



การพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยาฆ่าเชื้อ
ด้วยเครื่องฉายเซนเซอร์ไร้สาย

โดย

กาญจน์ญา พานิชเจริญ

ชาญยุทธ อุปายโส



สนับสนุนงบประมาณโดย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

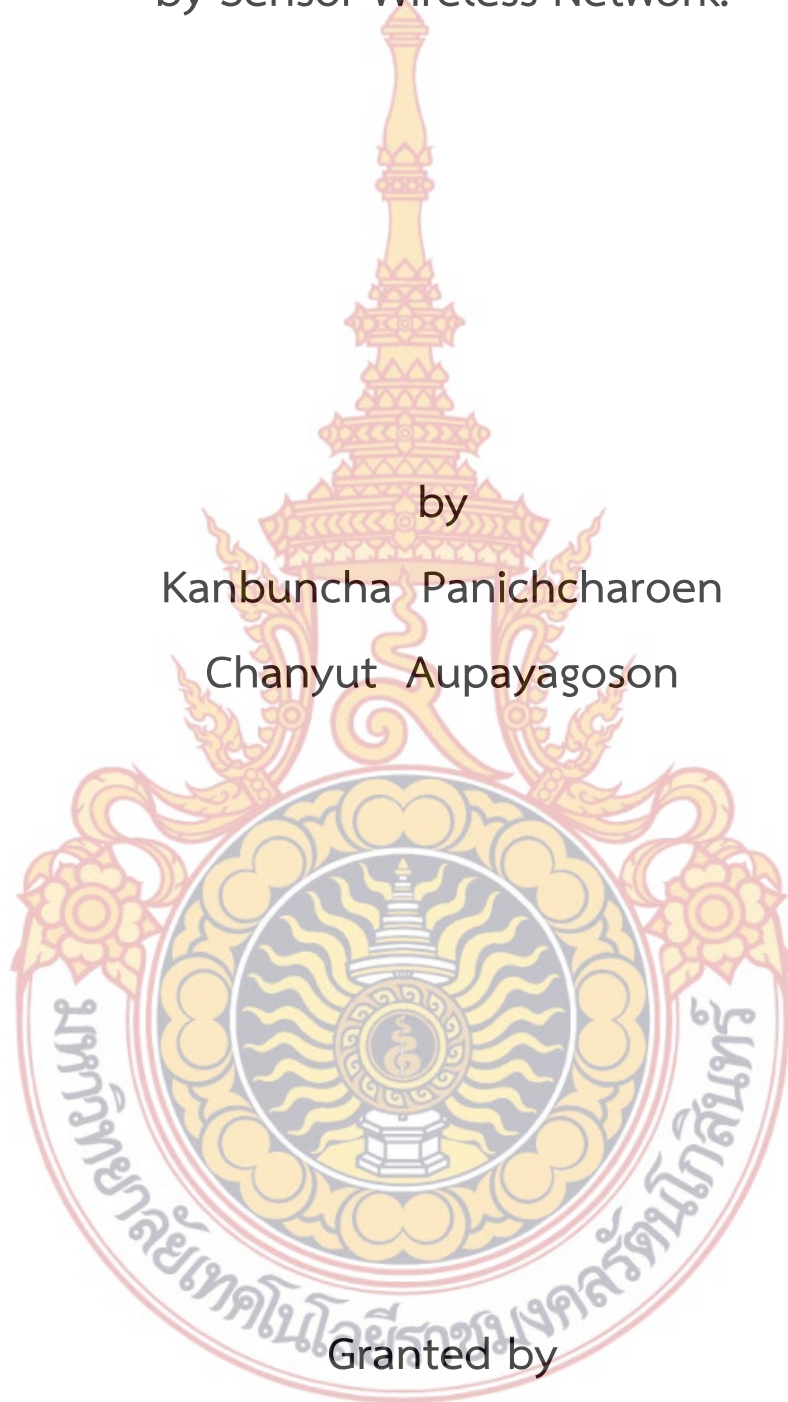
ประจำปีงบประมาณ 2558

The Development of Latex Quality Testing Set
by Sensor Wireless Network.

by

Kanbuncha Panichcharoen

Chanyut Aupayagoson



Granted by

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Fiscal year 2015

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เพราะได้รับความอนุเคราะห์จากคุณพ่อ-คุณแม่ ครอบครัวของอาจารย์กำธร บุญเจริญ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์และองค์การบริหารส่วนตำบลบ้านค่าย อำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และข้อมูลในการทำวิจัยที่เป็นประโยชน์ และสำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัยครั้งนี้ คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ประสิทธิประสาทวิชาให้แก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณคณาจารย์จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ (ศาลายา) สำหรับข้อมูลเบื้องต้นในการทำวิจัย และสุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ-คุณแม่ ภรรยา และบุตรทั้ง 2 คน ครอบครัวพานิชเจริญ ที่ให้คอยห่วงใยและเป็นกำลังใจที่ตีมาโดยตลอด

สุดท้ายหากมีข้อผิดพลาดประการใด ทางคณะผู้วิจัย ขอน้อมรับไว้ ณ ที่นี้ เพื่อใช้ในการปรับปรุงและแก้ไขข้อผิดพลาดต่อไป

กาญจน์ บัญชา พานิชเจริญ และคณะ

มีนาคม 2558



บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : A9/2558

ชื่อโครงการ : การพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราด้วยเครื่องข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

ชื่อผู้วิจัย: กาญจน์ชญา พานิชเจริญ, ชาญยุทธ อุบายโกศล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาเครื่องมือทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราด้วยเครื่องข่ายเซนเซอร์แบบไร้สาย ที่ใช้ตรวจสอบคุณภาพน้ำยางพาราในทางคณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลเพื่อมาประยุกต์ใช้กับเซนเซอร์ทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราที่ได้สร้างขึ้น วัดความหนาแน่นของน้ำยางพาราด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยได้ทำการเทียบวัด (Calibrate) การสะท้อนกลับของคลื่นเสียงเมื่อเคลื่อนที่ไปชนรอยต่อของตัวกลางที่มีอิมพีแดนซ์เสียงที่แตกต่างกัน สัดส่วนแอมพลิจูดของคลื่นตกกระทบต่อคลื่นสะท้อนกลับลำดับที่ 1 (A_0/A_1) เท่ากับ 0.99 จะทำให้ได้ค่าความหนาแน่นของน้ำยางพารา (%DRC) หรือ ρ_2 เท่ากับ 85.70 ด้วยความถี่ 46 กิโลเฮิร์ตซ์ การพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่ได้ทำการวิจัยเปรียบเทียบกับการวัดค่าปริมาณเนื้อยางพาราแบบเก่าที่ใช้แท่งแม่โทรแลคกับการวัดปริมาณเนื้อยางพาราโดยใช้ชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่พัฒนาขึ้น การอ่านค่าความต้านทานไฟฟ้าของน้ำยางพาราทั้งชนิดพันธุ์ RRIM600 และ RRIT251 เทียบกับการวัดค่าปริมาณเนื้อยางพาราแบบเก่าที่ใช้แท่งแม่โทรแลค มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเท่ากับ $10 \pm 2\%$ และเทียบกับชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมามีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเท่ากับ $7 \pm 3\%$ การวัดค่าความแน่นอน (Accuracy) เปรียบเทียบด้วยแท่งแม่โทรแลคกับชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมา ผลการทดลองของน้ำยางพาราพันธุ์ RRIM600 และ RRIT251 มีเปอร์เซ็นต์ค่าความคาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 16.12 และ 26.15 ตามลำดับ ส่วนการวัดค่าความเที่ยงตรง (Reproducibility) เปรียบเทียบผลการทดลองของน้ำยางพาราด้วยแท่งแม่โทรแลคกับชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมา จากตัวอย่างน้ำยางพาราแต่ละชนิด จำนวน 10 ตัวอย่าง ทดลองวัดค่าซ้ำตัวอย่างละ 5 ครั้ง พบว่าผลการทดลองของน้ำยางพาราพันธุ์ RRIM600 และ RRIT251 มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 16.27 และ 26.15 ตามลำดับ

