โครงข่ายเซนเซอร์ความชื้นในดินสำหรับควบคุมการให้น้ำพืช

SOIL MOISTURE SENSOR NETWORK FOR IRRIGATION CONTROL

พรนรินทร์ ต้นกระหาด

PORNNARIN TONKRAHAD

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2556

KMITL-2013-EN-M-100-165

โครงข่ายเซนเซอร์ความชื้นในดินสำหรับควบคุมการให้น้ำพืช

SOIL MOISTURE SENSOR NETWORK FOR IRRIGATION CONTROL

พรนรินทร์ ต้นกระหาด

PORNNARIN TONKRAHAD

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2556

KMITL-2013-EN-M-100-165

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SOIL MOISTURE SENSOR NETWORK FOR IRRIGATION CONTROL

PORNNARIN TONKRAHAD

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2013

KMITL-2013-EN-M-100-165

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2013

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ โครงข่ายเซนเซอร์ความชื้นในดินสำหรับควบคุมการให้น้ำพืช
Thesis Title Soil Moisture Sensor Network for Irrigation Control
นักศึกษา นายพรนรินทร์ ต้นกระหาด
รหัสประจำตัว 55612308
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเกษตร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ทรงวุฒิ แสงจันทร์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2013-EN-M-100-165

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.ประสันต์	ชุ่มใจหาญ	
ดร.วสุ	อุดมเพทายกุล	
ผศ.ดร.ภัทราภรณ์	เมฆพฤษาวงศ์	
รศ.ดร.วินัย	กล้าจริง	
ผศ.ดร.ทรงวุฒิ	แสงจันทร์	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 5 สิงหาคม พ.ศ. 2556 เวลา 10.00-12.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(ศาสตราจารย์ ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)
คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่ 5 สิงหาคม พ.ศ. 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	โครงข่ายเซนเซอร์ความชื้นในดินสำหรับควบคุมการให้น้ำพืช
นักศึกษา	นายพรนรินทร์ ต้นกระหาด
รหัสประจำตัว	55612308
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเกษตร
พ.ศ.	2556
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ทรงวุฒิ แสงจันทร์

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบโครงข่ายเซนเซอร์สำหรับตรวจจับความชื้นในดินเพื่อควบคุมการให้น้ำพืช โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลความชื้นในดินและควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติซึ่งสามารถปรับตั้งค่าความชื้นที่ต้องการได้ตามความต้องการ โดยระบบมีส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ ส่วนควบคุมการทำงานหลัก และส่วนตรวจวัดความชื้น ซึ่งทำงานโดยระบบไร้สายระหว่างชุดเซนเซอร์ในแปลงกับชุดควบคุมหลัก ได้ทำการทดลองโดยใช้เซนเซอร์ตรวจจับความชื้นในดินเพื่อสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของดินกับค่าต่างศักย์ ซึ่งได้จากกระแสไฟฟ้าที่ส่งไปยังเซนเซอร์ โดยที่กระแสไฟฟ้าจะไหลกลับมากน้อยนั้นขึ้นอยู่กับความชื้นของดิน ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่รับค่าความต่างศักย์ (v_{OUT}) จากกระแสไฟฟ้า DC ที่ส่งออกไปเพื่อเข้าสู่กระบวนการ ADC Converssion ซึ่งจะทำการแปลงค่าจาก analog เป็น digital และบันทึกค่าไว้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ ทั้งนี้เพื่อนำข้อมูลไปใช้อ้างอิงสำหรับสร้างสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ในการเขียนโปรแกรมควบคุม ซึ่งจะเป็นการสร้างระบบโครงข่ายที่สามารถทำงานประสานกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถประเมินขนาดพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับจำนวนเซนเซอร์ได้ และได้ทำการศึกษาตัวแปรอื่นๆ ที่อาจมีผลต่อการตรวจจับความชื้น เช่น อุณหภูมิ ชนิดของดิน pH ดิน ระยะห่างของเซนเซอร์ตรวจจับกับส่วนควบคุมหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Soil moisture sensor network for irrigation control
Student	Mr.Pornnarin Tonkrahad
Student ID.	55612308
Degree	Master of Engineering
Progam	Agricultural Engineering
Year	2013
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Songvoot Saengchan

ABSTRACT

This study aims to design a sensor network for monitoring soil moisture to control the Watering. Using microcontroller to process and control the moisture in the soil , which can automatically adjust the humidity as needed. The system consists of two main parts: the control unit. The humidity sensor. It works by wireless. Experiments were conducted using a soil moisture sensor to modeling the relationship between soil moisture and the potential difference. The electricity is sent to the sensor. The electricity will flow back much less depends on the moisture content of the soil. Microcontroller is to receive the voltage (V_{OUT}) of the DC power output to enter ADC Converssion process, which will be converted from analog to digital and save it to the microcontroller. The data used to create the reference for the model in relation to programming. This will create a network that can work together effectively. And to assess the appropriate size for the number of sensors. And factors affecting on soil moisture such as temperature, soil type, distance from the sensor to the main controller were study

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ทรงวุฒิ แสงจันทร์ ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือ ตลอดจนให้คำชี้แนะช่วยแก้ไขปัญหาและให้ประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยเป็นอย่างยิ่ง ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบูรณ์ ที่กรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่รวมถึงเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆในการทดลองตลอดงานวิจัย

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้การสนับสนุนเงินทุนการศึกษาวิจัย และให้โอกาสจนสามารถทำการวิจัยนี้สำเร็จได้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ นาย วี ต้นกระหาด(บิดา) นาง ชิวเอ็ง ต้นกระหาด(มารดา)และนาง พรรณพัชร์ สรคุณากร(ป้า) ที่สนับสนุนและเอื้อเฟื้อสถานที่ทดลองในครั้งนี้ จนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

พรนรินทร์ ต้นกระหาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อ(ภาษาไทย).....i
บทคัดย่อ(ภาษาไทย).....ii
กิตติกรรมประกาศ.....iii
สารบัญ.....iv
สารบัญภาพ.....ix
สารบัญตาราง.....xiii
บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....1
1.2 วัตถุประสงค์.....1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....3
2.1 ทฤษฎีน้ำในดิน (Theory of water in the soil) [6].....3
2.1.1 น้ำอิสระ(Gravitational water).....3
2.1.2 น้ำซับ (Capillary water).....3
2.1.3 น้ำเยื่อ (Hygroscopic water).....3
2.2 สภาพของน้ำในดิน (Condition of water in soil.) [6].....4
2.2.1 สภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated soil).....4
2.2.2 สภาพดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated soil).....5
2.2.3 สภาพความจุความชื้นภาคสนาม (Field capacity : FC).....5
2.2.4 สภาพน้ำเยื่อ (Hygroscopic coefficient).....5
2.2.5 สภาพจุดเหี่ยวถาวรของพืช (Permanent wilting point).....5
2.3 การซึมลงดินของน้ำ (Infiltration rate of water into soil)[7].....7
2.4 ทฤษฎีของดิน และ โครงสร้างของดิน (Theory of soil and soil structure.)[8].....13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 ดินทราย (Sandy Soil) 13
2.4.2 ดินร่วน (Loam) 13
2.4.3 ดินเหนียว (Clay) 14
2.4.4 ความชื้นในดิน (Soil Moisture) 15
2.4.5 ระบอบความชื้นในดิน (Soil Moisture Regime) 15
2.4.6 น้ำใต้ดิน (Ground Water) [7] 17
2.5 ทฤษฎีกำหนดการให้น้ำพืช (Watering plants) [9] 17
2.5.1 แหล่งน้ำที่พืชใช้ได้ (Water Resource Use) 18
2.5.2 ปริมาณน้ำฝนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (The rainfall useful plants.) 18
2.5.3 ข้อมูลที่ต้องทราบก่อนการให้น้ำพืช (Tips for Watering Plants) 18
2.6 ทฤษฎีการให้น้ำแบบสปริงเกอร์(The water sprinkler.) [11] 21
2.7 เครื่องวัดความชื้นในดิน (Measurement of Soil Moisture) [12] 21
2.7.1 เทนซิโอมิเตอร์ (Tensiometer) 22
2.7.2 แท่งวัดความชื้น (Moisture block) 24
2.7.3 เครื่องมือวัดการแผ่รังสีนิวตรอน (Neutron moisture gauge) 24
2.7.4 Soil moisture Mete 24
2.8 pH Meter 25
2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นดินกับแรงดึงความชื้นดิน 26
2.9.1 กราฟความสัมพันธ์แรงดึงความชื้นดินกับความชื้นดิน 27
2.9.2 โปรแกรม swrc fit (swrc fit program)[15-20] 27
2.10 การตรวจสอบความสม่ำเสมอในการให้น้ำ และการประเมินประสิทธิภาพการชลประทาน[14] 30
2.11 หลักการทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) [21] 30
2.12 ขบวนการ A/D Convertor [23] 31
2.13 ทฤษฎีอุปกรณ์ส่งสัญญาณ x-bee [24,25] 32
2.13.1 คุณสมบัติของZigbee 32
2.13.2 ส่วนประกอบของ Zigbee 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย....34
3.1 ศึกษาออกระบบการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ....35
3.2 สร้างวงจรขับไฟฟ้าและ รับ OUTPUT สัญญาณความชื้นดิน....35
3.3 ออกแบบวงจรและซอฟต์แวร์ควบคุมระบบ....36
3.3.1 วงจร Key pad....37
3.3.2 ชุดจอแสดงผล (The display assembly)....37
3.3.3 ชุดวงจรขับ RELAY....38
3.3.4 ชุดประมวลผล(Microcontroller)....39
3.3.5 Module รับ-ส่งสัญญาณ(X-Bee Series 1)....40
3.3.6 หลักการทำงานของซอฟแวร์ (Software control)....40
3.4 ทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล....47
3.4.1 การทดลองหาขนาดที่เหมาะสมของเซนเซอร์....47
3.4.2 การทดลอง calibrate ค่าแรงดึงความชื้นดินกับค่า ADC....48
3.4.3 การทดสอบประสิทธิภาพของเซนเซอร์กับปัจจัยอุณหภูมิที่อาจส่งผลต่อเซนเซอร์....51
3.4.4 ทดสอบประสิทธิภาพของเซนเซอร์กับปัจจัยค่า pH ดินที่เปลี่ยนแปลง....52
3.4.5 ทดสอบประสิทธิภาพของระบบกับปัจจัยการส่งสัญญาณ....54
ทดสอบการทำงานของระบบโครงข่าย....54
3.4.6 การทดสอบการทำงานของระบบ....55
3.4.6.1 การทดสอบระบบในห้องทดลองเพื่อทดสอบการทำงานอย่างเป็นระบบ....55
3.4.6.2 การทดสอบในแปลงจริงเพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของระบบ....55
บทที่ 4 ผลการทดลอง....58
4.1 การหาขนาดเหมาะสมและเปรียบเทียบความจำเป็นในการหุ้มวัสดุประเภทปูนปาสเตอร์ที่หัวเซนเซอร์ที่เหมาะสม....58
4.2 การวัดค่า ADC ซึ่งได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์แปลงค่าความต่างศักย์จาก analog เป็น digitalเพื่อ calibrate ค่ากับค่าแรงดึงความชื้นดินมาตรฐาน....61
4.3 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบกับปัจจัยทางอุณหภูมิและชนิดดินที่อาจมีผลต่อการทำงานของระบบ....63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบกับปัจจัย pH ของดินที่เปรียนแปลงซึ่งอาจมีผลต่อการทำงานของระบบ.....65
4.5 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบกับปัจจัยการส่งสัญญาณในแต่ละระดับความชื้น.....67
4.6 การทดสอบการทำงานของระบบ.....67
4.6.1 การทดสอบระบบในห้องทดลองเพื่อทดสอบการทำงานอย่างเป็นระบบ.....67
4.6.2 การทดสอบในแปลงทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของระบบ.....69
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....79
5.1 การทดลองหาขนาดที่เหมาะสมและเปรียบเทียบความจำเป็นในการหุ้มวัสดุประเภทปูนปาสเตอร์ที่หัวเซนเซอร์.....79
5.2 การทดลองวัดค่า ADC ซึ่งได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์แปลงค่าความต่างศักย์จาก analog เป็น digital เพื่อ calibrate ค่ากับค่าแรงดึงความชื้นดินมาตรฐาน.....79
5.3 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบกับปัจจัยทางอุณหภูมิและชนิดดินที่อาจมีผลต่อการทำงานของระบบ.....80
5.4 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบกับปัจจัยการส่งสัญญาณในแต่ละระดับความชื้น.....80
5.5 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบกับปัจจัย pH ดินที่อาจมีผลต่อการทำงานของระบบ.....81
5.6 การทดสอบการทำงานของระบบ.....81
5.7 ข้อเสนอแนะ.....81
เอกสารอ้างอิง.....83
ภาคผนวก.....86
ภาคผนวก ก ซอฟแวร์ที่ใช้ในงานวิจัยและการทำเซนเซอร์.....87
1. เครื่องมือที่ใช้ในการทำโครงการวิจัย.....88
1.1 โปรแกรม X – CTU.....88
1.2 โปรแกรม CodeVisionAVR.....89
1.3 โปรแกรม Design Explorer DXP.....89
1.4 โปรแกรม SWRC FIT.....90
2. การสร้างเซนเซอร์วัดความชื้นในดินและทดลองใช้งาน.....90
ภาคผนวก ข. ตารางบันทึกผลการทดลอง.....92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค. การเปรียบเทียบเชิงสถิติ.....105
1.การวิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิ..... 106
จากกราฟวิเคราะห์ผลอุณหภูมิดินกับค่า ADC จะได้ 106
ตารางที่ค.1 ตารางเทียบผลต่างของอุณหมิและ ADC ที่มีผลต่อแรงดึงความชื้น 106
จากตารางหากคิด % ความต่างที่อุณหภูมิดิน 25°C 106
2 การเปรียบเทียบเชิงสถิติของผลต่าง pH 106
ภาคผนวก ง. การออกแบบระบบการให้น้ำสำหรับการทดลองที่4.6.2.....108
ภาคผนวก จ. ลายวงจร.....114
ภาคผนวก ฉ. ประมวลรูปภาพ.....119
ภาคผนวก ช. โค้ดโปรแกรม.....131
ภาคผนวก ซ. คู่มือการใช้งาน.....182

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่ 2.1 ประเภทของน้ำในดิน....4

รูปที่ 2.2 แสดงสภาพของน้ำในดิน....6

รูปที่ 2.3 แสดง GROUND WATER....7

รูปที่ 2.4 ลักษณะการดูดซึมน้ำของดิน....8

รูปที่ 2.5 เปรียบเทียบลักษณะการแผ่กระจายความชื้นของดินร่วนปนทราย (SANDY LOAM)และดินร่วนปนดินเหนียว (CLAY LOAM) ที่ระยะเวลาต่าง ๆ หลังให้น้ำ....9

รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะช่องว่างในดินแบบต่างๆ....11

รูปที่ 2.7 โครงสร้างของดินร่วน – ดินเหนียว – ดินทราย....14

รูปที่ 2.8 รูปแสดงการดูดน้ำของรากพืช....19

รูปที่ 2.9 แสดงองค์ประกอบของ เทนซิโอมิเตอร์ และรูปขยายกระเปาะดินเผา เมื่อสัมผัสอยู่กับอนุภาคดินโดยมีฟิล์มน้ำเป็นตัวเชื่อม....22

รูปที่ 2.10 เครื่องมือวัดการแผ่รังสีนิวตรอน (NEUTRON MOISTURE GAUGE)....24

รูปที่ 2.11 หลักการ PH METER....25

รูปที่ 2.12 การความสัมพันธ์ความชื้นดินกับความเครียดเมตริกหรือแรงดึงความชื้น....27

รูปที่ 2.13 กราฟแบบจำลองการเทียบค่าความชื้นเชิงปริมาตรกับแรงดึงความชื้นดินที่ได้จากโปรแกรม....29

รูปที่ 2.14 ส่วนประกอบของกระบวนการ A/D CONVERTOR....31

รูปที่ 2.15 ตัวอย่างการสร้างเครือข่ายของอุปกรณ์ ZIGBEE....33

รูปที่ 3.1 ไดอะแกรมผังการดำเนินงานศึกษาวิจัย....34

รูปที่ 3.2 ผังการทำงานของอุปกรณ์....35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 เซนเซอร์ตรวจจับความชื้นดิน 36

รูปที่ 3.4 วงจรตรวจจับความชื้นดิน 36

รูปที่ 3.5 วงจรKEY PAD 37

รูปที่ 3.6 วงจรแสดงผลทางจอLCD 38

รูปที่ 3.7 วงจรขับ RELAY 38

รูปที่ 3.8 วงจรชุดประมวลผลหลัก 39

รูปที่ 3.9 วงจรประมวลผลเซนเซอร์ 39

รูปที่ 3.10 วงจรรับ-ส่งสัญญาณ 40

รูปที่ 3.11 โครงสร้างการจับคู่ระหว่าง RELAY ปั๊ม กับ เซนเซอร์ 41

รูปที่ 3.12 FLOW CHART การทางานของไมโครคอนโทรลเลอร์ SENSOR (ATMEGA8) 42

รูปที่ 3.13 FLOW CHART แสดงการทางานของ X-BEE ต้นทาง 43

รูปที่ 3.14 FLOW CHART การทางานของX-BEE ปลายทาง 44

รูปที่ 3.15 FLOW CHART การทำงานของระบบควบคุมหลัก 47

รูปที่ 3.16 ลักษณะเซนเซอร์ตรวจจับความชื้นดิน 48

รูปที่ 3.17 โฟลว์ชาร์ตขั้นตอนการลดความชื้นดินเพื่อวัดค่า ADC 49

รูปที่ 3.18 โปรแกรม SWRC FIT แปลงค่าความชื้นเป็นแรงดึงความชื้น 50

รูปที่ 3.20 การเตรียมดินให้เป็นเบส 53

รูปที่ 3.21 การเตรียมดินให้เป็นกรด 54

รูปที่ 3.22 การวัดระยะการส่งสัญญาณเพื่อประเมินพื้นที่ 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.23 การทดลองวัดความชื้นดินเทียบกับ SOIL MOISTURE METER.....55

รูปที่ 3.24 แบบแปลงการทดลองควบคุมการให้น้ำโดยเกษตรกร.....56

รูปที่ 3.25 แบบแปลงทดลองควบคุมการให้น้ำโดยระบบโครงข่ายความชื้นดินควบคุมการให้น้ำพืช.....57

รูปที่ 4.1 ลักษณะเซนเซอร์ตรวจจับความชื้นดิน.....58

รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงความชื้นกับ ADC.....61

รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ค่า ADC กับ อุณภูมิดิน.....64

รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์เทียบเคียงค่า ADC แรงดันไฟฟ้า และแรงดึงความชื้นดิน ของดินร่วนปนทรายและดินเหนียว.....65

รูปที่ 4.4 การทดลองวัดความชื้นดินเทียบกับ SOIL MOISTURE METER.....67

รูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบการวัดค่าความชื้นของดินโดยใช้โครงข่ายเซนเซอร์กับ SOIL MOISTURE METER.68

รูปที่ 4.6 แปลงทดลองที่เกษตรกรควบคุมการให้น้ำพืช.....69

รูปที่ 4.7 การไถเตรียมแปลง.....70

รูปที่ 4.8 ติดตั้งระบบให้น้ำแบบสปริงเกอร์.....70

รูปที่ 4.9 การหยอดเมล็ดผักบุ้ง.....71

รูปที่ 4.10 เปิดให้ระบบให้น้ำทำงานควบคุมปิด-เปิดโดยเกษตรกร.....71

รูปที่ 4.11 แปลงทดลองที่ติดตั้งระบบโครงข่ายเซนเซอร์ความชื้นดินควบคุมการให้น้ำพืช.....69

รูปที่ 4.12 การไถเตรียมแปลงทดลอง.....70

รูปที่ 4.13 ติดตั้งระบบให้น้ำแบบสปริงเกอร์.....70

รูปที่ 4.14 การหยอดเมล็ดผักบุ้ง.....71

รูปที่ 4.15 ติดตั้งเซนเซอร์วัดความชื้นดิน.....71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.16 ติดตั้งระบบควบคุมหลักเพื่อควบคุมปั๊ม....72

รูปที่ 4.17 แสดงการทำงานของระบบให้น้ำพืชควบคุมโดยเกษตรกรเมื่อผ่านไป 10 วัน....72

รูปที่ 4.18 แสดงการทำงานของระบบโครงข่ายความชื้นดินควบคุมการให้น้ำพืชเมื่อผ่านไป 10 วัน....72

รูปที่ 4.19 แสดงการทำงานของระบบให้น้ำพืชควบคุมโดยเกษตรกรเมื่อผ่านไป 25 วัน....73

รูปที่ 4.20 แสดงการทำงานของระบบให้น้ำพืชควบคุมโดยเกษตรกรเมื่อผ่านไป 25 วัน....73

รูปที่ 4.21 แสดงการทำงานของระบบให้น้ำพืชโดยเกษตรกร....74

รูปที่ 4.22 แสดงการทำงานของระบบโครงข่ายความชื้นดินควบคุมการให้น้ำพืชเมื่อผ่านไป 25 วัน....73

รูปที่ 4.23 แสดงการทำงานของระบบโครงข่ายความชื้นดินควบคุมการให้น้ำพืชเมื่อผ่านไป 25 วัน....73

รูปที่ 4.24 แสดงการทำงานของระบบโครงข่ายความชื้นดิน....74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของดินในระดับต่างๆกับเนื้อดิน.....5

ตารางที่ 2.1 ค่าอัตราการซึมพื้นฐานของน้ำผ่านผิวดินโดยประมาณ.....8

ตารางที่ 2.2 การแบ่งกลุ่มขนาดของดิน(SOIL SEPERATE).....15

ตารางที่ 2.3 ระดับความเครียดเมตริกที่สมควรให้น้ำชลประทานกับพืชนิดต่าง ๆที่ปลูกในดินลึกและระบายน้ำได้ดีเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุด.....20

ตารางที่ 2.4 ความหมายของค่าที่อ่านได้จากเทนซิโอมิเตอร์.....23

ตารางที่ 2.5 สมการ SOIL HYDRAULIC MODELS.....28

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองความเร็วในการตรวจจับความชื้นดินของเซนเซอร์แต่ละขนาด.....59

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองปรับค่า PH ดินที่ผ่านการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ CRD.....66

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบแปลงทดลองและบันทึกผลการทดลองระหว่างแปลงทดลองใช้เกษตรกรควบคุมระบบและแปลงที่ควบคุมโดยระบบโครงข่ายเซนเซอร์ความชื้นดินควบคุมการให้น้ำพืช.....69

ตารางที่ 4.3 บันทึกผลการทดลองเปรียบเทียบน้ำหนักผักบุ้งแต่ละแปลง.....74

ตารางที่ 4.4 สรุปค่าใช้จ่ายระหว่างแปลงทดลองที่ใช้เกษตรกรควบคุมระบบกับแปลงที่ใช้ระบบโครงข่ายเซนเซอร์ความชื้นดินควบคุมการให้น้ำพืชที่แตกต่างกัน.....77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันโลกได้เปลี่ยนแปลงไปมาก ประชากรของโลกเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง(7,000 ล้านคน, ปี 2012) [1]ทำให้มีความต้องการทรัพยากรทางด้านต่างๆมากขึ้น โดยเฉพาะทางด้านอาหาร ซึ่งเป็นผลิตที่ได้จากการเกษตร แต่แรงงานทางด้านการเกษตรมีจำนวนลดลงมาก อีกทั้งพื้นที่ทำการเกษตรนั้นมีลดลง [2] เป็นผลมาจากการขยายตัวของเมืองและประชากรซึ่งไม่สอดคล้องกัน ดังนั้นเทคโนโลยีที่ทันสมัยจึงมีบทบาทสำคัญต่อการเกษตรในยุคปัจจุบัน

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้แก่ น้ำ ปุ๋ย (แร่ธาตุต่างๆ) แสง อุณหภูมิที่พอเหมาะ และคาร์บอนไดออกไซน์(CO_2) ซึ่งพืชแต่ละชนิดต้องการปัจจัยเหล่านี้แต่ต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของพืช[3] ถ้าหากพืชได้รับปัจจัยดังกล่าวอย่างพอเพียงและสม่ำเสมอไม่มากไม่น้อยจนเกินไปพืชก็จะให้ผลผลิตที่มีคุณภาพและได้ปริมาณผลผลิตที่มากขึ้น แต่หากได้รับปัจจัยดังกล่าวไม่เพียงพอหรือมากเกินไปก็จะทำให้พืชให้ผลผลิตได้ปริมาณไม่เท่าที่ควร ดังนั้นหากต้องการผลผลิตที่มีคุณภาพและปริมาณมากเราควรจะควบคุมปัจจัยเหล่านี้ให้พอเหมาะ โดยใช้เทคโนโลยีที่มีในปัจจุบันมาเป็นตัวควบคุมปัจจัย ซึ่งโครงการวิจัยนี้จะเริ่มศึกษาวิจัยระบบการให้น้ำพืชที่สามารถปรับความชื้นของน้ำในดินที่ให้แก่พืชได้ตลอดเวลาสะดวกต่อการให้งาน[4,5] และมีความแม่นยำ อีกทั้งยังประหยัดแรงงานในการควบคุมระบบทำให้เกษตรกรมีเวลาในการดูแลพืชมากขึ้น ทำให้ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพและได้ปริมาณสูงเหมาะกับสถานการณ์ในปัจจุบัน โดยระบบนี้จะมีส่วนประกอบหลักคือ เซนเซอร์วัดความชื้นดิน ตัวส่งสัญญาณ และ Microcontroller เพื่อประมวลผลและสั่งการปั๊มน้ำอัตโนมัติ โดยจะทำงานประสานกันอย่างเป็นระบบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบระบบการควบคุมการให้น้ำพืชอัตโนมัติแบบไร้สายเป็นโครงข่ายสัญญาณที่มีประสิทธิภาพและเหมาะกับลักษณะการใช้งานที่สภาวะต่างๆ

1.2 วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการให้น้ำพืชโดยมีวัตถุประสงค์หลักดังต่อไปนี้ คือ

1.ออกแบบสร้างโครงข่ายเซนเซอร์ความชื้นดินสำหรับอุปกรณ์ให้น้ำพืชอัตโนมัติแบบไร้สาย

2.สอบเทียบค่าระหว่างค่าแรงดึงความชื้นและค่า ADC เพื่อสร้างสมการตรวจสอบแรงความชื้นของดิน

3 ทดสอบการทำงานของระบบและหาความเหมาะสมของการใช้เซนเซอร์หนึ่งหน่วยต่อพื้นที่การใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ทดลองรับส่งสัญญาณและประมวลผลและทำงานประสานกันอย่างเป็นระบบ มุ่งเน้นการออกแบบระบบการให้น้ำพืชให้มีประสิทธิภาพ ออกแบบสร้างระบบเซนเซอร์แบบโครงข่ายไร้สายโดยมีภาคส่งคือเซนเซอร์วัดความชื้นดินที่ติดไว้บริเวณต่างๆทั่วแปลง(ทั้งนี้ความเหมาะสมจำนวนเซนเซอร์นั้นจะทำการทดลองเพื่อหาความเหมาะสม) และภาครับคือชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งเป็นตัวหลักในการควบคุมและประมวลผมจากข้อมูลความชื้นที่เซนเซอร์ได้ส่งมาเพื่อสั่งการให้ระบบให้น้ำทำงาน

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1) สามารถใช้ระบบควบคุมน้ำอัตโนมัติ เพื่อใช้ในการเกษตรกรรมได้สามารถประหยัดเวลา ประหยัดพลังงานน้ำ(หากช่วงนั้นฝนมีปริมาณมาก ระบบจะหยุดการให้น้ำแก่พืช) และทุ่นแรงงานคน
2) ได้ปริมาณน้ำที่พืชจะนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างแท้จริง
3) ประหยัดแรงงานในการให้น้ำพืช
4) มีระบบประมวลผลการให้น้ำที่หลากหลายเพื่อประโยชน์การเลือกใช้ของเกษตรกร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

ในการสร้างระบบโครงข่ายเซนเซอร์ควบคุมการให้น้ำแก่พืชควรคำนึงถึง พืช การใช้งาน ความปลอดภัยและต้นทุนในการออกแบบเป็นหลัก ซึ่งหลักการและทฤษฎีสำหรับนำมาประกอบการออกแบบอุปกรณ์และการทดลองมีดังนี้

2.1 ทฤษฎีน้ำในดิน (Theory of water in the soil) [6]

น้ำที่อยู่ภายในดินจะแบ่งออกเป็น 3 ชนิดตามระดับของน้ำที่ถูกยึดไว้ โดยเริ่มจากชั้นนอกสุดไปยังชั้นในสุดดังนี้คือ

2.1.1 น้ำอิสระ(Gravitational water) เป็น น้ำที่ขังอยู่ชั้นนอกสุดของเม็ดดิน หากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างน้ำกับน้ำ และน้ำกับดินน้อยกว่าแรงดึงดูดของโลก น้ำในส่วนนี้จะถูกไปยังชั้นด้านล่างของดินด้วยแรงดึงดูดของโลก น้ำในส่วนนี้อยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่ของดิน หากอยู่ในดินเป็นระยะเวลานานจะทำให้พืชขาดอากาศและจะเป็นอันตรายต่อพืช โดยจุดที่ระดับความชื้นที่มีน้ำอิสระอยู่เกือบเต็มช่องว่างนี้จะเรียกว่า “จุดความชื้นอิ่มตัว (water saturated)”

2.1.2 น้ำซับ (Capillary water) หลังจากที่หยุดการให้น้ำต่อพืชแล้ว และน้ำอิสระได้ระบายสู่ส่วนล่างซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 24 - 48 ชั่วโมง น้ำในดินที่เหลือจะถูกยึดด้วยดินให้อยู่ในช่องว่างขนาดเล็กของดินด้วยแรงที่ มากพอที่จะต้านแรงดึงดูดของโลกแต่ในช่องว่างขนาดใหญ่ของดินจะมีแต่อากาศ ซึ่งความชื้นในดินที่ระดับนี้จะเรียกว่า “จุดความชื้นระดับสนาม (field capacity)” หรือจุดความชื้นชลประทาน ที่จุดนี้ถือว่าเป็นระดับสูงสุดของความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (aviable water) เนื่องจากพืชสามารถนำน้ำส่วนนี้ไปใช้ได้ โดยทั่วไปน้ำส่วนนี้จะถูกดึงด้วยแรงระหว่าง 1/3 – 1/10 ของบรรยากาศ เมื่อความชื้นในดินลดลงจนถึงระดับที่ความชื้นไม่เพียงพอสำหรับการคายน้ำพืช จะเริ่มเหี่ยวเฉาอย่างถาวร ความชื้นจุดนี้เรียกว่า “จุดเหี่ยวถาวร (permantent wilting point)”

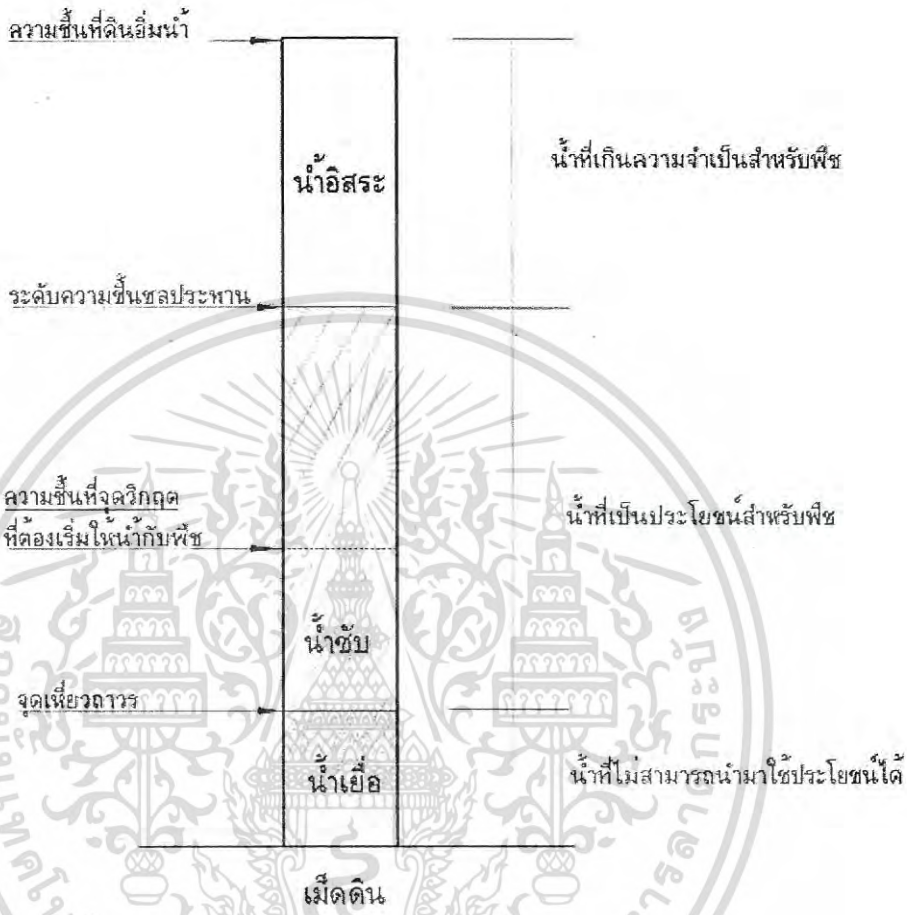
2.1.3 น้ำเยื่อ (Hygroscopic water) เป็นน้ำที่อยู่ติดกับอนุภาคดินมากที่สุด โดยน้ำส่วนนี้จะถูกยึดด้วยแรงประมาณ 31 เท่าของบรรยากาศเป็น น้ำส่วนที่เหลือจากน้ำซับที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เลย เมื่อระดับความชื้นในดินอยู่ที่ระดับนี้ พืชอาจจะตายเพราะอาการขาดน้ำได้

ดินสามารถเก็บน้ำไว้ได้โดยที่น้ำจะแทรกตัวอยู่ ระหว่างช่องว่างของดินและยึดเหนี่ยวกันไว้ด้วยแรงยึดเหนี่ยวของน้ำในดิน ซึ่งประกอบด้วยแรงสองแรงคือ

1. Adhesive Force เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของดินกับโมเลกุลของน้ำ
2. Cohesive Force เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำกับโมเลกุลของน้ำ

รวมเรียกว่า แรงยึดเหนี่ยวของน้ำในดิน (Capillary Force) = Adhesive Force + Cohesive Force

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ประเภทของน้ำในดิน

2.2 สภาพของน้ำในดิน (Condition of water in soil.) [6]

ในช่องว่างของดินจะมีน้ำและอากาศเป็นองค์ประกอบที่สำคัญถ้าช่องว่างของดินมีปริมาณน้ำมากหรือมีน้ำขังตลอดเวลาย่อมแสดงว่าไม่มีอากาศอยู่ในช่องว่างดังนั้นสามารถแบ่งสภาพของน้ำในดินออกได้ตามความแตกต่างของน้ำที่มีอยู่ในดินได้ดังต่อไปนี้

2.2.1 สภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated soil) คือดินที่มีน้ำอยู่เต็มในสัดส่วนของเปอร์เซ็นต์ของอากาศและเปอร์เซ็นต์ของน้ำในส่วนประกอบของดินได้แก่ดินที่อยู่ในสภาพน้ำขัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 **สภาพดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated soil)** คือดินที่มีน้ำอยู่ไม่เต็มในสัดส่วนของเปอร์เซ็นต์ของอากาศและเปอร์เซ็นต์ของน้ำในส่วนประกอบของดิน ได้แก่ดินที่ดอนที่ใช้ทำการเกษตรกรรมโดยทั่วไป

2.2.3 **สภาพความจุความชื้นภาคสนาม (Field capacity : FC)** คือสภาพของดินที่สามารถอุ้มน้ำหรือดูดยึดน้ำได้มากที่สุดซึ่งอยู่ในช่วงความลึกจากผิวดินลงไป 6 นิ้ว ช่องว่างขนาดเล็กในดินจะอิ่มตัวด้วยน้ำส่วนน้ำที่อยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่จะเคลื่อนที่ออกหมดโดยแรงดึงดูดของโลก (รูปที่ 2.1)

2.2.4 **สภาพน้ำเยื่อ (Hygroscopic coefficient)** เป็นสภาพที่น้ำจะอยู่ในรูปเยื่อบางๆรอบอนุภาคดินน้ำจะถูกยึดด้วยแรงดึงดูดที่สูงมากตั้งแต่ 31 บรรยากาศจนถึง 10,000 บรรยากาศสภาพเช่นนี้พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ (รูปที่ 2.1)

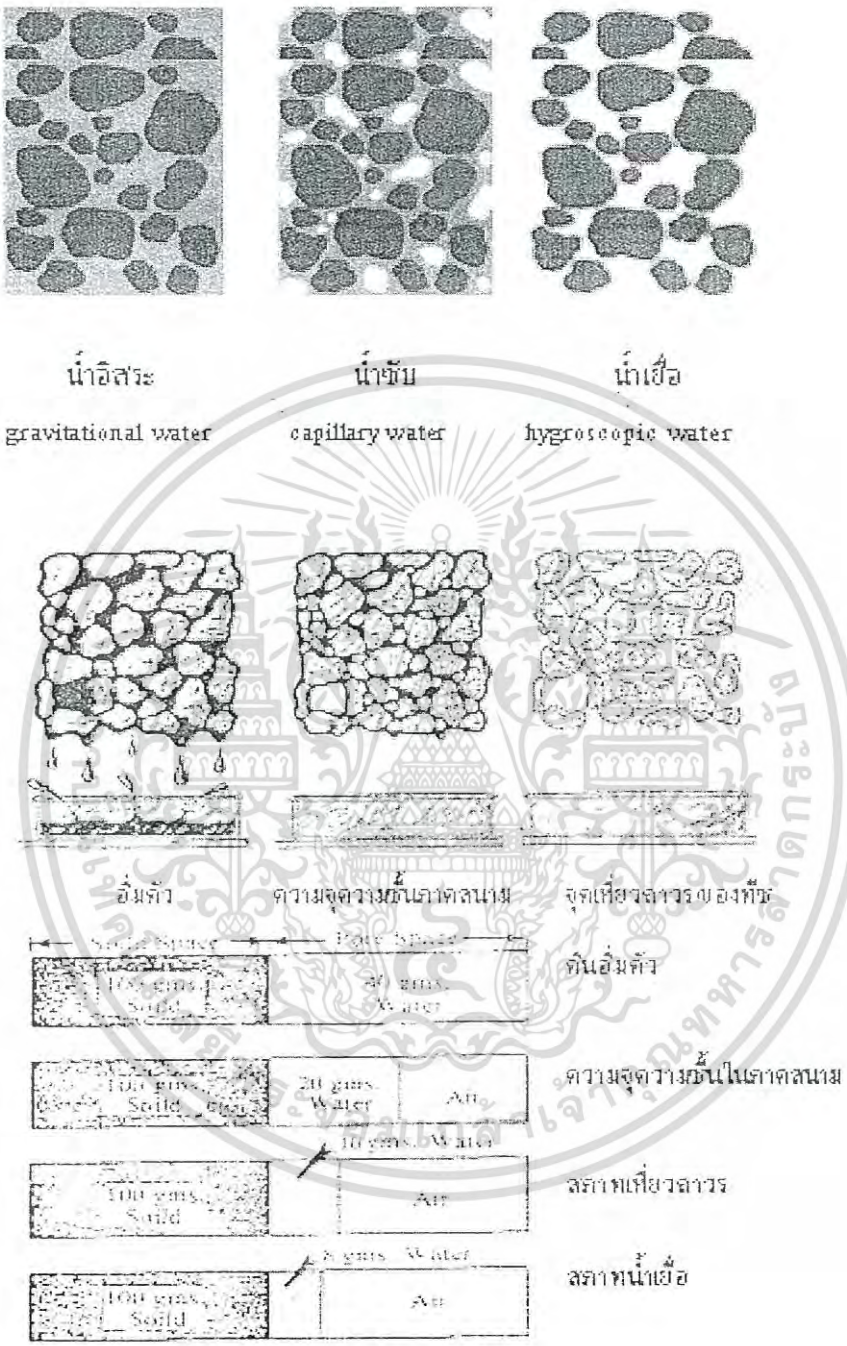
2.2.5 **สภาพจุดเหี่ยวถาวรของพืช (Permanent wilting point)** เป็นสภาพที่เกิดขึ้นเนื่องจากในช่องว่างขนาดเล็กของดินมีปริมาณน้ำอยู่น้อยประกอบกับมีแรงยึดเพิ่มขึ้น ในเวลากลางวันพืชจะต้องคายน้ำทำให้อัตราการคายน้ำมากกว่าอัตราการดูดน้ำของพืชทำให้พืชแสดงอาการเหี่ยวเฉาแบบชั่วคราว เมื่อเราเพิ่มน้ำให้กับดินอาการเช่นนี้ก็จะหายไปในกรณีที่เราไม่เพิ่มน้ำให้แก่ดินปริมาณน้ำในดินก็จะน้อยลงไปเรื่อยๆประกอบกับแรงดูดยึดมีค่ามากขึ้นทำให้ปริมาณการดูดน้ำของพืชได้น้อยและยากกว่าเดิม ทำให้พืชแสดงอาการเหี่ยวเฉาแบบรุนแรงมากสภาพเช่นนี้จะทำให้พืชเหี่ยวเฉา อย่างถาวร

น้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับเนื้อดินเป็นหลัก ดินเหนียวซึ่งเป็นดินเนื้อละเอียด พบว่าน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมีช่วงกว้างกว่าดินร่วนและดินทรายการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดในการเพาะปลูกต้องคำนึงเนื้อดินเป็นองค์ประกอบด้วยถ้าเนื้อดินเป็นดินทรายการให้น้ำต้องบ่อยครั้งมากกว่าดินร่วนและดินเหนียวในการหาน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชหาได้ดังนี้ น้ำที่เป็นประโยชน์ = ความจุความชื้นภาคสนาม - ความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวรซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของดินในระดับต่างๆกับเนื้อดิน ดังตารางที่ 2.1 [6]

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของดินในระดับต่างๆกับเนื้อดิน

เนื้อดิน	ระดับความชื้นของดิน (%)		
	ความจุความชื้นในภาคสนาม	จุดเหี่ยวถาวร	น้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืช
หยาบ	5.5	2.0	3.5
ค่อนข้างหยาบ	22.2	12.0	10.2
ปานกลาง	34.6	20.3	14.3
ค่อนข้างละเอียด	33.8	21.3	12.5
ละเอียด	33.5	20.2	13.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงสภาพของน้ำในดิน[6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การซึมลงดินของน้ำ (Infiltration rate of water into soil)[7]

กระบวนการซึมลงดินเริ่มต้นขึ้นเมื่อมีน้ำตกลงสู่ผิวดินน้ำจะซึมผ่านผิวดินและแพร่ลงไปในดินตามแรงดึงความชื้นจนกระทั่งดินอิ่มตัวด้วยน้ำ จากนั้นแรงดึงดูดของโลกจะทำให้น้ำไหลลึกซึมลงไปในดิน สามารถพิจารณาแยกปริมาณความชื้นในดินได้เป็น 4 ส่วน คือ

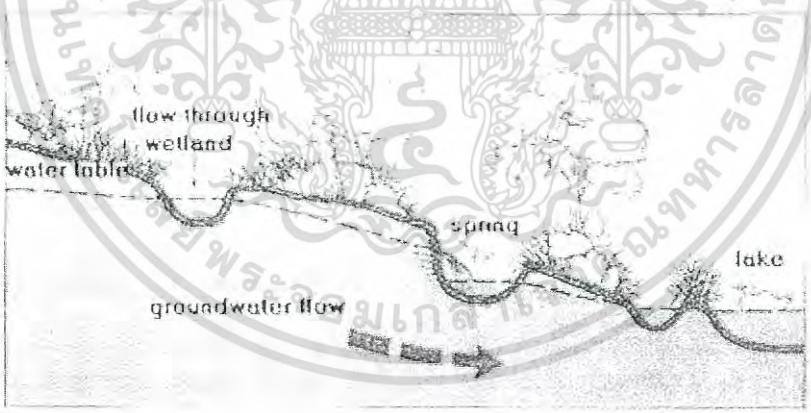
1. ส่วนที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturation zone) ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ใกล้กับผิวดิน

2. ส่วนที่น้ำแพร่ผ่าน (Transmission zone) เป็นส่วนที่น้ำไหลผ่านชั้นดิน ขณะที่ดินยังไม่อิ่มตัวโดยปริมาณความชื้นตลอดหน้าตัดใกล้เคียงกัน

3. ส่วนที่กำลังเปียก (Wetting zone) เป็นส่วนที่ความชื้นกำลังเพิ่มขึ้นโดยในชั้นดินที่ลึกลงไปจะมีความชื้นน้อย

4. หน้าตัดที่กำลังเปียก (Wetting front) เป็นหน้าตัดที่เริ่มเปียกน้ำและกำลังมีการเปลี่ยนความชื้นอย่างรวดเร็ว

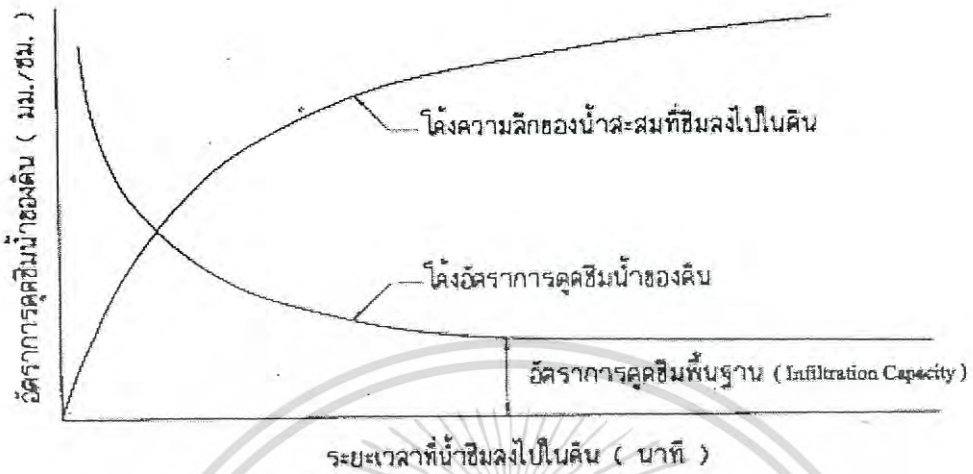
ซึ่งบริเวณนี้ ดินจะมีความชื้นแตกต่างกันมาก จนสามารถแยกระหว่างดินเปียกกับดินแห้งได้อย่างชัดเจน



รูปที่ 2.3 แสดง ground water

วัตถุประสงค์หลักของการศึกษาด้านการซึมลงดิน คือการหาค่าอัตราการซึมลงดิน ณ เวลาต่างๆ การเปลี่ยนแปลงอัตราการซึมนั้นเป็นผลจากทั้งอิทธิพลของแรงดึงดูดของโลก (gravity force) และแรงดันหรือแรงดึงน้ำ (pressure force)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ลักษณะการดูดซึมน้ำของดิน

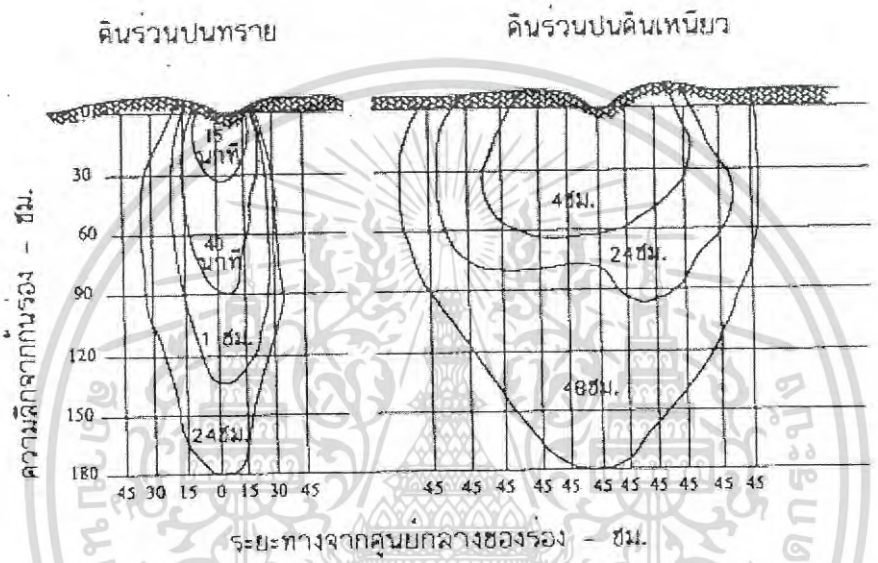
ตารางที่ 2.1 ค่าอัตราการซึมพื้นฐานของน้ำผ่านผิวดินโดยประมาณ

ชนิดของดิน	อัตราการซึมโดยประมาณ (มิลลิเมตร/ชั่วโมง)
ดินร่วนปนทราย	เฉลี่ย 25
ดินร่วน	เฉลี่ย 15
ดินร่วนเหนียว	เฉลี่ย 10
ดินเหนียว	เฉลี่ย 5

ค่าอัตราการซึมพื้นฐานของน้ำที่ผ่านผิวดิน จะมีประโยชน์ 2 ประการ คือ ประการแรก ใช้พิจารณาว่าจะให้น้ำแก่พืชนานเท่าใด ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการให้น้ำแก่พืช คิดเป็นความลึกของน้ำ 100 มิลลิเมตร ดินเป็นดินทราย ถ้าให้น้ำด้วยระบบผิวดิน ระยะเวลาให้น้ำอย่างน้อยที่สุดจะเท่ากับความลึกของน้ำที่จะให้ หารด้วยอัตราการซึมน้ำของดิน คือ 100 มิลลิเมตร หารด้วย 25 มิลลิเมตร/ชั่วโมง เท่ากับ 4 ชั่วโมง เป็นต้น ประการที่ 2 ใช้ในการเลือกหัวจ่ายน้ำแบบฉีดฝอย สำหรับการให้น้ำด้วยระบบฉีดฝอยจะต้องเลือกหัวจ่ายน้ำที่จะให้กับต้นพืช จะต้องมีอัตราการจ่ายน้ำน้อยกว่าอัตราการซึมของดิน ซึ่งถ้าหาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกใช้อัตราการจ่ายน้ำมากกว่าอัตราการซึมน้ำของดินจะทำให้เกิดน้ำไหลบ่า ทำให้สิ้นเปลืองน้ำและอาจเป็นอันตรายต่อต้นพืชได้ รูปที่ 2.5 เป็นการเปรียบเทียบระยะเวลาการไหลของน้ำที่ความลึก 180 เซนติเมตร พบว่า ดินร่วนปนทรายจะมีรูปร่างเรียวแคบตามแนวดิ่ง ความกว้างของเส้นผ่าศูนย์กลางเปียกน้ำประมาณ 90 เซนติเมตร และใช้เวลาเพียง 24 ชั่วโมง ส่วนดินร่วนปนดินเหนียวจะใช้เวลานานถึง 48 ชั่วโมง และให้เส้นผ่าศูนย์กลางถึง 150 เซนติเมตร



รูปที่ 2.5 เปรียบเทียบลักษณะการแผ่กระจายความชื้นของดินร่วนปนทราย (SANDY LOAM)และดินร่วนปนดินเหนียว (CLAY LOAM) ที่ระยะเวลาต่าง ๆ หลังให้น้ำ

โดยสิ่งที่มีผลต่อการซึมลงดินสามารถสรุปได้ ดังนี้

(1) อัตราการตกของน้ำฝน น้ำชลประทาน หรือความลึกของน้ำที่ขังบนผิวดิน

(2) ความสามารถในการนำน้ำของดิน

(3) ปริมาณความชื้นในดินขณะเริ่มต้น

(4) ความลาดชันและความขรุขระของผิวดิน

(5) คุณสมบัติทางเคมีของดิน

(6) คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) สภาพน้ำที่ผิวดินและปริมาณน้ำที่ตกลงบนผิวดิน

อัตราการซึมลงดินนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง สภาพน้ำที่ผิวดินและปริมาณน้ำที่ตกลงบนผิวดินจะเป็น

ตัวหนึ่งที่กำหนดว่าน้ำจะซึมลงดินอย่างไร ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

1. สภาพที่ไม่มีน้ำขังที่ผิว (No ponding)

$$Y(t) = 0 , \quad f(t) = w(t) \leq f_c(t)$$

ในสภาพที่ไม่มีน้ำขังอยู่บนผิวดิน $Y(t) = 0$ ซึ่งเป็นช่วงที่ฝนเริ่มตกหรือช่วงเริ่มให้น้ำชลประทาน อัตราการซึมลงดินจะเท่ากับอัตราการให้น้ำที่ผิวดิน [$f(t) = w(t)$] แต่จะมีปริมาณไม่เกินอัตราการซึมลงดินสูงสุด [$f(t) \leq f_c(t)$] หากอัตราที่น้ำตกลงผิวดินมากกว่าอัตราการซึมลงดินสูงสุดแล้ว น้ำก็จะเริ่มขังที่ผิวดิน

2. สภาพมีน้ำขังที่ผิวดิน (Saturation from above)

$$Y(t) > 0 , \quad f(t) = f_c(t) \leq w(t)$$

ในสภาพที่มีน้ำขังอยู่บนผิวดิน $Y(t) > 0$ อัตราการซึมลงดินจะเท่ากับการซึมลงดินสูงสุด [$f(t) = f_c(t)$] แต่จะมีปริมาณไม่เกินอัตราการตกของน้ำที่ผิวดิน [$f(t) \leq w(t)$]หากอัตราที่น้ำตกลงผิวดินน้อยกว่าอัตราการซึมลงดินสูงสุดแล้ว น้ำก็จะซึมลงดินจนกระทั่งไม่มีน้ำขังบนผิวดิน การซึมลงดินจะเปลี่ยนกลับเป็นสภาพแรก

3. สภาพดินด้านล่างอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturation from below)

$$Y(t) > 0 , \quad f(t) = 0$$

หากดินชั้นล่างลึกลงไปอิ่มตัวด้วยน้ำแล้ว ไม่ว่าจะมีน้ำขังบนผิวดินหรือไม่ $Y(t) > 0$ จะไม่มีการซึมลงดิน

อีกต่อไป [$f(t) = 0$]

$f(t)$: อัตราการซึมลงดิน (Infiltration rate)

$w(t)$: อัตราการตกของน้ำที่ผิวดิน (Water-input rate) ซึ่งอาจเป็นน้ำฝนหรือน้ำชลประทาน

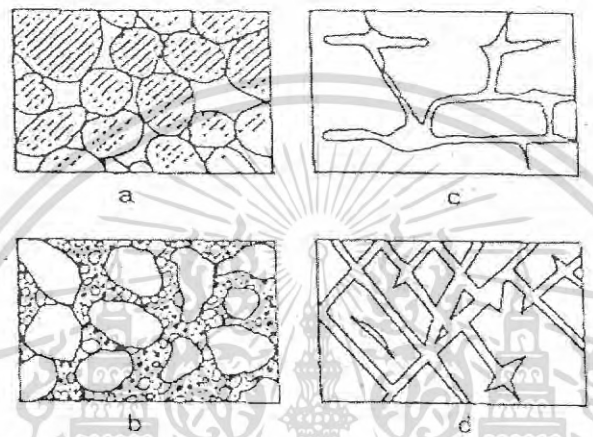
$f_c(t)$: อัตราการซึมลงดินสูงสุด (Infiltration capacity) ค่า f_c นี้จะมีค่ามากในช่วงแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากเมื่อฝนเริ่มตก ในขณะที่ดินแห้ง แรงดึงความชื้นจะมีค่ามาก แต่เมื่อเวลาผ่านไปค่า f_c นี้จะลดลงและคงที่ โดยจะมีค่าใกล้เคียงกับ hydraulic conductivity ของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

Y(t) : ความลึกของน้ำที่ขังเหนือผิวดิน (depth of ponding)

(ข) ความสามารถในการนำน้ำของดิน (Hydraulic Conductivity)



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะช่องว่างในดินแบบต่างๆ

(a) ลักษณะการเรียงตัวของหินทรายที่ทำให้มีช่องว่างสูง (b) การเรียงตัวของหินทรายที่ทำให้มีช่องว่างน้อย (c) มีการเรียงตัวของหินปูน (d) ชั้นหินร้าว

อัตราการซึมลงดินสูงสุด (infiltration capacity) มีค่าลดลงตามระยะเวลา โดยลดลงถึงค่าต่ำสุดและคงที่โดยค่าต่ำสุดนี้จะใกล้เคียงกับ hydraulic conductivity ของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยค่าของ hydraulic conductivity นั้นจะขึ้นอยู่กับเนื้อดินเป็นหลัก ถึงกระนั้นยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ทำให้อัตราการซึมมากหรือน้อยกว่านี้ อาทิ

- ชั้นอินทรียวัตถุที่ผิวดิน เช่น ซากใบไม้ ฮิวมัส ซึ่งอาจรวมถึงการขอนไชดินของรากพืช ไส้เดือนและแมลงในดินจะช่วยให้ดินมีช่องว่างมากขึ้น จึงทำให้ดินนำน้ำได้ดีขึ้น

- ผิวดินที่แข็งตัวเนื่องจากอากาศเย็นจัด เมื่ออากาศเย็นจัดจะทำให้น้ำในดินแข็งตัวบริเวณผิวซึ่งจะปิดกั้นไม่ให้น้ำซึมลงดินได้

- การบวม หรือหดตัวของดิน เมื่อความชื้นในดินเปลี่ยนไป ดินบางชนิดที่ มีดินเหนียวเป็นส่วนประกอบจะมีคุณสมบัติบวมเมื่อเปียกน้ำและหดตัวเมื่อแห้ง คุณสมบัตินี้จะส่งผลทำให้การซึมลงดินในพื้นที่เดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดการเปลี่ยนแปลงไปได้ตามฤดูกาล โดยในฤดูฝนขณะดินเปียกการซึมลงดินจะมีค่าน้อย ในขณะที่ในฤดูแล้งเมื่อดินแห้งและหดตัวจะทำให้เกิดรอยแตกซึ่งการซึมลงดินจะมาก

- การที่ตกตะกอนดินถูกชะลงมาอุดตันช่องว่างในดิน ขณะที่ฝนตกตะกอนขนาดเล็กๆ จะถูกชะล้างและพัดพาลงมาในช่องว่างระหว่างดิน ซึ่งจะทำให้การซึมลดลง

- ผลจากการกระทำของมนุษย์ เช่น ผิวถนนหรือคอนกรีต ล้วนแต่เป็นตัวที่ทำให้อัตราการซึมลดลง รวมถึงการทำการเกษตรแม้ว่าการพรวนดินจะช่วยให้การซึมลงดินดีขึ้นเป็นการชั่วคราว แต่ในระยะยาวการใช้เครื่องจักรและสารเคมีในการเกษตร มีผลทำให้ดินแน่นขึ้นและลดการซึมลงดิน

(ค) ปริมาณความชื้นในช่องว่างเม็ดดิน

แม้ว่า เมื่อปริมาณความชื้นในดินเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า hydraulic conductivity เพิ่มขึ้นตาม แต่ในทางตรงข้ามจะมีผลทำให้แรงดึงความชื้นในดินลดลงเมื่อพิจารณาผลรวมของแรงทั้งสองแล้วเมื่อความชื้นในดินเพิ่มขึ้นการซึมลงดินจะลดลงในกรณีที่สภาพดินชั้นล่างมีชั้นน้ำใต้ดินตื้นหรือมีน้ำใต้ดินไหลมาเพิ่มจากพื้นที่อื่นจะมีผลให้ชั้นดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำสูงขึ้นมาใกล้ผิวดิน จนทำให้น้ำไม่สามารถซึมลงได้อีก

(ง) ความลาดชันและความขรุขระของผิวดิน

ความลาดชันและความขรุขระของผิวดินมีอิทธิพลต่อการเกิดน้ำขังบนผิวดิน ในสภาพผิวดินที่ไม่มีน้ำขังอัตราการซึมลงดินจะขึ้นอยู่กับอัตราการตกของน้ำที่ผิวดิน ซึ่งจะมีอัตราการซึมต่ำกว่ากรณีที่มีน้ำขังบนผิวดินในพื้นที่ซึ่งมีการซึมลงดินจะขึ้นอยู่กับอัตราการตกของน้ำที่ผิวดินซึ่งจะมีอัตราการซึมต่ำกว่ากรณีที่มีน้ำขังบนผิวดินในพื้นที่ซึ่งมีความลาดชันสูงและไม่มีสิ่งปกคลุมจะมีปริมาณน้ำผิวดินมากและไหลอย่างรวดเร็ว ในทางตรงข้าม จะมีปริมาณน้ำที่ซึมลงดินน้อย

(จ) คุณสมบัติทางเคมีของดิน

สารอินทรีย์วัตถุบางชนิดในดินมีลักษณะเป็นมัน เมื่อสัมผัสกับน้ำ จะยึดน้ำไว้ที่ผิวแทนที่จะปล่อยให้น้ำแทรกลงไปตามช่องว่างของดิน กระบวนการลักษณะนี้ มีอิทธิพลต่อการซึมไม่มากนักในพื้นที่ป่าธรรมชาติแต่ในกรณีที่เกิดไฟป่า พื้นที่เปลี่ยนสภาพเป็นดินโล่งทำให้สารเหล่านี้ขึ้นมาสะสมบริเวณผิวดินซึ่งมีผลทำให้อัตราการซึมลงดินลดลงอย่างมาก

(ฉ) คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำ

คุณสมบัติของน้ำทั้งในด้านแรงดึงผิว (surface tension) ความหนาแน่น (density) ความหนืด (viscosity)ล้วนแล้วแต่มีอิทธิพลต่อการไหลของน้ำในดิน ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความหนืดของน้ำซึ่งจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำมากๆ มีผลให้อัตราการซึมลงดินลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ทฤษฎีของดิน และ โครงสร้างของดิน (Theory of soil and soil structure.)[8]

