**โครงงานวิศวกรรมชลประทาน**

**(02207499)**

**ที่ 11/2562**

**เรื่อง**

# ปริมาณความต้องการน้ำและค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ระบบปลูกข้าว กข 41

## กรณีศึกษา : พื้นที่ปลูกข้าว กข 41 อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม

## Crop water requirement and Water footprint of RD 41 Rrice cultivation system

## A case study : RD 41 rice cultivation area in Bang Len District, Nakhon Pathom Province


**โดย**

**นายธนาธร เรืองหิรัญวนิช 5920503114**

**นายพสิษฐ์ นาคทอง 5920503190**


**เสนอ**


**ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน**

**คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน**

**มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม**


**เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา-ชลประทาน)**

**พุทธศักราช 2562**

**ใบรับรองโครงงานวิศวกรรมชลประทาน**

**ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน**

**คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน**

**เรื่อง** ปริมาณความต้องการน้ำและค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ระบบปลูกข้าว กข 41

กรณีศึกษา : พื้นที่ปลูกข้าว กข 41 อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม

**Title** Crop water requirement and Water footprint of RD 41 Rice cultivation system

A case study : RD 41 rice cultivation area in Bang Len District, Nakhon Pathom Province

**รายนามผู้ทำโครงงาน** นายธนาธร เรืองหิรัญวนิช

นายพสิษฐ์ นาคทอง

**ได้รับการพิจารณาเห็นชอบโดย**

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน .....

(รศ.ดร.ชัยศรี สุขสาโรจน์)

.....02..../.....05..../...63.....

กรรมการ .....

(อ.ดร.ทรงศักดิ์ ภัทราวุฒิชัย)

....02...../....05...../....63....

กรรมการ .....

(อ.ดร.เกศวรา สิทธิโชค)

....04...../.....05..../....63....

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผศ.นิมิตร เฉิดฉันท์พิพัฒน์)

...../...../.....

**บทคัดย่อ**

**ชื่อเรื่อง** : ปริมาณความต้องการน้ำและค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ระบบปลูกข้าว กข 41

กรณีศึกษา : พื้นที่ปลูกข้าว กข 41 อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม

**โดย** : นายธนาธร เรืองหิรัญวนิช

นายพสิษฐ์ นาคทอง

**อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน** : .....

(รศ.ดร.ชัยศรี สุขสาโรจน์)

.....02.../....05..../....63....

ระบบปลูกข้าวปกติจะใช้น้ำปริมาณมาก และการใช้น้ำในระบบปลูกข้าวส่งผลต่อค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ซึ่งเป็นค่าที่แสดงการใช้ทรัพยากรน้ำและผลกระทบด้านคุณภาพน้ำต่อผลผลิตที่ได้ การคำนวณปริมาณการใช้น้ำของข้าวสามารถทำได้โดยการประเมินทางทฤษฎีและการลงสำรวจเก็บข้อมูลจากพื้นที่ปลูกจริง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณความต้องการน้ำและค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของระบบปลูกข้าว กข 41 ในเขต พื้นที่อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม ในปี พ.ศ.2561-2562 โดยจะอธิบายเปรียบเทียบค่าปริมาณความ ต้องการน้ำทางทฤษฎีและการลงพื้นที่สำรวจ การคำนวณทางทฤษฎีจะใช้สูตรของ Penman-Monteith ผ่านซอฟแวร์สำเร็จรูปคือ CWR-RID , CROPWAT 8 และการคำนวณโดยตรง โดยพบว่าปริมาณความต้องการน้ำทางทฤษฎีของข้าวที่ได้มีค่าแตกต่างกันเนื่องจากข้อจำกัดหรือเงื่อนไขของแต่ละซอฟแวร์ และผลจากการ สำรวจการใช้น้ำในระบบปลูกข้าวในพื้นที่จริงพบว่ามีการใช้น้ำชลประทานระดับแปลงนาสูงกว่าที่คำนวณได้ ทางทฤษฎีร้อยละ 20 ถึง 50 และเมื่อนำค่าความต้องการใช้น้ำทางทฤษฎีไปคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ พบว่ามีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวอยู่ระหว่าง 550 ถึง 650 ลูกบาศก์เมตรต่อตันข้าวเปลือก ค่าวอเตอร์ฟุตพ ริ้นท์สีน้ำเงินอยู่ระหว่าง 500 ถึง 800 ลูกบาศก์เมตรต่อตันข้าวเปลือก และมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทาเท่ากับ 823.88 ลูกบาศก์เมตรต่อตันข้าวเปลือก ในขณะที่ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมมีค่าอยู่ระหว่าง 1,900 ถึง 2,200 ลูกบาศก์เมตรต่อตันข้าวเปลือก ซึ่งน้อยกว่าค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมที่คำนวณจากค่าเฉลี่ยการให้น้ำชลประทานจริงซึ่งมีค่าเท่ากับ 2,405.37 ลูกบาศก์เมตรต่อตันข้าวเปลือก



**คำสำคัญ** : วอเตอร์ฟุตพริ้นท์; ข้าว กข 41; ปริมาณความต้องการน้ำ; ระบบปลูกข้าว; CWR-RID; CROPWAT

# Abstract

**Title** : Crop water requirement and Water footprint of RD 41 rice cultivation system

A case study : RD 41 rice cultivation area in Bang Len District, Nakhon Pathom Province

**By** : Mr.Thanathorn Ruenghirunwanit

Mr.Phasit Nakthong

**Project Adviser** : .....

. (Assoc.Prof.Dr. Chaisri Suksaroj)

.....02..../...05...../...2020....

The rice planting system normally uses a lot of water. Water use in the rice planting system affects the water footprint, which shows the use of water resources and the impact on water quality on the yield. The calculation of rice planting water requirement can use a theoretical evaluation and collect data from actual planting areas. The objective of this research is to study the water requirement and water footprint of the rice planting system, RD 41 in Bang Len District, Nakhon Pathom Province in the year 2018-2019. The comparing of theoretical water requirement by using the formula of Penman-Monteith Through CWR-RID, CROPWAT 8 software and direct calculation were discussed with the actual average value from data surveying. It was found that the theoretical water requirement of rice obtained has different values due to limitations or conditions of each software. The irrigation water use on-farm was 20 to 50% higher than the theoretical calculated. Therefore, the green, blue and gray water footprint value which was calculated from the theoretical are 550 to 650 $m^3$/ton of paddy, 500 to 800 $m^3$/ton of paddy and 823.88 $m^3$/ton of paddy, respectively. The total water footprint is between 1,900 and 2,200 $m^3$/ton of paddy, which is less than the total water footprint calculated from the average on-farm irrigation water 2,405.37 $m^3$/ton of paddy.

**Keyword** : Water Footprint; RD 41 Rice; Crop Water Requirement**;** Rice planting system; CWR-RID; CROPWAT

# กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำโครงงานวิศวกรรมชลประทานสำเร็จลุล่วงด้วยดีนั้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร. ชัยศรี สุขสาโรจน์ ที่ปรึกษาโครงงานวิจัย ที่ได้ให้คำปรึกษาแนวทางในการจัดทำงานวิจัย กระบวนการสืบค้นข้อมูล ค่าใช้จ่ายในงานวิจัย การวิเคราะห์ผล การสรุปผล การเสนอแนวทางการแก้งานวิจัยในการนำไปศึกษาต่อ และการเขียนเล่มวิจัยให้มีความสมบูรณ์พร้อมแก่การนำไปเผยแพร่ เพื่อเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจ ผู้ที่ต้องการนำข้อมูลไปใช้งานจริงและผู้ที่ต้องการนำข้อมูลไปพัฒนาต่อยอด รวมถึงขอบคุณกรรมการการสอบ อ.ดร.ทรงศักดิ์ ภัทราวุฒิชัย และ อ.ดร.เกศวรา สิทธิโชค ที่ได้ให้คำแนะนำแนวทางในการปรับแก้โครงงานวิจัยให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น

ขอบคุณสถานีอุตุนิยมวิทยานครปฐม อำเภอ กำแพงแสน ที่อนุเคราะห์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาสำหรับการคำนวณปริมาณความต้องการน้ำของข้าว

ขอบคุณสำนักงานเกษตรอำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม ที่อนุเคราะห์ข้อมูลของเกษตรกรและข้อมูลผลผลิตข้าวในพื้นที่อำเภอบางเลนตลอดจนการติดต่อประสานงานกับเกษตรกรในการลงพื้นที่สำรวจและเก็บข้อมูลจากเกษตรกรคำนวณเพื่อนำไปคำนวณปริมาณการใช้น้ำและค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าว

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบิดา มารดา ที่คอยสนับสนุนค่าใช้จ่ายในงานวิจัย และภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน คณะกรรมการ คณาจารย์และบุคลากรทุกท่านที่ให้คำปรึกษาตลอดการทำโครงงานนี้ทำให้เกิดความสมบูรณ์ของโครงงานวิศวกรรมชลประทานในเล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

**ผู้จัดทำ**

นายธนาธร เรืองหิรัญวนิช

นายพสิษฐ์ นาคทอง

26 เมษายน 2563

# สารบัญ


สารบัญ ..... VI
สารบัญภาพ ..... VII
สารบัญตาราง ..... VII
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... IIX
1 บทนำ ..... 1
1.1. วัตถุประสงค์ของโครงงาน ..... 2
1.2. ขอบเขตของโครงงาน ..... 2
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ..... 3
2.1. ลักษณะพื้นที่ศึกษา ..... 3
2.2. การกำหนดขนาดกลุ่มจำนวนประชากร ..... 4
2.3. การประเมินวัฏจักรชีวิต (LIFE CYCLE ASSESSMENT , LCA) ..... 5
2.4. การคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืช ..... 5
2.4.1. การคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) ..... 5
2.4.2. ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop coefficient, Kc) ..... 6
2.4.3. ค่าสัมประสิทธิ์ของข้าว ..... 7
2.5. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (WATER FOOTPRINT) ..... 9
2.5.1. ประเภทของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ..... 9
2.5.2. การคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ..... 9
3 เครื่องมือที่ใช้ในการทำโครงงาน ..... 11
3.1. โปรแกรมที่ใช้คำนวณการใช้น้ำของพืช ..... 11
3.1.1. โปรแกรม CROPWAT 8.0 ..... 11
3.1.2. โปรแกรม CWR-RID ..... 12
4 วิธีการดำเนินโครงงาน ..... 13
5 ผลการดำเนินโครงงานและวิจารณ์ ..... 19
6 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ ..... 32
7 บรรณานุกรม ..... 33
8 ภาคผนวก ..... 34
ประวัตินิสิต ..... 47

# สารบัญภาพ

รูปที่ 1 แผนที่ตั้ง อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม ..... 3
รูปที่ 2 แสดง ICON โปรแกรม CROPWAT 8.0 และ CLIMWAT 2.0 ..... 11
รูปที่ 3 แสดงรูปแบบภายในโปรแกรม CROPWAT 8.0 ..... 11
รูปที่ 4 แสดง ICON โปรแกรม CWR-RID ..... 12
รูปที่ 5 แสดงรูปแบบภายในโปรแกรม CWR-RID ..... 12
รูปที่ 6 ขอความอนุเคราะห์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากสถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอกำแพงแสน ..... 13
รูปที่ 7 ส่งมอบหนังสือจากภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน ถึงสำนักงานเกษตรอำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม เพื่อขอข้อมูลเกษตรกรในพื้นที่ และประสานงานกับเกษตรกรก่อนลงพื้นที่สำรวจ ..... 13
รูปที่ 8 การลงพื้นที่สัมภาษณ์ชาวนา ..... 14
รูปที่ 9 การลงพื้นที่เก็บตัวอย่างน้ำ ..... 14
รูปที่ 10 ทำการทดลองหาค่าไนเตรทจากตัวอย่างน้ำ ..... 15
รูปที่ 11 แสดง แผนผังขั้นตอนการดำเนินโคงงาน ..... 18
รูปที่ 12 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ (Kc) ของข้าวเปรียบเทียบระหว่าง FAO (Allen.1998) และกรมชลประทาน (ส่วนการใช้น้ำชลประทาน 2551) ..... 21
รูปที่ 13 แสดง Crop ของการปลูกข้าวกข 41 ที่ตั้งไว้ในโปรแกรม CROPWAT ..... 24
รูปที่ 14 แสดงข้อมูลดินที่ปลูกข้าวกข 41 ที่ได้ตั้งไว้ในโปรแกรม CROPWAT ..... 24
รูปที่ 15 แสดงปริมาณความต้องการน้ำของข้าวกข 41 และปริมาณน้ำชลประทานที่ต้องส่งจากโปรแกรม CROPWAT ..... 25
รูปที่ 16 แสดงข้อมูลที่ได้ตั้งไว้ในโปรแกรม CWR-RID ..... 26
รูปที่ 17 แสดงข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำของข้าวกข 41 โดยใช้โปรแกรม CWR-RID ..... 26
รูปที่ 18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ช่วงอายุข้าว กับ ปริมาณฝนใช้การปริมาณน้ำชลประทานและปริมาณน้ำชลประทานที่ใช้จริง ของโปรแกรม CWR-RID (ก) ,CROPWAT (ข) และคำนวณโดยตรง (ค) ..... 27
รูปที่ 19 แสดงวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว,สีน้ำเงินและสีเทา จากโปรแกรม CWR-RID , CROPWAT , คำนวณโดยตรง และลงพื้นที่สำรวจ ..... 30

# สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ของข้าวพันธุ์ กข แต่ละสูตร ..... 7
ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ของข้าวแต่ละพันธุ์ โดยสูตร PENMAN MONTEITH ..... 8
ตารางที่ 3 ขอบเขตการศึกษาปริมาณการใช้น้ำของข้าว ..... 15
ตารางที่ 4 แสดงบัญชีรายการของระบบปลูกข้าว โดยค่า FUNCTIONAL UNIT = ข้าวเปลือก 1 ตัน ..... 19
ตารางที่ 5 ปริมาณฝนและปริมาณฝนใช้การ รายเดือน สถานีตรวจวัดอากาศกำแพงแสน ปี พ.ศ. 2561 ..... 22
ตารางที่ 6 ตารางแสดงข้อมูลและปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ..... 23
ตารางที่ 7 ปริมาณน้ำชลประทานและปริมาณฝนใช้การ ..... 28
ตารางที่ 8 แสดงค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทาของปุ๋ยชนิดต่างๆ ..... 29
ตารางที่ 9 เปรียบเทียบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่ได้ทำ ..... 31

# คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

| | |
|---|---|
| ETo | แสดงถึง ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง |
| Kc | แสดงถึง ค่าสัมประสิทธิ์ของพืช |
| CWU | ย่อมาจาก Crop Water Use |
| FAO | ย่อมาจาก Food and Agriculture Organization of the United Nation |
| LCA | ย่อมาจาก Life Cycle Assessment |
| WF | ย่อมาจาก Water Footprint |
| USDA | ย่อมาจาก United States Department of Agriculture |

# 1 บทนำ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยเนื่องจากเป็นอาหารหลักและสินค้าส่งออกที่สำคัญ ซึ่งจังหวัดนครปฐมเป็นเขตพื้นที่ที่มีการปลูกข้าวกันอย่างมาก จังหวัดนครปฐมเป็นพื้นที่ที่มีการปลูกข้าว 298,150 ไร่ซึ่งคิดเป็นร้อยละ5.5 ของพื้นที่ทั้งหมดในภาคกลาง โดยมีอำเภอบางเลนเป็นเขตที่มีการปลูกข้าวมากเป็นอันดับหนึ่งของจังหวัดนครปฐม สภาพภูมิประเทศของอำเภอบางเลน โดยทั่วไปมีลักษณะเป็นที่ราบ มีปริมาณน้ำที่เก็บเฉลี่ยทั้งปี 2,114,672 ล้านลูกบาศก์เมตร อำเภอบางเลนมีแม่น้ำท่าจีนไหลผ่าน ซึ่งมีปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย 1,395 ล้านลูกบาศก์เมตร เมตร (สำนักงานจังหวัดนครปฐม, 2562: ออนไลน์)

ข้าวพันธุ์ กข 41 เป็นพันธุ์ข้าวที่นิยมปลูกในพื้นที่อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐมมากที่สุด ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพ เป็นข้าวเจ้าไม่ไวต่อแสง ความสูงประมาณ 104 เซนติเมตร กอตั้ง ต้นแข็ง ใบและกาบใบสีเขียว ใบธงตั้งตรง คอรวงโผล่พ้นจากกาบใบธงเล็กน้อย ยอดเกสรตัวเมียสีขาว เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง เปลือกเมล็ดมีขนสั้น รูปร่างเรียว โดยจะมีลักษณะเด่น คือ ผลผลิตสูง มีเสถียรภาพดี ค่อนข้างต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และโรคไหม้ คุณภาพเมล็ดทางกายภาพดี สามารถสีเป็นข้าวสาร 100 เปอร์เซ็นต์ได้ ในเขตพื้นที่ศึกษานิยมปลูกโดยวิธีท่วมขังแบบหว่านน้ำตม ซึ่งจะต้องมีการเตรียมแปลงก่อนการเพาะปลูกและมีการเพาะต้นกล้าแยกทำให้มีการใช้น้ำในการเพาะปลูกปริมาณมาก (กรมการข้าว, 2562: ออนไลน์)

ดังนั้นการคำนวณปริมาณความต้องการน้ำของข้าวจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อใช้ในการบริหารจัดการน้ำให้เพียงพอ ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำซอฟแวร์สำเร็จรูปเข้ามาช่วยในการคำนวณปริมาณความต้องการน้ำ เช่น CROPWAT 8 WAPF CWR-RID เป็นต้น ในแต่ละโปรแกรมนั้นจะมีวิธีการใช้และข้อจำกัดของโปรแกรมที่แตกต่างกันออกไป ทำให้ต้องมีการทำความเข้าใจและเลือกใช้โปรแกรมให้เหมาะสมกับพืชที่ใช้ในการคำนวณ นอกจากนั้นค่าปริมาณความต้องการน้ำยังสามารถนำไปคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เพื่อแสดงให้เห็นถึงปริมาณน้ำถูกใช้ไปในระบบปลูกข้าว โดยแนวคิดของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จะคำนวณน้ำที่ใช้ทางตรงและน้ำที่ถูกใช้ในทางอ้อมเช่นน้ำที่ใช้เจือจางน้ำเสียจากระบบปลูกข้าว

**1.1 วัตถุประสงค์ของโครงงาน**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณความต้องการน้ำและค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของระบบปลูกข้าว กข 41 ในเขตพื้นที่อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม ในปี พ.ศ.2561-2562 โดยจะอธิบายเปรียบเทียบค่าปริมาณความต้องการน้ำทางทฤษฎีและการลงพื้นที่สำรวจ การคำนวณทางทฤษฎีจะใช้สูตรของ Penman-Monteith ผ่านซอฟแวร์สำเร็จรูปคือ CWR-RID , CROPWAT 8 และการคำนวณโดยตรง

**1.2 ขอบเขตของโครงงาน**

1) ช่วงเวลาที่ใช้ประเมินปริมาณความต้องการน้ำและวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของระบบปลูกข้าวคือ ตั้งแต่ช่วงเพาะปลูกถึงเก็บเกี่ยวผลผลิต

