รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การประเมินปริมาณความต้องการน้ำในพื้นที่ราบภาคกลาง (ระยะที่ 1)

โดย ชูพันธุ์ ชมภูจันทร์ และคณะ

พฤศจิกายน 2563

สัญญาเลขที่ SIP6230021

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การประเมินปริมาณความต้องการน้ำในพื้นที่ราบภาคกลาง (ระยะที่ 1)

คณะผู้วิจัย	**สังกัด**
ชูพันธุ์ ชมภูจันทร์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เสกสรรค์ มธุลาภรังสรรค์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
นิธิรัชต์ สงวนเดือน	คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ชัยศรี สุขสาโรจน์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ธันวดี สุขสาโรจน์	สถาบันพัฒนาสุขภาพอาเซียน มหาวิทยาลัยมหิดล
Takanori Nagano	Graduate School of Agricultural Science, Kobe University
Akihiko Kotera	Climate Change and Development Program, Vietnam Japan University

ชุดโครงการเข็มมุ่ง ด้านสังคม แผนงานการบริหารจัดการน้ำ
แผนงานวิจัยที่ 3 พัฒนาเทคโนโลยีและสนับสนุนด้านพฤติกรรมผู้ใช้น้ำ

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.)
(ความเห็นในรายงานนี้ เป็นของผู้วิจัย สกสว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

รายละเอียดโครงการ

สัญญาเลขที่: SIP6230021

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) :การประเมินปริมาณความต้องการน้ำในพื้นที่ราบภาคกลาง (ระยะที่ 1)

(ภาษาอังกฤษ) : Estimation of water demand in the Central Plain of Thailand (Phase 1)

หัวหน้าโครงการ อ.ดร.ชูพันธุ์ ขมภูจันทร์ สังกัด คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผู้ประกอบการร่วมทุน –

งบประมาณ 3,991,300.00 บาท

ระยะเวลา 30 สิงหาคม 2562 ถึง 30 กันยายน 2563

บทสรุปผู้บริหาร (Executive Summary)

การวางแผนบริหารจัดการน้ำต้นทุนที่มีอยู่ในอ่างเก็บน้ำไปสู่กิจกรรมการใช้น้ำในภาคส่วนต่าง ๆ มีความซับซ้อน โดยเฉพาะภาคการเกษตรที่มีปริมาณความต้องการใช้น้ำในสัดส่วนที่ค่อนข้างสูง โดยพบว่าวิธีการประเมินความต้องการน้ำตามแนวทางดั้งเดิมไม่สอดคล้องกับความเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมการเพาะปลูกและสภาพอากาศตามจริง นอกจากนี้การใช้น้ำในภาคส่วนชุมชนและภาคอุตสาหกรรมยังขาดตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้น้ำรวมทั้งไม่มีแนวปฏิบัติที่ดีในการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ โครงการวิจัย “การประเมินปริมาณความต้องการน้ำในพื้นที่ราบภาคกลาง (ระยะที่ 1)” จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินหาค่าฐาน (baseline) ปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการเกษตร การอุปโภคบริโภคและการอุตสาหกรรมในพื้นที่ราบภาคกลาง เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนในการพัฒนากลยุทธ์การปรับเปลี่ยนแนวทางการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในรูปแบบใหม่ (reservoir re-operation) และนำไปสู่การวางแผนกลยุทธ์ในการจัดการด้านความต้องการใช้น้ำ (demand-side water management) ได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน ทั้งนี้โดยมีเป้าหมายสุดท้ายคือสามารถลดความต้องการใช้น้ำได้ประมาณ 15%

ในการประเมินความต้องการน้ำในภาคการเกษตรใช้วิธีการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมร่วมกับเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เพื่อประเมินพื้นที่เพาะปลูก ฝนใช้การ (effective rainfall) สัมประสิทธิ์การใช้น้ำพืช (Kc) ปริมาณการใช้น้ำพืช (ETc) และปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิ (net irrigation water requirement) ในระดับโครงการชลประทาน สำหรับการประเมินความต้องการน้ำในภาคชุมชนได้คัดเลือกพื้นที่ตัวอย่างจำนวน 4 ตำบลเพื่อศึกษาข้อมูลการใช้น้ำ การรับรู้และพฤติกรรมการใช้น้ำในระดับครัวเรือนโดยใช้แบบสอบถามและการสัมภาษณ์เชิงลึก ส่วนการประเมินความต้องการน้ำในภาคอุตสาหกรรมใช้การสุ่มตัวอย่างโรงงานอุตสาหกรรมแบบกำหนดสัดส่วนเพื่อสำรวจข้อมูลอัตราการใช้น้ำต่อหน่วยผลิตภัณฑ์เพื่อนำไปหาแนวทางเชิงกลยุทธ์ในการลดการใช้น้ำหรือเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในกลุ่มอุตสาหกรรมนำร่อง

สรุปผลการศึกษาข้อมูลค่าฐาน (baseline) ด้านปริมาณความต้องการน้ำในแต่ละภาคส่วนดังต่อไปนี้

1) ภาคการเกษตรในเขตชลประทานจำนวน 35 โครงการ พื้นที่ชลประทาน 9.2 ล้านไร่ มีความต้องการน้ำชลประทานสุทธิ (net irrigation water requirement) เฉลี่ยปีละ 9,517.1 ล้านลูกบาศก์เมตร

- กลุ่มโครงการชลประทานลุ่มน้ำปิงตอนล่าง มีความต้องการน้ำเฉลี่ยปีละ 1,023.0 ล้านลูกบาศก์เมตร
- กลุ่มโครงการชลประทานลุ่มน้ำน่านตอนล่าง มีความต้องการน้ำเฉลี่ยปีละ 1,194.6 ล้านลูกบาศก์เมตร
- กลุ่มโครงการชลประทานเจ้าพระยา มีความต้องการน้ำเฉลี่ยปีละ 7,299.5 ล้านลูกบาศก์เมตร

2) ภาคครัวเรือนมีอัตราการใช้น้ำเฉลี่ย 242 ลิตรต่อคนต่อวัน สำหรับในพื้นที่ราบภาคกลางทั้งหมด 1,957 ตำบล ประชากรรวม 18.2 ล้านคน (ปี พ.ศ. 2562) มีความต้องการน้ำประมาณ 638.8 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี โดยมีแนวโน้มความต้องการน้ำเพิ่มมากขึ้นในปี พ.ศ. 2582 เป็น 790.7 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี

3) ภาคอุตสาหกรรมในพื้นที่ราบภาคกลาง มีโรงงานทั้งสิ้น 43,777 โรงงาน (ปี พ.ศ. 2562) มีความต้องการน้ำประมาณ 1,618.0 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี โดยกลุ่มโรงงานที่มีสัดส่วนการใช้น้ำมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ กลุ่มโรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับซีเมนต์ กลุ่มโรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับสัตว์ และกลุ่มโรงงานผลิตกระดาษ/เยื่อกระดาษ

จากผลการวิจัย ได้แนวทางและข้อเสนอแนะสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในแต่ละภาคส่วนดังต่อไปนี้

1) ภาคการเกษตรในเขตชลประทาน

- ปรับอัตราส่วนปริมาณน้ำที่จัดสรรในช่วงฤดูแล้ง:ฤดูฝน เป็น 65:35 ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ใกล้เคียงกับความต้องการน้ำชลประทานจริงในพื้นที่
- กรณีน้ำต้นทุนมีอย่างจำกัด การจัดสรรน้ำในช่วงฤดูแล้งให้ใช้อัตราส่วนน้ำชลประทานจัดสรร (Allocation Requirement Ratio: ARR) เป็นแฟกเตอร์ปรับลดปริมาณน้ำที่จะจัดสรรดังนี้
  - กลุ่มโครงการชลประทานลุ่มน้ำปิงตอนล่าง ใช้ค่า ARR = 0.60
  - กลุ่มโครงการชลประทานลุ่มน้ำน่านตอนล่าง ใช้ค่า ARR = 0.64
  - กลุ่มโครงการชลประทานเจ้าพระยาฝั่งตะวันตกตอนบน ใช้ค่า ARR = 0.84
  - กลุ่มโครงการชลประทานเจ้าพระยาฝั่งตะวันออกตอนบน ใช้ค่า ARR = 0.94
  - กลุ่มโครงการชลประทานเจ้าพระยาตอนล่าง ไม่ต้องใช้ค่า ARR เนื่องจากเป็นโครงการประเภทรับน้ำนอง สามารถใช้น้ำ Return Flow จากโครงการตอนบนได้
- ใช้ข้อมูลฝนพยากรณ์จากแบบจำลอง CFSV2 มาประเมินเป็นฝนใช้การเพื่อปรับแผนการส่งน้ำรายสัปดาห์

2) ภาคครัวเรือน

- พัฒนากลยุทธ์การสร้างการรับรู้และปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้น้ำประปา เนื่องจากพบว่ามีสัดส่วนของปริมาณการใช้น้ำประปาระหว่างกิจกรรมภายในอาคารและนอกอาคารเฉลี่ย 70:30 ซึ่งเป็นการใช้น้ำประปาที่ผิดวัตถุประสงค์โดยไม่เกิดมูลค่าเพิ่มจากการใช้น้ำ
- พัฒนากลยุทธ์การสื่อสารให้ประชาชนเกิดการรับรู้ที่เที่ยงตรงกับพฤติกรรมของตนเอง เนื่องจากพบว่าประชาชนมีการประเมินตนเองว่าใช้น้ำในครัวเรือนน้อยกว่าปริมาณข้อมูลจริงที่สำรวจ (underestimate)

3) ภาคอุตสาหกรรม

- ดำเนินการปรับปรุงอัตราการใช้น้ำให้มีความสอดคล้องกับเทคโนโลยีการผลิตในปัจจุบันมากยิ่งขึ้น โดยควรพิจารณาเริ่มดำเนินการในกลุ่มอุตสาหกรรมที่การใช้น้ำเป็นทรัพยากรสำคัญในการผลิต เช่น กลุ่มอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมการเกษตร และกลุ่มอุตสาหกรรมพลังงาน
- พัฒนากลยุทธ์การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในภาคอุตสาหกรรม โดยมุ่งเน้นไปยังกลุ่มอุตสาหกรรมพลังงาน เนื่องจากมีอัตราการใช้น้ำต่อหน่วยผลิตภัณฑ์มากกว่างานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากลุ่มอุตสาหกรรมดังกล่าวยังมีช่องว่างในการพัฒนาเทคโนโลยีในการประหยัดน้ำ

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ: SIP6230021

ชื่อโครงการ: การประเมินปริมาณความต้องการน้ำในพื้นที่ราบภาคกลาง (ระยะที่ 1)

ชื่อนักวิจัย: ชูพันธุ์ ชมภูจันทร์[1], เสกสรรค์ มธุลาภรังสรรค์[1] , นิธิรัชต์ สงวนเดือน[1], ชัยศรี สุขสาโรจน์[1], ธันวดี สุขสาโรจน์[2], Takanori Nagano[3], Akihiko Kotera[4]

[1]มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

[2]มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตศาลายา

[3]Kobe University

[4]Vietnam Japan University

Email Address: fengcpcc@ku.ac.th

ระยะเวลาโครงการ: สิงหาคม 2562 ถึง กันยายน 2563

โครงการวิจัยนี้มุ่งเน้นการประเมินหาค่าฐาน (baseline) ปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการเกษตร การอุปโภคบริโภคและการอุตสาหกรรมในพื้นที่ราบภาคกลาง เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนในการพัฒนากลยุทธ์การปรับเปลี่ยนแนวทางการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในรูปแบบใหม่ โดยการประเมินความต้องการน้ำในภาคการเกษตรใช้วิธีการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมร่วมกับเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เพื่อประเมินพื้นที่เพาะปลูก ฝนใช้การ สัมประสิทธิ์การใช้น้ำพืช ปริมาณการใช้น้ำพืชและปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิในระดับโครงการชลประทาน สำหรับการประเมินความต้องการน้ำในภาคชุมชนได้คัดเลือกพื้นที่ตัวอย่างจำนวน 4 ตำบลเพื่อศึกษาข้อมูลการใช้น้ำ การรับรู้และพฤติกรรมการใช้น้ำในระดับครัวเรือนโดยใช้แบบสอบถามและการสัมภาษณ์เชิงลึก ส่วนการประเมินความต้องการน้ำในภาคอุตสาหกรรมใช้การสุ่มตัวอย่างโรงงานอุตสาหกรรมแบบกำหนดสัดส่วนเพื่อสำรวจข้อมูลอัตราการใช้น้ำต่อหน่วยผลิตภัณฑ์เพื่อนำไปหาแนวทางเชิงกลยุทธ์ในการลดการใช้น้ำหรือเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในกลุ่มอุตสาหกรรมนำร่อง

ผลการพัฒนาแบบจำลองปัญญาประดิษฐ์ พบว่า โมเดล ResNet101 เป็นโมเดลชนิดการเรียนรู้เชิงลึกที่มีความเหมาะสมสำหรับเป็นต้นแบบเพื่อการจำแนกพื้นที่ปลูกข้าวและระยะการเจริญเติบโตของข้าวจากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 ผลการประเมินพื้นที่เพาะปลูกข้าวด้วยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม MODIS โดยใช้เกณฑ์ค่าขีดแบ่งของดัชนีร่วมระหว่างดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ดัชนีน้ำ (NDWI) และดัชนีน้ำท่วม (NDFI) พบว่ามีความสอดคล้องกับผลการสำรวจภาคสนาม ผลการประเมินค่าฐานความต้องการน้ำชลประทานสุทธิสำหรับโครงการชลประทานในพื้นที่ราบภาคกลาง เฉลี่ยปีละ 9,517.1 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยมีข้อเสนอแนะให้ปรับอัตราส่วนปริมาณน้ำที่จัดสรรในฤดูแล้ง:ฤดูฝน เป็น 65:35 ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ใกล้เคียงกับความต้องการน้ำในพื้นที่ รวมทั้งเสนอแนะให้ใช้อัตราส่วนน้ำชลประทานจัดสรร (Allocation Requirement Ratio: ARR) เป็นแฟกเตอร์ปรับลดปริมาณน้ำที่จะจัดสรรในช่วงฤดูแล้ง รวมทั้งเสนอแนะให้ใช้ข้อมูลฝนพยากรณ์จากแบบจำลอง CFSV2 มาประเมินเป็นฝนใช้การเพื่อปรับแผนการส่งน้ำรายสัปดาห์

ผลการประเมินปริมาณความต้องการน้ำในภาคชุมชนและอุตสาหกรรม ได้ประเมินค่าฐานความต้องการใช้น้ำรายตำบลจากข้อมูลจำนวนประชากรและจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมพบว่าในพื้นที่ราบภาคกลางมีความต้องการน้ำในภาคชุมชนและอุตสาหกรรมประมาณ 638.8 และ 1,618.0 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปีตามลำดับ ผลการศึกษาการใช้น้ำในพื้นที่ตำบลนำร่องพบว่ามีอัตราการใช้น้ำเฉลี่ย 242 ลิตรต่อคนต่อวัน โดยประชากรในพื้นที่ตำบลนำร่องมีการประเมินตนเองว่าใช้น้ำน้อยกว่าปริมาณข้อมูลจริงที่สำรวจ สำหรับกลยุทธ์การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในระดับครัวเรือนควรมุ่งไปที่การสร้างการรับรู้และปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้น้ำประปา เนื่องจากพบว่ามีสัดส่วนของปริมาณการใช้น้ำประปาระหว่างกิจกรรมภายในอาคารและนอกอาคารเฉลี่ย 70:30 ผลการศึกษาการใช้น้ำเพื่อการอุตสาหกรรมพบว่าปริมาณการใช้น้ำไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับกำลังการผลิต ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโรงงานมีกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน สำหรับกลยุทธ์การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในภาคอุตสาหกรรมควรมุ่งเน้นไปยังกลุ่มอุตสาหกรรมพลังงานเนื่องจากมีอัตราการใช้น้ำต่อหน่วยผลิตภัณฑ์มากกว่างานวิจัยที่ผ่านมา แสดงให้เห็นว่ากลุ่มอุตสาหกรรมดังกล่าวยังมีช่องว่างในการพัฒนาเทคโนโลยีในการประหยัดน้ำ

Abstract

Project Code: SIP6230021

Project Title: Estimation of water demand in the Central Plain of Thailand (Phase 1)

Researchers: Chuphan Chompuchan[1], Seksan Mathulaprangsan[1],
Nitirach Sa-nguanduan[1], Chaisri Suksaroj[1], Thunwadee Suksaroj[2],
Takanori Nagano[3], Akihiko Kotera[4]
[1]Kasetsart University (Kamphaeng Saen Campus)
[2] Mahidol University (Salaya Campus)
[3]Kobe University
[4]Vietnam Japan University

Email Address: fengcpcc@ku.ac.th

Project Duration: August 2019 - September 2020

This research aims to assess the baseline of agricultural, domestic and industrial water demand in the Central Plain of Thailand to support the development of an adaptation strategy towards reservoir re-operation. To assess agricultural water demand, remote sensing satellite image processing techniques and deep learning techniques were used to assess cultivated area, effective rainfall, crop coefficient (Kc), crop water requirement (ETc) and net irrigation water requirement (NIR) of the irrigation schemes. To assess domestic water demand, 4 sub-districts were selected to study water use at the household level including the perception and behavior of water use using questionnaires and in-depth interviews. To assess industrial water demand, a purposive sampling was used to explore the water consumption rates per unit of product in order to develop a strategic approach to reducing water use or increasing water use efficiency in pilot industries.

The results of Artificial Intelligence models development revealed that ResNet101 is a suitable deep learning prototype model for classifying rice cultivated area and growth phases from Sentinel-2 satellite imagery. The results of rice cultivated area assessment using index-based derived from MODIS satellite imagery i.e. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Difference Water Index (NDWI) and Normalized Difference Flood Index (NDFI) with threshold value criteria were found to be consistent with the results of the field investigation. It was found that the baseline of NIR annual average is 9,517.1 million cubic meters, which is estimated for the irrigation schemes in the Central Plain. The ratio of water allocated in the dry season: rainy season of 65:35 was suggested, which is a similar

proportion to the actual water demand. The Allocation Requirement Ratio (ARR) was recommended as a reduce factor for dry season water allocation. In addition, the use of forecast rainfall CFSV2 model to evaluate the effective rain was recommended to adjust the weekly water delivery plan.

The baseline of domestic and industrial water demand in the Central Plain, based on the number of population and industrial factory, were approximately 638.8 and 1,618.0 million cubic meters, respectively. The results of water use rate of 242 liters per person per day was found in the pilot sub-district. The population self-assessments in the pilot sub-district found that they underestimated their use of water. The strategy to improve water usage efficiency at the household level should be aimed at raising awareness and adjusting water consumption behavior, since it had been found that the average proportion of water consumption between indoor and outdoor activities is 70:30. The results of industrial water use showed that the water consumption had no linear relationship with the production capacity. It could be that the factory has different production processes. The strategy to increase the industrial water use efficiency should focus on the energy industry. Due to the greater water usage rate per product than the past research, it shows that the energy industry has gaps in developing water-saving technologies.

สารบัญ

บทสรุปผู้บริหาร (Executive Summary)..... i
บทคัดย่อ iii
Abstract v
สารบัญ vii
สารบัญภาพ..... ix
สารบัญตาราง..... xi
1. บทนำ.....- 1 -
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....- 1 -
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ .....- 2 -
2. ขั้นตอนการดำเนินงาน.....- 3 -
2.1 กรอบการวิจัยและพื้นที่ศึกษา .....- 3 -
2.2 พื้นที่ศึกษา.....- 4 -
1) พื้นที่ศึกษาการประเมินความต้องการน้ำในภาคการเกษตร .....- 4 -
2) พื้นที่ศึกษาการประเมินปริมาณความต้องการน้ำในภาคส่วนชุมชนที่อยู่อาศัยและอุตสาหกรรม.....- 6 -
3. ผลการดำเนินงาน .....- 9 -
3.1 การวิเคราะห์รูปแบบการเพาะปลูกพืชจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก .....- 9 -
1) กระบวนการหลักและภาพรวมของระบบ..... - 10 -
2) การได้มาของภาพถ่ายดาวเทียมและการประมวลผลเบื้องต้น..... - 15 -
3) โมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่ใช้พัฒนาระบบ..... - 21 -
4) การทดลองและผลการทดลอง..... - 24 -
5) สรุปผลการทดลอง..... - 27 -
3.2 การประเมินความต้องการน้ำในภาคการเกษตรด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม..... - 29 -
1) การประเมินพื้นที่เพาะปลูก (cultivated area) ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ..... - 31 -
2) สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (crop coefficient, Kc)..... - 36 -
3) ฝนใช้การ (effective rainfall)..... - 43 -
4) ปริมาณการใช้น้ำพืช (crop evapotranspiration, ET_c)..... - 45 -
5) ปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิ (net irrigation water requirement)..... - 48 -
6) ปริมาณการใช้น้ำของพืชจริง (actual evapotranspiration)..... - 51 -
7) การประเมินสมรรถนะการดำเนินงานด้านการชลประทาน (irrigation performance assessment)..... - 54 -
8) สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ ..... - 60 -
3.3 การศึกษาการรับรู้และพฤติกรรมการใช้น้ำของชุมชนที่อยู่อาศัยเพื่อการวางแผนเชิงกลยุทธ์การลดการใช้น้ำ - 62 -

1) การประเมินปริมาณความต้องการน้ำในภาคส่วนชุมชนที่อยู่อาศัย ..... - 62 -
2) การจัดเตรียมเครื่องมือ การสำรวจข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล ..... - 64 -
3) ผลการศึกษาการรับรู้และพฤติกรรมการใช้น้ำของชุมชนที่อยู่อาศัย ..... - 66 -
4) ผลการศึกษาปริมาณการใช้น้ำต่อครัวเรือน ..... - 75 -
5) การวิเคราะห์ข้อเสนอแนะเชิงกลยุทธ์เพื่อลดการใช้น้ำในพื้นที่เขตที่ราบภาคกลางตอนบน ..... - 77 -
3.4 การวิเคราะห์สถานการณ์และแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในภาคอุตสาหกรรมนำร่อง ..... - 79 -
1) การประเมินความต้องการน้ำในภาคอุตสาหกรรม ..... - 80 -
2) การหาค่าฐาน (baseline) ของความต้องการใช้น้ำในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม ..... - 84 -
3) สรุปและข้อเสนอแนะ ..... - 94 -
4. สรุปผล ..... - 96 -
ความเชื่อมโยงงานวิจัยในแผนงานวิจัยเข็มมุ่ง ..... - 97 -
เอกสารอ้างอิง ..... - 98 -
ภาคผนวก ก. แบบสอบถามสำหรับเก็บข้อมูลการใช้น้ำในภาคชุมชน ..... - 102 -
ภาคผนวก ข. แบบสอบถามสำหรับเก็บข้อมูลการใช้น้ำในโรงงานอุตสาหกรรม ..... - 108 -
ภาคผนวก ค. อัตราการใช้น้ำของโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป ..... - 120 -
ภาคผนวก ง. ข้อมูลโรงงานอุตสาหกรรมแยกตามประเภทโรงงานและปริมาณการใช้น้ำจากการคำนวณ ..... - 125 -
ภาคผนวก จ. จำนวนตัวอย่างโรงงานอุตสาหกรรมที่ส่งแบบสอบถามและอัตราการตอบกลับแบบสอบถาม ..... - 128 -
ภาคผนวก ฉ. สรุปการลงพื้นที่สำรวจภาคสนามเพื่อติดตามการเพาะปลูกข้าว ..... - 130 -
ภาคผนวก ช. จำนวนประชากรปี พ.ศ 2553 – 2562 และอัตราการเปลี่ยนแปลงประชากรรายอำเภอ ..... - 166 -
ภาคผนวก ซ. บทความวิชาการ ..... - 176 -

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1 กรอบงานวิจัย ..... - 3 -
ภาพที่ 2 พื้นที่ศึกษาที่ราบลุ่มภาคกลาง (Sayama et al., 2015) ..... - 4 -
ภาพที่ 3 โครงการชลประทานขนาดใหญ่ในพื้นที่ภาคกลางตอนบน (ซ้าย) และภาคกลางตอนล่าง (ขวา) ..... - 6 -
ภาพที่ 4 แผนที่แสดงตำแหน่งพื้นที่ตำบลนำร่องเพื่อศึกษาการรับรู้และพฤติกรรมการใช้น้ำในระดับครัวเรือน ..... - 7 -
ภาพที่ 5 แผนที่สถิติการเกิดภัยแล้งในรอบ 9 ปี (ซ้าย) และแผนที่ระดับความหนาแน่นของประชากร (ขวา) ..... - 7 -
ภาพที่ 6 แนวทางการคัดเลือกพื้นที่ตำบลนำร่องเพื่อศึกษาการรับรู้และพฤติกรรมการใช้น้ำในระดับครัวเรือน ..... - 8 -
ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ของปัญญาประดิษฐ์ การเรียนรู้ของเครื่อง และการเรียนรู้เชิงลึก ..... - 10 -
ภาพที่ 8 กระบวนการของระบบจำแนกประเภท (บน) การสอนโมเดล (ล่าง) การทำนายผลลัพธ์จากข้อมูลทดสอบ . - 11 -
ภาพที่ 9 โมเดลทั่วไปของการเรียนรู้เชิงลึก (Nielsen, 2020) ..... - 12 -
ภาพที่ 10 ภาพรวมของระบบการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมด้วย Deep Learning Models ..... - 14 -
ภาพที่ 11 การได้มาของภาพและการประมวลผลเบื้องต้น ..... - 16 -
ภาพที่ 12 ส่วนติดต่อผู้ใช้ดาวเทียม Sentinel โครงการ Copernicus ..... - 16 -
ภาพที่ 13 การบันทึกไฟล์เงื่อนไขพื้นที่ในการดาวน์โหลดข้อมูล ..... - 17 -
ภาพที่ 14 ภาพที่ได้จากโปรแกรมภาษา Python ..... - 17 -
ภาพที่ 15 Workflow diagram ของขั้นตอนการประมวลผลภาพเบื้องต้นที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ..... - 19 -
ภาพที่ 16 การแบ่งภาพถ่ายดาวเทียม (a) ตัวอย่างภาพ NDVI (b) และตัวอย่างภาพ GRVI (c) ..... - 20 -
ภาพที่ 17 สถาปัตยกรรม Convolutional neural network แบบ 1 มิติ (บน) และ 2 มิติ (ล่าง) ..... - 22 -
ภาพที่ 18 สถาปัตยกรรมของโมเดล VGG16 และ VGG19 ..... - 22 -
ภาพที่ 19 สถาปัตยกรรมของโมเดล ResNet50 และ ResNet101 ..... - 23 -
ภาพที่ 20 สมดุลน้ำในแปลงนา ดัดแปลงจาก (Rowshon et al., 2006) ..... - 30 -
ภาพที่ 21 การใช้ประโยชน์ที่ดินด้านการเกษตร ..... - 31 -
ภาพที่ 22 ค่าขีดแบ่ง (threshold value) ดัชนี NDVI และ NDFI ..... - 33 -
ภาพที่ 23 ค่าขีดแบ่ง (threshold value) ดัชนี NDVI และ NDWI ..... - 34 -
ภาพที่ 24 เกณฑ์ลำดับขั้นในการตัดสินใจแบ่งลักษณะกิจกรรมในพื้นที่นาข้าว ..... - 35 -
ภาพที่ 25 พื้นที่ปลูกพืชในเขตโครงการชลประทานในพื้นที่ราบภาคกลางช่วงปี พ.ศ. 2552-63 ..... - 35 -
ภาพที่ 26 พื้นที่ปลูกข้าวประเมินจากข้อมูลภาพดาวเทียม MODIS เปรียบเทียบกับข้อมูลจาก GISTDA ..... - 35 -
ภาพที่ 27 กราฟอนุกรมเวลา NDVI ของข้าวนาหว่านน้ำตม (บน) และอ้อย (ล่าง) ในพื้นที่ตัวแทน ..... - 37 -
ภาพที่ 28 การกำหนดวันเริ่มต้นและสิ้นสุดรอบการเพาะปลูกข้าว (บน) และอ้อย (ล่าง) ในพื้นที่ตัวแทน ..... - 38 -
ภาพที่ 29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Kc กับ NDVI ของข้าวนาหว่านน้ำตม (a-b) และอ้อย (c-d) ..... - 40 -
ภาพที่ 30 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (a) แนวทางของ FAO-56, (b) IrriSAT ..... - 41 -
ภาพที่ 31 การเปรียบเทียบผลการประเมินค่า Kc (a) ข้าวนาหว่านน้ำตม (b) อ้อย ..... - 42 -

ภาพที่ 32 ค่าเฉลี่ยปริมาณฝนและปริมาณฝนใช้การรายปีจำแนกตามโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา ..... - 44 -
ภาพที่ 33 ฝนใช้การราย 8 วัน เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาและ BC-CFSV2 ..... - 44 -
ภาพที่ 34 ค่าสหสัมพันธ์ (ซ้าย) และฝนใช้การสะสม (ขวา) ของกรมอุตุนิยมวิทยาและ BC-CFSV2 ..... - 45 -
ภาพที่ 35 แผนที่แสดงปริมาณการใช้น้ำพืชอ้างอิง (ETo) เฉลี่ยรายปี ..... - 47 -
ภาพที่ 36 ค่าเฉลี่ยปริมาณความต้องการใช้น้ำพืช (ET_c) รายปีจำแนกตามโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา ..... - 47 -
ภาพที่ 37 ปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิรายฤดู (บน) และรายปี (ล่าง) ของโครงการชลประทานในพื้นที่ราบภาคกลาง ..... - 49 -
ภาพที่ 38 ผังขั้นตอนการประเมินค่าการคายระเหยจากผลิตภัณฑ์ MOD16ET (Running et al., 2019) ..... - 52 -
ภาพที่ 39 แผนที่แสดงดัชนีความถี่ของการเพาะปลูกข้าวในพื้นที่ราบภาคกลาง ..... - 56 -
ภาพที่ 40 ดัชนีความถี่ของการเพาะปลูกข้าวจำแนกตามโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา ..... - 56 -
ภาพที่ 41 ผังแสดงการจัดแบ่งโซนการส่งน้ำของโครงการชลประทานในพื้นที่ราบภาคกลาง ..... - 58 -
ภาพที่ 42 ผลการประเมินปริมาณความต้องการน้ำ, ปริมาณน้ำที่ส่งและปริมาณการใช้น้ำของแต่ละโซน ..... - 59 -
ภาพที่ 43 ปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภครายตำบลในพื้นที่ราบลุ่มภาคกลาง ..... - 63 -
ภาพที่ 44 การเก็บข้อมูลแบบสอบถามในพื้นที่ศึกษา ..... - 66 -
ภาพที่ 45 ผลการประเมินการรับรู้ของชุมชนต่อมิติในการจัดการทรัพยากรน้ำ ..... - 71 -
ภาพที่ 46 ผลการวิเคราะห์ระดับการรับรู้ต่อมิติต่าง ๆ ของกลุ่มตัวอย่างจากพื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงภัยแล้งสูง ..... - 74 -
ภาพที่ 47 ผลการเปรียบเทียบมิติการรับรู้ของกลุ่มตัวอย่างจากพื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงภัยแล้งแตกต่างกัน ..... - 75 -
ภาพที่ 48 การประเมินการรับรู้ต่อตนเองในประเด็นปริมาณการใช้น้ำในครัวเรือน ..... - 76 -
ภาพที่ 49 ระดับความคิดเห็นต่อประเด็นย่อยในการบริหารจัดการน้ำ ..... - 78 -
ภาพที่ 50 การกระจายตัวของโรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่ราบภาคกลาง ..... - 81 -
ภาพที่ 51 สัดส่วนโรงงานอุตสาหกรรมแต่ละจำพวกในพื้นที่เขตที่ราบภาคกลาง ..... - 81 -
ภาพที่ 52 ประเภทโรงงานอุตสาหกรรมที่มีปริมาณการใช้น้ำสูงสุด 10 อันดับแรกในพื้นที่ราบภาคกลาง ..... - 83 -
ภาพที่ 53 สถานที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรมที่ตอบแบบสอบถาม ..... - 85 -
ภาพที่ 54 อัตราการใช้น้ำจากแบบสอบถามเทียบกับอัตราการใช้น้ำจากการศึกษาที่ผ่านมา ..... - 87 -
ภาพที่ 55 อัตราการใช้น้ำจากแบบสอบถามของประเภทโรงงานหลัก 009 (กิจการเกี่ยวกับเมล็ดพืชหรือหัวพืช) ..... - 88 -
ภาพที่ 56 อัตราการใช้น้ำจากแบบสอบถามของประเภทโรงงานหลัก 088 (ผลิต ส่ง หรือจำหน่ายพลังงานไฟฟ้า) ..... - 88 -
ภาพที่ 57 ปริมาณการใช้น้ำของนิคมอุตสาหกรรมเทียบกับปริมาณการใช้น้ำจากการคำนวณโดยใช้อัตราการใช้จากแบบสอบถามและจากการศึกษาที่ผ่านมา ..... - 89 -
ภาพที่ 58 เปรียบเทียบการใช้น้ำภาคอุตสาหกรรมในปี พ.ศ. 2563 กับ 2564 กรณีการเติบโตของอุตสาหกรรมตามอัตราการเพิ่มของผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP) 7% ..... - 90 -
ภาพที่ 59 ความต้องการน้ำภาคอุตสาหกรรมโดยอัตราการใช้น้ำเดิม (ซ้าย) และจากแบบสอบถาม (ขวา) ..... - 92 -
ภาพที่ 60 ประเภทโรงงานที่มีอัตราการใช้น้ำจากแบบสอบถามสูงสุด 11 อันดับแรกในพื้นที่ราบภาคกลาง ..... - 93 -

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 โครงการชลประทานขนาดใหญ่ในพื้นที่ศึกษา ..... - 5 -
ตารางที่ 2 พื้นที่ตำบลนำร่องเพื่อศึกษาการรับรู้และพฤติกรรมการใช้น้ำในระดับครัวเรือน ..... - 7 -
ตารางที่ 3 สรุปขั้นตอนการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมด้วย Deep Learning Models ..... - 14 -
ตารางที่ 4 ความละเอียดเชิงพื้นที่ของภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ในแต่ละช่วงคลื่นความถี่ ..... - 18 -
ตารางที่ 5 ค่า SD NDVI GRVI สำหรับคัดกรองเพื่อทำลาเบลประดิษฐ์ (Artificial Label) ..... - 20 -
ตารางที่ 6 Dataset ข้อมูลภาพที่จัดแบ่งกลุ่มตามเงื่อนไขการคัดกรองประเภท ..... - 21 -
ตารางที่ 7 ค่าความแม่นยำเฉลี่ยของโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก ..... - 25 -
ตารางที่ 8 Confusion matrix ของโมเดล VGG16 ..... - 25 -
ตารางที่ 9 Confusion matrix ของโมเดล VGG19 ..... - 25 -
ตารางที่ 10 Confusion matrix ของโมเดล ResNet50 ..... - 26 -
ตารางที่ 11 Confusion matrix ของโมเดล ResNet101 ..... - 26 -
ตารางที่ 12 F1-score ของโมเดล VGG16 และ VGG19 ..... - 26 -
ตารางที่ 13 F1-score ของโมเดล ResNet50 และ ResNet101 ..... - 27 -
ตารางที่ 14 งานวิจัยที่มีการพัฒนาสมการเพื่อคำนวณค่า Kc จากดัชนีพืชพรรณ NDVI ..... - 36 -
ตารางที่ 15 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำพืชของข้าว กข. นาหว่านน้ำตม ..... - 39 -
ตารางที่ 16 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำพืชของอ้อย ..... - 39 -
ตารางที่ 17 การคำนวณฝนใช้การสำหรับนาข้าว ..... - 43 -
ตารางที่ 18 ปริมาณการใช้น้ำพืชอ้างอิง (ET_o) เฉลี่ยรายเดือนของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา ..... - 46 -
ตารางที่ 19 ปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิจำแนกตามรายโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา ..... - 50 -
ตารางที่ 20 ปริมาณการใช้น้ำของพืชจริงจำแนกตามรายโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา ..... - 53 -
ตารางที่ 21 ดัชนีชี้วัดสมรรถนะที่ประเมินได้โดยใช้ข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล (Bastiaanssen and Bos, 1999) - 54 -
ตารางที่ 22 ประสิทธิภาพการชลประทาน (irrigation efficiency) ..... - 60 -
ตารางที่ 23 อัตราส่วนน้ำชลประทานที่จัดสรร (allocation requirement ratio) ..... - 60 -
ตารางที่ 24 อัตราการใช้น้ำของประชากรในชุมชนเมือง (กรมทรัพยากรน้ำ, 2549) ..... - 62 -
ตารางที่ 25 พื้นที่ที่มีปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภคสูงที่สุด 10 อันดับแรก ..... - 63 -
ตารางที่ 26 การเปลี่ยนแปลงประชากรและปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภคในอนาคต ..... - 64 -
ตารางที่ 27 รายการตัวชี้วัดจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการจัดการทรัพยากรน้ำในภาคชุมชน ..... - 67 -
ตารางที่ 28 คุณลักษณะทางสถิติของแบบสอบถามที่พัฒนาขึ้น ..... - 68 -
ตารางที่ 29 คุณลักษณะเชิงเศรษฐสังคมของกลุ่มตัวอย่างจากภาคชุมชน ..... - 69 -

ตารางที่ 30 ผลการวิเคราะห์ Factor Analysis Model ..... - 70 -
ตารางที่ 31 ตัวชี้วัดย่อยที่จัดกลุ่มใหม่จากการวิเคราะห์ทางสถิติของ ..... - 71 -
ตารางที่ 32 ผลการวิเคราะห์ Factor Analysis Model ของพื้นที่เสี่ยงต่อภัยแล้งในพื้นที่ราบภาคกลาง ..... - 72 -
ตารางที่ 33 คุณลักษณะของกลุ่มตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ที่เสี่ยงภัยแล้ง ..... - 73 -
ตารางที่ 34 ตัวชี้วัดย่อยที่จัดกลุ่มใหม่จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (เฉพาะพื้นที่เสี่ยงต่อภัยแล้ง) ..... - 74 -
ตารางที่ 35 ปริมาณการใช้น้ำในภาคชุมชนจากการสำรวจในกลุ่มตัวอย่าง ..... - 76 -
ตารางที่ 36 จำนวนโรงงานและปริมาณการใช้น้ำแบ่งตามปริมาณการใช้น้ำของแต่ละโรงงานอุตสาหกรรม ..... - 82 -
ตารางที่ 37 พื้นที่ที่มีปริมาณความต้องการน้ำในภาคอุตสาหกรรมสูงที่สุด 10 อันดับแรก ..... - 83 -
ตารางที่ 38 ข้อมูลประเภทโรงงานและปริมาณการใช้น้ำของโรงงานอุตสาหกรรมที่ตอบแบบสอบถาม ..... - 85 -
ตารางที่ 39 ปริมาณการใช้น้ำจากแบบสอบถามเทียบกับการคำนวณตามอัตราการใช้น้ำของโรงงานอุตสาหกรรม ... - 86 -
ตารางที่ 40 อัตราการใช้น้ำจากแบบสอบถาม ..... - 87 -
ตารางที่ 41 เปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำภาคอุตสาหกรรมรายจังหวัด ..... - 90 -
ตารางที่ 42 พื้นที่ที่มีความต้องการใช้น้ำในภาคอุตสาหกรรมสูงที่สุด 10 อันดับแรก ..... - 91 -
ตารางที่ 43 อัตราการใช้น้ำต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ..... - 94 -

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

การขาดแคลนน้ำส่วนหนึ่งเกิดจากการปล่อยให้มีการใช้น้ำอย่างฟุ่มเฟือย ขาดกติกาและกลไกในการจัดสรรน้ำให้ไปสู่การใช้อย่างมีประสิทธิภาพ ประกอบกับสาเหตุอื่น อาทิ ความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ การเจริญเติบโตของประชากรและเศรษฐกิจ และการจัดการน้ำที่ไม่เหมาะสม ในสถานการณ์เช่นนี้คือน้ำมีอยู่อย่างจำกัด แต่ความต้องการน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แนวทางในการจัดการคือการจัดสรรน้ำว่าใครควรจะได้รับน้ำเท่าไรเพื่อประโยชน์สูงสุดของการใช้ทรัพยากรน้ำ แนวคิดในการจัดสรรน้ำคือกำหนดล่วงหน้าว่าควรส่งน้ำให้ใคร อย่างไร เมื่อไร และเท่าไร โดยมีเป้าหมายว่าจะต้องให้ทุกฝ่ายได้รับน้ำตามเวลาและด้วยจำนวนที่ต้องการ จึงต้องพิจารณาและปรับให้น้ำต้นทุนและน้ำที่ต้องการมีความสมดุลกัน (มิ่งสรรพ์, 2544) อย่างไรก็ตามปัญหาเรื่องการจัดสรรน้ำโดยเฉพาะน้ำในภาคการเกษตรเกิดขึ้นในทุกระดับตั้งแต่ระดับโครงการชลประทานจนถึงระดับลุ่มน้ำ ส่วนหนึ่งมีสาเหตุมาจากความแตกต่างในปริมาณน้ำที่ต้องการและช่วงเวลาที่ต้องการน้ำในพื้นที่ที่มีระบบปลูกพืชที่ต่างชนิดกัน รวมทั้งความขัดแย้งระหว่างผู้ใช้น้ำที่อยู่ต้นน้ำและปลายน้ำ ในขณะที่ความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคในภาคครัวเรือน อุตสาหกรรมและพาณิชยกรรม จำเป็นต้องมีการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้น้ำให้สอดรับกับความต้องการของประชาชนที่อยู่ในพื้นที่ในช่วงเวลาปัจจุบัน รวมถึงการวางแผนการจัดการน้ำในอนาคตให้สอดคล้องกับช่วงเวลาที่ขาดแคลนน้ำ ดังนั้นการศึกษาถึงความต้องการน้ำในทุกภาคส่วนทั้งในเชิงของพื้นที่และเวลา จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะช่วยเสริมการวางแผนการจัดสรรน้ำในแต่ละครั้งให้ได้ประโยชน์ต่อประชาชนในพื้นที่เพิ่มสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาภาพรวมของการบริหารจัดการน้ำในระดับประเทศ พบว่าปริมาณน้ำที่จัดสรรภายใต้โครงสร้างพื้นฐานปัจจุบันจะไม่สามารถรองรับความต้องการน้ำในทุกประเภทและทุกพื้นที่ในอนาคต ดังนั้นในประเด็นยุทธศาสตร์การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำจึงได้กำหนดเป้าประสงค์การบริหารจัดการความต้องการใช้น้ำทั้งในด้านการเกษตร อุปโภคบริโภค อุตสาหกรรมและการท่องเที่ยวให้สมดุลกับน้ำต้นทุนโดยเกิดประโยชน์สูงสุด (คณะกรรมการกำหนดนโยบายและการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ, 2558) ทั้งนี้ ภาคการเกษตรเป็นภาคส่วนที่มีความต้องการใช้น้ำในสัดส่วนที่ค่อนข้างสูง แต่วิธีการประเมินความต้องการน้ำตามแนวทางดั้งเดิมซึ่งนิยมใช้ข้อมูลสถิติภูมิอากาศย้อนหลังและกำหนดปฏิทินเพาะปลูกพืชแบบตายตัวอาจไม่สอดคล้องกับสภาพจริงเนื่องจากข้อมูลภูมิอากาศของแต่ละพื้นที่มีความไม่แน่นอนในแต่ละปีและสภาพการเพาะปลูกจริงอาจมีการเพาะปลูกไม่พร้อมกันจึงไม่สามารถกำหนดปฏิทินเพาะปลูกได้ชัดเจน นอกจากนี้ยังขาดแคลนเครื่องมือที่จะตรวจวัดว่าปริมาณน้ำที่พืชใช้ในแต่ละแปลงเป็นเท่าไหร่ จึงทำให้การส่งน้ำชลประทานไม่สัมพันธ์กับความต้องการน้ำของพืชในแต่ละช่วงการเจริญเติบโต รวมทั้งการประเมินประสิทธิภาพการชลประทานในระดับแปลงนาไม่สามารถกระทำได้ ในขณะที่การใช้น้ำในภาคส่วนชุมชนและภาคอุตสาหกรรมก็ขาดตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้น้ำและขาดแนวปฏิบัติที่ดีในการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ

จากประเด็นปัญหาที่กล่าวมานั้น จำเป็นต้องมีการศึกษาข้อมูลความต้องการใช้น้ำอย่างเป็นระบบ เพื่อหาค่าฐาน (baseline) ของความต้องการใช้น้ำในแต่ละภาคส่วน ซึ่งจะนำไปสู่การจัดทำค่าเทียบมาตรฐาน (benchmark) ในอนาคตที่สามารถนำมาวางแผนกลยุทธ์ในการจัดการด้านความต้องการใช้น้ำ (demand-side water management) ได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน ทั้งนี้ เครื่องมือและวิธีการที่จะตรวจวัดข้อมูลที่ครอบคลุมพื้นที่

ขนาดใหญ่ มีความแม่นยำ เป็นปัจจุบัน และจัดเก็บและเข้าถึงข้อมูลได้ง่ายจึงเป็นสิ่งจำเป็น เช่น เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) เทคโนโลยีคลาวด์คอมพิวติ้ง (Cloud Computing) เทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลด้วยภาพถ่ายดาวเทียม (remote sensing) เป็นต้น ซึ่งในอดีตที่ผ่านมาการประยุกต์ใช้เครื่องมือดังกล่าวยังจำกัดอยู่ในระดับงานวิจัยเท่านั้น ข้อจำกัดนี้เป็นผลมาจากการขาดแคลนโครงข่ายอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงและราคาต้นทุนในการจัดหาภาพถ่ายดาวเทียมที่สูง (เอกสิทธิ์, 2548) แต่ในปัจจุบัน ผลจากการพัฒนาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ โครงข่ายอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง ประกอบกับมีข้อมูลสารสนเทศต่าง ๆ และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจำนวนมากที่สามารถสืบค้นทางอินเทอร์เน็ตและดาวน์โหลดมาใช้งานได้ฟรี จึงทำให้แนวคิดการใช้งานเครื่องมือตรวจวัดที่ทันสมัยเริ่มเข้ามามีบทบาทในงานด้านบริหารจัดการน้ำและการชลประทานเพิ่มมากขึ้น

ในงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาปริมาณความต้องการน้ำโดยเลือกพื้นที่ราบภาคกลางเป็นพื้นที่ศึกษา โดยในงานวิจัยระยะที่ 1 มุ่งเน้นที่การศึกษาหาค่าฐานของความต้องการน้ำในแต่ละภาคส่วน สำหรับในภาคการเกษตรจะเน้นไปที่การนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมาประเมินปริมาณการใช้น้ำของพืช ส่วนในภาคการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคและอุตสาหกรรมจะเน้นไปที่การศึกษาข้อมูลการรับรู้ พฤติกรรม และสถานการณ์การใช้น้ำของผู้ใช้น้ำ ผลจากงานวิจัยนี้คาดว่าจะเป็นข้อมูลสำหรับการคาดการณ์ปริมาณการใช้น้ำของพืชล่วงหน้า การจัดสรรน้ำชลประทานที่มีความแม่นยำสูงและสนับสนุนการตัดสินใจในการบริหารจัดการน้ำในระดับโครงการชลประทานขนาดใหญ่หรือในระดับลุ่มน้ำต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการเกษตร การอุปโภคบริโภคและอุตสาหกรรมที่เป็นค่าฐาน (baseline) ในพื้นที่ราบภาคกลางตอนบน โดยในการศึกษาระยะที่ 1 มีวัตถุประสงค์ย่อยดังนี้

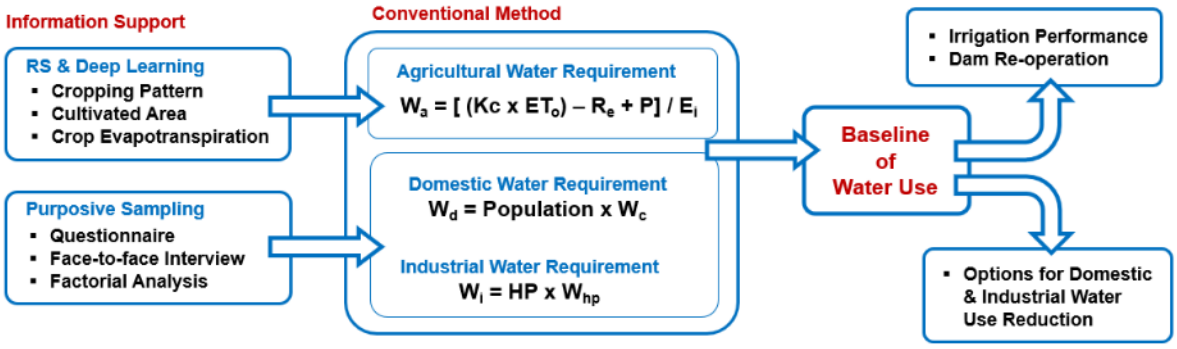
1) เพื่อประเมินปริมาณความต้องการน้ำในภาคการเกษตรและปริมาณการใช้น้ำของพืชจริง (actual evapotranspiration) จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

2) เพื่อศึกษาปริมาณความต้องการน้ำ การรับรู้ พฤติกรรม และสถานการณ์การใช้น้ำของผู้ใช้น้ำในภาคส่วนชุมชนและภาคส่วนอุตสาหกรรม

2. ขั้นตอนการดำเนินงาน

2.1 กรอบการวิจัยและพื้นที่ศึกษา

กรอบงานวิจัยสำหรับการดำเนินงานให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ ดังแสดงใน**ภาพที่ 1** โดยมีสมมติฐานว่าวิธีการคำนวณความต้องการน้ำตามแนวทางดั้งเดิม (conventional method) ที่นิยมใช้โดยทั่วไปนั้นเป็นการประมาณค่าเพื่อหาปริมาณน้ำสูงสุดที่ต้องการใช้ (maximum water requirement) ในแต่ละภาคส่วน งานวิจัยนี้เสนอวิธีวิจัยเสนอแนวทางเลือกในการได้มาซึ่งข้อมูลสำหรับสนับสนุนการประเมินปริมาณความต้องการน้ำซึ่งถูกนำไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ของแต่ละภาคส่วน (consumptive water use) โดยผลจากการคำนวณโดยวิธีทางเลือกนี้คาดว่าจะสามารถสะท้อนถึงตัวเลขค่าฐาน (baseline) ของความต้องการใช้น้ำในแต่ละภาคส่วนได้ ทั้งนี้ค่าฐานของการใช้น้ำในภาคการเกษตรคาดว่าจะสามารถนำไปประเมินสมรรถนะการชลประทานในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา รวมทั้งนำไปใช้เป็นดัชนี/เกณฑ์สำหรับการตัดสินใจเพื่อการบริหารจัดการปล่อยน้ำจากเขื่อนต่อไป ส่วนค่าฐานของการใช้น้ำในภาคชุมชนและอุตสาหกรรมคาดว่าจะเป็นประโยชน์ต่อการสร้างกลยุทธ์ทางเลือกในการลดการใช้น้ำในภาคครัวเรือนและการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในภาคอุตสาหกรรมต่อไป



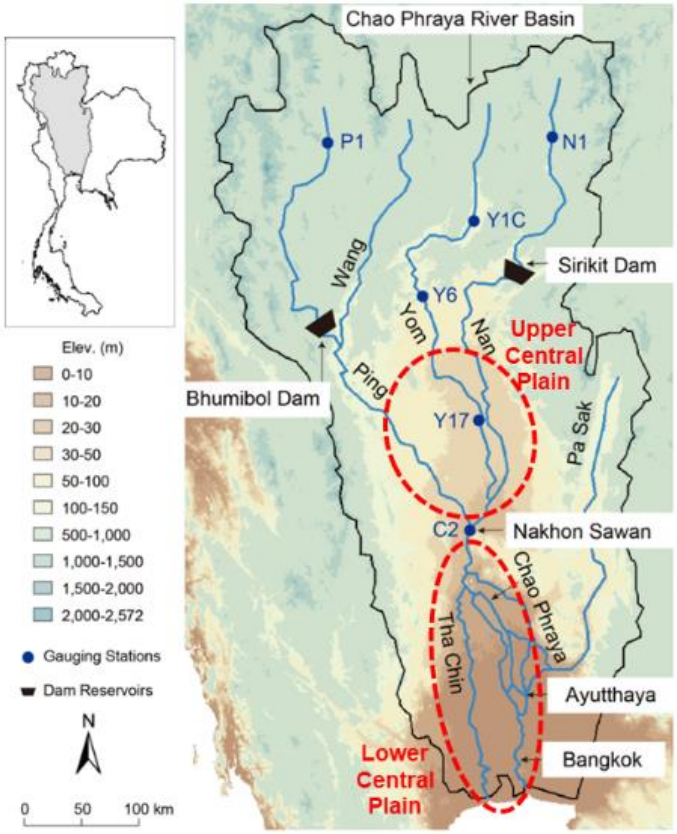
ภาพที่ 1 กรอบงานวิจัย

พื้นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แก่พื้นที่บริเวณที่ราบลุ่มภาคกลาง ดังแสดงใน**ภาพที่ 2** โดยแบ่งเป็น

1) พื้นที่ราบลุ่มภาคกลางตอนบน มีพื้นที่ครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของจังหวัดอุตรดิตถ์ จังหวัดสุโขทัย พิษณุโลก กำแพงเพชร พิจิตร และนครสวรรค์ จนกระทั่งถึงบริเวณปากน้ำโพ จังหวัดนครสวรรค์ ครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของลุ่มน้ำปิงตอนล่าง ลุ่มน้ำยมตอนล่างและลุ่มน้ำน่านตอนล่าง มีลักษณะภูมิประเทศ เป็นพื้นที่ลอนลาด (undulating terrain) มีความสูงโดยเฉลี่ยระหว่าง 40 - 60 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ปริมาณฝนเฉลี่ย 900 – 1,300 มิลลิเมตรต่อปี ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 70% โดยในช่วงฤดูฝนจะมีความชื้นสัมพันธ์เฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 80% อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดในเดือนมกราคม 27 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดในเดือนพฤษภาคม 32 องศาเซลเซียส

2) พื้นที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่าง ครอบคลุมพื้นที่ตอนล่างของจังหวัดนครสวรรค์ ตั้งแต่บริเวณปากน้ำโพจนถึงปากแม่น้ำเจ้าพระยาที่จังหวัดสมุทรปราการ ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาและท่าจีน ลักษณะภูมิประเทศประกอบไปด้วยที่ลุ่มชื้นแฉะ (marsh) ที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึง (tidal flat) ดินดอนสามเหลี่ยม (delta) ระดับความสูงของบริเวณนี้ต่ำกว่าที่ราบลุ่มภาคกลางตอนบนโดยในเขตจังหวัดนครสวรรค์ ชัยนาท สิงห์บุรี มีความสูงเฉลี่ยประมาณ 20

เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง จากนั้นระดับความสูงจะค่อยๆ ลดลงจนถึงบริเวณจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ซึ่งมีความสูงเฉลี่ย 2.5 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ลงมาจนถึงกรุงเทพมหานคร ซึ่งอยู่ห่างจากปากแม่น้ำเจ้าพระยาประมาณ 21 กิโลเมตร มีระดับความสูงโดยเฉลี่ยประมาณ 1.5 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง สภาพภูมิอากาศของพื้นที่นี้มีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งปีประมาณ 28.3 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 71 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฝนอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ยประมาณปีละ 1,100 ถึง 1,300 มิลลิเมตร



ภาพที่ 2 พื้นที่ศึกษาที่ราบลุ่มภาคกลาง (Sayama et al., 2015)

2.2 พื้นที่ศึกษา

1) พื้นที่ศึกษาการประเมินความต้องการน้ำในภาคการเกษตร

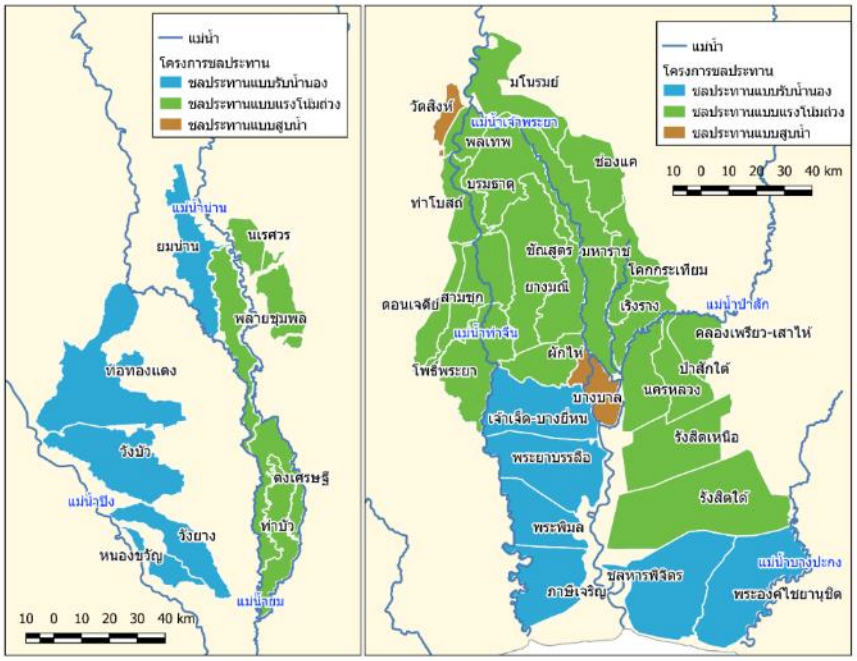
สำหรับการประเมินความต้องการน้ำในภาคการเกษตรจะถูกนำไปใช้งานเพื่อหาแนวทางการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำสำหรับพัฒนาการบริหารจัดการน้ำต้นทุน ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ การประเมินความต้องการใช้น้ำในภาคการเกษตรจะกำหนดขอบเขตการศึกษาเฉพาะพื้นที่โครงการชลประทานขนาดใหญ่ที่ได้รับการจัดสรรน้ำจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน และเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ โดยไม่รวมพื้นที่การเกษตรนอกเขตชลประทาน ดังแสดงใน**ภาพที่ 3** พื้นที่โครงการรวมทั้งสิ้น 12,586,404.73 ไร่ มีพื้นที่ชลประทานรวมทั้งสิ้น 9,234,544.35 ไร่ดังแสดงรายละเอียดใน**ตารางที่ 1**

1) โครงการชลประทานในพื้นที่ราบลุ่มภาคกลางตอนบน ตั้งแต่ท้ายเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์ถึงจังหวัดนครสวรรค์ ประกอบด้วย โครงการชลประทานในลุ่มน้ำปิงตอนล่าง 2 โครงการ โครงการในลุ่มแม่น้ำน่านตอนล่าง 6 โครงการ รวมพื้นที่ โครงการ 3,015,165.42 ไร่ มีพื้นที่ชลประทานรวม 2,639,012.03 ไร่

2) โครงการชลประทานในพื้นที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่าง (ลุ่มน้ำเจ้าพระยาและท่าจีน) ได้แก่ พื้นที่โครงการชลประทานเจ้าพระยาใหญ่ ประกอบด้วยโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษารวม 27 โครงการ รวมพื้นที่โครงการ 9,571,239.32 ไร่ มีพื้นที่ชลประทานรวม 6,595,532.32 ไร่

ตารางที่ 1 โครงการชลประทานขนาดใหญ่ในพื้นที่ศึกษา

พื้นที่	รูปแบบโครงการ	โครงการ	จำนวน	พื้นที่โครงการ (ไร่)	พื้นที่ชลประทาน (ไร่)
พื้นที่ราบลุ่มภาคกลางตอนบน (ลุ่มน้ำปิง)	ชลประทานแบบรับน้ำนอง	ท่อทองแดง, กำแพงเพชร (วังบัว, วังยาง-หนองขวัญ)	2	1,577,978.73	1,425,043.03
พื้นที่ราบลุ่มภาคกลางตอนบน (ลุ่มน้ำน่าน)	ชลประทานแบบแรงโน้มถ่วง	พลายชุมพล, ดงเศรษฐี, ท่าบัว, นเรศวร, แควน้อยบำรุงแดน	5	1,115,614.24	892,396.55
	ชลประทานแบบรับน้ำนอง	ยม-น่าน	1	321,572.44	321,572.45
รวมพื้นที่ลุ่มภาคกลางตอนบน			**8**	**3,015,165.42**	**2,639,012.03**
พื้นที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่าง (ลุ่มน้ำเจ้าพระยาและลุ่มน้ำท่าจีน)	ชลประทานแบบสูบน้ำ	ทุ่งวัดสิงห์, บางบาล	2	247,519.07	190,438.65
	ชลประทานแบบแรงโน้มถ่วง (ฝั่งตะวันออก)	มหาราช, มโนรมย์, ช่องแค, โคกกระเทียม, เริงราง, ป่าสักใต้, นครหลวง, รังสิตเหนือ, รังสิตใต้, คลองเพรียว-เสาไห้	10	3,691,819.49	2,756,527.34
	ชลประทานแบบแรงโน้มถ่วง (ฝั่งตะวันตก)	พลเทพ, ท่าโบสถ์, สามชุก, ดอนเจดีย์, โพธิ์พระยา, บรมธาตุ, ชัณสูตร, ยางมณี, ผักไห่	9	2,738,431.71	1,971,507.62
	ชลประทานแบบรับน้ำนอง (ฝั่งตะวันออก)	ชลหารพิจิตร, พระองค์ไชยานุชิต	2	1,233,883.34	645,789.99
	ชลประทานแบบรับน้ำนอง (ฝั่งตะวันตก)	เจ้าเจ็ด-บางยี่หน, พระยาบรรลือ, พระพิมล, ภาษีเจริญ	4	1,659,585.71	1,031,268.73
รวมพื้นที่ลุ่มภาคกลางตอนล่าง			**27**	**9,571,239.32**	**6,595,532.32**
รวม			**35**	**12,586,404.73**	**9,234,544.35**



ภาพที่ 3 โครงการชลประทานขนาดใหญ่ในพื้นที่ภาคกลางตอนบน (ซ้าย) และภาคกลางตอนล่าง (ขวา)

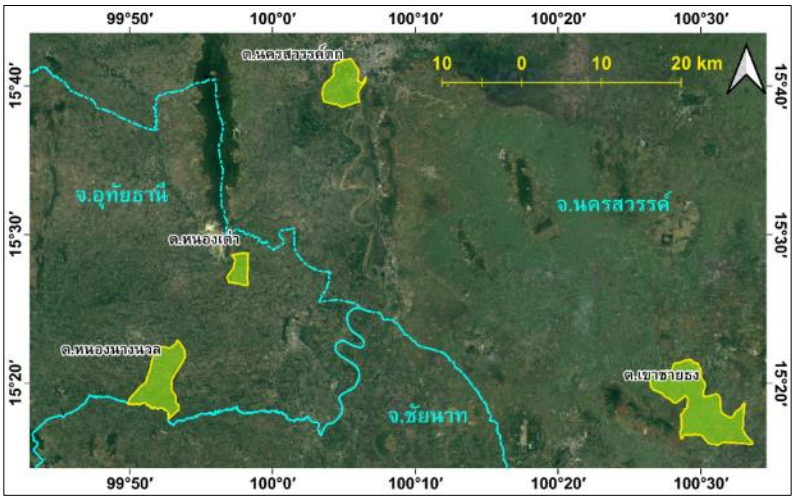
2) พื้นที่ศึกษาการประเมินปริมาณความต้องการน้ำในภาคส่วนชุมชนที่อยู่อาศัยและอุตสาหกรรม

การประเมินปริมาณความต้องการน้ำในภาคส่วนชุมชนที่อยู่อาศัยและอุตสาหกรรม ได้กำหนดพื้นที่ศึกษาตามแนวทางดั้งเดิม (conventional method) โดยพิจารณาพื้นที่เป็นรายตำบลครอบคลุมบริเวณพื้นที่ราบภาคกลาง ได้แก่ พื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา พื้นที่ลุ่มน้ำท่าจีน พื้นที่ลุ่มน้ำสะแกกรัง พื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนล่างตั้งแต่บริเวณท้ายเขื่อนภูมิพล พื้นที่ลุ่มน้ำน่านตอนล่างตั้งแต่บริเวณท้ายเขื่อนสิริกิติ์ และพื้นที่บางส่วนของลุ่มน้ำวัง ลุ่มน้ำยมและลุ่มน้ำป่าสักตอนล่าง โดยในขั้นตอนการคำนวณปริมาณความต้องการน้ำในภาคส่วนชุมชนใช้ข้อมูลจำนวนประชากรรายตำบลจากฐานข้อมูลของกรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย ส่วนการคำนวณปริมาณความต้องการน้ำในภาคอุตสาหกรรมใช้ข้อมูลจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมและประเภทของโรงงานจากฐานข้อมูลของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

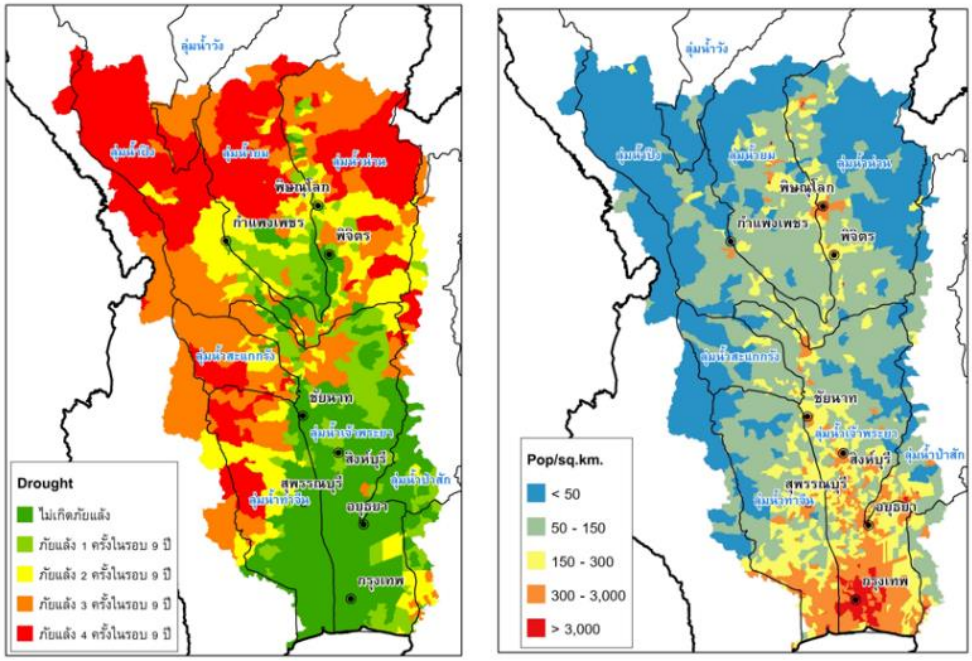
สำหรับพื้นที่ตัวอย่างสำหรับเก็บข้อมูลเชิงลึกเพื่อศึกษาการรับรู้และพฤติกรรมการใช้น้ำในระดับครัวเรือน ได้กำหนดพื้นที่ตำบลนำร่องในเขตที่ราบภาคกลางตอนบนดังแสดงใน**ภาพที่ 4** โดยใช้เกณฑ์พิจารณาครอบคลุมพื้นที่ที่เสี่ยงภัยแล้งและมีความหนาแน่นประชากรแตกต่างกัน ในที่นี้ใช้ข้อมูลประวัติการเกิดภัยแล้งในรอบ 9 ปี ของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์กรมหาชน) (GISTDA) และระดับความหนาแน่นของประชากรของพื้นที่ในการจำแนกกลุ่มพื้นที่ดังแสดงใน**ภาพที่ 5** และได้คัดเลือกพื้นที่ตามเกณฑ์ดังกล่าวจากในสองจังหวัด ได้แก่ อุทัยธานีและนครสวรรค์ หากมีพื้นที่ที่มีค่าเกณฑ์เท่ากันจะใช้การสุ่มโดยการจับสลาก โดยกรอบในการสุ่มตัวอย่างแสดงดัง**ภาพที่ 6** ผลการกำหนดพื้นที่ตำบลนำร่องสำหรับเก็บข้อมูลดังแสดงใน**ตารางที่ 2** ต่อไปนี้

ตารางที่ 2 พื้นที่ตำบลนำร่องเพื่อศึกษาการรับรู้และพฤติกรรมการใช้น้ำในระดับครัวเรือน

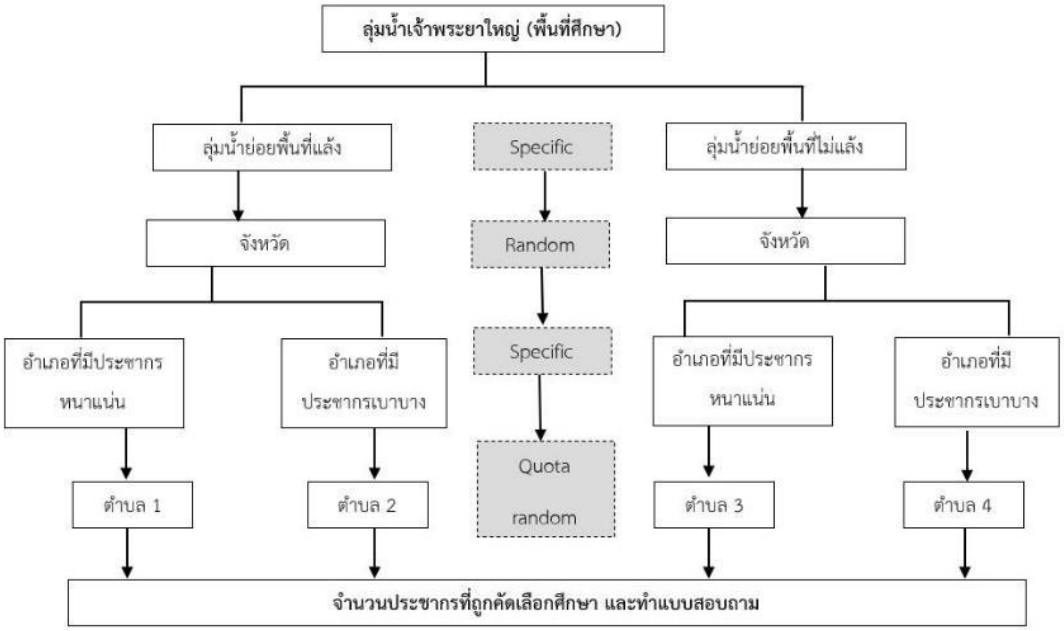
ความเสี่ยงภัยแล้ง	ความหนาแน่นประชากร	พื้นที่	ภัยแล้ง (ครั้ง ในรอบ 9 ปี)	ประชากร (คน)	ความหนาแน่น (คน ต่อ ตร. กม.)	จำนวนแบบสอบถาม (ชุด)
เสี่ยงภัยแล้งสูง	สูง	ต.หนองเต่า อ.เมือง จ.อุทัยธานี	4	1,682	220.72	323+10% = 355
เสี่ยงภัยแล้งสูง	ต่ำ	ต.หนองนางนวล อ.บ้านฉาง จ.อุทัยธานี	4	3,172	97.74	355+10% = 391
ไม่เสี่ยงภัยแล้ง	สูง	ต.นครสวรรค์ตก อ.เมือง จ.นครสวรรค์	0	48,656	2,372.60	397+10% = 437
ไม่เสี่ยงภัยแล้ง	ต่ำ	ต.เขาชายธง อ.ตากฟ้า จ.นครสวรรค์	0	3,409	55.99	358+10% = 394



ภาพที่ 4 แผนที่แสดงตำแหน่งพื้นที่ตำบลนำร่องเพื่อศึกษาการรับรู้และพฤติกรรมการใช้น้ำในระดับครัวเรือน



ภาพที่ 5 แผนที่สถิติการเกิดภัยแล้งในรอบ 9 ปี (ซ้าย) และแผนที่ระดับความหนาแน่นของประชากร (ขวา)



ภาพที่ 6 แนวทางการคัดเลือกพื้นที่ตำบลนำร่องเพื่อศึกษาการรับรู้และพฤติกรรมการใช้น้ำในระดับครัวเรือน

3. ผลการดำเนินงาน

ผลการดำเนินงานโครงการวิจัยเรื่อง “การประเมินปริมาณความต้องการน้ำในพื้นที่ราบภาคกลาง (ระยะที่ 1)” ประกอบด้วย 1) การวิเคราะห์รูปแบบการเพาะปลูกพืชจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก 2) การประเมินปริมาณความต้องการน้ำในภาคการเกษตรด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม 3) การศึกษาการรับรู้และพฤติกรรมการใช้น้ำของชุมชนที่อยู่อาศัยเพื่อการวางแผนเชิงกลยุทธ์การลดการใช้น้ำ และ 4) การวิเคราะห์สถานการณ์และแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในภาคอุตสาหกรรมนำร่อง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การวิเคราะห์รูปแบบการเพาะปลูกพืชจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก

งานวิจัยในส่วนนี้มุ่งเน้นการพัฒนาโมเดลปัญญาประดิษฐ์ (artificial intelligence: AI) ประเภทการเรียนรู้ของเครื่อง (machine learning) ชนิดการเรียนรู้เชิงลึก (deep learning) ซึ่งจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลประเภทภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อจำแนกประเภทของพื้นที่และการใช้งานพื้นที่เพื่อการเกษตรในพื้นที่เป้าหมาย กรอบงานวิจัยนี้มีข้อดีคือสามารถใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่ทั้งหมดมาวิเคราะห์โดยตรงได้ ในขณะเดียวกันก็มีความท้าทายอยู่หลายประการ เช่น วิธีจัดการชุดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม วิธีประมวลผลเบื้องต้น (pre-processing) ภาพถ่ายดาวเทียมที่เหมาะสม และการปรับแต่งโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกให้เหมาะต่อการวิเคราะห์ปัญหา เป็นต้น ซึ่งแต่ละประเด็นที่กล่าวมาล้วนส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ

ขอบเขตของงานวิจัยส่วนนี้มุ่งไปที่พื้นที่เพาะปลูกข้าวในเขตชลประทานของพื้นที่ราบภาคกลางของประเทศไทย งานวิจัยนี้จึงได้จำแนกพื้นที่เพาะปลูกข้าวออกเป็น 3 ระยะตามช่วงการเจริญเติบโต ได้แก่

1) ระยะที่ 1 หมายถึง ข้าวตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงก่อนที่ต้นข้าวจะโตเต็มวัย เมื่อมองจากภาพในมุมสูงจะเห็นสัดส่วนของพื้นที่ผิวน้ำในแปลงข้าวมากกว่าต้นข้าว โดยทั่วไปคือตั้งแต่ช่วงประมาณสัปดาห์ที่ 1 จนถึงสัปดาห์ที่ 5 ของการเพาะปลูก

2) ระยะที่ 2 หมายถึง ข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตประมาณ 80 – 100% เมื่อมองจากภาพในมุมสูงจะเห็นใบข้าวสีเขียวปกคลุมเต็มพื้นที่กระทงนา โดยทั่วไปคือตั้งแต่ช่วงประมาณสัปดาห์ที่ 6 จนถึงสัปดาห์ที่ 12 ของการเพาะปลูก

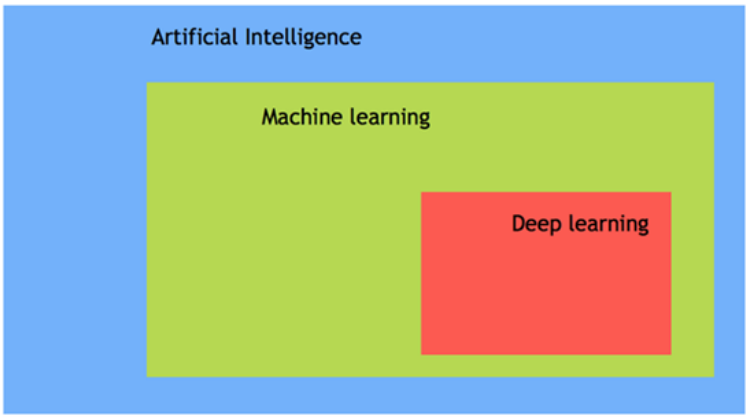
3) ระยะที่ 3 หมายถึง ข้าวที่ออกรวงและสุกจนลำต้นมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว เมื่อมองจากภาพมุมสูงจะเห็นลักษณะผืนนาที่มีต้นข้าวออกรวงและใบมีสีเหลืองมากกว่าเขียวไปจนถึงสีเหลืองเต็มผืนนา โดยทั่วไปคือตั้งแต่ช่วงประมาณสัปดาห์ที่ 13 จนถึงช่วงสัปดาห์สุดท้ายก่อนการเก็บเกี่ยว

เมื่อระบบสามารถจำแนกระยะการเจริญเติบโตของข้าวและสามารถคำนวณพื้นที่ของข้าวแต่ละระยะได้ จะสามารถประเมินค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของข้าว (crop coefficient, Kc) ได้อย่างแม่นยำมากขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการคำนวณความต้องการน้ำชลประทานสำหรับการปลูกข้าวได้

1) กระบวนการหลักและภาพรวมของระบบ

1.1 การเรียนรู้ของเครื่องและการเรียนรู้เชิงลึก

การเรียนรู้ของเครื่อง เป็นศาสตร์แขนงหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ที่เน้นพัฒนาอัลกอริทึมที่ทำให้ระบบ (machine) สามารถเรียนรู้อย่างอัตโนมัติผ่านชุดข้อมูลฝึกฝน (train data) เพื่อทำนายมูลค่าหรือประเภทของข้อมูลทดสอบ (test data) ได้ **ภาพที่ 7** แสดงถึงความสัมพันธ์ของปัญญาประดิษฐ์ การเรียนรู้ของเครื่อง และการเรียนรู้เชิงลึก การเรียนรู้ของเครื่องสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ 1) การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (supervised learning) คือ โมเดลที่ชุดข้อมูลฝึกฝนประกอบด้วยข้อมูลและลาเบล (label) ของข้อมูลแต่ละตัวอย่างในการเรียนรู้ ลาเบลดังกล่าวเปรียบเสมือน “เฉลย” เพื่อบอกโมเดลการเรียนรู้ของเครื่องว่าตัวอย่างข้อมูลนี้มาจากประเภทข้อมูล (class) ใด และ 2) การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (unsupervised learning) คือ โมเดลที่เรียนรู้จากชุดข้อมูลฝึกฝนที่ไม่ใช้ลาเบลซึ่งคำตอบที่ได้จะมีลักษณะเป็นการจัดกลุ่ม (clustering) ของข้อมูลที่มีความคล้ายคลึงกันเท่านั้น โดยผู้ใช้จะไม่ทราบชื่อประเภทที่แท้จริงของข้อมูล (class label) ในการเรียนรู้แบบนี้ แต่จะทราบเพียงว่าจากข้อมูลทดสอบทั้งหมด n ตัวอย่าง มีตัวอย่างที่มีความคล้ายคลึงกันอยู่ทั้งหมดกี่กลุ่มๆ ละกี่ตัวอย่าง เป็นต้น



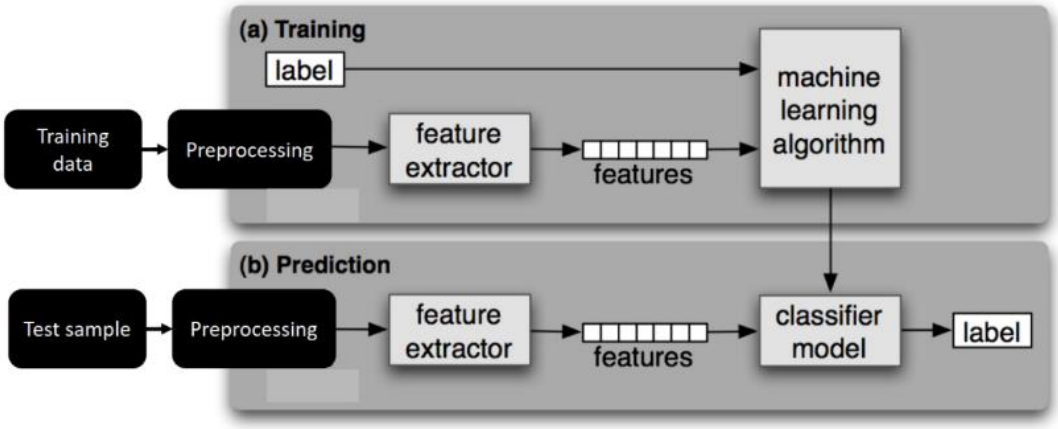
ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ของปัญญาประดิษฐ์ การเรียนรู้ของเครื่อง และการเรียนรู้เชิงลึก

ปัญหาประเภทหนึ่งที่นิยมใช้การเรียนรู้ของเครื่องได้แก่ การจำแนกประเภท (classification) ของข้อมูลซึ่งเป็นการเรียนรู้แบบมีผู้สอนชนิดหนึ่ง **ภาพที่ 8** แสดงกระบวนการทั่วไปของระบบจำแนกประเภท (classification system) ซึ่งการทำงานของระบบนี้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

1) การสอนโมเดล (training process) เริ่มจากการนำเข้าข้อมูลที่ใช้สอนโมเดล (training data) จากนั้นจึงทำการประมวลผลเบื้องต้น (preprocessing) ซึ่งเป็นการเตรียมข้อมูลขั้นต้นเพื่อให้มีความเหมาะสมต่อการทำงานในขั้นถัดไป หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลไปสกัดคุณลักษณะเด่น (features extraction) และขั้นตอนย่อยสุดท้ายเป็นการทำข้อมูลคุณลักษณะเด่นไปสอนให้โมเดลเกิดการเรียนรู้ โดยโมเดลที่ผ่านการเรียนรู้แล้ว (learned model) จะกลายเป็นตัวจำแนกประเภท (classifier) สำหรับใช้ในขั้นถัดไป

2) การทำนายผลลัพธ์จากข้อมูลทดสอบ (testing process) เริ่มจากการนำชุดข้อมูลทดสอบมาผ่านการประมวลผลเบื้องต้นและถอดคุณลักษณะ (เช่นเดียวกับขั้นการสอนโมเดล) จากนั้นจึงนำคุณลักษณะเด่นของข้อมูลทดสอบไปคำนวณกับตัวจำแนกประเภท ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนายก็คือประเภทของข้อมูล (class) นั่นเอง ตัวอย่างเช่น ระบบการเรียนรู้ของเครื่องระบบหนึ่งทำงานด้าน face verification เพื่อจำแนกประเภทของคนที่เข้าออกออฟฟิศเป็น 2 ประเภท คือ พนักงานของบริษัทกับ บุคคลภายนอก ฉะนั้นเมื่อได้ทำการสอนโมเดลในขั้นตอนแรกเรียบร้อยแล้ว ในขั้นตอนทดสอบไม่ว่าจะ input ภาพหน้าคนใด ๆ เข้าไปในระบบ คำตอบที่ได้จะมีเพียงแบบใดแบบหนึ่งจาก 2 แบบ (ปัญหานี้มี 2 class) คือ เป็นพนักงานของบริษัทหรือเป็นบุคคลภายนอก เป็นต้น

ตัวอย่างปัญหาอื่น ๆ ในหมวดการจำแนกประเภทนี้ ได้แก่ face recognition, rice diseases recognition, land used and land cover classification เป็นต้น โจทย์ของงานวิจัยในส่วนนี้คือ การประเมินความต้องการใช้น้ำในภาคการเกษตร จัดอยู่ในหมวดการจำแนกประเภทเช่นกัน โดยเป็นการประยุกต์จากปัญหา land used and land cover classification แล้วเพิ่มกรอบของเวลาให้สอดคล้องกับประเภทของพืชในบริเวณพื้นที่ศึกษา จึงสามารถทำการวิเคราะห์หารอบการเพาะปลูก (cropping pattern analysis) ได้ เมื่อทราบรอบการเพาะปลูกแล้ว จึงสามารถคำนวณหาความต้องการน้ำต่อไปได้ โดยใช้สัมประสิทธิ์ความต้องการใช้น้ำที่แตกต่างกันตามชนิดพืชและพื้นที่



ภาพที่ 8 กระบวนการของระบบจำแนกประเภท (บน) การสอนโมเดล (ล่าง) การทำนายผลลัพธ์จากข้อมูลทดสอบ

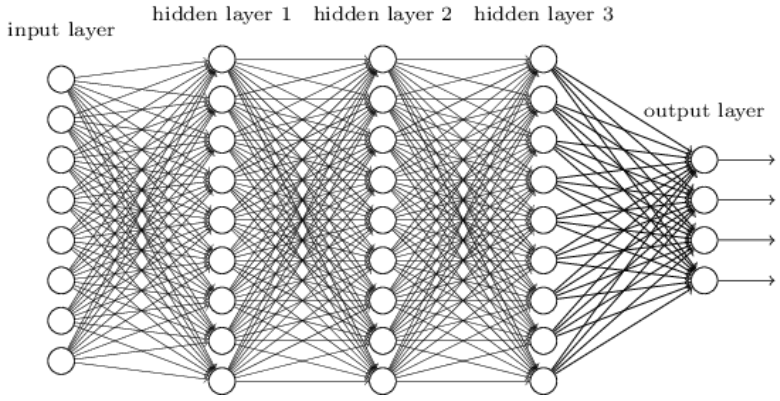
การเรียนรู้เชิงลึก คือการเรียนรู้ของเครื่องแขนงหนึ่งที่พัฒนามากจากอัลกอริทึมปัญญาประดิษฐ์ที่ชื่อว่าโครงข่ายประสาทเทียม (neural network) **ภาพที่ 9** แสดงตัวอย่างของโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนได้แก่

1) ชั้นนำเข้าข้อมูล (input layer) โดยจำนวน Node ของชั้นนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อมูล (ที่สอดคล้องกับปัญหา) ว่า 1 ตัวอย่างข้อมูลประกอบด้วยกี่ส่วนย่อย

2) ชั้นซ่อนตัว (hidden layer) คือชั้นที่อยู่ระหว่างกลางและลักษณะการเชื่อมต่อของชั้นนี้จะมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพในการเรียนรู้ของโมเดล

3) ชั้นส่งออกข้อมูล (output layer)

โมเดลการเรียนรู้เชิงลึกคือโมเดลที่สร้างจากโครงข่ายประสาทเทียมที่มีชั้นซ่อนตัว (hidden layer) ตั้งแต่ 2 ชั้นขึ้นไป คุณสมบัติของอัลกอริทึมแบบการเรียนรู้เชิงลึกนี้จะเหมาะกับการแก้ปัญหาที่มีจำนวนข้อมูลขนาดใหญ่ เช่น มากกว่า 1,000 ตัวอย่างต่อคลาส เป็นต้น ปัจจุบันโมเดลการเรียนรู้ลึกได้ถูกพัฒนาต่อยอดเป็นโมเดลใหม่ ๆ หลายร้อยรูปแบบ และนำไปใช้แก้ปัญหาในโจทย์วิจัยหลายสาขารวมทั้งด้านการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมด้วย โมเดลการเรียนรู้เชิงลึกที่พบบ่อย ๆ ในงานวิจัยด้านภาพถ่ายดาวเทียมได้แก่ convolutional neural networks (CNNs), residual neural network (ResNET), GoogleLeNet (Helber et al., 2019; Kussul et al., 2017; Ling and Foody, 2019)



ภาพที่ 9 โมเดลทั่วไปของการเรียนรู้เชิงลึก (Nielsen, 2020)

1.2 การประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียม (satellite image processing)

การประมวลผลภาพดาวเทียม เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการประมวลผลภาพถ่ายของโลกซึ่งถ่ายโดยกล้องจากดาวเทียม จึงเป็นงานที่คาบเกี่ยวระหว่างการประมวลผลภาพ (image processing) และการควบคุมระยะไกล (remote sensing) โดยภาพถ่ายจะถูกถ่ายในรูปแบบดิจิตอลและในภายหลังจะถูกประมวลผลโดยคอมพิวเตอร์ด้วยอัลกอริทึมเฉพาะทางต่าง ๆ ขึ้นกับวัตถุประสงค์ของโจทย์ปัญหานั้น ๆ การประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในงานเชิงพื้นที่ขนาดใหญ่ เช่น สิ่งแวดล้อม ภัยพิบัติ เกษตรกรรม ชลประธาน เป็นต้น ความละเอียดของภาพถ่ายดาวเทียมสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่

1) Spatial resolution คือ ความละเอียดในเชิงมิติ โดยภาพที่เกิดจากเซ็นเซอร์แบบ Instantaneous field of view (IFoV) และกำหนดขนาดจุดภาพ (pixel) ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตามนุษย์ที่ถูกวัดบนพื้นดิน

2) Spectral resolution คือ ความละเอียดนี้วัดจากขนาดความยาวคลื่น และกำหนดจำนวนช่วงความยาวคลื่นที่เซ็นเซอร์วัดได้

3) Temporal resolution คือ ความละเอียดในเชิงเวลา เป็นการถ่ายภาพของดาวเทียมที่เก็บข้อมูลพื้นผิวโลกในช่วงระยะเวลาตามที่กำหนดไว้

4) Radiometric resolution คือ ลักษณะความละเอียดที่ให้คุณสมบัติที่แท้จริงของรูปภาพ และโดยทั่วไปจะแสดงเป็นขนาดบิต เช่น ภาพแบบ 8 บิต แต่ละบิตจะสามารถแสดงค่าได้ 256 ค่าที่แตกต่างกัน เป็นต้น

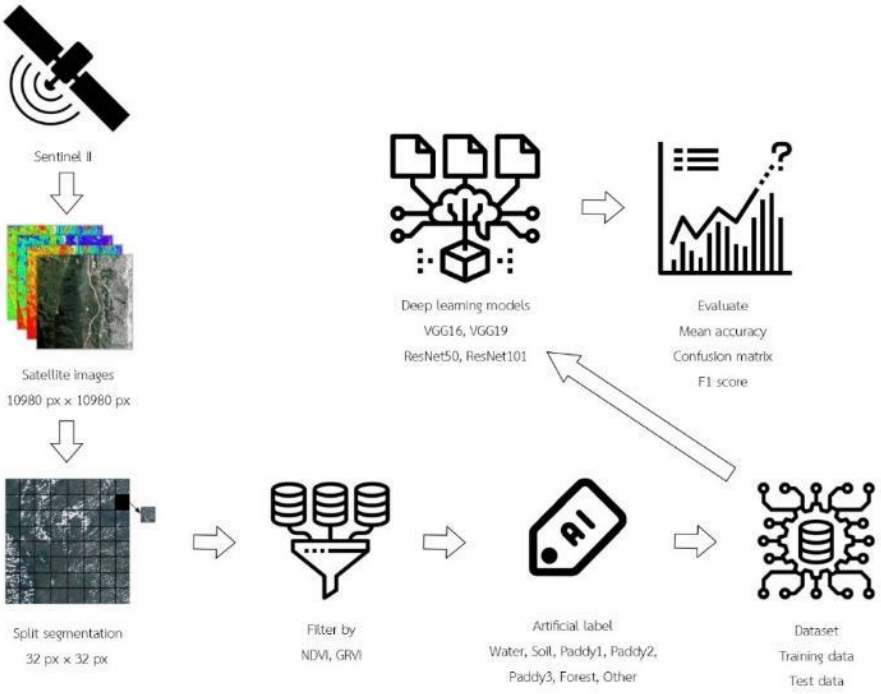
แต่เดิมนั้น งานวิจัยด้านการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมนิยมใช้อัลกอริทึมการจำแนกประเภทแบบเก่า เช่น decision tree, clustering, ensemble, และ artificial neural network (Gómez et al., 2016) มาใช้สร้างระบบจำแนกประเภทอย่างอัตโนมัติ (automatic classification system) เช่น โมเดลจำแนกสิ่งที่ปกคลุมพื้นที่ (land cover model) เป็นต้น โดยกระบวนการส่วนใหญ่จะเน้นการประมวลผลภาพเบื้องต้นมากกว่า แต่ในงานวิจัยสมัยใหม่นิยมใช้อัลกอริทึมแบบการเรียนรู้เชิงลึกในปัญหาเช่น CNNs, ResNet, GoogleLeNet (Helber et al., 2019; Kussul et al., 2017; Ling and Foody, 2019), generative adversarial networks (GANs) (Singh and Komodakis, 2018) ด้วยวิธีดังกล่าวจะทำให้สามารถประมวลผลภาพในสเกลใหญ่เช่น ระดับประเทศ ได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับวิธีการเดิมเพราะเป็นวิธีการที่เหมาะสำหรับปัญหาที่มีข้อมูลขนาดใหญ่

1.3 กระบวนการวิจัยและภาพรวมของระบบ

ภาพรวมของระบบ ดังแสดงใน **ภาพที่ 10** มีกระบวนการทำงานดังนี้

- นำเข้าภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 โดยเลือกเฉพาะ band และความละเอียดที่ต้องการใช้งาน
- ตัดภาพให้มีขนาดเล็กลงเพื่อให้เหมาะสมในการป้อนเข้าโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก
- คัดกรองภาพโดยใช้ค่าดัชนี NDVI และ GRVI
- สร้างลาเบลประดิษฐ์ (artificial label) ของข้อมูลทั้ง 7 คลาส ได้แก่ น้ำ ดิน ข้าวระยะ 1 – 3 ป่า และอื่นๆ
- แบ่งข้อมูลออกเป็น ข้อมูลสำหรับสอนโมเดล (training data) และข้อมูลสำหรับทดสอบโมเดล (test data)
- นำข้อมูลส่วนแรกไปสอนโมเดล
- นำข้อมูลส่วนหลังไปทดสอบระบบและประเมินประสิทธิภาพของระบบ