ดิน คือ วัตถุตามธรรมชาติที่เกิดขึ้นจากผลของการผุพังสลายตัวของหินและแร่ ต่างๆผสมคลุกเคล้ารวมกับอินทรียวัตถุหรืออินทรีย์สารที่ได้มาจากการสลายตัวของเศษซากพืชและสัตว์จนเป็นเนื้อเดียวกันมีลักษณะร่วนไม่เกาะกันแข็งเป็นหิน เกิดขึ้นปกคลุมพื้นผิวโลกอยู่เป็นชั้นบางๆและเป็นที่ยึดเหนี่ยวในการเจริญเติบโตของพืช ในที่นี้เราจะกล่าวถึงส่วนประกอบของดินที่เป็นส่วนประกอบหลักของดิน นั่นก็คือ ส่วนที่เป็นอนินทรีย์วัตถุ

อนินทรีย์วัตถุ หรือ แร่ธาตุ เป็นส่วนประกอบที่มีปริมาณมากที่สุดในดินทั่วไปได้มาจากการผุพังสลายตัวของหินและแร่ธาตุต่างๆอนินทรีย์วัตถุอยู่ในดินในลักษณะของชิ้นส่วนที่เรียกว่าอนุภาคดินซึ่งมีหลายรูปทรงและมีขนาดแตกต่างกันไป แบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ได้แก่

2.4.1 ดินทราย (Sandy Soil)

ดินทราย(Sandy Soil) เกิดจากเมล็ดดินขนาดใหญ่(2.00-0.05 ม.ม.) มาจับตัวรวมกัน ดินประเภทนี้จะมีช่องว่างระหว่างเม็ดดินกว้างที่สุด ทำให้ดินชนิดนี้มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ไม่ดีนัก ง่ายต่อการกัดกร่อน ความสามารถในการแลกเปลี่ยนธาตุอาหารต่ำ ความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำมาก วัตถุต้นกำเนิดดินเป็นตะกอนเนื้อหยาบหรือตะกอนทรายชายฝั่งทะเลพบได้ทั้งในพื้นที่ลุ่มและพื้นที่ดอน
ประเภทของดินทราย

1. ดินทรายในพื้นที่ดอนพบตามบริเวณหาดทรายสันทรายชายทะเลหรือบริเวณพื้นที่ลาดถึงที่ลาดเชิงเขาเนื้อดินเป็นทรายตลอดมีการระบายน้ำดีมากจนถึงดีมากเกินไปดินไม่อุ้มน้ำและเกิดการชะล้างพังทลายได้ง่ายเนื่องจากอนุภาคดินมีการเกาะตัวกันน้อยมากการใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่ใช้ปลูกพืชไร่เช่น มันสำปะหลังสับปะรด
2. ดินทรายในพื้นที่ลุ่มมักพบตามที่ลุ่มระหว่างสันหาดหรือเนินทรายชายฝั่งทะเลหรือบริเวณที่ราบที่อยู่ใกล้ภูเขาหินทรายดินมีการระบายน้ำเลวหรือค่อนข้างเลวการใช้ประโยชน์ทำนาปลูกพืชไร่เช่น อ้อยและปอและบางแห่งเป็นที่ทิ้งร้างหรือทุ่งหญ้าธรรมชาติ
3. ดินทรายที่มีชั้นดานอินทรีย์เป็นดินทรายที่มีลักษณะเฉพาะตัวคือชั้นดินตอนบนจะเป็นทรายสีขาวแต่เมื่อขุดลึกลงไปจะพบชั้นทรายสีน้ำตาลปนแดงที่เกิดจากการจับตัวกันของสารประกอบพวกเหล็กและอินทรียวัตถุอัดแน่นเป็นชั้นดานในตอนล่างฤดูแล้งชั้นดานในดินนี้จะแห้งแข็งมากจนรากพืชไม่สามารถชอนไชผ่านไปได้ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าเสม็ดป่าชายหาดป่าละเมาะบางแห่งใช้ปลูกมะพร้าวมะม่วงหิมพานต์

2.4.2 ดินร่วน (Loam)

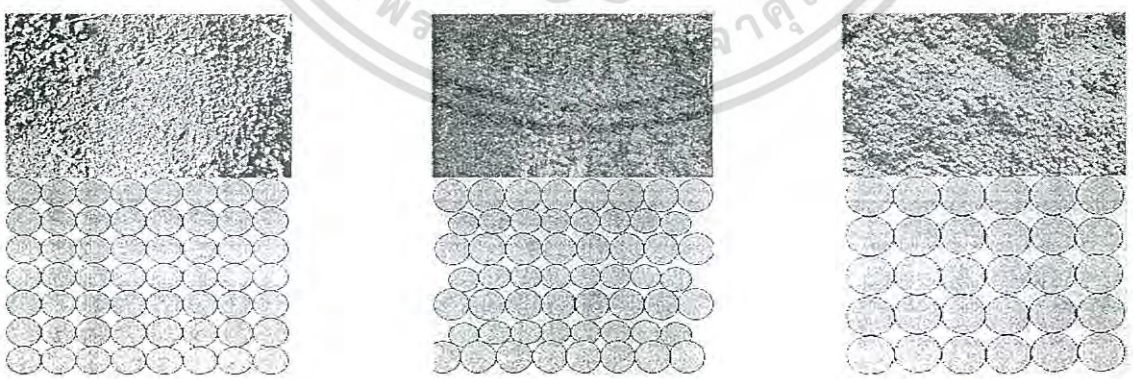
ดินร่วน (Loam) เป็นดินที่มีเนื้อดินไม่ละเอียดหรือหยาบมากเกินไปมีการอุ้มน้ำและการระบายน้ำดี พอเหมาะกับความต้องการของพืชทั่วไปจึงจัดเป็นเนื้อดินที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกในธรรมชาติมักไม่ค่อยพบแต่จะพบดินที่มีเนื้อดินใกล้เคียงกันมากกว่า สีของดินสีของดินจะทำให้เราทราบถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความอุดมสมบูรณ์ปริมาณอินทรียวัตถุที่ปะปนอยู่และแปรสภาพเป็นฮิวมัสในดินทำให้สีของดินต่างกันถ้ามีฮิวมัสน้อยสีจะจางลงมีความอุดมสมบูรณ์น้อยในธรรมชาติ ดินร่วนมักพบโดยปะปนอยู่กับดินชนิดอื่นๆ โดยอาจเป็นดินร่วนปนทราย ดินร่วนปนเหนียว หรือ แบบอื่นๆ เป็นต้น ช่องว่างระหว่างเมล็ดดินของดินร่วน จะมากกว่าของดินเหนียว แต่จะน้อยกว่าของดินทราย เมื่อกล่าวถึงดินดินร่วนในทางเกษตรกรรม จะนึกถึงดินที่มีอนุภาคของทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวในปริมาณใกล้เคียงกัน (อนุภาคขนาดดินเหนียวร้อยละ 7-27 อนุภาคขนาดทรายแป้งร้อยละ 28-50 และมีอนุภาคขนาดทรายน้อยกว่าร้อยละ 52)ในสภาพดินแห้งจะจับกันเป็นก้อนแข็งพอประมาณ ในสภาพดินชื้นจะยืดหยุ่นได้บ้างเมื่อสัมผัสหรือคลึงดินจะรู้สึกนุ่มมือแต่อาจจะรู้สึกสากมืออยู่บ้างเล็กน้อยเมื่อกำดินให้แน่นในฝ่ามือแล้วคลายมือออก ดินจะจับกันเป็นก้อนไม่แตกออกจากกัน

2.4.3 ดินเหนียว (Clay)

ดินเหนียว (Clay) เป็นดินเนื้อละเอียด ซึ่งมีคุณสมบัติ ทึบน้ำ เหนียว เมื่อให้น้ำในปริมาตรที่เหมาะสม จะสามารถนำมาปั้นเป็นรูปทรงต่าง ๆ ได้ เมื่อนำไปเผาจะแปรสภาพเป็นวัตถุแข็ง ไม่เปลี่ยนรูปด้วยคุณสมบัติทึบน้ำ ทำให้ดินเหนียวมีความสามารถในการเพาะปลูกต่ำ มีพืชเพียงไม่กี่ชนิดที่ขึ้นในดินเหนียวได้ดี ดินเหนียวจะมีช่องว่างในดินขนาดเล็กที่สุด เนื่องมาจากการจัดเรียงตัวของดินขนาดเล็กมาก ทำให้เกิดการเกาะตัวของดินอย่างหนาแน่นโดยดินเหนียวเกิดจากตะกอนที่พัดพามาทับถมกัน ธรรมชาติของดินเหนียว จะประกอบด้วยแร่เคโอลิไนต์ (kaolinite) เป็นส่วนใหญ่ โดยแร่เคโอลิไนต์ที่พบในดินเหนียวมักมีผลึกที่ไม่สมบูรณ์และมีขนาดเล็กนอกจากนี้ยังพบแร่ดินชนิดอื่นๆอาทิมอนมอริลโลไนต์ (monmorillonite) อิลไลต์ (illite) ควอร์ทซ์ (quartz) แร่ไมกา (mica) แร่เหล็กออกไซด์ (iron oxide) รวมทั้งมักมีสารอินทรีย์ปะปนอยู่เสมอดินเหนียวมีสีต่างๆ เกิดจากการมีแร่ธาตุชนิดต่างๆ ในปริมาณที่แตกต่างกัน อาทิ สีดำเทา ครีม และน้ำตาล ดินเหนียวที่มีสีเทาหรือดำนั้น จะมีอินทรีย์วัตถุปนมากส่วนดินเหนียวสีครีมหรือน้ำตาล มาจากแร่เหล็กที่ปะปนอยู่ โครงสร้างและการแบ่งขนาดของดินชนิดต่าง



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของดินร่วน – ดินเหนียว – ดินทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 การแบ่งกลุ่มขนาดของดิน(Soil seperate)[8]

Seperate	(1) Diameter(mm.)	(2) Diameter(mm.)
Very coarse sand ทรายหยาบมาก	2.00 - 1.00	-
Coarse sand ทรายหยาบ	1.00 - 0.50	2.00 - 0.20
Medium sand ทรายปานกลาง	0.50 - 0.25	-
Find sand ทรายละเอียด	0.25 - 0.10	0.20 - 0.02
Very find sand ทรายละเอียดมาก	0.10 - 0.05	-
Silt ทรายแป้ง	0.05 - 0.002	0.02 - 0.002
Clay ดินเหนียว	< 0.002	< 0.002

2.4.4 ความชื้นในดิน (Soil Moisture)

นอกจากน้ำที่ปรากฏอยู่บนผิวดินตามอ่างเก็บน้ำทะเลสาบและอื่นๆแล้วยังมีความชื้นที่เกาะอยู่ตามเม็ดดินซึ่งความชื้นเหล่านี้เกิดจากการซึมของหยดน้ำลงดินและถูกดูดซับโดยอนุภาคของดินไว้ ความชื้นดังกล่าวอยู่ในดินจนกระทั่งเกิดการระเหยหรือถูกดูดซับโดยรากพืชนำไปใช้ตามปกติความชื้นในดินจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนและอัตราการระเหยของน้ำและขึ้นอยู่กับความจุน้ำของในดิน (Field of Capacity of Water) ซึ่งอยู่กับประเภทของเนื้อดินเช่นดินทรายจะมีความจุน้ำของดินต่ำสุดส่วนดินเหนียวจะมีความจุน้ำสูงสุดทั้งนี้ความหยาบของเนื้อดินจะยอมให้น้ำผ่านได้ง่ายกว่าเนื้อดินที่ละเอียด

2.4.5 ระบอบความชื้นในดิน (Soil Moisture Regime)

ระบอบความชื้นในดินได้ถูกศึกษาโดย C.W.Thornthwaite นักภูมิอากาศวิทยาโดยแบ่งระบอบความชื้นในดินออกเป็น 8 กลุ่มด้วยกันคำว่า "ระบอบ" หมายถึงลักษณะเด่นหรือรูปแบบที่โดดเด่นเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดกับความชื้นในดินในรอบปีสามารถจำแนกได้ดังนี้

1) ระบอบศูนย์สูตร (Equatorial Regime) เป็นระบอบความชื้นในดินที่ค่าของน้ำฝนจะสูงกว่าค่าศักยภาพการระเหยของน้ำจากดินและพืชตลอดปีปริมาณความชื้นที่เหลือซึ่งปรากฏออกมาในรูปของน้ำไหลผ่านผิวดินมากตลอดทั้งปีเช่นเดียวกันจึงทำให้การเพาะปลูกทำได้ตลอดทั้งปีและการเจริญเติบโตของพืชพรรณธรรมชาติมีอัตราสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ระบอบสะวันนา (Tropical Wet-Dry Regime) ระบอบนี้ความชื้นในดินตลอดปีมีค่อนข้างมากปริมาณน้ำฝนจะตกน้อยลงในช่วงบริเวณที่ได้รับแสงเฉียงจากดวงอาทิตย์เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ส่วนช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายนปริมาณน้ำฝนจะมีมากทำให้ความชื้นในดินมีมาก แต่ความชื้นในดินจะขาดในช่วงฤดูแล้งซึ่งส่งผลต่อพืชพรรณอันเนื่องมาจากความไม่แน่นอนของลมประจำถิ่นที่พัดผ่าน

3) ระบอบเมดิเตอร์เรเนียน (Mediterranean Regime) เป็นระบอบความชื้นในดินที่พบรอบๆ ทะเลเมดิเตอร์เรเนียนและในบริเวณชายฝั่งตะวันตกที่ตั้งอยู่ระหว่างละติจูด 30 - 50 องศาค่าศักยภาพการระเหยของน้ำจากดินและพืชจะสูงมากในฤดูร้อนแต่การขาดแคลนความชื้นในดินปรากฏในช่วงฤดูร้อนเช่นเดียวกันส่วนในช่วงฤดูหนาวความชื้นในดินจะเพิ่มขึ้นแต่ไม่ถึงกับเกิดสภาพความชื้นเหลือการเพาะปลูกในบริเวณนี้จะได้ผลดีจึงต้องอาศัยการชลประทานเพื่อเพิ่มความชื้นในดินให้พอเพียงกับความต้องการของพืช

4) ระบอบทะเลทรายร้อน (Tropical Desert Regime) ตามปกติแล้วความชื้นในดินระบอบนี้จะขาดแคลนเกือบตลอดทั้งปีความจุน้ำของดินจะมีค่าใกล้ศูนย์ตลอดเวลาค่าศักยภาพการระเหยของน้ำจากดินและพืชสูงตลอดปีแต่หยาดน้ำฟ้าที่ตกลงมาค่อนข้างน้อยด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้พืชพรรณที่ปรากฏอยู่ในเขตทะเลทรายเบาบางมาก

5) ระบอบทะเลทรายภาคพื้นทวีป (Continental Desert Regime) เป็นระบอบความชื้นที่ปรากฏอยู่ตอนกลางของอเมริกาเหนือหรือทะเลทรายในเขตอบอุ่นตามปกติแล้วค่าของหยาดน้ำฟ้าจะต่ำกว่าค่าศักยภาพการระเหยของน้ำจากดินและพืชตลอดทั้งปีดังนั้นสภาพทั่วไปของความชื้นในดินจึงขาดแคลนจะมีความชื้นลงไปเพิ่มเติมในดินบ้างในช่วงฤดูหนาวแต่มีปริมาณเพียงเล็กน้อยไม่พอเพียงกับความต้องการของพืช

6) ระบอบความชุ่มชื้นภาคพื้นทวีป (Continental Humid Regime) เป็นระบอบความชื้นในดินอยู่ติดกับระบอบเมดิเตอร์เรเนียนศักยภาพการระเหยของน้ำจากดินและพืชสูงกว่าปริมาณหยาดน้ำฟ้าที่ตกลงมาในระหว่างเดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคมดังนั้นความชื้นในดินขาดจะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยในช่วงฤดูร้อนส่วนปริมาณน้ำเหลือจะเกิดในฤดูใบไม้ผลิส่วนช่วงฤดูหนาวค่าการระเหยของน้ำจากดินและพืชมีค่าใกล้ศูนย์ระหว่างเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์

7) ระบอบชุ่มชื้นชายฝั่งตะวันตก (Wet West Coastal Regime)เป็นระบอบความชื้นที่ปรากฏอยู่ในเขตอบอุ่นชายฝั่งตะวันตกของทวีปโดยเฉพาะอย่างยิ่งในแถบยุโรปตะวันตกลักษณะทั่วไปของค่าหยาดน้ำฟ้าและศักยภาพการระเหยของน้ำจากดินและพืชจะแตกต่างกันไม่มากนักในฤดูร้อนค่าของหยาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำฟ้าจะลดลงในทางตรงกันข้ามค่าศักยภาพการระเหยของน้ำจากดินและพืชจะเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยแล้วความชื้นในดินของระบอบนี้จะเหลือตลอดทั้งปีจึงเป็นผลทำให้การเพาะปลูกกระทำได้ตลอดทั้งปีเช่นเดียวกันซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่าในระบอบความชื้นแบบชุ่มชื้นชายฝั่งตะวันตกปริมาณน้ำที่ไหลลงมาตามลำน้ำจะสม่ำเสมอตลอดทั้งปีจึงสะดวกในการนำมาใช้ในการเดินเรือและผลิตพลังไฟฟ้าอย่างพอเพียง

8) ระบอบอาร์กติก (Arctic Regime) เนื่องจากพื้นดินปกคลุมด้วยน้ำแข็งตลอดระยะเวลา 9 เดือน (กันยายน - พฤษภาคม) ดังนั้นค่าศักยภาพการระเหยของน้ำจากดินและพืชจึงเป็นศูนย์แต่ในช่วงฤดูร้อนที่เหลืออีกประมาณ 3 เดือนค่าศักยภาพการระเหยของน้ำจากดินและพืชจะสูงกว่าค่าของหยาดน้ำฟ้าอย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่าระบอบความชื้นในดินที่นำมากล่าวไว้ข้างบนจะเข้าไปเกี่ยวข้องกับลักษณะภูมิอากาศอย่างใกล้ชิดดังนั้นถ้าหากผู้อ่านต้องการทราบว่าระบอบความชื้นในดินแต่ละชนิดจะปรากฏอยู่ในบริเวณใดของโลกจะใช้เปรียบเทียบกับการจำแนกเขตภูมิอากาศของโลกสำหรับสภาพงบดุลของความชื้นในดินนับว่าเป็นสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติที่สำคัญต่อสิ่งมีชีวิตการพิจารณาในเรื่องความชื้นเหลือหรือความชื้นขาดไม่เพียงแต่จะทำให้เข้าใจเกี่ยวกับการปรับตัวของพืชและสัตว์ให้เข้ากับสภาพแวดล้อมเท่านั้นแต่ยังช่วยให้เข้าใจโอกาสและข้อจำกัดในการใช้ทรัพยากรธรรมชาติของมนุษย์อีกด้วย

2.4.6 น้ำใต้ดิน (Ground Water) [7]

น้ำใต้ดินหมายถึงน้ำที่มีอยู่ในชั้นดินบนผิวโลกขังอยู่ในช่องว่างระหว่างดินและหินซึ่งต้นกำเนิดของน้ำใต้ดินจะมาจากน้ำในบรรยากาศและจากน้ำผิวดินต่างๆโดยปกติคุณภาพของน้ำใต้ดินมักมีคุณภาพดีอันเนื่องมาจากการถูกกรองด้วยชั้นดินและหินแต่อาจมีแร่ธาตุและสารเคมีบางชนิดเจือปนอยู่ในปริมาณมากกว่าน้ำผิวดินน้ำใต้ดินเป็นส่วนหนึ่งของน้ำฝนที่ตกลงมายังผิวโลกและไหลซึมลงไปตามชั้นดินลงไปถึงชั้นที่น้ำมีการสะสมตัวรวมกันจึงมีผลทั้งในแง่ของการละลายการพัดพาการทับถมโดยน้ำใต้ดินมีการกระทำเพียงสองชนิดคือการกษัยการและการทับถมซึ่งเกิดจากการไหลซึมผ่านชั้นดินและหินลงไปในบางพื้นที่น้ำใต้ดินจะมีการไหลเหมือนกับน้ำบนผิวดินเพียงแต่ว่าอยู่ลึกจากผิวดินลงไปซึ่งมักพบเสมอในบริเวณที่เป็นถ้ำฤดูกาลก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการพัดพาของน้ำใต้ดินเนื่องจากมีน้ำหลากมากทำให้เกิดการพัดพาการกษัยการมากขึ้นตามไปด้วยดังนั้นน้ำใต้ดินจัดว่าเป็นกระบวนการระบายน้ำออกจากผิวดินได้อีกแบบหนึ่งเช่นกัน

2.5 ทฤษฎีกำหนดการให้น้ำพืช (Watering plants) [9]

การให้น้ำแก่พืช หมายถึง การเติมน้ำลงในช่องว่างระหว่างเม็ดดินเพื่อให้ดินมีความชุ่มชื้นพอเหมาะกับการเจริญเติบโตของพืชน้ำที่เติมลงไปจะต้องไม่มากเกินไปจนเป็นอันตรายต่อรากพืชโดยทั่วไปน้ำที่เติมลงไปจะต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสมหรือประมาณร้อยละ 25 ขององค์ประกอบของดินที่ดี

วัตถุประสงค์ของการให้น้ำเพื่อให้ดินมีความชุ่มชื้นพอเหมาะกับการเจริญเติบโตของพืชพืชสามารถนำไปใช้ได้ทั้งหมดน้ำยังช่วยชะล้างหรือควบคุมความเข้มข้นของเกลือในดินบริเวณเขตรากพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ให้มีความเข้มข้นมากเกินไปจนเป็นอันตรายต่อพืชและเพื่อให้ดินอ่อนนุ่มสะดวกต่อการไถเตรียมดินและรากพืชสามารถขยายตัวได้ดีในดินความสำคัญของการให้น้ำพืช คือเพื่อให้พืชมีน้ำใช้อย่างเพียงพอและทันต่อความต้องการอยู่ตลอดเวลาที่ทำการเพาะปลูกป้องกันความเสียหายของพืชจากการขาดน้ำและเพิ่มผลผลิตพืชไม่ชะงักการเจริญเติบโตจากการขาดน้ำ และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยของพืชเนื่องจากรากพืชจะดูดซึมแร่ธาตุอาหารในรูปของสารละลายซึ่งจำเป็นต้องใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย

2.5.1 แหล่งน้ำที่พืชใช้ได้ (Water Resource Use)

1. ความชื้นหรือน้ำที่เหลืออยู่ในดินหลังจากทำการเก็บเกี่ยวพืชผลไปแล้ว

2. น้ำฝนที่ตกลงในพื้นที่เพาะปลูกในส่วนที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชคือส่วนของน้ำในที่พืชสามารถดูดนำไปใช้ได้

3. แหล่งน้ำใต้ดินที่ไหลซึมขึ้นมาตามช่องว่างระหว่างเม็ดดิน

4. น้ำชลประทานหรือการให้น้ำพืชซึ่งเป็นน้ำที่ให้โดยมนุษย์เป็นปริมาณน้ำที่พืชต้องการเพิ่มเติมนอกเหนือจากสามส่วนแรก

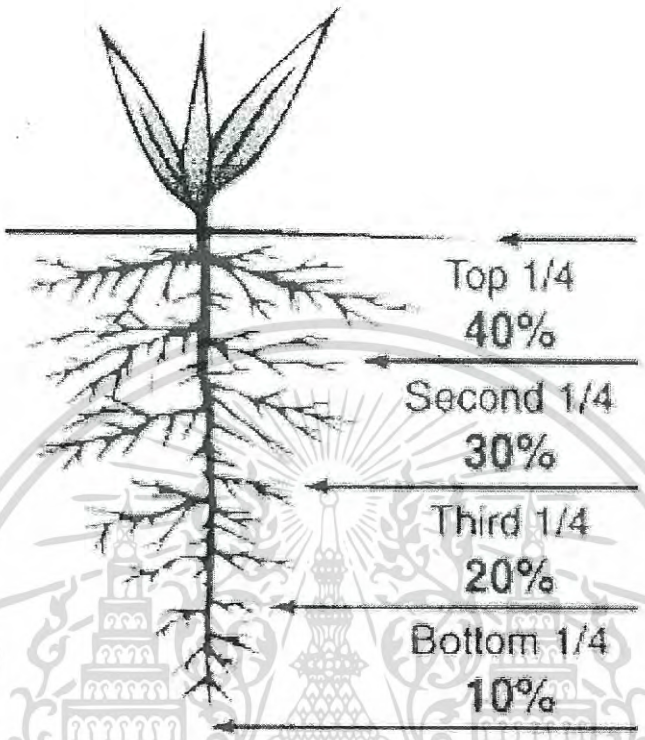
2.5.2 ปริมาณน้ำฝนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (The rainfall useful plants.)

ปริมาณน้ำฝนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชหมายถึงปริมาณน้ำฝนที่ตกลงในพื้นที่เพาะปลูกและดินสามารถเก็บกักไว้ให้พืชใช้ได้ทั้งหมดปริมาณน้ำฝนที่ตกลงในพื้นที่จะต้องไม่มากจนเป็นอันตรายต่อพืช

2.5.3 ข้อมูลที่ต้องทราบก่อนการให้น้ำพืช (Tips for Watering Plants)

ปริมาณน้ำที่พืชต้องการที่ระยะเวลาต่างๆการให้น้ำพืชจะต้องให้เมื่อพืชต้องการเป็นสิ่งที่ดีที่สุดแต่ในทางปฏิบัติแล้วพืชต้องการน้ำอยู่ตลอดเวลาเนื่องจากพืชใช้น้ำตลอดเวลาแต่ปริมาณน้ำที่ต้องการในแต่ละช่วงเวลาอาจจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับช่วงของอายุการเจริญเติบโต สภาพอากาศ เป็นต้นดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเก็บน้ำไว้ให้พืชได้ใช้อยู่ตลอดเวลานั่นหมายความว่าดินจะต้องมีความสามารถในการเก็บน้ำไว้ได้อย่างพอเพียงต่อความต้องการของพืชแต่เมื่อพืชดูดน้ำจากดินไปใช้ปริมาณน้ำในดินก็จะลดลงถ้าหากไม่มีฝนตกลงมาหรือไม่มีการให้น้ำแก่ดินเพื่อชดเชยน้ำที่สูญเสียไปเมื่อถึงจุดๆ หนึ่งพืชจะชะงักเนื่องจากมีน้ำใช้ไม่เพียงพอกับการคายน้ำจึงจำเป็นต้องทราบจุดต่ำสุดที่จะยอมให้น้ำในดินลดลงได้เมื่อน้ำในดินลดลงจนเกือบจะถึงจุดที่ยอมให้ลดลงได้ก็มีความจำเป็นที่จะต้องทำการให้น้ำแก่พืชก่อนที่จะกระทบกระเทือนต่อพืชสิ่งที่ต้องทราบอีกอย่างหนึ่งก็คือปริมาณน้ำที่ดินสามารถเก็บกักเอาไว้ได้ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดว่าพืชจะสามารถใช้น้ำได้นานเท่าไหร่โดยไม่มีการให้น้ำแก่ดินนอกจากนี้สิ่งที่สำคัญที่สุดก็คือปริมาณน้ำที่จะหามาทำการชลประทานหรือให้แก่พืชหากรู้ว่าควรจะให้น้ำเมื่อไร ปริมาณเท่าไรแต่ไม่สามารถจัดหาน้ำมาได้ตามปริมาณความต้องการก็จะไม่เกิดประโยชน์อะไรจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีแหล่งน้ำที่เพียงพอทั้งปริมาณและคุณภาพกำหนดการให้น้ำพืชเป็นสิ่งสำคัญที่สุดที่จะต้องทราบในการให้น้ำแก่พืช คือต้องรู้ว่าพืชใช้น้ำเท่าไร ควรให้เมื่อใด และจะต้องให้น้ำนานเท่าใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 รูปแสดงการดูดน้ำของรากพืช

โดยความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้มีสูตรคือ

$$\text{ความชื้นที่ยอมให้พืชนำไปใช้ได้} = \frac{1}{4} \times \text{ความลึกของราก} \times \text{น้ำที่ดินอุ้มไว้ให้พืชนำไปใช้ได้} \times \frac{1}{2} \text{ kpa} \quad (2.1)$$

โดยระยะเวลาในการให้น้ำมีสูตรคือ

$$\text{ระยะเวลาในการให้น้ำ} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่จะให้ในแต่ละรอบเวร}}{\text{อัตราการให้น้ำของระบบให้น้ำที่เลือกใช้}} \text{ วัน} \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ระดับความเครียดเมตริกที่สมควรให้น้ำชลประทานกับพืชนิดต่าง ๆที่ปลูกในดินลึกและระบายน้ำได้ดีเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุด[10]

ชนิดพืช	ความเครียดเมตริก, บาร์
ถั่วเมล็ดแบน (beans)	0.75 - 2.00
กะหล่ำดอก	0.60 - 0.70
ถั่วเมล็ดกลม (peas)	0.30 - 0.50
เซเลอรี (celery)	0.20 - 0.30
ข้าวโพดหวาน	0.50 - 1.00
หอมใหญ่ - ระยะแรกของการเติบโต	0.45- 0.55
- ระยะกำลังมีหัว	0.55 - 0.65
มันฝรั่ง	0.30 - 0.50
แคร์รอท	0.55 - 0.65
บล็อคโคลี่ - ระยะแรกของการเติบโต	0.45 - 0.55
- หลังจากแตกตาดอก	0.60 - 0.70
กะหล่ำปลี	0.60 - 0.70
ส้ม	0.20 - 1.00
ไม้ผลผลัดใบ	0.50 - 0.80
องุ่น - ระยะแรกของการเติบโต	0.40 - 0.50
- ระยะเมื่อโตเต็มที่	1.00
สตรอเบอรี่	0.20 - 0.30
แคนตาลูป (cantaloupe)	0.35 - 0.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มะเขือเทศ		0.80 - 1.50
กล้วย		0.3 - 1.50
ข้าวโพด	- ระยะเติบโตทางต้นและใบ	0.5
	- ระยะแก่	8.00 - 12.00
ธัญพืชเมล็ดเล็ก	-ระยะเติบโตทางต้นและใบ	0.40 - 0.50
	-ระยะแก่	8.00 - 12.00

2.6 ทฤษฎีการให้น้ำแบบสปริงเกอร์(The water sprinkler.) [11]

การให้น้ำแบบสปริงเกอร์คือการให้น้ำโดยการฉีดน้ำออกจากหัวสปริงเกอร์ขึ้นไปในอากาศแล้วให้เม็ดน้ำตกลงมาบนแปลงเพราะปลูก โดยมีรูปทรงการแผ่กระจายของเม็ดน้ำที่สม่ำเสมอ โดยมีลักษณะเช่นเดียวกับฝน ส่วนประกอบของการให้น้ำแบบสปริงเกอร์

1.เครื่องสูบน้ำ (Pumping unit) ทำหน้าที่สูบน้ำจากแหล่งน้ำและดันไปตามท่อผ่านหัวฉีดไปสู่อากาศ โดยอาศัยกำลังจากมอเตอร์ หรือเครื่องยนต์

2.ท่อประธาน (Main line) ทำหน้าที่นำน้ำจากเครื่องสูบไปยังท่อแขนง

3.ท่อแขนง (Lateral pipe)ทำหน้าที่นำน้ำจากท่อประธานไปยังหัวฉีด

4.หัวฉีด (Sprinkler Head)ทำหน้าที่ฉีดน้ำออกเป็นฝอยคล้ายกับฝน โดยปกติจะมี 2 รู รูฉีดน้ำออกไปได้ไกลอีกรูหนึ่งฉีดระยะใกล้

2.7 เครื่องวัดความชื้นในดิน (Measurement of Soil Moisture) [12]

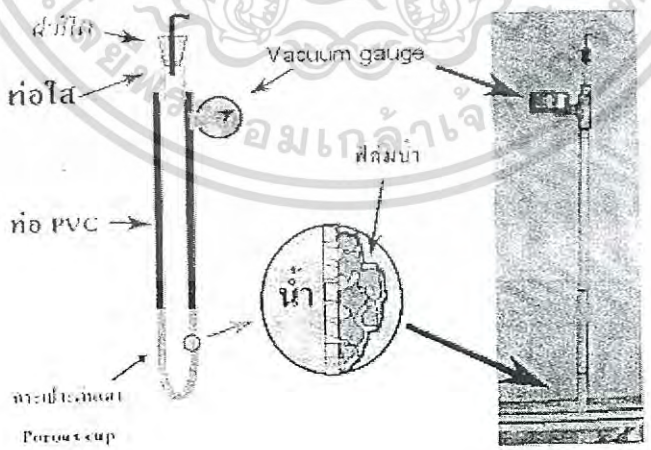
เครื่องมือสำหรับใช้ศึกษาความชื้นในดินโดยวัดสมบัติบางประการของดินที่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำ เมื่อวัดด้วยเครื่องมือแล้วจึงนำมาเทียบหาปริมาณน้ำจากเส้นกราฟมาตรฐานเครื่องมือที่นิยมใช้ได้แก่ เทนซิโอมิเตอร์ แท่งวัดความชื้น และเครื่องวัดการกระจายของนิวตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 เทนซิโอมิเตอร์ (Tensiometer)

ทนซิโอมิเตอร์เป็นเครื่องมือวัดความเครียดเมตริก (metric suction) ของความชื้นในดินที่ใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อกำหนดตารางและปริมาณการให้น้ำชลประทานแก่พืชและยังสามารถใช้ศึกษาทดลองเกี่ยวกับความชื้นในดินได้อย่างกว้างขวางความเครียดเมตริกของความชื้นในดินเกิดจากการที่อนุภาคของดินดูดยึดความชื้นไว้ที่ผิวของอนุภาคและในช่องว่างขนาดเล็กในดิน (Capillary pores) จึงทำให้ความชื้นในดินอยู่ในสภาวะที่ไม่อิสระซึ่งจะมีผลถึงความยากง่ายในการที่รากพืชจะดูดน้ำไปใช้จากดินที่ระดับความชื้นหนึ่งๆกล่าวคือพืชจะต้องใช้พลังงานต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของน้ำอย่างน้อยเท่ากับความเครียดของน้ำในดินจึงจะดูดน้ำไปใช้ได้การบอกปริมาณน้ำในดินเพียงอย่างเดียวเป็นการไม่เพียงพอเพราะเราไม่ทราบว่าน้ำในดินขณะนั้นมีระดับความเป็นประโยชน์ต่อพืชมากน้อยแค่ไหนแต่ถ้าเราบอกเป็นระดับความเครียดของน้ำในดินบอกให้ทราบถึงระดับความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินต่อพืชในขณะนั้นๆซึ่งระดับความเครียดเมตริกของน้ำในดินสามารถวัดโดย เทนซิโอมิเตอร์ (อิทธิสุนทร นันทกิจ, 2544) องค์ประกอบของเทนซิโอมิเตอร์ แสดงอยู่ในภาพที่ 2.7 ซึ่งประกอบด้วย 4 ส่วนคือ

1. กระเปาะดินเผา (porous ceramic cup) จะฝังอยู่ในดินระดับความลึกที่ต้องการวัดความเครียดของน้ำในดิน
2. ท่อกลวงเชื่อมระหว่างกระเปาะดินเผากับเครื่องวัดความเครียด
3. เครื่องวัดความเครียดซึ่งมีอยู่หลายแบบคือ เกย์สูญญากาศ (vacuum gauge) มาโนมิเตอร์ปรอท (mercury manometer) หรือเครื่องมืออื่นๆก็ได้
4. ฝาปิดเป็นทางเติมน้ำและไล่อากาศออกจากเทนซิโอมิเตอร์ ขณะใช้งาน ส่วนต่างๆของเทนซิโอมิเตอร์จะบรรจุน้ำเต็มทุกส่วน



รูปที่ 2.9 แสดงองค์ประกอบของ เทนซิโอมิเตอร์ และรูปขยายกระเปาะดินเผา เมื่อสัมผัสอยู่กับอนุภาคดินโดยมีฟิล์มน้ำเป็นตัวเชื่อม [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทำงานของ เทนซิโอมิเตอร์ จากภาพที่ 2.7 ซึ่งแสดงให้เห็นส่วนขยายของกระเปาะดินเผาขณะที่สัมผัสกับอนุภาคของดินผนังของกระเปาะดินเผาจะมีคุณสมบัติพิเศษโดยมีช่องว่างขนาดเล็กและมีขนาดค่อนข้างสม่ำเสมออยู่เป็นจำนวนมากขณะที่กระเปาะดินเผาเปียกช่องในผนังกระเปาะดินเผาจะบรรจุน้ำเต็มทุกส่วนความตึงผิวของน้ำที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศ จะเป็นตัวอุดรูของช่องว่างขนาดเล็กนี้ไว้โดยน้ำสามารถไหลผ่านช่องนี้ได้แต่ฟิล์มน้ำจะอุดไม่ยอมให้อากาศเคลื่อนผ่านโดยฟิล์มน้ำจะทำหน้าที่คล้ายแผ่นยางบางๆเคลือบปิดช่องว่างนี้และฟิล์มน้ำนี้ก็จะเชื่อมต่อเป็นผืนเดียวกับฟิล์มน้ำที่ล้อมรอบอนุภาคของดินขณะที่ดินแห้งฟิล์มน้ำที่ล้อมรอบอนุภาคดินจะบางลงและยึดติดกับอนุภาคดินด้วยแรงที่มากขึ้นและจะเกิดแรงดึงน้ำออกจากเทนซิโอมิเตอร์ ผ่านทางช่องที่ผนังของกระเปาะดินเผาทำให้น้ำใน เทนซิโอมิเตอร์ เกิดความเครียด (tension) ขึ้นและความเครียดนี้จะสูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งการไหลของน้ำจากภายในเทนซิโอมิเตอร์ออกสู่ดินหยุด จุดนี้ความเครียดน้ำในดินจะเท่ากับความเครียดในน้ำเทนซิโอมิเตอร์ ในทางกลับกันถ้ามีการให้น้ำแก่ดินอาจจะเนื่องจากฝนตกหรือให้น้ำชลประทานความเครียดของน้ำในดินจะลดลงขณะที่ความเครียดของน้ำใน เทนซิโอมิเตอร์ ยังคงสูงอยู่ น้ำจะไหลจากดินเข้าสู่เทนซิโอมิเตอร์ ผ่านทางช่องในกระเปาะดินเผามีผลให้ความเครียดของน้ำในเทนซิโอมิเตอร์ ลดลงจนความเครียดเท่ากับของน้ำในดินน้ำก็จะหยุดไหล ค่าความเครียดของน้ำในดินที่ระดับความชื้นหนึ่งๆ สามารถอ่านได้จากเครื่องวัดความเครียดของเทนซิโอมิเตอร์ถ้าการให้น้ำแก่ดินมากจนกระทั่งดินอิ่มตัวค่าที่อ่านได้จากเทนซิโอมิเตอร์จะอ่านได้ศูนย์ แสดงว่าน้ำขณะนั้นไม่มีความเครียดอยู่เลยตัวอย่างการแปลความหมายของค่าที่อ่านได้จากเทนซิโอมิเตอร์แสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.4 ความหมายของค่าที่อ่านได้จากเทนซิโอมิเตอร์

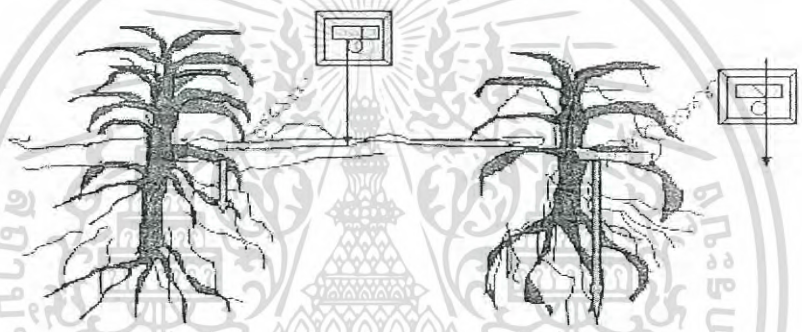
ค่าที่อ่านได้(kPa)	ความหมาย
0	เปียกมากดินอิ่มตัวด้วยน้ำ
0 – 15	ความชื้นประมาณจุดความชื้นชลประทานเหมาะกับการปลูกพืชที่ต้องการความชื้นสูง
25	พืชแสดงอาการว่าขาดน้ำ
สูงกว่า 25	พืชที่ไวต่อการขาดน้ำรากสั้นอยู่ตื้น ในกระถางที่ดินเนื้อหยาบแสดงอาการขาดน้ำให้ปรากฏ
40 – 50	พืชที่มีรากประมาณ 50 เซนติเมตร เริ่มแสดงอาการขาดน้ำ
70	พืชที่มีรากประมาณ 75 เซนติเมตร เริ่มแสดงอาการขาดน้ำ
80	ควรให้น้ำได้แล้วไม่ว่ากรณีใดๆ

ที่มา [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 แท่งวัดความชื้น (Moisture block)

แท่งวัดความชื้นเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดความชื้นของดิน ที่ใช้ความผันแปรของการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) หรือความต้านทานไฟฟ้า (electrical resistance) ของวัตถุพรุนบางชนิดกับความชื้นของวัตถุพรุน หลักการใช้ แท่งวัดความชื้นมีว่าความนำไฟฟ้าของ แท่งวัดความชื้นเพิ่มขึ้น ซึ่งความต้านทานไฟฟ้าของแท่งวัดความชื้นลดลง เมื่อระดับความชื้นของ แท่งวัดความชื้นมากขึ้นดังนั้นเมื่อนำเอา แท่งวัดความชื้นที่แห้งไปสัมผัสกับดิน ถ้าดินมีความชื้นความชื้นจะซึมเข้าไปใน แท่งวัดความชื้นการนำไฟฟ้าจะดีกว่า เมื่อแท่งวัดความชื้นแห้งปริมาณความชื้นที่ซึมเข้าไปในแท่งวัดความชื้นย่อมผันแปรโดยความชื้นของดินที่สัมผัสกับแท่งวัดความชื้นดังนั้นความนำไฟฟ้าของแท่งวัดความชื้นโดยผันแปรโดยตรงกับระดับความชื้นของดินที่สัมผัสกับ แท่งวัดความชื้น



รูปที่ 2.10 เครื่องมือวัดการแผ่รังสีนิวตรอน (Neutron moisture gauge) [12]

2.7.3 เครื่องมือวัดการแผ่รังสีนิวตรอน (Neutron moisture gauge)

เครื่องมือนี้ทำเป็นกล่องหรือตู้ที่มีหัวนิวตรอนที่สามารถต่อสายหรือหย่อนลงไปในดินทางท่ออลูมิเนียมที่ฝังไว้ในดินหัววัดจะทำหน้าที่คือผลิตรังสีนิวตรอนที่มีพลังงานหรือความเร็วสูงเมื่อไปชนกับโมเลกุลของน้ำแล้วจะเปลี่ยนเป็นนิวตรอนช้าแล้วขยายสัญญาณส่งต่อไปยังเครื่องนับจำนวนบนกล่องการชนกันของไฮโดรเจนของน้ำกับนิวตรอนเป็นการชนกันแบบ 1 : 1 จำนวนนิวตรอนที่ถูกลดพลังงานจะมีความสัมพันธ์กับโมเลกุลของน้ำในดินซึ่งปริมาณตัวเลขที่วัดได้ต้องนำไปเทียบแล้วหาปริมาณน้ำในดินจากเส้นเปรียบเทียบดินที่เตรียมไว้ล่วงหน้า

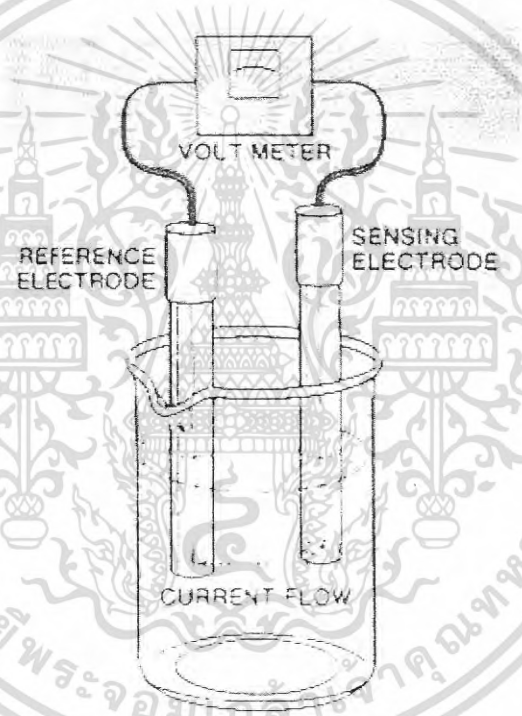
2.7.4 Soil moisture Mete

เครื่องวัดความชื้นในดิน จะวัดความชื้นที่เหลืออยู่ในดิน หลักการทำงาน มีวงจรสร้างความถี่สูงอยู่ที่ขั้วหนึ่ง ถ้ามีความชื้น ความถี่สูง ก็จะสามารถข้ามไปหาอีกขั้วหนึ่งได้ ขึ้นอยู่กับระดับความชื้นระหว่างขั้ว โดยค่าที่อ่านได้ จะอ่านเป็นค่าเปอร์เซ็นต์มีระบบ Auto Calibrate เพื่อปรับค่าวัดให้เป็นมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 pH Meter

หลักการ pH Meter การวัด pH คือ การวัดสภาพความเป็นกรด หรือเป็นด่างของสารละลาย ที่มีน้ำเป็นตัวทำลาย (Aqueous Solution) โดยใช้หลักการ Electrochemistry โดยวัดความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น (Potential) ระหว่างอิเลคโทรดอ้างอิง (Reference Electrode) กับอิเลคโทรดตรวจวัด (Sensing Electrode) ความต่างศักย์ที่ได้เกิดจากจำนวนของไฮโดรเจนอิออน (H+) ความต่างศักย์ที่เกิดจากอิออน (Ionic Potential) จะถูกเปลี่ยนให้เป็นความต่างศักย์ทางไฟฟ้า (Electronic Potential) แล้วขยายให้มีความต่างศักย์สูงขึ้นด้วยเครื่อง pH Meter (Potentiometer)



รูปที่ 2.11 หลักการ pH Meter

pH Meter คือ เครื่องมือทางไฟฟ้าที่ใช้วัด pH ของสารละลาย โดยหลักการวัดความต่างศักย์ (Potentiometer) ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน ที่ทำให้เครื่องสามารถทำงานได้ครบวงจร ส่วนประกอบทั้ง 2 คือ **อิเลคโทรด** และตัวเครื่อง

1. อิเลคโทรด ทำหน้าที่เป็นภาคตรวจรับ ความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออนในสารละลายที่ pH 7 (Standard pH Buffer) ความต่างศักย์ระหว่างอิเลคโทรดทั้ง 2 คือ อิเลคโทรดอ้างอิงกับอิเลคโทรดตรวจวัด จะมีค่าความต่างศักย์เท่ากับศูนย์มิลลิโวลท์ (10^{0} V) ถ้าความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออนเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือลดลง ความต่างศักย์ก็จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามความเข้มข้นของ ไฮโดรเจนอิออนในสารละลายนั้น โดยมีอิเลคโทรดเป็นตัวทำหน้าที่รับสัญญาณ

2. **ตัวเครื่อง** pH Meter ก็คือ Potentiometer หรือ Volt Meter ทำหน้าที่สำคัญ 3 ประการ คือ

2.1 ปรับความต่างศักย์ให้กับอิเลคโทรดอ้างอิง ให้มีค่าความต่างศักย์เป็นศูนย์และคงที่

2.2 แปลงสัญญาณจากความต่างศักย์ของอิออนของอิเลคโทรดให้เป็นความต่างศักย์ทางไฟฟ้า

2.3 ขยายสัญญาณค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้า ให้เพิ่มมากขึ้นอย่างเพียงพอให้แสดงผลที่มิเตอร์แบบเข็ม หรือตัวเลข

2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นดินกับแรงดึงความชื้นดิน

ความเครียดที่เกิดกับน้ำในดินโดยการดูดยึดของอนุภาคของแข็งในดินนี้ เรียกว่าความเครียดเมตริก (metric tension).หรือแรงดึงความชื้นดิน ความเครียดอีกชนิดหนึ่งซึ่งเกิดกับน้ำในดินคือความเครียดที่เกิดจากการที่มีสารละลายชนิดต่างๆละลายอยู่ในน้ำ. สารละลายทั้งหลายเมื่อละลายน้ำมันจะแตกตัวออกเป็นโมเลกุลหรืออิออนแทรกตัวอยู่ ระหว่างโมเลกุลของน้ำ และมีแรงดึงดูดกับโมเลกุลของน้ำ ทำให้โมเลกุลของน้ำมีอิสระที่จะเคลื่อนไหวได้ช้าลง เช่น จะระเหยกลายเป็นไอได้ช้าลงเป็นต้น. ความเครียดที่เกิดจากการมีสารละลายในน้ำเรียกว่าความเครียดออสโมติก (osmotic tension)

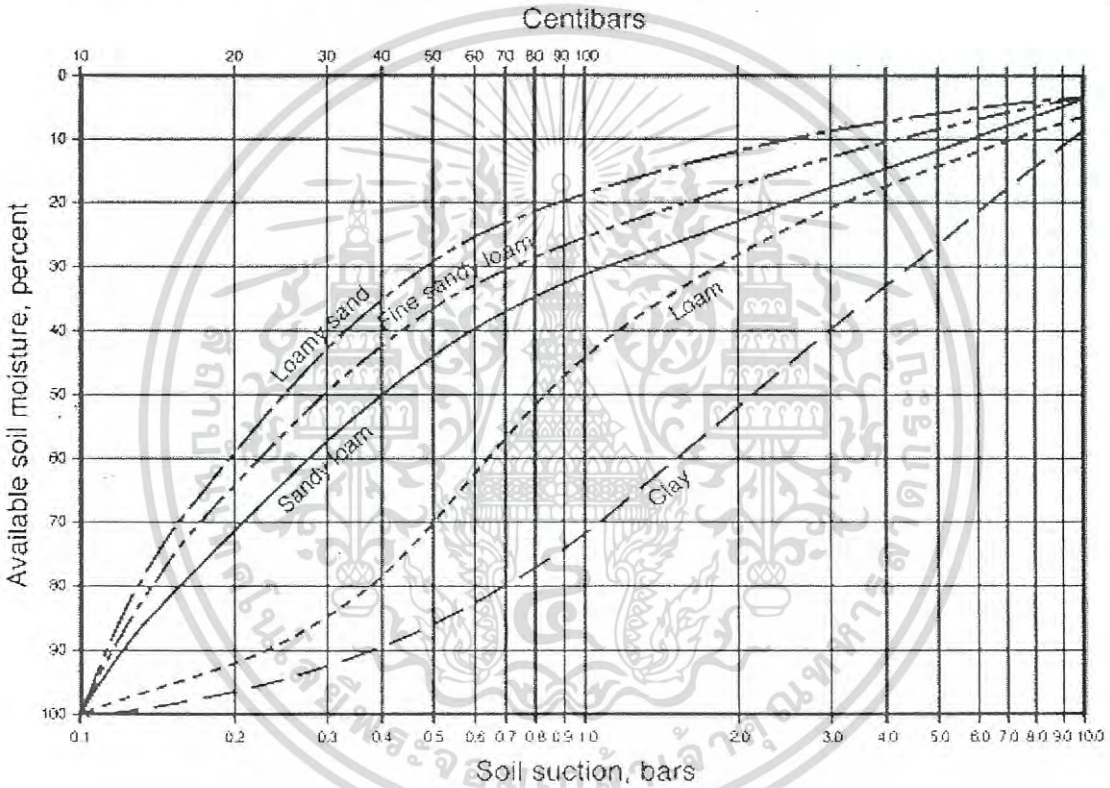
ความเครียดของน้ำในดินเป็นปัจจัยกำหนดระดับความเป็นประโยชน์ (degree of availability) ของน้ำในดินต่อพืช. กล่าวคือพืชจะดูดกิน (uptake) น้ำจากดินได้ยากหรือง่ายเพียงใดขึ้นอยู่กับความเครียดของน้ำในดิน. ถ้าความเครียดของน้ำในดินสูง (น้ำในดินถูกดูดยึดอยู่ด้วยแรงสูง) พืชก็ดูดกินน้ำจากดินได้ยาก เรียกว่าน้ำในดินนั้นมีระดับความเป็นประโยชน์ต่ำ. พืชจะดูดกินแต่ละโมเลกุลของน้ำในดินได้จะต้องออกแรงเอาชนะความเครียดของน้ำโมเลกุลนั้นให้ได้. นอกจากนี้ความเครียดของน้ำในดินยังเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำในดิน (นอกเหนือไปจากแรงดึงดูดของโลก). น้ำในดินจะเคลื่อนที่จากที่มีความเครียดต่ำไปยังที่ที่มีความเครียดสูง. การ ศึกษาเรื่องความเครียดของน้ำในดินจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับความเข้าใจเรื่องความเป็นประโยชน์และการเคลื่อนที่ของน้ำในดิน

ความเครียดของน้ำในดินวัดได้โดยตรง โดยใช้เท็นซิโอมิเตอร์ (tensiometer) หรืออาจวัดได้โดยทางอ้อมด้วยมอยซ์เจอร์บล็อค (moisture block) ถ้าหากมีกราฟหรือตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้าของมอยซ์เจอร์บล็อคกับความเครียดของความชื้นไว้แล้ว. ในการศึกษาเกี่ยวกับความเครียดของความชื้นดิน. เราสามารถบังคับให้ดินตัวอย่างมีความเครียดมากน้อยตามต้องการได้ โดยอาศัยเครื่องมือที่เรียกว่าเพรสเชอร์เพลต เอกซ์แทรคเตอร์ (pressure plate extracter). จากตัวอย่างดินที่ได้บังคับให้ความชื้นดินมีความเครียดระดับ ต่าง ๆ กันนั้น เมื่อนำไปวัดปริมาณความชื้นเราจะได้ค่าปริมาณความชื้นที่สมดุลย์กับความเครียดระดับต่าง ๆ ซึ่งนำไป เขียนเป็นกราฟได้. ภาพ 2.3 คือกราฟที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นโดยน้ำหนักกับความเครียดเมตริก ของความชื้นสำหรับตัวแทนดินเหนียว ดินร่วน และดินทรายบางชุดในประเทศไทย. ในตำราว่าด้วยความสัมพันธ์ ระหว่างดินกับน้ำทั้งหลายมักเรียกเส้นกราฟนี้ว่า soil moisture characteristic , soil moisture release curve, หรือ pF = curve. ซึ่งในการวิจัยนี้จะนำเสนอการหาค่าแรงดึงความชื้นหรือความเครียดของน้ำในดิน 2 วิธีได้แก่[14]

2.9.1 กราฟความสัมพันธ์แรงดึงความชื้นดินกับความชื้นดิน



Adapted (with permission) from the *BC Trickle Irrigation Manual*, BC Ministry of Agriculture and Food, Irrigation Industry Association of British Columbia (T.W. Van der Gulik)
Note: 1 kpa = 1 centibar; 100 centibars = 1 bar

รูปที่ 2.12 การความสัมพันธ์ความชื้นดินกับความเครียดเมตริกหรือแรงดึงความชื้น

2.9.2 โปรแกรม swrc fit (swrc fit program)[15-20]

โปรแกรม SWRC FIT เป็นโปรแกรม nonlinear fitting ของโมเดลที่ได้จากศึกษาความสัมพันธ์การเคลื่อนที่ของน้ำในดินทั้งหมด 5 โมเดลรวมกันเป็น Levenberg-Marquardt method โดยโมเดลทั้ง 5 มีรูปสมการ Soil hydraulic models ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 สมการ Soil hydraulic models

Model	Reference	Equation
BC	Brooks and Corey(1964)	$s_e = \begin{cases} \left(\frac{h}{h_b}\right)^{-\lambda} & (h > h_b) \\ 1 & (h \le h_b) \end{cases}$
VG	Van Genuchten(1980)	$s_e = \left[\frac{1}{1+(\alpha h)^n}\right]^m \quad (m = 1 - 1/n)$
LN	Kosugi(1996)	$s_e = Q\left[\frac{ln(h/h_m)}{\sigma}\right]$
DB	Durner(1994)	$s_e = \left[\frac{1}{1+(\alpha_1 h)^{n1}}\right]^{m1} + (1-w_1)\left[\frac{1}{1+(\alpha_2 h)^{n2}}\right]^{m2}$ $(m_i = 1 - 1/n_i)$
BL	Seki(2007)	$s_e = w_1 Q\left[\frac{ln(h/h_{m1})}{\sigma_1}\right] + (1-w_1)w_2 Q\left[\frac{ln(h/h_{m2})}{\sigma_2}\right]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

h = suction head

θ = volumetric water content

S_e = effective water

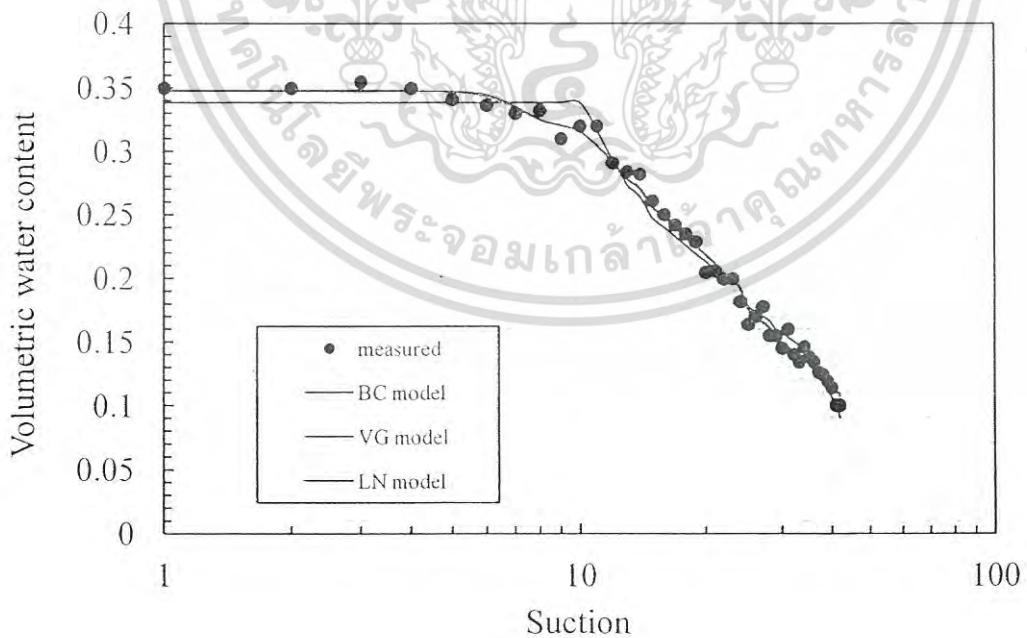
$Q(x)$ = ฟังก์ชั่นการแจกแจงปกติแบบเสถียร

$\Phi(x)$ = รูปปกติของฟังก์ชั่นการแจกแจงปกติแบบเสถียร

โดย

$$S_e = \frac{\theta-\theta_r}{\theta_s-\theta_r} \quad \text{หรือ} \quad \theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r)S_e \qquad (2.3)$$

$$Q(x)=1-\Phi(x)$$



รูปที่ 2.13 กราฟแบบจำลองการเทียบค่าความชื้นเชิงปริมาตรกับแรงดึงความชื้นดินที่ได้จากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 การตรวจสอบความสม่ำเสมอในการให้น้ำ และการประเมินประสิทธิภาพการชลประทาน[14]

การตรวจสอบความสม่ำเสมอในการให้น้ำเป็นการพิจารณาว่า ระบบการให้น้ำที่ออกแบบหรือก่อสร้างติดตั้งระบบแล้ว มีความทั่วถึงได้น้ำพอเพียงหรือไม่ ซึ่งมีวิธีการพิจารณาดังนี้

(1) ระบบให้น้ำแบบผิวดิน เรียกว่า ประสิทธิภาพการแพร่กระจายน้ำ (Distribution Efficiency)

$$\mathrm{Ed} = \frac{dmin}{da} \times 100 \qquad (2.4)$$

เมื่อ Ed = Distribution efficiency ≥ 80% ขึ้นไป

dmin = ค่าความลึกของน้ำที่วัดได้ต่ำสุด (มม.)

da = ค่าความลึกของน้ำเฉลี่ย (มม.)