2) เขตพื้นที่ศึกษา อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม

3) พันธุ์ข้าว กข 41

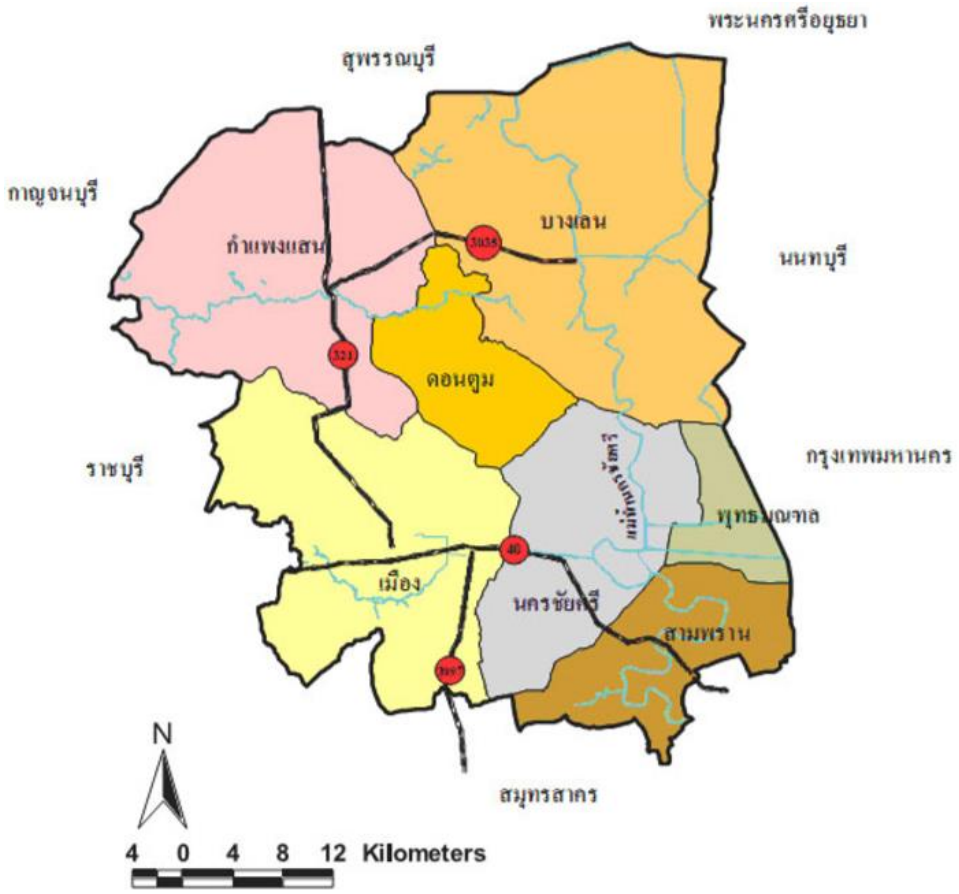
4) วิธีการปลูกข้าว ท่วมขังแบบนาหว่านน้ำตม

5) Functional unit = ข้าวเปลือก 1 ตัน

# 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 ลักษณะพื้นที่ศึกษา

สภาพภูมิประเทศของอำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม โดยทั่วไปมีลักษณะเป็นที่ราบ ถึงค่อนข้างราบเรียบ ไม่มีภูเขาและป่าไม้ อำเภอบางเลนแบ่งเขตการปกครอง เป็น 15 ตำบล , 172 หมู่บ้าน ประกอบด้วย ตำบล บางเลน , บางปลา , บางหลวง , บางภาษี , บางระกำ , บางไทรป่า , หินมูล , ไทรงาม , ดอนตูม , นิลเพชร,บัวปากท่า, คลองนกกระทุง , นราภิรมย์ , ลำพญา , ไผ่หูช้าง จำนวนประชากรใน อำเภอบางเลน มีจำนวนหลังคาเรือน 18,259 หลังคาเรือน เป็นเกษตรกรที่ปลูกข้าวพันธุ์ กข 41 จำนวน 1,999 หลังคาเรือน มีพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมด 49,155 ไร่ มีปริมาณน้ำที่เก็บเฉลี่ยทั้งปี 2,114,672 ล้านลูกบาศก์เมตร อำเภอบางเลนมีแม่น้ำท่าจีนไหลผ่าน ซึ่งมีปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย 1,395 ล้านลูกบาศก์เมตร แบ่งเป็นปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝน 1,183.3 ล้านลูกบาศก์เมตร และปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูแล้ว 212.1 ล้านลูกบาศก์ (สำนักงานจังหวัดนครปฐม, 2562: ออนไลน์)




รูปที่ 1 แผนที่ตั้ง อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม

**อาณาเขต**

**ทิศเหนือ** ติดต่อกับอำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี

**ทิศใต้** ติดต่อกับอำเภอพุทธมณฑลและอำเภอนครชัยศรี

**ทิศตะวันออก** ติดต่อกับอำเภอลาดบัวหลวง (จังหวัดพระนครศรีอยุธยา) และอำเภอไทรน้อย (จังหวัดนนทบุรี)

**ทิศตะวันตก** ติดต่อกับอำเภอดอนตูมและอำเภอกำแพงแสน

**2.2 การกำหนดขนาดกลุ่มจำนวนประชากร**

ในปี 1970 ทาโร ยามาเน (Taro Yamane) นักเศรษฐศาสตร์และสถิติชาวญี่ปุ่น ได้คิดค้นทฤษฎีการคำนวณ หรือสูตรคำนวณ สำหรับการกำหนดขนาดกลุ่มจำนวนประชากรตัวอย่างขึ้น ซึ่งทฤษฎีคำนวณของ ทาโร ยามาเน จะเหมาะสมสำหรับ การวิจัยที่สนใจประชากรจำนวนมากและทราบจำนวนประชากรทั้งหมดที่ต้องการศึกษา โดยมีสมการดังนี้

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2}$$

เมื่อ n = จำนวนของประชากรตัวอย่าง (คน)

N = จำนวนของประชากรทั้งหมด (คน)

e = คือความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดขึ้นในรูปของสัดส่วน

**2.3 การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA)**

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) คือ กระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การใช้ใหม่ / แปรรูป และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมและการประเมินโอกาสที่จะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสุขอนามัยของชุมชน เพื่อที่จะหาวิธีการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and Scope Definition)
2. การจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (Inventory)
3. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment)
4. การตีความและการวิเคราะห์เพื่อการปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อม (Interpretation and Improvement Analysis)

**2.4 การคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืช**

**2.4.1 การคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo)**

การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง สามารถทำได้หลายวิธี โดยสูตรที่นำมาใช้อย่างมากคือ คือสูตรของ Penman-Monteith ซึ่งได้เสนอไว้ในปี ค.ศ. 1948 และมีการปรับปรุงพัฒนาจนได้สมการที่เราใช้กันเมื่อปี ค.ศ.1956 โดยใช้ข้อมูล

1) พิกัดภูมิศาสตร์ (เส้นรุ้ง,เส้นแวง,ความสูงจากระดับทะเลปานกลาง)
2) อุณหภูมิ (อุณหภูมิสูงสุด,อุณหภูมิต่ำสุด,อุณหภูมิเฉลี่ย)
3) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย)
4) ความเร็วลมที่ระดับความสูง 2 เมตร จากผิวดิน (ความเร็วลมผิวดินเฉลี่ย เมตรต่อวินาที)
5) ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ย (ชั่วโมงต่อวัน)
6) การระเหยของน้ำจากอ่างวัดการระเหยแบบ Class A Pan (ค่าการระเหยเฉลี่ย มิลลิเมตรต่อวัน)

$$ETo = \frac{\left[0.480\Delta(Rn - G) + \gamma\left\{\frac{900}{T + 273}\right\}U_2(e_s - e_a)\right]}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$

เมื่อ ETo = การใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มิลลิเมตรต่อวัน)

Rn = รังสีสุทธิที่ต้นพืชได้รับ (เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน)

G = flux ค่าความร้อนของพื้นดิน (เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน)

T = อุณหภูมิของอากาศเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)

$U_2$ = ความเร็วลมที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 2 เมตร (เมตรต่อวินาที)

$e_s$ = ความดันไอน้ำอิ่มตัว (กิโลปาสคาล)

$e_a$ = ความดันไอน้ำ (กิโลปาสคาล)

$\Delta$ = ความลาดเทของเส้น curve แรงดันไอ (กิโลปาสคาลต่อองศาเซลเซียส)

$\gamma$ = ค่าคงที่ของ psychrometric (กิโลปาสคาลต่อองศาเซลเซียส)

$e_s - e_a$ = ค่าความต่างของแรงดันไอ (กิโลปาสคาล)

900 = factor ปรับแก้

**2.4.2 ค่าสัมประสิทธิ์พืช (crop coefficient, Kc)**

เป็นค่าสัมประสิทธิ์พืชทั้งในกลุ่มของพืชไร่และพืชสวน ซึ่งได้จากการศึกษา ทดลองและวิจัยฯ โดยนักวิจัยสาขาต่างๆในต่างประเทศ และส่วนการใช้น้ำชลประทาน ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์พืชที่ได้นี้จึงเป็นค่าที่สามารถนำไปใช้งานในทั่วทุกภาคของประเทศไทยได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์พืชสามารถคำนวณจากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้น้ำของพืชที่ได้จากการทดลอง กับ ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงหรือจากคำนวณ ดังสมการ

$$Kc = \frac{ETc}{ETo}$$

เมื่อ Kc = ค่าสัมประสิทธิ์พืช

ETc = ปริมาณการใช้น้ำของพืช (มิลลิเมตรต่อวัน)

ETo = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มิลลิเมตรต่อวัน)

### 2.4.3 ค่าสัมประสิทธิ์ของข้าว

ค่าสัมประสิทธิ์ของข้าว (Kc) จะเป็นค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของข้าวในแต่ละสายพันธุ์และในช่วงเวลาการเจริญเติบโตของข้าวซึ่งจะมีค่าสัมประสิทธิ์ที่แตกต่างกันไป ซึ่งค่าค่าสัมประสิทธิ์ของข้าวนั้นจะหาได้จากสูตร 7 สูตรคือ สูตรคือ Modified Penman, Blaney-Criddle, Pan method, Thornthwaite, Hargreaves, Radiation และ Penman Monteith โดยงานวิจัยในครั้งนี้จะใช้สูตรของ Penman Monteith เป็นหลัก

**ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ของข้าวพันธุ์ กข แต่ละสูตร**

| สัปดาห์ที่ | ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Modified Penman | Blaney-Criddle | Pan Method | Thornthwaite | Hargreaves | Radiation | Penman-Monteith |
| 1 | 0.90 | 1.10 | 1.23 | 0.76 | 0.90 | 1.29 | 1.03 |
| 2 | 0.94 | 1.24 | 1.21 | 0.85 | 0.92 | 1.38 | 1.07 |
| 3 | 0.98 | 1.52 | 1.27 | 1.06 | 1.11 | 1.35 | 1.12 |
| 4 | 1.13 | 1.65 | 1.55 | 1.14 | 1.24 | 1.57 | 1.29 |
| 5 | 1.21 | 1.67 | 1.55 | 1.12 | 1.31 | 1.77 | 1.38 |
| 6 | 1.27 | 1.64 | 1.89 | 1.07 | 1.23 | 1.88 | 1.45 |
| 7 | 1.32 | 2.10 | 1.87 | 1.39 | 1.54 | 1.78 | 1.50 |
| 8 | 1.30 | 1.66 | 1.86 | 1.09 | 1.22 | 1.87 | 1.48 |
| 9 | 1.26 | 1.74 | 1.72 | 1.15 | 1.24 | 1.77 | 1.42 |
| 10 | 1.21 | 1.68 | 1.42 | 1.19 | 1.27 | 1.73 | 1.34 |
| 11 | 1.11 | 1.68 | 1.48 | 1.17 | 1.23 | 1.51 | 1.23 |
| 12 | 0.85 | 1.18 | 1.29 | 0.81 | 0.89 | 1.15 | 0.94 |
| 13 | 0.75 | 1.13 | 1.13 | 0.78 | 0.85 | 0.63 | 0.86 |
| เฉลี่ย | 1.09 | 1.54 | 1.49 | 1.05 | 1.15 | 1.53 | 1.24 |

ที่มา : ส่วนการใช้น้ำชลประทานสำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา (2555)

**ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ของข้าวแต่ละพันธุ์ โดยสูตร Penman Monteith**

| สัปดาห์ที่ | ข้าวกข. นาดำ | ข้าวกข. นาหว่านน้ำตม | ข้าวขาว ดอกมะลิ 105 นาดำ | ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร ไม่ตอบสนองต่อแสง นาดำ | ข้าวบาสมาติ นาดำ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1.03 | - | 0.66 | 1.05 | 1.22 |
| 2 | 1.07 | - | 0.79 | 1.33 | 1.30 |
| 3 | 1.12 | 0.80 | 0.97 | 1.48 | 1.36 |
| 4 | 1.29 | 1.05 | 1.18 | 1.61 | 1.45 |
| 5 | 1.38 | 1.25 | 1.35 | 1.66 | 1.47 |
| 6 | 1.45 | 1.40 | 1.51 | 1.80 | 1.49 |
| 7 | 1.50 | 1.50 | 1.61 | 1.80 | 1.49 |
| 8 | 1.48 | 1.55 | 1.64 | 1.85 | 1.48 |
| 9 | 1.42 | 1.60 | 1.62 | 1.83 | 1.46 |
| 10 | 1.34 | 1.63 | 1.60 | 1.80 | 1.44 |
| 11 | 1.23 | 1.68 | 1.55 | 1.69 | 1.36 |
| 12 | 0.94 | 1.60 | 1.46 | 1.55 | 1.23 |
| 13 | 0.86 | 1.50 | 1.28 | 1.36 | 1.11 |
| 14 | | 1.36 | 1.08 | 1.12 | 0.93 |
| 15 | | 1.08 | | 0.82 | |
| 16 | | 0.65 | | 0.55 | |
| เฉลี่ย | 1.24 | 1.33 | 1.31 | 1.46 | 1.34 |

ที่มา : ส่วนการใช้น้ำชลประทานสำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา (2555)

## 2.5 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint)

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ คือตัวชี้วัดการใช้น้ำของผู้ผลิตและผู้บริโภค ทั้งทางตรงและทางอ้อม คำนวณปริมาณการใช้น้ำจากผลรวมตลอดระยะเวลาของการผลิตสินค้าหรือการเพาะปลูก แนวคิดของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ได้เริ่มขึ้นในปี ค.ศ. 2002 โดยศาสตราจารย์ Arjen Y. Hoekstra ประเทศเนเธอร์แลนด์ และได้รับความสนใจมากขึ้น เพราะจะทำให้เห็นปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมที่อยู่ในกระบวนการผลิตสินค้าหรือการเพาะปลูก ยกตัวอย่างเช่น เนื้อวัว 1 กิโลกรัม ใช้น้ำทั้งสิ้น 15,500 ลิตร ผลิตข้าว 1กิโลกรัม ใช้น้ำทั้งสิ้น 3,400 ลิตร เป็นต้น

### 2.5.1 ประเภทของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ สีน้ำเงิน (blue water footprint) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว (green water footprint) และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา (gray water footprint)

1) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงิน (blue water footprint) คือ ปริมาณน้ำของแหล่งน้ำผิวดินน้ำใต้ดิน หรือน้ำจากระบบชลประทาน ทั้งน้ำในอ่างเก็บน้ำต่างๆ

2) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว (green water footprint) คือ ปริมาณน้ำที่อยู่ในรูปของความชื้นในดิน ที่ถูกใช้ไปในการผลิตสินค้าและบริการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตพืชผลทางการเกษตร การทำไม้ และทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์

3) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา (Gray Water Footprint) คือ ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตสินค้าและบริการ ซึ่งคำนวณจากปริมาณน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียให้เป็นน้ำดีตามค่ามาตรฐาน

### 2.5.2 การคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

สูตรหาผลรวมของปริมาณการใช้น้ำทั้งระบบ หรือวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทั้ง 3 สี เป็นดังนี้

$$WF_{total} = WF_{blue} + WF_{green} + WF_{grey}$$

$$WF_{blue} = \frac{\mathbf{CWU_{blue}}}{\mathbf{Y}}$$

$$WF_{green} = \frac{\mathbf{CWU_{green}}}{\mathbf{Y}}$$

เมื่อ $WF_{total}$ = วอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมทั้งหมด (ลูกบาศก์เมตรต่อตัน)

$WF_{blue}$ = วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงิน (ลูกบาศก์เมตรต่อตัน)

$WF_{green}$ = วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว (ลูกบาศก์เมตรต่อตัน)

$WF_{gray}$= วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา (ลูกบาศก์เมตรต่อตัน)

$CWU_{blue}$ = ปริมาณน้ำสีน้ำเงินที่พืชใช้ (ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกแตร์)

$CWU_{green}$ = ปริมาณน้ำสีเขียวที่พืชใช้ (ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกแตร์)

$\mathbf{CWU_{blue}}$ และ $\mathbf{CWU_{green}}$ หาจาก

$$\mathbf{CWU_{green}} = 10 \sum_{d=1}^{lgp} \mathbf{ET_{green}}$$

$$\mathbf{CWU_{blue}} = 10 \sum_{d=1}^{lgp} \mathbf{ET_{blue}}$$

เมื่อ lgp = ระยะการเจริญเติบโตของพืช (วัน)

$ET_{green}$ = ปริมาณการใช้น้ำสีเขียวของพืชจริง (มิลลิเมตรต่อวัน)

$ET_{blue}$ = ปริมาณการใช้น้ำสีน้ำเงินของพืชจริง (มิลลิเมตรต่อวัน)

$ET_{green}$ หาได้จากสมการ $ET_{green} = \min (ETc, P_{eff})$

$ET_{blue}$ หาได้จากสมการ$ET_{blue} = \max (0, ETc - P_{eff})$

เมื่อ ETc = ปริมาณการใช้น้ำของพืช (มิลลิเมตรต่อวัน)

$P_{eff}$ = ปริมาณฝนใช้การ (มิลลิเมตรต่อวัน)

$$WF_{gray} = \frac{(\propto \mathbf{xAR})/(\mathbf{C_{max}} - \mathbf{C_{natural}})}{\mathbf{Y}}$$

เมื่อ $\propto$ = สัดส่วนของน้ำท่าจากการชะละลายสาร

AR = อัตราการใช้สารในพื้นที่ต่อไร่ (กิโลกรัมต่อไร่)

$C_{max}$ = ความเข้มข้นสูงสุดของสารพิษที่ยอมรับได้ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

$C_{natural}$ = ความเข้มข้นสารพิษในธรรมชาติที่พิจารณา (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

Y = ผลผลิตพืช (ตันต่อไร่)

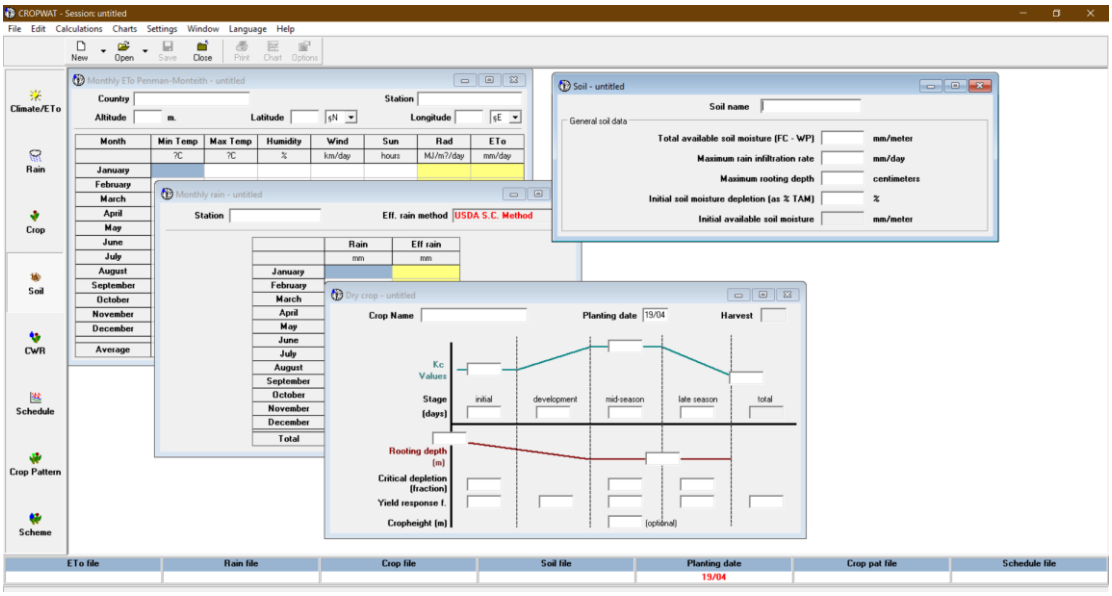
# 3 เครื่องมือที่ใช้ในการทำโครงงาน

## 3.1 โปรแกรมที่ใช้คำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืช

### 3.1.1 โปรแกรม CROPWAT 8.0

โปรแกรม CROPWAT 8.0 เป็นเครื่องมือมือที่ใช้ประมาณค่าการใช้น้ำของพืชและจัดการตารางการให้น้ำในการเพาะปลูก โดยวิธีการคำนวณค่าการระเหยน้ำของพืชด้วยสมการ Penman-Monteith ซึ่งในการคำนวณหาการใช้น้ำของพืชต้องมีการนำเข้าข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากสถานีอุตุนิยมวิทยาหรือฐานข้อมูลจากโปรแกรม CLIMWAT 2.0 ได้แก่ค่า ค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) ปริมาณฝน อุณหภูมิ แรงลม ค่าความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้น