คำหลัก : ชุดทดสอบคุณภาพ, น้ำยางพารา, เครื่องข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

E-mail Address : kanbuncha.pan@rmutr.ac.th

ระยะเวลาโครงการ : 1 ตุลาคม 2557 – 30 กันยายน 2558

Abstract

Code of project : A9/2015

Project name : The Development of Latex Quality Testing Set by Sensor Wireless Network.

Researcher name : Mr.Kanbuncha Panichcharoen, Mr.Chanyut Aupayagason

This research aims to develop the test, the quality of the water timber with a wireless sensor network. The monitoring of water quality the rubber, the sensor is applied to test the quality of the water timber to be created the density of the water timber with ultrasonic waves by the calibration the reflection of sound waves on moving the boundaries of the medium with impedance deluxe sound different ratio of amplitude of the waves crash against the waves reflected back No. 1 (A_0 / A_1) was 0.99 makes the density of the water timber (% DRC) or ρ_2 of 85.70 with a frequency of 46 kHz to develop a series of quality tests that rubber has conducted research comparing the measurement volume. Traditional meat timber used to block metro lactate measurement meat quality latex rubber developed the electrical resistance the measurement meat old used rubber sticks metro lactose. The percentage of error was $10 \pm 2\%$ compared by water quality rubber built with an equal percentage $7 \pm 3\%$ measurement accuracy compared with the metro bar, with a series of quality test rubber built. The results of the water timber species RRIM600 and RRIT251 a percentage of the estimated moving average of 16.12 and 26.15 respectively measurement reproducibility compares the results of the water timber with sticks and the metro to test water quality timber built samples from each timber of 10 samples were measured in duplicate samples 5 times the results of the water timber species RRIM600 and RRIT251 percent average error of 16.27 and 26.15 respectively.

Keyword : Quality Testing, Latex, Sensor Wireless Network.

E-mail Address : kanbuncha.pan@rmutr.ac.th

Period of project : 1 October 2014 - 30 September 2015

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
Abstract.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญภาพ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ	
1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	3
3. ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	3
4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการวิจัย.....	3
2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
1. น้ำยารักษา.....	5
2. พันธุ์ยางพาราในประเทศไทย.....	6
3. การเก็บรักษาน้ำยารักษา.....	15
4. การหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางสด.....	16
5. เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย.....	21
6. หลักการทำงานของ Zigbee.....	25
7. มาตรฐาน IEEE802.15.4 กับ Zigbee.....	36
8. การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	38
9. การสื่อสารแบบอนุกรม.....	45
10. หลักการพื้นฐานของ USB.....	47
11. การสื่อสารแบบ I ² C Bus.....	48
12. การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล.....	52
13. การทำงาน RTC (Real Time Clock) ด้วย DS1307.....	53
14. หน่วยความจำสำหรับการเก็บข้อมูล.....	58
15. การสื่อสารแบบ SPI.....	59

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
16. การทำงานของ LCD	62
17. เซนเซอร์วัดความหนาแน่นของน้ำยางพารา	70
3 วิธีดำเนินการวิจัย	
1. การออกแบบและพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราด้วยเครือข่ายเซนเซอร์	75
2. ชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราด้วยเครือข่ายเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้น.....	80
3. การออกแบบวงจรชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราด้วยเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย	80
4. คุณลักษณะ i-Module RTC DS1307.....	81
5. โครงสร้าง i-Module RTC DS1307.....	81
6. คุณลักษณะ i-Module Arduino Connector Base Shield.....	82
7. การเชื่อมต่อ i-Module Arduino Connector Base Shield.....	83
8. การออกแบบเครือข่ายเซนเซอร์ชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราที่พัฒนาขึ้น....	84
9. ขั้นตอนกำหนดค่าใน X-CTU	87
10. ประเภทของโมดูล Xbee.....	98
11. รูปแบบ Topology.....	101
12. การเขียนโปรแกรมประยุกต์ติดต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม.....	102
4 ผลการดำเนินการวิจัย	
1. ทดสอบและวิเคราะห์ชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราด้วยเครือข่าย เซนเซอร์ไร้สาย.....	108
2. การเปรียบเทียบผลการทดลองของน้ำยางพาราแต่ละพันธุ์ด้วยแท่งแม่โทรแลค.....	116
3. การเปรียบเทียบผลการทดลองของน้ำยางพาราแต่ละพันธุ์ด้วยชุดทดสอบคุณภาพ น้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมา.....	118
4. การวัดค่าความแน่นอน (Accuracy) เปรียบเทียบผลการทดลองของน้ำยางพารา แต่ละพันธุ์ด้วยแท่งแม่โทรแลคกับชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมา.....	120
5. การวัดค่าความเที่ยงตรง (Reproducibility) เปรียบเทียบผลการทดลองของ น้ำยางพาราแต่ละพันธุ์ด้วยแท่งแม่โทรแลคกับชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพารา ที่สร้างขึ้นมา.....	125
6. ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้ชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่พัฒนาขึ้น...	127

5 ผลการวิจัย

1. สรุปผลการวิจัย	129
2. อภิปราย.....	130
3. ข้อเสนอแนะ.....	131
บรรณานุกรม.....	132
ภาคผนวก.....	133
ภาคผนวก ก	
แบบสำรวจความพึงพอใจและใบรับรองการนำไปใช้ประโยชน์การพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพ ของน้ำยางพาราด้วยเครื่องถ่ายภาพเซนเซอร์ ไร้สาย.....	134
ภาคผนวก ข	
เอกสารประกอบ (Data Sheet).....	137
ภาคผนวก ค	
เอกสารการงานวิจัยไปเผยแพร่.....	145
ภาคผนวก ง	
ประวัติผู้วิจัย.....	148



