบบฐานข้อมูลปริมาณน้ำในบรรยากาศ

ได้จัดทำฐานข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ร่วมกับโครงการวิจัยย่อยที่ 4 ประกอบด้วยข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลปริมาณน้ำในบรรยากาศเฉลี่ย และข้อมูลปริมาณน้ำในบรรยากาศสูงสุด โดยได้พัฒนาระบบฐานข้อมูล ประกอบด้วย ระบบการจัดเก็บข้อมูล ระบบการนำเข้าข้อมูล และระบบแสดงผลข้อมูล

#### 4) ระบบประเมินผลสัมฤทธิ์ในการจัดทำฝนหลวง

ผลการปฏิบัติงานในปีที่ 1 ได้ทำการวิเคราะห์ดัชนีผลสัมฤทธิ์ฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำ โดยสรุปผลได้ดังนี้

(1) ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำจากการปฏิบัติการฝนหลวง พบว่า ผลจากแบบจำลอง SWAT ฝนหลวงช่วยเพิ่มปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน เฉลี่ยร้อยละ 12.76 และผลจากแบบจำลอง DWCM ฝนหลวงช่วยเพิ่มปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน เฉลี่ยร้อยละ 18.39

(2) ปริมาณน้ำฝนที่ช่วยเหลือการเกษตร ซึ่งพิจารณาจากความสามารถในการส่งน้ำ (DPR) และความรุนแรงของสภาวะการขาดแคลนน้ำ พบว่า ค่าความสามารถส่งน้ำ (DPR) ของอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน ฤดูฝนมีค่าระหว่าง 0.54-1.42 ฤดูแล้งมีค่าระหว่าง 0.54-0.94 อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ DPR ฤดูฝนมีค่าระหว่าง 0.52-3.28 ฤดูแล้งมีค่าระหว่าง 0.51-2.15 และอ่างเก็บน้ำห้วยผาก DPR ฤดูฝนมีค่าระหว่าง 0.31-6.56 ฤดูแล้งมีค่าระหว่าง 0.36-1.67 และได้วิเคราะห์ความรุนแรงของสภาวะการขาดแคลนน้ำรายเดือนของอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ และอ่างเก็บน้ำห้วยผาก

(3) ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่เพิ่มขึ้น ณ สิ้นสุดฤดูฝน (เดือนพฤศจิกายน) มีผลการวิเคราะห์ดังนี้  
อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน มีจำนวนปีที่มีปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 530 ล้าน ลบ.ม. ณ สิ้นฤดูฝน คิดเป็นร้อยละ 56.36 อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ มีจำนวนปีที่มีปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 22.5 ล้าน ลบ.ม. ณ สิ้นฤดูฝน คิดเป็นร้อยละ 93.75 อ่างเก็บน้ำห้วยผาก มีจำนวนปีที่มีปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 20.5 ล้าน ลบ.ม. ณ สิ้นฤดูฝน คิดเป็นร้อยละ 50.00

(4) ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่เพิ่มขึ้น ณ สิ้นสุดฤดูแล้ง (เดือนเมษายน) มีผลการวิเคราะห์ดังนี้  
อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน มีจำนวนปีที่มีปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 260 ล้าน ลบ.ม. ณ สิ้นฤดูแล้ง คิดเป็นร้อยละ 80.00 อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ มีจำนวนปีที่มีปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 16 ล้าน ลบ.ม. ณ สิ้นฤดูแล้ง คิดเป็นร้อยละ 73.33 อ่างเก็บน้ำห้วยผาก มีจำนวนปีที่มีปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 15 ล้าน ลบ.ม. ณ สิ้นฤดูแล้ง คิดเป็นร้อยละ 70.00

(5) ปริมาณฝนที่ใช้ในการรักษาระบบนิเวศ ซึ่งพิจารณาจากค่าดัชนีความแห้งแล้ง (Temperature Vegetation Dryness Index, TVDI) เพื่อจำแนกระดับความชุ่มชื้นในดิน ผลการวิเคราะห์ TVDI ปี 2561-2563 ค่า TVDI มีค่าประมาณ 0.03-0.86

#### 5) การวิเคราะห์ห่อเตอร์พุตพรีนซ์

เมื่อพิจารณาปฏิบัติการฝนหลวงเป็นกระบวนการดำเนินงานที่มีเป้าหมายในการรวบรวมและเคลื่อนย้ายมวลน้ำในอากาศให้เป็นฝนตกลงในพื้นที่หรือบริเวณที่ต้องการ เพื่อเป้าหมายและวัตถุประสงค์ของแต่ละปฏิบัติการเช่น เติมน้ำในอ่างเก็บน้ำ บรรเทาภัยแล้งให้กับเกษตรกร ควบคุมไฟป่า ฯลฯ เช่นเดียวกับกิจกรรมการผลิตหรือบริการอื่น ๆ ย่อมต้องมีการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ ในการดำเนินการ และการดำเนินงานให้ไปในทิศทางที่พัฒนาที่ยั่งยืน ซึ่งเป็นเป้าหมายสำคัญตามกรอบการพัฒนาประเทศไทยและขององค์การสหประชาชาตินั้น การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการและการดำเนินการ ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน เป็นต้น จึงเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาควบคู่กันไปในการพัฒนากระบวนการผลิตหรือบริการใดๆ ดังสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

(1) ด้านสิ่งแวดล้อม ผลการคำนวณค่าห่อเตอร์พุตพรีนซ์ แสดงให้เห็นถึงค่าผลกระทบด้านทรัพยากรน้ำจากการใช้ยูเรียสูงที่สุด แม้ว่าค่าห่อเตอร์พุตพรีนซ์รายผลิตภณณ์นี้มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่า 0.1 ลบ.ม./ลบ.ม. ของฝนที่ได้ การเทียบเคียงกับค่าเกณฑ์มาตรฐาน (Benchmark) เพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ ในปฏิบัติการฝนหลวงไม่สามารถทำได้โดยตรงเนื่องจากไม่มีหน่วยงานใดในประเทศไทยที่ปฏิบัติการแบบเดียวกันนี้ การเทียบเคียงมาตรฐานภายในองค์กรจึงเป็นประเด็นที่ควรพิจารณา อย่างไรก็ตาม ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการนี้คือฝน ซึ่งมีความแตกต่างจากผลผลิตหรือผลิตภณณ์ของกระบวนการผลิตทั่วไปเนื่องจากมีปัจจัยซึ่งควบคุมได้ยากหรือควบคุมไม่ได้หลายปัจจัย จึงควรพิจารณาในประเด็นอื่น ๆ เพื่อการใช้

ทรัพยากรที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่น การปรับเปลี่ยนทรัพยากรที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่ามาทดแทน หรือพิจารณาจัดหาทรัพยากรที่มีระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ดี ตั้งแต่เริ่มกระบวนการผลิตจนถึงผู้ใช้ เช่นการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทานสีเขียว (Green Supply Chain Management) ซึ่งเป็นแนวคิดของการบริหารจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มุ่งเน้นการพัฒนาและปรับปรุงการดำเนินงานในกิจกรรมโลจิสติกส์ที่มีการคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมควบคู่กันไปด้วยตลอดโซ่อุปทาน ตั้งแต่แหล่งที่มาและกระบวนการจัดหาวัตถุดิบ การออกแบบผลิตภัณฑ์และบริการ กระบวนการผลิต การบริการ กระบวนการขนส่งทั้งภายในและภายนอกองค์กร การบริโภค รวมถึงการจัดการตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle) ของผลิตภัณฑ์และปัจจัยการผลิตอื่นๆ ในขณะที่ต้องบรรลุวัตถุประสงค์สำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพของกิจกรรมโลจิสติกส์ตลอดโซ่อุปทาน การลดต้นทุนโลจิสติกส์และความสามารถในการตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้อย่างทันเวลา มีคุณภาพและเชื่อถือได้ ดังนั้นการจัดหาทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวงที่มาจากผู้ผลิตและผู้จำหน่ายที่มีการประยุกต์ใช้แนวความคิดของระบบการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทานสีเขียวจะช่วยสนับสนุนแนวทางการพัฒนาที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นแนวทางไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนได้

(2) ด้านเศรษฐศาสตร์ การศึกษาปริมาณงบประมาณที่ใช้ในการจัดหาทรัพยากรในปฏิบัติการฝนหลวง เป็นการวิเคราะห์ด้านราคาในเบื้องต้น โดยใช้ราคากลางของทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละปีที่ศึกษาคือ พ.ศ. 2561-2563 (ไม่คิดค่าจ้างบุคลากรและค่าบำรุงรักษาดูแลอุปกรณ์ต่าง ๆ) เพื่อคำนวณราคาต่อหน่วยลูกบาศก์เมตรของฝนที่ได้จากปฏิบัติการฝนหลวง โดยวิธีการประเมินปริมาณน้ำฝนด้วยวิธีฝนดาวเทียม แสดงให้เห็นค่าใช้จ่ายต่อหน่วยน้ำฝนที่ได้มีค่าต่ำกว่า 0.005 บาท ต่อลูกบาศก์เมตรของฝนที่ประเมินได้ เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายเบื้องต้นดังกล่าว จะพบว่า เป็นราคาค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเคลื่อนมวลน้ำไปยังบริเวณที่ต้องการเพื่อแก้ไขปัญหาตามวัตถุประสงค์ที่มีราคาถูกหากเปรียบเทียบกับการขนส่งด้วยวิธีอื่น ๆ เช่น ระบบท่อขนส่งน้ำ และรถขนส่งน้ำ ปฏิบัติการฝนหลวงสามารถเคลื่อนย้ายมวลน้ำปริมาณมากโดยไม่รบกวนปริมาณน้ำของระบบการจัดการน้ำที่มีอยู่เดิม เนื่องจากเป็นน้ำที่มีอยู่ในอากาศตามธรรมชาติ สะดวก รวดเร็วในการเคลื่อนย้ายมวลน้ำปริมาณมาก ยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนพื้นที่เป้าหมายและวัตถุประสงค์ เข้าสู่พื้นที่ที่ไม่ต้องมีระบบคมนาคมทางพื้นดินหรือทางน้ำได้ ดังนั้นค่าใช้จ่ายต่อหน่วยน้ำฝนที่ได้ในปฏิบัติการฝนหลวงถือเป็นหนึ่งในข้อได้เปรียบทางเศรษฐศาสตร์ที่ไม่เพียงแต่ช่วยประหยัดงบประมาณในการจัดหาเท่านั้น แต่ยังส่งผลดีในประเด็นของปริมาณน้ำที่ได้ เป้าหมายอยู่ในพื้นที่ใด ๆ โดยไม่ต้องใช้ระบบคมนาคมภาคพื้นดิน และประหยัดเวลาในการดำเนินการอีกด้วย

(3) ด้านสังคม เมื่อพิจารณาประเด็นเชิงสังคม ฝนหลวงถือได้ว่าเป็นนวัตกรรมเพื่อประชาชนอย่างแท้จริง แผงไว้ด้วยปัจจัยเชิงสังคมหลากหลาย เป็นความผูกพันของประชาชนโดยเฉพาะเกษตรกรกับสถาบันกษัตริย์ การเทอดพระเกียรติพระอัจฉริยภาพของพระมหากษัตริย์ไทย ช่วยบรรเทาภัยแล้ง สร้างความยืดหยุ่นกับการบริหารจัดการน้ำให้กับผู้มีส่วนได้เสีย ทั้งนี้ยังมีผลทางอ้อมต่าง ๆ อีกมากมาย ทั้งที่ประเมินเป็นตัวเงินได้และไม่ได้โดยตรง เช่น ส่งเสริมการเข้าถึงทรัพยากรน้ำทั้งในและนอกเขตพื้นที่ชลประทาน การช่วยเหลือเกษตรกรสู้กับวิกฤตภัยแล้ง ทำให้พืชผลสามารถเจริญเติบโตเก็บเกี่ยวได้ไม่ขาดน้ำจนเสียหายส่งผลกระทบต่อสภาพความเป็นอยู่ที่ดีของเกษตรกร ลดปัญหาต่าง ๆ ที่อาจตามมาได้อย่างมาก ดังนั้นประเด็นต่าง ๆ เหล่านี้ถือเป็นเสาหลักสำคัญของระบบเศรษฐกิจสีเขียวซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญของกรมฝนหลวงและการบินเกษตรที่สนับสนุนการพัฒนาที่มุ่งไปสู่การพัฒนาเพื่อความยั่งยืน

### 3.4 ผลการวิจัยการพัฒนา ระบบช่วยตัดสินใจในการทำฝนหลวงสำหรับการวางแผนการบริหารจัดการน้ำ ในกลุ่มน้ำเพชรบุรี

1) การออกแบบระบบฐานข้อมูล ใน Cloud Server เพื่อจัดเก็บข้อมูลที่เป็นพารามิเตอร์ เพื่อการตัดสินใจทำฝนหลวงจากโครงการวิจัยที่ 1-4

ได้ทำการออกแบบและพัฒนาระบบฐานข้อมูล ใน Cloud Server เพื่อการจัดเก็บข้อมูลที่มีความจำเป็นต่อการทำฝนหลวงทุกพารามิเตอร์จาก โครงการวิจัยที่ 1-4 แล้วเสร็จสมบูรณ์ พร้อมทั้งระบบนำเข้าระบบส่งออกข้อมูล

2) การพัฒนาระบบช่วยตัดสินใจในการทำฝนหลวงสำหรับการวางแผนการบริหารจัดการน้ำในกลุ่มน้ำเพชรบุรี

ได้ทำการระบบช่วยตัดสินใจในการทำฝนหลวง ที่พัฒนาขึ้น ในชื่อ Fonluang Geo-Map ที่เรียกดูได้จาก <https://geomap.royalrain.go.th/portal/home/> ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การเข้าถึงระบบสารสนเทศแม่ข่ายเชิงพื้นที่เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวง

#### 4. ข้อวิจารณ์

1) การประเมินผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงกับฝนภาคพื้นดิน เนื่องจากสถานีตรวจวัดน้ำฝนภาคพื้นดินมีจำนวนสถานีไม่เพียงพอและมีการกระจายตัวที่ไม่ครอบคลุมพื้นที่รับน้ำฝนของเขื่อนแก่งกระจาน ทำให้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝนจากเรดาร์เปรียบเทียบกับข้อมูลฝนภาคพื้นดินให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์  $r$  เท่ากับ 0.21 ซึ่งค่อนข้างต่ำ งานวิจัยนี้จึงได้ติดตั้งสถานีวัดน้ำฝนเพิ่มเติมในพื้นที่จำนวน 4 สถานี ซึ่งยังมีช่วงเวลาของข้อมูลตรวจวัดไม่เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์

2) จากการวิเคราะห์ข้อมูลการตรวจวัดปริมาณฝนจาก 3 แหล่งข้อมูล ได้แก่ ปริมาณฝนจากการตรวจวัด ณ สถานี (Station) ปริมาณฝนจากการตรวจวัดดาวเทียม (JAXA) และปริมาณฝนจากการตรวจวัดด้วยเรดาร์ (Radar) พบว่า ปริมาณฝน Radar จะให้ค่าปริมาณฝนที่สูงที่สุดในขณะที่ปริมาณฝน Station จะให้ค่าปริมาณฝนที่ต่ำที่สุด

3) จากการประเมินปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานโดยใช้แบบจำลอง SWAT และแบบจำลอง DWCM ในช่วงปี 2018-2020 พบว่า ปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้จากแบบจำลอง SWAT มีค่าสูงกว่าแบบจำลอง DWCM ซึ่งทั้ง 2 แบบจำลองให้ผลการประเมินค่าความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้-เกณฑ์ที่มีความถูกต้องสูง ยกเว้นผลที่ได้จากการใช้ข้อมูลปริมาณฝน Radar ที่ให้ค่าความถูกต้องที่ค่อนข้างต่ำทั้ง 2 แบบจำลอง

4) การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อประเมินการขาดแคลนน้ำเชิงพื้นที่ พบว่า การปฏิบัติการฝนหลวงในช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคมเป็นช่วงเวลาที่มีความเหมาะสมเนื่องจากเป็นช่วงที่มีระดับความรุนแรงจากความแห้งแล้งสูง โดยสามารถใช้เกณฑ์ค่า TVDI สูงกว่า 0.67 เป็นเกณฑ์ที่เหมาะสมในการตัดสินใจปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงจากการขาดแคลนน้ำได้

5) การวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศที่เหมาะสมสำหรับการจัดทำฝนหลวง พบว่าให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กันในระดับที่ต่ำ  $r$  มีค่าระหว่าง 0.406 ถึง 0.459 และเมื่อวิเคราะห์โอกาสการเกิดฝนมากที่สุดจากการปฏิบัติการฝนหลวง พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างร้อยละ 71-90 ความเร็วลมน้อยกว่า 20 นอต และปริมาณน้ำในบรรยากาศมีค่าระหว่าง 71-100 มม.

6) การวิจัยดัชนีผลสัมฤทธิ์ฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำ สามารถใช้เป็นเกณฑ์สำหรับประเมินผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงเพื่อช่วยลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำของกลุ่มน้ำเพชรบุรีได้ โดยข้อมูลสำหรับใช้วิเคราะห์ดัชนีดังกล่าวได้จากการเชื่อมโยงผลการวิจัยของโครงการต่าง ๆ ในแผนงานวิจัยนี้

7) การวิเคราะห์อัตราร่วงพรุนของการจัดทำฝนหลวง พบว่า ค่าอัตราร่วงพรุนที่รายผลผลิตถั่วมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่า 0.1 ลบ.ม./ลบ.ม. ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยน้ำฝนที่ได้มีค่าต่ำกว่า 0.005 บาท ต่อ ลบ.ม. ของฝนที่ประเมินได้ ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยน้ำฝนที่ได้ในปฏิบัติการฝนหลวงถือเป็นหนึ่งในข้อได้เปรียบทางเศรษฐศาสตร์ที่ไม่เพียงแต่ช่วยประหยัดงบประมาณในการจัดหาน้ำเท่านั้น แต่ยังส่งผลดีในประเด็นของปริมาณน้ำที่ได้เป้าหมายอยู่ในพื้นที่ใด ๆ โดยไม่ต้องใช้ระบบคมนาคมภาคพื้นดิน และประหยัดเวลาในการดำเนินการ

8) การพัฒนาระบบช่วยตัดสินใจในทำฝนหลวงสำหรับการวางแผนการบริหารจัดการน้ำในกลุ่มน้ำเพชรบุรี ได้ร่วมกับกรมฝนหลวงและการบินเกษตรในการพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบ Fonluang Geo-Map โดยใช้เชื่อมโยงผลการวิจัยจากโครงการวิจัยต่าง ๆ ภายใต้อำนาจหน้าที่ และพัฒนาตามความต้องการของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร

## 5. รูปและข้อเสนอแนะ

1) การประเมินผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงกับฝนภาคพื้นดินเมื่อมีการติดตั้งสถานีวัดน้ำฝนเพิ่มเติมในพื้นที่รับน้ำฝนของเขื่อนแก่งกระจาน จำนวน 4 สถานี แต่เนื่องจากสถานีที่ติดตั้งใหม่ยังมีข้อมูลบันทึกไว้ไม่เพียงพอ จึงได้ทำการจำลองข้อมูลปริมาณฝนจากเรดาร์ช่วงปี พ.ศ. 2561-2563 เข้ามาที่ตำแหน่งสถานีทั้ง 4 สถานี ปรากฏว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่า  $r$  เท่ากับ 0.54 แต่ยังคงต้องรอผลการตรวจวัดจริงในช่วงของการทำปฏิบัติการฝนหลวงปี พ.ศ. 2564 จากอุปกรณ์ตรวจวัดที่ได้ทำการติดตั้งเพิ่มเติมนี้ และนำผลที่ได้มาประเมินผลสัมฤทธิ์ของการทำปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ. 2564 ต่อไป

2) ความสัมพันธ์ระหว่างการขาดแคลนน้ำที่ลดลงเมื่อมีการปฏิบัติการฝนหลวง ทั้งนี้เนื่องจากดัชนี TVDI เป็นดัชนีสำหรับประเมินความแห้งแล้งทางการเกษตร จึงไม่สามารถใช้ค่าปริมาณน้ำฝนที่เกิดจากการปฏิบัติการฝนหลวงมาหาความสัมพันธ์โดยตรงกับดัชนี TVDI ได้ จึงควรมีการศึกษาดัชนีประเมินความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาประกอบรวมกัน หรือศึกษาจากแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชเชิงพื้นที่

3) การกำหนดพื้นที่ที่มีการเพาะปลูก (cultivated area) เนื่องจากดัชนี TVDI ทำหน้าที่ประเมินระดับความแห้งแล้งของการเกษตรโดยไม่สามารถประเมินได้ว่าพื้นที่ดังกล่าวมีกิจกรรมการเพาะปลูกหรือไม่ ดังจะเห็นได้จากผลการศึกษาที่พบว่าในพื้นที่นาข้าวหลายแห่งที่อยู่ในระยะใกล้เก็บเกี่ยว-เก็บเกี่ยวแล้ว ซึ่งมีความแห้งแล้งอยู่ในเกณฑ์สูง แต่เป็นพื้นที่ที่ไม่จำเป็นต้องให้น้ำ ซึ่งหากมีการปฏิบัติการฝนหลวงในพื้นที่ดังกล่าวจะไม่เกิดประโยชน์โดยตรงต่อพืช ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเทคนิคทางด้านภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อประเมินสภาพการเพาะปลูกของพืชเพิ่มเติมต่อไป

4) ข้อจำกัดความละเอียดเชิงพื้นที่ของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม (spatial resolution) โดยผลิตภัณฑ์ภาพถ่ายจากดาวเทียม Terra/MODIS มีความละเอียดจุดภาพที่ 500 – 1,000 เมตร (1 จุดภาพ พื้นที่ประมาณ 156.25 – 625 ไร่) หากใช้งานวิเคราะห์พื้นที่นาข้าวในบริเวณกว้างและมีปฏิทินเพาะปลูกพืชใกล้เคียงกันจะมีความเหมาะสมในการใช้งาน แต่กรณีพื้นที่พืชไร่/พืชสวนซึ่งเกษตรกรมีพื้นที่ถือครองแปลงขนาดเล็กและมีการปลูกพืชหลายชนิด อาทิ อ้อย สับปะรด มันสำปะหลัง ยูคาลิปตัส ปาล์มน้ำมัน สวนไม้ผล ทำให้ใน 1 จุดภาพมีความหลากหลายของพืช การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่จึงเป็นค่าเฉลี่ยของพืชหลายชนิดซึ่งไม่เหมาะสมในการประเมินระดับความแห้งแล้งเนื่องจากพืชแต่ละชนิดจะมีระดับความทนทานต่อความแห้งแล้ง (drought tolerance) และความอ่อนไหวของผลผลิตต่อการขาดแคลนน้ำ (yield response to water) ที่แตกต่างกัน ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาเทคนิคการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมต่างระดับความละเอียดเพิ่มเติมในอนาคต

5) การวิเคราะห์ระดับความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ซึ่งจากในการศึกษานี้ได้วิเคราะห์ค่าดัชนี TVDI ที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินที่ระดับพื้นผิว อย่างไรก็ตามในมุมมองด้านการชลประทานควรวิเคราะห์ช่วงระดับความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Total Available Water, TAW) ร่วมกับการวิเคราะห์ค่า Depletion Fraction ของพืชแต่ละชนิด จึงจะเป็นประโยชน์ในการตัดสินใจให้น้ำชลประทาน/การปฏิบัติการฝนหลวงในพื้นที่เกษตรโดยตรง ทั้งนี้ควรมีการสำรวจข้อมูลภาคสนามและเก็บตัวอย่างดินมาวิเคราะห์เพิ่มเติม รวมทั้งควรมีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นในดินแบบอัตโนมัติเพื่อทวนสอบกับการแปลผลข้อมูลความชื้นดินจากภาพถ่ายดาวเทียม

6) ผลการวิจัยดัชนีและระบบประเมินผลสัมฤทธิ์ฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำในลุ่มน้ำเพชรบุรี พบว่า ทั้ง 5 ดัชนี ประกอบด้วย ดัชนีที่ 1 ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำจากการปฏิบัติการฝนหลวง ดัชนีที่ 2 ปริมาณน้ำฝนที่ช่วยเหลือการเกษตร ดัชนีที่ 3 ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่เพิ่มขึ้น ณ สิ้นฤดูฤดูฝน ในเดือนพฤศจิกายน ดัชนีที่ 4 ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่เพิ่มขึ้น ณ สิ้นฤดูฤดูแล้ง เดือนเมษายน และดัชนีที่ 5 ปริมาณฝนที่ใช้ในการรักษาระบบนิเวศ เมื่อนำมาพัฒนาเป็นระบบประเมินผลสัมฤทธิ์ในการจัดทำฝนหลวง โดยใช้ข้อมูลในอดีตในการวิเคราะห์หัดดัชนี จึงควรมีการวิจัยและพัฒนาให้สามารถใช้ข้อมูลในปัจจุบัน แบบ real-time สำหรับการวิเคราะห์ได้ในอนาคต

7) การประเมินค่าอัตราร่วงพุ่มไม้จากทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวง พบว่า การที่ปฏิบัติการฝนหลวงมีการใช้ทรัพยากรหลายชนิดในปฏิบัติการฝนหลวงผันแปรสูงเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ย เป็นการสะท้อนประเด็นการควบคุมปริมาณการใช้ทรัพยากรของปฏิบัติการที่ยังสามารถติดตามวิเคราะห์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพได้ ซึ่งอาจต้องการระดมสมองของผู้ที่เกี่ยวข้องเพื่อหาสาเหตุและแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้ทรัพยากรเหล่านี้ต่อไป

8) ระบบสนับสนุนการตัดสินใจทำฝนหลวง ได้พัฒนาในลักษณะของระบบเชื่อมโยงข้อมูลแสดงผลในภาพแผนที่ ให้กับระบบ Fonluang Geo-Map ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นพัฒนาระบบที่เป็นข้อมูลจากการวิเคราะห์ของโครงการย่อยทั้ง 4 โครงการ แต่ยังมีลักษณะการเชื่อมโยง ประมวลผล และแสดงผลที่ยังไม่เป็น real-time จึงควรมีงานวิจัยต่อไป เพื่อพัฒนาระบบฐานข้อมูลให้ทำงานแบบอัตโนมัติและมีการแสดงผลระบบสนับสนุนการตัดสินใจในลักษณะ real-time เพื่อสนับสนุนการทำปฏิบัติการฝนหลวง และเพิ่มผลสัมฤทธิ์ของการทำฝนหลวงต่อไป



รายงานการวิจัยการพัฒนากการวิจัยการเกษตร ฉบับสมบูรณ์  
เสนอ สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)

การประเมินผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงกับฝนภาคพื้นดินในกลุ่มน้ำเพชรบุรี

Assessment of Royal Rainmaking Performance with Ground-based Rainfall  
in Phetchaburi River Basin

รหัสโครงการ PRP6305030930

คณะผู้วิจัย

ผศ.ดร.วิษุวัตน์ แต่สมบัติ	หัวหน้าโครงการวิจัย
นายคมสันต์ ไชโย	ผู้ร่วมโครงการ
ดร.ปัญญา พลแสน	ผู้ร่วมโครงการ
ดร.ดวงนภา วานิชสรทรัพย์	ผู้ร่วมโครงการ
นายกิตติพงศ์ ทองเชื้อ	ผู้ร่วมโครงการ
นายพงษ์รัตน์ อ่อนละมุน	ผู้ร่วมโครงการ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)

ประจำปีงบประมาณ 2563

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 จนสามารถทำให้โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงเป็นผลสำเร็จในรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์นี้

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะผู้ตรวจสอบทางวิชาการที่ได้ให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ และขอขอบคุณหน่วยงานราชการ ได้แก่ กรมฝนหลวงและการบินเกษตร สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) กรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กรมอุทยานแห่งชาติ และองค์การปกครองส่วนท้องถิ่น ที่ได้อนุเคราะห์ข้อมูลประกอบการศึกษาวิจัย รวมทั้งขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยการจำลองระบบทรัพยากรน้ำด้วยคอมพิวเตอร์และระบบสารสนเทศ (WRCMIS Lab) ที่ได้อนุเคราะห์สถานที่และซอฟต์แวร์แบบจำลองต่างๆ และคณาจารย์แห่งภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ได้ช่วยสนับสนุนและแนะนำตลอดจนให้กำลังใจจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า รายงานวิจัยฉบับนี้จะสามารถเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจ และผู้ที่เกี่ยวข้องในการนำไปใช้เป็นประโยชน์ต่อไป

คณะผู้วิจัย  
มีนาคม 2564

## บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เริ่มจากการรวบรวมข้อมูลที่สำคัญ ประกอบด้วย ข้อมูลปฏิบัติการฝนหลวงรายวัน ซึ่งประกอบไปด้วย วัน-เวลาในการทำฝนหลวง ขอบเขตแนวบินในแต่ละปฏิบัติการ จากกรมฝนหลวงและการบินเกษตร และข้อมูลปริมาณฝนรายชั่วโมงจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) ผลการรวบรวมข้อมูลพบว่า ปฏิบัติการการทำฝนหลวงในเขตพื้นที่จังหวัดเพชรบุรี ระหว่างปี พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2563 มีจำนวนทั้งสิ้น 108 ปฏิบัติการ หลังจากนั้น ทำการเปรียบเทียบข้อมูลฝนจากเรดาร์กับข้อมูลฝนภาคพื้นดินของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) ซึ่งได้จากการหาค่าฝนเฉลี่ยเชิงพื้นที่ด้วยเทคนิค IDW ผลที่ได้พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของปริมาณฝนเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของ 2 ชุดข้อมูลมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) เท่ากับ 0.21 ซึ่งมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างต่ำ เมื่อพิจารณาจากแผนที่เส้นชั้นน้ำฝนรายวันเปรียบเทียบกับระหว่างข้อมูลฝนเรดาร์และค่าเฉลี่ยจากฝนภาคพื้นดิน พบว่า ในบริเวณตอนบนของกลุ่มน้ำซึ่งเป็นพื้นที่เป้าหมายในการทำฝนหลวงเพื่อเติมน้ำลงเขื่อนแก่งกระจาน มีจำนวนสถานีฝนภาคพื้นดินไม่ครอบคลุมแนวทางการบิน ทำให้มีความแตกต่างของค่าฝนเฉลี่ยค่อนข้างสูง จึงเสนอให้มีการติดตั้งสถานีวัดน้ำฝนเพิ่มเติมในบริเวณพื้นที่ตอนบนของกลุ่มน้ำ ต่อมาได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการติดตั้งสถานีวัดน้ำฝนและข้อมูลภูมิอากาศเพิ่มเติมในบริเวณพื้นที่ตอนบน จำนวน 4 สถานี จากนั้น เพื่อทดสอบสมมติฐานของการติดตั้งสถานีต่อประสิทธิภาพการตรวจวัดข้อมูลฝน จึงได้ทำการจำลองข้อมูลปริมาณฝนจากเรดาร์ช่วงปี พ.ศ. 2561-2563 เข้ามาที่ตำแหน่งสถานีทั้ง 4 สถานี นำมาหาค่าเฉลี่ยปริมาณฝนเชิงพื้นที่เป็นรายวัน แล้วนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับข้อมูลอ้างอิงใหม่อีกครั้งหนึ่ง พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่า  $r$  เท่ากับ 0.54 แต่อย่างไรก็ตาม ยังคงต้องรอผลการตรวจวัดจริงในช่วงของการทำปฏิบัติการฝนหลวงปี พ.ศ. 2564 จากอุปกรณ์ตรวจวัดที่ได้ทำการติดตั้งเพิ่มเติมนี้ และนำผลที่ได้มาประเมินผลสัมฤทธิ์ของการทำปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ. 2564 ต่อไป

**คำสำคัญ:** ผลสัมฤทธิ์ของปฏิบัติการการทำฝนหลวง, ฝนจากเรดาร์, ฝนภาคพื้นดิน, ฝนเฉลี่ยเชิงพื้นที่ด้วยเทคนิค IDW, กลุ่มน้ำเพชรบุรี

## สารบัญ

สรุปภาพรวมทั้งหมดของการดำเนินงาน	1-7
<b>1. บทนำ (Introduction)</b>	<b>1-9</b>
1.1 บทนำ	1-9
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1-9
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1-9
<b>2. วิธีดำเนินการวิจัย</b>	<b>1-10</b>
2.1 การทบทวนเอกสารและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย	1-10
2.2 การวิเคราะห์สถิติข้อมูลข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและข้อมูลภูมิอากาศในสนาม	1-10
2.3 การสังเคราะห์และแปลผลข้อมูลจากการปฏิบัติการฝนหลวงในอดีตย้อนหลัง 10 ปี ในกลุ่มน้ำเพชรบุรี	1-11
2.4 การคัดเลือกและติดตั้งสถานีตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ศึกษา	1-11
<b>3. ผลการวิจัย</b>	<b>1-12</b>
3.1 ผลการรวบรวมข้อมูลและจัดทำฐานข้อมูล	1-12
3.2 ผลการสังเคราะห์ข้อมูล	1-26
3.3 ผลการประเมินผลสัมฤทธิ์การปฏิบัติการฝนหลวง	1-33
3.4 ผลการติดตั้งสถานีตรวจวัดน้ำฝนและข้อมูลภูมิอากาศเพิ่มเติม	1-37
3.5 ผลการจำลองข้อมูลฝนเรดาร์เข้าสู่สถานีติดตั้งเพิ่มเติม	1-48
<b>4 สรุปและขอเสนอแนะ (Conclusion and Recommendation)</b>	<b>1-57</b>
เอกสารอ้างอิง (References)	1-58

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1.1-1	รายการข้อมูลผลการปฏิบัติการฝนหลวงรายวัน ช่วงปี 2561 - 2563	1-13
ตารางที่ 3.1.1-2	ผลการปฏิบัติการฝนหลวงศูนย์ฝนหลวงหัวหิน ปี 2563	1-16
ตารางที่ 3.1.2-1	สถานีวัดน้ำฝนของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ	1-24
ตารางที่ 3.1.2-2	สรุปปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนสถานีวัดน้ำฝนสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ	1-25
ตารางที่ 3.2.3-1	ปริมาณฝนรายวันของสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน	1-29
ตารางที่ 3.3-1	ผลการประเมินผลสัมฤทธิ์ของการปฏิบัติการฝนหลวง ปี พ.ศ. 2561 – 2563	1-34
ตารางที่ 3.4.2.1-1	รายละเอียดสถานีตรวจวัดข้อมูลภูมิอากาศ	1-41
ตารางที่ 3.4.2.2-1	รายการอุปกรณ์ประจำสถานีพร้อมภาพประกอบ	1-45
ตารางที่ 3.4.2.2-2	รายการอุปกรณ์ประจำสถานีพร้อมหน้าที่การทำงาน	1-45
ตารางที่ 3.4.2.3-1	การแปลงค่าข้อมูลของเซนเซอร์จากสัญญาณมาตรฐาน 4-20 mA. เป็นค่าข้อมูลจริง	1-47
ตารางที่ 3.4.2.3-2	การรับ-ส่งข้อมูลของสถานีตรวจวัดข้อมูล	1-48
ตารางที่ 3.5-1	ผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนเฉลี่ยรายวันจากข้อมูลเรดาร์ สถานีภาคพื้นดิน และสถานีภาคพื้นดินรวมกับสถานีที่ติดตั้งใหม่ 4 สถานี	1-49

## สารบัญญรูป

รูปที่ 2-1	ภาพตัวอย่างแสดงการติดตามแนวการบินของการทำฝนหลวงและตำแหน่งของสถานีตรวจวัดฝนภาคพื้นดินผลข้อมูลฝนหลวงโดยการใช้ข้อมูลในอดีต	1-11
รูปที่ 2-2	ภาพตัวอย่างสถานีวัดน้ำฝนและภูมิอากาศที่จะติดตั้งเพิ่มเติมในโครงการ	1-12
รูปที่ 3.1.1-1	ตัวอย่างรูปแบบข้อมูลขอบเขตพื้นที่หวังผลสัมฤทธิ์การทำฝนหลวง	1-13
รูปที่ 3.1.1-2	แผนที่ตำแหน่งปฏิบัติการฝนหลวงในเขตพื้นที่จังหวัดเพชรบุรี ปี พ.ศ. 2563	1-20
รูปที่ 3.1.1-3	ผลการปฏิบัติการฝนหลวงและพื้นที่หวังผลสัมฤทธิ์การทำฝนหลวงปี พ.ศ. 2563	1-21
รูปที่ 3.1.2-1	ตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ	1-23
รูปที่ 3.2.1-1	การหาขอบเขตพื้นที่แปลงข้อมูลกริด	1-26
รูปที่ 3.2.2-1	แผนที่ตำแหน่งปฏิบัติการฝนหลวงในบริเวณพื้นที่จังหวัดเพชรบุรีระหว่างปี 2561 – 2563	1-27
รูปที่ 3.2.2-2	การหาค่าเฉลี่ยปริมาณฝนภายในกริด	1-27
รูปที่ 3.2.3-1	การหาปริมาณฝนสะสมรายวันจากข้อมูลรายชั่วโมง	1-28
รูปที่ 3.2.3-1	การหาค่าเฉลี่ยปริมาณฝนด้วยวิธี Inverse Distance Weighted	1-33
รูปที่ 3.3-1	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างฝนจากเรดาร์และฝนจากสถานีภาคพื้นดิน	1-36
รูปที่ 3.4.1-1	เส้นทางบินปฏิบัติการฝนหลวงระหว่างปี พ.ศ. 2561 – 2563	1-37
รูปที่ 3.4.1-2	แผนที่แสดงตำแหน่งติดตั้งสถานีตรวจวัดน้ำฝนและข้อมูลภูมิอากาศเพิ่มเติม	1-38
รูปที่ 3.4.1-3	สภาพพื้นที่บริเวณสถานีบ้านกร่างแคมป์ อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี	1-39
รูปที่ 3.4.1-4	สภาพพื้นที่บริเวณสถานีโรงเรียนบ้านพุเข็ม อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี	1-39
รูปที่ 3.4.1-5	สภาพพื้นที่บริเวณสถานีโรงเรียนบ้านพุสวรรค์ อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี	1-40
รูปที่ 3.4.1-6	สภาพพื้นที่บริเวณสถานีโรงเรียนบ้านท่าเสา อำเภอหนองหญ้าปล้อง จังหวัดเพชรบุรี	1-40
รูปที่ 3.4.2.1-1	ผลการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดข้อมูล 4 สถานี	1-43
รูปที่ 3.4.2.1-2	ภาพรวมของเทคโนโลยีที่นำมาใช้กับระบบตรวจวัดข้อมูลสภาพอากาศ	1-43
รูปที่ 3.4.2.2-1	องค์ประกอบของระบบตรวจวัดข้อมูลสภาพอากาศ	1-44
รูปที่ 3.4.2.3-1	กระบวนการทำงานของระบบตรวจวัดสภาพอากาศ	1-47
รูปที่ 3.5-1	แผนที่เส้นชั้นน้ำฝนเฉลี่ยรายวันจากข้อมูลเรดาร์ สถานีภาคพื้นดินและสถานีภาคพื้นดินรวมกับสถานีที่ติดตั้งใหม่ 4 สถานี (ต่อ)	1-53
รูปที่ 3.5-2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างฝนจากเรดาร์และฝนจากสถานีภาคพื้นดิน	1-56

สรุปภาพรวมทั้งหมดของการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน (ตามผนวก 6 ในสัญญา)	ผลการปฏิบัติงาน
1. ข้อมูลอุตุนิยามวิทยาและข้อมูลภูมิอากาศที่ผ่านการวิเคราะห์แล้ว	ข้อมูลหลักที่ดำเนินการรวบรวม ได้แก่ ข้อมูลปฏิบัติการฝนหลวงรายวัน ซึ่งประกอบไปด้วย วัน-เวลาในการทำฝนหลวง ขอบเขตแนวบินในแต่ละปฏิบัติการ จากกรมฝนหลวงและการบินเกษตร และข้อมูลปริมาณฝนรายชั่วโมงจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน)
2. ผลการสังเคราะห์และแปลผลข้อมูลจากการปฏิบัติการฝนหลวงในอดีตย้อนหลัง 10 ปีในกลุ่มน้ำเพชรบุรี	จากปฏิบัติการการทำฝนหลวงในเขตพื้นที่จังหวัดเพชรบุรี ระหว่างปี พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2563 จำนวน 108 ปฏิบัติการ ทำการเปรียบเทียบข้อมูลฝนจากเรดาร์กับข้อมูลฝนภาคพื้นดินของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) ซึ่งได้จากการหาค่าฝนเฉลี่ยเชิงพื้นที่ด้วยเทคนิค IDW พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของปริมาณฝนเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของ 2 ชุดข้อมูลมีค่า $r = 0.21$ ซึ่งมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างต่ำ เมื่อพิจารณาจากแผนที่เส้นชั้นน้ำฝนรายวันเปรียบเทียบกันระหว่างข้อมูลฝนเรดาร์และค่าเฉลี่ยจากฝนภาคพื้นดินพบว่า ในบริเวณตอนบนของกลุ่มน้ำซึ่งเป็นพื้นที่เป้าหมายในการทำฝนหลวงเพื่อเติมน้ำลงเขื่อนแก่งกระจาน มีจำนวนสถานีฝนไม่ครอบคลุมแนวทางการบิน ทำให้มีความแตกต่างของค่าฝนเฉลี่ยค่อนข้างสูง จึงเสนอให้มีการติดตั้งสถานีวัดน้ำฝนเพิ่มเติมในบริเวณพื้นที่ตอนบนของกลุ่มน้ำ
3. ระบบฐานข้อมูลฝนหลวงและฝนภาคพื้นดินของสถานีที่ติดตั้งเพิ่มเติม	มีฐานข้อมูลฝนหลวงและฝนภาคพื้นดินในช่วงปี 2561-2563 แต่สำหรับสถานีที่ติดตั้งเพิ่มเติมในปี 2563 เนื่องจากในการติดตั้งฯ ดำเนินการแล้วเสร็จภายหลังการทำปฏิบัติการฝนหลวงปี พ.ศ. 2563 สิ้นสุดลง (ปฏิบัติการฝนหลวงปี 2563 เริ่มต้นเดือนกุมภาพันธ์ สิ้นสุดสิ้นเดือนพฤษภาคม 2563) จึงต้องรอผลการตรวจวัดในปี 2564 เพื่อจัดเก็บลงฐานข้อมูลต่อไป
4. ผลการประเมินผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงกับฝนภาคพื้นดินในกลุ่มน้ำเพชรบุรี	ผลการเปรียบเทียบระหว่างฝนหลวงจากฝนกริดเรดาร์กับข้อมูลภาคพื้นดินให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ $r = 0.21$ คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการติดตั้งสถานีวัดน้ำฝนและข้อมูลภูมิอากาศเพิ่มเติมในบริเวณพื้นที่ตอนบน จำนวน 4 สถานี จากนั้น เพื่อทดสอบสมมุติฐานของการติดตั้งสถานีต่อประสิทธิภาพการตรวจวัดข้อมูลฝน จึงได้ทำการจำลองข้อมูลปริมาณฝนจากเรดาร์ช่วงปี พ.ศ. 2561-2563 เข้ามาที่ตำแหน่งสถานีทั้ง 4 สถานี นำมาหาค่าเฉลี่ยปริมาณฝนเชิงพื้นที่เป็นรายวัน แล้วนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับ

แผนการดำเนินงาน (ตามผนวก 6 ในสัญญา)	ผลการปฏิบัติงาน
	<p>ข้อมูลอ้างอิงใหม่อีกครั้งหนึ่ง พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่า <math>r = 0.54</math> แต่อย่างไรก็ตาม ยังคงต้องรอผลการตรวจวัดจริงในช่วงของการทำปฏิบัติการฝนหลวงปี พ.ศ. 2564 จากอุปกรณ์ตรวจวัดที่ได้ทำการติดตั้งเพิ่มเติมนี้ และนำผลที่ได้มาประเมินผลสัมฤทธิ์ของการทำปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ. 2564 ต่อไป</p>

# 1. บทนำ (Introduction)

## 1.1 บทนำ

ฝนตามธรรมชาติถือเป็นปัจจัยสำคัญในระบบอุทกวิทยาเป็นอย่างมากสำหรับการวางแผนการบริหารจัดการน้ำ แต่เนื่องจากลักษณะการกระจายตัวของฝนที่มีการเปลี่ยนแปลงผันแปรทั้งเวลาและสถานที่ซึ่งอาจจะส่งผลให้ปริมาณน้ำต้นทุนจากทรัพยากรน้ำที่มีอยู่ไม่เพียงพอ ด้วยพระเนตรที่ยาวไกลและความอัจฉริยะภาพของพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช บรมนาถบพิตร ได้ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้ทำการทดลองปฏิบัติการฝนหลวงขึ้นจริงในท้องฟ้าเป็นครั้งแรก เมื่อวันที่ 20 กรกฎาคม 2512 และยังคงเป็นศาสตร์แห่งพระราชชาติช่วยบรรเทาความเดือดร้อนในเรื่องการขาดแคลนน้ำให้กับชาวบ้านเกษตรกรได้จนถึงทุกวันนี้

ท่ามกลางสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมส่งผลให้กรมฝนหลวงและการบินเกษตรไม่สามารถใช้วิธีการแบบเดิมในการแก้ปัญหาเฉพาะหน้าไปตามสถานการณ์ได้อีกต่อไป จำเป็นต้องทำการวิจัยพัฒนา นวัตกรรม และองค์ความรู้เพื่อปรับเปลี่ยนกระบวนการในการทำงานให้สอดคล้องกับแนวโน้มของสภาวะการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไปโดยให้ความสำคัญกับการแก้ไขปัญหาภัยแล้งเชิงพื้นที่และมีการบูรณาการทำงานร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อาทิ กรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ และกรมทรัพยากรน้ำบาดาล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดความเสี่ยงในวางแผนการบริหารจัดการน้ำเชิงพื้นที่ด้วยการปฏิบัติการฝนหลวง ตลอดจนเพื่อลดปัจจัยเสี่ยงและข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการปฏิบัติงาน

ดังนั้น โครงการวิจัยนี้ จึงเน้นไปในด้านการประเมินผลสัมฤทธิ์ของปฏิบัติการฝนหลวงโดยพิจารณาใช้การตรวจสอบกับข้อมูลฝนภาคพื้นดิน และได้คัดเลือกพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี เพื่อวิเคราะห์สภาพฝนและการสังเคราะห์/แปลผลข้อมูลฝนหลวง และติดตั้งสถานีวัดฝนและภูมิอากาศเพิ่มเติมเพื่อประเมินผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวง และจัดทำฐานข้อมูลฝนหลวงเพื่อใช้ในการศึกษาด้านอื่นๆ ต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) วิเคราะห์สภาพฝนและการสังเคราะห์/แปลผลข้อมูลฝนหลวง
- 2) ติดตั้งสถานีวัดฝนและภูมิอากาศเพิ่มเติมเพื่อประเมินผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวง

## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สร้างนักวิจัยรุ่นใหม่
- 2) การประเมินผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงกับฝนภาคพื้นดินในลุ่มน้ำเพชรบุรี
- 3) การตีพิมพ์บทความในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ และ/หรือ ระดับชาติ

4) การใช้ผลงานวิจัยเป็นเอกสารประกอบการสอนในหลักสูตรวิศวกรรมชลประทานทั้งในระดับปริญญาตรี และบัณฑิตศึกษา

5) เทคนิคการประเมินผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงจากข้อมูลฝนภาคพื้นดินที่พัฒนาขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพในโครงการนี้ จะช่วยให้การวางแผนการปฏิบัติการฝนหลวงมีความแม่นยำ และครอบคลุมกลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่อื่นๆ ที่ต้องการให้มีการจัดทำฝนหลวงได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

## 2. วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยมีขั้นตอนสรุปได้ดังนี้

### 2.1 การทบทวนเอกสารและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย

การดำเนินการวิจัยต้องดำเนินการเก็บรวบรวมเอกสารและข้อมูล พร้อมทั้งดำเนินการทบทวนและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้ ทุกข้อมูลก่อนนำมาใช้งานสำหรับงานวิจัยในขั้นตอนต่อไปได้แก่

- (1) รวบรวมข้อมูลรายละเอียดทางกายภาพของกลุ่มน้ำและสถานีวัดน้ำท่า
- (2) รวบรวมข้อมูลการดำเนินงานของการทำฝนหลวงในอดีตถึงปัจจุบันในพื้นที่ศึกษา
- (3) รวบรวมข้อมูลปริมาณฝนตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน
- (4) รวบรวมข้อมูลภูมิอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์กระแสลม เมฆปกคลุม อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ปริมาณการระเหยจากผิวน้ำ ที่ตั้งสถานีตรวจอากาศ และระดับความสูงของที่ตั้งสถานีตรวจอากาศในพื้นที่รับน้ำฝนและใกล้เคียงจากกรมอุตุนิยมวิทยา

### 2.2 การวิเคราะห์สถิติข้อมูลข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและข้อมูลภูมิอากาศในสนาม

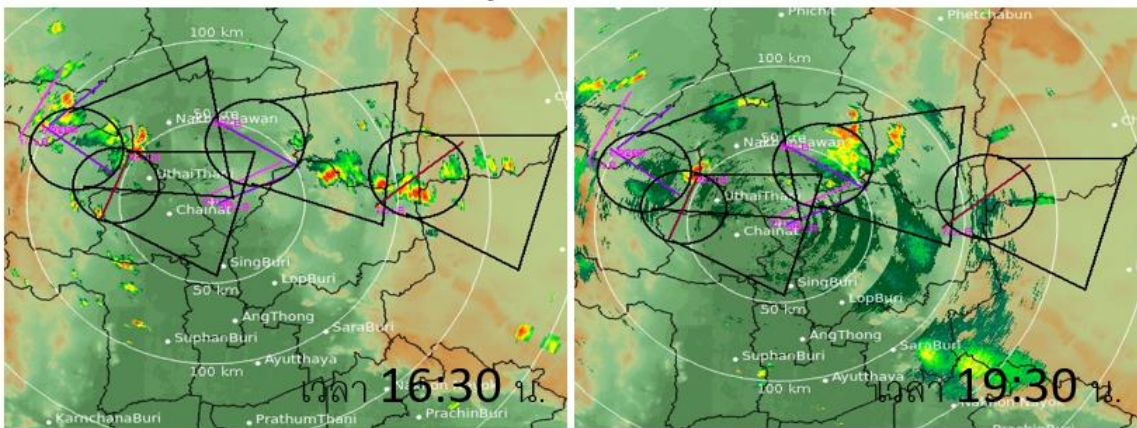
การวิเคราะห์สถิติข้อมูลข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และข้อมูลภูมิอากาศในสนามจากที่รวบรวมมาได้ ซึ่งเป็นข้อมูลจากภาคพื้นดินในอดีตจนถึงปัจจุบันเท่าที่จะรวบรวมข้อมูลได้ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลฝนหลวงในช่วงเวลาเดียวกัน เพื่อใช้ในการประเมินผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงในขั้นต่อไป

## 2.3 การสังเคราะห์และแปลผลข้อมูลจากการปฏิบัติการฝนหลวงในอดีตย้อนหลัง 10 ปีในกลุ่มน้ำเพชรบุรี

สำหรับวิธีการการแยกฝนหลวงจากฝนธรรมชาติจะใช้ผลการตรวจวัดปริมาณน้ำฝนจากสถานีเรดาร์ในพื้นที่เป้าหมายราย 6 นาที (สถานีเรดาร์ฝนหลวงสัทธิษ และสถานีเรดาร์ฝนหลวงปะทิว) กับทิศทางลม ในขณะที่ทำฝนหลวง ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2-1

ต่อมาทำการสังเคราะห์และแปลผลข้อมูลจากการปฏิบัติการฝนหลวงในอดีตย้อนหลัง 10 ปีในกลุ่มน้ำเพชรบุรี โดยพิจารณาหาเทคนิคการประเมินผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงจากข้อมูลฝนภาคพื้นดินที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งจะช่วยให้การวางแผนการปฏิบัติการฝนหลวงมีความแม่นยำ และครอบคลุมกลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่อื่นๆ ที่ต้องการให้มีการจัดทำฝนหลวงได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2-1 ภาพตัวอย่างแสดงการติดตามแนวการบินของการทำฝนหลวงและตำแหน่งของสถานีตรวจวัดฝนภาคพื้นดินผลข้อมูลฝนหลวงโดยการใช้ข้อมูลในอดีต

### ภาพเรดาร์ตรวจวัดกลุ่มฝนวันที่ 15 สิงหาคม 2562



รูปที่ 2-1 ภาพตัวอย่างแสดงการติดตามแนวการบินของการทำฝนหลวงและตำแหน่งของสถานีตรวจวัดฝนภาคพื้นดินผลข้อมูลฝนหลวงโดยการใช้ข้อมูลในอดีต

## 2.4 การคัดเลือกและติดตั้งสถานีตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ศึกษา

การคัดเลือกและติดตั้งสถานีตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ศึกษา โดยจะตรวจสอบการกระจายตัวของสถานีที่มีอยู่ในปัจจุบันทั้งการตรวจวัดธรรมดาและการตรวจวัดอัตโนมัติเพื่อออกแบบโครงข่ายสถานีให้มีความสมบูรณ์ เพื่อใช้ในการติดตามข้อมูลจากผลการปฏิบัติการฝนหลวงให้มีประสิทธิภาพจากเดิม และมีการพัฒนาระบบฐานข้อมูลฝนหลวงและฝนภาคพื้นดินของสถานีที่ติดตั้งเพิ่มเติม ดังแสดงในรูปที่ 2-2 ภาพตัวอย่างสถานีวัดน้ำและภูมิอากาศที่จะติดตั้งเพิ่มเติมในโครงการ



รูปที่ 2-2 ภาพตัวอย่างสถานีวัดน้ำฝนและภูมิอากาศที่จะติดตั้งเพิ่มเติมในโครงการ

### 3. ผลการวิจัย

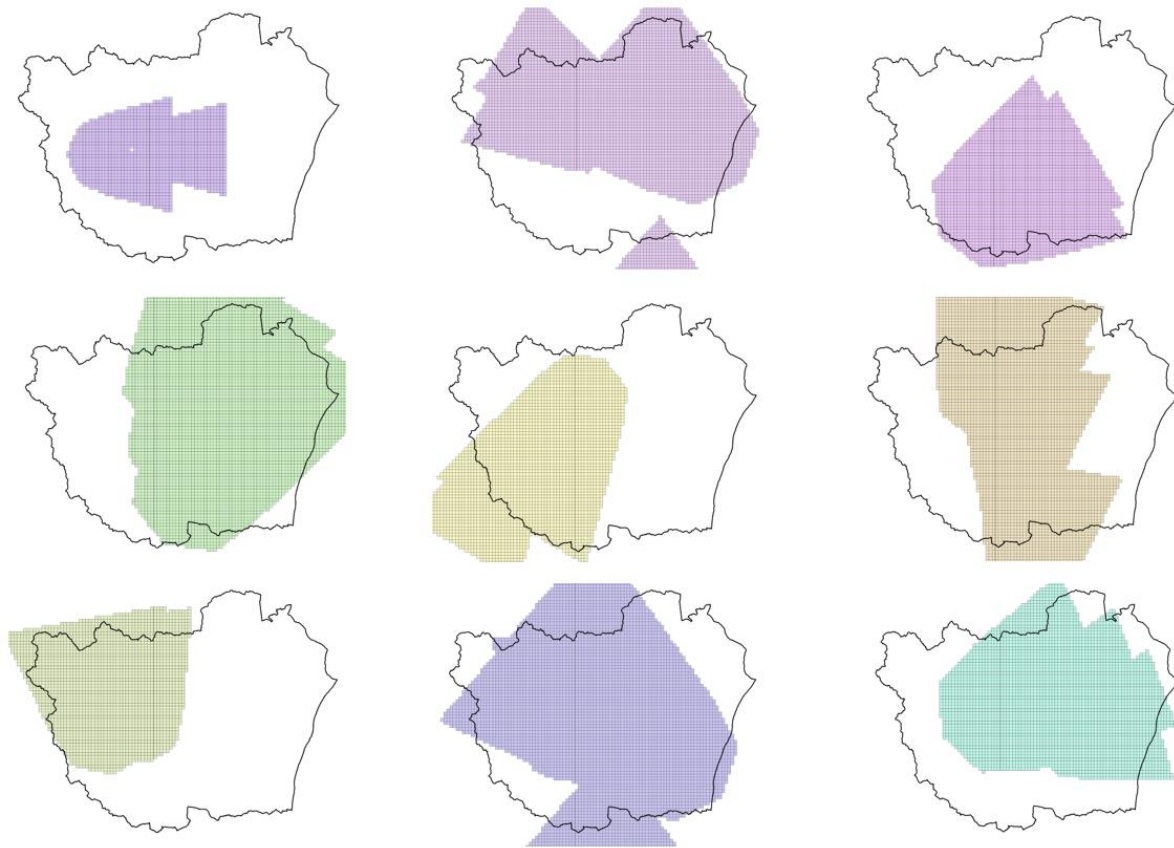
ผลการวิจัยที่สำคัญจะประกอบด้วย 5 ส่วน ได้แก่ 1) ผลการรวบรวมข้อมูลและจัดทำฐานข้อมูล 2) ผลการสังเคราะห์ข้อมูล 3) ผลการประเมินผลสัมฤทธิ์การปฏิบัติการฝนหลวง 4) ผลการติดตั้งสถานีตรวจวัดน้ำฝนและข้อมูลภูมิอากาศเพิ่มเติม และ 5) ผลการจำลองข้อมูลฝนเรดาร์เข้าสู่สถานีติดตั้งเพิ่มเติม ดังแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

#### 3.1 ผลการรวบรวมข้อมูลและจัดทำฐานข้อมูล

ข้อมูลหลักที่ดำเนินการรวบรวม ได้แก่ ข้อมูลปฏิบัติการฝนหลวงรายวัน ซึ่งประกอบไปด้วย วัน-เวลา ในการทำฝนหลวง ขอบเขตแนวบินในแต่ละปฏิบัติการ จากกรมฝนหลวงและการบินเกษตร และข้อมูลปริมาณฝนรายชั่วโมงจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) มีรายละเอียดของผลการรวบรวมข้อมูลจากแต่ละหน่วยงาน ดังนี้

##### 3.1.1 ข้อมูลปฏิบัติการทำฝนหลวงรายวัน

ข้อมูลที่รวบรวม ประกอบไปด้วย ข้อมูลผลการปฏิบัติการฝนหลวงของศูนย์ฝนหลวงหัวหิน ช่วงปี พ.ศ. 2561 ถึง 2563 ซึ่งรูปแบบของข้อมูลที่ได้รับและนำมาประยุกต์ใช้ จะเป็นข้อมูลในรูปแบบกริด ซึ่งแสดงพื้นที่หวังผลสัมฤทธิ์การทำฝนหลวง ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปในทุกๆ ปฏิบัติการ แสดงได้ดังรูปที่ 3.1.1-1 และแสดงรายการข้อมูลที่ได้รับตั้งแต่วันที่ 4 เมษายน 2561 ถึง 31 พฤษภาคม 2563 จำนวนทั้งสิ้น 148 ปฏิบัติการไว้ในตารางที่ 3.1.1-1



รูปที่ 3.1.1-1 ตัวอย่างรูปแบบข้อมูลขอบเขตพื้นที่หวังผลสัมฤทธิ์การทำฝนหลวง

ตารางที่ 3.1.1-1 รายการข้อมูลผลการปฏิบัติการฝนหลวงรายวัน ช่วงปี 2561 - 2563

Item	Date	polygon_name
1	4-Apr-18	Con_Degree_1
2	11-Apr-18	Con_Degree_2
3	15-Apr-18	Con_Degree_3
4	16-Apr-18	Con_Degree_4
5	17-Apr-18	Con_Degree_5
6	19-Apr-18	Con_Degree_6
7	20-Apr-18	Con_Degree_7
8	21-Apr-18	Con_Degree_8
9	22-Apr-18	Con_Degree_9
10	24-Apr-18	Con_Degree_10
11	25-Apr-18	Con_Degree_11
12	26-Apr-18	Con_Degree_12
13	30-Apr-18	Con_Degree_13
14	1-May-18	Con_Degree_14
15	2-May-18	Con_Degree_15

Item	Date	polygon_name
16	3-May-18	Con_Degree_16
17	4-May-18	Con_Degree_17
18	5-May-18	Con_Degree_18
19	7-May-18	Con_Degree_19
20	8-May-18	Con_Degree_20
21	4-Mar-19	Con_Degree_21
22	15-Mar-19	Con_Degree_22
23	19-Mar-19	Con_Degree_23
24	20-Mar-19	Con_Degree_24
25	21-Mar-19	Con_Degree_25
26	26-Mar-19	Con_Degree_26
27	27-Mar-19	Con_Degree_27
28	28-Mar-19	Con_Degree_28
29	29-Mar-19	Con_Degree_29
30	30-Mar-19	Con_Degree_30

ตารางที่ 3.1.1-1 รายการข้อมูลผลการปฏิบัติการฝนหลวงรายวัน ช่วงปี 2561 – 2563 (ต่อ)

Item	Date	polygon_name
31	31-Mar-19	Con_Degree_31
32	1-Apr-19	Con_Degree_32
33	2-Apr-19	Con_Degree_33
34	3-Apr-19	Con_Degree_34
35	5-Apr-19	Con_Degree_35
36	6-Apr-19	Con_Degree_36
37	7-Apr-19	Con_Degree_37
38	9-Apr-19	Con_Degree_38
39	13-Apr-19	Con_Degree_39
40	14-Apr-19	Con_Degree_40
41	15-Apr-19	Con_Degree_41
42	16-Apr-19	Con_Degree_42
43	17-Apr-19	Con_Degree_43
44	18-Apr-19	Con_Degree_44
45	19-Apr-19	Con_Degree_45
46	20-Apr-19	Con_Degree_46
47	22-Apr-19	Con_Degree_47
48	25-Apr-19	Con_Degree_48
49	26-Apr-19	Con_Degree_49
50	27-Apr-19	Con_Degree_50
51	28-Apr-19	Con_Degree_51
52	29-Apr-19	Con_Degree_52
53	30-Apr-19	Con_Degree_53
54	1-May-19	Con_Degree_54
55	2-May-19	Con_Degree_55
56	3-May-19	Con_Degree_56
57	4-May-19	Con_Degree_57
58	5-May-19	Con_Degree_58
59	6-May-19	Con_Degree_59
60	8-May-19	Con_Degree_60
61	9-May-19	Con_Degree_61
62	10-May-19	Con_Degree_62
63	11-May-19	Con_Degree_63
64	12-May-19	Con_Degree_64
65	13-May-19	Con_Degree_65

Item	Date	polygon_name
66	14-May-19	Con_Degree_66
67	15-May-19	Con_Degree_67
68	16-May-19	Con_Degree_68
69	17-May-19	Con_Degree_69
70	19-May-19	Con_Degree_70
71	20-May-19	Con_Degree_71
72	21-May-19	Con_Degree_72
73	22-May-19	Con_Degree_73
74	23-May-19	Con_Degree_74
75	24-May-19	Con_Degree_75
76	28-May-19	Con_Degree_76
77	31-May-19	Con_Degree_77
78	1-Jun-19	Con_Degree_78
79	2-Jun-19	Con_Degree_79
80	3-Jun-19	Con_Degree_80
81	5-Jun-19	Con_Degree_81
82	8-Jun-19	Con_Degree_82
83	16-Jun-19	Con_Degree_83
84	28-Feb-20	Con_Degree_84
85	29-Feb-20	Con_Degree_85
86	2-Mar-20	Con_Degree_86
87	4-Mar-20	Con_Degree_87
88	6-Mar-20	Con_Degree_88
89	13-Mar-20	Con_Degree_89
90	15-Mar-20	Con_Degree_90
91	16-Mar-20	Con_Degree_91
92	18-Mar-20	Con_Degree_92
93	19-Mar-20	Con_Degree_93
94	20-Mar-20	Con_Degree_94
95	21-Mar-20	Con_Degree_95
96	22-Mar-20	Con_Degree_96
97	29-Mar-20	Con_Degree_97
98	2-Apr-20	Con_Degree_98
99	3-Apr-20	Con_Degree_99
100	4-Apr-20	Con_Degree_100

ตารางที่ 3.1.1-1 รายการข้อมูลผลการปฏิบัติการฝนหลวงรายวัน ช่วงปี 2561 – 2563 (ต่อ)

Item	Date	polygon_name
101	5-Apr-20	Con_Degree_101
102	6-Apr-20	Con_Degree_102
103	7-Apr-20	Con_Degree_103
104	8-Apr-20	Con_Degree_104
105	9-Apr-20	Con_Degree_105
106	10-Apr-20	Con_Degree_106
107	11-Apr-20	Con_Degree_107
108	12-Apr-20	Con_Degree_108
109	13-Apr-20	Con_Degree_109
110	14-Apr-20	Con_Degree_110
111	15-Apr-20	Con_Degree_111
112	16-Apr-20	Con_Degree_112
113	17-Apr-20	Con_Degree_113
114	18-Apr-20	Con_Degree_114
115	19-Apr-20	Con_Degree_115
116	22-Apr-20	Con_Degree_116
117	25-Apr-20	Con_Degree_117
118	26-Apr-20	Con_Degree_118
119	27-Apr-20	Con_Degree_119
120	29-Apr-20	Con_Degree_120
121	30-Apr-20	Con_Degree_121
122	1-May-20	Con_Degree_122
123	2-May-20	Con_Degree_123
124	3-May-20	Con_Degree_124

Item	Date	polygon_name
125	5-May-20	Con_Degree_125
126	6-May-20	Con_Degree_126
127	7-May-20	Con_Degree_127
128	8-May-20	Con_Degree_128
129	9-May-20	Con_Degree_129
130	11-May-20	Con_Degree_130
131	12-May-20	Con_Degree_131
132	13-May-20	Con_Degree_132
133	14-May-20	Con_Degree_133
134	15-May-20	Con_Degree_134
135	17-May-20	Con_Degree_135
136	18-May-20	Con_Degree_136
137	19-May-20	Con_Degree_137
138	20-May-20	Con_Degree_138
139	21-May-20	Con_Degree_139
140	22-May-20	Con_Degree_140
141	23-May-20	Con_Degree_141
142	24-May-20	Con_Degree_142
143	25-May-20	Con_Degree_143
144	26-May-20	Con_Degree_144
145	27-May-20	Con_Degree_145
146	28-May-20	Con_Degree_146
147	29-May-20	Con_Degree_147
148	31-May-20	Con_Degree_148

แต่เนื่องจากรายละเอียดของข้อมูลที่ได้รับส่วนใหญ่จะเป็นข้อมูลจากปฏิบัติการทำฝนหลวงในปี พ.ศ. 2563 ดังนั้น จึงขอแสดงตัวอย่างข้อมูลจากปฏิบัติการฝนหลวงในปี 2563 ได้แก่ รายละเอียดปฏิบัติการฝนหลวงศูนย์ฝนหลวงหัวหิน ปี 2563 อยู่ในตารางที่ 3.1.1-2 แผนที่ตำแหน่งปฏิบัติการฝนหลวงในเขตพื้นที่จังหวัดเพชรบุรี ปี พ.ศ. 2563 แสดงไว้ในรูปที่ 3.1.1-2 และผลการปฏิบัติการฝนหลวงและพื้นที่หวังผลสัมฤทธิ์การทำฝนหลวงปี พ.ศ. 2563 แสดงในรูปที่ 3.1.1-3

ตารางที่ 3.1.1-2 ผลการปฏิบัติการฝนหลวงศูนย์ฝนหลวงหัวหิน ปี 2563

วันที่	ปฏิบัติการ	เวลา	ส่วนประกอบสาร	ความสูง	ลองจิจูด	ละติจูด
28 ก.พ. 63	1/1	10:51-11:19 น.	สูตร 1 จำนวน 1,300 กก.	6,500/6,000 ฟุต	99.7000	12.7833
28 ก.พ. 63	2/2	13:54-14:12 น.	สูตร 6 จำนวน 600 กก.	8,000 ฟุต	99.6333	13.0667
28 ก.พ. 63	3/3	14:35-14:58 น.	สูตร 1 จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 400 กก.	8,500/6,500	99.5508	13.1708
29 ก.พ. 63	1/1	11:09-11:23 น.	สูตร 1(4/1) จำนวน 600 กก.	6,000 ฟุต	99.8333	12.9333
29 ก.พ. 63	2/3	15:46-16:02 น.	สูตร 6 จำนวน 600 กก.	8,000 ฟุต	99.5833	13.0833
2 มี.ค. 63	1/1	11:04-11:23 น.	สูตร 1(4/1) จำนวน 700 กก.	6,000 ฟุต	99.8333	13.2000
2 มี.ค. 63	1/2	11:01-11:18 น.	สูตร 1(4/1) จำนวน 600 กก.	6,000 ฟุต	99.9667	12.9333
4 มี.ค. 63	2/1	16:05-16:21 น.	สูตร 6 จำนวน 700 กก.	7500	99.6017	13.0914
4 มี.ค. 63	3/2	16:25-16:41 น.	สูตร 1(4/1) จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 400 กก.	8,000/6,500 ฟุต	99.5500	13.1833
6 มี.ค. 63	1/1	11:45-12:00 น.	สูตร1(4/1) จำนวน 700 กก.	6500	99.7333	12.9500
6 มี.ค. 63	2/3	16:19-16:36 น.	สูตร 6 จำนวน 700 กก.	8000	99.5503	12.8156
6 มี.ค. 63	3/4	16:29-16:53 น.	สูตร 1(4/1) จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 400 กก.	8,000/6,000 ฟุต	99.5000	13.1500
13 มี.ค. 63	1/1	12:41-13:00 น.	สูตร1(4/1) จำนวน 1,400 กก.	6500	99.7178	12.8183
15 มี.ค. 63	1/1	11:03-11:21 น.	สูตร1 จำนวน 1,400 กก.	6,500/6,000	99.7500	12.8000
15 มี.ค. 63	2/2	13:58-14:15 น.	สูตร 6 จำนวน 700 กก.	8,000 ฟุต	99.7000	12.8333
15 มี.ค. 63	3/3	14:12-14:34 น.	สูตร1 จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 400 กก.	9,000/6,000	99.4344	12.8461
16 มี.ค. 63	1/2	11:19-11:41 น.	สูตร 1 จำนวน 700 กก.	6,000 ฟุต	99.9833	13.1500
18 มี.ค. 63	2/1	14:08-14:29 น.	สูตร 6 จำนวน 700 กก.	7,500 ฟุต	99.4167	12.9167
18 มี.ค. 63	3/2	14:29-14:51 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 400 กก.	9,000/6,300 ฟุต	99.4172	13.0117
20 มี.ค. 63	1/1	11:04-11:21 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 700 กก.	6,000 ฟุต	99.4175	12.8325
20 มี.ค. 63	2/3	13:53-14:21 น.	สูตร 6 จำนวน 700 กก.	7,500 ฟุต	99.4011	12.9219
20 มี.ค. 63	3/4	14:21-14:47 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 400 กก.	9,000/6,000 ฟุต	99.5833	12.9167
21 มี.ค. 63	2/1	14:09-14:29 น.	สูตร 6 จำนวน 700 กก.	8,000 ฟุต	99.4181	12.8506
21 มี.ค. 63	3/2	14:43-15:05 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	9,000/6,000 ฟุต	99.5667	12.7667
22 มี.ค. 63	3/2	16:00-16:26 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,500/6,000 ฟุต	99.4667	12.7833
22 มี.ค. 63	2/1	15:52-16:19 น.	สูตร 6 จำนวน 700 กก.	8000	99.3833	12.7500
2 เม.ย. 63	1/1	10:45-11:02 น.	สูตร 1 จำนวน 700 กก.	6500	99.9678	13.0100
2 เม.ย. 63	2/3	15:49-16:11 น.	สูตร 6 จำนวน 700 กก.	8500	99.4801	12.7278

ตารางที่ 3.1.1-2 ผลการปฏิบัติการฝนหลวงศูนย์ฝนหลวงหัวหิน ปี 2563 (ต่อ)

วันที่	ปฏิบัติการ	เวลา	ส่วนประกอบสาร	ความสูง	ลองจิจูด	ละติจูด
2 เม.ย. 63	3/4	16:20-16:40 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก.	9,000/8,000 ฟุต	99.3833	12.8333
3 เม.ย. 63	3/2	17:07-17:31 น.	สูตร 1 จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,000/6,000	99.4333	12.9333
4 เม.ย. 63	2/1	15:12-15:41 น.	สูตร 6 จำนวน 700 กก.	8000	99.4678	12.6667
4 เม.ย. 63	3/2	15:35-15:55 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,500/6,000 ฟุต	99.4000	12.7667
5 เม.ย. 63	1/1	10:49-11:07 น.	สูตร 1 จำนวน 700 กก.	6500	99.7339	12.7800
5 เม.ย. 63	2/3	15:05-15:30 น.	สูตร 6 จำนวน 700 กก.	8000	99.5003	12.7314
6 เม.ย. 63	1/1	10:40-10:59 น.	สูตร 1 จำนวน 700 กก.	6500	99.7400	12.7800
7 เม.ย. 63	1/1	10:29-10:48 น.	สูตร 1 จำนวน 700 กก.	6500	99.3000	13.1300
8 เม.ย. 63	1/1	10:41-10:57 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 600 กก.	6,500 ฟุต	99.7167	12.6667
10 เม.ย. 63	2/1	14:48-15:09 น.	สูตร 6 จำนวน 700 กก.	8000	99.6433	12.9881
10 เม.ย. 63	3/2	15:20-15:40 น.	สูตร 1 จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,500/6,000	99.6319	12.8078
11 เม.ย. 63	2/3	14:03-14:43 น.	1(4/2) จำนวน 200 กก. สูตร 6 จำนวน 500 กก.	9,000/8,500 ฟุต	99.4808	13.0256
11 เม.ย. 63	3/2	15:10-15:30 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,500/6,000 ฟุต	99.6067	12.8194
11 เม.ย. 63	3/5	15:23-15:45 น.	4 จำนวน 500 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,000 ฟุต	99.5731	13.0414
12 เม.ย. 63	2/1	15:38-15:56 น.	สูตร 6 จำนวน 700 กก.	8,000 ฟุต	99.5836	12.5872
12 เม.ย. 63	3/2	15:50-16:04 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,500/6,500 ฟุต	99.5667	12.5833
13 เม.ย. 63	1/1	10:43-10:57 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 600 กก.	6,500 ฟุต	99.7500	12.7667
13 เม.ย. 63	2/3	12:51-13:12 น.	สูตร 6 จำนวน 700 กก.	8,000 ฟุต	99.5506	12.9689
13 เม.ย. 63	2/5	14:03-14:21 น.	สูตร 6 จำนวน 700 กก.	8,000 ฟุต	99.5681	12.8511
13 เม.ย. 63	3/4	13:05-13:21 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,500/6,000 ฟุต	99.5297	13.0086
13 เม.ย. 63	3/6	14:10-14:30 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,500/6,000 ฟุต	99.4903	12.8936
14 เม.ย. 63	2/1	11:44-12:00 น.	สูตร 6 จำนวน 600 กก.	8,000 ฟุต	99.6797	12.7469
14 เม.ย. 63	3/2	12:12-12:32 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,500/5,000 ฟุต	99.7392	12.7772
15 เม.ย. 63	2/1	15:40-15:58 น.	สูตร 6 จำนวน 700 กก.	8000	99.4239	12.7969

ตารางที่ 3.1.1-2 ผลการปฏิบัติการฝนหลวงศูนย์ฝนหลวงหัวหิน ปี 2563 (ต่อ)

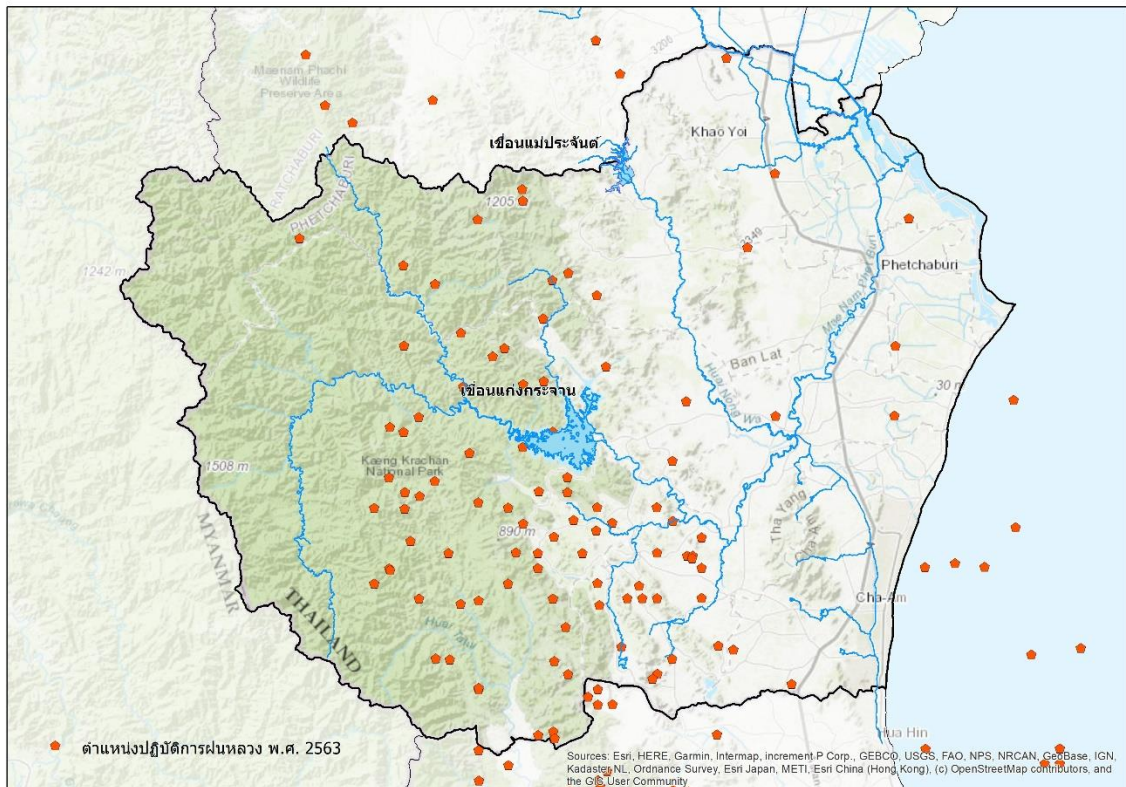
วันที่	ปฏิบัติการ	เวลา	ส่วนประกอบสาร	ความสูง	ลองจิจูด	ละติจูด
16 เม.ย. 63	3/2	15:49-16:08 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,500/6,000 ฟุต	99.5500	12.9000
16 เม.ย. 63	2/1	15:29-15:50 น.	สูตร 6 จำนวน 700 กก.	8000	99.5167	12.9997
17 เม.ย. 63	1/2	10:50-11:05 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 600 กก.	6,500 ฟุต	99.7000	12.6500
17 เม.ย. 63	3/4	14:30-14:45 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก.	8,500/6,000	99.6500	12.8167
18 เม.ย. 63	3/2	15:08-15:25 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก.	8,500/6,000	99.5667	12.7667
22 เม.ย. 63	2/4	13:56-14:15 น.	สูตร 6 จำนวน 700 กก.	8000	99.6944	12.6447
22 เม.ย. 63	3/6	14:57-15:17 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,500/6,000	99.5422	12.7842
25 เม.ย. 63	2/3	12:50-13:18 น.	สูตร 6 จำนวน 700 กก.	8000	99.5978	12.7019
25 เม.ย. 63	3/5	13:55-14:21 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,500/5,000	99.5736	12.9722
26 เม.ย. 63	3/5	15:03-15:25 น.	สูตร 1 จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,500/5,000	99.4514	12.8628
26 เม.ย. 63	3/4	14:10-14:32 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,500/6,000 ฟุต	99.6000	12.6500
30 เม.ย. 63	3/5	15:38-15:62 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,500/6,000 ฟุต	99.5000	12.6333
1 พ.ค. 63	2/1	15:09-15:26 น.	สูตร 6 จำนวน 600 กก.	8000	99.5847	12.5797
1 พ.ค. 63	3/2	15:23-15:36 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,500/6,000 ฟุต	99.5333	12.7500
2 พ.ค. 63	3/2	14:24-14:46 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,500/6,000 ฟุต	99.7000	12.7333
3 พ.ค. 63	3/2	16:01-16:21 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 400 กก.	8,500/6,000 ฟุต	99.6333	12.7500
3 พ.ค. 63	2/1	15:51-16:12 น.	สูตร 6 จำนวน 600 กก.	8000	99.5847	12.6644
6 พ.ค. 63	3/6	16:17-16:32 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,500/6,500 ฟุต	99.4167	13.1000
6 พ.ค. 63	2/5	16:08-16:31 น.	สูตร 6 จำนวน 700 กก.	8000	99.4519	13.0792
7 พ.ค. 63	1/1	10:01-10:14 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 700 กก.	6,500 ฟุต	99.7500	12.7333
7 พ.ค. 63	3/4	15:24-15:39 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,500/6,000 ฟุต	99.5000	12.8392
8 พ.ค. 63	1/1	10:31-10:45 น.	สูตร 1 จำนวน 700 กก.	6500	99.7683	12.6808
8 พ.ค. 63	3/3	14:26-14:39 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,500/6,000 ฟุต	99.6667	12.7333

ตารางที่ 3.1.1-2 ผลการปฏิบัติการฝนหลวงศูนย์ฝนหลวงหัวหิน ปี 2563 (ต่อ)

วันที่	ปฏิบัติการ	เวลา	ส่วนประกอบสาร	ความสูง	ลองจิจูด	ละติจูด
8 พ.ค. 63	3/4	15:26-15:41 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,500/6,000 ฟุต	99.6833	12.7333
9 พ.ค. 63	1/1	10:30-10:43 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 700 กก.	6500	99.7853	12.6767
9 พ.ค. 63	3/3	15:39-15:55 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,500/6,000 ฟุต	99.4000	12.8667
11 พ.ค. 63	3/2	13:50-14:05 น.	สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 400 กก.	6,500 ฟุต	99.6333	12.8333
11 พ.ค. 63	2/1	13:33-13:48 น.	สูตร 6 จำนวน 500 กก.	8000	99.6356	12.7258
12 พ.ค. 63	2/3	14:35-14:53 น.	สูตร 6 จำนวน 700 กก.	8,000 ฟุต	99.4333	12.7333
12 พ.ค. 63	3/4	14:52-15:12 น.	สูตร 1 จำนวน 300 กก.สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,500/6,000	99.4011	12.7647
13 พ.ค. 63	1/1	10:25-10:41 น.	สูตร 1 จำนวน 600 กก.	6500	99.7853	12.6767
13 พ.ค. 63	3/4	14:42-15:00 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,500/6,000 ฟุต	99.4833	12.9667
13 พ.ค. 63	2/3	14:35-15:00 น.	สูตร 6 จำนวน 700 กก.	8000	99.5000	12.6350
14 พ.ค. 63	3/2	14:38-14:54 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,500/6,000 ฟุต	99.5333	12.8333
15 พ.ค. 63	3/2	14:54-15:17 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,500/5,500 ฟุต	99.5833	12.7333
17 พ.ค. 63	3/5	13:59-14:15 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,500/6,000 ฟุต	99.6000	12.8667
18 พ.ค. 63	3/4	15:23-15:38 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก.สูตร 3 จำนวน 200 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก.	8,500/6,000 ฟุต	99.6167	12.7833
19 พ.ค. 63	1/1	10:00-10:16 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 600 กก.	6,500 ฟุต	99.4519	12.6675
21 พ.ค. 63	3/2	15:06-15:20 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,500/6,000 ฟุต	99.8022	13.1189
22 พ.ค. 63	3/1	15:55-16:20 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,500/6,000 ฟุต	99.5667	12.7833
23 พ.ค. 63	3/2	13:40-14:07 น.	1(4/1) จำนวน 700 กก. สูตร 4 จำนวน 700 กก.	9,500/7,500 ฟุต	99.7794	13.3272
23 พ.ค. 63	3/2	14:11-14:26 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,500/6,000 ฟุต	99.8503	12.6386
24 พ.ค. 63	3/4	14:55-15:13 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก. สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,500/6,000 ฟุต	99.7175	12.8844
27 พ.ค. 63	3/2	14:40-15:00 น.	สูตร 1 จำนวน 300 กก.สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,500/6,000	99.5847	12.8011

ตารางที่ 3.1.1-2 ผลการปฏิบัติการฝนหลวงศูนย์ฝนหลวงหัวหิน ปี 2563 (ต่อ)

วันที่	ปฏิบัติการ	เวลา	ส่วนประกอบสาร	ความสูง	ลองจิจูด	ละติจูด
28 พ.ค. 63	3/2	14:35-14:50 น.	สูตร 1(4/2) จำนวน 300 กก.สูตร 4 จำนวน 200 กก. สูตร 3 จำนวน 200 กก.	8,500/6,000 ฟุต	99.6000	12.8500
31 พ.ค. 63	1/1	11:17-11:34 น.	สูตร1(4/2) จำนวน 600 กก.	6500	99.6600	12.6800
23 พ.ค. 63	3/2	13:40-14:07 น.	1(4/1) จำนวน 700 กก. สูตร 4 จำนวน 700 กก.	9,500/7,500 ฟุต	99.7794	13.3272



รูปที่ 3.1.1-2 แผนที่ตำแหน่งปฏิบัติการฝนหลวงในเขตพื้นที่จังหวัดเพชรบุรี ปี พ.ศ. 2563

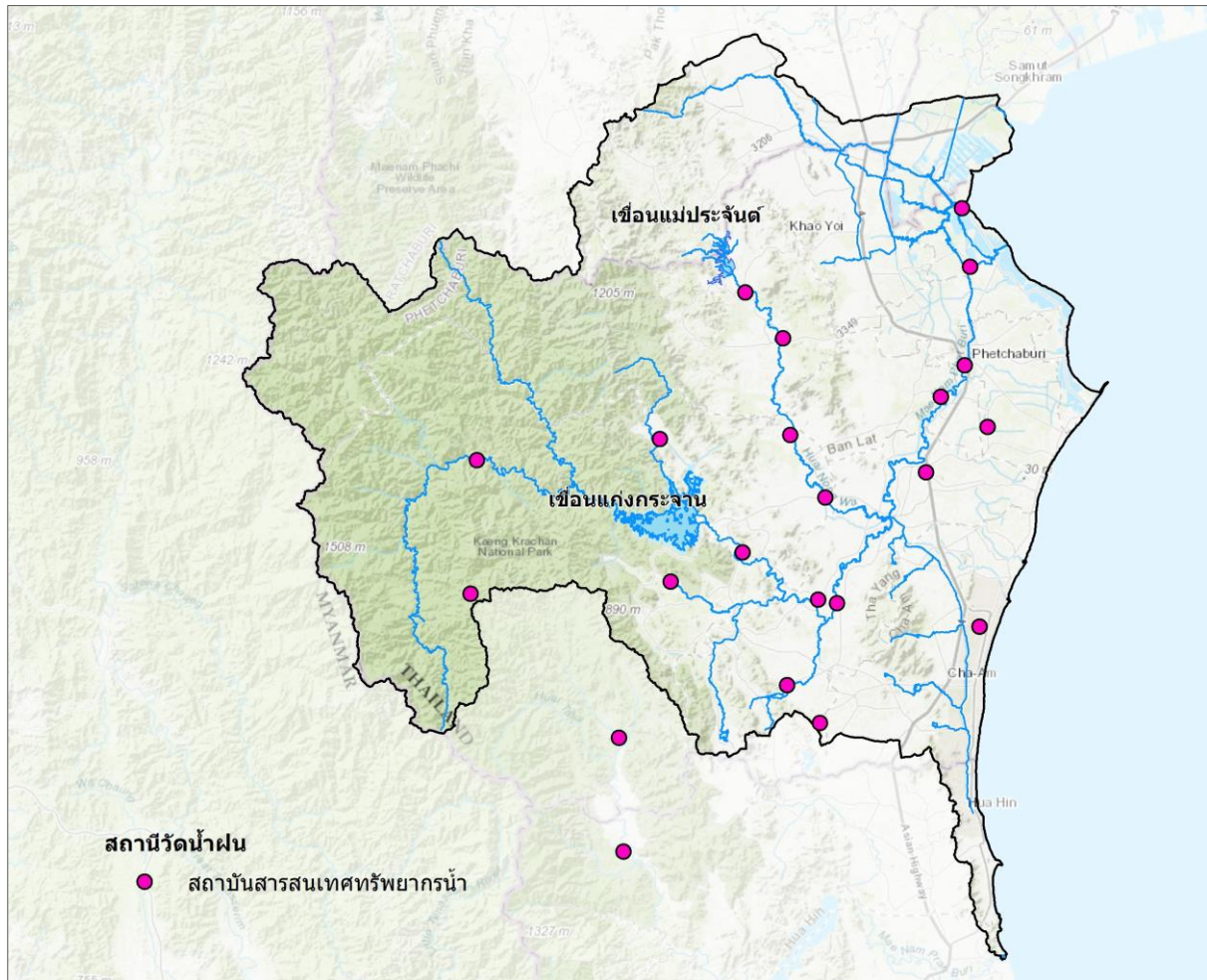




รูปที่ 3.1.1-3 ผลการปฏิบัติการฝนหลวงและพื้นที่ห้วงผลสัมฤทธิ์การทำฝนหลวงปี พ.ศ. 2563 (ต่อ)

### 3.1.2 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมง

รวบรวมข้อมูลปริมาณฝนรายชั่วโมงจากสถานีวัดน้ำฝนจำนวน 22 สถานี สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) ตำแหน่งสถานีตรวจวัดแสดงไว้ในรูปที่ 3.1.2-1 รายละเอียดข้อมูลสถานีตรวจวัดน้ำฝนไว้ในตารางที่ 3.1.2-1 และสรุปข้อมูลปริมาณฝนรายเดือนและรายปีช่วงปี พ.ศ. 2561 ถึง ปี พ.ศ. 2563 ของแต่ละสถานีไว้ในตารางที่ 3.1.2-2



รูปที่ 3.1.2-1 ตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ

ตารางที่ 3.1.2-1 สถานีวัดน้ำฝนของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ

รหัสสถานี	สถานีฝน	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	จากปี	ถึงปี
BCAP	อบต.หนองหญ้าปล้อง	หนองหญ้าปล้อง	หนองหญ้าปล้อง	เพชรบุรี	2554	2563
BLAT	ทต.บ้านลาด	บ้านลาด	บ้านลาด	เพชรบุรี	2554	2563
BNPK	อบต.บางครก	บางครก	บ้านแหลม	เพชรบุรี	2554	2563
BPGD	อบต.เขากระปุก	เขากระปุก	ท่ายาง	เพชรบุรี	2554	2563
CHAM	การประปา ทม.ชะอำ	ชะอำ	ชะอำ	เพชรบุรี	2554	2563
GALU	อบต.กัลดีหลวง	กัลดีหลวง	ท่ายาง	เพชรบุรี	2554	2563
GLF003	บางตะบูน	บางตะบูนออก	บ้านแหลม	เพชรบุรี	2556	2563
HPKD	อ่างห้วยผาก	สองพี่น้อง	แก่งกระจาน	เพชรบุรี	2554	2559
KKCN	อบต.สองพี่น้อง	สองพี่น้อง	แก่งกระจาน	เพชรบุรี	2554	2563
KPNT	เขาพะเนินทุ่ง	ห้วยแม่เพรียง	แก่งกระจาน	เพชรบุรี	2554	2563
PCH001	เมืองเพชรบุรี	ต้นมะม่วง	เมืองเพชรบุรี	เพชรบุรี	2555	2563
PCH002	แก่งกระจาน	วังจันทร์	แก่งกระจาน	เพชรบุรี	2555	2563
PCH003	ท่ายาง (บ้านห้วยตะวาย)	กัลดีหลวง	ท่ายาง	เพชรบุรี	2560	2563
PDAM	ทต.ท่ายาง	ท่ายาง	ท่ายาง	เพชรบุรี	2554	2563
RCHM	อบต.ดอนยาง	ดอนยาง	เมืองเพชรบุรี	เพชรบุรี	2554	2563
RMPT	อบต.ไร่ใหม่พัฒนา	ไร่ใหม่พัฒนา	ชะอำ	เพชรบุรี	2554	2563
SWR005	หน่วยพิทักษ์อุทยานแห่งชาติ แก่งกระจาน 10	ห้วยแม่เพรียง	แก่งกระจาน	เพชรบุรี	2561	2563
SWR006	วัดคะเมยกาญจนผลาราม	แก่งกระจาน	แก่งกระจาน	เพชรบุรี	2560	2563
SWR007	อบต.พุสวรรค์	พุสวรรค์	แก่งกระจาน	เพชรบุรี	2560	2563
SWR008	โรงเรียน ตชด. นครสวรรค์ ห้วยโสก	ป่าเต็ง	แก่งกระจาน	เพชรบุรี	2560	2563
TATK	รพ.สต.ท่าตะคร้อ	ท่าตะคร้อ	หนองหญ้าปล้อง	เพชรบุรี	2555	2563
PALU	อบต.ห้วยสัตว์ใหญ่	ห้วยสัตว์ใหญ่	หัวหิน	ประจวบคีรีขันธ์	2552	2563

ตารางที่ 3.1.2-2 สรุปปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนสถานีวัดน้ำฝนสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ

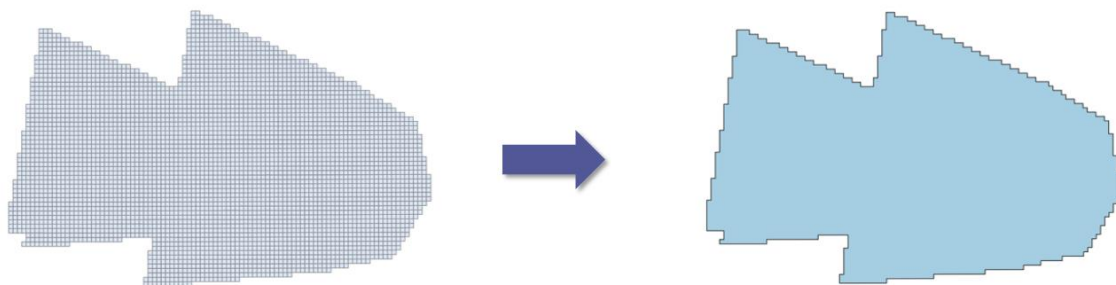
รหัสสถานี	สถานีวัดน้ำฝน	ปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ย, มม.												รายปีเฉลี่ย (มม.)
		ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
BCAP	อบต.หนองหญ้าปล้อง	3.6	6.8	17.1	52.8	73.8	60.1	54.8	74.7	131.7	124.3	57.0	7.2	663.9
BLAT	ทต.บ้านลาด	13.6	1.3	16.0	24.8	56.1	74.3	92.7	85.3	135.6	197.6	100.0	13.0	810.3
BNPK	อบต.บางครก	16.4	10.6	15.1	24.5	63.3	43.7	85.6	115.5	108.6	172.3	75.7	16.4	747.5
BPGD	อบต.เขากระปุก	3.8	1.7	2.8	18.1	43.8	28.4	30.4	84.6	70.3	78.8	55.4	12.5	430.5
CHAM	การประปา ทม.ชะอำ	22.4	10.8	14.0	29.6	58.5	25.3	50.7	34.7	71.3	102.8	55.4	13.0	488.4
GALU	อบต.กัลลัดหลวง	13.6	3.3	14.8	33.2	50.9	61.4	62.3	60.5	113.5	167.5	80.0	11.9	672.7
GLF003	บางตะบูน	13.9	4.5	10.7	8.8	34.3	17.5	21.5	31.5	55.5	59.2	26.7	5.9	290.1
HPKD	อ่างห้วยผาก	3.4	2.6	5.1	28.0	48.9	43.3	35.5	5.4	46.0	22.4	15.3	9.2	264.9
KKCN	อบต.สองพี่น้อง	13.8	2.1	8.8	66.8	69.9	71.6	58.0	42.3	101.9	87.1	47.5	9.7	579.5
KPNT	เขาพะเนินทุ่ง	20.7	10.8	65.3	135.8	44.4	50.3	46.9	65.3	50.2	105.9	37.4	6.2	639.2
PCH001	เมืองเพชรบุรี	22.1	4.5	24.6	33.2	82.1	75.9	99.7	113.2	191.7	248.5	117.0	12.1	1,024.7
PCH002	แก่งกระจาน	14.5	7.0	5.9	12.8	73.7	23.5	28.5	57.4	104.5	111.5	76.4	18.0	533.6
PCH003	ท่ายาง	4.5	0.6	17.5	42.7	55.3	14.4	0.7	29.7	93.8	132.3	28.1	11.6	431.2
PDAM	ทต.ท่ายาง	19.1	4.9	7.4	37.8	94.6	49.5	67.7	65.8	167.0	171.2	85.9	18.0	788.9
RCHM	อบต.ดอนยาง	2.2	0.4	1.1	19.6	53.7	45.6	42.8	70.3	135.8	151.4	62.5	14.8	600.1
RMPT	อบต.ไร่ใหม่พัฒนา	21.5	2.6	5.4	18.8	43.3	44.4	51.2	78.9	118.3	183.5	85.3	12.3	665.4
SWR005	หน่วยพิทักษ์อุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน 10	0.1	0.6	117.4	134.4	108.6	189.8	37.6	169.2	103.9	130.2	28.9	2.6	1,023.3
SWR006	วัดตะเมยกาญจนผลาราม	0.0	0.9	26.9	116.5	217.6	99.3	58.1	77.5	98.8	103.3	71.3	2.7	873.0
SWR007	อบต.พุทธสวรรค์	7.3	20.7	11.3	71.3	122.4	62.8	32.6	49.9	184.2	167.2	74.9	6.8	811.3
SWR008	โรงเรียน ตชด. นครศรีบ้านหัวโศก	7.3	3.8	59.1	200.7	102.2	134.0	77.0	127.7	132.7	201.4	59.5	18.4	1,123.9
TATK	รพ.สต.ท่าตะคร้อ	18.7	7.6	8.8	48.5	93.8	76.3	73.8	98.9	126.1	166.7	83.8	10.1	813.1

### 3.2 ผลการสังเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลผลการปฏิบัติการฝนหลวงในรูปแบบของกริดจะถูกนำมาสังเคราะห์เพื่อหาขอบเขตพื้นที่ปฏิบัติการและสรุปข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในภายใน สำหรับปริมาณน้ำฝนภาคพื้นดินจะเป็นการสรุปข้อมูลปริมาณฝนรายวันจากปริมาณฝนรายชั่วโมง มีรายละเอียดของกิจกรรมที่ดำเนินการ ดังนี้

#### 3.2.1 การหาขอบเขตพื้นที่ปฏิบัติการฝนหลวง

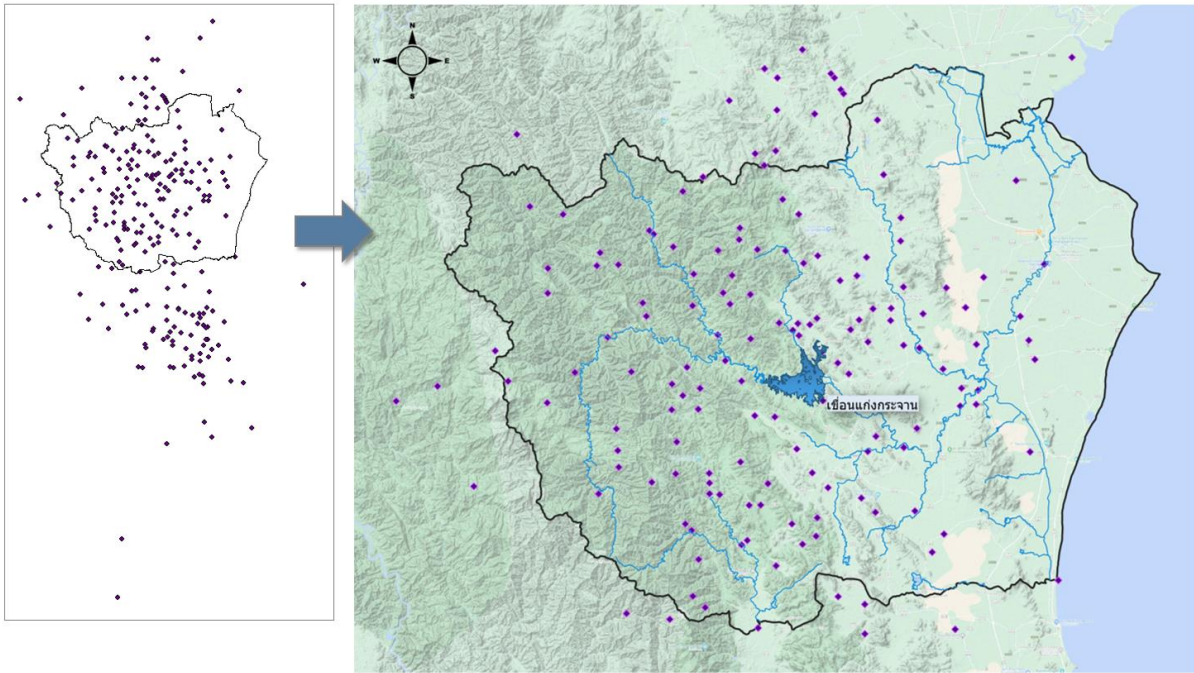
ทำการแปลงข้อมูลขอบเขตพื้นที่ปฏิบัติการฝนหลวงจากข้อมูลกริดที่ได้รับจำนวน 148 กริดไฟล์ ด้วยกระบวนการทางสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อใช้เป็นขอบเขตพื้นที่อ้างอิงในการหาค่าปริมาณฝนเฉลี่ยจากสถานีตรวจวัดน้ำฝนภาคพื้นดินต่อไป แสดงรูปตัวอย่างการแปลงข้อมูลกริดเป็นขอบเขตพื้นที่ได้ดังรูปที่ 3.2.1-1



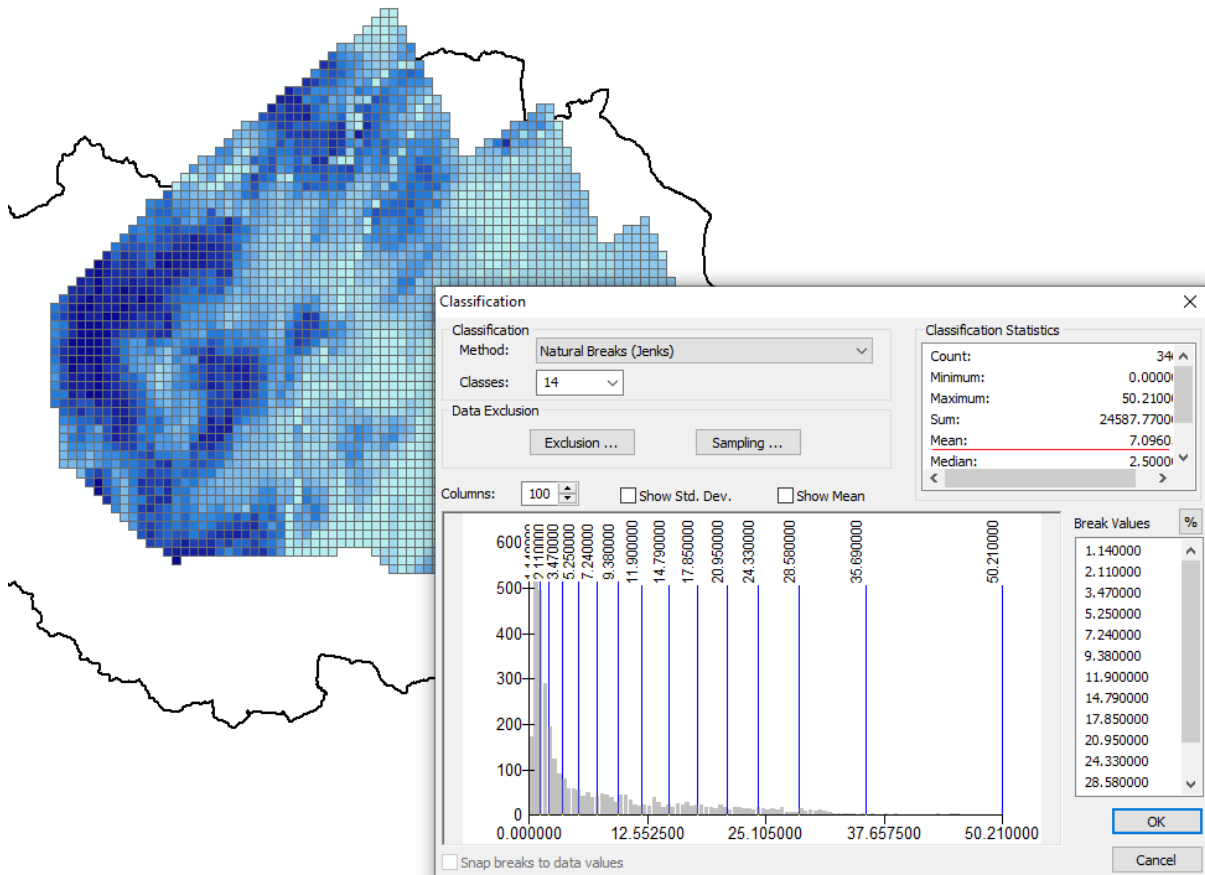
รูปที่ 3.2.1-1 การหาขอบเขตพื้นที่แปลงข้อมูลกริด

#### 3.2.2 การหาค่าเฉลี่ยรายวันของข้อมูลฝนจากเรดาร์ตรวจอากาศ

จากข้อมูลปฏิบัติการฝนหลวงทั้งหมด 148 ปฏิบัติการ นำมาคัดเลือกเฉพาะที่ทำปฏิบัติการในเขตพื้นที่จังหวัดเพชรบุรี คงเหลือทั้งสิ้น 108 ปฏิบัติการ แสดงแผนที่ตำแหน่งปฏิบัติการฝนหลวงในบริเวณพื้นที่จังหวัดเพชรบุรีระหว่างปี 2561 – 2563 จำนวน 108 ปฏิบัติการ ไว้ในรูปที่ 3.2.2-1 ซึ่งข้อมูลผลการปฏิบัติการฝนหลวงในรูปแบบของกริด ภายในจะประกอบไปด้วยข้อมูลปริมาณน้ำฝนซึ่งแปลผลมาจากข้อมูลของสถานีเรดาร์ฝนหลวงสี่หีบ จังหวัดชลบุรี นำมาหาค่าเฉลี่ยจากทุกๆ กริดเป็นรายวันด้วยเทคนิคด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ แสดงตัวอย่างการหาค่าเฉลี่ยปริมาณฝนได้ดังรูปที่ 3.2.2-2



รูปที่ 3.2.2-1 แผนที่ตำแหน่งปฏิบัติการฝนหลวงในบริเวณพื้นที่จังหวัดเพชรบุรีระหว่างปี 2561 - 2563



รูปที่ 3.2.2-2 การหาค่าเฉลี่ยปริมาณฝนภายในกริด

### 3.2.3 การหาค่าเฉลี่ยข้อมูลปริมาณฝนภาคพื้นดินรายวัน

#### 3.2.3.1 การหาปริมาณฝนรายวันในแต่ละสถานี

ปริมาณฝนภาคพื้นดินจากสถานีตรวจวัดของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) (สสน.) เป็นข้อมูลรายชั่วโมง นำมาหาปริมาณฝนสะสมตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 21.00 น. เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ให้เป็นปริมาณฝนรายวัน ซึ่งจะครอบคลุมช่วงเวลาทำปฏิบัติการจนถึงช่วงเวลาหวังผลสัมฤทธิ์จากการทำฝนหลวง สรุปข้อมูลปริมาณฝนรายวันระหว่างปี พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2563 เฉพาะวันที่ทำปฏิบัติการฝนหลวงในพื้นที่จังหวัดเพชรบุรี จำนวน 108 วัน แสดงตัวอย่างการหาปริมาณฝนรายวันของสถานีภาคพื้นดินไว้ในรูปที่

#### 3.2.3-1 และแสดงข้อมูลปริมาณฝนรายวันจากผลการวิเคราะห์ไว้ในตารางที่ 3.2.3-1

Date-Time	BCAP	GALU	GLF003	KKCN	KPNT	PCH001	PCH002	PCH003	PDAM	RCHM	RMPT	SWR007	SWR008	TATK
	อบต.หนองบัวปลั่ง	อบต.กัลดีหลวง	บางตะบูน	อบต.สองพี่น้อง	เขาพะเนิน	เมืองเพชรบุรี	แก่งกระจาน	ห้วยยาง	ทต.ห้วยยาง	อบต.ดอนยาง	อบต.ไร่มะพร้าว	อบต.พสุวรรณ์	โรงเรียน	คชด. รพ.สส.ท่า
13/04/2020 00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13/04/2020 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13/04/2020 02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13/04/2020 03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13/04/2020 04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13/04/2020 05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13/04/2020 06:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13/04/2020 07:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13/04/2020 08:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13/04/2020 09:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13/04/2020 10:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0
13/04/2020 11:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13/04/2020 12:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13/04/2020 13:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.8	0	0	0
13/04/2020 14:00	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.6	0	0	0
13/04/2020 15:00	3.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0.6
13/04/2020 16:00	2.4	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2
13/04/2020 17:00	4.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0
13/04/2020 18:00	53.2	6	0.2	17	0	0	0.8	5.6	0	0.4	5.8	0	29.8	0
13/04/2020 19:00	31.6	0.4	1.4	21.6	16.4	1	1.4	0	1	0.6	3.2	9.4	0	55.4
13/04/2020 20:00	1.2	0.2	0.6	10.8	39	2.8	1	0.2	30	2.4	0	19	6.8	7
13/04/2020 21:00	0.4	1.4	1.2	1.4	0.6	1	1.8	2	36.8	4.8	0.2	0.6	31.2	0.4
13/04/2020 22:00	0.8	2.4	0.6	0	0	1.2	1	2.2	0.2	0.4	0.6	0.8	0.8	1
13/04/2020 23:00	0.2	0	0	0	0	0	0.8	0.2	0	0	0	0.2	0	0
14/04/2020 00:00	0	0.2	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0
14/04/2020 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 3.2.3-1 การหาปริมาณฝนสะสมรายวันจากข้อมูลรายชั่วโมง

#### 3.2.3.2 การหาปริมาณฝนเฉลี่ยเชิงพื้นที่

จากผลสรุปปริมาณฝนรายวันของสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดินนำมาหาค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ด้วยวิธี Inverse Distance Weighted (IDW) อาศัยหลักการที่ว่าตำแหน่งใกล้เคียงกันย่อมมีความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ในการคำนวณค่า ณ ตำแหน่งที่ต้องการ ตำแหน่งสถานีที่อยู่ใกล้ที่สุดจะมีน้ำหนักความสำคัญมากกว่า จึงเป็นการประมาณค่าให้กับจุดที่ไม่ทราบค่าจากผลรวมเชิงเส้นของค่าที่ทราบแล้วถ่วงน้ำหนักจุดด้วยระยะทาง ค่าถ่วงน้ำหนักนี้จะเปลี่ยนแปลงตามระยะทางจากจุดที่ไม่ทราบค่าไปยังจุดที่ทราบค่าจุดต่อไป อาศัยขอบเขตแนวบินที่ได้จากข้อมูลกริดเรดาร์เป็นขอบเขตอ้างอิง แสดงกระบวนการหาค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ด้วยเทคนิค IDW จากโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้ดังรูปที่ 3.2.3-1

ตารางที่ 3.2.3-1 ปริมาณฝนรายวันของสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน

วันที่	อวด. หอง ใหญ่	อวด. มง ครก	อวด. เขา กระปุก	การประมา ฒน. เขลำ	อวด. กลัดหลวง	มางตะมุน	อวด. สองพี่น้อง	เขา พระอินทร์	เมือง เพชรบุรี	แกง กระเจา	พียง (บ้านห้วย ตะว)	ทด. ทุ่งยาง	อวด. ดอนยาง	อวด. ไร่ ไหมพัฒนา	ทบย พัทธษา 10	วัดตะมุน กาญจน ผลราม	อวด. พ สวรรค์	ร. ตชด. นเรศวร บำเหนื โสภ	รพ. สด. ทาศะคร	อวด. ห้วย สัดใหญ่
4 Apr 18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.6	2.2	-	3.4
11 Apr 18	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15 Apr 18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.8	-	7.0	-	-
16 Apr 18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17 Apr 18	-	34.0	-	53.6	25.4	-	-	-	-	0.2	0.4	35.8	-	3.2	-	66.6	36.2	9.6	13.2	6.8
19 Apr 18	-	-	-	-	1.2	-	-	-	-	-	-	-	2.2	-	-	32.8	13.4	6.0	9.0	11.8
20 Apr 18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.0	-	-	-	-	0.6	-	0.2	-	1.2
21 Apr 18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22 Apr 18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.2	-	19.2
24 Apr 18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25 Apr 18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26 Apr 18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-	-	-	-	11.0	-	-	-	-
30 Apr 18	-	-	-	4.4	0.8	-	-	-	-	-	-	23.0	-	1.0	-	8.8	0.2	11.2	0.8	24.6
1 May 18	-	-	-	20.8	3.2	-	-	-	-	-	1.4	7.8	-	0.2	-	31.4	1.8	14.2	0.6	29.2
2 May 18	-	-	-	-	8.0	-	-	-	-	-	-	6.6	-	-	-	1.0	3.8	9.4	-	7.6
3 May 18	-	-	-	-	2.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	1.4	12.4	1.0	11.6
4 May 18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.2	-	-	-	-	39.2	0.4	0.2	0.2	-
5 May 18	-	-	-	-	1.0	-	-	-	-	-	2.0	-	-	-	-	51.2	1.4	1.4	-	-
7 May 18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.8	-	-	-	-	-	0.4	-	-	-
8 May 18	-	-	-	-	1.2	-	-	-	-	-	1.0	-	-	-	-	2.8	0.4	0.4	-	-
4 Mar 19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-	-	-
15 Mar 19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19 Mar 19	-	-	-	-	-	-	-	1.0	-	-	-	-	-	-	7.2	-	-	1.4	-	-
20 Mar 19	-	-	-	-	-	-	-	6.8	-	-	-	-	-	-	0.6	-	-	-	0.2	-
21 Mar 19	-	-	-	-	-	-	-	15.6	-	-	-	-	-	-	5.4	-	-	-	-	-
26 Mar 19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27 Mar 19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28 Mar 19	0.8	-	0.4	0.2	0.2	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-
29 Mar 19	-	-	-	-	-	-	14.6	9.0	-	-	-	-	0.2	-	13.0	16.6	2.8	54.8	1.2	-
30 Mar 19	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-	24.2	-	-	0.6	-	-
31 Mar 19	-	-	-	-	-	-	0.2	9.8	-	-	-	-	-	-	6.6	-	-	8.0	-	-
1 Apr 19	25.0	-	18.2	-	-	-	52.4	58.0	-	0.6	-	-	-	-	13.0	0.2	0.4	-	-	4.6
2 Apr 19	-	-	-	-	1.4	-	2.4	-	-	-	8.6	-	-	-	-	-	-	37.2	0.8	-
3 Apr 19	-	-	0.2	-	5.6	-	-	0.6	-	-	1.4	-	-	-	2.2	-	-	6.8	-	-
5 Apr 19	-	-	-	-	-	-	-	16.4	-	-	-	-	-	-	14.6	0.4	0.2	3.8	0.2	-
6 Apr 19	-	-	-	-	-	-	-	16.6	-	-	4.8	-	-	-	3.0	-	-	0.2	-	-
7 Apr 19	4.6	-	3.2	-	2.0	-	36.6	37.6	-	0.4	1.0	0.4	-	18.6	11.4	2.8	2.2	31.0	8.4	-

ตารางที่ 3.2.3-1 ปริมาณฝนรายวันของสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน (ต่อ)

วันที่	อวด. หนอง ภูพานส่อง	อวด.บ้าน ลาด	อวด.บาง ครก	อวด.เขา กระบี่	การประปา ทม.ชะอำ	อวด. กลัดหลวง	บางตะบูน	อวด. สองพี่น้อง	เขา พระเนินทุ่ง	เมือง เพชรบุรี	แก่ง กระเจา	พายุ (บ้านห้วย ตะวาย)	พด.ท่าช้าง	อวด. ดอนยาง	อวด.ไร่ ไหมพัฒนา	พบบ พืชกว่า 10	วัดตะแบก กล้วยจาน ผลราม	อวด.พ สวรรค์	ร. ตชด. นเรศวร ปากห้วย ไส้	รพ.สต. ทาตะครี	อวด.ห้วย สัตใหญ่
9 Apr 19	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13 Apr 19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14 Apr 19	-	-	-	-	-	-	-	1.0	14.4	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-	0.2	-	-
15 Apr 19	-	-	-	-	-	12.2	-	0.4	13.2	-	-	1.4	-	-	-	12.0	-	-	0.2	-	-
16 Apr 19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-	29.6	1.8	-	4.8	-	-
17 Apr 19	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-	-	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18 Apr 19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-	26.0	-	-	-	-	-
19 Apr 19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20 Apr 19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	14.8	-	-
22 Apr 19	-	-	-	-	-	-	-	23.2	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	-	1.8	-	-
25 Apr 19	-	-	-	-	-	-	-	6.4	-	-	-	-	-	-	-	7.2	-	-	0.6	-	-
26 Apr 19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27 Apr 19	-	-	-	-	-	-	-	1.2	2.4	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-	-	-	-
28 Apr 19	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-	41.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29 Apr 19	-	-	-	-	-	-	-	3.6	-	-	-	-	-	-	-	7.4	-	-	-	-	-
30 Apr 19	-	-	-	-	-	0.6	-	41.2	-	-	8.8	-	-	-	9.0	-	7.0	35.4	-	-	-
1 May 19	5.8	-	-	2.8	0.4	-	-	-	-	-	-	0.2	-	-	1.8	-	-	4.0	-	0.6	-
2 May 19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3 May 19	2.4	-	-	-	-	-	-	2.6	-	-	-	0.4	-	-	-	-	0.2	-	0.6	-	-
4 May 19	17.2	-	-	4.8	-	5.6	-	57.4	4.0	-	-	-	-	-	4.4	15.4	9.0	-	2.4	-	-
5 May 19	1.2	-	-	3.2	-	-	-	-	0.2	-	0.4	-	-	-	-	-	14.6	0.8	0.6	0.8	-
6 May 19	-	5.8	3.8	35.8	-	10.4	-	-	-	0.2	0.4	9.2	-	-	20.6	-	-	30.0	-	2.2	-
8 May 19	0.4	0.4	-	35.0	1.6	1.2	-	-	-	-	12.2	13.4	15.2	-	35.0	-	-	1.2	-	10.6	-
9 May 19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10 May 19	-	-	-	-	0.8	-	0.6	-	1.0	-	-	0.4	1.4	-	-	-	-	-	0.2	-	-
11 May 19	-	-	-	7.4	-	-	-	-	-	-	-	0.6	-	-	-	-	2.0	-	-	-	-
12 May 19	0.2	-	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-	1.2	-	-	-	-	16.8	-	-	-	-
13 May 19	0.6	-	0.2	23.4	0.2	5.2	-	1.6	-	0.2	0.6	-	0.2	1.0	3.6	17.2	15.6	1.0	17.6	1.6	-
14 May 19	0.2	1.0	-	14.2	3.8	-	-	-	-	4.2	1.0	2.8	31.4	0.4	1.2	-	-	23.2	-	4.2	-
15 May 19	3.6	0.4	-	15.8	-	0.2	-	-	-	0.6	0.8	-	-	-	6.8	-	-	3.6	-	0.6	-
16 May 19	0.2	0.2	-	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17 May 19	9.4	0.2	-	0.8	-	-	-	11.4	-	-	-	0.2	-	-	-	38.2	-	-	-	0.2	-
19 May 19	-	-	-	-	-	7.6	-	1.4	-	-	-	0.8	10.4	0.8	-	-	0.2	0.8	-	20.2	-
20 May 19	-	-	-	-	-	-	0.6	1.0	1.2	-	-	-	-	-	-	0.2	4.0	-	6.6	-	-
21 May 19	-	-	-	-	-	-	-	0.8	-	-	-	1.2	-	-	-	14.8	2.0	-	21.8	-	-
22 May 19	2.0	-	-	-	-	4.6	-	11.4	30.8	0.2	15.2	0.2	-	-	-	27.0	4.6	0.2	3.4	15.0	-
23 May 19	13.4	0.2	0.6	-	1.8	0.2	-	-	-	0.8	0.4	1.2	3.2	-	-	4.6	1.0	0.6	7.2	-	-
23 May 19	1.2	-	2.8	15.6	14.0	9.8	2.6	13.2	34.0	27.8	5.4	3.4	1.4	1.6	6.0	12.8	6.0	18.0	11.4	17.2	-

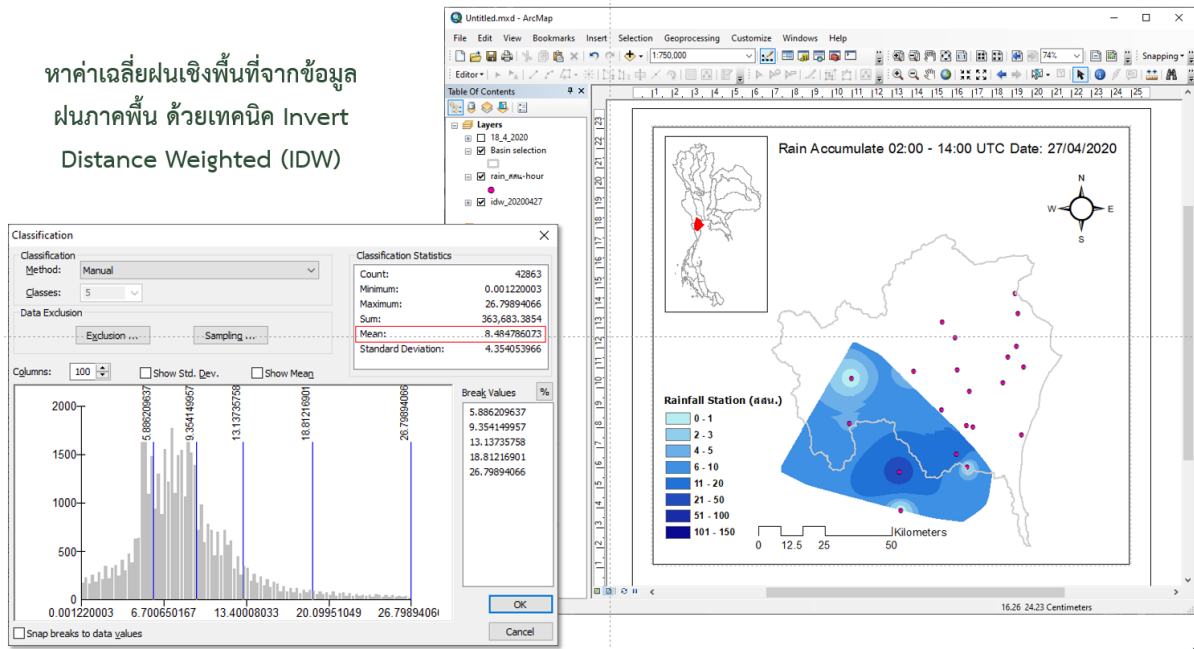
ตารางที่ 3.2.3-1 ปริมาณฝนรายวันของสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน (ต่อ)

วันที่	อวด. หอง ญาปลอง	ทต.บ้าน ลาด	อวด.บง คศก	อวด.เขา กระปลก	การประปา ทน.เขลว	อวด. กัดหลง	บงตงบง	อวด. สองทงอง	เขา พระบงทง	เงอง เพชรม่	แกง กระจวน	พยวง (บงทงบง ตระว)	ทต.ทงบง	อวด. คอบบง	อวด.ร้ ในบงพัฒนา	ทบง พททกรบ 10	วัดคอบบง กฤษฎน ผลกรบ	อวด.พ สวรรค	ร. คชต. บงทงบง บงทงบง โสภ	รพ.สค. ทาดะครบ	อวด.ทบง สัดวใหญ่
24 May 19	0.4		2.0	0.8	0.2	0.2	4.2	5.8	1.8	5.8	5.8	4.2	0.8	1.0	-	0.6	1.6	-	0.2		
28 May 19	21.2	0.2		-	5.8	12.2	0.8	10.2	0.6	7.0	0.2	-	19.6	4.8	3.4	1.2	7.4	8.8	0.4	2.2	
31 May 19	9.2	-	0.2	2.4	-	40.4	9.8	-	0.2	-	0.6	1.2	-	-	-	4.6	20.0	7.0	20.4		
1 Jun 19	-	-	-	0.2	-	19.0	-	6.4	-	-	-	6.4	-	-	-	8.8	0.2	-	-		
2 Jun 19	-	0.6	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
3 Jun 19	-	-	-	1.0	-	26.6	-	-	0.8	-	-	1.0	-	-	1.2	-	0.2	-	-		
5 Jun 19	5.6	-	-	-	-	-	-	-	19.8	-	-	0.4	-	-	-	-	6.8	-	-		
8 Jun 19	4.4	-	0.4	5.4	-	7.0	0.8	3.2	33.8	-	18.4	-	1.8	-	1.8	32.6	3.2	6.2	56.8	-	
16 Jun 19	2.4	-	0.2	0.2	3.2	2.2	0.8	1.0	25.0	1.4	1.4	0.4	4.8	2.6	-	0.8	9.6	0.4	0.2		
28 Feb 20	-	-	-	-	-	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
29 Feb 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
2 Mar 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
4 Mar 20	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
6 Mar 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
13 Mar 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
15 Mar 20	2.4	-	-	-	-	-	1.4	-	18.6	-	-	-	-	-	-	-	2.6	-	-	1.2	
16 Mar 20	-	-	-	-	-	-	-	-	11.8	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	-		
18 Mar 20	-	-	-	-	-	-	-	-	2.2	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-	0.2		
19 Mar 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
20 Mar 20	5.0	-	-	-	-	-	-	-	17.6	-	-	-	-	-	-	-	1.8	-	-	0.6	
21 Mar 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
22 Mar 20	-	-	-	-	-	-	-	-	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.8	
29 Mar 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
2 Apr 20	-	-	-	-	-	-	-	-	1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
3 Apr 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
4 Apr 20	-	-	-	-	-	-	-	-	2.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
5 Apr 20	-	-	-	-	-	-	-	-	7.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
6 Apr 20	0.8	-	-	-	-	-	-	0.2	31.8	-	-	-	-	-	-	-	19.2	-	43.6	5.0	
7 Apr 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.4	-	46.6	1.2	
8 Apr 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.0	-	20.6		
9 Apr 20	-	-	-	-	-	-	-	-	0.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
10 Apr 20	-	-	-	-	-	-	-	-	0.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19.6		
11 Apr 20	11.0	-	-	0.4	-	0.2	-	0.2	16.2	-	0.2	0.2	-	-	-	2.2	-	-	0.8	1.6	
12 Apr 20	-	-	-	-	-	-	-	-	26.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.2	0.2	
13 Apr 20	96.6	-	1.4	2.6	2.2	8.0	3.4	50.8	56.2	4.8	5.0	7.8	67.8	7.8	12.4	39.2	40.8	38.2	93.4	40.8	
14 Apr 20	-	-	-	14.6	0.2	0.8	-	12.4	0.2	-	-	0.6	0.2	-	26.0	-	-	-	0.8	14.0	
15 Apr 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.8	

ตารางที่ 3.2.3-1 ปริมาณฝนรายวันของสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน (ต่อ)

วันที่	อวด. หอง ฝน	อวด. มง ครก	อวด. เขา กระปก	การประมา ฒ. เขฉ่า	อวด. กลัดหลวง	นางตะมู	อวด. สองพี่น้อง	เขา พระอินทร์	เมือง เพชรบุรี	แกง กระจาน	พียง (บ้านห้วย ตะวาย)	ทต. ท่าช้าง	อวด. คอนยาง	อวด. ไร่ ไหมพัฒนา	ทบ พัทธษา 10	วัดตะมู กาญจน ผลราม	อวด. พ สวรรค์	ร. ตชด. นเรศวร บึงหวัง โสภ	รพ. สต. ทาตะศรี	อวด. ห้วย สัตใหญ่
16 Apr 20	0.4	-	0.6	1.2	0.6	1.4	0.2	1.2	12.8	1.2	1.0	1.6	1.2	0.6	-	-	0.4	8.0	0.4	5.0
17 Apr 20	3.6	-	0.6	1.4	0.8	2.8	0.2	9.4	10.8	0.6	2.6	1.8	0.6	0.2	-	-	2.6	3.8	2.4	1.6
18 Apr 20	1.2	-	0.6	0.4	-	0.6	0.4	4.0	0.8	-	-	-	-	-	-	-	1.6	12.4	1.2	1.0
19 Apr 20	5.0	-	-	-	-	-	-	-	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	1.2	-	-
22 Apr 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25 Apr 20	3.2	9.0	-	0.8	4.6	0.8	-	2.8	26.0	1.6	0.2	-	17.6	3.0	-	-	2.8	17.4	0.2	23.4
26 Apr 20	-	0.2	-	-	0.2	0.2	-	0.2	0.4	-	0.2	-	-	-	-	-	0.2	-	0.2	-
27 Apr 20	30.6	3.0	3.4	16.0	20.2	4.4	2.6	8.2	4.8	4.2	0.2	12.8	3.0	0.2	-	-	4.8	26.8	22.6	0.2
29 Apr 20	4.6	-	-	0.6	-	-	-	3.0	9.4	-	-	-	-	0.4	-	-	-	4.4	0.2	11.6
30 Apr 20	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.0
1 May 20	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	1.6	-	-
2 May 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.8	-	-
3 May 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5 May 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.4	-	0.2
6 May 20	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	7.4	-	-
7 May 20	-	-	-	-	-	-	-	-	7.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12.6
8 May 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28.0	-	-
9 May 20	-	-	-	-	-	-	-	-	1.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11 May 20	4.2	-	-	-	-	0.2	-	-	17.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12 May 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13 May 20	-	-	-	-	-	-	-	-	0.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14 May 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2
15 May 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.2	-	-
17 May 20	0.2	0.8	0.6	1.0	-	-	0.2	-	-	0.2	11.4	-	-	0.4	-	-	3.0	-	-	-
18 May 20	30.4	0.2	0.6	2.4	11.2	24.0	0.4	3.0	8.0	1.0	0.6	0.4	2.0	-	-	5.2	-	1.8	-	-
19 May 20	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-	0.2	-	-	-	-	-	-	0.6	0.4	0.6
20 May 20	-	-	-	6.0	19.4	3.2	-	-	-	-	3.4	0.2	-	5.8	-	-	0.4	-	1.4	-
21 May 20	-	-	-	-	-	-	11.0	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	-
22 May 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	1.4
23 May 20	10.6	0.6	17.4	10.0	-	13.4	-	33.0	-	-	-	-	0.8	5.6	-	-	35.2	0.2	0.6	-
24 May 20	-	-	-	2.4	-	-	-	0.4	12.6	-	-	-	-	-	-	-	2.8	8.4	2.2	0.4
25 May 20	26.8	-	-	10.0	13.2	0.4	1.2	2.0	0.4	-	0.2	-	-	-	-	-	0.6	1.6	0.6	7.4
26 May 20	0.8	6.2	1.8	5.2	13.2	1.6	-	5.8	-	20.8	0.2	7.0	15.4	19.0	-	-	1.6	8.6	0.2	8.6
27 May 20	-	-	-	3.2	-	6.6	-	-	-	-	0.4	-	-	-	-	-	2.2	1.4	0.6	-
28 May 20	4.8	8.4	13.4	0.4	-	2.2	1.4	14.0	2.2	19.0	13.0	1.0	-	-	-	-	48.2	0.6	2.0	-
29 May 20	1.4	1.0	0.6	-	-	-	10.8	-	0.8	6.2	-	-	-	-	-	-	-	-	3.6	-
31 May 20	0.4	4.6	1.8	0.2	-	3.0	4.4	47.0	30.8	3.2	0.8	6.2	0.2	1.0	-	-	32.6	12.6	1.8	1.4

หาค่าเฉลี่ยฝนเชิงพื้นที่จากข้อมูล  
ฝนภาคพื้น ด้วยเทคนิค Invert  
Distance Weighted (IDW)



รูปที่ 3.2.3-1 การหาค่าเฉลี่ยปริมาณฝนด้วยวิธี Inverse Distance Weighted

### 3.3 ผลการประเมินผลสัมฤทธิ์การปฏิบัติการฝนหลวง

ในการทำฝนหลวงนั้น เป็นการช่วยเสริมกระตุ้นมวลน้ำที่มีในก้อนเมฆซึ่งลอยอยู่ในชั้นบรรยากาศอยู่ แล้วให้ตกลงมาเป็นน้ำฝนตรงตามพื้นที่เป้าหมายที่ได้กำหนดไว้ในแต่ละปฏิบัติการ ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะเป็นปฏิบัติการในพื้นที่ต้นน้ำเพื่อเติมน้ำให้กับอ่างเก็บน้ำเขื่อนแก่งกระจาน และในพื้นที่ตอนล่างเพื่อช่วยเหลือพื้นที่เพาะปลูกบริเวณตั้งแต่ท้ายเขื่อนเพชรลงมาถึงตัวเมืองเพชรบุรี ดังนั้น ในการประเมินผลสัมฤทธิ์การปฏิบัติการฝนหลวง จะเป็นการประเมินถึงปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่เป้าหมายซึ่งทำการบินเฉพาะในขอบเขตพื้นที่ศึกษาจังหวัดเพชรบุรีในระหว่างปี พ.ศ. 2561 ถึง 2563 โดยอาศัยข้อมูลขอบเขตการโปรยสารและพื้นที่หวังผลสัมฤทธิ์ซึ่งได้ถูกนำเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เรียบร้อยแล้ว นำมาซ้อนทับกับค่าเฉลี่ยความลึกน้ำฝนเทียบเท่าเชิงพื้นที่ในช่วงเวลาเดียวกัน เพื่อศึกษาถึงปริมาณฝนที่เกิดขึ้นภายหลังการดำเนินการทำฝนหลวง

สรุปผลการศึกษาวิเคราะห์ได้ว่า จากปฏิบัติการการทำฝนหลวงในเขตพื้นที่จังหวัดเพชรบุรี ระหว่างปี พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2563 จำนวน 108 ปฏิบัติการ ทำการเปรียบเทียบข้อมูลฝนจากเรดาร์กับข้อมูลฝนภาคพื้นดินของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) ซึ่งหาค่าเฉลี่ยพื้นที่ด้วยเทคนิค IDW (ตารางที่ 3.3-1) พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของปริมาณฝนเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของ 2 ชุดข้อมูลมีค่า  $r = 0.21$  และมีการกระจายตัวของข้อมูลแสดงดังรูปที่ 3.3-1

ตารางที่ 3.3-1 ผลการประเมินผลสัมฤทธิ์ของการปฏิบัติการฝนหลวง ปี พ.ศ. 2561 - 2563

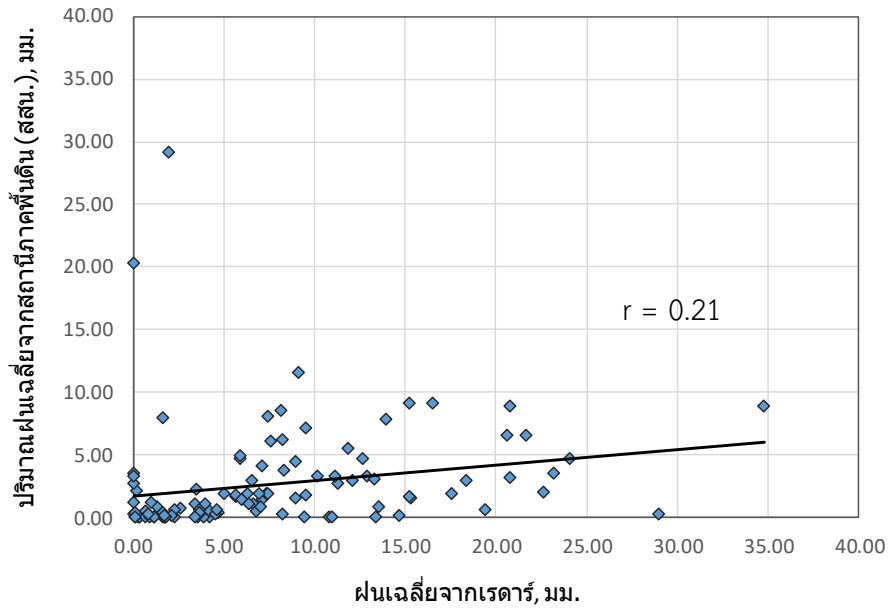
Date	Grid Radar Average	เฉลี่ยจากสถานีฝน สสน. ด้วยเทคนิค IDW
4-Apr-18	4.69	0.35
11-Apr-18	1.14	0.01
15-Apr-18	0.00	1.12
16-Apr-18	0.36	0.00
17-Apr-18	0.00	20.27
19-Apr-18	11.86	5.48
20-Apr-18	0.00	0.20
21-Apr-18	8.26	0.23
22-Apr-18	14.66	0.12
25-Apr-18	4.18	0.00
26-Apr-18	28.96	0.21
30-Apr-18	12.64	4.66
2-May-18	22.61	2.04
3-May-18	23.18	3.55
4-May-18	0.04	3.46
5-May-18	24.05	4.68
8-May-18	0.68	0.44
19-Mar-19	8.94	1.47
21-Mar-19	6.30	1.88
26-Mar-19	1.61	0.00
27-Mar-19	9.46	0.06
28-Mar-19	13.96	7.81
29-Mar-19	5.63	1.68
31-Mar-19	1.74	0.00
1-Apr-19	9.15	11.48
3-Apr-19	15.32	1.57
5-Apr-19	20.60	6.58
6-Apr-19	7.13	1.45
15-Apr-19	12.91	3.28
16-Apr-19	11.27	2.70
19-Apr-19	3.57	0.00
20-Apr-19	3.37	1.05

Date	Grid Radar Average	เฉลี่ยจากสถานีฝน สสน. ด้วยเทคนิค IDW
22-Apr-19	0.16	2.10
26-Apr-19	10.81	0.00
28-Apr-19	2.57	0.71
1-May-19	5.02	1.83
4-May-19	16.53	9.13
5-May-19	4.17	0.46
6-May-19	7.44	8.01
8-May-19	6.56	2.87
15-May-19	7.34	1.85
16-May-19	7.10	4.03
17-May-19	9.53	1.76
19-May-19	5.68	1.79
21-May-19	34.78	8.90
22-May-19	8.93	4.46
23-May-19	20.75	8.82
24-May-19	15.20	1.61
1-Jun-19	10.17	3.29
28-Feb-20	0.23	0.01
29-Feb-20	0.36	0.00
2-Mar-20	0.70	0.00
4-Mar-20	0.87	0.01
6-Mar-20	1.18	0.00
13-Mar-20	0.09	0.00
15-Mar-20	13.31	3.00
16-Mar-20	0.10	0.36
18-Mar-20	19.39	0.54
20-Mar-20	5.97	1.36
21-Mar-20	3.87	0.00
2-Apr-20	0.80	0.20
3-Apr-20	13.40	0.00
4-Apr-20	3.66	0.55
5-Apr-20	13.54	0.79

ตารางที่ 3.3-1 ผลการประเมินผลสัมฤทธิ์ของการปฏิบัติการฝนหลวง ปี พ.ศ. 2563 (ต่อ)

Date	Grid Radar Average	เฉลี่ยจากสถานีฝน สสน. ด้วยเทคนิค IDW
6-Apr-20	15.26	9.09
7-Apr-20	5.88	4.66
8-Apr-20	3.49	2.22
9-Apr-20	1.74	0.01
10-Apr-20	12.08	2.93
11-Apr-20	18.34	2.96
12-Apr-20	11.12	3.23
13-Apr-20	1.97	29.12
14-Apr-20	1.65	7.95
15-Apr-20	1.33	0.78
16-Apr-20	20.74	3.17
17-Apr-20	0.00	2.65
18-Apr-20	6.64	1.09
19-Apr-20	6.79	0.52
22-Apr-20	1.77	0.00
25-Apr-20	9.48	7.14
26-Apr-20	3.52	0.09
27-Apr-20	8.16	8.49
29-Apr-20	0.00	3.30
30-Apr-20	1.64	0.37
1-May-20	4.53	0.30
2-May-20	3.64	0.22

Date	Grid Radar Average	เฉลี่ยจากสถานีฝน สสน. ด้วยเทคนิค IDW
3-May-20	2.25	0.00
5-May-20	2.28	0.54
6-May-20	4.62	0.62
7-May-20	6.34	1.05
8-May-20	7.44	1.91
9-May-20	2.08	0.11
11-May-20	17.58	1.85
12-May-20	0.08	0.00
13-May-20	1.82	0.04
14-May-20	10.96	0.01
15-May-20	3.67	0.32
17-May-20	3.92	1.03
18-May-20	7.59	6.02
19-May-20	1.69	0.12
21-May-20	0.99	1.22
22-May-20	3.40	0.01
23-May-20	8.26	6.13
24-May-20	6.97	1.87
25-May-20	8.33	3.78
26-May-20	21.64	6.52
27-May-20	6.99	0.85
28-May-20	5.92	4.84



รูปที่ 3.3-1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างฝนจากเรดาร์และฝนจากสถานีภาคพื้นดิน

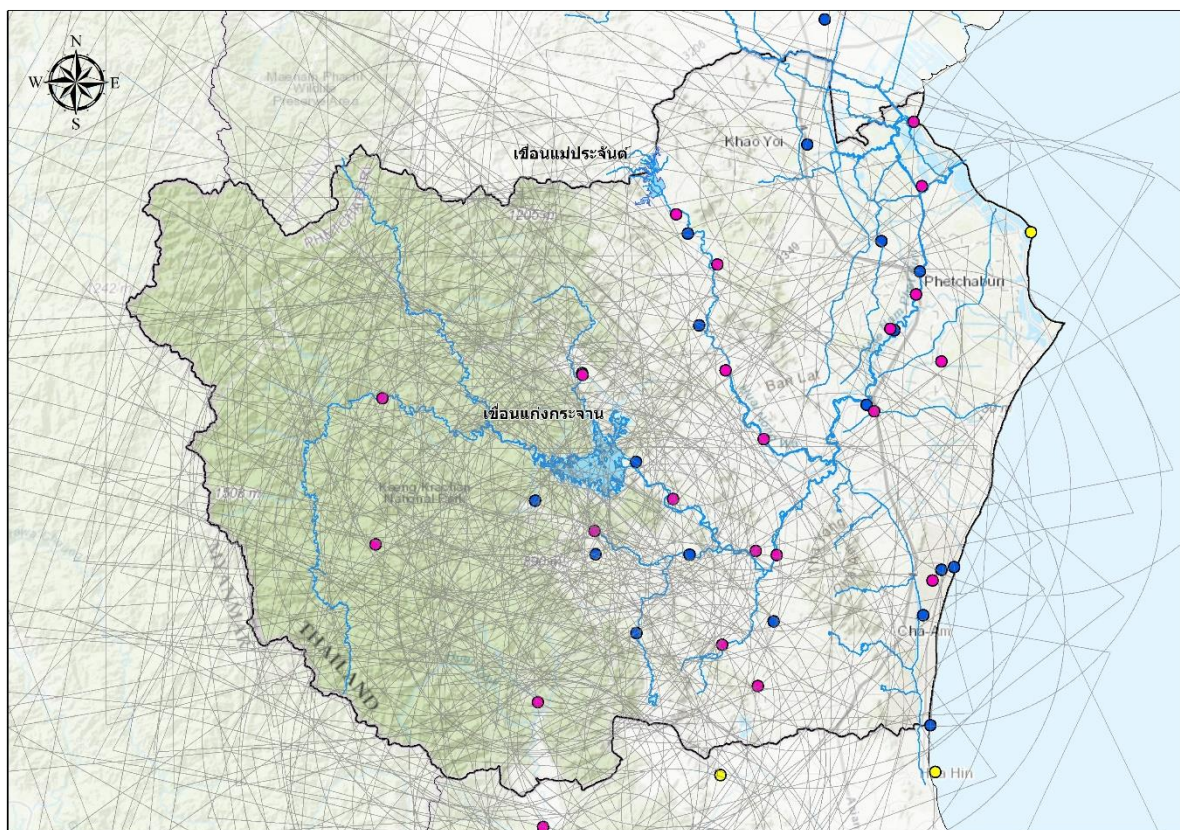
ค่าความสัมพันธ์ของชุดข้อมูลทั้ง 2 ชุด มีความสัมพันธ์กันค่อนข้างต่ำ เมื่อพิจารณาจากแผนที่เส้นชั้นน้ำฝนรายวันเปรียบเทียบกับกันระหว่างข้อมูลฝนเรดาร์และค่าเฉลี่ยจากฝนภาคพื้นดิน พบว่า ในบริเวณตอนบนของกลุ่มน้ำซึ่งเป็นพื้นที่ที่เป้าหมายในการทำฝนหลวงเพื่อเติมน้ำลงเขื่อนแก่งกระจาน มีจำนวนสถานีฝนไม่ครอบคลุมแนวทางการบิน ทำให้มีความแตกต่างของค่าฝนเฉลี่ยค่อนข้างสูง จึงเสนอให้มีการติดตั้งสถานีวัดน้ำฝนเพิ่มเติมในบริเวณพื้นที่ตอนบนของกลุ่มน้ำ

### 3.4 การติดตั้งสถานีตรวจวัดน้ำฝนและข้อมูลภูมิอากาศเพิ่มเติม

#### 3.4.1 การกำหนดตำแหน่งสถานีและการสำรวจพื้นที่

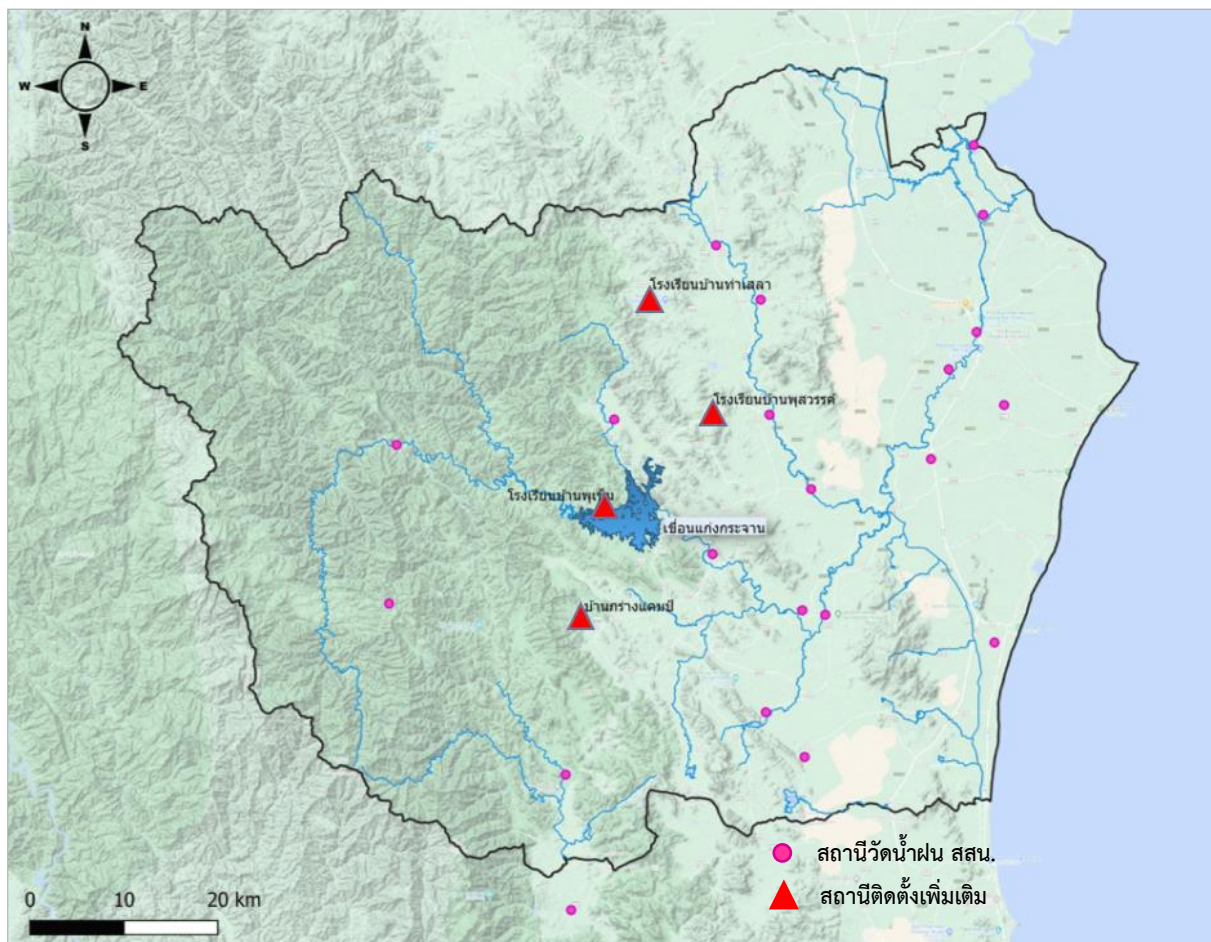
จากข้อเสนอแนะในการติดตั้งสถานีตรวจวัดข้อมูลน้ำฝนและภูมิอากาศเพิ่มเติมเพื่อให้ครอบคลุมแนวบินของปฏิบัติการฝนหลวง คณะผู้วิจัยได้นำขอบเขตแนวบินที่รวบรวมได้มาซ้อนทับเพื่อให้เห็นภาพรวมของทิศทางและแนวบินที่เหมาะสมในการติดตั้งสถานีเพิ่มเติม ดังรูปที่ 3.4.1-1 จากแผนที่แนวบินดังกล่าวสรุปได้ว่า สมควรติดตั้งสถานีวัดน้ำฝนเพิ่มเติมในบริเวณพื้นที่ตอนบนของกลุ่มน้ำ ซึ่งเป็นพื้นที่เป้าหมายในการทำฝนหลวงเพื่อเติมน้ำลงเขื่อนแก่งกระจาน คณะนักวิจัยจึงได้กำหนดตำแหน่งติดตั้งสถานีวัดน้ำฝนและสถานีตรวจสภาพภูมิอากาศให้อยู่ในบริเวณพื้นที่ตอนบนของกลุ่มน้ำ จำนวน 4 สถานี ได้แก่

- 1) สถานีบ้านกร่างแคมป์ ตำบลห้วยแม่เพรียง อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี
- 2) สถานีโรงเรียนบ้านพุซึ่ม ตำบลแก่งกระจาน อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี
- 3) สถานีโรงเรียนบ้านพุสวรรค์ ตำบลพุสวรรค์ อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี
- 4) สถานีโรงเรียนบ้านท่าเสลา ตำบลยางน้ำกลัดเหนือ อำเภอนองหญ้าปล่อง จังหวัดเพชรบุรี



รูปที่ 3.4.1-1 เส้นทางบินปฏิบัติการฝนหลวงระหว่างปี พ.ศ. 2561 - 2563

ในช่วงระหว่างวันที่ 14-15 ธันวาคม 2563 คณะผู้วิจัยได้ลงพื้นที่เพื่อหาตำแหน่งจุดตรวจวัดที่เหมาะสมตามหลักในการติดตั้งสถานีตรวจวัดข้อมูลภูมิอากาศขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization, WMO) รวมถึงสอบถามข้อมูลที่เกี่ยวข้องและขอความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ที่ติดตั้งจากผู้รับผิดชอบสถานที่ ซึ่งได้รับความร่วมมือในการให้อนุญาตให้สถานที่ในการติดตั้งสถานีเป็นอย่างดี แสดงแผนที่ตำแหน่งที่ทำการติดตั้งสถานีวัดน้ำฝนเพิ่มเติมไว้ในรูปที่ 3.4.1-2 และรูปการลงสนามเพื่อกำหนดตำแหน่งติดตั้งและสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ได้ดังรูปที่ 3.4.1-3 ถึง 3.4.1-6



รูปที่ 3.4.1-2 แผนที่แสดงตำแหน่งติดตั้งสถานีตรวจวัดน้ำฝนและข้อมูลภูมิอากาศเพิ่มเติม



รูปที่ 3.4.1-3 สภาพพื้นที่บริเวณสถานีบ้านกร่างแคมป์ อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี



รูปที่ 3.4.1-4 สภาพพื้นที่บริเวณสถานีโรงเรียนบ้านพุเข็ม อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี



รูปที่ 3.4.1-5 สภาพพื้นที่บริเวณสถานีโรงเรียนบ้านพุนสุวรรค์ อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี



รูปที่ 3.4.1-6 สภาพพื้นที่บริเวณสถานีโรงเรียนบ้านท่าเสลา อำเภอหนองหญ้าปล้อง จังหวัดเพชรบุรี

### 3.4.2 การติดตั้งสถานีตรวจวัดน้ำฝนและข้อมูลภูมิอากาศ

#### 3.4.2.1 ตำแหน่งสถานีและเทคโนโลยีที่นำมาใช้

ระบบตรวจวัดข้อมูลภูมิอากาศเป็นระบบซึ่งทำการติดตั้งตามจุดต่างๆ ที่ผ่านการสำรวจและตรวจสอบจากคณานักวิจัยว่าเหมาะสมแก่การติดตั้ง มีวัตถุประสงค์ในการจัดทำระบบตรวจวัดขึ้นมาเพื่อทำการตรวจวัดข้อมูลปริมาณน้ำฝนและสภาพภูมิอากาศในพื้นที่บริเวณโดยรอบที่เกิดขึ้นภายหลังการโปรยสารเคมีในการทำฝนหลวงเพื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ประกอบงานวิจัย ทั้งนี้ระบบตรวจวัดข้อมูลได้ถูกออกแบบให้ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ ได้แก่ การนำไมโครคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กประสิทธิภาพสูงที่ประหยัดพลังงานและสามารถทำงานได้หลากหลาย ผูกเข้ากับเทคโนโลยี Internet of Things (IoT) และได้เลือกใช้แหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นแหล่งพลังงานโดยธรรมชาติ เพื่อมุ่งเน้นให้งานวิจัยในครั้งนี้เต็มไปด้วยคุณภาพ มาตรฐาน ทันสมัย และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งสถานที่สำหรับการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์การตรวจวัดแสดงในตารางที่ 3.4.2.1-1 แสดงผลการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดข้อมูลภูมิอากาศไว้ในรูปที่ 3.4.2.1-1 และแสดงภาพรวมของระบบตรวจวัดข้อมูลสภาพอากาศ ประกอบไปด้วย แหล่งพลังงานที่เลือกใช้ซึ่งงานวิจัยในครั้งนี้เลือกใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นหลัก ระบบสื่อสารที่มีการนำเทคโนโลยี Internet of Things เข้ามาใช้ร่วมด้วย เช่น เซอร์การตรวจวัด ซึ่งมีทั้งระบบ Analog และ Digital และส่วนติดต่อผู้ใช้งานที่ใช้งานได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ แสดงได้ดัง รูปที่