รูปที่ 2 แสดง ICON โปรแกรม CROPWAT 8.0 และ CLIMWAT 2.0



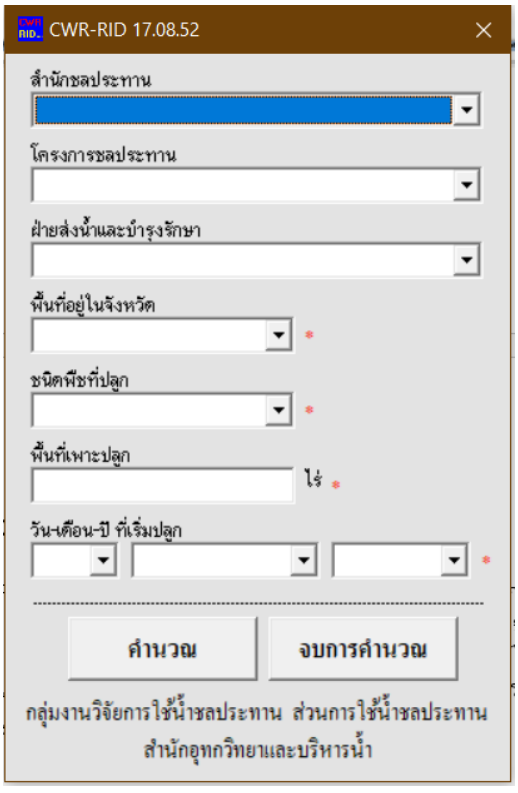

รูปที่ 3 แสดงรูปแบบภายในโปรแกรม CROPWAT 8.0

### 3.1.2 โปรแกรม CWR-RID

โปรแกรม CWR-RID เป็นโปรแกรมที่พัฒนาโดยกรมชลประทาน ที่ทำออกมาสำเร็จรูปที่ช่วยในการคำนวณการใช้น้ำของพืชต่างๆที่ปลูกในเขตชลประทาน เพื่อนำไปวางแผนในการส่งน้ำ ช่วงฤดูกาลเพาะปลูกให้สอดคล้องกับปริมาณน้ำต้นทุน และพื้นที่เพาะปลูก ใช้งานโดยการเลือก โครงการชลประทาน ชนิดพืช ขนาดพื้นที่ ขนาดพื้นที่ วัน-เดือน-ปี ที่เริ่มปลูก ตามที่โปรแกรมได้กำหนดไว้แล้วจะดึกข้อมูลจากโครงกาลชลประทานที่เลือกมามาใช้ในการคำนวณโดยจะมีการคำนวณผ่าน โปรแกรม Microsoft Excel 2003 โดยมีการใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาช่วงเฉลี่ยระยะเวลา 30 ปีย้อนหลังตั้งแต่ปี พ.ศ.2556 เป็นพื้นฐานการคำนวณ

CWR-RID 17.08.52

รูปที่ 4 แสดง ICON โปรแกรม CWR-RID




รูปที่ 5 แสดงรูปแบบภายในโปรแกรม CWR-RID

# 4 วิธีการดำเนินโครงงาน

1) ศึกษาข้อมูลทุติยภูมิที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การปลูกข้าวพันธุ์ กข 41 ในพื้นที่ศึกษา หลักการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืช ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช การใช้งานโปรแกรม CWR-RID และโปรแกรม CROPWAT การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่และข้อมูลเกษตรกรในพื้นที่เพื่อการลงสำรวจ

รูปที่ 6 ขอความอนุเคราะห์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากสถานีอุตุนิยมวิทยา อำเภอกำแพงแสน

รูปที่ 7 ส่งมอบหนังสือจากภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน ถึงสำนักงานเกษตรอำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม เพื่อขอข้อมูลเกษตรกรในพื้นที่ และประสานงานกับเกษตรกรก่อนลงพื้นที่สำรวจ

2) เก็บรวบรวมข้อมูลจากการลงภาคนาม

2.1 การสัมภาษณ์ชาวนาในพื้นที่ศึกษาเพื่อเก็บข้อมูลการเพาะปลูกข้าว โดยสุ่มตัวอย่างด้วยวิธี ของ Yamane (1973)

รูปที่ 8 การลงพื้นที่สัมภาษณ์ชาวนา

2.2 เก็บตัวอย่างน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติแล้วนำไปทดลองหาความเข้มข้นของไนเตรท เพื่อนำไปคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา

รูปที่ 9 การลงพื้นที่เก็บตัวอย่างน้ำ

รูปที่ 10 ทำการทดลองหาค่าไนเตรทจากตัวอย่างน้ำ

3) ศึกษาปริมาณความต้องการน้ำของข้าวพันธุ์ กข 41 ด้วยสูตรของ Penman-Monteith โดยใช้ซอฟแวร์ CWR-RID และ CROPWAT และ คำนวณโดยใช้สมการของ Penman-Monteith โดยตรง พร้อมทั้งใช้ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม และวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณความต้องการใช้น้ำของข้าวแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 3

**ตารางที่ 3 ขอบเขตการศึกษาปริมาณการใช้น้ำของข้าว**

| ที่มา | ค่าสัมประสิทธิ์ของพืช | ค่าสภาพภูมิอากาศ |
|---|---|---|
| CWR-RID | กรมชลประทาน(ส่วนการใช้น้ำชลประทาน.2551) | Default ของโปรแกรม |
| CROPWAT | FAO (Allen.1998) | สถานีตรวจอากาศกำแพงแสน |
| คำนวณโดยตรง | กรมชลประทาน(ส่วนการใช้น้ำชลประทาน.2551) | สถานีตรวจอากาศกำแพงแสน |
| ลงพื้นที่สำรวจ | กรมชลประทาน(ส่วนการใช้น้ำชลประทาน.2551) | สถานีตรวจอากาศกำแพงแสน |

4) การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

4.1 กำหนดเป้าหมายและขอบเขตงาน โดยใช้หลักของ การประเมินวัฏจักรชีวิต(Life Cycle Assessment: LCA) เป็นเครื่องมือในการกำหนด

**เป้าหมาย**

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวเปลือก 1 ตัน

**ขอบเขตการศึกษา**

1) เตรียมกล้าถึงเก็บเกี่ยวผลผลิต

2) เขตพื้นที่อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม

3) ปลูกข้าวแบบท่วมขัง

4) พันธุ์ข้าว กข 41

5) วิธีการปลูกข้าวนาหว่านน้ำตม

6) functional unit = ข้าวเปลือก 1 ตัน

4.2) จัดทำผังแสดงขั้นตอนระบบปลูกข้าว (Process flow diagram) และลงพื้นที่เก็บข้อมูลระบบปลูกข้าวเพื่อจัดทำตารางบัญชีรายการ (Inventory)

4.3) นำปริมาณความต้องการน้ำมาคำนวณหาค่า Water Footprint ในส่วนของ Green และ Blue

จากสูตร $WF_{blue} = \frac{\mathbf{CWU_{blue}}}{\mathbf{Y}}$

$WF_{green} = \frac{\mathbf{CWU_{green}}}{\mathbf{Y}}$

โดย $CWU_{blue}$=ปริมาณน้ำชลประทานที่พืชใช้ (ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกแตร์)

$CWU_{green}$=ปริมาณน้ำฝนที่พืชใช้ (ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกแตร์)

ซึ่งค่า $\mathbf{CWU_{blue}}$ และ $\mathbf{CWU_{green}}$ สามารถคำนวณได้จาก

$$\mathbf{CWU_{green}} = 10 \sum_{d=1}^{lgp} \mathbf{ET_{green}}$$

$$\mathbf{CWU_{blue}} = 10 \sum_{d=1}^{lgp} \mathbf{ET_{blue}}$$

เมื่อ lgp = ระยะการเจริญเติบโตของพืช (วัน)

$ET_{green}$= ปริมาณการใช้น้ำสีเขียวของพืช (มม./วัน)

$ET_{blue}$ = ปริมาณการใช้น้ำสีน้ำเงินของพืช (มม. /วัน)

$ET_{green}$ หาได้จากสมการ $ET_{green}$ = min (ETc, $P_{eff}$)

$ET_{blue}$ หาได้จากสมการ $ET_{blue}$ = max (0, ETc - $P_{eff}$)

เมื่อ ETc = ปริมาณการใช้น้ำของพืช (มม. /วัน)

$P_{eff}$ = ปริมาณฝนใช้การ (มม. /วัน)

4.4) นำผลการทดลองจากการเก็บตัวอย่างน้ำมาคำนวณหาค่า Gray Water Footprint จากสูตร

$$WF_{gray} = \frac{(\propto xAR)/(C_{max} - C_{natural})}{Y}$$

เมื่อ $\propto$ = สัดส่วนของน้ำท่าจากการชะละลายสาร

AR = อัตราการใช้สารในพื้นที่ต่อไร่ (กิโลกรัมต่อไร่)

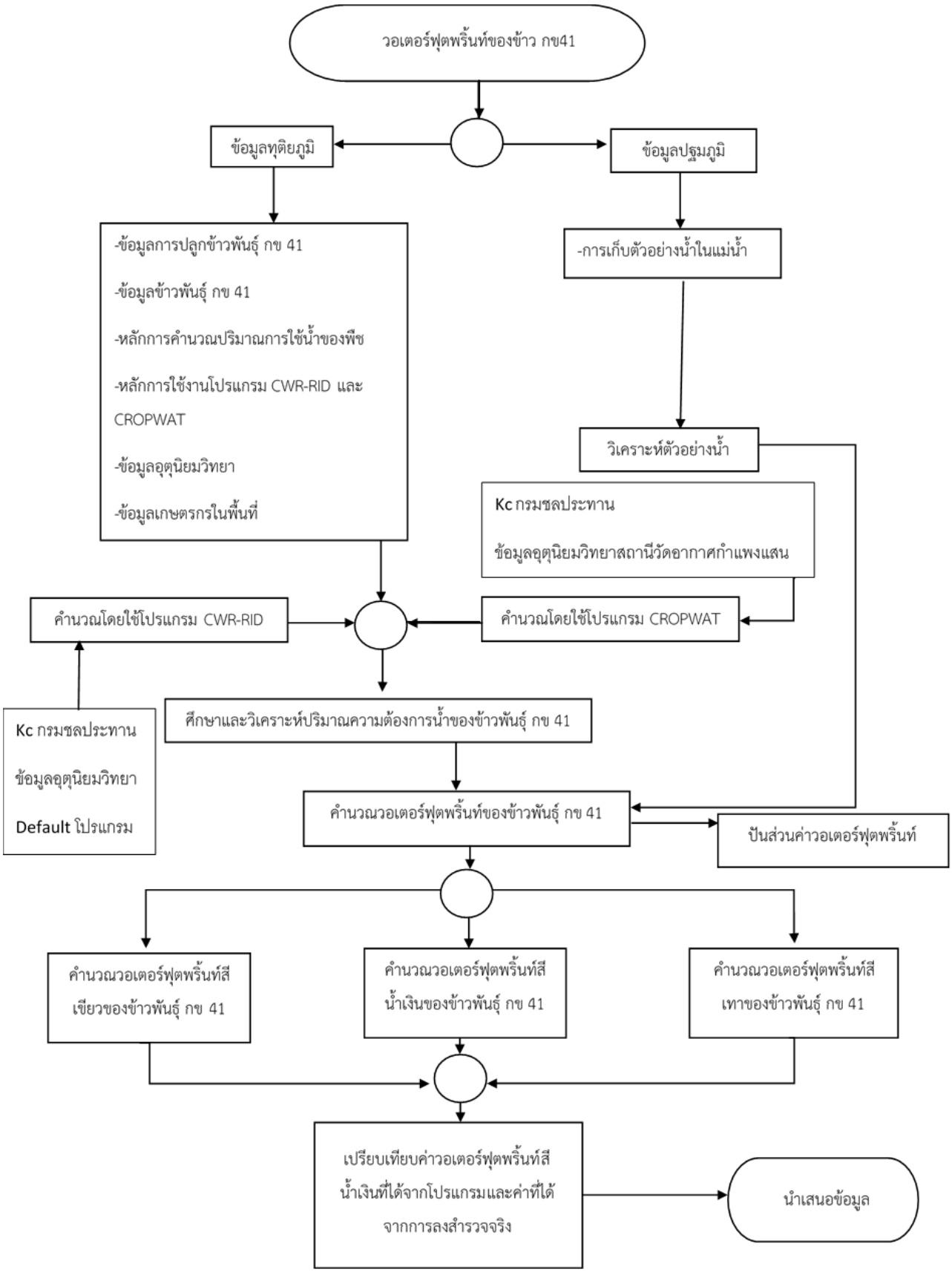
$C_{max}$=ความเข้มข้นสูงสุดของสารพิษที่ยอมรับได้ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

$C_{natural}$=ความเข้มข้นสารพิษในธรรมชาติที่พิจารณา (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

Y = ผลผลิตพืช (ตันต่อไร่)

4.5) ปันส่วนค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่คำนวณได้จากราคาต่อหน่วยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากระบบปลูกข้าวคือ ข้าวเปลือกและฟางข้าว

4.6) แปลผลการคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ วิเคราะห์ผลการทดลอง และสรุปผล




รูปที่ 11 แสดงแผนผังการดำเนินโครงงาน

# 5 ผลการดำเนินโครงงานและวิจารณ์

ในการทดลองครั้งนี้จะเป็นการหาปริมาณความต้องการน้ำและค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ระบบปลูกข้าว กข 41 กรณีศึกษา : พื้นที่ปลูกข้าว กข 41 อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม

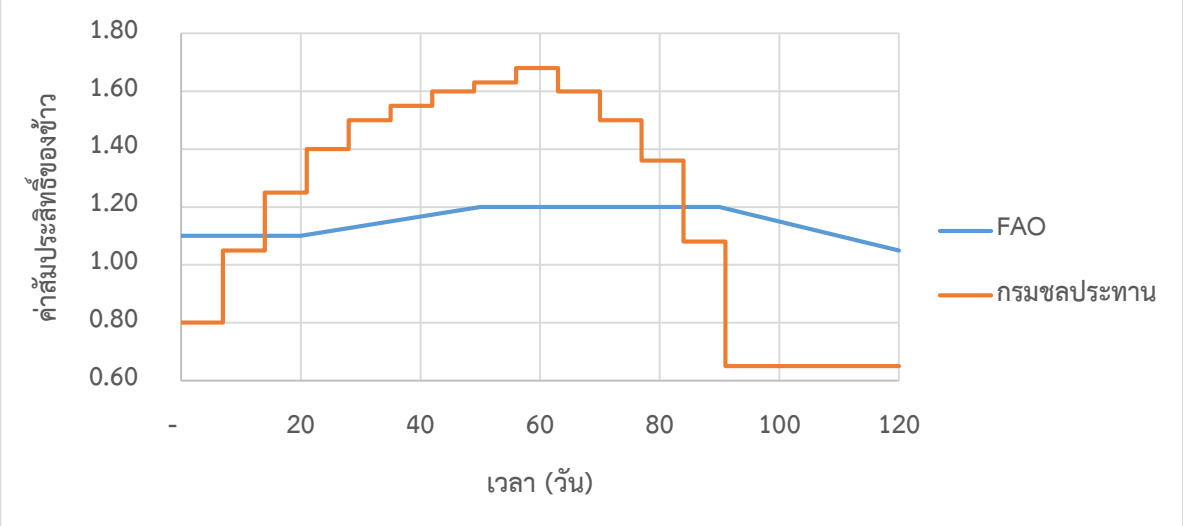
จากผลการสำรวจภาคสนามและสัมภาษณ์ชาวนาที่ปลูกข้าวพันธ์ กข 41 ในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 44 คน ซึ่งเป็นตัวแทนของกลุ่มประชากรตามทฤษฎี Yamane (1973) เพื่อจัดทำบัญชีรายการ ดังตารางที่ 4 การใช้น้ำเป็นทรัพยากรในการปลูกข้าว ยังพบอีกว่านิยมปลูกข้าวแบบนาหว่านน้ำตม การให้น้ำเป็นท่วมขัง และมีการใช้ปุ๋ยเคมีทั้งหมด 2 สูตรด้วยกันคือ 46-0-0 และ 16-20-0 ข้อมูลที่ได้ส่วนหนึ่งนำไปทวนสอบกับข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ ได้แก่ สำนักงานเกษตรอำเภอบางเลน และโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาบางเลน จากนั้นนำมาจัดทำบัญชีรายการของระบบปลูกข้าวพันธ์ กข 41 ในพื้นที่ศึกษา

**ตารางที่ 4 แสดงบัญชีรายการของระบบปลูกข้าว โดยค่า functional unit = ข้าวเปลือก 1 ตัน**

| บัญชีรายการ | | | | | | ผลกระทบ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| รายการ | | ปริมาณ | หน่วย | ปรับแก้ | หน่วย | ค่า factor | วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลบ.ม./ตันข้าวเปลือก) |
| input | รายละเอียด | | | | | | |
| เมล็ดข้าว | | 29 | กก./ไร่ | 35.82 | กก./ไร่ | ไม่คิด indirect | |
| ปริมาณน้ำเตรียมแปลง | | 206.4 | ลบ.ม. | 254.92 | ลบ.ม. | 1 | 254.92 |
| น้ำชลประทาน | | 601.6 | ลบ.ม. | 743.04 | ลบ.ม. | 1 | 743.04 |
| ปริมาณฝน | | 472.56 | ลบ.ม. | 583.66 | ลบ.ม. | 1 | 583.66 |
| ปุ๋ยอินทรีย์ | | 16.47 | กก./ไร่ | 4.07 | ลบ.ม./ตัน | 1 | 4.07 |
| ปุ๋ยชีวภาพ | | 9.09 | กก./ไร่ | 2.25 | ลบ.ม./ตัน | 1 | 2.25 |
| ปุ๋ยเคมี | 16-20-0 หรือ 46-0-0 | 42.235 | กก./ไร่ | 817.56 | ลบ.ม./ตัน | 1 | 817.56 |
| สารกำจัดวัชพืช | | 17 | ลิตร/ไร่ | | | ไม่คิด indirect | |
| กำจัดศัตรูพืช | | 21 | ลิตร/ไร่ | | | ไม่คิด indirect | |
| รวม | | | | | | | 2,405.50 |
| output | รายละเอียด | | | | | | |
| ข้าวเปลือก | | 810 | กก./ไร่ | 1 | ตัน | 0.92 | 2,220.46 |
| ฟางข้าวและตอซัง | *1.3 เท่าของข้าวเปลือก | 1053 | กก./ไร่ | 1.3 | ตัน | 0.08 | 185.04 |
| ปริมาณน้ำเสียจากแปลง | | 0 | มม./ไร่ | 0 | ลบ.ม. | 1 | 0 |

การศึกษาผลของการคำนวณค่าการใช้น้ำของข้าวเริ่มจากส่วนของสัมประสิทธิ์ของข้าว (Kc) ต่อปริมาณการใช้น้ำของข้าว ซึ่งจากรูปที่ 12 จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ของข้าวจากแหล่งข้อมูลที่ต่างกันทั้ง 2 แบบ มีความแตกต่างกัน คือ จาก FAO (Allen.1998) ซึ่งถูกนำไปใช้คำนวณความต้องการน้ำของข้าวโดยโปรแกรม CROPWAT 8.0 และจากกรมชลประทาน (ส่วนการใช้น้ำชลประทาน 2551) ซึ่งจะถูกนำไปใช้คำนวณความต้องการใช้น้ำของข้าวโดยใช้โปรแกรม CWR-RID และการแบ่งช่วงอายุของข้าวมีความแตกต่างกันโดยโปรแกรม CROPWAT 8.0 จะมีการแบ่งช่วงอายุทุก ๆ10วัน แต่ในส่วนของโปรแกรม CWR-RID จะมีการแบ่งช่วงอายุทุก ๆ 7 วันจะส่งผลทำให้ปริมาณการใช้น้ำของข้าวในภาพรวมแตกต่างกัน ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ของข้าวจากกรมชลประทาน เป็นค่ามาตรฐานที่ได้มีการศึกษาและใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทยซึ่งขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่ทางสำนักงานชลประทานในท้องถิ่นที่เป็นผู้ดูแล ไม่สามารถปรับใส่ค่าเองได้ และเมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของข้าวซึ่งเป็นค่ากลางของ FAO ที่ถูกนำมาใช้ในโปรแกรม CROPWAT จะพบว่าช่วงอายุที่ถูกกำหนดไว้มีความแตกต่างจากช่วงอายุของข้าวไทยแม้จะสามารถปรับค่า Kc ในแต่ละช่วงอายุของข้าวได้ก็ตาม ทำให้เกิดช่องว่างบางจุดในแต่ละช่วงอายุของข้าวไทยซึ่งไม่สามารถปรับได้ตามความเป็นจริงของช่วงอายุข้าวไทยได้