เมื่อมองในเชิงการประมวลผลภาพ งานวิจัยในส่วนนี้แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การได้มาของภาพถ่ายดาวเทียม 2) การประมวลผลเบื้องต้น 3) การเรียนรู้ของโมเดลจำแนกประเภท และ 4) การประมวลผลหลังการจำแนก ดังแสดงรายละเอียดใน**ตารางที่ 3**



ภาพที่ 10 ภาพรวมของระบบการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมด้วย Deep Learning Models

ตารางที่ 3 สรุปขั้นตอนการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมด้วย Deep Learning Models

ขั้นตอนหลัก	กิจกรรม
Data acquisition	1.1) เลือกพื้นที่เป้าหมาย 1.2) กำหนดค่าช่วงเวลา พื้นที่เป้าหมาย จำนวน band ที่ใช้ และดาวน์โหลดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจากเว็บไซต์ https://scihub.copernicus.eu (เมื่อสิ้นสุดขั้นตอนนี้จะทำให้ได้ภาพถ่ายดาวเทียมขนาด 10,980x10,980 พิกเซล)
Pre-processing	2.1) ตัดภาพให้มีขนาดเล็กลง โดยให้มีขนาด 32x32 พิกเซล เพื่อนำไปสร้างข้อมูลสำหรับสอนและทดสอบระบบ 2.2) กรองภาพโดยใช้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุดที่ยอมรับได้ (เช่น 0.05) ซึ่งคำนวณจากทุกพิกเซลใน 1 ภาพย่อยนั้น 2.3) สร้าง artificial label โดยใช้ค่าดัชนี NDVI และ GRVI
Classifier model learning	แบ่งชุดข้อมูลออกเป็นข้อมูลสำหรับสอนโมเดลและข้อมูลสำหรับทดสอบโมเดล 3.2) สร้างโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก โดยเลือกใช้ 4 โมเดล ได้แก่ VGG16, VGG19, ResNet50, และ ResNet101 3.3) ปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ ค่าไฮเปอร์พารามิเตอร์ และออกแบบการทดลอง 3.4) นำข้อมูลส่วนแรกไปสอนโมเดล 3.5) นำข้อมูลส่วนหลังไปทดสอบระบบและประเมินประสิทธิภาพของระบบ 3.6) ทำซ้ำข้อ 3.3 – 3.6 จนได้โมเดลที่มีความแม่นยำเพียงพอในการจำแนกลักษณะพื้นที่ 3.7) ทำซ้ำข้อ 3.2 – 3.6 โดยทดลองกับโมเดลถัดไปจนครบทุกโมเดล
Post-processing*	4.1) เลือกโมเดลที่ได้ผลความแม่นยำสูงสุด 4.2) นำผลการจำแนกของโมเดลดังกล่าวมาคำนวณพื้นที่รวมของข้าวระยะที่ 1 แล้วคูณกับค่าดัชนีความต้องการน้ำ (Kc) ทำในลักษณะเดียวกันกับพื้นที่รวมของข้าวระยะที่ 2 และ 3 4.3) คำนวณความต้องการน้ำจากการปลูกข้าวทั้งหมด ณ ช่วงเวลาที่สังเกตุ 4.4) ทำซ้ำข้อ 1 – 4.3 ณ ช่วงเวลาอื่น ๆ ก็จะสามารถคำนวณความต้องการน้ำจากการปลูกข้าวตามกรอบระยะเวลาที่ต้องการได้ เช่น รายสัปดาห์ เดือน ฤดู ปี

* อยู่ในแผนของโครงการวิจัยปีถัดไป

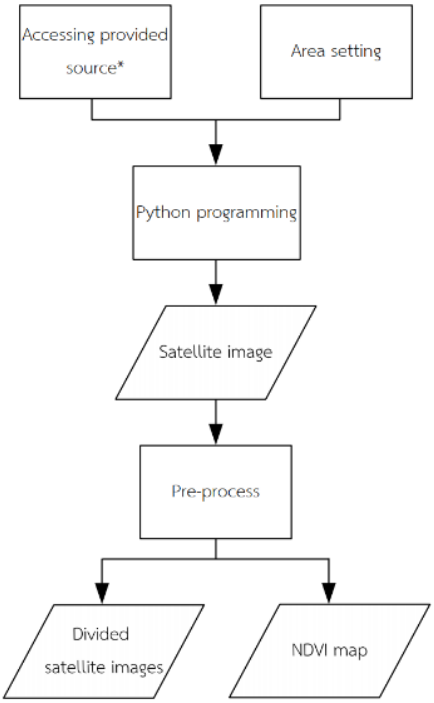
2) การได้มาของภาพถ่ายดาวเทียมและการประมวลผลเบื้องต้น

การได้มาของภาพจำเป็นต้องใช้วิธีการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) ในการถ่ายภาพและใช้เครื่องบันทึกข้อมูล (sensor) ในการเก็บข้อมูลพื้นผิวโลกเพื่อนำมาประมวลผล มีหลายวิธีเช่น การใช้โดรน การใช้เครื่องบิน การใช้ดาวเทียม แต่ละวิธีนั้นจะมีการเก็บบันทึกข้อมูลครอบคลุมพื้นที่ที่ต่างกันออกไป ดังนั้นเพื่อให้สอดคล้องกับโครงการที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่การเก็บข้อมูลด้วยดาวเทียมจึงเป็นวิธีที่เหมาะสม โดยดาวเทียมที่มีภารกิจในการสำรวจและถ่ายภาพพื้นผิวโลกที่สามารถเข้าถึงข้อมูลได้แบบสาธารณะ อาทิ ดาวเทียม Landsat MODIS Sentinel ASTER Meteosat ซึ่งดาวเทียมที่สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ง่ายและมีช่วงระยะเวลาในการถ่ายภาพซ้ำ ณ พื้นที่เดิม (Data Revisit Intervals) น้อยที่สุดคือดาวเทียม Sentinel-2 (Li and Roy, 2017) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ข้อมูลจากดาวเทียม Sentinel-2

Sentinel คือ ดาวเทียมที่มีภารกิจสังเกตการณ์บนโลกด้านสิ่งแวดล้อมที่ได้รับภาพเชิงแสงที่ความละเอียดเชิงพื้นที่ (10 เมตร ถึง 60 เมตร) เหนือพื้นดินและน่านน้ำชายฝั่ง โดยภารกิจนี้เป็นกลุ่มดาวเทียมที่มีดาวเทียมสองดวงคือ Sentinel-2A และ Sentinel-2B โดยดาวเทียม Sentinel-2A ได้เปิดใช้งานเมื่อวันที่ 23 มิถุนายน 2558 เป็นส่วนหนึ่งของโครงการ European Copernicus Sentinel-2 ประกอบไปด้วยนวัตกรรม wide-swath high-resolution multispectral imager (MSI) ประกอบด้วยคลื่นความถี่สเปกตรัม 13 คลื่นความถี่ จะทำให้เห็นรายละเอียดของพื้นดินและพืชที่แตกต่างกันได้อย่างชัดเจน ข้อมูลที่ได้จาก Sentinel-2 คือ ภาพความละเอียดเชิงพื้นที่สูง (สูงถึง 10 เมตร) สเปกตรัมใหม่ (เช่น การรวมสเปกตรัม 3 คลื่นความถี่ในช่วงของคลื่น red-edge รวมกับสเปกตรัม 2 คลื่นความถี่ใน SWIR) wide-swath ที่กว้างขึ้น (ความกว้าง 290 กิโลเมตร) และความถี่ในการบันทึกข้อมูลคือ 5 วัน (ดาวเทียม 2 ดวงในวงโคจร) คาดว่าจะให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการใช้งานที่หลากหลายของโปรแกรมประยุกต์สำหรับการเกษตร การสำรวจทรัพยากร การจัดการภัยพิบัติ การจัดการทรัพยากรน้ำ ฯลฯ

ตัวอย่างการใช้ข้อมูลของ Sentinel-2 คือการทำแผนที่ประเภทของพืชที่เพาะปลูก (crop type maps) จะถูกทำขึ้นก่อนที่จะจบฤดูการเพาะปลูกเพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจ รวมถึงนักวิทยาศาสตร์ใช้ป้อนข้อมูลในแบบจำลองการเพาะปลูกพืช นอกจากนั้นข้อมูลของ Sentinel-2 ได้มีปรับปรุง state-of-the-art ในการทำแผนที่การการเพาะปลูกจำลอง โดยใช้ข้อมูล Sentinel-2 การศึกษาพบว่าแผนที่ประเภทการเพาะปลูกมีรายละเอียดเพียงพอที่จะติดตามตรวจสอบผลผลิตพืช ข้อมูลจาก Sentinel-2 มีศักยภาพสูงในการเติมเต็มข้อมูลที่หายไปและปรับปรุงข้อมูลของแผนที่ประเภทการเพาะปลูกให้มีความถูกต้องและตรงกับช่วงเวลาที่ผู้ใช้ต้องการ ทั้งนี้มีการวิจัยเพื่อรวมอัลกอริทึมเหล่านี้เพื่อใช้กับข้อมูล Sentinel-2 เช่นภายในโครงการ Sentinel-2 for Agriculture ซึ่งได้รับทุนจากองค์การอวกาศยุโรป (ESA) หรือโครงการ CropMon ที่ได้รับทุนจากโครงการอวกาศออสเตรีย (ASAP) (Immitzer et al., 2016)

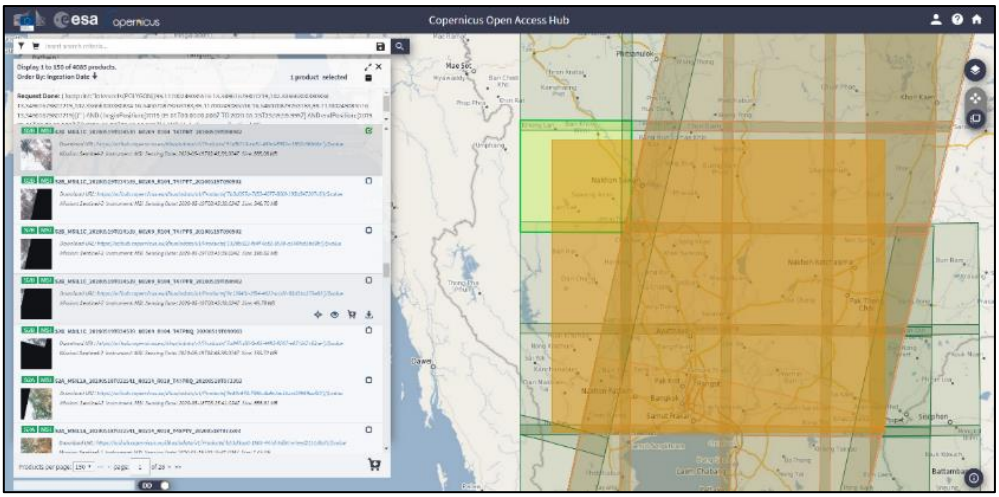
ขั้นตอนการได้มาของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมนั้นเริ่มจากการหาแหล่งที่มาของข้อมูล กำหนดขอบเขตพื้นที่ที่ต้องการข้อมูลจากนั้นทำการเขียนโปรแกรมภาษา Python เพื่อทำการดาวน์โหลดข้อมูล หลังจากได้ข้อมูลจะทำการเตรียมข้อมูลเบื้องต้น โดยด้วยแบ่งเป็น 2 วิธีคือการการแบ่งภาพและการทำแผนที่ดัชนีพืชพรรณแบบ NDVI ดังแสดงใน**ภาพที่ 11**



ภาพที่ 11 การได้มาของภาพและการประมวลผลเบื้องต้น

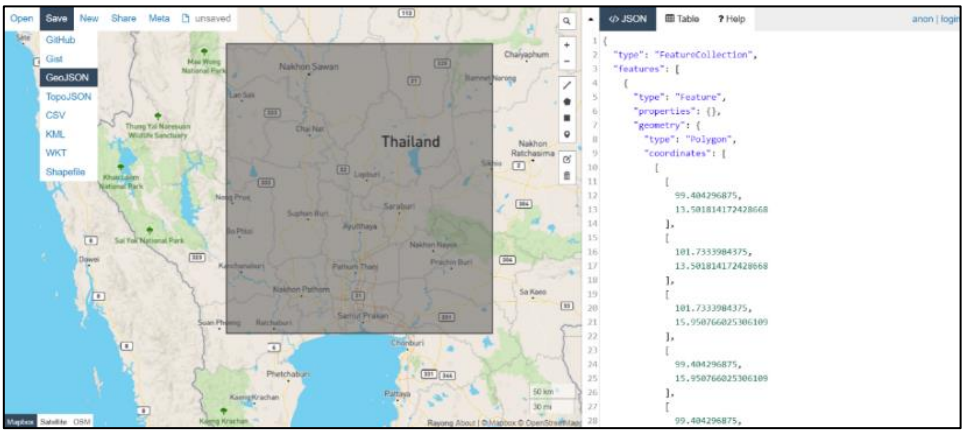
2.1 การได้มาของภาพถ่ายดาวเทียม

การที่จะเข้าถึงข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ได้นั้นจำเป็นต้องมีฐานข้อมูล ฐานข้อมูลของ Sentinel-2 อย่างเป็นทางการคือ URL: https://scihub.copernicus.eu/ ดังแสดงใน**ภาพที่ 12** โดยมีส่วนติดต่อผู้ใช้ที่สามารถทำการตีกรอบบริเวณพื้นที่ที่สนใจและทำการค้นหาจากนั้นจะแสดงผลการค้าหาที่ตรงกับพื้นหรือมีส่วนคาบเกี่ยวกับพื้นที่นั้น ๆ อีกทั้งยังสามารถเขียนโปรแกรมเชื่อมต่อเพื่อทำการดาวน์โหลดข้อมูลต่อเนื่องได้อีกด้วย



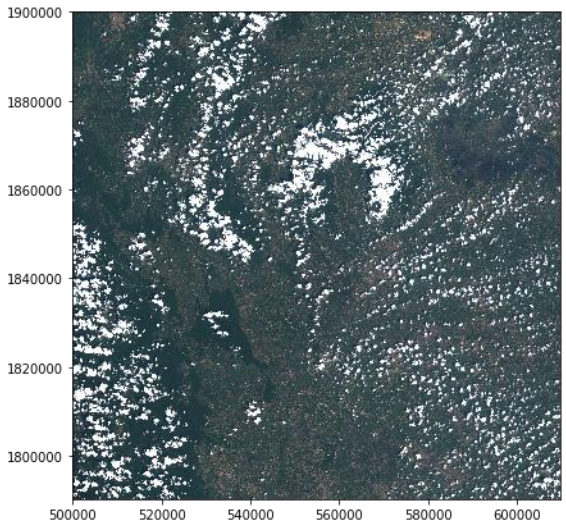
ภาพที่ 12 ส่วนติดต่อผู้ใช้ดาวเทียม Sentinel โครงการ Copernicus

การกำหนดขอบเขตของพื้นที่ศึกษานั้นสามารถทำได้โดยทำการเข้าเว็บไซต์ที่ URL: http://geojson.io/ เลือกพื้นที่ศึกษาโดยการตีกรอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการ ดังแสดงใน**ภาพที่ 13** โปรแกรมบนเว็บไซต์จะทำการระบุพิกัดของพื้นที่และเขียนข้อมูลลงในไฟล์เพื่อให้ผู้ใช้สามารถทำการดาวน์โหลดได้ จากนั้นทำการบันทึกไฟล์เพื่อใช้เป็นเงื่อนไขในการดาวน์โหลดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม



ภาพที่ 13 การบันทึกไฟล์เงื่อนไขพื้นที่ในการดาวน์โหลดข้อมูล

Python คือภาษาในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ระดับสูง โดยจุดเด่นของภาษา Python คือสามารถนำไปใช้กับระบบปฏิบัติการต่าง ๆ ได้หลากหลายอีกทั้งยังเป็นภาษาในการพัฒนาอย่างเสรีทำให้มีส่วนเสริมในการทำงานต่าง ๆ จำนวนมาก จึงง่ายต่อการใช้งานและพัฒนา การดาวน์โหลดข้อมูลแผนที่ด้วยโปแกรมภาษา Python นั้นสามารถทำได้โดยกำหนดค่าข้อมูลที่จะดาวน์โหลดคือ ชื่อดาวเทียม ขอบเขตของวันที่ เปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นของเมฆที่ปกคลุม ข้อมูลที่ได้ประกอบไปด้วยภาพถ่ายดาวเทียมในคลื่นความถี่ต่าง ๆ ดังแสดงใน **ภาพที่ 14** และ **ตารางที่ 4**



ภาพที่ 14 ภาพที่ได้จากโปรแกรมภาษา Python

ตารางที่ 4 ความละเอียดเชิงพื้นที่ของภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ในแต่ละช่วงคลื่นความถี่

Band	Description	Resolution	Wavelength
B1	Aerosols	60 meters	443.9nm (S2A) / 442.3nm (S2B)
B2	Blue	10 meters	496.6nm (S2A) / 492.1nm (S2B)
B3	Green	10 meters	560nm (S2A) / 559nm (S2B)
B4	Red	10 meters	664.5nm (S2A) / 665nm (S2B)
B5	Red Edge 1	20 meters	703.9nm (S2A) / 703.8nm (S2B)
B6	Red Edge 2	20 meters	740.2nm (S2A) / 739.1nm (S2B)
B7	Red Edge 3	20 meters	782.5nm (S2A) / 779.7nm (S2B)
B8	NIR	10 meters	835.1nm (S2A) / 833nm (S2B)
B8A	Red Edge 4	20 meters	864.8nm (S2A) / 864nm (S2B)
B9	Water vapor	60 meters	945nm (S2A) / 943.2nm (S2B)
B11	SWIR 1	20 meters	1613.7nm (S2A) / 1610.4nm (S2B)
B12	SWIR 2	20 meters	2202.4nm (S2A) / 2185.7nm (S2B)

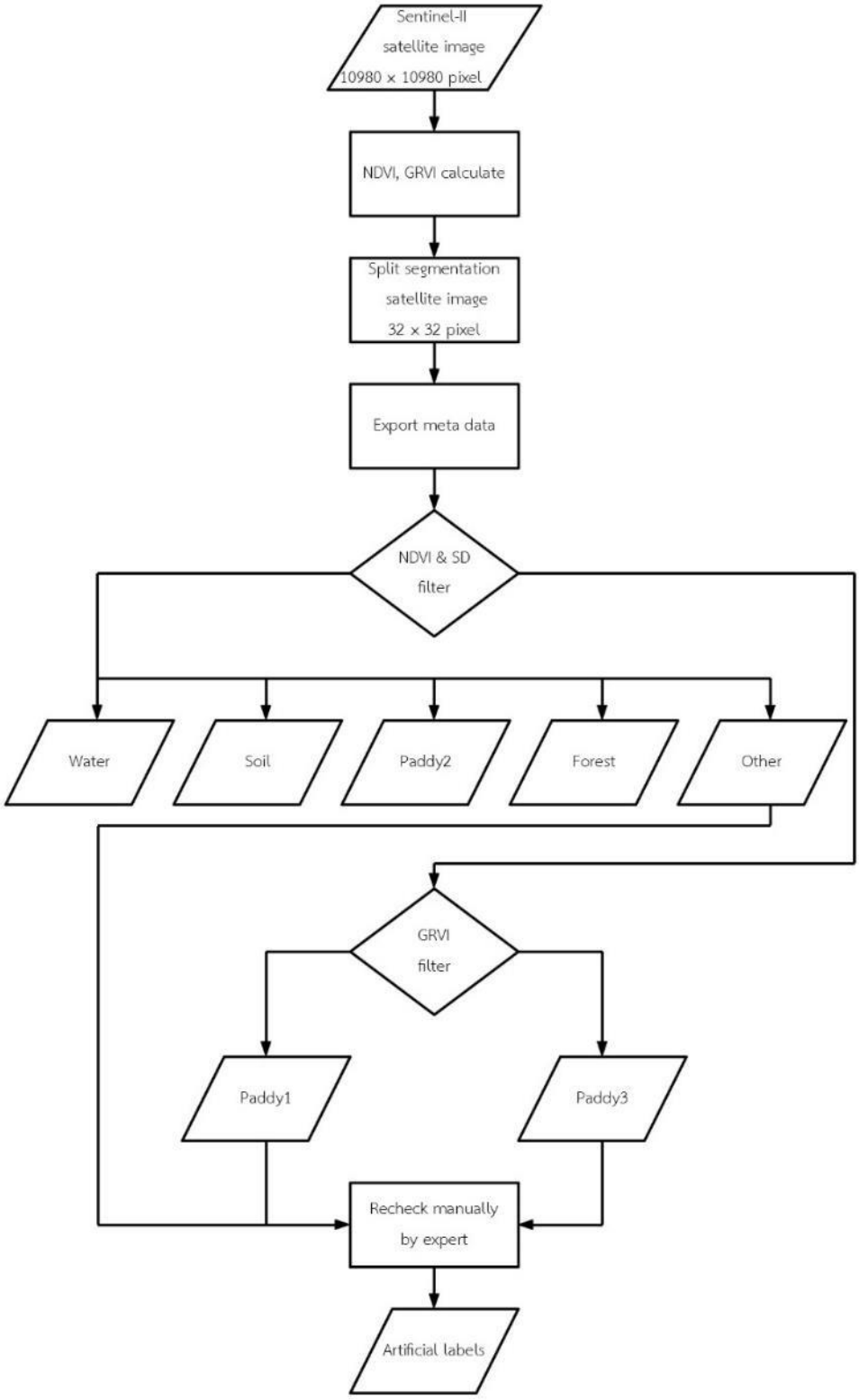
2.2 การประมวลผลข้อมูลเบื้องต้น

การประมวลผลข้อมูลเบื้องต้นคือการนำข้อมูลที่ได้รับเบื้องต้นนั้นมาผ่านการประมวลผลเพื่อให้ข้อมูลมีความเหมาะสมและสอดคล้องกับโปรแกรมหรือขั้นตอนถัดไป การประมวลผลข้อมูลเบื้องต้นกับภาพถ่ายดาวเทียมสามารถทำได้หลายวิธี ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ 2 วิธีคือการแบ่งภาพถ่ายดาวเทียมเป็นส่วนๆ การคำนวณดัชนีภาพดาวเทียมแบบ Normalized difference vegetation index (NDVI) และค่า Green-Red Vegetation Index (GRVI) เพื่อจำแนกประเภทของพื้นบางพื้นที่ที่ไม่สามารถใช้ค่า NDVI ในการจำแนกได้ ดังแสดงใน **ภาพที่ 15**

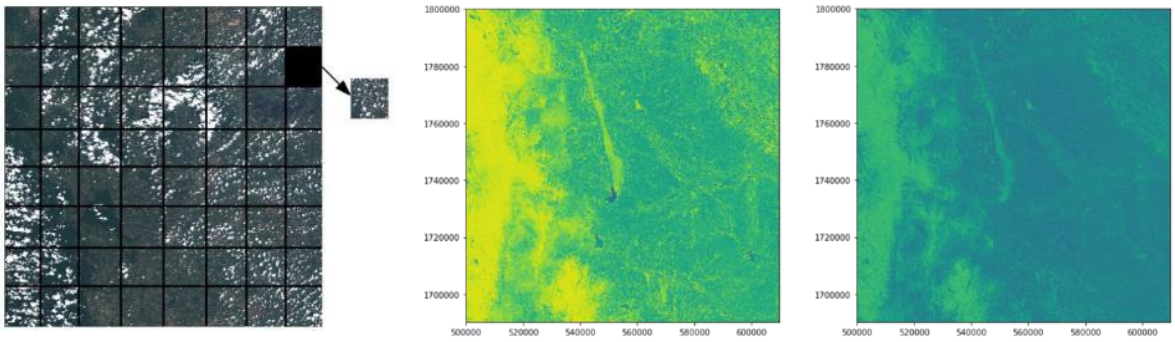
1) การคำนวณค่า NDVI, GRVI : NDVI คือค่าดัชนีพืชพรรณโดยภาพจะบอกค่าความเป็น พืช น้ำ หรือดิน เกิดการจากนำข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2 คลื่นความถี่ที่ B4 คือ Red และ B8 คือ NIR มาคำนวนเพื่อใช้ในการนำเข้าสู่โมเดลการเรียนรู้เชิงลึกทำให้โมเดลการเรียนรู้เชิงลึกสามารถแยกประเภทของสิ่งที่อยู่ในภาพถ่ายดาวเทียมได้ ส่วน GRVI (Motohka et al., 2010) คือค่าดัชนีพืชพรรณโดยที่ค่า GRVI จะบอกได้ว่าภาพถ่ายดาวเทียมมีค่าการสะท้อนของคลื่นเขียวหรือแดงมากกว่ากันทำให้สามารถแยกประเภทของข้าวที่มีค่า NDVI อยู่ในช่วงเดียวกันแต่ระยะการเจริญเติบโตต่างกัน GRVI เกิดการจากนำข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2 คลื่นความถี่ที่ B3 คือ Green และ B4 คือ RED มาคำนวณ สมการคำนวณค่า NDVI และ GRVI แสดงดังต่อไปนี้ และแสดงตัวอย่างภาพ NDVI และ GRVI ใน **ภาพที่ 16**

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$ สมการที่ 1

$$GRVI = \frac{Green - Red}{Green + Red}$$ สมการที่ 2



ภาพที่ 15 Workflow diagram ของขั้นตอนการประมวลผลภาพเบื้องต้นที่ใช้ในงานวิจัยนี้



(a) (b) (c)

ภาพที่ 16 การแบ่งภาพถ่ายดาวเทียม (a) ตัวอย่างภาพ NDVI (b) และตัวอย่างภาพ GRVI (c)

2) การแบ่งภาพ (split segmentation) คือการนำภาพถ่ายดาวเทียมมาแบ่งเป็นส่วนๆ เนื่องจากภาพถ่ายดาวเทียมนั้นมีขนาดใหญ่ยากต่อการนำเข้าโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก หากนำเข้าภาพถ่ายดาวเทียมที่มีขนาดใหญ่จะทำให้ใช้ทรัพยากรในการคำนวนจำนวนมาก จึงต้องทำการแบ่งภาพถ่ายดาวเทียมให้มีขนาดเล็กลง ทำให้ง่ายต่อการนำเข้าสู่โมเดลการเรียนรู้เชิงลึกและทำให้โมเดลการเรียนรู้เชิงลึกสามารถสกัดคุณลักษณะเด่นของภาพถ่ายดาวเทียมได้ดียิ่งขึ้น ในงานวิจัยนี้จะทำการแบ่งภาพถ่ายดาวเทียมเป็นขนาด 32 × 32 พิกเซล โดยจะทำการแบ่งภาพ true color image (TCI) NDVI และ GRVI เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนถัดไป

3) การนำออกข้อมูลรายละเอียด คือการนำค่าเฉลี่ยของภาพแต่ละชิ้นที่ถูกตัด โดยที่ภาพถ่ายดาวเทียมแบบ TCI นั้นจะได้ค่าเฉลี่ยเบี่ยงเบนมาตรฐาน SD ภาพ NDVI จะได้ค่าเฉลี่ยความเป็นพรรณพืช ภาพ GRVI จะได้ค่าความเป็นสีเขียวหรือแดง เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการคัดกรองประเภทของพื้นที่

4) การคัดกรองเพื่อแบ่งประเภท คือการกำหนดเงื่อนไขสำหรับแบ่งกลุ่มประเภทของพื้นที่ (Class) ออกเป็น 7 กลุ่ม โดยมีเงื่อนไขในการคัดกรองดังแสดงใน**ตารางที่ 5** และเมื่อทำการคัดกรองข้อมูลภาพทั้งหมดตามเงื่อนไขดังกล่าวแล้วสามารถแบ่งภาพย่อยได้จำนวนตัวอย่าง (Samples) ดังแสดงใน**ตารางที่ 6**

ตารางที่ 5 ค่า SD NDVI GRVI สำหรับคัดกรองเพื่อทำลาเบลประดิษฐ์ (Artificial Label)

Class	SD	NDVI	GRVI
Forest	≤ 0.05	≥ 0.8	
Paddy#1		0.4 - 0.59	< 0
Paddy#2		0.6 - 0.79	
Paddy#3		0.4 - 0.59	> 0
Soil		0 - 0.19	
Water		< 0	
Other	≥ 0.4		

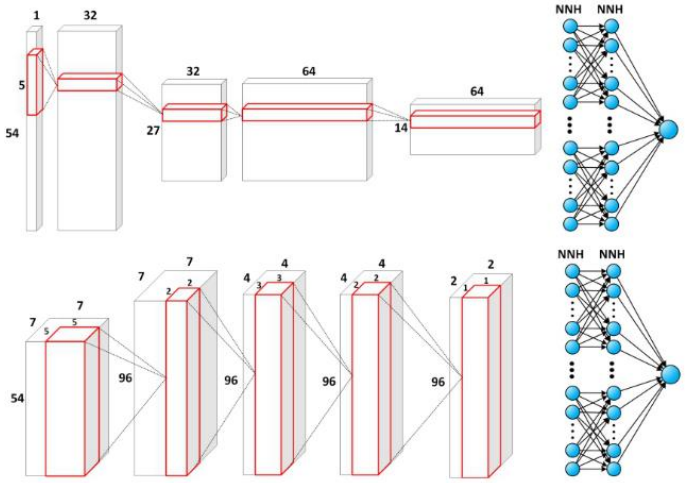
ตารางที่ 6 Dataset ข้อมูลภาพที่จัดแบ่งกลุ่มตามเงื่อนไขการคัดกรองประเภท

Class number	Class	Number of samples
1	Forest	4,238
2	Other	6,098
3	Paddy#1	869
4	Paddy#2	1,870
5	Paddy#3	777
6	Soil	2,180
7	Water	1,390
	Total	**17,422**

3) โมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่ใช้พัฒนาระบบ

ขั้นตอนการวิเคราะห์รอบการเพาะปลูกด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักดังนี้

- *การเตรียมข้อมูล* คือ การเตรียมภาพถ่ายดาวเทียมในของเขตปัญหาที่ต้องการ ได้แก่ ดาวเทียมที่ใช้ถ่ายภาพ พื้นที่ ช่วงเวลา จำนวนชีนภาพ ความละเอียด ย่านความถี่สัญญาณ ดังที่ได้แสดงรายเอียดไว้ในข้อ 2.1 การได้มาของภาพถ่ายดาวเทียม
- *การประมวลผลภาพเบื้องต้น* เนื่องจากการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมเป็นปัญหาเฉพาะทาง (special problem) ของการเรียนรู้ของเครื่อง งานในขั้นตอนนี้จึงต้องใช้องค์ความรู้/เทคนิคเฉพาะทาง เพื่อเตรียมข้อมูลให้พร้อมสำหรับนำไปจำแนกรูปแบบในขั้นตอนถัดไป โดยเทคนิคที่นิยมใช้ในงานประเภทนี้ได้แก่ normalized difference vegetation index (NDVI) (Weigand et al., 2020; Zeferino et al., 2020) และ self-organization Kohonen maps (SOMs) (Kussul et al., 2017) โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธี NDVI และศึกษาถึงวิธีอื่น ๆ ที่อาจมีความเหมาะสมเพิ่มเติม
- *การจำแนกรูปแบบด้วยวิธีการเรียนรู้แบบมีผู้สอนแบบการเรียนรู้เชิงลึก* ซึ่งเป็นขั้นตอนหลักของงานวิจัยในส่วนนี้ โดย ณ ปัจจุบัน ได้ทดลองใช้โมเดลการเรียนรู้เชิงลึกในการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมหลายรูปแบบ ได้แก่ CNNs, ResNET, DenseNET, spatio-temporal GAN (ST-GAN) และอยู่ในขั้นตอนรอผลการทดลองทั้งหมดก่อนตัดสินใจเลือกใช้ 2 โมเดลที่มีประสิทธิภาพสูงสุด
- *การประมวลผลหลังจำแนก (post-processing) และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ (geospatial analysis)* ขั้นตอนนี้เป็นการประมวลผลในขั้นสุดท้ายเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามโจทย์วิจัย ในที่นี้คือการวิเคราะห์รูปแบบการเพาะปลูกพืช จะทำได้โดยใช้การวิเคราะห์พื้นที่ใช้งานและสิ่งปกคลุมพื้นที่ในตำแหน่งเดียวกันหลายๆ ภาพจากเวลาที่แตกต่างกัน (multitemporal scenes) และวิเคราะห์ร่วมกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ ได้แก่ รอบการเพาะปลูกของพืชที่สนใจ การแบ่งประเภทย่อยของพืชที่สนใจ เช่น แปลงข้าวจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ประเภทย่อย ได้แก่ ข้าวต้นอ่อน ข้าวเต็มวัย และข้าวสุกพร้อมเก็บเกี่ยว เพื่อนำมาคำนวณความต้องการน้ำในภาคการเกษตรในลำดับถัดไป



ภาพที่ 17 สถาปัตยกรรม Convolutional neural network แบบ 1 มิติ (บน) และ 2 มิติ (ล่าง)

3.1 โมเดล VGG16 และ VGG19

โมเดล VGG (Simonyan and Zisserman, 2015) คือโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียม โดยมีพื้นฐานมาจากโครงข่ายประเภท CNN (convolutional neural network) โมเดล VGG มีชั้นซ่อนตัวที่นำมาเรียงต่อกันหลายๆ ชั้น เช่น VGG16 และ VGG19 มีความลึกของชั้นซ่อนตัว 16 และ 19 ชั้นตามลำดับ ดังแสดงตัวอย่างใน**ภาพที่ 18**

Stage	Layer	Filter size	VGG16	VGG19	No. of filter	Output size
Input						224×224×3
Stage 1	Conv.	3×3	×2	×2	64	112×112×64
	Max pool					
Stage 2	Conv.	3×3	×2	×2	128	56×56×256
	Max pool					
Stage 3	Conv.	3×3	×3	×4	256	28×28×512
	Max pool					
Stage 4	Conv.	3×3	×3	×4	512	14×14×1024
	Max pool					
Stage 5	Conv.	3×3	×3	×4	512	7×7×2048
	Max pool					
FC-4096						
FC-4096						
FC-1000						
Softmax						

ภาพที่ 18 สถาปัตยกรรมของโมเดล VGG16 และ VGG19

3.2 โมเดล ResNet50 และ ResNet101

โมเดล ResNet (He et al., 2016) เป็นหนึ่งในโมเดล DNN ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในปัจจุบัน สถาปัตยกรรมของโมเดลนี้ถูกพัฒนาต่อยอดมาจากโมเดล CNN โมเดล ResNet มักถูกใช้ในปัญหาต่าง ๆ ของการประมวลผลภาพรวมถึงการจดจำภาพ โดยทั่วไปสำหรับสถาปัตยกรรม CNN กลยุทธ์ในการปรับปรุงประสิทธิภาพคือการลงลึกมากขึ้นโดยการเพิ่มชั้นซ่อนตัว อย่างไรก็ตามวิธีนี้นำไปสู่ปัญหา vanishing exploding gradients (ภาวะที่ค่าน้ำหนักของแต่ละโหนดในชั้นซ่อนตัวมีค่าเข้าใกล้ศูนย์) ResNet สามารถแก้ปัญหานี้ได้โดยใช้การเชื่อมต่อทางลัดไปยังบล็อกที่เหลือซึ่งเป็นการถ่ายทอดคุณลักษณะจากชั้นซ่อนตัวก่อนหน้า เนื่องจากสถาปัตยกรรมดังกล่าวสามารถใช้ประโยชน์จากการเพิ่มชั้นซ่อนตัวเพื่อแก้ปัญหานี้ได้ โมเดล ResNet จึงถูกพัฒนาออกมาหลายรุ่นและถูกนำไปใช้แก้ปัญหาที่หลากหลาย ในงานวิจัยนี้เลือกใช้โมเดล ResNet50 และ ResNet101 ดังแสดงใน

Stage	Layer	Filter size	ResNet 50	ResNet 101	No. of filter	Output size
Input						224×224×3
Stage 1	7×7 Conv. stride 2				64	112×112×64
Stage 2	3×3 Max pooling stride 2					56×56×256
	Conv.	1×1	×3	×3	64	
		3×3			64	
		1×1			256	
Stage 3	Conv.	1×1	×4	×4	128	28×28×512
		3×3			128	
		1×1			512	
Stage 4	Conv.	1×1	×6	×23	256	14×14×1024
		3×3			256	
		1×1			1024	
Stage 5	Conv.	1×1	×3	×3	512	7×7×2048
		3×3			512	
		1×1			2048	
Average pool, 1000-d FC, Softmax						1×1

ภาพที่ 19 สถาปัตยกรรมของโมเดล ResNet50 และ ResNet101

4) การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) การวัดค่าความแม่นยำเฉลี่ย และ 2) การวัดประสิทธิภาพของโมเดลอย่างละเอียด ในการทดลองส่วนแรกนั้น ชุดข้อมูลและลาเบลประดิษฐ์จะถูกนำมาใช้เพื่อสอนโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก 4 โมเดล ได้แก่ VGG16 VGG19 ResNet50 และ ResNet101 การทดลองเริ่มจากการฝึกโมเดลโดยใช้ข้อมูล 80 เปอร์เซ็นต์ของชุดข้อมูล หลังจากนั้นทำการทดสอบจากข้อมูล 20 เปอร์เซ็นต์ที่เหลือ และทำซ้ำ 5 รอบ (แต่ละรอบเลือกข้อมูลทดสอบที่แตกต่างกัน) ในแต่ละโมเดล (5-fold cross validation) ผลที่ออกมาคือค่าความแม่นยำเฉลี่ยในการจำแนกคลาสของแต่ละโมเดล

ส่วนที่ 2 คือการวัดประสิทธิภาพของโมเดลอย่างละเอียด โดยเริ่มจากการใช้ Confusion matrix เพื่อวิเคราะห์การจำแนกถูก (true positive) และการจำแนกผิด (false positive และ false negative) ของแต่ละคลาส และใช้เครื่อง F1-score ในการบอกค่าประสิทธิภาพของโมเดลในแง่ของ precision คือ ความน่าจะเป็นที่โมเดลสามารถทำนายประเภทพื้นที่ได้ถูกต้องจากการจำแนกว่าถูกต้องทั้งหมด (false positive + true positive) และ Recall คือ ความน่าจะเป็นที่โมเดลสามารถทำนายประเภทพื้นที่ได้ถูกต้องจากจำนวนข้อมูลที่ถูกต้องทั้งหมด (true positive + true positive) ส่วนสุดท้ายคือ F1-score คือ ค่าที่วัดประสิทธิภาพโดยรวมทั้งหมดของระบบซึ่งคำนวณจากค่า Precision และ Recall ซึ่งค่าทั้ง 3 ดังกล่าวสามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Precision} = \frac{\text{TruePositive}}{\text{TruePositive} + \text{FalsePositive}} \qquad \text{สมการที่ 3}$$

$$\text{Recall} = \frac{\text{TruePositive}}{\text{TruePositive} + \text{FalseNegative}} \qquad \text{สมการที่ 4}$$

$$\text{F1} - \text{Score} = 2 \times \frac{\text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \qquad \text{สมการที่ 5}$$

ในการออกแบบการทดลอง ใช้อุปกรณ์ Hardware ได้แก่ CPU INTEL CORE I3 - 9100F, GPU NVIDIA RTX2060 SUPER 8GB VRAM, RAM 16GB DDR4 และ Disk 960GB SSD M.2 ใช้การตั้งค่า Hyper-parameter ของโมเดล ได้แก่ Learning rate เท่ากับ 1.00E-04, Epochs เท่ากับ 15 และ Batch size เท่ากับ 64

ผลการประเมินประสิทธิภาพของโมเดล มีดังต่อไปนี้

4.1 ค่าความแม่นยำเฉลี่ย

จากการทดลองพบว่าโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกที่ได้ค่าความแม่นยำเฉลี่ยมากที่สุดคือ โมเดล ResNet101 (**ตารางที่ 7**) เพราะเป็นโมเดลที่มีความลึกของชั้นซ่อนตัวที่มากกว่าโมเดลอื่นจึงทำให้สามารถสกัดคุณลักษณะของข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการทำนายได้ดีกว่าโมเดลที่มีชั้นซ่อนตัวที่น้อย

จากการอ่านค่า Confusion matrix (**ตารางที่ 8**- **ตารางที่ 11**) แสดงให้เห็นว่าค่าความแม่นยำเฉลี่ยของแต่ละโมเดลมีค่าใกล้เคียงกัน แต่โมเดล VGG จะมีค่าความแม่นยำเฉลี่ยในแต่ละคลาสน้อยกว่าโมเดล ResNet อย่างเห็นได้ชัด คลาสที่มีความแม่นยำน้อยที่สุดในทุกโมเดลคือคลาส paddy 1 โมเดลจะทำนายว่าเป็นคลาส paddy 2 และ paddy 3 ซึ่งทั้ง 3 คลาสมีลักษณะใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 7 ค่าความแม่นยำเฉลี่ยของโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก

โมเดลการเรียนรู้เชิงลึก	ค่าความแม่นยำเฉลี่ย (%)
VGG16	93.54
VGG19	92.68
ResNet50	95.06
ResNet101	96.38

ตารางที่ 8 Confusion matrix ของโมเดล VGG16

True class \ Predicted class	forest	other	paddy1	paddy2	paddy3	soil	water
forest	0.9953	0.0000	0.0035	0.0012	0.0000	0.0000	0.0000
other	0.0008	0.9516	0.0049	0.0262	0.0008	0.0107	0.0049
paddy1	0.0575	0.0057	0.6552	0.1264	0.1207	0.0345	0.0000
paddy2	0.0160	0.0455	0.0241	0.9118	0.0000	0.0000	0.0027
paddy3	0.0000	0.0065	0.1097	0.0000	0.6903	0.1935	0.0000
soil	0.0000	0.0161	0.0000	0.0000	0.0069	0.9771	0.0000
water	0.0000	0.0252	0.0000	0.0144	0.0000	0.0000	0.9604

ตารางที่ 9 Confusion matrix ของโมเดล VGG19

True class \ Predicted class	forest	other	paddy1	paddy2	paddy3	soil	water
forest	0.9965	0.0012	0.0012	0.0012	0.0000	0.0000	0.0000
other	0.0082	0.9484	0.0049	0.0246	0.0016	0.0090	0.0033
paddy1	0.1034	0.0115	0.5575	0.1264	0.1667	0.0345	0.0000
paddy2	0.0160	0.0401	0.0080	0.9332	0.0000	0.0000	0.0027
paddy3	0.0065	0.0000	0.1935	0.0065	0.6258	0.1677	0.0000
soil	0.0000	0.0229	0.0023	0.0000	0.0023	0.9725	0.0000
water	0.0000	0.0288	0.0288	0.0036	0.0000	0.0000	0.9388

ตารางที่ 10 Confusion matrix ของโมเดล ResNet50

True class \ Predicted class	forest	other	paddy1	paddy2	paddy3	soil	water
forest	0.9953	0.0000	0.0012	0.0035	0.0000	0.0000	0.0000
other	0.0057	0.9672	0.0025	0.0180	0.0000	0.0041	0.0025
paddy1	0.0230	0.0000	0.7586	0.1207	0.0977	0.0000	0.0000
paddy2	0.0508	0.0428	0.0053	0.9011	0.0000	0.0000	0.0000
paddy3	0.0000	0.0258	0.1355	0.0000	0.7548	0.0839	0.0000
soil	0.0000	0.0161	0.0000	0.0000	0.0000	0.9839	0.0000
water	0.0000	0.0000	0.0000	0.0144	0.0000	0.0000	0.9856

ตารางที่ 11 Confusion matrix ของโมเดล ResNet101

True class \ Predicted class	forest	other	paddy1	paddy2	paddy3	soil	water
forest	0.9953	0.0000	0.0000	0.0047	0.0000	0.0000	0.0000
other	0.0025	0.9598	0.0025	0.0254	0.0000	0.0057	0.0041
paddy1	0.0115	0.0115	0.8161	0.0862	0.0747	0.0000	0.0000
paddy2	0.0053	0.0080	0.0000	0.9866	0.0000	0.0000	0.0000
paddy3	0.0000	0.0129	0.0839	0.0000	0.8258	0.0774	0.0000
soil	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0023	0.9977	0.0000
water	0.0000	0.0180	0.0000	0.0108	0.0000	0.0000	0.9712

4.2 ค่า F1-Score

ผลการทดลองจาก**ตารางที่ 12**และ **ตารางที่ 13** แสดงให้เห็นว่าโมเดล ResNet101 มีค่า F1-score มากที่สุดและโมเดลตระกูล ResNet มีค่า F1-score มากกว่าโมเดลตระกูล VGG แสดงให้เห็นว่าโมเดลตระกูล ResNet มีประสิทธิภาพโดยรวมที่ดีกว่า งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้โมเดล ResNet101 ในการพัฒนาระบบประเมินความต้องการน้ำตามโจทย์วิจัย

ตารางที่ 12 F1-score ของโมเดล VGG16 และ VGG19

โมเดล VGG16			
Class	**Precision**	**Recall**	**F1-score**
Forest	0.9803	0.9953	0.9877
Other	0.9724	0.9516	0.9619
Paddy1	0.7651	0.6552	0.7059
Paddy2	0.8525	0.9118	0.8811
Paddy3	0.8106	0.6903	0.7456
Soil	0.8968	0.9771	0.9352
Water	0.9745	0.9604	0.9674
Average	**0.8932**	**0.8774**	**0.8836**

โมเดล VGG19			
Class	**Precision**	**Recall**	**F1-score**
Forest	0.9602	0.9965	0.9780
Other	0.9698	0.9484	0.959
Paddy1	0.6644	0.5575	0.6063
Paddy2	0.8639	0.9332	0.8972
Paddy3	0.7519	0.6258	0.6831
Soil	0.9079	0.9725	0.9391
Water	0.9812	0.9388	0.9596
Average	**0.8713**	**0.8532**	**0.8603**

ตารางที่ 13 F1-score ของโมเดล ResNet50 และ ResNet101

โมเดล ResNet50			
Class	**Precision**	**Recall**	**F1-score**
Forest	0.9657	0.9953	0.9803
Other	0.9776	0.9672	0.9724
Paddy1	0.8302	0.7586	0.7928
Paddy2	0.8708	0.9011	0.8857
Paddy3	0.8731	0.7548	0.8097
Soil	0.9597	0.9839	0.9717
Water	0.9892	0.9856	0.9874
Average	**0.9238**	**0.9067**	**0.9143**

โมเดล ResNet101			
Class	**Precision**	**Recall**	**F1-score**
Forest	0.9918	0.9953	0.9935
Other	0.9899	0.9598	0.9746
Paddy1	0.8987	0.8161	0.8554
Paddy2	0.8744	0.9866	0.9271
Paddy3	0.9014	0.8258	0.8620
Soil	0.9581	0.9977	0.9775
Water	0.9818	0.9712	0.9765
Average	**0.9423**	**0.9361**	**0.9381**

5) สรุปผลการทดลอง

ระบบประเมินความต้องการน้ำภาคเกษตรกรรมโดยใช้การวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมด้วยโมเดลปัญญาประดิษฐ์ประเภทการเรียนรู้ของเครื่องชนิดการเรียนรู้เชิงลึกที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ หลังจากได้พัฒนาระบบและทดสอบตามการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ดังหัวข้อที่ผ่านมา สามารถสรุปได้ดังนี้

โมเดลที่ได้คะแนนเฉลี่ยสูงสุดในการจำแนกพื้นที่ได้แก่ ResNet101 โดยได้ค่าความแม่นยำเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 96.38 โดยโมเดลที่เหลืออีก 3 โมเดลยังคงได้คะแนนเฉลี่ยสูง ดังนั้นจึงทำการทดลองต่อด้วย confusion matrix เพื่อดูรายละเอียดในการจำแนกถูก/ผิดของแต่ละคลาส ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าโมเดล VGG16, VGG19, และ ResNet50 มีการจำแนกผิดมากที่สุดที่คลาส paddy1 และ paddy3 ซึ่งทำให้ได้คะแนนความแม่นยำของคลาสดังกล่าวต่ำ ในขณะที่ ResNet101 จำแนกผิดมากที่สุดที่ 2 คลาสดังกล่าวเช่นกัน แต่คะแนนที่ได้ไม่ต่างจากคลาสอื่น ๆ มากนัก และเมื่อวิเคราะห์อย่างละเอียดมากขึ้นด้วยเครื่องมือ F1-score ซึ่งจะทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของระบบอย่างละเอียด ผลการทดลองยังคงแสดงให้เห็นว่าโมเดล ResNet101 มีประสิทธิภาพมากที่สุด งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้โมเดลดังกล่าวในการสร้างระบบประเมินความต้องการน้ำ

จากผลการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า ระบบประเมินความต้องการน้ำภาคการเกษตรจากภาพถ่ายดาวเทียมด้วยโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกที่ได้พัฒนาขึ้นมานี้สามารถประเมินความต้องการน้ำในพื้นที่กรณีศึกษาตั้งต้นได้อย่างแม่นยำ โดยได้ค่าความแม่นยำเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 96.38 และมีค่า Precision, Recall, F1-score ที่ร้อยละ 94.23 93.61 และ 93.81 ตามลำดับ

การต่อยอดงานวิจัยส่วนนี้ในอนาคตได้วางแผนไว้ 3 ส่วน คือ 1) การเก็บข้อมูลจริงภาคสนาม 2) การขยายกรอบเวลาในการประเมินความต้องการน้ำ และ 3) การขยายขอบเขตพื้นที่ศึกษา ทั้งนี้ เพื่อให้ตอบวัตถุประสงค์หลักของโครงการวิจัย คือ การประเมินปริมาณความต้องการน้ำในพื้นที่ราบภาคกลางได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยแนวทางการต่อยอดในแต่ละส่วนเป็นดังนี้

5.1 การเก็บข้อมูลจริงภาคสนาม

ข้อมูลจริง (ground truth) เป็นสิ่งสำคัญของการสร้างระบบที่ใช้ปัญญาประดิษฐ์ประเภทการเรียนรู้เชิงลึกเนื่องจากทำให้ระบบทราบถึงความแม่นยำของการคาดการณ์อย่างละเอียด โดยการนำส่วนที่แตกต่างกันของข้อมูล

จริงกับข้อมูลคาดการณ์มาปรับค่าน้ำหนักและพารามิเตอร์ภายในโมเดล เพื่อให้ระบบประเมินความต้องการน้ำนี้มีความแม่นยำมากขึ้น การดำเนินการวิจัยส่วนนี้ในปีที่ผ่านมานั้น ทีมวิจัยได้มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกต้นแบบ และการจัดการกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม เช่น การสร้างชุดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม การประมวลผลเบื้องต้น การสร้างลาเบลประดิษฐ์ การพัฒนาโมเดล VGG16, 19 และ ResNet50, 101 ร่วมกับส่วนอื่น ๆ ตามกรอบงานที่ได้ออกแบบไว้ เป็นต้น จึงยังไม่ได้เริ่มงานในส่วนการเก็บข้อมูลจริงภาคสนาม เพื่อนำมาพัฒนาประสิทธิภาพของระบบดังกล่าว

ในรอบปีถัดไป ทีมวิจัยมีแผนที่จะเก็บข้อมูลจริงภาคสนามเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ดังกล่าวข้างต้น โดยจะเน้นที่นาแปลงขนาดกลางและนาแปลงขนาดใหญ่ ซึ่งหมายถึงกระทงนาที่มีขนาด 30 – 100 ไร่และมากกว่า 100 ไร่ตามลำดับ กระทงนาที่มีขนาดกลางและใหญ่เหล่านี้จะทำให้ได้ภาพถ่ายดาวเทียมที่ใหญ่เพียงพอที่จะนำมาสร้างข้อมูลจริงภาคสนามเพื่อปรับค่าโมเดลให้สมบูรณ์มากขึ้นต่อไป โดยการเลือกแปลงนานั้นมีประเด็นที่ต้องพิจารณาได้แก่ 1) ขนาดกลางหรือใหญ่ 2) อยู่ในเขตพื้นที่ชลประทาน 3) เกษตรกรเจ้าของแปลงยินดีให้ความร่วมมือ 4) อยู่ในพื้นที่ที่สอดคล้องกับขอบเขตงานของโครงการวิจัย

5.2 การขยายกรอบเวลาในการประเมินความต้องการน้ำ

เนื่องงานวิจัยนี้ดำเนินการโดยใช้กรอบเวลา ณ จุดสังเกตเพียงจุดเดียว โดยยังไม่ได้มีการประเมินในกรอบเวลาที่มีความต่อเนื่อง ผลลัพธ์ที่ได้จึงเป็นการวิเคราะห์ความต้องการน้ำภาคเกษตรกรรม ณ ขณะใดขณะหนึ่ง ฉะนั้นการต่อยอดงานวิจัยในส่วนนี้จึงควรขยายกรอบเวลาศึกษา เช่น ความต้องการน้ำภาคเกษตรกรรมในรอบ 1 ปี เป็นต้น ซึ่งต้องมีการเก็บข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมถี่ขึ้น เพื่อนำมาวิเคราะห์และประเมินความต้องการน้ำตามกรอบเวลาที่ศึกษา เช่น รายสัปดาห์ รายเดือน ฯลฯ อีกทั้งความเปลี่ยนแปลงของค่าการสะท้อนช่วงคลื่นของข้าวที่อยู่ในภาพถ่ายดาวเทียมพื้นที่เดียวกันแต่ต่างเวลานั้น จะทำให้ทีมวิจัยสามารถวิเคราะห์รูปแบบการเพาะปลูก (Cropping Pattern) ได้อีกด้วย ซึ่งจะทำให้ทราบถึงจำนวนรอบการเพาะปลูกของแต่ละพื้นที่และยังสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลตรวจสอบย้อนกลับเพื่อเพิ่มความแม่นยำให้แก่ระบบอีกด้วย

5.3 การขยายขอบเขตพื้นที่ศึกษา

แผนงานในส่วนนี้คือการวางแผนในการขยายขอบเขตศักยภาพของระบบประเมินความต้องการน้ำให้มุ่งไปสู่ขอบเขตใหญ่ของโครงการวิจัย คือ พื้นที่ราบภาคกลาง ทางทีมวิจัยได้วางแผนงานไว้ 3 ระยะดังนี้

ระยะที่ 1 พื้นที่กรณีศึกษาตั้งต้น หมายถึง พื้นที่ขนาดเล็กจำนวนหนึ่งที่อยู่ในขอบเขตของโครงการวิจัยและมีประเภทการใช้งานย่อยครบถ้วนครอบคลุมตามขอบเขตปัญหาที่ได้วิเคราะห์ไว้ ได้แก่ ข้าวระยะ 1 – 3, ดิน, น้ำ, ป่า และอื่นๆ

ระยะที่ 2 จังหวัดนำร่อง หมายถึง พื้นที่ปลูกข้าวในเขตชลประทานใน 1 จังหวัดที่อยู่ในที่ราบภาคกลาง

ระยะที่ 3 ที่ราบภาคกลาง หมายถึง พื้นที่ปลูกข้าวในเขตชลประทานทั้งหมดที่อยู่ในที่ราบภาคกลาง

ในปีที่ผ่านมา ทีมวิจัยได้ดำเนินการในระยะที่ 1 เสร็จสิ้นแล้ว ฉะนั้น ในปีที่ 2 และ 3 จึงมีแผนที่จะขยายขอบเขตพื้นที่ศึกษาไปสู่ระยะที่ 2 และ 3 ตามลำดับ โดยในการขยายขอบเขตแต่ละระยะดังกล่าวนั้น จะต้องมีการศึกษาองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติมด้วย เช่น ตัวแบบทางสถิติ ปัญญาประดิษฐ์แขนงอื่น ฯลฯ

3.2 การประเมินความต้องการน้ำในภาคการเกษตรด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

ความต้องการน้ำในภาคการเกษตร (agricultural water requirement, W_a) โดยวิธีการคำนวณตามแนวทางดั้งเดิม (conventional method) จะอยู่ภายใต้กรอบแนวคิดว่าพืชต้องได้รับน้ำอย่างเพียงพอโดยไม่เกิดการขาดน้ำ ปริมาณน้ำที่พืชต้องการจึงเป็นปริมาณน้ำที่ต้องรักษาระดับความชื้นในดินที่เหมาะสม โดยทั่วไปจะหมายถึงความชื้นดินในช่วงระหว่างความชื้นชลประทาน (field capacity, FC) และความชื้นที่จุดวิกฤติ (critical point, CP) ซึ่งเป็นช่วงระดับความชื้นที่พืชไม่เกิดความเครียดจากการขาดน้ำ (crop water stress) รวมทั้งพืชต้องมีความสมบูรณ์ปราศจากโรคและแมลงศัตรูพืช มีธาตุอาหารที่เพียงพอจะทำให้พืชมีศักยภาพการให้ผลผลิตอย่างเต็มที่ โดยพืชจะมีอัตราการคายระเหยน้ำเป็นค่าสูงสุดตามทฤษฎี เรียกว่า ปริมาณความต้องการน้ำของพืช (crop evapotranspiration: ET_c) อย่างไรก็เมื่อมีการให้น้ำชลประทานในระดับไร่นาตามปริมาณความต้องการน้ำของพืชจะพบว่าน้ำส่วนหนึ่งจะเกิดการสูญเสียรั่วซึมเลยเขตรากพืช (deep percolation) และมีฝนใช้การ (effective rainfall, R_e) หรือน้ำฝนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชซึ่งเป็นฝนที่ตกลงมาในพื้นที่แล้วถูกกักเก็บไว้ในดินบริเวณเขตรากพืช (ในกรณีนาข้าวจะหมายถึงน้ำฝนที่กักเก็บไว้ในกระทงนา) ดังนั้นในการคำนวณความต้องการน้ำชลประทานในระดับไร่นาจึงต้องนำค่าฝนใช้การและการสูญเสียน้ำจากการรั่วซึมเลยเขตรากพืชมาร่วมพิจารณาด้วย ดังแสดงใน **ภาพที่ 20**

ในขณะที่ปริมาณน้ำชลประทานทั้งหมดที่ต้องส่งให้กับพื้นที่เกษตรกรรม (gross irrigation water requirement) พบว่าน้ำบางส่วนจะเกิดการสูญเสียไปในระบบส่งน้ำ ทำให้ต้องนำค่าประสิทธิภาพการชลประทานมาคำนวณด้วย (Pereira and Alves, 2013) ดังนั้นความต้องการน้ำในภาคการเกษตรในที่นี้จึงหมายถึง ปริมาณความต้องการน้ำชลประทานทั้งหมดสำหรับการเกษตร สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\text{Gross IWR} = \text{Net IWR} / Ei \qquad \text{สมการที่ 6}$$

โดย Gross IWR = ปริมาณความต้องการน้ำชลประทานทั้งหมด (gross irrigation water requirement)
Net IWR = ปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิ (net irrigation water requirement)
Ei = ประสิทธิภาพการชลประทาน (irrigation efficiency)

สำหรับปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิในที่นี้คำนวณได้จากปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยพิจารณาปริมาณฝนใช้การและการสูญเสียรั่วซึมเลยเขตรากพืชด้วย ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Net IWR} = ET_c - R_e + (DP + LP) \qquad \text{สมการที่ 7}$$

โดย ET_c = ปริมาณการใช้น้ำของพืช (crop evapotranspiration)
R_e = ฝนใช้การ (effective rainfall)
DP = ค่าการรั่วซึมน้ำ (deep percolation) คิดเฉพาะกรณีนาข้าว
LP = ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมแปลง (land preparation) คิดเฉพาะกรณีนาข้าว

ปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET_c) โดยวิธีการคำนวณตามแนวทางดั้งเดิม นิยมใช้การคำนวณจากผลคูณระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (crop coefficient; K_c) และปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (reference crop evapotranspiration; ET_o) ดังสมการต่อไปนี้

$$ET_c = K_c \times ET_o$$ สมการที่ 8

ค่า ET_o คำนวณโดยใช้สมการ Penman Monteith ซึ่งต้องการข้อมูลนำเข้าทางภูมิอากาศและสภาพภูมิประเทศ ประกอบด้วย อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ชั่วโมงแสงแดด พิกัดทางภูมิศาสตร์และความสูงจากระดับน้ำทะเลของสถานีที่ตรวจวัด ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$ สมการที่ 9

โดยที่ R_n = ปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่พืชได้รับ ($MJ/m^2/d$)

G = fluxค่าความร้อนของพื้นดิน ($MJ/m^2/d$)

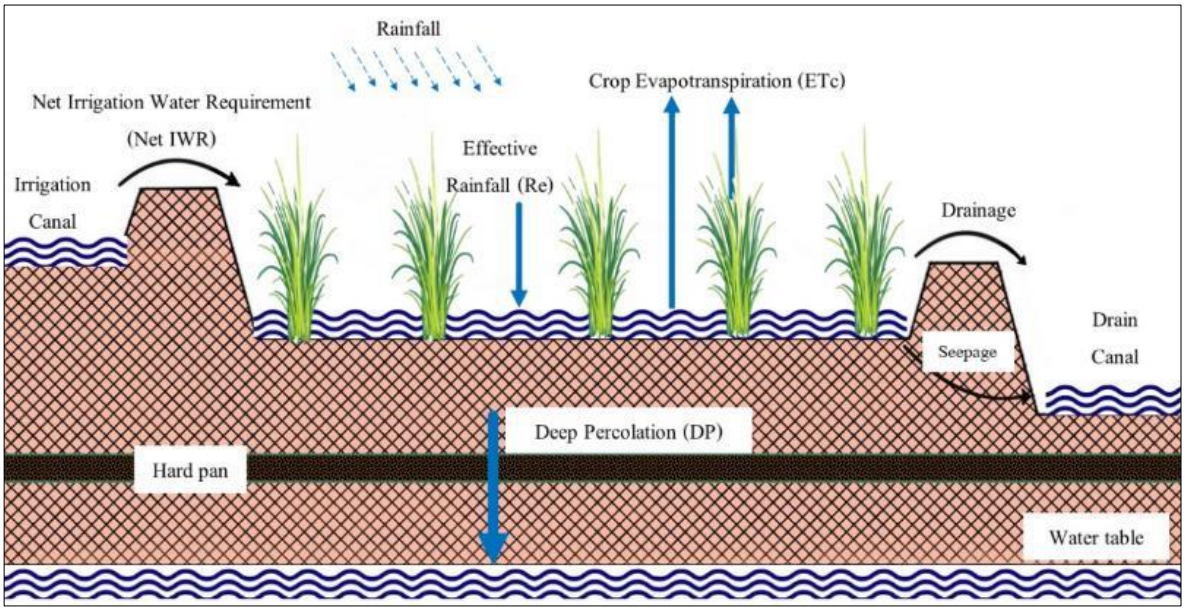
T = อุณหภูมิของอากาศเฉลี่ย (°C)

Δ = ค่าความลาดเทของเส้น curve แรงดันไอ (kPa/°C)

γ = ค่าคงที่ของ psychrometric (kPa/°C)

u_2 = ค่าความเร็วลมที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 2 ม. (m/s)

(e_s-e_a) = ค่าความต่างของแรงดันไอ (kPa)

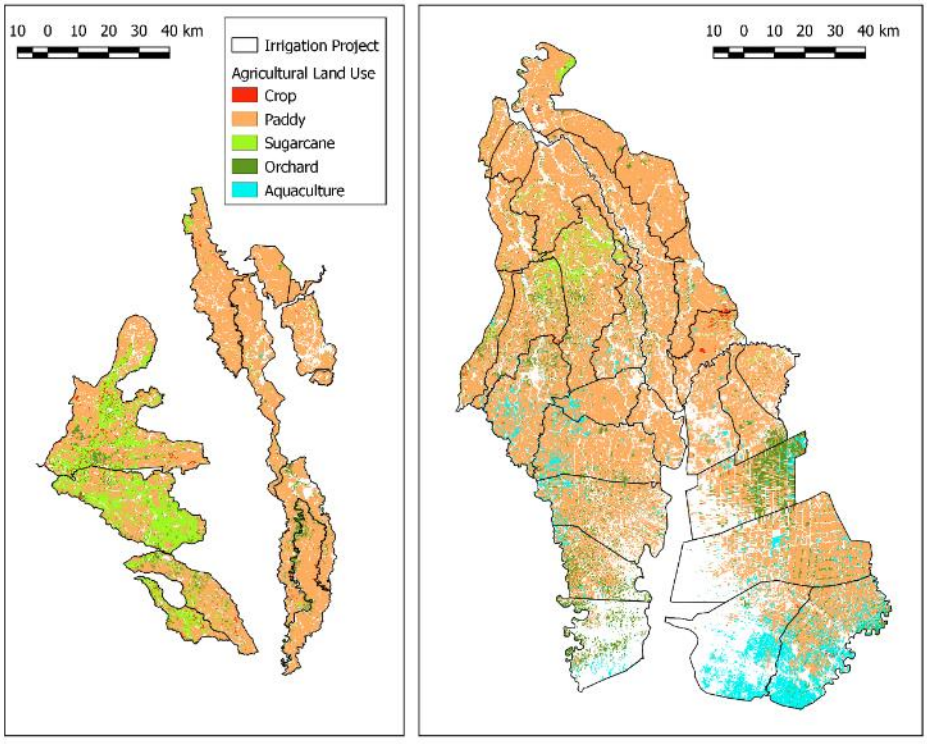


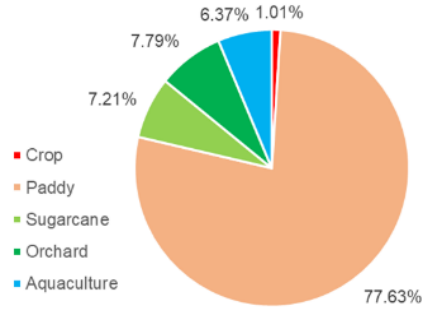
ภาพที่ 20 สมดุลน้ำในแปลงนา ดัดแปลงจาก (Rowshon et al., 2006)

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลจากการสำรวจระยะไกลด้วยภาพถ่ายดาวเทียม (remote sensing data) ร่วมกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและเทคนิคทางด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิโดยมีรายละเอียดการคำนวณในขั้นตอนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1) การประเมินพื้นที่เพาะปลูก (cultivated area) ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

ในการประเมินพื้นที่เพาะปลูกได้ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินช่วงปี 2560-62 ของกรมพัฒนาที่ดิน คัดเลือกเฉพาะกลุ่มการใช้ประโยชน์ที่ดินด้านการเกษตรและออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ นาข้าว พืชไร่ สวนผลไม้ อ้อย และประมง ดังแสดงใน**ภาพที่ 21** โดยนาข้าวมีสัดส่วนพื้นที่มากที่สุดคิดเป็น 77.63% ของพื้นที่การเกษตร ส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ไม่ใช่การเกษตร (เช่น พื้นที่หมู่บ้าน พาณิชยกรรม ป่าไม้ เป็นต้น) จะไม่นำมาประเมินเป็นพื้นที่เพาะปลูก





พืช	พื้นที่ (ไร่)
ข้าว	7,191,755.25
อ้อย	668,093.19
พืชไร่	93,525.69
ไม้ผล	721,438.81
บ่อปลา หากุ้ง	589,784.00
รวม	9,264,596.94

ภาพที่ 21 การใช้ประโยชน์ที่ดินด้านการเกษตร

งานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในระบบ MODIS (MODerate-resolution Imaging Spectroradiometers) ดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ของกรมสำรวจธรณีวิทยาแห่งสหรัฐอเมริกา (USGS) (URL https://earthexplorer.usgs.gov/) เลือกใช้ข้อมูลจากผลิตภัณฑ์ MOD09A1 ซึ่งเป็นภาพผสมราย 8 วัน (8-day composites) จากดาวเทียม Terra ขนาดจุดภาพ ประมาณ 500 เมตร x 500 เมตร และเป็นผลิตภัณฑ์ภาพ Level-3 ซึ่งเป็นค่าการสะท้อนพื้นผิว (surface reflectance) ที่ได้รับการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศ (atmospheric correction)

จากนั้น นำมาคำนวณค่าดัชนี 3 รูปแบบได้แก่ ดัชนีพืชพรรณแบบ NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (Rouse et al., 1973) ดัชนีน้ำแบบ NDWI (Normalized Difference Water Index) (Gao, 1996) และดัชนีน้ำท่วม NDFI (Normalized Difference Flood Index) (Boschetti et al., 2014) ตามสมการดังนี้

$$\mathrm{NDVI} = \frac{\rho_{\mathrm{NIR}} - \rho_{\mathrm{RED}}}{\rho_{\mathrm{NIR}} + \rho_{\mathrm{RED}}}$$ สมการที่ 10

$$\mathrm{NDWI} = \frac{\rho_{\mathrm{NIR}} - \rho_{\mathrm{NIR2}}}{\rho_{\mathrm{NIR}} + \rho_{\mathrm{NIR2}}}$$ สมการที่ 11

$$\mathrm{NDFI} = \frac{\rho_{\mathrm{RED}} - \rho_{\mathrm{SWIR2}}}{\rho_{\mathrm{RED}} + \rho_{\mathrm{SWIR2}}}$$ สมการที่ 12

โดยค่าการสะท้อนของพื้นผิวในช่วงคลื่นแต่ละภาพมีความหมายดังนี้

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

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

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

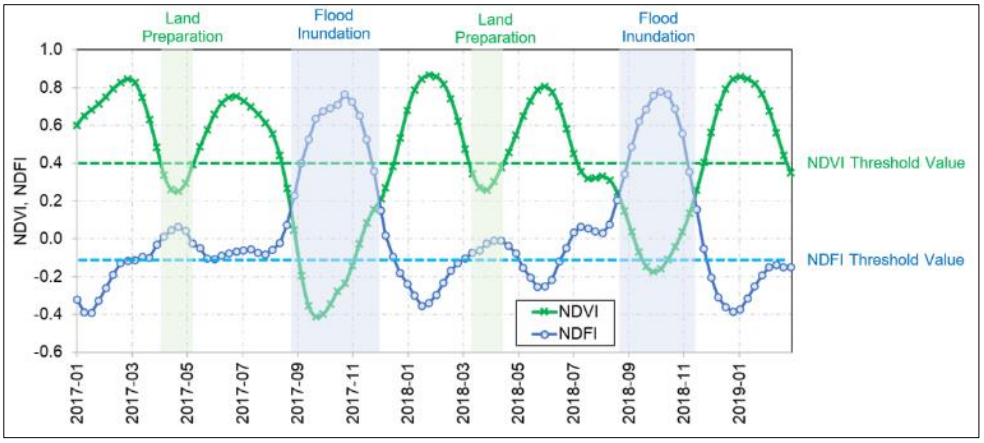
ρ_{SWIR2} คือ ภาพแบนด์ 7 ช่วงคลื่นอินฟราเรดคลื่นสั้น (Shortwave-infrared, 2,105-2,155 nm)

ดัชนีทั้งสามชนิดจะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง -1 ถึง 1 อย่างไรก็ตาม ค่าดัชนีในแต่ละช่วงเวลามีความแปรปรวนของข้อมูล งานวิจัยนี้จึงใช้วิธีปรับความเรียบด้วยตัวกรองแบบ Saviztky – Golay (Chen et al., 2004) สำหรับ NDVI จะเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงระดับความเป็นพืชพรรณปกคลุมดิน โดยพื้นผิวที่มีพืชพรรณปกคลุมอยู่หนาแน่นจะมีค่าการสะท้อนช่วงคลื่น NIR สูงกว่าช่วงคลื่น RED ทำให้ NDVI มีค่าเป็นบวก กรณีพื้นผิวที่มีพืชพรรณปกคลุมน้อยหรือเป็นพื้นดินเปล่าจะมีค่าการสะท้อนระหว่างทั้งสองช่วงคลื่นใกล้เคียงกันทำให้ NDVI มีค่าใกล้เคียงกับ 0 และกรณีพื้นผิวเป็นน้ำจะมีค่าการสะท้อนช่วงคลื่น RED สูงกว่าช่วงคลื่น NIR ทำให้ NDVI มีค่าติดลบ สำหรับ NDWI เป็นดัชนีที่มีความอ่อนไหวต่อค่าความชื้นของพื้นผิว จึงเหมาะสำหรับการตรวจวัดค่าความชื้นของพืชหรือความชื้นของดิน (Rokni et al., 2014) โดยพื้นที่ที่มีความชื้นของพื้นผิวสูงจะมีค่า NDWI เป็นค่าบวก ส่วน NDFI เป็นดัชนีที่มีความสามารถในการตรวจวัดน้ำท่วมขังในระดับตื้นได้ดี (Boschetti et al., 2014) โดยพื้นที่ที่มีน้ำท่วมขังจะมีค่า NDFI เป็นค่าบวก

ในการระบุพื้นที่เพาะปลูก (cultivated area) โดยทั่วไปจะมีพืชพรรณที่ปกคลุมดินซึ่งจะมีค่า NDVI เฉลี่ยสูงกว่า 0.4 ขึ้นไป ดังนั้นสามารถใช้เกณฑ์ NDVI > 0.4 เป็นเกณฑ์เบื้องต้นสำหรับคัดกรองพื้นที่เพาะปลูกพืชได้ อย่างไรก็

ตามสำหรับในพื้นที่ปลูกข้าวจะมีความซับซ้อนของพื้นที่เนื่องจากในแต่ละรอบของการเพาะปลูกจะมีสภาพสิ่งปกคลุมดินที่มีความผันแปรและผสมผสานกันระหว่างดิน-น้ำ-พืช โดยในช่วงเตรียมแปลงจะมีการขังน้ำไว้ในนาทำให้มีสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินเป็นผิวน้ำผสมกับดิน ในช่วงเริ่มต้นของการเพาะปลูกจะมีการขังน้ำไว้ในนาทำให้มีสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินผสมระหว่างน้ำและพืช ในช่วงเก็บเกี่ยวจะมีตอซังข้าวเหลือในนาทำให้มีสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินผสมระหว่างพืชและดิน ดังนั้นจึงต้องอาศัยเกณฑ์ตัดสินใจร่วมระหว่างดัชนี NDVI, NDWI และ NDFI โดยในงานวิจัยนี้ได้คัดเลือกพื้นที่ 2 แห่ง เป็นพื้นที่ตัวแทนในการพัฒนาเกณฑ์การตัดสินใจกำหนดขีดแบ่งค่าดัชนีทั้งสามเพื่อกำหนดพื้นที่เพาะปลูกข้าว/พื้นที่เตรียมแปลง แสดงตัวอย่างดังต่อไปนี้

ภาพที่ 22 เป็นภาพตัวแทนพื้นที่ปลูกข้าวใน ต.เทพมงคล อ.บางซ้าย จ.พระนครศรีอยุธยา (โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเจ้าเจ็ด-บางยี่หน) เป็นพื้นที่ที่มีการดำเนินนโยบายปรับเปลี่ยนปฏิทินการเพาะปลูกข้าวของกระทรวงเกษตรฯ โดยกำหนดให้การปลูกข้าวในพื้นที่ลุ่มต่ำให้เร็วขึ้นกว่าปกติ (ปลูกข้าวเหลื่อมเวลา) ซึ่งกรมชลประทานจะเริ่มส่งน้ำตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคมและกำหนดให้เก็บเกี่ยวให้แล้วเสร็จภายในวันที่ 15 กันยายนจากนั้นจะเริ่มผันน้ำเข้าพื้นที่ลุ่มต่ำในวันที่ 25 กันยายน สำหรับการระบายน้ำออกจากทุ่งจะเริ่มดำเนินการเมื่อเกษตรกรจะทำการเพาะปลูกพืชฤดูแล้ง โดยให้เป็นไปตามข้อตกลงกับประชาชนในพื้นที่ของแต่ละทุ่ง (ประมาณเดือนพฤศจิกายน-มกราคม) ทั้งนี้ได้เริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2559 เป็นต้นมา จากกราฟจะเห็นว่าค่า NDFI ในช่วงที่รับน้ำเข้าทุ่งมีค่าสูงกว่า NDVI แสดงให้เห็นว่าเป็นช่วงน้ำท่วม ในขณะที่ช่วงเวลาเตรียมแปลง NDVI จะมีค่าต่ำ กว่า 0.4 แต่ NDFI มีค่า -0.1 แสดงให้เห็นว่าเป็นช่วงที่มีพืชพรรณปกคลุมดินน้อยแต่มีสัดส่วนปริมาณน้ำผิวดินบางส่วน ดังนั้นจึงสามารถใช้เกณฑ์ NDVI > 0.4 เป็นเกณฑ์แบ่งระหว่างช่วงการเพาะปลูกออกจากช่วงอื่นได้ รวมทั้งใช้เกณฑ์ NDFI > NDVI ในการจำแนกพื้นที่น้ำท่วม (Zou et al., 2017) และเกณฑ์ NDFI > -0.1 AND NDVI < 0.4 เป็นเกณฑ์กำหนดพื้นที่เตรียมแปลงได้

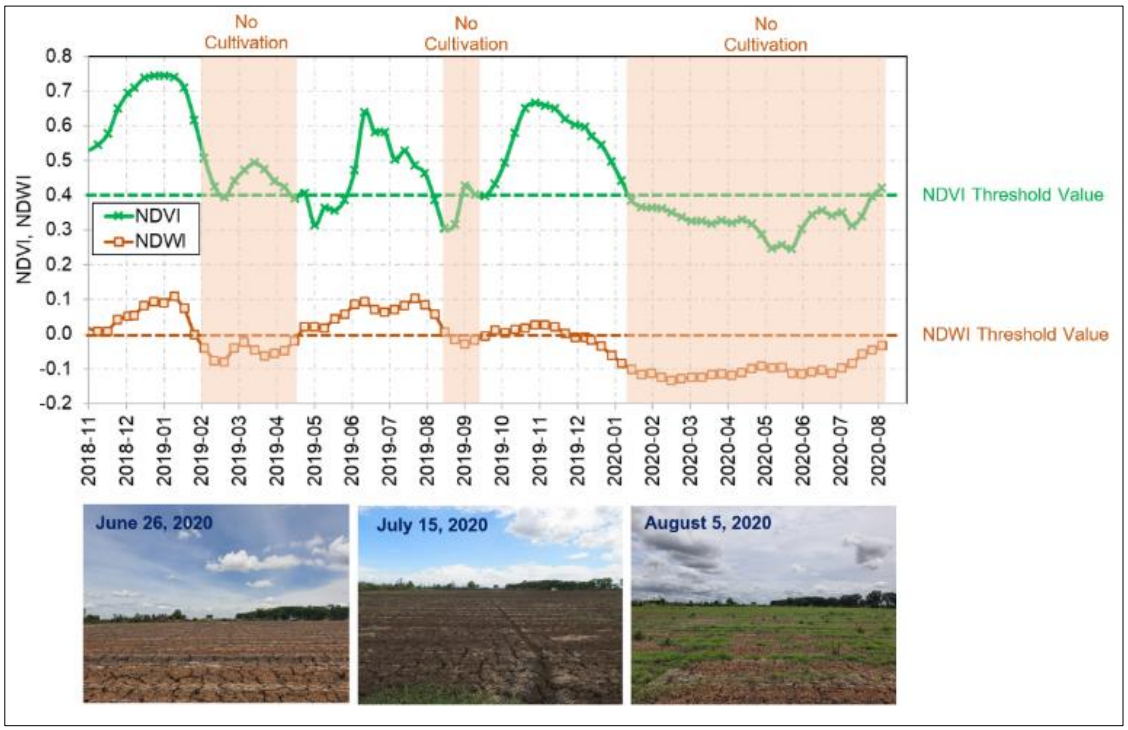


ภาพที่ 22 ค่าขีดแบ่ง (threshold value) ดัชนี NDVI และ NDFI

ภาพที่ 23 เป็นภาพตัวแทนพื้นที่ปลูกข้าวใน ต.ดอนตาล อ.เมืองสุพรรณบุรี จ.สุพรรณบุรี (โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโพธิ์พระยา) จะเห็นว่ามีบางช่วงระยะเวลาที่ค่า NDVI มีค่ามากว่า 0.4 แต่ในช่วงเลาดังกล่าวเป็นช่วงสิ้นสุดการเพาะปลูกแล้ว นอกจากนี้จากการสำรวจภาคสนามอย่างต่อเนื่องในช่วงเดือน มิ.ย. - ส.ค. พ.ศ. 2563 พบว่าพื้นที่ดังกล่าวหยุดการเพาะปลูกตั้งแต่เดือน ม.ค. เป็นต้นมาเนื่องจากไม่มีน้ำชลประทานและไม่มีแหล่งน้ำอื่นเพียงพอ

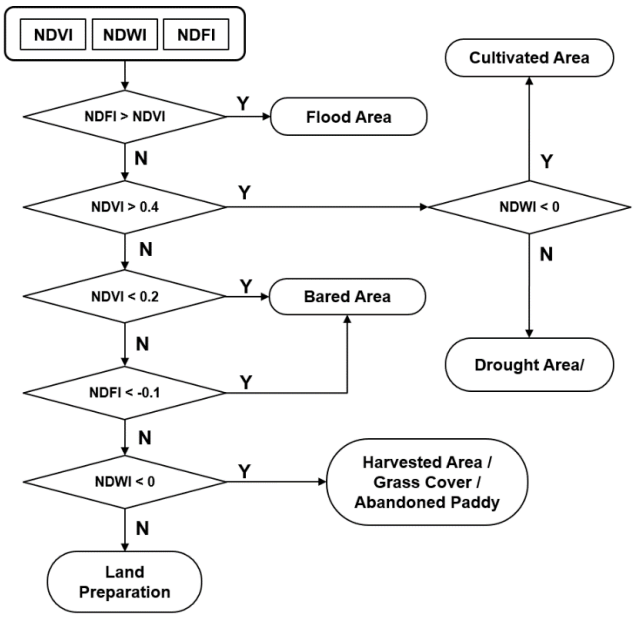
สำหรับการเพาะปลูก เมื่อใช้ดัชนี NDWI โดยกำหนดค่าขีดแบ่งที่ 0 พบว่ามีความสัมพันธ์กับพื้นที่กล่าวคือในช่วงที่ไม่มีการปลูกข้าว สภาพแปลงนาจะมีความแห้งแล้ง (ความชื้นในดินต่ำ) แม้ว่าจะมีวัชพืชปกคลุมดินอยู่บ้างแต่ NDWI โดยทั่วไปก็จะมีค่าต่ำกว่า 0 ดังนั้นจึงสามารถใช้เกณฑ์ NDWI > 0 เป็นเกณฑ์แบ่งพื้นที่เพาะปลูกออกจากพื้นที่แห้งแล้งหรือแปลงนาที่ไม่ได้ทำการเพาะปลูกได้

จากเกณฑ์แบ่งดังกล่าว สามารถกำหนดภาพรวมของการใช้ดัชนี NDVI, NDFI และ NDWI มาใช้ในการตัดสินใจตามลำดับขั้นโดยใช้ค่าขีดแบ่ง (threshold value) ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยมีผังเกณฑ์ลำดับขั้นในการตัดสินใจดังแสดงใน **ภาพที่ 24** และเมื่อใช้เกณฑ์ตัดสินใจดังกล่าว สามารถประเมินพื้นที่เพาะปลูกราย 8 วัน ในเขตโครงการชลประทานในพื้นที่ราบลุ่มภาคกลางได้ดังแสดงใน **ภาพที่ 25**

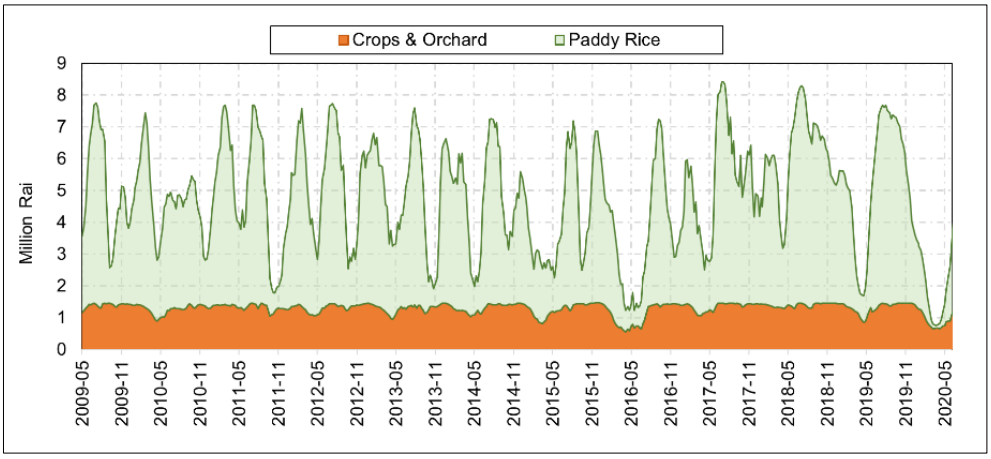


ภาพที่ 23 ค่าขีดแบ่ง (threshold value) ดัชนี NDVI และ NDWI

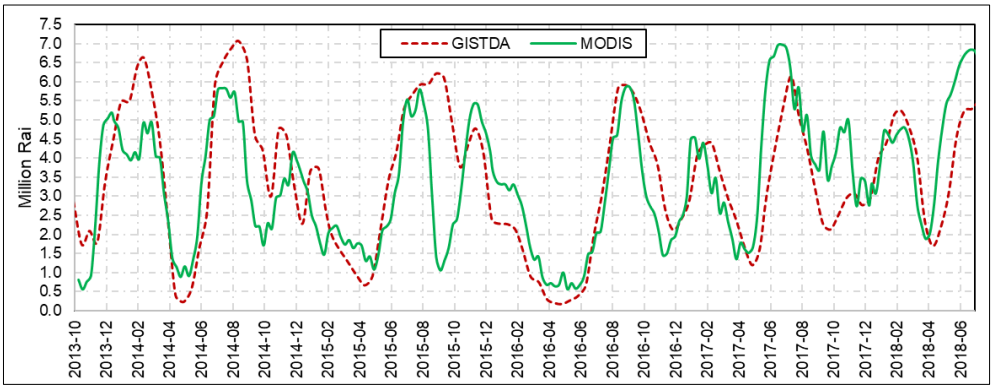
ผลจากการประเมินพื้นที่เพาะปลูกด้วยดัชนี NDVI, NDFI และ NDWI จากภาพถ่ายดาวเทียม MODIS นำมาเปรียบเทียบกับผลการประเมินติดตามการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจของไทยด้วยระบบบริการภูมิสารสนเทศเพื่อการเกษตรที่พัฒนาระบบโดยสำนักงานเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (GISTDA) จาก URL https://gisagro40.gistda.or.th/rice ดังแสดงใน **ภาพที่ 26** ในที่นี้เปรียบเทียบเฉพาะพื้นที่เพาะปลูกข้าว พบว่าการประเมินพื้นที่ปลูกข้าวด้วยข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม MODIS มีแนวโน้มความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกันกับข้อมูลพื้นที่ปลูกข้าวของ GISTDA



ภาพที่ 24 เกณฑ์ลำดับขั้นในการตัดสินใจแบ่งลักษณะกิจกรรมในพื้นที่นาข้าว



ภาพที่ 25 พื้นที่ปลูกพืชในเขตโครงการชลประทานในพื้นที่ราบภาคกลางช่วงปี พ.ศ. 2552-63



ภาพที่ 26 พื้นที่ปลูกข้าวประเมินจากข้อมูลภาพดาวเทียม MODIS เปรียบเทียบกับข้อมูลจาก GISTDA

2) สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (crop coefficient, Kc)

ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Kc) ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ภูมิอากาศ การระเหยน้ำจากผิวดิน และช่วงการเจริญเติบโตของพืช (เอกสิทธิ์, 2552) สำหรับพื้นที่เกษตรกรรมในราบภาคกลางของประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นการทำนาข้าวในเขตโครงการชลประทาน ซึ่งหลายพื้นที่มีการปลูกข้าวต่อเนื่องตลอดทั้งปีจึงไม่สามารถระบุช่วงเวลาเริ่มต้นการเพาะปลูกได้อย่างชัดเจน ทำให้การคำนวณความต้องการน้ำชลประทานสำหรับพื้นที่ปลูกข้าวโดยใช้ค่า Kc ทำได้ยาก การสำรวจระยะไกลด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียม (satellite remote sensing) จึงเป็นเครื่องมือที่สามารถนำมาช่วยสำรวจและติดตามค่า Kc ในระดับโครงการชลประทานได้ โดยมีจุดเด่นคือสามารถสำรวจข้อมูลได้ครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้างรวมทั้งจากคุณสมบัติของคาบโคจรการถ่ายภาพซ้ำของดาวเทียมทำให้สามารถติดตามข้อมูลการเพาะปลูกพืชได้อย่างต่อเนื่อง

ปัจจุบันมีการพัฒนาสมการเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายดาวเทียมกับค่า Kc โดยมีสมมติฐานว่าค่า Kc เป็นค่าที่ผันแปรตามช่วงระยะการเจริญเติบโตของพืชซึ่งสัมพันธ์กับค่าดัชนีพืชพรรณ (Allen et al., 2005; Trout and Johnson, 2007) จากงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมีการพัฒนาสมการความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี NDVI กับค่า Kc ในพืชหลาย ๆ ชนิด ภายใต้สภาพภูมิอากาศต่าง ๆ ดังแสดงใน**ตารางที่ 14** งานวิจัยส่วนใหญ่ได้กำหนดความสัมพันธ์ระหว่าง Kc-NDVI เป็นสมการเส้นตรง โดยใช้แหล่งที่มาของค่า Kc ที่แตกต่างกันไป ทั้งจากเอกสาร FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56 (FAO-56) และจากการตรวจวัดด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น วิธีสมดุลน้ำ (water balance) ถังวัดการใช้น้ำพืช (lysimeter) รวมทั้งใช้ค่า NDVI จากดาวเทียมที่แตกต่างกัน

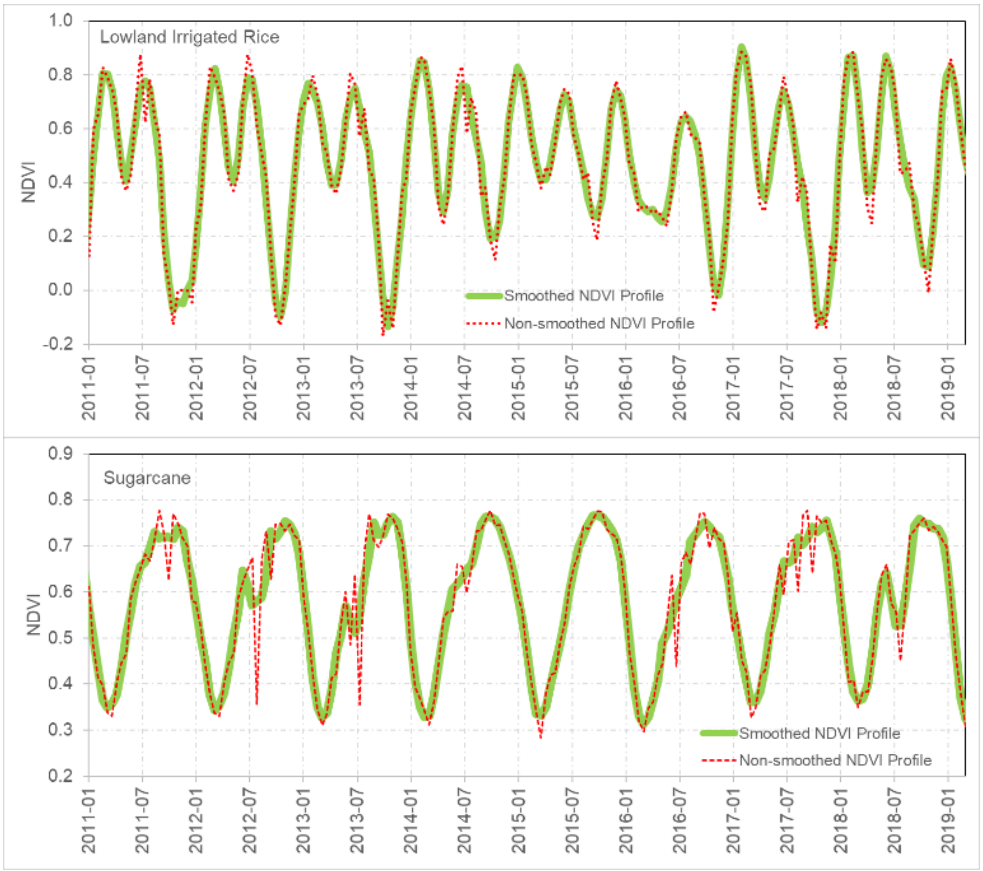
ตารางที่ 14 งานวิจัยที่มีการพัฒนาสมการเพื่อคำนวณค่า Kc จากดัชนีพืชพรรณ NDVI

Climate	Vegetation	Equation	Kc	NDVI	Author
Mediterranean	Lettuce & Pepper	Kcb = (1.37× NDVI) - 0.086*	Measurement	Landsat-5	Trout and Johnson (2007)
Mediterranean	Grapes	Kcb = (1.44 × NDVI) - 0.10*	Measurement	Landsat-5	Campos et al. (2010)
Mediterranean	Maize	Kc = (0.918 × NDVI) + 0.303	Measurement	Landsat-5	Toureiro et al. (2017)
Mediterranean	Corn	Kc = (1.25 × NDVI) + 0.2	FAO-56	Landsat-8 Sentinel-2	Segovia-Cardozo et al. (2019)
Arid/Semi-arid	Cotton	Kcb = (1.49 × NDVI) - 0.12*	FAO-56	Handheld Radiometer	Hunsaker et al. (2005)
Humid subtropical	Wheat	Kc = (2.7109 × NDVI) + 0.424	FAO-56	IRS P6	Gontia and Tiwari (2010)
Humid subtropical	Maize	Kc = (1.457 × NDVI) – 0.1725	Measurement	MODIS	Kamble et al. (2013)
Humid subtropical	Rice	Kc = (0.206 × NDVI) + 1.076	FAO-56	MODIS	Rossi et al. (2010)

