

การประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำของข้าว กข. นาหว่านน้ำตม โดยใช้ดัชนีผลต่างพีชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์จากภาพถ่ายดาวเทียมเซนทิเนล-2 หลายช่วงเวลา ในเขตชลประทานของกลุ่มน้ำเจ้าพระยา



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Estimating Evapotranspiration of RD Rice Na Wan Num Tom Using Multi-temporal
NDVI from Sentinel-2 Satellite Imageries in the irrigated districts of Chao Phraya Basin



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Survey Engineering

Department of Survey Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2019

Copyright of Chulalongkorn University

| | |
|---------------------------------|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำของข้าว กข. นาหว่านน้ำ ตาม ใช้ดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์จาก ภาพถ่ายดาวเทียมเซนทิเนล-2 หลายช่วงเวลา ในเขต ชลประทานของกลุ่มน้ำเจ้าพระยา |
| โดย | นายณัฐพล เย็นสกุลสุข |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมสำรวจ |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | อาจารย์ ดร.รงทิต ฉายากุล |

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

----- คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

----- ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.ชัยโชค ไวกาษา)

----- อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.รงทิต ฉายากุล)

----- กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ พลธีรภัช)

ณัฐพล เย็นสกุลสุข : การประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำของข้าว กข. นาหว่านน้ำตาม โดยใช้ดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์จากภาพถ่ายดาวเทียมเซนทิเนล-2 หลายช่วงเวลา ในเขตชลประทานของกลุ่มน้ำเจ้าพระยา. (Estimating Evapotranspiration of RD Rice Na Wan Num Tom Using Multi-temporal NDVI from Sentinel-2 Satellite Imageries in the irrigated districts of Chao Phraya Basin) อ.ที่ปรึกษาหลัก : อ. ดร.ชงทิศ ฉายากุล

ปริมาณการใช้น้ำของพืชเป็นองค์ประกอบข้อมูลหนึ่งที่สำคัญในการวางแผนการจัดสรรน้ำให้กับพื้นที่เกษตรกรรมในเขตชลประทานเพื่อให้มีความเหมาะสมกับปริมาณน้ำต้นทุนและมีประสิทธิภาพ ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ในการประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ในเขตชลประทานของกลุ่มน้ำเจ้าพระยา โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) ที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 กับค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc) ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน โดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างปริมาณการใช้น้ำของพืชที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI กับค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน พบว่าข้าวในช่วงระยะเริ่มต้นเพาะปลูกสัปดาห์ที่ 3-7 ให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่ข้าวที่อยู่ในช่วงสัปดาห์ที่ 8-10 ปริมาณการใช้น้ำของพืชที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI ให้ค่าที่สูงกว่าค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน และข้าวที่เพาะปลูกในช่วงสัปดาห์ที่ 11-16 ให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำตลอดฤดูกาลเพาะปลูก ค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI มีค่า 72.72 มม./วัน ในขณะที่ค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน มีค่า 71.96 มม./วัน โดยมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง 1.05 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชที่ได้จากเทคโนโลยีการสำรวจจากระยะไกลให้ค่าความถูกต้องที่สูง จากข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบปริมาณการใช้น้ำของพืชเชิงพื้นที่ตามช่วงการเจริญเติบโตของพืชระยะต่างๆ ได้และสามารถนำไปศึกษาเพิ่มเติมในพืชชนิดอื่นๆ รวมถึงการพัฒนาเพื่อคาดการณ์ปริมาณการใช้น้ำของพืชล่วงหน้าในอนาคตต่อไป

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ

ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6170166821 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEYWORD: Remote Sensing, Normalized Difference Vegetation Index, Evapotranspiration,
Penman-Monteith equation

Nuttapon Yensakunsuk : Estimating Evapotranspiration of RD Rice Na Wan Num Tom
Using Multi-temporal NDVI from Sentinel-2 Satellite Imageries in the irrigated districts
of Chao Phraya Basin. Advisor: THONGTHIT CHAYAKULA, Ph.D.

Evapotranspiration of plants is one of the important data for planning water allocation in agricultural irrigation system in term of suitability for storage amount and efficient supply. This research aims to estimation of wet direct-seeding rice evapotranspiration in the irrigated areas of Chao Phraya Basin. This research studies the relationship between Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), derived from sentinel-2 satellite imagery and Crop Coefficient (Kc), referenced from Royal Irrigation Department (RID) by using simple linear regression analysis. The comparison result shows that the value of three to seven-week-old rice evapotranspiration, calculated by Kc from NDVI, is similar to the value, calculated by Kc from the RID. The value of eight to ten-week-old rice evapotranspiration calculated by Kc from NDVI, is higher than the value, calculated by Kc from the RID. The value of eleven to sixteen-week-old rice evapotranspiration, calculated by Kc from NDVI, is similar to the value, calculated by Kc from the RID. The comparison result of evapotranspiration throughout the cultivation period is found that the value of evapotranspiration, calculated by Kc from NDVI, is 72.22 mm./day. Meanwhile, the value of evapotranspiration, calculated from the RID, is 71.96 mm./day. The difference of these two value is 1.05 percent. The results of the study show that evapotranspiration value, resulted from remote sensing technology provides high accuracy. These data can be used to monitor the spatial evapotranspiration of plants during each stage of plant growth, and further studied in other plants, including developed to predict the evapotranspiration in the future.

Field of Study: Survey Engineering

Student's Signature

Academic Year: 2019

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.จงทิศ ฉายากุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสความรู้ มุมมองแนวคิดด้านงานวิจัยรวมถึงให้กำลังใจจนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ชัยโชค ไวกาษา ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และผศ. ดร.ณรงค์ พลธิ์รักษ์ กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำ พร้อมทั้งแนวคิดที่ทำให้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสำรวจที่ให้ความรู้ อันมีคุณค่า

ขอขอบพระคุณบิดา มารดาและครอบครัว ที่ให้อิสระในการตัดสินใจทุกอย่างและให้โอกาสที่ดี ทางการศึกษากับผู้วิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย ในโอกาสที่สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ทรงเจริญพระชนมายุ 60 พรรษา

ขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกคนที่ให้ กำลังใจและความช่วยเหลือในด้านต่างๆมาโดยตลอด

ขอบคุณธรรมชาติที่สวยงาม ทะเล ภูเขา แม่น้ำ และป่าไม้ที่ทำให้โลกใบนี้น่าอยู่และเป็นแรงบันดาลใจในการดำเนินชีวิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ณัฐพล เย็นสกุลสุข

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| | ค |
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ค |
| | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | ง |
| กิตติกรรมประกาศ..... | จ |
| สารบัญ..... | ฉ |
| สารบัญตาราง..... | ฉ |
| สารบัญรูปภาพ..... | ญ |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญ..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... | 5 |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... | 5 |
| 1.3.1 ขอบเขตเนื้อหาที่ศึกษา..... | 5 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 5 |
| บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... | 9 |
| 2.1 ดาวเทียม Sentinel-2..... | 9 |
| 2.2 การแปลงค่า TOA reflectance ดาวเทียม Sentinel-2 Level-1C..... | 10 |
| 2.3 ดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)..... | 10 |
| 2.4 ปริมาณการใช้น้ำของพืช (Evapotranspiration, ET)..... | 11 |
| 2.5 ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration, ETo)..... | 12 |

| | |
|---|----|
| 2.6 ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient, Kc) | 13 |
| 2.7 การประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ (Spatial Interpolation) | 14 |
| 2.8 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)..... | 15 |
| 2.9 การวัดค่าคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ | 17 |
| 2.10 ข้าว | 18 |
| 2.10.1 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความต้องการใช้น้ำของพืช | 18 |
| 2.10.2 วงจรชีพลักษณ์ (Phenological Cycle)..... | 19 |
| 2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 21 |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย..... | 24 |
| 3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา..... | 24 |
| 3.1.1 พื้นที่ศึกษาวิจัย | 24 |
| 3.1.2 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม..... | 26 |
| 3.1.3 ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc) | 27 |
| 3.1.4 ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo)..... | 27 |
| 3.1.5 ข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ | 28 |
| 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา..... | 29 |
| 3.2.1 ซอฟต์แวร์..... | 29 |
| 3.2.2 ฮาร์ดแวร์ | 29 |
| 3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย | 29 |
| 3.3.1 จัดเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 | 31 |
| 3.3.2 การแปลงค่าสะท้อนชั้นบนสุดของชั้นบรรยากาศ (TOA reflectance)..... | 31 |
| 3.3.3 การคำนวณค่าดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI)..... | 33 |
| 3.3.4 กลุ่มตัวอย่างแปลงนาที่ใช้ในการศึกษา..... | 34 |
| 3.3.5 NDVI Time Series..... | 35 |

| | |
|--|----|
| 3.3.6 ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc)..... | 37 |
| 3.3.7 การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์กับค่า สัมประสิทธิ์พืช | 37 |
| 3.3.8 ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET _o) | 38 |
| 3.3.9 ปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) | 39 |
| 3.3.10 การตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์..... | 40 |
| บทที่ 4 ผลการศึกษา | 41 |
| 4.1 ผลการศึกษาการประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชด้วยเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกล .41 | |
| 4.1.1 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า NDVI กับค่า Kc..... | 41 |
| 4.1.2 ผลการประมาณค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc) | 47 |
| 4.1.3 ผลการประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET)..... | 49 |
| 4.1.4 ผลการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc)..... | 56 |
| 4.1.5 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) | 62 |
| บทที่ 5 อภิปราย สรุปผล และข้อเสนอแนะ..... | 69 |
| 5.1 อภิปรายผลการศึกษา | 69 |
| 5.2 สรุปผล | 72 |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ | 72 |
| บรรณานุกรม | 2 |
| ประวัติผู้เขียน | 7 |

สารบัญตาราง

หน้า

| | |
|--|----|
| ตารางที่ 2-1 ความยาวช่วงคลื่นกลางและความละเอียดเชิงพื้นที่ของภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2.9 | |
| ตารางที่ 3-1 ค่าสัมประสิทธิ์พีชของข้าว กข. นาหวานน้ำตม | 27 |
| ตารางที่ 3-2 ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET _o) รายเดือน..... | 28 |
| ตารางที่ 4-1 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่า Kc ที่ได้จาก NDVI กับค่า Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทานและ RMSE | 56 |
| ตารางที่ 4-2 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างปริมาณการใช้น้ำของพืชที่คำนวณโดยใช้ค่า Kc ที่ได้จาก NDVI กับปริมาณการใช้น้ำของพืชที่คำนวณโดยใช้ค่า Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน และ RMSE..... | 62 |

สารบัญรูปภาพ

หน้า

| | |
|--|----|
| ภาพที่ 2-1 แนวคิดการประมาณค่าในช่วงแบบ Inverse Distance Weight | 15 |
| ภาพที่ 2-2 แสดงช่วงการเจริญเติบโตของข้าวและเส้นโค้งสีแดง แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า NDVI ตามช่วงการเจริญเติบโตของข้าวระยะต่างๆ..... | 20 |
| ภาพที่ 3-1 แผนที่แสดงพื้นที่เพาะปลูกข้าว ในเขตพื้นที่ชลประทานของกลุ่มน้ำเจ้าพระยา..... | 25 |
| ภาพที่ 3-2 แผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2..... | 26 |
| ภาพที่ 3-3 แผนผังการดำเนินงานวิจัย | 30 |
| ภาพที่ 3-4 การดาวน์โหลดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2..... | 31 |
| ภาพที่ 3-5 การแปลง DN เป็นค่าสะท้อนชั้นบนสุดของชั้นบรรยากาศ (TOA reflectance) | 32 |
| ภาพที่ 3-6 แผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบนด์ 4..... | 32 |
| ภาพที่ 3-7 แผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบนด์ 8..... | 33 |
| ภาพที่ 3-8 แผนที่ดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI)..... | 34 |
| ภาพที่ 3-9 แผนที่ตำแหน่งกลุ่มตัวอย่างแปลงนาที่ใช้การศึกษา 80 ตัวอย่าง..... | 35 |
| ภาพที่ 3-10 ตัวอย่างแปลงนาที่ตั้งอยู่ใน อ.เมือง จ.สิงห์บุรี..... | 36 |
| ภาพที่ 3-11 ข้อมูลอนุกรมเวลาค่าเฉลี่ย NDVI ของจุดภาพในพื้นที่แปลงนา..... | 36 |
| ภาพที่ 3-12 ค่าสัมประสิทธิ์พีชของข้าว กข. นาน้ำดำน้ำตม ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน | 37 |
| ภาพที่ 3-13 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่า NDVI กับค่าสัมประสิทธิ์พีช ของข้าว กข. นาน้ำดำน้ำตม | 38 |
| ภาพที่ 3-14 แผนที่ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET _o) เดือนมกราคม..... | 39 |
| ภาพที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า NDVI กับค่า Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน | 46 |
| ภาพที่ 4-2 การเปรียบเทียบระหว่างค่า Kc ที่ได้จาก NDVI ของกลุ่มตัวอย่างแปลงนา 80 แปลง กับค่า Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน..... | 47 |

ภาพที่ 4-3 การเปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยของค่า Kc ที่ได้จาก NDVI จากกลุ่มตัวอย่างแปลงนา 80 แปลงกับค่า Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน.....47

ภาพที่ 4-4 การเปรียบเทียบระหว่างค่า ET ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI กับค่า ET ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน ของกลุ่มตัวอย่างแปลงนา 80 แปลง.....53

ภาพที่ 4-5 การเปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ย ET ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI กับ ค่าเฉลี่ย ET ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน ของกลุ่มตัวอย่างแปลงนา 80 แปลง.....54



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

น้ำเป็นปัจจัยหลักของมนุษย์และทรัพยากรน้ำพบมากถึง 3 ใน 4 ส่วนของพื้นผิวโลกซึ่งทรัพยากรน้ำส่วนใหญ่ในสภาพน้ำเค็มและมหาสมุทร รองลงมาคือ น้ำแข็งตามขั้วโลกและน้ำจืดตามแม่น้ำลำคลองต่างๆ น้ำมีความสำคัญกับสิ่งมีชีวิตต่างๆ บนพื้นผิวโลก เช่น ความสำคัญต่อพืชซึ่งน้ำเป็นวัตถุดิบที่สำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง และน้ำมีความสำคัญต่อการงอกของเมล็ดพืชช่วยในการเจริญเติบโต โดยเฉพาะอย่างยิ่งเนื้อเยื่อที่กำลังเจริญเติบโต ถ้าขาดน้ำส่งผลให้เซลล์ยืตัวไม่เต็มที่ ต้นแคระแกร็นและถ้าขาดน้ำในปริมาณที่มาก พืชจะเหี่ยวและเฉาตายไปในที่สุด ความต้องการใช้น้ำมีทั้งการใช้ในการอุปโภคบริโภค และกระบวนการผลิตภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรม ปริมาณความต้องการใช้น้ำสูงขึ้นตามอัตราการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร ทั้งช่วงที่มีน้ำมากในฤดูฝนและช่วงที่มีน้ำน้อยในฤดูแล้ง (ประภาพร พลอยยอด, 2550) การขาดแคลนน้ำเป็นหนึ่งในปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อการพัฒนาพื้นที่ด้านการเกษตร โดยในอนาคตการขาดแคลนน้ำมีแนวโน้มที่จะเพิ่มความเสียหายต่อผลิตทางการเกษตรที่สูงขึ้น หากยังไม่มีประสิทธิภาพที่เพียงพอต่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำเพื่อการเกษตร นอกจากนี้การได้รับน้ำในปริมาณที่มากเกินไปจะส่งอันตรายต่อผลผลิตของพืชได้ (Upadhyaya, 2015) ในปัจจุบันพื้นที่เกษตรกรรมมีการอาศัยน้ำจากแหล่งน้ำชลประทานกว่าร้อยละ 70 จากการใช้น้ำทั้งหมดในพื้นที่เกษตรกรรม โดยในช่วงปี ค.ศ. 1980 ที่ผ่านม้อัตราการก่อสร้างโครงการชลประทานทั่วโลกมีการชะลอตัวลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยมีสาเหตุมาจากค่าใช้จ่ายที่เพิ่มสูงขึ้นในการก่อสร้างระบบชลประทานรวมถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่างๆ ในการก่อสร้าง (Chartzoulakis and Bertaki, 2015)

ปัญหาเรื่องน้ำยังคงเกิดขึ้นมาก ทั้งด้านน้ำท่วม น้ำแห้งแล้ง น้ำเสีย เป็นต้น ซึ่งจะต้องมีการบริหารจัดการน้ำที่ดี เพื่อป้องกันและบรรเทาภัยที่เกิดจากน้ำ แต่เดิมการบริหารจัดการน้ำจะมุ่งเน้นในเรื่องการจัดการน้ำสำหรับฤดูแล้งเป็นหลัก ปัจจุบันมีการเพิ่มขึ้นของประชากร การขยายตัวของกิจกรรมทางเศรษฐกิจ ซึ่งการขยายตัวอย่างรวดเร็วของเมืองและอุตสาหกรรม ทำให้เกิดความขัดแย้งด้านการจัดสรรน้ำระหว่างภาคการเกษตรและอุตสาหกรรม มีการปล่อยน้ำเสีย ขยะ และสารเคมีต่างๆ ลงสู่แหล่งน้ำทำให้คุณภาพของน้ำเสื่อมโทรม เน่าเสีย ปัญหาเรื่องน้ำเหล่านี้เกิดขึ้นในทุกภาคของประเทศไทย ซึ่งแต่ละภาคจะมีสภาพภูมิประเทศแตกต่างกัน มีวัฒนธรรมความเป็นอยู่แตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าปัญหาเรื่องน้ำที่เกิดขึ้นมิใช่มีสาเหตุจากสภาพทางกายภาพหรือการจัดการน้ำไม่เพียงพอเท่านั้น แต่ยังเกิดจากการจัดการน้ำที่ไม่มีประสิทธิภาพเป็นสำคัญ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีระบบการบริหาร

จัดการน้ำที่ดีและมีข้อมูลที่เป็นปัจจุบันเป็นปัจจัยในการสนับสนุน เนื่องจากสภาพแวดล้อมในปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว การมีข้อมูลสนับสนุนที่ถูกต้อง ทันต่อสถานการณ์ จะช่วยให้การบริหารจัดการน้ำเพื่อการเกษตรแบบยั่งยืนได้เป็นอย่างดี (สุวรรณภา ยวนานนท์, 2548)

ปริมาณการใช้น้ำของพืช หมายถึง ปริมาณน้ำที่พืชใช้ในกระบวนการคายระเหยน้ำ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการสังเคราะห์แสง เพื่อสร้างอาหารและการเจริญเติบโตของพืช โดยทั่วไปตามหลักการชลประทานถือว่าพืชที่ไม่เป็นโรคจะใช้น้ำตามปกติ ถ้าความชื้นในดินไม่จำกัด แต่เมื่อใดก็ตามที่ความชื้นในดินต่ำกว่าระดับวิกฤติ (Critical Moisture Level หรือ Critical Point) พืชจะดูดน้ำจากดินได้น้อยลง การใช้น้ำของพืชในกระบวนการคายระเหยน้ำจะลดลง ซึ่งจะมีผลทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชลดลงด้วย ดังนั้นในการออกแบบโครงการชลประทานหรือการบริหารจัดการน้ำชลประทาน จึงมีความจำเป็นต้องทราบค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชที่ปลูกในพื้นที่ชลประทาน เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบขนาดคลองส่งน้ำและอาคารควบคุมน้ำ ตลอดจนวางแผนการส่งน้ำให้พืชได้อย่างถูกต้องเหมาะสม หรือเพื่อให้สามารถเพาะปลูกพืชได้ผลผลิตต่อหนึ่งหน่วยน้ำสูงสุดในกรณีมีน้ำอยู่อย่างจำกัด (วรารุช วุฒิวิชัย และพีระชาติ อุดาการ, 2546) การจัดการน้ำในระบบชลประทานเป็นกระบวนการพิจารณาถึงค่าปริมาณความต้องการใช้น้ำของพืชตามช่วงระยะเวลาต่างๆ ในพื้นที่ชลประทานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพต่อผลผลิตทางการเกษตรและเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืน (Chartzoulakis and Bertaki, 2015) ในยุคแรกของการหาค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชจำเป็นต้องศึกษาจากการตรวจวัดโดยตรงด้วยการวัดจากถังวัดการใช้น้ำของพืช (Lysimeter) หรือศึกษาจากแปลงทดลอง โดยทำการวัดปริมาณน้ำที่สูญเสียไปในถังวัดการใช้น้ำของพืช เพื่อนำมาคำนวณเป็นปริมาณการใช้น้ำของพืชในช่วงการเจริญเติบโตระยะต่างๆ จากวิธีการดังกล่าวทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่สูงและมีความยุ่งยากในการจัดการ (Wullschlegler *et al.*, 1998) ต่อมาได้มีการพัฒนาสมการสำหรับหาค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยอาศัยข้อมูลภูมิอากาศ เพื่อคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ที่สูญเสียไปจากแปลงเพาะปลูกโดยการคายน้ำของพืช วิธีสมการของ Hargreaves-Samani เป็นสมการที่รวบรวมข้อมูลค่ารังสีของดวงอาทิตย์ที่ได้รับบนผิวโลกและอุณหภูมิอากาศมาใช้ในการศึกษา โดยสมการดังกล่าวยังขาดปัจจัยทางด้านสภาพอากาศอื่นๆ ที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการใช้น้ำของพืช จนกระทั่งได้มีการศึกษาคิดค้นสูตรใหม่และพัฒนาสมการ Penman-Monteith ขึ้นมาโดยสมการดังกล่าวมีการรวบรวมองค์ประกอบข้อมูลสภาพภูมิอากาศต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการใช้น้ำของพืชมาใช้ในการคำนวณในสูตร ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำสูงขึ้น อาทิเช่น ค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ชั่วโมงแสงแดด เป็นต้น เมื่อสภาพอากาศแห่งพื้นที่เพาะปลูกพืชจะมีการสูญเสียน้ำจากพืชสูงกว่าบริเวณพื้นที่ที่มีสภาพอากาศชื้น โดยทั่วไปสภาพความชื้นของอากาศมักใช้ค่าสภาพการขาดความดันไอน้ำหรือค่าการคายระเหยของน้ำอ้างอิงเป็นตัวบ่งชี้สถานะความชื้นในอากาศ ซึ่งค่าดังกล่าวมี

ความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพันธ์ ปริมาณแสงอาทิตย์ และความเร็วลมในระหว่างวัน (Allen *et al.*, 1998; Hargreaves and Samani, 1985; Meinzer, 2003)

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาได้มีการนำเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมาประยุกต์ใช้ในการประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชร่วมกับข้อมูลภูมิอากาศ ที่ได้จากสถานีตรวจวัดสภาพอากาศ (Tsouni and Koutsogiannis, 2003) โดยวิธีการประมาณค่าการใช้น้ำของพืชด้วยเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม สามารถบันทึกข้อมูลเชิงพื้นที่ได้ครอบคลุมบริเวณกว้างรวมถึงสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของพืชตามช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตได้ จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาแสดงถึงความสำเร็จและประสิทธิภาพในการประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชด้วยเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม อาทิเช่น การประมาณค่าการคายน้ำของพืชโดยใช้แบบจำลองสมดุลพลังงานพื้นผิวด้วยภาพถ่ายดาวเทียม Terra ระบบ MODIS ผลจากการศึกษาพบว่าแบบจำลองดังกล่าวยังมีข้อจำกัดในเรื่องความแม่นยำของค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชที่ได้ เนื่องจากแบบจำลองดังกล่าวยังขาดปัจจัยทางด้านสภาพภูมิอากาศต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการใช้น้ำของพืช ต่อมาได้มีการศึกษาการประมาณค่าการใช้น้ำของข้าว โดยใช้ NDVI จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม NOAA ร่วมกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ด้วยวิธีสมการ Penman–Monteith โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าปริมาณการใช้น้ำที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมกับค่าที่ได้จากถังวัดปริมาณการใช้น้ำของพืช ผลลัพธ์ที่ได้จากทั้ง 2 วิธี ให้ค่าที่มีความสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน แต่ยังคงพบข้อจำกัดในด้านของข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม NOAA ที่ให้ความละเอียดเชิงพื้นที่ที่ต่ำจึงส่งผลให้มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น (Senay *et al.*, 2016; Kalma *et al.*, 2008; Amin and Hassan, 2005) และการศึกษาการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของข้าวโพด สำหรับข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์พืชถือเป็นข้อมูลหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการใช้คำนวณค่าปริมาณการใช้น้ำ โดยในการศึกษารุ่นนี้ได้ใช้ดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Terra ระบบ MODIS หลายช่วงเวลา โดยทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า NDVI ของข้าวโพดกับค่าสัมประสิทธิ์ของพืช เพื่อพัฒนาค่าสัมประสิทธิ์ของข้าวโพดในรูปแบบเชิงพื้นที่สำหรับนำไปใช้ประมาณค่าปริมาณใช้น้ำของพืชต่อไป (Kamble *et al.*, 2013) ต่อมาภายหลังสหภาพยุโรปได้มีการพัฒนาดาวเทียม Sentinel-2 โดยมีภารกิจในการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติและติดตามการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เกษตรกรรมบนพื้นผิวโลก ดาวเทียม Sentinel-2 มีความละเอียดจุดภาพที่สูง (10 ม. 20 ม. และ 60 ม.) และสามารถบันทึกข้อมูลบริเวณพื้นที่เดิมทุกๆ 5 วัน จึงทำให้สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ต่างๆ ได้อย่างรวดเร็ว (Baillarin *et al.*, 2012) ปัจจุบันมีการนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 มาประยุกต์ใช้ในการประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช ด้วยวิธีสมการ Penman–Monteith โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf Area Index, LAI) ของข้าวโพดกับค่าสัมประสิทธิ์พืช ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นและ

คำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์พืชที่ได้จาก LAI ของภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 เพื่อใช้ติดตามปริมาณการใช้น้ำของพืชในแต่ละช่วงการเจริญเติบโต (Dalla Marta *et al.*, 2019)

พื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยามีแม่น้ำเจ้าพระยาเป็นแม่น้ำสายหลักที่มีความสำคัญของประเทศไทย โดยมีความยาวตลอดสายรวมประมาณ 380 กิโลเมตร และเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ เป็นแหล่งน้ำที่หล่อเลี้ยงที่ราบภาคกลางซึ่งมีความกว้างใหญ่และอุดมสมบูรณ์ เป็นอู่ข้าวอู่น้ำของประเทศ มีพื้นที่เพาะปลูกข้าวให้ผลผลิตถึง 1 ใน 3 ของประเทศ (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, 2542) จากรายงานต่างๆ พบว่าในเขตชลประทานของลุ่มน้ำเจ้าพระยามีพื้นที่ที่มีความเหมาะสมต่อการปลูกข้าวมากที่สุด โดยมีการพื้นที่เพาะปลูกข้าวในเขตชลประทานประมาณ 1,915,280 ไร่ (สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร, 2555) พื้นที่เพาะปลูกข้าวส่วนใหญ่นิยมเพาะปลูกข้าว กข. นาหว่านน้ำตม (ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวชัยนาท, 2561) เนื่องจากขนาดพื้นที่แปลงนาในลุ่มน้ำเจ้าพระยามีขนาดใหญ่ โดยวิธีการปลูกข้าวนาหว่านน้ำตมเป็นการปลูกข้าว โดยการหว่านเมล็ดพันธุ์ลงไปในพื้นที่แปลงนาที่เตรียมไว้ ซึ่งช่วยให้ประหยัดต้นทุนในด้านของเวลา แรงงานและค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้ ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีความสนใจศึกษาปริมาณการใช้น้ำของพืชข้าวนาหว่านน้ำตมในช่วงนาปรัง ซึ่งเป็นข้าวที่ปลูกนอกฤดูการทำนาปกติต้องอาศัยน้ำจากแหล่งน้ำชลประทานเป็นหลักเพื่อใช้ในการเพาะปลูก (จำรัส โปร่งศิริวัฒนา, 2534)

ดังนั้นในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำของข้าว กข. นาหว่านน้ำตม วิธี Penman-Monteith โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 กับค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc) ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นและคำนวณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยการคูณค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc) ที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ร่วมกับปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o) มีพื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ในเขตชลประทานของลุ่มน้ำเจ้าพระยา ใช้กลุ่มตัวอย่างแปลงนาในการศึกษา 80 แปลง ศึกษาพื้นที่ปลูกข้าวนาปรัง ซึ่งเป็นข้าวที่ปลูกนอกฤดูการทำนาปกติ ต้องอาศัยน้ำจากระบบชลประทานเป็นหลัก โดยผลการศึกษานี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในการประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชในรูปแบบเชิงพื้นที่ รวมถึงใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนการจัดสรรน้ำให้กับพื้นที่เพาะปลูกข้าวในเขตชลประทานเพื่อให้มีความเหมาะสมกับปริมาณน้ำต้นทุนและมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาการประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำของข้าว กข. นานหว่านน้ำตม โดยใช้ดัชนีผลต่างพีชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 หลายช่วงเวลา

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ขอบเขตเนื้อหาที่ศึกษา

- การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษากลุ่มตัวอย่างแปลงนาเพาะปลูกข้าวในช่วงการทำนาปรังในเขตชลประทานของพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา
- การศึกษาครั้งนี้เป็นประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ในการประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำของข้าว

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถทราบค่าประมาณปริมาณการใช้น้ำของข้าว กข. นานหว่านน้ำตม เพื่อใช้เป็นแนวทางการจัดสรรทรัพยากรน้ำเพื่อการเกษตร

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ดาวเทียม Sentinel-2

ดาวเทียม Sentinel-2 เป็นดาวเทียมวงโคจรกว้าง (Wide-swath) ขององค์การอวกาศยุโรป (European Space Agency: ESA) มีวงโคจรสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ (Sun-synchronous Orbit) ดาวเทียม Sentinel-2 เป็นดาวเทียมคู่แฝด ได้แก่ ดาวเทียม Sentinel-2A และ Sentinel-2B ปฏิบัติงานในวงโคจรเดียวกันที่ระดับความสูงเฉลี่ย 786 กิโลเมตร มีตำแหน่งที่ตั้งทำมุมห่างกัน 180 องศา ดาวเทียม Sentinel-2A ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรวันอังคารที่ 23 มิถุนายน พ.ศ. 2558 และดาวเทียม Sentinel-2B ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรวันพฤหัสบดีที่ 16 กรกฎาคม พ.ศ. 2558 ดาวเทียม Sentinel-2 เป็นระบบบันทึกภาพ Multispectral Instrument (MSI) บันทึกภาพทั้งหมด 13 แบนด์ แบ่งกลุ่มตามความละเอียดเชิงพื้นที่ ดังนี้ 1) ความละเอียดเชิงพื้นที่ 10 เมตร มีจำนวน 4 แบนด์ ได้แก่ แบนด์ที่ 2, 3, 4 และ 8 2) ความละเอียดเชิงพื้นที่ 20 เมตร มีจำนวน 6 แบนด์ ได้แก่ แบนด์ที่ 5, 6, 7, 8A, 11 และ 12 3) ความละเอียดเชิงพื้นที่ 60 เมตร มีจำนวน 3 แบนด์ ได้แก่ แบนด์ที่ 1, 9 และ 10