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 รูปตัวอย่างน้ำยางที่ใช้ทดสอบ.....	18
2 ชั่งน้ำหนักน้ำยางตัวอย่าง.....	18
3 เติมน้ำกลั่นลงในน้ำยาง.....	18
4 หยดสารละลายอะซิติกลงในน้ำยาง.....	19
5 ตัวอย่างยางที่จับตัว.....	19
6 รีดตัวอย่างยางให้เป็นแผ่นบาง.....	19
7 อบแผ่นยางจนแห้งนำไปทิ้งให้เย็นในโหลดูดความชื้น.....	20
8 ชั่งน้ำหนักแผ่นยาง.....	20
9 รูปแสดงแบบจำลองการทำงานของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย.....	21
10 ระดับชั้นโพรโตคอลของเครือข่ายสื่อสารไร้สาย.....	22
11 ลักษณะการใช้งานเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายแบบซีกถามและแบบแบ่งงาน.....	24
12 รูปแบบโพรโตคอลมาตรฐาน Zigbee Alliance.....	26
13 ลักษณะการส่งสัญญาณของ Zigbee.....	27
14 โครงสร้าง Protocol Zigbee.....	29
15 การตั้งให้ Zigbee ทำหน้าที่เป็น Coordinator.....	29
16 แสดงการตั้งค่า Zigbee ให้เป็น End device บนโปรแกรม X-CTU.....	30
17 รูปแบบการทำงานของ Zigbee.....	33
18 รูปแบบเครือข่าย IEEE 801.5.4.....	34
19 โครงสร้างโพรโตคอล Zigbee.....	35
20 รูปแบบโพรโตคอล 801.5.4 และ Zigbee.....	36
21 Wireless Body Area Network (WBAN).....	36
22 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	38
23 ส่วนประกอบของไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รุ่น UNO R3.....	40
24 ส่วนประกอบ ATmega328P.....	42
25 สถาปัตยกรรมขั้นสูงของ AVR รุ่น ATmega328P แบบ RISC.....	43
26 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม.....	46
27 บิตการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม.....	46
28 ชนิดของหัว Connector แบบ A และแบบ B.....	47

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
29 ลักษณะการเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบ I ² C BUS	48
30 ลักษณะของ Control Byte ของ I ² C BUS.....	49
31 เงื่อนไขของสภาวะเริ่มต้น และสิ้นสุดของ I ² C BUS.....	51
32 ช่วงเวลารับส่งบิตข้อมูลของ I ² C BUS.....	51
33 ส่วนประกอบของกระบวนการ A/D Convertor.....	52
34 ตำแหน่งขาของไอซี DS1307 RTC	53
35 การเชื่อมต่อ DS1307 เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยระบบบัสแบบ I ² C.....	54
36 การรับส่งข้อมูลผ่านบัส I ² C.....	55
37 การเขียนข้อมูลอุปกรณ์ Slave ผ่านบัส I ² C.....	55
38 การอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์ Slave ผ่านบัส I ² C.....	56
39 รีจิสเตอร์ภายในไอซีฐานเวลา DS1307.....	56
40 การเชื่อมต่อวงจร DS 1307.....	57
41 ทดสอบการใช้งาน DS1307 ผ่านบัส I ² C.....	57
42 หน่วยความจำแบบ MMC (ซ้าย), SD card (กลาง), และ Micro SD card (ขวา).....	58
43 การจัดเรียงขาของ SD card MMC และ Micro SD card และตารางอธิบาย.....	59
44 โครงสร้างขาสัญญาณของไอซี 74245.....	61
45 วงจรเชื่อมต่อระหว่าง SD card กับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านไอซี 74245.....	61
46 แหล่งจ่ายไฟ +3.3Vdc โดยใช้ไอซี Regulator LM1117T-3.3.....	61
47 การทำงานของ LCD (Liquid Crystal Display).....	62
48 จอ LCD 16x2 Character เชื่อมต่อแบบขนาน (Parallel).....	63
49 ด้านหน้าจอ LCD 16x2 Character เชื่อมต่อแบบขนาน (Parallel).....	63
50 ด้านหลังจอ LCD 16x2 Character เชื่อมต่อแบบอนุกรม (Serial I ² C).....	66
51 รูปแบบการรับส่งข้อมูลแบบ I ² C BUS.....	67
52 การเชื่อมต่อจอ LCD กับบอร์ด I ² C.....	68
53 การเชื่อมต่อจอ LCD มากกว่า 1 จอ.....	68
54 การกำหนด Address สำหรับจัมเปอร์บอร์ด PCF8574.....	69
55 ตำแหน่งจัมเปอร์ด้านหลังบอร์ด I ² C.....	69
56 ตำแหน่งจัมเปอร์ Address = 26 ด้านหลังบอร์ด I ² C.....	69

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
57 แสดงคลื่นเคลื่อนที่ไปชนรอยรอยต่อของตัวกลางที่มีค่าอิมพีแดนซ์เสียงที่แตกต่างกัน...	70
58 รูปแบบการตั้งค่าการทดสอบเซนเซอร์วัดความหนาแน่นของน้ำยางพารา การวิเคราะห์เวลาในการ Charge และ Discharge Capacitor.....	72
59 แสดงขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราด้วย เครือข่ายเซนเซอร์.....	75
60 แสดงอุปกรณ์หาคุณภาพน้ำยางพารา (%DRC) จากชุดเครื่องวัดต้นแบบเมโทรแลค...	75
61 แสดงวิธีการวัดคุณภาพน้ำยางพารา (%DRC) จากชุดเครื่องวัดต้นแบบเมโทรแลค.....	76
62 แสดงวงจรอัลตราโซนิกออสซิลเลเตอร์.....	76
63 แสดงการทดสอบวัดค่าความนำไฟฟ้าของเซนเซอร์วัดความหนาแน่นของน้ำยางพารา...	79
64 แสดงส่วนประกอบของการพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราด้วยเครือข่าย เซนเซอร์.....	80
65 การออกแบบวงจรหนอตเซนเซอร์.....	80
66 โครงสร้าง i-Module RTC DS1307.....	81
67 การเชื่อมต่อระหว่าง i-Module RTC ผ่าน i-Module Arduino Connector Base Shield.....	82
68 การเชื่อมต่อ i-Module Arduino Connector Base Shield.....	83
69 การเชื่อมต่อบอร์ด Arduino UNO R3 กับ i-Module Arduino Connector Base Shield.....	84
70 การออกแบบเครือข่ายที่ใช้พัฒนาระบบเครือข่ายเซนเซอร์ชุดทดสอบคุณภาพ น้ำยางพารา (%DRC).....	84
71 โฟลว์ชาร์ต (Flowchart) การทำงานของระบบเครือข่ายเซนเซอร์ ชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพารา.....	86
72 เว็บไซต์ที่ดาวน์โหลดโปรแกรม X-CTU.....	87
73 เลือกโปรแกรมให้ตรงกับ OS ที่ใช้งาน.....	88
74 เลือกโปรแกรมให้ตรงกับฮาร์ดแวร์ของเครื่องคอมพิวเตอร์.....	88
75 ทำการอัปเดตไดร์เวอร์ USB.....	88
76 ตรวจสอบสถานการณ์เชื่อมต่อ USB.....	89