* Kcb = ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชส่วนฐาน (basal crop coefficient) ซึ่งไม่รวมการระเหยน้ำจากผิวดิน

ค่า Kc ในงานวิจัยนี้จะเน้นไปที่ข้าวและอ้อยซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจหลักในเขตชลประทานในพื้นที่ราบลุ่มภาคกลาง ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ฐานข้อมูลค่า Kc ที่กรมชลประทานได้ทำการวิจัยจากสถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานทั่วประเทศ (ฝ่ายเผยแพร่การใช้น้ำชลประทาน, 2555) มาพัฒนาสมการความสัมพันธ์ร่วมกับค่าดัชนี NDVI สำหรับการจัดการข้อมูลอนุกรมเวลา NDVI ได้นำข้อมูลภาพ NDVI ในแต่ละช่วงเวลามาสร้างเป็นข้อมูลภาพอนุกรมเวลาโดยวิธีซ้อนทับข้อมูลภาพ (Layer Stack) จากนั้นจึงคัดเลือกพื้นที่ตัวแทนเพื่อทำการสกัดข้อมูลอนุกรมเวลา NDVI จากกลุ่มจุดภาพในพื้นที่มาหาค่าเฉลี่ยและแสดงเป็นกราฟ NDVI ตามช่วงเวลา อย่างไรก็ตาม ค่า NDVI ในแต่ละช่วงเวลามีความแปรปรวนของข้อมูล ในที่นี้จึงใช้วิธีปรับความเรียบด้วยตัวกรองแบบ Saviztky – Golay (Chen et al., 2004) ดังใน**ภาพที่ 27** ซึ่งพบว่าค่า NDVI ตามช่วงเวลาสามารถแสดงสถานะการเจริญเติบโตของพืชในรูปแบบของชีพลักษณ์พืชพรรณ (vegetation phenology) ได้

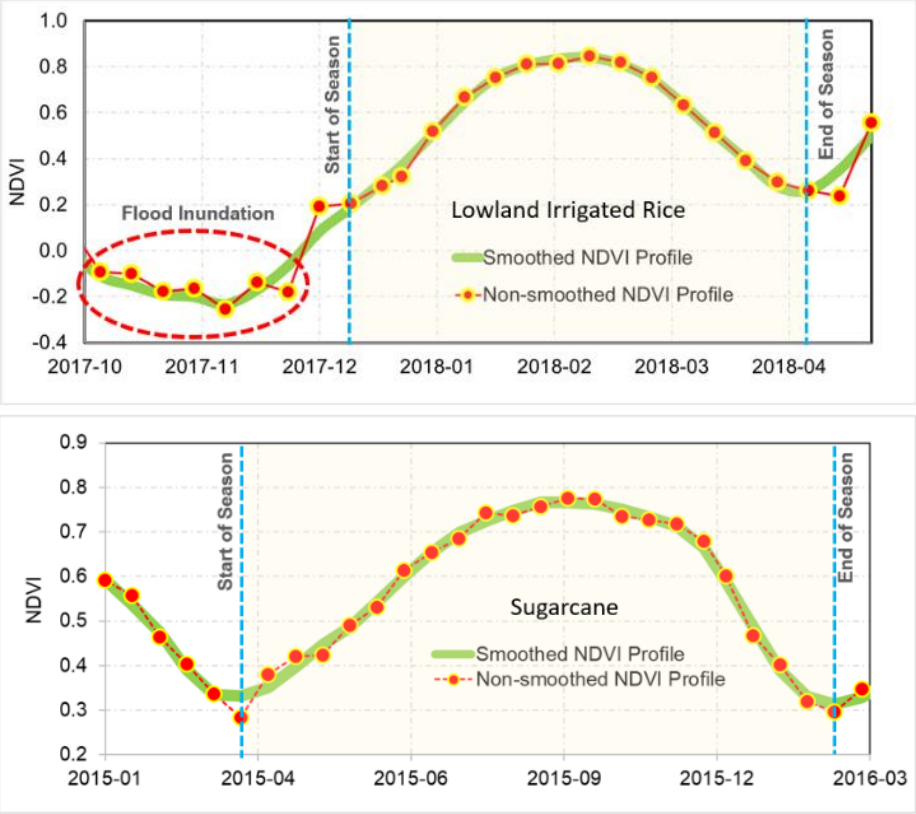
สำหรับพื้นที่นาข้าว ได้คัดเลือกพื้นที่แปลงนาในเขตพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเจ้าเจ็ด – บางยี่หน (อ.สองพี่น้อง จ.สุพรรณบุรี อ.บางไทร และ อ.วังซ้าย จ.พระนครศรีอยุธยา) เป็นพื้นที่ตัวแทน เนื่องจากเป็นพื้นที่ลุ่มต่ำที่เกิดน้ำท่วมซ้ำซาก ซึ่งปัจจุบันเป็นพื้นที่ที่มีการดำเนินนโยบายปรับเปลี่ยนปฏิทินการเพาะปลูกข้าวของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์เพื่อใช้เป็นพื้นที่รับน้ำนองในการป้องกันอุทกภัยในพื้นที่ตอนล่าง โดยการระบายน้ำออกจากทุ่งจะเสร็จสิ้นภายในช่วงกลางเดือนธันวาคม ซึ่งทำให้พื้นที่ดังกล่าวมีปฏิทินการเพาะปลูกข้าวพร้อมกันในช่วงเดือนธันวาคมเป็นต้นมา



ภาพที่ 27 กราฟอนุกรมเวลา NDVI ของข้าวนาหว่านน้ำตม (บน) และอ้อย (ล่าง) ในพื้นที่ตัวแทน

ในงานวิจัยนี้ ได้เลือกใช้ข้อมูล NDVI ต่างช่วงเวลาที่บันทึกข้อมูลในระหว่างปี พ.ศ. 2560-61 ครอบคลุมตั้งแต่ช่วงเวลาที่พื้นที่ลุ่มต่ำเจ้าเจ็ดเป็นพื้นที่แก้มลิงรับน้ำนองจนถึงช่วงเก็บเกี่ยวในปีถัดไปเพื่อติดตามการเจริญเติบโตของข้าวตลอดช่วงการเพาะปลูก (**ภาพที่ 28**) จะเห็นว่าค่าดัชนี NDVI มีความสัมพันธ์กับกิจกรรมการเพาะปลูกและสอดคล้องกับการเจริญเติบโตของข้าว โดยในช่วงเดือนตุลาคม-พฤศจิกายน 2560 เป็นช่วงที่มีการผันน้ำหลากเข้าไปกักเก็บไว้ในทุ่งทำให้ NDVI มีค่าค่อนข้างต่ำ (ต่ำกว่า 0.2) แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ดังกล่าวไม่มีพืชพรรณปกคลุมอยู่ ต่อมาในช่วงต้นเดือนธันวาคม NDVI มีค่าเพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับช่วงที่เริ่มมีการระบายน้ำออกจากทุ่งและเริ่มเตรียมแปลง จากนั้นค่า NDVI เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องสอดคล้องกับการเพาะปลูกและการเติบโตของข้าว จนมีค่า NDVI สูงสุดประมาณ 0.8 ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ 2561 ซึ่งเป็นช่วงที่ข้าวเจริญโตเต็มที่ ในช่วงปลายเดือนมีนาคมค่า NDVI ลดต่ำลงจนถึง 0.4 ซึ่งคาดว่าเป็นช่วงที่ข้าวออกรวงจนถึงช่วงเก็บเกี่ยว และเมื่อเก็บเกี่ยวแล้วเสร็จจะเห็นว่าค่า NDVI เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องอีกครั้งซึ่งสอดคล้องกับการทำนาปีต่อเนื่องของเกษตรกรในพื้นที่

เนื่องจากค่า NDVI ในอนุกรมเวลาเป็นข้อมูลจากภาพผสมราย 8 วัน จึงได้ทำการประมาณค่าในช่วงเพื่อให้เป็นข้อมูล NDVI รายสัปดาห์ จากนั้นจึงคำนวณกำหนดวันเริ่มต้นและสิ้นสุดรอบการเพาะปลูกข้าวด้วยวิธี SOS/EOS threshold value (Jeong et al., 2011) โดยกำหนดวันเริ่มต้นรอบการเพาะปลูกในวันที่ 19 ธันวาคม 2560 และสิ้นสุดรอบการเพาะปลูกในวันที่ 7 เมษายน 2561 จำแนกอายุการเพาะปลูกข้าวได้ 16 สัปดาห์ สอดคล้องกับผลการสำรวจภาคสนามซึ่งพบว่าพื้นที่ดังกล่าวปลูกข้าวเจ้า กข. พันธุ์ไม่ไวแสง ประเภทข้าวกลาง (medium variety) อายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 112 วัน (16 สัปดาห์)



ภาพที่ 28 การกำหนดวันเริ่มต้นและสิ้นสุดรอบการเพาะปลูกข้าว (บน) และอ้อย (ล่าง) ในพื้นที่ตัวแทน

สำหรับพื้นที่ปลูกอ้อย ได้เลือกใช้ข้อมูล NDVI ต่างช่วงเวลาที่บันทึกข้อมูลในระหว่างปี พ.ศ. 2558-59 และคัดเลือกพื้นที่บริเวณโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาท่ามะกา โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง และโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาบางเลนเป็นพื้นที่ตัวแทน โดยพื้นที่ดังกล่าวมีการปลูกอ้อยในเขตชลประทานจึงอยู่ในเงื่อนไขสภาพการปลูกพืชที่ไม่เกิดการขาดแคลนน้ำ พันธุ์อ้อยที่นิยมปลูกกันมากที่สุดคือพันธุ์ลำปางและพันธุ์ขอนแก่น อายุเก็บเกี่ยวอ้อยประมาณ 10-11 เดือน มีการให้น้ำแบบร่องคูและบางพื้นที่ให้น้ำโดยใช้น้ำหยด ช่วงการเก็บเกี่ยวอ้อยจะเก็บเกี่ยวเฉพาะช่วงฤดูเปิดหีบอ้อย (ประมาณเดือน ม.ค. – มี.ค. ของทุกปี) เมื่อเก็บเกี่ยวแล้ว เกษตรกรก็จะเตรียมแปลงและปลูกอ้อยต่อในฤดูถัดไป ดังนั้น จากค่า NDVI ใน**ภาพที่ 27** จะเห็นว่าคาบของค่า NDVI สอดคล้องกับปฏิทินการปลูกอ้อยซึ่งปลูกเพียง 1 ครั้งในรอบปี

ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชในประเทศไทย มีเอกสารวิชาการที่เผยแพร่ค่าสัมประสิทธิ์พืชโดยวิธีการ Penman-Monteith จำนวน 43 ชนิด โดยกรมชลประทานได้ใช้เป็นข้อมูลสำหรับงานการชลประทานและพัฒนาแหล่งน้ำ (ส่วนการใช้น้ำชลประทาน สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา, 2555) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำพืชของข้าว กข. นาหว่านน้ำตม อายุข้าว 115 วัน ดังแสดงใน**ตารางที่ 15** โดยมีค่า Kc ระหว่าง 0.65 – 1.68 (เฉลี่ยตลอดอายุการเพาะปลูกเท่ากับ 1.33) ทั้งนี้วิธีการคำนวณค่า Kc ของข้าวได้คำนวณจากการใช้น้ำของข้าวเทียบกับการคายระเหยน้ำโดยวิธี Penman-Monteith ซึ่งปริมาณการใช้น้ำของข้าวจะตรวจวัดจากระดับน้ำในถังวัดการใช้น้ำข้าว (rice lysimeter) โดยการปลูกข้าวนาหว่านน้ำตมในช่วงสองสัปดาห์แรกหลังหว่านเมล็ดข้าวจะเป็นช่วงที่ข้าวเริ่มงอกเมล็ดและตั้งตัวจึงไม่มีการขังน้ำไว้ในแปลงนาและในถังวัดการใช้น้ำข้าว ดังนั้นจึงไม่สามารถประเมินค่า Kc ได้ ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำพืชของอ้อย อายุ 10 เดือน ดังแสดงใน**ตารางที่ 16** โดยมีค่า Kc ระหว่าง 0.52 – 1.56 (เฉลี่ยตลอดอายุการเพาะปลูกเท่ากับ 1.01)

ตารางที่ 15 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำพืชของข้าว กข. นาหว่านน้ำตม

สัปดาห์ที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Kc	-	-	0.8	1.05	1.25	1.4	1.5	1.55	1.6	1.63	1.68	1.6	1.5	1.36	1.08	0.65

หมายเหตุ : สัปดาห์ของนาหว่านน้ำตม หมายถึงสัปดาห์หลังการหว่านข้าวงอกลงสู่แปลงนา

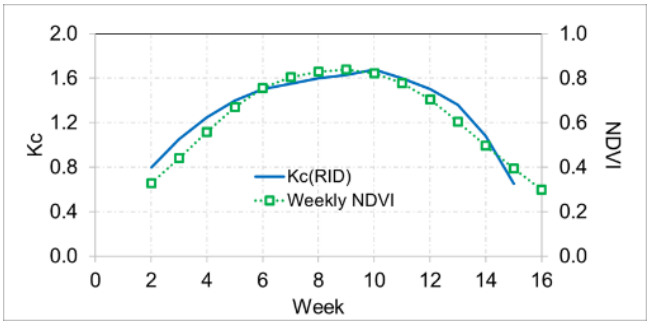
ตารางที่ 16 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำพืชของอ้อย

เดือนที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kc	0.65	0.86	1.13	1.35	1.56	1.29	1.20	0.93	0.63	0.52

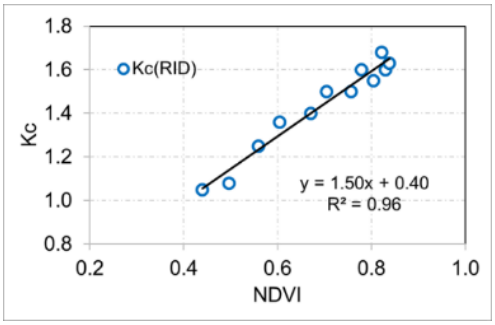
จากนั้น นำค่า Kc ของข้าว กข. นาหว่านน้ำตม (เฉพาะสัปดาห์ที่ 3 ถึง 16) กับค่า Kc ของอ้อยจากผลการศึกษาของกรมชลประทาน (ในที่นี้กำหนดให้เป็น Kc RID) และค่า NDVI ที่ผ่านวิธีปรับความเรียบมาวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย โดยกำหนดให้ค่า NDVI เป็นตัวแปรอิสระ และค่า Kc เป็นตัวแปรตาม และทำการประมาณตัวแบบในสมการถดถอยในรูป $Kc = (a \times NDVI) + b$ เมื่อ a คือ ค่า slope of regression และ b คือ intercept สัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ สามารถประมาณตัวแบบในสมการถดถอยดังแสดงใน**ภาพที่ 29** โดยมีรูปสมการดังนี้

ข้าวนาหว่านน้ำตม	Kc = (1.50 x NDVI) + 0.40; NDVI ≥ 0.4	สมการที่ 13
อ้อย	Kc = (2.86 x NDVI) – 0.79; NDVI ≥ 0.4	สมการที่ 14

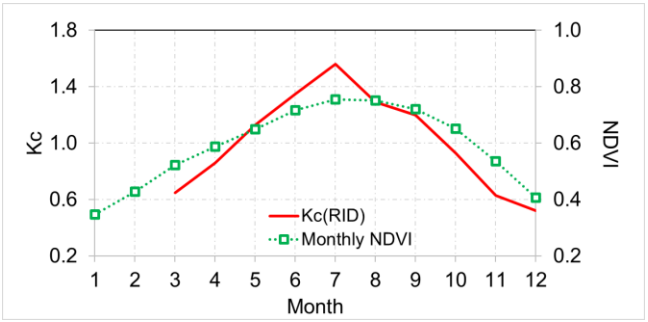
จากสมการดังกล่าว กำหนดให้ค่า NDVI มากกว่าหรือเท่ากับ 0.4 จึงจะสามารถคำนวณค่า Kc ได้ เนื่องจาก NDVI ที่มีค่าน้อยกว่า 0.4 จะแปลผลได้ว่ามีพืชพรรณที่ปกคลุมดินค่อนข้างน้อยซึ่งอาจหมายถึงพืชที่อยู่ในระยะสิ้นสุดการเพาะปลูกหรืออาจหมายถึงพื้นที่ที่กำลังอยู่ในช่วงเตรียมแปลงซึ่งยังมีพืชปกคลุมดินค่อนข้างน้อย กรณีนาข้าวเป็นพื้นที่เตรียมแปลงและมีการขังน้ำไว้ในแปลงนาจะกำหนดให้ NDVI ที่มีค่าระหว่าง 0.2-0.4 และ NDFI มีค่ามากกว่า -0.1 จึงจะถือว่าเป็นพื้นที่เตรียมแปลง และกำหนดให้ค่า Kc มีค่า 1.05 ซึ่งเทียบเท่ากับการระเหยจากพื้นที่ผิวน้ำ



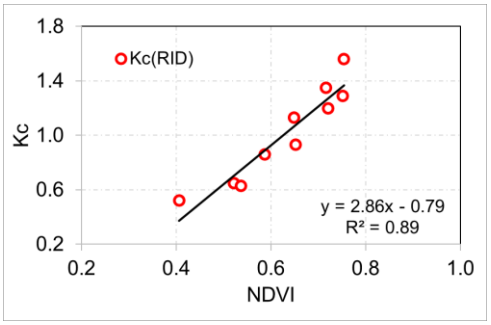
(a) lowland irrigated rice



(b) lowland irrigated rice



(c) sugarcane



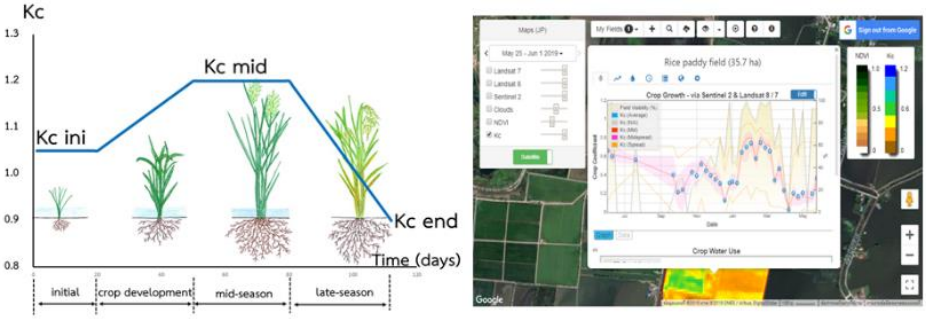
(d) sugarcane

ภาพที่ 29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Kc กับ NDVI ของข้าวนาหว่านน้ำตม (a-b) และอ้อย (c-d)

สำหรับพืชชนิดอื่นกำหนดให้ใช้ค่า Kc จากผลการศึกษาของ Belmonte et al. (2005) ซึ่งคำนวณจาก NDVI เทียบกับค่า Kc ตามแนวทางของ FAO-56 สำหรับพื้นที่ผิวน้ำ (บ่อปลา นากุ้ง) กำหนดให้ค่า Kc มีค่า 1.05 ดังสมการต่อไปนี้

พืชไร่ สวนผลไม้	Kc = (1.25 x NDVI) + 0.20; NDVI ≥ 0.4	สมการที่ 15
พื้นที่ผิวน้ำ	Kc = 1.05	สมการที่ 16

ผลจากการคำนวณ Kc RID สามารถอภิปรายผลร่วมกับค่า Kc แบบดั้งเดิมตามแนวทางของ FAO-56 (ในที่นี้กำหนดให้เป็น Kc FAO-56) และค่า Kc จากระบบติดตามการใช้น้ำพืชบนเว็บ (ในที่นี้กำหนดให้เป็น Kc IrriSAT) โดย Kc FAO-56 ในเอกสาร FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56 แนะนำให้ใช้ค่า Kc ของข้าวตามช่วงระยะการเจริญเติบโต คือในช่วงตั้งตัว (Kc ini) มีค่าเท่ากับ 1.05 ช่วงกลางของการเพาะปลูก (Kc mid) มีค่าเท่ากับ 1.20 และช่วงสิ้นสุดการเพาะปลูก (Kc end) มีค่าประมาณ 0.6 - 0.9 ดัง**ภาพที่ 30**a ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ย Kc ตลอดฤดูเพาะปลูก พบว่า Kc FAO-56 มีค่าเฉลี่ย 1.13 ส่วน Kc RID มีค่าเฉลี่ย 1.24 ซึ่งมีค่าสูงกว่า Kc FAO-56 เล็กน้อย แต่เมื่อเปรียบเทียบค่า Kc ตามช่วงระยะการเจริญเติบโตดัง**ภาพที่ 31**a จะเห็นว่าค่า Kc RID ในช่วงระยะต้นกล้ามีค่าต่ำกว่า Kc FAO-56 เนื่องจาก ค่า Kc FAO-56 พัฒนามาจากการปลูกข้าวแบบนาดำซึ่งมีการขังน้ำในแปลงนาก่อนทำการปักดำต้นกล้าจึงมีค่า Kc ในช่วงเริ่มต้นที่ 1.05 ซึ่งเป็นค่า Kc เทียบเท่ากับการระเหยจากพื้นที่ผิวน้ำ ในขณะที่ค่า Kc RID พัฒนามาจากการปลูกข้าวแบบนาหว่านน้ำตมซึ่งใช้การหว่านเมล็ดข้าวบนดินตม ช่วงสองสัปดาห์แรกของการเพาะปลูกจะไม่มีการขังน้ำในแปลงนา ค่า Kc จะเทียบเท่ากับการระเหยน้ำจากพื้นที่ดินเปล่า (Kc < 1)



(a) Kc FAO-56 (b) Kc IrriSAT

ภาพที่ 30 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (a) แนวทางของ FAO-56, (b) IrriSAT
ภาพ (a) ดัดแปลงจาก California Department of Food and Agriculture (2019)

ในช่วงกลางของการเพาะปลูก Kc FAO-56 ของข้าวมีค่า 1.20 ในขณะที่ Kc RID มีค่าประมาณ 1.60 – 1.73 ดังแสดงใน**ภาพที่ 31**a จะเห็นว่าค่า Kc RID ประเมินได้สูงกว่า Kc FAO-56 ถึง 33.33 - 44.17% อย่างไรก็ตามมีผลการวิจัยจำนวนมากยืนยันว่าค่า Kc ของข้าวในช่วงกลางของการเพาะปลูกมีค่าสูงกว่า Kc ตามแนวทางของ FAO-56 ได้แก่ งานวิจัยของ Shah and Edling (2000), Xu et al. (2017), Yoo et al. (2006) และ Choudhury and Singh (2016) ซึ่งประเมินค่า Kc ของข้าวได้ 1.51, 1.52, 1.58 และ 1.88 ตามลำดับ ทั้งนี้ตามแนวทางของ FAO-56 ตั้งสมมติฐานว่าค่า Kc จะมีค่าสูงสุดเมื่อดัชนีพื้นที่ผิวใบ (Leaf Area Index: LAI) มีค่าตั้งแต่ 3 ขึ้นไปซึ่งบ่งชี้ว่ามีพืชปกคลุมดินอย่างเต็มที่ โดยเมื่อพิจารณาจากข้อจำกัดด้านสมดุลพลังงานที่ใช้ในการคายระเหยน้ำภายใต้สภาพภูมิอากาศเขตร้อนชื้นจะพบว่าค่า Kc ที่เป็นไปได้จะมีค่าประมาณ 1.3 (Allen et al., 2011)

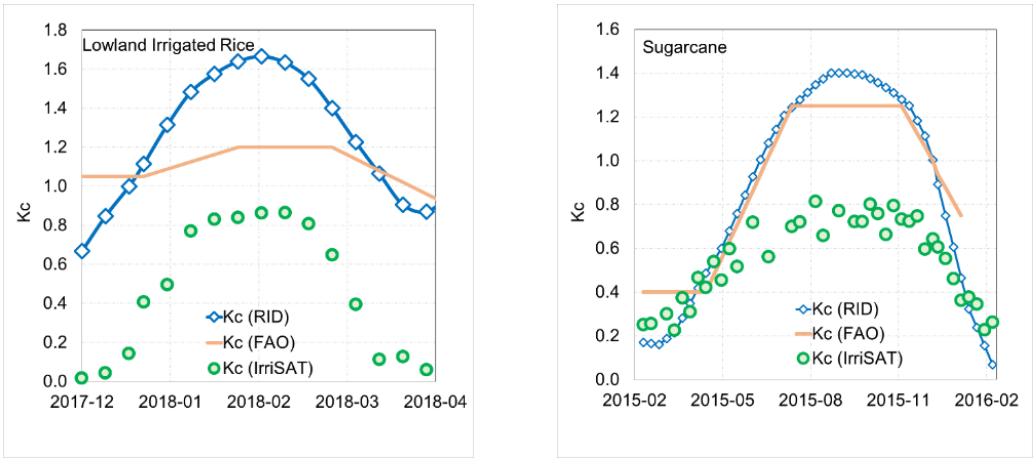
Glenn et al. (2011) ได้ตั้งข้อสังเกตว่าค่า Kc ตามแนวทางของ FAO-56 เมื่อนำมาใช้คำนวณความต้องการน้ำของพืชที่มีความหนาแน่นของต้นพืชสูง (high plant density) จะให้ผลการคำนวณต่ำกว่าที่ควรจะเป็น โดยในกรณีการปลูกข้าวนาหว่านน้ำตมที่ใช้การหว่านเมล็ดข้าวต่อพื้นที่จำนวนมากทำให้มีความหนาแน่นของต้นข้าวต่อตารางเมตรค่อนข้างสูง จึงทำให้มีค่า LAI สูงตามไปด้วย ทั้งนี้ค่า LAI ของข้าวในช่วงกลางของการเพาะปลูกมีค่าตั้งแต่ 3 - 10 ซึ่งทำให้ค่า Kc ของข้าวที่ตรวจวัดได้มีค่ามากกว่า 1.3 (Aschonitis et al., 2018; Tyagi et al., 2000)

นอกจากนี้ Aschonitis et al. (2018) กล่าวว่าสายพันธุ์ข้าวในปัจจุบันให้มวลชีวภาพและผลผลิตมากกว่าสายพันธุ์ดั้งเดิมในอดีต จึงไม่สามารถใช้เพียงกฎทรงพลังงานในการอธิบายขีดจำกัดของค่า Kc ได้ และได้เสนอแนะให้ใช้กฎทรงมวลที่ผนวกรวมพารามิเตอร์ LAI เข้าเป็นส่วนหนึ่งในการคำนวณหาค่า Kc ในแต่ละช่วงระยะการเจริญเติบโต

ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของอ้อยตามแนวทางของ FAO-56 ในช่วงตั้งตัว (Kc ini) มีค่าเท่ากับ 0.4 ช่วงกลางของการเพาะปลูก (Kc mid) มีค่าเท่ากับ 1.25 และช่วงสิ้นสุดการเพาะปลูก (Kc end) มีค่าประมาณ 0.75 ซึ่งจะเห็นว่าในช่วงกลางของการเพาะปลูก ค่า Kc RID ประเมินได้ถึง 1.4 ซึ่งสูงกว่าค่า Kc FAO-56 (**ภาพที่ 31**b) ทั้งนี้จากผลการวิจัยของ Libardi et al. (2019) พบว่าค่า Kc ของอ้อยมีค่าสูงสุดถึง 1.46 – 1.53 ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ สายพันธุ์ วิธีเขตกรรม และลักษณะการปกคลุมดินของพืช

ระบบติดตามการใช้น้ำพืชบนเว็บ (IrriSAT) เป็นเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดการน้ำชลประทานอย่างง่าย สามารถเข้าใช้งานได้ที่ URL https://irrisat-cloud.appspot.com (Hornbuckle et al., 2016) ดังแสดงใน**ภาพที่ 30**b ระบบดังกล่าวสามารถประเมินค่า NDVI และ Kc จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat-7 ETM+, Landsat-8 OLI (รอบโคจรถ่ายภาพซ้ำทุก ๆ 8-16 วัน ความละเอียดจุดภาพ 30 เมตร) และ Sentinel-2 (รอบโคจรถ่ายภาพซ้ำทุก ๆ 5-10 วัน ความละเอียดจุดภาพ 10 เมตร) รวมทั้งสามารถประเมินค่าความต้องการน้ำพืช (ETc) และคำนวณกำหนดการให้น้ำชลประทานได้ และแสดงผลการคำนวณผ่านทางเว็บไซต์

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจาก Kc IrriSAT ในพื้นที่ตัวแทนแปลงนาและไร่อ้อย(**ภาพที่ 31**) พบว่ามีค่าต่ำกว่า Kc RID และ Kc FAO-56 ตลอดช่วงการเพาะปลูก ทั้งนี้เนื่องจากสมการที่ใช้ในการคำนวณค่า Kc บนระบบ IrriSAT พัฒนามาจากพืชผักที่ปลูกพื้นที่เขตภูมิอากาศกึ่งแห้งแล้ง (semi-arid areas) โดยมีรูปสมการ คือ Kc IrriSAT = 1.37× NDVI −0.086 โดยค่า Kc ในสมการดังกล่าวหมายถึง Kcb (ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชส่วนฐาน basal crop coefficient) ซึ่งเป็นแนวคิดเรื่องค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชแบบคู่ (dual crop coefficient) ดังสมการ Kc = Kcb + Ke โดย Ke หมายถึงสัมประสิทธิ์การระเหยน้ำจากผิวดิน (เอกสิทธิ์, 2552) ดังนั้น Kc IrriSAT ที่พิจารณาเฉพาะปัจจัยด้านการคายน้ำของพืชโดยไม่รวมปัจจัยการระเหยน้ำจึงมีแนวโน้มที่จะประเมินค่า Kc ต่ำกว่าที่ควรจะเป็น แต่เนื่องด้วยระบบ IrriSAT สามารถเข้าถึงได้ง่าย ใช้งานได้สะดวกและให้ข้อมูลได้ใกล้เคียงกับเวลาจริง (near-real time) ดังนั้นหากต้องการใช้งานค่า Kc จากระบบ IrriSAT จึงควรมีการศึกษาพารามิเตอร์สำหรับปรับแก้ค่า Kc ให้มีความสอดคล้องกับค่า Kc RID ที่พัฒนาขึ้นในพื้นที่ประเทศไทยที่เป็นเขตภูมิอากาศชุ่มชื้น (humid zone)



ภาพที่ 31 การเปรียบเทียบผลการประเมินค่า Kc (a) ข้าวนาหว่านน้ำตม (b) อ้อย

3) ฝนใช้การ (effective rainfall)

ฝนใช้การ (Effective Rainfall : Re) หมายถึง ฝนที่ตกลงบนพื้นที่เพาะปลูกแล้วพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ หรือนำไปทดแทนน้ำชลประทานที่ต้องส่งให้แก่พืช ซึ่งปริมาณฝนส่วนนี้จะช่วยลดปริมาณความต้องการน้ำชลประทานได้ ฝนใช้การขึ้นอยู่กับปัจจัยทางสภาพแวดล้อมหลายอย่างเช่น ความชื้นในดิน อัตราการซึมของน้ำเข้าไปในดิน ความสามารถอุ้มน้ำของดินในเขตรากพืชปริมาณฝนที่ตก ชนิดและปริมาณการใช้น้ำของพืช (ฉลอง, 2538)

ในกรณีที่เป็นนาข้าว ฝนใช้การคือส่วนของฝนที่ขังอยู่ในแปลงนาในระดับที่ไม่มากเกินไปจนเป็นอันตรายต่อข้าว โดยปริมาณฝนใช้การสำหรับข้าวในงานวิจัยนี้ ใช้วิธีคำนวณของกรมชลประทานตามคู่มือการปฏิบัติงาน (Work Manual) เล่มที่ 6/16 การคำนวณฝนใช่การ (กรมชลประทาน, 2554) ดังแสดงใน**ตารางที่ 17** สำหรับพืชชนิดอื่นใช้วิธีของ US. Department of Agriculture, Soil Conservation Service (USDA-SCS) ดังสมการต่อไปนี้

กรณีฝนรายเดือน (R_{tot}) น้อยกว่า 250 mm; $Re = R_{tot} [(125 - 0.2 R_{tot}) / 125$ สมการที่ 17

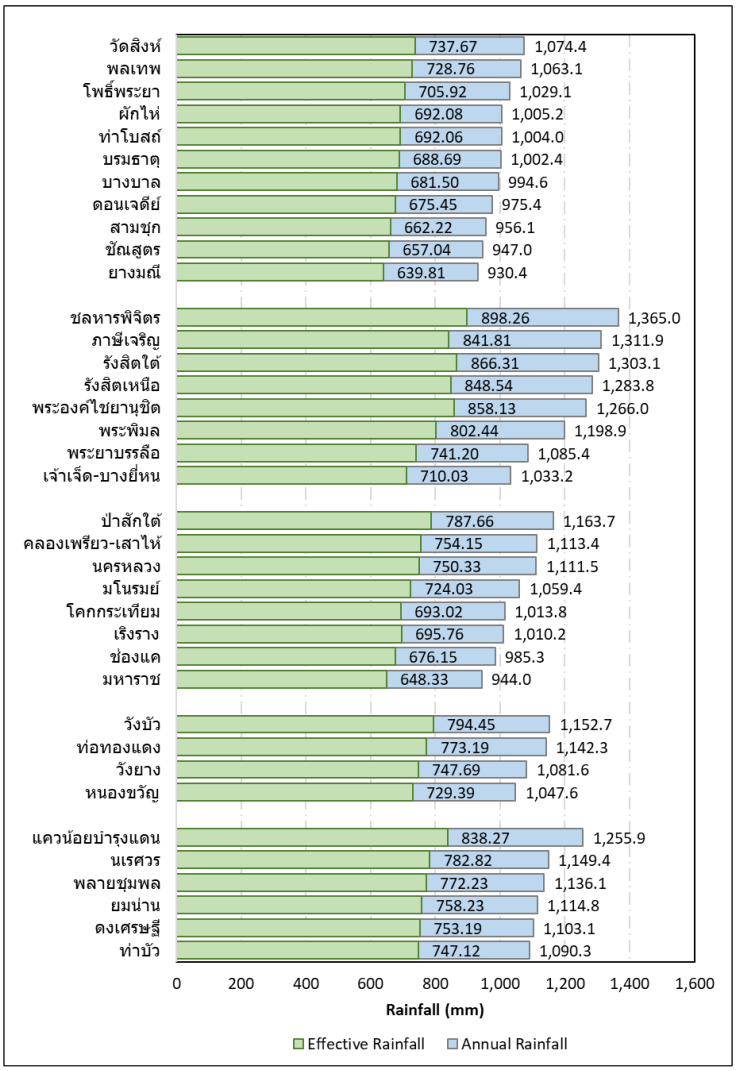
กรณีฝนรายเดือน (R_{tot}) มากกว่า 250 mm; $Re = 125 + (0.1 R_{tot})$ สมการที่ 18

ตารางที่ 17 การคำนวณฝนใช้การสำหรับนาข้าว

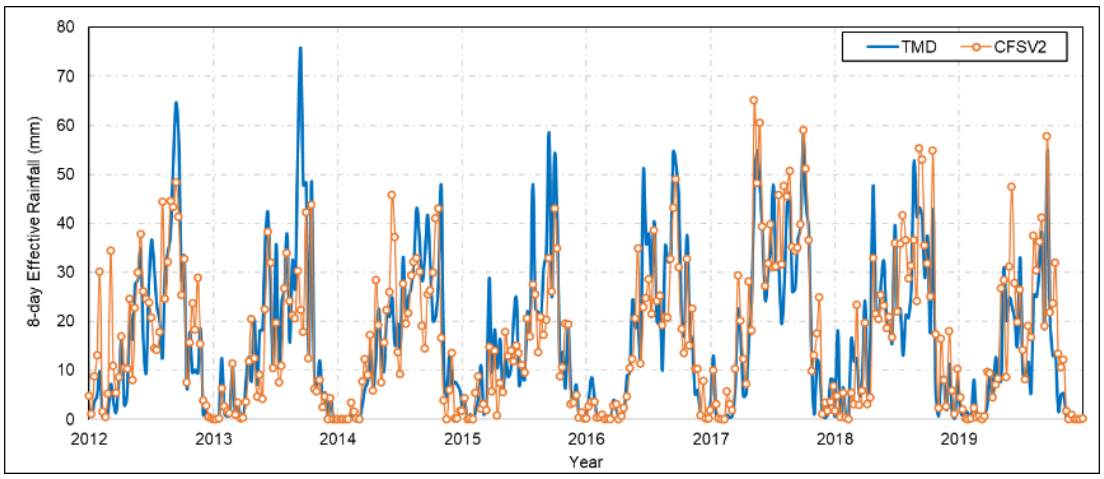
Rainfall (mm/month)	Effective Rainfall (mm/month)
0 – 10	0
11 – 100	0.8 * Rainfall
101 – 200	0.7 * Rainfall
201 – 250	0.6 * Rainfall
251 – 300	0.55 * Rainfall
301 up	0.5 * Rainfall

งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลฝนรายวันจากสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝนของกรมอุตุนิยมวิทยาช่วงปี พ.ศ.2555 – 2562 โดยสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) (สสน.) เป็นหน่วยงานที่ทำหน้าที่รวบรวม คัดกรองข้อมูลและประมาณค่าเชิงพื้นที่ ให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลชนิด ASCII ราสเตอร์ขนาดจุดภาพ 5x5 กม. โดยใช้วิธี Inverse Distance Weight (IDW) จากนั้นจึงนำมาประมาณค่าฝนใช้การเป็นราย 8 วันเพื่อนำมาคำนวณร่วมกับข้อมูลอนุกรมเวลาของค่า ETc ต่อไป ผลการคำนวณปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีในพื้นที่โครงการชลประทานทั้งหมดมีค่าประมาณ 1,117.21 มม.ต่อปี ส่วนฝนใช้การมีค่าประมาณ 757.47 มม. ต่อปี คิดเป็น 67.8% ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี จำแนกฝนใช้การเป็นรายโครงการชลประทานในพื้นที่ศึกษาได้ดังแสดงใน**ภาพที่ 32**

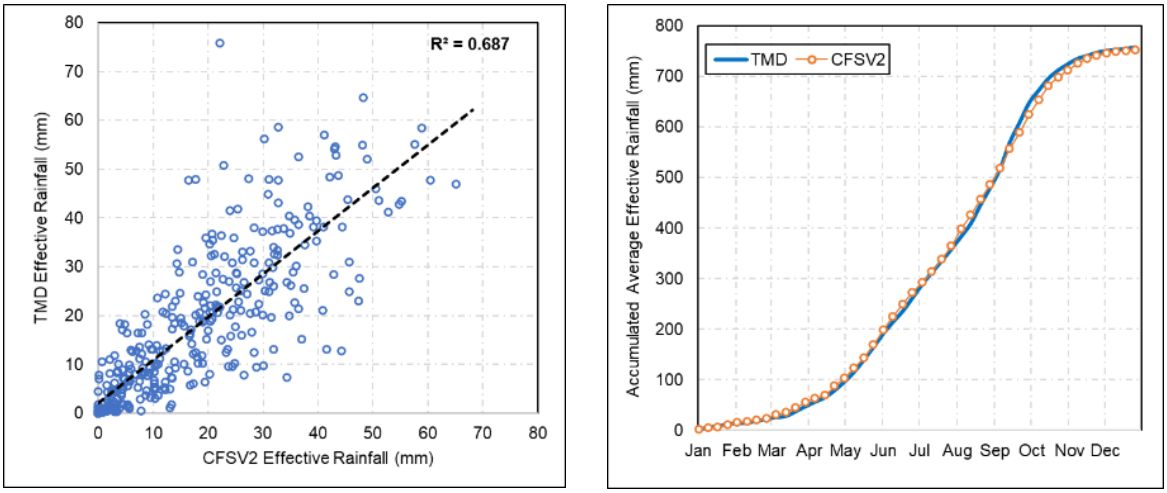
นอกจากนี้ สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) ภายใต้โครงการวิจัย *"การพัฒนาระบบคาดการณ์ปริมาณฝนรายสองสัปดาห์เพื่อการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา"* ยังได้สนับสนุนข้อมูลฝนพยากรณ์ล่วงหน้ารายสองสัปดาห์ (Bi-weekly) จากแบบจำลอง Climate Forecast System Version 2 จาก National Centers for Environment Prediction (NCEP) ซึ่งได้ปรับค่า Bias Correction (BC-CFSV2) เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการกระจายของฝนตามช่วงเวลาเทียบกับข้อมูลฝนตรวจวัดจากกรมอุตุนิยมวิทยา พบว่ามีค่าสหสัมพันธ์สูง (R^2 = 0.687) โดยมีค่าเฉลี่ยปริมาณฝนสะสมรายปีใกล้เคียงกับปริมาณฝนสะสมเฉลี่ยรายแของกรมอุตุนิยมวิทยา ดังแสดงใน**ภาพที่ 33** และ**ภาพที่ 34** ดังนั้นข้อมูลฝน BC-CFSV2 จึงเหมาะสำหรับใช้ในงานประเมินปริมาณฝนใช้การล่วงหน้าได้



ภาพที่ 32 ค่าเฉลี่ยปริมาณฝนและปริมาณฝนใช้การรายปีจำแนกตามโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา



ภาพที่ 33 ฝนใช้การราย 8 วัน เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาและ BC-CFSV2



ภาพที่ 34 ค่าสหสัมพันธ์ (ซ้าย) และฝนใช้การสะสม (ขวา) ของกรมอุตุนิยมวิทยาและ BC-CFSV2

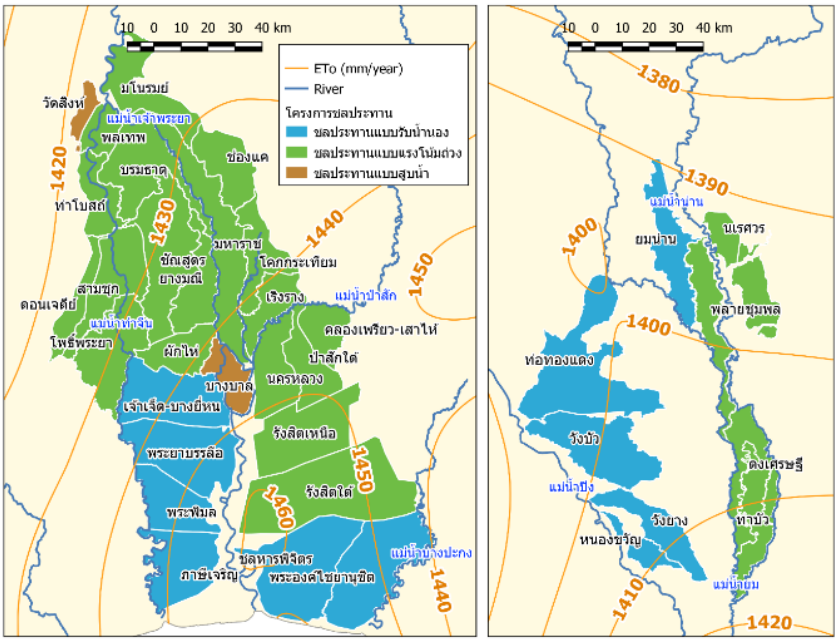
4) ปริมาณการใช้น้ำพืช (crop evapotranspiration, ET_c)

ปริมาณการใช้น้ำพืช (crop evapotranspiration, ET_c) สามารถคำนวณได้จากผลคูณของค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำพืช (Kc) กับปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (reference crop evapotranspiration; ET_o) งานวิจัยนี้ได้รวบรวมข้อมูลค่าเฉลี่ยภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ศึกษาเพื่อคำนวณค่า ET_o โดยวิธี Penman-Monteith จากนั้นใช้วิธีการประมาณค่าเชิงพื้นที่แบบ Simple Kriging เพื่อจัดทำเป็นแผนที่ข้อมูลการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ดังแสดงใน**ภาพที่ 35** และสรุปข้อมูล ET_o รายเดือนของแต่ละโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาดังแสดงใน**ตารางที่ 18** โดยปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงพื้นที่โครงการชลประทานในพื้นที่ราบลุ่มภาคกลางตอนบนมีค่าเฉลี่ยรายปีประมาณ 1,401.9 มิลลิเมตร ส่วนในพื้นที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่างมีค่าเฉลี่ยรายปีประมาณ 1,438.8 มิลลิเมตร ซึ่งโดยทั่วไปเดือนมีนาคม เมษายนและพฤษภาคมจะเป็นช่วงเวลาที่มีค่าเฉลี่ยการใช้น้ำพืชอ้างอิงที่สูงกว่าเดือนอื่น ๆ โดยมีค่าเฉลี่ย 147.36, 149.45 และ 131.04 มิลลิเมตรต่อเดือนตามลำดับ

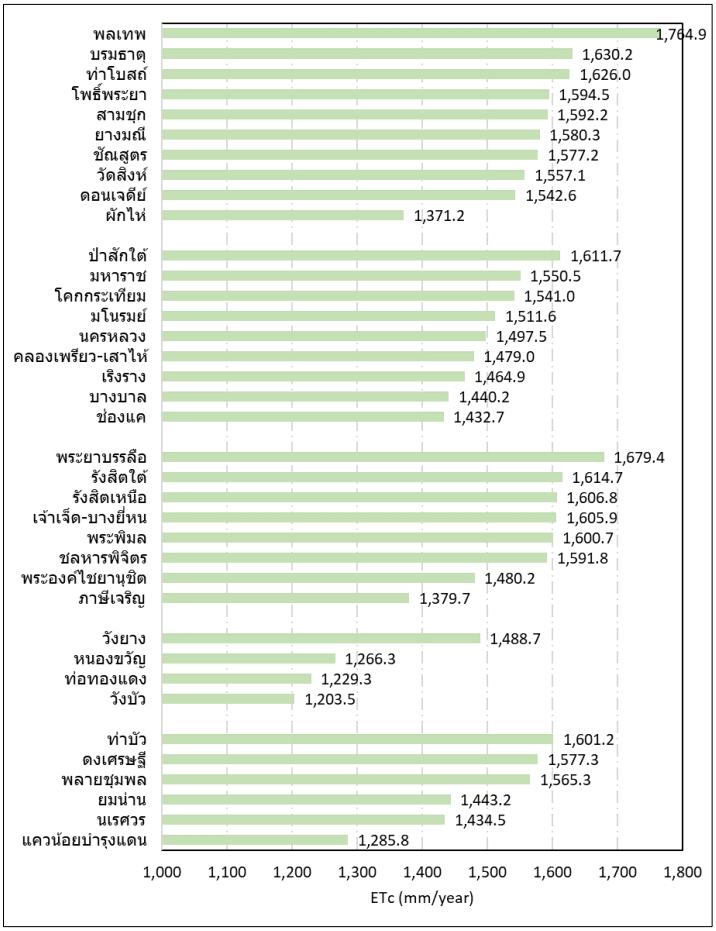
จากนั้นคำนวณปริมาณการใช้น้ำพืช (ET_c) โดยมีผลการคำนวณปริมาณความต้องการใช้น้ำพืชในหน่วยความลึก (มม.) จำแนกตามโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา ดังแสดงใน**ภาพที่ 36** พบว่า โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพลเทพมีปริมาณความต้องการน้ำพืชเฉลี่ยรายปีสูงที่สุด 1,764.9 มม.ต่อปี ส่วนโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาวังบัวมีปริมาณความต้องการน้ำพืชเฉลี่ยรายปีต่ำที่สุด 1,203.5 มม.ต่อปี

ตารางที่ 18 ปริมาณการใช้น้ำพืชอ้างอิง (ET_o) เฉลี่ยรายเดือนของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา

โครงการฯ	ETo (mm)												
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
มโนรมย์	110.85	116.64	148.58	151.13	130.49	119.83	115.83	109.14	100.51	107.61	108.71	107.55	**1,426.86**
ช่องแค	112.63	117.38	148.15	149.50	130.46	119.01	116.24	108.33	100.95	108.17	110.67	110.28	**1,431.77**
โคกกระเทียม	114.12	117.79	147.56	148.23	130.33	118.95	116.17	110.32	101.31	108.15	111.95	112.47	**1,437.34**
คลองเพรียว-เสาไห้	115.68	117.99	146.80	146.68	130.19	121.19	117.12	113.27	101.56	108.41	113.40	114.67	**1,446.96**
ป่าสักใต้	116.01	118.00	146.56	146.43	130.15	121.76	117.41	113.49	101.76	108.12	113.45	115.13	**1,448.26**
มหาราช	113.45	117.60	147.76	148.91	130.23	119.68	116.26	109.41	101.24	107.80	111.12	111.46	**1,434.92**
เริงราง	114.87	117.92	147.19	147.56	130.27	120.47	116.64	111.67	101.54	108.07	112.52	113.55	**1,442.26**
นครหลวง	115.71	118.01	146.68	146.80	130.21	122.10	117.43	112.93	101.86	107.84	113.00	114.73	**1,447.29**
เจ้าเจ็ด-บางยี่หน	114.92	118.00	146.85	147.72	129.90	121.60	117.01	109.86	102.01	106.98	111.68	113.66	**1,440.21**
พระพิมล	116.07	118.15	145.98	146.53	130.21	123.59	119.02	111.98	102.71	106.68	112.26	115.44	**1,448.63**
ชลหารพิจิตร	118.11	117.88	144.75	144.16	130.01	123.87	121.43	115.57	102.86	107.20	114.25	118.27	**1,458.37**
รังสิตใต้	117.62	117.94	145.36	144.74	129.80	122.91	119.50	114.20	102.26	107.69	114.29	117.39	**1,453.67**
รังสิตเหนือ	116.77	118.03	146.01	145.71	130.07	123.20	118.55	114.24	102.08	107.80	113.76	116.19	**1,452.40**
พระองค์ไชยานุชิต	118.68	117.64	144.36	143.28	129.15	120.60	119.27	113.72	102.43	107.58	115.01	118.97	**1,450.69**
พระยาบรรลือ	115.70	118.10	146.36	146.94	130.09	123.28	118.32	111.61	102.37	106.91	112.19	114.80	**1,446.68**
ภาชีเจริญ	116.74	118.14	145.39	145.73	130.47	123.69	119.95	112.81	103.14	106.55	112.63	116.54	**1,451.78**
บางบาล	115.34	118.00	146.80	147.24	130.16	122.11	117.40	111.65	101.94	107.47	112.43	114.23	**1,444.76**
โพธิ์พระยา	113.70	117.81	147.39	148.94	129.35	119.42	115.56	107.42	101.60	106.65	110.44	111.86	**1,430.13**
พลเทพ	111.02	116.77	148.54	151.28	129.83	119.55	115.08	108.79	100.49	107.08	108.47	107.67	**1,424.56**
ดอนเจดีย์	112.76	117.55	147.78	149.88	128.91	118.17	114.44	107.06	101.21	106.48	109.50	110.38	**1,424.13**
ท่าโบสถ์	111.80	117.13	148.29	150.69	129.42	118.84	114.86	107.84	100.76	106.89	109.02	108.85	**1,424.41**
บรมธาตุ	111.90	117.13	148.32	150.42	129.94	119.79	115.69	108.27	100.80	107.37	109.47	109.07	**1,428.19**
ยางมณี	113.90	117.77	147.55	148.61	130.03	119.78	116.28	109.04	101.44	107.50	111.30	112.13	**1,435.34**
ผักไห่	114.50	117.92	147.17	148.11	129.92	120.80	116.70	109.31	101.76	107.18	111.53	113.02	**1,437.92**
สามชุก	112.91	117.56	147.83	149.68	129.35	118.86	115.26	107.21	101.22	106.83	109.93	110.61	**1,427.27**
ชัณสูตร	113.13	117.57	147.85	149.35	129.87	119.45	115.95	108.06	101.23	107.34	110.53	110.97	**1,431.30**
วัดสิงห์	110.63	116.59	148.62	151.65	129.85	118.87	114.63	109.09	100.33	106.96	108.02	107.04	**1,422.27**
ยมน่าน	101.62	110.77	147.55	153.61	135.16	117.27	112.81	109.28	102.26	108.19	101.92	95.90	**1,396.32**
ดงเศรษฐี	106.01	113.76	148.47	152.58	133.43	116.79	112.40	107.63	100.79	108.70	105.64	101.58	**1,407.78**
ท่าบัว	106.88	114.33	148.58	152.38	133.04	116.93	113.03	108.07	100.59	108.64	106.27	102.65	**1,411.38**
พลายชุมพล	102.97	111.71	147.88	153.18	134.58	116.52	112.41	108.34	101.79	108.53	103.21	97.73	**1,398.85**
นเรศวร	101.29	110.66	147.43	152.86	134.83	116.26	112.63	108.37	102.53	108.74	102.22	95.96	**1,393.77**
แควน้อยบำรุงแดน	102.45	111.47	147.71	152.57	134.39	115.74	112.47	107.78	102.12	109.05	103.30	97.51	**1,396.55**
วังยาง	106.76	114.14	148.69	153.52	133.00	116.24	112.16	108.66	100.09	107.58	105.21	101.77	**1,407.83**
วังบัว	105.36	113.11	148.50	154.55	133.89	115.55	110.87	107.56	100.22	107.16	103.62	99.58	**1,399.97**
หนองขวัญ	107.01	114.30	148.74	153.62	132.75	116.00	112.09	108.80	99.93	107.38	105.22	101.97	**1,407.81**
ท่อทองแดง	104.04	112.20	148.22	154.89	134.67	116.38	111.42	108.55	100.78	107.15	102.58	97.91	**1,398.81**
เฉลี่ย	**111.73**	**116.31**	**147.36**	**149.45**	**131.04**	**119.60**	**115.68**	**109.98**	**101.47**	**107.58**	**109.48**	**109.18**	1,428.85



ภาพที่ 35 แผนที่แสดงปริมาณการใช้น้ำพืชอ้างอิง (ETo) เฉลี่ยรายปี



ภาพที่ 36 ค่าเฉลี่ยปริมาณความต้องการใช้น้ำพืช (ET_c) รายปีจำแนกตามโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา

5) ปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิ (net irrigation water requirement)

ปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิ จะพิจารณาองค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ปริมาณการใช้น้ำพืช (crop evapotranspiration, ET_c) ฝนใช้การ (effective rainfall, R_e) ปริมาณการรั่วซึม (deep percolation, DP) และปริมาณน้ำเตรียมแปลง (land preparation, LP) ดังสมการที่ 7

สำหรับปริมาณการรั่วซึม (deep percolation) ในแปลงนา คือปริมาณน้ำส่วนหนึ่งที่ต้องสูญเสียไปโดยไม่สามารถที่จะหลีกเลี่ยงได้สำหรับการปลูกข้าว ขึ้นอยู่กับลักษณะดิน วิธีการเตรียมแปลง ความสูงของระดับน้ำในแปลงนาและระดับน้ำใต้ดิน ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ค่าการรั่วซึมของน้ำในแปลงนา ตามเกณฑ์ของกรมชลประทานซึ่งได้กำหนดค่าการรั่วซึมเป็นรายภาค ได้แก่ ภาคกลาง ใช้อัตราการรั่วซึมเท่ากับ 1.0 มิลลิเมตรต่อวัน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ใช้อัตราการรั่วซึมเท่ากับ 2.0 มิลลิเมตรต่อวันและภาคอื่น ๆ ใช้อัตราการรั่วซึมเท่ากับ 1.5 มิลลิเมตรต่อวัน ทั้งนี้ ปริมาณการรั่วซึมจะคิดทั้งพื้นที่นาข้าวและพื้นที่ผิวน้ำ (ประมง พืชน้ำ) ซึ่งมีลักษณะของการขังน้ำไว้ในพื้นที่เหมือนนาข้าว ส่วนพืชชนิดอื่นจะไม่คิดค่าปริมาณการรั่วซึม

สำหรับปริมาณน้ำเตรียมแปลง (land preparation) กรณีพื้นที่นาข้าว คำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

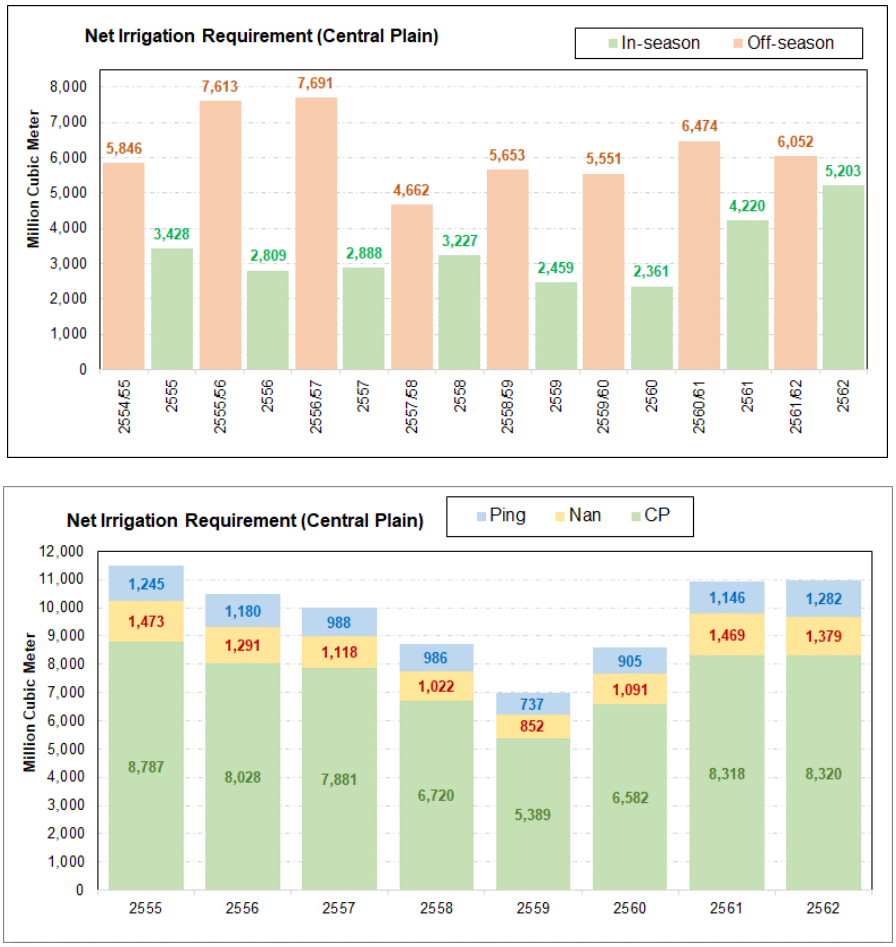
$$LP = LS + DP + E \qquad \text{สมการที่ 19}$$

โดย LP = ความลึกของน้ำที่ใช้ในการเตรียมแปลง (land preparation) (มม.)
LS = ความลึกของน้ำที่ทำให้ดินเปียกชุ่มหรืออิ่มตัว (land soaking) (มม.)
DP = ความลึกของน้ำที่รั่วซึมในช่วงเตรียมแปลง (deep percolation) (มม.)
E = ความลึกของน้ำที่ระเหยในช่วงเตรียมแปลง (evapotranspiration) (มม.)

ในงานวิจัยนี้ กำหนดความลึกของน้ำที่รั่วซึมในช่วงเตรียมแปลงมีค่าเท่ากับ 1 มม. ต่อวัน ความลึกของน้ำที่ระเหยในช่วงเตรียมแปลงคำนวณโดยใช้ค่า ETo x Kc ซึ่งค่า Kc คำนวณตามสมการที่ 16 โดยกำหนดให้การระเหยน้ำของนาข้าวในช่วงเตรียมแปลงมีค่าเทียบเท่ากับการระเหยจากพื้นที่ผิวน้ำ ส่วนความลึกของน้ำที่ทำให้ดินเปียกชุ่มหรืออิ่มตัวพิจารณาจากงานวิจัยของ สรศักดิ์และวราวุธ (2535) ประเมินได้ประมาณ 145 มม. ระยะเวลา 12 วัน หรือประมาณ 12 มม. ต่อวัน

ผลการคำนวณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิ ตามสมการที่ 7 สามารถสรุปผลรวมความต้องการน้ำเป็นรายปีและรายฤดูดังแสดงใน**ภาพที่ 37** โดยการกำหนดช่วงฤดูตามแผนการจัดสรรน้ำและเพาะปลูกพืชในเขตชลประทานของกรมชลประทานสำหรับลุ่มน้ำเจ้าพระยาในฤดูฝนหมายถึงช่วงเดือน พ.ค. - ต.ค. และฤดูแล้งหมายถึงช่วงเดือน พ.ย. - เม.ย. ของปีถัดไป โดยปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิรายปีเฉลี่ย 9,517.13 ล้าน ลบ.ม. แบ่งเป็นช่วงฤดูแล้งประมาณ 6,192.84 ล้าน ลบ.ม. และช่วงฤดูฝนประมาณ 3,324.28 ล้าน ลบ.ม. หรือคิดเป็นอัตราส่วนฤดูแล้ง:ฤดูฝน เป็น 65:35

เมื่อพิจารณาปริมาณความต้องการน้ำชลประทานเฉลี่ยรายปี จำแนกตามโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา ดังแสดงใน**ตารางที่ 19** พบว่าความต้องการน้ำในแต่ละปีจะแปรผันไปตามพื้นที่เพาะปลูกโดยเฉพาะพื้นที่ปลูกข้าว ดังแสดงใน**ภาพที่ 25** โดยในปี พ.ศ.2559 เป็นปีที่เกิดภาวะภัยแล้งอย่างรุนแรงในพื้นที่ราบภาคกลาง ทำให้พื้นที่ปลูกข้าวนาปรังในช่วงฤดูแล้งปี 2558/59 มีพื้นที่น้อยที่สุดและมีความต้องการน้ำชลประทานทั้งปีน้อยที่สุด



ภาพที่ 37 ปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิรายฤดู (บน) และรายปี (ล่าง) ของโครงการชลประทานในพื้นที่ราบภาคกลาง

ตารางที่ 19 ปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิจำแนกตามรายโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา

โครงการฯ	ปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิ (หน่วย: ล้าน ลบ.ม. ต่อปี)								
	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	เฉลี่ย
ยมน่าน	374.41	328.23	285.54	267.96	241.92	254.80	368.30	326.75	**305.99**
พลายชุมพล	281.38	239.06	188.35	186.60	169.73	218.44	295.49	285.08	**233.02**
ท่าบัว	270.39	237.70	212.41	199.10	152.46	201.61	283.89	276.88	**229.31**
ดงเศรษฐี	256.35	225.98	194.24	188.34	147.31	178.21	229.86	225.82	**205.77**
แควน้อยบำรุงแดน	163.85	147.88	144.93	110.85	98.98	135.04	166.87	149.97	**139.80**
นเรศวร	126.36	112.35	92.48	69.47	41.64	103.39	124.97	114.01	**98.08**
ท่อทองแดง	563.84	551.85	456.33	453.26	369.54	400.36	509.89	590.34	**486.93**
วังบัว	338.61	328.67	276.73	288.17	209.28	252.65	302.03	362.24	**294.80**
วังยาง	246.62	222.48	195.79	180.35	112.83	188.43	235.62	239.41	**202.69**
หนองขวัญ	95.85	77.02	59.45	64.06	45.70	63.61	98.17	89.61	**74.18**
มหาราช	538.32	515.18	433.87	343.79	273.42	344.65	529.29	451.75	**428.78**
มโนรมย์	416.09	339.51	299.25	216.44	164.86	224.55	368.03	329.02	**294.72**
ช่องแค	388.79	253.27	187.78	176.90	150.45	272.28	339.67	263.51	**254.08**
โคกกระเทียม	302.65	266.69	230.76	176.41	158.74	216.55	283.78	260.31	**236.98**
นครหลวง	229.67	196.62	185.80	148.73	140.65	144.85	192.47	131.40	**171.27**
ป่าสักใต้	224.04	180.20	173.04	137.25	123.99	153.08	178.95	195.73	**170.79**
เริงราง	212.61	167.24	132.76	116.41	102.01	166.19	170.48	177.20	**155.61**
บางบาล	172.38	159.49	169.19	125.96	109.60	133.67	164.53	120.48	**144.41**
คลองเพรียว-เสาไห้	150.73	149.20	119.49	67.39	69.58	57.17	130.60	147.88	**111.50**
รังสิตใต้	684.22	542.62	665.92	546.59	492.97	542.45	544.85	605.11	**578.09**
เจ้าเจ็ด-บางยี่หน	557.93	531.72	591.50	528.50	349.95	429.53	599.94	641.42	**528.81**
พระองค์ไชยานุชิต	552.46	498.60	551.96	509.56	494.24	523.93	480.18	602.32	**526.66**
พระยาบรรลือ	494.21	436.24	432.17	400.92	333.41	358.15	452.48	515.40	**427.87**
รังสิตเหนือ	344.95	331.18	316.50	307.80	289.07	276.50	287.08	352.44	**313.19**
ชลหารพิจิตร	280.39	254.80	285.92	271.19	262.06	249.77	240.67	317.43	**270.28**
พระพิมล	230.59	215.73	211.79	219.04	189.18	180.27	213.59	252.80	**214.12**
ภาษีเจริญ	72.47	78.16	80.24	86.21	78.65	66.57	62.38	93.79	**77.31**
ชัณสูตร	612.91	592.66	549.77	408.28	287.05	426.55	596.80	505.84	**497.48**
โพธิ์พระยา	416.00	458.81	490.55	425.36	305.31	361.83	510.17	564.41	**441.56**
บรมธาตุ	470.96	453.30	404.81	287.54	211.20	353.64	482.43	358.52	**377.80**
สามชุก	374.78	372.77	343.04	292.71	188.66	278.83	384.69	372.83	**326.04**
ผักไห่	231.52	246.58	284.05	265.92	153.56	196.04	249.70	274.44	**237.73**
ยางมณี	239.69	223.85	241.85	177.54	135.39	181.47	244.28	219.52	**207.95**
ท่าโบสถ์	211.66	206.51	188.33	173.12	111.53	182.45	229.40	182.74	**185.72**
พลเทพ	147.45	140.30	138.08	133.98	91.99	109.45	175.35	183.28	**139.98**
ดอนเจดีย์	160.76	151.81	137.89	125.27	92.10	120.38	164.69	156.29	**138.65**
วัดสิงห์	69.08	64.69	35.08	50.77	29.48	31.04	41.41	44.55	**45.76**

6) ปริมาณการใช้น้ำของพืชจริง (actual evapotranspiration)

การตรวจวัดปริมาณการใช้น้ำของพืชจริง (actual evapotranspiration, ETa) ด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียมมีหลายแนวทาง โดยแนวทางหนึ่งที่เป็นที่นิยมคือการใช้หลักการสมดุลพลังงานที่พื้นผิว การใช้น้ำของพืชจะถูกควบคุมโดยพลังงานที่ถ่ายเทระหว่างพื้นผิวของพืชกับบรรยากาศ เมื่อพิจารณาถึงแหล่งกำเนิดของพลังงานแล้ว พลังงานดังกล่าวก็คือพลังงานที่มาจากดวงอาทิตย์ ซึ่งก็คือรังสีแสงอาทิตย์สุทธิ (net radiation) หลักการสมดุลพลังงานสามารถเขียนเป็นสมการในรูปทั่วไปดังนี้

$$Rn = \lambda E + H + G$$ สมการที่ 20

โดย Rn = พลังงานรังสีแสงอาทิตย์สุทธิ (net radiation)

λE = พลังงานความร้อนแฝงที่ใช้ในการระเหย (heat flux of evaporation)

H = พลังงานความร้อนในอากาศ (sensible heat flux)

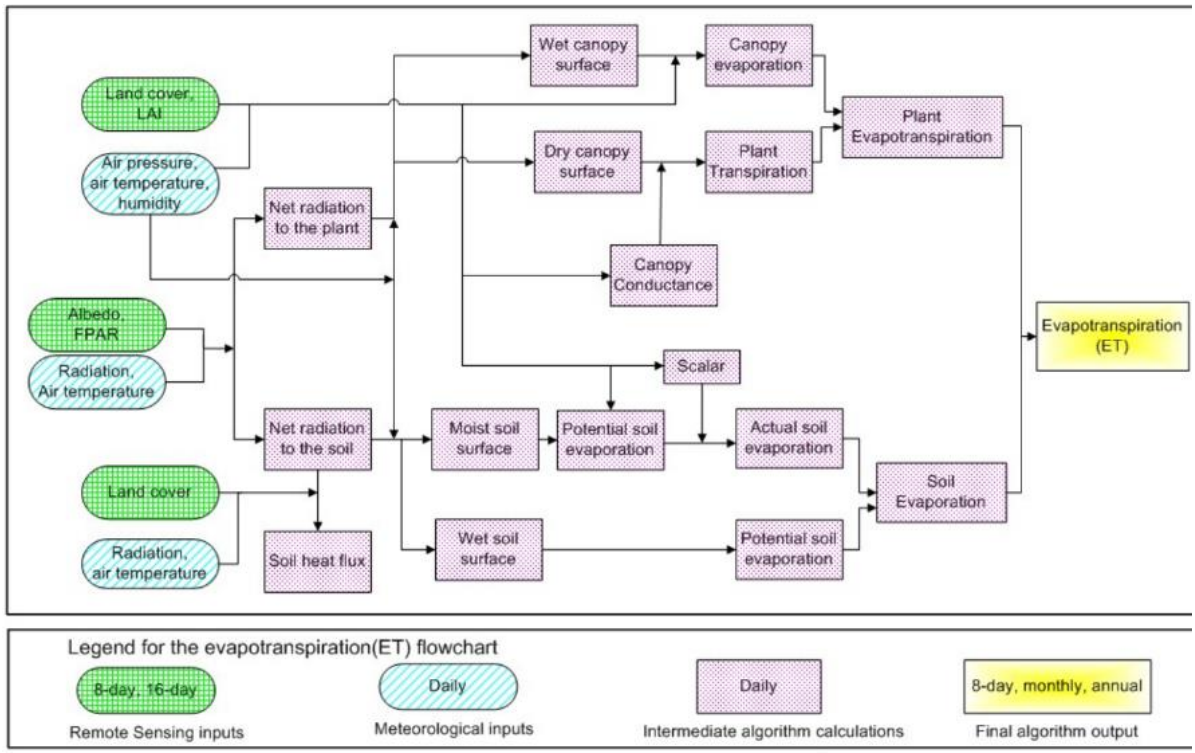
G = พลังงานความร้อนในดิน (soil heat flux)

โดยพลังงานความร้อนแฝงของการระเหย คือ พลังงานความร้อนที่ทำให้น้ำจากผิวน้ำเกิดการเปลี่ยนรูปเป็นไอน้ำสู่บรรยากาศหรือที่เรียกว่าการระเหย พลังงานความร้อนในอากาศเป็นพลังงานที่มีผลมาจากกระบวนการพาความร้อนจากพื้นผิวสู่บรรยากาศ ส่วนพลังงานความร้อนในดินคือพลังงานความร้อนที่สะสมในดินชั้นบนซึ่งในพื้นที่เพาะปลูกที่พื้นผิวปกคลุมไปด้วยพืชพลังงานความร้อนในดินในรอบวันอาจประมาณได้ว่าเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เนื่องจากดินชั้นบนจะมีการสะสมพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในตอนกลางวันและคายพลังงานกลับคืนสู่บรรยากาศในตอนกลางคืน ในอดีตที่ผ่านมามีวิธีประเมินปริมาณการใช้น้ำของพืชจริงด้วยสมดุลพลังงานที่พื้นผิวหลายวิธี เช่น วิธี Surface Energy Balance Algorithm for Land หรือ SEBAL (Bastiaanssen et al., 1998) วิธี Simplified-Surface Energy Balance Index หรือ S-SEBI (Roerink et al., 2000) วิธี Surface Energy Balance System หรือ SEBS (Su, 2002) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม เอกสิทธิ์ (2548) ได้ทดสอบเปรียบเทียบการคำนวนปริมาณการใช้น้ำพืชด้วยวิธี SEBAL และ S-SEBI ในพื้นที่ราบภาคกลางพบว่าทั้งสองวิธีให้ผลในเกณฑ์น่าเชื่อถือได้ โดยวิธี S-SEBI มีความเหมาะสมในทางปฏิบัติเนื่องจากกระบวนวิธีไม่ซับซ้อน กระนั้น ทั้งวิธี SEBAL และ SEBS เป็นวิธีที่ยังต้องอาศัยข้อมูลเสริมจากสถานีตรวจอากาศภาคพื้นดินในการประมาณค่าพารามิเตอร์ ซึ่งต้องมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในกรณีที่ต้องการนำมาใช้งานในพื้นที่ขนาดใหญ่ ในขณะที่วิธี S-SEBI มีข้อจำกัดที่จะต้องมีจุดภาพอ้างอิงเพื่อใช้เป็นตัวแทนที่เหมาะสมในการประมาณค่าการคายระเหยน้ำที่ขีดจำกัดสุด (extreme value) ซึ่งจะทำให้การประมาณค่าการใช้น้ำพืชโดยเฉพาะในช่วงฤดูฝนมีความคลาดเคลื่อนสูง ((Liou and Kar, 2014))

ในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้ผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF (Evapotranspiration/Latent Heat Flux (ET/LE) Version 6) ดาวน์โหลดได้จาก URL https://lpdaac.usgs.gov/products/mod16a2gfv006/ เป็นข้อมูลภาพผสมราย 8-วัน จากภาพถ่ายดาวเทียม MODIS โดยใช้ผลิตภัณฑ์ MOD16ET ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ข้อมูลค่าการคายระเหยน้ำรายวันที่คำนวนตามวิธี Penman-Monteith โดยใช้ข้อมูลดัชนีใบพืชคลุมดิน (LAI) ข้อมูลค่าการสะท้อนพื้นผิว (Albedo) ข้อมูลสิ่งปกคลุมดิน (Land Cover) ซึ่งประเมินจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมาปรับแก้ร่วมกับ

ค่าพารามิเตอร์ทางอุตุนิยมวิทยา ดังแสดงขั้นตอนการทำงานใน**ภาพที่ 38** โดยผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF จะถูกประเมินในช่วงสิ้นปีของแต่ละปี เนื่องจากต้องใช้ข้อมูล Leaf Area Index (LAI) and Fraction of Photosynthetically Active Radiation (FPAR) จากผลิตภัณฑ์ MOD15A2H ซึ่งจะประมวลผลเมื่อสิ้นปี ข้อมูลจากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF มีจุดเด่นคือเป็นข้อมูลแบบ gap-filled กล่าวคือเป็นการปรับปรุงข้อมูล MOD16 ซึ่งมักจะมีปัญหาในด้านคุณภาพของจุดภาพ โดยการคัดกรองคุณภาพของจุดภาพจากค่า LAI/FPAR ทั้งหมดของปี ดังนั้นจึงไม่สามารถประเมินข้อมูล MOD16A2GF แบบใกล้เวลาจริงได้

ปริมาณการใช้น้ำของพืชจริงเฉลี่ยรายปี จำแนกตามโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา ดังแสดงใน**ตารางที่ 20** จากข้อมูลดังกล่าว สามารถนำไปวิเคราะห์ประเมินสมรรถนะการดำเนินงานด้านชลประทานได้ ในหัวข้อถัดไป



ภาพที่ 38 ผังขั้นตอนการประเมินค่าการคายระเหยจากผลิตภัณฑ์ MOD16ET (Running et al., 2019)

ตารางที่ 20 ปริมาณการใช้น้ำของพืชจริงจำแนกตามรายโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา

โครงการฯ	ปริมาณการใช้น้ำของพืชจริง (หน่วย: ล้าน ลบ.ม. ต่อปี)								
	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	เฉลี่ย
ยมน่าน	298.83	306.95	291.52	290.19	206.98	284.96	335.28	320.02	**291.84**
ท่าบัว	256.81	254.96	253.45	229.06	181.34	254.72	292.68	269.11	**249.02**
พลายชุมพล	250.26	262.50	227.60	231.03	178.28	250.80	286.41	295.67	**247.82**
ดงเศรษฐี	251.54	250.72	238.02	224.37	179.84	254.01	275.61	258.23	**241.54**
แควน้อยบำรุงแดน	163.52	158.50	163.56	143.94	122.23	171.63	181.73	155.25	**157.55**
นเรศวร	104.12	114.93	103.15	94.51	66.73	93.00	120.60	112.80	**101.23**
ท่อทองแดง	662.00	685.17	663.82	623.95	553.82	692.45	724.05	689.95	**661.90**
วังบัว	499.28	476.61	468.34	449.99	378.46	517.69	510.50	488.02	**473.61**
วังยาง	286.45	251.88	261.07	237.26	190.81	282.64	302.73	267.61	**260.06**
หนองขวัญ	116.58	99.42	102.30	96.03	81.55	109.39	122.85	107.46	**104.45**
มหาราช	441.23	383.53	412.61	422.41	301.27	455.97	514.59	479.06	**426.33**
มโนรมย์	369.69	291.11	313.99	292.07	218.30	324.30	382.20	355.53	**318.40**
ช่องแค	278.98	208.20	188.49	199.07	149.59	251.42	314.46	266.08	**232.04**
โคกกระเทียม	226.67	184.46	201.31	220.24	164.81	234.76	259.38	242.18	**216.72**
ป่าสักใต้	185.76	173.58	164.88	169.37	141.31	208.98	201.93	187.40	**179.15**
นครหลวง	154.38	142.11	140.39	158.09	124.38	181.28	182.27	146.25	**153.64**
เริงราง	164.14	135.28	128.33	154.27	108.05	178.97	173.56	169.66	**151.53**
คลองเพรียว-เสาไห้	143.43	132.23	117.76	117.48	102.61	137.33	156.56	134.54	**130.24**
บางบาล	107.88	92.22	110.48	117.24	92.70	117.28	127.39	112.13	**109.67**
รังสิตใต้	480.97	417.60	498.76	455.04	404.98	570.31	527.12	475.49	**478.78**
เจ้าเจ็ด-บางยี่หน	398.43	358.70	412.15	464.28	242.14	396.44	449.99	444.31	**395.81**
พระยาบรรลือ	357.05	357.99	354.57	380.03	272.29	398.38	396.85	373.99	**361.40**
รังสิตเหนือ	288.65	298.82	281.67	298.24	273.12	345.49	324.66	306.49	**302.14**
พระองค์ไชยานุชิต	239.94	223.50	240.54	209.21	199.01	283.40	272.05	214.96	**235.33**
พระพิมล	159.86	169.89	176.80	190.64	159.37	210.92	195.54	189.05	**181.51**
ชลหารพิจิตร	73.70	75.54	76.00	73.79	66.14	88.76	81.82	70.44	**75.78**
ภาชีเจริญ	42.86	48.17	48.73	48.46	45.89	54.97	49.20	45.02	**47.91**
ชัณสูตร	578.32	516.30	537.15	513.85	359.30	595.65	618.01	574.58	**536.65**
บรมธาตุ	431.31	360.84	413.52	363.50	257.83	466.62	491.98	451.07	**404.58**
สามชุก	377.58	350.69	345.95	344.16	237.76	397.84	387.32	375.51	**352.10**
โพธิ์พระยา	280.02	286.41	307.22	315.84	222.77	344.07	350.34	350.93	**307.20**
ยางมณี	190.85	179.40	191.66	193.03	143.09	216.71	223.97	206.99	**193.21**
ท่าโบสถ์	195.53	186.23	190.99	189.86	121.06	213.72	221.13	199.74	**189.78**
ผักไห่	141.35	144.92	156.59	191.42	92.21	165.47	170.03	191.51	**156.69**
ดอนเจดีย์	162.05	154.90	147.04	142.12	118.22	175.69	168.41	161.71	**153.77**
พลเทพ	150.79	136.79	143.85	155.31	104.12	158.97	166.69	164.65	**147.65**
วัดสิงห์	76.97	73.55	63.28	73.40	54.21	79.31	77.51	65.07	**70.41**

7) การประเมินสมรรถนะการดำเนินงานด้านการชลประทาน (irrigation performance assessment)

การประเมินการดำเนินงานของระบบชลประทานนั้นเกี่ยวข้องกับการกำหนดจุดมุ่งหมาย การกำหนดเกณฑ์ในการประเมิน เช่น หน่วยงานที่ทำหน้าที่วางแผน เกษตรกร ผู้จัดการโครงการ ซึ่งจะต้องมีการแปรจุดมุ่งหมายต่าง ๆ ออกมาเป็นเป้าหมายในการดำเนินงาน และสุดท้ายคือการแปรเป้าหมายเป็นดัชนีที่สามารถชี้วัดสมรรถนะของการดำเนินงานได้ ซึ่งกรอบการประเมินสมรรถนะและดัชนีที่ใช้ในการประเมินผลมีหลากหลายแนวทาง สำหรับการใช้ข้อมูลจากการสำรวจระยะไกลด้วยภาพถ่ายดาวเทียมมีดัชนีชี้วัดสมรรถนะหลายตัวที่สามารถประเมินได้โดยใช้เทคนิคต่าง ๆ เช่น ดัชนีพืชพรรณ สมดุลพลังงานพื้นผิว การจำแนกภาพถ่ายดาวเทียมหลายช่วงคลื่น เป็นต้น **ตารางที่ 21** แสดงดัชนีที่สามารถประเมินออกเป็น 5 กลุ่ม ซึ่งแต่ละกลุ่มมีข้อจำกัดที่แตกต่างกันออกไปทั้งความถี่ของภาพถ่ายและข้อจำกัดด้านเวลา (Bastiaanssen and Bos, 1999)

ตารางที่ 21 ดัชนีชี้วัดสมรรถนะที่ประเมินได้โดยใช้ข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล (Bastiaanssen and Bos, 1999)

Indicator	Author	Remote sensing principle
Adequacy		
Crop water stress index	Jackson 1981	Surface energy balance
Relative water supply	Menenti et al. 1989	Crop water requirements
Water deficit index	Moran et al. 1994	Surface energy balance
Evaporative fraction	Bastiaanssen et al. 1996	Surface energy balance
Soil moisture	Engman & Chauhan 1995	Microwave techniques
Equity		
Water application per unit area	Menenti et al. 1989	Vegetation index
CV of evapotranspiration	Bastiaanssen et al. 1996	Surface energy balance
CV of evaporative fraction	Bastiaanssen et al. 1996	Surface energy balance
CV of depleted fraction	Roerink et al. 1997	Surface energy balance
Spatial geometry of crop yield	Bastiaanssen et al. 1999a	Vegetation index
Spatial geometry of actual evapotranspiration	Alexandridris et al. 1999	Surface energy balance
Reliability		
Temporal variation of the evaporative fraction	Alexandridris et al. 1999	Time series evaporative fraction
Productivity		
Actual evapotranspiration over water applied	Menenti et al. 1989	Water balance
Yield over water applied	Thiruvengadachari & Sakthivadivel 1997	Vegetation index
Yield over evapotranspiration	Bastiaanssen et al. 1999b	Vegetation index and surface energy balance
Sustainability		
Irrigation intensity	Thiruvengadachari & Sakthivadivel 1997	Multi-spectral classification
Rice intensity	Thiruvengadachari & Sakthivadivel 1997	Multi-spectral classification
Wheat intensity	Sakthivadivel et al. 1999a	Multi-spectral classification
Water-logging	Ambast et al. 1999	Surface albedo
Salinity of top soil	Makin 1986	False color composite

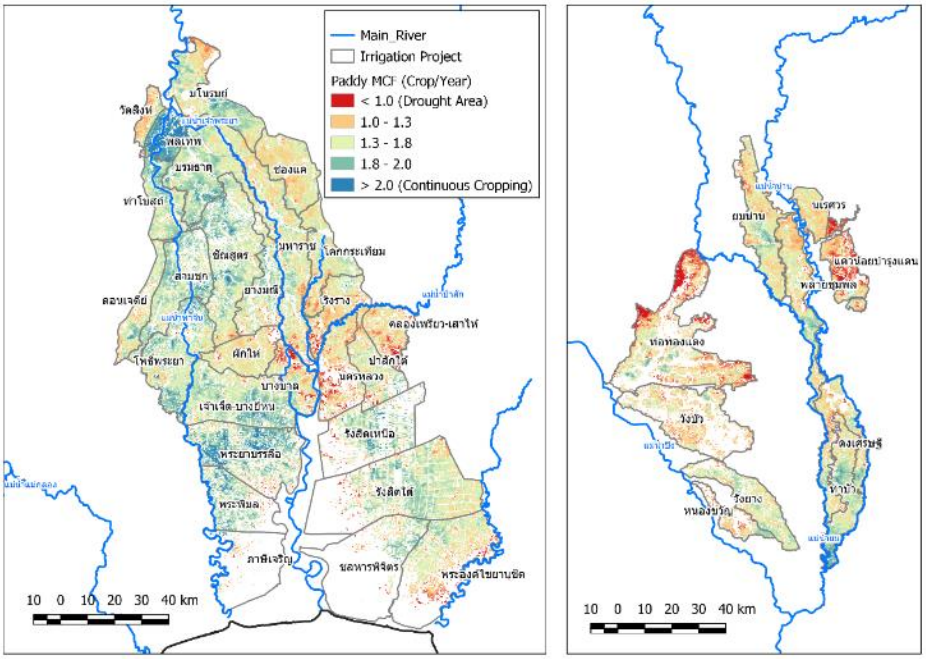
จากผลการศึกษาพบว่าข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมสามารถประเมินข้อมูลสำคัญ ได้แก่ พื้นที่เพาะปลูก ปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิและปริมาณการใช้น้ำของพืชจริง รวมทั้งเมื่อนำข้อมูลปริมาณน้ำชลประทานที่ส่งให้กับพื้นที่ชลประทานมาร่วมวิเคราะห์จะได้สมรรถนะการดำเนินงานชลประทานใน 2 แนวทางได้แก่ ผลการจัดชลประทานต่อการเพาะปลูก และผลการดำเนินการส่งน้ำ (operation) โดยมีรายละเอียดดังนี้

ในการประเมินผลการจัดชลประทานต่อการเพาะปลูก ในอดีตที่ผ่านมาจะใช้ดัชนีแสดงผลทางการเกษตรเป็นรายปีโดยตรวจวัดในรูปแบบของความหนาแน่นของการเพาะปลูก (cropping intensity) ซึ่งหมายถึงสัดส่วนระหว่างพื้นที่เพาะปลูกจริงต่อพื้นที่เป้าหมาย อย่างไรก็ตามดัชนีดังกล่าวมีข้อจำกัดในการประเมินผล กล่าวคือพื้นที่เพาะปลูกจริงจะขึ้นกับพฤติกรรมการเพาะปลูกของเกษตรกรซึ่งในเขตชลประทานที่มีน้ำเพียงพอจะไม่สามารถระบุปฏิทินการเพาะปลูกได้อย่างชัดเจนเนื่องจากเกษตรกรจะปลูกพืชแบบต่อเนื่อง การสำรวจและติดตามพื้นที่เพาะปลูกจริงฝนภาคสนามจึงเป็นงานที่ใช้แรงงานและสิ้นเปลืองระยะเวลาในการสำรวจ

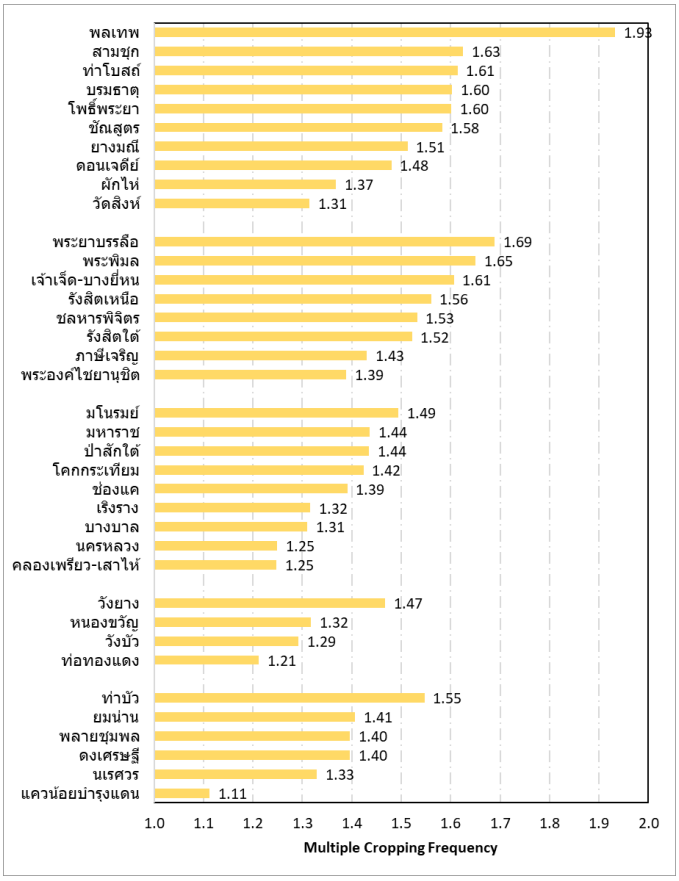
ในงานวิจัยนี้จึงได้เสนอแนวคิดการประเมินผลโดยใช้ดัชนี Multiple Cropping Frequency (MCF) (Xiang et al., 2019) ซึ่งสามารถใช้การประเมินชีพลักษณ์ของพืช (crop phenology) จากข้อมูลอนุกรมเวลา NDVI โดยพิจารณาว่าในแต่ละจุดภาพมีรอบการเพาะปลูก(ในที่นี้นับเฉพาะข้าว) ซึ่งสามารถใช้ค่า NDVI เฉลี่ยสะสมต่อรอบนับเป็นความถี่ 1 รอบการเพาะปลูก งานวิจัยนี้ได้ใช้ค่าสะสม NDVI ต่อรอบการเพาะปลูก($NDVI_{crop}$) ตามกำหนดวันเริ่มต้นและสิ้นสุดรอบการเพาะปลูกข้าวในพื้นที่ตัวแทน (**ภาพที่ 28**) จากนั้นนับค่าเฉลี่ยสะสมรายปี NDVI ของแต่ละจุดภาพในช่วงปี 2552-2562 (NDVI annual average) หารด้วยหาค่าสะสม $NDVI_{crop}$ จะได้ความถี่ของการเพาะปลูกพืชต่อปี ซึ่งหมายถึงค่าดัชนี MCF ของแต่ละจุดภาพ

ผลการประเมินค่าดัชนี MCF ดังแสดงใน**ภาพที่ 39** และ**ภาพที่ 40** จะเห็นว่าโครงการฯ ที่มีค่าเฉลี่ยความถี่การเพาะปลูกสูง อาทิ รังสิตเหนือ พระยาบรรลือ พระพิมล พลเทพ สามชุก สะท้อนให้เห็นว่าเป็นพื้นที่ที่ได้รับน้ำชลประทานอย่างพอเพียงตลอดทั้งปี เกษตรกรสามารถปลูกข้าวได้อย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม ดัชนีดังกล่าวนี้ต้องการผลการสำรวจภาคสนามเพื่อทวนสอบ (verify) ผลการประเมิน โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีค่า MCF สูง เนื่องจากการทำนาที่ไม่พร้อมกันและปลูกข้าวแบบต่อเนื่องตลอดทั้งปี อาจทำให้ค่า NDVI ในแต่ละจุดภาพมีลักษณะ mixed pixel ซึ่งอาจส่งผลต่อการนับจำนวนค่า $NDVI_{peak}$ ในแต่ละจุดภาพได้

นอกจากนี้ ในพื้นที่บางส่วนที่มีค่าดัชนี MCF ต่ำผิดปกติ (มีค่าน้อยกว่า 1) อาทิ พื้นที่โครงการฯ ท่อทองแดง แควน้อยบำรุงแดน อาจแปลผลได้สองแนวทาง กล่าวคือ เป็นพื้นที่ที่มีระบบชลประทานยังไม่สมบูรณ์ จึงยังไม่สามารถส่งน้ำให้เพียงพอต่อการเพาะปลูกได้ ค่าสะสม NDVI จึงอาจจะสะท้อนถึงสภาวะการขาดแคลนน้ำหรือความแห้งแล้งในพื้นที่ได้ หรืออาจจะเกิดจากในพื้นที่ดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นพืชไร่หรือเป็นจุดภาพที่มีการปลูกพืชไร่ปะปนค่อนข้างมาก (mixed pixel) ซึ่งโดยทั่วไปพืชไร่มีการใช้น้ำน้อยกว่าข้าว จึงอาจส่งผลให้การแปลผลค่า MCF คลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและพื้นที่เพาะปลูกจึงเป็นข้อมูลเริ่มต้นที่สำคัญที่ต้องได้รับการตรวจสอบความถูกต้องก่อนนำมาวิเคราะห์ดัชนี MCF



ภาพที่ 39 แผนที่แสดงดัชนีความถี่ของการเพาะปลูกข้าวในพื้นที่ราบภาคกลาง



ภาพที่ 40 ดัชนีความถี่ของการเพาะปลูกข้าวจำแนกตามโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา

ในการประเมินผลการดำเนินการส่งน้ำ (operation) สามารถวัดได้จากดัชนีประสิทธิภาพการชลประทาน (irrigation performance) ซึ่งโดยทั่วไปมีความหมายครอบคลุมถึงสมรรถภาพการใช้น้ำทั้งโครงการ ตั้งแต่จุดเริ่มต้นทำการส่งน้ำจนถึงนำน้ำเข้าแปลงเพาะปลูก เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำชลประทานสุทธิที่ต้องให้แก่พืชต่อปริมาณน้ำทั้งหมดส่งเข้าพื้นที่ ดังสมการ

$$\text{Irrigation Efficiency} = \frac{\text{Net Irrigation Water Requirement}}{\text{Total Inflow into Canal}} \qquad \text{สมการที่ 21}$$

โดยทั่วไป ประสิทธิภาพชลประทานมีค่าสูงสุดไม่เกิน 1 เนื่องจากค่าที่เกิน 1 จะหมายถึงปริมาณน้ำที่ส่งไม่เพียงพอต่อความต้องการน้ำชลประทานในพื้นที่ ซึ่งสะท้อนถึงสภาพการขาดน้ำ ดังนั้น จึงควรมีดัชนีชี้วัดอีกด้านที่มองในมุมกลับกรณีส่งน้ำไม่เพียงพอ คือ อัตราส่วนน้ำชลประทานที่จัดสรร (allocation requirement ratio) หาได้ดังสมการ

