TETA-05

โครงข่ายเซนเซอร์ความชื้นในดินสำหรับควบคุมการให้น้ำพืช

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

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

บทคัดย่อ

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

คำสำคัญ: โครงข่ายเซนเซอร์, ระบบไร้สาย, ความชื้นดิน

1. บทนำ

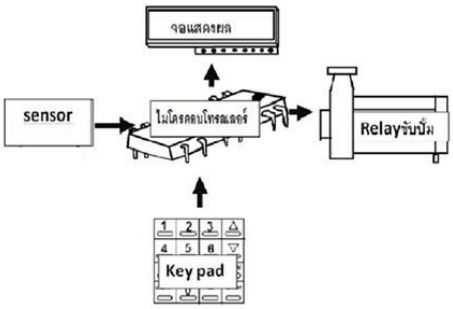
ในปัจจุบันโลกได้เปลี่ยนแปลงไปมากประชากรของโลกเพิ่มมาก(7,000 ล้านคน, ปี 2012) [1]ขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้มีความต้องการทรัพยากรทางด้านต่างๆ มากขึ้นโดยเฉพาะทางด้านอาหาร ซึ่งเป็นผลิตที่ได้จากการเกษตร แต่แรงงานทางด้านการเกษตรมีจำนวนลดลงมาก อีกทั้งพื้นที่ทำการเกษตรนั้นมีลดลง[2] เป็นผลมาจากการขยายตัวของเมืองและประชากรซึ่งไม่สอดคล้องกัน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

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้แก่ น้ำ ปุ๋ย (แร่ธาตุต่างๆ) แสง อุณหภูมิที่พอเหมาะและอากาศ (CO_2) ซึ่งพืชแต่ละชนิดต้องการปัจจัยเหล่านี้แต่ต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของพืช[3] ถ้าหากพืชได้รับปัจจัยดังกล่าวอย่างพอเพียงและสม่ำเสมอไม่มากไม่น้อยจนเกินไปพืชก็จะให้ผลผลิตที่มีคุณภาพและได้ปริมาณที่มากขึ้น แต่หากได้รับปัจจัยดังกล่าวไม่เพียงพอหรือมากเกินไปก็จะทำให้พืชให้ผลผลิตได้ไม่เท่าที่ควร ดังนั้นหากต้องการผลผลิตที่มีคุณภาพและปริมาณมากเราควรจะควบคุมปัจจัยเหล่านี้ให้พอเหมาะ โดยใช้เทคโนโลยีที่มีในปัจจุบันมาเป็นตัวควบคุมปัจจัย ซึ่งโครงการวิจัยนี้จะเริ่มศึกษาวิจัยระบบการให้น้ำพืชที่สามารถปรับความชื้นของน้ำในดินที่ให้แก่พืชได้ตลอดเวลาสะดวกต่อการให้งาน[4,5] และมีความแม่นยำ อีกทั้งยังประหยัดแรงงานในการควบคุมระบบ ทำให้เกษตรกรมีเวลาในการดูแลพืชมากขึ้น ทำให้ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพและได้ปริมาณสูงเหมาะกับสถานการณ์ในปัจจุบัน โดยระบบนี้จะมีส่วนประกอบหลักคือ เซนเซอร์วัดความชื้นดิน ตัวส่งสัญญาณ

และ Microcontroller เพื่อประมวลผลและสั่งการปั๊มน้ำอัตโนมัติ โดยจะทำงานประสานกันอย่างเป็นระบบโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบระบบการควบคุมการให้น้ำพืชอัตโนมัติแบบไร้สายเป็นโครงข่ายสัญญาณ ที่มีประสิทธิภาพและเหมาะกับลักษณะการใช้งานที่สภาวะต่างๆ

