



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)

ปริญญา

วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ

วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกระทียม

Water Footprint of Rice in the Khok Katiam Operation and Maintenance Project Area

นามผู้วิจัย นายธีระวัฒน์ ธรรมนิยม

ได้พิจารณาเห็นชอบ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อดิษฐ์ พรพรหมินทร์, D.Eng.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(อาจารย์วรรณดี ไทยสยาม, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณภาพร เปี่ยมสง่า, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิงห์สีหิ มทาวิตยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม

Water Footprint of Rice in the Khok Katiam Operation and Maintenance Project Area

โดย

นายธีระวัฒน์ ธรรมนิยม

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)

พ.ศ. 2555

ธีระวัฒน์ ธรรมนิม 2555: วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวในพื้นที่โครงการส่งน้ำและ
บำรุงรักษาโคกกระเทียม ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)
สาขาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์อดิษฐ์ พรพรหมินทร์, D.Eng.
119 หน้า

ข้าวเป็นพืชไร่เศรษฐกิจที่มีความสำคัญที่สุดและเป็นอาหารหลักของประเทศไทย โดยมีพื้นที่ปลูกข้าวอยู่ประมาณ 65 ล้านไร่ หรือคิดเป็น 50% ของพื้นที่ทางการเกษตรทั้งหมด (กรมการข้าว, 2555) สามารถแบ่งได้เป็น นาปีและนาปรัง ซึ่งหมายถึง การเพาะปลูกในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง ตามลำดับ Chapagain และ Hoekstra (2011) ได้คำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวเปลือกเฉลี่ยทั้งโลกมีค่าเท่ากับ 1,325 ลบ.ม./ตัน และเฉลี่ยของประเทศไทยมีค่าเท่ากับ 1,617 ลบ.ม./ตัน ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวในประเทศไทยอย่างละเอียด ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการคำนวณหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์อย่างละเอียดโดยใช้ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามในพื้นที่เพาะปลูกข้าวของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกระเทียม ซึ่งพบว่าเกษตรกรในพื้นที่เพาะปลูกข้าวด้วยวิธีการนาหว่านน้ำตม การศึกษานี้ได้ใช้ค่า K_c ของกรมชลประทานซึ่งมีค่าสูงกว่าค่า K_c ของ FAO. และค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ขอมให้มีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของ Chapagain และ Hoekstra (2011) เท่านั้น ดังนั้นการใช้ค่าพื้นฐานอาจส่งผลให้ได้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่มีค่าสูงกว่าการศึกษาที่ผ่านมา ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การปลูกข้าวในเขตพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกระเทียมมีผลผลิตสุทธิประมาณ 467 ตัน/ตร.กม. (747 กก./ไร่) ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวเฉลี่ยนาปีและนาปรังเท่ากับ 1,627 ลบ.ม./ตัน แยกเป็นค่าบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 771 ลบ.ม./ตัน ค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 438 ลบ.ม./ตัน และค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 418 ลบ.ม./ตัน ซึ่งมีค่าน้อยกว่าการศึกษาที่ผ่านมาและสามารถนำไปวิเคราะห์ผลกระทบของการใช้น้ำและกำหนดแนวทางในการบริหารจัดการน้ำที่เหมาะสมในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกระเทียม

Teerawat Thumniyom 2012: Water Footprint of Rice in the Khok Katiam Operation and Maintenance Project Area. Master of Engineering (Water Resources Engineering), Major Field: Water Resources Engineering, Department of Water Resources Engineering. Thesis Advisor : Associate Professor Adichai Pornprommin, D.Eng. 119 pages.

Rice is the major economic field crop and staple food of Thailand. The cultivated area of rice is more than 50 percent of the total cultivated area in the country (Rice Department, 2012). The crop season of rice can be divided into wet season crop and dry season crop with respect to the cultivation in the rainy season and dry season, respectively. Chapagain and Hoekstra (2011) found that the water footprints of paddy rice are globally-averaged $1,325 \text{ m}^3/\text{ton}$ and Thailand-averaged $1,617 \text{ m}^3/\text{ton}$. Therefore, the water footprint of rice in Thailand should be studied in details. In this study, the water footprint of rice is calculated based on data from field surveys in the Khok Katiam Operation and Maintenance Project. The typical agricultural practice for rice cultivation in this area is the paddy-sown field method. The crop coefficient (Kc) used in this study from the royal irrigation department of Thailand is larger than the value by FAO, and the allowable Nitrogen concentration in this study is only half of that used by Chapagain and Hoekstra (2011). Thus, using the local data may result in higher water footprints than the previous study. The results show that in the project area paddy rice yields about $467 \text{ ton}/\text{km}^2$ ($747 \text{ kg}/\text{rai}$). The total averaged water footprint in both wet and dry seasons is $1,627 \text{ m}^3/\text{ton}$ less than the previous study, and it can be divided into blue water footprint of $771 \text{ m}^3/\text{ton}$, green water footprint of $438 \text{ m}^3/\text{ton}$ and grey water footprint of $418 \text{ m}^3/\text{ton}$. The results can be applied for water consumption impacts analysis and provide a guideline for the appropriate water management in rice cultivation at the Khok Katiam Operation and Maintenance Project Area.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.อดิชัย พรพรหมินทร์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และคณะกรรมการอันประกอบด้วย อ.ดร. วรรณดี ไทยสยาม กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม อ.ดร.ธรรมนุญ รัชมีมาสเมือง ผู้ทรงคุณวุฒิ และ รศ.ชัยวัฒน์ ขยันการนาวิ ประธานกรรมการในการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ รวมทั้งทำเจ้าหน้าที่จากบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาตรวจทาน แก้ไข วิทยานิพนธ์ จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม, โครงการชลประทานจังหวัดลพบุรี, สำนักชลประทานที่ 10 กรมชลประทาน กรมอุตุนิยมวิทยา ฝ่ายงานบริการข้อมูล กลุ่มภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา และสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ฝ่ายบริการข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการวิเคราะห์รวมถึงการให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการศึกษาครั้งนี้

คุณความดีอันเป็นประโยชน์ของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบให้แก่คุณพ่อธนูทอง ธรรมนิยมและคุณแม่ชอุดา ธรรมนิยม ผู้ที่ให้กำเนิดและเลี้ยงดูจนเติบโตใหญ่ ให้สติปัญญาและความสามารถให้ความรักและความห่วงใย ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่านที่ได้เมตตา อบรม ให้ความรู้ จนถึงปัจจุบัน

ธีระวัฒน์ ธรรมนิยม

ตุลาคม 2555

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	6
อุปกรณ์และวิธีการ	57
อุปกรณ์	57
วิธีการ	57
ผลและวิจารณ์	69
สรุปและข้อเสนอแนะ	86
สรุป	86
ข้อเสนอแนะ	88
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	90
ภาคผนวก	93
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	119

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงค่าเฉลี่ยวอเตอร์พุดปรินท์ต่อคนต่อปี	7
2	แสดงค่าวอเตอร์พุดปรินท์ของผลิตภัณฑ์	8
3	พื้นที่รับผิดชอบโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม	24
4	สรุปพื้นที่ชลประทานของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม รายอำเภอ	24
5	สรุปพื้นที่จัดรูปที่ดินในเขตโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม	25
6	แสดงคุณสมบัติของดิน ความหยาบ ความละเอียดของเนื้อดิน	30
7	แสดงประเภทของเนื้อดิน	31
8	แสดงขนาดช่องว่างภายในดิน	33
9	แสดงชั้นความลึกของเนื้อดิน	34
10	ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินส่วนที่พืชสามารถนำไปใช้ได้และใช้ไม่ได้	38
11	แสดงความลึกของรากพืชชนิดต่าง ๆ	42
12	แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของข้าวนาหว่านน้ำตาม	64
13	ปฏิทินปลูกข้าว	67
14	แสดงค่าวอเตอร์พุดปรินท์ของข้าวเฉลี่ยใน 13 ประเทศ	79
15	แสดงเปรียบเทียบค่าวอเตอร์พุดปรินท์ของข้าวเฉลี่ย	86
16	แสดงเปรียบเทียบสัดส่วนค่าวอเตอร์พุดปรินท์จากการศึกษา	87

ตารางผนวกที่

1	แสดงการคำนวณหาประสิทธิภาพการชลประทานฤดูแล้ง ปี พ.ศ.2552/2553	95
2	แสดงการคำนวณหาประสิทธิภาพการชลประทานฤดูฝน ปี พ.ศ.2553	97
3	แสดงข้อมูลสถานีตรวจวัดต่างๆ (กรมอุตุนิคมวิทยา)	99
4	แสดงค่าความชื้นในดินทั้งหมดที่ใช้การได้ (Total available soil moisture, มม./ม.)	100
5	แสดงสภาพภูมิอากาศรายวันของจังหวัดลพบุรีจากโปรแกรม EToCalc	101
6	แสดงราคารับซื้อข้าวเปลือก ณ หน้าโรงสีจังหวัดลพบุรี ปี 2552 / 2553	118

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 สมดุลน้ำในเขตรากพืช	14
2 พื้นที่ศึกษาโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม	23
3 พื้นที่จัดรูปที่ดินในเขตโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม	26
4 พื้นที่นอกเขตชลประทานฝั่งซ้ายโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม	27
5 แสดง ระดับความชื้นในดินที่จุดต่าง ๆ และความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดิน	36
6 แสดงลักษณะการซึมซับน้ำของดิน	36
7 แสดงลักษณะการเป็ยกน้ำของดินเนื้อละเอียดและดินเนื้อหยาบ	40
8 แสดงลักษณะการเป็ยกน้ำของดินที่ชั้นดินบนและชั้นดินล่างต่างกัน	40
9 แสดงการดูดน้ำจากดินในชั้นต่างๆ ของพืช	41
10 สมดุลของน้ำในแปลงนา	55
11 แสดงจุดสำรวจนาข้าวและขอบเขตพื้นที่ชลประทานโครงการฯ โคกกะเทียม	58
12 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่นำเข้าไปโปรแกรมเพื่อคำนวณหาค่าอัตรารุ้ดปรินท์	60
13 แสดงค่าพารามิเตอร์ ความยาวรากและความสูงของข้าว	60
14 แสดงแสดงโปรแกรม ETo Calculator	61
15 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆในโปรแกรม ETo Calculator	62
16 แสดงสัมประสิทธิ์พืช (Kc) ของข้าวเปรียบเทียบระหว่าง FAO และกรมชลประทาน	63
17 แสดงสมดุลของน้ำในแปลงนา ฤดูนาปี ในเขตชลประทาน	70
18 แสดงสมดุลของน้ำในแปลงนา ฤดูนาปรัง ในเขตชลประทาน	70
19 แสดงความต้องการใช้น้ำรวมของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม	71
20 แสดงการใช้น้ำเพาะปลูกในฤดูนาปรังครั้งที่ 1	72
21 แสดงการใช้น้ำเพาะปลูกในฤดูนาปรังครั้งที่ 2	73
22 แสดงเปรียบเทียบค่าอัตรารุ้ดปรินท์ระหว่างนาปี นาปรัง และค่าอัตรารุ้ดปรินท์	74

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
23 แสดงเปรียบเทียบค่าอวอเตอร์พืชรู้นท์ระหว่างนาปรังครั้งที่ 1 นาปรังครั้งที่ 2	76
24 แสดงค่าอวอเตอร์พืชรู้นท์เฉลี่ยรวมทั้งโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม	76
25 เปรียบเทียบค่าอวอเตอร์พืชรู้นท์ของข้าวระหว่างประเทศไทย , ประเทศเวียดนามและค่าเฉลี่ยของโลก	78
26 แสดงผลผลิตต่อไร่ของข้าวในประเทศอาเซียน	80
27 แสดงเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตข้าวระหว่างไทยและเวียดนาม	81
28 แสดงปริมาณน้ำเสมือนที่ไทยส่งออกข้าวสู่ตลาดโลก	82
29 แสดงค่าอวอเตอร์พืชรู้นท์ของเกษตรกรแต่ละรายฤดูนาปีในเขตพื้นที่ชลประทาน	83
30 แสดงค่าอวอเตอร์พืชรู้นท์ของเกษตรกรแต่ละรายฤดูนาปรังในเขตพื้นที่ชลประทาน	83
31 แสดงค่าอวอเตอร์พืชรู้นท์ของเกษตรกรแต่ละรายฤดูนาปรังครั้งที่ 2 ในพื้นที่นอกเขต ชลประทาน	84
32 แสดงค่าอวอเตอร์พืชรู้นท์ของเกษตรกรแต่ละรายฤดูนาปรังครั้งที่ 1 ในพื้นที่นอกเขต ชลประทาน	84
 ภาพผนวกที่	
1 แสดง Schematic diagram การคำนวณหาอวอเตอร์พืชรู้นท์	94

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

AR	=	อัตราการใช้น้ำในพื้นที่ต่อไร่
CR	=	capillary rise
CWU	=	ความต้องการใช้น้ำของพืช (Crop Water Use)
C _{max}	=	ความเข้มข้นมากที่สุดที่ยอมรับได้ (Maximum Concentration)
C _{nat}	=	ความเข้มข้นมลพิษในธรรมชาติที่พิจารณา (Natural Concentration)
D	=	การพร่องของน้ำในเขตรากพืช (Depletion)
E _{To}	=	การคายระเหยอ้างอิงของพืช (Reference Crop Evapotranspiration)
E _{Tc}	=	การคายระเหยของพืช (Crop Evapotranspiration)
I	=	การส่งน้ำจากชลประทาน (Water Irrigation)
K _c	=	สัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient)
K _s	=	สัมประสิทธิ์ความเครียดน้ำ (Water Stress Coefficient)
MH	=	Mekonnen and Hoekstra 2010
P	=	น้ำฝน (Precipitation)
WF	=	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint)
WF _{total}	=	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทั้งหมด (Total Water Footprint)
WF _{green}	=	กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Green Water Footprint)
WF _{blue}	=	บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Blue Water Footprint)
WF _{grey}	=	เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Grey Water Footprint)
RAW	=	น้ำที่มีอยู่ในดินที่ใช้งานได้ (Readily Available Water)
RO	=	น้ำท่าผิวดิน (Run off)
TAWC	=	น้ำทั้งหมดที่ใช้งานได้ในพื้นที่เขตรากพืช (Total Available Soil Water Capacity in the root zone)
Y	=	ผลผลิตต่อไร่ (Yield)
α	=	สัดส่วนการชะล้าง (Leaching runoff)
โครงการฯ	=	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม

Water Footprint of Rice in the Khok Katiam Operation and Maintenance Project Area

คำนำ

น้ำเป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด แต่ความต้องการใช้น้ำกำลังเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามจำนวนประชากรและความเติบโตทางเศรษฐกิจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความต้องการใช้น้ำสะอาดสำหรับผลิตอาหารและพลังงาน ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 90 เมื่อเทียบกับการบริโภคน้ำสะอาดทั้งหมดของโลก แต่ปัจจุบันแหล่งน้ำสะอาดที่มีอยู่ต้องเผชิญกับปัญหามลภาวะทางน้ำที่เกิดจากมนุษย์ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ทำให้ปัญหาขาดแคลนน้ำทวีความรุนแรงมากขึ้นในหลายส่วนของโลก ดังนั้น การใช้น้ำอย่างประหยัด ทั้งทางตรงและทางอ้อมและการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นเรื่องเร่งด่วนที่ต้องรีบปฏิบัติ โดยต้องอาศัยความร่วมมือจากทุกฝ่ายทั้งผู้ผลิต ผู้บริโภค ภาครัฐ รวมถึงความร่วมมือระหว่างประเทศ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ถือว่าเป็นเรื่องใหม่ที่อาจจะกลายเป็นความท้าทายสำหรับอุตสาหกรรมอาหารรวมไปถึงภาคเกษตรกรรมที่ต้องใช้น้ำเป็นตัวแปรสำคัญในการผลิตในอนาคต

ปัจจุบัน ประเทศไทยต้องเผชิญกับกระแสการเปลี่ยนแปลงของโลกซึ่งก่อให้เกิดวิกฤตในหลายด้านที่สำคัญ ได้แก่ วิกฤตประชากรโลกที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนส่งผลให้เกิดความต้องการอาหารที่เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ รวมถึงวิกฤตการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลกเนื่องจากก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกัน ส่งผลให้พื้นที่เกษตรกรรมบางแห่งแห้งแล้งทำการเพาะปลูกไม่ได้เป็นเหตุให้กระทบต่อการผลิตและการค้าสินค้าเกษตรของโลก นอกจากนี้ จากสถานการณ์วิกฤตอาหารและพลังงานที่เกิดขึ้นส่งผลให้เกิดการขาดแคลนอาหารเกือบทั่วโลก ทำให้ราคาสินค้าเกษตรด้านอาหารมีราคาที่สูงขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 ในหมวดยุทธศาสตร์การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน ได้ให้ความสำคัญกับบุคลากรแสดงข้อมูลการใช้น้ำหรือวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ มีข้อกำหนดเตรียมมาตรการรองรับผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากมาตรการทางการค้าและข้อตกลงระหว่างประเทศเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะมาตรการภาษีที่เก็บกักสินค้าข้ามพรมแดน (Border Tax Adjustments: BTAs) ส่งเสริมการติดตาม

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เพิ่มขึ้นในอนาคต (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2554) การลดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ จึงถูกจัดให้เป็นเป้าหมายหนึ่งในระดับประเทศ ส่งเสริมการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืนและสนับสนุนสินค้านำเข้าที่ผนวกเงื่อนไขเกี่ยวกับการใช้น้ำเข้าไว้ด้วยภาคธุรกิจพัฒนาการจัดการทรัพยากรน้ำให้ดีขึ้นและลดความเสี่ยงในการทำลายสภาพแวดล้อมส่วนผู้บริโภคสามารถลดการใช้น้ำโดยตรง ลดการทิ้งอาหารอย่างสูญเปล่าและลดการบริโภคสินค้าที่ต้องใช้น้ำมาก

จากปัญหาดังกล่าวจึงจำเป็นต้องมีดัชนีชี้วัดการใช้ปริมาณน้ำในการผลิตสินค้า (Hoekstra, 2003) ได้นำเสนอแนวคิดเรื่อง วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (water footprint) โดยเป็นการคำนวณปริมาณการใช้น้ำตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการผลิตสินค้าหรืออาหารแต่ละชนิด ทำให้เห็นภาพปริมาณการใช้น้ำที่ซ่อนเร้นอยู่ในการผลิตสินค้าได้อย่างชัดเจนและยังสามารถนำมาประเมินผลกระทบที่เกิดจากการผลิตและการค้าต่อการใช้ทรัพยากรน้ำได้อีกด้วย โดยการประเมินผลกระทบของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ นอกจากต้องดูจากปริมาณน้ำทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงแหล่งน้ำที่เกี่ยวข้อง (Hoekstra และ Chapagain, 2011) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวลงลึกถึงรายละเอียดระดับพื้นที่ย่อยในเขตโครงการชลประทาน ซึ่งการเลือกพื้นที่ศึกษาระดับเล็กๆ นั้นทำให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องชัดเจนมีการศึกษาประเมินปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากขั้นตอนการเพาะปลูก หนึ่งองค์การมาตรฐานสากล หรือ ISO ได้จัดให้มีการประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์นั้นอยู่ในอนุกรมมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14000 ซึ่งการประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์นั้นได้ถูกจัดอยู่ในมาตรฐานหมายเลข ISO 14046 ว่าด้วยข้อกำหนดและแนวทางปฏิบัติในการประเมินร่องรอยการใช้น้ำหรือวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ด้วย (Food Insight Connect, 2555)

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เป็นผลแสดงปริมาณการใช้น้ำตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนถึงการทำลายทิ้งโดยการประเมินผลกระทบของ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์นอกจากต้องดูจากปริมาณน้ำทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงแหล่งน้ำ (Source of water) ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งแบ่งออกเป็น blue water คือ ปริมาณน้ำที่ถูกนำไปใช้ โดยได้จากน้ำชลประทานที่มาจากแหล่งน้ำเก็บกักน้ำทั้งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินซึ่งรวมทั้งแหล่งเก็บกักในพื้นที่เพาะปลูกนั้นๆ ด้วย Green Water ปริมาณน้ำที่ถูกนำไปใช้โดยได้จากความชุ่มชื้นในดินที่เกิดจากน้ำฝนโดยตรงไม่ผ่านการเก็บกัก ในอีกนัยหนึ่ง Green Water คือ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการระเหยของพืช ซึ่งได้จากปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มความชุ่มชื้นให้กับดินโดยตรง และ Gray Water ใช้วัดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม คือ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการ

เจือจางสารพิษที่เกิดขึ้นให้มีความเข้มข้นผ่านมาตรฐานของแหล่งน้ำบริเวณนั้นๆ ดังนั้น วอเตอร์ฟุตพริ้นท์จึงสามารถใช้ในการเปรียบเทียบได้ว่าการผลิตสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ในแต่ละแห่งมีผลกระทบต่อการใช้น้ำแตกต่างกันอย่างไร

ข้าวเป็นพืชอาหารที่สำคัญชนิดหนึ่งของโลก โดยเฉพาะประเทศในภูมิภาคเอเชียที่นิยมรับประทานข้าวเป็นอาหารประจำวันมากกว่าในภูมิภาคอื่นๆ ของโลก ข้าวมีบทบาทสำคัญหลายอย่างต่อสังคมไทยตั้งแต่เป็นอาหารไปจนถึงงานประเพณีสำคัญต่างๆ พื้นที่ปลูกข้าวมีมากกว่าครึ่งหนึ่งของพื้นที่เพาะปลูกทั้งประเทศและใช้แรงงานมากกว่าครึ่งของแรงงานทั้งประเทศ ข้าวจึงเป็นหนึ่งในอาหารหลักสำหรับประเทศไทยและของโลก ข้าวยังเป็นสินค้าสำคัญในการส่งออกของไทยอีกด้วย จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นทำให้เกิดความสนใจในการเลือกข้าวมาเป็นหัวข้อในการศึกษาวิจัยในเรื่องของ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์โดยได้ทำการศึกษาลงลึกถึงรายละเอียดระดับพื้นที่ย่อย ในเขตโครงการชลประทาน ซึ่งการเลือกใช้พื้นที่ศึกษาระดับเล็กๆ นั้นทำให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องชัดเจน มีการศึกษาประเมินปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากขั้นตอนต่างๆ ทั้งระบบ ภายใต้งบประมาณด้านสังคม เศรษฐกิจ และภูมิศาสตร์กายภาพ การมีข้อมูลวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่ถูกต้องยังช่วยให้เกษตรกรและผู้วางแผนนโยบายสามารถตัดสินใจได้ว่าควรเพาะปลูกพืชที่ต้องการใช้น้ำมากในบริเวณใดมากกว่า ซึ่งจะทำให้การผลิตสินค้าเกษตรมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนั้นการศึกษานี้ยังได้ศึกษาถึงข้อมูลรายละเอียดเชิงลึกของเกษตรกรแต่ละรายในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกระเทียมเพื่อจะได้ทราบว่าในการเพาะปลูกข้าวของเกษตรกรแต่ละรายมีการใช้น้ำหรือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์แตกต่างกันมากน้อยเพียงใด เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อคำนวณหาอวอเตอร์ฟุตปริ้นท์รายเดือนอย่างละเอียดประกอบด้วย บลูวอเตอร์ฟุต ปริ้นท์ กรีนวอเตอร์ฟุต ปริ้นท์ และเกรย์วอเตอร์ฟุตปริ้นท์ของข้าวในเขตพื้นที่โครงการส่งน้ำ และบำรุงรักษาโคกกะเทียม
2. เพื่อเปรียบเทียบค่าอวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ของเกษตรกรแต่ละรายในพื้นที่ศึกษา ซึ่งเป็นการ คำนวณระดับเล็กที่สุดและเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จาก Chapagain และ Hoekstra (2010) ที่ใช้ในการ คำนวณระดับประเทศและระดับโลก

ขอบเขตของการศึกษา

1. พื้นที่ศึกษาเลือกใช้โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม สำนักชลประทานที่ 10 พื้นที่เพาะปลูกข้าวในเขตชลประทาน ประมาณ 238,303 ไร่และพื้นที่นอกเขตชลประทานประมาณ 16,809 ไร่
2. ศึกษาเฉพาะข้าว โดยใช้ข้อมูลการเพาะปลูก ผลผลิตต่อไร่รายปี และ การใช้ปุ๋ยเคมี โดย ใช้ข้อมูลการศึกษาในช่วงปี พ.ศ. 2552-2553
3. ศึกษาหาค่าอวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ของข้าวจากเกษตรกรในพื้นที่โดยการเลือกสุ่มตัวอย่างจาก เกษตรเพื่อใช้เป็นตัวแทนในแต่ละพื้นที่ในพื้นที่ตัวอย่าง จำนวน 79 ตัวอย่าง
4. ค่าสัมประสิทธิ์พีช (Kc) ใช้ค่าที่ได้จากการศึกษาทดลองของกลุ่มงานวิจัยการใช้น้ำ ชลประทาน ส่วนการใช้น้ำชลประทาน สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน
5. ศึกษาหาค่าการใช้น้ำของข้าวและประสิทธิภาพในการชลประทานของโครงการฯ
6. ข้อมูลประเภทของดิน ค่าความยาวรากพืชและอัตราการซึมลงดินของน้ำฝนมากที่สุด จากโปรแกรม CROPWAT 8.0

ประโยชน์ที่ได้รับ

การมีข้อมูลคอมพิวเตอร์พริ้นท์ที่ถูกต้องจะช่วยทำให้เห็นภาพปริมาณการใช้น้ำที่ซ่อนเร้นอยู่ในกระบวนการผลิตได้อย่างชัดเจน และยังสามารถนำมาประเมินผลกระทบที่เกิดจากการผลิตต่อการใช้ทรัพยากรน้ำได้อีกด้วย ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจปัญหาการขาดแคลนน้ำและมลภาวะทางน้ำได้ดียิ่งขึ้น การศึกษาคอมพิวเตอร์พริ้นท์และการใช้น้ำอย่างละเอียดในพื้นที่เล็กๆ ในระดับพื้นที่โครงการชลประทาน สามารถใช้เป็นฐานข้อมูลในการกำหนดแผนบริหารจัดการการปลูกข้าว ในระดับพื้นที่ และสามารถประเมินถึงประสิทธิภาพการใช้น้ำของเกษตรกรในพื้นที่ได้

การตรวจเอกสาร

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์

หลักการของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint) นำเสนอโดย Hoekstra (2003) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เป็นดัชนีชี้วัดปริมาณของน้ำจืดที่ใช้ ซึ่งไม่ได้มองแค่การใช้ทางตรงยังมองถึงการใช้น้ำในทางอ้อมของผู้บริโภคหรือผู้ผลิต

กรณีการเพาะปลูกพืชไร่ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint) หมายถึง ปริมาณน้ำจืดทั้งหมดที่ถูกใช้ในการเพาะปลูกพืชไร่เพื่อใช้เป็นดัชนีในการวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พื้นที่ เกี่ยวเนื่องกับการเพาะปลูก วอเตอร์ฟุตพริ้นท์แบ่งเป็น 3 ส่วน บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Blue Water Footprint) กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Green Water Footprint) และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Grey Water Footprint) โดย บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ คือ ปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติทั้งแหล่งน้ำผิวดิน เช่น น้ำในแม่น้ำ ทะเลสาบ รวมทั้งน้ำในอ่างเก็บกักน้ำในอ่างเก็บน้ำต่างๆ และแหล่งน้ำใต้ดิน อันได้แก่น้ำบาดาลที่ใช้ในการผลิตสินค้าและบริการเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ คือ ปริมาณน้ำฝนและน้ำที่อยู่ในรูปของความชื้นในดินที่ถูกนำไปใช้ในการผลิตสินค้าโดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตพืชผลทางการเกษตรการทอผ้า และทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ คือ สารพิษที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตสินค้าปริมาณน้ำที่ใช้ในการบำบัดสารพิษให้ผ่านค่ามาตรฐานสิ่งแวดล้อมของพื้นที่ที่มีการผลิตกัน

ข้อมูลที่มีความจำเป็นต้องใช้ในการคำนวณหาบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์และกรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ได้แก่ ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิสูงสุด/ต่ำสุด ชั่วโมงที่มีแสงแดด อัลติจูด แลตติจูด ลองจิจูด ความชื้น ความเร็วลม ข้อมูลน้ำฝน และค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc) โดยข้อมูลเหล่านี้จะนำไปเข้าสู่สูตรการหาค่าการระเหยของพืชโดยใช้วิธีของ Penman-Monteith หลังจากหาค่าการคายระเหยของพืชแล้วนำค่าที่ได้ไปคูณกับพื้นที่ทำการเพาะปลูกสำหรับหน่วยวัดของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร/ตัน , ลิตร/กิโลกรัม โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในพืชคำนวณจาก ปริมาณน้ำที่พืชใช้ (ลูกบาศก์เมตร/เฮกตาร์) / ปริมาณผลผลิตของพืชนั้น (ตัน/เฮกตาร์) ส่วน วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในสัตว์ คำนวณจากปริมาณน้ำทั้งหมดในการผลิตและให้อาหารสัตว์ น้ำดื่มของสัตว์ และน้ำ

ที่ใช้ในการกิจการเลี้ยงสัตว์อื่นๆ เช่น น้ำที่ใช้เพื่อทำความสะอาดคอกสัตว์ น้ำที่ใช้ในการระบายความร้อน เป็นต้น สำหรับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในผลิตภัณฑ์จากพืชและสัตว์ เป็นผลรวมของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ การผลิตผลิตภัณฑ์จากพืชและสัตว์ ตั้งแต่เริ่มกระบวนการจนกระทั่งสิ้นสุดได้ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์นั้นๆ (Prof. Arjen Y. Hoekstra , Scientific Director Water Footprint Network)

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ต่อคนต่อหนึ่งปี

ลำดับที่	ประเทศ	ลูกบาศก์เมตร/คน/ปี
1	สหรัฐอเมริกา	2,485
2	อิตาลี	2,332
3	ไทย	2,223
4	แคนาดา	2,049
5	ฝรั่งเศส	1,875
6	รัสเซีย	1,858
7	เยอรมนี	1,545
8	เม็กซิโก	1,441
9	ออสเตรเลีย	1,393
10	บราซิล	1,381

ที่มา: Hoekstra and Chapagain (2007)

สำหรับค่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของประเทศไทยสูงถึงอันดับ 3 ของโลก โดยมีการใช้น้ำต่อการผลิตสินค้า 1 หน่วยสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้น้ำในการเกษตรสูงถึง 2,131 ลูกบาศก์เมตร/คน/ปี ซึ่งเกิดจากการผลิตเพื่อการส่งออกเป็นสำคัญ ทำให้มี

ผู้ใช้น้ำเสมือนหรือวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในประเทศไทยเป็นจำนวนมากจนอาจจะ สร้างปัญหาให้กับ ประเทศไทยได้ในอนาคต นอกจากนี้ยังได้คำนวณค่าเฉลี่ยในระดับโลกสำหรับปริมาณน้ำเสมือน ที่ใช้ในการผลิตสินค้า ต่อหน่วยมีหลายค่าที่น่าสนใจ เช่น

ตารางที่ 2 แสดงค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์

ชนิด	จำนวน	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิต (ลิตร)
เบียร์	1 แก้ว (250 มิลลิลิตร)	75
นม	1 แก้ว (200 มิลลิลิตร)	200
กาแฟ	1 แก้ว (140 มิลลิลิตร)	140
ไวน์	1 แก้ว (125 มิลลิลิตร)	120
น้ำส้ม	1 แก้ว (200 มิลลิลิตร)	170
ไข่	1 ฟอง (40 กรัม)	135
เสื้อยืดคอกกลมทำจากเส้นใยฝ้าย	1 ตัว	2,000
กระดาษ ขนาด A4	1 แผ่น	10
ไมโครชิป	1 ตัว	32

ที่มา: Hoekstra and Chapagain (2007)

ผลการศึกษาในช่วงปี 1997-2001พบว่า ค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของคน 1 คน เท่ากับ 1,240 ลูกบาศก์เมตร/คน/ปี โดยประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นอันดับ 1 มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เท่ากับ 2,483 ลูกบาศก์เมตร/คน/ปี และไทยมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของคนสูงเป็นอันดับ 3 ของโลกเท่ากับ 2,223 ลูกบาศก์เมตร/คน/ปี ประเทศที่มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์น้อยที่สุด คือ ประเทศบังกลาเทศ มีค่าเท่ากับ 896 ลูกบาศก์เมตร/คน/ปี (Hoekstra and Chapagain, 2007)

Hoekstra and Hung (2004) ได้ทำการศึกษาหาปริมาณน้ำเสมือนหรือวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่เชื่อมโยงระหว่างประเทศปี ค.ศ.1995-1999 เพื่อการเชื่อมโยงการขายพืช และวิเคราะห์สมดุลของน้ำเสมือนแต่ละประเทศซึ่งมีการเชื่อมโยงกับความต้องการน้ำและน้ำที่ใช้การได้

Gerbens-Leenes and Hoekstra (2011) ได้ทำการศึกษาเพื่อประเมินค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของน้ำตาลเทียมและไบโอเอทานอล จากอ้อย บีท และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในประเทศหลักที่มีการผลิตสามารถคำนวณได้จากประเภทของพืชที่ใช้และโดยการการเกษตรและเงื่อนไขของสภาพภูมิอากาศในการทำการเกษตร

สำหรับในประเทศไทย การศึกษาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ยังมีไม่มากนัก โดยมีการศึกษาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จ.นครสวรรค์ (ทิพย์ปภาและคณะ, 2554) , (Sukumalchart et al., 2011) ทำการศึกษาคำนวณหาบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์และกรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดนครสวรรค์ซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. การประเมินค่าการ คายระเหยของพืช
2. การคำนวณค่าหาความต้องการใช้น้ำของพืชโดยใช้วิธีสมดุลน้ำในเขตรากพืช
3. เมื่อคำนวณร่วมกับผลผลิตพืชต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่จะได้ค่าบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์และกรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จะอยู่นอกเขตพื้นที่ชลประทานเป็นหลัก โดยมีผลผลิตประมาณ 99% ของผลผลิตรวม ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมจึงสามารถประมาณเท่ากับค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ซึ่งเท่ากับ 677 ลบ.ม./ตัน ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์ผลกระทบของการใช้น้ำและกำหนดแนวทางในการบริหารจัดการน้ำที่เหมาะสมในการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดนครสวรรค์

จินาธิภรณ์ และ ชำรงรัตน์ (2554) ได้ทำการศึกษาหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตเอทานอล จากมันสำปะหลังในประเทศไทยและทำการคาดการณ์ ปริมาณการใช้น้ำ และปริมาณพื้นที่เพาะปลูก ตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี สำหรับปริมาณการใช้น้ำ ตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนฯ จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นทุกปี เพิ่มขึ้นถึงเกือบ 10 เท่า เมื่อสิ้นสุดแผนฯ ในปี 2565 แต่หากมีการพัฒนาเพื่อเพิ่มผลผลิตของมันสำปะหลังจาก 3.4 เป็น 8.0 ตันต่อไร่ จะส่งผล

ให้ปริมาณการใช้น้ำลดลงร้อยละ 57.4 ในแต่ละปี โดยจะต้องใช้น้ำ 1.110 กิโลลูกบาศก์เมตร หรือเพิ่มขึ้นถึงเพียง 4 เท่า เมื่อสิ้นสุดแผนฯ ในปี 2565

การคำนวณหาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

การศึกษาทฤษฎีและวิธีการต่างๆ ในการคำนวณหาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จาก Water Footprint Assessment Manual (2011) มีรายละเอียดในการคำนวณหรือไม่ การศึกษาแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่

1. วิธีการคำนวณหาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์
2. วิธีการคำนวณปริมาณน้ำที่พืชใช้และการคายระเหยของพืช
3. วิธีการคำนวณสมดุลน้ำในเขตรากพืช

1. วิธีการคำนวณหาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

สำหรับหน่วยวัดของหาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จะขึ้นอยู่กับประเภทของสินค้าที่พิจารณา โดยทั่วไปสินค้าทางการเกษตรกรรมจะมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร/ตัน แต่หากเป็นสินค้าทางอุตสาหกรรมอาจมีหน่วย เป็น ลูกบาศก์เมตร/ชิ้น เป็นต้น หาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทั้งหมดในพืช (Total water footprint, WF_{total}) คำนวณจากผลรวมของบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (WF_{blue}) กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (WF_{green}) และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (WF_{grey}) ดังสมการนี้

$$WF_{total} = WF_{blue} + WF_{green} + WF_{grey} \quad (1)$$

โดยหาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สามารถคำนวณได้จากปริมาณน้ำที่พืชใช้ (Crop water use, CWU) (หน่วย m^3/rai) หารด้วยปริมาณผลผลิตของพืชนั้น (yield, Y) (หน่วย ton/rai) ดังนี้

$$(WF_{total}, WF_{blue}, WF_{green}) = \frac{(CWU_{total}, CWU_{blue}, CWU_{green})}{Y} \quad (2)$$

จากสมการ (2) จะพบว่า ปริมาณน้ำที่พืชใช้ (CWU) เป็นส่วนหนึ่งในการคำนวณหา วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (WF) โดยทั่วไป นักวิจัยจะสนใจปริมาณน้ำที่พืชใช้ เพื่อพิจารณาการให้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อให้ได้ ผลผลิตสูงสุด แต่วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีความหมายที่มากกว่านั้นโดยมองในแง่ของ การใช้น้ำในการผลิตสินค้าต่อหน่วยสินค้า ซึ่งทำให้สามารถเปรียบเทียบการผลิตสินค้าชนิดเดียวกันที่พื้นที่ต่างกันหรือเปรียบเทียบการผลิตสินค้าต่างชนิดกัน ซึ่งสามารถใช้เป็นดัชนีในการวางแผนและบริหารการเลือกผลิตสินค้าและช่วงเวลาในการผลิตสินค้าที่ทำให้การใช้น้ำเกิด ประสิทธิภาพสูงสุด ดังกล่าวไว้ข้างต้น

ค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ซึ่งคำนวณจากปริมาณน้ำที่ใช้ในการเจือจางน้ำเสียให้ความเข้มข้น ลดลงให้อยู่ในระดับมาตรฐานที่ยอมรับได้ มาตรฐานของแม่น้ำลำคลองและคุณภาพของน้ำใน แหล่งน้ำประเภท 2 โดยกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กำหนดให้มีปริมาณไนเตรด (NO₃) ในน้ำในหน่วยไนโตรเจน ต้องมีค่าไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังสมการสมการ

$$WF_{grey} = \frac{(\alpha * AR) / (C_{max} - C_{nat})}{Y} \quad (3)$$

เมื่อ α คือ การรั่วซึมออกของปุ๋ย เนื่องจากไม่มีค่าจากภาคสนามในที่นี้จึงสมมติให้เท่ากับ 10% ของ AR (Mekonnen and Hoekstra, 2010) ค่า AR คือ อัตราการใช้ปุ๋ยในพื้นที่ต่อไร่ มีหน่วยเป็น กก./ไร่ ซึ่งใช้ข้อมูลจากการสำรวจ C_{max} คือ ความเข้มข้นมากที่สุดที่ยอมรับได้ มีหน่วยเป็น กก./ลบ.ม. C_{nat} คือ ความเข้มข้นมลพิษในธรรมชาติที่พิจารณา มีหน่วยเป็น กก./ลบ.ม. เนื่องจากไม่มีข้อมูลในที่นี้จึงสมมติให้เท่ากับศูนย์ (Mekonnen and Hoekstra, 2010)