ตารางที่ 2-1 ความยาวช่วงคลื่นกลางและความละเอียดเชิงพื้นที่ของภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2

| แบนด์ | ความยาวช่วงคลื่นกลาง (μm) | ความละเอียดเชิงพื้นที่ (เมตร) |
|--------------------------|--|-------------------------------|
| 1 - Coastal aerosol | 0.443 | 60 |
| 2 - Blue | 0.490 | 10 |
| 3 - Green | 0.560 | 10 |
| 4 - Red | 0.665 | 10 |
| 5 - Vegetation Red Edge | 0.705 | 20 |
| 6 - Vegetation Red Edge | 0.740 | 20 |
| 7 - Vegetation Red Edge | 0.783 | 20 |
| 8 - NIR | 0.842 | 10 |
| 8A - Vegetation Red Edge | 0.865 | 20 |
| 9 - Water vapour | 0.945 | 60 |
| 10 - SWIR - Cirrus | 1.375 | 60 |
| 11 - SWIR | 1.610 | 20 |
| 12 - SWIR | 2.190 | 20 |

2.2 การแปลงค่า TOA reflectance ดาวเทียม Sentinel-2 Level-1C

ผลิตภัณฑ์ของดาวเทียม Sentinel-2 Level-1C จัดส่งเป็นข้อมูลเชิงเลข (Digital Number, DN) 12 บิต สามารถเปลี่ยนเป็นค่าสะท้อนชั้นบนสุดของชั้นบรรยากาศ (TOA reflectance) โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ในการปรับเปลี่ยน ที่จัดเก็บไว้ในไฟล์เมตาเดต้า (MTD_MSIL1C.xml) ที่ให้มาพร้อมกับข้อมูลดาวเทียม

การแปลงเป็นค่าสะท้อนชั้นบนสุดของชั้นบรรยากาศ (TOA reflectance) คำนวณดังสมการที่ 2-1

$$\rho'_\lambda = M_\rho Q_{cal} + A_\rho \quad (2-1)$$

| | |
|-----------------------|---|
| เมื่อ ρ'_λ | คือ ค่าสะท้อนชั้นบนสุดของชั้นบรรยากาศ (TOA reflectance) ไม่มีมุมของดวงอาทิตย์มาเกี่ยวข้อง |
| M_ρ | คือ ค่าตัวแปรสำหรับการคูณเฉพาะแบนด์จากไฟล์เมตาเดต้า |
| A_ρ | คือ ค่าตัวแปรสำหรับการบวกเฉพาะแบนด์จากไฟล์เมตาเดต้า |
| Q_{cal} | คือ ค่าพิกเซลมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่ปรับขนาดและปรับเทียบแล้ว |

2.3 ดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)

ค่าดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) เป็นการนำค่าที่มีความแตกต่างกันของการสะท้อนพื้นที่ผิวระหว่างช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรดกับช่วงคลื่นสีแดงมาทำสัดส่วนกับค่าผลบวกของทั้งสองช่วงคลื่น เพื่อปรับให้เป็นลักษณะการกระจายแบบปกติ ได้ถูกพัฒนาโดย (Rouse *et al.*, 1974) เพื่อนำมาใช้ในการติดตามพืชพรรณ ดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ในบริเวณที่มีพืชพรรณปกคลุมพื้นผิวหนาแน่น ค่า NDVI จะมีค่าที่สูงเข้าใกล้ 1 และบริเวณที่ถูกปกคลุมด้วยพื้นผิวน้ำหรือพื้นผิวดิน NDVI จะมีค่าที่ต่ำ เข้าใกล้ 0 เนื่องจากมีค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรดต่ำกว่าช่วงคลื่นสีแดง ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้เราจึงสามารถนำ NDVI มาใช้ในการวิเคราะห์การแปลงเปลี่ยนการเจริญเติบโตของพืชข้าวระยะต่างๆ

ดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) คำนวณดังสมการที่ 2-2

$$NDVI = \left[\frac{NIR - Red}{NIR + Red} \right] \quad (2-2)$$

เมื่อ *NDVI* คือ ค่าดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์

NIR คือ ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรด

Red คือ ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นสีแดง

2.4 ปริมาณการใช้น้ำของพืช (Evapotranspiration, ET)

ปริมาณการใช้น้ำของพืชหรือความต้องการน้ำของพืช (ET) หมายถึง ปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้จริงๆ รวมถึงปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากแปลงปลูก โดยขบวนการคายน้ำของพืชและการระเหย มีหน่วยเป็นความลึกของน้ำ/หน่วยเวลาหรือปริมาตรของน้ำ/หน่วยเวลา/หน่วยพื้นที่ เช่น มิลลิเมตร/วัน โดยการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชสามารถทำการตรวจวัดได้โดยตรง จากแปลงทดลองและจากถังวัดปริมาณการใช้น้ำ (Lysimeter) ซึ่งให้ผลที่ถูกต้อง แต่ในทางปฏิบัตินั้นไม่สามารถนำผลไปใช้ใน พื้นที่เพาะปลูกแหล่งอื่นๆ ที่ไม่มีเครื่องมือชนิดนี้หรือพื้นที่ที่มีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันออกไปได้ ดังนั้น ในทางปฏิบัติการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชในสถานที่ใดหรือจังหวัดใดนั้น สามารถหาได้ โดยการใช้ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient, *Kc*) และค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration, *ET_o*) ซึ่งได้จากการคำนวณโดยอาศัยข้อมูลสภาพภูมิอากาศของท้องที่นั้นๆ โดยนำมาคำนวณโดยใช้สูตรหรือวิธีการที่ออกแบบสำหรับการคำนวณหา โดยเฉพาะเพื่อนำไปคูณกับค่าสัมประสิทธิ์พืชของพืชที่ต้องการจะปลูกหรือต้องการทราบค่าปริมาณการใช้น้ำก็จะได้ค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชชนิดนั้นๆ ณ สถานที่ตามต้องการ

ปริมาณการใช้น้ำของพืช คำนวณดังสมการที่ 2-3

$$ET = Kc \times ET_o \quad (2-3)$$

เมื่อ *ET* คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืช

Kc คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของพืช

ET_o คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง

ในปัจจุบันมีสูตรหรือวิธีการต่างๆ สำหรับใช้คำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงและค่าสัมประสิทธิ์พืชอยู่มากก็ตาม ซึ่งแต่ละสูตรที่ใช้คำนวณนั้นมีตั้งแต่สูตรเอมไพริคอลลอย่างง่ายๆ ที่ต้องการข้อมูลเพียงอย่างเดียวหรือสองอย่าง ไปจนกระทั่งถึงสูตรที่มีความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนและต้องการข้อมูลหลายอย่างและมีการคำนวณที่ยุ่งยากซับซ้อนมาก อย่างไรก็ตามไม่จำเป็นว่าสูตรที่ยุ่งยากและต้องการข้อมูลหลายๆ อย่างจะให้ค่าถูกต้องดีกว่าสูตรง่ายๆ เสมอไป การที่จะเลือกใช้สูตรใดสูตรหนึ่งมาคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชที่ต้องการนั้นจะต้องพิจารณาจากลักษณะของงานความละเอียดถูกต้อง ข้อมูลสนับสนุนที่มีอยู่แล้วรวมถึงเครื่องมือที่จะนำมาตรวจวัดเพื่อให้สอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์พืช

สูตรหรือวิธีการที่ได้รับความนิยมและเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายสำหรับใช้คำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงนั้นส่วนใหญ่เป็นวิธีการที่องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) ให้การยอมรับและถูกนำมาใช้เผยแพร่ สำหรับวิธีการที่เหมาะสมกับประเทศไทยนั้น โดยทั่วไปมีอยู่ด้วยกันหลายสูตรซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีและเป็นที่ยอมรับได้แก่วิธีการของ E-pan, Blaney-Criddle, Thornthwaite, Radiation, Hargreaves และวิธีการของ Penman เป็นต้น นอกจากนี้ยังรวมไปถึงสูตรที่พัฒนาขึ้นมาใหม่โดยอาศัยพื้นฐานจากวิธีการของ Penman เช่น Modified Penman และ Penman-Monteith เป็นต้น จากการทดลองโดยวิธีการของ Penman กับวิธีการต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นสำหรับประเทศไทยและจากรายงานการใช้ในที่ต่างๆ จากทั่วโลกพบว่าวิธีการของ Penman และวิธีการอื่นในตระกูล Penman ให้ผลการคำนวณที่ได้ใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดได้ดีกว่าสูตรอื่นๆ ทั้งนี้เป็นเพราะว่าวิธีการของ Penman ได้รวมรวบรวมองค์ประกอบต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อการใช้ น้ำของพืชมารวมไว้อย่างครบถ้วนไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิอากาศ, ความชื้นสัมพัทธ์, ความเร็วลม, ความยาวนานของชั่วโมงแสงแดด, รังสีดวงอาทิตย์ ฯลฯ รวมถึงข้อมูลที่สำคัญของสภาพภูมิประเทศด้วย นอกจากนี้การพัฒนาวิธีการต่างๆ ก็ตั้งอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีที่เป็นที่ยอมรับกันมากกว่าวิธีการอื่น (กรมชลประทาน, 2554ก)

2.5 ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration, ETo)

ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงหรืออาจจะหมายรวมถึงค่า Potential Evapotranspiration (ETp) ด้วยนั้น หมายถึงหลักการในการคำนวณหาปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากพื้นที่เพาะปลูกที่มีพืชปกคลุมอยู่อย่างทั่วถึง โดยที่ดินจะต้องมีความชื้นอยู่เพียงพอกับความต้องการของพืชตลอดเวลา และพื้นที่เพาะปลูกนั้นจะต้องมีบริเวณกว้างใหญ่พอที่จะไม่ทำให้การระเหยและการคายน้ำของพืชต้องกระทบกระเทือนจากอิทธิพลภายนอกมากนัก เช่น การพัดผ่านของลมที่แห้งและร้อน ทั้งนี้เพราะเพื่อต้องการให้ค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงนี้ขึ้นอยู่กับความเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ

รอบข้างแต่เพียงอย่างเดียว เช่น อิทธิพลที่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ชั่วโมงแสงแดด เป็นต้น การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง จะเป็นการนำเอาข้อมูลของสภาพภูมิอากาศ ณ ช่วงเวลาและสถานที่ที่ใช้ทดลองนั้นหรือเป็นสถานที่ที่จะนำค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิงไปใช้งาน ข้อมูลดังกล่าวจะต้องผ่านการตรวจสอบวิเคราะห์ ปรับปรุงตลอดจนแบ่งช่วงให้ตรงกับช่วงการเจริญเติบโตหรืออายุพืชหรือช่วงเวลาที่นำไปใช้ โดยใช้สูตรหรือวิธีการคิดคำนวณที่ปัจจุบันนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น Modified-Penman, Penman-Monteith, เป็นต้น โดยในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้วิธีการคำนวณแบบ Penman-Monteith (กรมชลประทาน, 2554ก)

การคำนวณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o) โดยวิธี Penman-Monteith เป็นการคำนวณตามคู่มือ FAO-56 (Allen et al., 1998) คำนวณดังสมการที่ 2-4

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0.34U_2)} \quad (2-4)$$

| | | |
|-------|-------------|--|
| เมื่อ | ET_o | คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง |
| | R_n | คือ พลังงานการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สุทธิที่พื้นผิว |
| | G | คือ พลังงานความร้อนที่ถ่ายลงดิน |
| | T | คือ อุณหภูมิอากาศ |
| | U_2 | คือ ความเร็วลมที่ระดับความสูง 2 เมตรจากผิวดิน |
| | $e_s - e_a$ | คือ ผลต่างระหว่างความดันไอน้ำอิ่มตัวกับความดันไอน้ำจริงในอากาศ |
| | Δ | คือ ความชันของโค้งความดันไอน้ำอิ่มตัวหรือโค้งความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและแรงดันไอน้ำ |
| | γ | คือ ค่าคงที่ของเทอมความชื้น |

2.6 ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient, K_c)

ค่าสัมประสิทธิ์พืช (K_c) หมายถึงค่าคงที่ของพืชที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่ทำการทดลองและตรวจวัดได้จากถังวัดการใช้น้ำของพืช(Lysimeter) ในแปลงทดลองจริง กับผลการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o) จากสูตรใดสูตรหนึ่ง โดยอยู่ในรูปสมการดังสมการที่ 2-5

$$Kc = \frac{ET}{ETo} \quad (2-5)$$

| | | |
|------------|-----|------------------------------|
| เมื่อ Kc | คือ | ค่าสัมประสิทธิ์ของพืช |
| ET | คือ | ปริมาณการใช้น้ำของพืช |
| ETo | คือ | ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง |

ค่าสัมประสิทธิ์พืชจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการนำไปใช้งานในด้านชลประทานและการเกษตร ในกรณีที่ต้องการปลูกพืชในท้องถิ่นอื่นที่ยังไม่มีการทำการทดลองหาปริมาณการใช้น้ำของพืชชนิดนั้นมาก่อนเลย เมื่อต้องการทราบก็สามารถนำค่าสัมประสิทธิ์พืชมาคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชร่วมกับค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่ได้จากข้อมูลของสภาพภูมิอากาศของท้องถิ่นนั้นได้

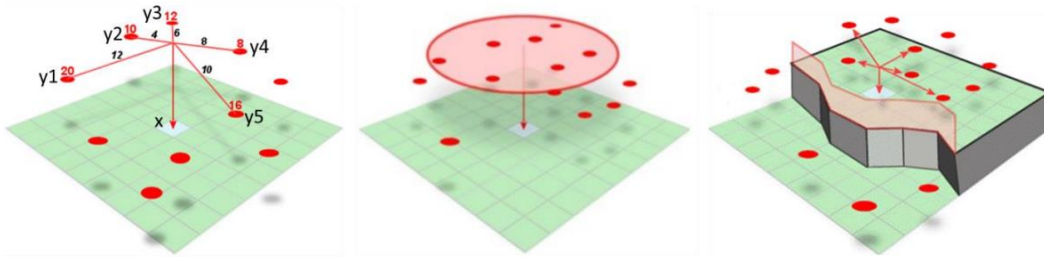
สิ่งสำคัญที่สุดของการนำค่าสัมประสิทธิ์พืชไปใช้งานคือ พืชแต่ละชนิดมีค่า Kc ที่ได้จากการคำนวณหลายสูตรด้วยกัน ดังนั้นก่อนนำค่า Kc ไปใช้งานต้องตรวจสอบเสียก่อนว่าเป็นค่า Kc ของสูตรใด เพื่อจะได้ นำค่า ETo ของสูตรนั้นมาใช้ เพื่อหาค่า ET ที่ถูกต้องและนำไปใช้งานได้มีประสิทธิภาพ ค่าสัมประสิทธิ์พืชจะมีค่าที่แตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและช่วงการเจริญเติบโตของพืชและสูตรที่ใช้ในการคำนวณหา ETo เป็นสำคัญ (กรมชลประทาน, 2554ก)

2.7 การประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ (Spatial Interpolation)

ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) นั้นถูกคำนวณจากข้อมูลสภาพอากาศ ที่ได้จากสถานีตรวจวัดสภาพอากาศ จึงต้องทำการนำข้อมูล ETo จากสถานีต่างๆ มาทำการประมาณค่าข้อมูลเชิงพื้นที่ให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา โดย Hodam *et al.* (2017) ได้ทำการศึกษาวิธีการประมาณค่าข้อมูลเชิงพื้นที่ของปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) โดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศเฉลี่ยรายเดือนระยะเวลา 32 ปี ระหว่าง ปี ค.ศ. 1971 – 2002 จำนวน 131 สถานี ในประเทศอินเดีย จากผลการศึกษาพบว่าวิธีการประมาณค่าข้อมูลเชิงพื้นที่แบบ Inverse Distance Weight (IDW) ให้ผลลัพธ์ที่มีความค่าใกล้เคียงกับข้อมูลจริงมากที่สุด ดังนั้นในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ใช้เลือกวิธี Inverse Distance Weight (IDW) ในการประมาณค่าข้อมูลเชิงพื้นที่ของปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง

การประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ เป็นการทำนายแนวโน้มค่าเชิงคุณภาพของตำแหน่งที่อยู่ระหว่างจุดที่มีข้อมูลจริงโดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์และสถิติ ในการทำนายค่าดังกล่าว โดยจุดที่อยู่ใกล้ตำแหน่งที่สนใจจะมีอิทธิพลมากกว่าจุดที่อยู่ห่างออกไป การคำนวณค่าระยะทางกลับโดยน้ำหนัก (Inverse Distance Weight, IDW) เป็นวิธีการประมาณค่าในช่วงแบบต่อเนื่อง โดยทำการคำนวณค่า

จุดตัวอย่างแต่ละตำแหน่งที่ส่งผลกระทบต่อตำแหน่งหรือบริเวณที่ต้องการประมาณค่า ซึ่งผลกระทบสัมพันธ์กับระยะทาง คือ จุดที่อยู่ใกล้กับตำแหน่งที่ต้องการคำนวณค่าจะมีน้ำหนักมากกว่าจุดที่อยู่ไกลออกไป แนวคิดการประมาณค่าในช่วงแบบ Inverse Distance Weight (IDW) แสดงดังภาพที่ 2-1 (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2561)



ภาพที่ 2-1 แนวคิดการประมาณค่าในช่วงแบบ Inverse Distance Weight

วิธี Inverse Distance Weighted คำนวณดังสมการที่ 2-6

$$Z_p = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{z_i}{d_{ip}} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_{ip}} \right)} \quad (2-6)$$

เมื่อ Z_i คือ ค่าของจุดที่ทราบค่า
 Z_p คือ เป็นจุดที่ไม่ทราบค่า
 n คือ เลขยกกำลังที่ผู้ใช้เลือก
 d_{ip} คือ ระยะทางจากจุดที่ทราบค่า

2.8 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยเป็นวิธีหนึ่งที่ศึกษาความเป็นต้นเหตุซึ่งกันและกันระหว่างตัวแปรสุ่ม การวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) หมายถึงการวิเคราะห์ข้อมูลสถิติ ที่มุ่งศึกษาถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรสุ่มตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป โดยมีลักษณะคล้ายกับการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แต่อธิบายความเป็นเหตุเป็นผลซึ่งกันและกันได้มากกว่า การวิเคราะห์การถดถอยจะกำหนดตัวแปรตัวหนึ่งหรือหลายตัว ให้เป็นตัวแปรอิสระ (independent variable) โดยให้ตัวแปรอีกตัวเป็นตัวแปรตาม (dependent variable)

การวิเคราะห์การถดถอยมี 2 ชนิดได้แก่ ตัวแบบถดถอยอย่างง่าย (simple regression) และ ตัวถดถอยพหุคูณ (multiple regression) ในการวิจัยครั้งนี้เลือกใช้ตัวแบบถดถอยอย่างง่าย (simple regression) ในการศึกษาความสัมพันธ์ โดยลักษณะของความสัมพันธ์ของตัวแบบถดถอยอย่างง่าย (simple regression) ที่เป็นแบบความสัมพันธ์เชิงเส้น (linear relationship) คือ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม ที่สามารถเขียนได้ด้วยสมการเส้นตรง ดังสมการที่ 2-7

$$y = \alpha + \beta X + \varepsilon \quad (2-7)$$

ค่า R^2 มาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ดังนั้นนอกจากมีประโยชน์ต่อการวัดความแข็งแกร่งของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแล้ว R^2 คืออัตราส่วนระหว่างความผันแปรที่อธิบายได้จากสมการถดถอยกับความผันแปรที่เกิดขึ้น ความหมายทางสถิติก็คือ ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดเป็นตัวแทนของสัดส่วนความแปรปรวนทั้งหมดของตัวแปรตาม y ที่อธิบายได้จากสมการถดถอย กล่าวอีกนัยหนึ่งคือเป็นการบอกสัดส่วนของความผันแปรของตัวแปรตามที่พยากรณ์ได้จากตัวแปรอิสระ จึงสามารถใช้เป็นดัชนีที่ทำให้ตัดสินใจได้ว่าสมการถดถอยตัวอย่างมีความเหมาะสมมากน้อยเพียงใด R^2 มีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 โดยค่า R^2 ที่เข้าใกล้หนึ่งแสดงถึงความสอดคล้องกันของข้อมูลกับแบบจำลองสูง คำนวณดังสมการที่ 2-8 (ณททัย ราตรี, 2556)

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2} \quad (2-8)$$

| | | |
|-------|-------------|--|
| เมื่อ | y_i | คือ ค่าสัมประสิทธิ์พีช (Kc) ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน |
| | \hat{y}_i | คือ ค่าสัมประสิทธิ์พีช (Kc) ที่ได้จาก NDVI |
| | \bar{y} | คือ ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์พีช (Kc) ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน |

2.9 การวัดค่าคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์

ค่าคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์สามารถทำได้ด้วยการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc) ได้จาก NDVI กับค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc) ที่ได้จากกรมชลประทานและการเปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc) ได้จาก NDVI กับปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc) ได้จากกรมชลประทาน ในแต่ละสัปดาห์โดยใช้เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (Percentage Difference) ดังสมการที่ 2-9 และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root mean square error, RMSE) ดังสมการที่ 2-10 (Dalla Marta *et al.*, 2019)

$$\text{Percentage Difference} = \frac{|\text{Experimental Value} - \text{Theoretical Value}|}{|\text{Theoretical Value}|} \times 100 \quad (2-9)$$

เมื่อ *Percentage Difference* คือ เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง

Experimental Value คือ ค่าที่ได้จากข้อมูลของภาพถ่ายดาวเทียม

Theoretical Value คือ ค่าที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (2-10)$$

เมื่อ *RMSE* คือ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย

\hat{y}_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc) ที่ได้จาก NDVI

y_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc) ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน

2.10 ข้าว

2.10.1 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความต้องการใช้น้ำของพืช

ปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยาเป็นตัวบ่งชี้ถึงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ที่มีผลต่อปริมาณการใช้น้ำของพืช โดยพารามิเตอร์หลักของสภาพอากาศที่มีอิทธิพลต่อการระเหยของพืช ได้แก่ พลังงานการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Solar Radiation) อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature) ความชื้นในอากาศ (Air Humidity) และความเร็วลม (Wind Speed)

ปัจจัยทางด้านพืชประกอบด้วยชนิดของพืชและพันธุ์พืชที่เพาะปลูก โดยระยะการพัฒนากาเจริญเติบโตของพืชในช่วงเวลาต่างๆ จะมีปริมาณการใช้น้ำที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละช่วงเวลา เนื่องจากพืชแต่ละชนิดจะมีสภาพความต้านทานต่อการคายน้ำของพืชที่แตกต่างกันออกไป รวมถึงลักษณะความสูงของต้นพืช สภาพความสูงต่ำของพืช สภาพการสะท้อนพลังงานและสภาพการปกคลุมผิวดินของลักษณะรากพืช

ปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อมของพืชในพื้นที่ ได้แก่ สภาพการปกคลุมผิวดินความหนาแน่นของพืชในพื้นที่และปริมาณความชื้นที่เกิดขึ้นในดิน โดยความรุนแรงของการขาดน้ำและชนิดของดินเป็นเงื่อนไขหลักที่บ่งชี้ถึงปริมาณน้ำที่มากเกินไปจากสภาพน้ำท่วมซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อรากพืชทำให้พืชมีการดูดน้ำไปใช้น้อยลง (Allen *et al.*, 1998)

โดยปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับปริมาณการใช้น้ำและการระเหยของพืชข้าวมีดังนี้

- ความสูงของพื้นที่ ข้าวเจริญเติบโตได้ตั้งแต่ระดับน้ำทะเลจนถึงที่สูง 2,500 เมตร (ข้าวไร่) สำหรับนาข้าวในลุ่มควมมีระดับน้ำขังตั้งแต่ 5 เซนติเมตร (ข้าวนาสวน) จนถึงหลายเมตร (ข้าวฟางลอย)

- ดิน ข้าวเจริญเติบโตได้ในดินเกือบทุกชนิดยกเว้นดินทราย โดยส่วนใหญ่ชอบขึ้นในดินเหนียวและดินเหนียวร่วน มีความเป็นกรดต่าง (pH) 3-10 โดยข้าวสามารถขึ้นได้ แม้กระทั่งในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

- ปริมาณน้ำ ข้าวมีความต้องการน้ำตั้งแต่ 875 มิลลิเมตร (ข้าวไร่) จนถึง 2,000 มิลลิเมตร (ข้าวนาสวน) ต่อปี แต่ควรมีการกระจายของน้ำฝนที่ดี ในพื้นที่ที่ไม่ได้รับน้ำชลประทานหรือที่เรียกว่านาฝน ส่วนใหญ่ปลูกข้าวได้ปีละครั้งเท่านั้น และการตอบสนองต่อความต้องการน้ำยังขึ้นอยู่กับพันธุ์และช่วงของการเจริญเติบโต ในช่วงการเตรียมดินนั้นควรมีน้ำประมาณ 150 – 200 มิลลิเมตร ช่วงที่เป็นต้นกล้าจนถึงต้นกล้าอายุ 30 – 40 วัน ต้องการประมาณ 250 – 400 มิลลิเมตร ส่วนในช่วงปักดำจนกระทั่งเก็บเกี่ยวนั้นควรมีน้ำอยู่ในระหว่าง 800 – 1,200 มิลลิเมตร

- แสงอาทิตย์ ปริมาณแสงมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโต โดยที่พืชใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงและช่วงเวลาสั้นๆของกลางวันกลางคืนยังมีผลต่อการเจริญทางสืบพันธุ์ของข้าวไวแสง ความเข้มของแสงในฤดูฝนซึ่งมีเมฆหมอกมากขึ้นนั้นจะน้อยกว่าความเข้มแสงในฤดูร้อน ผลผลิต

ข้าวส่วนใหญ่จึงน้อยกว่าเมื่อปลูกในฤดูฝน จากรายงานพบว่าข้าวที่ปลูกในฤดูฝนจะให้ผลผลิตประมาณ 63 ถังต่อไร่ ถ้านำพันธุ์เดียวกันไปปลูกในฤดูร้อนหรือฤดูแล้งจะได้ผลผลิตสูงถึง 73 ถังต่อไร่ แสดงแต่มีความจำเป็นมากในช่วงเริ่มสร้างดอกจนกระทั่ง 10 วันก่อนเมล็ดแก่

- อุณหภูมิ ได้มีการศึกษาพบว่า อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของข้าวและการให้ผลผลิตพบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 25 ถึง 33 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ต่ำเกินไปหรือสูงเกินไป (ต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส สูงกว่า 35 องศาเซลเซียส) มีผลต่อการงอกของเมล็ด การยืดของใบ การแตกกอ การสร้างดอกอ่อน การผสมเกสร เป็นต้น เช่น พบว่าอุณหภูมิที่สูงเกินไปและต่ำเกินไป ช่วงที่มีการออกดอกจะทำให้ดอกข้าวเป็นหมัน ซึ่งจะส่งผลทำให้ได้ผลผลิตต่ำกว่าปกติ เป็นต้น

- ความชื้นสัมพัทธ์ อิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศต่อการเจริญเติบโตของข้าว นั้นมักจะไม่ใช่ชัดเจน เพราะมีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นแสงและอุณหภูมิในเชิงที่กลับกันคือ เมื่อความชื้นของแสงมากและอุณหภูมิสูงมักทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำอุณหภูมิเย็นในเวลากลางวันทำให้เกิดน้ำค้างสูง ส่งผลต่อการพัฒนาของเชื้อโรคของข้าวบางชนิด (ประภาพร พลอยยอด, 2550)

2.10.2 วงจรชีพลักษณ์ (Phenological Cycle)

การเจริญเติบโตของข้าวโดยทั่วไปจะสามารถแบ่งออกเป็นระยะต่างๆ ดังนี้

1) การเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (Vegetative growth) โดยมี 2 ระยะ คือ

- ระยะต้นกล้า (seedling stage) เป็นระยะจากข้าวงอกจนกระทั่งข้าวแตกกอ ใช้ระยะเวลาประมาณ 20 วัน (ขึ้นอยู่กับพันธุ์) สิ้นสุดระยะนี้ต้นข้าวจะมีใบประมาณ 5 - 6 ใบ

- ระยะแตกกอ (tillering stage) นับจากข้าวเริ่มแตกกอตั้งกล่าวจนถึงข้าวเริ่มสร้างช่อดอกอ่อน (panicle initiation) ใช้เวลาประมาณ 30-50 วันหลังระยะต้นกล้าขึ้นอยู่กับตอบสนองต่อช่วงแสงของพันธุ์ข้าว

2) การเจริญเติบโตทางด้านการสืบพันธุ์ (reproductive growth) เริ่มจากข้าวเริ่มสร้างช่อดอกอ่อน ผ่านระยะตั้งท้อง (booting stage) จนถึงโผล่ช่อดอกและผสมเกสร (heading, flowering, fertilization) โดยจะใช้ระยะเวลาช่วงนี้ประมาณ 30-35 วัน

- ระยะเริ่มสร้างช่อรวงอ่อน หลังจากแตกกอเต็มที่แล้วก็เข้าสู่ระยะสร้างช่อรวงอ่อน (พันธุ์ที่ไวแสงจะต้องได้รับช่วงแสงที่เหมาะสมก่อนจึงจะก่อให้เกิดระยะนี้ได้) ระยะนี้ต้นข้าวจะเปลี่ยนจากต้นที่มีลักษณะแบนเป็นต้นกลม และจะมีการยืดปล้อง (stem elongation) ในอัตราเร็ว เมื่อผ่าลำต้นดูจะเห็นจุดกำเนิดช่อดอก (panicle primordium) ลักษณะเป็นสามเหลี่ยมมีสีขาวปุยๆ และจะเจริญเติบโตเรื่อยๆ เป็นช่อดอกที่มีดอกเรียกว่า spikelets