2. โครงสร้างของระบบ

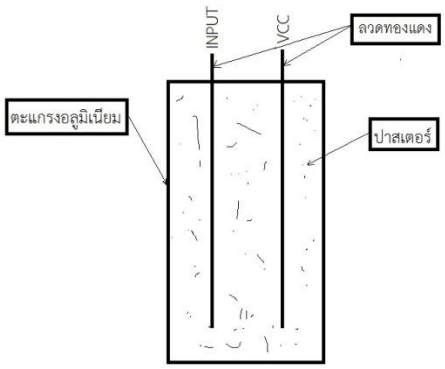
ระบบโครงข่ายเซนเซอร์แบ่งการทำงานของระบบออกเป็นส่วนหลักๆ ประกอบไปด้วยส่วนเซนเซอร์ตรวจจับความชื้นในดินทำหน้าที่ตรวจจับค่าความต้านทานแล้วแปลงเป็นค่าทางไฟฟ้าหรือค่าความต่างศักย์ โดยจะส่งค่าเหล่านั้นไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์หลัก, Keypad และ rotary switch ทำหน้าที่เลือกฟังก์ชั่นการทำงานของระบบและใช้กรอกค่าความชื้นเพื่อส่งการให้ระบบเริ่มและหยุดการทำงาน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



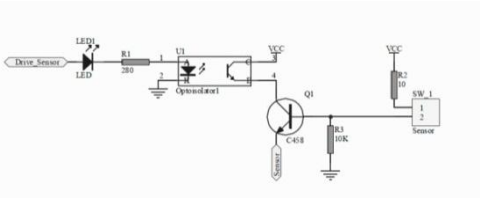
รูปที่ 1 โครงสร้างการทำงานของอุปกรณ์ในระบบ

2.1 เซนเซอร์ตรวจจับความชื้นดิน

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



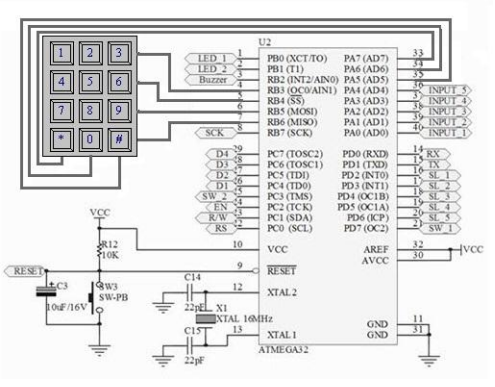
รูปที่ 2 เซนเซอร์ตรวจจับความชื้นดิน



รูปที่ 3 วงจรตรวจจับความชื้นดิน

2.2 Key pad

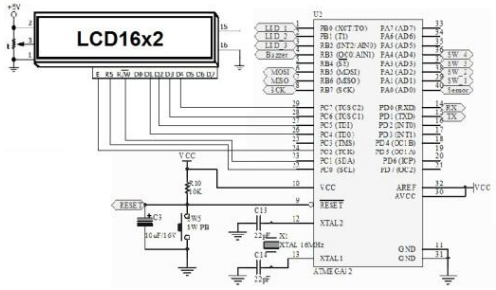
Module keypad เป็นชุด Matrix Keyboard 4x3 โดยจะมี PIN ใช้ต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้งหมด 7 PIN โดยจะเป็น Input เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านค่ารหัสของคีย์ที่ถูกกด เพื่ออ่านค่า max และ min ของความชื้นและจับ relay กับ sensor ซึ่งถูกป้อนค่าลงสู่โปรแกรมโดยผู้ใช้งาน [6] โดยซึ่งวงจรแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 วงจร key pad

2.3 ชุดจอแสดงผล

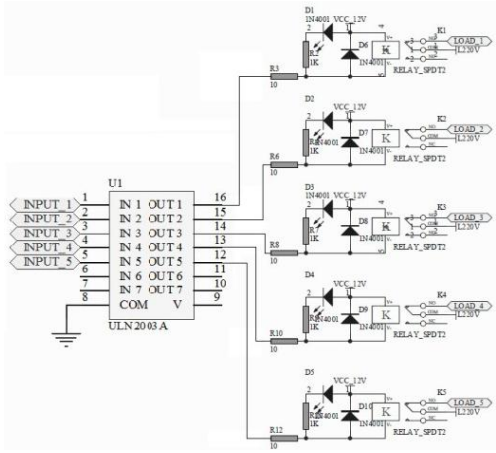
การทำงานในภาคจะแสดงผลการทำงานของโปรแกรมตลอดการทำงานตั้งแต่เซตค่าความชื้นจนถึงรันแสดงค่าความชื้นของเซนเซอร์แต่ละตัวซึ่งแสดงผลออกทางหน้าจอ LCD 16x2 ในภาคนี้จะแสดงผลขอมูลตามอักษรในตาราง ascii ดังรูปที่ 5



