เครือข่ายเซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้นไร้สายสำหรับโรงเรียน

WIRELESS TEMPERATURE AND HUMIDITY SENSOR NETWORK FOR CULTIVATED WORKSHOP

โดย

นางสาวภาวิณี อุทิศานนท์

นายภูริพัฒน์ ชัยปัญญา

นายภูริวัฒน์ ชูชัย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เครือข่ายเซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้นไร้สายสำหรับโรงเรือน

WIRELESS TEMPERATURE AND HUMIDITY SENSOR NETWORK FOR CULTIVATED WORKSHOP

โดย

นางสาวภาวิณี อุทิศานนท์

นายภูริพัฒน์ ชัยปัญญา

นายภูริวัฒน์ ชูชัย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครือข่ายเซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้นไร้สายสำหรับโรงเรือน

WIRELESS TEMPERATURE AND HUMIDITY SENSOR NETWORK FOR CULTIVATED WORKSHOP

โดย

นางสาวภาวิณี	อุทิศานนท์	53011255
นายภูริพัฒน์	ชัยปัญญา	53011282
นายภูริวัฒน์	ชูชัย	53011285

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี

ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาคีพงษ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว

(.....)

อาจารย์ที่ปรึกษา

14/3/57

KMITL วิศวกรรมโทรคมนาคม Telecommunications Engineering

ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว

(.....)

กรรมการผู้ตรวจชิ้นงาน

17/3/57

KMITL วิศวกรรมโทรคมนาคม Telecommunications Engineering

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครือข่ายเซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้นไร้สายสำหรับโรงเรือน

WIRELESS TEMPERATURE AND HUMIDITY SENSOR NETWORK FOR CULTIVATED WORKSHOP

ผู้จัดทำ

1. นางสาวภาวิณี อุทิศานนท์ 53011255
2. นายภูริพัฒน์ ชัยปัญญา 53001282
3 นายภูริวัฒน์ ชูชัย 53011285

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาคีพงษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่องเครือข่ายเซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้นไร้สายสำหรับโรงเรือน สำเร็จได้เป็นอย่างดีด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก รศ.ดร.ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี และ ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาคีพงษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานชี้แนะแนวทางที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินการทำปริญญานิพนธ์ ข้าพเจ้ารู้สึกทราบซึ้งในความกรุณาเป็นอย่างยิ่ง และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้รับประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่างๆ ให้คำแนะนำและคำปรึกษาอย่างดีมาโดยตลอด

นางสาวภาวิณี อุทิศานนท์
นายภูริพัฒน์ ชัยปัญญา
นายภูริวัฒน์ ชูชัย
ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครือข่ายเซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้นไร้สายสำหรับโรงเรือน

WIRELESS TEMPERATURE AND HUMIDITY SENSOR NETWORK FOR CULTIVATED WORKSHOP

โดย นางสาวภาวิณี อุทิศานนท์ 53011255
นายภูริพัฒน์ ชัยปัญญา 53011882
นายภูริวัฒน์ ชูชัย 53011285

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี
ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาคีพงษ์

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เสนอการนำเครือข่ายไร้สายมาประยุกต์ใช้กับเซ็นเซอร์เพื่อวัดค่าและแสดงผลอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือนเพาะชำ ระบบจะประกอบด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายโดยมีภาคส่งและภาครับ ภาคส่งทำหน้าที่รับข้อมูลมาจากเซ็นเซอร์แล้วส่งสัญญาณไปภาครับ ตัวรับซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์จะเก็บค่าของอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือนเพาะชำจากตำแหน่งต่างๆ และแสดงผลผ่านส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้ นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมอุณหภูมิด้วยหลอดไฟและพัดลมดูดอากาศ

ABSTRACT

This project presents the implementation of a wireless sensor network consisting of a lamp sensor, and a humidity and temperature sensor for cultivated workshop. The wireless transmitter receives data from the sensor and sends them to the receiver. Meanwhile, the receiver, which is connected to the computer, will collects and displays each temperature and humidity data from different locations of the cultivated workshop via a graphical user interface. The system can also control the temperature using lightbulb and air blower fan.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
กิตติกรรมประกาศ		I
บทคัดย่อ		II
สารบัญ		III
สารบัญรูป		V
สารบัญตาราง		VIII
บทที่ 1	**บทนำ**	**1**
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์	1
	1.3 ขอบเขตของโครงงาน	1
บทที่ 2	**ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง**	**3**
	2.1 เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย (BROADBAND WIRELESS ACCESS TECHNOLOGIES)	3
	2.2 โมดูล ZIGBEE	5
	2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MICROCONTROLLER)	17
	2.4 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น SHT15 (TEMPERRATURE AND HUMIDITY SENSOR SHT15)	19
บทที่ 3	**การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์**	**27**
	3.1 การออกแบบ	27
	3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	45
	3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 4	**ผลการทดลอง**	**46**
4.1	การทดลองส่งข้อมูลไร้สายผ่านโมดูล ZIGBEE	46
4.2	การทดลองเพื่อทดสอบระยะทางในการรับส่งของข้อมูลของ ZIGBEE	51
4.3	การทดลองเพิ่ม-ลด อุณหภูมิและความชื้นเพื่อเปรียบเทียบผลระหว่างอุณหภูมิ-ความชื้นและหน้าต่างแสดงผลคอมพิวเตอร์	57
4.4	การทดลองการส่งข้อมูลของ SHT15	61
4.5	การทดลองส่ง FEEDBACK ควบคุมหลอดไฟและพัดลมดูดอากาศ	65
4.6	การทดลองใช้งานฐานข้อมูล	68
4.7	การทดลองใช้งานโปรแกรมรับข้อมูล	71
บทที่ 5	**สรุปผลและข้อเสนอแนะ**	**74**
	5.1 สรุปผล	74
	5.2 ข้อเสนอแนะ	74
บรรณานุกรม		**75**
ภาคผนวก	MAINPOINT	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ZIGBBEE STACK	6
2.2	แสดงย่านความถี่ของ ZIGBEE	7
2.3	NETWORK TOPOLOGY	8
2.4	NETWORK TOPOLOGY	8
2.5	CHIP ANTENNA	9
2.6	WIRE ANTENNA	10
2.7	UFL ANTENNA	10
2.8	SMA ANTENNA	11
2.9	การเชื่อมต่อแบบ STAR	12
2.10	การเชื่อมต่อแบบ CLUSTER TREE	13
2.11	การเชื่อต่อมแบบ MESH	15
2.12	การหาค่า SH, SL, MODEM	16
2.13	ลักษณะภายนอกของ MICROCONTROLLER รุ่น PIC18F4620	18
2.14	ตำแหน่งขาของ MICROCONTROLLER รุ่น PIC18F4620	19
2.15	TRANSMISSION START	21
2.16	COMMAND RESET SEQUENCE	21
2.17	ลักษณะสัญญาณในการอ่านข้อมูลจาก SENSOR	23
2.18	ลักษณะสัญญาณในการอ่านข้อมูลT/H 2 BYTE จาก SENSOR	23
2.19	ลักษณะสัญญาณในการอ่านข้อมูล CRC8 1BYTE จาก SENSOR	23
3.1	การทำงานของระบบ	27
3.2	BLOCK DIAGRAM การทำงานของ ROUTER และ COORDINATOR	28
3.3	วงจรสมบูรณ์ของภาคส่งสัญญาณ	29
3.4	วงจรแปลงไฟของภาคส่งสัญญาณ	30
3.5	การต่อ IC SHT15 เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์	30
3.6	การเชื่อมต่อโมดูล ZIGBEE	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่

3.7	FLOWCHART แสดงการทำงานของโปรแกรมภาคส่ง	33
3.8	การกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ของ ZIGBEE COORDINATOR	36
3.9	การกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ของ ZIGBEE ROUTER	38
3.10	FLOWCHART การทำงานของโปรแกรม USER INTERFACE	40
3.11	หน้าต่างโปรแกรมที่ออกแบบ	41
3.12	ส่วน TERMINAL ของโปรแกรม	41
3.13	ข้อมูลอุณหภูมิ-ความชื้น จากตำแหน่งต่างๆ	42
3.14	ส่วน DATABASE ของโปรแกรม	42
3.15	ส่วน CONTROL ควบคุมการทำงาน HEATER และ COOLER	43
3.16	การเก็บฐานข้อมูลโดยใช้ PHPMYADMIN	44
3.17	โครงสร้างตารางแสดงอุณหภูมิ	44
4.1	การติดต่อกับโมดูล ZIGBEE ผ่านโปรแกรม X-CTU	47
4.2	แสดงการทดลองรับส่งข้อมูลของ ZIGBEE	48
4.3	โค้ดไบนารีที่ส่งจาก ZIGBEE เมื่อส่งอักษร T	49
4.4	โค้ดไบนารีที่ส่งจาก ZIGBEE เมื่อส่งอักษร H	49
4.5	สเปกตรัมความถี่ของ ZIGBEE	50
4.6	แบนด์วิธของ ZIGBEE ที่ -3 DB	50
4.7	ตัวอย่างการวัดค่า RECEIVED SIGNAL STRENGTH INDICATION (DBM) ที่ระยะห่าง 150 M แบบ LINE OF SIGHT	52
4.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและ RSSI	54
4.9	ตัวอย่างการวัดค่า RECEIVED SIGNAL STRENGTH INDICATION (DBM) แบบ NON LINE OF SIGHT โดย ZIGBEE ฝั่งรับอยู่ภายในห้อง T-306	55
4.10	ตัวอย่างการวัดค่า RECEIVED SIGNAL STRENGTH INDICATION (DBM) แบบ NON LINE OF SIGHT โดย ZIGBEE ฝั่งรับอยู่บริเวณบันไดชั้น 3	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่

4.12	ตัวอย่างการวัดค่า RECEIVED SIGNAL STRENGTH INDICATION (DBM) แบบ NON LINE OF SIGHT โดย ZIGBEE ฝั่งบริเวณบันไดชั้น 1	56
4.13	ตัวอย่างการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ 7.6 ° C ความชื้น 64%	57
4.14	ตัวอย่างการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ 13 ° C ความชื้น 73%	58
4.15	ตัวอย่างการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ 25.9 C ความชื้น 61%	58
4.16	ตัวอย่างการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ 48.7 ° C ความชื้น 10%	59
4.17	ตัวอย่างการ เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ 81 ° C ความชื้น 6.9%	59
4.18	ข้อมูลที่วัดจาก SHT15	61
4.19	ข้อมูลที่วัดจาก SHT15 ช่วงที่ 1	62
4.20	ข้อมูลที่วัดจาก SHT15 ช่วงที่ 2	62
4.21	ข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลจากไมโครคอนโทรลเลอร์	63
4.22	ข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ช่วงที่ 1	63
4.23	ข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ช่วงที่ 2	64
4.24	ข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ช่วงที่ 3	64
4.25	หน้าต่างโปรแกรมแสดงการตั้งค่าอุณหภูมิ	65
4.26	กราฟแสดงการควบคุมอุณหภูมิต่ำสุดที่ 30 องศาเซลเซียส	66
4.27	กราฟแสดงการควบคุมอุณหภูมิสูงสุดที่ 25 องศาเซลเซียส	66
4.28	การทดลองควบคุมอุณหภูมิที่ต่ำกว่าที่กำหนดโดยใช้หลอดไฟเพื่อให้ความร้อน เมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วงที่กำหนดหลอดไฟจะดับ	67
4.29	อุณหภูมิอยู่ในช่วงที่กำหนด อุปกรณ์ต่างๆ ภายในโรงเรือนจำลองไม่ทำงาน	67
4.30	ฐานข้อมูลอุณหภูมิจาก PHPMYADMIN	68
4.31	ฐานข้อมูลความชื้นจาก PHPMYADMIN	69
4.32	กรแสดงค่าอุณหภูมิแบบตารางจากหน้าต่างโปรแกรม	69
4.33	การแสดงค่าความชื้นแบบตารางจากหน้าต่างโปรแกรม	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่

4.34 การแสดงค่าอุณหภูมิแบบกราฟจากหน้าต่างโปรแกรม 70

4.35 การแสดงค่าความชื้นแบบกราฟจากโปรแกรมที่เขียนขึ้น 71

4.36 หน้าต่างโปรแกรมขณะแสดงสถานะปกติ 72

4.37 หน้าต่างโปรแกรมขณะอุณหภูมิเกินช่วงที่กำหนด 72

4.38 หน้าต่างโปรแกรมแสดงสถานะอุปกรณ์ไฟฟ้า 73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

2.1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติ 11

2.2 แสดงการจัดขาของเซ็นเซอร์ 20

2.3 คำสั่งในการทำงานและการอ่านข้อมูลจาก SENSOR 22

2.4 แสดงหน้าที่ของบิตต่างๆในรีจิสเตอร์ STATUS 24

2.5 ค่าคงที่ d_1 และ d_2 25

2.6 ค่าคงที่ t_1, t_2 และ c_1, c_2, c_3 26

3.1 ค่าคงที่ d_1 และ d_2 34

3.2 ค่าคงที่ t_1, t_2 และ c_1, c_2, c_3 35

4.1 ค่า RECEIVED SIGNAL STRENGTH INDICATION (DBM) ที่ระยะทางต่างๆ แบบ LINE OF SIGHT 52

4.2 ค่า RECEIVED SIGNAL STRENGTH INDICATION (DBM) ที่ระยะทางต่างๆ แบบ NON LINE OF SIGHT 54

4.3 แสดงผลการทดลองระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้จากไฮโกรมิเตอร์เทียบกับโปรแกรม 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันในการทำโรงเรือนระบบปิดได้ให้ความสำคัญกับอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือนเพราะอุณหภูมิและความชื้นมีผลต่อการทำเกษตรกรรม

ผู้จัดทำจึงมีแนวคิดว่าจำเป็นต้องมีเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิความชื้นอยู่ในทุกพื้นที่ของโรงเรือนเพื่อวัดค่าและนำค่าที่วัดได้ไปเก็บเป็นข้อมูลอุณหภูมิความชื้นภายในโรงเรือน แต่เนื่องจากการวัดค่าต่างๆในโรงเรือน อาจมีพื้นที่ที่เข้าถึงได้ยากและจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบหลายแห่ง เพื่อให้เกิดความแม่นยำและได้ข้อมูลที่เป็นค่าปัจจุบัน (Real Time) ผู้จัดทำจึงได้นำเทคโนโลยีการส่งข้อมูลแบบไร้สายโดยใช้ ZigBee มาประยุกต์ใช้งานร่วมกับเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิความชื้น นอกจากนี้ยังมีการต่อหลอดไฟและพัดลมดูดอากาศกับวงจรภาคส่งทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิได้จากหน้าต่างโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์

ดังนั้นผู้จัดทำจึงได้จัดทำปริญญานิพนธ์เรื่องเครือข่ายเซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้นไร้สายสำหรับโรงเรือนขึ้นมาเพื่อประโยชน์ตามที่กล่าวข้างต้น

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาการทำงานของเทคโนโลยีไร้สาย ZigBee
2) เพื่ออำนวยความสะดวกในการตรวจสอบอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือนระบบปิด
3) เพื่อศึกษาการทำงานของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นกับไมโครคอนโทรลเลอร์
4) เพื่อศึกษาการเขียน Graphical User interface ด้วยภาษา C#

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ออกแบบและจำลองเครือข่ายเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นโดยให้มีการรับส่งข้อมูลกับส่วนจัดเก็บข้อมูลแบบไร้สายโดยใช้โมดูล ZigBee ในปริญญานิพนธ์ประกอบด้วยสองส่วนหลัก คือ ส่วนที่หนึ่งคือส่วนของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น ส่วนที่สองคือส่วนจัดเก็บข้อมูลและแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั้งสองส่วนนี้จะรับส่งข้อมูลผ่าน ZigBee และทำการสร้างเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นให้เชื่อมต่อกับโมดูล ZigBee โดยเขียนควบคุมโปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์ และในส่วนจัดเก็บข้อมูลจะทำการเขียนโปรแกรมเพื่อจัดเก็บและแสดงผล และต่อวงจรภาคส่งกับหลอดไฟและพัดลมดูดอากาศเพื่อใช้ในการควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย (Broadband Wireless Access Technologies)

ในปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีหลายแบบสำหรับการเข้าใช้บรอดแบนด์ไร้สายโดยองค์กรมาตรฐานระดับนานาชาติ การพัฒนาเทคโนโลยีมีลักษณะเป็นการปรับปรุงเทคโนโลยีเดิมให้สามารถเข้าใช้บรอดแบนด์ไร้สายได้ หรือเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่สำหรับบรอดแบนด์ไร้สาย เทคโนโลยีบรอดแบนด์นำมาใช้ตามลักษณะของโครงข่าย (Network) ดังนี้

2.1.1 โครงข่ายรอบตัวบุคคล (Personal Area Network: PAN)

เทคโนโลยี WPAN ถูกกำหนดให้อยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.15 และมีมาตรฐานย่อย IEEE 802.15.1 ที่เป็นมาตรฐานเฉพาะของเทคโนโลยีบลูทูธ (Bluetooth) ซึ่งในขั้นต้นได้เสนอมาตรฐานนี้โดยร่วมกันของผู้ผลิตจากหลายบริษัท โดยการใช้งานในปัจจุบันนั้น การส่งข้อมูลด้วย Bluetooth สามารถใช้การส่งผ่านสาย (Cable) และมีระยะการส่งถึง 20 เมตร ต่อมามีการเสนอมาตรฐาน IEEE 802.15.3a เป็นมาตรฐานสำหรับระบบ Ultra Wide Band (UWB) ซึ่งเป็นระบบเครือข่ายที่มีอัตราการรับส่งข้อมูลใกล้ (ไม่เกิน 20 เมตร) ซึ่งมาตรฐาน IEEE 802.15.3a ยังไม่มีความสมบูรณ์และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ส่วนมาตรฐาน IEEE 802.15.4 เป็นมาตรฐานระบบ ZigBee ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีความซับซ้อนน้อย ออกแบบมาเพื่อเป็นโครงข่ายไร้สายสำหรับอุปกรณ์ควบคุมในโรงงานอุตสาหกรรม

2.1.2 โครงข่ายท้องถิ่น (Local Area Network: LAN)

มาตรฐาน IEEE 802.11 WLAN หรือแลนไร้สาย เป็นที่รู้จักกันทั่วไปในนามเทคโนโลยี Wifi และเป็นที่นิยมกันมาก มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้รับการตีพิมพ์ครั้งแรกในปี พ.ศ. 2540 ซึ่งอุปกรณ์ตามมาตรฐานดังกล่าวจะมีความสามารถในการส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 1 และ 2 Mbps ด้วยสื่ออินฟราเรด (Infrared) หรือคลื่นวิทยุความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz เนื่องจากมาตรฐาน IEEE 802.11 เวอร์ชันแรกมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำและไม่มีการรองรับ Quality of service (QoS) ซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาด อีกทั้งกลไกการรักษาความปลอดภัยที่ใช้ยังมีช่องโหว่อยู่มาก IEEE จึงได้จัดตั้งคณะทำงาน (Task Group) ขึ้นมาหลายชุดด้วยกันเพื่อทำการปรับปรุงเพิ่มเติมมาตรฐานให้มีศักยภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงขึ้น โดยคณะกรรมการกลุ่มที่มีผลงานน่าสนใจและเป็นที่รู้จักกันดีได้แก่ IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11e, IEEE 802.11g, IEEE 802.11i

2.1.3 เครือข่ายครอบคลุมพื้นที่ขนาดกว้าง (Metropolitan Area Network: LAN)

เครือข่ายแมนไร้สาย หรือ WMAN เป็นเครือข่ายไร้สายครอบคลุมพื้นที่ขนาดกว้าง เช่น เมือง ผู้ให้บริการโทรศัพท์ ผู้ให้บริการเครือข่าย T1 หรือ T3 เพื่อเชื่อมโยงไซต์ต่างๆ หรือ แคมปัสขนาดใหญ่ หน่วยงาน IEEE ออกมาตรฐานเทคโนโลยี WMAN ชุดใหม่ ซึ่งมาตรฐานเทคโนโลยีที่รู้จักกันเป็นอย่างดี คือ IEEE 802.16d หรือ WiMAX ทำงานที่ช่วงความถี่ 2-11 kHz (ในอเมริกาจะทำงานที่คลื่นความถี่ 2.5, 3.5 และ 5.8 GHz) ทั้งนี้ในทางทฤษฎีแล้ว WiMAX รองรับความเร็วสูงสุดที่ 70 Mbps ครอบคลุมพื้นที่มากกว่า 50 กิโลเมตร

2.1.4 โครงข่ายที่มีพื้นที่ครอบคลุมในการให้บริการที่กว้างขวาง (Wide Area Network: WAN)

มาตรฐาน IEEE 802.16 เป็นมาตรฐานเทคโนโลยีล่าสุดมาตรฐานหนึ่งที่กำหนดสำหรับ BWA (Broadband Wireless Access) ซึ่งถือว่าเป็นโครงข่ายที่มีพื้นที่ครอบคลุมในการให้บริการที่กว้างขวางพัฒนาขึ้นโดย IEEE ของสหรัฐอเมริกา โดยภาคอุตสาหกรรมซึ่งประกอบด้วยผู้ผลิตอุปกรณ์ ผู้พัฒนา Chipset และผู้ประกอบการได้รวมตัวกันก่อตั้ง WiMAX Forum หรือ Worldwide Interoperability for Microwave Access Forum เป็นองค์กรที่ไม่แสวงหาผลกำไรมีเป้าหมายเพื่อนสนับสนุนและพัฒนาอุปกรณ์เครือข่ายให้มาตรฐานในกลุ่ม IEEE 802.16 เป็นไปในแนวทางเดียวกัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้อุปกรณ์จากผู้ผลิตต่างๆสามารถใช้งานร่วมกันได้ เกิดความกลมกลืนของมาตรฐานและมีราคาเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้น IEEE 802.16 จึงมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า WiMAX

BWA เป็นระบบเครือข่ายที่มีขอบเขตคลอบคลุมพื้นที่กว้างขวางมากกว่า WLAN หรือ Wifi โดยแท้จริงแล้วมาตรฐาน IEEE 802.16 BWA แบ่งได้ 2 แบบคือ มาตรฐาน IEEE 802.16-2004 ซึ่งกำหนดใช้ได้ในลักษณะการเข้าถึงแบบอยู่กับที่ (Fixed Wireless Access) เรียกว่า WMAN และมาตรฐาน IEEE 802.16e ซึ่งเป็นการปรับปรุงพัฒนามาจากมาตรฐาน IEEE.16-2004 โดยวัตถุประสงค์ของมาตรฐาน IEEE 802.16e เพื่อให้ใช้งานในขณะที่มีการเคลื่อนที่ และมีประสิทธิภาพการ Roaming ข้ามเซลล์ที่ดีกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีกหนึ่งมาตรฐานในส่วนของ BWA คือ มาตรฐาน IEEE 802.20 Mobile Broadband Wireless Access (MBWA) ซึ่งกำหนดให้ใช้งานบนพื้นฐานโครงข่าย IP (Internet Protocol) มีการเชื่อมต่อผ่านอากาศแบบแพ็คเก็ต (Packet) แต่อย่างไรก็ตามผู้กำหนดมาตรฐานมีความต้องการให้มาตรฐานนี้เข้าได้กับมาตรฐานอื่นๆที่มีอยู่ด้วยเป็นเทคโนโลยีที่กำหนดสำหรับอุปกรณ์เคลื่อนที่ความเร็วสูง (High Speed Mobile)

2.2 ZigBee

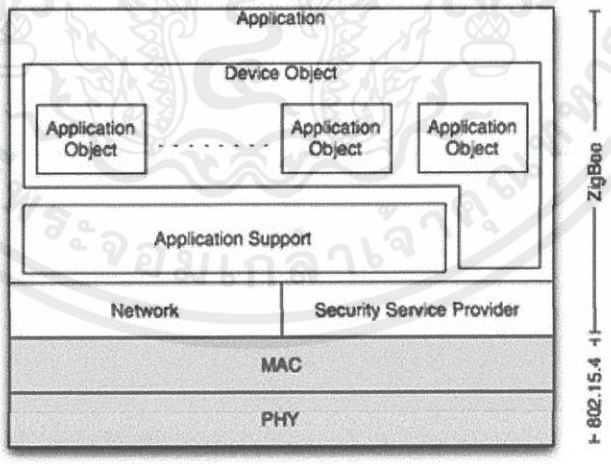
เทคโนโลยี ZigBee เป็นการสื่อสารที่ออกแบบขึ้นสำหรับการสื่อสารในเครือข่ายเซ็นเซอร์แบบไร้สาย (Wireless Sensor Network) โดยเริ่มจากการกำหนดมาตรฐานการรับ-ส่งข้อมูลแบบ IEEE 802.15.4 ที่เน้นการสื่อสารแบบประหยัดพลังงาน ความเร็วการรับส่งข้อมูลต่ำและมีราคาถูก การสื่อสารลักษณะนี้ได้ถูกนำมาใช้สำหรับการสื่อสารระหว่างเครื่องตรวจวัดหรือเซ็นเซอร์ ที่ต้องการสื่อสารแบบไร้สายเพื่อลดความยุ่งยากซับซ้อนสำหรับการติดตั้ง เช่น บริเวณโรงงานหนึ่งๆ อาจจะต้องใช้เซ็นเซอร์ปริมาณมากและเครื่องรับส่งที่มีราคาถูก และประหยัดพลังงาน โดยการสื่อสารระยะใกล้แบบ ZigBee แตกต่างจากการสื่อสารแบบ บูลทูธ ดังนี้