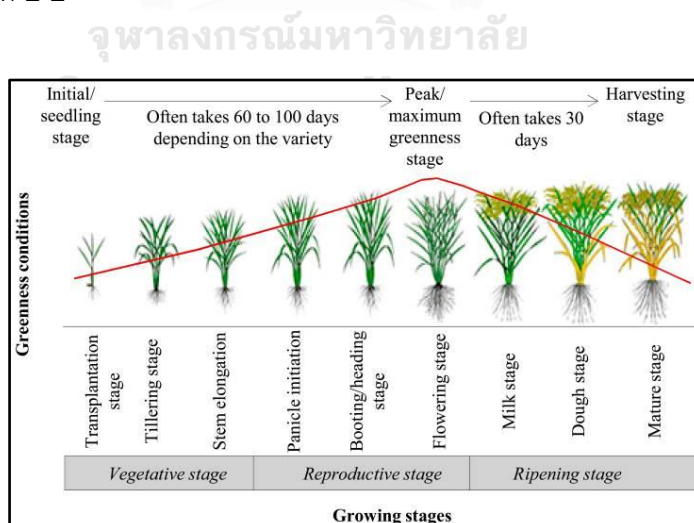
- ระยะตั้งท้อง เป็นระยะที่ช่อดอกอ่อนของข้าวขยายตัวใหญ่ขึ้นจนเป็นช่อดอกที่สมบูรณ์ ตรงกาบใบตรงจะอ่อนพองขึ้น

- ระยะออกดอกและผสมเกสร ระยะที่ช่อดอกโผล่จากกาบใบ (heading) ดอกข้าวบาน (flowering) และผสมเกสร (fertilization) ซึ่งจะเกิดพร้อมกันหรือเหลื่อมกันบางเพียงเล็กน้อย

3) การพัฒนาการของเมล็ด (grain development) ได้แก่ระยะภายหลังการผสมเกสร ซึ่งรังไข่ที่ได้รับการผสมจะเจริญเติบโต อาหารที่ได้รับการสังเคราะห์แสงจะถูกสะสมในเมล็ดเป็นลำดับ ในหลายแห่งจึงเรียกระยะนี้ว่าระยะสะสมในเมล็ด (grain filling period) ในระยะแรกจะอยู่ในระยะน้ำนม (milky) เปลี่ยนเป็นแป้งอ่อน (dough) จนกระทั่งเมล็ดสุก (ripening) เป็นแป้งแข็งเป็นระยะสุกแก่หรือเก็บเกี่ยว (harvest maturity) จะใช้เวลาการพัฒนาการของเมล็ดทั้งหมดประมาณ 25-30 วัน

ดังนั้น เมื่อรวมระยะต่างๆ แล้วข้าวจะมีอายุในระหว่าง 110 – 120 วันสำหรับข้าวไม่ไวแสงและประมาณ 120-140 วันสำหรับข้าวไวแสง (จำรัส โปร่งศิริวัฒนา, 2534)

ดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Indices) มักเป็นดัชนีที่ใช้ในการตรวจสอบหรือติดตามวงจรชีวิตลักษณะของพืช (Karnieli, 2003) ดัชนีพืชพรรณที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ ดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) จากงานวิจัยของ Wang *et al.* (2014) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของข้าวระยะต่างๆ กับ NDVI หลายช่วงเวลา จากผลการศึกษาพบค่า NDVI มีค่าที่ต่ำในช่วงระยะเริ่มปลูกถึงระยะกล้า เนื่องจากได้รับอิทธิพลการสะท้อนจากพื้นดินและผิวน้ำ ในช่วงแรกของการเริ่มเพาะปลูก โดยค่า NDVI จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นในระยะแตกกอ ระยะเริ่มสร้างช่อรวงอ่อน และระยะออกดอก ตามลำดับ เนื่องจากข้าวจะเริ่มมีระดับความเขียวของพืชพรรณที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่ระยะแรกถึงระยะกลางของการเจริญเติบโต จึงทำให้ค่า NDVI มีค่าการสะท้อนที่สูงขึ้นตาม หลังจากนั้นค่า NDVI จะเริ่มมีค่าที่ต่ำลงจนถึงระยะเก็บเกี่ยว เนื่องจากระดับความเขียวของพืชพรรณข้าวเริ่มมีการลดลง ดังภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 แสดงช่วงการเจริญเติบโตของข้าวและเส้นโค้งสีแดง แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า NDVI ตามช่วงการเจริญเติบโตของข้าวระยะต่างๆ

(Mosleh *et al.*, 2015)

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พลัฏฐ์ ปาจิตร และคณะ (2562) ได้ศึกษาการหาค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชเกษตรกรรมในเขตพื้นที่ชลประทานฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 1 (เขื่อนวังร่มเกล้า) โครงการชลประทานอุทัยธานี โดยใช้เทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกล ในการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชด้วยสมการ Hargreaves-Samani โดยคำนวณค่าดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอัมัลไลซ์ (NDVI) จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 และทำการจำแนกอายุพืชข้าวแต่ละสัปดาห์เพื่อกำหนดค่าประสิทธิ์ของพืช (Kc) ตามช่วงระยะการเจริญเติบโต และคำนวณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o) โดยวิธี Hargreaves-Samani ประกอบด้วยข้อมูลค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศเฉลี่ย โดยประยุกต์ใช้การประมาณค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยจากข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิว (LST) ที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม Terra ระบบ MODIS เพื่อคำนวณค่าปริมาณการใช้น้ำในนาข้าว (ET) ผลการศึกษาพบว่าปริมาณการใช้น้ำในนาข้าวมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.77 มม./วัน และคิดเป็นปริมาตรการใช้น้ำของพื้นที่โครงการฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 1 คือ 196,294.18 ล้าน ลบ.ม./วัน โดยเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลสามารถนำไปพัฒนาเป็นระบบติดตามการใช้น้ำของพืชเพื่อต่อยอดในการบริหารจัดการน้ำในเขตพื้นที่ชลประทานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดต่อไป

ณัฐธยาน์ นามอินทร์ และคณะ (2562) ได้ทำการศึกษาการประมาณค่าสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Kc) ข้าว กข. นาหว่านน้ำตาม โดยใช้ดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายดาวเทียมหลายช่วงเวลา โดยพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ปลูกข้าวในเขตพื้นที่ลุ่มต่ำเจ้าเจ็ด ในช่วงฤดูแล้งปี พ.ศ. 2560 – 2561 โดยใช้ข้อมูลอนุกรมเวลาของค่าดัชนี NDVI จากภาพถ่ายดาวเทียมระบบ modis (MOD09Q1) เป็นข้อมูลราย 8 วัน และข้อมูล Kc จากกรมชลประทาน เพื่อมาวิเคราะห์หาแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น โดยผลการศึกษาที่มีรูปสมการ $Kc = 2.25 \times NDVI - 0.112$ โดยมีค่า R-Squared เท่ากับ 0.95 แบบจำลองดังกล่าวสามารถนำมาหาค่า Kc เพื่อปรับปรุงการคำนวณความต้องการใช้น้ำของพืชในนาข้าวสำหรับโครงการชลประทานขนาดใหญ่ได้ต่อไป

Alface *et al.* (2019) ได้ศึกษาการติดตามพื้นที่ปลูกอ้อยและการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของพืชอ้อยจากค่าดัชนี NDVI โดยเลือกพื้นที่ปลูกอ้อยจำนวน 5 แปลงที่สาธารณรัฐโมซัมบิก ตั้งอยู่บริเวณทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของแอฟริกา ทำการคำนวณค่า NDVI จากข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2 หลายช่วงเวลา ในเดือนตุลาคม ปี 2016 ถึงเดือนตุลาคม ปี 2017 และนำมาหาความสัมพันธ์กับข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc) แบบการถดถอยเชิงเส้นแบบง่ายจากผลการศึกษาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์พืชที่ได้จากดัชนี NDVI มีความสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์พืชจากตาราง โดยมีค่า R-Squared เท่ากับ 0.7092 แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้ดัชนี NDVI ในการประมาณค่าสัมประสิทธิ์พืชได้ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์นั้นเป็นค่าที่มีความสำคัญในการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืช

Reyes-González *et al.* (2018) ได้ศึกษาการประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำของข้าวโพด โดยใช้เทคนิคการรับรู้จากระยะไกลพื้นที่ศึกษาทางตอนเหนือของประเทศเม็กซิโก โดยใช้ข้อมูลค่าดัชนี NDVI จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 7 และ Landsat 8 ในปี 2013, 2014, 2015 และ 2016 และนำค่าดัชนี NDVI มาหาความสัมพันธ์กับข้อมูลตารางค่าสัมประสิทธิ์ของพืช แบบความถดถอยอย่างง่าย (simple regression) เพื่อสร้างข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ของพืชในรูปแบบเชิงพื้นที่ และทำการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o) จากข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาที่ได้จากสถานีตรวจวัด โดยวิธี Penman-Monteith และคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืช ผลการศึกษาพบว่าปริมาณการใช้น้ำของพืช ระยะเริ่มปลูกมีปริมาณการใช้น้ำที่ต่ำและจะเพิ่มขึ้นจนถึงช่วงกลางของระยะเติบโต หลังจากนั้นจะลดลงไปเรื่อยๆจนถึงระยะเวลาเก็บเกี่ยว โดยข้อมูลที่ได้สามารถประเมินความต้องการใช้น้ำของพืชได้ในระดับภูมิภาค ซึ่งทำให้สามารถบริหารจัดการน้ำในเขตชลประทานเพื่อเกษตรกรรมได้อย่างเหมาะสมต่อไป

Kamble *et al.* (2013) ได้ทำการประมาณค่าสัมประสิทธิ์พืช (K_c) โดยใช้เทคนิคการรับรู้จากระยะไกล พื้นที่ศึกษาอยู่บริเวณทางตะวันตก ประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับค่าสัมประสิทธิ์พืช (K_c) เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอย่างหนึ่ง ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณการใช้น้ำของพืช โดยค่าสัมประสิทธิ์พืช (K_c) นั้นจะมีความแตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับชนิดพืชและช่วงของการเจริญเติบโต โดยการศึกษาครั้งนี้ทำการคำนวณค่าดัชนี (NDVI) จากข้อมูลดาวเทียม Terra ระบบ MODIS ในปี 2007 เพื่อหาความสัมพันธ์ค่า NDVI และค่าสัมประสิทธิ์พืช (K_c) และทำการพัฒนาแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นแบบง่าย โดยผลการศึกษามีรูปสมการ $K_c = 1.457 \times NDVI - 0.1725$ โดยมีค่า R-Squared เท่ากับ 0.8259 แสดงถึง NDVI สามารถนำมาประมาณค่าสัมประสิทธิ์พืช (K_c) ในรูปแบบเชิงพื้นที่ได้ เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณการใช้น้ำของพืชต่อไป

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

3.1.1 พื้นที่ศึกษาวิจัย

1) สภาพภูมิประเทศ

ทำการศึกษาในพื้นที่แปลงนาเพาะปลูกข้าวในเขตชลประทาน บริเวณลุ่มน้ำเจ้าพระยา โดยมีเนื้อที่เพาะปลูกข้าวทั้งหมดโดยประมาณ 1,915,280 ไร่ ดังภาพที่ 3-1 พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในจังหวัดสิงห์บุรี อ่างทอง ลพบุรี ชัยนาท พระนครศรีอยุธยา และนครสวรรค์ เป็นต้น พื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตั้งอยู่ทางตอนกลางของประเทศไทย โดยมีลักษณะพื้นที่ลุ่มน้ำวางตัวตามแนวเหนือ – ใต้ อยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ $13^{\circ} 30'$ เหนือถึงเส้นรุ้งที่ $16^{\circ} 05'$ เหนือ และระหว่างเส้นแวงที่ $99^{\circ} 30'$ ตะวันออกถึงเส้นแวงที่ $101^{\circ} 00'$ ตะวันออก ทิศเหนือติดกับลุ่มน้ำปิงและน่าน ทิศใต้ติดกับอ่าวไทย ทิศตะวันตกติดกับลุ่มน้ำท่าจีนและสะแกกรัง และทิศตะวันออกติดกับลุ่มน้ำป่าสักและบางปะกง

จากการศึกษาเอกสารและรายงานการวิจัยต่างๆ พบว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่ในบริเวณลุ่มน้ำเจ้าพระยา เป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินทางด้านเกษตรกรรม มีการเพาะปลูกพืชข้าวเป็นหลักซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจหลักของประเทศไทย โดยในพื้นที่เขตชลประทานมีการปลูกข้าวตลอดทั้งปีทั้งในฤดูแล้งและนอกฤดูแล้งมีพันธุ์ข้าวที่นิยมปลูกคือข้าว กข. นานหาน้ำตม

2) สภาพภูมิอากาศ

จากการรวบรวมข้อมูลภูมิอากาศที่สถานีต่างๆ ในพื้นที่ซึ่งบันทึกไว้โดยกรมอุตุนิยมวิทยา ช่วงปี พ.ศ. 2523 – 2552 จำนวน 10 สถานี ได้แก่ สถานีสนามบินดอนเมือง สถานีกรุงเทพเมโทรโพลิซิส สถานี สกษ.บางเขน สถานีจังหวัดลพบุรี สถานี สกษ.บางนา สถานี สกษ.ตากฟ้า สถานีจังหวัดอยุธยา สถานีจังหวัดปทุมธานี สถานีอุตุท่าเรือคลองเตย และสถานี สกษ.บางนาได้สรุปค่าเฉลี่ยช่วงพิสัยของค่าเฉลี่ยรายเดือน ค่าสูงสุดรายเดือน และค่าเฉลี่ยต่ำสุดรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศหลักของแต่ละสถานีตรวจอากาศ การผันแปรรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศของสถานีตรวจอากาศในลุ่มน้ำเจ้าพระยา สามารถสรุปค่าเฉลี่ยได้ ดังนี้

2.1) อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 28.5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดในเดือนเมษายน วัดได้ 35.8 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดในเดือนธันวาคมวัดได้ 21.0 องศาเซลเซียส ช่วงพิสัยของค่าเฉลี่ยรายเดือน 26.3 – 30.3 องศาเซลเซียส

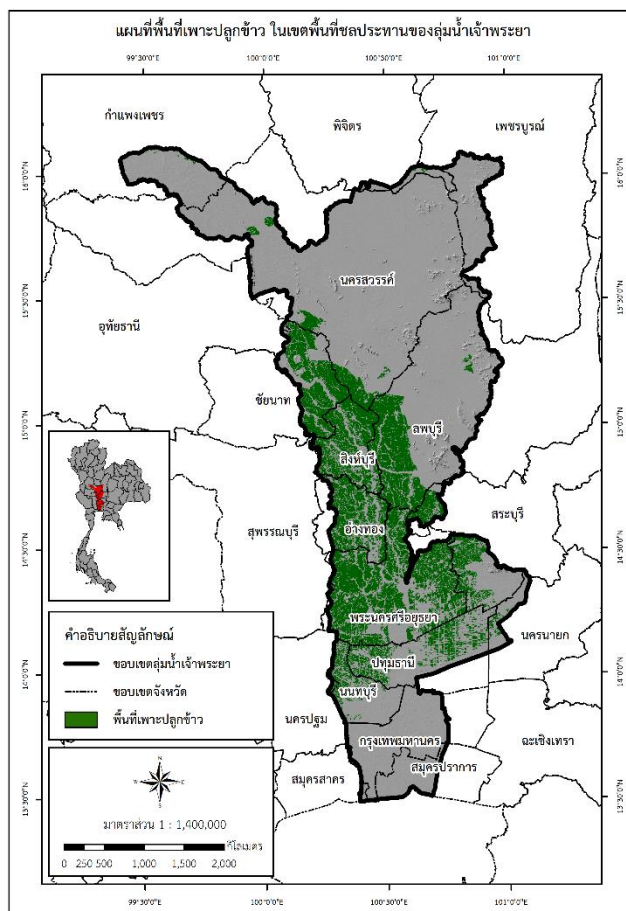
2.2) ความชื้นสัมพัทธ์โดยเฉลี่ยตลอดปีจะอยู่ระหว่าง 72.3 เปอร์เซ็นต์ ค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดวัดได้ 92.3 เปอร์เซ็นต์ และต่ำสุดวัดได้ 43.8 เปอร์เซ็นต์ ช่วงพิสัยของค่าเฉลี่ยรายเดือน 63.4 – 79.3 เปอร์เซ็นต์

2.3) ปริมาณการระเหยโดยเฉลี่ยตลอดทั้งปี 1,410.2 มิลลิเมตร ช่วงพิสัยของค่าเฉลี่ยรายเดือน 104.0 – 181.6 มิลลิเมตร

2.4) ความครึ้มของเมฆโดยเฉลี่ย 6.4 อ็อกต้า (0 – 10 อ็อกต้า) ช่วงพิสัยของค่าเฉลี่ยรายเดือน 4.0 – 8.3 อ็อกต้า

2.5) ความเร็วลมโดยเฉลี่ยมีค่าประมาณ 2.6 น็อต ช่วงพิสัยของค่าเฉลี่ยรายเดือน 1.9 – 3.5 น็อต

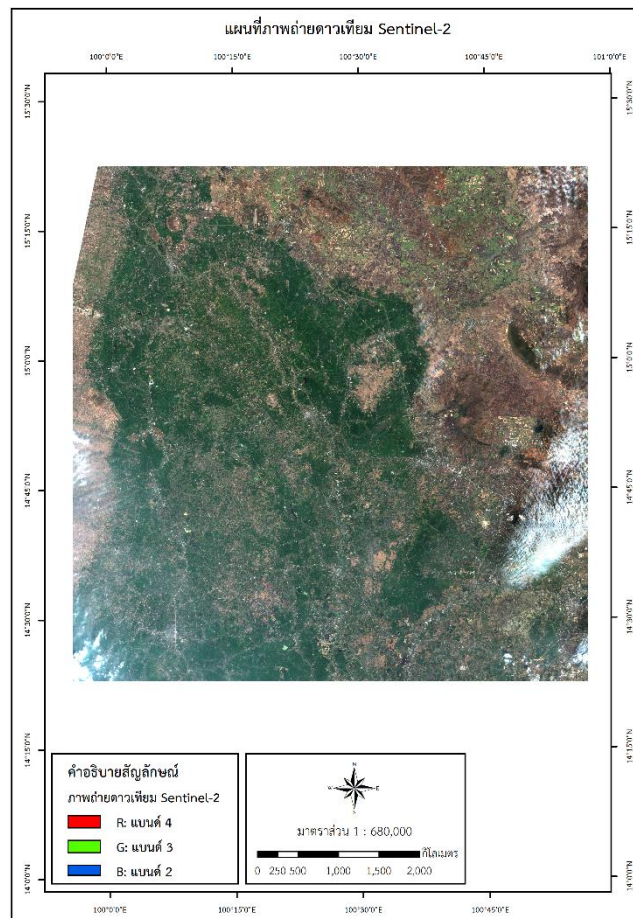
2.6) ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี 1,337.5 มิลลิเมตร ช่วงพิสัยของค่าเฉลี่ยรายเดือน 5.0 – 282.4 มิลลิเมตร



ภาพที่ 3-1 แผนที่แสดงพื้นที่เพาะปลูกข้าว ในเขตพื้นที่ชลประทานของกลุ่มน้ำเจ้าพระยา

3.1.2 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

งานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 Level-1C เป็นดาวเทียมของหน่วยงานองค์การอวกาศยุโรป (ESA) เป็นดาวเทียมคู่แฝด ได้แก่ Sentinel-2A และ Sentinel-2B มีระบบบันทึกภาพ Multispectral Instrument (MSI) แบนด์ 4 ($0.65 - 0.68 \mu\text{m}$) และแบนด์ 8 ($0.77 - 0.91 \mu\text{m}$) ความละเอียดเชิงรังสี (Bit Depth) 12 บิต ความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial Resolution) 10×10 เมตร ระบบอ้างอิงภาพบริเวณ T47PPS และ T47PPR ดาวเทียม Sentinel-2 มีการบันทึกข้อมูลซ้ำบริเวณเดิมทุกๆ 5 วัน ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ได้ผ่านการปรับแก้ความผิดเพี้ยนจากชั้นบรรยากาศ (Atmospheric Correction) ด้วยโปรแกรม Quantum GIS 3.12 มีระบบพิกัดพื้นฐานอ้างอิงแบบ World Geodetic System 1984 (WGS1984) และระบบพิกัดแบบ Universal Transverse Mercator (UTM) Zone 47 North ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ดังภาพที่ 3-2



ภาพที่ 3-2 แผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2

3.1.3 ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc)

ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์พืชของข้าว กข. นานหว่านน้ำตม เป็นข้อมูลที่กรมชลประทาน ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับปริมาณการใช้น้ำของพืชตามช่วงการเจริญเติบโตตั้งแต่ระยะเริ่มต้น เพาะปลูกจนถึงระยะเก็บเกี่ยว ที่สถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานที่ตั้งอยู่ในท้องที่ต่างๆ ซึ่งมีสภาพ ภูมิอากาศที่แตกต่างกันเพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc) โดยการคำนวณหาความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o) กับปริมาณการใช้น้ำของพืชจริงที่ได้จากการทดลองในถัง วัดปริมาณการใช้น้ำของพืช (Lysimeter Tank) กรมชลประทาน (2555) แสดงดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ค่าสัมประสิทธิ์พืชของข้าว กข. นานหว่านน้ำตม

| สัปดาห์ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---------|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Kc | - | - | 0.80 | 1.05 | 1.25 | 1.40 | 1.50 | 1.55 | 1.60 | 1.63 | 1.68 | 1.60 | 1.50 | 1.36 | 1.08 | 0.65 |

หมายเหตุ สัปดาห์ของนานหว่านน้ำตม หมายถึง สัปดาห์หลังการหว่านข้าววงกลงสู่แปลงนา

3.1.4 ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o)

ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o) เป็นข้อมูลที่กรมชลประทานได้ ทำการศึกษารวบรวมค่าเฉลี่ยของสภาพภูมิอากาศเป็นระยะเวลา 30 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 – 2553 ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ความเร็วลม และชั่วโมงแสงแดด เป็นต้น มา คำนวณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o) โดยวิธี Penman-Monteith ตามคู่มือ FAO-56 โดยข้อมูลจัดเก็บในรูปแบบของจุดสถานี ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ใช้ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของพืช อ้างอิง (ET_o) จากสถานีตรวจวัดสภาพอากาศทั้งหมด 17 สถานี ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาบริเวณลุ่มน้ำ เจ้าพระยา กรมชลประทาน (2554ข) แสดงดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o) รายเดือน

| สถานีตรวจวัด | เดือน | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|
| | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. | พ.ค. | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. |
| เพชรบูรณ์ | 3.33 | 4.05 | 4.96 | 5.18 | 4.16 | 3.69 | 3.58 | 3.43 | 3.22 | 3.69 | 3.73 | 3.41 |
| - วิเชียรบุรี | 3.31 | 4.07 | 4.56 | 4.73 | 4.08 | 3.64 | 3.58 | 2.93 | 3.22 | 3.53 | 3.49 | 3.26 |
| กำแพงเพชร | 3.26 | 3.91 | 4.35 | 5.01 | 4.45 | 3.92 | 3.5 | 3.41 | 3.55 | 3.48 | 3.34 | 3.11 |
| พิจิตร | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| - สถานีฯเกษตร พิจิตร | 3.28 | 3.89 | 4.35 | 4.60 | 4.05 | 3.98 | 3.50 | 3.40 | 3.19 | 3.47 | 3.58 | 3.24 |
| นครสวรรค์ | 3.71 | 4.87 | 6.06 | 6.06 | 4.55 | 4.10 | 3.92 | 3.71 | 3.32 | 3.57 | 3.51 | 3.37 |
| - สถานีฯเกษตร ตากฟ้า | 3.94 | 4.35 | 4.88 | 4.93 | 4.46 | 4.02 | 3.89 | 3.48 | 3.57 | 3.54 | 3.86 | 3.81 |
| ชัยนาท | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| - สถานีฯเกษตร ชัยนาท | 3.30 | 3.68 | 4.34 | 4.56 | 4.31 | 4.27 | 3.84 | 3.47 | 3.42 | 3.26 | 3.31 | 3.21 |
| อยุธยา | 3.95 | 4.20 | 4.58 | 4.58 | 4.02 | 4.10 | 3.73 | 3.68 | 3.36 | 3.46 | 3.92 | 3.94 |
| ปทุมธานี | 3.54 | 3.85 | 4.44 | 4.64 | 4.05 | 4.15 | 3.62 | 3.59 | 3.26 | 2.90 | 3.83 | 3.54 |
| สุพรรณบุรี | 3.45 | 4.11 | 4.83 | 5.01 | 4.36 | 3.99 | 3.89 | 3.32 | 3.45 | 3.45 | 3.58 | 3.50 |
| - สถานีฯเกษตร อุทอง | 3.46 | 4.12 | 4.74 | 4.87 | 3.89 | 3.90 | 3.52 | 3.51 | 3.25 | 3.54 | 3.47 | 3.41 |
| ลพบุรี | 3.76 | 4.32 | 4.78 | 5.09 | 4.11 | 3.67 | 3.59 | 3.56 | 3.27 | 3.65 | 3.86 | 3.82 |
| กรุงเทพมหานคร | 3.52 | 4.17 | 4.78 | 4.69 | 4.10 | 4.07 | 3.98 | 3.46 | 3.07 | 3.23 | 3.62 | 3.49 |
| - ท่าเรือคลองเตย | 4.51 | 4.57 | 5.18 | 5.04 | 4.56 | 4.61 | 4.47 | 4.46 | 4.27 | 3.97 | 4.96 | 4.77 |
| - ท่าอากาศยานดอนเมือง | 4.14 | 4.80 | 5.37 | 5.54 | 4.94 | 4.63 | 4.60 | 4.43 | 3.95 | 3.87 | 4.11 | 4.04 |
| สมุทรปราการ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| - สถานีฯเกษตร บางนา | 1.14 | 2.03 | 3.25 | 3.75 | 3.74 | 3.96 | 3.74 | 3.36 | 2.60 | 1.79 | 1.46 | 0.99 |
| นครปฐม | 3.70 | 4.35 | 5.15 | 5.12 | 4.02 | 4.00 | 3.63 | 3.16 | 3.44 | 3.69 | 3.92 | 3.66 |

3.1.5 ข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

- 1) ข้อมูลขอบเขตการปกครองจังหวัด ปี พ.ศ. 2555 จากกรมพัฒนาที่ดิน
- 2) ข้อมูลขอบเขตเขตชลประทานและลุ่มน้ำเจ้าพระยา ปี พ.ศ. 2555 จากกรมชลประทาน
- 3) ข้อมูลการประโยชน์ที่ดินพื้นที่เพาะปลูกข้าว ปี พ.ศ. 2560 จากกรมพัฒนาที่ดิน
เพื่อใช้จำแนกข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกข้าว
- 4) ข้อมูลการลงสำรวจภาคสนามพื้นที่เพาะปลูกข้าว จากกรมฝนหลวงและการบินเกษตร
ปี พ.ศ. 2560 เพื่อใช้กำหนดตำแหน่งแปลงนาที่ใช้ในการศึกษา

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

3.2.1 ซอฟต์แวร์

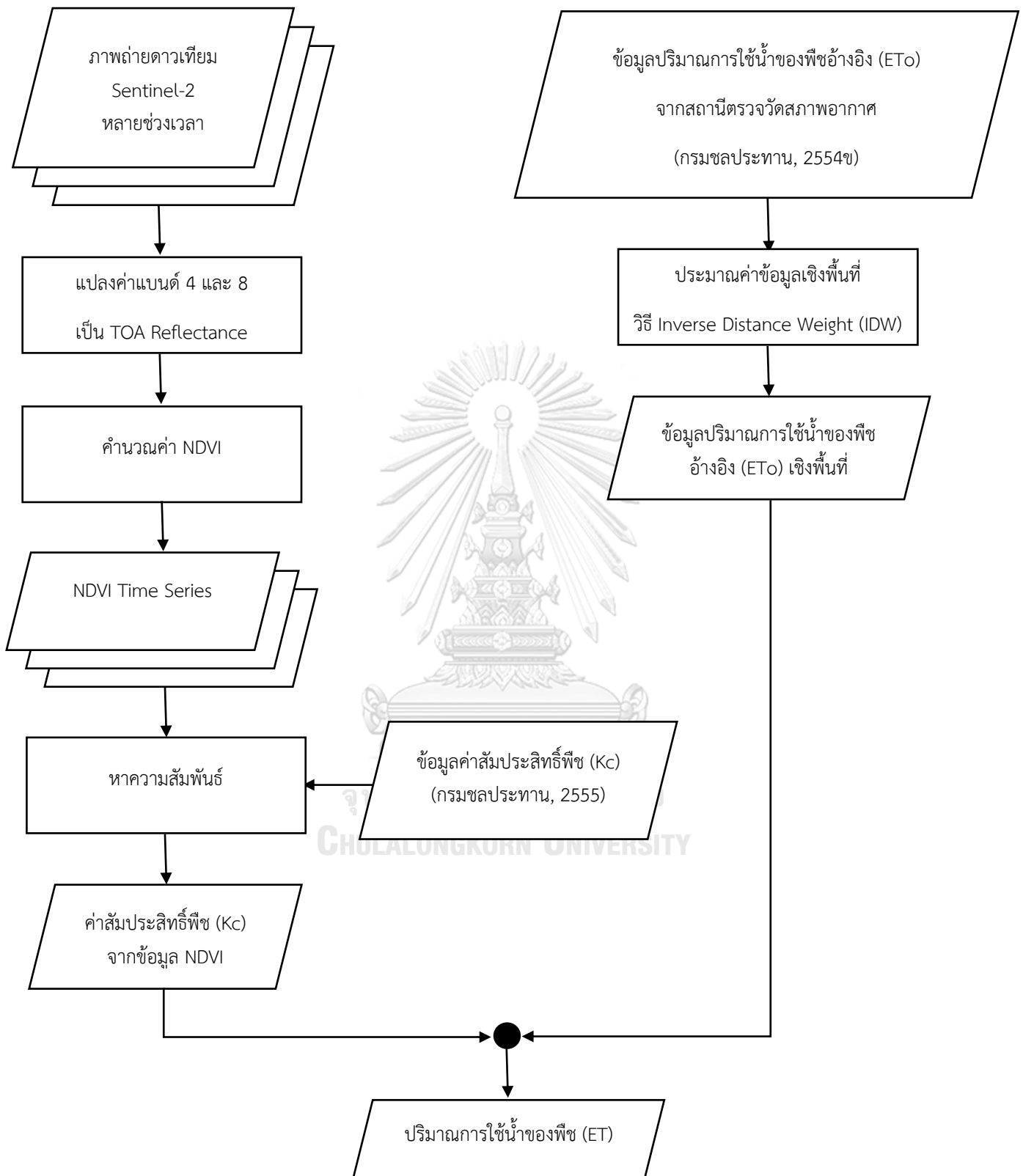
- โปรแกรม Quantum GIS 3.12
- โปรแกรม MATLAB Version 2018a
- โปรแกรม Microsoft Office 365