รูปที่5 วงจรแสดงผลทางจอLCD

2.4 ชุดวงจรขับ RELAY

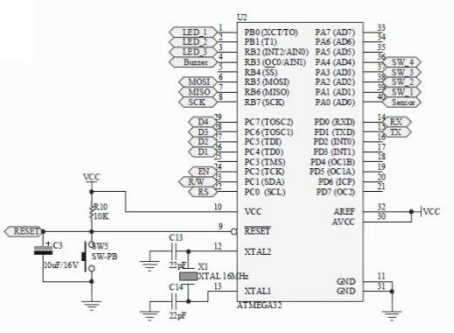
ชุดวงจรขับRELAY ใช้ IC เบอร์ ULN2003 A เป็น IC ขับโหลด RELAY ซึ่งจะคอยรับการสั่งการจากโปรแกรมควบคุมหลักซึ่งควบคุมโดย IC เบอร์ ATMGA32A ซึ่งวงจรแสดงดังรูปที่ 6



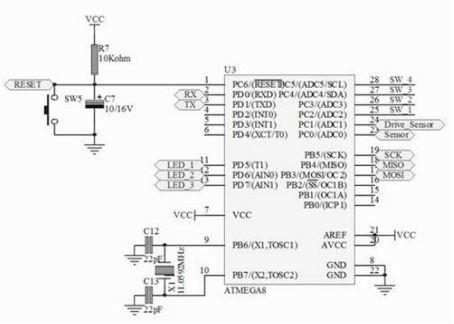
รูปที่ 6 วงจรขับ Relay

2.5 ชุดประมวลผล (Microcontroller)

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



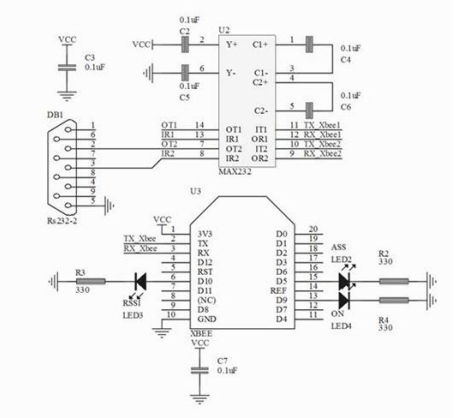
รูปที่ 7 วงจรชุดประมวลผลหลัก



รูปที่ 8 วงจรประมวลผลเซนเซอร์

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

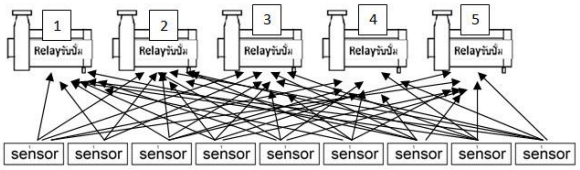
X-bee เป็นอุปกรณ์ที่มี Microcontroller และ RF IC อยู่ภายใน ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ transceiver รับ-ส่งสัญญาณแบบ Half Duplex ย่านความถี่ 2.4 Ghz มีการจัดการโดยใช้พลังงานต่ำ มี interface ที่ใช้รับและส่งข้อมูลกับX-beeเป็น UART ดังรูปที่ 9



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 ปั๊มกับ เซนเซอร์

4.วิธีการทดลอง

การทดลองจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ

4.1 การทดลองที่ 1 การหาขนาดเหมาะสมและเปรียบเทียบความจำเป็นในการหุ้มวัสดุประเภทปาสเตอร์ที่หัวเซนเซอร์ที่เหมาะสม

