



รายงานการวิจัย

เรื่อง

ระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมและตรวจจับขโมย
ด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับพื้นที่เพาะปลูกมะนาว

โดย

ศิวาพร เหมียดยไธสง

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ปี พ.ศ. 2556

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(2)
กิตติกรรมประกาศ.....	(3)
สารบัญ	(4)
สารบัญภาพ.....	(7)
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.5 คำนิยามศัพท์	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระยะใกล้.....	5
2.2 ระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย.....	10
2.1.1 กลุ่มส่วนประกอบหลัก.....	12
2.1.2 กลุ่มส่วนประกอบเพิ่มเติม.....	12
2.3 ระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย Tmote sky.....	13
2.4 ตัวส่งสัญญาณ Xbee.....	15
2.4.1 การใช้งานโมดูลไร้สาย XBee	16
2.5 ตัวส่งสัญญาณ Nrf24101.....	20
2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino	21

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.7	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
บทที่ 3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	27
3.1	การออกแบบฮาร์ดแวร์	27
3.1.1	เซ็นเซอร์โหนด.....	27
3.1.2	โหนดฐาน	32
3.1.3	โหนดสถานี.....	33
3.1.4	ไมโครคอนโทรลเลอร์	33
3.1.5	คลื่นความถี่วิทยุ.....	35
3.1.6	หน่วยความจำโหนดเซ็นเซอร์	37
3.1.7	หน่วยความจำโหนดฐาน.....	37
3.1.8	ฐานเวลา.....	38
3.2	การออกแบบซอฟต์แวร์.....	39
3.2.1	ซอฟต์แวร์โหนดเซ็นเซอร์.....	39
3.2.2	ซอฟต์แวร์โหนดฐาน.....	39
3.2.3	ซอฟต์แวร์โหนดสถานี.....	40
บทที่ 4	ผลการวิจัย.....	41
4.1	การทดสอบประสิทธิภาพระบบในห้องปฏิบัติการ.....	41
4.1.1	การทดสอบฮาร์ดแวร์เซ็นเซอร์โหนด	41
4.1.2	การทดสอบซอฟต์แวร์	50
4.1.2.1	การทดสอบการรับส่งข้อมูลแบบจุดต่อจุด	50
4.1.2.2	การทดสอบแบบเครือข่ายแบบสามจุด	51
4.1.2.3	การทดสอบเครือข่ายแบบสี่จุด	52
4.1.2.4	การทดสอบเครือข่ายรวมระบบและการเข้าร่วมเครือข่าย.....	53
4.2	ผลการทดสอบในสถานที่จริง.....	56

สารบัญ(ต่อ)

4.2.1	การติดตั้ง.....	57
4.2.2	การทดสอบแบบจุดต่อจุด	59
4.2.3	การทดสอบการส่งข้อมูลเป็นเครือข่ายแบบ 3 จุด	61
4.2.4	การทดสอบการส่งข้อมูลเป็นเครือข่ายแบบ 4 จุด.....	62
4.2.5	การทดสอบการส่งข้อมูลเป็นเครือข่ายแบบ รวมระบบ.....	62
4.3	ข้อมูลจากการเก็บสภาพแวดล้อมในสถานที่จริง	63
4.3.1	อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์.....	63
4.3.2	ความเข้มแสง.....	65
4.3.3	ความชื้นในดิน	65
4.3.4	อุณหภูมิในดิน.....	66
4.3.5	แหล่งพลังงาน	67
4.3.6	การตรวจจับโมย	68
4.4	การใช้ข้อมูลจากระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมในไร่มะนาว	68
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	70
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	70
5.2	ข้อเสนอแนะการนำงานวิจัยไปใช้.....	74
5.3	ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป	74
บรรณานุกรม.....		75
ภาคผนวก		77
ประวัติผู้วิจัย.....		97

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	มาตรฐานการสื่อสารไร้สาย6
2.2	ย่านความถี่มาตรฐาน IEEE 802.15.47
2.3	มาตรฐาน IEEE 802.11 (WI-FI)8
2.4	ระบบ Piconet9
2.5	โครงสร้างแบบจำลองเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย.....11
2.6	ส่วนประกอบของหน่วยร่วมเซนเซอร์ 11
2.7	อุปกรณ์ไร้สายที่โมทสกาย.....14
2.8	แผนภาพของอุปกรณ์ไร้สายที่โมทสกาย.....14
2.9	ภาพอุปกรณ์ประเภทของเสาอากาศ 3 แบบ..... 16
2.10	ตัวอย่างรูปแบบคำสั่งของ AT Command และ API Mode.....17
2.11	รายละเอียดของ Frame Data ใน API Mode..... 17
2.12	รูปแบบการเชื่อมต่อแบบ Star.....18
2.13	รูปแบบการเชื่อมต่อแบบ Cluster Tree.....19
2.14	รูปแบบการเชื่อมต่อแบบ MeshTopology 19
2.15	โครงสร้างภายใน Nrf24l01.....20
2.16	ขาสัญญาณ Nrf24l0121
2.17	โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์.....22
2.18	บอร์ด arduino23
2.19	โปรแกรม arduino.....23
3.1	โหนดเซ็นเซอร์28
3.2	การทำงานระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และ DHT1129
3.3	การต่อวงจร DHT11.....29
3.4	การต่อใช้งานจริง DHT1129
3.5	วงจรของการรับสัญญาณจาก LDR.....30
3.6	การต่อใช้งานจริง เซ็นเซอร์วัดความเข้มแสง30

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.7 เซ็นเซอร์วัดความชื้นดิน.....	31
3.8 เซ็นเซอร์โหนดวัดอุณหภูมิในดิน.....	31
3.9 เซ็นเซอร์โหนดตรวจจับขโมย.....	32
3.10 เซ็นเซอร์โหนดตรวจจับขโมย.....	32
3.11 โหนดฐาน	33
3.12 โหนดสถานี	33
3.13 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์.....	34
3.14 ลักษณะการวางอุปกรณ์บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ต่าง ๆ.....	34
3.15 โมดูล Nrf24L01 แบบส่งระยะใกล้	35
3.16 โมดูล Nrf24L01 แบบส่งระยะไกล	35
3.17 ลักษณะขาสัญญาณโมดูล Nrf24L01.....	36
3.18 ลักษณะขาสัญญาณโมดูล Nrf24L01 บนบอร์ด.....	36
3.19 บอร์ดหน่วยความจำเซ็นเซอร์โหนด	37
3.20 บล็อกไดอะแกรมหน่วยความจำเซ็นเซอร์โหนด.....	37
3.21 บอร์ดโหนดฐาน.....	38
3.22 บล็อกไดอะแกรมโหนดฐาน	38
3.23 ฐานเวลา.....	38
4.1 แบบจำลองการทดสอบและการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ.....	42
4.2 เครื่องเป่าลมร้อน.....	42
4.3 การแสดงผลค่าจากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น.....	42
4.4 กราฟค่าอุณหภูมิจากตัวเซ็นเซอร์เปรียบเทียบกับเครื่องวัดมาตรฐาน.....	43
4.5 แบบจำลองการทดสอบและเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์.....	44
4.6 สเปรย์ฉีดน้ำเพื่อสร้างสภาพความชื้นสัมพัทธ์.....	44
4.7 กราฟการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิจากตัววัดเปรียบเทียบกับตัวเซ็นเซอร์.....	45
4.8 แบบจำลองทดสอบการวัดความชื้นแสงและเปรียบเทียบความชื้นแสง.....	46
4.9 การทดสอบความชื้นแสงมาตรฐานกับเซ็นเซอร์วัดความชื้นแสง.....	46

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.10 กราฟเปรียบเทียบความเข้มแสงมาตรฐานกับเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสง	46
4.11 แบบจำลองทดสอบการวัดความชื้นในดินและเปรียบเทียบความชื้นในดิน	47
4.12 การวางอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นในดินกับอุปกรณ์มาตรฐาน.....	48
4.13 กราฟเปรียบเทียบความชื้นในดินกับเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน.....	48
4.14 แบบจำลองทดสอบการวัดอุณหภูมิในดินและเปรียบเทียบอุณหภูมิในดิน.....	49
4.15 การวัดความชื้นในดินเทียบกับตัววัดอุณหภูมิเทียบ.....	49
4.16 ค่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น.....	49
4.17 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิในดินมาตรฐานกับเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิในดิน	50
4.18 การส่งข้อมูลแบบจุดต่อจุด.....	51
4.19 การส่งข้อมูลแบบเครือข่าย 3 จุด	52
4.20 การส่งข้อมูลแบบเครือข่าย 4 จุด	53
4.21 การส่งข้อมูลแบบเครือข่ายรวมระบบ	54
4.22 การส่งข้อมูลแบบเครือข่ายระหว่างโหนดฐานปกติ.....	55
4.23 การส่งข้อมูลแบบเครือข่ายโหนดฐานเกิดความเสียหาย.....	56
4.24 สภาพภายในไร่มะนาวที่ทำการติดตั้งระบบ.....	57
4.25 โหนดเซ็นเซอร์และโหนดฐาน ที่จะนำไปติดตั้ง.....	58
4.26 ลักษณะการติดตั้งจะสูงจากพื้น 2 เมตร	58
4.27 การติดตั้งโหนดเซ็นเซอร์ภายในทรงพุ่มมะนาว.....	59
4.28 การติดตั้งโหนดฐาน นอกทรงพุ่มมะนาว.....	59
4.29 การส่งข้อมูลแบบจุดต่อจุด.....	60
4.30 การส่งข้อมูลแบบเครือข่ายแบบ 3 จุด.....	61
4.31 กราฟแสดงอุณหภูมิ	64
4.32 กราฟความชื้นสัมพัทธ์	64
4.33 กราฟความเข้มของแสง.....	65
4.34 กราฟความชื้นในดิน	66
4.35 กราฟแสดงอุณหภูมิในดิน.....	67

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่

หน้า

4.36 กราฟการลดลงของพลังงาน.....	68
---------------------------------	----

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การพัฒนาทางด้านการเกษตรในปัจจุบันได้นำเอาเทคโนโลยีต่าง ๆ เข้ามาประยุกต์ใช้มากขึ้น ซึ่งเห็นได้ในปัจจุบันมีการนำเอาเทคโนโลยีต่าง ๆ เข้ามาใช้ในการควบคุมสภาพแวดล้อมในการเพาะปลูก เช่น การนำเทคโนโลยี ดาวเทียม (global positioning system (GPS)) มาใช้ในการควบคุมรถไถเพื่อพรวนดิน ใ้ปุ๋ย โดยบริษัท John Deere ในสหรัฐอเมริกา โดยเรียกระบบบริดจ์นี้ว่า iGuide และ AutoTrac ซึ่งมีระบบการบังคับพวงมาลัยรวมทั้งอัลกอริทึมต่าง ๆ ที่ทำให้รถแทรกเตอร์สามารถวิ่งไปตลอดทั้งไร่ ตามแผนที่และคำสั่งที่ระบุไว้ โดยสามารถที่จะใส่ปุ๋ยหรือยาฆ่าแมลง ตามความแตกต่างของแต่ละพื้นที่ได้ เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (geographic information system (GIS)) เป็นสารสนเทศในการรวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ แล้วนำมาแสดงผลในรูปแบบต่าง ๆ Variable Rate Technology (VRT) หรือเทคโนโลยีการให้น้ำปุ๋ย/น้ำ/ยาฆ่าแมลง/ ตามสภาพความแตกต่างของพื้นที่ Remote Sensing หรือ เทคโนโลยีรับรู้ระยะไกล เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลพื้นที่ โดยอาศัยคลื่นแสงในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปแบบต่าง ๆ เช่น เรดาร์ ไมโครเวฟ วิทยุ เป็นต้น เทคโนโลยีนี้เหมาะกับการใช้งานในพื้นที่กว้าง Proximal Sensing หรือ เทคโนโลยีการรับรู้ระยะใกล้ เป็นการอาศัยเซ็นเซอร์วัดข้อมูลต่าง ๆ ได้โดยตรงในจุดที่สนใจ เช่น เซ็นเซอร์ตรวจอากาศ (weather station) เซ็นเซอร์วัดดิน (soil sensor) เซ็นเซอร์ตรวจโรคพืช (plant disease sensor) เซ็นเซอร์ตรวจวัดผลผลิต (yield monitoring sensor) เซ็นเซอร์เคมี (chemical sensor) เป็นต้น อิริไวส์ (Irri Wise) เป็นเทคโนโลยีของ บริษัท เนต้าฟิม ที่พัฒนาขึ้น เป็นระบบตรวจสอบการเจริญเติบโตของพืช ที่วิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ในสภาพจริง (real time) และควบคุมทรัพยากรทั้งหมด ด้วยระบบคอมพิวเตอร์

จากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีข้างต้น สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงประกอบด้วยเรื่องสำคัญ 3 เรื่อง คือ 1) สารสนเทศ 2) เทคโนโลยี 3) การบริหารจัดการ โดยตั้งอยู่บนแนวคิดที่ว่า พืชพันธุ์ที่ปลูก และสภาพล้อมรอบ (ดิน น้ำ แสง อากาศ) มีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ หรือแม้แต่พื้นที่ย่อย ๆ ในไร่เดียวกัน สภาพที่แตกต่างกันทำให้ผลผลิตต่างกัน ดังนั้นการมีข้อมูลและเข้าใจสภาพแวดล้อมจึงเป็น

สิ่งสำคัญต่อการสร้างผลผลิต พื้นที่ตำบลท่าแลง อำเภอยายาง จังหวัดเพชรบุรี เป็นพื้นที่เกษตรซึ่งมีทั้งหมด 10 หมู่บ้าน มีพื้นที่ 26,961 ไร่ มีครัวเรือน 1,692 ครัวเรือน ประชากรทั้งหมด 5,726 คน ชาวตำบลท่าแลงส่วนใหญ่มีวิถีความเป็นอยู่แบบเกษตรกรรม เนื่องจากมีพื้นที่ขนาบไปกับแม่น้ำเพชรบุรี ระยะเกินกว่า ครึ่งหนึ่งของระยะทางยาวทั้งตำบล และมีคลองส่งน้ำชลประทาน ตัดผ่านเป็นระยะทางยาวทุกหมู่บ้าน เป็นพื้นที่ที่มีการปลูกมะนาวและเป็นมะนาวที่มีคุณภาพของประเทศ การทำไร่มะนาวชาวบ้านจะใช้ความรู้ที่ตกทอดมาจากพ่อแม่และการลองผิดลองถูก ทำให้ผลผลิตไม่แน่นอน โดยเฉพาะฤดูฝนมะนาวจะมีมากทำให้ราคาถูก แต่พอฤดูแล้งมะนาวมีราคาแพง เพราะผลผลิตมะนาวมีน้อย ชาวบ้านไม่สามารถที่จะควบคุมการผลิตมะนาวได้ โดยปล่อยเป็นตามธรรมชาติ ไม่มีข้อมูลและการควบคุม อีกทั้งชาวบ้านขาดความรู้ในการใช้เทคโนโลยี ไม่มีความรู้และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์สภาพแวดล้อม และปัญหาที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของชาวไร่มะนาวคือขณะที่มะนาวมีราคาแพง จะมีขโมย ซึ่งการขโมยมะนาวทำให้ชาวไร่มะนาวขาดทุน บางคนแทบไม่มีอะไรเหลือเพราะต้องกู้เงินมาลงทุนซื้อปุ๋ยซื้อยา บางคนต้องจ้างคนเฝ้าไร่ตลอด 24 ชั่วโมง ดังนั้นปัญหาที่เกิดขึ้นข้างต้นคือ การขาดความรู้ในสภาพแวดล้อมและข้อมูลในการตัดสินใจผลิตมะนาว และการขโมยผลผลิต จึงเป็นปัญหาที่สำคัญในการทำไร่มะนาวของชาวอำเภอยายาง จังหวัดเพชรบุรี งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมโดยใช้เซ็นเซอร์แบบไร้สาย และพัฒนาระบบเตือนภัยจากการขโมยมะนาว เพื่อแสดงให้เห็นการพัฒนาเทคโนโลยีการตรวจวัดแบบไร้สาย และเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่มีราคาถูกให้กับชาวบ้านและสามารถที่จะถ่ายทอดเทคโนโลยีนี้ให้กับชาวบ้านด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. สร้างระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมโดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์แบบไร้สายสำหรับพื้นที่เพาะปลูกพืช
2. สร้างระบบตรวจจับขโมยโดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์แบบไร้สายในพื้นที่เพาะปลูกพืช

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

โครงการวิจัยเรื่องระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมและตรวจจับขโมยด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับพื้นที่เพาะปลูกมะนาว มีขอบเขตดังนี้

1) ระบบที่สามารถตรวจวัดสภาพแวดล้อมและตรวจจับขโมยโดยใช้เซ็นเซอร์แบบไร้สาย สำหรับพื้นที่เพาะปลูกพืช และ อุปกรณ์และซอฟต์แวร์ที่ใช้สามารถหาได้ภายในประเทศและราคาไม่แพง

2) การออกแบบอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่สามารถใช้ในการวัดและการสื่อสารข้อมูลมีคุณลักษณะดังนี้

2.1) ความสามารถในการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มของแสง ความชื้นในดิน อุณหภูมิในดิน การเคลื่อนไหว และการใช้พลังงาน

2.2) เซ็นเซอร์แต่ละจุดสามารถเป็นได้ทั้งเครื่องรับและเครื่องส่ง สามารถรับและส่งข้อมูลไปยังเซ็นเซอร์ตัวอื่นได้

3) ระบบสามารถตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์เซ็นเซอร์ไร้สายได้

4) ออกแบบและสร้างเครือข่ายตรวจสภาพแวดล้อม โดยใช้โมดูลการสื่อสารไร้สาย Nrf24101 และ XBee บนมาตรฐาน IEEE 802.25.4 และเซ็นเซอร์สำหรับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มของแสง ความชื้นในดิน อุณหภูมิในดิน การเคลื่อนไหว และการใช้พลังงาน

5) ขอบเขตด้านฮาร์ดแวร์ (hardware)

5.1) คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนา

- หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) Intel Core i7 930 2.90 กิกะเฮิร์ตซ์

- หน่วยความจำหลัก (RAM) 6.0 กิกะไบต์

- หน่วยความจำสำรอง (Hard disk) มีความจุ 640 กิกะไบต์

- Network Adapter Realtek PCIe Family Controller

5.2) ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino

5.3) โมดูลการสื่อสารไร้สาย XBee

5.4) เซ็นเซอร์สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มของแสง ความชื้นในดิน อุณหภูมิในดิน การเคลื่อนไหว และการใช้พลังงาน

6) ขอบเขตด้านซอฟต์แวร์ (software)

6.1) ระบบปฏิบัติการของเครื่องคอมพิวเตอร์ คือ Microsoft Windows 7

6.2) ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนาระบบงานคือ ภาษา Arduino IDE

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมและตรวจจับขโมยด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ที่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. ได้สถานีตรวจวัดสภาพแวดล้อมและตรวจจับขโมยด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ที่สามารถนำไปติดตั้งในพื้นที่ที่ต้องการได้อย่างสะดวก รวดเร็ว ราคาไม่แพง และบำรุงรักษาง่าย ชาวบ้านสามารถติดตั้งด้วยตนเองได้
3. สามารถนำข้อมูลสภาพอากาศ มาใช้เป็นข้อมูลทางสถิติเพื่อประกอบการตัดสินใจในการทำกิจกรรมทางการเกษตรได้
4. เป็นต้นแบบของการพัฒนาระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับการเกษตรลดการนำเข้าจากต่างประเทศ

1.5 คำนิยามศัพท์

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (wireless sensor network) หมายถึง ระบบเครือข่ายที่ส่งข้อมูลแบบไร้สายประกอบด้วย เซ็นเซอร์ โหนด โหนดฐาน และโหนดสถานี

ตรวจวัดสภาพแวดล้อม (environment measurement) หมายถึง การตรวจวัดข้อมูลที่ประกอบไปด้วย อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มของแสง อุณหภูมิในดิน ความชื้นในดิน พลังงานจากแบตเตอรี่

ควบคุมความปลอดภัย (security control) หมายถึง ตัวตรวจจับขโมยที่ตรวจจับความเคลื่อนไหวของผู้ที่จะมาขโมยมะนาว

พื้นที่เพาะปลูก (grow area) หมายถึง พื้นที่ปลูกมะนาว ตำบลท่าแลง อำเภอยางาย จังหวัดเพชรบุรี

บทที่ 2

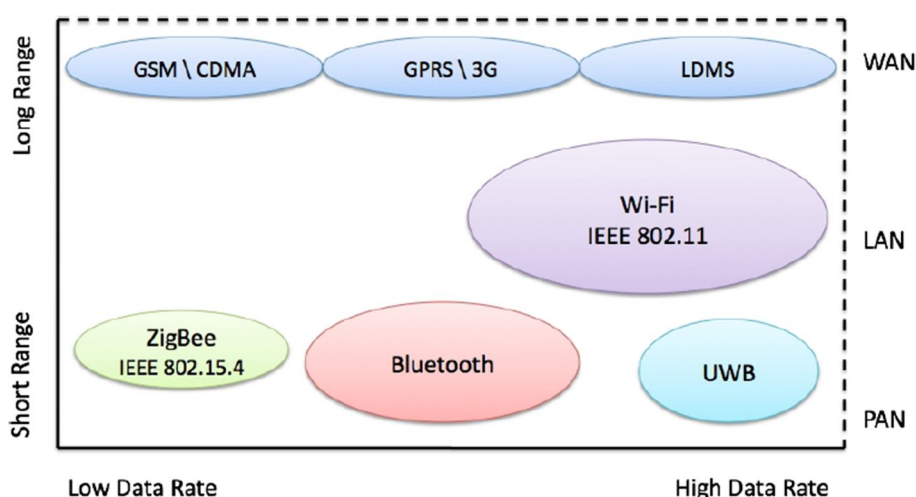
ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาแนวคิด หลักการทางทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งออกเป็นหัวข้อดังนี้

- 2.1 เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระยะใกล้
- 2.2 ระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย
- 2.3 ระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย Tmote sky
- 2.4 ตัวส่งสัญญาณ XBee
- 2.5 ตัวส่งสัญญาณ Nrf24101
- 2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino
- 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระยะใกล้

การสื่อสารในปัจจุบันมีเทคโนโลยีรูปแบบใหม่ ๆ เกิดขึ้นมากมายแสดงดังภาพที่ 2.1 โดยเฉพาะระบบการสื่อสารไร้สายระยะใกล้เป็นอีกระบบการสื่อสารหนึ่งซึ่งมีอิทธิพลและบทบาทต่อชีวิตประจำวัน ซึ่งให้ความสะดวกสบายในการใช้งานโดยที่ไม่ต้องมีสายทำให้การเคลื่อนที่ไปไหนมาไหนสะดวกสบายยิ่งขึ้น



ภาพที่ 2.1 มาตรฐานการสื่อสารไร้สาย
(Valada, Kohanbash and Kantor, 2010)

มาตรฐานเทคโนโลยีนี้ที่เป็นที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันประกอบด้วย 4 มาตรฐานได้แก่ IEEE 802.15.4, WLAN, Bluetooth และ Infrared

มาตรฐาน IEEE 802.15.4 และ Zigbee มาตรฐานนี้เป็นมาตรฐานของอุปกรณ์ที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลต่ำ ใช้พลังงานน้อย ราคาไม่แพง การส่งสัญญาณตามมาตรฐานนี้แสดงดังภาพที่ 2.1 สามารถส่งข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือและมีความถูกต้องสูง โดยมีโทโปโลยีแบบ Start และ แบบ Peer-to-Peer โดยที่ระยะในการส่งข้อมูลประมาณ 10 -75 เมตร ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและพลังงานในการรับส่งข้อมูล โดยสามารถเลือกความถี่ที่ใช้งานได้ 3 ช่วงความถี่ คือ ย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ มีช่องสัญญาณ 16 ช่อง อัตรารับส่งข้อมูล อยู่ที่ 250 Kbps ย่านความถี่ 915 เมกะเฮิรตซ์จะมีช่องสัญญาณ 10 ช่อง มีอัตรารับส่งข้อมูลอยู่ที่ 40 Kbps และย่านความถี่ 868 เมกะเฮิรตซ์ มีช่องสัญญาณ 1 ช่อง มีอัตราการรับส่งข้อมูล 20 Kbps มาตรฐาน IEEE 802.15.4 มีการกำหนดรูปแบบชั้นกายภาพและชั้น MAC คือ ชั้นกายภาพเป็นชั้นล่างสุดจะรับผิดชอบเกี่ยวกับการส่งข้อมูลที่เป็นบิต ย่านความถี่ที่ใช้งาน 2 ช่วงความถี่คือ ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ และความถี่ 868/902-928 เมกะเฮิรตซ์ โดยในย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ มีอัตราการรับส่งข้อมูลสูงสุด 250 kbps ส่วนย่านความถี่ 902-928 เมกะเฮิรตซ์ มีอัตราการรับส่งข้อมูลสูงสุด 40 kbps และย่านความถี่ 868 เมกะเฮิรตซ์ มีอัตราการรับส่งข้อมูลสูงสุด 20 kbps การรับส่งข้อมูลจะขึ้นอยู่กับความถี่ถ้าความถี่สูงจะสามารถส่งข้อมูลได้เร็วแต่ครอบคลุมพื้นที่น้อยกว่าย่านความถี่ต่ำ ดังนั้นการใช้งานจึงขึ้นอยู่กับทางเลือกย่าน

ความถี่และความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อม สำหรับรูปแบบของกลุ่มข้อมูลของชั้นกายภาพ จะประกอบด้วย 3 ส่วนที่สำคัญ คือ