- มีการเชื่อมต่ออย่างซับซ้อนเพื่อรองรับการเชื่อมต่อสำหรับเครือข่ายขนาดใหญ่
- การใช้งานแบบประหยัดพลังงานเพื่อการใช้งานได้ยาวนาน
- การสื่อสารระยะใกล้ในระยะ 10-1500 เมตร
- เหมาะสำหรับการเฝ้าระวัง (Monitor) และการควบคุม (Control) ใช้งานอุตสาหกรรม งานสิ่งแวดล้อม งานก่อสร้าง และงานทางการแพทย์
- เน้นการสื่อสารข้อมูลที่ความเร็วประมาณ 125-250 กิโลบิตต่อวินาที (Kbps)

มาตรฐานสากล ZigBee กำหนดโดย ZigBee Alliance เป็น การสื่อสารแบบไร้สาย ที่มีอัตราการรับส่งข้อมูลต่ำ ใช้พลังงานต่ำ ราคาถูก จุดประสงค์ก็เพื่อให้สามารถสร้างระบบที่เรียกว่า Wireless Sensor Network ได้ ซึ่งระบบนี้ จะสามารถทำงาน ในร่ม กลางแจ้ง ทนแดด ทนฝน และอยู่ได้ด้วยแบตเตอรี่ก้อนเล็ก (เช่นถ่าน AA 2 ก้อน) นานเป็นเดือน เป็นปี เหมาะสมใช้งานกับพวก monitoring ต่างๆ ZigBee เป็นอุปกรณ์ที่มี Microcontroller และ RF IC อยู่ภายในทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ transceiver (อุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณ) แบบ Half Duplex ย่านความที่ 2.4 GHz มีการจัดการโดยใช้พลังงานต่ำ ใช้งานง่าย มี Interface ที่ใช้รับและส่งข้อมูลกับ ZigBee เป็น UART ของ ZigBee ต่อเข้ากับ UART ของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ZigBee สามารถใช้งานได้ตามมาตรฐาน ZigBee ได้โดยที่ไม่ต้องเขียนโปรแกรมสร้างเครือข่าย ZigBee เลย เพราะว่าทางผู้ผลิตได้จัดทำ Firmware ที่จะโหลดเข้าไปในตัว ZigBee ให้สามารถ Set parameter ผ่าน Software interface (X-CTU หรือโปรแกรมที่เขียนขึ้นเอง) ผ่านทาง AT command โดยใช้ Hyper terminal หรือผ่านทางการรับส่งข้อมูลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างง่ายดาย โดยเมื่อ set ZigBee ให้ทำงานเป็นอุปกรณ์ในเครือข่ายแล้ว จะเรียก ZigBee แต่ละตัวว่าเป็น Node ZigBee นำ Physical Layer และ MAC Layer ของ IEEE 802.15.4 ซึ่งเป็นมาตรฐานการกำหนดการสื่อสารไร้สายแบบ WPAN (Wireless Personal Area Network) มาทำงานใน Layer ที่ต่ำกว่า (2 Layer ล่างสุด) เช่น เรื่องของ ระดับกำลังสัญญาณ, Link Quality, Access control, Security ฯลฯ แต่ใน Layer IEEE 802.15.4 เป็นมาตรฐานของระดับชั้น Physical (PHY) และ Media Access Control (MAC) สำหรับอุปกรณ์ส่งข้อมูลไร้สายที่ต้องการความเร็วในการส่งข้อมูลต่ำ ออกแบบมาเพื่อให้ใช้พลังงานน้อย สำหรับอุปกรณ์ที่ราคาไม่สูง การส่งข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้เพราะมีความถูกต้องสูง และสามารถใช้ได้ทั้งในเครือข่ายแบบ star และ peer-to-peer มีระยะทางที่สามารถส่งข้อมูลได้ประมาณ 10-75 เมตร ขึ้นอยู่กับกำลังที่ใช้ในการส่งข้อมูลและสภาพแวดล้อมตอนที่ส่งและสามารถเลือกความถี่ที่ใช้ได้สามช่วงเพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน มีการเข้ารหัสข้อมูลเพื่อความปลอดภัยของข้อมูลที่จะส่งโดยระบบ Advance Encryption System (AES)



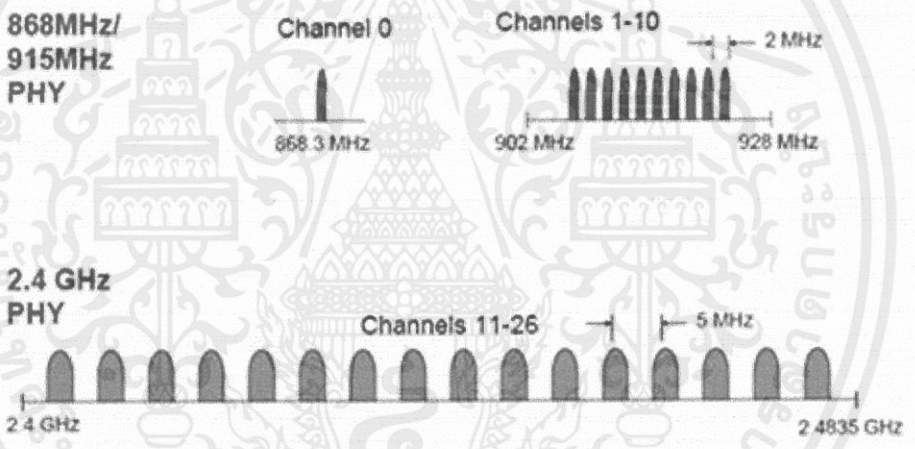
รูปที่ 2.1 ZigBee Stack [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่กล่าวมา ZigBee จะสามารถสร้างเป็นเครือข่ายได้เพราะอิงมาตรฐานตาม IEEE 802.15.4 และมีการจัดการในแบบของ ZigBee ใน Layer ถัดไป ทั้งนี้ IEEE 802.15.4 แบ่งชนิดอุปกรณ์ในเครือข่ายออกเป็น 2 ประเภท คือ FFD (Full Function Device) ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้ทุกอย่างในเครือข่าย และ RFD (Reduce Function Device) ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่ถูกลดความสามารถการทำงานในเครือข่าย

Zigbee กำหนด ย่านความถี่ใช้งานตามมาตรฐานไว้ 3 ย่านความถี่ คือ

- ย่านความถี่ 2.4 GHz มี 16 ช่องสัญญาณ อัตรารับส่งข้อมูล 250 Kbps
- ย่านความถี่ 915 MI lz มี 10 ช่องสัญญาณ อัตรารับส่งข้อมูล 40 Kbps
- ย่านความถี่ 868 MHz มี 1 ช่องสัญญาณ อัตรารับส่งข้อมูล 20 Kbps



รูปที่ 2.2 แสดงย่านความถี่ของ ZigBee [7]

2.2.1 ลักษณะการทำงานแบบเครือข่ายของ ZigBee

ZigBee ได้แบ่งตามลักษณะการทำงาน 3 แบบ คือ

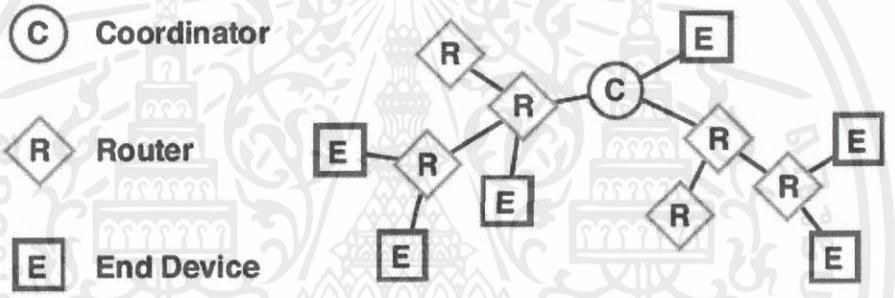
2.2.1.1 Coordinator มีหน้าที่สร้างการสื่อสาร เชื่อมโยงเครือข่าย ระหว่าง End Device กับ Router หรือ Coordinator กับ Coordinator ด้วยกัน หรือ Coordinator กับ Router กำหนด address ให้กับ device ที่อยู่ในวงเครือข่ายไม่ให้ซ้ำกัน ดูแลจัดการเรื่องการ Routing เส้นทาง ซึ่งเทียบได้กับ FFD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

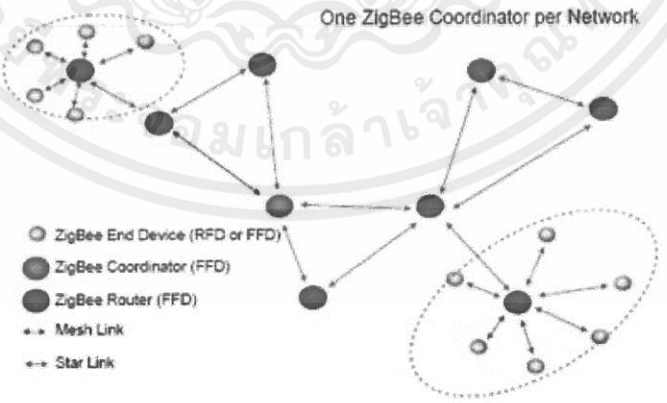
2.2.1.2 End Device เป็นอุปกรณ์ปลายทางสุด ซึ่งจะใช้รับสัญญาณจาก Sensor ที่ปลายทาง โดยที่ใช้พลังงานต่ำในการทำงาน เทียบได้กับ RFD หรือ FFD บางกรณี ขึ้นอยู่กับ sensor ที่ใช้

2.2.1.3 Router มีหน้าที่รับส่งข้อมูลในเส้นทางต่างๆของเครือข่าย ซึ่งเทียบได้กับ FFD

ในการสร้างโครงข่ายไร้สายของ ZigBee นั้นจะประกอบด้วยโหนดจำนวนอย่างน้อยที่สุด 2 ชนิด คือ Coordinator node และ node ลูกข่ายชนิดใดชนิดหนึ่ง (Router/ End Device) จึงจะสามารถสื่อสารและทำงานในรูปแบบของ PAN (Personal area network) ดังรูปที่ 2.3 และ 2.4



รูปที่ 2.3 network topology [7]



รูปที่ 2.4 network topology [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 วิธีการเลือกซื้อ Zigbee

2.2.2.1 การเลือก series

ข้อแตกต่างระหว่าง series1 และ series2 คือ series1 ทำ Mesh Network ไม่ได้ แต่ series2 ทำ Mesh Network ได้ และ series2 จะแบ่งเป็น 2 รุ่นย่อย คือ Znet2.5 และ ZB ซึ่งข้อแตกต่างระหว่าง series2 Znet2.5 และ series2 ZB คือ series2 ZB สามารถทำการอัพเดท Firmware ผ่านอากาศได้

2.2.2.2 การเลือกระยะการรับส่งสัญญาณ

ZigBee จะแยกรุ่นสำหรับเรื่องระยะการรับส่งอย่างชัดเจนด้วยคำว่า "PRO" โดยรุ่นระยะสั้น กำลังส่ง 1-2 mW จะมีระยะการรับส่งประมาณ 100-120 เมตร ส่วนรุ่นระยะไกล "PRO" กำลังส่งจะอยู่ในช่วง 50-60 mW โดยมีระยะประมาณ 1500 เมตร

2.2.2.3 การเลือกแบบของสายอากาศ

ระยะที่ ZigBee รับส่งได้จริงตามที่ Spec บอกไว้ จะขึ้นกับสายอากาศ

รูปที่ 2.5 Chip Antenna

1) Chip Antenna ดังรูปที่ 2.5 เหมาะกับการใช้งานใน โครงงานที่ต้องการขนาดเล็ก เพราะการใช้สายอากาศแบบนี้มีขนาดเล็ก นำไปใส่กล่องได้ แต่ได้เฉพาะกล่องพลาสติก ไม่สามารถใช้กล่องเหล็กได้ เนื่องจากใส่กล่องเหล็กสัญญาณจะไม่สามารถส่งออกมานอกกล่องเหล็กได้ หากต้องใช้กล่องเหล็ก ควรเลือกใช้สายอากาศที่ต่อออกมานอกกล่องเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.6 Wire Antenna

2) Wire Antenna ดังรูปที่ 2.6 ระยะและความเสถียร จะได้ตาม Spec และด้วยสายอากาศที่ยื่นออกมาลักษณะนี้ บางทีผู้ใช้อาจจะรู้สึกไม่สะดวก ทำให้ใส่กล่องที่ออกแบบมาไม่ได้ แต่ถ้าใช้งานแบบทั่วไป แนะนำสายอากศแบบนี้

รูปที่ 2.7 UFL Antenna

3) UFL Antenna ดังรูปที่ 2.7 ระยะและความเสถียร ดังรูปที่ 2.7 จะได้ตาม ประสิทธิภาพหมาะกับ งานที่ออกแบบใส่ในกล่อง และต้องการให้สายอากาศยื่นออกมานอกกล่อง และเนื่องจากการที่ต้องต่อสาย UFL to SMA ออกมาเพิ่มเติม ตรงจุดนี้จะทำให้เกิดการลดทอนสัญญาณ แต่ก็จะมีการขยายสัญญาณที่สายอากาศ จึงต้องไปพิจารณาอัตราขยายที่สายอากาศต่อ (อัตราขยาย เรียกว่า Gain มีหน่วยเป็น dB หรือ dBi)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.8 SMA Antenna

4) SMA Antenna ดังระยะและความเสถียร ดังรูปที่ 2.8 จะได้ตาม Spec ดีที่สุด ต่อใช้งานร่วมกับสายอากาศ จะมีการขยายสัญญาณที่สายอากาศ ในการต่อใช้งานจริง การออกแบบใส่กล่อง จะต้องออกแบบให้มีตำแหน่งของ ZigBee ให้ใกล้กับรูเจาะกล่อง

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติ

Feature	Series1	Series2	Series1 Pro	Series2 Pro
Power Input	3.3V @50mA	3.3V @ 40mA	3.3V @215mA	3.3V @295mA
Max data rate(Air)	250 kbps	250 kbps	250 kbps	250 kbps
Power Output	1mW output(0dbm)	2mW output(+3dbm)	60mW output(+18dbm)	50mW output(+17dbm)
Distance	300ft (100m) range	400ft (120m) range	1 mile (1500m) range	1 mile (1600m) range
Antenna	Wire,Chip,UFL,SMA	Wire,Chip,UFL,SMA	Wire,Chip,UFL,SMA	Wire,Chip,UFL,SMA
Peripheral	6 10-bit ADC input pins 8 digital IO pins	6 10-bit ADC input pins 8 digital IO pins	6 10-bit ADC input pins 8 digital IO pins	6 10-bit ADC input pins 8 digital IO pins
Upgrade firmware	Local	Over-air Configuration(ZB)	Local	Over-air Configuration(ZB)
Network	Point to point and multi-point networks	Point to point / multipoint / mesh network	Point to point and multi-point networks	Point to point / multipoint / mesh network

2.2.3 โหมดการทำงานของ ZigBee

ZigBee จะสามารถแบ่งช่วงการทำงานได้เป็น 5 แบบ คือ

โหมด 1 Idle mode เป็นโหมดที่ไม่ได้มีการรับส่งข้อมูล ตัว ZigBee เตรียมที่จะทำงานในโหมดอื่นๆต่อไปทันทีหากมีเงื่อนไขบางอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมด 2 และ 3 Transmit/Receive mode คือช่วงที่ ZigBee มีการรับหรือส่งข้อมูล โดยจะแบ่งลักษณะการทำงานย่อยออกเป็น Direct กับแบบ Indirectการกำหนด Address ต้นทางปลายทาง Clear Channel Assessment และการตอบรับ Acknowledgement

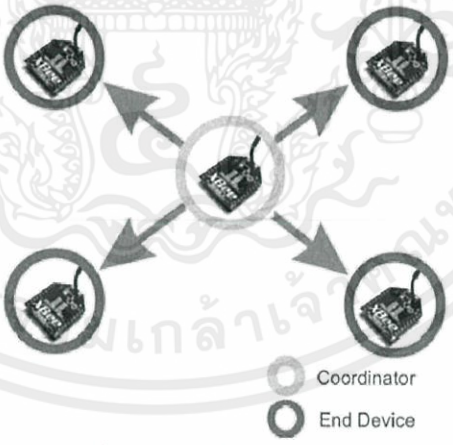
โหมด 4 Sleep mode คือช่วงที ZigBee อยู่ในสถานการณ์การทำงานพลังงานต่ำที่สุด เมื่อไม่มีการใช้งาน

โหมด 5 Command mode คือ เป็นส่วยการปรับ parameter ของ ZigBee ซึ่งจะมีการกำหนด 2 แบบ คือ AT command กับแบบ API command

2.2.4 การตั้งค่า ZigBee

2.2.4.1 Star (Broadcast)

การเชื่อมต่อแบบ Star (รูปที่ 2.9) หรือ แบบ Broadcast เป็นการรับส่งข้อมูลแบบไม่เฉพาะเจาะจง จุดหมายปลายทาง หรือ ZigBee ทุกตัวที่อยู่ในระบบเครือข่ายเดียวกันสามารถรับข้อมูลทุกข้อมูลได้ทุกตัว การใช้งานแบบ Star จะประกอบไปด้วย ZigBee ที่ทำงานเป็น 2 รูปแบบคือ แบบที่1 เป็น Coordinator ทำหน้าที่สร้างเครือข่ายและแบบที่ 2 เป็น End Device ทำหน้าที่เป็นลูกข่าย



รูปที่ 2.9 การเชื่อมต่อแบบ Star

การตั้งค่าที่ตัว Coordinator

- ตั้ง PAN (Personal Area Network) สามารถตั้งได้ตามแต่ผู้ใช้จะกำหนด
- กำหนด Destination (จุดหมายที่ต้องการ รับส่งข้อมูลด้วย) โดย ตั้งค่า

DH = 00, DL = FFFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

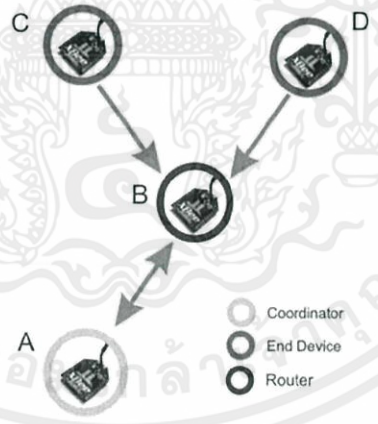
- ตั้งชื่อโหนดโดย NI= (ชื่อโหนดที่ต้องการตั้ง เช่น CO เป็นต้น)

การตั้งค่าที่ตัว End Device

- ตั้ง PAN (Personal Area Network) จะต้องตั้งให้เหมือนกับ Coordinator
- กำหนด Destination (จุดหมายที่ต้องการ รับส่งข้อมูลด้วย) โดย ตั้งค่า DH = 00, DL = 00
- ตั้งชื่อโหนดโดย NI= (ชื่อโหนดที่ต้องการตั้ง เช่น EN1 เป็นต้น)

2.2.4.2 Cluster Tree

การเชื่อมต่อแบบ Cluster Tree (รูปที่ 2.10) เป็นการรับส่งข้อมูล แบบส่งผ่าน เช่น A ต้องการติดต่อกับ C แต่ C อยู่ไกลจาก A จน A ไม่สามารถ ติดต่อกับ C ได้ แต่พอดีมี B ที่อยู่ระหว่าง A กับ C ดังนั้น Cluster Tree จะใช้ B เป็นเหมือน ตัวกลาง เชื่อมการติดต่อ (Repeater) ระหว่าง A กับ C มีการใช้งาน ZigBee อยู่ 3 ลักษณะด้วยกันคือ Coordinator, End Device, Routers



รูปที่ 2.10 การเชื่อมต่อแบบ Cluster Tree

การตั้งค่าที่ตัว Coordinator

- ตั้ง PAN (Personal Area Network) สามารถตั้งได้ตามแต่ผู้ใช้จะกำหนด
- กำหนด Destination (จุดหมายที่ต้องการ รับส่งข้อมูลด้วย) โดย ตั้งค่า
- DH = ค่า SH ของ End Device, DL = ค่า SL ของ Coordinator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตั้งชื่อโหนดโดย NI= (ชื่อโหนดที่ต้องการตั้ง เช่น CO เป็นต้น)

การตั้งค่าที่ตัว End Device

- ตั้ง PAN (Personal Area Network) จะต้องตั้งให้เหมือนกับ Coordinator
- กำหนด Destination (จุดหมายที่ต้องการ รับส่งข้อมูลด้วย) โดย ตั้งค่า
  DH = ค่า SH ของ Coordinator, DL = ค่า SL ของ End Device
- ตั้งชื่อโหนดโดย NI= (ชื่อโหนดที่ต้องการตั้ง เช่น EN1,EN2 เป็นต้น)

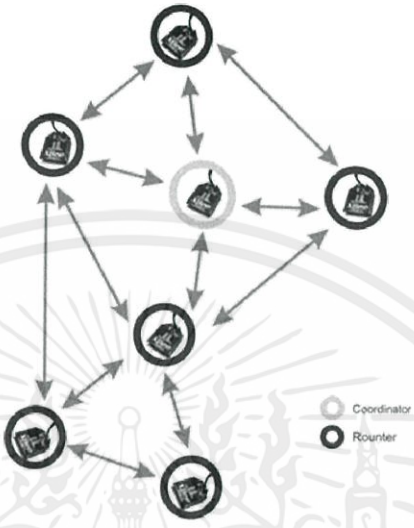
การตั้งค่าที่ตัว Router

- ตั้ง PAN (Personal Area Network) จะต้องตั้งให้เหมือนกับ Coordinator
- กำหนด Destination (จุดหมายที่ต้องการ รับส่งข้อมูลด้วย) โดย ตั้งค่า
  DH = 00, DL = 00
- ตั้งชื่อโหนดโดย NI= (ชื่อโหนดที่ต้องการตั้ง เช่น RO1,RO2 เป็นต้น)

2.2.4.3 Mesh

การเชื่อมต่อเครือข่ายแบบ Mesh (แสดงในรูปที่ 2.11) เป็นโครงข่ายที่มีประสิทธิภาพสูงเนื่องจาก ข้อมูลสามารถส่งไปถึงเป้าหมายได้หลายทาง ทำให้ระบบนี้สามารถรับส่งข้อมูลไปยังจุดหมายปลายทางได้ แม้จะเกิดความเสียหายของระบบในบางส่วนก็ตาม (ขึ้นอยู่กับการออกแบบระบบของผู้ใช้ด้วย) ระบบนี้จึงเป็นระบบที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก มีการใช้งาน ZigBee อยู่ 2 ลักษณะด้วยกันคือ Coordinator, Routers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 การเชื่อมต่อแบบ Mesh

การตั้งค่าที่ตัว Coordinator

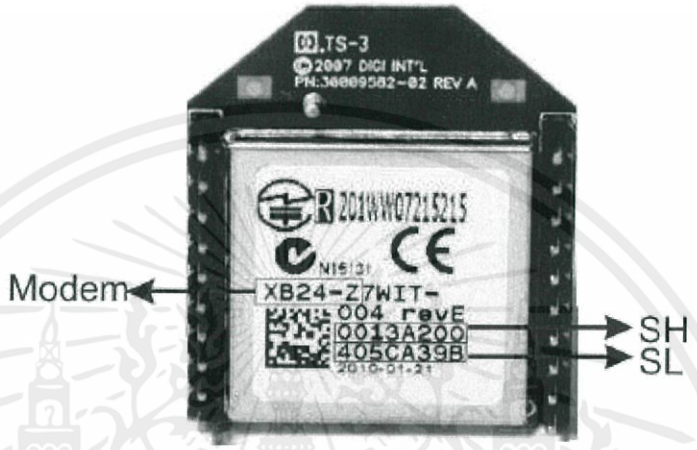
- ตั้ง PAN (Personal Area Network) สามารถตั้งได้ตามแต่ผู้ใช้จะกำหนด
- กำหนด Destination (จุดหมายที่ต้องการ รับส่งข้อมูลด้วย) โดย ตั้งค่า
  DH = 00, DL = FFFF
- ตั้งชื่อโหนดโดย NI= (ชื่อโหนดที่ต้องการตั้ง เช่น CO เป็นต้น)

การตั้งค่าที่ตัว Router

- ตั้ง PAN (Personal Area Network) จะต้องตั้งให้เหมือนกับ Coordinator
- กำหนด Destination (จุดหมายที่ต้องการ รับส่งข้อมูลด้วย) โดย ตั้งค่า
  DH = 00, DL = 00
- ตั้งชื่อโหนดโดย NI= (ชื่อโหนดที่ต้องการตั้ง เช่น RO1,RO2 เป็นต้น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่า SH, SL, MODEM แสดงในรูป 2.12



รูปที่ 2.12 การหาค่า SH, SL, MODEM

MODEM ZigBee XB24-ZB

SH =13A200

SL = 405CA39B

2.2.4.4 การตั้งค่าเพิ่มความปลอดภัยให้กับระบบเครือข่ายและการตั้งค่าอื่นๆ

การตั้งค่าความปลอดภัยของรับบให้กำหนดที่ EE (Encryption Enable) = 1 Encryption Enable ตามด้วยการตั้งรหัส KY (Link Key) = (ใส่ข้อมูลที่เราต้องการนำไปใช้เข้ารหัส เป็นเลขฐานสิบหก จำนวน 16 byte) โดยทำการตั้งค่านี้กับ ZigBee ในเครือข่ายทุกตัว

การตั้งค่า Sleep mode สามารถใช้ได้เฉพาะ End device ทำให้สามารถประหยัดพลังงานมากยิ่งขึ้นโดยค่า SM = 4 คือการ Sleep แบบ Cyclic sleep จะทำงานและหยุดทำงานสลับกันไปอยู่ตลอดเวลา และจะขึ้นมาทำงานเมื่อถูกกระตุ้นผ่านทาง UART หรือได้รับข้อมูลจาก Coordinator หรือโหนดอื่นๆที่ทำการส่งข้อมูลผ่าน สามารถกำหนดรายละเอียดต่างๆได้เพิ่มเติม เช่น ST= หากไม่มีการทำงานนานเท่าไรจึงจะเข้า sleep mode, SP=เวลาในการหลับการตื่นสลับกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์