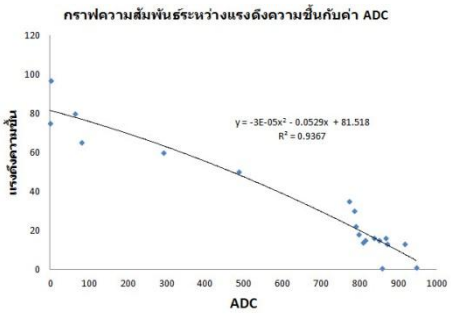
การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อหาความเหมาะสมของขนาด เซนเซอร์โดยต้องคำนึงถึงความยากง่ายและต้นทุนในผลิตด้วย โดยเก็บค่า ADC หรือค่าความต่างศักย์(V_{OUT})ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์แปลงค่าจาก analog เป็น digital ซึ่งการทดลองนี้ได้ทำการจำลองสร้าง sensor ขึ้นมาโดยทำการทดลองตัวอย่างที่ไม่หุ้มวัสดุปูนปาสเตอร์โดยทดลองที่ดินชนิดต่างๆ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

4.2 การทดลองที่ 2 การวัดค่า ADC ซึ่งได้ไมโครคอนโทรลเลอร์แปลงค่าความต่างศักย์จาก analog เป็น digital เพื่อ calibrate ค่ากับค่าความชื้นดินมาตรฐาน

จากการที่ได้สร้างเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินขึ้นใช้เองโดยอาศัยหลักการทางไฟฟ้า ทำให้ต้องมีการเทียบเคียงค่าของแรงดัน ที่ได้จากเซนเซอร์วัดความชื้นในดินที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่า ความชื้น โดยทำการสอบเทียบกับวิธีวัดความชื้นในดินแบบมาตรฐาน โดยการทดลองนี้สามารถทำได้โดยการชั่งและคำนวณค่าจากสูตร

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

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 แล้วนำตัวอย่างมาลดอุณหภูมิจนเท่ากับอุณหภูมิห้องจึงวัดค่าอีกครั้งได้ เก็บค่าอย่างนี้เรื่อยไป จนกว่าดินจะมีน้ำหนักคงที่หรือมีค่าความชื้นเป็น 0 แล้วนำความสัมพันธ์ของค่าที่ได้ไปสร้างสมการจำลองเพื่อสอบเทียบค่าใช้ในการแปลงค่าของโปรแกรมควบคุมหลักซึ่งสมการที่ได้จากการสอบเทียบค่าโดยกราฟแสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงความชื้นกับ ADC

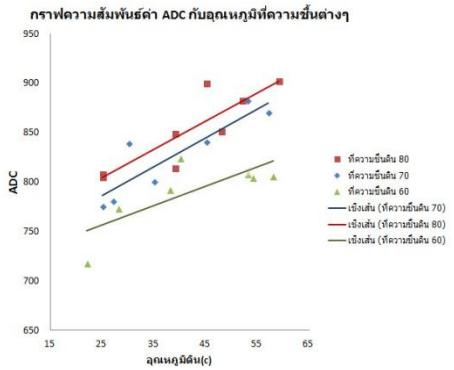
รูปสมการคือ

$y = (-3\times10^{-5})x^2 - 0.0529x + 8$ (1)

$R^2 = 0.9367$

4.3 การทดลองที่ 3 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบกับปัจจัยทางอุณหภูมิและชนิดดินที่อาจมีผลต่อการทำงานของระบบ

วิธีทดลอง 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

4.4 การทดลองที่ 4 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบกับปัจจัยการส่งสัญญาณในแต่ละระดับความชื้น

การทดลองนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาระยะเซนเซอร์ที่แน่นอนและคำนวณหาขนาดพื้นที่ที่ครอบคลุมเซนเซอร์ตัวนั้นๆ และจำลองสถานที่เพื่อหาจำนวนเซนเซอร์ที่เหมาะสมต่อไร่ในการติดตั้งในพื้นที่จริง โดยทำการทดลองโดยการเซตค่าความชื้นที่บีกเกอร์ 3 ระดับความชื้นวัดอุณหภูมิดินให้อยู่ในระดับเท่าๆกัน จากนั้นให้ผู้ทดลองถือชุดเซนเซอร์พร้อมกับบีกเกอร์ดินที่ระดับความชื้นต่างๆ โดยให้คอนโทรลเลอร์ตัวหลักอยู่ตรงกลางวัดหาระยะสัญญาณแบบสุ่มโดยความชื้นที่แตกต่างก่อนแล้ววัดระยะทางจากคอนโทรลเลอร์ตัวหลักจนถึงเซนเซอร์โดยขนาดพื้นที่ที่ครอบคลุมสามารถหาได้จากสูตร πr^2 จากระยะตัวหลักนั่นเอง