#### 3.4.2.1-2

ตารางที่ 3.4.2.1-1 รายละเอียดสถานีตรวจวัดข้อมูลภูมิอากาศ

ลำดับที่	สถานี	การตรวจวัด	เทคโนโลยีพลังงาน	เทคโนโลยีการสื่อสาร
1	บ้านร่างแคมป์	ปริมาณน้ำฝนและสภาพอากาศ	พลังงานแสงอาทิตย์	Social Media
2	โรงเรียนบ้านพุเข็ม	ปริมาณน้ำฝนและสภาพอากาศ	พลังงานแสงอาทิตย์	GPRS/3G
3	โรงเรียนบ้านพุสวรรค์	ปริมาณน้ำฝนและสภาพอากาศ	พลังงานแสงอาทิตย์	Social Media
4	โรงเรียนบ้านเสลา	ปริมาณน้ำฝนและสภาพอากาศ	พลังงานแสงอาทิตย์	NB-IoT

**สถานีบ้านกว้างแคมป์**

- ตั้งอยู่ในอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน ต.ห้วยแม่เพรียง อ.แก่งกระจาน จ.เพชรบุรี
- ติดตั้งอุปกรณ์ที่ขอบหลังคาศูนย์บริการนักท่องเที่ยว



**สถานีโรงเรียนบ้านพุเข็ม**

- หมู่ที่ 10 บ้านพุเข็ม ต.แก่งกระจาน อ.แก่งกระจาน จ.เพชรบุรี
- ติดตั้งอุปกรณ์ที่ขอบหลังคาห้องสมุดโรงเรียน



**สถานีโรงเรียนบ้านพุสวรรค์**

- หมู่ที่ 1 บ้านพุสวรรค์ ต.พุสวรรค์ อ.แก่งกระจาน จ.เพชรบุรี
- ติดตั้งอุปกรณ์ที่ขอบหลังคาห้องสุขา

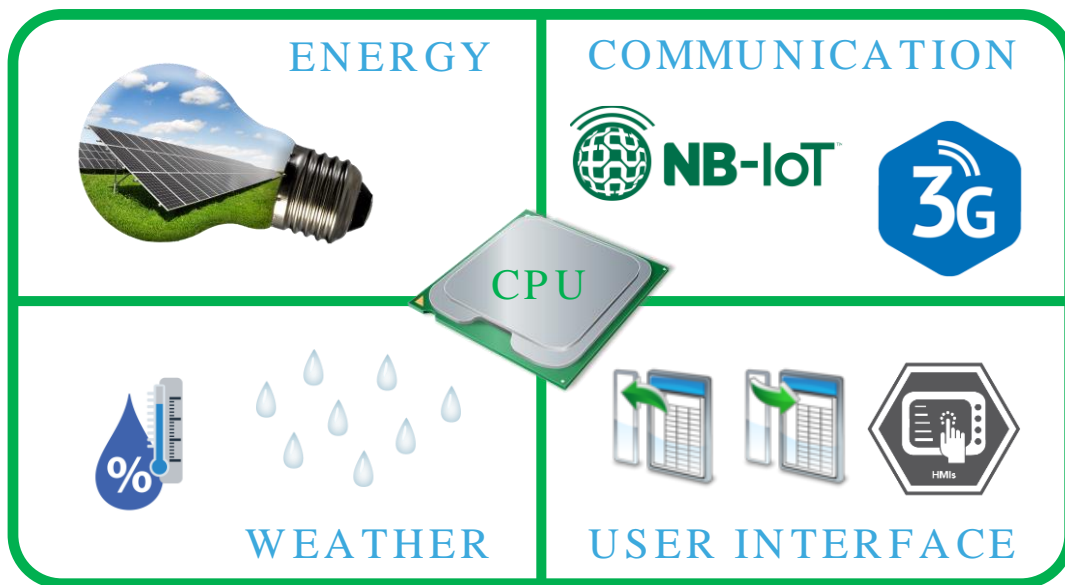


สถานีโรงเรียนบ้านท่าเสา

- หมู่ที่ 4 บ้านท่าเสา  
ต.ยางน้ำกลัดเหนือ  
อ.หนองหญ้าปล้อง จ.เพชรบุรี
- ติดตั้งอุปกรณ์ที่ขอบหลังคาห้องสุขา



รูปที่ 3.4.2.1-1 ผลการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดข้อมูล 4 สถานี

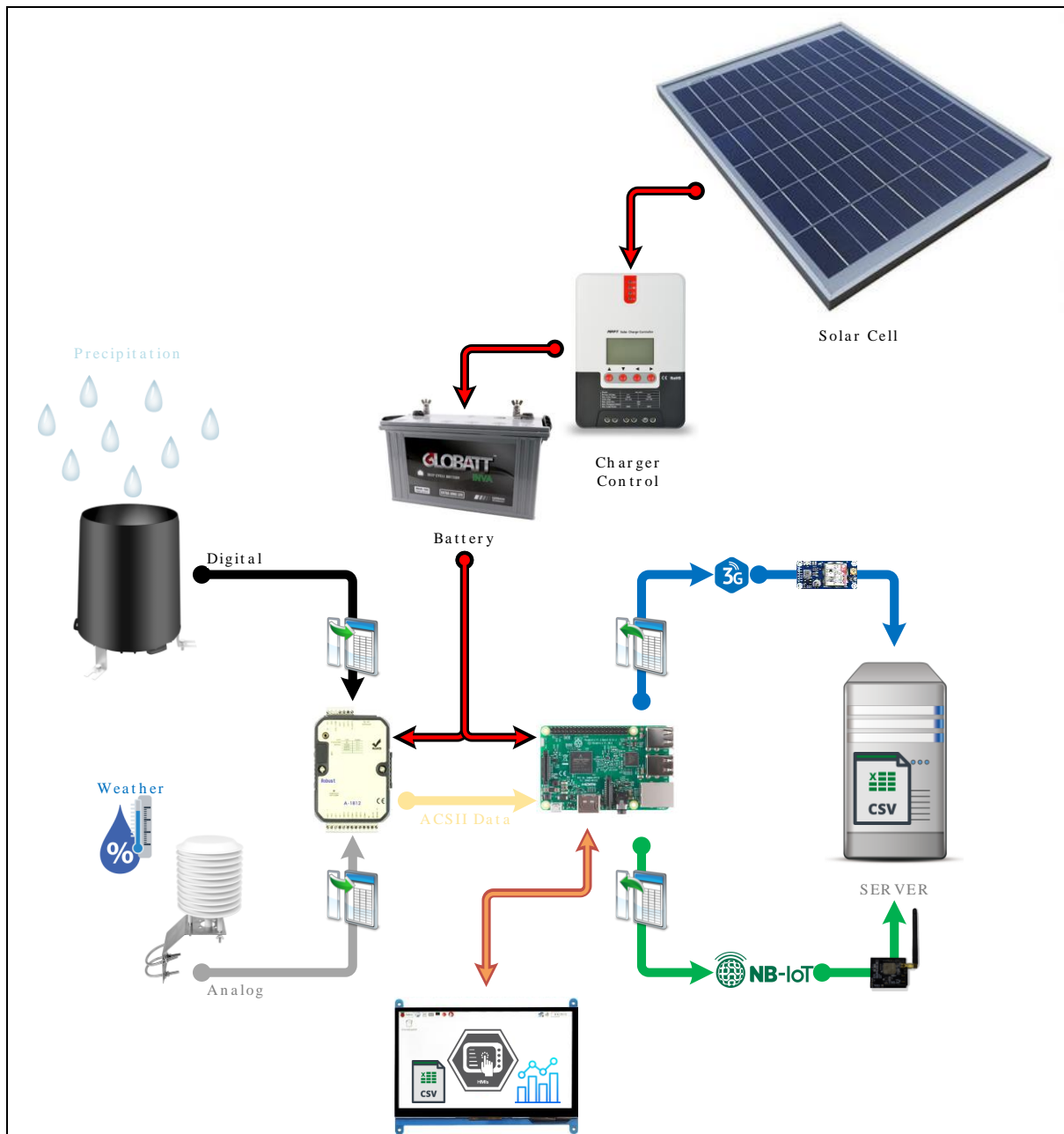


รูปที่ 3.4.2.1-2 ภาพรวมของเทคโนโลยีที่นำมาใช้กับระบบตรวจวัดข้อมูลสภาพอากาศ

### 3.4.2.2 องค์ประกอบของสถานี






ระบบตรวจวัดข้อมูลสภาพอากาศในงานวิจัยครั้งนี้จะประกอบไปด้วยสถานีตรวจวัดที่ตั้งอยู่ตามจุดต่างๆ บริเวณตอนบนของพื้นที่ลุ่มน้ำ การกำหนดตำแหน่งสถานีจะคำนึงถึงความเหมาะสมของสภาพพื้นที่ของการติดตั้ง การเดินทางเข้าถึงสถานีสำหรับการติดตั้งและการบำรุงรักษา การรองรับระบบสื่อสารหลายแบบ ความปลอดภัยต่อชุดอุปกรณ์ และมีความเหมาะสมต่อการนำข้อมูลไปใช้ประกอบงานวิจัย โดยงานวิจัยครั้งนี้ได้ออกแบบการรับ-ส่งข้อมูลผ่านระบบสื่อสารที่หลากหลายไม่ว่าจะเป็นการส่งข้อมูลด้วยเทคโนโลยี GPRS/3G

ที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันสามารถส่งข้อมูลได้ในปริมาณมาก การส่งข้อมูลด้วยเทคโนโลยี NB-IoT บนเครือข่าย 3G ที่ทันสมัยอุปกรณ์ใช้พลังงานน้อยมีค่าใช้จ่ายต่ำ และการส่งข้อมูลภาพผ่านการสื่อสารด้วยโซเซียลมีเดียเพื่อให้ประชาชนในพื้นที่ได้มีส่วนร่วมในงานวิจัย ซึ่งในรูปที่ 3.4.2.2-1 จะแสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบและการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่างของระบบตรวจวัดในส่วนของหน้าที่การทำงานของชุดอุปกรณ์ต่าง จะแสดงคำอธิบายตามตารางที่ 3.4.2.2-1 และ ตารางที่ 3.4.2.2-2 ตามลำดับ



รูปที่ 3.4.2.2-1 องค์ประกอบของระบบตรวจวัดข้อมูลสภาพอากาศ

ตารางที่ 3.4.2.2-1 รายการอุปกรณ์ประจำสถานีพร้อมภาพประกอบ

ลำดับที่	รายการ	ภาพประกอบ
1	ชุดอุปกรณ์แหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์	เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ชุดควบคุม แบตเตอรี่ 
2	ชุดเซนเซอร์ตรวจวัดสภาพอากาศ	วัดค่าปริมาณน้ำฝน วัดค่าอุณหภูมิความชื้น 
3	ชุดอุปกรณ์รับและแปลงค่าสัญญาณ	อุปกรณ์รับและแปลงค่าสัญญาณ 
4	ชุดอุปกรณ์ไมโครคอมพิวเตอร์	ไมโครคอมพิวเตอร์ จอแสดงผล 
5	ชุดอุปกรณ์ระบบสื่อสาร	ระบบสื่อสาร GPRS/3G ระบบสื่อสาร NB-IoT 

ตารางที่ 3.4.2.2-2 รายการอุปกรณ์ประจำสถานีพร้อมหน้าที่การทำงาน

ลำดับที่	รายการ	หน้าที่
1	ชุดอุปกรณ์แหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์	ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับอุปกรณ์ทั้งหมดในระบบ โดยเลือกใช้แหล่งพลังงานที่มาจากแสงอาทิตย์ที่เป็นแหล่งพลังงานทางเลือกที่ประหยัดพลังงานที่สะอาดเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม
2	ชุดเซนเซอร์ตรวจวัดสภาพอากาศ	ประกอบไปด้วยเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณน้ำฝน และเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งอุปกรณ์ทั้ง 2 ชนิดจะทำหน้าที่ในการวัดค่าสภาพอากาศจากข้อมูลทางกายภาพ กล่าวคือ วัดค่าปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาผ่านอุปกรณ์ และวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านตัววัดอิเล็กทรอนิกส์ แปลงเป็นสัญญาณทางด้านไฟฟ้า

ลำดับที่	รายการ	หน้าที่
3	ชุดอุปกรณ์รับและแปลงค่าสัญญาณ	ใช้สำหรับการแปลงค่าสัญญาณทางไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆ เป็นข้อมูลตัวเลขหรือตัวอักษรเพื่อนำไปใช้กับหน่วยประมวลผล
4	ชุดอุปกรณ์ไมโครคอมพิวเตอร์	ประกอบไปด้วย ไมโครคอมพิวเตอร์และจอแสดงผล โดยไมโครคอมพิวเตอร์จะทำหน้าที่รับค่าตัวเลขหรือตัวอักษรจากชุดอุปกรณ์รับและแปลงค่าสัญญาณ เพื่อนำไปจัดเก็บลงในหน่วยความจำ ก่อนนำไปประมวลผลเพื่อใช้งานในรูปแบบต่างๆ เช่น การแสดงผลในรูปแบบข้อมูลกราฟผ่านทางจอแสดงผล การเก็บข้อมูลในรูปแบบไฟล์เอกสาร และการจัดส่งข้อมูลที่ตรวจวัดได้ผ่านระบบสื่อสารไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย เป็นต้น
5	ชุดอุปกรณ์ระบบสื่อสาร	เป็นตัวกลางในการส่งข้อมูลการตรวจวัดจากสถานีไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายผ่านระบบสื่อสารแบบไร้สาย ทั้งนี้เนื่องจากในปัจจุบันเทคโนโลยีระบบสื่อสารได้เข้าสู่ยุค Internet of Things ดังนั้นจึงได้มีใช้เทคโนโลยีในการติดต่อสื่อสารออกเป็น 2 ชนิดตามความเหมาะสมของพื้นที่ ได้แก่ เทคโนโลยีสื่อสารในระบบ 3G และเทคโนโลยีระบบสื่อสาร NB-IoT นั่นเอง

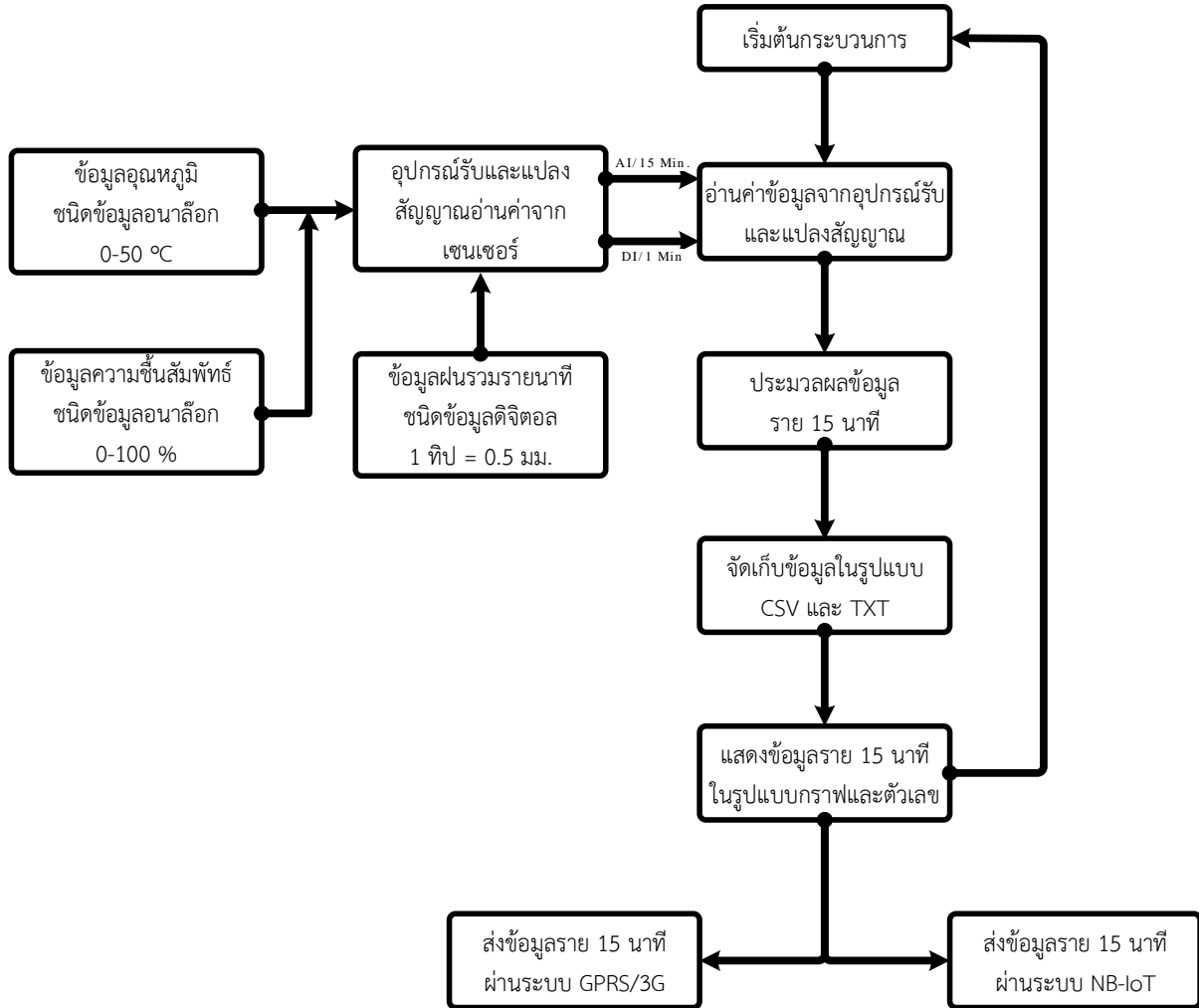
### 3.4.2.3 การทำงานของระบบตรวจวัดภูมิอากาศ

การทำงานตั้งแต่เริ่มกระบวนการจนถึงสิ้นสุดรอบการทำงาน ถูกกำหนดให้มีกระบวนการทำงานแบบวนลูปทุก 15 นาที เมื่อถึงระยะเวลาที่กำหนดไว้ โดยทุกๆ 1 นาที จะทำการอ่านค่าข้อมูลฝนซึ่งเป็นข้อมูลดิจิทัล และทุกๆ 15 นาที จะทำการอ่านค่าข้อมูลอุณหภูมิและความชื้น ซึ่งเป็นข้อมูลอนาล็อก ไมโครคอมพิวเตอร์จะทำการอ่านค่าข้อมูลที่หน่วยความจำของอุปกรณ์รับและแปลงสัญญาณที่อยู่ในรูปแบบตัวเลขหรือตัวอักษร แสดงแผนผังการทำงานของระบบตรวจวัดสภาพอากาศในรูปแบบที่ 3.4.2.3-1

ค่าปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมานั้นจะมีค่าเท่ากับ 0.5 มม. ต่อการกระดก 1 ครั้ง ตามคุณสมบัติการตรวจวัดของเครื่องมือ ข้อมูลจะถูกเก็บในรูปแบบจำนวนนับสะสมเมื่อถึงเวลาที่กำหนด 1 นาที ไมโครคอมพิวเตอร์จะทำการอ่านค่าข้อมูลในหน่วยความจำตามตำแหน่งที่กำหนดและทำการลบข้อมูลเพื่อเริ่มต้นการนับอีกครั้งเมื่อทำการอ่านค่าเสร็จ สำหรับค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์นั้นจะถูกวัดค่าด้วยเซนเซอร์อิเล็กทรอนิกส์ เมื่อถึงเวลาที่กำหนด 15 นาที ไมโครคอมพิวเตอร์จะทำการอ่านข้อมูลในหน่วยความจำตามตำแหน่งที่กำหนด โดยค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้จะอยู่ในรูปแบบข้อมูลอนาล็อกมาตรฐาน 4-20 mA. ซึ่งจะถูกนำมาประมวลผลที่ไมโครคอมพิวเตอร์ก่อนแปลงเป็นค่าข้อมูลจริงตามคุณสมบัติของเครื่องมือดังแสดงในตารางที่ 3.4.2.3-1

เมื่อไมโครคอมพิวเตอร์ได้ข้อมูลต่างๆ ที่ต้องการครบถ้วนแล้วจะทำการจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบ Text และ CSV เพื่อนำไปสู่กระบวนการแสดงผลข้อมูลในรูปแบบกราฟิกผ่านทางหน้าจอแสดงผล ซึ่งข้อมูลที่แสดงบนหน้าจอแสดงผลจะมีทั้งกราฟข้อมูลย้อนหลัง และตารางข้อมูล ณ เวลาปัจจุบัน ซึ่งภายหลังจาก

ไมโครคอมพิวเตอร์ดำเนินการจัดเก็บข้อมูลและแสดงผลที่หน้าจอเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ไมโครคอมพิวเตอร์จะทำการส่งข้อมูลที่ถูกรวบรวมผ่านทางระบบสื่อสารไปเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายและเจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบเพื่อนำข้อมูลไปใช้งานทางด้านการพยากรณ์หรือเผยแพร่ภายในองค์กรต่อไป ดังแสดงในตารางที่ 3.4.2.3-2



รูปที่ 3.4.2.3-1 กระบวนการทำงานของระบบตรวจวัดสภาพอากาศ

ตารางที่ 3.4.2.3-1 การแปลงค่าข้อมูลของเซนเซอร์จากสัญญาณมาตรฐาน 4-20 mA. เป็นค่าข้อมูลจริง

ลำดับที่	ข้อมูลการตรวจวัด	ชนิดมาตรฐานสัญญาณ (mA.)	ค่าข้อมูลจริง	หน่วยข้อมูลการตรวจวัด
1	อุณหภูมิ	อนาล็อก 4-20	0.00-50.00	°C
2	ความชื้นสัมพัทธ์	อนาล็อก 4-20	0.00-100.00	%

### ตารางที่ 3.4.2.3-2 การรับ-ส่งข้อมูลของสถานีตรวจวัดข้อมูล

ลำดับที่	ชื่อสถานี	เทคโนโลยีการสื่อสาร	ชนิดการส่งข้อมูล	ส่วนการรับข้อมูล
1	บ้านกว้างแคมป์	Social Media	ภาพถ่าย	เจ้าหน้าที่
2	โรงเรียนบ้านพุเข็ม	GPRS/3G	ไฟล์ข้อมูลดิบ	คอมพิวเตอร์แม่ข่าย
3	โรงเรียนบ้านพุสวรรค์	Social Media	ภาพถ่าย	คอมพิวเตอร์แม่ข่าย
4	โรงเรียนบ้านเสลา	NB-IoT	ข้อมูลตัวอักษร	เจ้าหน้าที่

### 3.5 ผลการจำลองข้อมูลฝนเรดาร์เข้าสู่สถานีติดตั้งเพิ่มเติม

เนื่องจากการติดตั้งสถานีเพิ่มเติมนั้น ดำเนินการแล้วเสร็จภายหลังการทำปฏิบัติการฝนหลวงปี พ.ศ. 2563 สิ้นสุดลง (ปฏิบัติการฝนหลวงปี 2563 เริ่มต้นเดือนกุมภาพันธ์ สิ้นสุดสิ้นเดือนพฤษภาคม 2563) เพื่อทดสอบสมมุติฐานว่าการติดตั้งสถานีให้มีการกระจายตัวและจำนวนสถานีมากพอและครอบคลุมแนวบินของการทำฝนหลวง จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจวัดข้อมูลฝนภาคพื้นดินให้มากยิ่งขึ้น คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการจำลองข้อมูลฝนจากข้อมูลเรดาร์ที่อยู่ในรูปแบบกริดซึ่งเป็นข้อมูลในอดีต เข้าเป็นข้อมูลของตำแหน่งสถานีที่ติดตั้งเพิ่มเติม 4 สถานี จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ยปริมาณฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินของ สสน. และ 4 สถานีใหม่ ด้วยเทคนิค IDW แล้วนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับข้อมูลฝนเรดาร์และข้อมูลฝนภาคพื้นดินช่วงปี พ.ศ. 2561 – 2563 อีกครั้งหนึ่ง ผลการเปรียบเทียบข้อมูลทั้ง 3 ชุดข้อมูล แสดงได้ดังตารางที่ 3.5-1 รูปแผนที่เส้นชั้นน้ำฝนจากทั้ง 3 ชุดข้อมูลแสดงในรูปที่ 3.5-1 และสรุปได้ว่า ปริมาณฝนที่ได้จากสถานีฝนภาคพื้นดิน รวม 4 สถานีใหม่ กับปริมาณฝนที่ได้จากเรดาร์ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ดีขึ้น โดยมีค่า  $r = 0.54$  และมีกราฟการกระจายตัวของความสัมพันธ์ดังรูปที่ 3.5-2

ตารางที่ 3.5-1 ผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนเฉลี่ยรายวันจากข้อมูลเรดาร์ สถานีภาคพื้นดิน และสถานีภาคพื้นดินรวมกับสถานีที่ติดตั้งใหม่ 4 สถานี

วันที่	Grid Radar Average	เฉลี่ยจากสถานีฝน สสน. ด้วยเทคนิค IDW	เฉลี่ยจากสถานีฝน สสน. + 4 สถานีใหม่ ด้วยเทคนิค IDW
4-Apr-18	4.69	0.35	3.50
11-Apr-18	1.14	0.01	0.04
15-Apr-18	0.00	1.12	0.93
16-Apr-18	0.36	0.00	0.00
17-Apr-18	0.00	20.27	12.35
19-Apr-18	11.86	5.48	7.44
20-Apr-18	0.00	0.20	0.13
21-Apr-18	8.26	0.23	0.11
22-Apr-18	14.66	0.12	2.69
25-Apr-18	4.18	0.00	0.21
26-Apr-18	28.96	0.21	16.74
30-Apr-18	12.64	4.66	4.66
2-May-18	22.61	2.04	2.64
3-May-18	23.18	3.55	11.85
4-May-18	0.04	3.46	1.76
5-May-18	24.05	4.68	13.27
8-May-18	0.68	0.44	2.59
19-Mar-19	8.94	1.47	1.98
21-Mar-19	6.30	1.88	1.60
26-Mar-19	1.61	0.00	0.00
27-Mar-19	9.46	0.06	0.58
28-Mar-19	13.96	7.81	11.41
29-Mar-19	5.63	1.68	1.57
31-Mar-19	1.74	0.00	0.30
1-Apr-19	9.15	11.48	10.21
3-Apr-19	15.32	1.57	2.51
5-Apr-19	20.60	6.58	7.79
6-Apr-19	7.13	1.45	2.32
15-Apr-19	12.91	3.28	3.68
16-Apr-19	11.27	2.70	3.98
19-Apr-19	3.57	0.00	3.35

ตารางที่ 3.5-1 ผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนเฉลี่ยรายวันจากข้อมูลเรดาร์ สถานีภาคพื้นดิน และสถานีภาคพื้นดินรวมกับสถานีที่ติดตั้งใหม่ 4 สถานี (ต่อ)

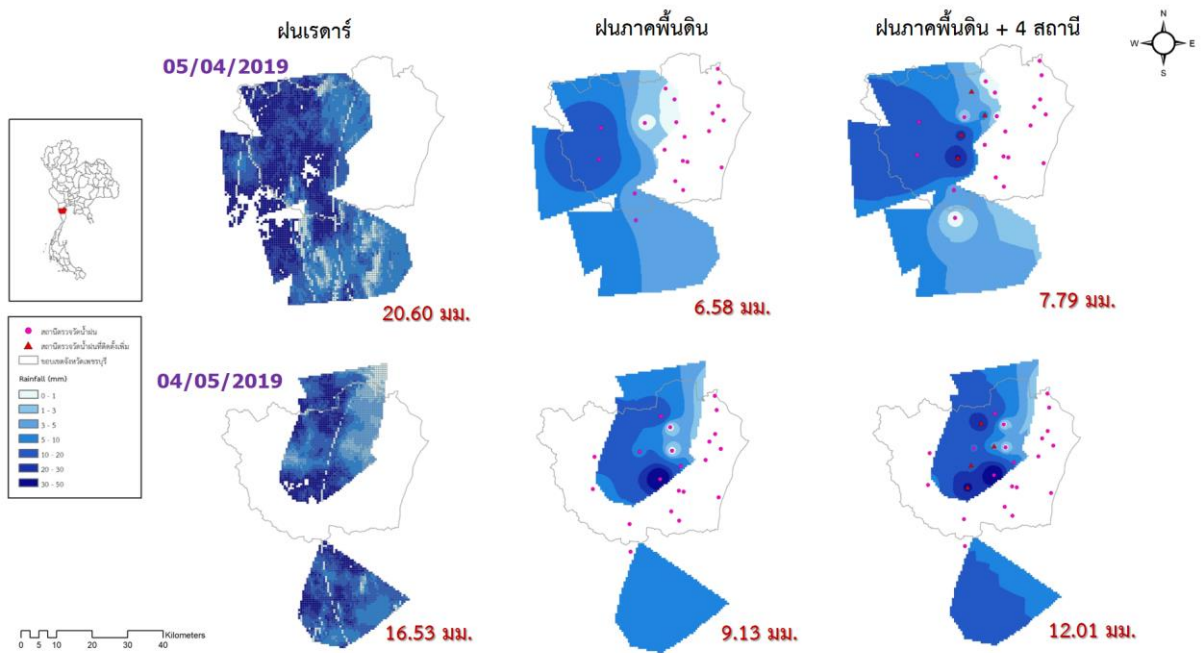
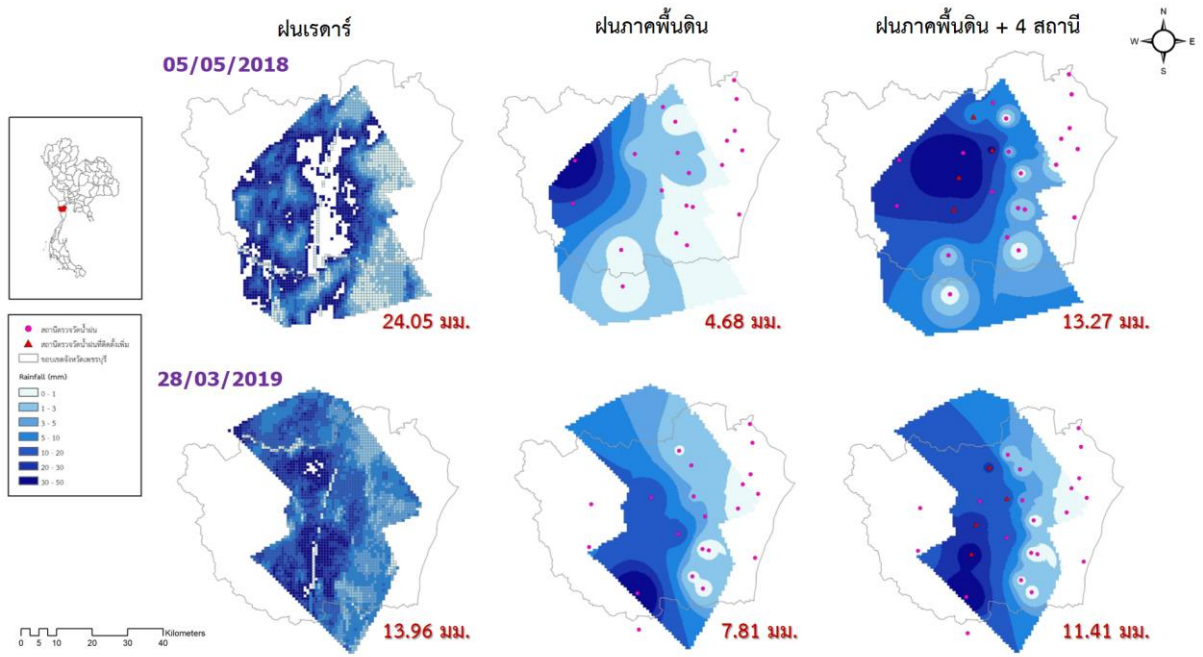
วันที่	Grid Radar Average	เฉลี่ยจากสถานีฝน สสน. ด้วยเทคนิค IDW	เฉลี่ยจากสถานีฝน สสน. + 4 สถานีใหม่ ด้วยเทคนิค IDW
20-Apr-19	3.37	1.05	1.50
22-Apr-19	0.16	2.10	1.84
26-Apr-19	10.81	0.00	0.00
28-Apr-19	2.57	0.71	0.71
1-May-19	5.02	1.83	1.83
4-May-19	16.53	9.13	12.01
5-May-19	4.17	0.46	0.46
6-May-19	7.44	8.01	9.40
8-May-19	6.56	2.87	5.67
15-May-19	7.34	1.85	2.58
16-May-19	7.10	4.03	4.53
17-May-19	9.53	1.76	4.39
19-May-19	5.68	1.79	2.12
21-May-19	34.78	8.90	14.05
22-May-19	8.93	4.46	4.68
23-May-19	20.75	8.82	9.43
24-May-19	15.20	1.61	1.61
1-Jun-19	10.17	3.29	5.90
28-Feb-20	0.23	0.01	0.14
29-Feb-20	0.36	0.00	0.00
2-Mar-20	0.70	0.00	0.01
4-Mar-20	0.87	0.01	1.31
6-Mar-20	1.18	0.00	0.04
13-Mar-20	0.09	0.00	0.01
15-Mar-20	13.31	3.00	4.44
16-Mar-20	0.10	0.36	0.25
18-Mar-20	19.39	0.54	2.06
20-Mar-20	5.97	1.36	1.45
21-Mar-20	3.87	0.00	0.07
2-Apr-20	0.80	0.20	0.19
3-Apr-20	13.40	0.00	0.07

ตารางที่ 3.5-1 ผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนเฉลี่ยรายวันจากข้อมูลเรดาร์ สถานีภาคพื้นดิน และสถานีภาคพื้นดินรวมกับสถานีที่ติดตั้งใหม่ 4 สถานี (ต่อ)

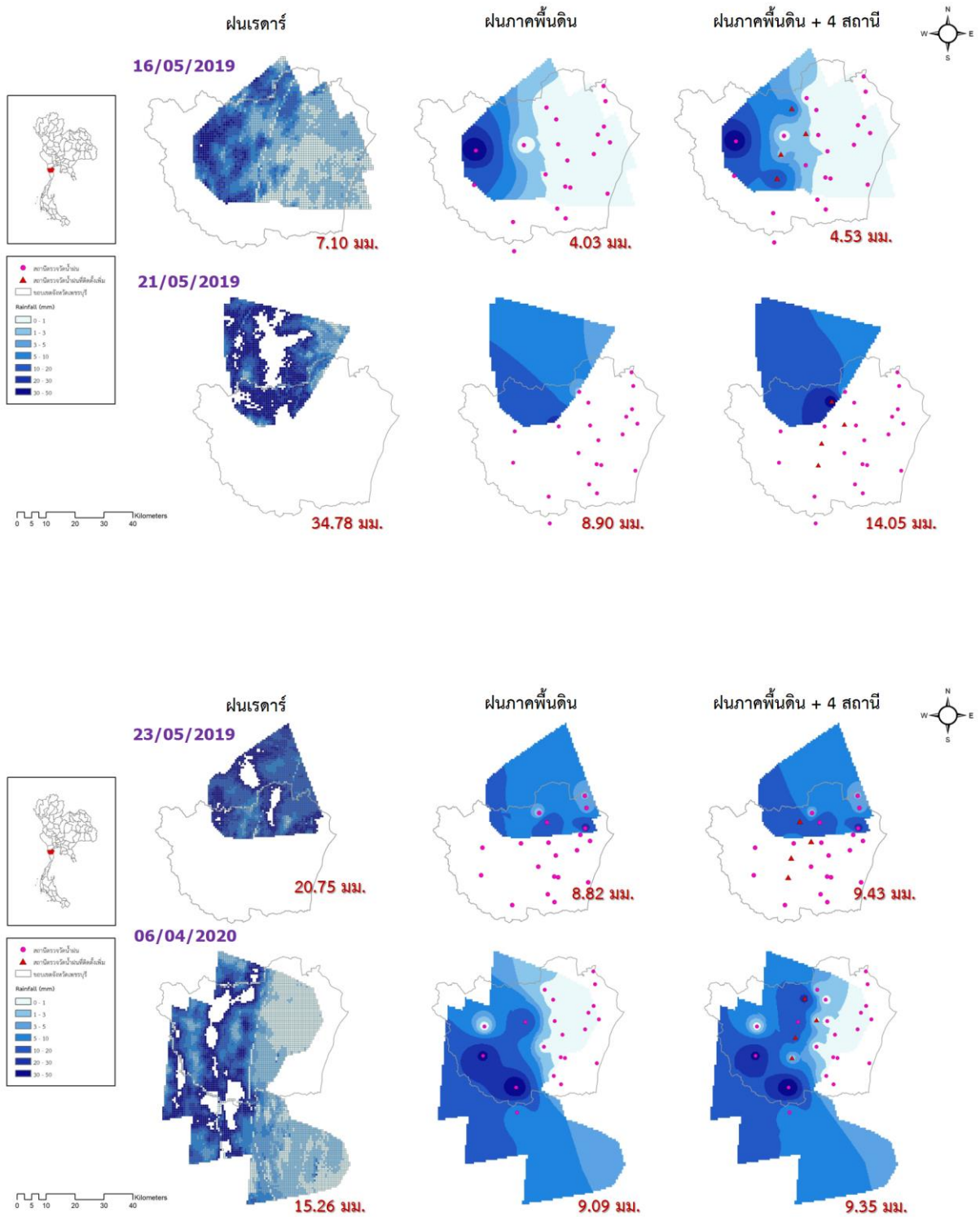
วันที่	Grid Radar Average	เฉลี่ยจากสถานีฝน สสน. ด้วยเทคนิค IDW	เฉลี่ยจากสถานีฝน สสน. + 4 สถานีใหม่ ด้วยเทคนิค IDW
4-Apr-20	3.66	0.55	0.54
5-Apr-20	13.54	0.79	0.71
6-Apr-20	15.26	9.09	9.35
7-Apr-20	5.88	4.66	5.68
8-Apr-20	3.49	2.22	2.22
9-Apr-20	1.74	0.01	0.21
10-Apr-20	12.08	2.93	9.06
11-Apr-20	18.34	2.96	3.00
12-Apr-20	11.12	3.23	4.06
13-Apr-20	1.97	29.12	24.33
14-Apr-20	1.65	7.95	7.95
15-Apr-20	1.33	0.78	0.78
16-Apr-20	20.74	3.17	8.22
17-Apr-20	0.00	2.65	2.27
18-Apr-20	6.64	1.09	2.33
19-Apr-20	6.79	0.52	1.58
22-Apr-20	1.77	0.00	0.15
25-Apr-20	9.48	7.14	6.95
26-Apr-20	3.52	0.09	0.26
27-Apr-20	8.16	8.49	9.64
29-Apr-20	0.00	3.30	2.90
30-Apr-20	1.64	0.37	0.49
1-May-20	4.53	0.30	0.67
2-May-20	3.64	0.22	0.98
3-May-20	2.25	0.00	0.26
5-May-20	2.28	0.54	0.62
6-May-20	4.62	0.62	1.10
7-May-20	6.34	1.05	2.24
8-May-20	7.44	1.91	2.00
9-May-20	2.08	0.11	0.23
11-May-20	17.58	1.85	3.41

ตารางที่ 3.5-1 ผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนเฉลี่ยรายวันจากข้อมูลเรดาร์ สถานีภาคพื้นดิน และสถานีภาคพื้นดินรวมกับสถานีที่ติดตั้งใหม่ 4 สถานี (ต่อ)

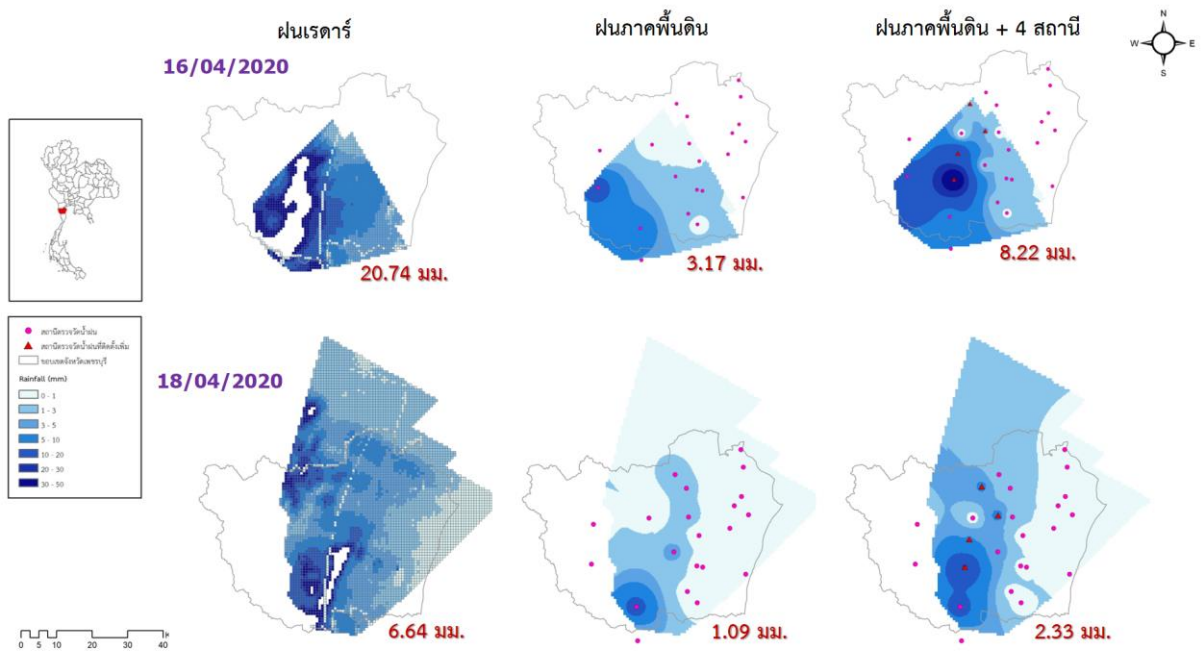
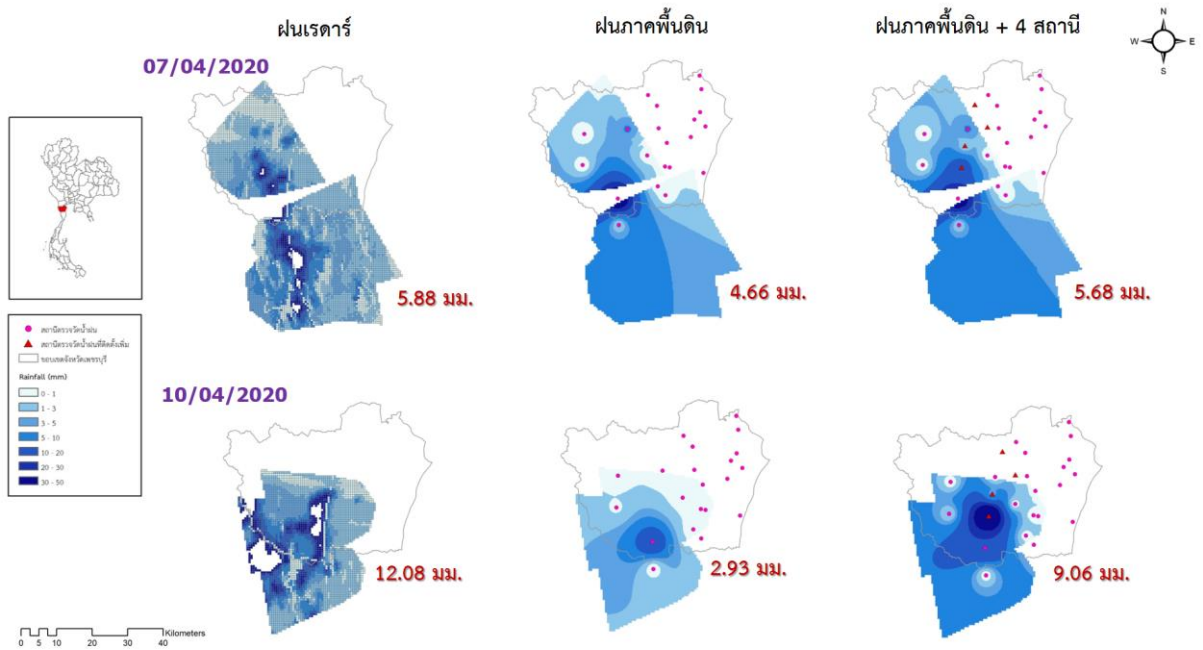
วันที่	Grid Radar Average	เฉลี่ยจากสถานีฝน สสน. ด้วยเทคนิค IDW	เฉลี่ยจากสถานีฝน สสน. + 4 สถานีใหม่ ด้วยเทคนิค IDW
12-May-20	0.08	0.00	0.00
13-May-20	1.82	0.04	0.09
14-May-20	10.96	0.01	0.13
15-May-20	3.67	0.32	0.45
17-May-20	3.92	1.03	1.06
18-May-20	7.59	6.02	5.72
19-May-20	1.69	0.12	0.12
21-May-20	0.99	1.22	1.20
22-May-20	3.40	0.01	1.73
23-May-20	8.26	6.13	7.56
24-May-20	6.97	1.87	3.66
25-May-20	8.33	3.78	5.95
26-May-20	21.64	6.52	7.16
27-May-20	6.99	0.85	1.44
28-May-20	5.92	4.84	4.84



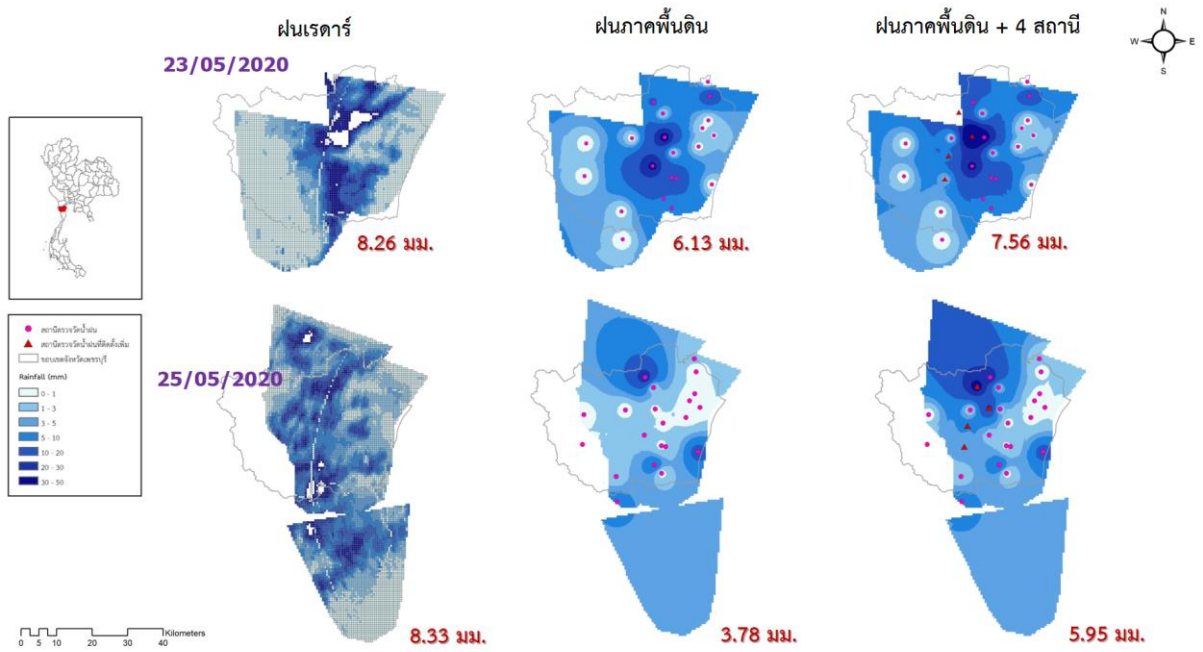
รูปที่ 3.5-1 แผนที่เส้นชั้นน้ำฝนเฉลี่ยรายวันจากข้อมูลเรดาร์ สถานีภาคพื้นดิน และสถานีภาคพื้นดินรวม กับสถานีที่ติดตั้งใหม่ 4 สถานี



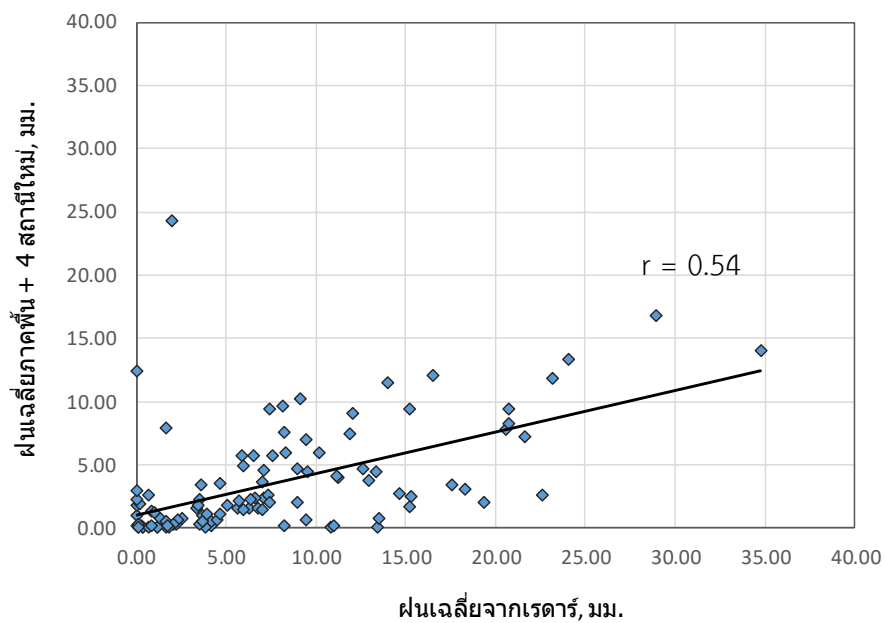
รูปที่ 3.5-1 แผนที่เส้นชั้นน้ำฝนเฉลี่ยรายวันจากข้อมูลเรดาร์ สถานีภาคพื้นดิน และสถานีภาคพื้นดินรวม กับสถานีที่ติดตั้งใหม่ 4 สถานี (ต่อ)



รูปที่ 3.5-1 แผนที่เส้นชั้นน้ำฝนเฉลี่ยรายวันจากข้อมูลเรดาร์ สถานีภาคพื้นดิน และสถานีภาคพื้นดินรวม กับสถานีที่ติดตั้งใหม่ 4 สถานี (ต่อ)



รูปที่ 3.5-1 แผนที่เส้นชั้นน้ำฝนเฉลี่ยรายวันจากข้อมูลเรดาร์ สถานีภาคพื้นดิน และสถานีภาคพื้นดินรวมกับสถานีที่ติดตั้งใหม่ 4 สถานี (ต่อ)



รูปที่ 3.5-2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างฝนจากเรดาร์และฝนจากสถานีภาคพื้นดิน

#### 4 สรุปและขอเสนอแนะ (Conclusion and Recommendation)

การวิจัยในครั้งนี้ เป็นการศึกษาเพื่อประเมินผลสัมฤทธิ์ของการทำฝนหลวงโดยการตรวจสอบจากปริมาณฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดินของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) ซึ่งเป็นค่าปริมาณฝนรายชั่วโมง นำมาค่าหาสะสมรายวันโดยใช้ระยะเวลาที่ครอบคลุมการขึ้นบินทำปฏิบัติการ และช่วงเวลาที่คาดว่าจะเกิดฝนตกหลังจากปฏิบัติการในช่วง 09.00 – 21.00 น. จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณฝนเฉลี่ยรายวันซึ่งได้จากเรดาร์ที่อยู่ในรูปของกริด มีการกระจายตัวตามพื้นที่ที่หวังผลสัมฤทธิ์ของแต่ละปฏิบัติการ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ ถือว่าข้อมูลฝนจากเรดาร์มีความถูกต้อง แม่นยำ ใช้เป็นข้อมูลปริมาณฝนอ้างอิงในการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การทำฝนหลวงได้

จากข้อมูลปฏิบัติการฝนหลวงจำนวน 148 ข้อมูล ที่ได้รับจากกรมฝนหลวงและการบินเกษตร นำมาคัดเลือกเฉพาะแนวบินที่อยู่ในขอบเขตพื้นที่จังหวัดเพชรบุรี คงเหลือ 108 ข้อมูล จำนวนวันฝนตก 175 วัน ไม่มีฝนตก 3 วัน ผลการเปรียบเทียบกับข้อมูลภาคพื้นดินให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์  $r$  เท่ากับ 0.21 อันเนื่องมาจากแนวบินส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ตอนบนของกลุ่มน้ำ โดยมีเป้าหมายเพื่อการเติมน้ำให้กับเขื่อนแก่งกระจานเป็นสำคัญ แต่ในบริเวณดังกล่าว สถานีตรวจวัดน้ำฝนภาคพื้นดินมีการกระจายตัวที่ไม่ครอบคลุมและเพียงพอ คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการติดตั้งสถานีวัดน้ำฝนและข้อมูลภูมิอากาศเพิ่มเติมในบริเวณพื้นที่ตอนบน จำนวน 4 สถานี ได้แก่ สถานีบ้านกร่างแคมป์ ต.ห้วยแม่เพรียง สถานีโรงเรียนบ้านพุเข็ม ต.แก่งกระจาน สถานีโรงเรียนบ้านพุสวรรค์ ต.พุสวรรค์ อ.แก่งกระจาน และ สถานีโรงเรียนบ้านท่าเสลา ต.ยางน้ำกลัดเหนือ อ.หนองหญ้าปล้อง จ.เพชรบุรี

จากนั้น เพื่อทดสอบสมมติฐานของการติดตั้งสถานีต่อประสิทธิภาพการตรวจวัดข้อมูลฝน จึงได้ทำการจำลองข้อมูลปริมาณฝนจากเรดาร์ช่วงปี พ.ศ. 2561-2563 เข้ามาที่ตำแหน่งสถานีทั้ง 4 สถานี นำมาหาค่าเฉลี่ยปริมาณฝนเชิงพื้นที่เป็นรายวัน แล้วนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับข้อมูลอ้างอิงใหม่อีกครั้งหนึ่ง ปรากฏว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่า  $r$  เท่ากับ 0.54 แต่อย่างไรก็ตาม ยังคงต้องรอผลการตรวจวัดจริงในช่วงของการทำปฏิบัติการฝนหลวงปี พ.ศ. 2564 จากอุปกรณ์ตรวจวัดที่ได้ทำการติดตั้งเพิ่มเติมนี้ และนำผลที่ได้มาประเมินผลสัมฤทธิ์ของการทำปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ. 2564 ต่อไป

## เอกสารอ้างอิง (References)

- James M. Fisher, Marion L. Lytle, Melvin L. Kunkel, Derek R. Blestrud, Nicholas W. Dawson, Shaun K. Parkinson, Ross Edwards, and Shawn G. Benner. 2018. Assessment of Ground-Based and Aerial Cloud Seeding Using Trace Chemistry. *Advances in Meteorology*. Volume 2018, Article ID 7293987, 15 pages  
<https://doi.org/10.1155/2018/7293987>
- Wu, X., Niu, S., Jin, D. et al. *Sci. China Earth Sci.* (2015) 58: 906. <https://doi.org/10.1007/s11430-015-5055-0>
- Zoljoodi, M. and Didevarasl, A. 1999. Evaluation of cloud seeding project in Yazd Province of Iran using historical regression method (case study: Yazd 1 cloud seeding project, 1999). *Natural Science*. Vol.5, No.9, 1006-1011 (2013),  
<http://dx.doi.org/10.4236/ns.2013.59124>
- สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (องค์การมหาชน). 2555. การดำเนินการด้านการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลโครงการพัฒนาระบบคลังข้อมูล 25 กลุ่มน้ำ และแบบจำลองน้ำท่วมน้ำแล้ง: กลุ่มน้ำเพชรบุรี. *กุมภาพันธ์ 2555*.



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

รหัสโครงการ PRP6305030930

เรื่อง

การวิเคราะห์ภาวะการขาดแคลนน้ำลุ่มน้ำเพชรบุรี

Water Deficit Analysis of Phetchaburi River Basin

โดย

ดร.เกศวรา สิทธิโชค

ดร.จตุเทพ วงษ์เพ็ชร

ดร.ชูพันธ์ ชมภูจันทร์

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภายใต้แผนงานวิจัย การเพิ่มผลสัมฤทธิ์และการลดความเสี่ยง  
ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)

ปีงบประมาณ พ.ศ. 2564

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่องการวิเคราะห์ภาวะการขาดแคลนน้ำลุ่มน้ำเพชรบุรี ได้รับทุนสนับสนุนจากการพัฒนาการวิจัยการเกษตร สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ในปี พ.ศ. 2563 นอกจากนี้ยังได้รับการสนับสนุนองค์ความรู้ของการปฏิบัติการฝนหลวง รวมถึงข้อมูลพื้นฐานของการปฏิบัติการฝนหลวงและข้อมูลปริมาณฝนจากการตรวจวัดด้วยเรดาร์จากกรมฝนหลวงและการบินเกษตร และข้อมูลพื้นฐานจากหน่วยราชการที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมพัฒนาที่ดิน และสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณความร่วมมือที่ได้รับจากหน่วยงานข้างต้นตลอดการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

นอกจากนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับข้อเสนอแนะ และข้อคิดเห็นในการดำเนินการศึกษาวิจัยครั้งนี้

คณะผู้วิจัย

## บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สภาวะการขาดแคลนน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี โดยมีขั้นตอนการศึกษาเริ่มจากการประเมินปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจากฝนธรรมชาติและการปฏิบัติการฝนหลวง จากนั้นจึงได้มีการประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า 2 แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลอง SWAT และแบบจำลอง DWCM ร่วมกับแบบจำลองการบริหารจัดการน้ำ MIKE-BASIN เพื่อประเมินสภาวะการขาดแคลนน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำและผลของการปฏิบัติการฝนหลวงที่เกิดขึ้นต่อการลดลงของสภาวะการขาดแคลนน้ำ และสุดท้ายประเมินถึงสภาวะการขาดแคลนน้ำเชิงพื้นที่โดยการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการประยุกต์ใช้ข้อมูลการตรวจวัดปริมาณฝนจาก 3 แหล่งข้อมูล ได้แก่ ปริมาณฝนจากการตรวจวัด ณ สถานี (Station) ปริมาณฝนจากการตรวจวัดดาวเทียม (JAXA) และปริมาณฝนจากการตรวจวัดด้วยเรดาร์ (Radar) ผลการศึกษาพบว่าปริมาณฝน Radar จะให้ค่าปริมาณฝนที่สูงที่สุด ในขณะที่ปริมาณฝน Station จะให้ค่าปริมาณฝนที่ต่ำที่สุด โดยหากพิจารณาจากข้อมูลในช่วง 3 ปี (2018-2020) เฉพาะในช่วงที่มีการปฏิบัติการฝนหลวงจะพบว่า ในการปฏิบัติการฝนหลวงแต่ละครั้ง ข้อมูลฝน Station และ JAXA จะประเมินปริมาณฝนที่เกิดขึ้นเฉลี่ย 5 และ 8 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ ในขณะที่ข้อมูลฝน Radar จะสามารถประเมินปริมาณฝนที่เกิดขึ้นได้สูงมากถึง 14 ล้าน ลบ.ม. และเมื่อประเมินถึงสัดส่วนการเกิดขึ้นของฝนหลวงต่อฝนธรรมชาติในวันที่มีการปฏิบัติการฝนหลวง พบว่าจากข้อมูลปริมาณฝนทั้ง 3 แหล่งข้อมูลจะให้ค่าสัดส่วนปริมาณฝนจากการปฏิบัติการฝนหลวงต่อฝนธรรมชาติเฉลี่ย 3 ปี อยู่ในช่วงระหว่าง 27%-36% จากข้อมูลปริมาณฝนทั้ง 3 แหล่งข้อมูล

ปริมาณฝนที่ประเมินได้ถูกนำมาประเมินปริมาณน้ำท่าไหลลงเขื่อนแก่งกระจานในช่วงปี 2018-2020 โดยพบว่าค่าเฉลี่ยจากแบบจำลอง 2 แบบจำลองในช่วงเวลา 3 ปี ให้ผลปริมาณน้ำท่ารายปีจากข้อมูลปริมาณฝน Station/JAXA/Radar เท่ากับ 1,064/1,067/1,875 ล้าน ลบ.ม. และเมื่อประเมินปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละครั้งมีค่าเฉลี่ยจากทั้ง 2 แบบจำลอง จากการนำเข้าข้อมูลปริมาณฝน Station/JAXA/Radar มีค่าเท่ากับ 0.97/2.83/5.98 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ ซึ่งเมื่อประเมินค่าเฉลี่ยจากปริมาณฝนทั้ง 3 แหล่ง พบว่า ปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติการฝนหลวงแต่ละครั้งมีค่าเท่ากับ 3.26 ล้าน ลบ.ม. จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจากการประเมินด้วยปริมาณฝน Radar ให้ค่าที่สูงที่สุด และเป็นไปตามปริมาณฝนที่ประเมินได้ข้างต้น

ผลจากการศึกษาสภาวะการขาดแคลนน้ำตั้งแต่อดีต-ปัจจุบัน (2002-2020) พบว่าอ่างเก็บน้ำโดยส่วนใหญ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอ่างเก็บน้ำวังยาวเป็นอ่างเก็บน้ำที่พบกับสภาวะความรุนแรงของการขาดแคลนน้ำสูงที่สุดในทุกกรณีของการศึกษา ในขณะที่อ่างเก็บน้ำห้วยทราย อุตสาหกรรมเพชรบุรี และประปาเพชรบุรี ไม่พบสภาวะการขาดแคลนน้ำ และโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรีพบสภาวะการขาดแคลนน้ำอยู่ในช่วงระหว่างเล็กน้อย - ปานกลาง ซึ่งสภาวะการขาดแคลนน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำและการบริหารจัดการน้ำที่ได้จากเขื่อนแก่งกระจานซึ่งเป็นเขื่อนขนาดใหญ่และเป็นเขื่อนหลักของพื้นที่ลุ่มน้ำ

นอกจากนั้นการศึกษาครั้งนี้ยังได้ประเมินถึงปริมาณของการขาดแคลนน้ำที่ลดลงเมื่อมีการปฏิบัติการฝนหลวงเปรียบเทียบกับเมื่อไม่มีการปฏิบัติการฝนหลวง พบว่าการปฏิบัติการฝนหลวงสามารถลดการขาดแคลนน้ำได้ในหลายพื้นที่ เช่น กิจกรรมการใช้น้ำ ฝ อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ ซึ่งสามารถลดการขาดแคลนน้ำได้อยู่ระหว่าง 1-14 ล้าน ลบ.ม. ขึ้นอยู่กับการประเมินโดยแบบจำลองและการเลือกใช้ข้อมูลปริมาณฝน และยังสามารถเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนสำหรับในช่วงต้นฤดูแล้งได้อยู่ในช่วงระหว่าง 1-60 ล้าน ลบ.ม.

และสุดท้ายผลการวิเคราะห์ภาวะการขาดแคลนน้ำเชิงพื้นที่โดยวิธีสำรวจระยะไกลด้วยภาพถ่ายดาวเทียม Terra/MODIS เพื่อประเมินดัชนีความแห้งแล้งด้านการเกษตรด้วยวิธี Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI) โดยแบ่งเป็นกลุ่มพื้นที่นาข้าวและกลุ่มพื้นที่พืชไร่/พืชสวน ผลการวิจัยพบว่าดัชนีความแห้งแล้ง TVDI สามารถนำมาประเมินติดตามสภาพความแห้งแล้งทางการเกษตรในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีได้ ค่าดัชนี TVDI แสดงให้เห็นว่าในช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคม พื้นที่การเกษตรทางทิศตะวันตกซึ่งอยู่นอกเขตพื้นที่ชลประทานมีสภาพความแห้งแล้งค่อนข้างสูง สอดคล้องกับผลการสำรวจภาคสนาม และจากผลการศึกษาพบว่าปฏิบัติการฝนหลวงในช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคมเป็นช่วงเวลาที่มีความเหมาะสมเนื่องจากเป็นช่วงที่มีระดับความรุนแรงจากความแห้งแล้งสูง โดยสามารถใช้เกณฑ์ค่า TVDI สูงกว่า 0.67 เป็นเกณฑ์ที่เหมาะสมในการตัดสินใจปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงจากการขาดแคลนน้ำได้

## สารบัญ

<b>1. บทนำ</b>	<b>2-11</b>
1.1 บทนำ	2-11
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	2-11
1.2 วัตถุประสงค์	2-12
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2-12
1.4 ทฤษฎีและแนวคิดในการดำเนินงานวิจัย	2-12
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2-21
<b>2. วิธีการดำเนินการวิจัย</b>	<b>2-21</b>
2.1 การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	2-22
2.2 การประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าและแบบจำลองสมดุลน้ำ	2-31
2.3 การประเมินปริมาณความต้องการน้ำ	2-50
2.4 การสำรวจระยะใกล้ด้วยภาพถ่ายดาวเทียม	2-52
<b>3. ผลการวิจัย</b>	<b>2-59</b>
3.1 การประเมินปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจากปฏิบัติการฝนหลวง	2-59
3.2 ความต้องการใช้น้ำลุ่มน้ำเพชรบุรี	2-67
3.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อประเมินปริมาณน้ำท่าไหลลงอ่างเก็บน้ำ	2-86
3.4 การประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อประเมินการขาดแคลนน้ำ ณ กิจกรรมการใช้น้ำ	2-98
3.5 การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อประเมินการขาดแคลนน้ำเชิงพื้นที่	2-152
<b>4. วิจารณ์ผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ</b>	<b>2-160</b>
4.1 การประเมินปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติการฝนหลวง	2-160
4.2 การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าจากฝนธรรมชาติและการปฏิบัติการฝนหลวง	2-161
4.3 การวิเคราะห์ภาวะการขาดแคลนน้ำจากกิจกรรมความต้องการใช้น้ำ โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองสมดุลน้ำและการจำลองปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ	2-163
4.4 การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อประเมินการขาดแคลนน้ำเชิงพื้นที่	2-164
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>2-166</b>

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1-1	สถานีตรวจวัดปริมาณฝน กรมอุตุนิยมวิทยา	2-23
ตารางที่ 2.1-2	การปฏิบัติการฝนหลวงบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีระหว่างปี พ.ศ. 2561-2563	2-27
ตารางที่ 2.2-1	ความหมายสัญลักษณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน	2-36
ตารางที่ 2.2-2	รายละเอียดแหล่งน้ำและกิจกรรมการใช้น้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี	2-45
ตารางที่ 2.2-3	เกณฑ์การบริหารจัดการน้ำลุ่มน้ำ	2-49
ตารางที่ 2.4-1	Coefficient for Savitzky-Golay Smoothing	2-54
ตารางที่ 2.4-2	การแปลผลดัชนี TVDI	2-57
ตารางที่ 3.1-1	ผลการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณฝนรวมทั้งหมดและปริมาณฝน	2-60
ตารางที่ 3.1-2	สรุปจำนวนการปฏิบัติการฝนหลวงรายเดือน	2-61
ตารางที่ 3.1-3	สัดส่วนปริมาณฝนหลวงต่อปริมาณฝนรวมรายเดือนทั้งหมดของการปฏิบัติการฝนหลวง	2-66
ตารางที่ 3.2-1	การใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2018	2-71
ตารางที่ 3.2-2	ปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภค – บริโภครวมในพื้นที่การประปาส่วนภูมิภาค	2-74
ตารางที่ 3.2-3	ตารางแสดงความต้องการน้ำของโรงงานอุตสาหกรรมแบ่งตามเขตประปาส่วนภูมิภาค	2-76
ตารางที่ 3.2-4	ปริมาณความต้องการน้ำเกษตรกรรมในเขตชลประทานจากข้อมูลปริมาณฝน ตรวจวัด (Station) กรณีมีฝนหลวง	2-78
ตารางที่ 3.2-5	ปริมาณความต้องการน้ำเกษตรกรรมในเขตชลประทานจากข้อมูลปริมาณฝน JAXA กรณีมีฝนหลวง	2-79
ตารางที่ 3.2-6	ปริมาณความต้องการน้ำเกษตรกรรมในเขตชลประทานจากข้อมูลปริมาณฝน Radar กรณีมีฝนหลวง	2-80
ตารางที่ 3.2-7	ปริมาณความต้องการน้ำเกษตรกรรมในเขตชลประทานจากข้อมูลปริมาณฝน ตรวจวัด (Station) กรณีไม่มีฝนหลวง	2-81
ตารางที่ 3.2-8	ปริมาณความต้องการน้ำเกษตรกรรมในเขตชลประทานจากข้อมูลปริมาณฝน JAXA กรณีไม่มีฝนหลวง	2-82
ตารางที่ 3.2-9	ปริมาณความต้องการน้ำเกษตรกรรมในเขตชลประทานจากข้อมูลปริมาณฝน Radar กรณีไม่มีฝนหลวง	2-83
ตารางที่ 3.2-10	สรุปความต้องการน้ำรวมของกลุ่มน้ำเพชรบุรีกรณีมีฝนหลวง	2-84
ตารางที่ 3.2-11	สรุปความต้องการน้ำรวมของกลุ่มน้ำเพชรบุรีกรณีไม่มีฝนหลวง	2-85
ตารางที่ 3.3-1	สรุปผลการเปรียบเทียบและทวนสอบแบบจำลอง	2-88

## สารบัญรูป

รูปที่ 1.4-1	การแปลความหมายทางกายภาพจากกราฟปฏิสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิพื้นผิว (Ts) กับค่าดัชนีพืชพรรณ (VI) (Petropoulos et al., 2009)	2-12
รูปที่ 1.4-2	กราฟปฏิสัมพันธ์ระหว่างค่าผลต่างอุณหภูมิพื้นผิวและอุณหภูมิอากาศ (Ts - Ta) กับค่าสัดส่วนพืชพรรณปกคลุมดิน (Virlet et al., 2014)	2-17
รูปที่ 2-1	ขั้นตอนการดำเนินงานของโครงการ	2-22
รูปที่ 2.1-1	ตำแหน่งสถานีตรวจวัดปริมาณฝน	2-24
รูปที่ 2.1-2	ตัวอย่างรูปแบบข้อมูลปริมาณฝนดาวเทียม	2-26
รูปที่ 2.1-3	แผนที่ระดับความสูงเชิงตัวเลขของพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี	2-30
รูปที่ 2.1-4	แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี	2-30
รูปที่ 2.1-5	ข้อมูลกลุ่มชุดดินในพื้นที่ลุ่มน้ำ	2-31
รูปที่ 2.1-6	ข้อมูลอ่างเก็บน้ำและพื้นที่ชลประทาน	2-31
รูปที่ 2.2-1	วงจรถูกทักท้วงและแนวทางการคำนวณในแบบจำลอง SWAT	2-34
รูปที่ 2.2-2	องค์ประกอบคำนวณของแบบจำลอง DWCM-AgWU	2-38
รูปที่ 2.2-3	เซลล์คำนวณและทิศทางการไหลในแบบจำลอง DWCM-AgWU	2-40
รูปที่ 2.2-4	การทำงานของแบบจำลอง Mike Hydro (Basin)	2-43
รูปที่ 2.2-5	การบริหารจัดการน้ำโดยแบบจำลอง Mike Hydro (Basin)	2-45
รูปที่ 2.2-6	ค่าระดับของอ่างเก็บน้ำ	2-46
รูปที่ 2.2-7	เกณฑ์การบริหารจัดการน้ำอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน	2-48
รูปที่ 2.2-8	แผนผังระบบลุ่มน้ำเพชรบุรี	2-49
รูปที่ 2.4-1	ตัวอย่างข้อมูลภาพดัชนีพืชพรรณแบบ NDVI และอุณหภูมิพื้นผิว (LST)	2-53
รูปที่ 2.4-2	ตัวอย่างค่าอนุกรมเวลา NDVI ของพืชพรรณในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี	2-55
รูปที่ 2.4-3	ร้อยละจำนวนจุดภาพอุณหภูมิพื้นผิวในพื้นที่ศึกษาที่สามารถนำมาคำนวณได้	2-55
รูปที่ 2.4-4	The NDVI-LST Feature Space	2-56
รูปที่ 2.4-5	แผนที่แสดงพื้นที่ศึกษาและจุดพิกัดเก็บตัวอย่างดิน	2-58
รูปที่ 3.1-1	ปริมาณฝนหลวงและฝนรวมทั้งหมดรายเดือนระหว่างปี 2018-2020 ช่วงวันที่มีการปฏิบัติการฝนหลวง (มม.)	2-62
รูปที่ 3.1-2	ปริมาณฝนหลวงและฝนรวมทั้งหมดรายเดือนระหว่างปี 2018-2020 ช่วงวันที่มีการปฏิบัติการฝนหลวง (ล้าน ลบ.ม.)	2-63
รูปที่ 3.1-3	ปริมาณฝนเชิงพื้นที่ของ Station JAXA และ Radar วันที่ 29 เมษายน 2019	2-64
รูปที่ 3.1-4	ปริมาณฝนเชิงพื้นที่ของ Station JAXA และ Radar วันที่ 23 พฤษภาคม 2019	2-65
รูปที่ 3.1-5	ปริมาณฝนเชิงพื้นที่ของ Station JAXA และ Radar วันที่ 8 มิถุนายน 2019	2-65

รูปที่ 3.2-1	แผนผังระบบลุ่มน้ำเพชรบุรี	2-69
รูปที่ 3.2-2	การใช้ประโยชน์ที่ดินในลุ่มน้ำเพชรบุรีปี 2018	2-72
รูปที่ 3.2-3	ขอบเขตความรับผิดชอบการประปาส่วนภูมิภาคในลุ่มน้ำเพชรบุรี	2-73
รูปที่ 3.2-4	โค้งแสดงสภาพการไหลของแม่น้ำเพชรบุรี ณ สถานี B.10	2-76
รูปที่ 3.3-1	ผลการเปรียบเทียบและทวนสอบแบบจำลอง ณ เขื่อนแก่งกระจาน (ปริมาณน้ำเข้าเขื่อน)	2-89
รูปที่ 3.3-2	ผลการเปรียบเทียบและทวนสอบแบบจำลอง ณ สถานีตรวจวัดน้ำ B9	2-90
รูปที่ 3.3-3	ผลการเปรียบเทียบและทวนสอบแบบจำลอง ณ สถานีตรวจวัดน้ำ B10	2-91
รูปที่ 3.3-4	ผลเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานรายปีระหว่าง ปริมาณฝนรวมทั้งหมดและปริมาณฝนที่ไม่มีการปฏิบัติการฝนหลวง	2-94
รูปที่ 3.3-5	ผลเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานรายเดือนระหว่าง ปริมาณฝนรวมทั้งหมดและปริมาณฝนที่ไม่มีการปฏิบัติการฝนหลวง	2-97
รูปที่ 3.4-1	ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ (SWAT-Mike Hydro (Basin) + Station)	2-100
รูปที่ 3.4-2	ผลการขาดแคลนน้ำด้านช่วงเวลา (SWAT-Mike Hydro (Basin) + Station)	2-101
รูปที่ 3.4-3	ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ (SWAT-Mike Hydro (Basin) + Station)	2-102
รูปที่ 3.4-4	ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ (SWAT-Mike Hydro (Basin) + JAXA)	2-104
รูปที่ 3.4-5	ผลการขาดแคลนน้ำด้านช่วงเวลา (SWAT-Mike Hydro (Basin) + JAXA)	2-105
รูปที่ 3.4-6	ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ (SWAT-Mike Hydro (Basin) + JAXA)	2-106
รูปที่ 3.4-7	ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ (SWAT-Mike Hydro (Basin) + Radar)	2-108
รูปที่ 3.4-8	ผลการขาดแคลนน้ำด้านช่วงเวลา (SWAT-Mike Hydro (Basin) + Radar)	2-109
รูปที่ 3.4-9	ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ (SWAT-Mike Hydro (Basin) + Radar)	2-110
รูปที่ 3.4-10	ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ (DWCM-Mike Hydro (Basin) + Station)	2-112
รูปที่ 3.4-11	ผลการขาดแคลนน้ำด้านช่วงเวลา (DWCM-Mike Hydro (Basin) + Station)	2-113
รูปที่ 3.4-12	ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ (DWCM-Mike Hydro (Basin) + Station)	2-114
รูปที่ 3.4-13	ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ (DWCM-Mike Hydro (Basin) + JAXA)	2-116
รูปที่ 3.4-14	ผลการขาดแคลนน้ำด้านช่วงเวลา (DWCM-Mike Hydro (Basin) + JAXA)	2-117
รูปที่ 3.4-15	ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ (DWCM-Mike Hydro (Basin) + JAXA)	2-115
รูปที่ 3.4-16	ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ (DWCM-Mike Hydro (Basin) + Radar)	2-120
รูปที่ 3.4-17	ผลการขาดแคลนน้ำด้านช่วงเวลา (DWCM-Mike Hydro (Basin) + Radar)	2-121
รูปที่ 3.4-18	ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ (DWCM-Mike Hydro (Basin) + Radar)	2-122
รูปที่ 3.4-19	ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ กรณีมีฝนหลวง (SWAT- Mike Hydro (Basin) + Station)	2-125
รูปที่ 3.4-20	ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ <u>กรณีมีฝนหลวง</u> (SWAT- Mike Hydro (Basin) + Radar)	2-126

รูปที่ 3.4-21	ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ <u>กรณีไม่มีฝนหลวง</u> (SWAT- Mike Hydro (Basin) + Radar)	2-127
รูปที่ 3.4-22	ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ <u>กรณีไม่มีฝนหลวง</u> (SWAT- Mike Hydro (Basin) + Radar)	2-128
รูปที่ 3.4-23	ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ <u>กรณีมีฝนหลวง</u> (SWAT- Mike Hydro (Basin) + JAXA)	2-130
รูปที่ 3.4-24	ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ <u>กรณีมีฝนหลวง</u> (SWAT- Mike Hydro (Basin) + JAXA)	2-131
รูปที่ 3.4-25	ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ <u>กรณีไม่มีฝนหลวง</u> (SWAT- Mike Hydro (Basin) + JAXA)	2-132
รูปที่ 3.4-26	ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ <u>กรณีไม่มีฝนหลวง</u> (SWAT- Mike Hydro (Basin) + JAXA)	2-133
รูปที่ 3.4-27	ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ <u>กรณีมีฝนหลวง</u> (SWAT- Mike Hydro (Basin) + Radar)	2-134
รูปที่ 3.4-28	ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ <u>กรณีมีฝนหลวง</u> (SWAT- Mike Hydro (Basin) + Radar)	2-135
รูปที่ 3.4-29	ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ <u>กรณีไม่มีฝนหลวง</u> (SWAT- Mike Hydro (Basin) + Radar)	2-136
รูปที่ 3.4-30	ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ <u>กรณีไม่มีฝนหลวง</u> (SWAT- Mike Hydro (Basin) + Radar)	2-137
รูปที่ 3.4-31	ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ <u>กรณีมีฝนหลวง</u> (DWCM- Mike Hydro (Basin) + Station)	2-139
รูปที่ 3.4-32	ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ <u>กรณีมีฝนหลวง</u> (DWCM- Mike Hydro (Basin) + Station)	2-140
รูปที่ 3.4-33	ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ <u>กรณีไม่มีฝนหลวง</u> (DWCM- Mike Hydro (Basin) + Station)	2-141
รูปที่ 3.4-34	ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ <u>กรณีไม่มีฝนหลวง</u> (DWCM- Mike Hydro (Basin) + Station)	2-142
รูปที่ 3.4-35	ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ <u>กรณีมีฝนหลวง</u> (DWCM- Mike Hydro (Basin) + JAXA)	2-143
รูปที่ 3.4-36	ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ <u>กรณีมีฝนหลวง</u> (DWCM- Mike Hydro (Basin) + JAXA)	2-144

## สารบัญรูป

รูปที่ 3.4-37	ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ <u>กรณีไม่มีฝนหลวง</u> (DWCM- Mike Hydro (Basin) + JAXA)	2-145
รูปที่ 3.4-38	ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ <u>กรณีไม่มีฝนหลวง</u> (DWCM- Mike Hydro (Basin) + JAXA)	2-146
รูปที่ 3.4-39	ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ <u>กรณีมีฝนหลวง</u> (DWCM- Mike Hydro (Basin) + Radar)	2-148
รูปที่ 3.4-40	ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ <u>กรณีมีฝนหลวง</u> (DWCM- Mike Hydro (Basin) + Radar)	2-149
รูปที่ 3.4-41	ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ <u>กรณีไม่มีฝนหลวง</u> (DWCM- Mike Hydro (Basin) + Radar)	2-150
รูปที่ 3.4-42	ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ <u>กรณีไม่มีฝนหลวง</u> (DWCM- Mike Hydro (Basin) + Radar)	2-151
รูปที่ 3.5-1	NDVI-LST Feature Space ของพื้นที่นาข้าว และพื้นที่พีชไร่/พีชสวน	2-152
รูปที่ 3.5-2	ตัวอย่างการคำนวณดัชนี TVDI	2-153
รูปที่ 3.5-3	ภาพตัวอย่างการคำนวณค่า TVDI และภาพถ่ายสภาพ การเพาะปลูกจากการสำรวจภาคสนาม	2-155
รูปที่ 3.5-4	กราฟอนุกรมเวลาค่าเฉลี่ย TVDI ระหว่างพื้นที่ในเขตและนอกเขตชลประทาน	2-156
รูปที่ 3.5-5	ค่าเฉลี่ยดัชนี TVDI ช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคมย้อนหลัง 3 ปี	2-157
รูปที่ 3.5-6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี TVDI กับความชื้นสัมพัทธ์	2-159

## 1. บทนำ (Introduction)

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

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

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติการฝนหลวงให้สอดคล้องกับความต้องการของประชาชนที่อยู่ในพื้นที่ในช่วงเวลาปัจจุบัน รวมถึงการวางแผนปฏิบัติการฝนหลวงในอนาคตให้สอดคล้องกับช่วงเวลาที่ขาดแคลนน้ำ การศึกษาถึงปริมาณน้ำฝน-น้ำท่าที่ได้จากปฏิบัติการฝนหลวงตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ร่วมกับการศึกษาถึงความต้องการน้ำของภาคส่วนต่างๆ ทั้งทางภาคเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และครัวเรือน ทั้งในเชิงของพื้นที่และเวลา และการศึกษาถึงสมดุลน้ำเพื่อประเมินถึงสภาวะการขาดแคลนน้ำที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้ จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะช่วยเสริมการวางแผนปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละครั้งให้ได้ประโยชน์ต่อประชาชนในพื้นที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งการดำเนินการศึกษานี้สอดคล้องกับนโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติในการที่จะนำผลการวิจัยและองค์ความรู้ที่ได้รับไปใช้ประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรม โดยการประสานงานทั้งทางด้านการวิจัยและการนำผลจากการวิจัยไปใช้ประโยชน์กับกรมฝนหลวงและการบินการเกษตร และสอดคล้องกับยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศตามแผนการพัฒนาศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติในการเน้นที่จะพัฒนาทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และการวิจัย เพื่อเสริมสร้างความมั่นคงทางด้านการบริหารจัดการน้ำต่อไปในอนาคต

พื้นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี มีพื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 6,260 ตารางกิโลเมตร เป็นพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินหลากหลายประเภททั้งพื้นที่ป่าไม้ พื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่ชุมชนเมือง มีพื้นที่กักเก็บน้ำหลักได้แก่เขื่อนแก่งกระจานอยู่ในลุ่มน้ำเพชรบุรีตอนบน ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่ด้านเหนือเขื่อนจะเป็นพื้นที่ป่าอนุรักษ์ และมีเขื่อนเพชรทำหน้าที่ทดน้ำเข้าสู่ระบบชลประทานเพื่อใช้ในกิจกรรมการเกษตร โดยพื้นที่บริเวณลุ่มน้ำเพชรบุรีนี้ได้มีการปฏิบัติการฝนหลวงมาอย่างต่อเนื่องโดยศูนย์ฝนหลวงหัวหิน เพื่อเพิ่มความชุ่มชื้นในป่าและเพิ่มปริมาณน้ำในพื้นที่เก็บกักน้ำเมื่อมีปริมาณน้ำต่ำกว่าจุดที่กำหนด จากลักษณะของพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีที่ประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำในบางช่วง และลักษณะพื้นที่ที่มีความหลากหลายส่งผลต่อความต้องการน้ำที่แตกต่างกัน รวมถึงปฏิบัติการฝนหลวงในพื้นที่ที่มีมาอย่างต่อเนื่อง พื้นที่นี้จึงถูกเลือกให้เป็นพื้นที่ศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติการฝนหลวงต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าจากฝนธรรมชาติและปฏิบัติการฝนหลวงโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า
- 2) เพื่อวิเคราะห์ภาวะการขาดแคลนน้ำจากกิจกรรมความต้องการใช้น้ำต่างๆ โดยประยุกต์ใช้แบบจำลองสมดุลน้ำและการจำลองปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ
- 3) เพื่อวิเคราะห์ภาวะการขาดแคลนน้ำเชิงพื้นที่โดยวิธีสำรวจจากระยะไกลด้วยภาพถ่ายดาวเทียม

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ได้มีการกำหนดขอบเขตการวิจัย ได้แก่การประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า ซึ่งได้มีการกำหนดการใช้งานแบบจำลอง 2 แบบจำลองได้แก่ แบบจำลอง Soil and Water Assessment Tool (SWAT) เป็นแบบจำลองที่มีลักษณะเป็นแบบ Semi-distributed model และแบบจำลอง แบบจำลอง Distributed Water Circulation Model incorporating with Agricultural Water Use (DWCM-AgWU) (DWCM) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่มีลักษณะแบบ Fully-distributed model นอกจากนี้การประเมินปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจากฝนธรรมชาติและการปฏิบัติการฝนหลวงได้ดำเนินการศึกษาโดยเน้นในพื้นที่เหนือเขื่อนแก่งกระจาน เนื่องจากเป็นแหล่งกักเก็บน้ำหลักที่สำคัญต่อกิจกรรมการใช้น้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำ

## 1.4 ทฤษฎีและแนวคิดในการดำเนินงานวิจัย

### 1.4.1 ทฤษฎีแบบจำลองน้ำฝน - น้ำท่า

#### 1) Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

แบบจำลอง SWAT (Soil and Water Assessment Tool) เป็นแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าที่พัฒนาโดยความร่วมมือระหว่าง USDA Agricultural Research Service (ARS) และ Blackland Research & Extension Center สามารถใช้ประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน และ/หรือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีผลต่อปริมาณน้ำ ปริมาณตะกอน สารเคมีที่ใช้ในการเกษตรในพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีลักษณะของดินและการใช้ประโยชน์ที่ดินที่หลากหลาย นอกจากนี้ยังสามารถใช้สำหรับพื้นที่ที่ไม่มีการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดทางด้านอุทกวิทยา (No gauge station) เพื่อใช้ประเมินถึงปัจจัยต่างๆที่ต้องการศึกษา

แบบจำลอง SWAT เป็นแบบจำลองทางกายภาพ (Physically based model) ซึ่งจะใช้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ลุ่มน้ำหลายปัจจัย เช่น สภาพอากาศ ลักษณะและคุณสมบัติของดิน ลักษณะของพื้นที่ลุ่มน้ำ เช่น

ความสูงของพื้นที่ลุ่มน้ำ เส้นลำน้ำ การใช้ประโยชน์ที่ดิน เพื่อจำลองลักษณะด้านอุทกวิทยาของแหล่งน้ำ โดย SWAT มีลักษณะของแบบจำลองที่เป็นแบบ Distributed-parameter model ซึ่งจะแบ่งพื้นที่ในลุ่มน้ำหลักเป็น ลุ่มน้ำย่อย (Sub-watershed) และในแต่ละลุ่มน้ำย่อยจะถูกแบ่งเป็นเป็นกลุ่มย่อยเรียกว่า Hydrological Response Unit (HRUs) โดยขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน ชนิดของดิน และความชันของพื้นที่ ซึ่ง ลักษณะทางด้านอุทกวิทยาในแต่ละ HRU จะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป (รายละเอียดแสดงดังบทที่ 2 หัวข้อ 2.2)

## 2) Distributed Water Circulation Model incorporating with Agricultural Water Use (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. แบบจำลองคำนวณการไหลเวียนของน้ำในแต่ละเซลล์ตลอดพื้นที่ลุ่มน้ำโดยพิจารณาการใช้น้ำทางภาคเกษตร โดยเฉพาะข้าวที่ใช้น้ำฝนในการเพาะปลูก (Rain-fed paddy) ผ่านแบบจำลองย่อย 4 แบบจำลองได้แก่

- 1) แบบจำลองย่อยการประมาณการณ์การคายระเหยของพืชอ้างอิง
- 2) แบบจำลองย่อยการพยากรณ์ระยะเวลาและพื้นที่การเพาะปลูก
- 3) แบบจำลองย่อยการคำนวณใช้น้ำในนาข้าว
- 4) แบบจำลองย่อยน้ำท่า

โดยมีรายละเอียดของแบบจำลองแสดงดังบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.2

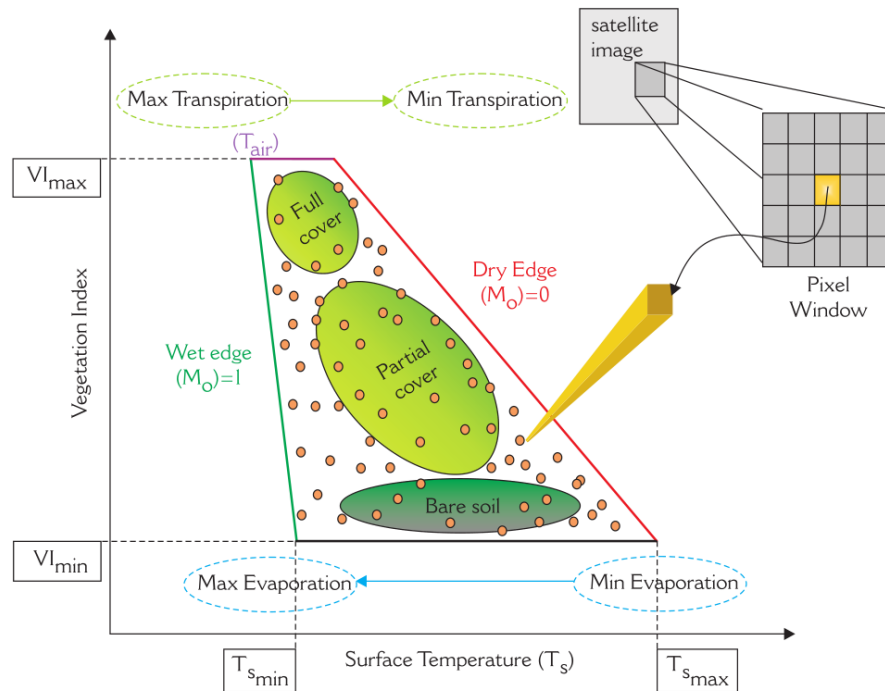
### 1.4.2 การประเมินความชื้นในดินด้วยภาพถ่ายดาวเทียม

ความชื้นในดินเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่สำคัญที่ใช้ในการบ่งชี้ถึงสภาพความแห้งแล้งทางการเกษตร (agricultural drought) เนื่องจากความชื้นในดินส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชและผลผลิตพืช อย่างไรก็ตาม การตรวจวัดความชื้นในดินมีข้อจำกัดเฉพาะพื้นที่ การประเมินความชื้นในดินเชิงพื้นที่ขนาดใหญ่จะมีความแปรปรวนสูงเนื่องจากพื้นที่แต่ละแห่งมีคุณสมบัติดิน สภาพภูมิประเทศและชนิดพืชคลุมดินที่แตกต่างกัน ดังนั้นวิธีการสำรวจจากระยะไกลด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียมจึงเป็นเครื่องมือที่เหมาะสมในการตรวจวัดความชื้นในดินในพื้นที่ขนาดใหญ่

มีงานวิจัยจำนวนมากที่นำเสนอเทคนิคการสำรวจจากระยะไกลโดยใช้ช่วงคลื่นตามองเห็น (visible) ช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน (thermal infrared) และช่วงคลื่นไมโครเวฟ (microwave) อย่างไรก็ตาม วิธีสำรวจระยะไกลไม่ได้ทำการตรวจวัดข้อมูลความชื้นจากดินโดยตรง ดังนั้นจึงมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จำนวนมากที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อหาความสัมพันธ์และแปลผลการตรวจวัดจากช่วงคลื่นต่างๆ ให้เป็นค่าความชื้นในดิน (Wang

and Qu, 2009) รวมทั้งแปลงค่าพารามิเตอร์พื้นผิว (surface parameter) จากภาพถ่ายดาวเทียม อาทิ ค่าการสะท้อนแสงจากพื้นผิว (surface albedo,  $\alpha$ ), ค่าดัชนีพืชพรรณ (vegetation index, VI) และค่าอุณหภูมิพื้นผิว (surface temperature,  $T_s$ ) ให้เป็นพารามิเตอร์ทางด้านพลังงาน ได้แก่ พลังงานรังสีแสงอาทิตย์สุทธิ (net radiation,  $R_n$ ) พลังงานความร้อนของการระเหย (heat flux of evaporation,  $\lambda E$ ) พลังงานความร้อนในอากาศ (sensible heat flux,  $H$ ) และพลังงานความร้อนในดิน (soil heat flux,  $G$ ) เพื่อใช้ในการคำนวณสมดุลพลังงาน และประเมินหาค่าการคายระเหยน้ำ (evapotranspiration, ET) หรือประเมินดัชนีความแห้งแล้ง (drought indices) เป็นต้น ดังเช่น วิธี Surface Energy Balance Algorithm for Land หรือ SEBAL (Bastiaanssen et al., 1998) วิธี Simplified-Surface Energy Balance Index หรือ S-SEBI (Roerink, 2000) วิธี Surface Energy Balance System หรือ SEBS (Su, 2002)

แนวทางอีกวิธีหนึ่งที่เป็นที่นิยมใช้ในการประเมินความชื้นในดินคือ การแปลความหมายทางกายภาพที่ได้จากการพล็อตกราฟปริภูมิระหว่างค่าอุณหภูมิพื้นผิว ( $T_s$ ) กับค่าดัชนีพืชพรรณ (VI) ดังแสดงในรูปที่ 1.4-1 ซึ่งมีทั้งวิธีพล็อตกราฟความสัมพันธ์เป็นรูปทรงสามเหลี่ยม (triangular shape) หรือรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal shape) วิธีพล็อตกราฟนี้เป็นการลดทอนข้อมูลและพารามิเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการในเชิงกายภาพให้เหลือเพียงความสัมพันธ์แบบเอมพิริคัลบนแผนภาพปริภูมิดัชนีพืช-อุณหภูมิพื้นผิว ( $T_s/VI$ ) โดยอุณหภูมิพื้นผิวในที่นี้หมายถึงอุณหภูมิที่ผิวดินหรือพื้นผิวของสิ่งที่ปกคลุมดินนั้นอยู่ อุณหภูมิพื้นผิวสามารถหาได้จากข้อมูลในช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน โดยในช่วงคลื่นนี้จะแสดงค่าความร้อนที่แผ่ออกมาจากพื้นผิววัตถุต่าง ๆ ส่วนดัชนีพืชพรรณในที่นี้คำนวณจากการนำช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณมาทำสัดส่วนซึ่งกันและกัน แล้วให้ผลลัพธ์ในการจำแนกบริเวณที่มีพืชพรรณปกคลุม (biomass) กับบริเวณที่ไม่ใช่พืชพรรณ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการติดตามการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของพืชพรรณและสถานการณ์สิ่งแวดล้อมในพื้นที่ที่ศึกษา (ศุทธิณี, 2543) ตัวอย่างดัชนีพืชพรรณ เช่น ดัชนี NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ดัชนี SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) ดัชนี EVI (Enhanced Vegetation Index) เป็นต้น



รูปที่ 1.4-1 การแปลความหมายทางกายภาพจากกราฟปฏิสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิพื้นผิว ( $T_s$ ) กับค่าดัชนีพืชพรรณ (VI) (Petropoulos et al., 2009)

สำหรับดัชนีพืชพรรณที่นิยมใช้งานมากที่สุด ได้แก่ ดัชนี NDVI ซึ่งเป็นการทำสัดส่วนระหว่างช่วงคลื่น 2 ช่วงคลื่นที่ปรับให้เป็นลักษณะการกระจายแบบปกติ คือ นำช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้มาลบกับช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง แล้วหารด้วยผลบวกของช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และช่วงคลื่นตามองเห็น ดังสมการที่

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

โดย  $NIR$  = การสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (%)

$RED$  = การสะท้อนในช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง (%)

ค่า NDVI จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 สามารถจำแนกสิ่งปกคลุมดิน (land cover) ชนิดดิน น้ำ และพืชออกจากกันได้ โดยพืชพรรณต่างๆ นั้นจะมีค่าการสะท้อนที่สูงในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ทำให้ผลต่างมีค่าเป็นบวก ในขณะที่ดินจะมีค่าการสะท้อนใกล้เคียงกันระหว่างสองช่วงคลื่นทำให้ผลต่างมีค่าใกล้เคียงกับศูนย์ ส่วนน้ำจะมีค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ค่อนข้างต่ำ ทำให้ผลต่างมีค่าเป็นลบ (สรรคิใจ, 2550)

ต่อมา Moran et. al. (1994) ได้นำเสนอดัชนีการขาดแคลนน้ำ (Water Deficit Index, WDI) เพื่อใช้ประเมินอัตราการคายระเหยน้ำจากพื้นที่แปลงเพาะปลูกและค่าการขาดแคลนน้ำสำหรับพื้นที่ที่มีพืชพรรณปกคลุมเต็มที่และพื้นที่ที่มีพืชพรรณปกคลุมบางส่วน โดย WDI คำนวณได้ดังสมการ

$$WDI = 1 - \frac{\lambda E_a}{\lambda E_p} = \frac{(T_s - T_a)_{\min} - (T_s - T_a)_r}{(T_s - T_a)_{\min} - (T_s - T_a)_{\max}}$$

โดย  $\lambda E_a$  คือ พลังงานความร้อนของการระเหยจริง (actual evaporation flux)

$\lambda E_p$  คือ พลังงานศักย์ความร้อนของการระเหย (potential evaporation flux)

กรณีพืชอยู่ในสภาพไม่ขาดน้ำ

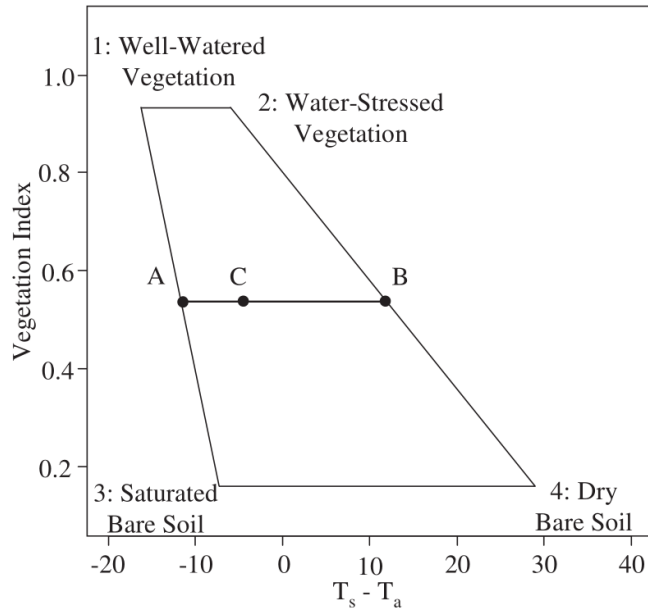
$T_s$  คือ อุณหภูมิพื้นผิว (surface/ canopy temperature)

$T_a$  คือ อุณหภูมิอากาศ (air temperature)

min, max และ r หมายถึงค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าใดๆ บนแกนที่ขนานกับแกน ( $T_s - T_a$ )

ดัชนี WDI สามารถพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณ (ในที่นี้หมายถึงสัดส่วนพืชพรรณปกคลุมดิน (fraction vegetation cover, FVC) ) มีค่าระหว่าง 0 ซึ่งหมายถึงไม่มีพืชพรรณปกคลุมดิน จนถึง 1 ซึ่งหมายถึงมีพืชปกคลุมเต็มที่) และอุณหภูมิพื้นผิว (ในที่นี้หมายถึงผลต่างอุณหภูมิพื้นผิวและอุณหภูมิอากาศ ( $T_s - T_a$ ) ) กล่าวคือ สัดส่วนพืชปกคลุมดินมีผลต่อการคายน้ำ พื้นผิวที่มีผลต่างอุณหภูมิน้อยจะมีแนวโน้มคายระเหยน้ำมากขึ้น ความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงในกราฟปริภูมิ VIT ได้ดังในรูปที่ 1.4-2

โดยพิกัดในสี่มุมของรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมูหมายถึง 1. กรณีมีพืชปกคลุมดินเต็มที่และมีน้ำอย่างเพียงพอ 2. กรณีมีพืชปกคลุมดินเต็มที่แต่ขาดแคลนน้ำ 3. กรณีไม่มีพืชปกคลุมดินแต่ดินอึดตัวด้วยน้ำ และ 4. กรณีไม่มีพืชปกคลุมดินและดินแห้ง สำหรับตำแหน่ง C ในปริภูมิ สามารถประเมินค่าดัชนี WDI ได้จากสัดส่วนระหว่าง AC กับ AB ในปริภูมิ โดยค่า WDI มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 โดยค่า 0 หมายถึงเป็นพื้นที่ที่ได้รับน้ำอย่างเพียงพอ (พืชพรรณมีการคายน้ำเต็มที่) ส่วนค่า 1 หมายถึงพื้นที่ที่มีการขาดแคลนน้ำ (ไม่มีการคายน้ำ)



รูปที่ 1.4-2 กราฟปฏิสัมพันธ์ระหว่างค่าผลต่างอุณหภูมิพื้นผิวและอุณหภูมิอากาศ ( $T_s - T_a$ ) กับค่าสัดส่วนพืชพรรณปกคลุมดิน (Virlet et al., 2014)

### 1.4.3 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

#### (1) การใช้แบบจำลอง SWAT ในการประเมินปริมาณน้ำท่า

ในปัจจุบันแบบจำลอง SWAT ได้ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในหลายพื้นที่ทั่วโลก เนื่องจากความสามารถของแบบจำลองที่สามารถใช้ในการประเมินปัจจัยทางด้านอุทกวิทยาได้ในหลายส่วน เช่น ปริมาณน้ำท่า ปริมาณตะกอน และเรื่องของคุณภาพน้ำ นอกจากนี้แบบจำลอง SWAT ยังสามารถพิจารณาถึงผล การเปลี่ยนแปลงการจัดการพื้นที่ การใช้ประโยชน์ที่ดิน รวมถึงการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้นที่จะ มีผลต่อปัจจัยทางด้านอุทกวิทยา จากการศึกษาของ Trambauer et al. (2013) ที่ได้ทำการศึกษาเพื่อหา แบบจำลองที่เหมาะสมในการทำนายถึงสถานะแห้งแล้งในพื้นที่แอฟริกา โดยจากการเปรียบเทียบแบบจำลอง ทั้งสิ้น 16 แบบ พบว่าแบบจำลอง SWAT เป็นหนึ่งในห้าแบบจำลองที่เหมาะสมในการประเมินสถานะแห้งแล้ง

เนื่องจากมีปัจจัยที่สำคัญที่ใช้ในการคำนวณเช่น Transmission losses ของทางน้ำ รวมถึง ค่า re-infiltration และอัตราการระเหยของน้ำผิวดิน

แบบจำลอง SWAT ได้ถูกนำไปใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่าเพื่อใช้ในการบริหารจัดการ กลุ่มน้ำในหลากหลายด้าน เช่น การใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่าในสำหรับพื้นที่ที่ไม่มีการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัด ตัวอย่างเช่น Emam et al. (2016) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT ในการประเมินถึงปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยและ ปริมาณน้ำท่าสูงสุด ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ที่ไม่มีการติดตั้งสถานีตรวจวัดน้ำท่าบริเวณตอนกลางของประเทศเวียตนาม Ramos and Martinez-Casasnova (2015) ได้ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำในดินและข้อมูลของปริมาณน้ำท่าเพื่อ

เปรียบเทียบแบบจำลอง SWAT สำหรับใช้ในพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีกิจกรรมทางการเกษตรและไม่มีการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัด โดยผลการศึกษพบว่า SWAT สามารถประเมินปริมาณน้ำในดิน ปริมาณน้ำท่าผิวดิน และการชะล้างพังทลายของดินในช่วงที่มีระดับฝนเฉลี่ยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนั้นเป็นที่ทราบกันว่าปัจจัยจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นปัจจัยหลักอีกปัจจัยหนึ่งซึ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้น ได้มีการศึกษาวิจัยโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT เพื่อประเมินผลถึงเรื่องดังกล่าวอย่างแพร่หลาย เช่น ลักขณาและคณะ (2557) ได้ทำการประเมินการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่มีผลต่อปริมาณน้ำท่ารายวันและรายเดือนในพื้นที่ลุ่มน้ำชี โดยประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT ในการศึกษา ผลการศึกษาพบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากพื้นที่นาเป็นสิ่งปลูกสร้างร้อยละ 40 ส่งผลให้ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.2 และส่งผลต่อปริมาณน้ำท่าหลักในช่วงสูงสุด (Peak flow) ร้อยละ 18.3 Baker and Miller (2013) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT เพื่อประเมินถึงผลการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีต่อปริมาณน้ำท่าบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำอาฟริกาตะวันออก โดยผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในบริเวณนี้ส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นของน้ำท่าผิวดินและลดลงของปริมาณน้ำใต้ดิน

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

## (2) การใช้แบบจำลอง DWCM ในการประเมินปริมาณน้ำท่า

แบบจำลอง DWCM-AgWU ได้ถูกพัฒนาโดยมีวัตถุประสงค์เริ่มต้นในการพัฒนาเพื่อคำนวณการไหลเวียนของน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำร่วมกับการใช้น้ำภาคเกษตรกรรม และมีงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาและประยุกต์ใช้แบบจำลองนี้อย่างต่อเนื่องและหลากหลาย โดยงานวิจัยที่มุ่งเน้นเพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลของน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำ 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 แบบจำลองมีเป้าหมายเพื่อคำนวณปริมาณน้ำท่าและปริมาณน้ำชลประทานที่เหมาะสมเพื่อพื้นที่นาข้าวในพื้นที่โครงการชลประทานของพื้นที่ลุ่มแม่น้ำโขงต่อเนื่อง

หลายปี โดยพิจารณาน้ำชลประทานที่จัดสรรให้แก่นาข้าวจากปริมาณน้ำที่มีในแม่น้ำที่ตำแหน่งหัวงานกับความ ต้องการน้ำของนาข้าว โดยไม่มีการจัดสรรน้ำภายในพื้นที่โครงการ

Kudo et al., 2013 ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีต่อการไหลเวียน ของน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำมูลและลุ่มน้ำชี ในการศึกษาครั้งนี้ผู้ทำการวิจัยได้ปรับปรุงแบบจำลองโดยพัฒนาแบบจำลอง ย่อยการบริหารจัดการน้ำในอ่างเก็บน้ำ และ การจัดสรรน้ำในพื้นที่โครงการ (โดยรายละเอียดได้ถูกอธิบายไว้ใน หัวข้อ 8). เพื่อหาแนวทางการบริหารจัดการน้ำร่วมกับโครงสร้างทางด้านชลประทาน เช่น อ่างเก็บน้ำ เขื่อนทดน้ำ และคลองส่งน้ำในพื้นที่โครงการชลประทานของพื้นที่ลุ่มน้ำมูล และลุ่มน้ำชี

Vongphet et al., 2014 & 2016 ประยุกต์ใช้แบบจำลองกับลุ่มน้ำเจ้าพระยา ซึ่งประกอบด้วย ลุ่มน้ำปิง วัง ยม น่าน เจ้าพระยา ป่าสัก สะแกกรัง โดยมีเป้าหมายเพื่อปรับปรุงแบบจำลองให้สามารถคำนวณ ปริมาณน้ำโดยพิจารณาการบริหารจัดการน้ำโดยโครงสร้างทางชลประทานทั้งอ่างเก็บน้ำ เขื่อนทดน้ำ และคลองส่ง น้ำ ทั้งในป็นน้ำน้อยและป็นน้ำท่วม โดยผู้ทำการวิจัยได้ปรับปรุงแบบจำลองย่อยด้านการบริหารจัดการน้ำในอ่างเก็บ น้ำของ Kudo et al.,(2013) ให้สามารถบริหารจัดการน้ำร่วมกันระหว่างอ่างเก็บน้ำหลายอ่าง เช่น อ่างเก็บน้ำ เขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ และเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน เข้ากับพื้นที่โครงการชลประทานที่ตั้งอยู่ระยะไกล เช่น โครงการชลประทานกำแพงเพชร โครงการชลประทานพิษณุโลก และโครงการชลประทานเจ้าพระยาใหญ่ อีกทั้ง เพิ่มหลักเกณฑ์ในการผันน้ำผ่านคลองชลประทานในฝั่งตะวันออกและฝั่งตะวันตกของพื้นที่โครงการชลประทาน เจ้าพระยาใหญ่ในช่วงเวลาน้ำหลาก

Yoshida et al., 2012 ศึกษาการปริมาณน้ำหลากบริเวณพื้นที่ราบของลุ่มน้ำจิม ประเทศ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว โดยการเปลี่ยนปริมาณน้ำท่า ณ จุดพื้นที่ศึกษาเป็นระดับน้ำ และคำนวณ ปริมาณน้ำหลากที่ล้นข้ามตลิ่งผ่านสมการการไหลข้ามสันฝาย และคำนวณปริมาตรของน้ำท่วมทั้งหมดในพื้นที่ลุ่ม น้ำ

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) โดยแบบจำลองนี้สามารถเป็นเครื่องมือคำนวณการเคลื่อนที่ของน้ำภายใต้ได้ อย่างการบริหารจัดการน้ำ ต่อเนื่องทั้งในสภาวะปกติ น้ำท่วม และ แล้ง

Yoshioka et al., 2015 ประยุกต์ใช้แบบจำลองในพื้นที่ลุ่มน้ำแฉ่งซึ่งเป็นลำน้ำสาขาของพื้นที่ลุ่ม น้ำจิม เพื่อศึกษาปริมาณน้ำหลากภายใต้การบริหารจัดการประตุระบายน้ำที่ปากแม่น้ำแฉ่งเนื่องจากระดับน้ำที่สูง ในแม่น้ำจิม เพื่อที่จะหาแนวทางป้องกันน้ำท่วมบริเวณพื้นที่ราบลุ่มของลุ่มน้ำแฉ่งเนื่องจากปรากฏการณ์น้ำเท้น (Backwater effect)

### (3) การประเมินความชื้นในดินจากภาพถ่ายดาวเทียม

งานวิจัยทางการสำรวจจากระยะไกลจำนวนมากได้พัฒนาและเสนอแนะวิธีการ/แบบจำลองสำหรับประเมินค่าการคายระเหยน้ำ ความชื้นในดิน และการขาดแคลนน้ำในดินด้วยภาพถ่ายดาวเทียม ในช่วงทศวรรษ 1980-90 วิธีปริภูมิอุณหภูมิพื้นผิว-ดัชนีพืชพรรณ (Ts/VI) ได้รับการพัฒนาขึ้นมา Goward et al., (1985) ได้ทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการปลดปล่อยความร้อน (thermal emissions) กับค่าเรเดียนซ์สะท้อนของช่วงคลื่น (reflected spectral radiance) โดยพบว่าค่าความลาดชันและจุดตัดแกน (intercept) บนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพืชพรรณกับค่าการปลดปล่อยความร้อนสามารถนำมาวิเคราะห์ค่าอากาศพลศาสตร์ (aerodynamic) และค่าพลังงานพื้นผิวสำหรับการระเหยน้ำ (surface resistances to moisture flux) จากนั้นเป็นต้นมา จึงเกิดงานวิจัยพัฒนาต่อยอดเพื่อศึกษาค่าการคายระเหยน้ำ ค่าความชื้นที่พื้นผิว และความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์พื้นผิวด้วยวิธีปริภูมิอุณหภูมิพื้นผิว-ดัชนีพืชพรรณ รวมทั้งเกิดการพัฒนาค่าดัชนีต่างๆ อาทิ ดัชนี Temperature-Vegetation Dryness Index (TVDI) เพื่อการวิเคราะห์ความชื้นดิน (Sandholt et al., 2002) ดัชนี Vegetation Temperature Condition Index (VTCI) เพื่อการติดตามภัยแล้ง (Wang et al., 2001) ค่าสัดส่วนการระเหยน้ำ (evaporative fraction, EF) เพื่อศึกษาการคายระเหยน้ำจริง (Rahimzadeh-Bajgiran et al., 2013) ซึ่งวิธีปริภูมิอุณหภูมิพื้นผิว-ดัชนีพืชพรรณมีจุดเด่นหลายประการ อาทิ

- 1) ประเมินค่าการคายระเหยน้ำ สามารถจำแนกระหว่างค่าการคายน้ำของพืชกับค่าการระเหยน้ำจากพื้นผิวได้
- 2) มีศักยภาพในการประเมินค่าความชื้นในชั้นใต้ผิวดินได้
- 3) ประเมินพารามิเตอร์พื้นผิวได้ละเอียดแม่นยำ
- 4) ใช้เพียงข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเพียงอย่างเดียวในการประเมินโดยไม่ต้องอาศัยข้อมูลอื่นเพิ่ม

ในงานวิจัยที่ศึกษาวิธีปริภูมิอุณหภูมิพื้นผิว-ดัชนีพืชพรรณ มีวิธีการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวกับดัชนีพืชพรรณเป็น 2 รูปแบบ คือรูปทรงสามเหลี่ยม (triangular shape) (Price, 1990) และรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal shape) (Jackson and Pinter Jr, 1981) โดยวิธีรูปสามเหลี่ยมมีสมมติฐานว่าในภาพถ่ายดาวเทียมต้องมีจุดภาพที่มีพืชปกคลุมเต็มที่และจุดภาพที่เป็นพื้นผิวดินเปิดโล่ง (bare soil) และภาพถ่ายดาวเทียมต้องปรับแก้สิ่งรบกวนในชั้นบรรยากาศ (atmospheric correction) เพื่อให้ความแปรผันในภาพขึ้นกับค่าความชื้นในดิน ซึ่งวิธีรูปสามเหลี่ยมจะเป็นวิธีที่ใช้งานง่ายเหมาะสำหรับใช้ในการติดตามความแห้งแล้งในพื้นที่ขนาดใหญ่โดยไม่ต้องอาศัยข้อมูลจากภาคพื้นดิน แต่ในขณะเดียวกันข้อจำกัดของวิธีนี้คือต้องมีจุดภาพ (pixel) จำนวนมากเพียงพอที่ครอบคลุมพื้นผิวปกคลุมหลายแบบ นอกจากนี้วิธีนี้ยังไม่เหมาะสำหรับพื้นที่ลาดชันหรือภูเขา ส่วนวิธีรูปสี่เหลี่ยมคางหมูถูกพัฒนาจากแนวคิดของดัชนี Crop Water Stress Index (CWSI) และสมการการใช้น้ำพืชของ Penman-Monteith ซึ่งเป็นวิธีที่มีสมมติฐานการใช้งานได้เฉพาะพื้นที่ที่มีพืชพรรณปกคลุมเต็มที่เท่านั้น ต่อมา Moran et al. (1994) จึงได้ดัดแปลงแนวคิด CWSI ให้เป็นดัชนี WDI ซึ่งสามารถใช้งานได้ภายใต้เงื่อนไขพืชปกคลุมดินทุกรูปแบบ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีรูปทรงทั้งสองแบบ วิธีรูปสี่เหลี่ยมคางหมูจะอ้างอิงหลักการพื้นฐานทางกายภาพของสมดุลพลังงานพื้นผิว จึงอาศัยจำนวนจุดภาพน้อยกว่าวิธีรูปสามเหลี่ยม แต่วิธีนี้ยังต้องการข้อมูลพารามิเตอร์พื้นผิวจากการสำรวจภาคสนามเพื่อสร้างดัชนีความชื้นในดิน

นอกจากนี้อิทธิพลของความเครียดพืชจากการขาดน้ำมีช่วงหน่วงเวลา (lag time) ซึ่งส่งผลต่อความไม่แน่นอนในการประเมินค่าความชื้นในดินได้ (Zhang and Zhou, 2016)

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

กรมชลประทานสามารถนำแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าไปใช้ในการบริหารจัดการพื้นที่แหล่งน้ำได้ และนำข้อมูลสมมูลน้ำในอ่างเก็บน้ำเป็นข้อมูลพื้นฐานในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำให้เพียงพอต่อความต้องการ

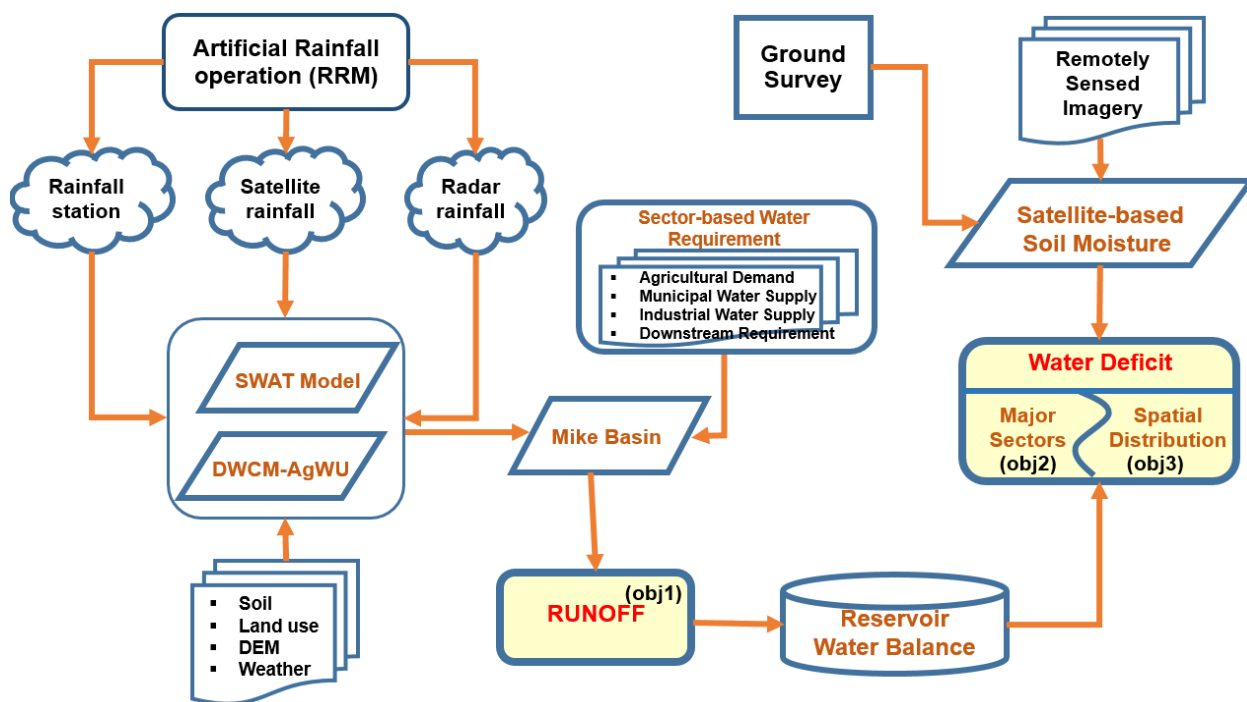
กรมฝนหลวงและการบินเกษตรสามารถนำผลการประเมินสภาวะการขาดแคลนน้ำมาประกอบการวางแผนช่วงเวลาการปฏิบัติการฝนหลวงให้ได้มีประสิทธิภาพ

กรมชลประทานสามารถร่วมมือกับกรมฝนหลวงและการบินเกษตรในการบริหารจัดการน้ำในเขื่อนแก่งกระจานและพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยสามารถวางแผนการปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำทำให้เป็นน้ำต้นทุนในอ่างเก็บน้ำและลดปริมาณความต้องการน้ำในพื้นที่ท้ายเขื่อน

นอกจากนั้นการประเมินสภาวะการขาดแคลนน้ำได้อย่างถูกต้องจะช่วยให้การทำฝนหลวงเป็นไปได้ อย่างแม่นยำทั้งในบริบทของพื้นที่และช่วงเวลาที่ต้องดำเนินการ ซึ่งจะส่งผลให้เกษตรกรสามารถดำเนินการเพาะปลูกได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในพื้นที่ชลประทานและนอกเขตชลประทาน นอกจากนี้ยังช่วยให้หน่วยงานอื่นที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการน้ำ เช่น กรมชลประทาน และกรมทรัพยากรน้ำ สามารถวางแผนการบริหารจัดการน้ำได้อย่างเหมาะสม ก่อให้เกิดการบูรณาการร่วมกันระหว่างหน่วยงานในระยะยาว

## 2. วิธีการดำเนินการวิจัย

โครงการวิเคราะห์สภาวะการขาดแคลนน้ำลุ่มน้ำเพชรบุรีได้แบ่งการดำเนินงานของโครงการออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ การประเมินปริมาณน้ำท่าที่เกิดจากฝนหลวง การวิเคราะห์สภาวะการขาดแคลนน้ำจากกิจกรรมการใช้น้ำ และการวิเคราะห์สภาวะการขาดแคลนน้ำเชิงพื้นที่โดยภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อตอบวัตถุประสงค์ทั้งหมดของโครงการ โดยมีภาพรวมขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยแสดงดังรูปที่ 2-1 ปริมาณฝนในรูปแบบ 3 รูปแบบ ได้แก่ ปริมาณฝนสถานี ปริมาณฝนจากภาพถ่ายดาวเทียม และปริมาณฝนจากเรดาร์ จะถูกนำมาประเมินร่วมกับการขึ้นปฏิบัติการฝนหลวง ข้อมูลปริมาณฝนที่ได้จากทั้ง 3 รูปแบบจะถูกนำมาประเมินเป็นปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้น ทั้งในช่วงเวลาที่ไม่มีการปฏิบัติการฝนหลวง และมีการปฏิบัติการฝนหลวง โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า 2 แบบจำลองได้แก่ แบบจำลอง SWAT และ DWCM-AgWU และแบบจำลองสมมูลน้ำ Mike Basin ร่วมกับข้อมูลการประเมินถึงปริมาณการใช้น้ำที่เกิดขึ้น และผลจากแบบจำลอง Mike Basin ยังสามารถประเมินถึงสภาวะการขาดแคลนน้ำในแต่ละกิจกรรมการใช้น้ำ สุดท้ายการสำรวจระยะไกลด้วยภาพถ่ายดาวเทียมจะถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อประเมินถึงสภาวะการขาดแคลนน้ำเชิงพื้นที่ในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี วิธีการดำเนินงานโดยละเอียดแสดงดังนี้



รูปที่ 2-1 ขั้นตอนการดำเนินงานของโครงการ

## 2.1 การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

### 1) ข้อมูลปริมาณฝน

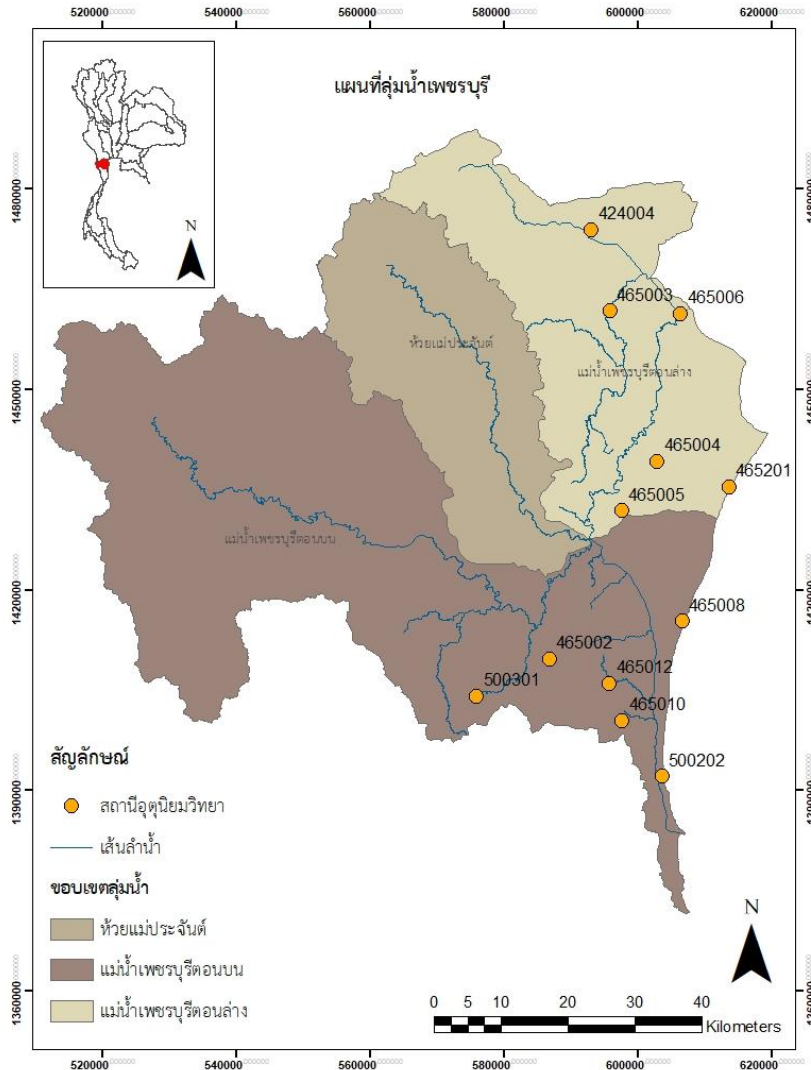
การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณฝน 3 รูปแบบได้แก่ ปริมาณฝนจากสถานีตรวจวัดฝนจำนวน 12 สถานีจากกรมอุตุนิยมวิทยา ปริมาณฝนจากภาพถ่ายดาวเทียมจาก JAXA Global Rainfall Watch System พัฒนาโดย Earth Observation Research Center, Japan Aerospace Exploration Agency และปริมาณฝนจากการตรวจวัดด้วยเรดาร์จากกรมฝนหลวงและการบินเกษตร โดยมีรายละเอียดของข้อมูลประเภทของข้อมูล และช่วงระยะเวลาที่มีข้อมูล ดังนี้

- ข้อมูลปริมาณฝนจากสถานีตรวจวัด

การศึกษาครั้งนี้ได้นำข้อมูลปริมาณฝนจากสถานีตรวจวัดฝนจากกรมอุตุนิยมวิทยาจำนวน 12 สถานีมาประยุกต์ใช้ในการประเมินปริมาณฝนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำ รายละเอียดสถานีตรวจวัดฝนจำนวน 12 สถานี แสดงดังตารางที่ 2.1-1 และตำแหน่งที่ตั้งของสถานีรูปที่ 2.1-1 โดยข้อมูลปริมาณฝนรายสถานีได้ถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยการประมาณค่าเชิงพื้นที่ (Spatial interpolation) ด้วยวิธี Inverse Distance Weight (IDW)

ตารางที่ 2.1-1 สถานีตรวจวัดปริมาณฝน กรมอุตุนิยมวิทยา

รหัสสถานี	ชื่อสถานี	ช่วงเวลา
424004	อำเภอปากท่อ จ.ราชบุรี	ค.ศ.2001-2020
465002	สำนักงานเกษตรอำเภอชะอำ จ.เพชรบุรี	ค.ศ.2001-2020
465003	สำนักงานเกษตรอำเภอยาย้อย จ.เพชรบุรี	ค.ศ.2001-2020
465004	สำนักงานเกษตรอำเภอบ้านลาด จ.เพชรบุรี	ค.ศ.2001-2020
465005	สำนักงานเกษตรอำเภอท่ายาง จ.เพชรบุรี	ค.ศ.2001-2020
465006	อำเภอบ้านแหลม จ.เพชรบุรี	ค.ศ.2001-2015
465008	ศูนย์ฝึกอบรมการป่าไม้ชะอำ 246 อ.ชะอำ จ.เพชรบุรี	ค.ศ.2001-2020
465010	โครงการพัฒนาป่าไม้เอนกประสงค์ฯ ( เขาเตาปูน ) จ.เพชรบุรี	ค.ศ.2001-2020
465012	สวนสมเด็จพระศรีนคริน อ.ชะอำ จ.เพชรบุรี	ค.ศ.2001-2020
465201	เพชรบุรี จ.เพชรบุรี	ค.ศ.2001-2020
500202	สำนักงานเกษตรอำเภอหัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์	ค.ศ.2001-2015
500301	หนองพลับ สกษ. จ.ประจวบคีรีขันธ์	ค.ศ.2001-2020



รูปที่ 2.1-1 ตำแหน่งสถานีตรวจวัดปริมาณฝน

- ข้อมูลปริมาณฝนจากภาพถ่ายดาวเทียม

ปริมาณฝนจากภาพถ่ายดาวเทียมดาวันโหลตจาก JAXA Global Rainfall Watch System ซึ่งพัฒนาโดย Earth Observation Research Center, Japan Aerospace Exploration Agency โดยมีลักษณะข้อมูลความถี่ราย 1 ชั่วโมง ตั้งแต่ปี 2001-2020 มีลักษณะของข้อมูลในรูปแบบของกริดเซลล์ขนาด 10x10 กิโลเมตร ตัวอย่างรูปแบบข้อมูลปริมาณฝนจากภาพถ่ายดาวเทียมแสดงดังรูปที่ 2.1-2 ข้อมูลปริมาณฝนดาวเทียมดังกล่าวได้ถูกนำมาปรับแก้ค่าความเอนเอียง (Bias correction) โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

### 1) การจัดเตรียมข้อมูลฝนจากการตรวจวัด

เป็นข้อมูลที่ได้จากสถานีตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาจำนวน 12 สถานี ซึ่งกระจายตัวในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีโดยมีข้อมูลอยู่ในช่วงปี 2001 – 2020 จำนวน 20 ปี ทำการกระจายข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยวิธี Inverse distance weighting(IDW) ไปยังจุดกึ่งกลางของพื้นที่กริดทั่วทั้งลุ่มน้ำเพชรบุรีซึ่งได้แบ่งไว้ จำนวน 352 กริด ขนาด 5x5 km

### 2) การจัดเตรียมข้อมูลฝนดาวเทียม

เป็นข้อมูลจากองค์การสำรวจอวกาศญี่ปุ่น(JAXA) โดยข้อมูลมีกริดขนาด 10x10 km มีการเก็บข้อมูลเป็นรายชั่วโมง และการเตรียมข้อมูลจะทำการดาวโหลดจากเว็บไซต์ <https://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/index.htm> โดยกำหนดพิกัดละติจูดและลองจิจูดตามกริดที่ได้แบ่งไว้ 352 กริด และรวมข้อมูลปริมาณฝนแต่ละกริดเป็นข้อมูลฝนรายวันตั้งแต่ปี 2001-2020 จำนวน 20 ปี

### 3) การปรับแก้ปริมาณฝนดาวเทียม

การปรับแก้จะทำการคำนวณแยกเป็นกริดโดยกำหนดให้ ปริมาณฝนปรับแก้รายวันที่พิจารณาเท่ากับปริมาณฝนดาวเทียมในวันนั้นคูณด้วยค่าปรับแก้ซึ่งจะมีค่าเท่ากับผลรวมปริมาณฝนของฝนอุตุนิยมวิทยาซึ่งได้มีการจัดเตรียมไว้ในข้อที่ 1 หารด้วยผลรวมปริมาณฝนของดาวเทียมซึ่งได้มีการจัดเตรียมไว้ในข้อที่ 2 ดังสมการที่ 1 โดยหนึ่งกริดจะมีค่าปรับแก้เพียงหนึ่งค่าตลอดทั้ง Time series

$$P'_{(i,d)} = P_{s(i,d)} \times \frac{\sum P_{o(i)}}{\sum P_{s(i)}}$$

โดยที่

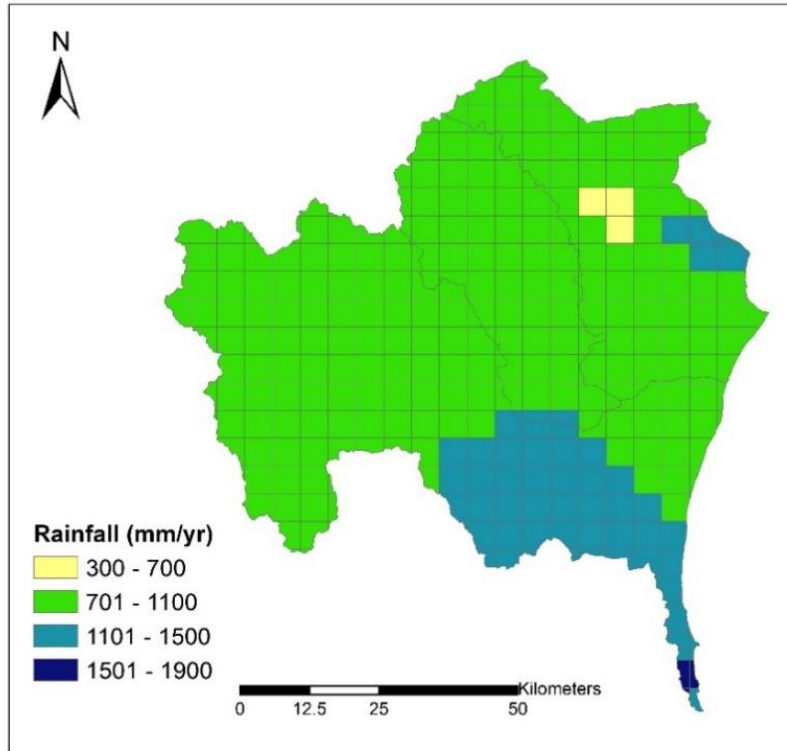
$P'$  คือ ปริมาณฝนดาวเทียมรายวันหลังปรับแก้

$P_s$  คือ ปริมาณฝนดาวเทียมรายวัน

$P_o$  คือ ปริมาณฝนตรวจวัดรายวัน

$i$  คือ ตำแหน่งกริดที่พิจารณา

$d$  คือ วันที่พิจารณา



รูปที่ 2.1-2 ตัวอย่างรูปแบบข้อมูลปริมาณฝนดาวเทียม

- ข้อมูลปริมาณฝนจากการตรวจวัดด้วยเรดาร์

ข้อมูลปริมาณฝนจากการประเมินด้วยการตรวจวัดด้วยเรดาร์ที่ได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากกรมฝนหลวงและการบินเกษตร โดยข้อมูลที่ได้รับถูกแบ่งเป็น 2 ประเภทได้แก่ ข้อมูลปริมาณฝนเฉลี่ยในช่วงเวลา 02.00 UTC – 14.00 UTC โดยมีช่วงเวลาตั้งแต่ปี 2018-2020 และข้อมูลปริมาณฝนเฉลี่ยรายวันตั้งแต่ปี 2015-2020 โดยข้อมูลชุดแรกจะถูกนำมาใช้ในการประเมินถึงปริมาณฝนและข้อมูลทางด้านอุทกวิทยาที่สนใจเมื่อมีการปฏิบัติการฝนหลวงเปรียบเทียบกับในช่วงที่ไม่มีการปฏิบัติการ สำหรับข้อมูลชุดที่สองได้แก่ข้อมูลปริมาณฝนรายวันจากเรดาร์ได้ถูกนำมาใช้เพื่อเปรียบเทียบและทวนสอบแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า

## 2) ข้อมูลการปฏิบัติการฝนหลวง

เพื่อให้สามารถประเมินปริมาณฝนและปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติการฝนหลวงได้ กรมฝนหลวงและการบินเกษตรจึงได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลการปฏิบัติการฝนหลวงที่ผ่านมาตั้งแต่ปี 2561-2563 พร้อมทั้งข้อมูลปริมาณฝนที่คำนวณได้จากเรดาร์ตรวจวัดสภาพอากาศ โดยจากการสอบถามเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติการฝนหลวงพบว่า กรมฝนหลวงและการบินเกษตรจะประเมินปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจากฝนหลวงในการปฏิบัติการแต่ละครั้งอยู่ในช่วงระหว่าง 02.00 UTC – 14.00 UTC หรือในช่วงเวลาระหว่าง 9.00 – 21.00 น. รายละเอียดการปฏิบัติการฝนหลวงแสดงดังตารางที่ 2.1-2 โดยในปี พ.ศ. 2561 มีการปฏิบัติการฝนหลวงตั้งแต่ต้นเดือนเมษายนจนถึงต้นเดือนพฤษภาคมจำนวนรวมทั้งสิ้น 20 ครั้ง พ.ศ. 2562 มีการปฏิบัติการฝนหลวงตั้งแต่ต้นเดือนมีนาคมจนถึงกลางเดือนมิถุนายนจำนวนรวมทั้งสิ้น 63 ครั้ง และพ.ศ. 2563 มีการปฏิบัติการฝนหลวงตั้งแต่ต้นเดือนกุมภาพันธ์จนถึงปลายเดือนพฤษภาคมจำนวนรวมทั้งสิ้น 65 ครั้ง รวมจำนวนวันที่มีการปฏิบัติการฝนหลวงระหว่างปี พ.ศ. 2561-2563 จำนวนทั้งสิ้น 148 วัน

ตารางที่ 2.1-2 การปฏิบัติการฝนหลวงบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีระหว่างปี พ.ศ. 2561-2563

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

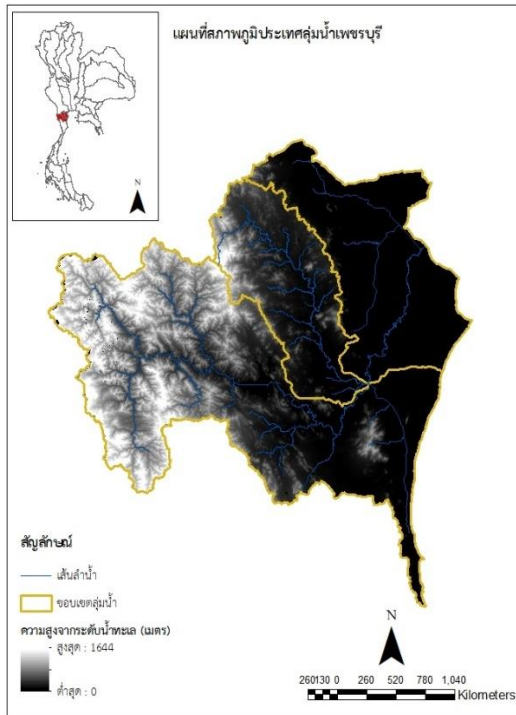
วันที่	การปฏิบัติการฝนหลวงระหว่างปี พ.ศ. 2561-2563		
	พ.ศ. 2561	พ.ศ. 2562	พ.ศ. 2563
21		4/15/2562	4/8/2563
22		4/16/2562	4/9/2563
23		4/17/2562	4/10/2563
24		4/18/2562	4/11/2563
25		4/19/2562	4/12/2563
26		4/20/2562	4/13/2563
27		4/22/2562	4/14/2563
28		4/25/2562	4/15/2563
29		4/26/2562	4/16/2563
30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

วันที่	การปฏิบัติการฝนหลวงระหว่างปี พ.ศ. 2561-2563		
	พ.ศ. 2561	พ.ศ. 2562	พ.ศ. 2563
56		5/28/2562	5/21/2563
57		5/31/2562	5/22/2563
58		6/1/2562	5/23/2563
59		6/2/2562	5/24/2563
60		6/3/2562	5/25/2563
61		6/5/2562	5/26/2563
62		6/8/2562	5/27/2563
63		6/16/2562	5/28/2563
64			5/29/2563
65			5/31/2563
รวมจำนวนวันที่ปฏิบัติการ ฝนหลวง (วัน)	20	63	65

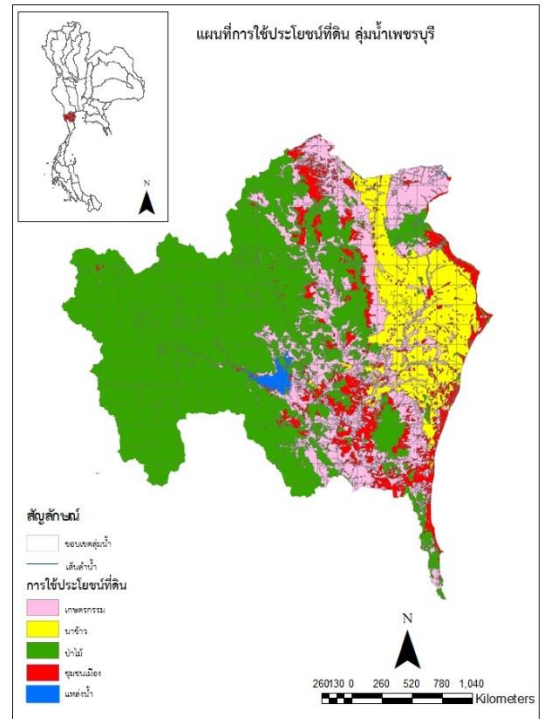
### 3) ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำเชิงพื้นที่

- **แผนที่ระดับความสูงเชิงพื้นที่ (Digital Elevation Map: DEM):** ข้อมูลสภาพภูมิประเทศ ประกอบด้วยความสูงจากระดับน้ำทะเล ขอบเขตลุ่มน้ำ และเส้นลำน้ำ ของพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี โดยความสูงจากระดับน้ำทะเลมีค่าสูงสุดที่ 1,644 เมตร และต่ำสุดที่ 0 เมตร ซึ่งแบบจำลองระดับความสูงเชิงตัวเลข (DEM) มีความละเอียดที่ 30x30 เมตร **รูปที่ 2.1-3** แสดงแผนที่ระดับความสูงเชิงตัวเลขของพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี
- **แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน:** แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินจากกรมพัฒนาที่ดินปี พ.ศ. 2561 มีการจัดหมวดหมู่ของการใช้ประโยชน์ที่ดินแบ่งเป็น 5 หมวดหมู่ ประกอบด้วย เกษตรกรรม นาข้าว ป่าไม้ ชุมชนเมือง และแหล่งน้ำ โดยปริมาณพื้นที่ของป่าไม้เท่ากับ 56% เกษตรกรรมเท่ากับ 20% นาข้าวชลประทานเท่ากับ 13% ชุมชนเมืองเท่ากับ 10% และ แหล่งน้ำเท่ากับ 1% ของพื้นที่ **รูปที่ 2.1-4** แสดงการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี
- **แผนที่กลุ่มชุดดิน:** ข้อมูลชุดดินของพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีในการศึกษาครั้งนี้ได้ความอนุเคราะห์ข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน ในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีสามารถจำแนกข้อมูลชุดดินได้ทั้งหมด 38 ประเภท และในแต่ละประเภทชุดดินมีความละเอียดของดินในแต่ละชั้น **รูปที่ 2.1-5** แสดงข้อมูลกลุ่มชุดดิน
- **ข้อมูลอ่างเก็บน้ำและการบริหารจัดการน้ำชลประทาน:** ลักษณะทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำ แนวทางในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ และพื้นที่ชลประทานจำเป็นต้องนำเข้าสู่

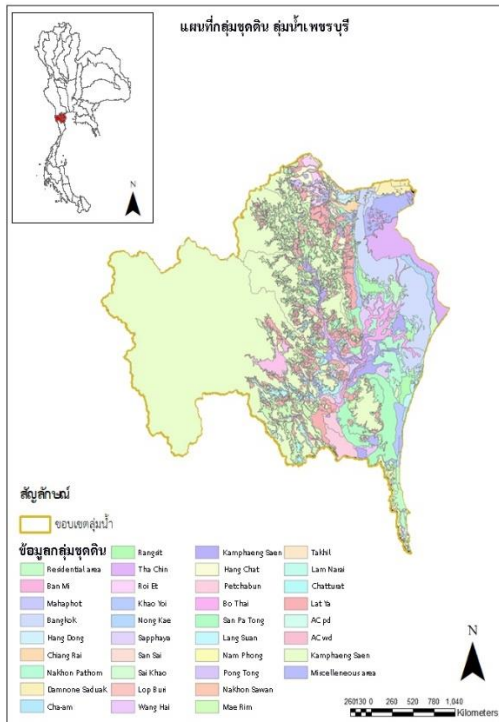
แบบจำลองเพื่อประเมินถึงปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นซึ่งเกี่ยวเนื่องกับการบริหารจัดการน้ำ โดยพื้นที่ชลประทานใหญ่ที่สุดในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีได้แก่ พื้นที่ชลประทานโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรีมีพื้นที่ปลูกข้าวมากที่สุดประมาณ 275,000 ไร่ รูปที่ 2.1-6 แสดงถึงอ่างเก็บน้ำและพื้นที่ชลประทานในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี



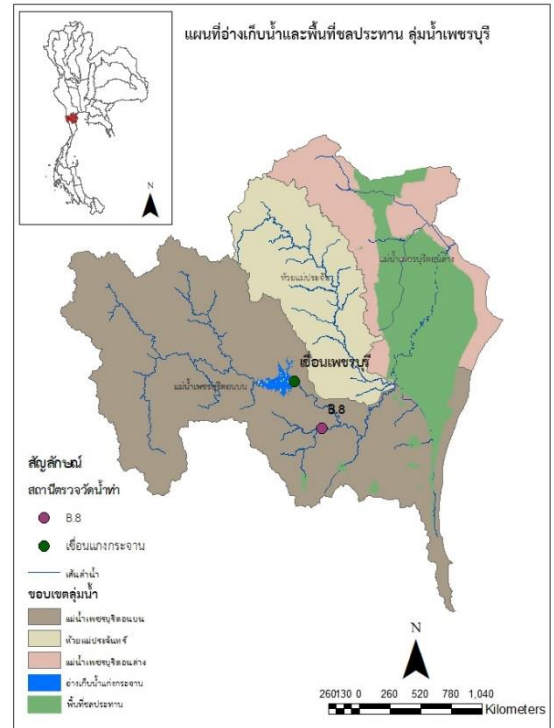
รูปที่ 2.1-3 แผนที่ระดับความสูงเชิงตัวเลขของพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี



รูปที่ 2.1-4 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี



รูปที่ 2.1-5 ข้อมูลกลุ่มชุดดินในพื้นที่ลุ่มน้ำ



รูปที่ 2.1-6 ข้อมูลอ่างเก็บน้ำและพื้นที่ชลประทาน

#### 4) ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม MODIS

การศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลอนุกรมเวลาภาพถ่ายดาวเทียมในระบบ MODIS (MODerate-resolution Imaging Spectroradiometers) จากดาวเทียม Terra ดาวินโหลดได้จากเว็บไซต์ของกรมสำรวจธรณีวิทยาแห่งสหรัฐอเมริกา (USGS) (URL <https://earthexplorer.usgs.gov/>) โดยเลือกใช้ข้อมูลผลิตภัณฑ์ MOD09A1 (Land Surface Reflectance) และ MOD11A2 (Land Surface Temperature) ซึ่งเป็นภาพผสมราย 8 วัน (8-day composites) ความละเอียดเชิงพื้นที่ 500 เมตรและ 1,000 เมตรตามลำดับ และเป็นผลิตภัณฑ์ภาพ Level-3 ที่ได้รับการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศ (atmospheric correction) โดยจะนำมาวิเคราะห์ค่าดัชนีพืชพรรณแบบ NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) และค่าอุณหภูมิพื้นผิว (Land Surface Temperature, LST) เพื่อสร้างดัชนีความแห้งแล้งแบบ TVDI (Temperature Vegetation Dryness Index) สำหรับประเมินสภาพความแห้งแล้งในเชิงพื้นที่

#### 2.2 การประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าและแบบจำลองสมดุลน้ำ

การศึกษาครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า 2 แบบจำลองซึ่งมีความแตกต่างกันในการประเมินผลปริมาณน้ำท่า โดยแบบจำลอง Soil and Water Assessment Tool (SWAT) เป็นแบบจำลองที่มีลักษณะเป็นแบบ Semi-distributed model และแบบจำลอง DWCM-AgWU (DWCM) เป็นแบบจำลองที่มี

ลักษณะแบบ Fully-distributed model โดยที่แบบจำลอง SWAT จะประเมินลุ่มน้ำออกมาในลักษณะของกลุ่มน้ำย่อยตามการแบ่งของผู้ใช้แบบจำลอง และแบบจำลอง DWCM จะประเมินผลออกมาในรูปแบบกริดเซลล์ นอกจากการประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า ได้แก่ แบบจำลอง SWAT และ DWCM การศึกษาครั้งนี้ได้มีการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE-BASIN เพื่อประเมินถึงสมดุลน้ำและภาวะการขาดแคลนน้ำที่อาจเกิดขึ้น โดยรายละเอียดของแบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลองแสดงดังนี้

## 2.2.1 แบบจำลอง Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

### (1) ทฤษฎีของแบบจำลอง

แบบจำลอง SWAT (Soil and Water Assessment Tool) เป็นแบบจำลองทางด้านอุทกวิทยาในระดับลุ่มน้ำ พัฒนาโดยความร่วมมือระหว่าง USDA Agricultural Research Service (ARS) และ Blackland Research & Extension Center แบบจำลอง SWAT สามารถใช้เพื่อประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน และ/หรือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีผลต่อปริมาณน้ำ ปริมาณตะกอน สารเคมีที่ใช้ในการเกษตร ในพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีลักษณะของดิน และการใช้ประโยชน์ที่ดินที่หลากหลาย

แบบจำลอง SWAT เป็นแบบจำลองทางกายภาพ (Physically based model) ซึ่งจะใช้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ลุ่มน้ำหลายปัจจัย เช่น สภาพอากาศ ลักษณะและคุณสมบัติของดิน ลักษณะของพื้นที่ลุ่มน้ำ เช่น ความสูงของพื้นที่ลุ่มน้ำ เส้นลำน้ำ การใช้ประโยชน์ที่ดิน เพื่อจำลองลักษณะด้านอุทกวิทยาของแหล่งน้ำ โดย SWAT มีลักษณะของแบบจำลองที่เป็นแบบ the distributed-parameter model ซึ่งจะแบ่งพื้นที่ในลุ่มน้ำหลักเป็นลุ่มน้ำย่อย (Sub-watershed) และในแต่ละลุ่มน้ำย่อยจะถูกแบ่งเป็นเป็นกลุ่มย่อยเรียกว่า Hydrological Response Unit (HRUs) โดยขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน ชนิดของดิน และความชันของพื้นที่ ซึ่งลักษณะทางด้านอุทกวิทยาในแต่ละ HRU จะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป (Neitsch, et al., 2009)

แบบจำลอง SWAT จะจำลองลักษณะทางอุทกวิทยาโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนพื้นดิน (Land phase) และส่วนการเคลื่อนตัวของน้ำ (Routing phase) ซึ่งในส่วนพื้นดินจะใช้สมการสมดุลน้ำ (Water balance equation) เป็นสมการหลักในการคำนวณ โดยสมการสมดุลน้ำแสดงดังสมการที่ 2.2-1

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

(สมการที่ 2.2-1)

โดยที่

$SW_t$  ปริมาณน้ำสุดท้ายที่คงเหลืออยู่ในดิน (มม.)

$SW_0$  ปริมาณน้ำเริ่มต้นที่อยู่ในดินของวันที่  $i$  (มม.)

$t$  ช่วงเวลา (วัน)

$R_{day}$  ปริมาณน้ำฝนของวันที่  $i$  (มม.)

$Q_{surf}$  ปริมาณน้ำผิวดินของวันที่  $i$  (มม.)

$E_a$  ปริมาณน้ำที่สูญเสียเนื่องจากการระเหยและการคายน้ำของพืช (Evapotranspiration) (มม.)

$W_{seep}$  ปริมาณน้ำที่สูญเสียออกจากหน้าตัดดิน (Soil profile) ของวันที่  $i$  (มม.)

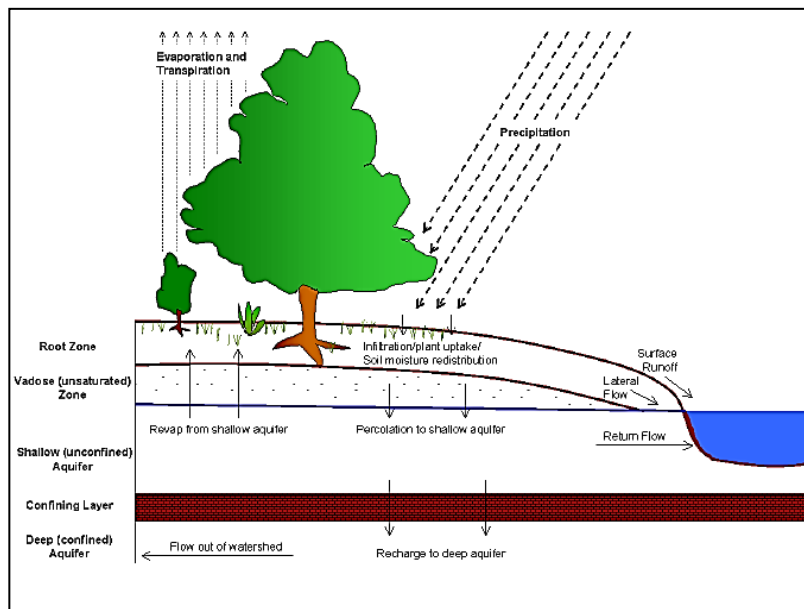
$Q_{gw}$  ปริมาณน้ำใต้ดินของวันที่  $i$  (มม.)