2. วิธีการคำนวณปริมาณน้ำที่พืชใช้การคายระเหยของพืช

ปริมาณน้ำที่พืชใช้ทั้งหมด ปริมาณน้ำที่พืชใช้แบบบดและปริมาณน้ำที่พืชใช้แบบ กรีนสามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$CWU_{total} = factor \times \sum_{d=1}^{lsp} ET_c \quad (4)$$

$$CWU_{blue} = factor \times \sum_{d=1}^{lgp} ET_{blue} = factor \times \sum_{d=1}^{lgp} I \quad (5)$$

$$CWU_{green} = factor \times \sum_{d=1}^{lgp} ET_{green} = CWU_{total} - CWU_{blue} \quad (6)$$

โดย d คือ ลำดับวันที่เพาะปลูก lgp คือ จำนวนวันที่เพาะปลูกทั้งหมด factor เป็นพารามิเตอร์ ใช้แปลงหน่วย ในกรณีที่มีการคายระเหยของพืช (ET) มีหน่วยเป็น mm และปริมาณน้ำที่พืชใช้ (CWU) มีหน่วยเป็น m³/rai จะมีค่าเท่ากับ 1.6 และ I คือ ปริมาณน้ำจากชลประทาน ในกรณีที่พิจารณาการเพาะปลูกนอกเขตชลประทาน อาจมีการให้น้ำในรูปแบบที่ไม่ใช่น้ำฝน เช่น น้ำบาดาล น้ำจากบ่อเก็บกักในพื้นที่เพาะปลูก เป็นต้นแต่เนื่องจากในการศึกษานี้ไม่มีข้อมูลการให้น้ำดังกล่าว จึงสมมติให้ค่า I, ET_{blue} และ CWU_{blue} จะเท่ากับศูนย์สำหรับนอกเขตชลประทาน

ค่าการคายระเหยของพืช (Evapotranspiration, ET_c มีหน่วย mm/day) คำนวณจาก

$$ET_c = K_s K_c ET_o \quad (7)$$

โดยที่ ET_o คือ ค่าการคายระเหยอ้างอิงของพืช (Reference Crop Evapotranspiration, ET_o มีหน่วย mm/day) คำนวณได้จากสมการ Penman-Monteith FAO 56. (Allen et al., 1998) ดังนี้

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (8)$$

เมื่อ การคายระเหยอ้างอิง(ET_o, mm/day)ได้จากค่าคงที่ 0.408 ความชันของเส้นโค้งความดันไอลิ่มตัว (Δ , kPa/Celsius) รังสีสุทธิ(R_n, MJ/m²/day) ฟลักซ์ของการถ่ายเทความร้อนของดิน (G, MJ/m²/day) ค่าคงที่ไชโครเมติก (γ , kPa/Celsius) ค่าคงที่ 900 อุณหภูมิเฉลี่ย (T, Celsius) ค่าคงที่การเปลี่ยนหน่วย 273 ความเร็วลมที่ความสูง 2 เมตร (U₂, m/s) ความดันไอลิ่มตัวเฉลี่ย (e_s, kPa) ความดันไออจริง(e_a, kPa) ความเร็วลมที่ความสูง 2 เมตร (U₂, m/s) และ K_c คือ ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient)ซึ่งช่วงการเจริญเติบโตของพืชนั้นสมมติให้ค่า K_c มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงจากช่วง เริ่มต้นการเพาะปลูก (K_{c,ini}) ถึงช่วงกลางของการเพาะปลูก

($K_{c,mid}$) และมีค่าคงที่ไปจนถึงระยะสุดท้ายของการเพาะปลูกสมมติให้ค่า K_c ลดลงเป็นเส้นตรงจาก $K_{c,mid}$ ไปจนถึง $K_{c,end}$ และ K_s คือ สัมประสิทธิ์ความเครียดน้ำ (Water Stress) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ในกรณีที่น้ำในดินในเขตรากพืชมีค่าการพร่อง (Depletion, D_r มีหน่วย mm) น้อยกว่าปริมาณน้ำที่มีอยู่ที่ใช้ได้ (Readily available soil water in the root zone, RAW มีหน่วย mm) จะได้ว่า $K_s = 1$ ในกรณีที่ $D_r > RAW$ จะได้ว่า K_s ลดลงเชิงเส้นตรง และถ้า D_r มีค่าเท่ากับน้ำที่อยู่ในดินทั้งหมดในเขตรากพืชที่ใช้การได้ (Total available soil water in the root zone, TAW มีหน่วย mm) จะได้ว่า $K_s = 0$ ดังสมการ

$$K_s = 1 \text{ กรณี } D_r < RAW \quad (8a)$$

$$K_s = \frac{TAW - D_r}{TAW - RAW} \text{ กรณี } TAW < D_r < RAW \quad (8b)$$

$$K_s = 0 \text{ กรณี } D_r = TAW \quad (8c)$$

ในการศึกษานี้ได้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์พืช (K_c) ใช้ค่าจากกรมชลประทาน และได้ทำการเปรียบเทียบกับค่าของ FAO โดย Allen (1998)

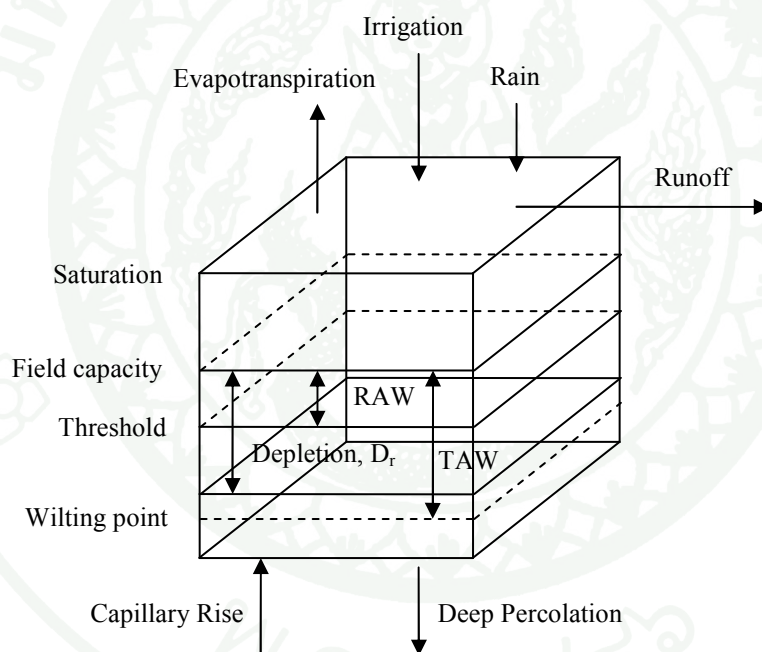
3. วิธีการคำนวณสมดุลน้ำในเขตรากพืช

แนวคิดของสมดุลน้ำในเขตรากพืช โดยที่สมมติให้ดินในเขตรากพืชได้รับน้ำจากฝน (Rain) หรือชลประทาน (Irrigation) ในปริมาณมากเกินความสามารถซึมลงดิน จะมีส่วนเกินที่เป็นน้ำท่าผิวดิน (runoff) ไหลบนผิวดิน น้ำในส่วนที่ซึมลงดินจะทำให้น้ำในเขตรากพืชอยู่ในระดับความชื้นอิ่มตัว (Saturation) ชั่วขณะและส่วนหนึ่งของน้ำจะซึมลึกลง (Deep percolation) ทำให้เหลือน้ำในดินเท่ากับระดับความจุความชื้นสนาม (Field Capacity) ซึ่งสามารถแปลงอยู่ในรูปของระดับน้ำ เรียกว่า น้ำที่อยู่ในดินทั้งหมดในเขตรากพืชที่ใช้การได้ (Total available soil water in the root zone, TAW) ในบางครั้งหากระดับน้ำใต้ดินอยู่สูงอาจมีผลกระทบของ Capillary rise ต่อระดับน้ำในเขตรากพืช น้ำในเขตรากพืชสามารถลดลงเนื่องจากการคายระเหย หากน้ำพร่องลงต่ำกว่าระดับน้ำที่มีอยู่ที่ใช้ได้ (RAW) จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ความเครียดน้ำ ดังกล่าวในหัวข้อที่ผ่านมาในสมการ (6) และ (7) การคำนวณค่าการพร่อง

ของน้ำในเขตรากพืช ณ วันที่ i ($D_{r,i}$) ซึ่งมีหน่วยเป็น mm สามารถคำนวณได้จากสมดุลน้ำในเขตรากพืช ดังสมการนี้

$$D_{r,i} = D_{r,i-1} - (P_i - RO_i) - I_i - CR_i + ET_{c,i} + DP_i \quad (9)$$

โดยที่ P_i คือ น้ำฝนในวันที่ i RO_i คือ น้ำท่าผิวดินในวันที่ i I_i คือ ความลึกน้ำชลประทานที่ซึมลงดินในวันที่ i CR_i คือ capillary rise จากน้ำใต้ดินในวันที่ i $ET_{c,i}$ คือ การคายระเหยของพืชในวันที่ i และ DP_i คือ น้ำที่สูญเสียออกจากเขตรากพืชโดยการซึมลึกในวันที่ i ในการศึกษาที่ยังไม่ได้พิจารณาการสูญเสียน้ำชลประทานจากการส่งน้ำ หากพิจารณาในส่วนนี้ บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ จะมีค่าเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 1 สมดุลน้ำในเขตรากพืช

ที่มา: Hoekstra et al. (2011)

ข้าว

ข้าว นับเป็นพืชอาหารที่สำคัญที่สุด ซึ่งมีการเพาะปลูกในทุกภูมิภาคของประเทศ โดยกว่าร้อยละ 50 ของพื้นที่การเกษตรของไทยใช้เป็นพื้นที่ในการเพาะปลูกข้าว ที่ให้ผลผลิตกว่า 30 ล้านตันข้าวเปลือก ต่อปี ซึ่งประมาณครึ่งหนึ่งของผลผลิตทั้งหมดใช้สำหรับบริโภคเป็นอาหารหลักในประเทศ และส่วนที่เหลือใช้สำหรับส่งออก การผลิตข้าวของประเทศไทย สามารถผลิตได้ปีละ 2 ฤดู ได้แก่ ฤดูฝน เรียกว่า “ข้าวนาปี” จะปลูกในช่วงเดือนพฤษภาคม - ตุลาคม และฤดูแล้ง เรียกว่า “ข้าวนาปรัง” ซึ่งจะปลูกในช่วงเดือน พฤศจิกายน - เมษายน ของปีถัดไป (กรมวิชาการเกษตร, 2552)

พันธุ์ที่นิยมปลูก

ส่วนใหญ่ปลูกพันธุ์ข้าวเจ้าและข้าวเหนียวไม่ไวต่อช่วงแสงทั้งในฤดูนาปีและนาปรัง และเป็นพันธุ์ ที่สามารถปลูกได้ทั่วประเทศ (กรมวิชาการเกษตร, 2552)

พันธุ์ข้าวเจ้า

กข7 อายุเก็บเกี่ยว 120-130 วัน ผลผลิตเฉลี่ย 675 กิโลกรัมต่อไร่ อมิโลสปานกลาง ข้าวสุกค่อนข้างร้อนและนุ่ม เมล็ดมีระยะพักตัว 1 สัปดาห์ค่อนข้างต้านทานโรคไหม้และโรคขอบใบแห้งค่อนข้างทนทานต่อดินเปรี้ยว

กข23 อายุเก็บเกี่ยว 120-130 วัน ผลผลิตเฉลี่ย 800 กิโลกรัมต่อไร่ อมิโลสปานกลาง ข้าวสุกค่อนข้างร้อนและนุ่ม เมล็ดมีระยะพักตัว 5 สัปดาห์ ต้านทานโรคขอบใบแห้ง โรคใบหงิก เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และค่อนข้างต้านทานเพลี้ยจักจั่นสีเขียว

ข้าวเจ้าหอมคลองหลวง 1 อายุเก็บเกี่ยว 118-125 วัน ผลผลิตเฉลี่ย 620 กิโลกรัมต่อไร่ อมิโลสต่ำ ข้าวสุกนุ่ม เหนียว และหอมคล้ายข้าวดอกมะลิ 105 เมล็ดมีระยะพักตัว 6 สัปดาห์ค่อนข้างต้านทานโรคไหม้ โรคขอบใบแห้งและเพลี้ยกระโดดหลังขาว

ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี อายุเก็บเกี่ยว 118-122 วัน ผลผลิตเฉลี่ย 630 กิโลกรัมต่อไร่ อมิโลสต่ำ ข้าวสุกนุ่ม เหนียว และหอมคล้ายข้าวดอกมะลิ 105 เมล็ดมีระยะพักตัว 4 สัปดาห์ ก่อนข้างด้านทานโรคขอบใบแห้งและเพลี้ยกระโดดหลังขาว

ชัยนาท 1 อายุเก็บเกี่ยว 120-130 วัน ผลผลิตเฉลี่ย 740 กิโลกรัมต่อไร่ อมิโลสสูง ข้าวสุกร่วนและแข็ง เมล็ดมีระยะพักตัว 8 สัปดาห์ ด้านทานโรคใบหงิก ก่อนข้างด้านทานโรคไหม้ ด้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยกระโดดหลังขาว นอกจากใช้บริโภคแล้วยังใช้ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เส้นได้ดี

ปทุมธานี 1 อายุเก็บเกี่ยว 112-125 วัน ผลผลิตเฉลี่ย 775 กิโลกรัมต่อไร่ อมิโลสต่ำ ข้าวสุกนุ่ม เหนียว และมีกลิ่นหอม เมล็ดมีระยะพักตัว 4 สัปดาห์ ก่อนข้างด้านทานโรคไหม้ โรคขอบใบแห้ง เพลี้ยกระโดดหลังขาว และเพลี้ยกระโดดหลังขาว

พิษณุโลก 2 อายุเก็บเกี่ยว 118-122 วัน ผลผลิตเฉลี่ย 643 กิโลกรัมต่อไร่ อมิโลสสูง ข้าวสุกร่วนและแข็ง เมล็ดมีระยะพักตัว 8 สัปดาห์ ด้านทานโรคไหม้ เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ก่อนข้างด้านทาน เพลี้ยกระโดดหลังขาว และเพลี้ยจักจั่นสีเขียว นอกจากใช้บริโภคแล้วยังใช้ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เส้นได้ดี

สุพรรณบุรี 1 อายุเก็บเกี่ยว 120-125 วัน ผลผลิตเฉลี่ย 806 กิโลกรัมต่อไร่ อมิโลสสูง ข้าวสุกร่วนและแข็ง เมล็ดมีระยะพักตัว 3 สัปดาห์ ด้านทานโรคไหม้ โรคใบหงิก โรคขอบใบแห้ง เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และ เพลี้ยกระโดดหลังขาว นอกจากใช้บริโภคแล้วยังใช้ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เส้นได้ดี

สุพรรณบุรี 2 อายุเก็บเกี่ยว 90-110 วัน ผลผลิตเฉลี่ย 700 กิโลกรัมต่อไร่ อมิโลสปานกลาง ข้าวสุกนุ่มก่อนข้างแข็ง เมล็ดมีระยะพักตัว 6 สัปดาห์ ด้านทานโรคขอบใบแห้งและเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

สุพรรณบุรี 60 อายุเก็บเกี่ยว 120 วัน ผลผลิตเฉลี่ย 700 กิโลกรัมต่อไร่ อมิลอสปานกลาง ข้าวสุกนุ่ม เมล็ดมีระยะพักตัว 4 สัปดาห์ ด้านทานโรคไหม้และโรคขอบใบแห้ง เพี้ยจักจั่นสีเขียว และเพลี้ยกระโดดหลังขาว

สุพรรณบุรี 90 อายุเก็บเกี่ยว 115-125 วัน ผลผลิตเฉลี่ย 600 กิโลกรัมต่อไร่ อมิลอสสูง ข้าวสุกร่วนและแข็ง เมล็ดมีระยะพักตัว 3 สัปดาห์ ด้านทานโรคไหม้ โรคขอบใบแห้ง โรคใบหงิก โรคใบสีส้ม และเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

สุรินทร์ 1 อายุเก็บเกี่ยว 135-140 วัน ผลผลิตเฉลี่ย 622 กิโลกรัมต่อไร่ อมิลอสสูง ข้าวสุกร่วน และแข็ง เมล็ดมีระยะพักตัว 4 สัปดาห์ ด้านทานโรคไหม้และโรคขอบใบแห้ง ทนทานดินเค็ม และความแห้งแล้ง นอกจากใช้บริโภคแล้วยังใช้ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เส้นได้ดี

พันธุ์ข้าวเหนียว

กข10 อายุเก็บเกี่ยว 130-135 วัน ผลผลิตเฉลี่ย 660 กิโลกรัมต่อไร่ ข้าวสุกนุ่ม เมล็ดมีระยะพักตัว 5 สัปดาห์ ค่อนข้างต้านทานโรคไหม้

แพร่ 1 อายุเก็บเกี่ยว 120-130 วัน ผลผลิตเฉลี่ย 650 กิโลกรัมต่อไร่ ข้าวสุกนุ่ม เมล็ดมีระยะพักตัว 6 สัปดาห์ต้านทานโรคไหม้ โรคขอบใบแห้ง โรคใบหงิก และเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

สกลนคร อายุเก็บเกี่ยว 125-130 วัน ผลผลิตเฉลี่ย 467 กิโลกรัมต่อไร่ ข้าวสุกนุ่มและหอม เมล็ดมีระยะพักตัว 3 สัปดาห์ ไม่ต้านทานโรคไหม้ โรคขอบใบแห้ง และเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

สันป่าตอง 1 อายุเก็บเกี่ยว 130-135 วัน ผลผลิตเฉลี่ย 630 กิโลกรัมต่อไร่ ข้าวสุกนุ่ม เมล็ดมีระยะพักตัว 8 สัปดาห์ ด้านทานโรคไหม้ และโรคขอบใบแห้ง

การเตรียมเมล็ดพันธุ์

ใช้เมล็ดจากแหล่งที่เชื่อถือได้ เช่น สถานีทดลองข้าว ศูนย์วิจัยข้าว ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าว กรมการข้าว และศูนย์ขยายพันธุ์พืช กรมส่งเสริมการเกษตร หากใช้เมล็ดพันธุ์ของเกษตรกร ต้องเป็นเมล็ดพันธุ์ที่ตรงตามพันธุ์ สะอาด และมีความงอกไม่น้อยกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ปลูกโดยวิธีปักดำ ใช้เมล็ดพันธุ์ 5-7 กิโลกรัม ตกกกล้าเพื่อปักดำในพื้นที่ 1 ไร่ ปลูกวิธีหว่านน้ำตม ใช้เมล็ดพันธุ์ 15-20 กิโลกรัมต่อไร่

การเตรียมดินและวิธีปลูก

การปลูกโดยวิธีปักดำ มี 2 ขั้นตอน

การตกกกล้า

เตรียมแปลงตกกกล้า โดยไถตะกั่วไถ 7-10 วัน ไถแปร เอาน้ำเข้า แซ่ซี่ไถ คราดปรับระดับผิวดินแล้วทำเทือก แบ่งแปลงย่อย กว้างประมาณ 1-2 เมตร ยาวตามความยาวของแปลง ทำร่องน้ำระหว่างแปลงกว้างประมาณ 30 เซนติเมตร แล้วระบายน้ำออก หว่านเมล็ดข้าวที่เตรียมไว้ (ตามข้อ 3.2) บนแปลงให้สม่ำเสมอ ใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ 50-70 กรัมต่อตารางเมตรอย่าให้น้ำท่วมแปลงกล้า แต่ให้มีความชื้นเพียงพอสำหรับการงอก เพิ่มระดับน้ำตามการเจริญเติบโตของต้นข้าว อย่าให้ท่วมต้นข้าวและไม่เกิน 5 เซนติเมตร จากระดับหลังแปลง

การปักดำ

เตรียมแปลงปักดำโดยไถตะกั่วไถ 7-10 วัน ไถแปร เอาน้ำเข้า แซ่ซี่ไถ คราดปรับระดับผิวดินแล้วทำเทือก รักษาระดับน้ำในแปลงปักดำประมาณ 5 เซนติเมตรจากผิวดิน ปักดำโดยใช้ต้นกล้าอายุประมาณ 25 วัน ระยะปักดำ 20x20 เซนติเมตร จำนวน 3-5 ต้นต่อกอ รักษาระดับน้ำในนาให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของต้นข้าวประมาณ 0-10 เซนติเมตร อย่าปล่อยให้น้ำท่วมขังนาน โดยเฉพาอย่างยิ่งในช่วงก้านิคมช่อดอกถึงออกรวง หลังข้าวออกรวง 80 เปอร์เซ็นต์แล้วประมาณ 20 วัน ระบายน้ำออก

การปลูกโดยวิธีหว่านน้ำตม

เตรียมแปลงโดยไถตะกั่วไถ 7-10 วัน ไถแปร เอนน้ำเข้าแซ่ซี่ไถให้พอเหมาะกับการคราด คราดปรับระดับผิวดิน แล้วทำเทือก แบ่งแปลง กว้าง 5-10 เมตร ยาวตามความยาวของแปลง ทำร่อง น้ำระหว่างแปลงกว้าง 30 เซนติเมตร แล้วระบายน้ำออก หว่านเมล็ดข้าวที่เตรียมไว้ (ตามข้อ 3.2) บนแปลงให้สม่ำเสมอ ใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ 15-20 กิโลกรัมต่อไร่ หลังหว่านเมล็ด อย่าให้น้ำท่วมแปลง แต่ให้มีความชื้นเพียงพอ สำหรับการงอก ค่อย ๆ เพิ่มระดับน้ำตามการเจริญเติบโตของต้นข้าว อย่าให้ท่วมต้นข้าว และไม่ควรลึกเกิน 10 เซนติเมตร อย่าปล่อยให้ต้นข้าวขาดน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงกำเนิดช่อดอกถึงออกรวง หลังข้าวออกรวง 80 เปอร์เซ็นต์แล้วประมาณ 20 วัน ระบายน้ำออก (กรมวิชาการเกษตร, 2552)

การดูแลรักษาให้ปุ๋ย

นาดำ

ครั้งที่ 1 ให้ปุ๋ยสูตร 16-20-0 หรือ 18-22-0 หรือ 20-20-0 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ระยะปักดำ หรือก่อนปักดำ 1 วัน แล้วคราดกลบ หรือให้หลังปักดำ 15-20 วัน (หากเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ควรใช้สูตร 16-16-18) ครั้งที่ 2 ให้ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 10-15 กิโลกรัมต่อไร่ หรือสูตร 21-0-0 อัตรา 20-30 กิโลกรัม ต่อไร่ ที่ระยะกำเนิดช่อดอก หรือ 30 วันก่อนข้าวออกดอก ครั้งที่ 3 ให้ปุ๋ยสูตร และอัตราเช่นเดียวกับครั้งที่ 2 ที่ระยะ 10-15 วันหลังระยะกำเนิดช่อดอก (กรมวิชาการเกษตร, 2552)

นาหว่านน้ำตม

ครั้งที่ 1 ให้ปุ๋ยสูตร 16-20-0 หรือ 18-22-0 หรือ 20-20-0 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ระยะ 20-30 วันหลังข้าวงอก (ดินร่วนเหนียวปนทรายควรใช้สูตร 16-16-18) ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 เช่นเดียวกับนาดำ (กรมวิชาการเกษตร, 2552)

การเลือกพันธุ์ข้าวที่เหมาะสม

พันธุ์ข้าวที่ใช้ปลูกในประเทศไทยปัจจุบันสามารถแบ่งได้ตามลักษณะการเจริญเติบโตของพันธุ์ และแบ่งได้ตามลักษณะของชนิดเนื้อแป้งของเมล็ด ได้แก่ ข้าวเจ้า ข้าวเหนียว เป็นต้น ปัจจุบันการแบ่ง ตามลักษณะที่เกษตรกรคุ้นเคยเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

1. ข้าวนาปี (พันธุ์ข้าวไวต่อช่วงแสง) : เป็นพันธุ์ข้าวที่ปลูกได้เฉพาะในฤดูฝน หรือที่เกษตรกรเรียกว่า ข้าวนาปี ข้าวนาปีนี้เป็นพันธุ์ข้าวที่มีการออกดอกตรงตามฤดูกาลเพราะต้องการช่วงแสงจำเพาะเพื่อการออกดอก ไม่ว่าจะปลูกข้าวพันธุ์นั้นเมื่อใด เช่น พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (ในภาคอีสาน) จะออกดอกประมาณวันที่ 20 ตุลาคม ซึ่งไม่ว่าจะปลูกข้าวพันธุ์นี้เมื่อใด ก็จะออกดอกในช่วงเดือนตุลาคมเท่านั้น

2. ข้าวนาปรัง (พันธุ์ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง) : เป็นพันธุ์ข้าวที่มีอายุการเก็บเกี่ยวค่อนข้างแน่นอนเมื่อมีอายุครบถึงระยะเวลาออกดอกข้าวพันธุ์นั้นจะออกดอกได้โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยช่วงแสงเป็นตัวกำหนดทำให้ข้าวชนิดนี้สามารถปลูกได้ตลอดปี แต่เกษตรกรมักจะเรียกว่าข้าวนาปรังแม้ว่าจะปลูกได้ทั้งในฤดูแล้งที่อาศัยน้ำฝน และในช่วงฤดูแล้งที่ต้องอาศัยน้ำชลประทาน พันธุ์ข้าวที่เกษตรกรใช้ปลูกในขณะนี้ มีทั้งข้าวพันธุ์พื้นเมือง ทั้งข้าวเจ้า และข้าวเหนียว ที่ปลูกเพื่อใช้บริโภคในครัวเรือน และพันธุ์ข้าวดีของทางราชการที่ได้รับการรับรองจากกรมวิชาการเกษตร และส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกอยู่ทุกวันนี้ (กรมวิชาการเกษตร, 2552)

ข้อมูลพื้นที่ศึกษา

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม เป็นโครงการประเภทส่งน้ำและระบายน้ำ อยู่ในเขตรับผิดชอบของสำนักชลประทานที่ 10 จังหวัดลพบุรี เริ่มใช้งานโครงการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2497

ที่ตั้งโครงการ

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียมตั้งอยู่ที่ตำบลเขาพระงาม อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรีอยู่บนฝั่งซ้ายของแม่น้ำเจ้าพระยา มีเขื่อนเจ้าพระยาทำหน้าที่เก็บกักน้ำและทดระดับน้ำให้สูงพอที่จะส่งน้ำเข้าคลองอนุศาสนนันท์ (คลองชัยนาท-ป่าสัก) โดยมีอาคารหัวงานคือประตูระบายน้ำโคกกะเทียม ตั้งอยู่ที่ กม.86+107 ของคลองอนุศาสนนันท์ มีขนาดช่องระบายน้ำกว้าง 6.00 ม. จำนวน 4 ช่อง ระบายน้ำได้สูงสุด 157.67 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที พื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียมครอบคลุมพื้นที่ในเขต 3 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดลพบุรี ประกอบด้วย 3 อำเภอ 23 ตำบล จังหวัดสระบุรี 3 อำเภอ 8 ตำบล และจังหวัดพระนครศรีอยุธยา 3 อำเภอ 13 ตำบล

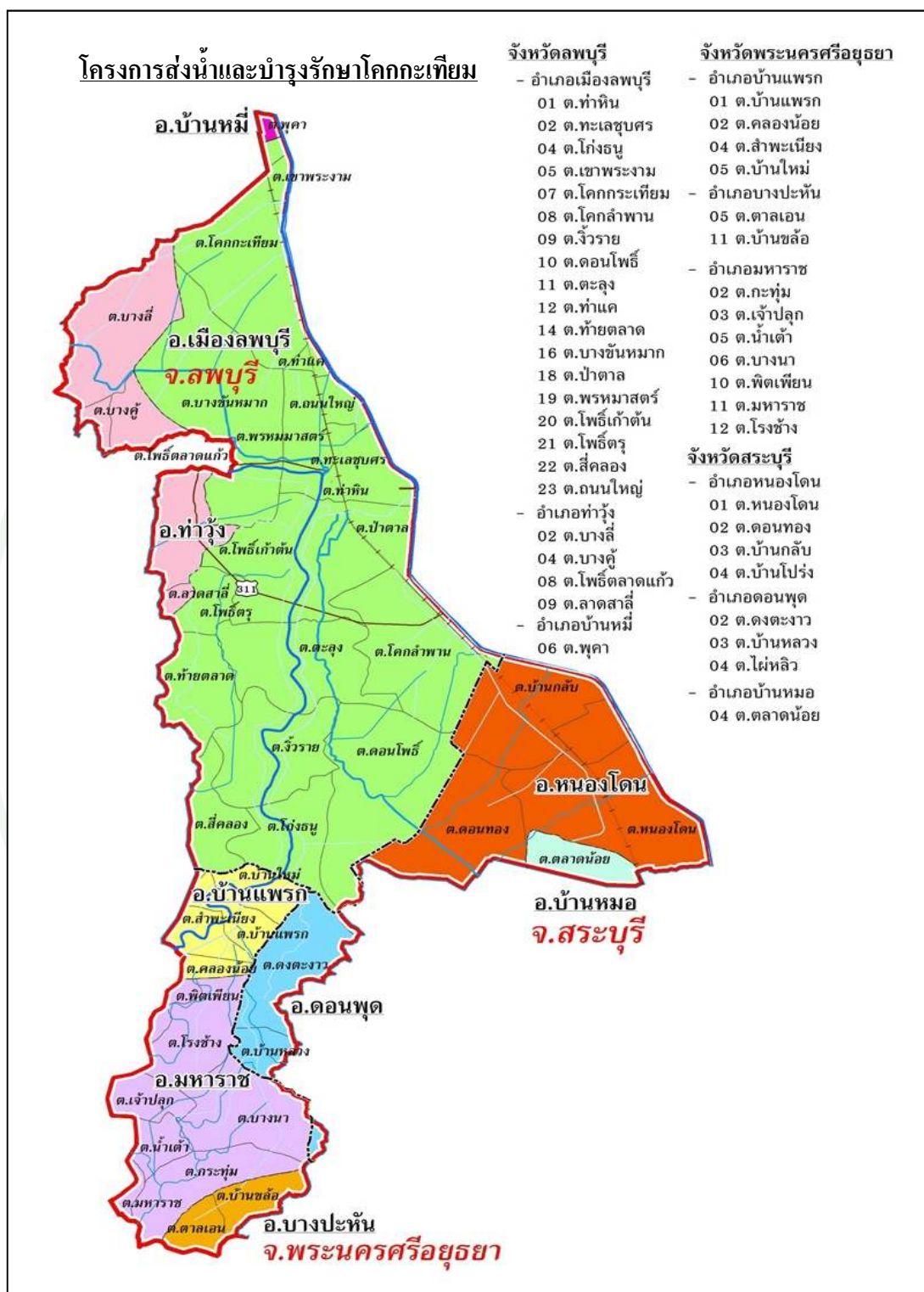
พื้นที่รับผิดชอบ

พื้นที่ในความรับผิดชอบของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียมมีประมาณ 255,112 ไร่ เป็นพื้นที่ชลประทาน 238,303 ไร่ พื้นที่ในเขตชลประทาน แบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่

1. พื้นที่ในเขตจัดรูปที่ดิน จำนวน 81,007 ไร่ แยกเป็น 2 ส่วน คือ
 - พื้นที่จัดรูปที่ดินสมบูรณ์แบบ (INTENSIVE) จำนวน 50,094 ไร่ ซึ่งมีการก่อสร้างคูส่งน้ำถูระบายน้ำ จัดรูปแปลงใหม่ ปรับระดับพื้นที่ และมีทางลำเลียงผลผลิตอย่างครบถ้วนสมบูรณ์
 - พื้นที่จัดรูปที่ดินกึ่งสมบูรณ์ (EXTENSIVE) จำนวน 30,913 ไร่ มีคูส่งน้ำลัดเลาะไปตามเขตแปลงและคูระบายน้ำ และมีทางลำเลียงผลผลิตเพียงบางสายเท่านั้น
2. พื้นที่ที่มีระบบคันคูน้ำ จำนวน 75,281 ไร่
3. พื้นที่ที่ไม่มีระบบคันคูน้ำ จำนวน 82,015 ไร่ ซึ่งเป็นที่ลุ่มบริเวณปลายคลองส่งน้ำ (รายงานการศึกษาความเหมาะสมโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม, 2550)

พื้นที่ศึกษานอกเขตชลประทานของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียมพื้นที่ฝั่งซ้ายในระยะห่างประมาณ 5 กิโลเมตรจากคลองชัยนาท – ป่าสัก มีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 16,809 ไร่

ยังไม่มีระบบชลประทานที่สมบูรณ์นั้น เกษตรกรในพื้นที่ส่วนใหญ่ใช้น้ำในการเพาะปลูกจากน้ำฝนเป็นหลัก ลำน้ำธรรมชาติและจากคลองชลประทาน – ป่าสักบางส่วน ผ่านทางโรงสูบน้ำจำนวน 4 แห่ง ได้แก่ โรงสูบน้ำปากคลองสระตาแวง , โรงสูบน้ำปากคลองสะพานขาว , โรงสูบน้ำปากคลองโพหนองและโรงสูบน้ำปากคลอง สนามแจง ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่ลุ่มต่ำที่ประสบกับปัญหาน้ำท่วมซ้ำซากในฤดูน้ำหลากทุกปี เกษตรกรจึงต้องปรับเปลี่ยนพฤติกรรมในการทำนาโดยมีการทำนาปรัง 2 ครั้งนาปรังครั้งที่ 1 จะเริ่มทำการเพาะปลูกในช่วงเดือนปลายเดือนพฤศจิกายนถึงต้นเดือนธันวาคมและจะไปเก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงเดือนมีนาคมถึงเมษายน และนาปรังในครั้งที่ 2 นั้น จะเริ่มทำการเพาะปลูกในช่วงต้นเดือนพฤษภาคมและจะเก็บเกี่ยวผลผลิตในเดือนสิงหาคม การเพาะปลูกข้าวเกษตรกรส่วนใหญ่ใช้วิธีการเพาะปลูกด้วยวิธีการนาหว่านน้ำตม พันธุ์ข้าวที่ทำการเพาะปลูกเป็นพันธุ์ข้าวเตี้ย ความสูงต้นข้าวประมาณ 70 – 80 ซม. มีอายุเก็บเกี่ยวได้เฉลี่ยประมาณ 120 วัน ได้แก่ พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี 1 ชัยนาท และหอมประทุม เป็นต้น



ภาพที่ 2 พื้นที่ศึกษาโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม

ตารางที่ 3 พื้นที่รับผิดชอบโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม

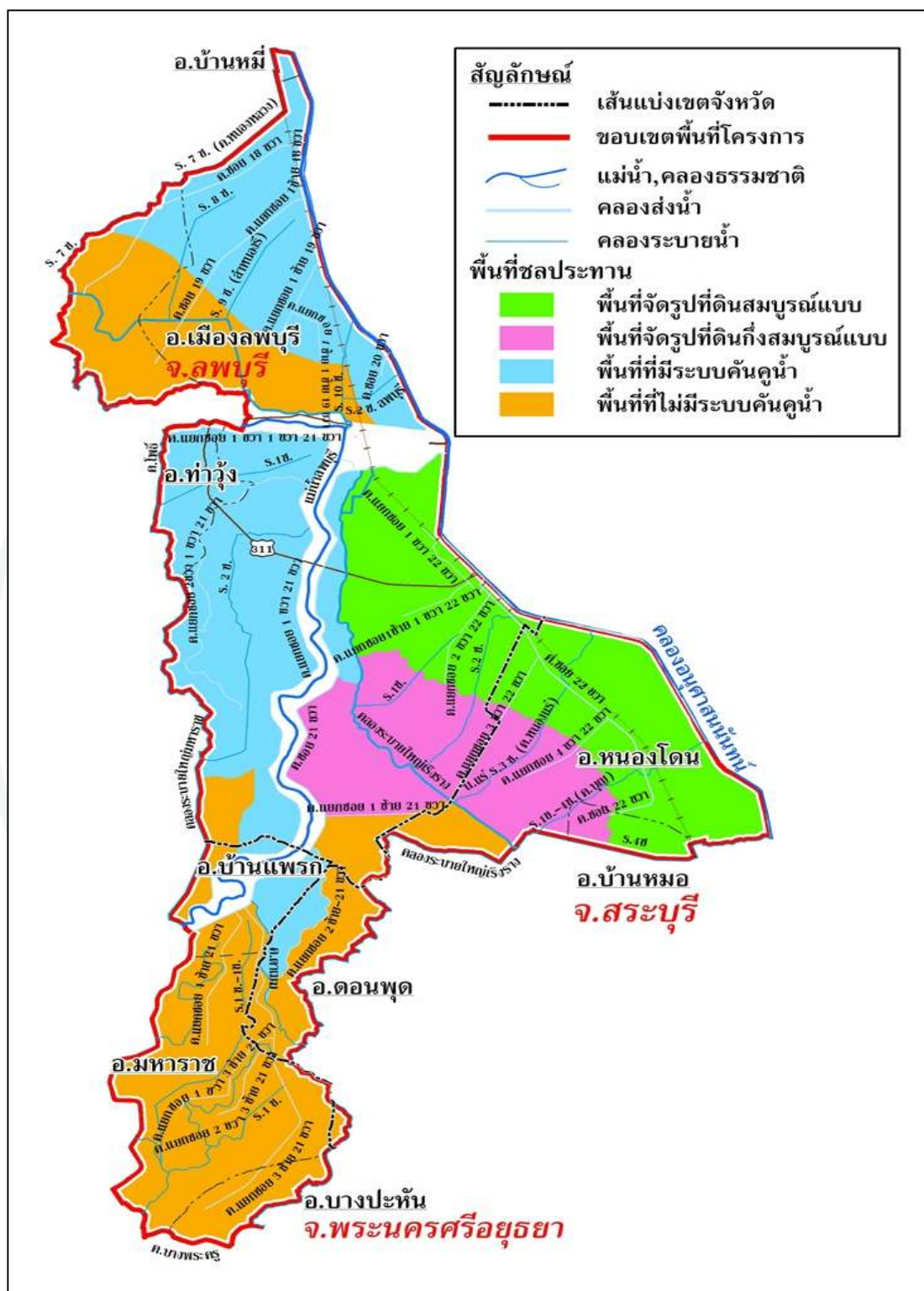
	รายละเอียด	พื้นที่ (ไร่)
1	พื้นที่ชลประทาน	
	1) พื้นที่จัดรูปที่ดินสมบูรณ์แบบ (Intensive)	50,094
	2) พื้นที่จัดรูปที่ดินกึ่งสมบูรณ์แบบ (Extensive)	30,913
	3) พื้นที่ที่มีระบบคันคูน้ำ	75,281
	4) พื้นที่ที่ไม่มีระบบคันคูน้ำ	82,015
	รวมพื้นที่ชลประทาน	238,303
2	พื้นที่นอกเขตชลประทาน	16,809
	รวมพื้นที่โครงการ	255,112

ตารางที่ 4 สรุปพื้นที่ชลประทาน ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม รายอำเภอ