การทดลองนี้จึงเปรียบเทียบปริมาณความต้องการใช้น้ำของข้าวโดยใช้ค่า Kc ซึ่งเป็นค่าเริ่มต้นจาก FAO ในการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของข้าวด้วยโปรแกรม CROPWAT 8.0 และข้อมูลภูมิอากาศของสถานีตรวจอากาศกำแพงแสน ซึ่งประกอบไปด้วย ความเร็วลม อุณหภูมิ ความชื้นสัมพันธ์ ชั่วโมงแสงอาทิตย์ เป็นต้น เพื่อนำมาหาค่า ETo โดยใช้ข้อมูลปี พ.ศ .2561 เป็นข้อมูลสำหรับการคำนวณ นำมาเปรียบเทียบกับค่าปริมาณความต้องการใช้น้ำของข้าวที่คำนวณจากโปรแกรม CWR-RID ซึ่งใช้ค่า Kc ของข้าวพันธุ์ กข 41 แต่ใช้ข้อมูลภูมิอากาศของสำนักงานชลประทานที่รับผิดชอบในเขตพื้นที่ศึกษา และยังได้ทำการศึกษาปริมาณความต้องการใช้น้ำของข้าวพันธุ์ กข 41 โดยคำนวณจากสูตรของ Pennman Monteith (การคำนวณโดยตรง)และใช้ข้อมูลสภาพอากาศของสถานีตรวจอากาศกำแพงแสน ที่อยู่ในพื้นที่เพาะปลูกซึ่งเป็นพื้นที่ศึกษา




รูปที่ 12 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ (Kc) ของข้าวเปรียบเทียบระหว่าง FAO (Allen.1998) และกรมชลประทาน (ส่วนการใช้น้ำชลประทาน 2551)

**ปริมาณฝนและปริมาณฝนใช้การ**

ข้อมูลปริมาณฝน ของโปรแกรม CROPWAT จะสามารถนำข้อมูลจากโปรแกรม CLIMWAT ที่มีสถานีทั่วโลกและทั่วประเทศไทย มาคำนวณหาฝนใช้การได้โดยวิธีของ USDA เลือกโดยผู้ศึกษา แต่การศึกษาครั้งนี้ได้ทำขอข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอากาศกำแพงแสนมาแล้วจึงสามารถใส่ค่าปริมาณฝนและคำนวณผ่านโปรแกรม CROPWAT ดังตารางที่ 5 และพบว่า ปริมาณฝนรวม เท่ากับ 1,081.6 มิลลิเมตร และ ปริมาณฝนใช้การรวม เท่ากับ 804.4 มิลลิเมตร

**ตารางที่ 5 ปริมาณฝนและปริมาณฝนใช้การ รายเดือน สถานีตรวจวัดอากาศกำแพงแสน ปี พ.ศ. 2561**

| เดือน | ปริมาณฝน (มม.) | ปริมาณฝนใช้การ (มม.) |
|---|---|---|
| มกราคม | 6.6 | 6.5 |
| กุมภาพันธ์ | 10.9 | 10.7 |
| มีนาคม | 57.5 | 52.2 |
| เมษายน | 31.2 | 29.6 |
| พฤษภาคม | 220.5 | 142.7 |
| มิถุนายน | 72.4 | 64.0 |
| กรกฎาคม | 34.6 | 32.7 |
| สิงหาคม | 124.3 | 99.6 |
| กันยายน | 235.4 | 146.7 |
| ตุลาคม | 197.0 | 134.9 |
| พฤศจิกายน | 44.6 | 41.4 |
| ธันวาคม | 46.6 | 43.1 |
| รวม | 1,081.6 | 804.1 |

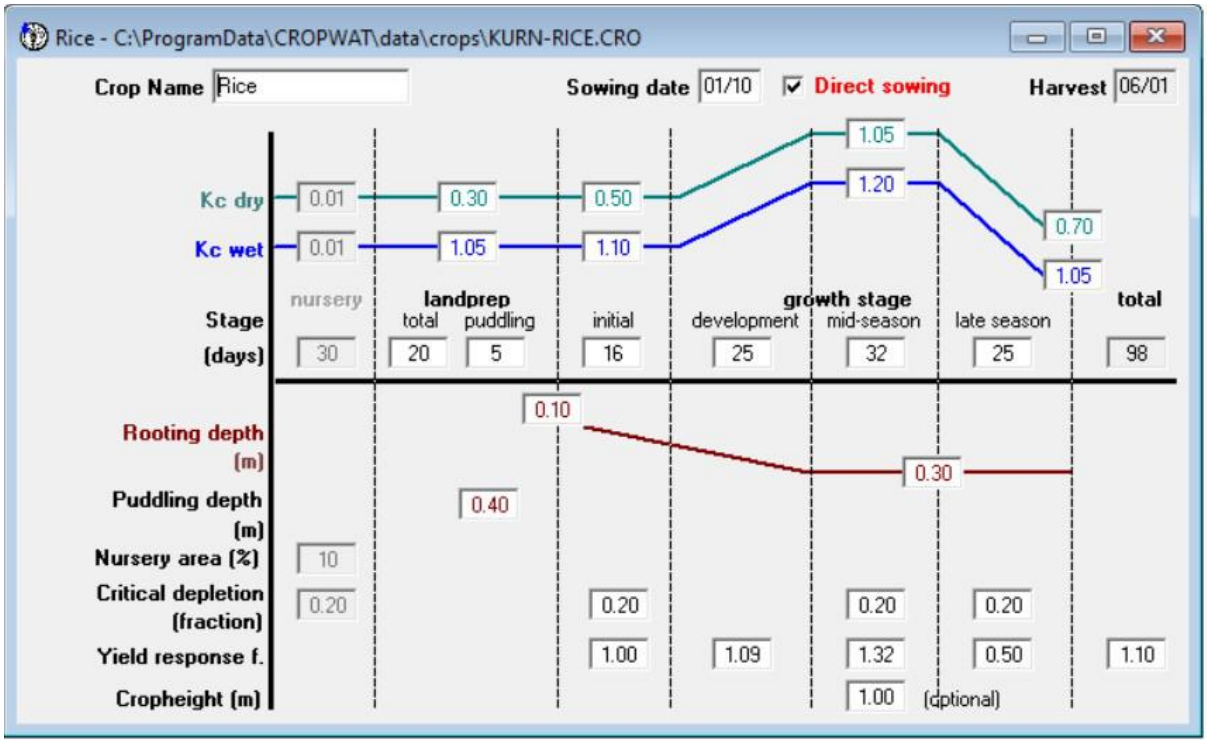
**ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง**

ในการศึกษาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง โดยใช้โปรแกรม CROPWAT 8.0 คำนวณโดยใช้สมการ Penman-Monteith ได้ค่าดังตาราง

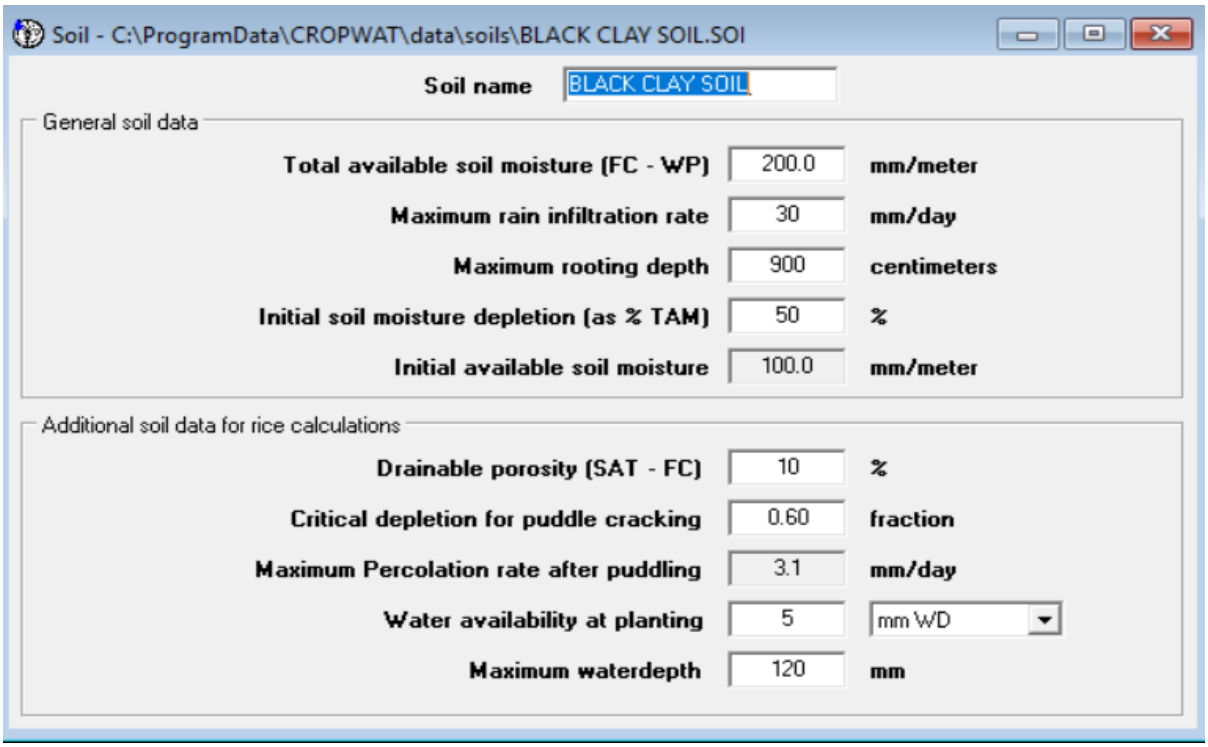
**ตารางที่ 6 ตารางแสดงข้อมูลและปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง**

| เดือน | อุณหภูมิต่ำสุด (องศาเซลเซียส) | อุณหภูมิสูงสุด (องศาเซลเซียส) | ความชื้น (เปอร์เซ็นต์) | ความเร็วลม (ก.ม./วัน) | ระยะเวลารับแสง (ชม.) | ความเข้มรังสี (เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน) | ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มม./วัน) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| มกราคม | 20.6 | 31.3 | 76 | 46 | 6.7 | 16.4 | 3.23 |
| กุมภาพันธ์ | 21.2 | 32.1 | 76 | 58 | 7.7 | 19.2 | 3.83 |
| มีนาคม | 24 | 34.7 | 74 | 58 | 8.1 | 21.3 | 4.58 |
| เมษายน | 24.2 | 34.7 | 75 | 70 | 7.3 | 20.8 | 4.66 |
| พฤษภาคม | 25 | 34.9 | 79 | 55 | 7.5 | 20.9 | 4.67 |
| มิถุนายน | 25.2 | 34.1 | 77 | 62 | 6 | 18.4 | 4.22 |
| กรกฎาคม | 25.1 | 32.9 | 78 | 79 | 2.7 | 13.6 | 3.34 |
| สิงหาคม | 24.8 | 33 | 78 | 72 | 1.8 | 12.2 | 3.05 |
| กันยายน | 24.3 | 33.8 | 79 | 60 | 5.7 | 17.8 | 3.98 |
| ตุลาคม | 24.4 | 32.7 | 81 | 41 | 6.2 | 17.4 | 3.72 |
| พฤศจิกายน | 22.6 | 32.2 | 78 | 43 | 7.8 | 18.2 | 3.65 |
| ธันวาคม | 22 | 31.6 | 79 | 53 | 5 | 13.7 | 2.89 |
| เฉลี่ย | 23.6 | 33.2 | 78 | 58 | 6 | 17.5 | 3.82 |

ผลการศึกษาปริมาณความต้องการใช้น้ำของข้าวด้วยวิธีต่าง ๆพบว่า ปริมาณความต้องการน้ำของข้าวที่คำนวณได้มีความแตกต่างกัน ตามสภาพภูมิอากาศ และสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของข้าว ส่วนของโปรแกรม CWR-RID จะเป็นค่าสภาพภูมิอากาศที่เก็บรวมไว้ในโปรแกรมอยู่แล้วขึ้นอยู่กับพื้นที่เพาะปลูกอยู่ในเขตรับผิดชอบของสำนักงานชลประทาน จะต่างจากโปรแกรม CROPWAT ที่สามารถใส่ค่าสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ศึกษาเองได้




รูปที่ 13 แสดง Crop ของการปลูกข้าวกข 41 ที่ตั้งไว้ในโปรแกรม CROPWAT




รูปที่ 14 แสดงข้อมูลดินที่ปลูกข้าวกข 41 ที่ได้ตั้งไว้ในโปรแกรม CROPWAT

Crop Water Requirements

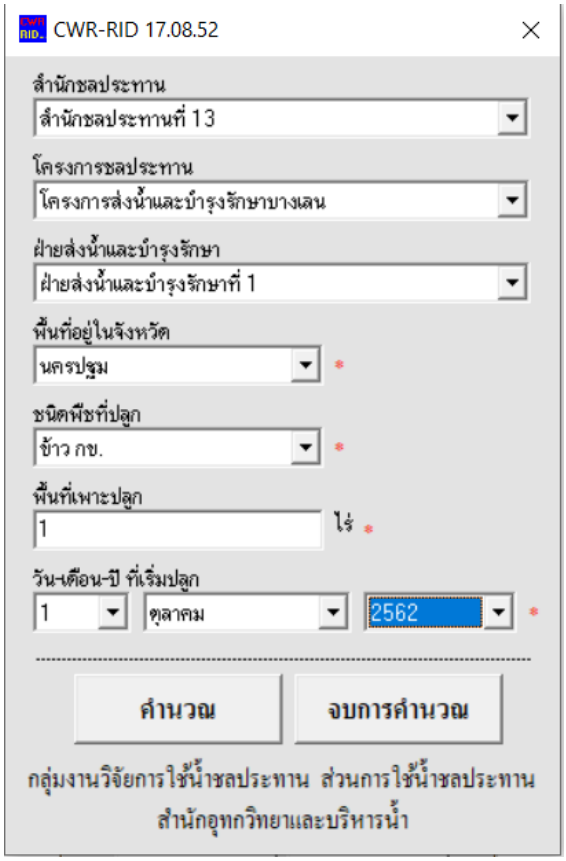
ETo station กำแพงแสน Crop Rice

Rain station กำแพงแสน Planting date 01/10

| Month | Decade | Stage | Kc | ETc | ETc | Eff rain | Irr. Req. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | coeff | mm/day | mm/dec | mm/dec | mm/dec |
| Sep | 2 | LandPrep | 1.05 | 4.28 | 42.8 | 51.7 | 91.5 |
| Sep | 3 | LandPrep | 1.05 | 4.16 | 41.6 | 49.4 | 90.0 |
| Oct | 1 | Init | 1.10 | 4.19 | 41.9 | 48.9 | 0.0 |
| Oct | 2 | Deve | 1.10 | 4.10 | 41.0 | 48.8 | 0.0 |
| Oct | 3 | Deve | 1.11 | 4.10 | 45.1 | 37.1 | 8.0 |
| Nov | 1 | Deve | 1.12 | 4.11 | 41.1 | 21.2 | 19.9 |
| Nov | 2 | Mid | 1.12 | 4.10 | 41.0 | 9.3 | 31.7 |
| Nov | 3 | Mid | 1.12 | 3.81 | 38.1 | 11.0 | 27.1 |
| Dec | 1 | Mid | 1.12 | 3.45 | 34.5 | 15.4 | 19.2 |
| Dec | 2 | Late | 1.10 | 3.07 | 30.7 | 16.2 | 14.5 |
| Dec | 3 | Late | 1.04 | 3.06 | 33.6 | 11.5 | 22.1 |
| Jan | 1 | Late | 0.99 | 3.09 | 18.6 | 3.0 | 16.1 |
| | | | | | **450.0** | **323.5** | **340.1** |

รูปที่ 15 แสดงปริมาณความต้องการน้ำของข้าวกข 41 และปริมาณน้ำชลประทานที่ต้องส่งจากโปรแกรม CROPWAT

การทดลองโดยใช้โปรแกรม CROPWAT ครั้งนี้ ในช่วง 20 วันแรกที่เป็นการเตรียมแปลงนา จะไม่ได้นำค่าของ CROPWAT มาใช้ในการคำนวณ แต่จะใช้ข้อมูลการเตรียมแปลงนา จากที่ได้หาข้อมูลมาแทน




รูปที่ 16 แสดงข้อมูลที่ได้ตั้งไว้ในโปรแกรม CWR-RID

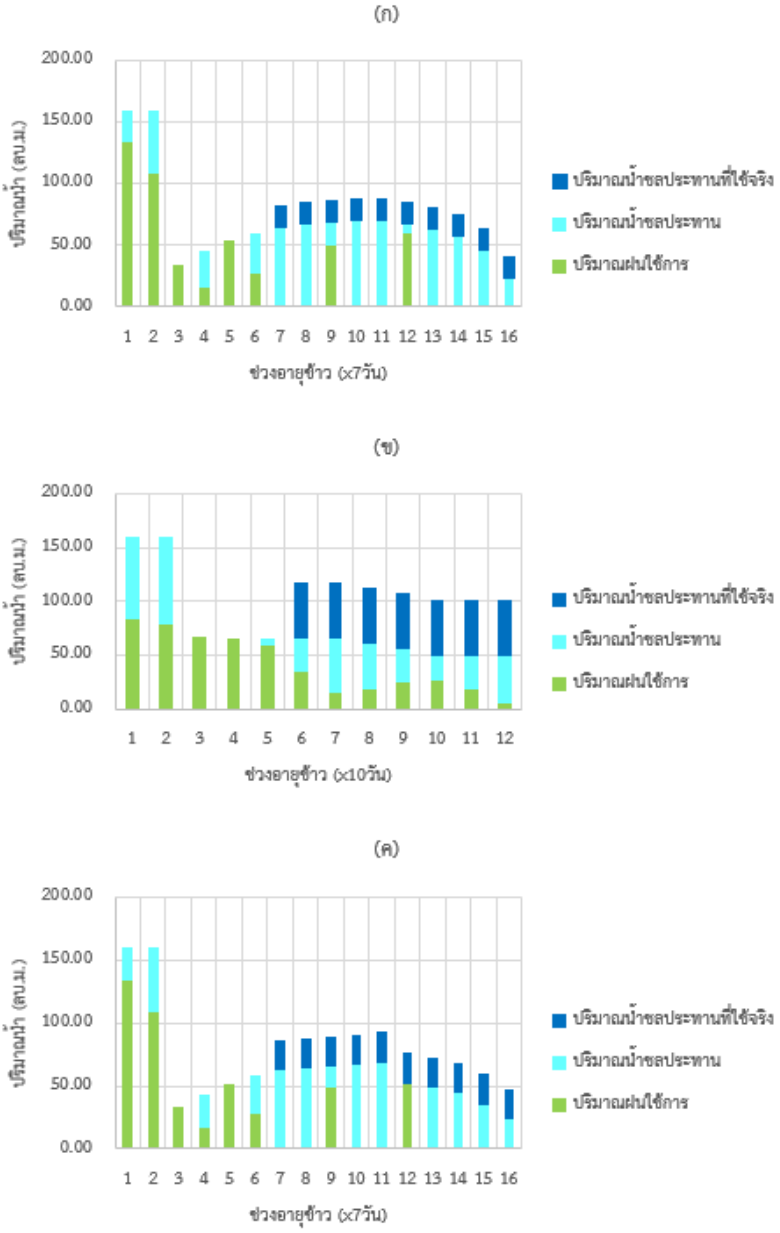
สำนักชลประทานที่ 13, โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาบางเลน, ฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 1