- 1) Synchronize Header (SHR) เป็นข้อมูลที่ใช้ ซิงค์ไครนัส กันระหว่างตัวรับและตัวส่ง
- 2) PHY header เป็นข้อมูลความยาวของ payload
- 3) PHY payload เป็นส่วนของข้อมูลที่ต้องการสื่อสารกัน

ชั้น MAC เป็นส่วนที่รับผิดชอบการรับส่งข้อมูลให้ถูกต้องและสำเร็จ โดยจะรับผิดชอบในการสร้างกลไกสำหรับตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล นอกจากนั้นยังตรวจสอบชั้นกายภาพว่าช่องสัญญาณพร้อมสำหรับการรับส่งข้อมูลหรือไม่ ถ้ายังไม่พร้อม ชั้น MAC จะรอจนกว่าจะว่างแล้วจึงทำการส่งข้อมูล รูปแบบของเฟรม MAC มีอยู่ 4 รูปแบบ คือ

- 1) Beacon frame เป็นเฟรมที่ตัว Coordinator จะทำการส่งเป็นระยะเพื่อตรวจสอบสถานะต่างๆของระบบและอุปกรณ์จะใช้เฟรมนี้ซิงโครไนส์กับระบบ
- 2) Data frame เป็นเฟรมสำหรับการส่งข้อมูล
- 3) Acknowledgement frame เป็นเฟรมที่ถูกส่งมาจากภาครับ เพื่อทำการยืนยันว่าได้รับข้อมูลที่ส่งมาเรียบร้อยแล้ว
- 4) Command frame เป็นเฟรมที่ใช้ส่งเพื่อการสื่อสารกันของอุปกรณ์ในชั้น MAC

Physical Layer	Band	Channel Numbering	Chip Rate	Modulation	Bit Rate
868/915MHz	868-870MHz	0	300 kchip/sec	BPSK	20kbps
868/915MHz	902-928MHz	1-10	600 kchip/sec	BPSK	40kbps
2.4GHz	2.4-2.4835GHz	11-26	2 Mchip/sec	O-QPSK	250kbps

ภาพที่ 2.2 ย่านความถี่มาตรฐาน IEEE 802.15.4

มาตรฐาน IEEE 802.11 WLAN เป็นมาตรฐานที่ได้รับความนิยมมากในนามที่ทุกคนรู้จักคือระบบ WI-FI แสดงดังภาพที่ 2.2 เนื่องจาก WLAN มีความสะดวกสบายของการเชื่อมต่ออุปกรณ์คอมพิวเตอร์เข้าด้วยกันโดยไม่จำเป็นต้องใช้สายอีกต่อไป อุปกรณ์คอมพิวเตอร์สามารถเชื่อมต่อกันได้จากตำแหน่งต่างๆที่อยู่ภายในขอบเขตของการส่งสัญญาณความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 1, 2, 5.5, 11 และ 54 Mbps โดยมีย่านความถี่อยู่ 3 ความถี่ คือ ย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ย่านความถี่ 5 กิกะเฮิรตซ์ และ Infrared 1, 2 Mbps นอกจากนี้ IEEE 802.11 ยัง

กำหนดให้มีทางเลือกที่สร้างความปลอดภัยให้กับเครือข่าย ด้วยกลไกการเข้ารหัสข้อมูลและตรวจสอบผู้ใช้ที่เรียกว่า WEP (Wired Equivalent Privacy) เครือข่ายไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 ถูกกำหนดขึ้นมาครั้งแรกในปี ค.ศ. 1997 และเป็นที่ยอมรับใช้งานมากเนื่องจากกระยะทางที่สามารถใช้งานในที่ร่ม โกลถึง 100 เมตร และในที่โล่งแจ้ง 400 เมตร มีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุด 54 Mbps ซึ่งในปัจจุบันมีอยู่ 3 มาตรฐาน คือ

1) มาตรฐาน IEEE 802.11a มาตรฐานนี้ถูกกำหนดขึ้นในปี ค.ศ. 1999 มีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงถึง 54 Mbps แต่ไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากมาตรฐานนี้ใช้ย่านความถี่ 5 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นย่านที่ไม่เปิดให้ใช้อย่างเสรีในทุกประเทศ และข้อเสียอีกอย่างคือ มาตรฐานนี้ระยะการใช้งานไกลสุดเพียง 50 เมตร นอกจากนี้ยังไม่สามารถใช้อุปกรณ์ร่วมกับมาตรฐานอื่น ๆ ได้

2) มาตรฐาน IEEE 802.11b มาตรฐานนี้ ถูกกำหนดขึ้นในปี 1999 พร้อมกับมาตรฐาน 802.11a แต่ได้รับความนิยมสูงกว่ามาก เนื่องจากใช้ความถี่ในย่าน 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ได้เปิดใช้โดยอิสระกับทุกประเทศทั่วโลก แต่มาตรฐานนี้มีข้อเสียคือ มีความเร็วต่ำสุดเมื่อเทียบกับมาตรฐานอื่น ๆ และยังมีปัญหาของสัญญาณรบกวนสูง เนื่องจากย่านนี้มีการใช้ความถี่นี้กับอุปกรณ์อื่น ๆ อยู่มาก

3) มาตรฐาน IEEE 802.11g เป็นมาตรฐานใหม่ที่เปิดตัวในปี ค.ศ. 2003 โดยนำข้อดีของมาตรฐาน 802.11a และ มาตรฐาน 802.11b มารวมกัน คือ มีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงถึง 54 MBps และมีมาตรฐานระยะการทำงานไกลเท่ากับมาตรฐาน IEEE 802.11b นอกจากนี้ยังใช้ความถี่ย่าน 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นช่วงความถี่เสรีและยังสามารถใช้อุปกรณ์ร่วมกับเครือข่าย IEEE 802.11b ได้โดยไม่มีปัญหา

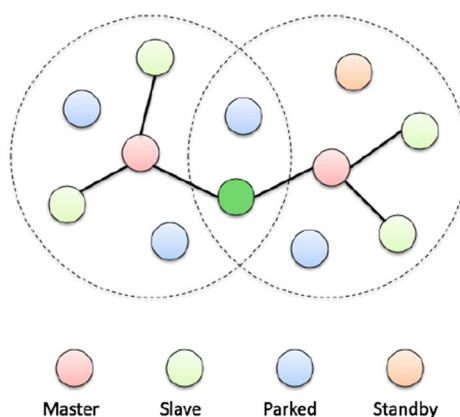
	IEEE 802.11	IEEE 802.11b	IEEE 802.11a	IEEE 802.11g
Ratification	June 1997	Sept. 1999	Sept. 1999	June 2003
RF Band	2.4 GHz	2.4 GHz	5 GHz	2.4 GHz
Max. Data Rate	2 Mbps	11 Mbps	54 Mbps	54 Mbps
Physical Layer	FHSS, DSSS, IR	DSSS / CCK	OFDM	OFDM
Typical Range	50 - 100m	50 - 100m	50 - 100m	50 - 100m

ภาพที่ 2.3 มาตรฐาน IEEE 802.11 (WI-FI)

มาตรฐาน Bluetooth เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่ออกมารองรับการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ เช่น หูฟัง อุปกรณ์ภายนอกต่างๆของคอมพิวเตอร์ โทรศัพท์มือถือ การสื่อสารของ Bluetooth จะใช้ความถี่ในช่วง 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่เปิดให้ใช้โดยเสรี Bluetooth

สามารถเชื่อมต่อแบบจุดต่อจุดได้หลายๆจุด (Point to multi-point) ไม่ว่าจะเป็นเสียง หรือการส่งข้อมูลทั่วๆ ไป โดยสามารถส่งข้อมูลได้ในระยะ 10 เซนติเมตร ถึง 10 เมตร และสามารถขยายได้เป็น 100 เมตร โดยเพิ่มกำลังส่งให้มากขึ้น Bluetooth มีอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงสุด 1 Mbit/s สามารถกระโดดข้ามความถี่อย่างรวดเร็ว ทำให้ช่วยลดการแทรกสอดของสัญญาณอื่น ๆ ได้ ความถี่ในการกระโดดเปลี่ยนช่องสัญญาณ 1600 ครั้งต่อวินาที การปรับกำลังของสัญญาณออกจะช่วยลดสัญญาณรบกวนโดยความแรงของสัญญาณที่ส่งแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 0 dBm 4 dBm และ 20 dBm การเข้ารหัสเสียงเป็นแบบ Continuously Variable Slope Delta Modulation ซึ่งทำให้การทำงานที่มี bit rate error สูงสามารถทำได้

Bluetooth เป็นเทคโนโลยีที่ทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆติดต่อสื่อสารกันในระยะห่างสั้นๆโดยอุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยีนี้สามารถติดต่อสื่อสารสูงสุดได้ถึง 7 ตัวพร้อมกัน ซึ่งเราเรียกเครือข่ายนี้ว่า Piconet แสดงดังภาพที่ 2.4 นอกจากนั้นอุปกรณ์แต่ละตัวยังสามารถสังกัดอยู่กับเครือข่าย Piconet ได้หลายเครือข่ายพร้อมกัน โดยที่การติดต่อแบบ Piconet นี้จะต้องมีอุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่งจะต้องทำหน้าที่เป็น Master และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่เหลือจะทำหน้าที่เป็น Slave โดยที่ Piconet จะเป็นการติดต่อสื่อสารแบบหลาย ๆ จุด จากกรณีดังกล่าวช่องสัญญาณและแบนด์วิดท์ (Bandwidth) จะถูกใช้ร่วมกันระหว่างอุปกรณ์ใน Piconet การส่งคลื่นวิทยุของระบบแบบ Bluetooth จะใช้การกระโดดเปลี่ยนความถี่



ภาพที่ 2.4 ระบบ Piconet

(Valada, Kohanbash and Kantor, 2010)

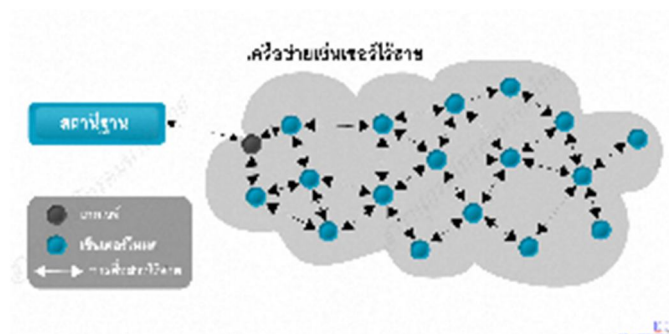
มาตรฐาน Infrared มาตรฐานเกิดจากการพัฒนาร่วมกันของกลุ่มบริษัทมากกว่า 40 บริษัท ในการพัฒนามาตรฐานที่จะใช้ในการส่งข้อมูลระยะสั้นโดยใช้คลื่น Infrared ซึ่งเรียกว่า Infrared

Data Association (IrDA) อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ IrDA แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ Primary Device เป็นอุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเลือกที่จะส่งสัญญาณทำการติดต่อให้กับอุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่งในขอบเขตนั้น ๆ และ Secondary device คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่คอยฟังสัญญาณที่จะติดต่อเข้ามาและตอบรับการติดต่อ

2.2 ระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

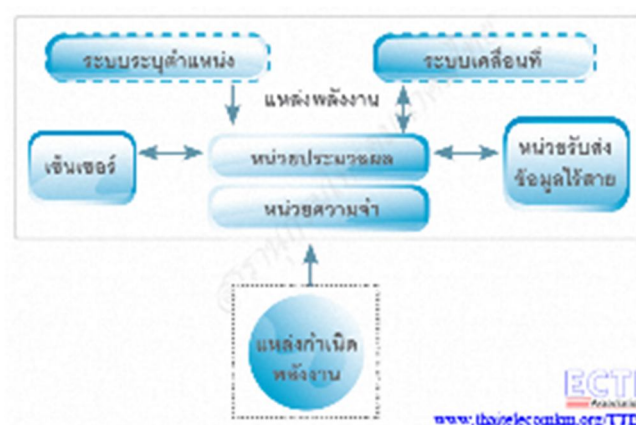
เทคโนโลยีการผลิตไมโครอิเล็กทรอนิกส์ได้รับการพัฒนาถึงระดับที่สามารถผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดเล็ก ราคาถูก และประหยัดพลังงาน ซึ่งเหมาะสำหรับสร้างหน่วยประมวลผลและหน่วยส่งข้อมูลของเซ็นเซอร์ไร้สาย และด้วยเทคโนโลยีระบบเครื่องกลจุลภาค การสร้างเซ็นเซอร์ขนาดเล็กและวงจรมีขนาดเล็กเกิดขึ้นได้จริง ทำให้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายยุคนี้เข้าใกล้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ในจินตนาการของนักวิจัยยุคก่อน ๆ อย่างไรก็ตามเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายนี้ยังมีการวิจัยอย่างต่อเนื่อง

สถาปัตยกรรมเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายประกอบด้วยสามส่วน (สุชา สุพิทยภรณ์พงศ์, 2013) ได้แก่ หน่วยร่วมเซ็นเซอร์ เกตเวย์ และสถานีฐาน (base station) ดังภาพที่ 2.4 หน่วยร่วมเซ็นเซอร์จำนวนมากฝังตัวในสภาพแวดล้อมเพื่อเก็บข้อมูล โดยแต่ละหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ติดต่อสื่อสารแบบไร้สายกับหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ข้างเคียง ซึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถในการรับส่งแบบไร้สาย แต่ละหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ควบคุมและจัดการงานของตัวเอง (self-organize) ทุก ๆ หน่วยร่วมเซ็นเซอร์ที่ติดต่อถึงกันทำงานร่วมกัน (collaboration) เป็นเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทำให้แต่ละหน่วยร่วมเซ็นเซอร์สามารถส่งข้อมูลไปหากันได้แม้ว่าหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ปลายทางไม่สามารถติดต่อ กับหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ต้นทางได้โดยตรง โดยให้หน่วยร่วมเซ็นเซอร์ระหว่างทางช่วยส่งข้อมูลต่อกันตั้งแต่ต้นทางถึงปลายทาง วิธีการส่งแบบนี้เรียกว่าการส่งแบบมัลติฮอป (multi-hop) เกตเวย์ทำหน้าที่รับส่งข้อมูล ระหว่างสถานีฐานและเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายโดยเกตเวย์อาจเป็นหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ธรรมดาหรือเป็นหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ที่มีความสามารถพิเศษในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย สถานีฐานทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่วัดได้จากหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ควบคุมการทำงาน และติดต่อกับผู้ใช้งาน หรืออาจติดต่อกับเครือข่ายอื่น ๆ เช่น อินเทอร์เน็ต



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างแบบจำลองเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย
(สุชา สุพิทยภรณ์พงศ์, 2556)

เนื่องจากการทำงานแบบไร้สายทำให้แต่ละหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ใช้แหล่งพลังงานภายในหน่วยร่วมเซ็นเซอร์เองหรือในบางกรณีอาจใช้แหล่งกำเนิดพลังงานเพื่อให้หน่วยร่วมเซ็นเซอร์ทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ด้วยเหตุนี้ทำให้เครือข่ายมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาเนื่องจาก หน่วยร่วมเซ็นเซอร์อาจหยุดทำงานเพราะพลังงานหมดหรือกลับขึ้นมาทำงานได้อีกครั้งเมื่อมีพลังงานเพียงพอ รวมไปถึงในบางเครือข่าย ที่มีหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ที่เคลื่อนที่ได้ การเปลี่ยนแปลงของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์นั้นมีผลต่อโครงสร้าง (topology) ของเครือข่าย และส่งผลถึงเส้นทางในการส่งข้อมูลของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ โดยเส้นทางในการส่งข้อมูล ในแต่ละโครงสร้างนั้นขึ้นอยู่กับวิธีการหาเส้นทาง (routing algorithm) ซึ่งวิธีการหาเส้นทางในแต่ละเครือข่าย จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของเครือข่ายนั้น ๆ



ภาพที่ 2.6 ส่วนประกอบของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์
(สุชา สุพิทยภรณ์พงศ์, 2556)

การทำงานของหน่วยรวมเซ็นเซอร์คือการวัดและเก็บข้อมูลที่ได้จากสภาพแวดล้อม นำข้อมูลไปประมวลผล สร้างเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและส่งข้อมูล ทำให้หน่วยรวมเซ็นเซอร์มีส่วนประกอบดังรูปที่ 2 ส่วนประกอบของหน่วยรวมเซ็นเซอร์ แบ่งออกเป็นสองกลุ่ม คือ กลุ่มส่วนประกอบหลักที่จำเป็นเพื่อให้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทำงานได้ โดยในภาพที่ 2.6 เป็นส่วนประกอบที่มีเส้นรอบรูปเป็นเส้นทึบและกลุ่มส่วนประกอบเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มคุณสมบัติพิเศษให้กับหน่วยรวมเซ็นเซอร์ โดยในภาพ จะเป็นส่วนประกอบที่มีเส้นรอบรูปเป็นเส้นประ

2.2.1 กลุ่มส่วนประกอบหลัก

ก) เซ็นเซอร์ (sensor) ทำหน้าที่วัดค่าต่างๆ จากสภาพแวดล้อมตามแต่ชนิดของเซ็นเซอร์ เช่น ความชื้น อุณหภูมิ ความเข้มแสง ความดัน ความเร็ว แรงสั่นสะเทือน ความเคลื่อนไหว ความลึก ความเป็นกรดหรือด่าง เป็นต้น

ข) หน่วยรับ-ส่งข้อมูลไร้สาย (transceiver unit) ทำหน้าที่รับ-ส่งข้อมูลแบบไร้สายในย่านความถี่อุตสาหกรรม (ISM band) เพื่อรับ-ส่งข้อมูลระหว่างหน่วยรวมเซ็นเซอร์ข้างเคียง

ค) หน่วยประมวลผล (processing unit) ติดต่อกับเซ็นเซอร์เพื่อสั่งงานหรือรับข้อมูลที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ เพื่อนำไปประมวลผลเป็นข้อมูล จัดเก็บลงในหน่วยความจำ รวบรวมข้อมูลหรืออาจส่งข้อมูลทันทีผ่านทางหน่วยรับ-ส่งข้อมูลไร้สาย หน่วยประมวลผลกลางอาจรับข้อมูลจากระบบระบุตำแหน่งเพื่อช่วยในการประมวลผลต่างๆ หรือหน่วยประมวลผลกลางอาจทำหน้าที่ควบคุม การเคลื่อนที่ของหน่วยรวมเซ็นเซอร์ผ่านทางระบบเคลื่อนที่ นอกจากนี้หน่วยประมวลผลกลางยังทำหน้าที่ประมวลผลเครือข่ายและหาเส้นทางในการส่งข้อมูลของหน่วยรวมเซ็นเซอร์

ง) แหล่งพลังงาน (power unit) เก็บสะสมพลังงานและให้พลังงานกับทุกส่วนประกอบบนหน่วยรวมเซ็นเซอร์ แหล่งพลังงานจะรับพลังงานจากแหล่งกำเนิดพลังงานหากหน่วยรวมเซ็นเซอร์มีแหล่งกำเนิดพลังงาน

2.2.2 กลุ่มส่วนประกอบเพิ่มเติม

ก) ระบบระบุตำแหน่ง (positioning unit) เป็นหน่วยระบุตำแหน่งของหน่วยรวมเซ็นเซอร์ โดยใช้ GPS เพื่อนำข้อมูลตำแหน่งไปใช้ประมวลผล เช่น หาเส้นทางเพื่อส่งข้อมูล หาตำแหน่งสำหรับการเคลื่อนที่ของหน่วยรวมเซ็นเซอร์ เป็นต้น

ข) ระบบเคลื่อนที่ (mobilizing unit) ทำหน้าที่เคลื่อนย้ายตำแหน่งของเซ็นเซอร์ เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ เช่น จัดรูปแบบโครงสร้างเครือข่าย ติดตามวัตถุ เคลื่อนที่หาสัญญาณสื่อสาร เป็นต้น

ค) แหล่งกำเนิดพลังงาน (power generator unit) ทำหน้าที่กำเนิดพลังงานจากสิ่งแวดล้อม เช่น พลังงานลม ความร้อน ปฏิกิริยาเคมี การสั่นสะเทือน เป็นต้น ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อเก็บสะสมและใช้ต่อไป เพื่อชดเชยพลังงานที่ถูกใช้ไป ทำให้ตัวเซ็นเซอร์ไร้สายทำงานได้เป็นเวลานาน

2.3 ระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย Tmote sky

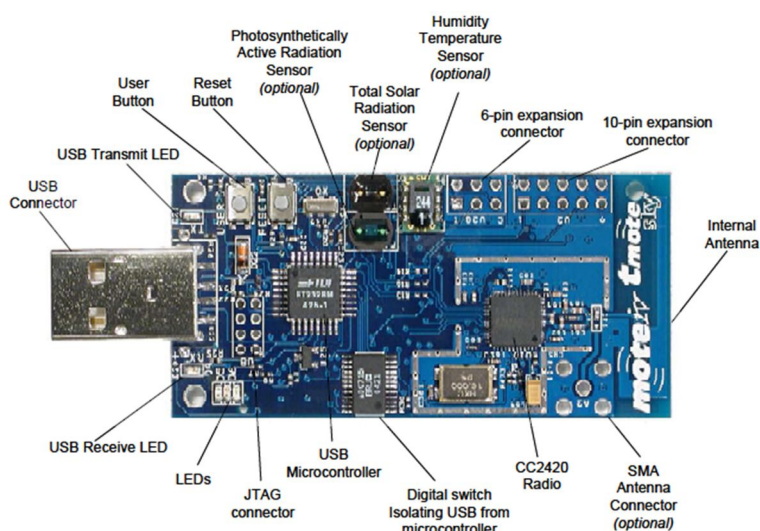
อุปกรณ์ไร้สาย Tmote sky เป็นอุปกรณ์ไร้สายที่ประหยัดพลังงาน และเป็นอุปกรณ์ไร้สายต้นแบบในการนำไปใช้สังเกตเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและกะทันหัน ผลิตโดย บริษัทโมทีฟคอร์โอเปอร์เรชั่น ประกอบด้วย เซ็นเซอร์ความชื้น เซ็นเซอร์อุณหภูมิ และเซ็นเซอร์แสง ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ขนาด AA จำนวน 2 ก้อน ขณะมีการทำงานจะสิ้นเปลืองพลังงาน 2.1-3.6 โวลต์ และขณะมีการเขียนโปรแกรมหรือทำการทดสอบโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ จะสิ้นเปลืองพลังงานอย่างน้อย 2.7 โวลต์ เมื่อต่ออุปกรณ์ไร้สาย Tmote Sky เข้ากับพอร์ต USB เพื่อทำการเขียนโปรแกรมหรือติดต่อกับอุปกรณ์ไร้สาย Tmote Sky ตัวอื่นนั้น อุปกรณ์ไร้สาย Tmote Sky จะใช้พลังงานจากพอร์ต USB ของคอมพิวเตอร์ที่นำไปต่อซึ่งแรงดันจากพอร์ต USB มีค่า 3 โวลต์

อุปกรณ์ไร้สาย Tmote sky สามารถนำไปใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ต่อพ่วงอย่างอื่นได้ และมีการนำไปประยุกต์ใช้งานกับเครือข่ายแบบเมช (Mesh Topology) อย่างแพร่หลาย คุณสมบัติของอุปกรณ์ไร้สาย Tmote Sky ดังนี้

- 1) อัตราการรับส่งข้อมูลแบบไร้สาย 250 kbps 2.4 กิกะเฮิร์ตซ์ เป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4
- 2) สามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่นตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ได้
- 3) ไมโครคอนโทรลเลอร์ MSP430 ของบริษัทเท็กซัส อินสตรูเมนต์จำกัด
- 4) มีเซ็นเซอร์ความชื้น อุณหภูมิ และแสง
- 5) การสิ้นเปลืองพลังงานน้อย
- 6) สายอากาศแบบไมโครสตริปอยู่บนบอร์ด สามารถส่งสัญญาณภายในอาคารได้ไกล 50 เมตร และภายนอกอาคารได้ไกล 125 เมตร



ภาพที่ 2.7 อุปกรณ์ไร้สายที่โมทสกาย



ภาพที่ 2.8 แผนภาพของอุปกรณ์ไร้สายที่โมทสกาย

(Moteiv Corporation, 2013)

เซ็นเซอร์ความชื้นและอุณหภูมิที่มาพร้อมกับอุปกรณ์ไร้สาย Tmote Sky เป็นรุ่น SHT11/SHT15 ได้ผ่านการเทียบมาตรฐานไว้แล้วและสร้างเอาต์พุตเป็นสัญญาณดิจิทัล สัมประสิทธิ์ของการเทียบมาตรฐานถูกเก็บไว้ใน EEPROM ของอุปกรณ์ไร้สาย Tmote Sky ข้อแตกต่างระหว่างรุ่น SHT11 และรุ่น SHT15 คือ รุ่น SHT15 ให้ความแม่นยำสูงกว่า

การอ่านค่าเซ็นเซอร์ความชื้นและอุณหภูมิที่แสดงผลด้วยแอปพลิเคชัน Oscilloscope เป็นข้อมูลขนาด 14 บิต สามารถแปลงเป็นหน่วยองศาเซลเซียสได้ด้วยสมการที่ (1) ดังนี้

$$\text{Temperature} = (-39.60) + (0.01)(S_{ot}) \quad (1)$$

เมื่อ Sot คือ ค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ การอ่านค่าเซ็นเซอร์ความชื้นเป็นข้อมูลขนาด 12 บิตไม่สัมพันธ์กับอุณหภูมิ คำนวณได้จากสมการที่ (2) ดังนี้

$$\text{Humidity} = (-4) + (0.0405)(\text{Sorh}) + (-2.8 \times 10^{-6})(\text{SORh}^2) \quad (2)$$