3.2.2 ฮาร์ดแวร์

- แล็ปท็อปคอมพิวเตอร์

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

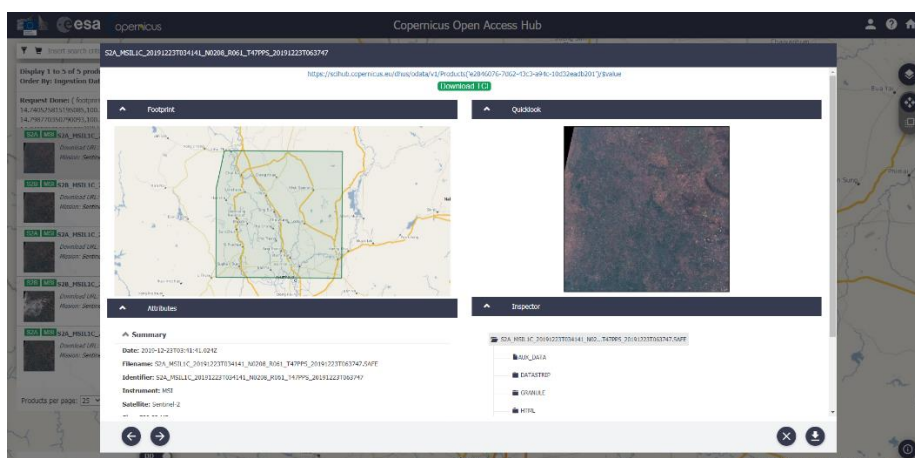
ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จะทำการคำนวณค่าดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ที่บันทึกในช่วงเวลาเดือนมกราคม-ธันวาคม ปี พ.ศ. 2561-2562 มาทำการซ้อนทับ (Layer Stacking) และหาค่าเฉลี่ย NDVI ของกลุ่มจุดภาพในพื้นที่กลุ่มตัวอย่างแปลงนาที่ใช้ในการศึกษา จากนั้นจะนำข้อมูลค่าเฉลี่ย NDVI มาแสดงเป็นกราฟตามช่วงเวลาเพื่อดูสถานะการเจริญเติบโตของข้าวและนำข้อมูลค่าเฉลี่ย NDVI ในแปลงนาข้าวที่ปลูกในช่วงนาปรังตั้งแต่ระยะเริ่มต้นเพาะปลูกจนถึงระยะเก็บเกี่ยว ในช่วงระยะเวลา 14 สัปดาห์ มาหาความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc) ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น เพื่อพัฒนาข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc) ในรูปแบบเชิงพื้นที่และนำข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc) ที่ได้จาก NDVI มาคำนวณร่วมกับข้อมูลค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET_o) เพื่อประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัย ดังภาพที่ 3-3



ภาพที่ 3-3 แผนผังการดำเนินงานวิจัย

3.3.1 จัดเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2

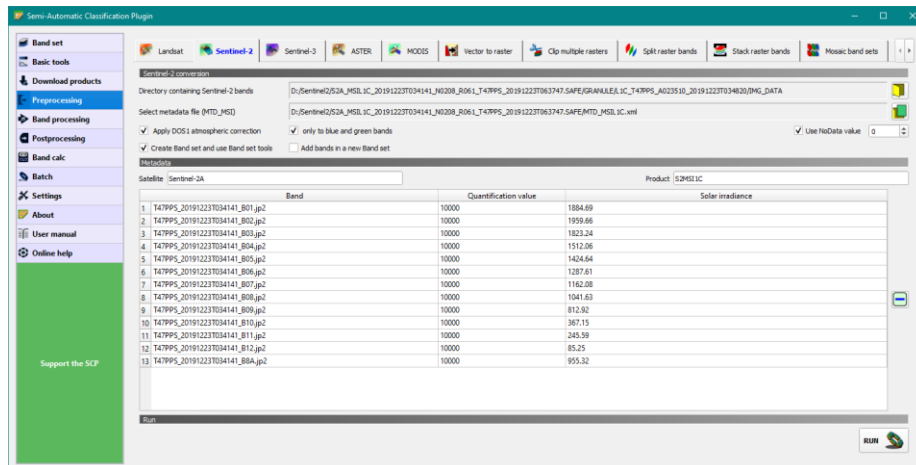
ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 Level-1C สามารถดาวน์โหลดได้ที่เว็บไซต์ www.scihub.copernicus.eu/dhus/#/home ของหน่วยงานองค์การอวกาศยุโรป (European Space Agency, ESA) พื้นที่บันทึกภาพบริเวณ T47PPS และ T47PPR ช่วงเวลาบันทึกภาพตั้งแต่เดือนมกราคม – ธันวาคม ปี พ.ศ. 2561 – 2562 ดังภาพที่ 3-4



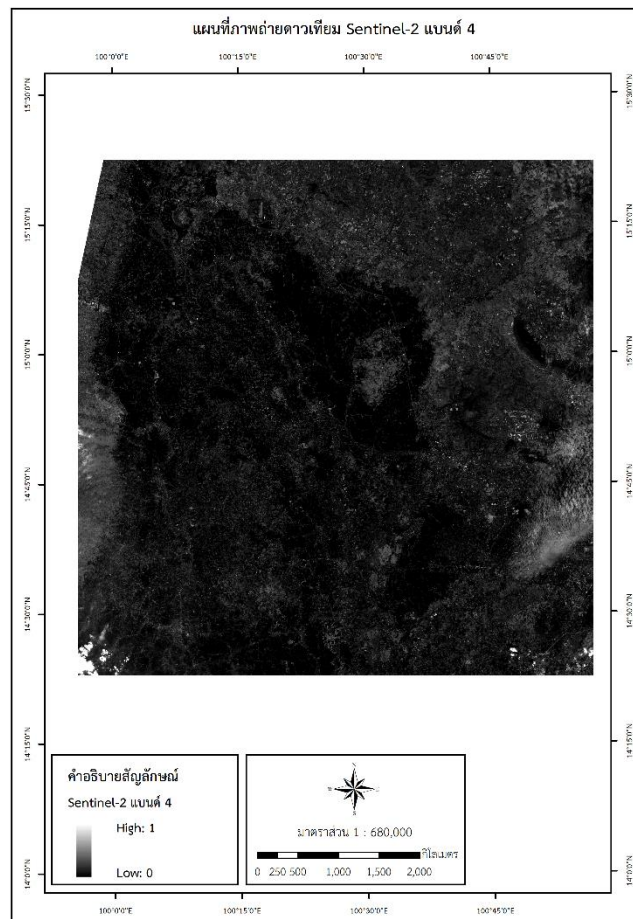
ภาพที่ 3-4 การดาวน์โหลดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2

3.3.2 การแปลงค่าสะท้อนชั้นบนสุดของชั้นบรรยากาศ (TOA reflectance)

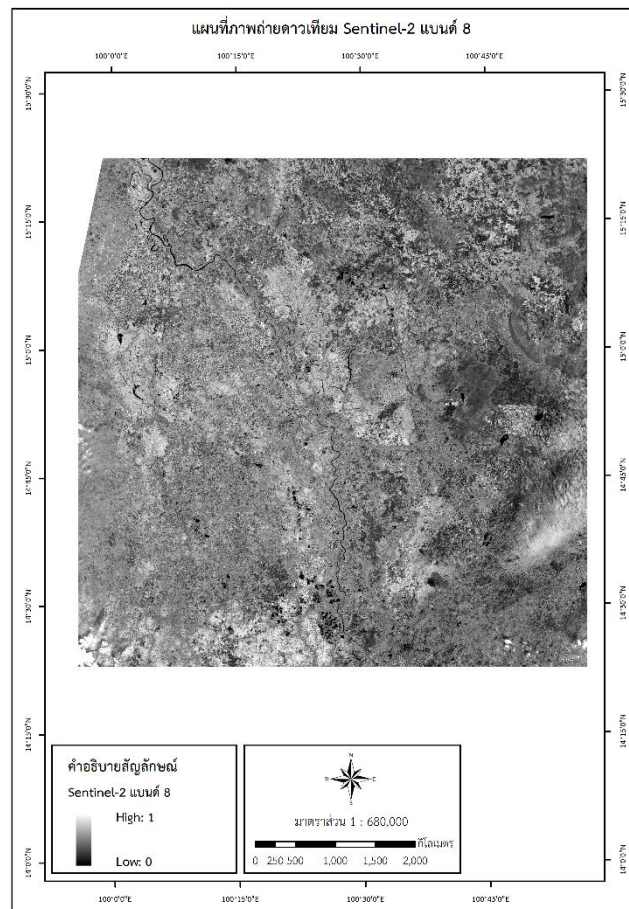
การใช้งานผลิตภัณฑ์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 Level-1C การใช้งานข้อมูลจะต้องทำการแปลงค่า Digital Number (DN) เป็นค่าสะท้อนชั้นบนสุดของชั้นบรรยากาศ (TOA reflectance) โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ในการปรับเปลี่ยนที่จัดเก็บไว้ในไฟล์เมตาเดต้า (MTD_MSIL1C.xml) ที่ให้มาพร้อมกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ดังภาพที่ 3-5 และสามารถคำนวณดังสมการที่ 1 ตัวอย่างภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบนด์ 4 ช่วงคลื่นแสงสีแดงและแบนด์ 8 ช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรดที่ทำการแปลงเป็นค่าสะท้อนชั้นบนสุดของชั้นบรรยากาศ (TOA reflectance) ดังภาพที่ 3-6 และภาพที่ 3-7



ภาพที่ 3-5 การแปลง DN เป็นค่าสะท้อนชั้นบนสุดของชั้นบรรยากาศ (TOA reflectance)



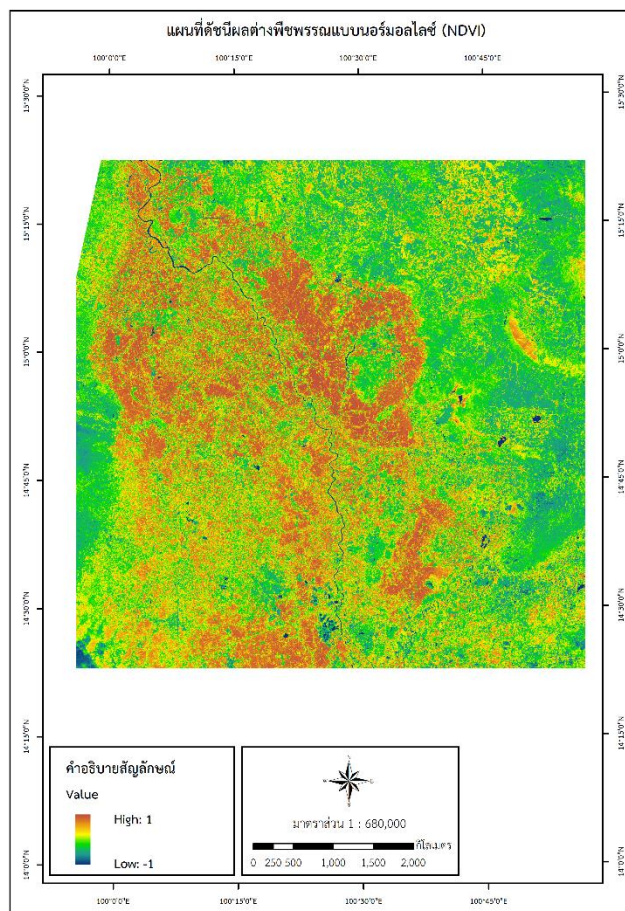
ภาพที่ 3-6 แผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบนด์ 4



ภาพที่ 3-7 แผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบนด์ 8

3.3.3 การคำนวณค่าดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI)

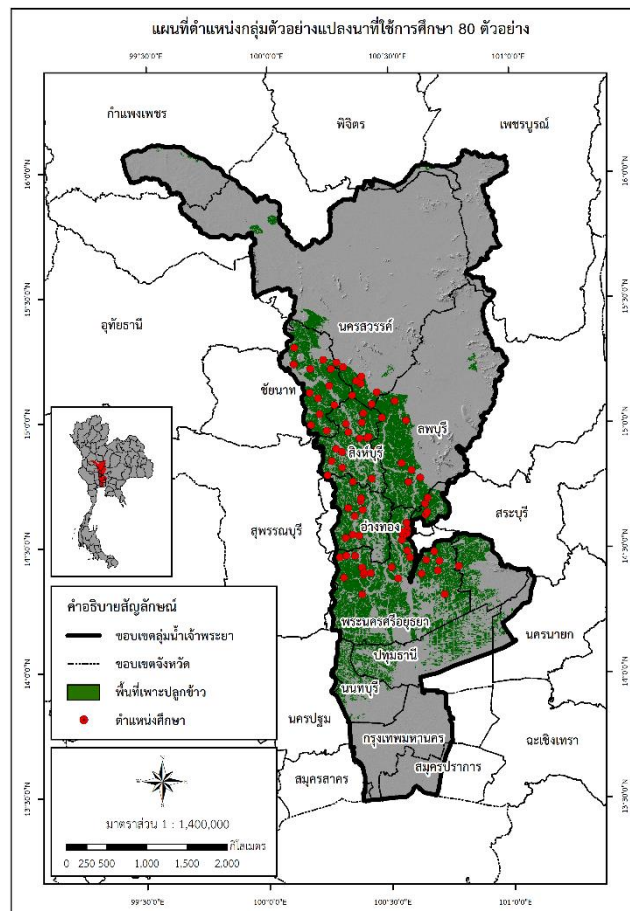
การคำนวณค่าดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) เป็นการนำค่าสะท้อนพื้นผิวจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ที่ผ่านการแปลงเป็นค่าสะท้อนชั้นบนสุดของชั้นบรรยากาศ (TOA reflectance) มาทำการคำนวณ โดยใช้ช่วงคลื่นแสงสีแดง (แบนด์ 4) และช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรด (แบนด์ 8) โดยค่า NDVI จะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง -1 ถึง 1 โดยค่าที่ต่ำแสดงถึงพื้นที่พืชพรรณปกคลุมน้อยหรือไม่มีพืชพรรณปกคลุม และค่าที่สูงแสดงถึงบริเวณที่มีพืชพรรณปกคลุมหนาแน่น ตัวอย่างข้อมูลดัชนี NDVI ดังภาพที่ 3-8



ภาพที่ 3-8 แผนที่ดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI)

3.3.4 กลุ่มตัวอย่างแปลงนาที่ใช้ในการศึกษา

จำนวนกลุ่มตัวอย่างและวิธีการสุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาคั้งนี้ได้ใช้หลักการตามแนวคิดของ Congalton and Green (2008) โดยจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่ โดยพื้นที่ที่ศึกษามีขนาดน้อยกว่า 1 ล้านเอเคอร์และชั้นข้อมูลที่ศึกษาน้อยกว่า 12 ชั้นข้อมูลควรใช้จำนวนตัวอย่างอย่างน้อย 50 ตัวอย่างหรือพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่และชั้นข้อมูลที่ศึกษามากกว่า 12 ชั้นข้อมูลขึ้นไปควรใช้จำนวนตัวอย่างอย่างน้อย 75 ตัวอย่าง เพื่อให้มีตัวแทนทางสถิติที่มีลักษณะการกระจายตัวแบบปกติ ในการศึกษาคั้งนี้ผู้วิจัยเลือกใช้จำนวนกลุ่มตัวอย่างแปลงนาในการศึกษาทั้งหมด 80 ตัวอย่าง ดังภาพที่ 3-9 โดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple Random Sampling) ให้ข้อมูลตัวอย่างมีการกระจายทั่วในพื้นที่ที่มีการเพาะปลูกข้าว โดยใช้ข้อมูลการลงสำรวจภาคสนามของกรมฝนหลวงและการบินเกษตรที่ได้ทำการสำรวจพื้นที่เก็บข้อมูล ในเดือนพฤษภาคมถึงกันยายน พ.ศ. 2560 โดยมีการเก็บจุดพิกัดบริเวณพื้นที่เพาะปลูกข้าวและทำการสัมภาษณ์เกษตรกรในพื้นที่เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการตรวจสอบเกี่ยวกับประวัติของพื้นที่เพาะปลูก เช่น พันธุ์ที่ปลูก วิธีที่ปลูก เป็นต้น

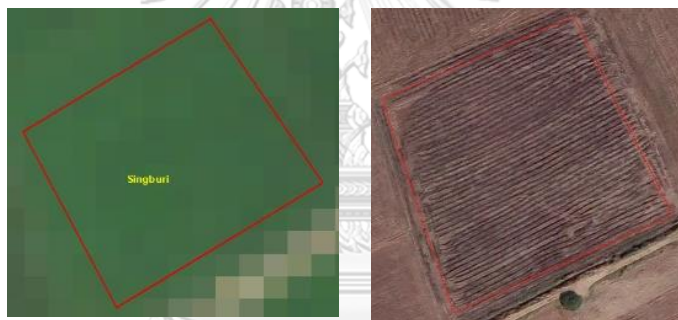


ภาพที่ 3-9 แผนที่ตำแหน่งกลุ่มตัวอย่างแปลงนาที่ใช้การศึกษา 80 ตัวอย่าง

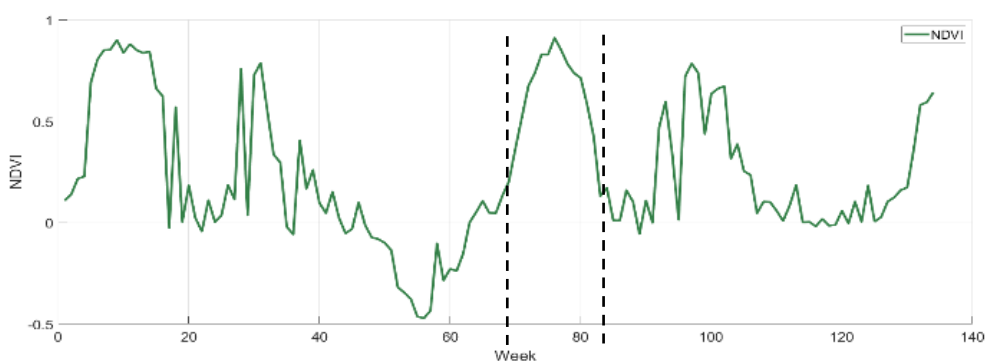
3.3.5 NDVI Time Series

นำข้อมูล NDVI จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ในแต่ละช่วงเวลาต่างๆ มาสร้างเป็นชุดอนุกรมเวลา โดยใช้ข้อมูล NDVI จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ที่บันทึกในช่วงเวลาเดือนมกราคม-ธันวาคม ปี พ.ศ. 2561-2562 มาทำการซ้อนทับ (Layer Stacking) จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ย NDVI ของจุดภาพทั้งหมดในพื้นที่แปลงนา ดังภาพที่ 3-10 ตัวอย่างแปลงนา ขนาดพื้นที่ประมาณ 6 ไร่ ตั้งอยู่ใน อ.เมือง จ.สิงห์บุรี โดยนำข้อมูลค่าเฉลี่ย NDVI ของจุดภาพทั้งหมดในแปลงนามาแสดงเป็นกราฟตามช่วงเวลา ดังภาพที่ 3-11 เพื่อใช้แสดงสถานะการเจริญเติบโตของข้าวตลอดฤดูกาลเพาะปลูกในรูปแบบของซีฟลักซ์พีชพรรณ (Vegetation Phenology) เพื่อนำข้อมูลค่าเฉลี่ย NDVI แปลงนาที่ปลูกในช่วงนาปรังตั้งแต่ระยะเริ่มต้นเพาะปลูกจนถึงระยะใกล้เก็บเกี่ยว ทั้ง 14 สัปดาห์ ไปใช้ในการพัฒนาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า NDVI กับค่า Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน

นำข้อมูลภาพค่า NDVI ตั้งแต่ช่วงเวลาเดือนมกราคม – ธันวาคมปี พ.ศ. 2561 – 2562 มาทำการซ้อนทับ (Layer Stacking) จากนั้นหาค่าเฉลี่ย NDVI ของกลุ่มจุดภาพในพื้นที่แปลงนา ทั้ง 80 ตัวอย่างและนำข้อมูลค่าเฉลี่ย NDVI มา แสดงเป็นกราฟตามช่วงเวลา คุณลักษณะการเจริญเติบโตของข้าวในรูปแบบของซีพลักษณ์พืชพรรณ (Vegetation Phenology) เพื่อดูค่า NDVI ของข้าวในระยะเริ่มต้นปลูกจนถึงระยะเก็บเกี่ยว เพื่อนำค่า NDVI ไปใช้ในการหาความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์พีชต่อไป จากงานวิจัยของ González-Betancourt and Mayorga-Ruiz (2018) ได้ศึกษาการติดตามการเปลี่ยนแปลงวงจรซีพลักษณ์ของข้าวโดยใช้ข้อมูลดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ หลายช่วงเวลา พื้นที่ศึกษาเมือง El Espinal ประเทศโคลอมเบีย จากผลการศึกษาพบว่าข้าวในระยะเริ่มต้นเพาะปลูก 20-30 วัน มีค่า NDVI อยู่ที่ประมาณ 0.10 – 0.30 จากนั้นค่า NDVI จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามลำดับจนถึงช่วงที่ข้าวมีการเจริญเติบโตเต็มที่ NDVI จะมีค่า 0.80 ขึ้นไปจากนั้นนั้นค่า NDVI จะค่อยๆ มีการลดลงตามลำดับจนถึงระยะเก็บเกี่ยว



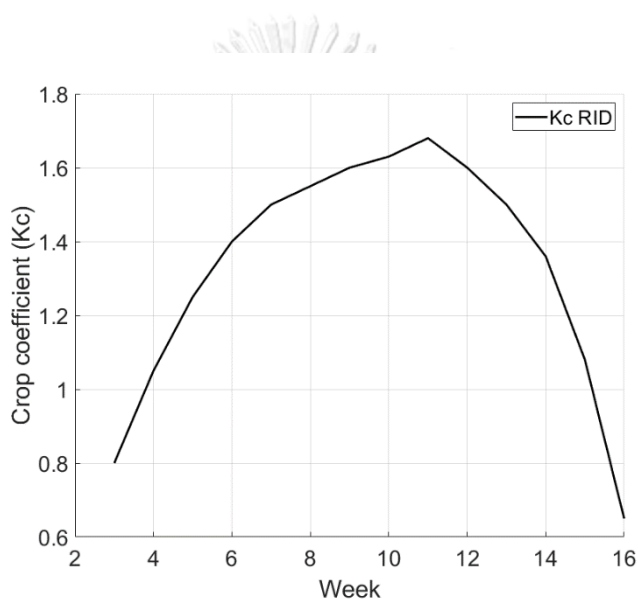
ภาพที่ 3-10 ตัวอย่างแปลงนาที่ตั้งอยู่ใน อ.เมือง จ.สิงห์บุรี
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3-11 ข้อมูลอนุกรมเวลาค่าเฉลี่ย NDVI ของจุดภาพในพื้นที่แปลงนา

3.3.6 ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc)

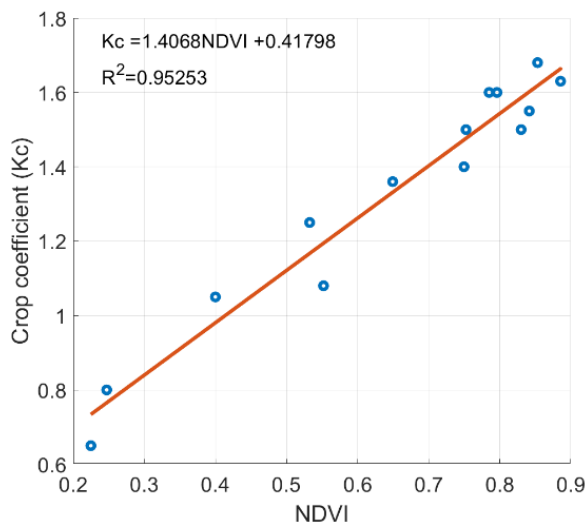
ใช้ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์พืชของข้าว กข. นาหวานน้ำตม ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน ซึ่งเป็นค่าคงที่ในช่วงการเจริญเติบโตของข้าวในแต่ละสัปดาห์ โดยในระยะเริ่มต้นเพาะปลูก ค่าสัมประสิทธิ์มีค่าที่ต่ำและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามลำดับจนถึงระยะการเจริญเติบโตเต็มที่จากนั้น ค่าสัมประสิทธิ์จะค่อยๆ ลดลงจนถึงระยะเก็บเกี่ยว ดังภาพที่ 3-12 โดยข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc) ที่ใช้เป็นข้อมูลที่ได้จากการศึกษาวิจัยของกรมชลประทาน (2555) ในแปลงเพาะปลูกข้าว กข. นาหวานน้ำตม โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) จริงที่ได้จากทดลองในถัง วัดปริมาณการใช้น้ำของพืช (Lysimeter Tank) กับปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o)



ภาพที่ 3-12 ค่าสัมประสิทธิ์พืชของข้าว กข. นาหวานน้ำตม ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน

3.3.7 การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์กับค่าสัมประสิทธิ์พืช

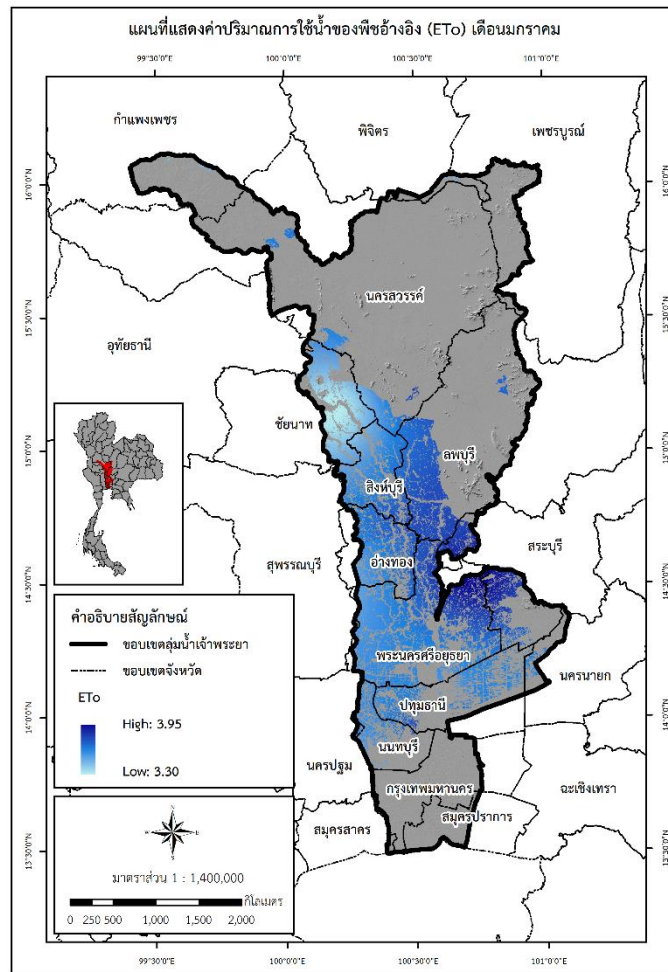
ข้อมูล NDVI จะใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ย NDVI ของกลุ่มจุดภาพในพื้นที่แปลงนาจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ในระยะการเริ่มต้นปลูกจนถึงระยะเก็บเกี่ยวข้าวและนำมาหาความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์พืชของข้าว กข. นาหวานน้ำตม ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น ดังภาพที่ 3-13 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่า NDVI กับค่าสัมประสิทธิ์พืชของข้าว กข. นาหวานน้ำตม ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน โดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น โดยใช้ค่าเฉลี่ย NDVI ของจุดภาพในแปลงนาตัวอย่างตั้งอยู่ในอำเภอเมือง จังหวัดสิงห์บุรี มีระยะเริ่มต้นการเพาะปลูกอยู่ในช่วงเดือนธันวาคมพ.ศ. 2561 และมีระยะเก็บเกี่ยวอยู่ในช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2562



ภาพที่ 3-13 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่า NDVI กับค่าสัมประสิทธิ์พืชของข้าว กข. นาหวานน้ำตม

3.3.8 ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o)

ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o) คำนวณโดยวิธี Penman – Monteith เป็นข้อมูลรายเดือน จัดเก็บในรูปแบบสถานี จำนวน 17 สถานี โดยนำข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o) แต่ละสถานีมาทำการประมาณค่าเชิงพื้นที่ ด้วยวิธี Inverse Distance Weight (IDW) ในแต่ละเดือนทั้ง 12 เดือน ให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา โดยกำหนดขนาดจุดภาพเท่ากับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 คือ 10 x 10 เมตร ตัวอย่างการประมาณค่าเชิงพื้นที่ของปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o) ด้วยวิธี Inverse Distance Weight (IDW) เดือนมกราคม พื้นที่เพาะปลูกข้าวในพื้นที่เขตชลประทานของกลุ่มน้ำเจ้าพระยา ดังภาพที่ 3-14



ภาพที่ 3-14 แผนที่ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o) เดือนมกราคม

3.3.9 ปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET)

การคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชจะทำการคำนวณกลุ่มตัวอย่างแปลงนา 80 แปลง ที่ละแปลง โดยปริมาณการใช้น้ำของพืชสามารถคำนวณโดยการคูณค่าสัมประสิทธิ์พืช (K_c) ตามช่วง การเจริญเติบโตของพืชในแต่ละสัปดาห์กับค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o) ของพื้นที่ เพาะปลูกพืชในช่วงเวลานั้นๆ โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์พืช (K_c) เป็นค่าที่ได้จากการพัฒนาความสัมพันธ์ ระหว่างค่า NDVI กับ K_c ที่อ้างอิงจากกรมชลประทานและปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o) ที่คำนวณโดยวิธี Penman-Monteith