ลำดับที่	รายละเอียด	พื้นที่ชลประทาน (ไร่)
1	จังหวัดลพบุรี	142,923
1.1	อำเภอเมืองลพบุรี	120,160
1.2	อำเภอท่าม่วง	22,113
1.3	อำเภอบ้านหมี่	650
2	จังหวัดสระบุรี	53,860
2.1	อำเภอบ้านหมอ	3,742
2.2	อำเภอดอนพุด	10,991
2.3	อำเภอหนองโดน	39,127
3	จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	41,520
3.1	อำเภอบางปะหัน	5,752
3.2	อำเภอบ้านแพรก	6,624
3.3	อำเภอมหาราช	29,145
	รวมทั้งโครงการ	238,303

ตารางที่ 5 สรุปพื้นที่จัดรูปที่ดินในเขตโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม

ลำดับที่	พื้นที่จัดรูปที่ดิน	ที่ตั้ง			พื้นที่ชลประทาน (ไร่)
		ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	
1	สมบูรณ์แบบ	โคกลำพาน	เมือง	ลพบุรี	12,375
		ตะลุง	เมือง	ลพบุรี	1,537
		ป่าตาล	เมือง	ลพบุรี	3,426
		โพธิ์เก้าต้น	เมือง	ลพบุรี	3,719
	รวม		เมือง	ลพบุรี	21,057
		หนองโดน	หนองโดน	สระบุรี	13,844
		บ้านกล้วย	หนองโดน	สระบุรี	10,525
		บ้านโป่ง	หนองโดน	สระบุรี	2,841
			หนองโดน	สระบุรี	27,210
	รวม	ตลาดน้อย	บ้านหมอ	สระบุรี	1,827
	รวม		หนองโดน	สระบุรี	1,827
	รวมพื้นที่จัดรูปที่ดินสมบูรณ์แบบ				50,094
2	กึ่งสมบูรณ์แบบ	ทะเลชุบศร	เมือง	ลพบุรี	112
		จั่วราย	เมือง	ลพบุรี	5,239
		คอนโพธิ์	เมือง	ลพบุรี	12,483
		ตะลุง	เมือง	ลพบุรี	1,974
		โก่งธนู	เมือง	ลพบุรี	650
	รวม		เมือง	ลพบุรี	20,458
		คอนทอง	หนองโดน	สระบุรี	7,501
		หนองโดน	หนองโดน	สระบุรี	1,039
			หนองโดน	สระบุรี	8,540
	รวม	ตลาดน้อย	บ้านหมอ	สระบุรี	1,915
	รวม		หนองโดน	สระบุรี	1,915
รวมพื้นที่จัดรูปที่ดินกึ่งสมบูรณ์แบบ					30,913



ภาพที่ 3 แสดงพื้นที่จัดรูปที่ดินในเขตโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม

ความสัมพันธ์ระหว่างดิน น้ำ และพืช

ในการเพาะปลูกพืชจำเป็นต้องใช้น้ำ ซึ่งน้ำที่จะนำมาใช้จะต้องมีทั้งปริมาณและคุณภาพที่เหมาะสมกับความต้องการของพืชในระยะต่าง ๆ ดินและน้ำมีความสำคัญต่อพืชอย่างมาก เพราะดินจะเป็นที่สำหรับให้รากพืชจับยึดยืนอยู่ให้มั่นคงและเป็นแหล่งสะสมธาตุอาหาร ส่วนน้ำก็ทำหน้าที่ให้ความชุ่มชื้นและละลายสารอาหารให้ พืชดูดไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ดังนั้นจึงควรทราบถึงคุณสมบัติของดิน น้ำ และพืช ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการให้น้ำแก่พืช เนื่องจากเราทำการปลูกพืชบนดิน และทำการให้น้ำเพื่อให้พืชได้เจริญเติบโต ดังนั้น จึงจำเป็นที่ควรจะทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างดิน น้ำ และพืช ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบให้น้ำ (ดิเรก และคณะ, 2545) รูปแบบต่างๆ ของน้ำในดินก่อนข้างซับซ้อน จะผันแปรจากสภาพที่เคลื่อนไหวได้อย่างอิสระไปจนถึงสภาพที่จับยึดแน่นกับผิวอนุภาคดิน อาจแบ่งได้เป็นชนิดใหญ่ๆ ได้ 3 ชนิด (แม้ว่าไม่อาจแยกกันอย่างชัดเจนก็ตาม) ได้แก่ น้ำอิสระ (Gravitational Water) น้ำซัพ (capillary water) และน้ำเยื่อ (hygroscopic water)

คุณสมบัติของดินที่เกี่ยวข้องกับความต้องการน้ำของพืช

เนื่องจากดินเปรียบเสมือนถังน้ำหรือที่เก็บน้ำโดยธรรมชาติให้แก่พืชนำไปใช้ โดยรากของพืชจะดูดเอาความชื้นในดินไปใช้ น้ำที่เก็บไว้ให้พืชนำไปใช้นี้จะอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่เป็นของแข็ง ช่องว่างเหล่านี้ถ้าไม่มีน้ำบรรจุอยู่ก็จะมีอากาศเข้าไปแทนที่

องค์ประกอบของดิน ดินมีองค์ประกอบ 4 ส่วน คือ อนินทรีย์วัตถุ อินทรีย์วัตถุ น้ำ และอากาศ องค์ประกอบของดินแต่ละส่วนมีประโยชน์ต่อพืช ดังนี้

1. อนินทรีย์วัตถุ เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของดิน เกิดจากการสลายของหิน และแร่ต่าง ๆ ออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ที่มีขนาดต่าง ๆ กัน ดินแต่ละแห่งจะมีขนาดของอนินทรีย์วัตถุและชนิดของแร่ธาตุแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการย่อยสลายที่เกิดขึ้นของดินแต่ละชนิดและแร่ธาตุต้นกำเนิดดิน
2. อินทรีย์วัตถุ ในดินประกอบด้วยเศษซากพืชซากสัตว์ที่เน่าเปื่อยแล้วหรือที่กำลังย่อยสลายสารและที่หลงเหลือจากการย่อยสลาย สารที่ได้จากการสังเคราะห์ของจุลินทรีย์ดิน สารต่าง ๆ

เหล่านี้ รวมเรียกว่า “ฮิวมัส” ซึ่งเป็นสารแขวนลอยสีดำหรือน้ำมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและแร่ธาตุอาหารพืชได้สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับสารอนินทรีย์ อินทรีย์วัตถุ ทำให้ดินร่วนโปร่ง มีการระบายน้ำและอากาศดี เป็นที่มาของธาตุอาหารพืชหลายชนิด เช่น ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และการย่อยสลายซากพืชซากสัตว์ ทำให้ได้ฮิวมัสเพิ่มขึ้นอีก

3. น้ำ เป็นส่วนประกอบสำคัญของพืช น้ำนอกจากจะเป็นแหล่งรวมสารอาหารที่รากพืชจะดูดขึ้นมาหล่อเลี้ยงต้นพืชแล้ว ยังช่วยละลายธาตุอาหารในดินให้อยู่ในสภาพที่พืชสามารถนำไปใช้ได้

4. อากาศ ส่วนที่เป็นช่องว่างระหว่างเม็ดดินส่วนที่ไม่มีน้ำและเป็นที่อยู่ของอากาศ รากพืชใช้ออกซิเจนที่มีอยู่ในช่องอากาศของดินเพื่อการหายใจดูดน้ำและธาตุอาหารไปใช้เลี้ยงลำต้น กิ่ง ก้าน ใบ และผลได้ โดยทั่วไปแล้วอากาศในดินมีออกซิเจนน้อยกว่าอากาศบนดิน ดังนั้นการถ่ายเทอากาศของดินจึงมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ดินที่มีการถ่ายเทอากาศน้อยจะมีปริมาณคาร์บอน ไดออกไซด์สูงถึง 10 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้การทำงานของรากพืชถูกจำกัด นอกจากนี้ ออกซิเจนยังมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ดินอีกด้วย ส่วนประกอบของดินที่เหมาะสมต่อการปลูกพืชควรประกอบด้วย อนินทรีย์วัตถุ 45 เปอร์เซ็นต์ อินทรีย์วัตถุ 5 เปอร์เซ็นต์ น้ำ 25 เปอร์เซ็นต์ และอากาศ 25 เปอร์เซ็นต์

เนื้อดิน

เนื้อดินเป็นคุณสมบัติของดินแสดงถึง ความหยาบ ความละเอียดของดิน เนื้อดิน หมายถึง สัดส่วนของอนุภาคอนินทรีย์วัตถุของดินโดยคุณสมบัติของดินจำแนกตามลักษณะ ของเม็ดดินได้ 3 ชนิด ได้แก่ เม็ดทราย (Sand) เม็ดซิลต์หรือทรายแป้ง (Silt) และเม็ดดินเหนียว (Clay) ในอัตราส่วนต่าง ๆ กันดินที่มีอนุภาคของทรายเป็นส่วนประกอบหลักจะเรียกว่า “ดินเนื้อหยาบ” และดินที่มีอนุภาคดินเหนียวเป็นส่วนประกอบหลักจะเรียกว่า “ดินเนื้อละเอียด” ซึ่งสามารถในการอุ้มน้ำได้ดีกว่าดินทราย ส่วนดินทรายจะให้น้ำซึมผ่านและมีการระบายน้ำได้ดี แต่มีความสามารถในการเก็บ อุ้มน้ำไว้ในดินได้น้อยการแบ่งเนื้อดินสามารถแบ่งได้ละเอียดตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ โดยทั่วไปนิยมยึดถือตามมาตรฐานของ 2 องค์การ คือ ระบบการแบ่งของ

กระทรวงเกษตรประเทศสหรัฐอเมริกา (United State. Department of Agriculture Scheme) และระบบสากล (International Scheme) ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 6 แสดงคุณสมบัติของดิน ความหยาบ ความละเอียดของเนื้อดิน

ระบบของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา		ระบบสากล	
ชื่อกลุ่ม	เส้นผ่าศูนย์กลางสมมูล	ชื่อกลุ่ม	เส้นผ่าศูนย์กลางสมมูล
ทรายหยาบมาก	2.0 - 1.0		
ทรายหยาบ	1.0 - 0.5	ทรายหยาบ	2.0 - 0.2
ทรายปานกลาง	0.5 - 0.10	ทรายละเอียด	0.20 - 0.02
ทรายละเอียด	0.25 - 0.10	ทรายแป้ง	0.02 - 0.002
ทรายละเอียดมาก	0.10 - 0.05	ดินเหนียว	เล็กกว่า 0.002
ทรายแป้ง	0.05 - 0.002		
ดินเหนียว	เล็กกว่า 0.002		

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ดินพบว่า ดินนั้นประกอบด้วยทราย 30 เปอร์เซ็นต์ ทรายแป้ง 40 เปอร์เซ็นต์ และดินเหนียว 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับสามเหลี่ยมมาตรฐาน จะพบว่า ดินชนิดนี้เป็นดินประเภทดินเหนียว (Clay loam) หรือดินร่วนปนดินเหนียว จากประเภทของดินในสามเหลี่ยมมาตรฐานซึ่งมี 12 ชนิดนั้น สามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ ดินเนื้อหยาบ ดินร่วน และดินเนื้อละเอียด ในแต่ละกลุ่มมีข้อดีและข้อเสียของเนื้อดินแต่ละกลุ่ม เพื่อการเกษตรกรรมและการจัดการน้ำแตกต่างกันไป ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 7 แสดงประเภทของเนื้อดิน

กลุ่มของเนื้อดิน	ประเภทของเนื้อดิน		ข้อดีและข้อเสียของเนื้อดินแต่ละกลุ่ม	
	ชื่อภาษาอังกฤษ	ชื่อภาษาไทย	ข้อดี	ข้อเสีย
1. ดินเนื้อหยาบ	1. Sand	ดินทราย	1. ไถพรวนง่าย	1. อุ้มน้ำและธาตุอาหารได้น้อย
	2. Loamy sand	ดินทรายร่วนหรือดินทรายปนดิน		2. ระบายน้ำได้เร็วเกินไป
2. ดินร่วน	3. Sand loam	ดินร่วนปนทราย	1. ไถพรวนง่าย	1. ธาตุอาหารถูกชะล้างได้ง่าย
	4. Loam	ดินร่วน	2. อุ้มน้ำและธาตุอาหารได้มากพอสมควร	2. ความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ
	5. Silt loam	ดินร่วนปนซิลต์หรือดินร่วนปนตะกอนหรือดินร่วนปนทรายแป้ง	3. ระบายน้ำและอากาศดีพอสมควร	
	6. Silt	ทรายแป้งหรือซิลต์หรือตะกอน	4. เหมาะแก่การปลูกพืช	
	7. Sand clay loam	ดินร่วนเหนียวปนทราย		
	8. Clay loam	ดินร่วนเหนียวหรือดินร่วนปน		

ตารางที่ 7 (ต่อ)

กลุ่มของเนื้อดิน	ประเภทของเนื้อดิน		ข้อดีและข้อเสียของเนื้อดินแต่ละกลุ่ม	
	ชื่อภาษาอังกฤษ	ชื่อภาษาไทย	ข้อดี	ข้อเสีย
3. ดินเนื้อละเอียด	9. Silty clay Loam	ดินร่วนเหนียว		
		ปนทรายแป้ง		
		หรือดินร่วน	1. อุ้มน้ำและธาตุอาหารได้มาก	1. ระบายน้ำและอากาศไม่ดี
		เหนียวปนซิลท์		
	10. Sand clay	หรือดินร่วน		
		ดินเหนียวปนทราย	2. ความอุดมสมบูรณ์ของดินสูง	2. ไถพรวนยาก
	11. Silty clay	ดินเหนียวปนทรายแป้งหรือดินเหนียวปนซิลท์		
	12. Clay	หรือดินเหนียว		
		ดินเหนียว		

โครงสร้างของดิน

โครงสร้างของดิน หมายถึง คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการเรียงตัวและเกาะกันระหว่างเม็ดดินเป็นก้อนดิน ซึ่งการจัดเรียงตัวของอนุภาคปฐมภูมิของดินเป็นอนุภาคทุติยภูมิ ซึ่งนิยมเรียกว่า “เม็ดดิน” (Soil Aggregate) ปกติแล้วโครงสร้างของดินกำหนดจากรูปร่าง ขนาด ความคงทนต่อการแตกแยกของเม็ดดินโครงสร้างของดินจะมีผลต่อการเคลื่อนที่ของน้ำและอากาศในดิน อัตราการซึมของน้ำในดิน ตลอดจนการแผ่กระจายของรากพืช ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องปรับปรุงโครงสร้างของดินในเขตรากพืชด้วยการเกษตรกรรมอยู่เสมอโครงสร้างของดินเหมาะสมต่อการปลูกพืช มักเกิดขึ้นในดินชั้นบนที่เคยมีการไถพรวนเป็นดินที่โปร่งร่วนซุยเหมาะแก่การเพาะปลูก ซึ่งเกิดจากอินทรีย์วัตถุ

ความโปร่งและความแน่นทึบของดิน

ความโปร่งและความแน่นทึบของดิน หมายถึง ปริมาตรของช่องว่างที่มีอยู่ในดิน เกิดจากการยึดตัวของอนุภาคดินที่เป็นของแข็ง ดินที่มีปริมาตรของช่องว่างมาก ถือว่าเป็นดินโปร่ง ดินที่มีปริมาตรของช่องว่างน้อย ถือว่าเป็นดินแน่นทึบ แม้ว่าดินที่มีความเหมาะสมต่อการปลูกพืชควรมีช่องว่างในดิน 50 เปอร์เซ็นต์ แต่ช่องว่างแต่ละขนาดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน สัดส่วนของขนาดช่องว่างที่เหมาะสมคือ ช่องว่างขนาดใหญ่ : ช่องว่างขนาดกลาง : ช่องว่างขนาดเล็กเป็น 5 : 4 : 1 ขนาดของช่องว่างจะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคของดินปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน และโครงสร้างของดิน ดินที่มีอนุภาคใหญ่ เช่น ดินทรายจะมีช่องว่างขนาดใหญ่ แต่มีปริมาตรรวมของช่องว่างน้อย ในดินที่มีอนุภาคขนาดเล็ก เช่น ดินเหนียวจะมีขนาดของช่องว่างเล็ก แต่มีปริมาตรรวมของช่องว่างมาก การเพิ่มอินทรีย์วัตถุทำให้ดินร่วนซุยขึ้นหรือทำให้ดินโปร่งขึ้น เพราะอินทรีย์วัตถุเป็นสิ่งที่ช่วยทำให้ดินจับตัวเป็นเม็ด ทำให้ช่องว่างในดินเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 8 ขนาดของช่องว่างภายในดิน

ขนาด	เส้นผ่าศูนย์กลางของช่องว่าง (มิลลิเมตร)	สมบัติของช่องว่าง
ใหญ่	> 0.01	น้ำซึมผ่านช่องว่างในดินได้ง่าย ช่องว่างเหล่านี้จะเป็นที่อยู่ของอากาศในดิน น้ำถูกยึดเอาไว้และพืชใช้น้ำมาใช้
กลาง	$0.0002 - 0.01$	ประโยชน์ได้เมื่อดินแห้งช่องว่างนี้เป็นที่อยู่ของอากาศ
เล็ก	< 0.0002	ดินคูดน้ำได้อย่างเหนียวแน่น พืชนำไปใช้ประโยชน์ไม่ได้ ช่องว่างนี้จะสูญเสียน้ำเมื่อดินแห้งมาก

ที่มา: ดิเรก และ คณะ (2545)

ความลึกของดิน

ดินควรมีความลึกเพียงพอให้รากพืชเจริญเติบโตจนไขแทรกเข้าไปในเนื้อดินได้ ความลึกของดินจะมีอิทธิพลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน การกระจายรากพืช และการทราบถึงระดับความชื้นของดิน ทำให้สามารถกำหนดความถี่ในการให้น้ำแก่พืชได้ ชั้นความลึกของเนื้อดินแบ่ง

ตารางที่ 9 แสดงชั้นความลึกของเนื้อดิน

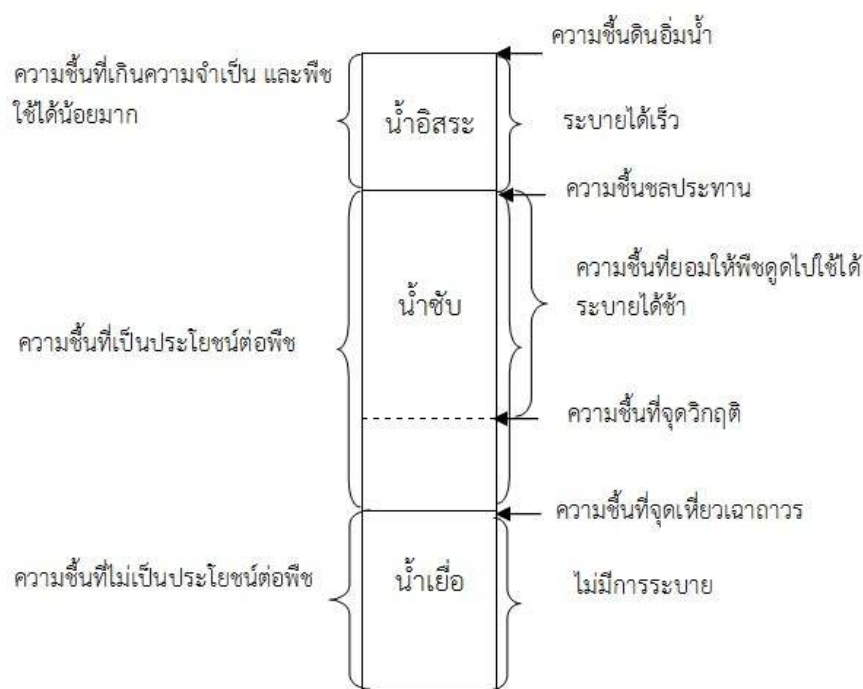
ระยะความลึก	ชั้นความลึก
0 - 10	ดินตื้นมาก
10 - 20	ดินตื้น
20 - 40	ดินลึกปานกลาง
40 - 60	ดินลึก

ที่มา: ดิเรก และ คณะ (2545)

ความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้

ดินโดยทั่วไปจะมีส่วนประกอบที่สำคัญอันประกอบขึ้นด้วยสสาร 3 สถานะ คือ ของแข็งของเหลว และก๊าซ ชนิด ปริมาณ และการจัดเรียงตัวกันของสสารทั้ง 3 สถานะ ทำให้แบ่งแยกและเรียกชื่อดิน ได้ต่างชนิดกันรวมทั้งทำให้ดินแต่ละชนิดสามารถเก็บกักน้ำไว้ในดินได้ต่างกัน ซึ่งเราเรียกว่า ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (Water holding capacity of soil) โดยทั่วไปจะมีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อดิน และโครงสร้างดิน เฉพาะอย่างยิ่งขนาดและปริมาตรของช่องว่างระหว่างเม็ดดินเป็นสำคัญการที่น้ำจะแทรกอยู่ตามช่องว่างระหว่างเม็ดดินได้นั้นอาศัยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของดิน และโมเลกุลของน้ำ (cohesive force) และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำด้วยกัน (adhesive Force) ซึ่งรวมเรียกว่าแรงดูดซับ (capillary force)

ถ้าหากปริมาณน้ำที่มีอยู่ในดินนั้นอยู่เต็มช่องว่างระหว่างเม็ดดินเราเรียกดินนั้นว่าดินอิ่มตัว (saturated) น้ำที่มีอยู่เต็มช่องว่างระหว่างเม็ดดินเมื่อถูกกระทำด้วยแรงดึงดูดของโลกก็จะระบายออกจากช่องว่างขนาดใหญ่ลงสู่ที่ต้ำน้ำในดินที่ไหลด้วยสาเหตุดังกล่าวเราเรียกว่าน้ำอิสระ (gravitational water หรือ free water) เมื่อน้ำอิสระระบายออกจนหมดใช้เวลาประมาณ 2-3 วัน ความชื้นในดินที่จุดนี้เราเรียกว่าความชื้นชลประทาน (field capacity) ซึ่งถือว่าเป็นค่าพิกักบน (upper Limit) ของช่วงระดับความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดิน สำหรับดินเนื้อปานกลาง และดินเนื้อละเอียด พืชต้องใช้แรงดึงความชื้นประมาณ 1/3 บาร์ สำหรับดินเนื้อหยาบพืชต้องใช้แรงดึงความชื้นประมาณ 1/10 บาร์ จากพิกักบน (upper Limit) จนถึงพิกักล่าง (lower Limit) ณ จุดที่มีความชื้นเท่ากับความชื้น ณ จุดเหี่ยวเฉาวร(permanent wilting point) เราเรียกปริมาณน้ำที่อยู่ในดินของช่วงพิกักบนจนถึงช่วงพิกักล่างนี้ว่า น้ำซับ (capillary water) โดยถือว่าปริมาณน้ำที่มีอยู่ในดินช่วงนี้เป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณน้ำในดินที่พืชนำไปใช้ได้ ที่ระดับความชื้น ณ จุดเหี่ยวเฉาวรนี้พืชต้องใช้แรงดึงความชื้นประมาณ 15 บาร์ โดยมีพืชไม่กี่ชนิดที่สามารถสร้างแรงดึงความชื้นในรากได้ถึง 15 บาร์ (วิบูลย์,2526) ดิเรกและคณะ (2545) กล่าวว่า พืชไม่สามารถใช้ความชื้นที่ดินอุ้มไว้ได้นี้ทั้งหมดเพราะเมื่อระดับความชื้นในดินถูกพืชใช้จนเหลือความชื้นน้อยมากจนใกล้ถึงจุดเหี่ยวเฉาวรแล้วพืชอาจได้รับความเสียหายได้เพราะความชื้นในช่วงนี้จะถูกดินดูดยึดเอาไว้มากจนรากพืชไม่สามารถดูดมาใช้ได้ ดังนั้น จึงต้องทำการให้น้ำเมื่อความชื้นในดินลดลงใกล้ถึงจุดเหี่ยวเฉาวร ซึ่งเรื่องนี้เป็นเรื่องที่สำคัญต่อการตัดสินใจในการกำหนดในการให้น้ำแก่พืชมาก ซึ่งโดยทั่วๆ ไป จะยอมให้ความชื้นในดินลดลงประมาณ 50 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ ของความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ได้ ซึ่งความชื้นในดินที่ยอมให้ลดลงก่อนทำการให้น้ำครั้งต่อไป เรียกว่า ความชื้นที่ยอมให้พืชดูดไปใช้ได้ ส่วนความชื้นที่เหลือในดินหลังจากที่พืชดูดเอาความชื้นที่ยอมให้ดูดไปใช้ได้หมดแล้ว คือ ความชื้นจุลวิฤติ ซึ่งคำอธิบายดังกล่าวนี้สามารถแสดงให้เห็นง่ายดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ระดับความชื้นในดินที่จุดต่าง ๆ และความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดิน

ที่มา: ดัดแปลงจาก วิบูลย์ (2526)

การหาจำนวนความชื้นในดิน

Cuenca (1989) กล่าวว่า มีวิธีการหาความชื้นดินอยู่มากมายหลายวิธี ซึ่งจะทำการตรวจวัดก่อนที่จะมีการให้น้ำโดยการประเมินค่าความแห้งของดินต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ยอมรับได้เป็นตัวชี้วัด พร้อมกับการประเมินสภาพอากาศ เพื่อใช้พิจารณาเวลาในการให้น้ำ การตรวจวัดความชื้นดินหลังการให้น้ำ เพื่อประเมินปริมาณน้ำที่จะทำให้ดินบริเวณเขตรากมีความชื้นที่เพียงพอ โดยปกติตารางในการให้น้ำของการปลูกพืชในระดับการค้า จะใช้เครื่องมือในการตรวจวัดสถานะของน้ำในดิน

ระดับความชื้นที่สำคัญของดิน ระดับความชื้นที่สำคัญภายในดินตามลักษณะของน้ำหรือความชื้นที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน เพื่อประโยชน์ในการกำหนดหรือคำนวณหาปริมาณน้ำในดินที่ระดับความชื้นต่าง ๆ ดังนี้

1) จุดความชื้นอิ่มน้ำหรือจุดความชื้นเมื่อดินอิ่มน้ำ (Water Saturated) เป็นชั้นของน้ำในดินที่เกิดขึ้นเมื่อปริมาณช่องว่างระหว่างเม็ดดินทั้งหมดถูกแทนที่ด้วยน้ำอาจจะมีอากาศอยู่บ้างในช่องว่างขนาดเล็ก ๆ แต่ก็มีปริมาณน้อยมาก ถ้าดินมีความสามารถระบายน้ำได้ดีแล้วปริมาณน้ำที่อยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่ก็จะเคลื่อนที่ลงไปข้างล่าง เนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

2) ความชื้นชลประทานหรือความชื้นสนาม (Field Capacity) หมายถึงความชื้นที่เหลือในดินหลังจากที่น้ำอิสระได้ถูกระบายออกไปจากช่องว่างขนาดใหญ่หมดแล้วหรือมีปริมาณน้ำสูงสุดที่ดินสามารถอุ้มไว้เพื่อด้านทานแรงดึงดูดของโลก ในสภาพเช่นนี้น้ำจะมีอยู่เต็มในช่องว่างขนาดเล็กส่วนอากาศอยู่เต็มช่องว่างขนาดใหญ่ เช่น ปริมาณความชื้นหลังจากที่ฝนตกหนักหรือหยดให้น้ำแล้ว 2 – 3 วัน เป็นความชื้นชลประทานหรือความชื้นสนามโดยทั่วไปแล้วแรงดึงดูดความชื้นที่จุดความชื้นชลประทานมีค่า $1/3$ บาร์ แต่ค่านี้เปลี่ยนไปตามลักษณะเนื้อดิน เช่น ดินเนื้อหยาบจะมีค่าแรงดึงดูดความชื้นประมาณ $1/10$ บาร์ และดินเหนียวหรือดินค่อนข้างเหนียวมีค่าประมาณ 0.6 บาร์ ระดับความชื้นชลประทานนี้ถือว่าเป็นระดับสูงสุดของความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available water) กล่าวคือพืชสามารถดูดกินความชื้นในระดับนี้ได้ และความชื้นระดับนี้ก็อยู่ในดินได้นานพอให้พืชดูดกิน ซึ่งระดับความชื้นที่สูงกว่านี้ เช่น น้ำอิสระ รากพืชมีโอกาสดูดน้ำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยมากจนไม่ถือว่าเป็นประโยชน์ต่อพืชเนื่องจากระบายไปจากดินในบริเวณที่มีรากพืชได้เร็ว

3) จุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Wilting Point) คือ ความชื้นในดินเมื่อพืชไม่สามารถดูดมาใช้ให้เพียงพอสำหรับการคายน้ำและพืชเริ่มมีการเหี่ยวเฉาอย่างถาวรเรียกว่า “ความชื้น ที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร” ระดับความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวรนี้ถือว่าเป็นพิกัดล่างสุดของความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยทั่วไปแล้วค่าแรงดึงดูดความชื้นเท่ากับ 15 บาร์อาการเหี่ยวเฉาของพืชอาจเกิดขึ้นได้หลายครั้งเป็นการเหี่ยวเฉาชั่วคราวก่อนที่จะถึงจุดที่พืชเหี่ยวเฉาอย่างถาวร เช่น การสูญเสียความชื้นจากการคายน้ำ เนื่องจากอัตราการดูดน้ำของพืชจากดินน้อยกว่าอัตราการคายน้ำออกทางใบ การที่จะทราบว่ามีการเหี่ยวเฉาอย่างถาวรหรือไม่นั้น ทำได้โดยการนำพืชที่เหี่ยวเฉานั้นไปไว้ในห้องที่มีอากาศเย็นหรือมีบรรยากาศรอบ ๆ ต้นพืชที่อ้อมด้วยไอน้ำคือมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลาอย่างน้อย 15 ชั่วโมง แล้วพืชนั้นยังแสดงการเหี่ยวเฉาอยู่แสดงว่าถึงจุดที่พืชเหี่ยวเฉาอย่างถาวร

4) ความชื้นเมื่ออบแห้ง ปริมาณความชื้นในดินภายหลังถูกลอบไว้ที่อุณหภูมิ 105 – 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลากว่า 15 ชั่วโมง จนกระทั่งไม่มีน้ำระเหยออกจากดิน ดินในสภาพนี้มีค่าแรงดึงความชื้น 10,000 บาร์ขึ้นไป และนิยมใช้น้ำหนักดินอบแห้งเป็นหลักสำหรับคำนวณหาค่าต่าง ๆ

ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน

ความสามารถที่ดินสามารถเก็บน้ำหรือ อุ้มน้ำไว้ให้แก่พืชดูดไปใช้ ระดับน้ำหรือความชื้นจะอยู่ระหว่างระดับความชื้นในดินที่ความชื้นชลประทานกับจุดเหี่ยวเฉาถาวรหรือความชื้นในสภาพที่ดินยัดไว้ด้วยแรงดึงความชื้นตั้งแต่ 1/3 - 15 บาร์ เป็นความชื้นที่เป็นประโยชน์ในปริมาณสูงสุดของความชื้นที่ดินชนิดหนึ่ง ๆ สามารถดูดยัดไว้เป็นประโยชน์ต่อพืช ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินจะแตกต่างกันไปตามลักษณะโครงสร้างและลักษณะของเนื้อดิน โดยเฉพาะขนาดของช่องว่างระหว่างเม็ดดินจะมีผลมากต่อการอุ้มน้ำไว้ ความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้นี้มักจะวัดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของดินแห้งและเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร หรือเป็นความลึกของน้ำต่อความลึกของดิน เช่น ดินร่วนปนทรายมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ 1.20 มิลลิเมตรต่อความลึกของดิน 1 เซนติเมตร เป็นต้น

ตารางที่ 10 ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินทั้งหมดส่วนที่พืชสามารถนำไปใช้ได้และใช้ไม่ได้ของดินชนิดต่าง ๆ

เนื้อดิน	ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (มม.น้ำ/ซม.ดิน)		
	รวมทั้งหมด	พืชนำเอาไปใช้ได้	พืชใช้ไม่ได้
ดินทราย	0.65 - 1.50	0.35 - 0.85	0.30 - 0.65
ดินร่วนปนทราย	1.50 - 2.30	0.75 - 1.15	0.75 - 1.00
ดินร่วน	2.30 - 3.40	1.15 - 1.70	1.15 - 1.50
ดินร่วนปนตะกอนทราย	3.40 - 4.00	1.70 - 2.00	1.70 - 2.00
ดินร่วนปนดินเหนียวปนตะกอนทราย	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

ลักษณะการดูดซึมน้ำและอัตราการซึมน้ำของดิน

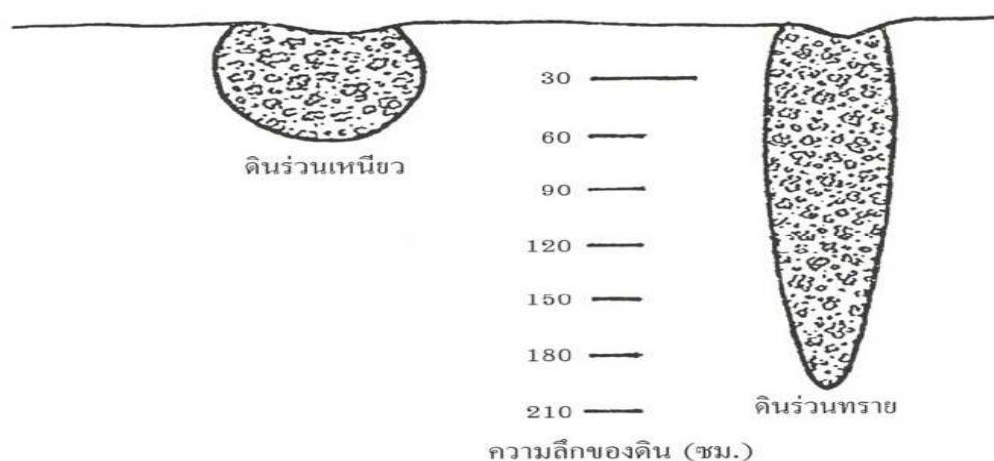
การดูดซึมน้ำของดินคือการเคลื่อนที่ของน้ำจากผิวดินเข้าไปในดินตามช่องว่างระหว่างเม็ดดินด้วยแรงดึงดูดของโลก อัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินต่อหนึ่งหน่วยเวลาเรียกว่า “อัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดิน (Infiltration rate หรือ Intake rate)” การซึมซับน้ำของดินเป็นข้อมูลที่สำคัญในการให้น้ำแก่พืช เพราะไม่ควรให้น้ำในอัตราที่เกินกว่าอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินเพราะจะทำให้เกิดการชะล้างการไหลบ่าไปบนผิวดิน หรือการพังทลายของดิน อัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินขึ้นอยู่กับโครงสร้างของดิน เนื้อดิน อุณหภูมิของน้ำและดิน ความลึกของน้ำบนผิวดิน สภาพของผิวดิน และความชื้นของดินที่มีอยู่ก่อนให้น้ำ ค่าอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินจะมีค่ามากเมื่อเริ่มต้นให้น้ำเนื่องจากผิวดินยังแห้งอยู่จึงดูดซับน้ำเอาไว้ได้อย่างรวดเร็ว แต่ขณะที่การให้น้ำยังคงดำเนินต่อไป ดินจะเริ่มอิ่มน้ำและค่าอัตรานี้จะเริ่มลดลงจนถึงระดับหนึ่งซึ่งค่าเกือบจะคงที่ตลอดไปจนกว่าจะหยุดให้น้ำ ดังแสดงในภาพที่ 6



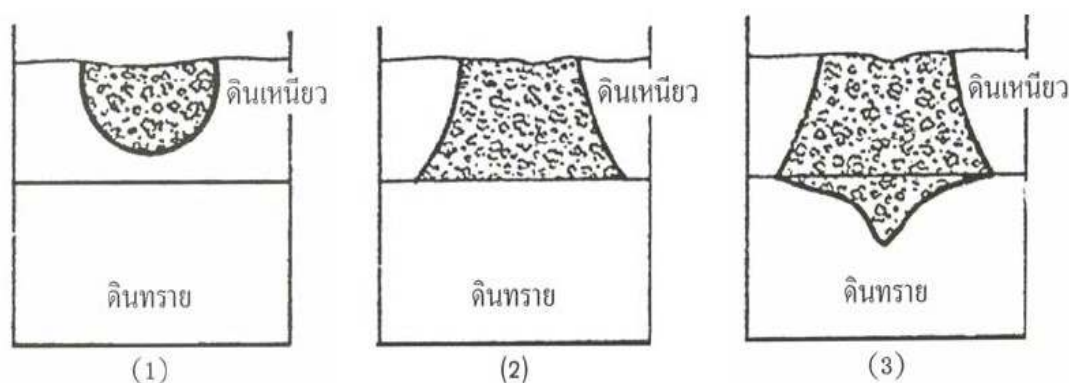
ภาพที่ 6 ลักษณะการซึมซับน้ำของดิน

ในการให้น้ำแก่พืช ถือว่าเป็นการเติมน้ำให้แก่ดินบริเวณเขตรากพืชโดยจะใช้หลักการที่ว่าน้ำที่ให้นั้นจะต้องไหลลงไปในดินบริเวณรากพืชเพื่อให้รากพืชได้ดูดเอาไปใช้ในอัตราที่ไม่เกินกว่าอัตราการซึมของน้ำผ่าน ผิวดิน ดังนั้นการเลือกอุปกรณ์ให้น้ำแก่พืช เช่น การเลือกหัว

มินิสปริงเกลอร์ให้น้ำแก่ไม้ผลใด ๆ ก็ตามจะต้องมีอัตราการให้น้ำไม่เกินกว่าอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินที่แสดงในตารางที่ 2.14 ลักษณะของดินที่ชั้นดินบนและดินล่างต่างกันจะมีลักษณะการเปียกเนื่องจากการซึมที่แตกต่างกันด้วย ดังแสดงในภาพที่ 6 และ 7



ภาพที่ 7 ลักษณะการเปียกน้ำของดินเนื้อละเอียดกับดินเนื้อหยาบ

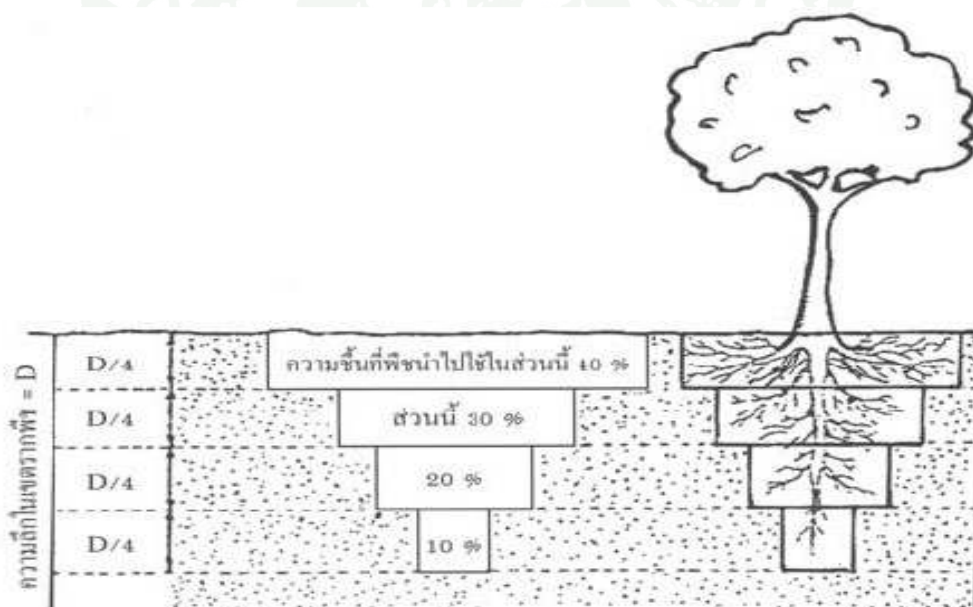


ภาพที่ 8 ลักษณะการเปียกน้ำของดินที่ชั้นดินบนและชั้นดินล่างต่างกัน

ที่มา: วิสุทธิ์ และ ขงยุทธ (2539)

