โครงงานวิศวกรรมชลประทาน

(02207499)

ที่ 1/2556

การประเมินระบบชลประทานแบบน้ำหยดใต้ดิน

Evaluation of Subsurface Drip Irrigation System

โดย

นางสาวฉวีวรรณ ทองดี

นางสาวณัฐวรรณ คิมประสูตร

เสนอ

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา-ชลประทาน)

พุทธศักราช 2556

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรมชลประทาน

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

เรื่อง การประเมินระบบชลประทานแบบน้ำหยดใต้ดิน

Evaluation of Subsurface Drip Irrigation System

นามผู้จัดทำโครงงาน นางสาวฉวีวรรณ ทองดี

นางสาวณัฐวรรณ คิมประสูตร

ได้รับพิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ _____

(ผศ.นิมิตร เฉิดฉันท์พิพัฒน์)

_____/_____/_____

หัวหน้าภาควิชา _____

(ผศ.นิมิตร เฉิดฉันท์พิพัฒน์)

_____/_____/_____

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การประเมินระบบชลประทานแบบน้ำหยดใต้ดิน

โดย : นางสาวฉวีวรรณ ทองดี

นางสาวณัฐวรรณ คิมประสูตร

อาจารย์ที่ปรึกษา : .....

(ผศ.นิมิตร เฉิดฉันท์พิพัฒน์)

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

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินถึงปัญหาและอุปสรรคของระบบน้ำหยดใต้ดิน ประเมินถึงแนวโน้มความทนทานหรือความเสื่อมสภาพของระบบสายน้ำหยดที่ฝังอยู่ใต้ดิน และเพื่อประเมินความสม่ำเสมอในการให้น้ำของระบบ โดยได้ใช้พื้นที่ทดลองระบบชลประทานน้ำหยดใต้ดินของภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ขนาดพื้นที่ 20 x 50 ตารางเมตร วางระบบน้ำหยดใต้ดินจำนวน 15 สาย และระบบสายน้ำหยดบนดินจำนวน 5 สาย เพื่อใช้ศึกษาเปรียบเทียบสายน้ำหยดที่ใช้เป็นชนิด Drip Tape มีระยะห่างระหว่างหัวจ่ายน้ำเท่ากับ 30 เซนติเมตร สายน้ำหยดทำจากวัสดุประเภทพลาสติก พีอี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร

ผลการศึกษาพบว่าสายสายน้ำหยดใต้ดิน จะมีการเสื่อมสภาพตามธรรมชาติช้ากว่า สายน้ำหยดที่วางอยู่บนดิน และหากสายน้ำหยดบนดินวางอยู่ในแปลงที่พืชมีสภาพการปกคลุมน้อยก็จะยิ่งส่งผลให้สายน้ำหยดมีการเสื่อมสภาพได้เร็วกว่าท่อน้ำหยดใต้ดินมากยิ่งขึ้น แต่หากสายน้ำหยดบนดินนั้นมีสภาพการใช้งานกับพืชที่มีลักษณะปกคลุมดินมาก สายน้ำหยดจะมีการเสื่อมสภาพใกล้เคียงกับสายน้ำหยดใต้ดินมากขึ้น

ผลการศึกษาเกี่ยวกับอัตราการไหลที่ถูกปล่อยเข้าสู่สายน้ำน้ำหยดใต้ดินแต่ละสาย เมื่อใช้ความดันเท่ากัน ปรากฏว่าอัตราการไหลผ่านสายน้ำหยดใต้ดินมีค่าสูงกว่าสายน้ำหยดบนดิน แสดงถึงว่าน้ำสามารถไหลออกจากหัวจ่ายน้ำแต่ละหัวที่ฝังอยู่ใต้ดินสะดวกเท่ากันหรือดีกว่าการไหลออกจากหัวจ่ายน้ำที่อยู่บนดิน ทำให้สรุปได้ว่าอัตราการจ่ายน้ำจากหัวจ่ายที่ฝังน้ำใต้ดินไม่มีอุปสรรคต่อการนำไปใช้งานแต่อย่างใด

ผลการศึกษาพบว่าข้อดีทางปฏิบัติในการทำการเกษตรกรรมภายในแปลงเพาะปลูกที่มีระบบชลประทานแบบน้ำหยดใต้ดินก็คือลดปัญหาเรื่องวัชพืชในแปลงลงได้บ้าง อย่างไรก็ตามข้อจำกัดที่สำคัญที่พบของการใช้ระบบชลประทานน้ำหยดแบบใต้ดินก็คือการใช้เวลาและแรงงานคนเพิ่มขึ้นในระหว่างการติดตั้งระบบ อีกประมาณ 20-35 เปอร์เซ็นต์ จากระบบน้ำหยดบนดิน

Abstract

Title : Evaluation of Subsurface Drip Irrigation System

By : Miss Chawiwan Thongdee

Miss Nattawan Khimprasut

Project Advisor : .....

(Asst. Prof. Nimit Chirdchanpipat)

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

The objectives of this study are to evaluate basic problems and limitation of subsurface drip irrigation systems, the deterioration of drip lines and water application uniformity of drip system. The experimental area was conducted at Irrigation Engineering Department field, Kasetsart University Kamphaeng Sean Campus with 20 x 50 square meters. 15 subsurface and 5 surface drip lines were used in the system. The drip lines are made of PE material with 16 millimeter diameter.

The result of this study shows that subsurface drip lines have natural deterioration slower than surface drip lines. It is also found that the less the cover crop is, the quicker the deterioration of surface drip lines is, comparing to the subsurface one. While the surface drip lines are under more cover crops condition, the deterioration will be more similar to the subsurface, but still quicker.

The relationship between pressure and discharge through each drip line shown that when using at the same pressure, the greater discharge through subsurface drip lines is higher than the surface drip lines which denotes the capability of emitters of subsurface drip lines that they can be used as well as surface drip lines.

The advantage in agricultural practice when subsurface drip lines were used is to reduce some weed growing in the field. The significant limitation of subsurface drip irrigation system, however, is the increment of both labor and working time for system installation which is about 20 -35 % higher than of the surface drip irrigation system.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิศวกรรมสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีนั้นผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ผศ.นิมิตร เฉิดฉันท์พิพัฒน์ ประธานกรรมการ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา ตรวจสอบ แก้ไข และให้ข้อคิดเห็นต่างๆ จนกระทั่งโครงงานวิศวกรรมเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ คุณพรลิขิต ทองรอด ที่ให้ความช่วยเหลือและข้อแนะนำตลอดการศึกษาและเก็บข้อมูลในแปลงทดลอง ขอขอบคุณ คุณสุรพล เจริญชีพ ที่ให้ความช่วยเหลือในการติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

สุดท้ายนี้ประโยชน์และคุณความดีทั้งหลายอันพึงได้รับจากโครงงานวิศวกรรมเล่มนี้ผู้จัดทำขอมอบให้แก่ บิดามารดา ผู้มีพระคุณและท่านคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ความสามารถต่างๆ ให้แก่ผู้จัดทำ

คณะผู้จัดทำ

มีนาคม 2557

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ

กิตติกรรมประกาศ

สารบัญ **ก**

สารบัญภาพ **ข**

สารบัญตาราง **ค**

สารบัญภาคผนวก **ค**

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตการศึกษา 2

บทที่ 2 การตรวจเอกสาร **3**

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 การจัดเตรียมแปลงทดลอง 7

3.2 การปลูกพืชที่ใช้ทดลอง 9

3.3 สายน้ำหยดที่ใช้ 9

3.4 วิธีการทดลอง 10

บทที่ 4 ผลและวิจารณ์

4.1 ค่าการใช้น้ำของต้นทานตะวัน 14

4-2 ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคดิน 15

4.3 ผลการวัดค่าอัตราการไหลซึมของน้ำผ่านผิวดิน 19

4.4 ผลการทดสอบความทนทานของสายน้ำหยด 20

4.5 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลในสายน้ำหยดกับความดัน 22

4.6 ข้อดี ข้อจำกัด และปัญหาอุปสรรค 23

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป 24

5.2 ข้อเสนอแนะ 24

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ผังการวางแนวสายน้ำหยด	7
2 ท่อประธานและแนวสายน้ำหยดบนดิน	8
3 แนวสายน้ำหยดใต้ดิน	9
4 ค่าอัตราการไหลเฉลี่ยจากหัวจ่ายน้ำ กับค่าความดัน สำหรับท่อ Drip Tape ที่ใช้ทดลอง	10
5 เครื่องมือทดสอบแรงดึงของวัสดุ	11
6 อุปกรณ์ Double Ring Infiltrometer	12
7 ค่าการใช้น้ำของต้นทานตะวันแต่ละสัปดาห์ของการเจริญเติบโต	14
8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรง กับ ขนาดตะแกรงของดินตัวอย่างที่ 1	16
9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรง กับ ขนาดตะแกรงของดินตัวอย่างที่ 2	17
10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรง กับ ขนาดตะแกรงของดินตัวอย่างที่ 3	18
11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรง กับ ขนาดตะแกรงของดินตัวอย่างที่ 4	19
12 กราฟการไหลซึมผ่านผิวดินสะสม (Z) และกราฟอัตราการไหลซึม ผ่านผิวดินบริเวณแปลงทดลอง (I)	19
13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับจำนวนช่องที่อ่านจากเกจ	21
14 กราฟค่าความต้านทานแรงดึงระหว่างสายน้ำหยดฝังใต้ดินกับบนดิน	21
15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและแรงดันของสายน้ำหยดฝังใต้ดินกับบนดิน	22

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
1 เปรียบเทียบผลผลิตฝ้ายจากระบบให้น้ำหยดใต้ดินกับระบบการให้น้ำแบบร่องคู	4
2 เปรียบเทียบผลผลิตฝ้ายจากระบบให้น้ำหยดใต้ดินกับระบบสปริงเกลอร์	5
3 ข้อมูลความดัน และอัตราการไหลเข้าสู่สายน้ำหยดใต้ดินแต่ละสาย	13
4 ค่าการใช้น้ำของต้นทานตะวัน รายสัปดาห์	14
5 ผลของขนาดอนุภาคดินในแปลงทดลอง ตัวอย่างที่ 1	15
6 ผลของขนาดอนุภาคดินในแปลงทดลอง ตัวอย่างที่ 2	16
7 ผลของขนาดอนุภาคดินในแปลงทดลอง ตัวอย่างที่ 3	17
8 ผลของขนาดอนุภาคดินในแปลงทดลอง ตัวอย่างที่ 4	18
9 ผลการสอบเทียบเครื่องทดสอบแรงดึงกับ Proving Ring ขนาด 2.0 KN (200 kgf)	20

สารบัญภาคผนวก (ต่อ)

ตารางภาคผนวกที่	หน้า
1 สรุปค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) เฉลี่ยรายเดือนตั้งแต่ปี พ.ศ.2544 – 2554	27
2 บันทึกผลการทดสอบค่าต้านทานแรงดึงของสายน้ำหยดผิวดินและฝังดิน	29
3 บันทึกข้อมูลแรงดันและอัตราการไหล	31
4 บันทึกข้อมูลการหาค่าอัตราการไหลซึมผ่านผิวดินโดยการใช้ Double Ring	36
ภาพภาคผนวกที่	
1 ค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) เฉลี่ยรายเดือนตั้งแต่ปี พ.ศ.2544 – 2554	28

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

วิธีการให้น้ำในปัจจุบันของประเทศไทยส่วนมากเป็นวิธีการให้น้ำแบบผิวดิน (Surface Irrigation Methods) พบว่าวิธีการให้น้ำดังกล่าวนี้มีประสิทธิภาพการให้น้ำอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่สูงนัก ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีปริมาณน้ำบางส่วนสูญเสียไปโดยที่พืชไม่ได้รับน้ำส่วนนั้นในระหว่างการให้น้ำ ประกอบกับในปัจจุบันทั้งบริเวณพื้นที่ในเขตชลประทาน (พื้นที่ที่มีระบบคลองส่งน้ำชลประทานผ่าน) และพื้นที่นอกเขตชลประทานเริ่มประสบปัญหามีปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อการทำการเกษตรกรรม ทั้งสาเหตุจากปริมาณน้ำต้นทุนจากแหล่งน้ำไม่สมดุลกับขนาดพื้นที่เพาะปลูกที่มีมากขึ้น รวมกับสาเหตุของการใช้น้ำที่ขาดประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตามเกษตรกรได้พยายามปรับตัวเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวโดยหันมาใช้วิธีการให้น้ำแบบระบบท่อ ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่าเป็นระบบที่ประหยัดน้ำมากกว่าระบบการให้น้ำแบบผิวดิน ระบบดังกล่าวได้แก่ ระบบน้ำหยด(บนดิน) ระบบสปริงเกลอร์ (Sprinkler) การชลประทานแบบไมโคร (Micro Irrigation Systems) อื่นๆ รวมทั้งระบบชลประทานแบบน้ำหยดใต้ดิน (Subsurface Drip Irrigation Systems) ที่มีข้อดีและข้อจำกัดต่างออกไปจากระบบน้ำหยดบนดิน ซึ่งเริ่มใช้กันอย่างแพร่หลายมากขึ้น แต่เนื่องจากระบบดังกล่าวถือว่ายังเป็นเทคโนโลยีการให้น้ำที่ค่อนข้างใหม่สำหรับประเทศไทยประกอบกับเป็นระบบการให้น้ำ ซึ่งมีต้นทุนการก่อสร้างเริ่มต้นที่สูงกว่าระบบการให้น้ำแบบผิวดิน ซึ่งที่ผ่านมาการจัดทำระบบการให้น้ำแบบนี้ของเกษตรกรอาศัยเพียงประสบการณ์และการลองผิดถูกรวมทั้งข้อมูลเชิงวิชาการส่วนใหญ่ที่ใช้ยังเป็นข้อมูลที่ประยุกต์มาจากของบริษัทผู้ผลิตที่เป็นของต่างประเทศ ทำให้เมื่อนำระบบการชลประทานน้ำหยดใต้ดินมาใช้ในประเทศไทยแล้วยังพบว่ามีปัญหาและอุปสรรคทั้งของตัวองค์ประกอบของระบบเอง เช่น การเลือกระบบที่เหมาะสมกับพืชและพื้นที่เพาะปลูก การติดตั้งระบบให้เหมาะสมเช่นความลึกของการฝังท่อ ตำแหน่งของแนวท่อ รวมทั้งประสิทธิภาพการให้น้ำยังไม่สูงเท่าที่ควรจะเป็นและที่สำคัญซึ่งระบบการให้น้ำแบบท่อจะต้องถูกออกแบบให้มีผลการให้น้ำที่ทุกระบบจะต้องมีก็คือค่าความสม่ำเสมอในการให้น้ำ (Water Application Uniformity)