เมื่อ SOrh คือ ค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ความชื้นสัมพัทธ์ ใช้การคำนวณและการวัดอุณหภูมิเพื่อหาความชื้นสัมพัทธ์ที่ถูกต้องซึ่งมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิตามสมการที่ (3) ดังนี้

$$\text{Humidity}_{\text{true}} = (T_c - 25)(0.01 + 0.00008 \text{SORh}) + (\text{Humidity}) \quad (3)$$

เมื่อ Tc คือ อุณหภูมิที่วัดได้ หน่วยเป็นองศาเซลเซียส ซึ่งคำนวณมาจากสมการที่ (1)

Sorh คือ ค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ความชื้นสัมพัทธ์

Humidity คือ ความชื้นที่คำนวณจากสมการที่ (3)

เซ็นเซอร์แสง ที่มาพร้อมกับอุปกรณ์ไร้สาย Tmote Sky ได้ต่อเข้ากับโฟโตไดโอด 2 ตัว ซึ่งผลิตโดยบริษัท ฮามามัทสึ (Hamamatsu) ถ้าหน่วยอุปกรณ์ไร้สาย Tmote Sky มีโฟโตไดโอดต่อมาด้วย ไดโอดที่ใช้สำหรับการวัดการเปลี่ยนแปลงการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเป็นเบอร์ s1087 ส่วนไดโอดที่ใช้สำหรับวัดแถบความถี่หรือความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารวมถึงอินฟราเรด ซึ่งมีความยาวคลื่นแสงประมาณ 750 นาโนเมตร จะเป็นเบอร์ S1087-01

2.4 ตัวส่งสัญญาณ Xbee

ตัวส่งสัญญาณ Xbee เป็นอุปกรณ์ที่พัฒนาโดยบริษัท Digi International ประเทศสหรัฐอเมริกา อ้างอิงการทำงานอยู่บนมาตรฐาน Zigbee 802.15.4 มีย่านความถี่ 3 ย่านคือ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ 900 เมกะเฮิรตซ์ และ 868 เมกะเฮิรตซ์ โดยสามารถแบ่งประเภทของ Xbee ได้ตามชนิดของเสาอากาศ 3 แบบดังภาพที่ 2.8 คือ

- 1) Whip Antenna เสาส่งสัญญาณถูกติดตั้งบนตัวอุปกรณ์
- 2) U.FL และ RS-PMA เสาอากาศแยกจากอุปกรณ์
- 3) Chip Antenna เสาส่งสัญญาณเป็นชิปติดบนตัวอุปกรณ์



ภาพที่ 2.9 ภาพอุปกรณ์ประเภทของเสาอากาศ 3 แบบ
(บริษัทวินัสซัพพลาย จำกัด, 2556)

XBee สามารถทำการต่อใช้งานได้กับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยต่อไฟเลี้ยงอุปกรณ์ 3 โวลต์ และ กราวด์ พร้อมเชื่อมต่อสัญญาณการสื่อสาร Tx และ Rx ของ โมดูล XBee

2.4.1 การใช้งานโมดูลไร้สาย XBee

สามารถทำได้โดยต่ออุปกรณ์โมดูลไร้สาย XBee เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยต่อไฟเลี้ยงอุปกรณ์ 3 โวลต์และกราวด์ พร้อมเชื่อมต่อการสื่อสาร Tx, Rx ของอุปกรณ์โมดูลไร้สาย XBee เข้ากับ Tx, Rx ของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยสามารถแบ่งรูปแบบการสั่งงานอุปกรณ์โมดูลไร้สาย XBee ได้ดังนี้

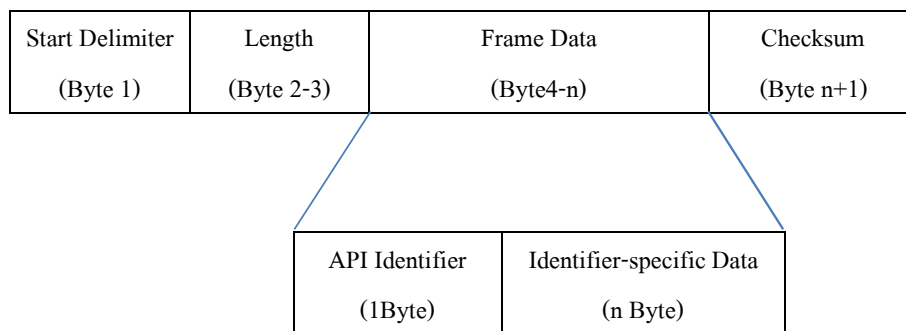
1) Transparent Mode เป็นการควบคุมการทำงานโดยใช้รูปแบบคำสั่ง AT Command (คำสั่งที่ใช้ในการติดต่อกับโมเด็ม AT ย่อมาจาก Attention) เช่น ATND (node discovery) เมื่ออุปกรณ์ได้รับคำสั่งแล้วจะทำการค้นหาโหนดในระบบแล้วแสดงผลออกมา ดังภาพที่ 2.9 เหมาะกับการใช้ควบคุมอุปกรณ์จำนวนไม่มาก มีความซับซ้อนน้อย และใช้งานง่าย

2) API Mode เป็นการส่งชุดคำสั่ง AT Command ไปในรูปแบบของเฟรมข้อมูล เช่น 7e00111016A2004142432C (node discovery) เมื่ออุปกรณ์ได้รับคำสั่งแล้วจะทำการค้นหาโหนดในระบบแล้วแสดงผลออกมา ดังภาพที่ 2.10 เหมาะกับการใช้ควบคุมอุปกรณ์จำนวนมาก มีความซับซ้อนมากและมีการใช้หมายเลขของอุปกรณ์มาอ้างอิงในการรับส่งข้อมูล

ATND RABBIT01 13A200 4060ECB3	7E00111016A2004142432C 7E001110183500616263CC
AT Command Mode	API Mode

ภาพที่ 2.10 ตัวอย่างรูปแบบคำสั่งของ AT Command และ API Mode

3) รูปแบบเฟรมคำสั่งของ API Mode แสดงรายละเอียดได้ดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.11 รายละเอียดของ Frame Data ใน API Mode

Start Delimiter	คือ จุดเริ่มต้นของเฟรมข้อมูล
Length	คือ ขนาดของข้อมูลใน Frame Data
Frame Data	คือ ส่วนที่เก็บคำสั่งและข้อมูล ตัวอย่างการใช้ AT Command
	0x7E 0x00 0x04 0x08 0x52 0x4E0 x44 0x13
0x7E	เริ่มต้นเฟรม
0x0004	Frame Data มีความยาว 4 ไบต์
0x08	API Identifier เป็นการส่ง AT Command
0x52	Frame ID (R Read)
0x4E44	AT Command ('ND') (Node Discovery)
0x13	Checksum เท่ากับ 0xFF-(08+52+4E+44)

Checksum คือ ค่าที่เอาไว้ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องข้อมูล คำนวณได้จาก 0xFF – (ผลรวมของค่าของข้อมูลใน Frame Data) ในกรณีของ API Mode ในการรับข้อมูลตัว XBee จะทำการตรวจสอบความถูกต้องเอง (ในตัว XBee มีไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็กอยู่) แต่ในการส่งข้อมูลตัวโปรแกรมที่บรรจุไว้ในไมโครคอนโทรลเลอร์หรือการส่งข้อมูลจากเซิร์ฟเวอร์ต้องคำนวณค่า Checksum เอง

4) ลักษณะการใช้งานอุปกรณ์สามารถแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะตามการใช้ คือ

4.1) Coordinator ทำหน้าที่เป็นตัวกลางของเครือข่ายติดต่อบริการรับส่งข้อมูลเป็นตัวกลางในการเชื่อมโยงระหว่างสองเครือข่าย หรือเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์

4.2) Router ทำหน้าที่เป็นตัวค้นหาเส้นทาง และทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการส่งรับข้อมูลกับ End Device, Coordinator หรือเครือข่ายอื่นๆ

4.3) End Device เป็นอุปกรณ์ปลายทางที่ได้ทำการติดตั้งเซ็นเซอร์ไว้ หากไม่มีการติดตั้งเซ็นเซอร์ก็จะทำหน้าที่เหมือนกับ Router

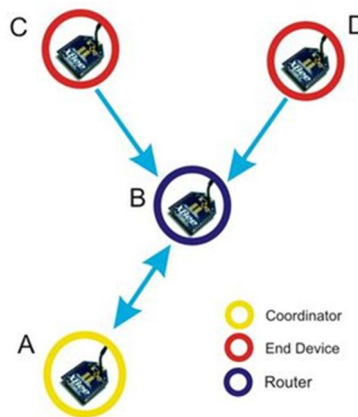
5) รูปแบบการเชื่อมต่อของโมดูลไร้สาย XBee สามารถแบ่งรูปแบบการเชื่อมต่อออกเป็น 3 แบบ ตามมาตรฐาน ZigBee 802.15.4 คือแบบ Star แบบ Cluster Tree และแบบ Mesh โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1) Star Topology ประกอบด้วย Coordinator เป็นศูนย์กลางของเครือข่าย มี End Device เชื่อมต่อเข้ามา ดังภาพที่ 2.11



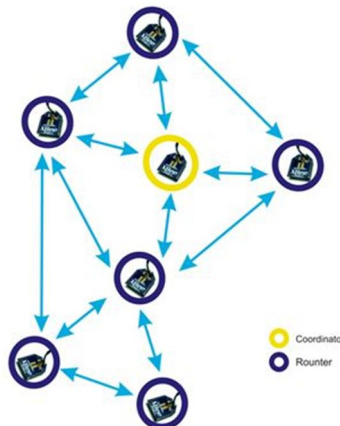
ภาพที่ 2.12 รูปแบบการเชื่อมต่อแบบ Star
(บริษัทวินัสซัพพลาย จำกัด, 2556)

5.2) Cluster Tree Topology มี Coordinator เป็นตัวเชื่อมระหว่างเครือข่ายย่อย โดยในเครือข่ายย่อยจะประกอบไปด้วย Router เป็นศูนย์กลางเพื่อส่งข้อมูลไปยัง Coordinator และมี End Device เชื่อมเข้ากับ Router ดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.13 รูปแบบการเชื่อมต่อแบบ Cluster Tree
(บริษัทวินัสซัพพลาย จำกัด, 2556)

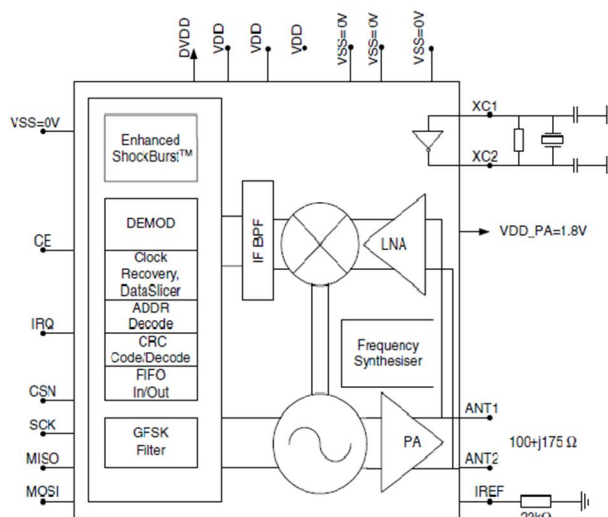
5.3) MeshTopology อุปกรณ์ในเครือข่ายทั้งหมดสามารถเชื่อมต่อกันได้ในรัศมีที่สัญญาณครอบคลุม โดยจะมีตัว Coordinate เป็นศูนย์กลาง 1 ตัว



ภาพที่ 2.14 รูปแบบการเชื่อมต่อแบบ MeshTopology
(บริษัทวินัสซัพพลาย จำกัด, 2556)

2.5 ตัวรับส่งสัญญาณ Nrf24l01

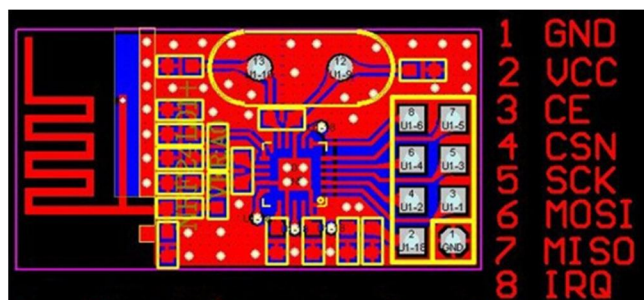
Nrf24l01 เป็นตัวรับส่งสัญญาณอยู่ในย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ การเชื่อมต่อสัญญาณจะใช้การเชื่อมต่อแบบ SPI กินกระแสต่ำ 9 มิลลิแอมป์ที่เอาต์พุต -6 dBm และ 12.3 mA ใน Rx โหมด โครงสร้างภายในแสดงดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 โครงสร้างภายใน Nrf24l01

การต่อใช้งานกับ Arduino จะทำการต่อสัญญาณในภาพที่ 2.16 แสดงการเชื่อมต่อสัญญาณกับขาสัญญาณ Arduino จากชุดรับส่งสัญญาณวิทยุจำนวน 5 สัญญาณได้แก่ MISO MOSI SCK CE และ CSN โดยทำการเชื่อมต่อสัญญาณเข้ากับขาสัญญาณของ Arduino ดังนี้

- 1) สัญญาณ MISO เชื่อมต่อกับสัญญาณ ขา 12
- 2) สัญญาณ MOSI เชื่อมต่อกับสัญญาณ ขา 11
- 3) สัญญาณ SCK เชื่อมต่อกับขา 13
- 4) สัญญาณ CE เชื่อมต่อกับขา 8
- 5) สัญญาณ CSN เชื่อมต่อกับขา 7



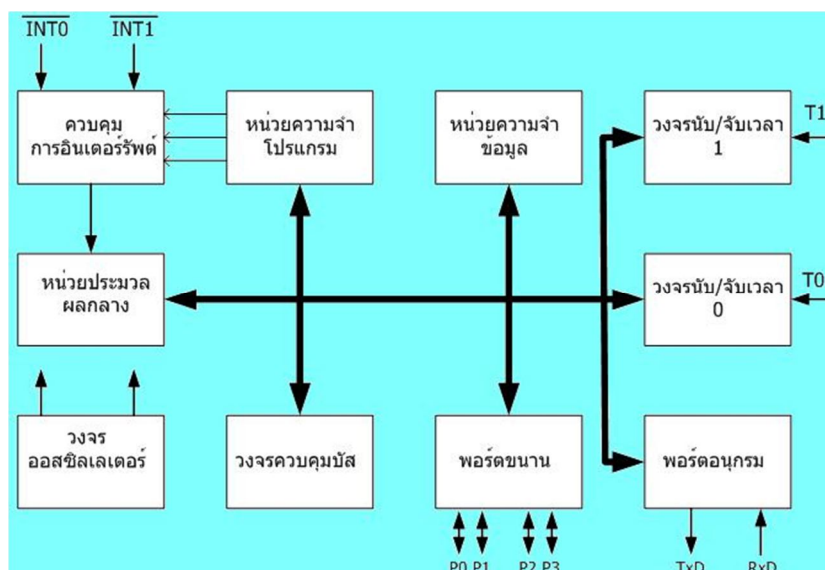
ภาพที่ 2.16 ขาสัญญาณ Nrf24l01

(Terry, 2013)

2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino

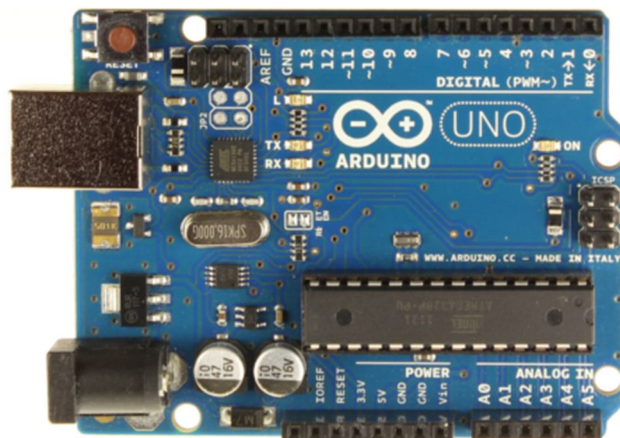
ไมโครคอนโทรลเลอร์รู้จักกันในนามของคอมพิวเตอร์บนชิป (chip) การออกแบบประกอบด้วยซีพียู ซึ่งประกอบด้วย ALU PC SP และเรจิสเตอร์ต่าง ๆ และยังเพิ่มส่วนต่างๆ เข้าไปในชิปอีกเพื่อให้เป็นระบบคอมพิวเตอร์ที่สมบูรณ์ เช่น รม แรม อินพุตและเอาต์พุตแบบขนาน อินพุตและเอาต์พุตแบบอนุกรม ตัวจับเวลาและตัวนับวงจรรนาฬิกา เป็นต้น

จากภาพที่ 2.17 แสดงให้เห็นภาพภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MSC-51 ที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในงานควบคุมสำหรับเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต่างๆ โดยจะโปรแกรมการควบคุมของเครื่องจักรไว้ภายในรอม ในชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ การออกแบบไมโครคอนโทรลเลอร์จะจำกัดในเรื่องของคำสั่งที่เป็นไบต์และการใช้คำสั่งจะเป็นการเคลื่อนย้ายข้อมูลภายในชิป นอกจากนั้นยังมีคำสั่งเกี่ยวกับขา (PIN) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถโปรแกรมขาสัญญาณได้เพื่อใช้งานซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ใช้งาน หรือเรียกว่าขาที่สามารถโปรแกรมได้ (the pins are “programmable”) ไมโครคอนโทรลเลอร์จะเกี่ยวข้องกับการรับข้อมูลจากขาของตนเองและส่งข้อมูลไปยังขาของตนเอง



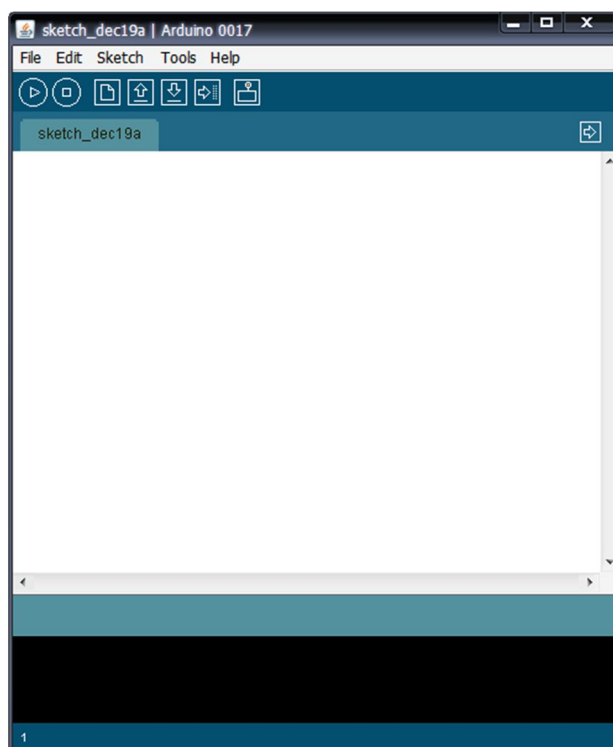
ภาพที่ 2.17 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51
(ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, 2556)

ปัจจุบันได้มีการออกแบบไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ง่ายต่อการใช้งาน โดยผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องรู้จักกับโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ก็สามารถใช้งานได้ ซึ่งเรียกไมโครคอนโทรลเลอร์รูปแบบนี้ว่า Physical computing เป็นการสร้างปฏิสัมพันธ์ของระบบกายภาพที่ใช้ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ในการตอบสนองโลกอนาล็อก (analog world) ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีลักษณะดังกล่าวข้างต้นคือ Arduino เป็นการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งผู้พัฒนาได้เปิดให้ใช้งานในลักษณะ Open Source ซึ่งเป็นการเปิดเผยทั้งในเรื่องของ ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ บอร์ด Arduino และซอฟต์แวร์ แสดงดังภาพที่ 2.17 และ 2.18



ภาพที่ 2.18 บอร์ด arduino

(Arduino, 2013)



ภาพที่ 2.19 โปรแกรม arduino

(Arduino, 2013)

Arduino ถือว่าเป็นเครื่องมือที่จะทำให้คอมพิวเตอร์สามารถรับสัญญาณจากภายนอกและส่งสัญญาณไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าใช้เครื่องพีซีตั้งโต๊ะ

ตัวบอร์ดออกแบบจากไมโครคอมพิวเตอร์ชิพเดี่ยว และมีโปรแกรมพัฒนาสำหรับเขียนโปรแกรมให้บอร์ดทำงาน Arduino สามารถประยุกต์ทำเครื่องใช้อัจฉริยะ รับสัญญาณจากสวิทช์ หรือ เซนเซอร์ และควบคุม หลอดไฟ มอเตอร์ หรืออุปกรณ์อื่น ๆ โครงการงาน Arduino เป็นได้ทั้งแบบทำงานอิสระ หรือทำงานติดต่อกับโปรแกรมที่ทำงานบนเครื่องพีซี ตัวบอร์ดสามารถประกอบขึ้นใช้เอง หรือจะซื้อสำเร็จที่มีขาย ส่วนโปรแกรมพัฒนา Arduino สามารถดาวน์โหลดได้ฟรี

ในตลาดไมโครคอนโทรลเลอร์มีตัวเลือกมากมาย เช่น Parallax Basic Stamp, Netmedia's BX-24, Pidgets, MIT's Handyboard, และอีกหลายบริษัทที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน คือทำให้ใช้งานง่าย และเน้นการโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นหลัก Arduino มีข้อแตกต่างจากไมโครอื่น ๆ ที่เห็นได้ชัด คือ

ราคาไม่แพง - ราคา Arduino บอร์ดไม่แพงเมื่อเทียบกับ บอร์ดอื่น บอร์ด Arduino ที่ราคาถูกสุดสามารถทำใช้เองได้หรือซื้อสำเร็จด้วยเงินไม่เกิน 30 \$

ทำงานได้หลายแพลตฟอร์ม โปรแกรมพัฒนา Arduino ทำงานได้ทั้งบนวินโดวส์ Macintosh OSX และ บนลินุกซ์ ในขณะที่บอร์ดอื่นทำงานได้เฉพาะบนวินโดวส์

ใช้งานง่าย มีโปรแกรมพัฒนาที่ไม่ซับซ้อน - โปรแกรมพัฒนา Arduino ใช้งานง่ายสำหรับมือใหม่ และมีความสามารถครอบคลุมความต้องการของนักพัฒนามืออาชีพ

เปิดเผยซอร์สโค้ด และ นำไปพัฒนาต่อยอดได้ โปรแกรม Arduino ดีพิมพ์แบบเปิดเผยซอร์สโค้ด และสามารถเพิ่มเติมความสามารถผ่าน C++ library ถ้าต้องการศึกษาให้ลึกซึ่งสามารถเข้าไปเล่น AVR C ซึ่งเป็นต้นแบบของ Arduino และสามารถเพิ่มเติม AVR - C โค้ดได้โดยตรงถ้าต้องการ

เปิดเผยวงจร และ นำไปพัฒนาขยาย hardware ได้ Arduino ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ของ Atmel เบอร์ ATMEGA8 ATMEGA168 และ ATMEGA328 วงจรของบอร์ดดีพิมพ์แบบเปิดเผย วงจรภายใต้ Creative Commons License ที่สามารถนำไปดัดแปลงต่อขยายและเพิ่มประสิทธิภาพเพื่อศึกษาการทำงานได้ฟรี

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและเป็นประโยชน์เกี่ยวกับการนำเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายไปใช้ประโยชน์มีดังนี้

ศุวิชา โกสมวงศวิวัฒน์ (2549) ได้พัฒนาระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายเพื่อแจ้งเตือนไฟฟ้า ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยอาศัยหลักการทำงานของเซนเซอร์ไร้สาย ที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ คอยตรวจสอบอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงแล้วส่งข้อมูลเข้ามายังส่วนควบคุม หากมีอุณหภูมิสูงเท่าค่าที่ตั้งไว้ระบบก็จะมีการแจ้งเตือนให้เจ้าหน้าที่ผู้เกี่ยวข้องทราบ

กลอยใจ กางกรณ (2551) ได้วิจัยเรื่อง การวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์บนท้องถนนโดยใช้เครือข่ายตรวจวัดแบบไร้สาย โดยใช้ระบบปฏิบัติการ TinyOS เซนเซอร์ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ และอุปกรณ์ไร้สาย Tmote Sky ผลการวิจัยพบว่า วงจรเซนเซอร์ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์สามารถใช้งานได้และผ่านการเปรียบเทียบค่าก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์โดยใช้วิธีหาค่าเฉลี่ยด้วยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่มีความบริสุทธิ์ 99.9999 เปอร์เซ็นต์ ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดสามารถบันทึกลงฐานข้อมูลและสามารถแสดงปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เป็นกราฟเส้นตามประเภทและช่วงเวลาที่ต้องการได้

เฉลิมพล ศิริอาคเนย์ (2551) ได้นำเสนอระบบควบคุมและตรวจสอบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย เป็นการพัฒนาระบบการใช้งานเซนเซอร์ไร้สายสำหรับผู้ดูแลระบบ ให้เครือข่ายมีประสิทธิภาพมากที่สุด สิ่งที่ได้จากงานวิจัยนี้คือ ระบบตรวจสอบเครือข่ายที่สามารถแสดงผลได้อย่างรวดเร็วผ่านทางเว็บอินเทอร์เน็ต สามารถตรวจเช็คอุปกรณ์ในเครือข่ายได้