ความลึกของรากพืช

การแผ่กระจายหรือความลึกของรากพืชเป็นข้อมูลที่สำคัญ ยิ่งในการกำหนดปริมาณน้ำที่จะส่งไปให้แก่พืช ทั้งนี้เพราะตามหลักการจัดการเรื่องน้ำแล้วจะส่งน้ำให้แก่พืชได้ไม่เกินความลึกของบริเวณรากพืช ลักษณะการแผ่กระจายของรากพืชแต่ละชนิดไม่เหมือนกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ชนิดดิน ความลึกของดิน ระดับน้ำใต้ดิน ฤดูกาลเพาะปลูก ตลอดจนปริมาณน้ำที่ให้แก่พืชในแต่ละครั้งโดยปกติแล้ว รากพืชจะไม่งอกออกไปในดินที่มีความชื้นต่ำกว่าจุดเหี่ยวเฉาถาวร และรากจะไม่ขยายตัวต่ำกว่าระดับ น้ำใต้ดิน เพราะมีออกซิเจนและอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชน้อย ส่วนใหญ่แล้วจะมีรากลึกไม่เกิน 2 เมตร การดูดน้ำจากดินในชั้นต่าง ๆ ของพืชถ้าหากดินมีเนื้อดินอย่างสม่ำเสมอ และมีความชื้นที่สามารถนำไปใช้ได้ตลอดความลึกของรากพืชแล้ว พืชก็จะใช้น้ำจากตอนบนของเขตรากอย่างรวดเร็ว ส่วนในตอนล่างนั้นพืชจะดูดน้ำไปใช้ช้ากว่ามาก ถ้าแบ่งความลึกของเขตรากออกเป็น 4 ส่วนเท่า ๆ กัน ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ของความชื้นที่พืชใช้ทั้งหมดมาจากดินในชั้นแรกนับจากผิวดินลงมา 30 เปอร์เซ็นต์ จากดินชั้นที่สอง 20 เปอร์เซ็นต์ จากดินชั้นที่สามและ 10 เปอร์เซ็นต์ จากดินชั้นที่สี่ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 การดูดน้ำจากดินในชั้นต่างๆ ของพืช

ที่มา: ดิเรก และ คณะ (2545)

ตารางที่ 11 แสดงความลึกของรากพืชชนิดต่าง ๆ

ชนิด	พืช	ความลึกของรากพืช (เซนติเมตร)
พืชไร่	ข้าวโพด	35 - 70
	ถั่วเขียว	30 - 60
	ถั่วลิสง	50 - 100
	ถั่วเหลือง	60 - 130
	อ้อย	60 - 125
	ฝ้าย	100 - 180
	ยาสูบ	50 - 100
	ข้าวฟ่าง	100 - 200
	ข้าวชนิดต่างๆ	60 - 150
	ทงหน้	60 - 100
	คำฝอย	90 - 180
พืชสวน	กล้วย	50 - 90
	ส้ม	10 - 150
	ทับปะรด	30 - 60
	องุ่น	100 - 200
	ส้มเขียวหวาน	120 - 150
	ส้มต่างๆ	100 - 200
	ทุเรียน	20 - 30
	เงาะ	30 - 60
	มังคุด	90 - 120
	ไม้ผลอื่นๆ	100 - 200
	มะเขือยาว	90 - 120
	กระเทียม	50 - 60
	ผักกาดหอม	50 - 60
	ผักกาดกวางตุ้ง	90 - 120

ที่มา: ดิเรก และ คณะ (2545)

การระเหยและการคายน้ำของพืช

ในเรื่องวัฏจักรของน้ำ หัวข้อที่มีความสำคัญและเป็นที่สนใจในการทำการเกษตร คือ การระเหยน้ำ และการคายน้ำของพืช โดยสามในสี่ของปริมาณน้ำจากฟ้าทั้งหมดที่โลกได้รับ กลับคืนสู่บรรยากาศโดยการ ระเหย และการคายน้ำ (fangmeier et al.,2006) ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ สูญเสียไปจากแปลงพืช โดยการระเหยจากดิน (Soil evaporation) และการคายน้ำจากพืช (plant transpiration) เรียกว่า การคายระเหยน้ำ (evapotranspiration,ET)การระเหยน้ำเป็นกระบวนการ ที่อาศัยพลังงานในการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นไอน้ำ

นักอุตุนิยมนิยามวิทยาได้แบ่งการคายระเหยน้ำออกเป็น 2 ลักษณะด้วยกัน คือ

- 1) การคายระเหยน้ำจริง (actual evapotranspiration,) หมายถึง ปริมาณไอน้ำที่เกิดขึ้นจาก การระเหยน้ำที่ผิวดินและการคายน้ำของพืชสู่บรรยากาศได้จริงในสภาวะอากาศขณะนั้น ซึ่งปริมาณ น้ำที่สูญเสียโดยการคายระเหยน้ำนี้มีปัจจัยในการควบคุมหลายอย่าง เช่น รังสีความร้อนจากดวง อาทิตย์ ความเร็วลม ปริมาณไอน้ำในอากาศ คุณภาพน้ำ ชนิดพืช ความชื้นในดิน เป็นต้นETa
- 2) การคายระเหยน้ำได้สูงสุด (potential evapotranspiration,) ปริมาณไอน้ำที่เกิดขึ้นจาก การระเหยน้ำและการคายน้ำของพืชสู่บรรยากาศได้สูงสุดในสภาวะอากาศขณะนั้น ถ้ามีน้ำให้แก่ กระบวนการคายระเหยน้ำได้อย่างเหมาะสมเพียงพอ ปริมาณการคายระเหยน้ำได้สูงสุดนี้จะมีค่าสูง หรือเท่ากับปริมาณการคายระเหยน้ำจริงเสมอ

ปัจจัยที่ควบคุมการคายระเหยน้ำ

ปริมาณการคายระเหยน้ำจะผันแปรไปตามลักษณะพื้นที่ ชนิดป่า ลักษณะอากาศความชื้น ในดิน และปัจจัยทางสรีรวิทยาของพืช (เกษม, 2539) ซึ่งวิชา (2535) ได้แบ่งปัจจัยที่ควบคุมการคาย ระเหยน้ำออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. ปัจจัยที่เกี่ยวกับลักษณะอากาศ (meteorological factors)

ปัจจัยที่เกี่ยวกับลักษณะอากาศ วิชา (2535) และเกษม (2522) สามารถจำแนกได้ดังนี้

1.1 ปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์ (solar radiation)

ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงสู่ผิวโลก ขึ้นอยู่กับลักษณะสิ่งแวดล้อมของโลก ได้แก่ ตำแหน่งพื้นที่ผิวโลก ฤดูกาล ช่วงเวลาของวัน สภาพของท้องฟ้า เป็นต้น โดยเฉลี่ยแล้วโลกได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ประมาณ 0.0487 วัตต์ต่อตารางเมตร จากการศึกษาของ Chunkao (1971) พบว่า ปริมาณรังสีของรังสีคลื่นสั้นจะมีความสัมพันธ์ต่ออุณหภูมิและการคายระเหยน้ำโดยตรง เมื่อโลกได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์ในปริมาณมากอัตราการคายระเหยน้ำก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

1.2 อุณหภูมิของอากาศ (air temperature)

อุณหภูมิ หมายถึง ค่าที่ใช้เพื่อชี้ให้เห็นถึงความสามารถในการเคลื่อนย้ายความร้อนโดยกระบวนการพาความร้อน (convection) อุณหภูมิของอากาศจะแปรผันตรงกับปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์ที่โลกได้รับ อุณหภูมิของอากาศส่วนใหญ่ได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์ แต่ก็มีบางที่เกิดจากโลก เช่น ภูเขาไฟระเบิด น้ำพุร้อน และอาจมาจากการใช้พลังงานของมนุษย์ ถ้าอุณหภูมิของอากาศสูง โอกาสที่กลายเป็นไอน้ำอยู่ในก้อนอากาศหนึ่งหน่วยปริมาตรค่อนข้างสูงขึ้นนั้นหมายความว่า อุณหภูมิยิ่งสูงการคายระเหยยิ่งสูงขึ้นด้วย

1.3 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (relative humidity)

ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ระเหยกลายเป็นไอน้ำ โดยทั่วไปความชื้นสัมพัทธ์มีค่าต่ำลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากไอน้ำในอากาศไม่พอเพียงและในช่วงที่อุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการระเหยน้ำจะมีมากขึ้นตามไปด้วย สำหรับในช่วงที่มีอากาศเย็น เช่น ตอนกลางคืน ความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่ามากขึ้น อัตราการระเหยน้ำมีค่าสูงขึ้น เมื่อความชื้นสัมพัทธ์มีค่าลดลง

1.4 การเคลื่อนที่ของลม (wind movement)

ลมเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้อัตราการระเหยน้ำสูงขึ้นเพราะว่าลมพัดมาไอน้ำจากบริเวณที่มีความชื้นสูงไปสู่บริเวณที่มีความชื้นต่ำได้ทำให้บริเวณที่เคยมีความชื้นสูงมีไอน้ำลดลงโอกาสที่น้ำจะระเหยก็มีมากขึ้น ลมเป็นตัวพัดพาไอน้ำซึ่งมีการสะสมความร้อนของอากาศให้กระจายทั่วๆ ไป และลมจะพัดจากบริเวณที่มีอากาศเย็นไปสู่ที่มีอากาศร้อน ทำให้อากาศเย็นลอยตัว

ขึ้น ความสามารถที่จะให้อุณหภูมิในอากาศอยู่ในหนึ่งหน่วยปริมาตรมีมากขึ้น การระเหยน้ำก็จะมีความมากขึ้นตามไปด้วย

2. ธรรมชาติของผิวหน้าในการระเหยน้ำ (nature of evaporating surface) การระเหยน้ำจะแตกต่างกันตามชนิดของสสารต่างๆ (วิชา, 2535) ดังนี้

2.1 พืชพรรณที่ปกคลุม (vegetative cover)

พืชพรรณแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันในการยึดน้ำเอาไว้และการคายน้ำออกสู่บรรยากาศ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของพืช (species) ความหนาแน่นของพืชพรรณ (density) ระยะห่างระหว่างต้น (spacing) จำนวนเปอร์เซ็นต์เรือนยอดปกคลุมดิน (ground cover) การกระจายของพันธุ์พืชในพื้นที่ (distribution) สัดส่วนของพันธุ์พืชในพื้นที่ (proportion of species) เป็นต้น พืชพันธุ์ชนิดใดสามารถยึดน้ำไว้ได้มาก โอกาสที่จะสูญเสียน้ำสู่บรรยากาศโดยการระเหยก็ยิ่งมีมากขึ้นด้วย และพืชพันธุ์ที่มีอัตราการคายน้ำสูง การสูญเสียน้ำก็ยิ่งมีมากขึ้นเช่นกัน

2.2 สิ่งก่อสร้างที่สัมผัสกับฝน (infrastructure)

สิ่งก่อสร้างในที่โล่ง มีโอกาสสัมผัสกับฝนและผิวของสิ่งก่อสร้าง เช่น หลังคาบ้าน ถนนลานจอดรถสนามกีฬา เป็นต้น จะดูดซับน้ำไว้และสูญเสียให้กับบรรยากาศต่อไปโดยไม่มีโอกาสที่จะซึมลงสู่ดิน

2.3 การอิ่มตัวของผิวหน้าการระเหย (saturation of evaporating surface)

ผิวหน้าของสารใดที่อิ่มตัวด้วยน้ำก็เปรียบเสมือนผิวหน้าน้ำนั่นเองหรือเป็นผิวหน้าอิสระที่จะระเหย (free water surface) โอกาสที่น้ำจะระเหยเท่ากับจำนวนผิวหน้าของผิวน้ำอิสระที่เกิดขึ้น

3. ปัจจัยที่เกี่ยวกับสรีระวิทยาของพืช (plant physiology)

ปัจจัยที่เกี่ยวกับสรีระของพืชที่มีผลต่อการคายระเหยน้ำในรูปของการคายน้ำจากปากใบของพืช ซึ่งมีปัจจัยในการควบคุมดังนี้

3.1 ลักษณะอากาศ (meteorological factors)

ลักษณะอากาศ ได้แก่ รังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิของอากาศ ความเร็วลมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ จำนวนชั่วโมงที่พืชได้รับแสงแดด เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช พืชต้องการคายน้ำเพื่อลดความร้อนและเพื่อดูดแร่ธาตุขึ้นมาใช้และคายน้ำออกจากปากใบ

3.2 สภาพความชื้นในดิน (soil moisture condition)

ปริมาณความชื้นในดินเป็นตัวจำกัดการคายน้ำได้อย่างมาก ถ้าสภาพความชื้นในดินมีน้อยพืชพรรณก็ต้องเก็บไว้ใช้มากกว่าที่จะปล่อยไปเพื่อการคายน้ำหรือกล่าวได้ว่าการคายน้ำจะผันแปรตามความชื้นดิน

การคายน้ำเป็นกระบวนการหลักที่กระตุ้นให้พืชดูดน้ำทวนทิศทางการดึงดูดของโลกและ frictional resistance ในทางกลับกันในดินพืช อัตราการดูดน้ำจะถูกควบคุมโดยอัตราการคายน้ำเป็นหลัก ส่วน root pressure ซึ่งเป็น active absorption ของน้ำจะมีความสำคัญน้อยกว่าในการดูดน้ำและความสำคัญจะเด่นชัดก็ต่อเมื่อพืชมีการคายน้ำหรือหยุดการคายน้ำเท่านั้น (นวลรัตน์, 2541) การระเหย (evaporation) หมายถึงการที่น้ำมีการเปลี่ยนแปลงสถานะไปเป็นไอน้ำ หรือโมเลกุลของน้ำไปเป็นไอ ล่องลอยไปสู่อากาศ น้ำหนึ่งกรัมระเหยกลายเป็นไอ ต้องการความร้อน 2.5 kJ (หรือ 500 แคลอรี) โดยได้รับความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ ความร้อนจากบรรยากาศชั้นบน หรือความร้อนจากใต้พิภพเป็นสำคัญ (สายสุนีย์, 2546) การระเหยและการคายน้ำของพืช ซึ่งเรียกรวมกันว่า การคายระเหยน้ำของพืช (ET) จะใช้เป็นข้อมูลในการหาปริมาณการใช้น้ำของพืช ซึ่งมีวิธีการตรวจวัดต่างๆ เช่น (1) ใช้ถังวัดการใช้น้ำหรือ Lysimeter ในการศึกษา (2) การตรวจวัดในแปลงโดยการวัดปริมาณน้ำเข้า-ออก ในพื้นที่ศึกษาขนาดเล็ก (3) การศึกษาจากปริมาณน้ำในดินหรือความชื้นดิน (4) ศึกษาจากข้อมูลทางภูมิอากาศ (5) ศึกษาจากปริมาณการใช้น้ำของพืชและการระเหยน้ำจากผิวน้ำและผิวดิน (6) ศึกษาปริมาณน้ำที่เข้า-ออก พื้นที่ศึกษาซึ่งเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่ และใช้ระยะเวลานาน (Allen et al., 1998) สิทธิพร (2536) กล่าวว่าสิ่งสำคัญที่ควบคุมการระเหยของพื้นผิวดินและผิวน้ำคือ ความชื้นในบรรยากาศ ลม และความร้อนจากดวงอาทิตย์ ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมการระเหยจากแปลงพืชด้วย น้ำส่วนใหญ่วที่พืชดูดเข้าไปจะถูกคายออกมาทางใบโดยผ่านรูเล็กๆ ตามผิวใบเรียกว่า stomata กระบวนการนี้เรียกว่าการคายน้ำ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวัฏจักรของน้ำ โดยความแตกต่างของความเข้มข้นระหว่างน้ำหล่อเลี้ยงที่อยู่ในเซลล์ของรากพืช และน้ำที่อยู่ในดิน ทำให้เกิดความดัน

osmotic ทำให้น้ำในดินสามารถเคลื่อนผ่านเนื้อเยื่อของรากพืชเข้าไปในเซลล์รากพืชได้ จากนั้นจะเคลื่อนตัวไปยัง intercellular space ในขณะที่อากาศเคลื่อนตัวเข้าสู่ใบ น้ำที่จะถูกปล่อยออกผ่านทาง Stomata (สายสุณีย์, 2546) potential evapotranspiration จะมีค่ามากกว่า เท่ากับ หรือน้อยกว่า ค่าของ evapotranspiration ก็ได้ ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ความชื้นในดินระหว่างฤดูกาลเพาะปลูก หรือชนิดของพืชที่ปลูก เป็นต้น (ราสินี, 2539) การสูญเสียน้ำสู่บรรยากาศถูกกำหนดโดยทั้งปัจจัย แวดล้อมและปัจจัยพืช ผลของปัจจัยแวดล้อมต่อการคายระเหยน้ำเรียกว่า atmospheric demand หรือ evaporatory demand ยิ่ง atmospheric demand สูง การสูญเสียน้ำก็ยิ่งเร็ว ปัจจัยที่กล่าวถึงต่อไปนี้มีอิทธิพลต่อ atmospheric demand (นวรรตน์, 2541)

1. แสงอาทิตย์ (solar radiation) จากแสงอาทิตย์ทั้งหมดที่ถูกดูดซับไว้โดยใบพืชเพียง 1 ถึง 5% เท่านั้นที่ถูกนำไปใช้เพื่อการสังเคราะห์แสง และ 75 ถึง 85% จะไปทำให้อุณหภูมิใบเพิ่มขึ้นและทำให้เกิดการคายน้ำ แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นจึงไปทำให้ atmospheric demand เพิ่มขึ้น
2. อุณหภูมิ (temperature) การที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะไปมีผลให้ความสามารถของอากาศในการ อุ่นน้ำมากขึ้น ซึ่งหมายถึง atmospheric demand สูงขึ้น
3. ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) ปริมาณน้ำในอากาศเพิ่มขึ้นทำให้ air เพิ่มขึ้น ซึ่งหมายความว่า atmospheric demand ลดลงเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น
4. ลม (wind) การคายน้ำเกิดขึ้นเมื่อน้ำมีการแพร่ออกจากปากใบ เมื่อลมสงบจะทำให้เกิด diffusion gradient barrier รอบๆ ปากใบ ทำให้การคายน้ำลดลง เมื่อลมพัดพาเอาความชื้นรอบๆ ใบ ออก จะทำให้เกิดความแตกต่างมากขึ้นระหว่าง water potential ภายในใบและนอกปากใบ และมีผลให้การแพร่ของน้ำออกจากใบมากขึ้น

วิธีการหาอัตราการระเหยที่ใช้ในปัจจุบันที่ได้เลือกมาเปรียบเทียบกับอัตราการระเหยที่ประเมินจากภาพถ่ายดาวเทียม ได้แก่ การหาอัตราการระเหยโดยวิธี FAO Penman-Monteith (Allen et al., 1998) และการหาอัตราการระเหยโดยใช้ถาดวัดการระเหย class A (Doorenbos and Pruitt, 1977) อัตราการระเหยที่หาจากวิธี Penman-Monteith นั้น เป็นอัตราการระเหยหรือปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (reference crop evapotranspiration, ETo) ซึ่งมีสมมติฐานว่าเป็นอัตราการระเหยจากหญ้าที่ปกคลุมดินสม่ำเสมอและมีน้ำไม่จำกัด และอัตราการระเหยที่หาจากถาดวัดการระเหยได้ใช้ค่าปรับแก้มาเป็นปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงเช่นเดียวกัน (เอกสิทธิ์, 2547)

ปริมาณการใช้น้ำของพืช

ปริมาณการใช้น้ำของพืชเป็นข้อมูลที่สำคัญอย่างยิ่งที่ผู้ออกแบบระบบชลประทานและโครงการชลประทานจำเป็นต้องทราบ เพราะปริมาณการใช้น้ำของพืชนี้จะเข้ามาเกี่ยวข้องกับปริมาณและความถี่ ในการให้น้ำ การออกแบบขนาดอาคารชลประทาน การจัดหาंनाมาให้กับโครงการชลประทาน ตลอดจนการศึกษาว่าโครงการชลประทานนั้นจะให้ผลที่คุ้มค่าหรือไม่ด้วยปริมาณการใช้น้ำของพืชที่ภาษาอังกฤษเรียกว่า consumptive use of water หรือ evapotranspiration เป็นปริมาณน้ำทั้งหมดที่สูญเสียจากพื้นที่เพาะปลูกสู่บรรยากาศในรูปของไอน้ำ ปริมาณดังกล่าวนี้ประกอบด้วยส่วนใหญ่ๆ สองส่วน (วิบูลย์,2526)

1. ปริมาณน้ำที่พืชดูดไปจากดิน นำไปใช้สร้างเซลล์ และเนื้อเยื่อแล้วคายออกทางใบสู่บรรยากาศ ซึ่งเรียกว่า การคายน้ำ (transpiration)
2. ปริมาณน้ำที่ระเหยจากผิวดินบริเวณรอบๆ ต้นพืช จากผิวน้ำในขณะให้น้ำหรือขณะที่มีน้ำขังอยู่และจากน้ำที่เกาะอยู่ตามใบเนื่องจากฝนหรือการให้น้ำซึ่งเรียกว่า การระเหย (evaporation)

วิบูลย์ (2526) กล่าวว่า การใช้น้ำของพืชเมื่อดินมีความชื้นมากพอตลอดเวลา นั้น ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศรอบๆ ต้นพืช ชนิดของพืช และช่วงการเจริญเติบโต (growth stages) โดยปกติแล้วพืชมีการใช้น้ำน้อยที่สุดเมื่อเริ่มเพาะปลูกและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งมากที่สุดเมื่อพืชเจริญเติบโตเต็มที่ และจะค่อยๆ ลดลงเมื่อพืชออกผล ผลแก่ และถึงเวลาเก็บเกี่ยว เราอาจแบ่งการเจริญเติบโตของพืชออกเป็น 3 ช่วงด้วยกันคือ ช่วงเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (vegetative Stage) ช่วงออกดอก (flowering Stage) และช่วงออกผล (fruiting Stage) สำหรับช่วงการผลิใบยังแบ่งออกเป็นสองช่วงย่อย คือ เมื่อพืชยังอ่อนอยู่ และเมื่อพืชมีการแตกกิ่งก้านอย่างเต็มที่แล้ว ส่วนช่วงออกผลอาจแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ได้เช่นกัน คือ ช่วงที่ผลและเมล็ดยังสดอยู่ (wet fruiting stage) และช่วงที่เมล็ดหรือผลเริ่มแห้ง (dry fruiting stage) ซึ่งพืชจะต้องการน้ำน้อยมาก Allen, et al., (1998) กล่าวว่า ช่วงเวลาที่พืชต้องการน้ำมากที่สุดจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืชถึงแม้ว่าตลอดช่วงการเจริญเติบโตของพืช พืชจะให้น้ำอย่างต่อเนื่อง แต่อัตราการใช้น้ำจะขึ้นอยู่กับ ชนิดของพืช ระดับการเจริญเติบโต และสภาพภูมิอากาศ เช่น ความเข้มแสง อุณหภูมิ ลม และความชื้น

การหาปริมาณการใช้น้ำของพืช

ปริมาณการใช้น้ำของพืช (consumption use) คือ ปริมาณน้ำทั้งหมดที่สูญเสียไปจากพื้นที่เพาะปลูก ซึ่งประกอบด้วยปริมาณน้ำที่พืชดูดไปจากดิน เพื่อนำไปใช้ในการสร้างเซลล์และเนื้อเยื่อ แล้วคายออกสู่บรรยากาศ (transpiration) รวมถึงปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากผิวดิน และผิวน้ำ (evaporation) (วิบูลย์, 2526)

Allen et al. (1998) สรุปปริมาณการใช้น้ำของพืชว่าขึ้นกับปัจจัย 3 ปัจจัย ต่อไปนี้ คือ

1. พืช เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการประเมินการใช้น้ำที่แตกต่างกันไป โดยขึ้นกับชนิดและช่วงอายุของพืช การใช้น้ำของพืชจะน้อยเมื่อเริ่มต้นปลูกและเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนมากที่สุดเมื่อพืชโตเต็มที่และอยู่ในวัยขยายพันธุ์ จากนั้นความต้องการน้ำจะค่อยๆ ลดลง (วิบูลย์, 2526)
2. สภาพภูมิอากาศรอบต้นพืช ได้แก่ รังสีแสงอาทิตย์ อันมีความสัมพันธ์กับการระเหยน้ำออกจากดิน รวมถึงสภาพอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ทั้งนี้เพราะพลังงานรังสีจะก่อให้เกิดความร้อนขึ้นในวัตถุ ความร้อนส่วนหนึ่งจะถูกระบายออกในรูปความร้อนแฝงซึ่งทำให้เกิดการระเหยน้ำออกสู่บรรยากาศ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)
3. ดิน ได้แก่ ความชื้นในดิน ดินที่มีระดับความชื้นใกล้เคียงจุดความจุสนาม (field capacity, FC) เป็นจุดที่ดินมีความชื้นเหมาะสมและพืชใช้ประโยชน์ได้ ระดับความชื้นในดินที่สูงมีผลต่อระดับพลังงานศักย์น้ำที่สูงด้วย ซึ่งส่งผลให้น้ำไหลจากดินเข้าไปในรากพืชได้ง่ายขณะที่พืชกำลังดูดน้ำ นอกจากนี้ ความหนาแน่นชั้นรากพืช ยังมีผลต่อแหล่งปริมาณน้ำกักเก็บสำรองสำหรับพืช โดยความหนาแน่นชั้นรากที่มากมีผลต่อปริมาณน้ำสำรองสำหรับพืชใช้มากด้วย สุดท้ายคือลักษณะเนื้อดินและสภาพน้ำในดิน ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงการปลดปล่อยน้ำและเคลื่อนที่ของน้ำในดินไปยังพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

การประเมินหาปริมาณการใช้น้ำของพืช โดยใช้ข้อมูลจากภูมิอากาศโดยมีหลักการและแนวคิดที่ว่าปริมาณการใช้น้ำของพืชจะมีปริมาณมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญ 4 อย่าง คือ สภาพของดิน ชนิดของอายุของพืช สภาพภูมิอากาศรอบๆ ต้นพืช และการจัดการ

เพาะปลูก สามารถเลือกใช้สมการใดสมการหนึ่งที่เหมาะสมกับข้อมูลทางภูมิอากาศที่มีอยู่จาก 3 วิธีดังต่อไปนี้

1. วิธีที่หนึ่งโดยใช้ข้อมูลศักยภาพการคายระเหยน้ำของพืช หรือปริมาณการใช้น้ำ ของพืชอ้างอิง (ET_o) และค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช หลักการในการดำเนินการก็คือ ให้พืชมีการเจริญงอกงามดีมีอัตราการใช้น้ำตลอดเวลา แต่ผลของการใช้น้ำของพืชจะไม่มีผลกระทบต่อการจัดการเพาะปลูกหรือองค์ประกอบอื่นๆ ทั้งนี้ เพื่อให้การใช้น้ำของพืชที่เลือกมาศึกษาขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ซึ่งพืชที่มีคุณสมบัติดังกล่าวนี้มากที่สุดก็คือหญ้า และต่อมาก็มีการใช้พืชอื่นๆ อีก เช่น อัลฟัลฟา มาทำการศึกษา เราเรียกว่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่เลือกมาปลูกในดินที่มีความชื้นสูงตลอดเวลา เพื่อให้อัตราการใช้น้ำขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศเพียงอย่างเดียวว่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิง หรือศักยภาพการใช้น้ำของพืช หรือศักยภาพการคายระเหยของน้ำตรงกับภาษาอังกฤษว่า potential evapotranspiration และนิยมใช้ตัวย่อว่า ET_o จากหลักดังกล่าวสามารถคำนวณอัตราการคายระเหยของน้ำจริง (ET หรือ E_t) ของแปลงพืชชนิดอื่นที่ไม่ใช่พืชอ้างอิง โดยใช้สมการดังต่อไปนี้ (ดิเรก และคณะ, 2545)

$$ET_a = ET_o \times K_c \quad (10)$$

เมื่อ	ET _a	=	เป็นการใช้น้ำของพืชที่ต้องการทราบ
	ET _o	=	เป็นปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง
	K _c	=	สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช

ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชหรือ K_c เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของพืชเพียงอย่างเดียวค่าดังกล่าวนี้ได้จากการทดลองวัดจริง ๆ ในสนาม โดยการปลูกหญ้าหรือพืชอ้างอิงอื่นๆ และพืชที่ต้องการหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชในช่วงการเจริญเติบโตช่วงใดช่วงหนึ่งหรือตลอดฤดูกาลเพาะปลูกก็จะคำนวณได้โดยสมการ

$$K_c = ET/ET_o \quad (11)$$

ในเมื่อ ET และ ETo เป็นค่าการใช้น้ำที่ได้จากการวัดในช่วงเวลาเดียวกัน เนื่องจากสภาพภูมิอากาศ คุณสมบัติของดินและองค์ประกอบอื่นๆ คล้ายคลึงกัน ดังนั้น ค่า Kc จึงขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของพืชเพียงอย่างเดียว เพราะฉะนั้นค่าที่วัดได้นี้สามารถนำไปใช้ได้โดยทั่วไป โดยไม่ขึ้นอยู่กับสถานที่เพาะปลูกหรือสภาพภูมิอากาศ โดยรอบนั้น คือ ถ้าหากเราคำนวณ ETo โดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศได้แล้ว ถ้าเราต้องการจะทราบปริมาณความต้องการใช้น้ำของพืชใด ก็เอาค่า Kc ของพืชที่ต้องการทราบมาคูณกับค่า ETo ก็จะได้ปริมาณการใช้น้ำของพืช ดังนั้น เมื่อมีข้อมูลการคายระเหยน้ำของพืชหรือปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) และค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Kc) สามารถหาได้จากสมการ

$$ETa = Kc \times ETo \quad (12)$$

เมื่อ	ETa	=	เป็นการใช้น้ำของพืชที่ต้องการทราบ
	ETo	=	เป็นปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง
	Kc	=	สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช

2. วิธีที่สองโดยใช้ค่าปริมาณการระเหยน้ำจากถาดวัดการระเหยแบบเอ (Epan) สัมประสิทธิ์ถาดวัดการระเหย สำหรับถาดวัดแบบ เอ (Kp) และสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Kc) หลักการระเหยน้ำเป็นการแพร่กระจายไอน้ำสู่บรรยากาศ แต่เนื่องจากการคายน้ำของพืชนั้นจะถูกควบคุมโดยการเปิดปิดของรูปากใบแตกต่างกันจากการระเหยจากผิวน้ำไม่มีอะไรควบคุมเลย ดังนั้น จึงจำเป็นต้องใช้ค่าสัมประสิทธิ์มาคูณกับค่าการระเหยจากถาดวัดการระเหย ตามปกติมักใช้ถาดที่เรียกว่า Class A pan ของกรมอุตุนิคมวิทยาสหรัฐอเมริกา

ส่วนประกอบของถาดวัดการระเหยน้ำแบบ เอ ได้แก่ ถาดน้ำ ขอวัดระดับน้ำ และที่รองรับขอวัดระดับน้ำ ถาดน้ำนี้มีลักษณะทรงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 120.7 เซนติเมตร มีความลึก 25 เซนติเมตร วัสดุที่นิยมใช้ คือ เหล็กเคลือบสังกะสี (เบอร์ 22) ตัวถาดตั้งอยู่บนฐานไม้ซึ่งมีความสูง 15 เซนติเมตร จากฐานดินและฐานดินนี้ควรจะสูงกว่าระดับเดิมเล็กน้อย ถาดน้ำที่ติดตั้งแล้วควรอยู่ในแนวระดับ ระดับน้ำในถาดควรรักษาให้อยู่ในระดับที่คงที่ คือ ที่ระดับความลึกจากขอบประมาณ 5 เซนติเมตร และไม่ควรลดต่ำกว่า 7.5 เซนติเมตร ทั้งนี้ ก็เพราะจะทำให้เกิดลมหมุนเหนือผิวน้ำระเหยแตกต่างกันซึ่งจะเป็นตัวกระเทือนต่อปริมาณการระเหยน้ำ (สิทธิพร, 2536) ทำการตรวจวัด

การระเหยน้ำของถาดวัดทุกวันและตรวจวัดในเวลาเช้า และเป็นเวลาเดียวกับการเก็บข้อมูลปริมาณน้ำฝน ที่รองรับขอวัดมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกกลวงทำด้วยโลหะมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10 เซนติเมตร ลึก 20 เซนติเมตร และยึดติดอยู่กับฐาน ซึ่งจะช่วยป้องกันการกระเพื่อมของผิวน้ำ ขั้นตอนการวัดโดยการวางขอวัดระดับน้ำลงบนที่รองรับขอวัด เลื่อนก้านขอวัดขึ้นลงให้ปลายขอจมลงได้น้ำเล็กน้อย แล้วหมุนให้ปลายขอเลื่อนขึ้นมาช้าๆ จนแตะผิวน้ำ จากนั้นก็ยกขอวัดระดับน้ำขึ้นมา อ่านขีดสเกลบนก้านขอวัดและเป็นกลางตามลำดับ (Doorenbos and Pruitt, 1977) โดยสรุปเมื่อมีข้อมูลปริมาณการระเหยน้ำจากถาดวัดการระเหยแบบ เอ (Epan) ซึ่งอ่านค่าได้จากอุปกรณ์นี้ที่ติดตั้งในแปลงพืชและสัมประสิทธิ์ถาดวัดการระเหยสำหรับ ถาดวัดแบบ เอ (Kp) สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Kc) สามารถหาปริมาณการใช้น้ำของพืชได้จาก

$$ET_c = K_p \times E_{pan} \times K_c \quad (13)$$

เมื่อ	ET_c	=	เป็นการใช้น้ำของพืช
	K_p	=	สัมประสิทธิ์ถาดวัดการระเหย แบบ เอ
	E_{pan}	=	ปริมาณการระเหยน้ำจากถาดวัดการระเหย
	K_c	=	สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช

3. วิธีที่สาม โดยใช้ข้อมูลปริมาณการระเหยน้ำจากถาดวัดการระเหยแบบ เอ (Epan) และสัมประสิทธิ์ถาดวัดแบบ เอ (K'p) แนวคิดของการหาปริมาณการใช้น้ำโดยวิธีนี้มาจากเมื่อมีข้อมูล Epan หรือปริมาณการระเหยน้ำจากถาดวัดการระเหยแบบ เอ เพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่ไม่มีข้อมูลทั้ง ET_o หรือปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง และ K_c หรือสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ ในกรณีนี้ได้มีผู้แนะนำให้หาปริมาณใช้น้ำของพืชโดยการคำนวณจากค่าของ $K'p$ หรือสัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหยแบบเบ็ดเสร็จสำหรับถาดวัดแบบ เอ แทนค่า K_c และ K_p โดยใช้สมการ (ดิเรก และคณะ, 2545)

$$ET_c = E_{pan} \times K'p \quad (14)$$

เมื่อ	ET_c	=	เป็นการใช้น้ำของพืชที่ต้องการทราบ
	E_{pan}	=	ปริมาณการระเหยน้ำจากถาดวัดการระเหยแบบ เอ

$$K'p = \text{สัมประสิทธิ์ของภาควัดการระเหยแบบเบ็คส์เรจ}$$

การคำนวณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง

(ธีระพงษ์, 2538) ในการหาค่าการใช้น้ำของพืชมาตรฐานส่วนใหญ่จะทำ การคำนวณจาก ข้อมูลภูมิอากาศโดยใช้สูตรคำนวณ โดยเฉพาะสูตร Penman จะมีการใช้อย่างแพร่หลายและมีการ พัฒนาตลอดเวลาซึ่งในปี 1990 ทางผู้เชี่ยวชาญของ FAO ได้แนะนำ ให้ใช้สูตร Penman Monteith โดยในต่างประเทศถือว่า Penman Monteith น่าจะเป็นวิธีการคำนวณ ETo ที่ถูกต้องแม่นยำ มากกว่า วิธีอื่น ๆ สำหรับประเทศไทยยังมีการใช้ไม่แพร่หลาย ดังนั้นถ้า นำ สูตรดังกล่าวมาปรับปรุงค่า สัมประสิทธิ์บางค่า ตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยแล้วคาดว่าสูตรนี้ได้รับความนิยมในการ นำ ไปใช้ประโยชน์ทั้งทางด้านเกษตรและการจัดการชลประทานทั่วไป

เครื่องมือที่ใช้วัดการระเหยอาจแบ่งได้ออกเป็นสองแบบด้วยกันคือ แบบที่เป็นถาดบรรจุ น้ำ หรือที่เรียกว่าภาควัดการระเหย(Evaporation Pan) ซึ่งยอมให้น้ำระเหยจากผิวน้ำโดยตรง และแบบที่ ให้น้ำระเหยจากผิวดินที่พุ่มซึ่งเปียกน้ำ ถึงแม้ว่าการระเหยของน้ำจะไม่เหมือนกับคายน้ำของพืช แต่ขบวนการของทั้งสองอย่างคล้ายคลึงกันมาก กล่าวคือ เป็นการแพร่กระจายของไอน้ำสู่ บรรยากาศ แต่การคายน้ำจะถูกควบคุมโดยการปิดเปิดของรูใบในขณะที่การระเหยจากผิวน้ำไม่มี อะไรควบคุมเลยเนื่องจากว่าสภาพภูมิอากาศทุกอย่าง เช่น รังสีจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิ ความชื้น สัมพัทธ์ความเร็วของลม เป็นต้น ที่มีผลต่อการคายน้ำก็มีผลต่อการระเหยของน้ำจากภาควัดการ ระเหยด้วยเช่นกัน ดังนั้นภาควัดการระเหยที่ได้รับการติดตั้งอย่างถูกต้องจึงใช้เทียบหาปริมาณการ ใช้น้ำของพืชในช่วงสั้นๆ ได้อย่างละเอียดถูกต้องกว่าสูตรเอมไพริคัล ที่ใช้ข้อมูลภูมิอากาศเพียง อย่างเดียวหรือหลายอย่าง นอกจากนั้นภาควัดการระเหยยังใช้ง่ายและราคาถูกอีกด้วย (วิบูลย์, 2526)

ความต้องการน้ำเพื่อการเพาะปลูกข้าวแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ความต้องการน้ำเพื่อการ เตรียมแปลงและความต้องการน้ำเพื่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว ความต้องการน้ำเพื่อการเตรียม แปลง ชูพันธุ์ (2547) อ้างถึง ดิเรก (2528) กล่าวว่า ความต้องการน้ำที่ใช้เตรียมแปลงสำหรับการ เพาะปลูกข้าว รวมทั้งสิ้นประมาณ 200 – 350 มิลลิเมตร ความต้องการน้ำเพื่อการเจริญเติบโตของ ต้นข้าว ขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำที่ต้องสูญเสียไป 3 ทางด้วยกันคือ การระเหย (evaporation) การคาย น้ำ (transpiration) และการซึมลงไปในดิน(percolation) โดยปริมาณการใช้น้ำของข้าวที่ตรวจวัด