ด้วยเหตุผลต่างๆที่เกษตรกรผู้นำระบบการให้น้ำแบบน้ำหยดใต้ดินไปใช้และเกิดข้อจำกัดรวมทั้งปัญหาที่พบดังได้กล่าวไว้ข้างต้น รวมทั้งในปัจจุบันข้อมูลเกี่ยวกับการทดลองระบบให้น้ำแบบน้ำหยดใต้ดินยังพบได้ไม่มากและมีความแพร่หลายค่อนข้างน้อยในหมู่ผู้เกี่ยวข้องทั้งนักวิชาการรวมทั้งเกษตรกร สำหรับการนำไปใช้

เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจเลือกใช้ระบบ เพื่อให้ระบบการให้น้ำที่ติดตั้งสามารถให้น้ำได้อย่างประหยัดน้ำและช่วยเพิ่มผลผลิตที่สูงขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินถึงปัญหาและอุปสรรคของระบบน้ำหยดใต้ดิน
2. เพื่อประเมินถึงแนวโน้มความทนทานของระบบสายน้ำหยดที่ฝังอยู่ใต้ดิน
3. เพื่อประเมินอัตราการจ่ายน้ำที่ถูกปล่อยมาจากหัวจ่ายน้ำใต้ดินเปรียบเทียบกับหัวน้ำหยดบนดิน

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ใช้พื้นที่แปลงทดลองของภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม เป็นพื้นที่ศึกษาโดยผลที่ได้จะเป็นไปตามสภาพดินและตามชนิดของพืชที่ปลูกทดลองบริเวณพื้นที่ศึกษา

2. ระยะเวลาการศึกษาเกี่ยวกับระบบน้ำหยดใต้ดินคือ 1 ฤดูกาลเพาะปลูก (ระยะเวลาประมาณ 4 เดือน)

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ความหมายของระบบน้ำหยดใต้ดิน

ระบบน้ำหยดใต้ดิน (Subsurface Drip Irrigation System, SDI) หมายถึงระบบให้น้ำทางท่อซึ่งฝังอยู่ใต้ผิวดินและมีหัวจ่ายน้ำ (Emitters) ติดตั้งอยู่ ทำการจ่ายน้ำให้แก่บริเวณเขตรากของพืช ระบบท่อนี้จะอาศัยความดัน (Pressure or Head) ไม่สูงมากนัก อัตราการจ่ายน้ำเป็นลักษณะให้ทีละน้อยๆแต่อาจให้บ่อยครั้ง

ระบบน้ำหยดใต้ดิน มีการใช้กันมาตั้งแต่ปี ค.ศ.1960 (เอกสารอ้างอิง 5) และได้มีการพัฒนาใช้กันมาอย่างต่อเนื่องในช่วง 2 ทศวรรษที่ผ่านมา ระบบนี้เหมาะสำหรับพื้นที่บริเวณที่มีความแห้งแล้ง (Arid) หรือกึ่งแห้งแล้ง (Semi - arid) บริเวณเขตร้อน บริเวณที่มีลมพัดแรงโดยเฉพาะบริเวณที่มีปริมาณน้ำอยู่อย่างจำกัด

ข้อดีและข้อจำกัดของระบบน้ำหยดใต้ดิน

Harris,2005 ระบุถึงข้อดีและข้อจำกัดของระบบน้ำหยดใต้ดิน ดังนี้

ข้อดี

1.ง่ายต่อการควบคุมระบบการให้น้ำเพื่อให้ได้ความสม่ำเสมอในการให้น้ำสูง

2. สามารถควบคุมด้วยความถี่ของการให้น้ำบ่อยๆจนทำให้ความชื้นในบริเวณเขตรากพืชมีค่าที่เหมาะสมอยู่ตลอดเวลา เหมาะสำหรับกรณีน้ำมีความเค็มสูงและเขตรากพืชอยู่ตื้น

3. สามารถทำการให้น้ำได้แม้อยู่ในสภาวะที่ลมแรง เมื่อเปรียบเทียบกับการให้น้ำด้วยระบบสปริงเกลอร์

4. เป็นระบบที่อาศัยแรงดันต่ำ ทำให้ขนาดท่อที่ใช้ทั้งสายหลักและสายซอยมีขนาดเล็ก

5. ใช้แรงงานในระหว่างการให้น้ำไม่มาก

6. บริเวณเขตรากมีพื้นที่เปียกน้ำเพียงบางส่วนมีผลดีหลายประการ เช่น ลดการเกิดวัชพืช ลดการสูญเสียน้ำจากการระเหย เป็นต้น

ข้อจำกัด

1.มีปัญหาเรื่องการอุดตันของหัวจ่ายน้ำเนื่องจากตะกอนหรือสิ่งปนเปื้อนของน้ำ การอุดตันเนื่องจากรากพืช

2.เกิดการสะสมของเกลือบริเวณแนวเปียกน้ำโดยเฉพาะหากน้ำนั้นเป็นน้ำที่มีส่วนผสมของเกลือ

3.เกิดความเสียหายเนื่องจากเครื่องจักรกลเพื่อการเกษตรทำลาย

4.ความลึกของการวางท่ออาจถูกจำกัดและไม่ตอบสนองต่อความลึกของเขตรากพืช อันเนื่องมาจากชนิดของดินที่เป็นอยู่

ระบบน้ำหยดใต้ดินกับผลผลิตที่ได้

จากผลการวิจัยของ Harris (2005) เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตพืชที่ได้จากการให้น้ำระหว่างระบบการให้น้ำแบบอื่นกับระบบน้ำหยดใต้ดิน ได้ผลดังตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบผลผลิตฝ้ายจากระบบให้น้ำหยดใต้ดิน กับระบบการให้น้ำแบบร่องคู

Subsurface Drip Irrigation					Furrow Irrigation			
year	Yield (bales/ha)	Irrigation (ML/ha)	Rain (mm)	*WUE (bales/ML)	Yield (bales/ha)	Irrigation (ML/ha)	Rain (mm)	*WUE (bales/ML)
95-96	10.13	4.69	430	1.13	8.40	5.68	430	0.84
95-96	8.65	2.17	430	1.34	8.65	5.43	430	0.89
96-97	9.26	3.71	364	1.26	8.89	5.19	364	1.01
96-97	10.32	3.71	364	1.40	8.89	5.19	364	1.01

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลผลิตฝ้ายจากระบบให้น้ำหยดใต้ดิน กับระบบสปริงเกลอร์

Subsurface Drip Irrigation					Handshift Sprinkler Irrigation			
year	Yield (t/ha)	Irrigation (ML/ha)	Rain (mm)	*WUE (t/ML)	Yield (t/ha)	Irrigation (ML/ha)	Rain (mm)	*WUE (t/ML)
94-95	24.95	12.19	294	1.65	-	-	-	-
95-96	26.45	11.19	543	1.59	-	-	-	-
96-97	22.98	6.91	647	1.72	-	-	-	-
96-97	21.23	5.59	720	1.66	18.88	9.03	720	1.16
97-98	16.98	6.48	400	1.62	12.68	11.30	400	0.83

*WUE คือ Water Use Efficiency

การติดตั้งระบบน้ำหยดใต้ดิน

Ayars et.al, 1999 ศึกษาพบว่าความลึกของการวางท่อน้ำหยดใต้ดินที่เหมาะสมคือ 0.45 ม.และในดินชนิดดินร่วนเหนียวจะให้ลักษณะการแพร่กระจายของความชื้นได้ดี การวางแนวท่อแขนงที่เหมาะสมคือวางไว้ระหว่างแถวของพืชที่ปลูก

Reich et.al, 2009 โดยทั่วไปนิยมวางท่อแขนงให้ลึกลงไปจากผิวดินระหว่าง 6 – 24 นิ้ว หรือประมาณ 0.15 – 0.60 ม.ขึ้นอยู่กับชนิดดินและพืชที่ปลูก พืชรากตื้น เช่น สตรอเบอร์รี อาจวางท่อที่ความลึกเพียง 0.07-0.10 ม.จากผิวดิน ดินที่มีลักษณะเป็นดินเนื้อหยาบ เช่น ดินร่วนปนตะกอนทราย ดินร่วนเหนียว โดยทั่วไปดินประเภทนี้น้ำสามารถไหลขึ้นด้านบนผิวดินได้ง่าย จึงควรวางท่อให้มีความลึกมากขึ้น

ส่วนประกอบของระบบน้ำหยดใต้ดิน

ระบบน้ำหยดใต้ดินที่สมบูรณ์ จะมีส่วนประกอบดังนี้

1. เครื่องกำเนิดแรงดัน ได้แก่ เครื่องสูบน้ำหรืออุปกรณ์อื่นๆ
2. อุปกรณ์ลดความดัน (Pressure Release Valve)
3. อุปกรณ์ระบายอากาศ (Air Vent)

4. วาล์วชนิดต่างๆ

5. อุปกรณ์วัดความดัน

6. เครื่องกรองน้ำ

7. ท่อสายหลัก (Main Lines)

8. ท่อสายรอง (Submain Line)

9. ท่อแขนงหรือท่อสายซอย (Lateral) พร้อมหัวจ่ายน้ำ (Emitters)

10. ตัวควบคุม (Controllers)

อัตราการจ่ายน้ำจากหัวน้ำหยด

โดยทั่วไปอัตราการจ่ายน้ำจากหัวน้ำหยดของสายน้ำหยด (Drip Lines) ในหน่วยแกลลอน ต่อนาที ต่อ ความยาวสายน้ำหยด 100 ฟุต หรือ อัตราการไหลในหน่วยแกลลอนต่อชั่วโมง ต่อ 1 หัวน้ำหยด ทั้งนี้ ส่วนมากแล้วขนาดของอัตราการไหลต่ำสุดของหัวจ่ายน้ำหยดจะอยู่ที่ประมาณ 0.10 แกลลอนต่อชั่วโมงต่อหัว หรือประมาณ 0.17 แกลลอน ต่อ ชั่วโมง ต่อ 100 ฟุตของสายน้ำหยด ข้อมูลลักษณะของสายน้ำหยดโดยทั่วไป มีดังนี้