5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองหาขนาดเซนเซอร์ที่เหมาะสมและการทดลองหุ้มปาสเตอร์และไม่หุ้มพบว่าการหุ้มปาสเตอร์จะมีค่าความชื้นคงที่กว่าไม่หุ้มปาสเตอร์เมื่อเปลี่ยนชนิดของดิน ทั้งนี้เพราะความหนาแน่นของดินที่เปลี่ยนไปทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเปลี่ยนไปด้วยดั้งนั้นการมีวัสดุเช่น ปูนปาสเตอร์มาหุ้มย่อมดีกว่าเพราะทำให้การนำไฟฟ้าผ่านวัสดุนั้นมีค่าคงที่ ส่วนขนาดที่เหมาะสมนั้นพบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแท่งเซนเซอร์มีขนาด 2.5 cm เหมาะสมสุดเนื่องจากเป็นขนาดที่ง่ายต่อการผลิต และเป็นขนาดที่ไวต่อการตอบสนองต่อการวัดมากกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 cm ขนาดความยางของแท่นเซนเซอร์พบว่าไม่มีผลต่อการวัดค่าต่างๆแต่หากพิจารณาถึงการใช้งานควรอยู่ระหว่าง 6-7 cm เนื่องจากง่ายต่อการฝังดินขณะใช้ง่ายไม่เล็กหรือใหญ่จนเกินไป ขนาดลวดที่ใช้มีผลต่อการวัดค่าทางไฟฟ้าคือหากลวดเล็กค่าทางไฟฟ้าที่ออกมาจะน้อยลงดังนั้นหากต้องการการใช้งานอย่างสะดวกและมีขายตามท้องตลาดนั้นควรเลือกขนาด 2.5 mm เพราะไม่เล็กหรือใหญ่จนเกินไปเหมาะแก่การทำไปใช้การและสามารถส่งสัญญาณไฟฟ้าได้ดีในระดับหนึ่ง

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

การทดลองทดสอบประสิทธิภาพของระบบกับปัจจัยทางอุณหภูมิและชนิดของดินที่มีผลต่อระบบพบว่าที่อุณหภูมิเปลี่ยนไปที่ความชื้นระดับเดียวกันแต่ละระดับนั้นมีผลแปรตรงกันโดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการนำไฟฟ้าผ่านน้ำจะเป็นไปได้ดีขึ้นทำให้อ่านค่าความชื้นได้มากขึ้นดังนั้นหากนำไปใช้งานจริงอุณหภูมิในพื้นที่ที่ใช้งานไม่ควรจะเกิน 30 ±5 °c เพราะยังอยู่ในช่วงค่าที่ยอมรับได้เพราะยังมีค่าความผิดพลาดน้อยกว่า 20 % ส่วนการเปลี่ยนแปลงชนิดของดินนั้นไม่มีผลในการวัดความชื้นมากนักเพราะดินปาสเตอร์เป็นตัวกลางให้น้ำซึมผ่านดังนั้นจึงไม่มีผลหากเปลี่ยนชนิดของดินนั่นเอง

การทดสอบระดับสัญญาณในแต่ละระดับความชื้นนั้น พบว่าความชื้นในแต่ละระดับไม่มีผลต่อระยะการส่งสัญญาณ ส่วนการส่งสัญญาณนั้นสำหรับ 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 เพื่อให้เพิ่มจำนวนในการประมวลผลได้มากขึ้น เพื่อให้มีความแม่นยำ และสะดวกกับการใช้งานทุกๆประเภท

7. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้การสนับสนุนเงินทุนการศึกษาวิจัย และให้โอกาสจนสามารถทำการวิจัยนี้สำเร็จได้เป็นอย่างดี

8. เอกสารอ้างอิง

[1] กลองด์ สวิตเซอร์แลนด์/กรุงเทพ (2555). “ **WWF Living Planet 2012**” :http://www.wwf.or.th-/?204772/Risingconsumptionincreased-resource-use-by-a-growingpopulationputs-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/citizen/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].

[4] NAKHON SAWAN RAJABHAT UNIVERSITY.“ความ-ชื้นของดิน” 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