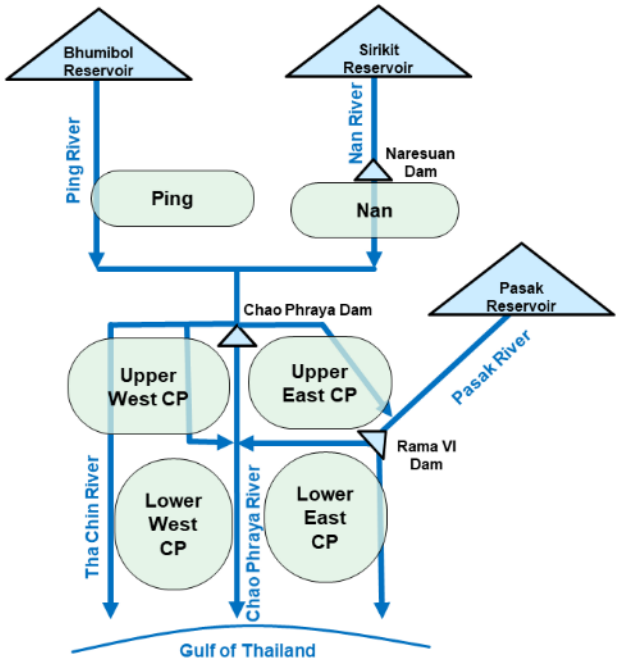
$$\text{Allocation Requirement Ratio} = \frac{\text{Total Inflow into Canal}}{\text{Net Irrigation Water Requirement}} \qquad \text{สมการที่ 22}$$

ค่าอัตราส่วนน้ำชลประทานที่จัดสรรจะถูกใช้ประเมินในมุมมองที่ว่าปริมาณน้ำชลประทานที่มีอยู่สามารถส่งให้กับความต้องการน้ำในพื้นที่ได้ในสัดส่วนเท่าไหร่ ซึ่งหากปริมาณน้ำมีเพียงพอจะกำหนดให้มีค่าสูงสุดเป็น 1 แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่า 1 จะสามารถแปลผลได้ว่าพื้นที่ได้รับน้ำน้อยกว่าความต้องการ (อาจหมายถึงความต้องการน้ำจากพื้นที่เพาะปลูกมากกว่าน้ำที่ส่งให้ เนื่องจากมีการใช้น้ำจากแหล่งอื่น)

ในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบการจัดแบ่งโซนพื้นที่โครงการชลประทานเป็น 6 กลุ่ม ดัง**ภาพที่ 41** เพื่อวิเคราะห์ดัชนีประสิทธิภาพการชลประทานและอัตราส่วนน้ำชลประทานที่จัดสรร โดยการจัดแบ่งพื้นที่ดังกล่าว ไม่รวมโครงการฯ แควน้อยบำรุงแดน เนื่องจากมีการใช้น้ำจากเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนเป็นหลัก ไม่รวมโครงการฯ คลองเพรียว-เสาไห้ เนื่องจากมีการใช้น้ำจากแม่น้ำป่าสักโดยตรง ไม่รวมโครงการฯ วัดสิงห์และบางบาลเนื่องจากเป็นโครงการประเภทสูบน้ำ และไม่รวมโครงการฯ รังสิตใต้ พระองค์ไชยานุชิต และชลหารพิจิตรเนื่องจากเป็นโครงการชลประทานประเภทรับน้ำนองของทางฝั่งเจ้าพระยาตะวันออกตอนล่างซึ่งมีข้อมูลปริมาณน้ำส่งเข้าในโครงการไม่สมบูรณ์เพียงพอสำหรับวิเคราะห์

ผลการประเมินปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิ (Net IWR) ปริมาณน้ำที่ส่ง (Inflow) และปริมาณการใช้น้ำของพืชที่แท้จริง (ETa) เปรียบเทียบตามช่วงเวลาปี 2555 – 2563 ของแต่ละโซน ดังแสดงใน**ภาพที่ 42** พบว่าพื้นที่โครงการฝั่งลุ่มน้ำน่านมีปริมาณการใช้น้ำของพืชที่แท้จริงใกล้เคียงกับปริมาณน้ำชลประทานที่ส่งให้ ส่วนพื้นที่โครงการฝั่งลุ่มน้ำปิงมีความผิดปกติกล่าวคือ ปริมาณการใช้น้ำของพืชที่แท้จริงโดยเฉลี่ยมีค่าสูงกว่าปริมาณน้ำชลประทานที่ส่งให้ ซึ่งสะท้อนได้สองความหมายคือ 1) การรายงานข้อมูลปริมาณน้ำส่งน้อยกว่าความเป็นจริง/ขาดการเก็บข้อมูลตรวจวัด หรือ 2) มีความเป็นไปได้ว่าในพื้นที่มีการใช้น้ำจากแหล่งน้ำอื่น (แหล่งน้ำธรรมชาติบนผิวดิน น้ำใต้ดิน) ส่วนในพื้นที่ฝั่งเจ้าพระยาตะวันตกตอนล่างพบว่าปริมาณน้ำชลประทานที่ส่งในช่วงฤดูแล้งของทุกปีโดยเฉลี่ยมีค่าน้อยกว่าความต้องการน้ำในพื้นที่ ซึ่งขัดแย้งกับผลการสำรวจภาคสนามที่พบว่าพื้นที่นี้มีการเพาะปลูกข้าวอย่าง

ต่อเนื่องตลอดทั้งปี อย่างไรก็ตามเนื่องจากลักษณะโครงการเป็นพื้นที่โครงการชลประทานแบบรับน้ำนอง ข้อมูลการตรวจวัดปริมาณน้ำผ่าน ปตร. เข้าสู่โครงการมีความซับซ้อนกว่าพื้นที่อื่น กล่าวคือ มีทั้งปริมาณน้ำที่ผันเข้าสู่พื้นที่ลุ่มต่ำเพื่อรับยอดน้ำหลากเข้าทุ่งเพื่อป้องกันอุทกภัยในพื้นที่ตอนล่าง รวมทั้งมีปริมาณน้ำที่ผันจากลุ่มน้ำแม่กลองผ่านทางคลองระบายท่าสาร-บางปลามายังแม่น้ำท่าจีน แล้วผันน้ำผ่านระบบคลองในพื้นที่เพื่อไปส่งให้กับแม่น้ำเจ้าพระยาในช่วงที่ต้องการผลักดันน้ำเค็ม



พื้นที่	โครงการ	ปตร.
ปิง	ท่อทองแดง, วังบัว, วังยาง, หนองขวัญ	ท่อทองแดง, วังบัว, วังยาง, หนองขวัญ
น่าน	นเรศวร, ดงเศรษฐี, ท่าบัว, พลายชุมพล	Plo-1L, Pl1-1L, ปากคลอง 1R
เจ้าพระยาฝั่งตะวันตกตอนบน	พลเทพ, ท่าโบสถ์, สามชุก, ดอนเจดีย์, โพธิ์พระยา, บรมธาตุ, ชัณสูตร, ยางมณี, ผักไห่	มะขามเฒ่าอู่ทอง, พลเทพ, บรมธาตุ
เจ้าพระยาฝั่งตะวันออกตอนบน	มหาราช, มโนรมย์, ช่องแค, โคกกระเทียม, เริงราง	มโนรมย์, มหาราช
เจ้าพระยาฝั่งตะวันตกตอนล่าง	เจ้าเจ็ด-บางยี่หน, พระยาบรรลือ, พระพิมล, ภาษีเจริญ	ผักไห่-เจ้าเจ็ด, โพธิ์คอย, บางบัวทอง, เจ้าเจ็ด, พระพิมล, สิงหนาท, พระยาบรรลือ
เจ้าพระยาฝั่งตะวันออกตอนล่าง	ป่าสักใต้, นครหลวง, รังสิตเหนือ	พระนารายณ์

ภาพที่ 41 ผังแสดงการจัดแบ่งโซนการส่งน้ำของโครงการชลประทานในพื้นที่ราบภาคกลาง

จากผลการประเมินประสิทธิภาพการชลประทานดังแสดงใน **ตารางที่ 22** และอัตราส่วนน้ำชลประทานที่จัดสรรดังแสดงใน**ตารางที่ 23** พบว่า ในช่วงฤดูฝน ค่าประสิทธิภาพการชลประทานจะมีค่าระหว่าง 0.26 – 0.80 โดยเฉพาะพื้นที่โครงการฯ ฝั่งเจ้าพระยาตะวันออกตอนบนมีประสิทธิภาพการชลประทานค่อนข้างต่ำ (0.17 – 0.37) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในพื้นที่เจ้าพระยาฝั่งตะวันออกมีการใช้น้ำร่วมกันทั้งฝั่งตอนบนซึ่งรับน้ำจากคลองชัยนาท-ป่าสักและฝั่งตอนล่างซึ่งรับน้ำจากคลองระพีพัฒน์ โดยไม่สามารถวัดได้ว่าปริมาณน้ำระบายที่เหลือจากฝั่งตอนบน (return flow) มีปริมาณเท่าไหร่ที่ระบายลงแม่น้ำป่าสักแล้วถูกนำไปใช้ในพื้นที่ตอนล่าง

สำหรับพื้นที่โครงการฯ ฝั่งเจ้าพระยาตะวันตกตอนบน จะเห็นว่าปริมาณน้ำที่ส่งในช่วงฤดูฝนไม่สัมพันธ์กับปริมาณความต้องการน้ำ กล่าวคือ โดยทั่วไปในช่วงฤดูฝนจะมีปริมาณฝนใช้การซึ่งช่วยลดความต้องการน้ำชลประทานสุทธิได้ แต่ปริมาณน้ำที่ส่งในช่วงฤดูฝนกลับมีค่าสูงกว่าในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งอาจจะสะท้อนถึงผลการวางแผนจัดสรรน้ำและดำเนินการส่งน้ำที่ยังไม่ดีเท่าที่ควร และจะส่งผลให้สิ้นเปลืองน้ำชลประทานมากเกินไป ซึ่งทางโครงการฯ ในพื้นที่ดังกล่าวสามารถปรับปรุงการดำเนินงานให้มีประสิทธิภาพได้มากขึ้นโดยใช้ข้อมูลฝนใช้การและผลการติดตามพื้นที่เพาะปลูกมาคำนวณความต้องการน้ำและปรับแผนการส่งน้ำรายสัปดาห์ในพื้นที่

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการคำนวณประสิทธิภาพการชลประทานได้ใช้ปริมาณน้ำที่ผ่าน ปตร. ทั้งหมดในการประเมินผล ทั้งนี้ในทางปฏิบัติพบว่าปริมาณน้ำที่ผ่าน ปตร. ไม่ได้มีเพียงปริมาณน้ำชลประทานเพื่อการเกษตรเท่านั้น แต่ยังรวมถึงปริมาณน้ำเพื่อวัตถุประสงค์อื่น อาทิ ผลิตประปาในพื้นที่ชุมชน ผันน้ำหลากในช่วงฤดูฝนเข้าไปเก็บไว้ในทุ่งตามนโยบายการบริหารจัดการอุทกภัยโดยใช้ทุ่งรับน้ำนอง ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคตเพื่อจำแนกปริมาณน้ำผ่าน ปตร. ตามวัตถุประสงค์ต่าง ๆ จึงจะคำนวณประสิทธิภาพการชลประทานได้อย่างเหมาะสม

เมื่อวิเคราะห์จากอัตราส่วนน้ำชลประทานที่จัดสรร พบว่า พื้นที่โครงการฯ ฝั่งลุ่มน้ำปิงและน่าน มีค่าอัตราส่วนน้ำชลประทานจัดสรรต่ำสุดที่ 0.01 และ 0.03 ตามลำดับในช่วงฤดูแล้งปี พ.ศ. 2558/59 ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดวิกฤติภัยแล้งอย่างรุนแรงในพื้นที่ราบภาคกลาง โดยทางโครงการฯ ได้งดการส่งน้ำเข้าในพื้นที่แต่ผลการประเมินข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกพบว่ายังคงมีการเพาะปลูกข้าวนาปรัง จึงทำให้มีความต้องการน้ำสูง ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าเกษตรกรในพื้นที่มีแหล่งน้ำอื่น เช่น ใช้น้ำใต้ดิน (บ่อตอก) ในการปลูกข้าว เช่นเดียวกับในพื้นที่ลุ่มเจ้าพระยาที่มีค่าอัตราส่วนน้ำชลประทานจัดสรรค่อนข้างต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงฤดูแล้งปี 2562/63 ซึ่งเกิดเหตุการณ์ภัยแล้งในระดับรุนแรงเช่นเดียวกันและมีปริมาณการใช้น้ำพืชจริงที่สูงกว่าปริมาณน้ำชลประทานที่ส่งให้ จากข้อมูลสำรวจภาคสนามสังเกตว่าหลายพื้นที่ที่มีการทำนาปรังจะอยู่ใกล้แหล่งน้ำ (เช่น บึงกระจับใหญ่ บึงฉวาก แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำน้อย คลองระบายธรรมชาติ เป็นต้น) หรือใช้เครื่องสูบน้ำนอนคลอง/ บ่อน้ำตื้น (บ่อตอก)/ บ่อทรายร้าง

ดังนั้น ในกรณีช่วงฤดูแล้งที่มีปริมาณน้ำต้นทุนจำกัด การคำนวณปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสามารถใช้ค่าอัตราส่วนน้ำชลประทานจัดสรรเป็นดัชนีหนึ่งในการตัดสินใจส่งน้ำได้ โดยค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนน้ำชลประทานจัดสรรในพื้นที่โครงการฯ ฝั่งลุ่มน้ำปิงและน่านในช่วงฤดูแล้งมีค่า 0.60 และ 0.64 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อเกษตรในพื้นที่มีการปลูกพืชในช่วงฤดูแล้ง ทางโครงการสามารถจัดสรรน้ำให้ได้ประมาณ 60% ของพื้นที่

ภาพที่ 42 ผลการประเมินปริมาณความต้องการน้ำ, ปริมาณน้ำที่ส่งและปริมาณการใช้น้ำของแต่ละโซน

ตารางที่ 22 ประสิทธิภาพการชลประทาน (irrigation efficiency)

Year	Upper West CP		Upper East CP		Lower West CP		Lower East CP		Ping		Nan	
	In-Season	Off-Season	In-Season	Off-Season	In-Season	Off-Season	In-Season	Off-Season	In-Season	Off-Season	In-Season	Off-Season
2012	0.46	1.00	0.21	0.69	0.37	1.00	0.22	1.00	0.60	0.99	0.65	0.86
2013	0.38	1.00	0.27	0.84	0.51	1.00	0.23	0.82	0.76	1.00	0.39	1.00
2014	0.37	1.00	0.20	0.81	0.79	1.00	0.19	0.73	0.67	1.00	0.50	1.00
2015	0.59	1.00	0.33	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.87	1.00	0.67	1.00
2016	0.24	0.72	0.24	0.50	0.58	1.00	0.18	0.40	1.00	1.00	0.55	1.00
2017	0.21	0.61	0.17	0.40	0.41	0.91	0.11	0.34	1.00	1.00	0.46	1.00
2018	0.38	0.85	0.27	0.47	0.59	1.00	0.19	0.43	0.53	1.00	0.54	0.92
2019	0.60		0.37		1.00		0.32		1.00		0.66	
Avr.	**0.41**	**0.88**	**0.26**	**0.67**	**0.66**	**0.99**	**0.31**	**0.67**	**0.80**	**1.00**	**0.55**	**0.97**
Total Avr.		**0.63**		**0.45**		**0.81**		**0.48**		**0.89**		**0.75**

ตารางที่ 23 อัตราส่วนน้ำชลประทานที่จัดสรร (allocation requirement ratio)

Year	Upper West CP		Upper East CP		Lower West CP		Lower East CP		Ping		Nan	
	In-Season	Off-Season	In-Season	Off-Season	In-Season	Off-Season	In-Season	Off-Season	In-Season	Off-Season	In-Season	Off-Season
2012	1.00	0.94	1.00	1.00	1.00	0.60	1.00	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00
2013	1.00	0.74	1.00	1.00	1.00	0.57	1.00	1.00	1.00	0.44	1.00	0.61
2014	1.00	0.81	1.00	1.00	1.00	0.22	1.00	1.00	1.00	0.12	1.00	0.17
2015	1.00	0.42	1.00	0.57	0.58	0.24	0.85	0.23	1.00	0.01	1.00	0.03
2016	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.66	1.00	1.00	0.56	0.79	1.00	0.74
2017	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.75	0.94	1.00	0.93
2018	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.55	1.00	1.00	1.00	0.90	1.00	1.00
2019	1.00		1.00		0.71		1.00		0.69		1.00	
Avr.	**1.00**	**0.84**	**1.00**	**0.94**	**0.91**	**0.55**	**0.98**	**0.89**	**0.88**	**0.60**	**1.00**	**0.64**
Total Avr.		**0.93**		**0.97**		**0.74**		**0.94**		**0.75**		**0.83**

8) สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การประเมินความต้องการน้ำในภาคการเกษตรด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม สรุปผลและข้อเสนอแนะต่าง ๆ ได้ดังนี้

1. เทคนิคด้านการสำรวจระยะไกลสามารถประเมินข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกโดยการใช้ดัชนีร่วม NDVI, NDWI และ NDFI เพื่อจำแนกกิจกรรมการเพาะปลูกข้าว สามารถจำแนกพื้นที่เพาะปลูกได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม ยังคงต้องการผลการสำรวจภาคสนามอย่างต่อเนื่องเพื่อทวนสอบค่าขีดแบ่ง (threshold value) ที่ใช้ในการตัดสินใจและทดสอบความถูกต้องของการแปลผลข้อมูลเพิ่มเติม นอกจากนี้ ในงานวิจัยระยะถัดไปจะเริ่มผนวกภาพดาวเทียมจากหลายแหล่งและโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก (deep learning) เพื่อจำแนกระยะการเจริญเติบโตของข้าวได้อย่างละเอียดมากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้การประเมินปริมาณความต้องการน้ำสอดคล้องกับสภาพกิจกรรมการเพาะปลูกได้ดียิ่งขึ้น

2. การสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำพืช (Kc) กับค่าดัชนีพืชพรรณแบบ NDVI ช่วยให้การแปลผลค่า Kc ทำได้สะดวกมากขึ้น เพราะสามารถประเมินค่า Kc เฉลี่ยในภาพรวมทั้งหมดของโครงการฯ โดยไม่ต้องสำรวจติดตามพื้นที่เพาะปลูกเป็นรายแปลง อย่างไรก็ตามเนื่องจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมีรายละเอียดจุดภาพค่อนข้างต่ำ (500 x 500 เมตร) จึงอาจมีปัญหากรณีในจุดภาพมีการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบผสมผสาน หรือมีปฏิทินการปลูกพืชที่ไม่ตรงกัน ซึ่งในงานวิจัยระยะถัดไปควรมีการวิจัยการผนวกภาพดาวเทียมรายละเอียดสูงเพื่อช่วยปรับผลการคำนวณค่า Kc ให้แม่นยำมากขึ้น นอกจากนี้ ควรมีการทดลองตรวจวัดค่า Kc สำหรับข้าวต่างสายพันธุ์และต่างวิธีการปลูก (นาดำ นาหว่าน ปลูกแบบเปียกสลับแห้ง ปลูกแบบ SRI ฯลฯ) รวมทั้งวิเคราะห์หาสาเหตุเพิ่มเติม เนื่องจากค่า Kc ของข้าวที่กรมชลประทานแนะนำให้ใช้มีค่าสูงกว่าค่า Kc ของ FAO ค่อนข้างมาก

3. ฝนใช้การเป็นปัจจัยสำคัญที่จะช่วยลดปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิได้ โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลฝนตรวจวัดจากสถานีของกรมอุตุนิยมวิทยา จากการศึกษาพบว่า ฝนพยากรณ์ล่วงหน้า 2 สัปดาห์ CFSV2 ให้ผลการประเมินเป็นฝนใช้การได้ใกล้เคียงกัน ดังนั้นสำหรับในการติดตามผลการส่งน้ำจึงควรทดลองใช้ฝน CFSV2 มาประเมินเป็นฝนใช้การเพื่อปรับแผนการส่งน้ำรายสัปดาห์ได้

4. ปริมาณการใช้น้ำพืชที่แท้จริง จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF สามารถใช้ประเมินผลย้อนหลังได้ แต่จะสามารถทำได้เมื่อสิ้นสุดปีเท่านั้น ดังนั้นหากต้องการประเมินติดตามการใช้น้ำพืชที่แท้จริงในช่วงใกล้เวลาจริง (near real-time) ควรพิจารณาเทคนิคการประเมินด้วยวิธีอื่น

5. ปริมาณความต้องการน้ำในภาคการเกษตรสำหรับโครงการชลประทานในพื้นที่ราบภาคกลาง เฉลี่ยปีละ 9,517.13 ล้าน ลบ.ม. โดยในการจัดสรรน้ำเสนอแนะให้ปรับอัตราส่วนฤดูแล้ง:ฤดูฝน เป็น 65:35 จะเป็นสัดส่วนที่ใกล้เคียงกับความต้องการน้ำในพื้นที่

6. งานวิจัยนี้ได้นำเสนอดัชนีสมรรถนะการชลประทาน ได้แก่ ดัชนี Multiple Cropping Frequency (MCF) ซึ่งสะท้อนถึงความถี่ของการเพาะปลูกพืชต่อปี รวมทั้งเสนอแนะให้ใช้ค่าอัตราส่วนน้ำชลประทานจัดสรรเพื่อประเมินผลการดำเนินงานจัดสรรน้ำในช่วงฤดูแล้ง ส่วนดัชนีประสิทธิภาพการชลประทานเสนอแนะให้ใช้สำหรับประเมินผลการดำเนินงานจัดสรรน้ำในช่วงฤดูฝน โดยสามารถใช้ค่าดัชนีที่ประเมินนี้ในการปรับแผนการจัดสรรน้ำในฤดูกาลต่อไปได้

7. การประเมินปริมาณความต้องการน้ำชลประทานในพื้นที่อาจมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเกษตรกรมีการใช้แหล่งน้ำอื่น อาทิ น้ำระบาย (return flow) น้ำท่าที่เพิ่มจากธรรมชาติ (side flow) รวมทั้งน้ำใต้ดิน (groundwater) ซึ่งในงานวิจัยระยะถัดไปควรมีเชื่อมโยงผลการศึกษาจากงานวิจัยจาก *“โครงการศึกษาและประเมินปริมาณน้ำต้นทุน (น้ำท่า น้ำผิวดิน และน้ำบาดาล) ในพื้นที่ลุ่มเจ้าพระยาตอนล่าง”* และ *“โครงการพัฒนาระบบการจัดการน้ำบาดาลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระบบการบริหารจัดการน้ำร่วมกับน้ำผิวดิน”* เพื่อให้ผลการประเมินความต้องการน้ำชลประทานมีความสอดคล้องกับสภาพการใช้น้ำจริงในแต่ละพื้นที่มากขึ้น

3.3 การศึกษาการรับรู้และพฤติกรรมการใช้น้ำของชุมชนที่อยู่อาศัยเพื่อการวางแผนเชิงกลยุทธ์การลดการใช้น้ำ

1) การประเมินปริมาณความต้องการน้ำในภาคส่วนชุมชนที่อยู่อาศัย

การหาปริมาณความต้องการน้ำในภาคส่วนชุมชนที่อยู่อาศัยเน้นไปที่การคำนวณความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภคในระดับครัวเรือน (domestic water requirement, Wd) โดยคำนวณจากจำนวนประชากรทั้งหมดที่อาศัยในแต่ละตำบลหรือในเขตเทศบาล ดังสมการต่อไปนี้

$$W_d = P \times W_c$$ สมการที่ 23

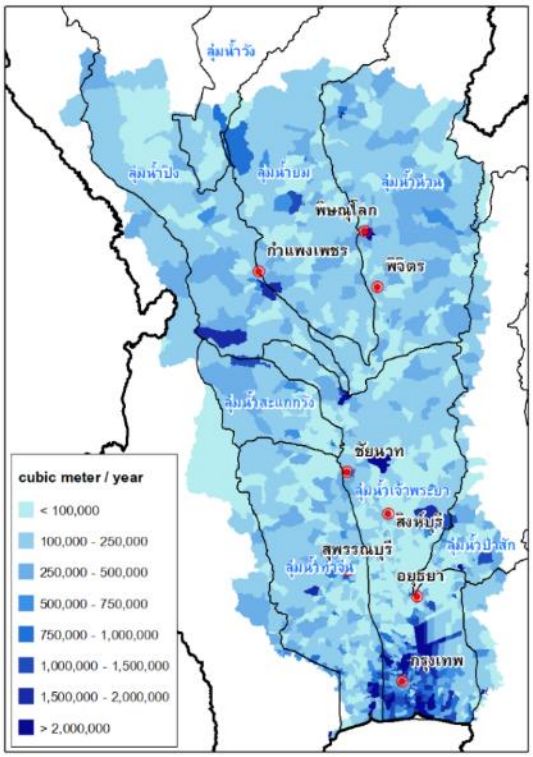
โดย W_d คือ ปริมาณความต้องการน้ำเพื่ออุปโภคและบริโภค (ลิตร/วัน)
P คือ จำนวนประชากร (คน)
W_c คือ อัตราการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภค (ลิตร/คน/วัน)

ทั้งนี้ อัตราการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภคในแต่ละพื้นที่จะแตกต่างกันไปตามความหนาแน่นของประชากร โดยอัตราการใช้น้ำในเขตชนบทจะมีค่าประมาณ 50 ลิตร/คน/วัน ซึ่งอัตราดังกล่าวได้ถูกกำหนดขึ้นโดยอาศัยความจำเป็นขั้นพื้นฐาน (จปฐ) ส่วนอัตราการใช้น้ำของประชากรในชุมชนเมืองจะใช้เกณฑ์ของกรมทรัพยากรน้ำ (2549) ซึ่งได้ใช้ข้อมูลการใช้น้ำจากการประปาภูมิภาคในอดีตย้อนหลัง 14 ปี (ปี 2529-2542) เพื่อประเมินเป็นเกณฑ์อัตราการใช้น้ำดังต่อไปนี้

ตารางที่ 24 อัตราการใช้น้ำของประชากรในชุมชนเมือง (กรมทรัพยากรน้ำ, 2549)

จำนวนประชากรในเขตชุมชนเมือง (คน)	อัตราการใช้น้ำ (ลิตร/คน/วัน)
3,000-10,000	120
10,001-20,000	170
20,001-30,000	200
30,001-50,000	250
มากกว่า 50,000	300

เมื่อพิจารณาปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภคตามพื้นที่ พบว่า ตำบลคูคต อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี มีปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภคสูงที่สุดในพื้นที่ราบลุ่มภาคกลาง เท่ากับ 12 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี รองลงมา ได้แก่ ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง และตำบลประชาธิปัตย์ อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี ตามลำดับ ดังแสดงใน**ภาพที่ 43** และ**ตารางที่ 25**



ภาพที่ 43 ปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภครายตำบลในพื้นที่ราบลุ่มภาคกลาง

ตารางที่ 25 พื้นที่ที่มีปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภคสูงที่สุด 10 อันดับแรก

อันดับ	ท้องถิ่นเทศบาล	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	ความต้องการใช้น้ำ (ลบ.ม. ต่อปี)
1	ท้องถิ่นเทศบาลเมืองคูคต	คูคต	ลำลูกกา	ปทุมธานี	12,075,331.50
2	ท้องถิ่นเทศบาลเมืองคลองหลวง	คลองหนึ่ง	คลองหลวง	ปทุมธานี	10,958,760.00
3	ท้องถิ่นเทศบาลนครรังสิต	ประชาธิปัตย์	ธัญบุรี	ปทุมธานี	9,335,970.00
4	ท้องถิ่นเทศบาลตำบลสำโรงเหนือ	สำโรงเหนือ	เมืองสมุทรปราการ	สมุทรปราการ	7,944,991.50
5	ท้องถิ่นเทศบาลนครนนทบุรี	ท่าทราย	เมืองนนทบุรี	นนทบุรี	7,742,635.50
6	ท้องถิ่นเทศบาลตำบลบางเมือง	บางเมือง	เมืองสมุทรปราการ	สมุทรปราการ	7,699,054.50
7	ท้องถิ่นเทศบาลนครพิษณุโลก	ในเมือง	เมืองพิษณุโลก	พิษณุโลก	7,238,607.00
8	ท้องถิ่นเทศบาลเมืองลาดสวาย	ลาดสวาย	ลำลูกกา	ปทุมธานี	7,216,707.00
9	ท้องถิ่นเทศบาลนครปากเกร็ด	บางพูด	ปากเกร็ด	นนทบุรี	6,923,028.00
10	ท้องถิ่นเทศบาลเมืองสระบุรี	ปากเพรียว	เมืองสระบุรี	สระบุรี	6,658,585.50

จากฐานข้อมูลประชากรย้อนหลังในช่วงปี พ.ศ. 2553 – 2562 สามารถนำมาประเมินอัตราการเพิ่มขึ้น/ลดลงของประชากรในแต่ละพื้นที่ได้ ในงานวิจัยนี้ได้ประเมินอัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรในระดับอำเภอเพื่อใช้คาดการณ์จำนวนประชากรในอนาคตโดยใช้แบบจำลองทวีกำลัง (ภาวดี, 2550) ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$P_n = P_o (1+r)^n$$ สมการที่ 24

โดย P_n คือ จำนวนประชากรในปีที่ n นับจากปีปัจจุบัน

P_o คือ จำนวนประชากรในปีปัจจุบัน

r คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงประชากร

n คือ ช่วงเวลาที่คำนวณนับจากปีปัจจุบัน

ผลการคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงประชากรในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 1,957 ตำบล ใน 259 อำเภอพบว่ามีอัตราการเปลี่ยนแปลง (r) เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 0.0021 ผลการคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงประชากรรายอำเภอดังแสดงในภาคผนวกที่ ช. เมื่อประเมินปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภครายตำบลโดยพิจารณาจากอัตราการเปลี่ยนแปลงประชากร พบว่าปริมาณความต้องการน้ำในพื้นที่ศึกษาเพิ่มขึ้นจากปีละ 638,867.180 ล้าน ลบ.ม. ในปี พ.ศ. 2562 เป็น 790,720,393 ล้าน ลบ.ม. ในปี พ.ศ. 2582 คิดเป็น 23.77% ดังแสดงใน**ตารางที่ 26**

ตารางที่ 26 การเปลี่ยนแปลงประชากรและปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภคในอนาคต

ปี พ.ศ.	**2562**	**2567**	**2572**	**2577**	**2582**
ประชากร (ล้านคน)	19.97	20.47	21.05	21.73	22.51
ความต้องการน้ำ (ล้าน ลบ.ม. ต่อปี)	638,867,180	669,110,850	706,741,357	744,887,412	790,720,393

2) การจัดเตรียมเครื่องมือ การสำรวจข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

2.1 การกำหนดพื้นที่เก็บตัวอย่างและจำนวนตัวอย่าง

การกำหนดพื้นที่ตัวอย่างในเขตที่ราบภาคกลางตอนบน ใช้เกณฑ์พิจารณาครอบคลุมพื้นที่ที่เสี่ยงภัยแล้งและมีความหนาแน่นประชากร โดยได้คัดเลือกพื้นที่ตำบลนำร่องสำหรับเก็บข้อมูลดังแสดงรายละเอียดใน**ตารางที่ 2** ได้แก่ ต.หนองเต่า อ.เมือง จ.อุทัยธานี, ต.หนองนางนวล อ.บ้านฉาง จ.อุทัยธานี, ต.นครสวรรค์ตก อ.เมือง จ.นครสวรรค์ และ ต.เขาชายธง อ.ตากฟ้า จ.นครสวรรค์ กำหนดจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่จะใช้ในการสำรวจข้อมูลโดยใช้สูตรดังต่อไปนี้

$$n = \frac{Z^2 NP(1-P)}{Z^2 P(1-P) + (1-N)E^2}$$ สมการที่ 25

โดย n = ขนาดตัวอย่าง

N = ขนาดประชากร

Z = 1.96 at 95% confidence interval

E = ค่าความคลาดเคลื่อนจากการสุ่มตัวอย่าง ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยกำหนดที่ 5 %

P = 0.5 (proportion of low perception)

ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลเพิ่มไว้จากจำนวนตัวอย่างที่คำนวณได้ 10%

2.2 การพัฒนาเครื่องมือวิจัย

ในการศึกษาการรับรู้ของประชาชนต่อพฤติกรรมการใช้น้ำเพื่ออุปโภคบริโภคในครัวเรือน ใช้การสัมภาษณ์โดยใช้แบบสอบถามโดยเก็บข้อมูลแบบการสัมภาษณ์ซึ่งหน้า (face to face interview) เพื่อประเมินการรับรู้เกี่ยวกับการใช้น้ำ เป็นการศึกษาปัจจัยชี้นำพฤติกรรมของประชาชนเกี่ยวกับการสนับสนุนแนวทางการประหยัดน้ำหรือเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำภาคประชาชน ซึ่งจะใช้เป็นปัจจัยทางด้านสังคมในการจำลองสถานการณ์เพื่อแสวงหาแนวทางการลดการใช้น้ำในภาคส่วนดังกล่าว ในส่วนของการเก็บรวบรวมข้อมูลระดับความรับรู้ จะทำการรวบรวมโดยการพัฒนาแบบสอบถามให้สามารถเป็นมาตรวัด (scale development) แบบสอบถามถูกพัฒนาขึ้นโดยคณะผู้วิจัยซึ่งได้การทบทวนวรรณกรรมตัวชี้วัดเกี่ยวกับการใช้น้ำและการจัดการทรัพยากรน้ำทั้งในและต่างประเทศ โดยแบบสอบถามดังกล่าวได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ใน โครงการวิจัย*"การศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำสำหรับกลุ่มผู้ใช้น้ำในชุมชนเพื่อรองรับการพัฒนาโครงการระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก"* และโครงการวิจัย *"การประเมินปริมาณความต้องการน้ำในพื้นที่ราบภาคกลาง (ระยะที่ 1)"*

โดยในการพัฒนาแบบสอบถาม เริ่มต้นจากการทบทวนวรรณกรรมเพื่อรวบรวมตัวชี้วัดที่ใช้ประเมินการใช้น้ำในชุมชนของหน่วยงานและผลงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่ รวมทั้งตัวชี้วัดของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยได้กำหนดกรอบของตัวชี้วัดออกเป็นสามส่วน ได้แก่ การจัดหาน้ำ การให้บริการน้ำ และผู้ใช้บริการ ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในระบบการบริหารจัดการน้ำ เมื่อรวบรวมตัวชี้วัดแล้ว ใช้การทวนสอบโดยผู้ทรงคุณวุฒิซึ่งเป็นภาคส่วนที่เกี่ยวข้องกับการบริการและการจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ พิจารณาความสอดคล้องของรายตัวชี้วัดจากการทบทวนวรรณกรรมกับการปฏิบัติงานจริงและบริบทของพื้นที่ จากนั้นตัวชี้วัดที่ผ่านการทวนสอบแล้ว จะถูกนำมาพัฒนาเป็นแบบสอบถามเพื่อเก็บข้อมูลตามวัตถุประสงค์โครงการ ข้อมูลที่เก็บจากแบบสอบถามถูกนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อคัดและจัดกลุ่มตัวชี้วัดใหม่ที่สะท้อนจากการรับรู้ของกลุ่มตัวอย่าง เพื่อสร้างมิติของการประเมินที่สอดคล้องกับบริบทของพื้นที่ รายงานผลตามกรอบขององค์ประกอบและตัวชี้วัดการรับรู้ที่พัฒนาขึ้นใหม่ แบบสอบถามแสดงดังภาคผนวก ก

2.3 การเก็บข้อมูลแบบสอบถามในพื้นที่ศึกษาตำบลนำร่อง

เนื่องด้วยสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรค COVID-19 ทำให้คณะผู้วิจัยไม่สามารถเดินทางลงเก็บข้อมูลในพื้นที่ได้ ดังนั้นในการเก็บข้อมูลใช้การสัมภาษณ์ด้วยแบบสอบถาม คณะผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลผ่านผู้ประสานงานโครงการในพื้นที่ โดยก่อนเก็บข้อมูลประชุมทำความเข้าใจ ชี้แจงการใช้เครื่องมือวิจัยและการกรอกข้อมูลให้แก่ผู้เก็บข้อมูลในพื้นที่ผ่านการประชุมทางไกล ตัวอย่างภาพการเก็บข้อมูลในพื้นที่แสดงดัง**ภาพที่ 44**

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์เชิงสถิติ พิจารณาข้อมูลจากแบบสอบถามที่เก็บได้ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่

(1) ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ซึ่งให้สถิติเชิงพรรณนาในการวิเคราะห์

(2) ข้อมูลเพื่อประเมินการรับรู้หรือความคิดเห็นต่อประเด็นการใช้น้ำ มีขั้นตอนการวิเคราะห์ ดังนี้

จากการพัฒนาตัวชี้วัดขั้นต้น ประเด็นย่อยหรือตัวชี้วัดรายองค์ประกอบจะถูกจำแนกออกมาให้ได้มากที่สุด ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการจำแนกนิยามของแต่ละองค์ประกอบหรือตัวชี้วัดออกมาได้จำนวน 54 ตัวชี้วัด หลังผ่านการทวนสอบ พบว่าเหลือตัวชี้วัดที่มีความสอดคล้องกับประเด็นวิจัยจำนวน 34 ตัวชี้วัด ทำการกระจายและนิยาม

ตัวชี้วัดเพื่อให้สามารถพัฒนาเป็นแบบสอบถามจำแนกได้เป็น 39 ตัวชี้วัด เนื่องจากบางตัวชี้วัดสามารถจำแนกออกเป็นรายประเด็นย่อยได้เพิ่มเติม การวิเคราะห์สถิติสำหรับ 39 ตัวชี้วัด ใช้เทคนิค exploratory factor analysis เพื่อลดจำนวนตัวชี้วัด โดยใช้เกณฑ์ค่า factor loading (<0.32) ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นมากกว่า 1 ตัวแปร และความสัมพันธ์ที่ไม่มีทฤษฎีรองรับ) (Worthington & Whittaker, 2006) และจัดกลุ่มเป็นองค์ประกอบ

(3) คำถามปลายเปิด ใช้การแปลผลโดยการบรรยาย หรือวิเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลในส่วนอื่น

การวิเคราะห์ผลข้อมูลเชิงเปรียบเทียบ

ในการศึกษาครั้งนี้ ทำการอภิปรายผลที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงสถิติและบรรยาย โดยนำเสนอข้อมูลในภาพรวมของพื้นที่ราบภาคกลางตอนบน การนำเสนอเปรียบเทียบพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งสูงและต่ำในพื้นที่ที่ศึกษา การเปรียบเทียบผลเชิงรับรู้กับข้อมูลจริงที่ได้จากการสำรวจ

ภาพที่ 44 การเก็บข้อมูลแบบสอบถามในพื้นที่ศึกษา

<u>3) ผลการศึกษาการรับรู้และพฤติกรรมการใช้น้ำของชุมชนที่อยู่อาศัย</u>

จากขั้นตอนการรวบรวมประเด็นตัวชี้วัดที่ใช้ประเมินการใช้น้ำในชุมชนของหน่วยงานและผลงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่ รวมทั้งตัวชี้วัดของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยได้กำหนดกรอบของตัวชี้วัดออกเป็นสามส่วน ได้แก่ การจัดหาน้ำ การให้บริการน้ำ และผู้ใช้บริการ และทำการสรุปวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบ สามารถสรุปตัวชี้วัดในเบื้องต้นได้ 54 รายการ แบ่งเป็น ตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับการจัดหาน้ำเพื่อให้บริการแก่ผู้ใช้น้ำในชุมชน (Supply Side Management) ตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการระบบผลิตและจ่ายน้ำเพื่อให้บริการผู้ใช้น้ำในชุมชน (Service and Management System) และ ตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการการใช้น้ำอย่างรู้คุณค่า (Demand Side Management : DSM) กลุ่มละ 18 ตัวชี้วัด แสดงดัง**ตารางที่ 27**

ตารางที่ 27 รายการตัวชี้วัดจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการจัดการทรัพยากรน้ำในภาคชุมชน

Supply Side Management	Service and Management System	Demand Side Management
จำนวนที่เพิ่มขึ้นของความจุแหล่งเก็บน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)	จำนวนที่เพิ่มขึ้นของอาคารป้องกันและบรรเทาอุทกภัย (แห่ง)	อัตราการใช้น้ำเฉลี่ยต่อครัวเรือน (หมายเลขผู้ใช้น้ำ)
จำนวนพื้นที่บริหารจัดการน้ำ ในเขตที่ราบภาคกลาง	ร้อยละของพื้นที่เกษตรที่มีการทำการเกษตรยั่งยืนจำนวนครัวเรือนที่มีน้ำใช้ (ราย)	รายได้เฉลี่ยต่อครัวเรือน
จำนวนพื้นที่ชลประทานที่ได้รับการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพ (ไร่)	มีแผนงบประมาณรายจ่ายประจำปี /แผนปฏิบัติการที่มีประสิทธิภาพ ทั่วถึงและเป็นธรรม	ระดับการศึกษาของหัวหน้าครัวเรือน
จำนวนที่เพิ่มขึ้นของแหล่งน้ำเพื่อชุมชนหรือชนบท (แห่ง)	ผลสัมฤทธิ์โครงการลงทุนเพื่อปรับปรุงอัตราน้ำสูญเสีย ประจำปีงบประมาณ	การประกอบอาชีพ
คุณภาพน้ำในทางน้ำชลประทาน (อ่างเก็บน้ำ คลอง/คูระบายน้ำ)	ร้อยละการจัดการข้อร้องเรียน	จำนวนสมาชิกในครัวเรือน
คุณภาพน้ำในทางน้ำชลประทาน (อ่างเก็บน้ำ คลอง คูส่งน้ำ) การวัดค่า DO, pH, EC, TDS, Sal, อุณหภูมิ, โลหะหนัก ตามจุดตรวจสอบน้ำเข้าอ่างเก็บน้ำ, จุดระบายน้ำชลประทาน. จุดปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำ	การดำเนินการด้านแรงดันน้ำ	ค่าน้ำต่อเดือน
จุดที่ตรวจวัดคุณภาพน้ำเข้าอ่างเก็บน้ำสู่คลองชลประทาน	ร้อยละของภาพรวมการเบิกจ่ายที่เกิดขึ้นจริงในช่วงปี	ค่าไฟฟ้าต่อเดือน
จุดที่ตรวจวัดที่ระบายน้ำชลประทานและทางน้ำที่ต่อเชื่อมทางน้ำชลประทาน	จำนวนครั้งที่หยุดจ่ายน้ำ	การรับรู้ต่ออัตราค่าน้ำประปา
มีมาตราการและแผนการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ ทีมีประสิทธิภาพสอดคล้องกับความจำเป็นในการดำรงชีวิต การผลิต และรักษาระบบนิเวศที่มาจากการมีส่วนร่วมทุกภาคส่วนจัดหาน้ำต้นทุน (ลบ.ม.)	ระดับความสำเร็จในการดำเนินงานเพื่อสร้างประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ	การรับรู้ต่อความสำคัญและความเปราะบางของทรัพยากรน้ำ
การพัฒนาแหล่งน้ำปศุสัตว์ (ลบ.ม.)	คะแนนการประเมินคุณธรรมและความโปร่งใสในการดำเนินงาน	การรับรู้ต่อคุณภาพน้ำประปา
พื้นที่เป้าหมายที่สามารถจะได้รับน้ำ (ร้อยละ)	ระดับการดำเนินงานการจัดการทรัพยากรน้ำแบบบรูณาการ IWRM (0-100)	การรับรู้ต่อนโยบายพัฒนาเศรษฐกิจ การส่งเสริมการลงทุนในพื้นที่
พื้นที่ชลประทานที่ไม่มีปัญหาการส่งน้ำอันเนื่องมาจากระบบชลประทาน (ร้อยละต่อพื้นที่ทั้งหมด)	สัดส่วนของพื้นที่ลุ่มน้ำที่ข้ามเขตแดนมีการจัดการดำเนินงานเพื่อความร่วมมือด้านน้ำ	การเข้าถึงทรัพยากรน้ำในทุกสถานการณ์
การบริหารงานชลประทานเพื่อเลี้ยงปศุสัตว์ (ร้อยละ)การบริหารงานชลประทานเพื่อเลี้ยงสัตว์น้ำ (ร้อยละ)	พัฒนายุทธศาสตร์กรอบตัวชี้วัดในการบริหารจัดการน้ำ	พฤติกรรมเกี่ยวกับการใช้น้ำอย่างประหยัด
พื้นที่งานศึกษาทดลอง วิจัยด้านต่าง ๆ ในพื้นที่เป้าหมายที่สามารถรับน้ำได้ (ไร่)	พัฒนาการจัดการข้อมูลและระบบการรายงานข้อมูลน้ำ	ข้อตกลงหรือการส่งเสริมการใช้น้ำอย่างประหยัด
พื้นที่ของราษฎรหมู่บ้าน ในพื้นที่เป้าหมาย (ไร่)	การจัดประชุมเชิงปฏิบัติการ/การจัดฝึกอบรม	การติดตั้งอุปกรณ์ประหยัดน้ำในอาคาร
พื้นที่เป้าหมายได้รับน้ำเพียงพอในฤดูฝน (ร้อยละ)	พัฒนาความร่วมมือระหว่างภาคส่วนที่เกี่ยวข้องและเชื่อมโยงสู่ภาคส่วนอื่น ๆ	อัตราการใช้น้ำจากกิจกรรมภายในและภายนอกอาคาร
การเพิ่มประสิทธิภาพการส่งน้ำโดยการเพิ่มพื้นที่ชลประทาน/ความจุในการเก็บกักน้ำ (ไร่/ลบ.ม.)	พัฒนากรอบแนวทางการจัดการน้ำต้นทุนในพื้นที่	การนำน้ำมาใช้ใหม่ (reuse หรือ recycle)
ประสิทธิภาพการชลประทาน (ร้อยละ)จำนวนพื้นที่บริหารจัดการน้ำในเขตชลประทาน (ไร่)	การปรับปรุงคุณภาพน้ำให้อยู่ในมาตรฐานคุณภาพที่ดี ถูกสุขอนามัย	การตรวจสอบและซ่อมแซมระบบจ่ายน้ำในอาคาร

จากนั้นทำการทวนสอบตัวชี้วัดใช้การประเมินค่า Item-Objective Congruence Index หรือ IOC โดยให้ผู้ทรงคุณวุฒิ/ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 25 คน จากหลายหน่วยงาน เช่น กรมชลประทาน การประปาส่วนภูมิภาค และนักวิชาการ พิจารณาให้ความคิดเห็นถึงระดับความสอดคล้องของประเด็นตัวชี้วัดเพื่อใช้เป็นกรอบในการพัฒนาแบบสอบถามประเมินประสิทธิภาพและการรับรู้ต่อประเด็นการใช้น้ำในพื้นที่เขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (Eastern Economic Corridor หรือ EEC) พบว่าจากตัวชี้วัดจำนวน 54 รายการ เมื่อผ่านการประเมินความสอดคล้องกับขอบเขตงานวิจัยพบว่าผู้ทรงคุณวุฒิคัดเลือกเหลือ 34 ตัวชี้วัด (ค่า IOC ที่มีค่าความเที่ยงตรงตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไป ถือว่าประเด็นชี้วัดนั้นมีความเที่ยงตรงต่อวัตถุประสงค์โครงการวิจัย) และใช้เป็นประเด็นในการพัฒนาคำถามเพื่อประเมินการรับรู้ต่อสถานการณ์น้ำและผลกระทบต่อสมดุลน้ำจากการใช้น้ำของชุมชน โดยแบบสอบถามใช้ผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่านในการทวนสอบเครื่องมือที่สร้างขึ้นก่อนนำใช้เก็บข้อมูล สามารถพัฒนาเป็นข้อคำถามได้ทั้งหมด 39 ข้อ เนื่องจากในบางประเด็นมีมิติการวัดมากกว่า 1 มิติ (แบบสอบถามแสดงดังภาคผนวก ก)

การวิเคราะห์สถิติเบื้องต้น ได้ทำการการทดสอบค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถามโดยใช้ Cronbach Alpha reliability test เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความสอดคล้องภายใน (Internal Consistency) (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ควรที่มีค่าค่าเข้าใกล้1) ของ 39 ตัวแปร และทดสอบความเพียงพอของจำนวนตัวอย่างโดยใช้การทดสอบ Kaiser-Meyer Olkin (KMO) (ค่า KMO ต้องไม่น้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ไม่ต่ำกว่า 0.4) พบว่าชุดข้อมูลมีลักษณะ ดัง**ตารางที่ 28** ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชุดข้อมูลมีคุณลักษณะเพียงพอในการทดสอบทางสถิติและมีจำนวนตัวอย่างเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ Exploratory Factor Analysis Model ด้วย เทคนิค Principle Component Analysis (PCA)

ตารางที่ 28 คุณลักษณะทางสถิติของแบบสอบถามที่พัฒนาขึ้น

Cronbach's alpha reliability test

Cronbach's Alpha	Cronbach's Alpha Based on Standardized Items	N of Items
.879	.878	39

ในการรายงานผลการดำเนินการวิจัยจะนำเสนอผลในภาพรวมและเชิงเปรียบเทียบของพื้นที่ตามปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ความแตกต่างของระดับภัยแล้ง และความแตกต่างในเชิงความหนาแน่นของประชากร ตามที่ได้คัดเลือกพื้นที่ที่มีความแตกต่างของระดับค่าปัจจัยเหล่านี้

3.1 ผลวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อพัฒนาองค์ประกอบในการประเมินการรับรู้และพฤติกรรมการใช้น้ำของภาคชุมชนในเขตพื้นที่ราบภาคกลางตอนบน

คุณลักษณะของกลุ่มตัวอย่างที่ตอบแบบสอบถามในภาพรวมของพื้นที่ราบภาคกลางตอนบนเป็นดัง**ตารางที่ 29** จำนวนผู้ตอบแบบสอบถามจากภาคชุมชนทั้งหมดมีจำนวน 1,576 ราย ค่าตัวแปรที่สำรวจได้จากแบบสอบถามในส่วนของข้อมูลทั่วไป พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีอาชีพเกษตรกรรมและรับจ้างเป็นอาชีพหลัก เกินกึ่งหนึ่งมีรายได้ต่อเดือนน้อยกว่า 6,000 บาท แหล่งน้ำใช้ในครัวเรือนมีความหลากหลาย แต่น้ำประปาเป็นแหล่งน้ำหลักของกลุ่มตัวอย่างถึงร้อยละ 95 แหล่งน้ำอื่น ๆ ได้แก่ น้ำบ่อตื้น น้ำบาดาล

ตารางที่ 29 คุณลักษณะเชิงเศรษฐสังคมของกลุ่มตัวอย่างจากภาคชุมชน

Variables	N	%
Sex (respondent) (N=1577)		
Male	618	39.1
Female	959	60.9
Age (N=1577)		
>18	5	0.3
18-24	57	3.6
25-31	77	4.9
32-38	110	7.0
39-45	170	10.8
46-52	221	14.0
53-59	337	21.4
60-69	357	22.6
70+	243	15.4
Mean 54.32, SD 15.14, Med 55.00, Min 16 Max 96		
Occupation (N=1576) (missing=1)		
Government service	45	2.9
Work in the private sector	31	2.0
Agriculture	571	36.2
Trading	312	19.8
Other	617	39.1
Average household income per month N=1576) (missing=1)		
<6000THB	872	55.3
>6000 -15000THB	498	31.6
>15000-30000THB	164	10.4
>30000-50000THB	27	1.7
>50000THB	15	1.0
Source of water (can answer more than 1) (N=1577)		
Tap Water	1503	95.31
Ground water	153	9.70
Shallow well	135	8.56
Other	26	1.65
More than one sources	204	12.94
Personal Telephone number provided (N=1575) (missing=2)		
Yes	1308	83.0
No	267	17.0
Number of household members (persons) (N=1576) (missing=1)		
Mean=3.54, Median=3.0, Standard deviation=1.72, Min=0, Max=14		
Water Use Cub.meter/month (N=1577)		
Mean=28.82, Median=20.0, Standard deviation=27.74, Min=0, Max=500		
THB expended for water per month (N=1577)		
Mean=180.06, Median=140.0, Standard deviation=194.80, Min=0, Max=3990		
Indoor water use % (N=1577)		
Mean=73.94, Median=80.0, Standard deviation=21.33, Min=10, Max=100		
Outdoor water use % (N=1577)		
Mean=25.98, Median=20.0, Standard deviation=21.25, Min=0, Max=90		

3.2 กรอบการประเมินการรับรู้ของประชาชนต่อการจัดการทรัพยากรน้ำ

ผลการวิเคราะห์สถิติสำหรับ 39 ประเด็นหรือตัวแปร จากแต่ละข้อคำถาม โดยใช้ Exploratory Factor Analysis Model ด้วย เทคนิค Principle Component Analysis (PCA) เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ทำการสร้างกลุ่มตัวแปรขึ้นมาใหม่เรียกว่า องค์ประกอบหรือ component โดยแต่ละองค์ประกอบจะไม่มีความสัมพันธ์กัน เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์หรือความซ้ำซ้อน ผลการวิเคราะห์ PCA เพื่อลดและจัดกลุ่มตัวแปรใหม่ พบว่า ประชาชนในเขตที่ราบภาคกลางตอนบน มีมุมมองการรับรู้เกี่ยวกับการจัดการน้ำใช้ใน 4 ด้านหลัก ซึ่งการศึกษาให้ทราบถึงมุมมองการรับรู้ของประชาชนจะทำให้ทราบถึงปัจจัยที่เป็นที่ตระหนักหรือควรใช้ขับเคลื่อนในพื้นที่ โดยจากการจัดกลุ่มตัวชี้วัดที่สะท้อนมุมมองและความคิดเห็นของประชาชนในชุมชนพื้นที่ศึกษา ได้ผลเป็นดัง**ตารางที่ 30**

ตารางที่ 30 ผลการวิเคราะห์ Factor Analysis Model

Descriptive Statistics (N=1577)

Factor	N of Items	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Factor_1	9	1.00	5.0	3.17	0.749
Factor_2	9	1.67	5.0	4.04	0.546
Factor_3	6	1.0	5.0	2.78	0.654
Factor_4	6	1.0	5.0	3.39	0.647

การวิเคราะห์ในภาพรวมลงเหลือ 30 ตัวแปร และจัดกลุ่มใหม่ได้เป็น 4 กลุ่มตัวชี้วัด ซึ่งสะท้อนมิติที่ต้องใช้เพื่อประเมินการรับรู้ของประชาชนผู้ใช้น้ำในพื้นที่ราบภาคกลางตอนบน โดยนิยามใหม่เป็น 4 องค์ประกอบ ได้แก่

1) การวางแผนและการมีส่วนร่วมในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ มี 9 ตัวแปร

2) ความมุ่งมั่นของพฤติกรรมในการลดการใช้น้ำ มี 9 ตัวแปร

3) การรับรู้ข้อมูลการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ มี 6 ตัวแปร

4) การเข้าถึงน้ำใช้ทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ มี 6 ตัวแปร

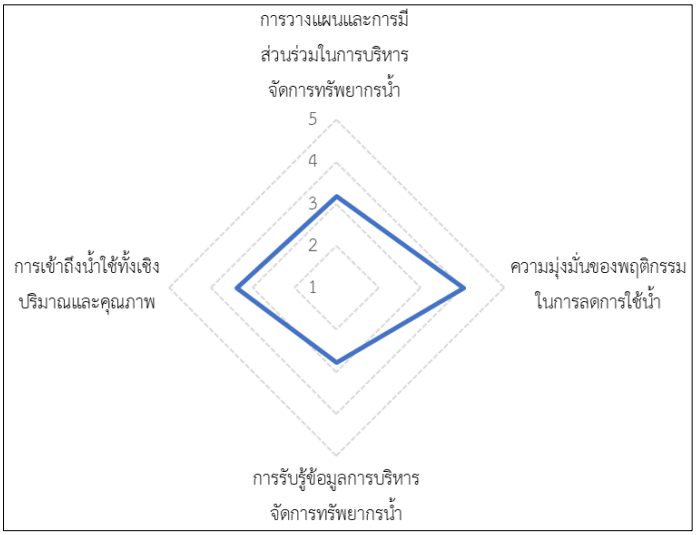
โดยมีรายละเอียดของตัวชี้วัดย่อยในแต่ละองค์ประกอบเป็นดังแสดงใน**ตารางที่ 31**

จากผลข้างต้นสามารถแสดงเป็นแผนภาพเพื่อแสดงประสิทธิภาพขององค์ประกอบเกี่ยวกับการจัดการน้ำในพื้นที่ที่ราบภาคกลาง ได้ดัง**ภาพที่ 45**พบว่าประเด็นที่กลุ่มตัวอย่างสะท้อนในระดับของค่าเฉลี่ยสูง คือ การรับรู้ต่อตนเองเกี่ยวกับความมุ่งมั่นในการลดการใช้น้ำและเห็นว่าการรับรู้ข้อมูลเกี่ยวกับการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ของตนมีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด สะท้อนไปยังความเห็นต่อการมีส่วนร่วมในการประเด็นดังกล่าวมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าองค์ประกอบอื่นเช่นกัน อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณานิยามขององค์ประกอบตามนิยามของตัวชี้วัดย่อยที่เป็นไปได้ พบว่ามิติในการรับรู้เกี่ยวกับน้ำในพื้นที่จะสะท้อนแนวคิดเกี่ยวกับมุมมองของระบบบริหารจัดการที่เป็นช่องว่างในการพัฒนา

ทั้งนี้ผลการศึกษาข้างต้นนี้เป็นผลการศึกษาที่วิเคราะห์ในภาพรวมของพื้นที่ที่ราบภาคกลาง โดยไม่คำนึงถึงบริบทของพื้นที่ย่อย แต่เนื่องจากในการศึกษาต้องการประเมินมุมมองการรับรู้ของผู้ใช้น้ำเพื่อเสนอแนะเชิงกลยุทธ์ จึงทำการทบทวนวรรณกรรมพบว่า ที่ราบภาคกลางมีพื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงต่อภัยแล้งแตกต่างกัน ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบ โดยกำหนดบริบทของการเป็นพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งที่แตกต่างกันเป็นกรอบในการอภิปราย พบผลการวิเคราะห์ที่แตกต่างจากการวิเคราะห์ในภาพรวมของพื้นที่เป็นดังรายงานในส่วนต่อไป

ตารางที่ 31 ตัวชี้วัดย่อยที่จัดกลุ่มใหม่จากการวิเคราะห์ทางสถิติของ

กลุ่มตัวชี้วัดที่ 1	กลุ่มตัวชี้วัดที่ 2	กลุ่มตัวชี้วัดที่ 3	กลุ่มตัวชี้วัดที่ 4
คุณภาพน้ำในทางน้ำชลประทาน (อ่างเก็บน้ำ คลอง/คูระบายน้ำ)	ความจำเป็นในการรักษาปริมาณน้ำในแหล่งน้ำไว้ส่วนหนึ่ง เพื่อรักษาสมดุลทางด้านระบบนิเวศ	การจัดหา สร้าง หรือ เพิ่มความจุของแหล่งน้ำในพื้นที่ที่คำนึงคำนึงถึงความต้องการใช้น้ำทั้งในเขตเมืองและนอกเมืองอย่างเท่าเทียม	ประสิทธิภาพของการให้บริการน้ำประปา
การดูแล บำรุงรักษาทางน้ำชลประทาน (อ่างเก็บน้ำ คลอง คูส่งน้ำ)	การจัดการน้ำสูญเสียในระบบท่อประปา	การประสบปัญหาเรื่องน้ำประปา (ปริมาณ/แรงดัน)	ความเชื่อมั่นในความสะอาด ได้มาตรฐานสุขอนามัยของน้ำประปา
มีส่วนร่วมในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำร่วมกับภาคส่วนอื่น ๆ	ความเปราะบางของทรัพยากรน้ำในพื้นที่ต่อการเกิดวิกฤตในรูปแบบต่าง ๆ (ความเป็นพิษ ความขาดแคลน เป็นต้น)	การเข้าถึงข้อมูลเกี่ยวกับการใช้น้ำในระดับพื้นที่	การเข้าถึงน้ำสะอาดเพื่อการอุปโภคบริโภคอย่างทั่วถึง
ความเปราะบางของพื้นที่ (ความเสี่ยง) ด้านน้ำ (ภัยแล้ง ภัยน้ำท่วม) เนื่องจากสภาพภูมิประเทศ (เป็นที่ลุ่ม เป็นทางน้ำ เป็นต้น)	การใช้น้ำในครัวเรือนอย่างประหยัด	การรับรู้และเข้าใจเกี่ยวกับแผนบริหารจัดการด้านทรัพยากรน้ำในพื้นที่	ความพึงพอใจต่อการบริการของผู้ให้บริการน้ำประปาในพื้นที่
ความเปราะบางของพื้นที่ (ความเสี่ยง) ด้านน้ำ (ภัยแล้ง ภัยน้ำท่วม) เนื่องจากสภาพทางสังคม (จำนวนประชากร ผังเมือง สร้างถนน ถมทางน้ำ)	ความร่วมมือเกี่ยวกับการรณรงค์เรื่องประหยัดน้ำอย่างเต็มที่ทุกกรณี	การยอมรับในหลักการหมุนเวียนน้ำมาใช้ใหม่	ความเหมาะสมของอัตราการจัดเก็บค่าน้ำประปา
มีพื้นที่ที่จัดสรรไว้รองรับน้ำ (ฤดูน้ำมาก/ป้องกันน้ำท่วม)	การตรวจสอบและซ่อมแซมรอยรั่วที่ทำให้สูญเสียน้ำในบ้าน	ร้อยละของน้ำน้ำที่ผ่านการบำบัดมาผสมกับน้ำประปา	การมีน้ำใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคเพียงพอตลอดทั้งปี
มีแหล่งรองรับน้ำเพื่อกักเก็บน้ำฝนได้อย่างมีประสิทธิภาพ	การสร้างข้อตกลงเรื่องการประหยัดน้ำระหว่างสมาชิกในครัวเรือน		
การหาแหล่งสำรองน้ำดิบ	ความกังวลต่อปัญหาขาดแคลนน้ำ		
การรวมตัวร่วมมือกันภายในชุมชนเพื่อแก้ไขปัญหาน้ำ	ความตระหนักต่อการประหยัดน้ำหรือการใช้น้ำอย่างรู้คุณค่า		



ภาพที่ 45 ผลการประเมินการรับรู้ของชุมชนต่อมิติในการจัดการทรัพยากรน้ำ

3.3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อแสดงอิทธิพลของบริบทของพื้นที่ต่อการรับรู้ของชุมชนที่มีต่อการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ราบภาคกลางตอนบน

ผลการศึกษาส่วนนี้ใช้กรอบในการประเมินที่ถูกพัฒนาขึ้นด้วยการจัดกลุ่มตัวอย่างใหม่ตามตัวแปรที่กำหนดขึ้นเพื่ออภิปรายเชิงเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่มีมีความรุนแรงของปัญหาภัยแล้งแตกต่างกัน ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของสภาพแวดล้อมต่อการรับรู้ และประเด็นขับเคลื่อนที่สำคัญในพื้นที่เหล่านั้น

- <u>ผลการประเมินการรับรู้ของชุมชนต่อการใช้น้ำในพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการประสบภัยแล้งสูง-ต่ำ</u>

ในกรณีนี้พื้นที่ที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ที่เสี่ยงภัยแล้ง ได้แก่ ต.หนองเต่า และ ต. หนองนางนวล จังหวัดอุทัยธานี กลุ่มตัวอย่างมีคุณลักษณะ ดังแสดงใน**ตารางที่ 33** โดยค่าตัวแปรที่สำรวจได้จากแบบสอบถามในส่วนของข้อมูลทั่วไป พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีอาชีพเกษตรกรรมและรับจ้างเป็นอาชีพหลัก เกินกึ่งหนึ่งมีรายได้ต่อเดือนน้อยกว่า 6,000 บาท แหล่งน้ำใช้ในครัวเรือนมีความหลากหลาย แต่น้ำประปาเป็นแหล่งน้ำหลักของกลุ่มตัวอย่างถึงร้อยละ 93 แหล่งน้ำอื่น ๆ ได้แก่ น้ำบ่อตื้น น้ำบาดาล โดยจากการจัดกลุ่มตัวชี้วัดที่สะท้อนมุมมองและความคิดเห็นของประชาชนในชุมชนพื้นที่ศึกษา ได้ผลเป็นดัง**ตารางที่ 32** ดังนี้

ตารางที่ 32 ผลการวิเคราะห์ Factor Analysis Model ของพื้นที่เสี่ยงต่อภัยแล้งในพื้นที่ราบภาคกลาง

Descriptive Statistics (N=746)

Factor	N of Items	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Factor_1	9	1.44	4.89	3.23	0.600
Factor_2	7	1.00	5.00	3.17	0.619
Factor_3	5	1.20	5.00	3.06	0.654
Factor_4	4	1.75	5.00	4.17	0.671

การวิเคราะห์ในภาพรวมลงเหลือเพียง 25 ตัวแปร และจัดกลุ่มใหม่เป็น 4 กลุ่มตัวชี้วัด เช่นเดียวกับผลการวิเคราะห์ในภาพรวมพื้นที่ แต่พบว่ารายละเอียดของตัวชี้วัดหรือคำนิยามมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งสะท้อนมิติที่ต้องใช้เพื่อประเมินการรับรู้ของประชาชนผู้ใช้น้ำในพื้นที่ราบภาคกลางตอนบนที่เป็นกลุ่มเสี่ยงต่อภัยแล้งสูง โดยนิยามใหม่เป็น 4 องค์ประกอบ ได้แก่

1) ความตระหนักต่อความสำคัญและการปรับตัวเพื่อตอบสนองต่อปัญหาด้านน้ำ มี 9 ตัวแปร

2) ประสิทธิภาพ การเข้าถึงบริการและคุณภาพน้ำประปา มี 7 ตัวแปร

3) ประสิทธิภาพการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ มี 5 ตัวแปร

4) ความมุ่งมั่นของพฤติกรรมในการลดการใช้น้ำ มี 9 ตัวแปร มี 4 ตัวแปร

เมื่อพิจารณาคำถามและกรอบคำนิยามของตัวชี้วัดในแต่ละองค์ประกอบ พบว่ามีรูปแบบที่มีความจำเพาะสอดคล้องชัดเจน จำนวนตัวชี้วัดในแต่ละองค์ประกอบแสดงให้เห็นถึงน้ำหนักในการเป็นปัจจัยที่จะใช้ขับเคลื่อนเรื่องน้ำในพื้นที่ดังกล่าว ดังแสดงใน**ตารางที่ 34**

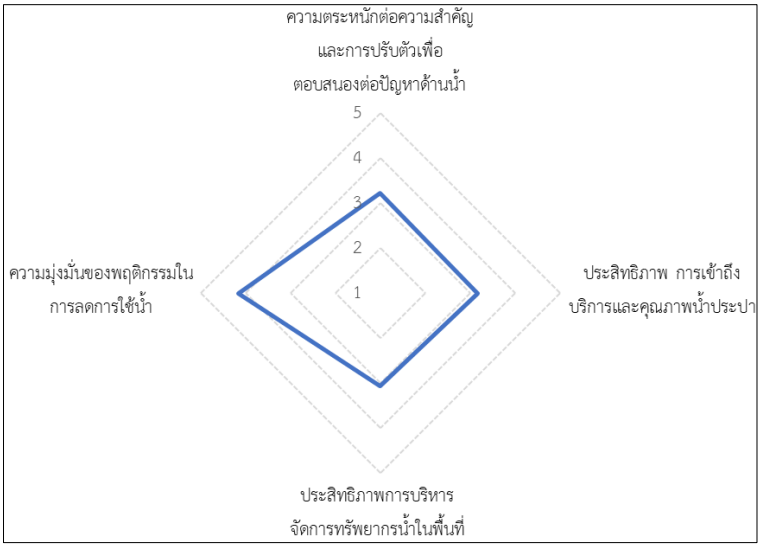
ตารางที่ 33 คุณลักษณะของกลุ่มตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ที่เสี่ยงภัยแล้ง

Variables	N	%
Sex (respondent) (N=355)		
Male	159	44.8
Female	196	55.2
Age (N=355) (missing=0)		
>18	0	0.0
18-24	8	2.3
25-31	26	7.3
32-38	19	5.4
39-45	31	8.7
46-52	43	12.1
53-59	64	18.0
60-69	87	24.5
70+	77	21.7
Occupation (N=355)		
Government service	19	5.4
Work in the private sector	3	.8
Agriculture	115	32.4
Trading	58	16.3
Other	160	45.1
Average household income per month (N=355) (missing=0)		
<6000THB	231	65.1
>6000 -15000THB	77	21.7
>15000-30000THB	32	9.0
>30000-50000THB	10	2.8
>50000THB	5	1.4
Source of water (can answer more than 1) (N=355) (missing=0)		
Tap Water	330	92.96
Under Ground water	13	3.66
Shallow well	75	21.13
Other	13	3.66
More than one sources	69	19.44
Personal Telephone number provided (N=355)		
Yes	321	90.4
No	34	9.6
Number of household members (persons) (N=354) (missing=1)		
Mean=3.18, Median=3.0, Standard deviation=1.64, Min=1, Max=11		
Water Use Cub.meter/month (N=355)		
Mean=20.02, Median=20.0, Standard deviation=15.11, Min=0, Max=100		
THB expended for water per month (N=355)		
Mean=139.43, Median=120.0, Standard deviation=102.09, Min=0, Max=600		
Indoor water use %(N=355)		
Mean=64.82, Median=60.0, Standard deviation=20.14, Min=30, Max=100		
Outdoor water use %(N=355)		
Mean=35.07, Median=40.0, Standard deviation=20.05, Min=0, Max=70		

ตารางที่ 34 ตัวชี้วัดย่อยที่จัดกลุ่มใหม่จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (เฉพาะพื้นที่เสี่ยงต่อภัยแล้ง)

กลุ่มตัวชี้วัดที่ 1	กลุ่มตัวชี้วัดที่ 2	กลุ่มตัวชี้วัดที่ 3	กลุ่มตัวชี้วัดที่ 4
มีพื้นที่ที่จัดสรรไว้รองรับน้ำ (ฤดูน้ำมาก/ป้องกันน้ำท่วม)	ประสิทธิภาพของการให้บริการน้ำประปา	การอนุรักษ์ สร้าง หรือ เพิ่มความจุของแหล่งน้ำโดยภาครัฐเพื่อให้มีน้ำบริการอย่างเพียงพอ	การตรวจสอบและซ่อมแซมรอยรั่วที่ทำให้สูญเสียน้ำในบ้าน
การหาแหล่งสำรองน้ำดิบ	ความเชื่อมั่นในความสะอาด ได้มาตรฐานสุขอนามัยของน้ำประปา	การจัดหา สร้าง หรือ เพิ่มความจุของแหล่งน้ำในพื้นที่ที่คำนึงคำนึงถึงความต้องการใช้น้ำทั้งในเขตเมืองและนอกเมืองอย่างเท่าเทียม	การสร้างข้อตกลงเรื่องการประหยัดน้ำระหว่างสมาชิกในครัวเรือน
ความจำเป็นในการรักษาปริมาณน้ำในแหล่งน้ำไว้ส่วนหนึ่ง เพื่อรักษาสมดุลทางด้านระบบนิเวศ	การเข้าถึงน้ำสะอาดเพื่อการอุปโภคบริโภคอย่างทั่วถึง	ความครอบคลุมของระบบบริการน้ำในพื้นที่	ความกังวลต่อปัญหาขาดแคลนน้ำ
การจัดการน้ำสูญเสียในระบบท่อประปา	ความพึงพอใจต่อการบริการของผู้ให้บริการน้ำประปาในพื้นที่	ความร่วมมือระหว่างชุมชนในการบริหารจัดการน้ำ	ความตระหนักต่อการประหยัดน้ำหรือการใช้น้ำอย่างรู้คุณค่า
การประสบปัญหาเรื่องน้ำประปา (ปริมาณ/แรงดัน)	ความร่วมมือของหน่วยงานต่าง ๆ ในการบริหารจัดการและแก้ไขปัญหาเรื่องน้ำในพื้นที่	การเข้าถึงข้อมูลเกี่ยวกับการใช้น้ำในระดับพื้นที่	
การประสบปัญหาเรื่องน้ำประปา (สี/กลิ่น/ขุ่น)	การมีน้ำใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคเพียงพอตลอดทั้งปี		
การประสบปัญหาน้ำประปาหยุดบริการ			
การยอมรับในหลักการหมุนเวียนน้ำมาใช้ใหม่			
ร้อยละของนำน้ำที่ผ่านการบำบัดมาผสมกับน้ำประปา			

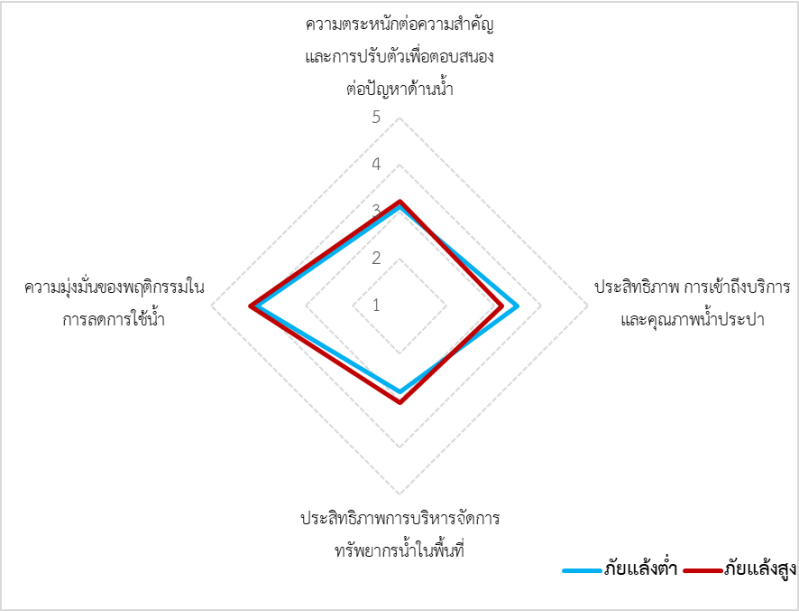
จากผลข้างต้นสามารถแสดงเป็นแผนภาพเพื่อแสดงประสิทธิภาพขององค์ประกอบเกี่ยวกับการจัดการน้ำในพื้นที่ที่ราบภาคกลางในมุมมองของประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งในที่ราบภาคกลางตอนบน ดัง**ภาพที่ 46**



ภาพที่ 46 ผลการวิเคราะห์ระดับการรับรู้ต่อมิติต่าง ๆ ของกลุ่มตัวอย่างจากพื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงภัยแล้งสูง

ผลการวิเคราะห์ในประเด็นระดับค่าเฉลี่ยที่สะท้อนการรับรู้ต่อมิติต่าง ๆ ภายในกรอบที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้ พบว่าประชาชนในพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งมีความเห็นว่าชุมชนมีความมุ่งมั่นในการลดการใช้น้ำสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับประเด็นอื่น ๆ และเห็นว่าประสิทธิภาพเกี่ยวกับระบบบริการน้ำประปาและระบบบริหารจัดการน้ำในพื้นที่เป็นประเด็นที่ต้องพัฒนา เมื่อนำกรอบที่ประเมินในพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งสูงดังข้างต้น มาใช้ในการวิเคราะห์การรับรู้ต่อมิติต่าง ๆ ของประชาชนในพื้นที่ที่มีความแตกต่างคือมีความเสี่ยงภัยแล้งสูงและต่ำ ผลการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบระดับการรับรู้ต่อมิติต่าง ๆ เป็นดัง**ภาพที่ 47** พบว่าระดับการรับรู้ความมุ่งมั่นในการลดการใช้น้ำมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนในอีกสามมิติพื้นที่ที่เสี่ยงภัยแล้งต่ำมีค่าระดับการรับรู้เฉลี่ยสูงกว่าในประเด็นประสิทธิภาพของการบริการ การเข้าถึงและคุณภาพน้ำประปาสูงกว่าพื้นที่ที่มีภัยแล้งสูงชัดเจน อย่างไรก็ตาม กลับพบว่าประเด็นด้านประสิทธิภาพการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่มีค่าต่ำกว่าพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งสูง สำหรับระดับการรับรู้ต่อความตระหนักของตนต่อความสำคัญการปรับตัวเพื่อตอบสนองต่อปัญหาเรื่องน้ำพบว่าในพื้นที่ที่ความเสี่ยงภัยแล้งต่ำกว่าจะมีระดับความตระหนักต่ำกว่าพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งสูง

ดังนั้นมุมมองของประชาชนที่ได้รับอิทธิพลจากบริบทของพื้นที่ที่ประสบภัยแล้งจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับมุมมองต่อประสิทธิภาพการให้บริการน้ำและผกผันกับความตระหนักต่อประเด็นปัญหาดังกล่าว



ภาพที่ 47 ผลการเปรียบเทียบมิติการรับรู้ของกลุ่มตัวอย่างจากพื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงภัยแล้งแตกต่างกัน

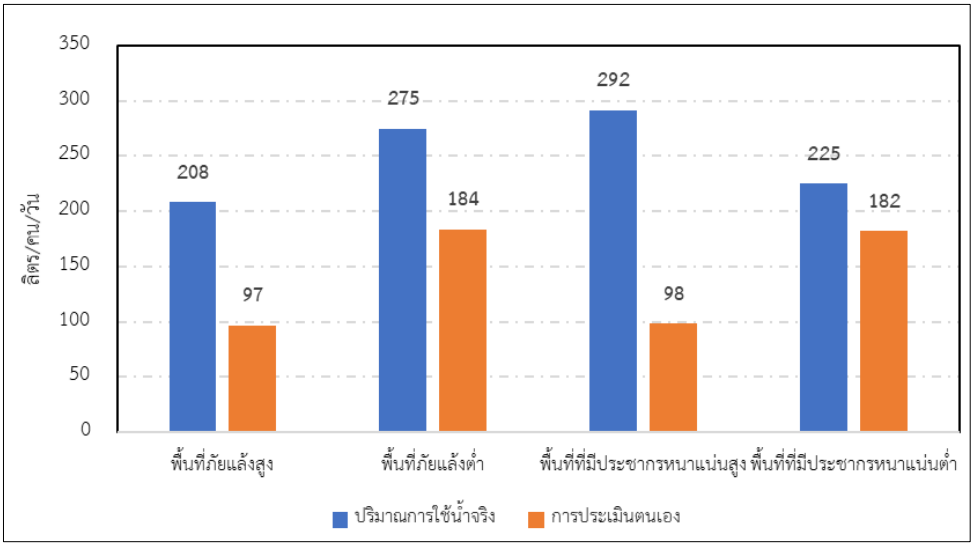
4) ผลการศึกษาปริมาณการใช้น้ำต่อครัวเรือน

จากผลการวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนาสำหรับตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับปริมารการใช้น้ำของภาคชุมชนในที่ราบภาคกลาง และผลการวิเคราะห์ของพื้นที่ที่มีความเสี่ยงภัยแล้งต่ำ พบว่า ในภาพรวมของพื้นที่ที่ราบภาคกลางตอนบนแต่ละครัวเรือนมีจำนวนสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 4 คน ใช้น้ำโดยเฉลี่ย 29 ลบ.ม./เดือน/ครัวเรือน (เฉลี่ย 242 ลิตร/คน/วัน) จ่ายค่าน้ำประปาเฉลี่ย 180 บาท/เดือน และใช้น้ำในกิจกรรมภายในอาคารร้อยละ 74 สำหรับกิจกรรมนอกอาคารคิดเป็น ร้อยละ 26 ของปริมาณน้ำใช้ที่ใช้ในแต่ละครัวเรือน เมื่อทำการวิเคราะห์จำแนกเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงภัยแล้งสูงและต่ำพบว่า ผลการศึกษาเป็นดัง**ตารางที่ 35** ดังนี้

ตารางที่ 35 ปริมาณการใช้น้ำในภาคชุมชนจากการสำรวจในกลุ่มตัวอย่าง

พื้นที่	ค่าเฉลี่ย				
	จำนวนสมาชิกในครัวเรือน	ปริมาณการใช้น้ำ (ลบ.ม./เดือน)	ปริมาณการใช้น้ำ (ลิตร/คน/วัน)	ร้อยละปริมาณการใช้น้ำ	
				ในอาคาร	นอกอาคาร
พื้นที่ราบภาคกลาง	4	29	242	74	26
จำเพาะพื้นที่ที่มีภัยแล้งสูง	4	25	208	63	37
จำเพาะพื้นที่ที่มีภัยแล้งต่ำ	4	33	275	83	17
จำเพาะพื้นที่ที่มีประชากรหนาแน่นสูง	4	35	292	75	25
จำเพาะพื้นที่ที่มีประชากรหนาแน่นต่ำ	4	27	225	72	28

นอกจากข้อมูลที่ได้จากการเก็บแบบสอบถามรายครัวเรือนที่เป็นกลุ่มตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 35 คณะผู้วิจัยได้ทำการสอบถามคำถามปลายเปิดเพื่อให้กลุ่มตัวอย่างประมาณการใช้น้ำต่อหัวของผู้อยู่อาศัยในพื้นที่ ผลการศึกษานำมาเปรียบเทียบกับผลการบันทึกปริมาณน้ำใช้ในแบบสอบถามแสดงดัง**ภาพที่ 48** พบว่ากลุ่มตัวอย่างประเมินตนเองว่าใช้น้ำในปริมาณที่น้อยกว่าข้อมูลที่ได้จากการสำรวจในทุกกรณีศึกษา และพบว่าในพื้นที่มีไม่ค่อยพบปัญหาภัยแล้ง ครัวเรือนมีปริมาณการใช้น้ำสูงกว่าพื้นที่ที่ประสบปัญหาภัยแล้ง เช่นเดียวกับพื้นที่ที่มีความหนาแน่นประชากรสูง คือพื้นที่ที่มีบริบทเมืองหรือกึ่งเมืองมีปริมาณการใช้น้ำมากกว่าพื้นที่ที่มีความหนาแน่นประชากรต่ำกว่า และยังพบว่าพื้นที่ที่ประชากรหนาแน่นและมีความเสี่ยงภัยแล้งต่ำ ประชาชนกลับประเมินตนเองแบบ under-estimation หรือ คิดว่าใช้น้ำน้อยกว่าความเป็นจริงมาก ดังนั้นจึงจัดเป็นกลุ่มเป้าหมายที่มีความสำคัญในการดำเนินการเพื่อลดปริมาณการใช้น้ำ



ภาพที่ 48 การประเมินการรับรู้ต่อตนเองในประเด็นปริมาณการใช้น้ำในครัวเรือน

5) การวิเคราะห์ข้อเสนอแนะเชิงกลยุทธ์เพื่อลดการใช้น้ำในพื้นที่เขตที่ราบภาคกลางตอนบน

ในการวิเคราะห์ส่วนนี้ คณะผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทุกส่วนข้างต้นเชิงเปรียบเทียบ เพื่อดึงประเด็นร่วมจากรายตัวชี้วัดในแต่ละองค์ประกอบและข้อมูลการวิเคราะห์ตามบริบทพื้นที่สู่การเสนอแนะประเด็นที่ยังมีช่องว่างการพัฒนา

5.1 ประเด็นการรับรู้เกี่ยวกับการปริมาณการใช้น้ำในครัวเรือน

ผลจากการดึงประเด็นร่วมด้วยการตรวจสอบข้อมูล 3 ส่วน ได้แก่ ระดับการรับรู้ต่อตนเองในประเด็นความมุ่งมั่นต่อพฤติกรรมการลดการใช้น้ำ การประมาณการปริมาณการใช้น้ำของประชาชนเปรียบเทียบกับข้อมูลที่บันทึกเชิงปริมาณในแบบสอบถาม ความแตกต่างของข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ระหว่างพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งสูงและต่ำ พบว่า การประเมินตนเองเป็นลักษณะ under-estimation ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการรับรู้เชิงปริมาณของหน่วยการใช้น้ำไม่เที่ยงตรง หรือการไม่ได้รับข้อมูลที่ทำให้สามารถประเมินพฤติกรรมของตนเองที่มีอยู่ว่าเป็นแบบประหยัดตามค่าเฉลี่ยหรือสิ้นเปลือง ซึ่งปรากฏการณ์นี้พบเช่นกันจากการศึกษาประเด็นการใช้น้ำในชุมชนในภาคตะวันออกที่ดำเนินการควบคู่กัน

ผลการศึกษาที่สอดคล้องเป็นไปในทิศทางเดียวกัน สะท้อนให้เห็นว่าการขับเคลื่อนกลยุทธ์เพื่อกระตุ้นการลดการใช้น้ำในครัวเรือนจะไม่สามารถดำเนินการให้เกิดประสิทธิผลได้ หากขาดข้อมูลที่สะท้อนความเป็นจริงและต้องมีการสื่อสารให้ประชาชนเกิดการรับรู้ที่เที่ยงตรงกับพฤติกรรมของตนเอง โดยการดำเนินการเชิงกลยุทธ์การสื่อสารข้อมูลสถานการณ์การใช้น้ำในภาคชุมชนของพื้นที่เปรียบเทียบกับค่าเป้าหมายที่ต้องการบรรลุหรือค่าเฉลี่ยของประเทศหรือภูมิภาค การดำเนินการสามารถทำได้โดยกำหนดพื้นที่นำร่อง เพื่อทดสอบประสิทธิผลเชิงกลยุทธ์ก่อนการขยายผล จากผลการศึกษา ชุมชนนำร่องคือชุมชนที่มีลักษณะทางกายภาพ-สังคมแบบประชากรหนาแน่นและมีความเสี่ยงภัยแล้งต่ำ

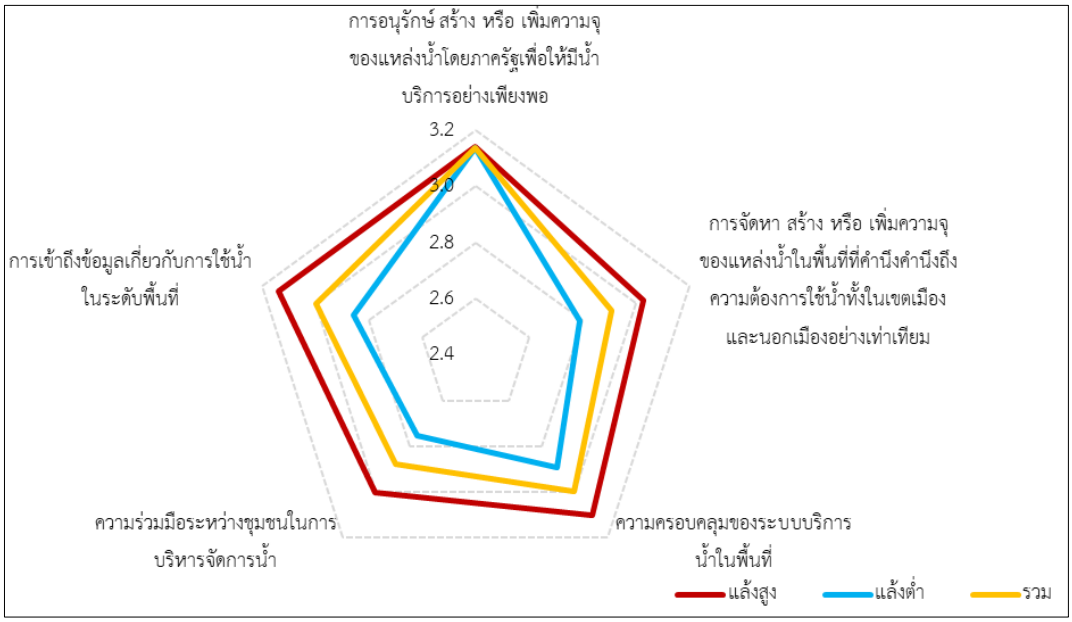
5.2 ประเด็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเพื่อลดการใช้น้ำในกิจกรรมครัวเรือน

จากผลการศึกษาตัวแปรเกี่ยวกับการใช้น้ำด้วยแบบสอบถามในส่วนที่ 1 เกี่ยวกับประเภทแหล่งน้ำใช้ (แหล่งน้ำหลักคือ ประปา) ร้อยละของปริมาณการใช้น้ำระหว่างกิจกรรมภายในอาคารและนอกอาคาร (เฉลี่ย 70-30) และอาชีพของกลุ่มตัวอย่างผู้ตอบแบบสอบถามซึ่งมากกว่ากึ่งหนึ่งหรือส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม นำมาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลปลายเปิดในส่วนที่ 3 ของแบบสอบถามซึ่งสอบถามถึงวิธีการลดการใช้น้ำในครัวเรือนที่กลุ่มตัวอย่างผู้ตอบแบบสอบถามเห็นว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ พบว่า วิธีที่มีความถี่ในการตอบสูง ได้แก่ การใช้ระบบน้ำหยด การนำน้ำทิ้งจากในอาคารมาใช้รดน้ำต้นไม้นอกอาคาร กลยุทธ์ที่สามารถตอบสนองต่อปรากฏการณ์ตามข้อมูลดังกล่าว คือ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำนอกอาคาร แม้ว่าสัดส่วนการใช้น้ำประปานอกอาคารจะน้อยกว่าในอาคาร แต่จากผลการศึกษาบางพื้นที่มีสัดส่วนถึงประมาณร้อยละ 40 และการดำเนินการในส่วนนอกอาคารที่ส่งผลกระทบต่อชีวิตประจำวันน้อยกว่า อาจส่งผลให้เกิดแรงจูงใจและเหนี่ยวนำให้เกิดประสิทธิผลได้ในระยะเวลาสั้น ก่อนขยายไปสู่พื้นที่อื่นของครัวเรือน การดำเนินการเชิงกลยุทธ์ในประเด็นนี้คือ การสนับสนุนความรู้และเทคโนโลยีสำหนับกลุ่มเป้าหมายที่มีสัดส่วนการใช้น้ำนอกอาคารสูง (เพื่อการเกษตรกรรม) เช่น การควบคุมการให้

น้ำด้วยระบบเกษตรแม่นยำ ระบบน้ำหยด การใช้แหล่งน้ำอื่นแทนน้ำประปาสำหรับการเกษตร เป็นต้น แล้วขยายผลสู่กลุ่มเป้าหมายที่มีกิจกรรมนอกอาคารประเภทอื่นด้วยเทคโนโลยีหรือทางเลือกที่เหมาะสม

5.3 การยกระดับประสิทธิภาพการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำแบบมีส่วนร่วม

จากผลการวิเคราะห์ตามกรอบการประเมินที่พัฒนาขึ้นด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ factor analysis พบว่าองค์ประกอบในด้านประสิทธิภาพการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำเป็นองค์ประกอบที่มีค่าเฉลี่ยสะท้อนการรับรู้ต่ำกว่ามิติอื่น ทั้งการวิเคราะห์ในภาพรวมพื้นที่หรือการวิเคราะห์แยกรายพื้นที่ เมื่อพิจารณาลงในรายละเอียดตัวชี้วัดย่อยในองค์ประกอบด้านการบริหารจัดการน้ำ มีผลดัง**ภาพที่ 49** แสดงให้เห็นถึงแนวทางการพัฒนาสามารถผลักดันให้มีการดำเนินการหรือยกระดับให้มีความเข้มแข็งตามลำดับความสำคัญหรือประเด็นย่อยที่ยังมีช่องว่างในการพัฒนาสูง สามารถตอบสนองต่อมุมมองของประชาชนผู้ใช้น้ำ ได้แก่ 1) ความร่วมมือระหว่างชุมชนในการบริหารจัดการน้ำ 2) การพิจารณาความต้องการใช้น้ำในพื้นที่เมืองและชนบทและจัดหาน้ำอย่างเท่าเทียม 3) การเข้าถึงข้อมูลของประชาชนเกี่ยวกับการใช้น้ำในระดับพื้นที่ 4) การขยายพื้นที่บริการน้ำให้ครอบคลุม และ 5) การเพิ่มความจุแหล่งน้ำตามลำดับ



ภาพที่ 49 ระดับความคิดเห็นต่อประเด็นย่อยในการบริหารจัดการน้ำ

3.4 การวิเคราะห์สถานการณ์และแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในภาคอุตสาหกรรมนำร่อง

ปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการอุตสาหกรรม (industrial water requirement, Wi) ทำการรวบรวมข้อมูลประเภทโรงงานและกำลังการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม ในปี พ.ศ. 2562 จากกรมโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อพิจารณาประเภทโรงงาน ขนาดโรงงาน และการกระจายของปริมาณการใช้น้ำภาคอุตสาหกรรมรายพื้นที่ตำบลจากการคำนวณด้วยวิธีแบบดั้งเดิมและแสดงผลในรูปแบบแผนที่ GIS โดยกำหนดอัตราการใช้น้ำตามตารางหน่วยการใช้น้ำของโรงงานอุตสาหกรรมแต่ละประเภท 107 ประเภท (สุจริต, 2549) ประเมินปริมาณความต้องการน้ำจากกำลังผลิตของโรงงานแต่ละประเภท ร่วมกับอัตราการใช้น้ำต่อกำลังการผลิตในแต่ละประเภทของโรงงาน ดังสมการต่อไปนี้

$$W_i = H_p \times W_{hp}$$ สมการที่ 26

โดย W_i = ปริมาณความต้องการน้ำเพื่ออุตสาหกรรม (ลบ.ม. ต่อวัน)

H_p = กำลังการผลิตของโรงงานแต่ละประเภท (แรงม้า)