จากถึงวัดการใช้น้ำ (lysimeter) ของสถานีคันควัวและวิจัยการใช้น้ำชลประทาน กรมชลประทาน ประมาณวันละ 4 - 7 มิลลิเมตรในฤดูฝนและประมาณวันละ 5 - 9 มิลลิเมตร ในฤดูแล้ง ส่วนการซึมลงไปดินทั้งแนวราบและแนวตั้งขึ้นอยู่กับสภาพของดิน ชนิดของดิน สภาพความลึกของชั้นดิน และระดับน้ำใต้ดิน เช่น ดินเหนียวและมีระดับน้ำใต้ดินตื้น จะมีการสูญเสียน้ำประมาณวันละ 1 - 2 มิลลิเมตร แต่ถ้าสภาพเป็นดินทรายและมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึก อาจจะมีการสูญเสียน้ำถึงประมาณวันละ 7 - 10 มิลลิเมตร (ศิริก, 2526)

การคำนวณสมดุลน้ำในแปลงนา

สำหรับการหาค่าการใช้น้ำสำหรับนาข้าวหาได้จากหลักการสมดุลของน้ำในแปลงนา ซึ่งมีตัวแปรต่าง ๆ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ (วรารุช, 2545)

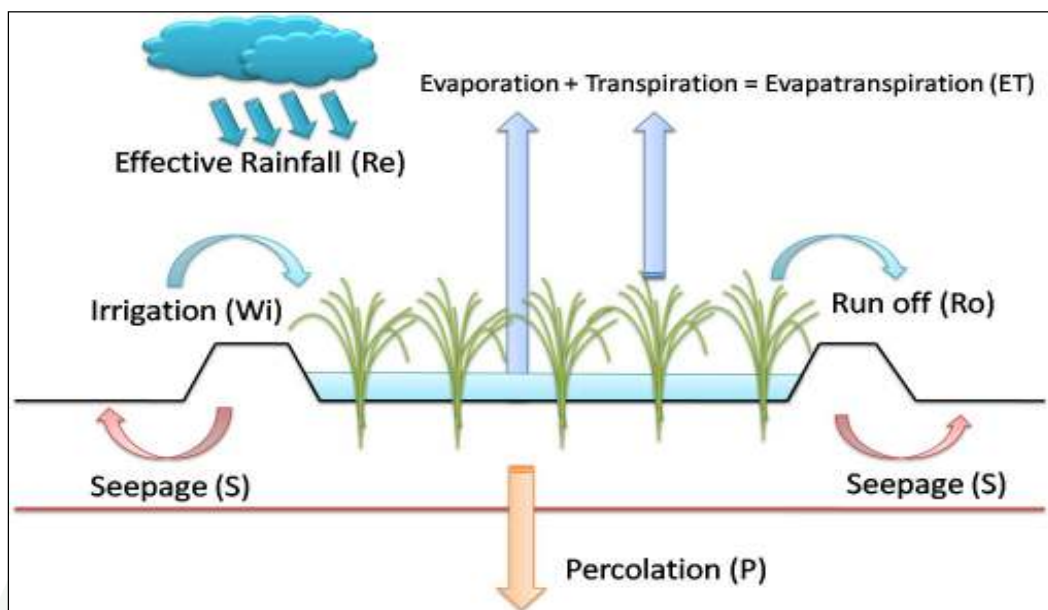
$$W_i + R_e = E_T + P + S \quad (15)$$

โดย	W_i	=	ปริมาณน้ำชลประทาน (irrigation water)
	R_e	=	ปริมาณฝนใช้การ (effective rainfall)
	E_T	=	ปริมาณการใช้น้ำของพืช (evapotranspiration)
	P	=	ปริมาณน้ำที่ไหลซึมลงเขตรากพืช (percolation)
	S	=	ปริมาณรั่วซึมทางด้านข้าง (seepage)

ในกรณีที่แปลงนาที่อยู่ข้าง ๆ มีน้ำข้างเหมือนกัน ปริมาณรั่วซึมทางด้านข้างจะมีค่าไม่มาก และโดยทั่ว ๆ ไปจะรวมค่า P และ S เข้าด้วยกัน เรียกว่า ปริมาณรั่วซึมในแปลงนา (PS) ดังนั้นสมการที่ 2 สามารถเขียนได้ใหม่เป็น

$$W_i = E_T + PS - R_e - R_o \quad (16)$$

กรณีที่มีการใช้น้ำชลประทานเพื่อการอื่น เช่น การเตรียมดิน หรือการตกกล้า จะต้องนำปริมาณน้ำส่วนนั้นมารวมอยู่ในค่า W_i ด้วย



ภาพที่ 10 สมดุลของน้ำในแปลงนา

ที่มา: ดัดแปลงจาก ชูพันธุ์ (2547)

ประสิทธิภาพการชลประทาน

ประสิทธิภาพในการชลประทาน (ฉลอง, 2531) แบ่งเป็นระดับได้คือ ระดับไร่นา ระดับคลองส่งน้ำ เนื่องจากการสูญเสียน้ำได้ตั้งแต่หัวงานจนกระทั่งถึงแปลงนาสำหรับการวางโครงการประสิทธิภาพการชลประทานมีความสำคัญต่อการกำหนดขนาดการพัฒนาแหล่งน้ำและขนาดของพื้นที่ชลประทาน โดยทั่วไปจะประมาณจากประสบการณ์ หรือจากประสิทธิภาพการชลประทานที่ประเมินไว้แล้วของโครงการชลประทานที่มีการส่งน้ำจริง โดนพิจารณาจากความคล้ายคลึงของระบบส่งน้ำและพื้นที่ที่ใกล้เคียงกัน ถ้าประเมินประสิทธิภาพการชลประทานไว้สูงเกินไป จะเกิดการขาดน้ำและต้องทำการปรับปรุงระบบชลประทานให้ดีขึ้น ถ้าประเมินต่ำเกินไปจะทำให้ขนาดพื้นที่ชลประทานน้อยกว่าที่ควร ระบบส่งน้ำจะออกแบบเพื่อบริการมากเกินไป และเกิดการสูญเสียน้ำชลประทานในระดับปฏิบัติการ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการชลประทานได้แก่ ขนาดของพื้นที่ชลประทาน ขนาดของพื้นที่หมุนเวียนส่งน้ำ การคาดการณ์ เทคนิคในการควบคุมการส่งน้ำ และอาคารชลประทาน วิธีการส่งน้ำชลประทาน สภาพดิน สภาพภูมิประเทศ เป็นต้น Lindner (1983) สรุปแนวทางประเมินประสิทธิภาพการชลประทานจากลักษณะระบบและการส่งน้ำ

ชลประทาน โดยการสำรวจของ ICID/ILRI ประสิทธิภาพการชลประทานของโครงการชลประทาน
คำนวณจาก

$$\text{ประสิทธิภาพการชลประทาน} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้} + \text{ปริมาณน้ำรั่วซึม} - \text{ฝนใช้การ}}{\text{ปริมาณน้ำชลประทานที่ส่ง}} \quad (17)$$

การหาค่าปริมาณความต้องการน้ำชลประทาน และค่าประสิทธิภาพการชลประทานจาก
สมการที่ 18 จะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพการชลประทานจะมีค่าแปรผันแบบ
ผกผันกับปริมาณความต้องการน้ำชลประทาน เนื่องจากถ้าประสิทธิภาพการชลประทานสูงแสดงว่า
ปริมาณน้ำชลประทานที่ส่งให้พื้นที่เกิดการสูญเสียน้อย หรือประสิทธิภาพการชลประทานต่ำแสดง
ว่าเกิดการสูญเสียของปริมาณน้ำที่ส่งมากต้องส่งน้ำในปริมาณมากกว่าความต้องการน้ำชลประทาน
ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจากความเป็นจริงมาก ดังนั้นจะเห็นได้ว่าค่าประสิทธิภาพการชลประทานจะ
เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณน้ำชลประทานที่ต้องส่ง หรือในทางกลับกันปริมาณน้ำชลประทานที่ส่งให้
แก่พื้นที่เพาะปลูกเมื่อเทียบกับความต้องการน้ำของพื้นที่เพาะปลูกจะเป็นตัวบอกถึงประสิทธิภาพ
ของการชลประทานในการส่งน้ำในพื้นที่นั้น

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ และเครื่องพิมพ์ 1 ชุด
2. โปรแกรม Microsoft excel
3. โปรแกรม ArcGis 9.3
4. โปรแกรม ETo Calculator
5. ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม
6. ข้อมูลอุตุ – อุทกวิทยา ในเขตพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม
7. เครื่องเขียน และอุปกรณ์สำนักงาน

วิธีการ

ในการศึกษานี้ ได้ใช้ข้อมูลจากการสำรวจข้อมูลจริงในสนามจากเกษตรกรในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม สำนักชลประทานที่ 10 จำนวน 60 ตัวอย่าง และพื้นที่นอกเขตชลประทานจำนวน 19 ตัวอย่าง และใช้ข้อมูลด้านอุตุอุทกวิทยาจากสถานีตรวจวัดอากาศกรมอุตุนิยมวิทยาสถานี 426201 จังหวัดลพบุรี และข้อมูลฝนจากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำฝนโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียมมาทำการศึกษาค่าต่างๆด้วยโปรแกรม EToCalc จาก FAO จากนั้นทำการศึกษาค่าตัวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ของเกษตรกรแต่ละรายด้วยโปรแกรมที่เขียนขึ้นจาก Microsoft Excel เพื่อทำการเปรียบเทียบและหาค่าตัวอเตอร์ฟุต ปริ้นท์รวมของโครงการฯ และเปรียบเทียบข้อมูลในระดับประเทศหรือระดับโลกจากนักวิจัยท่านอื่นๆ ต่อไป

จุดสำรวจนาข้าวและขอบเขตพื้นที่ชลประทาน โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม แสดงในภาพที่ 11 โดยพื้นที่ส่วนใหญ่กว่า 60 % อยู่ในพื้นที่จังหวัดลพบุรี 20 % อยู่ในเขตจังหวัดสระบุรี และอีก 20 % อยู่ในเขตจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ผลสำรวจการเพาะปลูกและผลผลิตของข้าวในเขตโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียมประจำปีการเพาะปลูก 2552/2553 โดยในช่วงฤดูนาปี 2552 ผลสำรวจจำนวน 33 ตัวอย่าง และช่วงเพาะปลูกฤดูนาปรัง 2552/2553 ผลสำรวจจำนวน 27 ตัวอย่าง

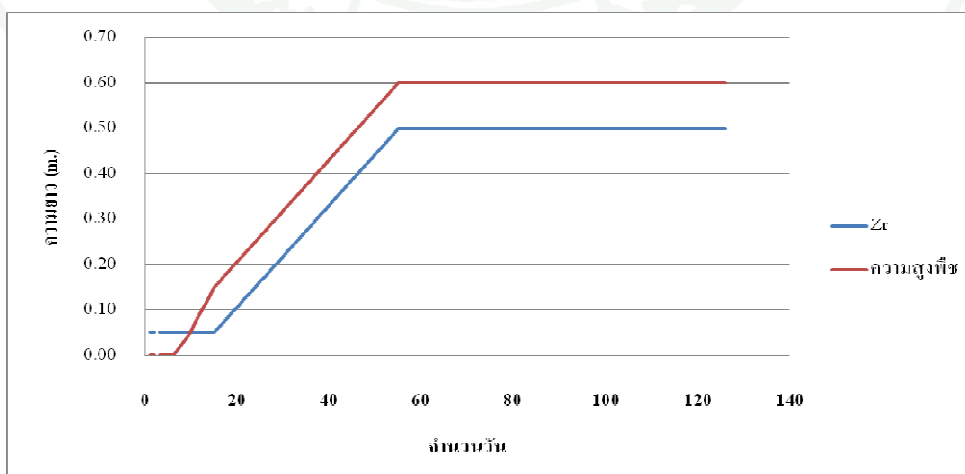
การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทั้งหมดในพืช (total water footprint, WF_{total}) คำนวณจากผลรวมของบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (WF_{blue}) กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (WF_{green}) และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (WF_{grey}) ดังสมการ (1) โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สามารถคำนวณได้จากปริมาณน้ำที่พืชใช้ (crop water use, CWU) (หน่วย ลบ.ม./ไร่)หารด้วยปริมาณผลผลิตของพืชนั้น (yield, Y) (หน่วย ตัน/ไร่) โดยในการศึกษานี้ได้มีการพิจารณาค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ด้วย ซึ่งคำนวณจากปริมาณน้ำที่ใช้ในการเจือจางน้ำเสียให้ความเข้มข้นลดลงให้อยู่ในระดับมาตรฐานที่ยอมรับได้ โดยได้พิจารณาใช้มาตรฐานของแม่น้ำลำคลองและคุณภาพของน้ำในแหล่งน้ำประเภท 2 โดยกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กำหนดให้มีปริมาณไนเตรต (NO_3) ในน้ำในหน่วยไนโตรเจน ต้องมีค่าไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังสมการสมการที่ (3) ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ นั้น ได้จากการสำรวจพื้นที่จริงจากเกษตรกรในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม ตามแบบสำรวจ ส.จษ. 4/2541 ของกรมชลประทาน จากนั้นทำการสร้างแบบจำลองการใช้น้ำ สมดุลน้ำ และการหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ต่างๆด้วย โปรแกรม Microsoft Excel เพื่อคำนวณหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของเกษตรกรแต่ละราย

Irrigation and non-irrigation scheduling to calculate water footprint

Input ประเภทดิน	Averaged value of Clay in FAO 56		
total available moisture ($\theta_{FC} - q_{WP}$) = Averaged value of Clay in FAO 56 pp. 145 (0.12-0.20 m ³ /m ³)	160	mm/meter	
maximum rain infiltration rate จากวารสารข้าวเกษตรชลประทาน ปีที่ 15 ฉบับที่ 57 พศ. 2554	1	mm/day	
เรื่องปริมาณการใช้น้ำของข้าวประเภทนาดำ - นาหว่านน้ำตม หน้า 39			
maximum rooting depth = = Averaged value of rice in FAO 56 pp. 164 (0.5-1 m) use minimum	50	cm	Z _{r,max} (No use for now)
Initial soil moisture depletion (% TAM)	0	%	0 means Dr,o = 0; 100 means Dr,o = TAM
Input Crop Properties	นาปี	นาปรัง	
Stage (land preparation)	7	7	day
Stage (initial)	8	8	day
Stage (development)	40	40	day
Stage (mid-season)	50	50	day
Stage (late season)	15	15	day
Stage (total)	120	120	day
Rooting depth (initial)	0.05	0.05	m
Rooting depth (mid-season)	0.5	0.5	m
ความสูงพืช (init-develop)	0.15	0.15	m
ความสูงพืช (develop-mid)	0.6	0.6	m
p (initial)	0.2	0.2	
p (mid-season)	0.2	0.2	
p (late season)	0.2	0.2	
น้ำเตรียมแปลง	200	250	mm
max น้ำในแปลงนา	0.5	0.5	ของความสูงพืช
min น้ำในแปลงนา	0.25	0.25	ของความสูงพืช
ปล่อยน้ำออก จะเหลือน้ำ	20	20	mm
ระยะเวลาช่วงปล่อยน้ำออกหมดหลังจากหว่าน 1 วัน	7	7	day
ระยะเวลาช่วงปล่อยน้ำออกหมดให้ดินแห้งก่อนเก็บเกี่ยว	10	10	day
คันดินของแปลงนา	300	300	mm
มาตรฐานของแม่น้ำลำคลองและคุณภาพของน้ำในแหล่งน้ำประเภท 2 โดยกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม			
ไนเตรด (NO ₃) ในน้ำในหน่วยไนโตรเจน ต้องมีค่าไม่เกิน	5	mg/l	
% leaching	10	%	

ภาพที่ 12 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่นำเข้าไปโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อคำนวณหาค่าอัตรฟูตปรินท์ของเกษตรกรแต่ละราย

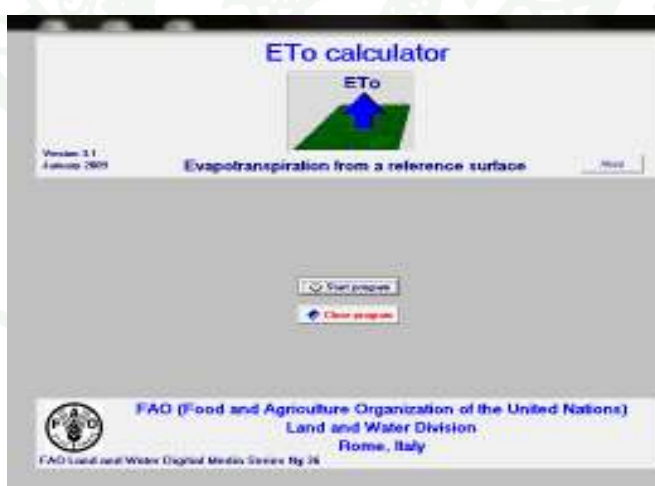


ภาพที่ 13 ค่าพารามิเตอร์ ความยาวรากและความสูงของข้าว

การคำนวณปริมาณน้ำที่พืชใช้และการคายระเหยของพืช

ความต้องการน้ำของพืชในเขตโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกระเทียมจำนวนประมาณ 255,112 ไร่ ข้อมูลที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นข้อมูลจากในพื้นที่จริง ซึ่งในการคำนวณความต้องการใช้น้ำได้ใช้ข้อมูลจากการสำรวจและตรวจวัดของโครงการชลประทานเอง เช่นข้อมูลฝนที่ใช้เป็นข้อมูลฝนรายวันของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกระเทียม ซึ่งกระจายตัวอยู่ตามอาคารหัวงานต่างๆในพื้นที่โครงการฯ รวมทั้งสิ้นจำนวน 11 สถานีครอบคลุมพื้นที่โครงการฯทั้งหมด รวมทั้งใช้ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาจากสถานี 48426 ของกรมอุตุนิยมวิทยา จ.ลพบุรี เพิ่มอีก 1 สถานี เพื่อความถูกต้องแม่นยำ ในการคำนวณจากแบบจำลอง เช่น คำนวณค่าการคายระเหย ข้อมูล LATITUDE , LONGITUDE , ความสูงของสถานี,ค่าความเร็วลม,และความยาวนานของแสงแดด เป็นต้น

ในการศึกษานี้ได้ใช้โปรแกรม ETo Calculator โดย (FAO, 2009) เพื่อศึกษาหาค่าการคายระเหยอ้างอิง (ETo) ของพืช โดยขึ้นกับปัจจัยที่มีผลต่อค่า ETo คือ ตัวแปรสภาพภูมิอากาศ โดยไม่คำนึงถึงคุณลักษณะของพืชและดิน และสมการที่ใช้คือสมการ Penman-Monteith (The ETo Calculator, 2009) ซึ่งเป็นสมการที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย



ภาพที่ 14 แสดงโปรแกรม ETo Calculator โดย (FAO, 2009)

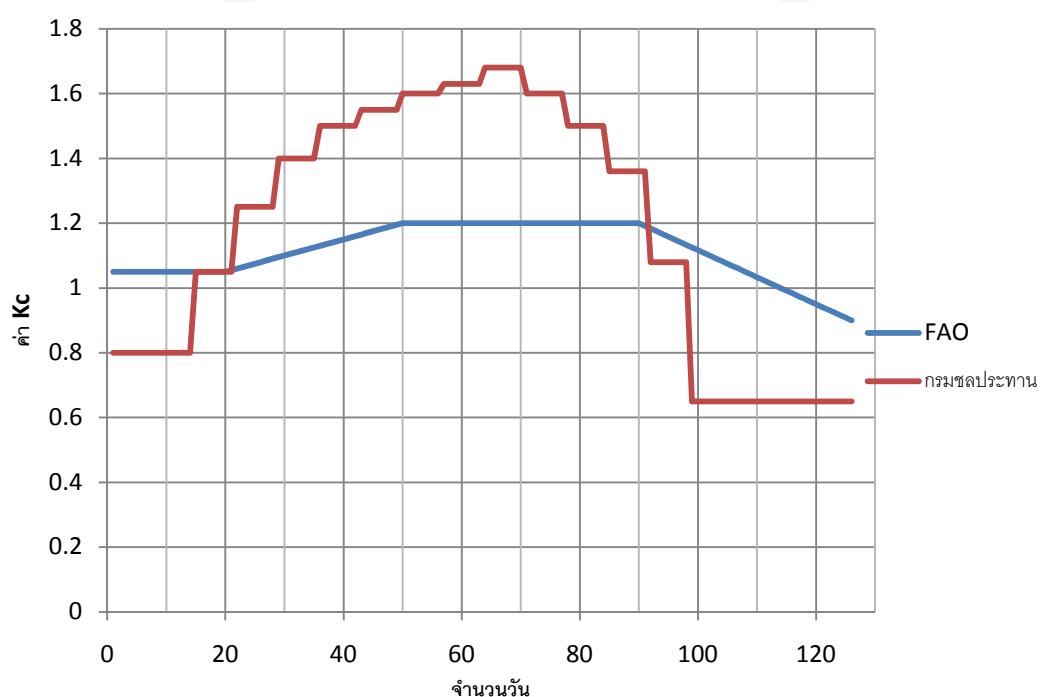
ที่มา: (FAO, 2009)

ภาพที่ 15 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆในโปรแกรม ETo Calculator

ที่มา: (FAO, 2009)

ในการศึกษานี้ได้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์พืช (K_c) ของกรมชลประทาน (ส่วนการใช้น้ำชลประทาน, 2551) เนื่องจากเป็นค่ามาตรฐานที่ได้มีการศึกษาและใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย หากเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์พืช (K_c) ของข้าวของ FAO โดย Allen (1998) และของกรมชลประทาน พบว่า K_c ของ FAO มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.20 ต่ำกว่าของกรมชลประทานที่เท่ากับ 1.68 และมีช่วงระยะเวลาการเพาะปลูกประมาณ 150-180 วันยาวนานกว่าของกรมชลประทานที่เท่ากับ 14 สัปดาห์ไม่รวมเตรียมแปลง จากผลการวินิจฉัยเบื้องต้นทำให้ทราบว่า หากใช้ค่า K_c ของ FAO จะส่งผลต่อการคำนวณอัตราน้ำที่จำเป็นสำหรับข้าวในประเทศไทยไม่สอดคล้องกับความ

เป็นจริง เนื่องจากการกำหนดช่วงเวลาการเพาะปลูกที่ยาวนานกว่าและ K_c ที่ต่ำกว่า อย่างไรก็ตามจากการสำรวจพบว่าเกษตรกรในพื้นที่โครงการฯ ปลูกข้าวยาวนานกว่า 14 สัปดาห์ไม่รวมเตรียมแปลง ดังนั้นจึงสมมติให้ช่วงเวลาที่เพิ่มขึ้นใช้ค่า K_c ค่าสุดท้าย (0.65) ของกรมชลประทานต่อไปจนถึงวันเก็บเกี่ยว



ภาพที่ 16 สัมประสิทธิ์พืช (K_c) ของข้าวเปรียบเทียบระหว่าง FAO (Allen, 1998) และ กรมชลประทาน (ส่วนการใช้น้ำชลประทาน, 2551)

ตารางที่ 12 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของข้าวนาหว่านนํ้าตม (ส่วนการใช้นํ้า กรมชลประทาน)

สัปดาห์ที่	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient : KC)						
	Modified Penman	Blaney - Criddle	Pan Method	Thornthwaite	Hargreaves	Radiation	Penman - Monteith
นับจากหลังหว่าน							
1	0.82	0.85	1.18	0.86	0.98	0.85	0.80
2	0.84	0.91	1.09	0.95	1.02	0.89	1.05
3	1.09	1.29	1.27	1.16	1.28	1.18	1.25
4	1.05	1.11	1.25	1.13	1.23	1.10	1.40
5	0.95	0.99	1.24	0.98	1.17	1.00	1.50
6	1.42	1.44	1.75	1.45	1.64	1.49	1.55
7	1.36	1.63	1.66	1.38	1.58	1.45	1.60
8	1.07	1.27	1.70	1.04	1.34	1.10	1.63
9	1.04	1.19	1.36	1.07	1.22	1.10	1.68
10	1.11	1.50	1.55	1.05	1.32	1.15	1.60
11	1.09	1.41	1.36	1.01	1.21	1.16	1.50
12	1.20	1.62	1.56	1.15	1.36	1.26	1.36
13	0.86	1.12	1.25	0.81	0.92	1.02	1.08
14	0.87	1.06	0.89	0.70	0.79	1.06	0.65
เฉลี่ย	1.06	1.24	1.37	1.05	1.22	1.13	1.33

วิธีการคำนวณสมดุลน้ำในแปลงนา

การคำนวณปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกข้าวในแต่ละฤดูเพาะปลูกทั้งข้าวนาปีและข้าวนาปรัง ใช้ข้อมูลจากการลงพื้นที่สำรวจภาคสนามจากเกษตรกรผู้ทำการเกษตรที่ปลูกข้าวในพื้นที่จริงของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกระเทียม สำนักชลประทานที่ 10 โดยได้เก็บตัวอย่างจากแบบสำรวจ จส.จย. 4/2541 และแบบ จ.บ.1-26 ของกรมชลประทาน จำนวน 60 ตัวอย่าง ความต้องการน้ำเพื่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว ขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำที่ต้องสูญเสียไป 4 ทางด้วยกัน ดังแสดงในภาพที่ 14 คือ การคายระเหยของพืช (evapotranspiration) การไหลออกคันดินแบบน้ำท่าผิวดิน (runoff) การซึมลงไปในดิน (percolation) และการซึมในแนวราบหรือด้านข้าง (seepage) ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพของดิน ชนิดของดิน สภาพความลึกของชั้นดินและระดับน้ำใต้ดิน เช่น ดินเหนียวและมีระดับน้ำใต้ดินตื้น จะมีการสูญเสียน้ำประมาณวันละ 1-2 มิลลิเมตร (วิบูลย์, 2526) ในการศึกษาได้กำหนดค่าความสูงของระดับคันดิน คันนาค่าสูงสุด 30 เซนติเมตร และระดับน้ำในแปลงนาให้มีค่าสูงสุด (Max) ได้ไม่เกิน 0.5 ของความสูงต้นข้าว และถ้าระดับน้ำสูงสุดเกิน 30 เซนติเมตรให้ถือว่าเป็นน้ำส่วนเกินเป็น Run Off ออกจากแปลงนา ส่วนระดับน้ำต่ำสุด (Min) ในแปลงนาให้ถือว่าเป็นน้ำส่วนเกินเป็น Run Off ออกจากแปลงนา ส่วนระดับน้ำต่ำสุด (Min) ในแปลงนาให้ไม่น้อยกว่า 0.25 ของความสูงต้นข้าว ถ้าระดับน้ำในแปลงนาค่าต่ำกว่าค่า Min ต้องทำการเติมน้ำลงในแปลงนาให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของข้าวและหากระดับน้ำในแปลงนาเท่ากับศูนย์จึงจะทำสมดุลน้ำในเขตรากพืช

ข้อมูลจากภาคสนาม

จากข้อมูลที่ได้จากการลงพื้นที่สำรวจภาคสนามนำมาศึกษาได้ดังนี้ เกษตรส่วนใหญ่ใช้วิธีการเพาะปลูกด้วยวิธีการนาหว่านน้ำตม พันธุ์ข้าวที่ทำการเพาะปลูกเป็นพันธุ์ข้าวเตี้ย ความสูงต้นข้าวประมาณ 60 – 70 ซม. มีอายุเก็บเกี่ยวได้ประมาณ 120 วัน ได้แก่ พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี 1 ชัยนาท และหอมประทุม ซึ่งในการเพาะปลูกแต่ละฤดูเพาะปลูกในพื้นที่ศึกษา จากการสำรวจทำให้ได้ขั้นตอนในการคิดคำนวณการใช้น้ำเพื่อการเพาะปลูกดังนี้

- ระยะเวลาในการเตรียมแปลง 7 วันหรือ 1 สัปดาห์ โดยกำหนดให้ใช้น้ำในการเตรียมแปลง 200 มม. ฤดูแล้ง ส่วนฤดูนาปรังกำหนดให้ใช้น้ำในการเตรียมแปลง 250 มม. (กรมชลประทาน, 2550)

- เริ่มหว่านเมล็ดพันธุ์ลงแปลงนาในวันที่ 8 โดยทิ้งไว้หนึ่งวันในวันที่ 9 ทำการปล่อยน้ำออกจากแปลงนาเพื่อไม่ให้เมล็ดข้าวที่หว่านลงไปเกิดการเน่าเสีย ซึ่งสมมติให้มีน้ำคงเหลืออยู่เล็กน้อยบนผิวดิน

- เมื่อต้นข้าวเริ่มงอกมีความสูงประมาณ 10-15 ซม. เกษตรกรก็จะเริ่มทำการสูบน้ำเข้านาอีกครั้ง โดยมีเงื่อนไขในการพิจารณาการสูบน้ำเข้านาคือการรักษาระดับน้ำในแปลงนาให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับอายุและการเจริญเติบโตของต้นข้าว

- เมื่อเห็นว่าปริมาณน้ำในแปลงนาเริ่มลดลงน้อยกว่า 10 ซม. หรือ 1 ใน 3 ของความสูงต้นข้าวตลอดช่วงการเจริญเติบโต โดยการศึกษาได้กำหนดให้ระดับน้ำในแปลงนาต้องมีค่าต่ำสุดไม่น้อยกว่า 1 ใน 3 ของความสูงของต้นข้าว ซึ่งถ้าระดับน้ำในแปลงนาต่ำกว่า 1 ใน 3 ของความสูงต้นข้าว ให้เติมน้ำชลประทานเข้าไปในแปลงนาได้สูงสุดไม่เกิน 1 ใน 2 ของความสูงต้นข้าว

- ระดับคันนาเฉลี่ยประมาณ 30 ซม. โดยถ้าระดับน้ำในแปลงนาสูงกว่า 30 ซม. ถือว่าเป็นน้ำล้นคันดินออกจากแปลงนาตลอดช่วงการเจริญเติบโต

- ก่อนเก็บเกี่ยวผลผลิตประมาณ 10 วันจะทำการปล่อยน้ำทั้งหมดออกจากแปลงนาเพื่อเตรียมการเก็บเกี่ยวผลผลิต

อีกหนึ่งช่วงเวลาการเพาะปลูกข้าวนาปีและนาปรังตามปฏิทินการส่งน้ำและเพาะปลูกของกรมชลประทานกำหนดให้ นาปี เริ่มส่งน้ำตั้งแต่ช่วงเดือน พฤษภาคม – ตุลาคม ของทุกปี โดย ในฤดูกาลเพาะปลูกนาปีนั้นจะเป็นการส่งน้ำเพื่อสนับสนุนการเพาะปลูก ส่งน้ำตามความต้องการของเกษตรกรเท่านั้นเนื่องจากเป็นช่วงฤดูฝน เกษตรกรจะทำการเพาะปลูกโดยใช้น้ำฝนเป็นหลัก ข้อมูลจากการสำรวจพบว่าเกษตรกรในพื้นที่เริ่มทำนาปีในเดือน มิถุนายน กรกฎาคมและสิงหาคม ซึ่งจะไปเก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงเดือน ตุลาคม พฤศจิกายน และธันวาคม รวมอายุเฉลี่ย 120 วัน ส่วนการเพาะปลูกข้าวในฤดูแล้งหรือนาปรังปฏิทินการส่งน้ำและเพาะปลูกของกรมชลประทานกำหนดการส่งน้ำนาปรัง เริ่มส่งน้ำตั้งแต่ช่วงเดือน พฤศจิกายน – เมษายน ของทุกปี (กรมชลประทาน, 2550) โดยในฤดูกาลเพาะปลูกนาปรังนั้นจากการศึกษาพบว่าเกษตรกรใช้น้ำจากชลประทานทั้งหมด เกษตรในพื้นที่เริ่มทำนาปรังในเดือน ธันวาคมและมกราคม ซึ่งเกษตรกรจะทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงเดือน เมษายนถึงพฤษภาคมตามลำดับรวมอายุเฉลี่ย 120 วัน

ประเภทดิน

ประเภทของดิน ได้ใช้ข้อมูลจาก ISRIC-WISE (2006) สำหรับการหาความชื้นในดินทั้งหมดที่ใช้การได้ (total available soil moisture, มม./ม.) และสำหรับตัวแปรอื่นๆ ได้ใช้ ข้อมูลจาก CROPWAT 8.0 และ FAO. No.56 โดยดินในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียมเลือกดินเป็นประเภทดินร่วน (Clay) ซึ่งจะได้ค่าความยาวรากพืชมากที่สุด (maximum rooting depth, ซม.) เท่ากับ 50 ซม. (FAO. No.56 pp. 164) อัตราน้ำฝนที่ซึมลงสู่ดินสูงสุด (maximum rain infiltration rate, มม./วัน) เท่ากับ 1 มม./วัน (วารสารข่าวเกษตรชลประทาน ปีที่ 15 ฉบับที่ 57, 2554) ค่าเริ่มต้นการซึมลึกในดิน (initial soil moisture depletion, %) เท่ากับ 0% และระดับการขาดน้ำ (depletion, %) เท่ากับ 0.2 ตอนเริ่มต้นจนถึงช่วงการเจริญเติบโตและเท่ากับ 0.25 เมื่อช่วงระยะกลาง ในระยะเก็บเกี่ยวเท่ากับ 0.50 (CROPWAT, 2006)

ตารางที่ 13 ปฏิทินการปลูกข้าว (ส่วนจัดสรรน้ำและบำรุงรักษา สำนักชลประทานที่ 10)

เดือน ลำดับ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1.นาดอน (อยู่ในระบบ ชล.)												
2.นาที่ลุ่มต่ำ												

สถานที่และระยะเวลาการวิจัย

สถานที่

พื้นที่ศึกษาโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม พื้นที่โครงการฯ 255,112 ไร่ ครอบคลุมพื้นที่ในเขต 3 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดลพบุรี (3 อำเภอ 23 ตำบล) จังหวัดสระบุรี (3 อำเภอ 8 ตำบล) และจังหวัดพระนครศรีอยุธยา (3 อำเภอ 13 ตำบล) โดยมีพื้นที่ชลประทาน 238,303 ไร่ อยู่ภายใต้ความรับผิดชอบของสำนักชลประทานที่ 10 จังหวัดลพบุรี ซึ่งมีสำนักงานอยู่ห่างจากตัวเมืองจังหวัดลพบุรีประมาณ 13 กิโลเมตร

การวิเคราะห์ข้อมูลได้ดำเนินการที่ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม สำนักชลประทานที่ 10

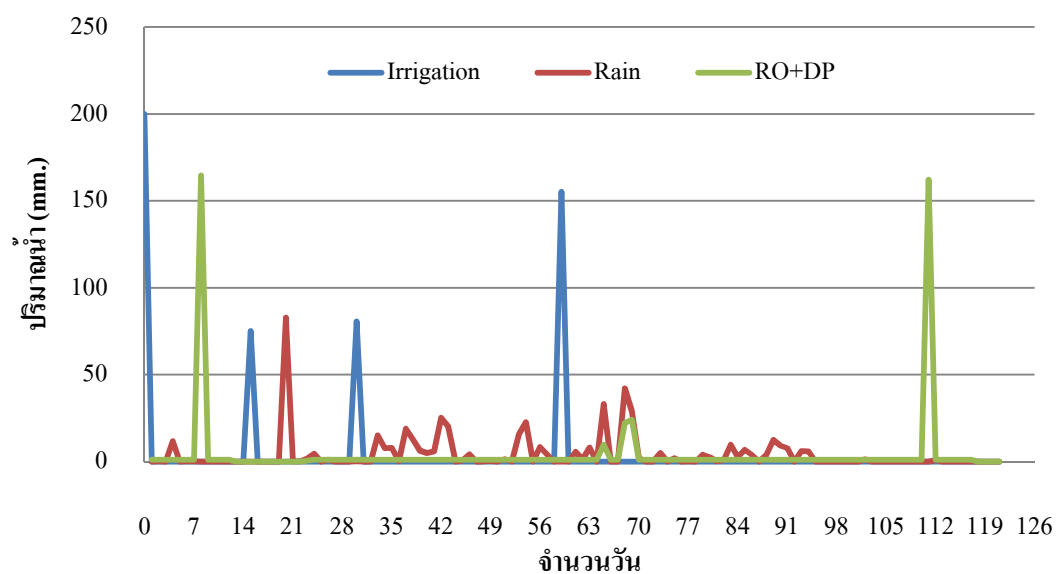
ระยะเวลาทำการวิจัย

การวิจัยใช้ระยะเวลาประมาณ 9 เดือน เริ่มตั้งแต่มกราคม พ.ศ. 2555 ถึงกันยายน พ.ศ. 2555

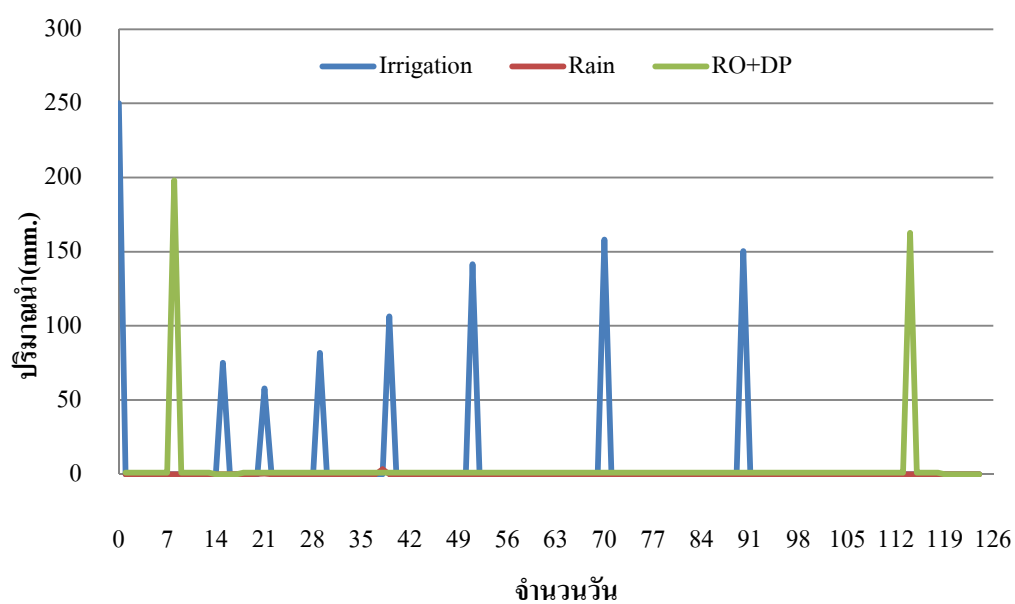
ผลและวิจารณ์

ในการศึกษานี้ได้ทำการคำนวณแยกเป็นสองส่วนตามพื้นที่ได้แก่ ในเขตพื้นที่ชลประทานที่มีระบบชลประทาน ที่ได้รับน้ำสมบูรณ์กับพื้นที่ซึ่งอยู่นอกเขตชลประทานการใช้น้ำในการเพาะปลูกข้าวโดยไม่ได้มีการพิจารณาถึงพันธุ์ข้าวที่ปลูก ในเขตชลประทานพบว่าการใช้น้ำในช่วงฤดูนาปีวิเคราะห์พฤติกรรมการณ์การใช้น้ำในการเพาะปลูกได้ดังในภาพที่ 17 พบว่ามีการใช้น้ำจากระบบชลประทานน้อยเนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวมีปริมาณฝน ตกมาช่วยค่อนข้างมากจนบางครั้งต้องมีการปล่อยน้ำออกจากแปลงนาเนื่องจากปริมาณน้ำในแปลงมากเกินไปเกินความต้องการ และมีการเติมน้ำในแปลงนาเพียง 3 ครั้ง ในปริมาณที่แตกต่างกันไปตามปริมาณน้ำต้นทุนเดิมที่มีอยู่ในแปลงนา เพื่อรักษาระดับน้ำให้พอเหมาะแก่การเจริญเติบโตของต้นข้าว ส่วนการเพาะปลูกในช่วงฤดูนาปรังวิเคราะห์พฤติกรรมการณ์การใช้น้ำในการเพาะปลูกได้ดังในภาพที่ 18 พบว่าการเพาะปลูกข้าวนาปรังนั้นใช้น้ำจากระบบชลประทานสูงมากเกือบ 100% ซึ่งในช่วงดังกล่าวมีปริมาณฝนตกน้อยมาก โดยตลอดช่วงอายุข้าวเฉลี่ย 120 วัน ต้องเติมน้ำเข้าแปลงนาเฉลี่ย 7-8 ครั้ง ตามช่วงเวลาการเจริญเติบโตของพืช โดยในช่วงแรกจะมีการให้น้ำถี่เฉลี่ยสัปดาห์ละครั้งเนื่องจากเป็นช่วงที่ข้าวมีความสูงน้อยและกำลังเจริญเติบโตจึงต้องการใช้น้ำในปริมาณมาก ประกอบกับช่วงฤดูนาปรังไม่มีฝนตกลงมาช่วยเหมือนนาปีจึงต้องมีการใช้น้ำชลประทานถี่ขึ้น ส่วนปริมาณการเติมน้ำเข้าแปลงนาก็แตกต่างกันไปตามปริมาณน้ำต้นทุนเดิมที่มีอยู่ในแปลงนาเพื่อรักษาระดับน้ำให้มีปริมาณที่พอเหมาะแก่การเจริญเติบโตของต้นข้าวเช่นเดียวกับนาปี