(2) ระบบให้น้ำแบบฉีดฝอย เรียกว่า สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (Uniformity Coefficient)

$$\mathrm{Cu} = 100(1.00 - \frac{\sum x}{m.n}) \qquad (2.5)$$

เมื่อ Cu = สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ ≥ 75% ถือว่ายอมรับได้

$\sum x$ = $\sum$ absolute ของผลต่างความลึกของน้ำ

m = ค่าเฉลี่ยของความลึกของน้ำที่วัดได้

n = จำนวนค่าของหน่วยที่วัด

2.11 หลักการทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) [21]

เป็นอุปกรณ์ไอซี (IC: Integrated Circuit) ที่สามารถโปรแกรมการทำงานได้ซับซ้อน สามารถรับข้อมูลในรูปสัญญาณดิจิตอลเข้าไปทำการประมวลผลแล้วส่งผลลัพธ์ข้อมูลดิจิตอลออกมาเพื่อนำไปใช้งานตามที่ต้องการได้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ภายในชิพจะมีหน่วยความจำ, Port อยู่ในชิพเพียงตัวเดียวซึ่งอาจจะเรียกได้ว่าเป็นคอมพิวเตอร์ชิพเดี่ยว ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นไมโครโพรเซสเซอร์ชนิดหนึ่ง เช่นเดียวกับหน่วยประมวลผลกลาง (CPU: Central Processing Unit) ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ แต่ได้รับการพัฒนาแยกออกมาภายหลังเพื่อนำไปใช้ในวงจรทางด้านงานควบคุม คือ แทนที่ในการใช้งานจะต้องต่อวงจรภายนอกต่าง ๆ เพิ่มเติมเช่นเดียวกับไมโครโปรเซสเซอร์ ก็จะทำการรวมวงจรที่จำเป็น เช่น หน่วยความจำ, ส่วนอินพุท/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอาท์พุท บางส่วนเข้าไปในตัว ไอซีเดียวกัน และเพิ่มวงจรบางอย่างเข้าไปด้วยเพื่อให้มีความสามารถเหมาะสมกับการใช้ในงานควบคุม เช่น วงจรตั้งเวลา, วงจรการสื่อสารอนุกรม วงจรแปลงสัญญาณ Analog เป็น digital เป็นต้น สรุปคือ

Microcontroller = Microprocessor + Memory + I/O

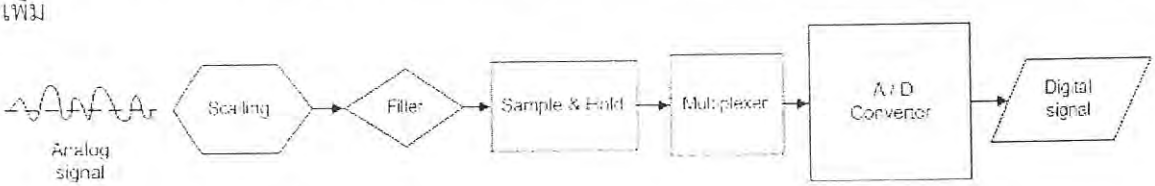
ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง โดยมักจะเป็นการนำไปใช้ฝังในระบบของอุปกรณ์อื่น ๆ (Embeded Systems) เพื่อใช้ควบคุมการทำงานบางอย่าง เช่น ใช้ในรถยนต์, เตาอบไมโครเวฟ,เครื่องปรับอากาศ, เครื่องซักผ้าอัตโนมัติ เป็นต้น เพราะว่าไมโครคอนโทรลเลอร์มีข้อดีเหมาะสมต่อการใช้ในงานควบคุมหลายประการ เช่น

- ชิพไอซีและระบบที่ได้มีขนาดเล็ก
- ระบบที่ได้มีราคาถูกกว่าการใช้ชิพไมโครโพรเซสเซอร์
- วงจรที่ได้จะมีความซับซ้อนน้อย ช่วยลดข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในการต่อวงจร
- มีคุณสมบัติเพิ่มเติมสำหรับงานควบคุมโดยเฉพาะซึ่งใช้งานได้ง่าย
- ช่วยลดระยะเวลาในการพัฒนาระบบได้

ในโครงการนจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega 32 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์(MCU) ที่ได้รวบรวมอุปกรณ์สนับสนุนการทำงานของ CPU ไว้มากมาย อาทิเช่น Analog to Digital , SPI , UART ,Timer ,Counter , PWM ซึ่งอุปกรณ์สนับสนุนการทำงานเหล่านี้ทำให้ MCU สามารถทำงานได้กว้างและใช้อุปกรณ์ต่อร่วมจากภายนอกได้มาก และสามารถประมวลคำสั่งได้ภายใน 1 clock

2.12 ขบวนการ A/D Convertor [23]

A/D convertor หรือ Analog to Digital Convertor เป็นโมดูลที่ทำหน้าที่ในการรับค่าสัญญาณอนาล็อกอินพุตจากภายนอก PIC แล้วนาสัญญาณอนาล็อกที่ได้มาทาการแปลงสัญญาณให้เป็นดิจิตอลเพื่อให้ PIC สามารถนาสัญญาณที่ได้มาประมวลผลเพราะสัญญาณภายใน PIC นั้นจะเป็นสัญญาณดิจิตอล (ลอจิก 0 หรือลอจิก 1) ประโยชน์ของการมีโมดูล A/D Convertor คือสามารถรับค่าสัญญาณอนาล็อกจากแหล่งอินพุตเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ได้โดยตรงไม่จาเป็นต้องใช้ไอซี A/D Convertor เพิ่ม



รูปที่ 2.14 ส่วนประกอบของกระบวนการ A/D Convertor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 ทฤษฎีอุปกรณ์ส่งสัญญาณ x-bee [24,25]

X-beeเป็นอุปกรณ์ที่มี Microcontroller และ RF IC อยู่ภายใน (อ้างอิงได้จาก Schematic) ทำหน้าที่เป็น อุปกรณ์ transceiver (อุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณ) แบบ แบบ Half Duplex ย่านความถี่ 2.4 Ghz มีการจัดการโดยใช้พลังงานต่ำ ใช้งานง่าย มี interface ที่ใช้รับและส่งข้อมูลกับ X-bee เป็น UART (TTL) ซึ่งสามารถใช้ติดต่อสื่อสาร UART ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้เลย

X-bee สามารถใช้งานตามมาตรฐาน Zigbeeได้ โดยที่ไม่ต้องเขียนโปรแกรมสร้าง เครือข่าย Zigbeeเลย เพราะมีfirmware ที่จะโหลดเข้าไปในตัว X-bee จึงทำให้สมารถset parameter ผ่าน software interface (X-CTU หรือโปรแกรมที่เขียนขึ้นเอง) , ผ่านทาง At command (เหมือนกับการควบคุม GSM Module) โดยใช้ Hyper terminal หรือ ผ่านทางการรับส่งข้อมูลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้อย่างง่ายดาย โดยเมื่อ set X-bee ให้ทำงานเป็นอุปกรณ์ในเครือข่าย Zigbee แล้ว จะเรียก X-bee แต่ละตัวว่าเป็น Node (parameter ของ X-bee นั้นมีหลาย Firmware ที่ใช้กับ X-beeจะใช้โหลดผ่านโปรแกรม X-CTU ได้เลย จึงง่ายต่อการพัฒนา

2.13.1 คุณสมบัติของZigbee

(1) อัตราการส่งข้อมูล250 kbps (2.4 GHz), 40 kbps (915 MHz), and 20 kbps (868 MHz)

(2) High throughput และ low latency Duty Cycle ต่ำ (< 0.1%)

(3) มี การเข้าถึง Channel แบบ Channel access using Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA - CA)

(4) สามารถรองรับ Address ได้ ถึง 64 bit IEEE address (65535 network)

(5) รับประกันการส่งแบบ Full hand shaked protocol

(6) เชื่อมต่อ Topology ได้ หลายแบบเช่น Star,Peer-to-peer, Mesh

(7) ใช้พลังงานต่ำ (สามารถใช้ได้ หลายเดือนจนถึงปี)

(8) ระยะทางการส่งพื้นฐาน 5-500 เมตร

2.13.2 ส่วนประกอบของ Zigbee

Zigbeeแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

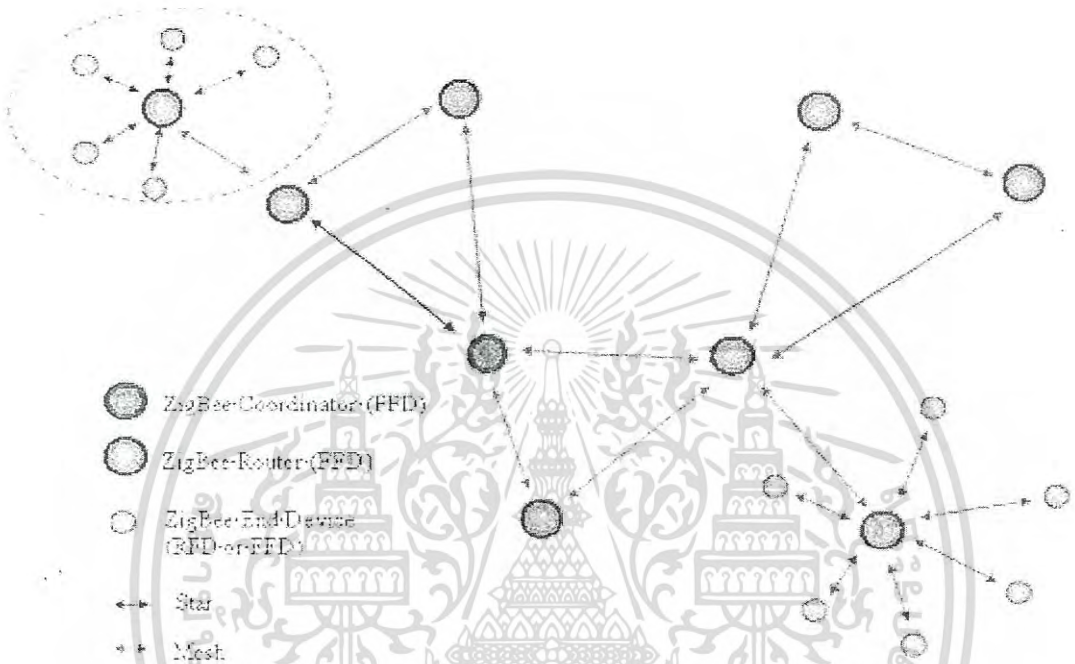
(1) Zigbee Coordinator ทำหน้าที่ สร้างโครงข่ายจัดการโหนดในโครงข่ายและเก็บข่าวสารของโหนดในโครงข่าย

(2) Zigbee Router ทำหน้าที่ จัดการเส้นทางของข้อมูลที่ ส่งผ่านภายในโครงข่าย ระหว่างโหนด

(3) Zigbee end Device เป็นจุดปลายของโครงสร้างเครือข่ายอยู่ในส่วนของผู้ใช้งาน โดยสามารถเป็นได้ ทั้งแบบ RFD และ FFD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งส่วนประกอบต่างๆของZigbeeได้ แสดงไว้ ดังรูปที่ 2.11

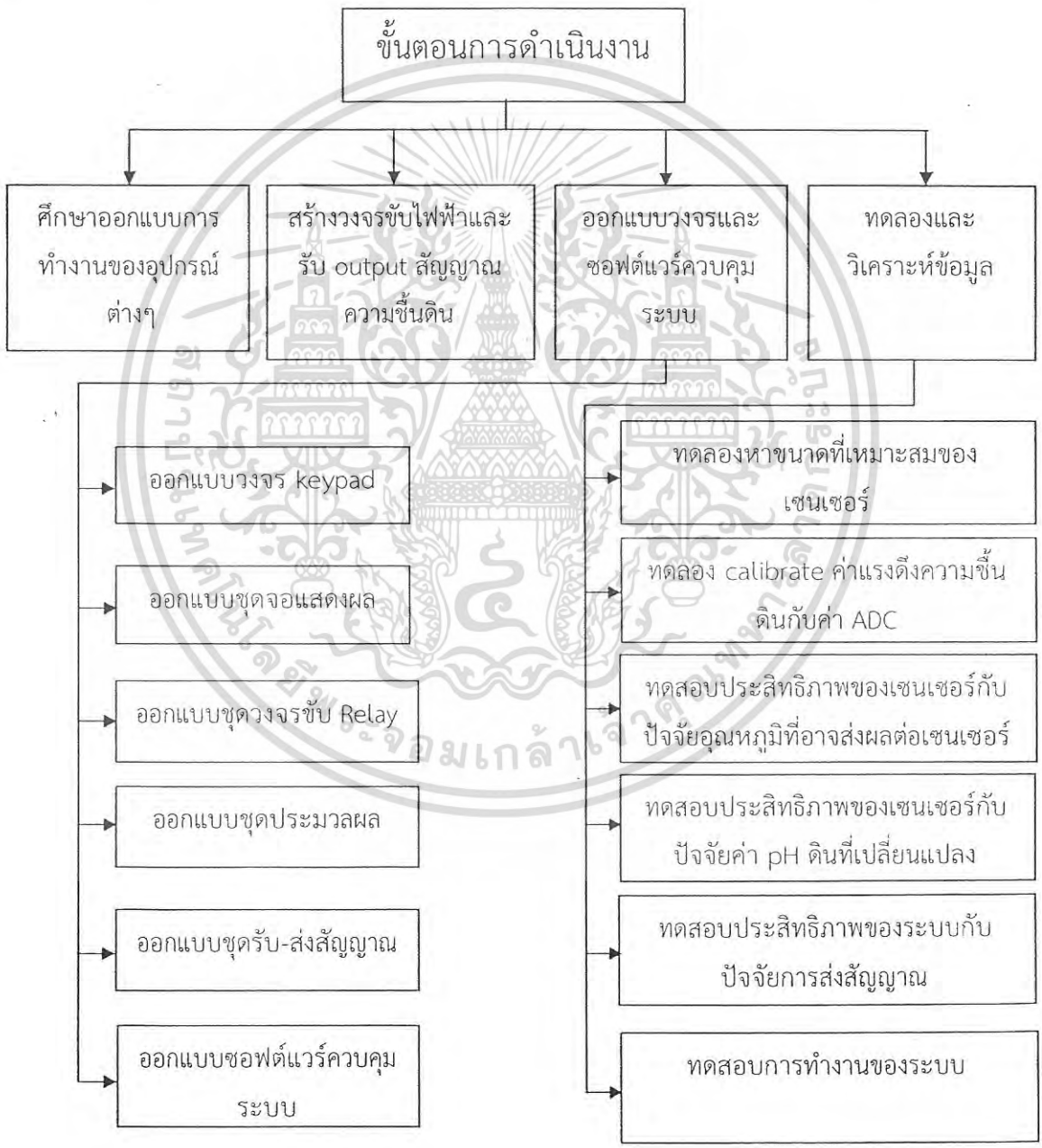


รูปที่ 2.15 ตัวอย่างการสร้างเครือข่ายของอุปกรณ์ Zigbee

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การดำเนินงานวิจัย

เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ตามเป้าหมายจึงเริ่มทำการศึกษาจาก โครงสร้างและหลักการทำงานของระบบการสร้างเซนเซอร์วัดความชื้นดินโดยมีขั้นตอนการดำเนินงานแสดงในไดอะแกรม

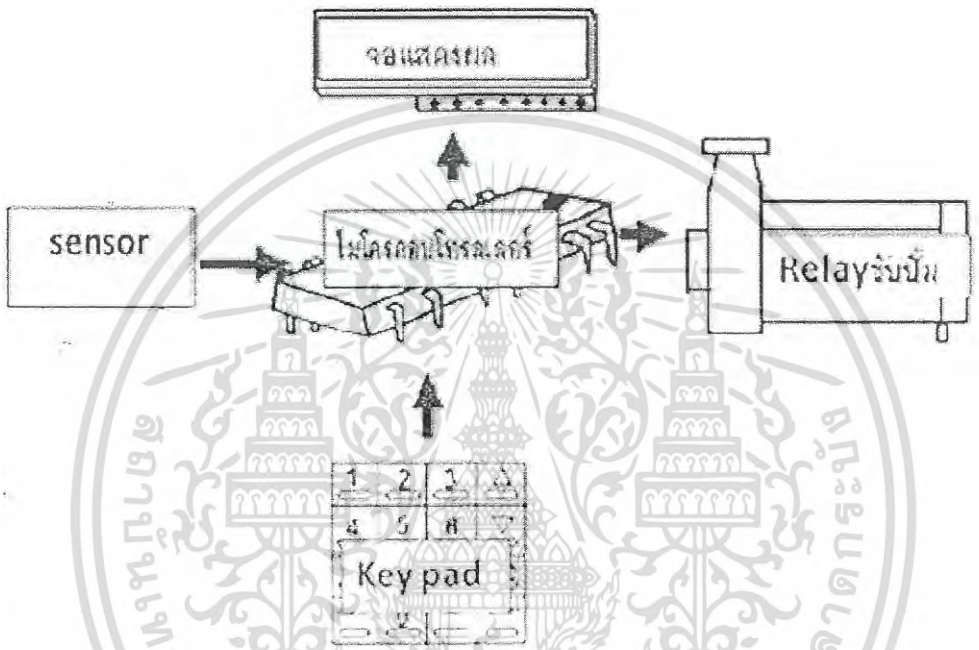


รูปที่ 3.1 ไดอะแกรมผังการดำเนินงานศึกษาวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 ศึกษาออกระบบการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ

การออกแบบระบบจะเริ่มจากการศึกษาระบบโครงข่าย และการสร้างเซนเซอร์ตรวจจับความชื้นในดินเพื่อประเมินงบประมาณและออกแบบซอฟแวร์ควบคุมฮาร์ดแวร์ต่างๆให้ทำงานต่างๆตามวัตถุประสงค์ โดยอุปกรณ์ควบคุมระบบหลักๆแสดงดังรูปที่ 3.2

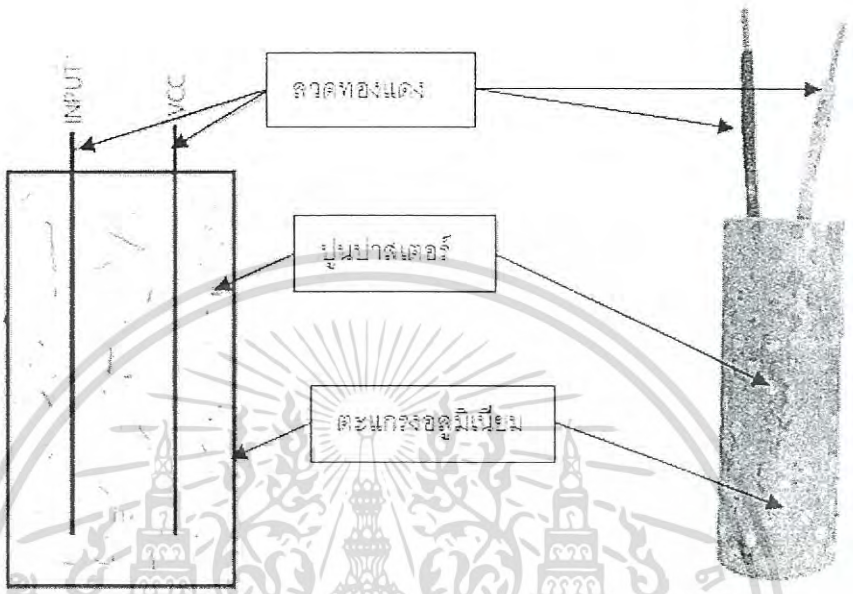


รูปที่ 3.2 ผังการทำงานของอุปกรณ์

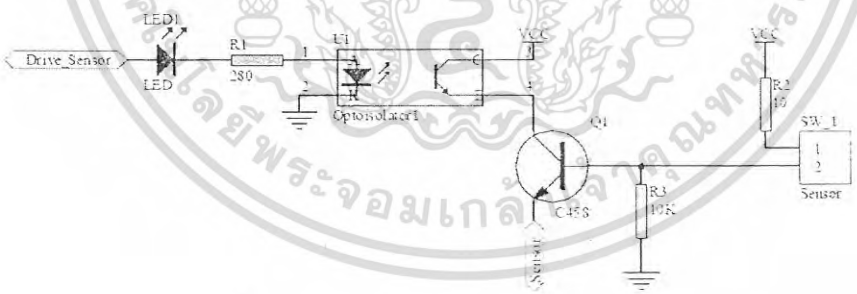
3.2 สร้างวงจรขับไฟฟ้าและ รับ OUTPUT สัญญาณความชื้นดิน

การทดลองหาค่า ADC จากแรงดันไฟฟ้าที่แปลงออกมาจากความต้านทานในดินจำเป็นต้องสร้างวงจรขับไฟฟ้าและรับ output ในการประมวลผลสัญญาณที่ถูกส่งมาทั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบกับความชื้นของดินที่ความชื้นต่างๆ โดยเซนเซอร์ตรวจวัดความชื้นในดินสำหรับวิจัยนี้ใช้ลวดทองแดงหุ้มด้วยปูนปาสเตอร์เพื่อดึงความชื้นจากดินมาใช้ตรวจสอบความชื้นซึ่งแสดงใน รูปที่ 3.3 โดยใช้หลักการตรวจจับค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าความชื้นที่เปลี่ยนโดยใช้ optoisolator ในการกำหนดการอ่านและขยายสัญญาณที่ได้จากเซนเซอร์เพื่อตรวจจับความต้านทานโดยอาศัยการวัดแรงดันไฟฟ้า 0-5 VDC ซึ่งเป็นวงจรที่ใช้หลักการไม่ซับซ้อนและมีความเสถียรในการรับส่งแรงดันไฟฟ้า โดยไอซีเบอร์ ATMEGA 8 เป็นไอซี analog to digital ซึ่งนำค่าที่ได้นั้นไป สอบเทียบเพื่อหาสมการแนวโน้มแล้วนำไปเขียนโปรแกรมเพื่อประมวลผลความชื้นดินต่อไปดังแสดงใน รูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 เซนเซอร์ตรวจจับความชื้นดิน



รูปที่ 3.4 วงจรตรวจจับความชื้นดิน

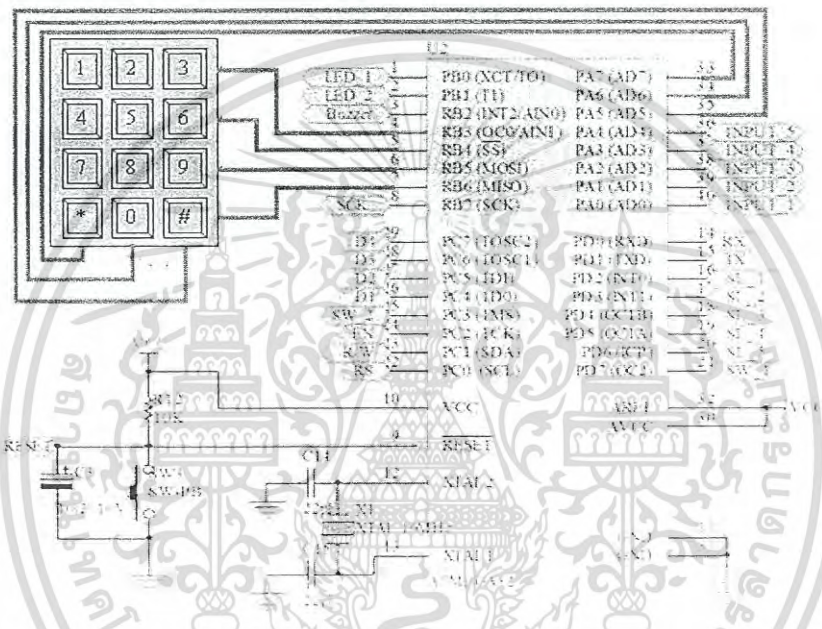
3.3 ออกแบบวงจรและซอฟต์แวร์ควบคุมระบบ

ระบบโครงข่ายความชื้นดินจำเป็นต้องมีฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมระบบโดยมีวงจรที่เกี่ยวข้องกับระบบและซอฟต์แวร์โครงสร้างระบบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 วงจร Key pad

Module keypad เป็นชุดMatrix Keyboard 4x3 โดยจะมี PIN ใช้ต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้งหมด 7 PIN โดยจะเป็นInput เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านค่ารหัสของคีย์ที่ถูกกด เพื่ออ่านค่า max และ min ของความชื้นและจับ relay กับ sensor ซึ่งถูกป้อนค่าลงสู่โปรแกรมโดยผู้ใช้งาน [6] โดยซึ่งวงจรแสดงดังรูปที่ 3.5

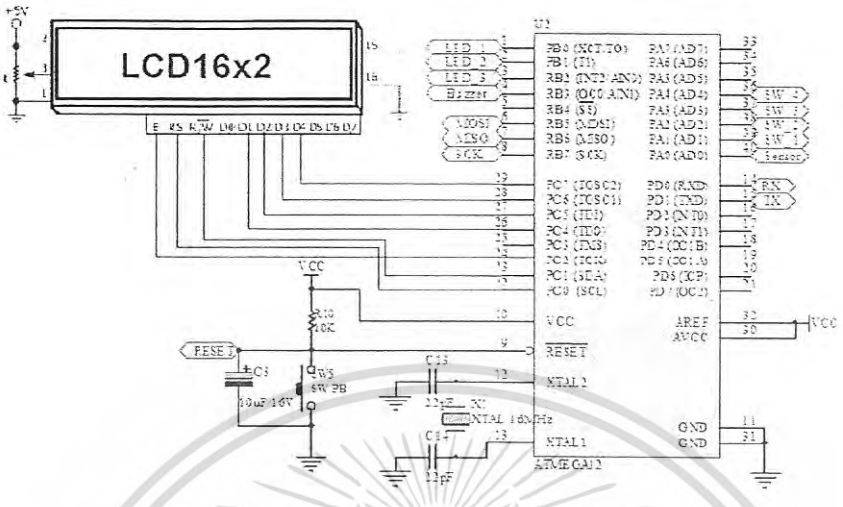


รูปที่ 3.5 วงจรkey pad

3.3.2 ชุดจอแสดงผล (The display assembly)

การทำงานในภาคจะแสดงผลการทำงานของโปรแกรมตลอดการทำงานตั้งแต่เซตค่าความชื้นจนถึงรันแสดงค่าความชื้นของเซนเซอร์แต่ละตัวซึ่งแสดงผลออกทางหน้าจอ LCD 16x2 ในภาคนี้จะแสดงผลขอมูลตามอักษรในตาราง asciiดังรูปที่ 3.6

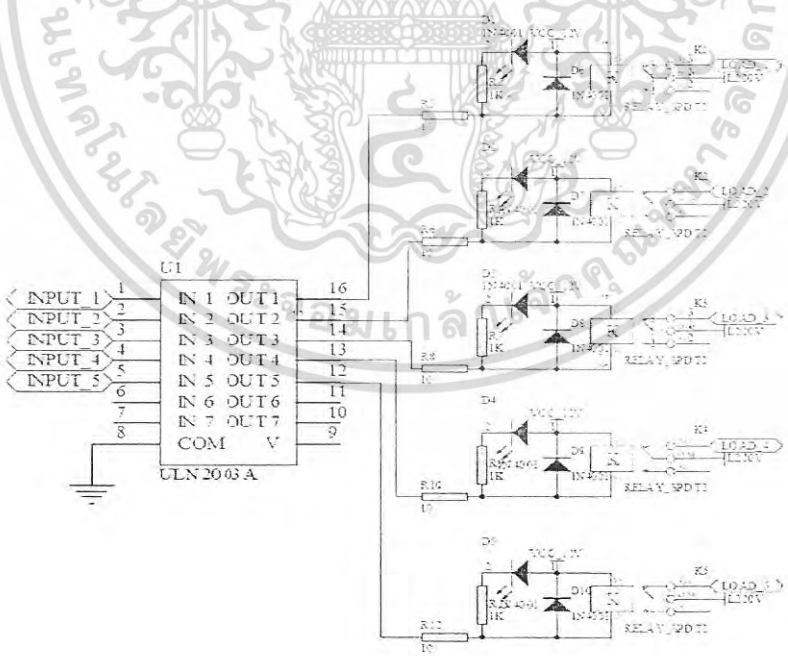
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 วงจรแสดงผลทางจอLCD

3.3.3 ชุดวงจรขับ RELAY

ชุดวงจรขับRELAY ใช้ IC เบอร์ ULN2003 A เป็น IC ขับโหลด RELAY ซึ่งจะคอยรับการสั่งการจากโปรแกรมควบคุมหลักซึ่งควบคุมโดย IC เบอร์ ATMGA32A ซึ่งวงจรแสดงดังรูปที่ 3.7

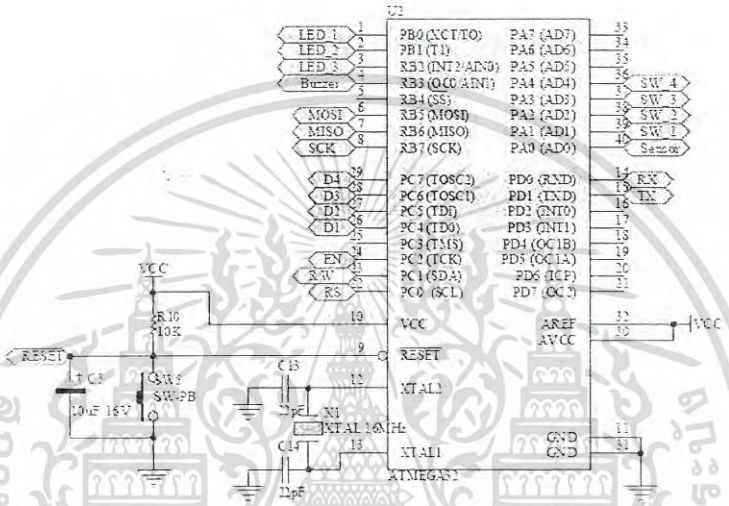


รูปที่ 3.7 วงจรขับ Relay

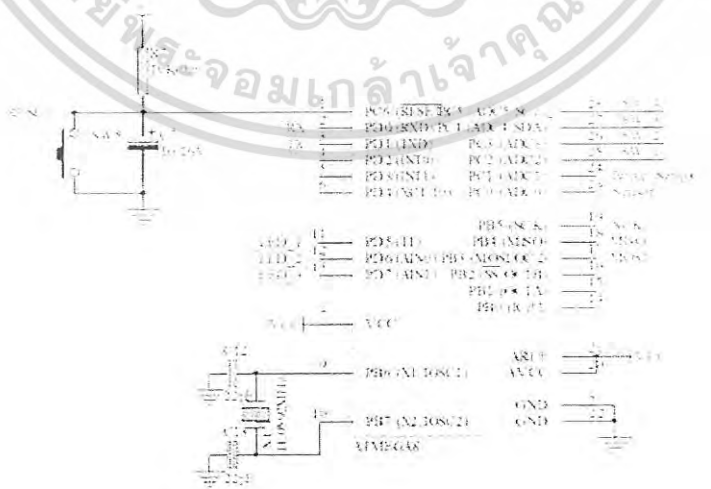
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 ชุดประมวลผล(Microcontroller)

ชุดประมวลผลหลักใช้ IC เบอร์ ATMEGA32 เป็นตัวประมวลผลหลักซึ่งเขียนโปรแกรมโดยใช้โปรแกรม Code Vision AVR และบันทึกหรือ burn ลงในไมโครคอนโทรเลอร์AVR-ATMEGA32 ซึ่งวงจรการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.8 ส่วนชุดประมวลผลเซนเซอร์ใช้ AVR-ATMEGA8 ในการประมวลผลซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 วงจรชุดประมวลผลหลัก

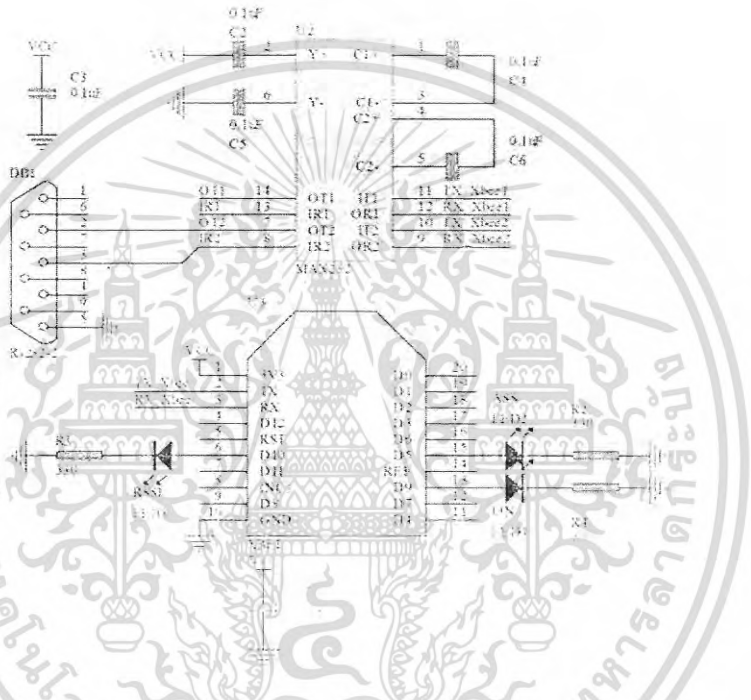


รูปที่ 3.9 วงจรประมวลผลเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 Module รับ-ส่งสัญญาณ(X-Bee Series 1)

X-bee เป็นอุปกรณ์ที่มี Microcontrollerและ RF IC อยู่ภายใน ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ transceiver รับ-ส่งสัญญาณแบบ Half Duplex ย่านความถี่ 2.4 Ghz มีการจัดการโดยใช้พลังงานต่ำ มี interface ที่ใช้รับและส่งข้อมูลกับ X-bee เป็น UARTดังรูปที่ 3.10

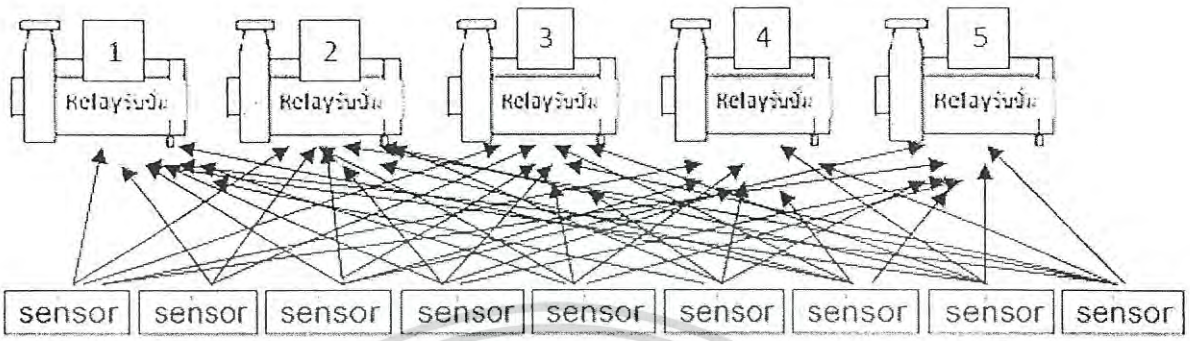


รูปที่ 3.10 วงจรรับ-ส่งสัญญาณ

3.3.6 หลักการทำงานของซอฟแวร์ (Software control)

เริ่มจากการติดตั้งเซนเซอร์ในแปลงปลูกแล้วเปิดการทำงานของระบบโครงข่ายเซนเซอร์จากนั้นเซตค่าความชื้นmax และ min ของ Relay หรือปั๊มแต่ละตัวต้องการที่ต้องการให้ระบบทำงานจากนั้นกด Enter จากนั้นโปรแกรมจะให้ผู้ใช้งานเลือกจับคู่ระหว่างเซนเซอร์กับ Relay ซึ่งสามารถเลือกใช้ได้ตามการใช้การโดยระบบจะทำงานสั่งให้ปั๊มทำงานตามความชื้นของเซนเซอร์ตัวที่อ่านค่าได้น้อยที่สุด ซึ่งความชื้นทั้งหมดของเซนเซอร์แต่ละตัวจะถูกส่งมาแสดงค่าที่หน้าจอ LCD หลังจากปั๊มทำงานจ่ายน้ำไปยังระบบจนพื้นที่แปลงปลูกนั้นมีความชื้นเพียงพอระบบจึงจะตัดการทำงานโดยระบบการจับคู่ เซนเซอร์และ relay ปั๊มจะแสดงไว้ดังรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

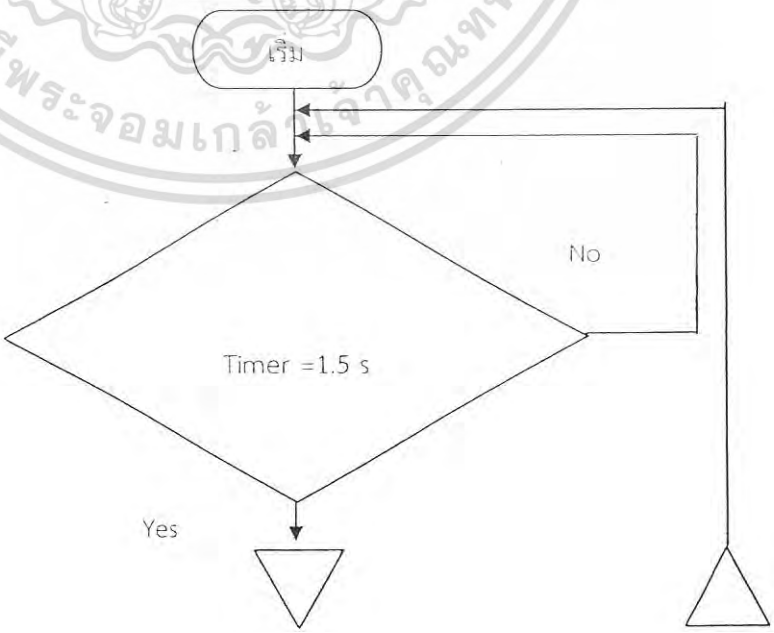


รูปที่ 3.11 โครงสร้างการจับคู่ระหว่าง relay ปั๊ม กับ เซนเซอร์

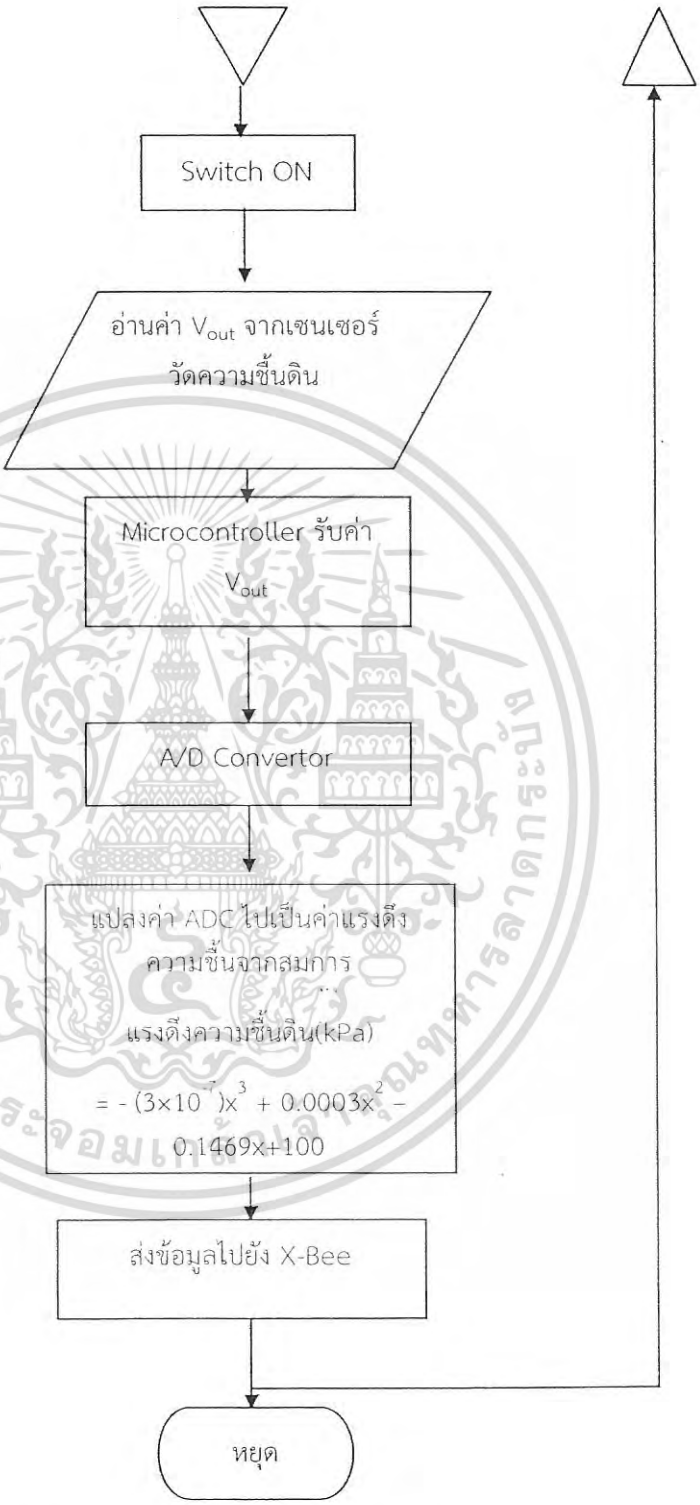
โดยการทำงานของระบบจะแสดงเป็น Flow chart ดังรูปที่ 3.11 , 3.12, 3.13 และ 3.14 สามารถอธิบายหลักการการทำงานของระบบได้คือ

- เมื่อ timer อ่านค่าจนครบเงื่อนไขก็จะสั่งให้เปิดสวิตช์เพื่ออ่านค่าสัญญาณไฟฟ้า OUTPUT จาก sensor วัดความชื้นดิน

- แรงดันที่จากจากเซนเซอร์จะเข้าสู่กระบวนการ ADC Conversion ความละเอียด 8 bit และนำค่าไปคำนวณในสมการที่ได้จากการทำลองเพื่อแสดงเป็นค่าแรงดึงความชื้นดินก่อนจะส่งให้ X-Bee Coordinator



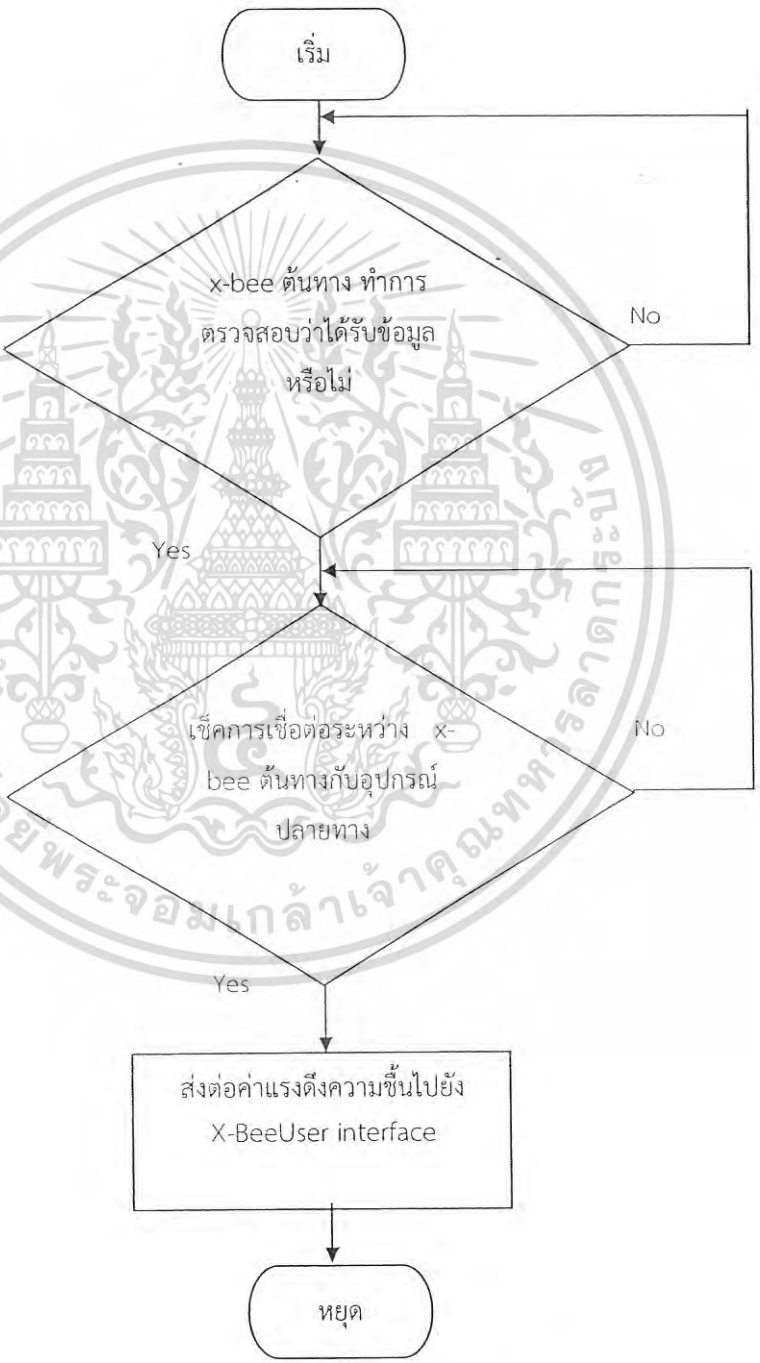
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 Flow chart การทางานของไมโครคอนโทรลเลอร์ sensor (ATMEGA8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

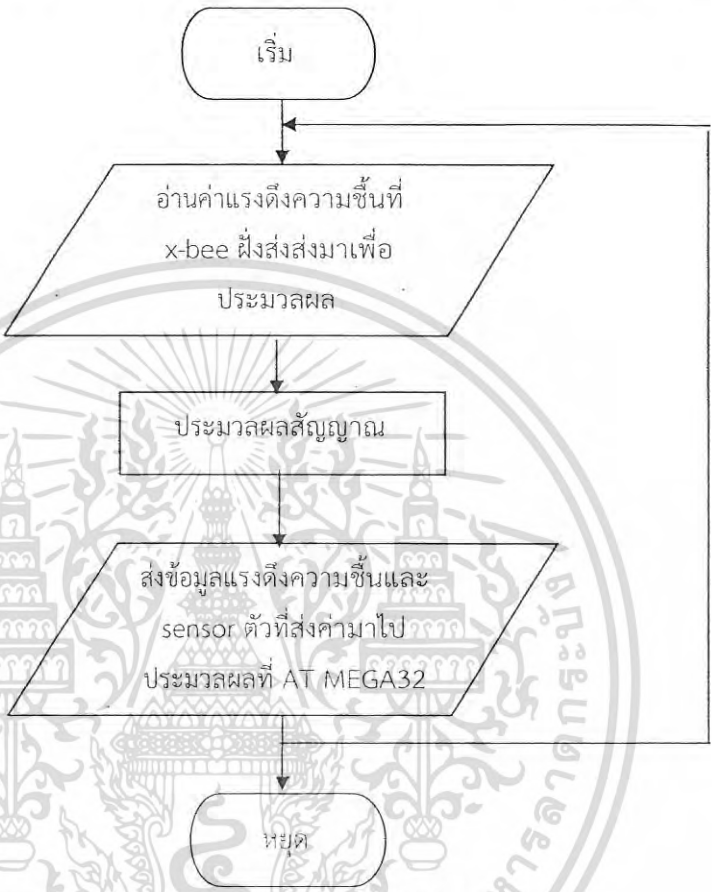
- โหนด x-Bee จะทำการตรวจสอบข้อมูลว่าได้รับข้อมูลหรือไม่ เมื่อได้รับข้อมูล ขั้นต่อมาจะตรวจสอบว่า x-Bee ฝั่งส่งต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไม่ ดังแสดงในรูปที่ 3.13 เมื่อพบว่า x-Bee ฝั่งส่ง ต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์อยู่ จะทำการส่งข้อมูลที่เป็น package ไปยัง x-Bee ฝั่งรับต่อไป



รูปที่ 3.13 Flow chart แสดงการทางานของ X-Bee ต้นทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

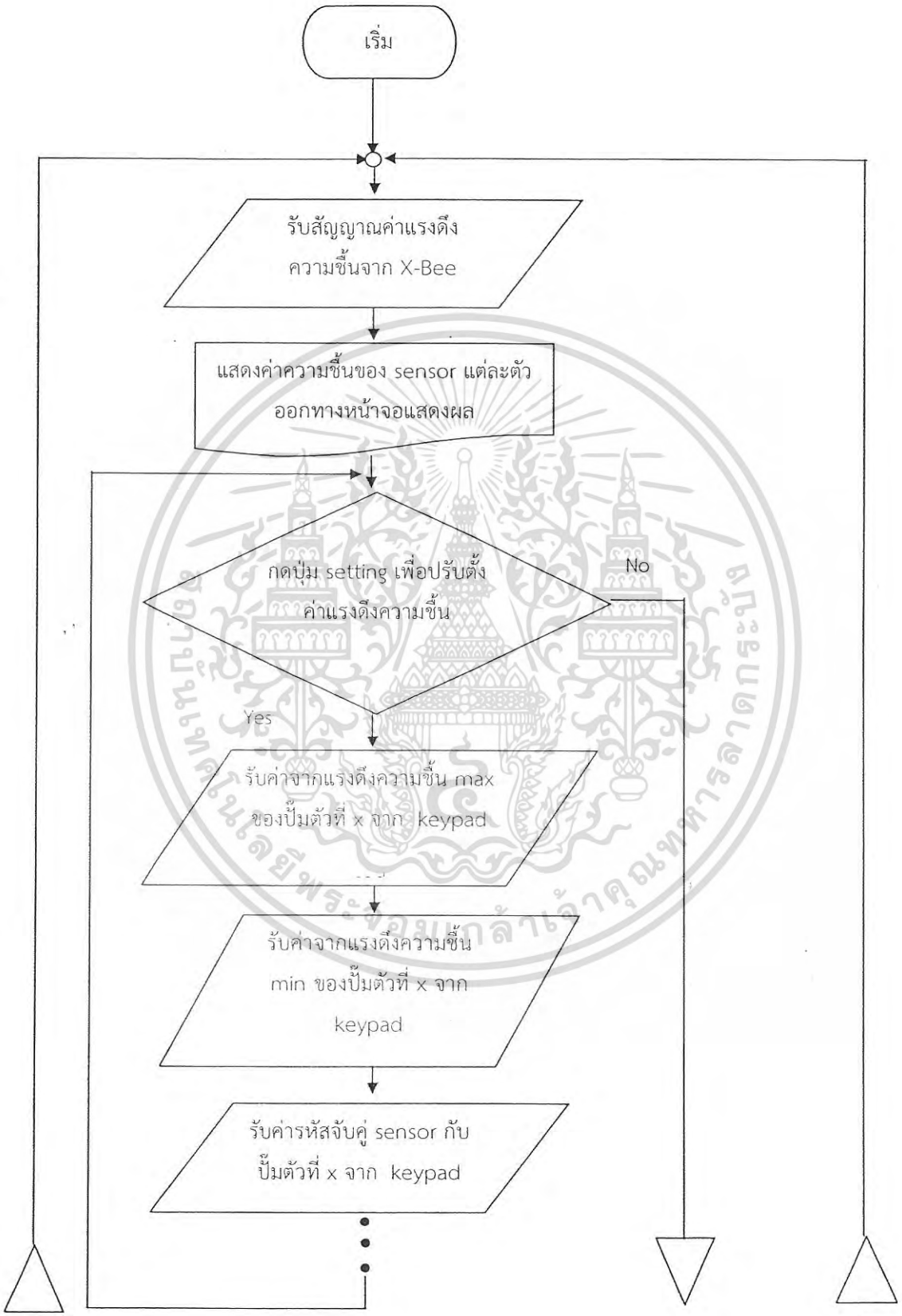
เมื่อ x-Bee ปลายทาง ได้รับข้อมูลจากต้นทาง จะทำการส่ง package ที่ได้ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ AT MEGA 32 หรือไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลข้อมูล ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 Flow chart การทำงานของX-Bee ปลายทาง

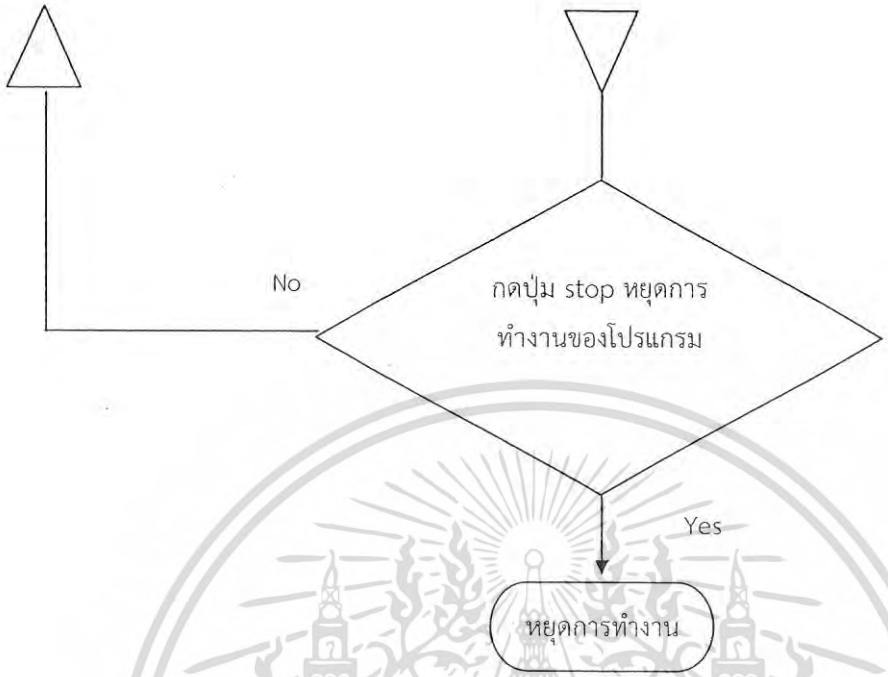
- ระบบโครงข่ายเซนเซอร์ความชื้นดินจะรับค่าแรงดึงความชื้นดินจาก x-Bee แล้วแสดงผลออกทางหน้าจอแสดงผล
- หากมีการกดปุ่ม setting ค้างโปรแกรมจะเข้าสู่เมนูควบคุมระบบทันที โดยปรับตั้งค่าแรงดึงความชื้น max , min และตั้งค่าจับคู่ sensor กับ Relay แต่หากไม่มีการกดโปรแกรมจะทำงานปกติ
- เมื่อโปรแกรมทำงานปกติโปรแกรมจะทำการตรวจสอบเงื่อนไขแรงดึงความชื้น max ที่ถูปส่งมาประมวลผลหาเข้าตามเงื่อนไขระบบจะทำการขับ Relay ปั๊มตัวที่ตั้งไว้ให้ทำงาน
- เมื่อโปรแกรมทำการขับ Relay ปั๊มแล้วปั๊มจะหยุดการทำงานก็ต่อเมื่อเงื่อนไขของโปรแกรมแรงดึงความชื้น min ตรงตามเงื่อนไข
- ระบบจะหยุดการทำงานทั้งหมดหากมีการกดปุ่มหยุดหรือปุ่มรีเซตโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



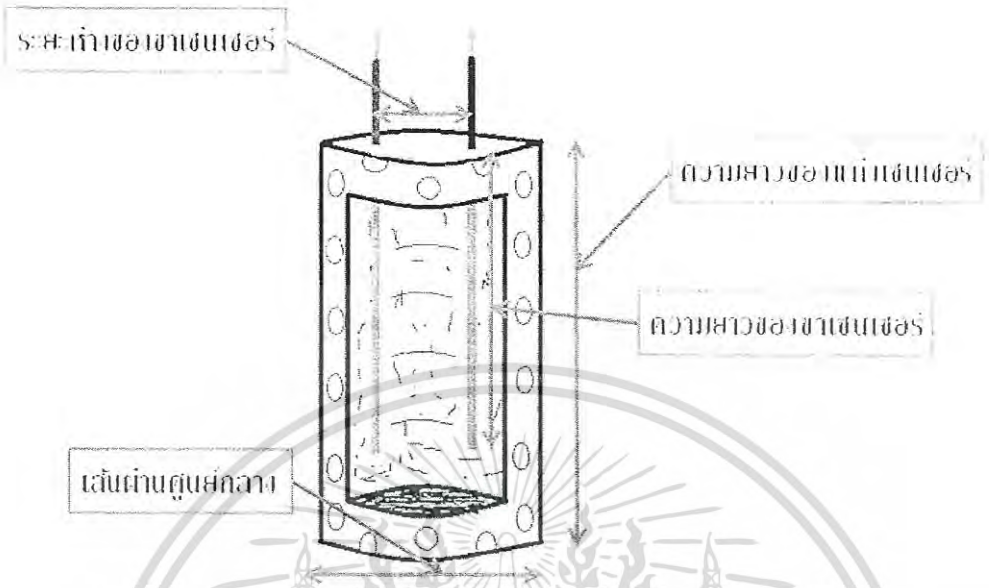
รูปที่ 3.15 Flow chart การทำงานของระบบควบคุมหลัก

3.4 ทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

3.4.1 การทดลองหาขนาดที่เหมาะสมของเซนเซอร์

การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อหาความเหมาะสมของขนาดเซนเซอร์โดยต้องคำนึงถึงความยากง่ายและต้นทุนในผลิตด้วย โดยเก็บค่า ADC หรือค่าความต่างศักย์ (V_{OUT}) ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์แปลงค่าจาก analog เป็น digital ซึ่งการทดลองนี้ได้ทำการจำลองสร้าง sensor ขึ้นมาดังรูปที่ 3.16 โดยทำการทดลองตัวอย่างที่ไม่หุ้มวัสดุปูนปาสเตอร์ทำการทดลองที่ดินขนิดต่างๆ และเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่หุ้มปูนปาสเตอร์ และทดลองวัดความเร็วการตรวจจับความชื้นของเซนเซอร์ขนาดต่างๆ (ทดสอบวัดที่แรงดึงความชื้นดินเป็น 0 kPa) และเปรียบเทียบความจำเป็นในการหุ้มตาข่ายที่เซนเซอร์และปัจจัยอื่นๆ เช่น เวลาในการตรวจจับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 ลักษณะเซนเซอร์ตรวจจับความชื้นดิน

ทำการทดลองโดยสร้างเซนเซอร์ขนาดต่างๆ ดังตารางที่ 4.1จากนั้นทำการทดลองโดยใช้บีกเกอร์ขนาด 250 ml ใส่ดินจนเต็มจากนั้นฝังเซนเซอร์ที่สร้างขึ้นลงไป เติมน้ำจนดินอิ่มตัวเริ่มวัดค่า ADC จับเวลาการวัดไปจนค่าเริ่มไม่เปลี่ยนแปลง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าความชื้นจากนั้นแปลงค่าความชื้นเป็นแรงดึงความชื้นโดยใช้โปรแกรม swrc fit [14-18]จากนั้นนำไปอบไล่ความชื้นเป็นเวลาห่างกันครั้งละ 1 ชั่วโมง แล้วนำมาเก็บข้อมูลความชื้นและค่า ADC อีกครั้ง ซึ่งผลที่ได้นำข้อมูลไปวิเคราะห์ผลทางสถิติอีกครั้งดังหัวข้อ 3.2.2

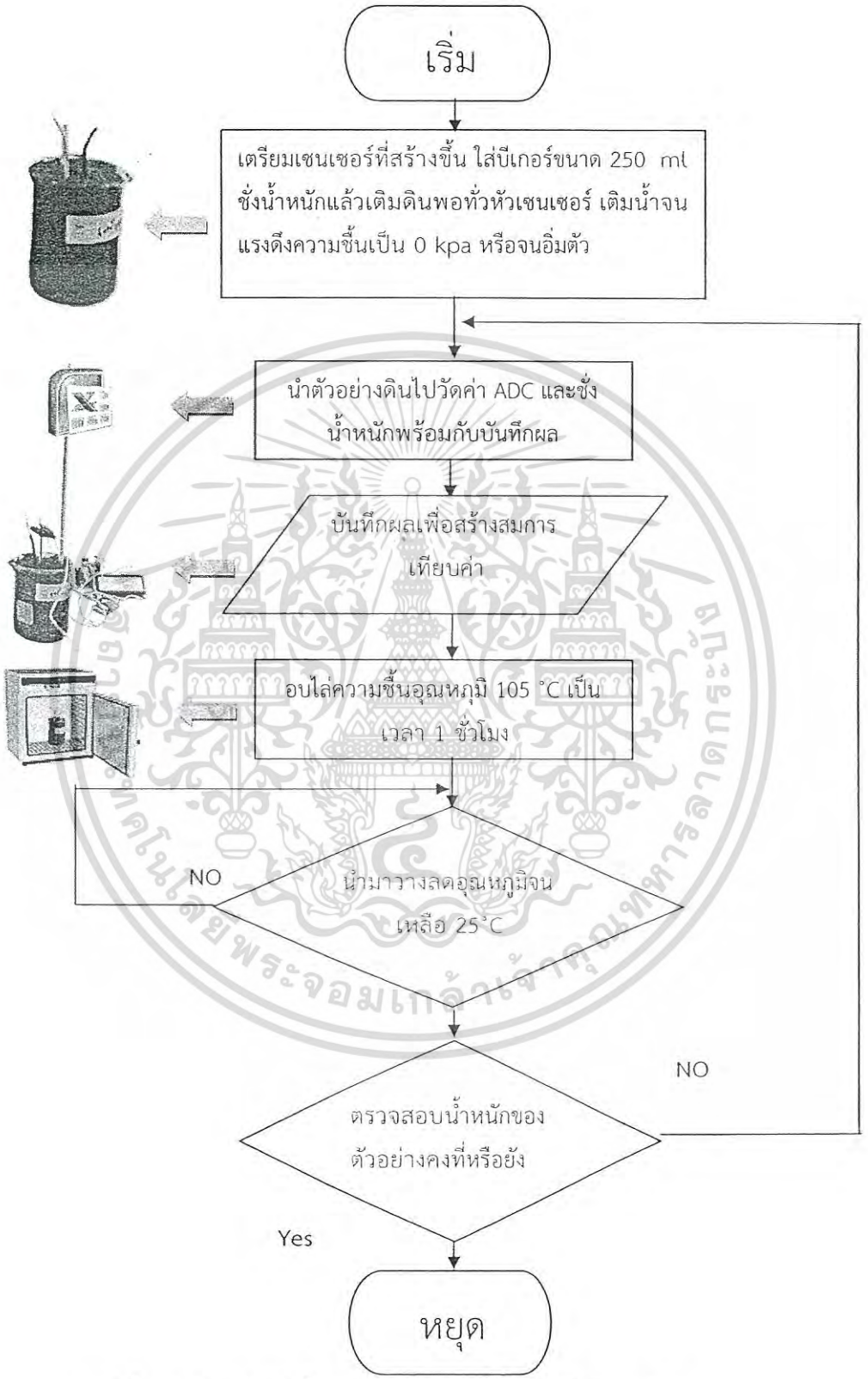
3.4.2 การทดลอง calibrate ค่าแรงดึงความชื้นดินกับค่า ADC

จากการสร้างเซนเซอร์วัดความชื้นในดินขึ้นโดยอาศัยหลักการความต้านทานไฟฟ้า ได้ออกมาเป็นค่าท่างไฟฟ้า(V_{out}) ทำให้ต้องมีการเทียบเคียงค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซนเซอร์วัดความชื้นในดินที่สร้างขึ้น ทำการทดลองเทียบเคียงกับค่าแรงดึงความชื้นโดยใช้เซนเซอร์วัดแรงดึงความชื้นดินที่สร้างขึ้นซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

3.4.2.1 ทดลองวัดค่า ADC แรงดันไฟฟ้าและชั่งน้ำหนัก โดยวัดที่ความชื้นในแต่ละช่วง

การทดลองทำโดยนำเซนเซอร์ที่เตรียมไว้ใส่บีกเกอร์ขนาด 250 ml แล้วใส่ดินพอท่วมเซนเซอร์ เติมน้ำจนแรงดึงความชื้นดินเป็น 0 kPa จากนั้นวัดค่า ADC เริ่มต้นและชั่งน้ำหนัก ต่อมานำดินไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างมาลดอุณหภูมิจนเท่ากับอุณหภูมิห้องหรือ 25°C แล้วจึงวัดค่า ADC และชั่งน้ำหนักอีกครั้ง เก็บตัวอย่างอย่างนี้เรื่อยไป จนกว่าดินจะแห้ง โดยขั้นตอนการลดความชื้นเพื่อวัดเทียบเคียงค่า ADC กับแรงดึงความชื้นจะแสดงไว้ในรูปที่ 3.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 โฟลว์ชาร์ตขั้นตอนการลดความชื้นดินเพื่อวัดค่า ADC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.2 คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นดินโดยน้ำหนัก