PIC คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์อีกตระกูลหนึ่งย่อมาจากคำว่า"Peripheral Interface Controller" ซึ่งแนวคิดของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ ก็คือ พยายามรวมเอาทุกอย่างเอาไว้ในตัวของมัน ไม่ว่าจะเป็น Program memory, Ram, EEPROM, Serial, I2C, PWM, A/D ฯลฯ โดยไม่จำเป็นต้องต่ออุปกรณ์เสริมจากภายนอกในตัวของ PIC จะมีฟังก์ชันที่ใช้ในการประมวลผล รวมทั้งหน่วยความจำทำให้มันเหมือนกับ ซีพียู ตัวหนึ่งเลยทีเดียว ความเร็วของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ภาคของความถี่สัญญาณนาฬิกา ปัจจุบันสามารถทำสัญญาณนาฬิกา ได้ที่ 20 MHz ซึ่งทำให้หนึ่งคำสั่งของ PIC ใช้เวลาเพียง 0.25 µS แต่อย่างไรก็ตาม มีบริษัทอื่นได้ซื้อลิขสิทธิ์ PIC จาก ไมโครชิพ และได้สร้างชิพที่มีความเร็วได้มากกว่าเดิมขึ้นไปอีก หน่วยความจำของ PIC มีขนาดหลายสิบกิโลไบต์ และมีแนวโน้มว่าจะขยายได้ใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ ในเรื่องของการนับขนาดของหน่วยความจำของ PIC จะนับไม่เหมือนปกติ โดยที่หนึ่งคำสั่งของ PIC จะมีขนาด 14 บิต ดังนั้นจะเรียกว่า 1 word ของ PIC จะมีขนาด 14 บิต เช่น PIC16F877A ระบุได้ว่ามีหน่วยความจำ 2 กิโลไบต์ ซึ่งหมายถึง 2 K word ถ้าคำนวณให้เป็นในรูปแบบ 1 ไบต์ = 8 บิต จะได้ว่า 1 × 1,024 × 14 = 14,336 บิตดังนั้นก็คือ 14,336/(8 × 1,024) = 1.75 กิโลไบต์ นั่นเอง สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ตอนนี้มี 3 สายหลักๆ คือ ขึ้นต้นด้วย 16xxx, 17xxx และ 18xxx ถ้าพูดถึงคุณสมบัติที่เหนือกว่าเรียงจากน้อยสุดไปมากสุดก็คือ 16 -> 17 -> 18 คำสั่ง แอสแซมบลี ของ 17 และ18 จะมีมากกว่า 16 ทำให้เขียนโปรแกรมได้ง่ายกว่า ราคาก็จะสูงกว่าด้วย แต่ที่เป็นที่นิยมก็คือ ตระกูล 16xxx สรุปแนวคิดสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC จะยึดถือการออกแบบที่ว่ารวมทุกอย่างไว้ในชิพตัวเดียว โดยไม่ต้องต่ออุปกรณ์ใด ๆ เพิ่มเติมผลที่ตามมาก็คือแผ่นวงจรจะมีขนาดเล็กและอุปกรณ์ที่ใช้จะไม่มาก บางงานอาจจะใช้แค่ PIC เพียงตัวเดียวโดยไม่ต้องใช้ชิพอื่นมาเพิ่มเติมเลย นี่คือคุณสมบัติพิเศษของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ซึ่งปัจจุบันหลายบริษัทที่ผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์ก็เริ่มจะหัดมาเลียนแบบแนวทางนี้ แต่ทุกอย่างย่อมมีข้อดีและข้อเสียเนื่องจากแนวคิดที่จะรวมทุกอย่างไว้ในชิพเดียวทำให้โปรแกรมหน่วยความจำและข้อมูลหน่วยความจำไม่สามารถขยายโดยใช้กับหน่วยความจำภายนอกได้ PIC จึงเหมาะสำหรับงานเล็ก ๆ ไม่ใช่งานใหญ่ ๆ ที่ต้องใช้การคำนวณและหน่วยความจำมาก ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 PIC รุ่น PIC18F4620

รูปที่ 2.13 ลักษณะภายนอกของ Microcontroller รุ่น PIC18F4620

2.4.1.1 คุณสมบัติต่างๆของ PIC18F4620

1) ซีพียูเป็นแบบRISC (Reduced Instruction-Set Computer)
2) มีคำสั่งใช้งาน 35 คำสั่ง
3) ทำตามคำสั่งโดยใช้สัญญาณ 1 ลูก
4) ทำงานด้วยความถี่สัญญาณนาฬิกาตั้งแต่ไฟตรงถึง40 MHz
5) หน่วยความจำโปรแกรม 64 KB
6) หน่วยความจำข้อมูลแรมหรือรีจิสเตอร์ 3968 Bytes
7) หน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอม 1024 Bytes
8) มีการตอบสนองสัญญาณอินเตอร์รัปต์
9) มีวงจรเพาเวอร์ออนReset (POR)
10) มีเพาเวอร์อัปไทเมอร์ (PWRT)
11) ออสซิลเลเตอร์สตาร์ตอัปไทเมอร์ (OST)
12) วงจรวอตซ์ด็อกไทเมอร์ (WDT) วงจรออสซิลเลเตอร์ในตัว
13) เลือกป้องกันข้อมูลทั้งในหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลได้
14) สามารถโปรแกรมแรงดัน +5 V
15) แก้ไขตัวโปรแกรมในหน่วยความจำผ่านพอร์ทเพียง 2 ขา ด้วยกระบวนการ ICD (In-Circuit Debugger)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16) ซีพียูสามารถอ่านและเขียนหน่วยความจำโปรแกรมได้

17) ใช้ไฟเลี้ยงที่ใช้งานตั้งแต่ +2 V ถึง +5.5 V

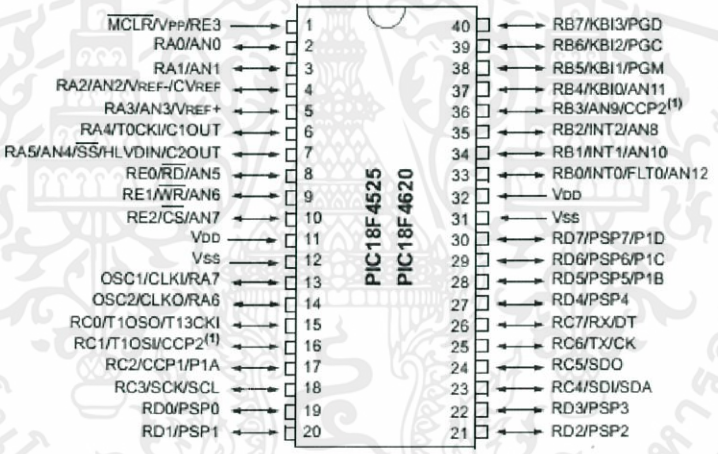
2.4.1.2 คุณสมบัติพิเศษ

1) วงจรแปลงสัญญาณ analog เป็น digital 10 bit สูงสุด 13 ช่อง

2) วงจรเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมทั้ง SPI และ I²C

3) วงจรสื่อสารข้อมูลอนุกรม (USART) พร้อมการตรวจจับแอดเดรส

4) วงจรตรวจจับระดับแรงดันไฟเลี้ยง (Brown-out detection) เพื่อResetซีพียู หรือ BOR (Brown-out Reset)



รูปที่ 2.14 ตำแหน่งขาของ Microcontroller รุ่น PIC18F4620

2.3 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น SHT15

เป็นโมดูลวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มีขนาดเล็กและเพื่อความสะดวกในการใช้งาน จึงได้ติดตั้งลงบนแผ่นวงจรพิมพ์และต่อคอนเน็คเตอร์ 5 ขา เพื่อให้สามารถติดตั้งบนแผงวงจรเพื่อทำการทดลองได้ง่าย รวมไปถึงการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงด้วย

2.3.1 คุณสมบัติเบื้องต้น

2.3.1.1 สามารถวัดความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิได้ในเซ็นเซอร์เดียวกัน

2.3.1.2 วัดอุณหภูมิเป็นแบบดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.3 สามารถกำหนดความละเอียดของย่านการวัด

2.3.1.4 มีขนาดเล็กและใช้พลังงานต่ำ ทำงานในย่านแรงดันไฟเลี้ยง +2.4V ถึง +5.5V

2.3.1.3 เสถียรภาพในการทำงานสูง

2.3.2 การจัดขาของเซ็นเซอร์

ตารางที่ 2.2 แสดงการจัดขาของเซ็นเซอร์

ขาที่	ชื่อ	รายละเอียด
1	GND	ขากราวน์
2	DATA	ขาข้อมูลแบบ Serial โดยขานี้จะต้องต่อกับตัวต้านทาน(Resistor) pull-up 4.7k-10k
3	SCK	สัญญาณนาฬิกาสำหรับ synchronize กันระหว่าง microcontroller กับ sensor โดยจะอ่านข้อมูลที่ขอบขาขึ้นของสัญญาณ
4	VDD	ขารับไฟเข้า +2.4 – +5.5V
NC	NC	ไม่ได้ใช้งาน

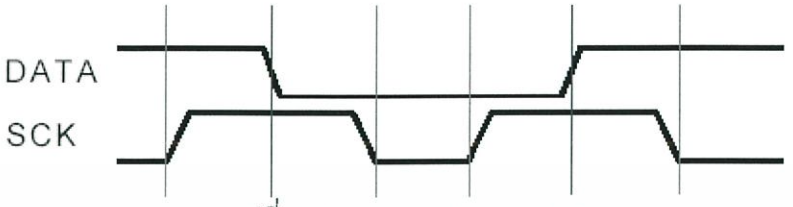
2.4.3 รูปแบบการสื่อสารข้อมูล SHT15

2.4.3.1 การส่งคำสั่ง

ในสภาวะเริ่มต้นก่อนการส่งข้อมูลคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยัง SHT15 ต้องสร้างรูปแบบสัญญาณกระตุ้นผ่านขา SCKและ DATA เพื่อให้ตรงกับเงื่อนไขที่เรียกว่า Transmission start หรือภาวะเริ่มส่งสัญญาณ นั่นคือขา DATA ต้องถูกทำให้เปลี่ยนเป็นลอจิก “0” นาน 1 ของสัญญาณนาฬิกา SCK และหลังจากนั้น SHT15 จะทราบได้ทันทีว่า ข้อมูลต่อจากนี้คือคำสั่ง แสดงในรูปที่ 2.15

- data เปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 ขณะที่ SCK ลูกแรกเป็น 1
- data เปลี่ยนจาก 0 เป็น 1 ขณะที่ SCH ลูกที่สองเป็น 1

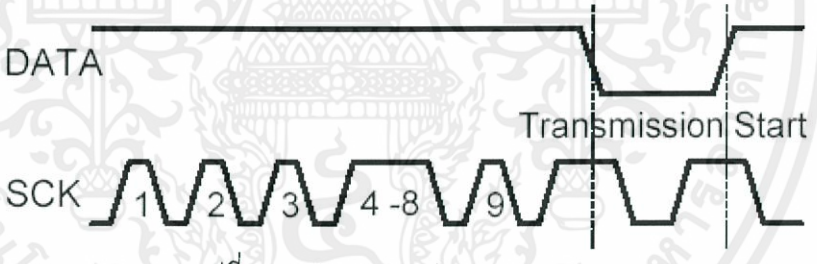
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 Transmission start

2.4.3.2 Command reset sequence

เมื่อต้องมีการเริ่มต้นการเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับโมดูล SHT15 ต้องสร้างสัญญาณรีเซ็ตขึ้นก่อน โดยทำให้ขา DATA มีสถานะลอจิก “1” นานเท่ากับช่วงเวลาที่ป้อนสัญญาณนาฬิกาที่ขา SCK 9 ลูกติดต่อกัน แล้วตามด้วยการสร้างภาวะเริ่มต้นการส่งสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 Command reset sequence

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 คำสั่งในการทำงานและการอ่านข้อมูลจาก sensor

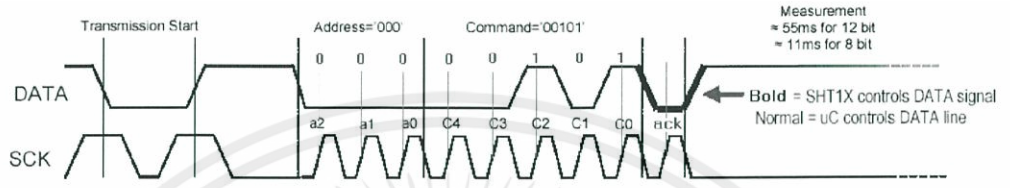
Command	Code	Description
Reserved	0000x	Reserved
Measure Temperature	00011	Temperature measurement
Measure Humidity	00101	Humidity measurement
Status Register Read	00111	Read access to the status register (see application note)
Status Register Write	00110	Write access to the status register (see application note)
Reserved	0101x-1110x	Reserved
Soft reset	11110	Resets the chip, clear the status register to default values
		Wait 11ms before next command

2.4.3.3 Measurement sequence (T and RH)

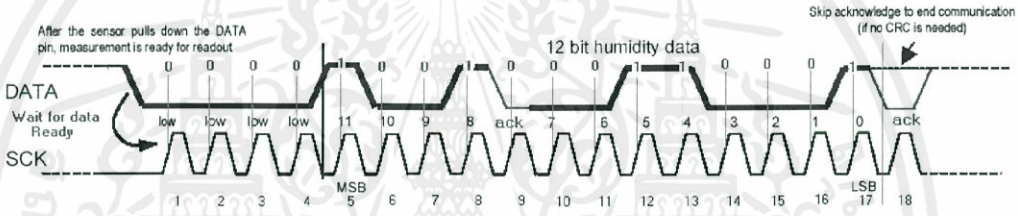
การอ่านข้อมูลดิบของอุณหภูมิหรือความชื้นสัมพัทธ์นั้นทำได้หลังจากสร้างสภาวะเริ่มต้นทีเรียกว่า transmission start แล้วตามด้วยการส่งข้อมูลคำสั่งการอ่านอุณหภูมิหรือความชื้นสัมพัทธ์อย่างใดอย่างหนึ่ง(อุณหภูมิ “00000011” ความชื้น “00000101”)ไปยัง SHT15 โดยเซ็นเซอร์ SHT15 ต้องใช้เวลาในการประมวลผลเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการซึ่งจะใช้เวลา 210/55/11 มิลลิวินาทีสำหรับ 14/12/8 บิท ตามลำดับ แสดงไดอะแกรมเวลาของการอ่านข้อมูลจากโมดูล SHT15 โดยข้อมูลที่ส่งออกมาจากโมดูล SHT15 ประมวลด้วยข้อมูล 2 ไบต์ และสำหรับการตรวจสอบข้อผิดพลาดอีก 1 ไบต์ หรือ CRC checksum โดยไมโครคอนโทรลเลอร์เมื่อรับข้อมูล 1 ไบต์จะต้องส่งสัญญาณรับรู้หรือ Acknowledge ออกมา 1 ลูก (กำหนดให้ขา DATA มีลอจิก“0” บิตนัยสำคัญสูงสุดของข้อมูลจะถูกส่งออกมาก่อนกรณีอ่านค่าแบบ 8 บิต ไบต์แรกจะไม่ถูกใช้งาน การยกเลิกการสื่อสารเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งสัญญาณรับรู้ หลังจากได้รับข้อมูลบิตสุดท้ายของ CRC แล้ว สำหรับกรณีที่ไม่ต้องการตรวจสอบ CRC การยกเลิกการเชื่อมต่อทำได้โดยการไม่ส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

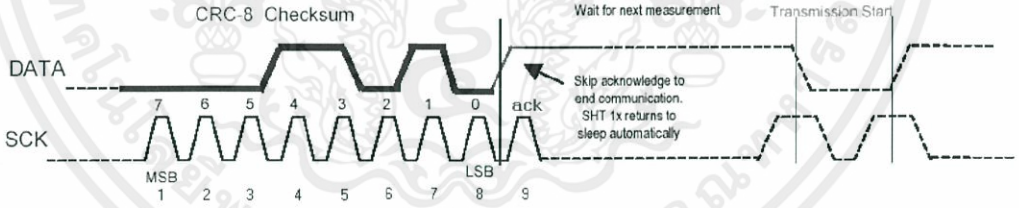
หลังจากรับข้อมูลในไบต์ที่สองแล้ว หลังจากนั้นเพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน SHT15 จะเข้าสู่โหมด SLEEP โดยอัตโนมัติ ดังรูปที่ 2.17 และ 2.18



รูปที่ 2.17 ลักษณะสัญญาณในการอ่านข้อมูลจาก Sensor



รูปที่ 2.18 ลักษณะสัญญาณในการอ่านข้อมูลT/H 2 byte จาก Sensor



รูปที่ 2.19 ลักษณะสัญญาณในการอ่านข้อมูล CRC8 1byte จาก Sensor

2.4.3.4 รีจีสเตอร์แสดงสถานะ

สำหรับฟังก์ชันที่ต้องมีการปรับแต่งพิเศษ จะต้องมีการกำหนดรีจิสเตอร์ STATUS โดยรายละเอียดบิตต่างๆของรีจิสเตอร์ STATUS แสดงดังตารางที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 แสดงหน้าที่ของบิตต่างๆในรีจิสเตอร์ STATUS

บิต	การติดต่อ	รายละเอียด	ค่าเริ่มต้น
7	อ่านเท่านั้น	สงวนไว้ไม่ใช้งาน	0
6	อ่านเท่านั้น	ตรวจสอบไฟเลี้ยง “0” ถ้าแรงดันไฟเลี้ยงมากกว่า 2.47V “1” ถ้าแรงดันไฟเลี้ยงน้อยกว่า 2.47V	ไม่มีค่าเริ่มต้น ขึ้นอยู่กับค่าที่ได้จากการตรวจวัด
5	อ่านเท่านั้น	สงวนไว้ไม่ใช้งาน	0
4	อ่านเท่านั้น	สงวนไว้ไม่ใช้งาน	0
3	อ่านเท่านั้น	ไม่ใช้งานบิตนี้ เนื่องจากเป็นบิตตรวจสอบชิปของผู้ผลิต	0
2	อ่าน/เขียน	เปิดปิดตัวทำความร้อน “0” ปิดตัวทำความร้อนภายในเซ็นเซอร์ “1” เปิดตัวทำความร้อนภายในเซ็นเซอร์	0
1	อ่าน/เขียน	การอ่านค่าปรับแต่งความแม่นยำจากหน่วยความจำ	0
0	อ่าน/เขียน	“0” วัดค่าความชื้น 12 บิต , วัดอุณหภูมิ 14 บิต “1” วัดค่าความชื้น 8 บิต , วัดอุณหภูมิ 12 บิต	0

2.4.3.5 การคำนวณค่าอุณหภูมิ

ในการอ่านค่าอุณภูมิจากโมดูล SHT15 สามารถเลือกความละเอียดในการได้อ่านได้ในแบบ 14 บิต หรือ 12 บิต โดยที่ความละเอียด 14 บิต เป็นค่าตั้งต้น โดยการคำนวณค่าข้อมูลจะต้องอ่านข้อมูลดิบจากโมดูล SHT15 เข้ามาก่อน จากนั้นจึงใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิออกมา โดยคำนวณได้จากสมการ

$$T = d_1 + d_2 \cdot SO_T \qquad (2.1)$$

เมื่อ T คือค่าอุณหภูมิจริง

SO_T คือ serial output Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

d_1 คือค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับไฟเลี้ยงที่ป้อนให้กับขา V_{dd} ของ SHT 15

d_2 คือค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับความละเอียดของอุณหภูมิที่ต้องการจาก SHT15

ตารางที่ 2.5 ค่าคงที่ d_1 และ d_2

V_{dd}	$d_1°C$	$d_1°F$
5V	-40.1	-40.2
4V	-39.8	-39.6
3.5V	-39.7	-39.5
3V	-39.6	-39.3
2.5V	-39.4	-38.9

SO_T	$d_2°C$	$d_2°C$
14bit	0.01	0.018
12bit	0.04	0.072

2.4.3.6 การคำนวณค่าความชื้นสัมพัทธ์

ในการอ่านค่าความชื้นสัมพัทธ์จากเซ็นเซอร์ SHT15 สามารถเลือกความละเอียดในการได้อ่านได้ในแบบ 12 บิต หรือ 8 บิต โดยที่ความละเอียด 12 บิต เป็นค่าตั้งต้น โดยการคำนวณค่าข้อมูลจะต้องอ่านข้อมูลดิบจากโมดูล SHT15 เข้ามาก่อน จากนั้นจึงใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิออกมา โดยคำนวณได้จากสมการ

$$RH_{true} = (T-25)\cdot[t_1 + (t_2 \cdot SO_{RH})] + RH_{linear} \quad (2.2)$$

$$RH_{linear} = c_1 + c_2 \cdot SO_{RH} + c_3 \cdot SO_{RH}^2 \quad (2.3)$$

เมื่อ RH_{true} คือค่าความชื้นสัมพัทธ์จริง

T คือค่าอุณหภูมิที่คำนวณได้จากสมการ 1

SO_{RH} คือ serial output humidity แบบ linear

t_1, t_2 คือค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับการชดเชยของอุณหภูมิ

c_1, c_2, c_3 คือค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับความละเอียดของความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องการจาก SHT15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ค่าคงที่ t_1, t_2 และ c_1, c_2, c_3

SO_{RH}	t_1	t_2
12 bit	0.01	0.00008
8 bit	0.01	0.00128

SO_{RH}	c_1	c_2	c_3
12 bit	-4	0.0405	-2.8×10^{-6}
8 bit	-4	0.648	-7.2×10^{-4}

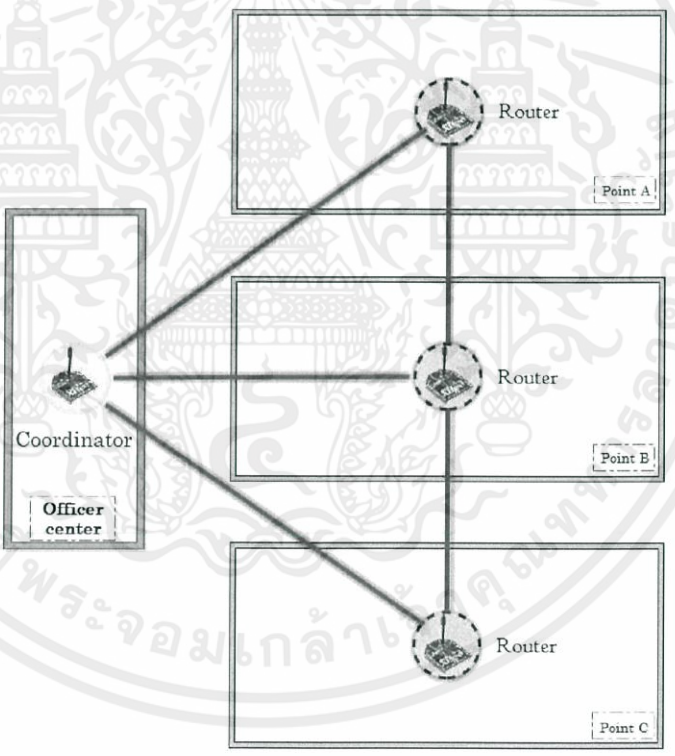
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์

เครือข่ายเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นไร้สายสำหรับโรงเรือนประกอบด้วยเซ็นเซอร์ภาคส่งหลายจุดเชื่อมโยงเป็นเครือข่าย โดยแต่ละจุดก็จะประกอบด้วยเซ็นเซอร์และ ZigBee จะรับค่าและส่งไปแสดงผลที่ส่วนแสดงผลซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับคอมพิวเตอร์

3.1 การออกแบบ

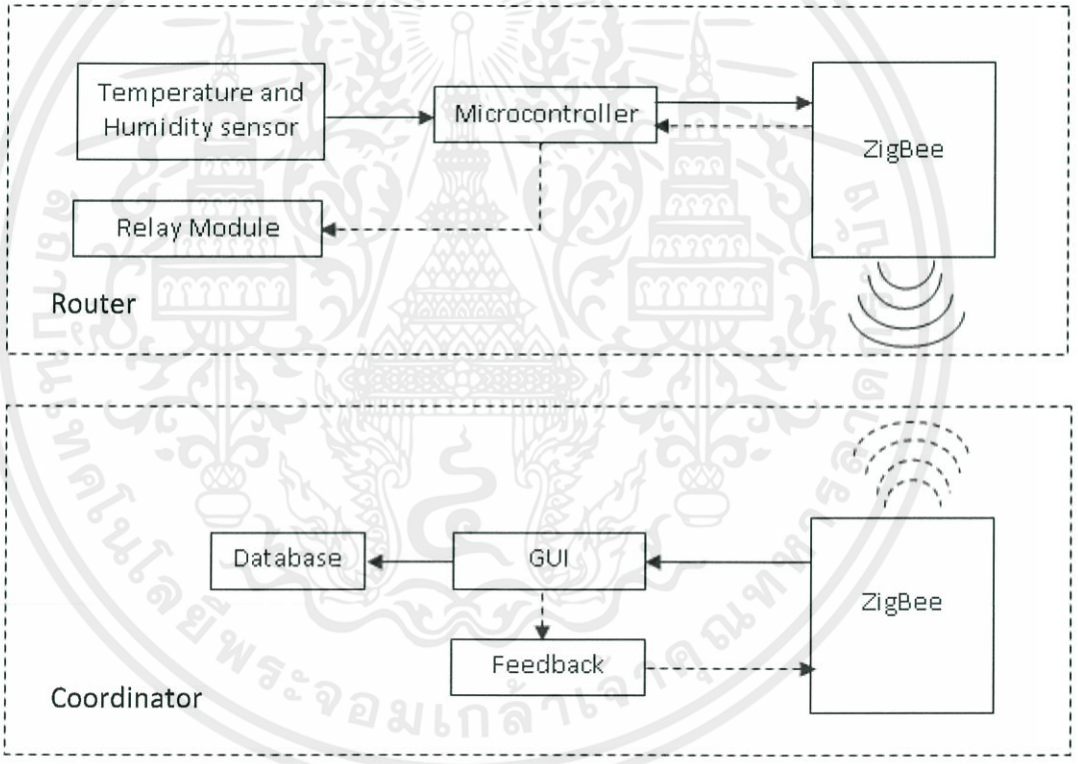


รูปที่ 3.1 การทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายประกอบด้วย ZigBee Router 3 ตัว และ ZigBee Coordinator 1 ตัว ประกอบเป็นเครือข่ายแบบ Mesh ดังรูปที่ 3.1