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
77 ทำการตรวจสอบ SH (Serial Number High) และ SL (Serial Number Low).....	89
78 ทำการเชื่อมต่อ โมดูล Xbee เข้ากับบอร์ด Mini Xbee USB Dongle และ ต่อเข้ากับ PC.....	89
79 เปิดโปรแกรม X-CTU.....	90
80 Serial Port ของ Mini Xbee USB Dongle.....	90
81 โปรแกรมทำการค้นหาโมดูล Xbee.....	91
82 โปรแกรมจะแสดงชื่อรุ่น Xbee, พอร์ต และเลข MAC.....	91
83 โปรแกรมอ่านค่าโมดูล Xbee.....	91
84 โปรแกรมแสดงค่า Parameter Xbee.....	92
85 โปรแกรมแสดงหัวข้อใหญ่.....	92
86 กำหนดค่า PAN ID ของเครือข่าย Xbee ที่ใช้.....	93
87 กำหนดค่า Serial Number Xbee ที่ต้องการติดต่อ.....	93
88 กดปุ่ม Update Firmware.....	93
89 เลือก รุ่น (Product family) ของ Xbee.....	93
90 โปรแกรมจะทำการอัปเดต Firmware และเซต Parameter ตามที่กำหนด.....	94
91 สร้างทำการอัปเดตโปรแกรม Xbee ที่เป็น Coordinator.....	94
92 ทำการตั้งค่า Xbee ที่ต้องการเซตเป็น Router.....	94
93 ตั้งค่า PAN ID ให้เป็นค่าเดียวกับ Coordinator.....	95
94 กำหนดค่า Serial Number ของ Xbee Router.....	95
95 กดปุ่ม Update Firmware.....	95
96 เลือก รุ่น (Product family) ของ Xbee.....	95
97 สร้างทำการอัปเดตโปรแกรม Xbee ที่เป็น Router.....	96
98 ขนาดของโมดูล Xbee.....	96
99 ตำแหน่งขา(Pin) ของโมดูล Xbee.....	97
100 รูปแบบ Point to Point.....	101
101 รูปแบบ Star (Broadcast).....	101
102 รูปแบบ Cluster Tree.....	102
103 รูปแบบ Mesh.....	102

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
104 รูปแบบการทำงานของ Serial Port Computer.....	103
105 หน้าจอโปรแกรมอินเตอร์เฟซด้วยภาษา C#.....	105
106 การวัดคุณภาพน้ำยางพาราชนิด RRIM600 ด้วยแท่งเมโทรแลค.....	109
107 การวัดคุณภาพน้ำยางพาราชนิด RRIT251 ด้วยแท่งเมโทรแลค.....	109
108 การวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของเซนเซอร์วัดคุณภาพน้ำยางพาราชนิด RRIM600 ด้วยโอห์มมิเตอร์.....	110
109 การวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของเซนเซอร์วัดคุณภาพน้ำยางพาราชนิด RRIT251 ด้วยโอห์มมิเตอร์.....	110
110 การทดลองวัดคุณภาพน้ำยางพาราชนิด RRIM600 ด้วยชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นเอง...	112
111 การทดลองวัดคุณภาพน้ำยางพาราชนิด RRIT251 ด้วยชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นเอง....	113
112 จอ LCD ที่แสดงค่าคุณภาพน้ำยางพารา(%DRC) และอุณหภูมิในตัวอย่าง น้ำยางพาราที่ทำการทดลอง.....	113
113 การตั้งค่าใน Zigbee Coordinator AT จากโปรแกรม X-CTU.....	114
114 การตั้งค่า Com port, Baudrate และ Mode ก่อนเปิดพอร์ต.....	114
115 การทดลองวัดคุณภาพน้ำยางพาราชนิด RRIM600 ด้วย GUI ผ่านเครือข่ายไร้สาย Xbee ที่เขียนโปรแกรมด้วยภาษา C#.....	115
116 การทดลองวัดคุณภาพน้ำยางพาราชนิด RRIT251 ด้วย GUI ผ่านเครือข่ายไร้สาย Xbee ที่เขียนโปรแกรมด้วยภาษา C#.....	115
117 การแสดงผลค่าคุณภาพน้ำยางพาราและค่าอุณหภูมิด้วยโปรแกรม X-CTU มาตรฐาน	116
118 กราฟแสดงผลการทดลองเฉลี่ยของน้ำยางพาราแต่ละพันธุ์ด้วยแท่งเมโทรแลค.....	118
119 กราฟแสดงผลการทดลองเฉลี่ยของน้ำยางพาราแต่ละพันธุ์ด้วยชุดทดสอบคุณภาพ น้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมา.....	119
120 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำยางพารา (%DRC) พันธุ์ RRIM600 ที่วัดจากเมโทรแลคกับชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมา.....	121
121 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบความต้านทานทางไฟฟ้าของเซนเซอร์ที่วัดคุณภาพ น้ำยางพาราพันธุ์ RRIM600 ที่วัดจากเมโทรแลคกับชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพารา ที่สร้างขึ้นมา.....	121

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
122 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความคาดเคลื่อนคุณภาพน้ำยางพาราพันธุ์ RRIM600 ที่วัดจากเมโทรแลคกับชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมา.....	121
123 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำยางพารา (%DRC) พันธุ์ RRIT251 ที่วัดจากเมโทรแลคกับชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมา.....	123
124 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบความต้านทานทางไฟฟ้าของเซนเซอร์ที่วัดคุณภาพน้ำยางพาราพันธุ์ RRIT251 ที่วัดจากเมโทรแลคกับชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมา.....	124
125 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความคาดเคลื่อนคุณภาพน้ำยางพาราพันธุ์ RRIT251 ที่วัดจากเมโทรแลคกับชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมา.....	124
126 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของคุณภาพน้ำยางพาราพันธุ์ RRIM600 เพื่อหาค่าความเที่ยงตรง (Reproducibility).....	126
127 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของคุณภาพน้ำยางพาราพันธุ์ RRIT251 เพื่อหาค่าความเที่ยงตรง (Reproducibility).....	127
128 ไดอะแกรม Arduino UNO R3 ด้านล่าง.....	138
129 ไดอะแกรม Arduino UNO R3 ด้านบน.....	139
130 แบบวงจร Arduino UNO R3.....	140
131 ไดอะแกรมวงจร i-module connector base shield.....	141
132 แบบวงจร Xbee.....	142
133 แบบวงจร Xbee Shield.....	143
134 แบบวงจร Logger shield for Arduino.....	144
135 หนังสือแจ้งผลการพิจารณาบทความที่ส่งเข้าร่วมประชุมวิชาการการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 7 (7 th RMUTNC).....	146
136 วุฒิบัตรการนำบทความวิจัยไปเผยแพร่การประชุมวิชาการการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 7 (7 th RMUTNC).....	147

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ตารางเปรียบเทียบค่าของเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งกับความถ่วงจำเพาะ.....	16
2 ตารางแสดงฟังก์ชันการทำงานของ ATmega328P.....	44
3 ตารางการจัดขาสัญญาณ SPI ของบอร์ด Arduino UNO R3.....	60
4 ตารางการเชื่อมต่อ LCD แบบขนาน (Parallel) กับบอร์ด Arduino.....	65
5 ตารางการเชื่อมต่อ LCD แบบอนุกรม (Serial I ² C) กับบอร์ด Arduino.....	67
6 ตารางการกำหนดการใช้งาน i-Module Arduino Connector Base Shield.....	83
7 ผลการทดสอบค่าคุณภาพน้ำยางพารา (%DRC) ด้วยแท่งเมโทรแลคเปรียบเทียบกับ ค่าความต้านทานไฟฟ้าและอุณหภูมิของน้ำยางพาราในแต่ละพันธุ์.....	117
8 ผลการทดสอบค่าคุณภาพน้ำยางพารา (%DRC) ด้วยชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพารา ที่สร้างขึ้นมาเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานไฟฟ้าและอุณหภูมิของน้ำยางพารา ในแต่ละพันธุ์.....	119
9 ผลการทดสอบน้ำยางพาราพันธุ์ RRIM600 เพื่อหาค่าความแน่นอน (Accuracy).....	120
10 ผลการทดสอบน้ำยางพาราพันธุ์ RRIT251 เพื่อหาค่าความแน่นอน (Accuracy).....	123
11 ผลการทดสอบน้ำยางพาราพันธุ์ RRIM600 เพื่อหาค่าความเที่ยงตรง (Reproducibility).....	125
12 ผลการทดสอบน้ำยางพาราพันธุ์ RRIT251 เพื่อหาค่าความเที่ยงตรง (Reproducibility).....	126
13 ตารางการประเมินความพึงพอใจด้านความเหมาะสมในหน้าที่ทำงาน.....	127
14 ตารางการประเมินความพึงพอใจด้านความถูกต้องในการทำงาน.....	127
15 ตารางการประเมินความพึงพอใจด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน.....	128
16 ตารางการประเมินความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์.....	128