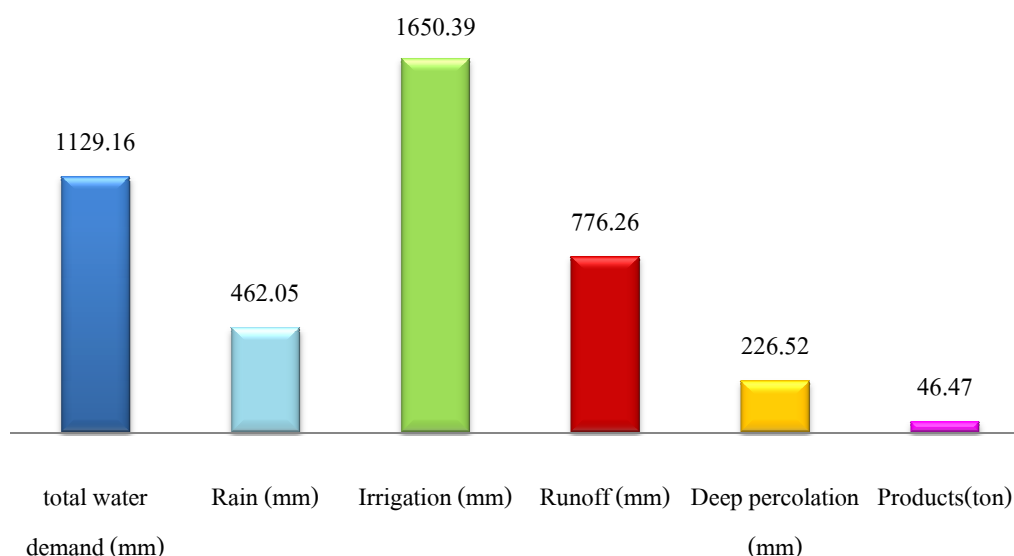
ความต้องการใช้น้ำรวมทั้งปีของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกระเทียมมีความต้องการใช้น้ำของพืชรวม 1,129 มม. และมีการใช้น้ำจากระบบชลประทาน เพื่อทำการเพาะปลูกข้าวรวม 1,650 มม. มีการปล่อยน้ำออกจากแปลงนา รวม 776 มม. มีการรั่วซึม 227 มม. โดยมีผลผลิตรวมทั้งปี 46.47 ตัน ดังในภาพที่ 19



ภาพที่ 17 สมดุลของน้ำในแปลงนา ฤดูนาปี ในเขตชลประทาน



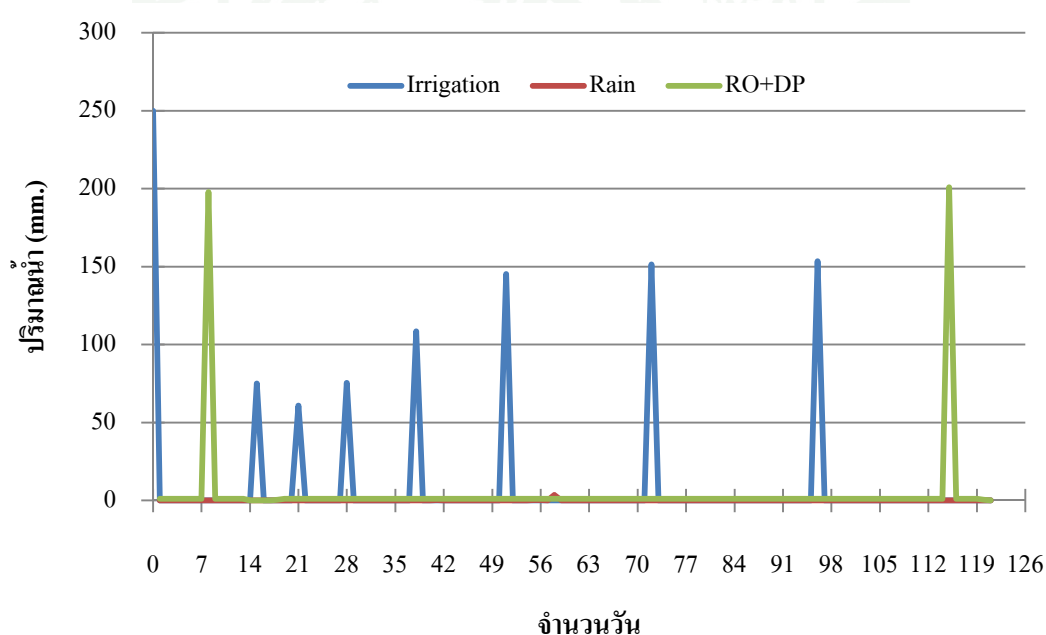
ภาพที่ 18 สมดุลของน้ำในแปลงนา ฤดูนาปรัง ในเขตชลประทาน



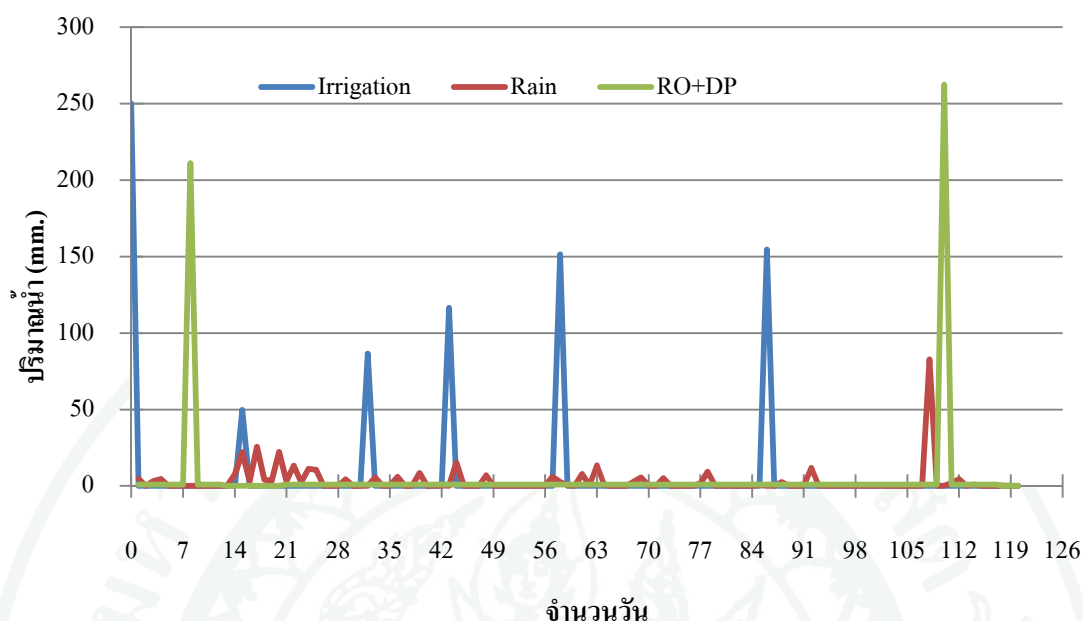
ภาพที่ 19 ความต้องการใช้น้ำรวมของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม

ส่วนการศึกษาพื้นที่อยู่นอกเขตชลประทานของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม พื้นที่ฝั่งซ้ายในระยะห่างประมาณ 5 กิโลเมตรจากคลองชัยนาท – ป่าสัก มีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 16,809 ไร่ ยังไม่มีระบบชลประทานที่สมบูรณ์นั้น พบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่ใช้น้ำในการเพาะปลูกจากน้ำฝนเป็นหลัก ลำน้ำธรรมชาติและจากคลองชัยนาท – ป่าสักบางส่วน ผ่านทางโรงสูบน้ำจำนวน 4 แห่งได้แก่ โรงสูบน้ำปากคลองสระตาเวว , โรงสูบน้ำปากคลองสะพานขาว , โรงสูบน้ำปากคลองโพหนองและโรงสูบน้ำปากคลอง สนามแจง ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่ลุ่มต่ำที่ประสบกับปัญหาน้ำท่วมซ้ำซากในฤดูน้ำหลากทุกปี เกษตรกรจึงต้องปรับเปลี่ยนพฤติกรรมในการทำนา โดยมีการทำนาปรัง 2 ครั้งนาปรังครั้งที่ 1 จะเริ่มทำการเพาะปลูกในช่วงเดือนปลายเดือนพฤศจิกายนถึงต้นเดือนธันวาคมและจะไปเก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงเดือนมีนาคมถึงเมษายน และนาปรังในครั้งที่ 2 นั้นจะเริ่มทำการเพาะปลูกในช่วงต้นเดือนพฤษภาคมและจะเก็บเกี่ยวผลผลิตในเดือนสิงหาคม พบว่าการเพาะปลูกข้าวในช่วงฤดูนาปรังครั้งที่ 1 วิเคราะห์พฤติกรรมการใช้น้ำในการเพาะปลูกได้ดังในภาพที่ 20 แสดงให้เห็นว่าการเพาะปลูกข้าวนาปรังครั้งที่ 1 นั้นมีการใช้น้ำแหล่งน้ำผิวดินหรือจากชลประทานสูงมากเกือบ 100% โดยตลอดช่วงอายุข้าวเฉลี่ย 120 วัน ต้องเติมน้ำเข้าแปลงนาเฉลี่ย 7-8 ครั้ง ตามช่วงเวลาการเจริญเติบโตของพืช โดยในช่วงแรกจะมีการให้น้ำถี่เฉลี่ยสัปดาห์ละครั้งเนื่องจากเป็นช่วงที่ข้าวกำลังเจริญเติบโตต้องการใช้น้ำในปริมาณมาก ประกอบกับช่วงฤดูนาปรังครั้งที่ 1 เป็นช่วงฤดูแล้งไม่มีฝนตกในพื้นที่เลย จึงต้องมีการให้น้ำถี่ขึ้น

ส่วนปริมาณการเติมน้ำเข้าแปลงนาก็แตกต่างกันไปตามปริมาณน้ำต้นทุนเดิมที่มีอยู่ในแปลงนา เพื่อรักษาระดับน้ำให้พอเหมาะแก่การเจริญเติบโตของต้นข้าว ส่วนการใช้น้ำในช่วงฤดูนาปรังครั้งที่ 2 เป็นฤดูการเพาะปลูกที่เริ่มเข้าสู่ฤดูฝนมีการใช้น้ำฝนร่วมกับน้ำผิวดินในการเพาะปลูก วิเคราะห์พฤติกรรมการใช้น้ำในการเพาะปลูกได้ดังในภาพที่ 21 พบว่ามีการใช้น้ำจากแหล่งน้ำผิวดินและน้ำจากชลประทานน้อยลงเนื่องจากเป็นช่วงที่เริ่มมีปริมาณฝนตกในพื้นที่ส่งผลให้เกษตรกรสามารถใช้น้ำฝนในการเพาะปลูกได้แต่ก็ไม่ได้เต็มที่ โดยมีการเติมน้ำในแปลงนาเพียง 4-5 ครั้ง ในปริมาณที่แตกต่างกันไปตามปริมาณน้ำต้นทุนเดิมที่มีอยู่ในแปลงนา เพื่อรักษาระดับน้ำให้พอเหมาะแก่การเจริญเติบโตของต้นข้าว เช่นเดียวกันกับนาปรังครั้งที่ 1 โดยการคิดคำนวณปริมาณน้ำชลประทาน , Runoff และ ค่า Percolation เป็นค่าทางทฤษฎี ตามเงื่อนไขความลึกของน้ำในแปลงนาที่ได้กำหนด โดยทั้งหมดได้คำนวณปริมาณน้ำเป็นรายวันตามหลักการสมดุลน้ำในแปลงนาและสมดุลน้ำในเขตรากพืชดังได้กล่าวข้างต้น เนื่องจากการใช้น้ำจริงในพื้นที่เป็นการสูบน้ำจากคลองชัยนาท-ป่าสัก ลงคลองธรรมชาติ ตามที่เกษตรกรร้องขอตามความจำเป็นและไม่ได้มีการตรวจวัดเก็บข้อมูลต่างๆไว้



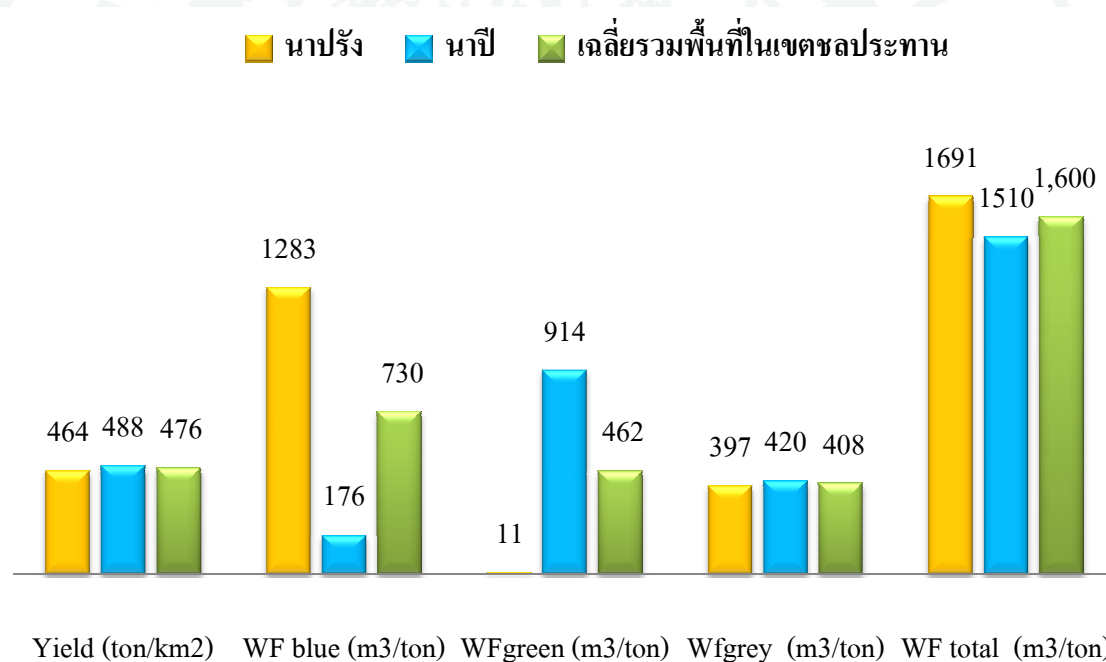
ภาพที่ 20 การใช้น้ำเพาะปลูกในฤดูนาปรังครั้งที่ 1



ภาพที่ 21 การใช้น้ำเพาะปลูกในฤดูนาปรังครั้งที่ 2

ผลการศึกษาหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมเฉลี่ยในแต่ละช่วงฤดูกาลเพาะปลูกของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกระเทียม พบว่าค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมมีค่าใกล้เคียงกันโดยช่วงฤดูนาปรังจะได้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่สูงกว่าช่วงฤดูนาปีเท่ากับ 1,691 และ 1,509 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ ในขณะที่ค่าการยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทั้งสองช่วงฤดูเพาะปลูกมีค่าที่ใกล้เคียงกันโดยนาปีเท่ากับ 420 ลบ.ม./ตัน และนาปรังเท่ากับ 397 ลบ.ม./ตัน ส่วนค่าที่ต่างกันอย่างเห็นได้ชัดคือค่า บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์และค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ โดยค่าบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในฤดูนาปีเท่ากับ 176 ลบ.ม./ตัน และนาปรังเท่ากับ 1,283 ลบ.ม./ตัน ค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์นาปีเท่ากับ 914 ลบ.ม./ตัน และนาปรังเท่ากับ 11 ลบ.ม./ตัน ซึ่งน้อยมากในฤดูนาปรัง ดังแสดงในภาพที่ 22 เกิดจากช่วงที่ทำการเพาะปลูกเพื่อได้ผลผลิตในช่วงฤดูแล้งที่มีฝนตกน้อย ทำให้ต้องพึ่งน้ำจากระบบชลประทานอย่างเดียวจึงส่งผลให้ค่าบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สูงในฤดูนาปรัง ในขณะที่ค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่มีค่าน้อยมากเนื่องมาจากปริมาณฝนที่ตกในช่วงนาปรังมีน้อย ในทางกลับกันในช่วงฤดูนาปีที่มีปริมาณฝนตกในพื้นที่มากทำให้เกษตรกรใช้น้ำจากระบบชลประทานเพียงเล็กน้อยเพื่อเติมน้ำในแปลงนาให้ได้ระดับที่เหมาะสม ในบางครั้งก็ต้องการปล่อยน้ำออกจากแปลงนาในกรณีที่มีฝนตกลงมามาก ส่งผลให้ค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่าสูงในฤดูนาปีเนื่องมาจากปริมาณการใช้น้ำจากฝน อย่างไรก็ตามค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมในทั้งสองช่วงฤดูกาลเพาะปลูกมีค่าที่ใกล้เคียงกันหรือต่างกันเล็กน้อย

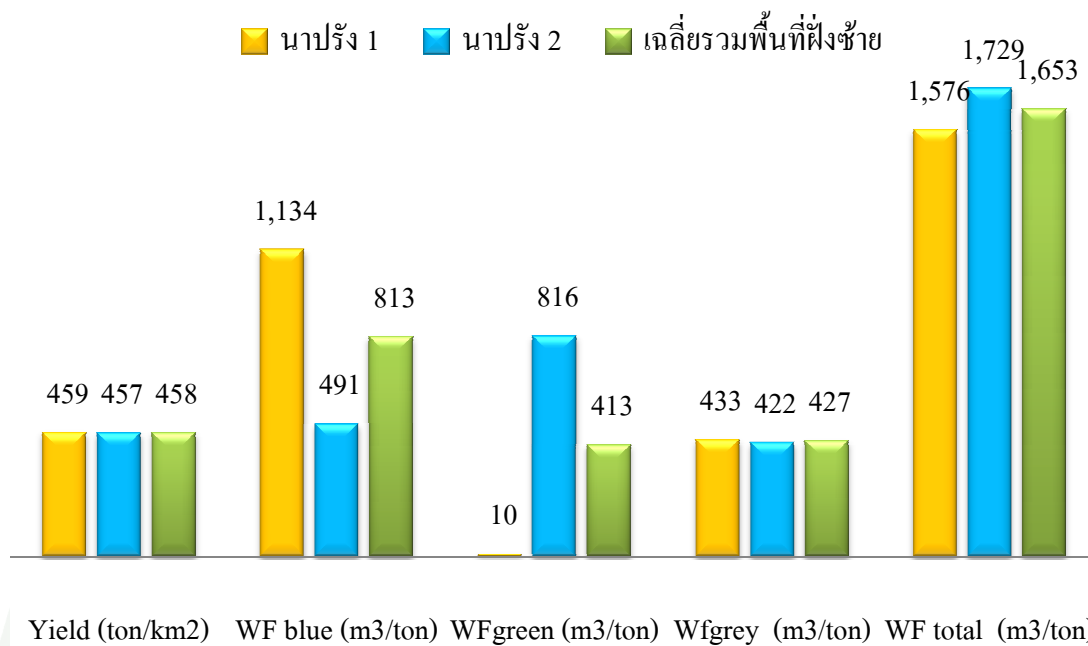
นั่น เป็นเพราะผลผลิตสุทธิต่อไร่ในพื้นที่เพาะปลูกของเกษตรกรแต่ละรายมีค่าใกล้เคียงกัน 488.07 และ 464.12 ในนาปีและนาปรังตามลำดับ ดังภาพที่ 23 ซึ่งผลผลิตต่อไร่ (Y) เป็นตัวส่วนในสมการคำนวณหาอัตรารุณปุ๋ยปรีนัท ในขณะที่เดียวกันจากปริมาณน้ำที่พืชใช้ (crop water use, CWU) ก็มีค่าใกล้เคียงกันในทุก 2 ฤดูกาลเพาะปลูก จึงส่งผลให้มีค่าอัตรารุณปุ๋ยปรีนัทรวมในพื้นที่ชลประทานมีค่าที่ใกล้เคียงกันตามไปด้วย ส่วนค่าการร่วอัตรารุณปุ๋ยปรีนัทนั้นทั้งนาปีและนาปรังมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากเกษตรกรในพื้นที่ได้มีการใช้ปุ๋ยในอัตราส่วน 25 กิโลกรัม/ไร่ โดยใช้ปุ๋ยสูตร 46-0-0 และ 16-20-0 ดังนั้นปริมาณน้ำที่ใช้ในการละลายปริมาณไนเตรด (NO_3) จึงขึ้นอยู่กับผลผลิตต่อไร่ (Y) ที่เป็นตัวส่วนในสมการคำนวณหาการร่วอัตรารุณปุ๋ยปรีนัท โดยที่ค่า α , AR และ $C_{\max}$ คิดเป็นค่าคงที่ ดังนั้นเมื่อผลผลิตต่อไร่ (Y) มีค่าใกล้เคียงกันจึงส่งผลให้ได้ค่าการร่วอัตรารุณปุ๋ยปรีนัททั้ง 2 ฤดูกาลมีค่าใกล้เคียงกัน



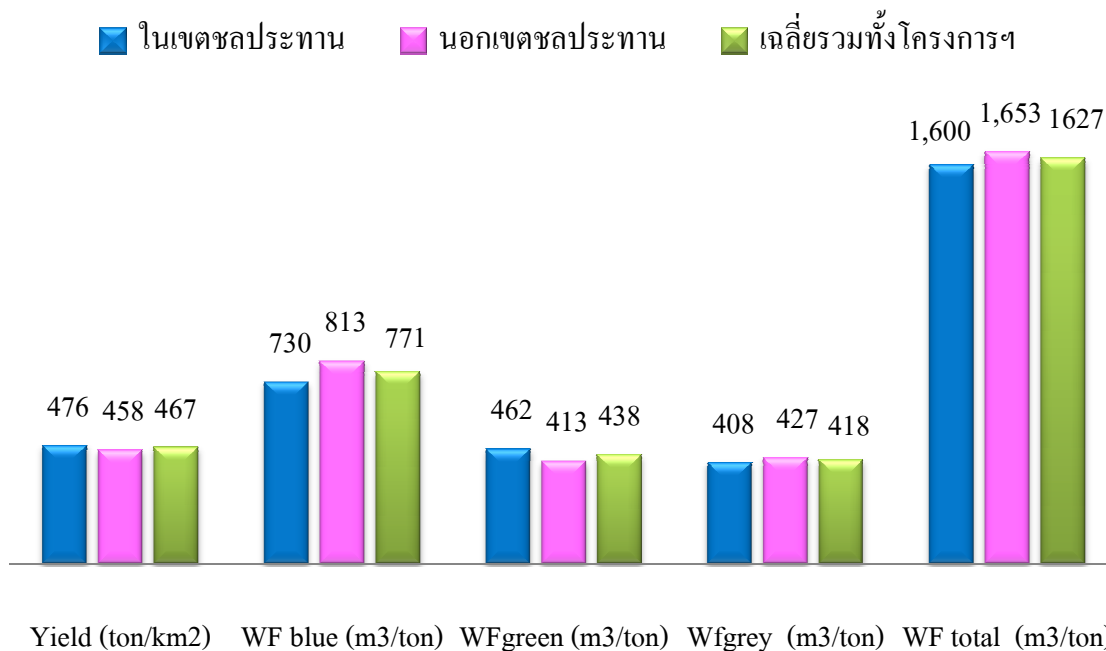
ภาพที่ 22 แสดงเปรียบเทียบค่าอัตรารุณปุ๋ยปรีนัทระหว่างนาปี นาปรัง และค่าอัตรารุณปุ๋ยปรีนัทเฉลี่ยของพื้นที่ในเขตชลประทาน โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม

ผลการคำนวณหาอัตรารุณปุ๋ยปรีนัทของพื้นที่นอกเขตชลประทาน พื้นที่ฝั่งซ้ายคลองชัยนาท - ป่าสัก จ.ลพบุรี ทั้ง 2 ช่วงฤดูกาลเพาะปลูก พบว่าค่าอัตรารุณปุ๋ยปรีนัทรวมมีค่าแตกต่าง

กันเล็กน้อย โดยช่วงฤดูนาปรังครั้งที่ 1 จะได้ค่าอวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ที่ต่ำกว่าช่วงฤดูนาปรังครั้งที่ 2 เท่ากับ 1,576 และ 1,729 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ ค่าเกรยวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ทั้งสองช่วงฤดูก็มีค่าที่ใกล้เคียงกันโดยนาปรังครั้งที่ 1 เท่ากับ 432 ลบ.ม./ตัน และนาปรังครั้งที่ 2 เท่ากับ 422 ลบ.ม./ตัน ซึ่งใกล้เคียงกันมาก ส่วนค่าที่ต่างกันอย่างเห็นได้ชัดคือค่า บลูวอเตอร์ฟุตปริ้นท์และค่ากรีนวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ โดยค่าบลูวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ในฤดูนาปรังครั้งที่ 1 เท่ากับ 1,134 ลบ.ม./ตัน และนาปรังครั้งที่ 2 เท่ากับ 491 ลบ.ม./ตัน ค่ากรีนวอเตอร์ฟุตปริ้นท์นาปรังครั้งที่ 1 เท่ากับ 10 ลบ.ม./ตัน และนาปรังครั้งที่ 2 เท่ากับ 816 ลบ.ม./ตัน ดังแสดงในภาพที่ 23 ซึ่งเกิดจากช่วงที่ทำการเพาะปลูกเพื่อได้ผลผลิตในช่วงฤดูแล้งที่มีฝนตกน้อย ทำให้ต้องพึ่งน้ำจากผิวดินหรือน้ำจากชลประทานอย่างเดียว จึงส่งผลให้ค่าบลูวอเตอร์ฟุต ปริ้นสูงในฤดูนาปรังครั้งที่ 1 ในขณะที่ค่ากรีนวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ที่มีค่าน้อยมากเนื่องมาจากปริมาณฝนที่ตกในช่วงนาปรังครั้งที่ 1 มีน้อย ส่วนในช่วงฤดูนาปรังครั้งที่ 2 เริ่มมีปริมาณฝนตกในพื้นที่ ทำให้เกษตรกรใช้น้ำฝนและน้ำจากผิวดินหรือจากชลประทาน เพื่อเติมน้ำในแปลงนาให้ได้ระดับที่เหมาะสม ส่งผลให้ค่ากรีนวอเตอร์ฟุตปริ้นท์มีค่าสูงในฤดูนาปรังครั้งที่ 2 เนื่องมาจากปริมาณการใช้น้ำจากฝนบางส่วน อย่างไรก็ตามค่าอวอเตอร์ฟุตปริ้นท์รวมในทั้งสองช่วงฤดูกาลเพาะปลูกมีค่าที่ใกล้เคียงกันหรือต่างกันเล็กน้อยนั้น เป็นเพราะผลผลิตสุทธิต่อไร่ในพื้นที่ชลประทานมีค่าใกล้เคียงกัน 459.03 และ 456.88 ตันต่อตารางกิโลเมตรในนาปรังครั้งที่ 1 และนาปรังครั้งที่ 2 ตามลำดับ ซึ่งผลผลิตต่อไร่ (Y) เป็นตัวส่วนในสมการคำนวณหาอวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ ในขณะที่ค่าเกรยวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ที่พืชใช้ (crop water use, CWU) ก็มีค่าใกล้เคียงกันในทุก 2 ฤดูกาลเพาะปลูก จึงส่งผลให้มีค่าอวอเตอร์ฟุตปริ้นท์รวมในพื้นที่ชลประทานมีค่าที่ใกล้เคียงกันตามไปด้วย ส่วนค่าเกรยวอเตอร์ฟุตปริ้นท์นั้นทั้งนาปีและนาปรังมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากเกษตรกรในพื้นที่ได้มีการใช้ปุ๋ยในอัตราส่วนเฉลี่ย 25 กิโลกรัม/ไร่ โดยใช้ปุ๋ยสูตร 46-0-0 และ 16-20-0 ดังนั้นปริมาณน้ำที่ใช้ในการละลายปริมาณไนเตรด (NO_3) จึงขึ้นอยู่กับผลผลิตต่อไร่ (Y) ที่เป็นตัวส่วนในสมการคำนวณหาค่าเกรยวอเตอร์ฟุต ปริ้น ดังนั้นเมื่อผลผลิตต่อไร่ (Y) มีค่าใกล้เคียงกันจึงส่งผลให้ได้ค่าเกรยวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ทั้ง 2 ฤดูกาลมีค่าใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกันกับพื้นที่ในเขตชลประทาน โดยปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการคำนวณหาอวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ในการศึกษาครั้งนี้ได้แก่ค่าผลผลิตต่อไร่และการใส่ปุ๋ยเคมีของเกษตรกรแต่ละราย ภายใต้การเงื่อนไขของพื้นที่การศึกษา พันธุ์ข้าวหรือวิธีการที่เพาะปลูกเนื่องจากเป็นการศึกษาในระดับพื้นที่เล็กๆ ค่าต่างๆดังกล่าวเกษตรกรในพื้นที่จึงมีวิธีการเพาะปลูกที่เป็นแบบแผนเดียวกันคือใช้วิธีการนาหว่านน้ำตมและพันธุ์ข้าวก็ใช้พันธุ์ข้าวที่เหมือนกัน

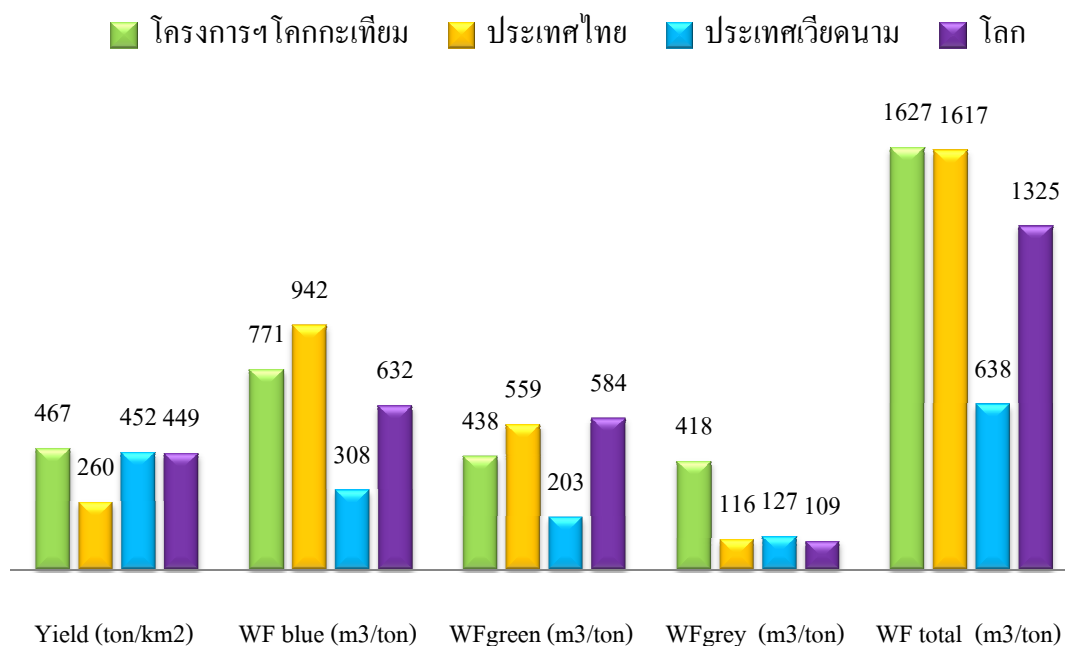


ภาพที่ 23 แสดงเปรียบเทียบค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ระหว่างนาปรังครั้งที่ 1 นาปรังครั้งที่ 2 และค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยของพื้นที่นอกเขตชลประทาน พื้นที่ฝั่งซ้ายคลองชัยนาท – ป่าสัก



ภาพที่ 24 แสดงค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยรวมทั้งโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกระเทียม

เมื่อเปรียบเทียบกับค่าวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ของข้าวเฉลี่ยระหว่างพื้นที่ปลูกข้าวในเขตชลประทานโครงการฯ โลกกะเทียมและพื้นที่ฝั่งซ้ายคลองชัยนาท - ป่าสัก ที่อยู่นอกเขตชลประทาน ดังภาพที่ 25 พบว่าค่าที่ได้ ไม่ต่างกันมาก เนื่องจากค่าคงที่ต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แตกต่างกันที่ช่วงเวลาของการเพาะปลูกและผลผลิตของเกษตรกรแต่ละรายในพื้นที่ศึกษาเท่านั้น อย่างไรก็ตาม พื้นที่ศึกษา ฝั่งซ้ายของคลองชัยนาท-ป่าสัก ถึงแม้จะเป็นพื้นที่นอกเขตชลประทาน แต่เกษตรกรในพื้นที่ได้มีการร้องขอใช้น้ำจากคลองชัยนาท-ป่าสัก ผ่านโรงสูบน้ำต่างๆที่ตั้งอยู่ทางฝั่งซ้ายของคลองชัยนาท - ป่าสัก เพื่อใช้ในการเพาะปลูกข้าวอยู่เป็นประจำ จึงเป็นตัวแปรหนึ่งที่ทำให้พื้นที่ดังกล่าวไม่ได้แตกต่างกับพื้นที่ในเขตชลประทานมากนัก ที่แตกต่างกันก็คือพื้นที่ฝั่งซ้ายคลองชัยนาท - ป่าสักเป็นพื้นที่ลุ่มต่ำพอถึงช่วงฤดูน้ำหลากประมาณเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน ของทุกปี จะถูกน้ำซึ่งไหลบ่ามาจาก อ. โลกเจริญ อ. สระโบสถ์ อ. ชัยบาดาล ไหลบ่าเข้าท่วม พื้นที่ อ. โลกสำโรง อ. บ้านหมี่และ อ. เมืองลพบุรี เป็นประจำทุกปีทำให้เกษตรกรในพื้นที่ต้องปรับช่วงเวลาในการเพาะปลูกเพื่อหนีน้ำท่วม และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวอเตอร์ฟุตปริ้นท์เฉลี่ยของประเทศไทยที่คำนวณโดย Chapagain และ Hoekstra (2010) มีค่าเท่ากับ 1,617 ลบ.ม./ตัน โดยแบ่งเป็นกรีนวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ 942 ลบ.ม./ตัน บลูวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ 559 ลบ.ม./ตัน และเกรย์วอเตอร์ฟุตปริ้นท์ 116 ลบ.ม./ตัน พบว่า ค่าที่ได้ค่อนข้างแตกต่างกันมาก อันเนื่องมาจากมีการใช้ค่าคงที่บางค่า ที่ใช้ในการคำนวณมีความแตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น ค่า K_c ซึ่งการศึกษานี้ได้ใช้ค่า K_c จากกรมชลประทานซึ่งมีค่าที่สูงกว่าค่า K_c ของ FAO. ดังแสดงในภาพที่ 13 และค่าความเข้มข้นมากที่สุดที่ยอมรับได้หรือค่า C_{max} ในการคำนวณปริมาณของเกรย์วอเตอร์ฟุตปริ้นท์ ในการศึกษานี้ได้คิดจากปริมาณของไนโตรเจน (N) ที่มีอยู่ในปุ๋ยที่เกษตรกรได้ทำการใส่ลงในแปลงนา โดยใช้ค่ามาตรฐานของกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่กำหนดให้มีไนเตรด (NO_3) ในน้ำในหน่วยไนโตรเจนต้องมีค่าไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นค่าที่เข้มข้นกว่างานวิจัยของ Chapagain และ Hoekstra (2011) ที่ใช้ค่าความเข้มข้นที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้ค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตปริ้นท์มีค่าสูงกว่าถึง 4 เท่า รวมทั้งในการศึกษาหาค่าวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ของข้าวในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโลกกะเทียมนี้ได้มีการคิดรวมพื้นที่ฝั่งซ้ายคลองชัยนาท - ป่าสักซึ่งเป็นพื้นที่ที่อยู่นอกเขตชลประทานที่มีผลผลิตต่อไร่ที่น้อยกว่าการเพาะปลูกในเขตชลประทานเข้าไปด้วย อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ได้ใช้ค่าต่างๆจากข้อมูลจริงที่ได้จากการสำรวจในสนามที่ละเอียดกว่าและน่าจะเป็นค่าที่มีความถูกต้องสำหรับประเทศไทยมากกว่าในการคำนวณ

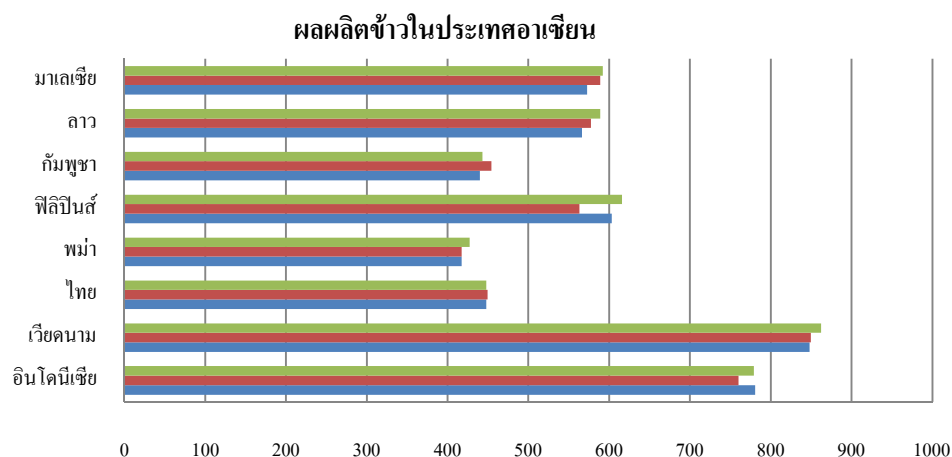


ภาพที่ 25 เปรียบเทียบค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวระหว่างประเทศไทย, ประเทศเวียดนามและค่าเฉลี่ยของโลก