จากสูตร

$$Pw=(\frac{Ww}{Ws}) \times 100 \quad (3.1)$$

เมื่อ

Pw = เปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยเทียบกับน้ำหนักของดินแห้ง

Ww = น้ำหนักของน้ำในดิน

Ws = น้ำหนักของดินอบแห้งโดยเตาอบ

3.4.2.3 หาค่าความชื้นดินโดยปริมาตร

จากสูตร

$$Pv = Pw \times As \quad (3.2)$$

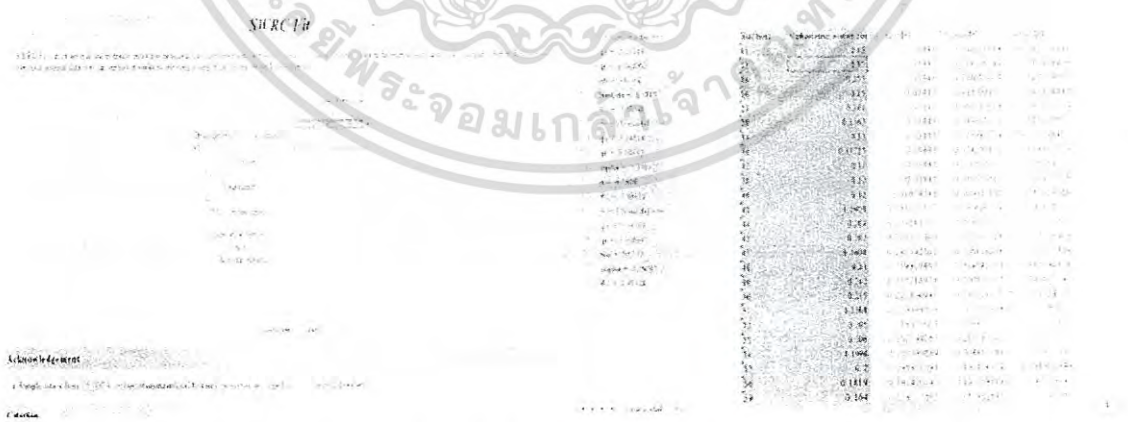
เมื่อ

Pv = เปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยปริมาตร

Pw = เปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยน้ำหนัก

As = ความถ่วงจำเพาะปรากฏ

3.4.2.4 ทำการแปลงค่าความชื้นที่ได้เป็นค่าแรงดึงความชื้นโดยใช้โปรแกรม SWRC Fit ซึ่งเป็นโปรแกรมที่จำลองมาจากBC model, VG model, LN model, DB model, BL model [14-19]

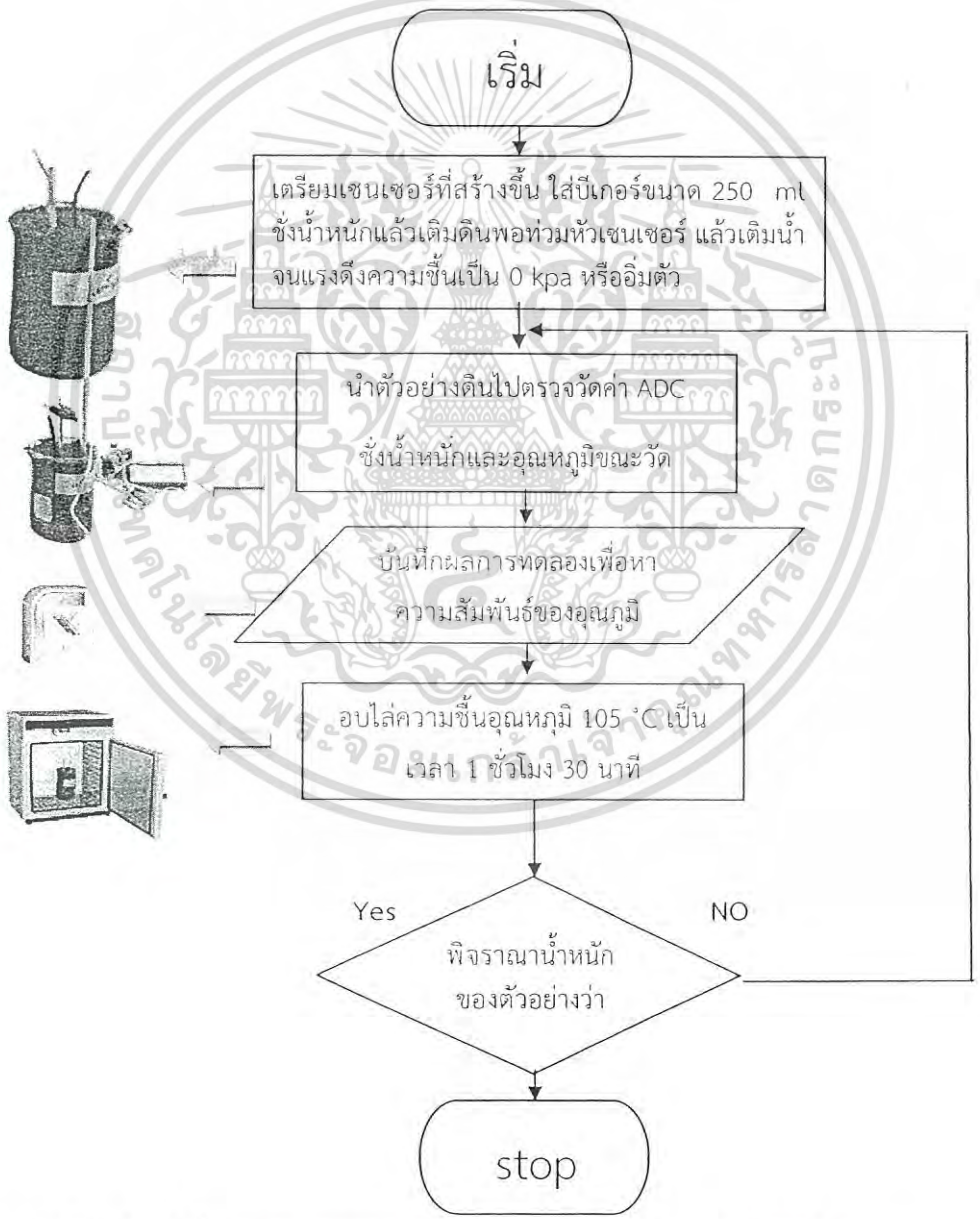


รูปที่ 3.18 โปรแกรม swrc fit แปลงค่าความชื้นเป็นแรงดึงความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 การทดสอบประสิทธิภาพของเซนเซอร์กับปัจจัยอุณหภูมิที่อาจส่งผลต่อเซนเซอร์

การทดลองนี้ทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า ADC ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์วัดได้กับอุณหภูมิดินว่ามีผลมากน้อยเพียงใดในการวัดค่าแรงดึงความชื้นแต่ละครั้งทำการทดลองโดยใช้เซนเซอร์ที่สร้างขึ้นใส่ลงไปในบีกเกอร์ขนาด 250ml กับดินแล้วเซตให้มีความชื้นดินเริ่มต้นให้ดินอิ่มตัวจากนั้นนำไปอบเพื่อลดความชื้นที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาทีที่ตู้อบลมร้อนโดยแต่ละครั้งที่นำไปอบไล่ความชื้นจะนำมาวัดอุณหภูมิดินไปพร้อมๆกับวัดค่า ADC แล้วบันทึกผลการทดลองเป็นระยะๆ ห่างกันครั้งละ 1 ชั่วโมง 30 นาที โดยมีขั้นตอนการทดลองดังโฟลว์ชาร์ต รูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 โฟลว์ชาร์ตขั้นตอนการทดลองวัดค่าอุณหภูมิเปรียบเทียบความสัมพันธ์กับค่า ADC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำผลน้ำหนักตัวอย่างในแต่ละช่วงที่ได้ไปหาค่าปอร์เซ็นความชื้น เสร็จแล้วแปลงค่าให้เป็นค่าแรงดึงความชื้นโดยใช้โปรแกรม SWRC ดังการทดลองหัวข้อ 3.4.2.2 - 3.4.2.4 จากนั้นนำผลการทดลองทั้งหมดที่ได้มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่า ADC หรือค่าแรงดึงความชื้นที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่ทำขึ้นถึงการเปลี่ยนแปลงของค่า ADC มากน้อยเพียงใดสามารถวิเคราะห์ได้จากกราฟสรุปผลการทดลอง

3.4.4 ทดสอบประสิทธิภาพของเซนเซอร์กับปัจจัยค่า pH ดินที่เปลี่ยนแปลง

การทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า ADC ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์วัดได้จากเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้น และค่าความเป็นกรดด่างของดินซึ่งในที่นี้วัดความเป็นกรดด่างโดยใช้ pH meter ดินซึ่งมีช่วงการวัดอยู่ระหว่าง pH= 3 ถึง 8 (ช่วงที่ pH ที่เหมาะกับการเพาะปลูกพืชทั่วไป) โดยการเตรียมดินที่ใช้ในการทดลองในการวิจัยนี้ใช้ดินร่วนปนทรายที่มีค่า pH = 6.5 การทดลองซึ่งการเตรียมดินให้เป็นด่างจะใช้ปูนขาวในอัตราส่วน 1:9 ในการปรับค่า pH ให้ครั้งละ 0.5

<u>ตัวอย่าง</u> การผสมเตรียมดินให้เป็นด่าง

ถ้าหากจะเตรียมดินให้มีค่า pH = 8 โดยดินตัวอย่างเริ่มต้นมี pH = 6.5 หากใช้ดิน 1 กิโลกรัมควรใช้ปูนขาวเท่ากับ ?

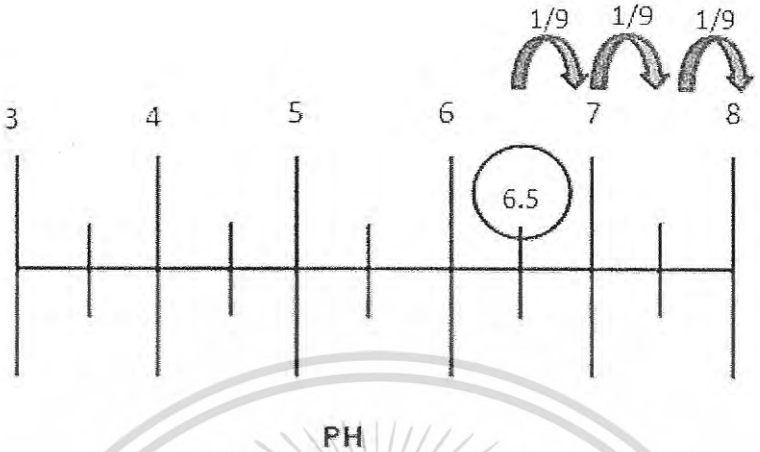
<u>วิธีทำ</u>

ถ้าดินตัวอย่างมี pH เริ่มต้น 6.5 น้ำหนัก = 1 กิโลกรัม

ดังนั้นหากต้องการผสมดินให้มี pH เท่ากับ 8 ควรใช้ปูนขาวหนัก $= (\frac{1}{9} \times 3) \times 1$

$= 0.33$ กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 การเตรียมดินให้เป็นเบส

การเตรียมดินให้เป็นกรดจะใช้กำมะถันในอัตราส่วน 1:20 ในการปรับค่า pH ให้ลดลงครั้งละ 0.5

<u>ตัวอย่าง</u> การผสมเตรียมดินลงให้เป็นกรด

ถ้าหากจะเตรียมดินให้มีค่า pH = 3 โดยดินตัวอย่างเริ่มต้นมี pH = 6.5 หากใช้ดิน 1 กิโลกรัมควรใช้กำมะถันผงเท่ากับ ?

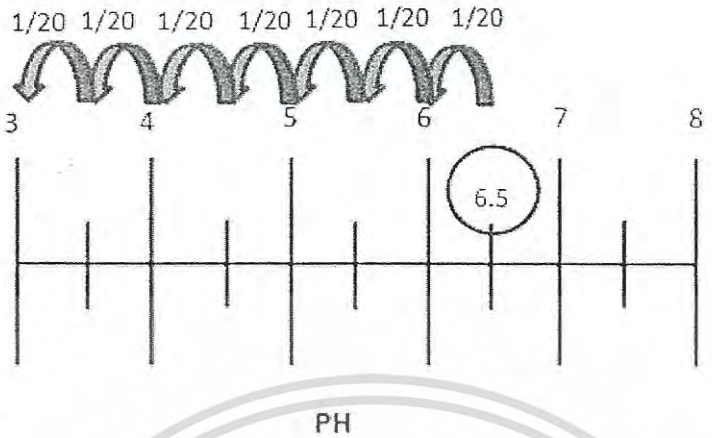
<u>วิธีทำ</u>

ถ้าดินตัวอย่างมี pH เริ่มต้น 6.5 น้ำหนัก = 1 กิโลกรัม

ดังนั้นหากต้องการผสมดินให้มี pH เท่ากับ 3 ควรใช้กำมะถันหนัก $= (\frac{1}{20} \times 7) \times 1$

= 0.35 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

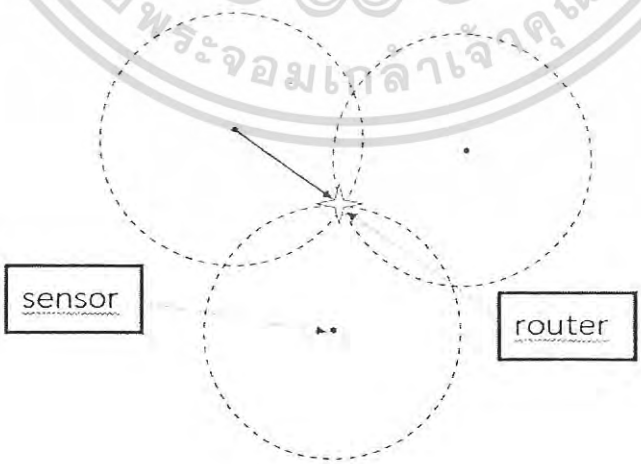


รูปที่ 3.21 การเตรียมดินให้เป็นกรด

จากนั้นนำดินตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ไปผสมน้ำเพื่อปรับค่าความชื้นดินในช่วงต่างๆ 3 ช่วง แล้วทำการวัดค่า pH ของดินโดยใช้เครื่อง pH meter , ค่า ADC ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านได้ และค่าแรงดึงความชื้นทำการทดลองแล้วบันทึกผลการทดลอง ซึ่งค่าแรงดึงความชื้นสามารถหาได้ดังหัวข้อ 3.4.2.2 - 3.4.2.3

3.4.5 **ทดสอบประสิทธิภาพของระบบกับปัจจัยการส่งสัญญาณ**

ทดสอบการทำงานของระบบโครงข่าย ทดสอบในสถานที่จริงพร้อมทั้งหาความสัมพันธ์และประเมินความเป็นไปได้ของจำนวนเซนเซอร์ต่อการใช้หนึ่งหน่วยพื้นที่โดยการใช้เซนเซอร์จำนวน 10 ตัวทดสอบวัดค่าความชื้น ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 การวัดระยะการส่งสัญญาณเพื่อประเมินพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทำการทดลองโดยการเซตค่าความชื้นที่บีกเกอร์ 3 ระดับความชื้นวัดอุณหภูมิดินให้อยู่ในระดับเท่าๆกัน จากนั้นให้ผู้ทดลองถือชุดเซนเซอร์พร้อมกับบีกเกอร์ดินที่ระดับความชื้นต่างๆ โดยให้คอนโทรลเลอร์ตัวหลักอยู่ตรงกลางวัดหาระยะสัญญาณแบบสุ่มโดยความชื้นที่แตกต่างก่อนแล้ววัดระยะทางจากคอนโทรลเลอร์ตัวหลักจนถึงเซนเซอร์ ซึ่งขนาดพื้นที่ที่เซนเซอร์ 1 ตัวครอบคลุมหากพิจารณาเพียงระยะสัญญาณสามารถหาได้จากสูตร

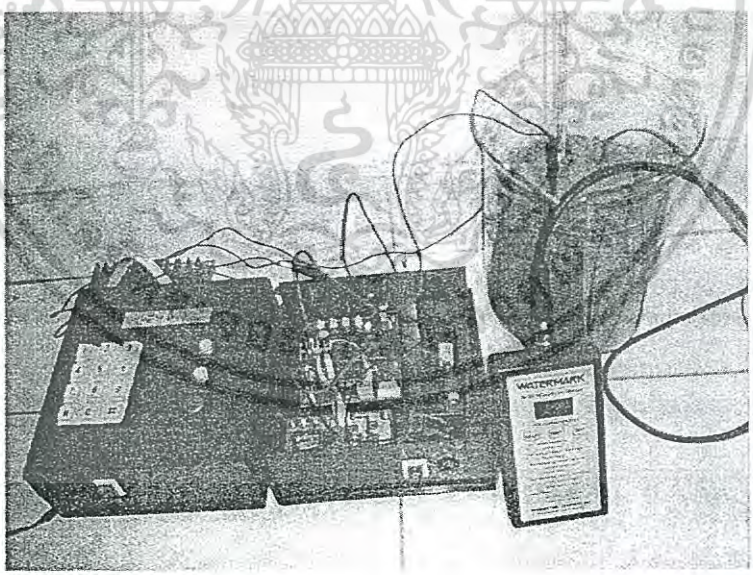
$$\text{ขนาดพื้นที่ที่เซนเซอร์1ตัวครอบคลุม}(m^2) = \prod \times (\text{ระยะสัญญาณของเซนเซอร์})^2 \qquad (3.3)$$

3.4.6 การทดสอบการทำงานของระบบ

แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ

3.4.6.1 การทดสอบระบบในห้องทดลองเพื่อทดสอบการทำงานอย่างเป็นระบบ

โดยเริ่มจากทำการวัดค่าแรงดึงความชื้นเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน ซึ่งในการวิจัยนี้ใช้เครื่องมือวัดความชื้นดิน Soil Moisture Meterซึ่งวัดค่าแรงดึงความชื้นออกมาเป็นเซนติบาร์ หรือ kPa ดังรูปที่ .



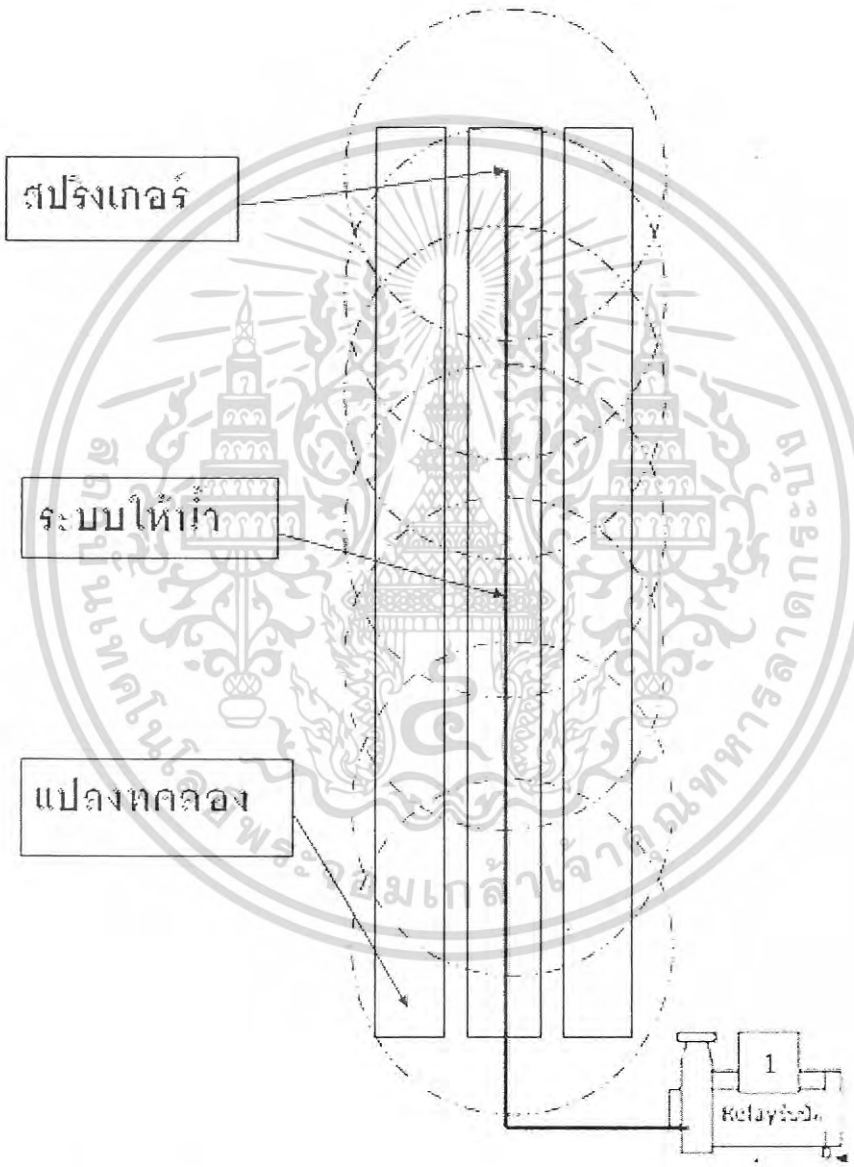
รูปที่ 3.23 การทดลองวัดความชื้นดินเทียบกับ Soil Moisture Meter

3.4.6.2 การทดสอบในแปลงจริงเพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

การทดลองนี้จะเป็นการทดลองในแปลงจริงซึ่งทำการทดลองโดยการเตรียมแปลงปลูก(ในการวิจัยนี้เลือกใช้ผักบุ้งในการทดลอง)โดยแบ่งแปลงปลูกออกเป็น 6 แปลง ขนาดแปลงละ 1 × 30 m ติด

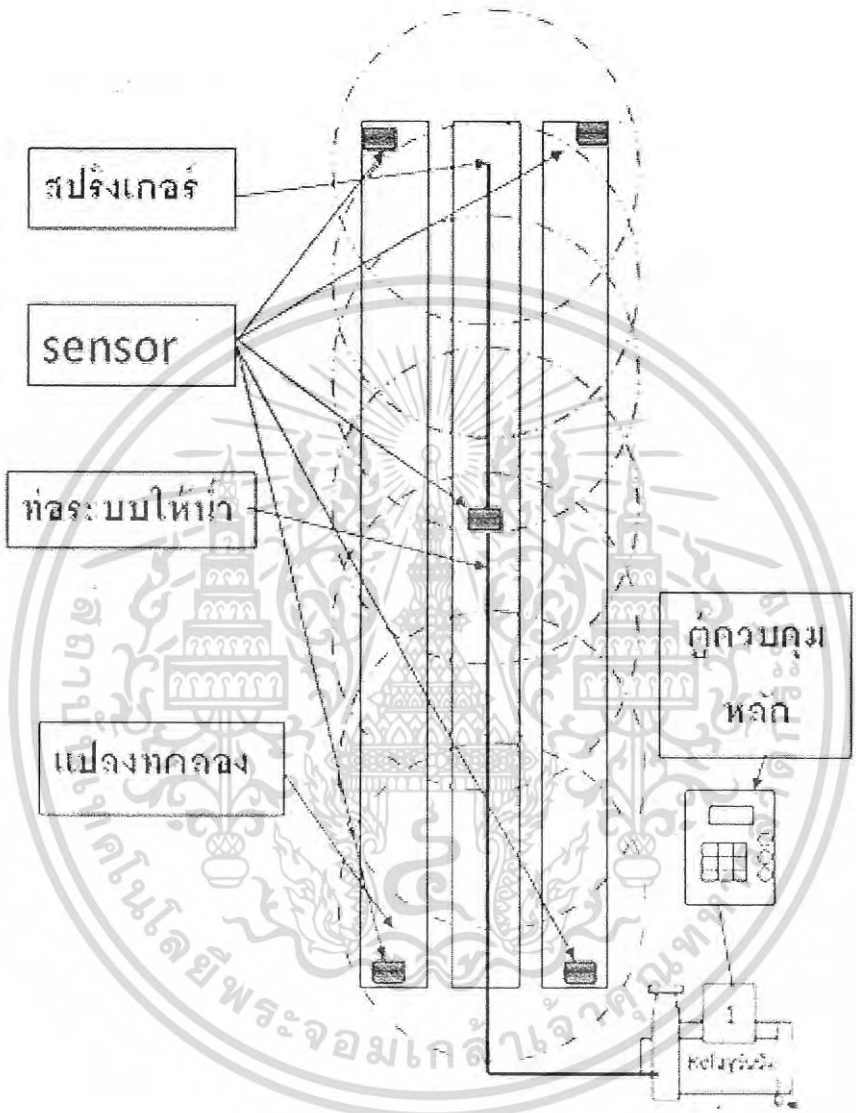
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบให้น้ำระบบสปริงเกอร์เหมือนๆกัน แต่แบ่งแปลง 3 แปลงปลูกเป็นแปลงที่ใช้ระบบโครงข่ายเซนเซอร์ความชื้นดินเป็นตัวควบคุมความชื้นโดยต่อปั๊ม 1 ตัวเข้าไปกับระบบโครงข่าย ส่วนแปลงทดลองอีก 3 แปลงก็ติดระบบใช้น้ำแบบสปริงเกอร์เหมือนๆกันแต่ใช้เกษตรกรควบคุมระบบเองซึ่งทำงานตามความต้องการของเกษตรกรหรือทำงานโดยการควบคุมของผู้ใช้งานดังรูปที่ 3.24 และ 3.25



รูปที่ 3.24 แบบแปลงการทดลองควบคุมการให้น้ำโดยเกษตรกร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 แบบแปลงทดลองควบคุมการให้น้ำโดยระบบโครงข่ายความชื้นดินควบคุมการให้น้ำพืช

จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการทำงานเพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานและพิจารณาถึงความเหมาะสมของจำนวนการติดตั้งเซนเซอร์ในแปลงรวมถึงวิเคราะห์ถึงต้นทุนในการใช้งานระบบโครงข่ายเซนเซอร์ความชื้นในดินเพื่อควบคุมการให้น้ำพืช

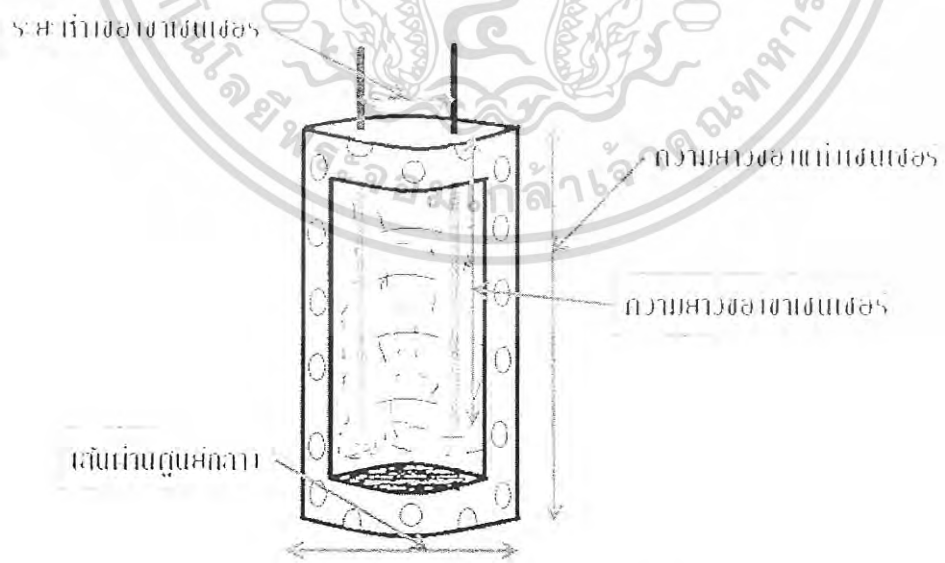
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

การศึกษาสร้างแบบจำลองเทียบเคียงและการทดสอบระบบโครงข่ายเซนเซอร์ความชื้นดินสำหรับควบคุมการให้น้ำพืชสามารถแบ่งศึกษาออกเป็นส่วนหลักๆ คือ การหาขนาดที่เหมาะสมของหัวเซนเซอร์ การเทียบเคียงค่า V_{out} ADC และค่าแรงดึงความชื้น การทดสอบหัวเซนเซอร์กับอุณหภูมิ pH ดิน และชนิดดินต่างๆ การหาระยะการส่งสัญญาณระหว่างชุดเซนเซอร์ในแปลงและส่วนควบคุมหลัก และการทดสอบติดตั้งระบบในแปลงทดลองจริงเพื่อหาผลผลิตที่เพิ่มขึ้นและจุดคุ้มทุนของอุปกรณ์ ดังนั้นจึงแบ่งผลการศึกษา ดังนี้

4.1 การหาขนาดเหมาะสมและเปรียบเทียบความจำเป็นในการหุ้มวัสดุประเภทปูนปาสเตอร์ที่หัวเซนเซอร์ที่เหมาะสม

การทดลองนี้ได้ทำการจำลองสร้าง sensor ขึ้นมาดังรูปที่ 4.1 โดยทำการทดลองตัวอย่างที่ไม่หุ้มวัสดุปูนปาสเตอร์ทำการทดลองที่ดินชนิดต่างๆ และเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่หุ้มปูนปาสเตอร์ และทดลองวัดความเร็วการตรวจจับความชื้นของเซนเซอร์ขนาดต่างๆ(ทดสอบวัดที่แรงดึงความชื้นดินเป็น 0 kPa) และเปรียบเทียบความจำเป็นในการหุ้มตาข่ายที่เซนเซอร์และปัจจัยอื่นๆ เช่น เวลาในการตรวจจับ



รูปที่ 4.1 ลักษณะเซนเซอร์ตรวจจับความชื้นดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดลองโดยสร้างเซนเซอร์ขนาดต่างๆ ดังตารางที่ 4.1 จากนั้นทำการทดลองโดยใช้บีกเกอร์ขนาด 250 ml ใส่ดินจนเต็มจากนั้นฝังเซนเซอร์ที่สร้างขึ้นลงไป เติมน้ำจนดินอิ่มตัวเริ่มวัดค่า ADC จับเวลาการวัดไปจนค่าเริ่มไม่เปลี่ยนแปลง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าความชื้นจากนั้นแปลงค่าความชื้นเป็นแรงดึงความชื้นโดยใช้โปรแกรม swrc fit จากนั้นนำไปอบไล่ความชื้นเป็นเวลาห่างกันครั้งละ 1 ชั่วโมง แล้วนำมาเก็บข้อมูลความชื้นและค่า ADC อีกครั้ง ซึ่งผลที่ได้นำข้อมูลไปวิเคราะห์ผลทางสถิติอีกครั้ง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองความเร็วในการตรวจจับความชื้นดินของเซนเซอร์แต่ละขนาด

ลักษณะของหัวเซนเซอร์				เวลาในการตรวจจับ (วินาที)	ความสะดวกต่อการใช้งานและลักษณะการตรวจจับ	หมายเหตุ
ความกว้างลวด (cm)	ขนาดลวดขาเซนเซอร์ (mm)	ความยาวของเซนเซอร์ (cm)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)			
0.5	2.5	6.5	2.5	45	แตกหักได้ยากขึ้นเนื่องจากหุ้มตะแกรงลวด	
0.5	2.5	6.5	2.5	20	อาจแตกหักหรือชำรุดได้ง่ายเนื่องจากเปราะบางไม่คงทน	ไม่หุ้มตะแกรงอลูมิเนียม
1	2.5	6.5	2.5	50	มีการนำไฟฟ้าได้ดีเหมาะแกการตรวจจับ	
1.5	2.5	6.5	2.5	57	มีการนำไฟฟ้าได้ดีเหมาะแกการตรวจจับ	
1	3	6.5	2.5	43	มีการนำไฟฟ้าได้ดีที่สุดแต่ลำบากในการผลิต	

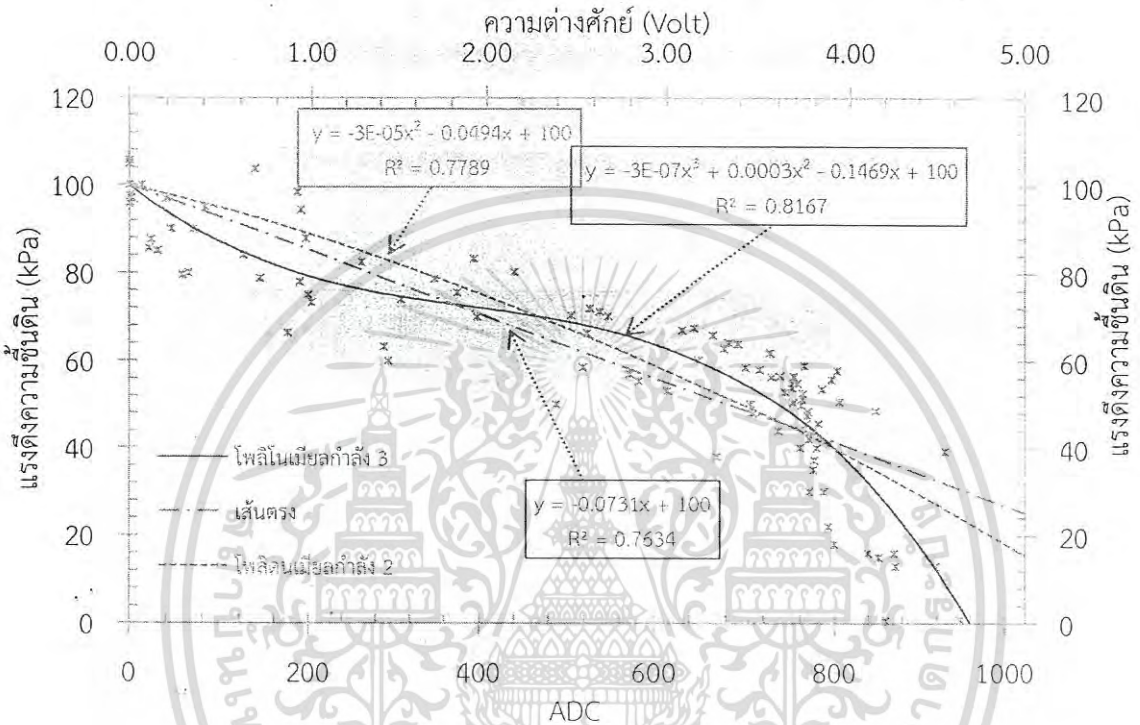
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของหัวเซนเซอร์				เวลาในการตรวจจับ (วินาที)	ความสะดวกต่อการใช้งานและลักษณะการตรวจจับ	หมายเหตุ
ความกว้างลวด (cm)	ขนาดลวดขาเซนเซอร์ (mm)	ความยาวของเซนเซอร์ (cm)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)			
1	2	6.5	2.5	58	มีการนำไฟฟ้าได้ดีปานกลาง	
1	2.5	7	2.5	54	มีการนำไฟฟ้าได้ดีแต่ไม่ค่อยสะดวกต่อการใช้งานจริง	
1	2.5	6	2.5	47	มีการนำไฟฟ้าได้ดีเหมาะแก่การตรวจจับ	
1	2.5	6.5	3	60	มีการนำไฟฟ้าได้ดีแต่เวลาในการตรวจจับช้าสุด	
1	2.5	6.5	2	45	มีการนำไฟฟ้าดีแต่ผลิตยากเนื่องจากขอบขาเซนเซอร์ติดเกินไป	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การวัดค่า ADC ซึ่งได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์แปลงค่าความต่างศักย์จาก analog เป็น digitalเพื่อ calibrate ค่ากับค่าแรงดึงความชื้นดินมาตรฐาน

จากการทดลอง calibrate ของค่าแรงดึงความชื้นดินและค่า ADC ได้ดังกราฟรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงความชื้นกับ ADC

ค่า ADC ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการทดลองมีค่าในช่วง 0 – 1023 โดยค่า ADC มีความสัมพันธ์กับค่าความต่างศักย์ของไฟฟ้า 0 – 5 Volt มีความสัมพันธ์ดังรูปสมการคือ

$$\text{ADC} = \frac{\text{ความต่างศักย์ไฟฟ้า}(Volt)\times 1023}{5\ (volt)}$$

จากรูปสมการหากความต่างศักย์ไฟฟ้า 5 V. ผ่าน input ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะอ่านค่า ADC ได้เท่ากับ 1023 แต่ในความเป็นจริงแล้วในการทดลองวัดค่า ADC นั้นมีความต่างศักย์สูงสุงที่รับได้คือ 4.6 V.หรือมีค่า ADC เท่ากับ 940 ทั้งนี้เนื่องจากดินและปูนปาสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นวัสดุกึ่งนำไฟฟ้าแต่ไม่ใช่วัสดุนำไฟฟ้า ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่ส่งลงไป (5 V.) เพื่อวัดปริมาณน้ำ ซึ่งอาจรับกลับมาได้ไม่ถึงปริมวณที่ส่งลงไปในสถานะดินอิ่มตัว

จากกราฟรูปที่ 4.4 รูปสมการเทียบเคียงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า ADC กับค่า แรงดึงความชื้นดิน (kPa) จำลองจากค่าผลการทดลอง 100 ค่า สามารถจำลองความสัมพันธ์ค่าแรงดึงความชื้นดินได้ดังนี้

- สมการจำลองค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า ADC กับค่าแรงดึงความชื้นดิน (แบบสมการเส้นตรง)

ได้รูปสมการคือ

$$Y = -0.0731x + 100$$

$$R^2 = 0.7634$$

ค่า ADC สูงสุดของการวัดจริงมีค่า 940 ดังนั้น หากใช้สมการเส้นตรงเป็นแบบจำลองความสัมพันธ์ในการเทียบค่าได้ค่าแรงดึงความชื้นที่สามารถวัดได้ 100 kPa ถึง 31.28 kPa ดังนั้นหากปลูกพืชที่ต้องการแรงดึงความชื้นต่ำกว่า 31.28 จึงไม่สามารถใช้งานได้

- สมการจำลองค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า ADC กับค่าแรงดึงความชื้นดิน (แบบโพลิโนเมียลกำลัง 2)

ได้รูปสมการคือ

$$Y = -(3\times10^{-5})x^2 - 0.0494x + 100$$

$$R^2 = 0.7789$$

ค่า ADC สูงสุดของการวัดจริงมีค่า 940 ดังนั้น หากใช้สมการโพลิโนเมียลกำลัง 2 เป็นแบบจำลองความสัมพันธ์ในการเทียบค่าได้ค่าแรงดึงความชื้นที่สามารถวัดได้ 100 kPa ถึง 27.05 kPa ผลที่ได้สมการโพลิโนเมียลกำลัง 2 มีได้ช่วงการวัดแรงดึงความชื้นดีกว่าสมการเส้นตรงเล็กน้อย แต่ถ้าหากปลูกพืชที่ต้องการแรงดึงความชื้นต่ำกว่า 27.05 ก็ยังไม่สามารถใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สมการจำลองค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า ADC กับค่าแรงดึงความชื้นดิน (แบบโพลิโนเมียลกำลัง 3)

ได้รูปสมการคือ

$$y = -(3\times10^{-7})x^3 + 0.0003x^2 - 0.1469x + 100$$

$$R^2 = 0.8167$$

ค่า ADC สูงสุดของการวัดจริงมีค่า 940 ดังนั้น หากใช้สมการโพลิโนเมียลกำลัง 3 เป็นแบบจำลองความสัมพันธ์ในการเทียบค่าได้ค่าแรงดึงความชื้น สามารถวัดได้ 100 kPa ถึง -22.18 kPa ผลที่ได้สมการโพลิโนเมียลกำลัง 3 ได้ช่วงการวัดแรงดึงความชื้นดีที่สุดเมื่อเปรียบกับสมการเส้นตรงและโพลิโนเมียลกำลัง 2 แต่ค่าแรงดึงความชื้นดินนั้นมีค่าต่ำสุดที่ 0 kPa ที่สภาวะดินอิ่มตัวซึ่งสมการโพลิโนเมียลกำลัง 3 ,จำลองแรงดึงความชื้นดินเป็น 0 kPa ได้ต่อเมื่อค่า ADC ที่ตรวจวัดได้มีค่า 875 ดังนั้นหากนำสมการโพลิโนเมียลกำลัง 3 ไปใช้พัฒนาซอฟแวร์จึงควรเขียนตั้งเงื่อนไขซอฟแวร์ให้ค่า ADC ตั้งแต่ 875 ขึ้นไปอ่านค่าแรงดึนความชื้นดินได้เป็น 0 kPa

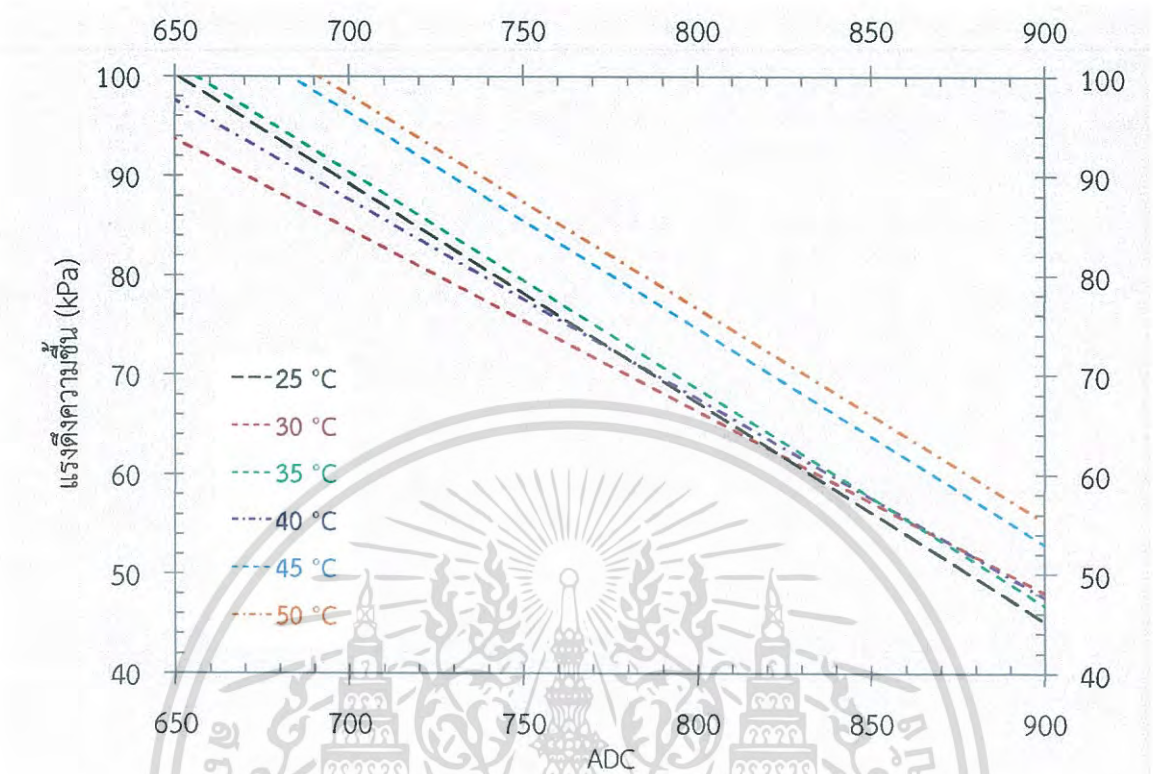
หมายเหตุ: x = ค่า ADC , y = ค่าแรงดึงความชื้นดิน

4.3 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบกับปัจจัยทางอุณหภูมิและชนิดดินที่อาจมีผลต่อการทำงานของระบบ

4.3.1 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบกับปัจจัยทางอุณหภูมิ

จากผลการทดลองสามารถนำผลการทดลองทั้งหมดที่ได้มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่า ADC ที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่ทำขึ้นถึงการเปลี่ยนแปลงของค่า ADC มากน้อยเพียงใด สามารถวิเคราะห์ได้จากกราฟสรุปผลการทดลองรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



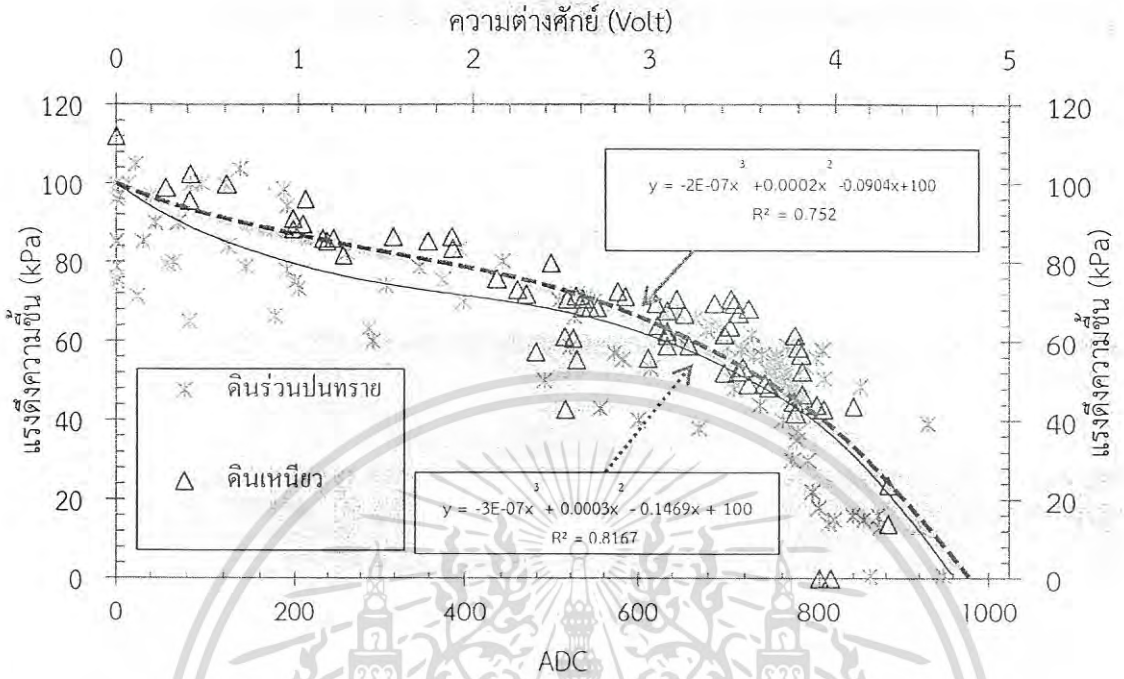
รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ค่า ADC กับ อุณภูมิดิน

จากกราฟรูปที่ 4.3 เส้นสมการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างค่า ADC กับแรงดึงความชื้นดินแบบเส้นตรงในอุณหภูมิต่างๆ พบว่าหากสร้างแบบจำลองที่อุณหภูมิ 25°C ช่วงอุณภูมิดินถึง 40°c จะมีความแตกต่างน้อยเมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นความแตกต่างแล้ว แต่เมื่ออุณหภูมิดินเริ่มสูงขึ้นเกิน 45°C ไปแล้ว ค่าเปอเซ็นต์ความแตกต่างของสมการจำลองจะเริ่มสูงขึ้นจนทำให้แบบจำลองผิดพลาดได้สูง(ทั้งนี้แสดงการเปรียบเทียบแบบจำลองไว้ที่ภาคผนวก ค.)

4.3.1 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบกับปัจจัยชนิดของดิน

จากผลการทดลอง เทียบเคียงค่าแรงดึงความชื้น (kPa) ค่าแรงดันไฟฟ้า (V) และค่า ADC ของดินร่วนปนทรายสามารถนำผลการทดลองทั้งหมดที่ได้มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ กับการทดลองเทียบเคียงค่าแรงดึงความชื้น (kPa) ค่าแรงดันไฟฟ้า (V) และค่า ADC ของดินเหนียว ที่อุณหภูมิคงที่ที่ 25 °C และดิน pH 6.5 สามารถวิเคราะห์ได้จากกราฟสรุปผลการทดลองรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์เทียบเคียงค่า ADC แรงดันไฟฟ้า และแรงดึงความชื้นดิน ของดินร่วนปนทรายและดินเหนียว

จากกราฟรูปที่ 4.4 การเทียบเคียงค่าแรงดึงความชื้น (kPa) ค่าแรงดันไฟฟ้า (V) และค่า ADC ของดินร่วนปนทราย กับกราฟการทดลองเทียบเคียงค่าแรงดึงความชื้น (kPa) ค่าแรงดันไฟฟ้า (V) และค่า ADC ของดินเหนียว ที่อุณหภูมิคงที่ที่ 25 °C และดิน pH 6.5 พบว่ามีลักษณะของกราฟทำนายผลที่คล้ายๆกันซึ่งเทียบผลต่างของสมการจำลองเทียบเคียงค่าแรงดึงความชื้นกับค่า ADC ของทั้งสองเส้น พบว่ามีความแตกต่างกันสูงสุดไม่เกิน 8 % ดังนั้นสรุปได้ว่า สมการจำลองค่าแรงดึงความชื้นดินที่ทดลองด้วยดินร่วนปนทรายนั้นสามารถนำไปใช้งานกับดินชนิดอื่นๆได้ด้วย

4.4 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบกับปัจจัย pH ของดินที่เปรียนแปลงซึ่งอาจมีผลต่อการทำงานของระบบ

การทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า ADC ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์วัดได้จากเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้น และค่าความเป็นกรดด่างของดินซึ่งในที่นี้วัดความเป็นกรดด่างโดยใช้ pH meter ดินซึ่งมีช่วงการวัดอยู่ระหว่าง pH= 3 ถึง 8 (ช่วงที่ pH ที่เหมาะกับการเพาะปลูกพืชทั่วไป) ซึ่งผลการทดลองที่ได้สามารถนำไปวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธี CRD ดังตารางที่ 4.2 ผลการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองปรับค่า pH ดิน โดยใช้แผนการทดลองแบบ CRD ค่าpH ไม่มีผลต่อ Vout และ ADC ที่ได้จากหัวเซนเซอร์ซึ่งไม่ว่า pH ของดินจะเปลี่ยนแปลงไปมากน้อยเพียงใดก็ตาม

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองปรับค่า pH ดินที่ผ่านการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ CRD

ตารางบันทึกผลการทดลองปรับค่า pH ดิน					
ที่แรงดึงความชื้น 0 kPa		ที่แรงดึงความชื้น 50 kPa		ที่แรงดึงความชื้น 100 kPa	
ค่า ADC เฉลี่ย	pH ดิน	ค่า ADC เฉลี่ย	pH ดิน	ค่า ADC เฉลี่ย	pH ดิน
934[a]	3	768[b]	3	23[c]	3
934[a]	3.5	756[b]	3.5	17[c]	3.5
936[a]	4	765[b]	4	20[c]	4
936[a]	4.5	761[b]	4.5	20[c]	4.5
940[a]	5	763[b]	5	19[c]	5
936[a]	5.5	761[b]	5.5	18[c]	5.5
939[a]	6	765[b]	6	22[c]	6
935[a]	6.5	766[b]	6.5	23[c]	6.5
941[a]	7	764[b]	7	20[c]	7
937[a]	7.5	761[b]	7.5	18[c]	7.5

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่เหมือนกันไม่แตกต่างกันในทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบกับปัจจัยการส่งสัญญาณในแต่ละระดับความชื้น

ผลการทดลองหากพิจารณาเพียงระยะสัญญาณสามารถหาได้จากสูตร

ขนาดพื้นที่ที่เซนเซอร์1ตัวครอบคลุม(m^2) = $\Pi \times$ (ระยะสัญญาณของเซนเซอร์)^2

ซึ่งจากการทดลองหาระยะสัญญาณโดยใช้ X-bee series 1 ได้ระยะสัญญาณในที่โล่งแจ้งคือ 138 - 88 m หากใช้ระยะสัญญาณต่ำสุดในการคำนวณพื้นที่จะได้

ขนาดพื้นที่ที่เซนเซอร์1ตัวครอบคลุม(m^2)= $\Pi \times (88)^2$

ขนาดพื้นที่ที่เซนเซอร์1ตัวครอบคลุม(m^2)= 24,316.16 m^2 = 15.1976 ไร่

4.6 การทดสอบการทำงานของระบบ

แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ

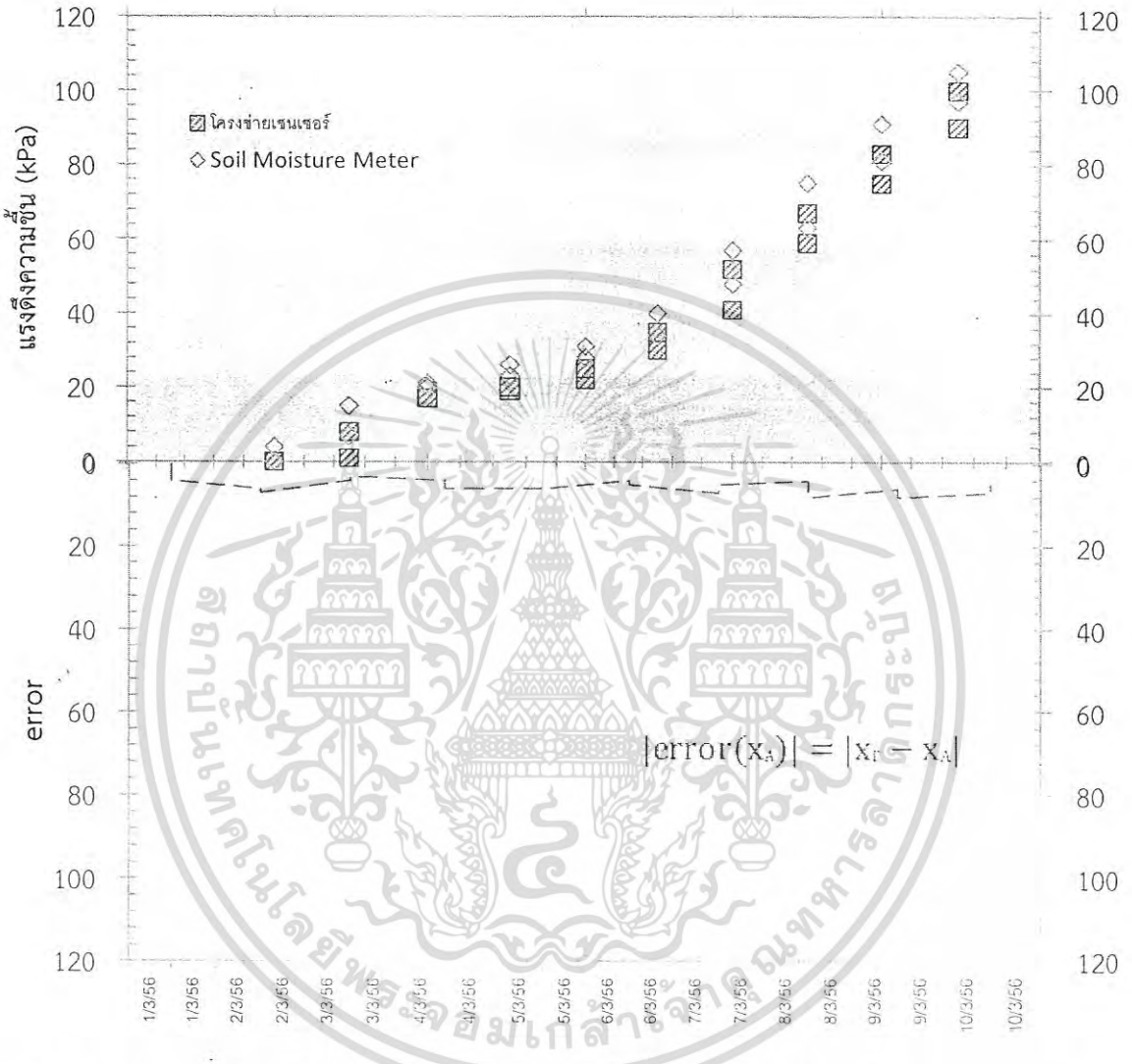
4.6.1 การทดสอบระบบในห้องทดลองเพื่อทดสอบการทำงานอย่างเป็นระบบ

โดยเริ่มจากทำการวัดค่าแรงดึงความชื้นเทียบกับเครื่องมือวัดแรงดึงความชื้นดิน ซึ่งในการวิจัยนี้ใช้เครื่องมือวัดความชื้นดิน Soil Moisture Meter ของบริษัท irrometer รุ่น watermark ซึ่งวัดค่าแรงดึงความชื้นออกมาเป็นเซนติบาร์ หรือ kPa ดังรูปที่ 4.4

รูปที่ 4.4 การทดลองวัดความชื้นดินเทียบกับ Soil Moisture Meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยผลการทดลองสามารถสรุปผลได้ดังกราฟรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบการวัดค่าความชื้นของดินโดยใช้โครงข่ายเซนเซอร์กับ Soil Moisture Meter

จากกราฟรูปที่ 4.5 สามารถสรุปได้ว่า error ของโครงข่ายเซนเซอร์ เมื่อเทียบกับ Soil Moisture Meter มี error อยู่ที่ 0-8 ถึงถือว่าน้อย หากนำไปใช้งานจริงโครงข่ายเซนเซอร์จะมีเวลาในการวัดข้อนข้าข้ากว่านิดหน่อย ซึ่งอาจเกิดจากวัสดุที่เป็นตัวกลางสำหรับเป็นสื่อไฟฟ้า(สำหรับการวิจัยนี้ใช้ปูนปาสเตอร์)

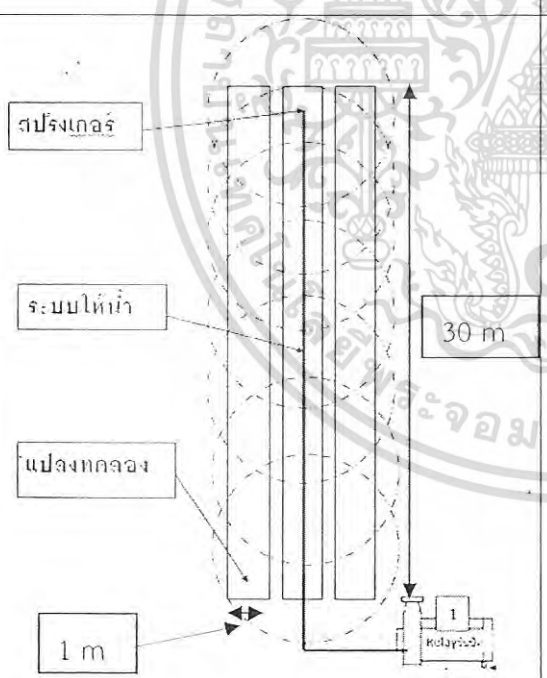
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.2 การทดสอบในแปลงทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

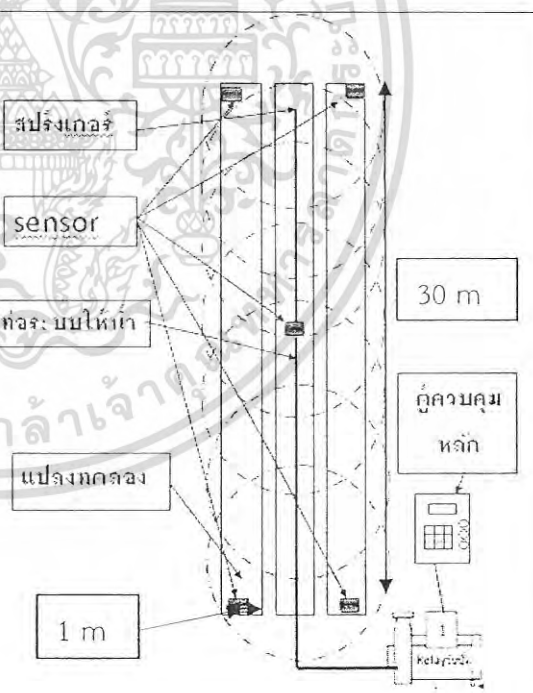
การทดลองนี้จะเป็นการทดลองในแปลงจริงซึ่งทำการทดลองโดยการเตรียมแปลงปลูก(ในการวิจัยนี้เลือกใช้ผักบุ้งในการทดลอง)โดยแบ่งแปลงปลูกออกเป็น 6 แปลง ขนาดแปลงละ 1 × 30 m ติดระบบให้น้ำระบบสปริงเกอร์เหมือนๆกัน แต่แบ่งแปลง 3 แปลงปลูกเป็นแปลงที่ใช้ระบบโครงข่ายเซนเซอร์ความชื้นดินเป็นตัวควบคุมความชื้นโดยต่อปั๊ม 1 ตัวเข้าไปกับระบบโครงข่าย ส่วนแปลงทดลองอีก 3 แปลงก็ติดระบบใช้น้ำแบบสปริงเกอร์เหมือนๆกันแต่ใช้เกษตรกรควบคุมระบบเองซึ่งทำงานตามความต้องการของเกษตรกรหรือทำงานโดยการควบคุมของผู้ใช้งานโดยผลการทดลองเปรียบเทียบดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบแปลงทดลองและบันทึกผลการทดลองระหว่างแปลงทดลองใช้เกษตรกรควบคุมระบบและแปลงที่ควบคุมโดยระบบโครงข่ายเซนเซอร์ความชื้นดินควบคุมการให้น้ำพืช

เกษตรกรเป็นผู้ควบคุมระบบการให้น้ำพืช	ระบบโครงข่ายเซนเซอร์ความชื้นดินควบคุมการให้น้ำพืช



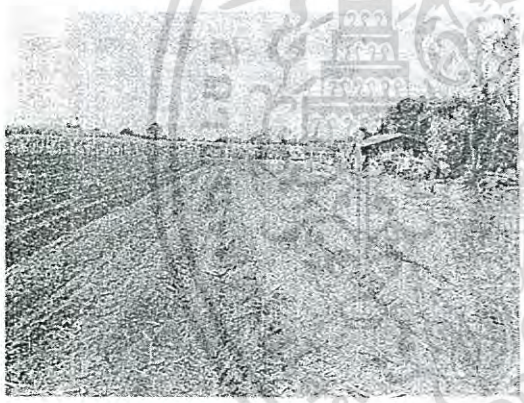
รูปที่ 4.6 แปลงทดลองที่เกษตรกรควบคุมการให้น้ำพืช