การออกแบบส่วนของ Router จะใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น SHT15 แล้วนำข้อมูลที่ได้รับมา นำไปประมวลผลใน Microcontroller เมื่อได้ค่าที่ประมวลผลจะส่งไปที่ ZigBee ที่อยู่ในภาคส่ง แล้วจึงส่งมายัง ZigBee Coordinator ที่อยู่ในภาครับซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับคอมพิวเตอร์และจะแสดงผลข้อมูลที่ได้รับมาผ่านโปรแกรมรับค่า นอกจากนี้ยังสามารถส่ง feedback กลับไปควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าซึ่งต่ออยู่กับรีเลย์ในวงจรภาคส่งได้อีกด้วย ดังรูปที่ 3.2

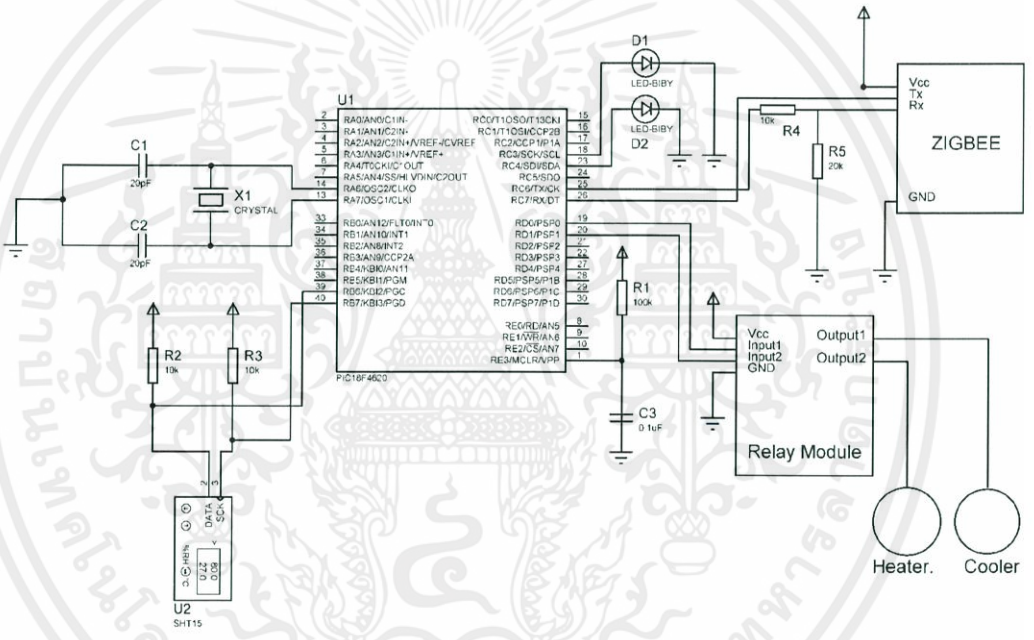


รูปที่ 3.2 Block diagram การทำงานของ Router และ Coordinator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 การออกแบบวงจรด้านส่ง

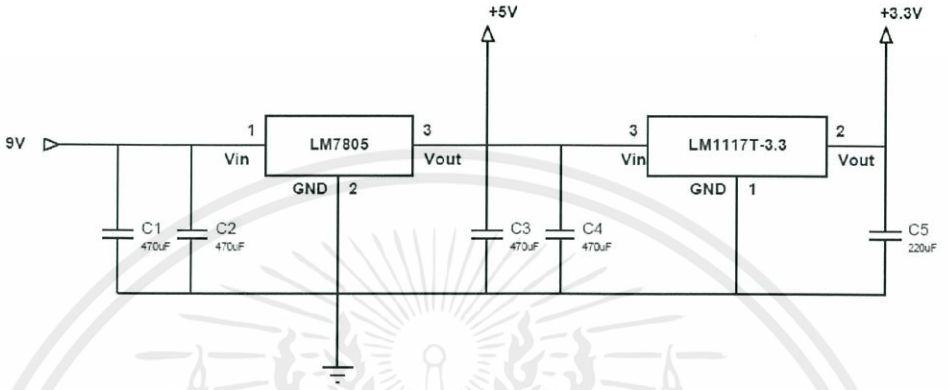
วงจรในภาคส่งจะนำข้อมูลที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ส่งไปเก็บค่าผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F4620 หลังจากนั้นจะส่งข้อมูลไปยังโมดูล ZigBee ที่อยู่บนแผงวงจรภาคส่ง เพื่อส่งค่าไปให้กับภาครับที่ติดต่ออยู่กับคอมพิวเตอร์โดยภาคส่งใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น SHT 15 และยังมีการเชื่อมต่อกับรีเลย์เพื่อส่ง feedback กลับไปควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับวงจรภาคส่ง รูปวงจรภาคส่งแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 วงจรสมบูรณ์ของภาคส่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

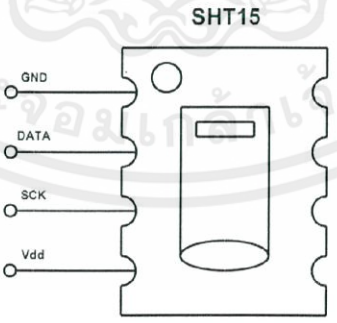
3.1.1.1 วงจรแปลงไฟของแผงวงจรภาคส่ง



รูปที่ 3.4 วงจรแปลงไฟของภาคส่งสัญญาณ

การทำงานของวงจรเริ่มจากการเพิ่มแรงดันขนาด 9 โวลต์ จาก battery ผ่าน IC LM7805 ลดแรงดันให้เหลือ 5 โวลต์ เพื่อจ่ายให้กับไมโครคอลโทรลเลอร์ PIC18F4620 และเซ็นเซอร์ SHT15 แต่เนื่องจากโมดูล ZigBee ต้องการแรงดันขนาด 3.3 โวลต์ ดังนั้นจึงใช้ IC LM1117T-3.3 เพื่อลดแรงดันจาก 5 โวลต์ ให้เหลือ 3.3 โวลต์ แสดงดังรูปที่ 3.4

3.1.1.2 ไอซีวัดอุณหภูมิและความชื้น SHT15

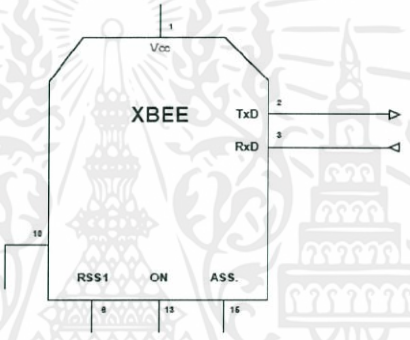


รูปที่ 3.5 การต่อ IC SHT15 เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซ็นเซอร์ SHT15 เป็นโมดูลวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในเซ็นเซอร์เดียวกัน การเชื่อมต่อขาของไอซีวัดอุณหภูมิจะมี 4 ขา ขาแรกเป็นกราวด์ ขาที่สองเป็นขาข้อมูลนำไปต่อกับขา RB4 (ขาที่ 37) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ขาที่สามเป็นขา SCK ซึ่งเป็นสัญญาณนาฬิกาสำหรับ synchronize กันระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับเซ็นเซอร์โดยต่อกับขา RB5 (ขาที่ 38) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ และขาที่ 4 เป็นขาที่รับไฟเลี้ยง ดังรูปที่ 3.5

3.1.1.3 วงจรเชื่อมต่อโมดูล ZigBee



รูปที่ 3.6 การเชื่อมต่อโมดูล ZigBee

โมดูล ZigBee จะทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายโดยต้องการไฟเลี้ยง 3.3 โวลต์ ต่อเข้าที่ขา 1 (Vcc) ขาส่งข้อมูล (TxD) ต่อเข้ากับขารับข้อมูลของไมโครคอลโทรลเลอร์ที่ขา 26 (RxD) ส่วนขารับข้อมูลของโมดูล ZigBee (RxD) ต่อเข้ากับขาส่งข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ขา 25 (TxD) ดังรูปที่ 3.6

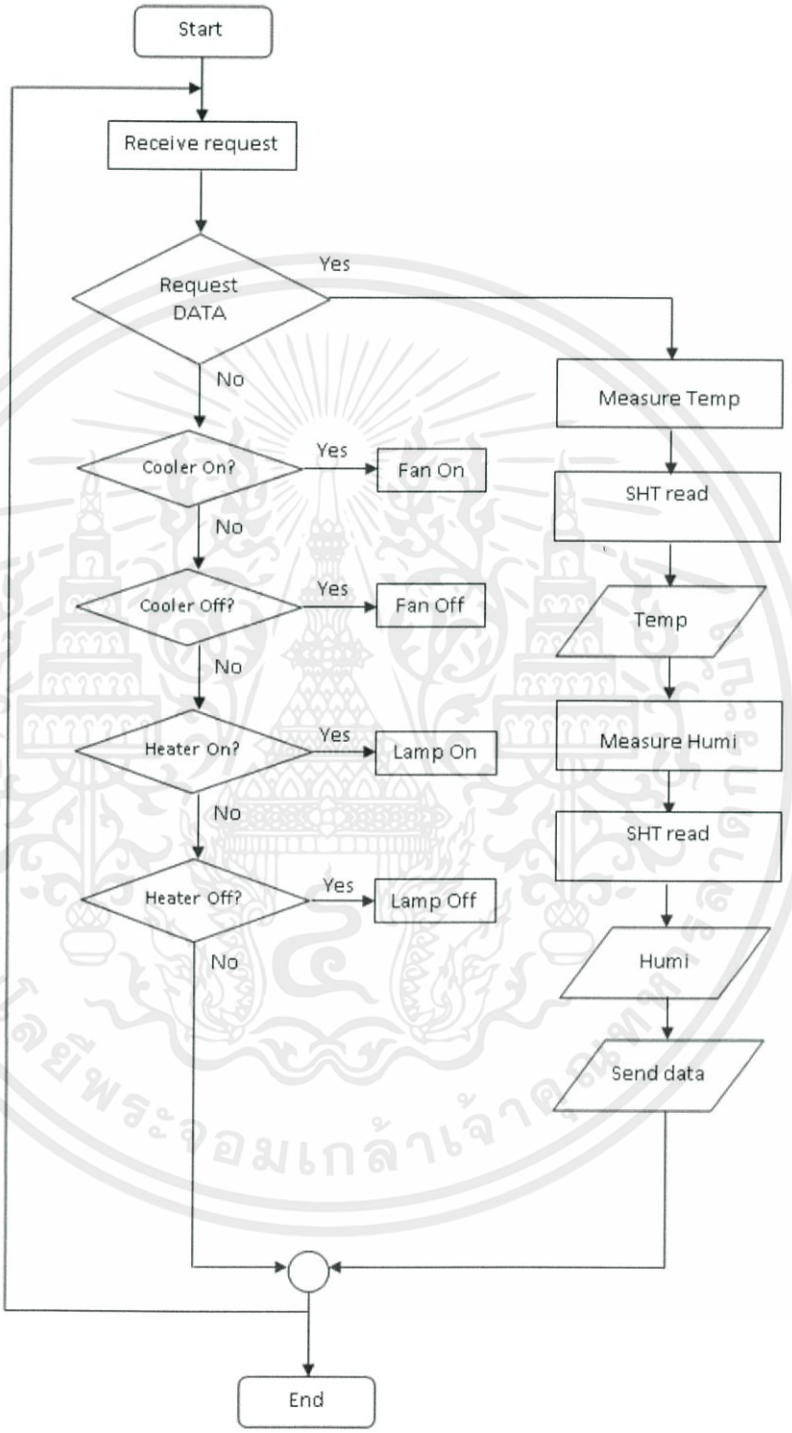
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์

การออกแบบโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ติดต่อสื่อสารกับเซ็นเซอร์ SHT15 ทำการแปลงค่าเป็นข้อมูลดิจิตอล และส่งข้อมูลไปให้โมดูล ZigBee เพื่อส่งสัญญาณไร้สายไปที่ ZigBee ภาครับ

การออกแบบโปรแกรมติดต่อสื่อสารกับเซ็นเซอร์ SHT15 เริ่มต้นด้วยการ Reset การเชื่อมต่อ เพื่อให้ SHT15 พร้อมที่จะเริ่มการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ก่อนจะที่จะส่งสัญญาณ Transmission Start เพื่อเริ่มการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นก็จะสามารถอ่านอุณหภูมิความชื้นจากเซ็นเซอร์ SHT15 ได้ แล้วส่งข้อมูลที่อ่านได้ไปให้ ZigBee เพื่อส่งสัญญาณไร้สายไปให้ ZigBee ภาครับ Flowchart ของโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 Flowchart การทำงานของโปรแกรมภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.1 การคำนวณค่าอุณหภูมิ

ในการอ่านค่าอุณภูมิจากโมดูล SHT15 สามารถเลือกความละเอียดในการได้อ่านได้ในแบบ 14 บิต หรือ 12 บิต โดยที่ความละเอียด 14 บิต เป็นค่าตั้งต้น โดยการคำนวณค่าข้อมูลจะต้องอ่านข้อมูลดิบจากโมดูล SHT15 เข้ามาก่อน จากนั้นจึงใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิออกมา โดยคำนวณได้จากสมการ

$$T = d_1 + d_2 \cdot SO_T \qquad (3.1)$$

เมื่อ T คือค่าอุณหภูมิจริง

SO_T คือ serial output Temperature

d_1 คือค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับไฟเลี้ยงที่ป้อนให้กับขา V_{dd} ของ SHT 15

d_2 คือค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับความละเอียดของอุณหภูมิที่ต้องการจาก SHT15

ตารางที่ 3.1 ค่าคงที่ d_1 และ d_2

V_{dd}	d_1°C	d_1°F
5V	-40.1	-40.2
4V	-39.8	-39.6
3.5V	-39.7	-39.5
3V	-39.6	-39.3
2.5V	-39.4	-38.9

SO_T	d_2°C	d_2°C
14bit	0.01	0.018
12bit	0.04	0.072

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.2 การคำนวณค่าความชื้นสัมพัทธ์

ในการอ่านค่าความชื้นสัมพัทธ์จากโมดูล SHT15 สามารถเลือกความละเอียดในการได้อ่านได้ในแบบ 12 บิต หรือ 8 บิต โดยที่ความละเอียด 12 บิต เป็นค่าตั้งต้น โดยการคำนวณค่าข้อมูลจะต้องอ่านข้อมูลดิบจากโมดูล SHT15 เข้ามาก่อน จากนั้นจึงใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิออกมา โดยคำนวณได้จากสมการ

$$RH_{true} = (T-25)\cdot[t_1 + (t_2 \cdot SO_{RH})] + RH_{linear} \quad (3.2)$$

$$RH_{linear} = c_1 + c_2 \cdot SO_{RH} + c_3 \cdot SO_{RH}^2 \quad (3.3)$$

เมื่อ RH_{true} คือค่าความชื้นสัมพัทธ์จริง

T คือค่าอุณหภูมิที่คำนวณได้จากสมการ (3.1)

SO_{RH} คือ serial output humidity แบบ linear

t_1, t_2 คือค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับการชดเชยของอุณหภูมิ

c_1, c_2, c_3 คือค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับความละเอียดของความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องการจาก SHT15

ตารางที่ 3.2 ค่าคงที่ t_1, t_2 และ c_1, c_2, c_3

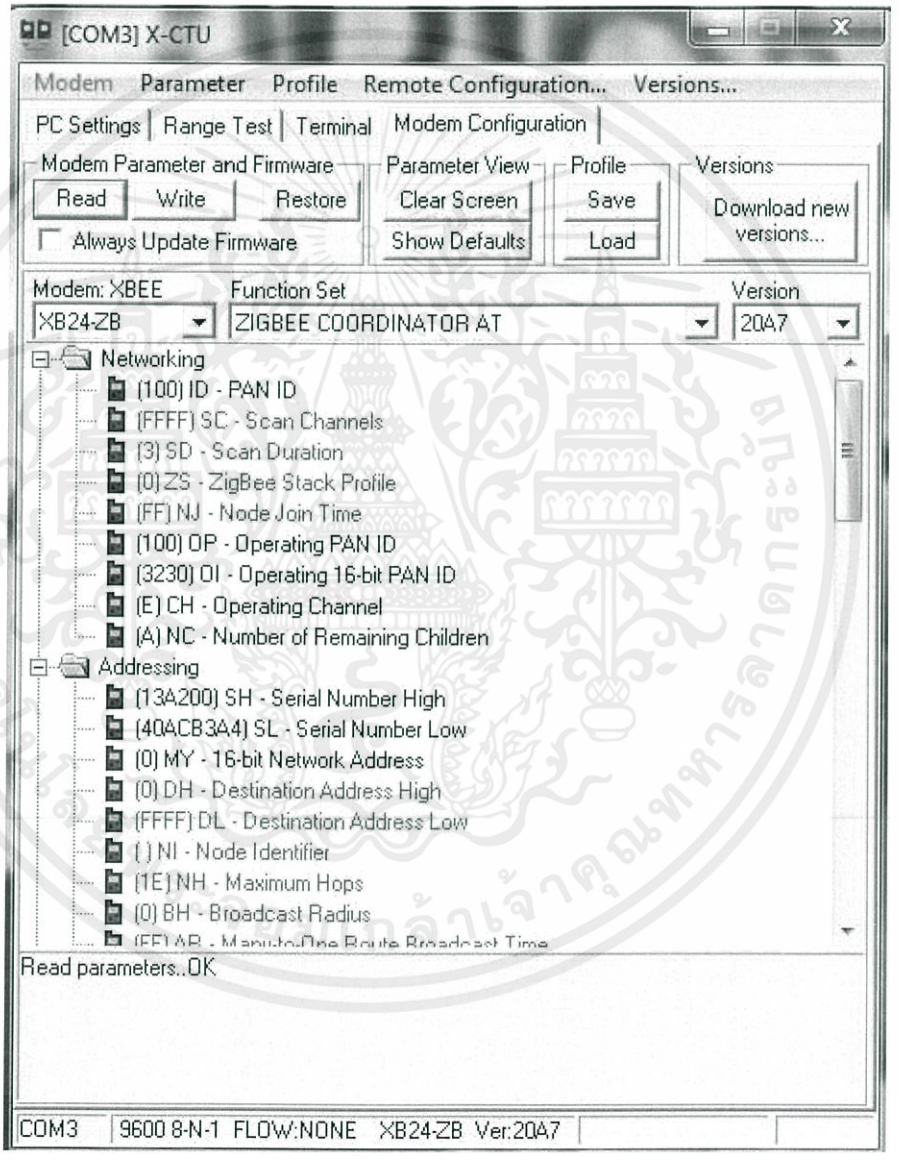
SO_{RH}	t_1	t_2
12 bit	0.01	0.00008
8 bit	0.01	0.00128

SO_{RH}	c_1	c_2	c_3
12 bit	-4	0.0405	-2.8×10^{-6}
8 bit	-4	0.648	-7.2×10^{-4}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การตั้งค่า Configuration ให้แก่โมดูล zigBee S2

3.1.3.1 การกำหนดพารามิเตอร์ให้กับ Coordinator



รูปที่ 3.8 การกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ของ ZigBee Coordinator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้กับ ZigBee ภาครับ ซึ่งทำงานเป็น Coordinator โดยที่โมดูล XBee-S2

ในการติดต่อสื่อสารระหว่างโมดูล XBee-S2 นั้นมีค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจัดการเกี่ยวกับเครือข่ายซึ่งมีพารามิเตอรสำคัญๆที่ต้องกำหนดค่าดังนี้

1) CH (Channel) ใช้ในการกำหนดช่องสัญญาณ กำหนดเป็น 15

2) ID (PAN ID) ใช้กำหนดหมายเลขเครือข่าย กำหนดเป็น 1111 ซึ่งจะสามารถส่งข้อมูลไปยังทุกเครือข่ายได้

3) DH (Destination Address High) ใช้กำหนดแอดเดรสของโมดูลตัวรับกำหนด เป็นค่าของ SH

4) DL (Destination Address Low) ใช้กำหนดแอดเดรสของโมดูลตัวส่งกำหนด เป็นค่าของ SL

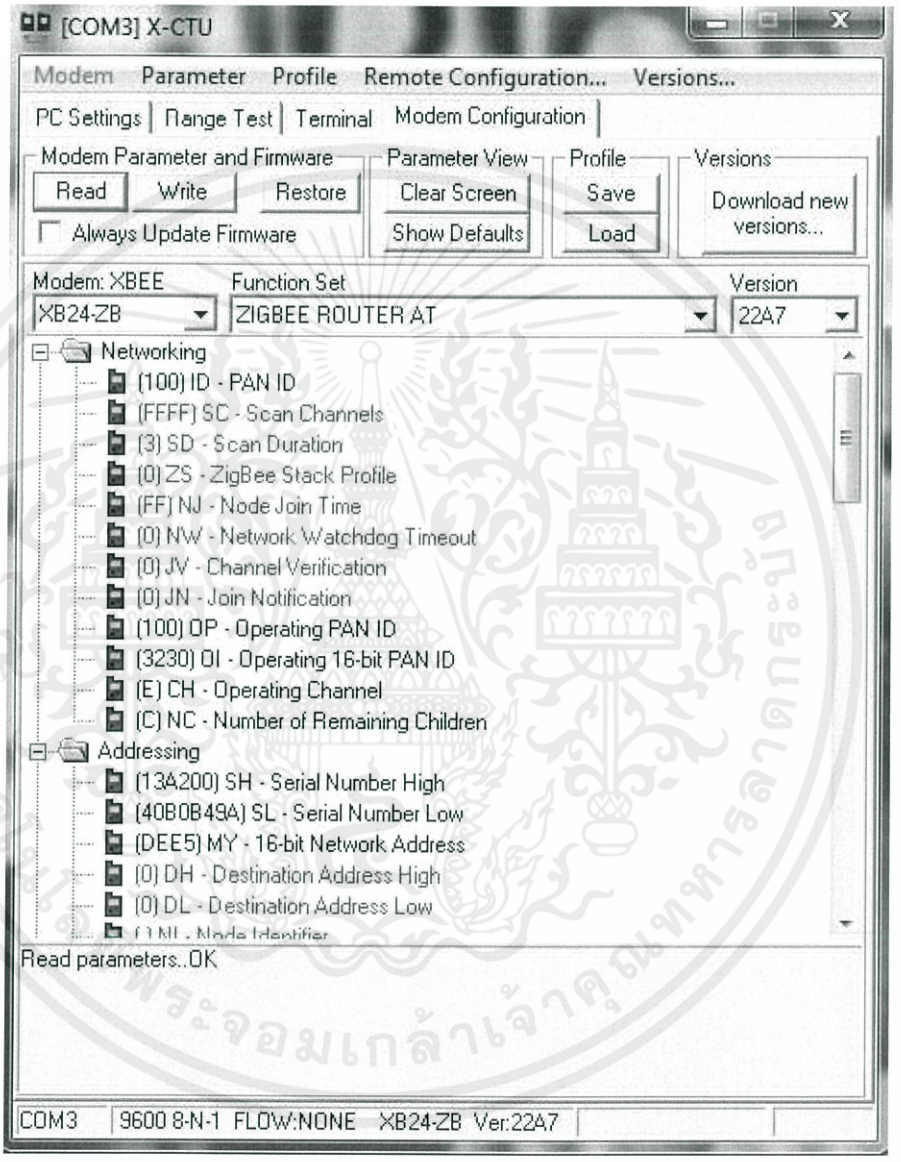
5) MY (16-bit Source Address) ใช้กำหนดแอดเดรส 16 บิตของแต่ละโมดูลกำหนดเป็น 0xFFE, 0xFFF 2 ค่า เพื่อยกเลิกแอดเดรสนี้ไปใช้รีจิสเตอร์ SH, SL

6) SH/SL (Serial Number High/Low) เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้เก็บค่าหมายเลขเฉพาะ (Serial Number) ของแต่ละโมดูลไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้

7) CE (Coordinator Enable) ใช้กำหนดการทำงานของ ZigBee เป็น Coordinator ซึ่ง active เป็น 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3.2 การกำหนดพารามิเตอร์ให้กับ Router



รูปที่ 3.9 การกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ของ ZigBee Router

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ ZigBee ที่ภาคส่ง จะทำงานเป็น Router โดยที่พารามิเตอร์ คล้ายคลึงกับ ZigBee ที่ภาครับดังนี้