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

จากนั้นทำการคัดเลือกโรงงานอุตสาหกรรมตัวอย่างในการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้น้ำเพื่อนำมาใช้ในการปรับเทียบกับข้อมูลปริมาณการใช้น้ำภาคอุตสาหกรรมจากวิธีแบบดั้งเดิม และทำการทวนสอบข้อมูลโดยดำเนินการในระดับนิคมอุตสาหกรรมที่สุ่มตัวอย่างภายในพื้นที่ศึกษา รวมทั้งทำการประเมินปริมาณการใช้น้ำอุตสาหกรรมในพื้นที่

การเก็บข้อมูลการใช้น้ำภาคอุตสาหกรรมแบ่งเป็น 2 ระดับคือ 1) ระดับโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อใช้ในการปรับเทียบค่าฐานของความต้องการใช้น้ำในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม และ 2) ระดับนิคมอุตสาหกรรม เพื่อใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของค่าฐานที่ได้ โดยเครื่องมือวิจัยจะใช้แบบสำรวจปริมาณการใช้น้ำย้อนหลัง 1ปี

วิธีการดำเนินงานวิจัย

(1) รวบรวมข้อมูลโรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่ศึกษาจากฐานข้อมูลของกรมโรงงานอุตสาหกรรม และกำหนดจำนวนตัวอย่างในระดับโรงงานอุตสาหกรรมและระดับนิคมอุตสาหกรรม

(2) ส่งแบบสำรวจเพื่อขอความอนุเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำใช้ 1 ปี โดยคณะผู้วิจัยทำการสื่อสารวัตถุประสงค์การศึกษาให้ตัวอย่างรับทราบก่อนให้ข้อมูล

(3) นำข้อมูลจากแบบสำรวจเข้าสู่กระบวนการ back office เพื่อวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำจากโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อปรับเทียบค่าฐานความต้องการใช้น้ำของแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม รวมถึงวิเคราะห์คุณลักษณะของโรงงานอุตสาหกรรมที่อาจมีผลต่อปริมาณการใช้น้ำ

(4) นำค่าฐานความต้องการใช้น้ำที่ได้ไปทวนสอบกับปริมาณการใช้น้ำของนิคมอุตสาหกรรม

(5) นำข้อมูลค่าฐานที่ได้จากการสำรวจเพื่อจัดทำข้อเสนอแนวทางในการประเมินปริมาณการใช้น้ำภาคอุตสาหกรรมในพื้นที่ศึกษา และข้อเสนอแนวทางในการดำเนินการในระยะที่ 2

ทั้งนี้ การเก็บข้อมูลปริมาณการใช้น้ำระดับโรงงานอุตสาหกรรม โดยการส่งแบบสอบถามทางไปรษณีย์และประสานงานเพื่อทำการสื่อสารวัตถุประสงค์การศึกษาผ่านโทรศัพท์ ซึ่งใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบไม่จำเพาะเจาะจงจาก

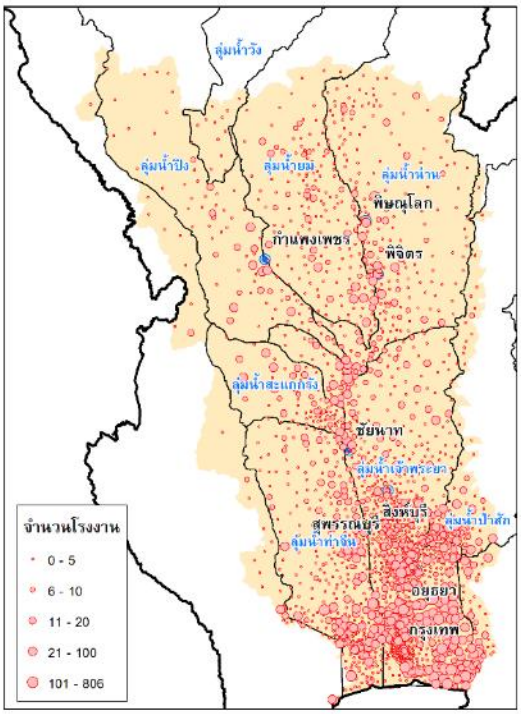
ฐานข้อมูลโรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่ศึกษาที่รวบรวมได้จากกรมโรงงานอุตสาหกร รม จำนวนตัวอย่างในการเก็บข้อมูลสามารถคำนวณได้จากสูตร (9) จากจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 43,777 โรงงาน และที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จำนวนอย่างตัวอย่างเท่ากับ 397 โรงงาน เนื่องจากการส่งแบบสอบถามผ่านไปรษณีย์มีอัตราการตอบกลับต่ำ ดังนั้น ผู้วิจัยจะเก็บข้อมูลเพิ่มไว้จากจำนวนตัวอย่างที่คำนวณได้ 50% เป็นจำนวนตัวอย่างในการเก็บข้อมูลทั้งหมดเท่ากับ 600 โรงงาน (การส่งแบบสอบถามครั้งที่ 1) โดยดำเนินการระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึง มิถุนายน พ.ศ. 2563 จากการดำเนินการดังกล่าว พบว่า มีการตอบกลับแบบสอบถามต่ำและแบบสอบถามบางส่วนที่ไม่สามารถจัดส่งได้เนื่องจากข้อมูลโรงงานไม่ถูกต้องหรือไม่มีการดำเนินกิจการ รวมถึงไม่สามารถติดตามการได้รับแบบสอบถามทางโทรศัพท์ได้ ดังนั้น จึงได้ดำเนินการสุ่มตัวอย่างโรงงานเพิ่มเติม จำนวน 100 โรงงาน โดยดำเนินการในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2563

การเก็บข้อมูลระดับนิคมอุตสาหกรรม ในพื้นที่ศึกษามีนิคมอุตสาหกรรมทั้งสิ้น 21 แห่ง จึงได้กำหนดจำนวนตัวอย่างในการเก็บข้อมูลจำนวน 7 แห่ง (33% ของจำนวนนิคมอุตสาหกรรมทั้งหมดในพื้นที่ศึกษา) โดยทำการสุ่มตัวอย่างนิคมอุตสาหกรรม และทำการส่งข้อมูลแบบสอบถามและติดตามการได้รับแบบสอบถามผ่านโทรศัพท์ ระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึง มิถุนายน พ.ศ. 2563

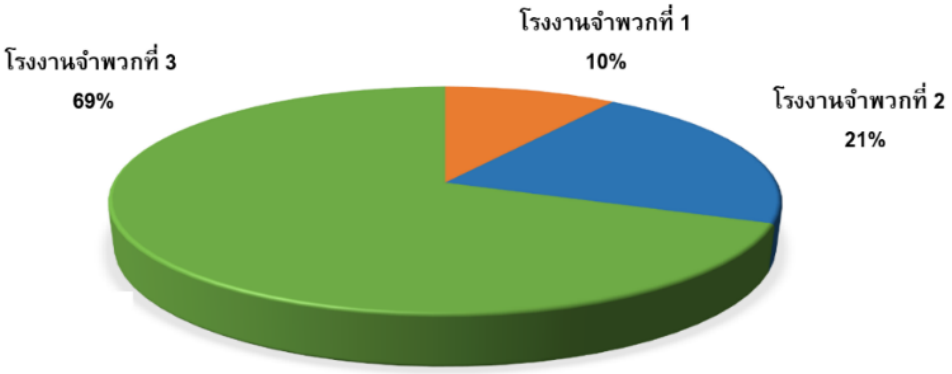
ผลการดำเนินการมีดังต่อไปนี้

<u>1) การประเมินความต้องการน้ำในภาคอุตสาหกรรม</u>

จากการรวบรวมข้อมูลโรงงานอุตสาหกรรม พบว่า โรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่ศึกษาจำนวน 43,777 โรงงาน มีการกระจายตัวของโรงงานดังแสดงใน**ภาพที่ 50** โดยมีประเภทโรงงานอุตสาหกรรม 103 ประเภท (จากทั้งหมด 107 ประเภท จำแนกตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2535 ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535) และจัดเป็นโรงงานจำพวกที่ 3 (ได้แก่ โรงงานประเภท ชนิดและขนาดที่การตั้งโรงงานจะต้องได้รับใบอนุญาตก่อนจึงจะดำเนินการได้ โดยมีเครื่องจักรเกิน 50 แรงม้าและคนงานเกิน 50 คน) จำนวน 30,319 โรงงานหรือคิดเป็น 69% ของจำนวนโรงงานทั้งหมดในพื้นที่ศึกษา (**ภาพที่ 51**)



ภาพที่ 50 การกระจายตัวของโรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่ราบภาคกลาง



ภาพที่ 51 สัดส่วนโรงงานอุตสาหกรรมแต่ละจำพวกในพื้นที่เขตที่ราบภาคกลาง

จากข้อมูลโรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่ศึกษาแยกตามพื้นที่ของกรมโรงงานอุตสาหกรรม สามารถคำนวณปริมาณความต้องการใช้น้ำจากอัตราการใช้น้ำตามหน่วยการใช้น้ำของโรงงานอุตสาหกรรมแต่ละประเภท (สุจริต, 2549) ได้ทั้งหมด 1,882 ล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งปริมาณการใช้น้ำของโรงงานอุตสาหกรรมแต่ละจำพวกสอดคล้องกับจำนวนโรงงานอุตสาหกรรม โดยโรงงานอุตสาหกรรมจำพวกที่ 3 มีสัดส่วนปริมาณการใช้น้ำสุดที่สุด คือ 69.3% และโรงงานอุตสาหกรรมจำพวกที่ 2 และ 1 มีสัดส่วนปริมาณการใช้น้ำ เท่ากับ 21.0 และ 9.7% ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาปริมาณการใช้น้ำของแต่ละโรงงานอุตสาหกรรม พบว่า 74.4% ของจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมทั้งหมดมีปริมาณการใช้น้ำต่อปีน้อยกว่า 10,000 ลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้ คิดเป็นสัดส่วนปริมาณการใช้น้ำของโรงงาน

อุตสาหกรรมเพียง 3.9% ของปริมาณการใช้น้ำของโรงงานอุตสาหกรรมทั้งหมด (**ตารางที่ 36**) โดยโรงงานอุตสาหกรรมที่มีปริมาณการใช้น้ำต่อปีตั้งแต่ 100,000 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 2,656 โรงงาน หรือคิดเป็น 6.1% ของจำนวนโรงงานทั้งหมด ซึ่งมีปริมาณใช้น้ำถึง 81.3% ของปริมาณการใช้น้ำของโรงงานอุตสาหกรรมทั้งหมด

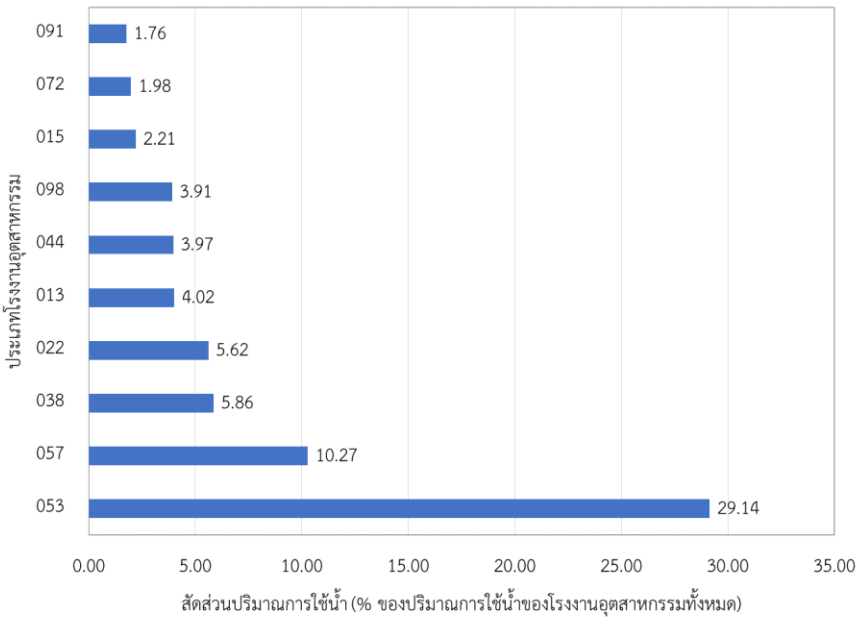
เมื่อพิจารณาปริมาณการใช้น้ำของโรงงานอุตสาหกรรมแต่ละประเภท พบว่า โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์พลาสติก (ประเภทโรงงาน 053) มีสัดส่วนปริมาณการใช้น้ำสูงที่สุดถึง 29.1% ของปริมาณการใช้น้ำของโรงงานอุตสาหกรรมทั้งหมดในพื้นที่ศึกษา รองลงมาได้แก่ โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับซีเมนต์ ปูนขาวหรือปูนปลาสเตอร์ (ประเภทโรงงาน 057) โรงงานผลิตเยื่อหรือกระดาษ (ประเภทโรงงาน 038) และโรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับสิ่งทอ ด้าย หรือเส้นใยซึ่งมิใช่ใยหิน (ประเภทโรงงาน 022) โดยมีสัดส่วนปริมาณการใช้น้ำ 10.3%, 5.9% และ 5.6% ตามลำดับ (**ภาพที่ 52**)

เมื่อพิจารณาปริมาณการใช้น้ำในภาคอุตสาหกรรมตามพื้นที่ พบว่า ตำบลบ้านป่า อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี มีปริมาณการใช้น้ำในภาคอุตสาหกรรมสูงที่สุด เท่ากับ 100.8 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี หรือคิดเป็น 5.36% ของปริมาณการใช้น้ำในภาคอุตสาหกรรมทั้งหมดในพื้นที่ราบภาคกลาง รองลงมา ได้แก่ ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี และตำบลเขาวง อำเภอพระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี ซึ่งมีปริมาณการใช้น้ำในภาคอุตสาหกรรม 3.36 และ 3.35 % ของปริมาณการใช้น้ำในภาคอุตสาหกรรมทั้งหมดในพื้นที่ราบภาคกลาง ตามลำดับ (**ตารางที่ 37**)

เมื่อพิจารณารายละเอียดข้อมูลโรงงานอุตสาหกรรม พบว่า บางโรงงานมีข้อมูลกำลังการผลิตของโรงงานที่ปรากฏใน ข้อมูลโรงงานแยกตามพื้น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2563a) ที่แตกต่างจากที่ปรากฏจากการค้นข้อมูลโรงงานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2563b) โดยงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลในการคำนวณปริมาณการใช้น้ำในภาคอุตสาหกรรมตามข้อมูลที่ปรากฏในข้อมูลโรงงานแยกตามพื้นที่ของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2563a) ทั้งนี้ ข้อมูลในการคำนวณปริมาณการใช้น้ำในภาคอุตสาหกรรมตามข้อมูลที่ปรากฏในข้อมูลโรงงานแยกตามพื้นที่ของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2563a) พบว่า บางโรงงานไม่มีข้อมูลกำลังการผลิต โดยระบุไว้ว่าเท่ากับ 0.00 แรงม้า จำนวน 612 โรงงาน (1.4% ของโรงงานทั้งหมดในพื้นที่ศึกษา) และมีการระบุประเภทโรงงานไม่สอดคล้องกับข้อมูลการประกอบกิจการ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวมีต่อการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำในภาคอุตสาหกรรม

ตารางที่ 36 จำนวนโรงงานและปริมาณการใช้น้ำแบ่งตามปริมาณการใช้น้ำของแต่ละโรงงานอุตสาหกรรม

ปริมาณการใช้น้ำของแต่ละโรงงานอุตสาหกรรม	จำนวนโรงงานอุตสาหกรรม		ปริมาณความต้องการใช้น้ำทั้งหมด	
	(โรงงาน)	(%)	(ลูกบาศก์เมตร/ปี)	(%)
น้อยกว่า 10,000 ลูกบาศก์เมตร/ปี	32,555	74.37	73,314,326	3.90
10,001-100,000 ลูกบาศก์เมตร/ปี	8,566	19.57	278,547,964	14.80
100,001-1,000,000 ลูกบาศก์เมตร/ปี	2,371	5.42	645,011,894	34.27
1,000,001-10,000,000 ลูกบาศก์เมตร/ปี	272	0.62	589,264,370	31.31
มากกว่า 10,000,000 ลูกบาศก์เมตร/ปี	13	0.03	295,923,337	15.72



053 โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์พลาสติกอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่าง

057 โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับซีเมนต์ ปูนขาว หรือปูนปลาสเตอร์ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง

038 โรงงานผลิตเยื่อ หรือกระดาษอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง

022 โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับสิ่งทอ ด้าย หรือเส้นใยซึ่งมิใช่ใยหิน (Asbestos) อย่างใดอย่างหนึ่งหรือ หลายอย่าง

013 โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับเครื่องปรุงหรือเครื่องประกอบอาหารอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง

044 โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับการผลิตยางเรซินสังเคราะห์ ยางอีลาสโตเมอร์ พลาสติก หรือเส้นใยสังเคราะห์ซึ่งมิใช่ใยแก้ว

098 โรงงานซักรีด ซักแห้ง ซักฟอก รีด อัด หรือย้อมผ้าเครื่องนุ่งห่ม พรม หรือขนสัตว์

015 โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับ อาหารสัตว์อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง

072 โรงงานผลิต ประกอบ ดัดแปลง หรือซ่อมแซมเครื่องรับวิทยุ เครื่องรับโทรทัศน์ เครื่องกระจายเสียงหรือบันทึกเสียง เครื่องเล่นแผ่นเสียง เครื่องบันทึกคำบอกเครื่องบันทึกเสียงด้วยเทป เครื่องบันทึกคำบอกเครื่องบันทึกด้วยเทป เครื่องเล่นหรือเครื่องบันทึกแถบภาพ (วิดิทัศน์)

091 โรงงานบรรจุสินค้าในภาชนะโดยไม่มีการผลิตอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง

ภาพที่ 52 ประเภทโรงงานอุตสาหกรรมที่มีปริมาณการใช้น้ำสูงสุด 10 อันดับแรกในพื้นที่ราบภาคกลาง

ตารางที่ 37 พื้นที่ที่มีปริมาณความต้องการน้ำในภาคอุตสาหกรรมสูงที่สุด 10 อันดับแรก

อันดับ	พื้นที่			ปริมาณความต้องการน้ำ	
	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	ลูกบาศก์เมตร/ปี	%
1	สระบุรี	แก่งคอย	บ้านป่า	100,812,767.58	5.36
2	ปทุมธานี	คลองหลวง	คลองหนึ่ง	63,154,392.53	3.36
3	สระบุรี	พระพุทธบาท	เขาวง	63,027,468.65	3.35
4	สมุทรสาคร	เมืองสมุทรสาคร	บ้านเกาะ	34,122,297.74	1.81
5	สมุทรสาคร	เมืองสมุทรสาคร	ท่าทราย	33,311,001.36	1.77
6	นครปฐม	สามพราน	ไร่ขิง	31,801,020.09	1.69
7	กาญจนบุรี	ท่าม่วง	วังศาลา	31,710,011.46	1.68
8	กรุงเทพมหานคร	บางขุนเทียน	แสมดำ	31,518,374.99	1.67
9	สมุทรปราการ	เมืองสมุทรปราการ	บางปูใหม่	31,337,042.08	1.67
10	สมุทรปราการ	พระประแดง	บางครุ	28,936,333.72	1.54

2) การหาค่าฐาน (baseline) ของความต้องการใช้น้ำในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม

เนื่องจากสถานการณ์การระบาดของไวรัส COVID-19 คณะผู้วิจัยได้ปรับแนวทางการดำเนินการวิจัยเป็นการเก็บข้อมูลการใช้น้ำภาคอุตสาหกรรมโดยการสำรวจด้วยแบบสอบถามที่ส่งทางไปรษณีย์ ทั้งนี้ยังคงมุ่งเน้นการดำเนินการเพื่อนำไปสู่การหาค่าฐาน (baseline) ของความต้องการใช้น้ำของประเภทโรงงานนำร่อง โดยได้พัฒนาแบบสอบถามเพื่อเก็บข้อมูลการเพื่อหาค่าฐาน (baseline) ของความต้องการใช้น้ำในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมนำร่อง ดังแสดงในภาคผนวก ข ซึ่งแบบสอบถามประกอบไปด้วย 3 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 : ข้อมูลการใช้ทรัพยากร ของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ของโรงงาน

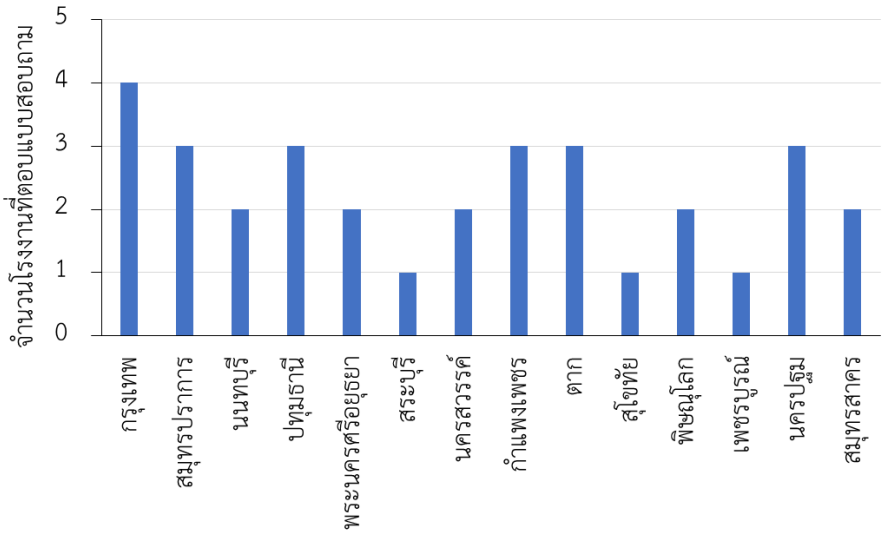
ส่วนที่ 2 : ข้อมูลระบบบำบัดน้ำเสีย

ส่วนที่ 3 : ข้อมูลคุณภาพน้ำ

แบบสอบถามเป็นการสำรวจข้อมูลรายเดือนย้อนหลัง 1 ปี โดยใช้วิธีสุ่มตัวอย่างแบบกำหนดสัดส่วน (purposive sampling) ตามประเภทโรงงานอุตสาหกรรม จำนวน 700 โรงงาน โดยมีผลการดำเนินการดังนี้

2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานที่ตอบแบบสอบถาม

จากการดำเนินการเก็บข้อมูลแบบสอบโดยสุ่มตัวอย่างโรงงานอุตสาหกรรมรวมทั้งสิ้น 700 โรงงาน มีโรงงานอุตสาหกรรมตอบกลับข้อมูลแบบสอบถามจำนวนทั้งสิ้น 32 โรงงาน หรือคิดเป็นอัตราการตอบกลับแบบสอบถาม 4.56% แบ่งเป็นโรงงาน 21 ประเภท ตั้งอยู่ในพื้นที่ 14 จังหวัด (**ภาพที่ 53**) ซึ่งมีกำลังการผลิตอยู่ระหว่าง 48 ถึง 1,589,950.80 แรงม้า ปริมาณการใช้น้ำระหว่าง 136 ถึง 1,535,396 ลูกบาศก์เมตร/ปี ในด้านแหล่งน้ำใช้ของโรงงานอุตสาหกรรม พบว่า โรงงานอุตสาหกรรมมีปริมาณการใช้น้ำจากน้ำผิวดิน มากที่สุด รองลงมาคือ น้ำประปา และน้ำบาดาล ตามลำดับ (**ตารางที่ 38**) โดย 28.1% ของโรงงานอุตสาหกรรมมีแหล่งน้ำใช้มากกว่า 1 แหล่งขึ้นไป นอกจากนี้โรงงานอุตสาหกรรมมีการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ 34.4% ของโรงงานที่ตอบแบบสอบถามทั้งหมด โดยมีสัดส่วนการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่อยู่ระหว่าง 0.21 ถึง 87.11% ของปริมาณน้ำใช้ของโรงงานอุตสาหกรรม



ภาพที่ 53 สถานที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรมที่ตอบแบบสอบถาม

ตารางที่ 38 ข้อมูลประเภทโรงงานและปริมาณการใช้น้ำของโรงงานอุตสาหกรรมที่ตอบแบบสอบถาม

แหล่งน้ำใช้	ระดับปริมาณการใช้น้ำ (ลูกบาศก์เมตร/ปี)				รวม
	น้อยกว่า 10,000	10,001 - 100,000	100,001 - 1,000,000	1,000,001 - 10,000,000	
น้ำประปา	80.0%	60.0%	31.2%	0.0%	46.9%
น้ำบาดาล	20.0%	10.0%	25.0%	0.0%	18.8%
น้ำผิวดิน	0.0%	0.0%	6.2%	100.0%	6.2%
มากกว่า 1 แหล่ง	0.0%	30.0%	37.5%	0.0%	28.1%
รวม	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**	

2.2 ผลการวิเคราะห์อัตราการใช้น้ำของแต่ละประเภทโรงงานอุตสาหกรรม

จากข้อมูลแบบสอบถาม เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำที่คำนวณจากกำลังผลิตของโรงงานแต่ละประเภทร่วมกับอัตราการใช้น้ำต่อกำลังการผลิตของโรงงาน (ปริมาณการใช้น้ำจากการคำนวณ) และ ปริมาณการใช้น้ำของโรงงานอุตสาหกรรม ในปี พ.ศ. 2562 จากแบบสอบถาม (ปริมาณการใช้น้ำจากแบบสอบถาม) พบว่า มีปริมาณการใช้น้ำจากการคำนวณรวมทั้งสิ้น 20.24 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี แต่ปริมาณการใช้น้ำจากแบบสอบถาม 6.55 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี คิดเป็นเพียง 32.34% ของปริมาณการใช้น้ำจากการคำนวณ โดยมีความแตกต่างระหว่างปริมาณการใช้น้ำจากแบบสอบถามเทียบกับการคำนวณมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามระดับปริมาณการใช้น้ำของโรงงานอุตสาหกรรมตั้งแต่ -99.18 – 788.93% โรงงานที่มีปริมาณการใช้น้ำจากแบบสอบถามน้อยกว่าจากการคำนวณ จำนวน 24 โรงงาน (75% ของโรงงานที่ตอบแบบสอบถามทั้งหมด) และโรงงานที่มีปริมาณการใช้น้ำจากแบบสอบถามมากกว่าจากการคำนวณ จำนวน 8 โรงงาน (25% ของโรงงานที่ตอบแบบสอบถามทั้งหมด) นอกจากนี้ ความแตกต่างระหว่างปริมาณการใช้น้ำจากแบบสอบถามเทียบกับการคำนวณมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามระดับปริมาณการใช้น้ำของโรงงานอุตสาหกรรมดัง**ตารางที่ 39** ทั้งนี้ ปริมาณน้ำใช้ของโรงงานอุตสาหกรรมจากแบบสอบถามมีค่าแตกต่างอย่างมากเมื่อเทียบกับการคำนวณอาจเนื่องมาจากมีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำของโรงงานอุตสาหกรรมและมีการนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่ ทำให้ภาพรวมของปริมาณการใช้น้ำของโรงงานอุตสาหกรรมโดยส่วนใหญ่ต่ำกว่าที่ได้จากการคำนวณ

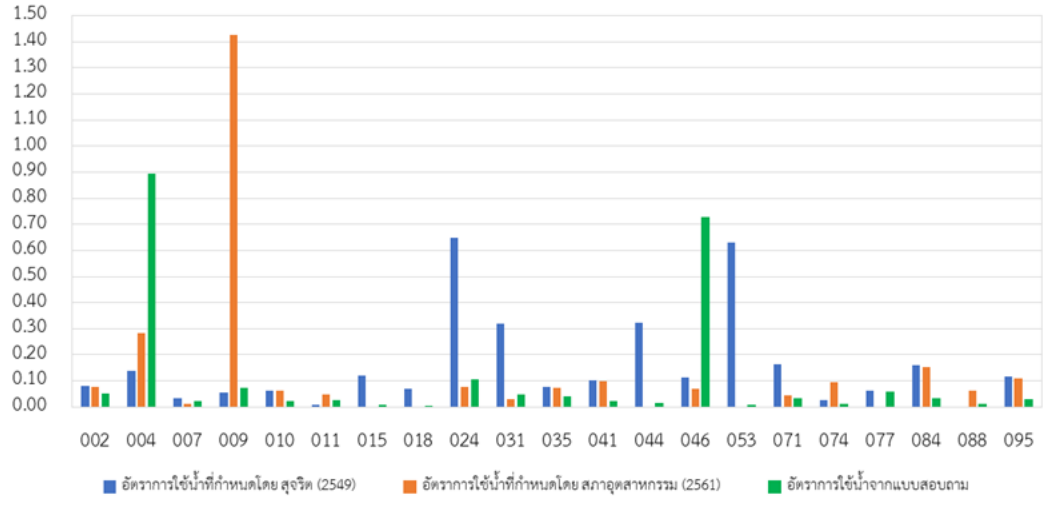
ตารางที่ 39 ปริมาณการใช้น้ำจากแบบสอบถามเทียบกับการคำนวณตามอัตราการใช้น้ำของโรงงานอุตสาหกรรม

ระดับปริมาณการใช้น้ำ	ความแตกต่างระหว่างปริมาณการใช้น้ำจากแบบสอบถามเทียบกับการคำนวณ			
	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
น้อยกว่า 10,000 ลูกบาศก์เมตร/ปี	-77.48	35.53	-99.18	-16.70
10,001-100,000 ลูกบาศก์เมตร/ปี	29.20	271.90	-94.59	788.93
100,001-1,000,000 ลูกบาศก์เมตร/ปี	47.75	199.22	-94.92	548.27
1,000,001-10,000,000 ลูกบาศก์เมตร/ปี	100.00	-	-	-

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอัตราการใช้น้ำที่กำหนดโดยสุจริต (2549) และอัตราการการใช้น้ำกับอัตราการใช้น้ำจากการศึกษาของสภาอุตสาหกรรม (2561) และอัตราการใช้น้ำจากแบบสอบถาม พบว่า อัตราการใช้น้ำจากแบบสอบถามส่วนใหญ่มีค่าน้อยกว่าอัตราการใช้น้ำจากการศึกษาที่ผ่านมา โดยมี 16 ประเภทโรงงาน (76% ของประเภทโรงงานที่ตอบแบบสอบถาม) ที่อัตราการใช้น้ำจากแบบสอบถามน้อยกว่าอัตราการใช้น้ำที่กำหนดโดยสุจริต (2549) และ 11 ประเภทโรงงาน ที่อัตราการใช้น้ำจากแบบสอบถามน้อยกว่าอัตราการใช้น้ำจากการศึกษาของสภาอุตสาหกรรม (2561) (**ภาพที่ 54**)

ประเภทโรงงานที่มีความแตกต่างระหว่างระหว่างอัตราการใช้น้ำจากแบบสอบถามเทียบกับอัตราการใช้น้ำที่จากการศึกษาที่ผ่านมามากที่สุด ได้แก่ ประเภทโรงงาน 004 โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับสัตว์ ซึ่งมิใช่สัตว์น้ำ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง มีความแตกต่างเท่ากับ 548% เมื่อเทียบกับอัตราการใช้น้ำที่กำหนดโดยสุจริต (2549) และเท่ากับ 218% เมื่อเทียบกับอัตราการใช้น้ำจากสภาอุตสาหกรรม (2561) และประเภทโรงงาน 046 โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับ ยา อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่าง ความแตกต่างเท่ากับ 533% เมื่อเทียบกับอัตราการใช้น้ำที่กำหนดโดยสุจริต (2549) และเท่ากับ 947% เมื่อเทียบกับอัตราการใช้น้ำจากสภาอุตสาหกรรม (2561)

ประเภทโรงงานที่มีความแตกต่างระหว่างระหว่างอัตราการใช้น้ำจากแบบสอบถามเทียบกับอัตราการใช้น้ำที่จากการศึกษาที่ผ่านมาน้อยที่สุด ได้แก่ ประเภทโรงงาน 077 โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับรถยนต์ หรือรถพ่วง อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง มีความแตกต่างระหว่างอัตราการใช้น้ำจากแบบสอบถามเทียบกับอัตราการใช้น้ำกำหนดโดยสุจริต (2549) เท่ากับ -4%



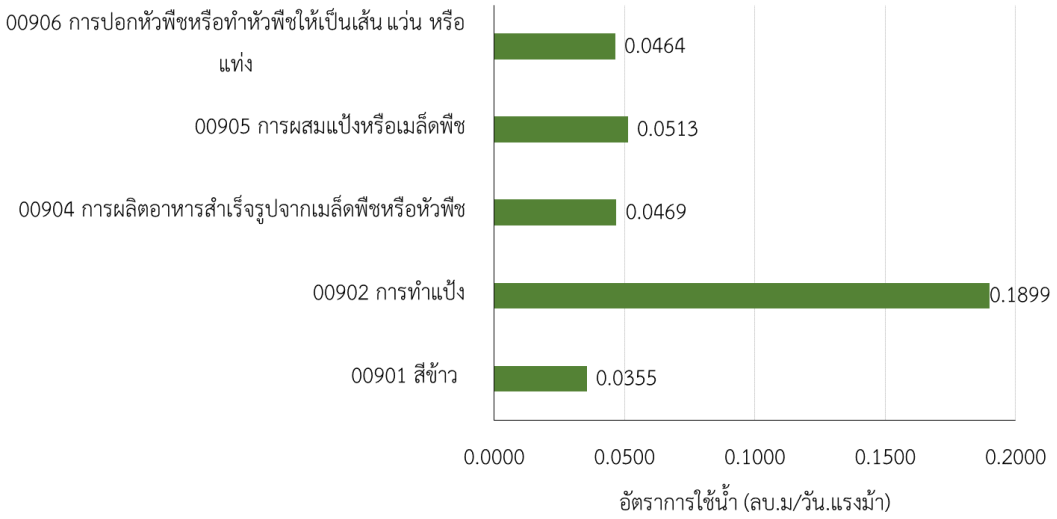
ภาพที่ 54 อัตราการใช้น้ำจากแบบสอบถามเทียบกับอัตราการใช้น้ำจากการศึกษาที่ผ่านมา

ตารางที่ 40 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุดของอัตราการใช้น้ำจากแบบสอบถามในแต่ละประเภทโรงงาน พบว่า อัตราการใช้น้ำมีการกระจายตัวของข้อมูลสูง นอกจากนี้ ประเภทโรงงาน 002, 009 และ 088 ปริมาณการใช้น้ำไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับกำลังการผลิต อาจเนื่องมาจากโรงงานมีกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน รวมถึงประเภทโรงงานที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นการจัดประเภทโรงงานหลักจำแนกตามกฎกระทรวง (พ.ศ. 2535) ทำให้ในบางประเภทโรงงานมีลักษณะการประกอบกิจการที่มีความต้องการใช้น้ำที่แตกต่างกันมาก เช่น ประเภทโรงงาน 009 (**ภาพที่ 55**) และ 088 (**ภาพที่ 56**)

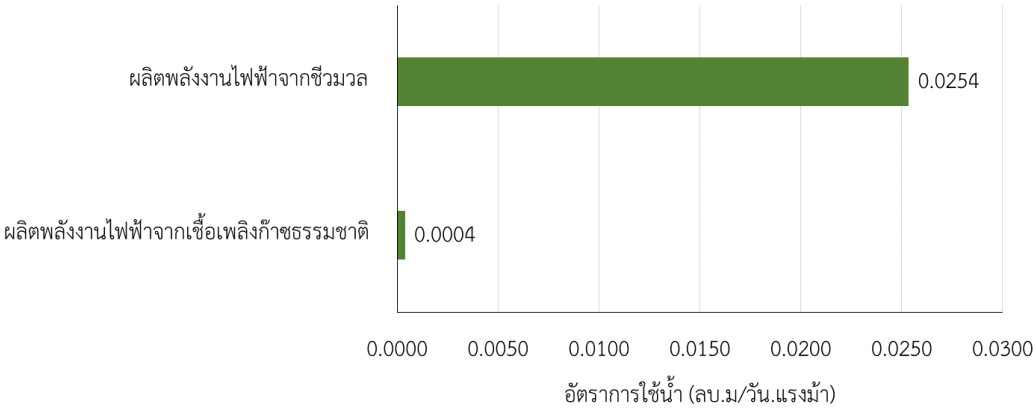
ตารางที่ 40 อัตราการใช้น้ำจากแบบสอบถาม

ประเภทโรงงาน	จำนวนโรงงานที่ตอบแบบสอบถาม	อัตราการใช้น้ำที่กำหนด (ลบ.ม./วัน.แรงม้า)	อัตราการใช้น้ำจากแบบสอบถาม (ลบ.ม./วัน.แรงม้า)			
			ค่าเฉลี่ย+	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
002	3	0.0817	0.0501	0.0800	0.0007	0.1425
004	1	0.1378	0.8933			
007	1	0.0339	0.0226			
009	5	0.0557	0.0740	0.0651	0.0355	0.1899
010	1	0.0620	0.0220			
011	2	0.0100	0.0256	0.0073	0.0073	0.0439
015	1	0.1210	0.0093			
018	1	0.0714	0.0015			
024	1	0.1752	0.1052			
031	1	0.3207	0.0467			
035	1	0.0771	0.0416			
041	1	0.1040	0.0214			
044	1	0.3217	0.0163			
046	1	0.1148	0.7263			
053	1	0.6304	0.0079			
071	2	0.1621	0.0328	0.0320	0.0102	0.0555
074	1	0.0252	0.0129			
077	1	0.0618	0.0595			
084	1	0.1601	0.0331			
088	4	0.0000	0.0129	0.0146	0.0003	0.0286
095	1	0.1169	0.0295			

หมายเหตุ: $^{+}$ เป็นค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักโดยกำลังการผลิต



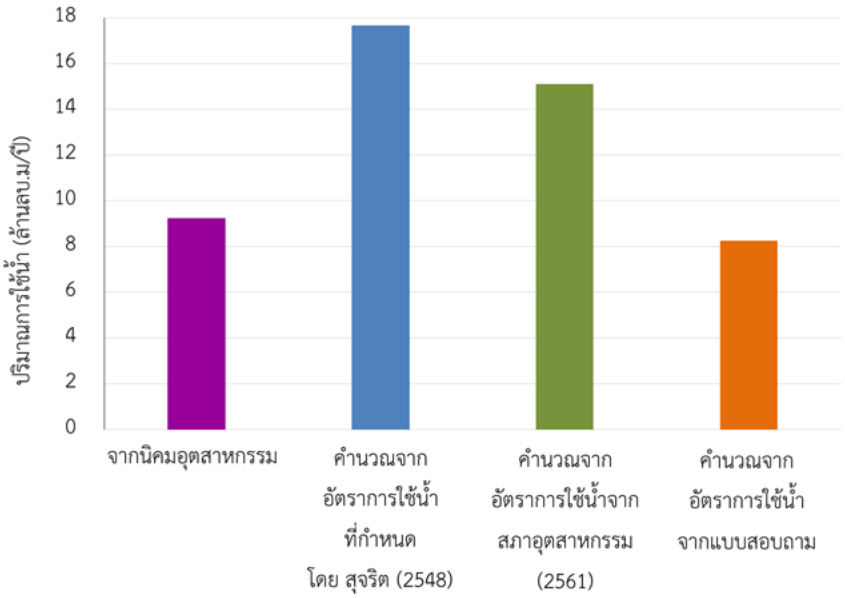
ภาพที่ 55 อัตราการใช้น้ำจากแบบสอบถามของประเภทโรงงานหลัก 009 (กิจการเกี่ยวกับเมล็ดพืชหรือหัวพืช)



ภาพที่ 56 อัตราการใช้น้ำจากแบบสอบถามของประเภทโรงงานหลัก 088 (ผลิต ส่ง หรือจำหน่ายพลังงานไฟฟ้า)

จากการทวนสอบอัตราการใช้น้ำที่ได้จากแบบสอบถามเฉลี่ยโดยทำการเปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำที่คำนวณได้กับปริมาณการใช้น้ำในปี พ.ศ. 2562 ของนิคมอุตสาหกรรมที่สอบถาม โดยประเภทโรงงานที่ไม่มีอัตราการใช้น้ำจากแบบสอบถาม (19 ประเภทโรงงาน) ยังคงใช้อัตราการใช้น้ำที่กำหนดในการคำนวณ พบว่า ปริมาณการใช้น้ำที่คำนวณจากอัตราการใช้น้ำจากแบบสอบถามเท่ากับ 8.27 ล้านลูกบาศก์เมตร คิดเป็นความแตกต่างเทียบกับปริมาณการใช้น้ำจากนิคมอุตสาหกรรมเท่ากับ -11% ในขณะที่ปริมาณน้ำใช้ที่คำนวณจากอัตราการใช้น้ำที่กำหนดโดยสุจริต (2548) เท่ากับ 17.70 ล้านลูกบาศก์เมตร คิดเป็นความแตกต่าง 91% และปริมาณน้ำใช้ที่คำนวณจากอัตราการใช้น้ำจากสภาอุตสาหกรรม (2561) เท่ากับ 15.10 ล้านลูกบาศก์เมตร คิดเป็นความแตกต่าง 63% (**ภาพที่ 57**) จะเห็นได้ว่า ปริมาณการใช้น้ำที่คำนวณจากอัตราการใช้น้ำจากแบบสอบถามมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณการใช้น้ำจากนิคมอุตสาหกรรมมากกว่า ปริมาณการใช้น้ำที่คำนวณจากอัตราการใช้น้ำที่ผ่านมา ดังนั้น หากมีการปรับปรุงข้อมูลอัตรา

การใช้น้ำของแต่ละประเภทอุตสาหกรรมมีแนวโน้มที่จะสามารถนำไปใช้ในการประเมินความต้องการน้ำใช้ในภาคอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น



ภาพที่ 57 ปริมาณการใช้น้ำของนิคมอุตสาหกรรมเทียบกับปริมาณการใช้น้ำจากการคำนวณโดยใช้อัตราการใช้จากแบบสอบถามและจากการศึกษาที่ผ่านมา

จากการศึกษาของสภาอุตสาหกรรม (2558) ได้มีการศึกษาปริมาณการใช้น้ำภาคอุตสาหกรรม ในปี พ.ศ. 2558 และมีการประเมินปริมาณการใช้น้ำภาคอุตสาหกรรม ในปี พ.ศ. 2564 โดยแบ่งเป็น 4 กรณีคือ

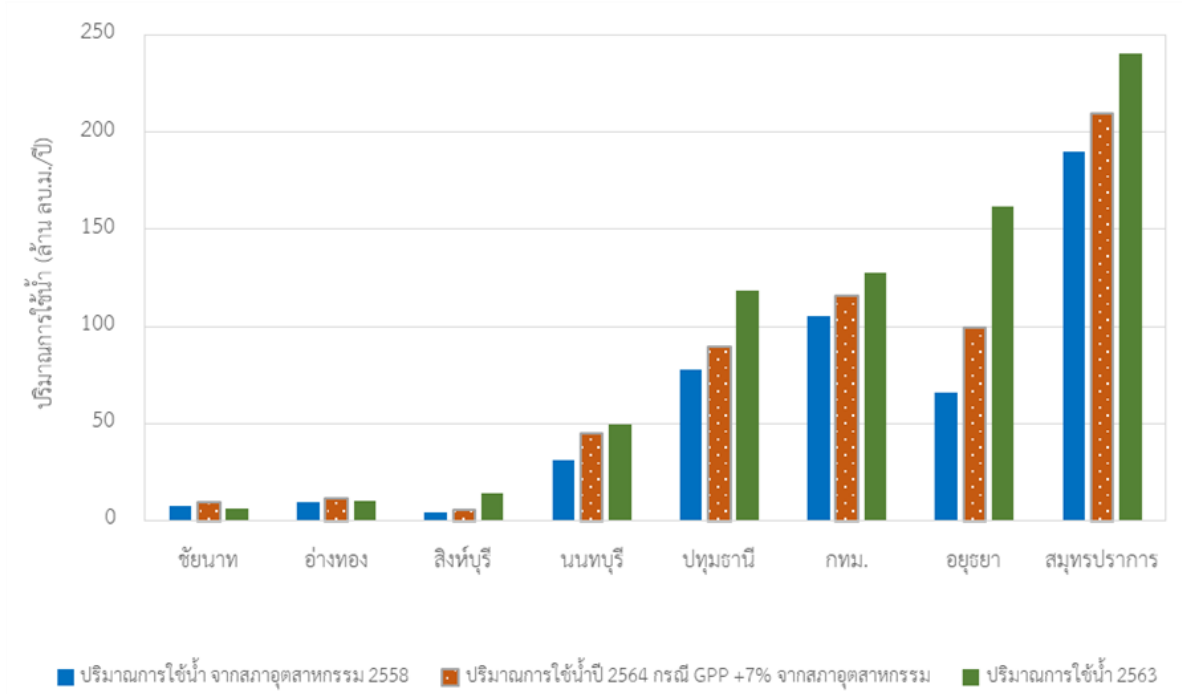
1) กรณีที่ 1 การเติบโตของอุตสาหกรรมตามอัตราการเพิ่มของผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP) ในช่วงปี 2549-2558 (Business as usual : BAU)
2) กรณีที่ 2 การเติบโตของอุตสาหกรรมตามอัตราการเพิ่มของผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP) 3%
3) กรณีที่ 3 การเติบโตของอุตสาหกรรมตามอัตราการเพิ่มของผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP) 5%
4) กรณีที่ 4 การเติบโตของอุตสาหกรรมตามอัตราการเพิ่มของผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP) 7%

ซึ่งเมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้น้ำภาคอุตสาหกรรมที่ได้ทำการศึกษารายจังหวัด จำนวน 8 จังหวัด ดังตารางที่ 41 พบว่า ปี 2563 ทุกจังหวัดมีจำนวนโรงงานลดลงจากปี 2558 แต่การใช้น้ำภาคอุตสาหกรรมในปี 2563 มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นกว่า ปี 2558 เกือบทุกจังหวัด ยกเว้น จังหวัดชัยนาท โดยอัตราการเพิ่มของผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด ส่วนใหญ่มีอัตราการเพิ่มของผลิตภัณฑ์มวลรวม ใกล้เคียง 7% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบการใช้น้ำภาคอุตสาหกรรมในปี 2563 กับ ปริมาณการใช้น้ำภาคอุตสาหกรรม ในปี พ.ศ. 2564 กรณีที่การเติบโตของอุตสาหกรรมตามอัตราการเพิ่มของผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP) 7% (รูปที่ 58) เฉพาะจังหวัดชัยนาทและจังหวัดอ่างทอง ที่มีปริมาณการใช้น้ำภาคอุตสาหกรรม ในปี พ.ศ. 2563 น้อยกว่าในปี 2564 เท่ากับ 52.73 และ 9.10% ตามลำดับ และมีปริมาณการใช้น้ำในปี 2563 สูงกว่าในปี 2564 อย่างมาก ในจังหวัดสิงห์บุรี จังหวัดพระนครศรีอยุธยา และจังหวัดปทุมธานี เท่ากับ 59.45 24.78 และ12.78% ตามลำดับ

ตารางที่ 41 เปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำภาคอุตสาหกรรมรายจังหวัด

จังหวัด	จำนวนโรงงาน		ปริมาณการใช้น้ำ จากสภาอุตสาหกรรม* (ล้าน ลบ.ม./ปี)					ปริมาณการใช้น้ำ 2563 (ล้าน ลบ.ม./ปี)	อัตราการเพิ่ม GPP+ (%)
	2558*	2563	2558	2564					
				GPP เท่าเดิม	GPP +3%	GPP +5%	GPP +7%		
ชัยนาท	438	425	7.51	9.71	8.13	8.86	9.65	6.32	11.93
อ่างทอง	428	347	9.29	10.67	9.96	10.60	11.33	10.38	7.67
สิงห์บุรี	259	240	4.41	5.08	4.82	5.20	5.63	13.88	5.12
นนทบุรี	1,933	1,897	31.11	50.13	34.94	39.69	45.01	49.44	6.00
ปทุมธานี	3,385	3,023	77.96	81.59	78.94	83.82	89.27	118.67	8.20
กรุงเทพฯ	16,933	15,176	105.51	112.84	108.71	111.94	115.61	127.81	6.65
อยุธยา	2,448	2,362	66.13	95.20	76.42	87.33	99.55	161.45	1.68
สมุทรปราการ	6,828	5,430	189.66	204.78	196.08	202.60	209.94	240.70	6.62

หมายเหตุ: *ข้อมูลจาก สภาอุตสาหกรรม (2558), + อัตราการเพิ่มของผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP) ในปี 2559-2561 คำนวณจากข้อมูลผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (สำนักงานสภาพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2563)

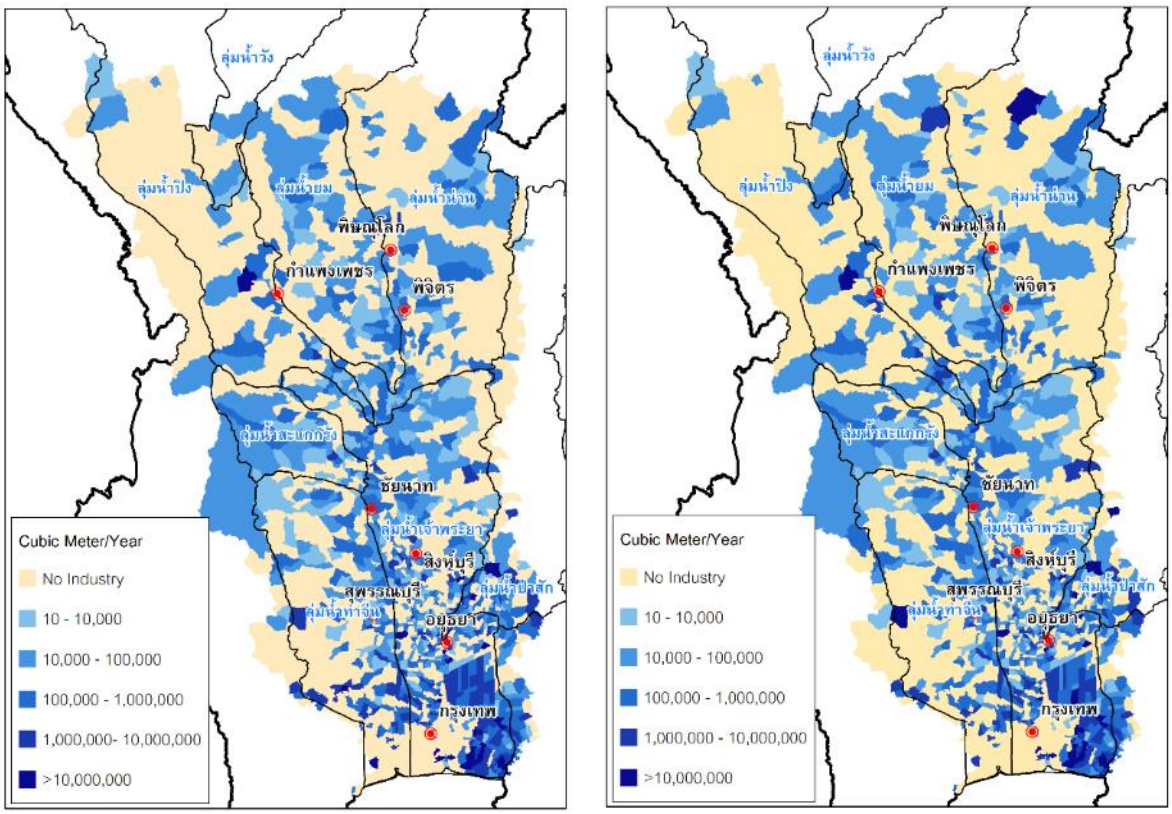


ภาพที่ 58 เปรียบเทียบการใช้น้ำภาคอุตสาหกรรมในปี พ.ศ. 2563 กับ 2564 กรณีการเติบโตของอุตสาหกรรมตามอัตราการเพิ่มของผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP) 7%

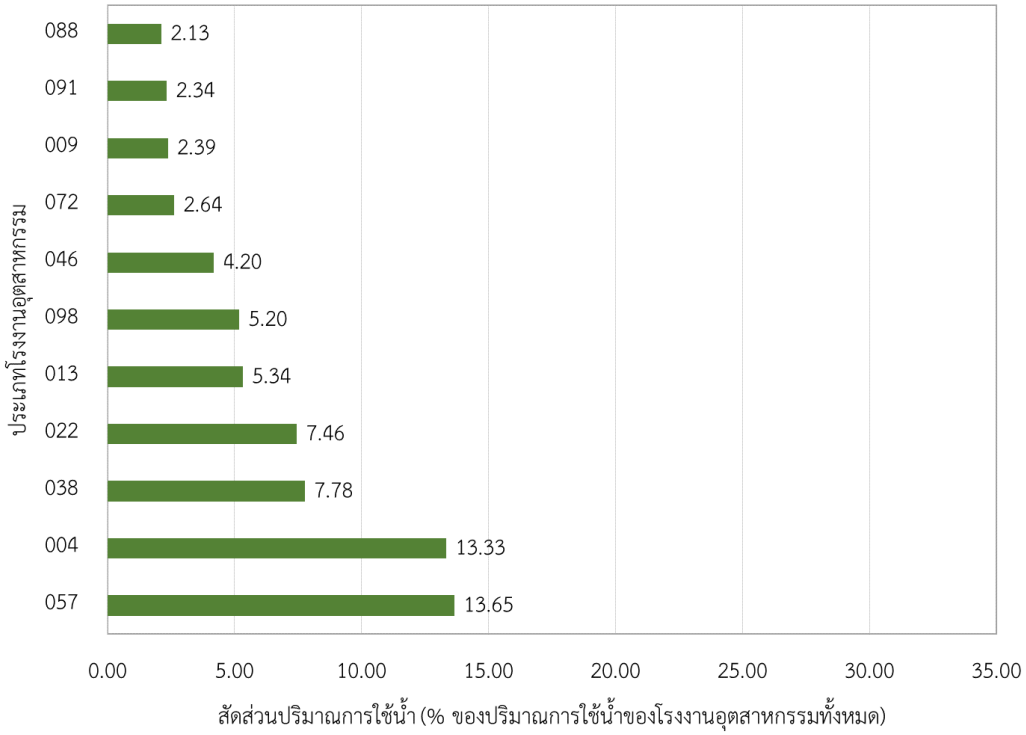
เมื่อนำอัตราการใช้น้ำจากแบบสอบถามไปใช้ในการประมาณปริมาณการใช้น้ำของพื้นที่ศึกษา พบว่า ปริมาณการใช้น้ำของพื้นที่ศึกษาที่คำนวณจากอัตราการใช้น้ำจากแบบสอบถามเท่ากับ 1,618 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี คิดเป็น 86% ของปริมาณการใช้น้ำที่คำนวณจากอัตราการใช้น้ำกำหนด โดยมีปริมาณการใช้น้ำแต่ละพื้นที่ดังแสดงใน**ภาพที่ 59** โดยยังพบว่า ตำบลบ้านป่า อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี มีปริมาณการใช้น้ำในภาคอุตสาหกรรมสูงที่สุด โดยมีปริมาณการใช้น้ำเพิ่มขึ้นเป็น 102.1 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี หรือคิดเป็น 6.31% ของปริมาณการใช้น้ำในภาคอุตสาหกรรมทั้งหมดในพื้นที่ราบภาคกลาง แต่มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ในอันดับรองลงมาดังแสดงใน**ตารางที่ 42** นอกจากการปรับข้อมูลอัตราการใช้น้ำจากที่กำหนดเป็นจากแบบสอบถามจะมีผลต่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำเชิงพื้นที่แล้ว การปรับข้อมูลอัตราการใช้น้ำยังมีนัยสำคัญต่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ โดยเฉพาะในกรณีประเภทโรงงาน 088 เนื่องจากโรงงานผลิตไฟฟ้ามีกำลังการผลิต (แรงม้า) สูง โดยปริมาณการใช้น้ำที่คำนวณจากอัตราการใช้น้ำจากแบบสอบถามเพิ่มขึ้นจากเดิมเป็น 30.18 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี หรือคิดเป็น 2.13% ของปริมาณการใช้น้ำที่คำนวณจากอัตราการใช้น้ำจากแบบสอบถาม (**ภาพที่ 60**)

ตารางที่ 42 พื้นที่ที่มีความต้องการใช้น้ำในภาคอุตสาหกรรมสูงที่สุด 10 อันดับแรก

อันดับ	พื้นที่			ปริมาณการใช้น้ำ	
	จังหวัด	อำเภอ	ตำบล	ลูกบาศก์เมตร/ปี	%
1	สระบุรี	แก่งคอย	บ้านป่า	102,108,804.45	6.31
2	สระบุรี	พระพุทธบาท	เขาวง	69,053,466.78	4.27
3	สมุทรปราการ	เมืองสมุทรปราการ	บางโปรง	51,349,910.45	3.17
4	ปทุมธานี	คลองหลวง	คลองหนึ่ง	48,302,260.96	2.98
5	กาญจนบุรี	ท่าม่วง	วังศาลา	32,666,114.11	2.02
6	ลพบุรี	พัฒนานิคม	ช่องสาริกา	32,278,256.26	1.99
7	สมุทรสาคร	เมืองสมุทรสาคร	ท่าทราย	27,175,114.43	1.68
8	สมุทรปราการ	เมืองสมุทรปราการ	บางปูใหม่	26,578,232.27	1.64
9	สระบุรี	แก่งคอย	ตาลเดี่ยว	26,072,749.46	1.61
10	สมุทรปราการ	พระประแดง	บางครุ	25,372,679.65	1.57



ภาพที่ 59 ความต้องการน้ำภาคอุตสาหกรรมโดยอัตราการใช้น้ำเดิม (ซ้าย) และจากแบบสอบถาม (ขวา)



057	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับซีเมนต์ ปูนขาว หรือปูนปลาสเตอร์ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง
004	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับสัตว์ ซึ่งมิใช่สัตว์น้ำ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง
038	โรงงานผลิตเยื่อ หรือกระดาษอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง
022	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับสิ่งทอ ด้าย หรือเส้นใยซึ่งมิใช่ใยหิน (Asbestos) อย่างใดอย่างหนึ่งหรือ หลายอย่าง
013	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับเครื่องปรุงหรือเครื่องประกอบอาหารอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง
098	โรงงานซักรีด ซักแห้ง ซักฟอก รีด อัด หรือย้อมผ้าเครื่องนุ่งห่ม พรม หรือขนสัตว์
046	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับ ยา อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่าง
072	โรงงานผลิต ประกอบ ดัดแปลง หรือซ่อมแซมเครื่องรับวิทยุ เครื่องรับโทรทัศน์ เครื่องกระจายเสียงหรือบันทึกเสียง เครื่องเล่นแผ่นเสียง เครื่องบันทึกคำบอกเครื่องบันทึกเสียงด้วยเทป เครื่องบันทึกคำบอกเครื่องบันทึกด้วยเทป เครื่องเล่นหรือเครื่องบันทึกแถบภาพ (วิดิทัศน์)
009	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับ เมล็ดพืช หรือหัวพืชอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง
091	โรงงานบรรจุสินค้าในภาชนะโดยไม่มีการผลิตอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง
088	โรงงานผลิต ส่ง หรือจำหน่ายพลังงานไฟฟ้า

ภาพที่ 60 ประเภทโรงงานที่มีอัตราการใช้น้ำจากแบบสอบถามสูงสุด 11 อันดับแรกในพื้นที่ราบภาคกลาง

จากข้อมูลผลการสำรวจระดับโรงงานอุตสาหกรรม ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ชัดเจนสามารถวิเคราะห์หาอัตราการใช้น้ำต่อผลิตภัณฑ์ได้ดัง**ตารางที่ 43** พบว่า ประเภทโรงงาน 088 มีอัตราการใช้น้ำต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ของการผลิตไฟฟ้าทั้งจากเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติและจากชีวมวล มีค่ามากกว่าอัตราการใช้น้ำจากงานวิจัยที่ผ่านมา แสดงให้เห็นว่า โรงงานอุตสาหกรรมดังกล่าวยังมีช่องว่างในการพัฒนาเทคโนโลยีในการประหยัดน้ำ ซึ่งนอกจากจะช่วยลดปริมาณการใช้ทรัพยากรน้ำแล้ว ยังเป็นผลดีต่อโรงงานอุตสาหกรรมในการลดต้นทุนในการผลิตอีกด้วย

ตารางที่ 43 อัตราการใช้น้ำต่อหน่วยผลิตภัณฑ์

ประเภทโรงงาน	ผลิตภัณฑ์	หน่วย	ค่าเฉลี่ยอัตราการใช้น้ำต่อหน่วยผลิตภัณฑ์	
			จากข้อมูลแบบสอบถาม	จากงานวิจัยอื่น
00704	น้ำมันปาล์ม	m^3/ton	1.4901	
08800	ไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ	m^3/kWh	0.0006	0.0004[1]
08802	ไฟฟ้าจากชีวมวล	m^3/kWh	0.0612	0.0422[2]

หมายเหตุ: [1]อ้างอิงจาก (Gerbens-Leenes et al., 2009), [2] อ้างอิงจาก (Zhu et al., 2019)

3) สรุปและข้อเสนอแนะ

3.1 แนวทางในการประเมินปริมาณการใช้น้ำภาคอุตสาหกรรมในพื้นที่ศึกษา

ภายใต้ข้อจำกัดด้านทรัพยากรน้ำและผลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ทำให้การใช้ทรัพยากรน้ำจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีแผนการบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพในระดับลุ่มน้ำ ซึ่งต้องอาศัยข้อมูลที่ถูกต้องในการบริหารจัดการ รวมถึงข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของภาคส่วนต่าง ๆ ในภาคอุตสาหกรรมการประเมินปริมาณการใช้น้ำสามารถดำเนินการได้หลายวิธี ทั้งจากจำนวนการผลิตผลิตภัณฑ์ จากขนาดพื้นที่โรงงานอุตสาหกรรม หรือจากการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ แต่การประเมินปริมาณการใช้น้ำจากอัตราการใช้น้ำต่อกำลังการผลิตในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม โดยแบ่งตามประเภทโรงงานหลักของกรมโรงงานอุตสาหกรรมเป็นวิธีการหนึ่งที่ดำเนินการได้ง่ายและมีข้อมูลเพียงพอในการดำเนินการในระดับลุ่มน้ำ ทั้งนี้ จำเป็นที่จะต้องดำเนินการปรับปรุงอัตราการใช้น้ำให้มีความสอดคล้องกับเทคโนโลยีการผลิตในปัจจุบันมากยิ่งขึ้น โดยควรพิจารณาเริ่มดำเนินการในกลุ่มอุตสาหกรรมที่การใช้น้ำเป็นทรัพยากรสำคัญในการผลิต เช่น กลุ่มอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมการเกษตร และกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีกำลังการผลิตสูง เช่น กลุ่มอุตสาหกรรมพลังงาน เป็นต้น ในด้านข้อมูลกำลังการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม เป็นข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา จึงควรมีการเชื่อมโยงระหว่างหน่วยงานโดยระบบสารสนเทศเพื่อให้ได้ข้อมูลกำลังการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมที่สอดคล้องกับความเป็นจริง โดยเฉพาะเพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในสภาวะวิกฤตภัยแล้ง

ข้อมูลอัตราการใช้น้ำของแต่ละกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมนอกเหนือจากใช้ในการประมาณปริมาณการใช้น้ำในภาคอุตสาหกรรมแล้ว ข้อมูลดังกล่าวยังสามารถใช้เป็นเครื่องมือให้กับโรงงานอุตสาหกรรมในการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำกับกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมในประเภทเดียวกัน จะช่วยสร้างความตระหนักต่อการใช้ทรัพยากรน้ำให้กับโรงงานอุตสาหกรรม ทั้งในประเด็นการลดการใช้น้ำและการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำ ผ่านเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพใช้งานง่ายไม่ซับซ้อน เช่น การใช้หลักเทคโนโลยีสะอาด (Clean Technology) นำไปสู่การลดการใช้ทรัพยากรลดของเสีย การนำกลับมาใช้ใหม่ ส่งผลต่อการประหยัดต้นทุน หรือการใช้หลักของอุตสาหกรรมเชิงนิเวศ (Eco-Industry) ซึ่งสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ของกระทรวงอุตสาหกรรมในการส่งเสริมและพัฒนาอุตสาหกรรมให้เป็นมิตรกับสังคมและสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ มีการพัฒนาจากระดับโรงงานอุตสาหกรรมสู่เมืองอุตสาหกรรมเชิงนิเวศ (Eco-industry Town) ซึ่งการดำเนินการดังกล่าวทั้งในระบบโรงงานอุตสาหกรรมและระดับเมืองอุตสาหกรรม จำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ รวมถึงการใช้ทรัพยากรน้ำ จึงควรมีการบูรณาการข้อมูลระหว่างหน่วยงานเพื่อพัฒนาสู่ฐานข้อมูลระบบติดตามข้อมูลการใช้ทรัพยากรในการผลิตระดับโรงงานอุตสาหกรรมให้ครอบคลุมถึงการใช้ทรัพยากรน้ำ

3.2 ข้อเสนอแนวทางในการดำเนินการในระยะที่ 2

การดำเนินการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ มีข้อจำกัดในด้านการเก็บข้อมูลเนื่องจากสถานการณ์การระบาดของเชื้อ Covid-19 ทำให้จำเป็นต้องใช้การเก็บข้อมูลจากโรงงานอุตสาหกรรมผ่านแบบสอบถาม ซึ่งคณะวิจัยได้พิจารณาข้อจำกัดของการเก็บข้อมูลด้วยวิธีดังกล่าวโดยเพิ่มจำนวนตัวอย่าง แต่ยังมีอัตราการตอบกลับแบบสอบถามที่ไม่เพียงพอ ดังนั้น ในการดำเนินการวิจัยในระยะต่อไปจำเป็นต้องได้รับการสนับสนุนอย่างจริงจังจากหน่วยงานของกระทรวงอุตสาหกรรมในการเก็บข้อมูล และ/หรือ ดำเนินการเก็บข้อมูลโดยการลงพื้นที่สร้างความร่วมมือกับโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อให้ได้ปริมาณข้อมูลที่สามารถสะท้อนให้เห็นภาพรวมของการใช้น้ำเพื่ออุตสาหกรรมที่มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ในขณะที่สามารถดำเนินการผ่านการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีสะอาด (Clean Technology) คู่ขนานกันไป เพื่อสามารถวิเคราะห์ปริมาณการใช้ทรัพยากรในการผลิตได้อย่างถูกต้องโดยเฉพาะทรัพยากรน้ำและโรงงานอุตสาหกรรมได้รับประโยชน์ร่วมจากการดำเนินการวิจัยอย่างแท้จริงในประเด็นการลดการใช้ทรัพยากร ลดการเกิดของเสีย และส่งผลต่อการลดต้นทุนในการผลิต

4. สรุปผล

งานวิจัยการประเมินปริมาณความต้องการน้ำในพื้นที่ราบภาคกลาง (ระยะที่ 1) มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการเกษตร การอุปโภคบริโภคและอุตสาหกรรมที่เป็นค่าฐาน (baseline) ในพื้นที่ราบภาคกลางตอนบน โดยปริมาณความต้องการน้ำในภาคการเกษตรจะเน้นไปยังวิธีการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อนำไปใช้ในการบริหารจัดการน้ำในระดับโครงการชลประทาน ส่วนปริมาณความต้องการน้ำในภาคชุมชนและภาคอุตสาหกรรมจะเน้นไปที่การศึกษาปริมาณความต้องการน้ำ การรับรู้ พฤติกรรม และสถานการณ์การใช้น้ำเพื่อนำไปหาแนวทางเชิงกลยุทธ์ในการลดการใช้น้ำหรือเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำ

การประเมินปริมาณความต้องการน้ำในภาคการเกษตร ได้ใช้วิธีการคำนวณปริมาณการใช้น้ำพืชตามแนวทางดั้งเดิม ได้แก่ ETc = Kc x ETo โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาของค่าดัชนีพืชพรรณแบบ NDVI เพื่อประเมินหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำพืช (Kc) และใช้เทคนิคการประมาณค่าเชิงพื้นที่เพื่อคำนวณปริมาณการใช้น้ำพืชอ้างอิง (ETo) ทำให้การคำนวณปริมาณการใช้น้ำพืชสามารถประเมินได้ครอบคลุมพื้นที่ชลประทานในที่ราบลุ่มภาคกลางทั้งหมด ผลจากการศึกษาสามารถนำไปใช้คำนวนปริมาณน้ำชลประทานสุทธิ (net irrigation water) ได้ รวมทั้งได้นำเสนอแนวคิดดัชนีการประเมินสมรรถนะด้านการชลประทานโดยใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม นอกจากนี้ การวิเคราะห์รูปแบบการเพาะปลูกพืชได้ใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก (deep learning) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมโดยยังอยู่ในขั้นตอนการจำแนกรูปแบบด้วยวิธีการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (supervised classification) และได้ต้นแบบโมเดลที่จะนำไปพัฒนาสำหรับงานวิจัยในระยะถัดไป

การประเมินปริมาณความต้องการน้ำในภาคชุมชนและอุตสาหกรรม ได้ประเมินความต้องการใช้น้ำรายตำบลโดยประเมินจากข้อมูลจำนวนประชากรและจำนวนโรงงานอุตสาหกรรม จากนั้นได้คัดเลือกพื้นที่ตำบลนำร่องโดยใช้เกณฑ์ความหนาแน่นของประชากรและเกณฑ์ความเสี่ยงภัยแล้ง และจัดทำแบบสอบถามเพื่อสำรวจข้อมูลการรับรู้และพฤติกรรมการใช้น้ำในภาคครัวเรือน สำหรับภาคอุตสาหกรรมได้สำรวจข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามเก็บข้อมูลเพื่อหาค่าฐาน (baseline) ของความต้องการใช้น้ำในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมนำร่อง

ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณความต้องการน้ำในภาคการเกษตรสำหรับโครงการชลประทานในพื้นที่ราบภาคกลาง เฉลี่ยปีละ 9,517.13 ล้าน ลบ.ม. โดยในการจัดสรรน้ำเสนอแนะให้ปรับอัตราส่วนฤดูแล้ง:ฤดูฝน เป็น 65:35 จะเป็นสัดส่วนที่ใกล้เคียงกับความต้องการน้ำในพื้นที่ รวมทั้งเสนอแนะให้ใช้ค่าอัตราส่วนน้ำชลประทานจัดสรร (Allocation Requirement Ratio) เป็นแฟกเตอร์ปรับลดปริมาณน้ำที่จะจัดสรรในช่วงฤดูแล้ง รวมทั้งเสนอแนะให้ใช้ฝน CFSV2 มาประเมินเป็นฝนใช้การเพื่อปรับแผนการส่งน้ำรายสัปดาห์

สำหรับกลยุทธ์การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในระดับครัวเรือน ควรมุ่งไปที่การสร้างการรับรู้และปรับพฤติกรรมการใช้น้ำประปา เนื่องจากพบว่าสัดส่วนของปริมาณการใช้น้ำประปาระหว่างกิจกรรมภายในอาคารและนอกอาคารเฉลี่ย 70:30 ส่วนน้ำเพื่อการอุตสาหกรรมควรมุ่งเน้นกลยุทธ์การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในกลุ่มอุตสาหกรรมพลังงาน เนื่องจากมีอัตราการใช้น้ำต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ของการผลิตไฟฟ้าทั้งจากเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติและจากชีวมวลมีค่ามากกว่าอัตราการใช้น้ำจากงานวิจัยที่ผ่านมา แสดงให้เห็นว่ากลุ่มอุตสาหกรรมดังกล่าวยังมีช่องว่างในการพัฒนาเทคโนโลยีในการประหยัดน้ำ ซึ่งนอกจากจะช่วยลดปริมาณการใช้ทรัพยากรน้ำแล้ว ยังเป็นผลดีต่อโรงงานอุตสาหกรรมในการลดต้นทุนในการผลิตอีกด้วย

ความเชื่อมโยงงานวิจัยในแผนงานวิจัยเข็มมุ่ง

โครงการวิจัยนี้ สามารถตอบวัตถุประสงค์ตามเป้าหมายของแผนงานวิจัยเข็มมุ่ง “ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายแก่ภาครัฐในการจัดทำแนวทางเลือกที่เหมาะสมในการปรับเปลี่ยนการบริหารจัดการน้ำด้านความต้องการน้ำ (demand-side water management) โดยสามารถลดความต้องการใช้น้ำได้ประมาณ 15%” โดยในงานวิจัยนี้ได้ประเมินค่าฐาน (baseline) ด้านปริมาณความต้องการน้ำพืชโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ซึ่งสามารถนำไปเชื่อมโยงกับโครงการ *“กลยุทธ์การปรับเปลี่ยนแนวทางการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำสำหรับพัฒนาการบริหารจัดการน้ำต้นทุนในระยะยาวของเขื่อนภูมิพล (ระยะที่ 1)”* เพื่อใช้ประกอบการวางแผนจัดสรรน้ำ (water allocation planning) ที่ยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพมากขึ้นและสอดคล้องกับความเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมการเพาะปลูก สำหรับในงานวิจัยระยะถัดไปจะสามารถเชื่อมโยงข้อมูลการพยากรณ์ฝนจากโครงการวิจัย *“การพัฒนาระบบคาดการณ์ปริมาณฝนรายสองสัปดาห์เพื่อการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา”* ซึ่งจะสามารถปรับเปลี่ยนความต้องการน้ำให้สอดคล้องกับสภาพลมฟ้าอากาศและประกอบการดำเนินงาน (operation) ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

อย่างไรก็ตามการประเมินปริมาณความต้องการน้ำชลประทานในงานวิจัยระยะที่ 1 นี้อาจมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเกษตรกรในพื้นที่ชลประทานมีการใช้แหล่งน้ำอื่น อาทิ น้ำระบาย (return flow) น้ำท่าที่เพิ่มจากธรรมชาติ (side flow) รวมทั้งน้ำใต้ดิน (groundwater) ซึ่งในงานวิจัยระยะถัดไปควรมีเชื่อมโยงผลการศึกษาจากงานวิจัยจาก *“โครงการศึกษาและประเมินปริมาณน้ำต้นทุน (น้ำท่า น้ำผิวดิน และน้ำบาดาล) ในพื้นที่ลุ่มเจ้าพระยาตอนล่าง”* และ *“โครงการพัฒนาระบบการจัดการน้ำบาดาล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระบบการบริหารจัดการน้ำร่วมกับน้ำผิวดิน”* เพื่อให้ผลการประเมินความต้องการน้ำชลประทานมีความสอดคล้องกับสภาพการใช้น้ำจริงในแต่ละพื้นที่มากขึ้น

นอกจากนี้ ในประเด็นการลดความต้องการใช้น้ำในภาคส่วนชุมชนและอุตสาหกรรม งานวิจัยนี้ได้ชี้ให้เห็นถึงจุดที่ต้องพัฒนากลยุทธ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในภาคส่วนชุมชนและภาคอุตสาหกรรมในพื้นที่ศึกษา อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาวิจัยอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้แนวทางปฏิบัติที่ดีหรือเครื่องมือที่นำไปสู่การใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพในภาคส่วนชุมชนและประเภทอุตสาหกรรมนำร่องในพื้นที่ศึกษาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

Allen R. G., Pereira L. S., Howell T. A., and Jensen M. E. (2011). Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. *Agricultural Water Management*, *98*(6), 899–920. http://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.12.015

Allen R. G., Pereira L. S., Smith M., Raes D., and Wright J. L. (2005). FAO-56 dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, *131*(1), 2–13. http://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2005)131:1(2)

Aschonitis V., Diamantopoulou M., and Papamichail D. (2018). Modeling plant density and ponding water effects on flooded rice evapotranspiration and crop coefficients: critical discussion about the concepts used in current methods. *Theoretical and Applied Climatology*, *132*(3–4), 1165–1186. http://doi.org/10.1007/s00704-017-2164-z

Bastiaanssen W. G. M., Menenti M., Feddes R. A., and Holtslag A. A. M. (1998). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. *Journal of Hydrology*, *212–213*, 198–212. http://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0022-1694(98)00253-4

Belmonte A. C., Jochum A. M., García A. C., Rodríguez A. M., and Fuster P. L. (2005). Irrigation management from space: Towards user-friendly products. *Irrigation and Drainage Systems*, *19*(3–4), 337–353. http://doi.org/10.1007/s10795-005-5197-x

Boschetti M., Nutini F., Manfron G., Brivio P. A., and Nelson A. (2014). Comparative analysis of normalised difference spectral indices derived from MODIS for detecting surface water in flooded rice cropping systems. *PLoS ONE*, *9*(2), e88741. http://doi.org/10.1371/journal.pone.0088741

Campos I., Neale C. M. U., Calera A., Balbontín C., and González-Piqueras J. (2010). Assessing satellite-based basal crop coefficients for irrigated grapes (Vitis vinifera L.). *Agricultural Water Management*, *98*(1), 45–54. http://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.07.011

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. http://doi.org/10.1016/j.rse.2004.03.014

Choudhury B. U., and Singh A. K. (2016). Estimation of crop coefficient of irrigated transplanted puddled rice by field scale water balance in the semi-arid Indo-Gangetic Plains, India. *Agricultural Water Management*, *176*, 142–150. http://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.05.027

Gao B. C. (1996). NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, *58*(3), 257–266. http://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3

Gerbens-Leenes P. W., Hoekstra A. Y., and van der Meer T. (2009). The water footprint of energy from biomass: A quantitative assessment and consequences of an increasing share of bio-energy in energy supply. *Ecological Economics*, *68*(4), 1052–1060. http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.07.013

Glenn E. P., Neale C. M. U., Hunsaker D. J., and Nagler P. L. (2011). Vegetation index-based crop coefficients to estimate evapotranspiration by remote sensing in agricultural and natural ecosystems. *Hydrological Processes*, *25*(26), 4050–4062. http://doi.org/doi:10.1002/hyp.8392

Gómez C., White J. C., and Wulder M. A. (2016). Optical remotely sensed time series data for land cover classification: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *116*, 55–72. http://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.03.008

Gontia N. K., and Tiwari K. N. (2010). Estimation of crop coefficient and evapotranspiration of wheat (Triticum aestivum) in an irrigation command using remote sensing and GIS. *Water Resources Management*, *24*(7), 1399–1414. http://doi.org/10.1007/s11269-009-9505-3

He K., Zhang X., Ren S., and Sun J. (2016). Deep residual learning for image recognition. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, *2016-Decem*, 770–778. http://doi.org/10.1109/CVPR.2016.90

Helber P., Bischke B., Dengel A., and Borth D. (2019). Eurosat: A novel dataset and deep learning benchmark for land use and land cover classification. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, *12*(7), 2217–2226. http://doi.org/10.1109/JSTARS.2019.2918242

Hunsaker D. J., Pinter P. J., and Kimball B. A. (2005). Wheat basal crop coefficients determined by normalized difference vegetation index. *Irrigation Science*, *24*(1), 1–14. http://doi.org/10.1007/s00271-005-0001-0

Immitzer M., Vuolo F., and Atzberger C. (2016). First experience with Sentinel-2 data for crop and tree species classifications in central Europe. *Remote Sensing*, *8*(3). http://doi.org/10.3390/rs8030166

Jeong S. J., Ho C. H., Gim H. J., and Brown M. E. (2011). Phenology shifts at start vs. end of growing season in temperate vegetation over the Northern Hemisphere for the period 1982-2008. *Global Change Biology*, *17*(7), 2385–2399. http://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02397.x

Kamble B., Kilic A., and Hubbard K. (2013). Estimating crop coefficients using remote sensing-based vegetation index. *Remote Sensing*, *5*(4), 1588–1602. http://doi.org/10.3390/rs5041588

Kussul N., Lavreniuk M., Skakun S., and Shelestov A. (2017). Deep Learning Classification of Land Cover and Crop Types Using Remote Sensing Data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, *14*(5), 778–782. http://doi.org/10.1109/LGRS.2017.2681128

Li J., and Roy D. P. (2017). A global analysis of Sentinel-2a, Sentinel-2b and Landsat-8 data revisit intervals and implications for terrestrial monitoring. *Remote Sensing*, *9*(9). http://doi.org/10.3390/rs9090902

Libardi L. G. P., de Faria R. T., Dalri A. B., de Souza Rolim G., Palaretti L. F., Coelho A. P., and Martins I. P. (2019). Evapotranspiration and crop coefficient (Kc) of pre-sprouted sugarcane plantlets for greenhouse irrigation management. *Agricultural Water Management*, *212*, 306–316. http://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.09.003

Ling F., and Foody G. M. (2019). Super-resolution land cover mapping by deep learning. *Remote Sensing Letters*, *10*(6), 598–606. http://doi.org/10.1080/2150704X.2019.1587196

Liou Y.-A., and Kar S. K. (2014). Evapotranspiration Estimation with Remote Sensing and Various Surface Energy Balance Algorithms—A Review. *Energies* . http://doi.org/10.3390/en7052821

Motohka T., Nasahara K. N., Oguma H., and Tsuchida S. (2010). Applicability of Green-Red Vegetation Index for remote sensing of vegetation phenology. *Remote Sensing*, *2*(10), 2369–2387. http://doi.org/10.3390/rs2102369

Nielsen M. (2020). CHAPTER 6 Deep learning. Retrieved May 24, 2020, from http://neuralnetworksanddeeplearning.com/chap6.html

Pereira L. S., and Alves I. (2013). *Crop Water Requirements*. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Elsevier Inc. http://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.05129-0

Roerink G. J., Su Z., and Menenti M. (2000). S-SEBI: A simple remote sensing algorithm to estimate the surface energy balance. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, *25*(2), 147–157. http://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1464-1909(99)00128-8

Rokni K., Ahmad A., Selamat A., and Hazini S. (2014). Water feature extraction and change detection using multitemporal landsat imagery. *Remote Sensing*, *6*(5), 4173–4189. http://doi.org/10.3390/rs6054173

Rossi S., Rampini A., Bocchi S., and Boschetti M. (2010). Operational monitoring of daily crop water requirements at the regional scale with time series of satellite data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, *136*(4), 225–231. http://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000161

Rouse J. W., Haas R. H., Deering D. W., and Schell J. A. (1973). *Monitoring the vernal advancement of retrogradation (green wave effect) of natural vegetation*. Greenbelt, Marryland: National Aeronautics and Space Administration, Goddard Space Flight Centre (NASA/GSFC).

Rowshon M. K., Amin M. S. M., Hassan S. M. H., Shariff A. R. M., and Lee T. S. (2006). New performance indicators for rice-based irrigation systems. *Paddy and Water Environment*, *4*(2), 71–79. http://doi.org/10.1007/s10333-006-0034-x

Running S. W., Mu Q., Zhao M., and Moreno A. (2019). User's Guide MODIS Global Terrestrial Evapotranspiration (ET) Product (MOD16A2/A3 and Year-end Gap-filled MOD16A2GF/A3GF) NASA Earth Observing System MODIS Land Algorithm (For Collection 6). Retrieved January 20, 2020, from https://modis-land.gsfc.nasa.gov/pdf/MOD16UsersGuideV2.2June2019.pdf

Sayama T., Tatebe Y., Iwami Y., and Tanaka S. (2015). Hydrologic sensitivity of flood runoff and inundation: 2011 Thailand floods in the Chao Phraya River basin. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *15*(7), 1617–1630. http://doi.org/10.5194/nhess-15-1617-2015

Segovia-Cardozo D. A., Rodríguez-Sinobas L., and Zubelzu S. (2019). Water use efficiency of corn among the irrigation districts across the Duero river basin (Spain): Estimation of local crop coefficients by satellite images. *Agricultural Water Management*, *212*, 241–251. http://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.08.042

Shah S. B., and Edling R. J. (2000). Daily Evapotranspiration Prediction from Louisiana Flooded Rice Field. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, *126*(1), 8–13. http://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2000)126:1(8)

Simonyan K., and Zisserman A. (2015). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. In *3rd International Conference on Learning Representations (ICLR 2015)* (pp. 1–14).

Singh P., and Komodakis N. (2018). Cloud-GAN: Cloud removal for sentinel-2 imagery using a cyclic consistent generative adversarial networks. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, *2018-July*, 1772–1775. http://doi.org/10.1109/IGARSS.2018.8519033

Su Z. (2002). The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes. *Hydrology and Earth System Sciences*, *6*(1), 85–100. http://doi.org/10.5194/hess-6-85-2002

Toureiro C., Serralheiro R., Shahidian S., and Sousa A. (2017). Irrigation management with remote sensing: Evaluating irrigation requirement for maize under Mediterranean climate condition. *Agricultural Water Management*, *184*, 211–220. http://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.02.010

Trout T. J., and Johnson L. F. (2007). Estimating crop water use from remotely sensed NDVI, crop models and reference ET. In *USCID Fourth International Conference on Irrigation and Drainage* (pp. 275–285). Sacramento, CA. http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Tyagi N. K., Sharma D. K., and Luthra S. K. (2000). Determination of evapotranspiration and crop coefficients of rice and sunflower with lysimeter. *Agricultural Water Management*, *45*(1), 41–54. http://doi.org/10.1016/S0378-3774(99)00071-2

Weigand M., Staab J., Wurm M., and Taubenböck H. (2020). Spatial and semantic effects of LUCAS samples on fully automated land use/land cover classification in high-resolution Sentinel-2 data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *88*(January), 102065. http://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102065

Xiang M., Yu Q., and Wu W. (2019). From multiple cropping index to multiple cropping frequency: Observing cropland use intensity at a finer scale. *Ecological Indicators*, *101*(January), 892–903. http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.081

Xu J., Lv Y., Ai L., Yang S., He Y., and Dalson T. (2017). Validation of dual-crop coefficient method for calculation of rice evapotranspiration under drying–wetting cycle condition. *Paddy and Water Environment*, *15*(2), 381–393. http://doi.org/10.1007/s10333-016-0556-9

Yoo S. H., Choi J.-Y., and Jang M. W. (2006). Estimation of Paddy Rice Crop Coefficients for Penman-Monteith and FAO Modified Penman Method Written for presentation at the 2006 ASABE Annual International Meeting Sponsored by ASABE. In *ASABE meeting presentation*. Portland, Oregon.

Zeferino L. B., Souza L. F. T. de, Amaral C. H. do, Fernandes Filho E. I., and Oliveira T. S. de. (2020). Does environmental data increase the accuracy of land use and land cover classification? *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *91*(January), 102128. http://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102128

Zhu Y., Liang J., Yang Q., Zhou H., and Peng K. (2019). Water use of a biomass direct-combustion power generation system in China: A combination of life cycle assessment and water footprint analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *115*(September), 109396. http://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109396

Zou Z., Dong J., Menarguez M. A., Xiao X., Qin Y., Doughty R. B., Hooker K. V., and David Hambright K. (2017). Continued decrease of open surface water body area in Oklahoma during 1984–2015. *Science of the Total Environment*, *595*, 451–460. http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.259

Bastiaanssen W. G. M., and Bos M. G. (1999). Irrigation performance indicators based on remotely sensed data : a review of literature. *Irrigation and Drainage Systems*, (13), 291–311.

กรมชลประทาน. 2554. คู่มือการปฏิบัติงาน (Working Manual) เล่มที่ 15/16 คู่มือการคำนวณหาประสิทธิภาพการชลประทาน (Irrigation Efficiency). กรมชลประทาน. กรุงเทพฯ.

กรมชลประทาน. 2554. คู่มือการปฏิบัติงาน (Working Manual) เล่มที่ 6/16 คำนวณฝนใชการ (Effective Rainfall). กรมชลประทาน. กรุงเทพฯ.

กรมชลประทาน. 2558. คู่มือการปฏิบัติงาน ด้านจัดสรรน้ำ เล่มที่ 8: คู่มือการประเมินการใช้น้ำในกิจกรรมต่างๆ. [Online] แหลงที่มา: http://idi.rid.go.th/training/2558/Volume%2008.pdf, 15 มิถุนายน 2562.

กรมทรัพยากรน้ำ. 2549. โครงการจัดทำแผนรวมการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา สะแกกรัง และท่าจีน. รายงานฉบับสุดท้าย (เล่มที่ 2 รายงานหลัก).

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2559. เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม. [Online] แหลงที่มา: http://php.diw.go.th/ctu/files/pdf/ct_industry.pdf, 15 มิถุนายน 2562.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2562. ข้อมูลโรงงานแยกตามพื้นที่. [Online] แหล่งที่มา: http://www2.diw.go.th/factory/tumbol.asp, 10กุมภาพันธ์ 2562.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2563a. ข้อมูลโรงงานในเขตการนิคมแห่งประเทศไทย. [Online] แหล่งที่มา: http://userdb.diw.go.th/factory/ieat.asp, 2 สิงหาคม 2563.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2563b. ค้นหาโรงงานอุตสาหกรรม. [Online] แหล่งที่มา: https://www.diw.go.th/hawk/content.php?mode=data1search, 10 กุมภาพันธ์ 2563.

คณะกรรมการกำหนดนโยบายและการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ. 2558. บทสรุปผู้บริหาร แผนยุทธศาสตร์การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ ปี 2558-2569. [Online] แหลงที่มา: http://www.onwr.go.th/?page_id=368, 20 มิถุนายน 2562.

เจตจินต์ สุทนประภา. 2553. การลดต้นทุนการผลิตของโรงงานผลิตน้ำอัดลมโดยใช้เทคโนโลยีสะอาด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ฉลอง เกิดพิทักษ์. 2538. การจัดการน้ำในลุ่มน้ำของประเทศไทย. ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 59 น.

ชนิษฎา จารุวิชัยพงศ์. 2538. พฤติกรรมการใช้น้ำและการจัดการน้ำทิ้งของครัวเรือนในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย: กรุงเทพฯ.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2540. คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

ธีรภัทร เทพพันธ. 2551. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดในการจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมของโรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่ลุ่มน้ำท่าจีน ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการลุ่มน้ำและสิ่งแวดล้อม), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 116 หนา.

บุญมา ป้านประดิษฐ์. 2546. หลักการชลประทานเบื้องต้น. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ฝ่ายเผยแพร่การใช้น้ำชลประทาน. 2555. ค่าสัมประสิทธิ์พืชโดยวิธี Penman – Monteith (Crop coefficient (Kc) of Penman – Monteith). ส่วนการใช้น้ำชลประทาน สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา.

ภาวดี ทองอุไทย. 2550. เอกสารประกอบคำบรรยาย เศรษฐศาสตร์ทรัพยากรมนุษย์เบื้องต้น ส่วนที่ 2 ประชากรและการพัฒนา. กรุงเทพฯ: คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

มิ่งสรรพ์ ขาวสอาด. 2544. แนวนโยบายการจัดการน้ำสำหรับประเทศไทย. สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย. กรุงเทพฯ.

ศุทธินี ดนตรี. 2543. ความรู้พื้นฐานด้านการสำรวจระยะไกล. เอกสารประกอบการสอน ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. 2561. โครงการศึกษาและแนวทางการบริหารจัดการน้ำสำหรับภาคอุตสาหกรรมแบบบูรณาการและมีส่วนร่วม.

สำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. 2562. ผลิตภัณฑ์ภาคและจังหวัด แบบปริมาณลูกโซ่ ฉบับ พ.ศ. 2561.

สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดกำแพงเพชร. 2562. รายงานความเคลื่อนไหวการลงทุนด้านอุตสาหกรรมของจังหวัดกำแพงเพชร ประจำเดือนมีนาคม พ.ศ. 2562.

สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดนครสวรรค์. 2562. รายงานความเคลื่อนไหวการลงทุนด้านอุตสาหกรรมของจังหวัดนครสวรรค์ ประจำเดือนเมษายน พ.ศ. 2562.

สุจริต คูณธนกุลวงศ์. 2549. สถานการณ์การใช้น้ำของประเทศไทย. คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สรศักดิ์ ทรงศิริพันธุ์ และวราวุธ วุฒิวณิชย์. 2535. การศึกษาการใช้น้ำเตรียมแปลงสำหรับการปลูกข้าวในฤดูแล้งของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาดงเศรษฐี. วิศวกรรมสาร มก. 6(16), 40-50.

อธิตา อัจฉริยานุกูล. 2553. การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคโนโลยีสะอาดในโรงงานผลิตน้ำบริโภคบรรจุขวด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

อรนุช ใจดี. 2552. ปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการใช้น้ำประปาของครัวเรือนในเขตเทศบาลเมืองหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์, เชียงใหม่: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย. 2548. การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยวิธีการสำรวจระยะไกลกรณีศึกษาพื้นที่ราบภาคกลาง. วิทยาสารกำแพงแสน. 3(3): 44-53.

เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย. 2552. การใชน้ำของพืช ทฤษฎีและการประยุกต์ (Crop Evapotranspiration Theory and Applications). ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม.

ภาคผนวก ก. แบบสอบถามสำหรับเก็บข้อมูลการใช้น้ำในภาคชุมชน

แบบสอบถามข้อมูลการใช้น้ำและการรับรู้ของประชาชนผู้ใช้น้ำต่อการจัดการทรัพยากรน้ำ
ภายใต้โครงการวิจัย
“การประเมินปริมาณความต้องการน้ำในพื้นที่ราบภาคกลาง (ระยะที่ 1)”
ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

คำชี้แจง :

(1) แบบประเมินนี้จัดทำขึ้นสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไป ความรู้ความเข้าใจในเบื้องต้น การรับรู้ต่อประเด็นด้านทรัพยากรน้ำและพฤติกรรมการใช้น้ำของผู้ใช้น้ำประเภทมิเตอร์ใช้น้ำที่ 1

(2) แบบสอบถามชุดนี้ประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1: ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ส่วนที่ 2 : การรับรู้ต่อประเด็นต่าง ๆ ด้านการจัดการทรัพยากรน้ำและพฤติกรรมการใช้น้ำ

ส่วนที่ 3 : ข้อคิดเห็นเพิ่มเติม (ถ้ามี)

(3) กรุณากรอกข้อมูลตามความเป็นจริงในช่องว่างที่กำหนดให้

(4) โปรดทำเครื่องหมาย ☑ ในช่องที่ตรงกับความเป็นจริง

จึงเรียนมาเพื่อใคร่ขอความอนุเคราะห์ข้อมูล และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่ท่านกรุณาสละเวลาในการตอบแบบสอบถามไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

.....