รูปที่ 4.11 แปลงทดลองที่ติดตั้งระบบโครงข่ายเซนเซอร์ความชื้นดินควบคุมการให้น้ำพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มจากไถเตรียมแปลงโดยแบ่งออกเป็น 3 แปลง ความกว้างของแปลงกว้างแปลงละ 1 m ยาวแปลงละ 30 mติดตั้งระบบให้น้ำเป็นแบบสปริงเกอร์ โดยเดินแนวท่อไว้ที่แปลงกลางติดตั้งปั๊มขนาด 1500 w 2'' 1 ตัวควบคุมระบบไฟฟ้าเพื่อควบคุมการให้น้ำโดยเกษตรกรเป็นผู้กำหนดการให้น้ำ ติดตั้งระบบที่เขตตำบลสระว่านพระยา อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา เริ่มปลูกผักบุ้งเมื่อวันที่ 14 มีนาคม 2556 โดยใช้ผักบุ้งจีนใบไผ่ ตราไผ่ทอง999 มีอัตราการงอก 98 % ในการศึกษาวิจัยโดยหยอดเป็นแถวแต่ละแถวห่างกันประมาณ 10 cmใช้เมล็ดผักบุ้งทั้งหมด 1.5 Kg



รูปที่ 4.7 การไถเตรียมแปลง

รูปที่ 4.8 ติดตั้งระบบให้น้ำแบบสปริงเกอร์

เริ่มจากไถเตรียมแปลงโดยแบ่งออกเป็น 3 แปลง ความกว้างของแปลงกว้างแปลงละ 1 m ยาวแปลงละ 30 mติดตั้งระบบให้น้ำเป็นแบบสปริงเกอร์ โดยเดินแนวท่อไว้ที่แปลงกลางติดตั้งปั๊มขนาด 1500 w 2'' 1 ตัวควบคุมระบบไฟฟ้าเพื่อควบคุมการให้น้ำโดยระบบโครงข่ายเซนเซอร์ความชื้นดินควบคุมการให้น้ำพืชติดตั้งระบบที่เขตตำบลสระว่านพระยา อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา เริ่มปลูกผักบุ้งเมื่อวันที่ 14 มีนาคม 2556 โดยใช้ผักบุ้งจีนใบไผ่ ตราไผ่ทอง999 มีอัตราการงอก 98 % ในการศึกษาวิจัยโดยหยอดเป็นแถวแต่ละแถวห่างกันประมาณ 10 cm ใช้เมล็ดผักบุ้งทั้งหมด 1.5 Kg

รูปที่ 4.12 การไถเตรียมแปลงทดลอง

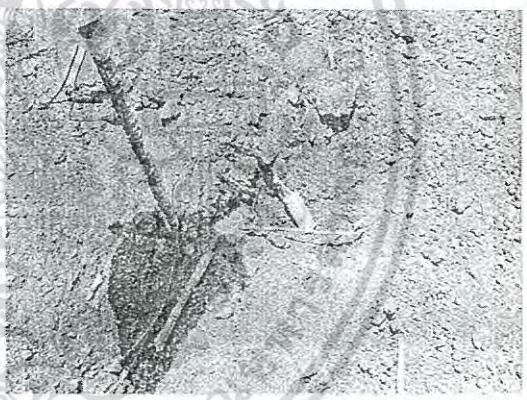
รูปที่ 4.13 ติดตั้งระบบให้น้ำแบบสปริงเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.9 การหยอดเมล็ดผักบุ้ง

รูปที่ 4.14 การหยอดเมล็ดผักบุ้ง

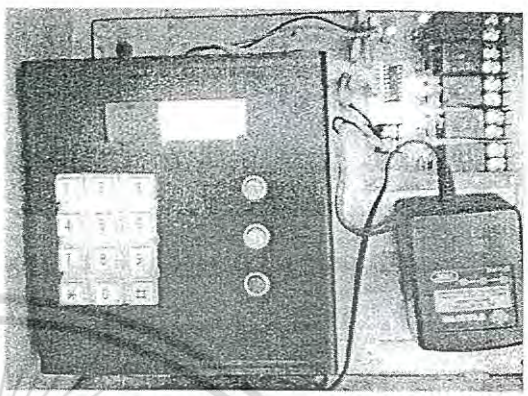
รูปที่ 4.10 เปิดให้ระบบให้น้ำทำงานควบคุมปิด-เปิดโดยเกษตรกร



รูปที่ 4.15 ติดตั้งเซนเซอร์วัดความชื้นดิน

จากประมวลภาพวันทำการทดลองปลูกและติดตั้งระบบบรรยากาศมีเมฆมากและมีฝนตกลงมา อุณหภูมิ 39°C

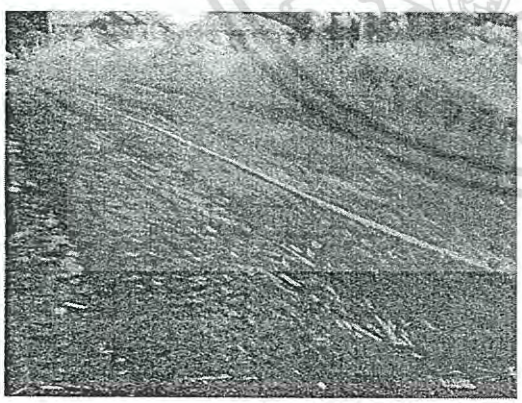
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 ติดตั้งระบบควบคุมหลักเพื่อควบคุมปั๊ม

- ติดตั้งระบบควบคุมหลักจากนั้นปรับค่าแรงดึง ความชื้นสูงสุดที่ยอมรับได้ คือ 35 เซนติบาร์ หรือ 0.35 บาร์

ประมวลภาพแปลงทดลองเมื่อวันที่ 25มีนาคม 2556 ซึ่งผักบุ้งมีอายุ 10 วัน



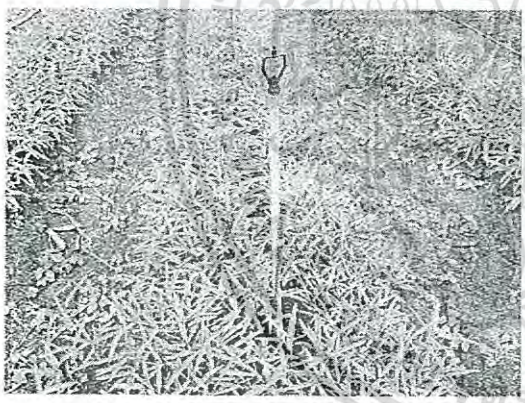
รูปที่ 4.17 แสดงการทำงานของระบบให้น้ำพืช ควบคุมโดยเกษตรกรเมื่อผ่านไป 10 วัน

รูปที่ 4.18 แสดงการทำงานของระบบโครงข่าย ความชื้นดินควบคุมการให้น้ำพืชเมื่อผ่านไป 10 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมวลภาพแปลงทดลองเมื่อวันที่ 9 เมษายน2556 ซึ่งผักบุ้งมีอายุ 25วัน

รูปที่ 4.19 แสดงการทำงานของระบบให้น้ำพืช ควบคุมโดยเกษตรกรเมื่อผ่านไป 25 วัน

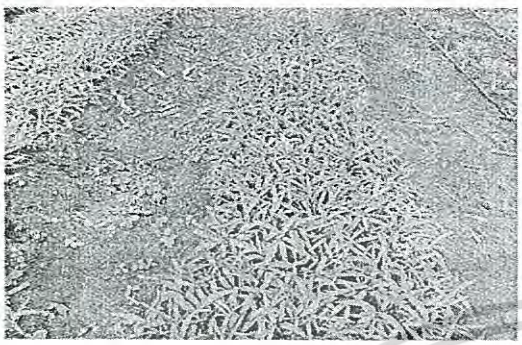


รูปที่ 4.20 แสดงการทำงานของระบบให้น้ำพืช ควบคุมโดยเกษตรกรเมื่อผ่านไป 25 วัน

รูปที่ 4.22 แสดงการทำงานของระบบโครงข่าย ความชื้นดินควบคุมการให้น้ำพืชเมื่อผ่านไป 25 วัน

รูปที่ 4.23 แสดงการทำงานของระบบโครงข่าย ความชื้นดินควบคุมการให้น้ำพืชเมื่อผ่านไป 25 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 แสดงการทำงานของระบบให้น้ำพืชโดยเกษตรกร

รูปที่ 4.24 แสดงการทำงานของระบบโครงข่ายความชื้นดิน

ซึ่งผลการทดลองจะแบ่งออกเป็นการทดลองคือ

(1) การทดลองการทำงานของระบบซึ่งจะบันทึกการทำงานของระบบทั้งระบบในแต่ละวันที่ระบบทำงานโดยบันทึกเวลาการทำงานในแต่ละวัน ความชื้นที่ระบบอ่านได้ วันที่ฝนตก

(2) ทดลองหาจุดคุ้มทุนในการลงทุนกับระบบโครงข่ายเซนเซอร์ความชื้นในดินสำหรับควบคุมการให้น้ำพืชซึ่งทดลองโดยการวัดค่าไฟระบบเดิมและระบบใหม่ที่ใช้ รวมไปถึงปริมาณน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นประเมินกับราคาของพืชที่ปลูกถึงเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มวิเคราะห์ ถึงจุดระยะเวลาในการลงทุน

ตารางที่ 4.3 บันทึกผลการทดลองเปรียบเทียบน้ำหนักผักบุ้งแต่ละแปลง

แปลงการทดลอง	น้ำหนักผักเมื่อเก็บผลผลิต	น้ำหนักผักเฉลี่ย 3 แปลง
A1	47.30	53.87
A2	63.00	
A3	51.30	
B1	63.50	73.28
B2	81.85	
B3	74.50	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ:A=แปลงทดลองควบคุมระบบให้น้ำโดยเกษตรกร,B=ควบคุมระบบโดยระบบโครงข่ายเซนเซอร์ความชื้นดิน

วิธีคิดค่าใช้จ่ายโดยประมาณของโครงข่ายเซนเซอร์

เมื่อ ระบบควบคุมหลักมีราคา 10,500 บาท

เซนเซอร์มีราคาตัวละ 5,000 บาท

- หาค่าใช้จ่ายคงที่ของระบบโครงข่ายเซนเซอร์

1.ค่าเสื่อมราคา(S = 0.1P,L = 10 ปี)

$$D = \frac{P-S}{L} = \frac{P-0.1P}{L} = 0.09P/ปี$$

2.ดอกเบี้ยเงินลงคือค่าเฉลี่ยและหากคิดอัตราดอกเบี้ย 8 %

$$I = \frac{(P+S)}{2} i = \frac{(P+0.1P)0.08}{2} = 0.044P$$

P = ราคาแรกซื้อเครื่องจักร,บาท

S = มูลค่าซาก,บาท

I = ดอกเบี้ยเงินลงทุน

L = ระยะเวลาการซื้อกับการขาย

D = ค่าเสื่อมราคาต่อปี,บาท

3.ภาษีคำนวณที่อัตรา 1.5 % ของราคาแรกซื้อ

ภาษี = 0.015P

4.เบี้ยประกันในอัตรา 1 %ของราคาแรกซื้อ

เบี้ยประกัน = 0.01P

ดังนั้นค่าใช้จ่ายคงที่ของระบบโครงข่ายเซนเซอร์ประมาณ = 0.09P+0.044P+0.01P

= 0.144P

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นหากคิดต้นทุนค่าแรกซื้อของการใช้ระบบต่อหน่วยพื้นที่จะได้ = 10,500+(5,000×5)
บาท/24,316.16 m^2

= 1.46บาท/ m^2

หรือ = 2,335.90บาทต่อไร่

ดังนั้นค่าใช้จ่ายคงที่ของระบบโครงข่ายเซนเซอร์ต่อไร่คือ = 0.144×2,335.90บาท
ต่อไร่

= 336.377บาทต่อไร่

-หาค่าใช้จ่ายผันแปรของระบบโครงข่ายเซนเซอร์

จากแปลงทดลองปลูกผักบุ้งขนาดพื้นที่ 90 m^2

ค่าไฟฟ้าตลอดอายุการปลูกผัก = 86.25 หน่วย

คิดเป็นเงินหากค่าไฟฟ้าหน่วยละ 2.978 บาท จะได้ = 86.25×2.978 บาท/90 m^2

= 256.85 บาท/90 m^2

= 4,566.22 บาท/ไร่

-หาค่าใช้จ่ายผันแปรของระบบควบคุมโดยเกษตรกร

จากแปลงทดลองปลูกผักบุ้งขนาดพื้นที่ 90 m^2

ค่าไฟฟ้าตลอดอายุการปลูกผัก = 34.5 หน่วย

คิดเป็นเงินหากค่าไฟฟ้าหน่วยละ 2.978 บาท จะได้ = 34.5×2.978 บาท/90 m^2

= 102.74 บาท/90 m^2

= 1,826.49 บาท/ไร่

ค่าจ้างแรงงานในการควบคุมระบบ = 50 บาทต่อวัน

ระยะเวลาการเพาะปลูก 25 วันรวมค่าใช้จ่ายในการจ้างแรงงานคือ = 25×50 บาท

= 1,250 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 สรุปค่าใช้จ่ายระหว่างแปลงทดลองที่ใช้เกษตรกรควบคุมระบบกับแปลงที่ใช้ระบบโครงข่ายเซนเซอร์ความชื้นดินควบคุมการให้น้ำพืชที่แตกต่างกัน

รายรับรายจ่ายของแปลงเกษตรกรควบคุมระบบ	รายรับรายจ่ายแปลงโครงข่ายเซนเซอร์ควบคุมระบบ
เก็บผักบุ้งได้ทั้งหมดคิดเป็นน้ำหนักเฉลี่ย 53.87 กิโลกรัม ต่อพื้นที่ 30 m^2 ราคาผักบุ้งกิโลกรัมละ 15 บาท = 53.87 ×15 บาท/30 m^2 หรือ = 43,096 บาท/ไร่ ในการปลูกผักบุ้ง 1 รอบหรือ 25 วัน	เก็บผักบุ้งได้ทั้งหมดคิดเป็นน้ำหนักเฉลี่ย 73.28 กิโลกรัม ต่อพื้นที่ 30 m^2 ราคาผักบุ้งกิโลกรัมละ 15 บาท = 73.28×15 บาท/30 m^2 หรือ = 58,624 บาท/ไร่ ในการปลูกผักบุ้ง 1 รอบหรือ25 วัน
ค่าใช้จ่ายผันแปรของระบบควบคุมโดยเกษตรกร ค่าจ้างแรงงานตลอดการเพาะปลูก = 1,250 บาท ค่าไฟฟ้าตลอดอายุการเพาะปลูก = 1,826.49 บาทต่อไร่ รวมค่าใช้จ่ายตลอดอายุการเพาะปลูก = 3,076.49 บาทต่อไร่	ค่าแรกซื้อโครงข่ายเซนเซอร์ = 2,335.90 บาทต่อไร่ ค่าใช้จ่ายคงที่ = 336.377 บาทต่อไร่ ค่าไฟฟ้าตลอดอายุการเพาะปลูก = 4,566.22บาทต่อไร่ รวมค่าใช้จ่ายตลอดอายุการเพาะปลูก = 7,238.50 บาทต่อไร่

หมายเหตุ:การวิจัยนี้พิจารณาเฉพาะส่วนต่างของค่าใช้จ่ายของระบบทั้งสองแบบเพื่อแสดงจุดคุ้มทุนสำหรับการใช้เฉพาะอุปกรณ์โครงข่ายเซอร์เท่านั้น

สรุปค่าใช้จ่ายส่วนต่างของระบบที่ควบคุมด้วยเกษตรกรกับระบบที่ควบคุมโดยโครงข่ายเซนเซอร์ความชื้นดินควบคุมการให้น้ำพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนต่างของรายได้ = 58,624 – 43,096 บาทต่อไร่

นั่นคือหากใช้ระบบโครงข่ายเซนเซอร์จะมีรายรับเพิ่มขึ้น = 15,528 บาทต่อไร่

ส่วนต่างของรายจ่าย = 7,238.50 – 3,076.49 บาทต่อไร่

นั่นคือหากใช้ระบบโครงข่ายเซนเซอร์จะมีรายจ่ายเพิ่มขึ้น = 4,162 บาทต่อไร่

เมื่อนำรายรับและรายจ่ายทั้งสองมาหักลบกันจะได้ว่า หากใช้ระบบโครงข่ายเซนเซอร์ในสามารถคืนทุนได้ภายในการปลูกเพียง 1 รอบของการเพาะปลูกทั้งนี้เป็นผลมาจากผลผลิตที่เพิ่มขึ้น ซึ่งผลผลิตที่เพิ่มขึ้นนั้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้

เปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่เพิ่มขึ้น

$$= \frac{(\text{น้ำหนักผักเฉลี่ยแปลงระบบโครงข่ายเซนเซอร์ควบคุม} - \text{น้ำหนักผักเฉลี่ยแปลงเกษตรกรควบคุม})}{\text{น้ำหนักผลผลิตแปลงเกษตรกรควบคุม}} \times 100$$

$$= \frac{(73.28 - 53.87)}{53.87} \times 100$$

$$= 36.03\ \%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 การทดลองหาขนาดที่เหมาะสมและเปรียบเทียบความจำเป็นในการหุ้มวัสดุประเภทปูนปาสเตอร์ที่หัวเซนเซอร์

จากการทดลองหาขนาดเซนเซอร์ที่เหมาะสมและการทดลองหุ้มปาสเตอร์และไม่หุ้มพบว่าการหุ้มปาสเตอร์จะมีค่าแรงความชื้นคงที่กว่าไม่หุ้มปาสเตอร์เมื่อเปลี่ยนชนิดของดิน ทั้งนี้เพราะความหนาแน่นของดินที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเปลี่ยนไปด้วยดั้งนั้นการมีวัสดุเช่น ปูนปาสเตอร์มาหุ้มย่อมดีกว่าเพราะทำให้การนำไฟฟ้าผ่านวัสดุนั้นมีค่าคงที่ ส่วนขนาดที่เหมาะสมนั้นพบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแท่งเซนเซอร์มีขนาด 2.5 cm เหมาะสมสุดเนื่องจากเป็นขนาดที่ง่ายต่อการผลิต และเป็นขนาดที่ไวต่อการตอบสนองต่อการวัดมากกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 cm ขนาดความยาวของแท่งเซนเซอร์พบว่าไม่มีผลต่อการวัดค่าต่างๆแต่หากพิจารณาถึงการใช้งานควรอยู่ระหว่าง 6-7 cm เนื่องจากง่ายต่อการฝังดินขณะใช้งานไม่เล็กหรือใหญ่จนเกินไป ขนาดลวดที่ใช้มีผลต่อการวัดค่าทางไฟฟ้าคือหากลวดเล็กค่าทางไฟฟ้าที่ออกมาจะน้อยลงดังนั้นหากต้องการ ใช้งานอย่างสะดวกและมีขายตามท้องตลาดนั้นควรเลือกขนาด 2.5 mm เพราะไม่เล็กหรือใหญ่จนเกินไปเหมาะแก่การทำไปใช้การและสามารถส่งสัญญาณไฟฟ้าได้ดีในระดับหนึ่ง

5.2 การทดลองวัดค่า ADC ซึ่งได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์แปลงค่าความต่างศักย์จาก analog เป็น digital เพื่อ calibrate ค่ากับค่าแรงดึงความชื้นดินมาตรฐาน

การทดลองเปรียบเทียบค่าแรงดึงความชื้นกับค่า ADC อ่านได้พบว่าค่าอ่านได้สูงสุดอยู่ที่ในช่วง ADC เท่ากับ 940 ทั้งที่ Microcontroller สามารถรองรับค่าได้สูงสุดถึง 1023 ซึ่งสาเหตุมาจากปูนปาสเตอร์และดินเป็นสารกึ่งตัวนำดังนั้นแม้เปียกน้ำมากเท่าใดค่าสูงสุดที่ได้จะไม่ถึง 1023 หรือกระแสไฟฟ้าที่ไหลกลับไม่ถึง 5 V.เพราะปาสเตอร์และดินยังมีค่าความต้านทานในตัวอยู่ ดังนั้นสมการแบบจำลองแบบเส้นตรงและแบบโพลิโนเมียลกำลังสองจึงไม่เหมาะนำมาใช้ในการทำนายค่าแรงดึงความชื้นดินเพราะไม่สามารถทำนายแรงดึงความชื้นดินได้ถึง 0 kPa ส่วนหากใช้สมการโพลิโนเมียลกำลัง สามเป็นแบบจำลองความสัมพันธ์ในการเทียบค่าได้ค่าแรงดึงความชื้นดิน สามารถวัดค่าแรงดึงความชื้นดินได้ 100 kPa ถึง -22.18 kPa ผลที่ได้สมการโพลิโนเมียลกำลังสาม ได้ช่วงการวัดแรงดึงความชื้นดินดีที่สุดเมื่อเปรียบกับสมการเส้นตรงและโพลิโนเมียลกำลังสองแต่ค่าแรงดึงความชื้นดินนั้นมีค่าต่ำสุดที่ 0 kPa ที่สภาวะดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิ่มตัวซึ่งสมการโพลิโนเมียลกำลัง 3 จำลองแรงดึงความชื้นดินเป็น 0 kPa ได้ต่อเมื่อค่า ADC ที่ตรวจวัดได้มีค่า 875 ดังนั้นหากนำสมการโพลิโนเมียลกำลัง 3 ไปใช้พัฒนาซอฟแวร์จึงควรเขียนตั้งเงื่อนไขซอฟแวร์ให้ค่า ADC ตั้งแต่ 875 ขึ้นไปอ่านค่าแรงดึนความชื้นดินได้เป็น 0 kPa จึงสามารถนำไปใช้งานได้

สมการที่ได้มีความสัมพันธ์กันแบบบโพลิโนเมียลกำลังสาม โดยสูตรความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถนำไปเขียนโปรแกรมcalibrateหาค่าความชื้นใน Microcontroller ได้ โดยการเขียนโปรแกรมลง Microcontroller จะใช้การเบิร์นโปรแกรมโดยCodeVisionAVR ลงที่ATmega 8 ซึ่งเป็นไอซีของเซนเซอร์

5.3 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบกับปัจจัยทางอุณหภูมิและชนิดดินที่อาจมีผลต่อการทำงานของระบบ

การทดลองทดสอบประสิทธิภาพของระบบกับปัจจัยทางอุณหภูมิและชนิดของดินที่มีผลต่อระบบ พบว่าที่อุณหภูมิเปลี่ยนไปแต่ละระดับนั้นมีผลโดยตรงกับค่า ADC เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการนำไฟฟ้าผ่านน้ำจะเป็นไปได้ดีขึ้นทำให้อ่านค่า ADC ได้มากขึ้นดังนั้นหากนำไปใช้งานจริงอุณหภูมิในพื้นที่ที่ใช้งานไม่ควรจะเกิน 40°C เพราะยังอยู่ในช่วงค่าที่ยอมรับได้เพราะยังส่วนเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยไม่ถึง 5 % แต่เมื่ออุณหภูมิดินกิน 45°C ขึ้นไปแล้วเส้นแนวโน้นของสมการจำลองจะเริ่มแตกต่างกับเส้นสมการจำลองที่ 25°C ขึ้น จนเมื่อถึง อุณหภูมิ 50°c เส้นแนวโน้มที่ได้จะมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง ณ ที่แรงดึงความชื้นเดียวกันมากขึ้น จนเกิน 10 % ดังนั้น หากพัฒนาเซนเซอร์และแบบจำ ลองเทียบค่าแรงดึงชื้นที่อุณหภูมิ 25°C จะสามารถใช้แบบจำลองนี้ได้ในเขตที่อุณหภูมิดินไม่เกิน 45°C ส่วนชนิดของดินนั้นไม่มีผลในการวัดความชื้นมากนักเพราะปูนปาสเตอร์เป็นตัวกลางให้น้ำซึมผ่านดังนั้นจึงไม่มีผลหากเปลี่ยนชนิดของดินนั่นเอง

5.4 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบกับปัจจัยการส่งสัญญาณในแต่ละระดับความชื้น

การทดสอบระดับสัญญาณในแต่ละระดับความชื้นนั้นพบว่าความชื้นในแต่ละระดับไม่มีผลต่อระยะการส่งสัญญาณส่วนการส่งสัญญาณนั้นสำหรับ x-bee Series 1 จากการทดสอบสัญญาณแบบสุ่มพบว่า มีระยะการส่งสัญญาณตั้งแต่ 138 – 88 m ดังนั้นเซนเซอร์ เซนเซอร์ 1 ตัวสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้ประมาณ 15 ไร่ทั้งนี้ต้องพิจารณาจากระบบการส่งน้ำและการใช้งานแต่ละพื้นที่ด้วย ซึ่งการพิจารณาจำนวนเซนเซอร์ต่อไร่นั้น ควรคำนึงถึงการกระจายตัวของน้ำและจุดที่ได้รับน้ำน้อยด้วย ซึ่งจุดที่ได้รับน้ำน้อยหากระบบการให้น้ำมีการกระจายตัวของน้ำที่ดีแล้ว จุดที่ได้รับน้ำน้อยอาจเป็นจุดในมุมแปลงหรืออาจเป็นจุดที่ไม่ซ้อนทับกันของสปริงเกอร์ ทั้งนี้หากจะพิจารณาปัจจัยเหล่านั้นแล้วควรติดตั้ง sensor ความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปในพื้นที่ 15 ไร่ หากเกษตรกรใช้อุปกรณ์ในพื้นที่เล็กๆ ก็ไม่ควรติดตั้ง sensor เพียงตัวเดียว เพราะเซนเซอร์อาจเกิดขัดข้องได้

5.5 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบกับปัจจัย pH ดินที่อาจมีผลต่อการทำงานของระบบ

การทดลองนี้ทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า ADC ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์วัดได้จากเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้น และค่า pH ซึ่งวัดได้จาก pH meter ดิน โดยหากต้องการเตรียมดินเป็นด่างให้เพิ่มทีละ 0.5 ควรผสมปูนขาวที่อัตราส่วนเพิ่มขึ้นที่ละ 1:9 แต่หากต้องการปรับ pH ให้ดินเป็นลดลงทีละ 0.5 ควรผสมกำมะถันผงที่ 1:20 ในการปรับ pH ให้ลดลงทีละ 0.5 ซึ่งจากการทดลองความสัมพันธ์ pH ดินและค่า ADC ผ่านการการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ CRD แล้วพบว่า pH ของดินไม่มีผลต่อค่า ADC แต่อย่างใด ซึ่งไม่ว่าจะเปลี่ยน pH ดินเป็นเท่าใดก็ตาม ทั้งนี้อาจเป็นผลจากตัวกลางในการส่งไฟฟ้าในการวิจัยนี้เป็นปูนปาสเตอร์ซึ่งมีความหนาแน่นค่อนข้างมากนั่นเอง หรืออาจเป็นผลมาจากโลหะในการส่งและรับไฟฟ้า ทั้ง 2 ขั้วนั้นเป็นวัสดุชนิดเดียวซึ่งอาจไม่มีผลต่อ ค่า pH ของดินก็เป็นได้

5.6 การทดสอบการทำงานของระบบ

จากการทดลองทดสอบระบบในภาคสนามพบว่าระบบโครงข่ายเซนเซอร์ยังมีขอบกพร่องของระบบอยู่คือแบตเตอรี่แห้งของเซนเซอร์หมดเร็วโดยแบตเตอรี่แต่ละตัวสามารถอยู่ได้เพียงสองวันทำให้ผู้ทดลองต้องสลับชาร์ตแบตเตอรี่ในการทดลองเพื่อให้ระบบยังสามารถทำงานได้ต่อไป ซึ่งหากมีการพัฒนาระบบต่อไปควรคำนึงถึงการยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ด้วย จากการทดลองการทำงานทั่วไปของระบบสามารถทำงานได้ดีระบบสามารถทำงานและตัดการทำงานของปั๊มได้ตามที่ปรับค่าไว้ได้อย่างแม่นยำ โดยในการทดลองมีฝนตกลงมาเพียง 2 วันเท่านั้น เมื่อคำนวณถึงต้นทุนและผลตอบแทนที่ได้นั้นถือว่าคุ้มทุนโดยแปลง ที่ใช้เกษตรกรควบคุมระบบนั้นยังมีต้นทุนต่อไร่สูงกว่าการใช้ระบบโครงข่ายเซอร์ควบคุมการให้น้ำพืช แต่ประสิทธิภาพของคนยังไม่ดีพอสำหรับการประเมินการให้น้ำพืชโดยการประเมินผลจากน้ำหนักของผลผลิตที่ได้นั้นถือว่าระบบโครงข่ายเซนเซอร์ควบคุมการให้น้ำพืชมีประสิทธิภาพในการควบคุมระบบมากกว่าคนถึง 36.03 % ดังนั้นระบบโครงข่ายเซนเซอร์ควบคุมความชื้นดินจึงเป็นอีกหนึ่งตัวเลือกที่คู่ควรแก่การพัฒนา

5.7 ข้อเสนอแนะ

1.การตั้งค่าแรงดึงความชื้น max และ min ที่ชุดควบคุมหลักนั้นควรตั้งเผื่อระยะเวลาในการซึมของน้ำลงดินด้วยดังหัวข้อ 2.3 ทั้งนี้ เพื่อเป็นการประหยัดน้ำและเพื่อความแม่นยำในการควบคุมระบบให้มีความชื้นที่พอเหมาะตามต้องการ โดยอาจพิจารณาปัจจัยเหล่านี้เข้ามาในการวิจัยต่อๆไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.วัสดุที่ใช้เป็นตัวกลางให้น้ำซึมผ่านคือปูนปาสเตอร์ ซึ่งหาได้ง่ายแต่อาจยังมีอัตราซึมผ่านยังไม่ดีพอ ดังนั้นควรมีการทดลองเพื่อหาวัสดุตัวอื่นๆ ที่เมาะสมกว่าปูนปาสเตอร์ด้วย

3.อุปกรณ์เซนเซอร์ในการวิจัยนี้ยังไม่มีระบบชาร์ตไฟโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์หรือโซล่าเซลดังนั้น อาจจะมีระยะเวลาที่ใช้งานในแต่ละรอบแบตเตอรี่ไม่นานนักหาก พัฒนาต่อควรออกแบบให้สามารถใช้แบตเตอรี่ได้นานขึ้น

4.เนื่องจากตัวส่งสัญญาณไร้สายในการวิจัยนี้ใช้ x-bee Series 1 จึงอาจมีระยะการส่งสัญญาณไม่ไกลมากนักดังนั้นหากต้องการเพิ่มระยะการส่งสัญญาณควรต่อยอดพัฒนาทดสอบกับ x-bee Series อื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] กลองด์ สวิตเซอร์แลนด์/กรุงเทพ.2555.WWF Living Planet 2012 (สืบค้นเมื่อ 13 มิถุนายน 2555) http://www. wwf.or.th/? 204772/Risingconsumption-increased-resource-use-by-a-growing-population--puts-unbearable-pressure-on-our-Planet--WWF-2012-Living-Planet-Report

[2] สำนักงานสถิติแห่งชาติ.ทิศทางแรงงานไทย (สืบค้นเมื่อ 16 มกราคม 2555) http://service.nso.go.th/nso/nsopublish/citizen/news/news_lfsdirect.jsp

[3] มายเฟริสเบรนดอทคอม.พืช (สืบค้นเมื่อ 13 มิถุนายน 2555) http://www.myfirstbrain.com/student_view.aspx?ID=72392

[4] รองศาสตราจารย์ ดร. วิบูลย์ บุญยธโรกุลม.2509. "หลักการชลประทาน".ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน.คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาลัยเกษตรศาสตร์

[5] ราชภัฏนครสวรรค์.ความชื้นของดิน (สืบค้นเมื่อ 17 มิถุนายน 2555) http://elearning.nsru.ac.th/e-learning/soil/lesson_4_3.pHp.

[6] เกษมศรีซับซ้อน. 2541. "ปฐพีวิทยา" พิมพ์ครั้งที่ 3 .ศูนย์ความรู้ด้านการเกษตร สำนักหอสมุด ม.เกษตรศาสตร์

[7] มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ .อุทกวิทยา (สืบค้นเมื่อ 20 มิถุนายน 2555) http://pirun.ku.ac.th/~fengvwv/chotiga/index.html.

[8] บุญชม เปียแดง และคนอื่นๆ.2526. "ปฐพีวิทยา" .ศูนย์ฝึกอบรมวิศวกรรมเกษตร.ปทุมธานี

[9] พงษ์ศักดิ์ ชลธนสวัสดิ์. 2548. "ข้อควรรู้ในการให้น้ำพืช". ภาควิชาเกษตรกลวิธาน. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. นครปฐม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[10] Haise, H.H., and R.M. Hagan. 1967. Soil, plant, and evaporative measurements as criteria for scheduling irrigation. Pages 577-606 in : R.M. Hagan, et al. eds. Irrigation of agricultural lands. Amer. Soc. Agron., Madison, Wisconsin.

[11] สปริงเกอร์ไทยดอทคอมby Rujira Group. หัวสปริงเกอร์แบบต่างๆและการวางระบบสปริงเกอร์. (สืบค้นเมื่อ 20 กรกฎาคม 2555) http://www.sprinklethai.com

[12] อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2526. "เครื่องวัดความชื้นในดินแบบ Tensiometer"วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 หน้า 7-16.

[13] นงคราญ กาญจนประเสริฐ. 2549 "ทรัพยากรดิน". บริษัท สำนักพิมพ์แมคกัด, กรุงเทพฯ.

[14] วิบูลย์ บุญยธโรกุล. 2526. "หลักการชลประทาน". คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 274 หน้า

[15] Brooks, R. H., and Corey, A.T.: Hydraulic properties of porous media. Hydrol. Paper 3.Colorado State Univ., Fort Collins, CO, USA, 1964.

[16] Durner, W.: Hydraulic conductivity estimation for soils with heterogeneous pore structure.Water Resour. *Res.*, 30(2): 211--223, 1994.

[17] Kosugi, K.: Lognormal distribution model for unsaturated soil hydraulic properties. Water Resour. Res. 32(9), 2697--2703, 1996.

[18] Nemes, A., M.G. Shaap, F.J. Leij, and J.H.M. Wosten: Description of the unsaturated soil hydraulic database UNSODA version 2.0. J. Hydrol. (Amsterdam) 251:151--162, 2001.

[19] Seki, K. (2007) SWRC fit - a nonlinear fitting program with a water retention curve forsoils having unimodal and bimodal pore structure. Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., 4: 407-437.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[20] van Genuchten, M.T.: A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity ofunsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44, 892--898, 1980

[21] เดชฤทธิ์ มณีธรรม และ สำเริง เต็มรามคัมภีร์ .2548. "ไมโครคอนโทรเลอร์ MCS-51" .พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์เคเคพี

[22] อังคณา นพเก้า 2541. สเต็ปมอเตอร์ STEPPING MOTOR . (สืบค้นเมื่อ 4 กรกฎาคม 2555) ftp://www.ee.mut.ac.th/Keep%2022july2009/Lab4/.../ADC-DAC.DOC

[23] เดชฤทธิ์มณีธรรม สาเริงเต็มราม. คัมภีร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller PIC). พิมพ์ครั้งที่ 1 .พิมพ์ที่เพชรเกษมพริ้นติ้งกรุ๊ปจากัด

[24] ฉัตรสุดา แก้วจันทร์ และ อภิวัฒน์ พรหมขวัญ. 2550. "ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายสำหรับตรวจสอบประสิทธิภาพหัวสปริงเกอร์".ปริญญานิพนธ์. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า. คณะวิศวกรรมศาสตร์ .มหาวิทยาลัยศรีปทุม

[25] ThaiEasyElec.2551. Zigbee and Xbee BASIC ตอน Zigbee คืออะไร (สืบค้นเมื่อ 30 กรกฎาคม 2555) http://www.thaieasyelec.com/index.pHp?lay=show&ac=article&Id=538707976&NtNty=1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

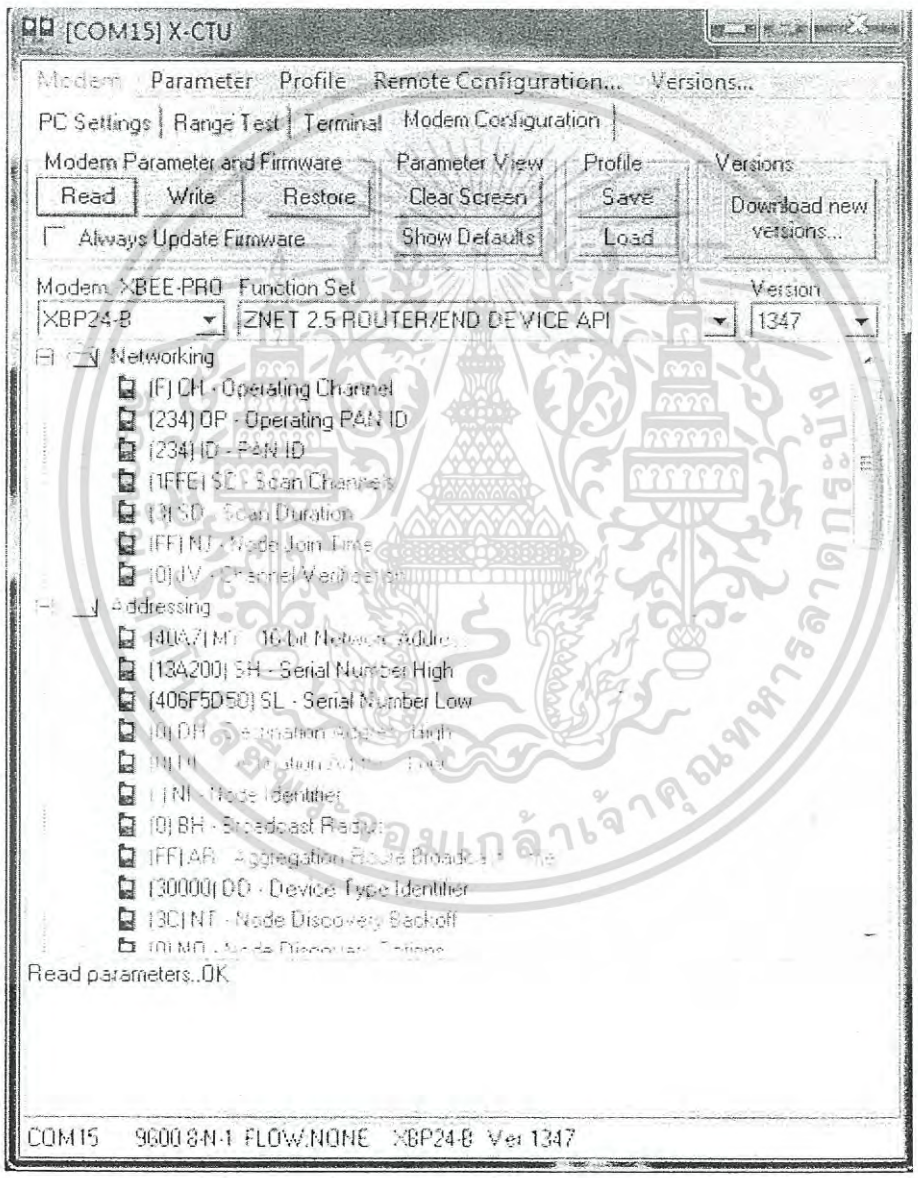
ภาคผนวก ก
ซอฟแวร์ที่ใช้ในงานวิจัยและการทำเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เครื่องมือที่ใช้ในการทำโครงการวิจัย

1.1 โปรแกรม X – CTU

เป็นโปรแกรม update firmware หรือโปรแกรมที่ใช้สำหรับตั้งค่าสัญญาณของ X-bee

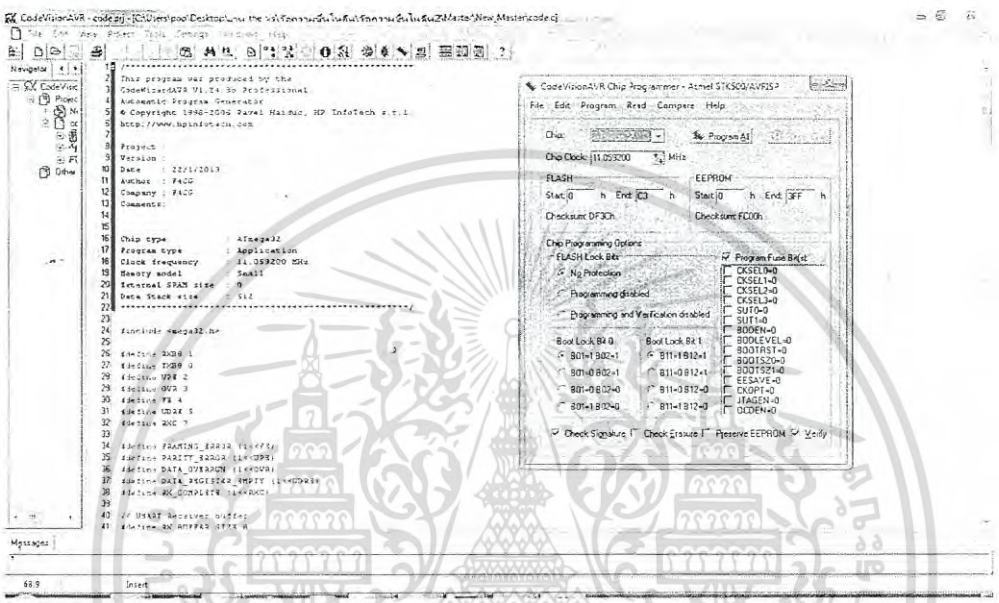


รูปที่ ก.1 โปรแกรม X – CTU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 โปรแกรม CodeVisionAVR

เป็นโปรแกรมสำหรับเขียนโปรแกรมภาษา C เพื่อCompile เป็น HEX file โปรแกรมลง Flash memory ใน ไอซี ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR

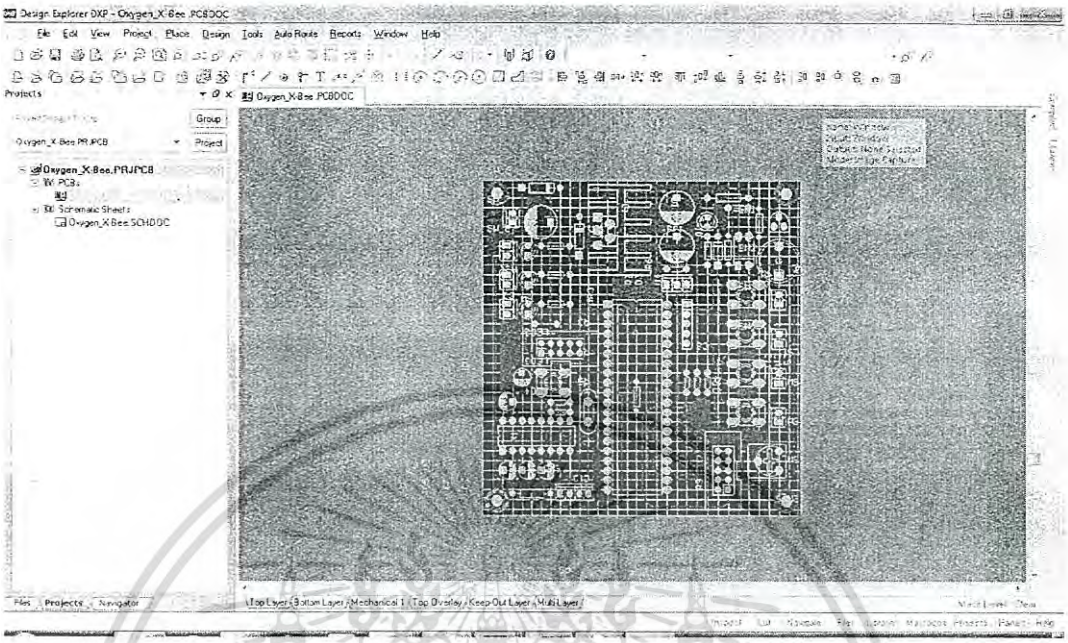


รูปที่ ก.2 โปรแกรม CodeVisionAVR

1.3 โปรแกรม Design Explorer DXP

Protel DXP เป็นซอฟท์แวร์ที่ใช้ออกแบบวงจรดิจิตอล และอนาล็อก สามารถจะวิเคราะห์-จำลอง(Simulation) การทำงานของวงจร การจำลองสัญญาณทางไฟฟ้า การสร้างตัวอุปกรณ์ด้วย Schematic Library Editor การสร้างวงจรจาก Sheet Symbol การออกแบบแผ่น PCB ฯลฯ โดยได้รวมการทำงานทั้งหมดไว้ในโปรแกรมชุดเดียว ใช้โปรแกรม ERC(Electrical Rules Check) ตรวจสอบวงจรไฟฟ้าหรืออีเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 โปรแกรม Design Explorer DXP

1.4 โปรแกรม SWRC FIT

SWRC FIT เป็นโปรแกรมจำลองการไหลของน้ำเพื่อวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของน้ำในดิน โดยจำลองมาจากการศึกษาของ (1) Brooks and Corey model, (2) van Genuchten model, (3) Kosugi model, (4) Durner model and (5) Seki model เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของน้ำในดิน

2. การสร้างเซนเซอร์วัดความชื้นในดินและทดลองใช้งาน

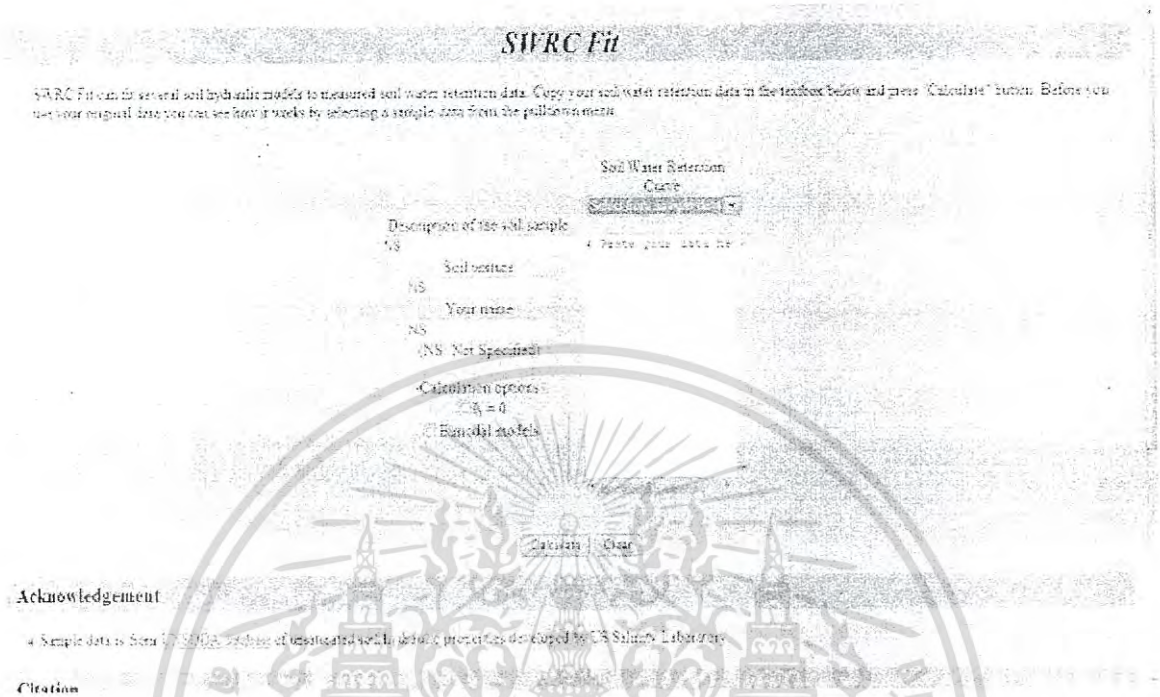
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำ

1. ปูนปาสเตอร์
2. ลวด
3. กระแกรงอลูมิเนียม

วิธีการทำเซนเซอร์และการทดลอง

1. ใช้กรรไกลตัดตะแกรงอลูมิเนียมตามขนาดที่ต้องการม้วนและยึดให้เป็นทรงกระบอกตามต้องการ
2. นำทองแดง 2 ชิ้นมาใส่ในแบบที่เตรียมไว้และเทปูนปลาสเตอร์ใส่ในแบบแล้วรอให้แห้งในขั้นตอนนี้ควรระวังอย่าให้ลวดทองแดงทั้งสองชิ้นติดกันเพราะอาจจะทำให้ค่าความชื้นที่วัดได้คลาดเคลื่อนดังแสดงในรูปที่
3. ตัดแต่งปูนส่วนที่เกินให้เรียบร้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.4 โปรแกรม SWRC FIT

รูปที่ ก.5 การสร้างเซนเซอร์วัดความชื้น (Soil Moisture Sensor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.
ตารางบันทึกผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ ข.1 ผลการทดลองที่ 1การหาขนาดในการออกแบบเซนเซอร์ที่เหมาะสม กราฟเปรียบเทียบผลต่างของการนำไฟฟ้าของเซนเซอร์แต่ละตัวอย่าง

หมายเหตุ

Tmt	ความกว้างลวด (cm)	ขนาดขาเซนเซอร์ (mm)	ความยาวเซนเซอร์ (cm)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)
1	0.5	2.5	6.5	2.5
2	1	2.5	6.5	2.5
3	1.5	2.5	6.5	2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4	1	3	6.5	2.5
5	1	2	6.5	2.5
6	1	2.5	7	2.5
7	1	2.5	6	2.5
8	1	2.5	6.5	3
9	1	2.5	6.5	2
10(ไม่หุ้ม)	1	2.5	6.5	2.5

ตารางที่ ข.1 บันทึกผลการทดหาสมการเทียบเคียงค่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงความชื้นดินกับ ADC

ตัวอย่าง	%ความชื้นดิน	แรงดึงความชื้นดิน(kPa)	ADC	ความต่างศักย์ (Volt)
1	34.814	0.90	948	4.63
2	30.932	39.22	930	4.54
3	34.811	13.00	919	4.49
4	34.811	13.00	872	4.26
5	34.801	16.00	870	4.25
6	34.814	0.60	860	4.20
7	34.805	15.00	852	4.16
8	24.423	48.58	848	4.14
9	34.801	16.00	839	4.10
10	22.888	50.59	805	3.93
11	18.119	57.77	803	3.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	%ความชื้นดิน	แรงดึงความชื้นดิน(kPa)	ADC	ความต่างศักย์ (Volt)
12	34.786	18.00	799	3.90
13	19.310	55.75	796	3.89
14	29.911	40.99	794	3.88
15	34.709	22.00	792	3.87
16	34.034	30.00	787	3.84
17	20.747	53.55	785	3.83
18	26.707	45.60	781	3.81
19	30.500	40.00	779	3.80
20	31.933	37.18	776	3.79
21	32.793	35.00	775	3.78
22	28.114	43.69	774	3.78
23	29.197	42.11	770	3.76
24	34.034	30.00	770	3.76
25	24.636	48.30	769	3.75
26	25.257	47.50	768	3.75
27	26.760	45.53	767	3.75
28	17.531	58.87	765	3.74
29	21.463	52.53	763	3.73
30	22.434	51.19	762	3.72
31	23.461	49.83	761	3.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	%ความชื้นดิน	แรงดึงความชื้นดิน(kPa)	ADC	ความต่างศักย์ (Volt)
32	30.453	40.08	760	3.71
33	19.883	54.84	757	3.70
34	18.901	56.42	753	3.68
35	19.908	54.81	752	3.67
36	22.996	50.44	752	3.67
37	20.600	53.77	751	3.67
38	21.197	52.90	743	3.63
39	18.815	56.56	738	3.60
40	27.958	43.91	736	3.59
41	18.984	56.28	729	3.56
42	16.160	61.77	727	3.55
43	17.989	58.01	716	3.50
44	24.852	48.02	708	3.46
45	23.219	50.15	706	3.45
46	17.742	58.47	701	3.42
47	15.348	63.81	693	3.38
48	15.246	64.09	683	3.33
49	15.743	62.78	678	3.31
50	31.556	38.00	670	3.27
51	14.671	65.78	666	3.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	%ความชื้นดิน	แรงดึงความชื้นดิน(kPa)	ADC	ความต่างศักย์ (Volt)
52	16.878	60.18	650	3.17
53	14.174	67.45	645	3.15
54	14.323	66.92	632	3.09
55	21.039	53.13	615	3.00
56	19.531	55.39	582	2.84
57	18.572	56.98	572	2.79
58	13.491	70.15	548	2.68
59	13.268	71.17	538	2.63
60	13.119	71.90	527	2.57
61	14.518	66.27	524	2.56
62	17.712	58.52	519	2.53
63	13.452	70.32	506	2.47
64	23.331	50.00	489	2.39
65	11.906	80.22	441	2.15
66	13.525	70.00	398	1.94
67	11.626	83.23	394	1.92
68	12.501	75.48	375	1.83
69	12.074	78.69	349	1.70
70	12.735	74.00	310	1.51
71	16.964	60.00	295	1.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	%ความชื้นดิน	แรงดึงความชื้นดิน(kPa)	ADC	ความต่างศักย์ (Volt)
72	15.565	63.23	290	1.42
73	11.691	82.47	263	1.28
74	12.854	73.31	204	1.00
75	12.574	75.00	200	0.98
76	11.299	87.89	197	0.96
77	10.991	94.39	191	0.93
78	12.157	78.00	190	0.93
79	10.858	98.43	187	0.91
80	14.491	66.36	176	0.86
81	12.060	78.81	144	0.70
82	10.729	103.73	138	0.67
83	11.564	84.00	125	0.61
84	10.968	95.00	83	0.41
85	11.183	90.00	70	0.34
86	11.929	80.00	65	0.32
87	11.980	79.53	58	0.28
88	11.176	90.13	45	0.22
89	10.901	97.00	40	0.20
90	11.480	85.12	31	0.15
91	11.317	87.59	24	0.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	%ความชื้นดิน	แรงดึงความชื้นดิน(kPa)	ADC	ความต่างศักย์ (Volt)
92	11.446	85.60	22	0.11
93	10.815	100.00	14	0.07
94	10.901	97.00	2	0.01
95	10.815	100.00	0	0.00
96	10.931	96.07	0	0.00
97	10.707	104.85	0	0.00
98	10.693	105.60	0	0.00
99	10.941	95.78	0	0.00
100	10.885	97.50	0	0.00

ตารางที่ ข.2 บันทึกผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงความชื้นดิน,ค่า ADC กับ อุณภูมิดิน

ลำดับที่	adc	% ความชื้นดิน	แรงดึงความชื้น (kPa)	Temp °C
1	815	17.3899	59.14	25
2	805	11.4693	85.26	25
3	675	10.8151	100.00	25
4	768	10.8151	100.00	25
5	546	10.8151	100.00	25
6	808	11.3892	86.43	25
7	771	14.3287	66.91	25
8	675	10.3797	159.98	25
9	736	13.7955	68.87	25
10	705	13.3790	70.65	25
11	775	10.8151	100.00	25
12	771	16.8375	60.27	25
13	741	14.2439	67.20	25
14	817	19.1799	55.96	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	adc	% ความชื้นดิน	แรงดึงความชื้น (kPa)	Temp °C
15	813	16.4830	61.03	25
16	797	20.0230	54.63	25
17	824	17.5406	58.85	25
18	821	19.3374	55.70	25
19	777	23.3444	49.98	25
20	781	20.1153	54.49	25
21	883	16.4512	61.10	30
22	687	13.6296	69.55	30
23	773	16.2826	61.49	30
24	816	22.5510	51.04	30
25	822	26.5585	45.80	30
26	783	16.8375	60.27	30
27	800	15.0865	64.54	30
28	834	19.1799	55.96	30
29	815	20.0230	54.63	30
30	831	18.8222	56.55	30
31	785	23.3444	49.98	30
32	805	15.6345	63.06	30
33	680	10.4704	126.96	30
34	839	12.9916	72.56	30
35	827	17.6124	58.71	30
36	811	20.5446	53.85	30
37	812	21.6153	52.32	30
38	850	12.2862	77.00	30
39	860	13.2481	71.26	30
40	800	10.8151	100.00	30
41	685	10.7566	102.44	35
42	835	22.5510	51.04	35
43	837	16.7122	60.53	35
44	846	15.7652	62.72	35
45	827	13.9912	68.12	35
46	854	15.6846	62.93	35
47	795	16.8375	60.27	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	adc	% ความชื้นดิน	แรงดึงความชื้น (kPa)	Temp °C
48	816	14.3287	66.91	35
49	835	19.1799	55.96	35
50	820	20.0230	54.63	35
51	856	17.5534	58.82	35
52	839	18.4083	57.26	35
53	856	17.3899	59.14	35
54	830	22.5510	51.04	35
55	812	23.3444	49.98	35
56	823	20.1153	54.49	35
57	832	11.8707	80.56	35
58	747	13.3790	70.65	35
59	813	10.8151	100.00	35
60	801	14.2439	67.20	35
61	850	30.5003	40.00	40
62	767	13.4986	70.11	40
63	830	23.3315	50.00	40
64	820	16.8375	60.27	40
65	846	19.1799	55.96	40
66	835	16.4830	61.03	40
67	833	20.0230	54.63	40
68	817	19.3374	55.70	40
69	834	14.6177	65.95	40
70	780	13.7955	68.87	40
71	687	10.8151	100.00	40
72	792	16.2826	61.49	40
73	850	18.8222	56.55	40
74	822	23.3444	49.98	40
75	845	21.6153	52.32	40
76	849	11.4693	85.26	40
77	861	13.5246	70.00	40
78	736	13.6296	69.55	40
79	814	11.3892	86.43	40
80	890	22.5658	51.02	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	adc	% ความชื้นดิน	แรงดึงความชื้น (kPa)	Temp °C
81	860	26.9836	45.24	45
82	880	13.9912	68.12	45
83	730	10.8151	100.00	45
84	870	18.8222	56.55	45
85	897	26.0255	46.50	45
86	898	25.2557	47.50	45
87	870	15.0865	64.54	45
88	857	23.3444	49.98	45
89	856	12.2862	77.00	45
90	710	10.7042	105.00	45
91	885	20.2398	54.30	45
92	865	17.6124	58.71	45
93	830	23.5408	49.73	45
94	890	17.5406	58.85	45
95	867	19.3374	55.70	45
96	880	20.1153	54.49	45
97	777	16.4512	61.10	45
98	882	11.4693	85.26	45
99	909	15.1075	64.48	45
100	835	20.0230	54.63	50
101	909	26.2222	46.24	50
102	880	21.6153	52.32	50
103	865	15.6846	62.93	50
104	792	22.6934	50.85	50
105	780	13.6296	69.55	50
106	808	16.2826	61.49	50
107	882	12.9916	72.56	50
108	875	19.1799	55.96	50
109	875	20.5446	53.85	50
110	890	13.4986	70.11	50
111	904	11.8707	80.56	50
112	804	19.6353	55.23	50
113	734	10.4704	126.96	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	adc	% ความชื้นดิน	แรงดึงความชื้น (kPa)	Temp °C
114	760	10.7566	102.44	50
115	875	16.4830	61.03	50
116	902	22.5510	51.04	50
117	890	14.6177	65.95	50
118	863	14.2439	67.20	50
119	870	16.8375	60.27	50

ตารางที่ ข.3.บันทึกผลการทดลองแสดงการเปรียบเทียบการวัดค่าความชื้นดินของโครงข่ายเซนเซอร์กับ Soil Moisture Meter

วันที่	Soil Moisture Meter	โครงข่ายเซนเซอร์	% ความต่าง
1-มี.ค.	0	0	0.00
1-มี.ค.	4	0	100.00
2-มี.ค.	7	1	85.71
2-มี.ค.	15	8	46.67
3-มี.ค.	21	17	19.05
3-มี.ค.	20	17	15.00
4-มี.ค.	23	19	17.39
4-มี.ค.	26	20	23.08
5-มี.ค.	28	22	21.43
5-มี.ค.	31	25	19.35
6-มี.ค.	34	30	11.76
6-มี.ค.	40	35	12.50
7-มี.ค.	48	41	14.58
7-มี.ค.	57	52	8.77
8-มี.ค.	63	59	6.35
8-มี.ค.	75	67	10.67
9-มี.ค.	81	75	7.41
9-มี.ค.	91	83	8.79
10-มี.ค.	97	90	7.22
10-มี.ค.	105	100	4.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4.บันทึกผลการทดลองปรับค่า pH ดิน

ตารางบันทึกผลการทดลองปรับค่า pH ดิน														
ที่แรงดึงความชื้น 0					ที่แรงดึงความชื้น 50					ที่แรงดึงความชื้น 100				
ค่า ADC				pH ดิน	ค่า ADC				pH ดิน	ค่า ADC				pH ดิน
ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย		ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย		ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย	
930	936	935	934	3	756	769	780	768	3	25	23	22	23	3
938	935	930	934	3.5	761	755	753	756	3.5	18	17	15	17	3.5
938	930	940	936	4	768	758	768	765	4	16	20	25	20	4
940	937	930	936	4.5	771	755	757	761	4.5	21	19	20	20	4.5
941	938	941	940	5	770	750	770	763	5	25	21	11	19	5
935	931	941	936	5.5	760	760	763	761	5.5	17	24	13	18	5.5
931	945	942	939	6	770	762	763	765	6	23	24	20	22	6
933	939	933	935	6.5	764	760	775	766	6.5	17	30	22	23	6.5
936	945	942	941	7	775	765	752	764	7	22	18	20	20	7
931	940	941	937	7.5	751	770	762	761	7.5	15	19	20	18	7.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

การเปรียบเทียบเชิงสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.การวิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิ

จากกราฟวิเคราะห์ผลอุณหภูมิดินกับค่า ADC จะได้

ตารางที่ค.1 ตารางเทียบผลต่างของอุณหมิและ ADC ที่มีผลต่อแรงดึงความชื้น

อุณหภูมิ(°c)	สมการเชิงเส้น	แรงดึงความชื้น(kPa)				
		ที่ADC 700	ที่ADC 750	ที่ADC 800	ที่ADC 850	ที่ADC 900
25	y = -0.2199x + 243.15	89.22	78.225	67.23	56.235	45.24
30	y = -0.1825x + 212.36	84.61	75.485	66.36	57.235	48.11
35	y = -0.2179x + 243	90.47	79.575	68.68	57.785	46.89
40	y = -0.1999x + 227.6	87.67	77.675	67.68	57.685	47.69
45	y = -0.2168x + 248.11	96.35	85.51	74.67	63.83	52.99
50	y = -0.2142x + 248.06	98.12	87.41	76.7	65.99	55.28