ชนิดพืช : ข้าว กข. พื้นที่เพาะปลูก : 1 ไร่ จังหวัด : นครปฐม

| สัปดาห์ | วัน-เดือน-ปี | วัน-เดือน-ปี | Kc | ETo Pen-Mon (มม/วัน) | ET (มม./วัน) | ET (มม./สัปดาห์) | พื้นที่เพาะปลูก (ไร่) | ปริมาณน้ำ (ลบ.ม.) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1-ต.ค.-62 | 7-ต.ค.-62 | 1.03 | 3.81 | 3.92 | 27.44 | 1.00 | 43.90 |
| 2 | 8-ต.ค.-62 | 14-ต.ค.-62 | 1.07 | 3.81 | 4.08 | 28.56 | 1.00 | 45.70 |
| 3 | 15-ต.ค.-62 | 21-ต.ค.-62 | 1.12 | 3.81 | 4.27 | 29.89 | 1.00 | 47.82 |
| 4 | 22-ต.ค.-62 | 28-ต.ค.-62 | 1.29 | 3.81 | 4.91 | 34.37 | 1.00 | 54.99 |
| 5 | 29-ต.ค.-62 | 4-พ.ย.-62 | 1.38 | 3.84 | 5.30 | 37.10 | 1.00 | 59.36 |
| 6 | 5-พ.ย.-62 | 11-พ.ย.-62 | 1.45 | 3.87 | 5.61 | 39.27 | 1.00 | 62.83 |
| 7 | 12-พ.ย.-62 | 18-พ.ย.-62 | 1.50 | 3.87 | 5.80 | 40.60 | 1.00 | 64.96 |
| 8 | 19-พ.ย.-62 | 25-พ.ย.-62 | 1.48 | 3.87 | 5.73 | 40.11 | 1.00 | 64.18 |
| 9 | 26-พ.ย.-62 | 2-ธ.ค.-62 | 1.42 | 3.83 | 5.44 | 38.08 | 1.00 | 60.93 |
| 10 | 3-ธ.ค.-62 | 9-ธ.ค.-62 | 1.34 | 3.74 | 5.01 | 35.07 | 1.00 | 56.11 |
| 11 | 10-ธ.ค.-62 | 16-ธ.ค.-62 | 1.23 | 3.74 | 4.60 | 32.20 | 1.00 | 51.52 |
| 12 | 17-ธ.ค.-62 | 23-ธ.ค.-62 | 0.94 | 3.74 | 3.52 | 24.64 | 1.00 | 39.42 |
| 13 | 24-ธ.ค.-62 | 30-ธ.ค.-62 | 0.86 | 3.74 | 3.22 | 22.54 | 1.00 | 36.06 |
| | | | | | | | | 687.79 |

รูปที่ 17 แสดงข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำของข้าวกข 41 โดยใช้โปรแกรม CWR-RID

จากการลงสำรวจพื้นที่ได้ข้อมูลจากเกษตรกรและทำการประเมินการใช้น้ำในระบบ ปลูกข้าว พบว่ามีการใช้ปริมาณน้ำชลประทานเฉลี่ย เท่ากับ 808 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าปริมาณน้ำชลประทาน ที่ได้จากโปรแกรม CWR-RID , CROPWAT และ คำนวณโดยตรง (ตารางที่ 7) ที่มีค่าเท่ากับ 629 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ , 419 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ และ 564 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ตามลำดับ โดยมีปริมาณฝนใช้การเท่ากับ 482 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ , 494 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ และ 473 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเกษตรกรมีการใช้ชลประทานที่สูงกว่าที่คำนวณได้และความต้องการใช้น้ำของข้าวที่มาจากระบบชลประทานจะมีความแตกต่างกันเนื่องจากปริมาณฝนใช้การที่แตกต่างกัน




รูปที่ 18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ช่วงอายุข้าว กับ ปริมาณฝนใช้การปริมาณน้ำชลประทานและปริมาณน้ำชลประทานที่ใช้จริง ของโปรแกรม CWR-RID (ก) ,CROPWAT (ข) และคำนวณโดยตรง (ค)

**ตารางที่ 7 ปริมาณน้ำชลประทานและปริมาณฝนใช้การ**

| ที่มา | ปริมาณน้ำชลประทาน (ลบ.ม./ไร่) | ปริมาณฝนใช้การ (ลบ.ม./ไร่) | รวม (ลบ.ม./ไร่) |
|---|---|---|---|
| CWR-RID | 628 | 482 | 1,111 |
| CROPWAT | 419 | 494 | 913 |
| คำนวณโดยตรง | 564 | 473 | 1,037 |

**การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์**

การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวและวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงินโดยใช้ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของข้าวที่ได้มาจากโปรแกรม CWR-RID , CROPWAT และ คำนวณโดยตรง จะเห็นได้ว่าในช่วงอายุข้าว 1 ถึง 7 (สัปดาห์)แรก เป็นช่วงที่มีฝนตก ซึ่งตรงกับช่วงของการเตรียมแปลงนา (ช่วง 1 ถึง 2 สัปดาห์) ในการเพาะปลูกข้าว กข 41 สอดคล้องกับการแบ่งช่วงเวลาการใช้น้ำของข้าวในโปรแกรม CWR-RID และการคำนวณโดยตรง ส่วนโปรแกรม CROPWAT มีการแบ่งช่วงอายุข้าว 1 ถึง 2 (20วัน) แรกเป็นช่วงเตรียมแปลงและเป็นช่วงที่มีฝนตกเช่นเดียวกัน แม้ว่าจะมีน้ำฝนตกมาช่วยเพิ่มปริมาณน้ำ แต่ความต้องการในการใช้น้ำยังคงสูงกว่าปริมาณฝนใช้การ แต่ส่งผลให้ปริมาณความต้องการน้ำชลประทานลดลง นอกจากนี้ยังมีการนำน้ำเข้าขังในแปลงเพาะปลูกข้าวอีก 2 ครั้งคือ ในช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 ของการปลูกข้าว (10 วัน ถึง 20 วัน) โดยค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำที่ให้แต่ละครั้งเท่ากับ 100 มิลลิเมตรต่อไร่

ผลการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว ซึ่งปริมาณน้ำฝนที่ข้าวใช้ต่อปริมาณผลผลิต ช่วง 1 ถึง 7 สัปดาห์แรก จะมีปริมาณน้ำฝนใช้การสูงทำให้วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวมีค่าสูง จึงไม่ต้องการน้ำชลประทานที่มากนัก ทำให้วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงินมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับช่วงอื่น ๆ ของอายุข้าว แต่จะสังเกตเห็นว่าช่วงที่ 1 และ 2 นั้น (10 วัน ถึง 20 วัน) เป็นช่วงที่มีค่าปริมาณการใช้น้ำสูงสุดจึงทำให้วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงินสูงสุดเช่นกันเมื่อเทียบกับช่วงอายุอื่นๆของการปลูกข้าว ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำชลประทานที่ถูกใช้มากที่สุดอยู่ในช่วงเวลาของการเตรียมแปลง ส่งผลให้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงินสูงมาก หมายความว่าต้องมีการเตรียมจัดสรรน้ำชลประทานในปริมาณมากนั่นเอง เมื่อทำการเก็บเกี่ยวข้าวจะได้ผลผลิตออกมาประกอบด้วยข้าวเปลือก ฟางข้าวและตอซัง รวมถึงปริมาณน้ำเสียจากแปลง โดยมีการปันส่วนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ตามราคาที่ได้ คือ ฟางข้าว ราคา 1.25 บาทกิโลกรัม และ ข้าวเปลือก ราคา 15 บาท/กิโลกรัม มีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 184.04 ลูกบาศ์กเมตรต่อตัน และ 2,220.5 ลูกบาศ์กเมตรต่อตัน ตามลำดับ

การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา จากการจัดทำบัญชีรายการระบบปลูกข้าวในพื้นที่ศึกษาพบว่ามีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยชีวภาพและปุ๋ยเคมี โดยส่วนใหญ่จะใส่ปุ๋ยเคมีในปริมาณมากกว่าปุ๋ยชนิดอื่น เ นื่ อ ง จ า ก สารอาหารที่อยู่ในดินไม่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของข้าวและมีปริมาณการใช้ปุ๋ยเฉลี่ยในพื้นที่ปลูกข้าวดังนี้

ปุ๋ยอินทรีย์ = 16.48 กก./ไร่

ปุ๋ยชีวภาพ = 9.09 กก./ไร่

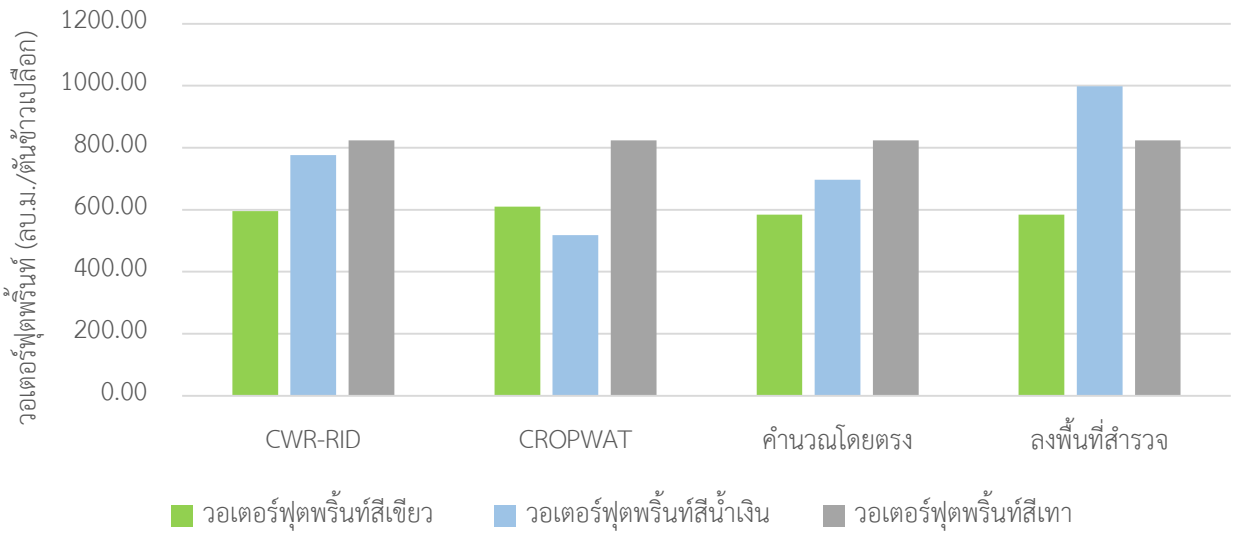
ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 หรือ 46-0-0 = 42 กก./ไร่

ผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำตัวอย่างน้ำในแม่น้ำท่าจีนบริเวณแปลงนาที่ศึกษาพบค่าความเข้มข้นของไนเตรทมีค่าเท่ากับ 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจะนำไปใช้เป็นค่า $C_{natural}$ และได้กำหนดค่า $C_{max}$ มีค่าเท่ากับ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยพิจารณาจากปริมาณไนโตรเจนเป็นไปตามค่ามาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 พ.ศ.2537 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิว และกำหนดให้สัดส่วนของน้ำท่าจากการชะละลายสารจากภาคสนามเท่ากับ ร้อยละ 10 ผลการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทารวม ได้เท่ากับ 823.9 ลูกบาศ์กเมตรต่อตันข้าวเปลือก ดังตารางที่ 8 ซึ่งมีค่าสูง

**ตารางที่ 8 แสดงค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทาของปุ๋ยชนิดต่างๆ**

| | | |
|---|---|---|
| ปุ๋ยอินทรีย์ | 4.07 | (ลบ.ม./ตันข้าวเปลือก) |
| ปุ๋ยชีวภาพ | 2.25 | (ลบ.ม./ตันข้าวเปลือก) |
| ปุ๋ยเคมี | 817.56 | (ลบ.ม./ตันข้าวเปลือก) |
| ปุ๋ยรวม | 823.88 | (ลบ.ม./ตันข้าวเปลือก) |

หากสามารถใช้ปุ๋ยชีวภาพหรือใช้จุลินทรีย์ในการบำรุงดินแทน การใช้ปุ๋ยเคมี และควบคุมปริมาณการใช้ปุ๋ยให้เหมาะสมต่อความต้องการของข้าวจะสามารถส่งผลต่อการลดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทาได้




รูปที่ 19 แสดงวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว,สีน้ำเงินและสีเทา จากโปรแกรม CWR-RID , CROPWAT , คำนวณโดยตรง และลงพื้นที่สำรวจ

จากรูปที่ 19 เป็นการสรุปผลคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ โดยใช้ค่าความต้องการใช้น้ำของข้าวจากโปรแกรม CWR-RID , CROPWAT, คำนวณโดยตรง และการจากลงพื้นที่สำรวจการใช้น้ำชลประทานระดับแปลงนา พบว่ามีค่าวอเตอร์พริ้นท์สีเขียว มีค่าเท่ากับ 595.6 ลูกบาศก์เมตรต่อตันข้าวเปลือก, 610.0 ลูกบาศก์เมตรต่อตันข้าวเปลือก , 583.7 ลูกบาศก์เมตรต่อตันข้าวเปลือก และ 583.7 ลูกบาศก์เมตรต่อตันข้าวเปลือก ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวที่ได้จากคำนวณโดยตรงและการลงพื้นที่จริงมีค่าเท่ากัน เนื่องจากใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของข้าวจากกรมชลประทานและข้อมูลสภาพภูมิอากาศมาจากแหล่งเดียวกัน จึงทำให้ได้ค่าปริมาณน้ำฝนใช้การของข้าวเท่ากัน ในส่วนของวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเขียวมีค่ามากที่สุดได้มาจากการใช้ปริมาณความต้องการใช้น้ำของข้าวด้วย โปรแกรม CROPWAT เนื่องจากระยะเวลาที่กำหนดในการเพาะปลูกข้าวจากโปรแกรม CROPWAT มีค่าแตกต่างไปและการใช้ค่าสัมประสิทธิ์ข้าวจาก FAO มีค่าแตกต่างไปด้วย จึงส่งผลให้ผลการคำนวณปริมาณน้ำที่ข้าวต้องการใช้มีค่าน้อยที่สุด เมื่อทำการลงพื้นที่สำรวจกลับพบว่าปริมาณน้ำชลประทานที่เกษตรกรใช้มีค่าสูงกว่าที่คำนวณจากทั้งสามวิธีข้างต้น ส่งผลให้วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงินมีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 998.0 ลูกบาศก์เมตรต่อตันข้าวเปลือก

การเปรียบเทียบค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในงานวิจัยอื่นๆแสดงดังตารางที่ 9 พบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่าแตกต่างกัน ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น พันธุ์ข้าว ค่าสัมประสิทธิ์ของพืชแต่ละชนิด ค่าสภาพภูมิอากาศที่มีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ปริมาณน้ำฝน และช่วงอายุของพืช เป็นต้น ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการนำไปคำนวณปริมาณความต้องการน้ำของข้าว แต่จากการลงพื้นที่สำรวจพบว่า ปริมาณน้ำชลประทานที่เกษตรกรใช้ในปลูกข้าวนั้นมีค่าสูงกว่าที่คำนวณได้ทางทฤษฎี ซึ่งส่งผลให้ค่าวอการเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงินมีค่าสูงตามไปด้วย ตรงจุดนี้เป็นประเด็นที่ควรมีการติดตามการใช้น้ำในระบบปลูกข้าวในพื้นที่ศึกษา ซึ่งสามารถปรับเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในระบบปลูกข้าวได้ และลดค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงินและสีเทาได้ตามลำดับ นอกจากนี้การใช้ปุ๋ยอินทรีย์แทนการใช้ปุ๋ยเคมี รวมถึงการใช้ปุ๋ยในปริมาณที่เหมาะสม สามารถลดค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทาได้

**ตารางที่ 9 เปรียบเทียบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่ได้ทำ**

| เขตพื้นที่ | ที่มา | Green water footprint (ลบ.ม./ตันข้าวเปลือก) | Blue water footprint (ลบ.ม./ตันข้าวเปลือก) | Gray water footprint (ลบ.ม./ตันข้าวเปลือก) | Total water footprint (ลบ.ม./ตันข้าวเปลือก) | เอกสารอ้างอิง |
|---|---|---|---|---|---|---|
| จังหวัดสุพรรณบุรี | WAPF | 694.90 | 1,246.48 | 877.16 | 2,818.53 | อรวิกา (2561) |
| จังหวัดน่าน | CROPWAT | 1,470.33 | 167.67 | 0.79 | 1,638.79 | Chatpanyacharoen (2015) |
| | WAPF | 1,752.23 | 533.13 | 0.79 | 2,286.16 | |
| | CWR-RID | 1,269.2 | 121.93 | 0.79 | 1,391.92 | |
| ประเทศไทย | - | 942.00 | 559.00 | 116.00 | 1,617 | A.K. Chapagain and A.Y. Hoekstra (2011) |
| จังหวัดนครปฐม | CWR-RID | 595.63 | 776.48 | 823.88 | 2,195.99 | การศึกษาในครั้งนี้ |
| | CROPWAT | 610.04 | 517.95 | 823.88 | 1,951.87 | |
| | คำนวณโดยตรง | 583.66 | 697.02 | 823.88 | 2,104.56 | |
| | ลงพื้นที่สำรวจ | 583.66 | 997.96 | 823.88 | 2,405.50 | |

# 6 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

วิธีการในการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของข้าวโดยใช้ซอฟแวร์ต่างๆ กันอาจส่งผลต่อการประเมินค่าปริมาณความต้องการใช้น้ำของข้าวซึ่งเป็นผลมาจากรายละเอียดเงื่อนไขในตัวซอฟแวร์นั้นๆจำเป็นต้องมีการศึกษารายละเอียดก่อนนำมาใช้งาน การคำนวณปริมาณความต้องการใช้น้ำของระบบปลูกข้าว ทางทฤษฎีจากโปรแกรม CWR-RID , CROPWAT และคำนวณโดยตรง มีค่าเท่ากับ 1,111 ลูกบาศ์กเมตรต่อไร่ , 913 ลูกบาศ์กเมตรต่อไร่ และ 1,037 ลูกบาศ์กเมตรต่อไร่ ตามลำดับ ซึ่งจะส่งผลต่อการประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากการสำรวจในพื้นที่ศึกษาครั้งนี้พบว่ามีการใช้น้ำจริงระดับแปลงนาสูงกว่าปริมาณน้ำชลประทานทางทฤษฎีประมาณ 20 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำให้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงินมีค่าสูงกว่า นอกจากนี้วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทามีค่าสูง เนื่องจากการปลูกข้าวแบบน้ำท่วมขังร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมี เมื่อมีปริมาณน้ำปล่อยออกจากแปลงนาเพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการเก็บเกี่ยวจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำบริเวณใกล้เคียง จึงทำให้มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทาค่อนข้างสูง

# 7 บรรณานุกรม


A.K. Chapagain and A.Y. Hoekstra. 2011. The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. Ecological Economics 2011 (70): 749–758.

Chatpanyacharoen W., Hungspreug N.,AnurugsaB., and Taweesuk S. 2015. “Water Footprint Evaluation of Oryza sativa L.Tha Wang Pha District,Nan Province ”, Thammasat International Journal of Science and Technology. 20: 21-28.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (Online). http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/, August 15, 2019

Hoekstra A. Y. and Chapagain A. K., 2007. “Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern,”Water Resources Management. 21:35-48.

Shrestha S. and Pandey VP. 2013. Green blue and grey water footprint of primary crops production in Nepal. Water Resource Management 27 (15): 5223-5243.

กรมการข้าว. (Online). http://www.ricethailand.go.th/Rkb/varieties/index.php-file=content.php&id=121.htm , 10 สิงหาคม 2562.

กัลยา วานิชย์บัญชา. 2542.การวิเคราะห์สถิติ : สถิติเพื่อการตัดสินใจ. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์วิทยาลัย.

ธีระวัฒน์ ธรรมนิยม, 2555. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกระเทียม. ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต,มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

สำนักงานจังหวัดนครปฐม.(Online). http://www.nakhonpathom.go.th/files/com_news_develop_plan/2016-11_71a0e26cc1c1c8a.pdf , 10 สิงหาคม 2562.

ส่วนการใช้น้ำชลประทานสำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยากรมชลประทาน. (Online). http://water.rid.go.th/hwm/cropwater/iwmd/sta/chart_sta6.htm , 10 สิงหาคม 2562.

ส่วนการใช้น้ำชลประทานสำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยากรมชลประทาน. (Online). http://water.rid.go.th/hwm/cropwater/iwmd/index_th.htm , 9 สิงหาคม 2562.

อรวิกา ศรีทอง. 2561. การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าว ในเขตจังหวัดสุพรรณบุรี. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี. 6 (1): 23-32.

ภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (Online). https://www.ku.ac.th/e-magazine/oct50/agri.html , 10 สิงหาคม 2562.

# 8 ภาคผนวก

# ตัวอย่างการคำนวณ

**การหาปริมาณความต้องการน้ำของข้าว**

จากสมการ

$$ETc = Kc \times ETo$$

เมื่อ สัมประสิทธิ์ของพืช Kc = 1.03 ETo = 3.81 มม./วัน

จะได้ปริมาณความต้องการน้ำของข้าว เท่ากับ 1.03x3.81 = 3.924 มม./วัน

จะคิดปริมาณน้ำช่วงละ 7 วัน จะได้ 3.924x7 = 27.47 มม.