3.3.10 การตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จะใช้วิธีการตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์โดยการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าสัมประสิทธิ์พีช (Kc) ที่ได้จาก NDVI กับค่าสัมประสิทธิ์พีช (Kc) ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน ในแต่ละสัปดาห์และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) และการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยใช้ค่า Kc ที่ได้จาก NDVI กับค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยใช้ค่า Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน ในแต่ละสัปดาห์และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เพื่อประเมินความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์



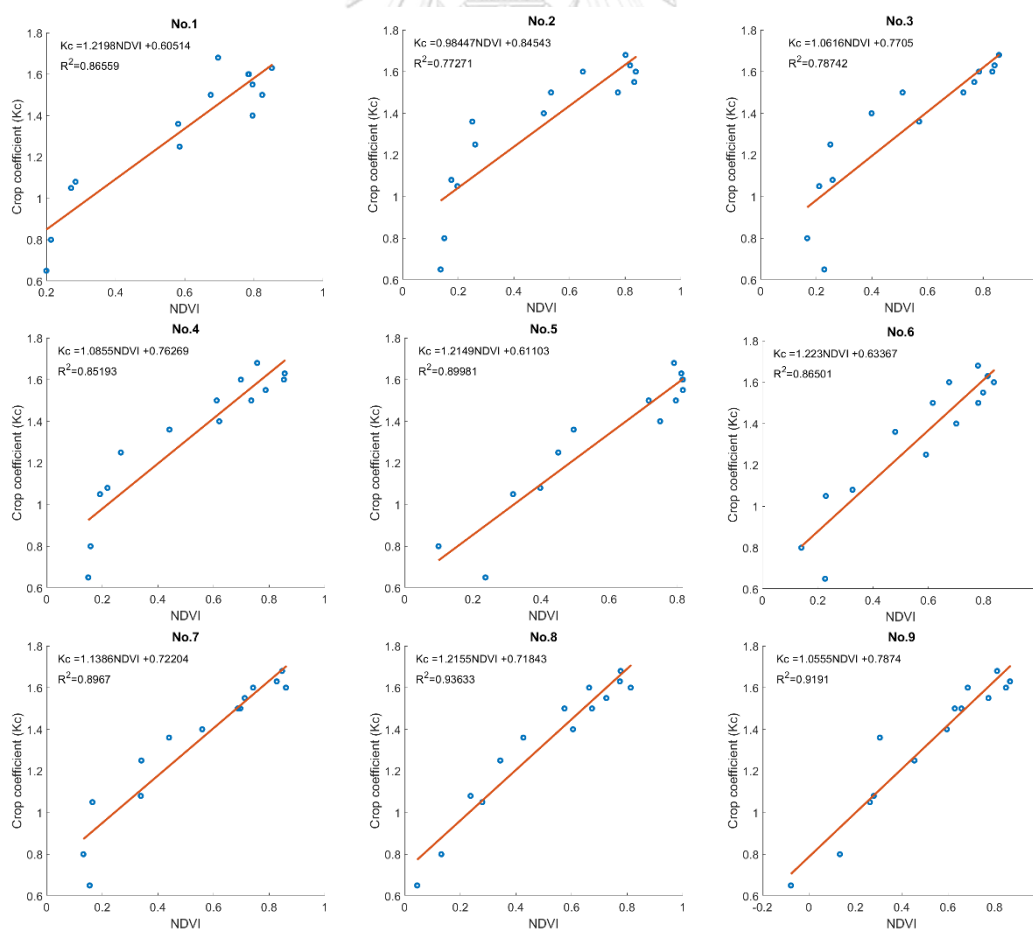
บทที่ 4 ผลการศึกษา

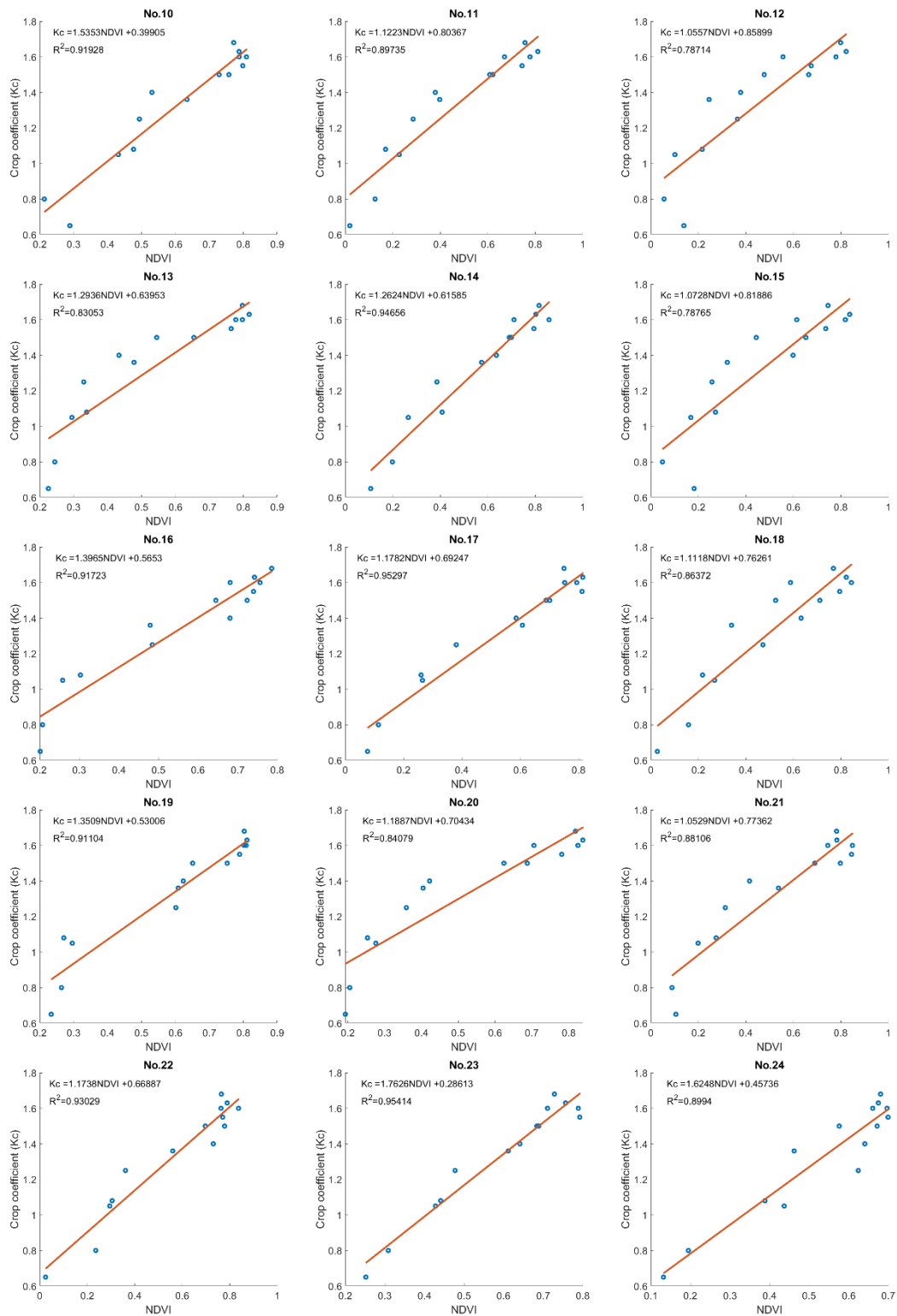
4.1 ผลการศึกษาการประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชด้วยเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกล

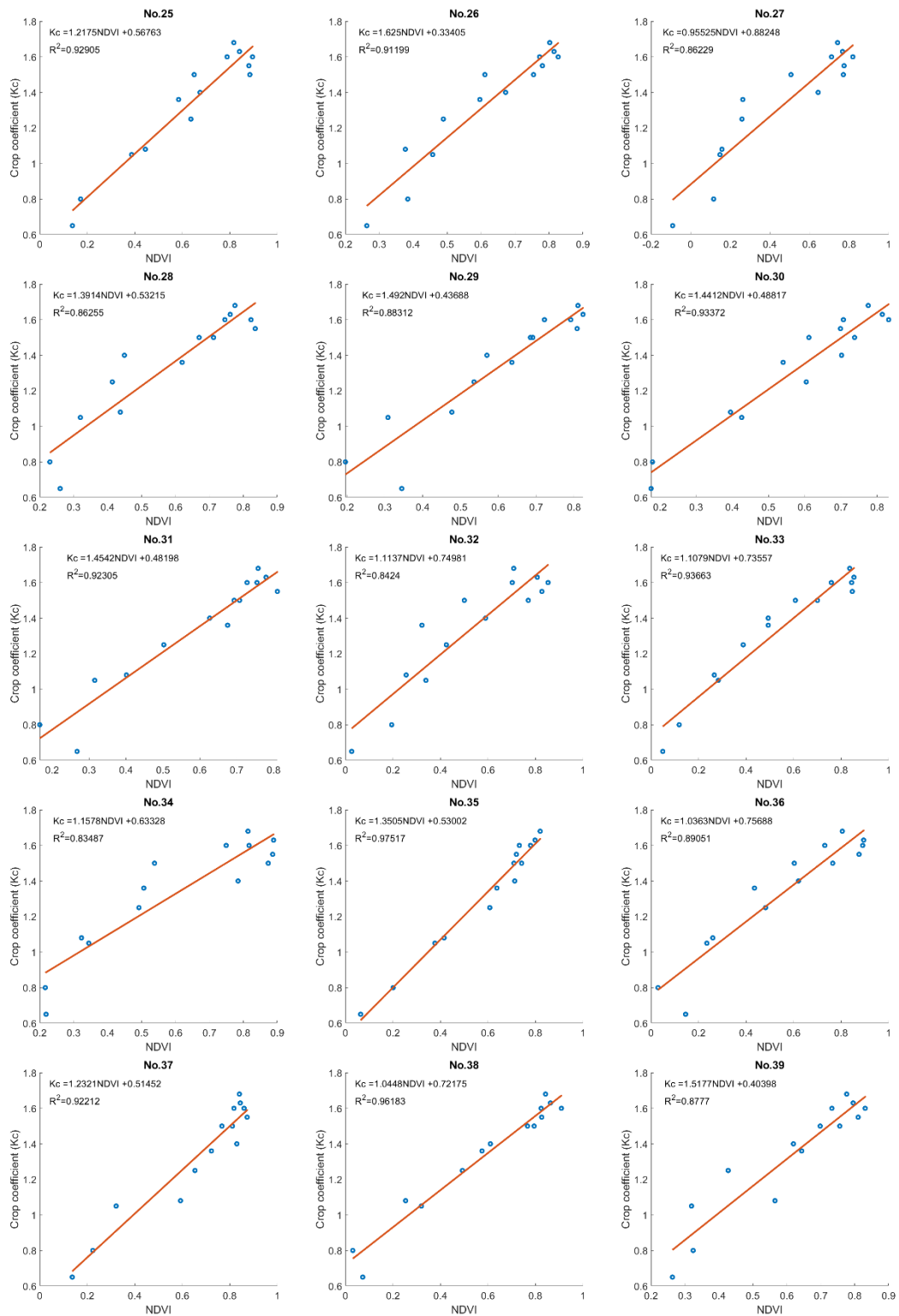
ในงานวิจัยครั้งนี้ ได้ใช้ตัวอย่างแปลงนาในการศึกษาจำนวน 80 แปลง เพื่อใช้เป็นกลุ่มตัวอย่างในการศึกษาการประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชตลอดฤดูกาลเพาะปลูก โดยศึกษาข้าวที่เพาะปลูกในช่วงนาปรัง ผลลัพธ์ที่ได้จากการดำเนินงานมีดังนี้

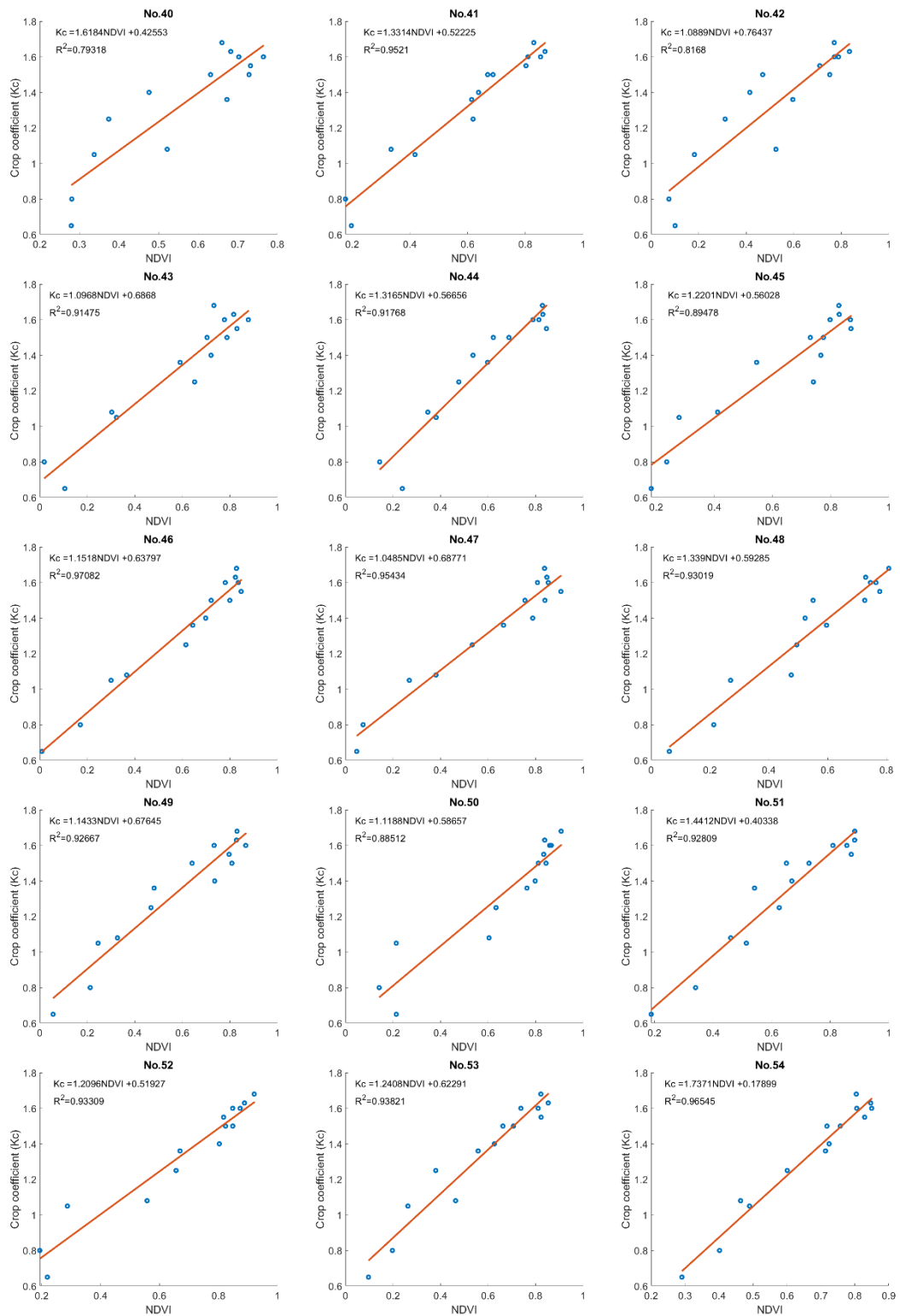
4.1.1 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า NDVI กับค่า Kc

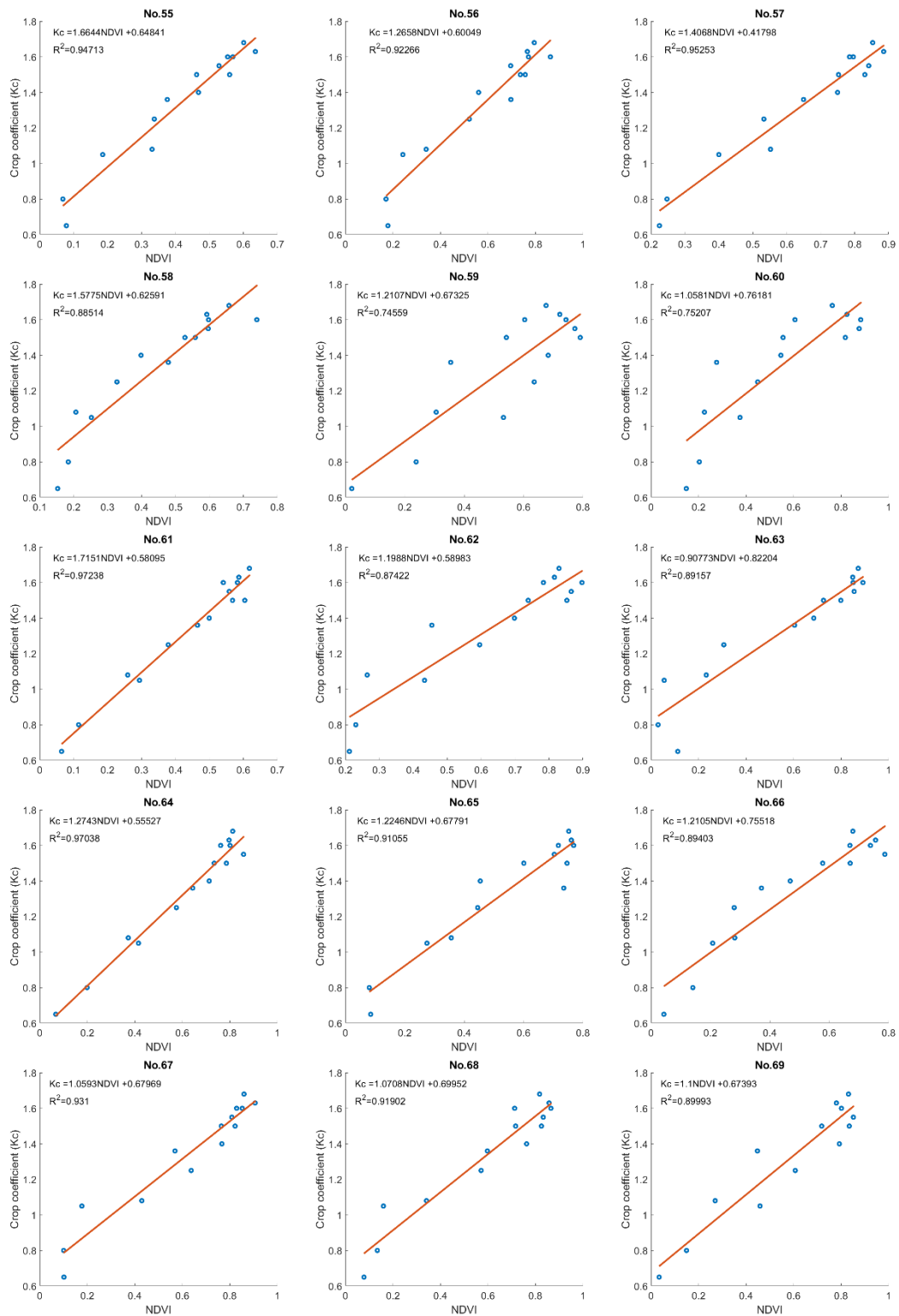
ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า NDVI ของจุดภาพในแปลงนากับค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc) ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน ทั้ง 14 สัปดาห์ ด้วยวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น ดังภาพที่ 4-1 ผลลัพธ์ที่ได้พบว่ามีค่า R-Squared อยู่ระหว่าง 0.72 – 0.98 โดยค่า R-Squared สูงสุดคือแปลงที่ 35 มีค่า R-Squared 0.98 ตั้งอยู่ใน อ.เมืองลพบุรี จ.ลพบุรี และแปลงที่มีค่า R-Squared ต่ำสุด คือแปลงที่ 75 มีค่า R-Squared 0.72 ตั้งอยู่ใน อ.ดอนพุด จ.สระบุรี

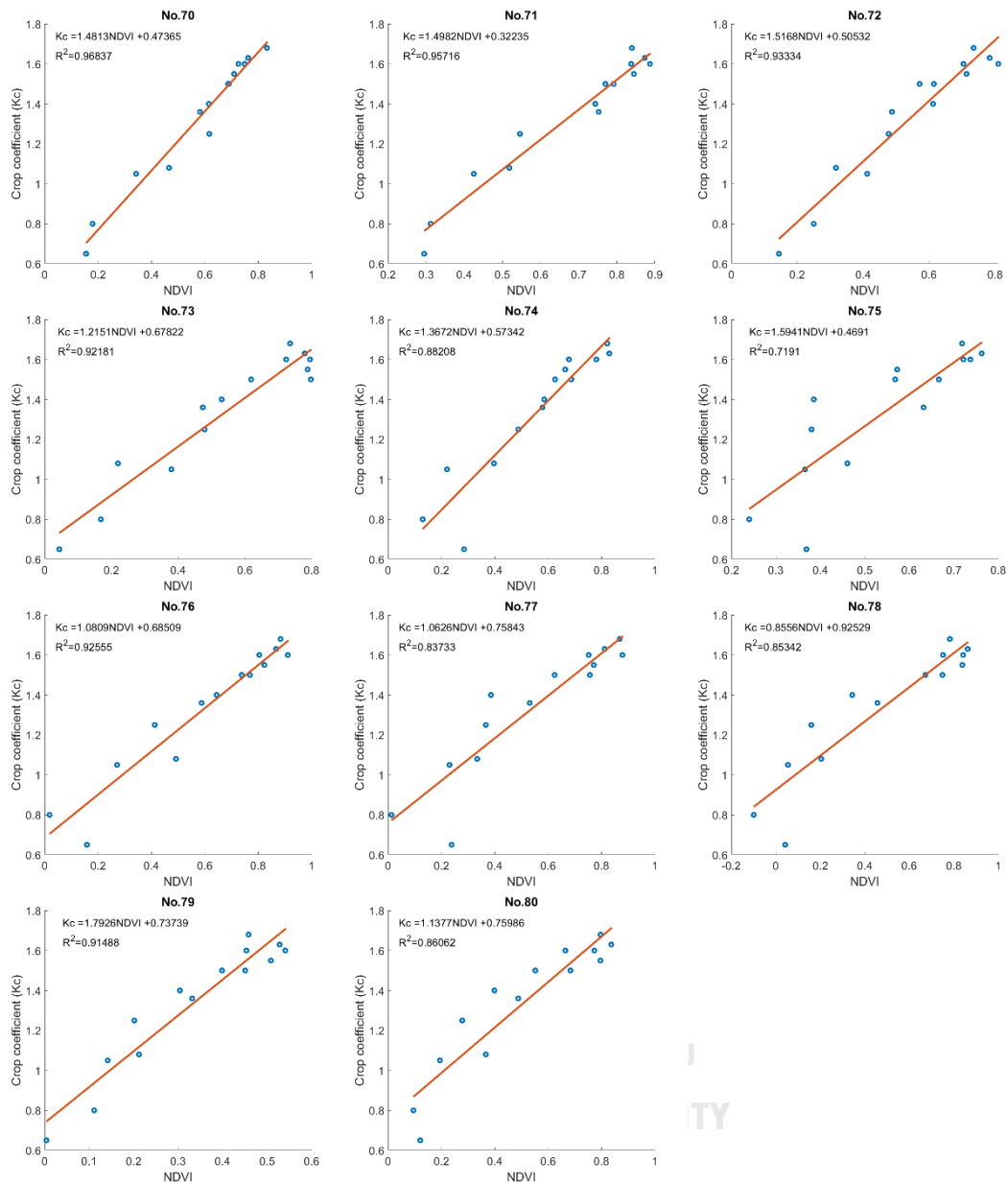








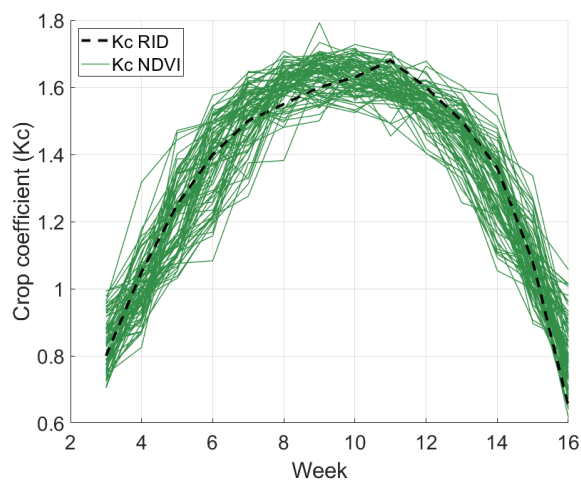




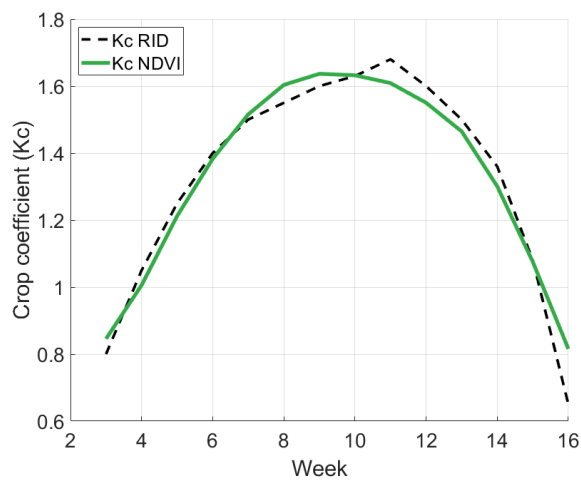
ภาพที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า NDVI กับค่า Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน
ของกลุ่มตัวอย่างแปลงนา 80 แปลง

4.1.2 ผลการประมาณค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc)

ผลการศึกษาการประมาณค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc) ที่ได้จาก NDVI ของกลุ่มตัวอย่างแปลงนา 80 แปลง เปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc) ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน ดังภาพที่ 4-2 พบว่าแปลงนาที่ 35 ให้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องสูงสุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์พืชต่ำสุด 0.62 ค่าสูงสุด 1.64 และมีค่าเฉลี่ย 1.33 มีค่า R-Squared 0.98 และแปลงนาที่ 75 ให้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องต่ำสุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์พืชต่ำสุด 0.85 ค่าสูงสุด 1.68 และมีค่าเฉลี่ย 1.33 มีค่า R-Squared 0.72



ภาพที่ 4-2 การเปรียบเทียบระหว่างค่า Kc ที่ได้จาก NDVI ของกลุ่มตัวอย่างแปลงนา 80 แปลง กับค่า Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน



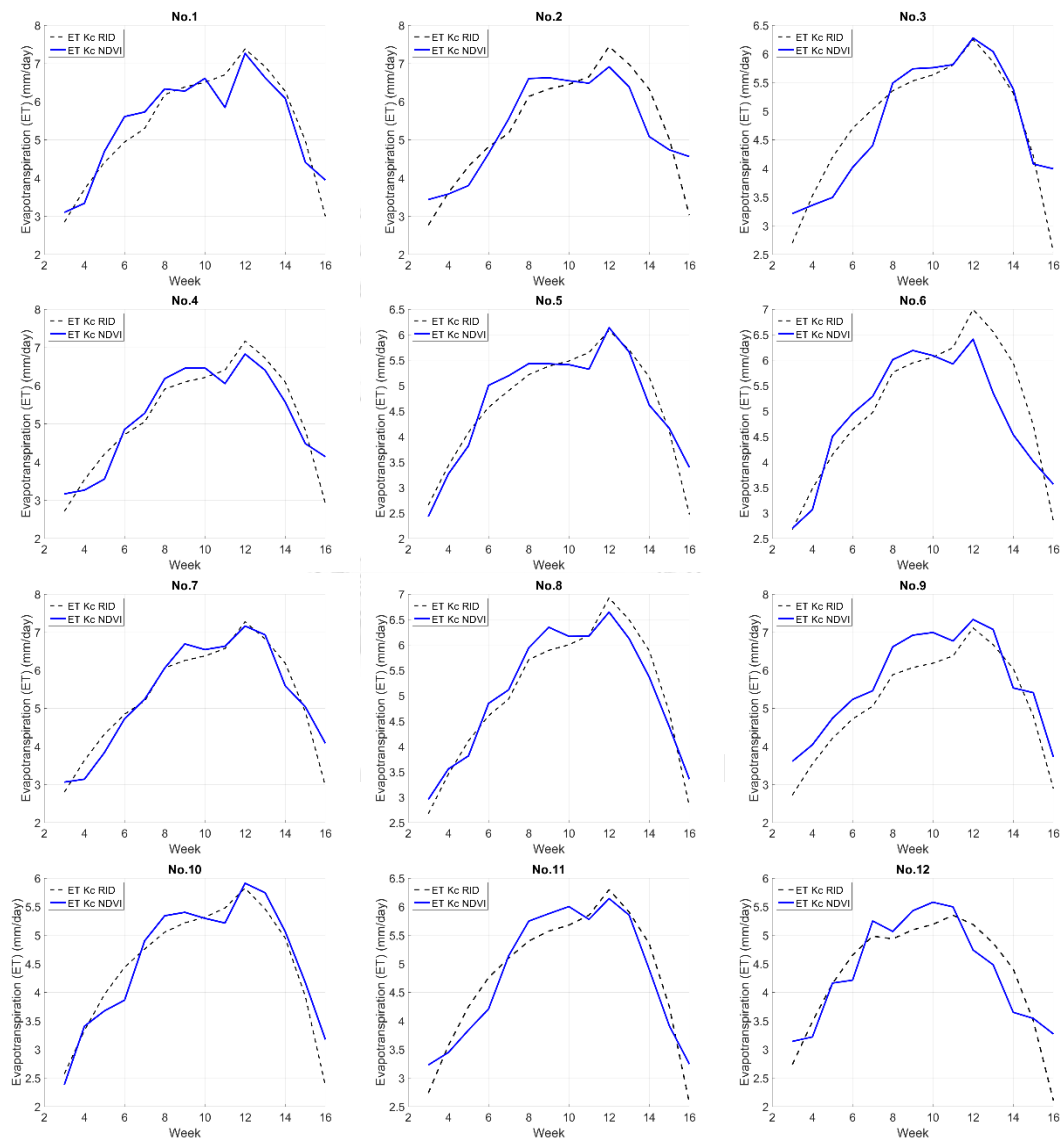
ภาพที่ 4-3 การเปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยของค่า Kc ที่ได้จาก NDVI จากกลุ่มตัวอย่างแปลงนา 80 แปลงกับค่า Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน

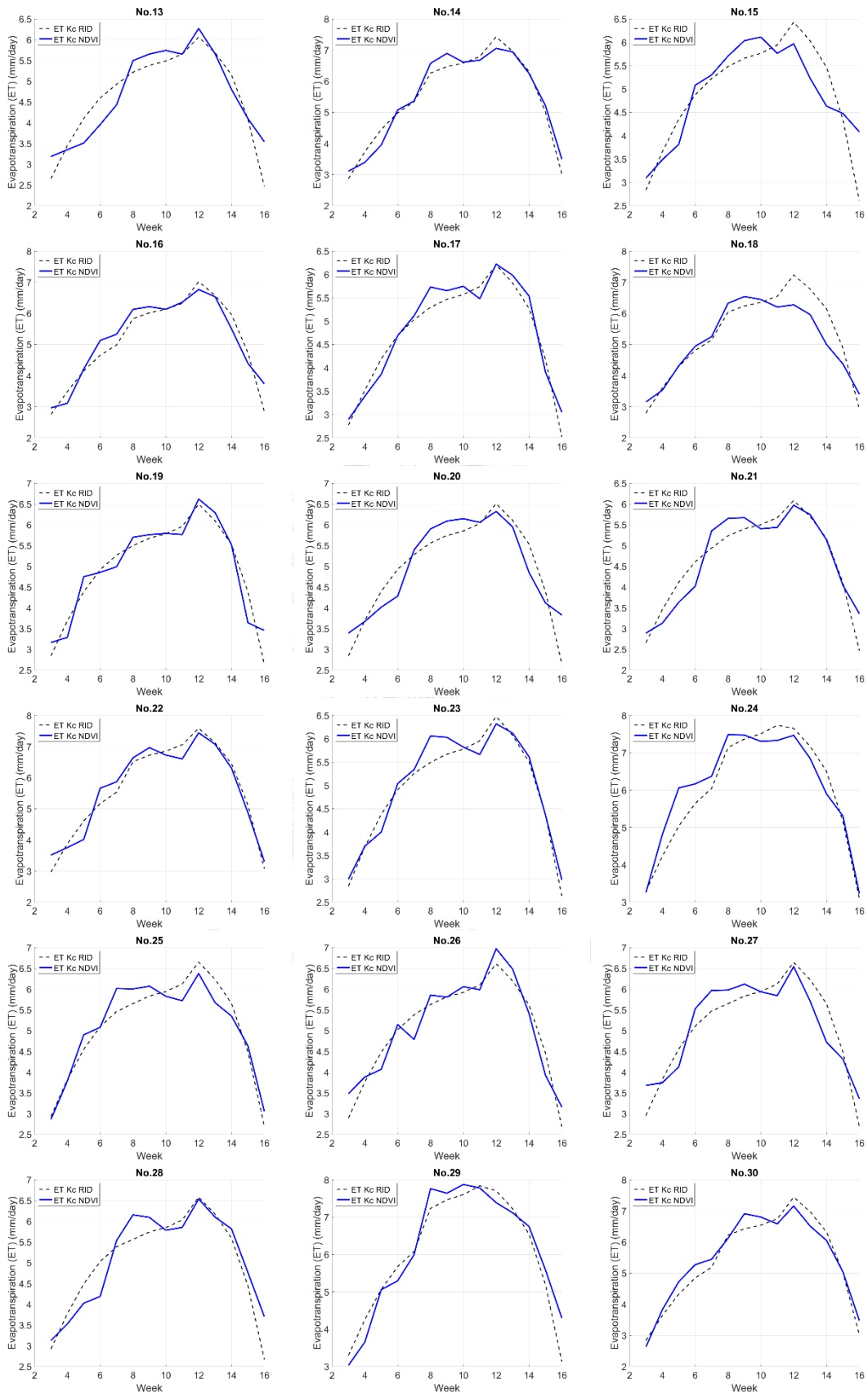
จากภาพที่ 4-3 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc) ที่ได้จาก NDVI ของกลุ่มตัวอย่างแปลงนา 80 แปลงกับค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc) ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน เมื่อพิจารณารายสัปดาห์ พบว่าในสัปดาห์ที่ 3 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะต้นกล้า ค่า Kc ที่ได้จาก NDVI ให้ค่ามากกว่า มีค่าอยู่ที่ 0.85 สัปดาห์ที่ 4 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะต้นกล้า ค่า Kc ที่ได้จาก NDVI ให้ค่าน้อยกว่า มีค่าอยู่ที่ 1.01 สัปดาห์ที่ 5 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะต้นกล้า ค่า Kc ที่ได้จาก NDVI ให้ค่าน้อยกว่า มีค่าอยู่ที่ 1.21 สัปดาห์ที่ 6 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะแตกกอ ค่า Kc ที่ได้จาก NDVI ให้ค่าน้อยกว่า มีค่าอยู่ที่ 1.38 สัปดาห์ที่ 7 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะแตกกอ ค่า Kc ที่ได้จาก NDVI ให้ค่ามากกว่า มีค่าอยู่ที่ 1.52 สัปดาห์ที่ 8 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะแตกกอ ค่า Kc ที่ได้จาก NDVI ให้ค่ามากกว่า มีค่าอยู่ที่ 1.60 สัปดาห์ที่ 9 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะแตกกอ ค่า Kc ที่ได้จาก NDVI ให้ค่ามากกว่า มีค่าอยู่ที่ 1.64 สัปดาห์ที่ 10 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะแตกกอ ค่า Kc ที่ได้จาก NDVI ให้ค่าที่เท่ากัน มีค่าอยู่ที่ 1.63 สัปดาห์ที่ 11 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะตั้งท้อง ค่า Kc ที่ได้จาก NDVI มีค่าน้อยกว่า มีค่าอยู่ที่ 1.61 สัปดาห์ที่ 12 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะตั้งท้อง ค่า Kc ที่ได้จาก NDVI ให้ค่าน้อยกว่า มีค่าอยู่ที่ 1.55 สัปดาห์ที่ 13 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะออกดอก ค่า Kc ที่ได้จาก NDVI ให้ค่าน้อยกว่า มีค่าอยู่ที่ 1.46 สัปดาห์ที่ 14 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะดอก ค่า Kc ที่ได้จาก NDVI ให้ค่าน้อยกว่า มีค่าอยู่ที่ 1.30 สัปดาห์ที่ 15 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะสุกแก่ ค่า Kc ที่ได้จาก NDVI ให้ค่าที่เท่ากัน มีค่าอยู่ที่ 1.08 และสัปดาห์ที่ 16 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะเก็บเกี่ยว ค่า Kc ที่ได้จาก NDVI ให้ค่ามากกว่า มีค่าอยู่ที่ 0.82

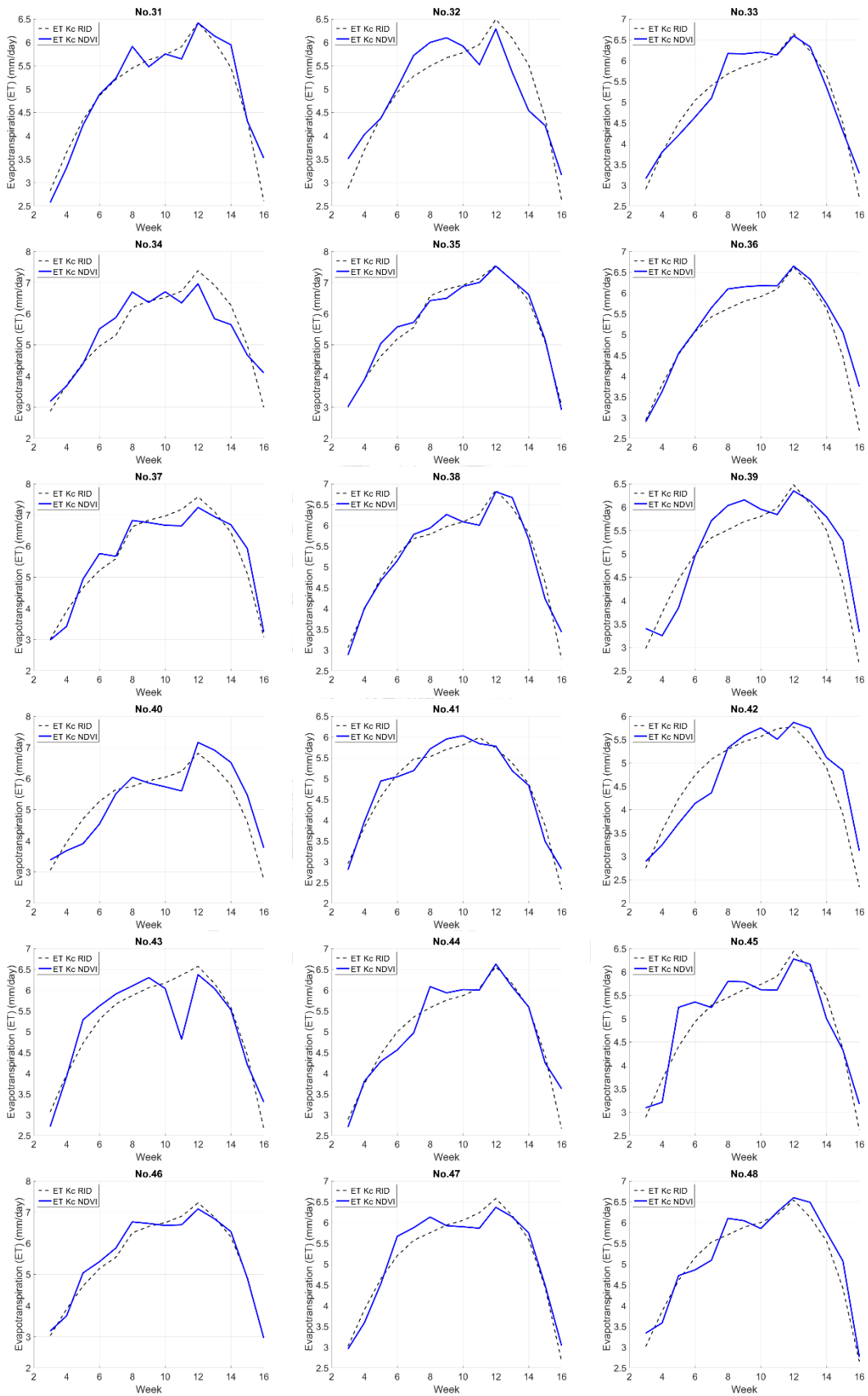
เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของค่า Kc ที่ได้จาก NDVI จากกลุ่มตัวอย่างแปลงนา 80 แปลง ดังภาพที่ 4-3 พบว่าค่า Kc ที่ได้จาก NDVI ของข้าวในสัปดาห์ที่ 3-5 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะกล้า มีความสอดคล้องกับค่า Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน จากภาพแสดงถึงค่า Kc ในระยะเริ่มต้นเพาะปลูกให้ค่าที่ต่ำจากนั้นค่า Kc จะค่อยๆมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามลำดับการเจริญเติบโตของข้าว ในสัปดาห์ที่ 6-10 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะแตกกอ ค่า Kc ที่ได้จาก NDVI เป็นช่วงที่มีค่าสูงสุดและมีค่าที่สูงกว่าค่า Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน ในสัปดาห์ที่ 11-14 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะตั้งท้องถึงระยะออกดอก ค่า Kc ที่ได้จาก NDVI มีค่าที่ต่ำกว่าค่า Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน โดยมีแนวโน้มที่ค่อยๆลดลงตามลำดับและในสัปดาห์ที่ 15-16 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะสุกแก่ถึงระยะเก็บเกี่ยว ค่า Kc ที่ได้จาก NDVI จะมีค่าที่ต่ำลงตามลำดับ

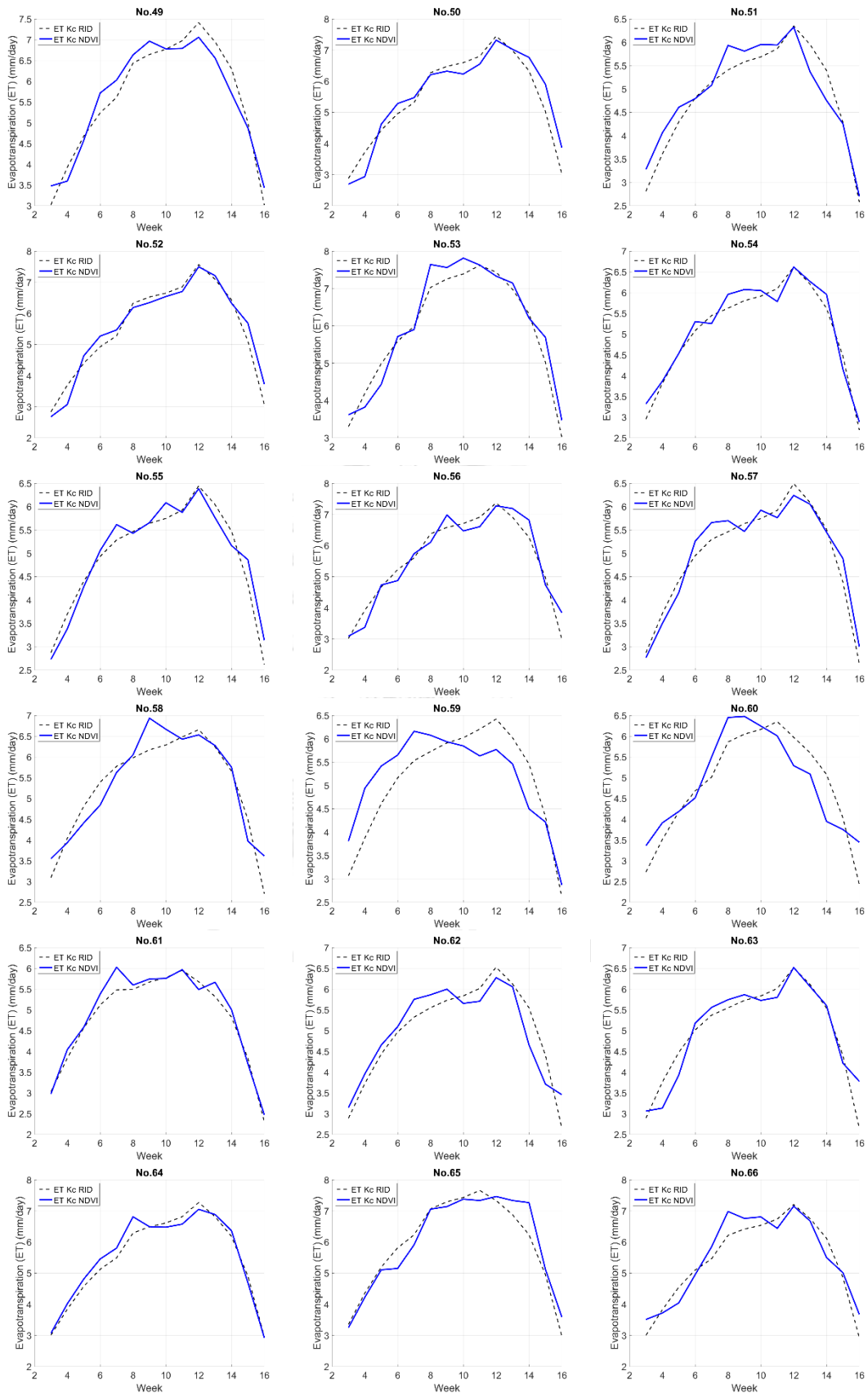
4.1.3 ผลการประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET)

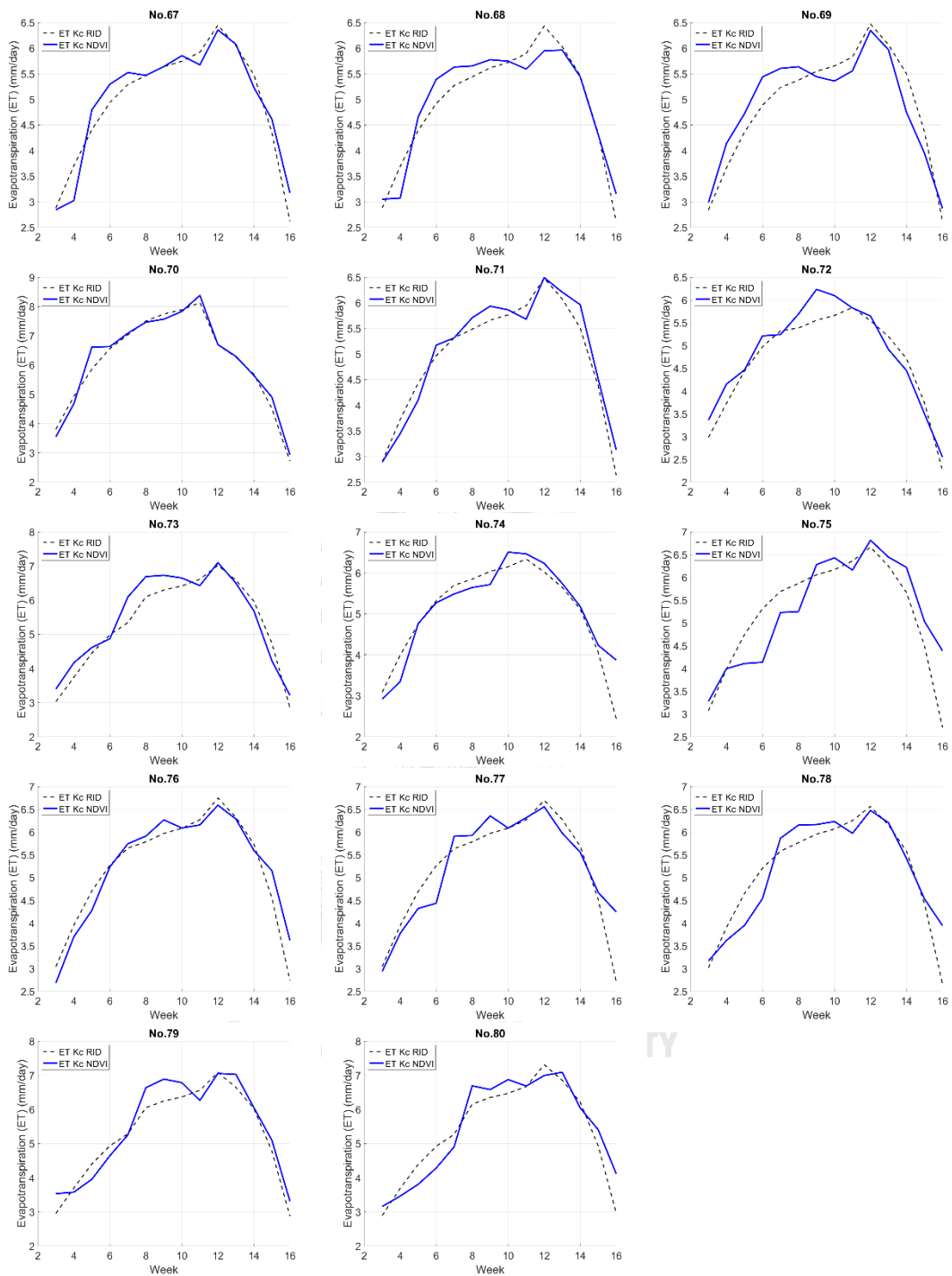
ผลการประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI เปรียบเทียบกับค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน ดังภาพที่ 4-4 จากผลลัพธ์ที่ได้พบว่าแปลงนาที่ 35 ให้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องสูงสุด โดยมีค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ต่ำสุด 2.91 มม./วัน ค่าสูงสุด 7.53 มม./วัน และค่าเฉลี่ย 5.67 มม./วัน มี RMSE 0.20 และแปลงนาที่ 75 ให้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องต่ำสุด โดยมีค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ต่ำสุด 3.28 มม./วัน ค่าสูงสุด 6.82 มม./วัน และค่าเฉลี่ย 5.27 มม./วัน มี RMSE 0.66



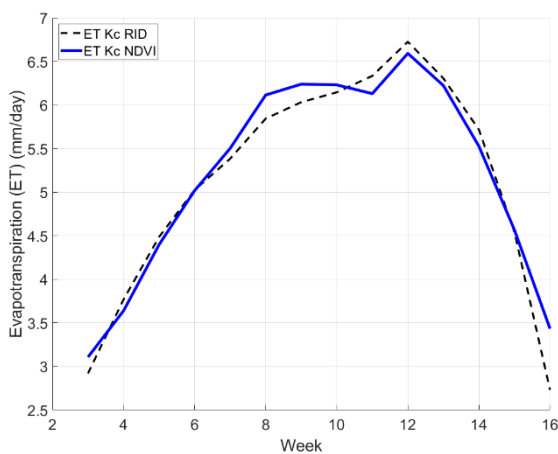








ภาพที่ 4-4 การเปรียบเทียบระหว่างค่า ET ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI กับค่า ET ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน ของกลุ่มตัวอย่างแปลงนา 80 แปลง



ภาพที่ 4-5 การเปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ย ET ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI กับค่าเฉลี่ย ET ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน ของกลุ่มตัวอย่างแปลงนา 80 แปลง

จากภาพที่ 4-5 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยค่า Kc ที่ได้จาก NDVI กับค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยใช้ค่า Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน ของกลุ่มตัวอย่างแปลงนา 80 แปลง เมื่อพิจารณารายสัปดาห์พบว่าในสัปดาห์ที่ 3 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะต้นกล้า ค่า ET ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI ให้ค่ามากกว่า มีค่าอยู่ที่ 3.11 สัปดาห์ที่ 4 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะต้นกล้า ค่า ET ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI ให้ค่าน้อยกว่า มีค่าอยู่ที่ 3.64 สัปดาห์ที่ 5 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะต้นกล้า ค่า ET ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI ให้ค่าน้อยกว่า มีค่าอยู่ที่ 4.40 สัปดาห์ที่ 6 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะแตกกอ ค่า ET ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI ให้ค่าที่เท่ากัน มีค่าอยู่ที่ 5.02 สัปดาห์ที่ 7 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะแตกกอ ค่า ET ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI ให้ค่ามากกว่า มีค่าอยู่ที่ 5.50 สัปดาห์ที่ 8 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะแตกกอ ค่า ET ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI ให้ค่ามากกว่า มีค่าอยู่ที่ 6.11 สัปดาห์ที่ 9 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะแตกกอ ค่า ET ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI ให้ค่ามากกว่า มีค่าอยู่ที่ 6.24 สัปดาห์ที่ 10 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะแตกกอ ค่า ET ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI ให้ค่ามากกว่า มีค่าอยู่ที่ 6.23 สัปดาห์ที่ 11 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะตั้งท้อง ค่า ET ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI ให้ค่าน้อยกว่า มีค่าอยู่ที่ 6.13 สัปดาห์ที่ 12 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะตั้งท้อง ค่า ET ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI ให้ค่าน้อยกว่า มีค่าอยู่ที่ 6.59 สัปดาห์ที่ 13 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะดอก ค่า ET ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI ให้ค่าน้อยกว่า มีค่าอยู่ที่ 6.22 สัปดาห์ที่ 14 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะดอก ค่า ET ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI ให้ค่าน้อยกว่า มีค่าอยู่ที่ 5.53 สัปดาห์ที่ 15 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะสุกแก่

ค่า ET ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI ให้ค่ามากกว่า มีค่าอยู่ที่ 4.57 และสัปดาห์ที่ 16 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะเก็บเกี่ยว ค่า ET ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI ให้ค่ามากกว่า มีค่าอยู่ที่ 3.43

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI จากกลุ่มตัวอย่างแปลงนา 80 แปลง ดังภาพที่ 4-5 พบว่าในสัปดาห์ที่ 3-5 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะกล้า ปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI มีค่าที่ต่ำในระยะเริ่มต้นเพาะปลูกโดยค่าปริมาณการใช้น้ำจะค่อยๆเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามลำดับการเจริญเติบโตของข้าว ในสัปดาห์ที่ 6-10 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะแตกกอ ค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI มีค่าที่สูงขึ้นเรื่อยๆ ตามลำดับและให้ค่าที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน ในสัปดาห์ที่ 11-14 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะตั้งท้องถึงระยะออกดอก พบว่าค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI ในช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่มีค่าสูงที่สุดเนื่องจากเป็นช่วงการเจริญเติบโตเต็มที่ของข้าวจะมีความต้องการน้ำในปริมาณที่สูง และช่วงในสัปดาห์ที่ 15-16 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะสุกแก่ถึงระยะเก็บเกี่ยว ค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI จะเริ่มมีแนวโน้มที่ค่อยๆลดลงตามลำดับจนถึงระยะเก็บเกี่ยว เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของปริมาณการใช้น้ำตลอดฤดูกาลเพาะปลูกของกลุ่มตัวอย่างแปลงนา 80 แปลง คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 400.45 ไร่หรือ 640,712.66 ตารางเมตร พบว่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI มีค่า 72.72 มม./วัน และคิดเป็นปริมาตรน้ำที่ใช้ 326,141 ลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน มีค่า 71.96 มม./วัน และคิดเป็นปริมาตรน้ำที่ใช้ 322,739 ลูกบาศก์เมตร โดยมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง 1.05

4.1.4 ผลการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์พีช (Kc)

ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่า Kc ที่ได้จาก NDVI เปรียบเทียบกับค่า Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน รายสัปดาห์ ตั้งแต่ระยะเริ่มต้นเพาะปลูกจนถึงระยะเก็บเกี่ยว ของกลุ่มตัวอย่างแปลงนา 80 แปลงและค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) มีค่าต่ำสุด 0.05 และค่าสูงสุด 0.17 แสดงดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่า Kc ที่ได้จาก NDVI กับค่า Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทานและ RMSE

| แปลง | สัปดาห์ | | | | | | | | | | | | | | | | RMSE |
|------|---------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|--|------|
| | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | | |
| 1 | 8.15 | 10.84 | 5.52 | 12.59 | 7.36 | 1.69 | 2.42 | 0.89 | 13.42 | 2.29 | 4.76 | 3.39 | 11.87 | 30.59 | 0.11 | | |
| 2 | 24.13 | 1.02 | 11.82 | 3.94 | 7.13 | 7.42 | 4.40 | 1.24 | 2.73 | 7.30 | 8.63 | 19.70 | 5.75 | 50.77 | 0.15 | | |
| 3 | 18.55 | 5.33 | 17.08 | 14.71 | 12.51 | 2.30 | 3.41 | 2.03 | 0.01 | 0.23 | 2.94 | 1.12 | 3.23 | 55.92 | 0.14 | | |
| 4 | 16.78 | 7.53 | 15.81 | 2.59 | 4.07 | 4.34 | 5.53 | 3.77 | 5.71 | 4.97 | 4.91 | 8.69 | 7.39 | 42.34 | 0.12 | | |
| 5 | 8.50 | 4.99 | 7.31 | 8.68 | 5.17 | 3.39 | 0.09 | 2.02 | 6.48 | 0.16 | 1.28 | 10.77 | 1.36 | 38.32 | 0.10 | | |
| 6 | 0.76 | 12.91 | 8.56 | 6.48 | 5.87 | 3.84 | 3.58 | 0.01 | 5.55 | 8.80 | 7.53 | 10.23 | 4.41 | 40.16 | 0.11 | | |
| 7 | 9.07 | 13.37 | 11.21 | 2.93 | 0.31 | 1.11 | 6.34 | 2.07 | 0.34 | 2.06 | 0.97 | 10.07 | 2.56 | 38.20 | 0.10 | | |
| 8 | 9.88 | 0.77 | 9.09 | 3.86 | 2.47 | 3.20 | 6.63 | 1.77 | 1.06 | 4.71 | 5.54 | 9.02 | 6.80 | 18.97 | 0.08 | | |
| 9 | 16.02 | 1.41 | 1.37 | 1.08 | 1.26 | 3.51 | 5.25 | 4.45 | 2.16 | 5.61 | 3.26 | 18.37 | 0.22 | 8.50 | 0.09 | | |
| 10 | 9.17 | 1.10 | 7.43 | 13.31 | 1.19 | 4.82 | 2.59 | 1.36 | 5.73 | 0.53 | 4.13 | 0.89 | 4.68 | 29.58 | 0.09 | | |

ตารางที่ 4-1 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่า Kc ที่ได้จาก NDVI กับค่า Kc ที่อ้างอิงจากการชลประทาน และ RMSE (ต่อ)

| แปลง | สัปดาห์ | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--|
| | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | RMSE | |
| 11 | 18.05 | 0.81 | 10.07 | 12.22 | 0.07 | 5.73 | 4.78 | 5.12 | 1.61 | 2.75 | 0.89 | 8.09 | 7.98 | 26.90 | 0.10 | |
| 12 | 14.71 | 8.01 | 0.49 | 10.14 | 4.04 | 1.41 | 5.12 | 5.97 | 1.36 | 9.61 | 9.14 | 17.81 | 0.66 | 54.73 | 0.14 | |
| 13 | 19.45 | 2.78 | 14.72 | 14.27 | 10.40 | 5.03 | 4.42 | 4.09 | 0.56 | 2.86 | 0.94 | 7.53 | 0.27 | 43.25 | 0.13 | |
| 14 | 8.26 | 9.46 | 11.76 | 1.34 | 0.11 | 4.40 | 6.18 | 0.10 | 2.05 | 5.47 | 0.82 | 1.42 | 4.68 | 15.51 | 0.07 | |
| 15 | 8.91 | 4.82 | 12.40 | 4.38 | 1.27 | 3.79 | 6.08 | 5.33 | 3.63 | 7.63 | 13.68 | 14.40 | 2.87 | 56.04 | 0.14 | |
| 16 | 6.83 | 11.86 | 0.67 | 8.27 | 5.08 | 3.14 | 1.37 | 1.70 | 1.01 | 5.23 | 2.27 | 9.25 | 8.51 | 30.18 | 0.09 | |
| 17 | 3.29 | 4.35 | 8.74 | 1.22 | 0.25 | 6.40 | 1.73 | 1.36 | 6.17 | 1.31 | 1.25 | 3.52 | 7.51 | 20.34 | 0.07 | |
| 18 | 17.36 | 1.02 | 2.98 | 4.70 | 3.58 | 6.24 | 6.34 | 2.91 | 3.74 | 11.48 | 10.21 | 16.17 | 6.98 | 21.98 | 0.12 | |
| 19 | 10.82 | 11.45 | 7.36 | 2.04 | 6.07 | 2.97 | 0.87 | 0.28 | 3.92 | 1.36 | 3.11 | 0.61 | 17.04 | 30.10 | 0.09 | |
| 20 | 18.54 | 1.68 | 9.51 | 13.85 | 1.44 | 5.35 | 5.35 | 4.35 | 0.17 | 3.55 | 3.59 | 12.87 | 6.87 | 43.69 | 0.12 | |
| 21 | 8.40 | 6.39 | 11.70 | 13.50 | 7.58 | 7.30 | 4.20 | 1.96 | 4.93 | 2.63 | 0.04 | 1.51 | 1.55 | 36.11 | 0.11 | |
| 22 | 18.20 | 3.34 | 12.59 | 9.03 | 5.49 | 1.49 | 3.20 | 2.14 | 6.76 | 2.20 | 0.85 | 2.50 | 4.93 | 7.30 | 0.08 | |
| 23 | 3.78 | 0.92 | 9.81 | 1.15 | 0.01 | 8.55 | 4.75 | 0.65 | 6.56 | 3.80 | 0.55 | 0.29 | 1.56 | 12.32 | 0.07 | |
| 24 | 3.26 | 11.15 | 17.71 | 7.02 | 3.25 | 2.81 | 0.66 | 4.68 | 6.98 | 4.34 | 7.13 | 11.18 | 0.76 | 3.31 | 0.10 | |