อนุศักดิ์ ประพัฒน์ (2551) ได้วิจัยเรื่อง ระบบตรวจสอบปริมาณออกซิเจนในน้ำโดยอัตโนมัติ โดยใช้เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายสำหรับฟาร์มกุ้ง โดยใช้อุปกรณ์ไร้สาย Tmote Sky วัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและระบบปฏิบัติการ TinyOS ผลการวิจัยพบว่า ชุดตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสามารถใช้งานได้ผ่านการเปรียบเทียบค่าโดยใช้วิธีวัดค่าออกซิเจนในน้ำจากสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ ที่มีปริมาณออกซิเจนแตกต่างกัน โดยมีค่าสูงที่สุดที่ 20 ppm. ข้อมูลที่ได้จากการวัดสามารถบันทึกค่าลงฐานข้อมูล และสามารถแสดงปริมาณออกซิเจนที่วัดผ่านทางเว็บเพจที่ออกแบบ

และแสดงปริมาณออกซิเจนย้อนหลังจากฐานข้อมูลที่เก็บไว้ในรูปของกราฟเส้นตามช่วงเวลาที่ต้องการได้

โครงการเครือข่ายสถานีตรวจวัดสภาพอากาศ (Mini Monitoring Station (MMS)) (Koanantakool, Kingrungped, Krootkaew, and Vannarat, 2013) ของศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ประกอบไปด้วยสถานีตรวจวัดสภาพอากาศ สถานีรับข้อมูล และเครื่องแม่ข่าย โดยในอุปกรณ์ตรวจสภาพอากาศนั้นประกอบไปด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดต่าง ๆ เช่น ความเร็วลม อุณหภูมิ ความชื้น ความกดอากาศ ปริมาณน้ำฝน เสียง เป็นต้น การสื่อสารข้อมูลสามารถทำได้โดยผ่านสายและคลื่นวิทยุ โดยสายหากใช้สายแบบ RS485 จะสามารถสื่อสารได้สูงสุด 1200 เมตร และการสื่อสารทางเคลื่อนที่วิทยุที่ทางศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติได้พัฒนาขึ้น สามารถส่งสัญญาณได้ระยะทาง 80 เมตร นอกจากนั้นยังสามารถส่งข้อมูลโดยผ่านทางระบบ GPRS (General Packet Radio Service) โดยจะมีสถานีรับข้อมูลและส่งต่อไปยังเครื่องแม่ข่ายเพื่อบันทึกข้อมูล

สถาปัตยกรรม กิลาส (2553) ได้นำเสนอระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อแสดงผลสภาพอากาศ โดยได้นำระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายตามมาตรฐาน IEEE Zigbee 802.15.4 มาประยุกต์ใช้ในการสร้างเครือข่ายสถานีตรวจอากาศไร้สายและแจ้งเตือนภัยพิบัติ โดยได้นำเทคนิคแบบ Decision Tree มาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อการแจ้งเตือน โดยในระบบต้นแบบนี้ได้ใช้ข้อดีของระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ที่สามารถส่งสัญญาณได้ในระยะไกลโดยอาศัยเทคนิคแบบ MESH ในการรับส่งข้อมูลและใช้พลังงานต่ำ ทำให้สามารถนำไปติดตั้งในสถานที่ยากต่อการเดินสายสัญญาณหรือไม่มีกระแสไฟฟ้าเข้าถึง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

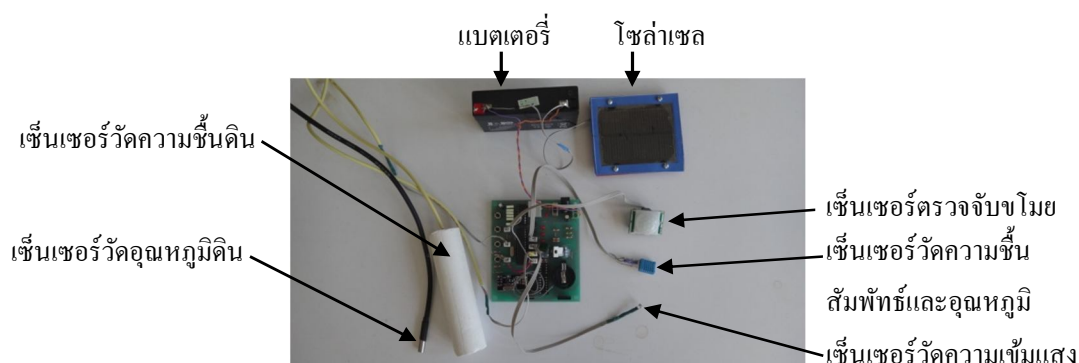
ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบในส่วน of เครื่องข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยได้แบ่งการออกแบบเป็น 3 ส่วน คือ 1) เซ็นเซอร์โหนด 2) โหนดฐาน และ 3) โหนดสถานี นอกจากนั้นได้มีการปรับปรุงประสิทธิภาพ of เครื่องข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยได้เพิ่มเติมหน่วยความจำในเซ็นเซอร์โหนดและโหนดฐาน เมื่อทำการออกแบบและทดสอบประสิทธิภาพแล้วได้นำไปติดตั้งในสถานที่จริงเพื่อทดสอบการทำงานจริง

3.1 การออกแบบฮาร์ดแวร์

ในการออกแบบฮาร์ดแวร์ ได้ทำการออกแบบฮาร์ดแวร์โดยการพิจารณาจากการใช้งานในสภาพแวดล้อมพื้นที่ไร่มะนาว โดยเน้นการเก็บข้อมูลที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชจึงทำการออกแบบทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์เป็น 3 กลุ่ม

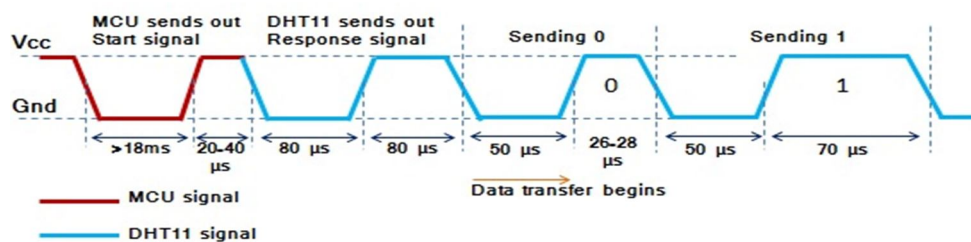
3.1.1 เซ็นเซอร์โหนด

เซ็นเซอร์โหนด เป็นโหนดที่ใช้ในการรับค่าข้อมูลจากเซ็นเซอร์ต่าง ๆ เพื่อนำข้อมูลส่งต่อไปยังโหนดอื่น ๆ โดยโหนดเซ็นเซอร์มีการออกแบบดังภาพที่ 3.1 ใน 1 โหนดเซ็นเซอร์จะประกอบด้วยเซ็นเซอร์ดังนี้



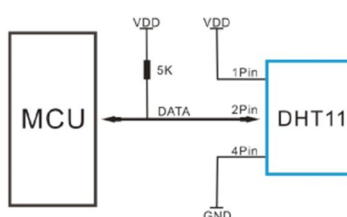
ภาพที่ 3.1 โหนดเซ็นเซอร์

เซ็นเซอร์โหนด วัดความชื้นสัมพัทธ์และวัดอุณหภูมิ เซ็นเซอร์โหนดวัดความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิในอากาศจะใช้เซ็นเซอร์ DHT11 เซ็นเซอร์นี้สามารถวัดค่าได้ 2 ค่า คือ วัดความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ โดยค่าความชื้นที่วัดได้อยู่ในย่าน 20-90 เปอร์เซ็นต์ ความผิดพลาด ± 5 เปอร์เซ็นต์ ความละเอียดในการวัด 1 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ 8 บิต ส่วนค่าอุณหภูมิ 0-50 องศาเซลเซียส ความผิดพลาด ± 2 เปอร์เซ็นต์ ความละเอียดในการวัด 1 องศาเซลเซียส สำหรับการแสดงผลแบบ 8 บิต กินกระแสไฟฟ้า 0.5-2.5 มิลลิแอมป์ ที่ระดับแรงดัน 3-5.5 Vdc อ่านค่าสัญญาณทุก ๆ 1 วินาที ในการใช้งานการต่อระหว่างตัวไมโครคอนโทรลเลอร์และ DHT11 จะต้องมีระยะไม่เกิน 20 เมตร และจะต้องต่อความต้านทานขนาด 5 กิโลโอห์ม ไว้กับแหล่งจ่ายแรงดันและต่อเข้ากับขาข้อมูล (DATA) การต่อใช้งานจะใช้ 3 ขา คือ ขาที่ 1 (Vdd) ต่อกับ แหล่งจ่ายแรงดัน ขาที่ 2 ต่อกับขาข้อมูล (DATA) ดังภาพที่ 3.3 ขาที่ 3 ไม่ได้ใช้งาน ขาที่ 4 ต่อลงกราวด์ การทำงานในการติดต่อกันระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับ DHT11 จะเริ่มจากที่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณที่เป็นแรงดันไฟฟ้าต่ำอย่างน้อย 80 มิลลิวินาที ไปที่ DHT11 ดังภาพที่ 3.2 แล้วรอ DHT11 ตอบกลับมา 20-40 ไมโครวินาที ทางด้าน DHT11 ก็จะส่งสัญญาณแรงดันระดับต่ำ 80 ไมโครวินาที กลับไป ซึ่งบอกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์พร้อมที่จะส่งข้อมูล ในการส่งข้อมูลจากภาพที่ 3.2 ในการส่งข้อมูลบิต “0” และ “1” มีความแตกต่างกัน โดยถ้าจะส่งบิต “0” DHT11 จะส่งระดับแรงดันต่ำนาน 50 ไมโครวินาที และปล่อยให้แรงดันระดับสูงนาน 26-28 ไมโครวินาที ส่วนการส่งบิต “1” จะส่งแรงดันระดับต่ำ 50 ไมโครวินาที และปล่อยให้เป็นระดับสูงนาน 70 ไมโครวินาที ในการต่อใช้งานแสดงดังภาพที่ 3.3 และการต่อใช้งานจริงดังภาพที่ 3.4

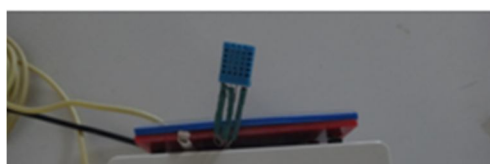


ภาพที่ 3.2 การทำงานระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และ DHT11

(<http://www.arduitronics.com/article?tskp=4>)



ภาพที่ 3.3 การต่อวงจร DHT11

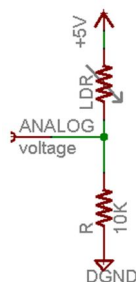


ภาพที่ 3.4 การต่อใช้งานจริง DHT11

เซ็นเซอร์โฟโตความเข้มแสง เซ็นเซอร์โฟโตความเข้มแสงจะใช้อุปกรณ์ LDR และความต้านทานขนาด 10 กิโลโอห์ม นำมาต่ออนุกรมกันโดยใช้ความต้านทานต่อพูลดาวน์ (pull down) ดังภาพที่ 3.5 และการต่อใช้งานดังภาพที่ 3.6 โดยค่าแรงดันจะคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$V_{analog} = 5v \times R/R+RLDR$$

ค่าแรงดันที่ได้เมื่อมีแสงมาตกกระทบบ LDR จะทำให้เกิดค่าแรงดัน V_{analog} เปลี่ยนแปลง ทำให้ได้ค่าที่จะนำไปประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino เพื่อไปควบคุมการทำงานของชุดคำสั่งต่อไป



ภาพที่ 3.5 วงจรของการรับสัญญาณจาก LDR

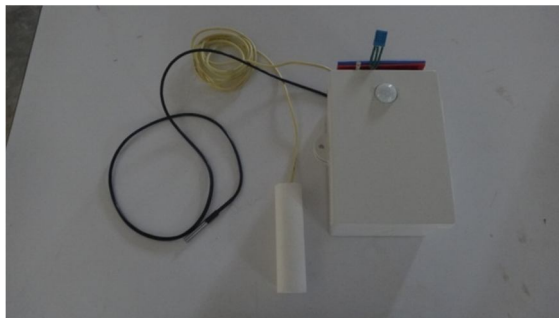
(<http://learn.adafruit.com/photocells>)

การต่อใช้งานจะวัดแรงดันตกคร่อมที่ความต้านทาน โดยอ่านค่าสัญญาณไฟเข้ามาเป็นสัญญาณอนาล็อก เพื่อนำไปประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino



ภาพที่ 3.6 การต่อใช้งานจริง เซ็นเซอร์วัดความเข้มแสง

เซ็นเซอร์โหนด วัดความชื้นดิน เซ็นเซอร์โหนดวัดความชื้นในดินแสดงดังภาพที่ 3.7 เซ็นเซอร์จะทำจากขั้วโลหะสองชิ้นวางขนานกันระยะห่างระหว่างแท่งโลหะ 1 เซนติเมตร แท่งโลหะยาว 10 เซนติเมตร หุ้มแท่งโลหะด้วยปูนปาสเตอร์ ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร แท่งโลหะยาว 12 เซนติเมตรเมื่อหุ้มด้วยปูนปาสเตอร์แล้ว ขั้วต่อโลหะทั้งสองขั้วจะถูกต่อกับความต้านทาน 100 โอห์มแล้วเชื่อมต่อกับขั้วสัญญาณดิจิทัลของไมโครคอนโทรลเลอร์ และอีกขั้วต่อความต้านทาน 100 กิโลโอห์ม และเชื่อมต่อกับขั้วดิจิทัลของไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้านขั้วต่อกับขั้วโลหะที่ต่อกับความต้านทาน 100 กิโลโอห์ม จะถูกเชื่อมต่อเข้ากับสัญญาณอนาล็อกของไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการวัดความชื้นในดินจะทำการฝังตัววัดความชื้นในดินลึก 30 เซนติเมตร



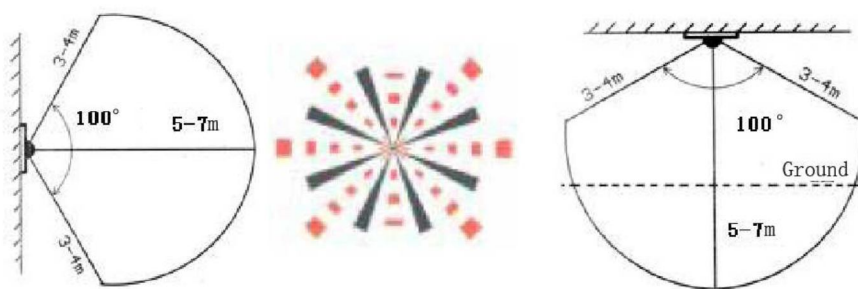
ภาพที่ 3.7 เซ็นเซอร์วัดความชื้นดิน

เซ็นเซอร์โหนดวัดอุณหภูมิดิน เซ็นเซอร์โหนดวัดอุณหภูมิในดินใช้เซ็นเซอร์ DS18B20 เป็นเซ็นเซอร์ที่หัววัด หุ้มด้วยสแตนเลส ขนาด 6 x 30 มิลลิเมตร สายสัญญาณยาว 100 เซนติเมตร ใช้แรงดันแหล่งจ่าย 3 - 5.5 โวลต์ ย่านการวัดอุณหภูมิ -55 - +125 องศาเซลเซียส ในการใช้งานจะทำการฝังลงไป在地ลึก 30 เซนติเมตร ลักษณะของเซ็นเซอร์โหนดวัดอุณหภูมิในดินแสดงดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 เซ็นเซอร์โหนดวัดอุณหภูมิในดิน

เซ็นเซอร์โหนดตรวจจับขโมย เซ็นเซอร์ตรวจจับขโมย เป็นเซ็นเซอร์ที่ตรวจจับความเคลื่อนไหวของสิ่งมีชีวิตในงานวิจัยนี้ใช้เซ็นเซอร์ HC-SR501 ทำงานที่ระดับแรงดันไฟ 4.5-20 โวลต์ โดยเซ็นเซอร์นี้จะตรวจจับความเคลื่อนไหวของสิ่งมีชีวิต ซึ่งจะทำให้สามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวได้ในระยะ 5 - 7 เมตร แสดงดังภาพที่ 3.9 และลักษณะการติดตั้งดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.9 รัศมีการตรวจจับโมย

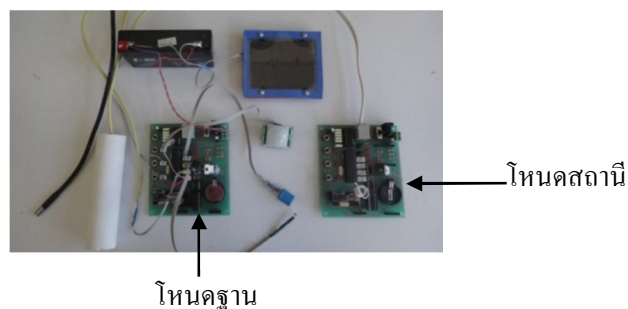


ภาพที่ 3.10 เซ็นเซอร์โหนดตรวจจับโมย

เซ็นเซอร์โหนดวัดพลังงาน เซ็นเซอร์โหนดวัดพลังงานจากแบตเตอรี่เซ็นเซอร์นี้จะใช้หลักการวงจรแบ่งแรงดัน โดยใช้ความต้านทาน 470 กิโลโอห์มต่อกับกราวด์ และความต้านทาน 1 เมกกะโอห์มต่อกับแรงดันแบตเตอรี่ ต่อคาปาซิเตอร์ขนานกับความต้านทาน 470 โอห์ม ซึ่งค่าแรงดันตกคร่อมจะถูกเชื่อมต่อเข้ากับสัญญาณอนาล็อกของไมโครคอนโทรลเลอร์

3.1.2 โหนดฐาน

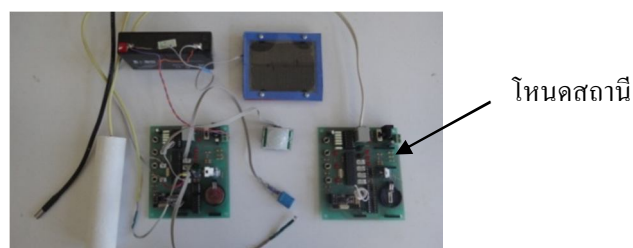
โหนดฐานและโหนดสถานีมีลักษณะการออกแบบเหมือนกัน ดังภาพที่ 3.11 แต่โหนดฐานจะมีการรับค่าจากเซ็นเซอร์โหนดแต่ละตัวเพื่อส่งข้อมูลไปยังโหนดสถานี โหนดฐานยังมีความสามารถตรวจวัดสภาพแวดล้อมเหมือนกับเซ็นเซอร์โหนด โหนดสถานีจะเชื่อมต่อกับระบบคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม ส่งข้อมูลเข้าไปเก็บที่ฐานข้อมูล เพื่อการประมวลผลและทำการแสดงผลต่อไป



ภาพที่ 3.11 โหนดฐาน

3.1.3 โหนดสถานี

โหนดสถานี การออกแบบโหนดสถานีแสดงดังภาพที่ 3.12 จะทำการออกแบบ ให้สามารถรับข้อมูลแบบสุ่มได้ และสามารถเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูลเพื่อการประมวลผลและการวิเคราะห์ข้อมูล การเก็บข้อมูลจะใช้ การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ในการเก็บข้อมูลกับโหนดสถานีผ่านพอร์ต RS232 ซึ่งเป็นพอร์ตอนุกรม ข้อมูลจากโหนดสถานีจะถูกส่งไปบันทึกที่คอมพิวเตอร์ทุกครั้งที่มีการส่งข้อมูลมาจากโหนดฐาน



ภาพที่ 3.12 โหนดสถานี

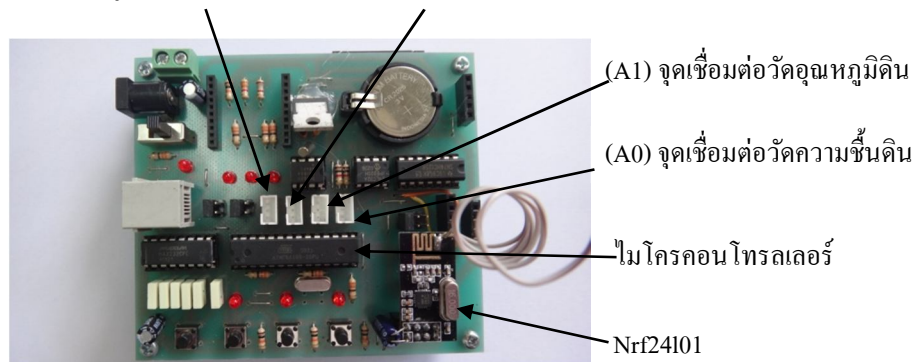
3.1.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์

การออกแบบบอร์ดทั้ง 3 กลุ่มในงานวิจัยนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ในการประมวลผล และทำการเขียนโปรแกรมด้วย ภาษา Arduino IDE การออกแบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino จะออกแบบดังภาพที่ 3.13 และภาพที่ 3.14 โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับค่าข้อมูลจากพอร์ตต่าง ๆ ในการตรวจจับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและอุณหภูมิ ทั้งสองค่านี้จะรับค่าจากพอร์ต A3 ของ Arduino ตรวจจับความเข้มแสงจะรับค่าจาก

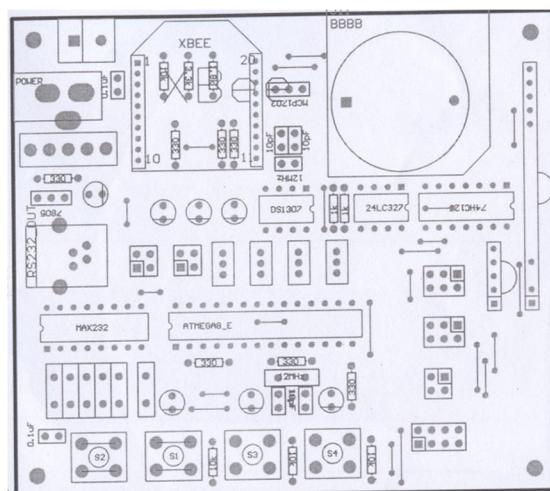
พอร์ต A2 ของ Arduino ตรวจจับอุณหภูมิในดินจะรับค่าจากพอร์ต A1 ตรวจจับความชื้นในดินที่พอร์ต A0 ของ Arduino และตรวจจับความเคลื่อนไหวจากพอร์ต ขา 9

ส่วนพอร์ต A4 และ A5 จะรับค่าข้อมูลจากฐานเวลาและหน่วยความจำ EEprom พอร์ต Tx และ Rx จะรับค่าจาก RS232 ในงานวิจัยนี้จะใช้ไอซี Max232 เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกจากนั้นพอร์ต Rx และ Tx นี้ยังสามารถเลือกจากจัมเปอร์ในการติดต่อกับ Xbee ซึ่งเป็นชุดส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุด้วย

(A3) จุดเชื่อมต่อตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (A2) จุดเชื่อมต่อวัดแสงสว่าง



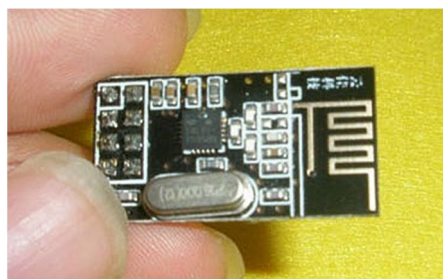
ภาพที่ 3.13 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์



ภาพที่ 3.14 ลักษณะการวางอุปกรณ์บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ต่าง ๆ

3.1.5 คลื่นความถี่วิทยุ

คลื่นความถี่วิทยุ การออกแบบคลื่นความถี่วิทยุจะใช้ความสามารถของ โมดูล NRF24L01 ซึ่งเป็นโมดูลความถี่วิทยุ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ โดยได้ใช้โมดูลความถี่วิทยุ 2 รูปแบบ คือ โมดูลที่ส่งคลื่นความถี่ได้ในระยะใกล้ แสดงดังภาพที่ 3.15 มีระยะการส่งสัญญาณ 30 เมตร จะใช้กับโหนดเซ็นเซอร์ และโมดูลส่งสัญญาณระยะ 100 เมตร จะใช้กับโหนดฐาน ดังภาพที่ 3.16



ภาพที่ 3.15 โมดูล Nrf24L01 แบบส่งระยะใกล้

(<http://arduino-info.wikispaces.com/Nrf24L01-2.4GHz-HowTo>)



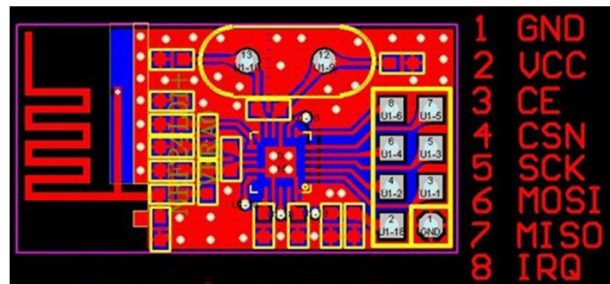
ภาพที่ 3.16 โมดูล Nrf24L01 แบบส่งระยะไกล

(<http://arduino-info.wikispaces.com/Nrf24L01-2.4GHz-HowTo>)

การออกแบบการรับส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ การออกแบบในส่วนนี้จะใช้การออกแบบโดยได้ออกแบบให้ขาของ ชุดคำสั่งสามารถรองรับขาของ อุปกรณ์ส่งสัญญาณวิทยุ Nrf24L01 ดังภาพที่ 3.17 และภาพที่ 3.18 ในการต่อใช้งานกับ Arduino จะทำการต่อสัญญาณจากชุดรับส่งสัญญาณวิทยุจำนวน 5 สัญญาณ ได้แก่ MISO MOSI SCK CE และ CSN โดยทำการเชื่อมต่อสัญญาณเข้ากับขาสัญญาณของ Arduino ดังนี้