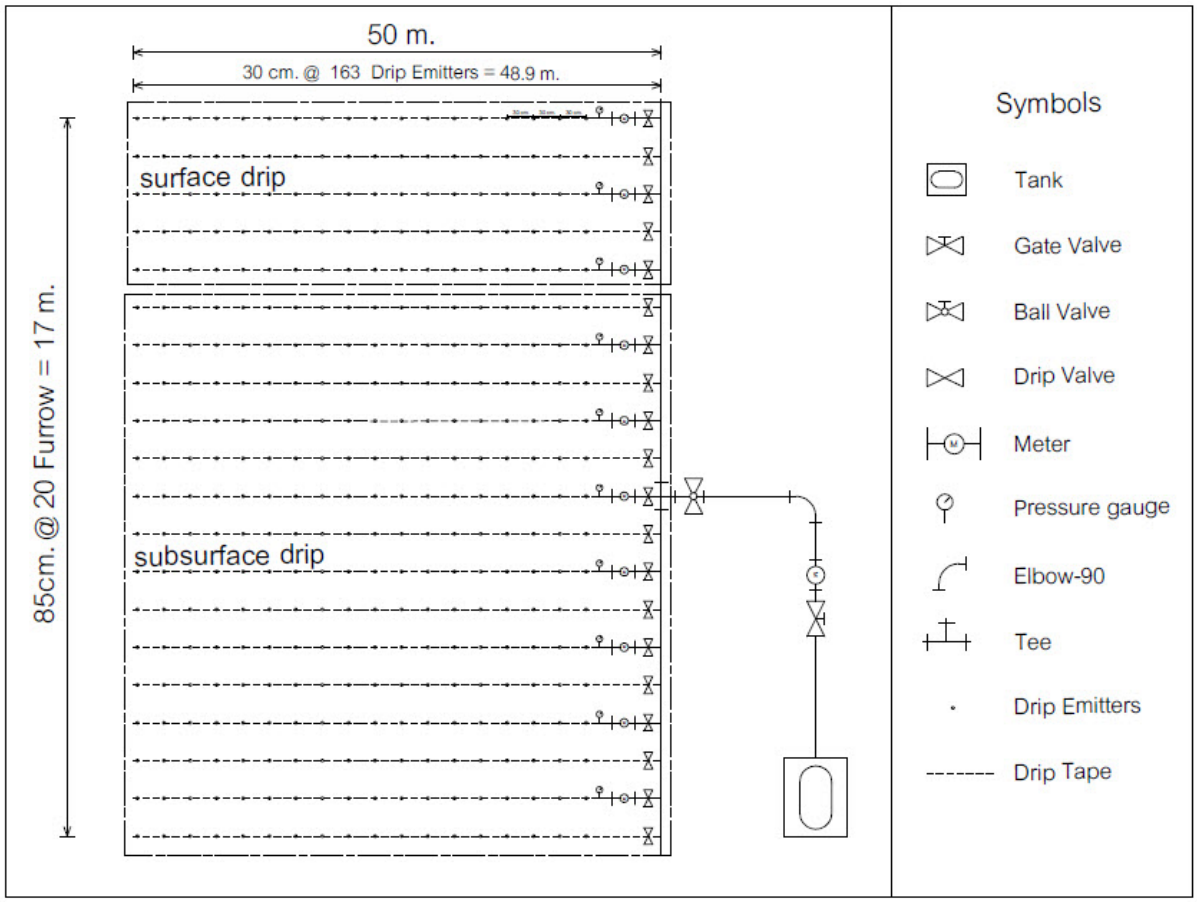
- ระยะห่างระหว่างหัวน้ำหยด 12 – 24 นิ้ว
- ความดันใช้งาน 8 -12 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ในการเพาะปลูกทั่วไปจะใช้อัตราการจ่ายน้ำของหัวจ่ายอยู่ที่ 0.20 – 0.25 แกลลอนต่อชั่วโมงต่อ 100 ฟุต และนิยมใช้อัตราการไหลต่ำๆเนื่องจากจะทำให้ได้ขนาดพื้นที่โซนให้น้ำที่ใหญ่ขึ้นและในขณะเดียวกันยัง ช่วยลดปริมาณอุปกรณ์ ประเภทวาล์ว ข้อต่อ ให้น้อยลงด้วย

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 การจัดเตรียมแปลงทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้ใช้พื้นที่แปลงทดลองภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ขนาดพื้นที่เท่ากับ 20 x 50 ตารางเมตร สภาพดินเป็นดินทรายมีดินเหนียวปน (SC) ทำการติดตั้งสายน้ำหยดใต้ดินจำนวน 15 แถว ฝังอยู่ที่ความลึกเท่ากับ 0.15 ม. สายน้ำหยดบนดิน จำนวน 5 แถว เพื่อใช้เป็นค่าศึกษาเปรียบเทียบ สายน้ำหยดใต้ดินและผิวดินมีลักษณะเหมือนกันคือเป็นสายน้ำหยดชนิด Drip Tape ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างหัวน้ำหยด เท่ากับ 0.30 เมตร ระยะห่างระหว่างแถวของสายน้ำหยด เท่ากับ 0.85 เมตร ลักษณะการวางแนวสายน้ำหยดพร้อมทั้งอุปกรณ์ประกอบ แสดงไว้ตามภาพที่ 1 สำหรับภาพที่ 2 และ 3 เป็นภาพถ่ายเมื่อมีการวางแนวท่อเสร็จเรียบร้อย



ภาพที่ 1 ผังการวางแนวท่อน้ำหยด

(ก) ท่อประธาน

(ข) ท่อน้ำหยด

ภาพที่ 2 ท่อประธานและแนวท่อน้ำหยดบนดิน

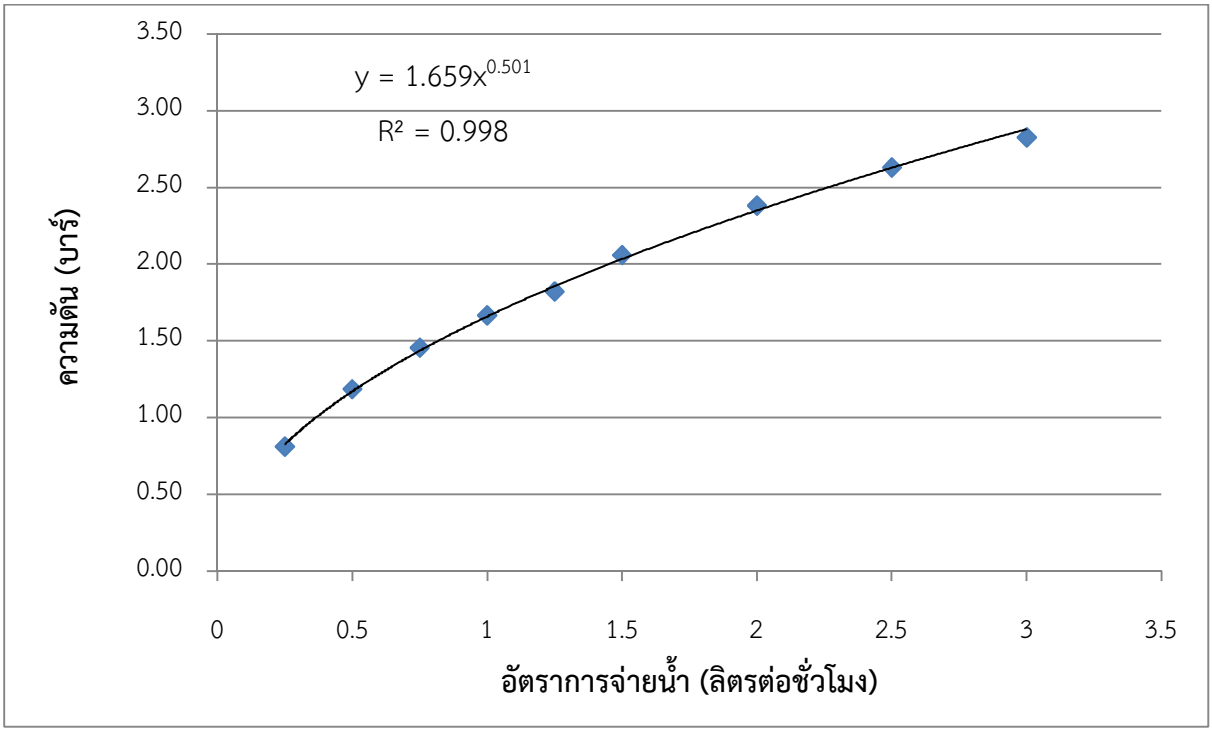
ภาพที่ 3 แนวท่อน้ำหยดใต้ดิน

3.2 พืชที่ใช้ทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้ได้ใช้ชนิดพืชคือ ต้นทานตะวัน เป็นพืชประกอบการทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากพืชดังกล่าวมีการปลูกอยู่แล้วบริเวณแปลงทดลองของภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน จึงถูกนำมาใช้เป็นพืชปลูกประกอบการทดลองเนื่องจากหาต้นพันธุ์ได้ง่าย และต้นทานตะวันเป็นพืชที่มีอายุการเจริญเติบโตเป็นเวลาสั้น อีกทั้งในปัจจุบันซึ่งที่ยุคที่พลังงานกำลังขาดแคลนต้นทานตะวันยังเป็นพืชพลังงานอีกด้วย (ภาพที่ 2 และ 3)

3.3 สายน้ำหยด

ในการทดลอง ใช้สายน้ำหยดชนิดมีหัวน้ำหยดฝังอยู่ในสายตลอดแนวสาย หรือที่เรียกว่า Drip Tape ก่อนการติดตั้ง ทำการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการจ่ายน้ำที่จะได้รับกับความดันที่ใช้ ผลการทดสอบพบว่าค่าอัตราการไหลเฉลี่ยที่ได้กับความดันที่ใช้ (ภาพที่ 4) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการจ่ายน้ำจากหัวจ่าย (Emitter) กับค่าความดัน เป็นไปตามสมการ $Y = 1.659 X^{0.501}$ เมื่อ Y คือ ความดัน(บาร์) และ X คือ อัตราการจ่ายน้ำจากหัวจ่ายน้ำหยด (ลิตรต่อชั่วโมง)



ภาพที่ 4 ค่าอัตราการไหลเฉลี่ยจากหัวจ่ายน้ำ กับค่าความดัน สำหรับท่อ Drip Tape ที่ใช้ทดลอง

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การหาค่าการใช้น้ำของต้นทานตะวัน

ในการคำนวณหาค่าการใช้น้ำของต้นทานตะวัน ใช้ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดข้อมูลอุตุนิยมวิทยานครปฐม ย้อนหลัง 10 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2544 -2554 (ตารางภาคผนวกที่ 1) ซึ่งตั้งอยู่ที่วิทยาเขตกำแพงแสน ระยะห่างจากแปลงทดลอง 2 กิโลเมตร นำมาคำนวณหาค่าการใช้น้ำของต้นทานตะวัน ซึ่งเริ่มปลูกตั้งแต่เดือน มีนาคม ถึงเดือน มิถุนายน

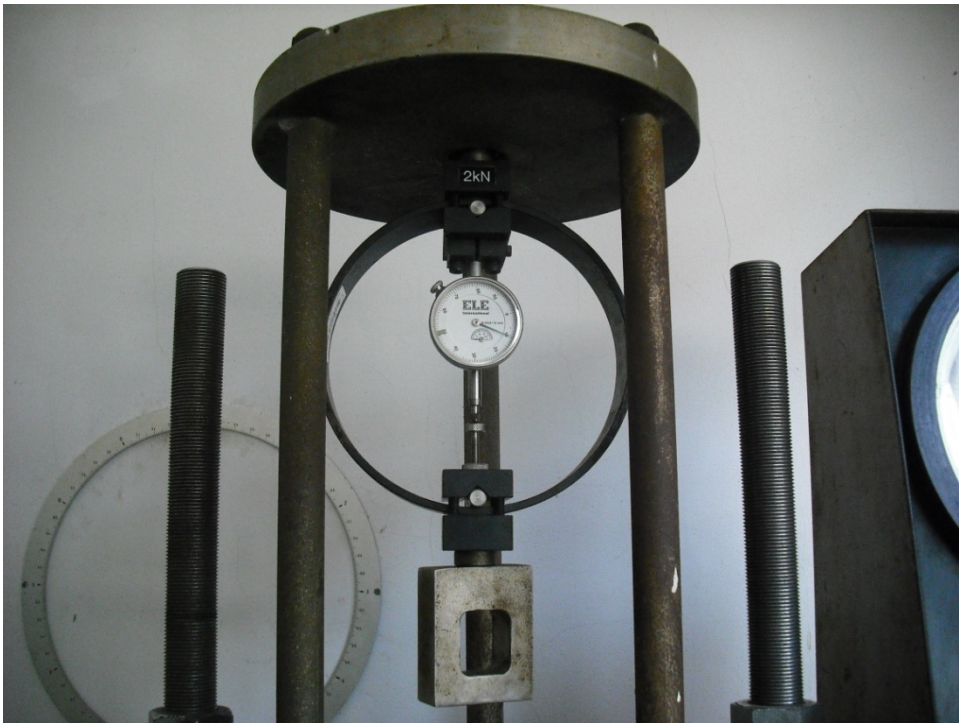
3.4.2 การวิเคราะห์เนื้อดิน

ทำการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคเม็ดดินโดยใช้วิธี Sieve Analysis โดยทำการเก็บตัวอย่างดินจำนวน 4 จุดด้วยกัน จากนั้นนำไปร่อนผ่านตะแกรงที่มีความละเอียดแตกต่างกัน (ตารางที่ 6 ถึงตารางที่ 9 ในบทที่ 4)

3.4.3 การสอบเทียบเครื่องมือทดสอบแรงดึง

ในการทดสอบลักษณะการเสื่อมสภาพของท่อน้ำหยดเปรียบเทียบระหว่างสายน้ำหยดที่วางบนดินกับสายน้ำหยดฝังอยู่ใต้ดิน จะใช้เครื่องทดสอบแรงดึงวัสดุ (ภาพที่ 5) ก่อนที่จะนำเครื่องมือมาใช้จะต้องทำการสอบเทียบเครื่อง (Calibration) เสียก่อนเพื่อให้ทราบความเที่ยงตรงของค่าที่ได้จากการวัดจากเครื่องมือ

ดังกล่าว ในการสอบเทียบเครื่องได้ใช้อุปกรณ์ Proving Ring ขนาด 2.0 KN เป็นอุปกรณ์มาตรฐานเพื่อใช้สอบเทียบครั้งนี้ ผลการสอบเทียบเครื่องทดสอบแรงดึง (ตารางที่ 10)