3.3.2.1 CH (Channel) กำหนดเป็น15 (เหมือนกันทั้งเครือข่าย)

3.3.2.2 ID (PAN ID) กำหนดเป็น 1111

3.3.2.3 DH (Destination Address High) กำหนด 00

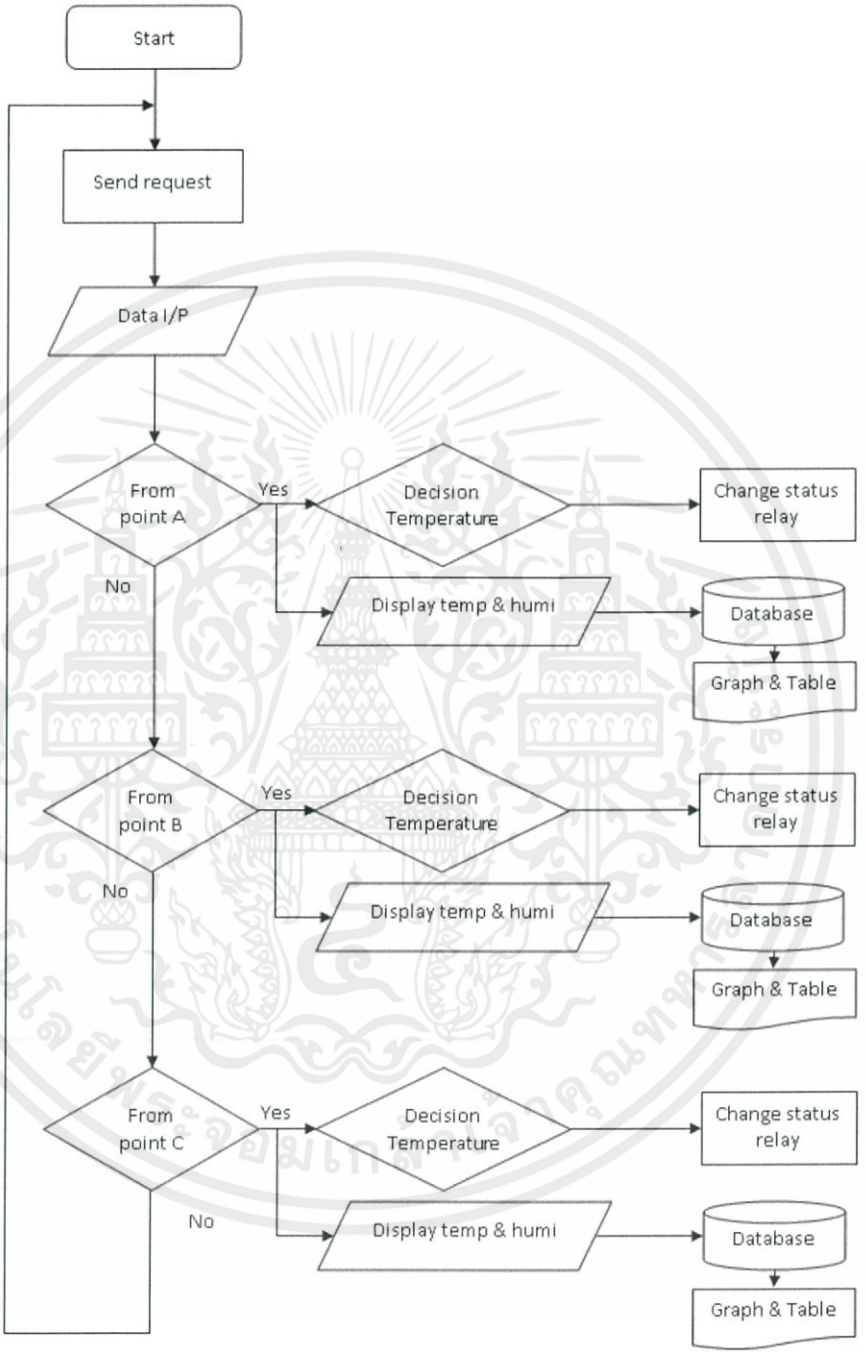
3.3.2.4 DL (Destination Address Low) กำหนด 00

3.3.2.5 MY (16 bit Source Address) กำหนดเป็น 0xFFE, 0xFFE 2 ค่า เพื่อยกเลิก แอดเดรสนี้ไปใช้ริจิตเตอร์

3.1.2 การออกแบบ Graphical User Interface

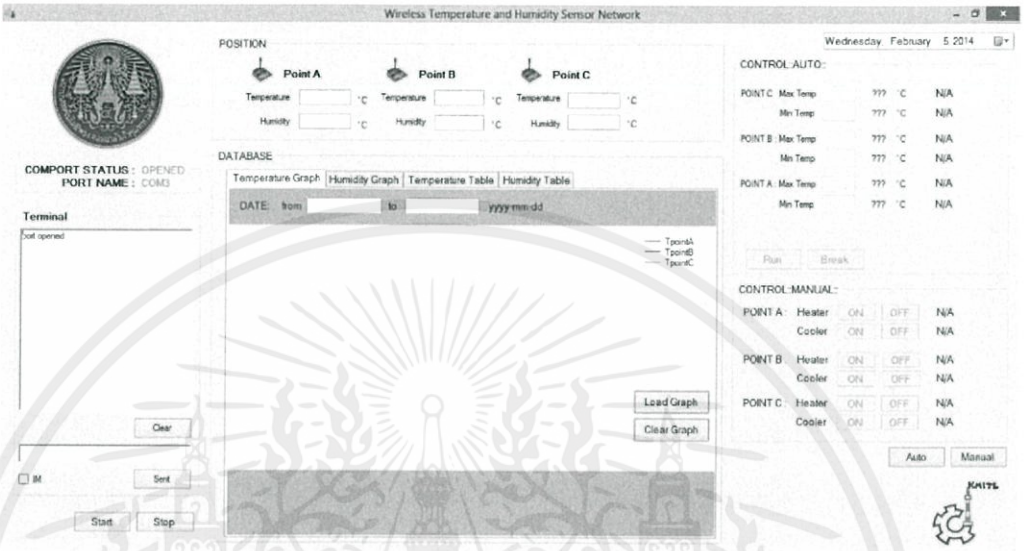
ออกแบบ Graphical User Interface โดยใช้ภาษา C# ผ่านโปรแกรม Microsoft Visual Studio โปรแกรมทำงานโดยการรับค่าผ่าน serial port ซึ่งจะแสดงในส่วน Terminal ของโปรแกรม จากนั้นจะแยกข้อมูลแสดงตามตำแหน่งที่ได้รับมา นอกจะนี้ข้อมูลที่ได้รับมาจะถูกจัดเก็บในฐานข้อมูล โดยสามารถเรียกดูข้อมูลมาแสดงโดยเลือกวันเวลาที่ต้องการได้ทั้งตารางและกราฟ Flowchart การทำงานของโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 3.10 แสดงหน้าต่างโปรแกรมดังรูปที่ 3.11 และส่วนประกอบต่างๆของโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 3.12 – 3.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

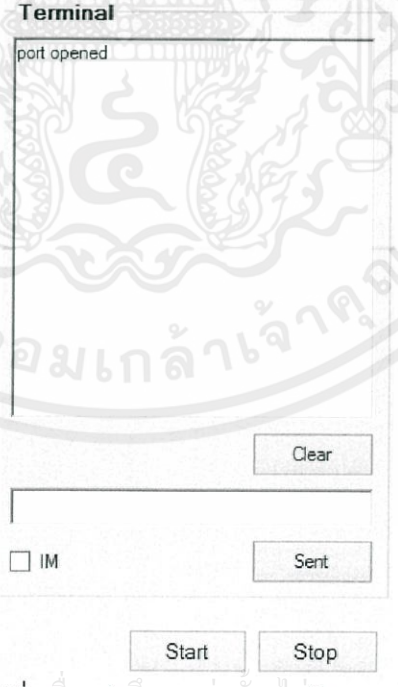


รูปที่ 3.10 Flowchart การทำงานของโปรแกรม user interface

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

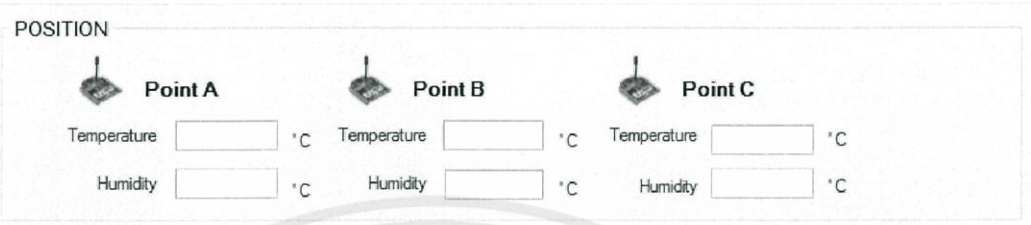


รูปที่ 3.11 หน้าต่างโปรแกรมที่ออกแบบ

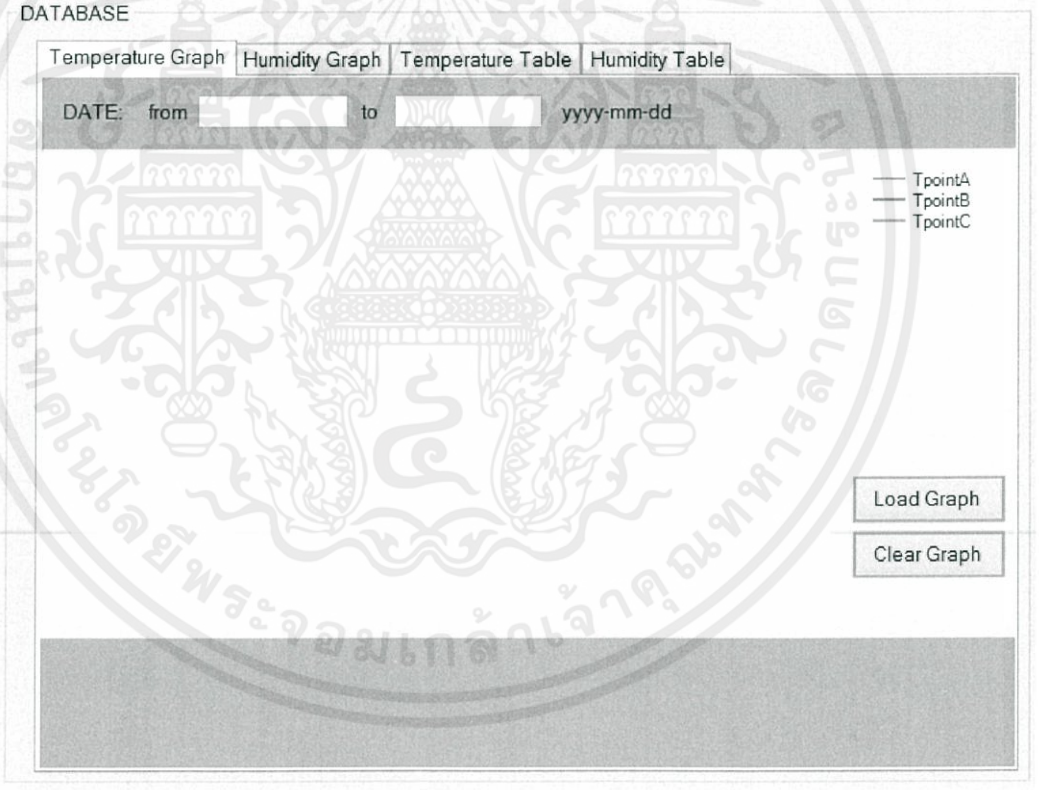


รูปที่ 3.12 ส่วน Terminal ของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

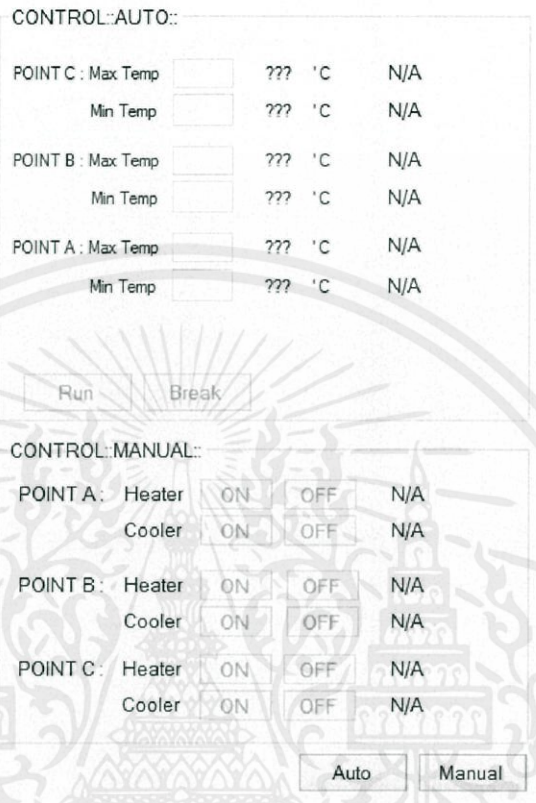


รูปที่ 3.13 ข้อมูลอุณหภูมิความชื้น จากตำแหน่งต่างๆ



รูปที่ 3.14 ส่วน Database ของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

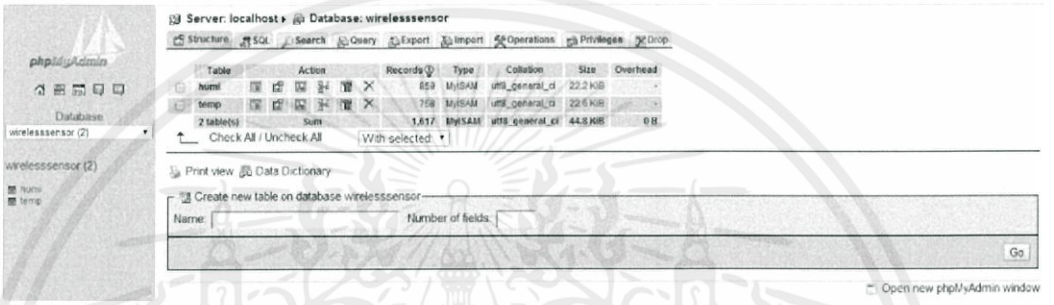


รูปที่ 3.15 ส่วน Control ควบคุมการทำงาน Heater และ Cooler

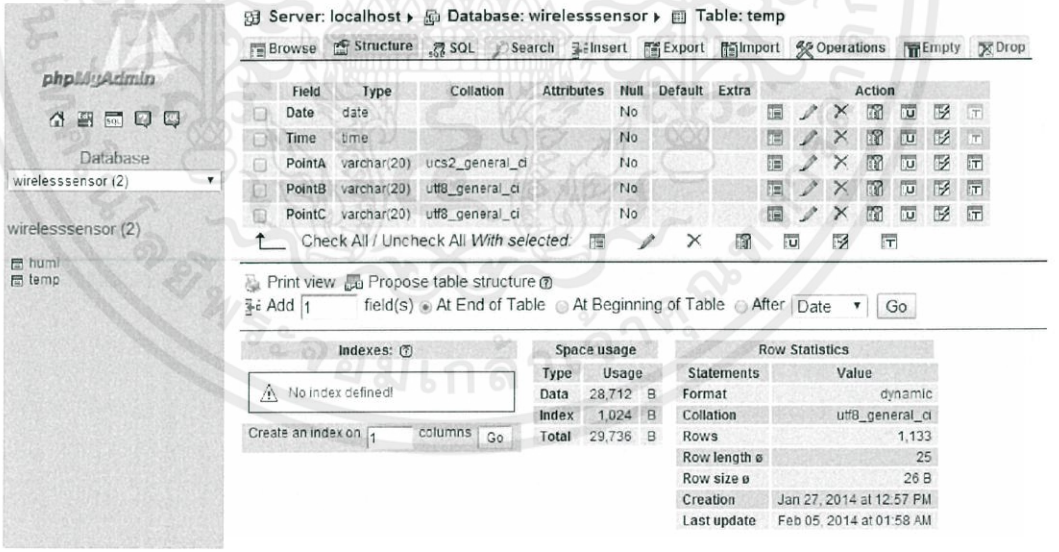
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การออกแบบฐานข้อมูล

การออกแบบฐานข้อมูลใช้โปรแกรม phpmyadmin โดยเก็บข้อมูล 2 ตารางคือ ตารางอุณหภูมิและตารางความชื้นโดยรับค่าวันเวลาและข้อมูลจากตำแหน่งต่างกัน 3 ตำแหน่ง แสดงดังรูปที่ 3.16 และโครงสร้างของตารางแสดงดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.16 การเก็บฐานข้อมูลโดยใช้ phpmyadmin



รูปที่ 3.17 โครงสร้างตารางแสดงอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply) หรือที่มักจะเรียกทับศัพท์ว่าเพาว์เวอร์ซัพพลาย แสดงได้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณ ไฟฟ้ากระแสสลับจากแหล่งกำเนิดให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงด้วยความต่างศักย์ที่เหมาะสมก่อนนำไปใช้งานต่อไป

3.2.2 มัลติมิเตอร์ (Multimeter) ใช้ในการวัดค่าแรงดัน

3.2.3 เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) ใช้ในการวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบกับข้อมูลอุณหภูมิที่ได้รับ

3.2.4 ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) ออสซิลโลสโคปเป็นเครื่องมือวัดซึ่งจะทำให้เราเห็นรูปร่างของสัญญาณไฟฟ้าโดยแสดงเป็นกราฟของแรงดันบนแกนเวลาที่จอภาพ เหมือนกับเป็นโวลท์มิเตอร์ที่มีฟังชั่นพิเศษแสดงค่าแรงดันที่เปลี่ยนไปตามเวลา

3.2.5 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น HTC-1 ใช้ในการวัดอุณหภูมิและความความชื้นเปรียบเทียบกับข้อมูลที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ SHT15 ช่วงอุณหภูมิที่สามารถวัดได้: -50~ +70 °C (-58~ +158°F) ช่วงความชื้นที่สามารถวัดได้: 10%-99% RH ความละเอียด (Resolution): temperature: 0.1°C (0.1°F), , humidity 1% RH ความแม่นยำ (Accuracy): temperature: +-1 °C (1.8°F), humidity: +-5% RH(40%-80%)

3.2.6 เครื่องวิเคราะห์สเปคตรัม (Spectrum Analyzer) เป็นเครื่องมือที่ใช้เพื่อตรวจสอบองค์ประกอบทางสเปคตรัมของคลื่นไฟฟ้า ซึ่งมักจะวัดค่ากำลังของสเปคตรัม (power spectrum)

3.5 การจัดเก็บผลการทดลอง

3.5.1 การจัดเก็บผลการทดลองวัดสเปกตรัมและการส่งข้อมูลไร้สายผ่านโมดูล ZigBee

3.5.2 การทดลองเพื่อทดสอบระยะทางในการรับส่งของข้อมูลของ ZigBee

3.5.3 การทดลองเพิ่มลดอุณหภูมิ-ความชื้นเพื่อเปรียบเทียบผลระหว่างอุณหภูมิ-ความชื้นที่วัดได้และหน้าต่างแสดงผลคอมพิวเตอร์

3.5.4 การทดลองการส่งข้อมูลของ SHT15

3.5.5 การทดลองส่ง Feedback ควบคุมหลอดไฟและพัดลมดูดอากาศ

3.5.6 การทดลองใช้งานฐานข้อมูล

3.5.7 การทดลองใช้งานโปรแกรมรับข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 การทดลองส่งข้อมูลไร้สายผ่านโมดูล ZigBee

การทดลองนี้เป็นการทดลองส่งค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์บอร์ดภาคส่งซึ่งติดต่อสื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการอ่านและแปลงค่าแล้ว จะส่งค่านั้นไปยัง ZigBee ภาคส่งเพื่อส่งข้อมูลไร้สายไปที่ ZigBee ภาครับ ซึ่งจำเป็นต้องตั้งค่าการเชื่อมต่อระหว่าง ZigBee ทั้งสองก่อน จึงจะทำการรับ-ส่ง ข้อมูลได้ โดยที่ ZigBee ภาครับจะเรียกว่า Coordinator ซึ่งเป็นอุปกรณ์เครือข่ายแบบ Full-Function device (FFD) ทำหน้าที่ในการเตรียมการสร้างเครือข่ายและกำหนดการเชื่อมต่อในเครือข่าย ส่วนในภาคส่งจะเรียกว่า Router หรือชุดอุปกรณ์ตรวจวัดซึ่งจะติดต่อสื่อสารอยู่ในเครือข่ายเดียวกันกับ Coordinator

4.1.1 การติดต่อระหว่างโมดูล ZigBee กับคอมพิวเตอร์

4.1.1.1 เริ่มต้นด้วยการต่อเชื่อมต่อ USB Dongle กับคอมพิวเตอร์

4.1.1.2 กำหนดการเชื่อมต่อพอร์ตคอมพิวเตอร์กับโมดูล XBee S2 โดยใช้โปรแกรม X-CTU ทำการเลือกคอมพอร์ต และกำหนดค่าต่างๆดังนี้

1) อัตราบอร์ด (Baudrate) ที่ 9600 bps (ซึ่งค่าต้องตรงกับที่กำหนดไว้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้ากำหนดไว้ไม่ตรงกันตัว Coordinator กับอุปกรณ์ End Device จะไม่สามารถทำการติดต่อสื่อสารกันได้)

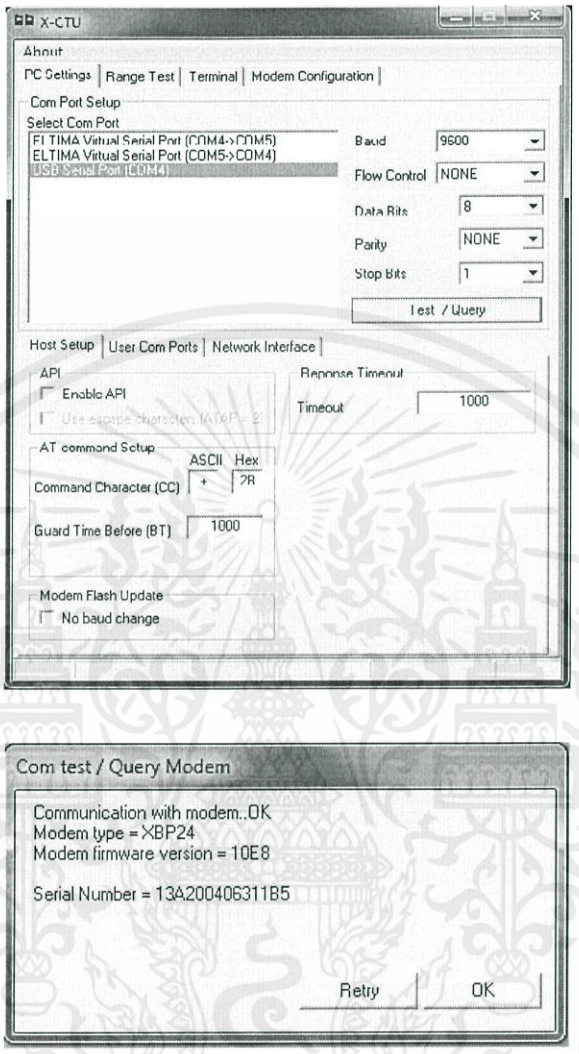
2) Data Bits เป็น 8 บิต

3) Parity หรือบิตตรวจสอบ เป็น NONE (ไม่มีการตรวจสอบ)

4) Stop Bits เป็น 1 บิต

4.1.1.3 จากนั้นกด Test/Query เพื่อทดสอบการติดต่อระหว่าง ZigBee กับโปรแกรมว่าสามารถติดต่อกันได้หรือไม่ เมื่อเชื่อมต่อกันได้จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 การติดต่อกับโมดูล ZigBee ผ่านโปรแกรม X-CTU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การทดลองรับ-ส่งข้อมูลไร้สายระหว่าง ZigBee

เมื่อทำการตั้งค่า ZigBee ให้สามารถสร้างเครือข่ายและติดต่อสื่อสารกันได้แล้ว เราจะทำการทดลองโดยพิมพ์ข้อมูลในด้านฝั่งส่ง ข้อมูลจะถูกส่งมายังคอมพิวเตอร์ผ่านการติดต่อสื่อสารระหว่างโมดูล XBee S2 ข้อมูลที่พิมพ์จะถูกแสดงบน X-CTU แบบ Real-Time ดังรูปที่ 4.2

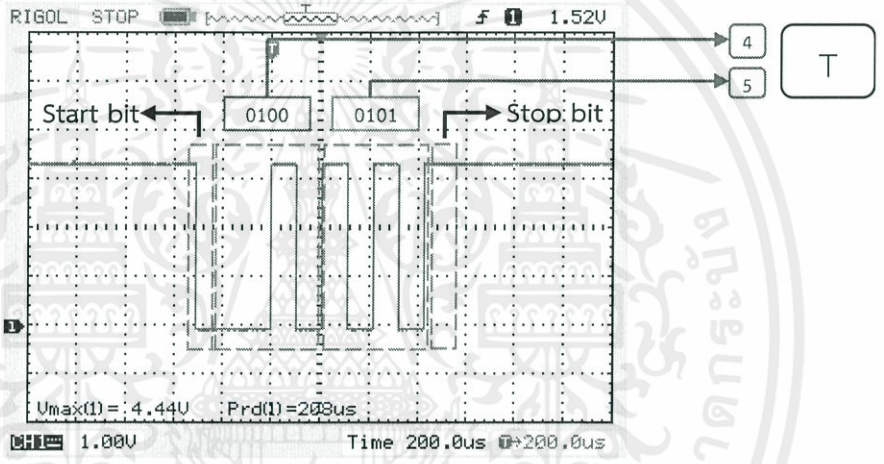
รูปที่ 4.2 การทดลองรับส่งข้อมูลของ ZigBee