บทที่ 1

บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางพาราทั้งหมดประมาณ 12.62 ล้านไร่ โดยกระจายอยู่ในภาคใต้ ร้อยละ 90 ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 10 กระจายอยู่ในภาคตะวันออก ตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือ ในพื้นที่ปลูกจำนวนดังกล่าวเป็นพื้นที่ที่เปิดกรีดแล้วประมาณ 10.53 ล้านไร่ สามารถสร้างอาชีพที่มั่นคงให้เกษตรกรมากกว่า 6 ล้านคน หรือประมาณ 1 ล้านครัวเรือนโดยในภาคใต้พื้นที่ปลูกส่วนใหญ่จะอยู่ในเขตป่าไม้ถาวร ป่าสงวนแห่งชาติ ปัจจุบันประเทศไทยสามารถเพิ่มผลผลิตยางพาราขึ้นจาก 90 กิโลกรัมต่อไร่ ในปี 2504 เป็น 286 กิโลกรัมต่อไร่ในปี 2546 ทำให้ประเทศไทยได้เลื่อนฐานะจากการเป็นผู้นำเข้ามาเป็นประเทศผู้ผลิตและส่งออกยางอันดับ 1 ของโลก ผลผลิตยางในปัจจุบันมีประมาณ 2.6 ล้านตัน ในจำนวนนี้ส่งออกประมาณ 2.3 ล้านตัน หรือประมาณร้อยละ 89 ผลิตเพื่อการส่งออก ที่เหลือร้อยละ 11 ใช้ในอุตสาหกรรมภายในประเทศ โดยผลผลิตยางพาราที่เกษตรกรผลิตได้จะถูกนำไปแปรรูปเบื้องต้นเป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง น้ำยางข้น และอื่นๆ วัตถุดิบจากอุตสาหกรรมยางบางส่วนถูกนำไปใช้ในประเทศผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ยางชนิดต่างๆ เช่น ยาง ยานพาหนะ ถุงมือยาง ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์และอื่นๆนอกจากนั้นส่งออกไปยังต่างประเทศ สำหรับยางพาราแปรรูปเบื้องต้น ส่วนที่เหลือส่งออกในรูปยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง น้ำยางข้น ฯลฯ

ทำให้การรับซื้อขายน้ำยางพารา จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของเกษตรกรชาวสวนยาง ประกอบกับความต้องการปริมาณของน้ำยางพาราในโรงงานอุตสาหกรรมที่เพิ่มอัตราการผลิตสูงขึ้น ทำให้เกษตรกรชาวสวนยางนิยมขายน้ำยางพารามากกว่าการทำยางแผ่นดิบ เนื่องจากมีข้อดี คือเกษตรกรชาวสวนยาง ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อวัสดุอุปกรณ์ในการทำยางแผ่น เช่น ตะกวด กระจก กรอง ลวด โตะขนาดยาง และจักรรีดยาง อีกทั้งไม่ต้องเสียเวลาในการทำยางแผ่น เพราะการขายยางของเกษตรกรชาวสวนยางจะได้รับเงินจากการขายน้ำยางทันที หรืออย่างช้าภายใน 24 ชั่วโมงหลังจากการซื้อขาย ซึ่งแตกต่างจากการทำยางแผ่นดิบที่ต้องใช้ระยะเวลาประมาณ 5-10 วัน ในการทำให้แห้งแล้วจึงจะนำไปขายได้ การขายน้ำยางพาราจะขึ้นอยู่กับปริมาณของเนื้อยางแห้งที่อยู่ในน้ำยางพารา แต่คุณภาพของยางแผ่นดิบจะขึ้นอยู่กับวิธีการผลิต ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี โดยแต่ละวิธีนั้นมีการประยุกต์ใช้เพื่อความเหมาะสมกับสภาพของงานแต่ละงาน ความแม่นยำและความถูกต้องนั้น การหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยาง จะหาเป็นค่าของเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งในน้ำยางโดยคิดเทียบจากน้ำยาง 100 ส่วนว่าจะมีเนื้อยางแห้งกี่ส่วน การขายน้ำยางพารามีเงื่อนไขราคาซื้อขายอยู่ที่ปริมาณเนื้อ

ยางภายในน้ำยาง ที่เรียกว่า “เปอร์เซ็นต์ยางแห้ง” (Dry Rubber Content: %DRC) ซึ่งวิธีการหาสามารถกระทำได้หลายวิธี แต่ที่นิยมปฏิบัติกันอยู่ในปัจจุบัน มีอยู่ 2 วิธี ดังนี้คือ

1. การหาเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งโดยการวัดจากแท่งเมโทรแลค โดยใช้หลักการวัดความหนาแน่นของน้ำยางที่อยู่ในช่วง 0.97-0.98 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ถ้ามีเนื้อยางมาก ความหนาแน่นจะน้อยลง เมโทรแลคจะจมมาก ค่าที่อ่านได้จะมาก โดยทั่วไปผู้ซื้อจะเป็นผู้วัด ผลที่อ่านต้องคำนวณเป็นปริมาณในน้ำยาง

2. การหาเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งโดยการอบแห้ง โดยการชั่งตัวอย่างน้ำยางพาราประมาณ 10 กรัม หยดกรดอะซิติกประมาณ 2% จนยางจับตัว รีดยางให้เป็นแผ่นบางหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร ล้างให้สะอาดแล้วอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำแผ่นยางแห้งมาชั่งน้ำหนักหาเปอร์เซ็นต์ยางแห้ง ส่วนใหญ่เป็นวิธีที่ใช้ทดสอบในห้องปฏิบัติการ

จากวิธีการวัดหาค่าเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งทั้ง 2 วิธี เกษตรกรชาวสวนยางต้องรอผลการวัดจากผู้รับซื้อเพียงฝ่ายเดียว ไม่สามารถทราบผลได้ทันที

ในงานวิจัยที่เกี่ยวกับการหาค่าเปอร์เซ็นต์ยางแห้ง ได้มีการนำเทคโนโลยีไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้ในการหาเปอร์เซ็นต์ยางแห้งในน้ำยางพารา จากการศึกษาเครื่องมือทดสอบคุณภาพของน้ำยางพารา โดยอาศัยหลักการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของน้ำยางพาราสด แสดงผลออกมาในรูปของเปอร์เซ็นต์ร้อยละของปริมาณเนื้อยางแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดสอบการหาปริมาณเนื้อยางแห้งโดยการวัดจากแท่งเมโทรแลค ทำให้เกิดความล่าช้าในการแสดงผล หรือผลที่อ่านค่าได้มีความคลาดเคลื่อนสูง เพราะผลที่ได้ขึ้นอยู่กับผู้ที่ทำการทดสอบ นั่นก็คือผู้รับซื้อเป็นผู้กำหนดคุณภาพ และราคาของน้ำยางพารา ทำให้ไม่เกิดความยุติธรรมในการรับซื้อขายน้ำยางพารา อีกทั้งยังทำให้สิ้นเปลืองเวลาและแรงงานในการตรวจสอบ