ภาพที่ 5 เครื่องมือทดสอบแรงดึงของวัสดุ

3.4.4 การทดลองหาค่าอัตราการไหลซึมของน้ำผ่านผิวดิน

เพื่อให้ได้ค่าสมบัติของดินด้านการไหลซึมของน้ำผ่านผิวดินบริเวณพื้นที่ทดลอง จึงทำการตรวจวัดหาค่าดังกล่าว โดยใช้อุปกรณ์ Double Ring Infiltrometer ทำการตรวจวัดจำนวน 1 จุด เนื่องจากแปลงทดลองเป็นพื้นที่ไม่ใหญ่มากนัก อุปกรณ์ Infiltrometer (ภาพที่ 6)

ภาพที่ 6 อุปกรณ์ Double Ring Infiltrometer

3.4.5 **การตรวจวัดค่าอัตราการไหลและความดันจากหัวจ่ายน้ำหยดใต้ดิน**

ในการประเมินความสม่ำเสมอของระบบน้ำหยดใต้ดิน การวัดปริมาณน้ำจากแต่ละหัวจ่ายทำได้ยาก จึงใช้การวัดปริมาณน้ำที่จ่ายเข้าสู่แนวสายน้ำหยดใต้ดินแต่ละสายแทน สายน้ำหยดใต้ดินทั้งหมดที่ใช้มีจำนวน 7 สาย วิธีการทดลองมีดังนี้

3.4.5.1 กำหนดค่าความดันที่ต้นทางสายสายใหญ่รอง (Manifold) จากนั้นเปิดน้ำให้เข้าสู่สายน้ำหยดแต่ละสาย

3.4.5.2 ที่ต้นทางของสายน้ำหยดแต่ละสายติดตั้งมิเตอร์วัดน้ำ จับเวลาที่ทำการให้น้ำเป็นระยะเวลาหนึ่ง แล้วอ่านค่าจากมิเตอร์วัดน้ำนั้น ค่าที่ได้จะเป็นปริมาตรน้ำที่ผ่านเข้าสาย ในช่วงเวลาที่กำหนด

3.4.5.3 นำมาคำนวณเป็นค่าอัตราการไหลเข้าท่อสายน้ำหยดใต้ดินแต่ละสาย

3.4.5.4 ข้อมูลความดัน กับค่าอัตราการไหลเข้าสู่สายน้ำหยดแต่ละสาย (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 3 ข้อมูลความดัน และอัตราการไหลเข้าสู่ท่อน้ำหยดใต้ดินแต่ละสาย

ค่าความดัน (Pascal)	อัตราการไหลแต่ละสายน้ำหยดใต้ดิน (ลิตรต่อนาที)							ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย (ลิตรต่อนาที)
	สายน้ำหยดที่ 1	สายน้ำหยดที่ 2	สายน้ำหยดที่ 3	สายน้ำหยดที่ 4	สายน้ำหยดที่ 5	สายน้ำหยดที่ 6	สายน้ำหยดที่ 7	
0.470	4.20	4.00	5.00	2.80	4.80	NA	NA	4.16
0.806	5.20	4.80	4.80	4.20	4.60	5.40	5.60	4.94
1.440	6.20	6.60	6.20	7.20	7.20	7.20	6.40	6.71
1.749	8.80	7.20	6.80	6.60	7.00	NA	NA	7.28
1.868	7.60	7.40	7.20	7.60	7.60	7.00	7.20	7.37
1.943	7.60	7.40	7.60	7.00	7.40	7.40	7.20	7.37

3.5 การสังเกตการณ์ปัญหาและอุปสรรคการดำเนินงานระบบน้ำหยดใต้ดิน

เพื่อให้ทราบถึงปัญหา อุปสรรค ข้อดีและข้อจำกัดต่างๆของการดำเนินการติดตั้ง การจัดการให้น้ำด้วยระบบชลประทานแบบน้ำหยดใต้ผิวดิน จึงทำการเก็บข้อมูลเหล่านี้โดยใช้วิธีการสังเกตและรวบรวมข้อมูล

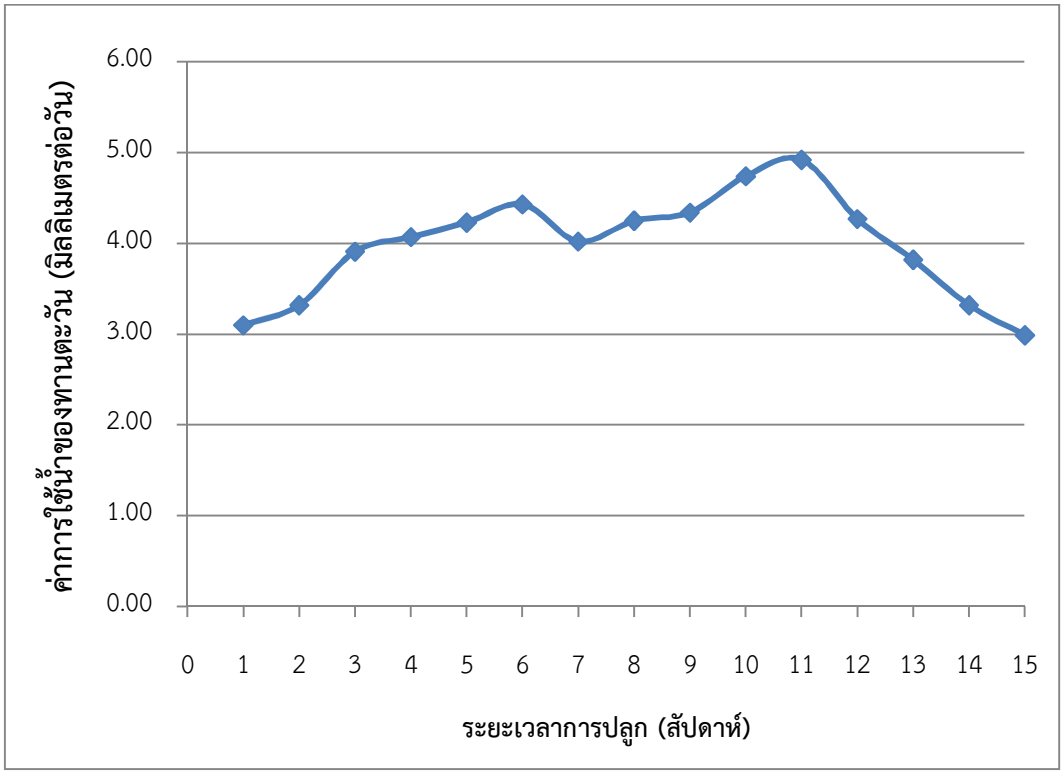
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์

4.1 ค่าการใช้น้ำของทานตะวัน

จากการวิเคราะห์ค่าการใช้น้ำของต้นทานตะวัน ในช่วงเดือนมีนาคม ถึงเดือน มิถุนายน ได้ผลตามตารางที่ 4 และภาพที่ 7

ตารางที่ 4 ค่าการใช้น้ำของต้นทานตะวัน รายสัปดาห์

สัปดาห์ที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
เดือน	มีนาคม		เมษายน				พฤษภาคม					มิถุนายน			
*K_C	0.68	0.73	0.75	0.78	0.81	0.85	0.9	0.95	0.97	1.06	1.1	1.03	0.92	0.8	0.72
ETo (mm/ day)	4.55	4.55	5.21	5.21	5.21	5.21	4.46	4.46	4.46	4.46	4.46	4.15	4.15	4.15	4.15
ETc (mm/ day)	3.10	3.32	3.91	4.07	4.23	4.43	4.02	4.25	4.34	4.74	4.92	4.27	3.82	3.32	2.99



ภาพที่ 7 ค่าการใช้น้ำของทานตะวันแต่ละสัปดาห์ของการเจริญเติบโต

*ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของทานตะวัน (K_C) อ้างอิงจากกลุ่มงานวิจัยการใช้น้ำชลประทาน ส่วนการใช้น้ำชลประทาน สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน

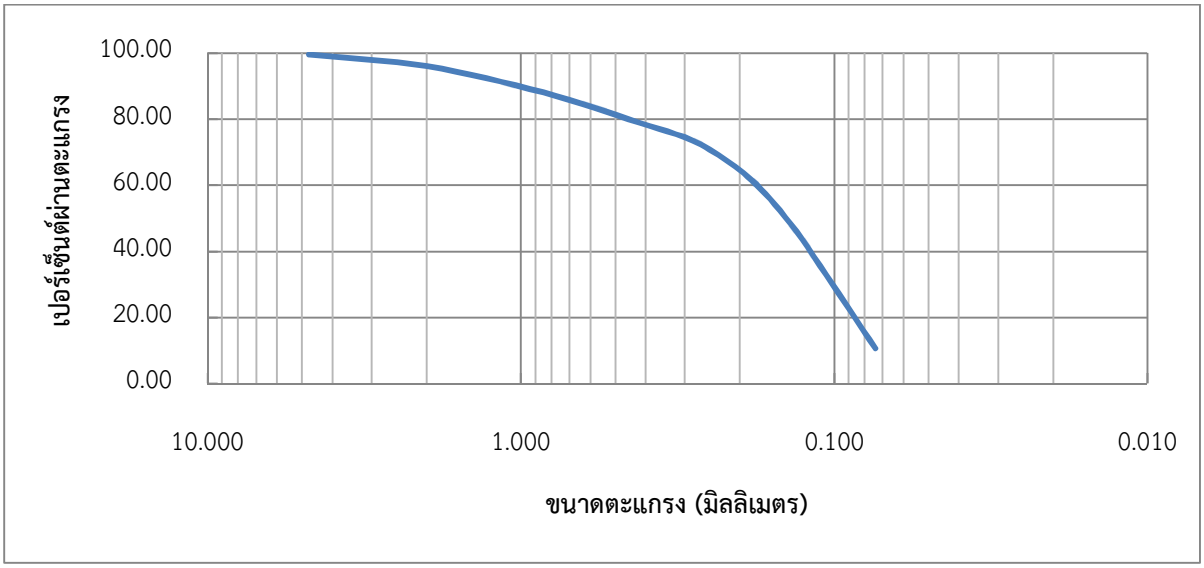
ในช่วงการปลูกต้นทานตะวัน ตั้งแต่เดือนมีนาคม ถึง เดือนมิถุนายน ระยะเวลา 4 เดือน พบว่าต้นทานตะวันมีค่าการใช้น้ำอยู่ระหว่าง 2.99 – 4.92 มิลลิเมตรต่อวัน ค่าเฉลี่ยการใช้น้ำตลอดระยะเวลาการเพาะปลูกเท่ากับ 3.982 มิลิเมตรต่อวัน โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 4.92 มิลลิเมตรต่อวัน

4.2 ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคดิน

โดยการวิเคราะห์ Sieve Analysis ผลของขนาดอนุภาคดินในบริเวณพื้นที่ทดลองจาก 4 ตัวอย่าง (ตารางที่ 5 ถึงตารางที่ 8 และภาพที่ 8 ถึงภาพที่ 11)

ตารางที่ 5 ผลของขนาดอนุภาคดินในแปลงทดลอง ตัวอย่างที่ 1

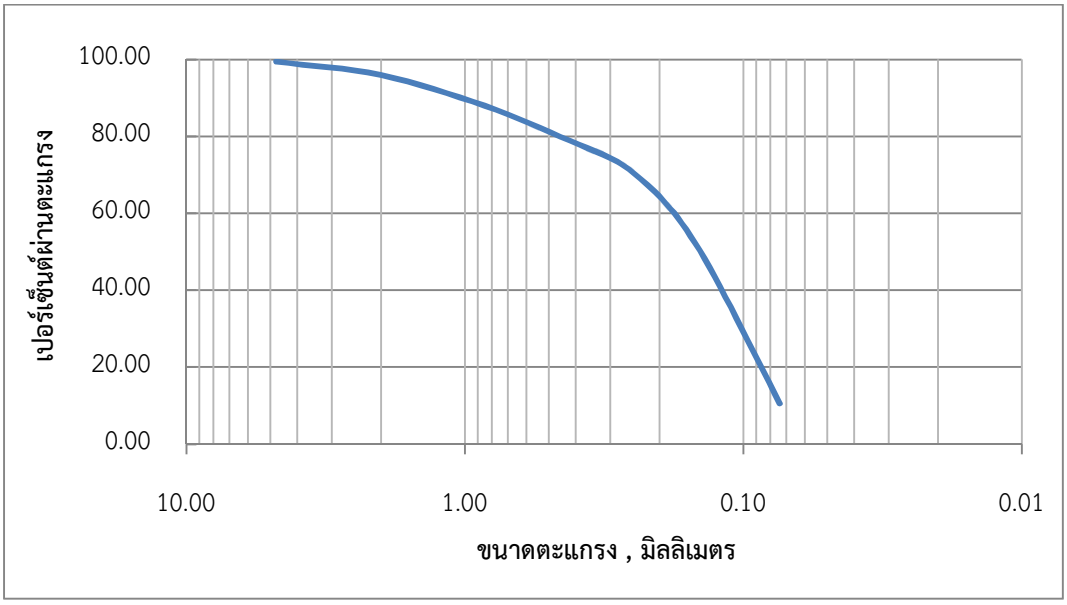
Example : 1				SC ดินทรายมีดินเหนียวปน			
SOIL SAMPLE WEIGHT							
Wt. of Container + Dry Soil,	950.7			Wt. of Dry Soil before Sieve, gm.	492.10		
Wt. of Container, gm.	458.6			Wt. of Dry Soil after Sieve, gm.	492.03		
Wt. of Dry Soil, gm.	492.1			Wt. of Loss by Sieve,	0.070		
				Loss in % of Total	0.014		
SIEVE ANALYSIS							
Sieve NO.	Sieve Openin	Wt. of Sieve,	Wt. of Sieve Soil, gm.	Wt. of Soil Retained,	% Retaine	% Cumulativ	% Finer
4	4.760	471.350	486.710	15.360	3.122	3.122	96.878
10	2.000	431.000	458.880	27.880	5.666	8.788	91.212
20	0.850	371.660	428.080	56.420	11.467	20.255	79.745
40	0.420	337.730	391.310	53.580	10.890	31.144	68.856
60	0.250	343.100	380.340	37.240	7.569	38.713	61.287
100	0.149	312.130	394.160	82.030	16.672	55.385	44.615
200	0.074	301.000	454.100	153.100	31.116	86.501	13.499
PAN		283.580	350.000	66.420	13.499	100.000	
Total				492.030			