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

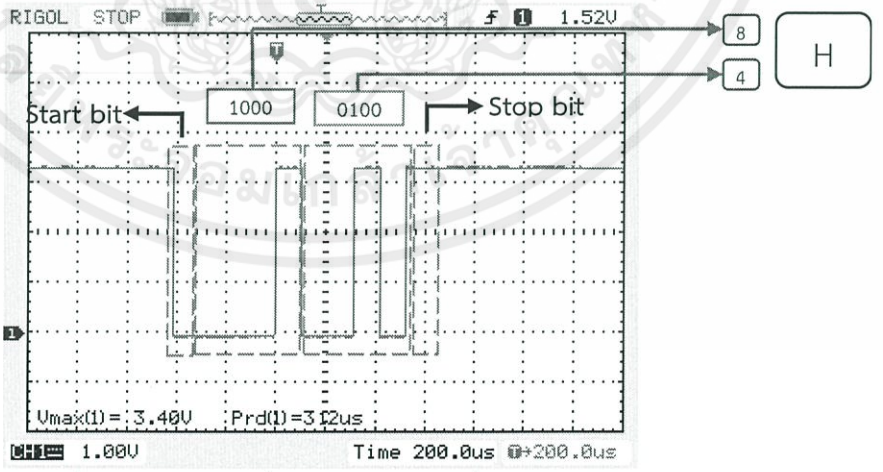
4.1.3 ลักษณะการส่งข้อมูลของ ZigBee

เมื่อทำการตั้งค่า ZigBee ให้สามารถสร้างเครือข่ายและติดต่อสื่อสารกันได้แล้ว ทำการทดลองโดยพิมพ์ข้อมูลในด้านฝั่งส่ง จากนั้นวัดที่ ZigBee ภาคส่งเพื่อดูว่าข้อมูลที่ส่งไปที่ ZigBee ฝั่งรับเป็นโค้ดไบนารี แสดงดังรูปที่ 4.3 และ 4.4

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าบิตแรกคือ START BIT คือ 0 และชุดสี่บิตถัดมา 0100 คือ 4 และชุดสี่บิตถัดมาคือ 0101 คือ 5 และมี STOP บิตเป็น 1 เมื่อนำค่าตัวเลขมาแปลงเป็น ASCII Code จะได้เป็นอักษร T และจากรูปที่ 4.4 คิดเช่นเดียวกันได้อักษร H



รูปที่ 4.3 โค้ดไบนารีที่ส่งจาก ZigBee เมื่อส่งอักษร T



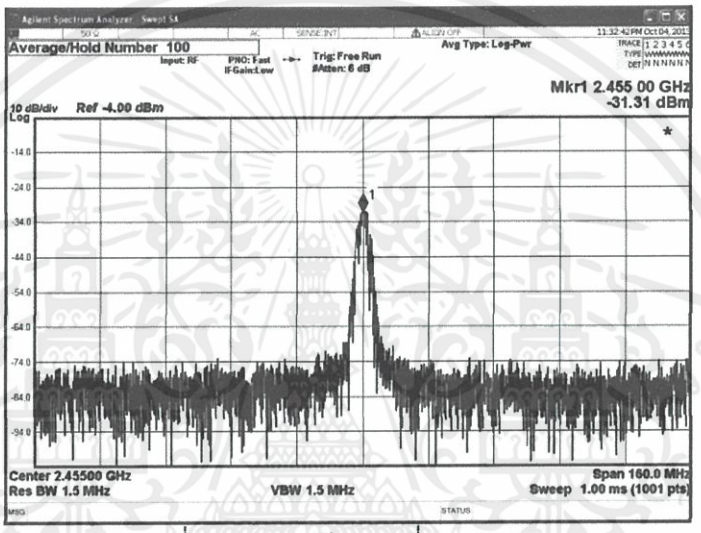
รูปที่ 4.4 โค้ดไบนารีที่ส่งจาก ZigBee เมื่อส่งอักษร H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

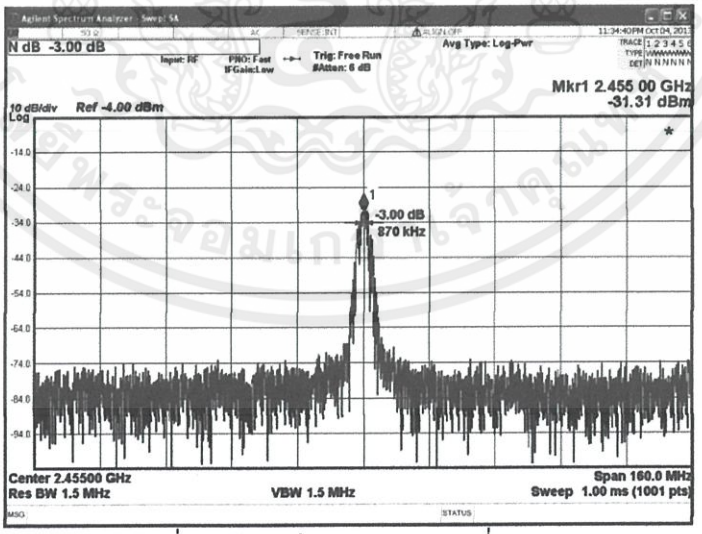
4.1.4 การทดลองวัดสเปกตรัมของ ZigBee

ทำการทดลองโดยการวัดความถี่และแบนด์วิธของสัญญาณที่ส่งออกจาก ZigBee โดยใช้ spectrum analyzer ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6

จากรูปที่ 4.5 แสดงความถี่ของ ZigBee ที่ 2.455 GHz มีกำลังของสัญญาณ -31.31 dBm และรูปที่ 4.6 แสดงแบนด์วิธ ของ ZigBee ที่ -3 dB โดยมีความกว้าง 870 kHz



รูปที่ 4.5 สเปกตรัมความถี่ของ ZigBee



รูปที่ 4.6 แบนด์วิธของ ZigBee ที่ -3 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองเพื่อทดสอบระยะทางในการรับส่งของข้อมูลของ ZigBee

ในการทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อทดสอบระยะทางในการรับส่งข้อมูลของ ZigBee ทดสอบโดยการเพิ่มระยะทางระหว่าง ZigBee ตัวส่งและตัวรับ เปรียบเทียบกับกำลังที่ฝั่งรับได้รับในรูปแบบของค่า Received Signal Strength Indication (RSSI) โดยทดสอบแบบ line of sight และ non line of sight

4.3.1 วิธีการทดลอง

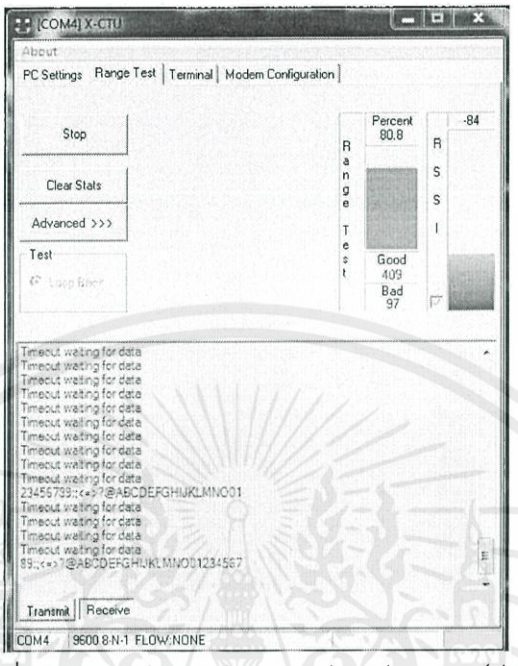
ใช้คอมพิวเตอร์ต่อกับ ZigBee ให้ทำการอ่านค่า Received Signal Strength Indication ผ่านโปรแกรม X-CTU ดังแสดงในรูปที่ 4.7, 4.9-4.12 เปรียบเทียบที่ระยะทางในการส่งข้อมูลต่างๆ ตามระยะทางที่กำหนดไว้ในตารางที่ 4.2 และ 4.3 และแสดงผลในรูปแบบกราฟดังรูปที่ 4.8

4.3.2 ผลการทดลอง

4.3.2.1 การทดสอบแบบ Line of sight

จากรูปที่ 4.7 แสดงการวัดค่า RSSI แบบ Line of sight โดยวัดระยะทางต่างๆดังตารางที่ 4.1 ซึ่งเป็นตารางแสดงค่า RSSI เปรียบเทียบกับระยะทางการของส่งของ ZigBee โดยเริ่มส่งจาก 5 m – 165 m เปลี่ยนแปลงระยะทางทุกๆ 5 m จะเห็นได้ว่าระยะทางที่เพิ่มขึ้นแปรผกผันกับค่า RSSI แสดงดังรูปที่ 4.8 และเมื่อระยะทางการส่งของ ZigBee เกิน 165 m การรับส่งข้อมูลมีความผิดพลาดมากจนถือว่าใช้งานได้ไม่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ตัวอย่างการวัดค่า Received Signal Strength Indication (dBm) ที่ระยะห่าง 150 m แบบ line of sight

ตารางที่ 4.2 ค่า Received Signal Strength Indication (dBm) ที่ระยะทางต่างๆ แบบ line of sight

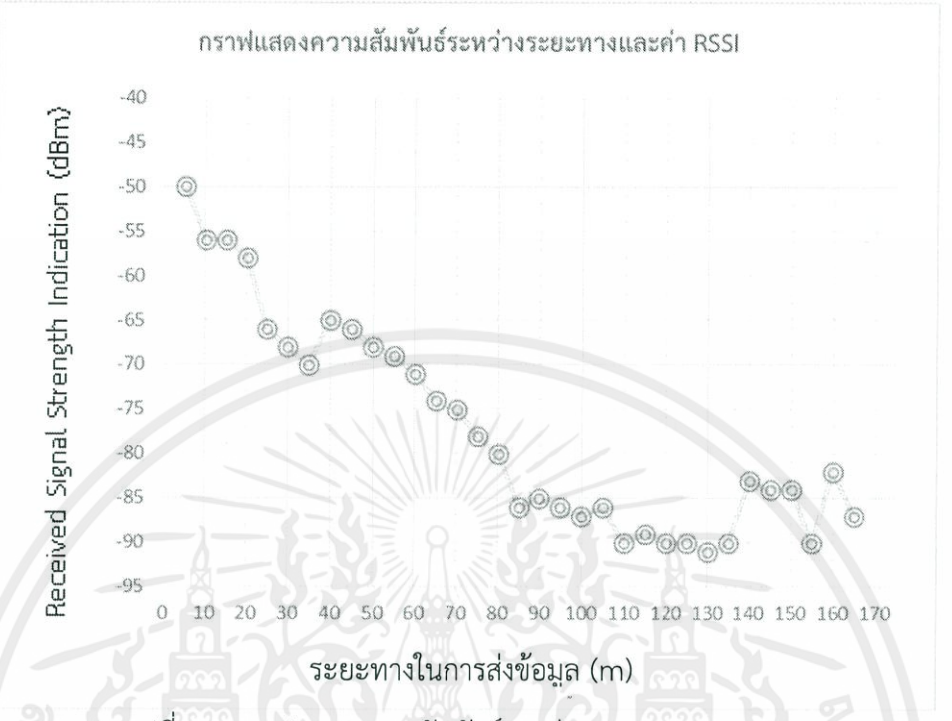
ระยะทางในการส่งข้อมูล (m)	Received Signal Strength Indication (dBm)
5	-50
10	-56
15	-56
20	-58
25	-66
30	-68
35	-70
40	-65
45	-66
50	-68
55	-69
60	-71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) Received Signal Strength Indication (dBm) ที่ระยะทางต่างๆ แบบ line of sight

ระยะทางในการส่งข้อมูล (m)	Received Signal Strength Indication (dBm)
65	-74
70	-75
75	-78
80	-80
85	-86
90	-85
95	-86
100	-87
105	-86
110	-90
115	-89
120	-90
125	-90
130	-91
135	-90
140	-83
145	-84
150	-84
155	-90
160	-82
165	-87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและ RSSI

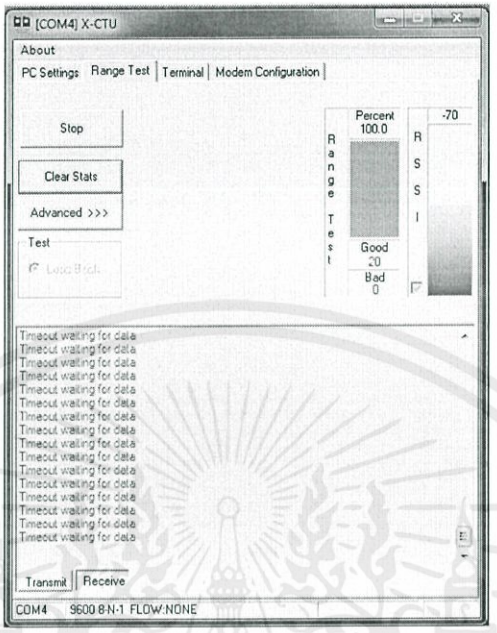
4.3.2.2 การทดสอบแบบ non Line of sight

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวัดค่า RSSI แบบ non line of sight โดยมีจุดอ้างอิงซึ่งเป็นฝั่งส่งที่อยู่ห้อง T-302 ตึกสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และแสดงการวัดค่า RSSI ที่ฝั่งรับอยู่ตามห้องต่างๆ ดังรูปที่ 4.9 - 4.12

ตารางที่ 4.2 ค่า Received Signal Strength Indication (dBm) ที่ระยะทางต่างๆ แบบ non line of sight

Transmitter ZigBee Position	Received Signal Strength Indication (dBm)
T-306	-70
บันไดชั้น 3	-41
บันไดชั้น 2	-57
บันไดชั้น 1	-70

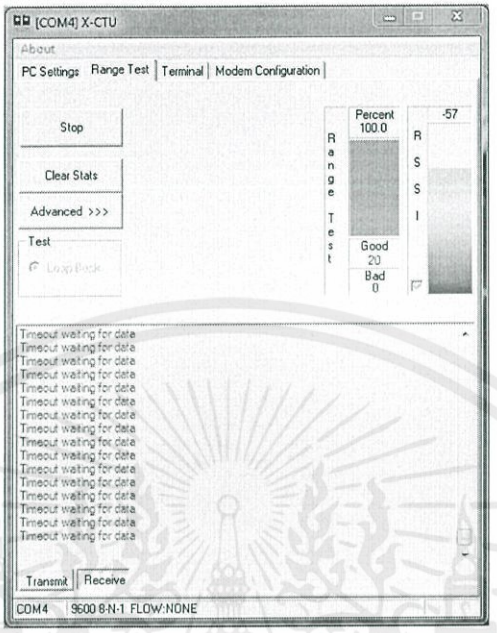
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



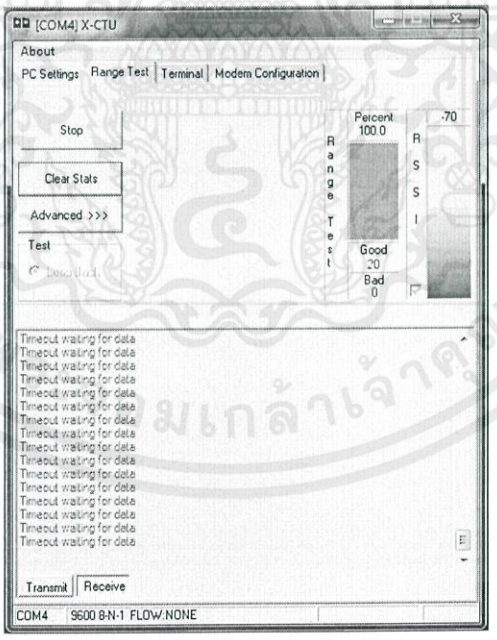
รูปที่ 4.9 ตัวอย่างการวัดค่า Received Signal Strength Indication (dBm) แบบ non line of sight โดย ZigBee ฝั่งรับอยู่ภายในห้อง T-306

รูปที่ 4.10 ตัวอย่างการวัดค่า Received Signal Strength Indication (dBm) แบบ non line of sight โดย ZigBee ฝั่งรับอยู่บริเวณบันไดชั้น 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ตัวอย่างการวัดค่า Received Signal Strength Indication (dBm) แบบ non line of sight โดย ZigBee ฝั่งรับอยู่บริเวณบันไดชั้น 2



รูปที่ 4.12 ตัวอย่างการวัดค่า Received Signal Strength Indication (dBm) แบบ non line of sight โดย ZigBee ฝั่งบริเวณบันไดชั้น 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองเพิ่ม-ลด อุณหภูมิและความชื้นเพื่อเปรียบเทียบผลระหว่างอุณหภูมิ-ความชื้นและหน้าต่างแสดงผลคอมพิวเตอร์

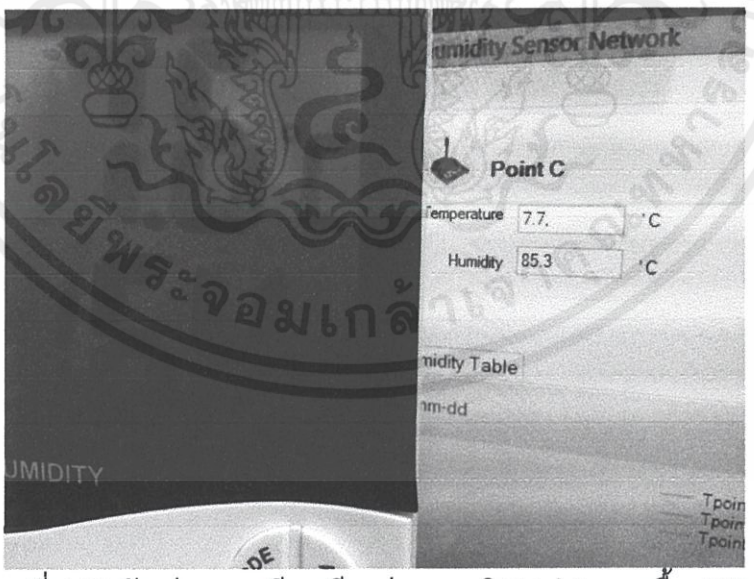
ในการทดลองนี้เป็นการทดลองเปรียบเทียบว่าค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิความชื้นและหน้าต่างแสดงผลบนคอมพิวเตอร์มีค่าเท่ากันหรือไม่ เพื่อเป็นการสังเกตว่าค่าที่ได้จากการวัดอุณหภูมิมีความแม่นยำมากน้อยเพียงใด

4.2.1 วิธีการทดลอง

นำไฮโกรมิเตอร์และวงจรภาคส่งข้อมูลไปไว้ในพื้นที่เดียวกัน และให้วงจรภาคส่งทำการส่งข้อมูลมายังภาครับซึ่งอยู่ห่างกัน ทำการอ่านค่าอุณหภูมิจากเครื่องวัดอุณหภูมิ-ความชื้นและหน้าต่างแสดงผลจากจอคอมพิวเตอร์ว่ามีค่าเท่ากันหรือไม่ เปลี่ยนสถานที่วัดผลเรื่อยๆ และบันทึกผล

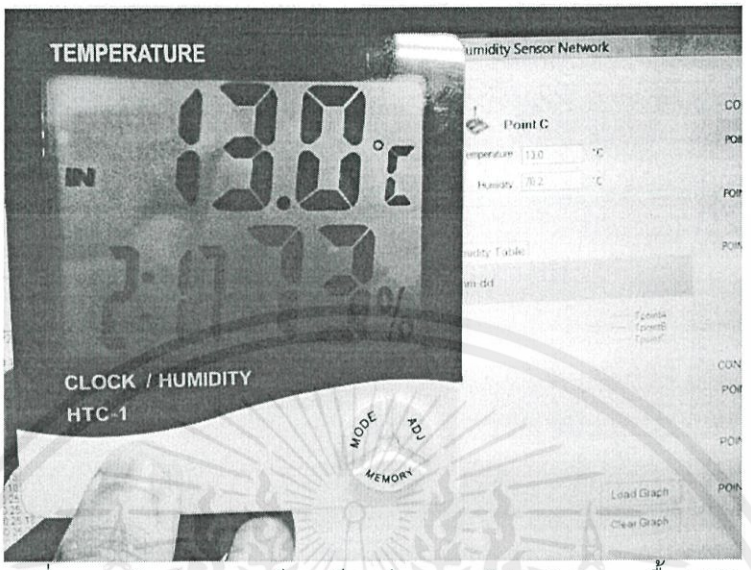
4.2.2 ผลการทดลอง

รูปตัวอย่างการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.13 – 4.17 และผลการทดลองเปรียบเทียบค่าที่วัดได้ระหว่างไฮโกรมิเตอร์และเซ็นเซอร์ SHT15 แสดงดังตารางที่ 4.3

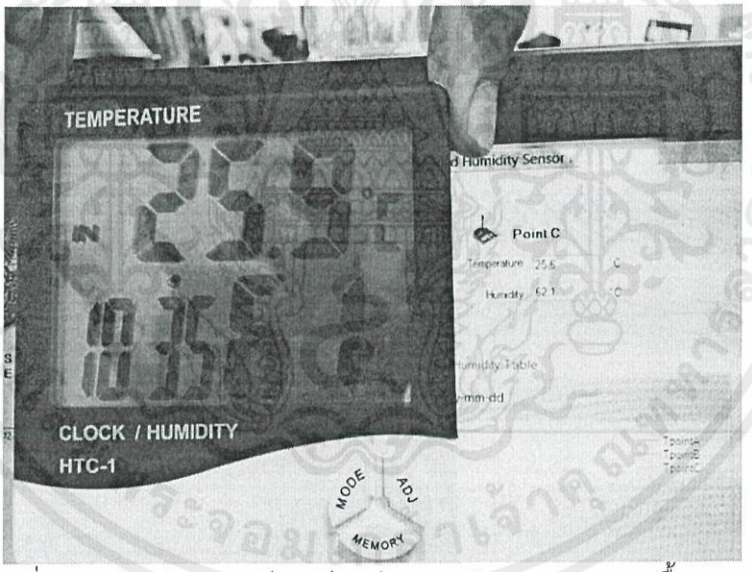


รูปที่ 4.13 ตัวอย่างการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ 7.6 °C ความชื้น 64%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

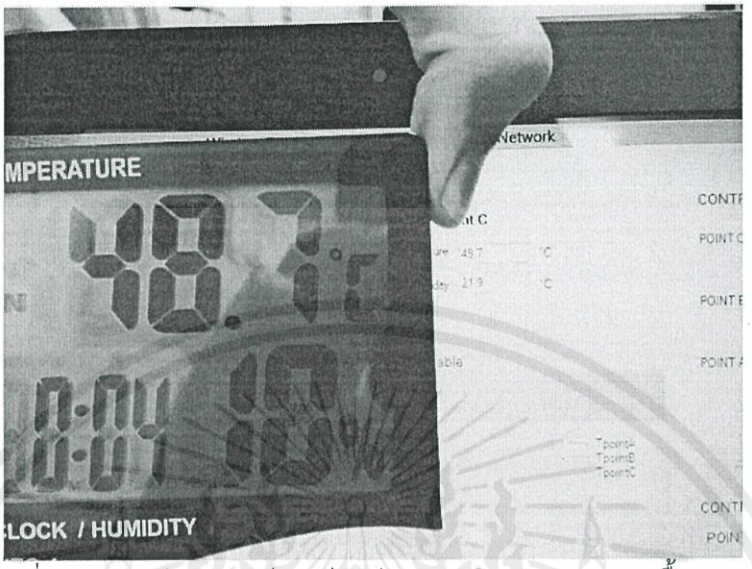


รูปที่ 4.14 ตัวอย่างการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ 13 ˚C ความชื้น 73%

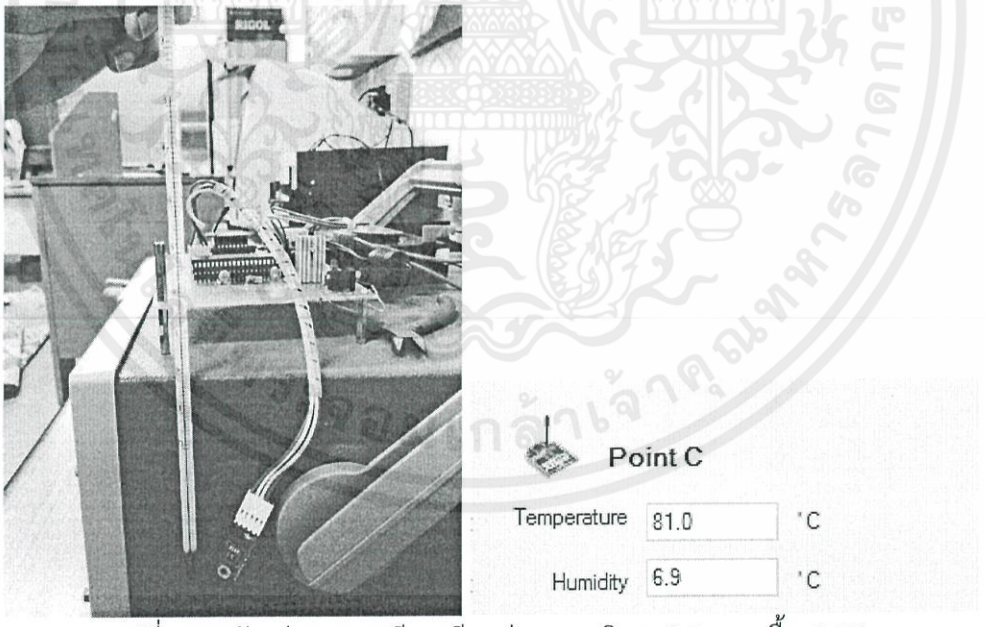


รูปที่ 4.15 ตัวอย่างการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ 25.9 ˚C ความชื้น 61%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 ตัวอย่างการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ 48.7 ° C ความชื้น 10%



รูปที่ 4.17 ตัวอย่างการ เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ 81 ° C ความชื้น 6.9%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้จากไฮโกรมิเตอร์เทียบกับโปรแกรม

ไฮโกรมิเตอร์		โปรแกรม		% ความผิดพลาด	
อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (%)	ความชื้น (%)
7.6	64	7.7	85.3	1.32	33.28
9.2	69	8.3	85.7	9.78	24.20
10.0	72	11.3	73.2	13	1.67
13.0	73	13.0	70.2	0	3.84
18.5	72	18.2	71.0	1.62	1.38
20.3	70	20.8	71.4	2.46	2
22.6	65	23.1	68.2	2.21	4.92
25.9	61	25.6	62.1	1.15	1.80
28.5	73	28.7	74.8	0.70	2.46
33.9	47	35.6	44.5	5.01	5.31
36.5	44	35.9	45.4	1.64	3.40
38.5	40	40.1	37.5	3.90	0.25
48.0	16	49.9	19.0	3.95	18.75
60.0	-	60.1	13.1	0.16	-
72.0	-	71.0	7.5	1.39	-
75.0	-	74.2	7.5	1.06	-
82.0	-	81.0	6.9	1.22	-