(อ.ดร.ชูพันธุ์ ชมภูจันทร์)
หัวหน้าโครงการวิจัย
081-7652503

ส่วนที่ 1: ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

1.1 ชื่อผู้ให้ข้อมูล.....

1.2 ที่อยู่ ถนน.....ตำบล.....อำเภอ.....จังหวัด.....

1.3 แหล่งน้ำใช้ (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

☐ น้ำประปา ☐ น้ำบาดาล ☐ น้ำบ่อตื้น ☐ อื่นๆ.....

หากใช้น้ำมากกว่าหนึ่งแหล่ง ท่านใช้น้ำแต่ละแหล่งเป็นสัดส่วน (ประมาณการร้อยละ) เท่าใด

(ระบุ) น้ำประปา.....%

น้ำบาดาล.....%

น้ำบ่อตื้น.....%

อื่นๆ .....

1.4 โทรศัพท์.....

1.5 อายุ.....ปี

1.6 เพศ [ ] ชาย [ ] หญิง

1.7 อาชีพ

☐ รับราชการ ☐ ทำงานหน่วยงานเอกชน ☐ เกษตรกรรม ☐ ค้าขาย

☐ อื่นๆ (ระบุ).....

1.8 รายได้เฉลี่ยของครัวเรือนต่อเดือน

☐ < 6,000 บาท ☐ >6,000-15,000 บาท ☐ >15,000-30,000 บาท ☐ >30,000-50,000 บาท

☐ > 50,000 บาท

1.9 จำนวนสมาชิกที่อาศัยในครัวเรือน.....คน (หากมีผู้เช่าห้อง.....คน)

1.10 อัตราการใช้น้ำเฉลี่ยต่อเดือน.....ลบ.ม./เดือน หรือ.....บาท/เดือน

ค่าน้ำหน่วยละ.....บาท

1.11 ท่านใช้น้ำเพื่อกิจกรรมภายในและภายนอกอาคาร เป็นสัดส่วนเท่าใด

- ภายในอาคาร (อาบน้ำ ล้างจาน เครื่องกรองน้ำ สุขภัณฑ์ ประกอบอาหาร ฯลฯ) ร้อยละ.....
- ภายนอกอาคาร (ล้างรถ รดน้ำต้นไม้ เลี้ยงปลาฯลฯ) ร้อยละ.....

ส่วนที่ 2: การรับรู้ต่อประเด็นการจัดการทรัพยากรน้ำและพฤติกรรมการใช้น้ำในครัวเรือน

ตามความคิดเห็นของท่าน ท่านเห็นด้วยกับประเด็นต่อไปนี้หรือไม่ อย่างไร

5 เห็นด้วยที่สุด 4 เห็นด้วย 3 ค่อนข้างเห็นด้วย 2 ไม่เห็นด้วย 1 ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง

ข้อ	รหัส	คำถาม	คำอธิบาย/หมายเหตุ
1	101	ท่านเห็นว่า**ภาครัฐจัดหา** สร้าง หรือ เพิ่มความจุของ**แหล่งน้ำ** สำหรับให้บริการแก่ประชาชนได้**อย่างเพียงพอ** 5 4 3 2 1	
2	102	ท่านเห็นว่าการจัดหา สร้าง หรือ เพิ่มความจุของแหล่งน้ำนั้น ได้**คำนึงถึงความต้องการใช้น้ำ** ทั้งในเขตเมืองและนอกเมือง**อย่างเท่าเทียม** 5 4 3 2 1	
3	103	ท่านคิดว่าพื้นที่ที่ท่านอาศัยอยู่เป็นพื้นที่ที่**ต้องการการบริหารจัดการน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ** อย่างเข้มข้น 5 4 3 2 1	
4	104	**คุณภาพน้ำ**ในทางน้ำชลประทานและแหล่งน้ำธรรมชาติ (อ่างเก็บน้ำ คลอง/คูระบายน้ำ) **ในพื้นที่ของท่านมีคุณภาพดี** 5 4 3 2 1	
5	105	ทางน้ำชลประทานและ**แหล่งน้ำ**ธรรมชาติ (อ่างเก็บน้ำ คลอง/คูระบายน้ำ) ในพื้นที่ของท่าน**ได้รับการดูแลอย่างดี** 5 4 3 2 1	
6	106	ประชาชนในพื้นที่ที่ท่านอยู่อาศัย**มีส่วนร่วมในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ** ร่วมกับภาคส่วนอื่นๆ เช่น มีการประชุมวางแผนจัดการน้ำ ร่วมกันดูแลแหล่งน้ำ เป็นต้น 5 4 3 2 1	
7	107	ท่านเห็นว่าพื้นที่ของท่านมีความเปราะบาง (**ความเสี่ยง**) ด้านน้ำ (**ภัยแล้ง ภัยน้ำท่วม**) เนื่อง**จากสภาพภูมิประเทศ** (เป็นที่ลุ่ม เป็นทางน้ำ เป็นต้น) 5 4 3 2 1	
8	108	ท่านเห็นว่าพื้นที่ของท่านมีความเปราะบาง (**ความเสี่ยง**) ด้านน้ำ (**ภัยแล้ง ภัยน้ำท่วม**) เนื่อง**จากสภาพทางสังคม** (จำนวนประชากร ผังเมือง สร้างถนน ถมทางน้ำ) 5 4 3 2 1	
9	109	ท่านเห็นว่าพื้นที่ของท่าน**ควรมีพื้นที่ที่จัดสรร**ไว้รองรับน้ำ (ฤดูน้ำมาก/ป้องกัน**น้ำท่วม**) 5 4 3 2 1	
10	110	ท่านคิดว่าพื้นที่ของท่าน**มีแหล่งรองรับน้ำ**เพื่อกักเก็บน้ำฝนได้อย่าง**มีประสิทธิภาพ** 5 4 3 2 1	

ข้อ	รหัส	คำถาม	คำอธิบาย/หมายเหตุ
11	111	ท่านคิดว่าในพื้นที่**ควรมีการหาแหล่งสำรองน้ำดิบเพิ่มเติม**สำหรับรองรับการส่งน้ำดิบที่มาจากแหล่งน้ำดิบอื่น เพื่อนำมาผลิตน้ำประปาให้บริการประชาชนซึ่งน่าจะมีความคุ้มค่ากว่าการส่งน้ำประปาจากแหล่งผลิตประปาระยะไกล 5 4 3 2 1	
12	112	ท่านคิดว่าจังหวัดของท่าน**มีการบริหารจัดการน้ำให้ครอบคลุมทุกพื้นที่** 5 4 3 2 1	
13	113	ท่านเห็นว่ามีความจำเป็นที่ต้องเก็บกักรักษาปริมาณน้ำในแหล่งน้ำไว้ส่วนหนึ่ง ไม่ควรสูบใช้ทั้งหมด เพื่อ**รักษาสมดุลทางด้านระบบนิเวศ** 5 4 3 2 1	
14	201	ท่านเห็นว่าผู้ให้บริการ**น้ำประปา**สามารถจัดการ**บริการได้อย่างมีประสิทธิภาพ** 5 4 3 2 1	
15	202	ท่านเห็นว่า**น้ำสูญเสียในระบบท่อประปา**เป็นประเด็นสำคัญที่ต้องได้รับ**การจัดการเร่งด่วน** 5 4 3 2 1	
16	203	ท่านเห็นว่าพื้นที่ที่ท่านอาศัย**มีปัญหาเรื่องน้ำประปา (ปริมาณ/แรงดัน)** 5 4 3 2 1	
17	204	ท่านเห็นว่าพื้นที่ที่ท่านอาศัย**มีปัญหาเรื่องคุณภาพน้ำประปา (สี/กลิ่น/ขุ่น)** 5 4 3 2 1	
18	205	พื้นที่ของท่านมีการ**หยุดจ่ายน้ำบ่อยครั้ง** 5 4 3 2 1	
19	206	ประชาชน**ในพื้นที่**ของท่านมีการรวมตัว/**ร่วมมือกันภายในชุมชนเพื่อแก้ไขปัญหาน้ำ** 5 4 3 2 1	
20	207	ประชาชน**ต่างพื้นที่**ในจังหวัดของท่านมีการรวมตัว/**ร่วมมือกันเพื่อการบริหารจัดการน้ำ** (ต่างตำบล ต่างอำเภอ ต่างจังหวัด หรือระดับภูมิภาค) 5 4 3 2 1	
21	208	ท่าน**เข้าถึงข้อมูล**เกี่ยวกับ**การใช้น้ำ**ในระดับพื้นที่ 5 4 3 2 1	
22	209	ท่าน**เชื่อมั่น**ในความสะอาด ได้มาตรฐาน**สุขอนามัยของน้ำประปา** 5 4 3 2 1	
23	210	ท่าน**รับรู้และเข้าใจ**เกี่ยวกับ**แผนบริหารจัดการด้านทรัพยากรน้ำ**ในพื้นที่ 5 4 3 2 1	
24	211	ประชาชนในพื้นที่ของท่าน**เข้าถึงน้ำสะอาดเพื่อการอุปโภคบริโภค**ได้ทั่วถึง 5 4 3 2 1	
25	212	ท่านมีความ**พึงพอใจ**ต่อการบริการของ**ผู้ให้บริการน้ำประปา**ในพื้นที่ 5 4 3 2 1	

ข้อ	รหัส	คำถาม	คำอธิบาย/หมายเหตุ
26	213	ท่านเห็นว่า**หน่วยงานต่างๆ มีความร่วมมือ**กันอย่างดีในการบริหารจัดการและ**แก้ไขปัญหาเรื่องน้ำ**ในพื้นที่ 5 4 3 2 1	
27	301	ท่านเห็นว่าอัตราการจัดเก็บ**ค่าน้ำ**ประปาต่อหน่วยมีความ**เหมาะสม** 5 4 3 2 1	
28	302	ท่านเห็นว่าทรัพยากรน้ำในปัจจุบันมีความเปราะบางอย่างยิ่งต่อการเกิด**วิกฤต**ในรูปแบบต่างๆ (**ความเป็นพิษ ความขาดแคลน** เป็นต้น) 5 4 3 2 1	
29	303	ท่าน**มีน้ำใช้**เพื่อการอุปโภคบริโภค**เพียงพอตลอดทั้งปี** 5 4 3 2 1	
30	304	ท่านคิดว่าครอบครัวของท่าน**ใช้น้ำอย่างประหยัด** 5 4 3 2 1	
31	305	ท่าน**ยินดีให้ความร่วมมือ**เกี่ยวกับการรณรงค์เรื่อง**ประหยัดน้ำ**อย่างเต็มที่ทุกกรณี 5 4 3 2 1	
32	306	ท่าน**ยินดีเปลี่ยนมาใช้อุปกรณ์ประหยัดน้ำ**ในครัวเรือน เช่น ก๊อกประหยัดน้ำ สุขภัณฑ์ประหยัดน้ำ 5 4 3 2 1	
33	307	ท่านคิดว่าการหมุนเวียนน้ำมาใช้ใหม่เป็นหลักการที่**ยอมรับได้** (นำน้ำเสียครัวเรือนที่ผ่านการ**บำบัดมาใช้ใหม่**) 5 4 3 2 1	
34	308	ท่านคิดว่าสามารถนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมาผสมกับน้ำประปาเพื่อ**ลดภาระของการจัดหาน้ำดิบ**ประปาได้ร้อยละเท่าใด ร้อยละ 75-100 ร้อยละ 50-75 ร้อยละ 25-50 ร้อยละ 1-25 ร้อยละ 0	
35	309	ท่านมีการ**ตรวจสอบ**และซ่อมแซมรอยรั่วที่ทำให้**สูญเสียน้ำในบ้าน**อย่างสม่ำเสมอ 5 4 3 2 1	
36	310	ท่านเห็นว่าการสร้าง**ข้อตกลงเรื่องการประหยัดน้ำ**ระหว่างสมาชิกในครัวเรือนเป็นสิ่งจำเป็น 5 4 3 2 1	
37	311	ท่าน**กังวลต่อปัญหาขาดแคลนน้ำ**ที่อาจเกิดขึ้นหรือทวีความรุนแรงขึ้น**ในอนาคต** 5 4 3 2 1	
38	312	ท่านเข้าใจดีว่าอัตราการจัดเก็บ**ค่าน้ำประปามีราคาถูกกว่าความเป็นจริง** 5 4 3 2 1	
39	313	ท่านเห็นว่า**การประหยัดน้ำ**หรือการใช้น้ำอย่างรู้คุณค่า**เป็นหน้าที่ของทุกคน** 5 4 3 2 1	

ขอให้ท่านประมาณการว่า**ประชาชนในจังหวัดของท่านใช้น้ำคนละกี่ลิตรต่อคนต่อวัน**
(รวมทุกกิจกรรม และเฉลี่ยรวมถึงนักท่องเที่ยว เกษตรกรรม อุตสาหกรรม ด้วย)

.....

ท่านคิดว่า การประหยัดน้ำวิธีใดที่มีประสิทธิภาพที่สุดที่จะ**ทำให้บ้านของท่านลดการใช้น้ำได้**
(บอกได้มากกว่า 1 วิธี)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ท่านคิดว่า การประหยัดน้ำวิธีใดเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพที่สุดสำหรับ**ครัวเรือนไทยในภาพรวม ที่จะทำให้ประเทศไทยสามารถลดการใช้น้ำได้** (บอกได้มากกว่า 1 วิธี)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ภาคผนวก ข. แบบสอบถามสำหรับเก็บข้อมูลการใช้น้ำในโรงงานอุตสาหกรรม

แบบสอบถามเก็บข้อมูลการใช้ทรัพยากร การใช้น้ำ และของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์
ภายใต้โครงการวิจัย "การประเมินปริมาณความต้องการน้ำในพื้นที่ราบภาคกลาง (ระยะที่ 1)"
ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

วัตถุประสงค์: เพื่อศึกษาหาค่าฐาน (baseline) ของความต้องการใช้น้ำในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม สำหรับเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในการผลิตซึ่งจะนำไปสู่การจัดทำค่าเทียบมาตรฐาน (benchmark)

แบบสอบถามประกอบไปด้วย 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 : ข้อมูลการใช้ทรัพยากร ของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ของโรงงาน
ส่วนที่ 2 : ข้อมูลระบบบำบัดน้ำเสีย
ส่วนที่ 3 : ข้อมูลคุณภาพน้ำ

หมายเหตุ : ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามนี้จะใช้เฉพาะในงานวิจัยเท่านั้น
จะไม่มีการนำข้อมูลและชื่อขององค์กร/โรงงานไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากองค์กร/โรงงานก่อน

จึงเรียนมาเพื่อใคร่ขอความอนุเคราะห์ข้อมูล และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่ท่านกรุณาสละเวลาในการตอบแบบสอบถามไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

.....

(อ.ดร.ชูพันธุ์ ชมภูจันทร์)
หัวหน้าโครงการวิจัย
081-7652503

หากท่านต้องการไฟล์สำหรับกรอกข้อมูลแบบสอบถาม
กรุณาใช้ QR Code ต่อไปนี้
สำหรับ Download ไฟล์แบบสอบถาม
หรือ URL ต่อไปนี้ https://bit.ly/2YDYwkZ

ชื่อองค์กร/โรงงาน : .....

ผู้ให้ข้อมูล : .....

ตำแหน่ง : .....

เบอร์โทรศัพท์ : .....

อีเมล์ : .....

ข้อมูลที่ต้องการจากโรงงาน

ชนิดข้อมูล	รายละเอียดของข้อมูล	หน่วย	ระยะเวลา	หมายเหตุ
1. ข้อมูลวัตถุดิบ	- ปริมาณ.....(วัตถุดิบหลัก) - ปริมาณ.....(วัตถุดิบรอง)	ตัน/ปี ตัน/ปี	1 ปี 1 ปี	
2. ข้อมูลผลิตภัณฑ์	- ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้.....	ตัน/ปี	1 ปี	
3. ข้อมูลวัสดุเศษเหลือและของเสียที่เกิดขึ้น	- ปริมาณวัสดุเศษเหลือ/ของเสีย.....	ตัน/ปี ลบ.ม/ปี	1 ปี 1 ปี	
4. ข้อมูลการใช้น้ำ	- แหล่งน้ำ..... - ปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต.....	 ลบ.ม/ปี	 1 ปี	
5. ข้อมูลการบำบัดน้ำเสีย	- อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบ..... - ปริมาณน้ำทิ้งสุดท้ายออกจากโรงงาน..... - สัดส่วนการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่.....	ลบ.ม/เดือน ลบ.ม/เดือน %	1 ปี 1 ปี 1 ปี	
6.ข้อมูลคุณภาพน้ำ	- ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำของโรงงาน ได้แก่ น้ำดิบที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิต น้ำเสียก่อนบำบัด และน้ำทิ้ง	mg/l		

ส่วนที่ 1 : ข้อมูลการใช้ทรัพยากร ของเสียที่เกิดขึ้น ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ของโรงงาน ปี 2562

1. ข้อมูลวัตถุดิบ

ตารางที่ 1-1 ข้อมูลปริมาณวัตถุดิบ ปี 2562

เดือน	.....		.....		.....		หมายเหตุ
	ปริมาณ (ตัน)	ราคาเฉลี่ย (บาท)	ปริมาณ (ตัน)	ราคาเฉลี่ย (บาท)	ปริมาณ (ตัน)	ราคาเฉลี่ย (บาท)	
มกราคม							
กุมภาพันธ์							
มีนาคม							
เมษายน							
พฤษภาคม							
มิถุนายน							
กรกฎาคม							
สิงหาคม							
กันยายน							
ตุลาคม							
พฤศจิกายน							
ธันวาคม							
รวม							
เฉลี่ย							

2. ข้อมูลผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 1-2 ข้อมูลปริมาณผลิตภัณฑ์ ปี 2562

เดือน	.....		.....		.....	หมายเหตุ
	ปริมาณ (ตัน)	ราคาเฉลี่ย (บาท)	ปริมาณ (ตัน)	ราคาเฉลี่ย (บาท)		
มกราคม						
กุมภาพันธ์						
มีนาคม						
เมษายน						
พฤษภาคม						
มิถุนายน						
กรกฎาคม						
สิงหาคม						
กันยายน						
ตุลาคม						
พฤศจิกายน						
ธันวาคม						
รวม						
เฉลี่ย						

หมายเหตุ: **ชั่วโมงในการผลิตต่อวัน..... ประกอบการสัปดาห์ละ.....วัน**

3. ข้อมูลวัสดุเศษเหลือ และ ของเสียที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 1-3 ข้อมูลปริมาณวัสดุเศษเหลือและของเสียที่เกิดขึ้น ปี 2562

เดือน	.....		.....		หมายเหตุ
	..... (ตัน)	น้ำเสีย (ลบ.ม)	..... (ตัน)	น้ำเสีย (ลบ.ม)	
มกราคม					
กุมภาพันธ์					
มีนาคม					
เมษายน					
พฤษภาคม					
มิถุนายน					
กรกฎาคม					
สิงหาคม					
กันยายน					
ตุลาคม					
พฤศจิกายน					
ธันวาคม					
รวม					
เฉลี่ย					

4. ข้อมูลการใช้น้ำ

ตารางที่ 1-4 ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำ ปี 2562

เดือน	กระบวนการผลิต.....			กระบวนการผลิต.....			หมายเหตุ
	น้ำประปา (ลบ.ม.)	น้ำบาดาล (ลบ.ม.)	น้ำหมุนเวียน (ลบ.ม.)	น้ำประปา (ลบ.ม.)	น้ำบาดาล (ลบ.ม.)	น้ำหมุนเวียน (ลบ.ม.)	
มกราคม							
กุมภาพันธ์							
มีนาคม							
เมษายน							
พฤษภาคม							
มิถุนายน							
กรกฎาคม							
สิงหาคม							
กันยายน							
ตุลาคม							
พฤศจิกายน							
ธันวาคม							
รวม							
เฉลี่ย							

ตารางที่ 1-5 ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต ปี 2562

เดือน	กระบวนการผลิต.....				กระบวนการผลิต.....				หมายเหตุ
	..... (ลบ.ม.)	ทำความสะอาด ..... (ลบ.ม.)	..... (ลบ.ม.)	..... (ลบ.ม.)	ทำความสะอาดวัตถุดิบ (ลบ.ม.)	..... (ลบ.ม.)	..... (ลบ.ม.)	..... (ลบ.ม.)	
มกราคม									
กุมภาพันธ์									
มีนาคม									
เมษายน									
พฤษภาคม									
มิถุนายน									
กรกฎาคม									
สิงหาคม									
กันยายน									
ตุลาคม									
พฤศจิกายน									
ธันวาคม									
รวม									
เฉลี่ย									

ส่วนที่ 2 : ข้อมูลระบบบำบัดน้ำเสีย

1. ปริมาณน้ำเสียจากกระบวนการผลิตและน้ำทิ้ง

ตารางที่ 2-1 ข้อมูลปริมาณน้ำเสียและน้ำทิ้ง ปี 2562

เดือน	ปริมาณน้ำเสียจากกระบวนการผลิต (ลบ.ม)		ปริมาณน้ำทิ้งสุดท้าย (ลบ.ม)		แหล่งรองรับน้ำทิ้ง	หมายเหตุ
	.....	.....	.....	.....		
มกราคม						
กุมภาพันธ์						
มีนาคม						
เมษายน						
พฤษภาคม						
มิถุนายน						
กรกฎาคม						
สิงหาคม						
กันยายน						
ตุลาคม						
พฤศจิกายน						
ธันวาคม						
รวม						
เฉลี่ย						

2.สารเคมีที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย

ตารางที่ 2-2 ข้อมูลปริมาณการใช้สารเคมีในระบบบำบัดน้ำเสีย ปี 2562

เดือน	สารเคมี ตัวที่ 1 ระบุ.....	สารเคมี ตัวที่ 2 ระบุ.....	สารเคมี ตัวที่ 3 ระบุ.....	สารเคมี ตัวที่ 4 ระบุ.....	หมายเหตุ
มกราคม					
กุมภาพันธ์					
มีนาคม					
เมษายน					
พฤษภาคม					
มิถุนายน					
กรกฎาคม					
สิงหาคม					
กันยายน					
ตุลาคม					
พฤศจิกายน					
ธันวาคม					
รวม					
เฉลี่ย					

ส่วนที่ 3 : ข้อมูลคุณภาพน้ำ

1. คุณภาพน้ำดิบที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิต

ตารางที่ 3-1 ข้อมูลคุณภาพน้ำดิบที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิต

เดือน	pH	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	TKN (mg/l)	TP (mg/l)	SO_4^{2-} (mg/l)	NH_3 (mg/l)	หมายเหตุ
มกราคม									
กุมภาพันธ์									
มีนาคม									
เมษายน									
พฤษภาคม									
มิถุนายน									
กรกฎาคม									
สิงหาคม									
กันยายน									
ตุลาคม									
พฤศจิกายน									
ธันวาคม									
เฉลี่ย									

2. คุณภาพน้ำเสียจากกระบวนการผลิต (ก่อนเข้าระบบบำบัด)

ตารางที่ 3-2 ข้อมูลคุณภาพน้ำเสียจากกระบวนการผลิต (น้ำเสียก่อนเข้าระบบ)

เดือน	pH	BOD (mg/l)	(mg/l)	SS (mg/l)	TKN (mg/l)	TP (mg/l)	SO_4^{2-} (mg/l)	NH_3 (mg/l)	หมายเหตุ
มกราคม									
กุมภาพันธ์									
มีนาคม									
เมษายน									
พฤษภาคม									
มิถุนายน									
กรกฎาคม									
สิงหาคม									
กันยายน									
ตุลาคม									
พฤศจิกายน									
ธันวาคม									
เฉลี่ย									

3.คุณภาพน้ำทิ้ง (หลังบำบัด)

ตารางที่ 3-3 ข้อมูลคุณภาพน้ำทิ้ง (หลังบำบัด)

เดือน	pH	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	TKN (mg/l)	TP (mg/l)	SO_4^{2-} (mg/l)	NH_3 (mg/l)	หมายเหตุ
มกราคม									
กุมภาพันธ์									
มีนาคม									
เมษายน									
พฤษภาคม									
มิถุนายน									
กรกฎาคม									
สิงหาคม									
กันยายน									
ตุลาคม									
พฤศจิกายน									
ธันวาคม									
เฉลี่ย									

ภาคผนวก ค. อัตราการใช้น้ำของโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป

ประเภทโรงงานหลัก	ประเภทหรือชนิดของโรงงาน	ปริมาณการใช้น้ำ (ลบ.ม./วัน/แรงม้า) [เดิม]	ปริมาณการใช้น้ำ (ลบ.ม./วัน/แรงม้า) [ในงานวิจัยนี้]
001	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับการบ่มใบชาหรือใบยาสูบ	n/a	n/a
002	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับผลิตผลเกษตรกรรมอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.0817	0.0501
003	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับหิน กรวด ทราย หรือดินสำหรับใช้ในการก่อสร้างอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.0909	0.0909
004	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับสัตว์ ซึ่งมิใช่สัตว์น้ำ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.1378	0.8933
005	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับน้ำนมอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.0627	0.0627
006	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับสัตว์น้ำ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.0265	0.0265
007	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับน้ำมัน จากพืชหรือ สัตว์ หรือไขมันจากสัตว์อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.0339	0.0226
008	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับผัก พืช หรือผลไม้อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.0381	0.0381
009	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับ เมล็ดพืช หรือหัวพืชอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.0557	0.0740
010	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับอาหารจากแป้งอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.0620	0.0220
011	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับ น้ำตาล ซึ่งทำจากอ้อย บีช หญ้าหวาน หรือพืชอื่นที่ให้ความหวานอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.0100	0.0256
012	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับชา กาแฟ โกโก้ ช็อกโกเลต หรือขนมหวาน อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.0117	0.0117
013	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับเครื่องปรุงหรือเครื่องประกอบอาหารอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.3188	0.3188
014	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับ การทำน้ำแข็ง หรือ ตัด ซอย บด หรือย่อยน้ำแข็ง	0.0387	0.0387
015	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับ อาหารสัตว์อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.1210	0.0093
016	โรงงานต้ม กลั่น หรือผสมสุรา	0.0037	0.0037
017	โรงงานผลิต เอทิลแอลกอฮอล์ ซึ่งมิใช่ เอทิลแอลกอฮอล์ ที่ผลิตจากกากซัลไฟต์ในการทำเยื่อกระดาษ	0.0037	0.0037
018	โรงงานทำหรือผสมสุราจากผลไม้	0.0714	0.0015
019	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับมอลค์ หรือเบียร์ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.0714	0.0714
020	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับน้ำดื่ม เครื่องดื่มที่ไม่มีแอลกอฮอล์ น้ำอัดลม หรือน้ำแร่ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.0966	0.0966
021	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับยาสูบ ยาอัด ยาเส้น ยาเคี้ยว หรือยานัตถุ์ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.2126	0.2126
022	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับสิ่งทอ ด้าย หรือเส้นใยซึ่งมิใช่ใยหิน (Asbestos) อย่างใดอย่างหนึ่งหรือ หลายอย่าง	0.0957	0.0957
023	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์จากสิ่งทอ ซึ่งมิใช่เครื่องนุ่งห่มอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างดังต่อไปนี้	0.0042	0.0042
024	โรงงานถักผ้า ผ้าลูกไม้ หรือเครื่องนุ่งห่มด้วยด้ายหรือเส้นใย หรือฟอกย้อมสี หรือแต่งสำเร็จผ้า ผ้าลูกไม้ หรือเครื่องนุ่งห่มที่ถักด้วยด้ายหรือเส้นใย	0.1752	0.1052
025	โรงงานผลิตเสื่อหรือพรมด้วยวิธีทอ สาน ถัก หรือผูกให้เป็นปุย ซึ่งมิใช่เสื่อหรือพรมที่ทำด้วยยางหรือพลาสติกหรือพรมน้ำมัน	0.0898	0.0898
026	โรงงานปะกอบกิจการเกี่ยวกับเชือก ตาข่าย แห หรืออวนอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่าง	0.0004	0.0004
027	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ ซึ่งมิใช่ทำด้วยวิธีถัก หรือทออย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่าง	0.0743	0.0743

ประเภทโรงงานหลัก	ประเภทหรือชนิดของโรงงาน	ปริมาณการใช้น้ำ (ลบ.ม./วัน/แรงม้า) [เดิม]	ปริมาณการใช้น้ำ (ลบ.ม./วัน/แรงม้า) [ในงานวิจัยนี้]
028	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับเครื่องแต่งกาย ซึ่งมิใช่รองเท้าอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.2136	0.2136
029	โรงงานหมัก ชำแหละ อบ ปนหรือบด ฟอก ขัดและแต่งสำเร็จ อัดให้เป็นลายนูน หรือเคลือบสี หนังสัตว์	0.1443	0.1443
030	โรงงานสาง ฟอก ฟอกสี ย้อมสี ขัดหรือแต่งขนสัตว์	0.3207	0.3207
031	โรงงานทำพรม หรือเครื่องใช้จากหนังสัตว์หรือขนสัตว์	0.3207	0.0467
032	โรงงานผลิตผลิตภัณฑ์หรือชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมิใช่เครื่องแต่งกาย หรือรองเท้าจาก	0.2553	0.2553
033	โรงงานผลิตรองเท้า หรือชิ้นส่วนของรองเท้า ซึ่งมิได้ทำจากไม้ ยางอบแข็ง ยางอัดเข้ารูป หรือพลาสติกอัดเข้ารูป	0.2203	0.2203
034	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับไม้ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.0264	0.0264
035	โรงงานผลิตภาชนะบรรจุ หรือเครื่องใช้จากไม้ไผ่ หวาย ฟาง อ้อ กก หรือผักตบชวา	0.0771	0.0416
036	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์จากไม้หรือไม้ก๊อกอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่าง	0.0474	0.0474
037	โรงงานทำเครื่องเรือนหรือเครื่องตบแต่งในอาคารจากไม้ แก้ว ยาง หรืออโลหะอื่น ซึ่งมิใช่เครื่องเรือนหรือเครื่องตบแต่งภายในอาคารจากพลาสติกอัดเข้ารูป และรวมถึงชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว	0.2004	0.2004
038	โรงงานผลิตเยื่อ หรือกระดาษอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.1760	0.1760
039	โรงงานผลิตภาชนะบรรจุจากกระดาษทุกชนิดหรือแผ่นกระดาษไฟเบอร์ (Fibreboard)	0.0377	0.0377
040	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับเยื่อ กระดาษ หรือกระดาษแข็งอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.3271	0.3271
041	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับการพิมพ์	0.1040	0.0214
042	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับ เคมีภัณฑ์ สารเคมี หรือวัสดุเคมี ซึ่งมิใช่ปุ๋ย	0.1722	0.1722
043	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับปุ๋ย หรือสารป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ (Pesticides) อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.2744	0.2744
044	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับการผลิตยางเรซินสังเคราะห์ ยางอีลาสโตเมอร์ พลาสติก หรือเส้นใยสังเคราะห์ซึ่งมิใช่ใยแก้ว	0.3217	0.0163
045	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับสี (Paints) น้ำมันชักเงาเชแล็ก แล็กเกอร์ หรือผลิตภัณฑ์สำหรับใช้ยาหรืออุดอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่าง	0.0635	0.0635
046	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับ ยา อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่าง	0.1148	0.7263
047	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับ สบู่ เครื่องสำอาง หรือสิ่งปรุงแต่งร่างกาย อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.4790	0.4790
048	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เคมี อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.0229	0.0229
049	โรงงานกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม	0.0934	0.0934
050	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม ถ่านหิน หรือลิกไนต์ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.0934	0.0934
051	โรงงานผลิต ซ่อม หล่อ หรือหล่อดอกยางนอกหรือยางในสำหรับยานพาหนะ ที่เคลื่อนที่ด้วยเครื่องกล คนหรือสัตว์	0.0027	0.0027
052	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับยาง อย่างใด อย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.0688	0.0688
053	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์พลาสติกอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่าง	0.6304	0.0079
054	โรงงานผลิตแก้ว เส้นใยแก้ว หรือผลิตภัณฑ์แก้ว	0.0383	0.0383
055	โรงงานผลิตภัณฑ์ เครื่องกระเบื้องเคลือบ เครื่องปั้นดินเผา หรือเครื่องดินเผา และรวมถึงการเตรียมวัสดุเพื่อการดังกล่าว	0.0404	0.0404
056	โรงงานผลิตอิฐ กระเบื้องหรือท่อสำหรับใช้ในการก่อสร้างเบ้าหลอมโลหะ กระเบื้องประดับ (Architectural Terracotta) รองในเตาไฟท่อหรือยอดปล่องไฟ หรือวัตถุทนไฟ จากดินเหนียว	0.0471	0.0471

ประเภทโรงงานหลัก	ประเภทหรือชนิดของโรงงาน	ปริมาณการใช้น้ำ (ลบ.ม./วัน/แรงม้า) [เดิม]	ปริมาณการใช้น้ำ (ลบ.ม./วัน/แรงม้า) [ในงานวิจัยนี้]
057	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับซีเมนต์ ปูนขาว หรือปูนปลาสเตอร์ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.2936	0.2936
058	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์อโลหะอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่าง	0.0356	0.0356
059	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับการถลุง หลอม หล่อ รีด ดึง หรือผลิตเหล็ก หรือเหล็กกล้าในขั้นต้น (Iron and Steel Basic Industries)	0.0113	0.0113
060	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับถลุง ผสม ทำให้บริสุทธิ์ หลอม หล่อ รีด ดึง หรือผลิตโลหะในขั้นต้น ซึ่งมิใช่เหล็กหรือเหล็กกล้า (Non-ferrous Metal Basic Industries)	0.1354	0.1354
061	โรงงานผลิต ตบแต่ง ดัดแปลง หรือซ่อมแซมเครื่องมือ หรือเครื่องใช้ที่ทำด้วยเหล็กหรือเหล็กกล้า และรวมถึงส่วนประกอบหรืออุปกรณ์เครื่องมือหรือเครื่องใช่ดังกล่าว	0.0219	0.0219
062	โรงงานผลิตตบแต่ง ดัดแปลง หรือซ่อมแซม เครื่องเรือนหรือเครื่องตบแต่งภายในอาคารที่ทำจากโลหะหรือโลหะเป็นส่วนใหญ่ และรวมถึงส่วนประกอบหรืออุปกรณ์ ของเครื่องเรือน หรือเครื่องตบตบแต่งดังกล่าว	0.0529	0.0529
063	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์โลหะสำหรับใช้ในการก่อสร้าง หรือติดตั้งอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.0338	0.0338
064	รงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์โละหะ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.0409	0.0409
065	โรงงานผลิต ประกอบ หรือดัดแปลง หรือซ่อมแซมเครื่องยนต์ เครื่องกังหัน และรวมถึงส่วนประกอบหรืออุปกรณ์ของเครื่องยนต์ หรือเครื่องกังหันดังกล่าว	0.1428	0.1428
066	โรงงานผลิต ประกอบ ดัดแปลง หรือซ่อมแซมเครื่องจักรสำหรับใช้ในการกสิกรรมหรือการเลี้ยงสัตว์ และรวมถึงส่วนประกอบหรืออุปกรณ์ของเครื่องจักรดังกล่าว	0.2935	0.2935
067	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับเครื่องจักร ส่วนประกอบ หรืออุปกรณ์ของเครื่องจักรสำหรับประดิษฐ์โลหะหรือไม้อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.0234	0.0234
068	โรงงานผลิต ประกอบ ดัดแปลง หรือซ่อมแซมเครื่องจักรสำหรับอุตสาหกรรมกระดาษ เคมีภัณฑ์ อาหาร การปั่นท่อ การพิมพ์ การผลิตซีเมนต์ หรือผลิตภัณฑ์ดินเหนียว การก่อสร้าง การทำเหมืองแร่ การเจาะหาปิโตเลียม หรือการกลั่นน้ำมัน และรวมถึงส่วนประกอบหรืออุปกรณ์ของเครื่องจักรดังกล่	0.0346	0.0346
069	โรงงานผลิต ประกอบ ดัดปลง หรือซ่อมแซมเครื่องคำนวณ เครื่องทำบัญชี เครื่องจักรสำหรับระบบบัตรเจาะ เครื่องจักรสำหรับใช้ในการคำนวณชนิดดิจิตัล หรือชนิดอนาล็อก หรือเครื่องอิเล็กทรอนิกส์สำหรับปฏิบัติกับข้อมูลที่เกี่ยวข้องกัน หรืออุปกรณ์ (Digital or Analog Computer)	0.1005	0.1005
070	โรงงานผลิต ประกอบ ดัดแปลง หรือซ่อมแซมเครื่องสูบน้ำ เครื่องอัดอากาศหรือก๊าซ เครื่องเป่าลม เครื่องปรับหรือถ่ายเทอากาศ เครื่องโปรยน้ำดับไฟ ตู้เย็นหรือเครื่องประกอบตู้เย็น เครื่องขายสินค้าอัตโนมัติ เครื่องล้าง ซัก ซักแห้ง หรือรีดผ้า เครื่องเย็บ เครื่องส่งกำลังไฟฟ้า	0.0485	0.0485
071	โรงงานผลิต ประกอบ ดัดแปลง หรือซ่อมแซมเครื่องจักรหรือผลิตภัณฑ์ที่ระบุไว้ในลำดับที่ 70 เฉพาะที่ใช้ไฟฟ้า เครื่องยนต์ไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลงแรงไฟฟ้า เครื่องสับหรือบังคับไฟฟ้า เครื่องใช้สำหรับแผงไฟฟ้า เครื่องเปลี่ยนทางไฟฟ้า เครื่องส่งหรือจำหน่ายไฟฟ้า	0.1621	0.0328
072	โรงงานผลิต ประกอบ ดัดแปลง หรือซ่อมแซมเครื่องรับวิทยุ เครื่องรับโทรทัศน์ เครื่องกระจายเสียงหรือบันทึกเสียง เครื่องเล่นแผ่นเสียง เครื่องบันทึกคำบอกเครื่องบันทึกเสียงด้วยเทป เครื่องบันทึกคำบอกเครื่องบันทึกด้วยเทป เครื่องเล่นหรือเครื่องบันทึกแถบภาพ (วิดิทัศน์)	0.1143	0.1143
073	โรงงานผลิต ประกอบหรือดัดแปลงเครื่องมือหรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ไม่ได้ระบุไว้ในลำดับใด และรวมถึงส่วนประกอบหรืออุปกรณ์ของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว	0.0245	0.0245
074	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับอุปกรณ์ไฟฟ้า อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.0252	0.0129
075	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับเรือ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.0035	0.0035

ประเภทโรงงานหลัก	ประเภทหรือชนิดของโรงงาน	ปริมาณการใช้น้ำ (ลบ.ม./วัน/แรงม้า) [เดิม]	ปริมาณการใช้น้ำ (ลบ.ม./วัน/แรงม้า) [ในงานวิจัยนี้]
076	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับ รถไฟ รถรางไฟฟ้า หรือกระเช้าไฟฟ้า อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ดังต่อไปนี้	0.0618	0.0618
077	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับรถยนต์ หรือรถพ่วง อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.0618	0.0595
078	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับ จักรยานยนต์ จักรยานสามล้อ หรือจักรยานสองล้อ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.0485	0.0485
079	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับ อากาศยาน หรือเรือโฮเวอร์คราฟท์อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.2309	0.2309
080	โรงงานผลิต ประกอบ ดัดแปลง หรือซ่อมแซมล้อเลื่อนที่ขับเคลื่อนด้วยแรงคน หรือสัตว์ ซึ่งมิใช่จักรยานและรวมถึงส่วนประกอบหรืออุปกรณ์ของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว	0.0485	0.0485
081	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับเครื่องมือ เครื่องใช้ หรืออุปกรณ์วิทยาศาสตร์ หรือการแพทย์อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่าง	0.0642	0.0642
082	โรงงานผลิตเครื่องมือหรือเครื่องใช้เกี่ยวกับนัยน์ตาหรือการวัดสายตา เลนส์ เครื่องมือหรือเครื่องใช้ที่ใช้แสงเป็นอุปกรณ์ในการทำงานหรือเครื่องอัดสำเนาด้วยการถ่ายภาพ	0.1769	0.1769
083	โรงงานผลิตหรือประกอบนาฬิกา เครื่องวัดเวลา หรือชิ้นส่วนของนาฬิกา หรือเครื่องวัดเวลา	0.0626	0.0626
084	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับ เพชร พลอย ทอง เงิน นาก หรืออัญมณี อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ดังต่อไปนี้	0.1601	0.0331
085	โรงงานผลิตหรือประกอบเครื่องดนตรี และรวมถึงชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์ของเครื่องดนตรีดังกล่าว	0.0720	0.0720
086	โรงงานผลิตหรือประกอบเครื่องมือ หรือเครื่องใช้ในการกีฬา การบริหารร่างกาย การเล่นบิลเลียด โบว์ลิ่ง หรือตกปลา และรวมถึงชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์ของเครื่องมือหรือเครื่องใช้ดังกล่าว	0.0720	0.0720
087	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับเครื่องเล่น เครื่องมือหรือเครื่องใช้ที่มิได้ระบุไว้ในลำดับอื่นอย่างใด อย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.1454	0.1454
088	โรงงานผลิต ส่ง หรือจำหน่ายพลังงานไฟฟ้า	0.0000	0.0129
089	โรงงานผลิตก๊าซ ซึ่งมิใช่ก๊าซธรรมชาติ ส่งหรือจำหน่ายก๊าซ	0.0071	0.0071
090	โรงงานจัดหาน้ำ ทำน้ำให้บริสุทธิ์ หรือจำหน่ายน้ำไปยังอาคารหรือโรงงานอุตสาหกรรม	n/a	n/a
091	โรงงานบรรจุสินค้าในภาชนะโดยไม่มีการผลิตอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	2.6641	2.6641
092	โรงงานห้องเย็น	0.1069	0.1069
093	โรงงานซ่อมรองเท้า หรือเครื่องหนัง	n/a	n/a
094	โรงงานซ่อมเครื่องมือไฟฟ้า หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าสำหรับใช้ในบ้านหรือใช้ประจำตัว	n/a	n/a
095	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับยานที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ รถพ่วง จักรยานสามล้อ จักรยานสองล้อ หรือส่วนประกอบของยานดังกล่าว อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.1169	0.0295
096	โรงงานซ่อมนาฬิกา เครื่องวัดเวลา หรือเครื่องประดับที่ทำด้วยเพชร พลอย ทองคำ ทองขาว เงิน นาก หรืออัญมณี	n/a	n/a
097	โรงงานซ่อมผลิตภัณฑ์ที่มิได้ระบุการซ่อมไว้ในลำดับใด	0.0372	0.0372
098	โรงงานซักรีด ซักแห้ง ซักฟอก รีด อัด หรือย้อมผ้าเครื่องนุ่งห่ม พรม หรือขนสัตว์^2^	2.1048	2.1048
099	โรงงานผลิต ซ่อมแซม ดัดแปลง หรือเปลี่ยนลักษณะอาวุธปืน เครื่องกระสุนปืน วัตถุระบิด อาวุธหรือสิ่งอื่นใดที่มีอำนาจในการประหาร ทำลายหรือทำให้หมดสมรรถภาพในทำนองเดียวกับอาวุธปืน เครื่องกระสุนปืน หรือวัตถุระเบิด และรวมถึงสิ่งประกอบของสิ่งดังกล่าว	0.0626	0.0626
100	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับการตบแต่งหรือเปลี่ยนแปลงลักษณะของผลิตภัณฑ์ หรือส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์โดยไม่มีการผลิตอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	0.0213	0.0213
101	โรงงานปรับคุณภาพของเสียรวม (Central Waste Treatment Plant)	0.0081	0.0081
102	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับการผลิต และหรือจำหน่ายไอน้ำ (Steam Generating)	n/a	n/a

ประเภทโรงงานหลัก	ประเภทหรือชนิดของโรงงาน	ปริมาณการใช้น้ำ (ลบ.ม./วัน/แรงม้า) [เดิม]	ปริมาณการใช้น้ำ (ลบ.ม./วัน/แรงม้า) [ในงานวิจัยนี้]
103	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับเกลืออย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง	n/a	n/a
104	โรงงานผลิต ประกอบ ดัดแปลง หรือซ่อมแซม หม้อไอน้ำ (Boiler) หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวหรือก๊าซเป็นสื่อนำความร้อน ภาชนะทนแรงดัน และรวมถึงส่วนประกอบหรืออุปกรณ์ของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว	0.0455	0.0455
105	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับการคัดแยกหรือฝังกลบสิ่ง ปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่มีลักษณะและคุณสมบัติตามที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวง ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535	0.0213	0.0213
106	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับการนำผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรมที่ไม่ใช้แล้วหรือของเสียจากโรงงานมาผลิตเป็นวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์ใหม่โดยผ่านกรรมวิธีการผลิตทางอุตสาหกรรม	0.0213	0.0213
107	โรงงานผลิตแผ่นซีดี (ผลิตภัณฑ์ที่ใช้สำหรับบันทึกข้อมูล เสียงหรือภาพ ในรูปของอิเล็กทรอนิกส์และสามารถอ่านได้โดยใช้เครื่องมือที่อาศัยแหล่งแสงที่มีกำลังสูง เช่น แสงเลเซอร์) แผ่นเสียง แถบบันทึกภาพ แถบบันทึกเสียง และแถบบันทึกภาพและเสียง	n/a	n/a

ภาคผนวก ง. ข้อมูลโรงงานอุตสาหกรรมแยกตามประเภทโรงงานและปริมาณการใช้น้ำจากการคำนวณ

ประเภทโรงงานหลัก	จำนวนโรงงาน					
	น้อยกว่า 10,000 m^3/ปี	10,001-100,000 m^3/ปี	100,001-1,000,000 m^3/ปี	1,000,001-10,000,000 m^3/ปี	มากกว่า 10,000,000 m^3/ปี	รวมทั้งหมด
002	500	232	18	0	0	750
003	292	608	19	1	0	920
004	344	108	45	6	0	503
005	40	15	10	0	0	65
006	303	72	10	0	0	385
007	48	12	20	0	0	80
008	285	54	24	0	0	363
009	1,571	320	65	0	0	1,956
010	477	109	22	1	0	609
011	24	6	11	9	0	50
012	233	14	2	0	0	249
013	122	82	30	7	3	244
014	266	199	2	0	0	467
015	189	85	69	7	0	350
016	3	9	2	0	0	14
017	2	3	2	0	0	7
018	3	1	2	0	0	6
019	6	0	5	3	0	14
020	210	38	17	2	0	267
021	6	1	0	2	0	9
022	317	258	174	21	0	770
023	286	2	0	0	0	288
024	270	114	9	2	0	395
025	8	1	1	0	0	10
026	66	0	0	0	0	66
027	42	34	10	1	0	87
028	1,434	152	15	1	0	1,602
029	71	87	22	0	0	180
030	0	2	0	0	0	2
031	5	0	0	1	0	6
032	186	55	2	0	0	243
033	271	50	16	2	0	339
034	997	61	8	0	0	1,066
035	32	2	1	0	0	35
036	263	17	0	0	0	280
037	732	229	15	0	0	976
038	0	5	17	17	4	43
039	525	49	3	0	0	577
040	89	101	25	2	0	217
041	1,697	218	13	0	0	1,928
042	118	77	37	4	0	236

ประเภทโรงงานหลัก	จำนวนโรงงาน					
	น้อยกว่า 10,000 m^3/ปี	10,001-100,000 m^3/ปี	100,001-1,000,000 m^3/ปี	1,000,001-10,000,000 m^3/ปี	มากกว่า 10,000,000 m^3/ปี	รวมทั้งหมด
043	285	210	13	4	0	512
044	3	12	8	10	3	36
045	149	48	3	0	0	200
046	157	91	16	1	0	265
047	188	109	22	3	0	322
048	197	9	3	1	0	210
050	51	146	14	0	0	211
051	139	11	1	0	0	151
052	259	188	20	2	0	469
053	487	2,036	1,108	93	0	3,724
054	35	6	10	2	0	53
055	92	19	12	6	0	129
056	214	9	6	0	0	229
057	17	51	11	9	2	90
058	1,455	92	10	0	0	1,557
059	150	66	11	1	0	228
060	208	115	39	6	0	368
061	191	7	0	0	0	198
062	274	30	2	0	0	306
063	888	55	2	0	0	945
064	5,274	261	20	0	0	5,555
065	522	44	12	0	0	578
066	291	150	15	1	0	457
067	356	17	0	0	0	373
068	291	8	1	0	0	300
069	117	29	18	0	0	164
070	491	41	1	0	0	533
071	340	142	16	2	0	500
072	331	106	60	7	0	504
073	211	10	0	0	0	221
074	339	35	8	1	0	383
075	110	0	0	0	0	110
076	4	5	0	0	0	9
077	822	203	35	4	0	1,064
078	194	22	4	0	0	220
079	0	5	2	1	0	8
080	12	0	0	0	0	12
081	100	11	3	0	0	114
082	5	9	9	3	0	26
083	11	11	2	0	0	24
084	534	77	2	0	0	613
085	14	5	0	0	0	19
086	40	8	3	0	0	51

ประเภทโรงงานหลัก	จำนวนโรงงาน					
	น้อยกว่า 10,000 m^3/ปี	10,001-100,000 m^3/ปี	100,001-1,000,000 m^3/ปี	1,000,001-10,000,000 m^3/ปี	มากกว่า 10,000,000 m^3/ปี	รวมทั้งหมด
087	244	75	6	0	0	325
088	325	0	0	0	0	325
089	35	6	0	0	0	41
090	33	0	0	0	0	33
091	76	178	54	4	0	312
092	211	130	16	0	0	357
094	1	0	0	0	0	1
095	2,295	111	0	0	0	2,406
097	51	0	0	0	0	51
098	3	22	29	22	1	77
099	3	0	0	0	0	3
100	248	21	0	0	0	269
101	55	4	0	0	0	59
102	9	0	0	0	0	9
103	10	0	0	0	0	10
104	18	0	0	0	0	18
105	528	6	0	0	0	534
106	218	22	1	0	0	241
107	11	0	0	0	0	11
รวม	32,555	8,566	2,371	272	13	43,777

หมายเหตุ: ประเภทโรงงาน 001, 049, 093, 096 ไม่มีโรงงานประเภทดังกล่าวในพื้นที่ศึกษา

ภาคผนวก จ. จำนวนตัวอย่างโรงงานอุตสาหกรรมที่ส่งแบบสอบถามและอัตราการตอบกลับแบบสอบถาม

ประเภทโรงงานหลัก	จำนวนที่ส่งแบบสอบถาม	จำนวนที่ตอบกลับแบบสอบถาม
002	158	3
003	4	0
004	25	1
005	10	0
006	23	0
007	7	1
008	12	0
009	71	5
010	19	1
011	2	2
012	9	0
013	9	0
014	16	0
015	13	1
016	2	0
017	1	0
018	2	1
019	2	0
020	9	0
021	1	0
022	5	0
023	1	0
024	1	1
025	1	0
026	1	0
027	1	0
028	5	0
029	1	0
030	1	0
031	1	1
032	5	0
033	3	0
034	10	0
035	1	1
036	1	0
037	4	0
038	1	0
039	1	0
040	1	0
041	7	1
042	1	0

ประเภทโรงงานหลัก	จำนวนที่ส่งแบบสอบถาม	จำนวนที่ตอบกลับแบบสอบถาม
043	1	0
044	1	1
045	1	0
046	2	1
047	1	0
048	1	0
050	25	0
051	1	0
052	1	0
053	14	1
054	1	0
055	1	0
056	1	0
057	1	0
058	7	0
059	1	0
060	1	0
061	1	0
062	1	0
063	2	0
064	15	0
065	1	0
066	1	0
067	1	0
068	1	0
069	1	0
070	2	0
071	38	2
072	2	0
073	1	0
074	29	1
075	1	0
076	1	0
077	4	1
078	1	0
079	1	0
080	1	0
081	1	0
082	1	0
083	2	0
084	3	1

ประเภทโรงงานหลัก	จำนวนที่ส่งแบบสอบถาม	จำนวนที่ตอบกลับแบบสอบถาม
085	2	0
086	2	0
087	3	0
088	24	4
089	3	0
090	3	0
091	1	0
092	2	0
094	1	0
095	4	1
097	1	0
098	2	0
099	1	0
100	1	0
101	2	0
102	9	0
103	2	0
104	3	0
105	3	0
106	3	0
107	8	0
รวม	701	32

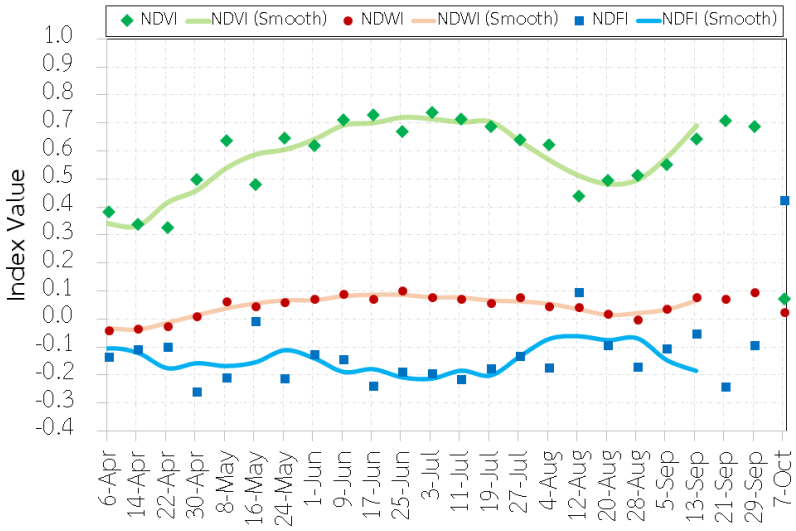
ประเภทโรงงาน 001, 049, 093, 096 ไม่มีโรงงานประเภทดังกล่าวในพื้นที่ศึกษา

ภาคผนวก ฉ. สรุปการลงพื้นที่สำรวจภาคสนามเพื่อติดตามการเพาะปลูกข้าว

ตารางผนวกที่ 1 จุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-23A

Point ID	CPY-23A
UTM-X	643297
UTM-Y	1551467
Address	ต.คลองขวาง อ.ไทรน้อย จ.นนทบุรี
Irrigation Project	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพระยาบรรลือ

ภาพผนวกที่ 1 สภาพพื้นที่และสภาพการเจริญเติบโตของพืชในบริเวณจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-23A



ภาพผนวกที่ 2 ค่าดัชนี NDVI, NDWI และ NDFI ของจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-23A

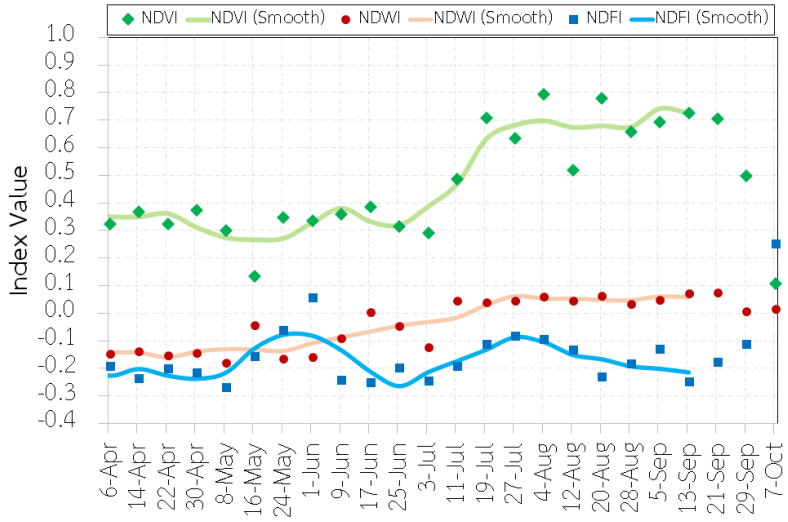
ตารางผนวกที่ 2 ค่าดัชนี NDVI, NDWI และ NDFI และรายละเอียดจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-23A ตามช่วงเวลาสำรวจ

No.	Date	NDVI	NDWI	NDFI	Description
1	23/06/2020	0.70	0.09	-0.18	สภาพพื้นที่เป็นนาข้าวขนาดกลาง มีคูขนาดเล็กกั้นตรงกลาง ต้นข้าวฝั่งขวาอยู่ในระยะเติบโต เก็บตัวอย่างเฉพาะฝั่งซ้าย เป็นแนวเส้นตรงเนื่องจากเป็นแปลงขนาดใหญ่ไม่มีทางเชื่อม ต้นข้าวอยู่ในระยะออกรวงอ่อน ใบสีเขียวอ่อน ใบสีเขียว ลำต้นตั้งตรง ความสูงประมาณ 90 เซนติเมตร อยู่ในระยะสม่ำเสมอทั้งพื้นที่
2	16/07/2020	0.70	0.08	-0.18	ระดับน้ำในคูเพิ่มสูงขึ้น รวงข้าวมีสีเหลือง รวงโน้มลงพื้น เมล็ดข้าวโตเต็มที่ ใบข้าวมีสีเหลืองปนเขียว เข้าสู่ระยะเก็บเกี่ยว ความสูงประมาณ 80 เซนติเมตร
3	05/08/2020	0.57	0.05	-0.07	ข้าวถูกเกี่ยวแล้วทั้งหมด ยังไม่มีการไถแปลงเตรียมปลูก ในแปลงมีน้ำเล็กน้อยจากน้ำฝน ในแปลงไม่มีน้ำขัง
4	10/09/2020	0.55	0.04	-0.11	พื้นที่มีการปลูกข้าว ต้นข้าวอยู่ในระยะเติบโต ความสูงประมาณ 50 เซนติเมตร มีน้ำขังในแปลง และบริเวณคลองใกล้กับพื้นที่เพาะปลูกมีน้ำอยู่ในปริมาณมาก
5	30/09/2020	0.69	0.09	-0.09	ต้นข้าวอยู่ในระยะเติบโต ความสูงประมาณ 75 เซนติเมตร ในแปลงมีน้ำขัง ระดับน้ำในคลองค่อนข้างสูง
6	15/10/2020	-	-	-	ต้นข้าวอยู่ในระยะตั้งท้อง เมล็ดสีเขียวอวบ บางส่วนเป็นโรคเมล็ดสีดำ ความสูงประมาณ 92 เซนติเมตร ในแปลงมีน้ำขัง ระดับน้ำในคลองปานกลาง

<u>รายละเอียดอื่น ๆ เพิ่มเติม</u>: -

Point ID	CPY-23B
UTM-X	638597
UTM-Y	1576197
Address	ต.เทพมงคล อ.บางซ้าย จ.พระนครศรีอยุธยา
Irrigation Project	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเจ้าเจ็ด-บางยี่หน

ภาพผนวกที่ 2 สภาพพื้นที่และสภาพการเจริญเติบโตของพืชในบริเวณจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-23B



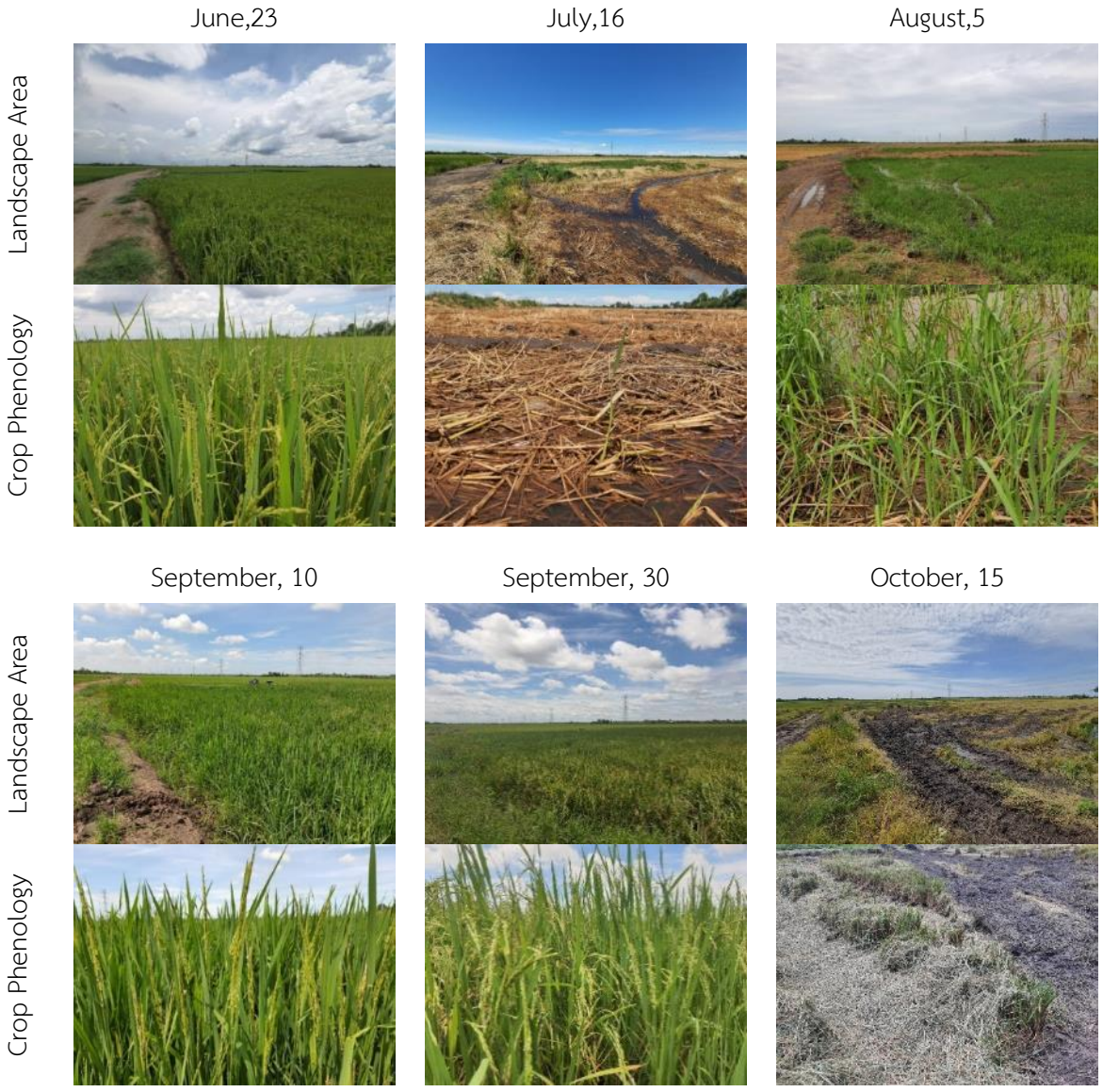
ภาพผนวกที่ 3 ค่าดัชนี NDVI, NDWI และ NDFI ของจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-23B

No.	Date	NDVI	NDWI	NDFI	Description
1	23/06/2020	0.33	-0.07	-0.14	สภาพพื้นที่เป็นนาข้าวขนาดกลาง แต่ละแปลงมีต้นข้าวอยู่ในระยะเติบโตไม่เท่ากัน แปลงด้านหน้า ต้นข้าวสูงประมาณ 3 - 4 เซนติเมตร สภาพดินชุ่มชื้นไม่มีน้ำขัง บางแปลงมีน้ำขังต้นข้าวสูงประมาณ 8 – 10 เซนติเมตร ต้นข้าวมีใบเขียวเข้ม ลำต้นตั้งตรง มีความหนาแน่นมากกว่าแปลงที่ไม่มีน้ำ แปลงด้านในอยู่ในระยะเริ่มปลูก มีการหว่านเมล็ดได้ไม่นาน รากขึ้นเล็กน้อย มีใบเดี่ยว ดินมีความชุ่มชื้น มีน้ำบนผิวดินบ้าง และมีความแตกระแหงของดินประปราย (แปลงอื่นไม่มีทั้งแปลงที่มีน้ำและไม่มีน้ำ)
2	16/07/2020	0.47	-0.02	-0.11	ต้นข้าวแตกกอและมีการเติบโตขึ้นจากเดิม โดยยังอยู่ในระยะเติบโต แปลงที่มีน้ำขัง ต้นข้าวมีความสูงประมาณ 35 - 38 เซนติเมตร แปลงด้านในมีการปลูกใหม่เนื่องจากต้นข้าวมีอัตราการงอกน้อย เจริญเติบโตไม่เท่ากัน
3	05/08/2020	0.70	0.05	-0.25	ต้นข้าวแตกกอเพิ่มขึ้น ยังอยู่ในระยะเติบโต มีความสูงประมาณ 62 เซนติเมตร
4	10/09/2020	0.69	0.05	-0.20	ข้าวอยู่ในระยะกำลังตั้งท้อง เมล็ดยังเติบโตไม่เต็มที่ ความสูงประมาณ 90 เซนติเมตร
5	30/09/2020	0.50	0.01	-0.11	พื้นที่เพาะปลูกอยู่ในระยะหลังเก็บเกี่ยว พบตอซังข้าวและน้ำขังในแปลง
6	15/10/2020	-	-	-	พื้นที่เพาะปลูกยังไม่มีการเตรียมปลูก มีน้ำท่วมขัง พบตอซังข้าวเหลืออยู่บางส่วน

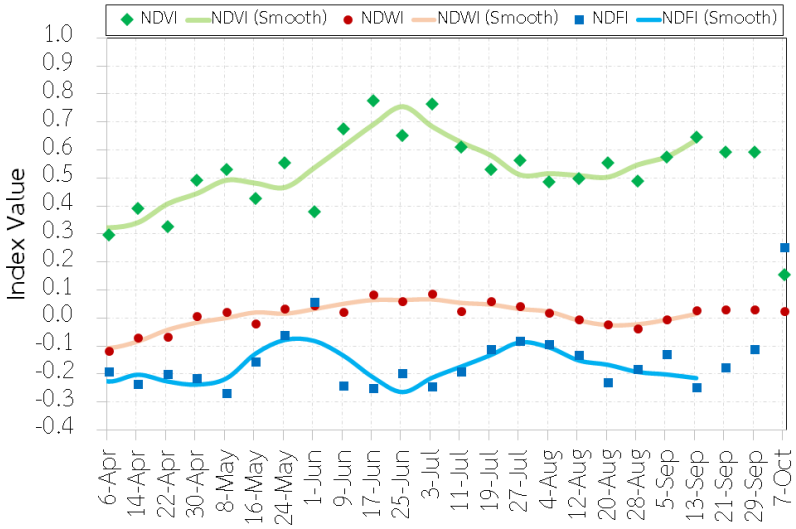
<u>รายละเอียดอื่น ๆ เพิ่มเติม</u>:

ตำบลเทพมงคล พื้นที่ค่อนข้างแห้งแล้ง สภาพดินไม่ค่อยดี พันธุ์ข้าวที่เพาะปลูกเป็นข้าวพันธุ์ กข.47 ระยะออกรวงประมาณ 30 วันนับจากวันปลูก ทำการเก็บเกี่ยวเมื่ออายุครบ 110 วัน เกษตรกรใช้ปุ๋ยมูลสัตว์ และปุ๋ยตรากระต่ายในการเพาะปลูก

Point ID	CPY-23C
UTM-X	645162
UTM-Y	1576561
Address	ต.ชายนา อ.เสนา จ.พระนครศรีอยุธยา
Irrigation Project	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเจ้าเจ็ด-บางยี่หน



ภาพผนวกที่ 3 สภาพพื้นที่และสภาพการเจริญเติบโตของพืชในบริเวณจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-23C

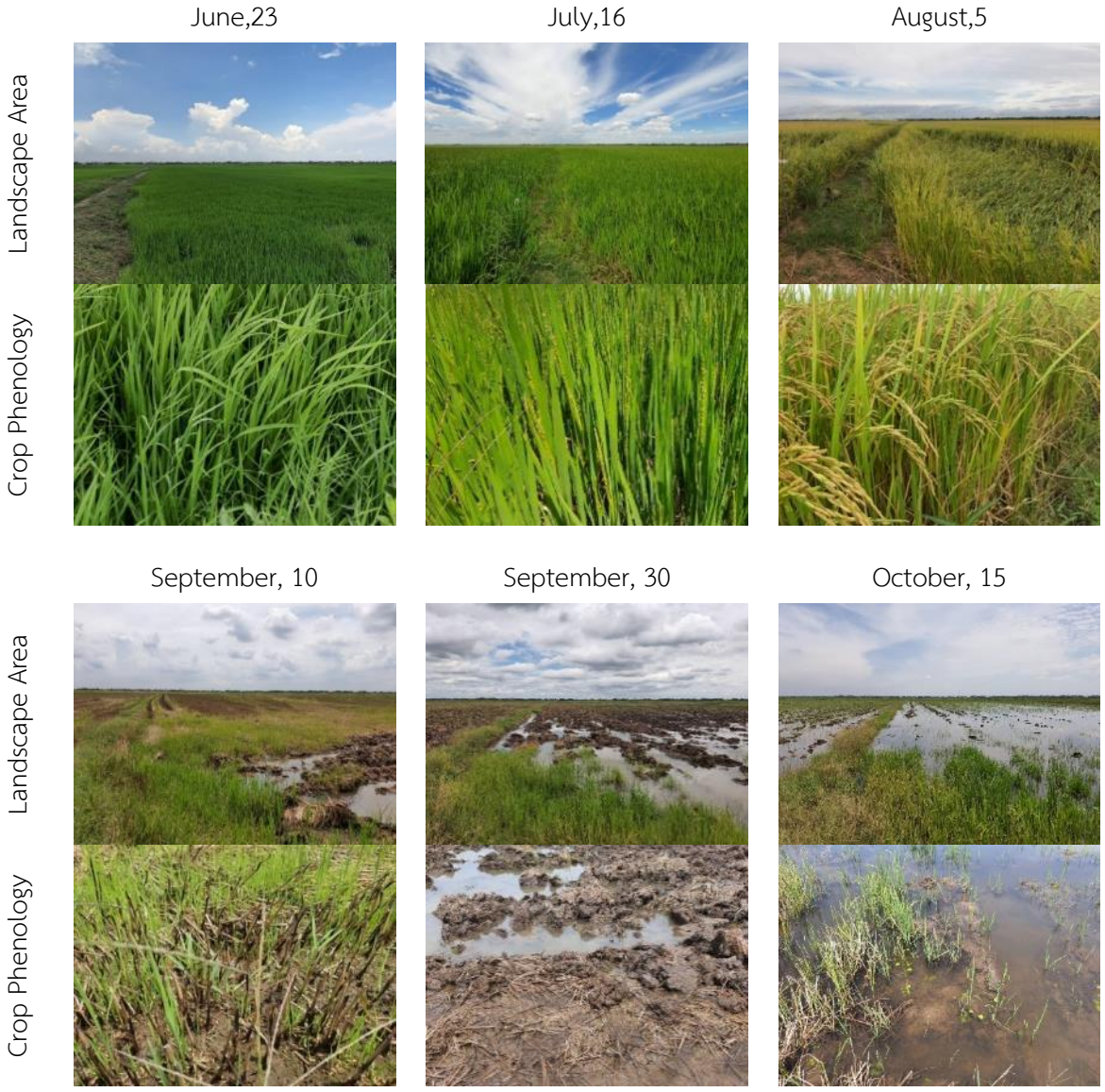


ภาพผนวกที่ 5 ค่าดัชนี NDVI, NDWI และ NDFI ของจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-23C

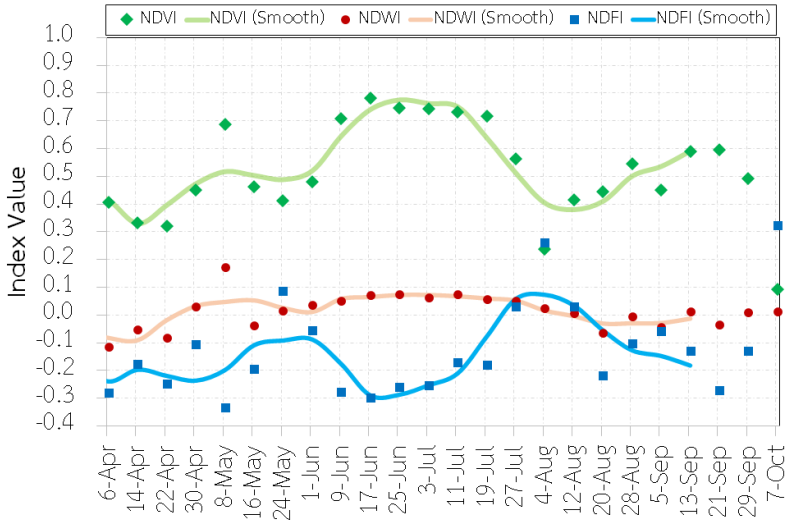
No.	Date	NDVI	NDWI	NDFI	Description
1	23/06/2020	0.69	0.06	-0.21	สภาพพื้นที่เป็นนาข้าวขนาดกลาง ทางฝั่งซ้ายไม่มีน้ำขัง ดินมีความชุ่มชื้นเล็กน้อย ต้นข้าวอยู่ในระยะเติบโตมีความสูงประมาณ 40 เซนติเมตร มีหญ้าแทรกสูงกว่าต้นข้าวเล็กน้อย แปลงฝั่งขวามีน้ำขัง ต้นข้าวอยู่ในระยะออกรวงความสูงประมาณ 90 เซนติเมตร ใบสีเขียวเข้ม ลำต้นตั้งตรง ไม่พบวัชพืชในแปลง
2	16/07/2020	0.63	0.05	-0.17	ทางฝั่งซ้าย ต้นข้าวอยู่ในระยะออกรวง ใบข้าวมีสีเขียว ลำต้นตั้งตรง ต้นข้าวมีร่องรอยการถูกตัด ความสูงประมาณ 90 เซนติเมตร แปลงฝั่งขวามีการเก็บเกี่ยวข้าวเรียบร้อยแล้ว พบตอซังข้าวและมีน้ำขังในแปลง
3	05/08/2020	0.52	0.02	-0.11	ทางฝั่งซ้าย ต้นข้าวอยู่ในระยะตั้งท้องกำลังเข้าสู่ระยะเก็บเกี่ยว เมล็ดอวบเริ่มเป็นสีเหลือง ความสูงประมาณ 83 เซนติเมตร ทางฝั่งขวาต้นข้าวแตกยอดใหม่จากกอเดิม ความสูงประมาณ 30 เซนติเมตร มีน้ำฝนในแปลง
4	10/09/2020	0.57	0.00	-0.13	ทางฝั่งซ้าย มีการเก็บเกี่ยวข้าวเรียบร้อยแล้ว ต้นข้าวมียอดใหม่กำลังสูงขึ้นจากตอเดิม ความสูงประมาณ 50 เซนติเมตร สภาพดินชุ่มน้ำแต่ไม่มีน้ำขัง ทางฝั่งขวาข้าวออกรวงอ่อน มีช่อดอก ความสูงประมาณ 90 เซนติเมตร สภาพดินชุ่มน้ำ
5	30/09/2020	0.59	0.03	-0.11	ต้นข้าวส่วนใหญ่อยู่ในระยะตั้งท้องเมล็ดสีเขียวอวบ บางส่วนยังเป็นรวงอ่อนมีช่อดอก ความสูงประมาณ 100 เซนติเมตร
6	15/10/2020	-	-	-	พื้นที่เพาะปลูกอยู่ในระยะหลังเก็บเกี่ยว พบร่องรอยการเผาตอซังข้าว มีตอซังข้าวบางส่วนเหลืออยู่ ไม่มีน้ำขัง

<u>รายละเอียดอื่น ๆ เพิ่มเติม</u>: พื้นที่อยู่ติดคลองหน้าวัดปิ่นแก้ว ตำบลชายนา เกษตรกรให้ข้อมูลว่า (แปลงฝั่งขวา) ข้าวที่ใช้ปลูกเป็นข้าวพันธุ์ กข41 มีการเก็บเกี่ยวไปแล้วประมาณ 10 วัน ต้นข้าวกำลังเติบโตใหม่ครั้งที่ 2 โดยปกติทำการปลูก 3 ครั้งต่อปี ครั้งละประมาณ 100 วัน พื้นที่ในการเพาะปลูกรวม 8 ไร่ ได้ข้าวครั้งละประมาณ 23 ตัน ราคาตันละ 8,500 บาท โดยเริ่มปลูกประมาณเดือนตุลาคม มีการใช้ปุ๋ยยูเรียเพื่อช่วยในการย่อยสลายของซากพืช ไร่ละ 1 กระสอบ และ ปุ๋ยสูตร 64-0-0 ใช้รอบละครึ่งกระสอบ (ให้ข้อมูลเมื่อวันที่ 16 กรกฎาคม 2563)

Point ID	CPY-23D
UTM-X	662199
UTM-Y	1594597
Address	ต.บ้านกุ่ม อ.บางบาล จ.พระนครศรีอยุธยา
Irrigation Project	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามหาราช



ภาพผนวกที่ 4 สภาพพื้นที่และสภาพการเจริญเติบโตของพืชในบริเวณจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-23D

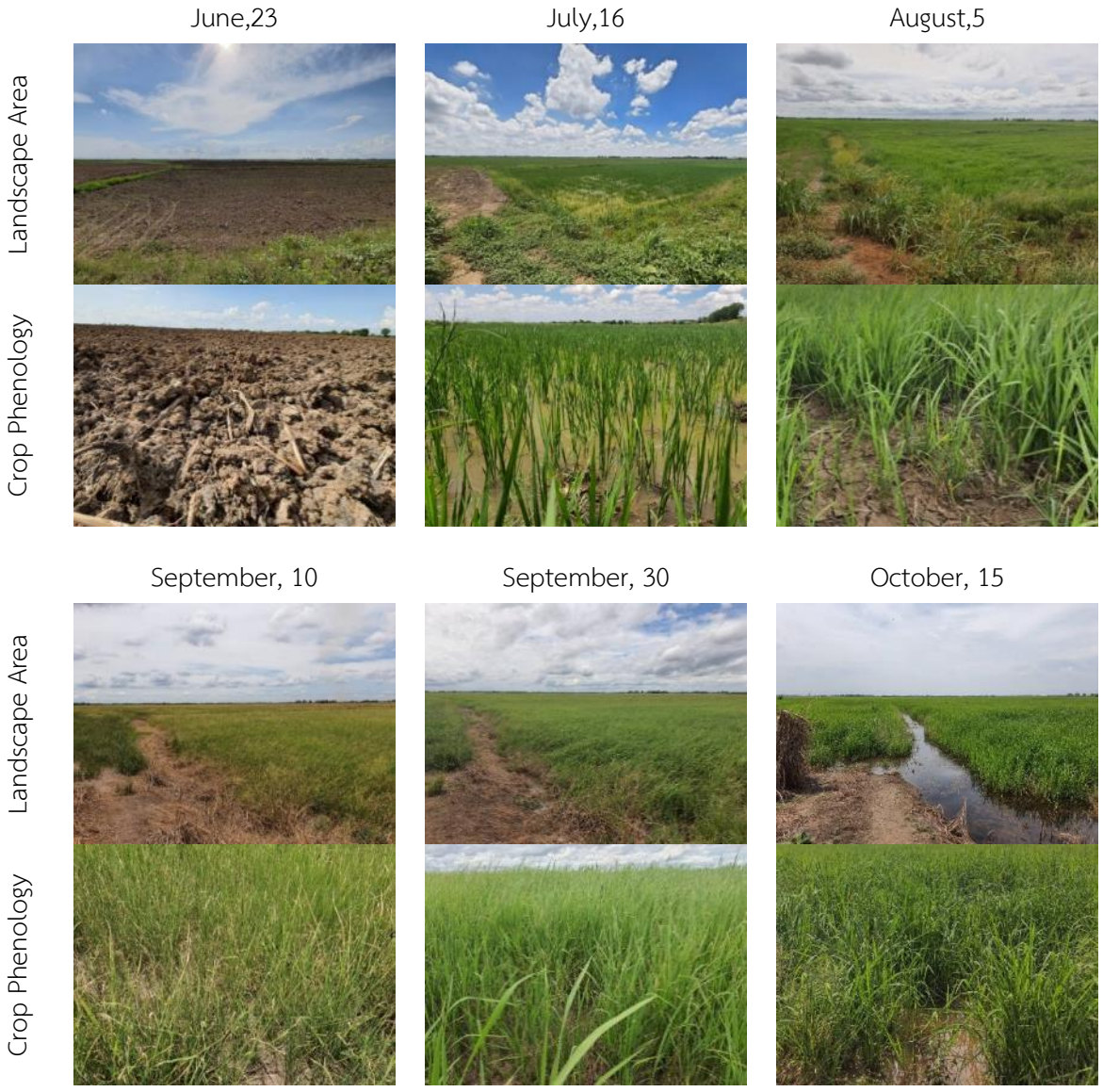


ภาพผนวกที่ 7 ค่าดัชนี NDVI, NDWI และ NDFI ของจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-23D

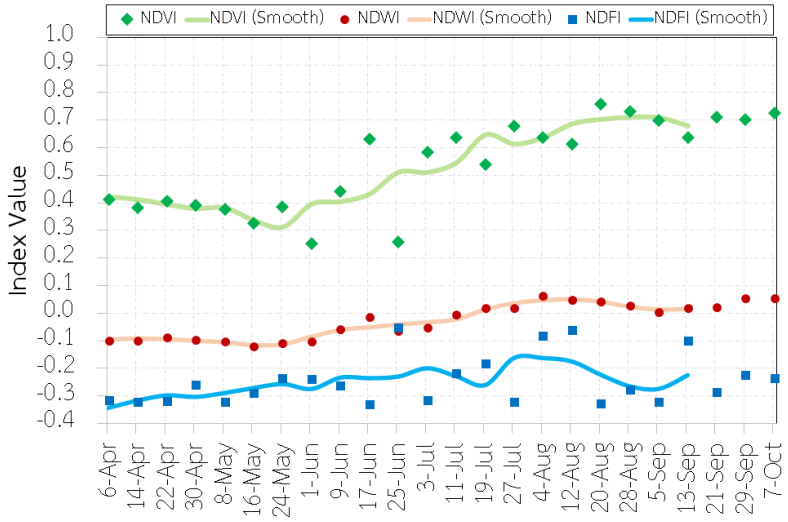
No.	Date	NDVI	NDWI	NDFI	Description
1	23/06/2020	0.74	0.07	-0.29	สภาพพื้นที่เป็นนาข้าวขนาดใหญ่กว้างขวาง ต้นข้าวอยู่ในระยะเติบโตแตกกอเต็มที่ ใบมีสีเขียวเข้ม ความสูงประมาณ 60 เซนติเมตร มีการขังน้ำในแปลงที่ต้นข้าวยังแตกกอไม่เต็มที่ มีบ่อเก็บน้ำบริเวณด้านหน้าติดทางเข้าแปลง
2	16/07/2020	0.75	0.07	-0.21	ข้าวมีอายุข้าว 40 วัน อยู่ในระยะออกรวง กำลังสร้างช่อดอก ใบใหญ่ขึ้นจากเดิม มีสีเขียวปนเหลือง ลำต้นตั้งตรง มีวัชพืชบ้างประปราย ความสูงประมาณ 95 เซนติเมตร
3	05/08/2020	0.40	0.02	0.07	ต้นข้าวกำลังเข้าสู่ระยะเก็บเกี่ยว รวงเป็นสีเหลือง เมล็ดอวบเต็มที่มีสีเหลืองปนน้ำตาล ใบกำลังเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ปลายใบแห้ง ความสูงประมาณ 82 เซนติเมตร ไม่มีน้ำในแปลง ดินชุ่มชื้น
4	10/09/2020	0.45	-0.04	-0.06	มีการเก็บเกี่ยวข้าวเรียบร้อยแล้ว เหลือตอซังข้าว ในแปลงไม่มีน้ำขัง
5	30/09/2020	0.49	0.01	-0.13	พื้นที่เพาะปลูกอยู่ระหว่างหลังการเก็บเกี่ยว ไถกลบตอซังข้าวแล้ว
6	15/10/2020	-	-	-	ยังไม่เตรียมแปลงสำหรับการเพาะปลูกครั้งต่อไป มีข้าวที่หล่นจากการเก็บเกี่ยวเริ่มงอก

<u>รายละเอียดอื่น ๆ เพิ่มเติม</u>: พันธุ์ข้าวที่เพาะปลูกเป็นพันธุ์ข้าว กข 41 ใช้น้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยา เขื่อนบางโฉมศรี คลองบางแพร่ง ร่วมกับคลองบางกุ้ง ผ่านคลองส่งน้ำสาธารณะ ปกติถ้าหากน้ำท่วมในพื้นที่ชุมชนตรงข้ามอีกฝั่งถนนของพื้นที่เพาะปลูก บริเวณพื้นที่เพาะปลูกจะมีน้ำเพียงพอ ถ้าหากมีน้ำเพียงพอจะปลูกข้าว 3 รอบต่อปี แต่เนื่องจากปีนี้น้ำน้อยจึงทำนาปรังเพียง 1 รอบ แล้วรอน้ำ ขณะนี้ถือว่าขาดน้ำ

Point ID	CPY-23E
UTM-X	666618
UTM-Y	1616726
Address	ต.พิตเพียน อ.มหาราช จ.พระนครศรีอยุธยา
Irrigation Project	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามหาราช



ภาพผนวกที่ 5 สภาพพื้นที่และสภาพการเจริญเติบโตของพืชในบริเวณจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-23E

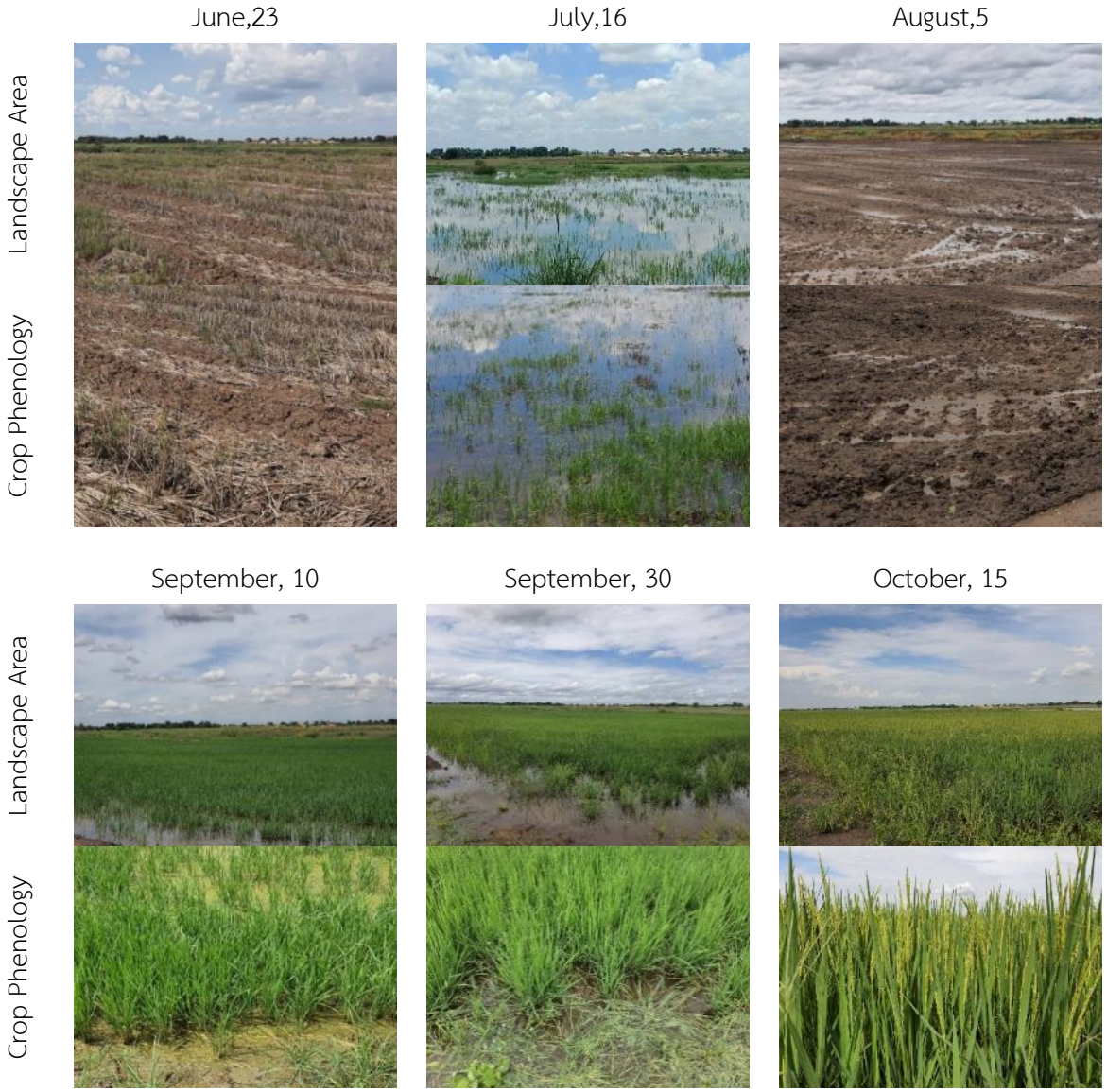


ภาพผนวกที่ 9 ค่าดัชนี NDVI, NDWI และ NDFI ของจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-23E

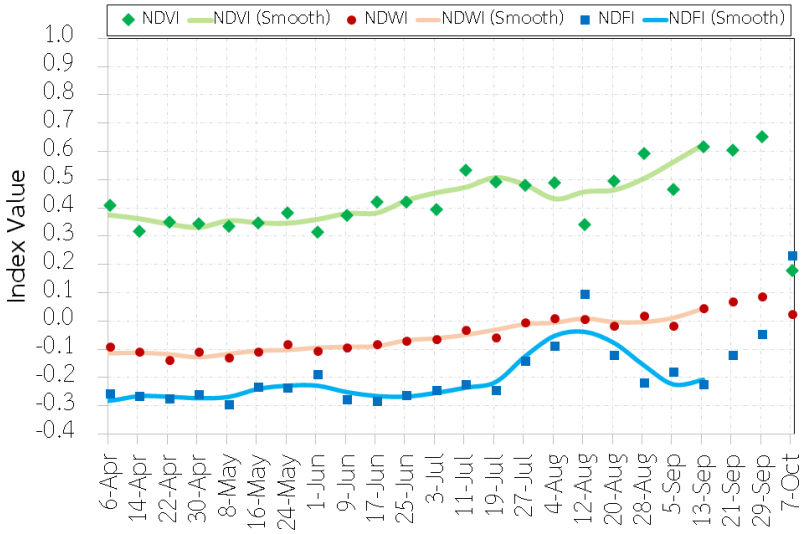
No.	Date	NDVI	NDWI	NDFI	Description
1	23/06/2020	0.43	-0.05	-0.24	สภาพพื้นที่เป็นนาข้าวขนาดใหญ่ อยู่ในระยะเตรียมแปลง พบร่องรอยการไถกลบตอซังข้าว
2	16/07/2020	0.55	-0.02	-0.23	ต้นข้าวอยู่ในระยะเติบโต แปลงฝั่งซ้ายเพิ่งเริ่มปลูกไม่มีน้ำขัง ต้นข้าวสูงประมาณ 25 เซนติเมตร แปลงฝั่งขวามีน้ำขัง ต้นข้าวสูงประมาณ 34 เซนติเมตร เพิ่งมีน้ำใส่นากำลังปลูกรอบแรก อายุประมาณสามสัปดาห์
3	05/08/2020	0.64	0.05	-0.16	ต้นข้าวอยู่ในระยะเติบโต แตกกอเพิ่มขึ้นสูงขึ้นจากเดิม แปลงฝั่งซ้ายต้นข้าวสูงประมาณ 38 เซนติเมตร แปลงฝั่งขวาความสูงประมาณ 45 เซนติเมตร แปลงไม่มีน้ำขัง ดินแห้ง
4	10/09/2020	0.70	0.00	-0.32	ต้นข้าวอยู่ในระยะเติบโต แปลงฝั่งซ้ายต้นข้าวสูงประมาณ 52 เซนติเมตร แปลงฝั่งขวาความสูงประมาณ 70 เซนติเมตร ใบข้าวเริ่มแห้งจากตรงปลายใบ ดินแห้งสนิท มีวัชพืชขึ้นสูงเป็นจำนวนมาก ลำคลองบริเวณใกล้เคียงมีวัชพืชขึ้นมีน้ำอยู่ในปริมาณน้อย
5	30/09/2020	0.70	0.05	-0.23	ต้นข้าวอยู่ในระยะเติบโตใบสีเขียวเข้ม ความสูงประมาณ 82 เซนติเมตร ดินในแปลงมีลักษณะแห้งไม่มีความชุ่มชื้น และมีวัชพืชในแปลงจำนวนมาก
6	15/10/2020	-	-	-	ต้นข้าวอยู่ในระยะเติบโต ความสูงประมาณ 125 เซนติเมตร มีวัชพืชขึ้นในแปลงเป็นจำนวนมาก เป็นพื้นที่มีน้ำท่วมขังไม่สามารถเข้าไปด้านในได้เนื่องจากเป็นพื้นที่ลุ่ม

<u>รายละเอียดอื่น ๆ เพิ่มเติม</u>: เป็นข้าวนาปี เก็บเกี่ยวประมาณปลายเดือนมกราคม - กุมภาพันธ์ ตันละ 8,000 บาท ผลผลิตได้ครึ่งตันต่อไร่ จ้างรถเกี่ยวข้าวราคาไร่ละ 500 บาท ใกล้ลำน้ำบ้านบางขายหมู – บ้านน้ำเป้า