ภาพที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรง กับ ขนาดตะแกรง ดินตัวอย่างที่ 1

ตารางที่ 6 ผลของขนาดอนุภาคดินในแปลงทดลอง ตัวอย่างที่ 2

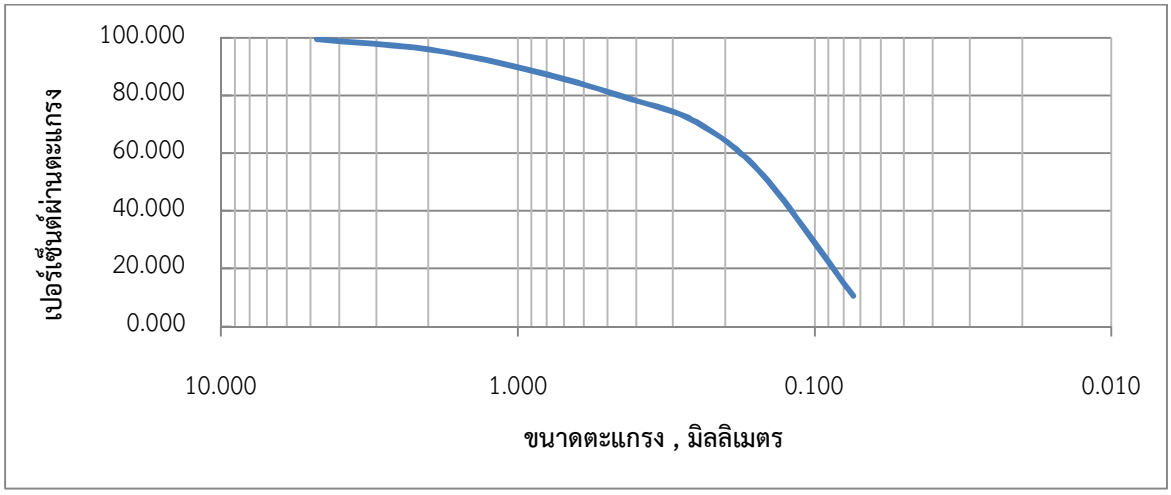
Example : 2				SC ดินทรายมีดินเหนียวปน			
SOIL SAMPLE WEIGHT							
Wt. of Container + Dry Soil,	775.76			Wt. of Dry Soil before Sieve, gm.	483.74		
Wt. of Container, gm.	292.02			Wt. of Dry Soil after Sieve, gm.	482.88		
Wt. of Dry Soil, gm.	483.74			Wt. of Loss by Sieve,	0.860		
				Loss in % of Total	0.178		
SIEVE ANALYSIS							
Sieve NO.	Sieve Opening , mm.	Wt. of Sieve, gm.	Wt. of Sieve + Soil, gm.	Wt. of Soil Retained, gm.	% Retained	% Cumulative	% Finer
4	4.760	471.350	478.750	7.400	1.532	1.532	98.468
10	2.000	431.000	454.360	23.360	4.838	6.370	93.630
20	0.850	371.660	417.290	45.630	9.450	15.820	84.180
40	0.420	337.730	390.980	53.250	11.028	26.847	73.153
60	0.250	343.100	389.880	46.780	9.688	36.535	63.465
100	0.149	312.130	399.410	87.280	18.075	54.610	45.390
200	0.074	301.000	460.240	159.240	32.977	87.587	12.413
PAN		283.580	343.520	59.940	12.413	100.000	
Total				482.880			



ภาพที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรง กับ ขนาดตะแกรง ดินตัวอย่างที่ 2

ตารางที่ 7 ผลการหาขนาดอนุภาคดินในแปลงทดลอง ตัวอย่างที่ 3

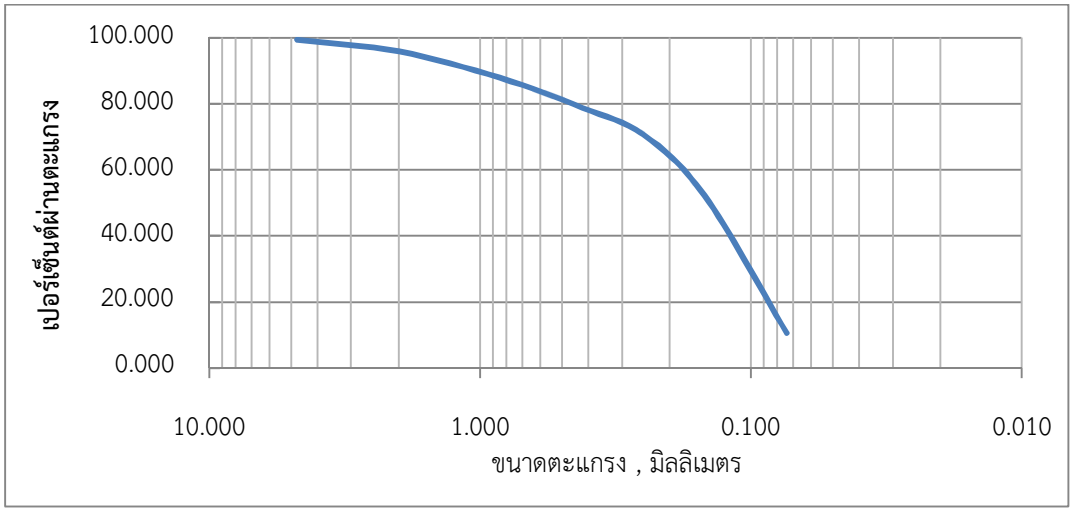
Example : 3				SC ดินทรายมีดินเหนียวปน			
SOIL SAMPLE WEIGHT							
Wt. of Container + Dry Soil,	727.56			Wt. of Dry Soil before Sieve, gm.	474.35		
Wt. of Container, gm.	253.21			Wt. of Dry Soil after Sieve, gm.	472.29		
Wt. of Dry Soil, gm.	474.35			Wt. of Loss by Sieve,	2.060		
				Loss in % of Total	0.434		
SIEVE ANALYSIS							
Sieve NO.	Sieve Openin	Wt. of Sieve,	Wt. of Soil, gm.	Wt. of Soil Retained,	% Retaine	% Cumulativ	% Finer
4	4.760	471.350	474.040	2.690	0.570	0.570	99.430
10	2.000	431.000	447.750	16.750	3.547	4.116	95.884
20	0.850	371.660	409.060	37.400	7.919	12.035	87.965
40	0.420	337.730	380.870	43.140	9.134	21.169	78.831
60	0.250	343.100	381.610	38.510	8.154	29.323	70.677
100	0.149	312.130	399.000	86.870	18.393	47.716	52.284
200	0.074	301.000	497.750	196.750	41.659	89.375	10.625
PAN		283.580	333.760	50.180	10.625	100.000	
Total				472.290			



ภาพที่ 10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรง กับ ขนาดตะแกรง ของดินตัวอย่างที่ 3

ตารางที่ 8 ผลการหาขนาดอนุภาคดินในแปลงทดลอง ตัวอย่างที่ 4

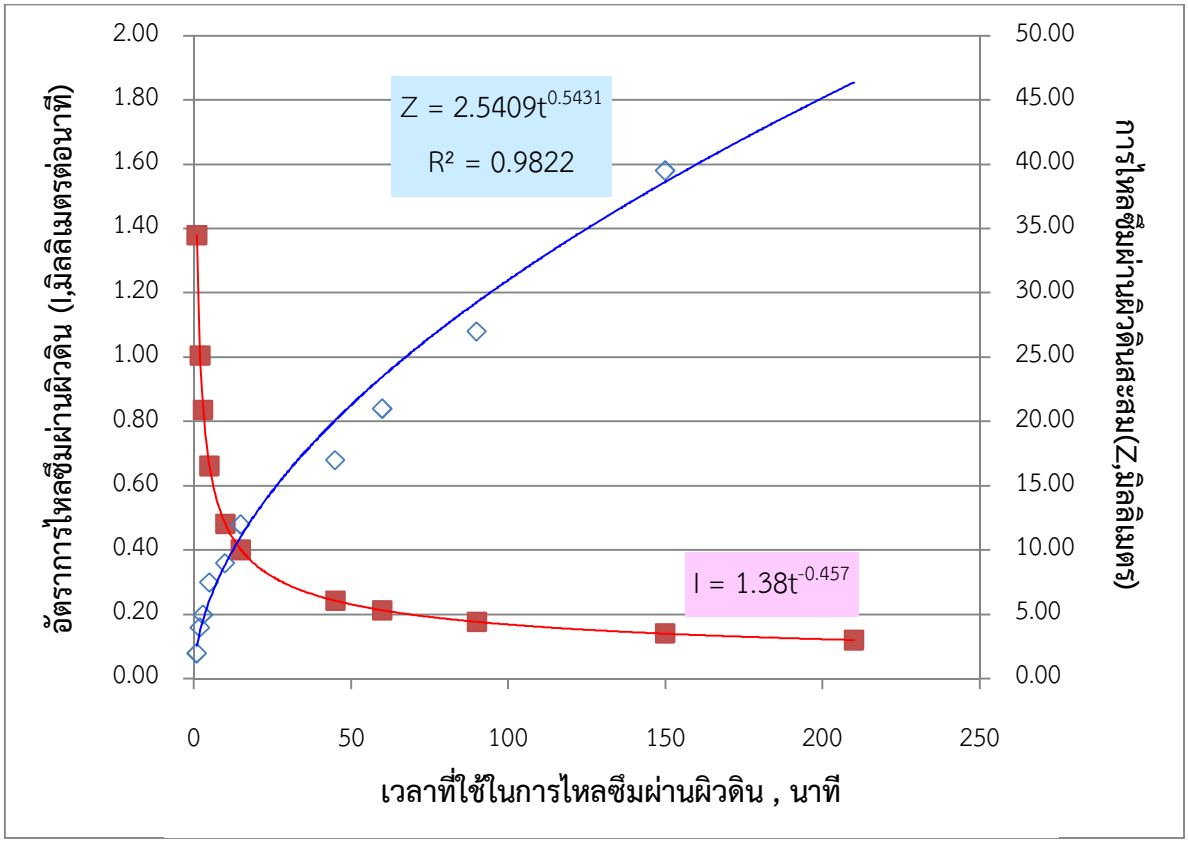
Example : 4				SC ดินทรายมีดินเหนียวปน			
SOIL SAMPLE WEIGHT							
Wt. of Container + Dry Soil, gm.	719.84			Wt. of Dry Soil before Sieve, gm.	473.990		
Wt. of Container, gm.	245.85			Wt. of Dry Soil after Sieve, gm.	473.900		
Wt. of Dry Soil, gm.	473.99			Wt. of Loss by Sieve, gm.	0.090		
				Loss in % of Total	0.019		
SIEVE ANALYSIS							
Sieve NO.	Sieve Opening	Wt. of Sieve,	Wt. of Soil, gm.	Wt. of Soil Retained,	% Retained	% Cumulative	% Finer
4	4.760	471.350	473.800	2.450	0.517	0.517	99.483
10	2.000	431.000	456.690	25.690	5.421	5.938	94.062
20	0.850	371.660	415.850	44.190	9.325	15.263	84.737
40	0.420	337.730	384.250	46.520	9.816	25.079	74.921
60	0.250	343.100	383.420	40.320	8.508	33.587	66.413
100	0.149	312.130	389.070	76.940	16.235	49.823	50.177
200	0.074	301.000	487.100	186.100	39.270	89.093	10.907
PAN		283.580	335.270	51.690	10.907	100.000	
Total				473.900			



ภาพที่ 11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรง กับ ขนาดตะแกรง ของดินตัวอย่างที่ 4

4.3 ผลการวัดค่าอัตราการไหลซึมของน้ำผ่านผิวดิน

จากการตรวจวัดเพื่อหาค่าอัตราการไหลซึมของน้ำผ่านผิวดิน (Infiltration Rate) ของดินบริเวณพื้นที่ทดลอง โดยใช้อุปกรณ์ Double Ring Infiltrometer แสดงได้ดังกราฟภาพที่ 12