ในส่วนของการเคลื่อนตัวของน้ำ SWAT จะแบ่งการจำลองออกเป็น 2 ส่วนหลักได้แก่ การเคลื่อนตัวของน้ำในลำน้ำ (Routing in the main channel or reach) และการเคลื่อนตัวของน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Routing in the reservoir) โดยในส่วนการเคลื่อนตัวของน้ำแบ่งออกเป็น 4 ส่วนย่อยได้แก่ การเคลื่อนตัวของน้ำท่วม (Flood routing) การเคลื่อนตัวของตะกอน (Sediment routing) การเคลื่อนตัวของธาตุอาหาร (Nutrient routing) และการเคลื่อนตัวของสารกำจัดศัตรูพืช สำหรับการเคลื่อนตัวของน้ำในอ่างเก็บน้ำจะแบ่งย่อยออกเป็น 4 ส่วนได้แก่ การไหลออกของน้ำจากอ่างเก็บน้ำ (Reservoir outflow) ตะกอนในอ่างเก็บน้ำ (Sediment routing) ธาตุอาหารในอ่างเก็บน้ำ (Reservoir nutrient) และสารกำจัดศัตรูพืชในอ่างเก็บน้ำ (Reservoir pesticides)

โดยการคำนวณทางที่เกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นมีดังนี้

- การประเมินน้ำท่าผิวดิน (Surface runoff) SWAT สามารถทำการคำนวณน้ำท่าผิวดินได้ 2 ได้แก่ SCS Curve Number และ Green & Ampt Infiltration method
- อัตราการไหลสูงสุด (Peak runoff rate) SWAT ใช้สมการ Modified rational method ในการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดในแต่ละเหตุการณ์ฝน

- การคายระเหย (Evapotranspiration) SWAT ประเมินค่าปริมาณการคายระเหยสูงสุด (Potential evapotranspiration) จากสมการหลักหนึ่งใน 3 สมการ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับวิธีการเลือกใช้ ได้แก่ Penman-Monteith method, Priestley-Taylor method และ Hargreaves method
- ปริมาณน้ำในดิน (Soil water) สมดุลน้ำจากการใช้น้ำของพืช การสูญเสียน้ำจากการระเหย โดยตรงจากผิวดิน จากการซึมผ่านลงสู่ชั้นใต้ดิน และจากการไหลออกจากชั้นดินไปเป็นน้ำท่า จะถูกนำมาคำนวณ
- ปริมาณน้ำใต้ดิน (Ground water) SWAT คำนวณปริมาณน้ำใต้ดิน โดยแบ่งการคำนวณ ออกเป็น 2 ช่วงได้แก่ ปริมาณน้ำใต้ดินช่วงตื้น (Shallow aquifer) และปริมาณน้ำใต้ดินช่วงลึก (Deep aquifer) ซึ่งปริมาณน้ำที่อยู่ชั้นใต้ดินช่วงตื้นจะไหลออกไปเป็นปริมาณน้ำท่า สำหรับปริมาณน้ำในชั้นใต้ดิน ช่วงลึก จะถูกตั้งสมมติฐานว่าน้ำจะไหลออกจากกลุ่มน้ำที่ศึกษาไปยังกลุ่มน้ำข้างเคียง รูปที่ 2.2-1 แสดงวงจรอุทกวิทยา (Hydrological cycle)



รูปที่ 2.2-1 วงจรอุทกวิทยาและแนวทางการคำนวณในแบบจำลอง SWAT (Neitsch, et al., 2009)

## (2) การเรียบเรียงข้อมูลสำหรับแบบจำลอง SWAT

ข้อมูลที่มีความจำเป็นสำหรับการประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ ได้แก่ ข้อมูลลักษณะภูมิประเทศ และ ข้อมูลอุตุนิมวิทยา ในส่วนของข้อมูลลักษณะภูมิประเทศจากการแบ่งลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำเพชรบุรีแบ่งออกเป็น 3 ลุ่มน้ำย่อย ได้แก่ ลุ่มน้ำแม่น้ำเพชรบุรีตอนบน ลุ่มน้ำแม่น้ำเพชรบุรีตอนล่าง และลุ่มน้ำห้วยแม่ประจันต์ แต่เนื่องจากแบบจำลอง SWAT มีลักษณะการคำนวณแบบจำลองประเภท การกระจายค่าสัมประสิทธิ์พารามิเตอร์ (Semi-distributed-parameter model) จึงจำเป็นต้องมีการแบ่งลุ่มน้ำย่อยเพิ่มจากเดิม ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการแบ่งลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำเพชรบุรีเป็นจำนวน 32 ลุ่มน้ำย่อยโดย

แบ่งตามตำแหน่งห้วงงานอาคารชลประทาน ตำแหน่งจุดตรวจวัดปริมาณน้ำท่า และตำแหน่งของอ่างเก็บน้ำ รายละเอียดของข้อมูลมีดังนี้

ข้อมูลลักษณะภูมิประเทศ ได้แก่ ข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model; DEM) ขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำ (Watershed) เส้นลำน้ำ (Stream Line) ทิศทางการไหล (Flow direction) ข้อมูลชุดดิน (Soil Group) ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land use) และความลาดชัน (Slope)

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา (Meteorological Data) ได้แก่ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวัน และข้อมูลสภาพภูมิอากาศอื่น ๆ ที่มีความจำเป็นต่อการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงโดยสมการของ Penman-Monteith อาทิเช่น อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ ชั่วโมงแสงแดด ความเร็วลม

### (3) การตั้งค่าเริ่มต้นของแบบจำลอง SWAT

การตั้งค่าแบบจำลองเริ่มต้นของแบบจำลอง SWAT ประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ 1) การกำหนดคุณลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำย่อย 2) การกำหนดการหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (Hydrological Response Units: HRUs) 3) การนำเข้าข้อมูลลักษณะสภาพภูมิอากาศ 4) การสร้างไฟล์นำเข้าแบบจำลอง และสุดท้ายเป็นการคำนวณโดยแบบจำลองโดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 1) การกำหนดคุณลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำย่อย

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้มีการกำหนดลุ่มน้ำย่อยทั้งสิ้น 32 ลุ่มน้ำ ลุ่มน้ำย่อยที่ถูกกำหนดไว้แล้วพร้อมกับเส้นลำน้ำในแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำจะถูกนำเข้าสู่วิธีแบบจำลองพร้อมกับข้อมูลชั้นความสูงของพื้นที่ (DEM) ผลลัพธ์จากขั้นตอนนี้จะได้ลักษณะความสูงของพื้นที่ในแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย

#### 2) การกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (Hydrological Response Units: HRUs)

หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRUs) คือการกำหนดหน่วยย่อยในพื้นที่ลุ่มน้ำโดยพิจารณาจาก 3 ปัจจัย ได้แก่ การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land use) คุณสมบัติของดิน (Soil types) และข้อมูลชั้นความสูง (DEM) โดย SWAT จะมีฐานข้อมูลการใช้ที่ดินในแต่ละประเภท เช่น เกษตรกรรม สำหรับพืชประเภทต่างๆ ป่าไม้ พื้นที่เขตเมือง โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ถูกจัดเตรียมโดยกรมพัฒนาที่ดิน ในปี 2561 นำเข้าสู่แบบจำลอง (รูปที่ 2.1-5) และ ความหมายสัญลักษณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน (ตารางที่ 2.2-1)

จากการกำหนด HRUs การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้เลือกการกำหนด HRUs ในรูปแบบของการใช้ประโยชน์ที่ดิน กลุ่มชุดดิน และชั้นความสูงที่ครอบคลุมพื้นที่ในลุ่มน้ำย่อยมากที่สุด (Dominant HRU) โดยมี HRUs ทั้งสิ้นจำนวน 32 ชุด โดยในแต่ละลุ่มน้ำย่อยจะมี 1 HRUs

ตารางที่ 2.2-1 ความหมายสัญลักษณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน

สัญลักษณ์	ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	
AGRR	Agricultural Land-Row Crops	เกษตรกรรมพืชแถว
PAST	Pasture	ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์
RICE	Rice	พื้นที่ปลูกข้าว
AGRL	Agricultural Land-Generic	ที่ดินเพื่อเกษตรกรรมทั่วไป
SUGC	Sugarcane	พื้นที่ปลูกอ้อย
FRSE	Forest-Evergreen	ป่าสมบูรณ์
ORCD	Orchard	สวนผลไม้
BARR	Barren	พื้นที่แห้งแล้งปราศจากพืช
URBN	Residential	ที่อยู่อาศัย
WATR	Water	บ่อน้ำ
BARR	Barren	พื้นที่แห้งแล้ง

### 3) การนำเข้าข้อมูลลักษณะสภาพภูมิอากาศ

ข้อมูลปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มแสงแดด และความเร็วลม ตั้งแต่ปี 2528 – 2558 เป็นจำนวนทั้งสิ้น 31 ปี ได้ถูกนำเข้าสู่แบบจำลอง โดยข้อมูลที่มีการขาดหายได้มีการจัดทำข้อมูลให้มีความสมบูรณ์โดยการคำนวณจากช่วงเวลาใกล้เคียงกัน รูปที่ 2.1-1 แสดงจุดตรวจวัดสถานีอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

### 4) การสร้างไฟล์นำเข้าแบบจำลองและการคำนวณโดยแบบจำลอง SWAT

เมื่อนำเข้าข้อมูลทั้งหมดเสร็จสิ้น ขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการดำเนินการคำนวณโดยแบบจำลอง โดยจะเป็นการตั้งค่าช่วงเวลาที่ต้องการคำนวณ รวมถึงประเภทความถี่เช่นข้อมูลรายวัน รายเดือน และรายปี จากนั้นแบบจำลองจะทำการคำนวณโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ตั้งต้น โดยเมื่อทำการคำนวณเสร็จสิ้นจะต้องดำเนินการสอบเทียบแบบจำลองเพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับพื้นที่นั้นๆ ต่อไป

## 2.2.2 แบบจำลอง DWCM-AgWU

### (1) ทฤษฎีของแบบจำลอง

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. แบบจำลองคำนวณการไหลเวียนของน้ำในแต่ละเซลล์ตลอดพื้นที่ลุ่มน้ำโดยพิจารณาการใช้น้ำทางภาคเกษตร โดยเฉพาะข้าวที่ใช้น้ำฝนในการเพาะปลูก (Rain-fed paddy) ผ่านแบบจำลองย่อย 4 แบบจำลองได้แก่

- 1) แบบจำลองย่อยการประมาณการณ์การคายระเหยของพืชอ้างอิง
- 2) แบบจำลองย่อยการพยากรณ์ระยะเวลาและพื้นที่การเพาะปลูก
- 3) แบบจำลองย่อยการคำนวณใช้น้ำในนาข้าว
- 4) แบบจำลองย่อยน้ำท่า

### การพัฒนาแบบจำลองย่อยเพื่อการพิจารณาน้ำทางด้านชลประทาน

#### 1) แบบจำลองย่อยการบริหารจัดการน้ำอ่างเก็บน้ำ

แบบจำลองการจัดการอ่างเก็บน้ำถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มศักยภาพของโมเดลในการคำนวณการไหลเวียนของน้ำที่ผ่านกิจกรรมที่ควบคุมโดยการจัดการของมนุษย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งการจัดการน้ำในอ่างเก็บน้ำ โดยแบบจำลองนี้ถูกเชื่อมโยงเข้ากับแบบจำลองย่อยน้ำท่าโดยสมมุติว่าเขื่อนถูกสร้างกั้นลำน้ำระหว่างเซลล์โดยแบบจำลองนี้คำนวณปริมาณน้ำเก็บกัก  $V_{res}(t)$  โดยพิจารณาจากปริมาณน้ำไหลเข้า  $Q_{resin}$  ปริมาณน้ำที่ระบายจากอ่างเก็บน้ำ  $Q_{resout}$  และปริมาณน้ำที่เก็บกักในช่วงเวลาก่อนหน้า  $V_{res}(t-1)$  โดยช่วงของการคำนวณเป็นวันตามสมการที่ 2.2-2

$$V_{res}(t) = V_{res}(t-1) + (Q_{resin}(t) - Q_{resout}(t))\Delta t \quad (\text{สมการที่ 2.2-2})$$

โดยที่ปริมาณน้ำไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำคือปริมาณน้ำที่ไหลจากเซลล์ด้านเหนือน้ำที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลองย่อยน้ำท่า และปริมาณน้ำที่ระบายจากอ่างเก็บน้ำนั้นคำนวณจากความต้องการน้ำ เพื่อชลประทานเพื่ออุปโภคและบริโภค เพื่อรักษาระบบนิเวศ เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า และการระบายน้ำผ่านอาคารระบายน้ำล้น (spillway)

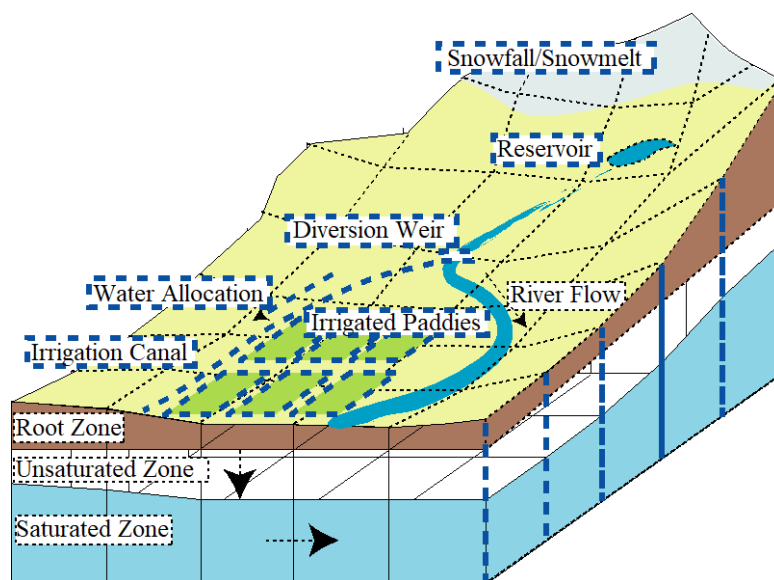
## 2) แบบจำลองการจัดสรรน้ำเพื่อพื้นที่ชลประทาน

แบบจำลองนี้ถูกเชื่อมโยงกับแบบจำลองย่อยการคำนวณใช้น้ำในนาข้าว เพื่อที่จะคำนวณปริมาณน้ำชลประทานที่ผันเข้าสำหรับพื้นที่นาข้าวในเขตชลประทาน โดยคำนึงถึงปริมาณความต้องการน้ำจากนาข้าว ( $Q_{dmd}$ ) ความสามารถในการรับของอาคารรับน้ำ ( $Q_{cap}$ ) และปริมาณน้ำที่มีอยู่ในแม่น้ำ ( $Q_{riv}$ ) ตามสมการที่ 2.2-2

$$Q_{div} = \min(Q_{riv}, Q_{cap}, Q_{dmd}) \quad (\text{สมการที่ 2.2-2})$$

โดยที่ปริมาณน้ำที่ผันเข้าสู่พื้นที่ชลประทานจะพิจารณาจากปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดที่พิจารณาจากองค์ประกอบทั้งสามในสมการที่ 2.2-2

ปริมาณน้ำที่ผันเข้าสู่พื้นที่ชลประทานจะถูกส่งไปสู่พื้นที่นาข้าวในแต่ละเซลล์ตามลำดับโดยคำนึงถึงลำดับในการรับน้ำชลประทานของแต่ละคลองซอย คลองแยกซอย ระยะห่างของจุดที่ตั้งพื้นที่นากับคลองส่งน้ำ และระดับพื้นที่ของนาข้าว



รูปที่ 2.2-2 องค์ประกอบคำนวณของแบบจำลอง DWCM-AgWU

## (2) การเรียงเรียงข้อมูลสำหรับแบบจำลอง SWAT

การนำเข้าข้อมูลในแบบจำลอง DWCM-AgWU ดำเนินการโดยอ้างอิงเซลล์การคำนวณ ขนาด 25 ตร.กม (5กม.×5กม.) หรือน้อยกว่า โดยข้อมูลที่จำเป็นสำหรับแบบจำลอง DWCM-AgWU ประกอบด้วย

- ข้อมูลลักษณะภูมิประเทศ ได้แก่ ข้อมูลระดับของพื้นที่ ข้อมูลทิศทางการไหลของลำน้ำ ระยะห่างระหว่างลำน้ำ ลำดับการไหล
- ข้อมูลอ่างเก็บน้ำ ได้แก่ ตำแหน่งที่ตั้งอ่างเก็บน้ำ
- ข้อมูลพื้นที่ชลประทาน ได้แก่ ข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งห้วยงาน
- ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยแบบจำลองคำนึงถึงลักษณะของการใช้ประโยชน์ที่ดินจำแนกได้ 5 ประเภทดังนี้ 1) นาข้าวในเขตชลประทาน 2) นาข้าวน้ำฝน 3) พื้นที่แหล่งน้ำ 4) พื้นที่ป่าไม้ 5) พื้นที่เกษตรอื่นๆ
- ข้อมูลลักษณะทางภูมิศาสตร์ เช่น ข้อมูลลำน้ำ ข้อมูลระดับและทิศทางการไหล
- ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ได้แก่ ข้อมูลฝน และข้อมูลสภาพภูมิอากาศอื่น ๆที่ใช้สำหรับการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง อาทิเช่น อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม โดยดำเนินการเฉลี่ยข้อมูลสภาพภูมิอากาศเชิงพื้นที่ด้วยวิธี Inverse Distance Weighting

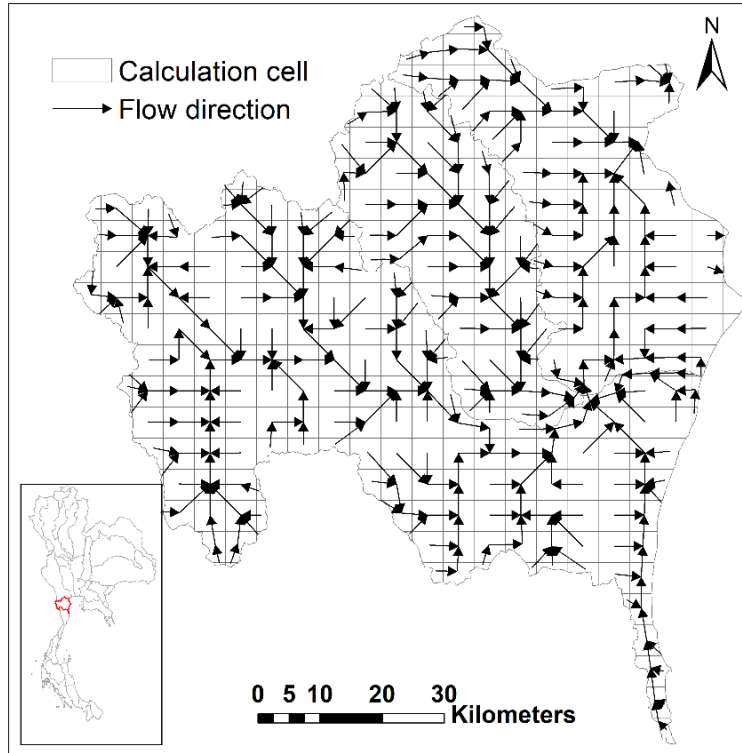
## (3) การตั้งค่าเริ่มต้นของแบบจำลอง DWCM

### 1) การกำหนดเซลล์การคำนวณและลำดับการคำนวณ

เซลล์การคำนวณขนาด 25 ตร.กม.หรือน้อยกว่า ครอบคลุมพื้นที่พื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี ทั้งหมดจำนวน 352 เซลล์ และมีลำดับในการคำนวณแสดงดังรูปที่ 2.2-3 ซึ่งลำดับการคำนวณดังกล่าวมีความสอดคล้องกับทิศทางการไหลกล่าวคือ เซลล์พื้นที่ทำนองจะต้องมีลำดับในการคำนวณหลังเซลล์ในพื้นที่ต้นน้ำ โดยรายละเอียดของการกำหนดเซลล์การคำนวณ และลำดับการคำนวณ จากการจัดทำฐานข้อมูลสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เพื่อนำเข้าแบบจำลอง

### 2) การกำหนดลุ่มน้ำ

การกำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยดำเนินการสำหรับการปรับค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองย่อยการคำนวณปริมาณน้ำท่า โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง DWCM-AgWU สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี กำหนดให้มีลุ่มน้ำจำนวน 3 ลุ่มน้ำย่อย ประกอบด้วย แม่น้ำเพชรบุรีตอนบน แม่น้ำเพชรบุรีตอนล่าง และห้วยแม่ประจันทรย์ โดยการแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำพิจารณาจากแผนที่มาตรฐานการแบ่งลุ่มน้ำหลักและลุ่มน้ำสาขาของประเทศไทย



รูปที่ 2.2-3 เซลล์คำนวณและทิศทางการไหลในแบบจำลอง DWCM-AgWU

### 2.2.3 แบบจำลอง MIKE-Basin

#### (1) ทฤษฎีของแบบจำลอง

แบบจำลอง Mike hydro (BASIN) เป็นแบบจำลองด้านการบริหารจัดการน้ำสามารถศึกษาวิเคราะห์ระบบแหล่งน้ำที่ประกอบด้วย โครงการพัฒนาแหล่งน้ำที่หลากหลายประเภท นโยบายการบริหารจัดการน้ำอย่างอิสระในแต่ละพื้นที่ และการผันน้ำข้ามลุ่มน้ำ โดยมีฟังก์ชันประกอบสำคัญ 4 ฟังก์ชัน ดังนี้

1) ฟังก์ชันการต่อเชื่อม (Connection) เป็นส่วนเชื่อมต่อระหว่างจุดที่มีการนำน้ำไปใช้กับผู้ใช้ น้ำ หรือระหว่างจุดที่ผู้ใช้ น้ำเชื่อมต่อกับพื้นที่ที่รับน้ำกลับจากพื้นที่ใช้น้ำไหลลงสู่ลำน้ำ (return flow) การเชื่อมต่อในลักษณะดังกล่าวจะสามารถกำหนดสิทธิลำดับการรับน้ำ

2) ฟังก์ชันลำน้ำ (River Segments) เป็นเส้นเชื่อมต่อระหว่างจุดบนลำน้ำ โดยสามารถจำลองการเคลื่อนตัวของลำน้ำได้ (routing) ความจุลำน้ำ และค่าการระเหยของลำน้ำ

3) ฟังก์ชันจุด (Node) เป็นจุดแสดงตำแหน่งของกิจกรรมการใช้น้ำด้านต่าง ๆ สามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะ ดังนี้ 1.กิจกรรมการใช้น้ำสัญลักษณ์รูปบ้านสี่เหลี่ยม ข้อมูลนำเข้าได้แก่ การใช้น้ำเพื่อการเกษตร การใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค การใช้น้ำเพื่อรักษาระบบนิเวศทำนน้ำ และการผันน้ำจากอ่างเก็บน้ำ 2.โครงการพัฒนาแหล่งน้ำสัญลักษณ์รูปสามเหลี่ยมสีฟ้า ข้อมูลนำเข้าได้แก่ การบริหารจัดการโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ การจัดอันดับความสำคัญก่อน หรือหลังของกิจกรรมการใช้น้ำ

4) ฟังก์ชัน อ่างเก็บน้ำ (Standard Reservoir) กลุ่มผู้ใช้น้ำทุกกลุ่ม สามารถใช้น้ำได้จาก ปริมาตรเก็บกักเดียวกัน และเกณฑ์การปล่อยน้ำจะพิจารณาจากปริมาณน้ำที่มีอยู่ทั้งหมด โดยแบ่งปริมาตรเก็บกัก ออกได้เป็น 4 โซน ได้แก่ 1) โซนป้องกันน้ำท่วม (Flood Control Zone) เป็นบัฟเฟอร์โซนรองรับปริมาณน้ำหลาก การปล่อยน้ำในโซนนี้สามารถปล่อยได้สูงสุดเท่ากับปริมาณน้ำสูงสุดที่ลำน้ารับได้ 2) โซนการเก็บกักปกติ (Normal Operating Zone) เป็นโซนที่สามารถปล่อยน้ำได้ตามความต้องการของกลุ่มผู้ใช้น้ำ 3) โซนการลดปริมาณการ ปล่อยน้ำ (Reduced operating Zone) เป็นโซนที่เริ่มมีการลดปริมาณการปล่อยน้ำให้ผู้ใช้น้ำ 4) โซนรักษาระบบ นิเวศวิทยาทำนน้ำ (Conservation Zone) ปล่อยน้ำเพียงเพื่อเลี้ยงลำน้ำเดิมหรือเท่ากับความต้องการน้ำต่ำสุด เพื่อการรักษาระบบนิเวศวิทยาทำนน้ำ และ 5) โซนปริมาตรเก็บกักสูญเปล่า (Dead Storage) ซึ่งเป็นโซนที่ไม่ สามารถนำน้ำไปใช้ประโยชน์ได้ ลักษณะการเชื่อมต่อดังรูปที่ 2.2-4 โดยแบบจำลอง Mike Hydro (BASIN) ใช้ สมการวิเคราะห์สมดุลน้ำ ดังสมการที่ 2.2-3 ถึง 2.2-9

กรณีมีอ่างเก็บน้ำ

$$S_t = S_{t-1} + V_{int} - R_t - L_t - V_{min,t} \quad (\text{สมการที่ 2.2-3})$$

$$AW_t = S_{t-1} + V_{int} - L_t - V_{min,t} \quad (\text{สมการที่ 2.2-4})$$

$$AW'_t = AW_t - (DdS_t + Dirr_t) \quad (\text{สมการที่ 2.2-5})$$

กรณีไม่มีอ่างเก็บน้ำ

$$AW_t = V_t - V_{min,t} \quad (\text{สมการที่ 2.2-6})$$

ค่า  $R_t$  คือค่าปริมาณการระเหยน้ำจากอ่างเก็บน้ำ เป็นตัวแปรที่ตัดสินใจ (Decision Variable) ที่จะ ระเหยน้ำจากอ่างเก็บน้ำเท่ากับ น้อยกว่า หรือมากกว่าความต้องการน้ำ

ทั้งนี้ค่า  $R_t$  จะขึ้นอยู่กับค่า  $AW'_t$  การตัดสินใจระบายน้ำจากอ่างเก็บน้ำจะแบ่งออกเป็น 3 กรณีคือ

Case 1 If  $AW'_t > URC_t$

$$R_t = DdS_t + Dirr_t + (AW'_t - URC_t) \leq Q_{max} \quad (\text{สมการที่ 2.2-7})$$

Case 2 If  $LRC_t < AW'_t < URC_t$

$$R_t = DdS_t + Dirr_t \quad (\text{สมการที่ 2.2-8})$$

Case 3\* If  $AW'_t < LRC_t$

$$R_t = DdS_t + Dirr_t + (AW'_t - LRC_t) \quad (\text{สมการที่ 2.2-9})$$

เมื่อ  $S_t$  = ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่เวลา  $t$  (ล้าน ลบ.ม./วัน)

$S_{t-1}$  = ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่เวลา  $t-1$  (ล้าน ลบ.ม./วัน)

$V_{int}$  = ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลา  $t-1$  ถึง  $t$  (ล้าน ลบ.ม./วัน)

$R_t$  = ปริมาณน้ำที่ระบายออกจากอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลา  $t-1$  ถึง  $t$  (ล้าน ลบ.ม./วัน)

$DdS_t$  = ปริมาณน้ำที่ส่งเพื่อการอุปโภคบริโภคและอื่นๆในช่วงเวลา  $t-1$  ถึง  $t$  (ล้าน ลบ.ม./วัน)

$Dirr_t$  = ปริมาณน้ำส่งเพื่อการชลประทานในช่วงเวลา  $t-1$  ถึง  $t$  (ล้าน ลบ.ม./วัน)

$V_{min,t}$  = ปริมาณน้ำเพื่อรักษาระบบนิเวศในช่วงเวลา  $t-1$  ถึง  $t$  (ล้าน ลบ.ม./วัน)

$L_t$  = ปริมาณน้ำสูญเสียของอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลา  $t-1$  ถึง  $t$  (ล้าน ลบ.ม./วัน)

$URC_t$  = โควงปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เส้นบนที่เวลา  $t$  (ล้าน ลบ.ม./วัน)

$LRC_t$  = โควงปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เส้นล่างที่เวลา  $t$  (ล้าน ลบ.ม./วัน)

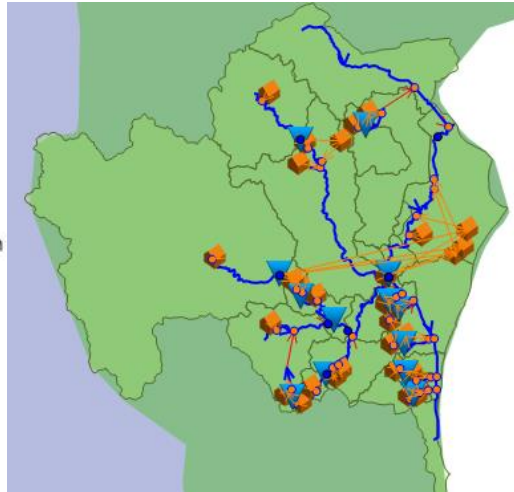
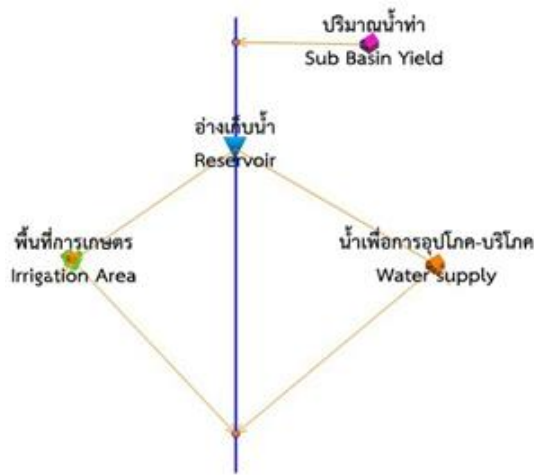
$V_t$  = ปริมาณน้ำที่ไหลของน้ำแม่น้ำในช่วงเวลา  $t-1$  ถึง  $t$  (ล้าน ลบ.ม./วัน)

$AW_t$  = ปริมาณน้ำที่คาดว่าจะสามารถนำไปใช้ได้ (ผันหรือสูบจากแม่น้ำ)

ในช่วงเวลา  $t-1$  ถึง  $t$  (ล้าน ลบ.ม./วัน)

$AW'_t$  = ปริมาณน้ำที่คาดว่าจะเหลือที่เวลา  $t$  (ล้าน ลบ.ม./วัน)

หมายเหตุ \* หมายถึง การระบายน้ำน้อยกว่าความต้องการและจะเกิดการขาดแคลนน้ำ



รูปที่ 2.2-4 การทำงานของแบบจำลอง Mike Hydro (Basin)

## (2) การจัดเตรียมข้อมูลสำหรับแบบจำลอง Mike Hydro (Basin)

การนำเข้าข้อมูลในแบบจำลอง Mike Hydro (Basin) ดำเนินการโดยอ้างอิงตามลุ่มน้ำสาขา และแผนผังระบบลุ่มน้ำ ซึ่งข้อมูลที่มีความจำเป็นสำหรับการประยุกต์ใช้แบบจำลอง Mike Hydro (Basin) ประกอบด้วย

- 1) ข้อมูลทางด้านอุทกวิทยา ได้แก่ ข้อมูลปริมาณน้ำท่า ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง DWCM-AgWU และแบบจำลอง SWAT
- 2) ข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำ ซึ่งสามารถจำแนกเป็นกิจกรรมการใช้น้ำ 4 กิจกรรม ได้แก่ ความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภค - บริโภค ความต้องการน้ำเพื่อรักษาระบบนิเวศ ความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรกรรม และความต้องการน้ำเพื่อการอุตสาหกรรมและการท่องเที่ยว
- 3) ข้อมูลอ่างเก็บน้ำ ได้แก่ ตำแหน่ง ขนาดความจุ และโค้งความจุ ข้อมูลปริมาณการระบายน้ำสำหรับกิจกรรมต่าง ๆ ข้อมูลศักยภาพของการระบายน้ำผ่านทางระบายน้ำฉุกเฉินปีที่เริ่มใช้งาน ข้อมูลพื้นที่ชลประทาน
- 4) ข้อมูลแผนผังระบบลุ่มน้ำ ได้แก่ ข้อมูลทิศทางการไหล ข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งห้วยหรือสถานีสูบน้ำของผู้ใช้น้ำ เช่น โครงการชลประทาน แม่ข่ายผลิตน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาคหรือประปาหมู่บ้าน เป็นต้น รวมถึงข้อมูลศักยภาพและประสิทธิภาพของผู้ใช้น้ำในกิจกรรมดังกล่าว
- 5) ข้อมูลการบริหารจัดการน้ำ เช่น แนวทางในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ/ลุ่มน้ำ การจัดลำดับความสำคัญของกิจกรรมการใช้น้ำ เป็นต้น

### (3) การตั้งค่าเริ่มต้นของแบบจำลอง

การตั้งค่าแบบจำลอง Mike Hydro (Basin) กำหนดลำดับขั้นตอนได้ 5 ลำดับ ดังต่อไปนี้

1) การตั้งค่าข้อมูลพื้นฐานแบบจำลอง ประกอบด้วย การกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา และการกำหนดช่วงเวลาในการจำลองสถานการณ์ เพื่อให้แบบจำลองทราบถึงตำแหน่งและช่วงเวลาที่ต้องการศึกษา

2) การตั้งค่าข้อมูลปริมาณน้ำท่า ข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากการวิเคราะห์ของแบบจำลอง DWCM-AgWU และแบบจำลอง SWAT ในช่วง พ.ศ.2545 ถึง พ.ศ.2563

3) การตั้งค่าข้อมูลความต้องการใช้น้ำในกิจกรรมของกลุ่มน้ำ ประกอบด้วย ข้อมูลความต้องการใช้น้ำด้านการอุปโภค - บริโภค ด้านการเกษตร และด้านอุตสาหกรรม โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ข้อมูลกิจกรรมการใช้น้ำด้านอุปโภค - บริโภค ได้แก่ ข้อมูลประชากร ปริมาณน้ำผลิตของสำนักงานประปาสาขาของจังหวัดเพชรบุรี โดยแบ่งแยกเป็นอัตราการใช้น้ำตามตำแหน่งที่ตั้งของการประปาส่วนภูมิภาค

- ข้อมูลกิจกรรมการใช้น้ำเพื่อการรักษาระบบนิเวศและคุณภาพสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย ข้อมูลน้ำท่าของ สถานี B9 และสถานี B10 ในการคำนวณเพื่อหาปริมาณน้ำเพื่อการรักษาระบบนิเวศที่เหมาะสม (กรมชลประทาน, 2563)

- ข้อมูลกิจกรรมการใช้น้ำด้านเกษตรกรรม ได้แก่ ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในเขตชลประทาน และพื้นที่เกษตรกรรมน้ำปีพ.ศ.2561 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2561) ในรูปแบบข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) จังหวัดเพชรบุรี

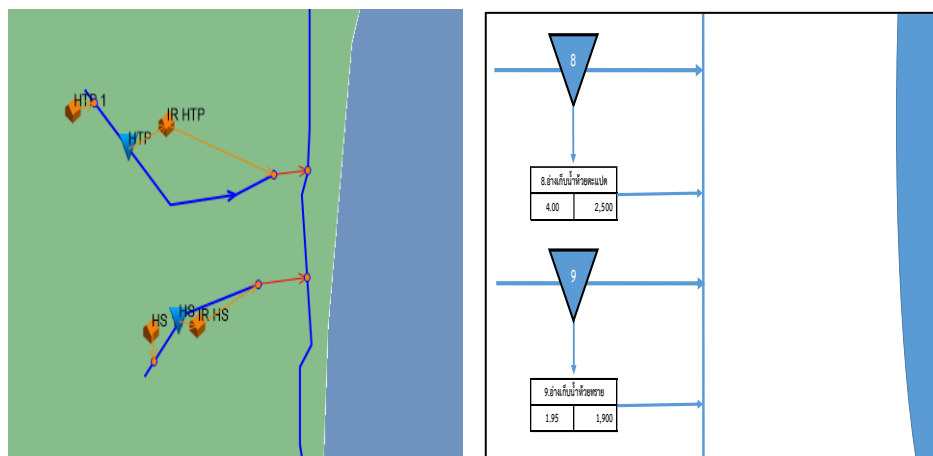
- ข้อมูลกิจกรรมการใช้น้ำด้านอุตสาหกรรม ได้แก่ ข้อมูลโรงงานอุตสาหกรรมจังหวัดเพชรบุรี

4) การตั้งค่าข้อมูลการบริหารจัดการน้ำของโครงการพัฒนากลุ่มน้ำ ประกอบด้วย ระดับเก็บกักต่ำสุด ระดับเก็บกักสูงสุด ระดับสันฝาย ระดับทางระบายน้ำล้น โค้งความจุของอ่างเก็บน้ำ เกณฑ์การบริหารจัดการโค้งปฏิบัติ การอ่างเก็บน้ำเส้นบนและเส้นล่าง ปริมาณน้ำรักษาระบบนิเวศ ปริมาณการซึม ลำดับการส่งน้ำและประสิทธิภาพชลประทาน โดยมีรายละเอียด ดังนี้

- การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ การประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE Hydro (Basin) สำหรับกลุ่มน้ำภาคเพชรบุรีในการคำนวณปริมาณน้ำท่าภายใต้การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำทั้งสิ้นจำนวน 10 แห่ง ซึ่งเป็นอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ 1 แห่ง ความจุเก็บกักรวม 710 ล้าน ลบ.ม. อ่างเก็บน้ำขนาดกลางจำนวน 5 แห่ง ความจุเก็บกักรวม 55.6 ล้าน ลบ.ม. และอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กจำนวน 4 แห่ง ความจุเก็บกักรวม 2.48 ล้าน ลบ.ม. โดยมีพื้นที่ชลประทานรวมทั้งหมด 392,250 ไร่ โดยมีรายละเอียดของโครงการชลประทานแสดงดัง **ตารางที่ 2.2-2** โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองในงานวิจัยนี้จะละเว้นการคำนวณการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำขนาดกลาง และขนาดเล็กเนื่องจากข้อมูลการจัดการน้ำมีเกณฑ์การใช้น้ำในระดับต่ำกว่าโค้งปฏิบัติการเส้นล่างซึ่งแตกต่างกับอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ที่ยังคงเหลือปริมาณน้ำในระดับโค้งปฏิบัติการเส้นล่าง โดยรูปแบบการคำนวณกรณีในพื้นที่ที่มีอ่างเก็บน้ำของแบบจำลองแสดงดัง **รูปที่ 2.2-5**

ตารางที่ 2.2-2 รายละเอียดแหล่งน้ำและกิจกรรมการใช้น้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

ลำดับ	แหล่งน้ำ	ความจุ (ล้าน ลบ.ม.)	ประเภท	กิจกรรมการใช้น้ำ
1	อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน	710	ขนาดใหญ่	พื้นที่ชลประทาน คบ.เพชรบุรี 336,000 ไร่ กปภ. สาขาเพชรบุรี
2	อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์	42.2	ขนาดกลาง	พื้นที่ชลประทาน 35,000 ไร่
3	อ่างเก็บน้ำวังยาว	0.27	ขนาดเล็ก	พื้นที่ชลประทาน 1,250 ไร่
7	อ่างเก็บน้ำห้วยปูน้อย	0.6	ขนาดเล็ก	พื้นที่ชลประทาน 2,500 ไร่
9	อ่างเก็บน้ำหุบกระพง	0.8	ขนาดเล็ก	พื้นที่ชลประทาน 3,500 ไร่
5	อ่างเก็บน้ำห้วยสงสัย	4.05	ขนาดกลาง	พื้นที่ชลประทาน 4,500 ไร่
8	อ่างเก็บน้ำห้วยตะแปด	4	ขนาดกลาง	พื้นที่ชลประทาน 2,500 ไร่
4	อ่างเก็บน้ำห้วยสามเขา	3.4	ขนาดกลาง	พื้นที่ชลประทาน 2,500 ไร่
6	อ่างเก็บน้ำห้วยทราย	1.95	ขนาดกลาง	พื้นที่ชลประทาน 1,900 ไร่
10	อ่างห้วยโป่งทะลุ	0.81	ขนาดเล็ก	พื้นที่ชลประทาน 2,600 ไร่

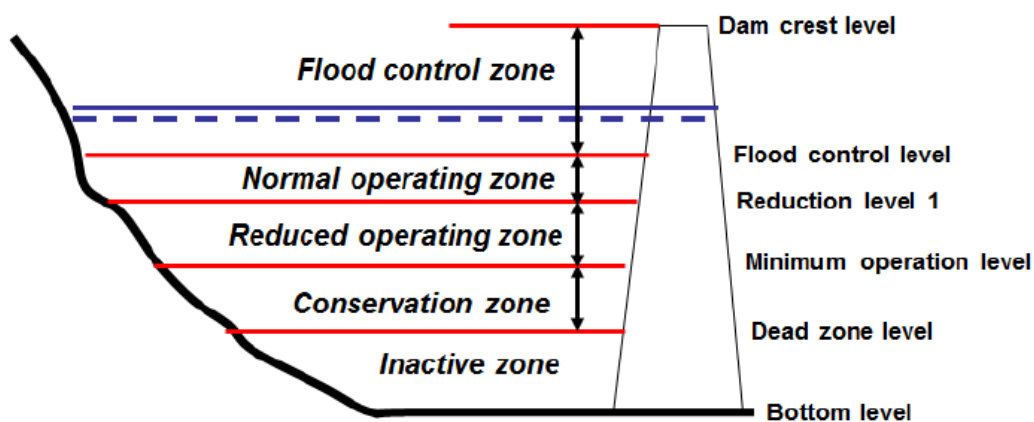


รูปที่ 2.2-5 การบริหารจัดการน้ำโดยแบบจำลอง Mike Hydro (Basin)

การจำลองการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำสำหรับงานวิจัยนี้ กำหนดให้ปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาซึ่งอยู่บริเวณต้นน้ำของอ่างเก็บน้ำเป็นปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Inflow) ซึ่งปริมาณน้ำท่าดังกล่าวเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง DWCM-AgWU และแบบจำลอง SWAT ในลำดับถัดมาแบบจำลอง Mike Hydro (Basin) คำนวณปริมาณน้ำที่ระบายออกจากอ่างเก็บน้ำโดยพิจารณาจาก 1) ปริมาณน้ำคงเหลือในอ่างเก็บน้ำ 2) ความต้องการน้ำสำหรับกิจกรรมต่าง ๆ ของพื้นที่ที่ได้รับผลประโยชน์จากอ่างเก็บน้ำ และ 3) การบริหารการจัดการอ่างเก็บน้ำ

- การกำหนดลักษณะอ่างเก็บน้ำ แบบจำลอง MIKE Hydro (Basin) กำหนดให้ระบุลักษณะของอ่างเก็บน้ำโดยอ้างอิงจากค่าระดับ (รูปที่ 2.2-6) ซึ่งค่าระดับที่มีความสำคัญสำหรับปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำได้แก่

1. ระดับพื้นอ่างเก็บน้ำ
2. ระดับความจุต่ำสุด
3. ระดับทางระบายน้ำล้น
4. โค้งปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเส้นบน (Upper Rule Curve)
5. โค้งปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเส้นล่าง (Lower Rule Curve)



รูปที่ 2.2-6 ค่าระดับของอ่างเก็บน้ำ

- การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ สำหรับงานวิจัยนี้ การประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE Hydro (Basin) เพื่อจำลองการบริหารจัดการน้ำ กำหนดให้มีปฏิบัติการสำหรับอ่างเก็บน้ำ 4 รูปแบบ ดังนี้

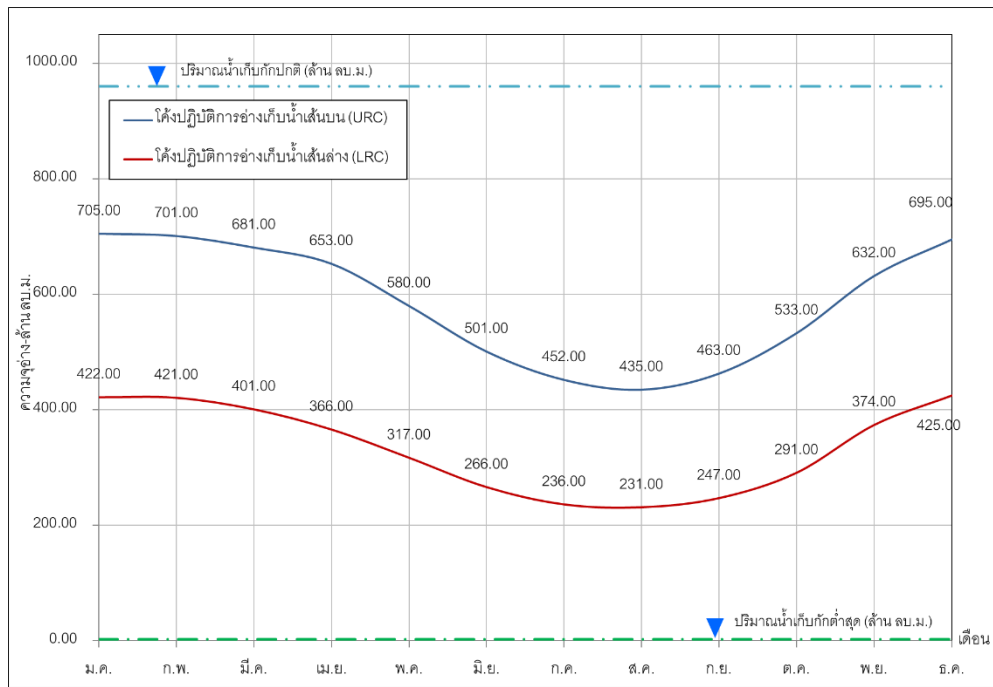
1. ปริมาณน้ำที่ต้องระบายต่ำสุด คือ ปริมาณน้ำที่ต้องระบายเพื่อรักษาระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อมของแม่น้ำด้านท้ายเขื่อน โดยเขื่อนจะระบายปริมาณน้ำที่ต้องระบายต่ำสุดจนกระทั่งระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำมีค่าน้อยกว่าระดับความจุต่ำสุด

2. ปริมาณน้ำที่สามารถระบายได้สูงสุด คือปริมาณน้ำที่สามารถระบายได้หากระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำมีค่ามากกว่าโค้งปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเส้นบน โดยปริมาณน้ำที่สามารถระบายได้สูงสุดต้องคำนึงถึงศักยภาพการระบายของแม่น้ำด้านท้ายเขื่อน เพื่อไม่ก่อให้เกิดความเสียหายเนื่องจากการระบายน้ำบริเวณพื้นที่ท้ายน้ำ

3. โค้งปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเส้นล่างคือ ระดับน้ำต่ำสุดที่เขื่อนสามารถระบายตามความต้องการน้ำสำหรับกิจกรรมต่าง ๆ ด้านท้ายน้ำ ซึ่งระดับดังกล่าวสามารถเปลี่ยนแปลงได้ในแต่ละช่วงเวลา หากระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำช่วงเวลานั้นต่ำกว่าโค้งปฏิบัติการต่ำสุดเขื่อนจะระบายน้ำเพียงแค่ปริมาณน้ำที่ต้องระบายต่ำสุด หากไม่ได้ระบุระดับของปฏิบัติการต่ำสุดในการจำลองปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ แบบจำลองการระบุให้โค้งปฏิบัติการต่ำสุดมีค่าเท่ากับระดับความจุต่ำสุด

4. โค้งปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเส้นบน คือ ระดับน้ำสูงสุดที่สามารถเก็บไว้ได้ในอ่างเก็บน้ำในแต่ละช่วงเวลา หากระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำมีค่ามากกว่าระดับน้ำสูงสุดอาจส่งผลให้เกิดการไหลผ่านทางระบายน้ำล้น ดังนั้นหากระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำมีค่ามากกว่าระดับของโค้งปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเส้นบนช่วงเวลานั้น เขื่อนจะระบายน้ำส่วนเกินเพื่อควบคุมให้ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำไม่เกินระดับของโค้งปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเส้นบน โดยปริมาณน้ำที่ระบายจะต้องไม่เกินปริมาณน้ำที่สามารถระบายได้สูงสุด

โดยมีเกณฑ์การบริหารจัดการน้ำอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานและเกณฑ์การบริหารจัดการน้ำรายเดือนของอ่างเก็บน้ำในกลุ่มเพชรบุรี ดังรูปที่ 2.2-7



**รูปที่ 2.2-7 เกณฑ์การบริหารจัดการน้ำอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน**

- การจำลองจัดสรรน้ำ การจัดสรรทรัพยากรน้ำเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดจำเป็นต้องต้องทราบถึงข้อมูลระบบลุ่มน้ำ ประกอบด้วย ลำดับลุ่มน้ำ ข้อมูลปริมาณน้ำท่า ข้อมูลความต้องการใช้น้ำ และข้อมูลการบริหารจัดการน้ำในลุ่มน้ำ จากการศึกษาลุ่มน้ำพบค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการจัดสรรน้ำเพื่อให้แบบจำลองมีผลลัพธ์ใกล้เคียงสภาพแวดล้อมจริง ซึ่งค่าดังกล่าวประกอบด้วย การจัดลำดับการส่งน้ำ ความจุลุ่มน้ำ ประสิทธิภาพชลประทาน และปริมาณน้ำเหลือใช้ โดยค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.2-2

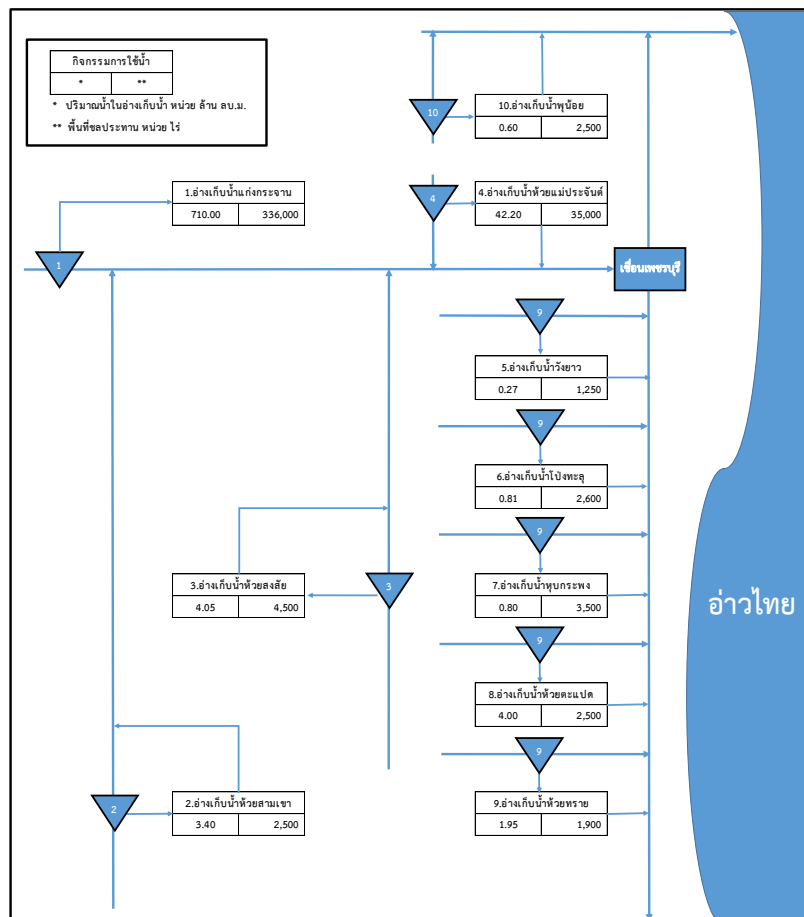
การตั้งค่าโครงข่ายลุ่มน้ำ ประกอบด้วย การสร้างขอบเขตลุ่มน้ำหลัก ลุ่มน้ำสาขา และลุ่มน้ำสาขา การสร้างข้อมูลความจุลุ่มน้ำ ทิศทางการไหล และความยาวลำน้ำ และการสร้างจุดรับน้ำและระบายน้ำจากโครงการพัฒนาแหล่งน้ำและเส้นลำน้ำ โดยมีโครงข่ายลุ่มน้ำแสดงดังรูปที่ 2.2-8 โดยผลจากแบบจำลองสามารถแสดงได้ในรูปแบบข้อมูลรายวัน รายเดือน หรือรายปี

ตารางที่ 2.2-3 เกณฑ์การบริหารจัดการน้ำลุ่มน้ำ

ลำดับ	ค่าพารามิเตอร์	ด้านการอุปโภค-บริโภค	ด้านการเกษตร	ด้านการอุตสาหกรรม
1	ประสิทธิภาพชลประทาน	-	55	-
2	ลำดับการรับน้ำ	2	4	3
3	ปริมาณน้ำเหลือใช้จากน้ำต้นทุน	80%	30%	80%

หมายเหตุ : ลำดับการรับน้ำลำดับที่ 1 คือ น้ำเพื่อการรักษาระบบนิเวศ

ที่มา : กรมชลประทาน (2562)



รูปที่ 2.2-8 แผนผังระบบน้ำลุ่มน้ำเพชรบุรี

## 2.3 การประเมินปริมาณความต้องการน้ำ

การประเมินปริมาณความต้องการน้ำแบ่งออกเป็น 4 กิจกรรม ได้แก่ ความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค ความต้องการน้ำเพื่อการรักษาระบบนิเวศ ความต้องการน้ำเพื่ออุตสาหกรรมและการท่องเที่ยว และความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรกรรม โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 2.3.1 ความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค

การประเมินความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค จะคำนึงถึงจำนวนประชากรทั้งหมดที่อาศัย ซึ่งจะมีความแตกต่างกันตามความหนาแน่น ซึ่งอ้างอิงตาม การประปาส่วนภูมิภาค โดยสรุปได้ดังนี้

- เทศบาลนคร กำหนดอัตราใช้น้ำ 250 ลิตร/คน/วัน
- เทศบาลเมือง กำหนดอัตราใช้น้ำ 200 ลิตร/คน/วัน
- เทศบาลตำบล กำหนดอัตราใช้น้ำ 120 ลิตร/คน/วัน
- นอกเขตเทศบาล กำหนดอัตราใช้น้ำ 50 ลิตร/คน/วัน

โดยการคำนวณปริมาณความต้องการน้ำเพื่ออุปโภค-บริโภค คำนวณดังสมการที่ 2.3-1

$$W_d = P \times W_c \quad (\text{สมการที่ 2.3-1})$$

เมื่อ  $P$  = จำนวนประชากร (คน)

$W_c$  = อัตราการใช้น้ำ (ลิตรต่อคนต่อวัน)

$W_d$  = ปริมาณการใช้น้ำเพื่ออุปโภคบริโภค (ลิตรต่อวัน)

### 2.3.2 ความต้องการน้ำเพื่อการรักษาระบบนิเวศ

ปริมาณความต้องการน้ำเพื่อรักษาระบบนิเวศน์ ปกติจะกำหนดตามผลการวิเคราะห์ระบบนิเวศน์และสิ่งแวดล้อมเพื่อรักษาสมดุลของระบบ โดยในบางครั้งกำหนดจากความต้องการน้ำด้านทำนน้ำ เช่น การขับไล่ น้ำเค็ม-น้ำเสีย

### 2.3.3 ความต้องการน้ำเพื่ออุตสาหกรรมและการท่องเที่ยว

การศึกษาความต้องการใช้น้ำเพื่อโรงงานอุตสาหกรรม ได้ทำการกำหนดหน่วยการใช้น้ำของโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป โดยทำการคิดการใช้น้ำจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ลงทะเบียนและตั้งอยู่ในเขตจำหน่ายน้ำของการประปาส่วนภูมิภาค และจะกำหนดอัตราการใช้น้ำตามตารางหน่วยการใช้น้ำของโรงงานอุตสาหกรรมแต่ละประเภท 107 ประเภท

การใช้น้ำเพื่ออุตสาหกรรมสามารถประเมินได้จากกำลังผลิตของโรงงานแต่ละประเภท ร่วมกับ อัตราการใช้น้ำต่อกำลังการผลิตในแต่ละประเภทของโรงงาน

$$W_i = H_p \times W_{hp} \quad (\text{สมการที่ 2.3-2})$$

เมื่อ  $H_p$  = กำลังการผลิตของโรงงานแต่ละประเภท (แรงม้า)

$W_{hp}$  = อัตราการใช้น้ำต่อกำลังการผลิตในแต่ละประเภทโรงงาน (ลบ.ม.ต่อวันต่อแรงม้า)

$W_i$  = ปริมาณการใช้น้ำเพื่ออุตสาหกรรม (ลบ.ม.ต่อวัน)

สำหรับการคำนวณปริมาณความต้องการน้ำสำหรับการท่องเที่ยว มีหลักเกณฑ์กำหนดปริมาณความต้องการน้ำรายละเอียดแสดงดังนี้

1) นักท่องเที่ยวพักค้างคืนเฉลี่ย 3 วัน มีอัตราการใช้น้ำเฉลี่ย 350 ลิตร/คน/วัน โดยพิจารณาจากอัตราการใช้น้ำของนักท่องเที่ยวที่พักในโรงแรมคิด 300 - 400 ลิตร/คน/วัน (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2540)

2) นักทัศนอาจรที่ไม่พักค้างคืนกำหนดให้มีการใช้น้ำในอัตราเฉลี่ย 30 ลิตร/คน/วัน (กรมโยธาธิการ, 2536)

การคำนวณปริมาณความต้องการน้ำสำหรับนักท่องเที่ยวและนักทัศนอาจรแสดงดังสมการที่ 2.3-3

$$W_t = N_T \times W_{NT} \times Day_{Avg} \quad (\text{สมการที่ 2.3-3})$$

เมื่อ  $W_t$  คือ ปริมาณความต้องการน้ำสำหรับนักท่องเที่ยว

$N_T$  คือ จำนวนนักท่องเที่ยวรายปี

$W_{NT}$  คือ อัตราการใช้น้ำสำหรับนักท่องเที่ยวค้างคืน กำหนด 350 ลิตร/คน/วัน

$Day_{avg}$  คือ จำนวนวันที่พำนักรเฉลี่ย

$$W_e = N_e \times W_{Ne} \quad (\text{สมการที่ 2.3-4})$$

เมื่อ  $W_e$  คือ ปริมาณความต้องการน้ำสำหรับนักทัศนอาจร

$N_e$  คือ จำนวนนักทัศนอาจรรายปี

$W_{Ne}$  คือ อัตราการใช้น้ำสำหรับนักทัศนอาจร กำหนด 30 ลิตร/คน/วัน

โดยที่ ปริมาณความต้องการน้ำสำหรับนักท่องเที่ยวทั้งหมด เท่ากับผลรวมระหว่างปริมาณความต้องการน้ำสำหรับนักท่องเที่ยว ( $W_t$ ) กับ ปริมาณความต้องการน้ำสำหรับนักทัศนอาจร ( $W_e$ )

### 2.3.4 ความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรกรรม

ความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรกรรม จะคำนวณความต้องการน้ำตามชนิดของพืชและขนาดของพื้นที่เพาะปลูก ซึ่งค่าความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรจะคำนวณ ดังสมการที่ 2.3-5

$$\text{ความต้องการน้ำ(ลบ.ม./ไร่)} = \frac{(\text{ความต้องการน้ำของพืช} - \text{ฝนใช้การ} + \text{ค่าการสูญเสีย}) \times 100}{\text{ประสิทธิภาพชลประทาน (ร้อยละ)}} \quad (\text{สมการที่ 2.3-5})$$

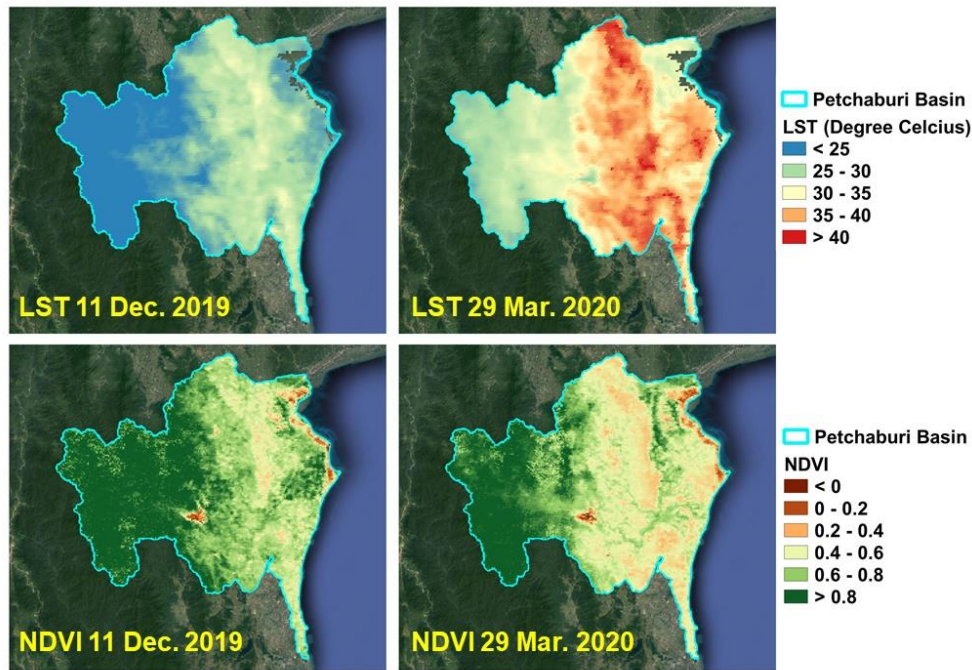
โดย ค่าความต้องการน้ำของพืชคำนวณจากผลคูณระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop Coefficient; Kc) และ ค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ( Reference Crop Evapotranspiration; ET<sub>o</sub>) โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชนั้นจะแตกต่างกันตามช่วงของการเจริญเติบโต ซึ่งพืชแต่ละชนิดจะมีค่าสัมประสิทธิ์เฉพาะไม่สามารถแทนกันได้ และค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ปัจจุบันกรมชลประทานได้ใช้วิธีคำนวณโดยสมการ Penman Monteith ซึ่งเป็นวิธีที่คำนวณโดยอาศัยข้อมูลทางภูมิอากาศและสภาพภูมิประเทศ ซึ่งประกอบด้วย อุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์, ความเร็วลมที่ระดับ 2 เมตร, ชั่วโมงแสงแดด, ความชื้นของเมฆ และ พิกัดทางภูมิศาสตร์และความสูงจากระดับน้ำทะเล

### 2.4 การสำรวจระยะไกลด้วยภาพถ่ายดาวเทียม

จากข้อมูลผลิตภัณฑ์ MOD09A1 ได้นำภาพแบนด์ 1 (red band, 620-670 nm) และ แบนด์ 2 (near-infrared band, 841-876 nm) มาคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณแตกต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) (Rouse et al., 1974) ตามสมการดังนี้

$$\text{NDVI} = \frac{\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{Red}}}{\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{Red}}} \quad (\text{สมการที่ 2.4-1})$$

โดย  $\rho_{\text{NIR}}$  คือค่าการสะท้อนของพื้นผิวในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (NIR) และ  $\rho_{\text{Red}}$  คือค่าการสะท้อนของพื้นผิวในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นสีแดง (RED) ซึ่ง NDVI มีค่าระหว่าง -1 ถึง 1 โดยพื้นผิวที่มีพืชพรรณปกคลุมอยู่มาก จะมีค่าการสะท้อนช่วงคลื่น NIR สูงกว่าช่วงคลื่น RED ทำให้ NDVI มีค่าเป็นบวก กรณีพื้นผิวที่มีพืชพรรณปกคลุมน้อยหรือเป็นพื้นดินเปล่าจะมีค่าการสะท้อนระหว่างทั้งสองช่วงคลื่นใกล้เคียงกันทำให้ NDVI มีค่าใกล้เคียงกับ 0 และกรณีพื้นผิวเป็นน้ำจะมีค่าการสะท้อนช่วงคลื่น RED สูงกว่าช่วงคลื่น NIR ทำให้ NDVI มีค่าติดลบ ตัวอย่างข้อมูลภาพ NDVI ดังแสดงในรูปที่ 2.4-1



รูปที่ 2.4-1 ตัวอย่างข้อมูลภาพดัชนีพืชพรรณแบบ NDVI และอุณหภูมิพื้นผิว (LST)

การจัดการสร้างชุดข้อมูลอนุกรมเวลา NDVI ได้ใช้วิธีซ้อนทับข้อมูลภาพ (Layer Stack) อย่างไรก็ตามพบว่าค่า NDVI ในแต่ละช่วงเวลามีความแปรปรวนของข้อมูล ในที่นี้จึงใช้วิธีปรับความเรียบ (Smoothing) ด้วยตัวกรองแบบ Savitzky – Golay (Chen et al., 2004) โดยเทคนิคนี้มีพื้นฐานจากการใช้ฟังก์ชันพหุนามดีกรีต่ำในการทำ Curve Fitting จุดที่อยู่เคียงข้างกัน จากการกำหนดพารามิเตอร์ 2 ค่า คือ ขนาดของหน้าต่าง (Window Size) และระดับชั้นพหุนาม (Polynomial Degree) ซึ่งดีกรีของฟังก์ชันพหุนามที่ใช้จะส่งผลต่อค่าน้ำหนักถ่วงของแต่ละจุดด้วย โดยมีสมการคำนวณดังต่อไปนี้

$$x_i^o = \frac{1}{2m+1} \sum_{j=-m}^m w_j x_{i+j} \quad (\text{สมการที่ 2.4-2})$$

โดย  $X_i^o$  เป็นค่าที่เกิดจากการกรอง  $x_{i+j}$  เป็นข้อมูลดิบ  $i$  และ  $j$  คือค่าคงตัว เมื่อเวกเตอร์ข้อมูลดิบ  $x = (x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n)$  และขนาดของหน้าต่าง (Window Size,  $2m+1$ ) ที่ต้องถูกกำหนดก่อนทำการคำนวณส่วนค่าถ่วงน้ำหนัก ( $w_j$ ) สามารถหาได้โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดซึ่งสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$x_j^i = a_0 + a_1 j + a_2 j^2 + \dots + a_k j^k \quad (\text{สมการที่ 2.4-3})$$

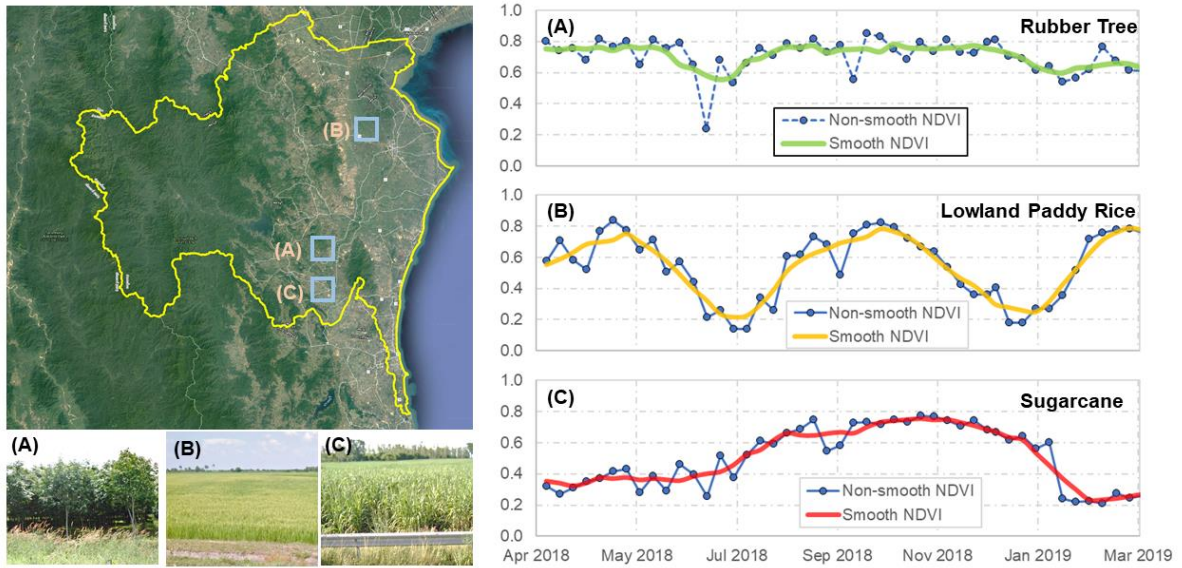
เมื่อ  $(j = -m, -m+1, \dots, m-1, m)$  ;  $i = 1, \dots, n$

ตัวอย่างเช่น การกรองข้อมูลที่มีขนาดหน้าต่างเท่ากับ 5 ( $m=2$ ) โดยการเริ่มต้นการคำนวณนั้นข้อมูลแรก จะถูกใช้ในการหาข้อมูลที่  $X_3^0$  ซึ่งข้อมูลสองค่าแรกจะไม่สามารถทำการกรองค่าได้ หลังจากนั้นทำการหา  $X_4^0$  และค่าต่อไปจนครบข้อมูลที่ ต้องการกรอง และค่าถ่วงน้ำหนัก ( $w_{-2}, w_{-1}, w_0, w_1, w_2$ ) สามารถหาได้จาก สัมประสิทธิ์ของ  $X_0^i$  ค่าก็คือ  $\left(-\frac{3}{35}, \frac{12}{35}, \frac{17}{35}, \frac{12}{35}\right.$  และ  $\left.-\frac{3}{35}\right)$  สำหรับขนาดหน้าต่างเท่ากับ 5 และพหุนามอันดับ 2 โดยที่ขนาดของหน้าต่างอื่นๆ ก็สามารถหาได้เช่นเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.4-1

ผลจากการปรับความเรียบค่า NDVI ดังแสดงในรูปที่ 2.4-2 พบว่าค่า NDVI ตามช่วงเวลาสามารถแสดง สถานะการเจริญเติบโตของพืชในรูปแบบของซีพลักษณ์พืชพรรณ (vegetation phenology) ได้ โดยจะเห็นว่า พื้นที่ปลูกยางพาราจะค่า NDVI เฉลี่ยค่อนข้างสูงสม่ำเสมอเกือบตลอดปี (มากกว่า 0.6) ซึ่งสะท้อนถึงลักษณะความ เป็นพืชพรรณสูงสอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพของยางพาราที่เป็นไม้ยืนต้นที่มีเรือนยอดปกคลุมหนาแน่น เกือบตลอดทั้งปี สำหรับอ้อยจะมีค่า NDVI ต่ำในช่วงเดือนเมษายนและค่อนๆ เพิ่มสูงขึ้นจนสูงสุดที่ประมาณเดือน กันยายน-ตุลาคม และค่าลดต่ำลงในช่วงปลายปี-ต้นปีในปีถัดไป สอดคล้องกับรูปแบบของซีพลักษณ์ของอ้อยและ ปฏิทินการปลูกอ้อยซึ่งมีรอบการเพาะปลูก 10-12 เดือน โดยจะมีช่วงการเก็บเกี่ยวในฤดูเปิดที่อ้อยประมาณ เดือนมกราคม-มีนาคม ทำให้ช่วงต้นปีค่า NDVI ค่อนข้างต่ำเนื่องจากเป็นช่วงที่อ้อยถูกเก็บเกี่ยวแล้ว สำหรับนาข้าว ในเขตชลประทานซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีน้ำค่อนข้างเพียงพอต่อการเพาะปลูกนาปรังจะเห็นว่าค่า NDVI สอดคล้องกับ รูปแบบของซีพลักษณ์ของข้าวและสอดคล้องกับปฏิทินการเพาะปลูกข้าวโดยในช่วงนาปีเริ่มปลูกในเดือน กรกฎาคม-สิงหาคม เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม จากนั้นในช่วงนาปีเริ่มปลูกในเดือนมกราคม- กุมภาพันธ์ เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน

ตารางที่ 2.4-1 Coefficients for Savitzky - Golay Smoothing.( Gorry, 1990)

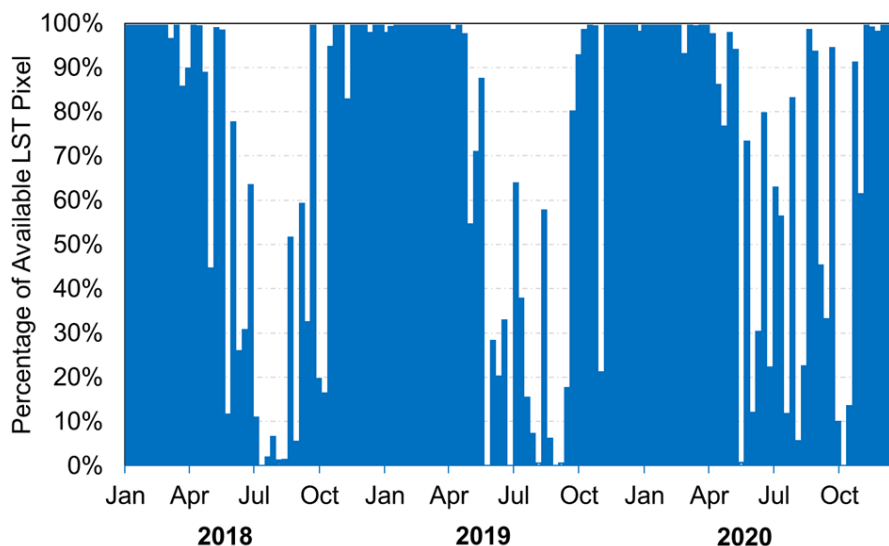
Polynomial Degree Window Size	Quadratic or Cubic 2 or			Quadratic or Quintic 4	
	5	7	9	7	9
-4			-21		15
-3		-2	14	5	-55
-2	-3	3	39	-30	30
-1	12	6	54	75	135
0	17	7	59	131	179
1	12	6	54	75	135
2	-3	3	39	-30	30
3		-2	14	5	-55
4			-21		15
Normalization	35	21	231	231	429



รูปที่ 2.4-2 ตัวอย่างค่าอนุกรมเวลา NDVI ของพืชพรรณในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

(a) ยางพารา (b) ข้าวนาหว่านน้ำตม (c) อ้อย

สำหรับค่าอุณหภูมิพื้นผิว (Land Surface Temperature, LST) เป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่มีความสำคัญในการประเมินการคายระเหย ความชื้นของดิน และความเฉื่อยความร้อน (Karnieli et al, 2009) สำหรับในการศึกษาที่ใช้ข้อมูลผลิตภัณฑ์ MOD11A2 จากภาพถ่ายดาวเทียม Terra/MODIS โดยเลือกใช้ค่า Daytime Land Surface Temperature (หน่วย: เคลวิน) อย่างไรก็ตาม ข้อมูล LST ในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน-ตุลาคม) จะมีจุดภาพ (pixel) ที่ขาดหายเนื่องจากมีเมฆปกคลุมในพื้นที่ค่อนข้างมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.4-3 ดังนั้นในการศึกษาจะใช้ข้อมูล MOD11A2 เฉพาะช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน-พฤษภาคม) ในการประเมินดัชนีความแห้งแล้ง



รูปที่ 2.4-3 ร้อยละจำนวนจุดภาพอุณหภูมิพื้นผิวในพื้นที่ศึกษาที่สามารถนำมาคำนวณได้

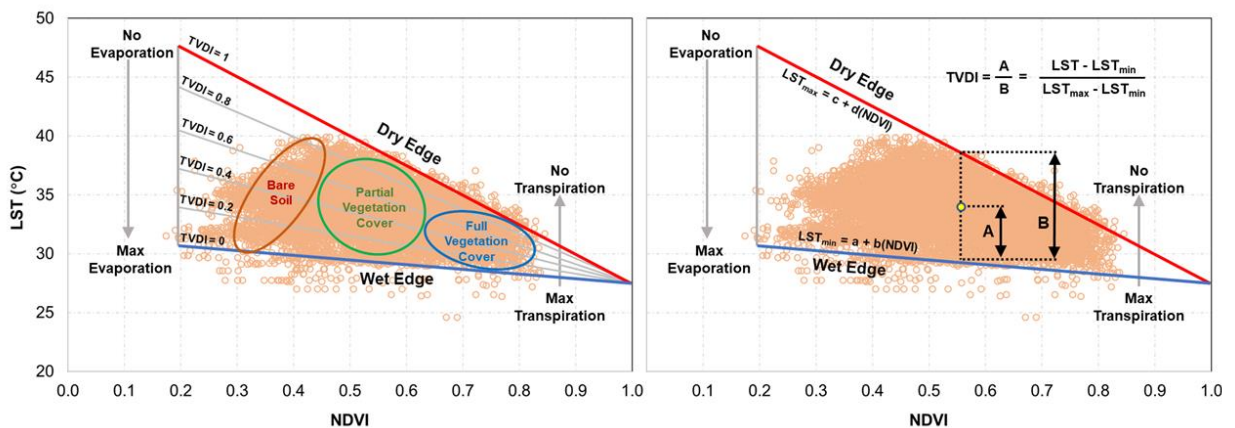
การประเมินดัชนีความแห้งแล้งในการศึกษานี้ได้เลือกใช้วิธี Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI) เนื่องจากเป็นดัชนีความแห้งแล้งทางการเกษตรที่สามารถตรวจวัดได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม อีกทั้งยังเป็นดัชนีที่ได้รับความนิยมในการใช้งานสูงเนื่องจากมีความเรียบง่ายและแม่นยำในการตรวจวัด (Bai and Di, 2017) ในการวิเคราะห์ TVDI ได้นำค่า NDVI และ LST พล็อตข้อมูลลงบนแผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram) เพื่อสร้างปริภูมิรูปลักษณะ (Feature Space) NDVI-LST ดังแสดงในรูปที่ 2.4-4 โดยกำหนดขอบเขตการคำนวณใน Feature Space เป็นพื้นที่รูปสามเหลี่ยมและคำนวณค่า TVDI ของแต่ละจุดภาพได้ตามวิธีของ Sandholt และคณะ (Sandholt et al., 2002) โดยคำนวณจากสัดส่วนระหว่างระยะ A กับ B และสามารถเขียนเป็นรูปสมการได้ดังต่อไปนี้

$$TVDI = \frac{A}{B} = \frac{LST - LST_{min}}{LST_{max} - LST_{min}} \quad (\text{สมการที่ 2.4-4})$$

$$LST_{min} = a + b * NDVI \quad (\text{สมการที่ 2.4-5})$$

$$LST_{max} = c + d * NDVI \quad (\text{สมการที่ 2.4-6})$$

โดย  $LST_{min}$ ,  $LST_{max}$  คือ ค่าอุณหภูมิพื้นผิวต่ำสุดและสูงสุดในพื้นที่สามเหลี่ยมใน Feature Space NDVI คือ ค่าดัชนีพืชพรรณแตกต่างกันแบบนอร์มัลไลซ์  
 a, b, c, d คือ พารามิเตอร์ที่ได้จากการประมาณค่าสมการถดถอยเชิงเส้น



รูปที่ 2.4-4 The NDVI-LST Feature Space (ดัดแปลงจาก Sandholt et al., 2002)

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

การแปลความหมายของดัชนี TVDI เป็นระดับความแห้งแล้ง มีสองแนวทางได้แก่ 1) แนวทางของ Wang และคณะ (Wang et al, 2004) และแนวทางของ Shi และคณะ (Shi et al, 2020) ดังแสดงในตารางที่ 2.4-2 ในการศึกษาเลือกใช้แนวทางของ Shi และคณะ ซึ่งสามารถแบ่งความรุนแรงออกเป็น 5 ระดับ โดยเริ่มพิจารณาที่ค่า TVDI มากกว่า 0.67 จึงจะถือว่าเริ่มเป็นความแห้งแล้งที่มีรุนแรง

ตารางที่ 2.4-2 การแปลผลดัชนี TVDI

Wang et al. (2004)		Shi et al. (2020)	
TVDI Range	Drought Level	TVDI Range	Drought Intensity
0.0 < TVDI ≤ 0.2	Very Wet	0.00 < TVDI ≤ 0.67	Normal
0.2 < TVDI ≤ 0.4	Wet	0.67 < TVDI ≤ 0.74	Slight
0.4 < TVDI ≤ 0.6	Balanced	0.74 < TVDI ≤ 0.80	Moderate
0.6 < TVDI ≤ 0.8	Dry	0.80 < TVDI ≤ 0.86	Severe
0.8 < TVDI ≤ 1.0	Very Dry	0.86 < TVDI ≤ 1.00	Excessive

งานวิจัยนี้ได้คัดเลือกจุดภาพ NDVI และ LST จากพื้นที่บางส่วนในกลุ่มน้ำเพชรบุรี โดยเลือกเฉพาะพื้นที่เกษตรกรรม แบ่งเป็นสองกลุ่มได้แก่ นาข้าว และ พืชไร่/พืชสวน ดังแสดงในรูปที่ 2.4-5 โดยไม่พิจารณาพื้นที่เขตเมือง พื้นที่ป่า ได้แก่ อุทยานแห่งชาติแก่งกระจานและพื้นที่ป่าชายเลน รวมทั้งพื้นที่ผิวน้ำ เช่น อ่างเก็บน้ำ นาเกลือ พื้นที่ประมงเพาะเลี้ยงชายฝั่ง เป็นต้น เนื่องจาก พื้นที่ดังกล่าวเมื่อทำ NDVI-LST Feature space จุดภาพจะปรากฏในตำแหน่งที่มีความผิดปกติ กล่าวคือ พื้นที่ผิวน้ำมีค่า NDVI ต่ำกว่า 0 และพื้นที่ป่าไม่มีค่า NDVI เข้าใกล้ 1 แต่มีอุณหภูมิพื้นผิวน้ำค่อนข้างต่ำกว่าปกติ ซึ่งจะทำให้การประเมินค่า TVDI มีความผิดปกติได้

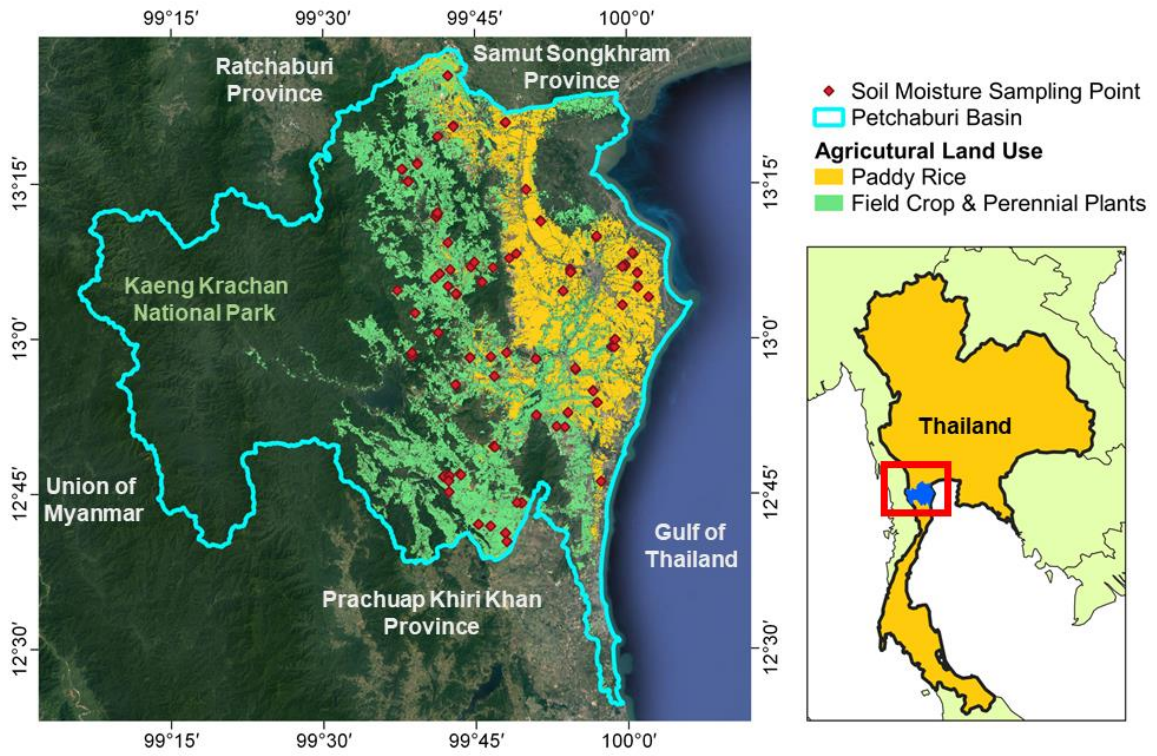
งานวิจัยนี้ได้เก็บตัวอย่างดินจากภาคสนามเพื่อหาค่าความชื้นในดินเปรียบเทียบกับค่า TVDI โดยเลือกตำแหน่งครอบคลุมพื้นที่เกษตรกรรมทั้งสองกลุ่มที่มีค่า TVDI ตามความชุ่มชื้นในดินที่ระดับต่าง ๆ จำนวน 50 จุด จุดละประมาณ 2-5 ตัวอย่าง นำตัวอย่างดินไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จนดินแห้งและมีน้ำหนักคงที่ แล้วทำการหาค่าความชื้นในดินโดยน้ำหนักดินแห้ง (Gravimetric Soil Moisture Content) จากสมการดังต่อไปนี้

$$\theta_m (\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$$

(สมการที่ 2.4-7)

โดย  $W_w$  คือ น้ำหนักน้ำในดินตัวอย่าง (กรัม)

$W_s$  คือ น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)



รูปที่ 2.4-5 แผนที่แสดงพื้นที่ศึกษาและจุดพิกัดเก็บตัวอย่างดิน

### 3. ผลการวิจัย

#### 3.1 การประเมินปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติการฝนหลวง

จากข้อมูลการปฏิบัติการฝนหลวงระหว่างปี 2018-2020 รายละเอียดแสดงดังบทที่ 2 โดยมีสรุปการปฏิบัติการฝนหลวงในปี 2018 ช่วงเดือนเมษายน-พฤษภาคม จำนวนทั้งสิ้น 20 วัน ปฏิบัติการฝนหลวงในปี 2019 ช่วงเดือน มีนาคม-มิถุนายน จำนวนทั้งสิ้น 63 วัน และปี 2020 ช่วงเดือนกุมภาพันธ์-พฤษภาคมจำนวนทั้งสิ้น 65 วัน ข้อมูลดังกล่าวร่วมกับพื้นที่ที่มีการปฏิบัติการฝนหลวงได้ถูกนำมาประเมินถึงปริมาณฝนที่เกิดขึ้น โดยได้ดำเนินการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณฝนรวมทั้งหมดของพื้นที่ลุ่มน้ำและปริมาณฝนหลวงที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติการฝนหลวงตามพื้นที่ที่กำหนด รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3.1-1 ซึ่งการวิเคราะห์ปริมาณฝนดังกล่าวได้ใช้ข้อมูลปริมาณฝนจากแหล่งข้อมูล 3 แหล่ง ได้แก่ ปริมาณฝนจากสถานีตรวจวัด (Station) ปริมาณฝนดาวเทียม (JAXA) และปริมาณฝนเรดาร์ (Radar) โดยข้อกำหนดในการวิเคราะห์ปริมาณฝนได้แก่

- ปริมาณฝนหลวงที่เกิดขึ้นคำนวณในช่วงเวลา 12 ชม. 02.00 UTC – 14.00 UTC และคำนวณเฉพาะพื้นที่ในกรวยจากการปฏิบัติการของฝนหลวง ณ วันนั้นๆ โดยที่
  - ปริมาณฝนสถานี (Station): มีรูปแบบข้อมูลเป็นปริมาณรายวัน 24 ชั่วโมง วิเคราะห์โดยการประมาณค่าเชิงพื้นที่ด้วยวิธี 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.
- 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

### 3.1.1 การประเมินปริมาณฝนหลวงรายปี

จากผลการประเมินปริมาณฝนหลวงที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติการฝนหลวงในช่วงปี 2018 – 2020 จากการปฏิบัติการฝนหลวงจำนวน 20 ครั้ง 63 ครั้ง และ 65 ครั้งตามลำดับ โดยการประเมินจากแหล่งข้อมูลปริมาณฝน 3 แหล่งข้อมูลได้แก่ ปริมาณสถานี (Station) ปริมาณฝนจากการตรวจวัดด้วยดาวเทียม (JAXA) และการตรวจวัดด้วยเรดาร์พบว่า ปริมาณฝนหลวงของทั้ง 3 ปีที่เกิดขึ้นจากการประเมินด้วยฝน Station มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 138-317 ล้าน ลบ.ม. การประเมินปริมาณฝนจาก JAXA มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 180-633 ล้าน ลบ.ม. และการประเมินปริมาณ Radar มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 268-1,007 ล้าน ลบ.ม. โดยปริมาณฝนหลวงที่เกิดขึ้นสูงสุดเกิดขึ้นในปี 2020 ซึ่งมีการปฏิบัติการสูงสุดทั้งสิ้น 65 ครั้ง และผลจากการประเมินจากแหล่งข้อมูลปริมาณฝนทั้ง 3 แหล่งข้อมูลให้ผลลัพธ์ของปริมาณฝนหลวงที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

ตารางที่ 3.1-1 ผลการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณฝนรวมทั้งหมดและปริมาณฝน

ข้อมูลปริมาณฝน	ปริมาณฝน (ล้าน ลบ.ม.)			
	ปี	2018	2019	2020
	จำนวนวันที่มีการปฏิบัติการฝนหลวง (วัน)	20	63	65
Station	ปริมาณฝนรวม	452	1,431	761
	ปริมาณฝนหลวง	138	143	317
JAXA	ปริมาณฝนรวม	557	1,573	1,246
	ปริมาณฝนหลวง	180	376	633
Radar	ปริมาณฝนรวม	1,322	5,572	1,538
	ปริมาณฝนหลวง	268	840	1,007

### 3.1.2 การประเมินปริมาณฝนหลวงรายเดือน

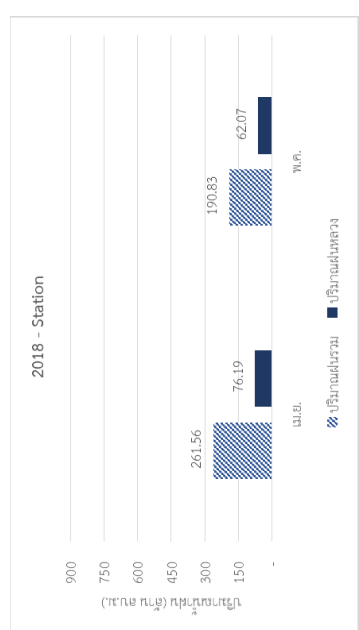
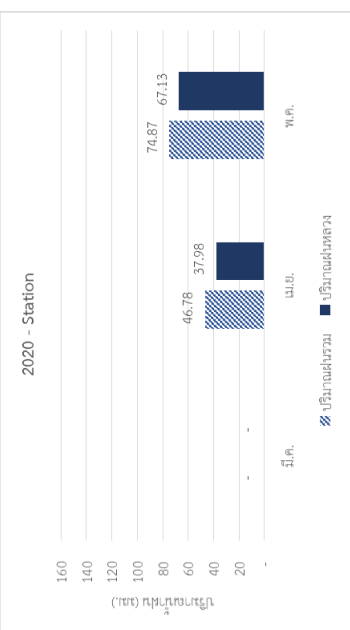
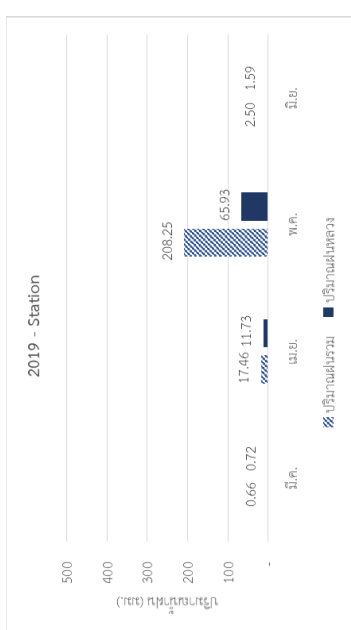
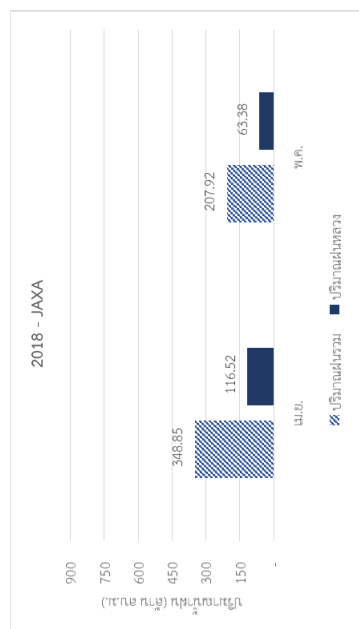
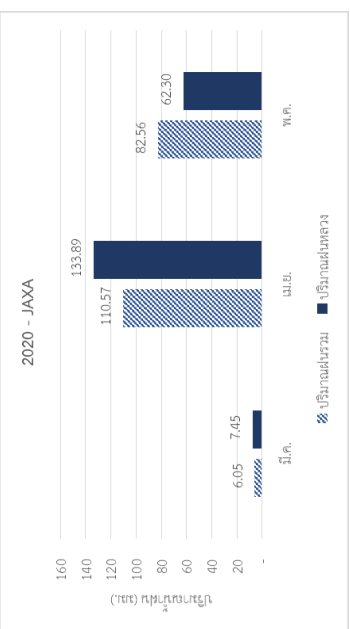
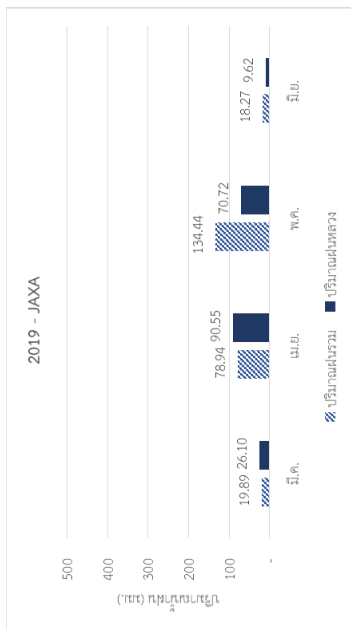
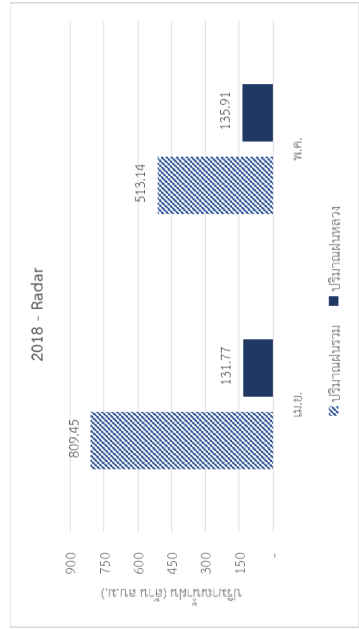
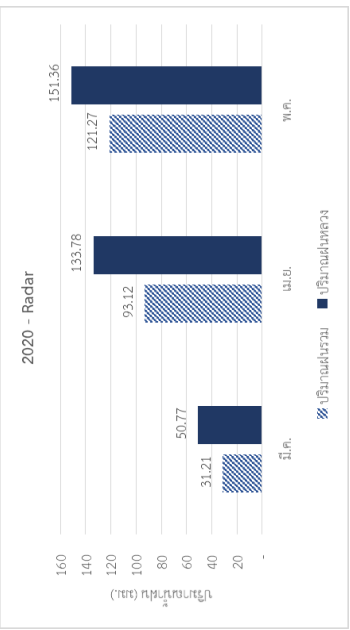
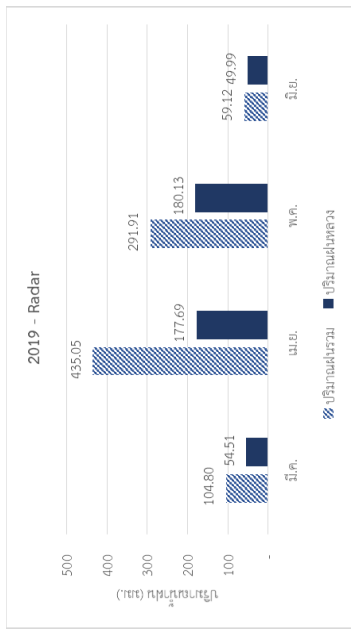
จากการปฏิบัติการฝนหลวงในช่วงปี 2018-2020 เมื่อพิจารณาการปฏิบัติการรายเดือนพบว่าในปี 2018 การปฏิบัติการฝนหลวงในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีอยู่ในช่วงระหว่างเดือน เมษายน-พฤษภาคม จำนวน 20 ครั้ง โดยมีการปฏิบัติการเดือนเมษายนจำนวน 13 ครั้ง และเดือนพฤษภาคมจำนวน 7 ครั้ง ซึ่งผลจากการปฏิบัติการเมื่อประเมินจากแหล่งข้อมูล Station/JAXA/Radar ปริมาณฝนหลวงที่เกิดในช่วงเดือนเมษายนมีค่ามากกว่าเดือนพฤษภาคมเล็กน้อย โดยปริมาณฝนในเดือนเมษายนมีค่าเท่ากับ 40.52/61.4/85.97 มม. คิดเป็น 76.19/116.52/131.77 ล้าน ลบ.ม.

ในปี 2019 มีการปฏิบัติการอยู่ในช่วงระหว่างเดือนมีนาคม-มิถุนายนจำนวนทั้งสิ้น 63 ครั้ง โดยการปฏิบัติการส่วนใหญ่อยู่ในช่วงเดือนเมษายนและเดือนพฤษภาคมจำนวน 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

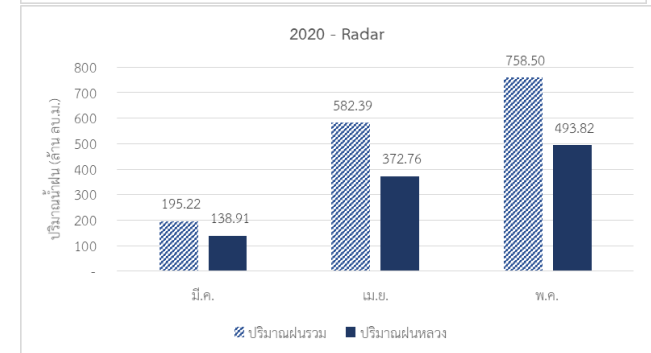
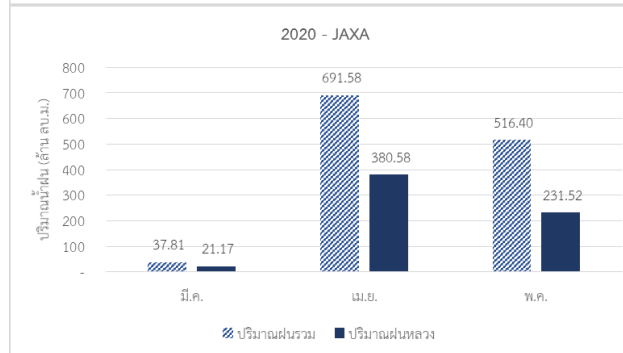
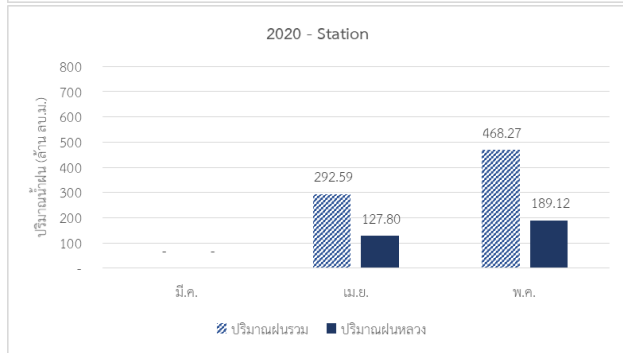
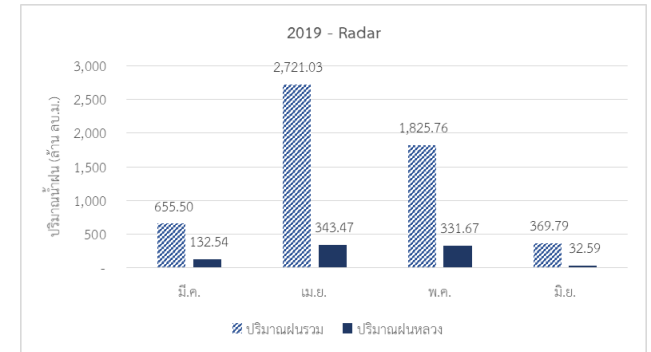
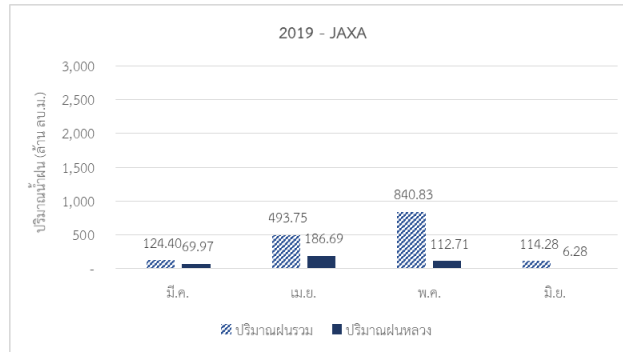
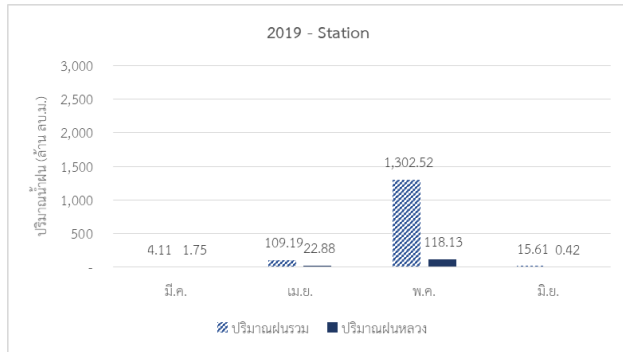
ปี 2020 มีการปฏิบัติการฝนหลวงเกิดในช่วงระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-พฤษภาคม โดยมีการปฏิบัติการรวมทั้งสิ้น 65 ครั้ง การปฏิบัติการส่วนใหญ่เกิดขึ้นในเดือนเมษายนและเดือนพฤษภาคมจำนวนทั้งสิ้น 24 และ 27 ครั้งตามลำดับ ผลจากการปฏิบัติการเมื่อประเมินจากแหล่งข้อมูล Station/JAXA/Radar พบว่าปริมาณฝนที่เกิดขึ้นในเดือนเมษายนมีค่าเท่ากับ 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. ตามลำดับ ตารางที่ 3.1-2 และรูปที่ 3.1-1 และ 3.1-2 แสดงรายละเอียดจำนวนครั้งของการปฏิบัติการ ปริมาณฝนรวมและปริมาณฝนหลวงที่เกิดขึ้นในช่วงของการปฏิบัติการ

ตารางที่ 3.1-2 สรุปจำนวนการปฏิบัติการฝนหลวงรายเดือน

ปี	จำนวนการปฏิบัติการฝนหลวง (ครั้ง)					
	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	รวม
2018		-	13	7	-	20
2019		11	22	24	6	63
2020	2	12	24	27	-	65



รูปที่ 3.1-1 ปริมาณฝนหลวงและฝนรวมทั้งหมดรายเดือนระหว่างปี 2018-2020 ช่วงวันที่มีการปฏิบัติการฝนหลวง (มม.)

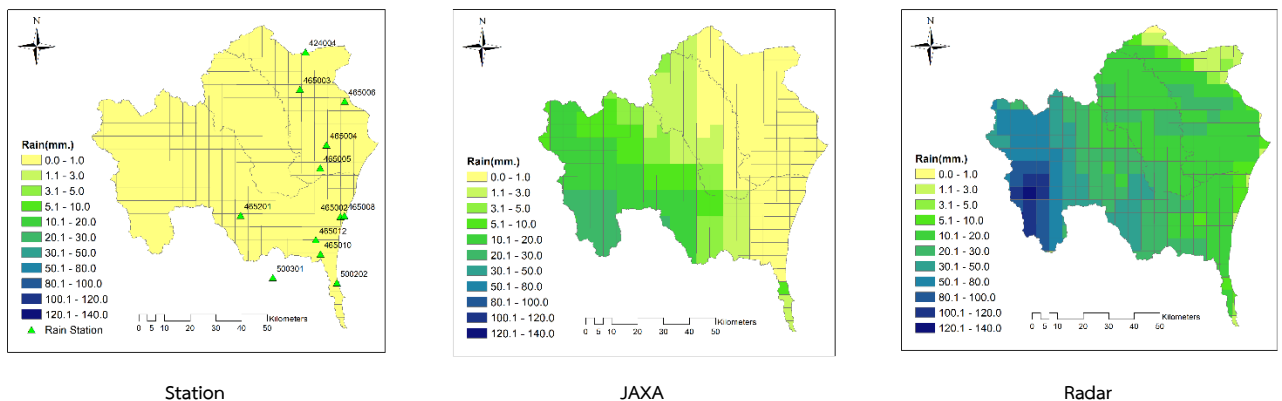


รูปที่ 3.1-2 ปริมาณฝนหลวงและฝนรวมทั้งหมดรายเดือนระหว่างปี 2018-2020 ช่วงวันที่มีการปฏิบัติการฝนหลวง (ล้าน ลบ.ม.)

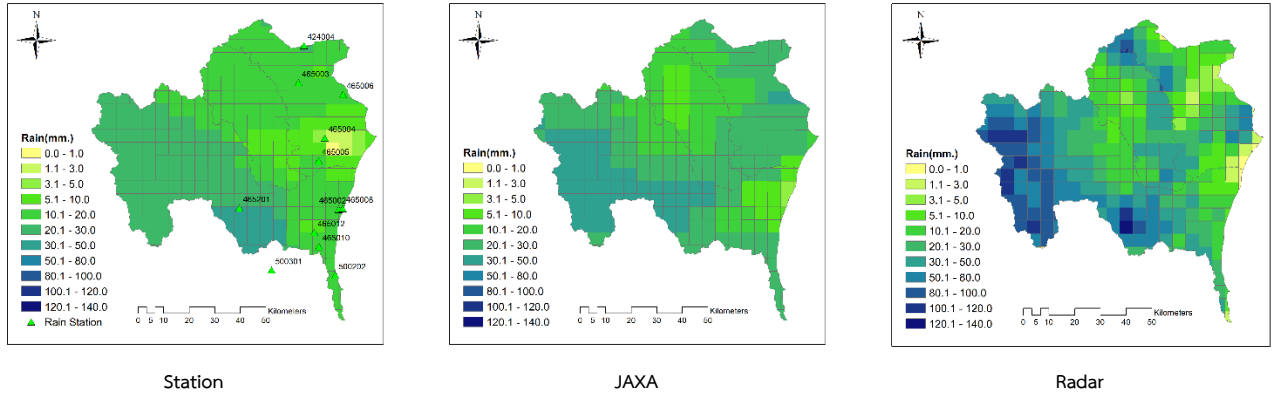
### 3.1.3 ผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจากแหล่งข้อมูลที่ต่างกัน

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

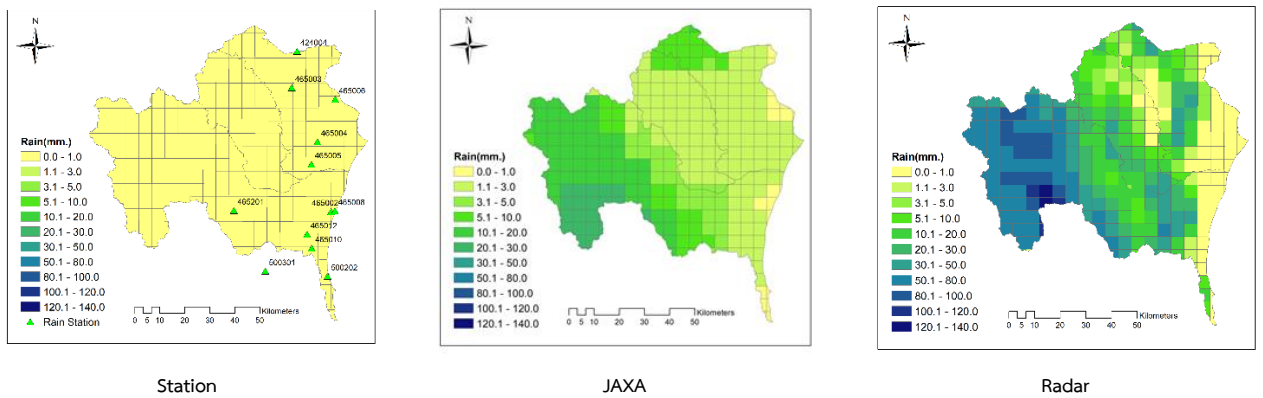
จากข้อมูลตั้งต้นของปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจากทั้ง 3 แหล่งข้อมูล ตัวอย่างข้อมูลแสดงดังรูปที่ 3.1-3 ถึง รูปที่ 3.1-5 พบว่า วันที่ 29 เมษายน 2019 (รูปที่ 3.1-3) ปริมาณฝนส่วนใหญ่ในพื้นที่ของกลุ่มน้ำเพชรบุรีเมื่อทำการตรวจวัดจากสถานีให้ค่าต่ำกว่า 1 มม. และปริมาณฝนส่วนใหญ่เมื่อทำการวิเคราะห์จากข้อมูล JAXA ให้ผลในพื้นที่กลุ่มน้ำเพชรบุรีตอนล่างต่ำกว่า 1 มม. ในขณะที่พื้นที่ตอนบนของกลุ่มน้ำมีปริมาณฝนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอยู่ในช่วงระหว่าง 3-30 มม. แต่ข้อมูลปริมาณฝนจาก Radar แสดงผลในพื้นที่กลุ่มน้ำตอนล่างอยู่ในช่วงประมาณ 3-20 มม. ในขณะที่กลุ่มน้ำตอนบนบางพื้นที่มีค่าสูงถึง 120-140 มม. ลักษณะปริมาณฝนที่เกิดขึ้นในรูปแบบดังกล่าวยังพบได้ในวันอื่นๆ เช่นวันที่ 23 พฤษภาคม 2019 และวันที่ 8 มิถุนายน 2019 (รูปที่ 3.1-4 และ 3.1-5) ซึ่งปริมาณฝนที่ประเมินได้จาก Radar ในพื้นที่กลุ่มน้ำตอนบนมีค่าสูงถึง 80-140 มม. ในขณะที่ปริมาณฝนที่สูงขนาดนี้ไม่พบในข้อมูลฝนจากสถานีตรวจวัดและข้อมูลฝนจาก JAXA



รูปที่ 3.1-3 ปริมาณฝนเชิงพื้นที่ของ Station JAXA และ Radar วันที่ 29 เมษายน 2019



รูปที่ 3.1-4 ปริมาณฝนเชิงพื้นที่ของ Station JAXA และ Radar วันที่ 23 พฤษภาคม 2019



รูปที่ 3.1-5 ปริมาณฝนเชิงพื้นที่ของ Station JAXA และ Radar วันที่ 8 มิถุนายน 2019

### 3.1.4 สรุปการประเมินปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติการฝนหลวง

จากผลการประเมินปริมาณฝนที่เกิดขึ้นในช่วงการปฏิบัติการฝนหลวงโดยประเมินจากปริมาณฝนที่เกิดขึ้นในช่วงระหว่างเวลา 02.00 UTC-14.00 UTC เฉพาะในพื้นที่ที่มีการปฏิบัติการฝนหลวง เปรียบเทียบกับปริมาณฝนรวมทั้งหมด 24 ชม. สัดส่วนของปริมาณฝนหลวงต่อปริมาณฝนรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีรายเดือนมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 3%-71% ขึ้นอยู่กับแหล่งข้อมูลที่น่ามาประเมินปริมาณฝนที่เกิดขึ้น โดยหากพิจารณาจากแหล่งข้อมูลปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัด (Station) พบว่าสัดส่วนปริมาณฝนหลวงต่อปริมาณฝนรวมทั้งหมดรายเดือนมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 3%-44% ในขณะที่หากประเมินจากแหล่งข้อมูลปริมาณฝนจากดาวเทียม (JAXA) จะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 5%-56% และผลการประเมินจากการใช้ข้อมูลจาก Radar พบว่าปริมาณฝนหลวงต่อปริมาณฝนรวมทั้งหมดมีค่าสูงที่สุดโดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง

9%-71% ตารางที่ 3.1-3 และรูปที่ 3.1-1 และ 3.1-2 แสดงสัดส่วนเปรียบเทียบปริมาณฝนหลวงต่อปริมาณฝนรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 3.1-3 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

ข้อจำกัดหลักในการวิเคราะห์ถึงปริมาณฝนรวมและปริมาณฝนหลวงที่เกิดขึ้นคือการเลือกแหล่งข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ ในการประเมินปริมาณฝนโดยทั่วไปปริมาณฝนตรวจวัดจากสถานี (Station) จะถูกนำมาใช้ในการประเมิน ซึ่งวิธีการเฉลี่ยปริมาณฝนเชิงพื้นที่เช่น Thiessen Polygon จะถูกนำมาใช้ในการประเมินถึงปริมาณฝนเฉลี่ยในพื้นที่ที่สนใจหรือพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด อย่างไรก็ตามการประเมินปริมาณฝนหลวงจำเป็นต้องใช้ข้อมูลปริมาณฝนที่มีความละเอียดมากกว่าปริมาณฝนสะสม 24 ชม. เนื่องจากในการปฏิบัติการฝนหลวงแต่ละครั้งจะทำการประเมินปริมาณฝนที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา 02.00 UTC-14.00 UTC ข้อมูลปริมาณฝนที่มีความถี่ในการเก็บข้อมูลมากกว่า 24 ชม. เช่น ปริมาณฝนรายชั่วโมงหรือปริมาณฝนรายวัน จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษา ซึ่งสถานีตรวจวัดปริมาณฝน (Station) ที่มีการตรวจวัดในช่วงความถี่ดังกล่าวยังมีอยู่ไม่มากนัก ดังนั้นข้อมูลปริมาณฝนดาวเทียม (JAXA) และข้อมูลปริมาณฝนเรดาร์ (Radar) จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

อย่างไรก็ตามข้อมูลปริมาณฝนดาวเทียม (JAXA) และข้อมูลปริมาณฝนเรดาร์ (Radar) จำเป็นต้องมีการปรับค่า (Bias correction) เปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณฝนตรวจวัดจากสถานี ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ได้มีการปรับค่าปริมาณฝนดาวเทียม (Bias correction) และปริมาณฝนเรดาร์ (Radar) ได้มีการปรับค่าโดยการใช้อัตราส่วน Z-R ซึ่งข้อมูลปริมาณฝนเรดาร์ (Radar) ดังกล่าวได้รับความอนุเคราะห์จากกรมฝนหลวงและการบินเกษตร จากผลการศึกษาข้างต้นจะเห็นได้ว่าข้อมูลปริมาณฝนรวมและปริมาณฝนหลวงที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ด้วยแหล่งข้อมูลฝนที่แตกต่างกันจะให้ค่าปริมาณฝนที่มีความแตกต่างกันเป็นอย่างมากในช่วงเวลา ดังนั้นการศึกษถึงการเลือกใช้แหล่งข้อมูล รวมถึงการวิธีการปรับค่าปริมาณฝนจากดาวเทียม (JAXA) และปริมาณฝนจากเรดาร์ (Radar) ควรมีการศึกษาอย่างละเอียดต่อไปในอนาคต

### 3.2 ความต้องการใช้น้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

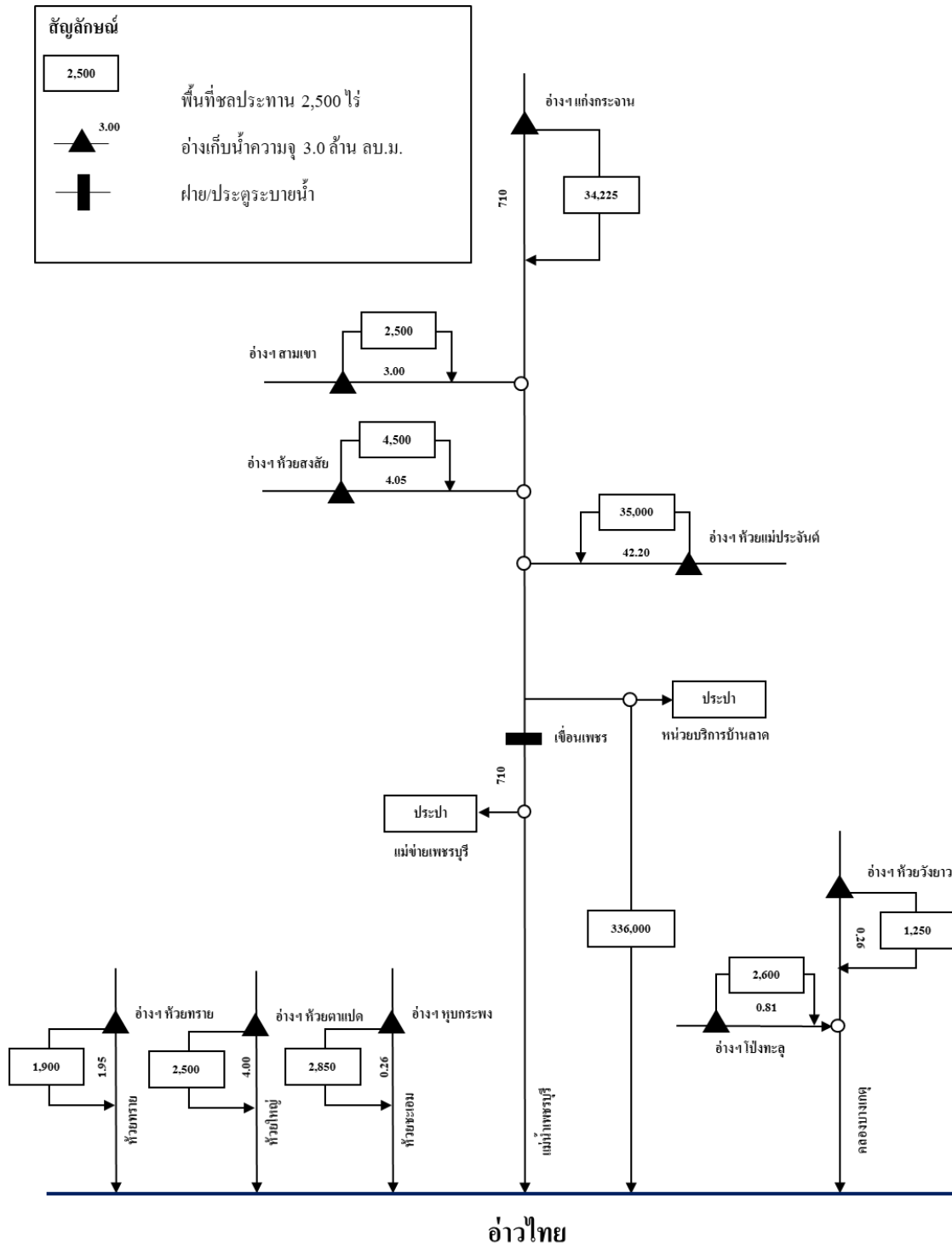
การประเมินปริมาณความต้องการใช้น้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีเป็นการศึกษาถึงการใช้น้ำของกิจกรรมต่างๆที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำจำนวนทั้งสิ้น 4 กิจกรรมได้แก่ ความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค ความต้องการน้ำเพื่อรักษาระบบนิเวศ ความต้องการน้ำเพื่ออุตสาหกรรมและการท่องเที่ยว และความต้องการใช้น้ำเพื่อการเกษตร ซึ่งการวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำดังกล่าวจะต้องคำนึงถึงระบบลุ่มน้ำ และการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 3.2.1 ระบบลุ่มน้ำและการบริหารจัดการน้ำพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

แผนผังระบบลุ่มน้ำเพชรบุรี ประกอบด้วย แม่น้ำสาขาต่าง ๆ ได้แก่ แม่น้ำเพชรบุรี ห้วยแม่ประจันต์และห้วยผาก แสดงดังรูปที่ 3.2-1 ลุ่มน้ำจะมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำ ส่วนพื้นที่ตอนล่างทางด้านตะวันออกของลุ่มน้ำมีลักษณะเป็นที่ราบลุ่มชายฝั่งทะเลมีลำน้ำสายสั้นๆกระจายอยู่ทั่วไป ซึ่งลำน้ำส่วนใหญ่จะไหลลงสู่แม่น้ำเพชรบุรีและออกทะเลอ่าวไทย รวมความยาวลำน้ำ 227 กิโลเมตร ความจุลำน้ำประมาณ 250 - 390 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และ ความลาดชันเฉลี่ยของลำน้ำ ประมาณ 1 : 800 (สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร, 2555)

ปัจจุบันแหล่งน้ำต้นทุนที่สำคัญของกลุ่มน้ำเพชรบุรี คือ อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน เป็นอ่างเก็บน้ำเอนกประสงค์ สร้างปิดกั้นแม่น้ำเพชรบุรี มีพื้นที่รับน้ำ 2,200 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าไหลเข้าเฉลี่ย 879 ล้านลูกบาศก์เมตร และมีความจุเก็บกัก 710 ล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อส่งน้ำให้

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรีบริเวณเขื่อนเพชร ซึ่งทำหน้าที่ทดน้ำและกระจายน้ำเข้าสู่พื้นที่ชลประทาน ภายใต้อิทธิพลแรงโน้มถ่วงโลก และยังจ่ายน้ำเพื่อการอุปโภค - บริโภค ทั้งในเขตจังหวัดเพชรบุรี และอำเภอหัวหินบางส่วน และยังมีหน้าที่ระบายน้ำเพื่อผลักดันน้ำเค็ม (กรมชลประทาน, 2550) นอกจากนี้ยังมีอ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ สร้างปิดกั้นลำน้ำห้วยแม่ประจันต์ ตำบลบ้านโป่ง อำเภอหนองหญ้าปล้อง จังหวัดเพชรบุรี มีพื้นที่รับน้ำ 458 ตารางกิโลเมตร มีความจุเก็บกัก 42.2 ล้านลูกบาศก์เมตร อ่างเก็บน้ำห้วยผากสร้างปิดกั้นลำน้ำห้วยผาก ตำบลลัดหลวง อำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี มีพื้นที่รับน้ำ 198 ตารางกิโลเมตร ปริมาณน้ำท่าไหลเข้าเฉลี่ย 24.4 ล้านลูกบาศก์เมตร มีความจุเก็บกัก 27.5 ล้านลูกบาศก์เมตร



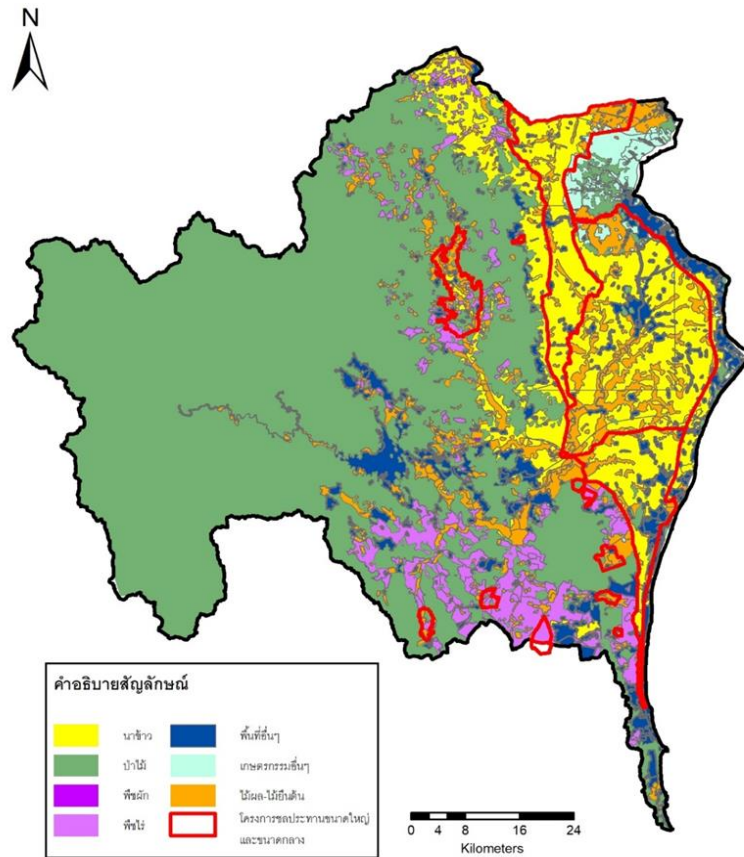
รูปที่ 3.2-1 แผนผังระบบกลุ่มน้ำเพชรบุรี

### 3.2.2 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินรวบรวมจากกรมพัฒนาที่ดินซึ่งเป็นข้อมูลสำรวฐานข้อมูลปี 2018 ซึ่งมีการจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3.2-1 และมีการกระจายตัวของการใช้ประโยชน์ที่ดินแสดงดังรูปที่ 3.2-2 ซึ่งการจำแนกข้อมูลโดยพิจารณาการใช้ประโยชน์ที่ดินทั้งในเขตชลประทานและนอกเขตชลประทาน พบว่า พื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีมีพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งสิ้น 6,251.59 ตร.กม. โดยมีรายละเอียดของการใช้ประโยชน์ที่ดินการใช้ประโยชน์ที่ดินในปี 2018 ดังนี้ พื้นที่ป่าไม้ ประมาณ 3,228.54 ตร.กม. หรือคิดเป็น 51.64 % พื้นที่เกษตรอื่น ๆ ประมาณ 1,074.77 ตร.กม. หรือคิดเป็น 17.19 % พื้นที่นาข้าวประมาณ 699.29 ตร.กม.หรือคิดเป็น 11.19 % พื้นที่ตัวเมือง ประมาณ 381.57 ตร.กม. หรือคิดเป็น 6.10 % พื้นที่แหล่งน้ำ 155.21 ตร.กม. หรือคิดเป็น 2.48 % และพื้นที่อื่น ๆ ประมาณ 712.21 ตร.กม หรือคิดเป็น 11.39 %

ตารางที่ 3.2-1 การใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2018

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	พื้นที่ (ตร.กม.)										
	นาข้าว	พืชไร่ผสม	ไม่ยืนต้นผสม	ไม่ผลผสม	พืชผัก	ป่าไม้	พื้นที่เมือง	พื้นที่แหล่งน้ำ	พื้นที่อื่น ๆ		
ค.บ.เพชรบุรี	380.05	1.90	6.13	107.73	8.74	12.91	115.96	18.27	113.55		
ค.บ.ราชบุรีฝั่งขวา	156.65	0.14	0.60	19.96	1.06	0.93	34.58	5.52	32.67		
อ่างเก็บน้ำบ้านทุ่งขาม	0.00	4.95	0.32	0.84	0.07	0.00	0.38	0.06	0.25		
อ่างเก็บน้ำโป่งทะเลดู	0.00	1.39	0.22	0.13	0.00	0.00	0.41	0.02	0.31		
อ่างเก็บน้ำพุน้อย	0.01	0.00	0.00	0.18	0.00	0.12	0.08	0.12	0.42		
อ่างเก็บน้ำวังยาว	0.00	0.30	0.27	0.45	0.11	0.01	0.36	0.13	0.72		
อ่างเก็บน้ำห้วยตะแปด	0.03	0.87	0.25	0.34	0.23	0.01	0.61	0.08	1.56		
อ่างเก็บน้ำห้วยทราย	0.00	0.12	0.00	0.02	0.00	0.39	0.30	0.01	0.20		
อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์	2.42	12.76	8.98	10.22	0.87	4.92	4.33	2.13	9.17		
อ่างเก็บน้ำห้วยสงสัย	0.00	2.08	1.14	1.04	0.16	0.00	0.25	0.05	0.55		
อ่างเก็บน้ำห้วยสามเขา	0.00	1.98	0.59	1.44	0.03	0.45	0.26	0.18	1.90		
อ่างเก็บน้ำห้วยกระพอง	0.00	0.35	0.98	1.41	0.51	0.18	2.02	0.54	2.87		
นอกเขตชลประทาน	160.12	365.44	209.08	254.92	43.47	3,208.62	222.03	128.11	548.05		



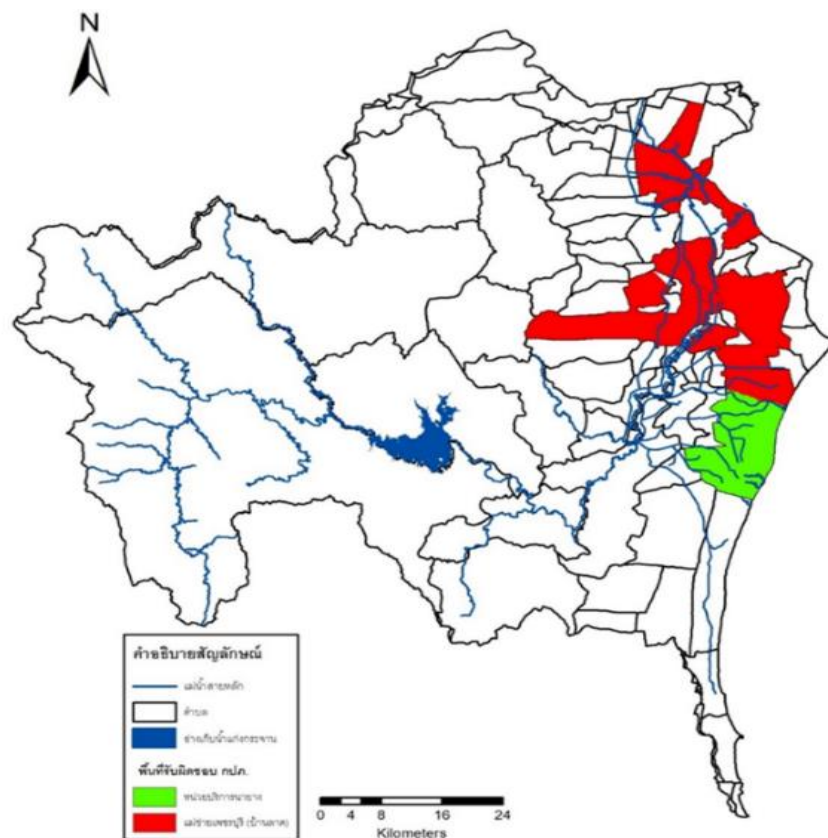
รูปที่ 3.2-2 การใช้ประโยชน์ที่ดินในลุ่มน้ำเพชรบุรีปี 2018

### 3.2.3 ปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค

การประเมินความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภค - บริโภค พิจารณาจากข้อมูลแม่ข่ายผลิตน้ำประปา จากการประปาส่วนภูมิภาค ซึ่งในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีมีแม่ข่ายการผลิตน้ำประปาจำนวน 1 แม่ข่าย และ 1 หน่วยบริการ ได้แก่ แม่ข่ายเพชรบุรี หน่วยบริภคณายาง (รูปที่ 3.2-3) โดยแม่ข่ายและหน่วยบริการดังกล่าวมีแหล่งน้ำดิบในการผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดิน คือ แม่น้ำเพชรบุรี โดยอาศัยน้ำต้นทุนจากอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน ซึ่งเป็นอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ที่มีความสำคัญในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี ซึ่งข้อมูลจำนวนประชากรย้อนหลังในพื้นที่บริการโดยจำนวนของประชากรในแต่ละพื้นที่แสดงเป็นรายปีจำแนกเป็นในเขตและนอกเขตเทศบาล ระยะเวลาจำนวน 23 ปี ตั้งแต่ปี 1993 -2016

ผลการประเมินความต้องการน้ำเพื่ออุปโภค - บริโภค สำหรับแม่ข่ายเพชรบุรี และ สำหรับหน่วยบริการนายนาง จากการพิจารณาผลการศึกษา พบว่า ปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภค - บริโภคโดยปริมาณอยู่ที่ 6.76 ลบ.ม./ปี โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากการเติบโตของประชากร และเขตชุมชนเมืองในพื้นที่ดังกล่าว โดยมีอัตราการเจริญเติบโตของประชากรอยู่ที่ร้อยละ 0.31 ต่อปี และมีปริมาณความต้องการน้ำสำหรับกิจกรรมดังกล่าวที่ร้อยละ 0.7 ต่อปี

เนื่องจากข้อจำกัดในการรวบรวมข้อมูลจำนวนประชากรที่สามารถรวบรวมได้ตั้งแต่ปี 1993 - 2016 ทำให้การวิเคราะห์ปริมาณความต้องการน้ำสำหรับกิจกรรมดังกล่าวในช่วงระยะเวลาที่กำหนดในการจำลอง ไม่สามารถดำเนินการคำนวณปริมาณความต้องการน้ำที่แท้จริงได้ ดังนั้น จึงประเมินความต้องการน้ำในปีที่ไม่สามารถรวบรวมข้อมูลจำนวนประชากรได้ดังกล่าวจากแนวโน้มปริมาณความต้องการน้ำรวมในปีอื่น ๆ โดยพบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากร และปริมาณความต้องการน้ำมีรูปแบบเป็นสมการเชิงเส้น ซึ่งปริมาณความต้องการน้ำความต้องการน้ำที่คาดคะเนได้แสดงดังตารางที่ 3.2-2 เช่นกัน



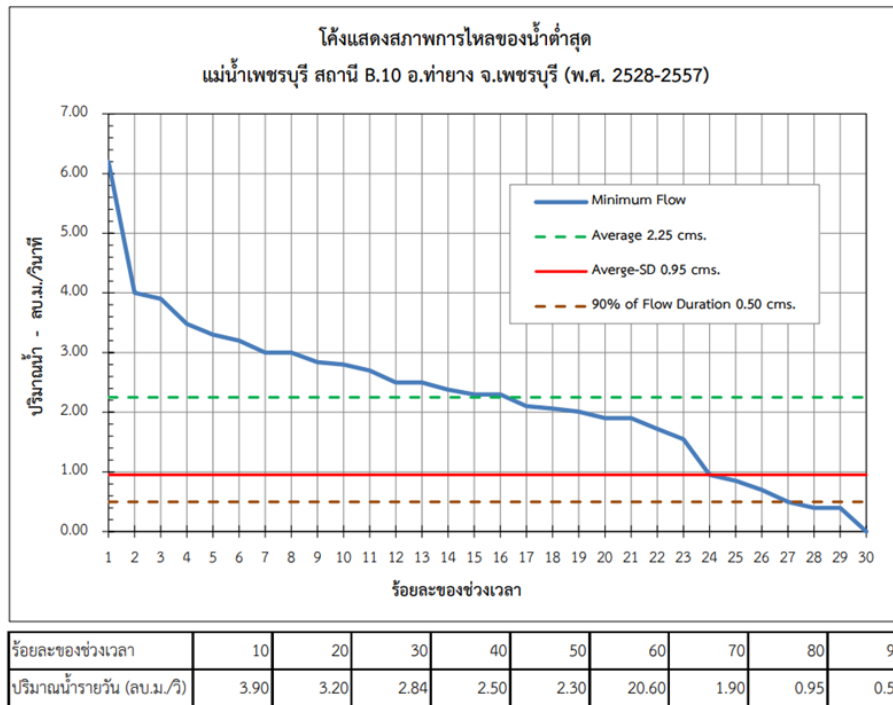
รูปที่ 3.2-3 ขอบเขตความรับผิดชอบการประปาส่วนภูมิภาคในกลุ่มน้ำเพชรบุรี

ตารางที่ 3.2-2 ปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภค - บริโภครวมในพื้นที่การประปาส่วนภูมิภาค

ปี	การใช้น้ำอุปโภค - บริโภค (ล้าน ลบ.ม./ปี)		
	แม่ข่ายเพชรบุรี	หน่วยบริการน่ายาง	รวม
1987	5.89	0.34	6.22
1988	5.88	0.34	6.22
1989	5.88	0.34	6.22
1990	5.88	0.34	6.21
1991	5.87	0.34	6.21
1992	5.87	0.34	6.21
1993	5.84	0.35	6.19
1994	5.83	0.37	6.19
1995	5.82	0.36	6.18
1996	5.83	0.36	6.19
1997	5.85	0.36	6.21
1998	5.86	0.36	6.22
1999	5.83	0.36	6.19
2000	5.78	0.36	6.13
2001	6.45	1.12	7.57
2002	6.44	1.12	7.56
2003	6.38	1.13	7.51
2004	6.10	1.13	7.24
2005	6.09	1.15	7.24
2006	6.09	1.15	7.24
2007	6.04	1.15	7.19
2008	6.02	1.17	7.19
2009	5.69	1.17	6.86
2010	6.01	1.18	7.19
2011	5.99	1.18	7.17
2012	5.99	1.19	7.18
2013	5.99	1.20	7.18
2014	5.98	1.20	7.18
2015	5.98	1.21	7.18
2016	5.99	1.21	7.19
<b>เฉลี่ย</b>	<b>5.97</b>	<b>0.78</b>	<b>6.76</b>

### 3.2.4 ความต้องการน้ำเพื่อรักษาระบบนิเวศ

ความต้องการใช้น้ำเพื่อรักษาสมดุลของระบบนิเวศท้ายน้ำ จะพิจารณาเฉพาะลำน้ำบริเวณท้ายอ่างเก็บน้ำที่มีความจุตั้งแต่ขนาด 50 ล้าน ลบ.ม.ขึ้นไป โดยความความต้องการน้ำในส่วนนี้ จะกำหนดจากปริมาณน้ำต่ำสุดที่ไหลในฤดูแล้งของลำน้ำนั้น ๆ ในอดีต ซึ่งในการประเมินจะนำสถิติข้อมูลน้ำท่าที่จุดพิจารณา มาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อสร้างเป็นกราฟอัตราการไหล - เวลา (Flow - Duration Curve) แล้วจึงใช้ค่าปริมาณน้ำที่ร้อยละ 90 ของการเกิดปริมาณน้ำท่าที่ไหลในฤดูแล้ง ของลำน้ำนั้น ๆ เป็นปริมาณน้ำเพื่อรักษาสมดุลระบบนิเวศท้ายน้ำ สำหรับจุดบรรจบของลำน้ำย่อยกับลำน้ำหลักจะพิจารณากราฟอัตราการไหล - เวลา (Flow Duration Curve) ของปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งที่ร้อยละ 90 เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังมีปริมาณน้ำเพื่อการผลักดันน้ำเค็มที่จะต้องพิจารณาเป็นปริมาณน้ำที่ต้องจัดสรรให้เพื่อการรักษาสมดุลนิเวศวิทยาท้ายน้ำร่วมด้วยจากการพัฒนาโค้งแสดงสภาพการไหลของน้ำต่ำสุดที่สถานี B.10 ซึ่งตั้งอยู่บริเวณท้ายเขื่อนเพชรหลังการผันน้ำเข้าสู่พื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรีซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีกิจกรรมการใช้น้ำมากที่สุด พบว่า โค้งแสดงสภาพการไหลของน้ำตั้งแต่ปี พ.ศ. 2528 - 2557 ณ สถานีวัดน้ำท่า B.10 มีค่าอัตราการไหลที่ร้อยละ 90 ของช่วงเวลา เท่ากับ 0.5 ลบ.ม./วินาที หรือ 43,200 ลบ.ม./วัน (รูปที่ 3.2-4 )



รูปที่ 3.2-4 โค้งแสดงสภาพการไหลของแม่น้ำเพชรบุรี ณ สถานี B.10

### 3.2.5 ความต้องการน้ำเพื่ออุตสาหกรรมและการท่องเที่ยว

ผลการศึกษาปริมาณความต้องการน้ำเพื่ออุตสาหกรรม พิจารณาจากข้อมูลโรงงานที่รวบรวมจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม) โดยได้ดำเนินการรวบรวมข้อมูลโรงงานที่ตั้งอยู่ในตำบลที่อยู่ในขอบเขตของแม่ข่ายบริการน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค ซึ่งประกอบด้วยแม่ข่ายบริการเพชรบุรีและหน่วยบริการนายาง จากการรวบรวมข้อมูล พบว่า มีโรงงานที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ดังกล่าวจำนวน 191 โรงงาน ซึ่งสรุปปริมาณความต้องการน้ำเพื่ออุตสาหกรรมในพื้นที่การประปาส่วนภูมิภาคแม่ข่ายเพชรบุรีและหน่วยบริการนายางในภาพรวมแสดงดังตารางที่ 3.2-3

ตารางที่ 3.2-3 ตารางแสดงความต้องการน้ำของโรงงานอุตสาหกรรมแบ่งตามเขตประปาส่วนภูมิภาคในกลุ่มน้ำเพชรบุรี

หน่วยบริการ	ความต้องการน้ำอุตสาหกรรม (ล้าน ลบ.ม./ปี)
แม่ข่ายเพชรบุรี (บ้านลาด)	1.08
หน่วยบริการนายาง	0.03
<b>รวม</b>	<b>1.12</b>

### 3.2.6 ความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรกรรม

จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้แบ่งการพิจารณาข้อมูลปริมาณน้ำฝนตรวจวัดจาก 3 แหล่ง ประกอบด้วยข้อมูลฝนที่ได้จากสถานีตรวจวัด (Station) ข้อมูลฝนดาวเทียม (JAXA) และ ปริมาณฝนตรวจวัดจากเรดาร์ (Radar) โดยแสดงผลการคำนวณปริมาณความต้องการน้ำภาคเกษตรกรรมรายโครงการชลประทานจำแนกตามแหล่งข้อมูลปริมาณฝนตรวจวัดและแบ่งกรณีเป็น กรณีที่ได้รับการสนับสนุนการทำฝนหลวง และ กรณีไม่พิจารณาฝนหลวง เพื่อให้เห็นความแตกต่างของปริมาณความต้องการน้ำภาคเกษตรกรรมในเขตชลประทานที่เกิดขึ้นแสดงดังตารางที่ 3.2-4 ถึง ตารางที่ 3.2-9 โดยที่งานวิจัยนี้อนุมานให้ประสิทธิภาพชลประทานทุกโครงการที่พิจารณาเท่ากับ 55 %

ผลจากการประเมินปริมาณความต้องการน้ำเกษตรกรรมในเขตชลประทานในกรณีที่มีการประเมินปริมาณฝนที่เกิดจากการปฏิบัติการฝนหลวงร่วมด้วยพบว่า หากประเมินด้วยปริมาณฝน Station จะพบว่าปริมาณความต้องการน้ำรวมเฉลี่ยรายปีตั้งแต่ปี 2002-2020 มีค่าเท่ากับ 1,840.70 ล้าน ลบ.ม. ซึ่งหากวิเคราะห์โดยที่ไม่มีการปฏิบัติการฝนหลวงร่วมด้วยจะพบว่ามีค่าความต้องการน้ำเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 1,840.78 ล้าน ลบ.ม. โดยปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจากฝนหลวงสามารถลดปริมาณความต้องการน้ำได้ 0.08 ล้าน ลบ.ม./ปี ซึ่งหากประเมินด้วยแหล่งข้อมูลฝนดาวเทียม JAXA พบว่าปริมาณความต้องการน้ำในกรณีที่มีการปฏิบัติการฝนหลวงมีค่ารวมเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 1,838.39 ล้าน ลบ.ม. ต่ำกว่าการประเมินจากแหล่งข้อมูลการตรวจวัดสถานีเล็กน้อย เมื่อวิเคราะห์โดยที่ไม่มีการปฏิบัติการฝนหลวงร่วมด้วยพบว่ามีค่าความต้องการน้ำเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 1,838.53 ล้าน ลบ.ม. โดยปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจากฝนหลวงโดยการประเมินจากแหล่งข้อมูล JAXA สามารถลดปริมาณความต้องการน้ำได้ 0.14 ล้าน ลบ.ม./ปี และสุดท้ายการประเมินผลจากข้อมูล Radar พบว่าเมื่อมีการปฏิบัติการฝนหลวงร่วมด้วยจะมีความต้องการน้ำเท่ากับ 2,307.72 ล้าน ลบ.ม. และเมื่อไม่มีการปฏิบัติการฝนหลวงจะมีความต้องการน้ำเท่ากับ 2,308.51 ล้าน ลบ.ม. โดยปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจากฝนหลวงโดยการประเมินจากแหล่งข้อมูล Radar สามารถลดปริมาณความต้องการน้ำได้ 0.79 ล้าน ลบ.ม./ปี

ตารางที่ 3.2-4 ปริมาณความต้องการน้ำเกษตรกรรมในเขตชลประทานจากข้อมูลปริมาณฝนตรวจวัด (Station) กรณีมีฝนหลวง

ปี	เพชรบุรี	โป่งทะเล	พุน้อย	วังยาว	ห้วยแม่ประจันต์	ห้วยตะแบก	ห้วยทราย	ห้วยสองสี่	ห้วยสามเข	หุบกระพง	รวม (ล้าน ลบ.ม.)
2002	1,262.46	3.79	1.10	4.73	161.76	6.05	0.39	14.00	12.87	13.83	1,480.99
2003	1,220.53	3.68	1.07	4.60	157.76	5.90	0.38	13.57	12.54	13.50	1,433.53
2004	1,289.43	3.88	1.11	4.82	165.30	6.29	0.41	14.48	13.42	14.21	1,513.36
2005	1,353.17	4.03	1.15	4.99	171.17	6.50	0.43	14.99	13.83	14.70	1,584.97
2006	1,339.24	3.99	1.14	4.97	170.26	6.46	0.43	14.82	13.78	14.60	1,569.69
2007	1,479.08	4.40	1.25	5.44	185.61	7.08	0.46	16.08	14.97	16.05	1,730.43
2008	1,476.63	4.48	1.26	5.53	188.13	7.17	0.47	16.33	15.21	16.25	1,731.46
2009	1,355.89	4.16	1.17	5.14	175.00	6.72	0.45	15.53	14.47	15.12	1,593.64
2010	1,396.06	4.21	1.19	5.22	178.47	6.81	0.45	15.69	14.53	15.33	1,637.96
2011	1,377.89	4.31	1.21	5.33	180.91	6.96	0.46	15.89	14.82	15.72	1,623.51
2012	1,495.93	4.52	1.30	5.62	192.26	7.24	0.47	16.67	15.37	16.49	1,755.88
2013	1,592.90	4.86	1.37	5.99	204.12	7.75	0.50	17.55	16.28	17.65	1,868.98
2014	1,675.62	5.10	1.45	6.34	216.53	8.29	0.55	19.09	17.63	18.65	1,969.25
2015	1,638.83	4.99	1.43	6.20	211.23	8.08	0.53	18.67	17.25	18.18	1,925.39
2016	1,970.11	6.01	1.70	7.43	253.41	9.71	0.64	22.40	20.74	21.89	2,314.05
2017	1,963.34	5.94	1.69	7.38	251.97	9.67	0.64	22.38	20.70	21.70	2,305.41
2018	1,966.34	5.97	1.69	7.40	252.61	9.67	0.64	22.31	20.63	21.74	2,309.02
2019	1,972.93	6.00	1.70	7.42	253.15	9.72	0.64	22.42	20.74	21.82	2,316.55
2020	1,966.07	5.99	1.70	7.41	252.88	9.69	0.64	22.36	20.70	21.77	2,309.20
<b>เฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)</b>	<b>1,568.02</b>	<b>4.75</b>	<b>1.35</b>	<b>5.89</b>	<b>201.19</b>	<b>7.67</b>	<b>0.50</b>	<b>17.64</b>	<b>16.34</b>	<b>17.33</b>	<b>1,840.70</b>

ตารางที่ 3.2-5 ปริมาณความต้องการนำเกษตรกรกรมในเขตชลประทานจากข้อมูลปริมาณฝน JAXA กรณีมีฝนหลวง

ปี พ.ศ.	เพชรบุรี	โป่งทะเล	พุน้อย	วังยาว	ห้วยแม่ประจันต์	ห้วยตะแบก	ห้วยทราย	ห้วยสองฝ้าย	ห้วยสามเขมา	หุบกระพง	รวม (ล้าน ลบ.ม.)
2002	1,260.89	3.80	1.10	4.73	161.33	6.05	0.39	14.02	12.91	13.82	1,479.03
2003	1,223.28	3.69	1.06	4.61	157.25	5.94	0.39	13.58	12.55	13.53	1,435.88
2004	1,285.00	3.88	1.11	4.82	164.53	6.29	0.41	14.44	13.40	14.20	1,508.09
2005	1,351.63	4.03	1.15	5.00	171.10	6.51	0.43	14.97	13.80	14.70	1,583.31
2006	1,334.11	3.98	1.14	4.97	169.61	6.47	0.43	14.82	13.77	14.60	1,563.89
2007	1,481.22	4.41	1.25	5.45	186.15	7.12	0.47	16.11	14.99	16.08	1,733.23
2008	1,474.53	4.47	1.26	5.52	188.07	7.18	0.47	16.36	15.23	16.25	1,729.35
2009	1,348.87	4.14	1.17	5.13	174.94	6.72	0.45	15.55	14.50	15.09	1,586.56
2010	1,386.27	4.18	1.19	5.20	177.79	6.79	0.45	15.64	14.50	15.29	1,627.30
2011	1,374.90	4.31	1.22	5.33	181.13	6.95	0.46	15.90	14.84	15.71	1,620.75
2012	1,492.57	4.52	1.30	5.62	191.54	7.22	0.47	16.59	15.28	16.46	1,751.56
2013	1,587.64	4.84	1.37	5.98	203.93	7.72	0.50	17.51	16.25	17.60	1,863.35
2014	1,676.66	5.11	1.45	6.34	216.32	8.28	0.55	19.12	17.68	18.63	1,970.15
2015	1,637.81	4.98	1.42	6.19	210.94	8.06	0.53	18.68	17.28	18.15	1,924.05
2016	1,967.10	5.99	1.70	7.42	253.33	9.70	0.64	22.40	20.77	21.81	2,310.88
2017	1,961.34	5.94	1.69	7.37	252.23	9.62	0.64	22.27	20.60	21.67	2,303.37
2018	1,964.30	5.98	1.70	7.40	252.69	9.66	0.64	22.33	20.65	21.74	2,307.08
2019	1,973.95	6.00	1.70	7.42	253.75	9.71	0.64	22.41	20.73	21.81	2,318.13
2020	1,969.86	5.99	1.70	7.42	253.35	9.68	0.64	22.34	20.70	21.77	2,313.45
เฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)	1,565.89	4.75	1.35	5.89	201.05	7.67	0.50	17.63	16.34	17.31	1,838.39

ตารางที่ 3.2-6 ปริมาณความต้องการนำเกษตรกรรมในเขตชลประทานจากข้อมูลปริมาณฝน Radar กรณีฝนหลวง

ปี พ.ศ.	เพชรบุรี	โป่งทะเล	พุน้อย	วังยาว	ห้วยแม่ประจันต์	ห้วยตะแปด	ห้วยทราย	ห้วยสงสัย	ห้วยสามเคา	หุบกระพง	รวม (ล้าน ลบ.ม.)
2016	1,974.33	6.00	1.70	7.43	251.86	9.73	0.64	22.40	20.75	21.82	2,316.65
2017	1,971.26	5.99	1.69	7.41	251.66	9.70	0.64	22.38	20.72	21.76	2,313.22
2018	1,954.89	5.91	1.69	7.37	250.30	9.62	0.63	22.18	20.46	21.63	2,294.67
2019	1,954.37	5.93	1.69	7.38	250.02	9.63	0.63	22.19	20.52	21.65	2,294.01
2020	1,976.83	6.01	1.70	7.43	252.68	9.73	0.64	22.44	20.75	21.84	2,320.06
เฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)	1,966.34	5.97	1.69	7.40	251.30	9.68	0.64	22.32	20.64	21.74	2,307.72

ตารางที่ 3.2-7 ปริมาณความต้องการน้ำเกษตรกรรมในเขตชลประทานจากข้อมูลปริมาณฝนตรวจวัด (Station) กรณีไม่มีฝนหลวง

ปี พ.ศ.	เพชรบุรี	โป่งทะเล	พุน้อย	วังยาว	ห้วยแม่ประจันต์	ห้วยตะแบก	ห้วยทราย	ห้วยสงสัย	ห้วยสามเอนา	หุบกระพง	รวม (ล้าน ลบ.ม.)
2002	1,262.46	3.79	1.10	4.73	161.76	6.05	0.39	14.00	12.87	13.83	1,480.99
2003	1,220.53	3.68	1.07	4.60	157.76	5.90	0.38	13.57	12.54	13.50	1,433.53
2004	1,289.43	3.88	1.11	4.82	165.30	6.29	0.41	14.48	13.42	14.21	1,513.36
2005	1,353.17	4.03	1.15	4.99	171.17	6.50	0.43	14.99	13.83	14.70	1,584.97
2006	1,339.24	3.99	1.14	4.97	170.26	6.46	0.43	14.82	13.78	14.60	1,569.69
2007	1,479.08	4.40	1.25	5.44	185.61	7.08	0.46	16.08	14.97	16.05	1,730.43
2008	1,476.63	4.48	1.26	5.53	188.13	7.17	0.47	16.33	15.21	16.25	1,731.46
2009	1,355.89	4.16	1.17	5.14	175.00	6.72	0.45	15.53	14.47	15.12	1,593.64
2010	1,396.06	4.21	1.19	5.22	178.47	6.81	0.45	15.69	14.53	15.33	1,637.96
2011	1,377.89	4.31	1.21	5.33	180.91	6.96	0.46	15.89	14.82	15.72	1,623.51
2012	1,495.93	4.52	1.30	5.62	192.26	7.24	0.47	16.67	15.37	16.49	1,755.88
2013	1,592.90	4.86	1.37	5.99	204.12	7.75	0.50	17.55	16.28	17.65	1,868.98
2014	1,675.62	5.10	1.45	6.34	216.53	8.29	0.55	19.09	17.63	18.65	1,969.25
2015	1,638.83	4.99	1.43	6.20	211.23	8.08	0.53	18.67	17.25	18.18	1,925.39
2016	1,970.11	6.01	1.70	7.43	253.41	9.71	0.64	22.40	20.74	21.89	2,314.05
2017	1,963.34	5.94	1.69	7.38	251.97	9.67	0.64	22.38	20.70	21.70	2,305.41
2018	1,966.35	5.97	1.69	7.40	252.68	9.67	0.64	22.33	20.64	21.74	2,309.12
2019	1,973.43	6.00	1.70	7.43	253.23	9.72	0.64	22.42	20.74	21.82	2,317.13
2020	1,966.77	5.99	1.70	7.42	252.99	9.70	0.64	22.39	20.73	21.78	2,310.10
เฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)	1,568.09	4.75	1.35	5.89	201.20	7.67	0.50	17.65	16.34	17.33	1,840.78