Point ID	CPY-23F
UTM-X	650771
UTM-Y	1603761
Address	ต.โคกช้าง อ.ผักไห่ จ.พระนครศรีอยุธยา
Irrigation Project	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษายางมณี



ภาพผนวกที่ 6 สภาพพื้นที่และสภาพการเจริญเติบโตของพืชในบริเวณจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-23F

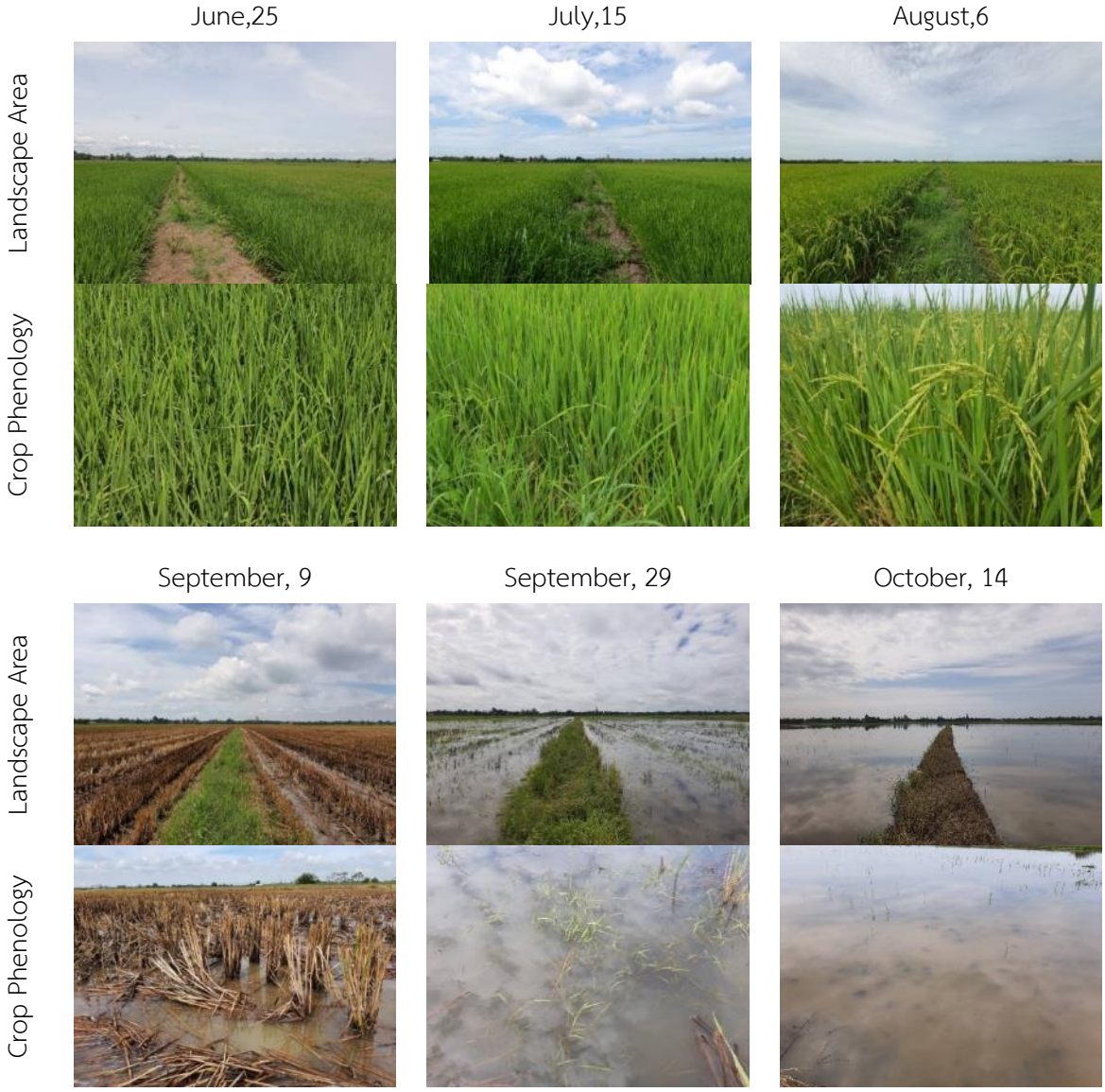


ภาพผนวกที่ 11 ค่าดัชนี NDVI, NDWI และ NDFI ของจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-23F

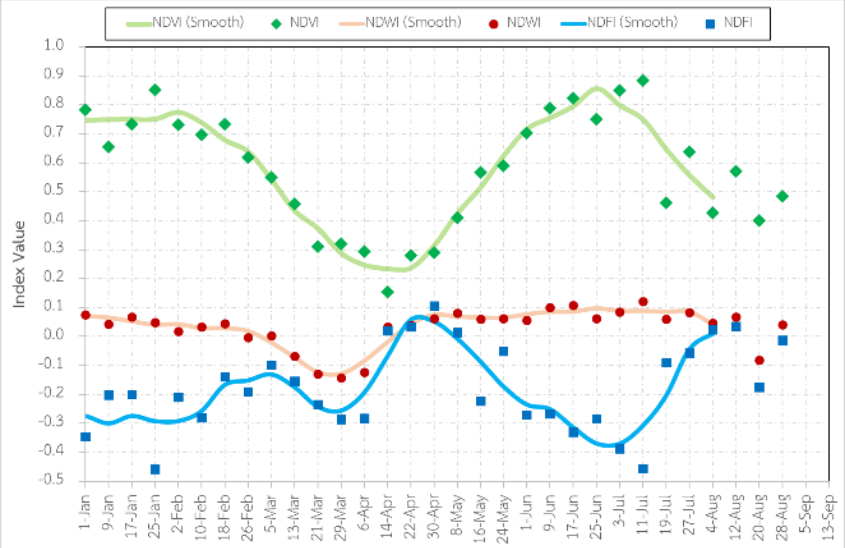
No.	Date	NDVI	NDWI	NDFI	Description
1	23/06/2020	0.38	-0.09	-0.27	สภาพพื้นที่ นาข้าวขนาดกลางมีคูน้ำขนาดเล็กตรงกลางแต่ไม่มีน้ำ อยู่ในช่วงหลังเก็บเกี่ยวยังมีตอซังข้าว
2	16/07/2020	0.47	-0.05	-0.24	พื้นที่เพาะปลูกมีน้ำขังสองแปลง คูน้ำมีน้ำอยู่ปริมาณมาก และมีหญ้าเขียวขึ้นบริเวณโดยรอบทุกแปลง สอบถามผู้ปลูกข้าวบริเวณใกล้เคียงพบว่าเริ่มมีน้ำเข้ามาในพื้นที่และกำลังเตรียมพื้นที่นำน้ำเข้าแปลงก่อนการเพาะปลูก
3	05/08/2020	0.43	-0.01	-0.05	ได้มีการเตรียมแปลงสำหรับเพาะปลูก และหว่านข้าวแล้ว ต้นกล้ายังไม่งอก ไม่มีน้ำขังในแปลง ดินมีความชุ่มชื้นจากน้ำฝน
4	10/09/2020	0.47	-0.02	-0.18	ต้นข้าวอยู่ในระยะเติบโต ความสูงประมาณ 36 เซนติเมตร ในแปลงมีน้ำขัง ในลำคลองมีน้ำในปริมาณมาก
5	30/09/2020	0.65	0.09	-0.05	ต้นข้าวแตกกอเพิ่มขึ้น อยู่ในระยะเติบโต ความสูงประมาณ 70 เซนติเมตร ในแปลงมีน้ำขัง ในลำคลองมีน้ำปริมาณมากบางส่วนเอ่อล้นเข้าสู่พื้นที่เพาะปลูก
6	15/10/2020	-	-	-	ต้นข้าวอยู่ในระยะออกรวงอ่อน มีดอกข้าว ความสูงประมาณ 80 เซนติเมตร

<u>รายละเอียดอื่น ๆ เพิ่มเติม</u>: -

Point ID	CPY-25A
UTM-X	618389
UTM-Y	1636589
Address	ต.นางบวช อ.เดิมบางนางบวช จ.สุพรรณบุรี
Irrigation Project	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาท่าโบสถ์



ภาพผนวกที่ 7 สภาพพื้นที่และสภาพการเจริญเติบโตของพืชในบริเวณจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-25A

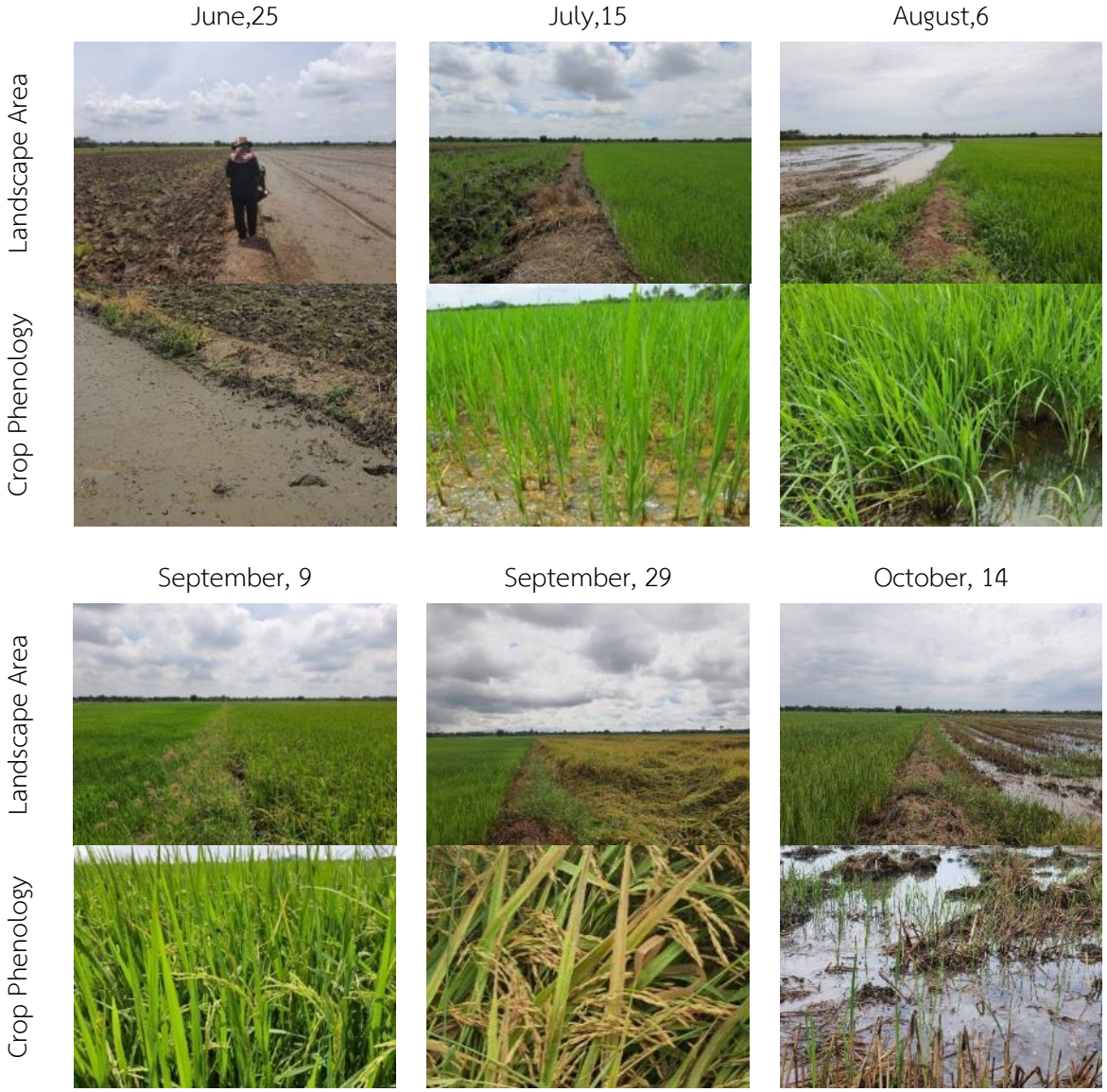


ภาพผนวกที่ 13 ค่าดัชนี NDVI, NDWI และ NDFI ของจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-25A

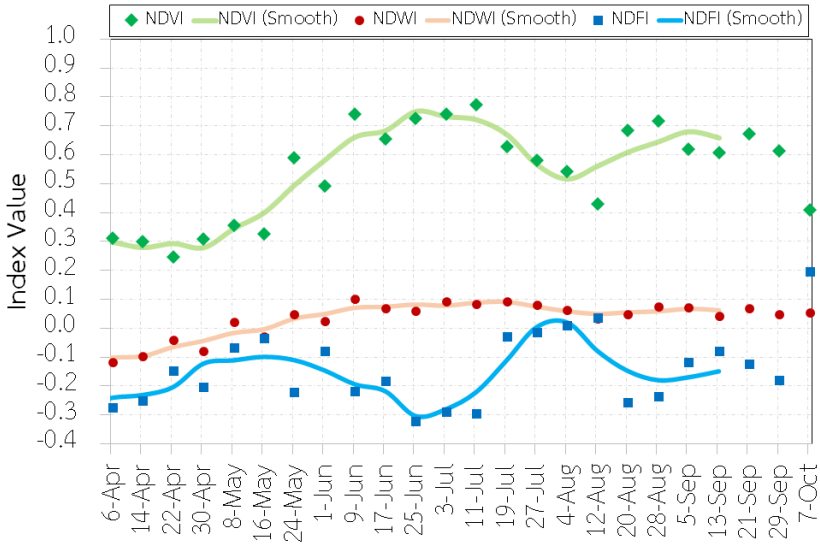
No.	Date	NDVI	NDWI	NDFI	Description
1	25/06/2020	0.80	0.09	-0.31	นาข้าวขนาดใหญ่กว้างขวาง ต้นข้าวอยู่ในระยะเจริญเติบโตแตกกอใบสีเขียวเข้มมีดอกหญ้าสีเหลืองแซมอยู่สูงกว่าต้นข้าวเล็กน้อย อายุ 1 เดือน 20 วัน ความสูงประมาณ 83 เซนติเมตร มีคูน้ำขนาดเล็กเลียบอยู่ริมถนนฝั่งตรงข้าม ในแปลงไม่มีน้ำแต่มีความชุ่มชื้นของดินอยู่มาก
2	15/07/2020	0.75	0.09	-0.31	ต้นข้าวแตกกอเต็มที่ใบสีเขียวตั้งตรงใหญ่ขึ้นกว่าเดิม ความสูงประมาณ 93 เซนติเมตร
3	06/08/2020	0.48	0.04	0.01	ข้าวอยู่ในระยะตั้งท้อง สีเหลืองอ่อน เมล็ดเริ่มอวบ ดินไม่มีน้ำขังแต่มีความชุ่มชื้นจากฝน ความสูงประมาณ 108 เซนติเมตร
4	09/09/2020	0.30	0.00	0.14	พื้นที่อยู่ในช่วงหลังการเก็บเกี่ยว ในแปลงมีตอซังข้าวและมีน้ำขัง
5	29/09/2020	0.33	0.18	0.30	พื้นที่อยู่ในช่วงหลังการเก็บเกี่ยว ในแปลงมีตอซังข้าวและมีน้ำขัง
6	14/10/2020	-	-	-	พื้นที่เพาะปลูกผ่านการไถเตรียมแปลงสำหรับการเพาะปลูกครั้งใหม่ มีน้ำขัง ในคลองมีปริมาณน้ำค่อนข้างมาก

<u>รายละเอียดอื่น ๆ เพิ่มเติม</u>: พันธุ์ข้าวหอมประทุม ขายได้ตันละ 9,000 ใช้น้ำจากแม่น้ำท่าจีน และเจาะบ่อบาดาลโดยรอบหลายบ่อ ปีนี้ชลประทานไม่ส่งน้ำ สูบน้ำเข้าแต่ละครั้งใช้เวลา 1 วัน สูบอีกครั้งเมื่อน้ำแห้งประมาณ 1 สัปดาห์ หากแล้งมากปล่อยดินแห้งก็ไม่ตาย ว่าจ้างคนในพื้นที่ถอนข้าวดีด วันละ 300 – 400 บาท จ้างรถไถเกี่ยวไร่ละ 450 – 500 บาท ถ้าราคา 500 บาท จะส่งโรงสีให้เลย พื้นที่โดยรอบแปลงปลูกข้าวเหนียว

Point ID	CPY-25B
UTM-X	614816
UTM-Y	1648309
Address	ต.เดิมบาง อ.เดิมบางนางบวช จ.สุพรรณบุรี
Irrigation Project	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาท่าโบสถ์



ภาพผนวกที่ 8 สภาพพื้นที่และสภาพการเจริญเติบโตของพืชในบริเวณจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-25B

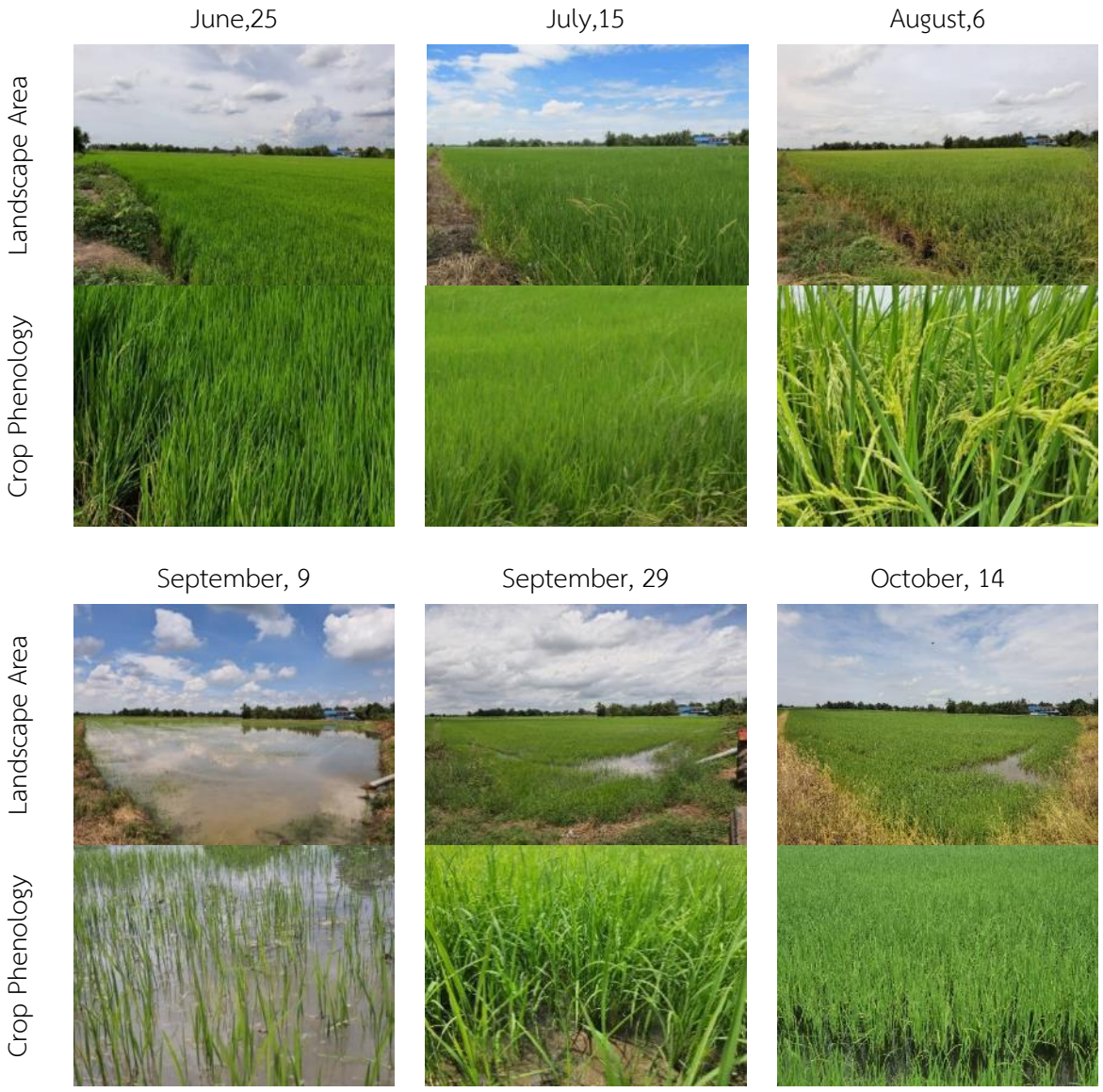


ภาพผนวกที่ 15 ค่าดัชนี NDVI, NDWI และ NDFI ของจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-25B

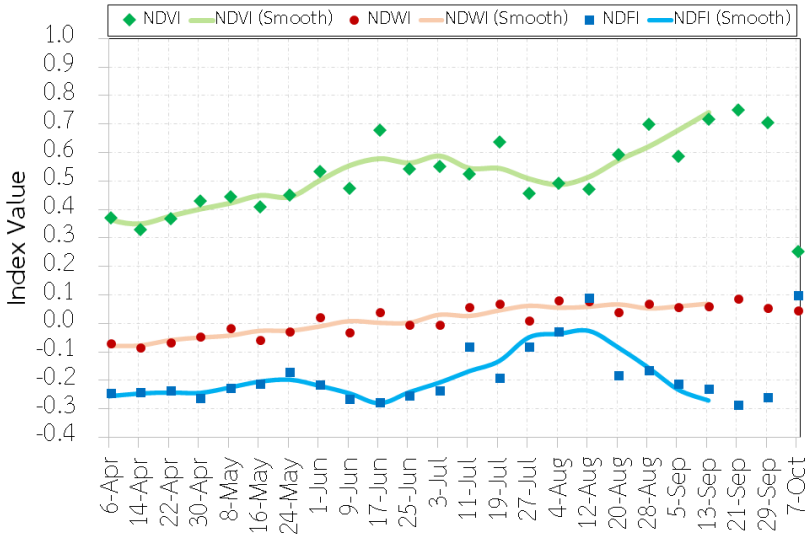
No.	Date	NDVI	NDWI	NDFI	Description
1	25/06/2020	0.68	0.07	-0.22	นาข้าวขนาดกลาง อยู่ติดคลองส่งน้ำ แปลงอยู่ในช่วงเตรียมปลูกบางส่วนดินชุ่มชื้นมาก บางส่วนเป็นแปลงที่ไถไว้ ยังไม่ได้เอาน้ำเข้าแปลง
2	15/07/2020	0.72	0.09	-0.22	ต้นข้าวในแปลงที่เตรียมปลูกอยู่ในระยะเติบโต กำลังเริ่มเข้าสู่การแตกกอความสูงประมาณ 30 เซนติเมตร ในแปลงมีน้ำขัง
3	06/08/2020	0.52	0.06	0.02	ข้าวยังอยู่ในระยะเติบโตมีการแตกกอเพิ่มขึ้น ความสูงประมาณ 60 เซนติเมตร อายุเดือนกว่า แปลงมีน้ำขังเนื่องจากฝนตก
4	09/09/2020	0.62	0.07	-0.12	ข้าวอยู่ในระยะตั้งท้องกำลังเข้าสู่ระยะเก็บเกี่ยว โตเต็มเมล็ดและอวบแข็ง ความสูงประมาณ 110 เซนติเมตร มีน้ำในคลองชลประทานซึ่งมีเครื่องสูบน้ำกำลังสูบน้ำเข้านา
5	29/09/2020	0.61	0.05	-0.18	ต้นข้าวล้มทั้งแปลงหลังจากฝนตกหนักจึงไม่สามารถวัดความสูงได้ อยู่ในระยะเก็บเกี่ยว รวงข้าวสีเหลืองเมล็ดอวบเต็มที่ใบข้าวกำลังเปลี่ยนเป็นสีเหลือง
6	14/10/2020	-	-	-	พื้นที่อยู่ระหว่างหลังการเก็บเกี่ยว มีตอซังข้าว น้ำในคลองมีปริมาณน้อย

<u>รายละเอียดอื่น ๆ เพิ่มเติม</u>: พันธุ์ข้าว กข41 ปลูกปีละ 2 รอบ ราคาขายตันละ 7,500 บาท ฟางไร่ละ 100 บาท ใส่ปุ๋ยตรากระต่ายทั้งปลูก และเร่ง ไร่ละ 2 ลูก รับน้ำจากคลองท่าทอง ท่าโบสถ์ ปีนี้ไม่ปล่อยน้ำเลย ใช้น้ำบาดาล บ่อตอก บ่อละ 40,000 ค่ารถเกี่ยว 500 บาท แจ้งข่าวสารการปล่อยน้ำจากกำนัน ผู้ใหญ่บ้าน ประกาศเสียงตามสาย รอบพื้นที่ (แปลงข้างซ้าย)ปลูกข้าวหอมปทุม ปีละ 3 รอบ อยู่ในระยะกำลังตั้งท้อง เมล็ดสีเขียว สูงประมาณ 107 เซนติเมตร มีหญ้าหางหมาขึ้นสูงกว่าข้าวเป็นจำนวนมาก จ้างรถดำนาราคาหลายพัน(รวมต้นกล้า) ระยะเวลาเกี่ยว 105 – 110 วัน นับจากวันดำ ราคาขายตันละ 8,500 – 8,600 บาท

Point ID	CPY-25C
UTM-X	632084
UTM-Y	1639446
Address	ต.หนองกระทุ่ม อ.ค่ายบางระจัน จ.สิงห์บุรี
Irrigation Project	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาชัณสูตร



ภาพผนวกที่ 9 สภาพพื้นที่และสภาพการเจริญเติบโตของพืชในบริเวณจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-25C



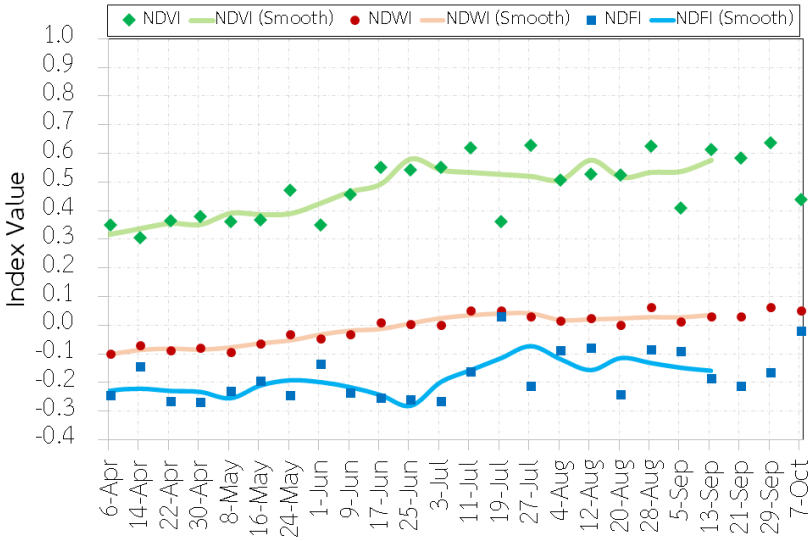
ภาพผนวกที่ 17 ค่าดัชนี NDVI, NDWI และ NDFI ของจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-25C

No.	Date	NDVI	NDWI	NDFI	Description
1	25/06/2020	0.58	0.00	-0.28	นาข้าวขนาดกลาง ต้นข้าวอยู่ในระยะเติบโตกำลังแตกกอเต็มที่ใบใหญ่สีเขียวเข้มและตั้งตรง ความสูงประมาณ 75 เซนติเมตร มีบ่อน้ำซีเมนต์กลางทางเดินบนคันนา ด้านหน้ามีคูน้ำเลียบติดถนน ในแปลงมีน้ำเพียงเล็กน้อย
2	15/07/2020	0.55	0.03	-0.17	ต้นข้าวอยู่ในระยะเติบโตแตกกอเต็มที่ ใบสีเขียวเข้มขนาดใหญ่ขึ้นจากเดิม และตั้งตรง มีวัชพืชเล็กน้อย ความสูงประมาณ 95 เซนติเมตร คูน้ำมีระดับน้ำสูงกว่าเดิม
3	06/08/2020	0.49	0.06	-0.04	ข้าวอยู่ในระยะออกรวง ยังมีช่อดอกอยู่บ้าง เมล็ดสีเขียวเริ่มเป็นสีเหลืองอ่อน ใบสีเขียวเข้มตั้งตรง ความสูงประมาณ 120 เซนติเมตร ในแปลงไม่มีน้ำขังดินมีความชุ่มชื้นจากฝน น้ำในคูมีไม่มาก
4	09/09/2020	0.59	0.06	-0.21	ต้นข้าวอยู่ในระยะเติบโต ความสูงประมาณ 10 เซนติเมตร มีน้ำขังในแปลง และมีน้ำอยู่เต็มคลองมีการใช้เครื่องสูบน้ำสูบเข้านา
5	29/09/2020	0.71	0.05	-0.26	ต้นข้าวอยู่ในระยะเติบโต ความสูงประมาณ 50 เซนติเมตร ในแปลงมีน้ำขังจากฝนตกเล็กน้อย ลำคลองด้านหน้ามีน้ำปริมาณมาก กำลังทำการสูบน้ำออกจากแปลง
6	14/09/2020	-	-	-	ต้นข้าวอยู่ในระยะเติบโต แตกกอเพิ่มขึ้น ความสูงประมาณ 67 เซนติเมตร มีน้ำขังในแปลง ในคลองมีน้ำปริมาณมาก

<u>รายละเอียดอื่น ๆ เพิ่มเติม</u>: -

Point ID	CPY-25D
UTM-X	640107
UTM-Y	1647183
Address	ต.ไม้ดัด อ.บางระจัน จ.สิงห์บุรี
Irrigation Project	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาชัณสูตร

ภาพผนวกที่ 10 สภาพพื้นที่และสภาพการเจริญเติบโตของพืชในบริเวณจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-25D

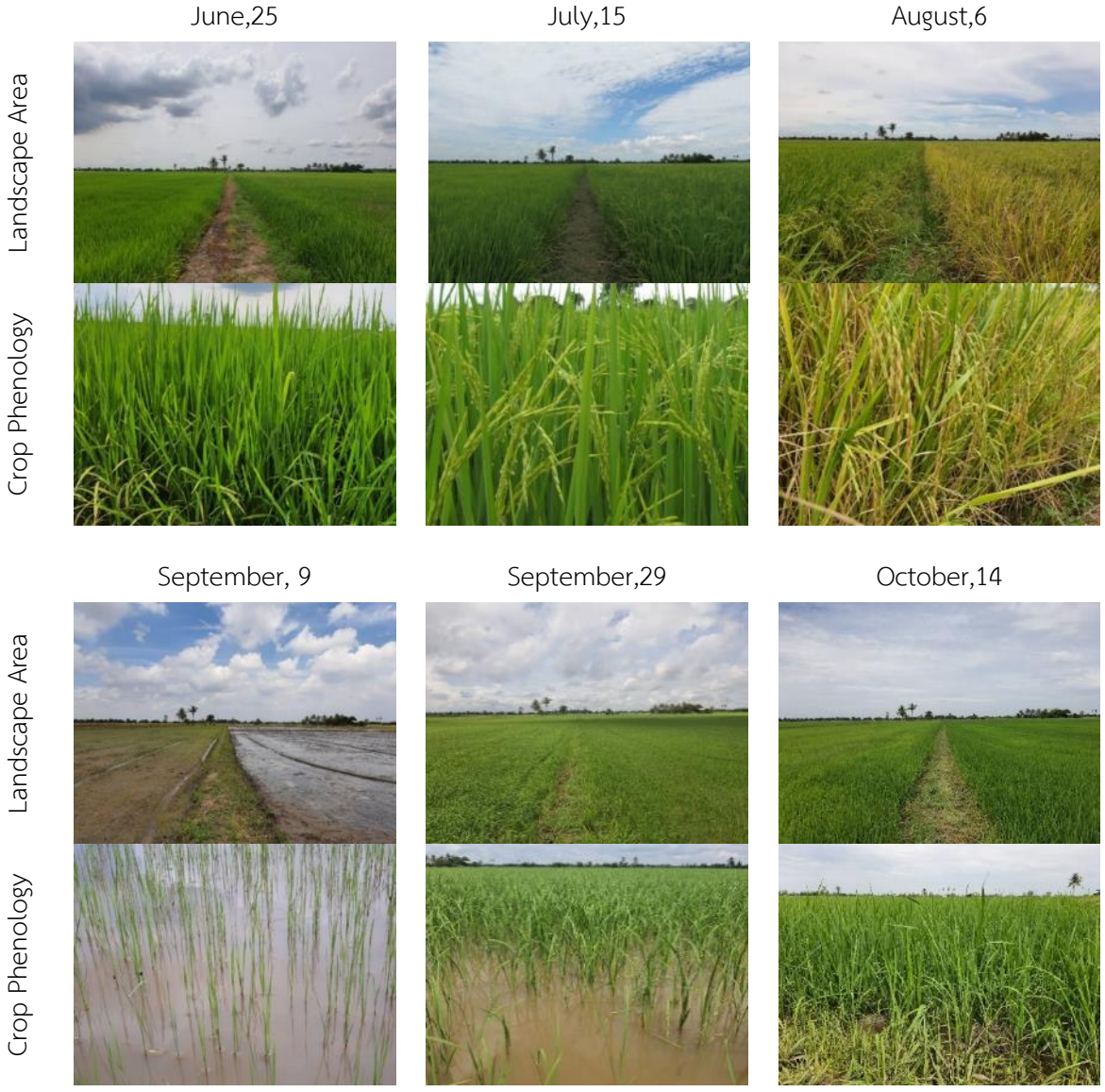


ภาพผนวกที่ 19 ค่าดัชนี NDVI, NDWI และ NDFI ของจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-25D

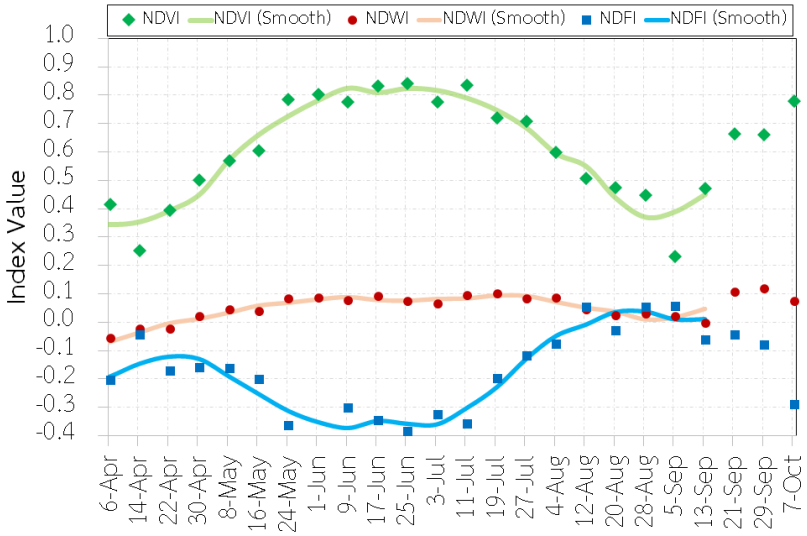
No.	Date	NDVI	NDWI	NDFI	Description
1	25/06/2020	0.49	-0.01	-0.24	นาข้าวขนาดเล็ก อยู่ในช่วงหลังเก็บเกี่ยว พบตอซังข้าวอยู่จำนวนหนึ่ง มีวัชพืชทั่วทั้งพื้นที่ บริเวณด้านข้างติดคลองส่งน้ำซึ่งมีน้ำอยู่เล็กน้อย พื้นที่โดยรอบเพาะปลูกอ้อย
2	15/07/2020	0.53	0.03	-0.16	มีวัชพืชขึ้นเต็มพื้นที่ คลองส่งน้ำมีน้ำอยู่เล็กน้อย
3	06/08/2020	0.51	0.02	-0.12	มีการไถดินเตรียมแปลง ดินแห้งไม่มีน้ำ คลองส่งน้ำมีน้ำอยู่เล็กน้อย
4	09/09/2020	0.41	0.01	-0.09	ต้นข้าวอยู่ในระยะเติบโต ความสูงประมาณ 8 เซนติเมตร ดินชุ่มชื้นมีน้ำขังเล็กน้อย คลองส่งน้ำมีน้ำอยู่ปริมาณมาก
5	29/09/2020	0.64	0.06	-0.17	ต้นข้าวมีการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ ยังอยู่ในระยะเติบโต ความสูงประมาณ 36 เซนติเมตร แตกกอเพิ่มขึ้น ในแปลงมีน้ำขัง คลองส่งน้ำมีน้ำอยู่ในปริมาณมาก
6	14/10/2020	-	-	-	ต้นข้าวอยู่ในระยะเติบโต แตกกอเพิ่มขึ้น ความสูงประมาณ 67 เซนติเมตร ในแปลงมีน้ำขัง คลองส่งน้ำมีน้ำอยู่ในปริมาณมาก

<u>รายละเอียดอื่น ๆ เพิ่มเติม</u>: -

Point ID	CPY-25E
UTM-X	633052
UTM-Y	1648710
Address	ต.สระแจง อ.บางระจัน จ.สิงห์บุรี
Irrigation Project	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาชัณสูตร



ภาพผนวกที่ 11 สภาพพื้นที่และสภาพการเจริญเติบโตของพืชในบริเวณจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-25E

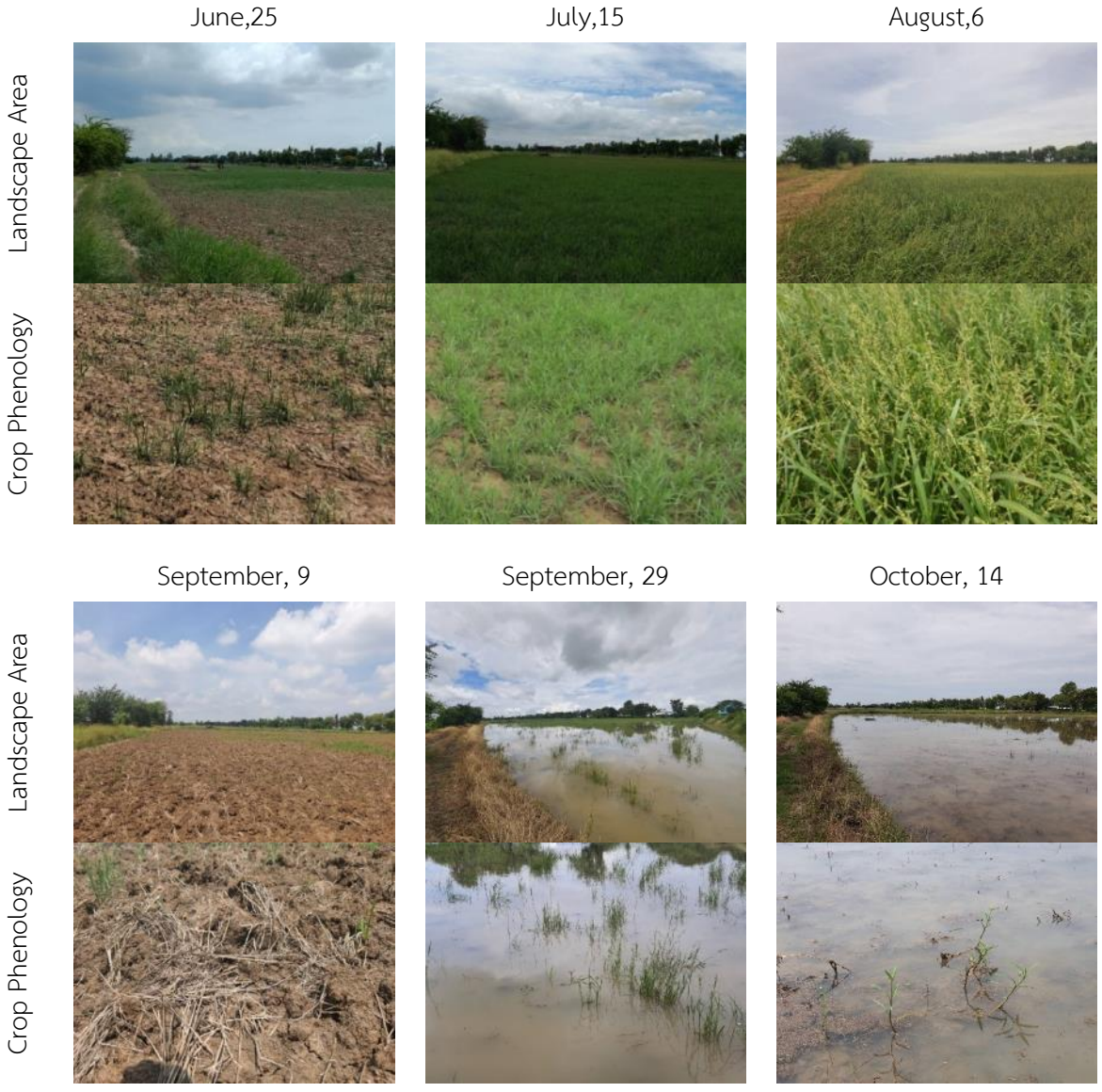


ภาพผนวกที่ 21 ค่าดัชนี NDVI, NDWI และ NDFI ของจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-25E

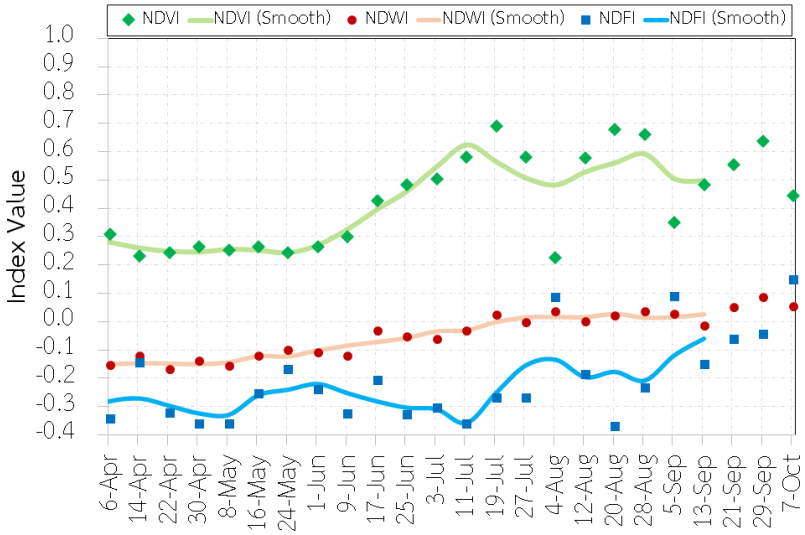
No.	Date	NDVI	NDWI	NDFI	Description
1	25/06/2020	0.81	0.08	-0.35	นาข้าวขนาดใหญ่ ต้นข้าวอยู่ในระยะเติบโตกำลังแตกกอ ด้านซ้ายความสูงประมาณ 80 เซนติเมตร ด้านขวาความสูงประมาณ 95 เซนติเมตร ดินมีความชุ่มชื้นมีน้ำขังเล็กน้อย มีคูน้ำทั่วแปลง ปริมาณน้ำอยู่ในระดับปานกลาง
2	15/07/2020	0.79	0.08	-0.30	ทางด้านซ้ายต้นข้าวอยู่ในระยะเติบโตแตกกอเต็มที่ ความสูงประมาณ 101 เซนติเมตร ฝั่งขวาต้นข้าวอยู่ในระยะออกรวงสีเขียวมีช่อดอกความสูงประมาณ 127 เซนติเมตร ในแปลงไม่มีน้ำขังดินมีความชุ่มชื้นปานกลาง
3	06/08/2020	0.59	0.07	-0.05	ด้านซ้ายต้นข้าวอยู่ในระยะตั้งท้อง รวงสีเขียวเมล็ดเริ่มอวบ ใบสีเขียวเข้มตั้งตรง ความสูงประมาณ 127 เซนติเมตร ด้านขวาต้นข้าวอยู่ในระยะเก็บเกี่ยวรวงข้าวสีเหลืองอวบเต็มเมล็ด ความสูงประมาณ 130 เซนติเมตร แปลงไม่มีน้ำขังดินชุ่มชื้นจากฝนตก
4	09/09/2020	0.23	0.02	0.06	มีการเพาะปลูกครั้งใหม่ ข้าวเริ่มงอกอยู่ในระยะเติบโตความสูงประมาณ 21 เซนติเมตร ในแปลงมีน้ำขัง ในคลองมีน้ำปริมาณมาก และมีสีขุ่น
5	29/09/2020	0.66	0.12	-0.08	ข้าวกำลังแตกกอ อยู่ในระยะเติบโต ด้านซ้ายความสูงประมาณ 26 เซนติเมตร ด้านขวา 30 เซนติเมตร มีน้ำในแปลงเล็กน้อย ในคลองมีน้ำปริมาณมาก
6	14/10/2020	-	-	-	ข้าวอยู่ในระยะเติบโต แตกกอเพิ่มขึ้น ความสูงประมาณ 60 เซนติเมตร มีน้ำขังในแปลง ในคลองมีน้ำปริมาณมาก

<u>รายละเอียดอื่น ๆ เพิ่มเติม</u>: ต.พักทัน ข้าวพันธ์หอมประทุม ปลูก 2 รอบต่อปี เริ่มปลูกเดือนเมษายน ส่วนเดือนกรกฎาคม – สิงหาคม สามารถเกี่ยวได้ ใช้น้ำจากคลองชลประทาน ค่ารถดำนาไร่ละ 1,500 บาท รถทอยไร่ละ 80 บาท จ้างรถไปโรงสี 100 บาท ฟางไร่ละ 100 บาท ใช้ปุ๋ยตรากระต่าย จะเก็บเกี่ยวข้าววันที่ 10 สิงหาคม ฝั่งขวาดำนาต้นข้าวไม่ล้มเหมือนแปลงที่หว่าน

Point ID	CPY-25F
UTM-X	631392
UTM-Y	1655419
Address	ต.ดอนกำ อ.สรรคบุรี จ.ชัยนาท
Irrigation Project	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาบรมธาตุ



ภาพผนวกที่ 12 สภาพพื้นที่และสภาพการเจริญเติบโตของพืชในบริเวณจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-25F

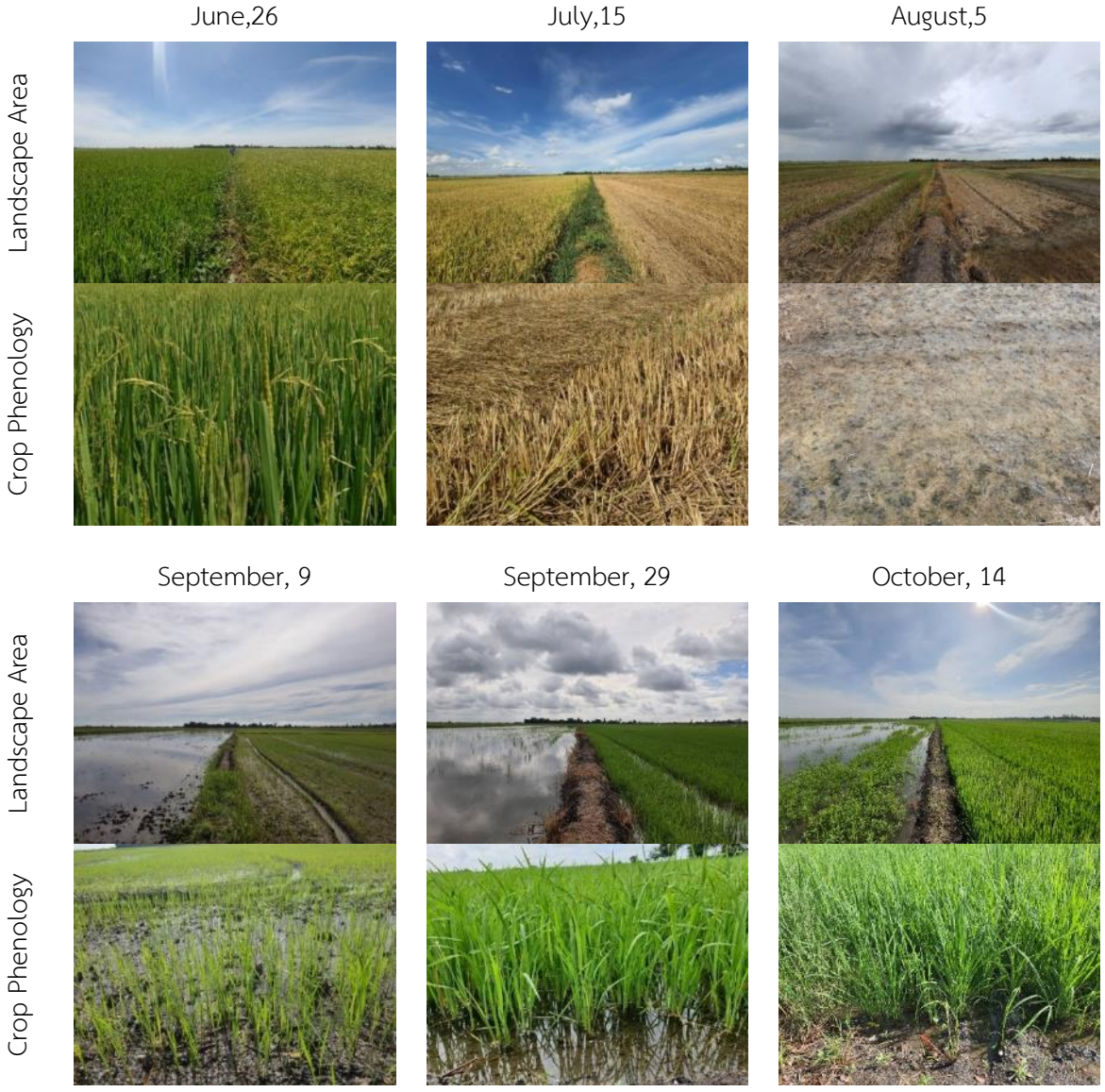


ภาพผนวกที่ 23 ค่าดัชนี NDVI, NDWI และ NDFI ของจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-25F

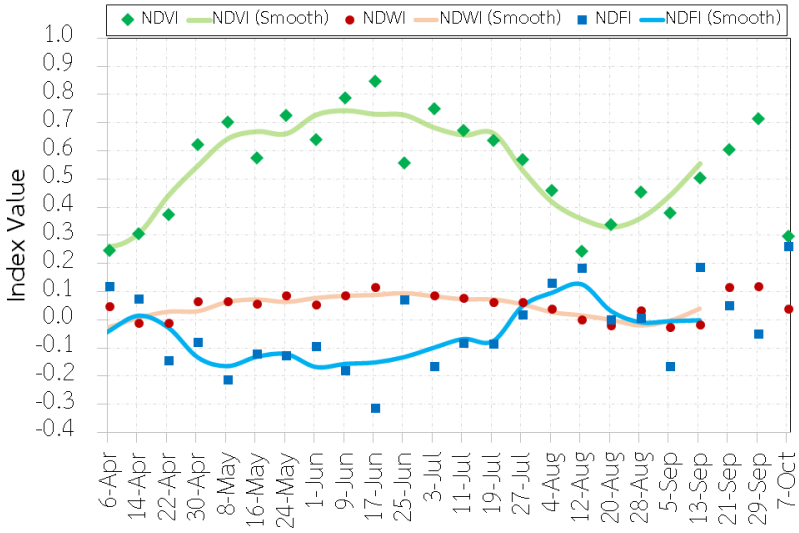
No.	Date	NDVI	NDWI	NDFI	Description
1	25/06/2020	0.40	-0.07	-0.28	พื้นที่เพาะปลูกขนาดเล็กติดถนนใหญ่ อยู่ในช่วงหลังเก็บเกี่ยวมีวัชพืชบ้างประปราย
2	15/07/2020	0.62	-0.03	-0.36	วัชพืชเต็มพื้นที่
3	06/08/2020	0.48	0.02	-0.13	วัชพืชเพิ่มขึ้นจากเดิมทั่วทั้งพื้นที่
4	09/09/2020	0.35	0.03	0.09	มีการไถพรวนดินเตรียมแปลงสำหรับการเพาะปลูก ดินแห้งมีวัชพืชเล็กน้อย ในคลองมีน้ำปริมาณน้อย
5	29/09/2020	0.64	0.09	-0.04	น้ำขังบริเวณแปลงเพาะปลูก ยังไม่ได้ไถดินเตรียมแปลงสำหรับการเพาะปลูกครั้งใหม่ มีวัชพืชภายในแปลง ในคลองส่งน้ำมีน้ำปริมาณมาก
6	14/10/2020	-	-	-	พื้นที่มีการเตรียมสำหรับการเพาะปลูกครั้งถัดไป มีน้ำขังในแปลง ในคลองส่งน้ำมีน้ำปริมาณมาก

<u>รายละเอียดอื่น ๆ เพิ่มเติม</u>: -

Point ID	CPY-26A
UTM-X	600339
UTM-Y	1593764
Address	ต.หนองโอ่ง อ.อู่ทอง จ.สุพรรณบุรี
Irrigation Project	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาดอนเจดีย์



ภาพผนวกที่ 13 สภาพพื้นที่และสภาพการเจริญเติบโตของพืชในบริเวณจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-26A

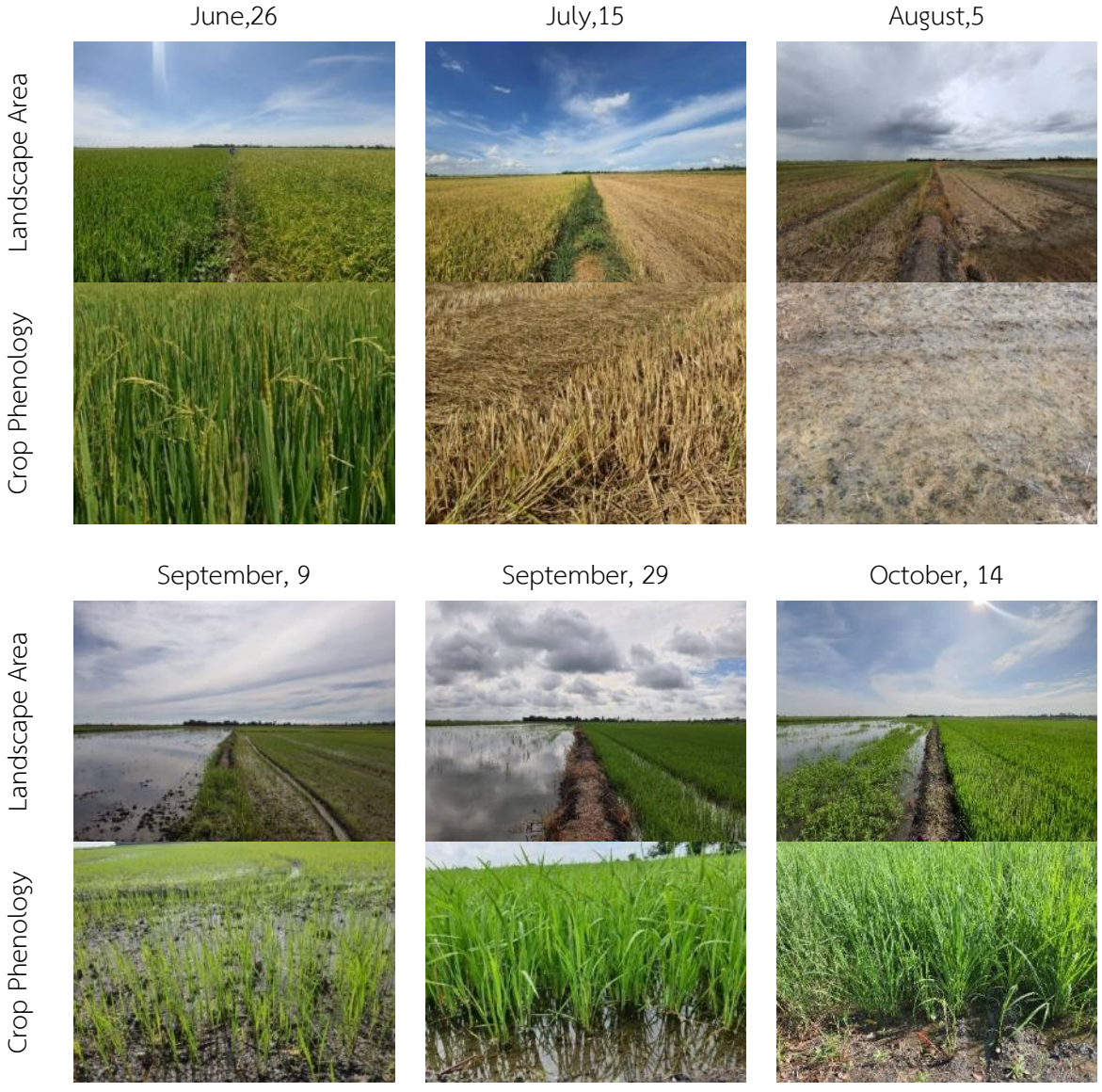


ภาพผนวกที่ 25 ค่าดัชนี NDVI, NDWI และ NDFI ของจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-26A

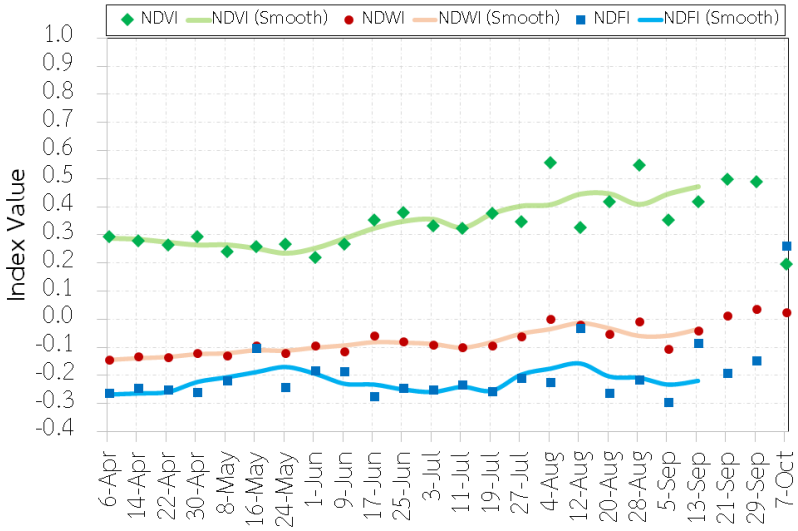
No.	Date	NDVI	NDWI	NDFI	Description
1	26/06/2020	0.73	0.09	-0.15	นาข้าวขนาดใหญ่กว้างขวาง ฝั่งซ้ายต้นข้าวอยู่ในระยะออกรวงอ่อน ความสูงประมาณ 80 เซนติเมตร ฝั่งขวาต้นข้าวอยู่ในระยะตั้งท้องรวงข้าวสีเหลืองเมล็ดเริ่มอวบโน้มลงตามน้ำหนัก ความสูงประมาณ 90 เซนติเมตร
2	15/07/2020	0.66	0.07	-0.07	ฝั่งซ้ายต้นข้าวอยู่ในระยะเก็บเกี่ยว รวงข้าวสีเหลืองเมล็ดโตเต็มที่ใบข้าวสีเหลืองเป็นส่วนใหญ่ปลายใบแห้งเป็นสีน้ำตาล ความสูงประมาณ 88 เซนติเมตร ในที่ริมถนนสูงประมาณ 105 เซนติเมตร ฝั่งขวาเก็บเกี่ยวแล้ว
3	06/08/2020	0.42	0.03	0.10	เกี่ยวข้าวทั้งหมดแล้ว เตรียมแปลงสำหรับปลูกใหม่บ้างแล้วบางส่วน
4	09/09/2020	0.38	-0.02	-0.16	ต้นข้าวอยู่ในระยะเติบโต ความสูงประมาณ 7 เซนติเมตร มีน้ำขังในแปลง ในคลองมีน้ำอยู่เต็ม
5	29/09/2020	0.71	0.12	-0.05	ต้นข้าวแตกกอและสูงขึ้น อยู่ในระยะเติบโต ความสูงประมาณ 40 เซนติเมตร ในแปลงมีน้ำขังจากฝนตก คลองมีปริมาณน้ำอยู่ในระดับสูง
6	14/10/2020	-	-	-	ต้นข้าวอยู่ในระยะเติบโต ความสูงประมาณ 64 เซนติเมตร มีน้ำขังในแปลง ในคลองมีน้ำปริมาณมาก

<u>รายละเอียดอื่น ๆ เพิ่มเติม</u>: -

Point ID	CPY-26B
UTM-X	613136
UTM-Y	1603655
Address	ต.บ้านโพธิ์ อ.เมืองสุพรรณบุรี จ.สุพรรณบุรี
Irrigation Project	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสามชุก



ภาพผนวกที่ 13 สภาพพื้นที่และสภาพการเจริญเติบโตของพืชในบริเวณจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-26A

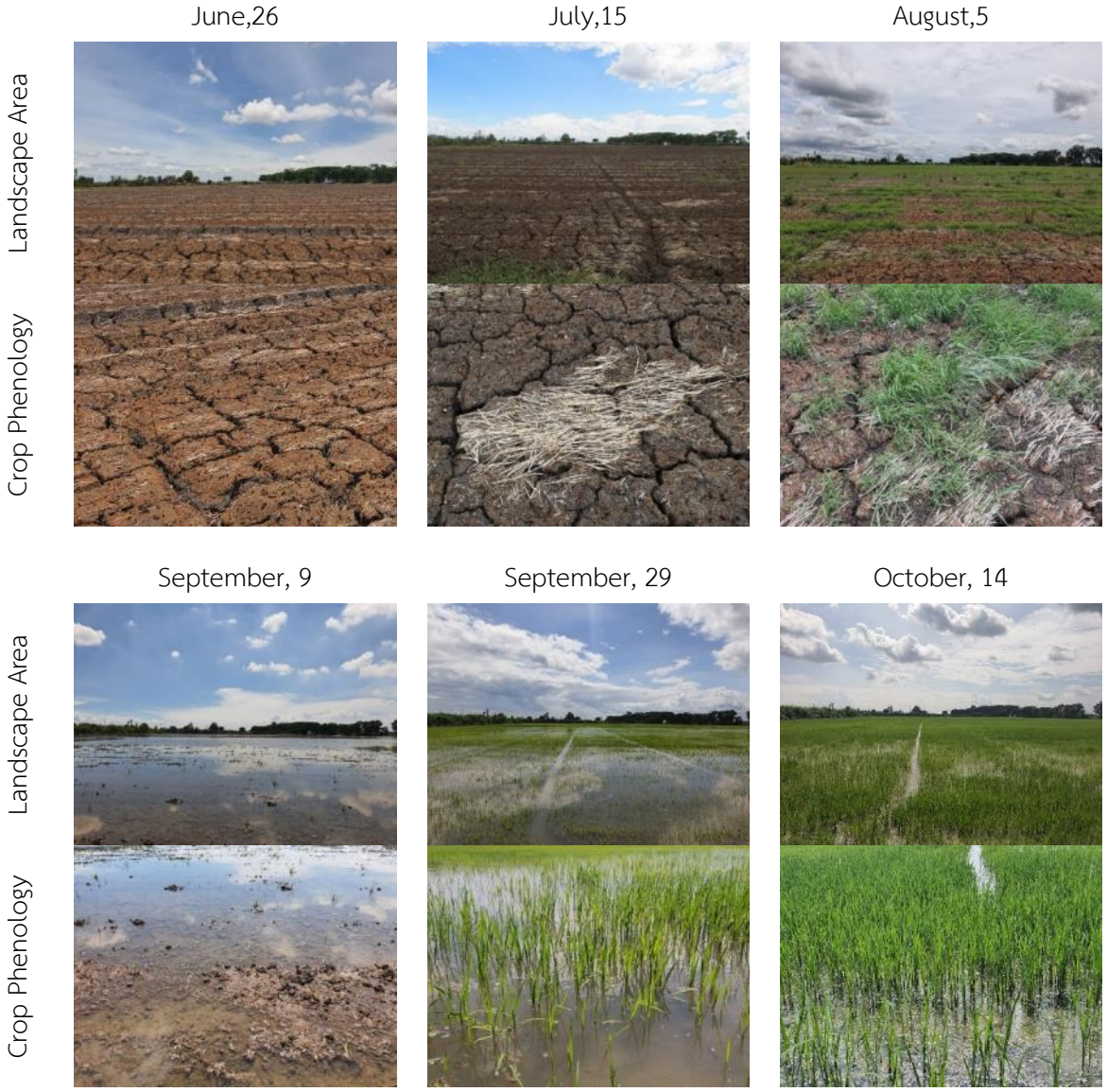


ภาพผนวกที่ 27 ค่าดัชนี NDVI, NDWI และ NDFI ของจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-26B

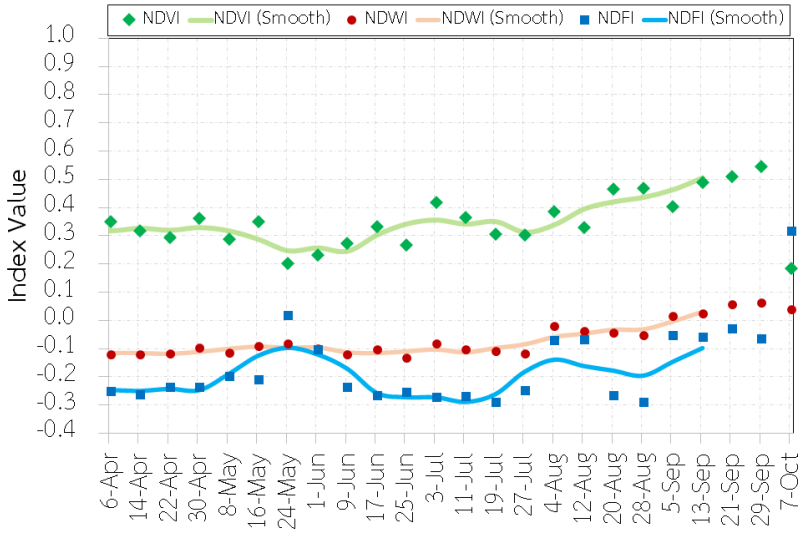
No.	Date	NDVI	NDWI	NDFI	Description
1	26/06/2020	0.32	-0.08	-0.23	พื้นที่เพาะปลูกนาข้าวขนาดกลาง อยู่ในช่วงเตรียมแปลง มีการไถพรวน
2	15/07/2020	0.33	-0.10	-0.24	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
3	06/08/2020	0.41	-0.03	-0.17	มีการไถพรวนดินให้ละเอียดขึ้น
4	09/09/2020	0.35	-0.11	-0.30	ดินแห้งเริ่มมีวัชพืชขึ้น
5	29/09/2020	0.49	0.04	-0.15	น้ำขังในแปลงจากฝนตก วัชพืชเพิ่มมากขึ้นทั่วทั้งพื้นที่
6	14/10/2020	-	-	-	มีน้ำขังในแปลง วัชพืชขึ้นสูงและเพิ่มมากขึ้น

<u>รายละเอียดอื่น ๆ เพิ่มเติม</u>:

Point ID	CPY-26C
UTM-X	627959
UTM-Y	1602567
Address	ต.ดอนตาล อ.เมืองสุพรรณบุรี จ.สุพรรณบุรี
Irrigation Project	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโพธิ์พระยา



ภาพผนวกที่ 15 สภาพพื้นที่และสภาพการเจริญเติบโตของพืชในบริเวณจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-26C

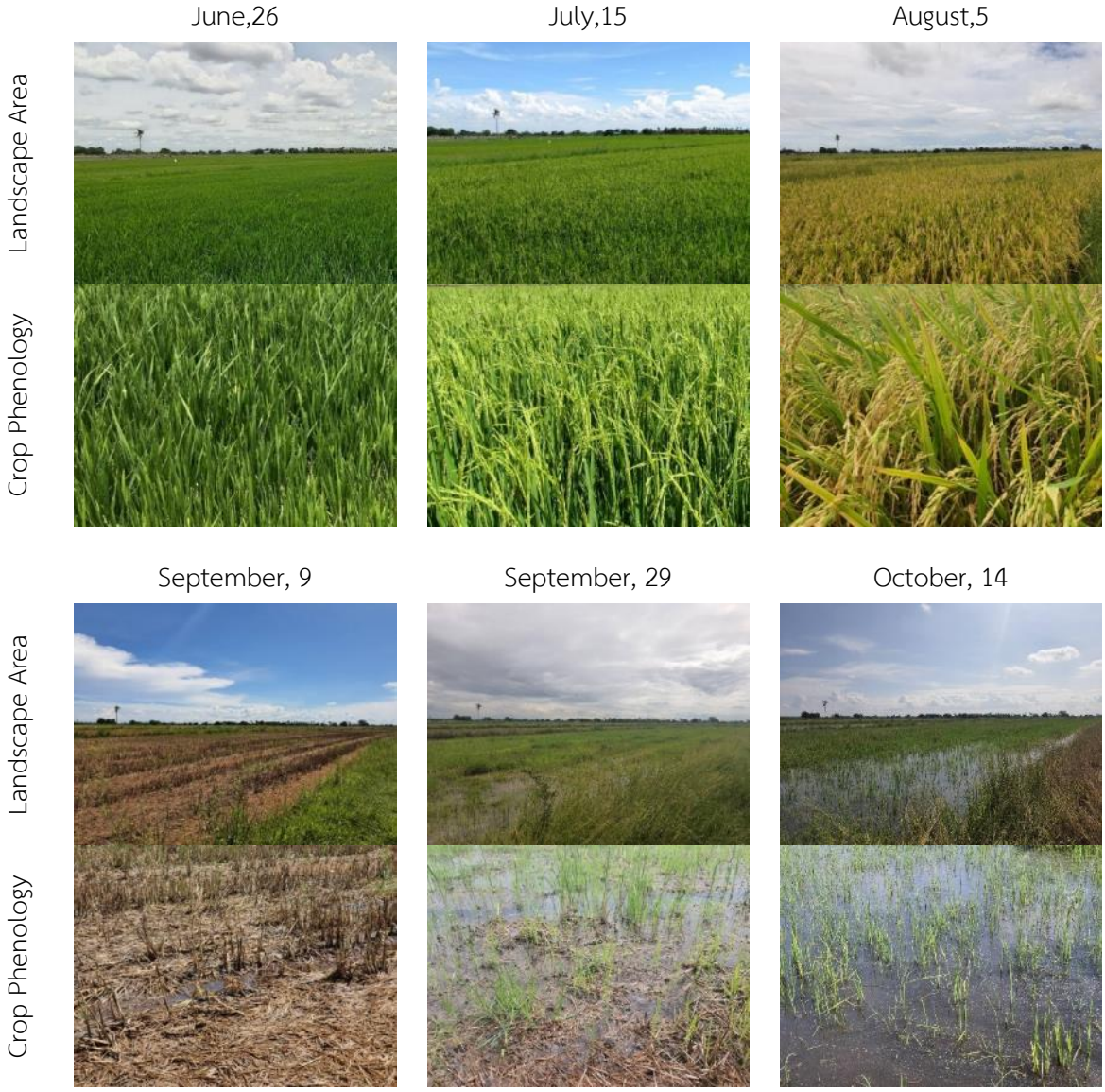


ภาพผนวกที่ 29 ค่าดัชนี NDVI, NDWI และ NDFI ของจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-26C

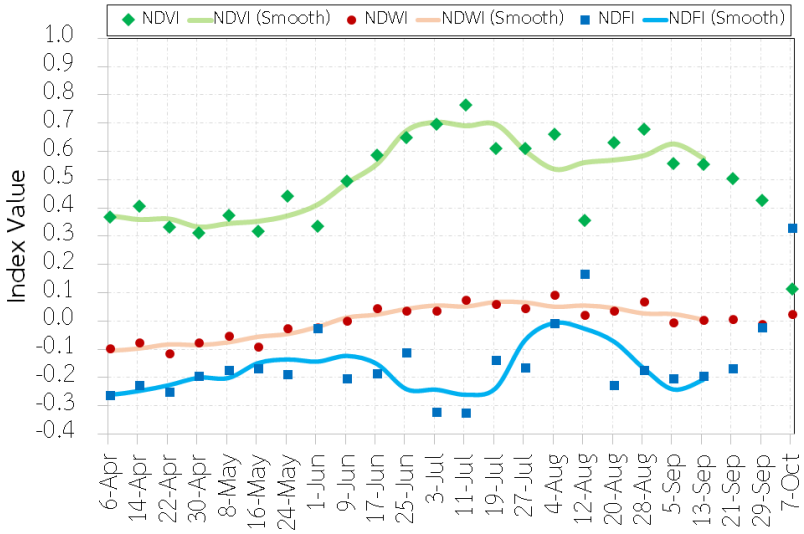
No.	Date	NDVI	NDWI	NDFI	Description
1	26/06/2020	0.30	-0.12	-0.26	นาข้าวขนาดกลาง มีตอซังข้าวเล็กน้อย และมีร่องรอยการเผา
2	15/07/2020	0.34	-0.11	-0.29	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
3	05/08/2020	0.34	-0.06	-0.14	มีวัชพืชมากขึ้นกว่าเดิม
4	09/09/2020	0.40	0.02	-0.05	มีการขังน้ำในแปลงฝั่งซ้าย แต่แปลงด้านขวาหว่านเมล็ดแล้วต้นข้าวกำลังงอก ความสูงประมาณ 3 เซนติเมตร ดินชุ่มชื้น ในคูเล็ก ๆ ด้านข้างแปลงเลียบถนนมีน้ำอยู่เต็ม
5	29/09/2020	0.54	0.06	-0.07	ต้นข้าวมีการเจริญเติบโตทางลำต้น และใบ อยู่ในระยะเติบโตกำลังเริ่มแตกกอความสูงประมาณ 20 เซนติเมตร ในแปลงมีน้ำขัง มีน้ำในคลองปริมาณมาก
6	14/10/2020	-	-	-	ต้นข้าวอยู่ในระยะเติบโต ความสูงประมาณ 54 เซนติเมตร มีน้ำขังในแปลง

<u>รายละเอียดอื่น ๆ เพิ่มเติม</u>:

Point ID	CPY-26D
UTM-X	621778
UTM-Y	1595402
Address	ต.ทับตีเหล็ก อ.เมืองสุพรรณบุรี จ.สุพรรณบุรี
Irrigation Project	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโพธิ์พระยา



ภาพผนวกที่ 16 สภาพพื้นที่และสภาพการเจริญเติบโตของพืชในบริเวณจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-26D

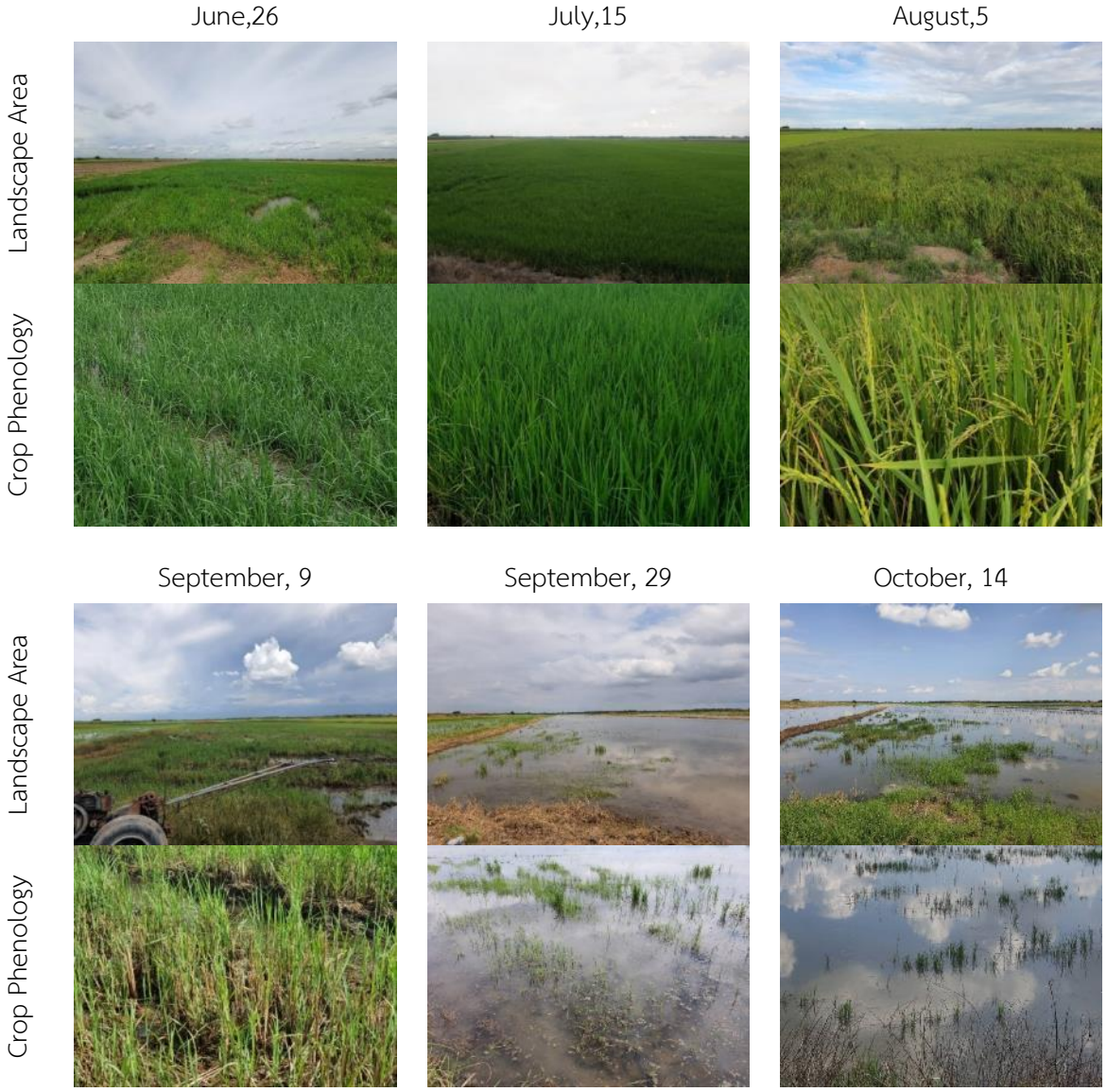


ภาพผนวกที่ 31 ค่าดัชนี NDVI, NDWI และ NDFI ของจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-26D

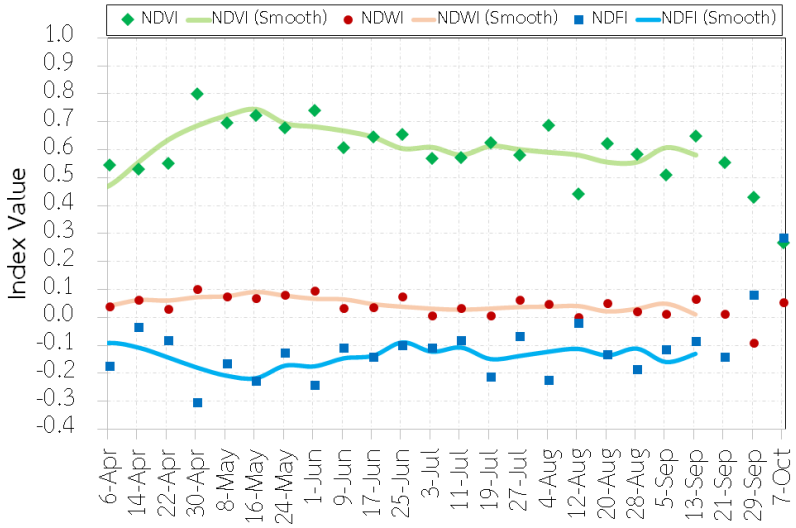
No.	Date	NDVI	NDWI	NDFI	Description
1	26/06/2020	0.56	0.02	-0.15	นาข้าวขนาดใหญ่ ต้นข้าวอยู่ในระยะเติบโตแตกกอเต็มที่ ความสูงประมาณ 70 เซนติเมตรพร้อมเพียงทั้งพื้นที่ ในแปลงมีน้ำขัง
2	15/07/2020	0.69	0.05	-0.26	ต้นข้าวอยู่ในระยะตั้งท้องเมล็ดข้าวสีเขียวเริ่มอวบมีช่อดอกเหลืออยู่บ้างเล็กน้อย ความสูงประมาณ 101 เซนติเมตร
3	05/08/2020	0.54	0.05	-0.01	ต้นข้าวกำลังเข้าสู่ระยะเก็บเกี่ยว เมล็ดส่วนมากเป็นสีเขียว ใบข้าวเริ่มเหลืองปลายใบแห้ง ความสูงประมาณ 85 เซนติเมตร แปลงไม่มีน้ำขัง ดินชุ่มชื้นปานกลาง หญ้าสูง
4	09/09/2020	0.56	0.00	-0.20	พื้นที่อยู่ในช่วงหลังการเก็บเกี่ยว มีตอซังข้าวในแปลง และมีน้ำขัง
5	29/09/2020	0.43	-0.01	-0.02	พื้นที่อยู่ในช่วงหลังการเก็บเกี่ยว มีตอซังข้าวในแปลง มีน้ำขัง มีวัชพืชและต้นข้าวที่เกิดจากการตกหล่นหลังการเก็บเกี่ยว ยังไม่ได้เตรียมแปลงสำหรับเพาะปลูกครั้งถัดไป
6	14/10/2020	-	-	-	ยังไม่มีการไถเตรียมแปลง วัชพืชมากขึ้น มีการงอกของต้นอ่อนข้าวที่ตกหล่นจากการเก็บเกี่ยวเมล็ดบางจุด มีน้ำขังในแปลง น้ำในคลองอยู่ในระดับปานกลาง

<u>รายละเอียดอื่น ๆ เพิ่มเติม</u>: ต.บางปลาม้า - ท่าขี้เหล็ก นาปรัง พื้นที่ประมาณ 17 ไร่ ข้าวพันธุ์ กข41 ปลูกปีละ 2 รอบ ไม่ย้ำตอ เริ่มปลูกเดือน มิถุนายน จะปลูกเมื่อมีน้ำมา ปลูกอีกครั้งเดือนเมษายน ราคาขายตันละ 7,500 บาท ค่ารถเกี่ยวไร่ละ 450 บาท ฟางข้าวจะมีคนเลี้ยงเป็ดไล่ทุ่งมาจัดการ การใช้น้ำวิดน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาเนื่องจากอยู่ในพื้นที่ชลประทานแต่น้ำมาไม่ถึง มีการแจ้งข่าวสารเรื่องน้ำผ่านทางผู้ช่วยผู้ใหญ่บ้านและบอกกล่าวปากต่อปาก

Point ID	CPY-26E
UTM-X	615029
UTM-Y	1577849
Address	ต.บางพลับ อ.สองพี่น้อง จ.สุพรรณบุรี
Irrigation Project	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโพธิ์พระยา



ภาพผนวกที่ 17 สภาพพื้นที่และสภาพการเจริญเติบโตของพืชในบริเวณจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-26E

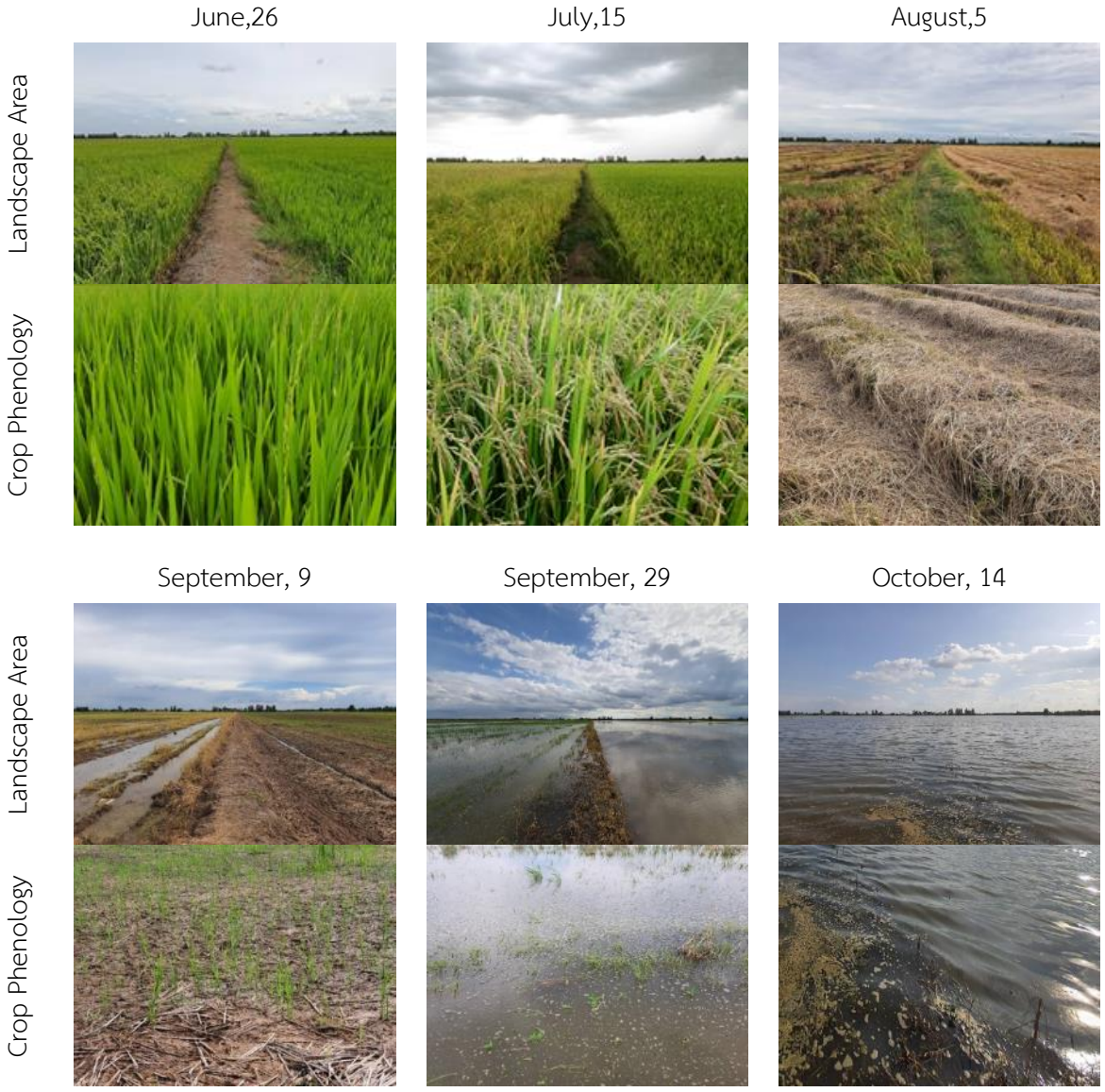


ภาพผนวกที่ 33 ค่าดัชนี NDVI, NDWI และ NDFI ของจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-26E

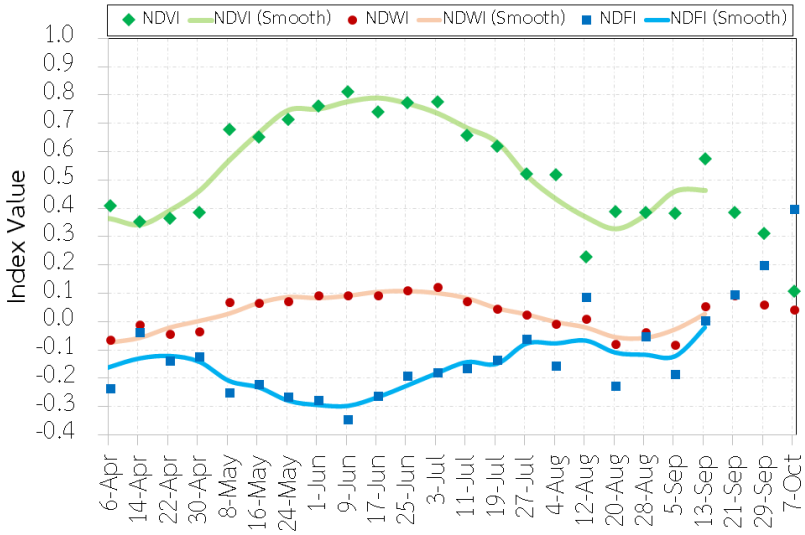
No.	Date	NDVI	NDWI	NDFI	Description
1	26/06/2020	0.64	0.05	-0.14	นาข้าวขนาดใหญ่ มีน้ำขังในแปลง ต้นข้าวกำลังแตกยอดใหม่จากรอยตัดเดิม ความสูงประมาณ 35 เซนติเมตร แปลงฝั่งซ้าย 1 แปลง ไถกลบตอซังข้าวและมีน้ำขังด้านหน้าแปลงมีแอ่งน้ำขนาดเล็ก
2	15/07/2020	0.58	0.03	-0.11	ต้นข้าวโตขึ้นจากเดิม ความสูงประมาณ 70 เซนติเมตร เริ่มมีรวงอ่อนขึ้นมาบ้างเล็กน้อย แปลงฝั่งซ้าย 1 แปลง มีต้นกล้าขึ้นใหม่
3	05/08/2020	0.59	0.04	-0.12	ต้นข้าวออกรวงเขียวกำลังเข้าสู่ระยะตั้งท้อง มีช่อดอกเหลืออยู่บ้างเล็กน้อย ความสูงประมาณ 95 เซนติเมตร แปลงฝั่งซ้าย 1 แปลง ต้นกล้าสูงขึ้นกว่าเดิม
4	09/09/2020	0.38	-0.08	-0.19	ต้นข้าวเริ่มแตกยอดใหม่จากกอเดิม สูงประมาณ 75 เซนติเมตร บางส่วนเริ่มมีการออกรวงอ่อน มีเครื่องสูบน้ำกำลังสูบน้ำออกจากแปลง
5	29/09/2020	0.31	0.06	0.20	แปลงมีน้ำขัง มีการไถกลบตอซังข้าว ยังไม่พบการเตรียมแปลงเพาะปลูก
6	14/10/2020	-	-	-	แปลงมีน้ำขัง มีการงอกของต้นอ่อนข้าวที่ตกหล่นจากการเก็บเกี่ยวเมล็ด ยังไม่พบการเตรียมแปลงเพาะปลูก

<u>รายละเอียดอื่น ๆ เพิ่มเติม</u>: ฝั่งตรงข้ามติดกับคลองใหญ่ที่มีการปลูกผักบุ้ง และมีสะพานข้ามแม่น้ำ

Point ID	CPY-26F
UTM-X	622301
UTM-Y	1575001
Address	ต.บางตาเถร อ.สองพี่น้อง จ.สุพรรณบุรี
Irrigation Project	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเจ้าเจ็ด-บางยี่หน



ภาพผนวกที่ 18 สภาพพื้นที่และสภาพการเจริญเติบโตของพืชในบริเวณจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-26F



ภาพผนวกที่ 35 ค่าดัชนี NDVI, NDWI และ NDFI ของจุดพิกัดสำรวจรหัส CPY-26F

No.	Date	NDVI	NDWI	NDFI	Description
1	26/06/2020	0.79	0.11	-0.27	นาข้าวขนาดใหญ่ ฝั่งซ้ายต้นข้าวอยู่ในระยะออกรวงกำลังตั้งท้องเมล็ดเริ่มโตยังมีช่อดอกอยู่บ้าง ความสูงประมาณ 70 เซนติเมตร ฝั่งขวาต้นข้าวอยู่ในระยะออกรวงอ่อนใบข้าวสีเขียวเข้มใหญ่ตั้งตรง ความสูงประมาณ 65 เซนติเมตร
2	15/07/2020	0.68	0.08	-0.14	ฝั่งซ้ายต้นข้าวอยู่ในระยะเก็บเกี่ยวรวงข้าวสีเหลืองข้าวเต็มเมล็ดใบสีเหลืองเป็นส่วนใหญ่ ความสูงประมาณ 110 เซนติเมตร ฝั่งขวาต้นข้าวอยู่ในระยะออกรวงเมล็ดข้าวสีเขียวเริ่มมีสีเหลือง และมีสีชมพูน้ำตาลปน ความสูงประมาณ 97 เซนติเมตร
3	05/08/2020	0.43	0.00	-0.08	ข้าวถูกเก็บเกี่ยวแล้ว ยังไม่มีการไถเตรียมแปลง
4	09/09/2020	0.38	-0.08	-0.19	ต้นข้าวอยู่ในระยะเติบโต ความสูงประมาณ 21 เซนติเมตร ดินชุ่มชื้น มีน้ำขังเล็กน้อง มีน้ำเต็มคลองด้านหน้า
5	29/09/2020	0.31	0.06	0.20	พื้นที่อยู่ในระยะหลังการเก็บเกี่ยว ด้านซ้ายไม่ได้เตรียมแปลงเพาะปลูก ด้านขวามีการไถพรวนสำหรับเตรียมการเพาะปลูกครั้งใหม่ ระดับน้ำในคลองสูงล้นเอ่อเข้าบริเวณรอบพื้นที่เพาะปลูก
6	14/10/2020	-	-	-	พื้นที่อยู่ในภาวะน้ำท่วม

<u>รายละเอียดอื่น ๆ เพิ่มเติม</u>: พื้นที่อยู่ติดคลองใหญ่ บริเวณนี้มีจึงมีน้ำใช้เพียงพอ