ด้วยเหตุนี้ จึงเป็นที่มาของงานวิจัยการพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราด้วยเครื่องชั่งเซนเซอร์ไร้สาย โดยการวัดค่าความนำไฟฟ้าและวัดอุณหภูมิของน้ำยางพาราจากเซนเซอร์ไร้สาย เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลการวัดเป็นเปอร์เซ็นต์ยางแห้ง(%DRC) และสะดวกในการพกพาไปได้ทุกสถานที่ ที่มีการใช้งานตรวจสอบคุณภาพน้ำยางพารา อีกทั้งมีขนาดกะทัดรัด ให้ผลการวัดที่รวดเร็ว เหมาะสำหรับการนำไปใช้งานในสถานที่ต่างๆ และมีประสิทธิภาพ โดยพัฒนาการใช้เครื่องชั่งเซนเซอร์ไร้สายที่เหมาะสมกับสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำยางพาราและการเขียนโปรแกรมการแสดงผลค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางสด เปรียบเทียบกับการทดสอบหาปริมาณเนื้อยางแห้งโดยวิธีอบแห้ง ซึ่งถือเป็นวิธีมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการที่มีความถูกต้องแม่นยำ

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 2.1 เพื่อพัฒนาเครื่องมือทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราด้วยเครือข่ายเซนเซอร์แบบไร้สาย
- 2.2 เพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือทดสอบคุณภาพของน้ำยางพารา
- 2.3 เพื่อพัฒนาระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายให้สามารถตรวจจับค่าความเหนียวน้ำหนักไฟฟ้าและค่าอุณหภูมิของน้ำยางพารา

3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 3.1 ศึกษาการหาปริมาณของเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา
- 3.2 พัฒนาเครื่องมือทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราด้วยเครือข่ายเซนเซอร์แบบไร้สาย ด้วยการประมวลผลการวัดเป็นเปอร์เซ็นต์ยางแห้ง (%DRC) ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานที่อุณหภูมิของน้ำยางพาราที่ 25-30 องศาเซลเซียส
- 3.3 เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างเครื่องมือทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราที่พัฒนาขึ้นกับการทดสอบโดยวิธีการอบแห้ง

4. ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการวิจัย

- 4.1 ได้เครื่องมือทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราที่สามารถแสดงผลการวัดค่าเปอร์เซ็นต์ยางแห้ง (%DRC) ได้ภายในเวลา 1 นาที ที่มีความเที่ยงตรงและมีความสะดวกในการพกพา
- 4.2 ทราบถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ การตรวจสอบคุณภาพของน้ำยางพารา
- 4.3 เป็นเครื่องต้นแบบเพื่อพัฒนาไปสู่การใช้งานสำหรับเกษตรกรชาวสวนยางพารา

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยการพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราด้วยเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย
มีแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. น้ำยางพารา
2. พันธุ์ยางพาราในประเทศไทย
3. การเก็บรักษา น้ำยางพารา
4. การหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางสด
5. เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย
6. หลักการทำงานของ Zigbee
7. มาตรฐาน IEEE802.15.4 กับ Zigbee
8. การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์
9. การสื่อสารแบบอนุกรม
10. หลักการพื้นฐานของ USB
11. การสื่อสารแบบ I²C Bus
12. การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล
13. การทำงาน RTC (Real Time Clock) ด้วย DS1307
14. หน่วยความจำสำหรับการเก็บข้อมูล
15. การสื่อสารแบบ SPI
16. การทำงานของ LCD
17. เซนเซอร์วัดความหนาแน่นของน้ำยางพารา

1. น้ำยางพารา

น้ำยางพารา (Latex) ที่กรีตได้จากต้นยางจะเรียกว่าน้ำยางสด (Field Latex) น้ำยางที่ได้จากต้นยางมีลักษณะเป็นเม็ดยางเล็ก ๆ กระจายอยู่ในน้ำ (Emulsion) มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาว มีสภาพเป็นคอลลอยด์ มีปริมาณของแข็งประมาณร้อยละ 30-40 pH 6.5-7 น้ำยางมีความหนาแน่นประมาณ 0.975-0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร มีความหนืด 12-15 เซนติพอยส์ ส่วนประกอบในน้ำยางสดแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ

- 1.1. ส่วนที่เป็นเนื้อยาง 35%
- 1.2. ส่วนที่ไม่ใช่ยาง 65%
 - 1.2.1 ส่วนที่เป็นน้ำ 55%
 - 1.2.2 ส่วนของลู่ทอยด์ 10%

น้ำยางสดที่กรีตได้จากต้นยาง จะคงสภาพความเป็นน้ำยางอยู่ได้ไม่เกิน 6 ชั่วโมง เนื่องจากแบคทีเรียในอากาศ และจากเปลือกของต้นยางขณะกรีตยางจะลงไปปนน้ำยาง และกินสารอาหารที่อยู่ในน้ำยาง เช่น โปรตีน น้ำตาล ฟอสโฟไลปิด โดยแบคทีเรียจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นหลังจากแบคทีเรียกินสารอาหาร คือ จะเกิดการย่อยสลายได้เป็นก๊าซชนิดต่าง ๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน เริ่มเกิดการบูดเน่าและส่งกลิ่นเหม็น การที่มีกรดที่ระเหยง่ายเหล่านี้ในน้ำยางเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ค่า pH ของน้ำยางเปลี่ยนแปลงลดลง ดังนั้นน้ำยางจึงเกิดการสูญเสียสภาพ ซึ่งสังเกตได้จาก น้ำยางจะค่อย ๆ หนืดขึ้น เนื่องจากอนุภาคของยางเริ่มจับตัวเป็นเม็ดเล็ก ๆ และจับตัวเป็นก้อนใหญ่ขึ้น จนน้ำยางสูญเสียสภาพโดยน้ำยางจะแยกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเนื้อยาง และส่วนที่เป็นเซรุ่ม ดังนั้นเพื่อป้องกันการสูญเสียสภาพของน้ำยางไม่ให้อนุภาคของเม็ดยางเกิดการรวมตัวกันเองตามธรรมชาติ จึงมีการใส่สารเคมีลงไปปนน้ำยางเพื่อเก็บรักษาน้ำยางให้คงสภาพเป็นของเหลว โดยสารเคมี ที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางเรียกว่า สารป้องกันการจับตัว (Anticoagulant) ได้แก่ แอมโมเนีย โซเดียมซัลไฟด์ ฟอรัมาลดีไฮด์ เป็นต้น เพื่อที่รักษาน้ำยางไม่ให้เสียสูญเสียสภาพ