ตารางที่ 3.2-8 ปริมาณความต้องการนำเกษตรกรกรมในเขตชลประทานจากข้อมูลปริมาณฝน JAXA กรณีไม่มีฝนหลวง

ปี พ.ศ.	เพชรบุรี	โป่งทะเล	พุน้อย	วังยาว	ห้วยแม่ประจันต์	ห้วยตะแบก	ห้วยทราย	ห้วยสงสัย	ห้วยสามเงา	หุบกระพง	รวม (ล้าน ลบ.ม.)
2002	1,260.89	3.80	1.10	4.73	161.33	6.05	0.39	14.02	12.91	13.82	1,479.03
2003	1,223.28	3.69	1.06	4.61	157.25	5.94	0.39	13.58	12.55	13.53	1,435.88
2004	1,285.00	3.88	1.11	4.82	164.53	6.29	0.41	14.44	13.40	14.20	1,508.09
2005	1,351.63	4.03	1.15	5.00	171.10	6.51	0.43	14.97	13.80	14.70	1,583.31
2006	1,334.11	3.98	1.14	4.97	169.61	6.47	0.43	14.82	13.77	14.60	1,563.89
2007	1,481.22	4.41	1.25	5.45	186.15	7.12	0.47	16.11	14.99	16.08	1,733.23
2008	1,474.53	4.47	1.26	5.52	188.07	7.18	0.47	16.36	15.23	16.25	1,729.35
2009	1,348.87	4.14	1.17	5.13	174.94	6.72	0.45	15.55	14.50	15.09	1,586.56
2010	1,386.27	4.18	1.19	5.20	177.79	6.79	0.45	15.64	14.50	15.29	1,627.30
2011	1,374.90	4.31	1.22	5.33	181.13	6.95	0.46	15.90	14.84	15.71	1,620.75
2012	1,492.57	4.52	1.30	5.62	191.54	7.22	0.47	16.59	15.28	16.46	1,751.56
2013	1,587.64	4.84	1.37	5.98	203.93	7.72	0.50	17.51	16.25	17.60	1,863.35
2014	1,676.66	5.11	1.45	6.34	216.32	8.28	0.55	19.12	17.68	18.63	1,970.15
2015	1,637.81	4.98	1.42	6.19	210.94	8.06	0.53	18.68	17.28	18.15	1,924.05
2016	1,967.10	5.99	1.70	7.42	253.33	9.70	0.64	22.40	20.77	21.81	2,310.88
2017	1,961.34	5.94	1.69	7.37	252.23	9.62	0.64	22.27	20.60	21.67	2,303.37
2018	1,964.30	5.98	1.70	7.40	252.91	9.66	0.64	22.34	20.66	21.74	2,307.32
2019	1,974.55	6.00	1.70	7.42	253.88	9.71	0.64	22.42	20.74	21.81	2,318.87
2020	1,971.33	6.00	1.70	7.42	253.49	9.68	0.64	22.37	20.72	21.78	2,315.13
เฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)	1,566.00	4.75	1.35	5.89	201.08	7.67	0.50	17.64	16.34	17.31	1,838.53

ตารางที่ 3.2-9 ปริมาณความต้องการนำเกษตรกรกรมในเขตชลประทานจากข้อมูลปริมาณฝน Radar กรณีไม่มีฝนหลวง

ปี พ.ศ.	เพชรบุรี	โป่งทะเล	พุน้อย	วังยาว	ห้วยแม่ประจันต์	ห้วยตะแบด	ห้วยทราย	ห้วยสงสัย	ห้วยสามเขา	หุบกระพง	รวม (ล้าน ลบ.ม.)
2016	1,974.33	6.00	1.70	7.43	251.86	9.73	0.64	22.40	20.75	21.82	2,316.65
2017	1,971.26	5.99	1.69	7.41	251.66	9.70	0.64	22.38	20.72	21.76	2,313.22
2018	1,954.91	5.91	1.69	7.37	250.59	9.62	0.63	22.20	20.51	21.63	2,295.05
2019	1,956.24	5.94	1.69	7.38	250.85	9.64	0.63	22.22	20.56	21.66	2,296.82
2020	1,977.23	6.02	1.70	7.44	252.97	9.73	0.64	22.46	20.78	21.85	2,320.81
<b>เฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)</b>	<b>1,966.79</b>	<b>5.97</b>	<b>1.69</b>	<b>7.41</b>	<b>251.58</b>	<b>9.68</b>	<b>0.64</b>	<b>22.33</b>	<b>20.66</b>	<b>21.74</b>	<b>2,308.51</b>

### 3.2.7 สรุปภาพรวมความต้องการน้ำจากกิจกรรมต่างๆ

การวิเคราะห์ปริมาณความต้องการน้ำสำหรับกิจกรรมการใช้น้ำต่าง ๆ ที่มีอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานเป็นแหล่งน้ำต้นทุน ดำเนินการคำนวณค่าความต้องการน้ำรายวันสำหรับกิจกรรมต่าง ๆ ประกอบด้วย 1) ความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภค - บริโภค 2) ความต้องการน้ำเพื่อรักษาระบบนิเวศ 3) ความต้องการน้ำเพื่ออุตสาหกรรมและการท่องเที่ยว และ 4) ความต้องการน้ำเพื่อการเกษตร โดยได้ดำเนินการสรุปผลการศึกษาปริมาณความต้องการน้ำสำหรับกิจกรรมต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 3.2-10 และ ตารางที่ 3.2-11 เนื่องจากการจำแนกตามกรณีของปริมาณฝนตรวจวัด 3 แห่ง และการพิจารณากรณีมีฝนหลวงและไม่มีฝนหลวง

ตารางที่ 3.2-10 สรุปความต้องการน้ำรวมของกลุ่มน้ำเพชรบุรีกรณีมีฝนหลวง

กิจกรรม	ความต้องการน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)
<b>ฝนตรวจวัดสถานี Station</b>	
อุปโภค - บริโภค	6.76
รักษาระบบนิเวศ	15.78
อุตสาหกรรมและการท่องเที่ยว	6.47
เกษตรกรรมในเขตชลประทาน	1,840.70
<b>รวม (ล้าน ลบ.ม.)</b>	<b>1,869.71</b>
<b>ฝน JAXA</b>	
อุปโภค - บริโภค	6.76
รักษาระบบนิเวศ	15.78
อุตสาหกรรมและการท่องเที่ยว	6.47
เกษตรกรรมในเขตชลประทาน	1,838.39
<b>รวม (ล้าน ลบ.ม.)</b>	<b>1,867.40</b>
<b>ฝน Radar</b>	
อุปโภค - บริโภค	6.76
รักษาระบบนิเวศ	15.78
อุตสาหกรรมและการท่องเที่ยว	6.47
เกษตรกรรมในเขตชลประทาน	2,307.72
<b>รวม (ล้าน ลบ.ม.)</b>	<b>2,336.73</b>

ตารางที่ 3.2-11 สรุปความต้องการน้ำรวมของกลุ่มน้ำเพชรบุรีกรณีไม่มีฝนหลวง

กิจกรรม	ความต้องการน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)
<b>ฝนตรวจวัดสถานี Station</b>	
อุปโภค - บริโภค	6.76
รักษาระบบนิเวศ	15.78
อุตสาหกรรมและการท่องเที่ยว	6.47
เกษตรกรรมในเขตชลประทาน	1,840.78
<b>รวม (ล้าน ลบ.ม.)</b>	<b>1,869.79</b>
<b>ฝน JAXA</b>	
อุปโภค - บริโภค	6.76
รักษาระบบนิเวศ	15.78
อุตสาหกรรมและการท่องเที่ยว	6.47
เกษตรกรรมในเขตชลประทาน	1,838.53
<b>รวม (ล้าน ลบ.ม.)</b>	<b>1,867.54</b>
<b>ฝน Radar</b>	
อุปโภค - บริโภค	6.76
รักษาระบบนิเวศ	15.78
อุตสาหกรรมและการท่องเที่ยว	6.47
เกษตรกรรมในเขตชลประทาน	2,308.51
<b>รวม (ล้าน ลบ.ม.)</b>	<b>2,337.52</b>

จากการประเมินผลปริมาณความต้องการน้ำรวมทุกกิจกรรมของกลุ่มน้ำเพชรบุรี พบว่า ภาคเกษตรกรรมมีปริมาณความต้องการน้ำมากที่สุดอยู่ระหว่าง 1,838.39 – 2,308.51 ล้าน ลบ.ม. ทั้งนี้ ช่วงความแตกต่างของปริมาณความต้องการน้ำเกิดจากแหล่งข้อมูลปริมาณฝนตรวจวัดและจำนวนช่วงปี เนื่องจากปริมาณฝนตรวจวัดเรดาร์มีช่วงข้อมูลที่สั้นกว่าแหล่งอื่น ๆ แต่ในช่วงปีดังกล่าวมีค่าเฉลี่ยปริมาณความต้องการน้ำมีมากกว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณความต้องการน้ำจากดาวเทียมและฝนตรวจวัดสถานี แต่ถือว่ามี ความแตกต่างกันไม่มากอย่างมีนัยสำคัญ รวมถึงกรณีที่พิจารณาการสนับสนุนจากฝนหลวงและกรณีที่ไม่ได้ พิจารณาการสนับสนุนจากฝนหลวง พบว่า มีความแตกต่างกันไม่มากเช่นเดียวกันเนื่องวัตถุประสงค์ในการทำ ฝนหลวงเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนมากกว่าการลดความต้องการน้ำในพื้นที่ชลประทานโดยตรง ส่วนปริมาณ

ความต้องการน้ำเพื่อการรักษาระบบนิเวศมีความต้องการน้ำเฉลี่ย 15.78 ล้าน ลบ.ม. ตามมาด้วยการอุปโภค – บริโภคมีปริมาณความต้องการน้ำเฉลี่ย 6.76 ล้าน.ลบ.ม. และภาคอุตสาหกรรมและการท่องเที่ยวมีปริมาณความต้องการน้ำเฉลี่ย 6.47 ล้าน ลบ.ม. ทำให้โดยรวมแล้วลุ่มน้ำเพชรบุรีมีปริมาณความต้องการน้ำเฉลี่ยโดยประมาณเท่ากับ 1,867.40 – 2,337.52 ล้าน ลบ.ม

### 3.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อประเมินปริมาณน้ำท่าไหลลงอ่างเก็บน้ำ

#### 3.3.1 ผลการเปรียบเทียบและทวนสอบแบบจำลอง

แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า 2 แบบจำลอง Soil and Water Assessment Tool (SWAT) และแบบจำลอง Distributed Water Circulation Model incorporating with Agricultural Water Use (DWCM-AgWU) ร่วมกับแบบจำลอง MIKE-BASIN ซึ่งเป็นแบบจำลองด้านการบริหารจัดการน้ำ ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ โดยแบบจำลองได้ถูกเปรียบเทียบและทวนสอบเพื่อประเมินถึงพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละแบบจำลองสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการเปรียบเทียบและทวนสอบแบบจำลองแสดงในบทที่ 3 และจากรายละเอียดที่แสดงในบทที่ 3 ถึงความจำเป็นในการใช้ข้อมูลฝนจาก 3 แหล่งข้อมูลรวมถึงรายละเอียดของข้อมูลของปริมาณฝนจากการตรวจวัดด้วยดาวเทียม (JAXA) ปริมาณฝนจากสถานีตรวจวัด (Station) และปริมาณฝนจากการตรวจวัดด้วยเรดาร์ (Radar) การศึกษาครั้งนี้จึงได้ดำเนินการเปรียบเทียบและทวนสอบแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบกับข้อมูลการตรวจวัดปริมาณน้ำท่า 3 จุด ได้แก่ ปริมาณน้ำท่าไหลเข้าเขื่อนแก่งกระจาน สถานีตรวจวัด B9 และสถานีตรวจวัด B10 โดยมีรายละเอียดผลการเปรียบเทียบและทวนสอบแสดงดังตารางที่ 3.3-1 และ รูปที่ 3.3-1 ถึง รูปที่ 3.3-3

ผลการเปรียบเทียบและทวนสอบแบบจำลอง 3 สถานี พบว่า แบบจำลอง SWAT และแบบจำลอง DWCM ให้ผลทางสถิติสำหรับการประเมินผลการเปรียบเทียบและทวนสอบจากการใช้ข้อมูลฝนจากทั้ง 3 แหล่งที่ใกล้เคียงกัน โดยพบว่าการนำเข้าสู่ข้อมูลปริมาณฝน JAXA ส่งผลให้การเปรียบเทียบและทวนสอบแบบจำลองใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดมากที่สุดของทั้ง 3 สถานี เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ฝนจากแหล่งอื่น โดยผลการเปรียบเทียบและทวนสอบที่สูงที่สุดอยู่ที่สถานี B9 ซึ่งแบบจำลอง SWAT ให้ค่า  $R^2/NSE$  สำหรับช่วงเปรียบเทียบแบบจำลองเท่ากับ 0.83/0.82 และช่วงสอบเทียบแบบจำลองเท่ากับ 0.65/0.48 และแบบจำลอง DWCM ให้ค่า  $R^2/NSE$  สำหรับช่วงเปรียบเทียบแบบจำลองเท่ากับ 0.82/0.81 และช่วงสอบเทียบแบบจำลองเท่ากับ 0.83/0.77

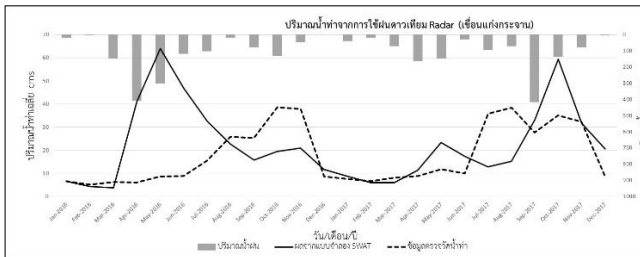
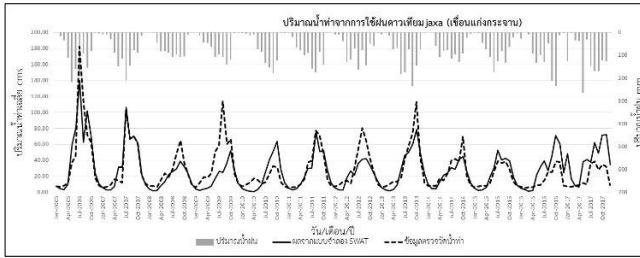
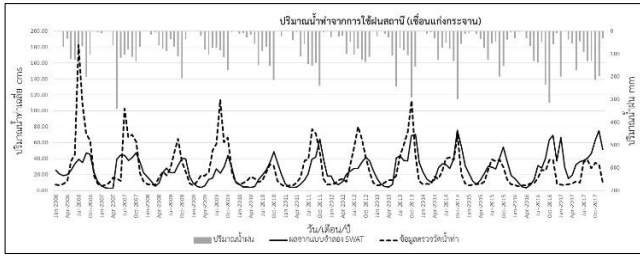
ผลการเปรียบเทียบและทวนสอบแบบจำลองจากการใช้ข้อมูลปริมาณฝนจากสถานีให้ผลที่ได้ดีอยู่ในระดับรองลงมาเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ผลจากแหล่งข้อมูล โดยผลการเปรียบเทียบและทวนสอบแบบจำลองที่สถานี B9 แบบจำลอง SWAT ให้ค่า  $R^2/NSE$  สำหรับช่วงเปรียบเทียบแบบจำลองเท่ากับ 0.80/0.79 และช่วงสอบเทียบแบบจำลองเท่ากับ 0.67/0.56 และแบบจำลอง DWCM ให้ค่า  $R^2/NSE$  สำหรับช่วงเปรียบเทียบแบบจำลองเท่ากับ 0.81/0.79 และช่วงสอบเทียบแบบจำลองเท่ากับ 0.84/0.83

ข้อมูลปริมาณฝนจากเรดาร์ให้ผลการเปรียบเทียบและทวนสอบแบบจำลองที่ต่ำที่สุด ซึ่งสาเหตุมาจากข้อจำกัดของข้อมูลเนื่องจากปริมาณฝนจากเรดาร์มีข้อมูลตั้งแต่ช่วงปี 2016-2020 แต่เนื่องจากข้อมูลปริมาณการใช้น้ำมีข้อมูลถึงปี 2017 ส่งผลให้การเปรียบเทียบแบบจำลองที่ใช้ข้อมูลปริมาณฝนจากเรดาร์สามารถดำเนินการได้เพียง 2 ปี ได้แก่ปี 2016 และ ปี 2017 นอกจากนี้ข้อมูลปริมาณฝนจากเรดาร์มีจำนวนข้อมูลที่ขาดหายค่อนข้างมาก โดยผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง SWAT ของเขื่อนแก่งกระจาน มีค่า  $R^2$  ต่ำกว่า 0.1 และ NSE ต่ำกว่า 0 ในขณะที่  $R^2$  ของสถานี B9 และ B10 มีค่าสูงกว่า 0.6 แต่ NSE ของสถานี B9 มีค่าต่ำกว่า 0.1 แต่สถานี B10 มีค่าสูงกว่า 0.6 สำหรับผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง DWCM ให้ผลการเปรียบเทียบของแบบจำลอง ณ เขื่อนแก่งกระจานใกล้เคียงกับผลที่ได้จากแบบจำลอง SWAT แต่ที่สถานี B9 แสดงผลการเปรียบเทียบแบบจำลองค่อนข้างสูง โดยมีค่า  $R^2$ /NSE เท่ากับ 0.94/0.88 แต่แสดงผลที่สถานี B10 มีค่า  $R^2$  ต่ำกว่า 0.1 และมีค่า NSE ต่ำกว่า 0

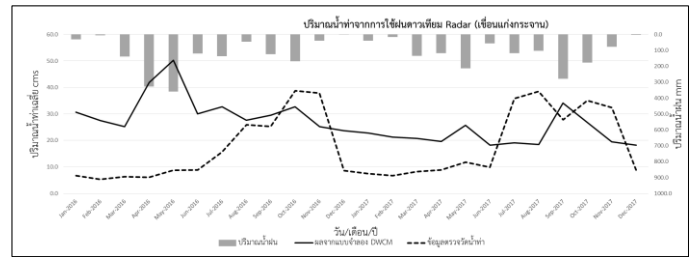
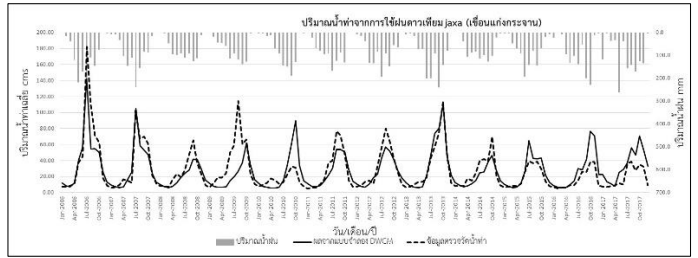
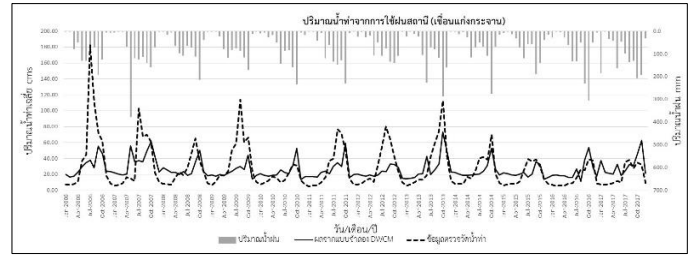
ตารางที่ 3.3-1 สรุปผลการเปรียบเทียบและทวนสอบแบบจำลอง

แบบจำลอง	จุดเปรียบเทียบแบบจำลอง	ข้อมูลน้ำฝน	ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง			ผลการทวนสอบแบบจำลอง		
			ช่วงเวลา	R <sup>2</sup>	NSE	ช่วงเวลา	R <sup>2</sup>	NSE
SWAT Model	เขื่อนแก่งกระจาน	Station	2006-2011	0.32	0.24	2012-2017	0.31	0.11
		JAXA	2006-2011	0.69	0.67	2012-2017	0.52	0.44
		Radar	2016-2017	0.04	-1.38			
	B.9	Station	2006-2011	0.80	0.79	2012-2017	0.67	0.56
		JAXA	2006-2011	0.83	0.82	2012-2017	0.65	0.48
		Radar	2016-2017	0.60	-0.09			
	B.10	Station	2006-2011	0.65	0.63	2012-2017	0.64	0.63
		JAXA	2006-2011	0.85	0.84	2012-2017	0.54	-0.34
		Radar	2016-2017	0.65	0.64			
DWCM model	เขื่อนแก่งกระจาน	Station	2006-2011	0.26	0.22	2012-2017	0.38	0.37
		JAXA	2006-2011	0.67	0.65	2012-2017	0.73	0.66
		Radar	2016-2017	0.02	-1.07			
	B.9	Station	2006-2011	0.81	0.79	2012-2017	0.84	0.83
		JAXA	2006-2011	0.82	0.81	2012-2017	0.83	0.77
		Radar	2016-2017	0.94	0.88			
	B.10	Station	2006-2011	0.63	0.63	2012-2017	0.29	0.52
		JAXA	2006-2011	0.66	0.66	2012-2017	0.33	0.26
		Radar	2016-2017	0.05	-0.12			

SWAT model



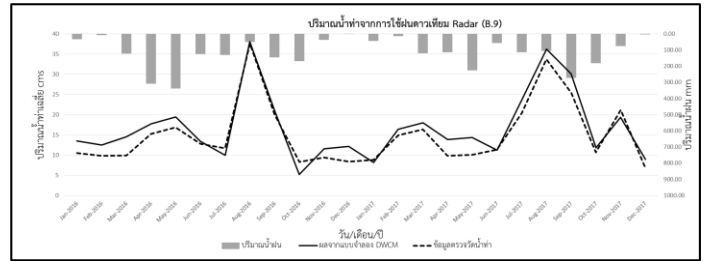
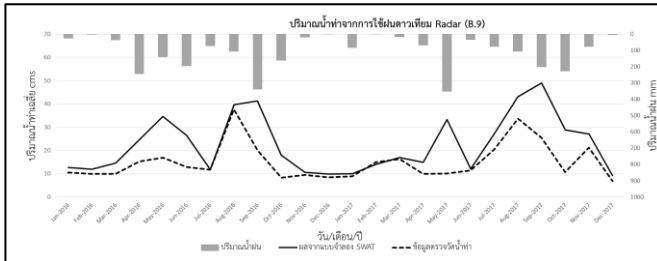
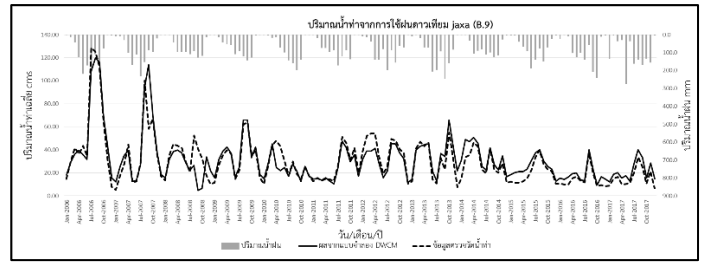
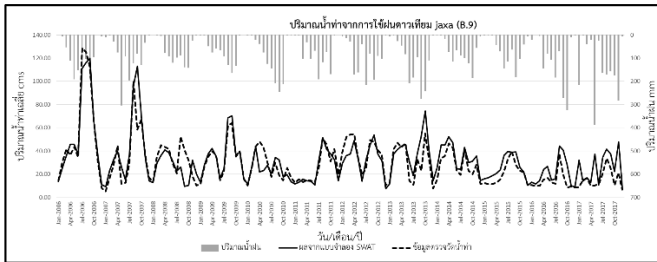
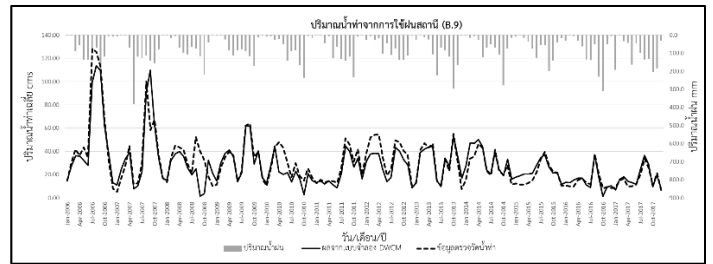
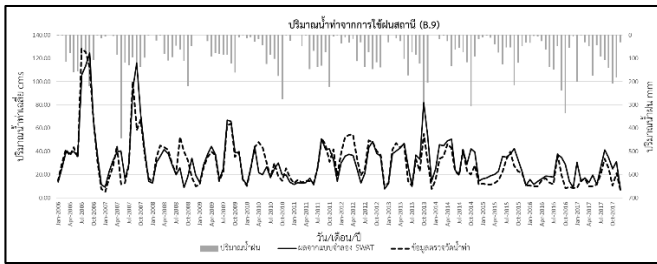
DWCM Model



รูปที่ 3.3-1 ผลการเปรียบเทียบและทวนสอบแบบจำลอง ณ เขื่อนแก่งกระจาน (ปริมาณน้ำเข้าเขื่อน)

SWAT model

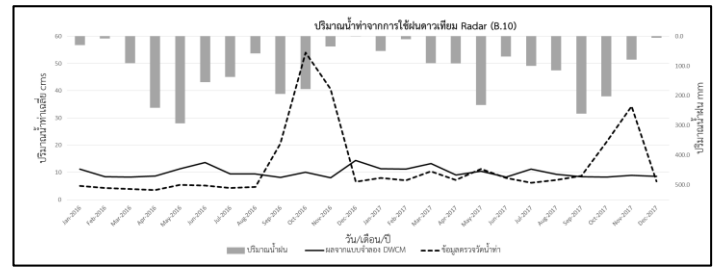
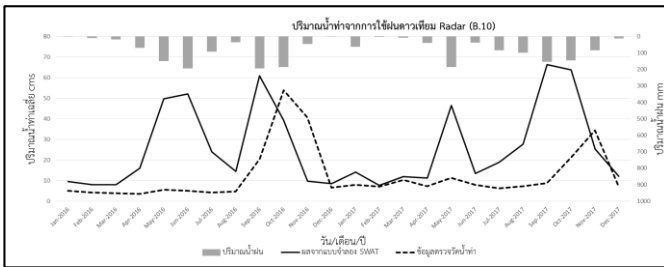
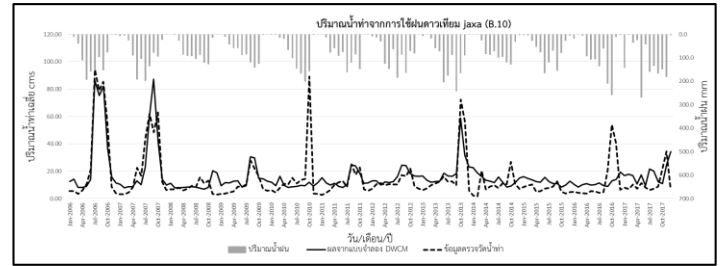
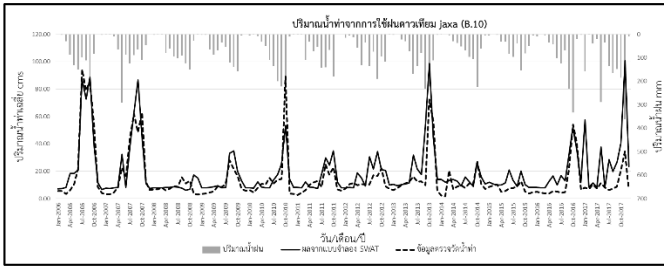
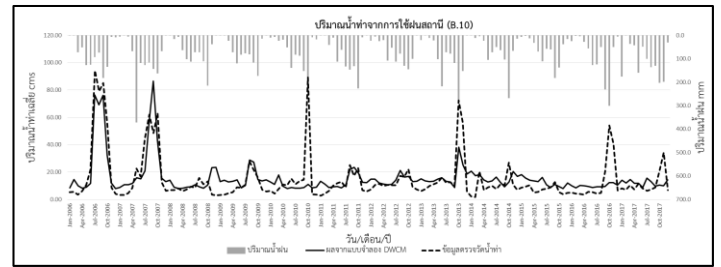
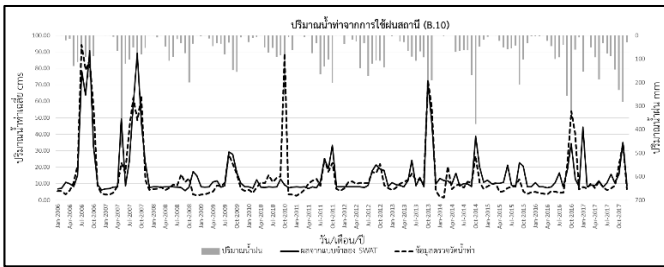
DWCM Model



รูปที่ 3.3-2 ผลการเปรียบเทียบและทวนสอบแบบจำลอง ณ สถานีตรวจวัดน้ำ B9

SWAT model

DWCM Model



รูปที่ 3.3-3 ผลการเปรียบเทียบและทวนสอบแบบจำลอง ณ สถานีตรวจวัดน้ำ B10

### 3.3.2 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานจากปริมาณฝนธรรมชาติและปริมาณฝนธรรมชาติร่วมกับการปฏิบัติการฝนหลวง

ผลจากการประเมินปริมาณฝนที่เกิดขึ้นทั้งหมดและปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจากปฏิบัติการฝนหลวงร่วมกับการประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำฝน-ท่าที่ผ่านการปรับเทียบแบบจำลองแล้วสามารถนำมาประเมินถึงปริมาณน้ำที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานซึ่งเป็นอ่างเก็บน้ำหลักของพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี โดยการประเมินปริมาณน้ำดังกล่าวจะถูกเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานในกรณีที่มีการปฏิบัติการฝนหลวงร่วมด้วย (With RRM) กับปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นโดยไม่มีการปฏิบัติการฝนหลวง (Without RRM) โดยได้ดำเนินการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าตั้งแต่ปี 2018-2020 จากข้อมูลของปริมาณฝนทั้ง 3 แหล่งข้อมูล ได้แก่ ปริมาณฝนจากการตรวจวัด (Station) ปริมาณฝนดาวเทียม (JAXA) และปริมาณฝนเรดาร์ (Radar)

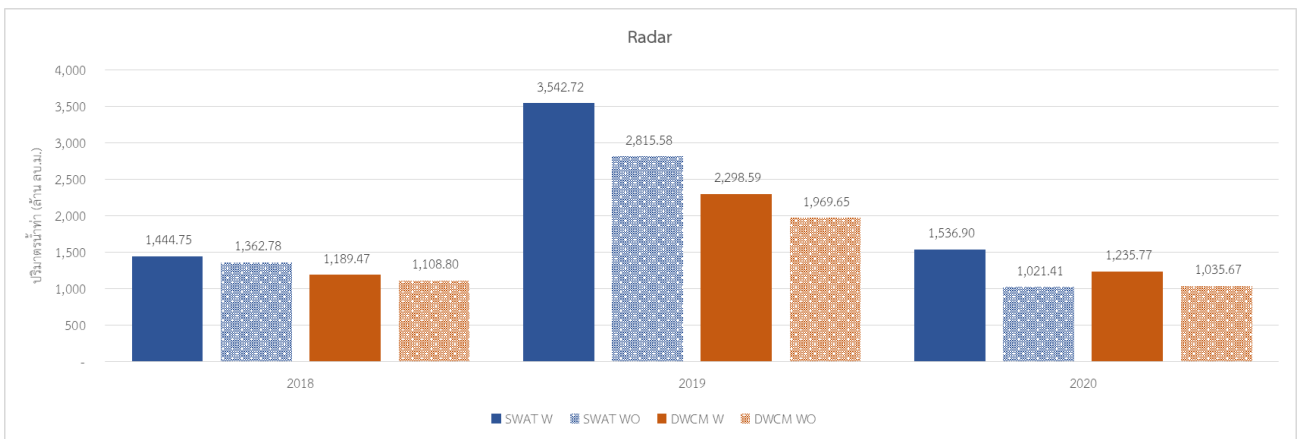
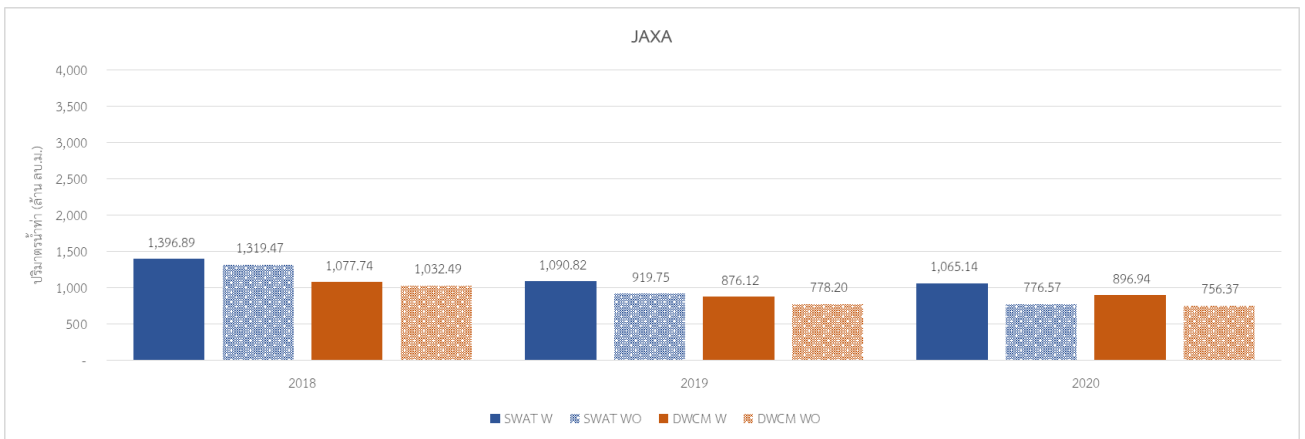
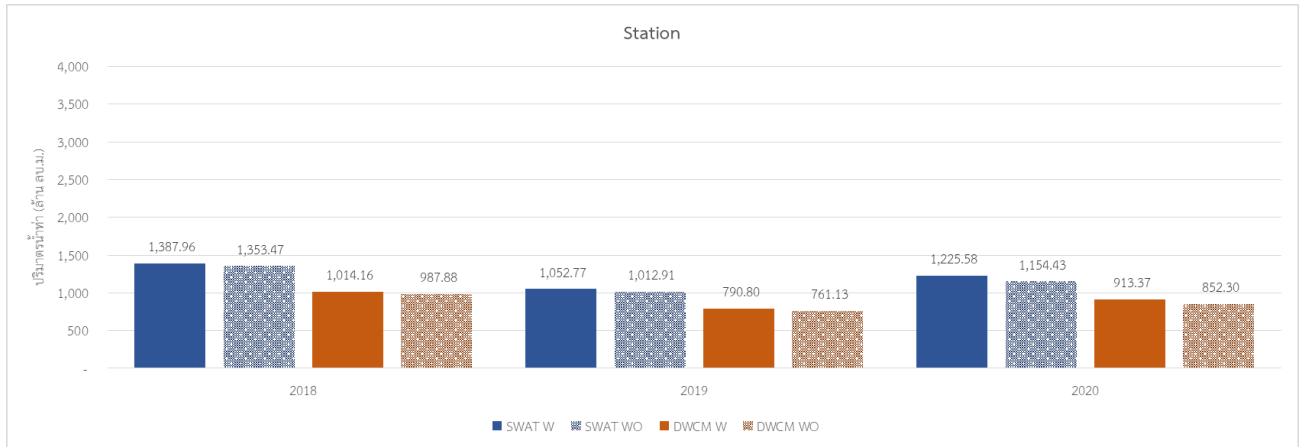
#### (1) การประเมินปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานรายปี

ผลการประเมินปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานในช่วงปี 2018-2020 เปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจากฝนธรรมชาติร่วมกับการปฏิบัติการฝนหลวง (With RRM) และปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจากฝนธรรมชาติเพียงอย่างเดียวไม่พิจารณาการปฏิบัติการฝนหลวง (Without RRM) จากแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า 2 แบบจำลองได้แก่แบบจำลอง SWAT และแบบจำลอง DWCM (รูปที่ 3.3-4) พบว่า ในปี 2018 มีการปฏิบัติการฝนหลวงทั้งสิ้น 20 ครั้ง จากการประเมินโดยใช้แหล่งข้อมูลปริมาณฝนตรวจวัด (Station) พบว่าแบบจำลอง SWAT/DWCM ประเมินปริมาณน้ำท่าในกรณี With RRM (Without RRM) เท่ากับ 1,387.96 (1,353.47)/1,014.16 (987.88) ล้านลบ.ม. ตามลำดับ ในขณะที่การประเมินปริมาณน้ำท่าจากข้อมูล JAXA มีค่าปริมาณน้ำท่าโดยรวมที่สูงขึ้นเล็กน้อยทั้ง 2 แบบจำลอง โดยมีค่าเท่ากับ 1,396.89 (1,319.47)/1,077.74 (1,032.49) ล้านลบ.ม. และสุดท้ายปริมาณน้ำท่าที่ประเมินจาก Radar มีค่าปริมาณฝนรวมสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 1,444.75 (1,362.78)/1,189.47(1,108.80) ล้านลบ.ม.

ในปี 2019 มีการปฏิบัติการฝนหลวงทั้งสิ้น 63 ครั้ง โดยผลจากรูปที่ 3.3-4 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของปริมาณน้ำท่าที่คำนวณจากข้อมูล Radar กับปริมาณฝนที่คำนวณจาก Station และ JAXA อย่างชัดเจน โดยปริมาณน้ำท่าจากข้อมูลฝน Radar ให้ค่าปริมาณน้ำท่าที่สูงมากจากทั้ง 2 แบบจำลอง โดยผลจากแบบจำลอง SWAT/DWCM ในกรณีที่ With RRM (Without RRM) มีค่าเท่ากับ 3,542.72 (2,815.58)/2,298.59 (1,969.65) ล้าน ลบ.ม. ในขณะที่ผลจากข้อมูลปริมาณฝน Station และ JAXA ให้ค่าปริมาณฝนรวมทั้งหมด (With RRM) อยู่ในช่วงระหว่าง 1,052.77-1,090.82 ล้าน ลบ.ม.

สำหรับแบบจำลอง SWAT และ 790.80-876.12 ล้าน ลบ.ม. สำหรับแบบจำลอง DWCM และปริมาณน้ำท่าที่ประเมินโดยไม่รวมการปฏิบัติการฝนหลวง (Without RRM) มีค่าอยู่ระหว่าง 919.75-1,012.91 ล้าน ลบ.ม. สำหรับแบบจำลอง SWAT และ 761.13-778.20 ล้าน ลบ.ม. สำหรับแบบจำลอง DWCM

และสำหรับผลการประเมินปริมาณน้ำท่าในปี 2020 พบว่าปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจากการใช้ข้อมูลฝน Radar ยังคงให้ค่าที่สูงที่สุด โดยมีค่าปริมาณฝนรวมของแบบจำลอง SWAT/DWCM ในกรณี With RRM (Without RRM) มีค่าเท่ากับ 1,536.90 (1,021.41)/1,235.77 (1,035.67) ล้าน ลบ.ม. ในขณะที่ผลจากข้อมูลปริมาณฝน Station และ JAXA ให้ค่าปริมาณฝนรวมทั้งหมด (With RRM) อยู่ในช่วงระหว่าง 1,065.14-1,225.58 ล้าน ลบ.ม. สำหรับแบบจำลอง SWAT และ 896.94-913.37 ล้าน ลบ.ม. สำหรับแบบจำลอง DWCM และมีปริมาณน้ำท่าที่ประเมินโดยไม่รวมการปฏิบัติการฝนหลวง (Without RRM) มีค่าอยู่ระหว่าง 776.57-1,154.43 ล้าน ลบ.ม. สำหรับแบบจำลอง SWAT และ 756.37-918.37 ล้าน ลบ.ม. สำหรับแบบจำลอง DWCM



รูปที่ 3.3-4 ผลเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานรายปีระหว่างปริมาณฝนรวมทั้งหมด และปริมาณฝนที่ไม่มีการปฏิบัติการฝนหลวง

## (2) การประเมินปริมาณน้ำท่ารายเดือน

ผลการประเมินปริมาณน้ำท่ารายเดือนในช่วงปี 2018-2020 โดยเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าในช่วงเดือนที่มีการปฏิบัติการฝนหลวงจากข้อมูลปริมาณฝนทั้ง 3 แหล่งข้อมูลได้แก่ ปริมาณฝนจากการตรวจวัด ณ สถานี (Station) ปริมาณฝนจากการตรวจวัดด้วยดาวเทียม (JAXA) และปริมาณฝนจากการตรวจวัดด้วยเรดาร์ (Radar) จากแบบจำลอง SWAT และ DWCM แสดงดังรูปที่ 3.3.-5 ซึ่งในช่วงปี 2018 มีการปฏิบัติการฝนหลวงในช่วงเดือนเมษายน – พฤษภาคม พบว่าปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้ในกรณีที่เกิดปริมาณฝนจากการปฏิบัติการฝนหลวงร่วมด้วยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 42.26 – 166.66 ล้าน ลบ.ม. สำหรับแบบจำลอง SWAT และ 27.16 – 102.82 ล้าน ลบ.ม. สำหรับแบบจำลอง DWCM ในขณะที่เมื่อประเมินปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นโดยไม่รวมปริมาณฝนที่เกิดจากการปฏิบัติการฝนหลวงจะพบว่าปริมาณน้ำท่าจะมีค่าลดลงเล็กน้อยโดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 36.76 – 134.33 ล้าน ลบ.ม. สำหรับแบบจำลอง SWAT และ 24.02 – 92.34 ล้าน ลบ.ม.

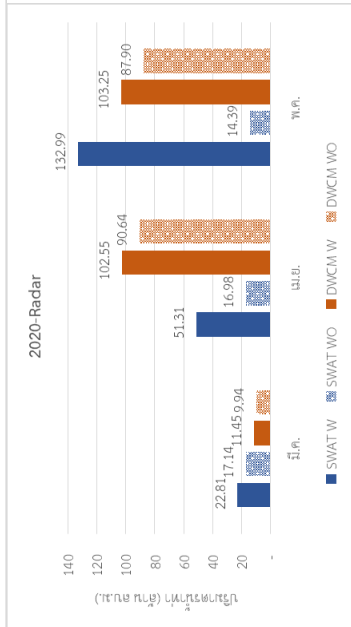
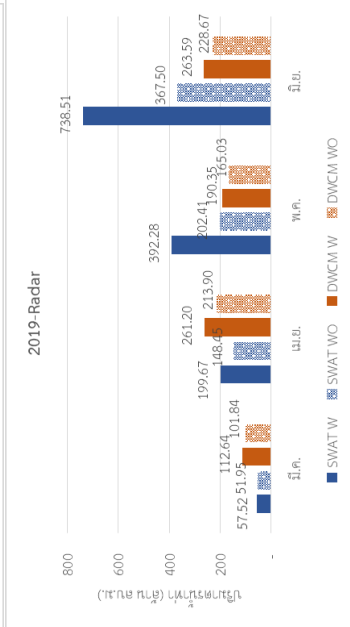
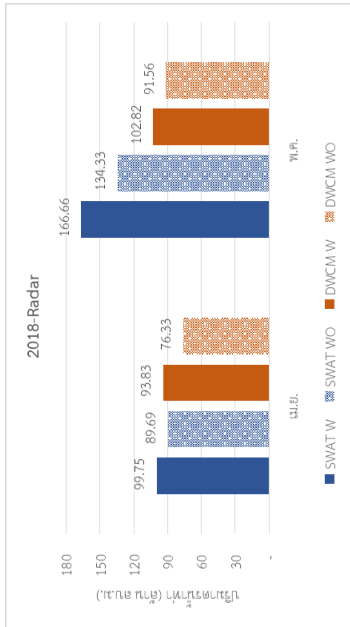
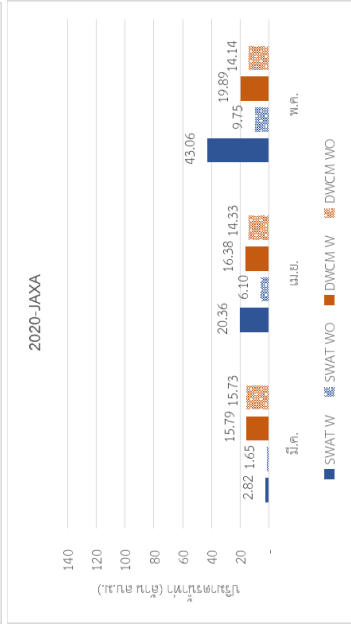
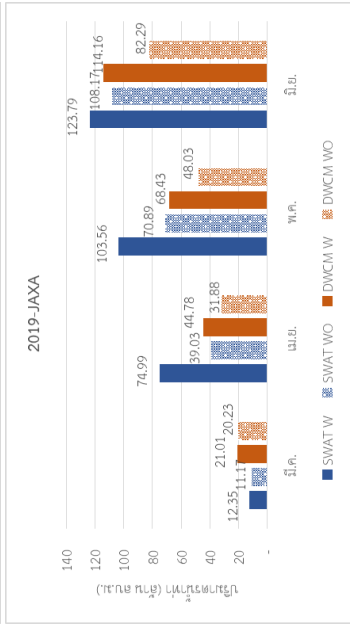
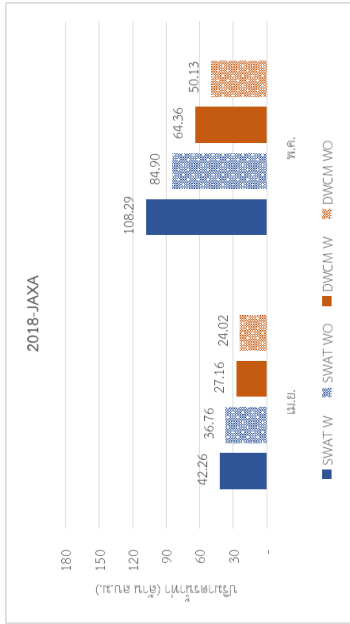
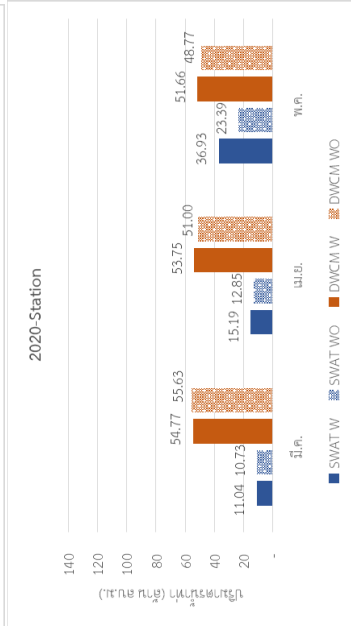
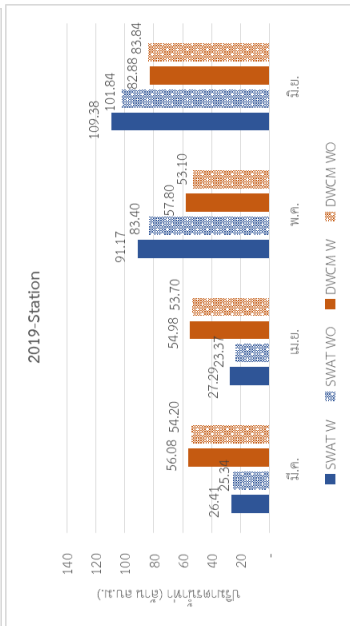
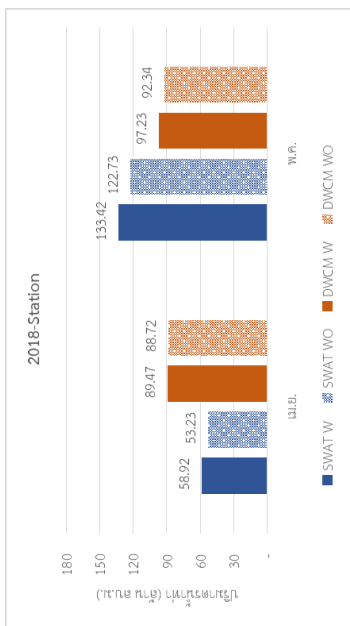
ในช่วงปี 2019 มีการปฏิบัติการฝนหลวงอยู่ในช่วงระหว่างเดือนมีนาคม-มิถุนายน โดยแบบจำลอง SWAT ประเมินปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นในกรณีที่พิจารณาปริมาณฝนที่เกิดจากฝนหลวงร่วมด้วยพบว่ามีความอยู่ในช่วงระหว่าง 12.35 – 738.51 ล้าน ลบ.ม. และแบบจำลอง DWCM มีความอยู่ในช่วงระหว่าง 21.01- 263.59 ล้าน ลบ.ม. และเมื่อพิจารณาการเกิดน้ำท่าจากปริมาณฝนธรรมชาติเพียงอย่างเดียวพบว่าปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นมีค่าลดลงในทุกกรณี โดยปริมาณน้ำท่าที่เกิดจากแบบจำลอง SWAT มีความอยู่ในช่วงระหว่าง 11.17 – 367.50 ล้าน ลบ.ม. และแบบจำลอง DWCM มีค่าเท่ากับ 20.20 – 228.67 ล้าน ลบ.ม.

ปี 2020 มีการปฏิบัติการฝนหลวงอยู่ในช่วงระหว่างเดือนมีนาคม-พฤษภาคม โดยแบบจำลอง SWAT ประเมินปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นในกรณีที่พิจารณาปริมาณฝนที่เกิดจากฝนหลวงร่วมด้วยพบว่ามีความอยู่ในช่วงระหว่าง 2.82 – 132.99 ล้าน ลบ.ม. และแบบจำลอง DWCM มีความอยู่ในช่วงระหว่าง 11.45- 103.25 ล้าน ลบ.ม. และเมื่อพิจารณาการเกิดน้ำท่าจากปริมาณฝนธรรมชาติเพียงอย่างเดียวพบว่าปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นมีค่าลดลงในทุกกรณี โดยปริมาณน้ำท่าที่เกิดจากแบบจำลอง SWAT มีความอยู่ในช่วงระหว่าง 1.65 – 23.39 ล้าน ลบ.ม. และแบบจำลอง DWCM มีค่าเท่ากับ 9.94 – 90.64 ล้าน ลบ.ม.

(3) สรุปผลการประเมินปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานจากปริมาณฝน  
ธรรมชาติและปริมาณฝนธรรมชาติร่วมกับการปฏิบัติการฝนหลวง

จากการประเมินปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานจากปริมาณฝนธรรมชาติ  
ร่วมกับการปฏิบัติการฝนหลวงและจากปริมาณฝนธรรมชาติเพียงอย่างเดียวโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง  
น้ำฝน-น้ำท่า 2 แบบจำลองได้แก่ แบบจำลอง SWAT และแบบจำลอง DWCM และจากแหล่งข้อมูลของฝน 3  
แหล่งข้อมูลได้แก่ Station, JAXA และ Radar พบว่าเมื่อพิจารณาปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำในกรณีของการ  
ใช้แบบจำลอง 2 แบบจำลองผลที่ได้โดยส่วนใหญ่จะมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยจากข้อมูลปริมาณน้ำ  
ไหลลงอ่างรายปีผลที่ได้จากทั้ง 2 แบบจำลอง ในกรณีที่พิจารณาฝนทั้งหมดจะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 790.80-  
3,542.72 ล้าน ลบ.ม. ในขณะที่หากพิจารณาฝนธรรมชาติเพียงอย่างเดียวจะพบว่าปริมาณน้ำไหลลงอ่างของ  
ทั้ง 2 แบบจำลองจะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 756.37-2,815.58 ล้าน ลบ.ม.

และเมื่อพิจารณาความแตกต่างที่เกิดขึ้นจากการใช้แหล่งข้อมูลฝนที่แตกต่างกัน  
พบว่าข้อมูลปริมาณฝนจากเรดาร์ที่นำเข้าสู่แบบจำลองซึ่งจะให้ค่าปริมาณฝนโดยส่วนใหญ่มีค่าสูงที่สุด  
(รายละเอียดแสดงดังหัวข้อ 3.1) ส่งผลให้การประเมินปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำสูงที่สุดทั้ง 2 แบบจำลอง  
โดยค่าเฉลี่ยความแตกต่างที่เกิดขึ้นระหว่างข้อมูลฝน Station-Radar และ JAXA-Radar ของแบบจำลอง  
SWAT/DWCM มีค่าสูงถึง 756.17/614.07 ล้าน ลบ.ม. และ 859.25/676.17 ล้าน ลบ.ม. ในขณะที่ผลปริมาณ  
น้ำไหลลงอ่างที่ประเมินจากข้อมูลปริมาณฝน Station และ JAXA จะให้ผลที่แตกต่างกันน้อยกว่า โดยมี  
ค่าเฉลี่ยความแตกต่างที่เกิดขึ้นสำหรับแบบจำลอง SWAT และแบบจำลอง DWCM จะมีค่าเท่ากับ 103.08  
และ 62.09 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ สำหรับปริมาณน้ำท่าไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานที่เกิดขึ้นจากการ  
ปฏิบัติการฝนหลวงในช่วงระหว่างปี 2018-2020 จากข้อมูลปริมาณฝนทั้ง 3 แหล่งข้อมูลพบว่ามีค่าเฉลี่ยราย  
ปีเท่ากับ 223 ล้าน ลบ.ม. สำหรับแบบจำลอง SWAT และ 112 ล้าน ลบ.ม. สำหรับแบบจำลอง DWCM



รูปที่ 3.3-5 ผลเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจวนรายเดือนระหว่างปริมาณฝนรวมทั้งรวมและปริมาณฝนที่คาดการณ์ปฏิบัติการฝนหลวง

### 3.4 การประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อประเมินการขาดแคลนน้ำ ณ กิจกรรมการใช้น้ำ

ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า SWAT และ DWCM ร่วมกับแบบจำลอง Mike Hydro (Basin) เพื่อประเมินถึงการขาดแคลนน้ำ ณ กิจกรรมการใช้น้ำต่างๆจะถูกแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อหลัก ได้แก่ การวิเคราะห์สภาวะการขาดแคลนน้ำตั้งแต่อดีต-ปัจจุบัน (2002-2020) จากการประเมินโดยปริมาณฝนจาก 3 แหล่งได้แก่ ปริมาณฝนตรวจวัด (Station) ปริมาณฝนจากการตรวจวัดด้วยดาวเทียม (JAXA) และ ปริมาณฝนจากการตรวจวัดด้วยเรดาร์ (Radar) โดยผลการประเมินจากแบบจำลองจะถูกแบ่งออกเป็น 6 กรณีเช่นเดียวกันกับการประเมินปริมาณน้ำท่าดังนี้

- กรณีที่ 1: แบบจำลอง SWAT-Mike Hydro (Basin) + Station
- กรณีที่ 2: แบบจำลอง SWAT-Mike Hydro (Basin) + JAXA
- กรณีที่ 3: แบบจำลอง SWAT-Mike Hydro (Basin) + Radar
- กรณีที่ 4: แบบจำลอง DWCM-Mike Hydro (Basin) + Station
- กรณีที่ 5: แบบจำลอง DWCM-Mike Hydro (Basin) + JAXA
- กรณีที่ 6: แบบจำลอง DWCM-Mike Hydro (Basin) + Radar

จากนั้นจะเป็นการวิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของสภาวะการขาดแคลนน้ำในกรณีที่มีการปฏิบัติการฝนหลวงและไม่มีการปฏิบัติการฝนหลวง ซึ่งการวิเคราะห์สภาวะการขาดแคลนน้ำทั้ง 2 หัวข้อหลักจะถูกประเมินผลความรุนแรงในรูปแบบของร้อยละการขาดแคลนน้ำโดยสามารถแบ่งกลุ่มความรุนแรงออกได้เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

- กลุ่มที่ 1: ไม่มีขาดแคลนน้ำ (ร้อยละการขาดแคลนน้ำ 0)
- กลุ่มที่ 2: การขาดแคลนน้ำเล็กน้อย (ร้อยละการขาดแคลนน้ำ 0 ถึง 20)
- กลุ่มที่ 3: การขาดแคลนน้ำปานกลาง (ร้อยละการขาดแคลนน้ำ 20 ถึง 50)
- กลุ่มที่ 4: การขาดแคลนน้ำมาก (ร้อยละการขาดแคลนน้ำมากกว่า 50 ขึ้นไป)

นอกจากการวิเคราะห์เชิงปริมาณ การศึกษาครั้งนี้ยังได้มีการวิเคราะห์ถึงช่วงความถี่ของการเกิดสภาวะการขาดแคลนน้ำโดยมีการระบุถึงจำนวนปีที่มีสภาวะการขาดแคลนน้ำเกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่โดยมีรายละเอียดผลการศึกษาทั้งหมด ดังนี้

### 3.4.1 การประเมินการขาดแคลนน้ำ ณ กิจกรรมต่างๆ ตั้งแต่อดีต-ปัจจุบัน

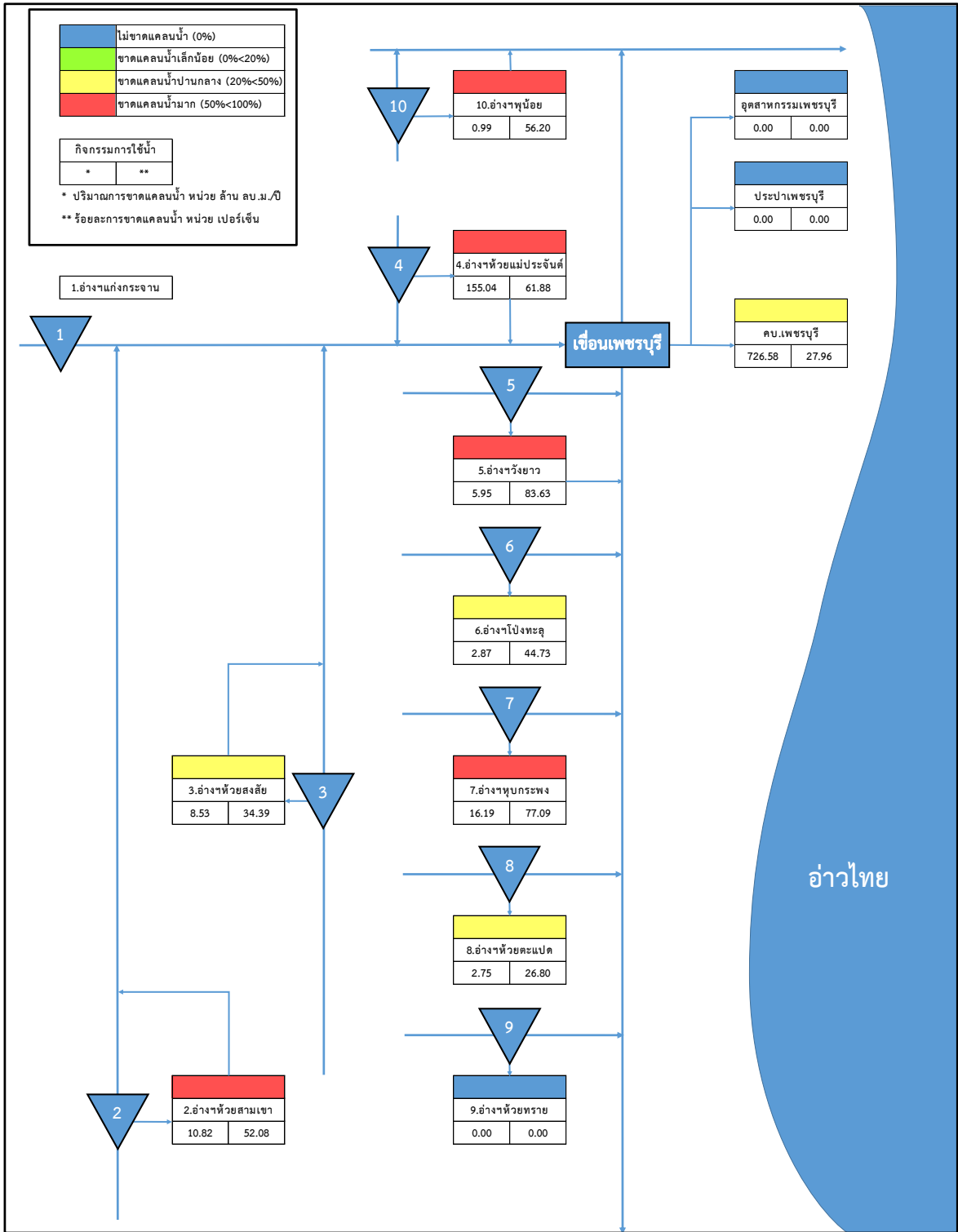
ผลการประเมินการขาดแคลนน้ำตั้งแต่ปี 2002-2020 (19 ปี) สำหรับข้อมูลฝนจากการตรวจวัดโดยสถานีตรวจวัด (Station) และจากการตรวจวัดด้วยดาวเทียม (JAXA) และผลประเมินการขาดแคลนน้ำตั้งแต่ปี 2016-2020 สำหรับข้อมูลฝนจากการตรวจวัดด้วยเรดาร์ (Radar) แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ก โดยมีสรุปผลการศึกษาในแต่ละกรณีแสดงดังรายละเอียดข้างต้นดังนี้

#### (1) กรณีที่ 1: แบบจำลอง SWAT-Mike Hydro (Basin) + Station

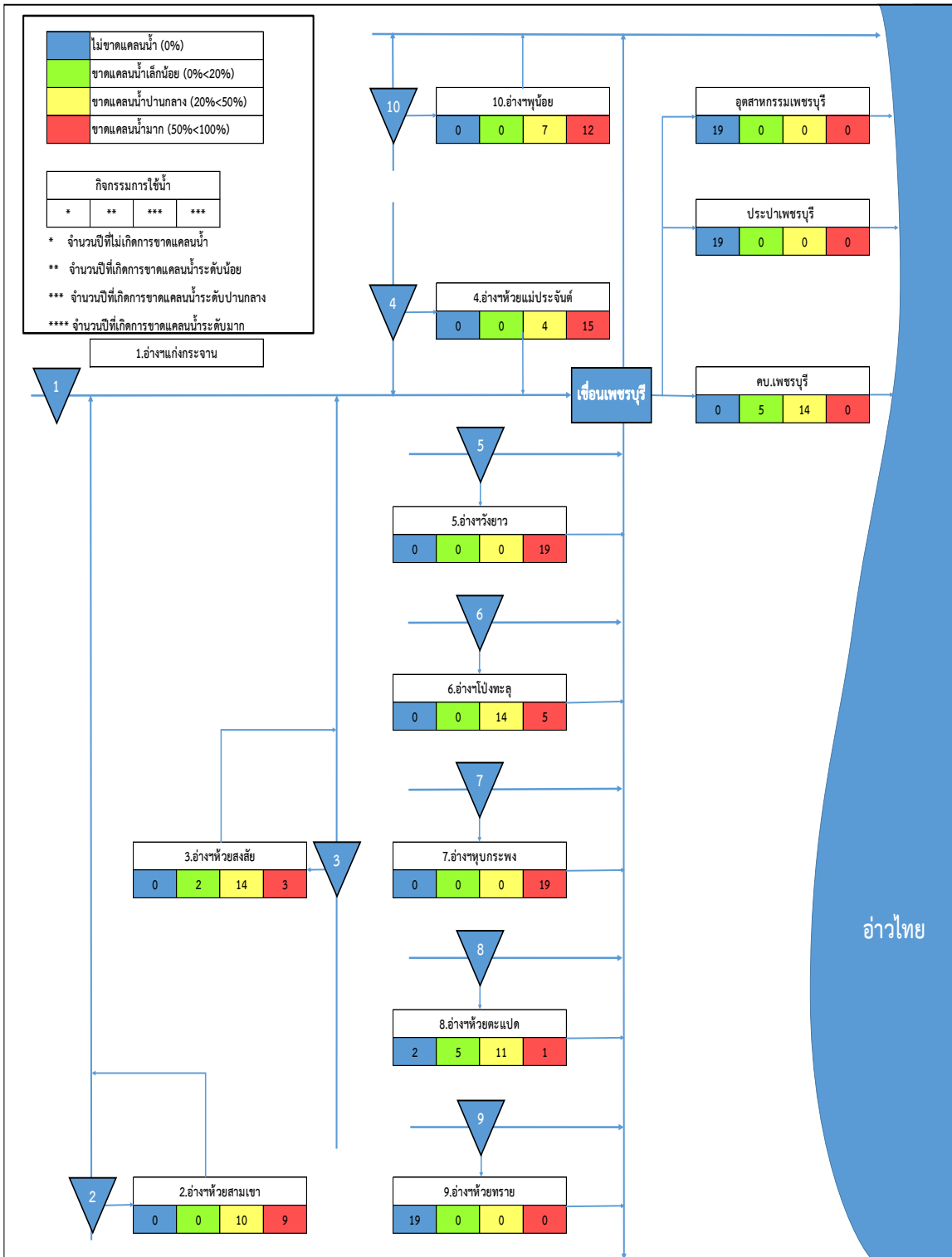
จากการวิเคราะห์ผลการขาดแคลนน้ำสำหรับกิจกรรมการใช้น้ำทั้ง 12 แห่งพบว่ามีการขาดแคลนน้ำในด้านปริมาณผันแปรระหว่าง 0 – 726.58 ล้าน ลบ.ม. โดยโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรีมีปริมาณการขาดแคลนน้ำสูงสุด และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการขาดแคลนน้ำกับปริมาณความต้องการใช้น้ำของแต่ละพื้นที่ในสัดส่วนเปอร์เซ็นต์การขาดแคลนน้ำพบว่ามีกิจกรรมการใช้น้ำด้านการเกษตรจากอ่างเก็บน้ำ 5 อ่างเก็บน้ำที่มีการขาดแคลนน้ำมาก โดยกิจกรรมการใช้น้ำด้านการเกษตรของอ่างเก็บน้ำวังยาวมีการขาดแคลนน้ำมากที่สุด (83.63%) กิจกรรมที่มีการขาดแคลนน้ำปานกลางจำนวน 4 แห่ง ในขณะที่กิจกรรมการผลิตน้ำประปาของแม่ข่าย กปภ.เพชรบุรี อุตสาหกรรมเพชรบุรี และการใช้น้ำด้านการเกษตรของอ่างเก็บน้ำห้วยทรายไม่มีการขาดแคลนน้ำ

เมื่อวิเคราะห์ถึงความถี่ (จำนวนปี) ของความรุนแรงของสภาวะการขาดแคลนน้ำพบว่า กิจกรรมการใช้น้ำที่มีสภาวะการขาดแคลนน้ำระดับมากที่สุด 19 ปี ได้แก่ อ่างเก็บน้ำวังยาว และอ่างเก็บน้ำหุบกระพง พื้นที่ที่มีความถี่ของสภาวะการขาดแคลนน้ำระดับมากที่สุดมีจำนวนทั้งสิ้น 7 อ่างเก็บน้ำ ได้แก่ อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ (15 ปี) อ่างเก็บน้ำพุน้อย (12 ปี) อ่างเก็บน้ำห้วยสามเขา (9 ปี) อ่างเก็บน้ำโป่งทะเล (5 ปี) อ่างเก็บน้ำห้วยสงสัย (3 ปี) และอ่างเก็บน้ำห้วยตะแปด (1 ปี) สำหรับกิจกรรมการผลิตน้ำประปาของแม่ข่าย กปภ.เพชรบุรี และอ่างเก็บน้ำห้วยทรายไม่มีการขาดแคลนน้ำทั้ง 19 ปี

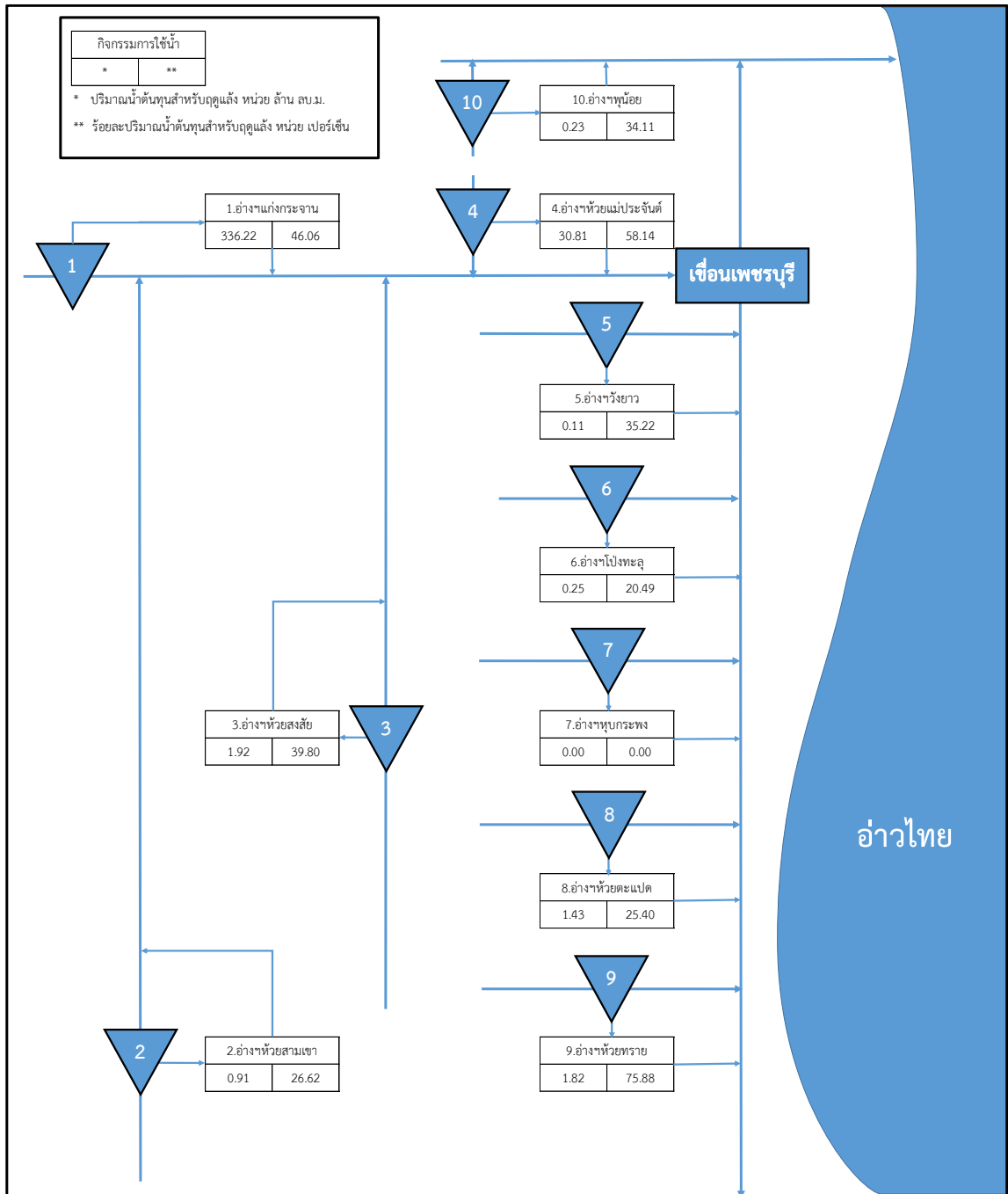
สำหรับพื้นที่ที่มีความถี่ของสภาวะการขาดแคลนน้ำในระดับปานกลางได้แก่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรี (14 ปี) อ่างเก็บน้ำห้วยสงสัย (14 ปี) อ่างเก็บน้ำโป่งทะเล (14 ปี) อ่างเก็บน้ำห้วยสามเขา (10 ปี) อ่างเก็บน้ำพุน้อย (7 ปี) อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ (4 ปี) และอ่างเก็บน้ำห้วยตะแปด (11 ปี) และในด้านปริมาณน้ำต้นทุนฤดูกาลเพาะปลูก พบว่า ปริมาณน้ำคงเหลือมีการผันแปรระหว่าง 0 ถึง 336.22 ล้าน ลบ.ม. โดยอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานมีปริมาณน้ำคงเหลือสูงสุด และอ่างเก็บน้ำหุบกระพงไม่มีปริมาณน้ำคงเหลือ โดยแสดงรายละเอียดดัง **รูปที่ 3.4-1 ถึง รูปที่ 3.4-3**



รูปที่ 3.4-1 ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ (SWAT-Mike Hydro (Basin) + Station)



รูปที่ 3.4-2 ผลการขาดแคลนน้ำด้านช่วงเวลา (SWAT-Mike Hydro (Basin) + Station)



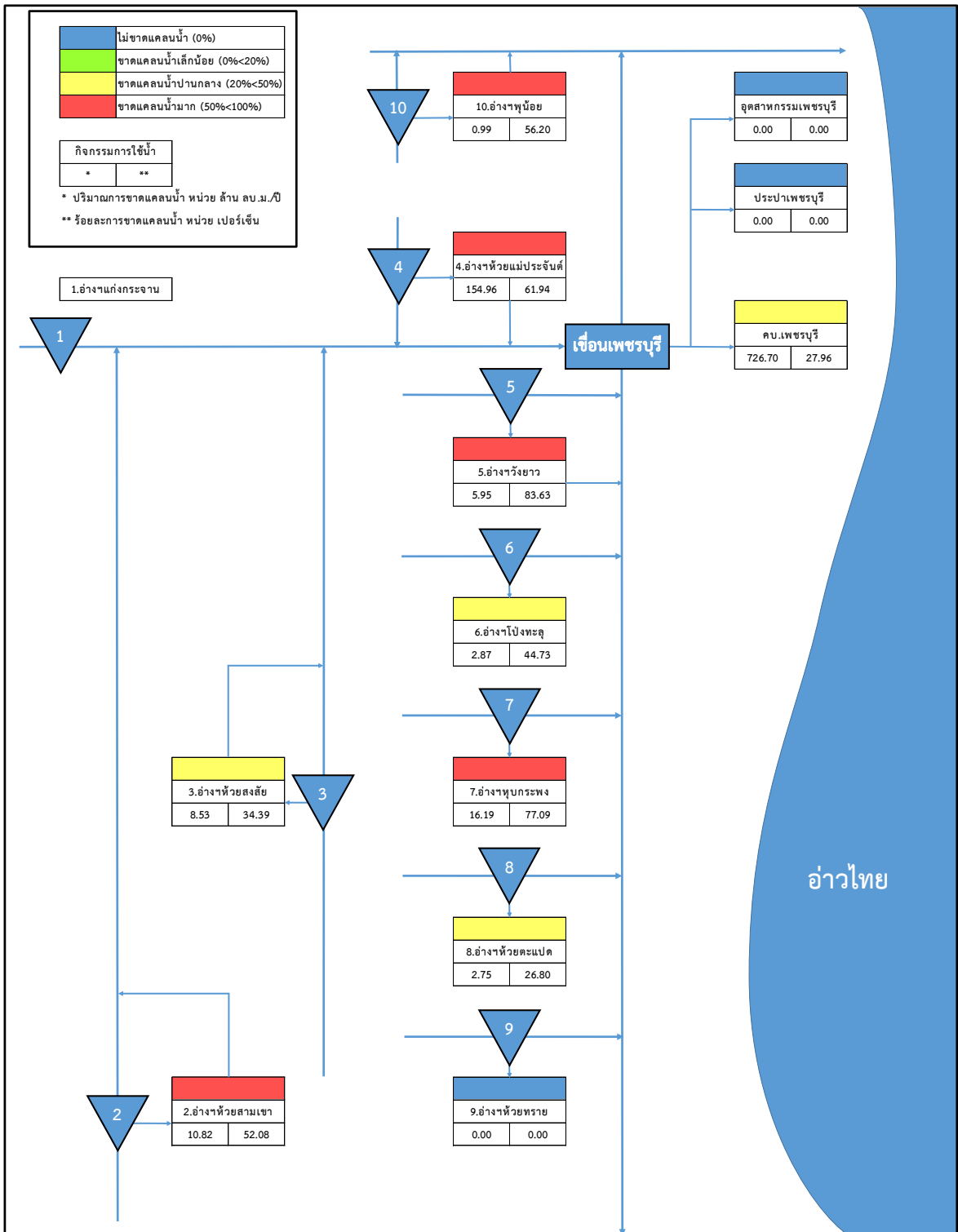
รูปที่ 3.4-3 ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ (SWAT-Mike Hydro (Basin) + Station)

## (2) กรณีที่ 2: แบบจำลอง SWAT-Mike Hydro (Basin) + JAXA

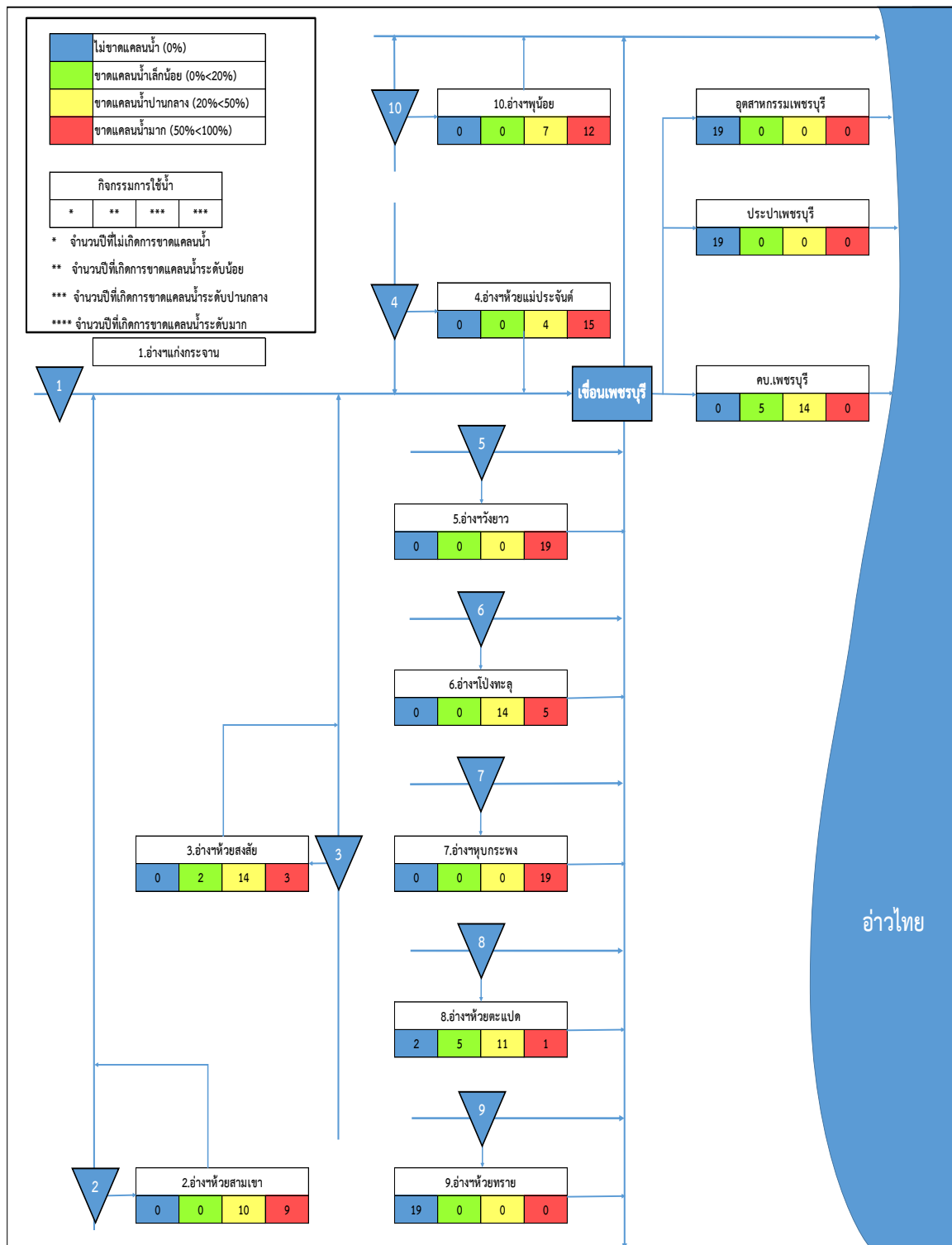
จากการวิเคราะห์ผลการขาดแคลนน้ำสำหรับกิจกรรมการใช้น้ำทั้ง 12 แห่งพบว่า มีการขาดแคลนน้ำในด้านปริมาณผันแปรระหว่าง 0 – 726.70 ล้าน ลบ.ม. โดยโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรีมีปริมาณการขาดแคลนน้ำสูงสุด และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการขาดแคลนน้ำกับปริมาณความต้องการใช้น้ำของแต่ละพื้นที่ในสัดส่วนเปอร์เซ็นต์การขาดแคลนน้ำพบว่ามีกิจกรรมการใช้น้ำด้านการเกษตรจากอ่างเก็บน้ำ 5 อ่างเก็บน้ำที่มีการขาดแคลนน้ำในระดับมาก โดยกิจกรรมการใช้น้ำด้านการเกษตรของอ่างเก็บน้ำวังยาวมีการขาดแคลนน้ำมากที่สุด (83.63%) กิจกรรมที่มีการขาดแคลนน้ำปานกลางจำนวน 4 แห่ง ในขณะที่กิจกรรมการผลิตน้ำประปาของแม่ข่าย กภ.เพชรบุรี อุตสาหกรรมเพชรบุรี และการใช้น้ำด้านการเกษตรของอ่างเก็บน้ำห้วยทรายไม่มีสถานะการขาดแคลนน้ำ

เมื่อวิเคราะห์ถึงความถี่ (จำนวนปี) ของความรุนแรงของสถานะการขาดแคลนน้ำพบว่า กิจกรรมการใช้น้ำที่มีสถานะการขาดแคลนน้ำระดับมากที่สุด 19 ปี ได้แก่ อ่างเก็บน้ำวังยาว และอ่างเก็บน้ำหุบกระพง พื้นที่ที่มีความถี่ของสถานะการขาดแคลนน้ำระดับมากรองลงมาได้แก่ อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ (15 ปี) อ่างเก็บน้ำพุน้อย (12 ปี) อ่างเก็บน้ำโป่งทะเล (5 ปี) อ่างเก็บน้ำห้วยตะแปก (1 ปี) อ่างเก็บน้ำห้วยสามเขา (9 ปี) และอ่างเก็บน้ำห้วยสงสัย (3 ปี) สำหรับกิจกรรมการผลิตน้ำประปาของแม่ข่าย กภ.เพชรบุรี อุตสาหกรรมเพชรบุรี และอ่างเก็บน้ำห้วยทรายไม่มีการขาดแคลนน้ำทั้ง 19 ปี

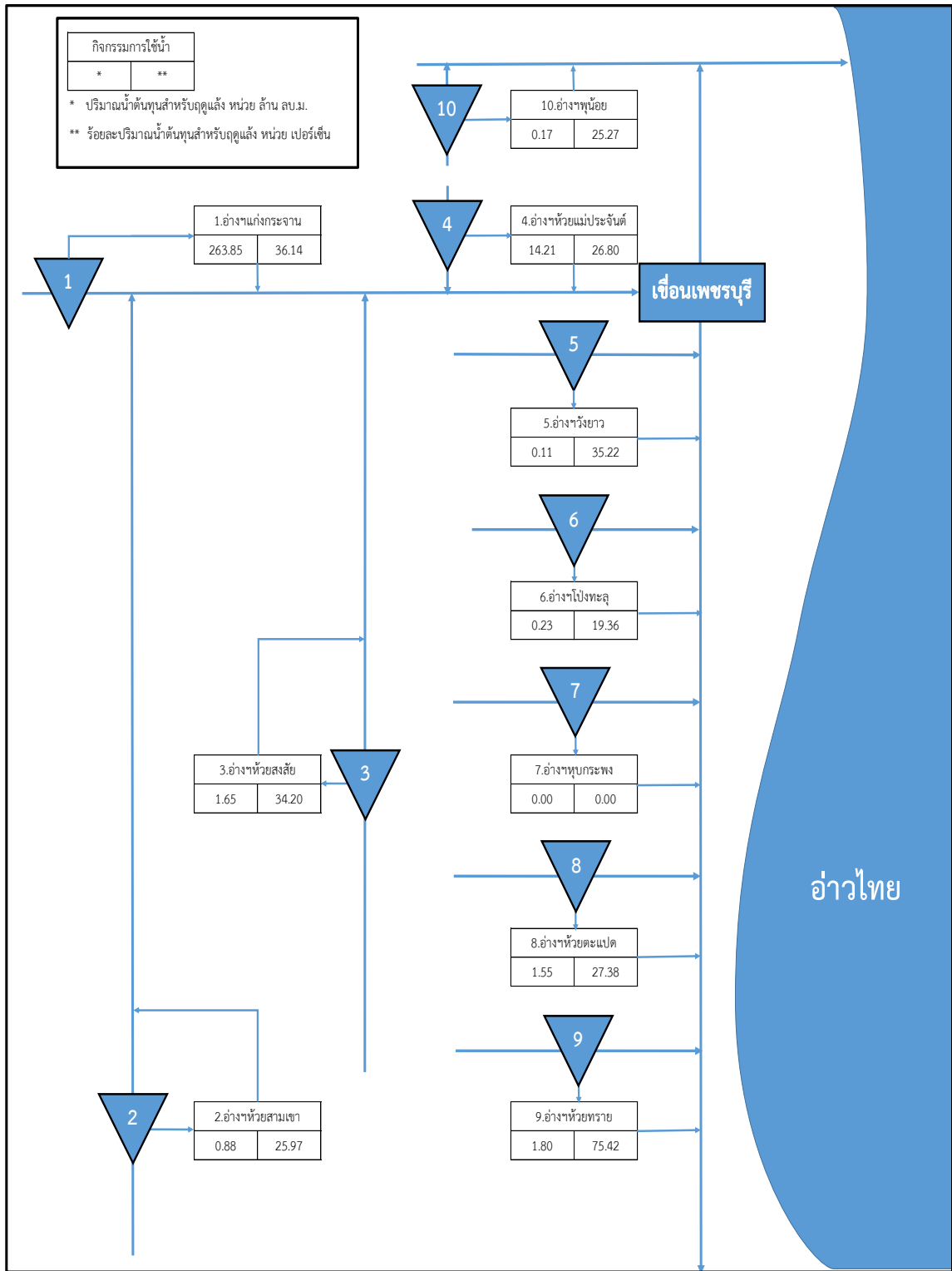
สำหรับพื้นที่ที่มีความถี่ของสถานะการขาดแคลนน้ำในระดับปานกลางได้แก่ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรี (14 ปี) อ่างเก็บน้ำโป่งทะเล (14 ปี) อ่างเก็บน้ำห้วยสงสัย (14 ปี) อ่างเก็บน้ำห้วยตะแปก (11 ปี) อ่างเก็บน้ำห้วยสามเขา (10 ปี) อ่างเก็บน้ำพุน้อย (7 ปี) และอ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ (4 ปี) และในด้านปริมาณน้ำต้นทุนฤดูกาลเพาะปลูก พบว่า ปริมาณน้ำคงเหลือมีการผันแปรระหว่าง 0 ถึง 263.85 ล้าน ลบ.ม. โดยอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานมีปริมาณน้ำคงเหลือสูงสุด และอ่างเก็บน้ำหุบกระพงไม่มีปริมาณน้ำคงเหลือ โดยแสดงรายละเอียดดัง **รูปที่ 3.4-4 ถึง รูปที่ 3.4-6**



รูปที่ 3.4-4 ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ (SWAT-Mike Hydro (Basin) + JAXA)



รูปที่ 3.4-5 ผลการขาดแคลนน้ำด้านช่วงเวลา (SWAT-Mike Hydro (Basin) + JAXA)



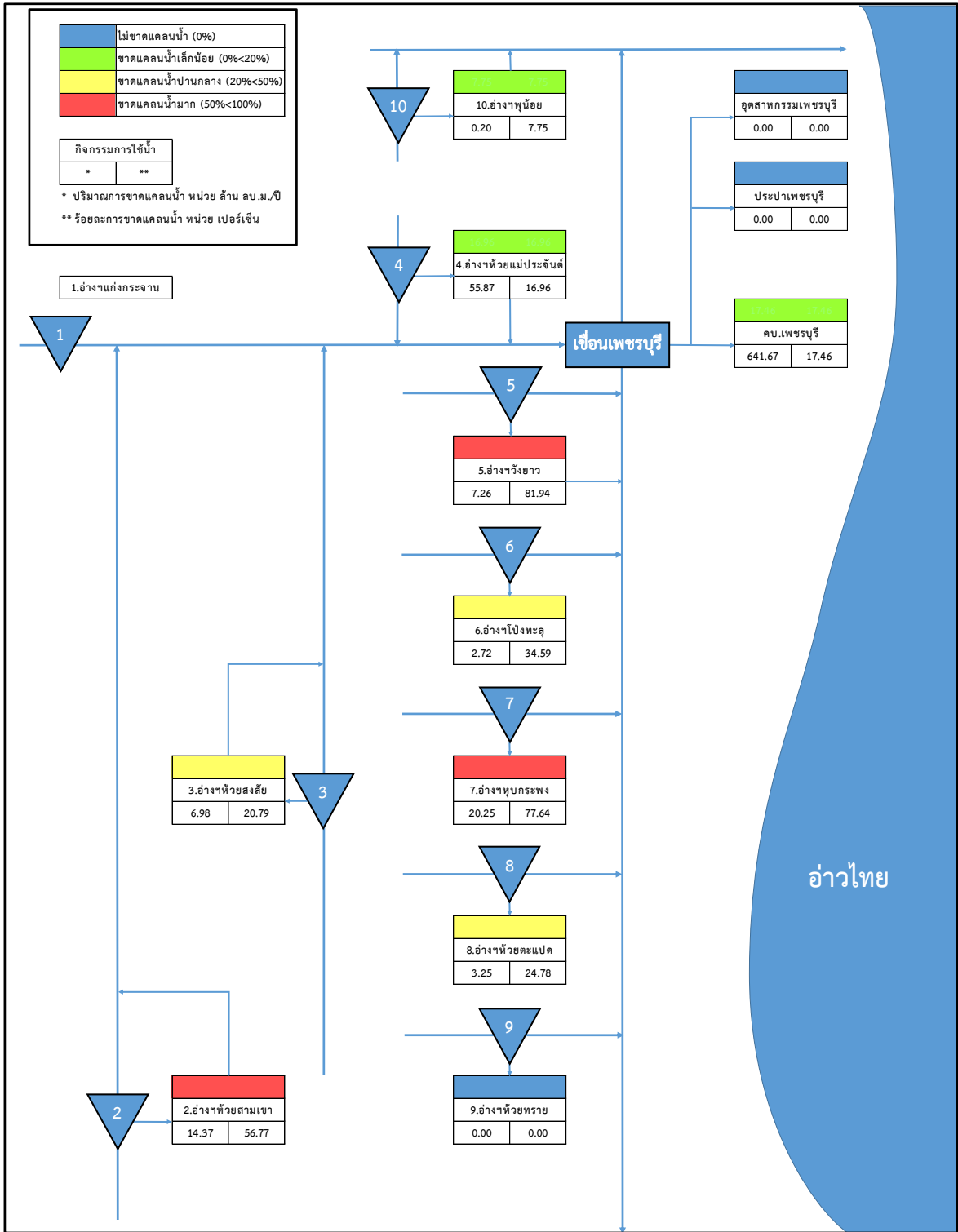
รูปที่ 3.4-6 ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูกาล (SWAT-Mike Hydro (Basin) + JAXA)

### (3) กรณีที่ 3: แบบจำลอง SWAT-Mike Hydro (Basin) + Radar

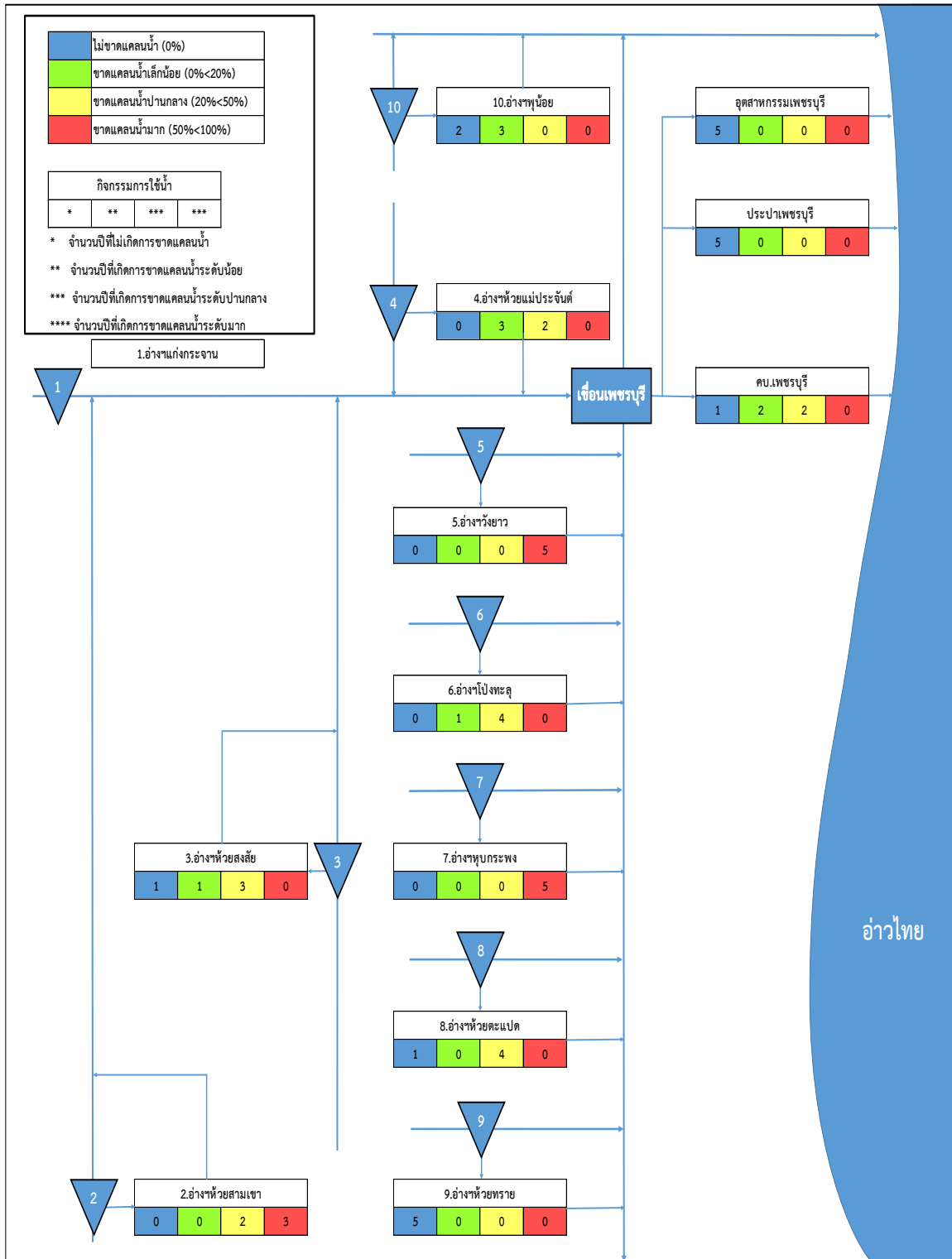
จากการวิเคราะห์ผลการขาดแคลนน้ำสำหรับกิจกรรมการใช้น้ำทั้ง 12 แห่งพบว่า มีการขาดแคลนน้ำในด้านปริมาณผันแปรระหว่าง 0 – 641.67 ล้าน ลบ.ม. โดยโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรีมีปริมาณการขาดแคลนน้ำสูงสุด และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการขาดแคลนน้ำกับปริมาณความต้องการใช้น้ำของแต่ละพื้นที่ในสัดส่วนเปอร์เซ็นต์การขาดแคลนน้ำพบว่ามีกิจกรรมการใช้น้ำด้านการเกษตรจากอ่างเก็บน้ำ 3 อ่างเก็บน้ำที่มีการขาดแคลนน้ำในระดับมาก โดยกิจกรรมการใช้น้ำด้านการเกษตรของอ่างเก็บน้ำวังยาวมีการขาดแคลนน้ำมากที่สุด (81.94%) กิจกรรมที่มีการขาดแคลนน้ำปานกลางจำนวน 3 แห่ง ในขณะที่กิจกรรมการผลิตน้ำประปาของแม่ข่าย กปภ.เพชรบุรี อุตสาหกรรมเพชรบุรี และการใช้น้ำด้านการเกษตรของอ่างเก็บน้ำห้วยทรายไม่มีสถานะการขาดแคลนน้ำ

เมื่อวิเคราะห์ถึงความถี่ (จำนวนปี) ของความรุนแรงของสถานะการขาดแคลนน้ำ พบว่า กิจกรรมการใช้น้ำที่มีสถานะการขาดแคลนน้ำระดับมากที่สุดทั้ง 5 ปี ได้แก่ อ่างเก็บน้ำวังยาวและอ่างเก็บน้ำหุบกระพง สำหรับพื้นที่ที่มีความถี่ของสถานะการขาดแคลนน้ำในระดับมากรองลงมาได้แก่ และอ่างเก็บน้ำห้วยสามเขา (3 ปี) สำหรับพื้นที่ที่มีความถี่ของสถานะการขาดแคลนน้ำในระดับปานกลางได้แก่ อ่างเก็บน้ำโป่งทะลุ (4 ปี) อ่างเก็บน้ำห้วยตะแปก (4 ปี) โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรี (2 ปี) อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ (2 ปี) อ่างเก็บน้ำห้วยสงสัย (3 ปี) และอ่างเก็บน้ำห้วยสามเขา (2 ปี) สำหรับกิจกรรมการผลิตน้ำประปาของแม่ข่าย กปภ.เพชรบุรี การใช้น้ำเพื่ออุตสาหกรรม และอ่างเก็บน้ำห้วยทรายไม่มีการขาดแคลนน้ำทั้ง 19 ปี

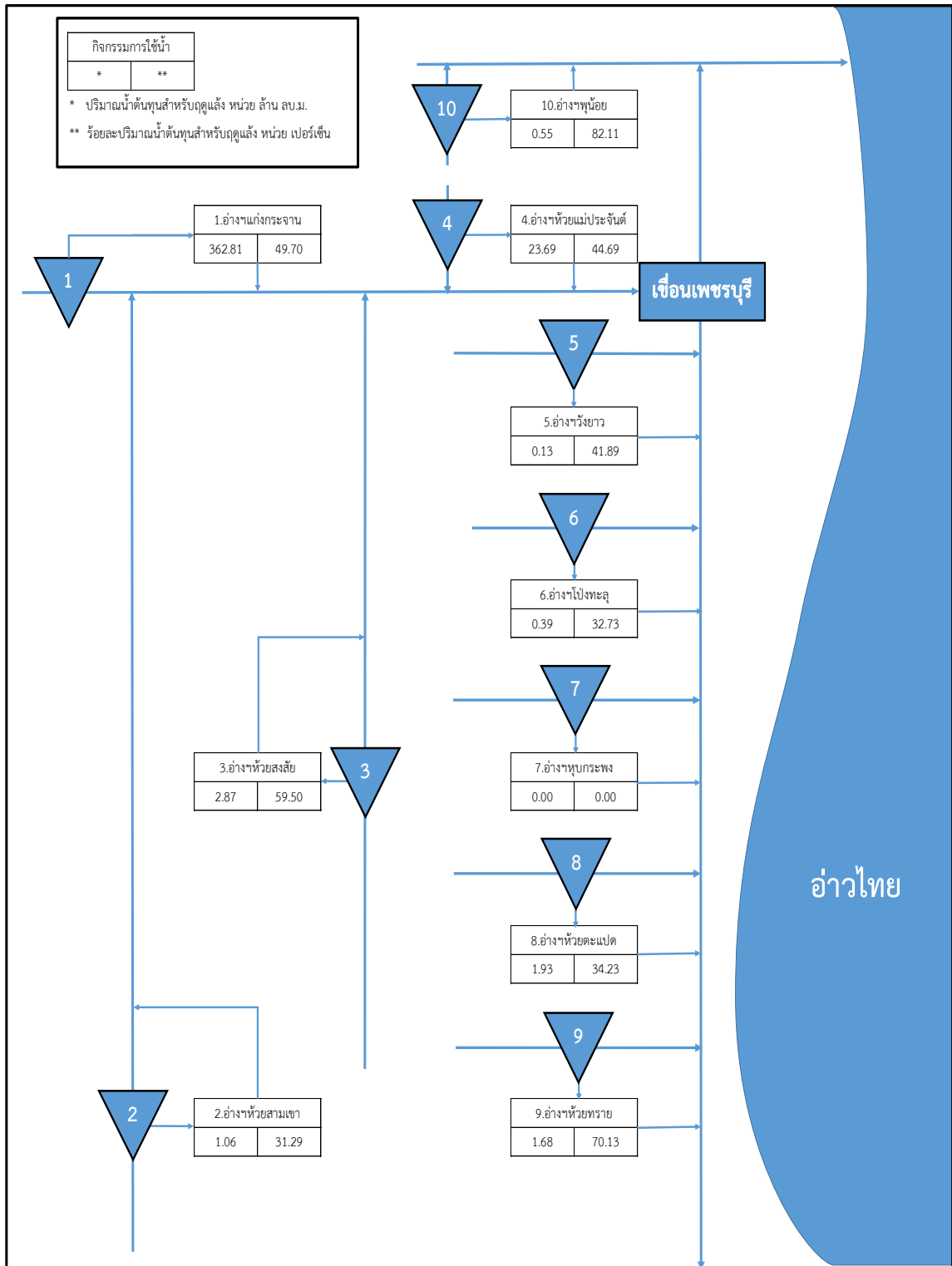
ในด้านปริมาณน้ำต้นฤดูกาลเพาะปลูก พบว่า ปริมาณน้ำคงเหลือมีการผันแปรระหว่าง 0 ถึง 362.81 ล้าน ลบ.ม. โดยอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานมีปริมาณน้ำคงเหลือสูงสุด และอ่างเก็บน้ำหุบกระพงไม่มีปริมาณน้ำคงเหลือ โดยแสดงรายละเอียดดัง **รูปที่ 3.4-7 ถึง รูปที่ 3.4-9**



รูปที่ 3.4-7 ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ (SWAT-Mike Hydro (Basin) + Radar)



รูปที่ 3.4-8 ผลการขาดแคลนน้ำด้านช่วงเวลา (SWAT-Mike Hydro (Basin) + Radar)



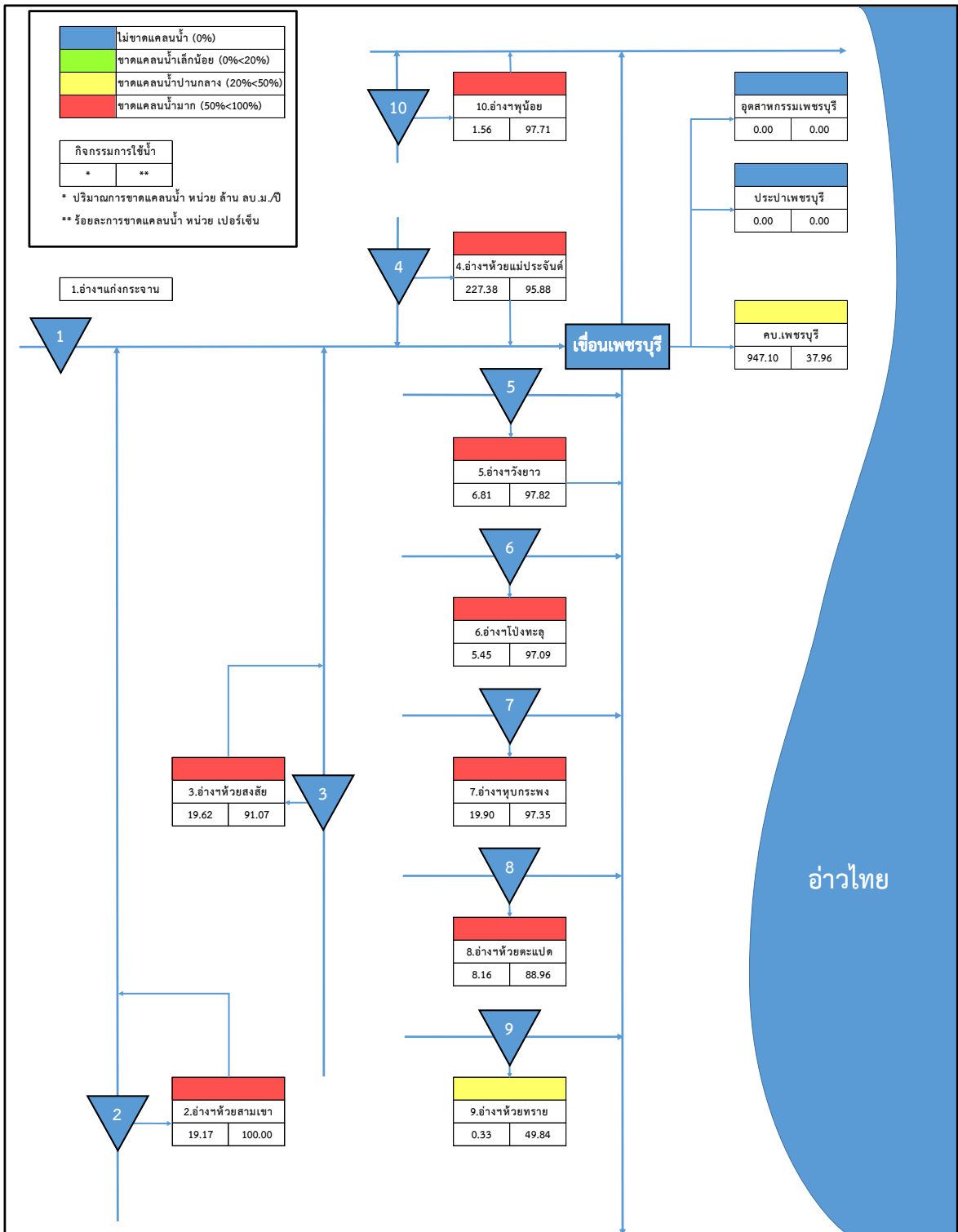
รูปที่ 3.4-9 ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ (SWAT-Mike Hydro (Basin) + Radar)

#### (4) กรณีที่ 4: แบบจำลอง DWCM-Mike Hydro (Basin) + Station

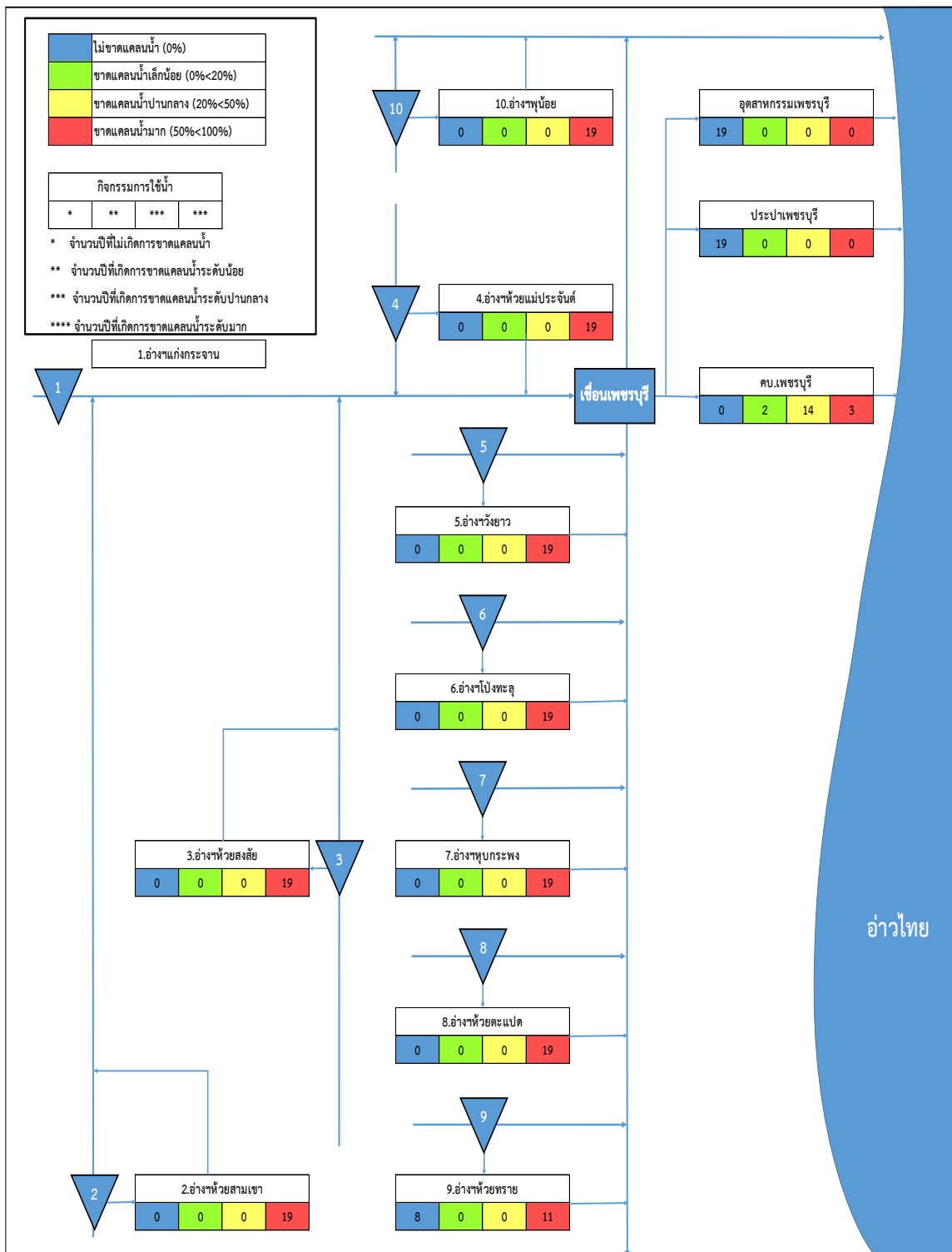
จากการวิเคราะห์ผลการขาดแคลนน้ำสำหรับกิจกรรมการใช้น้ำทั้ง 12 แห่งพบว่า มีการขาดแคลนน้ำในด้านปริมาณผันแปรระหว่าง 0 – 947.10 ล้าน ลบ.ม. โดยโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรีมีปริมาณการขาดแคลนน้ำสูงสุด และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการขาดแคลนน้ำกับปริมาณความต้องการใช้น้ำของแต่ละพื้นที่ในสัดส่วนเปอร์เซ็นต์การขาดแคลนน้ำพบว่ามีกิจกรรมการใช้น้ำด้านการเกษตรจากอ่างเก็บน้ำ 8 อ่างเก็บน้ำที่มีการขาดแคลนน้ำในระดับมาก โดยกิจกรรมการใช้น้ำด้านการเกษตรของอ่างเก็บน้ำวังยาวมีการขาดแคลนน้ำมากที่สุด (97.82%) กิจกรรมที่มีการขาดแคลนน้ำปานกลางจำนวน 2 แห่ง ในขณะที่ กปภ.เพชรบุรี และอุตสาหกรรมเพชรบุรี ไม่พบสภาวะการขาดแคลนน้ำ

เมื่อวิเคราะห์ถึงความถี่ (จำนวนปี) ของความรุนแรงของสภาวะการขาดแคลนน้ำพบว่า กิจกรรมการใช้น้ำที่มีสภาวะการขาดแคลนน้ำระดับมากที่สุดทั้ง 19 ปี มีจำนวนทั้งสิ้น 8 แห่ง ได้แก่ อ่างเก็บน้ำขุน้อย อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ อ่างเก็บน้ำวังยาว อ่างเก็บน้ำโป่งทะเล อ่างเก็บน้ำหุบกระพง อ่างเก็บน้ำห้วยสงสัย อ่างเก็บน้ำห้วยตะแปด และอ่างเก็บน้ำห้วยสามเขา และพื้นที่ที่พบความถี่ของการขาดแคลนน้ำที่อยู่ในระดับมากรองลงมาได้แก่ อ่างเก็บน้ำห้วยทราย (11 ปี) สำหรับพื้นที่ที่มีความถี่ของสภาวะการขาดแคลนน้ำในระดับปานกลางได้แก่ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรี (14 ปี) สำหรับกิจกรรมการใช้น้ำของอุตสาหกรรมเพชรบุรีและประปาเพชรบุรีไม่พบสภาวะการขาดแคลนน้ำ

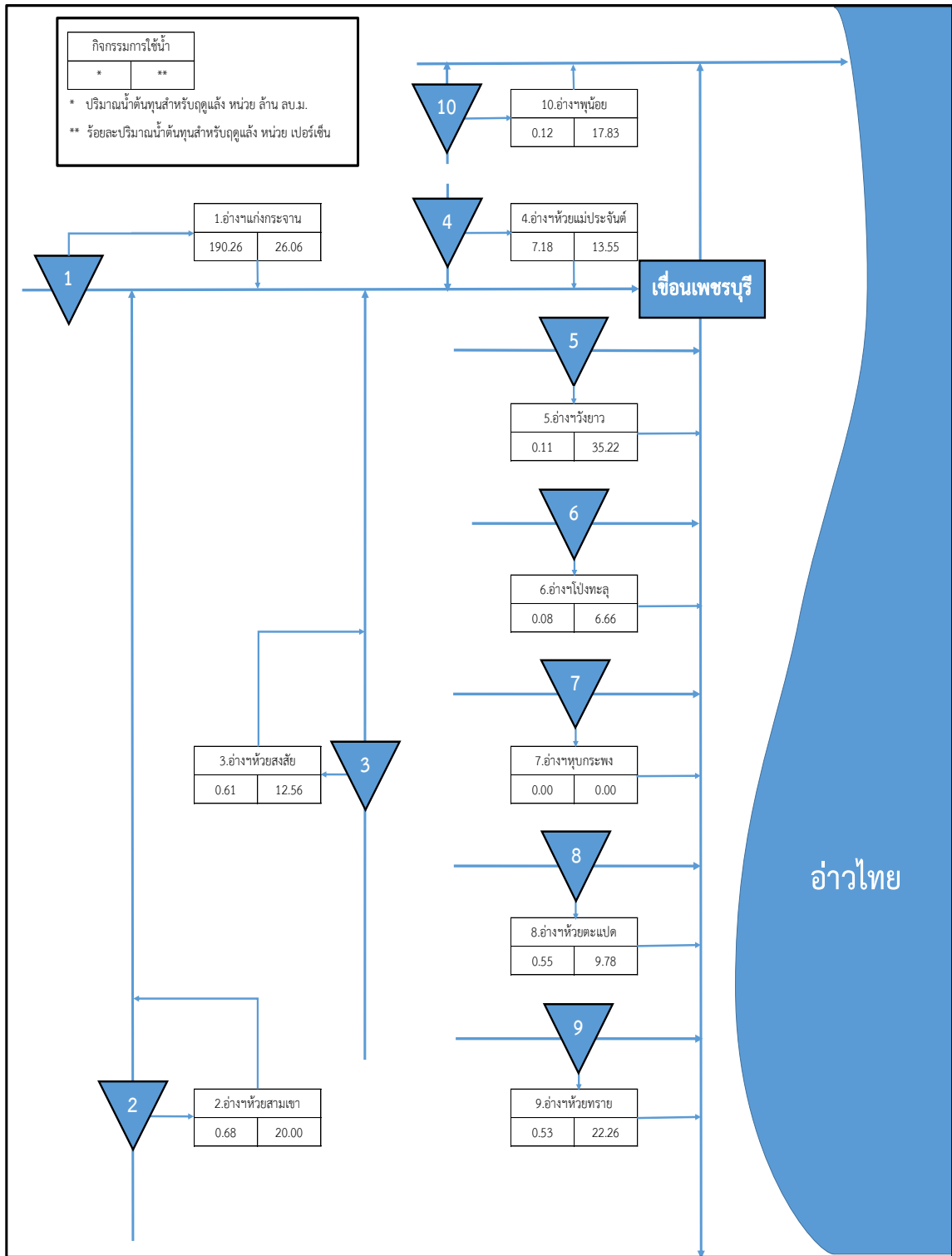
ในด้านปริมาณน้ำต้นทุนฤดูกาลเพาะปลูก พบว่า ปริมาณน้ำคงเหลือมีการผันแปรระหว่าง 0 ถึง 190.26 ล้าน ลบ.ม. โดยอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานมีปริมาณน้ำคงเหลือสูงสุด และอ่างเก็บน้ำหุบกระพงไม่มีปริมาณน้ำคงเหลือ รายละเอียดแสดงดัง รูปที่ 3.4-10 ถึง รูปที่ 3.4-12



รูปที่ 3.4-10 ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ (DWCM-Mike Hydro (Basin) + Station)



รูปที่ 3.4-11 ผลการขาดแคลนน้ำด้านช่วงเวลา (DWCM-Mike Hydro (Basin) + Station)



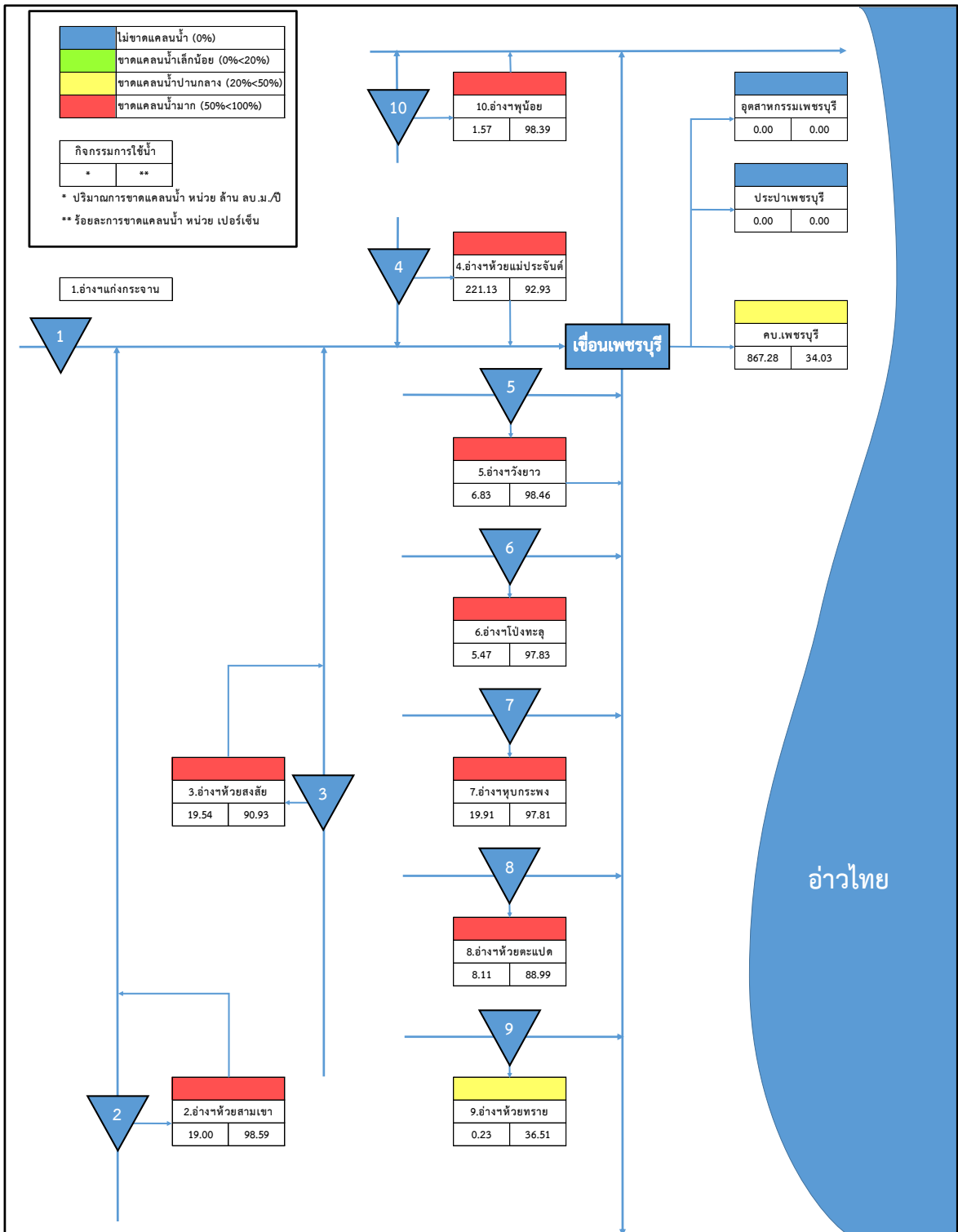
รูปที่ 3.4-12 ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูกาล (DWCM-Mike Hydro (Basin) + Station)

### (5) กรณีที่ 5: แบบจำลอง DWCM-Mike Hydro (Basin) + JAXA

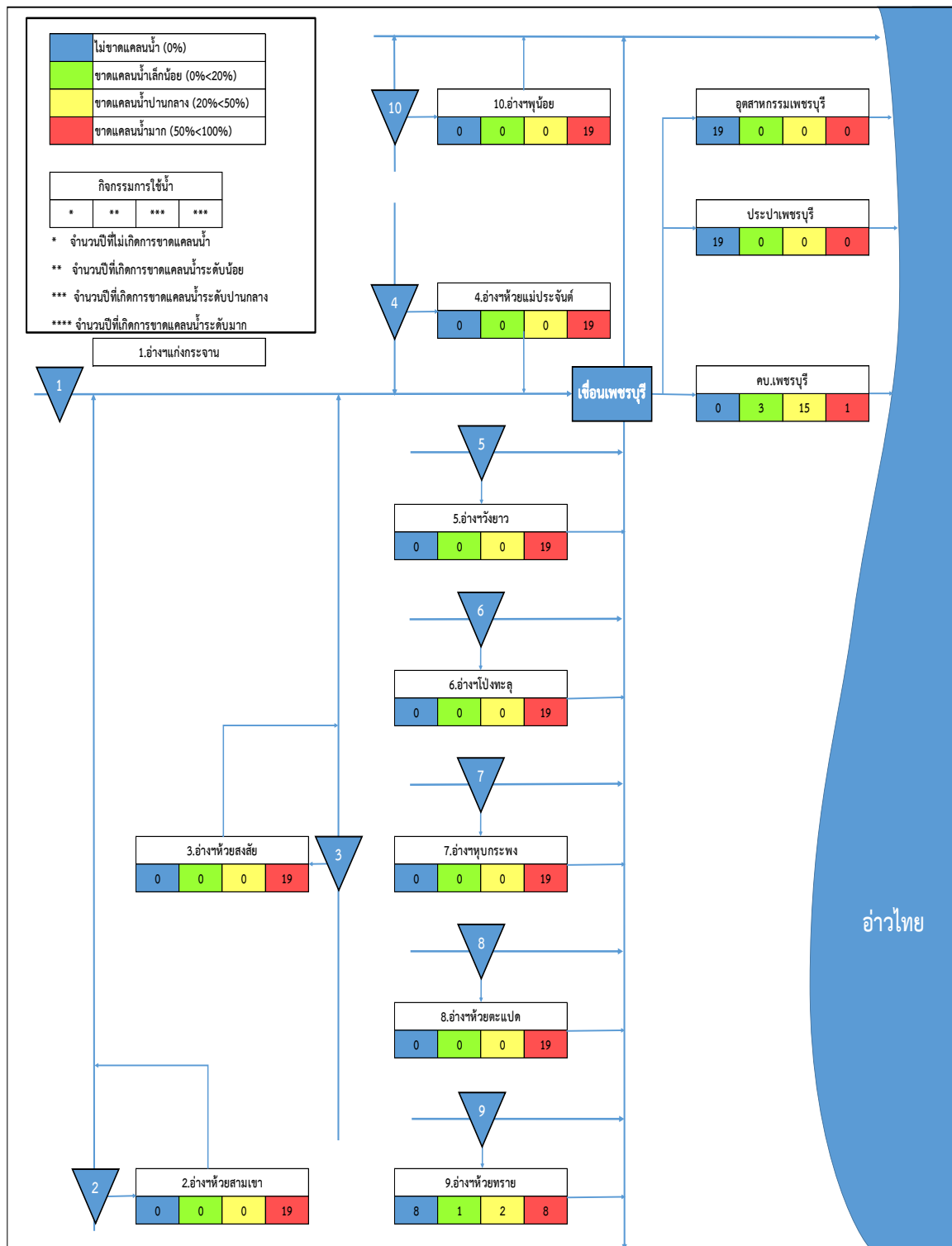
จากการวิเคราะห์ผลการขาดแคลนน้ำสำหรับกิจกรรมการใช้น้ำทั้ง 12 แห่งพบว่า มีการขาดแคลนน้ำในด้านปริมาณผันแปรระหว่าง 0 – 867.28 ล้าน ลบ.ม. โดยโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรีมีปริมาณการขาดแคลนน้ำสูงสุด และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการขาดแคลนน้ำกับปริมาณความต้องการใช้น้ำของแต่ละพื้นที่ในสัดส่วนร้อยละของการขาดแคลนน้ำพบว่ามีกิจกรรมการใช้น้ำด้านการเกษตรจากอ่างเก็บน้ำ 8 อ่างเก็บน้ำที่มีการขาดแคลนน้ำในระดับมาก โดยกิจกรรมการใช้น้ำด้านการเกษตรของอ่างเก็บน้ำห้วยสามเขามีการขาดแคลนน้ำอยู่ในระดับมากที่สุด (98.59%) กิจกรรมที่มีการขาดแคลนน้ำปานกลางจำนวน 2 แห่ง ได้แก่ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรี และอ่างเก็บน้ำห้วยทราย ในขณะที่ กปภ.เพชรบุรี และการใช้น้ำสำหรับอุตสาหกรรมเพชรบุรี ไม่พบสถานะการขาดแคลนน้ำ

เมื่อวิเคราะห์ถึงความถี่ (จำนวนปี) ของความรุนแรงของสถานะการขาดแคลนน้ำพบว่า กิจกรรมการใช้น้ำที่มีสถานะการขาดแคลนน้ำระดับมากที่สุดทั้ง 19 ปี มีจำนวนทั้งสิ้น 8 แห่ง ได้แก่ อ่างเก็บน้ำขุน้อย อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ อ่างเก็บน้ำวังยาว อ่างเก็บน้ำโป่งทะเล อ่างเก็บน้ำหุบกระพง อ่างเก็บน้ำห้วยสงสัย อ่างเก็บน้ำห้วยตะแปก และอ่างเก็บน้ำห้วยสามเขา และพื้นที่ที่พบความถี่ของการขาดแคลนน้ำที่อยู่ในระดับมากที่สุดรองลงมาได้แก่ อ่างเก็บน้ำห้วยทราย (8 ปี) สำหรับพื้นที่ที่มีความถี่ของสถานะการขาดแคลนน้ำในระดับปานกลางได้แก่ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรี (15 ปี) และอ่างเก็บน้ำห้วยทราย (2 ปี) สำหรับกิจกรรมการใช้น้ำของอุตสาหกรรมเพชรบุรีและประปาเพชรบุรีไม่พบสถานะการขาดแคลนน้ำในทุกปี ในขณะที่อ่างเก็บน้ำห้วยทรายไม่พบสถานะการขาดแคลนน้ำเป็นจำนวน 8 ปี

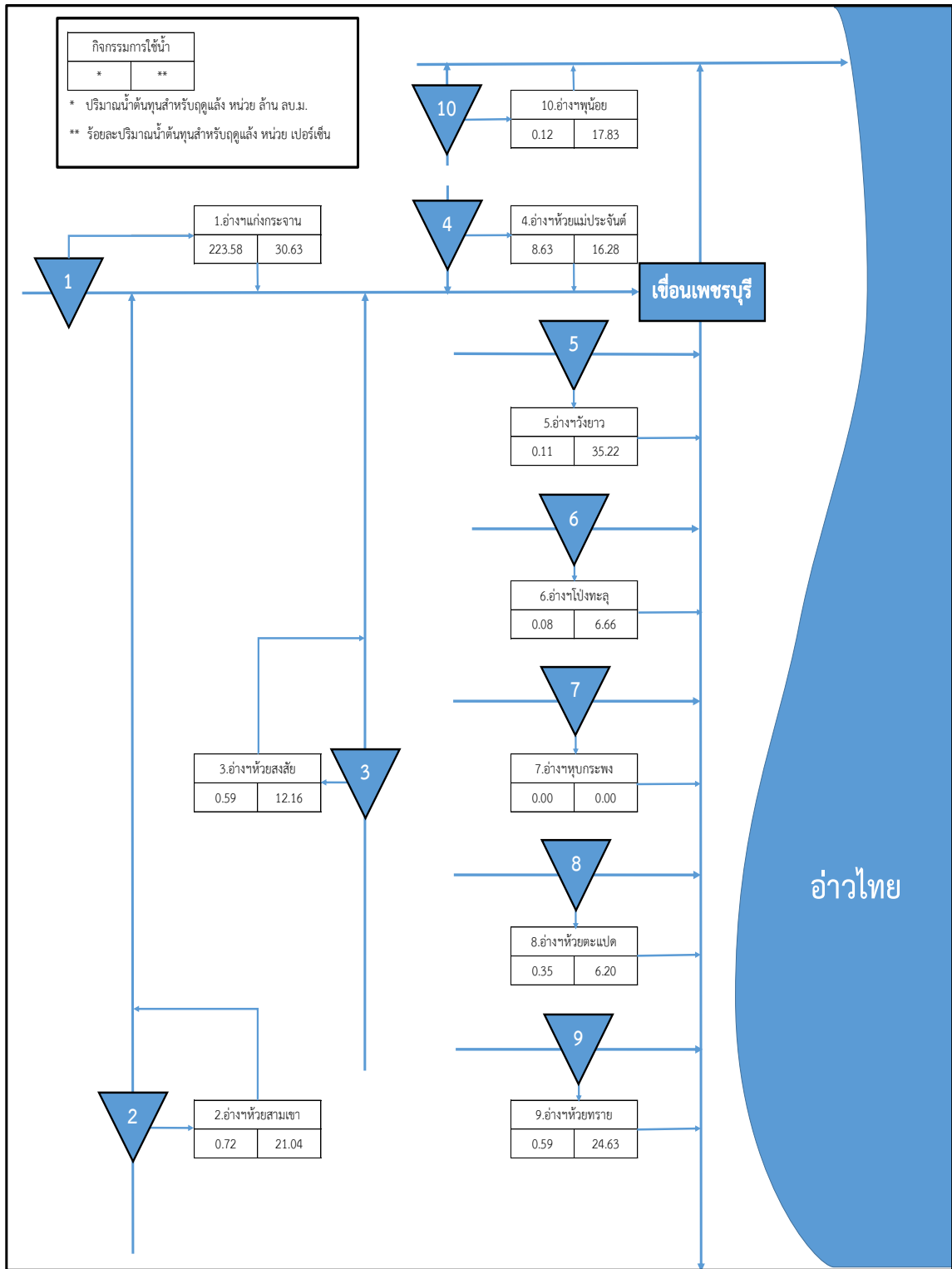
ในด้านปริมาณน้ำต้นทุนฤดูกาลเพาะปลูก พบว่า ปริมาณน้ำคงเหลือมีการผันแปรระหว่าง 0 ถึง 223.58 ล้าน ลบ.ม. โดยอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานมีปริมาณน้ำคงเหลือสูงสุด และอ่างเก็บน้ำหุบกระพงไม่มีปริมาณน้ำคงเหลือ รายละเอียดแสดงดัง รูปที่ 3.4-13 ถึง รูปที่ 3.4-15



รูปที่ 3.4-13 ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ (DWCM-Mike Hydro (Basin) + JAXA)



รูปที่ 3.4-14 ผลการขาดแคลนน้ำด้านช่วงเวลา (DWCM-Mike Hydro (Basin) + JAXA)



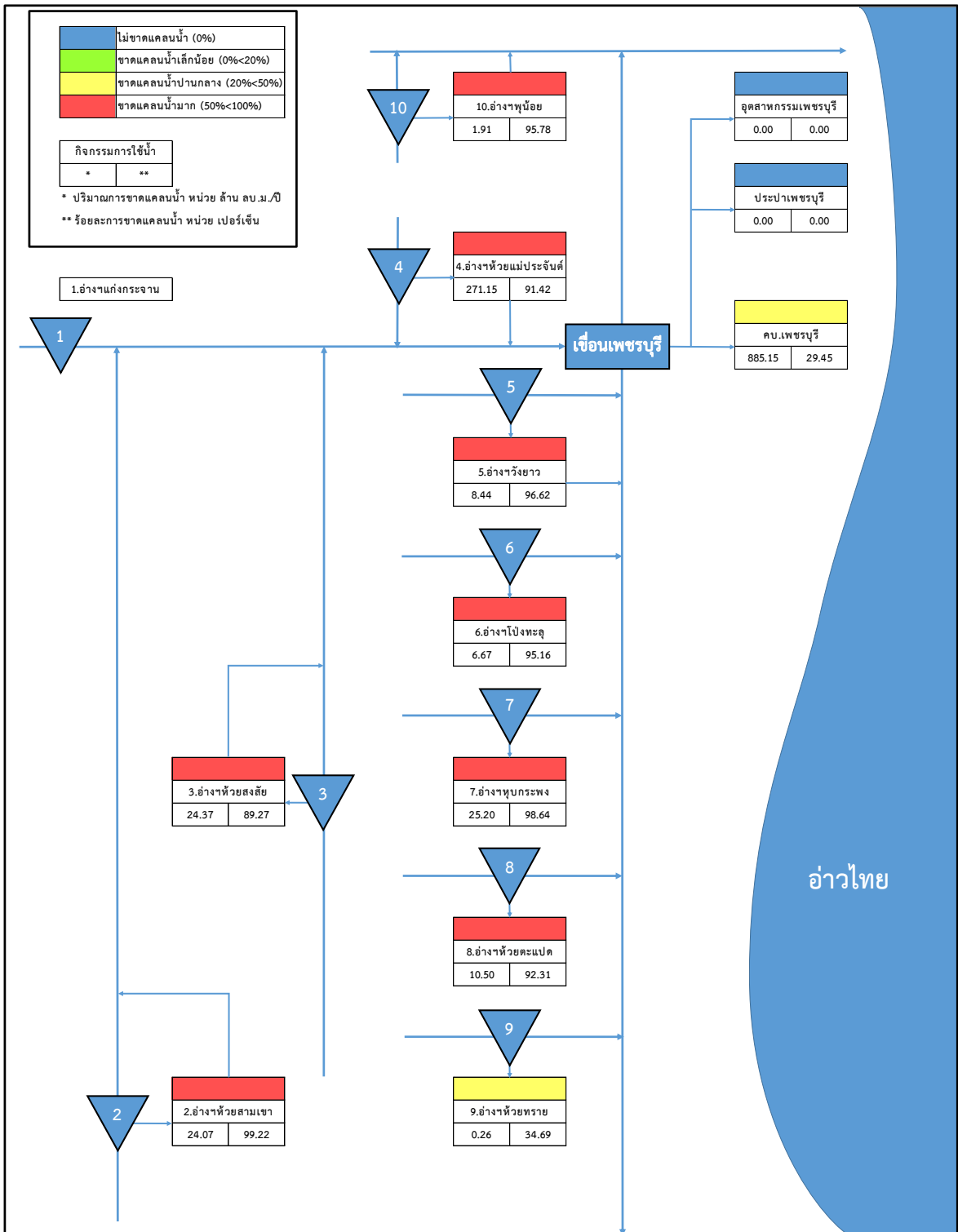
รูปที่ 3.4-15 ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ (DWCM-Mike Hydro (Basin) + JAXA)

## (6) กรณีที่ 6: แบบจำลอง DWCM-Mike Hydro (Basin) + Radar

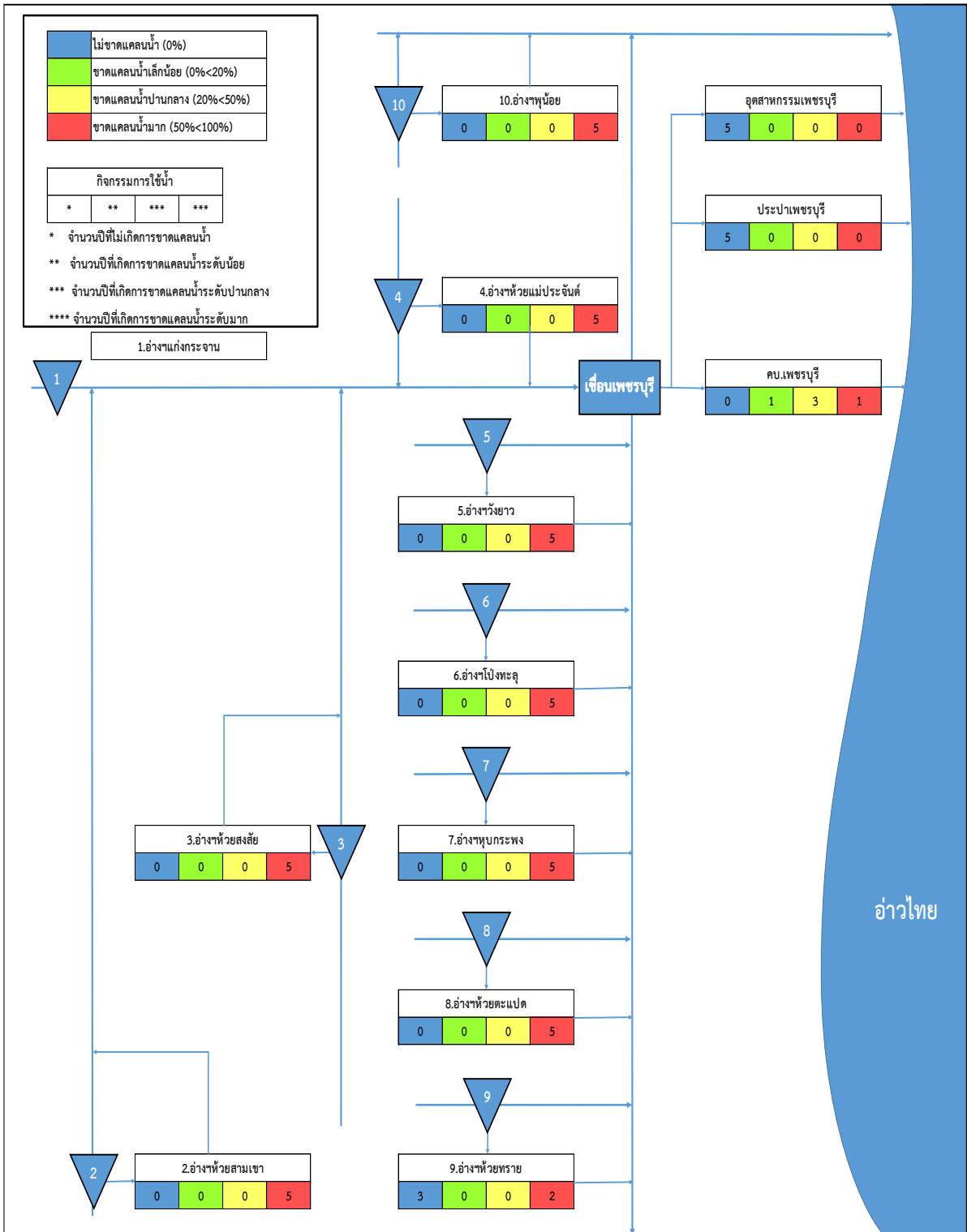
จากการวิเคราะห์ผลการขาดแคลนน้ำสำหรับกิจกรรมการใช้น้ำทั้ง 12 แห่งพบว่า มีการขาดแคลนน้ำในด้านปริมาณผันแปรระหว่าง 0 – 748.83 ล้าน ลบ.ม. โดยโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรีมีปริมาณการขาดแคลนน้ำสูงสุด และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการขาดแคลนน้ำกับปริมาณความต้องการใช้น้ำของแต่ละพื้นที่ในสัดส่วนร้อยละของการขาดแคลนน้ำพบว่ามีกิจกรรมการใช้น้ำด้านการเกษตรจากอ่างเก็บน้ำ 8 อ่างเก็บน้ำที่มีการขาดแคลนน้ำในระดับมาก โดยกิจกรรมการใช้น้ำด้านการเกษตรของอ่างเก็บน้ำห้วยสามเขามีการขาดแคลนน้ำอยู่ในระดับมากที่สุด (99.22%) กิจกรรมที่มีการขาดแคลนน้ำปานกลางจำนวน 2 แห่ง ได้แก่ อ่างเก็บน้ำห้วยทราย (34.69%) และโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรี (29.45%) ในขณะที่ กภ.เพชรบุรี และการใช้น้ำสำหรับอุตสาหกรรมเพชรบุรี ไม่พบสถานะการขาดแคลนน้ำ

เมื่อวิเคราะห์ถึงความถี่ (จำนวนปี) ของความรุนแรงของสถานะการขาดแคลนน้ำพบว่า กิจกรรมการใช้น้ำที่มีสถานะการขาดแคลนน้ำระดับมากทั้ง 5 ปี มีจำนวนทั้งสิ้น 8 แห่ง ได้แก่ อ่างเก็บน้ำขุน้อย อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ อ่างเก็บน้ำวังยาว อ่างเก็บน้ำโป่งทะเล อ่างเก็บน้ำหุบกระพง อ่างเก็บน้ำห้วยสงสัย อ่างเก็บน้ำห้วยตะแปด และอ่างเก็บน้ำห้วยสามเขา และพื้นที่ที่พบความถี่ของการขาดแคลนน้ำที่อยู่ในระดับมากรองลงมาได้แก่ อ่างเก็บน้ำห้วยทราย (2 ปี) สำหรับพื้นที่ที่มีความถี่ของสถานะการขาดแคลนน้ำในระดับปานกลางได้แก่ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรี (3 ปี) สำหรับกิจกรรมการใช้น้ำของอุตสาหกรรมเพชรบุรีและประปาเพชรบุรีไม่พบสถานะการขาดแคลนน้ำในทุกปี ในขณะที่อ่างเก็บน้ำห้วยทรายไม่พบสถานะการขาดแคลนน้ำเป็นจำนวน 3 ปี

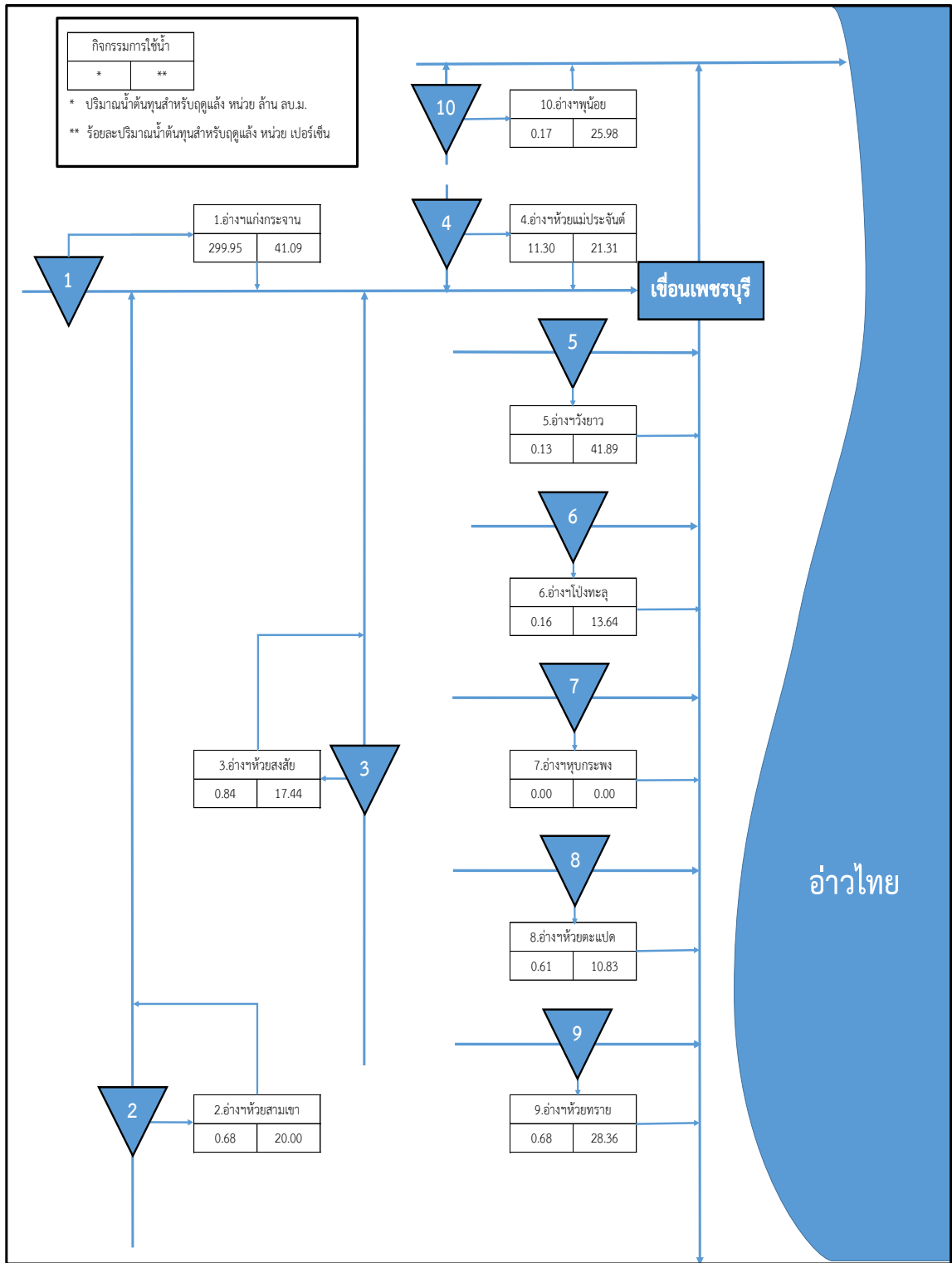
ในด้านปริมาณน้ำต้นฤดูกาลเพาะปลูก พบว่า ปริมาณน้ำคงเหลือมีการผันแปรระหว่าง 0 ถึง 299.95 ล้าน ลบ.ม. โดยอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานมีปริมาณน้ำคงเหลือสูงสุด และอ่างเก็บน้ำหุบกระพงไม่มีปริมาณน้ำคงเหลือ รายละเอียดแสดงดัง **รูปที่ 3.4-16 ถึง รูปที่ 3.4-18**



รูปที่ 3.4-16 ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ (DWCM-Mike Hydro (Basin) + Radar)



รูปที่ 3.4-17 ผลการขาดแคลนน้ำด้านช่วงเวลา (DWCM-Mike Hydro (Basin) + Radar)



รูปที่ 3.4-18 ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ (DWCM-Mike Hydro (Basin) + Radar)

### 3.4.2 การประเมินการขาดแคลนน้ำในกรณีที่มีและไม่มีปฏิบัติการฝนหลวง

นอกจากผลการประเมินปริมาณการขาดแคลนน้ำจากข้อมูลในอดีต – ปัจจุบันแสดงรายละเอียดดังหัวข้อ 3.4.1 การประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า และแบบจำลอง Mike Hydro (Basin) ยังถูกนำมาใช้เพื่อประเมินถึงปริมาณการขาดแคลนน้ำในกรณีที่มีและไม่มีการพิจารณาการปฏิบัติการฝนหลวง โดยยังคงแบ่งการศึกษาออกเป็น 6 กรณีเช่นเดียวกับการแสดงผลในหัวข้อที่ 3.4.1 โดยมีรายละเอียดของแต่ละกรณีดังนี้

ผลการคำนวณโดยแบบจำลอง Mike Hydro (Basin) ในกรณีการศึกษานี้จะพิจารณาปัจจัยของฝนหลวงเป็นปัจจัยหลักที่มีการเปลี่ยนแปลง โดยการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยด้านฝนหลวงจะส่งผลกระทบต่อข้อมูลปริมาณน้ำฝน และส่งผลให้ข้อมูลปริมาณน้ำท่า และข้อมูลความต้องการใช้น้ำด้านการเกษตรมีค่าเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งส่งผลให้การศึกษาครั้งสามารถสร้างกรณีศึกษาได้ทั้งสิ้น 6 กรณีศึกษาได้แก่

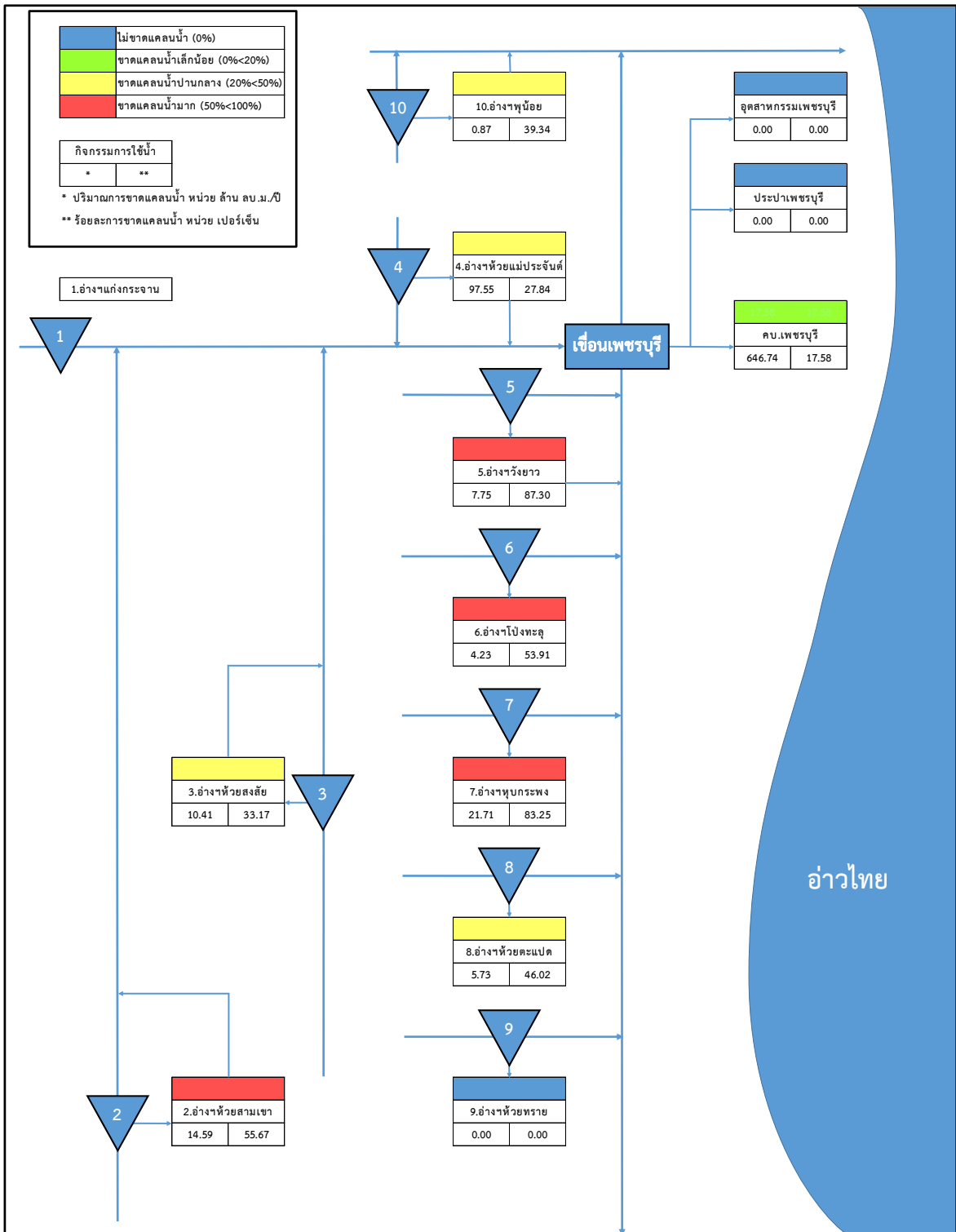
- กรณีที่ 1: แบบจำลอง SWAT-Mike Hydro (Basin) + Station
- กรณีที่ 2: แบบจำลอง SWAT-Mike Hydro (Basin) + JAXA
- กรณีที่ 3: แบบจำลอง SWAT-Mike Hydro (Basin) + Radar
- กรณีที่ 4: แบบจำลอง DWCM-Mike Hydro (Basin) + Station
- กรณีที่ 5: แบบจำลอง DWCM-Mike Hydro (Basin) + JAXA
- กรณีที่ 6: แบบจำลอง DWCM-Mike Hydro (Basin) + Radar

จากนั้นจะเป็นการวิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของสภาวะการขาดแคลนน้ำในกรณีที่มีปฏิบัติการฝนหลวงและไม่มีปฏิบัติการฝนหลวง ซึ่งการวิเคราะห์สภาวะการขาดแคลนน้ำทั้ง 2 หัวข้อหลักจะถูกประเมินผลความรุนแรงในรูปแบบของร้อยละการขาดแคลนน้ำโดยสามารถแบ่งกลุ่มความรุนแรงออกได้เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