ภาพที่ 12 กราฟการไหลซึมผ่านผิวดินสะสม (Z) และกราฟอัตราการไหลซึมผ่านผิวดินบริเวณแปลงทดลอง (I)

จากผลการทดลอง ได้สมการสำหรับใช้คำนวณความลึกของการไหลซึมผ่านผิวดินสะสม คือ $Z = 2.5409\ t^{0.5431}$ มิลลิเมตร และสมการหาค่าอัตราการไหลซึมผ่านผิวดิน $I = 1.38\ t^{-0.457}$ มิลลิเมตรต่อนาที ค่าอัตราการไหลซึมพื้นฐาน (Basic Intake rate) มีค่าโดยประมาณเท่ากับ 0.120 มิลลิเมตรต่อ นาที หรือเท่ากับ ประมาณ 7.20 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งค่าดังกล่าวจะถูกนำไปใช้เป็นค่ากำหนดอัตราการจ่ายน้ำจากหัวจ่ายน้ำประเภทสปริงเกลอร์หรือแบบสเปรย์ต่อไป

4.4 ผลการทดสอบความทนทานของสายน้ำหยด

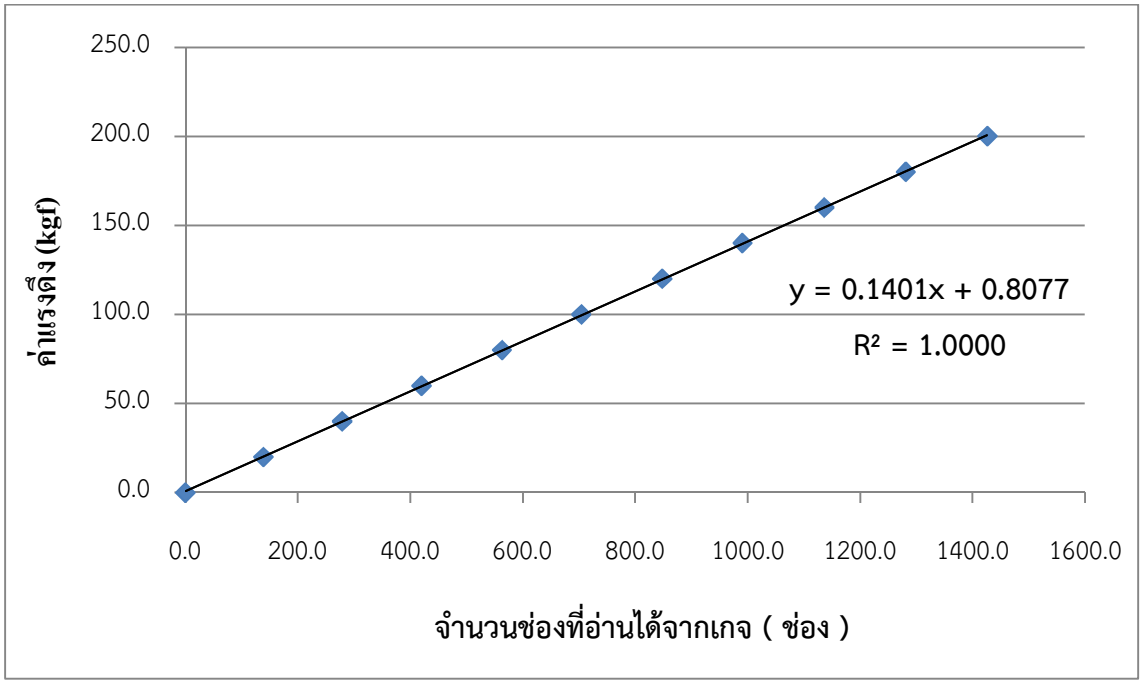
จากการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบความทนทานระหว่างสายน้ำหยดใต้ดิน กับ สายน้ำหยดที่วางบนดิน โดยการนำเอาตัวอย่างสายไปทดสอบค่าความต้านแรงดึง (Tension Load) มีผลการทดสอบ ดังต่อไปนี้

4.4.1 ผลการสอบเทียบเครื่องมือ

อุปกรณ์ทดสอบการรับแรงดึงของวัสดุได้ถูกนำมาใช้ทดสอบความสามารถรับแรงดึงของสายน้ำหยด แต่อุปกรณ์นี้จะต้องทำการสอบเทียบเพื่อตรวจสอบความเที่ยงตรงโดยนำไปเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานอีกทีหนึ่งซึ่งจะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Proving Ring ผลการสอบเทียบพบว่าค่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่อ่านได้จากเครื่องดึง กับ Proving Ring (ตารางที่ 10 และภาพที่ 13)

ตารางที่ 9 ผลการสอบเทียบเครื่องดึงวัสดุกับ Proving Ring ขนาด 2.0 KN (200 kgf)

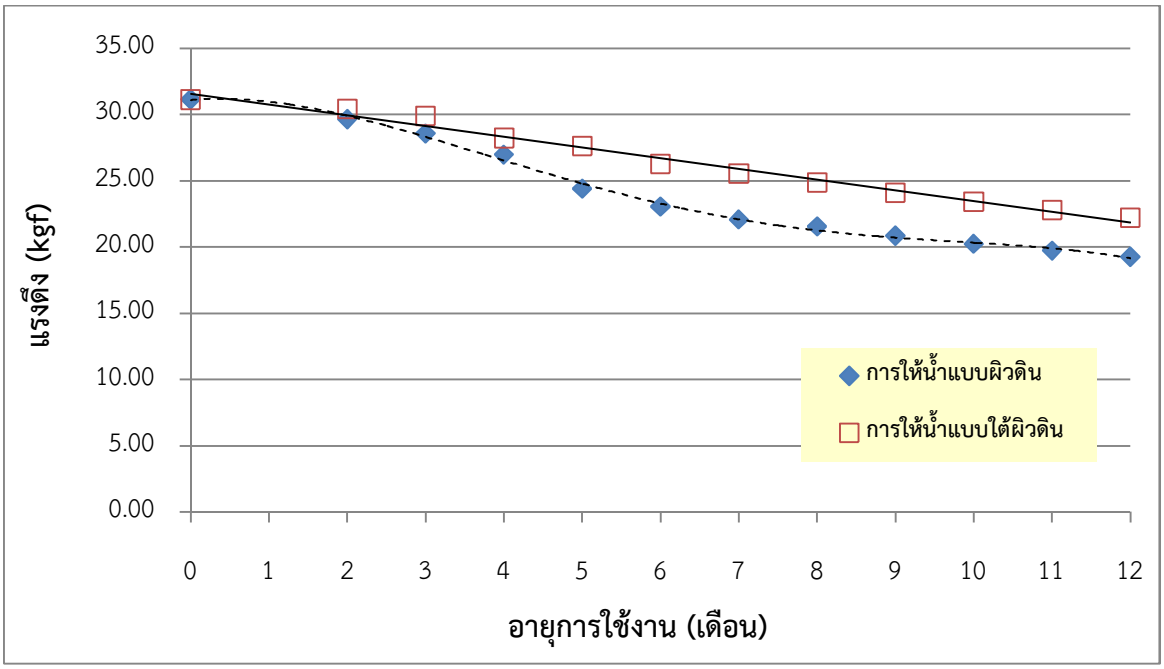
Gauge reading (division)	Load (kgf)
0.0	0.0
138.7	20.0
278.8	40.0
419.8	60.0
562.9	80.0
704.3	100.0
848.0	120.0
990.7	140.0
1136.3	160.0
1281.1	180.0
1426.1	200.0



ภาพที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับจำนวนช่องที่อ่านจากเกจ

4.4.2 ผลการทดสอบแรงดึงของสายน้ำหยด

จากตัวอย่างสายน้ำหยดที่มีการนำไปทดสอบแรงต้านทานการดึง ในห้องปฏิบัติการ ทุกๆ 1 เดือนที่ผ่านการใช้งาน ผลการศึกษาเปรียบเทียบความต้านทานแรงดึงระหว่างสายน้ำหยดใต้ดิน กับสายน้ำหยดบนดิน (ภาพที่ 14)

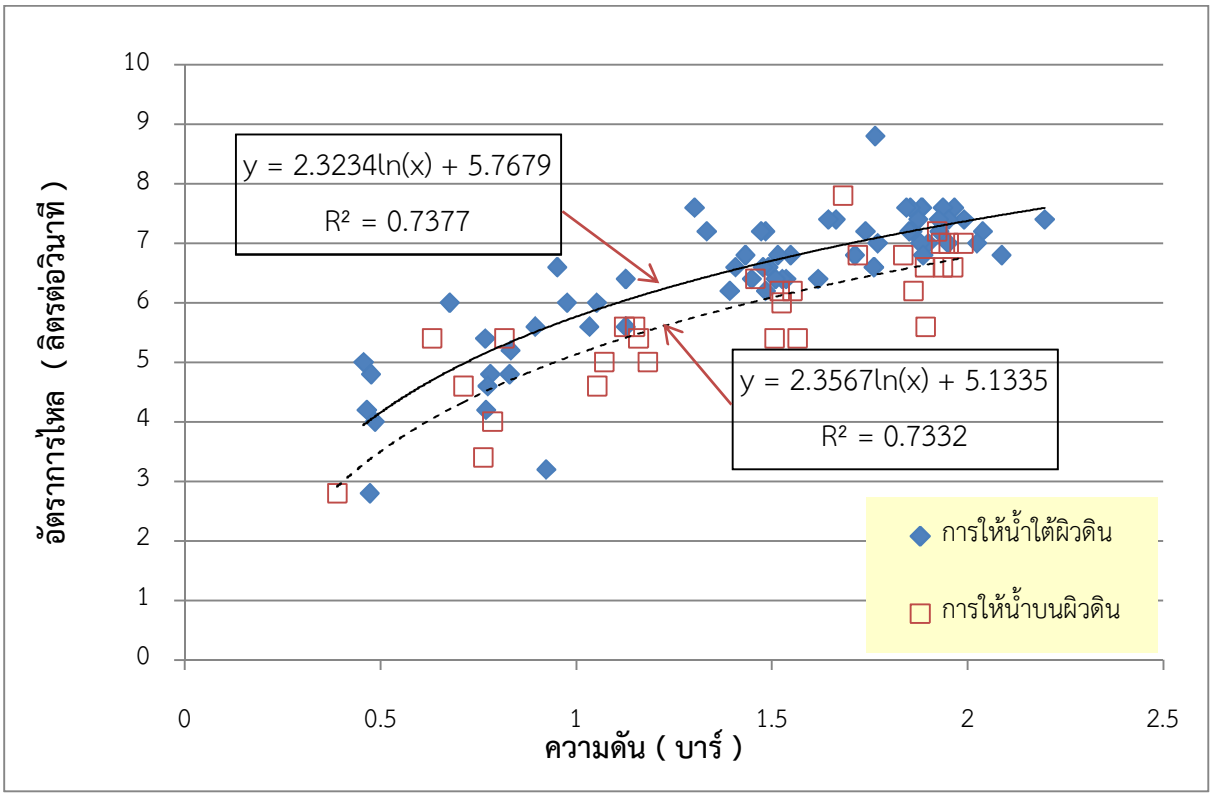


ภาพที่ 14 กราฟค่าความต้านทานแรงดึงระหว่างสายน้ำหยดฝังใต้ดินกับบนดิน

จะพบว่าเมื่ออายุการใช้งานของสายน้ำหยดผ่านไป ความต้านทานต่อแรงดึงของสายน้ำหยดที่วางบนผิวดินจะมีค่าลดลงต่ำกว่าสายน้ำหยดที่ฝังดิน แสดงว่าสายน้ำหยดบนผิวดินมีการเสื่อมสภาพมากกว่าสายน้ำหยดใต้ดิน อาจเนื่องมาจากสายที่วางอยู่บนดินจะถูกแสงแดดและสภาพแวดล้อมอื่นๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกระทำโดยตรง ทำให้สายมีความเสื่อมเร็วกว่าสายที่ฝังอยู่ใต้ดิน อย่างไรก็ตามหากสายที่วางอยู่บนดินถูกนำมาใช้กับพืชที่มีลักษณะคลุมดินเมื่อโตขึ้น ก็จะช่วยปกคลุมให้สายน้ำหยดถูกกระทำโดยแสดงแดดและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิลดน้อยลง ก็จะมีส่วนทำให้สายน้ำหยดบนดินมีอัตราการเสื่อมสภาพที่ลดลงไปด้วย

4.5 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลในสายน้ำหยดกับความดัน

เพื่อต้องการทราบว่าระหว่างการจ่ายน้ำจากหัวจ่ายน้ำระหว่างหัวจ่ายน้ำที่ฝังอยู่ในดินกับหัวจ่ายน้ำที่วางบนดิน จะมีลักษณะอย่างไร ในการทดลองได้ทำการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่บริเวณต้นทางของสายน้ำหยด กับอัตราการไหลที่บริเวณต้นสายเช่นเดียวกัน ผลของความสัมพันธ์ แสดงด้วยกราฟดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและแรงดันของสายน้ำหยดฝังใต้ดินกับบนดิน