ตารางที่ 4-1 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่า Kc ที่ได้จาก NDVI กับค่า Kc ที่อ้างอิงจากการชลประทาน และ RMSE (ต่อ)

| แปลง | สัปดาห์ | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|--|
| | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | RMSE | |
| 25 | 2.90 | 1.13 | 7.37 | 0.79 | 9.61 | 5.76 | 3.62 | 2.39 | 7.02 | 4.52 | 9.41 | 5.95 | 2.66 | 13.06 | 0.08 | |
| 26 | 19.71 | 2.57 | 9.76 | 1.87 | 11.53 | 3.37 | 0.69 | 1.72 | 2.54 | 4.86 | 3.98 | 4.21 | 12.40 | 17.14 | 0.09 | |
| 27 | 24.17 | 2.49 | 9.59 | 6.96 | 7.95 | 4.69 | 4.06 | 0.91 | 5.28 | 2.36 | 8.90 | 16.61 | 4.32 | 22.39 | 0.12 | |
| 28 | 6.48 | 6.96 | 11.37 | 17.33 | 1.52 | 9.27 | 4.77 | 2.40 | 4.14 | 1.92 | 2.42 | 2.51 | 5.61 | 37.54 | 0.12 | |
| 29 | 8.86 | 14.58 | 1.08 | 8.05 | 2.12 | 5.99 | 1.10 | 2.22 | 2.01 | 5.37 | 2.74 | 1.89 | 6.38 | 46.36 | 0.11 | |
| 30 | 6.70 | 4.94 | 8.72 | 7.11 | 3.43 | 3.53 | 5.44 | 1.96 | 4.41 | 5.81 | 8.70 | 6.85 | 2.11 | 13.97 | 0.08 | |
| 31 | 9.54 | 10.45 | 3.00 | 0.47 | 0.69 | 7.10 | 3.71 | 0.90 | 5.71 | 1.27 | 0.73 | 7.64 | 1.38 | 33.95 | 0.09 | |
| 32 | 20.82 | 7.34 | 2.16 | 0.48 | 7.13 | 7.80 | 6.22 | 1.18 | 8.41 | 4.26 | 12.85 | 18.48 | 4.21 | 19.88 | 0.12 | |
| 33 | 8.34 | 0.10 | 6.78 | 8.44 | 6.10 | 8.00 | 4.43 | 3.17 | 1.07 | 1.48 | 0.76 | 5.74 | 4.59 | 21.56 | 0.08 | |
| 34 | 10.45 | 1.70 | 3.75 | 10.09 | 9.61 | 7.05 | 1.33 | 1.99 | 6.24 | 6.21 | 16.25 | 10.31 | 6.75 | 36.35 | 0.13 | |
| 35 | 0.20 | 1.08 | 8.06 | 6.61 | 2.12 | 3.11 | 5.08 | 1.35 | 2.55 | 1.10 | 0.80 | 2.29 | 1.02 | 5.17 | 0.05 | |
| 36 | 1.60 | 4.73 | 0.51 | 0.02 | 3.29 | 7.36 | 4.99 | 3.33 | 5.30 | 5.33 | 7.89 | 11.18 | 4.99 | 39.62 | 0.10 | |
| 37 | 1.29 | 13.29 | 5.55 | 9.74 | 0.89 | 2.57 | 1.62 | 4.65 | 7.75 | 4.89 | 2.72 | 3.29 | 15.21 | 5.08 | 0.09 | |
| 38 | 5.72 | 0.55 | 1.11 | 2.90 | 1.50 | 2.25 | 4.47 | 0.41 | 4.65 | 1.11 | 3.44 | 2.76 | 8.66 | 22.74 | 0.06 | |

ตารางที่ 4-1 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่า Kc ที่ได้จาก NDVI กับค่า Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน และ RMSE (ต่อ)

| แปลง | สัปดาห์ | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|--|
| | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | RMSE | |
| 39 | 11.96 | 15.39 | 15.81 | 3.99 | 3.42 | 5.39 | 4.06 | 1.15 | 5.82 | 5.24 | 2.41 | 1.56 | 16.82 | 23.56 | 0.11 | |
| 40 | 10.00 | 7.48 | 17.53 | 14.59 | 3.52 | 3.88 | 2.34 | 6.16 | 11.10 | 3.93 | 6.95 | 11.32 | 17.57 | 35.06 | 0.14 | |
| 41 | 5.27 | 2.73 | 7.70 | 2.04 | 5.76 | 2.60 | 3.59 | 2.93 | 3.20 | 0.04 | 4.12 | 1.50 | 10.36 | 20.76 | 0.07 | |
| 42 | 5.71 | 8.32 | 11.73 | 13.11 | 14.97 | 0.84 | 1.43 | 2.64 | 4.57 | 0.24 | 5.52 | 3.95 | 23.72 | 34.45 | 0.13 | |
| 43 | 11.59 | 0.87 | 12.12 | 5.51 | 3.39 | 3.02 | 3.09 | 2.95 | 11.28 | 3.81 | 2.74 | 1.88 | 5.65 | 23.43 | 0.09 | |
| 44 | 5.51 | 1.79 | 4.45 | 9.06 | 7.63 | 8.39 | 2.40 | 1.85 | 1.31 | 0.34 | 1.86 | 0.46 | 5.30 | 35.61 | 0.09 | |
| 45 | 5.98 | 14.30 | 17.10 | 6.79 | 3.28 | 4.61 | 1.19 | 3.55 | 6.50 | 4.14 | 0.40 | 9.90 | 1.72 | 20.39 | 0.10 | |
| 46 | 4.31 | 6.34 | 7.69 | 3.00 | 3.94 | 4.13 | 0.02 | 2.68 | 5.26 | 3.94 | 2.09 | 1.43 | 1.93 | 0.24 | 0.05 | |
| 47 | 4.32 | 7.68 | 0.24 | 8.13 | 4.50 | 5.69 | 1.09 | 3.29 | 6.78 | 4.07 | 1.37 | 1.85 | 0.64 | 13.43 | 0.07 | |
| 48 | 9.70 | 9.14 | 0.41 | 7.64 | 11.37 | 5.32 | 0.96 | 3.78 | 0.38 | 0.59 | 4.29 | 2.25 | 13.89 | 3.91 | 0.08 | |
| 49 | 14.87 | 8.88 | 3.08 | 8.43 | 6.72 | 2.41 | 4.21 | 0.44 | 3.26 | 5.31 | 6.06 | 9.82 | 2.78 | 13.92 | 0.08 | |
| 50 | 6.83 | 21.38 | 3.63 | 5.70 | 2.06 | 1.95 | 3.25 | 6.47 | 4.64 | 2.80 | 0.38 | 5.96 | 16.89 | 27.04 | 0.11 | |
| 51 | 11.73 | 8.91 | 4.44 | 2.33 | 3.21 | 7.09 | 2.38 | 2.86 | 0.17 | 1.90 | 10.61 | 12.95 | 1.23 | 3.88 | 0.08 | |
| 52 | 5.79 | 17.43 | 5.04 | 6.46 | 3.05 | 2.71 | 3.43 | 2.22 | 2.76 | 1.51 | 1.06 | 2.26 | 10.56 | 20.71 | 0.08 | |

ตารางที่ 4-1 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่า Kc ที่ได้จาก NDVI กับค่า Kc ที่อ้างอิงจากการชลประทาน และ RMSE (ต่อ)

| แปลง | สัปดาห์ | | | | | | | | | | | | | | | | RMSE |
|------|---------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--|------|
| | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | | |
| 53 | 8.49 | 9.61 | 12.46 | 0.02 | 3.67 | 6.09 | 1.80 | 3.16 | 2.20 | 3.81 | 0.01 | 3.27 | 10.92 | 14.32 | 0.08 | | |
| 54 | 9.53 | 1.92 | 2.18 | 2.65 | 4.95 | 4.45 | 3.42 | 1.21 | 6.18 | 1.35 | 0.39 | 4.29 | 8.88 | 5.17 | 0.06 | | |
| 55 | 4.79 | 8.86 | 3.20 | 1.91 | 5.30 | 1.47 | 0.32 | 4.64 | 1.88 | 1.88 | 5.51 | 6.34 | 11.02 | 19.82 | 0.07 | | |
| 56 | 2.09 | 13.67 | 0.85 | 6.42 | 2.17 | 4.46 | 5.79 | 3.70 | 4.38 | 1.52 | 3.90 | 8.98 | 4.58 | 27.23 | 0.09 | | |
| 57 | 4.34 | 6.63 | 6.64 | 5.17 | 5.70 | 3.33 | 3.89 | 2.06 | 3.69 | 4.87 | 1.57 | 2.11 | 10.60 | 12.92 | 0.07 | | |
| 58 | 14.52 | 2.54 | 8.61 | 10.41 | 2.79 | 1.07 | 12.03 | 4.29 | 1.01 | 2.00 | 0.42 | 1.55 | 11.91 | 33.35 | 0.11 | | |
| 59 | 20.19 | 25.48 | 15.43 | 7.13 | 8.70 | 3.78 | 1.73 | 5.08 | 11.24 | 12.25 | 11.38 | 18.94 | 3.40 | 7.57 | 0.16 | | |
| 60 | 22.09 | 10.28 | 1.08 | 4.29 | 8.47 | 8.94 | 5.97 | 0.24 | 6.61 | 12.32 | 10.02 | 22.51 | 7.45 | 41.35 | 0.16 | | |
| 61 | 2.82 | 3.31 | 1.60 | 2.66 | 7.80 | 0.74 | 1.27 | 2.63 | 2.36 | 5.72 | 3.67 | 1.33 | 5.06 | 6.33 | 0.05 | | |
| 62 | 8.26 | 5.62 | 4.30 | 1.89 | 7.45 | 4.97 | 4.07 | 3.82 | 5.72 | 4.44 | 1.66 | 16.56 | 16.07 | 29.78 | 0.11 | | |
| 63 | 6.11 | 16.93 | 11.99 | 3.12 | 3.14 | 3.10 | 1.98 | 2.30 | 3.95 | 0.36 | 1.27 | 0.76 | 4.37 | 42.16 | 0.10 | | |
| 64 | 1.11 | 3.30 | 3.05 | 4.57 | 3.76 | 6.34 | 1.50 | 3.65 | 5.35 | 4.66 | 0.61 | 1.15 | 4.63 | 1.35 | 0.05 | | |
| 65 | 2.95 | 3.42 | 2.14 | 11.86 | 5.76 | 0.69 | 2.76 | 1.27 | 4.84 | 1.19 | 6.12 | 16.04 | 3.19 | 20.34 | 0.09 | | |
| 66 | 15.68 | 4.15 | 12.48 | 5.55 | 4.46 | 10.20 | 3.09 | 2.48 | 6.09 | 2.15 | 3.02 | 11.38 | 1.51 | 24.21 | 0.10 | | |

ตารางที่ 4-1 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่า Kc ที่ได้จาก NDVI กับค่า Kc ที่อ้างอิงจากการชลประทาน และ RMSE (ต่อ)

| แปลง | สัปดาห์ | | | | | | | | | | | | | | | | RMSE |
|------|---------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|--|------|
| | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | | |
| 67 | 1.73 | 17.39 | 8.38 | 6.55 | 3.37 | 0.90 | 1.10 | 0.60 | 5.34 | 2.66 | 0.72 | 5.70 | 5.05 | 21.13 | 0.08 | | |
| 68 | 5.42 | 17.07 | 4.88 | 8.30 | 5.54 | 2.66 | 1.61 | 0.76 | 6.27 | 8.60 | 2.23 | 1.53 | 1.40 | 20.50 | 0.09 | | |
| 69 | 4.76 | 12.24 | 7.33 | 10.41 | 6.12 | 3.92 | 2.79 | 6.00 | 5.47 | 2.79 | 2.39 | 14.23 | 10.13 | 9.43 | 0.10 | | |
| 70 | 7.59 | 6.56 | 10.97 | 1.11 | 0.29 | 1.62 | 3.18 | 1.68 | 1.64 | 1.04 | 0.52 | 1.80 | 7.75 | 8.24 | 0.06 | | |
| 71 | 1.33 | 8.67 | 8.77 | 2.61 | 1.60 | 2.45 | 3.19 | 0.05 | 5.94 | 1.40 | 0.59 | 6.58 | 1.73 | 17.56 | 0.06 | | |
| 72 | 10.52 | 7.65 | 1.67 | 2.40 | 4.19 | 2.41 | 8.35 | 3.93 | 3.56 | 1.66 | 8.57 | 8.48 | 8.64 | 11.40 | 0.08 | | |
| 73 | 10.34 | 8.55 | 0.85 | 5.50 | 9.84 | 5.53 | 2.78 | 0.28 | 6.43 | 2.63 | 4.66 | 7.77 | 12.50 | 12.52 | 0.09 | | |
| 74 | 6.10 | 16.62 | 0.73 | 1.89 | 4.73 | 4.46 | 6.23 | 4.71 | 0.97 | 2.52 | 0.80 | 0.33 | 3.32 | 48.13 | 0.11 | | |
| 75 | 6.47 | 0.18 | 13.98 | 22.62 | 8.34 | 10.84 | 2.78 | 3.36 | 3.90 | 1.21 | 2.09 | 8.57 | 11.43 | 62.56 | 0.17 | | |
| 76 | 11.90 | 6.81 | 9.54 | 1.32 | 1.08 | 1.60 | 4.36 | 0.46 | 2.36 | 2.86 | 1.14 | 2.90 | 12.67 | 31.74 | 0.09 | | |
| 77 | 3.49 | 4.49 | 8.16 | 16.55 | 4.14 | 1.78 | 5.73 | 0.56 | 0.03 | 2.67 | 5.21 | 2.76 | 3.06 | 55.62 | 0.13 | | |
| 78 | 5.03 | 7.44 | 15.07 | 12.94 | 4.40 | 5.96 | 2.85 | 2.03 | 5.08 | 1.99 | 0.02 | 3.24 | 1.84 | 47.86 | 0.12 | | |
| 79 | 17.10 | 5.59 | 12.11 | 8.41 | 3.19 | 6.41 | 6.69 | 3.32 | 7.21 | 3.12 | 3.04 | 2.07 | 3.48 | 14.52 | 0.09 | | |
| 80 | 8.54 | 6.56 | 13.91 | 13.33 | 7.48 | 7.42 | 2.47 | 5.00 | 0.84 | 5.28 | 2.48 | 3.32 | 8.97 | 38.00 | 0.12 | | |

ตารางที่ 4-1 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่า Kc ที่ได้จาก NDVI กับค่า Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน และ RMSE (ต่อ)

| แปลง | สัปดาห์ | | | | | | | | | | | | | | | | RMSE |
|-----------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|--|------|
| | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | | |
| ค่าเฉลี่ย | 5.71 | 4.23 | 3.03 | 1.22 | 1.05 | 3.46 | 2.29 | 0.14 | 4.23 | 3.12 | 2.36 | 4.35 | 0.43 | 25.47 | 0.06 | | |

4.1.5 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET)

ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยใช้ค่า Kc ที่ได้จาก NDVI เปรียบเทียบกับค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยใช้ค่า Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน รายสัปดาห์ ตั้งแต่ระยะเริ่มต้นเพาะปลูกจนถึงระยะเก็บเกี่ยว ของกลุ่มตัวอย่างแปลงนา 80 แปลงและค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) มีค่าต่ำสุด 0.20 และค่าสูงสุด 0.66 แสดงดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปริมาณการใช้น้ำของพืชที่คำนวณโดยใช้ค่า Kc ที่ได้จาก NDVI กับปริมาณการใช้น้ำของพืชที่คำนวณโดยใช้ค่า Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน และ RMSE

| แปลง | สัปดาห์ | | | | | | | | | | | | | | | | RMSE |
|------|---------|-------|--------|--------|--------|------|-------|------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|------|--|------|
| | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | | |
| 1 | 9.00 | -9.93 | 6.47 | 13.46 | 8.15 | 2.42 | -1.71 | 1.63 | -12.76 | -1.57 | -4.22 | -2.97 | -11.39 | 31.68 | 0.47 | | |
| 2 | 24.19 | -0.98 | -11.66 | -3.76 | 7.34 | 7.64 | 4.63 | 1.46 | -2.53 | -7.13 | -8.49 | -19.62 | -5.68 | 50.86 | 0.65 | | |
| 3 | 19.03 | -4.69 | -16.72 | -14.49 | -12.62 | 2.51 | 3.81 | 2.24 | 0.12 | 0.42 | 3.04 | 1.43 | -3.33 | 57.31 | 0.53 | | |
| 4 | 16.89 | -7.70 | -15.59 | 2.89 | 4.41 | 4.65 | 5.84 | 4.07 | -5.46 | -4.73 | -4.71 | -8.55 | -7.30 | 42.25 | 0.49 | | |

ตารางที่ 4-2 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปริมาณการใช้ค่า Kc ที่ได้จาก NDVI กับปริมาณการใช้ค่า Kc ที่คำนวณโดยใช้ค่า Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน และ RMSE (ต่อ)

| แปลง | ปี | | | | | | | | | | | | | | | | RMSE |
|------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|------|--|------|
| | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | | |
| 5 | -8.52 | -4.76 | -6.49 | 9.42 | 5.98 | 4.17 | 0.84 | -1.30 | -5.82 | 0.91 | -0.72 | -10.66 | 1.41 | 37.45 | 0.35 | | |
| 6 | 0.89 | -11.90 | 8.70 | 6.74 | 6.38 | 4.33 | 4.10 | 0.54 | -5.10 | -8.35 | -18.33 | -23.69 | -15.03 | 25.43 | 0.63 | | |
| 7 | 9.45 | -13.62 | -11.21 | -2.47 | 0.90 | -0.05 | 6.95 | 2.63 | 0.92 | -1.58 | 1.59 | -9.60 | 2.62 | 38.08 | 0.42 | | |
| 8 | 10.50 | 2.99 | -7.23 | 5.28 | 3.68 | 4.09 | 7.71 | 2.76 | -0.21 | -4.06 | -5.70 | -8.86 | -6.19 | 19.20 | 0.32 | | |
| 9 | 32.56 | 14.23 | 12.43 | 10.89 | 8.00 | 12.47 | 13.99 | 13.05 | 6.17 | 3.11 | 6.05 | -8.43 | 12.71 | 28.84 | 0.62 | | |
| 10 | -7.36 | 2.29 | -7.28 | -13.01 | 3.03 | 5.69 | 3.53 | -0.35 | -4.82 | 1.51 | 5.21 | 2.30 | 6.16 | 34.17 | 0.33 | | |
| 11 | 17.92 | -3.42 | -9.65 | -11.58 | 0.79 | 6.45 | 5.47 | 5.73 | -1.26 | -2.46 | -0.89 | -8.44 | -7.92 | 26.81 | 0.37 | | |
| 12 | 14.87 | -7.74 | 0.21 | -9.44 | 5.33 | 2.65 | 6.56 | 7.46 | 2.74 | -8.60 | -7.83 | -17.21 | 1.21 | 55.25 | 0.47 | | |
| 13 | 20.14 | -2.83 | -14.46 | -13.95 | -10.01 | 5.39 | 5.02 | 4.68 | -0.04 | 3.43 | -0.40 | -6.81 | 0.16 | 43.76 | 0.45 | | |
| 14 | 8.41 | -9.24 | -11.24 | 1.85 | 0.42 | 4.95 | 6.63 | 0.34 | -1.66 | -5.00 | -0.29 | -0.95 | 4.10 | 15.88 | 0.29 | | |
| 15 | 9.16 | -4.65 | -12.41 | 4.19 | 1.49 | 4.07 | 6.66 | 6.02 | -2.98 | -7.22 | -13.29 | -15.26 | 3.09 | 56.20 | 0.57 | | |
| 16 | 7.68 | -10.79 | 1.45 | 10.26 | 6.92 | 5.12 | 3.28 | -0.01 | 0.62 | -3.59 | -0.66 | -7.71 | -7.17 | 31.03 | 0.36 | | |
| 17 | 4.36 | -3.72 | -7.83 | -0.18 | 1.64 | 8.20 | 3.39 | 3.17 | -4.56 | 0.27 | 2.86 | 5.01 | -6.58 | 20.93 | 0.26 | | |
| 18 | 12.88 | -2.08 | 0.54 | 2.81 | 1.95 | 4.67 | 4.88 | 1.44 | -5.26 | -13.26 | -12.08 | -18.67 | -10.40 | 15.85 | 0.52 | | |
| 19 | 11.38 | -10.89 | 8.15 | -1.30 | -5.30 | 3.62 | 1.51 | 0.20 | -3.27 | 1.85 | 3.25 | -0.09 | -17.02 | 30.78 | 0.36 | | |

ตารางที่ 4-2 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปริมาณการใช้ของพืชที่คำนวณโดยใช้ค่า Kc ที่ได้จาก NDVI กับปริมาณการใช้ของพืชที่คำนวณโดยใช้ค่า Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน และ RMSE (ต่อ)

| แปลง | สัปดาห์ | | | | | | | | | | | | | | | | RMSE |
|------|---------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|------|--|------|
| | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | | |
| 20 | 19.41 | -0.70 | -8.73 | -13.13 | 2.19 | 6.07 | 6.07 | 5.07 | 0.51 | -2.93 | -2.55 | -12.35 | -6.34 | 44.60 | 0.48 | | |
| 21 | 8.66 | -9.50 | -11.73 | -12.87 | 8.37 | 8.00 | 4.98 | -1.82 | -4.15 | -1.82 | 0.80 | -0.65 | -1.53 | 35.92 | 0.38 | | |
| 22 | 18.36 | -3.09 | -12.90 | 9.57 | 6.00 | 1.89 | 3.59 | -1.82 | 6.48 | -1.96 | -0.58 | -2.23 | -4.78 | 7.24 | 0.32 | | |
| 23 | 5.25 | 0.47 | -8.68 | 2.67 | 1.52 | 10.29 | 6.34 | 0.76 | -4.91 | -2.44 | 0.83 | 2.01 | 0.01 | 13.29 | 0.25 | | |
| 24 | -1.10 | 13.71 | 20.23 | 9.27 | 5.37 | 4.82 | 1.42 | -2.70 | 5.26 | -2.41 | -4.51 | -9.28 | 2.71 | 4.06 | 0.43 | | |
| 25 | -2.48 | -0.90 | 7.69 | -0.34 | 10.14 | 6.25 | 4.11 | -1.93 | -6.58 | -4.16 | -9.02 | -5.40 | 3.19 | 13.12 | 0.32 | | |
| 26 | 20.29 | 3.09 | -9.29 | 2.45 | -11.03 | 3.99 | -0.10 | 2.33 | -1.96 | 5.49 | 4.60 | -3.67 | -11.98 | 17.63 | 0.35 | | |
| 27 | 24.63 | -2.26 | -9.48 | 8.24 | 9.07 | 5.82 | 4.95 | -0.09 | -4.59 | -1.56 | -8.30 | -16.40 | -3.87 | 24.56 | 0.46 | | |
| 28 | 7.10 | -6.52 | -10.35 | -16.71 | 2.75 | 10.66 | 6.12 | -1.12 | -2.91 | -0.70 | -1.15 | 3.97 | 7.26 | 38.49 | 0.45 | | |
| 29 | -8.12 | -14.12 | -0.18 | -6.70 | -1.39 | 7.36 | 2.37 | 3.55 | -0.72 | -4.12 | -1.50 | 3.04 | 7.48 | 37.28 | 0.43 | | |
| 30 | -7.21 | 5.26 | 9.19 | 8.79 | 4.91 | -1.67 | 7.58 | 3.94 | -2.39 | -3.79 | -6.62 | -4.31 | 0.42 | 15.10 | 0.32 | | |
| 31 | -8.91 | -8.98 | -2.49 | 0.56 | 0.42 | 8.50 | -2.65 | 0.36 | -4.43 | -0.12 | 1.93 | 8.94 | -0.37 | 35.02 | 0.34 | | |
| 32 | 22.01 | 9.02 | -0.56 | 1.95 | 8.37 | 9.20 | 7.54 | 2.47 | -7.26 | -3.20 | -11.98 | -17.76 | -3.74 | 19.90 | 0.48 | | |
| 33 | 8.55 | 0.48 | -6.66 | -7.99 | -5.69 | 8.62 | 5.09 | 3.86 | -0.37 | -0.82 | 1.58 | -5.16 | -4.31 | 21.53 | 0.30 | | |
| 34 | 11.07 | -0.92 | -0.72 | 11.27 | 10.66 | 7.96 | -0.62 | 2.77 | -5.59 | -5.70 | -15.61 | -9.93 | -6.23 | 36.75 | 0.55 | | |

ตารางที่ 4-2 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปริมาณการใช้ค่า Kc ที่ได้จาก NDVI กับปริมาณการใช้ค่า Kc ที่คำนวณโดยใช้ค่า Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน และ RMSE (ต่อ)

| แปลง | ปี | | | | | | | | | | | | | | | | RMSE |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--|------|
| | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | | |
| 35 | 0.63 | -0.33 | 8.94 | 7.50 | 2.93 | -2.35 | -4.32 | -0.52 | -1.75 | -0.31 | -0.06 | 3.09 | 1.41 | -5.06 | 0.20 | | |
| 36 | -1.50 | -4.43 | 0.53 | 0.36 | 4.03 | 8.48 | 5.99 | 4.51 | 1.26 | 0.42 | 1.99 | 2.06 | 13.06 | 39.31 | 0.38 | | |
| 37 | -0.73 | -12.62 | 5.98 | 10.28 | 1.38 | 3.04 | -1.19 | -4.23 | -7.34 | -4.49 | -2.29 | 3.74 | 15.74 | 5.31 | 0.37 | | |
| 38 | -5.76 | 0.63 | -1.46 | -2.91 | 1.77 | 2.57 | 4.85 | 0.01 | -4.27 | -0.67 | 3.80 | -2.64 | -8.62 | 23.23 | 0.26 | | |
| 39 | 14.32 | -13.17 | -13.65 | -0.74 | 6.83 | 9.42 | 8.12 | 2.70 | -2.28 | -2.00 | 1.03 | 5.26 | 20.72 | 26.45 | 0.45 | | |
| 40 | 10.72 | -6.80 | -16.96 | -13.89 | -2.41 | 5.14 | -1.25 | -5.09 | -10.07 | 5.10 | 8.21 | 12.58 | 18.92 | 36.59 | 0.58 | | |
| 41 | -4.91 | 3.47 | 8.36 | -1.29 | -5.16 | 3.40 | 4.36 | 3.82 | -2.49 | 0.81 | -3.48 | -0.76 | -9.92 | 21.20 | 0.25 | | |
| 42 | 5.22 | -8.65 | -12.44 | -12.83 | -14.16 | 0.56 | 2.31 | 3.35 | -3.99 | 1.68 | 6.13 | 4.31 | 24.20 | 32.99 | 0.47 | | |
| 43 | -11.54 | -1.27 | 11.95 | 6.19 | 4.22 | 3.94 | 4.02 | -2.14 | -24.25 | -3.03 | -1.97 | -1.03 | -5.20 | 23.82 | 0.51 | | |
| 44 | -6.43 | 1.60 | -3.95 | -8.68 | -7.09 | 9.06 | 3.05 | 2.48 | -0.70 | 0.98 | -1.22 | 0.30 | -4.11 | 36.05 | 0.35 | | |
| 45 | 7.08 | -13.29 | 18.99 | 8.54 | -0.94 | 6.35 | 2.90 | -1.95 | -4.93 | -2.62 | 2.04 | -8.68 | -0.49 | 21.26 | 0.38 | | |
| 46 | 5.04 | -5.60 | 9.08 | 4.34 | 5.29 | 5.56 | 1.46 | -1.39 | -3.98 | -2.64 | -0.78 | 2.80 | -0.87 | -0.22 | 0.22 | | |
| 47 | -2.07 | -8.04 | -2.57 | 9.00 | 5.45 | 6.58 | -0.26 | -2.55 | -5.98 | -3.21 | -0.46 | 2.87 | 1.12 | 13.76 | 0.26 | | |
| 48 | 10.73 | -7.38 | 2.55 | -5.83 | -7.86 | 6.92 | 2.59 | -2.42 | 1.09 | 0.89 | 5.80 | 3.78 | 14.97 | 4.08 | 0.31 | | |
| 49 | 15.10 | -8.49 | -2.17 | 9.17 | 7.44 | 3.05 | 4.83 | 0.15 | -2.70 | -4.76 | -5.60 | -9.40 | -2.59 | 13.98 | 0.35 | | |