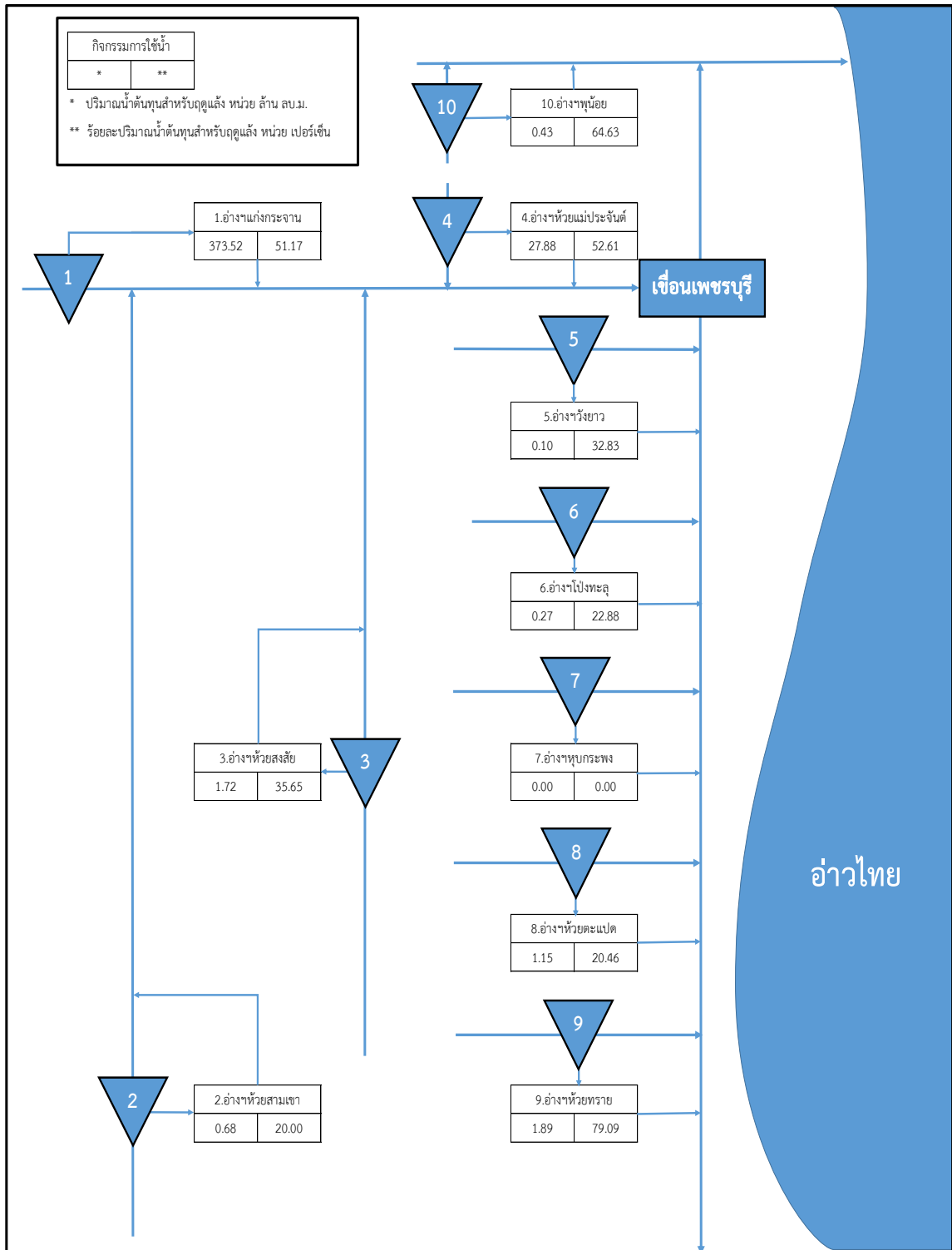
- กลุ่มที่ 1: ไม่มีขาดแคลนน้ำ (ร้อยละการขาดแคลนน้ำ 0)
- กลุ่มที่ 2: การขาดแคลนน้ำเล็กน้อย (ร้อยละการขาดแคลนน้ำ 0 ถึง 20)
- กลุ่มที่ 3: การขาดแคลนน้ำปานกลาง (ร้อยละการขาดแคลนน้ำ 20 ถึง 50)
- กลุ่มที่ 4: การขาดแคลนน้ำมาก (ร้อยละการขาดแคลนน้ำมากกว่า 50 ขึ้นไป)

### (1) กรณีที่ 1: แบบจำลอง SWAT-Mike Hydro (Basin) + Station

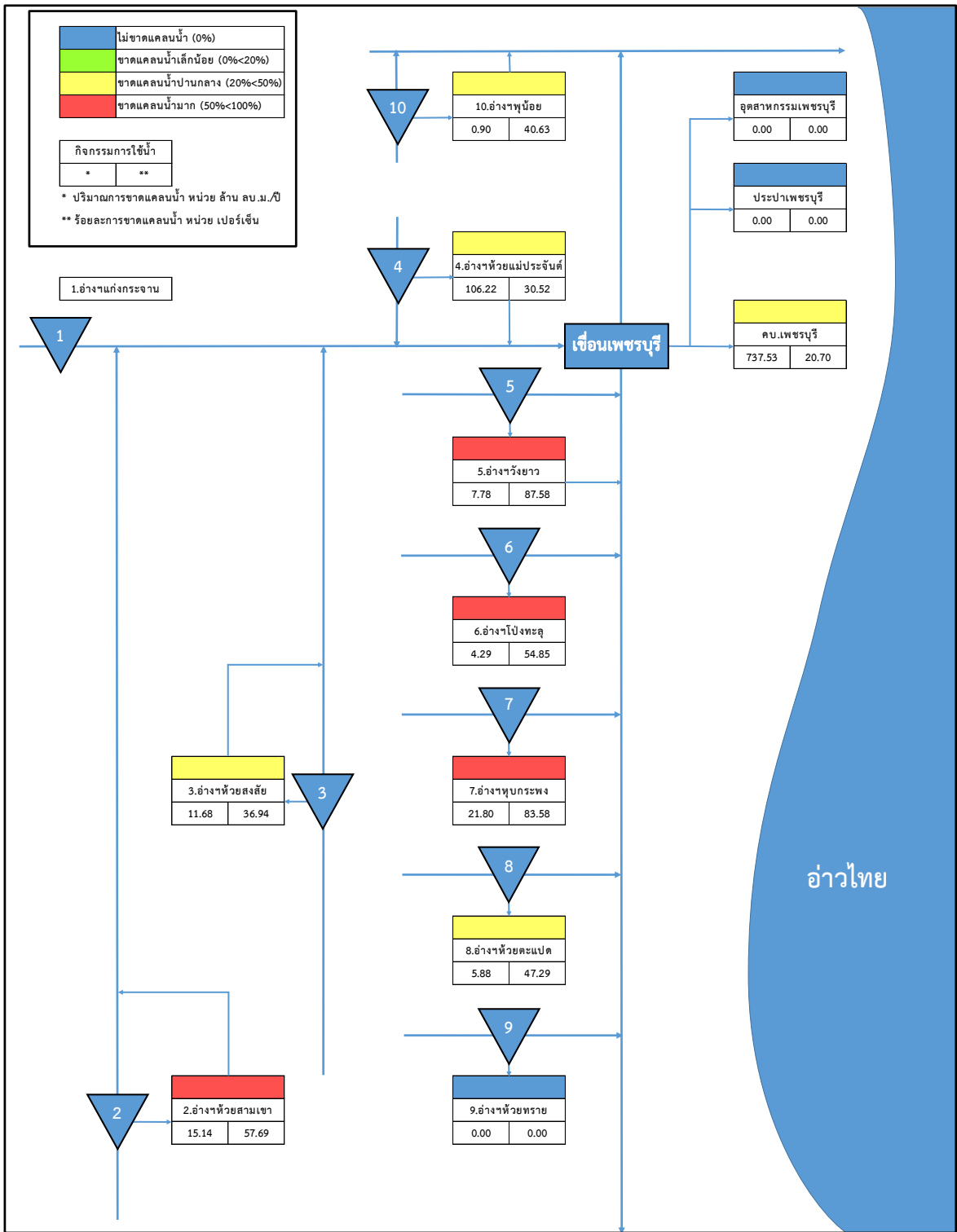
การเปรียบเทียบผลการขาดแคลนน้ำกรณีที่มีฝนหลวง และกรณีที่ไม่มีฝนหลวง โดยแบบจำลอง SWAT - MIKE Hydro (Basin) โดยใช้พิจารณาจากข้อมูลปริมาณน้ำฝนตรวจวัดรายสถานี (Station) พบว่า ผลการขาดแคลนน้ำมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับการสนับสนุนจากฝนหลวงอย่างชัดเจน ได้แก่ อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ มีการขาดแคลนน้ำเฉลี่ยลดลง 8.67 ล้าน ลบ.ม. หรือ ร้อยละ 2.68 และ คบ.เพชรบุรี มีการขาดแคลนน้ำลดลง 90.79 ล้าน ลบ.ม. หรือ ร้อยละ 3.12 ส่วนโครงการชลประทานอื่น ๆ มีผลการเปลี่ยนแปลงเพียงลดลงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าการสนับสนุนจากฝนหลวงจะช่วยลดการขาดแคลนน้ำ และช่วยเพิ่มปริมาณน้ำคงเหลือให้อ่างเก็บน้ำที่มีความสำคัญต่อพื้นที่การศึกษา เช่น อ่างเก็บน้ำแก่งกระจานที่มีปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูกาลกรณีมีฝนหลวงเพิ่มเป็น 373.52 ล้าน ลบ.ม. ซึ่งมากกว่ากรณีไม่มีฝนหลวงที่มีปริมาณน้ำต้นทุนสำหรับฤดูแล้ง 370.74 ล้าน ลบ.ม. รายละเอียดแสดงดัง **รูปที่ 3.4-19** ถึง **รูปที่ 3.4-22**



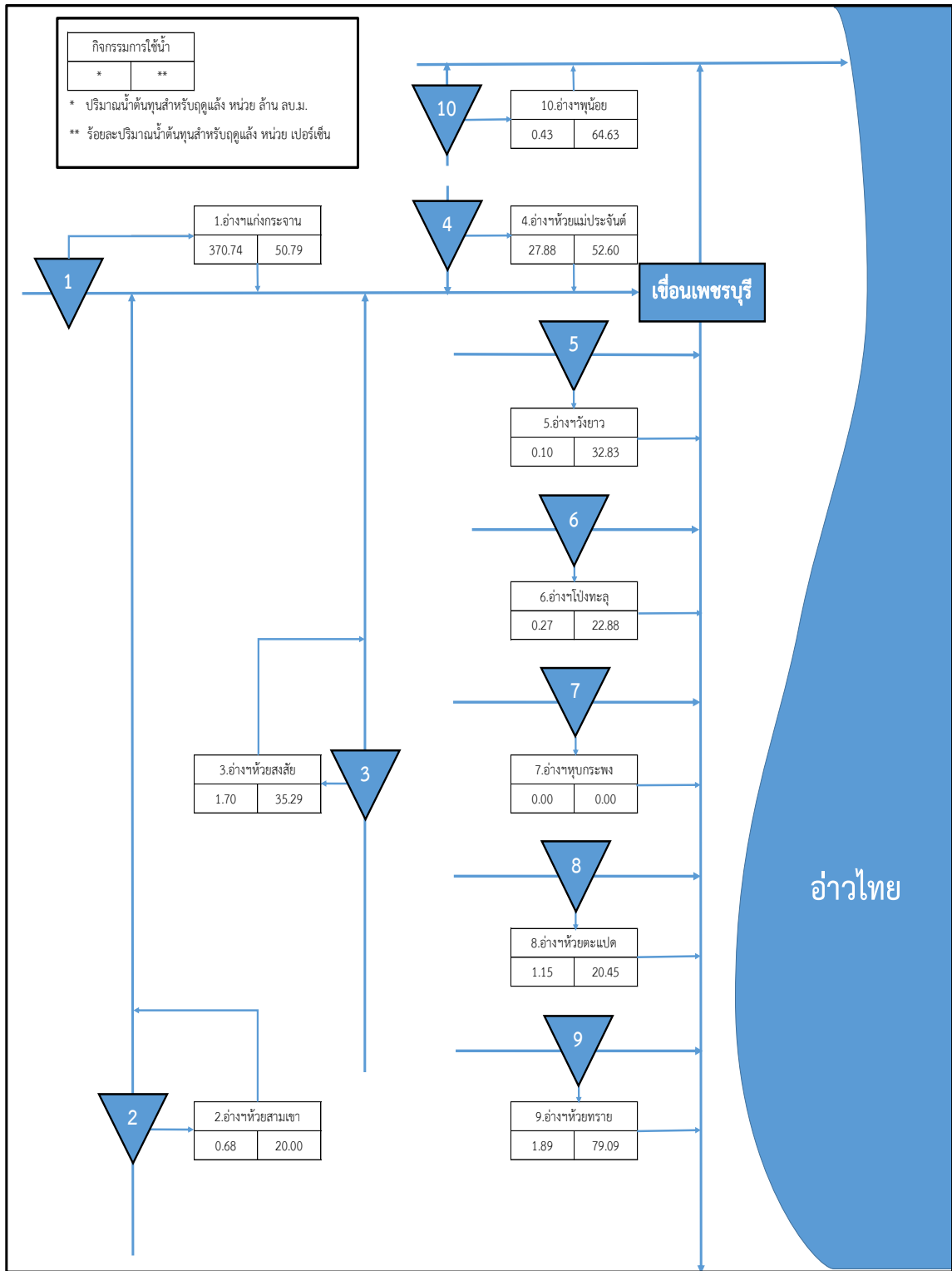
รูปที่ 3.4-19 ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ กรณีมีฝนหลวง (SWAT- Mike Hydro (Basin) + Station)



รูปที่ 3.4-20 ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ กรณีมีฝนหลวง  
 (SWAT- Mike Hydro (Basin) + Radar)



รูปที่ 3.4-21 ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ กรณีไม่มีฝนหลวง (SWAT- Mike Hydro (Basin) + Radar)



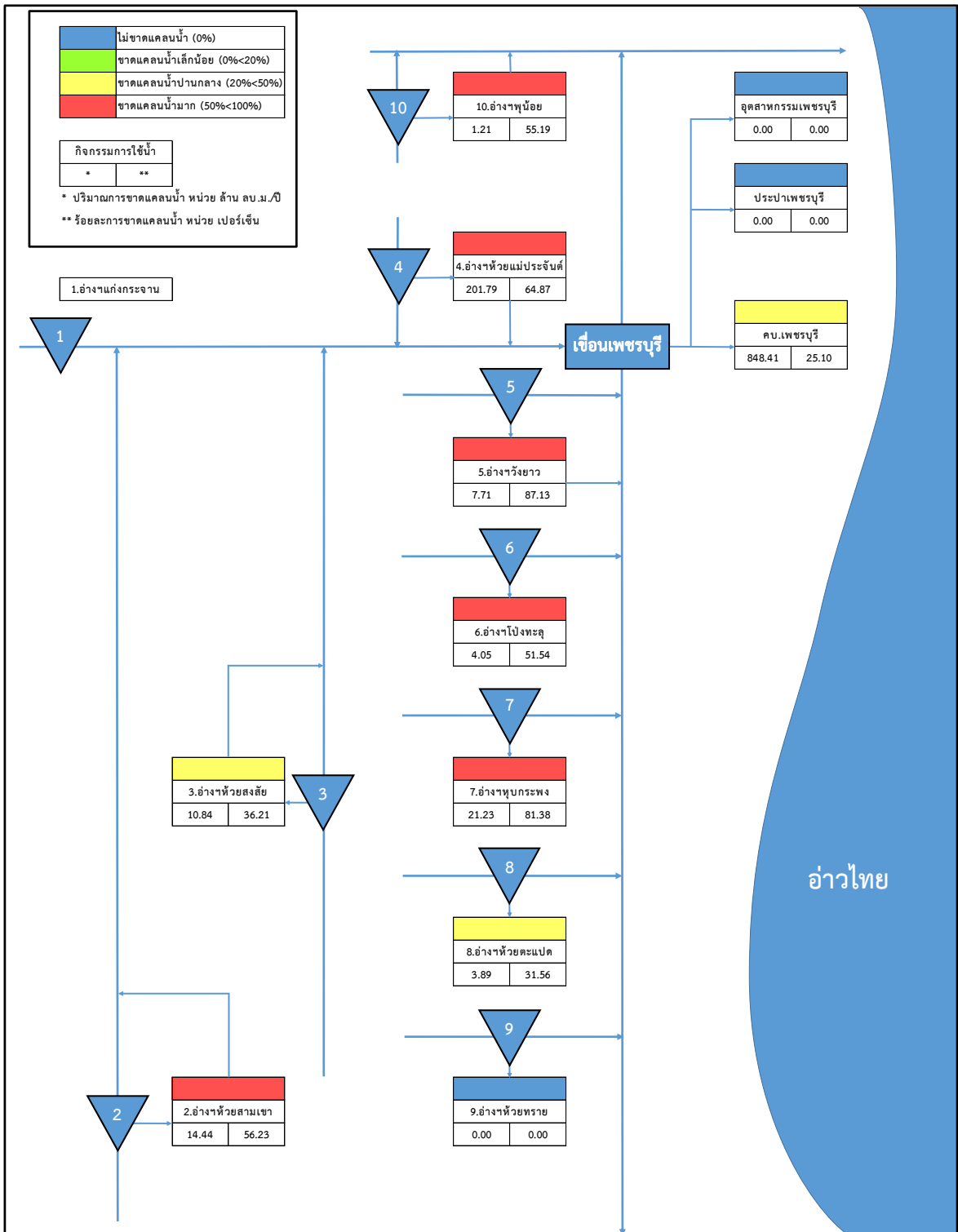
รูปที่ 3.4-22 ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ กรณีไม่มีฝนหลวง  
 (SWAT- Mike Hydro (Basin) + Radar)

## (2) กรณีที่ 2: แบบจำลอง SWAT-Mike Hydro (Basin) + JAXA

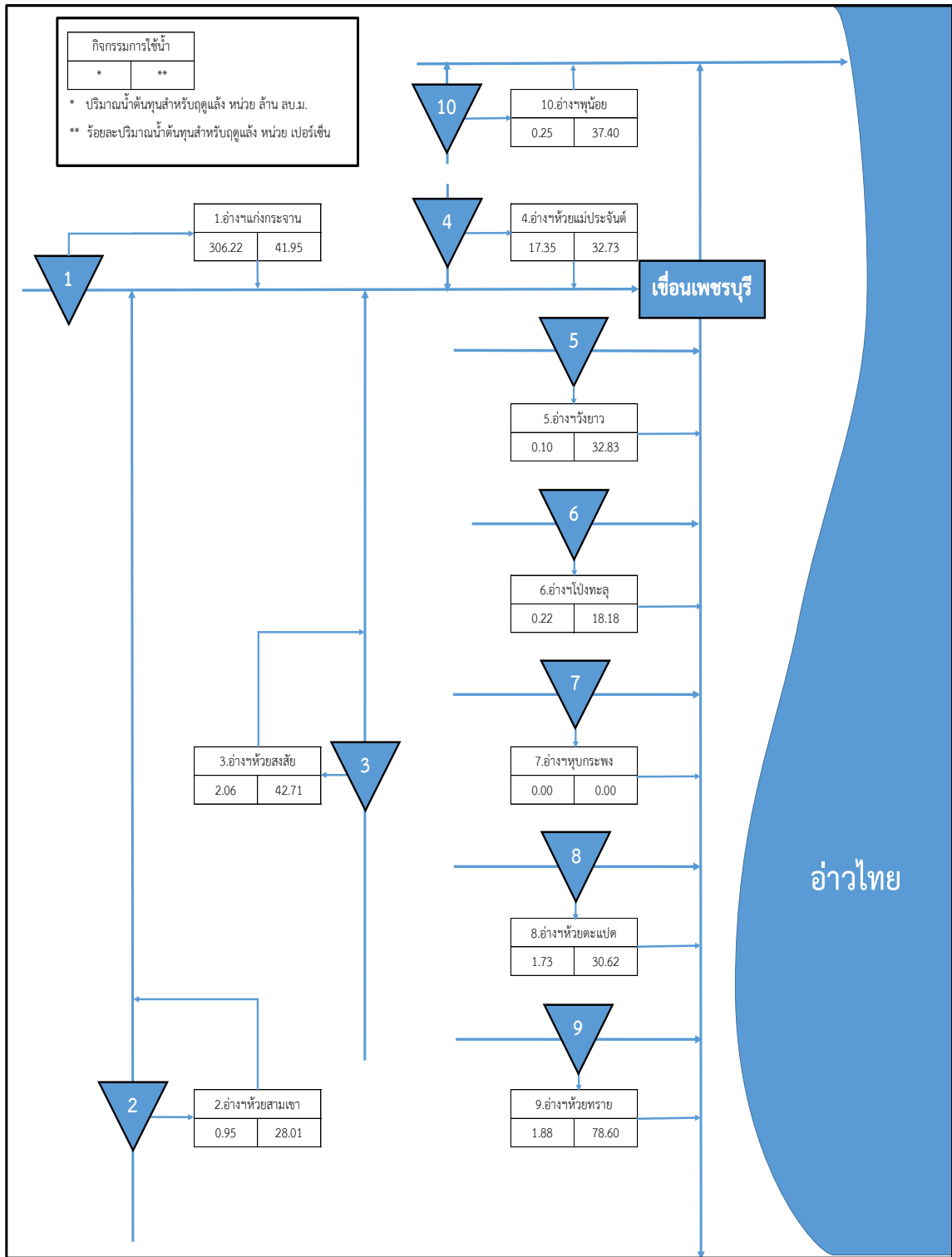
การเปรียบเทียบผลการขาดแคลนน้ำกรณีที่มีฝนหลวง และกรณีที่ไม่มีฝนหลวง โดยแบบจำลอง SWAT - MIKE Hydro (Basin) โดยใช้พิจารณาจากข้อมูลปริมาณน้ำฝนดาวเทียม (Jaxa) พบว่า ผลการขาดแคลนน้ำมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับการสนับสนุนจากฝนหลวงอย่างชัดเจน ได้แก่ อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ มีการขาดแคลนน้ำเฉลี่ยลดลง 11.83 ล้าน ลบ.ม. หรือ ร้อยละ 3.51 และ คบ.เพชรบุรี มีการขาดแคลนน้ำลดลง 169.41 ล้าน ลบ.ม. หรือ ร้อยละ 7.11 ส่วนโครงการชลประทานอื่น ๆ มีผลการเปลี่ยนแปลงเพียงลดลงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าการสนับสนุนจากฝนหลวงจะช่วยลดการขาดแคลนน้ำและช่วยเพิ่มปริมาณน้ำคงเหลือให้กับอ่างเก็บน้ำที่มีความสำคัญต่อพื้นที่การศึกษา เช่น อ่างเก็บน้ำแก่งกระจานที่มีปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการกรณีมีฝนหลวงเพิ่มเป็น 306.22 ล้าน ลบ.ม. ซึ่งมากกว่ากรณีไม่มีฝนหลวงที่มีปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ 278.00 ล้าน ลบ.ม. โดยแสดงรายละเอียดดัง **รูปที่ 3.4-23 ถึง รูปที่ 3.4-26**

## (3) กรณีที่ 3: แบบจำลอง SWAT-Mike Hydro (Basin) + Radar

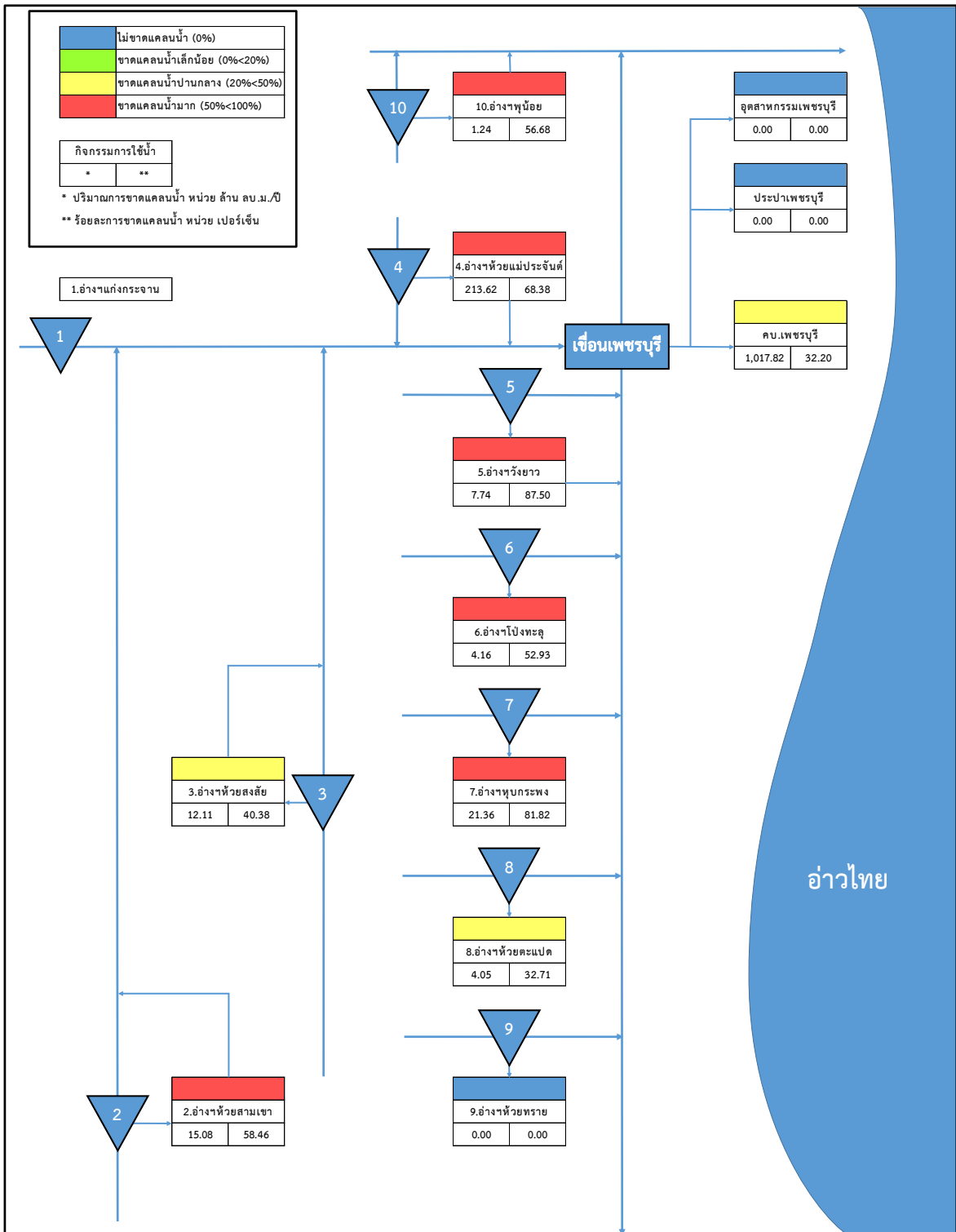
การเปรียบเทียบผลการขาดแคลนน้ำกรณีที่มีฝนหลวง และกรณีที่ไม่มีฝนหลวง โดยแบบจำลอง SWAT - MIKE Hydro (Basin) โดยใช้พิจารณาจากข้อมูลปริมาณน้ำฝนเรดาร์ (Radar) พบว่า ผลการขาดแคลนน้ำมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับการสนับสนุนจากฝนหลวงอย่างชัดเจน ได้แก่ อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ มีการขาดแคลนน้ำเฉลี่ยลดลง 14.40 ล้าน ลบ.ม. หรือ ร้อยละ 4.40 และ คบ.เพชรบุรี มีการขาดแคลนน้ำลดลง 115.06 ล้าน ลบ.ม. หรือ ร้อยละ 5.30 ส่วนโครงการชลประทานอื่น ๆ มีผลการเปลี่ยนแปลงเพียงลดลงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าการสนับสนุนจากฝนหลวงจะช่วยลดการขาดแคลนน้ำและช่วยเพิ่มปริมาณน้ำคงเหลือให้กับอ่างเก็บน้ำที่มีความสำคัญต่อพื้นที่การศึกษา เช่น อ่างเก็บน้ำแก่งกระจานที่มีปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการกรณีมีฝนหลวงเพิ่มเป็น 473.51 ล้าน ลบ.ม. ซึ่งมากกว่ากรณีไม่มีฝนหลวงที่มีปริมาณน้ำต้นทุนสำหรับฤดูแล้ง 431.51 ล้าน ลบ.ม. โดยแสดงรายละเอียดดัง **รูปที่ 3.4-27 ถึง รูปที่ 3.4-30**



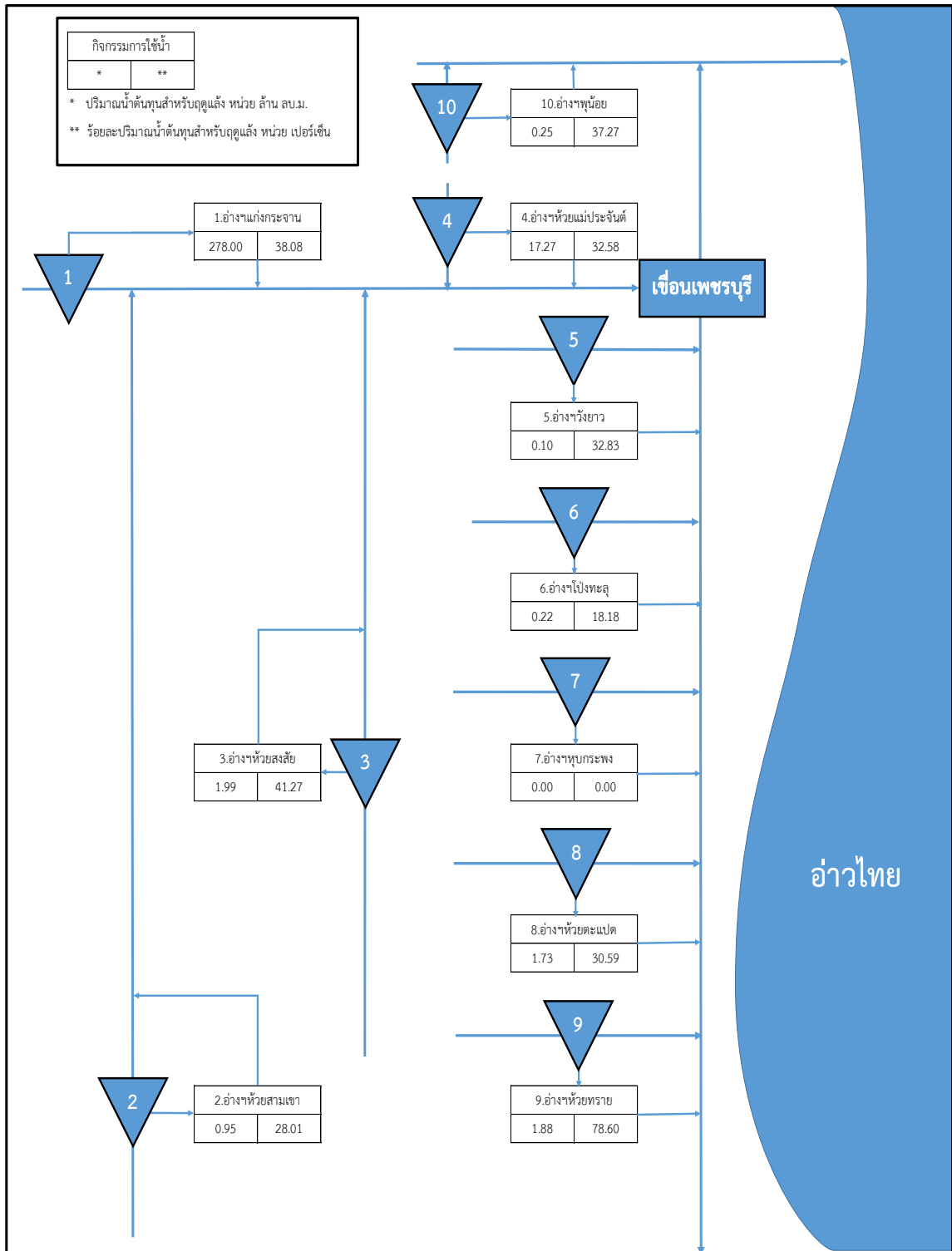
รูปที่ 3.4-23 ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ กรณีมีฝนหลวง (SWAT- Mike Hydro (Basin) + JAXA)



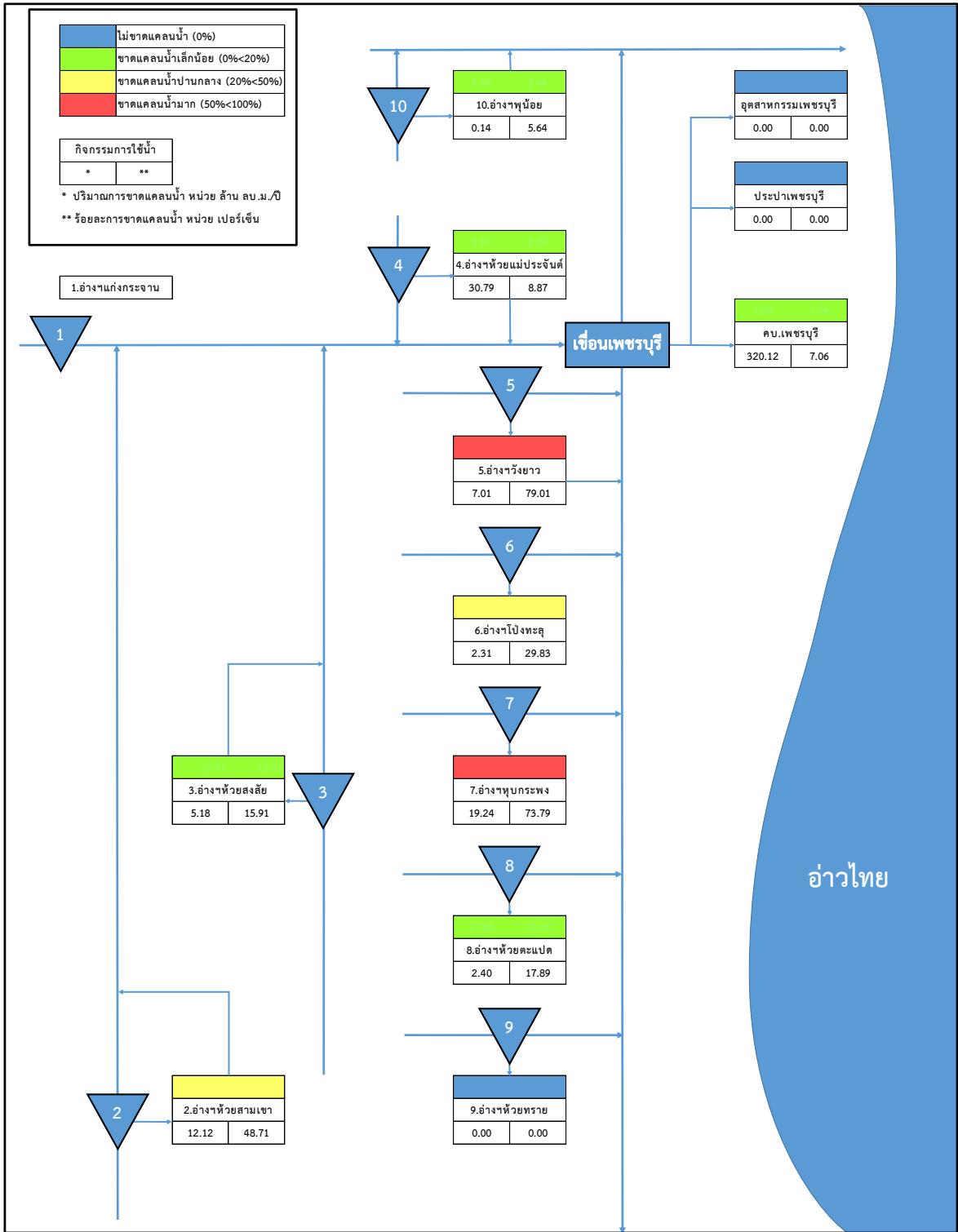
รูปที่ 3.4-24 ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูกาล กรณีมีฝนหลวง (SWAT- Mike Hydro (Basin) + JAXA)



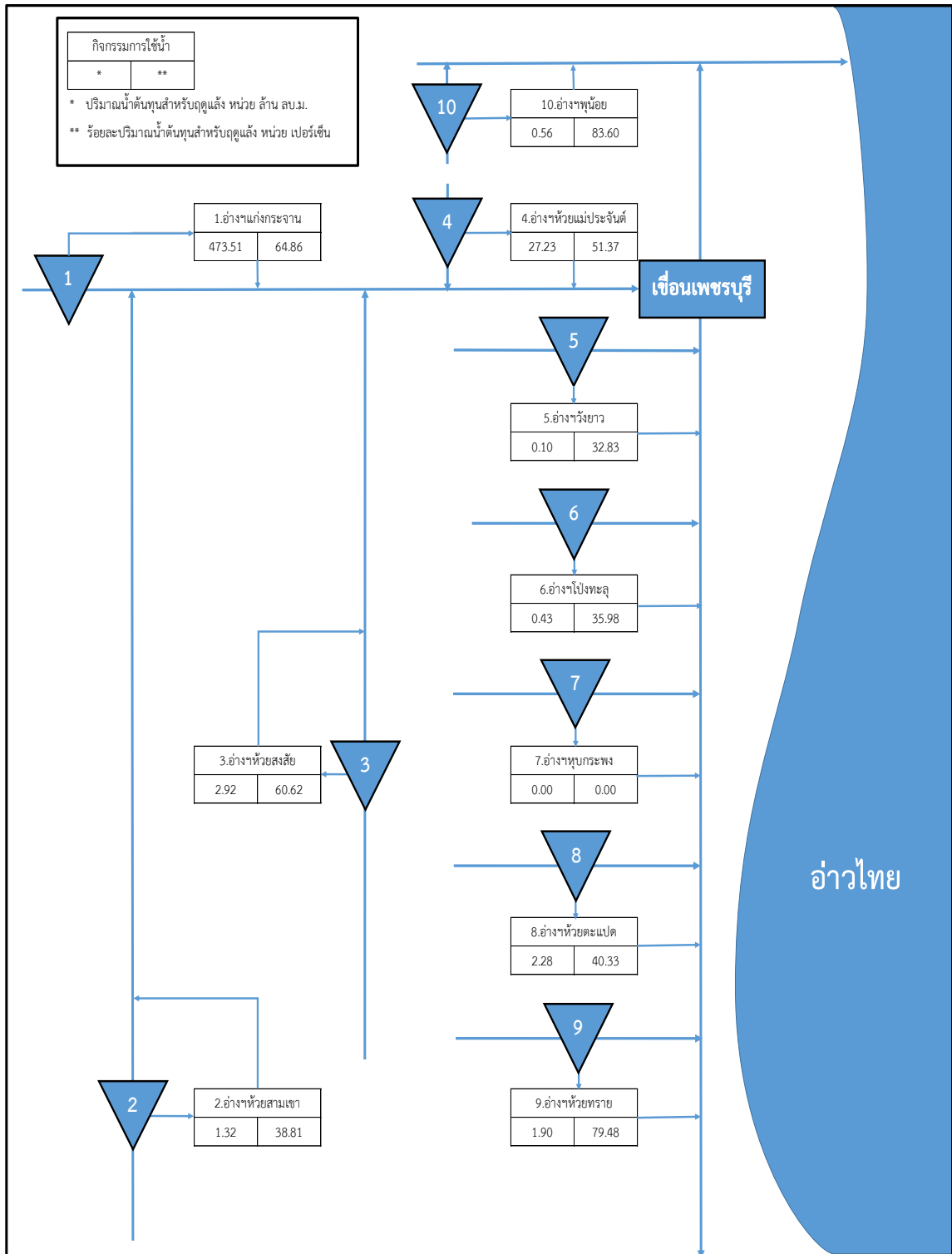
รูปที่ 3.4-25 ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ กรณีไม่มีฝนหลวง (SWAT- Mike Hydro (Basin) + JAXA)



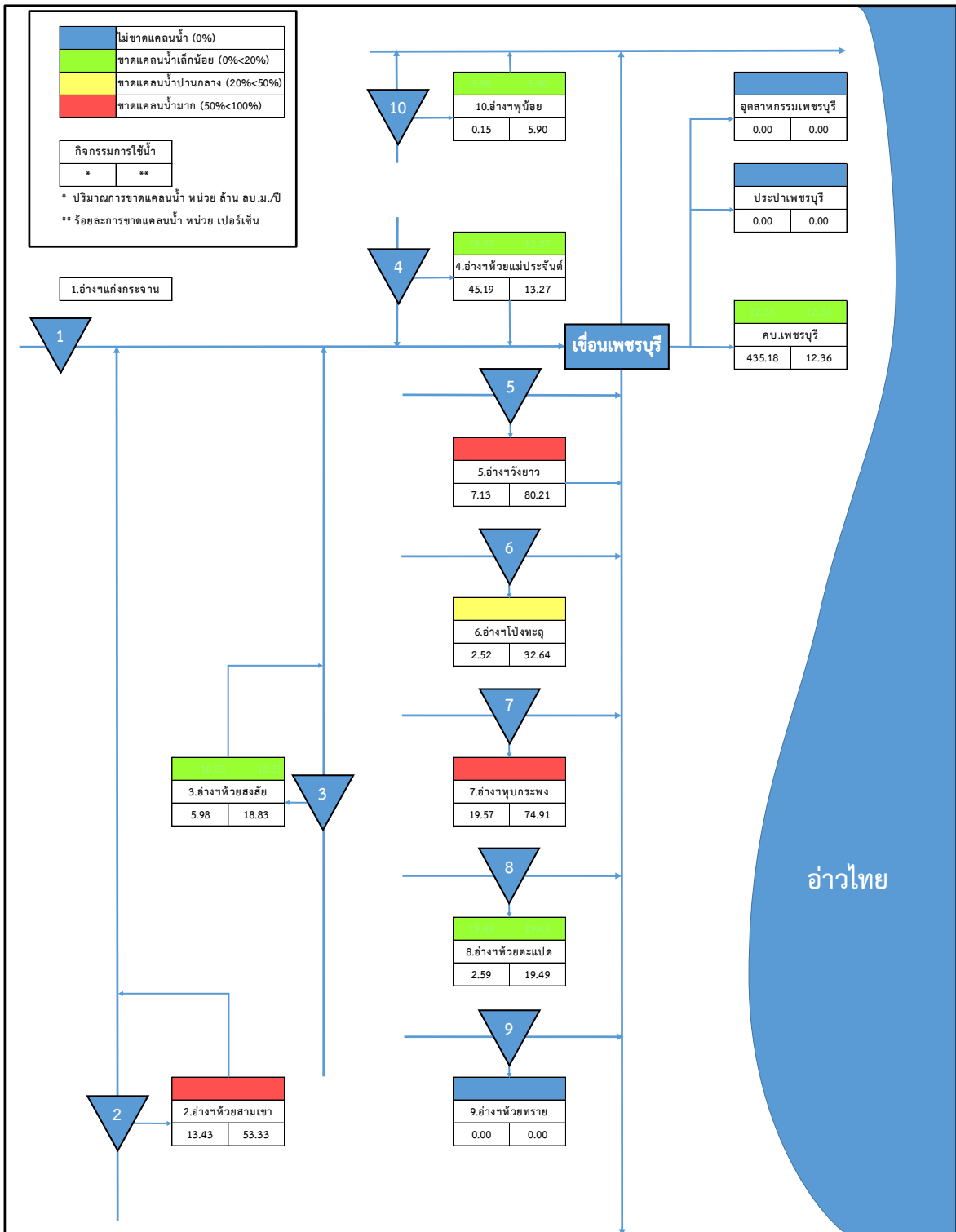
รูปที่ 3.4-26 ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ กรณีไม่มีฝนหลวง  
 (SWAT- Mike Hydro (Basin) + JAXA)



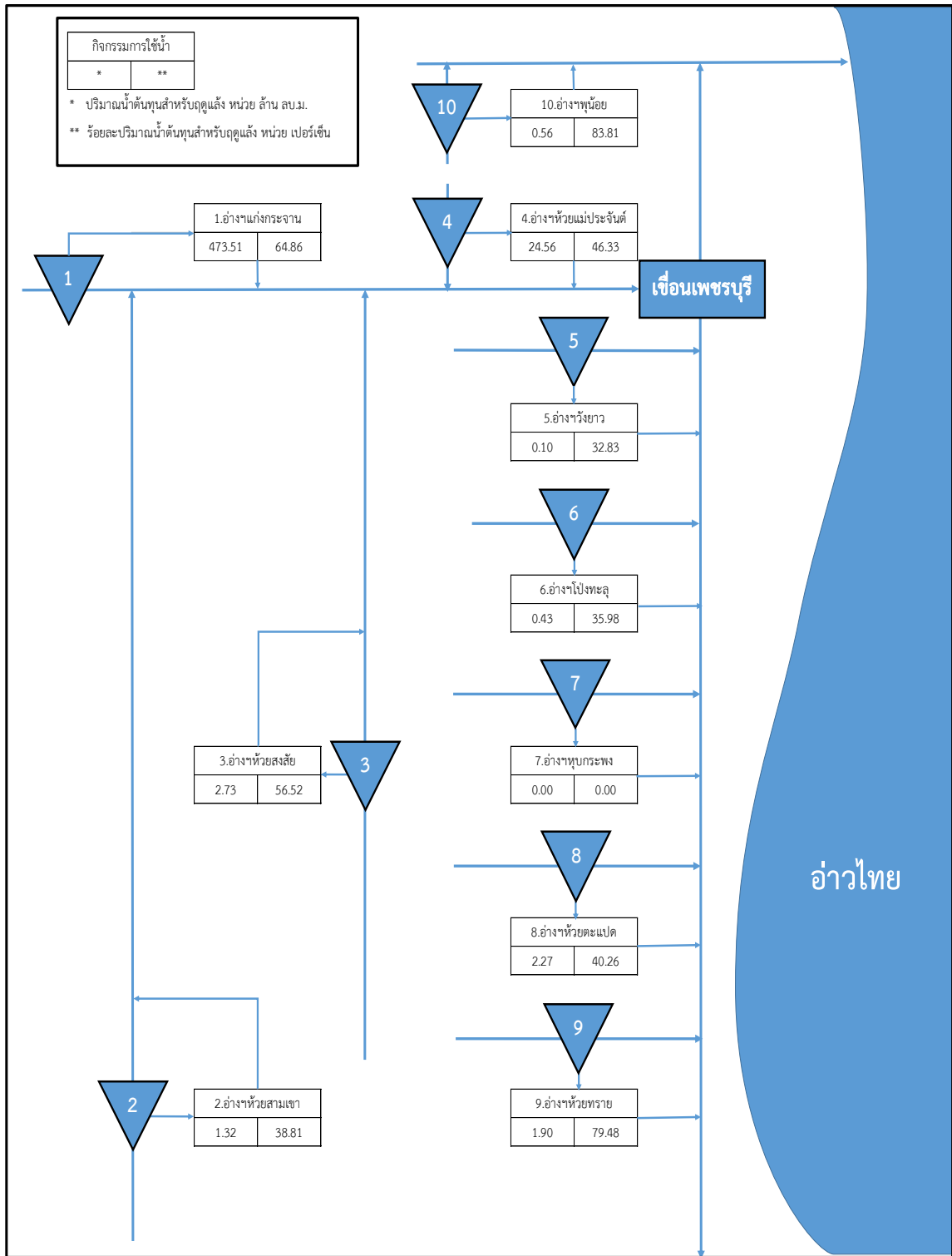
รูปที่ 3.4-27 ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ กรณีมีฝนหลวง (SWAT- Mike Hydro (Basin) + Radar)



รูปที่ 3.4-28 ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ ภูมิมีฝนหลวง (SWAT- Mike Hydro (Basin) + Radar)



รูปที่ 3.4-29 ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ กรณีไม่มีฝนหลวง (SWAT- Mike Hydro (Basin) + Radar)



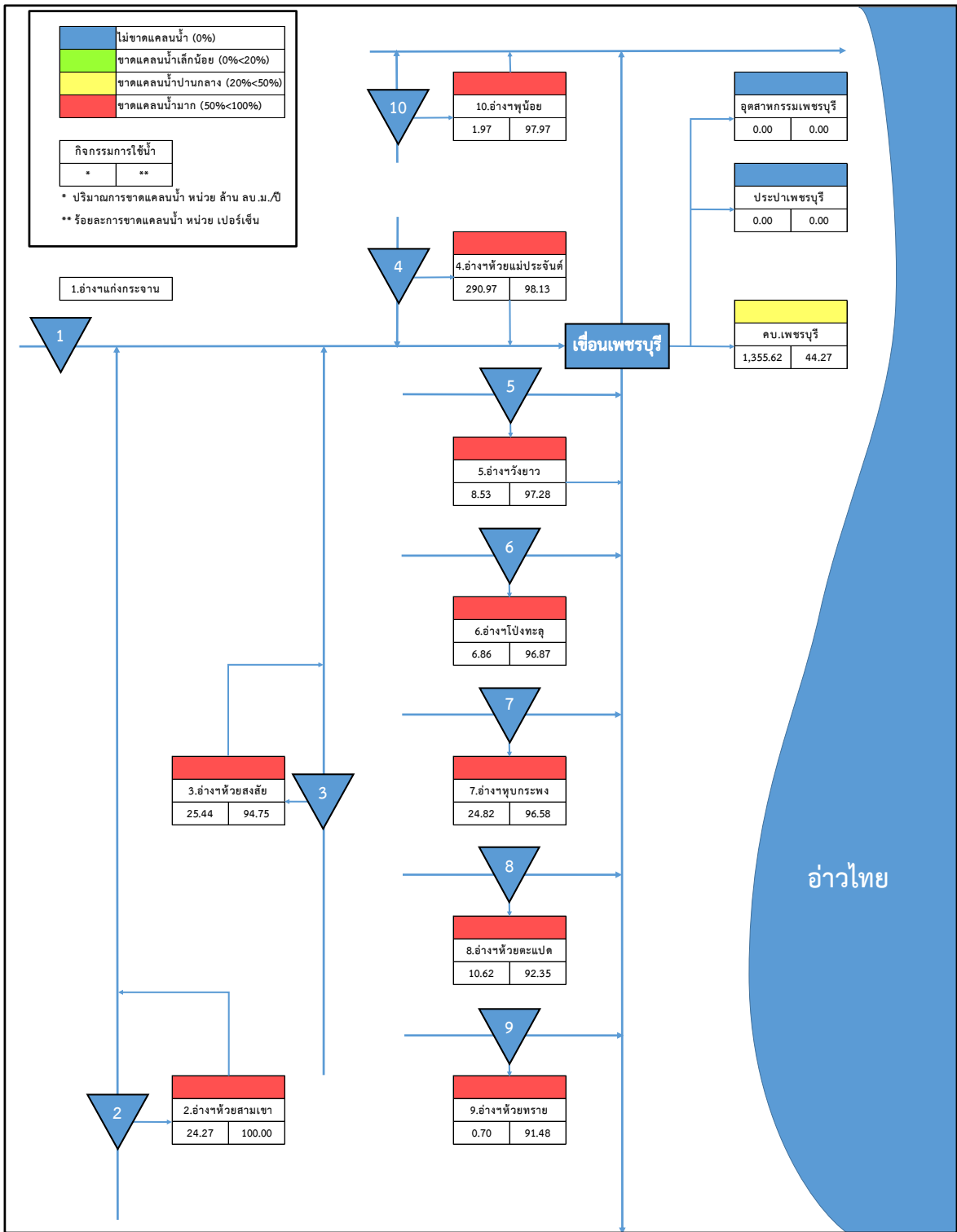
รูปที่ 3.4-30 ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูกาล กรณีไม่มีฝนหลวง  
 (SWAT- Mike Hydro (Basin) + Radar)

#### (4) กรณีที่ 4: แบบจำลอง DWCM-Mike Hydro (Basin) + Station

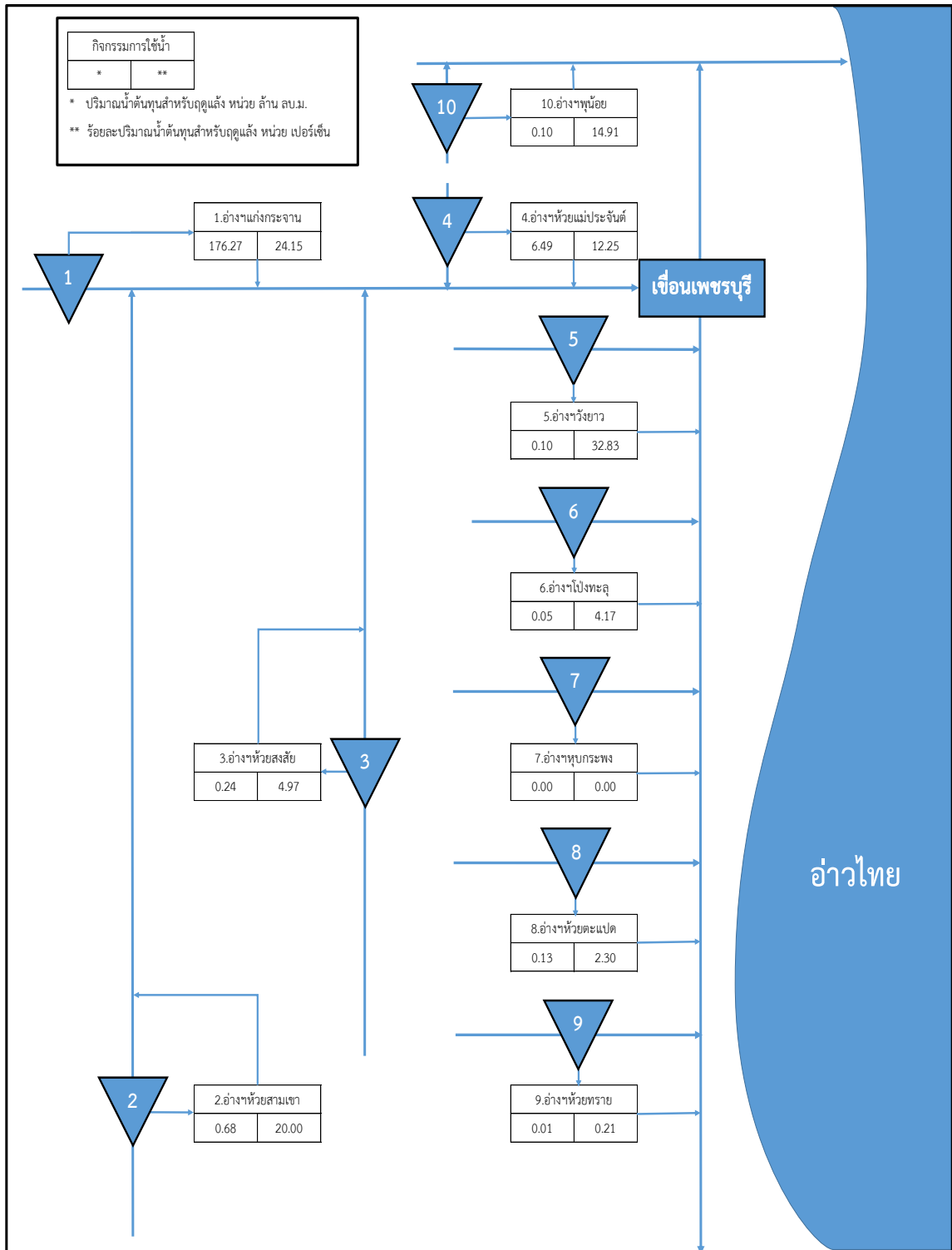
การเปรียบเทียบผลการขาดแคลนน้ำกรณีที่มีฝนหลวง และกรณีที่ไม่มีฝนหลวง โดยแบบจำลอง DWCM-AgWU - MIKE Hydro (Basin) โดยใช้พิจารณาจากข้อมูลปริมาณน้ำฝนตรวจวัดรายสถานี (Station) พบว่า ผลการขาดแคลนน้ำมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับการสนับสนุนจากฝนหลวงอย่างชัดเจน ได้แก่ อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ มีการขาดแคลนน้ำเฉลี่ยลดลง 1.11 ล้าน ลบ.ม. หรือ ร้อยละ 0.39 และ คบ.เพชรบุรี มีการขาดแคลนน้ำลดลง 30.51 ล้าน ลบ.ม. หรือ ร้อยละ 1.50 ส่วนโครงการชลประทานอื่นๆ มีผลการเปลี่ยนแปลงเพียงลดลงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าการสนับสนุนจากฝนหลวงจะช่วยลดการขาดแคลนน้ำและช่วยเพิ่มปริมาณน้ำคงเหลือให้กับอ่างเก็บน้ำที่มีความสำคัญต่อพื้นที่การศึกษา เช่น อ่างเก็บน้ำแก่งกระจานที่มีปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการกรณีมีฝนหลวงเพิ่มเป็น 176.27 ล้าน ลบ.ม. ซึ่งมากกว่ากรณีไม่มีฝนหลวงที่มีปริมาณน้ำต้นทุนสำหรับฤดูแล้ง 170.29 ล้าน ลบ.ม. โดยแสดงรายละเอียด รูปที่ 3.4-31 ถึง รูปที่ 3.4-34

#### (5) กรณีที่ 5: แบบจำลอง DWCM-Mike Hydro (Basin) + JAXA

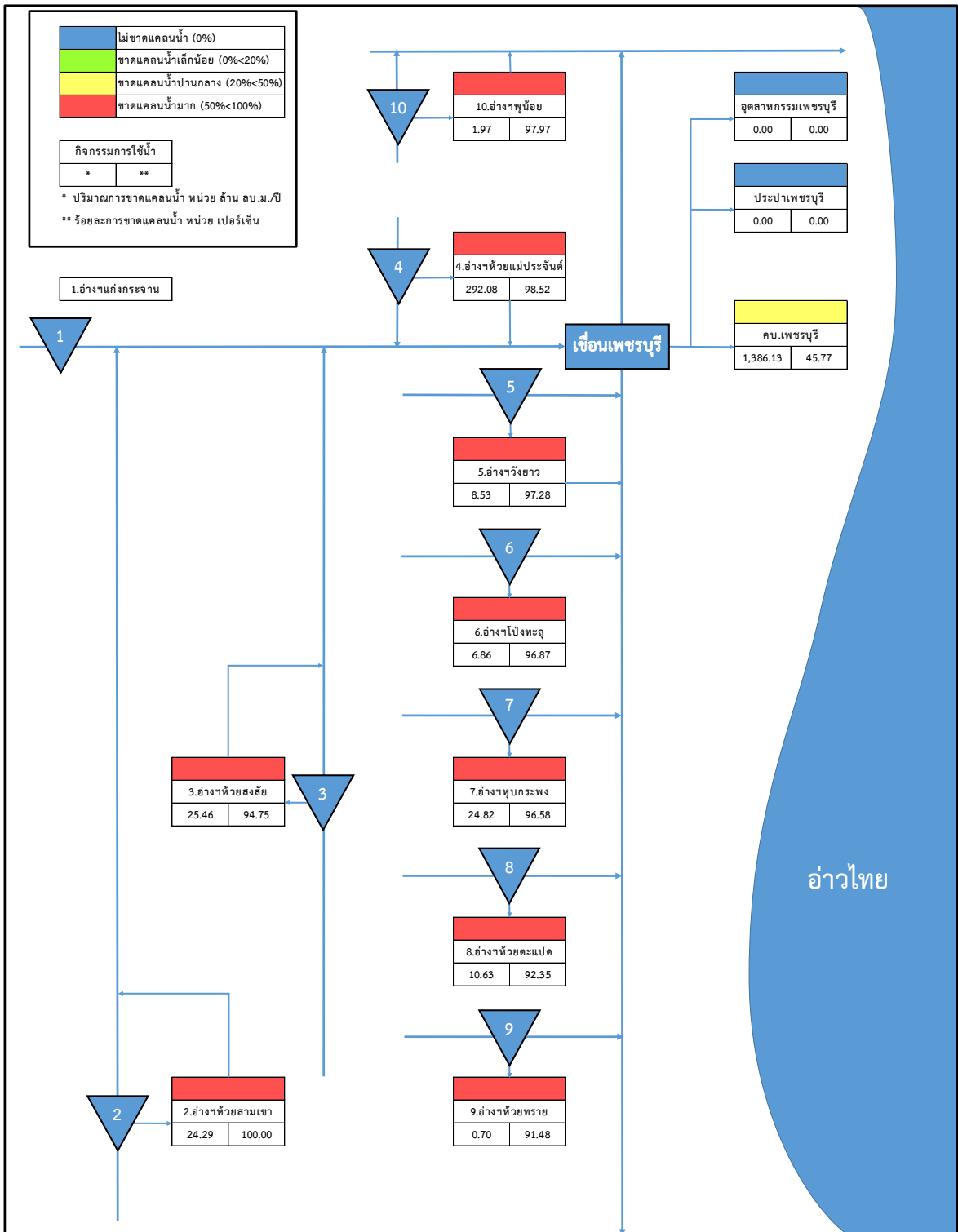
การเปรียบเทียบผลการขาดแคลนน้ำกรณีที่มีฝนหลวง และกรณีที่ไม่มีฝนหลวง โดยแบบจำลอง DWCM-AgWU - MIKE Hydro (Basin) โดยใช้พิจารณาจากข้อมูลปริมาณน้ำฝนดาวเทียม (Jaxa) พบว่า ผลการขาดแคลนน้ำมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับการสนับสนุนจากฝนหลวงอย่างชัดเจน คบ.เพชรบุรี มีการขาดแคลนน้ำลดลง 3.21 ล้าน ลบ.ม. หรือ ร้อยละ 0.14 ส่วนโครงการชลประทานอื่นๆ มีผลการเปลี่ยนแปลงเพียงลดลงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าการสนับสนุนจากฝนหลวงจะช่วยลดการขาดแคลนน้ำและช่วยเพิ่มปริมาณน้ำคงเหลือให้กับอ่างเก็บน้ำที่มีความสำคัญต่อพื้นที่การศึกษา เช่น อ่างเก็บน้ำแก่งกระจานที่มีปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการกรณีมีฝนหลวงเพิ่มเป็น 165.51 ล้าน ลบ.ม. ซึ่งมากกว่ากรณีไม่มีฝนหลวงที่มีปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ 164.84 ล้าน ลบ.ม. โดยแสดงรายละเอียดดัง รูปที่ 3.4-35 ถึง รูปที่ 3.4-38



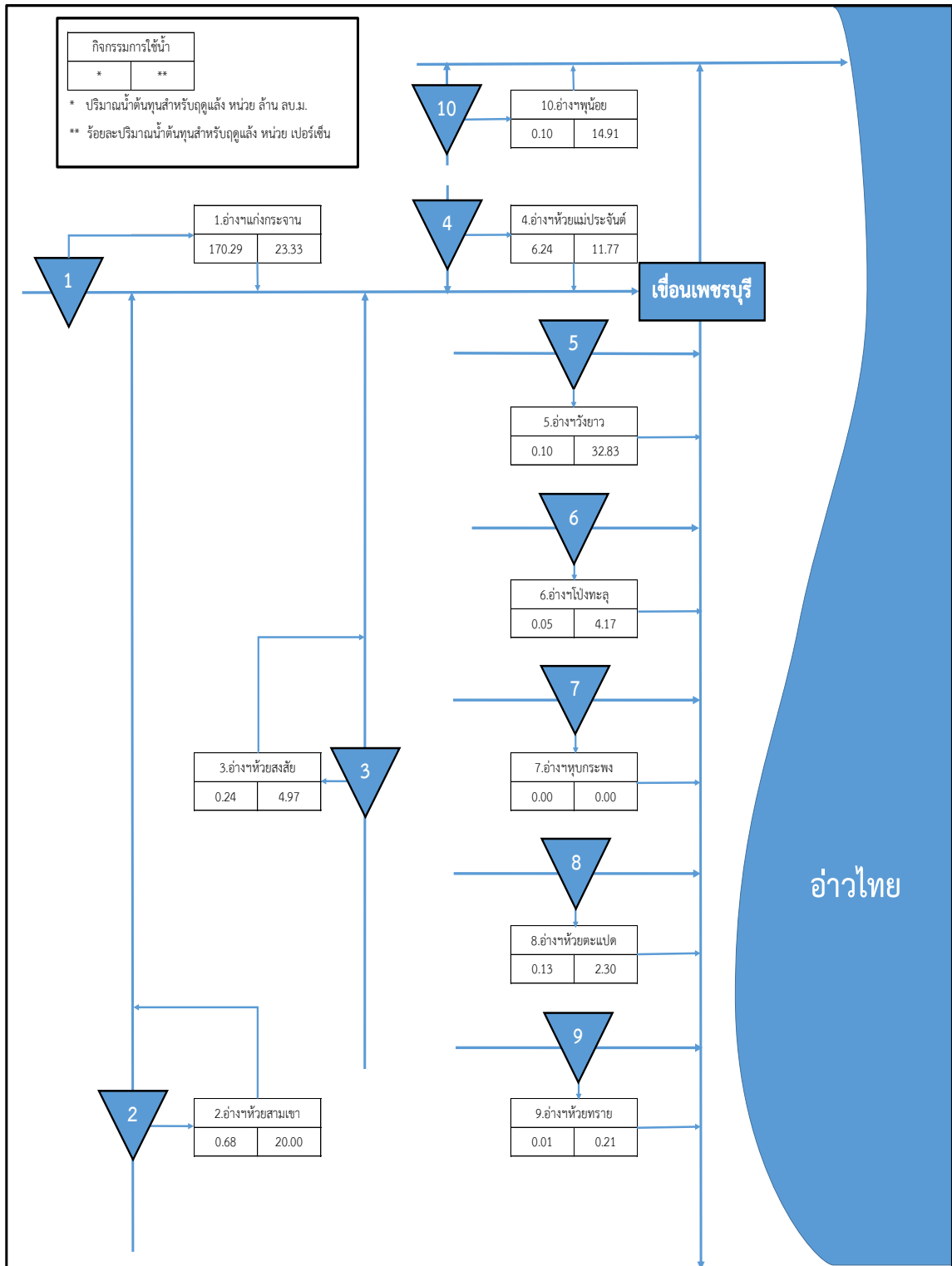
รูปที่ 3.4-31 ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ กรณีมีฝนหลวง  
 (DWCM- Mike Hydro (Basin) + Station)



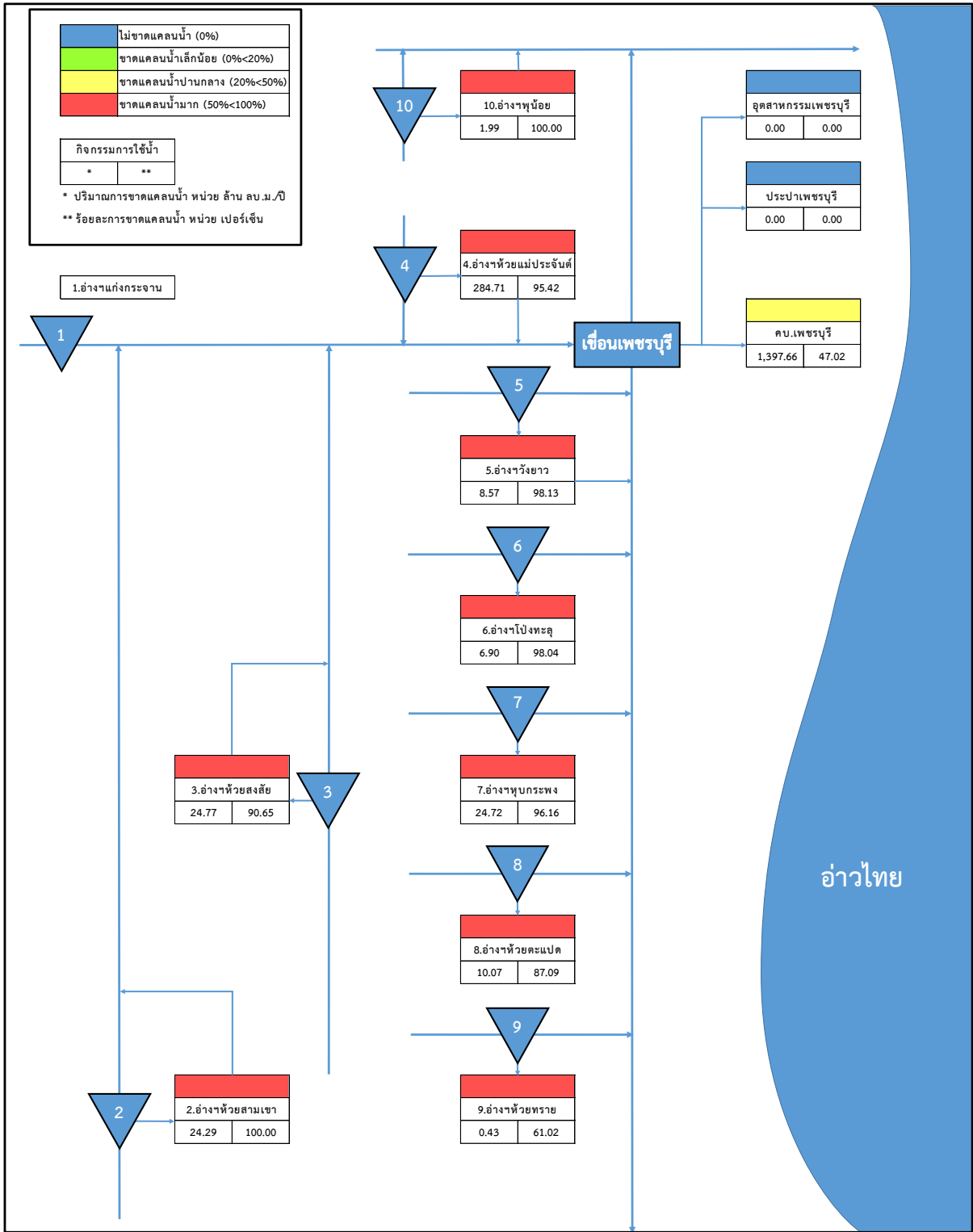
รูปที่ 3.4-32 ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูแล้ง กรณีมีฝนหลวง (DWCM- Mike Hydro (Basin) + Station)



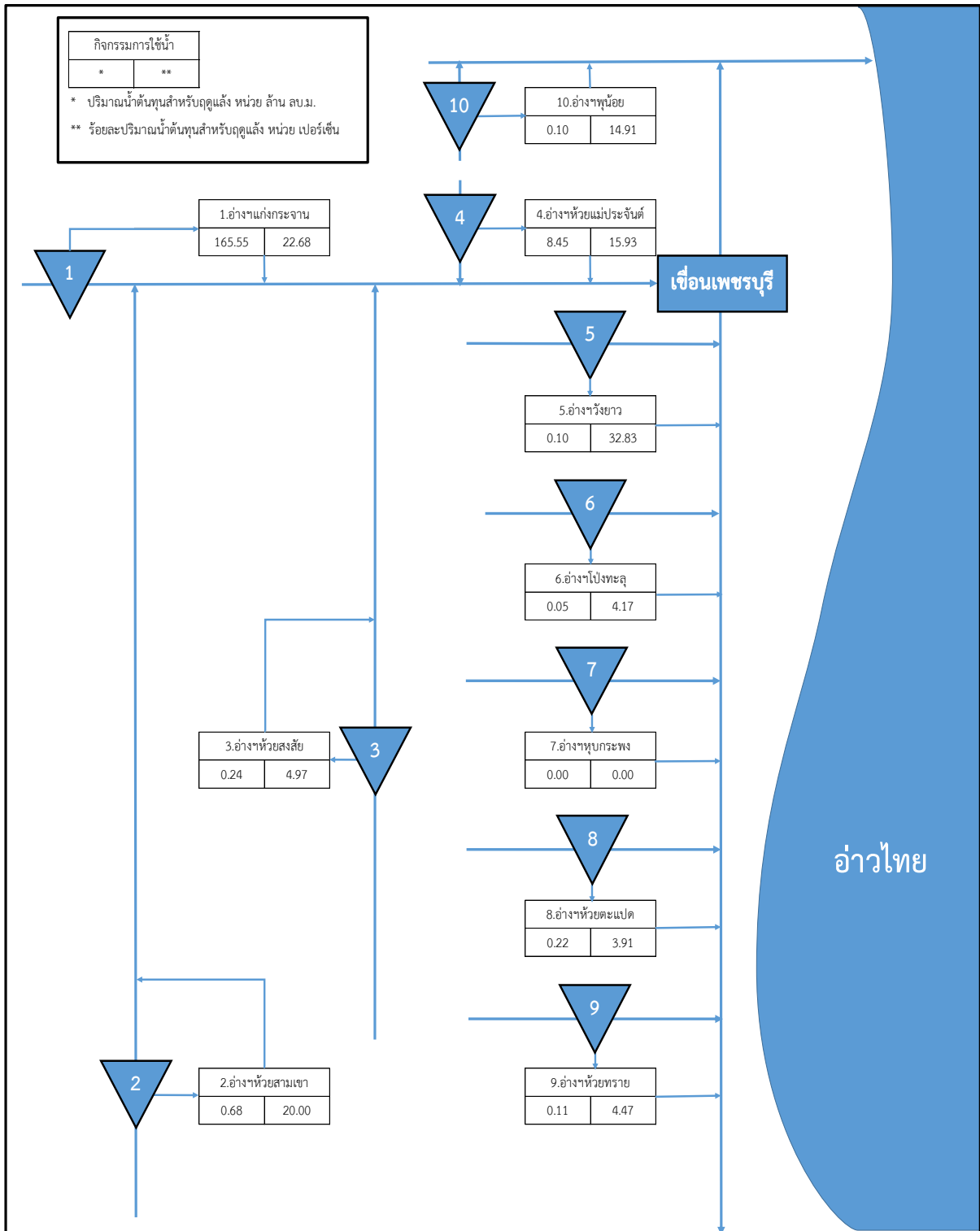
รูปที่ 3.4-33 ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ กรณีไม่มีฝนหลวง (DWCM- Mike Hydro (Basin) + Station)



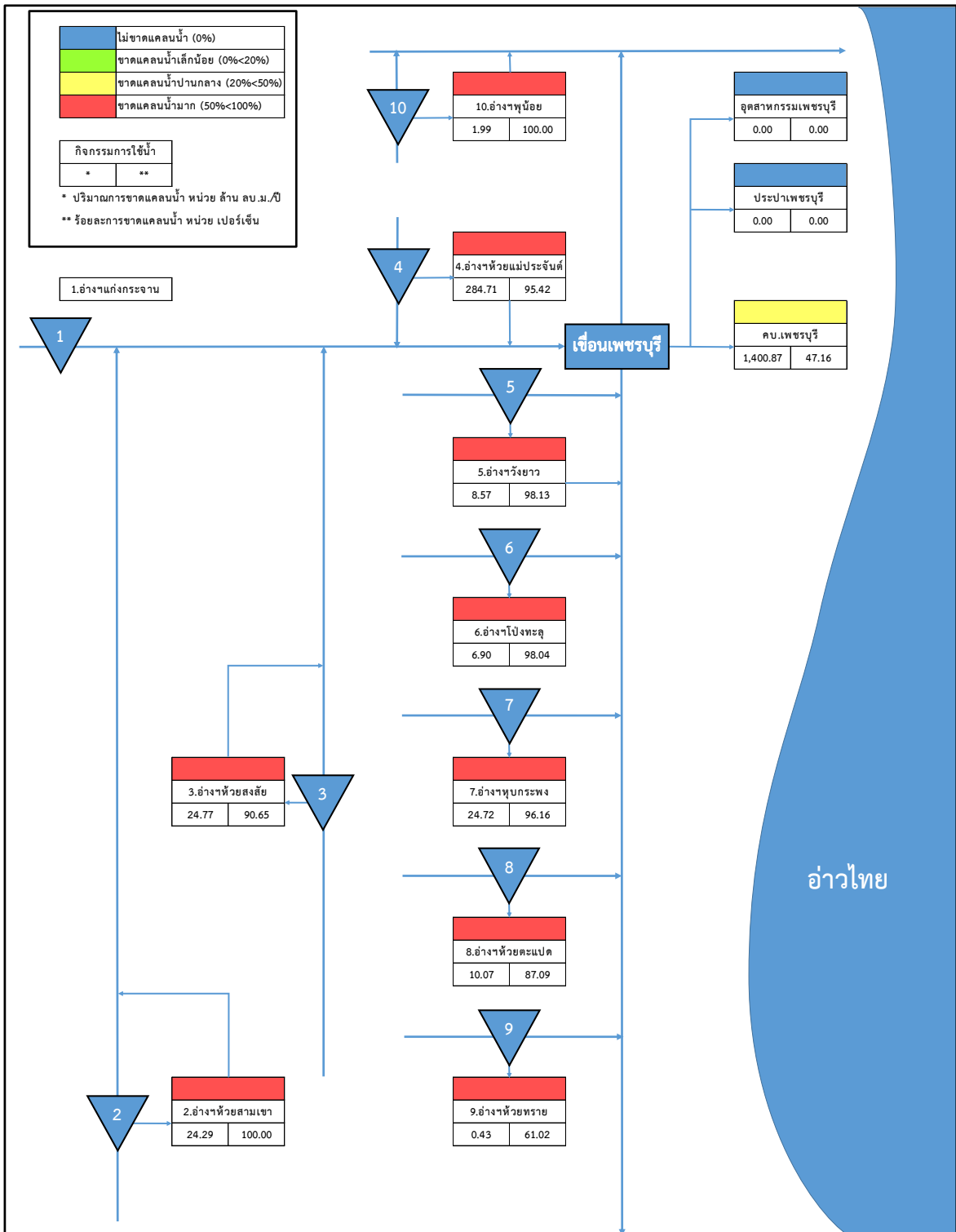
รูปที่ 3.4-34 ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ กรณีไม่มีฝนหลวง  
 (DWCM- Mike Hydro (Basin) + Station)



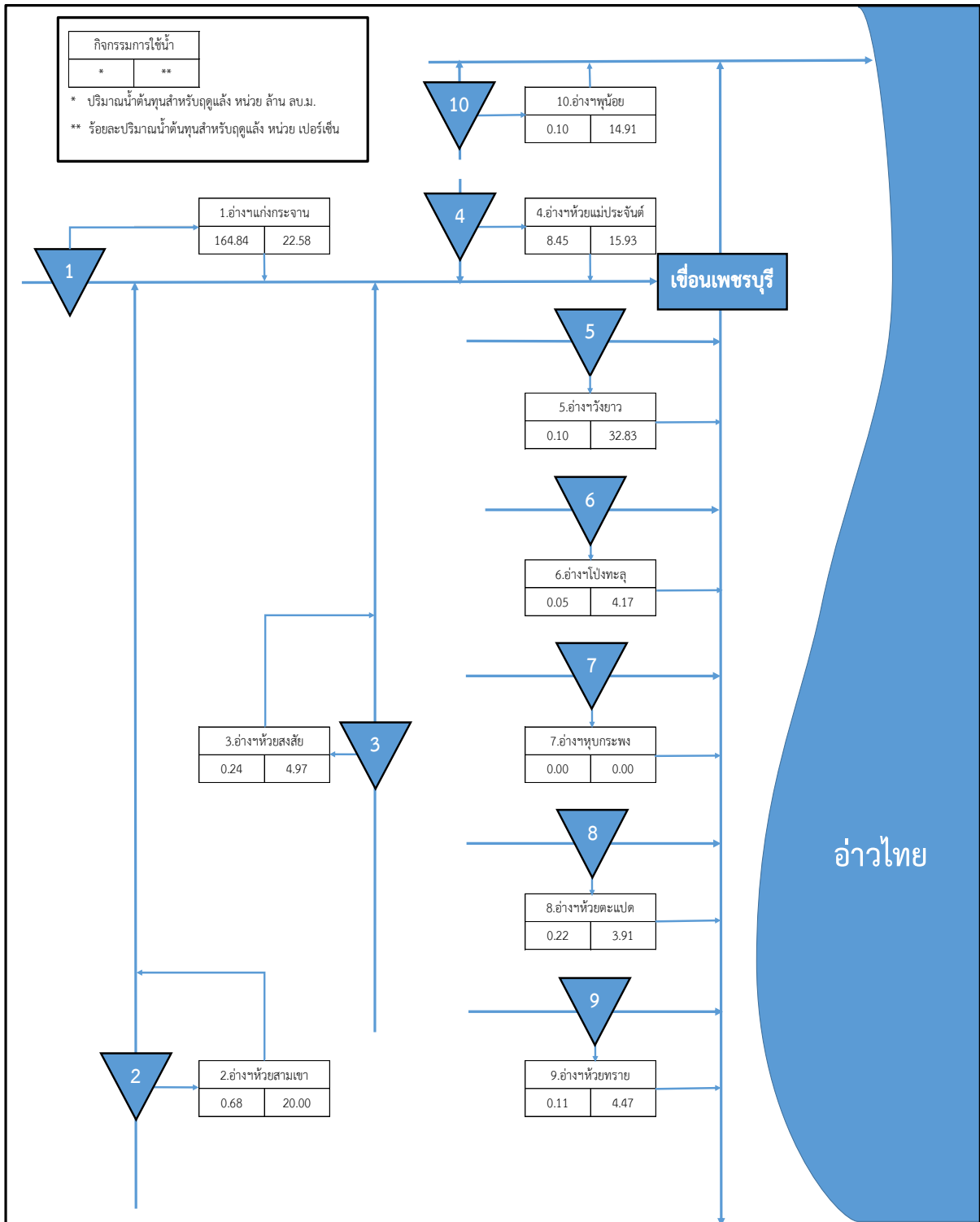
รูปที่ 3.4-35 ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ กรณีมีฝนหลวง (DWCM- Mike Hydro (Basin) + JAXA)



รูปที่ 3.4-36 ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ กรณีมีฝนหลวง  
(DWCM- Mike Hydro (Basin) + JAXA)



รูปที่ 3.4-37 ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ กรณีไม่มีฝนหลวง (DWCM- Mike Hydro (Basin) + JAXA)

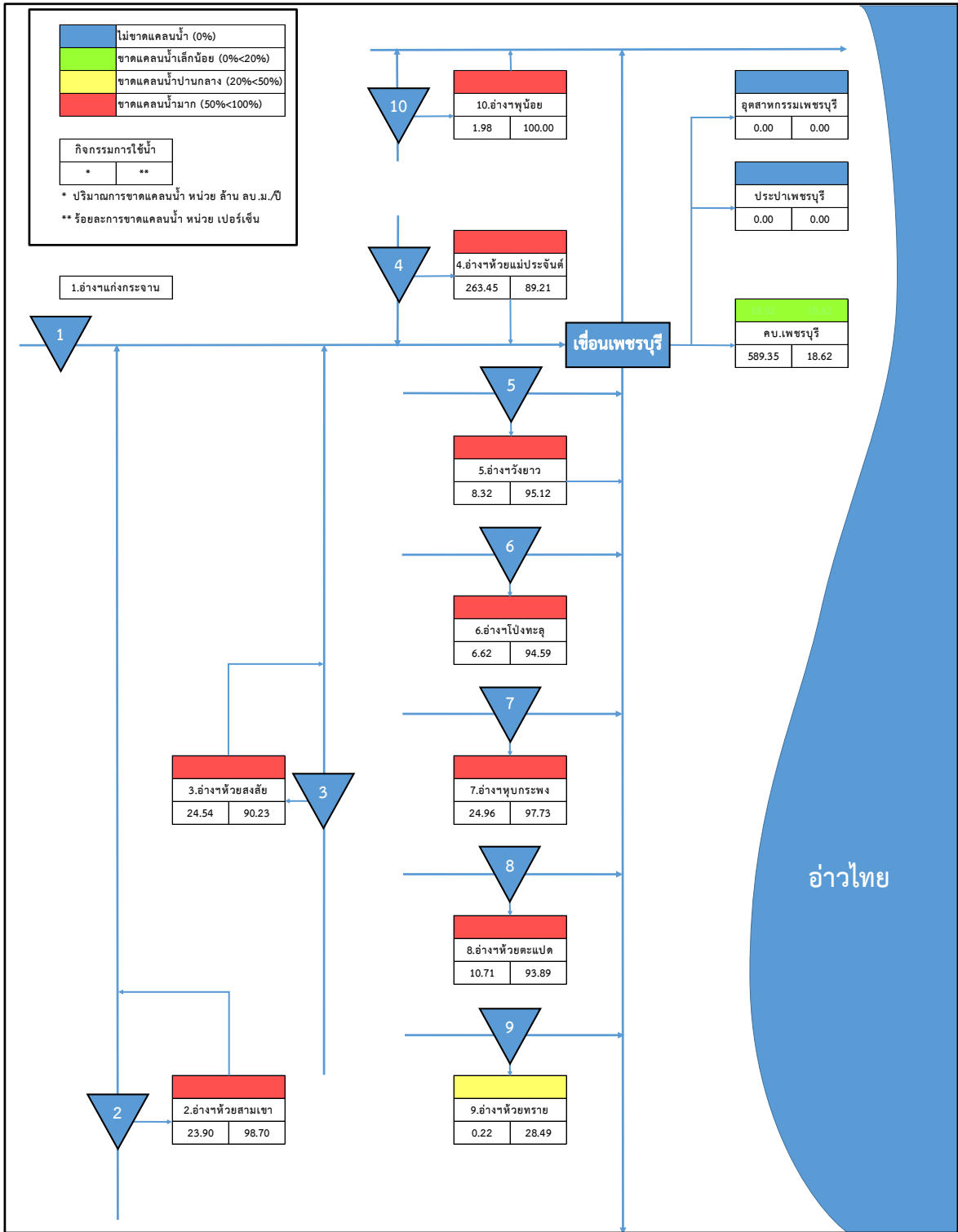


รูปที่ 3.4-38 ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ กรณีไม่มีฝนหลวง  
 (DWCM- Mike Hydro (Basin) + JAXA)

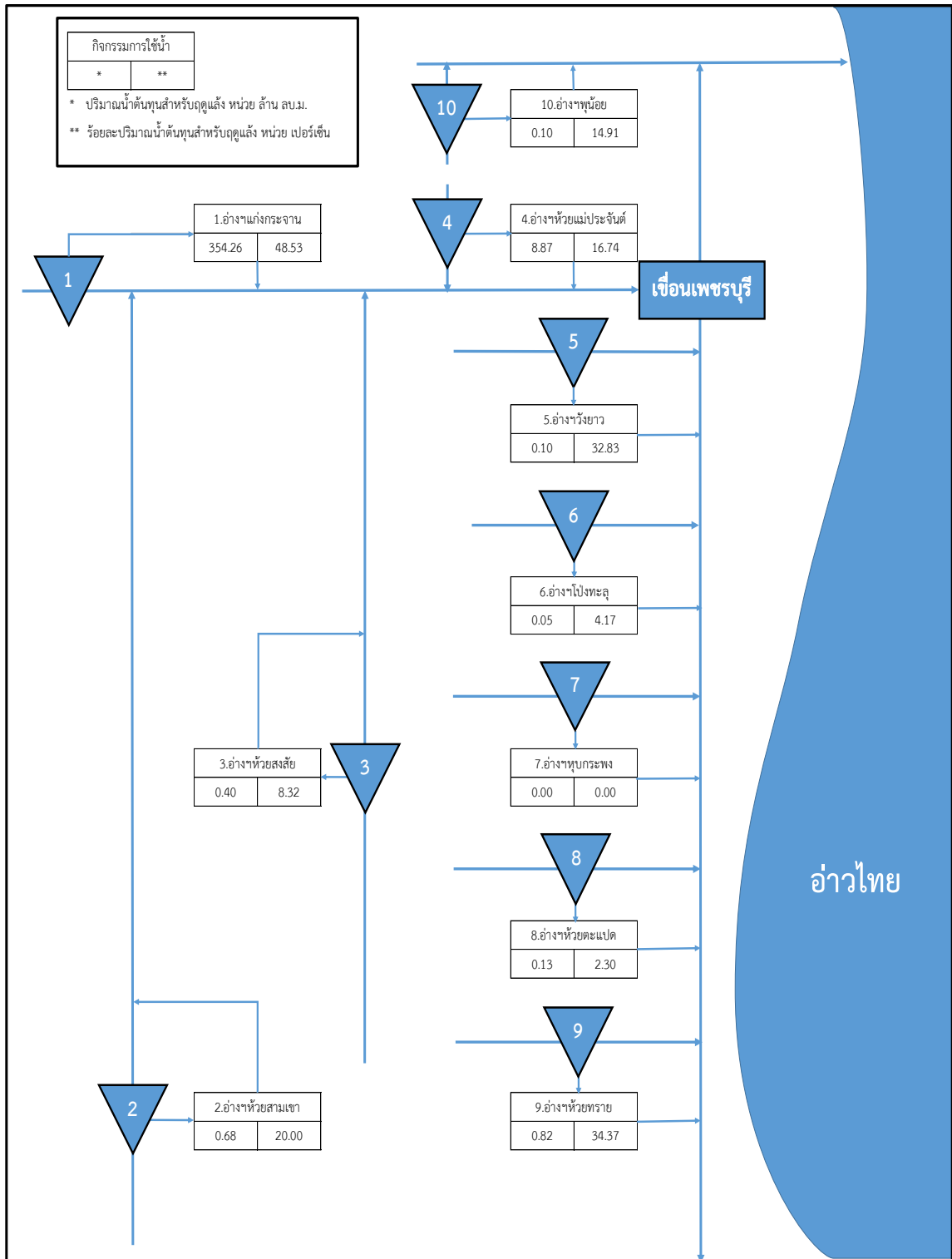
#### (6) กรณีที่ 6: แบบจำลอง DWCM-Mike Hydro (Basin) + Radar

การเปรียบเทียบผลการขาดแคลนน้ำกรณีที่มีฝนหลวง และกรณีที่ไม่มีฝนหลวง โดยแบบจำลอง DWCM-AgWU - MIKE Hydro (Basin) โดยใช้พิจารณาจากข้อมูลปริมาณน้ำฝนเรดาร์ (Radar) พบว่า ผลการขาดแคลนน้ำมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับการสนับสนุนจากฝนหลวงอย่างชัดเจน ได้แก่ อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ มีการขาดแคลนน้ำเฉลี่ยลดลง 9.59 ล้าน ลบ.ม. หรือ ร้อยละ 2.80 และ คบ. เพชรบุรี มีการขาดแคลนน้ำลดลง 187.27 ล้าน ลบ.ม. หรือ ร้อยละ 6.50 ส่วนโครงการชลประทานอื่น ๆ มีผลการเปลี่ยนแปลงเพียงลดลงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าการสนับสนุนจากฝนหลวงจะช่วยลดการขาดแคลนน้ำและช่วยเพิ่มปริมาณน้ำคงเหลือให้กับอ่างเก็บน้ำที่มีความสำคัญต่อพื้นที่การศึกษา เช่น อ่างเก็บน้ำแก่งกระจานที่มีปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการกรณีมีฝนหลวงเพิ่มเป็น 354.26 ล้าน ลบ.ม. ซึ่งมากกว่ากรณีไม่มีฝนหลวงที่มีปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ 289.49 ล้าน ลบ.ม. โดยแสดงรายละเอียดดัง **รูปที่ 3.5-39 ถึง รูปที่ 3.5-**

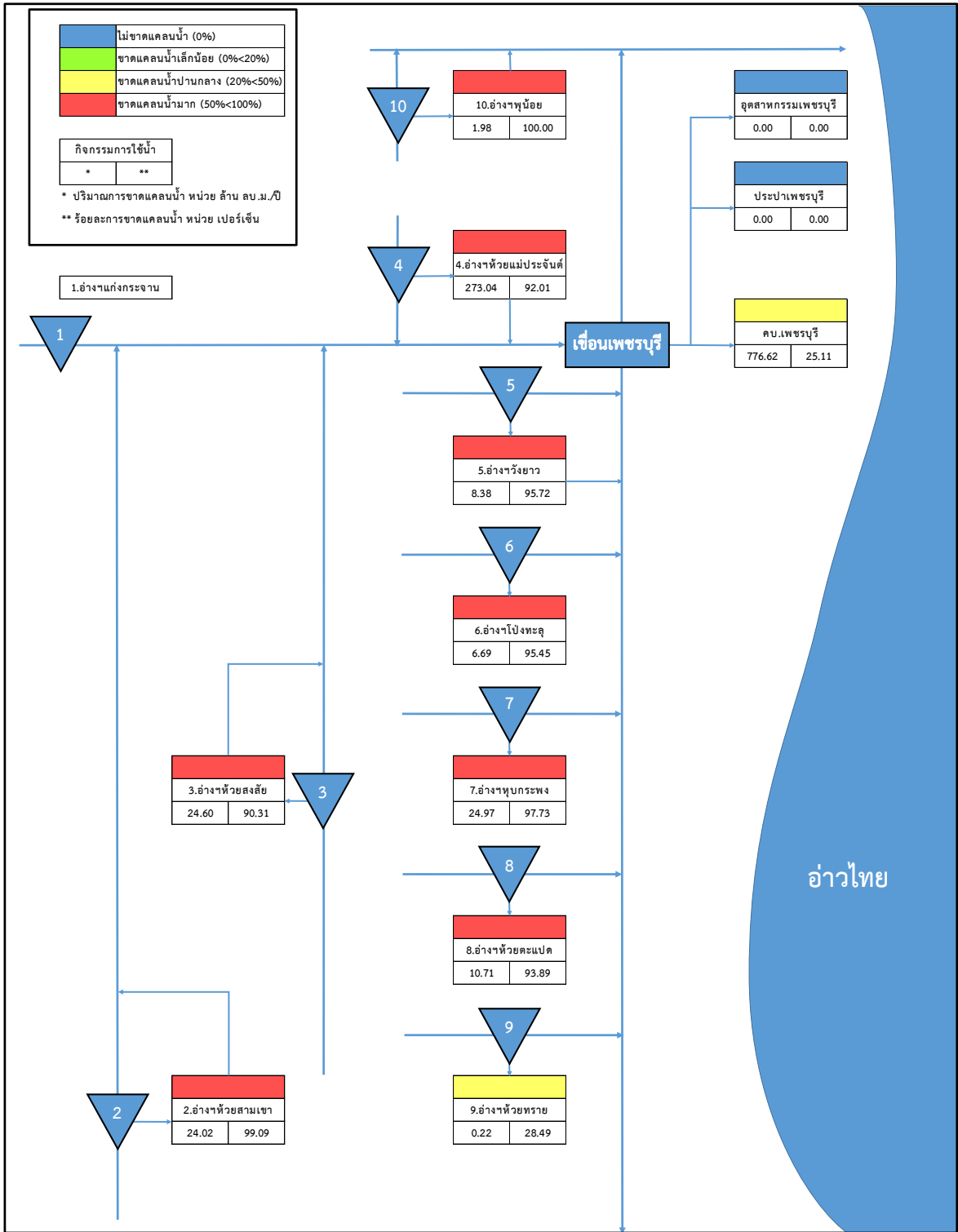
42



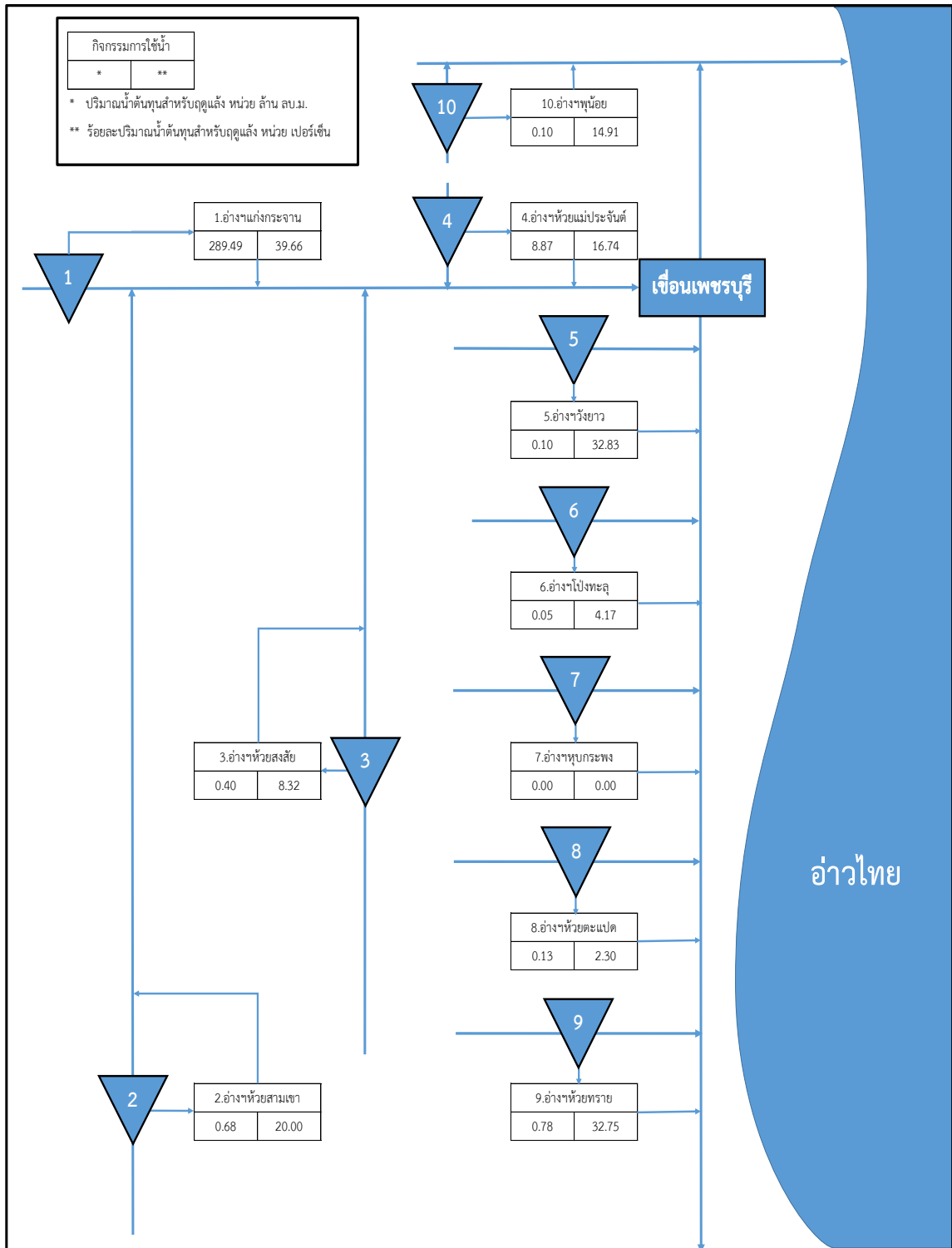
รูปที่ 3.4-39 ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ กรณีมีฝนหลวง (DWCM- Mike Hydro (Basin) + Radar)



รูปที่ 3.4-40 ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ กรณีมีฝนหลวง  
 (DWCM- Mike Hydro (Basin) + Radar)



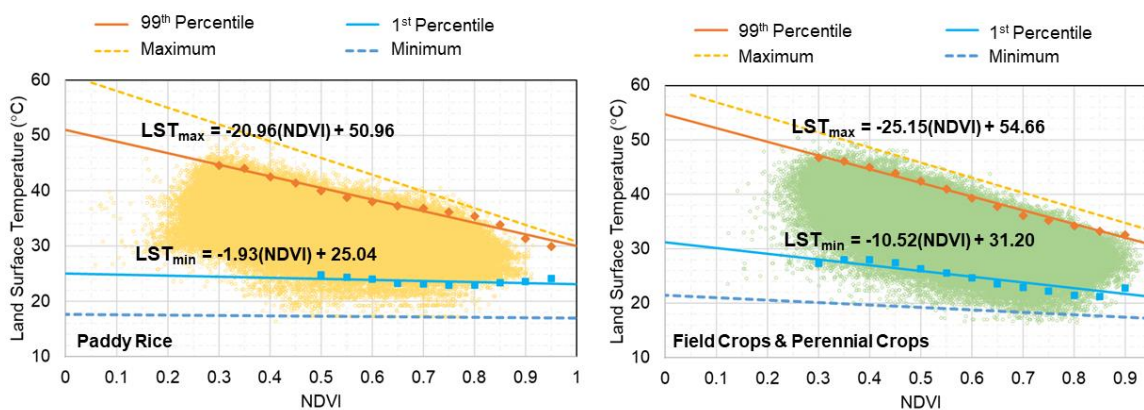
รูปที่ 3.4-41 ผลการขาดแคลนน้ำด้านปริมาณและร้อยละ กรณีไม่มีฝนหลวง (DWCM- Mike Hydro (Basin) + Radar)



รูปที่ 3.4-42 ปริมาณน้ำคงเหลือช่วงต้นฤดูการ กรณีไม่มีฝนหลวง (DWCM- Mike Hydro (Basin) + Radar)

### 3.5 การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อประเมินการขาดแคลนน้ำเชิงพื้นที่

นำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงปี ค.ศ. 2018 – 2020 เฉพาะช่วงเดือนพฤศจิกายน-พฤษภาคม จำนวนทั้งหมด 80 ภาพ คำนวณค่าดัชนีพืชพรรณแบบ NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) และค่าอุณหภูมิพื้นผิว (Land Surface Temperature, LST) แล้วแบ่งกลุ่มจุดภาพพื้นที่เกษตรกรรมเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ 1) นาข้าว และ 2) พืชไร่/พืชสวน พล็อตลงบนแผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram) เพื่อนำมาทำ NDVI-LST Feature Space จากนั้นจึงสร้างเส้น Wet Edge และ Dry Edge ซึ่งตามนิยามกำหนดให้เป็นค่า  $LST_{min}$  และ  $LST_{max}$  ตามลำดับ ในที่นี้จึงกำหนดให้แบ่งช่วงชั้น NDVI ออกเป็นช่วงละ 0.05 และคำนวณค่า  $LST_{min}$  และ  $LST_{max}$  ในแต่ละช่วงชั้นข้อมูล NDVI อย่างไรก็ตามพบว่าข้อมูลจุดภาพในบางช่วงเวลามีข้อมูลค่าผิดปกติ (Outliers) ปะปน ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้กำหนดให้ใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 1 และ 99 เป็นค่า  $LST_{min}$  และ  $LST_{max}$  ตามลำดับ จากนั้นจึงทำการ Curve Fitting และสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นสำหรับ Wet Edge และ Dry Edge ดังแสดงในรูปที่ 3.5-1



รูปที่ 3.5-1 NDVI-LST Feature Space ของพื้นที่นาข้าว (ซ้าย) และพื้นที่พืชไร่/พืชสวน (ขวา)

สำหรับพื้นที่นาข้าว กำหนดให้เส้น Wet Edge และ Dry Edge มีค่าดังสมการต่อไปนี้

Wet Edge:  $LST_{min} = -1.93(NDVI) + 25.04$  (สมการที่ 3.5-1)

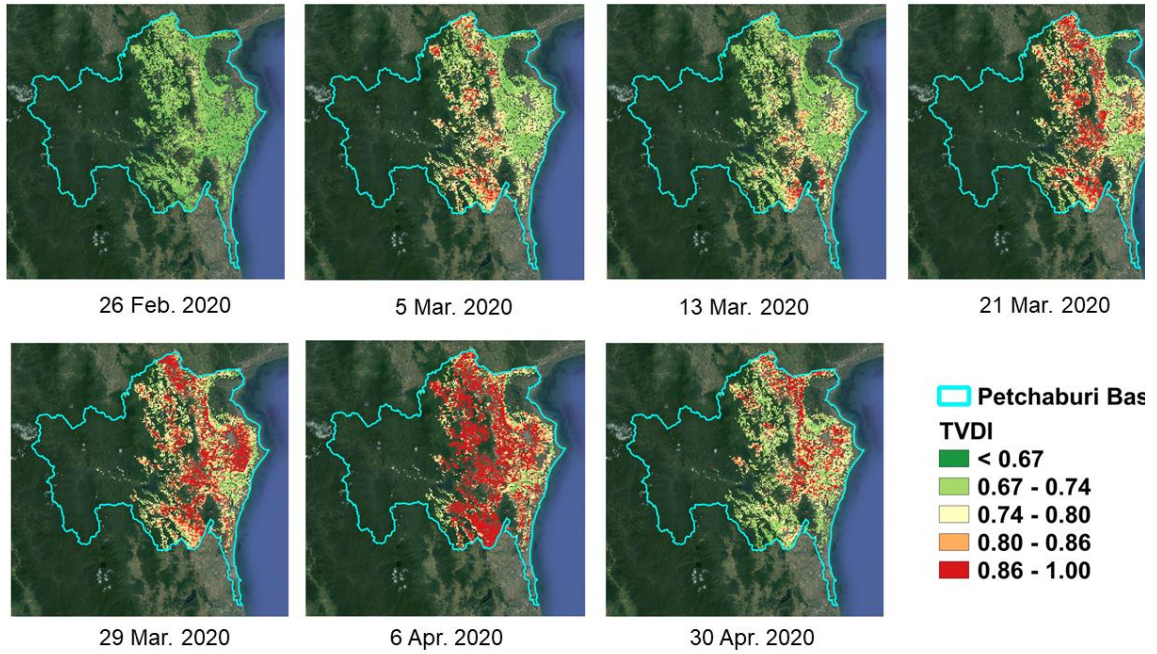
Dry Edge:  $LST_{max} = -20.96(NDVI) + 50.96$  (สมการที่ 3.5-2)

สำหรับพื้นที่พืชไร่/พืชสวน กำหนดให้เส้น Wet Edge และ Dry Edge มีค่าดังสมการต่อไปนี้

Wet Edge:  $LST_{min} = -10.52(NDVI) + 31.20$  (สมการที่ 3.5-3)

Dry Edge:  $LST_{max} = -25.15(NDVI) + 54.66$  (สมการที่ 3.5-4)

จากสมการดังกล่าว สามารถนำไปคำนวณดัชนี TVDI สำหรับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในแต่ละภาพ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.5-2



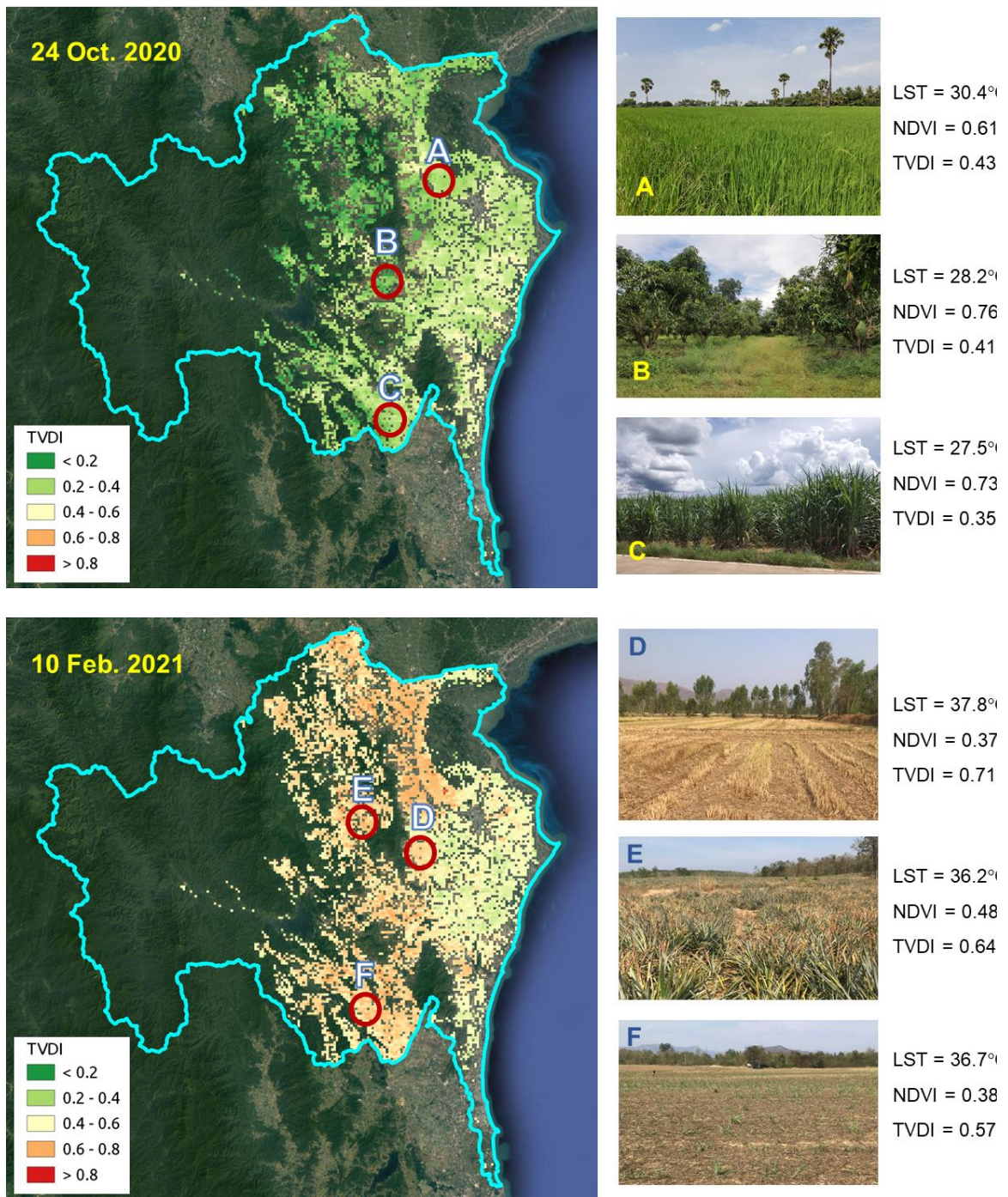
รูปที่ 3.5-2 ตัวอย่างการคำนวณดัชนี TVDI

จากผลการประเมินค่า TVDI ในช่วงเวลาต่าง ๆ ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.5-2 แสดงให้เห็นว่าในปี พ.ศ. 2563 ช่วงปลายเดือนกุมภาพันธ์ สภาพพื้นที่เกษตรกรรมส่วนมากยังอยู่ในเกณฑ์ความแห้งแล้งที่ไม่รุนแรง ต่อมาในช่วงเดือนมีนาคมจะพบว่าพื้นที่ทางด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษามีความแห้งแล้งในระดับรุนแรงมาก เนื่องจากพื้นที่บริเวณนั้นอยู่นอกเขตชลประทาน มีปริมาณน้ำสำหรับการเกษตรไม่เพียงพอ จึงมีการเพาะปลูกพืชทนแล้ง เช่น อ้อย สับปะรด มันสำปะหลัง ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น โดยทั่วไปพฤติกรรมการเพาะปลูกอ้อยเริ่มเก็บเกี่ยวในเดือนมกราคม-มีนาคมและทำการปลูกต่อเนื่องจึงทำให้ในช่วงเวลาดังกล่าวมีสภาพพืชพรรณปกคลุมดินไม่มากนัก ในขณะที่พื้นที่ทางด้านทิศตะวันออกซึ่งอยู่ติดกับอ่าวไทยและเป็นพื้นที่ในเขตโครงการชลประทานเพชรบุรี/โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาราชบุรีฝั่งขวา ซึ่งมีศักยภาพในการส่งน้ำชลประทานให้กับพื้นที่เกษตรกรรมจึงทำให้ระดับความแห้งแล้งน้อยกว่าพื้นที่ด้านทิศตะวันตก อย่างไรก็ตามในช่วงปลายเดือนมีนาคม-ต้นเดือนเมษายนจะสังเกตว่าในพื้นที่ทางด้านทิศตะวันออกซึ่งเป็นเขตชลประทานมีระดับความแห้งแล้งในระดับรุนแรงมากกระจายทั่วพื้นที่ ส่วนในช่วงปลายเดือนเมษายนระดับความแห้งแล้งในหลายพื้นที่ได้ลดลงโดยเฉพาะพื้นที่ด้านทิศตะวันตก

จากตัวอย่างภาพ TVDI ในวันที่ 26 ตุลาคม พ.ศ. 2563 ดังแสดงในรูปที่ 3.5-3 พบว่าพื้นที่การเกษตรส่วนมากมีค่า TVDI ต่ำกว่า 0.6 ซึ่งถือวาระดับความแห้งแล้งอยู่ในเกณฑ์ปกติ จากการสำรวจภาคสนามในช่วงวันที่ 27-29 ตุลาคม พ.ศ. 2563 ตัวอย่างพิกัดตำแหน่ง A พบว่าเป็นนาข้าวในเขตชลประทาน สภาพการเพาะปลูกคือเป็นต้นข้าวอยู่ในระยะสืบพันธุ์ (reproductive growth stage) สภาพใบพืชปกคลุมดินเต็มพื้นที่ สอดคล้องกับค่า NDVI ที่มีค่าค่อนข้างสูง (NDVI = 0.61) ประกอบกับในนาข้าวมีการขังน้ำไว้ในแปลงนา ทำให้มีระดับความแห้งแล้งอยู่ในเกณฑ์ปกติ (TVDI = 0.43) ตัวอย่างพิกัดตำแหน่ง

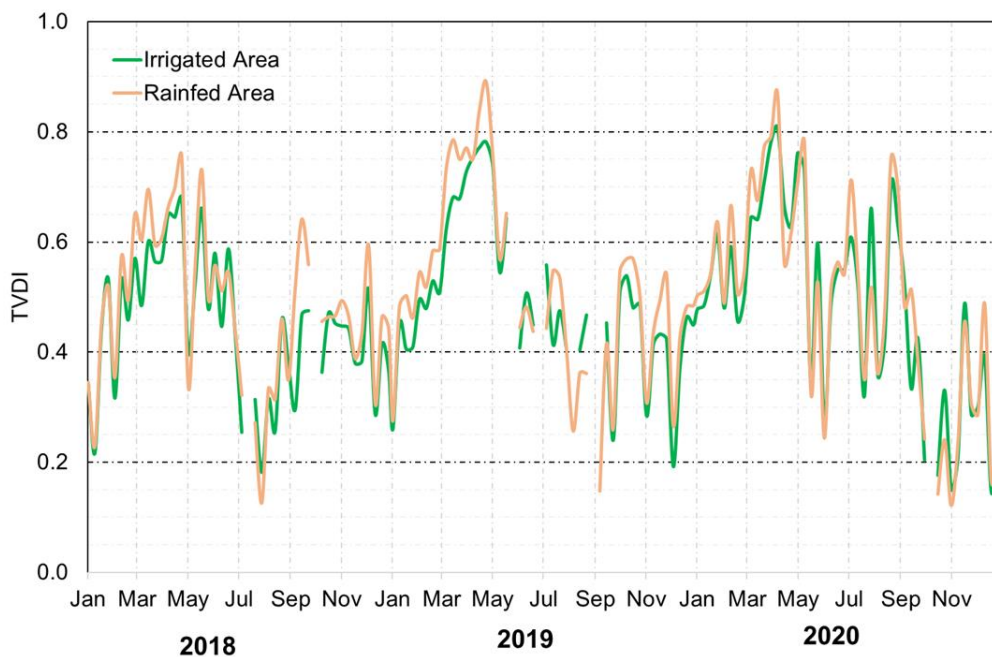
B พบว่าเป็นสวนมะม่วงระยะปลูกระหว่างต้นประมาณ 5x5 เมตร แม้ว่าเรือนยอดของต้นมะม่วง (Top Canopy) จะปกคลุมเพียงบางส่วนของพื้นที่ แต่มีต้นหญ้าเป็นเรือนยอดสังคมพืชชั้นล่าง (Ground Canopy) ที่ปกคลุมเต็มพื้นที่ ทำให้ค่า NDVI มีค่าค่อนข้างสูง (NDVI = 0.76) ตัวอย่างพิกัดตำแหน่ง C พบว่าเป็นไร่อ้อยที่อยู่ในระยะย่างปล้อง (stalk elongation phase) ช่วงสุดท้ายที่เจริญเติบโตสมบูรณ์ ความสูงประมาณ 2 เมตร ใบพืชปกคลุมหนาแน่นเต็มพื้นที่ สอดคล้องกับค่า NDVI ที่ค่าค่อนข้างสูง (NDVI = 0.71)

จากตัวอย่างภาพ TVDI ในวันที่ 10 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2564 ดังแสดงในรูปที่ 3.5-3 พบว่าพื้นที่การเกษตรด้านทิศตะวันออกของพื้นที่ซึ่งเป็นพื้นที่เขตชลประทาน ค่า TVDI ส่วนมากมีค่าต่ำกว่า 0.6 แสดงให้เห็นว่าระดับความแห้งแล้งยังอยู่ในเกณฑ์ปกติ ในขณะที่ด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ซึ่งอยู่นอกเขตชลประทาน ค่า TVDI ในหลายพื้นที่มีค่าสูงกว่า 0.6 ซึ่งถือว่าเริ่มมีความแห้งแล้งอยู่ในระดับรุนแรงเล็กน้อยจากการสำรวจภาคสนามในช่วงวันที่ 13-14 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2564 ตัวอย่างพิกัดตำแหน่ง D พบว่าเป็นนาข้าวนอกเขตชลประทานที่เก็บเกี่ยวแล้ว สภาพการเพาะปลูกคือเป็นตอซังข้าวหลังการเก็บเกี่ยวซึ่งมีความแห้งแล้งสูงสอดคล้องกับค่า TVDI ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.71 อย่างไรก็ตามค่า NDVI มีค่า 0.37 แสดงให้เห็นว่าระดับความเป็นพืชพรรณค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากยังมีพืชพรรณอื่นเจริญเติบโตอยู่ อาทิ ต้นยูคาลิปตัส ตัวอย่างพิกัดตำแหน่ง E พบว่าเป็นไร่สับปะรดที่ยังมีการเจริญเติบโตของพืชตามปกติ โดยสภาพใบพืชปกคลุมดินบางส่วนเป็นชั้นไม้พุ่ม (shrub layer) ที่มีจำนวนใบพืชคลุมดินไม่หนาแน่น สอดคล้องกับค่า NDVI มีค่าประมาณ 0.48 และสภาพดินเป็นดินทรายปนร่วนซึ่งมีความแห้งแล้งสูง สอดคล้องกับค่า TVDI ที่มีค่าเท่ากับ 0.64 ตัวอย่างพิกัดตำแหน่ง F พบว่าเป็นไร่อ้อยที่เพิ่งเก็บเกี่ยวและเป็นอ้อยตอ โดยตออ้อยเพิ่งอยู่ในระยะงอก (germination phase) มีพื้นที่ใบปกคลุมดินในสัดส่วนน้อย พื้นที่ส่วนมากยังเป็นพื้นดินเปิดโล่ง (Bare Land) สอดคล้องกับค่า NDVI ที่มีค่าประมาณ 0.38 ส่วนค่า TVDI มีค่า 0.57 ถือว่าระดับความแห้งแล้งยังอยู่ในเกณฑ์ปกติ



รูปที่ 3.5-3 ภาพตัวอย่างการคำนวณค่า TVDI และภาพถ่ายสภาพการเพาะปลูกจากการสำรวจภาคสนาม

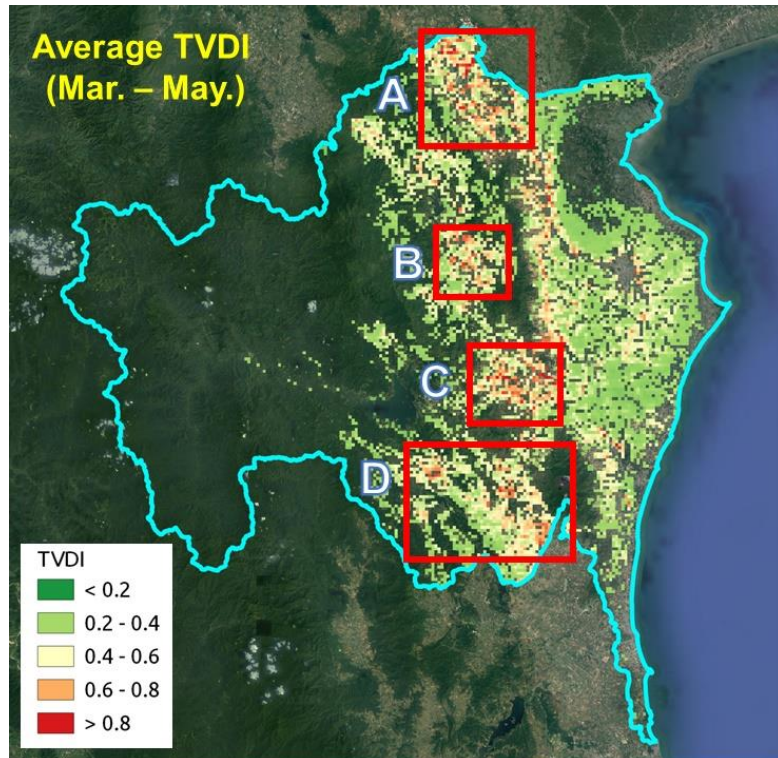
เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยอนุกรมเวลา TVDI เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มพื้นที่เพาะปลูกในเขตและนอกเขตชลประทานในช่วงปี พ.ศ. 2561-2563 ดังแสดงในรูปที่ 3.5-4 พบว่า โดยภาพรวมพื้นที่เพาะปลูกในเขตชลประทานจะมีค่าเฉลี่ย TVDI ต่ำกว่าพื้นที่นอกเขตชลประทานเล็กน้อย อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าระดับความแห้งแล้งทั้งพื้นที่ในเขตและนอกเขตชลประทานมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในช่วงฤดูแล้งโดยเฉพาะเดือนมีนาคม-พฤษภาคมของทุกปี มีค่าเฉลี่ย TVDI มากกว่า 0.6 ซึ่งถือว่าเป็นช่วงเดือนที่มีระดับความแห้งแล้งรุนแรงสูง ดังนั้นในการปฏิบัติการฝนหลวงสำหรับพื้นที่เกษตรกรรมโดยตรง ช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคมถือว่าเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมในการปฏิบัติการเนื่องจากพื้นที่เกษตรกรรมส่วนมากมีระดับความแห้งแล้งค่อนข้างรุนแรง



รูปที่ 3.5-4 กราฟอนุกรมเวลาค่าเฉลี่ย TVDI ระหว่างพื้นที่ในเขตและนอกเขตชลประทาน

จากรูปที่ 3.5-4 เมื่อพิจารณาเฉพาะช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคมเป็นเกณฑ์เฝ้าระวังความแห้งแล้งในพื้นที่ ในการศึกษาได้นำค่า TVDI ในช่วงเดือนดังกล่าวย้อนหลัง 3 ปี (พ.ศ. 2561-2563) มาหาค่าเฉลี่ยดังแสดงในรูปที่ 3.5-5 พบว่าพื้นที่ด้านทิศตะวันออกซึ่งอยู่ในเขตชลประทานมีค่าเฉลี่ยระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งค่อนข้างน้อยเนื่องจากพื้นที่มีศักยภาพในการส่งน้ำชลประทานสำหรับสนับสนุนการเพาะปลูกในช่วงฤดูแล้งได้ ในขณะที่พื้นที่ด้านทิศตะวันตกซึ่งอยู่นอกเขตพื้นที่ชลประทานมีแนวโน้มเกิดความแห้งแล้งในระดับรุนแรงมากกว่าพื้นที่ด้านทิศตะวันออก โดยมีพื้นที่ที่ควรเฝ้าระวังเป็นพิเศษเนื่องจากมีค่าเฉลี่ย TVDI สูงมากกว่าพื้นที่อื่น จำนวน 4 คลัสเตอร์ ได้แก่ A) ด้านตอนเหนือของพื้นที่ลุ่มน้ำ ในบริเวณ ต.ทุ่งหลวง ต.ห้วยยางโทน อ.ปากท่อ จ.ราชบุรี B) พื้นที่ราบระหว่างหุบเขาบริเวณท้ายอ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ ในบริเวณ ต.หนองหญ้าปล้อง ต.ยางกัณฑ์เหนือ ต.ยางกัณฑ์ใต้ ต.ท่าตะคร้อ อ.หนองหญ้าปล้อง จ.เพชรบุรี C) พื้นที่ราบลุ่ม

แม่น้ำห้วยแม่ประจันต์ บริเวณ ต.วังจันทร์ อ.แก่งกระจาน และ ต.วังไคร้ อ.ท่ายาง จ.เพชรบุรี และ D) ด้านตอนใต้ของพื้นที่ลุ่มน้ำ ในบริเวณ ต.กัลลหลวง อ.ท่ายาง และ ต.ห้วยทรายเหนือ อ.ชะอำ จ.เพชรบุรี พื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่ที่เกิดความรุนแรงของความแห้งแล้งต่อเนื่องกันเป็นบริเวณกว้าง ดังนั้นในการปฏิบัติการฝนหลวงสำหรับพื้นที่เกษตรกรรมในบริเวณดังกล่าวโดยเฉพาะในช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคมจะมีความเหมาะสมและเกิดประโยชน์โดยตรงต่อพื้นที่ค่อนข้างมาก



รูปที่ 3.5-5 ค่าเฉลี่ยดัชนี TVDI ช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคม ย้อนหลัง 3 ปี (พ.ศ. 2561-2563)

จากการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่เพื่อหาค่าความชื้นในดินโดยน้ำหนัก (Gravimetric Soil Moisture Content) พบว่า ธรรมชาติข้าวส่วนมากจะมีการขังน้ำไว้ในแปลงนาเกือบตลอดเวลาในช่วงเพาะปลูก ทำให้ความชื้นดินอยู่ในจุดอิ่มตัวด้วยน้ำ ดังนั้นการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า TVDI กับค่าความชื้นในดินในที่นี้จึงพิจารณาจากช่วงความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในรูปแบบใช้ความชื้นในดินสัมพัทธ์ (Relative Soil Moisture,  $\theta_R$ ) โดยแบ่งการพิจารณาเป็นกลุ่มพืชดังต่อไปนี้

สำหรับนาข้าว จากการเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาสัดส่วนอนุภาคดินเหนียว-ดินทรายแป้ง-ดินทราย (Sand-Silt-Clay) พบว่า มีค่าเฉลี่ย %Sand, %Silt และ %Clay ประมาณ 7.30%, 14.73% และ 77.98% ตามลำดับ เนื้อดินมีลักษณะเป็นดินเหนียว (Clay Soil) จึงกำหนดให้ความชื้นดินที่จุดอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturation, SAT) มีค่าเท่ากับความสามารถของดิน (Porosity) ซึ่งมีค่าประมาณ 43.48% ดังนั้น ความชื้นในดินสัมพัทธ์ของนาข้าว คำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\theta_R (\%) = \frac{\theta}{\theta_{SAT}} \times 100\% = \frac{\theta}{43.48} \times 100\% , \text{กรณี } \theta \geq 43.48\%, \theta_R = 100\% \quad (\text{สมการที่ 3.5-5})$$

โดย  $\theta_{SAT}$  คือ ความชื้นดินที่จุดอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturation)

$\theta_{PWP}$  คือ ความชื้นดินที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Wilting Point)

สำหรับพืชไร่/พืชสวน ซึ่งไม่ได้มีการเพาะปลูกแบบขังน้ำไว้ในแปลงตลอดเวลา ดังนั้นการพิจารณาความชื้นในดินสัมพัทธ์จะพิจารณาช่วงความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชระหว่างค่าความชื้นดินที่ระดับความจุความชื้นสนาม (Field Capacity, FC) กับความชื้นดินที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร โดยจากการเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาสัดส่วนอนุภาคดินเหนียว-ดินทรายแป้ง-ดินทราย พบว่า มีค่าเฉลี่ย %Sand, %Silt และ %Clay ประมาณ 45.45%, 20.36% และ 34.18% ตามลำดับ เนื้อดินส่วนมากเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย (Sandy Clay Loam) มีค่าความชื้นดินโดยน้ำหนักที่ระดับความจุความชื้นสนามประมาณ 20.74% ดังนั้น ความชื้นในดินสัมพัทธ์ของพืชไร่/พืชสวน คำนวณดังสมการต่อไปนี้

$$\theta_R (\%) = \frac{\theta}{\theta_{FC}} \times 100\% = \frac{\theta}{20.74} \times 100\% , \text{กรณี } \theta \geq 20.74\%, \theta_R = 100\% \quad (\text{สมการที่ 3.5-6})$$

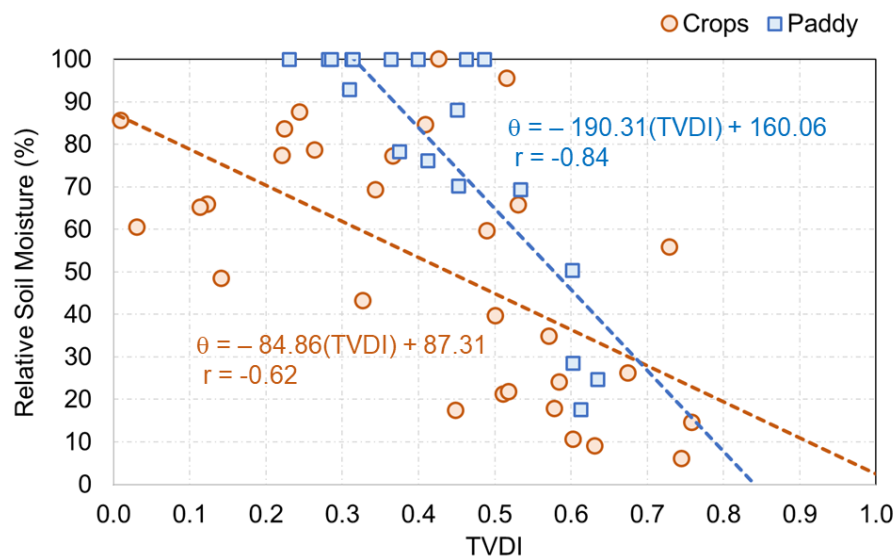
โดย  $\theta_{FC}$  คือ ความชื้นดินที่ระดับความจุความชื้นสนาม (Field Capacity)

เมื่อนำค่าดัชนี TVDI ในตำแหน่งจุดภาพที่ตรงกับตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างดินมาหาความสัมพันธ์กับค่าความชื้นในดินแบบสัมพัทธ์ พบว่า TVDI มีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าความชื้นในดินแบบสัมพัทธ์โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ -0.84 สำหรับพื้นที่นาข้าว และ -0.62 สำหรับพื้นที่พืชไร่/พืชสวน ผลการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี TVDI กับค่าความชื้นในดินสัมพัทธ์ ดังแสดงใน รูปที่ 3.5-5 โดยสามารถประมาณตัวแบบในสมการถดถอยเชิงเส้นได้ดังต่อไปนี้

Paddy:  $\theta_r (\%) = -190.31(\text{TVDI}) + 160.06$  ,  $r = -0.84$  (สมการที่ 3.5-7)

Crop & Perennial:  $\theta_r (\%) = -84.86(\text{TVDI}) + 87.31$  ,  $r = -0.62$  (สมการที่ 3.5-8)

จากรูปที่ 3.5-6 แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่า TVDI เพิ่มขึ้น ค่าความชื้นในดินจะลดลง โดยผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Patel และคณะ (2012), Han และคณะ (2010) และ Bai และคณะ (2017) ซึ่งได้หาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง TVDI และความชื้นในดินโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงลบอยู่ในช่วงระหว่าง -0.57 ถึง -0.87 จากความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของค่า TVDI ในการตรวจวัดค่าความชื้นในดินซึ่งสัมพันธ์กับความแห้งแล้งทางการเกษตรได้ เนื่องจากเมื่อความชื้นในดินสูงจะมีน้ำในดินเพียงพอต่อความต้องการของพืช ทำให้มีการคายระเหยน้ำได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ส่งผลให้อุณหภูมิผิวดินบริเวณที่พืชปกคลุมนั้นมีค่าต่ำ จึงทำให้ค่า TVDI มีค่าต่ำ ในทางตรงกันข้ามหากพื้นที่บริเวณนั้นเป็นพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมดินน้อยหรือมีความชื้นในดินต่ำ ทำให้มีการคายระเหยน้ำน้อย ส่งผลให้อุณหภูมิผิวดินสูง ค่าTVDI ก็จะสูงขึ้น อย่างไรก็ตามค่าดัชนี TVDI อาจมีความคลาดเคลื่อนสูงในพื้นที่นาข้าวเขตชลประทานโดยเฉพาะช่วงก่อนการเก็บเกี่ยว สรีรวิทยาของข้าวจะคล้ายกับพืชพรรณที่มีความแห้งแล้งโดยอาจส่งผลให้ค่า TVDI สูงขึ้นซึ่งไม่สอดคล้องกับความชื้นในแปลงนาที่ยังมีค่าค่อนข้างสูง (Chen et al., 2011)



รูปที่ 3.5-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนี TVDI กับ ความชื้นในดินสัมพัทธ์

#### 4. วิจารณ์ผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยแสดงดังบทที่ 3 สามารถนำผลการวิจัยดังกล่าวมาวิจารณ์และสรุปผลการศึกษาตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่ได้นำเสนอไว้แสดงดังบทที่ 1 ซึ่งระบุถึงวัตถุประสงค์ของการศึกษาครั้งนี้ 3 หัวข้อหลัก ได้แก่ การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าจากฝนธรรมชาติและปฏิบัติการฝนหลวงโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า การวิเคราะห์ภาวะการขาดแคลนน้ำจากกิจกรรมความต้องการใช้น้ำต่างๆโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองสมดุลน้ำและการจำลองปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ และการวิเคราะห์ภาวะการขาดแคลนน้ำเชิงพื้นที่โดยวิธีสำรวจจากระยะไกลด้วยภาพถ่ายดาวเทียม

อย่างไรก็ตามในการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าจากฝนธรรมชาติและปฏิบัติการฝนหลวงส่วนสำคัญคือการประเมินความแตกต่างของปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติและการประเมินร่วมกับปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติการฝนหลวง ดังนั้นจึงได้มีการเพิ่มเติมรายละเอียดการประเมินปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติการฝนหลวงเพิ่มขึ้น โดยมีรายละเอียดทั้งหมดแสดงดังนี้

##### 4.1 การประเมินปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติการฝนหลวง

เนื่องจากการประเมินปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติร่วมกับการปฏิบัติการฝนหลวง สิ่งสำคัญคือการคัดเลือกแหล่งข้อมูลที่จะนำมาใช้งาน ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงได้ประเมินปริมาณฝนจาก 3 แหล่งข้อมูลได้แก่ ปริมาณฝนตรวจวัดสถานี (Station) โดยกรมอุตุนิยมวิทยา ปริมาณฝนจากภาพถ่ายดาวเทียม (JAXA) พัฒนาโดย Earth Observation Research Center, Japan Aerospace Exploration Agency และปริมาณฝนจากการตรวจวัดด้วยเรดาร์ (Radar) จากกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ช่วงเวลาที่ประเมินปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติการฝนหลวงประเมินจากการปฏิบัติการฝนหลวงระหว่างปี 2018-2020 ช่วงเวลา 02.00 UTC – 14.00 UTC โดยการปฏิบัติการฝนหลวงจะอยู่ในช่วงระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-มิถุนายน มีจำนวนวันที่ปฏิบัติการของปี 2018 2019 และ 2020 เท่ากับ 20 63 และ 65 วันตามลำดับ และประเมินการจากพื้นที่เป้าหมายของการปฏิบัติการฝนหลวง

จากการใช้ข้อมูลประเมินปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจากทั้ง 3 แหล่งข้อมูลพบว่าปริมาณฝน Radar จะให้ค่าปริมาณฝนที่สูงที่สุด ในขณะที่ปริมาณฝน Station จะให้ค่าปริมาณฝนที่ต่ำที่สุด โดยหากพิจารณาจากข้อมูลในช่วง 3 ปี เฉพาะในช่วงที่มีการปฏิบัติการฝนหลวงจะพบว่า ในการปฏิบัติการฝนหลวงแต่ละครั้ง ข้อมูลฝน Station และ JAXA จะประเมินปริมาณฝนที่เกิดขึ้นเฉลี่ย 5 และ 8 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ ในขณะที่ข้อมูลฝน Radar จะสามารถประเมินปริมาณฝนที่เกิดขึ้นได้สูงมากถึง 14 ล้าน ลบ.ม. และเมื่อประเมินถึงสัดส่วนการเกิดขึ้น

ของฝนหลวงต่อฝนธรรมชาติในวันที่มีการปฏิบัติการฝนหลวง พบว่าจากข้อมูลปริมาณฝนทั้ง 3 แหล่งข้อมูล จะให้ค่าสัดส่วนปริมาณฝนจากการปฏิบัติการฝนหลวงต่อฝนธรรมชาติเฉลี่ย 3 ปี อยู่ในช่วงระหว่าง 27%-36% จากข้อมูลปริมาณฝนทั้ง 3 แหล่งข้อมูล

จากผลการประเมินปริมาณฝนจากฝนธรรมชาติและจากการปฏิบัติการฝนหลวงพบว่าการเลือกใช้แหล่งข้อมูลของการตรวจวัดปริมาณฝนเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญในการประเมินฝนเป็นอย่างมาก เนื่องจากหากมีการเลือกใช้แหล่งข้อมูลเพียงแหล่งเดียวอาจส่งผลกระทบต่อค่าประเมินค่าของปริมาณฝนที่ได้นั้นแตกต่างกันอย่างชัดเจน การเลือกใช้แหล่งข้อมูลฝนจากการตรวจวัด ณ สถานีตรวจวัดมีข้อจำกัดในเรื่องของการกระจายตัวของสถานี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่มีความยากลำบากต่อการติดตั้งสถานี ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้พบว่า การกระจายตัวของสถานีตรวจวัดปริมาณฝนเหนือเขื่อนแก่งกระจานมีจำนวนที่น้อย ส่งผลกระทบต่อประเมินปริมาณฝนเหนือเขื่อนแก่งกระจาน

สำหรับการนำฝนที่ได้จากการตรวจวัดโดยภาพถ่ายดาวเทียมและการตรวจวัดโดยเรดาร์มาใช้ในการประเมินปริมาณฝนจำเป็นต้องมีการปรับค่าของข้อมูลเพื่อให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานกับพื้นที่ศึกษา โดยปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดโดยภาพถ่ายดาวเทียมต้องมีการนำมาปรับแก้ความคลาดเคลื่อน (Bias correction) เช่นเดียวกับปริมาณฝนตรวจวัดโดยเรดาร์ที่ต้องมีการคำนวณค่า Z-R เพื่อนำมาใช้ในการปรับแก้ค่าปริมาณฝน ซึ่งการเลือกใช้วิธีในการปรับแก้ค่าปริมาณฝนที่ได้จากแหล่งข้อมูลทั้ง 2 แหล่งข้อมูลข้างต้นมีส่วนสำคัญที่จะส่งผลให้ค่าปริมาณฝนที่นำมาใช้ในการศึกษาแม่นยำมากยิ่งขึ้น

#### 4.2 การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าจากฝนธรรมชาติและปฏิบัติการฝนหลวง

ผลจากการประเมินปริมาณฝนทั้งจากปริมาณฝนธรรมชาติและการประเมินร่วมกับการปฏิบัติการฝนหลวงข้างต้นได้ถูกนำมาใช้ในการประเมินถึงปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นของอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า 2 แบบจำลองได้แก่ แบบจำลอง Soil and Water Assessment Tool (SWAT) และแบบจำลอง Distributed Water Circulation Model incorporating with Agricultural Water Use (DWCM-AgWU) ร่วมกับแบบจำลองการบริหารจัดการน้ำ MIKE-BASIN ซึ่งประเมินปริมาณน้ำท่าจำเป็นต้องมีการประเมินถึงปริมาณความต้องการน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำ เพื่อนำมาใช้ในการประเมินสถานะการขาดแคลนน้ำทั้งในกรณีไม่มีฝนหลวง และในกรณีที่มีฝนหลวงร่วมด้วย

จากบทสรุปในหัวข้อ 4.1 จะเห็นได้ว่าการเลือกข้อมูลปริมาณฝนจากแหล่งข้อมูลที่ต่างกันส่งผลถึงการประเมินปริมาณฝนของกลุ่มน้ำที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังนั้นในการศึกษาคั้งนี้จึงได้นำข้อมูลปริมาณฝนทั้ง 3 แหล่งข้อมูลมาใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่าโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง แบบจำลอง SWAT-MIKE และ DWCM-MIKE ได้ถูกนำมาสอบเทียบและทวนสอบแบบจำลอง ซึ่งทั้ง 2 แบบจำลองให้ผลการประเมินค่าความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้-เกณฑ์ที่มีความถูกต้องสูง ยกเว้นผลที่ได้จากการใช้ข้อมูลปริมาณฝน Radar ที่ให้ค่าความถูกต้องที่ค่อนข้างต่ำทั้ง 2 แบบจำลอง

จากการประเมินปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานจากแบบจำลองทั้ง 2 แบบจำลอง ในช่วงปี 2018-2020 พบว่าปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้จากแบบจำลอง SWAT จะมีค่าสูงกว่าแบบจำลอง DWCM โดยค่าความแตกต่างของแบบจำลองทั้ง 2 แบบจำลองรายปีมีค่าประมาณ 380 ล้าน ลบ.ม. โดยความแตกต่างที่เกิดขึ้นเกิดจากระบวนการคำนวณภายในของแบบจำลอง รวมถึงประเภทของแบบจำลอง ซึ่งแบบจำลอง SWAT เป็นแบบจำลอง Semi-Distributed model ในขณะที่แบบจำลอง DWCM เป็นแบบจำลอง Fully-Distributed model ซึ่งความแตกต่างที่เกิดขึ้นสามารถประเมินได้ตั้งแต่ขั้นตอนการปรับเทียบและทวนสอบแบบจำลองซึ่งในขั้นตอนดังกล่าวจะมีการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณน้ำท่าเมื่อใช้แหล่งข้อมูลฝนที่แตกต่างกันพบว่า ปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มเช่นเดียวกับปริมาณฝน โดยปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการประเมินโดยปริมาณฝน Radar มีค่าสูงที่สุด ในขณะที่ปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้จากฝน Station ให้ค่าปริมาณน้ำท่าที่ต่ำที่สุด

นอกจากนั้นจากการศึกษาคั้งนี้ยังพบว่าจากการปฏิบัติการฝนหลวงในช่วงปี 2008-2010 สามารถประเมินปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติการฝนหลวงได้ โดยปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละครั้งมีค่าเฉลี่ยจากทั้ง 2 แบบจำลอง จากการนำเข้าข้อมูลปริมาณฝนทั้ง 3 ประเภทได้แก่ ปริมาณ Station ปริมาณฝน JAXA และปริมาณฝน Radar มีค่าเท่ากับ 0.97, 2.83 และ 5.98 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ ซึ่งเมื่อประเมินค่าเฉลี่ยจากปริมาณฝนทั้ง 3 แหล่ง พบว่า ปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติการฝนหลวงแต่ละครั้งมีค่าเท่ากับ 3.26 ล้าน ลบ.ม. จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่า ปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจากการประเมินด้วยปริมาณฝน Radar ให้ค่าที่สูงที่สุด และเป็นไปตามปริมาณฝนที่ประเมินได้ข้างต้น

#### 4.3 การวิเคราะห์ภาวะการขาดแคลนน้ำจากกิจกรรมความต้องการใช้น้ำต่างๆโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองสมดุลน้ำและการจำลองปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ

น้ำท่าที่ประเมินได้จากแบบจำลองร่วมกับปริมาณความต้องการน้ำสามารถนำมาใช้ในการประเมินสภาพการขาดแคลนน้ำของกิจกรรมความต้องการน้ำต่างๆในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีได้ โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการประเมินสภาวะการขาดแคลนน้ำใน 2 รูปแบบคือสภาวะความรุนแรงของการขาดแคลนน้ำและช่วงความถี่ของการขาดแคลนน้ำ โดยจุดที่ทำการประเมินมีจำนวนทั้งสิ้น 12 แห่ง ซึ่งเป็นตำแหน่งอ่างเก็บน้ำขนาดกลางต่างๆในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีจำนวนทั้งสิ้น 9 แห่ง นอกจากนั้นได้แก่พื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรี และตำแหน่งการใช้น้ำเพื่อการประปาส่วนภูมิภาคเพชรบุรี และอุตสาหกรรมเพชรบุรี

ผลจากการศึกษาสภาวะการขาดแคลนน้ำตั้งแต่อดีต-ปัจจุบัน (2002-2020) พบว่าอ่างเก็บน้ำโดยส่วนใหญ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอ่างเก็บน้ำวังยาวเป็นอ่างเก็บน้ำที่พบกับสภาวะความรุนแรงของการขาดแคลนน้ำสูงที่สุดในทุกกรณีของการศึกษา ในขณะที่อ่างเก็บน้ำห้วยทราย อุตสาหกรรมเพชรบุรี และประปาเพชรบุรี ไม่พบสภาวะการขาดแคลนน้ำ และโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรีพบสภาวะการขาดแคลนน้ำอยู่ในช่วงระหว่างเล็กน้อย - ปานกลาง ซึ่งสภาวะการขาดแคลนน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำและการบริหารจัดการน้ำที่ได้จากเขื่อนแก่งกระจานซึ่งเป็นเขื่อนขนาดใหญ่และเป็นเขื่อนหลักของพื้นที่ลุ่มน้ำ

นอกจากนั้นการศึกษาครั้งนี้ยังได้ประเมินถึงปริมาณของการขาดแคลนน้ำที่ลดลงเมื่อมีการปฏิบัติการฝนหลวงเปรียบเทียบกับเมื่อไม่มีการปฏิบัติการฝนหลวง พบว่าการปฏิบัติการฝนหลวงสามารถลดการขาดแคลนน้ำได้ในหลายพื้นที่ เช่น กิจกรรมการใช้น้ำ ณ อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ ซึ่งสามารถลดการขาดแคลนน้ำได้อยู่ระหว่าง 1-14 ล้าน ลบ.ม. ขึ้นอยู่กับการประเมินโดยแบบจำลองและการเลือกใช้ข้อมูลปริมาณฝน และยังสามารถเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนสำหรับในช่วงต้นฤดูแล้งได้อยู่ในช่วงระหว่าง 1-60 ล้าน ลบ.ม.

#### 4.4 การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อประเมินการขาดแคลนน้ำเชิงพื้นที่

ผลการวิเคราะห์ภาวะการขาดแคลนน้ำเชิงพื้นที่โดยวิธีสำรวจระยะไกลด้วยภาพถ่ายดาวเทียม ใน การศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลผลิตภัณฑ์จากภาพถ่ายดาวเทียม Terra/MODIS ประเมินดัชนีความแห้งแล้งด้าน การเกษตรด้วยวิธี Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI) โดยแบ่งเป็นกลุ่มพื้นที่นาข้าวและ กลุ่มพื้นที่พืชไร่/พืชสวน ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าดัชนีความแห้งแล้ง TVDI สามารถนำมาประเมินติดตาม สภาพความแห้งแล้งทางการเกษตรในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีได้ ค่าดัชนี TVDI แสดงให้เห็นว่าในช่วงเดือน มีนาคม-พฤษภาคม พื้นที่การเกษตรทางทิศตะวันตกซึ่งอยู่นอกเขตพื้นที่ชลประทานมีสภาพความแห้งแล้ง ค่อนข้างสูง สอดคล้องกับผลการสำรวจภาคสนาม จากผลการศึกษาพบว่าการปฏิบัติการฝนหลวงในช่วง เดือนมีนาคม-พฤษภาคมเป็นช่วงเวลาที่มีความเหมาะสมเนื่องจากเป็นช่วงที่มีระดับความรุนแรงจากความ แห้งแล้งสูง โดยสามารถใช้เกณฑ์ค่า TVDI สูงกว่า 0.67 เป็นเกณฑ์ที่เหมาะสมในการตัดสินใจปฏิบัติการฝน หลวงเพื่อลดความเสี่ยงจากการขาดแคลนน้ำได้

อย่างไรก็ตามในการศึกษาภาวะการขาดแคลนน้ำเชิงพื้นที่ยังต้องการงานวิจัยเพิ่มเติมในประเด็น ดังต่อไปนี้

1) ความสัมพันธ์ระหว่างการขาดแคลนน้ำที่ลดลงเมื่อมีการปฏิบัติการฝนหลวง ทั้งนี้เนื่องจากดัชนี TVDI เป็นดัชนีสำหรับประเมินความแห้งแล้งทางการเกษตร จึงไม่สามารถใช้ค่าปริมาณน้ำฝนที่เกิดจากการ ปฏิบัติการฝนหลวงมาหาความสัมพันธ์โดยตรงกับดัชนี TVDI ได้ จึงควรมีการศึกษาดัชนีประเมินความแห้ง แล้งทางอุตุนิยมวิทยาประกอบร่วมกัน หรือศึกษาจากแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชเชิงพื้นที่

2) การกำหนดพื้นที่ที่มีการเพาะปลูก (cultivated area) เนื่องจากดัชนี TVDI ทำหน้าที่ประเมิน ระดับความแห้งแล้งของการเกษตรโดยไม่สามารถประเมินได้ว่าพื้นที่ดังกล่าวมีกิจกรรมการเพาะปลูก หรือไม่ ดังจะเห็นได้จากผลการศึกษาที่พบว่าในพื้นที่นาข้าวหลายแห่งที่อยู่ในระยะใกล้เก็บเกี่ยว-เก็บเกี่ยว แล้ว ซึ่งมีระดับความแห้งแล้งอยู่ในเกณฑ์สูง แต่เป็นพื้นที่ที่ไม่จำเป็นต้องให้น้ำ ซึ่งหากมีการปฏิบัติการฝนหลวง ในพื้นที่ดังกล่าวจะไม่เกิดประโยชน์โดยตรงต่อพืช ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเทคนิคทางด้านภาพถ่าย ดาวเทียมเพื่อประเมินสภาพการเพาะปลูกของพืชเพิ่มเติมต่อไป

3) ข้อจำกัดความละเอียดเชิงพื้นที่ของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม (spatial resolution) โดย ผลิตภัณฑ์ภาพถ่ายจากดาวเทียม Terra/MODIS มีความละเอียดจุดภาพที่ 500 – 1,000 เมตร (1 จุดภาพ พื้นที่ประมาณ 156.25 – 625 ไร่) หากใช้งานวิเคราะห์พื้นที่นาข้าวในบริเวณกว้างและมีปฏิทินเพาะปลูก พืชใกล้เคียงกันจะมีความเหมาะสมในการใช้งาน แต่กรณีพื้นที่พืชไร่/พืชสวนซึ่งเกษตรกรมีพื้นที่ถือครอง แปลงขนาดเล็กและมีการปลูกพืชหลายชนิด อาทิ อ้อย สับปะรด มันสำปะหลัง ยูคาลิปตัส ปาล์มน้ำมัน สวนไม้ผล ทำให้ใน 1 จุดภาพมีความหลากหลายของพืช การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่จึงเป็นค่าเฉลี่ยของพืช หลายชนิดซึ่งไม่เหมาะสมในการประเมินระดับความแห้งแล้งเนื่องจากพืชแต่ละชนิดจะมีระดับความ

ทนทานต่อความแห้งแล้ง (drought tolerance) และความอ่อนไหวของผลผลิตต่อการขาดแคลนน้ำ (yield response to water) ที่แตกต่างกัน ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาเทคนิคการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมต่างระดับความละเอียดเพิ่มเติมในอนาคต

4) การวิเคราะห์ระดับความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ซึ่งจากในการศึกษานี้ได้วิเคราะห์ค่าดัชนี TVDI ที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินที่ระดับพื้นผิว อย่างไรก็ตามในมุมมองด้านการชลประทานควรวิเคราะห์ช่วงระดับความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Total Available Water, TAW) ร่วมกับการวิเคราะห์ค่า Depletion Fraction ของพืชแต่ละชนิด จึงจะเป็นประโยชน์ในการตัดสินใจให้น้ำชลประทาน/การปฏิบัติการฝนหลวงในพื้นที่เกษตรโดยตรง ทั้งนี้ควรมีการสำรวจข้อมูลภาคสนามและเก็บตัวอย่างดินมาวิเคราะห์เพิ่มเติม รวมทั้งควรมีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นในดินแบบอัตโนมัติเพื่อทวนสอบกับการแปลผลข้อมูลความชื้นดินจากภาพถ่ายดาวเทียม

## เอกสารอ้างอิง

- Bai J., Yu Y., and Di L. (2017). Comparison between TVDI and CWSI for drought monitoring in the Guanzhong Plain, China. **Journal of Integrative Agriculture**. 16, 389-397.
- Chen C.F., Son N.T., Chang L.Y., and Chen C.C. (2011). Monitoring of soil moisture variability in relation to rice cropping systems in the Vietnamese Mekong Delta using MODIS data. **Applied Geography**. 31, 463-475.
- Chen J., Jönsson P., Tamura M., Gu Z., Matsushita B., and Eklundh L. (2004). A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series data set based on the Savitzky-Golay filter. **Remote Sensing of Environment**, 91(3-4), 332-344.
- Gorry, P. A. (1990). "General Least-Squares Smoothing and Differentiation by the Convolution (Savitzky-Golay) Method." **Analytical Chemistry**, 62(6), 570-573.
- Han Y., Wang Y., and Zhao Y. (2010). Estimating Soil Moisture Conditions of the Greater Changbai Mountains by Land Surface Temperature and NDVI. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. 48, 2509-2515.
- Karnieli A., Agam N., Pinker R.T., Anderson M., Imhoff M.L., Gutman G.G., Panov N., and Goldberg A. (2009). Use of NDVI and Land Surface Temperature for Drought Assessment: Merits and Limitations, **Journal of Climate**. 23, 618-633.
- Masumoto, T., Taniguchi T., Horikawa N., Yoshida T. & Shimizu K. 2009 Development of a distributed water circulation model for assessing human interaction in agricultural water use- From Headwaters to the Ocean: Hydrological Changes and Watershed Management, Taniguchi M., Burnttt W.C., Fukushima Y., Haigh M. & Umezawa Y. eds. Taylor and Francis, 195-201.
- Kudo R, Masumoto T, Horikawa N, Yoshida T. 2013. Modeling of Paddy Water Management in Large-reservoir Irrigation Areas and its Integration into Distributed Water Circulation Model. **Applied Hydrology** 25, 61-70.
- Patel N.R., Anapashsha R., Kumar S., Saha S.K., and Dadhwal V.K. (2009). Assessing potential of MODIS derived temperature/vegetation condition index (TVDI) to infer soil moisture status. **International Journal of Remote Sensing**. 30:1, 23-29.

- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., and D. W. Deering. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, **Proceedings, 3<sup>rd</sup> Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symposium, Vol. 1**, 48–62.
- Sandholt I., Rasmussen K., and 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.
- 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.
- Son N.T., Chen C.F., Chen C.R., Chang L.Y., and Minh V.Q. (2012). Monitoring agricultural drought in the Lower Mekong Basin using MODIS NDVI and land surface temperature data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. 18, 417-427.
- 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.
- Vongphet J., Masumoto T. & Horikawa N. 2015 Development of a Seamless Model to Simultaneously simulate Agricultural Water Use and the Effects of Flooding. *Applied Hydro*. 27, 29-37.
- Vongphet J., Masumoto T., Horikawa N. & Kudo R. 2014 Application of DWCM-AgWU Model to the Chao Phraya River Basin with Large Irrigation Paddy Areas and Dams. *Applied Hydro*. 26, 11-22.
- Vongphet J., Masumoto T., Horikawa N. & Kudo R. 2016 Modification of DWCM-AgWU Model Applied to a Paddy-Dominant Basin with Large Dams. *Irrigation and Drainage*, DOI: 10.1002/ird.2013.

Wang C., Qi S., Niu Z., and Wang J. (2004). Evaluating soil moisture status in China using the temperature–vegetation dryness index (TVDI). **Canadian Journal of Remote Sensing**, 30(5), 671–679.

Yoshioka Y., Masumoto T., Maruyama K., and Minagawa H. 2015 Agricultural Water-Gate Management for Operational Flood Protection in Low-lying Paddies, *Journal Teknologi (Sciences & Engineering)* 76:17, 37-44.

ลักขณา สุวรรณชัย, อนงค์ฤทธิ แข็งแรง, นิดา ชัยมูล, รัตนา หอมวิเชียร และสุดารัตน์ คำปลิว. (2557). การประยุกต์ใช้แบบจำลองความสัมพันธ์ดินและน้ำในการประเมินปริมาณน้ำท่ากับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในกลุ่มน้ำชีส่วนที่ 4. วารสารมหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 33.