จากกราฟเมื่อให้ความดันเท่ากันที่ต้นทางของแนวสายน้ำหยด พบว่า อัตราการไหลที่ผ่านเข้าสายน้ำหยดของสายที่ฝังใต้ดินมีค่ามากกว่า สายที่วางบนดินในทุกๆความดันที่กำหนดให้ จากค่าเฉลี่ยอัตราการไหลของสายน้ำหยดที่มีความยาว 50 เมตร การให้น้ำใต้ผิวดินจะได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.445 ลิตรต่อวินาที และการให้น้ำบนผิวดินได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.787 ลิตรต่อวินาที ซึ่งแสดงว่าการให้น้ำใต้ผิวดินมีปริมาณน้ำถูกจ่ายผ่านหัวจ่ายน้ำหยดออกได้มากกว่า ทำให้ประเมินได้ว่าหากเปรียบเทียบระหว่างระบบให้น้ำใต้ผิวดินกับระบบบนดินสามารถที่จะใช้ระยะเวลาการให้น้ำแก่พืชด้วยระบบน้ำหยดใต้ดินด้วยระยะเวลาที่สั้นกว่าระบบน้ำหยดบนผิวดิน

4.6 ข้อดี ข้อจำกัด และปัญหาอุปสรรค

จากการสังเกตการปฏิบัติงานพบว่าระบบน้ำหยดใต้ดินมีอุปสรรค ข้อจำกัด รวมทั้งข้อดี ในทางปฏิบัติดังนี้

1.ต้องเสียเวลาและใช้แรงงานคนเพิ่มขึ้นมากกว่าระบบน้ำหยดบนดิน เนื่องจากต้องขุดร่องและกลบเพื่อฝังสายลงใต้ผิวดิน อีกประมาณ 20 -35 % ของเวลาที่ปฏิบัติงาน โดยการสังเกตจากการทำงานเปรียบเทียบระหว่างการวางสายน้ำหยดใต้ดินและบนดิน วางสายน้ำหยดใต้ดิน 1 สายใช้เวลา 1 ชั่วโมง 50 นาที และวางสายน้ำหยดบนดิน 1 สายใช้เวลา 1 ชั่วโมง 25 นาที

2.การดูแลและจัดการเกี่ยวกับแปลงพืชระหว่างที่พืชกำลังเจริญเติบโต ทำได้คล่องตัวมากกว่าแบบน้ำหยดบนดินเช่นการกำจัดวัชพืช ทำให้สามารถทำงานได้เร็วขึ้นประมาณ 5 % โดยสังเกตจากการทำงาน

3.จากการสังเกตพบว่าแปลงน้ำหยดใต้ดินมีวัชพืชขึ้นน้อยกว่าแปลงน้ำหยดบนดิน อาจเนื่องมาจากการให้น้ำหยดบนดินทำให้ผิวดินยังมีความเปียกชื้นวัชพืชจึงสามารถเจริญเติบโตได้ง่ายกว่าแปลงน้ำหยดใต้ดินซึ่งผิวดินไม่มีความเปียกชื้น

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองประเมินผลระบบชลประทานน้ำหยดใต้ดิน สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 สรุปผล

1. สายน้ำหยดที่ฝังอยู่ใต้ดิน จะมีการเสื่อมสภาพตามธรรมชาติ ช้ากว่า สายน้ำหยดที่วางอยู่บนดิน และหากสายน้ำหยดบนดินวางอยู่ในแปลงที่พืชมีสภาพการปกคลุมน้อยก็จะยิ่งส่งผลให้สายน้ำหยดมีการเสื่อมสภาพได้เร็วกว่าสายน้ำหยดใต้ดินมากยิ่งขึ้น แต่หากสายน้ำหยดบนดินนั้นมีสภาพการใช้งานกับพืชที่มีลักษณะปกคลุมดินมาก สายน้ำหยดจะมีการเสื่อมสภาพใกล้เคียงกับสายน้ำหยดใต้ดินมากขึ้น แต่ก็ยังเสื่อมสภาพเร็วกว่าสายน้ำหยดใต้ดิน

2. อัตราการไหลที่ถูกปล่อยเข้าสู่สายน้ำน้ำหยดใต้ดินแต่ละสาย เมื่อใช้ความดันเท่ากัน ปรากฏว่าอัตราการไหลผ่านสายน้ำหยดใต้ดินมีค่าสูงกว่าสายน้ำหยดบนดิน แสดงถึงว่าน้ำสามารถไหลออกจากหัวจ่ายน้ำแต่ละหัวที่ฝังอยู่ใต้ดินสะดวกพอหรือดีกว่าการไหลออกจากหัวจ่ายน้ำที่อยู่บนดิน ทำให้สรุปได้ว่าอัตราการจ่ายน้ำจากหัวจ่ายน้ำใต้ดินไม่มีอุปสรรคต่อการนำไปใช้งานแต่อย่างใด

3.ข้อดีที่พบในทางปฏิบัติในการทำการเกษตรภายในแปลงเพาะปลูกสำหรับระบบชลประทานแบบน้ำหยดใต้ดินก็คือลดปัญหาเรื่องวัชพืชในแปลงลงได้บ้าง

4.ข้อจำกัดที่สำคัญที่พบของการใช้ระบบชลประทานน้ำหยดแบบใต้ดิน จากการสังเกตระหว่างทำการทดลองคือใช้เวลาและแรงงานคนเพิ่มขึ้นในระหว่างการติดตั้งระบบ อีกราว 20-35 เปอร์เซ็นต์

5.2 ข้อเสนอแนะ

การทำทดลองเรื่องน้ำหยดใต้ดิน มีความยุ่งยากตรงการวัดปริมาณความชื้นในดินที่ได้รับมาจากหัวจ่ายน้ำแต่ละหัวจ่าย เนื่องจากหัวจ่ายทุกหัวถูกฝังอยู่ในดิน การวัดปริมาณน้ำผ่านสายแต่ละสาย เพื่อนำมาหาค่าความสม่ำเสมอในการให้น้ำทำได้ง่ายกว่า แต่จะต้องใช้การทดลองที่ใช้จำนวนสายน้ำหยดใต้ดินที่มีจำนวนมากขึ้นเพื่อให้ได้จำนวนตัวอย่างข้อมูลที่ถูกต้องมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

นิมิตร เฉิดฉันท์พิพัฒน์ .2552 การประเมินผลระบบการชลประทานแบบไมโคร เอกสารประกอบการสอน ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน ม.เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

Ayars, J. E., Phene, C .J., Hutmacher, R. B., Davis, K. R., Schoneman, R. A., Vail. S. S. & Mead, R.M. 1999. Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory, University of California. Summary of a review paper published in the Agricultural Water Management 42: 1-27, 1999. Courtesy of Netafim University.

D. Reich et.al,2009.Subsurface Drip Irrigation. Colorado State University Extension 12/10 N0.4.716.

Graham Harris, 2005. Sub-surface drip irrigation: Advantages and limitations, Queenland Department of Primaries Industries and Fisheries, Note no. 17650 ISSN0155-3054:.p6

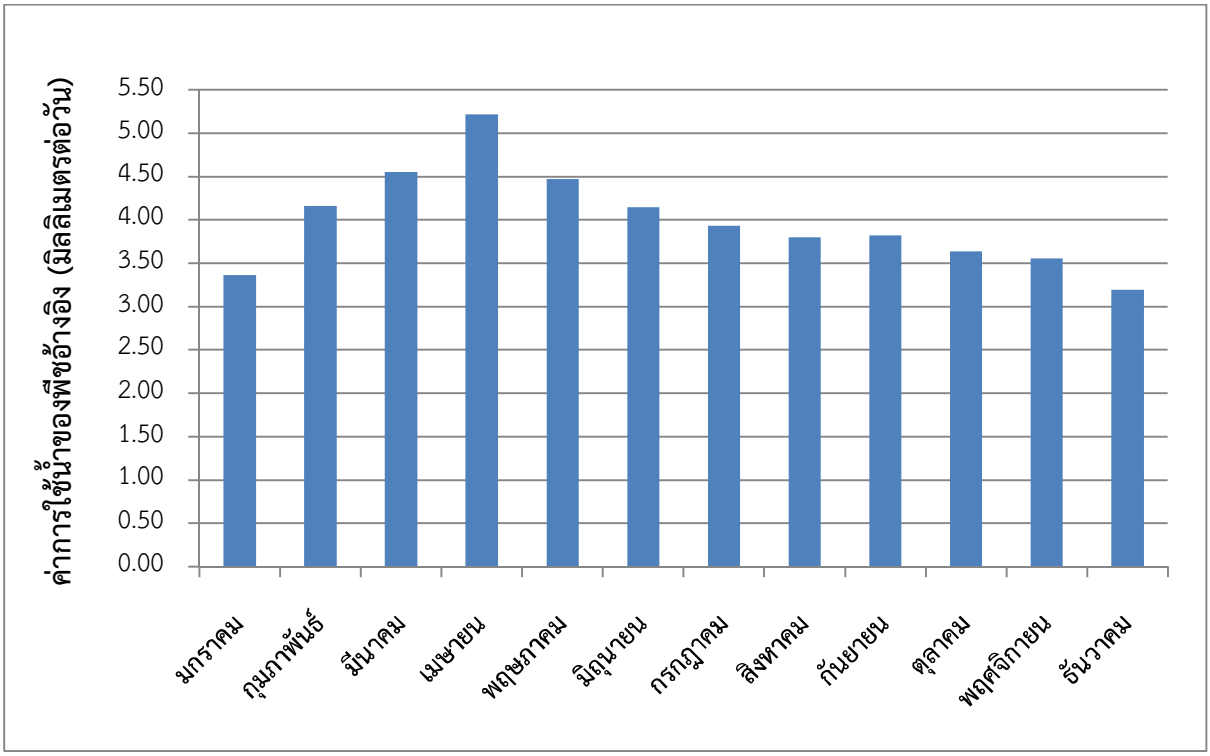
http://cals.arizona.edu/crops/irrigation/azdrip/sdi.html

ภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ 1 สรุปค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) เฉลี่ยรายเดือนตั้งแต่ปี พ.ศ.2544 – 2554

เดือน	ค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) , มิลลิเมตรต่อวัน											
	ปี 2544	ปี 2545	ปี 2546	ปี 2547	ปี 2548	ปี 2549	ปี 2550	ปี 2551	ปี 2552	ปี 2553	ปี 2554	เฉลี่ย
มกราคม	3.385	3.469	3.276	3.263	3.225	3.457	3.375	3.501	3.435	3.337	3.261	3.362
กุมภาพันธ์	4.130	4.150	4.181	4.123	4.329	4.133	4.210	3.665	4.266	4.415	4.141	4.159
มีนาคม	4.080	4.818	4.401	4.710	4.544	4.745	5.085	4.747	4.689	4.781	3.486	4.553
เมษายน	5.495	5.549	5.637	5.397	5.035	4.942	5.042	4.795	5.288	5.484	4.715	5.216
พฤษภาคม	4.373	4.246	4.792	4.271	4.938	4.179	4.203	4.158	4.143	5.238	4.620	4.469
มิถุนายน	4.064	4.277	4.223	3.858	4.157	4.107	4.350	4.251	3.756	4.975	3.630	4.150
กรกฎาคม	4.001	3.866	3.990	4.168	3.908	3.614	3.950	3.834	3.596	4.129	4.168	3.929
สิงหาคม	3.765	3.629	3.846	3.962	3.809	3.261	3.557	4.190	4.144	3.638	3.958	3.796
กันยายน	4.291	3.694	3.646	3.140	3.558	4.068	3.855	3.746	4.189	4.159	3.719	3.824
ตุลาคม	3.409	3.776	3.725	4.024	3.592	3.909	3.277	3.625	3.701	3.313	3.667	3.638
พฤศจิกายน	3.499	3.311	3.777	3.907	3.301	3.893	3.229	3.401	3.623	3.306	3.840	3.553
ธันวาคม	3.295	3.101	3.389	3.013	2.848	3.341	3.325	3.290	3.305	3.105	3.157	3.197

ที่มา ข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดข้อมูลอุตุนิยมวิทยานครปฐม โดยคำนวณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงจากสมการ Penman-Monteith



ภาพภาคผนวกที่ 1 ค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) เฉลี่ยรายเดือนตั้งแต่ปี พ.ศ.2544 – 2554