ตารางที่ 4-2 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปริมาณการใช้ค่า Kc ที่ได้จาก NDVI กับปริมาณการใช้ค่า Kc ที่คำนวณโดยใช้ค่า Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน และ RMSE (ต่อ)

| แปลง | สัปดาห์ | | | | | | | | | | | | | | | | RMSE |
|------|---------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|------|--|------|
| | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | | |
| 50 | -6.48 | -21.05 | 4.36 | 6.58 | 3.02 | -1.04 | -2.37 | -5.55 | -3.67 | -1.77 | 0.58 | 6.83 | 17.35 | 27.67 | 0.44 | | |
| 51 | 16.68 | 12.60 | 7.33 | -0.32 | -1.40 | 9.73 | 4.09 | 4.68 | 1.37 | -0.36 | -9.85 | -11.92 | -0.68 | 4.81 | 0.35 | | |
| 52 | -5.62 | -16.81 | 5.38 | 6.93 | 3.60 | -2.18 | -2.78 | -1.63 | -2.19 | -0.94 | 1.65 | -1.63 | 11.29 | 21.18 | 0.33 | | |
| 53 | 9.61 | -8.79 | -11.16 | 2.20 | -1.46 | 8.76 | 4.23 | 5.72 | 0.13 | -1.47 | 2.45 | -1.85 | 13.36 | 14.77 | 0.37 | | |
| 54 | 12.40 | 1.37 | -0.14 | 4.26 | -3.56 | 5.94 | 4.62 | 2.30 | -5.13 | 0.04 | 1.02 | 5.94 | -7.04 | 7.27 | 0.24 | | |
| 55 | -4.96 | -8.58 | -2.76 | 2.56 | 6.21 | -0.66 | 0.25 | 5.86 | -0.80 | -0.92 | -4.62 | -5.68 | 11.79 | 19.83 | 0.28 | | |
| 56 | 2.34 | -14.00 | 1.39 | -6.82 | 2.46 | -4.31 | 6.09 | -3.52 | -4.41 | -1.25 | 4.08 | 8.89 | -4.75 | 28.41 | 0.38 | | |
| 57 | -3.67 | -5.75 | -5.95 | 6.31 | 6.75 | 4.37 | -3.00 | 3.14 | -2.64 | -3.87 | -0.57 | -1.18 | 11.56 | 13.70 | 0.26 | | |
| 58 | 14.71 | -2.63 | -8.33 | -10.19 | -2.55 | 1.19 | 12.35 | 6.05 | -0.82 | -1.88 | 0.52 | 1.70 | -11.61 | 33.57 | 0.43 | | |
| 59 | 24.27 | 27.55 | 17.48 | 9.44 | 11.37 | 6.11 | 0.41 | -2.92 | -9.24 | -10.16 | -9.32 | -17.59 | -2.76 | 9.96 | 0.61 | | |
| 60 | 23.24 | 11.45 | 0.16 | -3.58 | 9.63 | 10.08 | 7.07 | 1.32 | -5.42 | -11.46 | -9.16 | -22.28 | -6.97 | 41.88 | 0.57 | | |
| 61 | -1.78 | 5.39 | 0.30 | 5.16 | 9.97 | 1.89 | 1.32 | -0.32 | 0.26 | -3.30 | 6.46 | 3.74 | -3.42 | 7.16 | 0.22 | | |
| 62 | 8.88 | 6.20 | 4.88 | 2.52 | 8.07 | 5.61 | 4.68 | -3.12 | -5.15 | -3.89 | -1.09 | -16.15 | -15.82 | 30.23 | 0.44 | | |
| 63 | 5.86 | -16.71 | -12.25 | 3.34 | 3.50 | 3.52 | 2.41 | -1.85 | -3.55 | 0.05 | -0.80 | 1.17 | -4.18 | 42.63 | 0.40 | | |
| 64 | 2.02 | 4.53 | 5.13 | 6.43 | 5.72 | 8.33 | 0.04 | -2.05 | -3.54 | -3.01 | 1.01 | 3.00 | -4.36 | -1.00 | 0.24 | | |

ตารางที่ 4-2 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปริมาณการใช้ของพืชที่คำนวณโดยใช้ค่า Kc ที่ได้จาก NDVI กับปริมาณการใช้ของพืชที่คำนวณโดยใช้ค่า Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน และ RMSE (ต่อ)

| แปลง | สัปดาห์ | | | | | | | | | | | | | | | | RMSE |
|------|---------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|------|--|------|
| | ๓ | ๔ | ๕ | ๖ | ๗ | ๘ | ๙ | ๑๐ | ๑๑ | ๑๒ | ๑๓ | ๑๔ | ๑๕ | ๑๖ | ๑๖ | | |
| 65 | -3.07 | -3.11 | -1.64 | -11.40 | -5.12 | -0.15 | -2.12 | -0.72 | -4.24 | 1.77 | 6.68 | 16.57 | 3.51 | 20.54 | 0.41 | | |
| 66 | 16.92 | -2.71 | -11.12 | -2.83 | 7.08 | 12.32 | 5.33 | 4.14 | -4.41 | -0.72 | -1.15 | -10.16 | 3.14 | 25.55 | 0.43 | | |
| 67 | -1.24 | -18.35 | 8.77 | 7.22 | 4.38 | 0.09 | 0.03 | 1.89 | -4.17 | -1.44 | 0.52 | -4.58 | 5.97 | 21.21 | 0.31 | | |
| 68 | 5.94 | -16.74 | 5.99 | 9.55 | 6.79 | 3.92 | 2.85 | 0.45 | -5.14 | -7.53 | -1.09 | -0.43 | -0.66 | 20.69 | 0.33 | | |
| 69 | 5.13 | 13.01 | 8.25 | 11.33 | 7.10 | 4.88 | -1.90 | -5.19 | -4.62 | -1.95 | -1.61 | -13.70 | -9.63 | 9.27 | 0.37 | | |
| 70 | -6.88 | -4.95 | 12.89 | 1.04 | 0.80 | -0.54 | -2.29 | -0.73 | 3.04 | 0.15 | 0.41 | -0.73 | 8.59 | 7.94 | 0.27 | | |
| 71 | -0.17 | -7.46 | -7.46 | 4.19 | -0.07 | 4.08 | 4.85 | 1.65 | -4.45 | 0.16 | 2.17 | 8.23 | 3.16 | 18.91 | 0.26 | | |
| 72 | 12.71 | 11.43 | 0.56 | 4.84 | -1.60 | 5.73 | 12.18 | 7.71 | -0.16 | 1.89 | -5.47 | -5.55 | -6.47 | 13.26 | 0.32 | | |
| 73 | 12.17 | 11.41 | 3.64 | -2.33 | 14.04 | 9.64 | 6.83 | 3.62 | -2.84 | 1.09 | -1.26 | -4.75 | -10.85 | 12.65 | 0.38 | | |
| 74 | -5.46 | -16.12 | 0.21 | -0.93 | -3.77 | -3.52 | -5.30 | 5.79 | 1.99 | 3.53 | 1.73 | 1.24 | 4.17 | 58.30 | 0.46 | | |
| 75 | 6.75 | 0.29 | -13.39 | -22.14 | -8.13 | -10.55 | 3.70 | 4.21 | -3.12 | 2.26 | 3.14 | 9.77 | 11.87 | 62.03 | 0.66 | | |
| 76 | -11.87 | -6.40 | -9.12 | -0.72 | 1.66 | 2.20 | 4.98 | 0.11 | -1.80 | -2.31 | -0.59 | -2.42 | 13.14 | 32.11 | 0.35 | | |
| 77 | -3.51 | -4.33 | -7.97 | -15.66 | 4.83 | 2.44 | 6.45 | 0.06 | 0.71 | -2.10 | -4.78 | -2.36 | 3.43 | 56.10 | 0.51 | | |
| 78 | 5.09 | -7.32 | -15.05 | -12.87 | 5.14 | 6.68 | 3.54 | 2.73 | -4.46 | -1.37 | 0.84 | -2.83 | 2.26 | 47.97 | 0.47 | | |
| 79 | 19.69 | -3.33 | -10.18 | -5.85 | -0.58 | 9.67 | 10.25 | 6.59 | -4.53 | -0.43 | 5.79 | 0.48 | 6.59 | 15.24 | 0.39 | | |

ตารางที่ 4-2 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปริมาณการใช้ของพืชที่คำนวณโดยใช้ค่า Kc ที่ได้จาก NDVI กับปริมาณการใช้ของพืชที่คำนวณโดยใช้ค่า Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน และ RMSE (ต่อ)

| แปลง | ลำดับที่ | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|----------|-------|--------|--------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|--|
| | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | RMSE | |
| 80 | 9.29 | -6.14 | -13.33 | -12.94 | -6.90 | 8.76 | 3.63 | 6.22 | 0.24 | -4.33 | 3.46 | -2.71 | 9.59 | 38.67 | 0.48 | |
| ค่าเฉลี่ย | 6.40 | -3.45 | -1.98 | -0.14 | 2.20 | 4.63 | 3.43 | 1.39 | -3.22 | -1.99 | -1.31 | -3.34 | 0.57 | 25.69 | 0.24 | |



บทที่ 5

อภิปราย สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 อภิปรายผลการศึกษา

ผลที่ได้จากการวิจัยแสดงให้เห็นถึงความสามารถของเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลจากภาพถ่ายดาวเทียมในการนำข้อมูลค่าดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์หลายช่วงเวลานำมาประยุกต์ใช้ในการติดตามและประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชในรูปแบบเชิงพื้นที่ของช่วงเวลาต่างๆ โดยการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชข้าวโดยใช้ NDVI จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมร่วมกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ด้วยสมการ Penman-Monteith เป็นวิธีที่ค่อนข้างมีความแม่นยำสูง โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าปริมาณการใช้น้ำที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม NOAA กับค่าปริมาณการใช้น้ำที่ได้จากถังวัดการใช้น้ำของข้าว (Lysimeter) ตลอดฤดูกาลเพาะปลูกข้าว พบว่าค่าที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมให้ค่าที่มีความสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันกับค่าปริมาณการใช้น้ำที่ได้จากถังวัดการใช้น้ำของข้าว โดยมีความแตกต่างอยู่ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม NOAA ให้ความละเอียดเชิงพื้นที่ต่ำโดยมีความละเอียดจุดภาพอยู่ที่ 1 กม. ไม่เหมาะสมต่อการศึกษาพื้นที่แปลงนาขนาดเล็ก จึงส่งผลทำให้มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น (Amin and Hassan, 2005) วิธีการประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช สามารถคำนวณได้โดยการนำค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชในช่วงระยะการเจริญเติบโตต่างๆ คูณร่วมกับปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o) ของพื้นที่ต่างๆ (Reyes-González *et al.*, 2018) ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้พัฒนาค่าสัมประสิทธิ์พืชเชิงพื้นที่ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น โดยการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่า NDVI จากภาพถ่ายดาวเทียมกับค่าสัมประสิทธิ์พืช

จากภาพที่ 4-5 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้พบว่า ในสัปดาห์ที่ 3-5 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะกล้า ปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI มีค่าอยู่ระหว่าง 3.11 – 4.40 ข้าวในระยะนี้มีปริมาณความต้องการใช้น้ำที่ต่ำเนื่องจากเป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะเริ่มต้นของการเจริญเติบโตทางลำต้นและมีแนวโน้มของปริมาณการใช้น้ำที่ค่อยๆเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 6-10 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะแตกกอ ปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI มีค่าอยู่ระหว่าง 5.02 – 6.23 ข้าวที่เพาะปลูกในระยะนี้ยังคงมีการสร้างหน่อใหม่หลังจากข้าวตั้งตัวได้เป็นกระบวนการเจริญเติบโตทางลำต้นจึงทำให้ยังคงมีค่าปริมาณความต้องการใช้น้ำที่สูงอย่างต่อเนื่องในสัปดาห์ที่ 11-14 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะตั้งท้องถึงระยะออกดอก โดยในระยะนี้พืชข้าวมีความต้องการใช้น้ำสูงสุดตลอดฤดูกาลเพาะปลูก พบว่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI มีค่าอยู่ระหว่าง 5.53 – 6.13 แต่ยังคงมี

ค่าที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน สาเหตุเนื่องมาจากข้าวที่อยู่ในระยะตั้งท้องและออกดอก เป็นระยะการเจริญเติบโตเต็มที่ของต้นข้าว โดยข้าวที่อยู่ในช่วงของระยะนี้พื้นที่แปลงนามีความจำเป็นต้องมีน้ำอยู่ในพื้นที่ตลอดเวลาเพื่อให้ข้าวสร้างเมล็ดอย่างสมบูรณ์ จึงมีการสูบน้ำจากแหล่งน้ำชลประทานเข้าสู่พื้นที่แปลงนาในปริมาณที่สูงและความต่อเนื่องกัน รวมถึงการเจริญเติบโตข้าวระยะนี้จะมีความเขียวของพืชพรรณลดลงจึงส่งผลให้การบันทึกข้อมูลค่าการสะท้อนพื้นผิวแปลงนาข้าวในช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรดต่ำกว่าช่วงคลื่นสีแดงทำให้ค่า NDVI ที่ได้ มีค่าที่ต่ำกว่ากว่าปกติในช่วงระยะเวลาดังกล่าว และช่วงในสัปดาห์ที่ 15-16 เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะสุกแก่ถึงระยะเก็บเกี่ยวสามารถเตรียมเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ ปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI มีค่าอยู่ระหว่าง 1.08 – 0.82 จากภาพที่ 4-5 พบว่าในสัปดาห์ที่ 16 ปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI เป็นช่วงที่มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างกันสูงที่สุดถึง 25.69 เมื่อเทียบกับค่าที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน จากการศึกษาวิจัยของกรมชลประทานพบว่าข้าวอยู่ในระยะเก็บเกี่ยวเป็นระยะที่ข้าวไม่มีความต้องการใช้น้ำจึงส่งผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชที่ได้จากแปลงทดลองมีค่าที่ต่ำ ในขณะที่ค่า Kc ที่ได้จาก NDVI ให้ค่าที่สูงกว่า สาเหตุเนื่องมาจากข้าวในช่วงระยะเก็บเกี่ยว ถึงแม้เมล็ดของข้าวในระยะนี้จะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทำให้มีความเขียวของพืชพรรณที่ลดต่ำลง แต่ในบริเวณพื้นที่แปลงนายังคงมีต้นข้าวครอบคลุมพื้นที่หนาแน่น ส่งผลให้เมื่อมีบันทึกข้อมูลค่าการสะท้อนพื้นผิวแปลงนา ของช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรดยังคงให้ค่าที่สูงกว่าช่วงคลื่นสีแดง ทำให้ค่า NDVI ที่ได้มีค่าที่สูงขึ้นกว่าปกติ (Jensen, 2007) เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของปริมาณการใช้น้ำตลอดฤดูกาลเพาะปลูกของกลุ่มตัวอย่างแปลงนา 80 แปลง คิดเป็นพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 400.45 ไร่หรือ 640,712.66 ตารางเมตร พบว่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI มีค่า 72.72 มม./วัน และคิดเป็นปริมาตรน้ำที่ใช้ 326,141 ลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน มีค่า 71.96 มม./วัน และคิดเป็นปริมาตรน้ำที่ใช้ 322,739 ลูกบาศก์เมตร โดยมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง 1.05

จากผลการตรวจสอบความถูกต้องรายแปลงโดยวิธีการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI จากกลุ่มตัวอย่างแปลงนาทั้งหมด 80 แปลงกับค่าที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน พบว่าแปลงที่ 35 ให้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องสูงสุด มีค่า RMSE 0.20 พื้นที่ของแปลงนาตั้งอยู่ใน อ.เมืองลพบุรี จ.ลพบุรี มีขนาดพื้นที่ประมาณ 5.32 ไร่ เมื่อพิจารณาตามช่วงระยะการเจริญเติบโตของข้าวรายสัปดาห์ พบว่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI กับค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน ให้ผลลัพธ์ที่มีความสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยในช่วงสัปดาห์ที่ 5-7 โดยปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI ให้ค่าที่สูงกว่าและในช่วงสัปดาห์ที่ 9-10 ปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก

NDVI ให้ค่าที่ต่ำกว่า ในขณะที่แปลงที่ 75 ให้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องต่ำสุด มีค่า RMSE 0.66 พื้นที่ของแปลงนาตั้งอยู่ใน อ.ดอนพุด จ.สระบุรี มีขนาดพื้นที่ประมาณ 5.86 ไร่ ให้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องต่ำที่สุด เมื่อพิจารณาตามช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตในแต่ละสัปดาห์พบว่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI กับค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน พบว่าในช่วงสัปดาห์ที่ 5-8 โดยปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI ให้ค่าที่ค่อนข้างต่ำกว่าอย่างเห็นได้ชัดและในช่วงสัปดาห์ที่ 12-16 ปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI มีค่าที่ค่อนข้างสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน โดยลักษณะทางกายภาพของพื้นที่แปลงนาที่ตั้งอยู่ในเขตชลประทานของกลุ่มน้ำเจ้าพระยา พบว่ามีลักษณะทางกายภาพของสภาพภูมิประเทศที่มีความใกล้เคียงกัน ไม่มีความแตกต่างกันมากนักในกลุ่มตัวอย่างแปลงนาแต่ละแปลง สภาพพื้นที่มีลักษณะค่อนข้างเป็นที่ราบ โดยพื้นที่การเกษตรที่มีความเหมาะสมต่อการเพาะปลูกของในบริเวณกลุ่มน้ำเจ้าพระยาส่วนใหญ่จะครอบคลุมบริเวณที่ราบลุ่มน้ำทั้งตอนบนและตอนกลางเกือบทั้งหมด มีระบบส่งน้ำจากโครงการชลประทานให้แก่พื้นที่ทางการเกษตร มีพื้นที่เกษตรที่มีศักยภาพในการเพาะปลูกข้าวต่อพื้นที่การเกษตรทั้งหมดถึงร้อยละ 90.44 (สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร, 2555) โดยค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมีสาเหตุมาจากคุณภาพของข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมที่มีส่วนสำคัญ เนื่องจากดาวเทียม Sentinel-2 ยังมีข้อจำกัดในด้านสภาวะอากาศที่ไม่สามารถรับข้อมูลได้ในฤดูฝนหรือมีเมฆหมอกบดบัง เมื่อพิจารณาแปลงที่นา 35 พบว่าในช่วงระยะเวลาการบันทึกภาพตลอดฤดูกาลเพาะปลูกในบริเวณพื้นที่ดังกล่าว เป็นช่วงที่มีสภาพอากาศที่ค่อนข้างโปร่งใส ไม่มีการบดบังจากเมฆหรือหมอก จึงทำให้ได้ข้อมูลค่าการสะท้อนพื้นผิวของพื้นที่แปลงนาตามช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตตามจริง เมื่อนำค่า NDVI ไปใช้ในการพัฒนาค่า Kc เชิงพื้นที่และคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชจึงส่งผลทำให้ข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมมีความถูกต้อง และมีความแม่นยำที่สูง ในขณะที่แปลงนาที่ 75 ให้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน พบว่าในช่วงระยะเวลาการบันทึกภาพตลอดฤดูกาลเพาะปลูกของพื้นที่แปลงนาดังกล่าว มีสภาพอากาศที่ถูกปกคลุมและบดบังด้วยเมฆหมอกจึงส่งผลให้ข้อมูลค่าการสะท้อนพื้นผิวของพื้นที่แปลงนาตามช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตต่างๆ ให้ค่าสูงที่กว่าหรือต่ำกว่าความเป็นจริงและเมื่อนำข้อมูล NDVI ที่ได้ไปใช้ในการพัฒนาค่า Kc เชิงพื้นที่และคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชจึงทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากมีความคลาดเคลื่อนที่สูงขึ้น

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าทางสถิติของแปลงนาที่ 75 ถึงแม้ผลลัพธ์ที่ได้จะมีความถูกต้องต่ำสุด แต่พบว่าจากการหาความสัมพันธ์ระหว่าง NDVI กับค่า Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น มีค่า R-Squared 0.72 โดยค่า R-Squared ที่มากกว่า 0.70 ขึ้นไปแสดงถึงความสัมพันธ์ที่มีความสอดคล้องกันข้อมูลกับแบบจำลองที่สูง (Moore *et al.*, 2013)

และเมื่อพิจารณากราฟแสดงปริมาณการใช้น้ำของพืชในพื้นที่แปลงนาที่ 75 ตลอดฤดูกาลเพาะปลูก ทั้ง 14 สัปดาห์ พบว่าค่าปริมาณการใช้น้ำที่ได้ยังคงมีความสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันกับค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน

5.2 สรุปผล

การประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช มีวิธีการประเมิน 2 วิธี คือการทำการทดลองโดยใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำ (Lysimeter) ในแปลงเพาะปลูกพืช ซึ่งเป็นถังวงบ่อซีเมนต์ เพื่อคำนวณปริมาณน้ำที่ให้แก่ถังที่เพาะปลูกพืชแต่ละถัง โดยทำการบันทึกการใช้น้ำทุกๆ สัปดาห์ตั้งแต่ระยะเริ่มต้นจนถึงระยะเก็บเกี่ยวและการใช้แบบจำลองของ Penman-Monteith ที่ออกแบบมาโดยการนำค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Kc) ในช่วงการเจริญเติบโตของพืชแต่ละสัปดาห์คูณร่วมกับค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o) จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำของพืชที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่ได้จาก NDVI กับปริมาณการใช้น้ำของพืชที่คำนวณโดยใช้ Kc ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน พบว่าปริมาณการใช้น้ำของพืชตลอดฤดูกาลเพาะปลูกให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง 1.05 และมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยในรายสัปดาห์ โดยผลที่ได้จากการศึกษาวิจัยแสดงถึงความสามารถของเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลจากภาพถ่ายดาวเทียมที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการติดตามและประมาณค่าการใช้น้ำของพืชได้ เนื่องจากข้าวนาปรังเป็นข้าวที่เพาะปลูกนอกฤดูกาลทำนาปกติ ต้องอาศัยแหล่งน้ำในเขตชลประทานเป็นหลักและข้าวที่เพาะปลูกในพื้นที่ที่มีช่วงการเจริญเติบโตที่ไม่เท่ากัน จึงส่งให้ปริมาณการใช้น้ำของพืชของพื้นที่ในแต่ละช่วงระยะเวลาไม่คงที่ การนำเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลจากภาพถ่ายดาวเทียมมาประยุกต์ใช้ในการประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชในรูปแบบเชิงพื้นที่ตามช่วงระยะเวลาต่างๆ สามารถช่วยประโยชน์ในการบริหารและจัดสรรทรัพยากรน้ำต้นทุนที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดความเหมาะสมต่อความต้องการใช้น้ำของพืชในพื้นที่และเกิดประสิทธิภาพสูงสุด อย่างไรก็ตามในการใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ยังมีข้อจำกัดในด้านสภาพอากาศ เนื่องจากไม่สามารถบันทึกข้อมูลทะเลเมฆได้จึงอาจจะส่งผลให้ข้อมูลในบริเวณพื้นที่ที่มีเมฆหรือหมอกบดบังเกิดความคลาดเคลื่อน โดยผลลัพธ์ที่ได้อาจจะให้ค่าที่สูงหรือต่ำกว่าความเป็นจริงได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรเพิ่มการศึกษาในช่วงการเพาะปลูกข้าวนาปีหรือในพืชชนิดอื่นๆ ในพื้นที่ศึกษาเพื่อสามารถพัฒนาการประเมินการใช้น้ำของพืชในบริเวณพื้นที่ทั้งหมดได้

5.3.2 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ยังมีข้อจำกัดในด้านสภาพอากาศ หากมีเมฆหรือหมอกบดบังพื้นที่ในช่วงเวลาการบันทึกข้อมูล จะส่งผลให้ข้อมูลที่บันทึกเกิดความคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นสามารถใช้ข้อมูลดาวเทียมดวงอื่นเพิ่มเติม

5.3.3 ควรศึกษาดัชนีอื่นๆเพิ่มเติม นอกจากดัชนีผลต่างพีชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์เนื่องจาก ปริมาณน้ำในแปลงนาส่งผลต่อค่าดัชนีผลต่างพีชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์





จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บรรณานุกรม

- Alface, A., Pereira, S., Filgueiras, R., & Cunha, F. (2019). Sugarcane spatial-temporal monitoring and crop coefficient estimation through NDVI. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23, 330-335. doi:10.1590/1807-1929/agriambi.v23n5p330-335
- Baillarin, S. J., Meygret, A., Dechoz, C., Petrucci, B., Lacherade, S., Tremas, T., . . . Spoto, F. (2012). Sentinel-2 Level 1 Products and Image Processing Performances. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXIX-B1, 197-202. doi:10.5194/isprsarchives-XXXIX-B1-197-2012
- Dalla Marta, A., Chirico, G. B., Falanga Bolognesi, S., Mancini, M., D'Urso, G., Orlandini, S., . . . Altobelli, F. (2019). Integrating Sentinel-2 Imagery with AquaCrop for Dynamic Assessment of Tomato Water Requirements in Southern Italy. *Agronomy*, 9(7). doi:10.3390/agronomy9070404
- David Moore, William I. Notz, & Michael A. Fligner. (2013). *The basic practice of statistics* (6th ed.).
- Gabriel B. Senay, MacKenzie Friedrichs, Ramesh K. Singh, & Naga Manohar Velpuri. (2016). Evaluating Landsat 8 evapotranspiration for water use mapping in the Colorado River Basin.
- Hargreaves, G. H., & Z.A. Samani. (1985). Reference Crop Evapotranspiration from Ambient Temperature.
- Hodam, S., Sarkar, S., Marak, A. G. R., Bandyopadhyay, A., & Bhadra, A. (2017). Spatial Interpolation of Reference Evapotranspiration in India: Comparison of IDW and Kriging Methods. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 98(4), 511-524. doi:10.1007/s40030-017-0241-z
- Jensen, J. R. (2007). *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*: Pearson Prentice Hall.
- Kalma, J. D., McVicar, T. R., & McCabe, M. F. (2008). Estimating Land Surface Evaporation: A Review of Methods Using Remotely Sensed Surface Temperature Data.

- Surveys in Geophysics*, 29(4-5), 421-469. doi:10.1007/s10712-008-9037-z
- Kamble, B., Kilic, A., & Hubbard, K. (2013). Estimating Crop Coefficients Using Remote Sensing-Based Vegetation Index. *Remote Sensing*, 5(4), 1588-1602. doi:10.3390/rs5041588
- Karnieli, A. (2003). Natural vegetation phenology assessment by ground spectral measurements in two semi-arid environments. *Int J Biometeorol*, 47(4), 179-187. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12707836>. doi:10.1007/s00484-003-0169-z
- Konstantinos Chartzoulakis, & Maria Bertaki. (2015). Sustainable Water Management in Agriculture under Climate Change. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4, 88-98. doi:10.1016/j.aaspro.2015.03.011
- Mauricio Gonzalez Betancourt, & Zaira Liceth Mayorga-Ruiz. (2018). Normalized difference vegetation index for rice management in El Espinal, Colombia. *Dyna*, 85(205), 47-56. doi:10.15446/dyna.v85n205.69516
- Mosleh, M. K., Hassan, Q. K., & Chowdhury, E. H. (2015). Application of remote sensors in mapping rice area and forecasting its production: a review. *Sensors (Basel)*, 15(1), 769-791. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25569753>. doi:10.3390/s150100769
- Plan Bleu. (2009). Etat de l'environnement et du développement en Méditerranée.
- Reyes-González, A., Kjaersgaard, J., Trooien, T., Hay, C., & Ahiablame, L. (2018). Estimation of Crop Evapotranspiration Using Satellite Remote Sensing-Based Vegetation Index. *Advances in Meteorology*, 2018, 1-12. doi:10.1155/2018/4525021
- Richard G Allen, L. S. Pereira, D. Raes, & Smith, M. (1998). FAO Irrigation and drainage paper No. 56.
- Rouse, J. W., Jr., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA Special Publication*, 351, 309.
- Russell G. Congalton, & Kass Green. (2008). *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*.
- Stan D. Wullschleger, F. C. Meinzer, & R. A. Vertessy. (1998). A review of whole-plant water use studies in tree *Tree Physiology*, 18(8-9), 499-512.

- Tsouni A., & Koutsogiannis D. (2003). The contribution of remote sensing techniques to the estimation of Evapotranspiration: the case of Greece.
- Upadhyaya, A. (2015). Water management technologies in agriculture: Challenges and opportunities.
- Wang, L., Zhang, F.-c., Jing, Y.-s., Jiang, X.-d., Yang, S.-b., & Han, X.-m. (2014). Multi-Temporal Detection of Rice Phenological Stages Using Canopy Spectrum. *Rice Science*, 21(2), 108-115. doi:10.1016/s1672-6308(13)60170-5
- กรมชลประทาน. (2554ก). คู่มือการหาปริมาณการใช้น้ำของพืช ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงและค่าสัมประสิทธิ์พืช.
- กรมชลประทาน. (2554ข). ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงโดยวิธีของ *Penman - Monteith*.
- กรมชลประทาน. (2555). ค่าสัมประสิทธิ์พืชโดยวิธี *Penman - Monteith*.
- จำรัส โปร่งศิริวัฒนา. (2534). ความรู้เกี่ยวกับข้าว. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยข้าวกรมวิชาการเกษตร.
- ณัฐธยาน์ นามอินทร์, เกศวรา สิริโชค และชูพันธุ์ ชมภูจันทร์. (2562). การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำพืช (Kc) ของข้าวนาหว่านน้ำตาม โดยใช้ดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายดาวเทียมหลายช่วงเวลา. วารสารสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศศาสตร์แห่งประเทศไทย, 20, 331-334.
- ประภาพร พลอยยอด. (2550). ผลของการเปลี่ยนแปลงชนิดพืชต่อความสมดุลน้ำในโครงการพัฒนาลุ่มน้ำพะเยียงตอนบน. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
- พลัญญ์ ปาจิตร, สรวิต สุขเวชย์ และอนุเผ่า ออบแพทย์. (2562). การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชเกษตรกรรมในเขตพื้นที่ชลประทานฝายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 1 (เขื่อนวังร่มเกล้า) โครงการชลประทานอุทัยธานีโดยใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล.
- มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (2561). คู่มือปฏิบัติการระบบสารสนเทศศาสตร์สำหรับวิศวกรเหมืองแร่. Retrieved from http://mining.eng.cmu.ac.th/site/wp-content/uploads/2018/10/GIS4MN_ch6.pdf
- วรารุช วุฒินิชย์ และพีระชาติ อุดาการ. (2546). การศึกษาหาค่าปริมาณการใช้น้ำและสัมประสิทธิ์การใช้น้ำขององุ่น. วิศวกรรมสาร มก, 54-65.
- สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร. (2555). โครงการพัฒนาระบบคลังข้อมูล 25 ลุ่มน้ำ.
- สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. (2542). ทะเบียนพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความสำคัญระดับนานาชาติและระดับชาติ ของประเทศไทย.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

| | |
|-------------------|--|
| ชื่อ-สกุล | นายณัฐพล เย็นสกุลสุข |
| วัน เดือน ปี เกิด | 9 ตุลาคม 2534 |
| สถานที่เกิด | กรุงเทพมหานคร |
| วุฒิการศึกษา | วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศศาสตร์ คณะภูมิสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา |
| ที่อยู่ปัจจุบัน | 47/25 ม.6 ต.บางกรวย อ.บางกรวย จ.นนทบุรี 11130 |
| ผลงานตีพิมพ์ | ณัฐพล เย็นสกุลสุข และรังทิศ ฉายากุล. (2563). การประมาณค่าปริมาณ การใช้น้ำของข้าวแบบนาหว่านน้ำตมในเขตพื้นที่ชลประทานของกลุ่มน้ำ เจ้าพระยา โดยใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล. การประชุมวิชาการ วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25. 15-17 กรกฎาคม 2563. |