จากตารางหากคิด % ความต่างที่อุณหภูมิดิน 25°C – 40°C อยู่ที่ประมาณ 3 %ความต่างมากที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิดิน 45°C ถึง 50°C อยู่ที่ประมาณ 10 – 13 %

2 การเปรียบเทียบเชิงสถิติของผลต่าง pH ดินกับผลของ ADC ในทางสถิติ

จากตารางบันทึกผลการทดลองที่ ข. สามารถสรุปผลทางสถิติได้ดังนี้

เปรียบเทียบที่แรงดึงความชื้น 0 kPa

ตารางที่ ค.2 วิเคราห์ความแปรปรวนแบบ CRD ที่แรงดึงความชื้นดิน 0 kPa

SV	Df	SS	MS	F-value
Treatments	10	172.8	17.3	0.8^{NS}
Error	22	498.7	22.7	
Total	32	671.5		

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการทดสอบการวัดค่า ADC ที่แรงดึงความชื้น 0 kPa ที่ระดับ pH แตกต่างกันว่ามีผลต่อการวัดค่า ADC หรือไม่ สรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในช่วง 3 – 7.5 ไม่มีผลต่อค่า ADC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เปรียบเทียบที่แรงดึงความชื้น 50 kPa

ตารางที่ ค.3 วิเคราห์ความแปรปรวนแบบ CRD ที่แรงดึงความชื้นดิน 50 kPa

SV	Df	SS	MS	F-value
Treatments	10	312.0	31.3	0.5^{NS}
Error	22	1424.0	64.7	
Total	32	1736.0		

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการทดสอบการวัดค่า ADC ที่แรงดึงความชื้น 50 kPa ที่ระดับ pH แตกต่างกันว่ามีผลต่อการวัดค่า ADC หรือไม่ สรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในช่วง 3 – 7.5 ไม่มีผลต่อค่า ADC

- เปรียบเทียบที่แรงดึงความชื้น 100 kPa

ตารางที่ ค.3.วิเคราห์ความแปรปรวนแบบ CRD ที่แรงดึงความชื้นดิน 100 kPa

SV	Df	SS	MS	F-Value
Treatments	10	137.6	31.3	0.8^{NS}
Error	22	395.3	64.7	
Total	32	533.0		

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการทดสอบการวัดค่า ADC ที่แรงดึงความชื้น 100 kPa ที่ระดับ pH แตกต่างกันว่ามีผลต่อการวัดค่า ADC หรือไม่ สรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในช่วง 3 – 7.5 ไม่มีผลต่อค่า ADC

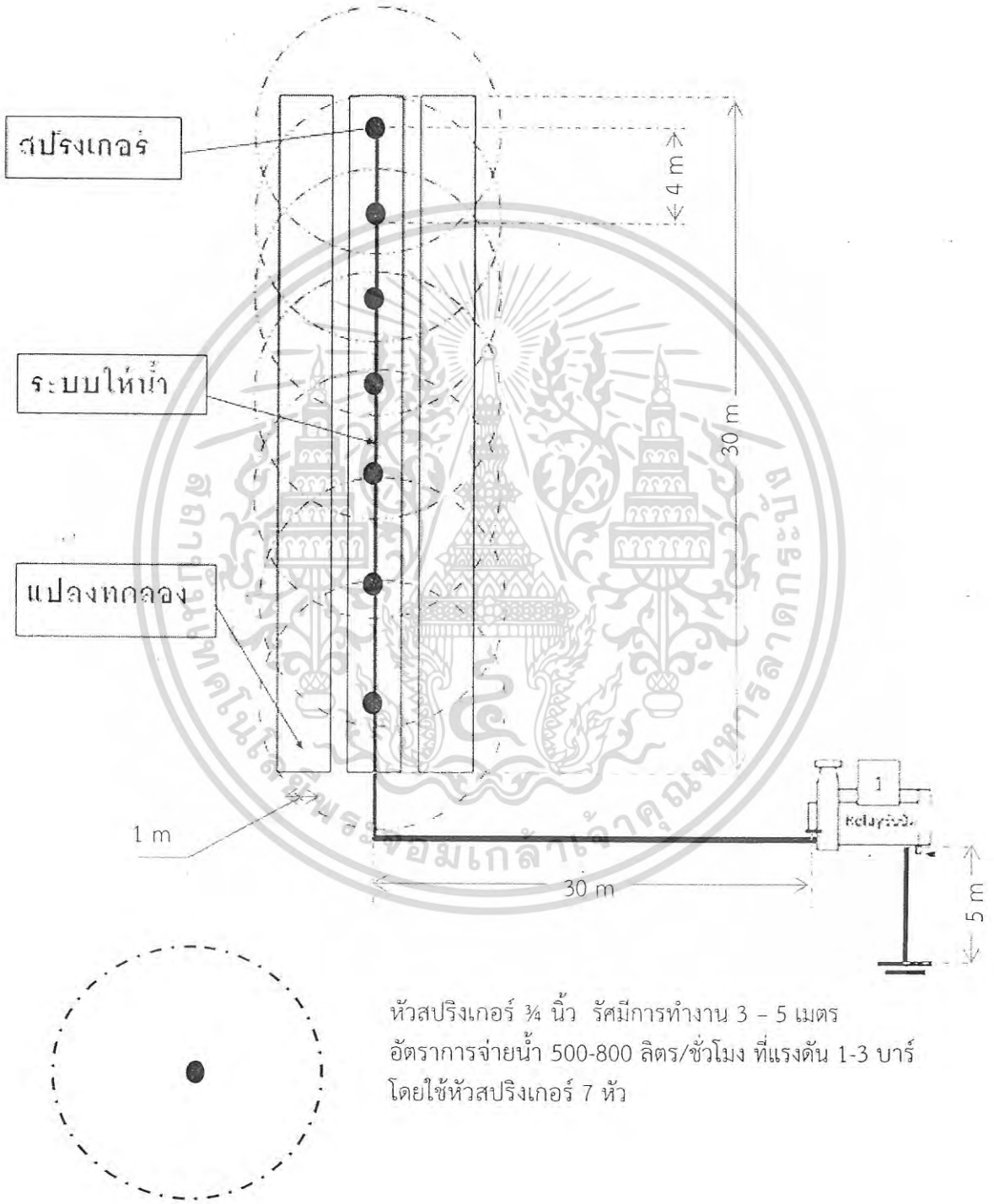
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

การออกแบบระบบการให้น้ำสำหรับการทดลองที่4.6.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองนั้นต้องควบคุมตัวแปรควบคุมให้เหมือนๆกัน ตัวแปรควบคุมในที่นี้คือระบบการให้น้ำ ชนิดดิน รวมถึงสภาพแวดล้อมที่ทำการเพาะปลูก



หัวสปริงเกอร์ ¾ นิ้ว รัศมีการทำงาน 3 – 5 เมตร
อัตราการจ่ายน้ำ 500-800 ลิตร/ชั่วโมง ที่แรงดัน 1-3 บาร์
โดยใช้หัวสปริงเกอร์ 7 หัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) หาความลึกสูงสุดสุทธิต่อการให้น้ำ 1 ครั้ง

จากสูตร

$$I_x = \frac{SMD}{100} . W_a . z . P_w \qquad (1)$$

I_x = ความลึกสูงสุดสุทธิต่อการให้น้ำ 1 ครั้ง มม.ต่อครั้ง
SMD = ความชื้นที่ยอมให้ลดลงได้ %
W_a = ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน
z = ความลึกของดินในเขตรากพืช cm
P_w = เปอร์เซ็นต์พื้นที่เปียกน้ำ %

แทนค่า

I_x = ? มม.ต่อครั้ง
SMD = ความชื้นที่ยอมให้ลดลงได้(ผักบุ้ง) = 45 %
W_a = ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินร่วน = 1.5
z = ความลึกของดินในเขตรากพืช = 15 cm
P_w = เปอร์เซ็นต์พื้นที่เปียกน้ำ = 100 %

$$I_x = \frac{45}{100} \times 1.5 \times 15 \times 1$$

$$I_x = 10.125 \text{ มม.ต่อครั้ง}$$

2) หาปริมาณการใช้น้ำของพืช

จากสูตร

$$E_T = K_c . ET_p \qquad (2)$$

E_T = ปริมาณการใช้น้ำมีหน่วยเป็น มม.ต่อวัน
K_c = สัมประสิทธิ์การใช้น้ำน้ำของพืช (crop coefficient) ซึ่งจะแปรผันตามชนิดและระยะในการเจริญเติบโต หรืออายุพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ET_p = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (potential Evapotranspiration) ส่วนมากจะใช้หญ้าเป็นพืชมาอ้างอิง และสมการวิเคราะห์หาได้จากข้อมูลภูมิอากาศในแต่ละเดือน โดยสุตรของ penmen ผลการวิเคราะห์มีหน่วยเป็น มม.ต่อวัน

การทดลองโดยใช้ผักบุ้งในการทดลอง ปลูกในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา ช่วงเดือน เมษายน

ดังนั้น

$K_c = 0.19$

$ET_p = 168$ มม.ต่อวัน

$$E_T = 0.19 \times 168 = 31.92 \text{ มม.ต่อวัน}$$

3) หาปริมาณการใช้น้ำสูงสุดเฉลี่ยของพืชต่อวัน

จากสูตร

$$G = E_T \times A_p \qquad (3)$$

G = ปริมาตรการใช้น้ำสูงสุดเฉลี่ยของพืชต่อวัน ลิตร ต่อวัน

A_p = พื้นที่อาณาแขตพืช เมตร^2

ดังนั้น

$$G = 31.92 \times 90 = 2,872.8 \text{ ลิตร ต่อวัน}$$

4) หาระยะเวลาในการจ่ายน้ำแต่ละครั้ง

จากข้อมูล

- จำนวนน้ำที่ผักบุ้งต้องการต่อวัน (G)	= 2,872.8	ลิตรต่อวัน
- จำนวนหัวปล่อยน้ำที่ใช้	= 7	หัว
- อัตราการจ่ายน้ำของหัวจ่ายน้ำเฉลี่ย	= 650	ลิตรต่อชั่วโมง
- ประสิทธิภาพการให้น้ำ	= 85	%

$$T_a = \frac{G}{e.q_a.E_a} \qquad (4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_a = \frac{2{,}872.8}{1\times650\times0.85} = \text{ชั่วโมง}$$

$$T_a = 0.74 \quad \text{ชั่วโมง}$$

5) ความลึกกของน้ำทั้งหมดที่ต้องให้จริง

$$I_g = \frac{100I_n}{Ea} \qquad (5)$$

I_g = ความลึกของน้ำทั้งหมดที่ต้องการรให้จริง มิลลิเมตร
Ea = ประสิทธิ์ภาพของการให้น้ำในแปลง = 85 %
I_n = ความลึกของน้ำสุทธิที่ต้องให้แต่ละครั้ง = 10.125 มิลลิเมตร

แทนค่า

$$I_g = \frac{100\times10.125}{85} \quad \text{มิลลิเมตร/ครั้ง}$$

6) หาปริมาณน้ำที่ต้องจ่ายทั้งระบบ

จากสูตร

$$Q_s = 1.6\,\frac{A}{N}.\frac{I_g}{T_a} \qquad (6)$$

Q_s = ปริมาณน้ำที่ต้องจ่ายทั้งระบบ ม^3/ชั่วโมง
A = พื้นที่ที่จะต้องจ่ายน้ำทั้งหมด ไร่
N = จำนวนหัวจ่ายน้ำ หัว

$$Q_s = 1.6 \times \frac{90}{7} \times \frac{11.91}{0.74} \times \frac{1}{1600} \quad \text{ม}^3\text{/ชั่วโมง}$$

$$Q_s = 0.207 \quad \text{ม}^3\text{/ชั่วโมง}$$

7) คำนวณการสูญเสีย Head ของระบบน้ำ

หมายเหตุ:ให้การสูญเสียเนื่องจากปัจจัยอุปกรณ์ต่อมีน้อยมากจึงไม่นำมาคิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น Head ที่สูญเสียรวม = $H_{\text{ความฝืดในท่อ}} + H_{\text{ความต่างระดับ}}$

ซึ่ง Head ความฝืดท่อจากปั๊มจนถึงสปริงเกอร์ตัวสุดท้ายนั้นหาได้จากกราฟความสัมพันธ์

จะได้

$H_{\text{ความฝืดในท่อ}}$	= 0.15+0.0105	เมตร
$H_{\text{ความต่างระดับ}}$	= 5+1.5	เมตร
$H_{\text{สูญเสียรวม}}$	= (0.15+0.0105)+(5+1.5)	เมตร
$H_{\text{สูญเสียรวม}}$	= 6.66	เมตร

ดังนั้นหากเลือกปั๊มที่มี head = 20 เมตร

Head ที่หัวปล่อยสุดท้ายจะเหลือ = 20 - 6.66 =13.34 เมตร

แปลเป็นหน่วยความดัน = 1.3 bar

ซึ่งเป็นความดันที่หัวสปริงเกอร์ชนิดที่เลือกไว้ทำงาน 4 – 5 เมตรพอดี

ดังนั้นควรเลือกปั๊มที่มี head 20 เมตร ขนาด 2 นิ้ว 3000 rpm และ 400 L/min

รูปที่ ง.1 กราฟแผนภูมิท่อ

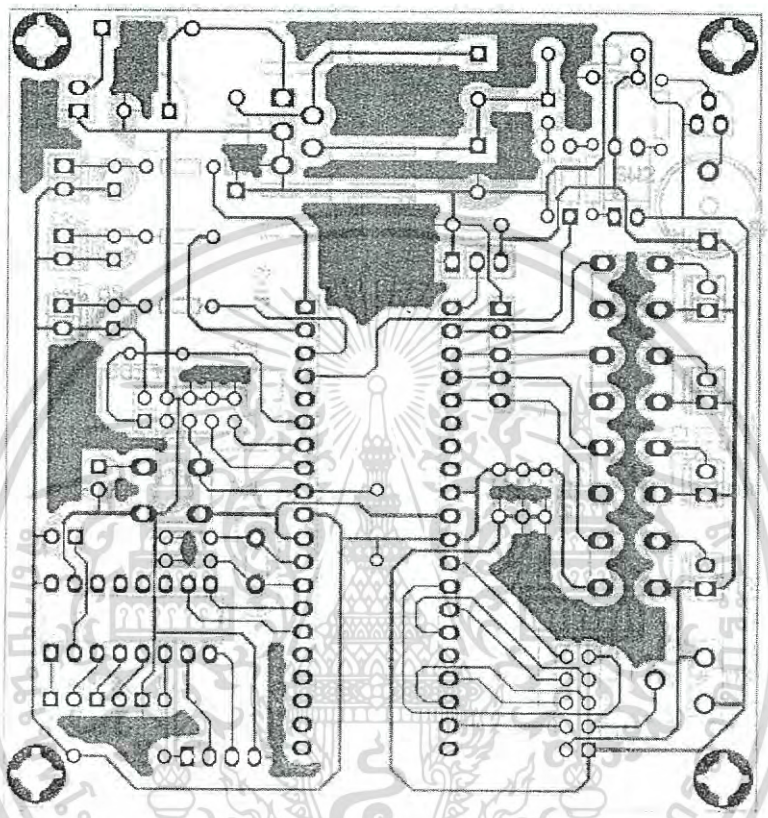
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

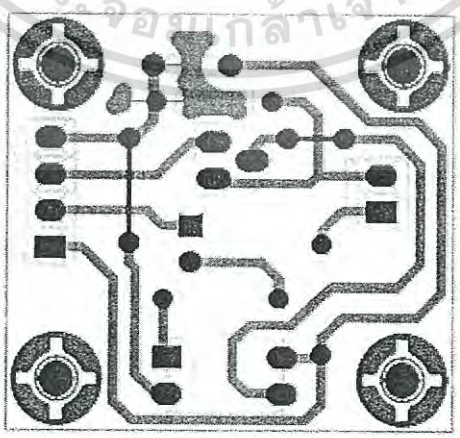
ลายวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.ลายวงจรอุปกรณ์เซนเซอร์



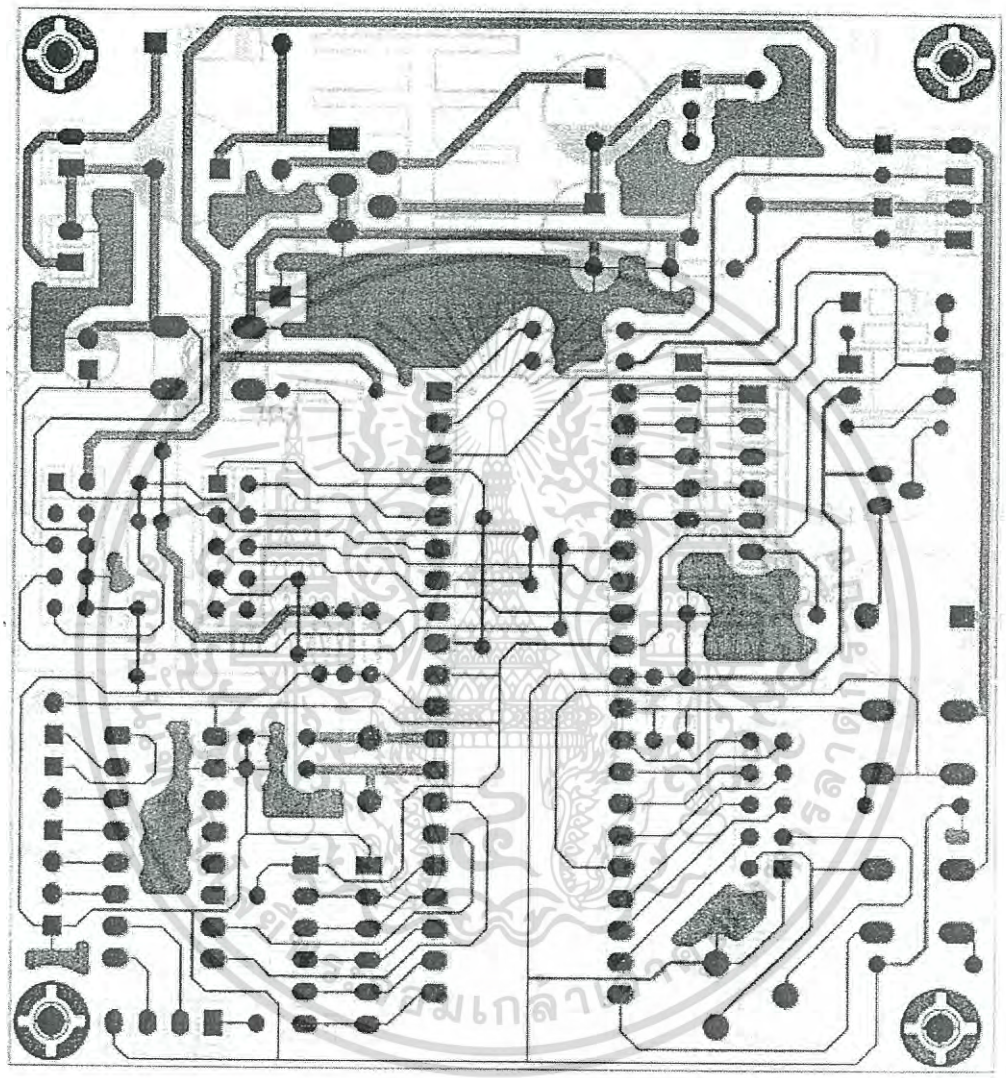
รูปที่ จ.1 ลายวงจรประมวลผลส่งสัญญาณของเซนเซอร์



รูปที่ จ.2 ลายวงจรขับไฟของเซนเซอร์วัดความชื้นดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

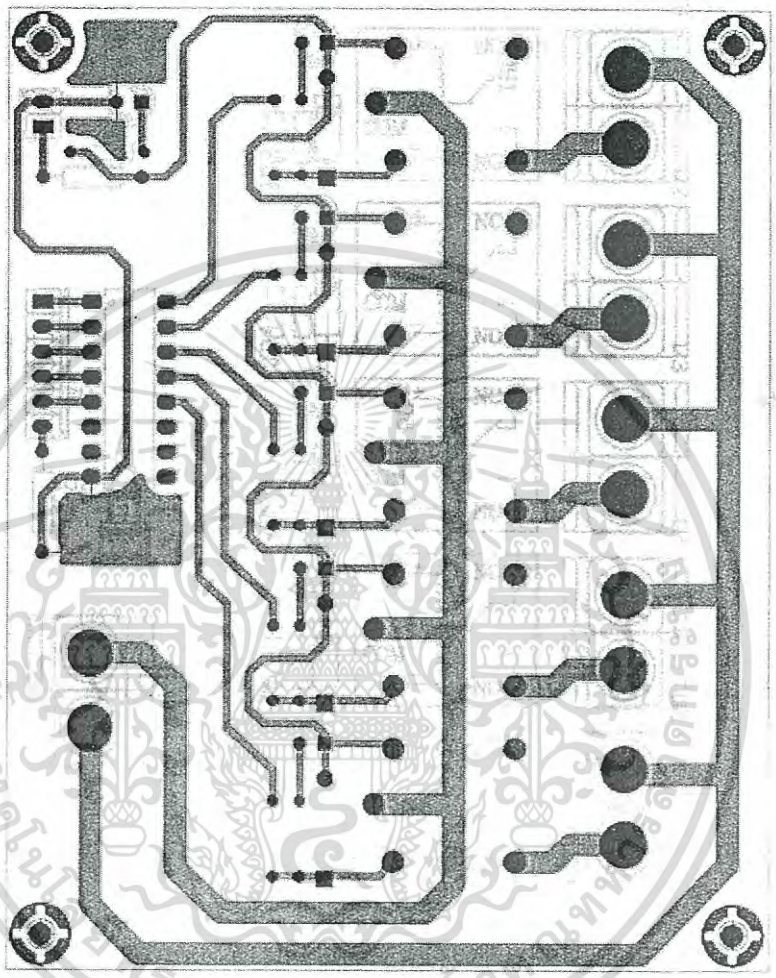
2.ลายวงจรควบคุมหลัก



รูปที่ จ.3 วงจรควบคุมหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

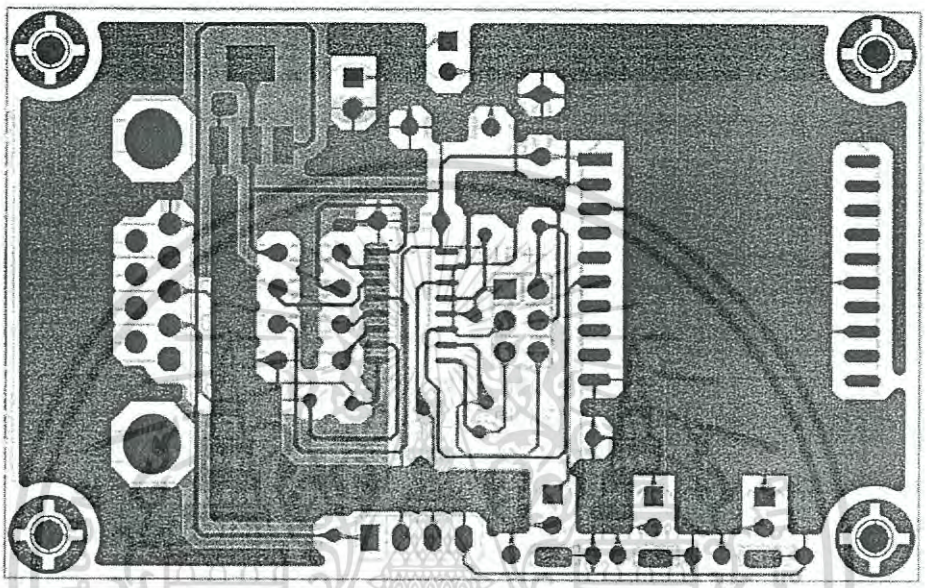
3.ลายวงจร Relay ขับปั้ม



รูปที่ จ.4 วงจรขับ Relay ขับปั้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.ลายวงจ รX-Bee



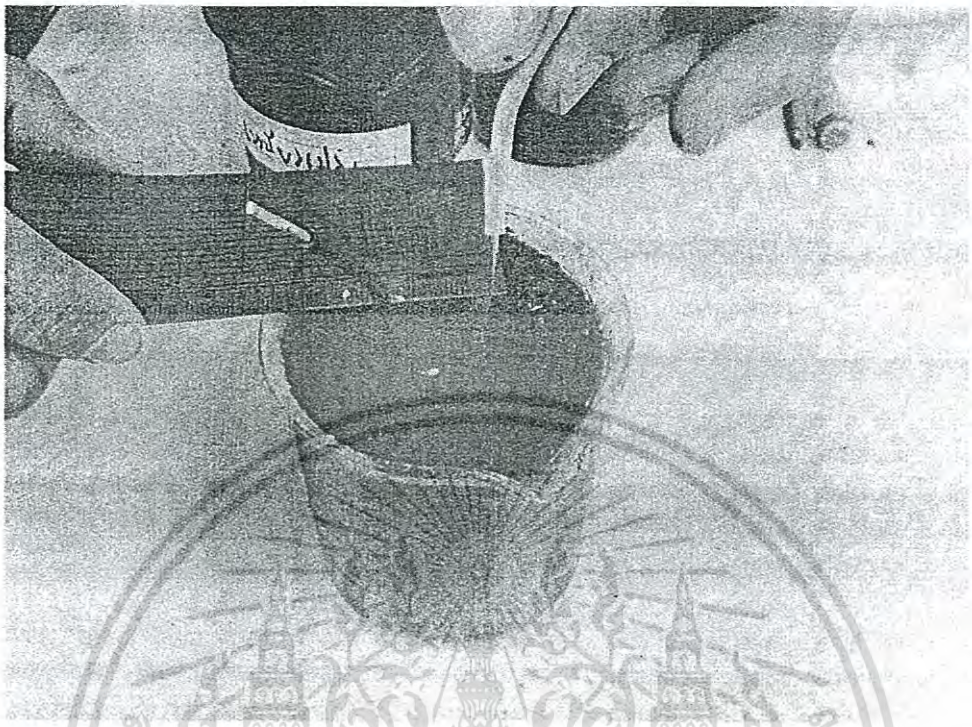
รูปที่ จ.5 วงจร X-Bee

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ.

ประมวลรูปภาพ

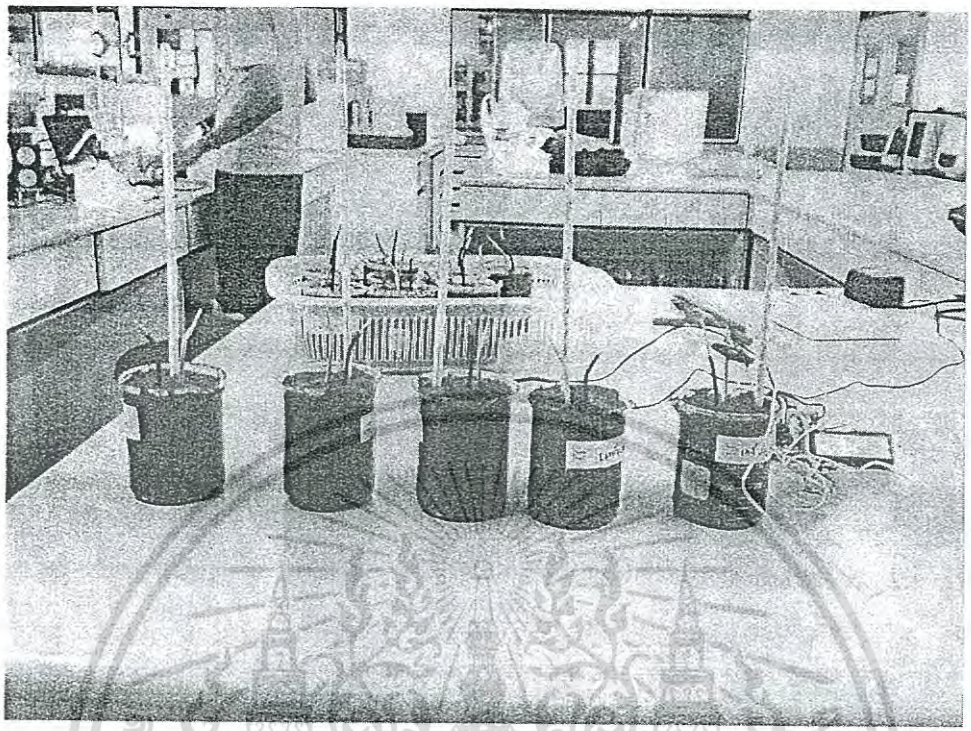
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



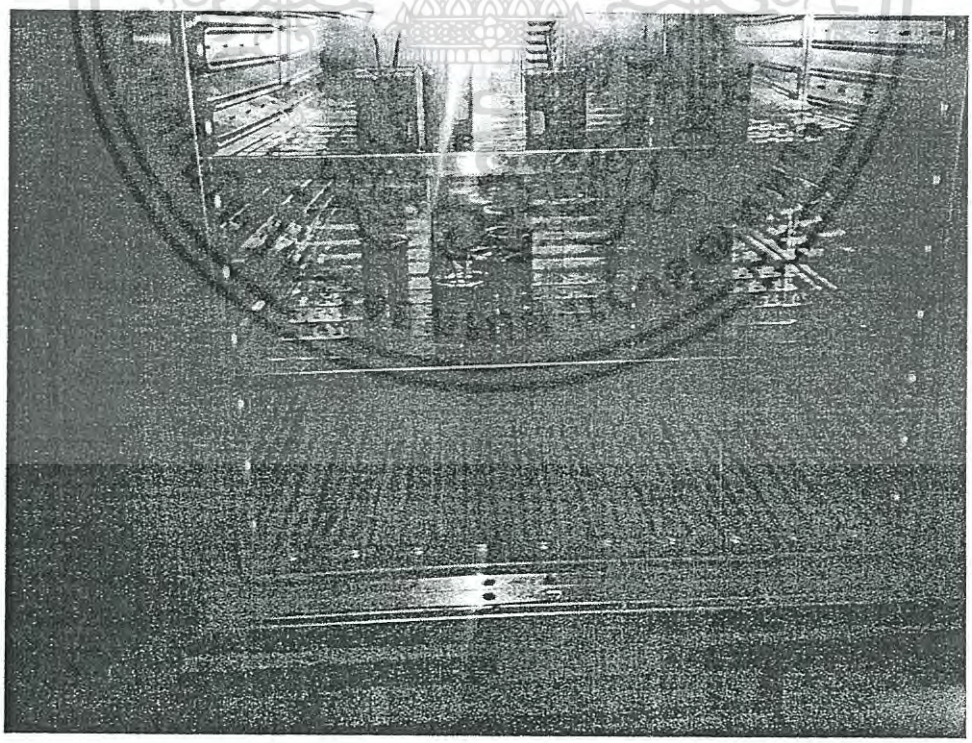
รูปที่ ฉ.1 แสดงการทดลองเปรียบเทียบวิเคราห์ขนาดเซนเซอร์

รูปที่ ฉ.2 แสดงการอ่านค่า ADC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

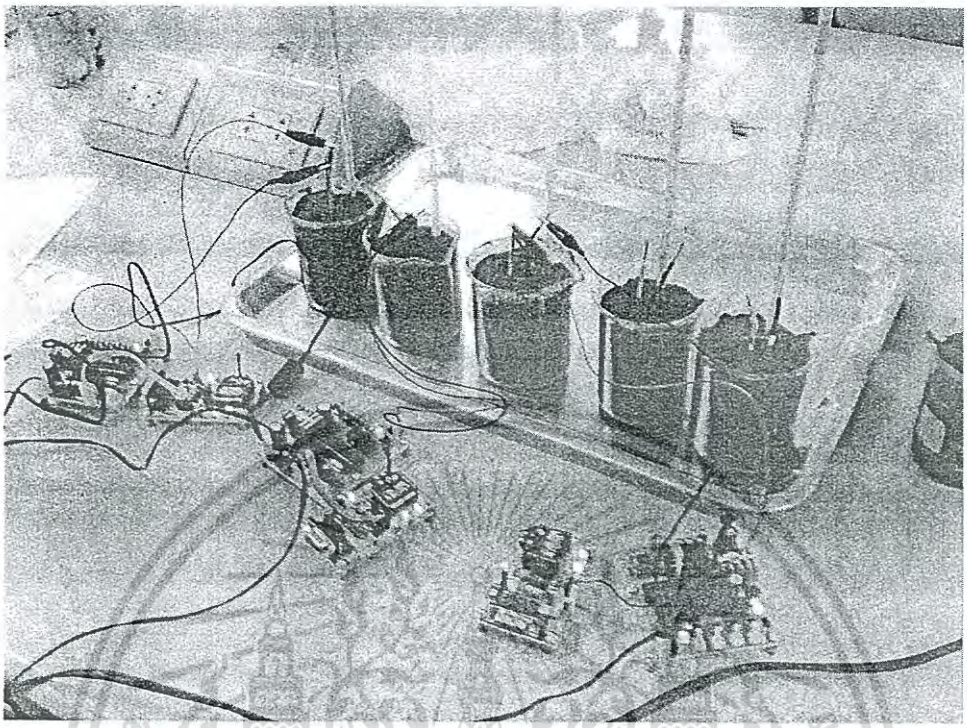


รูปที่ ฉ.3 การอ่านค่าอุณหภูมิและค่า ADC



รูปที่ ฉ.4 การอบไล่ความชื้นดินในตู้อบลมร้อน

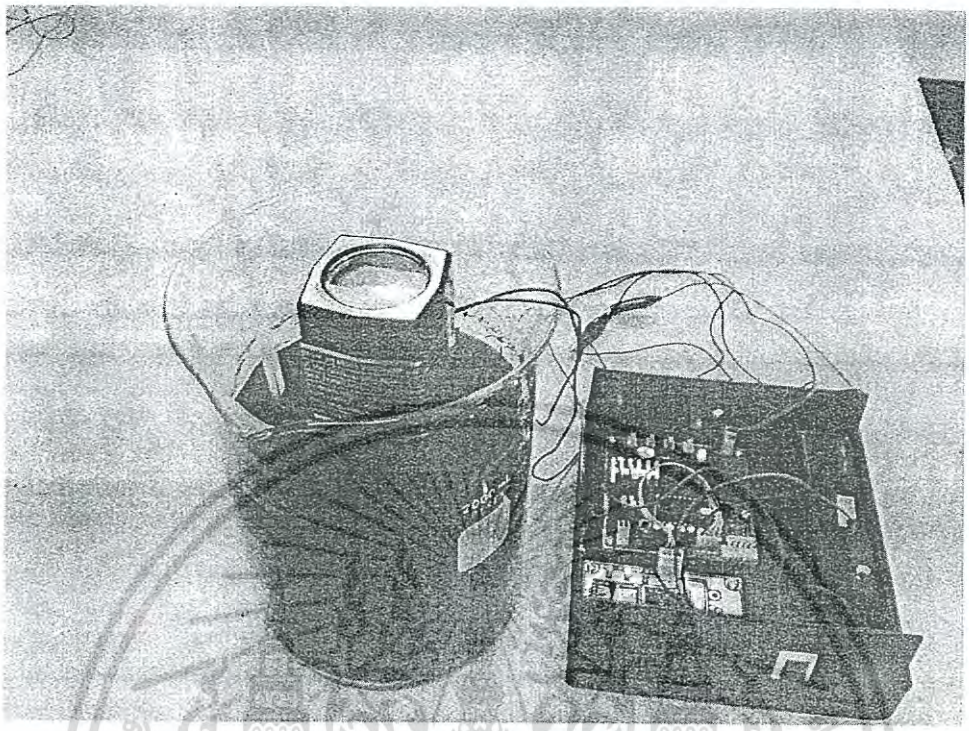
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ฉ.5 การทดลองวัดความชื้นแบบไร้สาย

รูปที่ ฉ.6 การผสมดินเพื่อปรับ pH ในการทดลอง

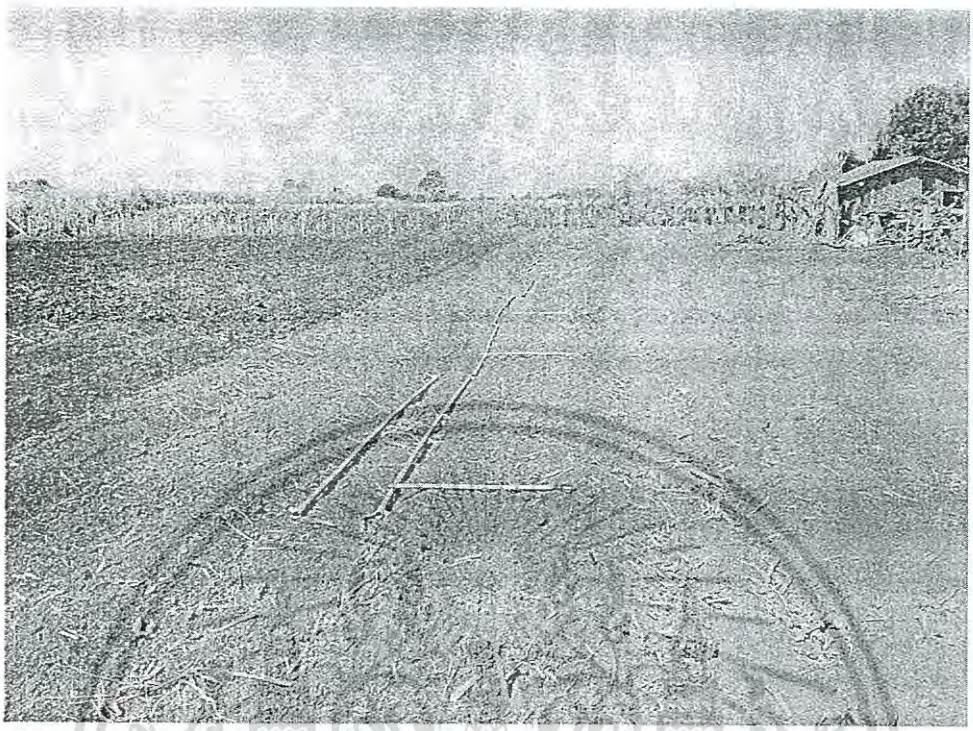
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ฉ.7 การทดลองวัดความสัมพันธ์ของ pH ดินที่มีผลต่อค่า ADC

รูปที่ ฉ.8 การไถเตรียมแปลงทดลอง

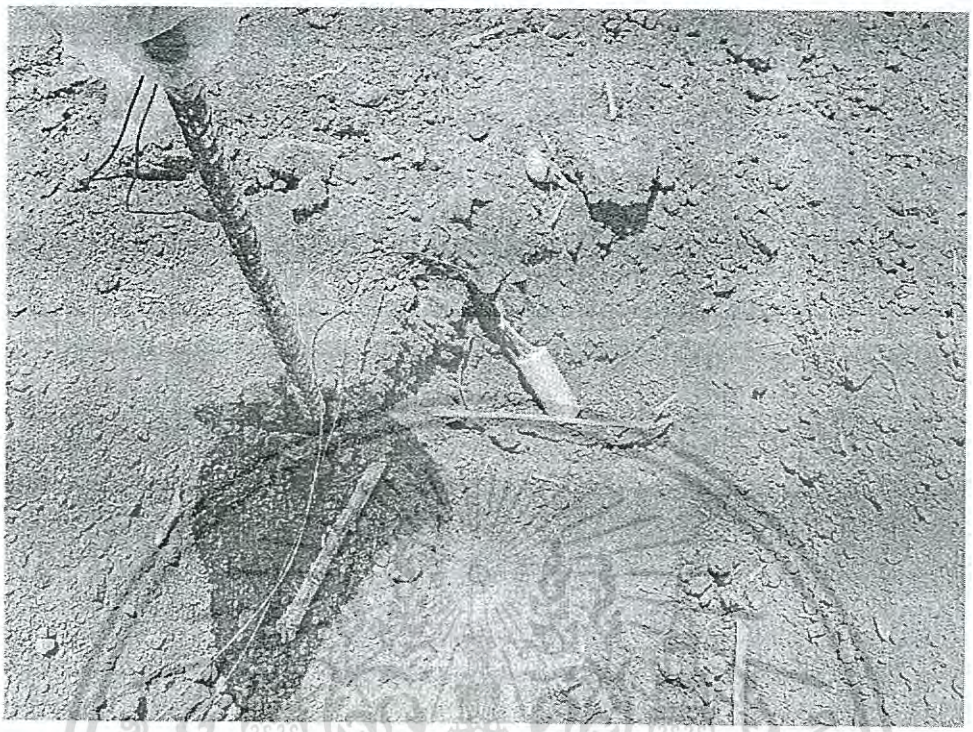
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



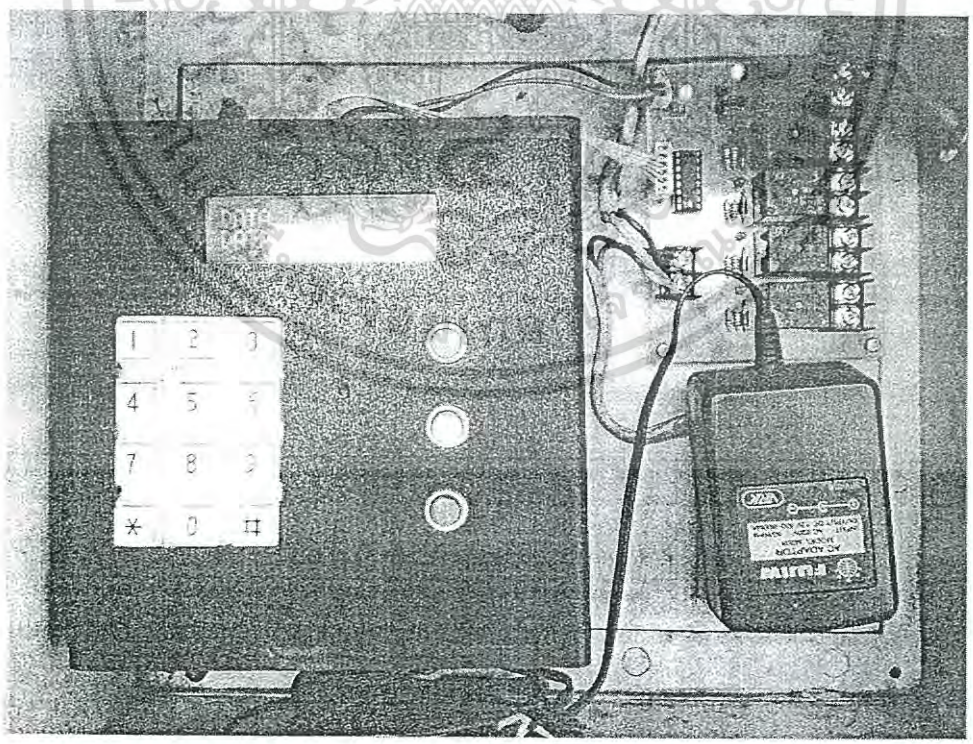
รูปที่ ฉ.9 การติดตั้งระบบสปริงเกอร์ในแปลงทดลอง

รูปที่ ฉ.10 การหยอดเมล็ดผักเพื่อปลูกลงในแปลงทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

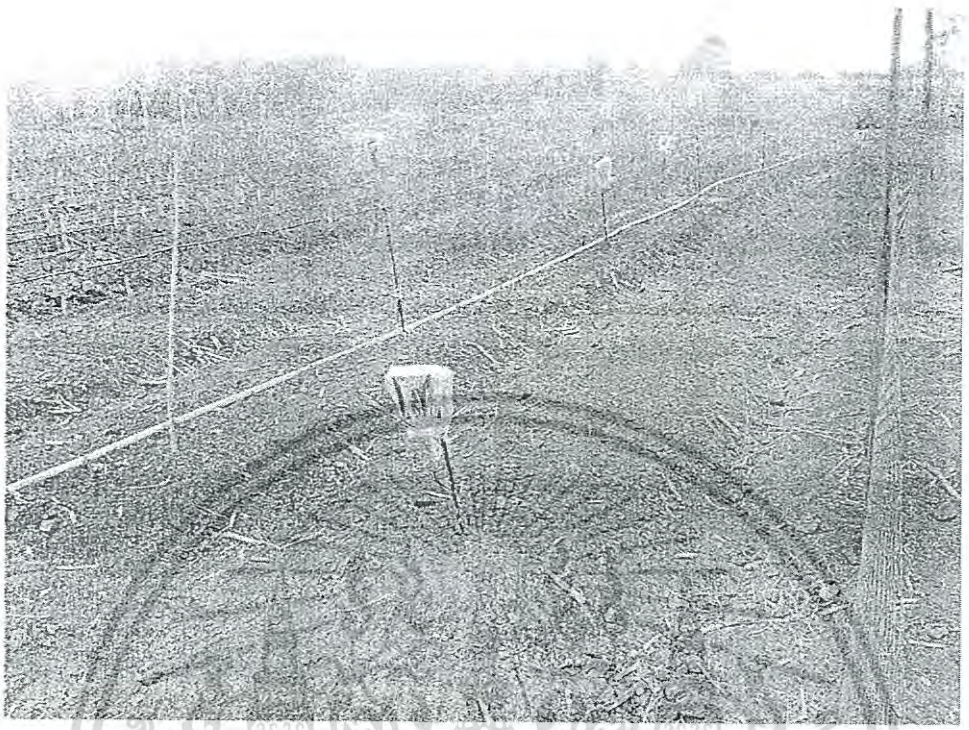


รูปที่ ฉ.11 การติดตั้งเซนเซอร์ลงในแปลงปลูก



รูปที่ ฉ.12 การติดตั้งระบบโครงข่ายเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

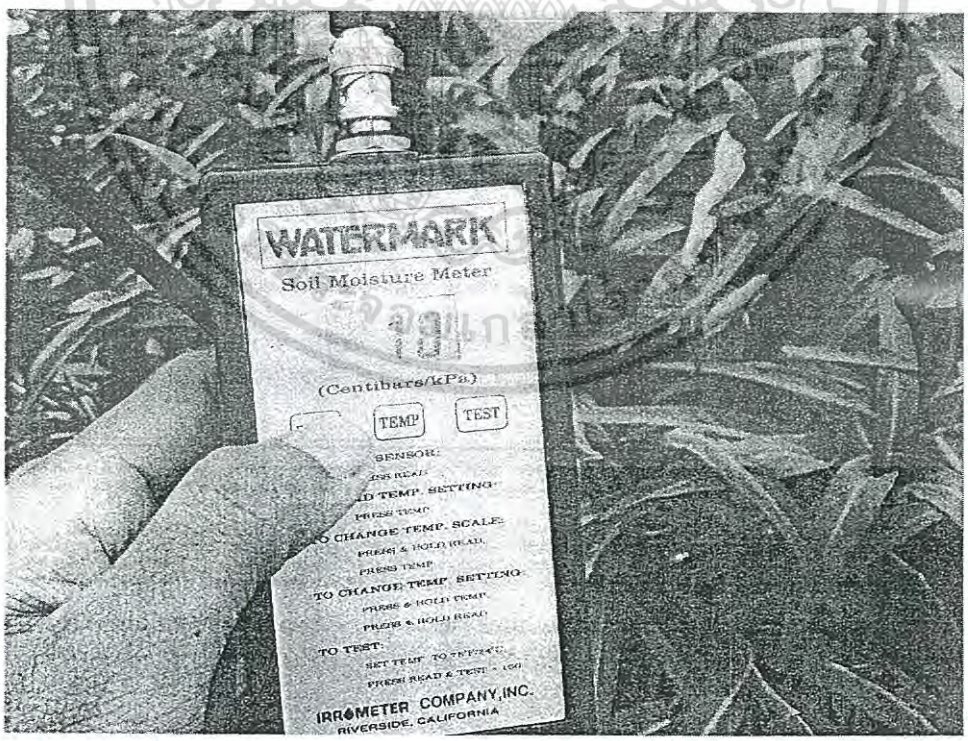


รูปที่ ฉ.13 ระบบโครงข่ายเซนเซอร์ทำงานอย่างเต็มระบบ

รูปที่ ฉ.14 ผักบุ้งมีอายุ 10 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ฉ.15 ผักบุ้งมีอายุ 25 วัน



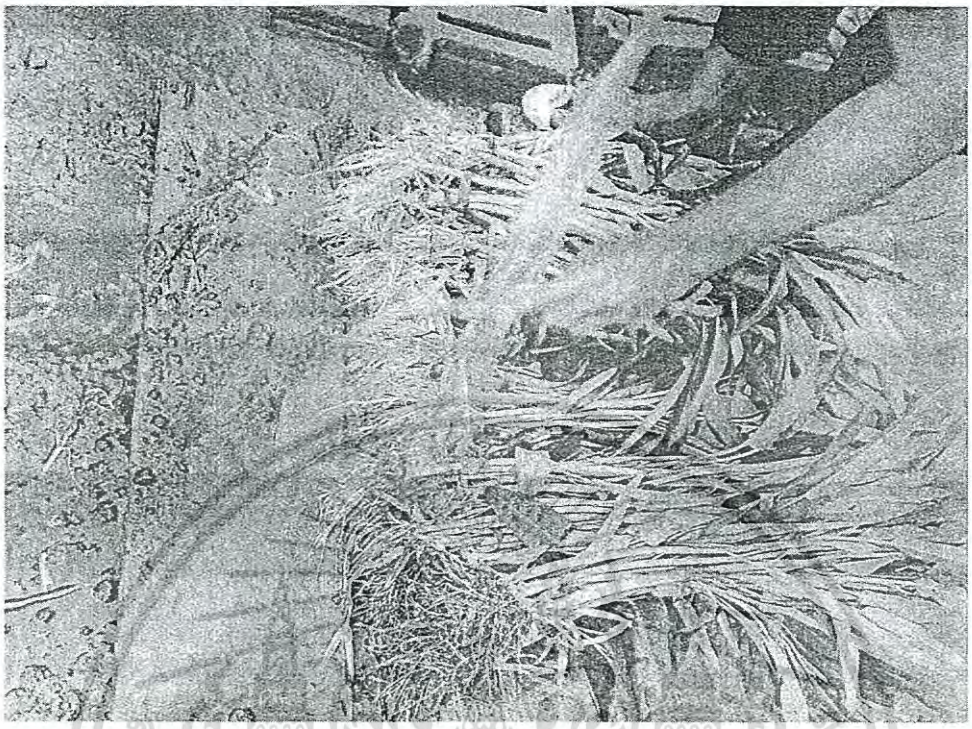
รูปที่ ฉ.16 การตรวจสอบความชื้นในแปลงปลูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

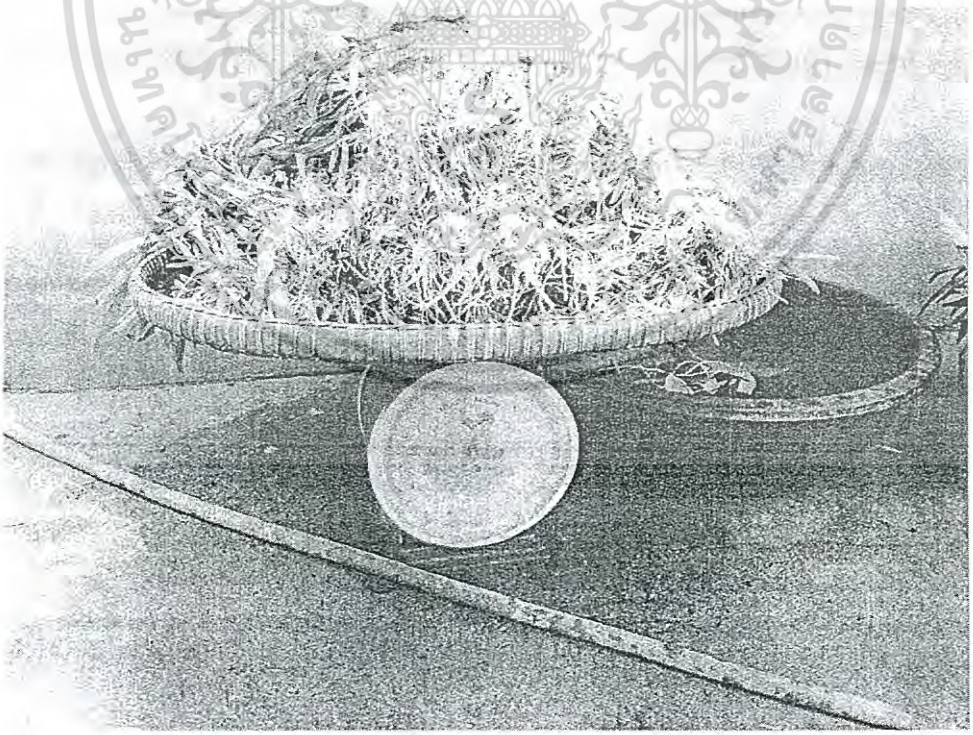
รูปที่ ฉ.17 ครบกำหนดเก็บผักบุ้ง

รูปที่ ฉ.18 การเก็บผลผลิตผักบุ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

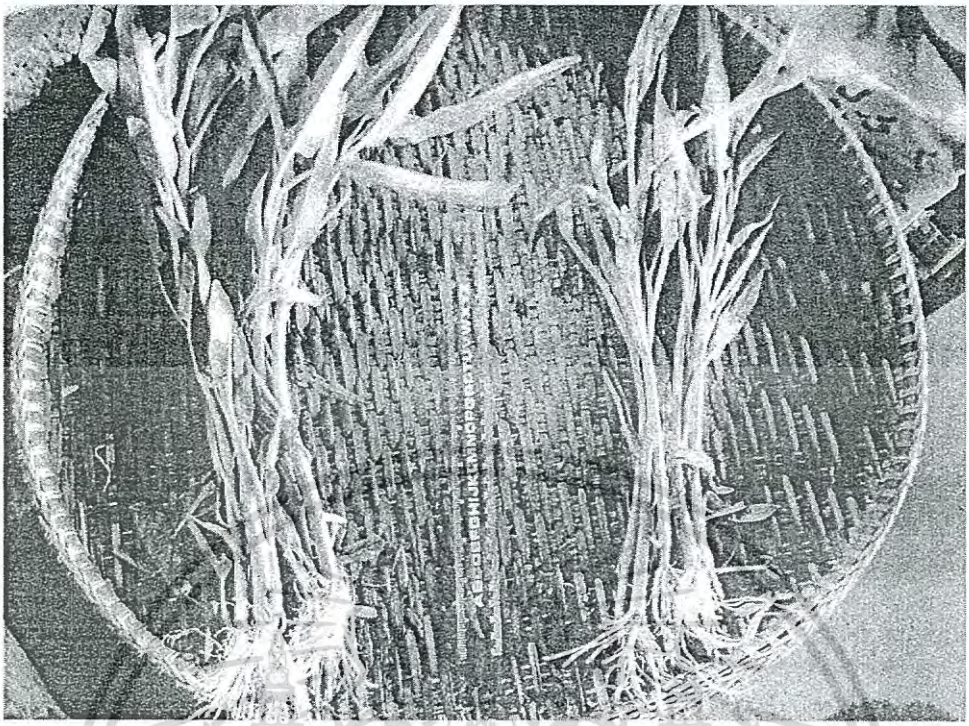


รูปที่ ฉ.19 ล้างผักก่อนการชั่งน้ำหนักเก็บผลการทดลอง

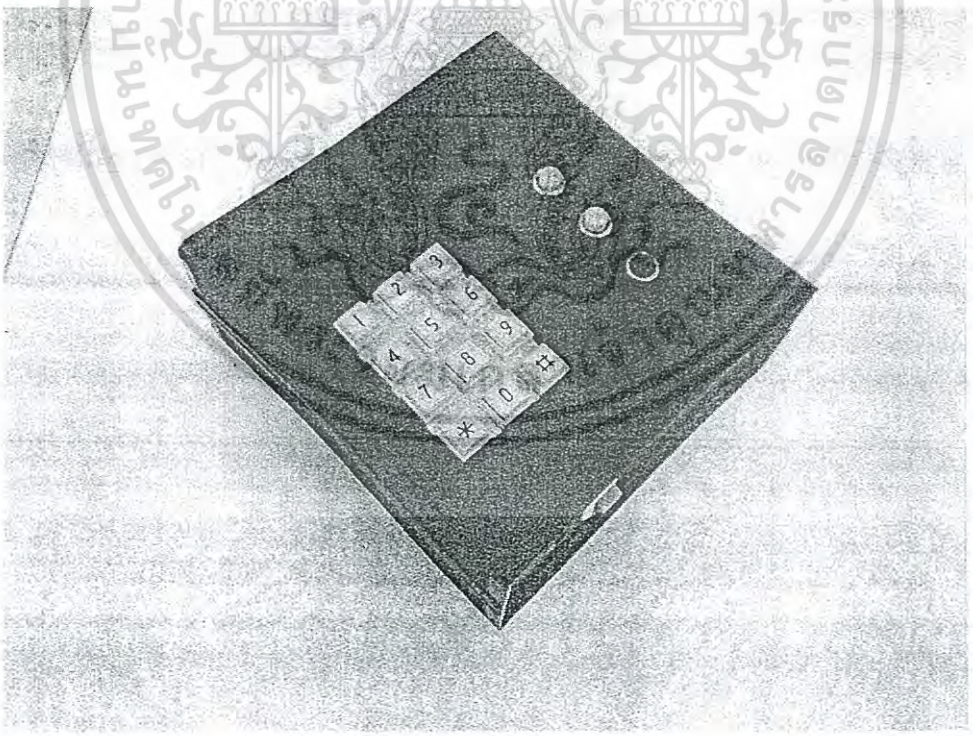


รูปที่ ฉ.20 การชั่งน้ำหนักผักบุ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ฉ.20 การเปรียบเทียบขนาดผักบุ้งระหว่างแปลงที่ใช้ระบบโครงข่ายเซนเซอร์และไม่ใช้



รูปที่ ฉ.21 ชุดควบคุมระบบของระบบโครงข่ายเซนเซอร์ควบคุมความชื้นดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช.