ตารางภาคผนวกที่ 2 บันทึกผลการทดสอบค่าต้านทานแรงดึงของสายน้ำหยดผิวดินและฝังดิน

จำนวนเดือนที่ใช้งาน	ตัวอย่างที่	การให้น้ำแบบผิวดิน		การให้น้ำแบบใต้ผิวดิน	
		จำนวนช่อง division	แรงดึง kgf	จำนวนช่อง division	แรงดึง kgf
0	1	216	31.069	216	31.069
	2	217	31.209	217	31.209
	3	216	31.069	216	31.069
	เฉลี่ย	216.333	31.116	216.333	31.116
2	1	200	28.828	214	30.789
	2	208	29.949	211	30.369
	3	209	30.089	209	30.089
	เฉลี่ย	205.667	29.622	211.333	30.416
3	1	194	27.987	203	29.248
	2	197	28.407	212	30.509
	3	203	29.248	208	29.949
	เฉลี่ย	198	28.548	207.667	29.902
4	1	185	26.726	196	28.267
	2	192	27.707	202	29.108
	3	183	26.446	189	27.287
	เฉลี่ย	186.667	26.960	195.667	28.221
5	1	169	24.485	187	27.006
	2	171	24.765	195	28.127
	3	165	23.924	192	27.707
	เฉลี่ย	168.333	24.391	191.333	27.614
6	1	163	23.644	182	26.306
	2	158	22.944	178	25.746
	3	155	22.523	185	26.726
	เฉลี่ย	158.667	23.037	181.667	26.259

ตารางภาคผนวกที่ 2 บันทึกผลการทดสอบค่าต้านทานแรงดึงของสายน้ำหยดผิวดินและฝังดิน(ต่อ)

จำนวนเดือนที่ใช้งาน	ตัวอย่างที่	การให้น้ำแบบผิวดิน		การให้น้ำแบบใต้ผิวดิน	
		จำนวนช่อง division	แรงดึง kgf	จำนวนช่อง division	แรงดึง kgf
7	1	157	22.803	175	25.325
	2	152	22.103	182	26.306
	3	146	21.262	173	25.045
	เฉลี่ย	151.667	22.056	176.667	25.559
8	1	148	21.543	172	24.905
	2	151	21.963	175	25.325
	3	145	21.122	168	24.345
	เฉลี่ย	148.000	21.543	171.667	24.858
9	1	142	20.702	165	23.924
	2	146	21.262	171	24.765
	3	141	20.562	163	23.644
	เฉลี่ย	143.000	20.842	166.333	24.111
10	1	139	20.282	161	23.364
	2	142	20.702	165	23.924
	3	135	19.721	158	22.944
	เฉลี่ย	138.667	20.235	161.333	23.411
11	1	135	19.721	154	22.383
	2	138	20.142	161	23.364
	3	132	19.301	156	22.663
	เฉลี่ย	135.000	19.721	157.000	22.803
12	1	128	18.741	150	21.823
	2	133	19.441	155	22.523
	3	134	19.581	153	22.243
	เฉลี่ย	131.667	19.254	152.667	22.196

ตารางภาคผนวกที่ 3-1 บันทึกข้อมูลแรงดันและอัตราการไหลครั้งที่ 1

สายที่	การให้น้ำแบบ	มิเตอร์ Lateral		ปริมาณน้ำที่ให้ (ลิตร)	เวลา (นาที)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	ความดัน (bar)
		เลขก่อน	เลขหลัง				
1	subsurface	149946	149979	33	5	6.6	0.951
2	subsurface	12975	13012	37	5	7.4	2.197
3	subsurface	22822	22855	33	5	6.6	1.761
4	subsurface	164625	164655	30	5	6	1.052
5	subsurface	117679	117695	16	5	3.2	0.923
6	subsurface	129287	129315	28	5	5.6	0.895
7	subsurface	234996	235026	30	5	6	0.976
8	surface	9449	9477	28	5	5.6	1.123
9	surface	65025	65052	27	5	5.4	0.816
10	surface	284052	284069	17	5	3.4	0.762

ตารางภาคผนวกที่ 3-2 บันทึกข้อมูลแรงดันและอัตราการไหลครั้งที่ 2

สายที่	การให้น้ำแบบ	มิเตอร์ Lateral		ปริมาณน้ำที่ให้ (ลิตร)	เวลา (นาที)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	ความดัน (bar)
		เลขก่อน	เลขหลัง				
1	subsurface	149994	150015	21	5	4.2	0.464
2	subsurface	13018	13038	20	5	4	0.485
3	subsurface	22888	22913	25	5	5	0.456
4	subsurface	164668	164682	14	5	2.8	0.472
5	subsurface	117634	117666	32	5	6.4	1.448
6	subsurface	129315	129339	24	5	4.8	0.475
7	subsurface	234926	234954	28	5	5.6	1.033
8	surface	9514	9539	25	5	5	1.183
9	surface	64123	64146	23	5	4.6	1.054
10	surface	284161	284175	14	5	2.8	0.389

ตารางภาคผนวกที่ 3-3 บันทึกข้อมูลแรงดันและอัตราการไหลครั้งที่ 3

สายที่	การให้น้ำแบบ	มิเตอร์ Lateral		ปริมาณน้ำที่ให้ (ลิตร)	เวลา (นาที)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	ความดัน (bar)
		เลขก่อน	เลขหลัง				
1	subsurface	150040	150066	26	5	5.2	0.832
2	subsurface	13038	13062	24	5	4.8	0.829
3	subsurface	22924	22954	30	5	6	0.676
4	subsurface	164681	164705	24	5	4.8	0.780
5	subsurface	117668	117689	21	5	4.2	0.769
6	subsurface	129344	129367	23	5	4.6	0.773
7	subsurface	235054	235081	27	5	5.4	0.767
8	surface	9548	9571	23	5	4.6	0.711
9	surface	64155	64175	20	5	4	0.786
10	surface	284192	284219	27	5	5.4	0.632

ตารางภาคผนวกที่ 3-4 บันทึกข้อมูลแรงดันและอัตราการไหลครั้งที่ 4

สายที่	การให้น้ำแบบ	มิเตอร์ Lateral		ปริมาณน้ำที่ให้ (ลิตร)	เวลา (นาที)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	ความดัน (bar)
		เลขก่อน	เลขหลัง				
1	subsurface	150095	150132	37	5	7.4	1.663
2	subsurface	13077	13113	36	5	7.2	1.739
3	subsurface	23057	23088	31	5	6.2	1.392
4	subsurface	164706	164742	36	5	7.2	1.483
5	subsurface	117697	117734	37	5	7.4	1.644
6	subsurface	129467	129499	32	5	6.4	1.126
7	subsurface	235095	235123	28	5	5.6	1.126
8	surface	9582	9610	28	5	5.6	1.150
9	surface	64188	64215	27	5	5.4	1.159
10	surface	284244	284269	25	5	5	1.071

ตารางภาคผนวกที่ 3-5 บันทึกข้อมูลแรงดันและอัตราการไหลครั้งที่ 5

สายที่	การให้น้ำแบบ	มิเตอร์ Lateral		ปริมาณน้ำที่ให้ (ลิตร)	เวลา (นาที)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	ความดัน (bar)
		เลขก่อน	เลขหลัง				
1	subsurface	150167	150205	38	5	7.6	1.966
2	subsurface	13154	13190	36	5	7.2	2.039
3	subsurface	23155	23187	32	5	6.4	1.536
4	subsurface	164743	164778	35	5	7	2.024
5	subsurface	117790	117824	34	5	6.8	2.087
6	subsurface	129390	129425	35	5	7	1.770
7	subsurface	235124	235162	38	5	7.6	1.884
8	surface	9661	9695	34	5	6.8	1.835
9	surface	65257	65288	31	5	6.2	1.862
10	surface	284318	284357	39	5	7.8	1.681

ตารางภาคผนวกที่ 3-6 บันทึกข้อมูลแรงดันและอัตราการไหลครั้งที่ 6

สายที่	การให้น้ำแบบ	มิเตอร์ Lateral		ปริมาณน้ำที่ให้ (ลิตร)	เวลา (นาที)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	ความดัน (bar)
		เลขก่อน	เลขหลัง				
1	subsurface	150223	150254	31	5	6.2	1.484
2	subsurface	13232	13265	33	5	6.6	1.477
3	subsurface	23553	23587	34	5	6.8	1.515
4	subsurface	164778	164814	36	5	7.2	1.472
5	subsurface	117845	117877	32	5	6.4	1.526
6	subsurface	129482	129515	33	5	6.6	1.406
7	subsurface	235163	235197	34	5	6.8	1.548
8	surface	9729	9760	31	5	6.2	1.519
9	surface	65313	65344	31	5	6.2	1.552
10	surface	284490	284517	27	5	5.4	1.565

ตารางภาคผนวกที่ 3-7 บันทึกข้อมูลแรงดันและอัตราการไหลครั้งที่ 7

สายที่	การให้น้ำแบบ	มิเตอร์ Lateral		ปริมาณน้ำที่ให้ (ลิตร)	เวลา (นาที)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	ความดัน (bar)
		เลขก่อน	เลขหลัง				
1	subsurface	150312	150350	38	5	7.6	1.882
2	subsurface	13276	13313	37	5	7.4	1.951
3	subsurface	23588	23622	34	5	6.8	1.712
4	subsurface	164828	164866	38	5	7.6	1.937
5	subsurface	117922	117957	35	5	7	1.950
6	subsurface	129559	129596	37	5	7.4	1.926
7	subsurface	235200	235237	37	5	7.4	1.991
8	surface	9797	9832	35	5	7	1.951
9	surface	65380	65415	35	5	7	1.932
10	surface	284524	284559	35	5	7	1.989

ตารางภาคผนวกที่ 3-8 บันทึกข้อมูลแรงดันและอัตราการไหลครั้งที่ 8

สายที่	การให้น้ำแบบ	มิเตอร์ Lateral		ปริมาณน้ำที่ให้ (ลิตร)	เวลา (นาที)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	ความดัน (bar)
		เลขก่อน	เลขหลัง				
1	subsurface	150371	150415	44	5	8.8	1.764
2	subsurface	13334	13371	37	5	7.4	1.874
3	subsurface	23625	23658	33	5	6.6	1.760
4	subsurface	164877	164915	38	5	7.6	1.854
5	subsurface	118036	118070	34	5	6.8	1.886
6	subsurface	129637	129673	36	5	7.2	1.859
7	subsurface	235238	235274	36	5	7.2	1.928
8	surface	9886	9919	33	5	6.6	1.891
9	surface	65498	65532	34	5	6.8	1.719
10	surface	284687	284715	28	5	5.6	1.892

ตารางภาคผนวกที่ 3-9 บันทึกข้อมูลแรงดันและอัตราการไหลครั้งที่ 9

สายที่	การให้น้ำแบบ	มิเตอร์ Lateral		ปริมาณน้ำที่ให้ (ลิตร)	เวลา (นาที)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	ความดัน (bar)
		เลขก่อน	เลขหลัง				
1	subsurface	150418	150456	38	5	7.6	1.302
2	subsurface	13394	13428	34	5	6.8	1.432
3	subsurface	สายเกิดรอยรั่ว					
4	subsurface	164917	164953	36	5	7.2	1.333
5	subsurface	118097	118129	32	5	6.4	1.509
6	subsurface	สายเกิดรอยรั่ว					
7	subsurface	235276	235309	33	5	6.6	1.491
8	surface	9951	9983	32	5	6.4	1.458
9	surface	65565	65595	30	5	6	1.524
10	surface	284788	284815	27	5	5.4	1.507

ตารางภาคผนวกที่ 3-10 บันทึกข้อมูลแรงดันและอัตราการไหลครั้งที่ 10

สายที่	การให้น้ำแบบ	มิเตอร์ Lateral		ปริมาณน้ำที่ให้ (ลิตร)	เวลา (นาที)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	ความดัน (bar)
		เลขก่อน	เลขหลัง				
1	subsurface	150467	150499	32	5	6.4	1.618
2	subsurface	13430	13466	36	5	7.2	1.851
3	subsurface	สายเกิดรอยรั่ว					
4	subsurface	165957	165995	38	5	7.6	1.843
5	subsurface	118169	118204	35	5	7	1.879
6	subsurface	สายเกิดรอยรั่ว					
7	subsurface	235337	235372	35	5	7	1.900
8	surface	10004	10040	36	5	7.2	1.922
9	surface	65619	65652	33	5	6.6	1.937
10	surface	284825	284858	33	5	6.6	1.962

ตารางภาคผนวกที่ 4 บันทึกข้อมูลการหาค่าอัตราการไหลซึมผ่านผิวดินโดยการใช้ Double Ring

Time on the			Time	Cumulative	Water level ,		Infiltratio	Infiltration rate		Cumulative	I
hr	min	sec	min	min	before	after	mm	mm/mi	mm/hou	mm	mm/mi
			0				0	0	0		
12	00	00		0	185					0	หาค่าไม่ได้
			1.000				2	2.000	120.000		
12	01	00		1.000	187					2	1.380
			1.000				2	2.000	120.000		
12	02	00		2.000	189					4	1.005
			1.000				1	1.000	60.000		
12	03	00		3.000	190					5	0.835
			2.000				2.5	1.250	75.000		
12	05	00		5.000	192.5					7.5	0.661
			5.000				1.5	0.300	18.000		
12	10	00		10.000	194					9	0.482
			5.000				3	0.600	36.000		
12	15	00		15.000	197					12	0.400
			30.000				5	0.167	10.000		
12	45	00		45.000	202					17	0.242
			15.000				4	0.267	16.000		
13	00	00		60.000	206					21	0.213
			30.000				6	0.200	12.000		
13	30	00		90.000	212					27	0.177
			60.000				12.5	0.208	12.500		
14	30	00		150.000	224.5					39.5	0.140
			60.000				12.5	0.208	12.500		
15	30	00		210.000	237					52	0.120