การนำยางธรรมชาติไปใช้งานมีอยู่ 2 รูปแบบคือ รูปแบบน้ำยาง และรูปแบบยางแห้ง ในรูปแบบน้ำยางนั้นน้ำยางสดจะถูกนำมาแยกน้ำออกเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของเนื้อยางขึ้นตอนหนึ่งก่อนด้วยวิธีการ ต่างๆ แต่ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมคือการใช้เครื่องเซนตริฟิวส์ ในขณะที่การเตรียมยางแห้งนั้นมักจะใช้วิธีการใส่กรดอะซิติกลงในน้ำยางสด การใส่กรดอะซิติกเจือจางลงในน้ำยาง ทำให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อน เกิดการแยกชั้นระหว่างเนื้อยางและน้ำ ส่วนน้ำที่ปนอยู่ในยางจะถูกกำจัดออกไปโดยการรีดด้วยลูกกลิ้ง 2 ลูกกลิ้ง วิธีการหลัก ๆ ที่จะทำใหยางแห้งสนิทมี 2 วิธีคือ การรมควันยาง และการทำยางเครพ แต่เนื่องจากยางผลิตได้มาจากเกษตรกรจากแหล่งที่แตกต่างกัน ทำให้ต้องมีการแบ่งชั้นของยางตามความบริสุทธิ์ของยางนั้น ๆ

2. พันธุ์ยางพาราในประเทศไทย

การพิจารณาพันธุ์ยางใหม่ที่ผ่านการคัดเลือกตามขั้นตอนต่างๆ ในการปรับปรุงพันธุ์ซึ่งมีลักษณะที่สำคัญบางประการมีแนวโน้มที่ดีในอนาคต เช่น ผลผลิต การเจริญเติบโต และการต้านทานโรค เป็นต้น จากการเพิ่มผลผลิต ทำได้ 2 วิธี คือ การเพิ่มพื้นที่ปลูกและการเพิ่มผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ การเพิ่มพื้นที่ปลูกจากแหล่งปลูกยางเดิมในภาคใต้และภาคตะวันออกไปยังแหล่งปลูกยางใหม่ ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และบางจังหวัดของภาคตะวันออกซึ่งสภาพแวดล้อม ของพื้นที่ปลูกเหล่านี้มีข้อจำกัดหลายประการทั้งในด้านความอุดมสมบูรณ์ของดิน การกระจายตัวของฝน การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ ทำให้การผลิตน้ำยางต่ำกว่าพื้นที่ปลูกยางเดิม ดังนั้นการที่จะได้รับผลผลิตคุ้มค่า เกษตรกรควรเลือกใช้พันธุ์ยางที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในพื้นที่ปลูก การปฏิบัติต่อต้นยางที่เหมาะสมทั้งในด้านการควบคุมการระบาดของโรค การกำจัดวัชพืช ตลอดจนการเก็บเกี่ยวผลผลิต ลักษณะของยางพันธุ์ดีจะให้ผลผลิตน้ำยางและเนื้อไม้สูง ดังนั้นควรพิจารณาจากลักษณะที่สำคัญ ได้แก่ การเจริญเติบโตและปรับตัวได้ดีในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ความต้านทานโรค แรงลม รวมถึงคุณสมบัติในการแปรรูปทางอุตสาหกรรมทั้งนี้การปลูกยางพันธุ์ดีเป็นวิธีการที่ลงทุนน้อย ปฏิบัติง่าย และให้ผลในระยะยาว

2.1 การแบ่งกลุ่มพันธุ์ยาง แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 พันธุ์ยางผลผลิตน้ำยางสูง

เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตเนื้อยางสูงเป็นหลักมี 4 พันธุ์ คือ พันธุ์สถาบันวิจัยยาง 251 สถาบันวิจัยยาง 226 BPM 24 และพันธุ์ RRIM 600

กลุ่มที่ 2 พันธุ์ยางผลผลิตน้ำยางและเนื้อไม้สูง

เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตเนื้อยางสูงและมีการเจริญเติบโตดี ลักษณะลำต้นตรงแลให้ปริมาณเนื้อไม้ในส่วนลำต้นสูง มี 4 พันธุ์ คือ พันธุ์ PB235 PB255 PB260 และพันธุ์ RRIC 110

กลุ่มที่ 3 พันธุ์ยางผลผลิตเนื้อไม้สูง

เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตเนื้อไม้สูงเป็นหลัก มีการเจริญเติบโตดีมาก ลักษณะลำต้นตรง ให้ปริมาณเนื้อไม้ในส่วนลำต้นสูงเหมาะสำหรับเป็นพันธุ์ที่จะปลูกเป็นสวนป่าเพื่อการผลิตเนื้อไม้มี 3 พันธุ์ คือ พันธุ์ฉะเชิงเทรา 50 AVROS 2037 และพันธุ์ BPM 1

2.1.1 กลุ่ม 1: พันธุ์ยางผลผลิตน้ำยางสูง

ลักษณะพันธุ์ สถาบันวิจัยยาง 251 (RRIT 251)

พ่อ - แม่พันธุ์ ต้นกล้ายางจากแปลงเอกชนในจังหวัดสงขลา

ลักษณะประจำพันธุ์: รูปร่างป้อมปลายใบ ขอบใบเป็นคลื่น ใบมีสีเขียว ฉัตรมีขนาดใหญ่ เป็นรูปกรวยในช่วงยางอ่อน แตกกิ่งมาก ทรงพุ่มมีขนาดใหญ่เป็นรูปทรงกลม เริ่มผลัดใบค่อนข้างช้า

ลักษณะทางการเกษตร: ขนาดลำต้นทั้งแปลงสม่ำเสมอ จำนวนต้นเปิดกรีดได้มาก เปลือกเดิมและเปลือกงอกใหม่หนาปานกลาง มีจำนวนต้นเปลือกแห้งน้อย ด้านทานโรคใบร่วง โรคราแป้ง โรคใบจุดนูน และโรคราสีชมพูระดับปานกลาง ด้านทานโรคเส้นดำระดับดี ผลผลิตเนื้อยาง 10 ปี กรีดเฉลี่ย 457 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี

ลักษณะดีเด่น: ผลผลิตเนื้อยางสูงมาก มีจำนวนต้นเปิดกรีดได้มาก ความต้านทานโรคเส้นดำในระดับดี มีจำนวนต้นเปลือกแห้งน้อย

ข้อจำกัด / ข้อควรระวัง: ในระยะยางอ่อน ต้นยางที่ปลูกในพื้นที่ฝนตกชุก ทั้งในแปลงกิ่งตาและแปลงปลูกจะอ่อนแอต่อโรคใบจุดนูนมาก

พื้นที่แนะนำ: ปลูกได้ในพื้นที่ทั่วไป ยกเว้น พื้นที่ลาดชัน พื้นที่ที่มีหน้าดินตื้น พื้นที่ที่มีระดับน้ำใต้ดินสูง และพื้นที่ลมแรงเนื่องจากทรงพุ่มมีขนาดใหญ่ แตกกิ่งไม่สมดุล

ลักษณะพันธุ์ สถาบันวิจัยยาง 226 (RRIT 226)

พ่อ - แม่พันธุ์ RRIM 600 X PB 5/51

ลักษณะประจำพันธุ์: ใบมีรูปร่างป้อมปลายใบ ฉัตรเป็นรูปกรวยขนาดเล็ก ลำต้นตรง กิ่งมีขนาดปานกลางและแตกกิ่งเล็กจำนวนมาก ทรงพุ่มมีขนาดปานกลางเป็นรูปพีด เริ่มผลัดใบเร็ว

ลักษณะทางการเกษตร: ความสม่ำเสมอขนาดลำต้นทั้งแปลงปานกลาง เปลือกเดิมบาง เปลือกงอกใหม่หนาปานกลาง ผลผลิตเนื้อยาง 8 ปีกรีดเฉลี่ย 346 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี จำนวนต้นเปลือกแห้งน้อย ด้านทานโรคใบร่วงและโรคเส้นดำนระดับดี ด้านทานโรคใบจุดนูนและโรคราสีชมพูปานกลาง ค่อนข้างอ่อนแอต่อโรคราแป้งและด้านทานลมปานกลาง