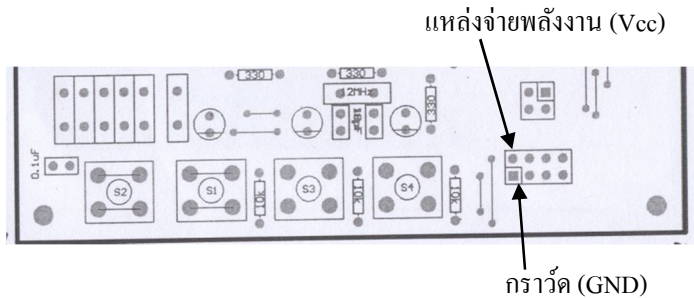
- 1) สัญญาณ MISO เชื่อมต่อกับสัญญาณขา 12

- 2) สัญญาณ MOSI เชื่อมต่อกับขา 11
- 3) สัญญาณ SCK เชื่อมต่อกับขา 13
- 4) สัญญาณ CE เชื่อมต่อกับขา 8
- 5) สัญญาณ CSN เชื่อมต่อกับขา 7



ภาพที่ 3.17 ลักษณะขาสัญญาณ โมดูล Nrf24L01

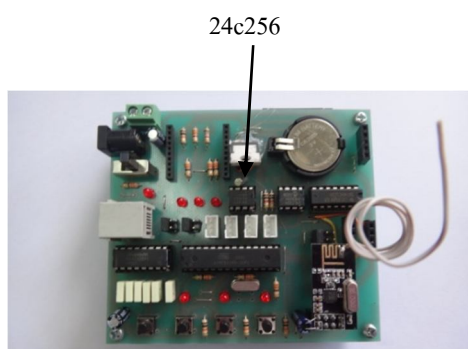
(<http://arduino-info.wikispaces.com/Nrf24L01-2.4GHz-HowTo>)



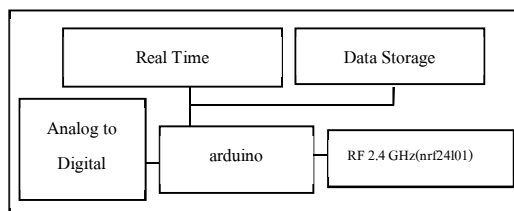
ภาพที่ 3.18 ลักษณะขาสัญญาณ โมดูล Nrf24L01บนบอร์ด

3.1.6 หน่วยความจำไหนดเซ็นเซอร์

การออกแบบหน่วยความจำสำหรับเซ็นเซอร์ไหนดแสดงดังภาพที่ 3.19 และภาพที่ 3.20 ซึ่งจะใช้หน่วยความจำไอซี 24c256 เป็นหน่วยความจำแบบ EEPROM ที่สามารถบันทึกข้อมูลได้ขนาด 32 กิโลไบต์ การเชื่อมต่อการทำงานจะใช้การเชื่อมต่อแบบ I²C ที่ขา A4 และ A5 ของ Arduino



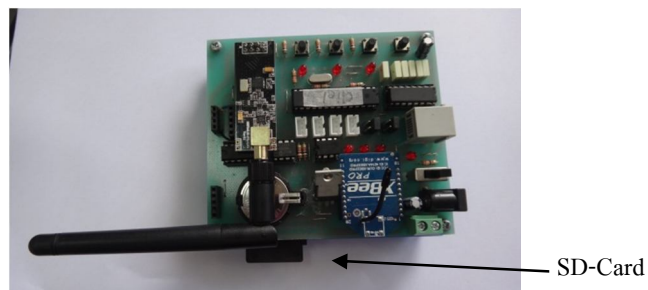
ภาพที่ 3.19 บอร์ดหน่วยความจำเซ็นเซอร์ไหนด



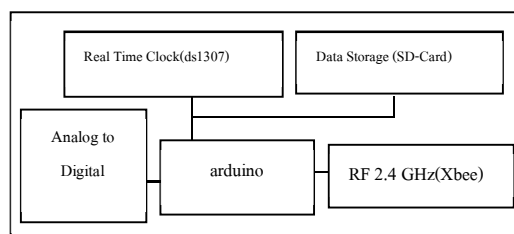
ภาพที่ 3.20 บล็อกไดอะแกรมหน่วยความจำเซ็นเซอร์ไหนด

3.1.7 หน่วยความจำไหนดฐาน

การออกแบบหน่วยความจำไหนดฐานแสดงดังภาพที่ 3.21 และภาพที่ 3.22 จะใช้หน่วยความจำแบบ แฟลชการ์ด (SD-Card) ขนาดความจุ 4 กิกะไบต์ เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลจากเซ็นเซอร์ไหนดที่ควบคุมอยู่ ดังนั้นหน่วยความจำนี้จึงมีหน่วยความจำมาก การทำงานของหน่วยความจำจะใช้วิธีเมื่อข้อมูลเต็มจะใช้วิธีการลบข้อมูลเก่าประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ก่อนจะทำการบันทึกเพิ่มเข้าไป



ภาพที่ 3.21 บอร์ดโหนดฐาน



ภาพที่ 3.22 บล็อกไดอะแกรมโหนดฐาน

3.1.8 ฐานเวลา

การออกแบบฐานเวลาเป็นการใช้ฐานเวลาจาก DS1307 สำหรับการกำหนดฐานเวลาจริง (real-time-clock) ข้อมูลฐานเวลาจะถูกบรรจุทั้งในเซ็นเซอร์โหนดและโหนดฐาน แสดงดังภาพที่ 3.23



ภาพที่ 3.23 ฐานเวลา

3.2 การออกแบบซอฟต์แวร์

ในการออกแบบซอฟต์แวร์ จะประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ 1) การออกแบบซอฟต์แวร์โหนดเซ็นเซอร์ 2) การออกแบบซอฟต์แวร์โหนดฐาน 3) การออกแบบโหนดสถานี ในการออกแบบผู้วิจัยได้ดำเนินการดังนี้

3.2.1 ซอฟต์แวร์โหนดเซ็นเซอร์

การออกแบบซอฟต์แวร์โหนดเซ็นเซอร์ได้ทำการออกแบบในลักษณะการส่งข้อมูลแบบ จุดต่อจุด และการรับส่งข้อมูลแบบต้นไม้ โดยได้ออกแบบให้โหนดเซ็นเซอร์รอฟังคำสั่งการร้องขอข้อมูลจากโหนดฐาน ซึ่งโหนดฐานจะเป็นโหนดที่จะต้องร้องขอโหนดเซ็นเซอร์ทั้ง 9 โหนดให้ส่งข้อมูลมายังตนเอง โหนดเซ็นเซอร์จะส่งข้อมูลไปยังโหนดฐานจะต้องได้รับคำสั่งจากโหนดฐานเท่านั้น โหนดเซ็นเซอร์มีการทำงาน คือ จะเริ่มจากการเซตอัปเดตระบบ และเซตอัปเดตความถี่วิทยุ และรอรับคำสั่งร้องขอจากโหนดฐานที่เป็นแม่ข่าย เมื่อมีคำสั่งร้องขอจากโหนดฐาน เซ็นเซอร์โหนดจะส่งคำสั่งไปยังเซ็นเซอร์โหนดที่อยู่ถัดไปเพื่อเรียกข้อมูลมายังตนเองโดยมีเซ็นเซอร์โหนดอยู่ 1 ตัวที่ทำหน้าที่ในการประสานงานกับอีก 2 เซ็นเซอร์โหนดเพื่อนำข้อมูลส่งไปให้กับโหนดฐาน

3.2.2 ซอฟต์แวร์โหนดฐาน

การออกแบบโปรแกรมโหนดฐานจะใช้ความสามารถของ Xbee ในการจัดการระบบเครือข่ายโดยการออกแบบจะใช้วิธีการติดต่อเครือข่ายแบบเมท (mesh) ในการทดลองในห้องปฏิบัติการจะใช้ โหนดฐาน Xbee Series 2 จำนวน 6 ตัว การทำงานของโปรแกรมโหนดฐานจะทำงานโดยจะส่งคำสั่งร้องขอข้อมูลจากเซ็นเซอร์โหนดเมื่อได้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์โหนดแล้วทั้งหมดจำนวน 9 โหนด ก็จะส่งข้อมูลทั้งหมด 9 โหนดไปยังโหนดฐานที่ใกล้ที่สุดเพื่อจะส่งข้อมูลไปยังโหนดสถานี

3.2.3 ซอฟต์แวร์โหนดสถานี

การออกแบบซอฟต์แวร์โหนดสถานี จะใช้วิธีการรับข้อมูลเมื่อโหนดฐานส่งมาจะใช้วิธีการรับข้อมูลแบบสุ่ม ซึ่งโหนดฐานโหนดใดส่งเข้ามาก่อนจะถูกนำไปคัดแยกลงฐานข้อมูลตามฐานข้อมูลที่กำหนดไว้

บทที่ 4

ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างบอร์ดเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ได้มีการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานในห้องปฏิบัติการและทำการทดสอบการทำงานจริงในไร่มะนาว ผลการทดสอบประสิทธิภาพเป็นดังนี้

4.1 การทดสอบประสิทธิภาพระบบในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบประสิทธิภาพในห้องปฏิบัติการเป็นการทดสอบระบบเบื้องต้น เพื่อหาข้อผิดพลาดและดำเนินการแก้ไขก่อนที่จะนำระบบไปใช้งานจริง การทดสอบจะมีการทดสอบฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์เทียบกับเครื่องมือมาตรฐาน

4.1.1 การทดสอบฮาร์ดแวร์เซ็นเซอร์โหนด

การทดสอบเซ็นเซอร์โหนดในห้องปฏิบัติการจะสร้างสภาพแบบจำลองขึ้นมาเพื่อหาประสิทธิภาพและปรับแต่งค่าของเซ็นเซอร์ต่าง ๆ ได้มีการทดสอบและหาประสิทธิภาพดังนี้

เซ็นเซอร์โหนดวัดอุณหภูมิการทดสอบจะสร้างแบบจำลองขึ้นแสดงดังภาพที่ 4.1 ในแบบจำลองประกอบด้วยเครื่องเป่าลมร้อนที่กำเนิดความร้อนที่ปรับค่าอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 100-400 องศาเซลเซียส เครื่องเป่าลมร้อนแสดงดังภาพที่ 4.2 การทดลองจะทำการปรับเครื่องเป่าลมร้อนไว้ที่ 284 องศาเซลเซียสแล้วเก็บค่าข้อมูลครั้งละ 1 นาทีโดยเริ่มเก็บค่าข้อมูลจากเครื่องวัดค่าอุณหภูมิมาตรฐานและอุณหภูมิจากเซ็นเซอร์อุณหภูมิที่จะนำไปใช้งานจริง ทั้งสองค่าจะเริ่มเก็บค่าจากอุณหภูมิในห้องปฏิบัติการ คือ 23 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้ค่าอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พบว่าเก็บได้จำนวน 12 ครั้ง สำหรับค่าจากเซ็นเซอร์ที่จะใช้งานจริงจะแสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์ดังภาพที่ 4.3 ผลการทดสอบพบว่าค่าอุณหภูมิจากเซ็นเซอร์ที่สร้างขึ้นมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐานแสดงดังกราฟ ภาพที่ 4.4



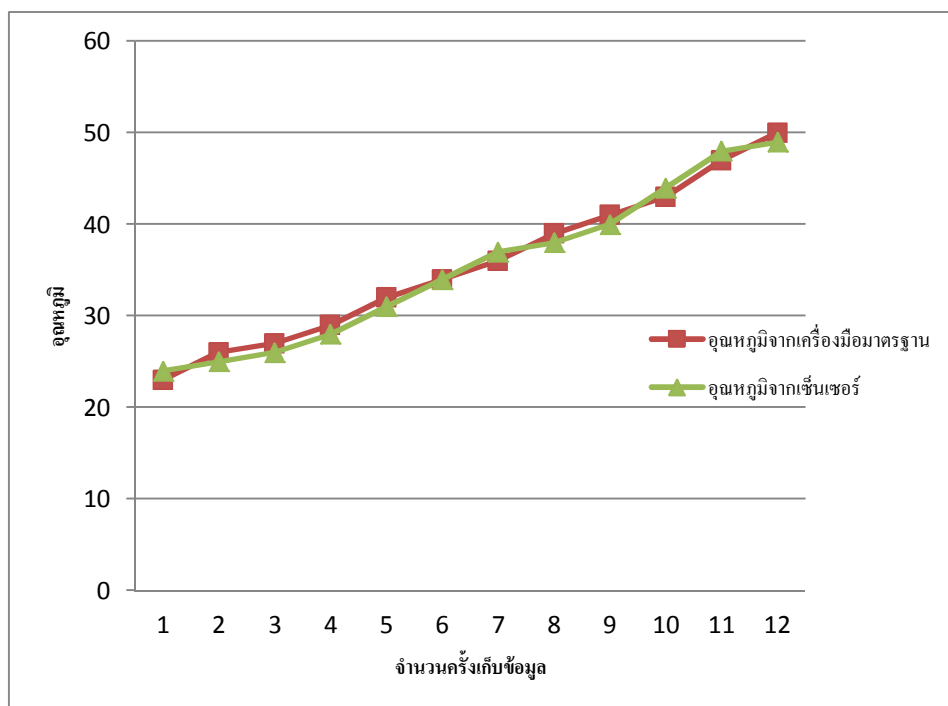
ภาพที่ 4.1 แบบจำลองการทดสอบและการปรับเทียบค่าอุณหภูมิ



ภาพที่ 4.2 เครื่องเป่าลมร้อน



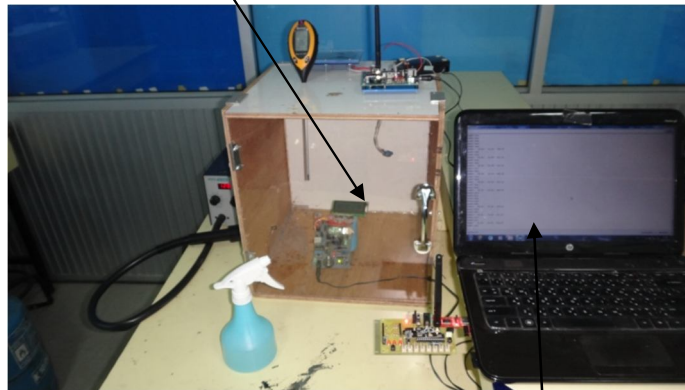
ภาพที่ 4.3 การแสดงผลค่าจากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น



ภาพที่ 4.4 กราฟค่าอุณหภูมิจากตัวเซ็นเซอร์เปรียบเทียบกับเครื่องมือมาตรฐาน

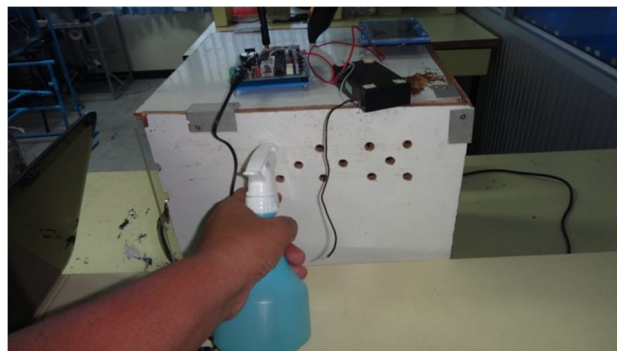
เซ็นเซอร์โหนดวัดความชื้นสัมพัทธ์ การทดสอบเซ็นเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์จะใช้แบบจำลองเดียวกับการทดสอบค่าอุณหภูมิ แสดงดังภาพที่ 4.5 แต่เปลี่ยนแปลงการสร้างเงื่อนไขจากตัวเป่าลมร้อนเป็นการใช้สเปรย์ฉีดน้ำเป็นฝอยเข้าไปในแบบจำลองแสดงดังภาพที่ 4.6 โดยกำหนดเงื่อนไขการทดสอบเริ่มต้นจะได้ความชื้นในแบบจำลองทดสอบให้ความชื้นสัมพัทธ์เหลือ 15 เปอร์เซ็นต์ก่อนทำการทดสอบหลังจากนั้นจะฉีดสเปรย์ให้ได้ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 25 เปอร์เซ็นต์ แล้วเพิ่มค่าความชื้นสัมพัทธ์โดยสเปรย์ฉีดน้ำให้ความชื้นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ พบว่าความชื้นสูงสุด 90 เปอร์เซ็นต์จะฉีดสเปรย์จำนวน 11 ครั้งห่างกันทุก ๆ 1 นาที ผลการทดสอบพบว่าเซ็นเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์มีค่าใกล้เคียงกับชุดวัดมาตรฐานเปรียบเทียบ แสดงผลดังภาพที่ 4.7

เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์มาตรฐาน

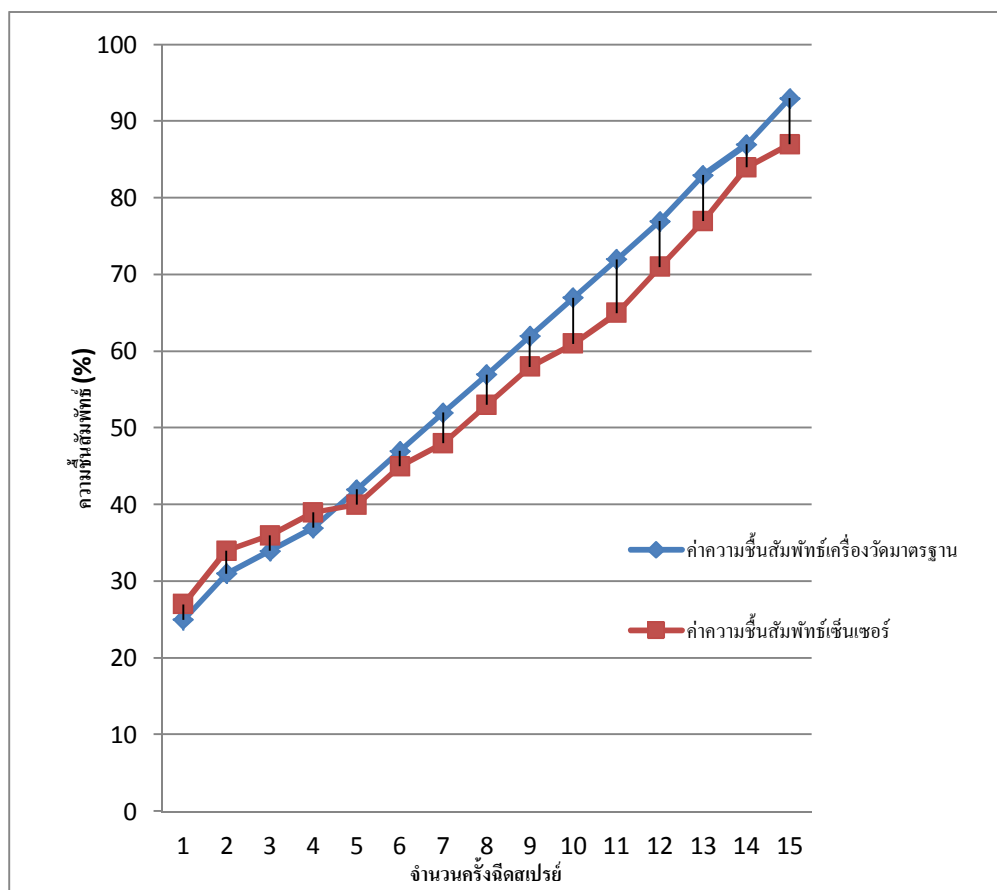


แสดงผลความชื้นสัมพัทธ์จากเซ็นเซอร์

ภาพที่ 4.5 แบบจำลองการทดสอบและเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์



ภาพที่ 4.6 สเปรย์ฉีดน้ำเพื่อสร้างสภาพความชื้นสัมพัทธ์

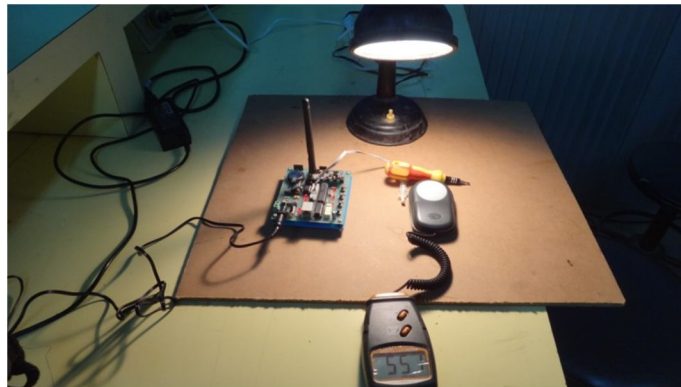


ภาพที่ 4.7 กราฟการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิจากตัววัดเปรียบเทียบและตัวเซ็นเซอร์

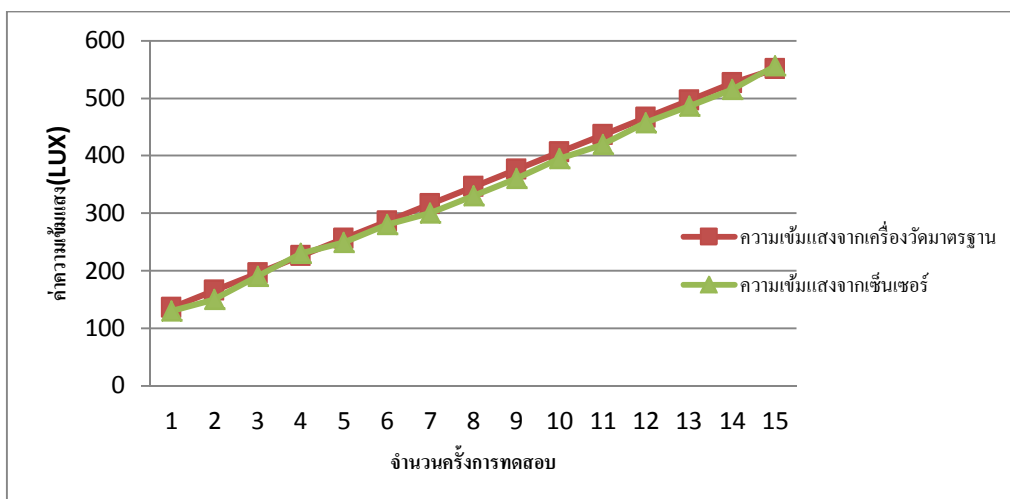
เซ็นเซอร์โหนดวัดความเข้มแสงการทดสอบเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสงจะสร้างแบบจำลองขึ้นมาเช่นกัน โดยใช้หลอดไฟในการฉายแสงไปที่ตัวรับแสง ไฟที่ฉายลงไปที่ตัวรับแสงสามารถปรับความสว่างได้ด้วยตัวปรับความสว่างดังภาพที่ 4.8 แบบจำลองสำหรับการทดสอบประกอบด้วยชุดวัดความเข้มแสงมาตรฐานที่เรียกว่า ลักซ์มิเตอร์ (lux meter) ที่สามารถวัดความเข้มแสงได้ 10-100,000 ลักซ์ การทดสอบแสดงดังภาพที่ 4.9 การทดสอบจะเพิ่มความเข้มแสงจำนวน 15 ค่าแล้วเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐานสำหรับค่าจากเซ็นเซอร์แสงจะถูกบันทึกในคอมพิวเตอร์ เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากเครื่องมือมาตรฐาน ผลการทดสอบประสิทธิภาพระหว่าง ลักซ์มิเตอร์มาตรฐานและค่าความเข้มแสงจากเซ็นเซอร์แสดงดังภาพที่ 4.10 พบว่าค่าจากเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสงมีค่าใกล้เคียงกันกับลักซ์มิเตอร์มาตรฐาน



ภาพที่ 4.8 แบบจำลองทดสอบการวัดความเข้มแสงและเปรียบเทียบความเข้มแสง

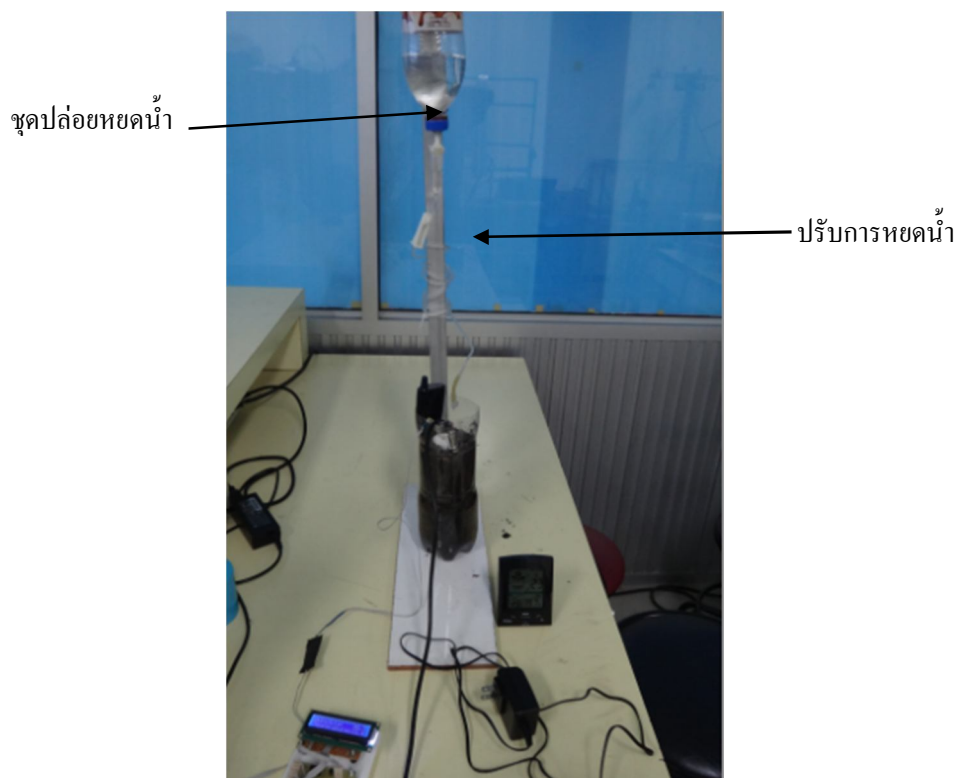


ภาพที่ 4.9 การทดสอบความเข้มแสงมาตรฐานกับเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสง



ภาพที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบความเข้มแสงมาตรฐานกับเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสง

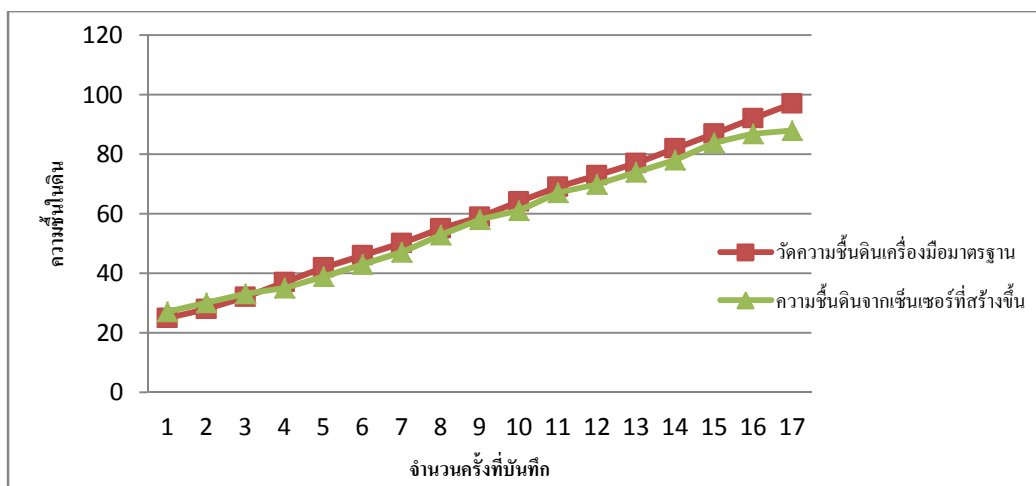
เซ็นเซอร์โหนดวัดความชื้นในดินการทดสอบเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน การทดสอบจะสร้างแบบจำลองแสดงดังภาพที่ 4.11 ในการทดสอบจะปล่อยให้น้ำหยดลงดินทำให้เกิดความชื้นในดิน โดยการวางเซ็นเซอร์วัดความชื้นที่สร้างขึ้นกับเครื่องมือมาตรฐานแสดงดังภาพที่ 4.12 การบันทึกค่าข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดความชื้นที่สร้างขึ้นกับเครื่องมือวัดความชื้นมาตรฐานทุก ๆ 1 นาที โดยเริ่มบันทึกค่าเริ่มต้นความชื้น 25 เปอร์เซ็นต์ แล้วปล่อยน้ำหยดลงไปเรื่อยๆจนกระทั่งได้ค่าจากเครื่องวัดความชื้นมาตรฐาน พบว่าค่าที่เก็บได้เป็นจำนวน 17 ครั้งเมื่อความชื้นจากเครื่องวัดมาตรฐานได้ 98 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นจะหยุดการหยดน้ำและทำการเปรียบเทียบค่าจากเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินที่สร้างขึ้นกับค่าจากเครื่องมือมาตรฐาน ผลการทดสอบเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินเทียบกับเครื่องมือมาตรฐานแสดงดังภาพที่ 4.13 พบว่าค่าจากเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินที่สร้างขึ้นกับค่าจากเครื่องมือมาตรฐานมีค่าใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 4.11 แบบจำลองทดสอบการวัดความชื้นในดินและปรับเทียบความชื้นในดิน

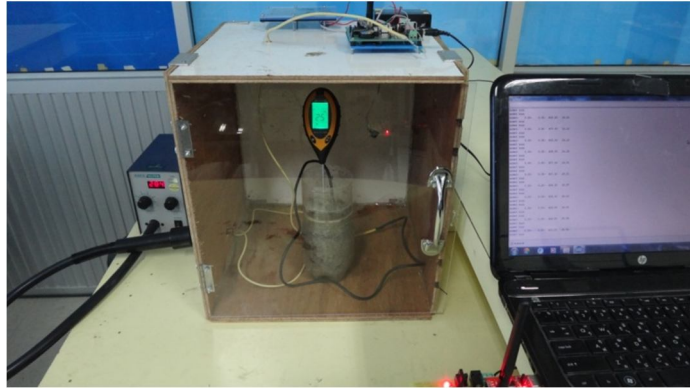


ภาพที่ 4.12 การวางอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นในดินกับอุปกรณ์มาตรฐาน



ภาพที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบความชื้นในดินกับเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน

เซ็นเซอร์โหนดวัดอุณหภูมิในดินการทดสอบการวัดอุณหภูมิในดินจะสร้างแบบจำลองภาพที่ 4.14 โดยฝังเซ็นเซอร์ในดินที่ทดสอบโดยมีเซ็นเซอร์มาตรฐานเป็นตัวเปรียบเทียบ มีตัวกำหนดความร้อนให้กับดินโดยจะตั้งค่าให้ความร้อนจากเครื่องเป่าลมร้อนที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส แล้วทำการบันทึกค่าอุณหภูมิเทียบกับอุณหภูมิมาตรฐานโดยเริ่มจากค่าอุณหภูมิห้องที่ 23 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 4.15 และเก็บค่าไปเรื่อย ๆ ทุก ๆ 1 นาที ขณะอุณหภูมิเพิ่มขึ้นดังภาพที่ 4.16 พบว่าอุณหภูมิสูงสุดที่ 47 องศาเซลเซียส สามารถเก็บค่าข้อมูลสูงสุดจำนวน 17 ครั้ง หลังจากนั้นนำค่าอุณหภูมิจากเซ็นเซอร์ที่สร้างขึ้นมาเปรียบเทียบกับค่าจากเครื่องมือวัดมาตรฐานแสดงค่าดังภาพที่ 4.17 พบว่าค่าอุณหภูมิจากเซ็นเซอร์ที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับค่าจากเครื่องมือวัดมาตรฐานมีค่าใกล้เคียงกัน



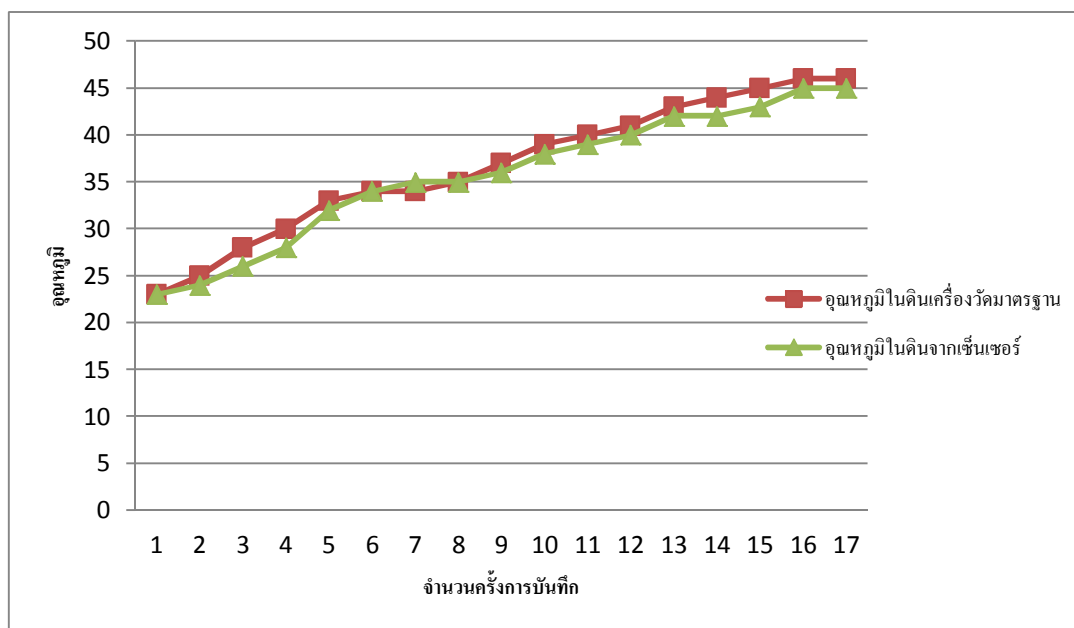
ภาพที่ 4.14 แบบจำลองทดสอบการวัดอุณหภูมิในดินและปรับเทียบอุณหภูมิในดิน



ภาพที่ 4.15 การวัดค่าอุณหภูมิในดินเทียบกับตัววัดอุณหภูมิเปรียบเทียบ



ภาพที่ 4.16 ค่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบอุปกรณ์ในดินมาตรฐานกับเซ็นเซอร์วัดอุปกรณ์ในดิน

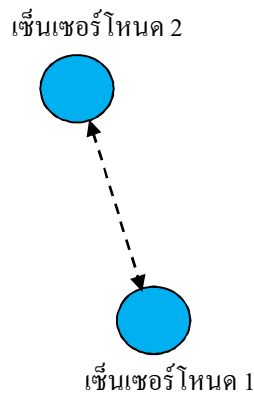
4.1.2 การทดสอบซอฟต์แวร์

การทดสอบซอฟต์แวร์จะทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของระบบเพื่อทำการแก้ไขและปรับปรุงก่อนจะนำไปใช้ในสถานที่จริงโดย ตัวอย่างโปรแกรมทดสอบโหนดฐานและโหนดเซ็นเซอร์แสดงดังภาพผนวก ก และ ภาพผนวก ข ตามลำดับและได้ทดสอบประสิทธิภาพของซอฟต์แวร์ดังนี้

4.1.2.1 การทดสอบการรับส่งข้อมูลแบบจุดต่อจุด

การทดสอบรูปแบบนี้เพื่อศึกษาการส่งข้อมูลระหว่างจุดต่อจุดของโหนดเซ็นเซอร์โดยใช้ตัวส่งสัญญาณ NRF24L01 ในการรับและส่งข้อมูล ลักษณะการทดสอบแสดงดังภาพที่ 4.19 โดยทดสอบในห้องปฏิบัติการซึ่งมีสิ่งกีดขวางคือผนังห้อง โดยวางระยะเซ็นเซอร์ คือ ระยะ 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 และ 50 เมตร โดยทำการทดสอบจำนวน 10 ครั้ง การทดสอบพบว่าระยะที่เซ็นเซอร์ส่งข้อมูลได้ดีที่สุดคือระยะ 15 เมตร แต่สำหรับนอกห้องปฏิบัติการที่ไม่มีสิ่งกีดขวางจะสามารถส่งข้อมูลได้ระยะทาง 30 เมตร การทำงานของระบบการทดสอบจะเริ่มจากเซ็นเซอร์โหนด 1 ส่งคำสั่ง

เพื่อเรียกข้อมูลจากเซ็นเซอร์โหนด 2 เมื่อเซ็นเซอร์โหนด 2 ได้รับคำสั่งขอร้องข้อมูลจะอ่านข้อมูลจากเซ็นเซอร์ต่าง ๆ แล้วส่งข้อมูลจากเซ็นเซอร์เป็นแพ็กเก็ต (packet) กลับไปยังเซ็นเซอร์โหนด 1



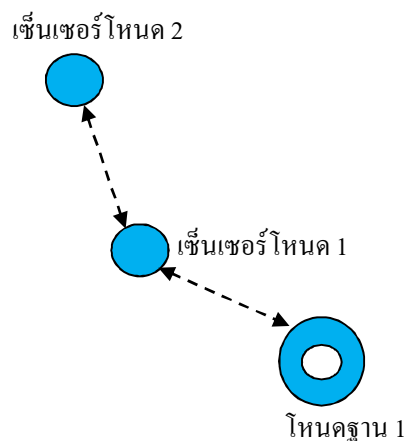
ภาพที่ 4.18 การส่งข้อมูลแบบจุดต่อจุด

4.1.2.2 การทดสอบแบบเครือข่ายแบบสามจุด

การทดสอบในรูปแบบนี้เพื่อศึกษาการรับส่งข้อมูลแบบเครือข่ายโดยจะวางเซ็นเซอร์โหนดไว้ 2 จุดและวางโหนดฐาน 1 จุดแสดงดังภาพที่ 4.19 การทดสอบจะให้โหนดฐาน 1 ทำการเรียกข้อมูลจากเซ็นเซอร์โหนด 2 โดยจะต้องเรียกผ่านเซ็นเซอร์โหนด 1 วางระยะการรับส่งสัญญาณที่ระยะ 30 เมตรในที่โล่ง ผลการทดสอบพบว่า การเรียกข้อมูลจากโหนดฐานจำนวน 10 ครั้งสามารถเรียกข้อมูลจากเซ็นเซอร์โหนด 2 ได้จำนวน 8 ครั้ง การทำงานของระบบจะเริ่มจากโหนดฐาน 1 จะส่งคำสั่ง ไปยังเซ็นเซอร์โหนด 1 เมื่อเซ็นเซอร์โหนด 1 ได้รับคำสั่งจะส่งคำสั่งร้องขอข้อมูลไปยังเซ็นเซอร์โหนด 2 และเมื่อเซ็นเซอร์โหนด 2 รับคำสั่งร้องขอข้อมูลมาจะทำการอ่านข้อมูลจากเซ็นเซอร์แต่ละตัวแล้วจัดทำเป็นแพ็กเก็ต ทำการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังโหนดเซ็นเซอร์ 1 เมื่อโหนดเซ็นเซอร์ 1 ได้รับแพ็กเก็ตข้อมูลจากเซ็นเซอร์โหนด 2 ก็จะทำการส่งข้อมูลต่อไปที่โหนดฐาน 1

นอกจากการเรียกข้อมูลโดยเรียกผ่านเซ็นเซอร์โหนด 1 เป็นตัวผ่านข้อมูลแล้ว ผู้วิจัยยังได้ทำการทดสอบการส่งข้อมูลในรูปแบบแพ็กโดยเก็บข้อมูลไว้ที่ตนเองก่อนจะส่งข้อมูลไปยังโหนดอื่นๆ โหนดฐานเรียกข้อมูลไปยังโหนดเซ็นเซอร์ 1 เซ็นเซอร์โหนดหมายเลข 1 จะส่งคำสั่งไปยังเซ็นเซอร์โหนด 2 เมื่อเซ็นเซอร์โหนด 2 ได้รับสัญญาณขอข้อมูลก็จะทำการอ่านข้อมูลเซ็นเซอร์แต่ละตัวเพื่อมา

จัดทำเป็นแพ็กเก็ตแล้วบันทึกไว้ในหน่วยความจำตนเอง หลังจากนั้นจึงส่งแพ็กเก็ตต่อไปยัง เซ็นเซอร์โหนด 1 เมื่อเซ็นเซอร์โหนด 1 ได้รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์โหนด 2 จะทำการบันทึกข้อมูลที่ตนเองไว้ก่อน หลังจากนั้นจะทำการอ่านข้อมูลจากเซ็นเซอร์แต่ละตัวในเซ็นเซอร์โหนด 1 ทำเป็นแพ็กเก็ตบันทึกลงหน่วยความจำของตนเองแล้วจึงส่งข้อมูลต่อไปยังโหนดฐาน 1 ในการทดสอบจะทำการทดสอบจำนวน 10 ครั้งพบว่าสามารถรับส่งข้อมูลได้จำนวน 8 ครั้ง และข้อมูลถูกเก็บที่ เซ็นเซอร์โหนด โหนดฐานได้สมบูรณ์ 100 เปอร์เซ็นต์

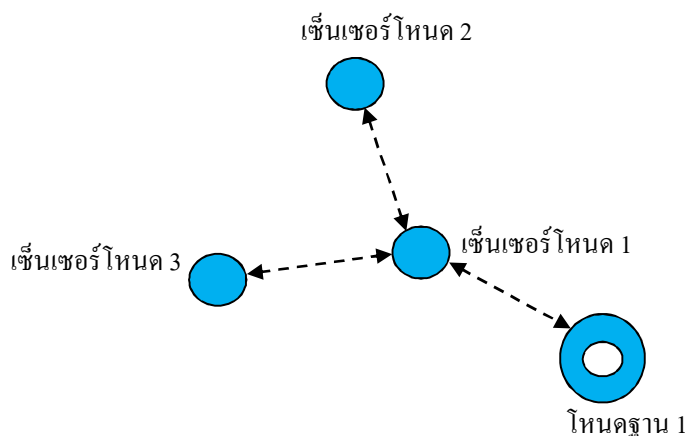


ภาพที่ 4.19 การส่งข้อมูลแบบเครือข่าย 3 จุด

4.1.2.3 การทดสอบเครือข่ายแบบสี่จุด

การทดสอบรูปแบบนี้เพื่อศึกษาและทำการทดสอบเครือข่ายที่สามารถจัดทำแพ็กเก็ตข้อมูลให้ได้ 3 แพ็กเก็ตที่ตัวเซ็นเซอร์โหนด 1 แล้วจึงจะทำการส่งข้อมูลทั้งหมด 3 แพ็กเก็ตไปยังโหนดฐาน 1 การวางรูปแบบการส่งสัญญาณแสดงดังภาพที่ 4.20 การทดสอบระบบจะเริ่มจากโหนดฐาน 1 ส่งคำสั่งร้องขอข้อมูลไปยังโหนดเซ็นเซอร์ 2 โดยผ่านทางเซ็นเซอร์โหนด 1 เมื่อเซ็นเซอร์โหนด 1 ได้รับคำสั่งจากโหนดฐาน 1 ก็จะทำการส่งการร้องขอข้อมูลไปยัง เซ็นเซอร์โหนด 2 เมื่อเซ็นเซอร์โหนด 2 ได้รับคำสั่งร้องขอข้อมูลก็จะทำการอ่านค่าเซ็นเซอร์แต่ละตัวทำเป็นแพ็กเก็ตบันทึกไว้ที่โหนดตนเองก่อนจะส่งไปยังเซ็นเซอร์โหนด 1 เมื่อเซ็นเซอร์โหนด 1 ได้รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์โหนด 2 ก็จะบันทึกค่าแพ็กเก็ตข้อมูลของเซ็นเซอร์โหนด 2 ไว้ภายในโหนดตนเอง หลังจากนั้นจะส่งคำสั่งร้องขอข้อมูลไปยังเซ็นเซอร์โหนด 3 เมื่อเซ็นเซอร์โหนด 3 ได้รับคำสั่งร้องขอจะทำการอ่านค่าเซ็นเซอร์แต่ละตัวทำเป็นแพ็กเก็ตบันทึกไว้ที่ตนเองก่อนจะส่งไปยังเซ็นเซอร์โหนด 1 เมื่อเซ็นเซอร์โหนด 1 ได้

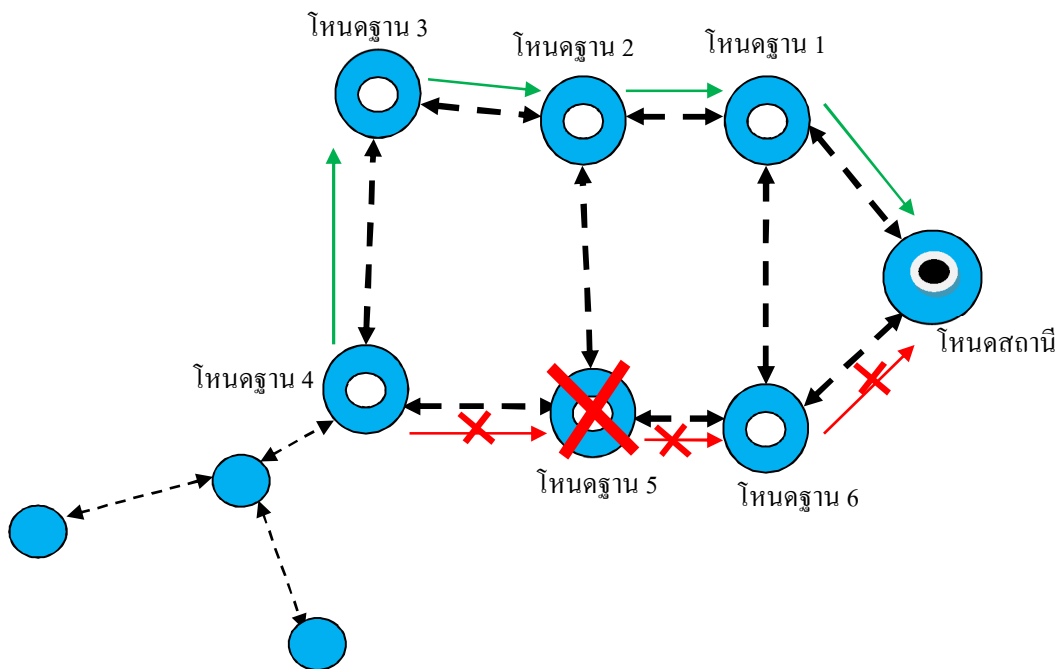
รับแพ็กเก็ตข้อมูลจากเซ็นเซอร์โหนด3 ก็จะทำการบันทึกค่าแพ็กเก็ตข้อมูลของโหนด 3 ไว้แล้วทำการอ่านข้อมูลเซ็นเซอร์แต่ละตัวในเซ็นเซอร์โหนด 1 ทำเป็นแพ็กเก็ตโดยทำเป็นข้อมูลแพ็กเก็ตเซ็นเซอร์โหนด1 ตามด้วยแพ็กเก็ตเซ็นเซอร์โหนด 2 และตามด้วยแพ็กเก็ตเซ็นเซอร์โหนด 3 หลังจากนั้นจะทำการส่งข้อมูลทั้ง 3 แพ็กเก็ตไปยังโหนดฐาน 1 ผลการทดสอบสามารถเก็บข้อมูลได้ถูกต้อง 100 เปอร์เซนต์



ภาพที่ 4.20 การส่งข้อมูลแบบเครือข่าย 4 จุด

4.1.2.4 การทดสอบเครือข่ายรวมระบบและการเข้าร่วมเครือข่าย

การทดสอบจะเป็นการทดสอบการทำงานร่วมกันทั้งหมด 3 ส่วน คือ 1) เซ็นเซอร์โหนด 2) โหนดฐาน และ 3) โหนดสถานี และยังทดสอบการเข้าร่วมเครือข่ายในกรณีที่มีโหนดฐานบางตัวเกิดความเสียหาย การทำงานจะใช้ความสามารถของ Xbee ในการจัดการระบบเครือข่ายแสดงดังภาพที่ 4.21 ในส่วนของโหนดฐานและโหนดสถานี โดยการทำงานจะใช้เครือข่ายแบบ เมท (mesh) การส่งข้อมูลจะมีการส่งไปให้กับโหนดที่เกี่ยวข้อง ตามที่กำหนด



ภาพที่ 4.23 การส่งข้อมูลแบบเครือข่ายโหนดฐานเกิดความเสียหาย

การส่งข้อมูลของโหนดฐานทั้ง 6 โหนดฐานจะสามารถคำนวณเส้นทางใหม่ถ้าโหนดฐานที่ใกล้เคียงที่เคยส่งข้อมูลเกิดความเสียหาย โดยจะหาเส้นทางที่ใกล้ที่สุดที่สามารถส่งข้อมูลไปได้ จากการทดสอบพบว่า เครือข่ายสามารถส่งข้อมูลไปยังสถานีฐานได้ในกรณีที่โหนดฐานตัวใดตัวหนึ่งเกิดความเสียหาย ดังภาพที่ 4.22 และภาพที่ 4.23 โหนดฐาน 4 สามารถส่งข้อมูลได้แม้ว่าโหนดฐาน 5 จะเกิดความเสียหาย

4.2 ผลการทดสอบในสถานที่จริง

การวิจัยได้มีการทดสอบการใช้งานจริงในพื้นที่จำนวน 10 ไร่ ที่หมู่บ้านท่าแลง อำเภอยางาย จังหวัดเพชรบุรี โดยทำการติดตั้งโหนดเซ็นเซอร์จำนวน 90 โหนด โหนดฐานจำนวน 10 โหนด และโหนดสถานีจำนวน 1 โหนด การติดต่อสื่อสารกันระหว่าง โหนดเซ็นเซอร์และโหนดฐานจะใช้วิธีการติดต่อเครือข่ายแบบฝังต้นไม้ (tree network) ส่วนการติดต่อระหว่างโหนดฐานด้วยกันเองใช้วิธีการแบบเมท (mesh)

การทดสอบจะทำการติดตั้งเซ็นเซอร์โหนดแต่ละจุดห่างกันที่ระยะ 30 เมตร โดยความสูงของเซ็นเซอร์โหนดสูงจากพื้น 2 เมตรเพื่อให้พื้นที่การกระจายของน้ำจากสปริงเกอร์โหนดฐานได้ติดตั้งห่างกันแต่ละโหนด 100 เมตร การทดสอบจะทำการทดสอบใน 4 ประเด็นคือ

1. การทดสอบการรับส่งแบบจุดต่อจุด
2. การทดสอบการรับส่งข้อมูลเป็นเครือข่ายแบบ 3 จุด
3. การทดสอบการรับส่งข้อมูลเป็นเครือข่ายแบบ 4 จุด
4. การทดสอบการรับส่งข้อมูลเป็นเครือข่ายแบบรวมระบบ

4.2.1 การติดตั้ง

การติดตั้งระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายในไร่มะนาวสถานที่จริงจำนวน 10 ไร่ ของคุณทองใหญ่จินทอน ตำบลท่าแลง อำเภอยะบง จังหวัดเพชรบุรี สภาพภายในไร่แสดงดังภาพที่ 4.24