โค้ดโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.โค้ดโปรแกรมเซนเซอร์

```
/*****************************************************
This program was produced by the
CodeWizardAVR V1.24.8b Professional
Automatic Program Generator
© Copyright 1998-2006 Pavel Haiduc, HP InfoTech s.r.l.
http://www.hpinfotech.com
Project :
Version :
Date    : 23/1/2013
Author  : F4CG
Company : F4CG
Comments:
Chip type           : ATmega8
Program type        : Application
Clock frequency     : 11.059200 MHz
Memory model        : Small
External SRAM size  : 0
Data Stack size     : 256
*****************************************************/
#include <mega8.h>
#include <delay.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <stdio.h>
#define   SW  PINC.5
float Volt = 0;
unsigned int Volt_ = 0;
char flag_send = 0;
void OPEN_TX (void);
void CLOSE_TX (void);
#define ADC_VREF_TYPE 0x00
// Read the AD conversion result
unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ADMUX=adc_input | (ADC_VREF_TYPE & 0xff);
// Delay needed for the stabilization of the ADC input voltage
delay_us(10);
// Start the AD conversion
ADCSRA|=0x40;
// Wait for the AD conversion to complete
while ((ADCSRA & 0x10)==0);
ADCSRA|=0x10;
return ADCW;
}
#define RXB8 1
#define TXB8 0
#define UPE 2
#define OVR 3
#define FE 4
#define UDRE 5
#define RXC 7
#define FRAMING_ERROR (1<<FE)
#define PARITY_ERROR (1<<UPE)
#define DATA_OVERRUN (1<<OVR)
#define DATA_REGISTER_EMPTY (1<<UDRE)
#define RX_COMPLETE (1<<RXC)

// USART Receiver buffer
#define RX_BUFFER_SIZE 8
char rx_buffer[RX_BUFFER_SIZE];

#if RX_BUFFER_SIZE<256
unsigned char rx_wr_index,rx_rd_index,rx_counter;
#else
unsigned int rx_wr_index,rx_rd_index,rx_counter;
#endif

// This flag is set on USART Receiver buffer overflow
bit rx_buffer_overflow;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
// USART Receiver interrupt service routine
interrupt [USART_RXC] void usart_rx_isr(void)
{
char status,data;
status=UCSRA;
data=UDR;
if ((status & (FRAMING_ERROR | PARITY_ERROR | DATA_OVERRUN))==0)
  {
if(data=='J') {flag_send=1;}          //OPEN_TX(); printf("\n$%2.2fA",Volt); CLOSE_TX();
delay_ms(20);


    if (++rx_counter == RX_BUFFER_SIZE)
     {
     rx_counter=0;
     rx_buffer_overflow=1;
     };
  };
}

#ifndef _DEBUG_TERMINAL_IO_
// Get a character from the USART Receiver buffer
#define _ALTERNATE_GETCHAR_
#pragma used+
char getchar(void)
{
char data;
while (rx_counter==0);
data=rx_buffer[rx_rd_index];
if (++rx_rd_index == RX_BUFFER_SIZE) rx_rd_index=0;
#asm("cli")
--rx_counter;
#asm("sei")
return data;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}
#pragma used-
#endif

// USART Transmitter buffer
#define TX_BUFFER_SIZE 8
char tx_buffer[TX_BUFFER_SIZE];

#if TX_BUFFER_SIZE<256
unsigned char tx_wr_index,tx_rd_index,tx_counter;
#else
unsigned int tx_wr_index,tx_rd_index,tx_counter;
#endif

// USART Transmitter interrupt service routine
interrupt [USART_TXC] void usart_tx_isr(void)
{
if (tx_counter)
  {
  --tx_counter;
  UDR=tx_buffer[tx_rd_index];
  if (++tx_rd_index == TX_BUFFER_SIZE) tx_rd_index=0;
  };
}

#ifndef _DEBUG_TERMINAL_IO_
// Write a character to the USART Transmitter buffer
#define _ALTERNATE_PUTCHAR_
#pragma used+
void putchar(char c)
{
while (tx_counter == TX_BUFFER_SIZE);
#asm("cli")
if (tx_counter || ((UCSRA & DATA_REGISTER_EMPTY)==0))
  {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
   tx_buffer[tx_wr_index]=c;
   if (++tx_wr_index == TX_BUFFER_SIZE) tx_wr_index=0;
   ++tx_counter;
   }
else
   UDR=c;
#asm("sei")
}
#pragma used-
#endif
// Standard Input/Output functions
#include <stdio.h>
// Declare your global variables here
void OPEN_TX (void)
{
      UCSRB=0xD8;
      //DDRD.1 = 1;
      delay_ms(5);
}
void CLOSE_TX (void)
{
      //UCSRB=0x00;
      UCSRB=0x90;
     // PORTD.1=0;
     // DDRD.1 = 0;
      delay_ms(5);
}
/************************Read_data*****************************/
void Read_data(void)
{
    long sum = 0;
    unsigned int Read_Volt = 0;
    unsigned int loop = 0;

    while(loop<100)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    {
        loop++;
        Read_Volt = read_adc(0);
        sum = sum+Read_Volt;
        Read_Volt = 0;
        if(flag_send==1)  loop = 100;
    }
    if(flag_send==0) Volt_ = sum/100;
}
void main(void)
{PORTB=0x00;
DDRB=0x00;
PORTC=0x00;
DDRC=0x00;
PORTD=0x00;
DDRD=0x00;
TCCR0=0x00;
TCNT0=0x00;
TCCR1A=0x00;
TCCR1B=0x00;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;

ASSR=0x00;
TCCR2=0x00;
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;
MCUCR=0x00;
TIMSK=0x00;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    UCSRA=0x00;
    UCSRC=0x86;
    UBRRH=0x00;
    UBRRL=0x47;
    ACSR=0x80;
    SFIOR=0x00;
    ADMUX=ADC_VREF_TYPE & 0xff;
    ADCSRA=0x84;
    Volt = 3.3;
    Volt_ = 1;
    CLOSE_TX();
    #asm("sei")
    delay_ms(2000);
    flag_send = 0;
    while (1)
        {
    flag_send=0;}
            if(flag_send==1) {OPEN_TX(); printf("\nJ%05ij",Volt_); CLOSE_TX();
    delay_ms(20); flag_send=0;}
            delay_ms(50);
        };
    }
    #include <mega8.h>
    #include <delay.h>
    #include <string.h>
    #include <stdlib.h>
    #define   SW  PINC.5
    unsigned int Volt = 0;
#define RXB8 1
    #define TXB8 0
    #define UPE 2
    #define OVR 3
    #define FE 4
    #define UDRE 5
    #define RXC 7
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#define FRAMING_ERROR (1<<FE)
#define PARITY_ERROR (1<<UPE)
#define DATA_OVERRUN (1<<OVR)
#define DATA_REGISTER_EMPTY (1<<UDRE)
#define RX_COMPLETE (1<<RXC)
#define RX_BUFFER_SIZE 8
char rx_buffer[RX_BUFFER_SIZE];
#if RX_BUFFER_SIZE<256
unsigned char rx_wr_index,rx_rd_index,rx_counter;
#else
unsigned int rx_wr_index,rx_rd_index,rx_counter;
#endif
bit rx_buffer_overflow;
interrupt [USART_RXC] void usart_rx_isr(void)
{
char status,data;
status=UCSRA;
data=UDR;
if ((status & (FRAMING_ERROR | PARITY_ERROR | DATA_OVERRUN))==0)
   {
   rx_buffer[rx_wr_index]=data;
   if (++rx_wr_index == RX_BUFFER_SIZE) rx_wr_index=0;
   if (++rx_counter == RX_BUFFER_SIZE)
      {
      rx_counter=0;
      rx_buffer_overflow=1;
      };
   };
}

#ifndef _DEBUG_TERMINAL_IO_
#define _ALTERNATE_GETCHAR_
#pragma used+
char getchar(void)
{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
char data;
while (rx_counter==0);
data=rx_buffer[rx_rd_index];
if (++rx_rd_index == RX_BUFFER_SIZE) rx_rd_index=0;
#asm("cli")
--rx_counter;
#asm("sei")
return data;
}
#pragma used-
#endif
#define TX_BUFFER_SIZE 8
char tx_buffer[TX_BUFFER_SIZE];
#if TX_BUFFER_SIZE<256
unsigned char tx_wr_index,tx_rd_index,tx_counter;
#else
unsigned int tx_wr_index,tx_rd_index,tx_counter;
#endif
interrupt [USART_TXC] void usart_tx_isr(void)
{
if (tx_counter)
   {
   --tx_counter;
   UDR=tx_buffer[tx_rd_index];
   if (++tx_rd_index == TX_BUFFER_SIZE) tx_rd_index=0;
   };
}
#ifndef _DEBUG_TERMINAL_IO_
#define _ALTERNATE_PUTCHAR_
#pragma used+
void putchar(char c)
{
while (tx_counter == TX_BUFFER_SIZE);
#asm("cli")
if (tx_counter || ((UCSRA & DATA_REGISTER_EMPTY)==0))
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    {
    tx_buffer[tx_wr_index]=c;
    if (++tx_wr_index == TX_BUFFER_SIZE) tx_wr_index=0;
    ++tx_counter;
    }
else
    UDR=c;
#asm("sei")
}
#pragma used-
#endif

#include <stdio.h>
void main(void)
{
PORTB=0x00;
DDRB=0x00;
PORTC=0x00;
DDRC=0x00;
PORTD=0x00;
DDRD=0x00;
TCCR0=0x00;
TCNT0=0x00;
TCCR1A=0x00;
TCCR1B=0x00;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;
ASSR=0x00;
TCCR2=0x00;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;
MCUCR=0x00;
TIMSK=0x00;
UCSRA=0x00;
UCSRB=0xD8;
UCSRC=0x86;
UBRRH=0x00;
UBRRL=0x47;
ACSR=0x80;
SFIOR=0x00;
#asm("sei")
Volt = 23456;
while (1)
      {
        if(SW)  {printf("\n$%05i!",Volt);  delay_ms(100);}
        delay_ms(50);
      };
}
```