คิดปริมาณความต้องการน้ำของข้าวต่อพื้นที่ 1 ไร่ ซึ่งมีพื้นที่ 1,600 ตารางเมตรจะได้ 27.47x0.001x1,600 = 43.952 ลบ.ม./ไร่

**การหาปริมาณฝนใช้การ**

จาก ความลึกฝน 70.45 มม. ซึ่งจากตาราง Weighted Rainfall and Effective Rainfall (กรมชลประทาน) ได้ค่าเฟกเตอร์เท่ากับ 0.80 จะได้ 70.45x0.8 เท่ากับ 53.36 มม.

คิดปริมาณฝนใช้การต่อพื้นที่ 1 ไร่ ซึ่งมีพื้นที่ 1,600 ตารางเมตร จะได้ 53.36x0.001x1,600 = 85.376 ลบ.ม./ไร่

**การหาปริมาณฝนใช้การที่พืชใช้**

หาได้จาก ปริมาณความต้องการน้ำของข้าว - ปริมาณฝนใช้การ

ถ้า มีค่าเป็นบวก จะได้ปริมาณฝนใช้การที่พืชใช้เท่ากับ ปริมาณฝนใช้การ

ถ้า มีค่าเป็นลบ จะได้ปริมาณฝนใช้การที่พืชใช้เท่ากับ ปริมาณความต้องการน้ำของข้าว

ตัวอย่าง ปริมาณความต้องการน้ำของข้าว เท่ากับ 43.952 ลบ.ม./ไร่

ปริมาณฝนใช้การ เท่ากับ 85.376 ลบ.ม./ไร่

จะได้ 43.952-85.376 = -41.424 มีค่าเป็นลบ ดังนั้นปริมาณฝนใช้การที่พืชใช้เท่ากับ 43.952 ลบ.ม./ไร่

**การหาปริมาณน้ำชลประทานที่พืชใช้**

หาได้จาก ปริมาณความต้องการน้ำของข้าว – ปริมาณฝนใช้การ

ถ้า มีค่าเป็นบวก จะได้ปริมาณน้ำชลประทานที่พืชใช้เท่ากับ ปริมาณความต้องการน้ำของข้าว – ปริมาณฝนใช้การ

ถ้า มีค่าเป็นลบ จะได้ปริมาณน้ำชลประทานที่พืชใช้เท่ากับ 0

ตัวอย่าง ปริมาณความต้องการน้ำของข้าว เท่ากับ 43.952 ลบ.ม./ไร่

ปริมาณฝนใช้การ เท่ากับ 85.376 ลบ.ม./ไร่

จะได้ 43.952-85.376 = -41.424 มีค่าเป็นลบ ดังนั้นปริมาณน้ำชลประทานที่พืชใช้เท่ากับ 0 ลบ.ม./ไร่

**การหาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว**

จากการสำรวจได้ผลผลิต 810 กิโลกรัมต่อไร่

หาจาก $\frac{\text{ปริมาณฝนใช้การที่พืชใช้ทั้งหมด}}{\text{ผลผลิต}} = \frac{483.23}{0.81} = 596.58$ ลบ.ม./ตัน

**-การหาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงิน**

หาจาก $\frac{\text{ปริมาณน้ำชลประทานที่พืชใช้ทั้งหมด}}{\text{ผลผลิต}} = \frac{601.73}{0.81} = 742.88$ ลบ.ม./ตัน

**การหาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา**

ในการทดลองนี้พิจารณาเพียงไนเตรทที่อยู่ในปุ๋ยเท่านั้น

จากผลสำรวจเกษตรกร 44 คน ทำให้ทราบปริมาณปุ๋ยเคมีเฉลี่ยเท่ากับ 42.235 กก./ไร่ แบ่งเป็นปุ๋ยที่มีไนโตรเจน 46 เปอร์เซ็นต์ 34คน และ 16 เปอร์เซ็นต์ 10คน

ซึ่งนำมาปันส่วนจะได้ปริมาณปุ๋ยเคมีเท่ากับ $\left(0.46\text{x}\frac{34}{44} + 0.16\text{x}\frac{10}{44}\right)x42.235 = 16.55$ กก./ไร่

ค่าความเข้มข้นของ ไนเตรทที่ยอมให้ 5 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ)

$$WF_{gray} = \frac{(\propto \text{xAR})/(C_{max} - C_{natural})}{Y} = \frac{0.1x16.55/(0.005-0.0025)}{0.81} = 817.28 \text{ ลบ.ม./ตัน}$$

**การปันส่วนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์**

ผลผลิตที่ได้จากการปลูกข้าวคือ ฟางข้าว และจากการคำนวณได้วอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมเท่ากับ 2400.12 ลบม./ตัน ในการทดลองนี้มีการปันส่วนตามราคาเนื่องจากฟางข้าวและข้าวเปลือกมีราคาต่างกันมาก

ซึ่งฟางข้าว ราคา 1.25 บาทกิโลกรัม และ ข้าวเปลือก ราคา 15 บาท/กิโลกรัม

ฟางข้าว จะได้วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เท่ากับ $\frac{1.25}{1.25+15}x2{,}400.12 = 184.63$ ลบ.ม./ตัน

ข้าวเปลือก จะได้วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เท่ากับ $\frac{15}{1.25+15}x2{,}400.12 = 2{,}215.49$ ลบ.ม./ตัน

**การคำนวณปริมาณน้ำภายในดินเพื่อนำไปปรับแก้ปริมาณการใช้น้ำของเกษตรกร**

เนื่องจากการสำรวจมีการเก็บค่าปริมาณน้ำที่ให้ข้าวเป็นความสูงของน้ำในแปลงนาที่ท่วมขังทำให้ไม่สามารถนำมาใช้เป็นปริมาณน้ำใช้จริงได้เนื่องจากมีการซึมของน้ำลงไปในดินด้วยส่วนหนึ่ง จึงต้องมีการคำนวณหาปริมาณน้ำที่ซึมลงในดินจากค่า ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินโดยคิดในส่วนที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ จากตารางความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน

ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินเหนียว เท่ากับ 1.6 มม./ซม.ดิน จะได้ 1.6x20 = 32 มม.

**ตาราง ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน**

| ชนิดของดิน | ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (ม.ม. น้ำ/ซม.ดิน) | | |
|---|---|---|---|
| | รวมทั้งหมด | พืชนำไปใช้ได้ | พืชนำไปใช้ไม่ได้ |
| ดินทราย | 0.65-1.50 | 0.35-0.85 | 0.30-0.65 |
| ดินร่วนปนทราย | 1.50-2.30 | 0.75-1.15 | 0.75-1.15 |
| ดินร่วน | 2.30-3.40 | 1.15-1.70 | 1.15-1.70 |
| ดินร่วนปนตะกอนทราย | 3.40-4.00 | 1.70-2.00 | 1.70-2.00 |
| ดินร่วนปนดินเหนียว | 3.60-4.15 | 1.50-1.80 | 2.10-2.35 |
| ดินเหนียว | 3.80-4.15 | 1.50-1.60 | 2.30-2.55 |

ที่มา : ภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2562)

แบบฟอร์มสัมภาษณ์ข้อมูลการปลูกข้าว

ชื่อเจ้าของ.....พื้นที่ปลูก.....ไร่

ที่อยู่..... .....

..... .....

เบอร์ติดต่อ.....

น้ำที่ใช้ในการปลูกข้าวมาจาก

☐ แหล่งน้ำธรรมชาติ ☐ คลองชลประทาน ☐ อื่นๆ.....

จำนวนรอบที่ปล่อยน้ำออกจากแปลงนา.....รอบ

1)ชื่อพันธุ์ข้าว.....

2)ปริมาณเมล็ดข้าวที่ใช้เพาะปลูก..... .....กก./ไร่

2)ปุ๋ยอินทรีย์.....กก./ไร่

3)ปุ๋ยชีวภาพ.....กก./ไร่

4)ปุ๋ยเคมี.....กก./ไร่ สูตรปุ๋ย.....

5)สารกำจัดวัชพืช.....ลิตร/ไร่

6)สารกำจัดศัตรูพืช.....ลิตร/ไร่

7)สารเคมีอื่นๆ.....ลิตร/ไร่

8)ปริมาณน้ำที่ใช้ปลูกข้าว.....ม.ม./ไร่

9)ปริมาณน้ำเตรียมแปลง.....ม.ม. /ไร่

**ตารางข้อมูลการสัมภาษณ์ข้อมูลจากเกษตรกร**

| ลำดับ | พื้นที่ | จำนวนรอบ | | ปริมาณเมล็ดข้าว(กก./ไร่) | ปุ๋ย | | | | กำจัดวัชพืช (ลิตร/ไร่) | กำจัดศัตรูพืช (ลิตร/ไร่) | ปริมาณน้ำปลูกข้าว(ม.ม./ไร่) | ปริมาณน้ำเตรียมแปลง(ม.ม./ไร่) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (ไร่) | น้ำเข้า | น้ำออก | | อินทรีย์ | ชีวภาพ | เคมี | สูตร | | | | |
| 1 | 1 | 7 | 1 | 30 | 0 | 0 | 50 | 46-0-0 | 25 | 25 | 120 | 120 |
| 2 | 5 | 4 | 1 | 30 | 0 | 0 | 50 | 46-0-0 | 25 | 25 | 50 | 50 |
| 3 | 25 | 4 | 1 | 30 | 0 | 0 | 50 | 46-0-0 | 25 | 25 | 50 | 50 |
| 4 | 18 | 4 | 1 | 30 | 0 | 0 | 50 | 16-20-0 | 25 | 25 | 50 | 50 |
| 5 | 5 | 8 | 1 | 30 | 0 | 0 | 50 | 46-0-0 | 25 | 25 | 120 | 120 |
| 6 | 11 | 4 | 1 | 30 | 0 | 0 | 50 | 46-0-0 | 23 | 25 | 50 | 50 |
| 7 | 3 | 4 | 1 | 30 | 0 | 0 | 50 | 46-0-0 | 23 | 25 | 50 | 50 |
| 8 | 15 | 4 | 1 | 30 | 0 | 0 | 50 | 46-0-0 | 23 | 25 | 50 | 70 |
| 9 | 20 | 4 | 1 | 30 | 0 | 0 | 50 | 46-0-0 | 23 | 25 | 50 | 70 |
| 10 | 23 | 3 | 2 | 30 | 50 | 0 | 50 | 46-0-0 | 0.4 | 0.5 | 100 | 100 |
| 11 | 4 | 3 | 2 | 30 | 50 | 0 | 50 | 46-0-0 | 0.4 | 0.5 | 100 | 100 |
| 12 | 20 | 3 | 2 | 30 | 50 | 0 | 50 | 46-0-0 | 0.4 | 0.5 | 100 | 100 |
| 13 | 3 | 4 | 2 | 25 | 100 | 100 | 25 | 46-0-0 | 25 | 25 | 40 | 40 |
| 14 | 19 | 4 | 2 | 25 | 100 | 100 | 25 | 46-0-0 | 25 | 25 | 40 | 100 |
| 15 | 23 | 4 | 3 | 25 | 100 | 100 | 25 | 46-0-0 | 25 | 25 | 40 | 40 |
| 16 | 15 | 4 | 3 | 25 | 100 | 100 | 25 | 46-0-0 | 25 | 25 | 40 | 100 |
| 17 | 4 | 3 | 1 | 20 | 0 | 0 | 50 | 16-20-0 | 0.1 | 25 | 100 | 100 |
| 18 | 7 | 3 | 1 | 20 | 0 | 0 | 50 | 16-20-0 | 0.1 | 25 | 100 | 100 |
| 19 | 19 | 3 | 1 | 20 | 0 | 0 | 30 | 16-20-0 | 0.1 | 25 | 100 | 100 |
| 20 | 22 | 3 | 1 | 20 | 0 | 0 | 30 | 16-20-0 | 0.1 | 25 | 100 | 100 |
| 21 | 15 | 3 | 1 | 20 | 0 | 0 | 30 | 16-20-0 | 0.1 | 25 | 50 | 50 |
| 22 | 27 | 3 | 1 | 20 | 0 | 0 | 30 | 16-20-0 | 0.1 | 25 | 50 | 50 |
| 23 | 22 | 3 | 1 | 20 | 0 | 0 | 30 | 16-20-0 | 0.1 | 25 | 50 | 50 |
| 24 | 15 | 3 | 1 | 20 | 0 | 0 | 30 | 16-20-0 | 0.1 | 25 | 50 | 50 |
| 25 | 26 | 3 | 2 | 30 | 50 | 0 | 50 | 46-0-0 | 0.4 | 0.5 | 100 | 100 |
| 26 | 14 | 4 | 1 | 40 | 0 | 0 | 40 | 46-0-0 | 30 | 30 | 50 | 50 |
| 27 | 26 | 5 | 1 | 30 | 0 | 0 | 50 | 46-0-0 | 25 | 25 | 50 | 50 |
| 28 | 26 | 5 | 1 | 30 | 0 | 0 | 50 | 46-0-0 | 25 | 25 | 50 | 50 |
| 29 | 14 | 3 | 1 | 40 | 0 | 0 | 50 | 46-0-0 | 30 | 30 | 50 | 50 |
| 30 | 20 | 3 | 1 | 40 | 0 | 0 | 50 | 46-0-0 | 30 | 30 | 50 | 50 |
| 31 | 29 | 3 | 1 | 40 | 0 | 0 | 50 | 46-0-0 | 30 | 30 | 50 | 50 |
| 32 | 20 | 3 | 1 | 40 | 0 | 0 | 50 | 46-0-0 | 30 | 30 | 50 | 50 |
| 33 | 27 | 4 | 1 | 40 | 0 | 0 | 40 | 46-0-0 | 30 | 30 | 50 | 50 |
| 34 | 30 | 5 | 1 | 30 | 0 | 0 | 50 | 46-0-0 | 25 | 25 | 50 | 50 |
| 35 | 19 | 5 | 5 | 30 | 25 | 0 | 50 | 46-0-0 | 25 | 25 | 50 | 50 |
| 36 | 17 | 5 | 1 | 30 | 0 | 0 | 50 | 46-0-0 | 25 | 25 | 50 | 50 |
| 37 | 13 | 5 | 5 | 30 | 25 | 0 | 50 | 46-0-0 | 0 | 0 | 50 | 50 |
| 38 | 12 | 5 | 5 | 30 | 25 | 0 | 50 | 46-0-0 | 0 | 0 | 50 | 50 |
| 39 | 15 | 5 | 5 | 30 | 25 | 0 | 50 | 46-0-0 | 0 | 0 | 50 | 50 |
| 40 | 3 | 4 | 1 | 30 | 0 | 0 | 50 | 46-0-0 | 25 | 25 | 50 | 50 |
| 41 | 15 | 5 | 5 | 30 | 25 | 0 | 50 | 46-0-0 | 0 | 0 | 50 | 50 |
| 42 | 13 | 4 | 1 | 30 | 0 | 0 | 50 | 46-0-0 | 25 | 25 | 50 | 50 |
| 43 | 16 | 4 | 1 | 30 | 0 | 0 | 50 | 46-0-0 | 25 | 25 | 50 | 50 |
| 44 | 7 | 4 | 1 | 30 | 0 | 0 | 50 | 16-20-0 | 25 | 25 | 50 | 50 |

**หมายเหตุ ค่าปริมาณน้ำจะต้องมีการปรับแก้จากค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของดินที่พืชนำไปใช้ได้ และมีการแปลงหน่วยก่อนนำไปใช้

# ปริมาณความต้องการน้ำและค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ระบบปลูกข้าว กข 41

## กรณีศึกษา : พื้นที่ปลูกข้าว กข 41 อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม

**Crop water requirement and Water footprint of RD 41 rice cultivation system**

**A case study : RD 41 rice cultivation area in Bang Len District, Nakhon Pathom Province**

**ธนาธร เรืองหิรัญวนิช[1], พสิษฐ์ นาคทอง[1], ชัยศรี สุขสาโรจน์[1*]**

**Thanathorn Ruenghirunwanit[1], Phasit Nakthong[1], Chaisri Suksaroj[1*]**

[1]ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน,คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม, 73140

[1]Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University – Kamphaengsaen Campus, NakhonPathom, 73140

*Corresponding author: E-mail: fengcss@ku.ac.th

**บทคัดย่อ**

ระบบปลูกข้าวปกติจะใช้น้ำปริมาณมาก และการใช้น้ำในระบบปลูกข้าวส่งผลต่อค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ซึ่งเป็นค่าที่แสดงการใช้ทรัพยากรน้ำและผลกระทบด้านคุณภาพน้ำต่อผลผลิตที่ได้ การคำนวณปริมาณการใช้น้ำของข้าวสามารถทำได้โดยการประเมินทางทฤษฎีและการลงสำรวจเก็บข้อมูลจากพื้นที่ปลูกจริง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณความต้องการน้ำและค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของระบบปลูกข้าว กข 41 ในเขตพื้นที่อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม ในปี พ.ศ.2561-2562 โดยจะอธิบายเปรียบเทียบค่าปริมาณความต้องการน้ำทางทฤษฎีและการลงพื้นที่สำรวจ การคำนวณทางทฤษฎีจะใช้สูตรของ Penman-Monteith ผ่านซอฟแวร์สำเร็จรูปคือ CWR-RID , CROPWAT 8 และการคำนวณโดยตรง โดยพบว่าปริมาณความต้องการน้ำทางทฤษฎีของข้าวที่ได้มีค่าแตกต่างกันเนื่องจากข้อจำกัดหรือเงื่อนไขของแต่ละซอฟแวร์ และผลจากการสำรวจการใช้น้ำในระบบปลูกข้าวในพื้นที่จริงพบว่ามีการใช้น้ำชลประทานระดับแปลงนาสูงกว่าที่คำนวณได้ทางทฤษฎีร้อยละ 20 ถึง 50 และเมื่อนำค่าความต้องการใช้น้ำทางทฤษฎีไปคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์พบว่ามีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวอยู่ระหว่าง 550 ถึง 650 ลูกบาศก์เมตรต่อตันข้าวเปลือก ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงินอยู่ระหว่าง 500 ถึง 800 ลูกบาศก์เมตรต่อตันข้าวเปลือก และมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทาเท่ากับ 823.88 ลูกบาศก์เมตรต่อตันข้าวเปลือก ในขณะที่ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมมีค่าอยู่ระหว่าง 1,900 ถึง 2,200 ลูกบาศก์เมตรต่อตันข้าวเปลือก ซึ่งน้อยกว่าค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมที่คำนวณจากค่าเฉลี่ยการให้น้ำชลประทานจริงซึ่งมีค่าเท่ากับ 2,405.37 ลูกบาศก์เมตรต่อตันข้าวเปลือก

**คำสำคัญ** : วอเตอร์ฟุตพริ้นท์; ข้าว กข 41; ปริมาณความต้องการน้ำ; ระบบปลูกข้าว ; CWR-RID ; CROPWAT

**Abstract**

The rice planting system normally uses a lot of water. Water use in the rice planting system affects the water footprint, which shows the use of water resources and the impact on water quality on the yield. The calculation of rice planting water requirement can use a theoretical evaluation and collect data from actual planting areas. The objective of this research is to study the water requirement and water footprint of the rice planting system, RD 41 in Bang Len District, Nakhon Pathom Province in the year 2018-2019. The comparing of theoretical water requirement by using the formula of Penman-Monteith Through CWR-RID, CROPWAT 8 software and direct calculation were discussed with the actual average value from data surveying. It was found that the theoretical water requirement of rice obtained has different values due to limitations or conditions of each software. The irrigation water use on-farm was 20 to 50% higher than the theoretical calculated. Therefore, the green, blue and gray water footprint value which was calculated from the theoretical are 550 to 650 m3/ton of paddy, 500 to 800 m3/ton of paddy and 823.88 m3/ton of paddy, respectively. The total water footprint is between 1,900 and 2,200 m3/ton of paddy, which is less than the total water footprint calculated from the average on-farm irrigation water 2,405.37 m3/ton of paddy.