จากผลการทดลองในช่วงปกติอุณหภูมิและความชื้นมีความผิดพลาดเล็กน้อย แต่ในช่วงอุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำความชื้นจะมีความผิดพลาดมากเนื่องจากการนำไดร์เป่าลมร้อนและการวางใกล้แอร์ทำให้การวัดความชื้นมีความผิดพลาดมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดลองการส่งข้อมูลของ SHT15

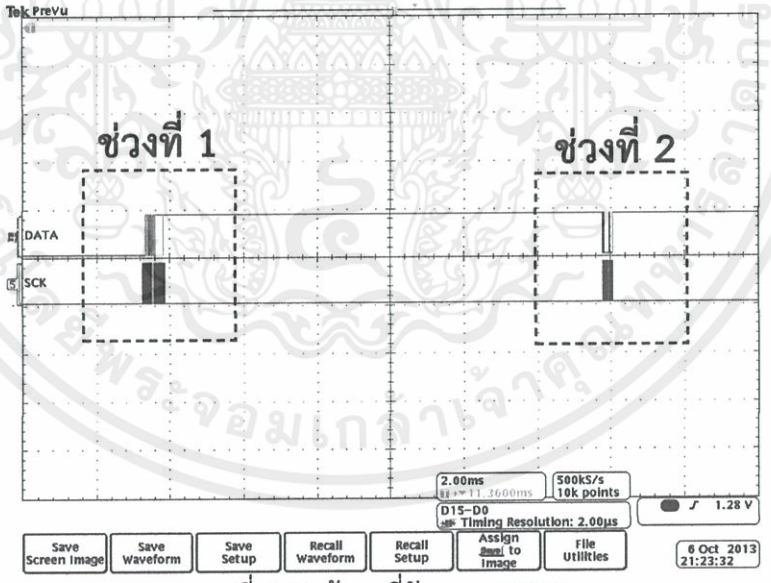
ในการทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อหาลักษณะของข้อมูลที่ออกมาจากเซ็นเซอร์ SHT15 และลักษณะของข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลจากไมโครคอนโทรลเลอร์

4.4.1 วิธีการทดลอง

หาลักษณะของข้อมูลที่ออกมาจากเซ็นเซอร์ SHT15 โดยการวัดที่ขา SCK และขา Data ส่วนลักษณะของข้อมูลที่ออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์จะวัดที่ขา Tx ของไมโครคอนโทรลเลอร์

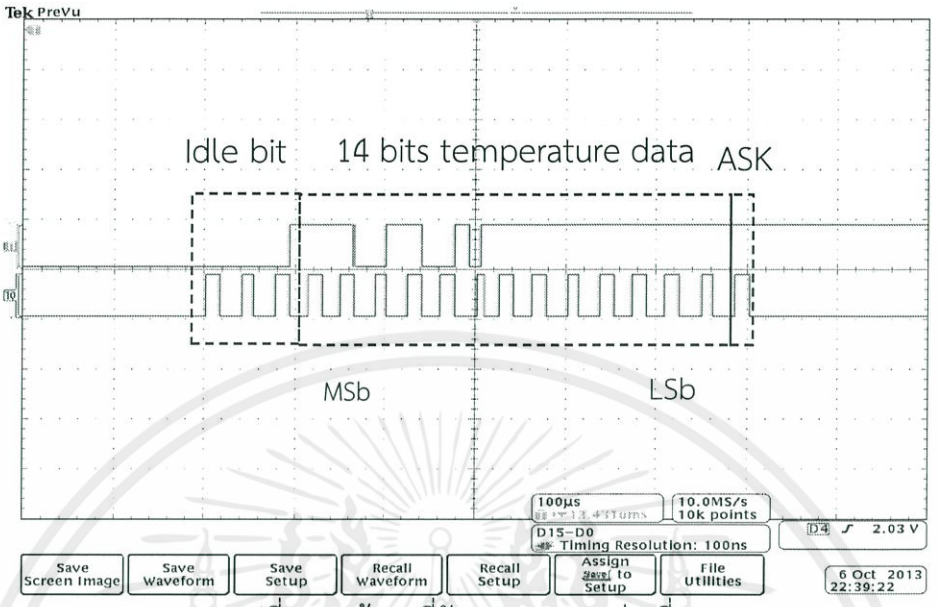
4.4.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองวัดลักษณะข้อมูลที่ออกจากเซ็นเซอร์ SHT15 แสดงดังรูปที่ 4.18 - 4.20 และลักษณะข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลจากไมโครคอนโทรลเลอร์แล้ว แสดงดังรูปที่ 4.21 – 4.24 โดยข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถอ่านได้จาก ASCII CODE



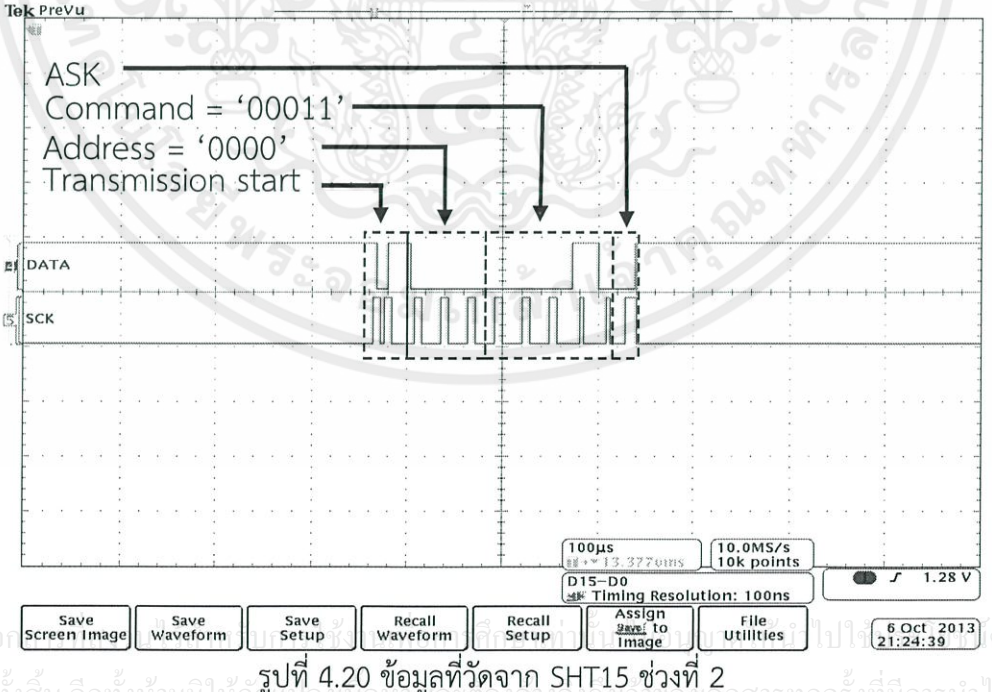
รูปที่ 4.18 ข้อมูลที่วัดจาก SHT15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 ข้อมูลที่วัดจาก SHT15 ช่วงที่ 1

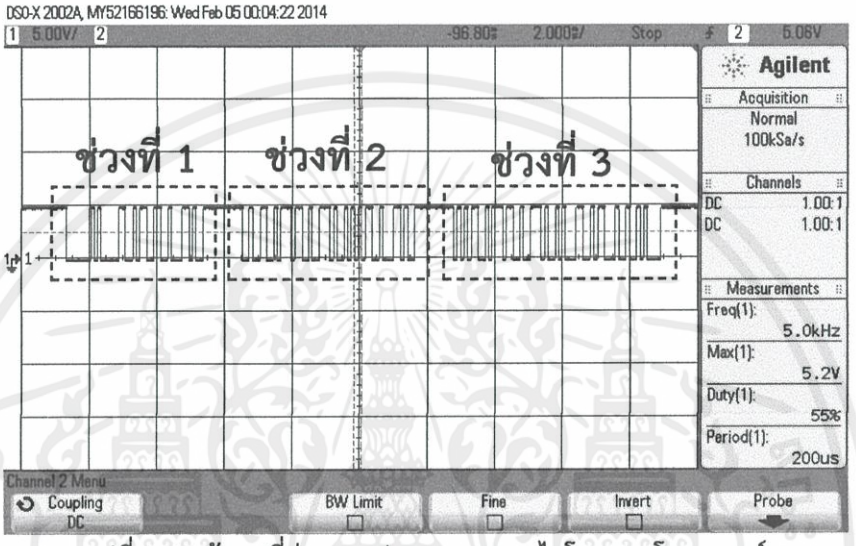
จากรูปที่ 4.19 เป็นสัญญาณช่วงที่ 1 ที่วัดได้ ค่าของข้อมูลอุณหภูมิ (SO_T) แสดงด้วยสัญญาณไบนารี 14 บิต คือ 1101101111111B เมื่อแปลงเป็นเลขฐานสิบจะเท่ากับ 7039 และเมื่อนำค่าที่ได้มาคำนวณตามสมการ $T = d_1 + d_2 \cdot SO_T = -40.1 + 0.01 \cdot 7039 = 30.29^{\circ}C$



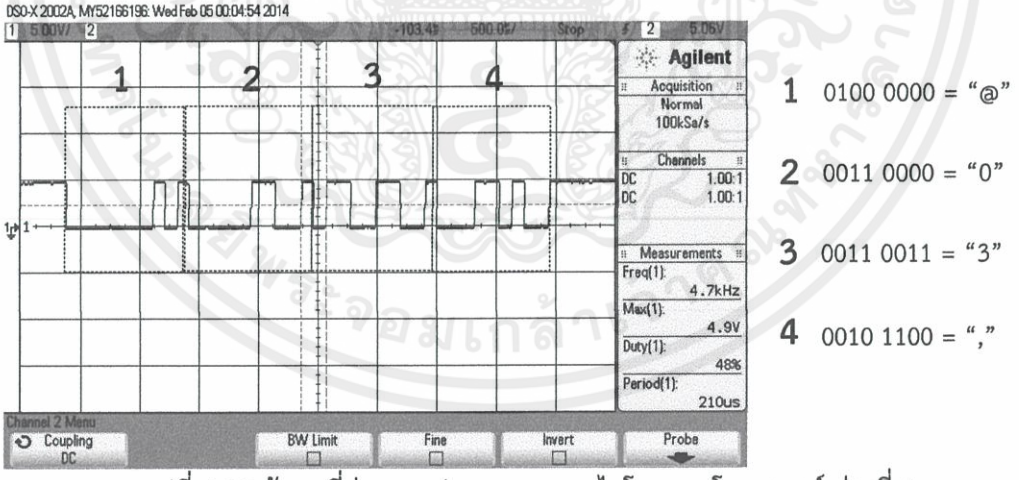
รูปที่ 4.20 ข้อมูลที่วัดจาก SHT15 ช่วงที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.20 ป็นส่วนของสัญญานช่วงที่ 2 ส่วนของ Transmission start คือการกระตุ้นผ่านขา SCK และ DATA จากไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนของ Measurement sequence คือการอ่านข้อมูลดิบของอุณหภูมิ ประกอบด้วย Address ‘0000’ กับ command ‘00011’

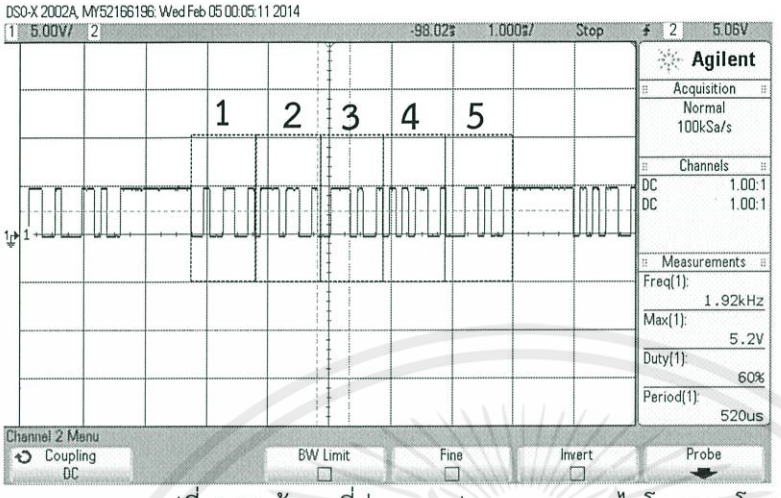


รูปที่ 4.21 ข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลจากไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 4.22 ข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ช่วงที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1 0011 0010 = “2”

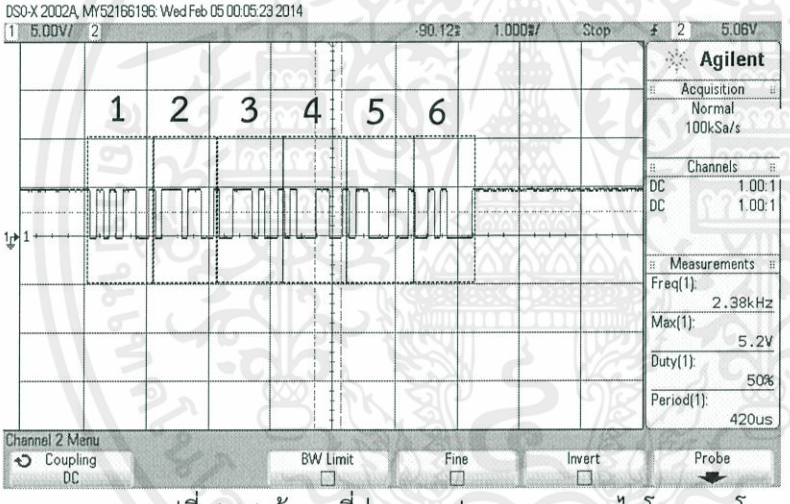
2 0011 0111 = “7”

3 0010 1110 = “.”

4 0011 0101 = “5”

5 0010 1100 = ”,”

รูปที่ 4.23 ข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ช่วงที่ 2



1 0011 0101 = “5”

2 0011 0111 = “7”

3 0010 1110 = “.”

4 0011 0010 = “2”

5 0010 0011 = “#”

6 0000 1010 = “null”

รูปที่ 4.24 ข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ช่วงที่ 3

จากรูปที่ 4.21 – 4.24 เป็นข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยประมวลผลทีละ 8 บิต ซึ่งสามารถอ่านได้จาก ASCII CODE เป็น @03, (รูปที่4.22) 27.5, (รูปที่4.23) 57.2# (รูปที่4.24) โดย @03 หมายถึง ZigBee ตำแหน่ง C อุณหภูมิ 27.5 องศาเซลเซียส ความชื้น 57.2 % และ # หมายถึงสิ้นสุดชุดข้อมูลหนึ่งชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดลองส่ง Feedback ควบคุมหลอดไฟและพัดลมดูดอากาศ

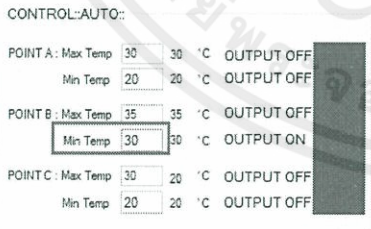
ในการทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อทดสอบว่าสามารถส่ง Feedback ควบคุม Heater และ Cooler จากหน้าต่างโปรแกรมที่ออกแบบเองได้

4.5.1 วิธีการทดลอง

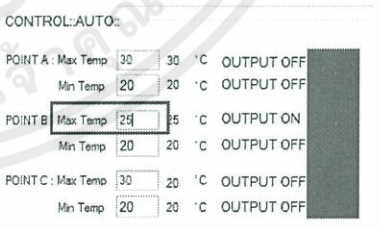
จากหน้าต่างโปรแกรมที่ออกแบบขึ้นสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ทั้งแบบ Auto และ Manual แบบ Auto จะให้กำหนดค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดถ้าอุณหภูมิแวดล้อมไม่อยู่ภายในช่วงที่กำหนดเอาไว้ หลอดไฟหรือพัดลมดูดอากาศก็จะทำงาน ส่วนแบบ Manual จะสามารถเปิดปิดไฟและพัดลมดูดอากาศได้จากโปรแกรมโดยผู้ใช้

4.5.2 ผลการทดลอง

เมื่อทดลองควบคุมอุณหภูมิด้วยระบบ Auto ตั้งค่าช่วงอุณหภูมิต่ำสุดที่ 30 องศาเซลเซียส (รูปที่ 4.25(ก)) เมื่ออุณหภูมิในโรงเรือนจำลองต่ำกว่าอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้หลอดไฟก็จะทำงานเพื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้ และจะรักษาอุณหภูมิภายในโรงเรือนจำลองให้มีค่าไม่ต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.26 และถ้าเปลี่ยนการตั้งค่าช่วงอุณหภูมิสูงสุดเป็น 25 องศาเซลเซียส (รูปที่ 4.25(ข)) ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิจริงในโรงเรือน พัดลมดูดอากาศจะทำงานเพื่อลดอุณหภูมิให้ไม่เกิน 25 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.27 โดยแสดงรูปโรงเรือนขณะที่หลอดไฟทำงานดังรูปที่ 4.28 และขณะที่โรงเรือนอยู่ในอุณหภูมิที่ตั้งไว้ พัดลมดูดอากาศและหลอดไฟไม่ทำงานแสดงดังรูปที่ 4.29



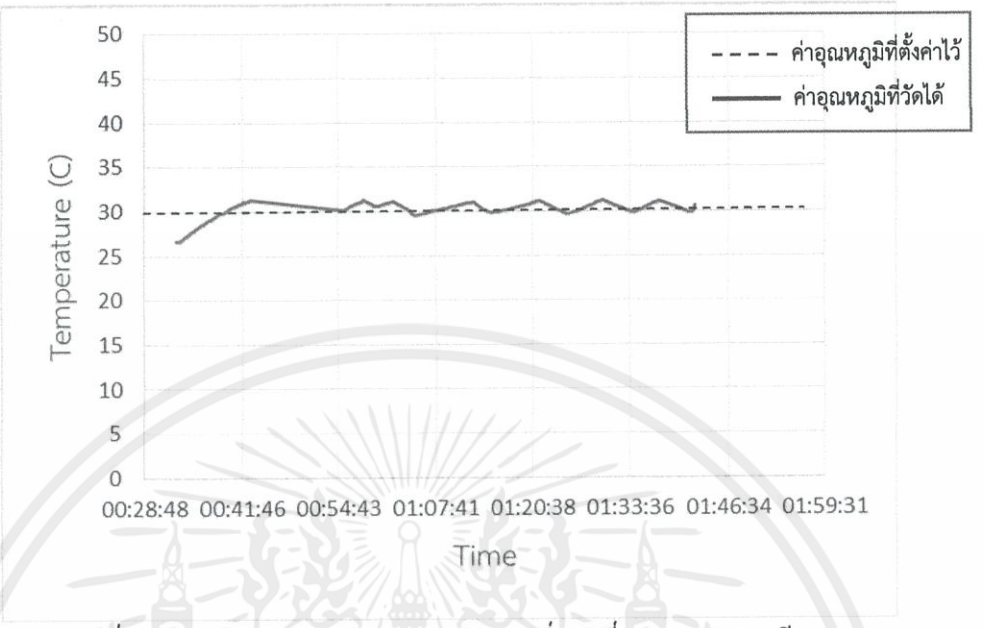
(ก) ตั้งค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่ 30 องศาเซลเซียส



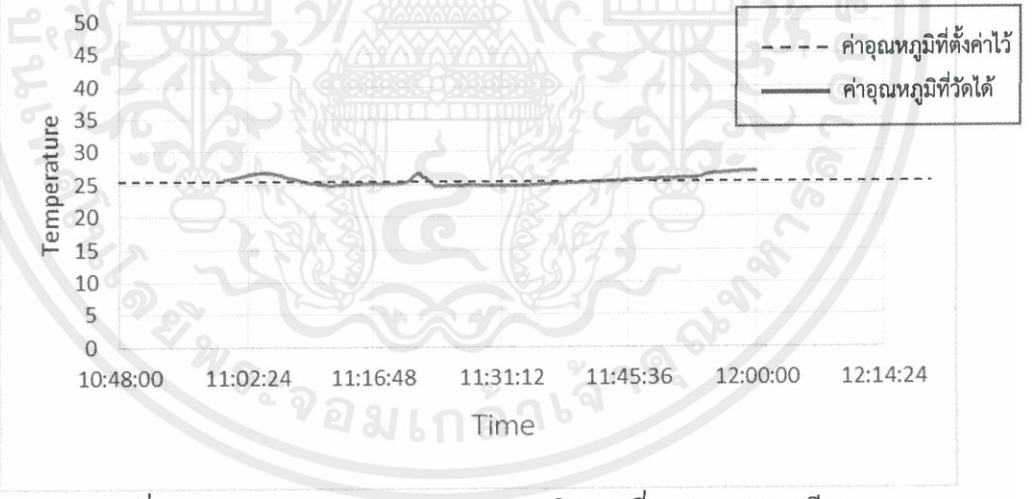
(ข) ตั้งค่าอุณหภูมิสูงสุดที่ 25 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.25 หน้าต่างโปรแกรมแสดงการตั้งค่าอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

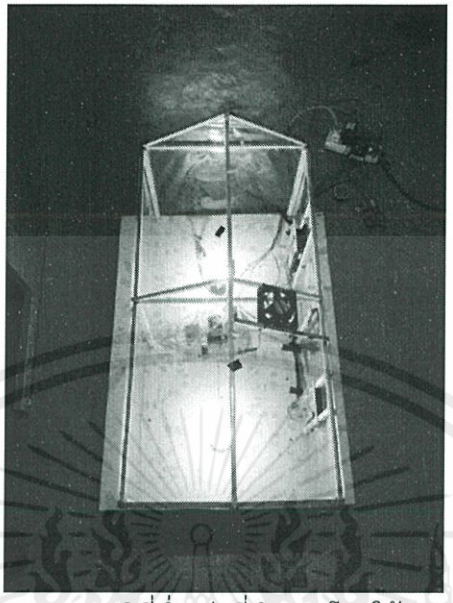


รูปที่ 4.26 กราฟแสดงการควบคุมอุณหภูมิต่ำสุดที่ 30 องศาเซลเซียส

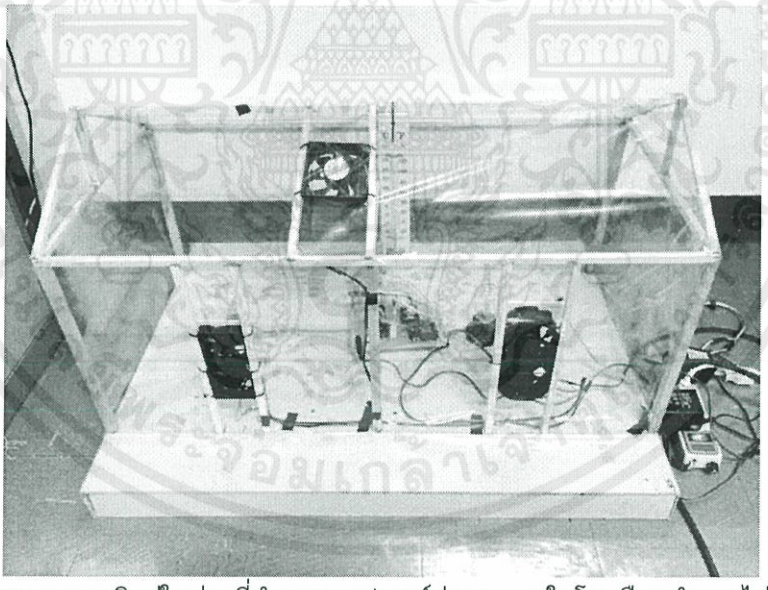


รูปที่ 4.27 กราฟแสดงการควบคุมอุณหภูมิสูงสุดที่ 25 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 การทดลองควบคุมอุณหภูมิที่ต่ำกว่าที่กำหนดโดยใช้หลอดไฟเพื่อให้ความร้อน เมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วงที่กำหนดหลอดไฟจะดับ



รูปที่ 4.29 อุณหภูมิอยู่ในช่วงที่กำหนด อุปกรณ์ต่างๆ ภายในโรงเรือนจำลองไม่ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การทดลองใช้งานฐานข้อมูล

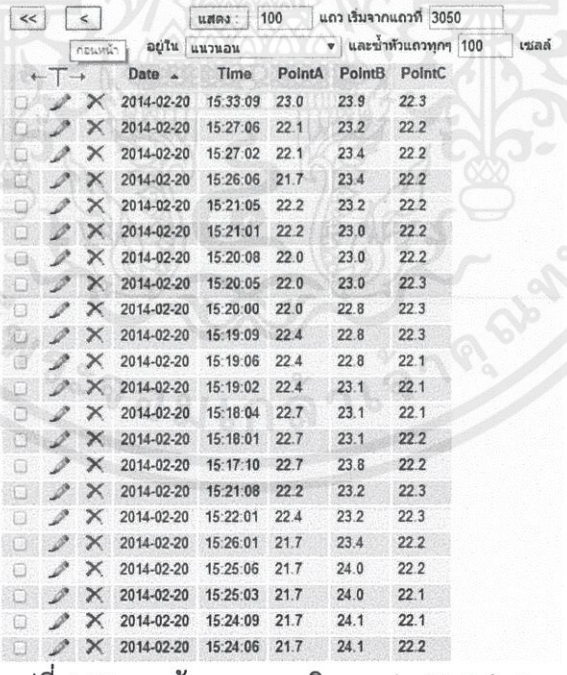
ในการทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อสอบว่าสามารถเก็บและนำข้อมูลออกมาใช้จากฐานข้อมูลได้