รายงานการวิจัยการพัฒนากการวิจัยการเกษตร ฉบับสมบูรณ์  
เสนอ สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)

การศึกษาผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงในการแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำ

Performance Assessment of Royal Rainmaking for reducing water shortage

รหัสโครงการ PRP6305030930

คณะผู้วิจัย

รศ.ดร.ชัยศรี สุขसारจน์	หัวหน้าโครงการวิจัย
นายนิมิตร เติตฉันทพัฒนา	ผู้ร่วมโครงการ
นายไชยาพงษ์ เทพประสิทธิ์	ผู้ร่วมโครงการ
นายธเนศ สมบูรณ์	ผู้ร่วมโครงการ
นายธวัชชัย ไตรวารี	ผู้ร่วมโครงการ
นายเวสารัช โสภณดิเรกรัตน์	ผู้ร่วมโครงการ
นางสาวมตินันท์ จงไกรจักร	ผู้ร่วมโครงการ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)  
ประจำปีงบประมาณ 2563

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 จนสามารถทำให้โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงเป็นผลสำเร็จ ในรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์นี้ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะผู้ตรวจสอบทางวิชาการที่ได้ให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ และขอขอบคุณหน่วยงานราชการ ได้แก่ กรมฝนหลวงและการบินเกษตร สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ กรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ และกรมอุตุนิยมวิทยา ที่ได้อำนวยความสะดวกข้อมูลประกอบการศึกษาวิจัย

นอกจากนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับข้อเสนอแนะ และข้อคิดเห็นในการดำเนินการศึกษาวิจัยครั้งนี้

คณะผู้วิจัย

## บทคัดย่อ

โครงการวิจัยการศึกษาผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงในการแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำ เป็นการวิจัยเพื่อหาแนวทางการเพิ่มผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงในการแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี โดยการวิจัยใน 3 วิธี ได้แก่ วิธีที่ 1 เป็นการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นและความสัมพันธ์ของการเกิดฝนหลวงร่วมกับข้อมูลภูมิอากาศและผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศ วิธีที่ 2 เป็นการศึกษาดัชนีประเมินผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำสำหรับลุ่มน้ำเพชรบุรี และวิธีที่ 3 เป็นการวิเคราะห์ห่อเตอร์ฟุตพรินท์ของการปฏิบัติการฝนหลวง ผลการวิจัยวิธีที่ 1 พบว่า โอกาสการเกิดฝนมากที่สุดจากการปฏิบัติการฝนหลวง ควรมีความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างร้อยละ 71-90 ความเร็วลมน้อยกว่า 20 นอต และปริมาณน้ำในบรรยากาศมีค่าระหว่าง 71-100 มม. ผลการวิจัยวิธีที่ 2 สรุป 5 ดัชนีสำหรับการประเมินผลสัมฤทธิ์ฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำในลุ่มน้ำเพชรบุรี ประกอบด้วย ดัชนีที่ 1 ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำจากการปฏิบัติการฝนหลวง ดัชนีที่ 2 ปริมาณน้ำฝนที่ช่วยเหลือการเกษตร ซึ่งพิจารณาจากความสามารถในการส่งน้ำ (Delivery Performance Ratio, DPR) และความรุนแรงของสภาวะการขาดแคลนน้ำ ดัชนีที่ 3 ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่เพิ่มขึ้น ณ สิ้นฤดูฤดูฝน ในเดือนพฤศจิกายน โดยพิจารณาจากอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน ปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 530 ล้าน ลบ.ม. อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ ปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 22.5 ล้าน ลบ.ม. และอ่างเก็บน้ำห้วยผาก ปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 20.5 ล้าน ลบ.ม. ดัชนีที่ 4 ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่เพิ่มขึ้น ณ สิ้นฤดูฤดูแล้ง เดือนเมษายน โดยพิจารณาจากอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน ปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 260 ล้าน ลบ.ม. อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ ปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 16 ล้าน ลบ.ม. และอ่างเก็บน้ำห้วยผาก ปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 15 ล้าน ลบ.ม. และดัชนีที่ 5 ปริมาณฝนที่ใช้ในการรักษาระบบนิเวศ โดยการพิจารณาฝนหลวงที่ช่วยในด้านความชื้นในดิน และน้ำใต้ดิน ซึ่งพิจารณาจากค่าดัชนีความแห้งแล้ง (Temperature Vegetation Dryness Index, TVDI) สำหรับผลการวิจัย วิธีที่ 3 การวิเคราะห์ห่อเตอร์ฟุตพรินท์ของการจัดทำฝนหลวง พบว่า ค่าห่อเตอร์ฟุตพรินท์รายผลิตภัณฑ์นี้มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่า 0.1 ลบ.ม./ลบ.ม. ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยน้ำฝนที่ได้มีค่าต่ำกว่า 0.005 บาท ต่อ ลบ.ม. ของฝนที่ประเมินได้ ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยน้ำฝนที่ได้ในปฏิบัติการฝนหลวงถือเป็นหนึ่งในข้อได้เปรียบทางเศรษฐศาสตร์ที่ไม่เพียงแต่ช่วยประหยัดงบประมาณในการจัดหาพื้นที่เท่านั้น แต่ยังส่งผลดีในประเด็นของปริมาณน้ำที่ได้ เป้าหมายอยู่ในพื้นที่ใด ๆ โดยไม่ต้องใช้ระบบคมนาคมภาคพื้นดิน และประหยัดเวลาในการดำเนินการ

**คำสำคัญ:** ผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวง, ปริมาณน้ำในบรรยากาศ, ห่อเตอร์ฟุตพรินท์, ลุ่มน้ำเพชรบุรี

## สารบัญ

สรุปภาพรวมทั้งหมดของการดำเนินงาน	3-11
<b>1. บทนำ (Introduction)</b>	<b>3-14</b>
1.1 บทนำ	3-14
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3-14
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3-14
1.4 ขอบเขตการวิจัย	3-14
<b>2. วิธีดำเนินการวิจัย</b>	<b>3-15</b>
2.1 การรวบรวมข้อมูลและทบทวนข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการวิจัย	3-15
2.2 การวิเคราะห์สถิติข้อมูลภูมิอากาศ และการประเมินปริมาณน้ำในบรรยากาศ	3-15
2.3 การวิเคราะห์ห่อเตอร์ฟูตพรินท์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตฝนหลวง	3-20
2.4 การวิเคราะห์ดัชนีผลสัมฤทธิ์ฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำ	3-25
2.5 การจัดทำฐานข้อมูลอุตุนิยมวิทยา	3-26
<b>3. ผลการวิจัย</b>	<b>3-27</b>
3.1 ผลการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	3-27
3.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศ	3-32
3.3 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรภูมิอากาศและปริมาณน้ำในบรรยากาศที่เหมาะสม สำหรับการทำฝนหลวง	3-34
3.4 ผลการวิเคราะห์ห่อเตอร์ฟูตพรินท์	3-39
3.5 การวิเคราะห์ดัชนีผลสัมฤทธิ์ฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำ	3-61
3.6 ผลการจัดทำฐานข้อมูลอุตุนิยมวิทยา	3-95
<b>4 สรุปและข้อเสนอแนะ (Conclusion and Recommendation)</b>	<b>3-99</b>
เอกสารอ้างอิง (References)	3-103

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.2-1 แสดงค่าปริมาณน้ำในบรรยากาศในคอลัมน์ของบรรยากาศจากระดับ 1,000 มิลลิบาร์ ถึงระดับความดันต่าง ๆ ซึ่งไม่เกิน 200 มิลลิบาร์ในบรรยากาศ และเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่ 1,000 มิลลิบาร์	3-18
ตารางที่ 3.1-1 เกณฑ์ความเหมาะสมของสภาพอากาศในการปฏิบัติการฝนหลวง	3-29
ตารางที่ 3.1-2 เกณฑ์ความจำเป็นเร่งด่วนในการทำฝนหลวง	3-30
ตารางที่ 3.1-3 ค่าเฉลี่ยรายปี และช่วงพิสัยของค่าเฉลี่ยรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศ คาบ 30 ปี (2533-2562)	3-31
ตารางที่ 3.1-4 การผันแปรรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศหลักเฉลี่ย จากสถานีตรวจวัดอากาศหัวหินคาบ 30 ปี (2533-2562)	3-31
ตารางที่ 3.1-5 การผันแปรรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศหลักเฉลี่ยจากสถานีตรวจวัดอากาศเพชรบุรี คาบ 30 ปี (2533-2562)	3-32
ตารางที่ 3.1-6 การผันแปรรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศหลักเฉลี่ยจากสถานีตรวจวัดอากาศ ประจวบคีรีขันธ์ คาบ 30 ปี (2533-2562)	3-32
ตารางที่ 3.2-1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศเฉลี่ยและสูงสุดรายเดือนและรายปี จากค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างเฉลี่ยรายวันและสูงสุดรายวัน	3-33
ตารางที่ 3.3-1 ผลการวิเคราะห์โอกาสการเกิดฝนตามช่วงข้อมูลภูมิอากาศหลักในวันที่เกิดฝนตก	3-35
ตารางที่ 3.3-2 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลภูมิอากาศหลักและปริมาณฝน ของสถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหิน	3-36
ตารางที่ 3.3-3 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลภูมิอากาศหลักและปริมาณฝน ของสถานีตรวจวัดภูมิอากาศเพชรบุรี	3-37
ตารางที่ 3.3-4 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลภูมิอากาศหลักและปริมาณฝน ของสถานีตรวจวัดภูมิอากาศประจวบคีรีขันธ์	3-38
ตารางที่ 3.4-1 สรุปปริมาณทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวงรายปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561-2563	3-41
ตารางที่ 3.4-2 ค่า WFprod ของน้ำมันและสารฝนหลวงแต่ละชนิด	3-42
ตารางที่ 3.4-3 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำฝนของปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2561 จากการประเมินด้วยวิธี IDW ของฝนสถานีในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี	3-44

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.4-4 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ. 2561 จากวิธีการ ประเมินฝนเรดาร์ ในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี	3-46
ตารางที่ 3.4-5 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2561 จากวิธีการ ประเมินฝนดาวเทียมในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี	3-49
ตารางที่ 3.4-6 ข้อมูลปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงรายปี ประกอบด้วย พ.ศ. 2561, 2562 และ 2563 โดยวิธีการประเมินที่แตกต่างกัน 3 วิธี	3-49
ตารางที่ 3.4-7 เปรียบเทียบค่า Water Footprints ปี พ.ศ. 2561-2563 ที่คำนวณจากการ ประเมินฝนเฉลี่ยรายปีด้วยวิธีการต่างกัน	3-50
ตารางที่ 3.4-8 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำในบรรยากาศที่ความสูง 15,000 ฟุต ปีพ.ศ. 2563	3-58
ตารางที่ 3.4-9 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำในบรรยากาศที่สูงพื้นผิวโลกจนถึงระดับ15,000 ฟุต ปี พ.ศ. 2563	3-60
ตารางที่ 3.4-10 ผลการคำนวณปริมาณน้ำในบรรยากาศในช่วงเวลาที่มีปฏิบัติการฝนหลวง รายปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561-2563	3-61
ตารางที่ 3.5-1 สรุปการสอบเทียบและทวนสอบแบบจำลอง SWAT และ DWCM ของเขื่อนแก่งกระจาน	3-63
ตารางที่ 3.5-2 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน วิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลฝนทั้งหมด (ฝนที่ตกธรรมชาติและฝนหลวง) ทั้งสองแบบจำลอง	3-64
ตารางที่ 3.5-3 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน วิเคราะห์โดยใช้ ข้อมูลฝนที่หักลบฝนหลวงออก ทั้งสองแบบจำลอง	3-65
ตารางที่ 3.5-4 ปริมาณน้ำท่าที่เพิ่มขึ้นที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน โดยแบบจำลอง SWAT	3-69
ตารางที่ 3.5-5 ปริมาณน้ำท่าที่เพิ่มขึ้นที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน โดยแบบจำลอง DWCM	3-69
ตารางที่ 3.5-6 แผนการบริหารจัดการน้ำ อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ผาก	3-70
ตารางที่ 3.5-7 ผลการบริหารจัดการน้ำ อ่างเก็บน้ำห้วยผาก	3-70
ตารางที่ 3.5-8 แผนการบริหารจัดการน้ำ อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน	3-71
ตารางที่ 3.5-9 ผลการบริหารจัดการน้ำ อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน	3-71
ตารางที่ 3.5-10 แผนการบริหารจัดการน้ำ อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์	3-72
ตารางที่ 3.5-11 ผลการบริหารจัดการน้ำ อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์	3-72

## สารบัญตาราง

ตารางที่3.5-12 ความสามารถการส่งน้ำ อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน	3-74
ตารางที่3.5-13 ความสามารถการส่งน้ำ อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์	3-75
ตารางที่3.5-14 ความสามารถการส่งน้ำ อ่างเก็บน้ำห้วยผาก	3-75
ตารางที่3.5-15 เกณฑ์ความรุนแรงของสภาวะการขาดแคลนน้ำ	3-77
ตารางที่3.5-16 ความรุนแรงของสภาวะการขาดแคลนน้ำ ของอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน	3-78
ตารางที่3.5-17 ความรุนแรงของสภาวะการขาดแคลนน้ำ ของอ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์	3-79
ตารางที่3.5-18 ความรุนแรงของสภาวะการขาดแคลนน้ำ ของอ่างเก็บน้ำห้วยผาก	3-80
ตารางที่3.5-19 ปริมาณน้ำรายเดือนเฉลี่ยในอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี	3-81
ตารางที่ 3.5-20 ปริมาณน้ำรายเดือนเฉลี่ยในอ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์จังหวัดเพชรบุรี	3-83
ตารางที่ 3.5-21 ปริมาณน้ำรายเดือนเฉลี่ยในอ่างเก็บน้ำห้วยผาก จังหวัดเพชรบุรี	3-83
ตารางที่ 3.5-22 ค่าเส้นเกณฑ์ปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำอ้างอิง (Long-term Benchmark Curve : LBC)	3-84
ตารางที่3.5-23 ร้อยละปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ พิจารณาร่วมกับเส้นเกณฑ์ปฏิบัติการ อ่างเก็บน้ำอ้างอิง	3-87
ตารางที่ 3.5-24 ค่าดัชนีความแห้งแล้งจากอุณหภูมิ-พืชพรรณ (Temperature Vegetation Dryness Index: TVDI) จำแนกตามระดับความชุ่มชื้นในดิน	3-92
ตารางที่3.5-25 สรุปผลค่าดัชนีของพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี	3-93
ตารางที่ 3.6-1 การเก็บข้อมูลสถานีตรวจวัดทางอุตุฯนิคมวิทยา	3-96

## สารบัญรูป

รูปที่ 2.2-1	กรอบแนวความคิดของการวิจัย	3-16
รูปที่ 2.2-2	ปริมาณน้ำในบรรยากาศในคอลัมน์ของบรรยากาศจากระดับ 1,000 มิลลิบาร์ ถึงระดับความดันต่าง ๆ ซึ่งไม่เกิน 200 มิลลิบาร์ในบรรยากาศ	3-17
รูปที่ 2.3-1	กรอบแนวคิดการวิเคราะห์ห่อเตอร์ฟุตพรินท์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ กระบวนการผลิตฝนหลวง	3-21
รูปที่ 2.3-2	แผนภาพแสดงส่วนประกอบของห่อเตอร์ฟุตพรินท์	3-22
รูปที่ 2.3-3	แผนผังแสดงกระบวนการผลิตที่มีผลิตภัณฑ์เดียว (P[p]) และมีขั้นตอนการผลิต k ขั้นตอน	3-23
รูปที่ 2.3-4	กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ p ซึ่งใช้วัตถุดิบทั้งหมด y ชนิด และมีผลิตภัณฑ์ทั้งหมด z ชนิด	3-25
รูปที่ 2.4-1	การประเมินผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำ	3-26
รูปที่ 3.4-1	แผนภาพแสดงขั้นตอนและทรัพยากรที่ถูกใช้ในปฏิบัติการฝนหลวง	3-40
รูปที่ 3.4-2	ICON ของโปรแกรม SimaPro	3-41
รูปที่ 3.4-3	หน้าต่างของโปรแกรม SimaPro	3-41
รูปที่ 3.4-4	การเข้าถึงฐานข้อมูลแสดงค่า WFprod ของปริมาณน้ำที่ถูกใช้สำหรับผลิตสารฝนหลวง ในโปรแกรม SimaPro	3-42
รูปที่ 3.4-5	ตัวอย่างกรวยฝนหลวงจากรายงานผลการปฏิบัติการฝนหลวง	3-43
รูปที่ 3.4-6	ตัวอย่างผลการแปลงข้อมูลพิกัดและปริมาณฝนของฝนเรดาร์ลงในโปรแกรม ArcGIS (จากโครงการวิจัยย่อยที่ 2)	3-45
รูปที่ 3.4-7	ตัวอย่างผลการแปลงข้อมูลปริมาณน้ำฝนของฝนดาวเทียมลงในโปรแกรม ArcGIS (จากโครงการวิจัยย่อยที่ 2)	3-47
รูปที่ 3.4-8	เปรียบเทียบปริมาณ Water Footprints ที่คำนวณจากการใช้ทรัพยากรในปฏิบัติการ ฝนหลวงเมื่อคำนวณปริมาณฝนที่ได้ด้วยวิธีที่แตกต่างกันของปี พ.ศ. 2561-2563	3-49
รูปที่ 3.4-9	เปรียบเทียบปริมาณ Water Footprints ที่คำนวณจากการใช้ทรัพยากรในปฏิบัติการฝน หลวงเมื่อคำนวณปริมาณฝนที่ได้ด้วยวิธีที่แตกต่างกันของปฏิบัติการรวม 3 ปี (พ.ศ. 2561-2563)	3-51

## สารบัญรูป

รูปที่ 3.4-10	เปรียบเทียบปริมาณออกเตอร์ฟุตพรีนที่คำนวณจากการใช้ทรัพยากรแต่ละชนิด ในปฏิบัติการฝนหลวงเมื่อคำนวณปริมาณฝนที่ได้ด้วยวิธีฝนดาวเทียมเฉลี่ย 3 ปี (พ.ศ. 2561-2563)	3-52
รูปที่ 3.4-11	สัดส่วนทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวงต่อปริมาณน้ำฝนที่ประเมินด้วย วิธีฝนดาวเทียม (ก) ยูเรีย (ข) น้ำมัน (Jet A1)	3-53
รูปที่ 3.4-12	สัดส่วนทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวงต่อปริมาณน้ำฝนที่ประเมินด้วย วิธีฝนดาวเทียม (ก) น้ำแข็งแห้ง (ข) เกลือแป็ง	3-54
รูปที่ 3.4-13	สัดส่วนทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวงต่อปริมาณน้ำฝนที่ประเมินด้วย วิธีฝนดาวเทียม (ก) แคลเซียมคลอไรด์ (ข) แคลเซียมออกไซด์	3-55
รูปที่ 3.4-14	ค่าใช้จ่ายสารฝนหลวงเฉลี่ยต่อหน่วยลูกบาศก์เมตรของน้ำฝนที่ได้จากปฏิบัติการฝนหลวง เมื่อประเมินน้ำฝนด้วยวิธีฝนดาวเทียม	3-56
รูปที่ 3.5-1	การประเมินผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำ	3-62
รูปที่ 3.5-2	เปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน โดยแบบจำลอง SWAT (ข้อมูลฝนจากสถานีตรวจวัด)	3-66
รูปที่ 3.5-3	เปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน โดยแบบจำลอง DWCM (ข้อมูลฝนจากสถานีตรวจวัด)	3-66
รูปที่ 3.5-4	เปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน โดยแบบจำลอง SWAT (ข้อมูลฝนจากดาวเทียม Jaxa)	3-67
รูปที่ 3.5-5	เปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน โดยแบบจำลอง DWCM (ข้อมูลฝนจากดาวเทียม Jaxa)	3-67
รูปที่ 3.5-6	เปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน โดยแบบจำลอง SWAT (ข้อมูลฝนจากฝนเรดาร์)	3-68
รูปที่ 3.5-7	เปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน โดยแบบจำลอง DWCM (ข้อมูลฝนจากฝนเรดาร์)	3-68
รูปที่ 3.5-8	เปรียบเทียบการบริหารจัดการน้ำ อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน	3-73
รูปที่ 3.5-9	เปรียบเทียบการบริหารจัดการน้ำ อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์	3-73
รูปที่ 3.5-10	เปรียบเทียบการบริหารจัดการน้ำ อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ผาก	3-73

## สารบัญรูป

รูปที่ 3.5-11 ความสามารถส่งน้ำ อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน	3-76
รูปที่ 3.5-12 ความสามารถส่งน้ำ ห้วยแม่ประจันต์	3-76
รูปที่ 3.5-13 ความสามารถส่งน้ำ ห้วยผาก	3-76
รูปที่ 3.5-14 ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน ณ สิ้นฤดูฝน	3-84
รูปที่ 3.5-15 ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ ณ สิ้นฤดูฝน	3-84
รูปที่ 3.5-16 ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยผาก ณ สิ้นฤดูฝน	3-85
รูปที่ 3.5-17 ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน ณ สิ้นฤดูแล้ง	3-85
รูปที่ 3.5-18 ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ ณ สิ้นฤดูแล้ง	3-86
รูปที่ 3.5-19 ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยผาก ณ สิ้นฤดูแล้ง	3-86
รูปที่ 3.5-20 NDVI-Ts Feature Space	3-89
รูปที่ 3.5-21 ตัวอย่างค่าดัชนี TVDI ปี 2018 (2561)	3-90
รูปที่ 3.5-22 ตัวอย่างค่าดัชนี TVDI ปี 2019 (2562)	3-91
รูปที่ 3.5-23 ตัวอย่าง TVDI ปี 2020 (2563)	3-92
รูปที่ 3.5-24 การใช้ประโยชน์ที่ดินในลุ่มน้ำเพชรบุรีปี พ.ศ. 2552	3-94
รูปที่ 3.6-1 ปุ่มการเรียกใช้งานในส่วนของการเรียกดูข้อมูล	3-97
รูปที่ 3.6-1 ปุ่มการเรียกใช้งานในส่วนของการเรียกดูข้อมูล	3-97
รูปที่ 3.6-3 การเรียกดูข้อมูลในรูปแบบของตาราง	3-98
รูปที่ 3.6-4 การแสดงข้อมูลในรูปแบบของตารางข้อมูล	3-98

สรุปภาพรวมทั้งหมดของการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน (ตามผนวก 6 ในสัญญา)	ผลการปฏิบัติงาน
1. ข้อมูลภูมิอากาศ และปริมาณน้ำในบรรยากาศ	<p>ทำการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลภูมิอากาศ จากสถานีตรวจวัด จำนวน 3 สถานี ในช่วงเวลา 30 ปี (2533-2562) ประกอบด้วย สถานีหัวหิน เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ และได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศจากข้อมูลอุณหภูมิจุดน้ำค้างราย 3 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณน้ำในบรรยากาศรายวันเฉลี่ยของสถานีหัวหิน เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ มีค่าอยู่ระหว่าง 51.23-75.00 มม. 53.33-80.71 มม. และ 52.31-77.85 มม. ตามลำดับ และปริมาณน้ำในบรรยากาศรายวันสูงสุดที่สถานีหัวหิน เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ มีค่าอยู่ระหว่าง 60.21-84.04 มม. 61.55-92.27 มม. และ 60.97-89.84 มม. ตามลำดับ</p>
2. ดัชนีผลสัมฤทธิ์ฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำ	<p>ผลวิจัยสรุปดัชนีผลสัมฤทธิ์ฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำของกลุ่มน้ำเพชรบุรี ได้ดังนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำจากการปฏิบัติการฝนหลวง</li> <li>2) ปริมาณน้ำฝนที่ช่วยเหลือการเกษตร ซึ่งพิจารณาจากความสามารถในการส่งน้ำ (Delivery Performance Ratio, DPR) และความรุนแรงของสภาวะการขาดแคลนน้ำ</li> <li>3) ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่เพิ่มขึ้น ณ สิ้นสุดฤดูฝน (เดือนพฤศจิกายน) โดยพิจารณาจาก อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน ปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 530 ล้าน ลบ.ม. อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ ปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 22.5 ล้าน ลบ.ม. และอ่างเก็บน้ำห้วยผาก ปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 20.5 ล้าน ลบ.ม.</li> <li>4) ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่เพิ่มขึ้น ณ สิ้นสุดฤดูแล้ง (เดือนเมษายน) โดยพิจารณาจาก อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน ปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 260 ล้าน ลบ.ม. อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ ปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 16 ล้าน ลบ.ม. และอ่างเก็บน้ำห้วยผาก ปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 15 ล้าน ลบ.ม.</li> <li>5) ปริมาณฝนที่ใช้ในการรักษาระบบนิเวศ เป็นการพิจารณาฝนหลวงที่ช่วยในด้านความชื้นในดิน และน้ำใต้ดิน ซึ่งพิจารณาจากค่าดัชนีความแห้งแล้ง (Temperature Vegetation Dryness Index, TVDI)</li> </ol>
3. ระบบฐานข้อมูลปริมาณน้ำในบรรยากาศ	<p>ได้จัดทำฐานข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ร่วมกับโครงการวิจัยย่อยที่ 4 ประกอบด้วย ข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลปริมาณน้ำในบรรยากาศเฉลี่ย และข้อมูลปริมาณน้ำในบรรยากาศสูงสุด โดยได้พัฒนาระบบฐานข้อมูล ประกอบด้วย ระบบการจัดเก็บข้อมูล ระบบการนำเข้าข้อมูล และระบบแสดงผลข้อมูล</p>

แผนการดำเนินงาน (ตามผนวก 6 ในสัญญา)	ผลการปฏิบัติงาน
4. ระบบประเมินผลสัมฤทธิ์ในการจัดทำแผนหลวง	<p>ผลการปฏิบัติงานในปีที่ 1 ได้ทำการวิเคราะห์หัตถ์ดัชนีผลสัมฤทธิ์แผนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำ โดยสรุปผลได้ดังนี้</p> <p>1) ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำจากการปฏิบัติการฝนหลวง พบว่าผลจากแบบจำลอง SWAT ฝนหลวงช่วยเพิ่มปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน เฉลี่ยร้อยละ 12.76 และผลจากแบบจำลอง DWCM ฝนหลวงช่วยเพิ่มปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน เฉลี่ยร้อยละ 18.39</p> <p>2) ปริมาณน้ำฝนที่ช่วยเหลือการเกษตร ซึ่งพิจารณาจากความสามารถในการส่งน้ำ (DPR) และความรุนแรงของสภาวะการขาดแคลนน้ำ พบว่า ค่าความสามารถส่งน้ำ (DPR) ของอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน ฤดูฝนมีค่าระหว่าง 0.54-1.42 ฤดูแล้งมีค่าระหว่าง 0.54-0.94 อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ DPR ฤดูฝนมีค่าระหว่าง 0.52-3.28 ฤดูแล้งมีค่าระหว่าง 0.51-2.15 และอ่างเก็บน้ำห้วยผาก DPR ฤดูฝนมีค่าระหว่าง 0.31-6.56 ฤดูแล้งมีค่าระหว่าง 0.36-1.67 และได้วิเคราะห์ความรุนแรงของสภาวะการขาดแคลนน้ำรายเดือนของอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ และอ่างเก็บน้ำห้วยผาก</p> <p>3) ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่เพิ่มขึ้น ณ สิ้นฤดูฝน (เดือนพฤศจิกายน) มีผลการวิเคราะห์ดังนี้</p> <p>อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน มีจำนวนปีที่มีปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 530 ล้าน ลบ.ม. ณ สิ้นฤดูฝน คิดเป็นร้อยละ 56.36</p> <p>อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ มีจำนวนปีที่มีปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 22.5 ล้าน ลบ.ม. ณ สิ้นฤดูฝน คิดเป็นร้อยละ 93.75</p> <p>อ่างเก็บน้ำห้วยผาก มีจำนวนปีที่มีปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 20.5 ล้าน ลบ.ม. ณ สิ้นฤดูฝน คิดเป็นร้อยละ 50.00</p> <p>4) ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่เพิ่มขึ้น ณ สิ้นฤดูแล้ง (เดือนเมษายน) มีผลการวิเคราะห์ดังนี้</p> <p>อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน มีจำนวนปีที่มีปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 260 ล้าน ลบ.ม. ณ สิ้นฤดูแล้ง คิดเป็นร้อยละ 80.00</p> <p>อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ มีจำนวนปีที่มีปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 16 ล้าน ลบ.ม. ณ สิ้นฤดูแล้ง คิดเป็นร้อยละ 73.33</p> <p>อ่างเก็บน้ำห้วยผาก มีจำนวนปีที่มีปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 15 ล้าน ลบ.ม. ณ สิ้นฤดูแล้ง คิดเป็นร้อยละ 70.00</p> <p>5) ปริมาณฝนที่ใช้ในการรักษาระบบนิเวศ ซึ่งพิจารณาจากค่าดัชนีความแห้งแล้ง (Temperature Vegetation Dryness Index, TVDI) เพื่อจำแนกระดับความชุ่มชื้นในดิน ผลการวิเคราะห์ TVDI ปี 2561-2563 ค่า TVDI มีค่าประมาณ 0.03-0.86</p>

## 1. บทนำ (Introduction)

### 1.1 บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลผลิตมวลรวมมาจากภาคเกษตรกรรมสูง ดังนั้น ปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อภาคเกษตรจึงส่งผลกระทบต่อสภาพเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยเฉพาะปัญหาภัยแล้ง พบว่าความต้องการใช้น้ำเพื่อการเกษตรกรรมในพื้นที่ชลประทานมีมากกว่า 50% แต่ในขณะเดียวกัน ปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติที่เก็บกักโดยเขื่อนขนาดใหญ่และขนาดกลางทั่วประเทศที่สามารถนำไปใช้ได้มีเพียงประมาณ 20 % ของปริมาณน้ำท่าผิวดินตามธรรมชาติ ดังนั้น กรมฝนหลวงและการบินเกษตร จึงได้ถูกจัดตั้งขึ้น โดยมีภารกิจหลักในเรื่องของการบริหารจัดการน้ำในชั้นบรรยากาศให้เกิดฝนในปริมาณ และการกระจายที่เหมาะสม ด้วยเหตุนี้ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จึงได้เสนองานวิจัย การศึกษาผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงในการแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำ โดยได้คัดเลือกพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีเป็นพื้นที่ต้นแบบ ซึ่งมีสภาพปัญหาภัยแล้งหรือการขาดแคลนน้ำ ในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีประสบปัญหาอยู่เสมอในช่วงเดือนมกราคม-พฤษภาคมของทุกปี ทั้งปริมาณน้ำดิบเพื่อการอุปโภคบริโภค และน้ำเพื่อการเกษตรในพื้นที่นอกเขตชลประทาน

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) ศึกษาจัดทำฐานข้อมูลและวิเคราะห์สถิติภูมิอากาศเพื่อหาปริมาณน้ำในบรรยากาศที่เหมาะสมสำหรับการจัดทำฝนหลวง
- 2) ศึกษาประเมินผลระบบชลประทานและการวิเคราะห์อัตรการสูญเสีย
- 3) ศึกษาวิเคราะห์และพัฒนาระบบประเมินผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำ

### 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สร้างนักวิจัยรุ่นใหม่
- 2) การเพิ่มประสิทธิภาพในการตัดสินใจในการจัดทำฝนหลวง
- 3) การตีพิมพ์บทความในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ และ/หรือ ระดับชาติ

### 1.4 ขอบเขตการวิจัย

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ได้มีการกำหนดขอบเขตการวิจัย ได้แก่ การวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศ โดยวิธีการใช้ข้อมูลอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature) จากสถานีตรวจวัดภูมิอากาศ จำนวน 3 สถานี ในพื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำเพชรบุรีและพื้นที่ข้างเคียง ได้แก่ สถานีตรวจวัดภูมิอากาศ หัวหิน เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ ช่วงเวลาข้อมูล 30 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533-2562 และการประเมินวงจรชีวิตของกระบวนการจัดทำฝนหลวง โดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต หรือ Life Cycle Assessment, LCA ในการประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงย้อนหลัง 3 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ.2561-2563

## 2. วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยมีขั้นตอนสรุปได้ดังนี้

### 2.1 การรวบรวมข้อมูลและทบทวนข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการวิจัย

การดำเนินการวิจัยต้องดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล พร้อมทั้งดำเนินการทบทวนและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้ ทุกข้อมูลก่อนนำมาใช้งานสำหรับงานวิจัยในขั้นตอนต่อไป โดยมีข้อมูลที่สำคัญสำหรับการวิจัย ดังนี้

- (1) รวบรวมข้อมูลรายละเอียดทางกายภาพของกลุ่มน้ำและสถานีวัดน้ำท่า
- (2) รวบรวมข้อมูลการดำเนินงานของการทำฝนหลวงในอดีตถึงปัจจุบันในพื้นที่ศึกษา
- (3) รวบรวมข้อมูลลักษณะทางกายภาพของโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ เช่น อ่างเก็บน้ำในพื้นที่
- (4) รวบรวมข้อมูลปริมาณฝนตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน
- (5) รวบรวมข้อมูลภูมิอากาศโดยทั่วไปของกลุ่มน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ กระแสลม เมฆปกคลุม อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ปริมาณการระเหยจากผิวน้ำ ที่ตั้งสถานีตรวจอากาศ และระดับความสูงของที่ตั้งสถานีตรวจอากาศในพื้นที่รับน้ำฝนและใกล้เคียงจากกรมอุตุนิยมวิทยา
- (6) รวบรวม ข้อมูลอุณหภูมิจุดน้ำค้าง และระดับความสูงของที่ตั้งสถานีภูมิอากาศในบริเวณพื้นที่ศึกษา จากกรมอุตุนิยมวิทยา

### 2.2 การวิเคราะห์สถิติข้อมูลภูมิอากาศ และการประเมินปริมาณน้ำในบรรยากาศ

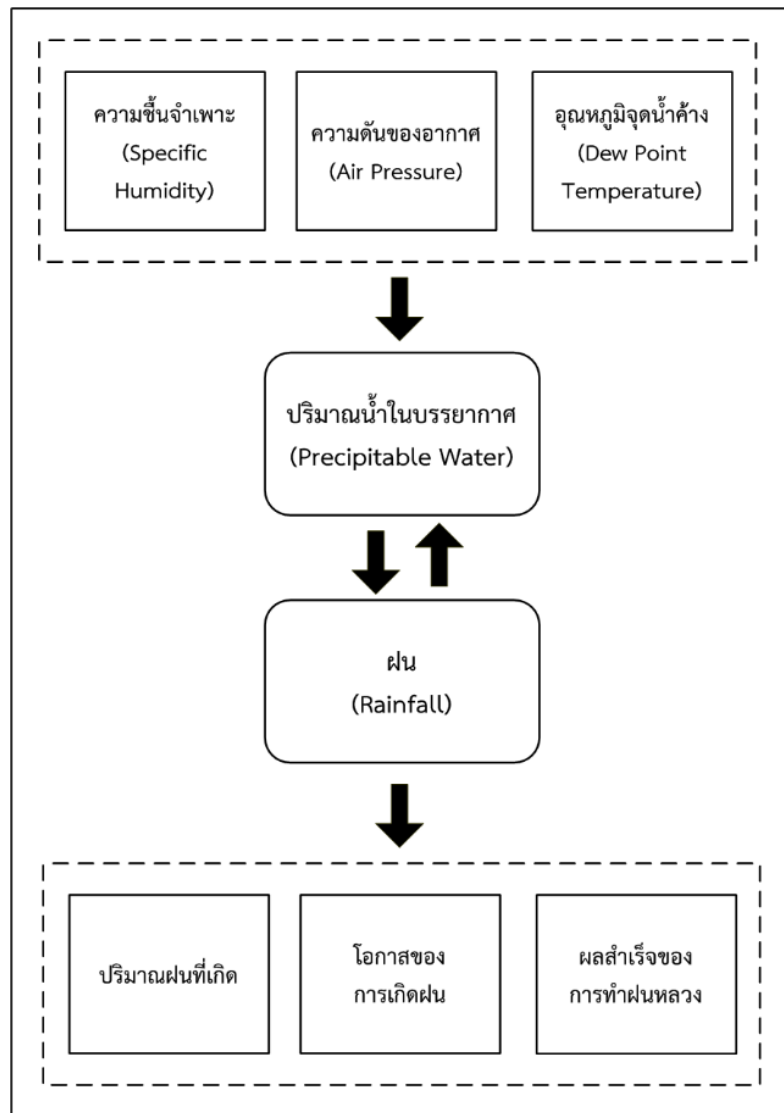
กรอบแนวคิดของการจัดทำฐานข้อมูลปริมาณน้ำในบรรยากาศที่เหมาะสมสำหรับการจัดทำฝนหลวง ดังแสดงในรูปที่ 2.2-1 ประกอบด้วย การศึกษาปริมาณน้ำในบรรยากาศ (Precipitable Water) จากข้อมูลภูมิอากาศในอดีตจนถึงปัจจุบัน ได้แก่ ความชื้นจำเพาะ ความดันอากาศ และอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ซึ่งปริมาณน้ำในบรรยากาศถือว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญของการเกิดฝน ดังนั้น การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในบรรยากาศและปริมาณฝน และฝนหลวงที่เคยเกิดขึ้นในอดีต สามารถทำให้ทราบถึงปริมาณฝน และโอกาสของการเกิดฝนที่ร้อยละต่าง ๆ ของปริมาณน้ำในบรรยากาศ

ปริมาณน้ำในบรรยากาศ (Precipitable Water) หมายถึง มวลของไอน้ำในบรรยากาศ และปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นไปได้ (Probable Precipitable Water) หมายถึง มวลของไอน้ำทั้งหมดในบรรยากาศ โดยแสดงมวลของไอน้ำเป็นความลึกในแนวดิ่ง คิดเทียบเท่าความลึกของน้ำหนวยเป็นเซนติเมตรหรือนิ้ว นิยมใช้อักษรย่อ TPW = Total Precipitable Water

ปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นไปได้ในช่วงความลึกต่าง ๆ นิยมคำนวณเป็นช่วงชั้นความลึกย่อยของความดันหรือความสูงจากพื้นโลก ซึ่งในแต่ละชั้นย่อยของบรรยากาศดังกล่าว

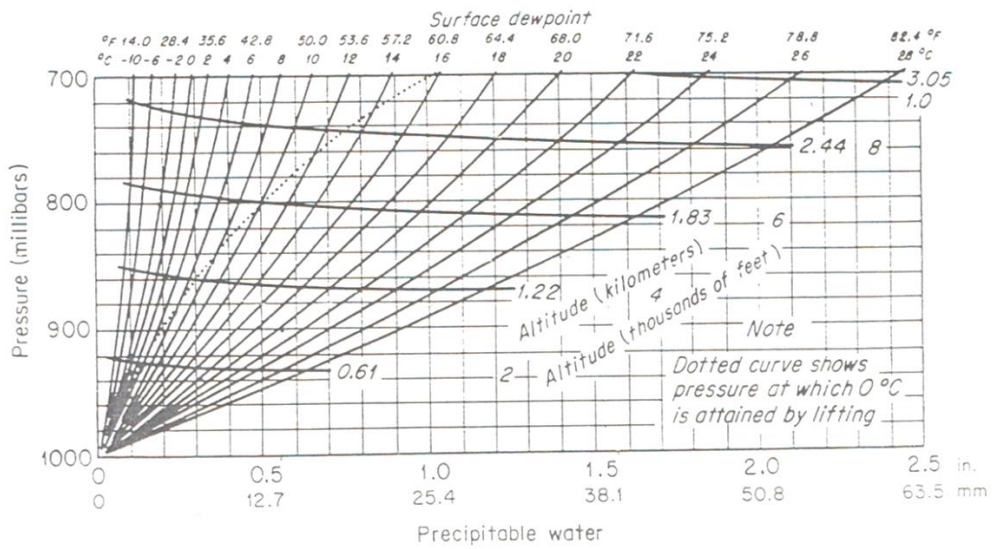
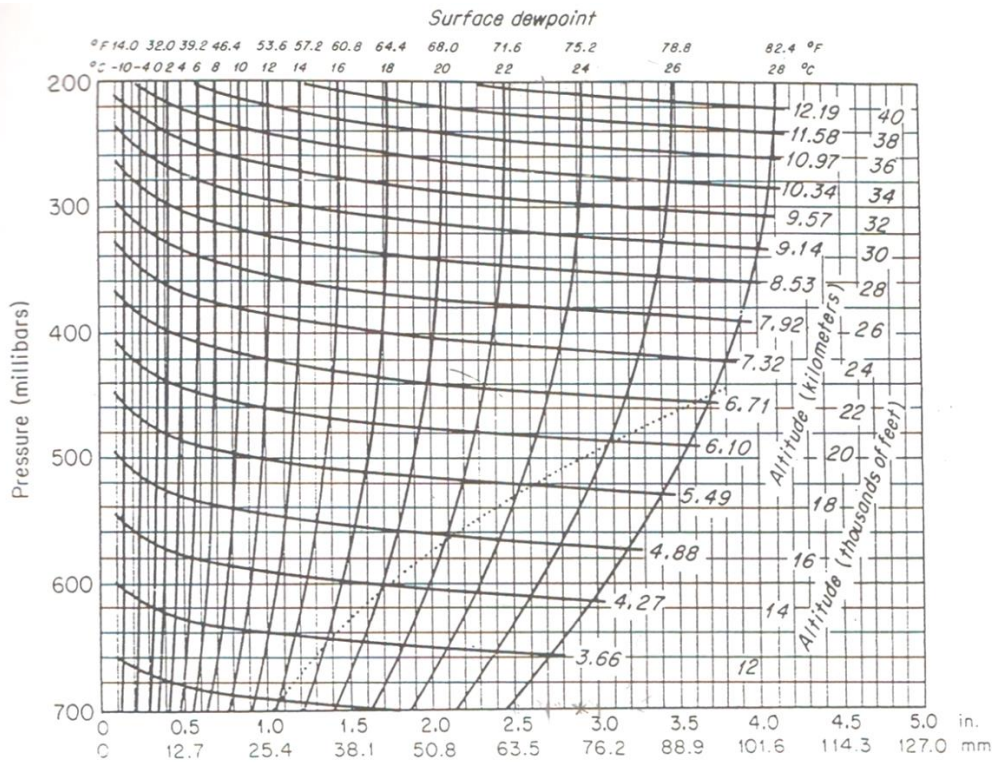
$$w = \frac{\bar{q}\Delta p}{\rho g}$$

- เมื่อ  $w$  = ปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นไปได้, เซนติเมตร  
 $\bar{q}$  = ค่าเฉลี่ยของความชื้นจำเพาะที่จุดบนและล่างของแต่ละชั้นย่อย, กรัม/กิโลกรัม  
 $\Delta p$  = ผลต่างของความดันของอากาศ, มิลลิบาร์  
 $g$  = อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก, เซนติเมตร/วินาที<sup>2</sup>  
 $\rho$  = ความหนาแน่นของน้ำ, กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร



รูปที่ 2.2-1 กรอบแนวความคิดของการวิจัย

ปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นไปได้ สามารถคำนวณได้โดยการใช้ไมโนกราฟในรูปที่ 2.2-2 หรือตารางที่ 2.2-1 และใช้อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature) ณ ระดับซึ่งมีความดันของอากาศ (Air Pressure) ตามที่กำหนด ค่าประมาณอาจคำนวณได้จากการใช้อุณหภูมิจุดน้ำค้างหรือความดันไอน้ำที่ผิวโลก และสมมติว่า จำนวนไอน้ำในบรรยากาศเท่ากับมวลอากาศซึ่งอิมด้วยไอน้ำ พร้อมกับมีอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแนวตั้งแบบมวลอากาศที่อิมตัว และมีความร้อนแฝงเกิดขึ้น (Saturation Pseudo-Adiabatic Lapse Rate) โดยที่



รูปที่ :

ดัด

ตารางที่ 2.2-1 แสดงค่าปริมาณน้ำในบรรยากาศในคอลัมน์ของบรรยากาศจากระดับ 1,000 มิลลิบาร์ ถึงระดับความดันต่าง ๆ ซึ่งไม่เกิน 200 มิลลิบาร์ในบรรยากาศ และเป็นฟังก์ชันกับ อุณหภูมิจุดน้ำค้างที่ 1,000 มิลลิบาร์

mb	Surface wet-bulb temperature °C																													
	0	2	4	6	8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30				
990	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3			
980	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5			
970	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6	7	7	7	8			
960	1	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	6	6	6	7	7	8	8	8	9	9	10	11			
950	2	2	2	3	3	4	4	4	4	5	5	6	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	12	12	13				
940	2	2	3	3	4	4	5	5	5	6	6	7	7	7	8	9	9	10	10	11	12	12	13	14	15	16				
930	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	11	11	12	13	14	14	15	16	17	18				
920	3	3	4	4	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	12	13	14	14	15	16	17	19	20	21				
910	3	3	4	5	5	6	7	7	8	8	9	10	10	11	12	13	13	14	15	16	17	18	20	21	22	23				
900	3	4	4	5	6	7	7	8	9	9	10	11	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	23	24	26				
890	4	4	5	6	7	8	8	9	9	10	11	12	12	13	14	15	16	17	18	20	21	22	24	25	27	28				
880	4	4	5	6	7	8	9	9	10	11	12	12	13	14	15	16	17	19	20	21	23	24	26	27	29	31				
870	4	5	6	7	8	9	9	10	11	12	13	13	14	15	16	18	19	20	21	23	24	26	28	29	31	33				
860	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	13	14	15	16	18	19	20	21	23	24	26	28	30	32	34	36				
850	5	5	6	7	9	10	11	11	12	13	14	15	16	18	19	20	21	23	24	26	28	30	32	34	36	38				
840	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	19	20	21	23	24	26	28	30	32	34	36	38	40				
830	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15	16	17	18	19	21	22	24	26	27	29	31	33	35	38	40	43				
820	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	17	18	19	20	22	24	25	27	29	31	33	35	37	40	42	45				
810	5	6	8	9	10	12	13	14	15	16	17	19	20	21	23	25	26	28	30	32	34	37	39	42	44	47				
800	6	7	8	9	11	12	13	15	16	17	18	19	21	22	24	26	28	29	32	34	36	38	41	44	46	49				
790	6	7	8	9	11	13	14	15	16	17	19	20	22	23	25	27	29	31	33	35	38	40	43	46	49	52				
780	6	7	8	10	11	13	14	16	17	18	19	21	23	24	26	28	30	32	34	37	39	42	45	48	51	54				
770	6	7	9	10	12	14	15	16	17	19	20	22	23	25	27	29	31	33	35	38	41	43	46	49	53	56				
760	6	7	9	10	12	14	15	17	18	19	21	22	24	26	28	30	32	34	37	39	42	45	48	51	55	58				
750	6	8	9	10	13	15	16	17	18	20	21	23	25	27	29	31	33	35	38	41	44	47	50	53	57	60				
740	7	8	9	11	13	15	16	18	19	20	22	24	26	28	30	32	34	37	39	42	45	48	51	55	59	62				
730	7	8	9	11	13	15	17	18	20	21	23	24	26	28	30	33	35	38	40	43	46	50	53	57	60	64				
720	7	8	10	11	13	16	17	18	20	22	23	25	27	29	31	34	36	39	42	45	48	51	55	58	62	66				
710	7	8	10	12	14	16	17	19	20	22	24	26	28	30	32	35	37	40	43	46	49	53	56	60	64	68				
700	7	8	10	12	14	16	18	19	21	23	24	26	28	31	33	35	38	41	44	47	50	54	58	62	66	70				
690	7	9	10	12	14	17	18	20	21	23	25	27	29	31	34	36	39	42	45	48	52	55	59	63	68	72				
680	7	9	10	12	15	17	19	20	22	24	25	27	30	32	34	37	40	43	46	49	53	57	61	65	69	74				
670	7	9	11	12	15	17	19	20	22	24	26	28	30	33	35	38	41	44	47	51	54	58	62	67	71	76				
660	8	9	11	13	15	18	19	21	23	24	26	29	31	33	36	39	42	45	48	52	55	60	64	68	73	78				
650	8	9	11	13	15	18	19	21	23	25	27	29	31	34	37	39	42	46	49	53	57	61	65	70	75	80				

ตารางที่ 2.2-1 แสดงค่าปริมาณน้ำในบรรยากาศในคอลัมน์ของบรรยากาศจากระดับ 1,000 มิลลิบาร์ ถึงระดับความดันต่าง ๆ ซึ่งไม่เกิน 200 มิลลิบาร์ในบรรยากาศ และเป็นฟังก์ชันกับ อุณหภูมิจุดน้ำค้างที่ 1,000 มิลลิบาร์ (ต่อ)

mb	Surface wet-bulb temperature °C																													
	0	2	4	6	8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30				
640	8	9	11	13	15	18	20	21	23	25	27	29	32	35	37	40	43	46	50	54	58	62	67	71	76	81				
630	8	9	11	13	16	18	20	22	24	26	28	30	32	35	38	41	44	47	51	55	59	63	68	73	78	83				
620	8	9	11	13	16	19	20	22	24	26	28	30	33	36	38	42	45	48	52	56	60	65	69	74	79	85				
610	8	9	11	13	16	19	20	22	24	26	28	31	33	36	39	42	45	49	53	57	61	66	71	76	81	87				
600	8	9	11	13	16	19	21	23	25	27	29	31	34	37	40	43	46	50	54	58	62	67	72	77	82	88				
590	8	10	11	14	16	19	21	23	25	27	29	32	34	37	40	43	47	51	55	59	63	68	73	78	84	90				
580	8	10	11	14	16	19	21	23	25	27	30	32	35	38	41	44	48	51	55	60	64	69	74	80	85	91				
570	8	10	12	14	16	20	21	23	25	27	30	32	35	38	41	45	48	52	56	61	65	70	75	81	87	93				
560	8	10	12	14	17	20	21	23	26	28	30	33	36	39	42	45	49	53	57	61	66	71	77	82	88	94				
550	8	10	12	14	17	20	22	24	26	28	30	33	36	39	42	46	49	53	58	62	67	72	78	83	90	96				
540	8	10	12	14	17	20	22	24	26	28	31	33	36	39	43	46	50	54	58	63	68	73	79	85	91	97				
530	8	10	12	14	17	20	22	24	26	28	31	34	37	40	43	47	50	55	59	64	69	74	80	86	92	99				
520	8	10	12	14	17	20	22	24	26	29	31	34	37	40	43	47	51	55	60	67	70	75	81	87	93	100				
510	8	10	12	14	17	20	22	24	26	29	31	34	37	40	44	48	51	56	60	65	70	76	82	88	95	102				
500	8	10	12	14	17	20	22	24	27	29	32	34	37	41	44	48	52	56	61	66	71	77	83	89	96	103				
490	8	10	12	14	17	21	22	25	27	29	32	35	38	41	45	48	52	57	61	66	72	78	84	90	97	104				
480	8	10	12	14	17	21	23	25	27	29	32	35	38	41	45	49	53	57	62	67	73	78	85	91	98	105				
470	8	10	12	14	17	21	23	25	27	29	32	35	38	42	45	49	53	58	62	68	73	79	85	92	99	106				
460	8	10	12	14	17	21	23	25	27	30	32	35	38	42	45	49	54	58	63	68	74	80	86	93	100	108				
450	8	10	12	14	17	21	23	25	27	30	32	35	39	42	46	50	54	58	63	69	74	81	87	94	101	109				
440	8	10	12	15	17	21	23	25	27	30	33	35	39	42	46	50	54	59	64	69	75	81	88	95	101	110				
430	8	10	12	15	17	21	23	25	27	30	33	36	39	42	46	50	55	59	64	70	76	82	88	96	103	111				
420	8	10	12	15	18	21	23	25	27	30	33	36	39	43	46	50	55	60	65	70	76	82	89	96	104	112				
410	8	10	12	15	18	21	23	25	27	30	33	36	39	43	47	51	55	60	65	71	77	83	90	97	105	113				
400	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	39	43	47	51	55	60	65	71	77	84	90	98	105	114				
390	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	39	43	47	51	56	60	66	71	77	84	91	98	106	115				
380	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	39	43	47	51	56	61	66	72	78	85	92	99	107	115				
370	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	43	47	51	56	61	66	72	78	85	92	100	108	116				
360	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	43	47	51	56	61	66	72	79	85	93	100	108	117				
350	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	43	47	51	56	61	67	73	79	86	93	101	109	118				
340	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	43	47	52	56	61	67	73	79	86	93	101	109	118				
330	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	43	47	52	56	61	67	73	79	86	94	102	110	119				
320	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	44	48	52	57	62	67	73	80	87	94	102	111	120				
310	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	44	48	52	57	62	67	73	80	87	94	102	111	120				
300	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	44	48	52	57	62	67	74	80	87	95	103	111	121				

ตารางที่ 2.2-1 (ต่อ)

mb	Surface wet-bulb temperature °C																													
	0	2	4	6	8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30				
290	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	44	48	52	57	62	68	74	80	87	95	103	112	121				
280	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	44	48	52	57	62	68	74	80	88	95	103	112	121				
270	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	44	48	52	57	62	68	74	81	88	95	104	112	122				
260	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	44	48	52	57	62	68	74	81	88	96	104	113	122				
250	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	44	48	52	57	62	68	74	81	88	96	104	113	122				
240	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	44	48	52	57	62	68	74	81	88	96	104	113	123				
230	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	44	48	52	57	62	68	74	81	88	96	104	113	123				
220	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	44	48	52	57	62	68	74	81	88	96	104	113	123				
210	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	44	48	52	57	62	68	74	81	88	96	105	114	123				
200	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	44	48	52	57	62	68	74	81	88	96	105	114	123				

(1) ความชื้นจำเพาะ (Specific Humidity) หรืออัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio) คือมวลของน้ำที่อยู่ในอากาศแห้ง (Dry Air) 1 กิโลกรัม มีหน่วยเป็น กิโลกรัมของน้ำ/กิโลกรัมของอากาศแห้ง หรือ กรัมของน้ำ/กิโลกรัมของอากาศแห้ง

(2) อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature) หมายถึง อุณหภูมิ ณ จุดที่ความดันของไอน้ำขณะที่มีอยู่ ณ ที่ความดันไอน้ำเมื่ออิ่มตัว หรือ อุณหภูมิที่เมื่ออากาศชื้นถูกทำให้เย็นลงขณะที่ปริมาณไอน้ำยังคงที่ การลดอุณหภูมิถึงจุดหนึ่งจะทำให้ไอน้ำเกิดการอิ่มตัว และกลั่นตัวควบแน่นเป็นหยดน้ำ (Condensate) ที่ความดันบรรยากาศ (Atmospheric Pressure) คงที่ และเมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้นถึง 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นสภาวะที่อากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำ ไม่สามารถรับไอน้ำเพิ่มได้อีก อุณหภูมิอากาศไม่จำเป็นต้องลดลง เพื่อให้เกิดการกลั่นตัว อุณหภูมิจุดน้ำค้างจะเท่ากับอุณหภูมิที่วัดได้จากอากาศ เกิดภาวะที่เรียกว่า หมอก (Fog)

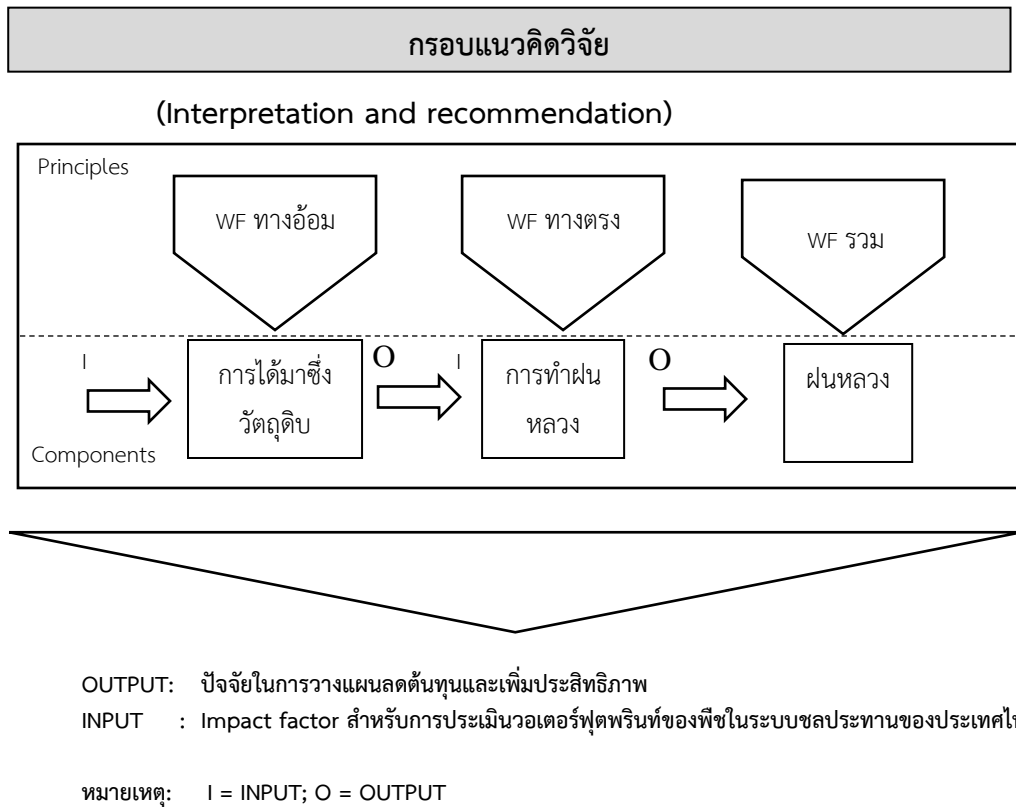
อุณหภูมิจุดน้ำค้างสูงสุดต่อเนื่องสำหรับช่วงเวลาที่กำหนดเฉพาะใด ๆ คือ ค่าคงที่เท่ากับหรือมากกว่าค่าทุกค่าที่ทำการวัดตลอดช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล โดยทั่วไปใช้ค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างสูงสุดต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง หรือ 24 ชั่วโมง และทำการลดระดับอยู่ที่ 1,000 มิลลิบาร์หรือที่ระดับผิวโลก ซึ่งจากการทดสอบของ Miller (1963) และ US Weather Bureau (1963) พบว่า พายุฝนและปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นไปได้นั้น ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่ระดับผิวโลก

### 2.3 การวิเคราะห์ห่อเตอร์ฟุตพริ้นท์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตฝนหลวง

การวิเคราะห์ห่อเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตฝนหลวง มีกรอบแนวคิดแสดงได้ดังรูปที่ 2.3-1 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และจัดทำฐานข้อมูลทางด้านวัฏจักรชีวิตของการทำฝนหลวง ซึ่งพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านน้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม ในส่วนของปริมาณน้ำใช้ (Water Consumption) สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางตรงคือการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อต้นทุนการผลิตฝนหลวง และได้ค่าห่อเตอร์ฟุตพริ้นท์ของฝนหลวงเพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการประเมินห่อเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตผลทางการเกษตรของประเทศได้ต่อไปในอนาคต

โดยมีกิจกรรมภายใต้โครงการวิจัย ประกอบด้วย

- 1) การวิเคราะห์หน่วยการทำงานของการทำงานทำฝนหลวง (functional unit analysis)
- 2) การวิเคราะห์บัญชีรายการตลอดวัฏจักรชีวิตของฝนหลวง (Inventories analysis)
- 3) การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของฝนหลวง (water footprint determination)
- 4) การแปลผลเพื่อเสนอแนวทางการลดต้นทุนหรือเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานทำฝนหลวง

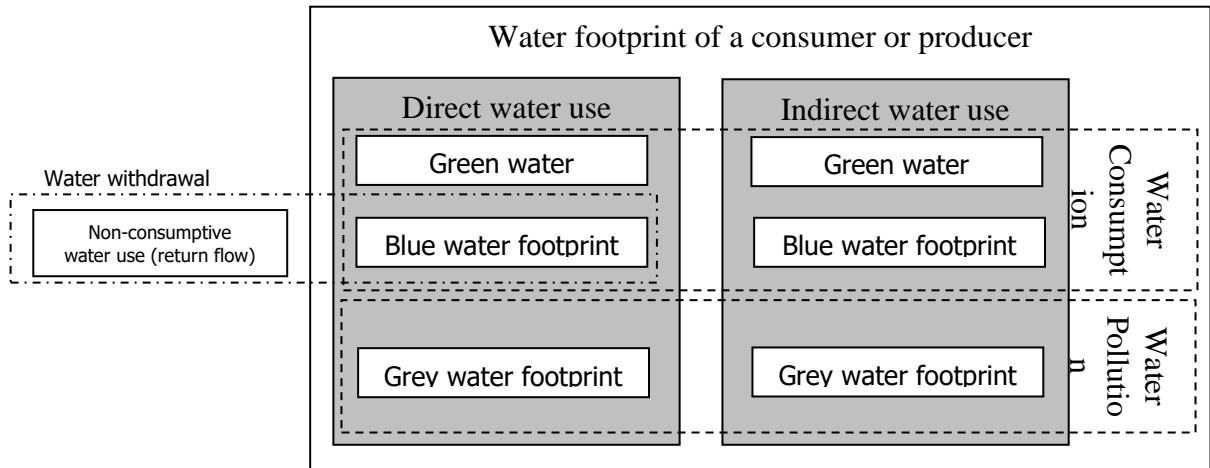


รูปที่ 2.3-1 กรอบแนวคิดการวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตฝนหลวง

### (1) การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water footprint; WF) นั้นเป็นวิธีการประเมินการใช้น้ำตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์โดยมีแผนภาพของการดำเนินการแสดงดังรูปที่ 2.3-2

รูปที่ 2.3-2 แสดงให้เห็นว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์นั้นคือดัชนีที่ใช้วัดปริมาณน้ำใช้ (Fresh water) ทั้งทางตรง (Direct) จากผู้ใช้น้ำหรือการผลิต และทางอ้อม (Indirect) ซึ่งตรวจวัดตลอดวัฏจักรชีวิต การดำเนินการแบ่งการใช้น้ำออกเป็น 3 ส่วนประกอบด้วย green water คือน้ำใช้จากแหล่งธรรมชาติที่อยู่ในดินหรือความชื้นในดินที่มาจากน้ำฝน และ blue water คือน้ำใช้ที่มาจากแหล่งน้ำผิวดินและใต้ดินตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ใดๆ นอกจากนี้ยังรวมถึง gray water คือน้ำที่ใช้ในการเจือจางปริมาณสัດส่วนมลสารปนเปื้อนที่ถูกปล่อยออกจากผู้ใช้ (Hoekstra et al, 2009) ในกรณีของฝนหลวงนี้อาจต้องพิจารณาว่าการทำฝนหลวงเป็นเสมือนกระบวนการผลิตอย่างหนึ่งที่มีน้ำฝนเป็นผลิตภัณฑ์



ที่มา: Hoekstra et al (2009)

### รูปที่ 2.3-2 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

หากพิจารณาภาคส่วนการเกษตรการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ที่มีวัตถุดิบจากการเกษตรนั้นโดยทั่วไปประกอบด้วย 3 ขั้นตอนได้แก่ การเพาะปลูก (Cultivation) การผลิต (Production) และการใช้ผลิตภัณฑ์ (Consumer) โดยในแต่ละส่วนนั้นต้องทำการประเมินทั้ง green water blue water และ grey water และต้องพิจารณา การใช้น้ำโดยตรงและทางอ้อมด้วย

การเพาะปลูกน้ำที่ใช้โดยส่วนใหญ่เป็น green water และ blue water จากการชลประทาน ซึ่งโดยทั่วไปคิดว่ามาจากน้ำฝนธรรมชาติและเข้าสู่ระบบการเพาะปลูก ส่วน grey water นั้นประเมินจากปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในการเจือจางสารปนเปื้อนไม่ว่าจะเป็น ปุ๋ย (ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส ฯลฯ) ยาปราบศัตรูพืชหรือยาฆ่าแมลง ปกติจะคำนวณจากสารที่วิกฤตที่สุดซึ่งมักจะเป็นตัวที่มีการปลดปล่อยออกสู่ธรรมชาติต่อผลผลิตสูงสุด การผลิตนั้นการใช้น้ำโดยส่วนใหญ่จะเป็นส่วนของ blue water และ grey water ซึ่งประเมินเป็นปริมาณน้ำเสีย (waste flow) ไปสู่แหล่งน้ำดีในธรรมชาติ (freshwater bodies) ที่ต้องการเพื่อมารองรับมลสารปนเปื้อนบนพื้นฐานของการป้องกันไม่ให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำในปัจจุบัน

#### (2) แนวคิดการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากภาคการผลิต

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ดำเนินการได้ 2 วิธีได้แก่ The chain summation approach และ The step-wise accumulative approach

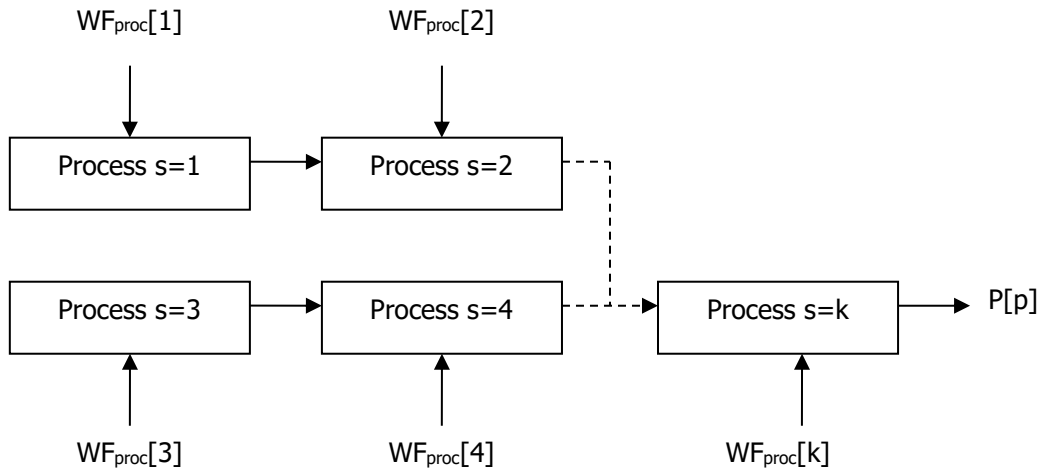
##### (2.1) The chain summation approach

กระบวนการผลิตใดประกอบด้วยหลายกระบวนการผลิตย่อยแต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดเดียว วิธีคำนวณหา วอเตอร์ฟุตพริ้นท์จะใช้วิธีการรวมแบบลูกโซ่ (The Chain-summation Approach) ดังแสดงในรูปที่ 2.3-3 (Hoekstra et al, 2009)

จากแผนผังข้างต้นวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ของผลิตภัณฑ์ p จะได้จากสัดส่วนระหว่างผลรวมของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในแต่ละกระบวนการผลิตกับปริมาณผลผลิต p

$$WF_{prod}[p] = \frac{\sum_{s=1}^k WF_{proc}[s]}{P[p]}$$

โดยที่  $WF_{proc}[s]$  คือวอเตอร์ฟุตพริ้นในขั้นตอนการผลิตที่  $s$  ใดๆ หน่วยเป็น ปริมาตรต่อเวลา และ  $P[p]$  คือปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ หน่วยเป็นปริมาณต่อเวลา



รูปที่ 2.3-3 แผนผังแสดงกระบวนการผลิตที่มีผลิตภัณฑ์เดียว (P[p]) และมีขั้นตอนการผลิต k ขั้นตอน

## (2.2) The step-wise accumulative approach

กรณีที่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตมีมากกว่าหนึ่งผลิตภัณฑ์การประเมิน วอเตอร์ฟุตพริ้นท์จะใช้วิธีการรวมสะสมในแต่ละขั้นตอน (The step-wise accumulative approach) ซึ่ง ทำได้จากการรวมวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่เกิดโดยให้น้ำหนักที่ต่าง ๆ กันแก่ผลิตภัณฑ์ที่ได้ ทั้งหมด (โดยทั่วไปจะใช้ราคาของผลิตภัณฑ์ชนิดนั้นๆในการถ่วงน้ำหนัก) จากแผนภาพด้านล่าง เป็น ตัวอย่างแสดงการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ของผลิตภัณฑ์  $p$  ซึ่งใช้วัตถุดิบทั้งหมด  $y$  ชนิด และมีผลิตภัณฑ์ ทั้งหมด  $z$  ชนิด ดังรูปที่ 2.3-4

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตจะคำนวณได้ดังนี้

$$WF_{prod}[p] = \left( WP_{proc}[p] + \sum_{i=1}^y \frac{WF_{prod}[i]}{f_p[p,i]} \right) \times f_v[p]$$

โดยที่  $WF_{prod}[p]$  คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์  $p$

$WF_{prod}[i]$  คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของวัตถุดิบ  $i$

$WF_{proc}[p]$  แสดงวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการที่ใช้ในการเปลี่ยน วัตถุดิบเป็นผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ซึ่งแสดงอยู่ในรูปของน้ำที่ใช้ ต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์  $p$

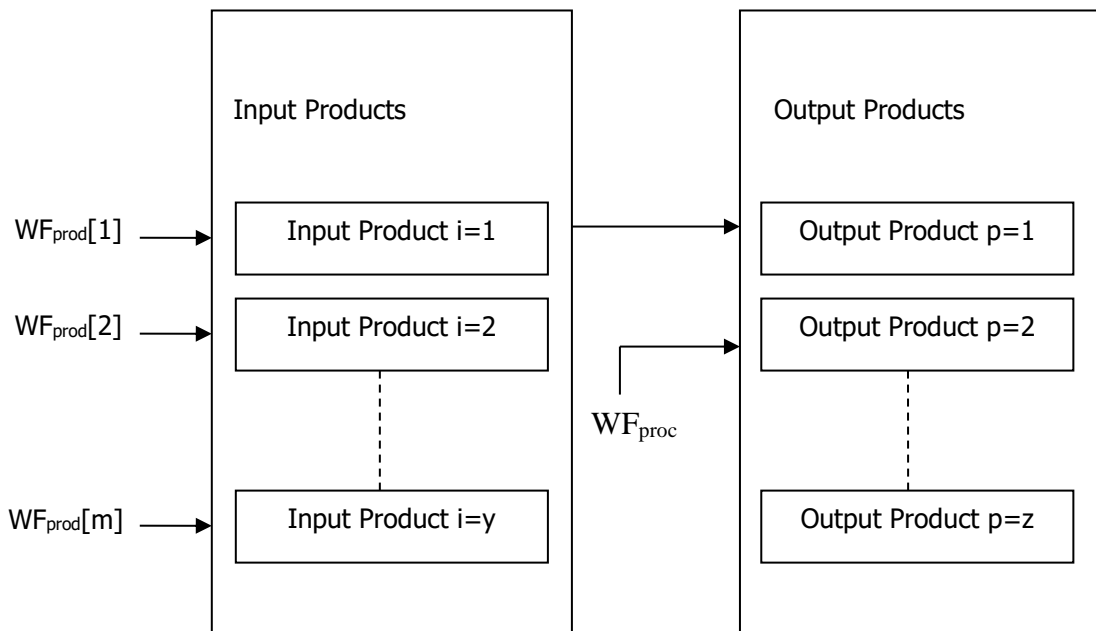
$f_p[p,i]$  คือ ค่าสัดส่วนของมวลของผลิตภัณฑ์ (product fraction) ซึ่งหาได้จากมวลของผลิตภัณฑ์  $p$  ต่อวัตถุดิบ  $i$  หรือเขียน เป็นสมการได้เป็น

$$f_p[p, i] = \frac{w[p]}{w[i]}$$

$f_v[p]$  คือ สัดส่วนมูลค่าของผลิตภัณฑ์ (value fraction) คำนวณได้จากมูลค่าของผลิตภัณฑ์ p ต่อมูลค่าของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ทั้งหมด (p เท่ากับ 1-z) ซึ่งแสดงได้ดังสมการ

$$f_v[p] = \frac{\text{price}[p] \times w[p]}{\sum_{p=1}^z (\text{price}[p] \times w[p])}$$

$\text{price}[p]$  คือ มูลค่า หรือราคาของผลิตภัณฑ์ p ต่อหน่วยมวล



ที่มา: Hoekstra et al (2009)

รูปที่ 2.3-4 กระบวนการผลิตภัณฑ์ p ซึ่งใช้วัตถุดิบทั้งหมด y ชนิด และมีผลิตภัณฑ์ทั้งหมด z ชนิด

โดยปกติแล้ว ค่าสัดส่วนมวลของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการผลิต ซึ่งจะต้องแน่ใจว่าวิธีการผลิตนั้นไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนค่าของสัดส่วนมูลค่าของผลิตภัณฑ์นั้นจะขึ้นอยู่กับหลายๆปัจจัย ซึ่งจะทำให้การเปลี่ยนแปลงนั้นมีสูง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อ การคำนวณเวเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์นั้นๆด้วย เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบจากตัวแปรนี้ ค่าสัดส่วนมูลค่าของผลิตภัณฑ์ควรจะคำนวณจากมูลค่าเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์นั้นๆในช่วงระยะเวลาหนึ่ง

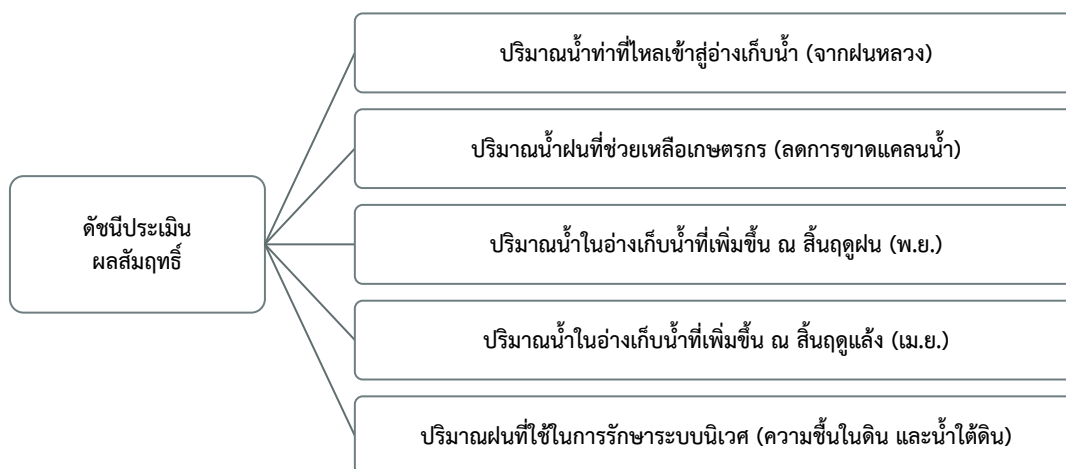
เมื่อทราบถึงการใช้น้ำทั้งทางตรง และทางอ้อมที่แฝงไปกับผลิตภัณฑ์หรือการจัดการห่วงโซ่อุปทาน (Hoekstra et al., 2009) การที่สามารถคำนวณปริมาณน้ำเหล่านั้นได้ จะทำให้เข้าใจได้ดี

ขึ้นถึงสถานการณ์น้ำใช้ในภาพรวม และผลกระทบจากการใช้น้ำและการซื้อขายผลิตภัณฑ์ ในที่สุดจะนำไปสู่กระบวนการในการจัดการเรื่องการใช้น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพในทุกๆขั้นตอนได้ นอกเหนือไปจากที่พิจารณาเฉพาะในส่วนของงบดุลของน้ำเท่านั้น

## 2.4 การวิเคราะห์ดัชนีผลสัมฤทธิ์ฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำ

แนวคิดของดัชนีประเมินผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.4-1 ซึ่งประกอบด้วย

- (1) ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำซึ่งเกิดจากทำฝนหลวง
- (2) ปริมาณน้ำฝนซึ่งเกิดจากการทำฝนหลวงที่ช่วยเหลือเกษตรกร หรือปริมาณน้ำที่ช่วยลดการขาดแคลนน้ำ
- (3) ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่เพิ่มขึ้น ณ สิ้นฤดูฝน (พ.ย.) เพื่อใช้สำหรับกิจกรรมการใช้น้ำต่าง ๆ รวมทั้งการเพาะปลูกในช่วงฤดูแล้งตามแผนการส่งน้ำของกรมชลประทาน
- (4) ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่เพิ่มขึ้น ณ สิ้นฤดูแล้ง (เม.ย.) เพื่อใช้สำหรับกิจกรรมการใช้น้ำต่าง ๆ รวมทั้งช่วยเหลือการเพาะปลูกในกรณีฝนทิ้งช่วง
- (5) ปริมาณฝนที่ใช้ในการรักษาระบบนิเวศ (ความชื้นในดิน และน้ำใต้ดิน)



รูปที่ 2.4-1 การประเมินผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำ

## 2.5 การจัดทำฐานข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

การจัดทำฐานข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ได้วางแผนดำเนินการร่วมกับโครงการวิจัยย่อยที่ 4 โดยทำการส่งมอบข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยา ประกอบด้วยข้อมูล พิกัด ที่อยู่ในรูปแบบของ พิกัดละติจูด และลองจิจูด ข้อมูล วัน เดือน ปี สถานีที่ทำการบันทึกข้อมูล ข้อมูลปริมาณน้ำฝน ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูล

ความเร็วลม ข้อมูลอุณหภูมิจุดน้ำค้างเฉลี่ย และผลการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำในบรรยากาศเฉลี่ย และ  
ข้อมูลปริมาณน้ำในบรรยากาศสูงสุด

### 3. ผลการวิจัย

ผลการวิจัยที่สำคัญจะประกอบด้วย 5 ส่วน ได้แก่ 1) ผลการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง 2) การวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศ 3) ผลการวิเคราะห์ตัวแปรภูมิอากาศและปริมาณน้ำในบรรยากาศที่เหมาะสมสำหรับการทำฝนหลวง 4) ผลการวิเคราะห์หัวเตอร์ฟุตพรินท์ 5) ผลการวิเคราะห์ดัชนีผลสัมฤทธิ์ฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำ และ 6) ผลการจัดทำฐานข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ดังแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

#### 3.1 ผลการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

##### 3.1.1 การทบทวนกระบวนการตัดสินใจทำฝนหลวง

###### 3.1.1.1 เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจทำฝน

การปฏิบัติการฝนหลวงเป็นการเสริมกระบวนการเกิดฝนตามธรรมชาติ ดังนั้นในสภาพธรรมชาติจะต้องมีสภาวะอากาศที่เหมาะสมพอควรที่จะทำการเพิ่มฝนในกลุ่มเมฆได้ ซึ่งประเสริฐและคณะ (2545) อธิบายว่าสภาวะอากาศนี้เกิดจาก 2 ส่วนประกอบกันคือ การเคลื่อนที่เข้าหากันของมวลอากาศต่างชนิดกัน เช่นมวลอากาศจากพื้นทวีป หรือมวลอากาศจากมหาสมุทรมาพบทำให้เกิดสภาวะ อากาศไม่เสถียรภาพจึงทำให้มวลอากาศที่มีความชื้นสูงลอยสูงขึ้นพร้อมกับลดอุณหภูมิลงแล้วกลั่นตัวเป็นเมฆ สำหรับอากาศที่ได้รับความร้อนจากผิวดินและลอยสูงขึ้น เมื่อได้ความชื้นที่มีในอากาศในแนวระนาบช่วยเสริมจะทำให้กระบวนการเกิดมฆฝนได้ง่ายขึ้น ดังนั้นเกณฑ์ที่ใช้ตัดสินใจทำฝนอาจแบ่งได้ 2 ประการคือ

1) **ศักยภาพของอากาศ** ที่จะทำให้ฝนตกในช่วงฤดูกาลต่างๆ ในรอบปี โดยสภาพธรรมชาติแล้วมีบางเดือนเท่านั้นที่มีสภาพอากาศเหมาะสมที่ฝนจะตก และในแต่ละฤดูกาลตัวการที่ทำให้ฝนตก ก็มีลักษณะต่างกันออกไป ซึ่งอาจแบ่งได้ดังนี้

(1) **ช่วงฤดูแล้ง** (พฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์) ในช่วงฤดูนี้มีโอกาสฝนตกในประเทศไทยตอนบนน้อยมาก แต่อาจจะมีบ้างจากเหตุการณ์ดังนี้

- ความกดอากาศสูงที่แผ่ลงมากระทบกับหย่อมความกดอากาศต่ำเนื่องจากความร้อน (AH+HL)
- การพัดสอบเข้าหากันของลมใต้ กับลมตะวันออกเฉียงใต้ (CON,S+SEwind)
- คลื่นกระแสอากาศตะวันตก (WT)
- ลมใต้หรือลมตะวันออกเฉียงใต้ (SEwind)

(2) **ช่วงเปลี่ยนฤดู** (ค่อมมรสุม ช่วงเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม) ในช่วงนี้มีโอกาสฝนตกมากขึ้นจากลักษณะอากาศที่คล้ายกันกับ (1) ซึ่งประกอบด้วย AH +HL, CON, S+Sewind, WT และ SE wind แต่ในช่วงต้นเดือนพฤษภาคมจะเริ่มมีพายุหมุนเขตร้อน (TS) ในทะเลอันดามันและร่องมรสุม (TCZ) เริ่มปรากฏในบริเวณภาคกลาง ซึ่งทำให้ฝนตกมากขึ้น

(3) **ช่วงฤดูฝน** (มิถุนายน ถึงตุลาคม) ในช่วงนี้ฝนส่วนใหญ่เกิดจากอิทธิพลของความกดอากาศต่ำ (L) เนื่องจากการคายความร้อนของแผ่นดิน พายุหมุนเขตร้อนในทะเลอันดามันและร่องมรสุม (ITCZ) ซึ่งเหตุการณ์ทั้ง 3 ชนิดนี้ มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน สำหรับในช่วงเดือนตุลาคม อาจจะมีอิทธิพลของ

ความกดอากาศสูง (H) เข้ามามีอิทธิพล ซึ่งจะมีฝนตกในวันแรกๆ ที่ ความกดอากาศสูงลงมาโอกาสที่จะเกิดสภาวะอากาศเหล่านี้อาจมีความแตกต่างกันไปในแต่ละปีแต่ก็มีขอบเขตจำกัดของจำนวนความถี่ที่มีโอกาสเกิดได้

2) **เกณฑ์ความเหมาะสมของสภาพอากาศในรอบวัน** ในแต่ละวันสภาพอากาศอาจเอื้ออำนวยในการปฏิบัติการทำฝนแตกต่างกันออกไป สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร ได้จำแนกเกณฑ์ความเหมาะสมในแต่ละวันออกเป็น 2 ช่วง เนื่องจากฤดูกาลต่างกัน กล่าวคือ ในในช่วงก่อน 16 พฤษภาคมและหลัง 16 ตุลาคม กับช่วงระหว่าง 15 พฤษภาคม ถึง 15 ตุลาคม โดยพิจารณาจากความชื้น ความเร็วลม และดัชนีเสถียรภาพของอากาศ รายละเอียดตามตารางที่ 3.1-1

ตารางที่ 3.1-1 เกณฑ์ความเหมาะสมของสภาพอากาศในการปฏิบัติการฝนหลวง

ลำดับ	ตัวแปร	ความเหมาะสมของสภาพอากาศ		
		ดี	ปานกลาง	ไม่เหมาะสม
1	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์) 0-10,000 ฟุต (1) ก่อน 16 พ.ค. และ หลัง 15 ต.ค. (2) 16 พ.ค. - 15 ต.ค.	75 ขึ้นไป 85 ขึ้นไป	74 - 65 84 - 75	ต่ำกว่า 65 ต่ำกว่า 75
2	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์) 10,000-18.000 ฟุต (1) ก่อน 16 พ.ค. และ หลัง 15 ต.ค. (2) 16 พ.ค. - 15 ต.ค.	70 ขึ้นไป 80 ขึ้นไป	69 - 60 79 - 70	ต่ำกว่า 60 ต่ำกว่า 70
3	ความเร็วลมเฉลี่ย (นอต) ที่ระดับ 10,000- 15,000 ฟุต	ต่ำกว่า 15	15 - 25	มากกว่า 25
4	ความสูงฐานเมฆคิวมูลัส (ฟุต) (1) ก่อน 16 พ.ค. และ หลัง 15 ต.ค. (2) 16 พ.ค.-15 ต.ค.	ต่ำกว่า 4,500 ต่ำกว่า 4,000	4,500 - 5,000 4,000 - 4,500	สูงกว่า 5,000 สูงกว่า 4,500
5	ความชื้นสัมพัทธ์ที่ฐานเมฆ (เปอร์เซ็นต์) (1) ก่อน 16 พ.ค. และ หลัง 15 ต.ค. (2) 16 พ.ค.-15 ต.ค.	80 ขึ้นไป 90 ขึ้นไป	80 - 70 90 - 80	ต่ำกว่า 70 ต่ำกว่า 80
6	ดัชนีการทรงตัวของอากาศ (1) Showalter Index <sup>1/</sup> (2) Lifted Index <sup>2/</sup>	ต่ำกว่า -0.5 ถึง 2 ต่ำกว่า -0.5	-0.5 ถึง 2 -0.5 ถึง 1	มากกว่า 2 มากกว่า 1
7	โอกาสที่อุณหภูมิผิวพื้นจะถึงค่า (Convective Temperature) <sup>3/</sup>	มี	มี	ไม่มี

ที่มา: ดัดแปลงจากศูนย์วิจัยปฏิบัติการฝนหลวงสายิต, 2536

หมายเหตุ 1/ = ค่าประเมินความแตกต่างของอุณหภูมิกลุ่มอากาศที่ระดับต่ำสุดใกล้ผิวพื้นหนา 50 มิลลิบาร์กับที่ระดับ 500 มิลลิบาร์

2/ = ค่าประเมินความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดของกลุ่มอากาศที่ระดับต่ำสุดใกล้ผิวพื้นหนา 50 มิลลิบาร์หรือยกขึ้นไป  
ระดับ 500 มิลลิบาร์

3/ = อุณหภูมิที่กลุ่มอากาศใกล้ผิวพื้นลอยตัวขึ้นเนื่องจากได้รับความร้อน

### 3.1.1.2 เกณฑ์ที่ใช้ในการไม่ปฏิบัติการทำฝน

การไม่ปฏิบัติการทำฝนมีสาเหตุที่สำคัญ 3 ประการ ได้แก่

- 1) สภาพอากาศในช่วงเวลานั้นมีศักยภาพน้อย โดยพิจารณาจากเกณฑ์ที่กล่าวมา
- 2) เนื่องจากฝนอาจทำความเสียหายให้แก่ พืชผลการเกษตร ในกรณีที่มีข้อเสนอจากเกษตรกรให้หยุดการปฏิบัติการเหนือพื้นที่เหล่านั้น ได้แก่

- ช่วงเวลาเก็บเกี่ยวข้าวนาปรัง และนาปีของแต่ละจังหวัด
- ช่วงเวลามะขามหวานของจังหวัดเพชรบูรณ์ และจังหวัดใกล้เคียงกำลังออกดอก
- ช่วงเวลาที่หอมหัวใหญ่ และกระเทียมในภาคเหนืออยู่ใกล้ระยะเก็บเกี่ยว
- ช่วงเวลาออกดอกของทุเรียนในภาคตะวันออก
- ช่วงเวลาเก็บเกี่ยวของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์
- ช่วงเวลาที่เกิดอุทกภัยในพื้นที่เป้าหมาย และใกล้เคียง

3) เนื่องจากฝนอาจทำให้เกิดการเสียหายต่อกิจกรรม เศรษฐกิจ และสังคมของประชาชน เช่น งานประเพณีของคนส่วนใหญ่ในแต่ละพื้นที่ หรือจังหวัด การก่อสร้างสาธารณะประโยชน์ต่างๆ เช่น ถนน ไฟฟ้า ประปา เป็นต้น

### 3.1.1.3 เกณฑ์ความจำเป็นเร่งด่วนในการทำฝนหลวง

กรมฝนหลวงและการบินเกษตร มีเกณฑ์ในการตัดสินใจทำฝนหลวง โดยพิจารณาจาก (1) ความต้องการน้ำของพื้นที่เพาะปลูก (2) โอกาสการเกิดฝนจากสภาพภูมิอากาศในรอบวัน และ (3) ความคาดหมายด้านสภาวะอากาศในแต่ละปี แล้วจึงกำหนดเป็นเกณฑ์เพื่อใช้ตัดสินใจว่าควรทำฝนหลวงหรือไม่ ดังตารางที่

#### 3.1-2

ตารางที่ 3.1-2 เกณฑ์ความจำเป็นเร่งด่วนในการทำฝนหลวง (หน่วยวิจัยเทคโนโลยีธรณีสัณฐานสิ่งแวดล้อมและ

พิบัติภัยธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2553)

เกณฑ์ความจำเป็นเร่งด่วนในการทำฝน	ค่าคะแนน	รายละเอียด
1. เกณฑ์การตัดสินใจด้านระบบการปลูกพืช (input: จังหวัด เดือน (ช่วงเวลา))	1	ความต้องการน้ำน้อย
	2	ความต้องการน้ำปานกลาง
	3	ความต้องการน้ำมาก
2. ความคาดหมายด้านภูมิอากาศสภาวะ อากาศที่ทำให้เกิดฝนในรอบเดือน (input: SYNI)	1	โอกาสเกิดฝนน้อย
	2	โอกาสเกิดฝนปานกลาง
	3	โอกาสเกิดฝนมาก
3. การคาดหมายด้านสภาวะอากาศในรอบปี (input: MEI)/	1	COLD ENSO (La Nina)
	2	MEDIUM ENSO
	3	WARM ENSO (El Nino)

หมายเหตุ: ค่าคะแนนรวม 3-4 แสดงว่ามีความจำเป็นน้อยในการทำฝน  
 ค่าคะแนนรวม 5-6 แสดงว่ามีความจำเป็นในการทำฝน  
 ค่าคะแนนรวม 7-9 แสดงว่ามีความจำเป็นเร่งด่วนในการทำฝน

### 3.1.2 ผลการรวบรวมข้อมูลภูมิอากาศ

ผลการรวบรวมข้อมูลภูมิอากาศของสถานีตรวจวัดภูมิอากาศ จำนวน 3 สถานี ในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ สถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหิน เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ ในช่วงเวลา 30 ปี (2533-2562) แสดงค่าเฉลี่ย และช่วงพิสัยของค่าเฉลี่ยรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศ ได้ดังตารางที่ 3.1-3 และแสดงการผันแปรรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศหลักเฉลี่ยจากสถานีตรวจวัดอากาศหัวหิน เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ไว้ในตารางที่ 3.1-4 ถึง 3.1-6

ตารางที่ 3.1-3 ค่าเฉลี่ยรายปี และช่วงพิสัยของค่าเฉลี่ยรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศ คาบ 30 ปี (2533-2562)

สถานีตรวจวัด ภูมิอากาศ	ตัวแปรภูมิอากาศ	ค่าเฉลี่ย รายปี	ช่วงพิสัยของค่าเฉลี่ย รายเดือน
หัวหิน	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28	26.3 (ม.ค.) - 29.6 (เม.ย.)
	ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	73.45	67.57 (ธ.ค.) - 77.50 (ต.ค.)
	ความเร็วลม (นอต)	10.42	9.40 (ต.ค.) - 11.77 (มี.ค.)
	อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (องศาเซลเซียส)	22.68	19.71 (ธ.ค.) - 24.20 (พ.ค.)
	ปริมาณการระเหยจากภาค (มม.)	141.6	118.9 (พ.ย.) - 174.7 (เม.ย.)
เพชรบุรี	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28.2	25.98 (ธ.ค.) - 29.85 (เม.ย.)
	ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	76.47	71.67 (ธ.ค.) - 81.40 (พ.ย.)
	ความเร็วลม (นอต)	11.59	9.60 (ธ.ค.) - 14.40 (มี.ค.)
	อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (องศาเซลเซียส)	23.48	20.22 (ธ.ค.) - 25.05 (เม.ย.)
	ปริมาณการระเหยจากภาค (มม.)	126.5	104.6 (พ.ย.) - 164.3 (เม.ย.)
ประจวบคีรีขันธ์	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	27.7	25.8 (ม.ค.) - 29.4 (เม.ย.)
	ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	76.54	70.9 (ธ.ค.) - 81.83 (พ.ย.)
	ความเร็วลม (นอต)	13.12	11.5 (พ.ย.) - 14.6 (ก.ค.)
	อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (องศาเซลเซียส)	22.93	19.95 (ธ.ค.) - 24.64 (เม.ย.)
	ปริมาณการระเหยจากภาค (มม.)	134.9	112.9 (ต.ค.) - 160.1 (เม.ย.)

ตารางที่ 3.1-4 การผันแปรรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศหลักเฉลี่ยจากสถานีตรวจวัดอากาศหัวหิน คาบ 30 ปี (2533-2562)

ตัวแปรภูมิอากาศ	เดือน											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	26.25	27.31	28.47	29.63	29.51	29.20	28.77	28.64	28.16	26.74	27.42	26.39
ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	71.47	73.10	73.93	73.17	74.17	73.27	73.40	73.70	76.97	77.50	73.13	67.57
ความเร็วลม (นอต)	9.50	10.37	11.77	11.07	10.63	10.83	10.87	10.63	9.57	9.40	9.97	10.43
อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (องศาเซลเซียส)	20.45	21.84	23.16	24.10	24.20	23.69	23.29	23.25	23.55	22.98	21.94	19.71
ปริมาณการระเหยจากภาค (มม.)	130.99	133.42	166.68	174.71	163.05	142.87	139.27	136.72	126.92	118.93	127.14	138.59

ตารางที่ 3.1-5 การผันแปรรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศหลักเฉลี่ยจากสถานีตรวจวัดอากาศเพชรบุรี คาบ 30 ปี (2533-2562)

ตัวแปรภูมิอากาศ	เดือน											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	26.09	27.45	28.72	29.85	29.70	29.30	28.86	28.75	28.36	27.95	27.37	25.98
ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	74.43	76.43	77.53	76.20	76.20	75.63	76.20	76.40	79.63	81.40	75.87	71.67
ความเร็วลม (นอต)	10.33	12.60	14.40	14.30	12.87	11.70	11.03	11.33	10.33	10.37	10.23	9.60
อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (องศาเซลเซียส)	20.95	22.74	24.26	25.05	24.90	24.38	24.08	24.03	24.33	24.31	22.45	20.22
ปริมาณการระเหยจากภาค (มม.)	111.33	122.14	154.94	164.32	149.73	129.21	128.49	123.86	115.46	104.56	104.87	109.15

ตารางที่ 3.1-6 การผันแปรรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศหลักเฉลี่ยจากสถานีตรวจวัดอากาศ  
ประจวบคีรีขันธ์ คาบ 30 ปี (2533-2562)

ตัวแปรภูมิอากาศ	เดือน											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	25.81	26.87	28.15	29.45	29.19	28.65	28.05	27.93	27.90	27.32	26.98	25.96
ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	75.23	76.93	77.43	76.67	76.57	75.97	76.87	77.07	77.23	81.83	75.73	70.90
ความเร็วลม (นอต)	11.83	12.03	12.57	13.00	13.40	14.20	14.60	14.30	13.27	11.53	12.90	13.83
อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (องศาเซลเซียส)	20.78	22.19	23.59	24.64	24.41	23.76	23.39	23.35	23.34	23.72	22.05	19.95
ปริมาณการระเหยจากภาค (มม.)	129.65	125.28	152.51	160.07	156.78	137.97	127.05	127.26	123.50	112.95	126.28	139.02

### 3.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศ

จากข้อมูลอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature) ณ ระดับซึ่งมีความดันของอากาศ (Air Pressure) ของที่ตั้งสถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหิน เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศ (Precipitable Water) โดยการใช้โมโนกราฟในรูปที่ 2.2-2 หรือตารางที่ 2.2-1 ค่าปริมาณน้ำในบรรยากาศคำนวณได้จากการใช้อุณหภูมิจุดน้ำค้างหรือความดันไอน้ำที่ผิวโลกและสมมุติว่าจำนวนไอน้ำในบรรยากาศเท่ากับมวลอากาศซึ่งอิมด้วยไอน้ำ พร้อมกับมีอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแนวตั้งแบบมวลอากาศที่อิมตัว และมีความร้อนแฝงเกิดขึ้น (Saturation Pseudo-Adiabatic Lapse Rate)

จากข้อมูลอุณหภูมิจุดน้ำค้างราย 3 ชั่วโมง ของสถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหิน เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ ที่รวบรวมได้ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2524-2562 นำมาหาค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างเฉลี่ยในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง และค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างสูงสุดในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาหาค่าปริมาณน้ำในบรรยากาศที่ระดับความสูง 200 มิลลิบาร์ในบรรยากาศ ได้ดังตารางที่ 3.2-1 ซึ่งพบว่า ปริมาณน้ำในบรรยากาศรายวันเฉลี่ยที่สถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหิน เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ มีค่าอยู่ระหว่าง 51.23-75.00 มม. 53.33-80.71 มม. และ 52.31-77.85 มม. ตามลำดับ และปริมาณน้ำในบรรยากาศรายวันสูงสุดที่สถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหิน เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ มีค่าอยู่ระหว่าง 60.21-84.04 มม. 61.55-92.27 มม. และ 60.97-89.84 มม. ตามลำดับ

ตารางที่ 3.2-1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศเฉลี่ยและสูงสุดรายเดือนและรายปีจากค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างเฉลี่ยรายวันและสูงสุดรายวัน

สถานีตรวจวัด	ค่าทางสถิติ	ปริมาณน้ำในบรรยากาศรายวัน (มม.)												เฉลี่ยรายปี (มม.)
		ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
ภูมิอากาศหัวหิน	เฉลี่ย	54.58	62.37	68.65	74.43	75.00	71.49	69.42	69.03	71.10	72.50	63.28	51.23	66.92
	สูงสุด	64.12	71.44	77.98	84.00	84.04	80.17	77.86	76.92	78.87	79.46	71.03	60.21	84.04
เพชรบุรี	เฉลี่ย	56.97	67.42	75.18	80.71	79.55	75.92	74.03	73.82	76.01	75.94	66.03	53.33	71.24
	สูงสุด	67.11	77.89	85.63	92.27	90.52	86.63	84.71	83.70	84.66	83.05	73.02	61.55	92.27
ประจวบคีรีขันธ์	เฉลี่ย	56.18	64.44	71.32	77.85	76.82	72.56	70.16	69.94	70.31	72.28	63.88	52.31	68.17
	สูงสุด	66.14	74.64	82.09	89.84	88.21	82.05	78.46	77.82	78.53	80.26	72.10	60.97	89.84

### 3.3 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรภูมิอากาศและปริมาณน้ำในบรรยากาศที่เหมาะสมสำหรับการทำฝนหลวง

ผลของการวิเคราะห์ตัวแปรภูมิอากาศและปริมาณน้ำในบรรยากาศที่เหมาะสมสำหรับการทำฝนหลวง จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลภูมิอากาศรายวันที่สำคัญได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ปริมาณน้ำในบรรยากาศเฉลี่ย และปริมาณน้ำในบรรยากาศสูงสุด ในคาบ 30 ปี (2533-2562) รวมทั้งข้อมูลปริมาณฝนรายวัน และจำนวนวันฝนตก สามารถนำมาวิเคราะห์โอกาสการเกิดฝนตามช่วงข้อมูลภูมิอากาศหลักในวันที่เกิดฝนตกเทียบกับจำนวนวันที่ฝนตกและจำนวนวันทั้งหมดในแต่ละปี โดยมีจำนวนวันที่ฝนตกเฉลี่ย 108 วัน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.3-1

จากข้อมูลรายวันของความชื้นสัมพัทธ์ (rh) ความเร็วลม (wind) ปริมาณฝน (rain) และผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศเฉลี่ย ( $w_{avg}$ ) ปริมาณน้ำในบรรยากาศสูงสุด ( $w_{max}$ ) ทำการวิเคราะห์ถดถอยความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรดังกล่าวกับปริมาณฝนรายวัน โดยทำการวิเคราะห์ถดถอยความสัมพันธ์ 2 ตัวแปร 3 ตัวแปร และ 4 ตัวแปร และได้แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 4 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงปีที่วิเคราะห์ 10 ปี (2533-2542) ช่วงปีที่วิเคราะห์ 10 ปี (2543-2552) ช่วงปีที่วิเคราะห์ 10 ปี (2553-2562) และช่วงปีที่วิเคราะห์ 30 ปี (2533-2562) จากผลการวิเคราะห์ พบว่า

ช่วงปีที่วิเคราะห์ 10 ปี (2533-2542) ความสัมพันธ์ 4 ตัวแปร ของสถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหินให้ความสัมพันธ์ที่ดีที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.419

ช่วงปีที่วิเคราะห์ 10 ปี (2543-2552) ความสัมพันธ์ 4 ตัวแปร ของสถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหินให้ความสัมพันธ์ที่ดีที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.459

ช่วงปีที่วิเคราะห์ 10 ปี (2553-2562) ความสัมพันธ์ 4 ตัวแปร และ 3 ตัวแปร ของสถานีตรวจวัดภูมิอากาศประจวบคีรีขันธ์ให้ความสัมพันธ์ที่ดีที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.406

ช่วงปีที่วิเคราะห์ 30 ปี (2533-2562) ความสัมพันธ์ 4 ตัวแปร ของสถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหินให้ความสัมพันธ์ที่ดีที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.406

ดังแสดงผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลภูมิอากาศหลักและปริมาณฝน ของสถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหิน เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ ได้ดังตารางที่ 3.3-2 ถึง 3.3-4 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.3-1 ผลการวิเคราะห์โอกาสการเกิดฝนตามช่วงข้อมูลภูมิอากาศหลักในวันที่เกิดฝนตก

ตัวแปร ภูมิอากาศ	ช่วงค่า ข้อมูล	จำนวนวันฝนตกทั้งหมด = 108 วัน	จำนวนวันทั้งหมด = 365 วัน
		ร้อยละของวันที่ฝนตกต่อ จำนวนวันที่ฝนตกทั้งหมด	ร้อยละของวันที่ฝนตกต่อ จำนวนวันทั้งหมด
ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	30-50	0.00	0.00
	51-70	5.56	1.64
	71-90	88.89	26.23
	91-100	5.56	1.64
ความเร็วลม (นอต)	0-10	44.44	13.11
	11-20	46.30	13.66
	21-30	7.41	2.19
	31-40	0.93	0.27
	> 40	0.93	0.27
ปริมาณน้ำในบรรยากาศ เฉลี่ย (มม.)	10-40	0.93	0.27
	41-70	26.85	7.92
	71-100	72.22	21.31
	> 100	0.00	0.00
ปริมาณน้ำในบรรยากาศ สูงสุด (มม.)	10-40	0.00	0.00
	41-70	5.56	1.64
	71-100	91.67	27.05
	> 100	2.78	0.82

ตารางที่ 3.3-2 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลภูมิอากาศหลักและปริมาณฝน  
ของสถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหิน

สถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหิน ช่วงปีที่วิเคราะห์ 10 ปี (2533-2542)

ตัวแปร		สมการ	R
4 ตัวแปร	rh, wind, $w_{avg}$ , $w_{max}$	$rain = -79.205 + (1.300 * rh) + (0.420 * wind) - (0.650 * avg) + (0.343 * max)$	0.419
3 ตัวแปร	rh, wind, $w_{avg}$	$rain = -75.174 + (1.230 * rh) + (0.418 * wind) - (0.245 * avg)$	0.413
	rh, wind, $w_{max}$	$rain = -83.036 + (1.158 * rh) + (0.441 * wind) - (0.0542 * max)$	0.408
	rh, $w_{avg}$ , $w_{max}$	$rain = -67.852 + (1.277 * rh) - (0.709 * avg) + (0.338 * max)$	0.400
2 ตัวแปร	rh, $w_{avg}$	$rain = -63.944 + (1.208 * rh) - (0.310 * avg)$	0.394

สถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหิน ช่วงปีที่วิเคราะห์ 10 ปี (2543-2552)

ตัวแปร		สมการ	R
4 ตัวแปร	rh, wind, $w_{avg}$ , $w_{max}$	$rain = -95.892 + (1.395 * rh) + (1.426 * wind) - (0.684 * avg) + (0.433 * max)$	0.459
3 ตัวแปร	rh, wind, $w_{avg}$	$rain = -87.730 + (1.308 * rh) + (1.406 * wind) - (0.222 * avg)$	0.451
	rh, wind, $w_{max}$	$rain = -97.337 + (1.194 * rh) + (1.433 * wind) + (0.0335 * max)$	0.448
	rh, $w_{avg}$ , $w_{max}$	$rain = -76.064 + (1.325 * rh) - (0.697 * avg) + (0.400 * max)$	0.413
2 ตัวแปร	rh, $w_{avg}$	$rain = -68.767 + (1.246 * rh) - (0.269 * avg)$	0.405

สถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหิน ช่วงปีที่วิเคราะห์ 10 ปี (2553-2562)

ตัวแปร		สมการ	R
4 ตัวแปร	rh, wind, $w_{avg}$ , $w_{max}$	$rain = -64.209 + (1.069 * rh) + (0.298 * wind) - (0.363 * avg) + (0.139 * max)$	0.386
3 ตัวแปร	rh, wind, $w_{avg}$	$rain = -62.008 + (1.039 * rh) + (0.300 * wind) - (0.207 * avg)$	0.385
	rh, wind, $w_{max}$	$rain = -63.762 + (0.974 * rh) + (0.286 * wind) - (0.101 * max)$	0.381
	rh, $w_{avg}$ , $w_{max}$	$rain = -61.423 + (1.043 * rh) - (0.330 * avg) + (0.147 * max)$	0.374
2 ตัวแปร	rh, $w_{avg}$	$rain = -12.690 + (0.201 * wind) + (0.623 * avg) - (0.333 * max)$	0.373

สถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหิน ช่วงปีที่วิเคราะห์ 30 ปี (2533-2562)

ตัวแปร		สมการ	R
4 ตัวแปร	rh, wind, $w_{avg}$ , $w_{max}$	$rain = -70.303 + (1.231 * rh) + (0.331 * wind) - (0.586 * avg) + (0.265 * max)$	0.406
3 ตัวแปร	rh, wind, $w_{avg}$	$rain = -66.372 + (1.177 * rh) + (0.335 * wind) - (0.287 * avg)$	0.402
	rh, wind, $w_{max}$	$rain = -70.825 + (1.081 * rh) + (0.322 * wind) - (0.107 * max)$	0.395
	rh, $w_{avg}$ , $w_{max}$	$rain = -67.214 + (1.210 * rh) - (0.568 * avg) + (0.275 * max)$	0.394
2 ตัวแปร	rh, $w_{avg}$	$rain = -63.093 + (1.153 * rh) - (0.257 * avg)$	0.390

หมายเหตุ: rain = ปริมาณฝน (มม.)  
rh = ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)  
wind = ความเร็วลม (นอต)  
 $w_{avg}$  = ปริมาณน้ำในบรรยากาศเฉลี่ย (มม.)  
 $w_{max}$  = ปริมาณน้ำในบรรยากาศสูงสุด (มม.)

ตารางที่ 3.3-3 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลภูมิอากาศหลักและปริมาณฝน  
ของสถานีตรวจวัดภูมิอากาศเพชรบุรี

สถานีตรวจวัดภูมิอากาศเพชรบุรี ช่วงปีที่วิเคราะห์ 10 ปี (2533-2542)

ตัวแปร		สมการ	R
4 ตัวแปร	rh, wind, w <sub>avg</sub> , w <sub>max</sub>	rain = -64.970 + (0.996 * rh) + (0.610 * wind) - (0.256 * avg) + (0.0960 * max)	0.338
3 ตัวแปร	rh, wind, w <sub>avg</sub>	rain = -62.837 + (0.970 * rh) + (0.620 * wind) - (0.151 * avg)	0.337
	rh, wind, w <sub>max</sub>	rain = -63.999 + (0.922 * rh) + (0.625 * wind) - (0.0757 * max)	0.335
	rh, w <sub>avg</sub> , w <sub>max</sub>	rain = -62.670 + (1.020 * rh) - (0.324 * avg) + (0.171 * max)	0.308
2 ตัวแปร	rh, w <sub>avg</sub>	rain = -58.742 + (0.974 * rh) - (0.136 * avg)	0.305

สถานีตรวจวัดภูมิอากาศเพชรบุรี ช่วงปีที่วิเคราะห์ 10 ปี (2543-2552)

ตัวแปร		สมการ	R
4 ตัวแปร	rh, wind, w <sub>avg</sub> , w <sub>max</sub>	rain = -52.132 + (0.861 * rh) + (0.367 * wind) - (0.126 * avg) - (0.0375 * max)	0.338
3 ตัวแปร	rh, wind, w <sub>avg</sub>	rain = -52.875 + (0.871 * rh) + (0.365 * wind) - (0.168 * avg)	0.338
	rh, wind, w <sub>max</sub>	rain = -51.660 + (0.822 * rh) + (0.368 * wind) - (0.120 * max)	0.337
	rh, w <sub>avg</sub> , w <sub>max</sub>	rain = -49.726 + (0.854 * rh) - (0.135 * avg) + (0.00365 * max)	0.318
2 ตัวแปร	rh, w <sub>avg</sub>	rain = -49.652 + (0.853 * rh) - (0.131 * avg)	0.318

สถานีตรวจวัดภูมิอากาศเพชรบุรี ช่วงปีที่วิเคราะห์ 10 ปี (2553-2562)

ตัวแปร		สมการ	R
4 ตัวแปร	rh, wind, w <sub>avg</sub> , w <sub>max</sub>	rain = -51.826 + (0.669 * rh) + (0.513 * wind) + (0.167 * avg) - (0.146 * max)	0.301
3 ตัวแปร	rh, wind, w <sub>avg</sub>	rain = -55.156 + (0.715 * rh) + (0.506 * wind) - (0.000302 * avg)	0.298
	rh, wind, w <sub>max</sub>	rain = -52.165 + (0.720 * rh) + (0.507 * wind) - (0.0394 * max)	0.299
	rh, w <sub>avg</sub> , w <sub>max</sub>	rain = -43.943 + (0.676 * rh) + (0.115 * avg) - (0.111 * max)	0.255
2 ตัวแปร	rh, w <sub>avg</sub>	rain = -46.563 + (0.711 * rh) - (0.0117 * avg)	0.253

สถานีตรวจวัดภูมิอากาศเพชรบุรี ช่วงปีที่วิเคราะห์ 30 ปี (2533-2562)

ตัวแปร		สมการ	R
4 ตัวแปร	rh, wind, w <sub>avg</sub> , w <sub>max</sub>	rain = -54.539 + (0.845 * rh) + (0.404 * wind) - (0.0841 * avg) - (0.0301 * max)	0.316
3 ตัวแปร	rh, wind, w <sub>avg</sub>	rain = -55.189 + (0.854 * rh) + (0.402 * wind) - (0.118 * avg)	0.315
	rh, wind, w <sub>max</sub>	rain = -54.238 + (0.820 * rh) + (0.405 * wind) - (0.0851 * max)	0.315
	rh, w <sub>avg</sub> , w <sub>max</sub>	rain = -51.985 + (0.837 * rh) - (0.0952 * avg) + (0.0155 * max)	0.288
2 ตัวแปร	rh, w <sub>avg</sub>	rain = -51.642 + (0.833 * rh) - (0.0777 * avg)	0.288

หมายเหตุ: rain = ปริมาณฝน (มม.)  
rh = ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)  
wind = ความเร็วลม (นอต)  
w<sub>avg</sub> = ปริมาณน้ำในบรรยากาศเฉลี่ย (มม.)  
w<sub>max</sub> = ปริมาณน้ำในบรรยากาศสูงสุด (มม.)

ตารางที่ 3.3-4 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลภูมิอากาศหลักและปริมาณฝน  
ของสถานีตรวจวัดภูมิอากาศประจำบศิริชั้น

สถานีตรวจวัดภูมิอากาศประจำบศิริชั้น ช่วงปีที่วิเคราะห์ 10 ปี (2533-2542)

ตัวแปร		สมการ	R
4 ตัวแปร	rh, wind, w <sub>avg</sub> , w <sub>max</sub>	rain = -87.037 + (1.244 * rh) + (0.628 * wind) - (0.459 * avg) + (0.240 * max)	0.392
3 ตัวแปร	rh, wind, w <sub>avg</sub>	rain = -85.145 + (1.206 * rh) + (0.628 * wind) - (0.175 * avg)	0.388
	rh, wind, w <sub>max</sub>	rain = -90.305 + (1.150 * rh) + (0.648 * wind) - (0.0385 * max)	0.385
	rh, w <sub>avg</sub> , w <sub>max</sub>	rain = -63.041 + (1.128 * rh) - (0.535 * avg) + (0.240 * max)	0.351
2 ตัวแปร	rh, w <sub>avg</sub>	rain = -61.161 + (1.090 * rh) - (0.252 * avg)	0.346

สถานีตรวจวัดภูมิอากาศประจำบศิริชั้น ช่วงปีที่วิเคราะห์ 10 ปี (2543-2552)

ตัวแปร		สมการ	R
4 ตัวแปร	rh, wind, w <sub>avg</sub> , w <sub>max</sub>	rain = -69.948 + (1.076 * rh) + (0.644 * wind) - (0.274 * avg) + (0.0502 * max)	0.381
3 ตัวแปร	rh, wind, w <sub>avg</sub>	rain = -70.136 + (1.069 * rh) + (0.646 * wind) - (0.208 * avg)	0.38
	rh, wind, w <sub>max</sub>	rain = -73.724 + (1.014 * rh) + (0.663 * wind) - (0.0882 * max)	0.377
	rh, w <sub>avg</sub> , w <sub>max</sub>	rain = -56.798 + (1.069 * rh) - (0.368 * avg) + (0.0715 * max)	0.344
2 ตัวแปร	rh, w <sub>avg</sub>	rain = -57.003 + (1.059 * rh) - (0.274 * avg)	0.344

สถานีตรวจวัดภูมิอากาศประจำบศิริชั้น ช่วงปีที่วิเคราะห์ 10 ปี (2553-2562)

ตัวแปร		สมการ	R
4 ตัวแปร	rh, wind, w <sub>avg</sub> , w <sub>max</sub>	rain = -83.754 + (1.229 * rh) + (0.456 * wind) - (0.267 * avg) + (0.0696 * max)	0.406
3 ตัวแปร	rh, wind, w <sub>avg</sub>	rain = -83.627 + (1.219 * rh) + (0.454 * wind) - (0.178 * avg)	0.406
	rh, wind, w <sub>max</sub>	rain = -86.440 + (1.178 * rh) + (0.459 * wind) - (0.0843 * max)	0.404
	rh, w <sub>avg</sub> , w <sub>max</sub>	rain = -70.892 + (1.186 * rh) - (0.287 * avg) + (0.0569 * max)	0.377
2 ตัวแปร	rh, w <sub>avg</sub>	rain = -70.815 + (1.177 * rh) - (0.214 * avg)	0.377

สถานีตรวจวัดภูมิอากาศประจำบศิริชั้น ช่วงปีที่วิเคราะห์ 30 ปี (2533-2562)

ตัวแปร		สมการ	R
4 ตัวแปร	rh, wind, w <sub>avg</sub> , w <sub>max</sub>	rain = -77.620 + (1.174 * rh) + (0.513 * wind) - (0.340 * avg) + (0.111 * max)	0.389
3 ตัวแปร	rh, wind, w <sub>avg</sub>	rain = -77.442 + (1.158 * rh) + (0.512 * wind) - (0.199 * avg)	0.388
	rh, wind, w <sub>max</sub>	rain = -81.196 + (1.104 * rh) + (0.522 * wind) - (0.0785 * max)	0.384
	rh, w <sub>avg</sub> , w <sub>max</sub>	rain = -62.946 + (1.121 * rh) - (0.384 * avg) + (0.109 * max)	0.357
2 ตัวแปร	rh, w <sub>avg</sub>	rain = -62.782 + (1.106 * rh) - (0.246 * avg)	0.356

หมายเหตุ: rain = ปริมาณฝน (มม.)  
rh = ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)  
wind = ความเร็วลม (นอต)  
w<sub>avg</sub> = ปริมาณน้ำในบรรยากาศเฉลี่ย (มม.)  
w<sub>max</sub> = ปริมาณน้ำในบรรยากาศสูงสุด (มม.)

### 3.4 ผลการวิเคราะห์ห่วงโซ่อุปทาน

การคำนวณห่วงโซ่อุปทานดำเนินการโดยนำหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต หรือ Life Cycle Assessment, LCA มาใช้ในการดำเนินการศึกษาและคำนวณ โดยเริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูลปฏิบัติการฝนหลวง กำหนดเป้าหมายและขอบเขต จัดทำเป็นตารางบัญชีรายการ (Inventory) การคำนวณห่วงโซ่อุปทาน และการแปลผลการศึกษา ซึ่งจำเป็นต้องใช้ข้อมูลประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ 1) ปริมาณทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวง 2) ห่วงโซ่อุปทานที่ติดมากับผลิตภัณฑ์ที่นำมาใช้ในปฏิบัติการฝนหลวง (The water footprints of products;  $WF_{prod}$ ) และ 3) ผลผลิตหรือเป้าหมายคือปริมาณฝน

หลังจากที่ได้เก็บข้อมูลของปฏิบัติการฝนหลวง ในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี ย้อนหลัง 3 ปี ตั้งแต่พ.ศ. 2561-2563 โดยทำการพิจารณาเป็นรายปี ประกอบด้วยข้อมูลทรัพยากรต่างๆที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวง และการประมาณปริมาณฝนที่เกิดจากปฏิบัติการฝนหลวง เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาจัดทำบัญชีรายการ (inventory) โดยกำหนดหน่วยวัด (functional unit) เป็นปริมาณน้ำที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวงต่อปริมาณฝนที่ประเมินได้จากปฏิบัติการในแต่ละครั้งตลอด 3 ปีของปฏิบัติการ เนื่องจากในการประเมินปริมาณน้ำฝนนั้นทางที่วิจัยโดยโครงการวิจัยย่อยที่ 1 และ 2 ได้ทำการศึกษาวเคราะห์ไว้ประกอบด้วย 1) การประเมินจากฝนสถานีด้วยวิธี Inverse Distance Weighted (IDW) 2) การประเมินจากฝนเรดาร์ และ 3) การประเมินจากฝนดาวเทียม (ดาวเทียม JAXA) ที่มีการปรับค่าด้วยฝนสถานีแล้ว ผลการศึกษาจะลำดับตามกระบวนการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment; LCA) ดังต่อไปนี้

#### 3.4.1 การเตรียมข้อมูลเพื่อจัดทำบัญชีรายการ

จากการศึกษาและทวนสอบเอกสารเกี่ยวกับที่มาและขั้นตอนในการปฏิบัติการฝนหลวงสามารถนำมาเขียนเป็นขั้นตอนปฏิบัติการ (Process flow diagram) ขอบเขตการประเมินจะพิจารณาตั้งแต่เริ่มจนเสร็จสิ้นปฏิบัติการฝนหลวง เตรียมข้อมูลจัดทำบัญชีรายการดังแสดงในรูปที่ 3.4-1 ในปฏิบัติการฝนหลวงนั้นจะแบ่งขั้นตอนของปฏิบัติการออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ 1) ก่อทวน 2) เลี้ยงให้อ้วน 3) โจมตี โดยปฏิบัติการฝนหลวงภายในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีที่ผ่านมาได้ถูกกำหนดใช้วิธีการปฏิบัติการโจมตีแบบ ประกบเมฆอุ้มแบบแซนด์วิช ในการโจมตีเพื่อให้เกิดฝนตก

จากรูปที่ 3.4-1 Input หมายถึง ทรัพยากรที่ใช้ไปในปฏิบัติการ Output หมายถึง ผลลัพธ์ที่ได้จากปฏิบัติการ โดยในแต่ละขั้นตอนนั้นจะมีการใช้ทรัพยากรที่แตกต่างกันออกไป เมื่อนำ Input และ Output มาวิเคราะห์ทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการแสดงรายละเอียดดังนี้

1) ปริมาณทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวง ประกอบด้วย น้ำมันเครื่องบิน, ยูเรีย, น้ำแข็งแห้ง, แคลเซียมออกไซด์, แคลเซียมคลอไรด์, และเกลือแอมโมเนียม ซึ่งได้ทำการรวบรวมข้อมูล โดยขอความอนุเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำมัน และสารฝนหลวงที่ใช้สำหรับปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ. 2561-2563 จากกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ดังตารางที่ 3.4-1

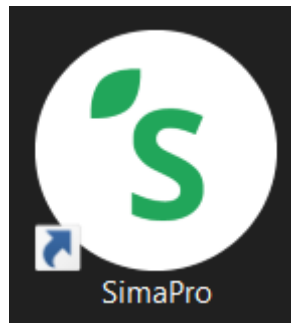


รูปที่ 3.4-1 แผนภาพแสดงขั้นตอนและทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวง

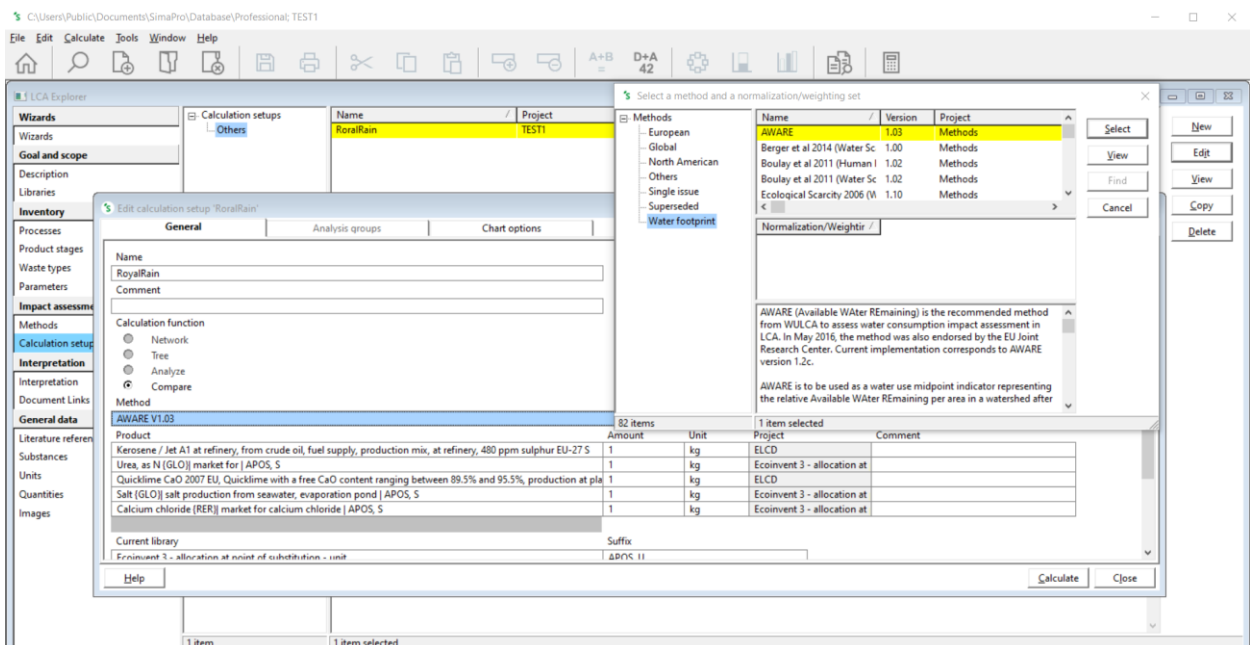
ตารางที่ 3.4-1 สรุปปริมาณทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวงรายปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561-2563

รายการ		ปริมาณทรัพยากร			
		2561	2562	2563	หน่วย
input	รายละเอียด				
จำนวนครั้งที่บิน		176.00	289.00	195.00	ครั้ง
น้ำมันเครื่องบิน	jet A1	42,866.67	72,166.67	40,050.00	ลิตร
<b>สารฝนหลวงสูตรเย็น</b>					
ยูเรีย	สูตร4	17.70	34.30	16.10	ตัน
น้ำแข็งแห้ง	สูตร3	17.30	30.10	13.20	ตัน
<b>สารฝนหลวงสูตรร้อน</b>					
แคลเซียมออกไซด์	สูตร8	30.10	-	4.60	ตัน
แคลเซียมคลอไรด์	สูตร6	-	28.70	34.80	ตัน
<b>สารฝนหลวงสร้างแกนกลั่นตัว</b>					
เกลือแป้ง	สูตร1	53.30	105.00	62.70	ตัน

2) การหาค่า  $WF_{prod}$  ของทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวง ซึ่งเป็นค่าปริมาณน้ำที่ถูกใช้ไปในการผลิตต่อหน่วยทรัพยากรนั้น เช่น ในการผลิตน้ำมัน Bio-diesel จากถั่ว ต้องใช้น้ำ 11,397 ลิตร ต่อการผลิตน้ำมัน Bio-diesel 1 ลิตร (Water Footprints Network, 2563: ออนไลน์) สามารถรวบรวมข้อมูลได้จากการศึกษาทดลอง งานวิจัยต่างๆ และฐานข้อมูลที่น่าเชื่อถือ ในกรณีศึกษานี้จะใช้จากฐานข้อมูล Ecoinvent ซึ่งอยู่ในระบบฐานข้อมูลที่ใช้ในการจัดทำบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory; LCI) สำหรับการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยใช้โปรแกรม SimaPro (Faculty version FFL KUK 001 Release 9.1.1.1) ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับประเมิน LCA ของผลิตภัณฑ์หรือบริการต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.4-2 และ 3.4-3 โดยแสดงการเข้าถึงฐานข้อมูลเพื่อหาค่า  $WF_{prod}$  ของปริมาณน้ำที่ถูกใช้สำหรับผลิตสารฝนหลวงในโปรแกรม SimaPro ดังรูปที่ 3.4-4



รูปที่ 3.4-2 ICON ของโปรแกรม SimaPro



รูปที่ 3.4-3 หน้าต่างของโปรแกรม SimaPro

Se	Impact category /	Unit	Kerosene / Jet A1 at refinery, from crude	Urea, as N {GLO} market for   APOS, S	Quicklime CaO 2007 EU, Quicklime with a	Salt {GLO} salt production from	Calcium chloride {RER} market for
<input checked="" type="checkbox"/>	Water use	m3	0.113	7.71	0.00546	0.000122	0.961

รูปที่ 3.4-4 การเข้าถึงฐานข้อมูลแสดงค่า  $WF_{prod}$  ของปริมาณน้ำที่ถูกใช้สำหรับผลิตสารปนหลงในโปรแกรม SimaPro

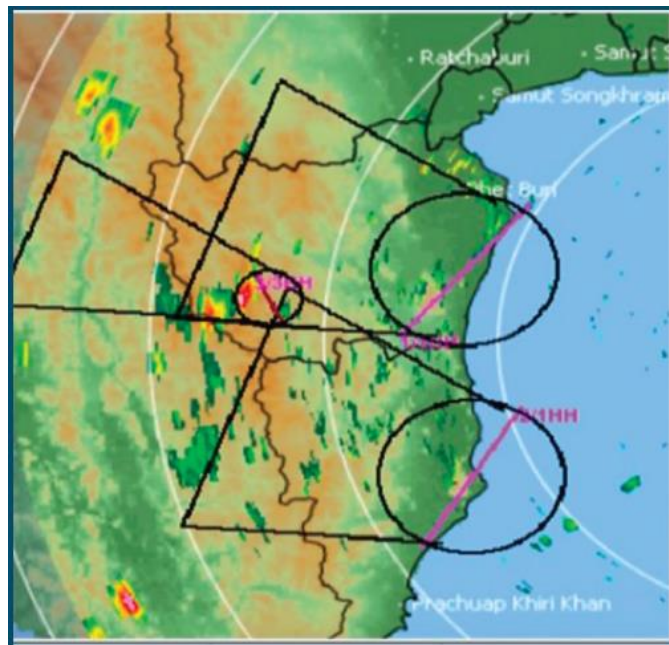
จากการรวบรวมข้อมูล  $WF_{prod}$  สำหรับสารปนหลงจากฐานข้อมูล Ecoinvent ในโปรแกรม SimaPro สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.4-2

ตารางที่ 3.4-2 ค่า  $WF_{prod}$  ของน้ำมันและสารปนหลงแต่ละชนิด

บัญชีรายการ			$WF_{prod}$ (ลบ.ม./หน่วย)
รายการ	ปริมาณ	หน่วย	
<b>Input</b>	<b>รายละเอียด</b>		
จำนวนครั้งที่บิน		ครั้ง	
น้ำมันเครื่องบิน	jet A1	ลิตร	0.090852
<b>สารปนหลงสูตรเย็น</b>			
ยูเรีย	สูตร4	กิโลกรัม	7.71
น้ำแข็งแห้ง	สูตร3	กิโลกรัม	0
<b>สารปนหลงสูตรร้อน</b>			
แคลเซียมออกไซด์	สูตร8	กิโลกรัม	0.00546
แคลเซียมคลอไรด์	สูตร6	กิโลกรัม	0.961
<b>สารปนหลงสร้างแกนกลั่นตัวของอากาศ</b>			
เกลือแป้ง	สูตร1	กิโลกรัม	0.000122

### 3.4.2 การประเมินค่าอเวอร่าจ์พุตพรีนธ์

หลังจากที่ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลและจัดเตรียมตารางบัญชีรายการพร้อมทั้ง  $WF_{prod}$  เรียบร้อยแล้ว จึงทำการคำนวณค่าอเวอร่าจ์พุตพรีนธ์โดยใช้ปริมาณผลผลิตคือฝนที่ได้ จากปฏิบัติการฝนหลวง ซึ่งถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์ ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการประเมิน ปริมาณฝนที่ตกใน 3 วิธีการที่ได้กล่าวไปแล้ว ข้างต้น ประกอบด้วย 1) การประเมินด้วย วิธี Inverse Distance Weighted (IDW) จากฝนสถานี (โครงการวิจัยย่อยที่ 1), 2) การประเมินจากฝนเรดาร์ และ 3) การประเมินจากฝนดาวเทียม (ดาวเทียม JAXA) (โครงการวิจัยย่อยที่ 2) โดยใช้กรวยฝนหลวงซึ่งเป็นแนวปฏิบัติการโปรยสารสำหรับปฏิบัติการฝนหลวง เป็นตัวกำหนดพื้นที่ศึกษาปริมาณน้ำฝน ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.4-5



รูปที่ 3.4-5 ตัวอย่างกรวยฝนหลวงจากรายงานผลการปฏิบัติการฝนหลวง

1) ปริมาณฝนจากการประเมินฝน โดยวิธี Inverse Distance Weighted (IDW) ของฝนสถานีจากโครงการย่อยที่ 1 ซึ่งได้ทำการคำนวณปริมาณฝนในหน่วย มิลลิเมตร นำมาปรับค่าเป็นหน่วยปริมาณน้ำฝนโดยคูณกับพื้นที่ในกรวย สำหรับวันที่มีปฏิบัติการฝนหลวงภายในลุ่มน้ำเพชรบุรี ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากกรมฝนหลวงและการบินเกษตร จะได้ค่าปริมาณฝนในหน่วยล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับปี พ.ศ. 2561, 2562 และ 2563 เท่ากับ 92.16, 295.84 และ 458.19 ล้านลูกบาศก์เมตรตามลำดับ

โดยแสดงตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำฝนจากการประเมินฝน โดยวิธี IDW ของฝนสถานี ของวันที่มีปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2561 ดังตารางที่ 3.4-3

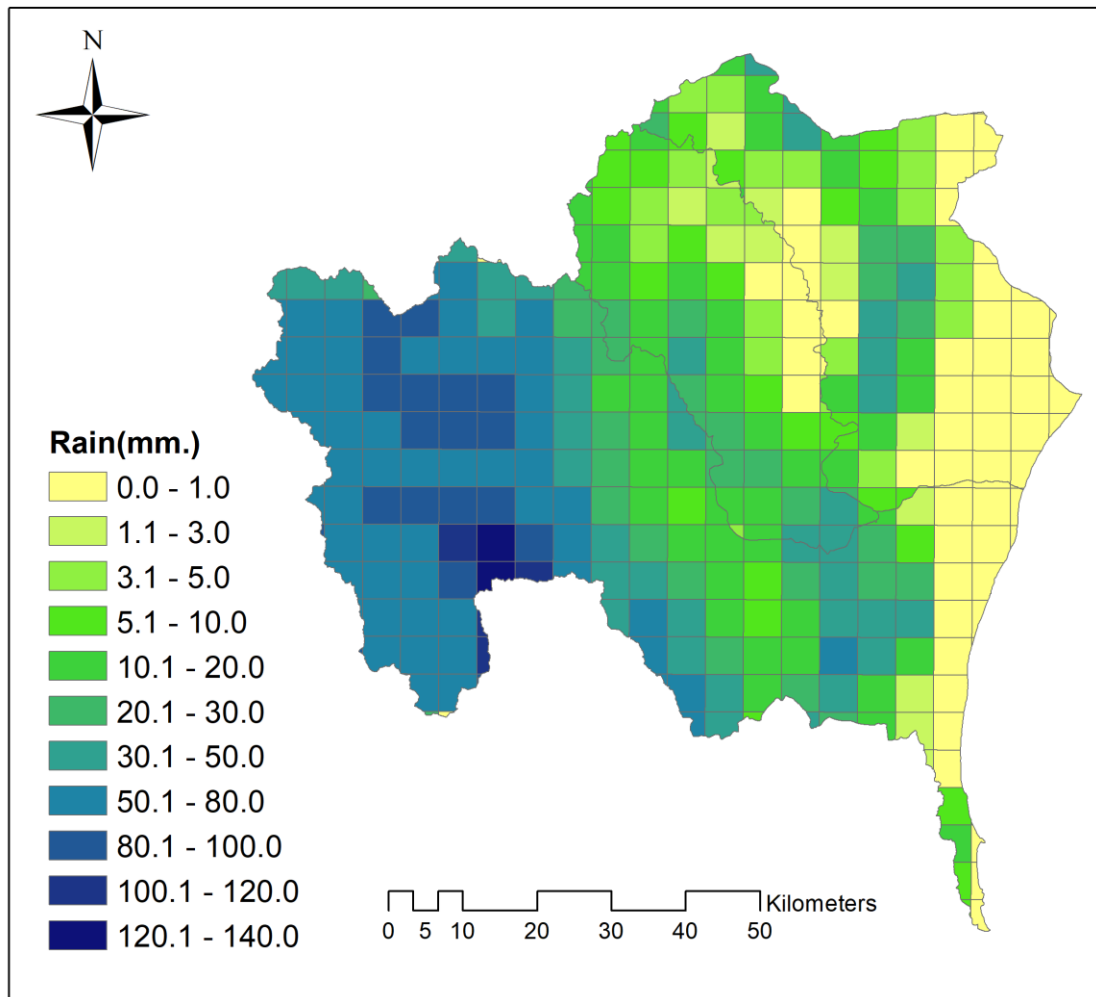
ตารางที่ 3.4-3 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำฝนของปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2561 จากการประเมินด้วยวิธี IDW ของฝนสถานีในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

Date	เฉลี่ยจากสถานีฝน สสน. ด้วยเทคนิค IDW	พื้นที่รูปรวฝนหลวง	ปริมาณฝน (ลบ.ม.)
04/04/2018	0.35	4231979157.47	1464264.788
11/04/2018	0.01	1420209506.39	20308.99594
15/04/2018	1.12	1290810782.80	1446998.888
16/04/2018	0.00	1703876075.59	0
17/04/2018	20.27	2301815936.45	46646299.95
19/04/2018	5.48	1752618775.66	9611361.366
20/04/2018	0.20	2799937866.28	559987.5733
21/04/2018	0.23	1103545112.18	256022.466
22/04/2018	0.12	289700150.36	33605.21744
25/04/2018	0.00	956417925.14	0
26/04/2018	0.21	1657717941.49	343147.6139
30/04/2018	4.66	1115434458.35	5201270.879
02/05/2018	2.04	1750796039.13	3571623.92
03/05/2018	3.55	1127525292.83	4001587.264
04/05/2018	3.46	1599503158.09	5526283.411
05/05/2018	4.68	2726985986.67	12756840.45
08/05/2018	0.44	1652295806.32	722053.2674
<b>ผลรวม</b>			<b>92,161,656.05</b>

หมายเหตุ: ข้อมูลได้รับอนุเคราะห์จากโครงการวิจัยที่ 1

2) ปริมาณฝนจากการประเมินโดยฝนเรดาร์ การติดต่อประสานข้อมูลฝนเรดาร์จากกรมฝนหลวงและการบินเกษตร เพื่อนำข้อมูลมาทำการปรับเทียบและคำนวณปริมาณฝนที่ตกในลุ่มน้ำเพชรบุรี โดยการแปลงข้อมูลฝนและพิกัดเรดาร์ลงในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีซึ่งได้ทำการแบ่งพื้นที่เป็นกริด โดยโปรแกรม ArcGIS ดังแสดงในรูปที่ 3.4-6 แล้วทำการคำนวณโดยการคูณปริมาณฝนในหน่วยมิลลิเมตรกับพื้นที่ของกริด ซึ่งจะทำการคิดเฉพาะพื้นที่ภายในกรวยฝนหลวง เพื่อปรับให้เป็นปริมาณฝนในหน่วยลูกบาศก์เมตร

โดยแสดงตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนรายปีจากวิธีการประเมินฝนเรดาร์ ของวันที่มีปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ. 2561 ดังตารางที่ 3.4-4



รูปที่ 3.4-6 ตัวอย่างผลการแปลงข้อมูลพิกัดและปริมาณฝนของฝนเรดาร์ลงในโปรแกรม ArcGIS  
(จากโครงการวิจัยย่อยที่ 2)

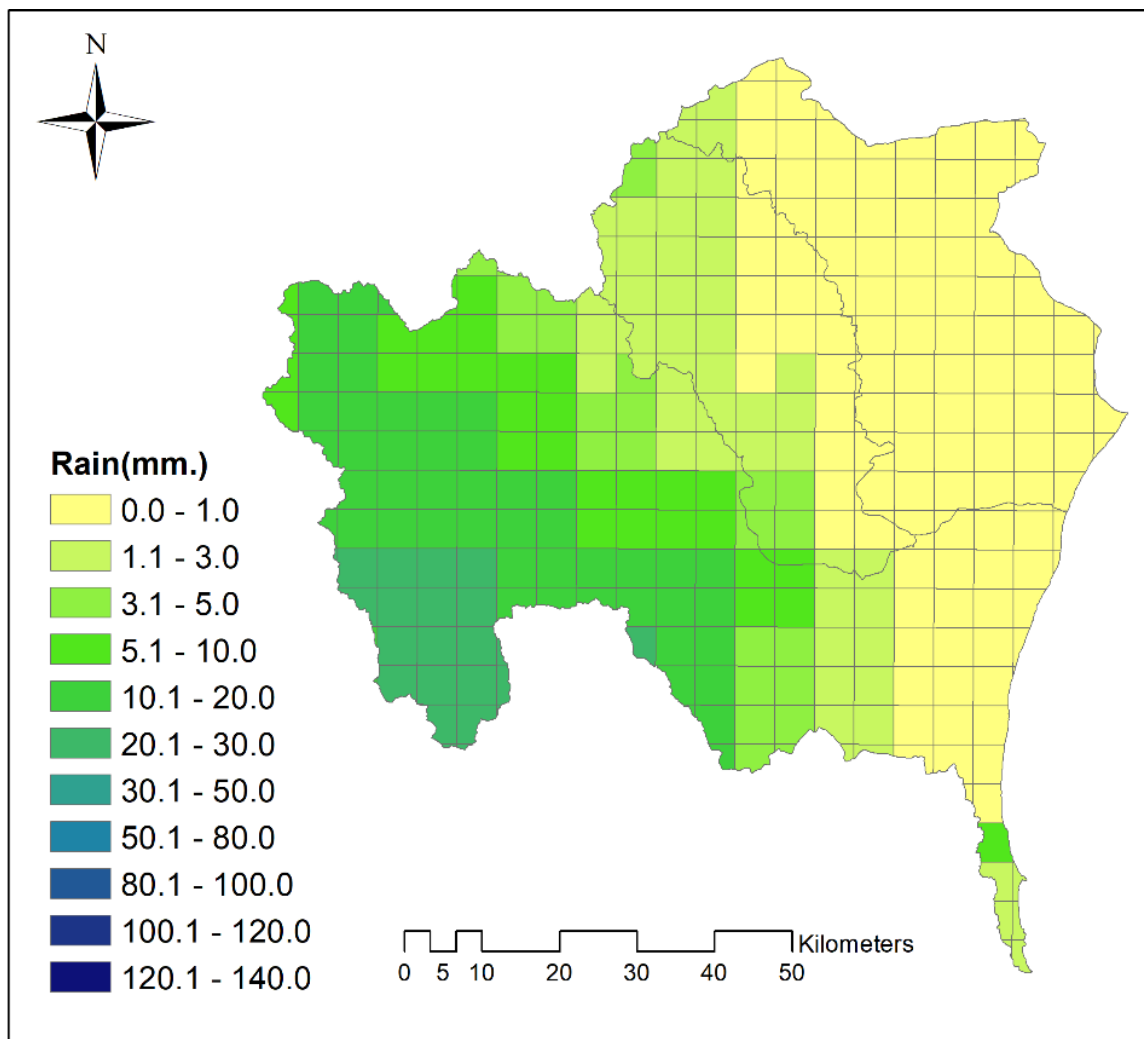
ตารางที่ 3.4-4 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ. 2561 จากวิธีการ  
ประเมินฝนเรดาร์ ในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

วันที่	ขนาดพื้นที่ ในกรวย (ตร.ม)	ฝนเรดาร์			
		ฝนตกทั้งหมด		ฝนหลวง	
		ปริมาณฝน เฉลี่ย (มม.)	ปริมาณฝน (ลบ.ม)	ปริมาณฝน เฉลี่ย (มม.)	ปริมาณฝน (ลบ.ม)
4/4/2018	4231979157	4.26	26670036	4	18822098
4/11/2018	1420209506	1.01	6306360	0	187118
4/15/2018	1290810783	0.02	126341	0	0
4/16/2018	1703876076	0.13	787843	0	375509
4/17/2018	2301815936	34.45	215488612	0	2396
4/19/2018	1752618776	16.40	102578105	15	27027785
4/20/2018	2799937866	11.53	72101571	0	2398
4/21/2018	1103545112	6.59	41247108	10	11299988
4/22/2018	289700150	10.15	63486626	5	1591013
4/24/2018	1373140218	7.34	45930795	6	8575127
4/25/2018	956417925	5.88	36779965	5	4369646
4/26/2018	1657717941	19.71	123262023	29	48270928
4/30/2018	1115434458	11.94	74687604	10	11242855
5/1/2018	1703476090	0.01	71287	0.07	127656
5/2/2018	1750796039	15.64	97835256	19	33207160
5/3/2018	1127525293	23.24	145340803	22	25148579
5/4/2018	1599503158	7.56	47285082	0	73636
5/5/2018	2726985987	29.16	182354214	27	74378083
5/7/2018	498520867	3.05	19073326	4	1840162
5/8/2018	1652295806	3.39	21179816	1	1131832
<b>ผลรวมปริมาณฝนดาวเทียม (ลบ.ม.)</b>					267,673,968.26

หมายเหตุ: ข้อมูลได้รับอนุเคราะห์จากโครงการวิจัยที่ 2

3) ปริมาณฝนจากการประเมินโดยฝนดาวเทียม การรวบรวมข้อมูลฝนดาวเทียมจากข้อมูลดาวเทียม JAXA เพื่อนำข้อมูลปรับเทียบกับฝนสถานีและคำนวณปริมาณฝน โดยการแปลงข้อมูลฝนลงในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี จะทำการแบ่งพื้นที่เป็นกริด โดยโปรแกรม ArcGIS เช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.4-7 แล้วทำการคำนวณ โดยการคูณปริมาณฝนในหน่วยมิลลิเมตรกับพื้นที่ของกริด เพื่อได้เป็นปริมาณฝนในหน่วยลูกบาศก์เมตร ซึ่งจะทำการศึกษาเฉพาะพื้นที่ภายในกรวย

โดยแสดงตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนรายปีจากวิธีการประเมินฝนดาวเทียม ของวันที่มีปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ. 2561 ดังตารางที่ 3.4-5



รูปที่ 3.4-7 ตัวอย่างผลการแปลงข้อมูลปริมาณน้ำฝนของฝนดาวเทียมลงในโปรแกรม ArcGIS (จากโครงการวิจัยที่ 2)

ตารางที่ 3.4-5 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2561 จากวิธีการ  
ประเมินฝนดาวเทียมในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

วันที่	ขนาดพื้นที่ ในกรวย (ตร.ม)	ฝนดาวเทียม (JAXA)			
		ฝนตกทั้งหมด		ฝนหลวง	
		ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน (ลบ.ม)	ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน (ลบ.ม)
4/4/2018	4231979157	2	13310938	2	9415609
4/11/2018	1420209506	0	1052	0	0
4/15/2018	1290810783	2	14203824	5	6127052
4/16/2018	1703876076	1	3516363	1	2208687
4/17/2018	2301815936	32	197180427	31	72196542
4/19/2018	1752618776	2	9487496	2	2751301
4/20/2018	2799937866	0	2524215	0	1316693
4/21/2018	1103545112	0	1346970	1	995078
4/22/2018	289700150	1	5377223	4	1111340
4/24/2018	1373140218	0	2935959	1	1815077
4/25/2018	956417925	0	2217795	1	725341
4/26/2018	1657717941	4	22695885	6	10591192
4/30/2018	1115434458	12	74054767	7	7270497
5/1/2018	1703476090	15	91670338	15	25016737
5/2/2018	1750796039	7	41738531	10	17921035
5/3/2018	1127525293	5	32957403	7	8427992
5/4/2018	1599503158	4	26306501	3	4371694
5/5/2018	2726985987	2	14093186	3	7118312
5/7/2018	498520867	0	918486	1	360970
5/8/2018	1652295806	0	232568	0	163350
<b>ผลรวมปริมาณฝนดาวเทียม (ลบ.ม.)</b>					179,904,499.31

หมายเหตุ: ข้อมูลได้รับความอนุเคราะห์จากโครงการย่อยที่ 2

จากการรวบรวมข้อมูลปริมาณฝนรายปีโดยวิธีการประเมินปริมาณน้ำฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงที่  
แตกต่างกันทั้ง 3 วิธีการ ของปฏิบัติการฝนหลวงย้อนหลัง 3 ปี ได้แก่ปี พ.ศ. 2561, 2562 และ 2563 สามารถ  
สรุปได้ดังตารางที่ 3.4-6

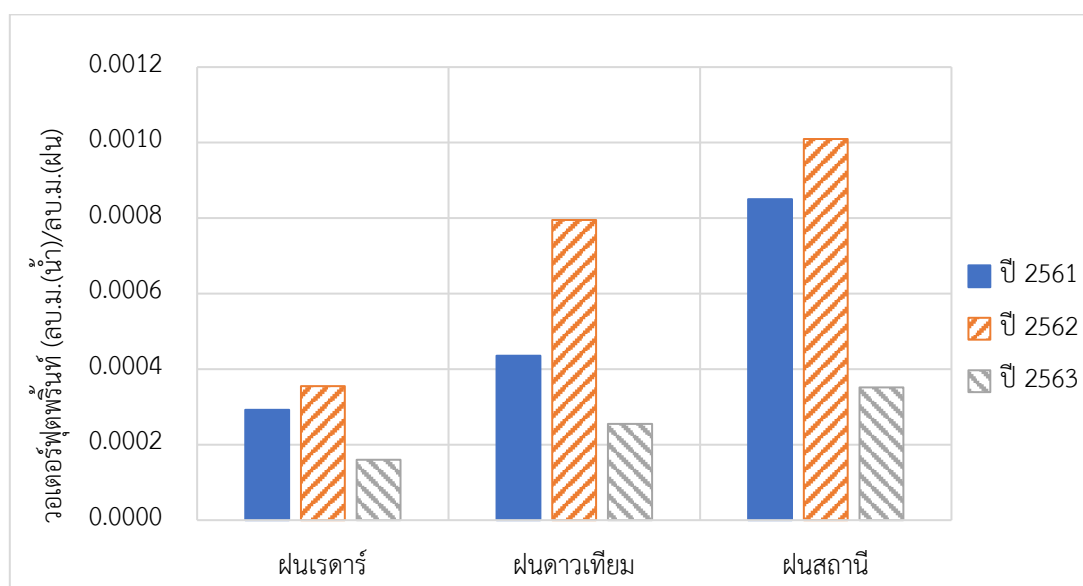
ตารางที่ 3.4-6 ข้อมูลปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงรายปี ประกอบด้วย พ.ศ. 2561, 2562 และ 2563 โดยวิธีการประเมินที่แตกต่างกัน 3 วิธี

ปริมาณฝนสะสมรายปี (ลบ.ม.)			
ปี	ฝนสถานี	ฝนเรดาร์	ฝนดาวเทียม
2561	92,161,656.05	267,673,968.26	179,904,499.31
2562	295,836,939.73	840,266,578.93	375,657,303.95
2563	458,187,212.90	1,006,841,405.82	633,276,684.96

หมายเหตุ ปริมาณฝนราย 12 ชั่วโมงทั้ง 3 วิธีการประเมิน

จากผลการศึกษาดังกล่าวจะสังเกตได้ว่า ปริมาณฝนรายปีที่ได้จากปฏิบัติการฝนหลวงโดยการประเมินจากฝนเรดาร์มีปริมาณมากกว่าปริมาณฝนจากการประเมินด้วยวิธีอื่น อย่างไรก็ตามในปี พ.ศ. 2563 มีปริมาณฝนที่ได้จากปฏิบัติการฝนหลวงปริมาณสูงที่สุดทั้งสามวิธีการประเมิน ซึ่งจะส่งผลในลักษณะผกผันต่อการประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

ผลการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ พบว่า ปีพ.ศ. 2562 มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สูงกว่าปี พ.ศ. 2561 และ 2563 ซึ่งจากการพิจารณาการประเมินปริมาณฝนรายปี โดยวิธีการประเมินที่แตกต่างกันพบว่า วิธีการประเมินจากฝนเรดาร์มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ต่ำกว่า วิธีการประเมินจากฝนดาวเทียม และวิธีการประเมิน IDW จากฝนสถานี จากตารางที่ 3.4-7 และรูปที่ 3.4-8 และแสดงให้เห็นว่าทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการและก่อให้เกิดค่าวอเตอร์ ฟุตพริ้นท์สูงที่สุดจากการประเมินการใช้ทรัพยากรของปฏิบัติการฝนหลวงคือ ยูเรีย ซึ่งเป็นสารที่ใช้ในขั้นตอนการโจมตีของปฏิบัติการฝนหลวง

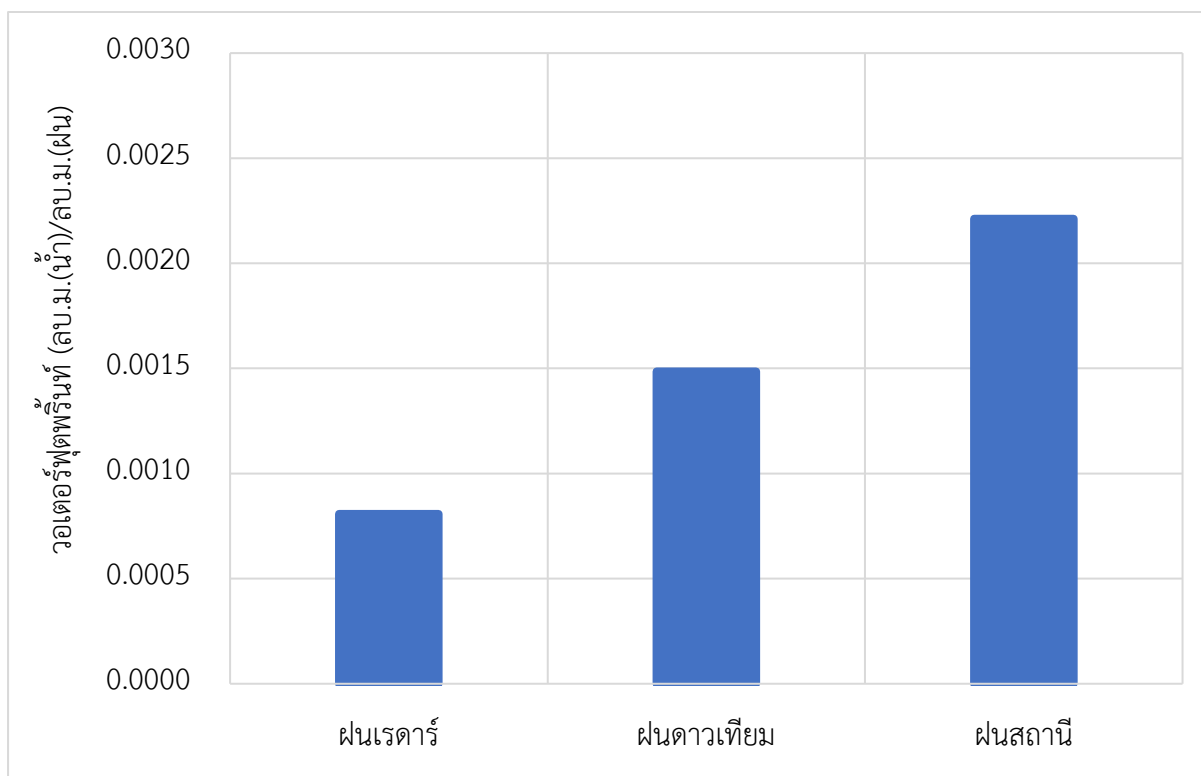


รูปที่ 3.4-8 เปรียบเทียบปริมาณ Water Footprints ที่คำนวณจากการใช้ทรัพยากรในปฏิบัติการฝนหลวงเมื่อคำนวณปริมาณฝนที่ได้ด้วยวิธีที่แตกต่างกันของปี พ.ศ. 2561-2563

ตารางที่ 3.4-7 เปรียบเทียบค่า Water Footprints ปี พ.ศ. 2561-2563 ที่คำนวณจากการประเมินผลเสียรายปีด้วยวิธีการต่างกัน