**Keyword** : Water Footprint; RD 41 Rice; Crop Water Requirement**;** Rice planting system ; CWR-RID ; CROPWAT

**1. บทนำ**

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยเนื่องจากเป็นอาหารหลักและสินค้าส่งออกที่สำคัญ ซึ่งจังหวัดนครปฐมเป็นพื้นที่ที่มีการปลูกข้าว 298,150 ไร่ซึ่งคิดเป็นร้อยละ5.5 ของพื้นที่ทั้งหมดในภาคกลาง โดยมีอำเภอบางเลนเป็นเขตที่มีการปลูกข้าวมากเป็นอันดับสองของจังหวัดนครปฐม สภาพภูมิประเทศของอำเภอบางเลน โดยทั่วไปมีลักษณะเป็นที่ราบ ถึงค่อนข้างราบเรียบ มีปริมาณน้ำที่เก็บเฉลี่ยทั้งปี 2,114,672 ล้านลูกบาศก์เมตร และมีแม่น้ำท่าจีนไหลผ่าน ซึ่งมีปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย 1,395 ล้านลูกบาศก์เมตร (สำนักงานจังหวัดนครปฐม, 2562: ออนไลน์)

ข้าวพันธุ์ กข 41 เป็นพันธุ์ข้าวที่มีการปลูกในพื้นที่มากที่สุด ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพ เป็นข้าวเจ้าไม่ไวต่อแสง ความสูงประมาณ 104 เซนติเมตร กอตั้ง ต้นแข็ง ใบและกาบใบสีเขียว ใบธงตั้งตรง คอรวงโผล่พ้นจากกาบใบธงเล็กน้อย ยอดเกสรตัวเมียสีขาว เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง เปลือกเมล็ดมีขนสั้น รูปร่างเรียว โดยจะมีลักษณะเด่น คือ ผลผลิตสูง มีเสถียรภาพดี ค่อนข้างต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และโรคไหม้ คุณภาพเมล็ดทางกายภาพดี สามารถสีเป็นข้าวสาร 100 เปอร์เซ็นต์ได้ ในเขตพื้นที่ศึกษานิยมปลูกโดยวิธีท่วมขังแบบหว่านน้ำตมซึ่งจะต้องมีการเตรียมแปลงก่อนการเพาะปลูกและมีการเพาะต้นกล้าแยกทำให้มีการใช้น้ำในการเพาะปลูกปริมาณมาก (กรมการข้าว, 2562: ออนไลน์)

การคำนวณความต้องการน้ำของข้าวสามารถทำได้หลายวิธี โดยสูตรที่นำมาใช้อย่างมากคือ สูตร ของ Penman-Monteith ซึ่งได้เสนอไว้ในปี ค.ศ. 1948 และมีการปรับปรุงพัฒนาจนได้สมการที่ใช้ในปัจจุบัน เมื่อปี ค.ศ.1956 (Chatpanyacharoen,2015) ซึ่งปัจจุบันได้มีการนำทฤษฎีของ Penman-Monteith มาสร้างเป็นโปรแกรมสำหรับคำนวณความต้องการน้ำของพืชอยู่หลายโปรแกรม เช่น CWR-RID (สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา, 2562:ออนไลน์) และ CROPWAT 8.0 (FAO 2019: Online) ซึ่งจะสามารถนำค่าปริมาณความต้องการน้ำของพืชมาใช้ในด้านการจัดสรรทรัพยากรน้ำ และยังสามารถนำไปคำนวณหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เพื่อแสดงให้เห็นถึงปริมาณน้ำที่ถูกใช้ไปในระบบปลูกข้าว

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ คือ ตัวชี้วัดการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อมของกระบวนการผลิตในที่นี้คือข้าวเปลือก ซึ่งเป็นค่าการใช้น้ำในระบบปลูกข้าว คำนวณปริมาณการใช้น้ำจากผลรวมตลอดระยะเวลาของการการเพาะปลูก แนวคิดนี้ได้เริ่มขึ้นในปี ค.ศ. 2002 โดยศาสตราจารย์ Arjen Y. Hoekstra ประเทศเนเธอร์แลนด์ และได้รับความสนใจมากขึ้น เพราะจะทำให้เห็นปริมาณการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อมซึ่งเป็นน้ำเสมือนที่อยู่ในกระบวนการผลิตสินค้าหรือการเพาะปลูก วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว (green water footprint) คือปริมาณน้ำฝนที่ข้าวใช้ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ สีน้ำเงิน (blue water footprint) คือปริมาณน้ำชลประทานที่ข้าวใช้ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา (gray water footprint) คือปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากการผลิตข้าวซึ่งคำนวณจากปริมาณที่ใช้บำบัดน้ำเสียให้ได้มาตรฐานก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ(Hoekstra และ Hung, 2002) งานวิจัยของอรวิกา ศรีทอง (2561) ได้ศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวนาปี ปลูกโดยวิธีหว่านน้ำตม โดยใช้โปรแกรม WAPF ในการคำนวณปริมาณความต้องการน้ำของข้าว ในเขตจังหวัดสุพรรณบุรี มีค่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว,วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงิน,วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา และ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมเท่ากับ 694.9 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน , 1,246.48 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน , 877.16 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน และ 2,818.53 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับ งานวิจัยของ Chatpanyacharoen W. (2015) ได้ศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวนาสวน (Oryza sativa L.) มีค่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว,วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงิน,วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา และ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมเท่ากับ 1,470.33 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน , 167.67 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน , 0.79 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน และ 1,638.79 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ ซึ่งเป็นการปลูกข้าวในเขตจังหวัดน่าน และใช้โปรแกรม CROPWAT 8.0 ในการคำนวณ จะพบว่าค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่าที่ต่างกันอย่างมาก ซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยหลายอย่างที่ต่างกัน เช่น สภาพอากาศ วิธีการเพาะปลูก และพันธุ์ข้าว เป็นต้น ทั้งนี้ปัจจัยอีกหนึ่งปัจจัยที่ยังมิได้ถูกพิจารณามากนัก คือการคำนวณปริมาณความต้องการน้ำของพืชที่จะมีผลกับค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์โดยตรง เนื่องจากการคำนวณความต้องการน้ำของพืชแต่ละโปรแกรมจะมีข้อจำกัดที่แตกต่างกันออกไปเช่น ค่าสัมประสิทธิ์ของข้าวที่ใช้ในโปรแกรม ความเที่ยงตรงของข้อมูลภูมิอากาศเป็นต้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาเปรียบเทียบการคำนวณปริมาณความต้องการน้ำของข้าว กข 41 โดยโปรแกรม CWR-RID, CROPWAT 8.0 และการเก็บข้อมูลการใช้น้ำจากเกษตรในพื้นที่แล้วได้นำค่าความต้องการใช้น้ำของข้าว ไปคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เพื่อแสดงให้เห็นผลของการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชต่อค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

**2.ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย**

1) ศึกษาข้อมูลทุติยภูมิที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การปลูกข้าวพันธุ์ กข 41 ในพื้นที่ศึกษา หลักการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืช การใช้งานโปรแกรม CWR-RID และโปรแกรม CROPWAT และ ข้อมูลของข้าว ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

2) เก็บรวบรวมข้อมูลจากการลงภาคนาม

2.1 การสัมภาษณ์ชาวนาในพื้นที่ศึกษาเพื่อเก็บข้อมูลการเพาะปลูกข้าว โดยสุ่มตัวอย่างด้วยวิธี ของ Yamane (1973) จากสูตร $n = \frac{N}{1+Ne^2}$

เมื่อ n = จำนวนของประชากรตัวอย่าง (คน)

N =จำนวนของประชากรทั้งหมด (คน)

e = คือความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดขึ้นในรูปของสัดส่วน

2.2 เก็บตัวอย่างน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติแล้วนำไปหาความเข้มข้นของไนเตรท เพื่อนำไปคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา

3) ศึกษาปริมาณความต้องการน้ำของข้าวพันธุ์ กข 41 ด้วยสูตรของ Penman-Monteith โดยใช้ซอฟแวร์ CWR-RID และ CROPWAT และ คำนวณโดยใช้สมการของ Penman-

Monteith โดยตรง พร้อมทั้งใช้ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามและวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณความต้องการใช้น้ำของข้าวแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1 ขอบเขตการศึกษาปริมาณการใช้น้ำของข้าว**

| ที่มา | ค่าสัมประสิทธิ์ของพืช | ค่าสภาพภูมิอากาศ |
|---|---|---|
| CWR-RID | กรมชลประทาน(ส่วนการใช้น้ำชลประทาน.2551) | Default ของโปรแกรม |
| CROPWAT | FAO (Allen.1998) | สถานีตรวจอากาศกำแพงแสน |
| คำนวณโดยตรง | กรมชลประทาน(ส่วนการใช้น้ำชลประทาน.2551) | สถานีตรวจอากาศกำแพงแสน |
| ลงพื้นที่สำรวจ | กรมชลประทาน(ส่วนการใช้น้ำชลประทาน.2551) | สถานีตรวจอากาศกำแพงแสน |

4) การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

4.1) กำหนดเป้าหมายและขอบเขตงาน โดยใช้หลักของ การประเมินวัฏจักรชีวิต(Life Cycle Assessment: LCA) เป็นเครื่องมือในการกำหนด

**เป้าหมาย**

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวเปลือก 1 ตัน

**ขอบเขตการศึกษา**

1) เตรียมกล้าถึงเก็บเกี่ยวผลผลิต

2) เขตพื้นที่อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม

3) ปลูกข้าวแบบท่วมขัง

4) พันธุ์ข้าว กข 41

5) วิธีการปลูกข้าวนาหว่านน้ำตม

6) functional unit = ข้าวเปลือก 1 ตัน

4.2) จัดทำผังแสดงขั้นตอนระบบปลูกข้าว (Process flow diagram) และลงพื้นที่เก็บข้อมูลระบบปลูกข้าวเพื่อจัดทำตารางบัญชีรายการ (Inventory)

4.3) นำปริมาณความต้องการน้ำมาคำนวณหาค่า Water Footprint ในส่วนของ Green และ Blue

จากสูตร $WF_{blue} = \frac{\mathbf{CWU_{blue}}}{\mathbf{Y}}$

$WF_{green} = \frac{\mathbf{CWU_{green}}}{\mathbf{Y}}$

โดย $CWU_{blue}$=ปริมาณน้ำชลประทานที่พืชใช้ (ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกแตร์)

$CWU_{green}$=ปริมาณน้ำฝนที่พืชใช้ (ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกแตร์)

ซึ่งค่า $\mathbf{CWU_{blue}}$ และ $\mathbf{CWU_{green}}$ สามารถคำนวณได้จาก

$$\mathbf{CWU_{green}} = 10 \sum_{d=1}^{lgp} \mathbf{ET_{green}}$$

$$\mathbf{CWU_{blue}} = 10 \sum_{d=1}^{lgp} \mathbf{ET_{blue}}$$

เมื่อ lgp = ระยะการเจริญเติบโตของพืช (วัน)

$ET_{green}$= ปริมาณการใช้น้ำสีเขียวของพืช (มม./วัน)

$ET_{blue}$ = ปริมาณการใช้น้ำสีน้ำเงินของพืช (มม. /วัน)

$ET_{green}$ หาได้จากสมการ $ET_{green}$ = min (ETc, $P_{eff}$)

$ET_{blue}$ หาได้จากสมการ $ET_{blue}$ = max (0, ETc - $P_{eff}$)

เมื่อ ETc = ปริมาณการใช้น้ำของพืช (มม. /วัน)

$P_{eff}$ = ปริมาณฝนใช้การ (มม. /วัน)

4.4) นำผลการทดลองจากการเก็บตัวอย่างน้ำมาคำนวณหาค่า Gray Water Footprint จากสูตร

$WF_{gray} = \frac{(\propto \mathbf{xAR})/(\mathbf{C_{max}} - \mathbf{C_{natural}})}{\mathbf{Y}}$

เมื่อ $\propto$ = สัดส่วนของน้ำท่าจากการชะละลายสาร

AR = อัตราการใช้สารในพื้นที่ต่อไร่ (กิโลกรัมต่อไร่)

$C_{max}$=ความเข้มข้นสูงสุดของสารพิษที่ยอมรับได้ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

$C_{natural}$=ความเข้มข้นสารพิษในธรรมชาติที่พิจารณา (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

Y = ผลผลิตพืช (ตันต่อไร่)

4.5) ปันส่วนค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่คำนวณได้จากราคาต่อหน่วยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากระบบปลูกข้าวคือข้าวเปลือกและฟางข้าว

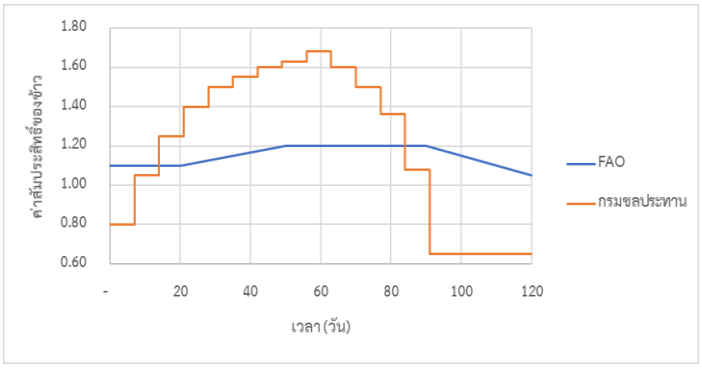
4.6) แปลผลการคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ วิเคราะห์ผลการทดลอง และสรุปผล

**3.ผลการทดลอง**

จากผลการสำรวจภาคสนามและสัมภาษณ์ชาวนาที่ปลูกข้าวพันธ์ กข 41 ในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 44 คน ซึ่งเป็นตัวแทนของกลุ่มประชากรตามทฤษฎี Yamane (1973) เพื่อจัดทำบัญชีรายการ การใช้น้ำเป็นทรัพยากรในการปลูกข้าว ยังพบอีกว่านิยมปลูกข้าวแบบนาดำ การให้น้ำเป็นท่วมขัง และมีการใช้ปุ๋ยเคมีทั้งหมด 2 สูตรด้วยกันคือ 46-0-0 และ 16-20-0 ข้อมูลที่ได้ส่วนหนึ่งนำไปทวนสอบกับข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ ได้แก่ สำนักงานเกษตรอำเภอบางเลน และโครงการส่งน้ำ แ ะบำรุงรักษาบางเลนจากนั้นนำมาจัดทำบัญชีรายการของระบบปลูกข้าวพันธ์ กข 41 ในพื้นที่ศึกษา

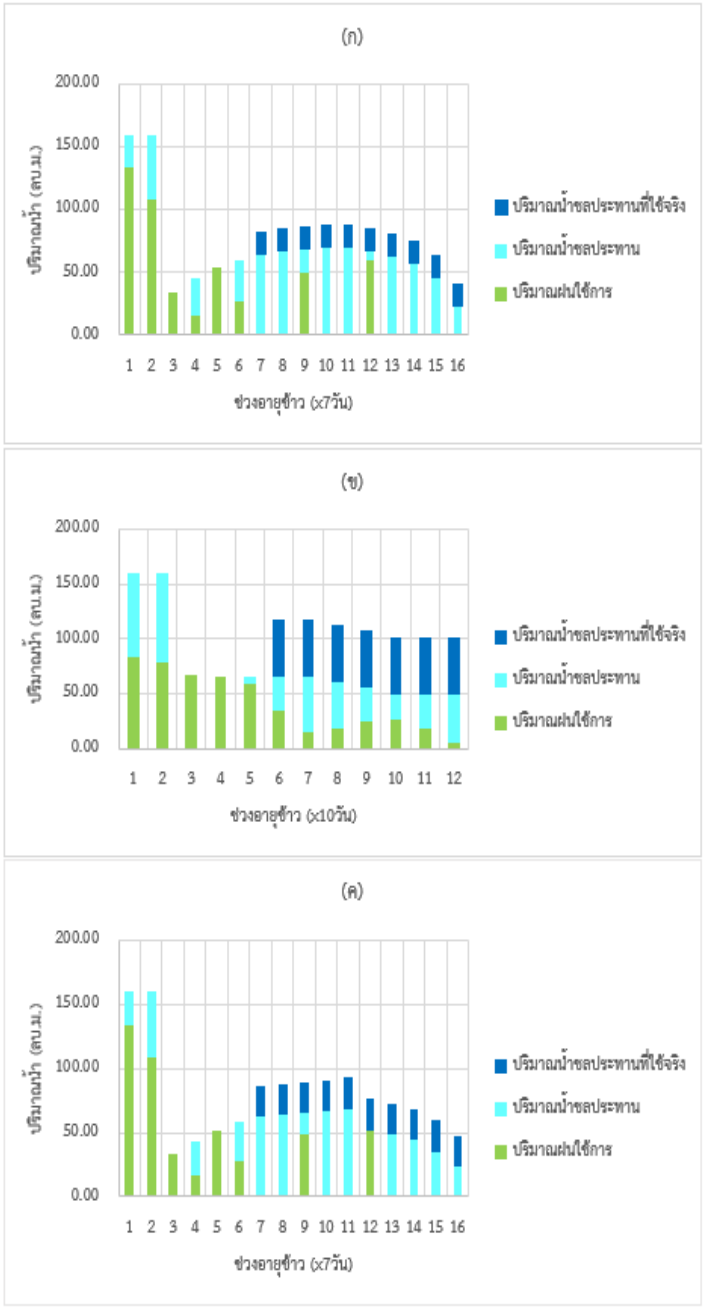
การศึกษาผลของการคำนวณค่าการใช้น้ำของข้าวเริ่มจากส่วนของสัมประสิทธิ์ของข้าว (Kc) ต่อปริมาณการใช้น้ำของข้าว ซึ่งจากรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ของข้าวจากแหล่งข้อมูลที่ต่างกันทั้ง 2 แบบ มีความแตกต่างกัน คือ จาก FAO (Allen.1998) ซึ่งถูกนำไปใช้คำนวณความต้องการน้ำของข้าวโดยโปรแกรม CROPWAT 8.0 และจากกรมชลประทาน (ส่วนการใช้น้ำชลประทาน 2551) ซึ่งจะถูกนำไปใช้คำนวณความต้องการใช้น้ำของข้าวโดยใช้โปรแกรม CWR-RID และการแบ่งช่วงอายุของข้าวมีความแตกต่างกันโดยโปรแกรม CROPWAT 8.0 จะมีการแบ่งช่วงอายุทุก ๆ10วัน แต่ในส่วนของโปรแกรม CWR-RID จะมีการแบ่งช่วงอายุทุก ๆ 7 วันจะส่งผลทำให้ปริมาณการใช้น้ำของข้าวในภาพรวมแตกต่างกัน ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ของข้าวจากกรมชลประทาน เป็นค่ามาตรฐานที่ได้มีการศึกษาและใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทยซึ่งขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่ทางสำนักงานชลประทานในท้องถิ่นที่เป็นผู้ดูแล ไม่สามารถปรับใส่ค่าเองได้ และเมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของข้าวซึ่งเป็นค่ากลางของ FAO ที่ถูกนำมาใช้ในโปรแกรม CROPWAT จะพบว่าช่วงอายุที่ถูกกำหนดไว้มีความแตกต่างจากช่วงอายุของข้าวไทยแม้จะสามารถปรับค่า Kc ในแต่ละช่วงอายุของข้าวได้ก็ตาม ทำให้เกิดช่องว่างบางจุดในแต่ละช่วงอายุของข้าวไทยซึ่งไม่สามารถปรับได้ตามความเป็นจริงของช่วงอายุข้าวไทยได้

การทดลองนี้จึงเปรียบเทียบปริมาณความต้องการใช้น้ำของข้าวโดยใช้ค่า Kc ซึ่งเป็นค่าเริ่มต้นจาก FAO ในการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของข้าวด้วยโปรแกรม CROPWAT 8.0 และข้อมูลภูมิอากาศของสถานีตรวจอากาศกำแพงแสน ซึ่งประกอบไปด้วย ความเร็วลม อุณหภูมิ ความชื้นสัมพันธ์ ชั่วโมงแสงอาทิตย์ เป็นต้น เพื่อนำมาหาค่า ETo โดยใช้ข้อมูลปี พ.ศ.2561 เป็นข้อมูลสำหรับการคำนวณ นำมาเปรียบเทียบกับค่าปริมาณความต้องการใช้น้ำของข้าวที่คำนวณจากโปรแกรม CWR-RID ซึ่งใช้ค่า Kc ของข้าวพันธุ์ กข 41 แต่ใช้ข้อมูลภูมิอากาศของสำนักงานชลประทานที่รับผิดชอบในเขตพื้นที่ศึกษา และยังได้ทำการศึกษาปริมาณความต้องการใช้น้ำของข้าวพันธุ์ กข 41 โดยคำนวณจากสูตรของ Penman-Monteith (การคำนวณโดยตรง)และใช้ข้อมูลสภาพอากาศของสถานีตรวจอากาศกำแพงแสน ที่อยู่ในพื้นที่เพาะปลูกซึ่งเป็นพื้นที่ศึกษา




รูปที่ 1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ (Kc) ของข้าวเปรียบเทียบระหว่าง FAO (Allen.1998) และกรมชลประทาน (ส่วนการใช้น้ำชลประทาน 2551)