ภาคผนวก ช. จำนวนประชากรปี พ.ศ 2553 – 2562 และอัตราการเปลี่ยนแปลงประชากรรายอำเภอ

จังหวัด	เขต/อำเภอ	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	r-factor
กทม.	ท้องถิ่นเขตคลองเตย	112,906	110,481	109,001	108,066	107,221	106,233	104,211	102,945	101,543	101,244	**-0.0111**
กทม.	ท้องถิ่นเขตคลองสาน	79,546	77,471	76,353	75,765	75,224	74,796	73,871	73,263	72,171	71,197	**-0.0108**
กทม.	ท้องถิ่นเขตคลองสามวา	160,480	165,352	169,729	174,197	178,958	184,306	189,507	193,930	198,019	202,094	**0.0233**
กทม.	ท้องถิ่นเขตคันนายาว	86,340	87,169	88,471	90,437	92,094	94,242	95,369	96,751	97,187	97,095	**0.0130**
กทม.	ท้องถิ่นเขตจตุจักร	162,838	161,409	160,853	160,948	160,366	159,514	158,130	156,684	155,923	156,605	**-0.0041**
กทม.	ท้องถิ่นเขตจอมทอง	160,451	158,646	157,970	157,156	156,030	155,048	153,668	152,315	151,174	150,108	**-0.0063**
กทม.	ท้องถิ่นเขตดอนเมือง	166,354	166,210	166,635	167,827	168,197	168,278	168,896	168,973	169,259	170,021	**0.0020**
กทม.	ท้องถิ่นเขตดินแดง	134,480	131,847	130,202	128,838	127,260	125,964	123,966	122,563	120,761	119,150	**-0.0115**
กทม.	ท้องถิ่นเขตดุสิต	111,496	108,815	107,969	106,811	104,394	101,576	98,450	95,852	94,854	89,769	**-0.0176**
กทม.	ท้องถิ่นเขตตลิ่งชัน	106,753	106,786	106,532	106,192	105,857	105,613	105,289	105,299	105,047	104,779	**-0.0017**
กทม.	ท้องถิ่นเขตทวีวัฒนา	74,592	75,460	76,274	76,787	77,121	77,604	77,890	78,187	78,394	78,548	**0.0059**
กทม.	ท้องถิ่นเขตทุ่งครุ	115,131	115,823	116,523	117,662	119,349	120,613	120,976	121,833	122,296	123,048	**0.0068**
กทม.	ท้องถิ่นเขตธนบุรี	124,499	121,539	119,643	117,536	115,330	113,338	111,027	109,482	107,754	106,049	**-0.0157**
กทม.	ท้องถิ่นเขตบางกอกน้อย	124,352	120,032	117,950	117,503	116,653	115,202	112,581	112,046	110,417	107,732	**-0.0136**
กทม.	ท้องถิ่นเขตบางกอกใหญ่	75,621	73,864	72,241	71,087	70,003	69,349	67,887	67,768	67,211	66,152	**-0.0139**
กทม.	ท้องถิ่นเขตบางกะปิ	149,606	148,645	148,491	149,056	148,964	149,102	148,392	147,800	146,841	146,108	**-0.0017**
กทม.	ท้องถิ่นเขตบางขุนเทียน	155,821	161,642	165,693	169,614	173,144	176,724	179,768	182,235	183,878	185,824	**0.0193**
กทม.	ท้องถิ่นเขตบางเขน	188,164	188,252	189,737	190,544	190,659	190,483	190,828	190,681	191,323	189,000	**0.0016**
กทม.	ท้องถิ่นเขตบางคอแหลม	98,870	96,422	94,877	93,508	92,273	91,405	90,377	89,358	88,288	86,898	**-0.0128**
กทม.	ท้องถิ่นเขตบางแค	193,190	192,276	191,781	192,119	191,966	192,281	192,413	193,002	193,315	193,491	**-0.0003**
กทม.	ท้องถิ่นเขตบางซื่อ	138,653	135,001	132,169	130,511	128,995	127,716	126,136	125,440	125,299	126,310	**-0.0120**
กทม.	ท้องถิ่นเขตบางนา	98,869	97,039	95,855	95,204	94,315	93,297	92,023	90,852	90,148	90,125	**-0.0099**
กทม.	ท้องถิ่นเขตบางบอน	104,535	104,768	105,161	106,085	107,140	107,397	107,136	107,118	106,919	105,684	**0.0027**
กทม.	ท้องถิ่นเขตบางพลัด	101,276	100,319	99,153	98,113	96,787	95,478	93,771	92,325	91,278	90,869	**-0.0105**
กทม.	ท้องถิ่นเขตบางรัก	47,053	46,087	46,112	46,114	46,472	46,777	47,308	47,817	48,207	48,227	**0.0009**
กทม.	ท้องถิ่นเขตบึงกุ่ม	147,030	146,197	145,795	145,822	145,514	144,661	144,449	143,835	142,990	142,237	**-0.0029**

จังหวัด	เขต/อำเภอ	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	r-factor
กทม.	ท้องถิ่นเขตปทุมวัน	57,368	54,996	53,912	52,613	51,557	50,673	49,594	49,121	48,382	47,085	**-0.0198**
กทม.	ท้องถิ่นเขตประเวศ	156,567	158,457	160,816	163,485	166,364	169,212	172,761	175,656	178,290	180,769	**0.0139**
กทม.	ท้องถิ่นเขตป้อมปราบศัตรูพ่าย	53,526	52,093	50,930	50,092	49,280	48,585	47,450	46,581	45,701	43,485	**-0.0177**
กทม.	ท้องถิ่นเขตพญาไท	74,693	73,533	73,084	72,495	72,203	71,864	72,102	70,238	70,341	69,382	**-0.0068**
กทม.	ท้องถิ่นเขตพระโขนง	95,661	94,482	93,461	92,774	92,448	92,197	91,305	90,534	89,237	88,998	**-0.0071**
กทม.	ท้องถิ่นเขตพระนคร	60,313	58,771	57,831	56,684	55,373	53,899	52,522	51,231	50,382	47,701	**-0.0198**
กทม.	ท้องถิ่นเขตภาษีเจริญ	131,363	130,493	129,800	129,559	129,238	128,461	127,582	126,824	125,981	126,160	**-0.0041**
กทม.	ท้องถิ่นเขตมีนบุรี	135,032	136,236	137,295	138,661	139,771	140,702	141,214	141,750	142,311	142,586	**0.0060**
กทม.	ท้องถิ่นเขตยานนาวา	84,286	82,481	81,529	81,162	80,843	80,211	79,574	78,797	78,031	77,814	**-0.0084**
กทม.	ท้องถิ่นเขตราชเทวี	76,233	72,900	73,280	73,550	73,790	73,597	72,436	72,304	71,952	72,568	**-0.0066**
กทม.	ท้องถิ่นเขตราษฎร์บูรณะ	89,297	87,841	86,643	85,825	84,881	84,157	83,248	82,545	81,806	80,509	**-0.0099**
กทม.	ท้องถิ่นเขตลาดกระบัง	157,477	160,850	163,317	165,724	168,309	170,070	171,933	173,987	175,662	177,769	**0.0125**
กทม.	ท้องถิ่นเขตลาดพร้าว	122,520	122,180	122,152	122,441	122,196	121,843	121,000	120,394	119,709	118,574	**-0.0021**
กทม.	ท้องถิ่นเขตวังทองหลาง	115,697	115,083	114,748	114,805	114,245	113,521	112,849	112,116	111,293	109,653	**-0.0040**
กทม.	ท้องถิ่นเขตวัฒนา	80,929	80,847	81,755	82,637	83,520	84,214	84,528	84,967	85,642	87,225	**0.0065**
กทม.	ท้องถิ่นเขตสวนหลวง	115,966	115,419	115,731	116,688	118,371	120,136	121,740	122,534	123,026	124,048	**0.0061**
กทม.	ท้องถิ่นเขตสะพานสูง	88,578	88,918	89,895	91,358	92,735	93,854	94,982	95,537	95,836	96,059	**0.0088**
กทม.	ท้องถิ่นเขตสัมพันธวงศ์	28,617	28,001	27,426	26,932	26,359	25,694	24,785	24,150	23,655	22,463	**-0.0203**
กทม.	ท้องถิ่นเขตสาทร	88,179	86,214	85,048	83,898	82,432	81,745	80,497	79,624	78,860	77,773	**-0.0126**
กทม.	ท้องถิ่นเขตสายไหม	183,333	185,987	188,163	191,536	194,511	197,715	200,374	202,590	204,532	206,278	**0.0121**
กทม.	ท้องถิ่นเขตหนองแขม	145,361	148,298	150,285	151,877	153,175	154,389	155,229	155,722	156,267	156,354	**0.0087**
กทม.	ท้องถิ่นเขตหนองจอก	151,292	154,371	157,224	159,962	162,598	165,281	167,844	170,643	172,990	176,022	**0.0149**
กทม.	ท้องถิ่นเขตหลักสี่	112,908	111,120	109,858	109,049	107,797	106,657	105,588	104,701	104,577	104,285	**-0.0088**
กทม.	ท้องถิ่นเขตห้วยขวาง	77,292	77,720	78,207	78,943	80,002	80,735	81,190	81,515	81,689	84,340	**0.0071**
กาญจนบุรี	ท่าม่วง	55,520	55,913	56,223	56,506	56,715	57,274	57,437	57,680	57,963	58,115	**0.0047**
กาญจนบุรี	ท่ามะกา	89,960	90,006	90,562	91,090	91,556	92,035	91,947	92,164	92,263	92,389	**0.0030**
กาญจนบุรี	บ่อพลอย	46,111	46,537	46,904	47,293	47,498	47,719	47,893	48,033	48,163	48,329	**0.0052**
กาญจนบุรี	พนมทวน	32,022	32,218	32,376	32,548	32,669	32,852	32,780	32,761	32,734	32,718	**0.0029**

จังหวัด	เขต/อำเภอ	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	r-factor
กาญจนบุรี	เลาขวัญ	51,051	51,390	51,744	52,047	52,452	52,706	52,837	52,608	53,298	53,549	**0.0047**
กาญจนบุรี	หนองปรือ	25,796	26,031	26,199	26,444	26,571	26,830	26,839	26,874	26,950	27,068	**0.0053**
กาญจนบุรี	ห้วยกระเจา	33,328	33,664	33,817	33,941	34,153	34,421	34,314	34,059	34,342	34,352	**0.0037**
กำแพงเพชร	อำเภอโกสัมพีนคร	28,257	28,311	28,442	28,535	28,658	28,773	28,771	28,798	28,854	28,784	**0.0023**
กำแพงเพชร	อำเภอขาณุวรลักษบุรี	89,520	89,422	89,507	89,427	89,306	89,388	89,106	71,484	71,157	70,831	**-0.0151**
กำแพงเพชร	อำเภอคลองขลุง	59,435	58,991	59,106	59,036	58,996	58,847	58,625	58,446	58,245	57,900	**-0.0022**
กำแพงเพชร	อำเภอคลองลาน	39,542	39,701	39,780	39,885	39,970	40,045	40,289	40,351	40,480	40,440	**0.0024**
กำแพงเพชร	อำเภอทรายทองวัฒนา	14,610	14,379	14,434	14,443	14,415	14,426	14,511	14,477	14,463	14,438	**-0.0015**
กำแพงเพชร	อำเภอไทรงาม	45,880	45,747	45,960	46,024	45,961	45,910	45,841	45,776	45,747	45,645	**-0.0002**
กำแพงเพชร	อำเภอบึงสามัคคี	19,059	18,990	18,971	18,948	19,003	19,017	18,972	18,956	18,820	18,645	**-0.0012**
กำแพงเพชร	อำเภอปางศิลาทอง	30,255	30,377	30,453	30,490	30,570	30,685	30,692	30,652	30,599	30,600	**0.0016**
กำแพงเพชร	อำเภอพรานกระต่าย	47,639	47,860	48,207	48,447	48,657	48,828	48,974	49,081	49,077	49,095	**0.0036**
กำแพงเพชร	อำเภอเมืองกำแพงเพชร	136,145	136,051	136,503	136,847	137,390	137,502	137,455	137,715	137,743	137,852	**0.0014**
กำแพงเพชร	อำเภอลานกระบือ	32,400	32,387	32,516	32,635	32,742	32,847	32,865	32,887	32,820	32,877	**0.0017**
ฉะเชิงเทรา	คลองเขื่อน	13,302	13,233	13,210	13,164	13,176	13,178	13,164	13,065	12,938	12,830	**-0.0026**
ฉะเชิงเทรา	บางน้ำเปรี้ยว	68,472	69,118	69,779	70,159	70,574	71,090	71,326	71,702	72,034	72,591	**0.0059**
ฉะเชิงเทรา	บางปะกง	47,452	48,143	48,869	49,868	50,791	51,944	52,908	54,008	54,998	56,100	**0.0158**
ฉะเชิงเทรา	บ้านโพธิ์	42,723	42,911	43,795	44,083	44,345	44,497	44,796	45,207	45,423	45,733	**0.0069**
ฉะเชิงเทรา	เมืองฉะเชิงเทรา	107,636	109,418	110,954	112,027	113,439	114,917	116,112	117,907	120,150	121,845	**0.0116**
ชัยนาท	อำเภอเนินขาม	11,198	11,110	11,071	11,094	11,092	11,042	11,032	11,048	11,025	11,025	**-0.0019**
ชัยนาท	อำเภอมโนรมย์	24,471	24,395	24,426	24,411	24,384	24,390	24,398	24,325	24,265	24,130	**-0.0009**
ชัยนาท	อำเภอเมืองชัยนาท	22,712	22,733	23,040	23,122	23,209	23,286	23,242	23,291	23,291	23,329	**0.0032**
ชัยนาท	อำเภอวัดสิงห์	22,477	22,409	22,444	22,467	22,437	22,462	22,391	22,304	22,184	22,111	**-0.0010**
ชัยนาท	อำเภอสรรคบุรี	63,997	63,740	63,717	63,600	63,493	63,322	63,055	62,950	62,759	62,458	**-0.0021**
ชัยนาท	อำเภอสรรพยา	32,942	32,739	32,658	32,572	32,446	32,228	32,142	31,944	31,646	31,467	**-0.0040**
ชัยนาท	อำเภอหนองมะโมง	12,840	12,848	12,907	12,954	13,060	13,056	13,041	13,056	13,053	13,042	**0.0020**
ชัยนาท	อำเภอหันคา	42,366	42,212	42,218	42,196	42,203	42,242	42,057	42,010	41,842	41,665	**-0.0012**
เชียงใหม่	อำเภอดอยเต่า	23,189	23,213	23,310	22,996	23,077	23,090	23,058	23,066	23,070	23,090	**-0.0006**

จังหวัด	เขต/อำเภอ	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	r-factor
เชียงใหม่	อำเภออมก๋อย	57,455	58,051	58,693	59,314	59,882	60,701	61,122	61,646	62,065	62,505	**0.0086**
ตาก	อำเภอบ้านตาก	32,103	32,051	32,079	32,110	32,092	32,105	31,980	31,971	32,004	31,881	**-0.0004**
ตาก	อำเภอพบพระ	54,949	56,464	56,338	57,153	58,059	72,196	73,749	75,839	77,750	81,551	**0.0380**
ตาก	อำเภอเมืองตาก	70,800	71,286	72,130	72,622	73,151	73,538	73,856	74,193	74,389	74,532	**0.0057**
ตาก	อำเภอแม่ระมาด	38,118	39,021	38,754	39,398	40,368	46,793	47,407	48,064	48,713	49,290	**0.0266**
ตาก	อำเภอแม่สอด	71,886	72,232	70,272	71,193	72,523	83,951	87,060	90,738	92,697	94,731	**0.0250**
ตาก	อำเภอวังเจ้า	26,510	26,785	27,211	27,663	27,962	28,738	28,955	29,206	29,515	30,048	**0.0122**
ตาก	อำเภอสามเงา	27,125	27,045	27,070	27,040	27,039	27,046	26,980	27,036	26,990	26,895	**-0.0007**
ตาก	อำเภออุ้มผาง	26,113	26,753	27,308	27,810	28,484	38,083	38,951	39,908	41,048	42,449	**0.0502**
นครนายก	อำเภอบ้านนา	63,066	63,359	63,837	63,883	64,122	64,383	63,759	63,904	63,987	64,233	**0.0021**
นครนายก	อำเภอองครักษ์	56,946	57,645	58,413	59,019	59,645	60,311	60,817	61,372	61,708	62,127	**0.0091**
นครปฐม	อำเภอกำแพงแสน	116,020	116,687	117,351	118,612	119,599	120,698	121,457	122,025	122,507	121,553	**0.0058**
นครปฐม	อำเภอดอนตูม	33,303	33,545	33,821	34,088	34,231	34,324	34,516	34,759	34,859	34,915	**0.0051**
นครปฐม	อำเภอนครชัยศรี	96,464	97,236	98,029	98,503	98,966	99,611	100,153	100,714	101,018	101,215	**0.0051**
นครปฐม	อำเภอบางเลน	76,384	76,513	77,064	77,279	77,734	78,106	78,378	78,628	79,142	79,536	**0.0037**
นครปฐม	อำเภอพุทธมณฑล	15,782	16,423	16,978	17,291	17,669	18,174	18,673	19,375	20,085	20,866	**0.0262**
นครปฐม	อำเภอเมืองนครปฐม	165,980	167,436	169,848	171,733	173,515	175,218	176,651	178,492	170,886	172,016	**0.0063**
นครปฐม	อำเภอสามพราน	100,371	90,958	92,149	93,343	94,694	95,498	96,400	97,196	97,820	98,828	**-0.0059**
นครสวรรค์	อำเภอเก้าเลี้ยว	28,974	28,875	28,899	28,921	28,907	28,994	28,960	28,875	28,777	28,728	**-0.0005**
นครสวรรค์	อำเภอโกรกพระ	28,409	28,338	28,387	28,450	28,488	28,460	28,303	28,242	28,130	28,113	**-0.0006**
นครสวรรค์	อำเภอชุมตาบง	18,810	18,820	18,970	18,996	19,093	19,121	18,985	19,049	19,030	18,999	**0.0016**
นครสวรรค์	อำเภอชุมแสง	55,042	54,968	55,103	55,130	55,002	54,819	54,586	54,408	54,207	53,919	**-0.0013**
นครสวรรค์	อำเภอตากฟ้า	34,940	34,893	35,089	35,106	35,096	35,161	34,965	34,955	34,836	34,826	**0.0001**
นครสวรรค์	อำเภอตาคลี	82,563	82,224	82,330	82,340	82,083	81,815	81,209	80,848	80,780	80,097	**-0.0023**
นครสวรรค์	อำเภอท่าตะโก	61,707	61,703	61,821	61,804	61,840	61,666	61,435	61,264	61,144	60,865	**-0.0008**
นครสวรรค์	อำเภอบรรพตพิสัย	83,352	83,275	83,366	83,414	83,387	83,253	82,846	82,659	82,369	81,942	**-0.0010**
นครสวรรค์	อำเภอพยุหะคีรี	50,814	50,950	51,217	51,107	50,978	50,990	50,774	50,797	50,758	50,548	**0.0000**
นครสวรรค์	อำเภอไพศาลี	60,572	61,122	61,242	61,380	61,502	61,470	61,251	61,270	61,047	60,889	**0.0015**

จังหวัด	เขต/อำเภอ	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	r-factor
นครสวรรค์	อำเภอเมืองนครสวรรค์	148,382	149,137	150,567	151,958	153,571	154,782	155,937	157,080	158,845	159,766	**0.0072**
นครสวรรค์	อำเภอแม่เปิน	20,331	20,416	20,555	20,621	20,759	20,859	20,841	20,955	20,896	20,882	**0.0033**
นครสวรรค์	อำเภอแม่วงก์	52,775	53,106	53,210	53,196	53,290	53,296	53,065	53,116	53,015	52,723	**0.0008**
นครสวรรค์	อำเภอลาดยาว	79,590	79,503	79,400	79,210	78,395	78,230	77,860	77,635	77,335	76,961	**-0.0030**
นครสวรรค์	อำเภอหนองบัว	57,468	57,620	57,785	57,711	57,665	57,515	56,990	56,884	56,872	56,627	**-0.0008**
นนทบุรี	อำเภอไทรน้อย	55,520	56,665	57,577	57,903	58,723	60,039	61,336	62,998	64,728	66,460	**0.0158**
นนทบุรี	อำเภอบางกรวย	25,462	26,343	27,383	28,126	28,849	29,731	30,586	31,155	31,719	32,856	**0.0255**
นนทบุรี	อำเภอบางบัวทอง	193,640	198,187	202,816	205,694	209,196	213,461	218,176	222,488	226,026	230,346	**0.0170**
นนทบุรี	อำเภอบางใหญ่	98,875	105,459	110,708	114,766	118,935	122,439	126,464	130,500	96,468	100,083	**0.0189**
นนทบุรี	อำเภอปากเกร็ด	45,040	47,431	49,095	50,251	51,717	53,293	54,635	56,100	47,423	48,672	**0.0179**
นนทบุรี	อำเภอเมืองนนทบุรี	46,098	47,587	48,985	50,006	51,534	52,686	53,650	54,518	55,419	56,618	**0.0212**
ปทุมธานี	อำเภอคลองหลวง	113,429	118,418	121,815	125,064	128,875	132,146	134,866	138,128	140,707	143,924	**0.0246**
ปทุมธานี	อำเภอธัญบุรี	29,811	30,322	30,766	31,028	31,288	31,375	31,614	31,891	32,321	32,708	**0.0090**
ปทุมธานี	อำเภอเมืองปทุมธานี	137,379	140,092	143,163	134,225	137,010	139,744	142,206	145,205	122,692	125,644	**-0.0025**
ปทุมธานี	อำเภอลาดหลุมแก้ว	48,701	50,013	51,396	52,385	53,099	53,931	54,670	55,384	56,023	57,229	**0.0164**
ปทุมธานี	อำเภอลำลูกกา	113,815	118,078	122,816	126,545	130,748	135,074	139,396	143,028	146,731	149,806	**0.0284**
ปทุมธานี	อำเภอสามโคก	41,966	42,388	42,912	43,398	43,734	43,922	44,233	44,533	44,654	44,759	**0.0072**
ปทุมธานี	อำเภอหนองเสือ	47,566	48,017	48,372	48,661	49,133	49,660	50,251	50,525	50,858	51,252	**0.0073**
พระนครศรีอยุธยา	อำเภอท่าเรือ	30,947	31,004	31,103	31,266	31,339	31,375	31,335	31,337	31,384	31,380	**0.0017**
พระนครศรีอยุธยา	อำเภอนครหลวง	20,681	20,946	21,128	21,276	21,465	21,638	21,704	21,698	21,771	21,813	**0.0062**
พระนครศรีอยุธยา	อำเภอบางซ้าย	14,241	14,232	14,169	14,151	14,152	14,099	14,095	14,061	14,033	14,060	**-0.0015**
พระนครศรีอยุธยา	อำเภอบางไทร	31,410	31,592	31,759	31,804	31,806	31,911	31,940	31,845	31,869	31,909	**0.0020**
พระนครศรีอยุธยา	อำเภอบางบาล	14,558	14,544	14,618	14,608	14,589	14,573	14,566	14,621	14,593	14,543	**0.0002**
พระนครศรีอยุธยา	อำเภอบางปะหัน	35,729	35,812	36,028	36,086	36,117	36,390	36,406	36,535	36,539	36,514	**0.0025**
พระนครศรีอยุธยา	อำเภอบางปะอิน	39,362	40,628	41,933	43,080	44,283	45,217	46,178	47,503	48,661	49,894	**0.0236**
พระนครศรีอยุธยา	อำเภอบ้านแพรก	6,937	6,888	6,886	6,906	6,942	6,975	7,031	7,007	6,979	6,897	**0.0004**
พระนครศรีอยุธยา	อำเภอผักไห่	23,482	23,426	23,390	23,350	23,278	23,221	23,119	22,909	22,763	22,691	**-0.0028**
พระนครศรีอยุธยา	อำเภอพระนครศรีอยุธยา	65,282	66,016	66,647	67,198	67,669	68,169	68,645	69,049	69,488	70,135	**0.0071**

จังหวัด	เขต/อำเภอ	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	r-factor
พระนครศรีอยุธยา	อำเภอภาชี	24,967	25,059	25,238	25,290	25,428	25,508	25,542	25,534	25,633	25,703	**0.0031**
พระนครศรีอยุธยา	อำเภอมหาราช	13,648	13,678	13,746	13,851	13,876	13,824	13,777	13,735	13,627	13,609	**0.0008**
พระนครศรีอยุธยา	อำเภอลาดบัวหลวง	28,743	28,793	29,079	29,227	29,345	29,434	29,445	29,562	29,672	29,781	**0.0036**
พระนครศรีอยุธยา	อำเภอวังน้อย	48,437	49,395	49,801	50,292	51,151	52,073	52,784	53,535	54,334	54,818	**0.0122**
พระนครศรีอยุธยา	อำเภอเสนา	31,180	31,293	31,503	31,506	31,585	31,636	31,573	31,559	31,523	31,457	**0.0016**
พระนครศรีอยุธยา	อำเภออุทัย	43,204	43,809	44,302	44,612	45,108	45,441	45,592	46,022	46,148	46,316	**0.0076**
พิจิตร	อำเภอดงเจริญ	18,007	17,974	17,996	17,965	17,893	17,845	17,798	17,677	17,580	17,468	**-0.0022**
พิจิตร	อำเภอตะพานหิน	46,926	46,759	46,758	46,597	46,386	46,191	45,954	45,883	45,694	45,512	**-0.0028**
พิจิตร	อำเภอทับคล้อ	35,441	35,146	35,024	35,082	34,990	34,987	34,826	34,655	34,477	34,304	**-0.0029**
พิจิตร	อำเภอบางมูลนาก	21,683	21,571	21,483	21,384	21,311	21,282	21,162	21,107	20,949	20,769	**-0.0037**
พิจิตร	อำเภอบึงนาราง	28,552	28,712	28,717	28,714	28,757	28,842	28,944	28,927	28,835	28,825	**0.0014**
พิจิตร	อำเภอโพทะเล	56,350	56,315	56,321	56,301	56,105	55,940	55,783	55,711	55,490	55,151	**-0.0015**
พิจิตร	อำเภอโพธิ์ประทับช้าง	34,166	34,414	34,597	34,625	34,567	34,431	34,251	34,248	34,134	34,024	**0.0005**
พิจิตร	อำเภอเมืองพิจิตร	74,099	73,874	73,782	73,799	73,603	73,563	73,469	73,451	73,132	72,973	**-0.0013**
พิจิตร	อำเภอวชิรบารมี	30,952	30,929	31,151	31,324	31,481	31,530	31,482	31,297	31,299	31,347	**0.0018**
พิจิตร	อำเภอวังทรายพูน	18,354	18,287	18,267	18,148	18,114	18,006	17,917	17,924	17,809	17,683	**-0.0032**
พิจิตร	อำเภอสากเหล็ก	18,401	18,296	18,324	18,324	18,395	18,390	18,308	18,267	18,234	18,186	**-0.0009**
พิจิตร	อำเภอสามง่าม	27,199	26,364	26,385	26,464	26,406	26,364	26,221	26,172	26,060	25,919	**-0.0053**
พิษณุโลก	อำเภอชาติตระการ	34,569	34,590	34,930	35,148	35,326	35,588	35,690	35,847	35,919	35,938	**0.0043**
พิษณุโลก	อำเภอนครไทย	66,224	66,544	67,033	67,459	67,733	67,965	68,122	68,261	68,173	68,259	**0.0036**
พิษณุโลก	อำเภอเนินมะปราง	38,984	39,050	39,148	39,041	39,136	39,152	39,002	38,991	38,881	38,855	**0.0000**
พิษณุโลก	อำเภอบางกระทุ่ม	33,698	33,467	33,637	33,622	33,546	33,507	33,353	33,276	33,275	33,169	**-0.0014**
พิษณุโลก	อำเภอบางระกำ	74,907	75,142	75,650	75,914	76,148	76,369	76,370	76,471	76,400	76,137	**0.0024**
พิษณุโลก	อำเภอพรหมพิราม	82,981	82,784	82,959	83,082	83,179	83,123	82,746	82,490	82,242	81,750	**-0.0007**
พิษณุโลก	อำเภอเมืองพิษณุโลก	194,628	197,517	199,247	201,230	203,510	177,836	181,918	182,001	184,747	185,234	**-0.0052**
พิษณุโลก	อำเภอวังทอง	114,658	115,025	115,680	115,707	116,008	116,403	116,459	116,671	116,491	116,421	**0.0020**
พิษณุโลก	อำเภอวัดโบสถ์	29,121	29,194	29,324	29,478	29,467	29,570	29,569	29,624	29,629	29,616	**0.0021**
เพชรบูรณ์	อำเภอเขาค้อ	29,862	30,359	30,822	31,256	31,831	32,934	33,376	33,957	34,384	34,882	**0.0154**

จังหวัด	เขต/อำเภอ	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	r-factor
เพชรบูรณ์	อำเภอชนแดน	69,872	69,769	69,996	70,106	70,308	70,427	70,395	70,472	70,341	70,157	**0.0008**
เพชรบูรณ์	อำเภอบึงสามพัน	62,355	62,238	62,541	62,631	62,858	62,847	62,931	63,140	63,232	63,109	**0.0014**
เพชรบูรณ์	อำเภอเมืองเพชรบูรณ์	163,510	162,721	163,368	163,845	164,099	163,982	163,260	163,128	163,632	163,227	**0.0000**
เพชรบูรณ์	อำเภอวังโป่ง	29,781	29,762	29,822	29,742	29,649	29,629	29,538	29,483	29,318	29,245	**-0.0013**
เพชรบูรณ์	อำเภอวิเชียรบุรี	103,569	101,124	101,428	101,406	101,612	101,652	101,647	101,721	101,531	101,333	**-0.0028**
เพชรบูรณ์	อำเภอหนองไผ่	77,182	76,968	77,266	77,093	77,085	77,157	77,061	76,973	76,785	76,536	**-0.0005**
เพชรบูรณ์	อำเภอหล่มเก่า	59,928	59,939	60,162	60,283	60,483	60,710	60,701	60,798	60,796	60,654	**0.0016**
แพร่	อำเภอเด่นชัย	20,639	20,773	20,645	20,648	20,491	20,408	20,277	20,166	20,130	20,006	**-0.0024**
แพร่	อำเภอวังชิ้น	43,744	43,639	43,632	43,520	43,548	43,486	43,324	43,222	43,126	42,953	**-0.0015**
ราชบุรี	อำเภอบ้านโป่ง	94,884	95,124	95,995	96,209	96,656	96,890	96,879	97,017	97,209	97,303	**0.0029**
ลพบุรี	อำเภอเมืองลพบุรี	116,884	116,570	117,080	116,863	116,500	107,079	106,538	106,599	106,594	106,095	**-0.0095**
ลพบุรี	อำเภอพัฒนานิคม	50,650	51,093	51,484	51,865	52,355	52,671	53,051	53,487	53,768	54,063	**0.0066**
ลพบุรี	อำเภอโคกสำโรง	78,619	78,515	78,923	79,080	79,242	79,348	78,867	78,493	78,195	78,024	**0.0000**
ลพบุรี	อำเภอชัยบาดาล	73,658	73,878	74,268	74,537	74,839	74,847	74,897	75,078	75,236	75,164	**0.0024**
ลพบุรี	อำเภอท่าวุ้ง	44,963	44,997	45,183	45,135	45,055	45,034	44,877	44,791	44,741	44,569	**-0.0003**
ลพบุรี	อำเภอบ้านหมี่	74,976	74,204	73,993	73,847	73,502	73,100	72,587	72,208	71,794	71,357	**-0.0046**
ลพบุรี	อำเภอสระโบสถ์	14,050	14,094	14,175	14,179	14,219	14,251	14,227	14,189	14,187	14,151	**0.0014**
ลพบุรี	อำเภอโคกเจริญ	24,438	24,308	24,532	24,672	24,809	24,913	24,908	24,963	24,986	24,922	**0.0024**
ลพบุรี	อำเภอหนองม่วง	28,884	29,009	29,030	28,967	29,001	28,999	28,921	28,923	28,807	28,753	**0.0001**
ลำปาง	อำเภอเถิน	35,491	35,356	35,256	35,182	35,109	34,986	34,819	34,662	34,499	34,227	**-0.0030**
ลำปาง	อำเภอแม่พริก	10,102	10,088	10,024	9,699	9,702	9,660	9,610	9,582	9,566	9,491	**-0.0066**
ลำพูน	อำเภอลี้	61,763	61,888	62,501	62,157	61,318	61,606	61,681	61,863	62,004	62,102	**0.0003**
สมุทรปราการ	อำเภอเมืองสมุทรปราการ	98,983	102,180	105,462	108,547	111,863	114,778	117,172	119,475	122,283	125,028	**0.0239**
สมุทรปราการ	อำเภอบางบ่อ	75,889	77,278	78,691	79,761	81,416	83,111	84,752	86,563	88,621	91,096	**0.0166**
สมุทรปราการ	อำเภอบางพลี	190,231	197,491	204,318	211,943	220,058	227,127	234,366	241,762	249,068	257,642	**0.0301**
สมุทรปราการ	อำเภอพระประแดง	39,535	39,682	39,555	39,421	39,259	39,362	39,175	39,215	39,226	39,128	**-0.0010**
สมุทรปราการ	อำเภอพระสมุทรเจดีย์	85,071	86,897	90,007	93,374	96,588	99,531	102,431	105,325	108,045	111,149	**0.0265**
สมุทรปราการ	อำเภอบางเสาธง	45,798	47,597	48,716	49,617	50,882	52,206	53,358	54,568	55,707	57,496	**0.0222**

จังหวัด	เขต/อำเภอ	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	r-factor
สมุทรสงคราม	อำเภอเมืองสมุทรสงคราม	74,904	75,652	76,162	76,519	76,896	77,385	77,667	77,954	78,323	78,495	**0.0050**
สมุทรสาคร	อำเภอเมืองสมุทรสาคร	163,212	167,180	171,406	175,840	180,263	184,696	188,521	192,830	196,583	200,840	**0.0206**
สมุทรสาคร	อำเภอกระทุ่มแบน	56,594	57,413	58,628	59,434	60,862	62,148	62,738	63,536	64,379	65,368	**0.0145**
สมุทรสาคร	อำเภอบ้านแพ้ว	45,977	46,218	46,566	47,034	47,574	48,023	48,470	48,995	49,484	49,995	**0.0077**
สระบุรี	อำเภอเมืองสระบุรี	43,016	43,333	44,626	45,268	46,028	46,450	46,233	46,254	46,554	46,769	**0.0098**
สระบุรี	อำเภอแก่งคอย	65,085	65,580	66,169	66,684	67,411	68,044	68,690	69,257	69,738	70,094	**0.0074**
สระบุรี	อำเภอหนองแค	62,323	62,767	63,337	63,722	64,354	64,941	65,546	66,267	66,956	67,453	**0.0074**
สระบุรี	อำเภอวิหารแดง	31,113	31,390	31,654	31,968	32,195	32,408	32,581	32,766	32,853	33,001	**0.0063**
สระบุรี	อำเภอหนองแซง	12,766	12,782	12,841	12,862	12,892	12,949	12,982	12,987	13,061	12,995	**0.0021**
สระบุรี	อำเภอบ้านหมอ	30,832	31,087	31,217	31,310	31,431	31,561	31,617	31,720	31,739	31,803	**0.0035**
สระบุรี	อำเภอดอนพุด	2,055	2,026	2,013	2,011	2,014	2,017	1,998	2,017	2,010	2,010	**-0.0030**
สระบุรี	อำเภอหนองโดน	11,393	11,437	11,593	11,566	11,559	11,579	11,585	11,607	11,564	11,542	**0.0021**
สระบุรี	อำเภอพระพุทธบาท	23,013	23,152	23,384	23,479	23,674	23,692	23,843	24,108	24,260	24,352	**0.0055**
สระบุรี	อำเภอเสาไห้	21,388	21,577	21,670	21,739	21,848	22,016	21,998	22,082	22,089	22,181	**0.0039**
สระบุรี	อำเภอมวกเหล็ก	45,898	46,643	47,025	47,396	47,934	48,435	48,785	49,143	49,471	49,790	**0.0085**
สระบุรี	อำเภอวังม่วง	10,765	10,889	11,028	11,144	11,254	11,392	11,479	11,553	11,626	11,642	**0.0086**
สระบุรี	อำเภอเฉลิมพระเกียรติ	25,240	25,811	26,366	26,874	27,364	27,815	28,141	28,488	28,884	29,222	**0.0153**
สิงห์บุรี	อำเภอเมืองสิงห์บุรี	36,333	36,379	36,449	36,568	36,652	36,745	36,741	36,748	36,888	36,898	**0.0016**
สิงห์บุรี	อำเภอบางระจัน	20,052	20,060	19,954	19,906	19,842	19,777	19,741	19,737	19,626	19,541	**-0.0023**
สิงห์บุรี	อำเภอค่ายบางระจัน	26,121	26,033	26,084	26,117	26,108	26,132	26,156	26,174	26,156	26,097	**0.0000**
สิงห์บุรี	อำเภอพรหมบุรี	17,493	17,385	17,346	17,296	17,204	17,096	16,999	16,963	16,930	16,842	**-0.0037**
สิงห์บุรี	อำเภอท่าช้าง	5,610	5,587	5,573	5,545	5,547	5,557	5,524	5,496	5,520	5,502	**-0.0021**
สิงห์บุรี	อำเภออินทร์บุรี	51,654	51,346	51,293	51,235	51,178	51,025	50,792	50,538	50,214	49,849	**-0.0028**
สุโขทัย	อำเภอเมืองสุโขทัย	60,413	60,448	60,540	60,818	60,958	61,035	60,980	61,123	61,088	61,090	**0.0013**
สุโขทัย	อำเภอบ้านด่านลานหอย	42,687	42,948	43,371	43,638	43,937	44,161	44,267	44,371	44,243	44,223	**0.0045**
สุโขทัย	อำเภอคีรีมาศ	45,530	45,695	45,839	46,047	46,158	46,317	46,425	46,491	46,442	46,338	**0.0023**
สุโขทัย	อำเภอกงไกรลาศ	59,652	60,140	60,431	60,444	60,615	60,542	60,477	60,369	60,122	59,948	**0.0015**
สุโขทัย	อำเภอศรีสัชนาลัย	70,537	70,665	70,848	71,001	71,114	71,230	71,008	70,928	70,898	70,797	**0.0008**

จังหวัด	เขต/อำเภอ	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	r-factor
สุโขทัย	อำเภอศรีสำโรง	63,894	63,847	63,970	63,957	63,912	63,697	63,682	63,578	63,434	63,201	**-0.0006**
สุโขทัย	อำเภอสวรรคโลก	68,649	68,535	60,637	60,578	52,501	52,391	52,051	51,961	51,810	51,653	**-0.0346**
สุโขทัย	อำเภอศรีนคร	23,365	23,278	23,293	23,304	23,278	23,195	23,162	23,112	23,022	22,884	**-0.0015**
สุโขทัย	อำเภอทุ่งเสลี่ยม	42,056	42,203	42,255	42,253	42,257	42,220	42,162	42,119	41,975	41,909	**0.0002**
สุพรรณบุรี	อำเภอเมืองสุพรรณบุรี	104,848	104,965	105,685	106,202	106,587	106,988	107,095	107,553	107,717	107,756	**0.0030**
สุพรรณบุรี	อำเภอเดิมบางนางบวช	54,855	47,870	47,963	47,881	47,767	47,570	47,371	47,199	47,020	42,213	**-0.0234**
สุพรรณบุรี	อำเภอด่านช้าง	59,603	59,544	60,106	60,538	60,893	61,178	61,106	61,569	61,651	61,761	**0.0038**
สุพรรณบุรี	อำเภอบางปลาม้า	61,820	61,520	61,303	61,079	60,917	60,679	60,369	60,162	59,888	59,632	**-0.0034**
สุพรรณบุรี	อำเภอศรีประจันต์	41,167	41,141	41,063	40,975	40,878	40,834	40,866	41,381	40,697	40,566	**-0.0010**
สุพรรณบุรี	อำเภอดอนเจดีย์	39,679	39,839	40,002	40,109	40,237	40,453	40,558	40,622	40,696	40,711	**0.0028**
สุพรรณบุรี	อำเภอสองพี่น้อง	110,945	110,753	110,861	110,953	111,202	111,564	111,517	112,028	111,848	111,611	**0.0007**
สุพรรณบุรี	อำเภอสามชุก	41,430	41,222	41,118	41,036	41,026	40,939	40,723	40,718	40,625	40,512	**-0.0022**
สุพรรณบุรี	อำเภออู่ทอง	96,088	80,186	64,945	65,387	65,469	65,678	65,831	66,948	66,094	65,987	**-0.0537**
สุพรรณบุรี	อำเภอหนองหญ้าไซ	46,068	46,091	46,301	46,436	46,491	46,643	46,483	46,604	46,703	46,678	**0.0015**
อ่างทอง	อำเภอเมืองอ่างทอง	42,010	42,066	42,370	42,735	43,018	43,265	43,447	43,508	43,740	43,766	**0.0044**
อ่างทอง	อำเภอไชโย	7,155	7,181	7,173	7,173	7,192	7,174	7,170	7,197	7,153	7,117	**0.0002**
อ่างทอง	อำเภอป่าโมก	19,520	19,369	19,365	19,357	19,319	19,294	19,268	19,284	19,129	19,079	**-0.0021**
อ่างทอง	อำเภอโพธิ์ทอง	45,712	45,463	45,264	45,222	45,305	45,232	45,067	44,614	44,755	44,599	**-0.0024**
อ่างทอง	อำเภอแสวงหา	31,404	31,262	31,400	31,498	31,502	31,506	31,518	31,412	31,361	31,204	**0.0000**
อ่างทอง	อำเภอวิเศษชัยชาญ	52,599	52,398	52,576	52,554	52,450	52,394	52,203	52,016	51,746	51,635	**-0.0014**
อ่างทอง	อำเภอสามโก้	8,459	8,473	8,533	8,542	8,555	8,570	8,536	8,440	8,473	8,492	**0.0008**
อุทัยธานี	อำเภอเมืองอุทัยธานี	35,476	35,385	35,492	35,543	35,631	35,689	35,680	35,548	35,488	35,529	**0.0004**
อุทัยธานี	อำเภอทัพทัน	15,940	15,992	16,125	16,116	16,078	16,108	16,081	16,066	16,062	16,081	**0.0012**
อุทัยธานี	อำเภอสว่างอารมณ์	29,725	29,761	30,001	30,097	30,137	30,229	30,205	30,204	30,162	30,093	**0.0019**
อุทัยธานี	อำเภอหนองฉาง	34,571	34,588	34,655	34,718	34,726	34,769	34,601	34,574	34,474	34,375	**0.0000**
อุทัยธานี	อำเภอหนองขาหย่าง	15,362	15,470	15,502	15,516	15,581	15,573	15,550	15,510	15,486	15,456	**0.0014**
อุทัยธานี	อำเภอบ้านไร่	62,885	63,146	63,410	63,562	63,816	64,168	64,248	64,222	64,402	64,388	**0.0027**
อุทัยธานี	อำเภอลานสัก	54,212	54,226	54,578	54,929	55,204	55,560	55,541	55,693	55,697	55,665	**0.0031**

จังหวัด	เขต/อำเภอ	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	r-factor
อุทัยธานี	อำเภอห้วยคต	19,955	20,022	20,105	20,175	20,238	20,300	20,352	20,364	20,358	20,328	**0.0024**
อุตรดิตถ์	อำเภอเมืองอุตรดิตถ์	47,659	47,563	47,619	47,578	47,485	47,384	47,222	47,235	47,016	46,862	**-0.0013**
อุตรดิตถ์	อำเภอตรอน	30,892	30,749	30,733	30,749	30,696	30,553	30,360	30,342	30,219	30,109	**-0.0022**
อุตรดิตถ์	อำเภอท่าปลา	34,142	33,926	33,827	33,820	33,870	29,426	29,365	29,380	29,330	29,279	**-0.0157**
อุตรดิตถ์	อำเภอน้ำปาด	29,483	29,367	29,342	29,407	29,320	33,782	33,700	33,664	33,596	33,538	**0.0139**
อุตรดิตถ์	อำเภอพิชัย	73,125	73,031	73,348	73,510	73,609	73,535	73,372	73,214	72,863	72,592	**0.0001**
อุตรดิตถ์	อำเภอลับแล	37,039	36,979	36,891	36,896	36,782	36,729	36,744	36,701	36,580	36,495	**-0.0013**
อุตรดิตถ์	อำเภอทองแสนขัน	27,922	27,799	27,731	27,675	27,641	27,599	27,457	27,331	27,221	27,050	**-0.0026**

ภาคผนวก ซ. บทความวิชาการ

เรื่อง

การติดตามสถานการณ์ปลูกข้าวนาปรังในช่วงฤดูแล้งปี 2562/2563
และความต้องการน้ำชลประทานในพื้นที่ราบภาคกลางด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

Off-season rice monitoring during the dry season of 2019/2020 and irrigation water requirement in the Central Plain of Thailand using remotely sensed imagery

ใน “งานสัมมนาวิชาการ ภาวะแล้ง 2020 และ แนวทาง มาตรการ บริหารจัดการเพื่อป้องกันในอนาคต”
วันพฤหัสบดีที่ 13 กุมภาพันธ์ 2563 08.30-16.30 น.
ณ ห้องประชุมแมนดาริน ซี ชั้น 1
โรงแรมแมนดาริน สามย่าน กรุงเทพฯ

การติดตามสถานการณ์ปลูกข้าวนาปรังในช่วงฤดูแล้งปี 2562/2563 และความต้องการน้ำชลประทานในพื้นที่ราบภาคกลางด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

Off-season rice monitoring during the dry season of 2019/2020 and irrigation water requirement in the Central Plain of Thailand using remotely sensed imagery

อ.ดร.ชูพันธุ์ ชมภูจันทร์
ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

Dr. Chuphan Chompuchan
Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen,
Kasetsart University (Kamphaeng Saen Campus), Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom, 73140
Email: fengcpcc@ku.ac.th, Chuphan.c@ku.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์พื้นที่ปลูกข้าวนาปรังในช่วงฤดูแล้งปี 2562/63 ในพื้นที่ราบภาคกลางโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม รวมทั้งวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อภาวะแห้งแล้งทางการเกษตรและคำนวณความต้องการน้ำชลประทานสำหรับเสริมการเพาะปลูกข้าวนาปรังในพื้นที่ ผลการศึกษาพบว่าในเขตชลประทานมีพื้นที่ปลูกข้าวนาปรังประมาณ 3.4 ล้านไร่ โดยส่วนมากเป็นพื้นที่ทุ่งรับน้ำนองและพื้นที่ที่มีน้ำท่วมขังช่วงปลายปี 2562 ซึ่งเกษตรกรมีการใช้น้ำค้างทุ่งในการเตรียมแปลงและปลูกข้าวนาปรัง รวมถึงพื้นที่ที่มีแหล่งน้ำสำรอง เช่น บ่อน้ำตื้น (บ่อตอก) บ่อบาดาล บ่อทรายเก่า หนองน้ำ และพื้นที่ที่อยู่ใกล้กับคลองส่งน้ำชลประทานที่ยังมีน้ำนอนคลอง เมื่อคำนวณความต้องการน้ำกรณีจัดส่งน้ำชลประทานให้เฉพาะพื้นที่เสี่ยงความแห้งแล้งในระดับปานกลาง-มาก (ประมาณ 1.4 ล้านไร่) โดยยอมให้เกิดการขาดน้ำบางส่วนโดยไม่ทำให้ผลผลิตนาข้าวเกิดความเสียหาย จะต้องส่งน้ำชลประทานให้กับพื้นที่ดังกล่าวประมาณ 639 ล้านลูกบาศก์เมตร อย่างไรก็ตาม พบว่ามีพื้นที่ปลูกข้าวนาปรังนอกเขตชลประทานอีกเป็นจำนวนมากซึ่งมีการใช้น้ำจากแม่น้ำสายหลัก (ปิง ยม น่าน) จึงควรมีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเข้าไปประสานงานกับพื้นที่ดังกล่าวให้มากขึ้น เพื่อนำข้อมูลกิจกรรมความต้องการใช้น้ำมาร่วมวางแผนจัดสรรน้ำและสร้างกติการ่วมกันอย่างเป็นระบบ

คำสำคัญ: ข้าวนาปรัง; ความต้องการน้ำชลประทาน; ภาพถ่ายดาวเทียม

1. บทนำ

ปัจจุบันสถานการณ์น้ำในอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่เมื่อสิ้นสุดฤดูฝนปี 2562 พบว่ามีปริมาณน้ำใช้การเหลืออยู่น้อย ดังนั้นในการวางแผนจัดสรรน้ำของกรมชลประทานในช่วงฤดูแล้งปี 2562/63 จะให้ความสำคัญกับการส่งน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคและการรักษาระบบนิเวศท้ายน้ำ จึงได้ขอความร่วมมือเกษตรกรโดยเฉพาะในพื้นที่ราบลุ่มเจ้าพระยาให้งดการทำนาต่อเนื่อง/นาปรังในฤดูแล้ง อย่างไรก็ตามยังพบว่ามีการปลูกข้าวนาปรังซึ่งไม่เป็นไปตามแผนของกรมชลประทานที่วางไว้ กรมชลประทานไม่สามารถจัดสรรน้ำให้กับพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมดได้อย่างเพียงพอ ประกอบกับการคาดการณ์ของกรมอุตุนิยมวิทยาว่าฝนในปี 2563 อาจจะตกน้อยกว่าปกติและมีแนวโน้มว่าจะมาล่าช้าถึงเดือนกรกฎาคม ทำให้หลายพื้นที่ที่มีการปลูกข้าวนาปรังมีโอกาสประสบกับภาวะเสี่ยงต่อความแห้งแล้ง

วิธีการสำรวจระยะไกลด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียม (satellite remote sensing data) เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถสนับสนุนข้อมูลเพื่อสำรวจกิจกรรมการเพาะปลูกข้าวนาปรังในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาซึ่งมีพื้นที่บริเวณกว้างและช่วยในการติดตามสถานการณ์ความแห้งแล้งเป็นระยะเวลาต่อเนื่องได้ ซึ่งจะสามารถประเมินได้ว่ามีพื้นที่ปลูกข้าวนาปรังประมาณกี่ไร่ และบริเวณใดบ้างที่อาจมีความเสี่ยงต่อภาวะแห้งแล้ง

ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ใช้ในการสำรวจ ได้แก่ MOD09A1 (Land Surface Reflectance) และ MOD11A2 (Land Surface Temperature) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ภาพผสมราย 8 วัน (8-day composite) จากดาวเทียม Terra/MODIS ช่วงระหว่างวันที่ 11 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ถึง 25 มกราคม พ.ศ. 2563 นำมาวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณแบบ NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ค่าดัชนีน้ำท่วมขัง NDFI (Normalized Difference Flood Index) และดัชนีความแห้งแล้งแบบ TVDI (Temperature-Vegetation Dryness Index) [1] ทั้งนี้ได้กำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold Value) สำหรับค่าดัชนีต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1) ดัชนีพืชพรรณแบบ NDVI ใช้ค่าขีดแบ่ง NDVI > 0.4 กำหนดให้เป็นพื้นที่ที่มีการปลูกพืช [2]

2) ดัชนีน้ำท่วมขัง NDFI ใช้ค่าขีดแบ่ง NDFI > -0.1 กำหนดให้เป็นพื้นที่ที่มีน้ำเตรียมแปลง/น้ำท่วมขัง [3]

3) ดัชนีความแห้งแล้งแบบ TVDI ใช้ค่าขีดแบ่งเป็น 3 ระดับ ได้แก่

TVDI < 0.5 มีความเสี่ยงต่อภาวะความแห้งแล้งทางการเกษตรในระดับน้อย

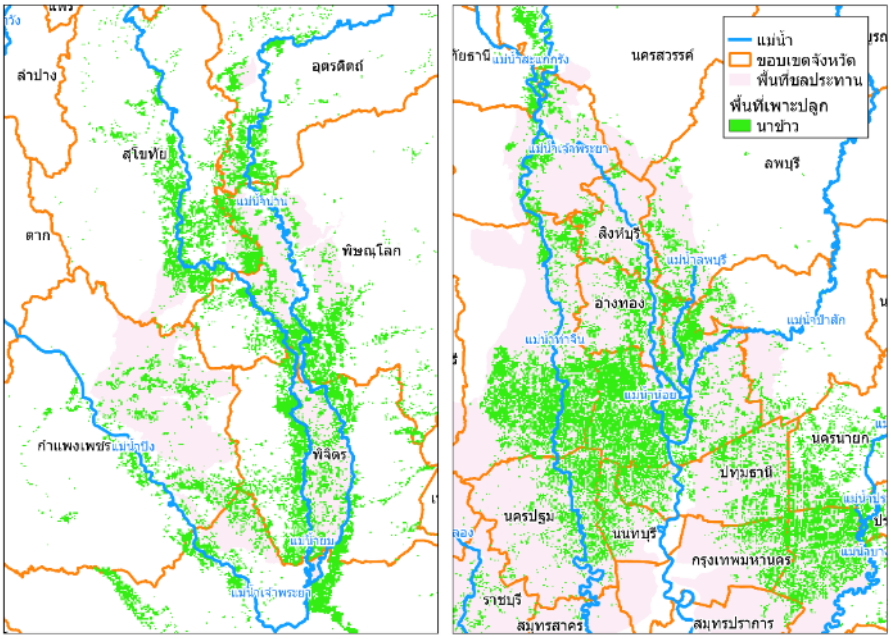
0.5 ≤ TVDI ≤ 0.6 มีความเสี่ยงต่อภาวะความแห้งแล้งทางการเกษตรในระดับปานกลาง

TVDI > 0.6 มีความเสี่ยงต่อภาวะความแห้งแล้งทางการเกษตรในระดับมาก

2. สถานการณ์การเพาะปลูกข้าวนาปรัง ความเสี่ยงต่อภาวะแล้ง และความต้องการน้ำชลประทาน

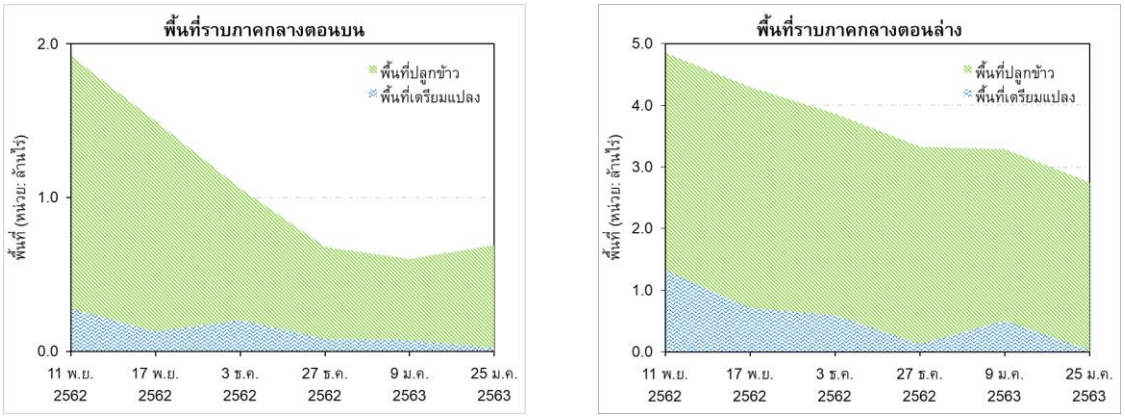
2.1 พื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปรัง ปี 2562/63

สถานการณ์การทำนาต่อเนื่อง/นาปรังในฤดูแล้งปี 2562/63 จากการสำรวจและแปลผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในวันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2563 พบว่า พื้นที่ราบลุ่มภาคกลางตอนบนมีพื้นที่ปลูกข้าวนาปรังในเขตชลประทานประมาณ 668,500 ไร่ พื้นที่ราบลุ่มภาคกลางตอนกลางมีพื้นที่ปลูกข้าวนาปรังในเขตชลประทานประมาณ 2,725,600 ไร่ รวมพื้นที่นาปรังทั้งสิ้น ประมาณ 3.4 ล้านไร่ (ภาพที่ 1) นอกจากนี้ สังเกตว่ามีพื้นที่ปลูกข้าวนาปรังนอกเขตพื้นที่ชลประทานอีกเป็นจำนวนมากโดยเฉพาะในพื้นที่ภาคกลางตอนบนริมฝั่งแม่น้ำปิง แม่น้ำยมและแม่น้ำน่าน รวมทั้งบริเวณโดยรอบบึงบอระเพ็ด จ.นครสวรรค์



ภาพที่ 1 พื้นที่ปลูกข้าวต่อเนื่อง/ข้าวนาปรังในพื้นที่ภาคกลางตอนบน (ซ้าย) และภาคกลางตอนล่าง (ขวา) แปลผลจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม วันที่ 25 ม.ค. 63

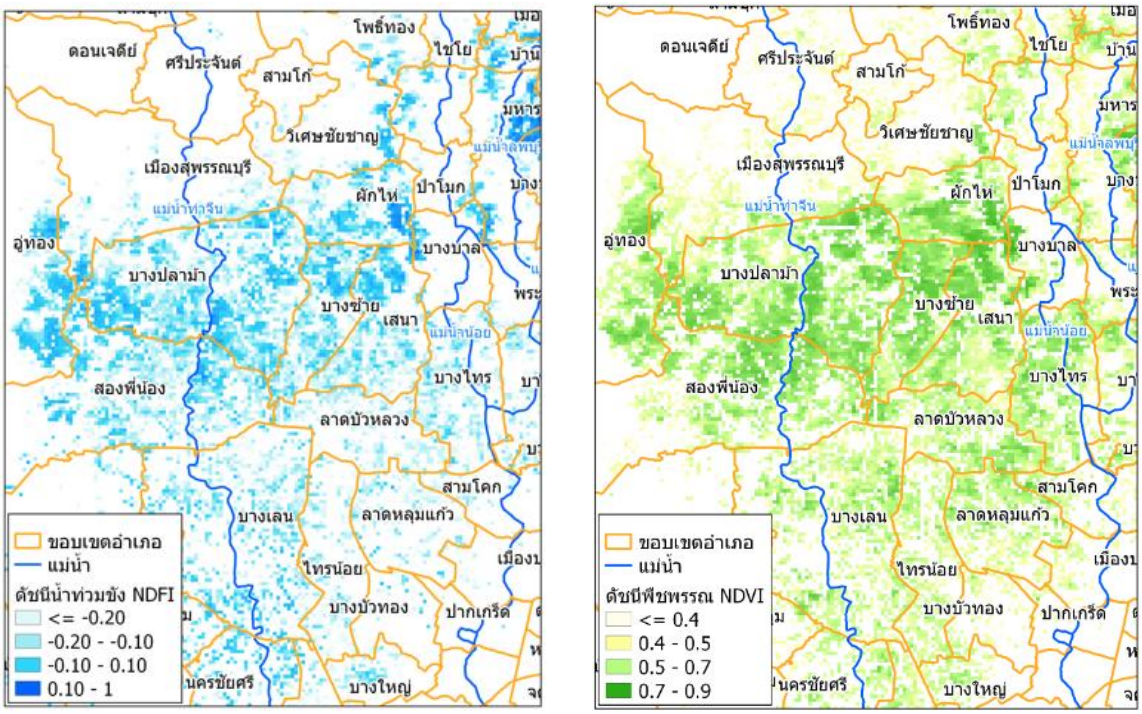
เมื่อพิจารณาข้อมูลอนุกรมเวลา (Time Series) พื้นที่เพาะปลูก (ภาพที่ 2) พบว่า พื้นที่ปลูกข้าวในพื้นที่ราบลุ่มภาคกลางตอนบนลดลงอย่างรวดเร็วจาก 1.6 ล้านไร่ในเดือนพฤศจิกายน 2562 เหลือประมาณ 0.6 ล้านไร่ในเดือนธันวาคม 2562 ซึ่งสอดคล้องกับปฏิทินการปลูกข้าวส่วนใหญ่ในพื้นที่ภาคกลางตอนบนโดยจะเก็บเกี่ยวแล้วเสร็จในช่วงประมาณเดือนธันวาคมของทุกปี และหากพื้นที่ใดที่อยู่ใกล้แหล่งน้ำหรือมีแหล่งน้ำสำรองในพื้นที่ก็จะมีการทำนาต่อเนื่อง/นาปรัง ส่วนในพื้นที่ราบภาคกลางตอนล่างมีพื้นที่ปลูกข้าวลดลงอย่างช้า ๆ จากเดิม 3.5 ล้านไร่ในเดือนพฤศจิกายน 2562 เหลือ 2.7 ล้านไร่ในเดือนมกราคม 2563 เนื่องจากพื้นที่ราบภาคกลางตอนล่างหลายพื้นที่มีปฏิทินการปลูกข้าวนาปีที่ไม่พร้อมกัน และบางพื้นที่มีการทำนาต่อเนื่องโดยไม่สามารถกำหนดปฏิทินเพาะปลูกได้อย่างชัดเจน แม้ว่าพื้นที่ปลูกข้าวจะลดลง แต่โดยภาพรวมแล้วยังมีพื้นที่ปลูกค่อนข้างมาก จึงต้องพิจารณาถึงสาเหตุต่อไปว่าพื้นที่ใดที่ยังมีการปลูกข้าวนาปรัง



ภาพที่ 2 กราฟแสดงพื้นที่ปลูกข้าวและพื้นที่เตรียมแปลงในช่วงระหว่างวันที่ 11 พ.ย. 2562 ถึงวันที่ 25 ม.ค. 63

เมื่อพิจารณาจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงวันที่ 1 – 7 พฤศจิกายน 2562 โดยการแปลผลจากดัชนีน้ำท่วมขัง NDFI (ภาพที่ 3 ซ้าย) พบว่า พื้นที่บางส่วนในโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา (คบ.) โพธิ์พระยา ผักไห่ สองพี่น้อง บางบาล เจ้าเจ็ด-บางยี่หนและพระยาบรรลือเป็นพื้นที่ที่มีน้ำท่วมขัง และเมื่อแปลผลจากดัชนีพืชพรรณ NDVI ในช่วงวันที่ 17 - 25 มกราคม 2563 (ภาพที่ 3 ขวา) จะพบว่าพื้นที่ที่มีน้ำท่วมขังในเดือนพฤศจิกายน 2562 ได้เปลี่ยนเป็นพื้นที่เพาะปลูก ทั้งนี้ มีสาเหตุสำคัญที่เกี่ยวข้องสองประการได้แก่

1) ในพื้นที่ทุ่งสองพี่น่อง บริเวณเขต อ.สองพี่น่องและ อ.บางปลาม้า จ.สุพรรณบุรี (คบ.โพธิ์พระยา และ คบ.สองพี่น้อง) เป็นพื้นที่ที่มีปัญหาการระบายน้ำในช่วงปลายฤดูฝน ทำให้เกิดน้ำท่วมขังเป็นประจำเกือบทุกปีโดยเฉลี่ยน้ำท่วมจะยาวนานถึงสามเดือนคือตั้งแต่เดือนตุลาคมถึงธันวาคม เมื่อน้ำท่วมขังในพื้นที่ระบายออกไปแล้ว เกษตรกรจึงเริ่มปลูกข้าวนาปรังโดยอาศัยปริมาณน้ำบางส่วนที่ค้างในทุ่งเป็นน้ำเตรียมแปลง จากนั้นเมื่อสิ้นสุดช่วงนาปรัง (ประมาณเดือนพฤษภาคม) เกษตรกรก็จะทำนาปีต่อเนื่องจนสิ้นสุดในช่วงประมาณเดือนกันยายน แล้วจึงปล่อยพื้นที่เพื่อรองรับน้ำท่วมขังในเดือนตุลาคมต่อไป
2) ในพื้นที่ทุ่งรับน้ำนอง ได้แก่ ทุ่งเจ้าเจ็ด ทุ่งผักไห่ ทุ่งบางบาล-บ้านแพน ทุ่งป่าโมก (คบ.เจ้าเจ็ด-บางยี่หน คบ.ผักไห่ คบ.บางบาล) เป็นพื้นที่ที่มีการดำเนินนโยบายปรับเปลี่ยนปฏิทินการเพาะปลูกข้าวของกระทรวงเกษตรฯ โดยกำหนดให้การปลูกข้าวในพื้นที่ลุ่มต่ำให้เร็วขึ้นกว่าปกติ (ปลูกข้าวเหลื่อมเวลา) ซึ่งกรมชลประทานจะเริ่มส่งน้ำตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคมและกำหนดให้เก็บเกี่ยวให้แล้วเสร็จภายในวันที่ 15 กันยายนจากนั้นจะเริ่มผันน้ำเข้าพื้นที่ลุ่มต่ำในวันที่ 25 กันยายน สำหรับการระบายน้ำออกจากทุ่งจะเริ่มดำเนินการเมื่อเกษตรกรจะทำการเพาะปลูกพืชฤดูแล้ง โดยให้เป็นไปตามข้อตกลงกับประชาชนในพื้นที่ของแต่ละทุ่ง (ประมาณเดือนพฤศจิกายน-มกราคม) ทั้งนี้ได้เริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2559 เป็นต้นมา



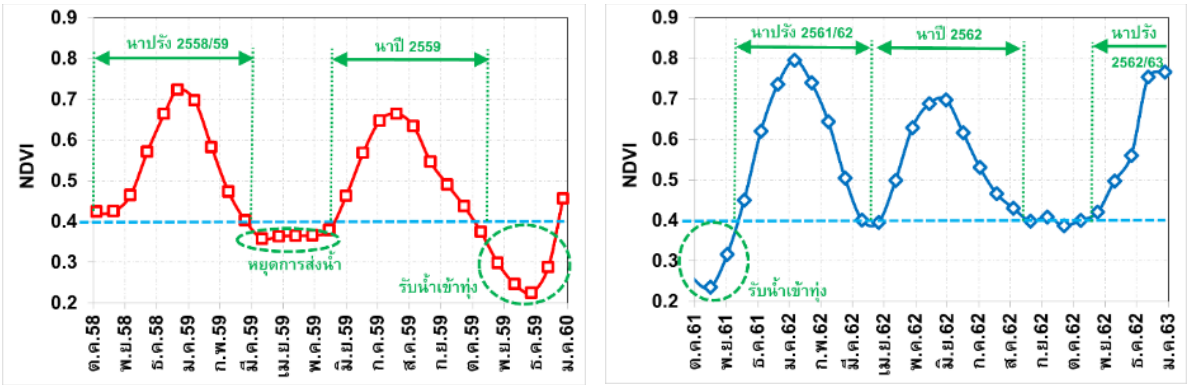
ภาพที่ 3 พื้นที่ที่มีน้ำเตรียมแปลง (น้ำท่วมขัง) ช่วงวันที่ 1 - 7 พ.ย. 62 แปลผลจากดัชนีน้ำท่วมขัง NDFI (ซ้าย) และพื้นที่ที่มีการปลูกข้าว ช่วงวันที่ 17 - 25 ม.ค. 63 แปลผลจากดัชนีพืชพรรณ NDVI (ขวา)

เมื่อวิเคราะห์จากสถานการณ์การปลูกข้าวในพื้นที่ลุ่มต่ำที่ถูกกำหนดให้เป็นพื้นที่รับน้ำนอง จะพบว่าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2559 เป็นต้นมาสามารถปรับเปลี่ยนปฏิทินการเพาะปลูกได้ตามที่กำหนด โดยในช่วงปลายเดือนกันยายนถึงเดือนธันวาคมของปี พ.ศ. 2559-61 เกษตรกรจะหยุดการเพาะปลูกและปล่อยพื้นที่ไว้สำหรับรับน้ำนอง ทำให้กรมชลประทานสามารถใช้พื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่แก้มลิงสำรองสำหรับผันน้ำในช่วงน้ำหลากไปเก็บไว้เพื่อรอการระบาย เป็นการช่วยลดปัญหาอุทกภัยในเขตเมืองในพื้นที่เจ้าพระยาตอนล่างได้ดี อย่างไรก็ตามในปีที่ไม่ได้มีความเสี่ยงอุทกภัย กรมชลประทานก็ยังคงมีการผันน้ำเข้าทุ่งในช่วงเวลาดังกล่าวเพื่อสร้างการรับรู้ให้กับเกษตรกรและเป็นการ จัดระบบการปลูกข้าวให้ได้ปีละ 2 ครั้ง นอกจากนี้ทางภาครัฐได้จัดโครงการ “ปล่อยน้ำเข้านา-ปล่อยปลาเข้าทุ่ง” เพื่อปล่อยพันธุ์สัตว์น้ำเข้าทุ่งรับน้ำให้เกษตรกรได้ทำการประมงเป็นอาชีพเสริมให้มีรายได้ในช่วงที่ไม่ได้ทำนา

ในที่นี้ยกตัวอย่างพื้นที่บริเวณโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเจ้าเจ็ด-บางยี่หนเป็นพื้นที่ตัวแทนของพื้นที่รับน้ำนอง เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 4 (ขวา) จะเห็นว่าค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI มีความสัมพันธ์กับกิจกรรมการเพาะปลูกและสอดคล้องการเจริญเติบโตของข้าว โดยในช่วงเดือนตุลาคม-พฤศจิกายน 2562 เป็นช่วงที่รับน้ำเข้าทุ่ง ค่า NDVI มีค่าค่อนข้างต่ำ (ต่ำกว่า 0.4) แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ดังกล่าวไม่มีพืชพรรณปกคลุมอยู่ จากนั้นในช่วงต้นเดือนพฤศจิกายน ค่า NDVI ค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับการปลูกข้าวที่เริ่มมีการเพาะปลูกและข้าวเริ่มเติบโต จนมีค่า NDVI สูงสุดประมาณ 0.8 ในช่วงกลางเดือนมกราคม 2562 ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นช่วงที่ข้าวโตเต็มที่ จากนั้นค่า NDVI ลดต่ำลงจนถึง 0.4 ในช่วงกลางเดือนมีนาคมซึ่งคาดว่าเป็นช่วงที่ข้าวออกรวงจนถึงช่วงเก็บเกี่ยว ซึ่งเมื่อเก็บเกี่ยวแล้วเสร็จจะเห็นว่าค่า NDVI เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องอีกครั้ง แสดงให้เห็นว่าเกษตรกรน่าจะมีการทำนาปีต่อเนื่อง

จากนั้นเมื่อสิ้นสุดช่วงฤดูนาปีในปลายเดือนสิงหาคม 2562 จะเห็นว่าค่า NDVI เฉลี่ยอยู่ที่ 0.4 ไปจนถึงเดือนพฤศจิกายน 2562 จากการสำรวจข้อมูลพบว่าในช่วงเดือนกันยายน-พฤศจิกายน พื้นที่บางส่วนของโครงการฯ ทางฝั่ง

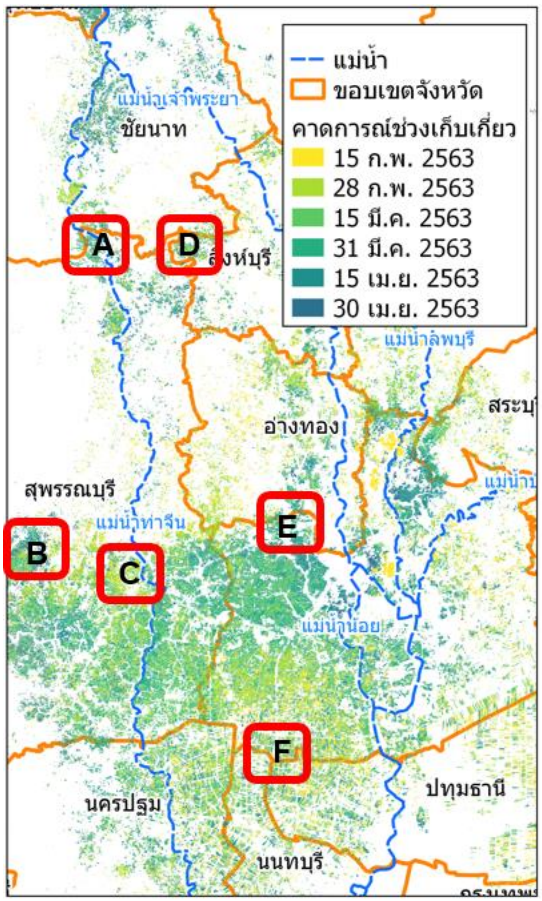
ตะวันออกของโครงการฯ (ติดแม่น้ำเจ้าพระยา) ไม่มีน้ำท่วมขัง เกษตรกรเริ่มทำนาต่อเนื่องได้ก่อน ในขณะ ที่ทางฝั่งตะวันตก (ติดแม่น้ำท่าจีน) มีน้ำท่วมขังบางส่วนในพื้นที่ เกษตรกรจึงเริ่มทำนาปรังล่าช้ากว่า ทั้งนี้ เกษตรกรบางส่วนยังไม่ทราบข้อมูลว่าช่วงเวลาดังกล่าวกรมชลประทานจะมีการผันน้ำเข้าทุ่งเหมือนในปี พ.ศ. 2559-61 หรือไม่ จึงปล่อยทิ้งพื้นที่ไว้ ทำให้ทำนาปรังล่าช้า รวมทั้งไม่ทราบถึงการรณรงค์ให้งดทำนาต่อเนื่อง/นาปรังในฤดูแล้งปี 2562/63 อีกด้วย โดยเฉลี่ยในพื้นที่โครงการฯ เริ่มทำนาปรังในเดือนพฤศจิกายน 2562 ทำให้ผลการสำรวจข้อมูลในเดือนมกราคม 2563 จึงเป็นช่วงที่ NDVI มีค่าสูงสุด (ข้าวเติบโตเต็มที่)



ภาพที่ 4 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย NDVI ที่สัมพันธ์กับการปลูกข้าวและการผันน้ำเข้าทุ่งในช่วงปี พ.ศ. 2558-60 (ซ้าย) และปี พ.ศ. 2561-63 (ขวา) บริเวณโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเจ้าเจ็ด-บางยี่หน

เมื่อเทียบเคียงสถานการณ์การปลูกข้าวนาปรังปี 2562/63 จะเห็นว่าปฏิทินการเพาะปลูกข้าวในพื้นที่โครงการฯ มีช่วงเวลาเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกับในฤดูแล้งปี 2558/59 ซึ่งเป็นปีที่ประสบภัยแล้งขั้นรุนแรงในพื้นที่ภาคกลาง ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 4 (ซ้าย) จะเห็นว่าช่วงมกราคม ปี 2559 ซึ่งเป็นช่วงที่ข้าวมีการเจริญเติบโตเต็มที่ (NDVI มีค่าสูงสุด) จะเป็นช่วงเวลาใกล้เคียงกับเดือนมกราคม ปี 2563 (ภาพที่ 4 ขวา) ทั้งนี้เมื่อสิ้นสุดช่วงนาปรังปี 2559 แล้ว ทางกรมชลประทานได้หยุดการส่งน้ำ ทำให้ช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคม 2559 ค่า NDVI อยู่ต่ำกว่า 0.4 แสดงให้เห็นว่าไม่มีกิจกรรมการเพาะปลูกในพื้นที่โครงการฯ จากนั้นเดือนพฤษภาคม 2559 เมื่อกรมชลประทานเริ่มส่งน้ำเข้าโครงการฯ จะเห็นว่ารูปแบบของค่า NDVI เข้าสู่การเพาะปลูกช่วงนาปีต่อไป ดังนั้น หากในฤดูแล้งปี 2562/63 นี้ ทางกรมชลประทานหยุดการส่งน้ำเข้าโครงการฯ สามารถคาดการณ์ได้ว่าเกษตรกรจะหยุดการทำนาต่อเนื่องตั้งแต่เดือนมีนาคม 2563 เป็นต้นไป

จากการสำรวจภาคสนามในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเจ้าพระยาฝั่งตะวันตก ระหว่างวันที่ 4-8 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 (ภาพที่ 5) จะเห็นว่าในหลายพื้นที่ที่ภาพถ่ายดาวเทียมแปลผลว่าเป็นพื้นที่นาปรัง มีการเพาะปลูกจริงและสอดคล้องกับข้อมูลผลการคาดการณ์ช่วงระยะเวลาเก็บเกี่ยวข้าวนาปรังของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ องค์การมหาชน (GISTDA) ทั้งนี้ จากข้อมูลภาคสนามสังเกตว่าหลายพื้นที่ที่ทำนาปรังจะอยู่ใกล้แหล่งน้ำ (เช่น บึงกระจับใหญ่ บึงฉวาก แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำน้อย คลองระบายธรรมชาติ เป็นต้น) หรือใช้เครื่องสูบน้ำนอนคลอง/ บ่อน้ำตื้น (บ่อตอก)/ บ่อทรายร้าง



(A) ต.เดิมบาง อ.เดิมบางนางบวช จ.สุพรรณบุรี (คบ.ท่าโบสถ์)

(B) ต.หนองโอ่ง อ.อู่ทอง จ.สุพรรณบุรี (คบ.ดอนเจดีย์)

(C) ต.บางปลาม้า อ.บางปลาม้า จ.สุพรรณบุรี (คบ. โพธิ์พระยา)

(D) ต.เชิงกลัด อ.บางระจัน จ.สิงห์บุรี (คบ.บรมธาตุ)

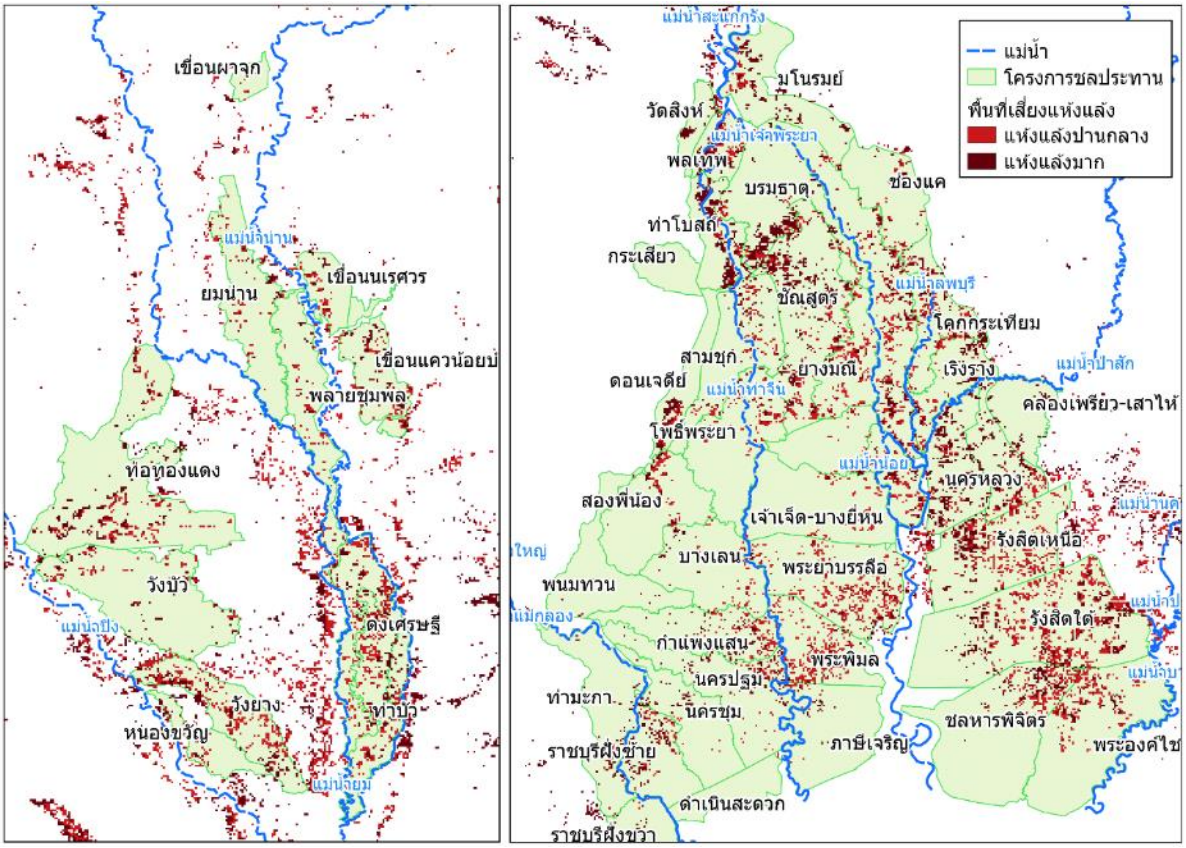
(E) ต.หน้าโคก อ.ผักไห่ จ.พระนครศรีอยุธยา (คบ. ยางมณี)

(F) ต.คลองขวาง อ.ไทรน้อย จ.นนทบุรี (คบ. พระยาบรรลือ)

ภาพที่ 5 ข้อมูลคาดการณ์วันเก็บเกี่ยวข้าวนาปรัง (ที่มา: GISTDA วันที่ 31 ม.ค. 63) และภาพการสำรวจภาคสนามในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเจ้าพระยาฝั่งตะวันตกระหว่างวันที่ 4-8 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 (ภาพ A – E)

2.2 พื้นที่ที่คาดว่าจะได้รับผลกระทบจากภาวะแห้งแล้ง

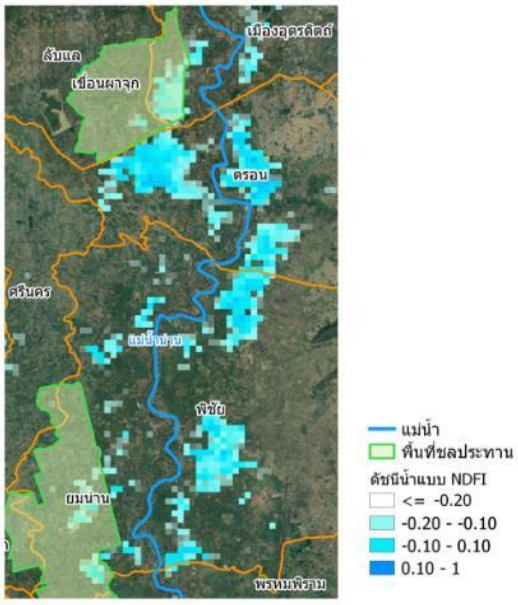
ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีความแห้งแล้งแบบ TVDI จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในวันที่ 25 มกราคม 2563 โดยจัดแบ่งระดับความแห้งแล้งทางการเกษตรออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับน้อย ระดับปานกลาง และระดับมาก พบว่าในเขตพื้นที่ชลประทานมีพื้นที่เสี่ยงต่อความแห้งแล้งในระดับปานกลาง-มาก รวมประมาณ 1.4 ล้านไร่ โดยอยู่ในพื้นที่ราบภาคกลางตอนบนประมาณ 311,000 ไร่ ส่วนมากอยู่ในเขตพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาท่อทองแดง กำแพงเพชร(วังยาง) ดงเศรษฐีและท่าบัว และพื้นที่ราบภาคกลางตอนล่างประมาณ 1,124,000 ไร่ ส่วนมากอยู่ในเขตพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพลเทพ บรมธาตุ ท่าโบสถ์ ชัณสูตร ดอนเจดีย์ ยางมณี โคกกระเทียม มหาราช นครหลวง รังสิตเหนือ รังสิตใต้ ชลหารพิจิตร พระยาบรรลือและพระพิมล (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 พื้นที่เสี่ยงความแห้งแล้งในพื้นที่ภาคกลางตอนบน (ซ้าย) และภาคกลางตอนล่าง (ขวา) แปลผลจากดัชนีความแห้งแล้งแบบ TVDI ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม วันที่ 25 ม.ค. 63

นอกจากนี้ยังมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปรังนอกเขตชลประทานอีกจำนวนมากที่มีความเสี่ยงต่อความแห้งแล้ง โดยเฉพาะพื้นที่ที่เพิ่งเริ่มเตรียมแปลงในช่วงเดือนมกราคม จากการแปลผลภาพถ่ายดาวเทียมในวันที่ 25 มกราคม 2563 โดยใช้ดัชนีน้ำท่วมขัง NDFI พบว่ามีพื้นที่นาข้าวที่กำลังเตรียมแปลงเพาะปลูกอยู่บริเวณริมสองฝั่งแม่น้ำน่าน โดยเฉพาะในเขต อ.เมืองอุตรดิตถ์ อ.ตรอน อ.พิชัย จ.อุตรดิตถ์ (ภาพที่ 7) ซึ่งคาดว่าใช้น้ำจากแม่น้ำน่านโดยการสูบน้ำจากสถานีสูบน้ำภายใต้ความดูแลขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น หากพื้นที่ดังกล่าวมีการปลูกข้าวนาปรังจะมีความต้องการใช้น้ำต่อเนื่องถึง 16 สัปดาห์ซึ่งคาดว่าจะเก็บเกี่ยวในช่วงกลางเดือนพฤษภาคม หากมีน้ำไม่เพียงพอจะทำให้

นาข้าวเกิดความเสียหายได้ ทั้งนี้กรมชลประทานควรมีการประสานงานกับทางพื้นที่เพื่อร่วมกันวางแผนจัดสรรน้ำในช่วงฤดูแล้งต่อไป



ภาพที่ 7 พื้นที่ที่มีการเตรียมแปลงเพาะปลูกข้าวนาปรังนอกเขตชลประทานในพื้นที่บริเวณริมฝั่งแม่น้ำน่าน แปลผลจากดัชนีความแห้งแล้งแบบ TVDI ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม วันที่ 25 ม.ค. 63

2.3 ความต้องการน้ำชลประทาน

สำหรับการคำนวณความต้องการใช้น้ำพืช (Crop Water Requirement, CWR) และความต้องการน้ำชลประทาน (Irrigation Water Requirement, IWR) สำหรับช่วงฤดูแล้งตั้งแต่ปลายเดือนมกราคม 2563 เป็นต้นไป ใช้สมมติฐานการคำนวณดังต่อไปนี้

1) คำนวนเฉพาะความต้องการน้ำของข้าว โดยเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำพืช (Crop Coefficient, Kc) ของข้าวนาหว่านน้ำตมจากกรมชลประทาน ระยะเวลาปลูก 16 สัปดาห์ [4] ซึ่งค่าเฉลี่ยอายุข้าวในวันที่ 25 มกราคม 2563 อยู่ที่ประมาณ 10 สัปดาห์ จึงเหลืออายุข้าวเฉลี่ย 6 สัปดาห์สำหรับคำนวณความต้องการใช้น้ำพืชไปจนถึงช่วงเก็บเกี่ยว
2) ปริมาณการใช้น้ำพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration, ETo) ใช้ค่าเฉลี่ยข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา ในพื้นที่ราบภาคกลาง คำนวณโดยวิธี Penman-Monteith [5]
3) ปริมาณความต้องการใช้น้ำพืช (Crop Evapotranspiration, ETc) คำนวณจากสมการ ETc = Kc x ETo
4) คำนวณเทียบสัดส่วนความต้องการน้ำของข้าว โดยพิจารณาจากกรณีปกติ (ให้น้ำพืชสูงกว่าค่า Field Capacity) ข้าวต้องการน้ำเฉลี่ย 1,200 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ และกรณีการปลูกแบบเปียกสลับแห้ง ซึ่งจะยอมให้เกิดการขาดน้ำแต่ไม่ทำให้ผลผลิตเสียหาย (ให้น้ำพืชอยู่ในช่วงระหว่าง Field Capacity ถึง

Critical Point) ข้าวจะใช้น้ำเฉลี่ย 860 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ คิดเป็น 71.67% ของความต้องการน้ำกรณีปกติ [6]

5) คำนวณความต้องการน้ำชลประทาน (Irrigation Water Requirement, IWR) โดยคิดปริมาณการรั่วซึมในแปลงนา (Deep Percolation) ที่อัตรา 1 มิลลิเมตรต่อวัน และประสิทธิภาพการชลประทาน (Irrigation Efficiency) ในช่วงฤดูแล้งเฉลี่ย 60% โดยสมมติให้ไม่มีฝนใช้การ (Effective Rainfall) ตลอดช่วงฤดูแล้ง

จากข้อมูลพื้นที่ปลูกข้าว ณ วันที่ 25 มกราคม 2563 มีพื้นที่นาปรังในที่ราบภาคกลางทั้งตอนบนและตอนล่างอีก 3.4 ล้านไร่ ซึ่งจากสมมติฐานการคำนวณพบว่าหากเป็นกรณีปกติที่มีการให้น้ำเต็มที่โดยไม่ขาดน้ำ ช่วงปลายเดือนมกราคมถึงต้นเดือนมีนาคม 2563 จะต้องส่งน้ำชลประทานให้กับพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดประมาณ 2,289 ล้านลูกบาศก์เมตร (ตารางที่ 1) แต่หากส่งน้ำชลประทานให้กับพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดภายใต้สมมติฐานว่ายอมให้เกิดการขาดน้ำบางส่วนโดยผลผลิตไม่เสียหาย จะต้องส่งน้ำชลประทานประมาณ 1,511 ล้านลูกบาศก์เมตร อย่างไรก็ตาม หากตั้งสมมติฐานว่า พื้นที่เพาะปลูกที่ไม่อยู่ในภาวะเสี่ยงต่อความแห้งแล้ง (ประมาณ 2 ล้านไร่) สามารถใช้น้ำจากแหล่งน้ำอื่นที่มีอยู่ในพื้นที่ตนเองได้โดยไม่จำเป็นต้องได้รับน้ำชลประทาน และพิจารณาส่งน้ำให้เฉพาะพื้นที่เสี่ยงความแห้งแล้งในระดับปานกลาง-มาก (ประมาณ 1.4 ล้านไร่) โดยยอมให้เกิดการขาดน้ำบางส่วน จะต้องส่งน้ำชลประทานให้กับพื้นที่ดังกล่าวประมาณ 639 ล้านลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 1 ความต้องการน้ำสำหรับพื้นที่ปลูกข้าวนาปรัง ปี 2562/63 ช่วงปลายเดือนมกราคม - ต้นเดือนมีนาคม 2563

ความต้องการน้ำ (หน่วย: ล้าน ลบ.ม.)		**กรณีปกติ (ให้น้ำเต็มที่)**	**กรณียอมขาดน้ำบางส่วน โดยผลผลิตไม่เสียหาย**
ส่งน้ำให้พื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด	ข้าวต้องการน้ำ (CWR)	1,373	906
	ชลประทานต้องส่งน้ำ (IWR)	2,289	1,511
ส่งน้ำให้เฉพาะพื้นที่เสี่ยงความแห้งแล้ง	ข้าวต้องการน้ำ (CWR)	581	383
	ชลประทานต้องส่งน้ำ (IWR)	968	639

3. สรุปผล และข้อเสนอแนะ

จากการสำรวจการเพาะปลูกข้าวนาปรังในช่วงฤดูแล้งปี 2562/63 ในพื้นที่ในเขตชลประทาน พบว่ายังมีพื้นที่ปลูกข้าวอีก 3.4 ล้านไร่ ส่วนมากเป็นพื้นที่ทุ่งรับน้ำนองที่มีน้ำท่วมขังในช่วงฤดูฝนเป็นประจำทุกปี โดยหลายพื้นที่มีแหล่งน้ำสำรอง เช่น บ่อน้ำตื้น (บ่อตอก) บ่อบาดาล บ่อทรายเก่า หนองน้ำ รวมไปถึงอยู่ใกล้กับคลองส่งน้ำชลประทานที่ยังมี “น้ำนอนคลอง” ซึ่งเกษตรกรยังคงมีการเพาะปลูกข้าวนาปรังตามปกติ โดยเกษตรกรบางส่วนยอมรับความเสี่ยงเอง ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่เพาะปลูกหลายแห่งเป็นพื้นที่ “นาเช่า” เกษตรกรจ่ายค่าเช่าเฉลี่ย 2,000-3,000 บาทต่อไร่ จึงมีความต้องการรายได้จากการปลูกข้าวให้มากที่สุด อย่างไรก็ตามในพื้นที่นาเช่าไม่สามารถขุดบ่อกักเก็บน้ำ / เจาะบ่อบาดาลมาใช้เองได้ จึงเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อความแห้งแล้งค่อนข้างสูง

สำหรับพื้นที่นอกเขตชลประทาน พบว่ามีพื้นที่ปลูกข้าวนาปรังตามริมฝั่งแม่น้ำสายหลัก (ปิง ยม น่าน) ซึ่งเป็นสถานีสูบน้ำ ส่วนมากอยู่ในความรับผิดชอบขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ทั้งนี้พบว่า เกษตรกรบางพื้นที่ไม่ทราบข้อมูลหรือไม่เคยได้รับการประสานงานจากเขื่อน/กรมชลประทานว่าให้งดสูบน้ำทำนาปรัง สะท้อนให้เห็นว่าการรณรงค์และประชาสัมพันธ์อาจจะยังไม่ทั่วถึง อย่างไรก็ตามเกษตรกรบางพื้นที่มองว่าพื้นที่ตนเองจ่ายค่าสูบน้ำเองได้ จึงควรมีสิทธิ์ใช้น้ำในการเพาะปลูก ซึ่งทางหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรมีการประสานงานกับพื้นที่เพาะปลูกนอกเขตชลประทานให้มากขึ้น เพื่อนำข้อมูลกิจกรรมความต้องการใช้น้ำมาร่วมวางแผนจัดสรรน้ำและสร้างกติการ่วมกันอย่างเป็นระบบมากขึ้น

4. รายการอ้างอิง และบรรณานุกรม

[1] I. Sandholt, K. Rasmussen, and J. Andersen, “A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status,” Remote Sensing of Environment, vol. 79, no. 2–3, pp. 213–224, Feb. 2002.

[2] W. Emery and A. Camps, “Chapter 10 - Land Applications,” in Introduction to Satellite Remote Sensing, W. Emery and A. Camps, Eds. Elsevier, 2017, pp. 701–766.

[3] M. Boschetti, F. Nutini, G. Manfron, P. A. Brivio, and A. Nelson, “Comparative analysis of normalised difference spectral indices derived from MODIS for detecting surface water in flooded rice cropping systems,” PLoS ONE, vol. 9, no. 2, 2014.

[4] ส่วนการใช้น้ำชลประทาน สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา, ค่าสัมประสิทธิ์พืชโดยวิธี Penman – Monteith. กรุงเทพมหานคร: กรมชลประทาน, 2555.

[5] R. G. Allen, L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith, FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56 : Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998.

[6] ทีมงานนาเปียกสลับแห้งกรมชลประทาน, “คู่มือการทำนาเปียกสลับแห้งแกล้งข้าว,” 2558. [Online]. Available: http://water.rid.go.th/waterm/manager/2-Handbook AWD.pdf. [Accessed: 06-Feb-2563].