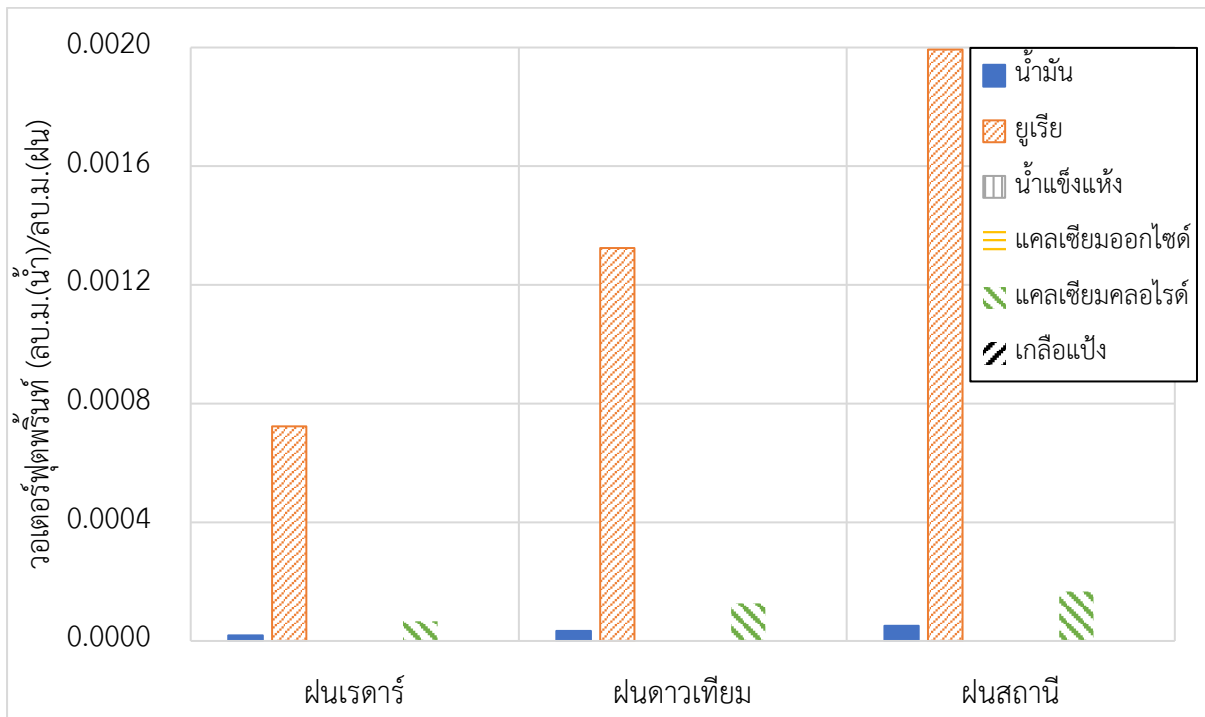
ตารางเปรียบเทียบ		WF โดย ผนเรดาร์			WF โดย ผนดาวเทียม (JAXA)			WF โดย ผนสถานี		
		2561	2562	2563	2561	2562	2563	2561	2562	2563
Water footprint										
input	รายละเอียด									
จำนวนครั้งที่บิน										
น้ำมันเครื่องบิน	jet A1	0.00001455	0.000007803	0.000003614	0.000021648	0.000017453	0.000005746	0.000042258	0.000022162	0.000007941
สารผสมหลวงสูตรเย็น										
ยูเรีย	สูตร4	0.000509825	0.000314725	0.000123288	0.000758552	0.000703974	0.000196014	0.001480735	0.000893915	0.000270918
น้ำแข็งแห้ง	สูตร3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
สารผสมหลวงสูตรร้อน										
แคลเซียมออกไซด์	สูตร8	0.000000614	0	0.000000025	0.000000914	0	0.00000004	0.00001783	0	0.000000055
แคลเซียมคลอไรด์	สูตร6	0	0.000032824	0.000033216	0	0.00007342	0.000052809	0	0.000093229	0.000072989
สารผสมหลวงสร้างแกนถั่ว										
เกลือแป้ง	สูตร1	0.000000024	0.000000015	0.000000008	0.000000036	0.000000034	0.000000012	0.000000071	0.000000043	0.000000017
รวม		0.000525013	0.000355367	0.00016015	0.00078115	0.000794881	0.00025462	0.001524846	0.00100935	0.00035192

การประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวง ซึ่งค่าที่คำนวณได้จะแสดงให้เห็นการใช้น้ำในทางอ้อมซึ่งติดตัวมากับทรัพยากรนั้นๆ กล่าวคือค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่คำนวณได้จะแปรผกผันกับทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวง เป็นการสะท้อนประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรในปฏิบัติการฝนหลวง จะสังเกตได้ว่าปริมาณน้ำทางอ้อมที่ส่งผลต่อค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์นั้นมีค่าต่ำกว่า 0.001 ลบ.ม.น้ำทางอ้อมต่อ ลบ.ม.น้ำฝนที่ได้ และลดลงในปี 2563 โดยสังเกตเห็นว่าแนวโน้มของค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่ประเมินปริมาณน้ำฝนด้วยวิธีต่างๆเป็นไปในแนวทางเดียวกันตลอด 3 ปี ดังนั้นการประเมินปริมาณน้ำฝนที่ได้จากปฏิบัติการ จึงส่งผลต่อค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์โดยตรง ซึ่งการเลือกใช้วิธีการประเมินปริมาณน้ำฝนวิธีใดนั้นเป็นเรื่องความถูกต้องน่าเชื่อถือของวิธีการประเมินปริมาณน้ำฝนนั้นๆ เมื่อนำค่าทรัพยากรทั้งหมดที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวงทั้ง 3 ปี ที่ผ่านมาทำการประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในภาพรวมดังแสดงในรูปที่ 3.4-9 พบว่าการประเมินฝนด้วยวิธีเรดาร์จะส่งผลให้ได้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ต่ำที่สุด ตามด้วยฝนดาวเทียมและฝนสถานี ตามลำดับ

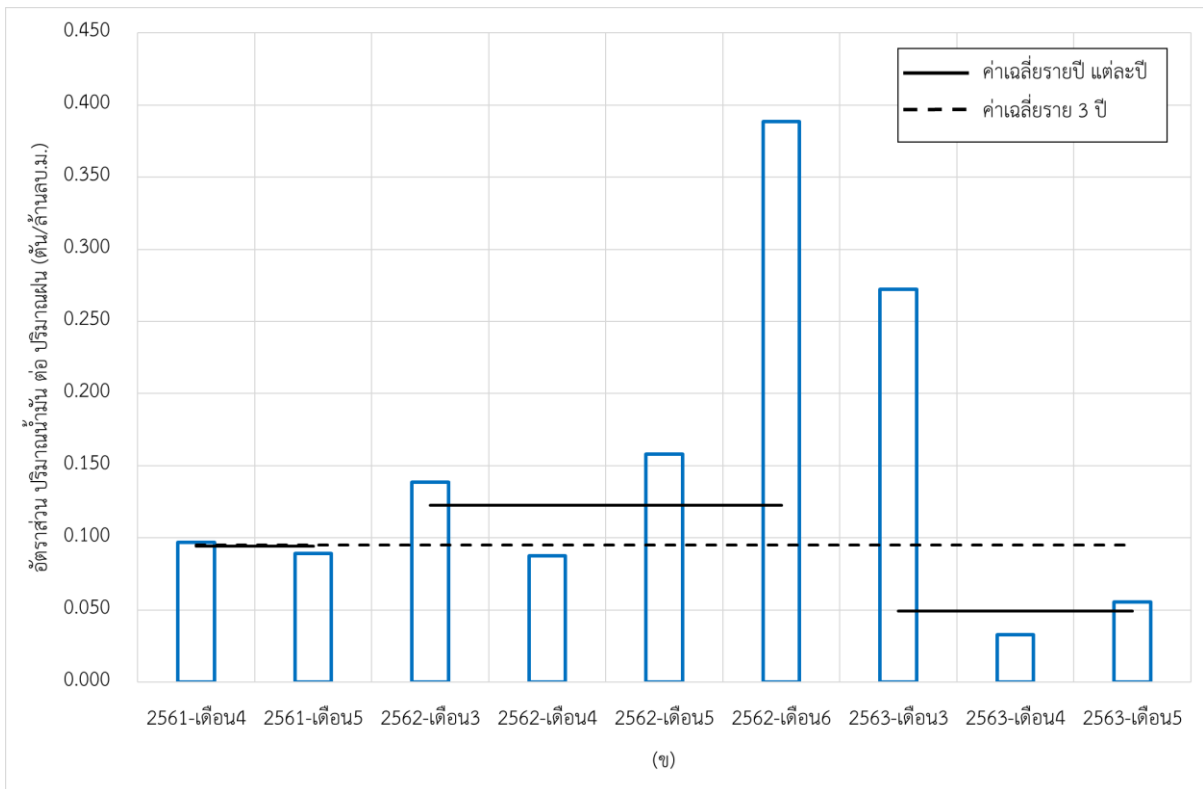
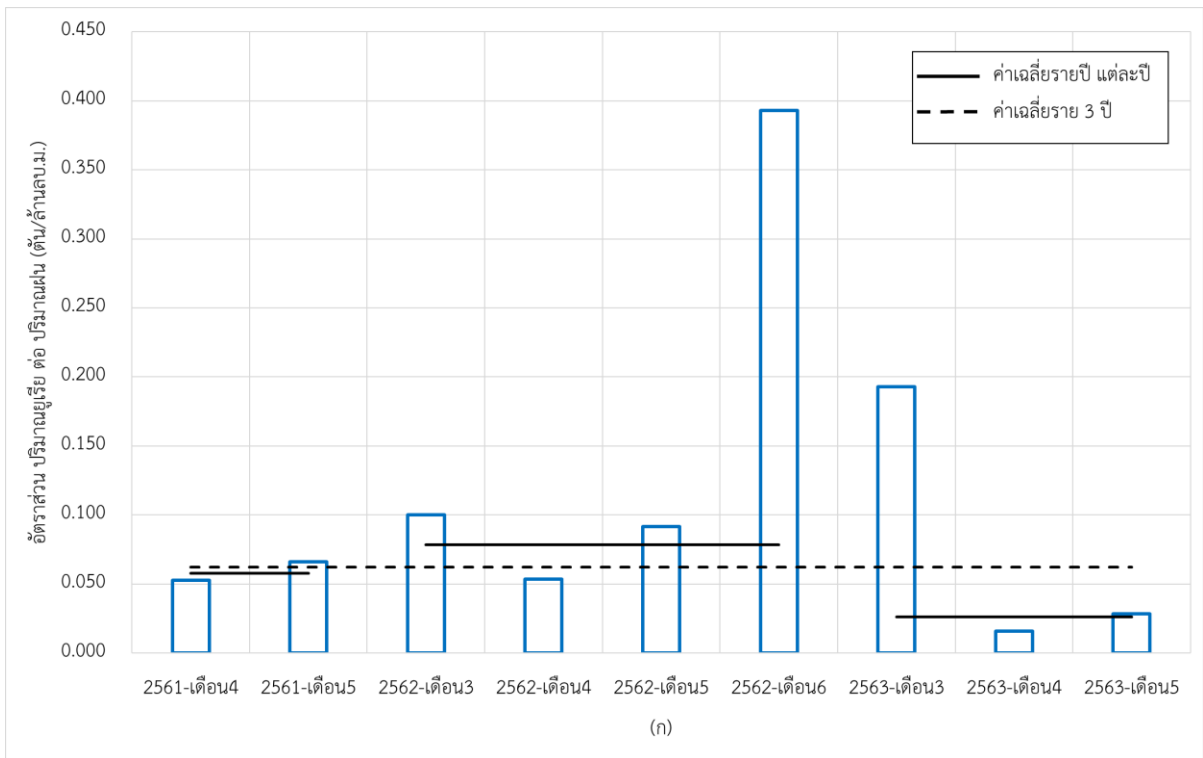


รูปที่ 3.4-9 เปรียบเทียบปริมาณ Water Footprints ที่คำนวณจากการใช้ทรัพยากรในปฏิบัติการฝนหลวงเมื่อคำนวณปริมาณฝนที่ได้ด้วยวิธีที่ต่างกันของปฏิบัติการรวม 3 ปี (พ.ศ. 2561-2563)

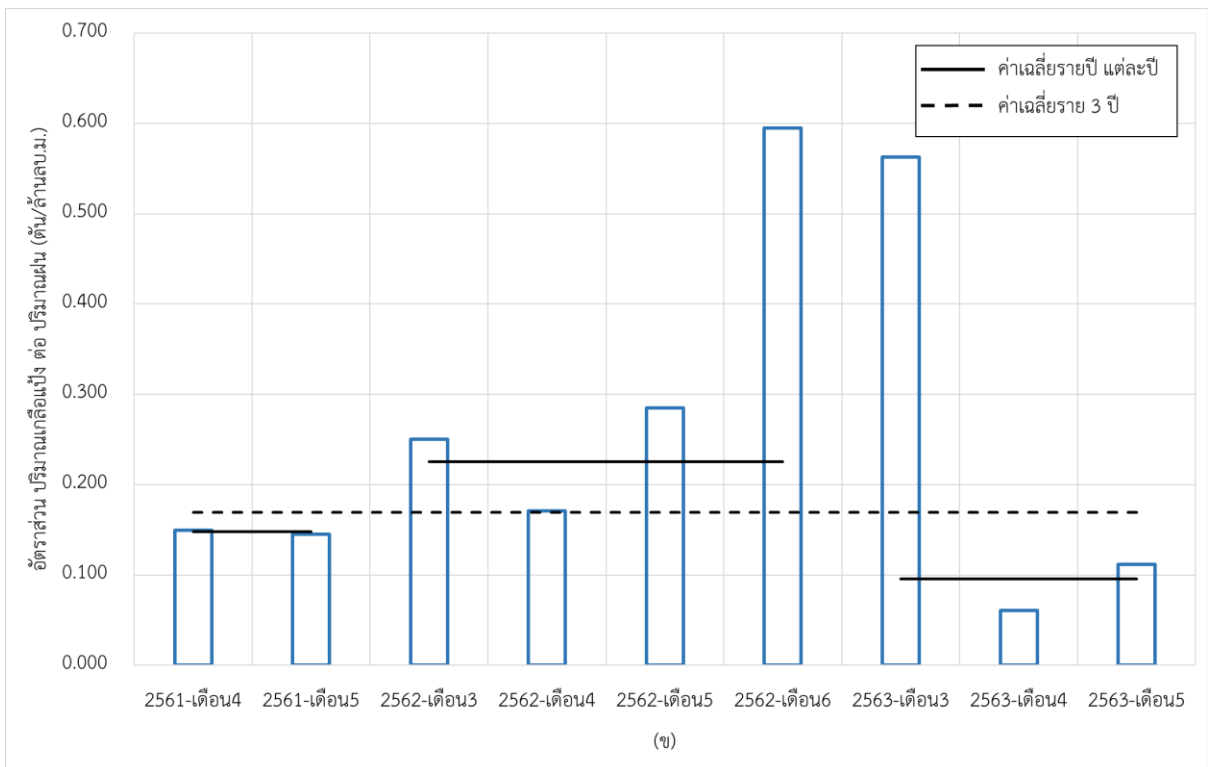
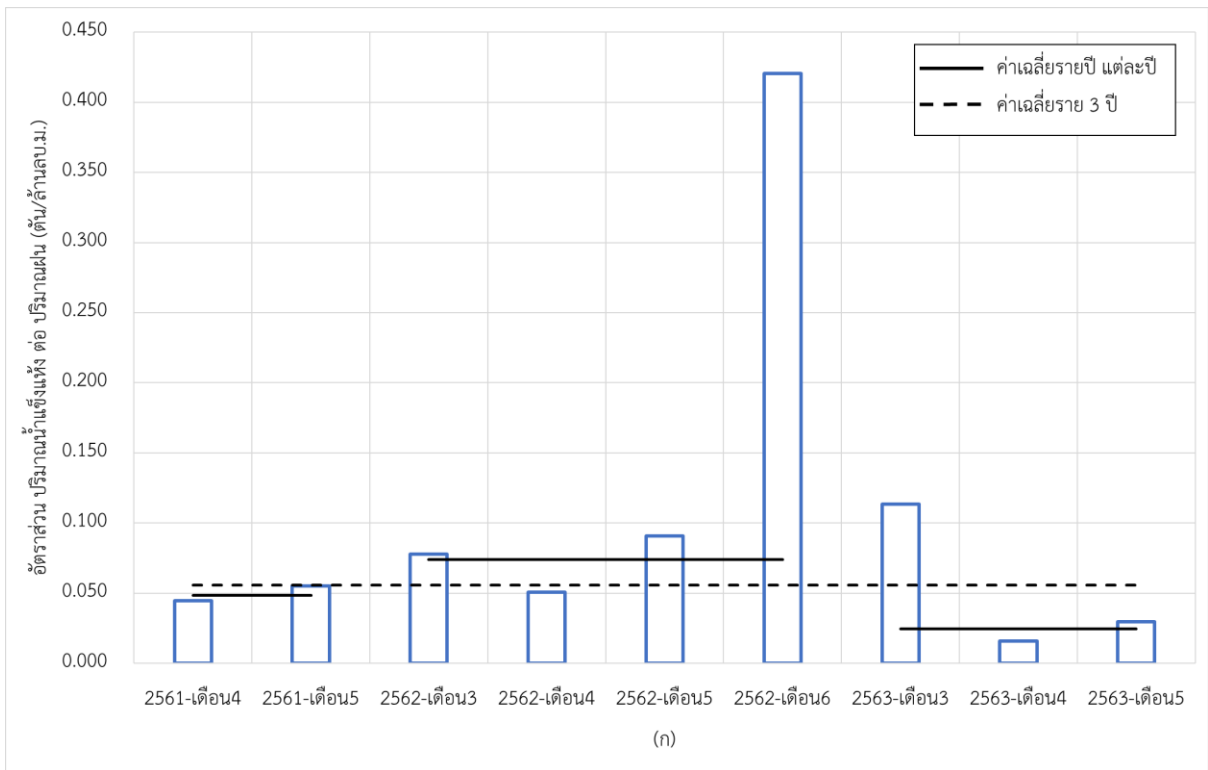
เมื่อทำการวิเคราะห์ทรัพยากรที่มีสัดส่วนสูงในการส่งผลต่อค่าแอมโมเนียมไนโตรเจนของปฏิบัติการฝนหลวงพบว่า สารยูเรีย (CH<sub>4</sub>N<sub>2</sub>O) มีสัดส่วนมากที่สุด (แสดงดังรูปที่ 3.4-10) แม้ว่าจะไม่ใช่สารที่ใช้ปริมาณมากที่สุด ในปฏิบัติการฝนหลวงก็ตาม จึงทำการวิเคราะห์ปริมาณสารยูเรีย, น้ำแข็งแห้งซึ่งเป็นทรัพยากรที่ใช้มากที่สุดต่อหน่วยน้ำหนัก น้ำมัน (Jet A1) ซึ่งเป็นทรัพยากรในภาคพลังงาน และปริมาณทรัพยากรอื่นๆที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อศึกษาปริมาณการใช้ในแต่ละครั้งของปฏิบัติการเทียบกับการได้มาซึ่งผลผลิตน้ำฝน ซึ่งประเมินจากวิธีการใช้ฝนดาวเทียมที่ปรับค่ากับฝนสถานีแล้ว แสดงในรูปที่ 3.4-11 ถึง 3.4-13 พบว่าในปี พ.ศ. 2562 มีสัดส่วนการใช้ทรัพยากรต่างๆต่อปริมาณฝนที่ได้จากปฏิบัติการฝนหลวงค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับปี 2561 และ ปี 2563 ตามลำดับ การที่ปฏิบัติการฝนหลวงมีการใช้ทรัพยากรหลายชนิดในปฏิบัติการฝนหลวงผันแปรสูงเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ย เป็นการสะท้อนประเด็นการควบคุมปริมาณการใช้ทรัพยากรของปฏิบัติการที่ยังสามารถติดตามวิเคราะห์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพได้ ซึ่งอาจต้องการระดมสมองของผู้ที่เกี่ยวข้องเพื่อหาสาเหตุและแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้ทรัพยากรเหล่านี้ต่อไป



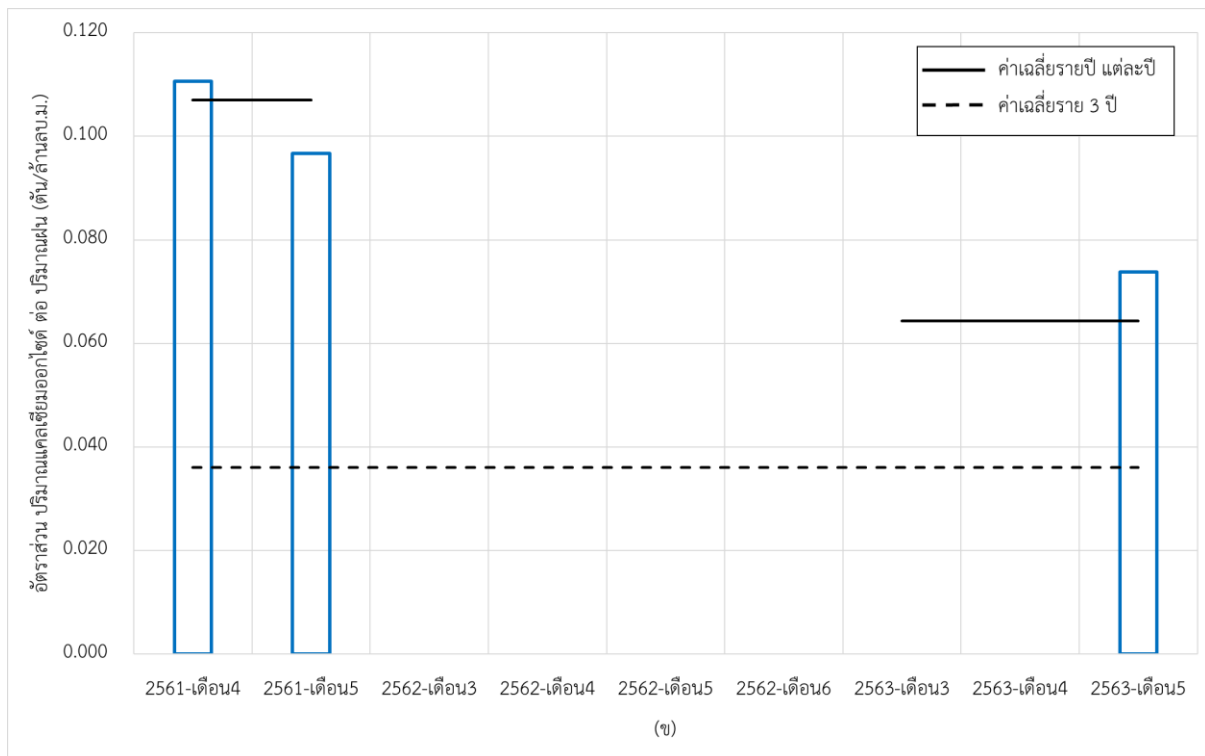
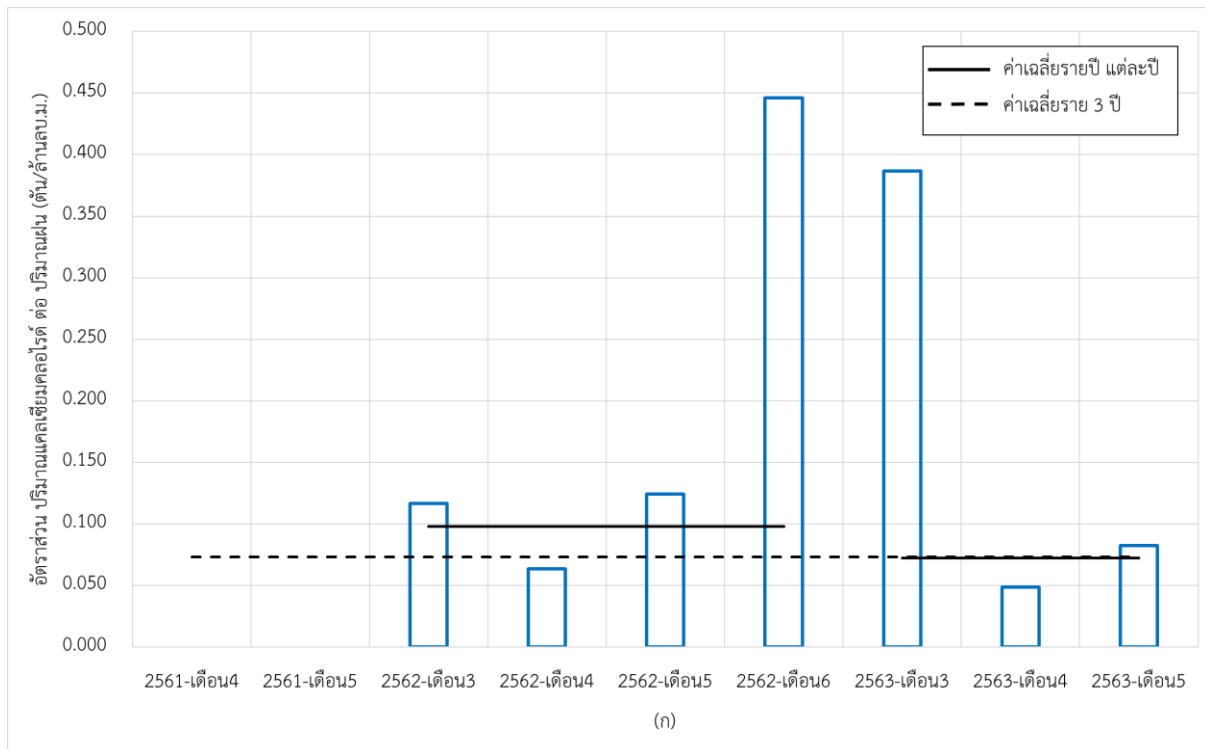
รูปที่ 3.4-10 เปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนที่คำนวณจากการใช้ทรัพยากรแต่ละชนิดในปฏิบัติการฝนหลวงเมื่อคำนวณปริมาณฝนที่ได้ด้วยวิธีฝนดาวเทียมเฉลี่ย 3 ปี (พ.ศ. 2561-2563)



รูปที่ 3.4-11 สัดส่วนทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการผลหลวงต่อปริมาณน้ำฝนที่ประเมินด้วยวิธีฝนดาวเทียม  
(ก) ยูเรีย (ข) น้ำมัน (Jet A1)

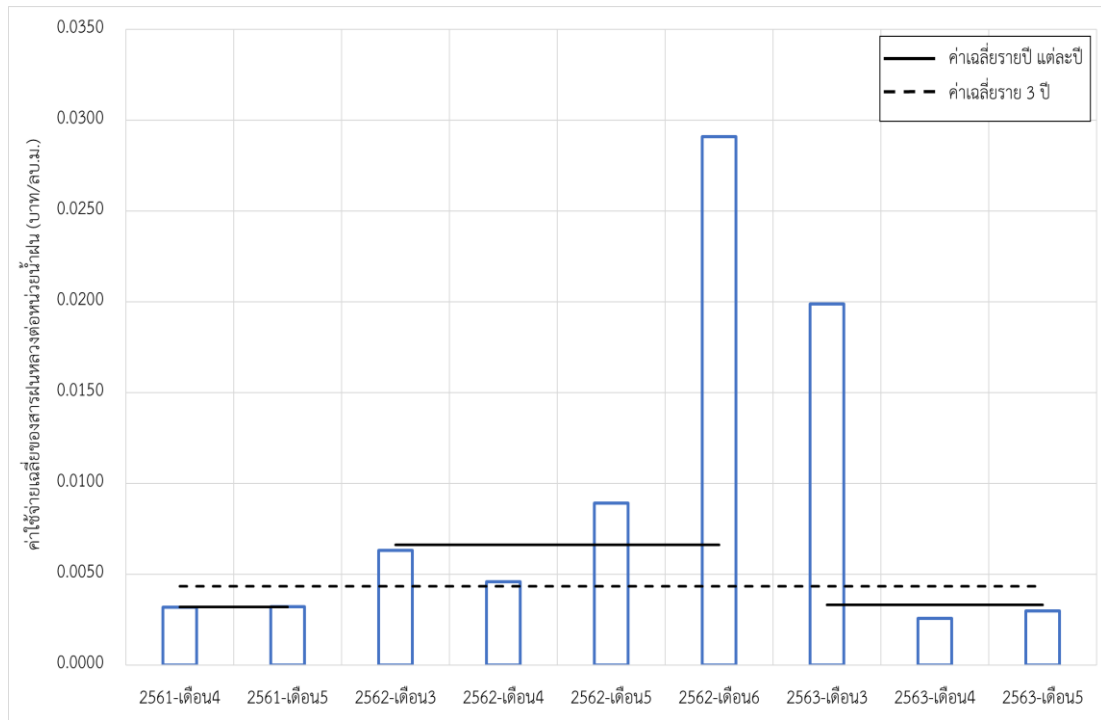


รูปที่ 3.4-12 สัดส่วนทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวงต่อปริมาณน้ำฝนที่ประเมินด้วยวิธีฝนดาวเทียม  
(ก) น้ำแข็งแห้ง (ข) เกลือแป้ง



รูปที่ 3.4-13 สัดส่วนทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวงต่อปริมาณน้ำฝนที่ประเมินด้วยวิธีฝนดาวเทียม  
(ก) แคลเซียมคลอไรด์ (ข) แคลเซียมออกไซด์

ในขณะที่การใช้ทรัพยากรดังกล่าวย่อมส่งผลโดยตรงต่อค่าใช้จ่ายต่อปริมาณฝนที่ได้ซึ่งแสดงใน **รูปที่ 3-14** ซึ่งประเมินจากค่าใช้จ่ายของทรัพยากร (สารฝนหลวง) ที่ใช้ในปฏิบัติการซึ่งเป็นราคากลางต่อหน่วยสินค้า ในปีที่จัดซื้อสินค้า ประกอบด้วย น้ำมัน (Jet A1), ยูเรีย, เกลือแอมโมเนียม, น้ำแข็งแห้ง, แคลเซียมคลอไรด์ และ แคลเซียมออกไซด์ (ทั้งนี้ไม่รวมค่าจ้างบุคลากร ค่าดูแลและบำรุงรักษาเครื่องมืออุปกรณ์และค่าใช้จ่ายอื่นๆ) เมื่อคำนวณราคาของทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวงพบว่าค่าใช้จ่ายต่อหน่วยลูกบาศก์เมตรของน้ำฝนที่ได้เฉลี่ย ทั้ง 3 ปี (พ.ศ. 2561-2563) ต่ำกว่า 0.005 บาท



**รูปที่ 3.4-14 ค่าใช้จ่ายสารฝนหลวงเฉลี่ยต่อหน่วยลูกบาศก์เมตรของน้ำฝนที่ได้จากปฏิบัติการฝนหลวง เมื่อประเมินน้ำฝนด้วยวิธีฝนดาวเทียม**

อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาที่ได้นำเสนอไปแล้วข้างต้นเป็นส่วนหนึ่งของทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวง วิเคราะห์ปริมาณน้ำที่ติดตัวทรัพยากรเพื่อคำนวณค่าอเวอเทจพัตพรีนซ์จากน้ำทางอ้อม ซึ่งหน่วยงานปฏิบัติการฝนหลวงสามารถนำไปเป็นข้อมูลสนับสนุนหรือพัฒนาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรในอนาคตต่อไป นอกจากนี้ในปฏิบัติการฝนหลวงยังมีทรัพยากรที่เป็นส่วนทรัพยากรน้ำที่ใช้โดยตรงในกระบวนการเกิดฝนตก (Direct Water) คือปริมาณความชื้นในอากาศ ที่เป็นเป้าหมายสำคัญในปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อการทำให้เกิดการรวมตัวของไอน้ำหรือความชื้นปริมาณมากเพียงพอต่อการทำให้เกิดฝน แต่ไอน้ำหรือความชื้นในบรรยากาศเป็นทรัพยากรที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติและไม่ต้องจัดซื้อด้วยมูลค่าที่เป็นตัวเงินในปฏิบัติการฝนหลวง แต่เป็นปัจจัยที่เป็นตัวแปรตามในกระบวนการควบคุมและประเมินได้ยาก การดึงความชื้นหรือน้ำส่วนนี้ให้ตกลงมาเป็นฝนให้ได้มาก จะส่งผลต่อค่าอเวอเทจพัตพรีนซ์ของปฏิบัติการฝนหลวงและส่งผลกระทบต่อความคุ้มค่าในปฏิบัติการฝนหลวงโดยตรง

ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ใช้ผลการศึกษาที่มีการดำเนินการวิจัยอยู่แล้วในโครงการนี้ ในส่วนของการคำนวณปริมาณความชื้นในอากาศเพื่อประเมินผลสัมฤทธิ์จากปฏิบัติการฝนหลวง สามารถคำนวณได้จากกราฟและตารางสำหรับคำนวณหรือคาดการณ์ปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นไปได้ดังแสดงในรูปที่ 2.2-2 หรือตารางที่ 2.2-1 โดยใช้อุณหภูมิจุดน้ำค้าง จากการทดสอบของ Miller (1963) และ US Weather Bureau (1963) พบว่า พายุฝนและปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นไปได้นั้น ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่ระดับผิวโลก

จากการทวนสอบเอกสารพบว่าระดับของฐานเมฆเฉลี่ยประมาณ 5,000 ฟุต ระดับของยอดเมฆเฉลี่ยที่ประมาณ 15,000 ฟุต และอากาศยานที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวง โพรยสารฝนหลวงในปฏิบัติการในส่วนของเมฆอุ่นซึ่งเป็นปฏิบัติการในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี โดยจะโพรยสารในระดับความสูงที่ไม่เกิน 10,000 ฟุต จึงกำหนดแนวทางสำหรับการคำนวณปริมาณน้ำในบรรยากาศเฉพาะในช่วงที่ความสูงตั้งแต่พื้นผิวโลกจนถึง 15,000 ฟุต ซึ่งมีค่าประมาณ 570 มิลลิบาร์ และเลือกอุณหภูมิจุดน้ำค้างในช่วงเวลา 10.00-22.00 น. เนื่องจากปฏิบัติการฝนหลวงใน 1 วันจะทำการปฏิบัติการในช่วงเวลาดังกล่าวโดยนำค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างสูงสุดหักลบค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างต่ำสุด สำหรับการพิจารณาคำนวณปริมาณน้ำในบรรยากาศ

จากการรวบรวมข้อมูลโดยขอความอนุเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิจุดน้ำค้างทุกๆ 3 ชั่วโมง จากกรมอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลวันที่มีปฏิบัติการฝนหลวงจากกรมฝนหลวงและการบินเกษตร และนำข้อมูลพื้นที่กรวยสำหรับการประเมินฝนหลวงจากโครงการย่อยที่ 2 มาทำการคำนวณจะได้ผลรวมของปริมาณน้ำในบรรยากาศของวันที่มีปฏิบัติการฝนหลวงแต่ละปฏิบัติการและในแต่ละปีโดยแสดงตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำในบรรยากาศที่ความสูง 15,000 ฟุต ปี พ.ศ. 2563 ดังตารางที่ 3.4-8 และตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำในบรรยากาศที่สูงพื้นผิวโลกจนถึงระดับ 15,000 ฟุต ปี พ.ศ. 2563 ดังตารางที่ 3.4-9 และสรุปปริมาณน้ำในบรรยากาศรวมทุกปีไว้ในตารางที่ 3.4-10

ผลการศึกษาในกรณีที่น่าค่าปริมาณน้ำในบรรยากาศซึ่งเป็นส่วนของน้ำที่ใช้โดยตรง (Direct Water) ของปฏิบัติการฝนหลวง พบว่า ค่าเฉลี่ยของสัดส่วนปริมาณไอน้ำหรือความชื้นในบรรยากาศต่อปริมาณฝนที่ตกอยู่ช่วงประมาณ 1-3.3 ลูกบาศก์เมตรต่อลูกบาศก์เมตรของฝนที่ประเมินได้ด้วยวิธี ซึ่งมีความแตกต่างกัน 3 วิธี ได้แก่ 1-1.5 1-3.3 ลูกบาศก์เมตรต่อลูกบาศก์เมตรของฝนที่ประเมินได้จากฝนเรดาร์ 1.4-2.4 ลูกบาศก์เมตรต่อลูกบาศก์เมตรของฝนที่ประเมินได้จากฝนดาวเทียม (ดาวเทียม JAXA) ที่มีการปรับค่าด้วยฝนสถานีแล้ว และ 2.8-3.3 ลูกบาศก์เมตรต่อลูกบาศก์เมตรของฝนที่ประเมินจากฝนสถานีด้วยวิธี Inverse Distance Weighted (IDW)

ตารางที่ 3.4-8 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำในบรรยากาศที่ความสูง 15,000 ฟุต ปี พ.ศ. 2563

ที่	สถานี	อุณหภูมิจุดน้ำค้างที่เวลาตรวจวัด (°C)									การคำนวณปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ						
		วันที่	01:00	04:00	07:00	10:00	13:00	16:00	19:00	22:00	เฉลี่ย				น้ำใน บรรยากาศ	ระดับความสูง 570 mb	
1	500202- หัวหิน	28 ก.พ. 63	24	23.9	23.6	23.6	24.3	24.3	23.7	23.3	24.3	24	0.3	1.2	62.2	0	8
2	500202- หัวหิน	29 ก.พ. 63	23.3	23	22.9	23.8	24.1	24.1	23	23.7	24.1	24	0.1	0.4	61.4	2	10
3	500202- หัวหิน	2 มี.ค. 63	23.1	23	22.4	22.8	24.5	24	24.3	23.4	24.5	24	0.5	2	63	4	12
4	500202- หัวหิน	4 มี.ค. 63	23	23.1	22.7	22.9	24.8	24.8	24.5	24.1	24.8	24	0.8	3.2	64.2	5	13
5	500202- หัวหิน	6 มี.ค. 63	23.2	23.3	22.3	23.2	23.3	24.7	24.8	24.8	24.8	24	0.8	3.2	64.2	6	14
6	500202- หัวหิน	13 มี.ค. 63	25.3	24.4	24	24.4	26	26.6	25.9	25.5	26.6	26	0.6	3	73	7	15
7	500202- หัวหิน	15 มี.ค. 63	25.4	24.7	23.9	23.3	25.8	25.5	23.5	23.4	25.8	25	0.8	4	69	8	16
8	500202- หัวหิน	16 มี.ค. 63	23.3	23.1	24.6	25	25.7	25.5	24.9	24.3	25.7	25	0.7	3.5	68.5	9	18
9	500202- หัวหิน	18 มี.ค. 63	24	24.1	23.8	24	23.5	25.3	24.3	24.7	25.3	25	0.3	1.5	66.5	10	20
10	500202- หัวหิน	19 มี.ค. 63	24.5	24.1	23.9	24.4	25.8	25.2	23.9	23.6	25.8	25	0.8	4	69	11	21
11	500202- หัวหิน	20 มี.ค. 63	23.9	24.1	24.2	23.8	25.2	24.5	23.5	24.5	25.2	25	0.2	1	66	12	23
12	500202- หัวหิน	21 มี.ค. 63	24.2	23.8	23.6	23.2	24.9	23.4	23.5	24.2	24.9	24	0.9	3.6	64.6	13	25
13	500202- หัวหิน	22 มี.ค. 63	20.5	22.8	21.3	22.9	23.8	23.9	25.1	24.6	25.1	25	0.1	0.5	65.5	14	27
14	500202- หัวหิน	29 มี.ค. 63	23.9	23.2	22.8	24.9	27.1	26.6	25.9	25.8	27.1	27	0.1	0.6	75.6	15	30
15	500202- หัวหิน	2 เม.ย. 63	25.7	25.6	25.4	26.5	26.7	26.1	24.1	25.8	26.7	26	0.7	3.5	73.5	16	32
16	500202- หัวหิน	3 เม.ย. 63	25.3	23.6	23	24.9	27	26.5	24.9	26	27	27	0	0	75	17	35
17	500202- หัวหิน	4 เม.ย. 63	24.9	24.8	23.9	25.5	25.9	26.3	25.8	25.7	26.3	26	0.3	1.5	71.5	18	38
18	500202- หัวหิน	5 เม.ย. 63	25.1	24.6	24.4	25.1	26.2	25.3	24.5	24.9	26.2	26	0.2	1	71	19	41
19	500202- หัวหิน	6 เม.ย. 63	25.1	24.1	24.9	25.8	25.6	24.7	24.7	23.5	25.8	25	0.8	4	69	20	45
20	500202- หัวหิน	7 เม.ย. 63	23.4	22.6	23.4	23.9	25.7	26.3	25.8	25.6	26.3	26	0.3	1.5	71.5	21	48
21	500202- หัวหิน	8 เม.ย. 63	25.1	25.3	24.9	26.2	26.3	25.2	23.2	24.3	26.3	26	0.3	1.5	71.5	22	52
22	500202- หัวหิน	9 เม.ย. 63	23.9	22.9	22.9	25.7	25.3	25	23.6	24.4	25.7	25	0.7	3.5	68.5	23	56
23	500202- หัวหิน	10 เม.ย. 63	24.5	23.7	23.1	25.3	25.4	25.4	25	24.9	25.4	25	0.4	2	67	24	61
24	500202- หัวหิน	11 เม.ย. 63	25.1	24.3	24.1	25.1	26.1	25.5	24	25	26.1	26	0.1	0.5	70.5	25	65
25	500202- หัวหิน	12 เม.ย. 63	24.9	23.9	24	25.7	25.8	25.5	24.4	25.6	25.8	25	0.8	4	69	26	70
26	500202- หัวหิน	13 เม.ย. 63	25.8	25.4	25.3	26	26	25	25	24.7	26	26	0	0	70	27	75

ตารางที่ 3.4-8 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำในบรรยากาศที่ความสูง 15,000 ฟุต ปี พ.ศ. 25639 (ต่อ)

ที่	สถานี	อุณหภูมิอากาศที่เวลาตรวจวัด (°C)									การคำนวณปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ						
		วันที่	01:00	04:00	07:00	10:00	13:00	16:00	19:00	22:00	เฉลี่ย				น้ำใน บรรยากาศ	ระดับความสูง 570 mb	
27	500202- หัวหิน	14 เม.ย. 63	23.7	23.4	23.6	24.6	25.8	24.5	24.8	24.3	25.8	25	0.8	4	69	28	81
28	500202- หัวหิน	15 เม.ย. 63	23.8	23.3	23.3	24.4	24.8	24	25	26	26	26	0	0	70	29	87
29	500202- หัวหิน	16 เม.ย. 63	25.4	25.2	24.3	24.1	24.7	24.5	25	23.7	25	25	0	0	65	30	93
30	500202- หัวหิน	17 เม.ย. 63	23.2	23.4	23.1	24.3	24.7	24.4	23.1	23.2	24.7	24	0.7	2.8	63.8		
31	500202- หัวหิน	18 เม.ย. 63	23.6	22.4	22.9	23.7	24.7	25.6	25.8	24.5	25.8	25	0.8	4	69		
32	500202- หัวหิน	19 เม.ย. 63	24.7	23.7	23.9	24.6	24.6	24.7	24.2	25.1	24.7	24	0.7	2.8	63.8		
33	500202- หัวหิน	22 เม.ย. 63	24.7	23.9	23.1	24	25.1	22.9	24.3	24.7	25.1	25	0.1	0.5	65.5		
34	500202- หัวหิน	25 เม.ย. 63	26.2	25.6	25.3	25.2	26.3	22.8	24.2	23.9	26.3	26	0.3	1.5	71.5		
35	500202- หัวหิน	26 เม.ย. 63	23.9	23.8	23.3	25.4	23.9	24	23.6	22.9	25.4	25	0.4	2	67		
60	500202- หัวหิน	25 พ.ค. 63	25	25.1	25.2	25.5	25.7	26.1	24.7	25.1	26.1	26	0.1	0.5	70.5		
61	500202- หัวหิน	26 พ.ค. 63	24.8	24.8	25.3	25.5	26.3	24.7	24.7	25	26.3	26	0.3	1.5	71.5		
62	500202- หัวหิน	27 พ.ค. 63	25.1	24.9	24.6	24.1	25.2	25.8	25.5	25.3	25.8	25	0.8	4	69		
63	500202- หัวหิน	28 พ.ค. 63	24.8	24.3	23.9	24.2	24.5	25.6	24.3	25.8	25.6	25	0.6	3	68		
64	500202- หัวหิน	29 พ.ค. 63	24.6	24.8	24.5	24.4	25.8	25.5	25.4	23.8	25.8	25	0.8	4	69		
65	500202- หัวหิน	31 พ.ค. 63	25.2	24.5	24.1	24.5	24.2	24.4	23.2	23.9	24.5	24	0.5	2	63		

ตารางที่ 3.4-9 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำในบรรยากาศที่สูงพื้นผิวโลกจนถึงระดับ15,000 ฟุต

ปี พ.ศ. 2563

ลำดับ	วันที่	ขนาดพื้นที่ใน กรวย (ตร.ม)	ปริมาณน้ำในอากาศ ก่อนโจมตี		ปริมาณน้ำในอากาศหลังโจมตี		ปริมาณน้ำในอากาศ (ลบ.ม)
			(มม.)	(ลบ.ม)	(มม.)	(ลบ.ม)	
1	28 ก.พ. 63	3989352431.94	62.2	248,137,721.27	59	235,371,793.48	12,765,927.78
2	29 ก.พ. 63	4699139220.17	61.4	288,527,148.12	56	263,151,796.33	25,375,351.79
3	2 มี.ค. 63	4150514431.78	63	261,482,409.20	55.2	229,108,396.63	32,374,012.57
4	4 มี.ค. 63	2431796500.63	64.2	156,121,335.34	55.6	135,207,885.44	20,913,449.91
5	6 มี.ค. 63	4135199683.99	64.2	265,479,819.71	57	235,706,381.99	29,773,437.72
6	13 มี.ค. 63	3184815343.86	73	232,491,520.10	62.6	199,369,440.53	33,122,079.58
7	15 มี.ค. 63	4112158672.70	69	283,738,948.42	57.5	236,449,123.68	47,289,824.74
8	16 มี.ค. 63	3204747737.91	68.5	219,525,220.05	64.6	207,026,703.87	12,498,516.18
9	18 มี.ค. 63	1847749433.75	66.5	122,875,337.34	58.5	108,093,341.87	14,781,995.47
10	19 มี.ค. 63	0.00	69	0.00	60.5	0.00	0.00
11	20 มี.ค. 63	3317268131.60	66	218,939,696.69	58.5	194,060,185.70	24,879,510.99
12	21 มี.ค. 63	2309051778.02	64.6	149,164,744.86	57	131,615,951.35	17,548,793.51
13	22 มี.ค. 63	2241065041.70	65.5	146,789,760.23	55.6	124,603,216.32	22,186,543.91
14	29 มี.ค. 63	0.00	75.6	0.00	64.6	0.00	0.00
15	2 เม.ย. 63	4687991232.04	73.5	344,567,355.56	61.4	287,842,661.65	56,724,693.91
16	3 เม.ย. 63	2275559126.79	75	170,666,934.51	64.6	147,001,119.59	23,665,814.92
17	4 เม.ย. 63	1644579230.94	71.5	117,587,415.01	67.5	111,009,098.09	6,578,316.92
18	5 เม.ย. 63	4131227792.32	71	293,317,173.25	63	260,267,350.92	33,049,822.34
19	6 เม.ย. 63	3950823256.75	69	272,606,804.72	63.8	252,062,523.78	20,544,280.94
20	7 เม.ย. 63	2505320123.92	71.5	179,130,388.86	60.5	151,571,867.50	27,558,521.36
60	25 พ.ค. 63	4998619904.59	70.5	352,402,703.27	63.8	318,911,949.91	33,490,753.36
61	26 พ.ค. 63	2521804916.48	71.5	180,309,051.53	63.8	160,891,153.67	19,417,897.86
62	27 พ.ค. 63	1720148627.59	69	118,690,255.30	61.4	105,617,125.73	13,073,129.57
63	28 พ.ค. 63	2299693093.26	68	156,379,130.34	61.8	142,121,033.16	14,258,097.18
64	29 พ.ค. 63	0.00	69	0.00	62.6	0.00	0.00
65	31 พ.ค. 63	3305701304.29	63	208,259,182.17	57	188,424,974.34	19834207.83
<b>ผลรวม (ล้าน ลบ.ม.)</b>				<b>13,390.48</b>		<b>11,871.00</b>	<b>1,519.48</b>
<b>ผลรวม (ลบ.ม.)</b>				<b>13,390,479,187.39</b>		<b>11,870,999,678.71</b>	<b>1,519,479,508.68</b>

ตารางที่ 3.4-10 ผลการคำนวณปริมาณน้ำในบรรยากาศในช่วงเวลาที่มีปฏิบัติการฝนหลวง รายปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561-2563

ปี (พ.ศ.)	ปริมาณน้ำในอากาศ (ลบ.ม.)
2561	257,719,024.24
2562	890,907,904.30
2563	1,519,479,508.68

### 3.5 การวิเคราะห์ดัชนีผลสัมฤทธิ์ฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำ

การวิเคราะห์ดัชนีประเมินผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.5-1 ประกอบด้วย

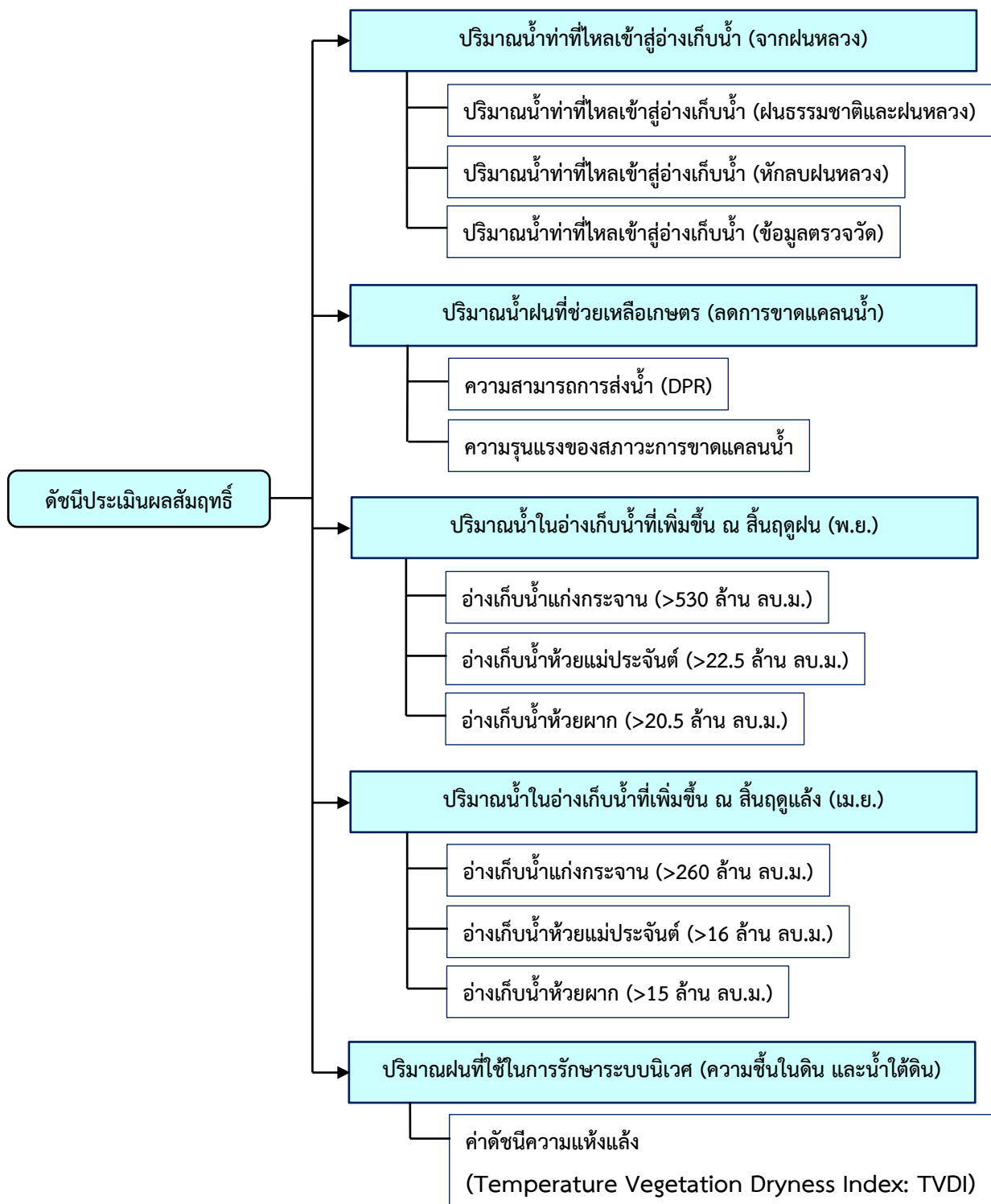
(1) ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำซึ่งเกิดจากทำฝนหลวง ประกอบด้วย ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ (ฝนธรรมชาติและฝนหลวง) ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ (หักลบฝนหลวง) ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ (ข้อมูลตรวจวัด)

(2) ปริมาณน้ำฝนซึ่งเกิดจากการทำฝนหลวงที่ช่วยเหลือเกษตรกร หรือปริมาณน้ำที่ช่วยลดการขาดแคลนน้ำ ประกอบด้วย ความสามารถในการส่งน้ำ ความรุนแรงของสภาวะการขาดแคลน

(3) ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่เพิ่มขึ้น ณ สิ้นฤดูฝน (พ.ย.) เพื่อใช้สำหรับกิจกรรมการใช้น้ำต่าง ๆ รวมทั้งการเพาะปลูกในช่วงฤดูแล้งตามแผนการส่งน้ำของกรมชลประทาน ประกอบด้วย อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ และอ่างเก็บน้ำห้วยผาก

(4) ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่เพิ่มขึ้น ณ สิ้นฤดูแล้ง (เม.ย.) เพื่อใช้สำหรับกิจกรรมการใช้น้ำต่าง ๆ รวมทั้งช่วยเหลือการเพาะปลูกในกรณีฝนทิ้งช่วง ประกอบด้วย อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ และอ่างเก็บน้ำห้วยผาก

(5) ปริมาณฝนที่ใช้ในการรักษาระบบนิเวศ (ความชื้นในดิน และน้ำใต้ดิน) ได้แก่ ค่าดัชนีความแห้งแล้ง (Temperature Vegetation Dryness Index: TVDI)



รูปที่ 3.5-1 การประเมินผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำ

### 3.5.1 ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ

การคำนวณปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ เป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า ได้แก่ แบบจำลอง SWAT (Soil and Water Assessment Tool) และแบบจำลอง Distributed Water Circulation Model incorporating (DWCM-AgWU) จากโครงการวิจัยย่อยที่ 2 ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลฝนจาก สถานีตรวจวัดน้ำฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา จากดาวเทียม Jaxa และจากราดาร์ โดยแสดงค่าการสอบเทียบของ แบบจำลองได้ดังตารางที่ 3.5-1

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง แบ่งออกเป็น 2 กรณี ได้แก่

กรณีที่ 1 ฝนทั้งหมด (ฝนธรรมชาติและฝนหลวง)

กรณีที่ 2 ฝนธรรมชาติ แสดงปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง SWAT และ DWCM

ดังตารางที่ 3.5-2 ถึง 3.5-3 ตามลำดับ และแสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าทั้ง 2 กรณีของ แบบจำลองทั้งสอง ของปี ค.ศ. 2018-2020 เนื่องจากฝนหลวงเริ่มทำการบินตั้งแต่ 2018 แสดงในรูปแบบ แผนภูมิแท่งดังรูปที่ 3.5-2 ถึง 3.5-7

ตารางที่ 3.5-1 สรุปการสอบเทียบและทวนสอบแบบจำลอง SWAT และ DWCM ของเขื่อนแก่งกระจาน

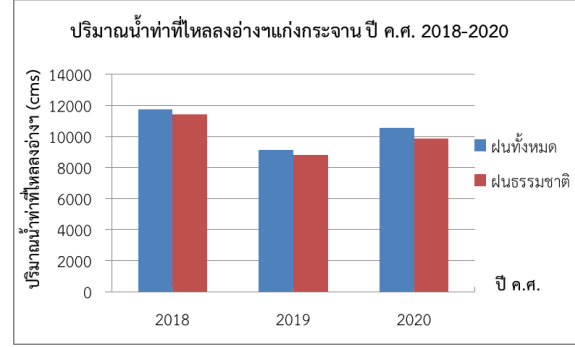
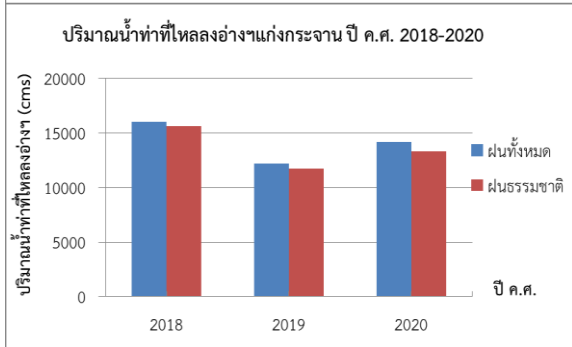
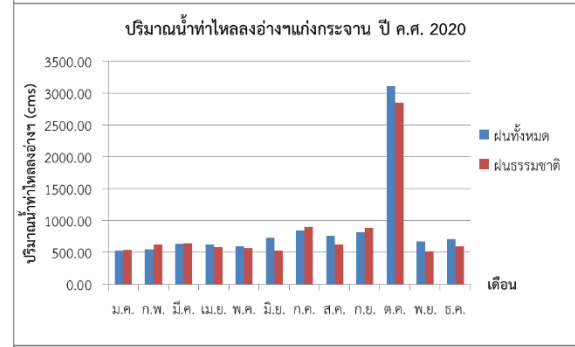
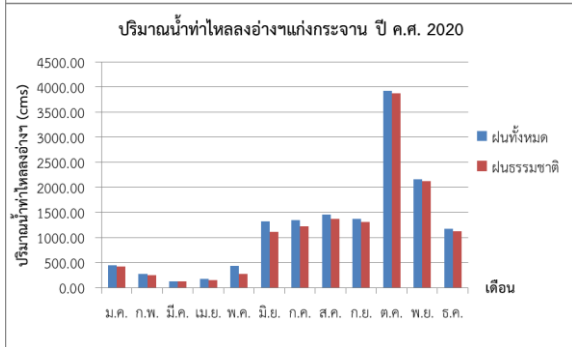
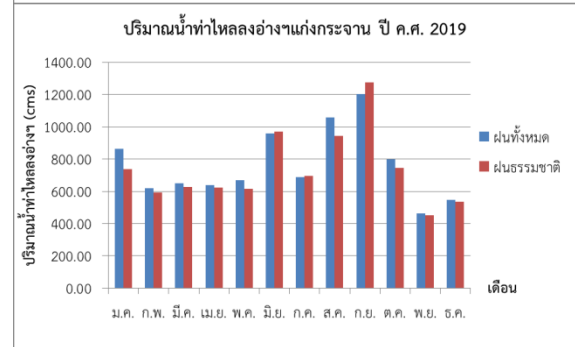
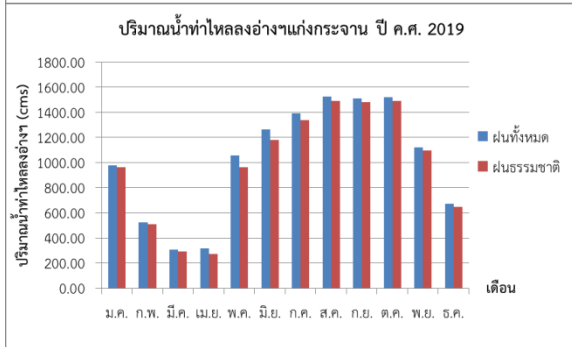
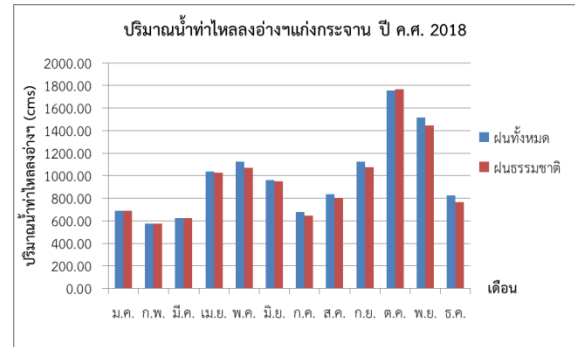
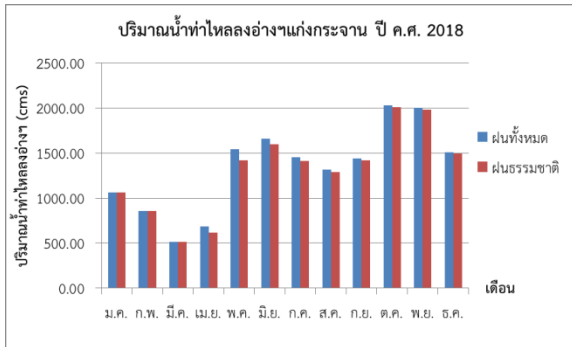
แบบจำลอง	ข้อมูล น้ำฝน	ช่วงเวลา	R <sup>2</sup>	Nse	ปรับเทียบแบบจำลอง			ทวนสอบแบบจำลอง		
					ช่วงเวลา	R <sup>2</sup>	Nse	ช่วงเวลา	R <sup>2</sup>	Nse
SWAT Model	station	2006-2017	0.24	0.21	2006-2011	0.32	0.24	2012-2017	0.31	0.11
	Jaxa	2006-2017	0.62	0.61	2006-2011	0.69	0.67	2012-2017	0.52	0.44
	Radar	2016-2017	0.04	1.38	2016-2017	0.04	1.38			
DWCM Model	station	2006-2017	0.30	0.28	2006-2011	0.26	0.22	2012-2017	0.38	0.37
	Jaxa	2006-2017	0.66	0.66	2006-2011	0.67	0.65	2012-2017	0.73	0.66
	Radar	2016-2017	0.02	1.07	2016-2017	0.02	1.07			

ตารางที่ 3.5-2 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน วิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลฝนทั้งหมด (ฝนที่ตกธรรมชาติและฝนหลวง) ทั้งสองแบบจำลอง

ปี	model	ข้อมูล ฝน	ปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน (ล้าน ลบ.ม)											
			ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2018	SWAT	station	91.8	73.9	44.0	58.9	133.4	143.6	125.5	113.4	124.6	175.6	172.9	130.4
		jaxa	40.5	20.4	18.1	42.3	108.3	121.8	150.5	342.3	216.0	187.7	101.0	48.0
		Radar	33.1	23.5	45.9	99.8	166.7	135.5	120.0	170.8	151.3	201.1	176.3	120.9
	DWCM	station	59.3	49.8	53.9	89.5	97.2	82.9	58.5	72.1	96.9	151.8	131.0	71.2
		jaxa	43.7	27.1	19.4	27.2	64.4	108.2	114.4	240.4	171.6	126.9	86.7	47.8
		Radar	49.7	42.3	46.5	93.8	102.8	72.7	103.4	142.7	114.7	163.9	134.4	122.4
	ข้อมูลตรวจวัด		28.9	20.0	13.2	44.0	41.6	64.2	403.3	582.9	231.6	186.2	72.2	39.8
2019	SWAT	station	84.6	45.4	26.4	27.3	91.2	109.4	120.3	131.8	130.4	131.2	96.9	57.9
		jaxa	26.4	11.3	12.4	75.0	103.6	123.8	168.8	188.2	185.6	126.7	48.1	20.9
		Radar	80.4	47.6	57.5	199.7	392.3	738.5	734.3	400.5	323.2	327.0	172.6	69.1
	DWCM	station	74.5	53.6	56.1	55.0	57.8	82.9	59.3	91.5	104.0	68.9	39.9	47.4
		jaxa	31.2	18.9	21.0	44.8	68.4	114.2	154.4	112.9	122.4	102.0	53.1	32.8
		Radar	110.8	94.1	112.6	261.2	190.3	263.6	247.9	229.4	222.7	221.3	179.4	165.3
	ข้อมูลตรวจวัด		18.7	25.9	168.7	39.6	32.0	47.2	103.3	318.2	318.5	126.3	44.6	17.1
2020	SWAT	station	38.7	23.5	11.0	15.2	36.9	113.8	115.8	125.5	118.0	339.5	186.7	101.0
		jaxa	9.2	3.8	2.8	20.4	43.1	92.8	85.7	132.1	142.5	367.5	116.5	48.9
		Radar	33.9	22.1	22.8	51.3	133.0	171.1	171.3	213.7	226.4	270.6	163.9	56.7
	DWCM	station	45.5	47.7	54.8	53.7	51.7	62.7	72.8	65.9	70.7	268.3	58.1	61.4
		jaxa	23.0	17.0	15.8	16.4	19.9	37.1	51.8	108.3	139.8	311.4	111.3	45.0
		Radar	143.2	120.3	114.5	102.5	103.2	97.1	104.0	91.7	104.5	105.3	74.5	74.7
	ข้อมูลตรวจวัด		111.6	14.5	15.0	30.4	33.7	35.9	41.6	117.1	75.0	236.1	102.3	28.2

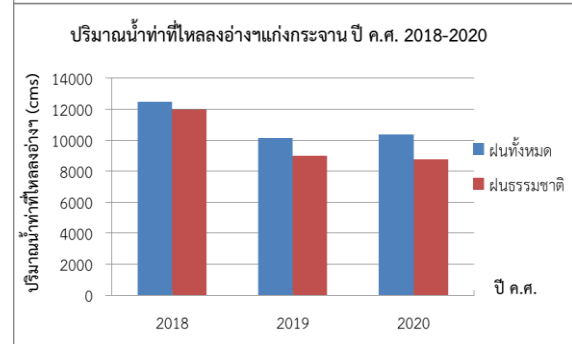
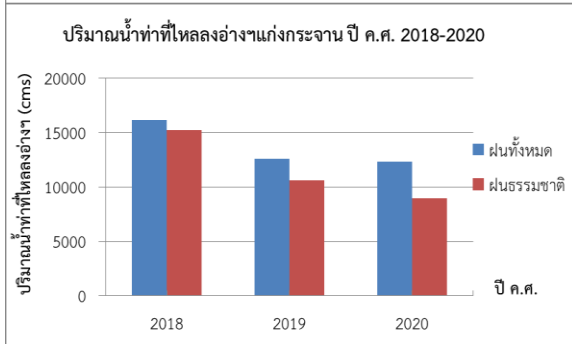
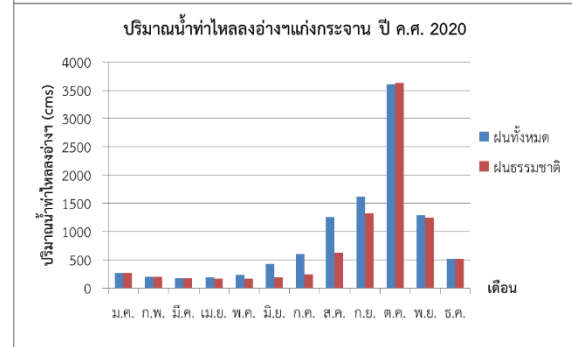
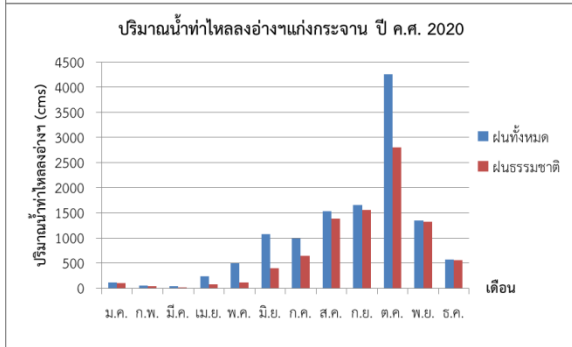
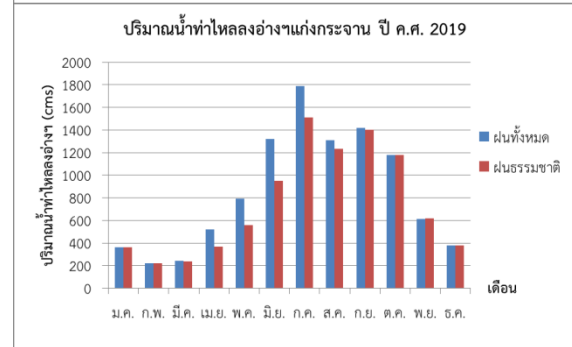
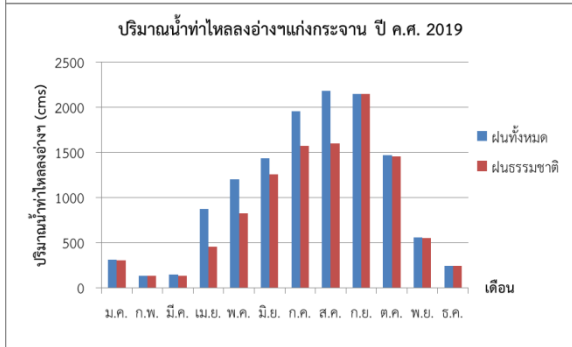
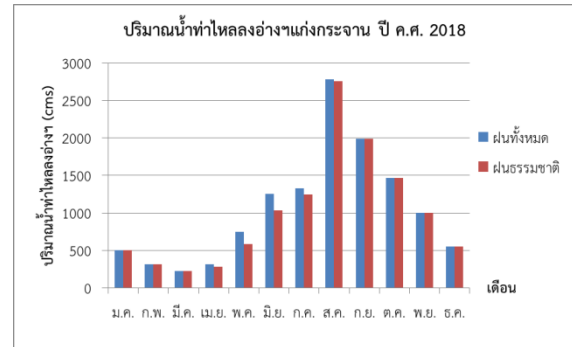
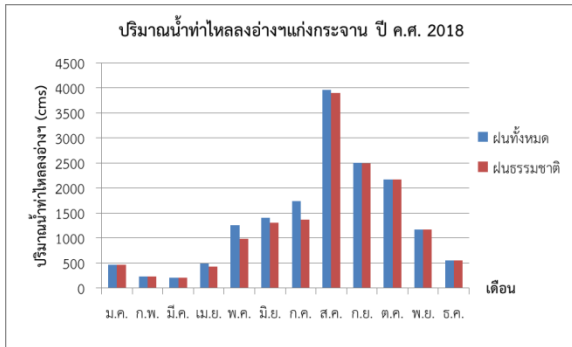
ตารางที่ 3.5-3 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน วิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลฝนที่หักลบ  
ฝนหลวงออก ทั้งสองแบบจำลอง

ปี	model	ข้อมูล ฝน	ปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน (ล้าน ลบ.ม)											
			ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2018	SWAT	station	91.8	73.9	44.0	53.2	122.7	137.9	122.1	111.1	122.7	173.8	171.3	128.9
		jaxa	40.5	20.4	18.1	36.8	84.9	112.7	118.4	336.7	215.2	187.3	100.7	47.9
		Radar	33.1	23.5	45.9	89.7	134.3	119.7	111.2	165.4	147.7	198.4	174.4	119.4
	DWCM	station	59.3	49.8	53.9	88.7	92.3	81.9	55.9	69.3	92.7	152.8	125.1	66.1
		jaxa	43.7	27.1	19.4	24.0	50.1	89.5	107.8	237.8	171.5	126.9	86.8	47.8
		Radar	49.7	42.3	46.5	76.3	91.6	68.2	97.4	134.5	106.2	153.1	127.9	115.0
2019	SWAT	station	83.1	44.1	25.3	23.4	83.4	101.8	115.7	128.8	127.8	128.9	94.7	55.8
		jaxa	26.3	11.3	11.2	39.0	70.9	108.2	135.9	137.8	185.4	125.8	47.6	20.6
		Radar	79.4	46.8	51.9	148.4	202.4	367.5	685.7	374.1	308.7	318.0	167.1	65.5
	DWCM	station	63.8	51.1	54.2	53.7	53.1	83.8	60.0	81.5	110.1	64.5	39.0	46.3
		jaxa	31.2	18.9	20.2	31.9	48.0	82.3	130.3	106.7	121.0	101.7	53.2	32.8
		Radar	110.1	92.8	101.8	213.9	165.0	228.7	202.8	182.5	190.8	188.3	151.5	141.3
2020	SWAT	station	36.7	21.8	10.7	12.9	23.4	96.2	105.6	118.8	113.2	335.1	183.2	96.9
		jaxa	8.9	3.7	1.7	6.1	9.7	33.8	55.0	119.5	134.1	242.2	114.0	47.9
		Radar	31.8	20.7	17.1	17.0	14.4	29.4	45.7	164.0	209.9	260.5	157.8	53.0
	DWCM	station	46.1	53.7	55.6	51.0	48.8	45.8	78.1	54.3	76.5	246.4	44.8	51.1
		jaxa	23.0	16.9	15.7	14.3	14.1	16.9	21.5	54.2	114.0	313.8	107.5	44.3
		Radar	131.6	107.8	99.4	90.6	87.9	77.5	77.3	76.5	88.1	83.3	57.8	57.8



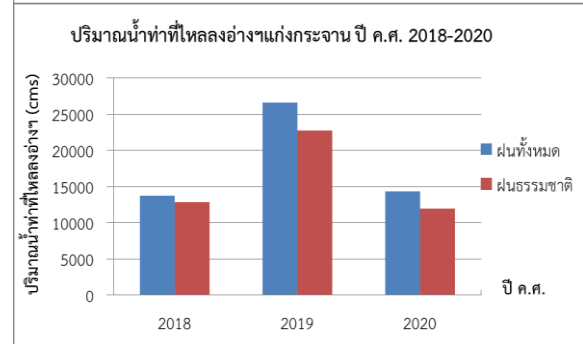
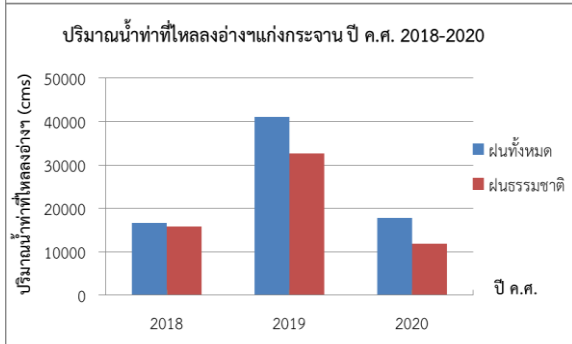
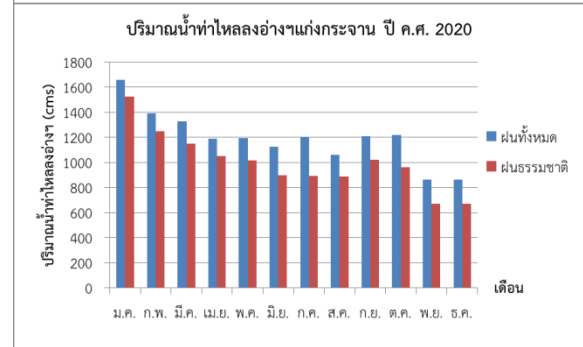
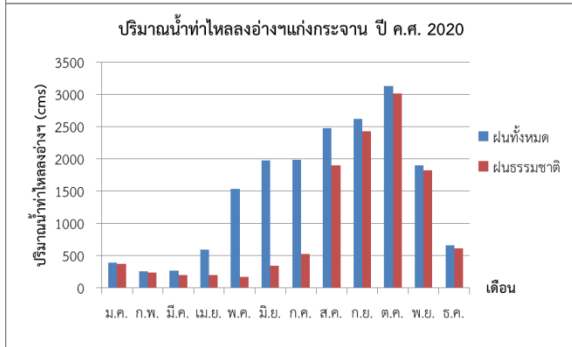
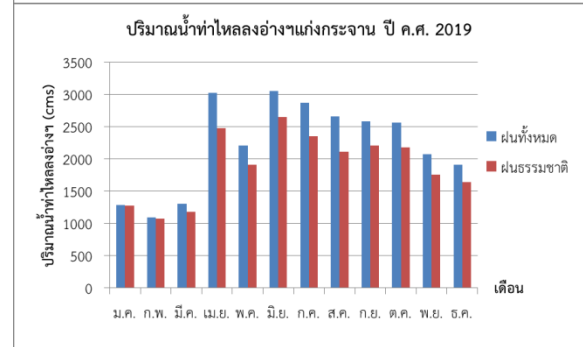
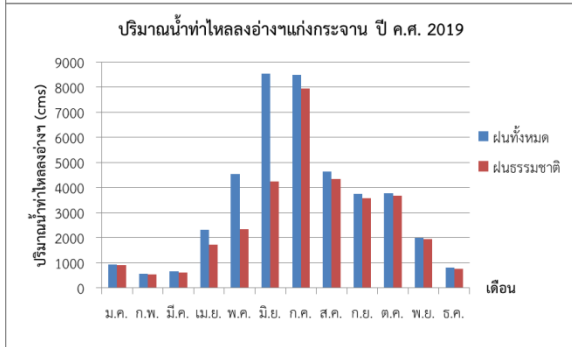
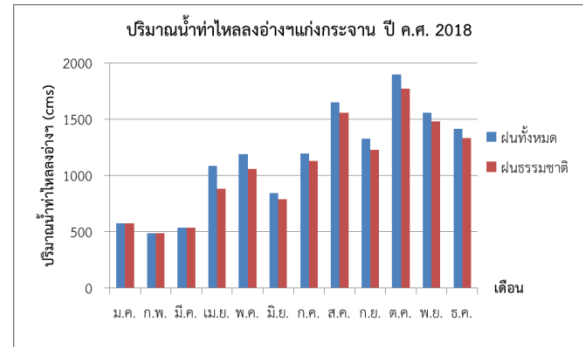
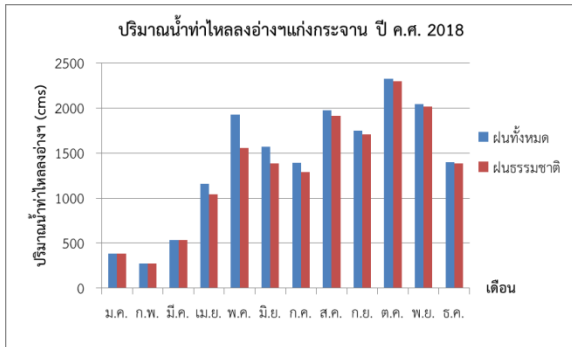
รูปที่ 3.5-2 เปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน โดยแบบจำลอง SWAT (ข้อมูลฝนจากสถานีตรวจวัด)

รูปที่ 3.5-3 เปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน โดยแบบจำลอง DWCM (ข้อมูลฝนจากสถานีตรวจวัด)



รูปที่ 3.5-4 เปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน โดยแบบจำลอง SWAT (ข้อมูลฝนจากดาวเทียม Jaxa)

รูปที่ 3.5-5 เปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน โดยแบบจำลอง DWCM (ข้อมูลฝนจากดาวเทียม Jaxa)



รูปที่ 3.5-6 เปรียบเทียบปริมาณน้ำทำที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน โดยแบบจำลอง SWAT (ข้อมูลฝนจากฝนเรดาร์)

รูปที่ 3.5-7 เปรียบเทียบปริมาณน้ำทำที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน โดยแบบจำลอง DWCM (ข้อมูลฝนจากฝนเรดาร์)

จากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าของแบบจำลอง SWAT และแบบจำลอง DWCM เมื่อพิจารณา ส่วนข้อมูลฝนทั้งหมด (ฝนที่ตกธรรมชาติและฝนหลวง) ทำให้ปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำเพิ่มขึ้น โดยคิด เป็นร้อยละ ดังตารางที่ 3.5-4 ถึง 3.5-5

ตารางที่ 3.5-4 ปริมาณน้ำท่าที่เพิ่มขึ้นที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน โดยแบบจำลอง SWAT

ข้อมูลฝน	ปี	ปริมาณน้ำท่าที่เพิ่มขึ้นที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานคิดเป็นร้อยละ											
		ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
Station	2018	0.00	0.00	0.00	9.66	8.01	3.95	2.70	2.03	1.53	1.02	0.92	1.11
	2019	1.79	2.73	4.05	14.38	8.52	6.89	3.81	2.31	1.99	1.77	2.31	3.50
	2020	5.18	7.21	2.82	15.41	36.65	15.42	8.79	5.33	4.08	1.31	1.86	4.09
Jaxa	2018	0.00	0.00	0.00	13.03	21.59	7.47	21.36	1.62	0.37	0.24	0.28	0.38
	2019	0.49	0.73	9.55	47.95	31.55	12.62	19.51	26.77	0.15	0.76	1.09	1.73
	2020	2.76	3.96	41.34	70.02	77.37	63.56	35.82	9.53	5.84	34.11	2.13	2.02
Radar	2018	0.00	0.00	0.00	10.08	19.40	11.62	7.34	3.18	2.37	1.32	1.07	1.23
	2019	1.26	1.49	9.69	25.65	48.40	50.24	6.63	6.60	4.49	2.74	3.19	5.30
	2020	6.19	6.42	24.86	66.91	89.18	82.84	73.29	23.25	7.32	3.72	3.69	6.52

ตารางที่ 3.5-5 ปริมาณน้ำท่าที่เพิ่มขึ้นที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน โดยแบบจำลอง DWCM

ข้อมูลฝน	ปี	ปริมาณน้ำท่าที่เพิ่มขึ้นที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานคิดเป็นร้อยละ											
		ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
Station	2018	0.00	0.00	0.00	6.36	11.00	6.84	5.80	3.19	1.97	1.18	1.22	2.03
	2019	2.03	2.31	1.91	7.13	13.45	9.09	7.73	3.32	2.50	3.38	5.61	4.28
	2020	4.40	3.55	0.57	4.36	26.20	27.98	13.97	10.13	6.80	1.65	5.99	6.74
Jaxa	2018	0.00	0.00	0.00	20.28	36.33	8.41	28.09	2.31	0.47	0.36	0.33	0.38
	2019	0.41	0.44	5.62	80.29	47.74	13.69	21.33	44.61	0.23	0.94	0.98	1.10
	2020	1.10	0.89	7.38	87.02	167.50	159.13	59.25	11.62	5.95	40.25	2.23	2.20
Radar	2018	0.00	0.00	0.00	10.72	31.44	21.63	8.53	3.80	3.13	1.62	1.40	1.21
	2019	0.91	0.75	4.95	19.61	99.75	140.75	19.62	11.53	6.51	4.05	3.07	2.22
	2020	1.47	1.18	4.95	33.48	114.86	145.92	120.67	54.18	15.87	9.56	8.12	4.95

### 3.5.2 ปริมาณน้ำฝนที่ช่วยเหลือเกษตรกร (ลดการขาดแคลนน้ำ)

แผนการบริหารจัดการน้ำในอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเพชรบุรี แบ่งปริมาณน้ำใช้ในโครงการตามวัตถุประสงค์ดังนี้ เพื่อการเกษตร เพื่ออุปโภคบริโภค เพื่ออุตสาหกรรม เพื่อรักษานิเวศ และอื่นๆ การศึกษาข้อมูลการบริหารจัดการน้ำตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2551-2560 โดยแสดงปริมาณน้ำใช้ตามแผนและผลการบริหารจัดการน้ำของอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน อ่างฯห้วยแม่ประจันต์ และอ่างฯห้วยผาก ดังแสดงในตารางที่ 3.5-6 ถึง 3.5-11 และแผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบการบริหารจัดการน้ำ ดังรูปที่ 3.5-8 ถึง 3.5-10

ตารางที่ 3.5-6 แผนการบริหารจัดการน้ำ อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ผาก

ปี	แผนการบริหารจัดการน้ำ อ่างเก็บน้ำห้วยผาก (ล้าน ลบ.ม.)											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2555	0.60	0.65	0.84	0.85	2.00	1.85	1.95	3.28	3.19	1.98	0.54	0.59
2556	0.60	0.62	0.84	0.81	2.01	1.85	1.91	3.27	3.23	2.02	0.54	0.59
2557	0.60	0.62	0.84	0.81	2.01	1.85	1.91	3.27	3.23	2.02	0.54	0.59
2558	0.60	0.62	0.84	0.81	2.01	1.85	1.91	3.27	3.23	2.02	0.54	0.59
2559	1.40	1.40	1.64	1.58	1.46	1.33	1.37	1.40	1.50	4.07	1.31	1.40
2560	0.60	0.62	0.84	0.81	2.01	1.85	1.91	3.27	3.23	2.02	0.54	0.59

ตารางที่ 3.5-7 ผลการบริหารจัดการน้ำ อ่างเก็บน้ำห้วยผาก

ปี	ผลการบริหารจัดการน้ำ อ่างเก็บน้ำห้วยผาก (ล้าน ลบ.ม.)											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2555	1.14	1.17	1.94	1.22	0.83	0.83	0.54	0.54	0.52	0.70	0.52	0.54
2556	0.90	0.81	0.77	0.45	0.45	0.12	0.24	0.54	0.52	14.67	20.30	0.54
2557	0.54	0.48	0.54	0.52	0.54	2.54	0.69	0.54	0.52	0.54	0.93	0.70
2558	0.54	0.48	0.54	0.52	0.54	0.52	0.54	0.54	0.52	0.54	0.52	0.54
2559	0.54	0.50	0.54	0.52	0.54	0.52	0.54	0.54	0.52	0.50	0.24	0.54
2560	1.93	0.48	0.54	0.52	2.96	2.41	0.54	0.54	0.52	1.70	0.67	1.16

ตารางที่ 3.5-8 แผนการบริหารจัดการน้ำ อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน

ปี	แผนการบริหารจัดการน้ำ อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน (ล้าน ลบ.ม.)											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2551	100.29	152.77	149.01	109.61	58.94	48.14	51.87	131.89	83.54	49.92	60.76	98.00
2552	88.77	114.25	114.45	88.91	56.15	48.06	49.66	130.51	87.14	49.66	58.58	99.54
2553	100.29	147.97	149.37	111.43	59.94	48.16	49.66	130.51	87.14	49.66	58.58	99.54
2554	55.46	44.86	49.66	48.06	49.66	48.06	49.66	130.51	87.14	49.66	58.16	96.40
2555	91.37	139.45	136.11	102.09	57.76	48.14	51.87	131.89	83.54	49.92	60.23	94.86
2556	82.53	114.13	117.09	90.30	56.09	48.16	49.66	130.51	87.14	49.66	57.81	93.73
2557	82.33	114.13	117.09	90.30	56.09	48.16	49.66	130.51	87.14	49.66	57.75	93.25
2558	54.16	43.37	48.02	46.47	48.02	46.47	48.02	126.29	80.71	48.02	56.43	93.97
2559	39.64	37.32	40.43	39.19	40.01	38.37	41.55	143.99	84.53	39.64	43.84	57.05
2560	37.99	35.55	42.34	41.31	39.53	43.40	131.46	97.52	82.65	36.16	35.10	37.85

ตารางที่ 3.5-9 ผลการบริหารจัดการน้ำ อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน

ปี	ผลการบริหารจัดการน้ำ อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน (ล้าน ลบ.ม.)											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2551	34.56	74.74	98.06	94.18	89.86	58.75	50.98	124.42	84.24	65.23	42.34	31.97
2552	38.45	73.01	97.63	102.82	91.58	40.61	56.59	162.09	159.84	73.87	104.98	44.50
2553	28.51	72.14	121.82	123.55	114.05	67.39	31.97	78.19	54.86	2.38	60.05	36.72
2554	27.22	29.81	22.90	30.24	21.17	21.69	64.80	130.90	121.82	77.76	110.59	84.24
2555	92.45	99.79	112.75	109.30	66.96	31.54	47.95	117.50	106.27	97.37	70.85	16.85
2556	27.65	88.13	104.11	114.48	115.78	32.40	19.87	85.97	63.50	143.86	89.86	37.58
2557	68.69	113.62	120.01	134.09	107.57	55.73	56.16	116.21	61.34	46.83	83.81	35.42
2558	43.63	34.56	47.95	46.22	53.57	64.97	93.31	100.31	63.76	54.43	53.14	26.09
2559	30.41	27.22	36.46	41.47	41.04	24.97	21.17	96.77	37.15	0.86	19.87	23.33
2560	14.44	34.99	43.63	38.45	27.99	25.49	58.75	92.45	69.12	20.30	43.63	16.85

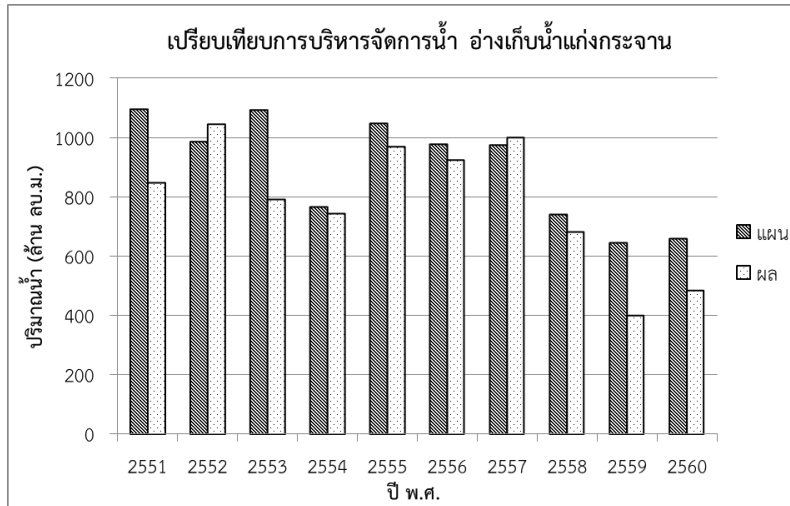
ตารางที่ 3.5-10 แผนการบริหารจัดการน้ำ อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์

แผนการบริหารจัดการน้ำ อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ (ล้าน ลบ.ม.)												
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

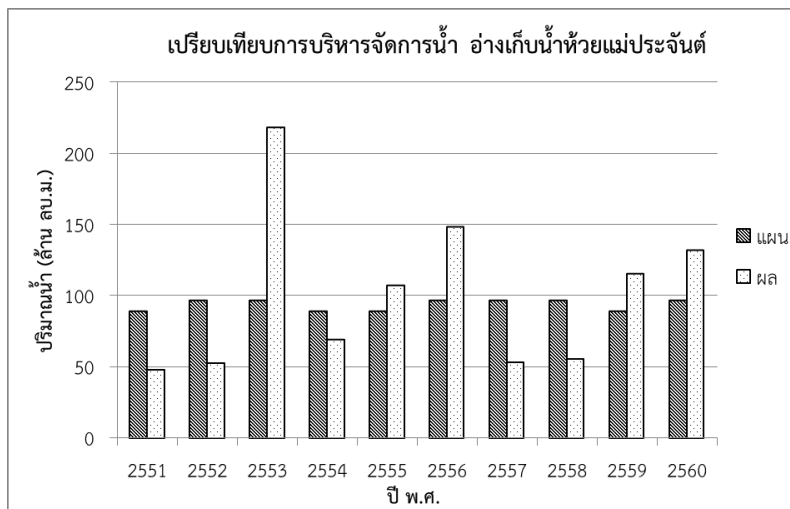
ปี	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2551	3.00	3.23	4.19	4.12	5.98	5.37	5.76	11.23	11.64	29.15	2.62	2.96
2552	3.00	3.10	4.18	4.05	8.69	7.96	8.26	11.23	11.03	30.03	2.62	2.96
2553	3.00	3.10	4.18	4.05	8.69	7.96	8.26	11.23	11.03	30.03	2.62	2.96
2554	3.00	3.10	4.18	4.05	6.02	5.37	5.58	11.23	11.03	30.03	2.62	2.96
2555	3.00	3.23	4.19	4.12	5.98	5.37	5.76	11.23	11.64	29.15	2.62	2.96
2556	3.00	3.10	4.18	4.05	8.69	7.96	8.26	11.23	11.03	30.03	2.62	2.96
2557	3.00	3.10	4.18	4.05	8.69	7.96	8.26	11.23	11.03	30.03	2.62	2.96
2558	3.00	3.10	4.18	4.05	8.69	7.96	8.26	11.23	11.03	30.03	2.62	2.96
2559	3.00	3.23	4.19	4.12	5.98	5.37	5.76	11.23	11.64	29.15	2.62	2.96
2560	3.00	3.10	4.18	4.05	8.69	7.96	8.26	11.23	11.03	30.03	2.62	2.96

ตารางที่ 3.5-11 ผลการบริหารจัดการน้ำ อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์

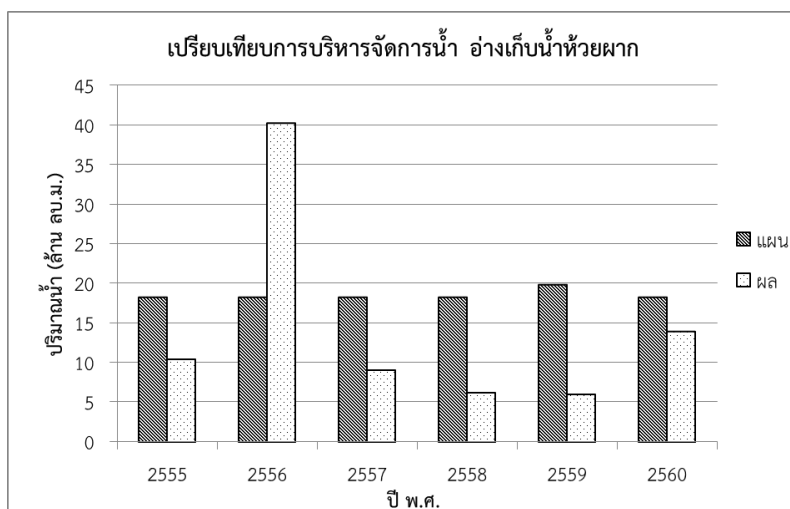
ปี	ผลการบริหารจัดการน้ำ อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ (ล้าน ลบ.ม.)											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2551	0.78	2.76	2.68	6.57	8.29	2.51	5.10	6.91	6.05	1.90	4.23	0.52
2552	2.03	2.76	7.52	7.17	3.72	9.59	0.00	12.53	1.99	1.21	1.73	2.68
2553	7.08	2.42	3.11	5.18	5.36	5.18	5.36	16.76	39.96	91.04	25.49	11.23
2554	5.23	2.85	4.15	4.32	8.81	14.86	0.13	7.04	7.17	9.59	2.59	2.68
2555	4.23	4.06	5.96	5.27	5.36	3.80	2.68	3.97	2.94	27.56	25.92	15.90
2556	2.76	2.59	4.75	7.08	8.04	8.29	13.39	13.39	12.96	27.56	42.08	5.36
2557	4.67	2.42	3.72	4.32	2.68	3.80	1.78	5.36	4.02	12.10	5.18	3.53
2558	1.24	1.30	2.68	2.59	1.64	5.27	8.55	9.94	16.42	3.67	1.30	1.34
2559	1.38	2.76	3.20	3.46	3.20	2.59	2.68	2.68	9.68	46.05	35.08	2.68
2560	3.72	2.42	4.23	8.47	11.15	14.86	4.06	2.68	6.48	36.96	26.16	11.20



รูปที่ 3.5-8 เปรียบเทียบการบริหารจัดการน้ำ อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน



รูปที่ 3.5-9 เปรียบเทียบการบริหารจัดการน้ำ อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์



รูปที่ 3.5-10 เปรียบเทียบการบริหารจัดการน้ำ อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ผาก

IIMI (1989) กล่าวว่า ดัชนีการส่งน้ำจะบอกให้ทราบว่าน้ำที่ส่งรอบเวรต่างๆ และส่งให้พื้นที่ต่างๆในโครงการตรงตามแผนหรือมีความต่างจากแผนที่วางไว้มากน้อยเท่าใด โดยแสดงเปรียบเทียบระหว่างอัตราการส่งน้ำจริงและเป้าหมายการส่งน้ำ ดังสมการ

$$\text{Delivery Performance Ratio (DPR)} = \frac{\text{Actual Volume}}{\text{Target Volume}}$$

เมื่อ Actual Volume คือ การส่งน้ำจริง  
Target Volume คือ เป้าหมายการส่งน้ำ

การวิเคราะห์ DPR ตามสมการ โดยใช้ผลการบริหารจัดการน้ำ (เป็นการรวมปริมาณน้ำใช้ตามวัตถุประสงค์ต่างๆ) เปรียบเทียบกับแผนการบริหารจัดการน้ำ พบว่า ค่าความสามารถส่งน้ำ (DPR) ของอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน ช่วงข้อมูลของฤดูฝนอยู่ระหว่าง 0.54-1.42 ฤดูแล้งอยู่ระหว่าง 0.54-0.94 สำหรับอ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ DPR ฤดูฝนอยู่ระหว่าง 0.52-3.28 ฤดูแล้งอยู่ระหว่าง 0.51-2.15 และอ่างเก็บน้ำห้วยผาก DPR ฤดูฝนอยู่ระหว่าง 0.31-6.56 ฤดูแล้งอยู่ระหว่าง 0.36-1.67 สามารถแสดงรายละเอียดค่า DPR แต่ละเดือนของอ่างเก็บน้ำได้ดังตารางที่ 3.5-12 ถึง 3.5-14 ซึ่งค่า DPR ที่ดีที่สุดควรมีค่าเท่ากับ 1 หมายถึงสามารถส่งน้ำได้ตามแผน หากค่า DPR สูงขึ้นหมายถึงการบริหารการส่งน้ำที่ไม่ดีคืออาจส่งน้ำมากเกินไปจนเกินความจำเป็น โดยแสดงค่าเฉลี่ย DPR ฤดูฝนและฤดูร้อนของอ่างเก็บน้ำได้ดังรูปที่ 3.5-11 ถึง 3.5-13

ตารางที่ 3.5-12 ความสามารถการส่งน้ำ อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน

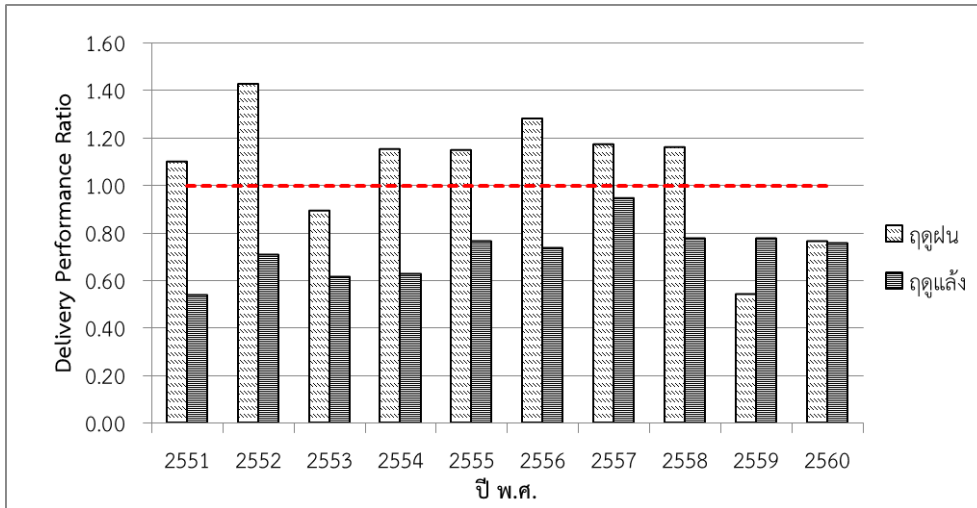
ปี	Delivery Performance Ratio (DPR)											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2551	0.34	0.49	0.66	0.86	1.52	1.22	0.98	0.94	1.01	1.31	0.70	0.33
2552	0.43	0.64	0.85	1.16	1.63	0.84	1.14	1.24	1.83	1.49	1.79	0.45
2553	0.28	0.49	0.82	1.11	1.90	1.40	0.64	0.60	0.63	0.05	1.03	0.37
2554	0.49	0.66	0.46	0.63	0.43	0.45	1.30	1.00	1.40	1.57	1.90	0.87
2555	1.01	0.72	0.83	1.07	1.16	0.66	0.92	0.89	1.27	1.95	1.18	0.18
2556	0.33	0.77	0.89	1.27	2.06	0.67	0.40	0.66	0.73	2.90	1.55	0.40
2557	0.83	1.00	1.02	1.48	1.92	1.16	1.13	0.89	0.70	0.94	1.45	0.38
2558	0.81	0.80	1.00	0.99	1.12	1.40	1.94	0.79	0.79	1.13	0.94	0.28
2559	0.77	0.73	0.90	1.06	1.03	0.65	0.51	0.67	0.44	0.02	0.45	0.41
2560	0.38	0.98	1.03	0.93	0.71	0.59	0.45	0.95	0.84	0.56	1.24	0.45

ตารางที่ 3.5-13 ความสามารถในการส่งน้ำ อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์

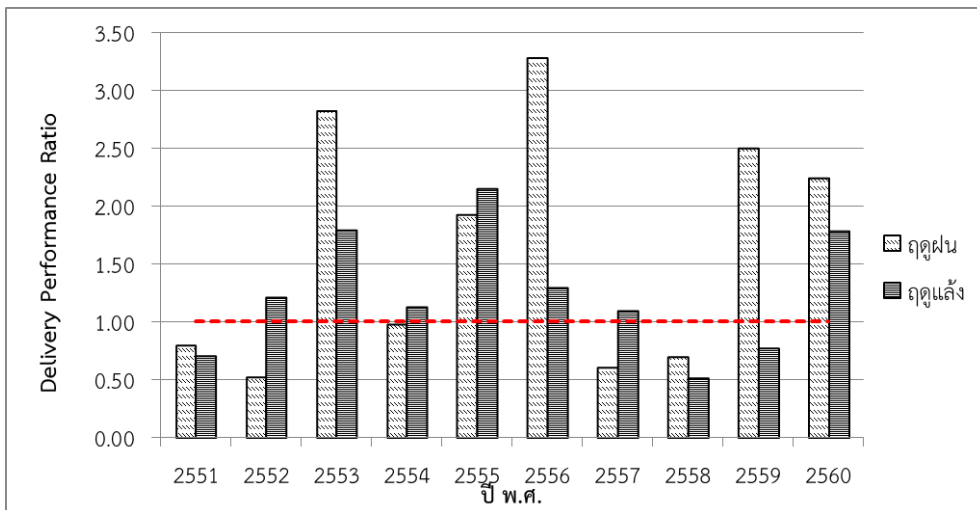
ปี	Delivery Performance Ratio (DPR)											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2551	0.26	0.86	0.64	1.59	1.39	0.47	0.89	0.62	0.52	0.07	1.61	0.18
2552	0.68	0.89	1.80	1.77	0.43	1.20	0.00	1.12	0.18	0.04	0.66	0.90
2553	2.36	0.78	0.74	1.28	0.62	0.65	0.65	1.49	3.62	3.03	9.74	3.79
2554	1.74	0.92	0.99	1.07	1.46	2.77	0.02	0.63	0.65	0.32	0.99	0.90
2555	1.41	1.26	1.42	1.28	0.90	0.71	0.47	0.35	0.25	0.95	9.88	5.37
2556	0.92	0.84	1.14	1.75	0.92	1.04	1.62	1.19	1.17	0.92	16.08	1.81
2557	1.55	0.78	0.89	1.07	0.31	0.48	0.22	0.48	0.36	0.40	1.98	1.19
2558	0.41	0.42	0.64	0.64	0.19	0.66	1.04	0.88	1.49	0.12	0.50	0.45
2559	0.46	0.86	0.76	0.84	0.53	0.48	0.47	0.24	0.83	1.58	13.37	0.90
2560	1.24	0.78	1.01	2.09	1.28	1.87	0.49	0.24	0.59	1.23	10.00	3.78

ตารางที่ 3.5-14 ความสามารถในการส่งน้ำ อ่างเก็บน้ำห้วยผาก

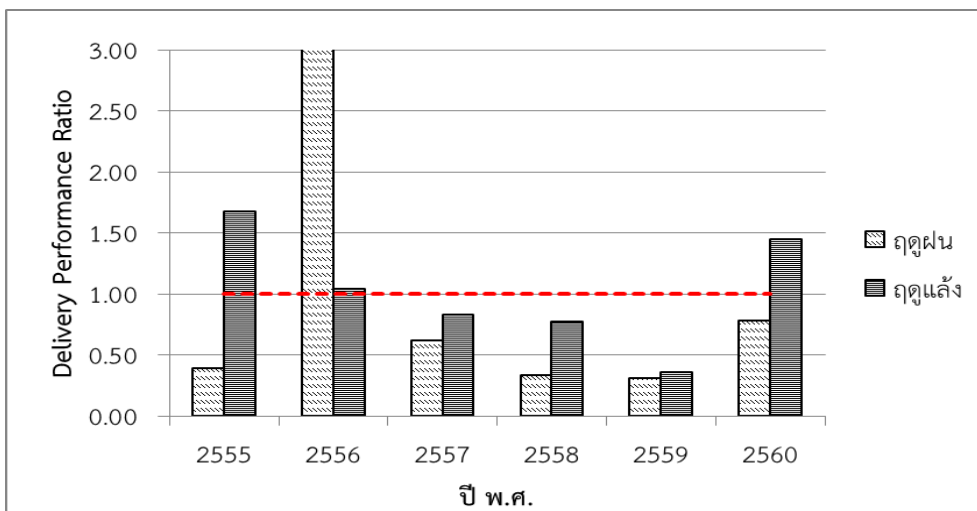
ปี	Delivery Performance Ratio (DPR)											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2555	1.90	1.80	2.32	1.43	0.41	0.45	0.27	0.16	0.16	0.35	0.97	0.90
2556	1.50	1.31	0.92	0.55	0.22	0.07	0.13	0.16	0.16	7.25	37.92	0.90
2557	0.89	0.78	0.64	0.64	0.27	1.37	0.36	0.16	0.16	0.26	1.74	1.18
2558	0.89	0.78	0.64	0.64	0.27	0.28	0.28	0.16	0.16	0.26	0.97	0.90
2559	0.38	0.36	0.33	0.33	0.37	0.39	0.39	0.38	0.35	0.12	0.18	0.38
2560	3.21	0.78	0.64	0.64	1.48	1.30	0.28	0.16	0.16	0.84	1.26	1.96



รูปที่ 3.5-11 ความสามารถส่งน้ำ อ่างเก็บน้ำแก่งกระเจาน



รูปที่ 3.5-12 ความสามารถส่งน้ำ ห้วยแม่ประจันต์



รูปที่ 3.5-13 ความสามารถส่งน้ำ ห้วยผาก

สำหรับความเชื่อถือได้ของการส่งน้ำ มีความสำคัญอย่างมากต่อเกษตรกรและต่อผลผลิต เนื่องจากเกษตรกรจะสามารถคาดคะเนจะได้น้ำเมื่อไรและสามารถวางแผนการเพาะปลูกได้อย่างเหมาะสม Palmer (1990) เสนอสมการในการคำนวณหาความเชื่อถือของการชลประทาน ดังนี้

$$\text{Reliability} = \frac{\text{Volume Delivered} \times \text{Actual Duration Supply}}{\text{Target Volume} \times \text{Target Duration Supply}}$$

ความรุนแรงของสภาวะการขาดแคลนน้ำดำเนินการประเมินโดยพิจารณาจากร้อยละของสภาวะการขาดแคลนน้ำซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ขาดแคลนต่อปริมาณความต้องการน้ำทั้งหมด ดังสมการ

$$\text{ร้อยละของการขาดแคลนน้ำ} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ขาดแคลน}}{\text{ปริมาณความต้องการน้ำทั้งหมด}} \times 100$$

สำหรับเกณฑ์ความรุนแรงของสภาวะการขาดแคลนน้ำจำแนกเป็น 3 รูปแบบ เรียงลำดับตามสภาพความรุนแรง ได้แก่ 1) ความรุนแรงของสภาวะการขาดแคลนน้ำมาก 2) ความรุนแรงของสภาวะการขาดแคลนน้ำปานกลาง และ 3) ความรุนแรงของสภาวะการขาดแคลนน้ำน้อย โดยมีหลักเกณฑ์สำหรับการจำแนกความรุนแรงแสดงดังตารางที่ 3.5-15

ตารางที่ 3.5-15 เกณฑ์ความรุนแรงของสภาวะการขาดแคลนน้ำ

ลำดับ	ร้อยละของการขาดแคลนน้ำ	เกณฑ์ความรุนแรง
1	ร้อยละ 0	ไม่พบสภาวะการขาดแคลนน้ำ
2	มากกว่าร้อยละ 0 ถึง ร้อยละ 20	ความรุนแรงของสภาวะการขาดแคลนน้ำน้อย
3	มากกว่าร้อยละ 0 ถึง ร้อยละ 40	ความรุนแรงของสภาวะการขาดแคลนน้ำปานกลาง
4	มากกว่าร้อยละ 40	ความรุนแรงของสภาวะการขาดแคลนน้ำมาก

เมื่อประเมินร้อยละของการขาดแคลนน้ำจากสมการ นำมาพิจารณาตามเกณฑ์ความรุนแรงของสภาวะการขาดแคลนน้ำ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.5-16 ถึง 3.5-18

ตารางที่ 3.5-16 ความรุนแรงของสภาวะการขาดแคลนน้ำ ของอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน

ปี	ความรุนแรงของสภาวะการขาดแคลนน้ำ											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2551	มาก	มาก	ปานกลาง	น้อย	ไม่มี	ไม่มี	น้อย	น้อย	ไม่มี	ไม่มี	ปานกลาง	มาก
2552	มาก	ปานกลาง	น้อย	ไม่มี	ไม่มี	น้อย	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	มาก
2553	มาก	มาก	น้อย	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ปานกลาง	มาก	ปานกลาง	มาก	ไม่มี	มาก
2554	มาก	ปานกลาง	มาก	ปานกลาง	มาก	มาก	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	น้อย
2555	ไม่มี	ปานกลาง	น้อย	ไม่มี	ไม่มี	ปานกลาง	น้อย	น้อย	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	มาก
2556	มาก	ปานกลาง	น้อย	ไม่มี	ไม่มี	ปานกลาง	มาก	ปานกลาง	ปานกลาง	ไม่มี	ไม่มี	มาก
2557	น้อย	น้อย	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	น้อย	ปานกลาง	น้อย	ไม่มี	มาก
2558	น้อย	ปานกลาง	น้อย	น้อย	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ปานกลาง	ปานกลาง	ไม่มี	น้อย	มาก
2559	ปานกลาง	ปานกลาง	น้อย	ไม่มี	ไม่มี	ปานกลาง	มาก	ปานกลาง	มาก	มาก	มาก	มาก
2560	มาก	น้อย	ไม่มี	น้อย	ปานกลาง	มาก	มาก	น้อย	น้อย	มาก	ไม่มี	มาก

ตารางที่ 3.5-17 ความรุนแรงของสภาวะการขาดแคลนน้ำ ของอ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์

ปี	ความรุนแรงของสภาวะการขาดแคลนน้ำ											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2551	มาก	น้อย	ปานกลาง	ไม่มี	ไม่มี	มาก	น้อย	ปานกลาง	มาก	มาก	ไม่มี	มาก
2552	ปานกลาง	น้อย	ไม่มี	ไม่มี	มาก	ไม่มี	มาก	ไม่มี	มาก	มาก	ปานกลาง	น้อย
2553	ไม่มี	ปานกลาง	ปานกลาง	ไม่มี	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
2554	ไม่มี	น้อย	น้อย	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	มาก	ปานกลาง	ปานกลาง	มาก	น้อย	น้อย
2555	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	น้อย	ปานกลาง	มาก	มาก	มาก	น้อย	ไม่มี	ไม่มี
2556	น้อย	น้อย	ไม่มี	ไม่มี	น้อย	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	น้อย	ไม่มี	ไม่มี
2557	ไม่มี	ปานกลาง	น้อย	ไม่มี	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	ไม่มี	ไม่มี
2558	มาก	มาก	ปานกลาง	ปานกลาง	มาก	ปานกลาง	ไม่มี	น้อย	ไม่มี	มาก	มาก	มาก
2559	มาก	น้อย	ปานกลาง	น้อย	มาก	มาก	มาก	มาก	น้อย	ไม่มี	ไม่มี	น้อย
2560	ไม่มี	ปานกลาง	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	มาก	มาก	มาก	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี

ตารางที่ 3.5-18 ความรุนแรงของสภาวะการขาดแคลนน้ำ ของอ่างเก็บน้ำห้วยผาก

ปี	ความรุนแรงของสภาวะการขาดแคลนน้ำ											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2555	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	น้อย	น้อย
2556	ไม่มี	ไม่มี	น้อย	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	ไม่มี	ไม่มี	น้อย
2557	น้อย	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	มาก	ไม่มี	มาก	มาก	มาก	มาก	ไม่มี	ไม่มี
2558	น้อย	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	น้อย	น้อย
2559	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก
2560	ไม่มี	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ไม่มี	ไม่มี	มาก	มาก	มาก	น้อย	ไม่มี	ไม่มี

3.5.3 ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่เพิ่มขึ้น ณ สิ้นฤดูฝน

เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตอิทธิพลของมรสุม จึงทำให้ประเทศไทยมีฤดูกาลที่เด่นชัด 2 ฤดู คือ ฤดูฝนกับฤดูแล้ง (Wet and Dry Seasons) สลับกัน โดยฤดูฝนจะเริ่มเมื่อมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นลมชื้นพัดปกคลุมประเทศไทย ขณะที่ร่องความกดอากาศต่ำ (แนวร่องที่ก่อให้เกิดฝน) พาดผ่านประเทศไทยทำให้มีฝนชุกทั่วไป หรือประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงประมาณกลางเดือนตุลาคม สำหรับพื้นที่ภาคใต้จะมีฝนตกชุกในช่วงเดือนตุลาคมถึงพฤศจิกายน ดังนั้นจึงพิจารณาปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ ณ สิ้นฤดูฝนที่เดือนพฤศจิกายน และพิจารณาร่วมกับเส้นเกณฑ์ปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำอ้างอิง (Long-term Benchmark Curve : LBC) โดยแสดงปริมาณน้ำรายเดือนเฉลี่ยในอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเพชรบุรี ประกอบด้วย อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน อ่างฯห้วยแม่ประจันต์ และอ่างฯห้วยผาก ดังตารางที่ 3.5-19 ถึง 3.5-21 แสดงค่า LBC แต่ละอ่างเก็บน้ำข้างต้นดังแสดงในตารางที่ 3.5-22 และแสดงปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ ณ สิ้นฤดูฝน ในรูปแบบแผนภูมิดังรูปที่ 3.5-14 ถึง 3.5-16

ตารางที่ 3.5-19 ปริมาณน้ำรายเดือนเฉลี่ยในอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี

ปริมาณน้ำรายเดือนเฉลี่ยในอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน (ล้าน ลบ.ม.)												
ปี ค.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1966	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	166.0	139.7	133.7	142.5	191.1	185.5	192.3
1967	197.7	194.3	189.3	184.2	189.3	227.4	221.9	306.3	421.5	470.9	463.8	415.1
1968	414.8	411.2	408.4	397.1	416.0	416.5	379.5	397.9	441.9	544.6	655.2	612.8
1969	614.9	585.2	553.8	523.5	484.6	455.1	401.7	470.5	479.7	540.6	723.8	671.8
1970	665.3	648.2	619.4	584.1	526.4	484.1	464.4	458.5	433.7	469.8	514.8	589.4
1971	624.1	621.5	603.4	585.3	567.6	545.3	547.2	619.9	615.1	693.8	656.5	601.4
1972	584.1	571.4	555.9	558.7	534.1	494.9	488.6	626.5	651.0	667.8	671.7	733.7
1973	736.1	726.0	711.1	676.3	647.2	607.0	601.5	584.9	642.6	681.1	666.8	719.5
1974	719.0	700.7	674.4	652.9	653.7	742.4	718.4	719.4	698.6	715.5	710.0	682.1
1975	681.5	662.6	622.8	582.3	529.6	502.7	466.6	464.7	476.9	548.2	574.4	553.7
1976	547.5	526.6	490.3	457.8	441.4	447.4	414.0	401.2	478.7	459.2	509.1	493.9
1977	486.1	463.2	423.0	378.3	349.1	318.3	261.5	283.5	354.6	415.5	388.6	336.5
1978	322.3	304.6	274.4	239.5	219.7	231.5	219.7	317.2	454.9	622.6	643.4	587.9
1979	567.4	526.2	466.0	400.3	343.8	291.3	316.2	405.5	423.9	399.5	323.4	261.3
1980	245.1	215.7	175.1	136.2	115.2	107.4	130.9	138.6	177.2	185.2	184.1	157.1
1981	150.2	140.1	134.0	126.4	125.9	192.7	324.9	461.6	550.4	597.3	687.4	710.0
1982	703.5	675.3	616.7	569.4	520.7	487.3	501.7	579.0	713.2	653.4	599.9	581.0
1983	566.7	527.6	472.3	409.9	356.8	314.3	268.3	227.5	238.2	301.7	366.2	377.5
1984	368.9	353.5	327.9	299.0	270.8	276.1	441.0	458.8	454.4	487.9	456.9	404.4
1985	393.6	373.6	345.4	322.2	308.5	315.0	480.4	551.1	666.9	715.7	705.1	668.3
1986	658.5	629.2	573.1	497.2	494.4	493.9	496.0	546.8	536.4	551.8	557.7	510.4
1987	496.2	471.8	434.3	387.3	354.4	343.4	334.5	283.2	266.1	268.3	272.4	313.0
1988	309.3	297.0	282.7	265.7	296.6	406.0	436.2	422.2	408.8	521.5	632.7	599.2
1989	587.9	553.6	501.9	439.5	379.4	348.0	317.1	309.8	309.0	318.5	344.6	319.4
1990	304.3	289.1	272.9	252.1	234.8	233.6	210.1	179.4	174.9	161.7	160.4	159.4
1991	153.1	141.6	127.1	116.6	108.4	107.5	117.6	206.5	323.1	373.1	432.9	392.8
1992	385.2	367.5	339.1	307.5	271.0	241.0	203.1	213.6	229.5	235.9	267.1	238.1
1993	226.6	213.4	200.1	191.9	183.7	186.6	176.3	197.7	247.5	333.3	398.9	367.9

ตารางที่ 3.5-19 ปริมาณน้ำรายเดือนเฉลี่ยในอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี

ปริมาณน้ำรายเดือนเฉลี่ยในอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน (ล้าน ลบ.ม.)												
ปี ค.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1994	359.2	346.6	333.6	328.0	318.1	334.6	399.1	708.7	718.9	705.0	646.7	585.1
1995	569.1	548.6	514.4	481.7	451.8	446.6	425.2	435.0	595.9	699.5	669.5	623.2
1996	606.1	580.1	518.9	462.5	425.9	400.1	386.0	591.1	691.5	728.0	733.9	706.4
1997	699.3	660.3	577.4	492.0	416.8	361.8	333.1	553.0	656.4	673.0	706.6	683.2
1998	661.4	613.9	524.8	432.9	347.4	300.7	257.3	208.5	185.4	243.7	255.2	248.3
1999	241.4	227.5	212.8	194.4	203.1	259.0	263.7	402.8	439.0	485.6	683.9	695.4
2000	684.7	656.6	608.3	538.7	522.4	528.7	534.2	495.8	588.2	605.1	669.1	641.1
2001	616.6	577.6	534.3	491.2	426.4	391.3	442.8	473.0	558.6	624.2	669.8	647.2
2002	621.6	583.8	541.8	485.0	447.5	445.4	453.8	544.3	631.5	596.3	571.9	560.6
2003	548.4	519.4	471.7	419.5	365.4	341.1	339.6	417.3	463.1	677.5	726.7	709.6
2004	699.0	666.7	589.0	502.5	455.5	504.9	483.4	439.7	410.7	409.9	375.6	342.8
2005	327.4	304.4	277.3	260.3	238.7	231.3	217.1	409.6	467.6	545.5	635.1	641.5
2006	634.0	602.8	531.5	459.4	420.6	427.4	681.0	705.2	641.4	577.6	557.9	534.7
2007	526.3	502.6	440.1	373.5	362.6	367.4	517.1	567.1	550.9	612.2	594.2	578.3
2008	564.9	535.5	453.4	380.3	350.4	304.5	313.8	325.9	359.7	400.3	452.4	443.9
2009	433.6	407.2	348.1	297.2	247.3	286.7	370.1	536.8	562.1	606.4	626.0	595.4
2010	577.3	555.7	472.0	382.6	302.7	238.8	220.3	197.8	211.2	285.8	307.7	274.9
2011	254.1	233.3	214.9	205.9	209.0	248.2	309.2	415.6	474.3	543.6	552.8	516.6
2012	470.3	405.6	333.6	270.6	218.8	227.1	286.9	412.7	500.0	545.0	541.2	550.1
2013	539.2	490.1	404.0	320.3	241.0	198.7	234.9	340.9	398.5	622.0	659.3	680.0
2014	649.9	570.9	472.0	384.6	297.2	254.4	294.7	327.0	336.3	447.8	481.1	446.1
2015	421.3	390.4	360.9	326.5	302.2	267.8	290.7	297.1	305.8	347.3	340.3	324.1
2016	308.8	289.9	266.1	239.8	209.7	196.0	205.9	198.9	181.3	243.9	360.7	368.7
2017	367.2	358.0	331.9	309.3	291.2	297.9	297.3	335.2	337.2	371.4	411.1	452.0
2018	442.0	412.2	355.3	310.2	299.0	324.1	481.5	735.0	707.6	649.6	640.6	616.5
2019	595.3	542.1	456.0	370.8	307.1	285.2	357.5	468.7	586.5	569.8	522.2	465.8
2020	423.4	376.6	331.2	288.9	248.4	205.2	198.4	202.4	216.8	373.3	544.7	532.8

ตารางที่ 3.5-20 ปริมาณน้ำรายเดือนเฉลี่ยในอ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ จังหวัดเพชรบุรี

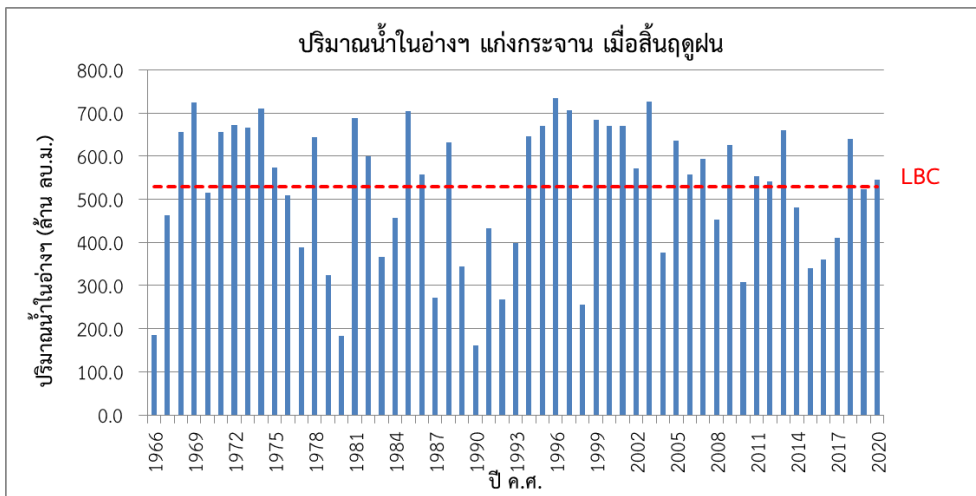
ปริมาณน้ำรายเดือนเฉลี่ยในอ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ (ล้าน ลบ.ม.)												
ปี ค.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2005									10.7	20.6	29.5	16.4
2006	17.2	16.4	15.0	15.8	18.7	26.4	27.1	22.2	20.2	31.4	37.2	36.0
2007	33.3	30.6	27.7	25.4	35.2	40.8	33.2	25.8	31.3	33.6	39.2	41.3
2008	41.2	40.0	37.1	33.7	27.7	23.1	21.4	16.4	22.7	29.5	37.5	37.6
2009	35.9	34.1	30.9	25.3	26.7	27.0	28.0	16.2	19.0	30.4	39.7	39.1
2010	36.8	33.4	29.3	25.5	21.9	19.9	21.1	23.8	24.9	34.4	29.9	26.0
2011	25.0	23.5	22.0	22.7	25.2	22.8	19.6	21.2	18.9	28.2	33.3	33.4
2012	31.8	29.0	24.7	20.3	16.0	12.9	11.9	12.2	18.8	37.3	40.8	41.6
2013	40.1	38.2	34.2	29.5	24.7	21.8	18.9	19.5	19.7	34.2	40.0	36.0
2014	32.9	31.9	31.1	25.4	23.3	21.1	15.2	10.7	10.1	32.2	40.7	42.0
2015	41.6	40.8	39.1	35.4	32.7	32.3	29.3	26.2	22.8	27.2	30.0	29.0
2016	27.5	24.3	19.7	12.1	8.2	8.4	10.5	14.3	25.1	38.7	43.4	38.4
2017	37.2	35.2	31.9	26.1	15.3	11.5	9.9	8.7	14.7	28.2	37.1	35.4
2018	32.7	31.2	23.7	16.2	17.5	16.6	13.6	11.2	8.6	19.8	24.6	25.2
2019	24.5	23.0	20.0	16.0	11.0	10.6	11.0	9.9	9.6	18.7	18.1	14.5
2020	11.5	8.8	5.8	3.4	2.7	2.9	4.8	12.7	17.1	29.6	37.6	38.3

ตารางที่ 3.5-21 ปริมาณน้ำรายเดือนเฉลี่ยในอ่างเก็บน้ำห้วยผาก จังหวัดเพชรบุรี

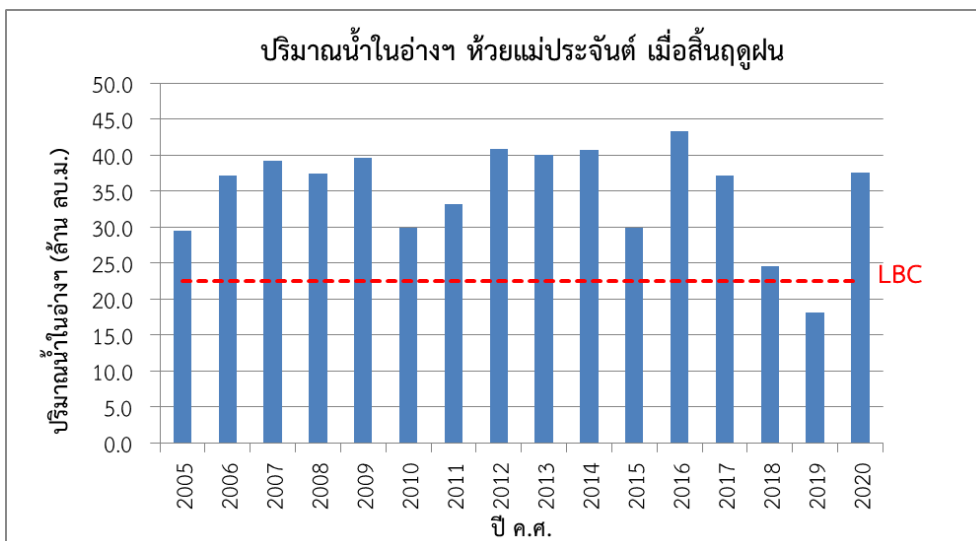
ปริมาณน้ำรายเดือนเฉลี่ยในอ่างเก็บน้ำห้วยผาก (ล้าน ลบ.ม.)												
ปี ค.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2011				16.2	10.3	8.8	6.9	7.0	6.9	9.0	10.3	10.1
2012	9.8	9.6	9.2	9.1	9.5	9.3	9.0	8.9	9.2	13.8	16.5	18.2
2013	17.8	17.4	16.6	16.1	16.2	16.1	16.7	17.0	17.3	23.6	25.0	23.6
2014	23.5	23.4	23.0	22.6	22.3	21.3	18.0	17.1	16.7	20.8	22.8	21.7
2015	20.8	20.4	20.0	19.7	19.3	19.0	18.8	18.6	18.5	18.1	17.9	17.4
2016	16.6	15.8	15.0	14.1	13.1	12.6	13.1	13.6	13.9	15.1	24.4	25.0
2017	25.9	25.7	24.5	23.2	22.6	16.4	15.7	15.3	15.4	19.4	21.1	23.4
2018	22.3	21.2	19.9	18.5	18.5	17.5	13.3	14.7	15.9	20.1	21.6	21.7
2019	21.3	20.0	18.4	16.9	15.7	16.1	16.2	16.1	15.8	17.5	18.5	17.5
2020	16.0	14.3	12.2	10.5	10.1	9.5	9.2	14.4	15.8	17.5	18.5	17.5

ตารางที่ 3.5-22 ค่าเส้นเกณฑ์ปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำอ้างอิง (Long-term Benchmark Curve : LBC)

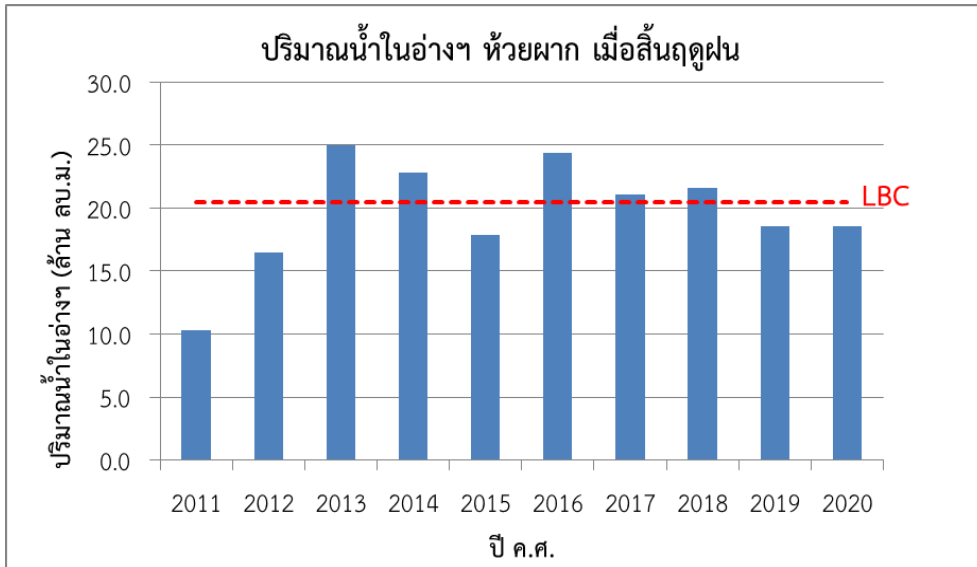
อ่างเก็บน้ำ	อำเภอ	จังหวัด	ปริมาณน้ำเก็บกักสูงสุด (รณส.)	ปริมาณน้ำเก็บกักปกติ (รณก.)	ปริมาณน้ำเก็บกักต่ำสุด (รณต.)	Long-term Benchmark Curve	
						สิ้นฤดูฝน	สิ้นฤดูแล้ง
แก่งกระจาน	แก่งกระจาน	เพชรบุรี	895.30	710.00	65.00	>530	>260
ห้วยแม่ประจันต์	หนองหญ้าปล้อง	เพชรบุรี	53.00	42.20	2.04	>22.5	>16
ห้วยผาก	ท่ายาง	เพชรบุรี	36.00	27.50	3.00	>20.5	>15



รูปที่ 3.5-14 ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน ณ สิ้นฤดูฝน



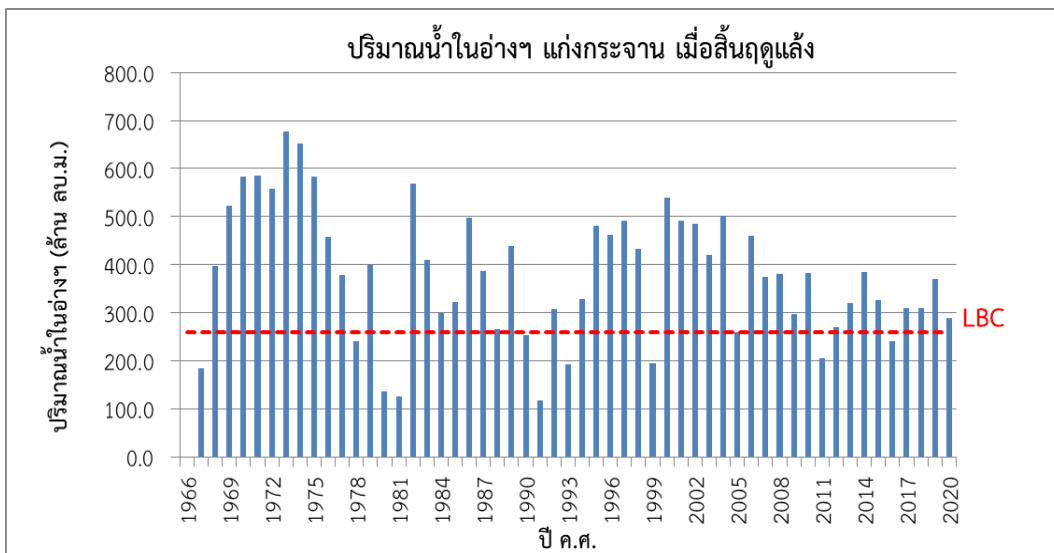
รูปที่ 3.5-15 ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ ณ สิ้นฤดูฝน



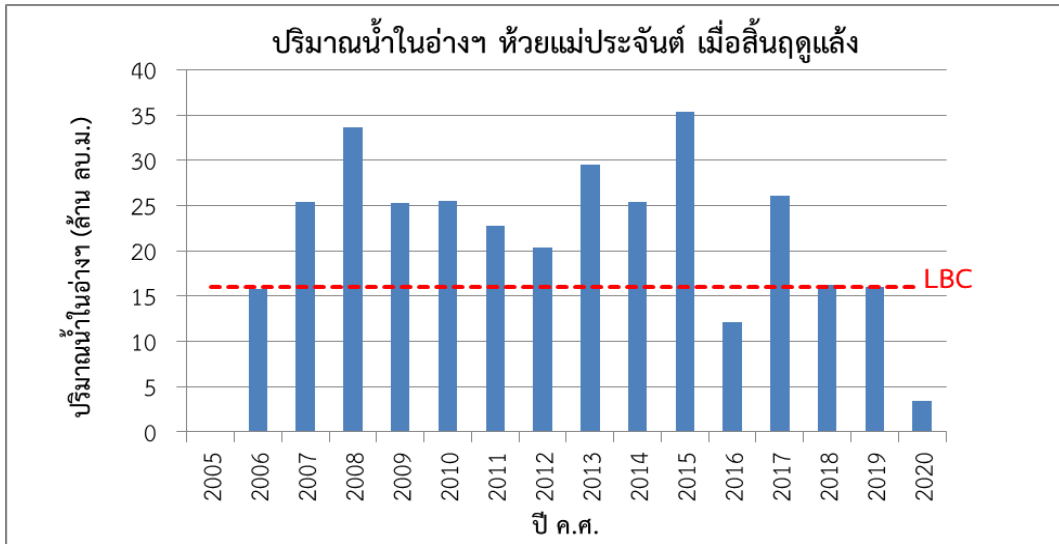
รูปที่ 3.5-16 ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยผาก ณ สิ้นฤดูฝน

### 3.5.4 ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่เพิ่มขึ้น ณ สิ้นฤดูแล้ง

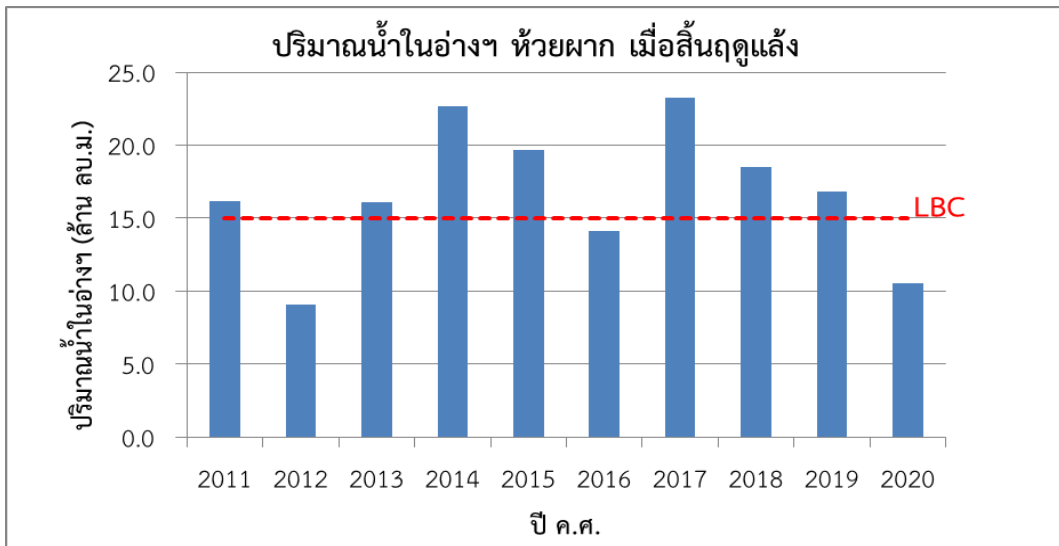
สำหรับฤดูแล้งนั้น สามารถแยกออกได้เป็น 2 ฤดู คือ ฤดูร้อนกับฤดูหนาว โดยฤดูหนาวจะเริ่มเมื่อมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเริ่มพัดปกคลุมประเทศไทย หรือประมาณกลางเดือนตุลาคม ซึ่งจะนำความหนาวเย็นมาสู่ประเทศไทย สำหรับฤดูร้อนจะเริ่มประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงประมาณกลางเดือนพฤษภาคม ดังนั้นจึงได้พิจารณา ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ ณ สิ้นฤดูแล้งที่เดือนเมษายน สามารถแสดงปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำในรูปแบบภูมิได้ดังรูปที่ 3.5-17 ถึง 3.5-19



รูปที่ 3.5-17 ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน ณ สิ้นฤดูแล้ง



รูปที่ 3.5-18 ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ ณ สิ้นฤดูแล้ง



รูปที่ 3.5-19 ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยผาก ณ สิ้นฤดูแล้ง

จากการศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำเพชรบุรี วิเคราะห์ร่วมกับเส้นเกณฑ์ปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำอ้างอิง (LBC) พบว่า อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน ณ สิ้นฤดูฝน มีปริมาณน้ำในอ่างที่มากกว่า 530 ล้าน ลบ.ม. จำนวน 31 ปี จากข้อมูลตั้งแต่ปี ค.ศ. 1966-2020 คิดเป็นร้อยละ 56.36 ณ สิ้นฤดูแล้งมีปริมาณน้ำในอ่างมากกว่า 260 ล้าน ลบ.ม. จำนวน 44 ปี คิดเป็นร้อยละ 80 สำหรับอ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ ณ สิ้นฤดูฝน มีปริมาณน้ำในอ่างที่มากกว่า 22.5 ล้าน ลบ.ม. จำนวน 15 ปี จากข้อมูลตั้งแต่ปี ค.ศ. 2006-2020 คิดเป็นร้อยละ 93.75 ณ สิ้นฤดูแล้งมีปริมาณน้ำในอ่างมากกว่า 16 ล้าน ลบ.ม. จำนวน 11 ปี คิดเป็นร้อยละ 73.33 และอ่างเก็บน้ำห้วยผาก ณ สิ้นฤดูฝน มีปริมาณน้ำในอ่างที่มากกว่า 20.5 ล้าน ลบ.ม. จำนวน 5 ปี จากข้อมูลตั้งแต่ปี ค.ศ. 2011-2020 คิดเป็นร้อยละ 50 ณ สิ้นฤดูแล้งมีปริมาณน้ำในอ่างมากกว่า 15 ล้าน ลบ.ม. จำนวน 7 ปี คิดเป็นร้อยละ 70 โดยแสดงผลสรุปดังกล่าวได้ในตารางที่ 3.5-23

ตารางที่ 3.5-23 ร้อยละปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ พิจารณาร่วมกับเส้นเกณฑ์ปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำอ้างอิง

อ่างเก็บน้ำ	ช่วงปีข้อมูล (ค.ศ.)	น้อยกว่า LBC (%)		มากกว่า LBC (%)		โดยรวม (%)	
		สิ้นสุด ฝน	สิ้นสุด แล้ง	สิ้นสุด ฝน	สิ้นสุด แล้ง	น้อยกว่า LBC	มากกว่า LBC
แก่งกระจาน	1966-2020	43.64	20.00	56.36	80.00	31.82	68.18
ห้วยแม่ประจันต์	2006-2020	6.25	26.67	93.75	73.33	16.13	83.87
ห้วยผาก	2011-2020	50.00	30.00	50.00	70.00	40.00	60.00

หมายเหตุ: LBC คือ เส้นเกณฑ์ปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำอ้างอิง (Long-term Benchmark Curve)

### 3.5.5 ปริมาณฝนที่ใช้ในการรักษาระบบนิเวศ

การศึกษาปริมาณฝนที่ใช้ในการรักษาระบบนิเวศ ได้ใช้ผลการศึกษาจากโครงการวิจัยย่อยที่ 2 โดยได้ทำการศึกษาความชื้นในดินซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่สัมพันธ์กับความรุนแรงของภัยแล้ง บ่งบอกถึงศักยภาพทางการเกษตรและการเก็บกักน้ำซึ่งเป็นปัจจัยที่ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช และบ่งชี้โดยตรงถึงภาวะภัยแล้งทางการเกษตร (Keyantash and Dracup, 2002) รวมทั้งเป็นตัวแปรสำคัญในการศึกษาด้านสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ความรุนแรงและระยะเวลาความแห้งแล้ง การจัดการด้านการเกษตร การคาดการณ์ด้านอุทกภัย โดยทั่วไปการตรวจวัดความชื้นในดินจากภาคสนามเป็นวิธีที่มีความถูกต้องสูงแต่ มีข้อจำกัดคือสามารถเก็บข้อมูลได้เฉพาะจุดและในขอบเขตพื้นที่ที่จำกัด ทั้งนี้วิธีการสำรวจระยะไกลด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียมเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถประเมินความชื้นดินในพื้นที่ห่างไกลได้เป็นบริเวณกว้างและติดตามสถานการณ์ความแห้งแล้งเป็นระยะเวลาต่อเนื่องได้

วิเคราะห์ความแห้งแล้งด้วยค่าดัชนีความแห้งแล้งจากอุณหภูมิ-พืชพรรณ (Temperature Vegetation Dryness Index: TVDI) คือการนำข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมมาสร้างปริภูมิรูปลักษณะ (Feature Space) โดยเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ MOD09A1 และ MOD11A2 ซึ่งเป็นข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมระบบโมดิส (MODIS) แบบภาพผสมราย 8 วัน ช่วงระหว่างวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2561 ถึง 26 ธันวาคม พ.ศ. 2563 นำมาคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณแตกต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) และอุณหภูมิพื้นผิวดิน (Land Surface Temperature, Ts) โดยค่า NDVI คำนวณจากสมการต่อไปนี้

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

เมื่อ

$\rho_{NIR}$  คือ ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near-infrared) จากภาพแบนด์ 2

$\rho_{RED}$  คือ ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง (Visible Red) จากภาพแบนด์ 1

ค่า NDVI จะอยู่ในช่วง  $-1$  ถึง  $1$  เมื่อ NDVI มีค่าเป็นบวกแสดงถึงพืชพรรณปกคลุมดินมีค่าเข้าใกล้  $1$  หมายถึง มีพืชพรรณหนาแน่น เมื่อมีค่าเข้าใกล้  $0$  หมายถึง มีพืชพรรณปกคลุมดินน้อยหรือเป็นพื้นที่ว่างเปล่าที่ไม่มีพืชปกคลุมดิน ในขณะที่ค่า NDVI ติดลบจะหมายถึงพื้นที่ผิวน้ำ

สำหรับค่า  $T_s$  เลือกใช้ค่า Daytime Land Surface Temperature (หน่วย: เคลวิน) จากผลิตภัณฑ์ MOD11A2 ซึ่งค่าอุณหภูมิพื้นผิวนั้นมีความสำคัญในการประเมินการคายระเหยความชื้นของดิน และความเฉื่อยความร้อน

จากนั้น นำค่า NDVI และ  $T_s$  มาสร้าง NDVI- $T_s$  Feature Space ดังแสดงในรูปที่ 3.5-20 โดยกำหนดขอบเขตการคำนวณใน Feature Space เป็นพื้นที่รูปสามเหลี่ยมและคำนวณค่า Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI) ของแต่ละจุดภาพ (Pixel) ตามวิธีของ Sandholt และคณะ (2002) ได้จากสัดส่วนระหว่างระยะ A กับ B และสามารถเขียนเป็นรูปสมการได้ดังสมการที่ และผลการวิเคราะห์ TVDI แสดงได้ดังรูปที่ 3.5-20 ถึง 3.5-23

$$TVDI = \frac{A}{B} = \frac{T_s - T_{smin}}{a + bNDVI - T_{smin}}$$

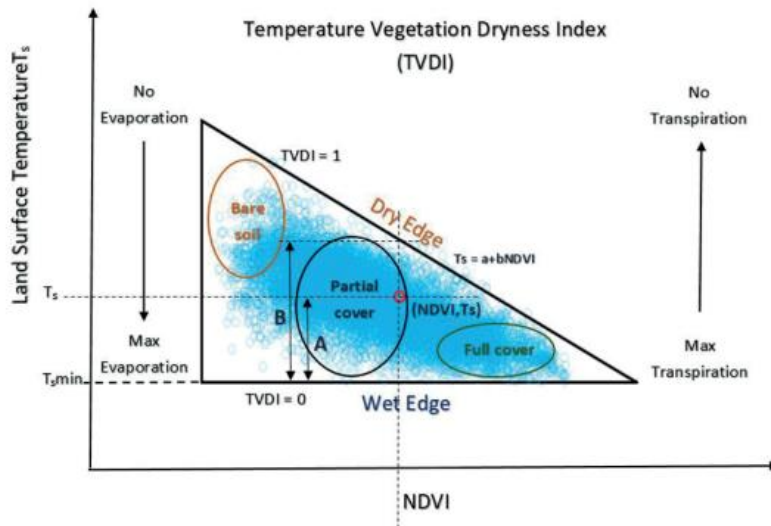
โดย

$T_s$  คือ ค่าอุณหภูมิพื้นที่ผิวที่ตำแหน่งใดๆ ใน NDVI- $T_s$  Feature Space

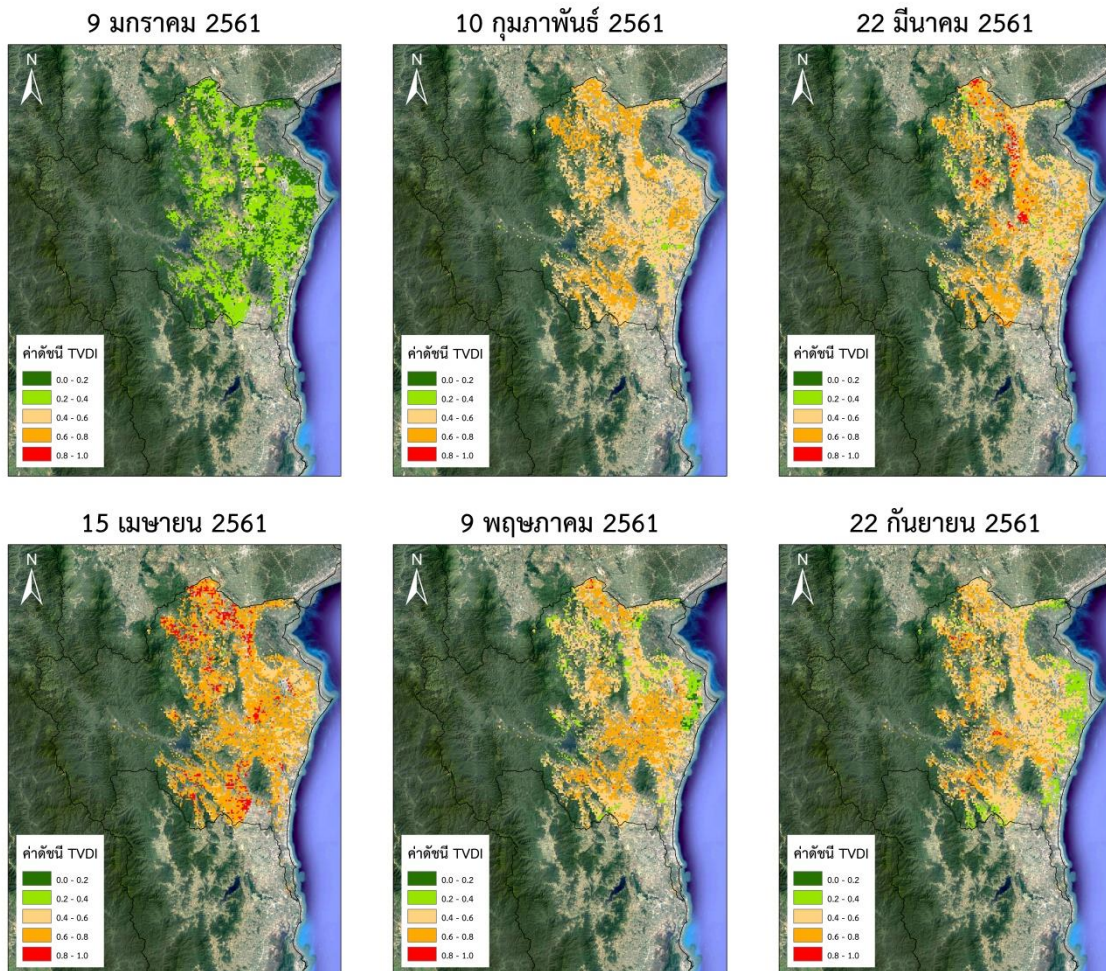
$T_{smin}$  คือ ค่าอุณหภูมิพื้นที่ผิวต่ำสุดในพื้นที่สามเหลี่ยมใน NDVI- $T_s$  Feature Space

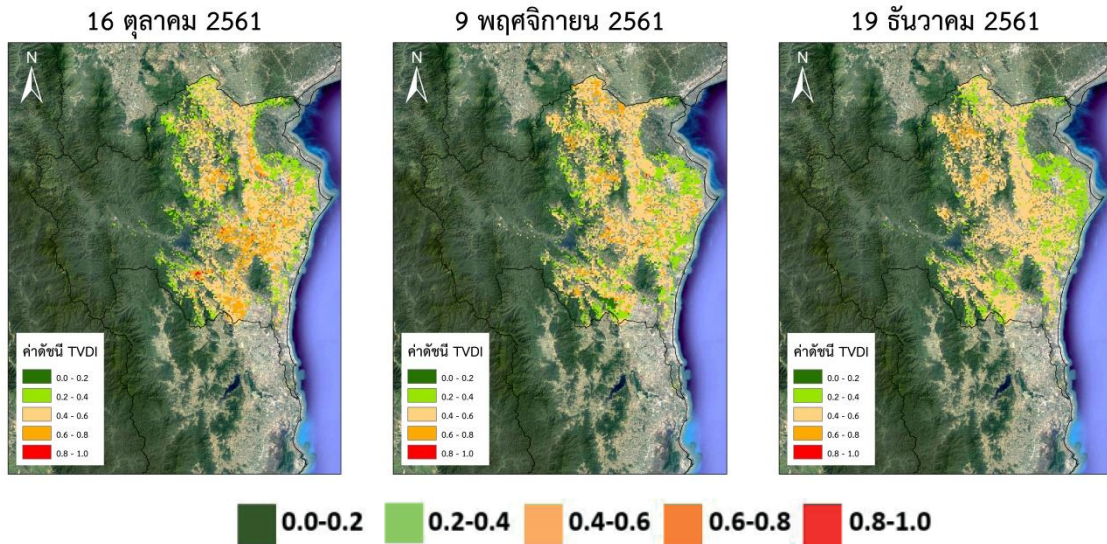
NDVI คือ ค่าดัชนีพืชพรรณแตกต่างแบบนอร์มัลไลซ์

a, b คือ พารามิเตอร์สำหรับนิยามค่า Dry Edge ที่ได้จากการประมาณค่าสมการถดถอยเชิงเส้น ในรูป  $T_{smax} = a + bNDVI$  โดยที่  $T_{smax}$  คือ ค่าอุณหภูมิพื้นที่ผิวสูงสุด