ผลการศึกษาปริมาณความต้องการใช้น้ำของข้าวด้วยวิธีต่าง ๆพบว่า ปริมาณความต้องการน้ำของข้าวที่คำนวณได้มีความแตกต่างกัน ตามสภาพภูมิอากาศ และสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของข้าว ส่วนของโปรแกรม CWR-RID จะเป็นค่าสภาพภูมิอากาศที่เก็บรวมไว้ในโปรแกรมอยู่แล้วขึ้นอยู่กับพื้นที่เพาะปลูกอยู่ในเขตรับผิดชอบของสำนักงานชลประทาน จะต่างจากโปรแกรม CROPWAT ที่สามารถใส่ค่าสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ศึกษาเองได้ จากการลงสำรวจพื้นที่ได้ข้อมูลจากเกษตรกรและทำการประเมินการใช้น้ำในระบบ ปลูกข้าว พบว่ามีการใช้ปริมาณน้ำชลประทานเฉลี่ย เท่ากับ 808 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าปริมาณน้ำชลประทาน ที่ได้จากโปรแกรม CWR-RID , CROPWAT และ คำนวณโดยตรง (ตารางที่ 1) ที่มีค่าเท่ากับ 629 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ , 419 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ และ 564 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ตามลำดับ โดยมีปริมาณฝนใช้การเท่ากับ 482 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ , 494 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ และ 473 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเกษตรกรมีการใช้ชลประทานที่สูงกว่าที่คำนวณได้และความต้องการใช้น้ำของข้าวที่มาจากระบบชลประทานจะมีความแตกต่างกันเนื่องจากปริมาณฝนใช้การที่แตกต่างกัน จากข้อมูลจะสังเกตเห็นว่า ปริมาณการใช้น้ำของข้าวในช่วงเวลาที่ทำการศึกษาระบบปลูกข้าวเดือนตุลาคมถึงเดือนมกราคม ซึ่ง มีการปลูกข้าวใช้น้ำจากระบบชลประทานเป็นหลัก และชาวนาปล่อยน้ำเข้านามากกว่าความต้องการใช้น้ำของข้าว ซึ่งเป็นการทำนาแบบน้ำท่วมขังเพื่อป้องกันวัชพืช สามารถดูได้จากปริมาณน้ำชลประทานที่ใช้จริงซึ่งได้มาจากการสำรวจภาคสนาม ซึ่งสูงกว่าที่ต้องการตามทฤษฎี และสังเกตได้ว่าจะเกิดขึ้นในช่วงที่มีฝนน้อยในระหว่างการปลูกข้าว และ เมื่อนำมาคำนวณ Water Productivity ของโปรแกรม CWR-RID, CROPWAT และคำนวณโดยตรง มีค่าเท่ากับ 0.73 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร , 0.89 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 0.78 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ




รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ช่วงอายุข้าว กับปริมาณฝนใช้การปริมาณน้ำชลประทานและปริมาณน้ำชลประทานที่ใช้จริง ของโปรแกรม CWR-RID (ก) ,CROPWAT (ข) และคำนวณโดยตรง (ค)

**ตารางที่ 1 ปริมาณน้ำชลประทานและปริมาณฝนใช้การ**

| ที่มา | ปริมาณน้ำชลประทาน (ลบ.ม./ไร่) | ปริมาณฝนใช้การ (ลบ.ม./ไร่) | รวม (ลบ.ม./ไร่) |
|---|---|---|---|
| CWR-RID | 629 | 482 | 1,111 |
| CROPWAT | 419 | 494 | 913 |
| คำนวณโดยตรง | 564 | 473 | 1,037 |

**การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์**

การคำนวณ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวและวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงินโดยใช้ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของข้าวที่ได้มาจากโปรแกรม CWR-RID , CROPWAT และ คำนวณโดยตรง จะเห็นได้ว่าในช่วงอายุข้าว 1 ถึง 7 (สัปดาห์)แรกเป็นช่วงที่มีฝนตก ซึ่งตรงกับช่วงของการเตรียมแปลงนา (ช่วง 1 ถึง 2 สัปดาห์) ในการเพาะปลูกข้าว กข 41 สอดคล้องกับการแบ่งช่วงเวลาการใช้น้ำของข้าวในโปรแกรม CWR-RID และการคำนวณโดยตรง ส่วนโปรแกรม CROPWAT มีการแบ่งช่วงอายุข้าว 1 ถึง 2 (20วัน) แรกเป็นช่วงเตรียมแปลงและเป็นช่วงที่มีฝนตกเช่นเดียวกัน แม้ว่าจะมีน้ำฝนตกมาช่วยเพิ่มปริมาณน้ำ แต่ความต้องการในการใช้น้ำยังคงสูงกว่าปริมาณฝนใช้การ แต่ส่งผลให้ปริมาณความต้องการน้ำชลประทานลดลง นอกจากนี้ยังมีการนำน้ำเข้าขังในแปลงเพาะปลูกข้าวอีก 2 ครั้งคือ ในช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 ของการปลูกข้าว (10 วัน ถึง 20 วัน) โดยค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำที่ให้แต่ละครั้งเท่ากับ 100 มิลลิเมตรต่อไร่

ผลการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว ซึ่งปริมาณน้ำฝนที่ข้าวใช้ต่อปริมาณผลผลิต ช่วง 1 ถึง 6 สัปดาห์แรกจะมีปริมาณน้ำฝนใช้การสูงทำให้วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวมีค่าสูง จึงไม่ต้องการน้ำชลประทานที่มากนัก ทำให้วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงินมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับช่วงอื่น ๆ ของอายุข้าว แต่จะสังเกตเห็นว่า ช่วงที่ 1 และ 2 นั้น (10 วัน ถึง 20 วัน) เป็นช่วงที่มีค่าปริมาณการใช้น้ำสูงสุดจึงทำให้วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงินสูงสุดเช่นกันเมื่อเทียบกับช่วงอายุอื่นๆของการปลูกข้าวซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำชลประทานที่ถูกใช้มากที่สุดอยู่ในช่วงเวลาของการเตรียมแปลงหากปลูกข้าวนาปรังหรือนาฤดูแล้งจะส่งผลให้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงินสูงมากหมายความว่าต้องมีการเตรียมจัดสรรน้ำชลประทานในปริมาณมากนั่นเอง เมื่อทำการเก็บเกี่ยวข้าวจะได้ผลผลิตออกมาประกอบด้วย ข้าวเปลือก ฟางข้าวและตอซัง รวมถึงปริมาณน้ำเสียจากแปลง โดยมีการปันส่วนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ตามราคาที่ได้ คือ ฟางข้าว ราคา 1.25 บาท/กิโลกรัม และข้าวเปลือก ราคา 15 บาท/กิโลกรัม มีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 185.0 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน และ 2,220.4 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ

การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา จากการจัดทำบัญชีรายการระบบปลูกข้าวในพื้นที่ศึกษาพบว่ามีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยชีวภาพและปุ๋ยเคมี โดยส่วนใหญ่จะใส่ปุ๋ยเคมีในปริมาณมากกว่าปุ๋ยชนิดอื่น เนื่องจากสารอาหารที่อยู่ในดินไม่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของข้าวและมีปริมาณการใช้ปุ๋ยเฉลี่ยในพื้นที่ปลูกข้าวดังนี้

ปุ๋ยอินทรีย์ = 16.48 กิโลกรัม/ไร่

ปุ๋ยชีวภาพ = 9.09 กิโลกรัม/ไร่

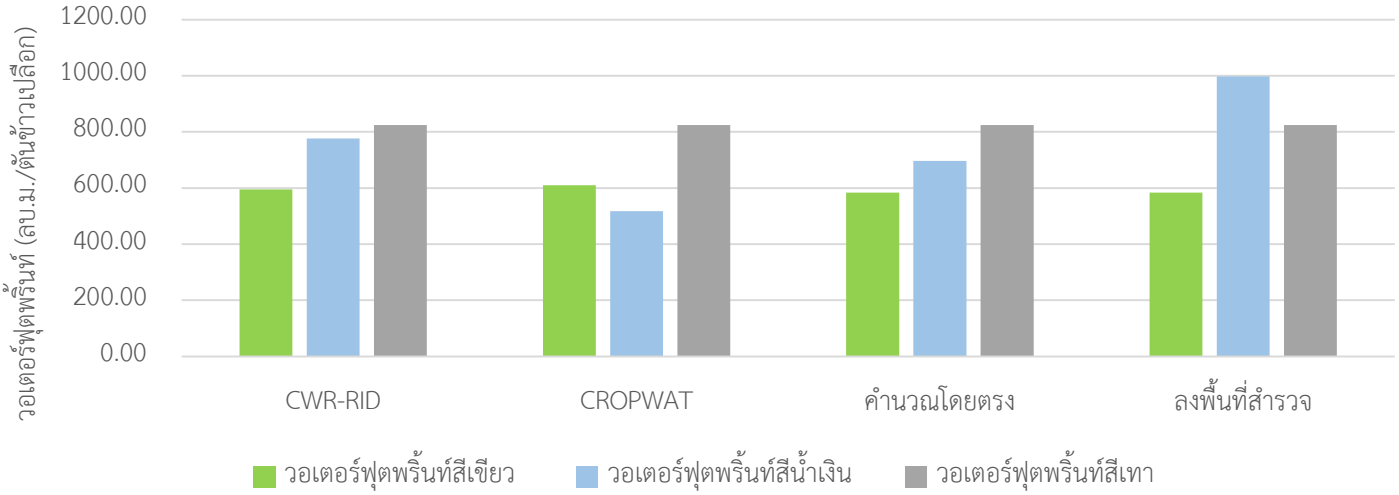
ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 หรือ 46-0-0 = 42 กิโลกรัม/ไร่

ผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำตัวอย่างน้ำในแม่น้ำท่าจีน บริเวณแปลงนาที่ศึกษาพบค่าความเข้มข้นของไนเตรทมีค่าเท่ากับ 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจะนำไปใช้เป็นค่า $C_{natural}$ และได้กำหนดค่า $C_{max}$ มีค่าเท่ากับ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยพิจารณาจากปริมาณไนโตรเจนเป็นไปตามค่ามาตรฐานตามประกาศ คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 พ.ศ. 2537 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิว และกำหนดให้สัดส่วนของน้ำท่าจากการชะละลายสารจากภาคสนามเท่ากับ ร้อยละ 10 ผลการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทารวม ได้เท่ากับ 823.9 ลูกบาศก์เมตรต่อตันข้าวเปลือก ดังตารางที่ 2 ซึ่งมีค่าสูง

| | | |
|---|---|---|
| ปุ๋ยอินทรีย์ | 4.07 | (ลบ.ม./ตันข้าวเปลือก) |
| ปุ๋ยชีวภาพ | 2.25 | (ลบ.ม./ตันข้าวเปลือก) |
| ปุ๋ยเคมี | 817.56 | (ลบ.ม./ตันข้าวเปลือก) |
| ปุ๋ยรวม | 823.88 | (ลบ.ม./ตันข้าวเปลือก) |

**ตารางที่ 2 แสดงค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทาของปุ๋ยชนิดต่างๆ**

หากสามารถใช้ปุ๋ยชีวภาพหรือใช้จุลินทรีย์ในการบำรุงดินแทน การใช้ปุ๋ยเคมี และควบคุมปริมาณการใช้ปุ๋ยให้เหมาะสมต่อความต้องการของข้าวจะสามารถส่งผลต่อการลดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทาได้




รูปที่ 3 แสดงวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว,สีน้ำเงินและสีเทา จากโปรแกรม CWR-RID , CROPWAT , คำนวณโดยตรง และลงพื้นที่สำรวจ

จากรูปที่ 3 เป็นการสรุปผลคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ โดยใช้ค่าความต้องการใช้น้ำของข้าวจากโปรแกรม CWR-RID , CROPWAT, คำนวณโดยตรง และการจากลงพื้นที่สำรวจการใช้น้ำชลประทานระดับแปลงนา พบว่ามีค่าวอเตอร์พริ้นท์สีเขียว มีค่าเท่ากับ 595.6 ลูกบาศก์เมตรต่อตันข้าวเปลือก, 610.0 ลูกบาศก์เมตรต่อตันข้าวเปลือก , 583.7 ลูกบาศก์เมตรต่อตันข้าวเปลือก และ 583.7 ลูกบาศก์เมตรต่อตันข้าวเปลือก ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวที่ได้จากคำนวณโดยตรงและการลงพื้นที่จริงมีค่าเท่ากัน เนื่องจากใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของข้าวจากกรมชลประทานและข้อมูลสภาพภูมิอากาศมาจากแหล่งเดียวกัน จึงทำให้ได้ค่าปริมาณน้ำฝนใช้การของข้าวเท่ากัน ในส่วนของวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเขียวมีค่ามากที่สุดได้มาจากการใช้ปริมาณ ความต้องการใช้น้ำของข้าวด้วยโปรแกรม CROPWAT เนื่องจากระยะเวลาที่กำหนดในการเพาะปลูกข้าวจากโปรแกรม CROPWAT มีค่าแตกต่างไปและการใช้ค่าสัมประสิทธิ์ข้าวจาก FAO มีค่าแตกต่างไปด้วย จึงส่งผลให้ผลการคำนวณปริมาณน้ำที่ข้าวต้องการใช้มีค่าน้อยที่สุด เมื่อทำการลงพื้นที่สำรวจกลับพบว่า ปริมาณน้ำชลประทานที่

เกษตรกรใช้มีค่าสูงกว่าที่คำนวณจากทั้งสามวิธีข้างต้น ส่งผลให้วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงินมีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 998.0 ลูกบาศก์เมตรต่อตันข้าวเปลือก

การเปรียบเทียบค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในงานวิจัยอื่นๆแสดงดังตารางที่ 3 พบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่าแตกต่างกัน ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ค่าสัมประสิทธิ์ของพืชแต่ละชนิด ค่าสภาพภูมิอากาศที่มีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ปริมาณน้ำฝน และช่วงอายุของพืช เป็นต้น ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการนำไปคำนวณปริมาณความต้องการน้ำของข้าว แต่จากการลงพื้นที่สำรวจพบว่า ปริมาณน้ำชลประทานที่เกษตรกรใช้ในการปลูกข้าวนั้นมีค่าสูงกว่าที่คำนวณได้ทางทฤษฎี เนื่องจากในช่วงที่แปลงนาขาดน้ำ เกษตรกรจะมีการนำน้ำเข้านาไว้ก่อนโดยไม่ทราบปริมาณที่แน่นอน เพื่อไม่ทำให้ข้าวเกิดความเสียหาย จึงส่งผลให้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงินมีค่าสูงตามไปด้วย ตรงจุดนี้เป็นประเด็นที่ควรมีการติดตามการใช้น้ำในระบบปลูกข้าวในพื้นที่ศึกษา ซึ่งสามารถปรับเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในระบบปลูกข้าวได้ และลดค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงินและสีเทาได้ตามลำดับ นอกจากนี้การใช้ปุ๋ยอินทรีย์แทนการใช้ปุ๋ยเคมี รวมถึงการใช้ปุ๋ยในปริมาณที่เหมาะสม สามารถลดค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทาได้

**ตารางที่ 3 เปรียบเทียบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่ได้ทำ**

| เขตพื้นที่ | ที่มา | Green water footprint (ลบ.ม./ตันข้าวเปลือก) | Blue water footprint (ลบ.ม./ตันข้าวเปลือก) | Gray water footprint (ลบ.ม./ตันข้าวเปลือก) | Total water footprint (ลบ.ม./ตันข้าวเปลือก) | เอกสารอ้างอิง |
|---|---|---|---|---|---|---|
| จังหวัดสุพรรณบุรี | WAPF | 694.90 | 1,246.48 | 877.16 | 2,818.53 | อรวิกา (2561) |
| จังหวัดน่าน | CWR-RID | 1,269.20 | 121.93 | 0.79 | 1,391.92 | Chatpanyacharoen (2015) |
| | CROPWAT | 1,470.33 | 167.67 | 0.79 | 1,638.79 | |
| | WAPF | 1,752.23 | 533.13 | 0.79 | 2,286.16 | |
| ประเทศเนปาล | - | 325.20 | 201.34 | 60.46 | 587.00 | Shrestha and Pandey (2013) |
| ประเทศไทย | - | 942.00 | 559.00 | 116.00 | 1,617 | A.K. Chapagain and A.Y. Hoekstra (2011) |
| จังหวัดนครปฐม | CWR-RID | 595.6 | 776.5 | 823.9 | 2,196.0 | การศึกษาในครั้งนี้ |
| | CROPWAT | 610.0 | 518.0 | 823.9 | 1,951.9 | |
| | คำนวณโดยตรง | 583.7 | 697.0 | 823.9 | 2,104.6 | |
| | ลงพื้นที่สำรวจ | 583.7 | 998.0 | 823.9 | 2,405.5 | |

**4.สรุปผลการศึกษา**

วิธีการในการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของข้าวโดยใช้ซอฟแวร์ต่างๆ กันอาจส่งผลต่อการประเมินค่าปริมาณความต้องการใช้น้ำของข้าวซึ่งเป็นผลมาจากรายละเอียดเงื่อนไขในตัวซอฟแวร์นั้นๆจำเป็นต้องมีการศึกษารายละเอียดก่อนนำมาใช้งาน การคำนวณปริมาณความต้องการใช้น้ำของระบบปลูกข้าวทางทฤษฎีจากโปรแกรม CWR-RID , CROPWAT และคำนวณโดยตรง มีค่าเท่ากับ 1,111 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ , 913 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ และ 1,037 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ตามลำดับ ซึ่งจะส่งผลต่อการประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ จากการสำรวจในพื้นที่ศึกษาครั้งนี้พบว่ามีการใช้น้ำจริงระดับแปลงนาสูงกว่าปริมาณน้ำชลประทานทางทฤษฎีประมาณร้อยละ 20 ถึง 50 ซึ่งทำให้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงินมีค่าสูงกว่า นอกจากนี้วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทามีค่าสูง เนื่องจากการปลูกข้าวแบบน้ำท่วมขังร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมี เมื่อมีปริมาณน้ำปล่อยออกจากแปลงนาเพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการเก็บเกี่ยวจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำบริเวณใกล้เคียง จึงทำให้มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทาค่อนข้างสูง

**5. เอกสารและสิ่งอ้างอิง**


A.K. Chapagain and A.Y. Hoekstra. 2011. The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. Ecological Economics 2011 (70): 749–758.

Chatpanyacharoen W., Hungspreug N.,AnurugsaB., and Taweesuk S. 2015. “Water Footprint Evaluation of Oryza sativa L.Tha Wang Pha District,Nan Province ”, Thammasat International Journal of Science and Technology. 20: 21-28.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (Online). http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/, August 15, 2019

Hoekstra A. Y. and Chapagain A. K., 2007. “Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern,”Water Resources Management. 21:35-48.

Shrestha S. and Pandey VP. 2013. Green blue and grey water footprint of primary crops production in Nepal. Water Resource Management 27 (15): 5223-5243.

กรมการข้าว. (Online). http://www.ricethailand.go.th/Rkb/varieties/index.php-file=content.php&id=121.htm , 10 สิงหาคม 2562.

กัลยา วานิชย์บัญชา. 2542.การวิเคราะห์สถิติ : สถิติเพื่อการตัดสินใจ. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์วิทยาลัย

ธีระวัฒน์ ธรรมนิยม, 2555. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกระเทียม. ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

สำนักงานจังหวัดนครปฐม. (Online). http://www.nakhonpathom.go.th/files/com_news_develop_plan/2016-11_71a0e26cc1c1c8a.pdf , 10 สิงหาคม 2562.

ส่วนการใช้น้ำชลประทานสำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยากรมชลประทาน. (Online). http://water.rid.go.th/hwm/cropwater/iwmd/sta/chart_sta6.htm , 10 สิงหาคม 2562.

อรวิกา ศรีทอง. 2561. การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวในเขตจังหวัดสุพรรณบุรี. วารสาร วิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี. 6 (1): 23-32.

**ประวัตินิสิต**

ชื่อผู้วิจัย นายธนาธร เรืองหิรัญวนิช อายุ 22 ปี

ที่อยู่ 39/211 หมู่ 1 ต.ทุ่งกระพังโหม อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม

โทรศัพท์ 085-1666254

E-mail tae001673140@hotmail.com

ประวัติการศึกษา ศึกษาอยู่ที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขา วิศวกรรมชลประทาน

ชื่อผู้วิจัย นายพสิษฐ์ นาคทอง อายุ 22 ปี

ที่อยู่ 80/1 หมู่ 6 ต.ท่าหลวง อ.ท่าเรือ จ.พระนครศรีอยุธยา

โทรศัพท์ 086-3974472

E-mail taetdon191@gmail.com

ประวัติการศึกษา ศึกษาอยู่ที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขา วิศวกรรมชลประทาน