การประเมินผลกระทบของ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์นอกจากปริมาณน้ำทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตสินค้า จากสภาพแวดล้อมและกรรมวิธีการผลิตที่ต่างกันแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงแหล่งน้ำ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งแบ่งออกเป็น “blue water” (น้ำใต้ดิน น้ำผิวดินและน้ำที่มาจากการชลประทาน, “green water” (ปริมาณน้ำฝนที่ระเหยในกระบวนการผลิต) และ “gray water” (ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น) จึงจะสามารถเปรียบเทียบได้ว่าการผลิตสินค้าในแต่ละแห่งมีผลกระทบต่อการใช้น้ำแตกต่างกันอย่างไร ยกตัวอย่างเช่นประเทศเวียดนามซึ่งมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์น้อยกว่าประเทศไทยเป็นเท่าตัวนั้น จากข้อมูลพบว่าประเทศเวียดนามมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวเฉลี่ยประมาณ 46 ล้านไร่ โดยมีพื้นที่เพาะปลูกในเขตชลประทานร้อยละ 80 ของพื้นที่ทางการเกษตรทั้งหมด ในขณะที่เวียดนาม ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวเฉลี่ยประมาณ 65 ล้านไร่ โดยมีพื้นที่เพาะปลูกในเขต ชลประทานเพียงร้อยละ 22 ของพื้นที่ทางการเกษตรทั้งหมด ส่งผลให้ประเทศไทยมีความสามารถในการผลิตข้าวเฉลี่ยได้ 448 กก. ต่อไร่ ไร่ ซึ่งเป็นอันดับที่ 13 ของเอเชีย และอันดับที่ 7 ของอาเซียน ต่างจากประเทศเวียดนามที่มีผลผลิตต่อไร่เฉลี่ยประมาณ 853 กก. ต่อไร่ สูงเป็นอันดับ 4 ของเอเชีย ดังแสดงในภาพที่ 31

ตารางที่ 14 แสดงค่าอเวอร่าจของฟุตพริ้นท์ของข้าวเฉลี่ยใน 13 ประเทศ

Country	Water footprint				Percolation		
	Green	Blue	Grey	Total	Rain water	Irrigation water	Total
China	367	487	117	971	338	448	785
India	1077	826	116	2020	794	609	1403
Indonesia	583	487	118	1187	505	422	927
Bangladesh	549	577	103	1228	550	578	1128
Viet Nam	308	203	127	638	420	277	697
Thailand	942	559	116	1617	787	467	1253
Myanmar	846	378	50	1274	763	341	1103
Japan	341	401	61	802	348	409	757
Phillppines	844	423	78	1345	775	388	1163
Brazil	791	670	61	1521	691	585	1276
USA	227	835	101	1163	141	517	658
Korea, Rep.	356	388	84	829	303	331	634
Pakistan	421	2364	88	2874	248	1394	1642



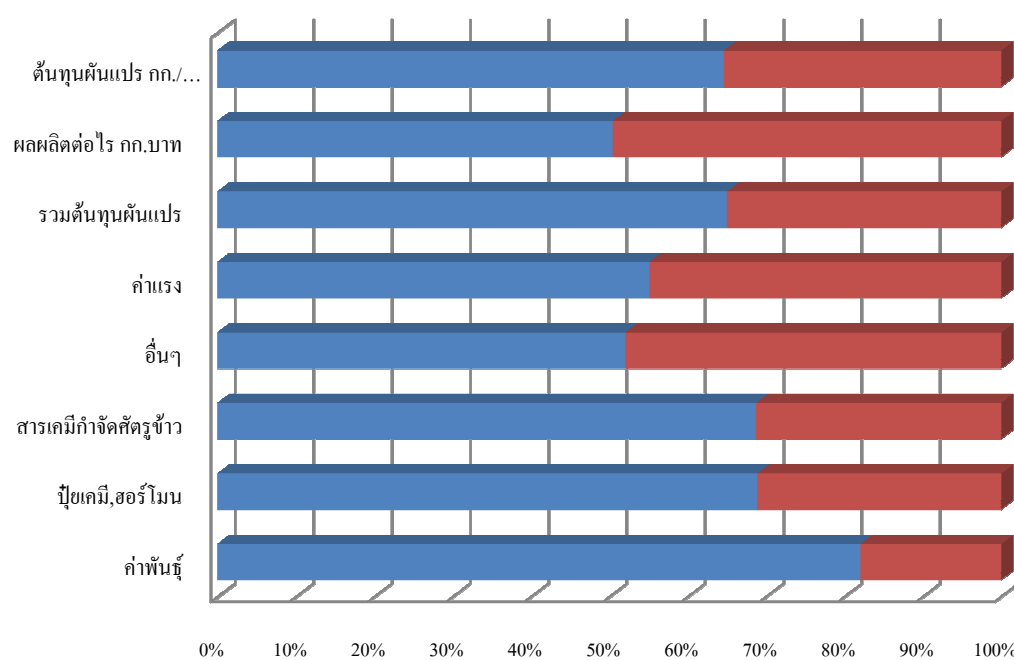
	อินโดนีเซีย	เวียดนาม	ไทย	พม่า	ฟิลิปปินส์	กัมพูชา	ลาว	มาเลเซีย
■ ผลผลิตต่อไร่ ปี 54 (กก./ไร่)	779.2	862.4	448	427.2	616	443.2	588.8	592
■ ผลผลิตต่อไร่ ปี 53 (กก./ไร่)	760	849.6	449.6	417.6	563.2	454.4	577.6	588.8
■ ผลผลิตต่อไร่ ปี 52 (กก./ไร่)	780.8	848	448	417.6	603.2	440	566.4	572.8

ภาพที่ 26 แสดงผลผลิตต่อไร่ของข้าวในประเทศอาเซียน

ที่มา: ศูนย์ศึกษาการค้าระหว่างประเทศ มหาวิทยาลัยหอการค้า

สำหรับประเทศไทย ข้าวเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญอันดับต้นๆซึ่งมีค่าอเดอร์ฟุตพริ้นท์ที่ยังสูงอยู่มากเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของโลกและประเทศเวียดนามซึ่งเป็นคู่แข่งด้านการส่งออกข้าวของไทยในระดับโลก ดังนั้นการพัฒนาเทคนิคในการผลิตเพื่อให้การผลิตข้าวมีการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดการสูญเสียในระหว่างกระบวนการผลิตและลดปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น รวมทั้งการพัฒนาผลผลิตต่อหน่วยให้เพิ่มขึ้น จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้ไทยสามารถรักษาศักยภาพในการแข่งขันในตลาดโลกเอาไว้ได้ ในขณะเดียวกันก็จะเป็นการผลิตที่ยั่งยืนต่อสิ่งแวดล้อมระยะยาวในอนาคต จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าในหนึ่งปีประเทศไทยมีการสูญเสียน้ำไปกับการส่งออกข้าวไปยังต่างประเทศในรูปแบบน้ำเสมือนหรืออเดอร์ฟุตพริ้นท์สูงถึง 27,766 ล้าน ลบ.ม. ต่อปี (Chapagain et al. (2006))

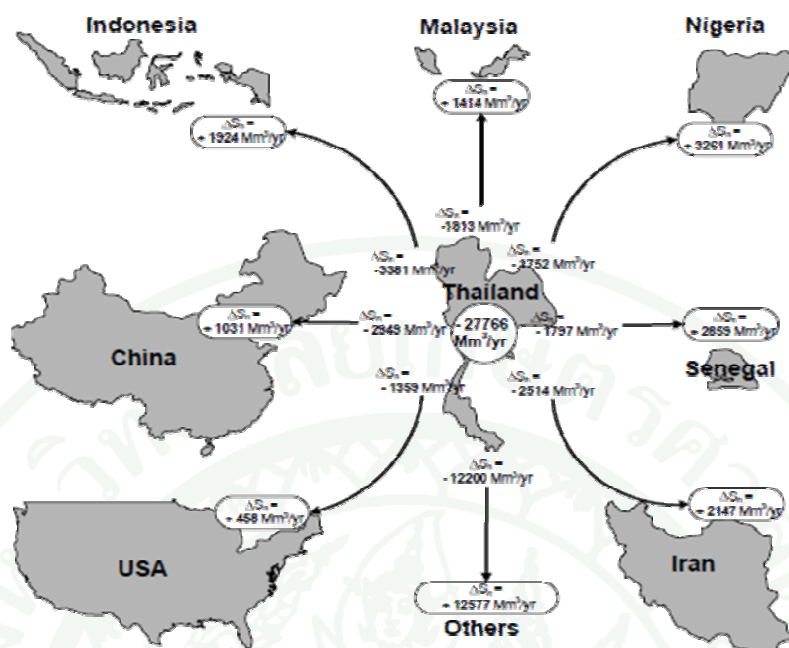
ต้นทุนการผลิตข้าว ไทย-เวียดนาม/บาท



	ค่าพันธุ์	ปุ๋ยเคมี, สอร์โมน	สารเคมีกำจัดศัตรูข้าว	อื่นๆ	ค่าแรง	รวมต้นทุนผันแปร	ผลผลิตต่อไร่ กก./บาท	ต้นทุนผันแปร กก./บาท
■ ไทย	576	2199.8	376.4	122.3	1301.4	4575.9	814	5.62
■ เวียดนาม	125.3	994.99	171.46	112.76	1060.17	2464.68	800	3.08

ภาพที่ 27 แสดงเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตข้าวระหว่างไทยและเวียดนาม

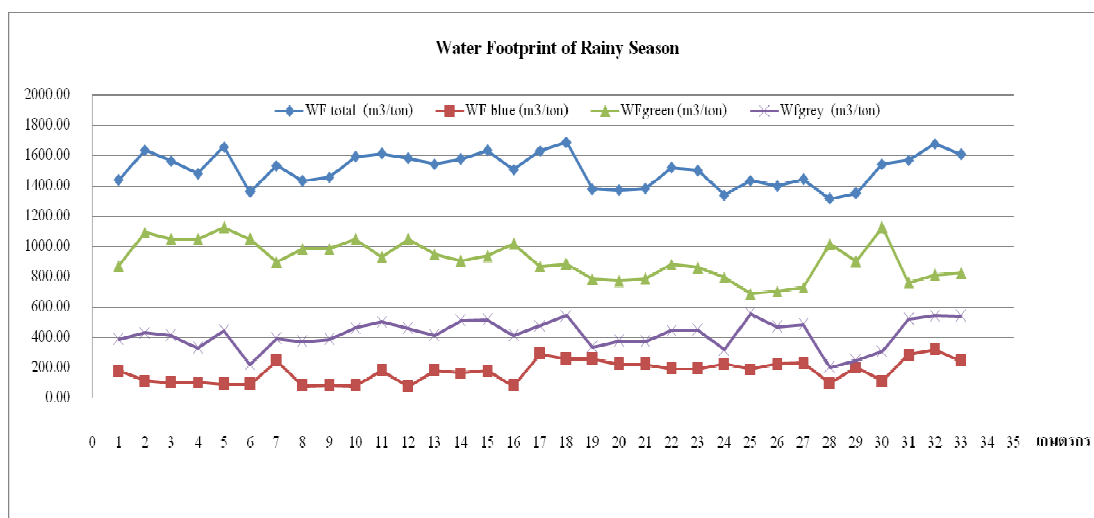
ที่มา: ศูนย์ศึกษาการค้าระหว่างประเทศ มหาวิทยาลัยหอการค้า



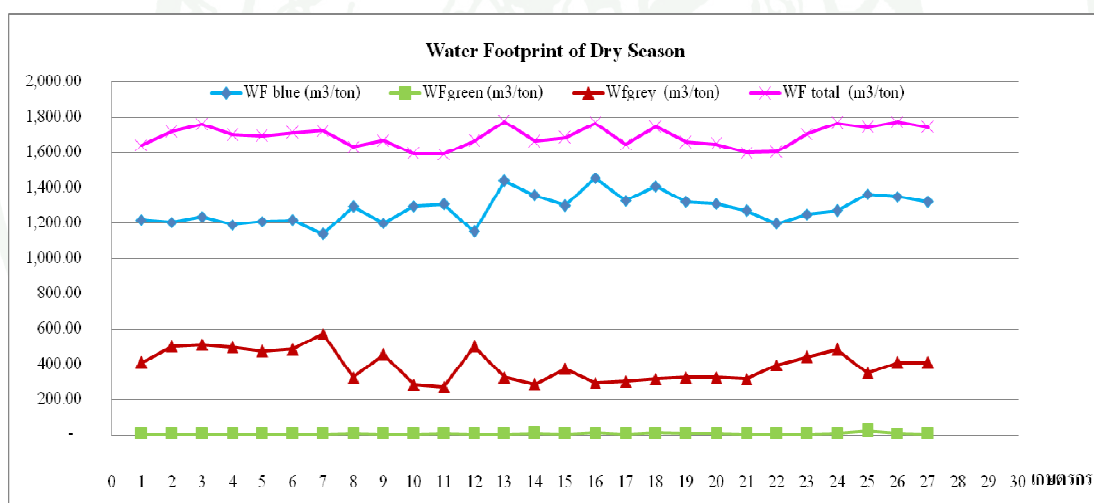
ภาพที่ 28 แสดงปริมาณน้ำเสมือนที่ไทยส่งออกเข้าสู่ตลาดโลก

ที่มา: Chapagain et al. (2006)

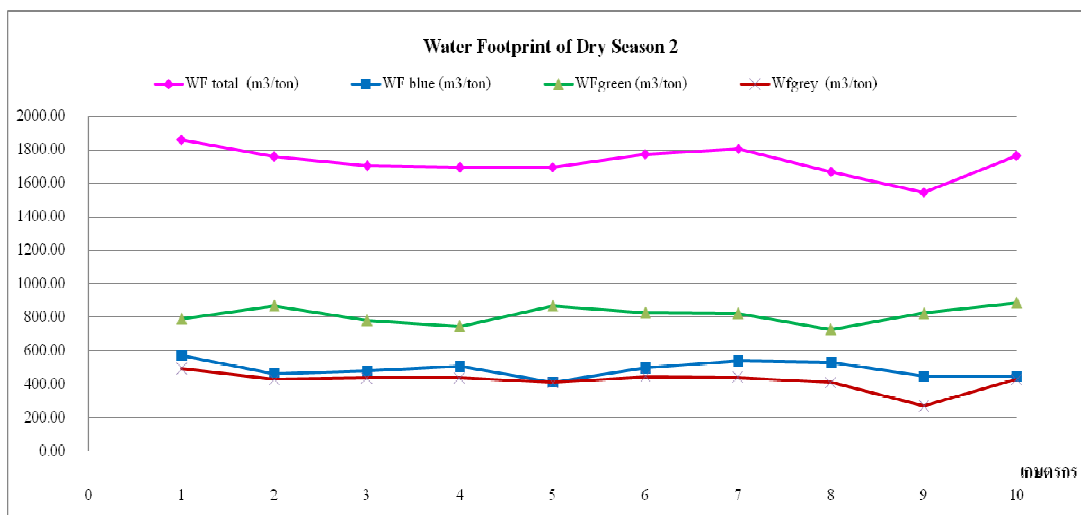
ผลการคำนวณค่าอวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของเกษตรแต่ละรายจะให้ค่าที่แตกต่างกันไปตามแต่ละพื้นที่และสภาพการเพาะปลูกที่แตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น ช่วงเวลาการเพาะปลูกที่ต่างกันส่งผลต่อการคำนวณค่าอวอเตอร์ฟุตพริ้นท์และกรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ เนื่องจากปริมาณน้ำต่างๆในแปลงนาที่ต้องใช้หลักการสมดุลน้ำในแปลงนาหรือสมดุลน้ำในเขตรากพืช ค่าการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกัน สูตรของปุ๋ยที่ต่างกันและปริมาณที่ต่างกันก็ย่อมส่งผลต่อค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ดังแสดงในภาพที่ 27 ถึง ภาพที่ 30 และการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้มีการพิจารณาถึงพันธุ์ข้าวที่เกษตรกรแต่ละรายในพื้นที่ศึกษาปลูก



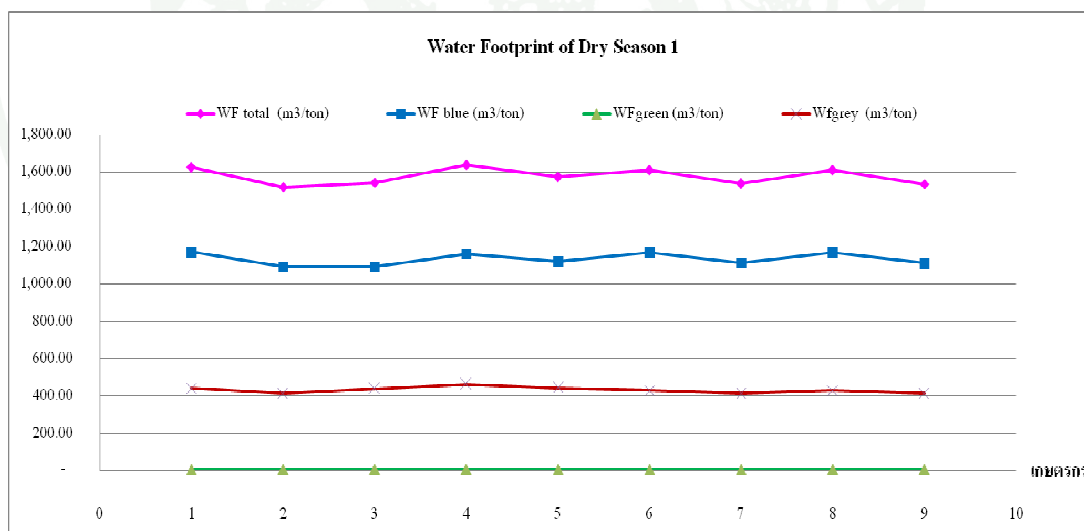
ภาพที่ 29 แสดงค่าอวอร์ฟุตปริ้นท์ของเกษตรกรแต่ละรายฤดูนาปีในเขตพื้นที่ชลประทาน



ภาพที่ 30 แสดงค่าอวอร์ฟุตปริ้นท์ของเกษตรกรแต่ละรายฤดูนาปรังในเขตพื้นที่ชลประเท



ภาพที่ 31 แสดงค่าอวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของเกษตรกรแต่ละรายฤดูนาปรังครั้งที่ 2 ในพื้นที่นอกเขตชลประทาน



ภาพที่ 32 แสดงค่าอวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของเกษตรกรแต่ละรายฤดูนาปรังครั้งที่ 1 ในพื้นที่นอกเขตชลประทาน

ผลการศึกษาหาค่าประสิทธิภาพการชลประทานของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียมนี้เป็นการศึกษาหาค่าประสิทธิภาพการชลประทานที่ปากคลองส่งน้ำเนื่องจากมีข้อมูลการตรวจวัดปริมาณน้ำที่ส่งเข้าคลองส่งน้ำสายซอยเท่านั้น ซึ่งค่าต่างๆที่คำนวณได้ตามทฤษฎีในช่วงฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 267.9 % และช่วงฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 144.1 % จากตัวเลขค่าประสิทธิภาพการชลประทานมีค่าเกิน 100 % สืบเนื่องมาจากในพื้นที่เพาะปลูกข้าวของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียมนี้เป็นพื้นที่ราบลุ่ม มีน้ำท่วมขังเป็นประจำเกษตรกรในพื้นที่จึงได้ใช้ประโยชน์จากน้ำส่วนนี้ในการเตรียมแปลง และพื้นที่เพาะปลูกข้าวบางส่วนมีการใช้น้ำจากบ่อน้ำธรรมชาติหรือบ่อขุดขึ้นเอง ส่วนเกษตรกรที่อยู่ด้านปลายคลองส่งน้ำนั้นก็ได้มีการนำน้ำจากคลองระบายใหญ่ชยันตา-ป่าสัก 3 และคลองระบายใหญ่เริงรางมาใช้ในการเพาะปลูกด้วย ส่งผลให้ค่าความต้องการใช้น้ำของพืชที่คำนวณได้ตามทฤษฎีนั้นมีค่ามากกว่าการส่งน้ำจริงอยู่มาก เนื่องจากปัจจัยดังกล่าว และเมื่อหารด้วยค่าการส่งน้ำจริงของโครงการฯ แล้วจึงส่งผลให้ค่าที่เกิน 100 % โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝนนั้นพบว่าค่าที่ได้มีค่าสูงมากถึง 267.9 % เนื่องจากช่วงฤดูฝนนั้นมีการใช้น้ำฝนในการเพาะปลูกเป็นหลัก ดังนั้นน้ำจากระบบชลประทานจะเป็นเพียงปริมาณน้ำที่ส่งเสริมให้กับเกษตรกรมีปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อการเพาะปลูก

จากการศึกษาหาค่าอัตรารุ่ดปรินท์แล้วยังสามารถนำมาแปลงค่าเป็นตัวเลขในเชิงเศรษฐศาสตร์ได้โดยการคิดคำนวณปริมาณอัตรารุ่ดปรินท์ที่ได้ให้เป็นจำนวนเงินบาทต่อปริมาณน้ำหนึ่งลูกบาศก์เมตรของการใช้น้ำในกระบวนการผลิต ซึ่งผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าในพื้นที่ศึกษาโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียมในปีเพาะปลูก 2552-2553 นั้นได้ค่าการใช้น้ำของเกษตรกรอยู่ที่ 6.15 บาทต่อหนึ่งลูกบาศก์เมตร ในที่นี้คิดจากราคาขายข้าวเปลือกจังหวัดลพบุรีปี 2552-2553 โดยใช้พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี 1 คิดที่ความชื้น 24 – 25% เป็นตัวแทนของพันธุ์ข้าวในพื้นที่ราคาซื้อขาย 9,500 – 10,500 บาทต่อตัน (สำนักงานพาณิชย์จังหวัดลพบุรี, 2552) ราคาข้าวเปลือกอาจจะมีการปรับตัวสูงขึ้นในแต่ละปี เนื่องจากโรงสีส่วนใหญ่ได้เข้าร่วมโครงการรับจำนำข้าวของรัฐบาล

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษานี้ได้ทำการคำนวณหา ค่าบวอเตอร์ฟุตปรีนธ์ กรีนวอเตอร์ฟุตปรีนธ์ และเกรย์วอเตอร์ฟุตปรีนธ์ ของข้าวในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม ในช่วงปีเพาะปลูก 2552/2553 ทั้ง 2 ช่วงฤดูกาลเพาะปลูก นาปีและนาปรังทั้งในพื้นที่ในเขตชลประทานและพื้นที่นอกเขตชลประทาน พบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตปรีนธ์ของข้าวเฉลี่ยรวมของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม เท่ากับ 1,627 ลบ.ม./ตัน แยกเป็นค่าบวอเตอร์ฟุตปรีนธ์ 771 ลบ.ม./ตันหรือคิดเป็นร้อยละ 47 ค่ากรีนวอเตอร์ฟุตปรีนธ์ 438 ลบ.ม./ตันหรือคิดเป็นร้อยละ 27 และค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตปรีนธ์ 418 ลบ.ม./ตัน หรือคิดเป็นร้อยละ 26 และเมื่อนำค่าต่างๆที่ได้จากการศึกษามาเปรียบเทียบกับค่าวอเตอร์ฟุตปรีนธ์ของข้าวจากนักวิจัยท่านอื่นๆและค่าที่ได้ศึกษาจาก FAO. สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 แสดงเปรียบเทียบค่าวอเตอร์ฟุตปรีนธ์ของข้าวเฉลี่ย

วอเตอร์ฟุตปรีนธ์	ในเขตฯ	นอกเขตฯ	โคกกะเทียม	ไทย	เวียดนาม	โลก
WF blue (m ³ /ton)	730	813	771	942	308	632
WFgreen (m ³ /ton)	462	413	438	559	203	584
Wfgrey (m ³ /ton)	408	427	418	116	127	109
WF total (m ³ /ton)	1600	1653	1627	1617	638	1325
Yield (Km/rai)	762	733	747	448	850	718

ค่าวอเตอร์ฟุตปรีนธ์ของข้าวเฉลี่ยโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม เปรียบเทียบกันระหว่างพื้นที่ในเขตชลประทานและพื้นที่นอกเขตชลประทานพบว่าได้ค่าที่แตกต่างกันเล็กน้อย 762 และ 733 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ เหตุผลที่ทำให้ได้ค่าที่แตกต่างกันแน่นอนว่าในพื้นที่ในเขตชลประทานที่มีระบบชลประทานที่สมบูรณ์กว่ามีการส่งน้ำให้น้ำอย่างเป็นระบบย่อมส่งผลต่อ

การใช้น้ำที่มีประสิทธิภาพและให้ผลผลิตต่อไร่ที่มากกว่าในพื้นที่ที่อยู่นอกเขตชลประทานที่ยังไม่มีระบบชลประทานที่สมบูรณ์ แต่อย่างไรก็ตามในพื้นที่ศึกษา โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียมนั้นจะเห็นว่าค่าอวอร์ฟุตปริ้นท์รวมนั้นมีค่าต่างกันไม่มาก ต่างกันเพียง 29 ลบ.ม./ตันเท่านั้นเนื่องมาจากพื้นที่ฝั่งซ้ายคลองชัยนาทป่าสักนั้นถึงแม้จะเป็นพื้นที่ที่อยู่นอกเขตชลประทานก็จริงแต่ได้มีการใช้น้ำจากคลองชัยนาท – ป่าสักบางส่วน ผ่านทางโรงสูบน้ำจำนวน 4 แห่งได้แก่ โรงสูบน้ำปากคลองสระตาแว , โรงสูบน้ำปากคลองสะพานขาว , โรงสูบน้ำปากคลองโพนทอง และโรงสูบน้ำปากคลอง สนามแจง ซึ่งโรงสูสดังกล่าวนั้นสร้างขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อบรรเทาปัญหาอุทกภัยในฤดูน้ำหลาก แต่เมื่อถึงช่วงฤดูแล้งเกษตรกรในพื้นที่ก็ได้มีการร้องขอให้ทางชลประทานทำการสูบน้ำเข้าคลองธรรมชาติเพื่อใช้ในการเกษตรในช่วงฤดูแล้งได้ ส่วนค่าบวอวอร์ฟุตปริ้นท์ , กรีนวอวอร์ฟุตปริ้นท์ และค่าเกรย์วอวอร์ฟุตปริ้นท์ นั้นก็มีค่าที่ใกล้เคียงกันมากเช่นเดียวกัน

และเมื่อพิจารณาในระดับประเทศและระดับโลกโดย พบว่าอวอร์ฟุตปริ้นท์ของข้าวในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียมนั้นมีค่า ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของประเทศไทยมากกว่าเพียงเล็กน้อย 1,627 และ 1,617 ตามลำดับ สำหรับค่าอวอร์ฟุตปริ้นท์เฉลี่ยของข้าวประเทศไทยเมื่อพิจารณาเทียบกับประเทศเวียดนามและค่าเฉลี่ยของโลกแล้วพบว่า ประเทศไทยมีค่าอวอร์ฟุตปริ้นท์เฉลี่ยของข้าวที่สูงกว่าประเทศเวียดนามมากถึงเกือบ 3 เท่าและยังสูงกว่าค่าเฉลี่ยของโลกอยู่มาก โดยมีค่า 1671 , 638 และ 1325 ตามลำดับ โดยคิดเป็นสัดส่วนดังตารางที่ 15

ตารางที่ 16 แสดงเปรียบเทียบสัดส่วนค่าอวอร์ฟุตปริ้นท์จากการศึกษา

	Waterfootprint	Blue	%	Green	%	Gray	%
		Waterfootprint		Waterfootprint		Waterfootprint	
study	1627	771	47	438	27	418	26
Thailand	1617	942	58	559	35	116	7
Vietnam	638	308	48	203	32	127	20
World	1325	632	48	584	44	109	8

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม จังหวัดลพบุรีนี้เป็นการคำนวณโดยใช้แบบจำลองและสมการทางคณิตศาสตร์ต่างๆ เช่น Penman Monteith , Kc , Water Balance ในแปลงนาและเขตรากพืช ไม่ใช่การวัดจริงแต่ได้มีการใช้ข้อมูลจากการลงพื้นที่สำรวจพฤติกรรมและการเพาะปลูกของเกษตรกร เช่น ข้อมูลผลผลิตต่อไร่ พื้นที่เพาะปลูก ช่วงระยะเวลาที่ทำการเพาะปลูก และปริมาณการใส่ปุ๋ยเคมีจากแบบสำรวจของกรมชลประทาน เพื่อใช้ในการศึกษา โดยไม่ได้มีการคิดละเอียดถึงพันธุ์ข้าวเนื่องจากในพื้นที่ศึกษานั้นเป็นระดับเล็กๆ ระดับโครงการชลประทานที่พื้นที่ไม่มาก พันธุ์ข้าวที่เกษตรกรในพื้นที่ปลูกจึงไม่แตกต่างกัน เช่น พันธุ์สุพรรณบุรี หรือชัยนาท ซึ่งพันธุ์ข้าวดังกล่าวเป็นข้าวอายุสั้นเฉลี่ยประมาณ 120 วันและส่วนใหญ่ใช้วิธีการเพาะปลูกเหมือนกันคือใช้วิธีการนาหว่านน้ำตม การใช้น้ำจึงไม่แตกต่างกันมากนัก ในกรณีที่ทำการศึกษาในระดับใหญ่ๆ เช่นในระดับประเทศที่มีพื้นที่เพาะปลูกมากๆ พันธุ์ข้าวต่างๆที่ใช้ปลูกย่อมแตกต่างกันไปตามแต่ละพื้นที่ รวมทั้งวิธีการเพาะปลูกของเกษตรกรย่อมมีวิธีการที่แตกต่างกันออกไปตามแต่ละพื้นที่เช่นเดียวกัน ยกตัวอย่างเช่นบางพื้นที่เพาะปลูกโดยใช้วิธีนาดำหรือบางพื้นที่ใช้วิธีนาหว่านซึ่งการใช้น้ำก็จะไม่เท่ากัน ค่าคงที่ต่างๆเช่นค่า Kc การเลือกใช้ค่า Kc ที่แตกต่างกันก็ส่งผลต่อการคิดปริมาณน้ำที่พืชใช้ ค่าความยาวรากพืช ค่าการซึมน้ำของดิน และการใช้ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของไนโตรเจนในปุ๋ยและค่าการรั่วซึมออกของปุ๋ยมีผลต่อการคิดคำนวณการใช้น้ำในส่วนของการคำนวณฟุตพริ้นท์อย่างมาก จากตัวอย่างข้างต้นแสดงให้เห็นว่าค่าคงที่หรือตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการศึกษานั้นค่อนข้างที่จะมีผลต่อการใช้น้ำและการคำนวณหาฟุตพริ้นท์โดยตรง การศึกษาครั้งต่อไปควรมีการศึกษาที่ละเอียดและใช้ค่าคงที่ต่างๆที่เป็นมาตรฐานเดียวกันเพื่อให้ค่าที่ถูกต้องและเป็นมาตรฐานเดียวกัน และเห็นควรให้มีการศึกษาโดยการทำซ้ำหลายๆปีการเพาะปลูกเนื่องจากผลผลิตหรือตัวแปรต่างๆย่อมแตกต่างกันไปในแต่ละปี

สำหรับประเทศไทย ข้าวเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญอันดับต้นๆซึ่งมีฟุตพริ้นท์ที่ยังสูงอยู่มากเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของโลกและประเทศเวียดนามซึ่งเป็นคู่แข่งด้านการส่งออกข้าวของไทยในระดับโลก ดังนั้นภาครัฐหรือผู้มีส่วนเกี่ยวข้องควรให้ความสำคัญในการพัฒนาเทคนิคในการผลิตเพื่อให้การผลิตข้าวมีการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดการสูญเสียในระหว่างกระบวนการผลิตและลดปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น รวมทั้งการพัฒนาผลผลิตต่อหน่วยให้เพิ่มขึ้น

จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้ไทยสามารถรักษาสักยภาพในการแข่งขันในตลาดโลกเอาไว้ได้ ในขณะที่เดียวกันก็จะเป็นการผลิตที่ยั่งยืนต่อสิ่งแวดล้อมระยะยาวในอนาคต



เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมชลประทานกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2537. คำสัมประสิทธิภาพใช้น้ำของพืช. งานวางแผนและวิจัยการใช้น้ำชลประทาน ฝ่ายเกษตรชลประทาน ส่วนจัดสรรน้ำและบำรุงรักษา, กรุงเทพฯ.

ดิเรก ทองอร่าม. 2526. ความต้องการน้ำชลประทาน และค่าชลภาระในการออกแบบระบบส่งน้ำ, น. 7-103. ใน กรมชลประทานสัมมนาวิชาการ (เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการทำงานชลประทาน). สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ.

ธีระพล ตั้งสมบุญ และโอสภ ชาญเวช. 2543 . ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง และค่าสัมประสิทธิภาพใช้น้ำของพืช. เกษตรชลประทาน สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน, กรุงเทพฯ.

บุญมา ป้านประดิษฐ์. 2546. หลักการชลประทาน ทฤษฎีและการประยุกต์. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

วิบูลย์ บุญยชโรกุล. 2526. หลักการชลประทาน. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

มณเฑียร กังคศิเทียม. 2535. กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม. สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทาน ในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ.

ทิพย์ปภา สุขุมลชาติ อติชัย พรพรหมินทร์ และสุรัช ลิปิวัฒนาการ, 2554. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จังหวัดนครสวรรค์, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 16 (WRE0062)

ชินาธิปกรณ์และธีรารัตน์ , 2554. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตเอทานอลจากมัน
ลำปะหลังในประเทศไทย. วิศวกรรมสาร มก. ฉบับที่ 75 ปีที่ 24. หน้า 41 - 51

ทัศนีย์ อัดตะนันท์. 2543. ดินที่ใช้ปลูกข้าว. พิมพ์ครั้งที่ 3. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. อ้างถึง De Datta, S.K. 1981. Principles and Rice
Production. John Wiley and Sons, Inc. New York.

วรารุช วุฒินิชย์. 2545. การออกแบบระบบชลประทานในไร่นา. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ส่วนการใช้น้ำชลประทาน สำนักอุทกวิทยาและการบริหารน้ำ กรมชลประทาน, 2551 .ค่า
สัมประสิทธิ์พืช 40 ชนิด (Cropcoefficient : Kc of Penman Monteith). กรุงเทพฯ : กรม
ชลประทาน.

กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ , 2550. โครงการปรับปรุงโครงการส่งน้ำและ
บำรุงรักษา โลกกะเทียม จ.ลพบุรี รายงานการศึกษาความเหมาะสมฉบับสมบูรณ์ .
กรุงเทพฯ : กรมชลประทาน

ธีระพล ตั้งสมบูรณ์, 2532. การหาปริมาณการใช้น้ำของพืช 6 วิธี. งานวิจัยการใช้น้ำชลประทานฝ่าย
เกษตรชลประทาน กองจัดสรรน้ำและบำรุงรักษา กรมชลประทาน : กรมชลประทาน

Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y.2010a. **The Blue, Green and Grey Water Footprint of rice
from production and consumption perspectives. Ecological Economics.** ,London.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. **Crop evapotranspiration - Guidelines
for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56.**
Food and Agriculture Organization, Rome.

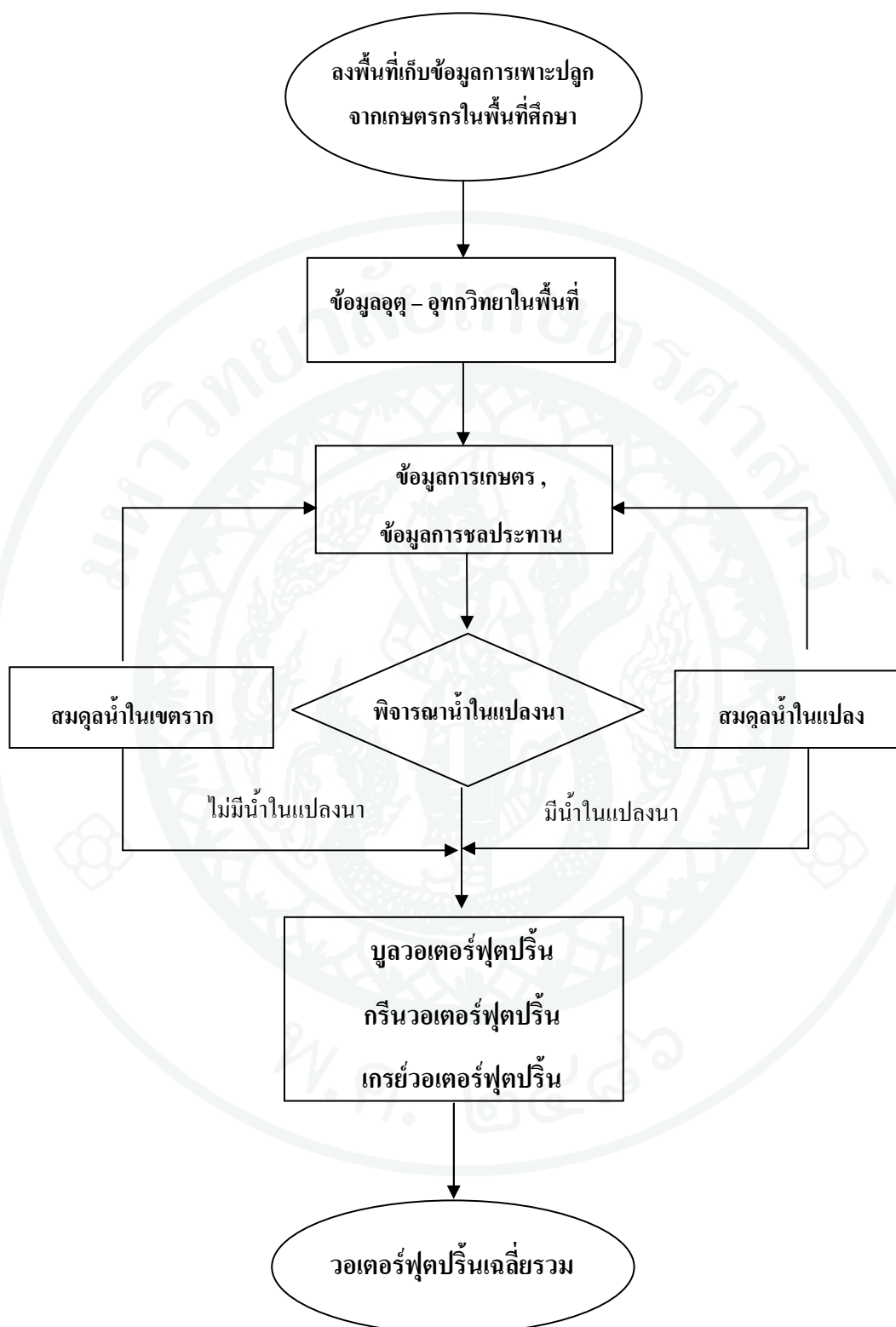
Hoekstra, A.Y. and Chapagain, A.K. 2008. **Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources.** Blackwell Publishing. Oxford, UK.