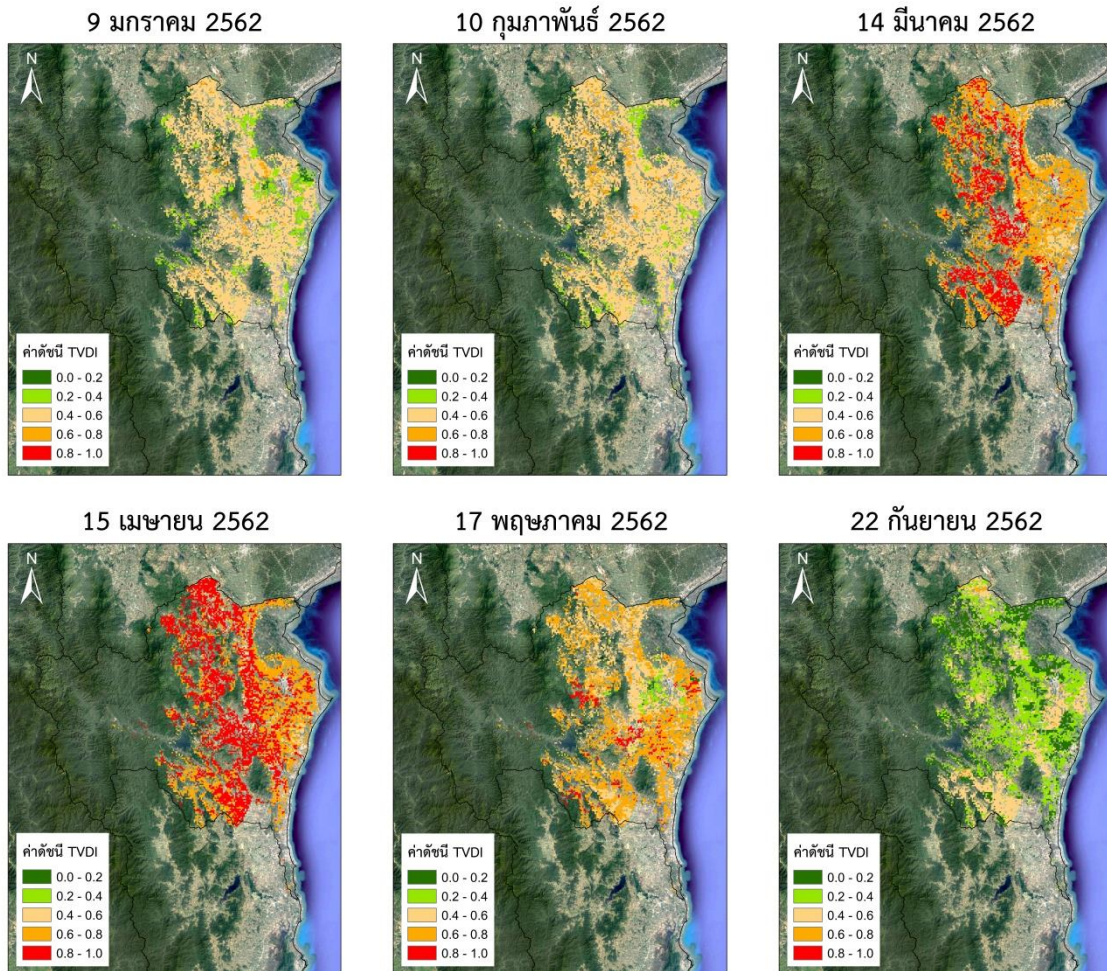


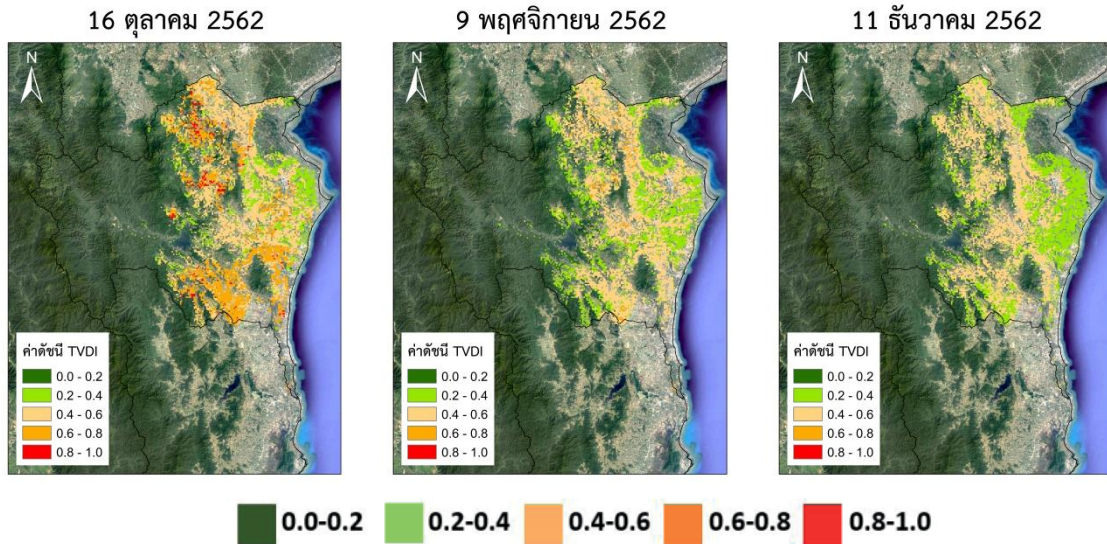
รูปที่ 3.5-20 NDVI-Ts Feature Space



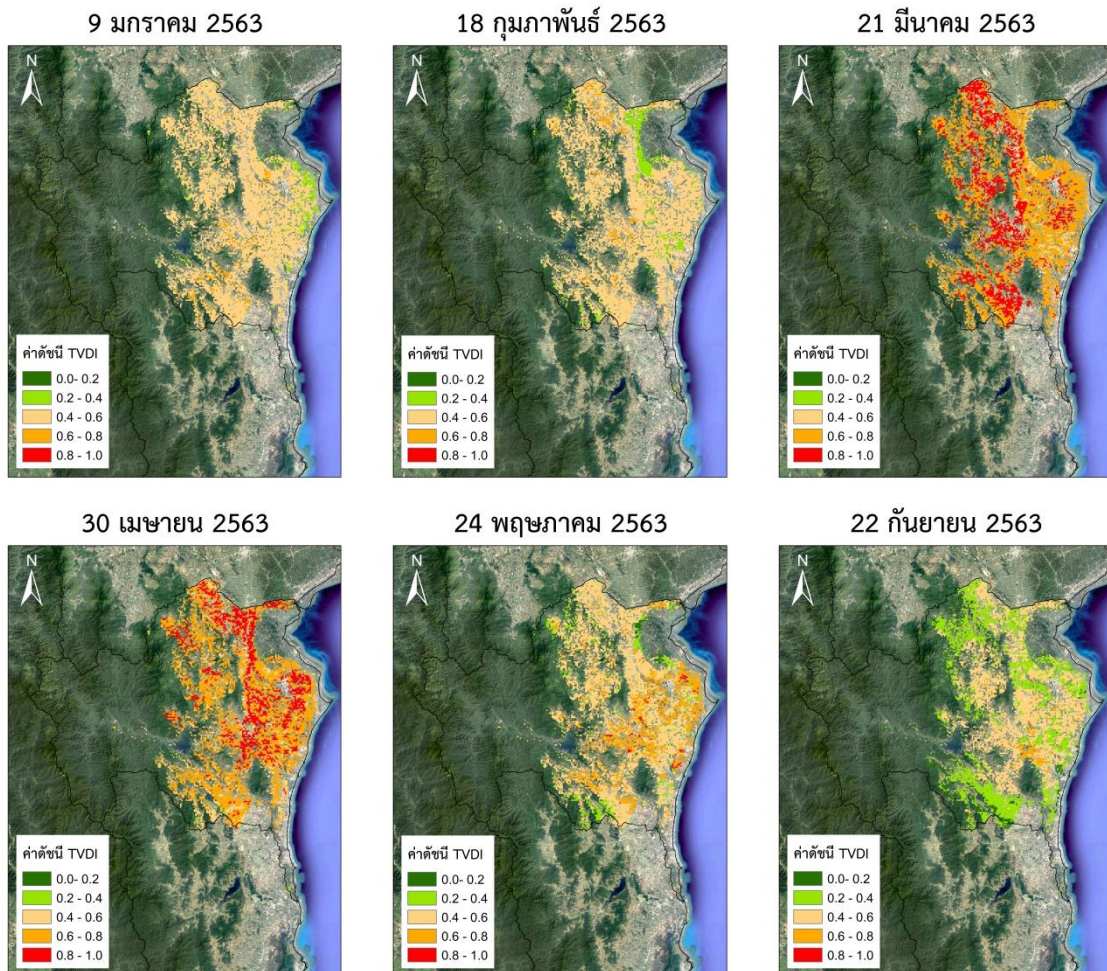


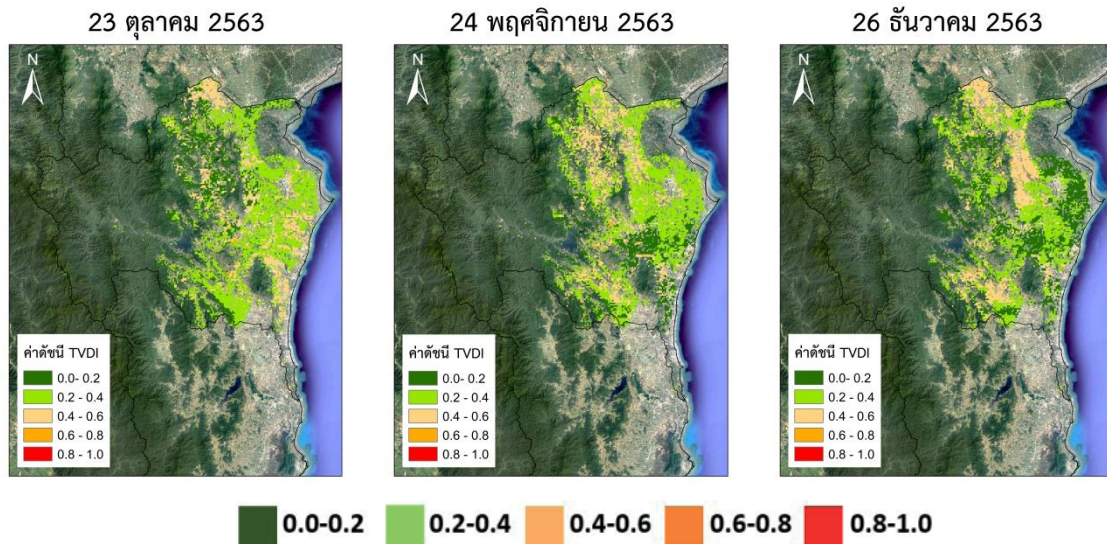
รูปที่ 3.5-21 ตัวอย่างค่าดัชนี TVDI ปี 2018 (2561)





รูปที่ 3.5-22 ตัวอย่างค่าดัชนี TVDI ปี 2019 (2562)





รูปที่ 3.5-23 ตัวอย่าง TVDI ปี 2020 (2563)

สำหรับค่า TVDI สามารถจำแนกตามระดับความชุ่มชื้นในดินได้ 5 ระดับ ได้แก่ ชุ่มชื้น (0 -0.2), ปกติ (0.2-0.4), แห้งแล้ง (0.4-0.6), แห้งแล้งมาก (0.6-0.8) และแห้งแล้งรุนแรง (0.8-1.0)(Sun et al., 2012) ดังตารางที่ 3.5-24 เมื่อนำผลการวิเคราะห์ TVDI พิจารณาค่าระดับความชุ่มชื้นในดิน สามารถแปลผลค่าดัชนีของพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีได้ดังตารางที่ 3.5-25

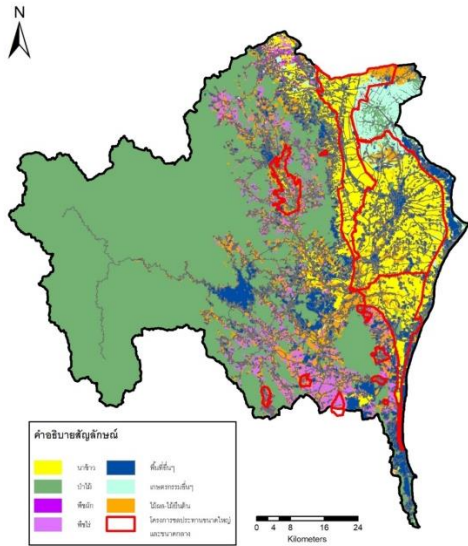
ตารางที่ 3.5-24 ค่าดัชนีความแห้งแล้งจากอุณหภูมิ-พืชพรรณ (Temperature Vegetation Dryness Index: TVDI) จำแนกตามระดับความชุ่มชื้นในดิน

ระดับความชุ่มชื้น	ค่าดัชนี TVDI
ชุ่มชื้น	0.0 - 0.2
ปกติ	0.2 - 0.4
แห้งแล้ง	0.4 - 0.6
แห้งแล้งมาก	0.6 - 0.8
แห้งแล้งรุนแรง	0.8 - 1.0

ตารางที่ 3.5-25 สรุปผลค่าดัชนีของพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

เดือน	ปี (พ.ศ.)		
	2561	2562	2563
ม.ค.	ปกติ	แห้งแล้ง	แห้งแล้ง
ก.พ	แห้งแล้ง	แห้งแล้ง	แห้งแล้ง
มี.ค.	แห้งแล้ง	แห้งแล้งมาก	แห้งแล้งมาก
เม.ย.	แห้งแล้งมาก	แห้งแล้งรุนแรง	แห้งแล้งมาก
พ.ค.	แห้งแล้ง	แห้งแล้งมาก	แห้งแล้ง
มิ.ย.	แห้งแล้ง	แห้งแล้ง	แห้งแล้ง
ก.ค.	ปกติ	แห้งแล้ง	แห้งแล้ง
ส.ค.	ปกติ	ปกติ	แห้งแล้ง
ก.ย.	แห้งแล้ง	ปกติ	แห้งแล้ง
ต.ค.	แห้งแล้ง	แห้งแล้ง	ชุ่มชื้น
พ.ย.	แห้งแล้ง	แห้งแล้ง	ปกติ
ธ.ค.	แห้งแล้ง	ปกติ	ปกติ

รวบรวมข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินจากกรมพัฒนาที่ดิน ซึ่งเป็นข้อมูลสำรวจในปี พ.ศ. 2552 มีการใช้ประโยชน์ที่ดิน ดังนี้ พื้นที่ป่าไม้ ประมาณ 3,315 ตร.กม. หรือคิดเป็น 52% พื้นที่เกษตรอื่นๆ ประมาณ 970 หรือคิดเป็น ตร.กม 15% พื้นที่นาข้าวประมาณ 830 ตร.กม. หรือคิดเป็น 13% พื้นที่ตัวเมืองประมาณ 370 ตร.กม. หรือคิดเป็น 8% พื้นที่แหล่งน้ำ 120 ตร.กม. หรือคิดเป็น 2% และพื้นที่อื่นๆ 650 ตร.กม. หรือคิดเป็น 10% การใช้ประโยชน์ที่ดินสำหรับพื้นที่ในเขตชลประทานซึ่งพิจารณาเฉพาะโครงการชลประทานขนาดกลาง และขนาดใหญ่ การใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่มีการลดลงของนาข้าว ไม้ผลผสม และการเพิ่มขึ้นของไม้ยืนต้นผสม สำหรับการันใช้ประโยชน์ที่ดินพื้นที่นอกเขตชลประทาน พบว่า การใช้ประโยชน์ที่ดินสำหรับพื้นที่เกษตรส่วนมากเป็นพื้นที่พืชไร่ผสม แสดงดังรูปที่ 3.5-24



การใช้ประโยชน์ที่ดิน	ปี 2552 (ตร.กม)	
	ในเขตชลประทาน	นอกเขตชลประทาน
นาข้าว	609.83	217.09
พืชไร่ผสม	22.91	337.31
ไม้ยืนต้นผสม	16.60	172.67
ไม้ผลผสม	121.83	261.85
พืชผัก	3.51	27.45
พื้นที่ป่า	24.79	3287.39
พื้นที่เมือง	175.56	198.42
พื้นที่แหล่งน้ำ	19.10	101.42
พื้นที่อื่นๆ	117.64	536.17

รูปที่ 3.5-24 การใช้ประโยชน์ที่ดินในกลุ่มน้ำเพชรบุรีปี พ.ศ. 2552

จากการวิเคราะห์ TVDI ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561-2563 ในรูปตัวอย่าง TVDI ส่วนมากมีค่าประมาณ 0.03-0.86 โดยพื้นที่ที่มีระดับความแห้งแล้งสูงส่วนมากเป็นพื้นที่ลาดเชิงเขาและพื้นที่ราบบริเวณนอกเขตชลประทาน โดยที่ TVDI มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1 ในที่นี้คือ ค่าที่อยู่ตามแนวเส้นขอบแห้ง (Dry Edge) ใน Feature Space ซึ่งหมายถึงไม่มีการคายระเหยน้ำหรือมีความชื้นในดินอย่างจำกัด ส่วนค่า TVDI ต่ำสุดเท่ากับ 0 ในที่นี้คือค่าที่อยู่ตามแนวเส้นขอบเปียก (Wet Edge) ใน Feature Space ซึ่งหมายถึงมีค่าการคายระเหยน้ำสูงสุดหรือมีความชื้นในดินอย่างไม่จำกัด ทั้งนี้พารามิเตอร์ a และ b ควรประมาณค่าจากพื้นที่ขนาดใหญ่ที่มีจำนวนจุดภาพมากเพียงพอและครอบคลุมพื้นที่ตัวแทนตั้งแต่พื้นที่ที่แห้งแล้งที่สุดและพื้นที่ที่ชุ่มชื้นที่สุด รวมทั้งเป็นลักษณะพื้นที่ดินว่างเปล่าไปจนถึงพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมดินเต็มที่

สำหรับผลการประเมินค่า TVDI ในช่วงเวลาต่างๆ ดังในรูปที่ 3.5-20 ถึง 3.5-23 แสดงให้เห็นว่าในช่วงเดือนมีนาคม-เมษายนทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษามีความแห้งแล้งในระดับรุนแรงเนื่องจากพื้นที่บริเวณนั้นอยู่นอกเขตชลประทานมีปริมาณน้ำสำหรับการเกษตรไม่เพียงพอจึงมีการเพาะปลูกพืชทนแล้ง เช่น อ้อย สับปะรด มันสำปะหลัง ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น โดยทั่วไปปฏิทินการเพาะปลูกอ้อยเริ่มเก็บเกี่ยวในเดือนมกราคมและทำการปลูกต่อเนื่องจึงทำให้ในช่วงเวลาดังกล่าว มีสภาพพืชพรรณปกคลุมดินไม่มากนัก สำหรับเดือนตุลาคมซึ่งเป็นช่วงปลายฤดูฝนพบว่าบริเวณทิศเหนือและทิศใต้ของพื้นที่อยู่ในระดับที่แห้งแล้ง เนื่องจากทางทิศเหนือของพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นนาข้าวอยู่ในจังหวัดราชบุรีโดยทั่วไปปฏิทินการเพาะปลูกจะเริ่มปลูกข้าวในช่วงเดือนพฤษภาคมและเก็บเกี่ยวในเดือนตุลาคม ทำให้ในเดือนตุลาคมพื้นที่นาข้าวมีพืชพรรณปกคลุมดินค่อนข้างต่ำและค่อนข้างแห้งแล้ง ส่วนทางด้านทิศใต้ของพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ดินรกร้าง สภาพดินเป็นดินร่วนปนทรายซึ่งมีค่าความจุความชื้นต่ำและการระบายน้ำดี ประกอบกับในช่วงเดือนตุลาคม-พฤศจิกายน เป็นช่วงรอยต่อระหว่างลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือทำให้พื้นที่ดังกล่าวมีฝนตกน้อย จึงทำให้มีความแห้งแล้งสูงในช่วงเวลาดังกล่าว ส่วนในเดือนธันวาคมพื้นที่ส่วนใหญ่ทางด้านทิศเหนืออยู่ในระดับแห้งแล้ง ในขณะที่พื้นที่ทางทิศตะวันออกติดอ่าวไทยมีสภาพความชุ่มชื้นเนื่องจากเป็นพื้นที่นาข้าวในเขตชลประทาน ซึ่งโดยทั่วไปจะเริ่มเพาะปลูกข้าวนาปรังในเดือนตุลาคมและข้าว

จะโตเต็มที่ในช่วงเดือนธันวาคม ดังนั้นจึงทำให้ในช่วงเวลาดังกล่าวมีพืชพรรณปกคลุมเต็มที่และมีความชุ่มชื้นสูง

### 3.6 ผลการจัดทำฐานข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

ผลการจัดทำฐานข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ได้แสดงรายละเอียดไว้ในโครงการวิจัยย่อยที่ 4 หัวข้อ 3.1 การศึกษาและพัฒนาระบบฐานข้อมูล ขอรายงานฉบับนี้ ซึ่งสรุปผลได้ดังนี้

1) ออกแบบและพัฒนาระบบการจัดเก็บชุดข้อมูลในรูปแบบของ Data Logger ในชุดของข้อมูล ประกอบด้วย ข้อมูล พิกัด ที่อยู่ในรูปแบบของ พิกัดละติจูด และลองจิจูด ข้อมูล วัน เดือน ปี ที่ทำการบันทึกข้อมูล ข้อมูลปริมาณน้ำฝน มีหน่วยของการตรวจวัดเป็นมิลลิเมตร ต่อวัน ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ มีหน่วยของการตรวจวัดเป็นเปอร์เซ็นต์ ข้อมูลความเร็วลม มีหน่วยของการตรวจวัดเป็นน็อต ข้อมูลอุณหภูมิอากาศเฉลี่ย มีหน่วยของการตรวจวัดเป็น เซลเซียส ข้อมูลปริมาณน้ำในบรรยากาศเฉลี่ย มีหน่วยการตรวจวัดเป็นมิลลิเมตร ต่อวัน ข้อมูลปริมาณน้ำในบรรยากาศสูงสุด มีหน่วยของการตรวจวัดเป็นมิลลิเมตร และได้ดำเนินการร่วมกับชุดข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากโครงการวิจัยย่อยอื่น ๆ ได้แก่ ชุดข้อมูลความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรลุ่มน้ำเพชรบุรี ชุดข้อมูลความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรลุ่มน้ำเพชรบุรี ช่วงเวลาทำฝนหลวง และชุดข้อมูลโคน (กรวย) ในการทำฝนหลวง

2) ออกแบบและพัฒนาจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบของไฟล์ อาทิเช่น ไฟล์ Excel ไฟล์ CSV. เพื่อบันทึกจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบของระบบฐานข้อมูลแบคลาวด์คอมพิวติ้ง และชุดข้อมูลที่เป็นข้อมูลในรูปแบบไฟล์ข้อมูลแบบต่างๆ อาทิเช่น shape file โดยใช้ฐานข้อมูล MySQL และสามารถแสดงรูปแบบของตารางการจัดเก็บข้อมูลและคำอธิบายได้ดังตารางที่ 3.6-1

3) ได้ทำการออกแบบและพัฒนาระบบการนำเข้าข้อมูลในรูปแบบข้อมูลดิบ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถนำเข้าข้อมูลได้โดยการจัดเตรียมข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของไฟล์ข้อมูล ที่ประกอบไปด้วยข้อมูลตัวเลข และข้อมูลตัวอักษร จากนั้นผู้ใช้งานสามารถนำเข้าชุดข้อมูลได้ผ่านระบบการบริหารจัดการข้อมูลกับทางทีมผู้พัฒนาได้มีการพัฒนาขึ้น

ตารางที่ 3.6-1 การเก็บข้อมูลสถานีตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยา

NAME	TYPE	DETAIL
ID	bigint(20)	PRIMARY KEY, AUTO_INCREMENT
DATE	datetime	ว/ด/ป
DAY	TEXT	วันที่
MONTH	TEXT	เดือน
YEAR	TEXT	ปี
RAIN	decimal(6,2)	ปริมาณน้ำฝน
HUMIDITY	decimal(6,2)	ความชื้นสัมพัทธ์
WIND	decimal(6,2)	ความเร็วลม
DEWPOINT	decimal(6,2)	อุณหภูมิจุดน้ำค้าง
MAXDEWPOINT	decimal(6,2)	อุณหภูมิจุดน้ำค้างสูงสุด
AIRWATER	decimal(6,2)	ปริมาณน้ำในบรรยากาศเฉลี่ย
MAXAIRWATER	decimal(6,2)	ปริมาณน้ำในบรรยากาศสูงสุด
STATIONNAME	TEXT	ชื่อสถานีตรวจวัด
LATITUDE	decimal(20,15)	ละติจูด
LONGITUDE	decimal(20,15)	ลองจิจูด

4) ได้ทำการออกแบบและพัฒนาระบบในส่วนของการแสดงผลข้อมูล ประกอบด้วย

(1) ระบบการเรียกดูข้อมูล ในส่วนของข้อมูลดิบ เพื่อแสดงข้อมูลในรูปแบบของ raw data ดังแสดงในรูปที่ 3.6-1 และรูปที่ 3.6-2

(2) ระบบการเรียกดูข้อมูล ในรูปแบบของตาราง โดยมีการประมวลผลและนำมาแสดงอยู่ในรูปแบบของตารางแสดงข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 3.6-3 และ 3.6-4

(3) ระบบการบริหารจัดการตารางข้อมูล เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถบริหารจัดการชุดข้อมูลนั้นได้ ทั้งในส่วนของการแก้ไขชื่อตารางชุดข้อมูล การลบตารางข้อมูล และเรียกใช้งานระบบในส่วนของการบริหารจัดการตารางข้อมูลได้ รวมถึงการส่งออกข้อมูล

## รายการฐานข้อมูลเพื่อสนับสนุนระบบช่วยตัดสินใจในการจัดทำแผนหลวง

ข้อมูลรวมการขุดข้อมูลภายในระบบ

เพิ่มชุดข้อมูล

ลำดับที่	ชุดข้อมูล	🔍	📄	📅	📤
1	weatherstation_phetchaburi	เรียกดูข้อมูล	เรียกดูข้อมูลรูปแบบตาราง	จัดการตาราง	ส่งออกข้อมูล
2	weatherstation_prachuap	เรียกดูข้อมูล	เรียกดูข้อมูลรูปแบบตาราง	จัดการตาราง	ส่งออกข้อมูล
3	wr	เรียกดูข้อมูล	เรียกดูข้อมูลรูปแบบตาราง	จัดการตาราง	ส่งออกข้อมูล
4	wr1	เรียกดูข้อมูล	เรียกดูข้อมูลรูปแบบตาราง	จัดการตาราง	ส่งออกข้อมูล

รูปที่ 3.6-1 ปุ่มการเรียกใช้งานในส่วนของการเรียกดูข้อมูล

ย้อนกลับ

ระบบการเรียกดูข้อมูลในฐานข้อมูล

ข้อมูลภายในฐานข้อมูล weatherstation\_phetchaburi

- Array ( [0] => 2533-01-01 [DATE] => 2533-01-01 [1] => 1 [DAY] => 1 [2] => 1 [MONTH] => 1 [3] => 2533 [YEAR] => 2533 [4] => 0 [RAIN] => 0 [5] => 83 [HUMIDITY] => 83 [6] => 12 [WIND] => 12 [7] => 22.8 [DEWPOINT] => 22.8 [8] => 24.2 [MAXDEWPOINT] => 24.2 [9] => 66.8 [AIRWATER] => 66.8 [10] => 75.4 [MAXAIRWATER] => 75.4 [11] => [LATITUDE] => [12] => [LONGITUDE] => )
- Array ( [0] => 2533-01-02 [DATE] => 2533-01-02 [1] => 2 [DAY] => 2 [2] => 1 [MONTH] => 1 [3] => 2533 [YEAR] => 2533 [4] => 0 [RAIN] => 0 [5] => 84 [HUMIDITY] => 84 [6] => 10 [WIND] => 10 [7] => 23 [DEWPOINT] => 23 [8] => 24.2 [MAXDEWPOINT] => 24.2 [9] => 68 [AIRWATER] => 68 [10] => 75.4 [MAXAIRWATER] => 75.4 [11] => [LATITUDE] => [12] => [LONGITUDE] => )
- Array ( [0] => 2533-01-03 [DATE] => 2533-01-03 [1] => 3 [DAY] => 3 [2] => 1 [MONTH] => 1 [3] => 2533 [YEAR] => 2533 [4] => 1 [RAIN] => 1 [5] => 85 [HUMIDITY] => 85 [6] => 16 [WIND] => 16 [7] => 23.3 [DEWPOINT] => 23.3 [8] => 24 [MAXDEWPOINT] => 24 [9] => 69.8 [AIRWATER] => 69.8 [10] => 74 [MAXAIRWATER] => 74 [11] => [LATITUDE] => [12] => [LONGITUDE] => )
- Array ( [0] => 2533-01-04 [DATE] => 2533-01-04 [1] => 4 [DAY] => 4 [2] => 1 [MONTH] => 1 [3] => 2533 [YEAR] => 2533 [4] => 0 [RAIN] => 0 [5] => 82 [HUMIDITY] => 82 [6] => 10 [WIND] => 10 [7] => 22.6 [DEWPOINT] => 22.6 [8] => 23.8 [MAXDEWPOINT] => 23.8 [9] => 65.6 [AIRWATER] => 65.6 [10] => 72.8 [MAXAIRWATER] => 72.8 [11] => [LATITUDE] => [12] => [LONGITUDE] => )
- Array ( [0] => 2533-01-05 [DATE] => 2533-01-05 [1] => 5 [DAY] => 5 [2] => 1 [MONTH] => 1 [3] => 2533 [YEAR] => 2533 [4] => 0 [RAIN] => 0 [5] => 79 [HUMIDITY] => 79 [6] => 12 [WIND] => 12 [7] => 21.2 [DEWPOINT] => 21.2 [8] => 22.7 [MAXDEWPOINT] => 22.7 [9] => 58 [AIRWATER] => 58 [10] => 66.2 [MAXAIRWATER] => 66.2 [11] => [LATITUDE] => [12] => [LONGITUDE] => )
- Array ( [0] => 2533-01-06 [DATE] => 2533-01-06 [1] => 6 [DAY] => 6 [2] => 1 [MONTH] => 1 [3] => 2533 [YEAR] => 2533 [4] => 0 [RAIN] => 0 [5] => 77 [HUMIDITY] => 77 [6] => 10 [WIND] => 10 [7] => 20.9 [DEWPOINT] => 20.9 [8] => 23.1 [MAXDEWPOINT] => 23.1 [9] => 56.5 [AIRWATER] => 56.5 [10] => 68.6 [MAXAIRWATER] => 68.6 [11] => [LATITUDE] => [12] => [LONGITUDE] => )
- Array ( [0] => 2533-01-07 [DATE] => 2533-01-07 [1] => 7 [DAY] => 7 [2] => 1 [MONTH] => 1 [3] => 2533 [YEAR] => 2533 [4] => 0 [RAIN] => 0 [5] => 81 [HUMIDITY] => 81 [6] => 10 [WIND] => 10 [7] => 22.1 [DEWPOINT] => 22.1 [8] => 23.8 [MAXDEWPOINT] => 23.8 [9] => 62.6 [AIRWATER] => 62.6 [10] => 72.8 [MAXAIRWATER] => 72.8 [11] => [LATITUDE] => [12] => [LONGITUDE] => )
- Array ( [0] => 2533-01-08 [DATE] => 2533-01-08 [1] => 8 [DAY] => 8 [2] => 1 [MONTH] => 1 [3] => 2533 [YEAR] => 2533 [4] => 0 [RAIN] => 0 [5] => 77 [HUMIDITY] => 77 [6] => 12 [WIND] => 12 [7] => 21 [DEWPOINT] => 21 [8] => 22.3 [MAXDEWPOINT] => 22.3 [9] => 57 [AIRWATER] => 57 [10] => 63.8 [MAXAIRWATER] => 63.8 [11] => [LATITUDE] => [12] => [LONGITUDE] => )
- Array ( [0] => 2533-01-09 [DATE] => 2533-01-09 [1] => 9 [DAY] => 9 [2] => 1 [MONTH] => 1 [3] => 2533 [YEAR] => 2533 [4] => 0 [RAIN] => 0 [5] => 74 [HUMIDITY] => 74 [6] => 10 [WIND] => 10 [7] => 20.7 [DEWPOINT] => 20.7 [8] => 23.8 [MAXDEWPOINT] => 23.8 [9] => 55.5 [AIRWATER] => 55.5 [10] => 72.8 [MAXAIRWATER] => 72.8 [11] => [LATITUDE] => [12] => [LONGITUDE] => )
- Array ( [0] => 2533-01-10 [DATE] => 2533-01-10 [1] => 10 [DAY] => 10 [2] => 1 [MONTH] => 1 [3] => 2533 [YEAR] => 2533 [4] => 0 [RAIN] => 0 [5] => 80 [HUMIDITY] => 80 [6] => 14 [WIND] => 14 [7] => 22.1 [DEWPOINT] => 22.1 [8] => 24.3 [MAXDEWPOINT] => 24.3 [9] => 62.6 [AIRWATER] => 62.6 [10] => 76.1 [MAXAIRWATER] => 76.1 [11] => [LATITUDE] => [12] => [LONGITUDE] => )
- Array ( [0] => 2533-01-11 [DATE] => 2533-01-11 [1] => 11 [DAY] => 11 [2] => 1 [MONTH] => 1 [3] => 2533 [YEAR] => 2533 [4] => 0 [RAIN] => 0 [5] => 83 [HUMIDITY] => 83 [6] => 12 [WIND] => 12 [7] => 22.6 [DEWPOINT] => 22.6 [8] => 25 [MAXDEWPOINT] => 25 [9] => 65.6 [AIRWATER] => 65.6 [10] => 81 [MAXAIRWATER] => 81 [11] => [LATITUDE] => [12] => [LONGITUDE] => )
- Array ( [0] => 2533-01-12 [DATE] => 2533-01-12 [1] => 12 [DAY] => 12 [2] => 1 [MONTH] => 1 [3] => 2533 [YEAR] => 2533 [4] => 0 [RAIN] => 0 [5] => 82 [HUMIDITY] => 82 [6] => 12 [WIND] => 12 [7] => 22.7 [DEWPOINT] => 22.7 [8] => 24.6 [MAXDEWPOINT] => 24.6 [9] => 66.2 [AIRWATER] => 66.2 [10] => 78.2 [MAXAIRWATER] => 78.2 [11] => [LATITUDE] => [12] => [LONGITUDE] => )

รูปที่ 3.6-2 การแสดงผลข้อมูลในรูปแบบของข้อมูลดิบ

รายการฐานข้อมูลเพื่อสนับสนุนระบบช่วยตัดสินใจในการจัดทำแผนหลวง

ข้อมูลรายการชุดข้อมูลภายในระบบ

ทั้งหมดชุดข้อมูล

ลำดับที่	ชุดข้อมูล	เรียกดูข้อมูล	เรียกดูข้อมูลรูปแบบตาราง	จัดการตาราง	ส่งออกข้อมูล
1	weatherstation_phetchaburi	เรียกดูข้อมูล	เรียกดูข้อมูลรูปแบบตาราง	จัดการตาราง	ส่งออกข้อมูล
2	weatherstation_prachuap	เรียกดูข้อมูล	เรียกดูข้อมูลรูปแบบตาราง	จัดการตาราง	ส่งออกข้อมูล
3	wr	เรียกดูข้อมูล	เรียกดูข้อมูลรูปแบบตาราง	จัดการตาราง	ส่งออกข้อมูล
4	wr1	เรียกดูข้อมูล	เรียกดูข้อมูลรูปแบบตาราง	จัดการตาราง	ส่งออกข้อมูล

รูปที่ 3.6-3 การเรียกดูข้อมูลในรูปแบบของตาราง

ย้อนกลับ

DATE	DAY	MONTH	YEAR	RAIN	HUMIDITY	WIND	DEWPOINT	MAXDEWPOINT	AIRWATER	MAXAIRWATER
2533-01-01	1	1	2533	0	83	12	22.8	24.2	66.8	75.4
2533-01-02	2	1	2533	0	84	10	23	24.2	68	75.4
2533-01-03	3	1	2533	1	85	16	23.3	24	69.8	74
2533-01-04	4	1	2533	0	82	10	22.6	23.8	65.6	72.8
2533-01-05	5	1	2533	0	79	12	21.2	22.7	58	66.2
2533-01-06	6	1	2533	0	77	10	20.9	23.1	56.5	68.6
2533-01-07	7	1	2533	0	81	10	22.1	23.8	62.6	72.8
2533-01-08	8	1	2533	0	77	12	21	22.3	57	63.8
2533-01-09	9	1	2533	0	74	10	20.7	23.8	55.5	72.8
2533-01-10	10	1	2533	0	80	14	22.1	24.3	62.6	76.1
2533-01-11	11	1	2533	0	83	12	22.6	25	65.6	81
2533-01-12	12	1	2533	0	82	12	22.7	24.6	66.2	78.2
2533-01-13	13	1	2533	1	83	14	23	24.9	68	80.3
2533-01-14	14	1	2533	0	81	12	22.9	23.8	67.4	72.8
2533-01-15	15	1	2533	0	81	12	22.7	24.3	66.2	76.1
2533-01-16	16	1	2533	10.6	82	14	23.5	24.9	71	80.3
2533-01-17	17	1	2533	0.4	85	16	23.8	24.6	72.8	78.2
2533-01-18	18	1	2533	0	80	18	22.6	24.2	65.6	75.4
2533-01-19	19	1	2533	0	79	16	22.3	24.3	63.8	76.1
2533-01-20	20	1	2533	0	81	13	22.2	24.2	63.2	75.4

รูปที่ 3.6-4 การแสดงข้อมูลในรูปแบบของตารางข้อมูล

#### 4. สรุปและขอเสนอแนะ (Conclusion and Recommendation)

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาข้อมูลภูมิอากาศเพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศ พร้อมทั้งทำการวิเคราะห์ตัวแปรภูมิอากาศและปริมาณน้ำในบรรยากาศที่เหมาะสมสำหรับการทำฝนหลวง และการวิเคราะห์วอเตอร์พุตพรีนซ์ของการทำฝนหลวง รวมทั้งการวิเคราะห์ดัชนีผลสัมฤทธิ์ฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำ รวมทั้งร่วมกับโครงการวิจัยย่อยที่ 4 (การพัฒนาาระบบช่วยตัดสินใจในการทำฝนหลวงสำหรับการวางแผนการบริหารจัดการน้ำในลุ่มน้ำเพชรบุรี) ในการจัดทำฐานข้อมูลอุตุนิยมิวิทยา

การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลภูมิอากาศ ได้ทำการศึกษาจากสถานีตรวจวัดอากาศจำนวน 3 สถานี ในช่วงเวลา 30 ปี (2533-2562) ในพื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำเพชรบุรีและข้างเคียง ได้แก่ สถานีตรวจวัดอากาศหัวหิน เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ และได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศจากข้อมูลอุณหภูมิจุดน้ำค้างราย 3 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณน้ำในบรรยากาศรายวันเฉลี่ยที่สถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหิน เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ มีค่าอยู่ระหว่าง 51.23-75.00 มม. 53.33-80.71 มม. และ 52.31-77.85 มม. ตามลำดับ และปริมาณน้ำในบรรยากาศรายวันสูงสุดที่สถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหิน เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ มีค่าอยู่ระหว่าง 60.21-84.04 มม. 61.55-92.27 มม. และ 60.97-89.84 มม. ตามลำดับ

การศึกษาตัวแปรภูมิอากาศและปริมาณน้ำในบรรยากาศที่เหมาะสมสำหรับการทำฝนหลวง พบว่า ช่วงปีที่วิเคราะห์ 10 ปี ระหว่างปี 2533-2542 2543-2552 2553-2562 และช่วงปีที่วิเคราะห์ 30 ปี ระหว่างปี 2533-2562 ความสัมพันธ์ 4 ตัวแปร ให้ความสัมพันธ์ที่ดีที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ ระหว่าง 0.406 ถึง 0.459

การวิเคราะห์และพัฒนาระบบประเมินผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำ ในปี 1 ได้ทำการวิเคราะห์ดัชนีผลสัมฤทธิ์ฝนหลวงเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำ ผลการวิจัยได้พิจารณาผลสัมฤทธิ์ของการปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อลดปัญหาการขาดแคลนน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีใน 5 ประการ ประกอบด้วย

1) ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำจากการปฏิบัติการฝนหลวง พบว่า เมื่อวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลอง SWAT การปฏิบัติการฝนหลวงช่วยเพิ่มปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน เฉลี่ยร้อยละ 12.76 ช่วงพิสัยร้อยละ 0.00 ถึง 89.18 และเมื่อวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลอง DWCM การปฏิบัติการฝนหลวงช่วยเพิ่มปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน เฉลี่ยร้อยละ 18.39 ช่วงพิสัยร้อยละ 0.00 ถึง 167.50

2) ปริมาณน้ำฝนที่ช่วยเหลือการเกษตร ซึ่งพิจารณาจากความสามารถในการส่งน้ำ (Delivery Performance Ratio, DPR) และความรุนแรงของสภาวะการขาดแคลนน้ำ พบว่า ค่าความสามารถส่งน้ำ (DPR) ของอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน ฤดูฝนมีค่าระหว่าง 0.54-1.42 ฤดูแล้งมีค่าระหว่าง 0.54-0.94 สำหรับอ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ DPR ฤดูฝนมีค่าระหว่าง 0.52-3.28 ฤดูแล้งมีค่าระหว่าง 0.51-2.15 และอ่างเก็บน้ำห้วยผาก DPR ฤดูฝนมีค่าระหว่าง 0.31-6.56 ฤดูแล้งมีค่าระหว่าง 0.36-1.67 และสำหรับการพิจารณาความรุนแรงของสภาวะการขาดแคลนน้ำ พบความรุนแรงของสภาวะการขาดแคลนน้ำในระดับน้อย ปานกลาง และมาก ในเดือนต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับสถานการณ์ของน้ำต้นทุนดังแสดงในตาราง 3.5-16 ถึง 3.5-18

3) ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่เพิ่มขึ้น ณ สิ้นฤดูฤดูฝน (เดือนพฤศจิกายน) ซึ่งพิจารณาจาก อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน ควรจะมีปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 530 ล้าน ลบ.ม. อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ ควรจะมีปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 22.5 ล้าน ลบ.ม. และอ่างเก็บน้ำห้วยผาก ควรจะมีปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 20.5 ล้าน ลบ.ม. พบว่า

อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน จากข้อมูลปี 1966-2020 พบว่า จำนวนปีที่มีปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 530 ล้าน ลบ.ม. ณ สิ้นฤดูฝน คิดเป็นร้อยละ 56.36

อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ จากข้อมูลปี 2006-2020 พบว่า จำนวนปีที่มีปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 22.5 ล้าน ลบ.ม. ณ สิ้นฤดูฝน คิดเป็นร้อยละ 93.75

อ่างเก็บน้ำห้วยผาก จากข้อมูลปี 2011-2020 พบว่า จำนวนปีที่มีปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 20.5 ล้าน ลบ.ม. ณ สิ้นฤดูฝน คิดเป็นร้อยละ 50.00

4) ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่เพิ่มขึ้น ณ สิ้นฤดูฤดูแล้ง (เดือนเมษายน) ซึ่งพิจารณาจาก อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน ควรจะมีปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 260 ล้าน ลบ.ม. อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ ควรจะมีปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 16 ล้าน ลบ.ม. และอ่างเก็บน้ำห้วยผาก ควรจะมีปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 15 ล้าน ลบ.ม. พบว่า

อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน จากข้อมูลปี 1966-2020 พบว่า จำนวนปีที่มีปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 260 ล้าน ลบ.ม. ณ สิ้นฤดูแล้ง คิดเป็นร้อยละ 80.00

อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ จากข้อมูลปี 2006-2020 พบว่า จำนวนปีที่มีปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 16 ล้าน ลบ.ม. ณ สิ้นฤดูแล้ง คิดเป็นร้อยละ 73.33

อ่างเก็บน้ำห้วยผาก จากข้อมูลปี 2011-2020 พบว่า จำนวนปีที่มีปริมาณน้ำเก็บกักมากกว่า 15 ล้าน ลบ.ม. ณ สิ้นฤดูแล้ง คิดเป็นร้อยละ 70.00

5) ปริมาณฝนที่ใช้ในการรักษาระบบนิเวศ เป็นการพิจารณาฝนหลวงที่ช่วยในด้านความชื้นในดินและน้ำใต้ดิน ซึ่งพิจารณาจากค่าดัชนีความแห้งแล้ง (Temperature Vegetation Dryness Index, TVDI) เพื่อจำแนกระดับความชุ่มชื้นในดิน ผลการวิเคราะห์ TVDI ปี 2561-2563 ค่า TVDI มีค่าประมาณ 0.03-0.86 โดยพื้นที่ที่มีระดับความแห้งแล้งสูงส่วนมากเป็นพื้นที่ลาดเชิงเขาและพื้นที่ราบบริเวณนอกเขตชลประทาน และผลการประเมินค่า TVDI ในช่วงเวลาต่าง ๆ พบว่า ในช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน ทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษามีความแห้งแล้งในระดับรุนแรง สำหรับเดือนตุลาคมซึ่งเป็นช่วงปลายฤดูฝนพบว่าบริเวณทิศเหนือและทิศใต้ของพื้นที่อยู่ในระดับที่แห้งแล้ง ส่วนทางด้านทิศใต้ของพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ดินรกร้าง สภาพดินเป็นดินร่วนปนทรายซึ่งมีค่าความจุความชื้นต่ำและการระบายน้ำดี ประกอบกับในช่วงเดือนตุลาคม-พฤศจิกายน เป็นช่วงรอยต่อระหว่างลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือทำให้พื้นที่ดังกล่าวมีฝนตกน้อย จึงทำให้มีความแห้งแล้งสูงในช่วงเวลาดังกล่าว ส่วนในเดือนธันวาคมพื้นที่ส่วนใหญ่ทางด้านทิศเหนืออยู่ในระดับแห้งแล้ง ในขณะที่พื้นที่ทางทิศตะวันออกติดอ่าวไทยมีสภาพความชุ่มชื้น

สำหรับการวิเคราะห์ห่อเตอร์พุตพรินท์ เมื่อพิจารณาปฏิบัติการฝนหลวงเป็นกระบวนการดำเนินงานที่มีเป้าหมายในการรวบรวมและเคลื่อนย้ายมวลน้ำในอากาศให้เป็นฝนตกลงในพื้นที่หรือบริเวณที่ต้องการ เพื่อเป้าหมายและวัตถุประสงค์ของแต่ละปฏิบัติการเช่น เติมน้ำในอ่างเก็บน้ำ บรรเทาภัยแล้งให้กับเกษตรกร ควบคุมไฟฟ้า ฯลฯ เช่นเดียวกับกิจกรรมการผลิตหรือบริการอื่น ๆ ย่อมต้องมีการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ ในการ

ดำเนินการ และการดำเนินงานให้ไปในทิศทางพัฒนาที่ยั่งยืน ซึ่งเป็นเป้าหมายสำคัญตามกรอบการพัฒนาประเทศไทยและขององค์การสหประชาชาตินั้น การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการและการดำเนินการ ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน เป็นต้น จึงเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาควบคู่กันไปในการพัฒนากระบวนการผลิตหรือบริการใดๆ ดังสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

#### 1) ด้านสิ่งแวดล้อม

ผลการคำนวณค่าอเวอเทออร์ฟุตพริ้นท์ แสดงให้เห็นถึงค่าผลกระทบด้านทรัพยากรน้ำจากการใช้ยูเรียสูงที่สุด แม้ว่าค่าอเวอเทออร์ฟุตพริ้นท์รายผลิตภัณฑ์นี้มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่า 0.1 ลบ.ม./ลบ.ม. ของฝนที่ได้ การเทียบเคียงกับค่าเกณฑ์มาตรฐาน (Benchmark) เพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ ในปฏิบัติการฝนหลวงไม่สามารถทำได้โดยตรงเนื่องจากไม่มีหน่วยงานใดในประเทศที่ทำปฏิบัติการแบบเดียวกันนี้ การเทียบเคียงมาตรฐานภายในองค์กรจึงเป็นประเด็นที่ควรพิจารณา อย่างไรก็ตาม ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการนี้คือฝน ซึ่งมีความแตกต่างจากผลผลิตหรือผลิตภัณฑ์ของกระบวนการผลิตทั่วไป เนื่องจากมีปัจจัยซึ่งควบคุมได้ยากหรือควบคุมไม่ได้หลายปัจจัย จึงควรพิจารณาในประเด็นอื่น ๆ เพื่อการใช้ทรัพยากรที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่น การปรับเปลี่ยนทรัพยากรที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่ามาทดแทนหรือพิจารณาจัดหาทรัพยากรที่มีระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ดี ตั้งแต่เริ่มกระบวนการผลิตจนถึงผู้ใช้ เช่น การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทานสีเขียว (Green Supply Chain Management) ซึ่งเป็นแนวคิดของการบริหารจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มุ่งเน้นการพัฒนาและปรับปรุงการดำเนินงานในกิจกรรมโลจิสติกส์ที่มีการคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมควบคู่กันไปด้วยตลอดโซ่อุปทาน ตั้งแต่แหล่งที่มาและกระบวนการจัดหาวัตถุดิบ การออกแบบผลิตภัณฑ์และบริการ กระบวนการผลิต การบริการ กระบวนการขนส่งทั้งภายในและภายนอกองค์กร การบริโภค รวมถึงการจัดการตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle) ของผลิตภัณฑ์และปัจจัยการผลิตอื่นๆ ในขณะที่ต้องบรรลุวัตถุประสงค์สำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพของกิจกรรมโลจิสติกส์ตลอดโซ่อุปทาน การลดต้นทุนโลจิสติกส์และความสามารถในการตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้อย่างทันเวลา มีคุณภาพและเชื่อถือได้

การจัดการทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวงที่มาจากผู้ผลิตและผู้จำหน่ายที่มีการประยุกต์ใช้แนวความคิดของระบบการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทานสีเขียวจะช่วยสนับสนุนแนวทางการพัฒนาที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นแนวทางไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนได้

#### 2) ด้านเศรษฐศาสตร์

การศึกษาปริมาณงบประมาณที่ใช้ในการจัดหาทรัพยากรในปฏิบัติการฝนหลวง เป็นการวิเคราะห์ด้านราคาในเบื้องต้น โดยใช้ราคากลางของทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละปีที่ศึกษาคือ พ.ศ. 2561-2563 (ไม่คิดค่าจ้างบุคลากรและค่าบำรุงรักษาดูแลอุปกรณ์ต่าง ๆ) เพื่อคำนวณราคาต่อหน่วยลูกบาศก์เมตรของฝนที่ได้จากปฏิบัติการฝนหลวง โดยวิธีการประเมินปริมาณน้ำฝนด้วยวิธีฝนดาวเทียม แสดงให้เห็นค่าใช้จ่ายต่อหน่วยน้ำฝนที่ได้มีค่าต่ำกว่า 0.005 บาท ต่อลูกบาศก์เมตรของฝนที่ประเมินได้ เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายเบื้องต้นดังกล่าว จะพบว่า เป็นราคาค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเคลื่อนมวลน้ำไปยังบริเวณที่ต้องการเพื่อแก้ไขปัญหาตามวัตถุประสงค์ที่มีราคาถูกหากเปรียบเทียบกับการขนส่งด้วยวิธีอื่นๆ เช่น ระบบท่อขนส่งน้ำ และรถขนส่งน้ำ ปฏิบัติการฝนหลวงสามารถเคลื่อนย้ายมวลน้ำปริมาณมากโดยไม่รบกวนปริมาณน้ำของระบบการจัดการน้ำที่มีอยู่เดิม เนื่องจากเป็นน้ำที่มีอยู่ในอากาศตามธรรมชาติ สะดวก รวดเร็วในการ

เคลื่อนย้ายมวลน้ำปริมาณมาก ยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนพื้นที่เป้าหมายและวัตถุประสงค์ เข้าสู่พื้นที่ที่ไม่ต้องมีระบบคมนาคมทางพื้นดินหรือทางน้ำได้

ดังนั้นค่าใช้จ่ายต่อหน่วยน้ำฝนที่ได้ในปฏิบัติการฝนหลวงถือเป็นหนึ่งในข้อได้เปรียบทางเศรษฐศาสตร์ที่ไม่เพียงแต่ช่วยประหยัดงบประมาณในการจัดหาพื้นที่เท่านั้น แต่ยังส่งผลดีในประเด็นของปริมาณน้ำที่ได้ เป้าหมายอยู่ในพื้นที่ใด ๆ โดยไม่ต้องใช้ระบบคมนาคมภาคพื้นดิน และประหยัดเวลาในการดำเนินการอีกด้วย

### 3) ด้านสังคม

เมื่อพิจารณาประเด็นเชิงสังคม ฝนหลวงถือได้ว่าเป็นนวัตกรรมเพื่อประชาชนอย่างแท้จริง แฝงไปด้วยปัจจัยเชิงสังคมหลากหลาย เป็นความผูกพันของประชาชนโดยเฉพาะเกษตรกรกับสถาบันกษัตริย์ การเทอดพระเกียรติพระอัจฉริยภาพของพระมหากษัตริย์ไทย ช่วยบรรเทาภัยแล้ง สร้างความยืดหยุ่นกับการบริหารจัดการน้ำให้กับผู้มีส่วนได้เสีย ทั้งนี้ยังมีผลทางอ้อมต่าง ๆ อีกมากมาย ทั้งที่ประเมินเป็นตัวเลขได้และไม่ได้โดยตรง เช่น ส่งเสริมการเข้าถึงทรัพยากรน้ำทั้งในและนอกเขตพื้นที่ชลประทาน การช่วยเกษตรกรสู้กับวิกฤตภัยแล้ง ทำให้พืชผลสามารถเจริญเติบโตเก็บเกี่ยวได้ไม่ขาดน้ำจนเสียหายส่งผลต่อสภาพความเป็นอยู่ที่ดีของเกษตรกร ลดปัญหาต่าง ๆ ที่อาจตามมาได้อย่างมาก

ดังนั้นประเด็นต่าง ๆ เหล่านี้ถือเป็นเสาหลักสำคัญของระบบเศรษฐกิจสีเขียวซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญของกรมฝนหลวงและการบินเกษตรที่สนับสนุนการพัฒนาที่มุ่งไปสู่การพัฒนาเพื่อความยั่งยืน

## เอกสารอ้างอิง (References)

- Abernethy, C.L. (1989). Performance Measurement in Canal Water Management. ODI-IIMI Irrigation Management Network Paper 86/2d.
- A.Y. Hoekstra and A.K. Chapagain. (2009). WATER FOOTPRINT MANUAL State of the Art 2009. Water Footprint Network, Enschede, Netherlands 2009.
- A.K. Chapagain and A.Y. Hoekstra. (2011). The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. *Ecological Economics* 2011 (70): 749–758.
- Chatpanyacharoen W., Hungspreug N., Anurugsab., and Taweasuk S. (2015). “Water Footprint Evaluation of *Oryza sativa* L. Tha Wang Pha District, Nan Province ”, *Thammasat International Journal of Science and Technology*. 20: 21-28.
- Finnveden et al. (2009). Recent developments in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management*. 91 (1):1-21.
- Hoekstra A. Y. and Chapagain A. K., (2007). “Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern,” *Water Resources Management*. 21:35-48.
- Miller J.F., (1963). Probable Maximum Precipitation and Rainfall-Frequency Data for Alaska. Technical Paper No.47, Weather Bureau, United States Department of Commerce Washington, DC.
- Palmer. J.D. (1990). Delivering Appropriate Quantities of Water to the Farm. In *Irrigation and Drainage. Proceedings of the 1990 National conference*. Steven C. Harris, ed., ASCE.
- Keyantash, J., & Dracup, J. A. (2002). The quantification of drought: an evaluation of drought indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), 1167–1180.
- Karnieli, A., Agam, N., Pinker, R. T., Anderson, M., Imhoff, M. L., Gutman, G.G., Panov, N., & Goldberg, A. (2010). Use of NDVI and land surface temperature for drought assessment: merits and limitations. *Journal of Climate*, 23(3), 618–633.
- Sandholt, I., Rasmussen, K., & Andersen, J. (2002). A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. *Remote Sensing of Environment*, 79(2-3), 213-224.
- Son, N. T., Chen, C. F., Chen, C. R., Chang, L. Y., & Minh, V. Q. (2012). Monitoring agricultural drought in the lower Mekong basin using MODIS NDVI and land surface temperature data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 18, 417–427.

Son, N. T., Chen, C. F., Chen, C. R., Chang, L. Y., & Minh, V. Q. (2012). Monitoring agricultural drought in the lower Mekong basin using MODIS NDVI and land surface temperature data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 18, 417–427.

Water Footprints Network. (Online). <https://waterfootprint.org/en/resources/interactive-tools/product-gallery/>, 10 สิงหาคม 2563.

กรมฝนหลวงและการบินเกษตร.(Online).

<https://www.royalrain.go.th/royalrain/home.aspx?MenuId=1>, 10 สิงหาคม 2563.

กรมฝนหลวงและการบินเกษตร. (Online).

[https://www.royalrain.go.th/royalrain/Page\\_list.aspx?MenuId=22](https://www.royalrain.go.th/royalrain/Page_list.aspx?MenuId=22), 20 กุมภาพันธ์ 2564.

กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (Online). <https://www.doae.go.th/index.php> , 13 ตุลาคม 2562.

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. 2553. คู่มือการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment : LCA) สำหรับอุตสาหกรรมเหมืองแร่. (คู่มือ). กรุงเทพฯ : กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่.

ศูนย์ข้อมูลข่าวสารกรมฝนหลวงและการบินเกษตร. (Online).

[https://www.royalrain.go.th/web/Info/Editor\\_Page.aspx?MenuId=608](https://www.royalrain.go.th/web/Info/Editor_Page.aspx?MenuId=608) , 17 ตุลาคม 2563.

จักรกฤษณ์ แสงแก้ว, 2558. การบูรณาการข้อมูลสารสนเทศระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อพัฒนาแบบจำลองพยากรณ์อากาศและโอกาสความสำเร็จในการปฏิบัติการฝนหลวง การศึกษาภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย. *SDU Res. J.* 10 (2): May-Aug 2017.

ณัฐพล ชัยยวรรณการ, 2560. การประเมินผลกระทบของการบริหารจัดการการใช้ที่ดินพื้นที่ลุ่มน้ำลำตะคอง โดยประยุกต์หลักการการประเมินวัฏจักรชีวิต. *CRMA Journal.* 13: 43-63.

วาริท เจาะจิตต์, 2556. ก้าวสู่การพัฒนาอุตสาหกรรมยางธรรมชาติของประเทศไทยอย่างยั่งยืนด้วยคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์. *วารสารร่วมพฤษ มหาวชิวิทยาลัยเกริก.* 31 (1): 50-68. กรุงเทพมหานคร.

วิทยา กันยา, 2551. การประเมินวัฏจักรชีวิตน้ำตาลทรายแดง. *RMUTP Research Journal.* 2 (1): 77-84. กรุงเทพมหานคร.

สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค7. (Online). <http://water.dwr.go.th/wro7/index.php/th/2018-05-04-04-13-04/2018-05-04-04-14-25> , 9 พฤษภาคม 2563



รายงานการวิจัยการพัฒนาระบบการวิจัยการเกษตร ฉบับสมบูรณ์  
เสนอ สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)

การพัฒนาระบบช่วยตัดสินใจในการทำฝนหลวงสำหรับการวางแผนการบริหารจัดการน้ำ  
ในลุ่มน้ำเพชรบุรี

Development of Royal Rainmaking Decision Support Systems for Water  
Planning and Management in the Phetchaburi River Basin

รหัสโครงการ PRP6305030930

คณะผู้วิจัย

ดร.ทรงศักดิ์ ภัทรารุณชัย	หัวหน้าโครงการวิจัย
ผ.ศ.นิมิตร เติตฉันทพิพัฒน์	ผู้ร่วมโครงการ
รศ.ดร.ชัยศรี สุขสาโรจน์	ผู้ร่วมโครงการ
ผศ.ดร.จกกริช พฤษการ	ผู้ร่วมโครงการ
นายมารุต ราชมณี	ผู้ร่วมโครงการ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)  
ประจำปีงบประมาณ 2563

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 จนสามารถทำให้โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงเป็นผลสำเร็จในรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์นี้

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะผู้ตรวจสอบทางวิชาการที่ได้ให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ และขอขอบคุณหน่วยงานราชการ ได้แก่ กรมฝนหลวงและการบินเกษตร สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) กรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย และกรมอุตุนิยมวิทยา ที่ได้อนุเคราะห์ข้อมูลประกอบการศึกษาวิจัย คณะอาจารย์แห่งคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ได้ช่วยสนับสนุนและแนะนำตลอดจนให้กำลังใจจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า รายงานวิจัยฉบับนี้จะสามารถเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจ และผู้ที่เกี่ยวข้องในการนำไปใช้เป็นประโยชน์ต่อไป

คณะผู้วิจัย  
เมษายน 2564

## บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เริ่มจากการพัฒนาระบบฐานข้อมูล และเซอร์วิสสำหรับการนำเข้าข้อมูลเพื่อสนับสนุนการจัดทำระบบช่วยตัดสินใจ โดยการรวบรวมข้อมูลที่สำคัญที่มีความจำเป็นต่อระบบช่วยตัดสินใจในการจัดทำแผนหลวง ประกอบด้วย ชุดข้อมูลการตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยา ชุดข้อมูลความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรของกลุ่มน้ำเพชรบุรี ข้อมูลภาพรกายการทำฝนเทียมในกลุ่มน้ำเพชรบุรี นำมาออกแบบและพัฒนาระบบฐานข้อมูล ระบบการจัดเก็บข้อมูล การนำเข้าข้อมูล การบริหารจัดการข้อมูล และการส่งออกข้อมูล เพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้ตัดสินใจปฏิบัติการทำฝนเทียม โดยทำการเชื่อมโยงงานระบบสารสนเทศแม่ข่ายเชิงพื้นที่เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวง (Fonluang Geo-Map Online)

**คำสำคัญ:** กลุ่มน้ำเพชรบุรี ระบบฐานข้อมูล ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

## สารบัญ

สรุปภาพรวมทั้งหมดของการดำเนินงาน	7
1. บทนำ (Introduction)	8
1.1 บทนำ	8
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	8
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	8
2. วิธีดำเนินการวิจัย	9
3. ผลการวิจัย	10
3.1 การศึกษาและพัฒนาระบบฐานข้อมูล	10
3.2 การออกแบบและพัฒนาระบบการจัดเก็บ การนำเข้าข้อมูล และการบริหารจัดการข้อมูล	21
3.3 ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (การเชื่อมโยงและใช้งานระบบสารสนเทศแม่ข่ายเชิงพื้นที่ เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวง)	28
4 สรุปและขอเสนอแนะ (Conclusion and Recommendation)	31
เอกสารอ้างอิง (References)	32

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1.2.1-1	รูปแบบรูปแบบตารางการนำออกข้อมูลสถานีตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยา	17
ตารางที่ 3.1.1.2.1-2	การเก็บข้อมูลสถานีตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยา	17
ตารางที่ 3.1.2.2-1	รูปแบบตารางการจัดเก็บและนำออกข้อมูลความต้องการน้ำเพื่อการเกษตร ลุ่มน้ำเพชรบุรี	18
ตารางที่ 3.1.2.2-2	การเก็บข้อมูลชุดข้อมูลความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรลุ่มน้ำเพชรบุรี	19
ตารางที่ 3.1.2.3-1	รูปแบบตารางการจัดเก็บและนำออกข้อมูลความต้องการน้ำเพื่อการเกษตร ลุ่มน้ำเพชรบุรี ช่วงเวลาทำฝนหลวง	19
ตารางที่ 3.1.2.3-2	การเก็บข้อมูลชุดข้อมูลความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรลุ่มน้ำเพชรบุรี ช่วงเวลาทำฝนหลวง	20

## สารบัญรูป

รูปที่ 3.1.1	การออกแบบตารางการเก็บข้อมูลในฐานข้อมูล	11
รูปที่ 3.1.2	การทำ Normalization ในแต่ละระดับชั้น	12
รูปที่ 3.3.3	ลำดับชั้นของการทำ normalization	13
รูปที่ 3.1.4	แสดงภาพจากระบบจัดการฐานข้อมูลแบบ MySQL	14
รูปที่ 3.1.5	การเก็บข้อมูลแบบ Relational	14
รูปที่ 3.2.1.1-1	ส่วนของการเรียกใช้งานระบบในส่วนของการเพิ่มชุดข้อมูลดิบ	22
รูปที่ 3.2.2.2-1	ปุ่มการเรียกใช้งานในส่วนของการเรียกดูข้อมูล	22
รูปที่ 3.2.2.2-2	การแสดงผลข้อมูลในรูปแบบของข้อมูลดิบ	23
รูปที่ 3.2.2.3-1	การเรียกดูข้อมูลในรูปแบบของตาราง	23
รูปที่ 3.2.2.3-2	การแสดงผลข้อมูลในรูปแบบของตารางข้อมูล	24
รูปที่ 3.2.2.4-4	ปุ่มสำหรับการเรียกใช้งานระบบในส่วนของการบริหารจัดการตารางข้อมูล	24
รูปที่ 3.2.2.4-5	แสดงส่วนของระบบในการแก้ไขชื่อตารางข้อมูล และการลบตารางข้อมูล	25
รูปที่ 3.2.2.5-1	ภาพจากระบบในส่วนของการเรียกใช้งานระบบในส่วนของการส่งออกข้อมูล	25
รูปที่ 3.2.2.5-2	ภาพจากระบบในส่วนของการประมวลผลและส่งออกข้อมูล	25
รูปที่ 3.2.2.1-1	ภาพจากระบบในส่วนของระบบหลัก	26
รูปที่ 3.2.2.2-1	ภาพจากระบบในส่วนของการนำเข้าไฟล์ข้อมูล	27
รูปที่ 3.2.2.3-1	แสดงภาพจากระบบในส่วนของการดาวน์โหลดไฟล์ข้อมูล	27
รูปที่ 3.3.1-1	การเข้าถึงระบบสารสนเทศแม่ข่ายเชิงพื้นที่เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวง	28
รูปที่ 3.3.2-1	ระบบสารสนเทศแม่ข่ายเชิงพื้นที่เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวง	29
รูปที่ 3.3.3-1	ภาพจากระบบในส่วนของการนำเข้าข้อมูล	30

สรุปภาพรวมทั้งหมดของการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน (ตามผนวก 6 ในสัญญา)	ผลการปฏิบัติงาน
1. ออกแบบระบบฐานข้อมูล ใน Cloud Server เพื่อจัดเก็บข้อมูลที่เป็นพารามิเตอร์ เพื่อการตัดสินใจทำฝนหลวงจากโครงการที่ 1-4	1. ออกแบบและพัฒนาระบบฐานข้อมูล ใน Cloud Server เพื่อการจัดเก็บข้อมูลที่มีความจำเป็นต่อการทำฝนหลวงทุกพารามิเตอร์จาก โครงการที่ 1-4 แล้วเสร็จสมบูรณ์ พร้อมทั้งระบบนำเข้า ระบบส่งออกข้อมูล
2. พัฒนาระบบช่วยตัดสินใจในการทำฝนหลวงสำหรับการวางแผนการบริหารจัดการน้ำในลุ่มน้ำเพชรบุรี	2. ระบบช่วยตัดสินใจในการทำฝนหลวง ที่พัฒนาขึ้น ในชื่อ Fonluang Geo-Map ที่เรียกดูได้จาก <a href="https://geomap.royalrain.go.th/portal/home/">https://geomap.royalrain.go.th/portal/home/</a>

# 1. บทนำ (Introduction)

## 1.1 บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลผลิตมวลรวมมาจากภาคเกษตรกรรมสูง ดังนั้น ปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อภาคเกษตรจึงส่งผลกระทบต่อสภาพเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยเฉพาะปัญหาภัยแล้ง ซึ่งอาจจะเกิดจากสภาวะฝนแล้ง โดยมีปริมาณฝนน้อยกว่าปกติ หรือฝนไม่ตกต้องตามฤดูกาล ทำให้เกิดสภาพการขาดแคลนน้ำ และจากการประมาณการความต้องการใช้น้ำทั้งประเทศพบว่า ความต้องการใช้น้ำเพื่อการเกษตรกรรมในพื้นที่ชลประทานมีมากกว่า 50% แต่ในขณะที่เดียวกัน ปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติที่สามารถควบคุมหรือเก็บกักโดยเขื่อนขนาดใหญ่และขนาดกลางทั่วประเทศที่สามารถนำไปใช้ได้มีเพียงประมาณ 20 % ของปริมาณน้ำท่าผิวดินตามธรรมชาติ ด้วยเหตุนี้ปัญหาการขาดแคลนน้ำจึงเป็นเรื่องที่สำคัญยิ่ง ดังนั้นกรมฝนหลวงและการบินเกษตร จึงได้ถูกจัดตั้งขึ้น โดยมีภารกิจหลักในเรื่องของการบริหารจัดการน้ำในชั้นบรรยากาศให้เกิดฝนในปริมาณและการกระจายที่เหมาะสม การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการทำฝนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการน้ำในชั้นบรรยากาศ และการตัดแปรสภาพอากาศแก้ไขปัญหาภัยพิบัติอันเนื่องมาจากความผันแปรของภูมิอากาศและสภาวะโลกร้อน

การศึกษาผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงในการแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำ โดยได้คัดเลือกพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี เป็นพื้นที่ต้นแบบ พื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี ครอบคลุมจังหวัดเพชรบุรีทั้งจังหวัดคิดเป็นพื้นที่ประมาณ 6,160 ตร.กม. โดยแม่น้ำเพชรบุรีมีต้นกำเนิดที่เทือกเขาตะนาวศรีทางด้านตะวันตกของกลุ่มน้ำ ซึ่งเป็นเขตแดนระหว่างประเทศไทยกับประเทศพม่า พื้นที่จะค่อย ๆ ลาดเทลงมาทางทิศตะวันออก และมีเทือกเขาเป็นแนวเขาเตี้ย ๆ ที่ทำให้เกิดที่ราบระหว่างภูเขาทางด้านตะวันตกของกลุ่มน้ำจะเป็นเทือกเขาสูงซึ่งเป็นต้นกำเนิดของแม่น้ำสาขาสำคัญของลุ่มน้ำเพชรบุรี ถัดเข้ามาทางตอนกลางของกลุ่มน้ำจะมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำ ซึ่งแม่น้ำเพชรบุรีจะไหลผ่านอ่างเก็บน้ำเขื่อนแก่งกระจานและเขื่อนเพชร ส่วนพื้นที่ตอนล่างทางด้านตะวันออกของกลุ่มน้ำมีลักษณะเป็นที่ราบลุ่มชายฝั่งทะเล มีลำน้ำสายสั้น ๆ กระจายอยู่ทั่วไป ซึ่งลำน้ำส่วนใหญ่จะไหลลงสู่แม่น้ำเพชรบุรีและออกทะเล สภาพปัญหาภัยแล้งหรือการขาดแคลนน้ำ ในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีประสบปัญหาอยู่เสมอในช่วงเดือนมกราคม-พฤษภาคมของทุกปี ทั้งปริมาณน้ำดิบเพื่อการอุปโภคบริโภค และน้ำเพื่อการเกษตรในพื้นที่นอกเขตชลประทาน

โครงการวิจัยนี้ เป็นโครงการที่อยู่ภายใต้แผนงานวิจัย โดยจัดทำฐานข้อมูลพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำฝนหลวง และพัฒนาระบบช่วยตัดสินใจในการทำฝนหลวงสำหรับการวางแผนการบริหารจัดการน้ำในลุ่มน้ำเพชรบุรี

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) ศึกษาจัดทำฐานข้อมูล และพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดทำฝนหลวง

## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) แบบจำลองสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดทำฝนหลวง
- 2) การตีพิมพ์บทความในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ และ/หรือ ระดับชาติ

## 2. วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยมีขั้นตอนสรุปได้ดังนี้

### 1. การรวบรวมข้อมูลและทบทวนข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการวิจัย

การดำเนินการวิจัยต้องดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล พร้อมทั้งดำเนินการทบทวนและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่เกี่ยวข้องได้ ทุกข้อมูลก่อนนำมาใช้งานสำหรับงานวิจัยในขั้นตอนต่อไป โดยมีข้อมูลที่สำคัญสำหรับการวิจัย ดังนี้

1.1 ข้อมูลรายละเอียดทางกายภาพของกลุ่มน้ำและสถานีวัดน้ำท่า

1.2 ข้อมูลการดำเนินงานของการทำฝนหลวงในอดีตถึงปัจจุบันในพื้นที่ศึกษา

1.3 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ เช่นอ่างเก็บน้ำในพื้นที่

1.4 ข้อมูลปริมาณฝนตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

1.5 ข้อมูลภูมิอากาศโดยทั่วไปของกลุ่มน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์กระแสลม เมฆปกคลุม อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ปริมาณการระเหยจากผิวน้ำ ที่ตั้งสถานีตรวจอากาศ และระดับความสูงของที่ตั้งสถานีตรวจอากาศในพื้นที่รับน้ำฝนและใกล้เคียงจากกรมอุตุนิยมวิทยา

1.6 ข้อมูลอุณหภูมิจุดน้ำค้าง และระดับความสูงของที่ตั้งสถานีภูมิอากาศในบริเวณพื้นที่ศึกษา จากกรมอุตุนิยมวิทยา

1.7 ข้อมูลการเพาะปลูกพืชในพื้นที่ศึกษา

1.8 ข้อมูลประชากร และการใช้น้ำในพื้นที่ศึกษา

### 2. การศึกษาปริมาณน้ำในบรรยากาศที่เหมาะสมสำหรับการจัดทำฝนหลวง

3. การจัดทำฐานข้อมูลปริมาณน้ำในบรรยากาศ

4. การพัฒนาระบบช่วยตัดสินใจในการจัดทำฝนหลวง

5. การประยุกต์ใช้ระบบช่วยตัดสินใจในการจัดทำฝนหลวง

### 3. ผลการวิจัย

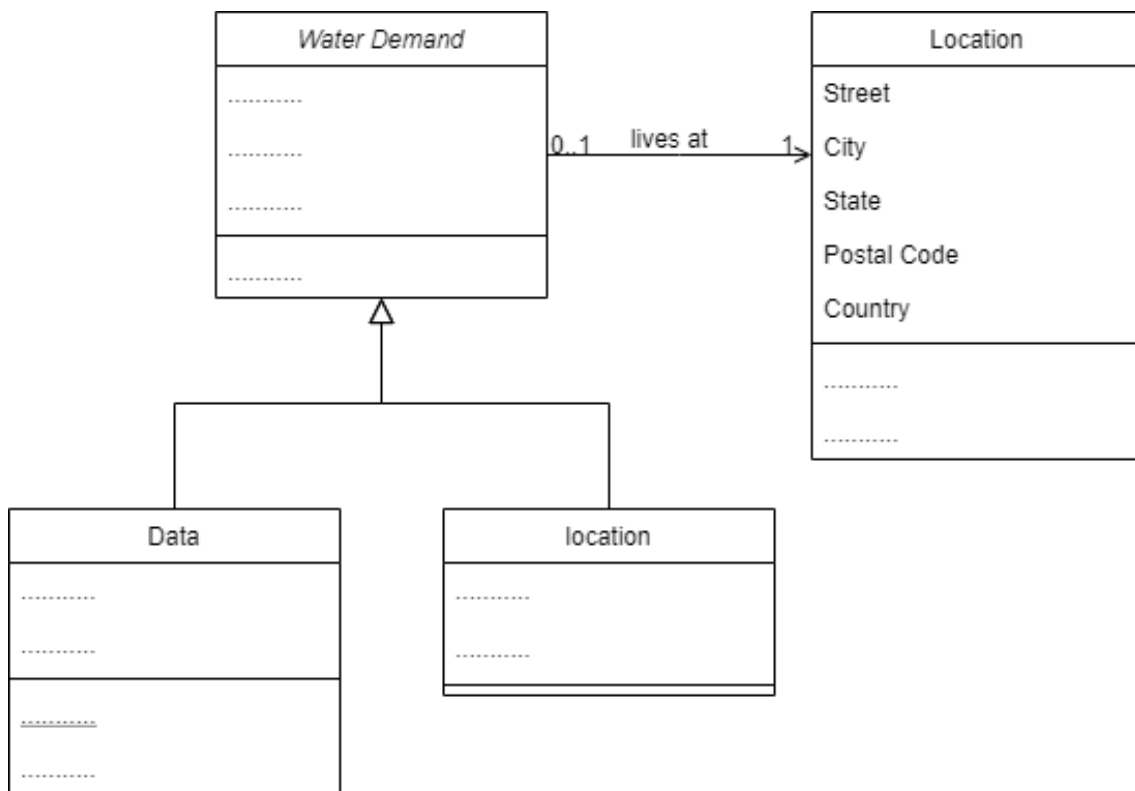
ผลการวิจัยที่สำคัญจะประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ 1) การศึกษาและพัฒนาระบบฐานข้อมูล 2) การออกแบบและพัฒนาระบบการจัดเก็บ การนำเข้าข้อมูล และการบริหารจัดการข้อมูล 3) ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (การเชื่อมโยงและใช้งานระบบสารสนเทศแม่ข่ายเชิงพื้นที่เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวง) แสดงรายละเอียดได้ดังนี้

#### 3.1. การศึกษาและพัฒนาระบบฐานข้อมูล

ระบบฐานข้อมูล (Database System) คือ ระบบที่ทำหน้าที่เก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ มีการจัดรวบรวมกลุ่มข้อมูลเป็นรูปแบบตาราง และมีการเชื่อมโยงข้อมูลเหล่านั้น (Kroenke and Hatch, 1994) ซึ่งทำให้การออกแบบระบบข้อมูลมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ซึ่งจะทำให้เกิดความรวดเร็วในการรวบรวมหรือค้นหาข้อมูลต่างๆที่ได้ทำการจัดเก็บไว้การออกแบบฐานข้อมูล (Designing Databases) คือการสร้างฐานข้อมูลให้มีประสิทธิภาพ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ฐานข้อมูล ให้เกิดความราบรื่นในการทำงาน ง่ายต่อการจัดการ และใช้พื้นที่อย่างประหยัด ค่า ซึ่งมีความสำคัญต่อการทำงานของระบบจัดการระบบฐานข้อมูล (DBMS) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ข้อมูลภายในฐานข้อมูลจะต้องศึกษาถึงความสัมพันธ์ของข้อมูล รวมถึงโครงสร้างของข้อมูล การเข้าถึงข้อมูลและกระบวนการที่จะเรียกใช้ฐานข้อมูล ดังนั้น เราจึงสามารถแบ่งวิธีการออกแบบฐานข้อมูลได้ 3 ประเภท ในส่วนของขั้นตอนการออกแบบฐานข้อมูลนั้นสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนได้ทั้งสิ้น 4 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำการเตรียมและวิเคราะห์รูปแบบของข้อมูลที่ต้องการจัดเก็บลงในฐานข้อมูล ในขั้นตอนของการเตรียมข้อมูลนั้นจะเป็นการรวบรวมชุดข้อมูลดิบ โดยจะต้องมีการรวบรวมข้อมูลทั้งหมดที่จะต้องถูกจัดเก็บเข้าสู่ฐานข้อมูล ซึ่งในแต่ละชุดข้อมูลนั้นจะมีรูปแบบของข้อมูล และรายละเอียดของข้อมูลที่แตกต่างกันออกไป ในการออกแบบฐานข้อมูลนั้นจะต้องคำนึงถึงส่วนนี้ที่สำคัญ โดยการออกแบบฐานข้อมูลจะต้องสอดคล้องและเหมาะสมกับการจัดเก็บข้อมูลชุดนั้นๆเข้าสู่ฐานข้อมูล

2. กำหนดโครงสร้างของตารางข้อมูล รวมถึงการกำหนด เอนทิตี (Entity) หรือส่วนของข้อมูลที่เราสสนใจที่มีรูปแบบเป็นนามธรรมเช่น จังหวัด , ระดับน้ำ , อัตราการไหลของน้ำ เป็นต้น และการกำหนด แอททริบิวต์ (Attribute) หรือคุณสมบัติหรือข้อมูลของ Entity โดยในการออกแบบและการจัดเก็บข้อมูลนั้นมักจะมีการแบ่งข้อมูลที่แตกต่างกันออกเป็นตาราง และมีการเชื่อมโยงกัน แสดงลักษณะการเชื่อมโยงตารางข้อมูลได้ดังรูปที่ 3.1.1



รูปที่ 3.1.1 การออกแบบตารางการเก็บข้อมูลในฐานข้อมูล

3. กำหนดคีย์ของตาราง เพื่อช่วยในการแบ่งชนิดของข้อมูลรวมถึงการเชื่อมโยงข้อมูลของแต่ละตารางเข้าด้วยกันทำให้เกิดความสัมพันธ์กันของข้อมูล โดยคีย์จะสามารถแบ่งรูปแบบได้ 4 รูปแบบคือ

3.1. ซูเปอร์คีย์ (Super key) คือ แอททริบิวต์หรือกลุ่มของแอททริบิวต์ที่สามารถระบุเอกลักษณ์ของแต่ละคอลัมน์เพื่อให้แตกต่างกันในตารางได้

3.2. แคนดิเดตคีย์ (candidate key) คือ ซูเปอร์คีย์ที่มีขนาดเล็กที่สุด ที่ไม่มีแอททริบิวต์อื่นเป็นเซตย่อย

3.3. คีย์หลัก (primary key) คือ แอททริบิวต์ที่กำหนดข้อมูลนั้นมีเอกลักษณ์ เพื่อใช้แบ่งข้อมูลในแถวได้ เป็นต้น

3.4. คีย์นอก (foreign key) คือ คีย์หลักของตารางแม่ เมื่อนำมาใช้ในการเชื่อมโยงกับตารางลูกเพื่อให้เกิดความเชื่อมโยงกันของข้อมูล

4. การทำนอร์มัลไลเซชัน (Normalization) ฐานข้อมูล เป็นวิธีการในการกำหนดแอตทริบิวต์ให้กับแต่ละเอนทิตี เพื่อให้ได้โครงสร้างของตารางที่ดี แยกข้อมูลที่ไม่มีความเกี่ยวข้องกับตารางนั้นออกไป และปรับแก้ให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น ทำให้สามารถควบคุม ลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลและหลีกเลี่ยงความผิดพลาดของข้อมูล เพื่อให้ทำการเพิ่มข้อมูล ลบข้อมูล หรือแก้ไขข้อมูลที่อยู่ในรีเลชันได้โดยไม่เกิดความผิดพลาด

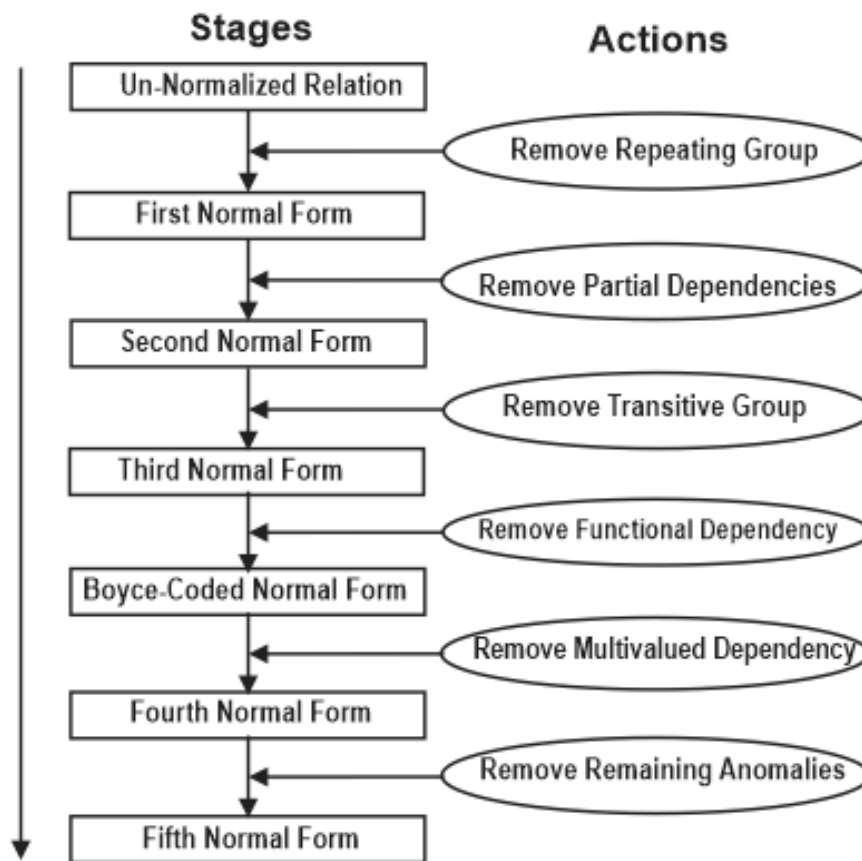
4.1. นอร์มัลไลเซชันระดับที่ 1 (1NF) เป็นการขจัดแอตทริบิวต์หรือกลุ่มแอตทริบิวต์ที่ซ้ำกัน แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นกับรีเลชันที่มีรูปแบบ 1NF คือ การเก็บข้อมูลแบบนี้เป็นการสิ้นเปลืองเพราะมีค่าของกลุ่มข้อมูลที่ซ้ำกัน ได้แก่ ความผิดพลาดต่อการเปลี่ยนแปลงแก้ไขข้อมูลการลบข้อมูล และการเพิ่มข้อมูล

4.2. นอร์มัลไลเซชันระดับที่ 2 (2NF) เป็นการขจัดแตริตริบิวที่ไม่ขึ้นกับทั้งส่วนของคีย์หลักออกไป เพื่อให้แตริตริบิวอื่นทั้งหมดขึ้นตรงกับส่วนที่เป็นคีย์หลักทั้งหมดเท่านั้น

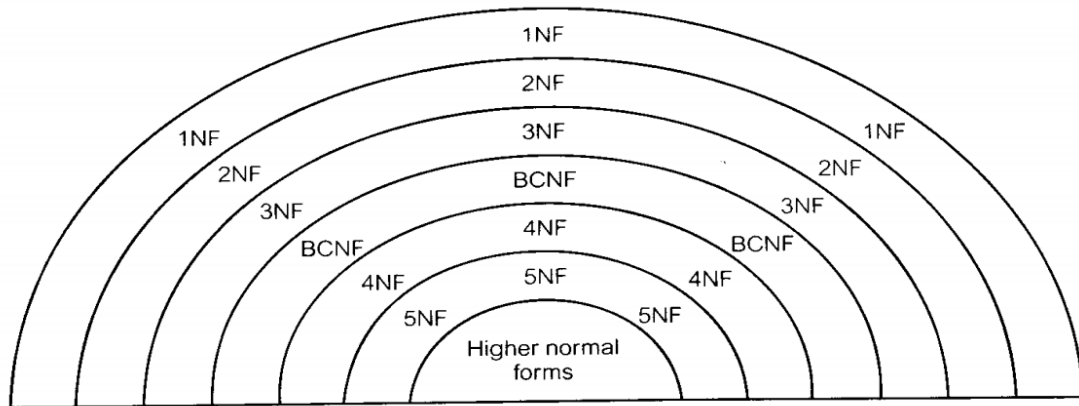
4.3. นอร์มัลไลเซชันระดับที่ 3 (3NF) รับมาจากระดับที่ 2 ทุกแตริตริบิวต์ที่ไม่ใช่คีย์หลักไม่มีคุณสมบัติในการกำหนดค่าของแตริตริบิวต์อื่น

4.4. การกำหนดความสัมพันธ์ คือ นำฐานข้อมูลที่ผ่านมาการทำ นอร์มัลไลเซชัน แล้วมากำหนดความสัมพันธ์

ในการทำ Normalization ฐานข้อมูลนั้นถือมีความจำเป็นเป็นอย่างมาก สำหรับการออกแบบฐานข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งจะพบการซ้ำกันของชุดข้อมูลได้บ่อยมาก หากมีการทำ Normalization ฐานข้อมูลให้อยู่ในแบบฐานข้อมูลที่มีความเหมาะสมแล้วนั้น จะช่วยลดการซ้ำซ้อนของฐานข้อมูลได้เป็นอย่างมาก โดยกล่าวได้ว่าการทำ Normalization ในแต่ละลำดับขั้นนั้นจะมีการลดความซ้ำซ้อนต่างๆออกไป ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.1.2 และรูปที่ 3.1.3



รูปที่ 3.1.2 การทำ Normalization ในแต่ละระดับขั้น

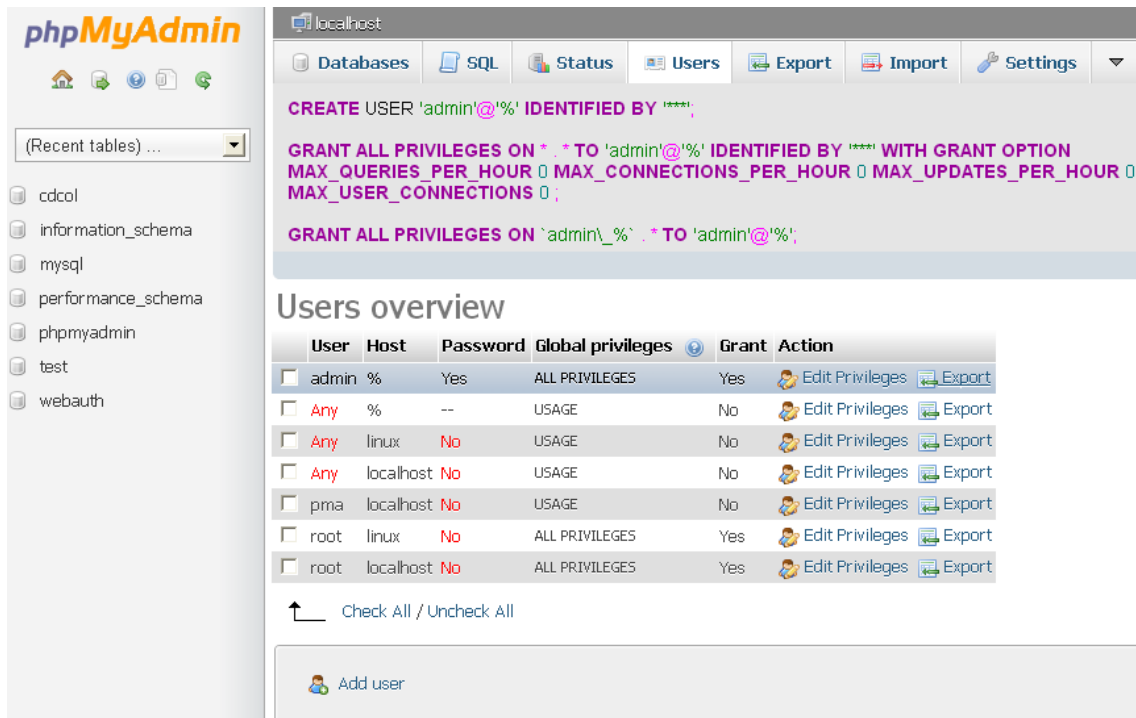


รูปที่ 3.3.3 ลำดับขั้นของการทำ normalization

ในการพัฒนาและจัดทำฐานข้อมูลนั้นทางทีมผู้วิจัยได้มีพัฒนาฐานข้อมูลโดยใช้ฐานข้อมูลแบบ MySQL ซึ่งเป็นระบบจัดการฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database Management System) โดยใช้ภาษา SQL มีการติดตั้งฐานข้อมูลไว้บนเครื่องเซิร์ฟเวอร์ที่สามารถเข้าถึงได้ผ่านอินเทอร์เน็ต ซึ่งสามารถเรียกใช้งานผ่านช่องทางออนไลน์ได้ ซึ่งในการเลือกใช้ฐานข้อมูลนั้นทางทีมผู้พัฒนาคำนึงถึงการเชื่อมโยงฐานข้อมูลเพื่อทำงานร่วมกับเครื่องบริการเว็บ (Web Server) เพื่อให้บริการแก่ภาษาสคริปต์ที่ทำงานฝั่งเครื่องบริการ (Server-Side Script) เช่น ภาษา php ภาษา asp.net หรือภาษาเจเอสพี เป็นต้น หรือทำงานร่วมกับโปรแกรมประยุกต์ (Application Program) เช่น ภาษาวิซวลเบสิกดอทเน็ต ภาษาจาวา หรือภาษาซีชาร์ป เป็นต้น โปรแกรมถูกออกแบบให้สามารถทำงานได้บนระบบปฏิบัติการที่หลากหลาย และเป็นระบบฐานข้อมูลโอเพนซอร์ซ (Open Source) ที่ถูกนำไปใช้งานมากที่สุด โดยความสามารถและการทำงานของระบบฐานข้อมูลแบบ MySQL สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

- MySQL ถือเป็นระบบจัดการฐานข้อมูล (Database Management System, DBMS)

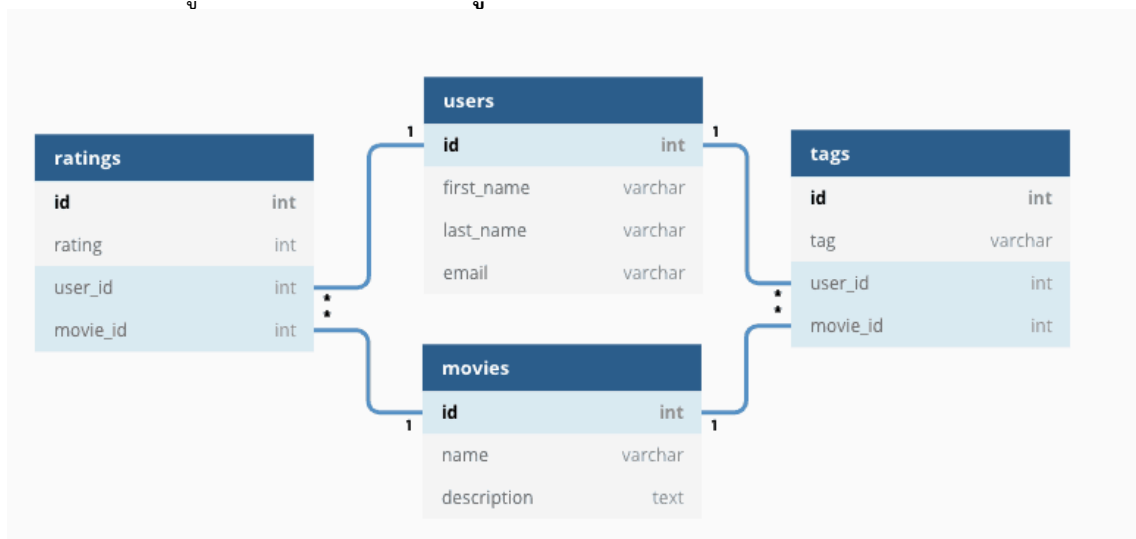
ฐานข้อมูลมีลักษณะเป็นโครงสร้างของการเก็บรวบรวมข้อมูล การที่จะเพิ่มเติม เข้าถึงหรือประมวลผลข้อมูลที่เก็บในฐานข้อมูลจำเป็นจะต้องอาศัยระบบจัดการ ฐานข้อมูล ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการจัดการกับข้อมูลในฐานข้อมูลทั้งสำหรับการ ใช้งานเฉพาะ และรองรับการทำงานของแอปพลิเคชันอื่นๆ ที่ต้องการใช้งานข้อมูลในฐานข้อมูล เพื่อให้ได้รับความสะดวกในการจัดการกับข้อมูลจำนวนมาก MySQL ทำหน้าที่เป็นทั้งตัวฐานข้อมูลและระบบจัดการฐานข้อมูล โดยสามารถแสดงภาพตัวอย่างจากระบบจัดการฐานข้อมูลได้ดังรูปที่ 3.1.4



รูปที่ 3.1.4 แสดงภาพจากระบบจัดการฐานข้อมูลแบบ MySQL

- MySQL เป็นระบบจัดการฐานข้อมูลแบบ relational

ฐานข้อมูลแบบ relational จะทำการเก็บข้อมูลทั้งหมดในรูปแบบของตารางแทนการเก็บข้อมูลทั้งหมดลงในไฟล์ เพียงไฟล์เดียว ทำให้ทำงานได้รวดเร็วและมีความยืดหยุ่น นอกจากนั้น แต่ละตารางที่เก็บข้อมูลสามารถเชื่อมโยงเข้าหากันทำให้สามารถรวมหรือจัด กลุ่มข้อมูลได้ตามต้องการ โดยอาศัยภาษา SQL ที่เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรม MySQL ซึ่งเป็นภาษามาตรฐานในการเข้าถึงฐานข้อมูล สามารถอธิบายลักษณะการเก็บข้อมูลแบบ Relational ได้ดังรูปที่ 3.1.5



รูปที่ 3.1.4 การเก็บข้อมูลแบบ Relational

- MySQL ให้ใช้งานแบบ Open Source

นั่นคือ ผู้ใช้งาน MySQL ทุกคนสามารถใช้งานและปรับแต่งการทำงานได้ตามต้องการ ซึ่งทำให้การพัฒนาฐานข้อมูลแบบ MySQL นั้นสามารถทำออกมาให้ตรงกับรูปแบบของชุดข้อมูลต่างๆที่ต้องการจัดเก็บได้

### 3.1.1. การศึกษารวบรวมข้อมูล ที่มีความจำเป็นต่อระบบช่วยตัดสินใจในการจัดทำแผนหลวง

การตัดสินใจนั้นประกอบด้วยองค์ประกอบหลายประการทั้งในส่วนของชุดข้อมูล องค์ความรู้ ความเชี่ยวชาญของผู้ตัดสินใจ โดยทฤษฎีสันับสนุนการตัดสินใจแบบ decision tree learning (Gerrity, 1971) ซึ่งเป็นวิธีการตัดสินใจโดยใช้เชิงความรู้ทางสถิติ การการทำเหมืองข้อมูล โดยมีการแบ่งแยกข้อมูลด้วยวิธีการพิจารณาข้อมูลด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง (machine learning) โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ทำนายเหตุการณ์ต่างๆที่จะเกิดขึ้น จากสภาพแวดล้อม หรือปัจจัยที่มีการเก็บรวบรวมจากอดีต ปัจจุบัน และไปข้างหน้า อาทิเช่นข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลความต้องการน้ำเป็นต้น ซึ่งการได้มาของข้อมูลนั้นมีที่มาจากหลากหลาย ทั้งในส่วนของ การนำเข้าข้อมูลโดยบุคคล การเข้าข้อมูลจากเครื่องตรวจวัด รวมไปถึงการเชื่อมโยงข้อมูลผ่านระบบบริการข้อมูล ข้อมูลที่มีความจำเป็นต่อระบบช่วยตัดสินใจในการจัดทำแผนหลวงนั้น ประกอบด้วยชุดข้อมูล ที่ได้มีการนำเข้าข้อมูลจากส่วนต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้น โดยทางที่นักศึกษาได้มีการวิเคราะห์ และสรุปชุดข้อมูลที่มีความต้องการในการนำข้อมูลเข้าสู่ระบบฐานข้อมูล และพัฒนาต่อไปยังระบบบริหารจัดการข้อมูล และการแสดงผลข้อมูลดังต่อไปนี้

#### 3.1.1.1. ชุดข้อมูลการตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยา

เป็นชุดข้อมูลการตรวจวัดจากสถานีตรวจวัดสภาพแวดล้อมทางอุตุนิยมวิทยา ซึ่งมีการจัดเก็บและรวบรวมข้อมูลในรูปแบบของ Data Logger ซึ่งมีการ Export มาในรูปแบบของไฟล์ข้อมูล ในชุดของข้อมูลนั้นประกอบด้วยข้อมูล พิกัด ที่อยู่ในรูปแบบของ พิกัดละติจูด และลองจิจูด ข้อมูล วัน เดือน ปี ที่ทำการบันทึกข้อมูล ข้อมูลปริมาณน้ำฝน มีหน่วยของการตรวจวัดเป็นมิลลิเมตร ต่อวัน ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ มีหน่วยของการตรวจวัดเป็นเปอร์เซ็นต์ ข้อมูลความเร็วลม มีหน่วยของการตรวจวัดเป็นน็อต ข้อมูลอุณหภูมิอากาศเฉลี่ย มีหน่วยของการตรวจวัดเป็น เซลเซียส ข้อมูลปริมาณน้ำในบรรยากาศเฉลี่ย มีหน่วยการตรวจวัดเป็นมิลลิเมตร ต่อวัน ข้อมูลปริมาณน้ำในบรรยากาศสูงสุด มีหน่วยของการตรวจวัดเป็นมิลลิเมตรต่อวัน

#### 3.1.1.2. ชุดข้อมูลความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรลุ่มน้ำเพชรบุรี

เป็นชุดข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการเกษตร ในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี ที่แสดงได้ในรูปแบบของกริด เพื่อจัดเก็บและแสดงผลได้ในแผนที่

#### 3.1.1.3. ชุดข้อมูลความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรลุ่มน้ำเพชรบุรี ช่วงเวลาทำแผนหลวง

เป็นชุดข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการเกษตร ในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี ที่แสดงได้ในรูปแบบของกริด เพื่อจัดเก็บและแสดงผลได้ในแผนที่ แตกต่างจากข้อ 3.1.1.2 ที่จะแสดงเฉพาะเวลาที่มีการปฏิบัติการฝนเทียมในพื้นที่เท่านั้น

#### 3.1.1.4. ชุดข้อมูลโคนการทำฝนเทียม

เป็นชุดข้อมูลภาพโคน หรือกรวยในการทำฝนเทียม ประกอบด้วยพื้นที่วงกลมที่เป็นบริเวณที่มีการโปรยสาร และพื้นที่กรวยที่คำนวณจากความเร็วและทิศทางของกระแสลมในบริเวณที่ทำฝนเทียม

### 3.1.2. การออกแบบและพัฒนาระบบฐานข้อมูล และระบบการจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบของไฟล์

เมื่อทางทีมผู้พัฒนาได้มีการศึกษาระบบฐานข้อมูล พร้อมทั้งศึกษารวบรวมชุดข้อมูลที่มีความจำเป็นที่มีความจำเป็นต่อระบบช่วยตัดสินใจในการจัดทำฝนหลวงแล้วนั้น ทีมผู้พัฒนาได้รวบรวมชุดข้อมูลที่ได้ศึกษามาเพื่อพัฒนาระบบฐานข้อมูล ในการนำเข้าและจัดเก็บข้อมูล โดยได้มีการได้แบ่งรูปแบบของการจัดเก็บข้อมูลออกเป็นสองประเภท โดย ประกอบด้วยชุดข้อมูลที่มีลักษณะข้อมูลที่เป็นข้อมูลดิบที่ถูกจัดเก็บมาในรูปแบบของไฟล์ข้อมูล อาทิเช่น ไฟล์ Excel ไฟล์ CSV. ทางทีมผู้พัฒนาได้มีการออกแบบโครงสร้างของฐานข้อมูล และจัดทำฐานข้อมูล เพื่อบันทึกจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบของระบบฐานข้อมูลแบบคลาวด์คอมพิวติ้ง และชุดข้อมูลที่เป็นข้อมูลในรูปแบบไฟล์ข้อมูลแบบต่างๆ อาทิเช่น shape file โดยสามารถอธิบายการออกแบบและรูปแบบการจัดเก็บข้อมูลในรายชุดข้อมูลได้ดังนี้

#### 3.1.2.1. ชุดข้อมูลการตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยา

ชุดข้อมูลการตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยา เป็นชุดข้อมูลที่มีการตรวจวัดจากสถานีตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยา ซึ่งมีการจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบของข้อมูลตัวอักษรและตัวเลข มีการนำข้อมูลมาในรูปแบบของไฟล์ข้อมูล ทางทีมผู้พัฒนาจึงได้มีการออกแบบการจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบของฐานข้อมูล โดยมีการจัดทำเทมเพลตของการนำออกข้อมูลเพื่อให้สอดคล้องกับระบบฐานข้อมูล และระบบนำข้อมูล โดยในส่วนของชุดข้อมูลการตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยานั้น จะมีการจัดเก็บข้อมูลตามสถานีการตรวจวัดข้อมูล ซึ่งจะมีพิกัดของสถานีตรวจวัดของชุดข้อมูลนั้น ประกอบด้วยชุดข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด การออกแบบเทมเพลตของชุดข้อมูลการตรวจวัดข้อมูล ประกอบด้วยข้อมูล วันเดือนปี ข้อมูลฝน(มม./วัน) ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์(%) ข้อมูลความเร็วลม(น็อต) ข้อมูลอุณหภูมิจุดน้ำค้างเฉลี่ย(เซลเซียส) ข้อมูลอุณหภูมิจุดน้ำค้างเฉลี่ย(เซลเซียส) ข้อมูลปริมาณน้ำในบรรยากาศเฉลี่ย(มม./วัน) ข้อมูลปริมาณน้ำในบรรยากาศสูงสุด(มม./วัน) สามารถแสดงได้ดัง ตารางที่

#### 3.1.2.1-1

ตารางที่ 3.1.2.1-1 รูปแบบรูปแบบตารางการนำออกข้อมูลสถานีตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยา

ว/ ด/ ป	วัน	เดือน	ปี	ฝน (มม./ วัน)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)	ความเร็ว ลม (น็อต)	อุณหภูมิ จุดน้ำค้าง เฉลี่ย (เซลเซียส)	อุณหภูมิ จุดน้ำค้าง สูงสุด (เซลเซียส)	ปริมาณน้ำ ใน บรรยากาศ เฉลี่ย(มม./ วัน)	ปริมาณน้ำ ใน บรรยากาศ สูงสุด (มม./วัน)
---------------	-----	-------	----	---------------------	-----------------------------	--------------------------	--	--	--	--

การออกแบบระบบฐานข้อมูลสำหรับชุดข้อมูลการตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยา และการจัดทำระบบฐานข้อมูลสำหรับการตรวจวัดข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา โดยชุดข้อมูลการตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยาเป็นชุดข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบของข้อมูลแบบข้อความและตัวเลข จึงได้มีการออกแบบการจัดเก็บข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของฐานข้อมูลแบบคลาวด์คอมพิวติ้ง โดยใช้ฐานข้อมูล MySQL และสามารถแสดงรูปแบบของตารางการจัดเก็บข้อมูลและคำอธิบายได้ดังตารางที่ 3.1.2.1-2

ตารางที่ 3.1.1.2.1-2 การเก็บข้อมูลสถานีตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยา

NAME		TYPE	DETAIL
ID		bigint(20)	PRIMARY KEY, AUTO_INCREMENT
DATE		datetime	ว/ด/ป
DAY		TEXT	วันที่
MONTH		TEXT	เดือน
YEAR		TEXT	ปี
RAIN		decimal(6,2)	ปริมาณน้ำฝน
HUMIDITY		decimal(6,2)	ความชื้นสัมพัทธ์
WIND		decimal(6,2)	ความเร็วลม
DEWPOINT		decimal(6,2)	อุณหภูมิจุดน้ำค้าง
MAXDEWPOINT		decimal(6,2)	อุณหภูมิจุดน้ำค้างสูงสุด
AIRWATER		decimal(6,2)	ปริมาณน้ำในบรรยากาศเฉลี่ย
MAXAIRWATER		decimal(6,2)	ปริมาณน้ำในบรรยากาศสูงสุด
STATIONNAME		TEXT	ชื่อสถานีตรวจวัด
LATITUDE		decimal(20,15)	ละติจูด
LONGITUDE		decimal(20,15)	ลองจิจูด

### 3.1.2.2. ชุดข้อมูลความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรลุ่มน้ำเพชรบุรี

เป็นชุดข้อมูลที่ถูกจัดเก็บและนำออกข้อมูลในรูปแบบไฟล์ข้อมูลแบบ XLXS ซึ่งมีการจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบของข้อมูลตัวอักษร และข้อมูลตัวเลข โดยในส่วนของการจัดเก็บข้อมูล และนำออกข้อมูลนั้นทางทีมผู้พัฒนาได้มีการจัดทำเทมเพลตของชุดข้อมูล โดยมีการออกแบบตารางในการจัดเก็บข้อมูล เพื่อให้ชุดข้อมูลมีความสอดคล้องในส่วนของการจัดเก็บ และนำออกข้อมูลเพื่อให้เหมาะสมกับระบบการนำเข้าข้อมูล และระบบฐานข้อมูล โดยสามารถแสดงตารางเทมเพลตของรูปแบบการจัดเก็บและนำออกข้อมูลได้ดังตารางที่ 3.1.2.2-1

ตารางที่ 3.1.2.2-1 รูปแบบตารางการจัดเก็บและนำออกข้อมูลความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรลุ่มน้ำเพชรบุรี

D/M/Y	D	M	Y	คบ. เพชรบุรี	อ่าง เก็บ น้ำ โป่ง ทะลุ	อ่าง เก็บ น้ำ น้อย	อ่าง เก็บ น้ำ วัง ยาว	อ่างเก็บ น้ำห้วย แม่ ประจันต์	อ่าง เก็บ น้ำ ห้วย ตะ แปด	อ่าง เก็บ น้ำ ห้วย ทราย	อ่าง เก็บ น้ำ ห้วย สงสัย	อ่าง เก็บ น้ำ ห้วย สาม เขา	อ่าง เก็บน้ำ หุบ กระพง
-------	---	---	---	-----------------	-------------------------------------	-----------------------------	-----------------------------------	--	--	-------------------------------------	--------------------------------------	---	---------------------------------

การออกแบบระบบฐานข้อมูลสำหรับชุดข้อมูลความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรลุ่มน้ำเพชรบุรี และการจัดทำระบบฐานข้อมูลสำหรับชุดข้อมูลความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรลุ่มน้ำเพชรบุรี โดยชุดข้อมูลความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรลุ่มน้ำเพชรบุรีเป็นชุดข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบของข้อมูลแบบข้อความและตัวเลข จึงได้มีการออกแบบการจัดเก็บข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของฐานข้อมูลแบบคลาวด์คอมพิวติ้ง โดยใช้ฐานข้อมูล MySQL และสามารถแสดงรูปแบบของตารางการจัดเก็บข้อมูลและคำอธิบายได้ดังตารางที่ 3.1.2.2-2

ตารางที่ 3.1.2.2-2 การเก็บข้อมูลชุดข้อมูลความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรลุ่มน้ำเพชรบุรี

NAME	TYPE	DETAIL
ID	bigint(20)	PRIMARY KEY, AUTO_INCREMENT
DATE	datetime	ว/ด/ป
DAY	TEXT	วันที่
MONTH	TEXT	เดือน
YEAR	TEXT	ปี
PETCHABURI01	decimal(6,2)	คบ.เพชรบุรี
PETCHABURI02	decimal(6,2)	อ่างเก็บน้ำโป่งทะเล
PETCHABURI03	decimal(6,2)	อ่างเก็บน้ำพุน้อย
PETCHABURI04	decimal(6,2)	อ่างเก็บน้ำวังยาว
PETCHABURI05	decimal(6,2)	อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์
PETCHABURI06	decimal(6,2)	อ่างเก็บน้ำห้วยตะแปด
PETCHABURI07	decimal(6,2)	อ่างเก็บน้ำห้วยทราย
PETCHABURI08	decimal(6,2)	อ่างเก็บน้ำห้วยสงสัย
PETCHABURI09	decimal(6,2)	อ่างเก็บน้ำห้วยสามเขา
PETCHABURI10	decimal(6,2)	อ่างเก็บน้ำหุบกระพง

3.1.2.3. ชุดข้อมูลความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรลุ่มน้ำเพชรบุรี ช่วงเวลาทำฝนหลวง

เป็นชุดข้อมูลที่ถูกจัดเก็บและนำออกข้อมูลในรูปแบบไฟล์ข้อมูลแบบ XLXS ซึ่งมีการจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบของข้อมูลตัวอักษร และข้อมูลตัวเลข โดยในส่วนของการจัดเก็บข้อมูล และนำออกข้อมูลนั้นทางทีมผู้พัฒนาได้มีการจัดทำเทมเพลตของชุดข้อมูล โดยมีการออกแบบตารางในการจัดเก็บข้อมูล เพื่อให้ชุดข้อมูลมีความสอดคล้องในส่วนของการจัดเก็บ และนำออกข้อมูลเพื่อให้เหมาะสมกับระบบการนำเข้าข้อมูล และระบบฐานข้อมูล โดยสามารถแสดงตารางเทมเพลตของรูปแบบการจัดเก็บและนำออกข้อมูลได้ดังตารางที่

3.1.2.3-1

ตารางที่ 3.1.2.3-1 รูปแบบตารางการจัดเก็บและนำออกข้อมูลความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรลุ่มน้ำเพชรบุรี ช่วงเวลาทำฝนหลวง

D/M/Y	D	M	Y	คบ. เพชรบุรี	อ่าง เก็บ น้ำ โป่ง ทะเล	อ่าง เก็บ น้ำพุน้อย	อ่าง เก็บ น้ำ วัง ยาว	อ่างเก็บ น้ำห้วย แม่ ประจันต์	อ่าง เก็บ น้ำ ห้วย ตะ แปด	อ่าง เก็บ น้ำ ห้วย ทราย	อ่าง เก็บ น้ำ ห้วย สงสัย	อ่าง เก็บ น้ำ ห้วย สาม เขา	อ่าง เก็บน้ำ หุบ กระพง
-------	---	---	---	-----------------	-------------------------------------	---------------------------	-----------------------------------	--	--	-------------------------------------	--------------------------------------	---	---------------------------------

การออกแบบระบบฐานข้อมูลสำหรับชุดข้อมูลความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรลุ่มน้ำเพชรบุรี ช่วงเวลาทำฝนหลวง และการจัดทำระบบฐานข้อมูลสำหรับชุดข้อมูลความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรลุ่มน้ำเพชรบุรี ช่วงเวลาทำฝนหลวง โดยชุดข้อมูลความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรลุ่มน้ำเพชรบุรี ช่วงเวลาทำฝนหลวง เป็นชุดข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบของข้อมูลแบบข้อความและตัวเลข จึงได้มีการออกแบบการจัดเก็บข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของฐานข้อมูลแบบคลาวด์คอมพิวติ้ง โดยใช้ฐานข้อมูล MySQL และสามารถแสดงรูปแบบของตารางการจัดเก็บข้อมูลและคำอธิบายได้ดังตารางที่ 3.1.2.3-2

**ตารางที่ 3.1.2.3-2** การเก็บข้อมูลชุดข้อมูลความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรลุ่มน้ำเพชรบุรี ช่วงเวลาทำฝนหลวง

NAME	TYPE	DETAIL
ID	bigint(20)	PRIMARY KEY, AUTO_INCREMENT
DATE	datetime	ว/ด/ป
DAY	TEXT	วันที่
MONTH	TEXT	เดือน
YEAR	TEXT	ปี
PETCHABURI01	decimal(6,2)	คบ.เพชรบุรี
PETCHABURI02	decimal(6,2)	อ่างเก็บน้ำโป่งทะลุ
PETCHABURI03	decimal(6,2)	อ่างเก็บน้ำพุน้อย
PETCHABURI04	decimal(6,2)	อ่างเก็บน้ำวังยาว
PETCHABURI05	decimal(6,2)	อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์
PETCHABURI06	decimal(6,2)	อ่างเก็บน้ำห้วยตะแปด
PETCHABURI07	decimal(6,2)	อ่างเก็บน้ำห้วยทราย
PETCHABURI08	decimal(6,2)	อ่างเก็บน้ำห้วยสงสัย
PETCHABURI09	decimal(6,2)	อ่างเก็บน้ำห้วยสามเขา
PETCHABURI10	decimal(6,2)	อ่างเก็บน้ำหุบกระพง

### 3.2. การออกแบบและพัฒนาระบบการจัดเก็บ การนำเข้าข้อมูล และการบริหารจัดการข้อมูล

การออกแบบและพัฒนาระบบการจัดเก็บและการนำเข้าข้อมูลนั้นจากการศึกษารูปแบบของชุดข้อมูลที่มีความจำเป็นต่อการจัดทำระบบบริหารจัดการข้อมูลเพื่อสนับสนุนการจัดทำระบบช่วยตัดสินใจในการจัดทำแผนหลวง มีชุดข้อมูลที่มีรูปแบบการจัดเก็บข้อมูลที่แตกต่างกัน โดยสามารถจำแนกออกไปเป็นสองชุดรูปแบบคือ 1.การจัดเก็บข้อมูลในลักษณะของการนำเข้าข้อมูลที่เป็นข้อความหรือตัวอักษรลงสู่ฐานข้อมูล 2.การจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบของไฟล์ข้อมูล เมื่อทางทีมผู้พัฒนาได้มีการศึกษาแล้วนั้น ได้มีการกำหนดแนวทางในการจัดทำและพัฒนาระบบเพื่อจัดเก็บ การนำเข้าข้อมูล และการบริหารจัดการข้อมูล โดยมีการแบ่งระบบออกเป็นสองส่วน ได้แก่ระบบการนำเข้าข้อมูลจากไฟล์ที่ได้มีการสร้างและกำหนดเทมเพลตข้อมูลเพื่อนำเข้าข้อมูล จะถูกพัฒนาขึ้นเพื่อจัดเก็บข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูล พร้อมทั้งพัฒนาระบบการบริหารจัดการข้อมูลควบคู่กันไปด้วย และอีกหนึ่งระบบจะเป็นระบบการนำเข้าข้อมูลในรูปแบบของไฟล์ข้อมูลโดยจะถูกพัฒนาในรูปแบบของโทรศัพท์ในการนำเข้าข้อมูลเพื่อนำเข้าข้อมูลที่เป็นรูปแบบไฟล์สู่ระบบ พร้อมทั้งระบบการบริหารจัดการข้อมูลในรูปแบบไฟล์ และระบบการส่งออกข้อมูล

#### 3.2.1. การพัฒนาระบบการจัดเก็บ การนำเข้าข้อมูล และการบริหารจัดการข้อมูลในรูปแบบข้อมูลดิบ

การพัฒนาระบบจัดเก็บ การนำเข้าข้อมูล และการบริหารจัดการข้อมูลในรูปแบบข้อมูลดิบเป็นส่วนหนึ่งของระบบในการบริหารจัดการข้อมูล การนำเข้าข้อมูล การส่งออกข้อมูล ที่เป็นข้อมูลในส่วนของชุดข้อมูลถูกจัดเก็บมาในรูปแบบของข้อมูลข้อความ หรือข้อมูลชุดตัวเลข เป็นระบบที่จัดทำขึ้นเพื่อนำเข้าข้อมูลสู่ฐานข้อมูลที่ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อเป็นการจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบของชุดข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการนำไปใช้งานต่อในรูปแบบของการประมวลผล หรือการนำข้อมูลไปแสดงในรูปแบบของข้อมูลดิจิทัล ในส่วนของระบบการจัดเก็บ การนำเข้าข้อมูล และการบริหารจัดการข้อมูลในรูปแบบข้อมูลดิบนั้นถูกพัฒนาขึ้นในรูปแบบของเว็บแอปพลิเคชัน สามารถเข้าถึงได้ผ่านเว็บเบราว์เซอร์สำหรับการเรียกใช้งานระบบผ่านช่องทางออนไลน์ ซึ่งทำให้ง่ายและสะดวกต่อการเข้าใช้งานระบบ โดยระบบนั้นจะถูกติดตั้งอยู่บนคลาวด์คอมพิวติ้งที่มีประสิทธิภาพสูง ทำให้รองรับกับการทำงานของชุดข้อมูลที่มีปริมาณมาก ในส่วนของการออกแบบและพัฒนาระบบนั้นได้มีการวิเคราะห์ในส่วนของการต้องการในการบริหารจัดการชุดข้อมูล เมื่อทางทีมผู้พัฒนาได้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลความต้องการของผู้ใช้งาน และมีการวิเคราะห์ระบบแล้วนั้น ทางทีมผู้พัฒนาได้มีการออกแบบส่วนของการทำงานของระบบเป็นส่วนของฟังก์ชันการทำงานซึ่งประกอบด้วย การเพิ่มชุดข้อมูล การเรียกดูข้อมูลในรูปแบบของข้อมูลดิบ การเรียกดูข้อมูลในรูปแบบของตาราง การบริหารจัดการตารางข้อมูล และการส่งออกข้อมูล

##### 3.2.1.1. การพัฒนาระบบการนำเข้าข้อมูลในรูปแบบข้อมูลดิบ

ในส่วนของระบบการนำเข้าข้อมูลในรูปแบบของข้อมูลดิบนั้น จะเป็นส่วนของระบบการนำเข้าข้อมูลที่ได้ถูกจัดเก็บตามรูปแบบของเทมเพลตข้อมูลที่ได้ถูกจัดเตรียมไว้สำหรับชุดข้อมูลนั้น หรือสามารถนำเข้าข้อมูลดิบที่ไม่ตรงตามรูปแบบเทมเพลตก็สามารถทำได้เช่นกัน ซึ่งในสองส่วนนี้จะส่งผลต่อระบบการประมวลผลข้อมูล การนำเข้าข้อมูลนั้นผู้ใช้งานสามารถนำเข้าข้อมูลได้โดยการจัดเตรียมข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของไฟล์ข้อมูล ที่ปะกอบไปด้วยข้อมูลตัวเลข และข้อมูลตัวอักษร จากนั้นผู้ใช้งานสามารถนำเข้าชุดข้อมูลได้ผ่านระบบการบริหารจัดการข้อมูลที่ทางทีมผู้พัฒนาได้มีการพัฒนาขึ้น โดยสามารถแสดงส่วนของการนำเข้าข้อมูลดิบได้ดังรูปที่ 3.2.1.1-1 และรูปที่ 3.2.1.1-2

## รายการฐานข้อมูลเพื่อสนับสนุนระบบช่วยตัดสินใจในการจัดทำแผนหลวง

ข้อมูลรายการชุดข้อมูลภายในระบบ

เพิ่มชุดข้อมูล

ปุ่มสำหรับการเรียกใช้ระบบการเพิ่มชุดข้อมูล

รูปที่ 3.2.1.1-1 ส่วนของการเรียกใช้งานระบบในส่วนของการเพิ่มชุดข้อมูลดิบ

ย้อนกลับ

ระบบการนำเข้าข้อมูลเข้าสู่ระบบฐานข้อมูล

เลือกชุดข้อมูลที่ต้องการ(.csv)  No file chosen

รูปที่ 3.2.1.1-2 ส่วนของระบบการเพิ่มชุดข้อมูล

3.2.2.2. การพัฒนาระบบในส่วนของการแสดงผลข้อมูล ในรูปแบบของข้อมูลดิบ

ระบบการเรียกดูข้อมูล ในส่วนของข้อมูลดิบนั้น จะเป็นส่วนของการประมวลผลข้อมูล เพื่อแสดงข้อมูลในรูปแบบของ raw data ซึ่งจะแสดงข้อมูลออกมาในรูปแบบของข้อมูลดิจิทัล ในลักษณะของ array ของชุดข้อมูล โดยผู้ใช้งานสามารถเรียกดูชุดข้อมูลที่ถูกนำเข้า และจัดเก็บข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูลได้ในทุกๆ ชุดข้อมูล แสดงระบบในส่วนของการใช้งานระบบการแสดงผลข้อมูลในรูปแบบของข้อมูลดิบได้ดังรูปที่ 3.2.2.2-1 และรูปที่ 3.2.2-2

รายการฐานข้อมูลเพื่อสนับสนุนระบบช่วยตัดสินใจในการจัดทำแผนหลวง

ข้อมูลรายการชุดข้อมูลภายในระบบ

เพิ่มชุดข้อมูล

ลำดับที่	ชุดข้อมูล	เรียกดูข้อมูล	เรียกดูข้อมูลรูปแบบตาราง	จัดการตาราง	ส่งออกข้อมูล
1	weatherstation_petchaburi	เรียกดูข้อมูล	เรียกดูข้อมูลรูปแบบตาราง	จัดการตาราง	ส่งออกข้อมูล
2	weatherstation_prachuap	เรียกดูข้อมูล	เรียกดูข้อมูลรูปแบบตาราง	จัดการตาราง	ส่งออกข้อมูล
3	wr	เรียกดูข้อมูล	เรียกดูข้อมูลรูปแบบตาราง	จัดการตาราง	ส่งออกข้อมูล
4	wr1	เรียกดูข้อมูล	เรียกดูข้อมูลรูปแบบตาราง	จัดการตาราง	ส่งออกข้อมูล

รูปที่ 3.2.2.2-1 ปุ่มการเรียกใช้งานในส่วนของการเรียกดูข้อมูล

```

*ย้อนกลับ
ระบบการเรียกดูข้อมูลในฐานข้อมูล
ข้อมูลภายในฐานข้อมูล weatherstation_phetchaburi

1. Array ( [0] => 2533-01-01 [DATE] => 2533-01-01 [1] => 1 [DAY] => 1 [2] => 1 [MONTH] => 1 [3] => 2533 [YEAR] => 2533 [4] => 0 [RAIN] => 0 [5] => 83 [HUMIDITY] => 83 [6] => 12 [WIND] => 12 [7] => 22.8 [DEWPOINT] => 22.8 [8] => 24.2 [MAXDEWPOINT] => 24.2 [9] => 66.8 [AIRWATER] => 66.8 [10] => 75.4 [MAXAIRWATER] => 75.4 [11] => [LATITUDE] => [12] => [LONGITUDE] => )
2. Array ( [0] => 2533-01-02 [DATE] => 2533-01-02 [1] => 2 [DAY] => 2 [2] => 1 [MONTH] => 1 [3] => 2533 [YEAR] => 2533 [4] => 0 [RAIN] => 0 [5] => 84 [HUMIDITY] => 84 [6] => 10 [WIND] => 10 [7] => 23 [DEWPOINT] => 23 [8] => 24.2 [MAXDEWPOINT] => 24.2 [9] => 68 [AIRWATER] => 68 [10] => 75.4 [MAXAIRWATER] => 75.4 [11] => [LATITUDE] => [12] => [LONGITUDE] => )
3. Array ( [0] => 2533-01-03 [DATE] => 2533-01-03 [1] => 3 [DAY] => 3 [2] => 1 [MONTH] => 1 [3] => 2533 [YEAR] => 2533 [4] => 1 [RAIN] => 1 [5] => 85 [HUMIDITY] => 85 [6] => 16 [WIND] => 16 [7] => 23.3 [DEWPOINT] => 23.3 [8] => 24 [MAXDEWPOINT] => 24 [9] => 69.8 [AIRWATER] => 69.8 [10] => 74 [MAXAIRWATER] => 74 [11] => [LATITUDE] => [12] => [LONGITUDE] => )
4. Array ( [0] => 2533-01-04 [DATE] => 2533-01-04 [1] => 4 [DAY] => 4 [2] => 1 [MONTH] => 1 [3] => 2533 [YEAR] => 2533 [4] => 0 [RAIN] => 0 [5] => 82 [HUMIDITY] => 82 [6] => 10 [WIND] => 10 [7] => 22.6 [DEWPOINT] => 22.6 [8] => 23.8 [MAXDEWPOINT] => 23.8 [9] => 65.6 [AIRWATER] => 65.6 [10] => 72.8 [MAXAIRWATER] => 72.8 [11] => [LATITUDE] => [12] => [LONGITUDE] => )
5. Array ( [0] => 2533-01-05 [DATE] => 2533-01-05 [1] => 5 [DAY] => 5 [2] => 1 [MONTH] => 1 [3] => 2533 [YEAR] => 2533 [4] => 0 [RAIN] => 0 [5] => 79 [HUMIDITY] => 79 [6] => 12 [WIND] => 12 [7] => 21.2 [DEWPOINT] => 21.2 [8] => 22.7 [MAXDEWPOINT] => 22.7 [9] => 58 [AIRWATER] => 58 [10] => 66.2 [MAXAIRWATER] => 66.2 [11] => [LATITUDE] => [12] => [LONGITUDE] => )
6. Array ( [0] => 2533-01-06 [DATE] => 2533-01-06 [1] => 6 [DAY] => 6 [2] => 1 [MONTH] => 1 [3] => 2533 [YEAR] => 2533 [4] => 0 [RAIN] => 0 [5] => 77 [HUMIDITY] => 77 [6] => 10 [WIND] => 10 [7] => 20.9 [DEWPOINT] => 20.9 [8] => 23.1 [MAXDEWPOINT] => 23.1 [9] => 56.5 [AIRWATER] => 56.5 [10] => 68.6 [MAXAIRWATER] => 68.6 [11] => [LATITUDE] => [12] => [LONGITUDE] => )
7. Array ( [0] => 2533-01-07 [DATE] => 2533-01-07 [1] => 7 [DAY] => 7 [2] => 1 [MONTH] => 1 [3] => 2533 [YEAR] => 2533 [4] => 0 [RAIN] => 0 [5] => 81 [HUMIDITY] => 81 [6] => 10 [WIND] => 10 [7] => 22.1 [DEWPOINT] => 22.1 [8] => 23.8 [MAXDEWPOINT] => 23.8 [9] => 62.6 [AIRWATER] => 62.6 [10] => 72.8 [MAXAIRWATER] => 72.8 [11] => [LATITUDE] => [12] => [LONGITUDE] => )
8. Array ( [0] => 2533-01-08 [DATE] => 2533-01-08 [1] => 8 [DAY] => 8 [2] => 1 [MONTH] => 1 [3] => 2533 [YEAR] => 2533 [4] => 0 [RAIN] => 0 [5] => 77 [HUMIDITY] => 77 [6] => 12 [WIND] => 12 [7] => 21 [DEWPOINT] => 21 [8] => 22.3 [MAXDEWPOINT] => 22.3 [9] => 57 [AIRWATER] => 57 [10] => 63.8 [MAXAIRWATER] => 63.8 [11] => [LATITUDE] => [12] => [LONGITUDE] => )
9. Array ( [0] => 2533-01-09 [DATE] => 2533-01-09 [1] => 9 [DAY] => 9 [2] => 1 [MONTH] => 1 [3] => 2533 [YEAR] => 2533 [4] => 0 [RAIN] => 0 [5] => 74 [HUMIDITY] => 74 [6] => 10 [WIND] => 10 [7] => 20.7 [DEWPOINT] => 20.7 [8] => 23.8 [MAXDEWPOINT] => 23.8 [9] => 55.5 [AIRWATER] => 55.5 [10] => 72.8 [MAXAIRWATER] => 72.8 [11] => [LATITUDE] => [12] => [LONGITUDE] => )
10. Array ( [0] => 2533-01-10 [DATE] => 2533-01-10 [1] => 10 [DAY] => 10 [2] => 1 [MONTH] => 1 [3] => 2533 [YEAR] => 2533 [4] => 0 [RAIN] => 0 [5] => 80 [HUMIDITY] => 80 [6] => 14 [WIND] => 14 [7] => 22.1 [DEWPOINT] => 22.1 [8] => 24.3 [MAXDEWPOINT] => 24.3 [9] => 62.6 [AIRWATER] => 62.6 [10] => 76.1 [MAXAIRWATER] => 76.1 [11] => [LATITUDE] => [12] => [LONGITUDE] => )
11. Array ( [0] => 2533-01-11 [DATE] => 2533-01-11 [1] => 11 [DAY] => 11 [2] => 1 [MONTH] => 1 [3] => 2533 [YEAR] => 2533 [4] => 0 [RAIN] => 0 [5] => 83 [HUMIDITY] => 83 [6] => 12 [WIND] => 12 [7] => 22.6 [DEWPOINT] => 22.6 [8] => 25 [MAXDEWPOINT] => 25 [9] => 65.6 [AIRWATER] => 65.6 [10] => 81 [MAXAIRWATER] => 81 [11] => [LATITUDE] => [12] => [LONGITUDE] => )
12. Array ( [0] => 2533-01-12 [DATE] => 2533-01-12 [1] => 12 [DAY] => 12 [2] => 1 [MONTH] => 1 [3] => 2533 [YEAR] => 2533 [4] => 0 [RAIN] => 0 [5] => 82 [HUMIDITY] => 82 [6] => 12 [WIND] => 12 [7] => 22.7 [DEWPOINT] => 22.7 [8] => 24.6 [MAXDEWPOINT] => 24.6 [9] => 66.2 [AIRWATER] => 66.2 [10] => 78.2 [MAXAIRWATER] => 78.2 [11] => [LATITUDE] => [12] => [LONGITUDE] => )

```

### รูปที่ 3.2.2.2-2 การแสดงผลข้อมูลในรูปแบบของข้อมูลดิบ

#### 3.2.2.3. การพัฒนาระบบในส่วนของการเรียกดูข้อมูลในรูปแบบของตาราง

เป็นส่วนหนึ่งของระบบในการแสดงผลข้อมูลที่ถูกจัดเก็บอยู่ในฐานข้อมูล โดยมีการประมวลผลและนำมาแสดงอยู่ในรูปแบบของตารางแสดงข้อมูล ผู้ใช้งานสามารถเรียกดูข้อมูลที่ถูกจัดเก็บเข้าสู่ระบบในรูปแบบของตารางแสดงข้อมูลได้ในทุกๆชุดข้อมูล และสามารถแสดงการใช้งานระบบในส่วนของการแสดงผลข้อมูลในรูปแบบของตารางได้ดังรูปที่ 3.2.2.3-1 และ 3.2.2.3-2

รายการฐานข้อมูลเพื่อสนับสนุนระบบช่วยตัดสินใจในการจัดทำแผนหลวง

ข้อมูลรายการชุดข้อมูลภายในระบบ

เพิ่มชุดข้อมูล

ลำดับที่	ชุดข้อมูล	เรียกดูข้อมูล	เรียกดูข้อมูลรูปแบบตาราง	จัดการตาราง	ส่งออกข้อมูล
1	weatherstation_phetchaburi	เรียกดูข้อมูล	เรียกดูข้อมูลรูปแบบตาราง	จัดการตาราง	ส่งออกข้อมูล
2	weatherstation_prachuap	เรียกดูข้อมูล	เรียกดูข้อมูลรูปแบบตาราง	จัดการตาราง	ส่งออกข้อมูล
3	wr	เรียกดูข้อมูล	เรียกดูข้อมูลรูปแบบตาราง	จัดการตาราง	ส่งออกข้อมูล
4	wr1	เรียกดูข้อมูล	เรียกดูข้อมูลรูปแบบตาราง	จัดการตาราง	ส่งออกข้อมูล

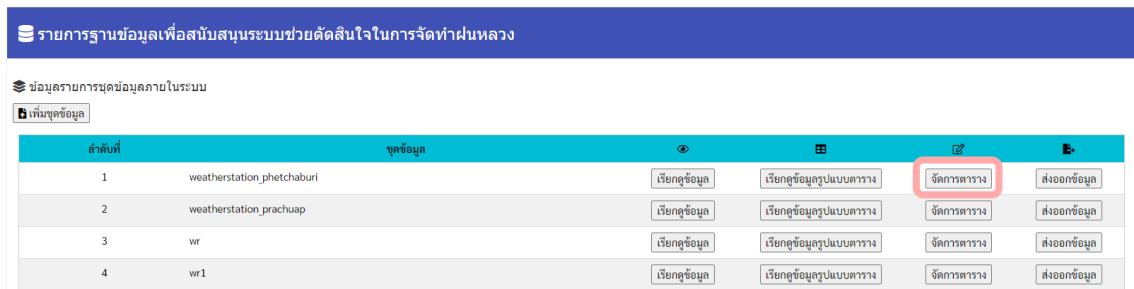
### รูปที่ 3.2.2.3-1 การเรียกดูข้อมูลในรูปแบบของตาราง

DATE	DAY	MONTH	YEAR	RAIN	HUMIDITY	WIND	DEWPOINT	MAXDEWPOINT	AIRWATER	MAXAIRWATER
2533-01-01	1	1	2533	0	83	12	22.8	24.2	66.8	75.4
2533-01-02	2	1	2533	0	84	10	23	24.2	68	75.4
2533-01-03	3	1	2533	1	85	16	23.3	24	69.8	74
2533-01-04	4	1	2533	0	82	10	22.6	23.8	65.6	72.8
2533-01-05	5	1	2533	0	79	12	21.2	22.7	58	66.2
2533-01-06	6	1	2533	0	77	10	20.9	23.1	56.5	68.6
2533-01-07	7	1	2533	0	81	10	22.1	23.8	62.6	72.8
2533-01-08	8	1	2533	0	77	12	21	22.3	57	63.8
2533-01-09	9	1	2533	0	74	10	20.7	23.8	55.5	72.8
2533-01-10	10	1	2533	0	80	14	22.1	24.3	62.6	76.1
2533-01-11	11	1	2533	0	83	12	22.6	25	65.6	81
2533-01-12	12	1	2533	0	82	12	22.7	24.6	66.2	78.2
2533-01-13	13	1	2533	1	83	14	23	24.9	68	80.3
2533-01-14	14	1	2533	0	81	12	22.9	23.8	67.4	72.8
2533-01-15	15	1	2533	0	81	12	22.7	24.3	66.2	76.1
2533-01-16	16	1	2533	10.6	82	14	23.5	24.9	71	80.3
2533-01-17	17	1	2533	0.4	85	16	23.8	24.6	72.8	78.2
2533-01-18	18	1	2533	0	80	18	22.6	24.2	65.6	75.4
2533-01-19	19	1	2533	0	79	16	22.3	24.3	63.8	76.1
2533-01-20	20	1	2533	0	81	13	22.2	24.2	63.2	75.4

### รูปที่ 3.2.2.3-2 การแสดงข้อมูลในรูปแบบของตารางข้อมูล

#### 3.2.2.4. การบริหารจัดการตารางข้อมูล

ชุดข้อมูลที่ถูกจัดเก็บไว้ในระบบฐานข้อมูลนั้น ผู้ใช้งานสามารถบริหารจัดการชุดข้อมูลนั้นได้ ทั้งในส่วนของ การแก้ไขชื่อตารางข้อมูล การลบตารางข้อมูล อีกทั้งยังสามารถแสดงส่วนของการเรียกใช้งานระบบในส่วนของ การบริหารจัดการตารางข้อมูลได้ ดังรูปที่ 3.2.2.4-1



### รูปที่ 3.2.2.4-4 ปุ่มสำหรับการเรียกใช้งานระบบในส่วนของ การบริหารจัดการตารางข้อมูล

- การแก้ไขชื่อตารางข้อมูล เป็นส่วนหนึ่งของระบบในการบริหารจัดการข้อมูล เพื่อแก้ไขชื่อของตารางข้อมูล ในรายชุดข้อมูลนั้นๆ สามารถแสดงส่วนจากระบบการแก้ไขชื่อตารางข้อมูลได้ดัง รูปที่ 3.2.2.4-5

- การลบตารางข้อมูล เป็นส่วนหนึ่งของระบบในการบริหารจัดการข้อมูลในการลบตารางข้อมูล ผู้ใช้งานสามารถลบตารางข้อมูลที่ผู้ใช้งานไม่ต้องการจัดเก็บข้อมูลได้ จากระบบในส่วนของการลบตารางข้อมูล สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2.2.4-5

รูปที่ 3.2.2.4-5 แสดงส่วนของระบบในการแก้ไขชื่อตารางข้อมูล และการลบตารางข้อมูล

### 3.2.2.5. การส่งออกข้อมูล

การส่งออกข้อมูลเป็นส่วนหนึ่งของระบบในการส่งออกข้อมูล จากระบบฐานข้อมูล โดยระบบจะมีการประมวลผลข้อมูล และส่งออกข้อมูลให้แก่ผู้ใช้งาน ในรูปแบบของไฟล์ข้อมูล เพื่อนำข้อมูลไปงานต่อในส่วนอื่นของระบบอื่น เช่นระบบการแสดงผลข้อมูลแบบจีโอแมพ ระบบการตัดสินใจโดยใช้แบบจำลองการวิเคราะห์ข้อมูล เป็นต้น ผู้ใช้งานสามารถส่งออกชุดข้อมูล ได้ในทุกๆชุดข้อมูลที่ถูกจัดเก็บไว้ในระบบฐานข้อมูล โดยแสดงภาพจากระบบในส่วนของการส่งออกข้อมูลได้ดังรูปที่ 3.2.2.5-1 และรูปที่ 3.2.2.5-2

ลำดับที่	ชุดข้อมูล	เรียกดูข้อมูล	เรียกดูข้อมูลรูปแบบตาราง	จัดการตาราง	ส่งออกข้อมูล
1	weatherstation_phetchaburi	เรียกดูข้อมูล	เรียกดูข้อมูลรูปแบบตาราง	จัดการตาราง	ส่งออกข้อมูล
2	weatherstation_prachuap	เรียกดูข้อมูล	เรียกดูข้อมูลรูปแบบตาราง	จัดการตาราง	ส่งออกข้อมูล
3	wr	เรียกดูข้อมูล	เรียกดูข้อมูลรูปแบบตาราง	จัดการตาราง	ส่งออกข้อมูล
4	wr1	เรียกดูข้อมูล	เรียกดูข้อมูลรูปแบบตาราง	จัดการตาราง	ส่งออกข้อมูล

รูปที่ 3.2.2.5-1 ภาพจากระบบในส่วนของการเรียกใช้งานระบบในส่วนของการส่งออกข้อมูล

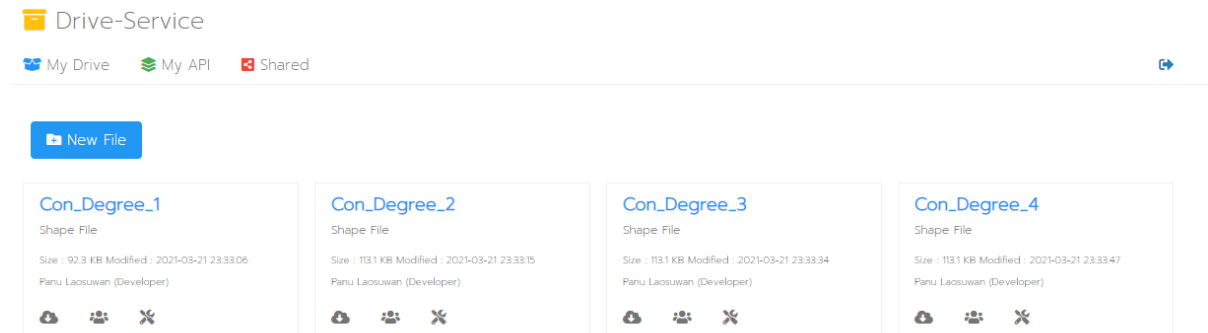
รูปที่ 3.2.2.5-2 ภาพจากระบบในส่วนของการประมวลผลและส่งออกข้อมูล

### 3.2.2. การพัฒนาระบบในส่วนของการนำเข้าข้อมูลในรูปแบบของไฟล์ข้อมูล

ระบบการนำเข้าข้อมูลในรูปแบบของไฟล์ข้อมูลนั้นเป็นส่วนหนึ่งของระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นในรูปแบบของเว็บแอปพลิเคชัน ที่ถูกติดตั้งอยู่บนคลาวด์คอมพิวเตอร์สามารถเข้าถึงได้ด้วยเว็บเบราว์เซอร์ผ่านช่องทางออนไลน์ โดยระบบในส่วนนี้นั้นได้ถูกพัฒนาขึ้นในรูปแบบของระบบการจัดเก็บข้อมูล เพื่อสนับสนุนการจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบของไฟล์ข้อมูลที่ไม่ใช่ข้อมูลดิบ โดยผู้ใช้งานสามารถนำเข้าไฟล์ข้อมูลของผู้ใช้งานที่ต้องการเข้าสู่ระบบการจัดเก็บข้อมูล พร้อมทั้งสามารถดาวน์โหลดไฟล์ข้อมูลนั้นๆกลับมาเพื่อใช้งานได้ โดยในการนำเข้าไฟล์นั้นผู้ใช้งานสามารถเพิ่มในส่วนของรายละเอียดในส่วนต่างๆ ของไฟล์นั้นๆได้

#### 3.2.2.1. ระบบหลักในส่วนของการนำเข้าข้อมูลในรูปแบบของไฟล์ข้อมูล

ระบบหลักในส่วนของการนำเข้าข้อมูลในรูปแบบของไฟล์ข้อมูลนั้น เป็นส่วนของการแสดงชุดข้อมูลที่ถูกจัดเก็บอยู่ในระบบการจัดเก็บข้อมูล พร้อมทั้งส่วนยังมีส่วนของปุ่มเชื่อมโยงเพื่อเรียกใช้งานระบบในส่วนต่างๆ อาทิเช่น ส่วนของการนำเข้าไฟล์ข้อมูล ส่วนของการดาวน์โหลดไฟล์ข้อมูล เป็นต้น สามารถแสดงภาพจากระบบในส่วนของการนำเข้าข้อมูลในรูปแบบของไฟล์ข้อมูลได้ดังรูปที่ 3.2.2.1-1



รูปที่ 3.2.2.1-1 ภาพจากระบบในส่วนของการระบบหลัก

### 3.2.2.2. ระบบการนำเข้าไฟล์ข้อมูล

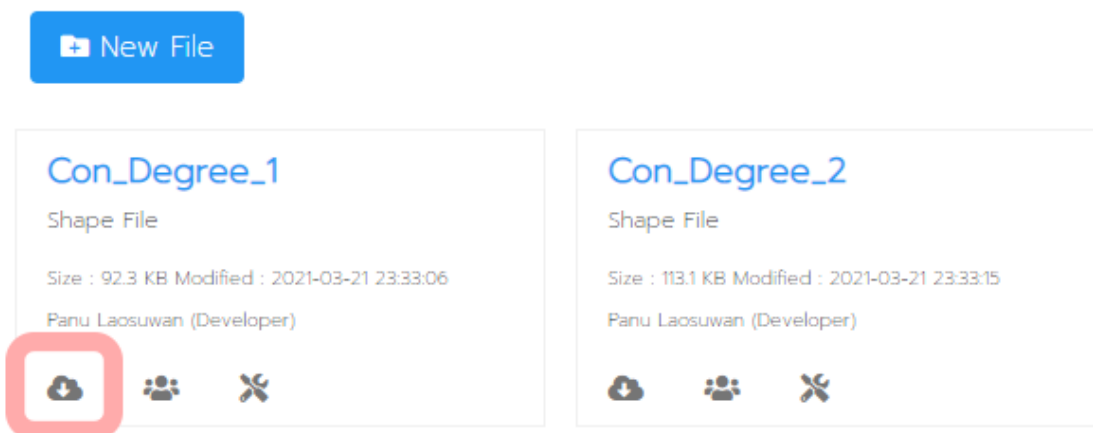
ระบบในส่วนของการนำเข้าไฟล์ข้อมูล เป็นส่วนของระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถนำเข้าไฟล์ข้อมูลที่ไม่ได้ถูกจัดเก็บรวบรวมมาในรูปแบบของข้อมูลดิบเพื่อให้สามารถนำเข้าไฟล์เข้าสู่ระบบการจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบของคลาวด์คอมพิวเตอร์ได้ โดยระบบในส่วนนี้ผู้ใช้งานสามารถนำเข้าไฟล์ข้อมูลในรูปแบบไฟล์ที่ถูกกำหนดไว้ เข้าสู่ระบบการจัดเก็บข้อมูลได้ อาทิเช่นไฟล์ข้อมูลรูปภาพ ไฟล์ข้อมูลแบบ Shape File เป็นต้น ในส่วนของการนำเข้าไฟล์ข้อมูลนั้นผู้ใช้งานจะสามารถกำหนดชื่อของไฟล์ข้อมูล พร้อมทั้งเพิ่มรายละเอียดของไฟล์ข้อมูลได้ สามารถแสดงภาพจากระบบในส่วนของการนำเข้าไฟล์ข้อมูลได้ดังรูปที่ 3.2.2.2-1



รูปที่ 3.2.2.2-1 ภาพจากระบบในส่วนของการนำเข้าไฟล์ข้อมูล

### 3.2.2.3. ระบบการดาวน์โหลดข้อมูล

เป็นส่วนหนึ่งของระบบในการส่งออกชุดข้อมูลที่ถูกจัดเก็บไว้ในระบบการจัดเก็บข้อมูล โดยระบบในส่วนนี้นั้นผู้ใช้งานสามารถเลือกดาวน์โหลดข้อมูลในส่วนของชุดข้อมูลที่ผู้ใช้งานต้องการได้ แสดงภาพจากระบบในส่วนของการดาวน์โหลดข้อมูลได้ดังรูปที่ 3.2.2.3-1



รูปที่ 3.2.2.3-1 แสดงภาพจากระบบในส่วนของการดาวน์โหลดไฟล์ข้อมูล

### 3.3. ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (การเชื่อมโยงและใช้งานระบบสารสนเทศแม่ข่ายเชิงพื้นที่เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวง)

ระบบสารสนเทศแม่ข่ายเชิงพื้นที่เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวง เป็นส่วนหนึ่งของระบบในการแสดงข้อมูลต่างๆในรูปแบบของแผนที่ โดยมีการแบ่งการทำงานของแสดงผลข้อมูลเป็นลำดับชั้นข้อมูลเชิงพื้นที่ โดยในส่วนของระบบนั้นจะประกอบด้วยชุดข้อมูลความต้องการน้ำของพืช ข้อมูลสภาพอากาศรายวัน และชั้นข้อมูลพื้นฐานอื่นๆ ที่มีความจำเป็นต่อการวิเคราะห์พื้นที่การปฏิบัติการฝนหลวง

#### 3.3.1. การเข้าถึงระบบสารสนเทศแม่ข่ายเชิงพื้นที่เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวง

ระบบสารสนเทศแม่ข่ายเชิงพื้นที่เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวงนั้นสามารถเข้าถึงได้ผ่านช่องทางออนไลน์ โดยใช้เว็บเบราว์เซอร์ ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงได้ผ่าน URL <https://geomap.royalrain.go.th/portal/home/index.html> จากนั้นให้ผู้ใช้งานเลือกที่เมนู “Map” จากแถบเมนูด้านบนของระบบสารสนเทศแม่ข่ายเชิงพื้นที่เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวง แสดงได้ดังรูปที่

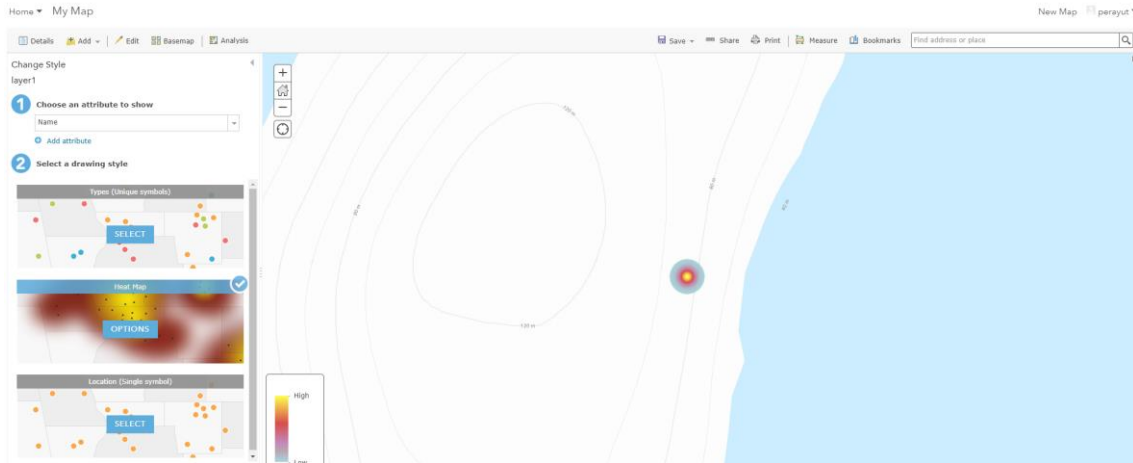
3.3.1-1



รูปที่ 3.3.1-1 การเข้าถึงระบบสารสนเทศแม่ข่ายเชิงพื้นที่เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวง

### 3.3.2. ส่วนประกอบของระบบสารสนเทศแม่ข่ายเชิงพื้นที่เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวง

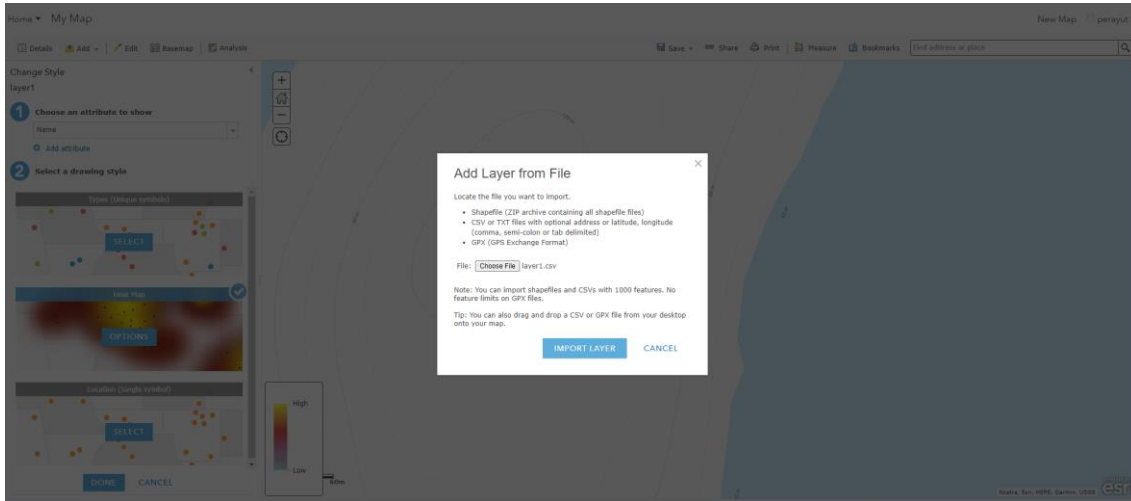
ในส่วนของระบบสารสนเทศแม่ข่ายเชิงพื้นที่เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวงนั้น ประกอบด้วยส่วนของเมพสำหรับการทำงานกับระบบในส่วนของคุณข้อมูล จะแสดงผลข้อมูลในรูปแบบของแผนที่ สำหรับส่วนของการแสดงเลเยอร์ข้อมูลในชุดข้อมูลต่างๆ จะสามารถแสดงภาพจากระบบสารสนเทศแม่ข่ายเชิงพื้นที่เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวงได้ดังรูปที่ 3.3.2-1



รูปที่ 3.3.2-1 ระบบสารสนเทศแม่ข่ายเชิงพื้นที่เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวง

### 3.3.3. การนำเข้าข้อมูลระบบสารสนเทศแม่ข่ายเชิงพื้นที่เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวง

ในส่วนของการนำเข้าข้อมูลระบบสารสนเทศแม่ข่ายเชิงพื้นที่เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวงนั้น เป็นส่วนของระบบในการอัปโหลดข้อมูลจากชุดข้อมูลที่ได้มีการจัดเตรียมไว้ เพื่อแสดงผลข้อมูลในรูปแบบของพิกัดบนแผนที่ หรือรูปแบบเชิงพื้นที่ที่สามารถแสดงภาพจากระบบในส่วนของการนำเข้าข้อมูลได้ดังรูปที่ 3.3.3-1



รูปที่ 3.3.3-1 แสดงภาพจากระบบในส่วนของการนำเข้าข้อมูล

#### 4 สรุปและข้อเสนอแนะ (Conclusion and Recommendation)

การวิจัยในครั้งนี้ เป็นการพัฒนาระบบฐานข้อมูลของพารามิเตอร์ และปัจจัยที่มีผลต่อการทำฝนหลวง และพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจทำฝนหลวง. ในลักษณะของระบบเชื่อมโยงข้อมูลแสดงผลในภาพแผนที่ ในโปรแกรม Fonluang Geo-Map ซึ่งในปีที่ 1 ของการวิจัยจะเป็นพัฒนาระบบที่เป็นข้อมูลจากการวิเคราะห์ของโครงการย่อยที่ 1-4 ในลักษณะที่ยังไม่เป็น real-time ซึ่งต่อไปในการศึกษาปีที่ 2 ระบบฐานข้อมูลจะพัฒนาให้ทำงานแบบอัตโนมัติและมีการแสดงผลระบบสนับสนุนการตัดสินใจในลักษณะ real-time เพื่อสนับสนุนการทำปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ. 2564 และเพิ่มผลสัมฤทธิ์ของการทำฝนหลวงต่อไป

## เอกสารอ้างอิง (References)

Gerrity, T. P., Jr. 1971. The Design of Man-Machine Decision Systems. Sloan Management Review, 12: 2, 59 – 75.

Kroenke, D. M., Hatch, R. 1994. Management Information Systems. Mitchell McGraw-Hill, 813 p.