ภาพที่ 4.24 สภาพภายในไร่มะนาวที่ทำการติดตั้งระบบ

สำหรับโหนดเซ็นเซอร์และโหนดฐานจะใช้ท่อ PVC ในการทำเป็นต้นเสามีขนาดสูง 2 เมตร 30 เซนติเมตร ดังภาพที่ 4.25



ภาพที่ 4.25 โหนดเซ็นเซอร์และโหนดฐาน ที่จะนำไปติดตั้ง

การติดตั้งภายในไร่จะทำการติดตั้งสูงจากพื้น 2 เมตร โดยฝังเสาหลัก 30 เซนติเมตร เพื่อให้พันธุ์ไม้ของการกระจายของน้ำจากสปริงเกอร์ดังภาพที่ 4.26 การติดตั้งเนื่องจาก เสาที่เป็นท่อ PVC มีขนาดที่ยาวทำให้เอนได้จึงจำเป็นต้องผูกติดกับไม้ที่ใช้ค้ำยันกิ่งมะนาว โดยติดตั้งให้ชุดตรวจจับขโมยหันออกจากต้นและกิ่งมะนาว



ภาพที่ 4.26 ลักษณะการติดตั้งจะสูงจากพื้น 2 เมตร

นอกจากติดตั้งให้โหนดอยู่นอกทรงพุ่มแล้วยังมีโหนดเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งภายในทรงพุ่มดังภาพที่ 4.27 ซึ่งการติดตั้งในลักษณะนี้จะทำให้ได้ข้อมูลของสภาพแวดล้อมภายในทรงพุ่ม ซึ่งปกติแล้วรากของมะนาวจะมีรศมีการแตกรากเพื่อหาอาหารในรศมีทรงพุ่ม ดังนั้นการติดตั้งจึงจำเป็นต้องติดตั้งให้อยู่ในรศมีทรงพุ่มของต้นมะนาว



ภาพที่ 4.27 การติดตั้งโหนดเซ็นเซอร์ภายในทรงพุ่มมะนาว

สำหรับการติดตั้งโหนดฐานจะติดตั้งอยู่ภายนอกทรงพุ่มของต้นมะนาว เพื่อการส่งข้อมูลในระยะไกล ซึ่งจะทำให้สามารถส่งข้อมูลได้โดยไม่มีสิ่งกีดขวาง ดังภาพที่ 4.28



ภาพที่ 4.28 การติดตั้งโหนดฐาน นอกทรงพุ่มมะนาว

4.2.2 การทดสอบแบบจุดต่อจุด

การทดสอบจะให้โหนดฐานเรียกข้อมูลจากโหนดเซ็นเซอร์ดังภาพที่ 4.29 โดยโหนดฐานจะส่งคำสั่งร้องขอข้อมูลจากโหนดเซ็นเซอร์ เมื่อโหนดเซ็นเซอร์ได้รับคำสั่งร้องขอข้อมูลจะอ่านค่าจากเซ็นเซอร์แต่ละตัวโดยเริ่มจาก เซ็นเซอร์วัดความชื้นและอุณหภูมิ เซ็นเซอร์วัดแสงสว่าง เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิในดิน เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน เซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวและสุดท้ายจะเป็น

เซ็นเซอร์วัดพลังงานจากแบตเตอรี่ ทำเป็นแพ็คเกจเพื่อส่งไปยังโหนดฐาน ผลการทดสอบพบว่า โหนดเซ็นเซอร์สามารถส่งข้อมูลไปยังโหนดฐานได้ทุกครั้งซึ่งการทดสอบจะทำการทดสอบจำนวน 10 ครั้งพบว่าสามารถส่งค่าข้อมูลได้ทั้ง 10 ครั้ง

การทดสอบในรูปแบบที่สองของการทดสอบการรับส่งแบบจุดต่อจุดคือ จะให้โหนดเซ็นเซอร์ทำการบันทึกข้อมูลที่ตัวเซ็นเซอร์โหนดเองก่อนจะส่งไปที่โหนดฐาน โดยเริ่มจากโหนดฐานส่งคำร้องขอข้อมูลจากโหนดเซ็นเซอร์ เมื่อโหนดเซ็นเซอร์ได้รับคำสั่งร้องขอข้อมูลก็จะทำการอ่านค่าเซ็นเซอร์จากเซ็นเซอร์ต่างๆทำเป็นแพ็คเกจและบันทึกข้อมูลไว้ที่ตนเองก่อนจะส่งข้อมูลมาที่โหนดฐาน เมื่อโหนดฐานได้รับข้อมูลจากโหนดเซ็นเซอร์ก็จะบันทึกข้อมูลลงที่โหนดฐานและอ่านเซ็นเซอร์ที่ตัวโหนดฐานเพื่อทำเป็นแพ็คเกจ บันทึกข้อมูลต่อจากข้อมูลจากแพ็คเกจโหนดเซ็นเซอร์ 1 หลังจากนั้นโหนดฐานก็จะส่งข้อมูลไปยังโหนดสถานีต่อไป ผลการวิจัยพบว่าข้อมูลที่ถูกบันทึกทั้งเซ็นเซอร์โหนดและโหนดฐานมีความสมบูรณ์ 100 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.29 การส่งข้อมูลแบบจุดต่อจุด

4.2.3 การทดสอบการส่งข้อมูลเป็นเครือข่ายแบบ 3 จุด

การทดสอบจะใช้โหนดเซ็นเซอร์ 2 ตัวและโหนดฐาน 1 ตัว เพื่อทดสอบการส่งข้อมูลเป็นเครือข่ายในสถานที่จริงดังภาพที่ 4.30 การทดสอบจะเริ่มจากโหนดฐาน 1 ส่งคำร้องขอข้อมูลไปยังโหนดเซ็นเซอร์ 1 เมื่อโหนดเซ็นเซอร์ 1 ได้รับการร้องขอข้อมูลก็จะส่งคำร้องขอต่อไปที่โหนดเซ็นเซอร์ 2 หลังจากนั้นก็จะอ่านเซ็นเซอร์ต่าง ๆ เพื่อนำข้อมูลมาจัดทำแพ็กเก็ตบันทึกข้อมูลแพ็กเก็ตไว้ในหน่วยความจำเพื่อรอข้อมูลจากเซ็นเซอร์โหนด 2 เมื่อเซ็นเซอร์โหนด 2 ได้รับคำร้องขอข้อมูลจะทำการอ่านข้อมูลจากเซ็นเซอร์ต่าง ๆ เพื่อนำมาจัดทำเป็นแพ็กเก็ตโดยแพ็กเก็ตของข้อมูลประกอบด้วย เลข ID เซ็นเซอร์โหนดและตามด้วยข้อมูลจากเซ็นเซอร์ต่างๆปิดท้ายข้อมูลด้วยรหัสสิ้นสุดข้อมูล การส่งข้อมูลจากโหนดเซ็นเซอร์ 2 จะส่งข้อมูลไปยังโหนดเซ็นเซอร์ 1 เมื่อจัดทำการสร้างแพ็กเก็ตข้อมูลเสร็จแล้วโดยก่อนที่จะส่งข้อมูลไปยังโหนดเซ็นเซอร์ 1 โหนดเซ็นเซอร์ 2 จะทำการบันทึกข้อมูลไว้ในหน่วยความจำของตนเองก่อนที่จะส่งข้อมูลไปยังโหนดเซ็นเซอร์ 1 เมื่อโหนดเซ็นเซอร์ 1 ได้รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์โหนด 2 จะทำการส่งต่อข้อมูลของเซ็นเซอร์โหนด 2 ตามด้วยแพ็กเก็ตข้อมูลเซ็นเซอร์โหนด 1 ไปยังโหนดฐาน 1 เมื่อ การทดสอบจะดำเนินการทดสอบจำนวน 10 ครั้งพบว่า การส่งข้อมูลของเซ็นเซอร์โหนด ทั้ง 2 สามารถส่งข้อมูลได้ ทั้ง 10 ครั้ง ข้อมูลแต่ละแพ็กเก็ตมีความสมบูรณ์ 100 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.30 การส่งข้อมูลแบบเครือข่ายแบบ 3 จุด

4.2.4 การทดสอบการส่งข้อมูลเป็นเครือข่ายแบบ 4 จุด

การทดสอบรูปแบบนี้ในสถานที่จริง จะทดสอบเครือข่ายที่สามารถจัดทำแพ็กเก็ตข้อมูลให้ได้ 3 แพ็กเก็ตที่ตัวเซ็นเซอร์โหนด 1 แล้วจึงจะทำการส่งข้อมูลทั้งหมด 3 แพ็กเก็ตไปยังโหนดฐาน 1 การทดสอบระบบจะเริ่มจากโหนดฐาน 1 ส่งคำสั่งร้องขอข้อมูลไปยังโหนดเซ็นเซอร์ 2 โดยผ่านทางเซ็นเซอร์โหนด 1 เมื่อเซ็นเซอร์โหนด 1 ได้รับคำสั่งจากโหนดฐาน 1 ก็จะทำการส่งการร้องขอข้อมูลไปยัง เซ็นเซอร์โหนด 2 เมื่อเซ็นเซอร์โหนด 2 ได้รับคำสั่งร้องขอข้อมูลก็จะทำการอ่านค่าเซ็นเซอร์แต่ละตัวทำเป็นแพ็กเก็ตบันทึกไว้ที่โหนดตนเองก่อนจะส่งไปยังเซ็นเซอร์โหนด 1 เมื่อเซ็นเซอร์โหนด 1 ได้รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์โหนด 2 ก็จะบันทึกค่าแพ็กเก็ตข้อมูลของเซ็นเซอร์โหนด 2 ไว้ภายในโหนด หลังจากนั้นจะส่งคำสั่งร้องขอข้อมูลไปยังเซ็นเซอร์โหนด 3 เมื่อเซ็นเซอร์โหนด 3 ได้รับคำสั่งร้องขอจะทำการอ่านค่าเซ็นเซอร์แต่ละตัวทำเป็น แพ็กเก็ตบันทึกไว้ที่ตนเองก่อนจะส่งไปยังเซ็นเซอร์โหนด 1 เมื่อเซ็นเซอร์โหนด 1 ได้รับแพ็กเก็ตข้อมูลจากเซ็นเซอร์โหนด 3 ก็จะทำการบันทึกค่าแพ็กเก็ตข้อมูลของโหนด 3 ไว้แล้วทำการอ่านข้อมูลเซ็นเซอร์แต่ละตัวในเซ็นเซอร์โหนด 1 ทำเป็นแพ็กเก็ตโดยทำเป็นข้อมูลแพ็กเก็ตเซ็นเซอร์โหนด 1 ตามด้วยแพ็กเก็ต เซ็นเซอร์โหนด 2 และตามด้วยแพ็กเก็ตเซ็นเซอร์โหนด 3 หลังจากนั้นจะทำการส่งข้อมูลทั้ง 3 แพ็กเก็ตไปยังโหนดฐาน 1 ในการทดสอบจะทดสอบจำนวน 10 ครั้ง พบว่า ข้อมูลสามารถส่งมาได้จำนวน 7 ครั้ง เมื่ออ่านข้อมูลจากเซ็นเซอร์โหนดและโหนดฐานแต่ละตัวที่บันทึกข้อมูลไว้ พบว่า ข้อมูลมีความสมบูรณ์ 100 เปอร์เซ็นต์ จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ข้อมูลเกิดการสูญหายในระหว่างการรับส่งข้อมูลระหว่างโหนดจำนวน 3 ครั้งแต่เมื่ออ่านค่าจากหน่วยความจำพบว่ามีค่าข้อมูลที่สูญหายทั้ง 3 ครั้ง งานวิจัยนี้สามารถอ่านข้อมูลได้ทั้งหมดถ้ามีความผิดพลาดของการรับส่งข้อมูลเกิดขึ้น โดยผู้ใช้งานสามารถที่จะอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำภายในเซ็นเซอร์โหนดที่เกิดความผิดพลาดของการรับส่งข้อมูลได้ ซึ่งเป็นข้อดีเด่นของงานวิจัยนี้

4.2.5 การทดสอบการส่งข้อมูลเป็นเครือข่ายแบบรวมระบบ

การทดสอบจะเป็นการทดสอบการทำงานร่วมกันทั้งหมด 3 ส่วนภายในสถานที่จริง คือ 1) เซ็นเซอร์โหนดจำนวน 90 โหนด 2) โหนดฐาน จำนวน 10 โหนด และ 3) โหนดสถานีจำนวน 1 โหนด การทำงานจะใช้ความสามารถของ XBee ในการจัดการระบบเครือข่าย ในส่วนของโหนดฐานและโหนดสถานี โดยการทำงานจะใช้เครือข่ายแบบ เมท (mesh) การรับส่งข้อมูลจะมีการรับส่งไปให้กับโหนดที่ใกล้เคียง ตามที่กำหนดโดยการทดสอบจะทำการทดสอบเหมือนในห้องปฏิบัติการ

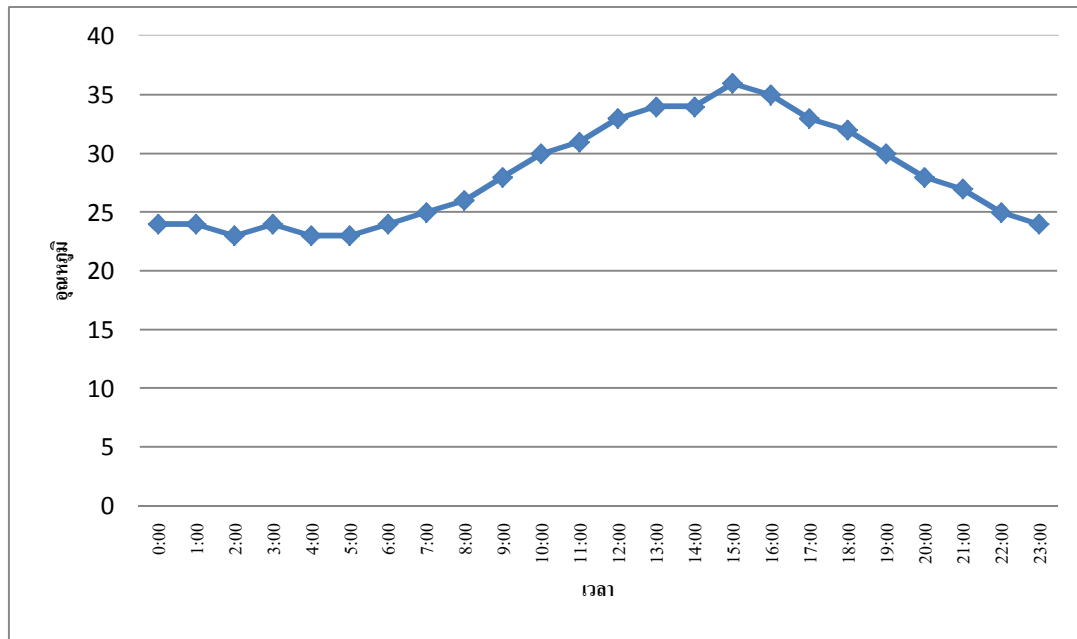
โดยระบบจะเริ่มจากการส่งข้อมูลของโหนดฐานเป็นการส่งข้อมูลที่เป็นแพ็คเกจของโหนดเซ็นเซอร์ทั้งหมดไปที่โหนดฐานการส่งข้อมูลของโหนดฐานทั้ง 10 โหนดจะส่งไปยังโหนดฐานต่อที่ใกล้ที่สุดและส่งต่อไปยังโหนดสถานีเป็นปกติ ในการทดสอบจะหยุดการทำงานของโหนดฐานตัวหนึ่งตัวใดเพื่อให้โหนดฐานเปลี่ยนเส้นทางการส่งข้อมูล ผลการทดสอบพบว่าโหนดสามารถเปลี่ยนเส้นทางโดยอัตโนมัติโดยส่งข้อมูลไปยังโหนดฐานที่ใกล้เคียงได้ แล้วส่งต่อข้อมูลไปยังโหนดสถานีได้ ในการทดสอบจะทำการทดสอบโดยให้ระบบทำงานตลอดเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อเก็บข้อมูลแสดงค่าข้อมูลในหัวข้อ 4.3

4.3 ข้อมูลจากการเก็บสภาพแวดล้อมในสถานที่จริง

การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับสภาพแวดล้อมในไร่มะนาวมีความสำคัญจากการติดตั้งในระบบจริงผลของค่าต่างๆจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์สภาพตามที่เป็นจริงเพื่อให้คำแนะนำและป้อนสำหรับมะนาว ในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบโดยเก็บข้อมูลเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำข้อมูลมาแสดงผลด้วยกราฟ

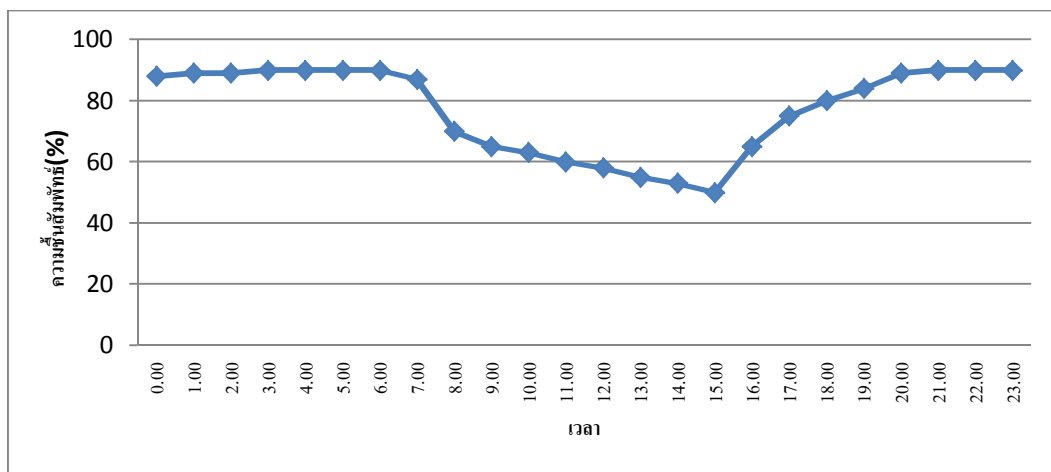
4.3.1 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์พบว่าค่าของอุณหภูมิดังภาพที่ 4.31 มีค่าสม่ำเสมอในตอนกลางคืนตั้งแต่เวลา 20:00 นาฬิกา ถึงเวลา 6:00 นาฬิกา โดยค่าของอุณหภูมิที่เก็บได้จะมีค่าระหว่าง 24-28 องศาเซลเซียส ตั้งแต่เวลา 7:00 นาฬิกาถึงเวลา 19:00 นาฬิกาอุณหภูมิจะมีค่าสูงถึง 36 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.31 กราฟแสดงอุณหภูมิ

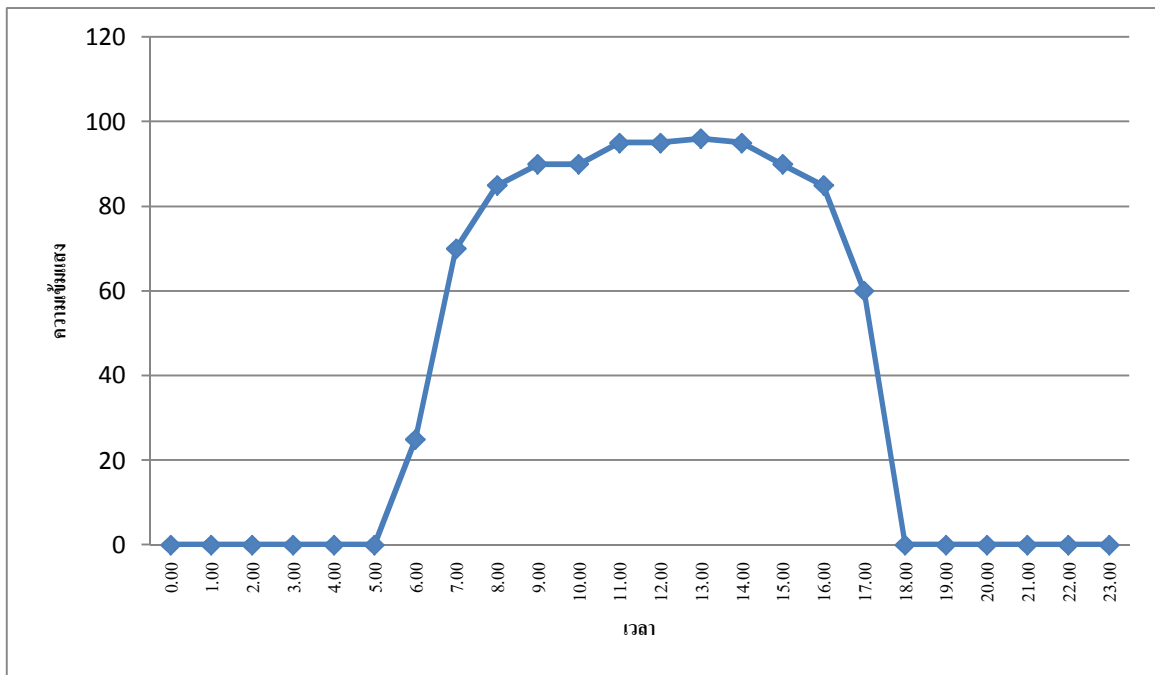
สำหรับค่าความชื้นสัมพัทธ์ภาพที่ 4.32 พบว่า ช่วงเวลาตั้งแต่ 18:00 นาฬิกาถึง 7:00 นาฬิกา ค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 80-90 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเวลาตั้งแต่ 7:00 นาฬิกา ถึงเวลา 15:00 นาฬิกา พบว่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าต่ำสุด 48 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.32 กราฟความชื้นสัมพัทธ์

4.3.2 ความเข้มแสง

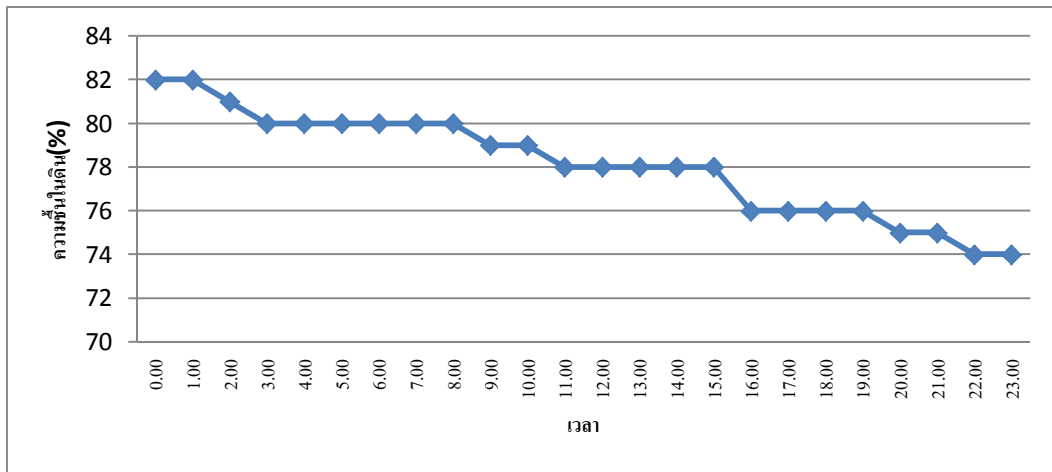
ความเข้มแสง พบว่าในช่วงเวลากลางวันความเข้มแสงมีค่าอยู่ระหว่าง 80-95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสงสว่างจะมีสูงในช่วงเวลา 10:00 นาฬิกา ถึง เวลา 15:00 นาฬิกา ดังภาพที่ 4.33



ภาพที่ 4.33 กราฟความเข้มของแสง

4.3.3 ความชื้นในดิน

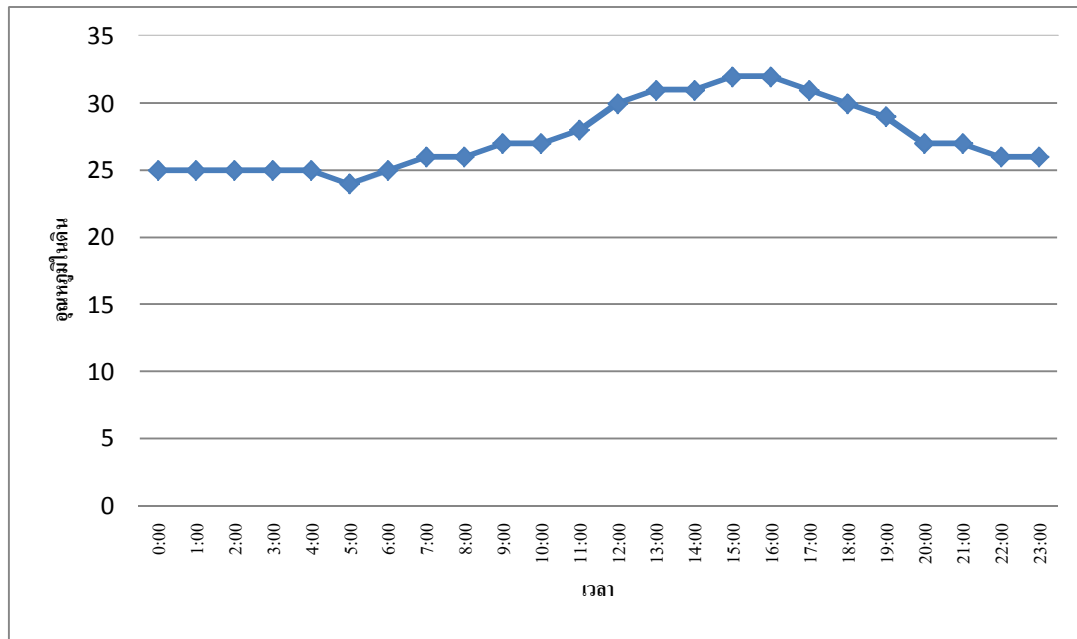
ความชื้นในดินพบว่า ในช่วงเวลา 8:00 นาฬิกาถึง 18:00 นาฬิกาโดยความชื้นลดลง เหลือ 76 เปอร์เซ็นต์และจะลดลงไปเรื่อย ๆ ดังกราฟแสดงดังภาพที่ 4.34 โดยความชื้นในดินจะลดลงน้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ ชาวสวนมะนาวจะให้น้ำมะนาว ปกติเมื่อให้น้ำมะนาวความชื้นในดินจะมีประมาณ 90-100 เปอร์เซ็นต์ และจะหายไปในระยะเวลา 2-3 อาทิตย์ขึ้นอยู่กับความเข้มแสงและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ จากการทดสอบพบว่า ในงานวิจัยนี้ดินลดความชื้นลงจาก 100 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 30 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลา 18 วัน