Allen R.G. L. S. Pereira D. Raes and M. Smith, 1998. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements:** Food and Agriculture Organization, Rome

FAO .2009b. **CROPWAT 8.0 Model. Food and Agriculture Organization**, Rome. Available from: http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html [Accessed 5 March 2010]

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. and Mekonnen, M.M. 2009. **Water footprint manual: State of the art 2009**, Water Footprint Network, Enschede, the Netherlands. Available from: <http://www.waterfootprint.org/downloads/WaterFootprintManual2009.pdf> [Accessed 10 March 2010]





ภาพผนวกที่ 1 แสดง Schematic diagram การคำนวณหาวอเตอร์ฟุตพรีนที่

ตารางผนวกที่ 1 การคำนวณหาประสิทธิภาพการชลประทานฤดูแล้ง ปี พ.ศ.2552/2553 โครงการ
ส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม

ลำดับที่	วัน เดือน ปี	ปริมาณน้ำที่ต้องการ	ปริมาณการรั่วซึม	ปริมาณฝนใช้การ	ปริมาณน้ำที่ส่ง
		ตามทฤษฎี (ม. ³ /วินาที)	ม. ³ /วินาที	ม. ³ /วินาที	ม. ³ /วินาที
1	8-พ.ย.-52	0.26	0.25	0	16.55
2	15-พ.ย.-52	0.26	0.64	0	17.79
3	22-พ.ย.-52	5.1	0.68	0	17.83
4	29-พ.ย.-52	8.57	1.74	0	18.87
5	6-ธ.ค.-52	7.58	1.67	0	17.34
6	13-ธ.ค.-52	8.61	3.2	0	18.43
7	20-ธ.ค.-52	9.66	3.05	0	16.87
8	27-ธ.ค.-52	11.58	2.7	0	16.82
9	3-ม.ค.-53	9.59	3.03	0	14.1
10	10-ม.ค.-53	11.43	3.18	0.01	9.78
11	17-ม.ค.-53	16.51	3.02	0	10.68
12	24-ม.ค.-53	17.67	3.19	0.18	9.7
13	31-ม.ค.-53	14.97	3.1	0	9.12
14	7-ก.พ.-53	15.94	3.1	0	9.64
15	14-ก.พ.-53	17.43	3.16	0	9.67
16	21-ก.พ.-53	17.17	3.13	0	8.83
17	28-ก.พ.-53	17.27	3.13	0	13.83
18	7-มี.ค.-53	17.96	1.79	0	3.02
19	14-มี.ค.-53	19.09	1.76	0	2.05
20	21-มี.ค.-53	19.95	1.7	0	2.26
21	28-มี.ค.-53	20.88	1.59	0	2.37
22	4-เม.ย.-53	13.46	1.55	0	2.02

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

สัปดาห์ที่	วัน เดือน ปี	ปริมาณน้ำที่ต้องการ	ปริมาณการรั่วซึม	ปริมาณฝนใช้การ	ปริมาณน้ำที่ส่ง
		ตามทฤษฎี (ม. ³ /วินาที)	ม. ³ /วินาที	ม. ³ /วินาที	ม. ³ /วินาที
23	11-เม.ย.-53	11.27	1.14	0	1.42
24	18-เม.ย.-53	9.05	1.04	0	1.31
25	25-เม.ย.-53	6.09	1.1	0	1.14
26	30-เม.ย.-53	1.7	1.1	0	0.9
รวม		309.05	54.74	0.19	252.34

$$\begin{aligned}
 \text{ประสิทธิภาพการชลประทาน} &= \frac{(309.05+54.74-0.19) \times 100}{252.34} \\
 &= 144.1 \%
 \end{aligned}$$

หมายเหตุ จากตัวเลขค่าประสิทธิภาพการชลประทานมีค่าเกิน 100 % สืบเนื่องมาจากในพื้นที่เพาะปลูกข้าวของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกระทิงนั้นเป็นพื้นที่ราบลุ่ม พื้นที่เพาะปลูกข้าวบางส่วนมีการใช้น้ำจากบ่อน้ำธรรมชาติหรือบ่อขุดขึ้นเอง ส่วนเกษตรกรที่อยู่ด้านปลายคลองส่งน้ำนั้นก็ได้มีการนำน้ำจากคลองระบายใหญ่ชัยนาท-ป่าสัก 3 และคลองระบายใหญ่เริงรางมาใช้ในการเพาะปลูกด้วย ส่งผลให้ค่าการใช้น้ำของพืชที่คำนวณได้ตามทฤษฎีนั้นมีค่ามากกว่าปริมาณน้ำที่ส่งจริงจากปัจจัยดังกล่าว เมื่อหารด้วยค่าการส่งน้ำจริงของโครงการฯออกมาแล้วจึงส่งผลให้ได้ค่าที่เกิน 100 %

ตารางผนวกที่ 2 การคำนวณหาประสิทธิภาพการชลประทานฤดูฝน ปี พ.ศ. 2553 โครงการส่งน้ำ
และบำรุงรักษาโคกกะเทียม

สัปดาห์ที่	วัน เดือน ปี	ปริมาณน้ำที่ต้องการ	ปริมาณการรั่วซึม	ปริมาณฝนใช้การ	ปริมาณน้ำที่ส่ง
		ตามทฤษฎี (ม. ³ /วินาที)	ม. ³ /วินาที	ม. ³ /วินาที	ม. ³ /วินาที
1	20 ก.ค.53	7.94	1.05	1.88	0.54
2	27-ก.ค.-53	9.87	0.8	0.23	1.95
3	3-ส.ค.-53	8.86	1.26	1.14	4.18
4	10-ส.ค.-53	12.25	1.62	0.69	8.37
5	17-ส.ค.-53	10.85	1.52	1.11	6.85
6	24-ส.ค.-53	15.06	2.42	2.81	5.37
7	31-ส.ค.-53	17.97	2.46	1.58	6.2
8	7-ก.ย.-53	18.68	2.97	7.63	8.37
9	14-ก.ย.-53	17.49	2.82	3.11	6.54
10	21-ก.ย.-53	14.38	2.86	3.14	5.26
11	28-ก.ย.-53	13.7	2.86	1.22	8.38
12	5-ต.ค.-53	12.74	2.85	3.65	8.45
13	12-ต.ค.-53	12.5	2.86	0.21	8.34
14	19-ต.ค.-53	12.49	2.86	1.49	3.29
15	26-ต.ค.-53	12.34	2.85	0	1.32
16	2-พ.ย.-53	12.24	2.85	0	1.47
17	9-พ.ย.-53	12.52	2.85	0	4.08
18	16-พ.ย.-53	12.52	2.85	0	4.82
19	23-พ.ย.-53	12.52	2.85	0	3.81
20	30-พ.ย.-53	12.52	2.85	0	3.92
21	7-ธ.ค.-53	11.67	2.85	0	3.83
22	14-ธ.ค.-53	11.67	2.85	0	3.72

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

สัปดาห์ที่	วัน เดือน ปี	ปริมาณน้ำที่ต้องการ	ปริมาณการรั่วซึม	ปริมาณฝนใช้การ	ปริมาณน้ำที่ส่ง
		ตามทฤษฎี (ม. ³ /วินาที)	ม. ³ /วินาที	ม. ³ /วินาที	ม. ³ /วินาที
23	21-ธ.ค.-53	9.8	2.4	0.11	4.78
24	28-ธ.ค.-53	8.87	2.17	0	5.85
25	4-ม.ค.-54	6.75	1.61	0	6.64
รวม		308.2	60.19	30	126.33

$$\begin{aligned}
 \text{ประสิทธิภาพการชลประทาน} &= \frac{(308.22+60.22-29.99) \times 100}{126.33} \\
 &= 267.9 \%
 \end{aligned}$$

หมายเหตุ จากตัวเลขค่าประสิทธิภาพการชลประทานในช่วงฤดูฝนมีค่ามากถึง 267.9 % นั้นสืบเนื่องมาจากในพื้นที่เพาะปลูกข้าวของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกระทายนั้นเป็นพื้นที่ราบลุ่ม มีน้ำท่วมขังเป็นประจำเกษตรกรในพื้นที่จึงได้ใช้ประโยชน์จากน้ำส่วนนี้ในการเตรียมแปลง และพื้นที่เพาะปลูกข้าวบางส่วนมีการใช้น้ำจากบ่อน้ำธรรมชาติหรือบ่อขุดขึ้นเอง ส่วนเกษตรกรที่อยู่ด้านปลายคลองส่งน้ำนั้นก็ได้มีการนำน้ำจากคลองระบายใหญ่ชัยนาท-ป่าสัก 3 และคลองระบายใหญ่เริงรางมาใช้ในการเพาะปลูกด้วย ส่งผลให้ค่าการใช้น้ำของพืชที่คำนวณได้ตามทฤษฎีนั้นมีค่ามากกว่าปริมาณน้ำที่ส่งจริงจากปัจจัยดังกล่าว เมื่อหารด้วยค่าการส่งน้ำจริงของโครงการฯออกมาแล้วจึงส่งผลให้ได้ค่าที่เกิน 100 %

ตารางผนวกที่ 3 แสดงข้อมูลสถานีตรวจวัดต่างๆ (กรมอุตุนิยมวิทยา)

STATION INFORMATION

STATION	INDEX	STN-CODE	LATITUDE	LONGITUDE	Three Hour	Daily - Monthly	ELEV.
<u>NORTHEASTERN PART</u>							
NONG KHAI	48352	352201	17 52 N	102 44 E	1981-present	1964-present	173
LOEI	48353	353201	17 27 N	101 44 E	1981-present	1954-present	253
UDON THANI	48354	354201	17 23 N	102 48 E	1981-present	1951-present	177
SAKON NAKHON	48356	356201	17 9 N	104 8 E	1981-present	1952-present	171
NAKHON PHANOM	48357	357201	17 25 N	104 47 E	1981-present	1952-present	145
KHON KAEN	48381	381201	16 26 N	102 50 E	1981-present	1951-present	165
MUKDAHAN	48383	383201	16 32 N	104 45 E	1981-present	1951-present	138
KOSUM PHISAI	48382	387401	16 15 N	103 4 E	1981-present	1966-present	153
KAMALASAI	48390	388401	16 18 N	103 34 E	2000-present	2000-present	139
CHAIYAPHUM	48403	403201	15 48 N	102 2 E	1981-present	1956-present	180
ROI ET	48405	405201	16 3 N	103 41 E	1981-present	1951-present	140
UBON RATCHATHANI	48407	407501	15 15 N	104 52 E	1981-present	1951-present	131
NAKHON RATCHASIMA	48431	431201	14 58 N	102 5 E	1981-present	1951-present	187
CHOK CHAI	48434	431401	14 44 N	102 11 E	1981-present	1965-present	190
SURIN	48432	432201	14 53 N	103 30 E	1981-present	1951-present	146
THA TUM	48416	432401	15 19 N	103 41 E	1981-present	1966-present	128
BURIRUM	48437	436201	15 14 N	103 15 E	2003-present	2003-present	182
NANG RONG	48436	436401	14 37 N	102 43 E	1981-present	1966-present	179
<u>CENTRAL PART</u>							
NAKHON SAWAN	48400	400201	15 48 N	100 10 E	1981-present	1951-present	34
SUPHAN BURI	48425	425201	14 28 N	100 8 E	1981-present	1952-present	7
LOP BURI	48426	426201	14 48 N	100 37 E	1981-present	1951-present	10
BUA CHUM	48418	426401	15 16 N	101 12 E	1981-present	1966-present	48
PILOT STATION	48457	429201	13 22 N	100 36 E	1981-present	1980-present	14
SUARNAPHUMI AIRPORT	48429	429601	13 41 N	100 46 E	2008-present	2008-present	1
KANCHANABURI	48450	450201	14 1 N	99 32 E	1981-present	1955-present	28
THONG PHA PHUM	48421	450401	14 45 N	98 38 E	1981-present	1965-present	99
BANGKOK METROPOLIS	48455	455201	13 44 N	100 34 E	1981-present	1951-present	3
BANGKOK PROT	48454	455203	13 42 N	100 34 E	1995-present	1995-present	3
DON MUANG (AIRPORT)	48456	455601	13 55 N	100 36 E	1981-present	1951-present	4

ตารางผนวกที่ 4 ค่าความชื้นในดินทั้งหมดที่ใช้การได้ (Total available soil moisture, มม./ม.)
เป็นรายจังหวัด

จังหวัด	TAW (mm./m.)	จังหวัด	TAW (mm./m.)	จังหวัด	TAW (mm./m.)
กำแพงเพชร	127	นครสวรรค์	123	ลำพูน	115
ขอนแก่น	159	น่าน	97	เลย	94
จันทบุรี	104	ประจวบคีรีขันธ์	106	สระแก้ว	87
ฉะเชิงเทรา	112	ปราจีนบุรี	119	สุพรรณบุรี	139
ชลบุรี	108	พะเยา	127	หนองคาย	122
ชัยภูมิ	123	พิจิตร	165	อุดรธานี	138
เชิงราย	115	เพชรบุรี	117	อุตรดิตถ์	104
เชียงใหม่	106	เพชรบูรณ์	96	อุบลราชธานี	146
ตาก	100	แพร่	104		
นครราชสีมา	127	ลพบุรี	97		

ที่มา: ISRIC-WISE (2006)

ตารางผนวกที่ 5 แสดงสภาพภูมิอากาศรายวันของจังหวัดลพบุรีจากโปรแกรม EToCalc

Lop Buri (Thailand) - daily data: 2010							
Day	Month	Year	Tmax C	Tmin C	Rhmean %	u(x) knot	Eto mm/day
1	1	2010	34	24.4	76	1.37	3.1
2	1	2010	34.9	22.9	69	0	3
3	1	2010	34	23.9	73	0	2.8
4	1	2010	34.7	24.8	77	1	3.1
5	1	2010	33.7	26.5	80	0.75	2.7
6	1	2010	33.2	24.7	77	2.12	3
7	1	2010	27.9	24.4	83	1.13	1.9
8	1	2010	31	21	77	1.63	2.9
9	1	2010	34.2	20.4	73	0.87	3.3
10	1	2010	35	20.8	66	0.25	3.2
11	1	2010	34.4	21.5	68	0	3
12	1	2010	32.3	24.3	59	0.75	2.7
13	1	2010	30.6	22.6	59	1.75	2.9
14	1	2010	32.1	19.5	65	2	3.4
15	1	2010	31.8	20.1	61	1.88	3.3
16	1	2010	31.3	21.5	54	2.12	3.3
17	1	2010	30.9	20.6	55	4.75	4.1
18	1	2010	31.7	18	59	4.25	4.1
19	1	2010	32	21.6	59	1.88	3.3
20	1	2010	26.7	25.7	82	1	1.3
21	1	2010	30.5	23.4	85	0.38	2.6
22	1	2010	32.5	23.1	82	0	2.9

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

Lop Buri (Thailand) - daily data: 2010							
Day	Month	Year	Tmax C	Tmin C	Rhmean %	u(x) knot	Eto mm/day
23	1	2010	33.9	25	78	0.38	3
24	1	2010	33.9	23	70	0	3
25	1	2010	33.2	24.6	66	0.63	2.9
26	1	2010	34.6	24	65	2	3.6
27	1	2010	35.2	22.6	69	1	3.6
28	1	2010	34.8	24.7	75	1.13	3.4
29	1	2010	34.3	24.5	78	0.63	3.2
30	1	2010	34.9	25.1	75	0.5	3.2
31	1	2010	35.5	24.9	75	1.37	3.6
1	2	2010	34.8	26	77	0.25	3.1
2	2	2010	34.9	25.1	73	1.5	3.5
3	2	2010	35.3	25.1	74	1.75	3.6
4	2	2010	34.4	25.4	77	1.88	3.4
5	2	2010	34.3	25.3	75	0.5	3.2
6	2	2010	34.6	25.2	74	2.5	3.7
7	2	2010	35.2	25	75	2.62	3.8
8	2	2010	35.2	24.9	73	2.88	3.9
9	2	2010	35	24.8	75	2.12	3.7
10	2	2010	36.1	25.1	74	0.25	3.6
11	2	2010	35.4	26	75	1.13	3.5
12	2	2010	35.4	26	78	1.63	3.6
13	2	2010	35.5	25.4	76	1.5	3.7

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

Lop Buri (Thailand) - daily data: 2010							
Day	Month	Year	Tmax C	Tmin C	Rhmean %	u(x) knot	Eto mm/day
14	2	2010	35.9	25.6	74	2.62	4
15	2	2010	35.4	26	76	2.5	3.8
16	2	2010	34.9	25.5	76	2.12	3.7
17	2	2010	35.5	26	74	0.87	3.6
18	2	2010	35.6	26.9	65	0.25	3.3
19	2	2010	33.4	23.7	75	1.5	3.6
20	2	2010	34.7	25	75	2.12	3.8
21	2	2010	35.5	25.2	73	2.12	4
22	2	2010	35	25.4	74	1.63	3.8
23	2	2010	35.3	25	72	1.75	3.9
24	2	2010	35.2	24.7	68	2.62	4.2
25	2	2010	36.2	24.2	71	1.25	4.1
26	2	2010	36	23.6	69	1.25	4.1
27	2	2010	35.3	26.4	76	2.12	3.8
28	2	2010	35	25.7	75	1.75	3.8
1	3	2010	37.1	25.9	72	3	4.5
2	3	2010	36.5	25.8	74	1.88	4.2
3	3	2010	37.4	25.1	69	1.63	4.4
4	3	2010	37	25.6	65	3	4.7
5	3	2010	36.9	24.6	68	2.25	4.6
6	3	2010	35.4	25.6	76	1	3.9
7	3	2010	35.7	25.8	76	2.12	4.1

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

Lop Buri (Thailand) - daily data: 2010							
Day	Month	Year	Tmax C	Tmin C	Rhmean %	u(x) knot	Eto mm/day
8	3	2010	36.3	25.7	71	2.38	4.4
9	3	2010	31.3	24	56	3	3.9
10	3	2010	34.5	23.5	53	4.88	5.3
11	3	2010	36.5	22.7	62	1.5	4.6
12	3	2010	37	25.6	70	1.13	4.3
13	3	2010	36.4	25.7	72	2.5	4.5
14	3	2010	37.7	25.8	71	1.5	4.6
15	3	2010	37.2	26.4	71	2	4.5
16	3	2010	35.8	25.7	69	2.12	4.3
17	3	2010	37	24.9	64	2.12	4.7
18	3	2010	37.1	26.1	55	2.25	4.7
19	3	2010	36.7	26.2	72	1.13	4.3
20	3	2010	37.1	26.6	71	2.5	4.6
21	3	2010	36.8	27	72	3.37	4.7
22	3	2010	36.8	26.4	73	2.5	4.6
23	3	2010	36.7	26.8	75	3	4.6
24	3	2010	38.1	25.4	71	1.88	4.9
25	3	2010	29.2	25.5	68	2.25	2.9
26	3	2010	35.2	22.1	63	4.5	5.3
27	3	2010	37	24.5	61	0.87	4.5
28	3	2010	37.8	29	58	0.63	4
29	3	2010	36.9	24.6	66	1.75	4.8

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

Lop Buri (Thailand) - daily data: 2010							
Day	Month	Year	Tmax C	Tmin C	Rhmean %	u(x) knot	Eto mm/day
30	3	2010	37.5	26.7	73	1.63	4.6
31	3	2010	37.2	26.7	73	1.88	4.6
1	4	2010	38	26.9	70	1.25	4.6
2	4	2010	38.2	28	69	1.5	4.6
3	4	2010	38.4	27	67	3.37	5.3
4	4	2010	38.7	27.7	68	3.75	5.3
5	4	2010	38.4	27.6	67	4.13	5.4
6	4	2010	38.9	27.9	69	4.13	5.4
7	4	2010	38.7	27.5	66	4	5.5
8	4	2010	38.4	27.8	66	4.13	5.4
9	4	2010	37.2	27.3	68	4.5	5.2
10	4	2010	39.2	27	65	4.5	5.8
11	4	2010	39	27.5	65	4.38	5.7
12	4	2010	39	27.2	66	4	5.6
13	4	2010	38.2	26.2	69	3.87	5.5
14	4	2010	39.5	27.2	66	4.25	5.8
15	4	2010	37.5	28.4	66	3.5	5
16	4	2010	33.8	27.7	75	6	4.3
17	4	2010	37.1	24.8	69	2.88	5.2
18	4	2010	38	27.1	70	3.25	5.2
19	4	2010	38.1	27	65	4.62	5.6
20	4	2010	38.7	27.7	67	3.37	5.3

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

Lop Buri (Thailand) - daily data: 2010							
Day	Month	Year	Tmax C	Tmin C	Rhmean %	u(x) knot	Eto mm/day
21	4	2010	38.9	27.8	67	4.13	5.6
22	4	2010	39.2	27.7	67	3.75	5.6
23	4	2010	34.7	27.2	72	3.63	4.3
24	4	2010	38.3	26.3	66	3.37	5.5
25	4	2010	38.4	28.6	63	2.25	4.9
26	4	2010	36.8	26.7	72	2	4.7
27	4	2010	36.3	26.8	72	2.62	4.6
28	4	2010	37.2	25.9	69	1.63	4.8
29	4	2010	38.4	27.8	68	2.38	5
30	4	2010	37	26.5	73	1.88	4.7
1	5	2010	38.3	26.8	70	2.5	5.1
2	5	2010	36	28.5	74	1.63	4.1
3	5	2010	37.5	27.5	72	3.63	5
4	5	2010	38	27.9	72	2.88	5
5	5	2010	36.8	28.6	71	3.37	4.7
6	5	2010	38.4	28.4	70	3.12	5.1
7	5	2010	40	28.6	65	3.5	5.7
8	5	2010	39.4	29.2	66	2.88	5.2
9	5	2010	40.7	29.2	61	4	6
10	5	2010	39	27.8	67	4.25	5.6
11	5	2010	34.8	26.4	76	3.75	4.4
12	5	2010	38.3	26.4	68	1.75	5

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

Lop Buri (Thailand) - daily data: 2010							
Day	Month	Year	Tmax C	Tmin C	Rhmean %	u(x) knot	Eto mm/day
13	5	2010	39.1	28.2	65	2.25	5.1
14	5	2010	39	28.5	64	2.88	5.3
15	5	2010	37.3	29	68	3.87	4.9
16	5	2010	36	27.8	79	3.25	4.4
17	5	2010	36.3	26.9	74	1.25	4.4
18	5	2010	37.2	26.9	67	1.88	4.7
19	5	2010	37.7	27	63	3	5.2
20	5	2010	38.4	28.6	65	2.12	4.9
21	5	2010	38.7	28.4	63	3.25	5.3
22	5	2010	38	26.2	69	3.37	5.4
23	5	2010	37	26.6	68	3.25	5
24	5	2010	35.5	26.1	77	3.75	4.6
25	5	2010	33.5	25.2	82	3.63	4.1
26	5	2010	35.6	25.4	75	5.12	5
27	5	2010	34.8	25.3	81	4	4.5
28	5	2010	35.4	25.7	80	3.5	4.6
29	5	2010	35.7	26.6	72	3.75	4.7
30	5	2010	36.6	27.3	70	3.75	4.9
31	5	2010	37	27	71	3.63	5
1	6	2010	36.7	26.2	73	3.25	4.9
2	6	2010	36.5	26.9	68	2.75	4.8
3	6	2010	37.6	27.7	69	2.12	4.8

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

Lop Buri (Thailand) - daily data: 2010							
Day	Month	Year	Tmax C	Tmin C	Rhmean %	u(x) knot	Eto mm/day
4	6	2010	35	25.5	79	2.12	4.4
5	6	2010	35.8	27.2	71	1.75	4.3
6	6	2010	34.1	27.7	76	4	4.1
7	6	2010	35.9	26.4	76	3.63	4.7
8	6	2010	35.2	25.5	79	2.62	4.5
9	6	2010	33	24.9	82	2.38	3.9
10	6	2010	34.5	26.5	76	2.88	4.2
11	6	2010	34.7	25.5	75	2.25	4.3
12	6	2010	36.2	26.5	68	1.88	4.5
13	6	2010	36.2	27.1	72	3	4.6
14	6	2010	35.9	27.1	70	2.5	4.5
15	6	2010	36.4	26.5	70	2.62	4.7
16	6	2010	36.8	27.2	66	3	4.9
17	6	2010	36.3	27	69	1.75	4.4
18	6	2010	37.2	27.7	73	2.75	4.7
19	6	2010	37.6	26	71	2.88	5.1
20	6	2010	35.3	26.2	74	2.75	4.5
21	6	2010	33	27	82	2.12	3.5
22	6	2010	33.4	25.4	82	2.5	4
23	6	2010	34.4	26.2	75	2.62	4.2
24	6	2010	36.2	26.5	69	3	4.8
25	6	2010	35.3	26.2	71	2.75	4.5

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

Lop Buri (Thailand) - daily data: 2010							
Day	Month	Year	Tmax C	Tmin C	Rhmean %	u(x) knot	Eto mm/day
26	6	2010	38	26.8	73	2.75	5.1
27	6	2010	35	25.1	79	2.75	4.5
28	6	2010	33.1	24.7	83	2.88	4
29	6	2010	34.6	26.5	81	1.63	4
30	6	2010	33.9	27	81	2	3.8
1	7	2010	30.4	26.8	86	1.75	2.7
2	7	2010	33.6	26.4	85	1.5	3.7
3	7	2010	34	25.6	79	1.37	4
4	7	2010	34.2	25.5	78	1.5	4.1
5	7	2010	32.9	27.2	83	2.12	3.4
6	7	2010	35.3	26	76	1.88	4.3
7	7	2010	35.5	26.3	75	2.25	4.4
8	7	2010	35.4	26.5	74	1.88	4.3
9	7	2010	34.7	25.6	72	2.25	4.3
10	7	2010	34.8	24.8	77	2.62	4.5
11	7	2010	36	26.5	73	1.13	4.3
12	7	2010	35.4	25.6	81	1	4.3
13	7	2010	33	24.9	86	0	3.7
14	7	2010	33.3	25.8	83	0.25	3.7
15	7	2010	34.9	26.4	78	0.5	4
16	7	2010	33.7	25.3	83	2.38	4
17	7	2010	30.7	23.4	92	1.88	3.5

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

Lop Buri (Thailand) - daily data: 2010							
Day	Month	Year	Tmax C	Tmin C	Rhmean %	u(x) knot	Eto mm/day
18	7	2010	32.2	26.1	84	1.25	3.4
19	7	2010	34	26.3	78	2.12	4
20	7	2010	34.8	26.6	72	1.63	4.1
21	7	2010	34.9	26.7	76	1.63	4.1
22	7	2010	33.5	25.3	80	1.63	3.9
23	7	2010	32.9	25.5	74	2.88	4
24	7	2010	33.2	25.2	73	1.25	3.9
25	7	2010	33.5	26	75	1.37	3.8
26	7	2010	32.2	25.3	86	0	3.5
27	7	2010	32.4	25.4	85	1	3.6
28	7	2010	32.9	26.2	83	1.5	3.6
29	7	2010	33.9	26.4	77	2.12	3.9
30	7	2010	34.8	25.4	78	2.38	4.3
31	7	2010	33.6	24.9	78	1	3.9
1	8	2010	32	25.7	84	1.13	3.4
2	8	2010	32	24.1	86	3.12	3.8
3	8	2010	32.7	25.7	80	2	3.7
4	8	2010	33.4	24.4	85	2.25	4.1
5	8	2010	33.7	24.2	85	2	4.1
6	8	2010	33.5	24.9	79	0.63	3.9
7	8	2010	33.2	25.4	74	2	3.9
8	8	2010	33.9	25.2	74	2.12	4.2

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

Lop Buri (Thailand) - daily data: 2010							
Day	Month	Year	Tmax C	Tmin C	Rhmean %	u(x) knot	Eto mm/day
9	8	2010	34.1	25.7	78	2.38	4.1
10	8	2010	31.5	25.2	87	1.75	3.4
11	8	2010	32.4	25.7	86	1.75	3.5
12	8	2010	30.7	24.8	89	1	3.2
13	8	2010	31.3	24.9	87	0.87	3.3
14	8	2010	33.3	26.1	88	1.5	3.7
15	8	2010	33.8	26.4	81	0.63	3.7
16	8	2010	33	26.7	75	0.75	3.4
17	8	2010	33.5	26	81	1.25	3.7
18	8	2010	35.1	25.4	82	1	4.2
19	8	2010	33.9	26	87	1.13	3.8
20	8	2010	31.5	24.5	85	0	3.4
21	8	2010	32.8	25	84	0.5	3.7
22	8	2010	32	24.8	86	0.25	3.5
23	8	2010	32.7	26	85	0	3.4
24	8	2010	31.9	25.4	85	2.25	3.5
25	8	2010	33.8	24.7	81	0.5	3.9
26	8	2010	34.5	25.4	78	1.63	4.1
27	8	2010	30.1	24.6	87	1	3.1
28	8	2010	31.1	23.8	83	1.13	3.5
29	8	2010	34.1	25.4	76	1.63	4
30	8	2010	34.2	25.7	74	1.63	4

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

Lop Buri (Thailand) - daily data: 2010							
Day	Month	Year	Tmax C	Tmin C	Rhmean %	u(x) knot	Eto mm/day
31	8	2010	33.2	26.3	81	2.38	3.7
1	9	2010	33.8	25	87	1.37	3.9
2	9	2010	31.5	24.7	89	0.87	3.4
3	9	2010	33	25.1	87	1	3.7
4	9	2010	33.7	24.6	82	1.13	3.9
5	9	2010	33.8	25.6	76	0.63	3.7
6	9	2010	33.9	27	76	0.63	3.5
7	9	2010	34.1	26.5	80	0.87	3.7
8	9	2010	33.4	27.3	78	0.87	3.3
9	9	2010	33.2	26.9	84	1.13	3.4
10	9	2010	32.1	24.2	87	2.75	3.6
11	9	2010	33.5	25	83	2.38	3.9
12	9	2010	32.3	25.7	83	0.87	3.3
13	9	2010	31.8	24.4	87	0.75	3.4
14	9	2010	31.3	23.8	85	1.37	3.4
15	9	2010	32.5	25	84	1.63	3.5
16	9	2010	33.3	25.2	88	0.38	3.6
17	9	2010	30.4	24.7	92	0.75	3
18	9	2010	33.2	24	84	0	3.7
19	9	2010	34.1	25.7	80	1.25	3.8
20	9	2010	34.5	26.4	78	1.75	3.8
21	9	2010	33.4	26.1	79	0.75	3.4

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

Lop Buri (Thailand) - daily data: 2010							
Day	Month	Year	Tmax C	Tmin C	Rhmean %	u(x) knot	Eto mm/day
22	9	2010	33.4	26.2	79	1.88	3.6
23	9	2010	34.3	26	77	1.88	3.8
24	9	2010	34	26.8	83	0	3.4
25	9	2010	34.4	26.1	85	1.13	3.7
26	9	2010	34.3	24.7	82	1.5	3.9
27	9	2010	33.4	24.5	85	1.5	3.7
28	9	2010	33.2	24.8	86	0.63	3.5
29	9	2010	34	25	83	0.5	3.7
30	9	2010	34.3	25.7	78	1.25	3.7
1	10	2010	32.4	25.6	83	1.75	3.3
2	10	2010	31.5	24.7	89	1.75	3.2
3	10	2010	30.2	24.3	91	1.88	2.9
4	10	2010	30.1	24.5	88	0.63	2.8
5	10	2010	31	24.9	81	0.75	2.9
6	10	2010	33.6	25.8	82	0.38	3.3
7	10	2010	33.7	26.6	79	1.25	3.3
8	10	2010	34	26.8	79	1.13	3.4
9	10	2010	33.3	25.6	84	0.5	3.3
10	10	2010	31.6	25.7	83	0.5	2.9
11	10	2010	30.5	26.4	88	0.75	2.5
12	10	2010	30.2	25.3	90	0	2.6
13	10	2010	30.7	25.1	89	0.25	2.7

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

Lop Buri (Thailand) - daily data: 2010							
Day	Month	Year	Tmax C	Tmin C	Rhmean %	u(x) knot	Eto mm/day
14	10	2010	27.9	25.3	97	0.5	1.9
15	10	2010	26.8	23.5	96	0	2.1
16	10	2010	28.4	23.4	92	1.25	2.5
17	10	2010	30.9	24.4	88	0.5	2.9
18	10	2010	32.8	25.3	82	0.63	3.1
19	10	2010	32.3	25.3	79	1.13	3.1
20	10	2010	32.9	24.7	80	0.75	3.2
21	10	2010	32.6	24.4	81	0.87	3.2
22	10	2010	33.6	24.8	80	0.5	3.3
23	10	2010	34.6	25.9	79	0.75	3.4
24	10	2010	33.6	26.8	83	0.25	3
25	10	2010	32.6	25.2	85	0.63	3
26	10	2010	33.1	25.1	72	1.37	3.2
27	10	2010	31	26.1	70	2.88	3
28	10	2010	30.4	23.8	63	4.38	3.7
29	10	2010	28.7	22.1	60	5	3.7
30	10	2010	28.8	20.5	60	4.38	3.7
31	10	2010	30.3	21.1	58	4	3.9
1	11	2010	30.6	21.5	60	5.38	4.2
2	11	2010	30.5	23.9	56	4.13	3.8
3	11	2010	30.3	22.6	51	6.25	4.6
4	11	2010	30.3	21.1	57	3.63	3.8

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

Lop Buri (Thailand) - daily data: 2010							
Day	Month	Year	Tmax C	Tmin C	Rhmean %	u(x) knot	Eto mm/day
5	11	2010	31.4	23.6	61	3	3.5
6	11	2010	30.1	23.4	68	2.25	3
7	11	2010	33	24.5	61	0.75	3
8	11	2010	31.5	24.7	52	1.37	2.9
9	11	2010	31.6	23.5	54	3.12	3.6
10	11	2010	30.6	24.4	60	3.12	3.3
11	11	2010	32.2	24.5	59	1.13	2.9
12	11	2010	32.8	25.1	60	1.75	3.2
13	11	2010	33.7	24.2	63	2.75	3.6
14	11	2010	33.1	25.2	69	2.88	3.4
15	11	2010	32.1	24.6	71	2.12	3.1
16	11	2010	32.6	25.1	63	2.5	3.3
17	11	2010	33.1	24.5	68	1.88	3.2
18	11	2010	32.7	24.8	66	2.75	3.3
19	11	2010	33	24.6	68	3.63	3.5
20	11	2010	33.8	22.8	74	1.37	3.3
21	11	2010	33.9	23.5	76	1.37	3.2
22	11	2010	34.5	24.4	71	0.63	3.1
23	11	2010	34.2	22.6	68	0.5	3.1
24	11	2010	33.9	24	61	1.25	3.1
25	11	2010	32.8	23.9	64	2	3.2
26	11	2010	32.1	23.8	62	4	3.6

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

Lop Buri (Thailand) - daily data: 2010							
Day	Month	Year	Tmax C	Tmin C	Rhmean %	u(x) knot	Eto mm/day
27	11	2010	33.5	23.7	65	2.88	3.5
28	11	2010	33.4	24.3	64	1.5	3.1
29	11	2010	33.7	23.5	62	2.5	3.5
30	11	2010	32.4	24.8	60	2.88	3.3
1	12	2010	32.7	24	59	4.62	3.9
2	12	2010	31.6	23.9	59	2.75	3.2
3	12	2010	31.3	23.7	58	4.75	3.8
4	12	2010	33.1	20.7	66	4.25	3.9
5	12	2010	33.9	23.8	67	0.5	2.9
6	12	2010	31.9	26.3	63	1.75	2.7
7	12	2010	31.8	24.8	59	3.75	3.5
8	12	2010	32.2	22.5	64	4.25	3.7
9	12	2010	31.9	21.4	70	2.12	3.1
10	12	2010	32.7	24.3	78	1.25	2.8
11	12	2010	32	25.1	78	1.13	2.6
12	12	2010	30.9	25.2	81	2	2.5
13	12	2010	33	25	79	2	2.9
14	12	2010	34.5	24.3	75	1.13	3.1
15	12	2010	32	26.4	76	0.87	2.4
16	12	2010	24.9	20.2	61	2.38	2.4
17	12	2010	29.5	18.6	64	4	3.4
18	12	2010	32.2	19.8	72	1.88	3.2

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

Lop Buri (Thailand) - daily data: 2010							
Day	Month	Year	Tmax C	Tmin C	Rhmean %	u(x) knot	Eto mm/day
19	12	2010	32.5	21.6	74	1.25	3
20	12	2010	33.8	21.1	74	0.25	3
21	12	2010	33.8	22	73	0.5	3
22	12	2010	33	24.2	73	1.13	2.8
23	12	2010	33.4	22.9	76	0.75	2.9
24	12	2010	34.5	23.7	73	0.87	3.1
25	12	2010	31.8	22.5	58	1	2.8
26	12	2010	30.2	19.5	57	3.63	3.6
27	12	2010	31.5	17.3	63	5.5	4.2
28	12	2010	31.7	18	65	1	3
29	12	2010	31.8	17.4	63	1.13	3.1
30	12	2010	31.3	20.1	53	2.25	3.3
31	12	2010	31.3	20.1	53	3	3.6

ตารางผนวกที่ 6 แสดงราคารับซื้อข้าวเปลือก ณ หน้าโรงสีจังหวัดลพบุรี ปี 2552 / 2553

ชนิดข้าว	ราคา เมตริกตันละ (บาท)		ร้อยละการเปลี่ยนแปลง
	นาปี 2552	นาปี 2553	(+เพิ่ม / - ลด)
ข้าวหอมจังหวัด (ความชื้น 24 – 25%)	-	-	-
ข้าวหอมจังหวัด (ความชื้น 14 – 15%)	-	-	-
ข้าวปทุมธานี 1 เกียวสด (ความชื้น 24 – 25%)	9,000 – 10,000	-	-
ข้าวปทุมธานี 1 (ความชื้น 14 – 15%)	12,500	-	-
ข้าวชัยนาท 1 (ความชื้น 24 – 25%)	9,500 – 10,500	10,800 – 11,730	11.22
ข้าวชัยนาท 1 (ความชื้น 14 – 15%)	13,500 – 14,000	13,800 – 14,000	1.07
ข้าวสุพรรณบุรี 1 (ความชื้น 24 – 25%)	9,500 – 10,500	10,000 – 10,600	2.91
ข้าวสุพรรณบุรี 1 (ความชื้น 14 – 15%)	13,000 – 13,500	12,800 – 13,500	-0.76
ข้าวเปลือกเจ้า 5%			
- ความชื้น ไม่เกิน 15%	9,000 - 9,200		
- ความชื้น 20-25%	7,800 - 8,000		

ที่มา: สำนักงานพาณิชย์จังหวัดลพบุรี

ราคารับซื้อข้าวเปลือกนี้อาจมีราคาปรับตัวสูงขึ้น เนื่องจากโรงสีส่วนใหญ่เข้าร่วมโครงการรับจำนำของรัฐบาล

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นายธีระวัฒน์ ธรรมนิยม

เกิดวันที่ 8 มิถุนายน 2526

สถานที่เกิด อำเภออุทุมพรพิสัย จังหวัดศรีสะเกษ

ประวัติการศึกษา วศ.บ. (วิศวกรรมชลประทาน) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

วศ.บ. (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

ตำแหน่งปัจจุบัน วิศวกรชลประทาน ปฏิบัติการ

สถานที่ทำงานปัจจุบัน ส่วนจัดสรรน้ำและบำรุงรักษา สำนักชลประทานที่ 10