4.6.1 วิธีการทดลอง

ทดลองเก็บค่าอุณหภูมิจากตำแหน่งต่างๆ กันทุก 2 นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำค่าที่เก็บในฐานข้อมูลมาแสดง

4.6.2 ผลการทดลอง

จากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นลงในฐานข้อมูลแสดงดังรูปที่ 4.30 และ 4.31 ตามลำดับ และหน้าต่างโปรแกรมเก็บค่าสามารถดึงข้อมูลที่เก็บไว้มาแสดงเป็นตารางโดยสามารถเลือกวัน และเวลา ดังรูปที่ 4.32-4.33 และแสดงเป็นกราฟโดยสามารถเลือกแสดงตามวัน ดังรูปที่ 4.34-4.35



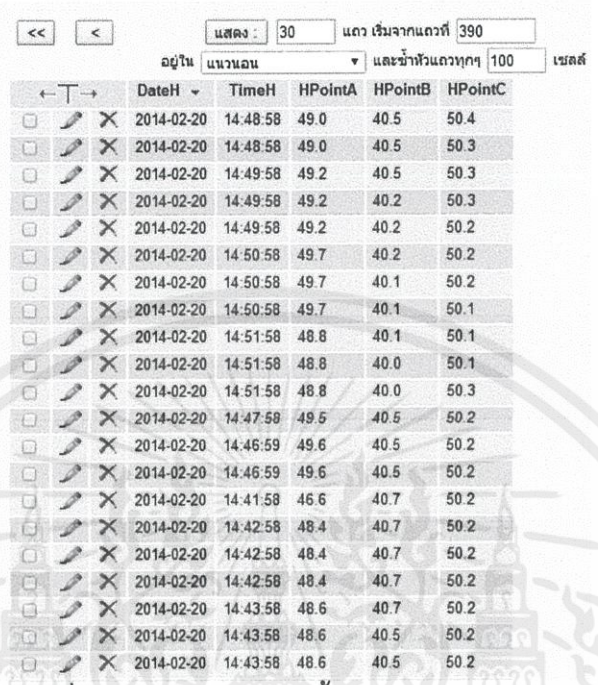
<< < แสดง : 100 แถว เริ่มจากแถวที่ 3050

กดเพื่อ อยู่ใน แนวนอน และซ้ำหัวแถวทุกๆ 100 เซลล์

	Date	Time	PointA	PointB	PointC
	2014-02-20	15:33:09	23.0	23.9	22.3
	2014-02-20	15:27:06	22.1	23.2	22.2
	2014-02-20	15:27:02	22.1	23.4	22.2
	2014-02-20	15:26:06	21.7	23.4	22.2
	2014-02-20	15:21:05	22.2	23.2	22.2
	2014-02-20	15:21:01	22.2	23.0	22.2
	2014-02-20	15:20:08	22.0	23.0	22.2
	2014-02-20	15:20:05	22.0	23.0	22.3
	2014-02-20	15:20:00	22.0	22.8	22.3
	2014-02-20	15:19:09	22.4	22.8	22.3
	2014-02-20	15:19:06	22.4	22.8	22.1
	2014-02-20	15:19:02	22.4	23.1	22.1
	2014-02-20	15:18:04	22.7	23.1	22.1
	2014-02-20	15:18:01	22.7	23.1	22.2
	2014-02-20	15:17:10	22.7	23.8	22.2
	2014-02-20	15:21:08	22.2	23.2	22.3
	2014-02-20	15:22:01	22.4	23.2	22.3
	2014-02-20	15:26:01	21.7	23.4	22.2
	2014-02-20	15:25:06	21.7	24.0	22.2
	2014-02-20	15:25:03	21.7	24.0	22.1
	2014-02-20	15:24:09	21.7	24.1	22.1
	2014-02-20	15:24:06	21.7	24.1	22.2

รูปที่ 4.30 ฐานข้อมูลอุณหภูมิจาก phpMyAdmin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

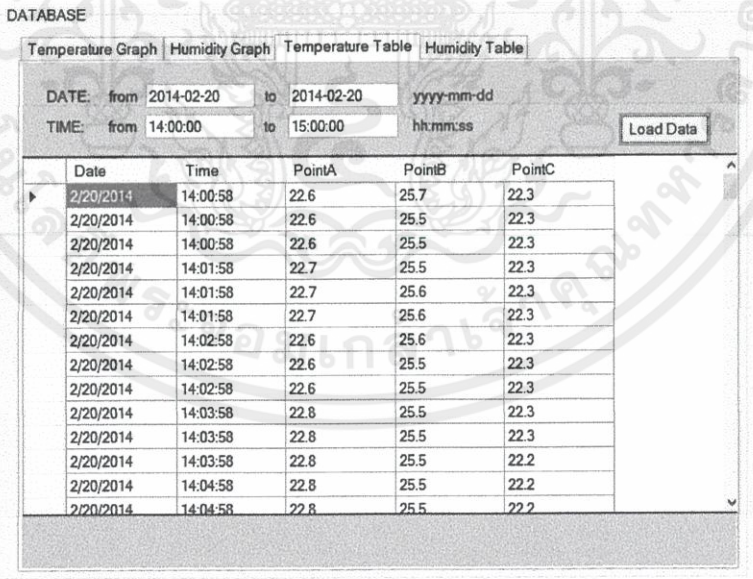


<< < แสดง : 30 แถว เริ่มจากแถวที่ 390

อยู่ใน แนวนอน และซ้ำหัวแถวทุกๆ 100 เซลล์

	DateH	TimeH	HPointA	HPointB	HPointC
	2014-02-20	14:48:58	49.0	40.5	50.4
	2014-02-20	14:48:58	49.0	40.5	50.3
	2014-02-20	14:49:58	49.2	40.5	50.3
	2014-02-20	14:49:58	49.2	40.2	50.3
	2014-02-20	14:49:58	49.2	40.2	50.2
	2014-02-20	14:50:58	49.7	40.2	50.2
	2014-02-20	14:50:58	49.7	40.1	50.2
	2014-02-20	14:50:58	49.7	40.1	50.1
	2014-02-20	14:51:58	48.8	40.1	50.1
	2014-02-20	14:51:58	48.8	40.0	50.1
	2014-02-20	14:51:58	48.8	40.0	50.3
	2014-02-20	14:47:58	49.5	40.5	50.2
	2014-02-20	14:46:59	49.6	40.5	50.2
	2014-02-20	14:46:59	49.6	40.5	50.2
	2014-02-20	14:41:58	46.6	40.7	50.2
	2014-02-20	14:42:58	48.4	40.7	50.2
	2014-02-20	14:42:58	48.4	40.7	50.2
	2014-02-20	14:42:58	48.4	40.7	50.2
	2014-02-20	14:43:58	48.6	40.7	50.2
	2014-02-20	14:43:58	48.6	40.5	50.2
	2014-02-20	14:43:58	48.6	40.5	50.2

รูปที่ 4.31 ฐานข้อมูลความชื้นจาก phpMyAdmin



DATABASE

Temperature Graph | Humidity Graph | Temperature Table | Humidity Table

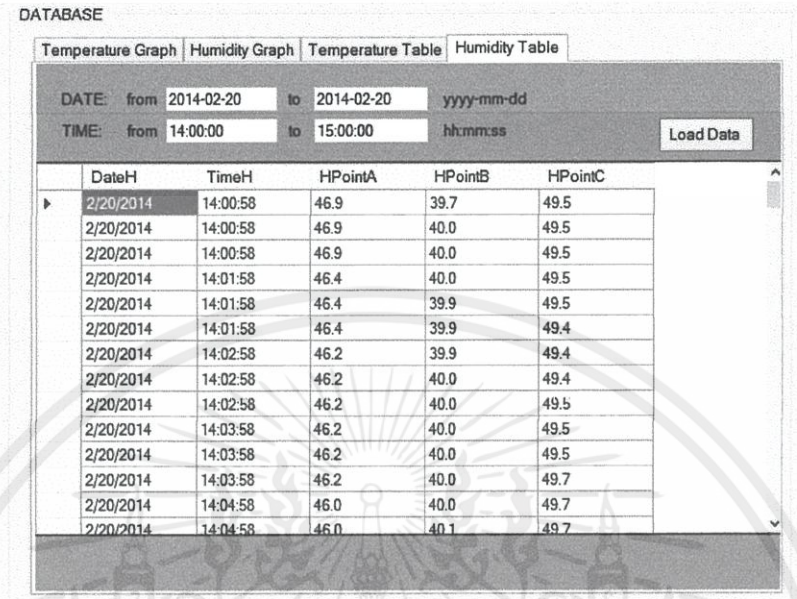
DATE: from 2014-02-20 to 2014-02-20 yyyy-mm-dd

TIME: from 14:00:00 to 15:00:00 hh:mm:ss Load Data

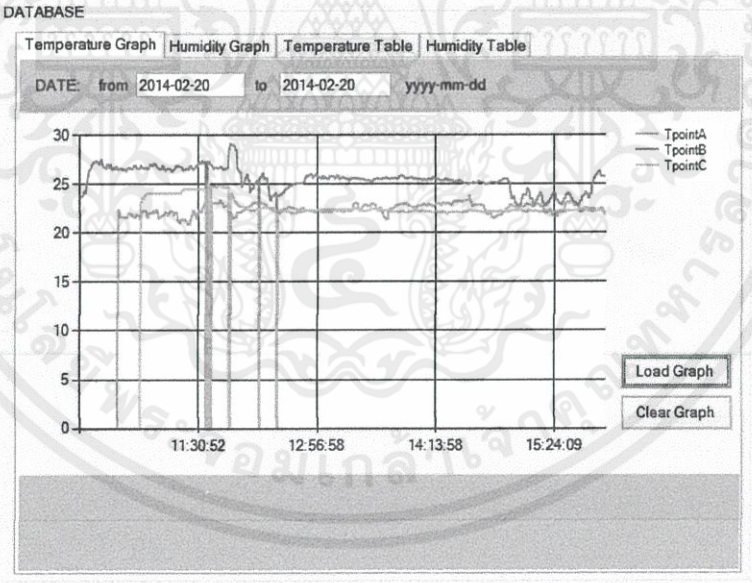
Date	Time	PointA	PointB	PointC
2/20/2014	14:00:58	22.6	25.7	22.3
2/20/2014	14:00:58	22.6	25.5	22.3
2/20/2014	14:00:58	22.6	25.5	22.3
2/20/2014	14:01:58	22.7	25.5	22.3
2/20/2014	14:01:58	22.7	25.6	22.3
2/20/2014	14:01:58	22.7	25.6	22.3
2/20/2014	14:02:58	22.6	25.6	22.3
2/20/2014	14:02:58	22.6	25.5	22.3
2/20/2014	14:02:58	22.6	25.5	22.3
2/20/2014	14:03:58	22.8	25.5	22.3
2/20/2014	14:03:58	22.8	25.5	22.3
2/20/2014	14:03:58	22.8	25.5	22.2
2/20/2014	14:04:58	22.8	25.5	22.2
2/20/2014	14:04:58	22.8	25.5	22.2

รูปที่ 4.32 การแสดงค่าอุณหภูมิแบบตารางจากหน้าต่างโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

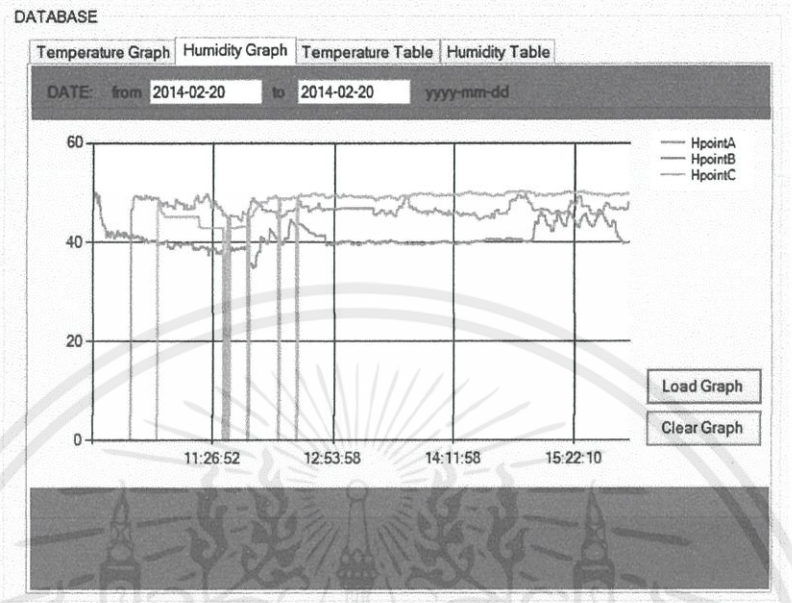


รูปที่ 4.33 การแสดงค่าความชื้นแบบตารางจากหน้าต่างโปรแกรม



รูปที่ 4.34 การแสดงค่าอุณหภูมิแบบกราฟจากหน้าต่างโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.35 การแสดงค่าความชื้นแบบกราฟจากโปรแกรมที่เขียนขึ้น

4.7 การทดลองใช้งานโปรแกรมรับข้อมูล

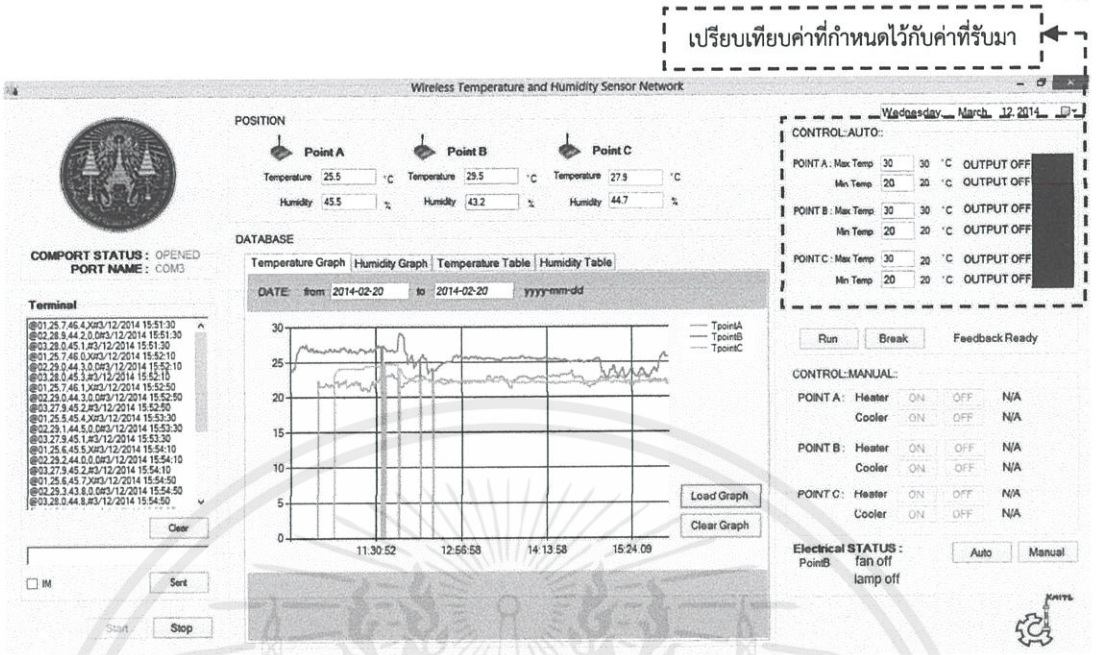
ในการทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อสอบการทำงานของโปรแกรมในส่วนต่างๆ

4.7.1 วิธีการทดลอง

ทดลองเก็บค่าอุณหภูมิและความชื้นจากตำแหน่งต่างๆ จากนั้นดูการทำงานในส่วนต่างๆของโปรแกรม

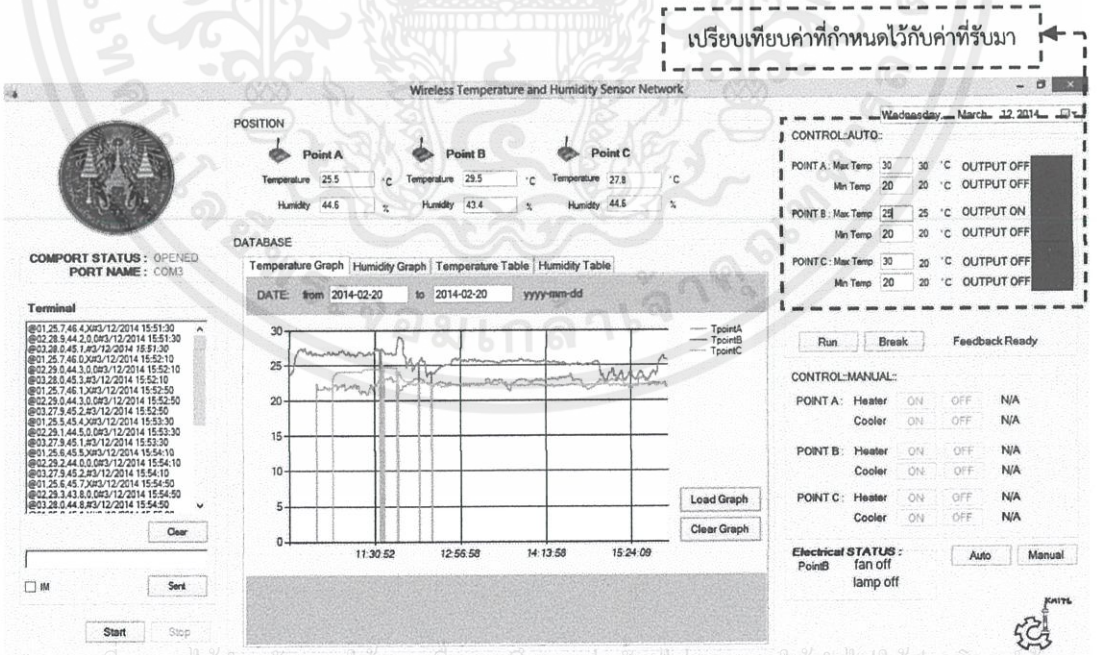
4.7.2 ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.36 หน้าต่างโปรแกรมขณะแสดงสถานะปกติ

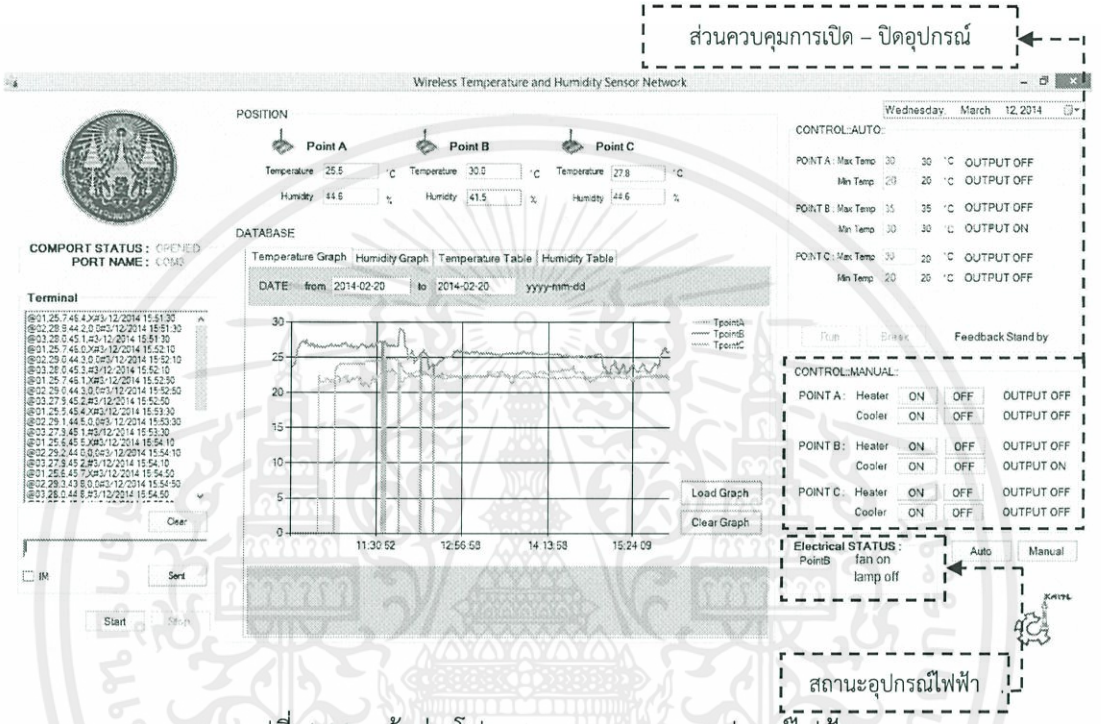
จากรูปที่ 4.36 แสดงหน้าต่างโปรแกรมรับค่าข้อมูลและนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดไว้ (โดยใช้การควบคุมแบบ Auto) ผลจากการเปรียบเทียบ คือ สถานะปกติ สังเกตได้จากอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดมีสถานะเป็น OUTPUT OFF



รูปที่ 4.37 หน้าต่างโปรแกรมขณะอุณหภูมิเกินช่วงที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.37 แสดงหน้าต่างโปรแกรมรับค่าข้อมูลเมื่ออุณหภูมิเกินค่าที่กำหนดไว้จะเห็นว่าสถานะของพัดลมจะเปลี่ยนเป็น OUTPUT ON



รูปที่ 4.38 หน้าต่างโปรแกรมแสดงสถานะอุปกรณ์ไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.38 แสดงการเปิด ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิ ด้วยระบบ manual และการตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ปลายทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ปริญญานิพนธ์เรื่องเครือข่ายเซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้นไร้สายสำหรับโรงเรือน ประสบความสำเร็จในการนำเทคโนโลยี ZigBee มาประยุกต์ใช้กับเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น SHT15 เพื่อส่งข้อมูลแบบไร้สายไปยังโปรแกรมแสดงผลในคอมพิวเตอร์ โดยการวัดอุณหภูมิและความชื้นมีความแม่นยำ เหมาะกับการใช้ควบคุมอุณหภูมิในโรงเรือนแบบปิด และจากการทดลองควบคุมอุณหภูมิในโรงเรือนจำลอง พบว่าสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ใกล้เคียงกับค่าที่กำหนด

5.2 ข้อเสนอแนะ

ปริญญานิพนธ์นี้ยังสามารถพัฒนาต่อไปได้อีกโดยเพิ่มจำนวนโหนดภาคส่งให้มากขึ้น เพื่อขยายเครือข่ายการตรวจสอบและวัดค่าจากอุณหภูมิความชื้น และยังสามารถเพิ่มเครื่องควบคุมความชื้นในการควบคุมความชื้น นอกจากนี้นำฐานข้อมูลแสดงบนเว็บเบราว์เซอร์เพื่อตรวจและควบคุมอุณหภูมิความชื้นผ่านอินเทอร์เน็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] Drew Gislason. ZIGBEE WIRELESS NETWORKING: Newnes , 2008.

[2] Shahin Farahani. ZIGBEE WIRELESS NETWORKING AND TRANSCEIVERS: Newnes , 2008.

[3] ประภาพร ช่างไม้. คู่มือเขียนโปรแกรม ภาษา C ฉบับผู้เริ่มต้น. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี: ไอดีซี อินโฟ ดิสทริบิวเตอร์ เซ็นเตอร์ จำกัด, 2551.

[4] Gerard C. M. Meijer. Smart sensor system: WILEY, 2008.

[5] กิตินันท์ พลสวัสดิ์. คู่มือและการใช้งาน Visual C# 2010. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี: บริษัท ไอดีซี พรีเมียร์ จำกัด, 2554.

[6] ทีมงาน Thaimicrotron. "การใช้งาน SHT1x Sensor Probe วัดอุณหภูมิ ความชื้น" http://www.thaimicrotron.com/Sensor/SHT1x.htm

[7] ทีมงาน Thaieasyelec. "Zigbee คืออะไร." http://www.thaieasyelec.com/electronics-in-chapter/what-is-zigbee.html

[8] ทีมงาน wara "Xbee มันใช้ง่ายกว่าที่คิด." http://wara.com/article-736.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include <18F4620.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#FUSES HS,NOWDT,NOPROTECT
#use delay(clock=20000000)
#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8)
#USE fast_io(a)
#include <input.c>
#include <sht_15_2.c>
#define led1(x) output_bit(pin_d0,x)
#define led2(x) output_bit(pin_d1,x)
#define led3(x) output_bit(pin_c4,x)
#define led4(x) output_bit(pin_c3,x)

char C;
#int_rda
void rs232_isr(void)
{
C = getc();
}
void init(void)
{
enable_interrupts(INT_RDA);
enable_interrupts(GLOBAL);
}
void process(void)
{
set_tris_a(0xff);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 char status_lamp;
 char status_fan;
 float temp=0,humi=0;
 int16 memhumid=0;
 sht_init();
 temp=((measuretemp()*0.01)-39.6);
 memhumid=measurehumid();
 humi=((0.0405*memhumid)-(0.0000028*memhumid*memhumid)-4.0+((temp-
 25.0)*(0.01+(0.00008*memhumid)))),
 if(input(pin_a0)==1)
 {
 status_lamp='1';
 }
 if(input(pin_a0)==0)
 {
 status_lamp='0';
 }
 if(input(pin_a1)==1)
 {
 status_fan='1';
 }
 if(input(pin_a1)==0)
 {
 status_fan='0';
 }
 switch(C){
 case 'A': led1(1); break;
 case 'a': led1(0); break;
 case 'B': led2(1); break;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
case 'b': led2(0); break;
case 'C': printf("@01,%02.1f,%02.1f,#\n",temp,humi);led3(1);delay_ms(500);led3(0);break;
}
C=0;
}
void main (void)
{
init();
while(true){
while(C!=0){
process();
}
led4(1);
}
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้