2. โค้ดโปรแกรมควบคุมหลัก

```
/*****************************************************
This program was produced by the
CodeWizardAVR V1.24.8b Professional
Automatic Program Generator
ฉ Copyright 1998-2006 Pavel Haiduc, HP InfoTech s.r.l.
http://www.hpinfotech.com

Project :
Version :
Date    : 23/1/2013
Author  : F4CG
Company : F4CG
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Comments:
Chip type           : ATmega32
Program type        : Application
Clock frequency     : 11.059200 MHz
Memory model        : Small
External SRAM size  : 0
Data Stack size     : 512
*****************************************************/

#include <mega32.h>
#include <stdlib.h>
#include <delay.h>
#include <string.h>
#include <math.h>
#include <keypad.c>

/***********************Relay************************/
#define   Relay_1       PORTA.0
#define   Relay_2       PORTA.1
#define   Relay_3       PORTA.2
#define   Relay_4       PORTA.3
#define   Relay_5       PORTA.4

/***********************Switch***********************/
#define   SW_SET        PIND.7
#define   SW_MODE       PINC.3
/*****************************************************/

#define   ON    1
#define   OFF   0
#asm
   .equ __lcd_port=0x15 ;PORTC
#endasm
#include <lcd.h>
/***********************Variable*********************/
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
char databuff[18];
float Volt_RE = 0;
unsigned int Volt_ = 0;
char i = 0;
char flag_send = 0;
char CH = 0;
float DATA_[11] = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0};
float MAX_VALUE[6] = {0,0,0,0,0,0};
float MIN_VALUE[6] = {0,0,0,0,0,0};
char Load_1[10] = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0};
char Load_2[10] = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0};
char Load_3[10] = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0};
char Load_4[10] = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0};
char Load_5[10] = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0};
unsigned int VALUE[6] = {0,0,0,0,0,0};
unsigned int Loop = 0;
#define RXB8 1
#define TXB8 0
#define UPE 2
#define OVR 3
#define FE 4
#define UDRE 5
#define RXC 7
#define FRAMING_ERROR (1<<FE)
#define PARITY_ERROR (1<<UPE)
#define DATA_OVERRUN (1<<OVR)
#define DATA_REGISTER_EMPTY (1<<UDRE)
#define RX_COMPLETE (1<<RXC)
// USART Receiver buffer
#define RX_BUFFER_SIZE 8
char rx_buffer[RX_BUFFER_SIZE];
#if RX_BUFFER_SIZE<256
unsigned char rx_wr_index,rx_rd_index,rx_counter;
#else
unsigned int rx_wr_index,rx_rd_index,rx_counter;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#endif
// This flag is set on USART Receiver buffer overflow
bit rx_buffer_overflow;
// USART Receiver interrupt service routine
interrupt [USART_RXC] void usart_rx_isr(void)
{
char status,data;
status=UCSRA;
data=UDR;
if ((status & (FRAMING_ERROR | PARITY_ERROR | DATA_OVERRUN))==0)
  {
      rx_buffer[rx_wr_index]=data;
      rx_wr_index++;
/******************Check data**************/
  /*************************test*********************/
    if(data=='a')
    {
      DATA_[1] = (float)(atoi(rx_buffer)/100.00);          //string to float
      flag_send = 0;
    }
    else if(data=='b')
    {
      DATA_[2] = (float)(atoi(rx_buffer)/100.00);          //string to float
      flag_send = 0;
    }
    else if(data=='c')
    {
      DATA_[3] = (float)(atoi(rx_buffer)/100.00);          //string to float
      flag_send = 0;
    }
    else if(data=='d')
    {
      DATA_[4] = (float)(atoi(rx_buffer)/100.00);          //string to float
      flag_send = 0;
    }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
else if(data=='e')
{
    DATA_[5] = (float)(atoi(rx_buffer)/100.00);                    //string to float
    flag_send = 0;
}
else if(data=='f')
{
    DATA_[6] = (float)(atoi(rx_buffer)/100.00);                    //string to float
    flag_send = 0;
}
else if(data=='g')
{
    DATA_[7] = (float)(atoi(rx_buffer)/100.00);                    //string to float
    flag_send = 0;
}
else if(data=='h')
{
    DATA_[8] = (float)(atoi(rx_buffer)/100.00);                    //string to float
    flag_send = 0;
}
else if(data=='i')
{
    DATA_[9] = (float)(atoi(rx_buffer)/100.00);                    //string to float
    flag_send = 0;
}
else if(data=='j')
{
    DATA_[10] = (float)(atoi(rx_buffer)/100.00);                   //string to float
    flag_send = 0;
    data = ' ';
}

/******************Clear data******************/
else if((data == 'A')||(data == 'B')||(data == 'C')||(data == 'D')||(data == 'E')||(data ==
'F')||(data == 'G')||(data == 'H')||(data == 'I')||(data == 'J'))
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    {
        for(i=0;i<=RX_BUFFER_SIZE;i++) rx_buffer[i] = 0;
        rx_wr_index = 0;

        if(data == 'A')  DATA_[1] = 0;
        else if(data == 'B')  DATA_[2] = 0;
        else if(data == 'C')  DATA_[3] = 0;
        else if(data == 'D')  DATA_[4] = 0;
        else if(data == 'E')  DATA_[5] = 0;
        else if(data == 'F')  DATA_[6] = 0;
        else if(data == 'G')  DATA_[7] = 0;
        else if(data == 'H')  DATA_[8] = 0;
        else if(data == 'I')  DATA_[9] = 0;
        else if(data == 'J')  DATA_[10] = 0;
        flag_send = 1;
    }
/*****************************************************/
    if (++rx_counter == RX_BUFFER_SIZE)
    {
        rx_counter=0;
        rx_buffer_overflow=1;
    };
    };
}

#ifndef _DEBUG_TERMINAL_IO_
// Get a character from the USART Receiver buffer
#define _ALTERNATE_GETCHAR_
#pragma used+
char getchar(void)
{
char data;
while (rx_counter==0);
data=rx_buffer[rx_rd_index];
if (++rx_rd_index == RX_BUFFER_SIZE) rx_rd_index=0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#asm("cli")
--rx_counter;
#asm("sei")
return data;
}
#pragma used-
#endif
// USART Transmitter buffer
#define TX_BUFFER_SIZE 8
char tx_buffer[TX_BUFFER_SIZE];
#if TX_BUFFER_SIZE<256
unsigned char tx_wr_index,tx_rd_index,tx_counter;
#else
unsigned int tx_wr_index,tx_rd_index,tx_counter;
#endif
// USART Transmitter interrupt service routine
interrupt [USART_TXC] void usart_tx_isr(void)
{
if (tx_counter)
   {
   --tx_counter;
   UDR=tx_buffer[tx_rd_index];
   if (++tx_rd_index == TX_BUFFER_SIZE) tx_rd_index=0;
   };
}
#ifndef _DEBUG_TERMINAL_IO_
// Write a character to the USART Transmitter buffer
#define _ALTERNATE_PUTCHAR_
#pragma used+
void putchar(char c)
{
while (tx_counter == TX_BUFFER_SIZE);
#asm("cli")
if (tx_counter || ((UCSRA & DATA_REGISTER_EMPTY)==0))
   {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    tx_buffer[tx_wr_index]=c;
    if (++tx_wr_index == TX_BUFFER_SIZE) tx_wr_index=0;
    ++tx_counter;
    }
  else
    UDR=c;
#asm("sei")
}
#pragma used-
#endif
// Standard Input/Output functions
#include <stdio.h>
// Declare your global variables here
/**********************************Read_data*********************************/
void Read_data(void)
{
  ,'
      printf("A");
      delay_ms(80);
      printf("B");
      delay_ms(80);
      printf("C");
      delay_ms(80);
      printf("D");
      delay_ms(80);
      printf("E");
      delay_ms(80);
      printf("F");
      delay_ms(80);
      printf("G");
      delay_ms(80);
      printf("H");
      delay_ms(80);
      printf("I");
      delay_ms(80);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    printf("J");
    delay_ms(80);
/*********************************Init_Relay*****************************/
void Init_Relay(void)
{
   Relay_1 = OFF;
   Relay_2 = OFF;
   Relay_3 = OFF;
   Relay_4 = OFF;
   Relay_5 = OFF;
}

/*********************************SET_VALUE*****************************/
void SET_VALUE(void)
{
   char set = 0;
   char loop = 0;
   char index = 0;
   char index_dot = 0;
   char dot = 0;
     Init_Relay();
   lcd_gotoxy(0,0);
   sprintf(databuff,"  SET_VALUE  ");
   lcd_puts(databuff);
   lcd_gotoxy(0,1);
   sprintf(databuff,"    LOAD_1   ");
   lcd_puts(databuff);
   delay_ms(500);
 /*************************SET_LOAD_1*************************/
 /***************MAX************/
   lcd_gotoxy(0,0);
   sprintf(databuff," SETTING LOAD_1 ");
   lcd_puts(databuff);
   lcd_gotoxy(0,1);
   sprintf(databuff,"MAX:%3.2f      ",MAX_VALUE[0]);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  lcd_puts(databuff);
  delay_ms(500);
 for(loop=0;loop<6;loop++) VALUE[loop] = 0;
  dot = 0;
  set = 1;
  index = 0;
  index_dot = 0;
  while(set)
  {
      scan_keypad();

      if((key>=0)&&(key<=9))
      {
          if(dot==0)
          {
              VALUE[index] = key;
              if(index==0) MAX_VALUE[0] = (float)(VALUE[0]);
              else if(index==1) MAX_VALUE[0] = (float)(VALUE[0]*10+VALUE[1]);
              else if(index==2) MAX_VALUE[0] =
(float)(VALUE[0]*100+VALUE[1]*10+VALUE[2]);
              else if(index==3) MAX_VALUE[0] =
(float)(VALUE[0]*1000+VALUE[1]*100+VALUE[2]*10+VALUE[3]);

              if(index<2) index++;
          }
          else if(dot==1)
          {
              VALUE[index_dot+index] = key;
              if(index_dot==0) MAX_VALUE[0] =
MAX_VALUE[0]+(float)(VALUE[index_dot+index])/10;
              else if(index_dot==1) MAX_VALUE[0] =
MAX_VALUE[0]+(float)(VALUE[index_dot+index])/100;

              if(index_dot<1) index_dot++;
          }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        }
        else if((key=='*')&&(dot==0))  dot = 1;
        else if((key=='*')&&(dot==1))
        {
            dot = 0;
            index = 0;
            index_dot = 0;
            for(loop=0;loop<6;loop++) VALUE[loop] = 0;
            MAX_VALUE[0] = 0;
        }
lcd_gotoxy(0,1);
        sprintf(databuff,"MAX:%3.2f      ",MAX_VALUE[0]);
        lcd_puts(databuff);

        if(key=='#')
        {
            lcd_gotoxy(0,1);
            sprintf(databuff,"   COMPLETE    ");
            lcd_puts(databuff);
            set = 0;
        }
    }
  /***************MIN************/
    lcd_gotoxy(0,0);
    sprintf(databuff," SETTING LOAD_1 ");
    lcd_puts(databuff);
    lcd_gotoxy(0,1);
    sprintf(databuff,"MIN:%3.2f      ",MIN_VALUE[0]);
    lcd_puts(databuff);
    delay_ms(500);
     for(loop=0;loop<6;loop++) VALUE[loop] = 0;
    dot = 0;
    set = 1;
    index = 0;
    index_dot = 0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
while(set)
{
    scan_keypad();
if((key>=0)&&(key<=9))
    {
        if(dot==0)
        {
            VALUE[index] = key;
            if(index==0) MIN_VALUE[0] = (float)(VALUE[0]);
            else if(index==1) MIN_VALUE[0] = (float)(VALUE[0]*10+VALUE[1]);
            else if(index==2) MIN_VALUE[0] =
(float)(VALUE[0]*100+VALUE[1]*10+VALUE[2]);
            else if(index==3) MIN_VALUE[0] =
(float)(VALUE[0]*1000+VALUE[1]*100+VALUE[2]*10+VALUE[3]);
if(index<2) index++;
        }
        else if(dot==1)
        {
            VALUE[index_dot+index] = key;
            if(index_dot==0) MIN_VALUE[0] =
MIN_VALUE[0]+(float)(VALUE[index_dot+index])/10;
            else if(index_dot==1) MIN_VALUE[0] =
MIN_VALUE[0]+(float)(VALUE[index_dot+index])/100;

            if(index_dot<1) index_dot++;
        }
    }
    else if((key=='*')&&(dot==0))  dot = 1;
    else if((key=='*')&&(dot==1))
    {
        dot = 0;
        index = 0;
        index_dot = 0;
        for(loop=0;loop<6;loop++) VALUE[loop] = 0;
        MIN_VALUE[0] = 0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        }

        lcd_gotoxy(0,1);
        sprintf(databuff,"MIN:%3.2f      ",MIN_VALUE[0]);
        lcd_puts(databuff);

        if(key=='#')
        {
            lcd_gotoxy(0,1);
            sprintf(databuff,"   COMPLETE   ");
            lcd_puts(databuff);
            set = 0;
        }
    }
/*******************Select_CH*******************/
    lcd_gotoxy(0,0);
    sprintf(databuff," SELECT_CH_1  ");
    lcd_puts(databuff);
    lcd_gotoxy(0,1);
    sprintf(databuff,"              ");
    lcd_puts(databuff);
    delay_ms(1000);

    lcd_gotoxy(0,0);
    sprintf(databuff,"              ");
    lcd_puts(databuff);
    lcd_gotoxy(0,1);
    sprintf(databuff,"              ");
    lcd_puts(databuff);
for(loop=0;loop<10;loop++) Load_1[loop] = 0;
    index = 0;
    set = 1;
    while(set)
    {
        scan_keypad();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        if((key>=0)&&(key<=9))
        {
           if(key==0) key = 10;

if((key!=Load_1[0])&&(key!=Load_1[1])&&(key!=Load_1[2])&&(key!=Load_1[3])&&(key!=L
oad_1[4])&&(key!=Load_1[5])&&(key!=Load_1[6])&&(key!=Load_1[7])&&(key!=Load_1[8]
)&&(key!=Load_1[9]))
           {
              Load_1[index] = key;
              if(index<10) index++;
           }
        }
        else if(key=='#') set = 0;
        else if(key=='*')
        {
           for(loop=0;loop<10;loop++) Load_1[loop] = 0;
           index = 0;
           lcd_gotoxy(0,0);
           sprintf(databuff,"          ");
           lcd_puts(databuff);
           lcd_gotoxy(0,1);
           sprintf(databuff,"          ");
           lcd_puts(databuff);
        }
        if(index<6)
        {
           lcd_gotoxy((index*2)-1,0);
           sprintf(databuff,"%01i",Load_1[index-1]);
           lcd_puts(databuff);
        }
        else
        {
           lcd_gotoxy(((index-5)*2)-1,1);
           sprintf(databuff,"%01i",Load_1[index-1]);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            lcd_puts(databuff);
        }
    }
/*****************************SET_LOAD_2*************************/
 /***************MAX************/
    lcd_gotoxy(0,0);
    sprintf(databuff," SETTING LOAD_2 ");
    lcd_puts(databuff);
    lcd_gotoxy(0,1);
    sprintf(databuff,"MAX:%3.2f      ",MAX_VALUE[1]);
    lcd_puts(databuff);
    delay_ms(500);

    for(loop=0;loop<6;loop++) VALUE[loop] = 0;
    dot = 0;
    set = 1;
    index = 0;
    index_dot = 0;
    while(set)
    {
        scan_keypad();

        if((key>=0)&&(key<=9))
        {
            if(dot==0)
            {
                VALUE[index] = key;
                if(index==0) MAX_VALUE[1] = (float)(VALUE[0]);
                else if(index==1) MAX_VALUE[1] = (float)(VALUE[0]*10+VALUE[1]);
                else if(index==2) MAX_VALUE[1] =
(float)(VALUE[0]*100+VALUE[1]*10+VALUE[2]);
                else if(index==3) MAX_VALUE[1] =
(float)(VALUE[0]*1000+VALUE[1]*100+VALUE[2]*10+VALUE[3]);

                if(index<2) index++;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            //else index = 0;
        }
        else if(dot==1)
        {
            VALUE[index_dot+index] = key;
            if(index_dot==0) MAX_VALUE[1] =
MAX_VALUE[1]+(float)(VALUE[index_dot+index])/10;
            else if(index_dot==1) MAX_VALUE[1] =
MAX_VALUE[1]+(float)(VALUE[index_dot+index])/100;

            if(index_dot<1) index_dot++;
        }
    }
    else if((key=='*')&&(dot==0))  dot = 1;
    else if((key=='*')&&(dot==1))
    {
        dot = 0;
        index = 0;
        index_dot = 0;
        for(loop=0;loop<6;loop++) VALUE[loop] = 0;
        MAX_VALUE[1] = 0;
    }

    lcd_gotoxy(0,1);
    sprintf(databuff,"MAX:%3.2f      ",MAX_VALUE[1]);
    lcd_puts(databuff);

    if(key=='#')
    {
        lcd_gotoxy(0,1);
        sprintf(databuff,"   COMPLETE   ");
        lcd_puts(databuff);
        set = 0;
    }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
/****************MIN************/
   lcd_gotoxy(0,0);
   sprintf(databuff," SETTING LOAD_2 ");
   lcd_puts(databuff);
   lcd_gotoxy(0,1);
   sprintf(databuff,"MIN:%3.2f      ",MIN_VALUE[1]);
   lcd_puts(databuff);
   delay_ms(500);

   for(loop=0;loop<6;loop++) VALUE[loop] = 0;
   dot = 0;
   set = 1;
   index = 0;
   index_dot = 0;
   while(set)
   {
      scan_keypad();

      if((key>=0)&&(key<=9))
      {
         if(dot==0)
         {
            VALUE[index] = key;
            if(index==0) MIN_VALUE[1] = (float)(VALUE[0]);
            else if(index==1) MIN_VALUE[1] = (float)(VALUE[0]*10+VALUE[1]);
            else if(index==2) MIN_VALUE[1] =
(float)(VALUE[0]*100+VALUE[1]*10+VALUE[2]);
            else if(index==3) MIN_VALUE[1] =
(float)(VALUE[0]*1000+VALUE[1]*100+VALUE[2]*10+VALUE[3]);

            if(index<2) index++;
         }
         else if(dot==1)
         {
            VALUE[index_dot+index] = key;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            if(index_dot==0) MIN_VALUE[1] =
MIN_VALUE[1]+(float)(VALUE[index_dot+index])/10;
            else if(index_dot==1) MIN_VALUE[1] =
MIN_VALUE[1]+(float)(VALUE[index_dot+index])/100;

            if(index_dot<1) index_dot++;
        }
    }
    else if((key=='*')&&(dot==0))  dot = 1;
    else if((key=='*')&&(dot==1))
    {
        dot = 0;
        index = 0;
        index_dot = 0;
        for(loop=0;loop<6;loop++) VALUE[loop] = 0;
        MIN_VALUE[1] = 0;
    }

    lcd_gotoxy(0,1);
    sprintf(databuff,"MIN:%3.2f      ",MIN_VALUE[1]);
    lcd_puts(databuff);

    if(key=='#')
    {
        lcd_gotoxy(0,1);
        sprintf(databuff,"    COMPLETE    ");
        lcd_puts(databuff);
        set = 0;
    }
  }
/*******************Select_CH*******************/
  lcd_gotoxy(0,0);
  sprintf(databuff,"  SELECT_CH_2   ");
  lcd_puts(databuff);
  lcd_gotoxy(0,1);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    sprintf(databuff,"                ");
    lcd_puts(databuff);
    delay_ms(1000);
    lcd_gotoxy(0,0);
    sprintf(databuff,"                ");
    lcd_puts(databuff);
    lcd_gotoxy(0,1);
    sprintf(databuff,"                ");
    lcd_puts(databuff);
    for(loop=0;loop<10;loop++) Load_2[loop] = 0;
    index = 0;
    set = 1;
    while(set)
    {
        scan_keypad();
        if((key>=0)&&(key<=9))
        {
            if(key==0) key = 10;
if((key!=Load_2[0])&&(key!=Load_2[1])&&(key!=Load_2[2])&&(key!=Load_2[3])&&(key!=L
oad_2[4])&&(key!=Load_2[5])&&(key!=Load_2[6])&&(key!=Load_2[7])&&(key!=Load_2[8]
)&&(key!=Load_2[9]))
            {
                Load_2[index] = key;
                if(index<10) index++;
            }
        }
        else if(key=='#') set = 0;
        else if(key=='*')
        {
            for(loop=0;loop<10;loop++) Load_2[loop] = 0;
            index = 0;
            lcd_gotoxy(0,0);
            sprintf(databuff,"                ");
            lcd_puts(databuff);
            lcd_gotoxy(0,1);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            sprintf(databuff,"                ");
            lcd_puts(databuff);
        }
        if(index<6)
        {
            lcd_gotoxy((index*2)-1,0);
            sprintf(databuff,"%01i",Load_2[index-1]);
            lcd_puts(databuff);
        }
        else
        {
            lcd_gotoxy(((index-5)*2)-1,1);
            sprintf(databuff,"%01i",Load_2[index-1]);
            lcd_puts(databuff);
        }
    }
/*****************************************************************************/
/*****************************SET_LOAD_3**************************/
/****************MAX************/
    lcd_gotoxy(0,0);
    sprintf(databuff," SETTING LOAD_3 ");
    lcd_puts(databuff);
    lcd_gotoxy(0,1);
    sprintf(databuff,"MAX:%3.2f      ",MAX_VALUE[2]);
    lcd_puts(databuff);
    delay_ms(500);
    for(loop=0;loop<6;loop++) VALUE[loop] = 0;
    dot = 0;
    set = 1;
    index = 0;
    index_dot = 0;
    while(set)
    {
        scan_keypad();
        if((key>=0)&&(key<=9))
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        {
            if(dot==0)
            {
                VALUE[index] = key;
                if(index==0) MAX_VALUE[2] = (float)(VALUE[0]);
                else if(index==1) MAX_VALUE[2] = (float)(VALUE[0]*10+VALUE[1]);
                else if(index==2) MAX_VALUE[2] =
(float)(VALUE[0]*100+VALUE[1]*10+VALUE[2]);
                else if(index==3) MAX_VALUE[2] =
(float)(VALUE[0]*1000+VALUE[1]*100+VALUE[2]*10+VALUE[3]);
                if(index<2) index++;
            }
            else if(dot==1)
            {
                VALUE[index_dot+index] = key;
                if(index_dot==0) MAX_VALUE[2] =
MAX_VALUE[2]+(float)(VALUE[index_dot+index])/10;
                else if(index_dot==1) MAX_VALUE[2] =
MAX_VALUE[2]+(float)(VALUE[index_dot+index])/100;
                if(index_dot<1) index_dot++;
            }
        }
        else if((key=='*')&&(dot==0)) dot = 1;
        else if((key=='*')&&(dot==1))
        {
            dot = 0;
            index = 0;
            index_dot = 0;
            for(loop=0;loop<6;loop++) VALUE[loop] = 0;
            MAX_VALUE[2] = 0;
        }
        lcd_gotoxy(0,1);
        sprintf(databuff,"MAX:%3.2f      ",MAX_VALUE[2]);
        lcd_puts(databuff);
        if(key=='#')
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        {
            lcd_gotoxy(0,1);
            sprintf(databuff,"    COMPLETE    ");
            lcd_puts(databuff);
            set = 0;
        }
    }
/****************MIN************/
    lcd_gotoxy(0,0);
    sprintf(databuff," SETTING LOAD_3 ");
    lcd_puts(databuff);
    lcd_gotoxy(0,1);
    sprintf(databuff,"MIN:%3.2f      ",MIN_VALUE[2]);
    lcd_puts(databuff);
    delay_ms(500);
    for(loop=0;loop<6;loop++) VALUE[loop] = 0;
    dot = 0;
    set = 1;
    index = 0;
    index_dot = 0;
    while(set)
    {
        scan_keypad();
        if((key>=0)&&(key<=9))
        {
            if(dot==0)
            {
                VALUE[index] = key;
                if(index==0) MIN_VALUE[2] = (float)(VALUE[0]);
                else if(index==1) MIN_VALUE[2] = (float)(VALUE[0]*10+VALUE[1]);
                else if(index==2) MIN_VALUE[2] =
(float)(VALUE[0]*100+VALUE[1]*10+VALUE[2]);
                else if(index==3) MIN_VALUE[2] =
(float)(VALUE[0]*1000+VALUE[1]*100+VALUE[2]*10+VALUE[3]);
                if(index<2) index++;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            }
            else if(dot==1)
            {
               VALUE[index_dot+index] = key;
               if(index_dot==0) MIN_VALUE[2] =
MIN_VALUE[2]+(float)(VALUE[index_dot+index])/10;
               else if(index_dot==1) MIN_VALUE[2] =
MIN_VALUE[2]+(float)(VALUE[index_dot+index])/100;
               if(index_dot<1) index_dot++;
            }
        }
        else if((key=='*')&&(dot==0))  dot = 1;
        else if((key=='*')&&(dot==1))
        {
            dot = 0;
            index = 0;
            index_dot = 0;
            for(loop=0;loop<6;loop++) VALUE[loop] = 0;
            MIN_VALUE[2] = 0;
        }
        lcd_gotoxy(0,1);
        sprintf(databuff,"MIN:%3.2f      ",MIN_VALUE[2]);
        lcd_puts(databuff);
        if(key=='#')
        {
            lcd_gotoxy(0,1);
            sprintf(databuff,"    COMPLETE    ");
            lcd_puts(databuff);
            set = 0;
        }
    }

/*******************Select_CH*******************/
    lcd_gotoxy(0,0);
    sprintf(databuff,"  SELECT_CH_3   ");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    lcd_puts(databuff);
    lcd_gotoxy(0,1);
    sprintf(databuff,"                ");
    lcd_puts(databuff);
    delay_ms(1000);
    lcd_gotoxy(0,0);
    sprintf(databuff,"                ");
    lcd_puts(databuff);
    lcd_gotoxy(0,1);
    sprintf(databuff,"                ");
    lcd_puts(databuff);
    for(loop=0;loop<10;loop++) Load_3[loop] = 0;
    index = 0;
    set = 1;
    while(set)
    {
        scan_keypad();
        if((key>=0)&&(key<=9))
        {
            if(key==0) key = 10;
if((key!=Load_3[0])&&(key!=Load_3[1])&&(key!=Load_3[2])&&(key!=Load_3[3])&&(key!=L
oad_3[4])&&(key!=Load_3[5])&&(key!=Load_3[6])&&(key!=Load_3[7])&&(key!=Load_3[8]
)&&(key!=Load_3[9]))
            {
                Load_3[index] = key;
                if(index<10) index++;
            }
        }
        else if(key=='#') set = 0;
        else if(key=='*')
        {
            for(loop=0;loop<10;loop++) Load_3[loop] = 0;
            index = 0;
            lcd_gotoxy(0,0);
            sprintf(databuff,"                ");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            lcd_puts(databuff);
            lcd_gotoxy(0,1);
            sprintf(databuff,"                ");
            lcd_puts(databuff);
        }
        if(index<6)
        {
            lcd_gotoxy((index*2)-1,0);
            sprintf(databuff,"%01i",Load_3[index-1]);
            lcd_puts(databuff);
        }
        else
        {
            lcd_gotoxy(((index-5)*2)-1,1);
            sprintf(databuff,"%01i",Load_3[index-1]);
            lcd_puts(databuff);
        }
    }
/*****************************************************************************/
/*****************************SET_LOAD_4**************************/
/***************MAX************/
    lcd_gotoxy(0,0);
    sprintf(databuff," SETTING LOAD_4 ");
    lcd_puts(databuff);
    lcd_gotoxy(0,1);
    sprintf(databuff,"MAX:%3.2f     ",MAX_VALUE[3]);
    lcd_puts(databuff);
    delay_ms(500);
    for(loop=0;loop<6;loop++) VALUE[loop] = 0;
    dot = 0;
    set = 1;
    index = 0;
    index_dot = 0;
    while(set)
    {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        scan_keypad();
        if((key>=0)&&(key<=9))
        {
            if(dot==0)
            {
                VALUE[index] = key;
                if(index==0) MAX_VALUE[3] = (float)(VALUE[0]);
                else if(index==1) MAX_VALUE[3] = (float)(VALUE[0]*10+VALUE[1]);
                else if(index==2) MAX_VALUE[3] =
(float)(VALUE[0]*100+VALUE[1]*10+VALUE[2]);
                else if(index==3) MAX_VALUE[3] =
(float)(VALUE[0]*1000+VALUE[1]*100+VALUE[2]*10+VALUE[3]);
                if(index<2) index++;
            }
            else if(dot==1)
            {
                VALUE[index_dot+index] = key;
                if(index_dot==0) MAX_VALUE[3] =
MAX_VALUE[3]+(float)(VALUE[index_dot+index])/10;
                else if(index_dot==1) MAX_VALUE[3] =
MAX_VALUE[3]+(float)(VALUE[index_dot+index])/100;
                if(index_dot<1) index_dot++;
            }
        }
        else if((key=='*')&&(dot==0))  dot = 1;
        else if((key=='*')&&(dot==1))
        {
            dot = 0;
            index = 0;
            index_dot = 0;
            for(loop=0;loop<6;loop++) VALUE[loop] = 0;
            MAX_VALUE[3] = 0;
        }
        lcd_gotoxy(0,1);
        sprintf(databuff,"MAX:%3.2f      ",MAX_VALUE[3]);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            lcd_puts(databuff);
            if(key=='#')
            {
                lcd_gotoxy(0,1);
                sprintf(databuff,"    COMPLETE    ");
                lcd_puts(databuff);
                set = 0;
            }
        }
    /****************MIN************/
        lcd_gotoxy(0,0);
        sprintf(databuff," SETTING LOAD_4 ");
        lcd_puts(databuff);
        lcd_gotoxy(0,1);
        sprintf(databuff,"MIN:%3.2f      ",MIN_VALUE[3]);
        lcd_puts(databuff);
        delay_ms(500);
        for(loop=0;loop<6;loop++) VALUE[loop] = 0;
        dot = 0;
        set = 1;
        index = 0;
        index_dot = 0;
        while(set)
        {
            scan_keypad();
            if((key>=0)&&(key<=9))
            {
                if(dot==0)
                {
                    VALUE[index] = key;
                    if(index==0) MIN_VALUE[3] = (float)(VALUE[0]);
                    else if(index==1) MIN_VALUE[3] = (float)(VALUE[0]*10+VALUE[1]);
                    else if(index==2) MIN_VALUE[3] =
    (float)(VALUE[0]*100+VALUE[1]*10+VALUE[2]);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            else if(index==3) MIN_VALUE[3] =
(float)(VALUE[0]*1000+VALUE[1]*100+VALUE[2]*10+VALUE[3]);
            if(index<2) index++;
            //else index = 0;
        }
        else if(dot==1)
        {
            VALUE[index_dot+index] = key;
            if(index_dot==0) MIN_VALUE[3] =
MIN_VALUE[3]+(float)(VALUE[index_dot+index])/10;
            else if(index_dot==1) MIN_VALUE[3] =
MIN_VALUE[3]+(float)(VALUE[index_dot+index])/100;
            if(index_dot<1) index_dot++;
        }
    }
    else if((key=='*')&&(dot==0))  dot = 1;
    else if((key=='*')&&(dot==1))
    {
        dot = 0;
        index = 0;
        index_dot = 0;
        for(loop=0;loop<6;loop++) VALUE[loop] = 0;
        MIN_VALUE[3] = 0;
    }
    lcd_gotoxy(0,1);
    sprintf(databuff,"MIN:%3.2f      ",MIN_VALUE[3]);
    lcd_puts(databuff);
    if(key=='#')
    {
        lcd_gotoxy(0,1);
        sprintf(databuff,"    COMPLETE    ");
        lcd_puts(databuff);
        set = 0;
    }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
/*******************Select_CH*******************/
   lcd_gotoxy(0,0);
   sprintf(databuff,"  SELECT_CH_4   ");
   lcd_puts(databuff);
   lcd_gotoxy(0,1);
   sprintf(databuff,"                ");
   lcd_puts(databuff);
   delay_ms(1000);
   lcd_gotoxy(0,0);
   sprintf(databuff,"                ");
   lcd_puts(databuff);
   lcd_gotoxy(0,1);
   sprintf(databuff,"                ");
   lcd_puts(databuff);
   for(loop=0;loop<10;loop++) Load_4[loop] = 0;
   index = 0;
   set = 1;
   while(set)
   {
       scan_keypad();
       if((key>=0)&&(key<=9))
       {
          if(key==0) key = 10;

if((key!=Load_4[0])&&(key!=Load_4[1])&&(key!=Load_4[2])&&(key!=Load_4[3])&&(key!=L
oad_4[4])&&(key!=Load_4[5])&&(key!=Load_4[6])&&(key!=Load_4[7])&&(key!=Load_4[8]
)&&(key!=Load_4[9]))
          {
             Load_4[index] = key;
             if(index<10) index++;
          }
       }
       else if(key=='#') set = 0;
       else if(key=='*')
       {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        for(loop=0;loop<10;loop++) Load_4[loop] = 0;
        index = 0;
        lcd_gotoxy(0,0);
        sprintf(databuff,"                ");
        lcd_puts(databuff);
        lcd_gotoxy(0,1);
        sprintf(databuff,"                ");
        lcd_puts(databuff);
    }
    if(index<6)
    {
        lcd_gotoxy((index*2)-1,0);
        sprintf(databuff,"%01i",Load_4[index-1]);
        lcd_puts(databuff);
    }
    else
    {
        lcd_gotoxy(((index-5)*2)-1,1);
        sprintf(databuff,"%01i",Load_4[index-1]);
        lcd_puts(databuff);
    }
}
/*****************************************************************************/
/*************************SET_LOAD_5**************************/
/***************MAX***********/
  lcd_gotoxy(0,0);
  sprintf(databuff," SETTING LOAD_5 ");
  lcd_puts(databuff);
  lcd_gotoxy(0,1);
  sprintf(databuff,"MAX:%3.2f      ",MAX_VALUE[4]);
  lcd_puts(databuff);
  delay_ms(500);
  for(loop=0;loop<6;loop++) VALUE[loop] = 0;
  dot = 0;
  set = 1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
index = 0;
index_dot = 0;
while(set)
{
    scan_keypad();
    if((key>=0)&&(key<=9))
    {
        if(dot==0)
        {
            VALUE[index] = key;
            if(index==0) MAX_VALUE[4] = (float)(VALUE[0]);
            else if(index==1) MAX_VALUE[4] = (float)(VALUE[0]*10+VALUE[1]);
            else if(index==2) MAX_VALUE[4] =
(float)(VALUE[0]*100+VALUE[1]*10+VALUE[2]);
            else if(index==3) MAX_VALUE[4] =
(float)(VALUE[0]*1000+VALUE[1]*100+VALUE[2]*10+VALUE[3]);
            if(index<2) index++;
        }
        else if(dot==1)
        {
            VALUE[index_dot+index] = key;
            if(index_dot==0) MAX_VALUE[4] =
MAX_VALUE[4]+(float)(VALUE[index_dot+index])/10;
            else if(index_dot==1) MAX_VALUE[4] =
MAX_VALUE[4]+(float)(VALUE[index_dot+index])/100;

            if(index_dot<1) index_dot++;
        }
    }
    else if((key=='*')&&(dot==0))  dot = 1;
    else if((key=='*')&&(dot==1))
    {
        dot = 0;
        index = 0;
        index_dot = 0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            for(loop=0;loop<6;loop++) VALUE[loop] = 0;
            MAX_VALUE[4] = 0;
        }
        lcd_gotoxy(0,1);
        sprintf(databuff,"MAX:%3.2f      ",MAX_VALUE[4]);
        lcd_puts(databuff);
        if(key=='#')
        {
            lcd_gotoxy(0,1);
            sprintf(databuff,"   COMPLETE    ");
            lcd_puts(databuff);
            set = 0;
        }
    }
/***************MIN************/
    lcd_gotoxy(0,0);
    sprintf(databuff," SETTING LOAD_5 ");
    lcd_puts(databuff);
    lcd_gotoxy(0,1);
    sprintf(databuff,"MIN:%3.2f      ",MIN_VALUE[4]);
    lcd_puts(databuff);
    delay_ms(500);
    for(loop=0;loop<6;loop++) VALUE[loop] = 0;
    dot = 0;
    set = 1;
    index = 0;
    index_dot = 0;
    while(set)
    {
        scan_keypad();
        if((key>=0)&&(key<=9))
        {
            if(dot==0)
            {
                VALUE[index] = key;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                if(index==0) MIN_VALUE[4] = (float)(VALUE[0]);
                else if(index==1) MIN_VALUE[4] = (float)(VALUE[0]*10+VALUE[1]);
                else if(index==2) MIN_VALUE[4] =
(float)(VALUE[0]*100+VALUE[1]*10+VALUE[2]);
                else if(index==3) MIN_VALUE[4] =
(float)(VALUE[0]*1000+VALUE[1]*100+VALUE[2]*10+VALUE[3]);
                if(index<2) index++;
            }
            else if(dot==1)
            {
                VALUE[index_dot+index] = key;
                if(index_dot==0) MIN_VALUE[4] =
MIN_VALUE[4]+(float)(VALUE[index_dot+index])/10;
                else if(index_dot==1) MIN_VALUE[4] =
MIN_VALUE[4]+(float)(VALUE[index_dot+index])/100;
                if(index_dot<1) index_dot++;
            }
        }
        else if((key=='*')&&(dot==0)) dot = 1;
        else if((key=='*')&&(dot==1))
        {
            dot = 0;
            index = 0;
            index_dot = 0;
            for(loop=0;loop<6;loop++) VALUE[loop] = 0;
            MIN_VALUE[4] = 0;
        }
        lcd_gotoxy(0,1);
        sprintf(databuff,"MIN:%3.2f      ",MIN_VALUE[4]);
        lcd_puts(databuff);
        if(key=='#')
        {
            lcd_gotoxy(0,1);
            sprintf(databuff,"   COMPLETE   ");
            lcd_puts(databuff);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            set = 0;
        }
    }
/*******************Select_CH*******************/
    lcd_gotoxy(0,0);
    sprintf(databuff,"  SELECT_CH_5   ");
    lcd_puts(databuff);
    lcd_gotoxy(0,1);
    sprintf(databuff,"                ");
    lcd_puts(databuff);
    delay_ms(1000);
    lcd_gotoxy(0,0);
    sprintf(databuff,"                ");
    lcd_puts(databuff);
    lcd_gotoxy(0,1);
    sprintf(databuff,"                ");
    lcd_puts(databuff);
    for(loop=0;loop<10;loop++) Load_5[loop] = 0;
    index = 0;
    set = 1;
    while(set)
    {
        scan_keypad();
        if((key>=0)&&(key<=9))
        {
            if(key==0) key = 10;

if((key!=Load_5[0])&&(key!=Load_5[1])&&(key!=Load_5[2])&&(key!=Load_5[3])&&(key!=Load_5[4])&&(key!=Load_5[5])&&(key!=Load_5[6])&&(key!=Load_5[7])&&(key!=Load_5[8])&&(key!=Load_5[9]))
            {
                Load_5[index] = key;
                if(index<10) index++;
            }
        }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        else if(key=='#') set = 0;
        else if(key=='*')
        {
            for(loop=0;loop<10;loop++) Load_5[loop] = 0;
            index = 0;
            lcd_gotoxy(0,0);
            sprintf(databuff,"                ");
            lcd_puts(databuff);
            lcd_gotoxy(0,1);
            sprintf(databuff,"                ");
            lcd_puts(databuff);
        }
        if(index<6)
        {
            lcd_gotoxy((index*2)-1,0);
            sprintf(databuff,"%01i",Load_5[index-1]);
            lcd_puts(databuff);
        }
        else
        {
            lcd_gotoxy(((index-5)*2)-1,1);
            sprintf(databuff,"%01i",Load_5[index-1]);
            lcd_puts(databuff);
        }
    }
}
/*************************Check_control*********************************/
void Check_control(void)
{
    if(Load_1[0]>0) {if(DATA_[Load_1[0]]>=MAX_VALUE[0]) Relay_1 = ON;  else
if(DATA_[Load_1[0]]<=MIN_VALUE[0]) Relay_1 = OFF;;}
    else if(Load_1[1]>0) {if(DATA_[Load_1[1]]>=MAX_VALUE[0]);  else
if(DATA_[Load_1[1]]<=MIN_VALUE[0]);}
    else if(Load_1[2]>0) {if(DATA_[Load_1[2]]>=MAX_VALUE[0]);  else
if(DATA_[Load_1[2]]<=MIN_VALUE[0]);}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    else if(Load_1[3]>0) {if(DATA_[Load_1[3]]>=MAX_VALUE[0]); else
if(DATA_[Load_1[3]]<=MIN_VALUE[0]);}
    else if(Load_1[4]>0) {if(DATA_[Load_1[4]]>=MAX_VALUE[0]); else
if(DATA_[Load_1[4]]<=MIN_VALUE[0]);}
    else if(Load_1[5]>0) {if(DATA_[Load_1[5]]>=MAX_VALUE[0]); else
if(DATA_[Load_1[5]]<=MIN_VALUE[0]);}
    else if(Load_1[6]>0) {if(DATA_[Load_1[6]]>=MAX_VALUE[0]); else
if(DATA_[Load_1[6]]<=MIN_VALUE[0]);}
    else if(Load_1[7]>0) {if(DATA_[Load_1[7]]>=MAX_VALUE[0]); else
if(DATA_[Load_1[7]]<=MIN_VALUE[0]);}
    else if(Load_1[8]>0) {if(DATA_[Load_1[8]]>=MAX_VALUE[0]); else
if(DATA_[Load_1[8]]<=MIN_VALUE[0]);}
    else if(Load_1[9]>0) {if(DATA_[Load_1[9]]>=MAX_VALUE[0]); else
if(DATA_[Load_1[9]]<=MIN_VALUE[0]);}

    if(Load_2[0]>0) {if(DATA_[Load_2[0]]>=MAX_VALUE[1]); else
if(DATA_[Load_2[0]]<=MIN_VALUE[1]);}
    else if(Load_2[1]>0) {if(DATA_[Load_2[1]]>=MAX_VALUE[1]); else
if(DATA_[Load_2[1]]<=MIN_VALUE[1]);}
    else if(Load_2[2]>0) {if(DATA_[Load_2[2]]>=MAX_VALUE[1]); else
if(DATA_[Load_2[2]]<=MIN_VALUE[1]);}
    else if(Load_2[3]>0) {if(DATA_[Load_2[3]]>=MAX_VALUE[1]); else
if(DATA_[Load_2[3]]<=MIN_VALUE[1]);}
    else if(Load_2[4]>0) {if(DATA_[Load_2[4]]>=MAX_VALUE[1]); else
if(DATA_[Load_2[4]]<=MIN_VALUE[1]);}
    else if(Load_2[5]>0) {if(DATA_[Load_2[5]]>=MAX_VALUE[1]); else
if(DATA_[Load_2[5]]<=MIN_VALUE[1]);}
    else if(Load_2[6]>0) {if(DATA_[Load_2[6]]>=MAX_VALUE[1]); else
if(DATA_[Load_2[6]]<=MIN_VALUE[1]);}
    else if(Load_2[7]>0) {if(DATA_[Load_2[7]]>=MAX_VALUE[1]); else
if(DATA_[Load_2[7]]<=MIN_VALUE[1]);}
    else if(Load_2[8]>0) {if(DATA_[Load_2[8]]>=MAX_VALUE[1]); else
if(DATA_[Load_2[8]]<=MIN_VALUE[1]);}
    else if(Load_2[9]>0) {if(DATA_[Load_2[9]]>=MAX_VALUE[1]); else
if(DATA_[Load_2[9]]<=MIN_VALUE[1]);}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    if(Load_3[0]>0) {if(DATA_[Load_3[0]]>=MAX_VALUE[2]);  else
if(DATA_[Load_3[0]]<=MIN_VALUE[2]);}
    else if(Load_3[1]>0) {if(DATA_[Load_3[1]]>=MAX_VALUE[2]);  else
if(DATA_[Load_3[1]]<=MIN_VALUE[2]);}
    else if(Load_3[2]>0) {if(DATA_[Load_3[2]]>=MAX_VALUE[2]);  else
if(DATA_[Load_3[2]]<=MIN_VALUE[2]);}
    else if(Load_3[3]>0) {if(DATA_[Load_3[3]]>=MAX_VALUE[2]);  else
if(DATA_[Load_3[3]]<=MIN_VALUE[2]);}
    else if(Load_3[4]>0) {if(DATA_[Load_3[4]]>=MAX_VALUE[2]);  else
if(DATA_[Load_3[4]]<=MIN_VALUE[2]);}
    else if(Load_3[5]>0) {if(DATA_[Load_3[5]]>=MAX_VALUE[2]);  else
if(DATA_[Load_3[5]]<=MIN_VALUE[2]);}
    else if(Load_3[6]>0) {if(DATA_[Load_3[6]]>=MAX_VALUE[2]);  else
if(DATA_[Load_3[6]]<=MIN_VALUE[2]);}
    else if(Load_3[7]>0) {if(DATA_[Load_3[7]]>=MAX_VALUE[2]);  else
if(DATA_[Load_3[7]]<=MIN_VALUE[2]);}
    else if(Load_3[8]>0) {if(DATA_[Load_3[8]]>=MAX_VALUE[2]);  else
if(DATA_[Load_3[8]]<=MIN_VALUE[2]);}
    else if(Load_3[9]>0) {if(DATA_[Load_3[9]]>=MAX_VALUE[2]);  else
if(DATA_[Load_3[9]]<=MIN_VALUE[2]);}

    if(Load_4[0]>0) {if(DATA_[Load_4[0]]>=MAX_VALUE[3]);  else
if(DATA_[Load_4[0]]<=MIN_VALUE[3]);}
    else if(Load_4[1]>0) {if(DATA_[Load_4[1]]>=MAX_VALUE[3]);  else
if(DATA_[Load_4[1]]<=MIN_VALUE[3]);}
    else if(Load_4[2]>0) {if(DATA_[Load_4[2]]>=MAX_VALUE[3]);  else
if(DATA_[Load_4[2]]<=MIN_VALUE[3]);}
    else if(Load_4[3]>0) {if(DATA_[Load_4[3]]>=MAX_VALUE[3]);  else
if(DATA_[Load_4[3]]<=MIN_VALUE[3]);}
    else if(Load_4[4]>0) {if(DATA_[Load_4[4]]>=MAX_VALUE[3]);  else
if(DATA_[Load_4[4]]<=MIN_VALUE[3]);}
    else if(Load_4[5]>0) {if(DATA_[Load_4[5]]>=MAX_VALUE[3]);  else
if(DATA_[Load_4[5]]<=MIN_VALUE[3]);}
    else if(Load_4[6]>0) {if(DATA_[Load_4[6]]>=MAX_VALUE[3]);  else
if(DATA_[Load_4[6]]<=MIN_VALUE[3]);}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    else if(Load_4[7]>0) {if(DATA_[Load_4[7]]>=MAX_VALUE[3]);  else
if(DATA_[Load_4[7]]<=MIN_VALUE[3]);}
    else if(Load_4[8]>0) {if(DATA_[Load_4[8]]>=MAX_VALUE[3]);  else
if(DATA_[Load_4[8]]<=MIN_VALUE[3]);}
    else if(Load_4[9]>0) {if(DATA_[Load_4[9]]>=MAX_VALUE[3]);  else
if(DATA_[Load_4[9]]<=MIN_VALUE[3]);}

    if(Load_5[0]>0) {if(DATA_[Load_5[0]]>=MAX_VALUE[4]);  else
if(DATA_[Load_5[0]]<=MIN_VALUE[4]);}
    else if(Load_5[1]>0) {if(DATA_[Load_5[1]]>=MAX_VALUE[4]);  else
if(DATA_[Load_5[1]]<=MIN_VALUE[4]);}
    else if(Load_5[2]>0) {if(DATA_[Load_5[2]]>=MAX_VALUE[4]);  else
if(DATA_[Load_5[2]]<=MIN_VALUE[4]);}
    else if(Load_5[3]>0) {if(DATA_[Load_5[3]]>=MAX_VALUE[4]);  else
if(DATA_[Load_5[3]]<=MIN_VALUE[4]);}
    else if(Load_5[4]>0) {if(DATA_[Load_5[4]]>=MAX_VALUE[4]);  else
if(DATA_[Load_5[4]]<=MIN_VALUE[4]);}
    else if(Load_5[5]>0) {if(DATA_[Load_5[5]]>=MAX_VALUE[4]);  else
if(DATA_[Load_5[5]]<=MIN_VALUE[4]);}
    else if(Load_5[6]>0) {if(DATA_[Load_5[6]]>=MAX_VALUE[4]);  else
if(DATA_[Load_5[6]]<=MIN_VALUE[4]);}
    else if(Load_5[7]>0) {if(DATA_[Load_5[7]]>=MAX_VALUE[4]);  else
if(DATA_[Load_5[7]]<=MIN_VALUE[4]);}
    else if(Load_5[8]>0) {if(DATA_[Load_5[8]]>=MAX_VALUE[4]);  else
if(DATA_[Load_5[8]]<=MIN_VALUE[4]);}
    else if(Load_5[9]>0) {if(DATA_[Load_5[9]]>=MAX_VALUE[4]);  else
if(DATA_[Load_5[9]]<=MIN_VALUE[4]);}
}

/*****************************************************************************/
/**********scan_keypad*************************************************/
#define ROW1 PINB.3
#define ROW2 PINB.4
#define ROW3 PINB.5
#define ROW4 PINB.6
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#define COL1 PORTA.7
#define COL2 PORTA.6
#define COL3 PORTA.5

char key;
/*****************************************************init key_pad***/
void init_keypad(void)
{
  DDRB.3=0;
  DDRB.4=0;
  DDRB.5=0;
  DDRB.6=0;
  DDRA.7=1;
  DDRA.6=1;
  DDRA.5=1;
}
/*****************************************************scan_keypad***/
void scan_keypad(void)
{
 char i=1;
 while(i)
 {
  PORTB=0x3F;
  COL1=1;
  COL2=1;
  COL3=1;

  COL1=0;COL2=1;COL3=1;delay_ms(5);
  if(ROW1==0) {key=1;i=0; while(ROW1==0);}
  else if(ROW2==0) {key=4;i=0; while(ROW2==0);}
  else if(ROW3==0) {key=7;i=0; while(ROW3==0);}
  else if(ROW4==0) {key='*';i=0; while(ROW4==0);}
  COL1=1;COL2=0;COL3=1;delay_ms(5);
  if(ROW1==0) {key=2;i=0; while(ROW1==0);}
  else if(ROW2==0) {key=5;i=0; while(ROW2==0);}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    else if(ROW3==0) {key=8;i=0; while(ROW3==0);}
    else if(ROW4==0) {key=0;i=0; while(ROW4==0);}
    COL1=1;COL2=1;COL3=0;delay_ms(5);
    if(ROW1==0) {key=3;i=0; while(ROW1==0);}
    else if(ROW2==0) {key=6;i=0; while(ROW2==0);}
    else if(ROW3==0) {key=9;i=0; while(ROW3==0);}
    else if(ROW4==0) {key='#';i=0; while(ROW4==0);}
  }
}
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ซ.

คู่มือการใช้งาน

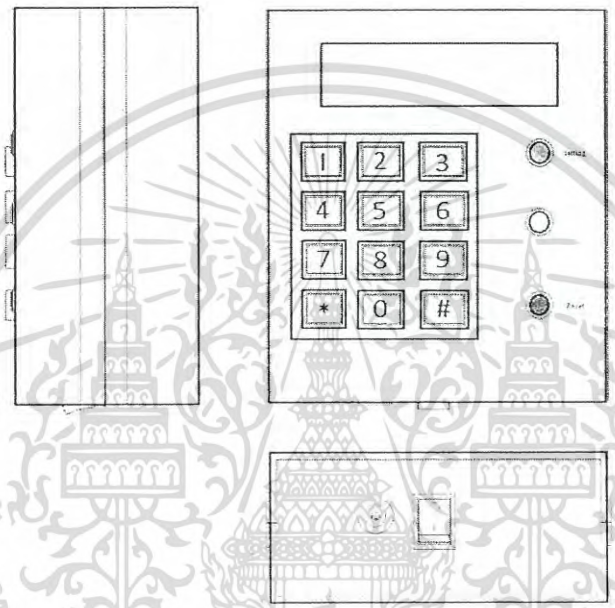
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งาน

โครงข่ายเซนเซอร์ความชื้นในดินสำหรับควบคุมการให้น้ำพืช

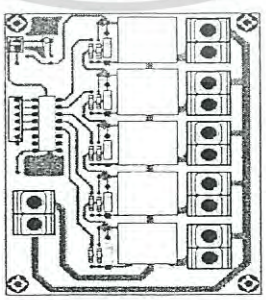
1.ลักษณะโครงสร้างภายนอกของระบบ

1.1.ลักษณะโครงสร้างภายนอกของระบบควบคุมหลัก



รูปที่ 1 ลักษณะโครงสร้างภายนอกของระบบควบคุมหลัก

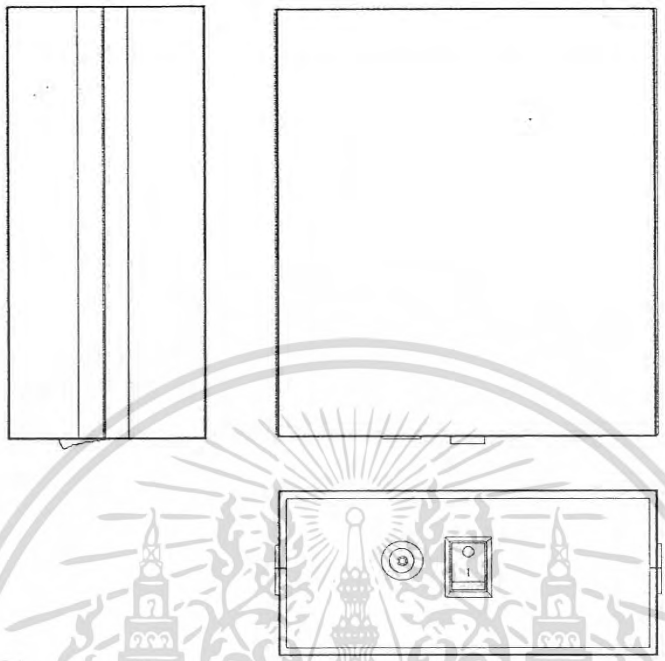
1.2.ลักษณะโครงสร้างของชุด Relay



รูปที่ 2 ลักษณะโครงสร้างของชุดอุปกรณ์Relay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.ลักษณะโครงสร้างภายนอกของระบบเซนเซอร์



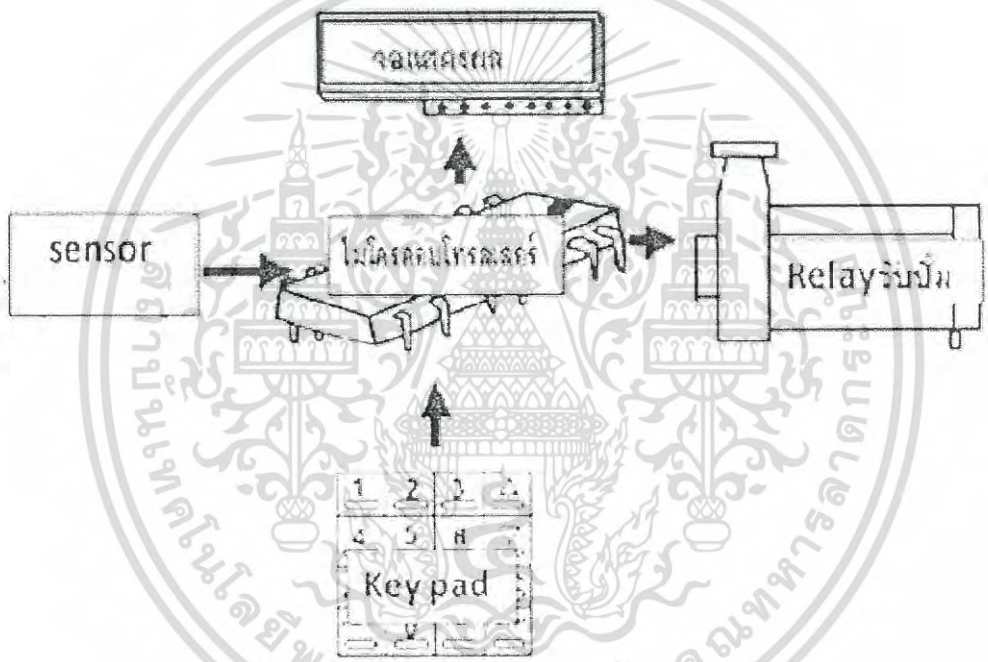
รูปที่ 3 ลักษณะโครงสร้างภายนอกของระบบเซนเซอร์

รูปที่ 4 ลักษณะโครงสร้างภายนอกของหัวเซนเซอร์วัดความชื้นดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.โครงสร้างลักษณะการทำงานของระบบ

ระบบโครงข่ายเซนเซอร์แบ่งการทำงานของระบบออกเป็นส่วนหลักๆ ประกอบไปด้วยส่วนเซนเซอร์ตรวจจับความชื้นในดินทำหน้าที่ตรวจจับค่าความต้านทานแล้วแปลงเป็นค่าทางไฟฟ้าหรือค่าความต่างศักย์ โดยจะส่งค่าเหล่านั้นไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์หลัก, Keypad และ rotary switch ทำหน้าที่เลือกฟังก์ชั่นการทำงานของระบบและใช้กรอกค่าความชื้นเพื่อส่งการให้ระบบเริ่มและหยุดการทำงาน ชุดจอแสดงผล ทำหน้าที่แสดงผลการทำงานของโปรแกรมผ่านทางหน้าจอ และ Relay ทำหน้าที่รับคำสั่งจากส่วนควบคุมหลักเพื่อทำหน้าที่ขับการทำงานของมอเตอร์ปั๊ม โดยควบคุมความชื้นให้เหมาะสมกับพืชได้ตลอดระยะเวลาการเพาะปลูก โดยโครงสร้างระบบอธิบายไว้ใน รูปที่ 5



รูปที่ 5 โครงสร้างการทำงานของระบบ

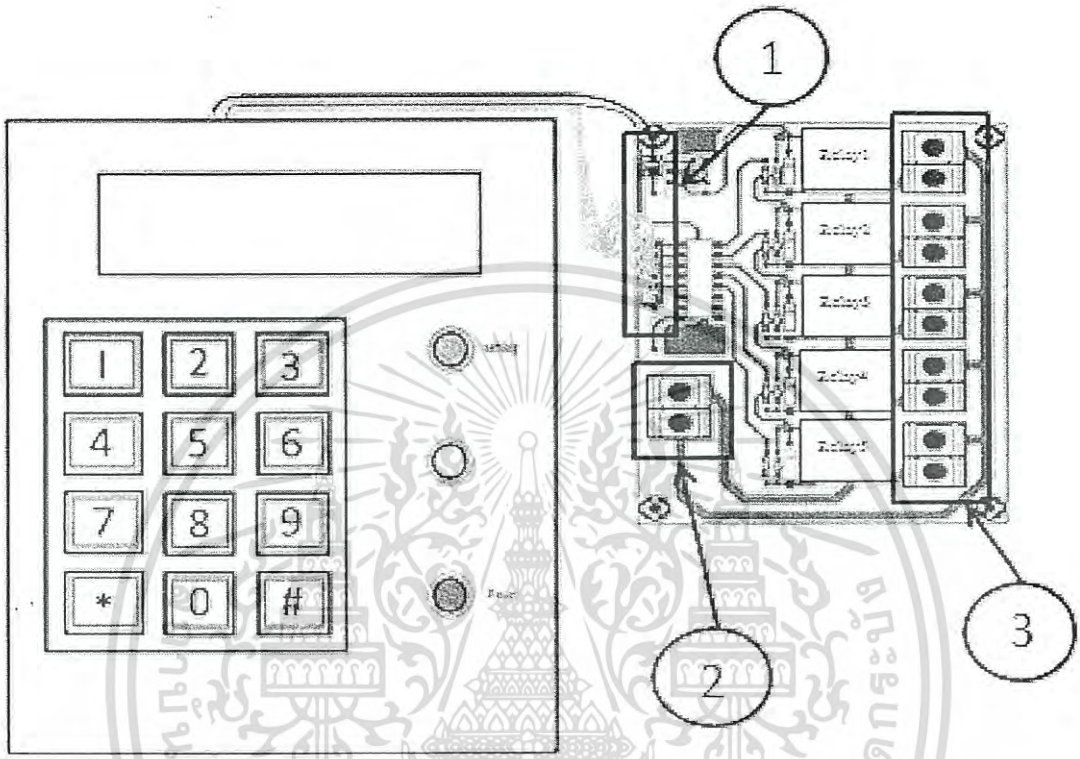
4.การติดตั้งระบบ

4.1 การติดตั้งระบบ Relay ขับปั๊มกับ อุปกรณ์ควบคุมหลัก

การติดตั้งระบบ Relay กับ อุปกรณ์ควบคุมหลัก เพื่อควบคุมการทำงานปิด – เปิดของปั๊มน้ำ ติดตั้งโดยการต่อสายควบคุมออกทางด้านบนของอุปกรณ์ควบคุมหลัก ซึ่งต่อพวงเข้าไปยังชุดอุปกรณ์ Relay หมายเลข 1 จากนั้นทำการต่อพวกไฟ 220 VAC เพื่อใช้ขับปั๊มเข้าที่ หมายเลยเลข 2 แล้วทำการ

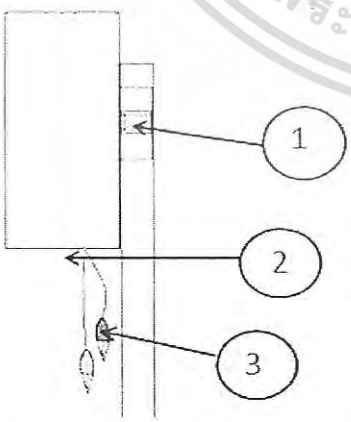
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือก Relay ตัวที่ใช้งานแล้วต่อที่หมายเลข 3 ซึ่ง Relay ของระบบโครงข่ายเซนเซอร์จะมีทั้งหมด 5 ชุด โดยแต่ละชุดสามามารถรองรับไฟได้คือ NO:10A 250VAC และ NC: 6A 250VAC ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 โครงสร้างการทำงานของระบบ

4.2 การติดตั้งระบบเซนเซอร์วัดความชื้นดิน



จากรูปที่ 7 แสดงการติดตั้งชุดเซนเซอร์ในแปลง โดยการยึดกล่องเซนเซอร์ ที่หมายเลข 1 จากนั้น คีบสายสัญญาณเซนเซอร์ที่หมายเลข 3 แล้วทำการเปิดสวิตช์ ที่หมายเลข 2 เพื่อให้ระบบทำงาน

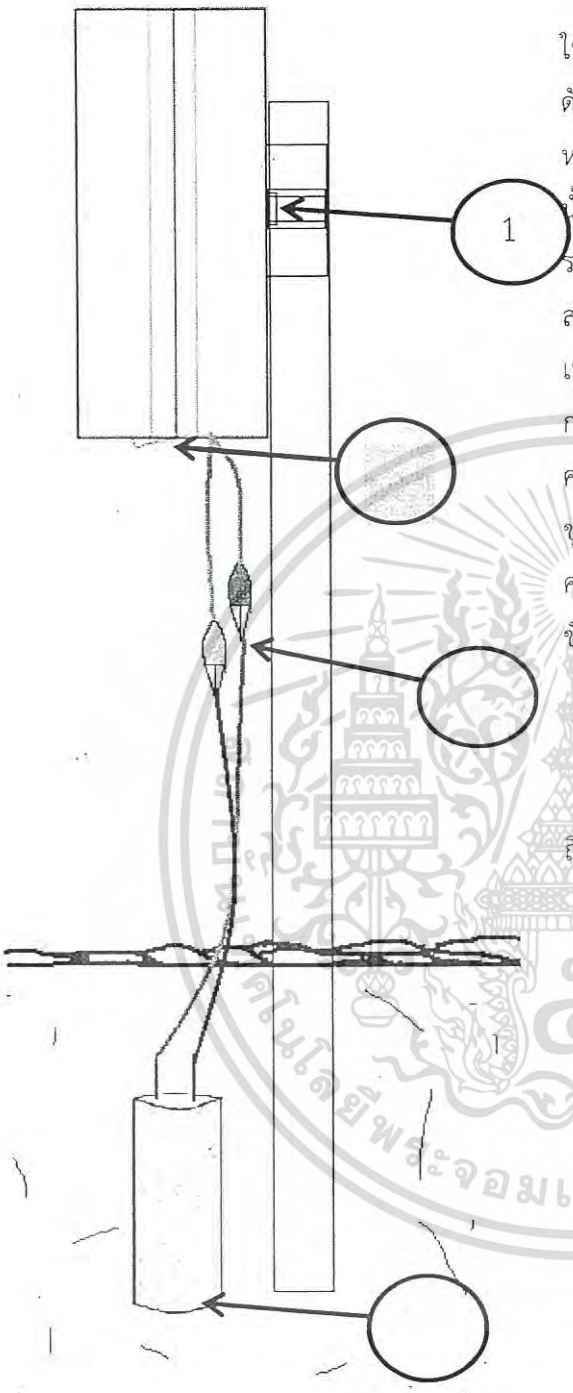
รูปที่ 7 ชุดเซนเซอร์ยึดกับแท่งเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

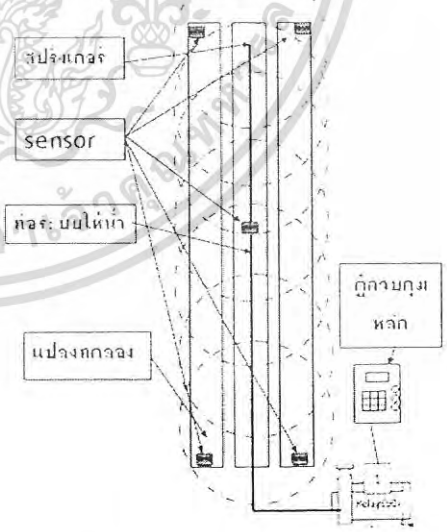
จากรูปที่ 8 จากนั้นทำการติดตั้งเซนเซอร์ ฝังลงไปในดินที่ความลึก 1 ใน 4 ของเขตรากพืชชนิดนั้นๆ ดังหมายเลข 4 แล้วเชื่อมต่อสัญญาณที่ปลั๊กคีบหมายเลข 3 ซึ่งจำนวนชุดเซนเซอร์ที่ติดตั้งในแปลงนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของแปลง การกระจายตัวของระบบน้ำและ ชนิดของระบบการให้น้ำ โดยระยะการส่งสัญญาณ จากชุดควบคุมหลักถึงชุดเซนเซอร์นั้นเท่ากับ 80 – 120 m หากระบบการให้น้ำมีการกระจายตัวที่ดีสามารถ ติดตั้งเซนเซอร์ 2 ชุด ในพื้นที่ควบคุม 10 ไร่ได้ (แต่ไม่ควรติดชุดเซนเซอร์เพียง 1 ชุด แม้ว่าพื้นที่จะขนาดเล็กเพียงใดก็ตาม ทั้งนี้เพราะควรสำรองชุดเซนเซอร์ไว้เพื่อป้องกันการเกิดการขัดข้องของระบบ)

4.2.1 การติดตั้งในระบบน้ำสปริงเกอร์

ควรติดตั้งในจุดที่สปริงเกอร์กระจายน้ำไปไม่ค่อยถึง เช่น หัวแปลงท้ายแปลงดังรูปที่ 9

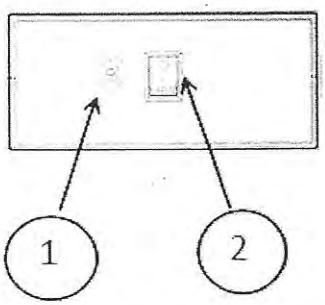


รูปที่ 8 การติดตั้งชุดเซนเซอร์



รูปที่ 9 การติดตั้งชุดเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

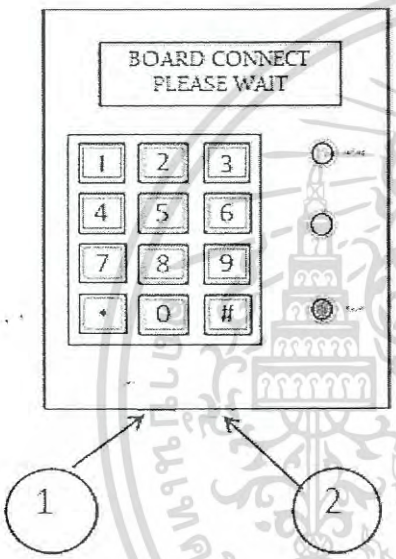


4.2.2 การติดตั้งในระบบน้ำหยด

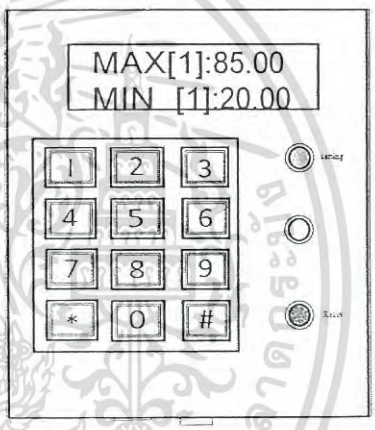
ควรติดตั้งที่ปลายสายของระบบน้ำเพราะที่ปลายสายของระบบน้ำจะเป็นจุดที่น้ำไปถึงน้อยกว่าจุดอื่นๆ

4.3.1 การปิดระบบโครงข่ายเซนเซอร์

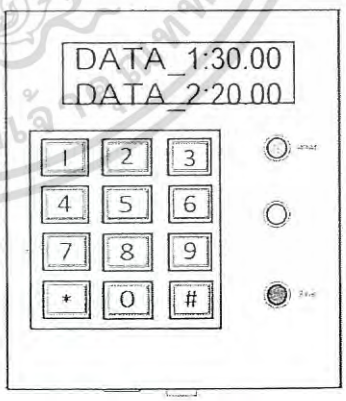
จากรูปที่ 10 การเปิดใช้งานระบบเริ่มจากการต่อสายชาร์ตที่หมายเลข 1 เปิดระบบโครงข่ายเซนเซอร์ที่หมายเลข 2 ซึ่งระบบจะแสดงผลข้อความ “BOARD CONNECTPLEASE WAIT” เพื่อแสดงสถานการณ์เริ่มทำงานของระบบ



รูปที่ 10 แสดงขั้นตอนการเริ่มเปิดระบบของระบบ



รูปที่ 11 โปรแกรมแสดงค่า max และ min



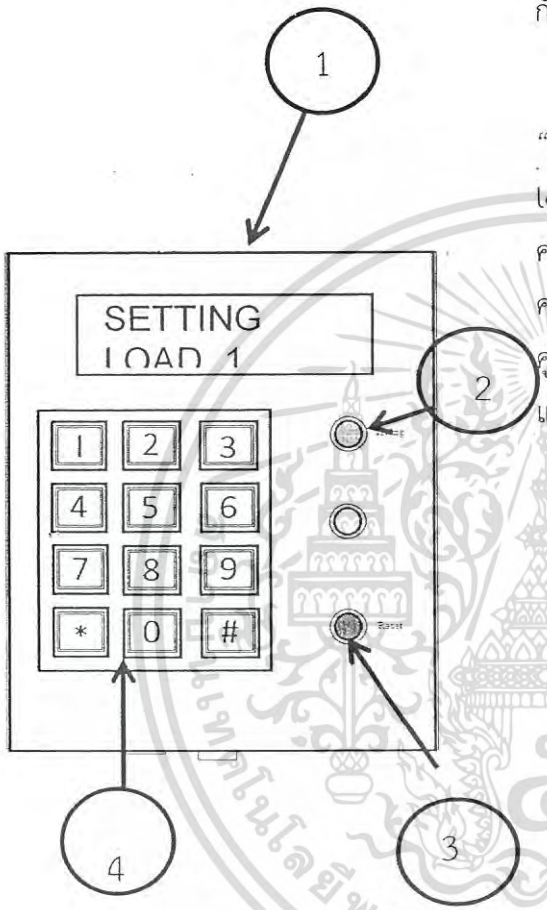
รูปที่ 12 หน้าจอปกติจะแสดงสถานะความชื้นของเซนเซอร์แต่ละตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบจะทำการรันแสดงค่า max และ min เดิมที่เคยตั้งไว้ดังรูปที่11 จากนั้นโปรแกรมจะเข้าสู่ระบบทำงานปกติดังรูปที่ 12

4.3.2 การตั้งค่าแรงดึงความชื้นและจัดกลุ่มเซนเซอร์กับชุด Relayปั้มของระบบโครงข่ายเซนเซอร์

จากรูปที่ 13 เริ่มจากการกดที่ปุ่ม “setting”หมายเลข 2 หน้าจอจะแสดงผล setting load 1 เพื่อให้ปรับค่า max และ min ของแรงดึงความชื้นที่ต้องการให้ระบบทำงาน(สำหรับค่าแรงดึงความชื้นของพืชแต่ละชนิดได้แนะนำไว้ที่ท้ายของคู่มือ) เมื่อตั้งค่า max และ min ของ relay ตัวที่ 1 แล้วให้กด ตกลง หรือ “#”

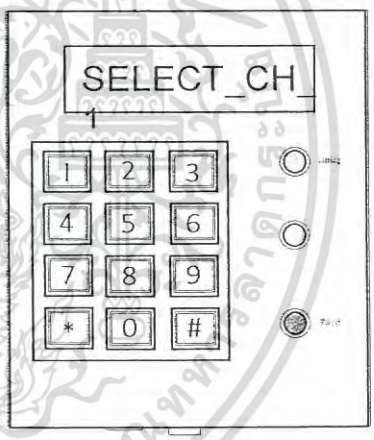


รูปที่ 13 แสดงขั้นตอนการเริ่มเปิดระบบของระบบ

หมายเหตุ

ปุ่ม # = “Enter”หรือ “ตกลง”

ปุ่ม * = “.” หรือ “จุด”



รูปที่ 14 แสดงการตั้งค่าจับกลุ่มระหว่างชุดเซนเซอร์กับชุดปั้ม

เมื่อตั้งค่า max และ min แล้วขั้นถัดมาคือ การจับชุด เซนเซอร์เข้ากับ Relay ตัวที่ 1 แล้วกดตกลง “#”เพื่อเข้าสู่ตั้งค่าระบบ Relay ปั้มตัวถัดไป ซึ่งมี 5 ตัว (หากชุด Relay ตัวใดยังไม่ได้ใช้งานให้กด ตกลง หรือ “#”จนถึงหน้าจอปกติ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.ตารางแสดงระดับความเครียดเมตริกที่สมควรให้น้ำชลประทานกับพืชนิดต่าง ๆที่ปลูกในดินลึกและระบายน้ำได้ดีเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุด

ชนิดพืช	ความเครียดเมตริก, บาร์
ถั่วเมล็ดแบน (beans)	0.75 - 2.00
กะหล่ำดอก	0.60 - 0.70
ถั่วเมล็ดกลม (peas)	0.30 - 0.50
เซเลอรี (celery)	0.20 - 0.30
ข้าวโพดหวาน	0.50 - 1.00
หอมใหญ่ - ระยะแรกของการเติบโต	- 0.55
-ระยะกำลังมีหัว	0.55 - 0.65
มันฝรั่ง	0.30 - 0.50
แคร์รอท	0.55 - 0.65
บล็อคโคลี่ - ระยะแรกของการเติบโต	0.45 - 0.55
- หลังจากแตกตาดอก	0.60 - 0.70
กะหล่ำปลี	0.60 - 0.70
ส้ม	0.20 - 1.00
ไม้ผลผลัดใบ	0.50 - 0.80
องุ่น - ระยะแรกของการเติบโต	0.40 - 0.50
- ระยะเมื่อโตเต็มที่	1.00
สตรอเบอรี่	0.20 - 0.30
แคนตาลูป (cantaloupe)	0.35 - 0.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มะเขือเทศ		0.80 - 1.50
กล้วย		0.3 - 1.50
ข้าวโพด	- ระยะเติบโตทางต้นและใบ	0.5
	-ระยะแก่	8.00 - 12.00
ธัญพืชเมล็ดเล็ก	- ระยะเติบโตทางต้นและใบ	0.40 - 0.50
	- ระยะแก่	8.00 - 12.00

ที่มา : [10]

หมายเหตุ:หากใช้ในพืชที่ยังไม่มีผลการวิจัยดังในตารางแนะนำ ให้ใช้ตารางของพืชที่ชนิดใกล้เคียงกันหรือแล้วแต่วิจารณญาณของผู้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นายพรนรินทร์ ต้นกระหาด
วันเดือนปีเกิด	23 พฤศจิกายน 2532 ที่นครราชสีมา
	69/8 หมู่บ้านบุหว้า
	ตำบลสระว่านพระยา อำเภอครบุรี นครราชสีมา 30250 โทร.081-0724282
ประวัติการศึกษา	2544 จบปฐมศึกษา โรงเรียนบุหว้าสามัคคี ตำบลสระว่านพระยา อำเภอครบุรี นคราชสีมา
	2550 จบมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนครบุรี อำเภอครบุรี นครราชสีมา
	2555 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1) ระบบโปรแกรมออกแบบ
	2) การออกแบบระบบควบคุมการให้น้ำพืชอัตโนมัติแบบไร้สาย

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

พ.ศ.2554 – 2555 ออกแบบระบบควบคุมการให้น้ำพืชอัตโนมัติแบบไร้สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TSAE 2013

การประชุมวิชาการ สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย

ระดับชาติ ครั้งที่ 14 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 6

The 14th TSAE National Conference and

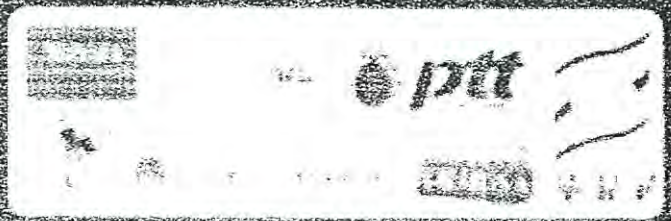
the 6th TSAE International Conference

(TSAE 2013)

โรงแรมเดอะพาร์คแลนด์ ศรีนครินทร์ พัทยา

จังหวัดชลบุรี

1-4 เมษายน 2556



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEA-05	ระบบเก็บพลังงานไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์แบบติดตามความเข้มแสง	388
TEA-06	การจัดการพลังงานในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง	394
TEA-07	การใช้ประโยชน์น้ำมันสกัดจากเปลือกส้มเพื่อเป็นน้ำมันไบโอดีเซล	399
TEA-08	การทดสอบและประเมินผลกังหันลมแกนตั้งเพื่อการสูบน้ำ	407
TEA-09	การกำหนดค่าตัวแปรที่เหมาะสมของอุณหภูมิการเผาไหม้ ในระบบการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล โดยวิธีออกแบบการทดลอง	410
TET-01	สารตกค้างในผักที่วางจำหน่ายในต. หนองกอมเกาะอ.เมืองจ.หนองคาย	417
TET-02	การวิจัยเตาผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้จากมังคุดที่เหลือทิ้ง	421
TETA-01	ต้นแบบเครื่องวัดเปอร์เซ็นต์เนื้อยาง	425
TETA-02	การสร้างเครื่องต้นแบบเพื่อตรวจวัดความชื้นของลำไยอบแห้งแบบมีเปลือก	429
TETA-05	โครงข่ายเซนเซอร์ความชื้นในดินสำหรับควบคุมการให้น้ำพืช	430
TETA-07	การพัฒนาเครื่องมือวัดแรงแบบสามแนวแกนสำหรับการต่อพ่วงสามจุด ของรถแทรกเตอร์เกษตรขนาดเล็ก	436
TFE-02	การลดความสูญเสียวัตถุดิบในขั้นตอนการแช่และบรรจุปลา	443
TFE-03	ศึกษาการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ด้วยวิธีการแช่เยือกแข็ง	448
TFE-04	จลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงสีของใบกะเพราในระหว่างการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ	452
TFE-05	แบบจำลองการอบแห้งแบบชั้นบางของสาหร่ายเตาด้วยคลื่นไมโครเวฟ	460
TFE-06	อิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้งและระยะเวลาลอกที่มีต่อคุณภาพของแป้งข้าวกล้องงอก	469
TFE-07	การศึกษาผลของสภาวะในกระบวนการเจลาทีไนซันและเวลาการตัดกิ่งสายโซ่โมเลกุลสตาร์ชต่อสมบัติของสตาร์ชต้านทานการย่อยจากกล้วยน้ำว้า (MUSA SAPIENTUM LINN.)	477
TFE-08	การทำแห้งแป้งบุกแบบสองขั้นตอนโดยใช้เทคนิคการปั่นเหวี่ยงและการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด	485
TFE-11	การพัฒนาตู้อบสำหรับกระบวนการอบข้าวเปลือกโดยการใช้หัวเผาก๊าซอินฟราเรด	491
TFE-12	อิทธิพลของการเขย่าและความหนืดของของเหลวที่มีต่อการแทรกผ่านความร้อน ในกระป๋องระหว่างการฆ่าเชื้อ	497
TFE-13	การศึกษาเวลาฆ่าเชื้อและเนื้อสัมผัสของส่วนประกอบหลักของแกงเขียวหวานในบรรจุกระป๋องภายใต้สภาวะเขย่าระหว่างการให้ความร้อน	503
TFE-14	การศึกษาการอบแห้งโจ๊กข้าวกล้องงอกกึ่งสำเร็จรูปด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง	509
TFE-16	การศึกษาการแทรกผ่านความร้อนในน้ำกะทิกระป๋องภายใต้สภาวะการเขย่าแบบไม่ต่อเนื่อง	513
TFE-20	จลนพลศาสตร์การอบแห้งปลาข้าวสาร ด้วยลมร้อนและรังสีอินฟราเรด	519
TFE-21	การผลิตอาหารเพื่อสุขภาพจากถั่ว 5 สีสำหรับผู้สูงวัยด้วยกรรมวิธีเอ็กซ์ทรูชัน	526
TFE-22	การผลิตเครื่องดื่มผงจากถั่วเหลืองและงาดำที่ผ่านการเพาะงอก	533
TFE-24	ผลกระทบของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสีของเห้าขมิ้นชันแผ่นในระหว่างการอบแห้งด้วยลมร้อน	539
TFE-28	การออกแบบและพัฒนาเครื่องบรรจุชิ้นเนื้ออาหารลงกระป๋องความเร็วสูง	546
TFE-29	การอบแห้งเนื้อไก่ด้วยลมร้อนและรังสีอินฟราเรด	552
TFE-30	การอบแห้งใบเตยและตะไคร้เพื่อผลิตเป็นชาชงสมุนไพร ด้วยแหล่งพลังงานความร้อนหลายรูปแบบ	558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14
และระดับนานาชาติครั้งที่ 6 ประจำปี 2556 ระหว่างวันที่ 1-4 เมษายน 2556

TETA-05

โครงข่ายเซนเซอร์ความชื้นในดินสำหรับควบคุมการให้น้ำพืช

พรนรินทร์ ต้นกระหาด และ ทรงวุฒิ แสงจันทร์
หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

ผู้เขียนติดต่อ: พรนรินทร์ ต้นกระหาด E-mail: pop16491@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบโครงข่ายเซนเซอร์สำหรับตรวจจับความชื้นในดินเพื่อควบคุมการให้น้ำพืช โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลความชื้นในดินและควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติซึ่งสามารถปรับตั้งค่าความชื้นที่ต้องการได้ตามความต้องการของพืช โดยระบบมีส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ ส่วนควบคุมการทำงานหลักและส่วนตรวจวัดความชื้นซึ่งทำงานโดยระบบไร้สาย งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองใช้เซนเซอร์ตรวจจับความชื้นในดินเพื่อสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของดินกับค่าต่างศักย์ซึ่งได้จากกระแสไฟฟ้าที่ส่งไปยังเซนเซอร์โดยที่กระแสไฟฟ้าจะไหลกลับมากน้อยนั้นขึ้นอยู่กับความชื้นของดินไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่รับค่าความต่างศักย์ (V_{out}) จากกระแสไฟฟ้า DC ที่ส่งออกไปเพื่อเข้าสู่กระบวนการ ADC Conversion ซึ่งจะทำการแปลงค่าจาก analog เป็น digital และบันทึกค่าไว้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ ทั้งนี้เพื่อนำข้อมูลไปใช้อ้างอิงสำหรับสร้างสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ในการเขียนโปรแกรมควบคุม ซึ่งจะเป็นการสร้างระบบโครงข่ายที่สามารถทำงานประสานกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถประเมินขนาดพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับจำนวนเซนเซอร์ได้ และได้ทำการศึกษาตัวแปรอื่นๆ ที่อาจมีผลต่อการตรวจจับความชื้น เช่น อุณหภูมิของดิน ชนิดของดิน และระยะห่างของเซนเซอร์ตรวจจับกับส่วนควบคุมหลัก

คำสำคัญ: โครงข่ายเซนเซอร์, ระบบไร้สาย, ความชื้นดิน

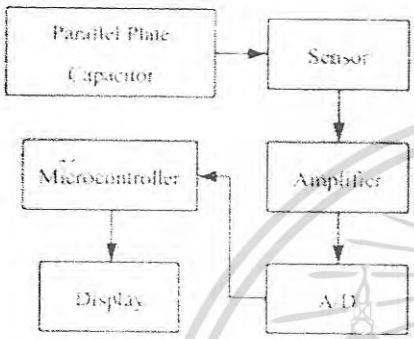
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น ลำไยสด 1,000 g / ลำไยแห้ง 361 g

ถ้าลำไยสด A g / ลำไยแห้ง B g แล้ว $B = \frac{A \times 361}{1,000}$ g

คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่น้ำหนักต่างๆ ใช้สูตรการประมาณค่าเชิงเส้นแบบลา-กรองจ์ [2]

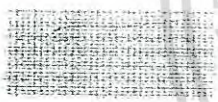
4 ออกแบบเครื่องตรวจวัดความชื้นของลำไยอบแห้ง ดังภาพที่ 2 วงจรตรวจวัดใช้ไอซี CAV424 (convertor C to V) แปลงค่าความจุไฟฟ้าเป็นแรงดัน ให้เอาท์พุทเป็น differential voltage การประมวลผลควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ T89C51AC2 แปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล แสดงผลทางแอลอีดีเจ็ดส่วน



ภาพที่ 2 การออกแบบเครื่องตรวจวัดความชื้นของลำไยอบแห้ง

ผลการทดลอง

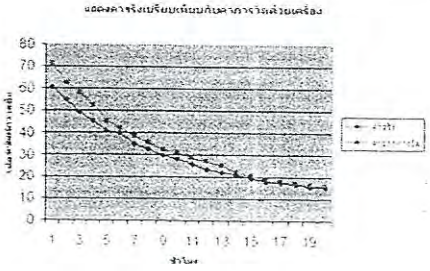
การวัดความชื้นของลำไยกับความจุไฟฟ้า ดังภาพที่ 3 และความชื้นของลำไยกับแรงดันไฟฟ้าดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3 ความชื้นของลำไยกับความจุไฟฟ้า

ภาพที่ 4 ความชื้นของลำไยกับแรงดันไฟฟ้า

ทดสอบค่าจริงกับการวัดด้วยเครื่องที่ออกแบบ ดังภาพที่ 5 และแสดงเครื่องวัดที่ได้ออกแบบดังภาพที่ 6



ภาพที่ 5 ทดสอบค่าจริงกับการวัดด้วยเครื่องที่ออกแบบ

ภาพที่ 6 เครื่องวัด

สรุป

จากความสัมพันธ์ของความจุไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้ากับความชื้นของลำไยที่อบ นำข้อมูลที่ได้มาออกแบบเครื่องวัดผลการทดสอบค่าจริงกับค่าการวัดด้วยเครื่องที่ออกแบบผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อนระหว่าง 1.48-19.03%

เอกสารอ้างอิง

[1] จตุหมายข่าวผลิตภัณฑ์ใหม่การวิจัยและพัฒนาการเกษตร กรมวิชาการเกษตร การผลิตลำไย

[2] R.J.Hosking, D.C.Joyce and J.C.Turner. First Steps In Numerical Analysis. 2nd

TETA-05

โครงข่ายเซนเซอร์ความชื้นในดินสำหรับควบคุมการให้น้ำพืช

พรนรินทร์ ต้นกระหาด[1] และ ทรงวุฒิ แสงจันทร์[1]
[1]หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้เขียนติดต่อ: พรนรินทร์ ต้นกระหาด E-mail: pop16491@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบโครงข่ายเซนเซอร์สำหรับตรวจจับความชื้นในดินเพื่อควบคุมการให้น้ำพืช โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลความชื้นในดินและควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติซึ่งสามารถปรับตั้งค่าความชื้นที่ต้องการได้ตามความต้องการของพืช โดยระบบมีส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ ส่วนควบคุมการทำงานหลักและส่วนตรวจวัดความชื้น ซึ่งทำงานโดยระบบไร้สาย งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองใช้เซนเซอร์ตรวจจับความชื้นในดินเพื่อสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของดินกับค่าต่างศักย์ซึ่งได้จากกระแสไฟฟ้าที่ส่งไปยังเซนเซอร์โดยที่กระแสไฟฟ้าจะไหลกลับมากน้อยนั้นขึ้นอยู่กับความชื้นของดินไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่รับค่าความต่างศักย์(V_{OUT})จากกระแสไฟฟ้า DC ที่ส่งออกไปเพื่อเข้าสู่กระบวนการ ADC Conversion ซึ่งจะทำการแปลงค่าจาก analog เป็น digital และบันทึกค่าไว้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ ทั้งนี้เพื่อนำข้อมูลไปใช้อ้างอิงสำหรับสร้างสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ในการเขียนโปรแกรมควบคุม ซึ่งจะเป็นการสร้างระบบโครงข่ายที่สามารถทำงานประสานกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถประเมินขนาดพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับจำนวนเซนเซอร์ได้ และได้ทำการศึกษาตัวแปรอื่นๆ ที่อาจมีผลต่อการตรวจจับความชื้น เช่น อุณหภูมิของดิน ชนิดของดิน และระยะห่างของเซนเซอร์ตรวจจับกับส่วนควบคุมหลัก

คำสำคัญ: โครงข่ายเซนเซอร์, ระบบไร้สาย, ความชื้นดิน

1. บทนำ

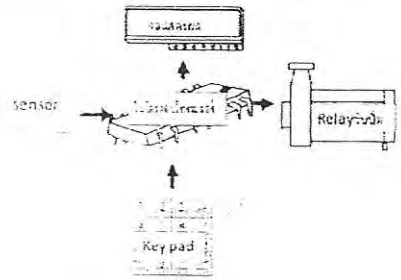
ในปัจจุบันโลกได้เปลี่ยนแปลงไปมากประชากรของโลกเพิ่มมาก(7,000 ล้านคน, ปี 2012) [1]ขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้มีความต้องการทรัพยากรทางด้านต่างๆ มากขึ้นโดยเฉพาะทางด้านอาหาร ซึ่งเป็นผลิตที่ได้จากการเกษตร แต่แรงงานทางด้านการเกษตรมีจำนวนลดลงมาก อีกทั้งพื้นที่ทำการเกษตรนั้นมีลดลง[2] เป็นผลมาจากการขยายตัวของเมืองและประชากรซึ่งไม่สอดคล้องกัน ดังนั้นเทคโนโลยีที่ทันสมัยจึงมีบทบาทสำคัญต่อการเกษตรในยุคปัจจุบัน

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้แก่ น้ำ ปุ๋ย แร่ธาตุต่างๆ แสง อุณหภูมิที่พอเหมาะและอากาศ (CO_2) ซึ่งพืชแต่ละชนิดต้องการปัจจัยเหล่านี้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของพืช[3] ถ้าหากพืชได้รับปัจจัยดังกล่าวอย่างพอเพียงและสม่ำเสมอไม่มากไม่น้อยจนเกินไปพืชก็จะให้ผลผลิตที่มีคุณภาพและได้ปริมาณที่มากขึ้น แต่หากได้รับปัจจัยดังกล่าวไม่เพียงพอหรือมากเกินไปก็จะทำให้พืชให้ผลผลิตได้ไม่เท่าที่ควร ดังนั้นหากต้องการผลผลิตที่มีคุณภาพและปริมาณมากเราควรจะควบคุมปัจจัยเหล่านี้ให้พอเหมาะ โดยใช้เทคโนโลยีที่มีในปัจจุบันมาเป็นตัวควบคุมปัจจัย ซึ่งโครงการวิจัยนี้จะเริ่มศึกษาวิจัยระบบการให้น้ำพืชที่สามารถปรับความชื้นของน้ำในดินที่ให้แก่พืชได้ตลอดเวลาตามต้องการให้[4,5] และมีความแม่นยำ อีกทั้งยังประหยัดแรงงานในการควบคุมระบบ ทำให้เกษตรกรมีเวลาในการดูแลพืชมากขึ้น ทำให้ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพและได้ปริมาณสูงเหมาะกับสถานการณ์ในปัจจุบัน โดยระบบนี้จะมีส่วนประกอบหลักคือ เซนเซอร์วัดความชื้นดิน ตัวส่งสัญญาณและ Microcontroller เพื่อประมวลผลและสั่งการปั๊มน้ำอัตโนมัติ โดยจะทำงานประสานกันอย่างเป็นระบบโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบระบบการควบคุมการให้น้ำพืชอัตโนมัติแบบไร้สายเป็นโครงข่ายสัญญาณ ที่มีประสิทธิภาพและเหมาะกับลักษณะการใช้งานที่สภาพต่างๆ

2. โครงสร้างของระบบ

ระบบโครงข่ายเซนเซอร์แบ่งการทำงานของระบบออกเป็นส่วนหลักๆ ประกอบไปด้วยส่วนเซนเซอร์ตรวจจับความชื้นในดินทำหน้าที่ตรวจจับค่าความต้านทานแล้วแปลงเป็นค่าทางไฟฟ้าหรือค่าความต่างศักย์ โดยจะส่งค่าเหล่านั้นไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์หลัก, Keypad และ rotary switch ทำหน้าที่เลือกฟังก์ชั่นการทำงานของระบบและใช้กรอกค่าความชื้นเพื่อสั่งการให้ระบบเริ่มและหยุดการทำงาน ชุดจอแสดงผล ทำหน้าที่แสดงผลการทำงานของโปรแกรมผ่านทางหน้าจอ และ Relay ทำหน้าที่รับคำสั่งจากส่วนควบคุมหลักเพื่อทำหน้าที่ขับการทำงานของมอเตอร์ปั๊ม โดยเมื่อทำการวิจัยสำเร็จระบบการโครงข่ายเซนเซอร์จะสามารถให้น้ำโดยควบคุมความชื้นให้เหมาะสมกับพืชได้ตลอดระยะเวลาการเพาะปลูก โดยโครงสร้างระบบอธิบายไว้ในรูปที่1

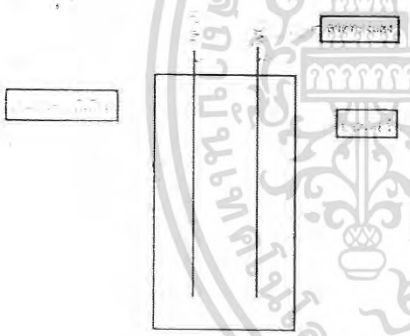
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 โครงสร้างการทำงานของอุปกรณ์ในระบบ

2.1 เซนเซอร์ตรวจจับความชื้นดิน

ลักษณะของเซนเซอร์ตรวจวัดความชื้นในดินสำหรับวิจัยนี้ใช้ลวดทองแดงหุ้มด้วยปาสเตอร์เพื่อดึงดูดความชื้นจากดินมาใช้ตรวจสอบความชื้นซึ่งแสดงใน รูปที่ 2 โดยใช้หลักการตรวจจับค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าความชื้นที่เปลี่ยนโดยใช้ optoisolator ในการจ่ายไฟไปยังเซนเซอร์เพื่อตรวจจับความต้านทานโดยอาศัยการวัดแรงดันไฟฟ้า 0-5 โวลต์ซึ่งไอซีเบอร์ ATMEGA32 เป็นไอซี analog to digital ซึ่งนำค่าที่ได้นั้นไป สอบเทียบเพื่อหาสมการแนวโน้มแล้วนำ ไปเขียนโปรแกรมเพื่อประมวลผลความชื้นดินต่อไป ดังแสดงใน รูปที่ 3

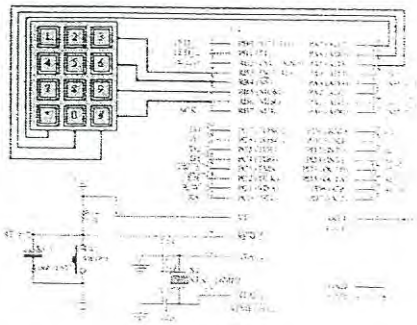


รูปที่ 2 เซนเซอร์ตรวจจับความชื้นดิน

รูปที่ 3 กราฟความชื้นดิน

2.2 Key pad

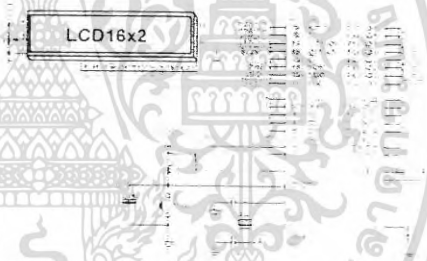
Module keypad เป็นชุด Matrix Keyboard 4x3 โดยจะมี PIN ใช้ต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้งหมด 7 PIN โดยจะเป็น Input เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านค่ารหัสของคีย์ที่ถูกกด เพื่ออ่านค่า max และ min ของความชื้นและจับ relay กับ sensor ซึ่งถูกป้อนค่าลงสู่โปรแกรมโดยผู้ใช้งาน [6] โดยซึ่งวงจรแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 วงจร key pad

2.3 ชุดจอแสดงผล

การทำงานในภาคจะแสดงผลการทำงานของโปรแกรมตลอดการทำงานตั้งแต่เซตค่าความชื้นจนถึงรันแสดงค่าความชื้นของเซนเซอร์แต่ละตัวซึ่งแสดงผลออกทางหน้าจอ LCD 16x2 ในภาคนี้จะแสดงผลข้อมูลตามอักษรในตาราง ascii ดังรูปที่ 5

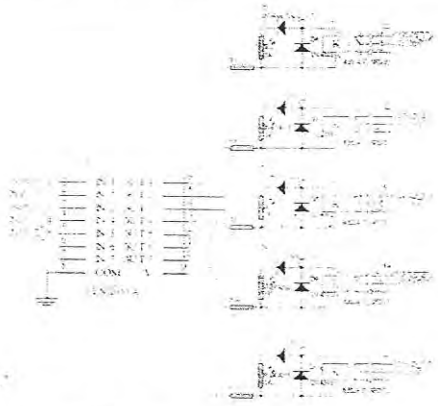


รูปที่ 5 วงจรแสดงผลทางจอ LCD

2.4 ชุดวงจรขับ RELAY

ชุดวงจรขับRELAY ใช้ IC เบอร์ ULN2003 A เป็น IC ขับโหลด RELAY ซึ่งจะคอยรับการสั่งการจากโปรแกรมควบคุมหลักซึ่งควบคุมโดย IC เบอร์ ATMGA32A ซึ่งวงจรแสดงดังรูปที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6 วงจรขับ Relay

2.5 ชุดประมวลผล (Microcontroller)

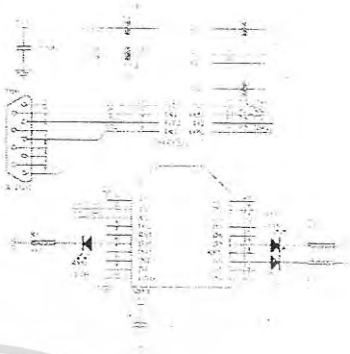
ชุดประมวลผลหลักใช้ IC เบอร์ ATMEGA32 เป็นตัวประมวลผลหลักซึ่งเขียนโปรแกรมโดยใช้โปรแกรม Code Vision AVR และ Bern ลงในไมโครคอนโทรเลอร์ AVR-ATMEGA32 ซึ่งวงจรการทดลองแสดงดังรูปที่ 7 ส่วนชุดประมวลผลเซนเซอร์ใช้ AVR-ATMEGA8 ในการประมวลผลซึ่งแสดงดังรูปที่ 8

รูปที่ 7 วงจรชุดประมวลผลหลัก

รูปที่ 8 วงจรประมวลผลเซนเซอร์

2.6 Module รับ-ส่งสัญญาณ(X-Bee Series 1)

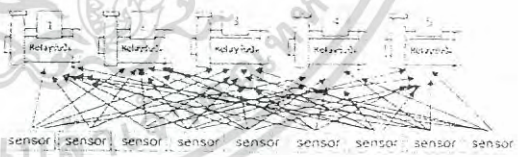
X-bee เป็นอุปกรณ์ที่มี Microcontroller และ RF IC อยู่ภายใน ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ transceiver รับ-ส่งสัญญาณแบบ Half Duplex ย่านความถี่ 2.4 Ghz มีการจัดการโดยใช้พลังงานต่ำ มี interface ที่ใช้รับและส่งข้อมูลกับX-beeเป็น UART ดังรูปที่ 9



รูปที่9 วงจรรับ-ส่งสัญญาณ

3.หลักการทำงานของระบบ

เริ่มจากการติดตั้งเซนเซอร์ในแปลงปลูกแล้วเปิดการทำงานของระบบโครงข่ายเซนเซอร์ จากนั้นเซตค่าความชื้น max และ min ของ Relay หรือปั๊มแต่ละตัวต้องการที่ต้องการให้ระบบทำงานจากนั้นกด Enter จากนั้นโปรแกรมจะให้ผู้ใช้งานเลือกจับคู่ระหว่างเซนเซอร์ กับ Relay ซึ่งสามารถเลือกใช้ได้ตามการใช้การโดยระบบจะทำงานสั่งให้ปั๊มทำงานตามความชื้นของเซนเซอร์ ตัวที่อ่านค่าได้น้อยที่สุดซึ่งความชื้นทั้งหมดของเซนเซอร์ แต่ละตัวจะถูกส่งมาแสดงค่าที่หน้าจอ LCD หลังจากปั๊มทำงานจ่ายน้ำไปยังระบบจนพื้นที่แปลงปลูกนั้นมีความชื้นเพียงพอระบบจึงจะตัดการทำงาน โดยระบบการจับคู่ เซนเซอร์และ relay ปั๊มจะแสดงไว้ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 โครงสร้างการจับคู่ระหว่าง relay ปั๊มกับเซนเซอร์

4.วิธีการทดลอง

การทดลองจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ

4.1 การทดลองที่ 1 การหาขนาดเหมาะสมและเปรียบเทียบความจำเป็นในการหุ้มวัสดุประเภทปาสเตอร์ที่หัวเซนเซอร์ที่เหมาะสม

การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อหาความเหมาะสมของขนาด เซนเซอร์โดยต้องคำนึงถึงความยากง่ายและต้นทุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

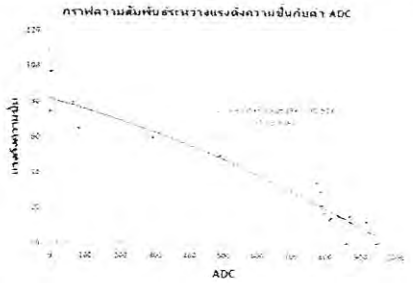
โนผลิตด้วย โดยเก็บค่า ADC หรือค่าความต่างศักย์(V_{OUT})ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์แปลงค่าจาก analog เป็น digital ซึ่งการทดลองนี้ได้ทำการจำลองสร้าง sensor ขึ้นมาโดยทำการทดลองตัวอย่างที่ไม่หุ้มวัสดุปูนปาสเตอร์โดยทดลองที่ดินชนิดต่างๆ และเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่หุ้มปูนปาสเตอร์ อีกทั้งยังทดลองถึงอัตราการเร็วในการตรวจจับความชื้นของเซนเซอร์ขนาดต่างๆ และเปรียบเทียบถึงความจำเป็นในการหุ้มตาข่ายที่เซนเซอร์เพื่อเพิ่มความคงทนแข็งแรงให้กับหัวเซนเซอร์ว่ามีความจำเป็นหรือไม่หากเปรียบเทียบกับปัจจัยอื่นๆ เช่น เวลาในการตรวจจับ

<u>4.2 การทดลองที่ 2 การวัดค่า ADC ซึ่งได้ไมโครคอนโทรลเลอร์แปลงค่าความต่างศักย์จาก analog เป็น digital เพื่อ calibrate ค่ากับค่าความชื้นดินมาตรฐาน</u>

จากการที่ได้สร้างเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินขึ้นใช้เอง โดยอาศัยหลักการทางไฟฟ้า ทำให้ต้องมีการเทียบเคียงค่าของแรงดัน ที่ได้จากเซนเซอร์วัดความชื้นในดินที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่า ความชื้น โดยทำการสอบเทียบกับวิธีวัดความชื้นในดินแบบมาตรฐาน โดยการทดลองนี้สามารถทำได้โดยการชั่งและคำนวณค่าจากสูตร

$$Pw = \left(\frac{\text{น้ำหนักของดินชื้น} - \text{น้ำหนักของดินแห้ง}}{\text{น้ำหนักของดินแห้ง}}\right) \times 100 \quad ...(1)$$

จากนั้นทำการแปลงค่าเป็นค่าแรงดึงความชื้นโดยใช้โปรแกรม SWRC Fit ซึ่งเป็นโปรแกรมที่จำลองมาจาก BC model, VG model, LN model, DB model, BL model [7-12] โดยทำการทดลองนำเซนเซอร์วัดความชื้นดินที่สร้างขึ้นเองใส่บีกเกอร์ขนาด 250 ml จากนั้นวัดค่า ADC เริ่มต้นและชั่งน้ำหนัก ต่อมานำไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างมาลดอุณหภูมิจนเท่ากับอุณหภูมิห้อง จึงวัดค่าอีกครั้งได้ เก็บค่าอย่างนี้เรื่อยไป จนกว่าดินจะมีน้ำหนักคงที่หรือมีค่าความชื้นเป็น 0 แล้วนำความสัมพันธ์ของค่าที่ได้ไปสร้างสมการจำลองเพื่อสอบเทียบค่าใช้ในการแปลงค่าของโปรแกรมควบคุมหลักซึ่งสมการที่ได้จากการสอบเทียบค่าโดยกราฟแสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงความชื้นกับ ADC

รูปสมการคือ

$$y = (-3\times10^{-5})x^2 - 0.0529x + \varepsilon \quad (1)$$

$$R^2 = 0.9367$$

<u>4.3 การทดลองที่ 3 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบกับปัจจัยทางอุณหภูมิและชนิดดินที่อาจมีผลต่อการทำงานของระบบ</u>

<u>วิธีทดลอง</u> ทำการเซตค่าความชื้นที่ระดับต่างๆ ตั้งแต่ 0 -100 โดยการใช้เซนเซอร์ที่ทำขึ้นใส่ลงไปในบีกเกอร์ขนาด 250ml กับดินแล้วเซตให้มีความชื้นสูงจากนั้นนำไปอบเพื่อลดความชื้นที่อุณหภูมิ 105 °c เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาทีที่ตู้อบลมร้อนโดยแต่ละครั้งที่นำไปอบความชื้นจะลดลงครั้งละประมาณ 2-3 เปอร์เซ็นต์แล้วนำมาวัดอุณหภูมิดินไปพร้อมๆ กับวัดค่า ADC แล้วบันทึกผลการทดลองเป็นระยะๆ ห่างกันครั้งละ 1 ชั่วโมง 30 นาที จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่า ADC หรือค่าความชื้นที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่ทำขึ้นว่ามีการเปลี่ยนแปลงของค่าที่วัดได้ตามอุณหภูมิมากน้อยเพียงใดโดยสามารถวิเคราะห์ได้จากกราฟสรุปผลการทดลองดังรูปที่ 13

รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ค่า ADC &temp relation

<u>4.4 การทดลองที่ 4 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบกับปัจจัยการส่งสัญญาณในแต่ละระดับความชื้น</u>

การทดลองนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาระยะเซนเซอร์ที่แน่นอนและคำนวณหาขนาดพื้นที่ที่ครอบคลุมเซนเซอร์ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นๆ และจำลองสถานที่เพื่อหาจำนวนเซนเซอร์ที่เหมาะสมต่อไร่ในการติดตั้งในพื้นที่จริง โดยทำการทดลองโดยการเซตค่าความชื้นที่บีกเกอร์ 3 ระดับความชื้นวัดอุณหภูมิดินให้อยู่ในระดับเท่าๆกัน จากนั้นให้ผู้ทดลองถือชุดเซนเซอร์พร้อมกับบีกเกอร์ดินที่ระดับความชื้นต่างๆ โดยให้คอนโทรลเลอร์ตัวหลักอยู่ตรงกลางวัดหาระยะสัญญาณแบบสุ่มโดยความชื้นที่แตกต่างก่อนแล้ววัดระยะทางจากคอนโทรลเลอร์ตัวหลักจนถึงเซนเซอร์โดยขนาดพื้นที่ที่ครอบคลุมสามารถหาได้จากสูตร Πr^2 จากระยะตัวหลักนั้นเอง

5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองหาขนาดเซนเซอร์ที่เหมาะสมและการทดลองหุ้มปาสเตอร์และไม่หุ้มพบว่าการหุ้มปาสเตอร์จะมีค่าความชื้นคงที่กว่าไม่หุ้มปาสเตอร์เมื่อเปลี่ยนชนิดของดิน ทั้งนี้เพราะความหนาแน่นของดินที่เปลี่ยนไปทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเปลี่ยนไปด้วยดั้งนั้นการมีวัสดุเช่น ปูนปาสเตอร์มาหุ้มย่อมดีกว่าเพราะทำให้การนำไฟฟ้าผ่านวัสดุนั้นมีค่าคงที่ ส่วนขนาดที่เหมาะสมนั้นพบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแท่งเซนเซอร์มีขนาด 2.5 cm เหมาะสมสุดเนื่องจากเป็นขนาดที่ง่ายต่อการผลิต และเป็นขนาดที่ไวต่อการตอบสนองต่อการวัดมากกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 cm ขนาดความยางของแท่งเซนเซอร์พบว่าไม่มีผลต่อการวัดค่าต่างๆแต่หากพิจารณาถึงการใช้งานควรอยู่ระหว่าง 6-7 cm เนื่องจากง่ายต่อการฝังดินขณะใช้งานไม่เล็กหรือใหญ่จนเกินไป ขนาดลวดที่ใช้มีผลต่อการวัดค่าทางไฟฟ้าคือหากลวดเล็กค่าทางไฟฟ้าที่ออกมาจะน้อยลงดังนั้นหากต้องการการใช้งานอย่างสะดวกและมีขายตามท้องตลาดนั้นควรเลือกขนาด 2.5 mm เพราะไม่เล็กหรือใหญ่จนเกินไปเหมาะแก่การทำไปใช้การและสามารถส่งสัญญาณไฟฟ้าได้ดีในระดับหนึ่ง

การทดลองเปรียบเทียบค่าความชื้นกับค่าที่ Microcontroller อ่านได้พบว่าค่าที่ได้มีความสัมพันธ์กันแบบโพลิโนเมียลกำลังสองสอง(R^2 = 0.9367) โดยสูตรความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถนำไปเขียนโปรแกรม calibrate หาค่าความชื้นใน Microcontroller ได้

การทดลองทดสอบประสิทธิภาพของระบบกับปัจจัยทางอุณหภูมิและชนิดของดินที่มีผลต่อระบบพบว่าที่อุณหภูมิเปลี่ยนไปที่ความชื้นระดับเดียวกันแต่ละระดับนั้นมีผลแปรตรงกันโดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการนำไฟฟ้าผ่านน้ำจะเป็นไปได้ดีขึ้นทำให้อ่านค่าความชื้นได้มากขึ้นดังนั้นหากนำไปใช้งานจริงอุณหภูมิในพื้นที่ที่ใช้งานไม่ควรจะเกิน 30 ±5 °c เพราะยังอยู่ในช่วงค่าที่ยอมรับได้เพราะยังมีค่าความผิดพลาดน้อยกว่า 20 % ส่วนการเปลี่ยนแปลงชนิดของดินนั้นไม่มีผลในการวัดความชื้นมากนักเพราะดินปาสเตอร์เป็นตัวกลางให้น้ำซึมผ่านดังนั้นจึงไม่มีผลหากเปลี่ยนชนิดของดินนั่นเอง

การทดสอบระดับสัญญาณในแต่ละระดับความชื้นนั้นพบว่าความชื้นในแต่ละระดับไม่มีผลต่อระยะการส่งสัญญาณส่วนการส่งสัญญาณนั้นสำหรับ x-bee Series 1 จากการทดสอบสัญญาณแบบสุ่มพบว่า มีระยะการส่งสัญญาณตั้งแต่ 138 – 88 m ดังนั้นเซนเซอร์ เซนเซอร์ 1 ตัวสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้ประมาณ 15 ไร่ ทั้งนี้ต้องพิจารณาจากระบบการส่งน้ำและการใช้งานแต่ละพื้นที่ด้วย

6. ข้อเสนอแนะ

สำหรับงานการวิจัยนี้ชิ้นนี้เป็นงานวิจัยที่ใช้การควบคุมระบบโดยใช้ความชื้นดินอย่างเดียวจึงอาจยังไม่เหมาะกับพืชที่ปลูกในกระถางหรือไม่ใช้ดิน จึงอาจมีการพัฒนาให้มีเมนูตั้งเวลารอบวัน ระบบตรวจสอบความชื้นอากาศ แสง และ อุณหภูมิขณะให้น้ำ อีกทั้งยังต้องหาวิธีลดต้นทุนค่าเซนเซอร์ เพื่อให้เพิ่มจำนวนในการประมวลผลได้มากขึ้นเพื่อให้มีความแม่นยำ และสะดวกกับการใช้งานทุกๆประเภท

7. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้การสนับสนุนเงินทุนการศึกษาวิจัย และให้โอกาสจนสามารถทำการวิจัยนี้สำเร็จได้เป็นอย่างดี

8. เอกสารอ้างอิง

[1] กองบ.ดับเบิ้ลยูดับเบิ้ลยูเอฟ (ประเทศไทย) (2555) " WWF Living Planet 2012" http://www.wwf.or.th-/?204772/Risingconsumptionin-creased-resource-use-by-a-growingpopula-tionputs-unbearable-pressure-on-our-Planet--WWF-2012-Living-Planet-Report [2012 June 16 10.00 PM].

[2] สำนักงานสถิติแห่งชาติ "ทิศทางแรงงานไทย":http://-service.nso.go.th/nso/nso-publish/citi-zen/news/news_lfsdirect.jsp[2012 June 16 08.00 PM].

[3] myfirstbrain.com. "พืช ": http://www.myfirst-brain.com/student_view.aspx?ID=72392[2012 June 24 10.00 PM].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[4] NAKHON SAWAN RAJABHAT UNIVERSITY."ความชื้นของดิน" แหล่งที่มา http://www.nsru-.ac.th/elearning/soil/lesson_4_5.php.

[5] วินัย กล้าจริง "Design Sprinkle and Drip Irrigation System". ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

[6] เดชฤทธิ์ มณีธรรม และ สำเริง เต็มรามคัมภีร์(2548). "ไมโครคอนโทรเลอร์ MCS-51" พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์เคเคพี

[7] Brooks, R. H., and Corey, A.T.: Hydraulic proper-ties of porous media. Hydrol. Paper 3.Color-ado State Univ., Fort Collins, CO, USA, 1964.

[8] Durner, W.: Hydraulic conductivity estimation for soils with heterogeneous pore structure-.Water Resour. *Res.*, 30(2): 211--223, 1994.

[9] Kosugi, K.: Lognormal distribution model for unsaturated soil hydraulic properties. WaterResour. Res. 32(9), 2697--2703, 1996.

[10] Nemes, A., M.G. Shaap, F.J. Leij, and J.H.M. Wosten: Description of the unsaturated soilhydraulic database UNSODA version 2.0. J. Hydrol. (Amsterdam) 251:151--162, 2001.

[11] Seki, K. (2007) SWRC fit - a nonlinear fitting program with a water retention curve for soils having unimodal and bimodal pore structure. Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., 4:407-437.

[12] van Genuchten, M.T.: A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44, 892--898, 1980

TETA-07

การพัฒนาเครื่องมือวัดแรงแบบสามแนวแกนสำหรับการต่อพ่วงสามจุดของรถแทรกเตอร์เกษตรขนาดเล็ก

กวี คงมั่น, พยุงศักดิ์ จุลยุเสน, คธา วาทกิจ และ จรูญศักดิ์ สมพงศ์
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

ผู้เขียนติดต่อ: กวี คงมั่น E-mail: kkhongman@sut.ac.th)

บทคัดย่อ

เครื่องมือวัดแรงแบบ extended circular ring (ECR) เป็นอุปกรณ์วัดแรงและโมเมนต์ในงานวิจัยทางวิศวกรรมเกษตร เพราะสามารถวัดแรงกระทำในแต่ละแนวแกนได้อิสระต่อกัน ในงานวิจัยนี้ เครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สามแกน ถูกออกแบบให้สามารถวัดแรงกระทำที่จุดต่อพ่วงสามจุดระหว่างรถแทรกเตอร์เกษตรและเครื่องมือเกษตรได้ทั้งสามแนวแกน แรงทั้งสามแนวแกนที่กระทำกับจุดต่อพ่วงสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่เกิดขึ้นในเครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สามแกน การกระจายตัวของความเครียดบนเครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สามแกน ถูกวิเคราะห์โดยใช้วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อตรวจสอบความแข็งแรงและหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งมาตรวัดความเครียด เครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สามแกนสามารถใช้งานกับรถแทรกเตอร์ใน category I ซึ่งมีค่าแรงในแนวราบสูงสุดไม่เกิน 20 กิโลนิวตัน มุมที่เหมาะสมในการติดตั้งมาตรวัดความเครียดของการวัดแรงในแนวราบ แรงในแนวดิ่ง และแรงในแนวด้านข้าง คือ 58°, 25° และ 25° ตามลำดับ การสอบเทียบเครื่องมือวัดแรงแบบ ECRสามแกน สำหรับการวัดแรงบนแขนบน แขนล่างซ้าย และแขนล่างขวา ถูกทำในห้องปฏิบัติการ ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัดแรงแบบ ECRสามแกนทั้งสามตัวมีค่า cross sensitivities สูงสุด 8.35%, 2.74% และ 3.07%ตามลำดับ เครื่องมือวัดแรงแบบECR สามแกนสามารถนำไปใช้วัดแรงกระทำที่จุดต่อพ่วงระหว่างรถแทรกเตอร์เกษตรและเครื่องมือเกษตรได้อย่างถูกต้อง

คำสำคัญ:เครื่องมือวัดแรงแบบสามแนวแกน; ไฟไนต์เอลิเมนต์; extended circular ring

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้