ภาพที่ 4.34 กราฟความชื้นในดิน

4.3.4 อุณหภูมิในดิน

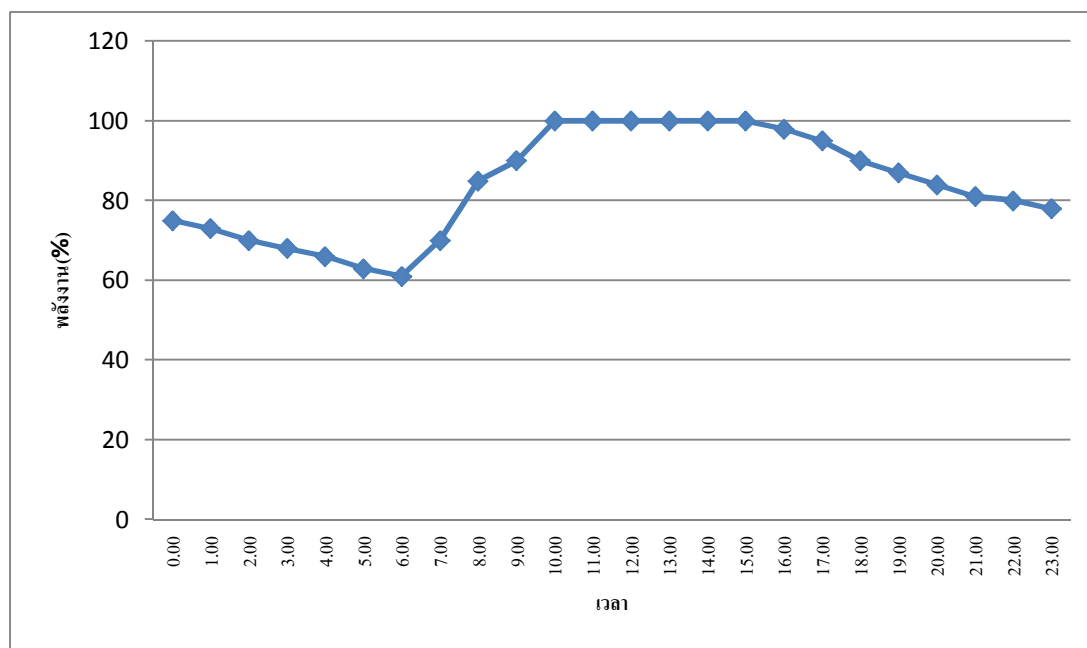
อุณหภูมิในดินพบว่าการเปลี่ยนแปลงไม่มากในตอนกลางคืนแต่จะเปลี่ยนแปลงมากในตอนกลางวัน แสดงดังภาพที่ 4.35 โดยพบว่ามีค่าสม่ำเสมอในตอนกลางคืนตั้งแต่เวลา 20:00 นาฬิกา ถึงเวลา 7:00 นาฬิกา โดยค่าของอุณหภูมิที่เก็บได้จะมีค่าระหว่าง 24-26 องศาเซลเซียส ตั้งแต่เวลา 12:00 นาฬิกาถึงเวลา 18:00 นาฬิกาอุณหภูมิจะมีค่าสูงถึง 31 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.35 กราฟแสดงอุณหภูมิในดิน

4.3.5 แหล่งพลังงาน

แหล่งพลังงานพบว่าแบตเตอรี่สามารถทำงานได้ปกติโดยในระยะเวลาของการทดสอบ 24 ชั่วโมงพบว่า โซล่าเซลล์สามารถประจุแบตเตอรี่ได้ตลอดเวลาในช่วงเวลาที่มีแสงสว่าง ส่วนในเวลากลางคืนพลังงานจะลดลง เหลือ 60 เปอร์เซ็นต์และจะเริ่มประจุแบตเตอรี่ใหม่ในช่วงเวลาที่มีแสงสว่าง การทดสอบพบว่า ระบบจะไม่สามารถทำงานได้ถ้าเหลือพลังงานเพียง 20 เปอร์เซ็นต์ อัตราการลดลงของพลังงานแสดงดังภาพที่ 4.36



ภาพที่ 4.36 กราฟการลดลงของพลังงาน

4.3.6 การตรวจจับขโมย

การตรวจจับขโมยในช่วงระยะเวลาของการวิจัยไม่มีการลักขโมย แต่จากการทดสอบระบบสามารถทำงานได้โดยสามารถตรวจจับผู้ที่เข้ามาในสวนมะนาวเพื่อทำการลักขโมยได้ โดยระยะการตรวจจับมีระยะจากผู้บุกรุก ระยะทาง 5 เมตร โดยจะสามารถตรวจจับได้กับวัตถุที่มีความสูง 0.5 เมตรขึ้นไป เนื่องจากระบบออกแบบให้สามารถตรวจจับได้ในระยะที่ผู้บุกรุกไม่ใช่สัตว์เช่น สุนัข เป็นต้น

4.4 การใช้ข้อมูลจากระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมในไร่มะนาว

จากการทดลองในการเก็บข้อมูลจากระบบที่ออกแบบขึ้นมาเป็นจำนวน 9 เดือน ตั้งแต่เดือนตุลาคม จนถึงเดือน มิถุนายน พบว่าสภาพพื้นที่สวนมะนาวในตำบลท่าแลงมีความชื้นน้อยในปลายเดือนธันวาคมถึงต้นเดือนพฤษภาคม ในช่วงระยะเวลาดังกล่าว มีการระบาดของเพลี้ยไฟมาก ซึ่งพบว่าชาวสวนจะใช้จ่ายกำจัดเพลี้ยจำนวนมากทำให้ค่าใช้จ่ายสูงและมีสารพิษตกค้าง จากข้อมูลระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายในการวัดความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นในดินมีความชื้นต่ำมาก การให้น้ำ

หรือดื่มน้ำในระยะเวลาที่เหมาะสมจะช่วยแก้ปัญหาแมลงบางชนิดได้ วิธีการที่แนะนำชาวบ้าน คือ จะต้องให้น้ำมะนาวให้มีความชื้นสูง ซึ่งโดยธรรมชาติแล้วเพลี้ยต่าง ๆ จะไม่ชอบความชื้นสูงส่วนอีกประเด็นหนึ่ง คือ การให้ปุ๋ยซึ่งชาวบ้านจะให้ปุ๋ยโดยไม่ทราบว่าพืชจะดูดซึมปุ๋ยได้ดีที่สุด คือ ความชื้นสูงเช่นหลังฝนตกใหม่ ๆ ดังนั้นการให้น้ำเพื่อให้ความชื้นสูงมีส่วนสำคัญในการให้ปุ๋ยกับต้นมะนาว น้ำและปุ๋ยจะต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสม ซึ่งข้อมูลระบบเครือข่ายสามารถจะช่วยเกษตรกรในการให้ปุ๋ยในช่วงเวลาที่เหมาะสม ทำให้ลดการใช้ปุ๋ยเกินความจำเป็น นอกจากนั้นอุณหภูมิในเขตตำบลท่าแลง อำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรีมีความแปรปรวนสูง การศึกษากำจัดแมลงจะต้องทราบถึงอุณหภูมิและช่วงเวลาที่เหมาะสมด้วย ผลการทดลองพบว่าช่วงเวลา 10 นาฬิกา ถึง บ่าย 3 โมงมีอุณหภูมิสูงจึงหลีกเลี่ยงการฉีดพ่นยากำจัดแมลง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ เป็นการสร้างระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อม และ ระบบตรวจจับขโมยโดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์แบบไร้สายในพื้นที่เพาะปลูกพืช ได้ออกแบบระบบที่สามารถตรวจวัดสภาพแวดล้อม ซึ่งในการตรวจวัดสภาพแวดล้อมจะใช้เซ็นเซอร์ในการตรวจจับสภาพแวดล้อม คือ

- 1) เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ
- 2) เซ็นเซอร์วัดความเข้มของแสงสว่าง
- 3) เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน
- 4) เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิในดิน
- 5) เซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว
- 6) เซ็นเซอร์วัดการใช้พลังงาน

โดยเซ็นเซอร์ทั้งหมดจะส่งข้อมูลไปยังสถานีจัดเก็บข้อมูลด้วยระบบเครือข่ายไร้สาย ระบบดังกล่าวจะออกแบบให้ง่ายและไม่ซับซ้อนชาวบ้านสามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้วยตนเองไม่ต้องเป็นผู้เชี่ยวชาญหรือนักวิชาการในสาขานั้นเท่านั้นถึงจะใช้ได้ อุปกรณ์ราคาถูกราคามีประสิทธิภาพ ติดตั้งง่าย และชาวบ้านทั่วไปสามารถนำไปติดตั้งในพื้นที่เพาะปลูกเองได้

5.1 สรุปผลการวิจัย

ระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับตรวจวัดสภาพแวดล้อมและตรวจจับขโมยในพื้นที่ปลูกมะนาว งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและการสร้างระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมและตรวจจับขโมย โดยทำการทดสอบประสิทธิภาพในห้องปฏิบัติการและทดสอบการใช้งานจริงในไร่มะนาว ที่หมู่บ้านท่าแลง อำเภอยาง่าง จังหวัดเพชรบุรี มีวัตถุประสงค์ของการวิจัยดังนี้

- 1) สร้างระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมโดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์แบบไร้สายสำหรับพื้นที่เพาะปลูกพืช
- 2) สร้างระบบตรวจจับขโมยโดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์แบบไร้สายในพื้นที่เพาะปลูกพืช

วิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การออกแบบฮาร์ดแวร์ ในการออกแบบฮาร์ดแวร์ ได้ทำการออกแบบเป็น 3 กลุ่ม คือ 1) เซ็นเซอร์โหนดประกอบด้วย เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เซ็นเซอร์วัดความเข้มแสง เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิในดิน เซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว และเซ็นเซอร์วัดการใช้พลังงาน 2) โหนดฐาน เป็นโหนดที่รับค่าจากโหนดเซ็นเซอร์เพื่อส่งต่อข้อมูลไปยังโหนดสถานี โหนดฐานนอกจากทำหน้าที่ในการส่งต่อข้อมูลแล้วยังทำหน้าที่เป็นเซ็นเซอร์โหนดด้วย 3) โหนดสถานี เป็นโหนดที่รับค่าจากโหนดฐานเพื่อทำการเก็บข้อมูลและประมวลผลข้อมูล ที่โหนดนี้จะเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ ผ่านพอร์ตสื่อสารแบบอนุกรม

ขั้นตอนที่ 2 การออกแบบซอฟต์แวร์ การออกแบบซอฟต์แวร์ของระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายจะทำการออกแบบเป็น 3 ส่วน คือ 1) ซอฟต์แวร์โหนดเซ็นเซอร์ ที่โหนดเซ็นเซอร์แต่ละโหนดจะมีซอฟต์แวร์ที่ควบคุมการทำงานในลักษณะส่งข้อมูลแบบจุดต่อจุดและส่งเป็นเครือข่าย 2) ซอฟต์แวร์โหนดฐาน ที่โหนดฐานการออกแบบซอฟต์แวร์จะใช้วิธีการในการสุ่มเพื่อส่งและรับข้อมูล 3) ซอฟต์แวร์โหนดสถานี การออกแบบซอฟต์แวร์โหนดสถานีจะออกแบบให้สามารถรับค่าข้อมูลแล้วส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมเพื่อบันทึกข้อมูลในคอมพิวเตอร์

ขั้นตอนที่ 3 การทดสอบประสิทธิภาพ การทดสอบประสิทธิภาพในห้องปฏิบัติการจะดำเนินการใน 2 ส่วน คือ 1) ทดสอบประสิทธิภาพเซ็นเซอร์ แต่ละตัวเพื่อปรับแต่งและเปรียบเทียบความเที่ยงตรงกับเครื่องมือมาตรฐาน 2) การทดสอบประสิทธิภาพซอฟต์แวร์ จะทำการทดสอบ 4 ส่วน คือ 1) การทดสอบการรับส่งข้อมูลแบบจุดต่อจุด (point-to point) การทดสอบจะกระทำการส่งข้อมูลระหว่างเซ็นเซอร์โหนด 2 โหนด เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูล 2) การทดสอบแบบเครือข่ายแบบ 3 จุด การทดสอบนี้จะใช้เซ็นเซอร์โหนดจำนวน 2 โหนดและโหนดฐานจำนวน 1 โหนดเพื่อหาประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลแบบเครือข่าย 3) การทดสอบแบบเครือข่ายแบบ 4 จุด การทดสอบจะใช้โหนดเซ็นเซอร์จำนวน 3 โหนดและใช้โหนดฐานจำนวน 1 โหนด เพื่อทดสอบประสิทธิภาพระบบที่มีการทำงานที่ซับซ้อนขึ้น 4) ทดสอบเครือข่ายรวมระบบ การทดสอบจะใช้โหนดทำงานร่วมกันทั้ง 3 โหนด คือ โหนดเซ็นเซอร์ โหนดฐาน และโหนดสถานี

ขอบเขตของการวิจัย เป็นระบบที่สามารถตรวจวัดสภาพแวดล้อมและตรวจจับขโมยโดยใช้เซ็นเซอร์แบบไร้สายสำหรับพื้นที่เพาะปลูกพืช อุปกรณ์และซอฟต์แวร์ที่ใช้สามารถหาได้ภายในประเทศและราคาไม่แพง

ผลการวิจัย การออกแบบได้ออกแบบระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเป็น 3 กลุ่ม คือ 1) เซ็นเซอร์โหนด ประกอบด้วยเซ็นเซอร์คือ เซ็นเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เซ็นเซอร์วัดความเข้มแสง เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิในดิน เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน และเซ็นเซอร์วัดการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่เซ็นเซอร์โหนดมีทั้งหมด 90 โหนด 2) โหนดฐาน จะออกแบบให้สามารถอ่านค่าเซ็นเซอร์ต่าง ๆ เหมือนกับเซ็นเซอร์โหนด แต่เพิ่มเติมหน้าที่ในการรับส่งข้อมูลของเซ็นเซอร์โหนด โหนดฐานมีทั้งหมด 10 โหนด 3) โหนดสถานีจำนวน 1 โหนดออกแบบให้สามารถรับข้อมูลจากโหนดฐานแล้วทำการส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมเพื่อส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อการบันทึกข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์

การทดสอบประสิทธิภาพในห้องปฏิบัติการ จะทำการทดสอบเซ็นเซอร์แต่ละเซ็นเซอร์เพื่อเปรียบเทียบค่ากับค่าเครื่องมือวัดมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่าเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิเมื่อทำการจำลองสภาพการวัดของอุณหภูมิในชุดจำลองเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐานพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน โดยวัดอุณหภูมิเริ่มตั้งแต่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ถึง 50 องศาเซลเซียส เซ็นเซอร์โหนดวัดความชื้นสัมพัทธ์ จะทดสอบและเทียบกับเครื่องมือมาตรฐานโดยจะจำลองสภาพความชื้นสัมพัทธ์เริ่มต้นที่ 25 เปอร์เซ็นต์ แล้วเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 นาทีพบว่าเก็บข้อมูลได้ 11 ครั้งเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ได้ 90 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน ค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน เซ็นเซอร์โหนดวัดความเข้มแสง จะทดสอบเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน โดยใช้แสงสว่างจากหลอดไฟเพื่อกำหนดแสงสว่าง ผลการทดสอบพบว่า เซ็นเซอร์วัดความเข้มแสงมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องมือมาตรฐาน เซ็นเซอร์โหนดวัดความชื้นในดิน การทดสอบจะสร้างแบบจำลองการทดสอบให้ความชื้นในดินเพิ่มขึ้นโดยการหยดน้ำลงที่พื้นดินที่ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินกับเครื่องมือวัดความชื้นดินมาตรฐานพบว่า ค่าทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิในดิน จะทดสอบและเทียบค่าในชุดทดสอบจำลองขึ้นมาพบว่า ค่าของอุณหภูมิจากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิในดินมีค่าใกล้เคียงกับค่าอุณหภูมิมาตรฐาน

การทดสอบซอฟต์แวร์จะทดสอบการทำงานของการทำงานการรับส่งข้อมูลในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ การทดสอบการรับส่งข้อมูลแบบจุดต่อจุด พบว่าระยะการรับส่งข้อมูลได้ดีที่สุดคือ 15 เมตร และในที่โล่งรับส่งข้อมูลได้ระยะ 30 เมตร การทดสอบแบบเครือข่ายแบบสามจุด การทดสอบจะทดสอบในที่โล่งระยะ 30 เมตร การทดสอบเครือข่ายแบบสี่จุด การทดสอบระบบสามารถทำงานได้ตามที่กำหนด การทดสอบเครือข่ายรวมระบบและการเข้าร่วม เครือข่ายสามารถทำงานได้ตามที่กำหนด

เมื่อมีการทดสอบ การทำงานแบบเครือข่ายแบบเมท (mesh) เมื่อมีโหนดใด ๆ เสียหายระบบจะสามารถคำนวณเส้นทางใหม่และส่งข้อมูลได้ปกติ

การติดตั้งในสถานที่จริง การติดตั้งระบบพบว่าจะต้องติดตั้งโหนดทั้ง 3 โหนด ภายในไร่จะทำการติดตั้งสูงจากพื้น 2 เมตร เพื่อให้พันธรัศมีของการกระจายของน้ำจากสปริงเกอร์ การติดตั้งเนื่องจากเสาที่เป็นท่อ PVC มีขนาดที่ยาวทำให้เอนได้ จึงจำเป็นที่จะต้องผูกติดกับไม้ที่ใช้ค้ำยันกิ่งมะนาว โดยติดตั้งให้ชุดตรวจจับขโมยหันออกจากต้นและกิ่งมะนาว การทดสอบระบบในพื้นที่ปลูกมะนาวจริง จะทำการทดสอบเหมือนกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยพบว่า การทดสอบทั้ง 4 รูปแบบสามารถทำงานได้ในระดับที่ดี โดยการส่งข้อมูลจะมีปัญหาบ้างแต่สามารถอ่านค่าข้อมูลจากหน่วยความจำในแต่ละโหนดได้ ทั้งหมด ดังนั้นในระบบเมื่อข้อมูลขาดหายไปเราสามารถที่จะอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำแต่ละโหนดได้

ข้อมูลจากการเก็บสภาพแวดล้อมในสถานที่จริง ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สม่ำเสมอในตอนกลางคืนตั้งแต่เวลา 20:00 นาฬิกา ถึงเวลา 6:00 นาฬิกา โดยค่าของอุณหภูมิที่เก็บได้จะมีค่าระหว่าง 24-28 องศาเซลเซียส ตั้งแต่เวลา 7:00 นาฬิกา ถึงเวลา 19:00 นาฬิกา อุณหภูมิจะมีค่าสูงถึง 36 องศาเซลเซียส สำหรับค่าความชื้นสัมพัทธ์ พบว่า ช่วงเวลาตั้งแต่ 18:00 นาฬิกา ถึง 7:00 นาฬิกา ค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 80-90 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเวลาตั้งแต่ 7:00 นาฬิกา ถึงเวลา 15:00 นาฬิกา พบว่าความชื้นสัมพัทธ์ 48 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มแสง พบว่าในช่วงเวลากลางวันความเข้มแสงมีค่าอยู่ระหว่าง 80-95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสงสว่างจะมีสูงในช่วงเวลา 10:00 นาฬิกา ถึง เวลา 15:00 นาฬิกา ความชื้นในดินพบว่า ช่วงเวลา 8:00 นาฬิกา ถึง 18:00 นาฬิกา โดยความชื้นลดลง 76 เปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินจะลดลง เหลือ 30 เปอร์เซ็นต์ชาวสวนมะนาวจะให้น้ำมะนาว ค่าอุณหภูมิในดินโดยพบว่ามีค่าสม่ำเสมอในตอนกลางคืนตั้งแต่เวลา 20:00 นาฬิกา ถึงเวลา 7:00 นาฬิกา โดยค่าของอุณหภูมิที่เก็บได้จะมีค่าระหว่าง 24-26 องศาเซลเซียส และตั้งแต่เวลา 12:00 นาฬิกา ถึงเวลา 18:00 นาฬิกา อุณหภูมิจะมีค่าสูงถึง 31 องศาเซลเซียส

5.2 ข้อเสนอแนะการนำงานวิจัยไปใช้

การนำงานวิจัยนี้ไปใช้จะต้องคำนึงถึงข้อจำกัดของผลการวิจัยดังนี้

- 1) ระยะการรับส่งข้อมูลไม่ควรเกิน 30 เมตร
- 2) การติดตั้งโหนดฐานควรติดตั้งให้อยู่ภายนอกต้นไม้จะทำให้ระบบสามารถส่งข้อมูลได้ในระยะไกล
- 3) ข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์เป็นข้อมูลที่มีจำนวนมาก จำเป็นที่จะต้องมียพื้นที่ในการเก็บข้อมูลให้มากเพียงพอ

5.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

จากผลการดำเนินการวิจัยที่ผ่านมาผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะในการทำการวิจัยเพื่อเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยดังนี้

- 1) งานวิจัยนี้เป็นงานที่ออกแบบระบบโดยใช้ระบบฮาร์ดแวร์ซึ่งมีราคาสูงจึงทำให้การส่งสัญญาณของเซ็นเซอร์โหนดส่งในระยะไกลได้ไม่เกิน 30 เมตร ซึ่งควรทำการวิจัยโดยทำการขยายสัญญาณการรับส่งให้มีระยะที่ไกลขึ้น
- 2) งานวิจัยนี้ยังขาดการนำเสนอข้อมูลบนเว็บไซต์เพื่อให้สามารถเข้าสู่ข้อมูลได้ในทุกสถานที่และทุกเวลา ซึ่งควรทำการวิจัยเพื่อจะทำให้ระบบสามารถที่จะแสดงผลบนเว็บไซต์ได้

บรรณานุกรม

กลอยใจ กางกรณ์. (2551). การวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์บนท้องถนนโดยใช้เครือข่ายตรวจวัดแบบไร้สาย. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

เฉลิมพล ศิริอาคเนย์. (2551). ระบบควบคุมและตรวจสอบเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย. โครงการวิศวกรรมภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บริษัทวินัสซัพพลาย จำกัด. (2556). **Xbee Basic Configuration in Network Application.**

[ออนไลน์] เข้าถึงได้: <http://thaieasyelec.com/article-wiki/embedded-electronics-application/xbee-basic-configuration-in-network-application.html> [2556, สิงหาคม 1]

_____. (2556). **Zigbee And Xbee BASIC ตอน Xbee คืออะไร.** [ออนไลน์] เข้าถึงได้: <http://thaieasyelec.com/Review-Product-Article/what-is-xbee.html> [2556, สิงหาคม 1]

ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ. (2556). **Microcontroller.** [ออนไลน์] เข้าถึงได้: <http://www.nectec.or.th/schoolnet/library/webcontest2003/100team/dlnes137/am/Microcontroller.html> [2556, กันยายน 25]

สถาปัตย์ กิลาส. (2553). ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายเพื่อแสดงผลสภาพอากาศ. ปัญหาพิเศษ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

สุชา สุพิทยกรณ์พงศ์. (2556). **เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย.** [ออนไลน์] เข้าถึงได้: http://www.thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach/Wireless_Sensor_Network/index.php [2556, สิงหาคม 1]

สุวิชา โกสมวงค์วิวัฒน์. (2549). การพัฒนาระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายเพื่อแจ้งเตือนไฟฟ้า. สารนิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

อนุศักดิ์ ประพัฒน์. (2551). ระบบตรวจสอบปริมาณออกซิเจนในน้ำโดยอัตโนมัติโดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย สำหรับฟาร์มกุ้ง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

Arduino.(2013). **Arduino Uno**. [online]Available: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>
[2013, December 1]

Koanantakool, T., Kingrungrped, B., Krootkaew, C., and Vannarat, S. (2013). **Mini Monitoring Station (MMS). National Electronics and Computer Technology Center**. [online]
Available: www.apan.net/meetings/bangkok2005/presentation/MMS-APAN2005.pdf
[20013, August 1]

Moteiv Corporation. (2013). **Ultra low power IEEE 802.15.4 compliant wireless sensor module**. [online] Available: <http://www.eecs.harvard.edu/~konrad/.../tmote-sky-datasheet.pdf> [2013, August 29]

Terry. (2013). **nRF24L01 2.4GHz Radio/Wireless Transceivers How-To**. [online] Available: <http://arduino-info.wikispaces.com/Nrf24L01-2.4GHz-HowTo> [2013, January 20]

Valada. A., Kohanbash. D., and Kantor. G. (2010). **Design and Development of a Wireless Sensor Network System for Precision Agriculture**. Pittsburgh. Pennsylvania.