ลักษณะดีเด่น: ผลผลิตเนื้อยางสูง ด้านทานโรคใบร่วงและโรคเส้นดำนระดับดี มีจำนวนต้นเปลือกแห้งน้อย

ข้อจำกัด / ข้อควรระวัง: ค่อนข้างอ่อนแอต่อโรคราแป้ง

พื้นที่แนะนำ: ปลูกได้ในพื้นที่ทั่วไปและสามารถปลูกได้ในพื้นที่ที่มีหน้าดินตื้นและพื้นที่ที่มีระดับน้ำใต้ดินสูง

ลักษณะพันธุ์ BPM 24

พื่อ - แม่พันธุ์ AVROS 1734 x GT1

ลักษณะประจำพันธุ์: ใบมีรูปร่างป้อมกลางใบ ฉัตรเป็นรูปกรวยตัด ลำต้นตรง แดกกิ่งมาก กิ่งมีขนาดปานกลาง มีการทิ้งกิ่งน้อย พุ่มใบค่อนข้างทึบ ทรงพุ่มมีขนาดปานกลางเป็นรูปกรวย เริ่มผลัดใบเร็ว และทยอยผลัดใบ

ลักษณะทางการเกษตร: ความสม่ำเสมอขนาดลำต้นทั้งแปลงปานกลาง เปลือกเดิมหนา มาก เปลือกงอกใหม่ หนาปานกลาง เปลือกเรียบและกรีดง่าย ผลผลิตเนื้ออย่างแห้ง 10 ปี กรีดเฉลี่ย 335 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี จำนวนต้นเปลือกแห้งปานกลาง ต้านทานโรคใบร่วงและโรคเส้นดำระดับดี ต้านทานโรคราแป้ง โรคใบจุดนูนและโรคราสีชมพูปานกลาง ต้านทานลม

ลักษณะดีเด่น: ผลผลิตเนื้ออย่างสูงมากในระยะแรกของการเปิดกรีด เปลือกหนาเรียบทำให้กรีดง่าย ความต้านทานโรคส่วนใหญ่อยู่ในระดับดี โดยเฉพาะโรคใบร่วงและโรคเส้นดำ

ข้อจำกัด / ข้อควรระวัง: ไม่แนะนำการกรีดที่มีวันกรีดติดต่อกันเพราะจะทำให้ผลผลิตลดลงและต้นยางแสดงอาการเปลือกแห้งได้ง่าย ในระยะยางอ่อนจะแตกกิ่งเล็กๆจำนวนมาก ลำต้นและกิ่งจะมีรอยแตกน้ำยางไหล ลักษณะนี้จะเกิดมากขึ้นเมื่อปลูกในสภาพพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ และมีปริมาณฝนน้อย

พื้นที่แนะนำ: ปลูกได้ในพื้นที่ทั่วไปและสามารถปลูกได้ในพื้นที่ที่มีหน้าดินตื้น พื้นที่ลาดชัน และพื้นที่ที่มีระดับน้ำใต้ดินสูงสามารถปลูกได้ในพื้นที่ที่มีการระบาดของรุนแรงของโรคใบร่วงไฟทอปโทราและโรคเส้นดำ

ลักษณะพันธุ์ RRIM 600

พื่อ - แม่พันธุ์ PB 86 x Tjir

ลักษณะประจำพันธุ์: ใบมีรูปร่างป้อมปลายใบ สีเขียวอมเหลือง ฉัตรใบเป็นรูปกรวยขนาดเล็ก ในระยะ 2 ปี แรกลำต้นจะตั้งตรง การแตกกิ่งช้า การแตกกิ่งเป็นมุมแหลมค่อนข้างยาว ทรงพุ่ม มีขนาดปานกลางเป็นรูปพีค เริ่มผลัดใบเร็ว

ลักษณะทางการเกษตร: ในระยะก่อนเปิดกรีดและระหว่างกรีดการเจริญเติบโตปานกลาง เปลือกเดิมบาง เปลือกงอกใหม่หนาปานกลาง ผลผลิตระยะแรกปานกลางแต่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในปีต่อมา ให้ผลผลิตเนื้ออย่าง 10 ปีกรีดเฉลี่ย 289 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี มีจำนวนต้นเปลือกแห้งน้อย อ่อนแอมากต่อโรคใบร่วงและโรคเส้นดำ ต้านทานโรคราแป้งและใบจุดนูนในระดับปานกลาง อ่อนแอต่อโรคราสีชมพู ต้านทานลมระดับปานกลาง

ลักษณะดีเด่น: การปรับตัวและให้ผลผลิตได้ดีในเกือบทุกพื้นที่ ทนทานต่อการกรีดได้ดีมากกว่าพันธุ์อื่นๆ และมีจำนวนต้นเปลือกแห้งน้อย

ข้อจำกัด / ข้อควรระวัง: อ่อนแอมากต่อโรคใบร่วงที่เกิดจากเชื้อไฟทอปโทรา โรคเส้นดำ และอ่อนแอต่อโรค ราสีชมพู เปลือกเค็มบาง

พื้นที่แนะนำ: ปลูกได้ในพื้นที่ทั่วไป พื้นที่ที่มีหน้าดินตื้น และพื้นที่ที่มีระดับน้ำใต้ดินสูง ยกเว้นพื้นที่ที่มีโรคใบร่วงที่เกิดจากเชื้อไฟทอปโทรา โรคเส้นดำและโรคราสีชมพูระบาดรุนแรง

2.1.2 กลุ่ม 2: พันธุ์ยางผลผลิตน้ำยางและเนื้อไม้สูง

ลักษณะพันธุ์ PB 235

พ่อ - แม่พันธุ์ PB S/78 x PB 5/51

ลักษณะประจำพันธุ์: ใบมีรูปร่างป้อมกลางใบ ฉัตรเป็นรูปกรวย กิ่งมีขนาดเล็กจำนวนมาก เมื่ออายุมาก ทิ้งกิ่งมาก ทำให้พุ่มใบบาง ทรงพุ่มมีขนาดใหญ่เป็นรูปทรงกลม เริ่มผลัดใบช้า

ลักษณะทางการเกษตร: เปลือกเค็มหนาปานกลาง เปลือกงอกใหม่บาง ผลผลิตเนื้อยาง 10 ปี กรีดเฉลี่ย 330 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี มีจำนวนต้นเปลือกแห้งค่อนข้างมาก ต้านทานโรคใบร่วง และโรคเส้นดำปานกลาง อ่อนแอมากต่อโรคราแป้งและโรคใบจุดนูน ต้านทานต่อโรคราสีชมพูระดับดี และต้านทานต่อลมในระดับปานกลาง

ลักษณะดีเด่น: ให้ผลผลิตน้ำยางและเนื้อไม้สูง เติบโตดีมากในทุกพื้นที่ ต้านทานดีต่อโรคราสีชมพู

ข้อจำกัด / ข้อควรระวัง: อ่อนแอต่อโรคใบร่วง โรคใบจุดนูน และโรคราสีชมพู

พื้นที่แนะนำ: ปลูกได้ในพื้นที่ทั่วไป ยกเว้นในพื้นที่ลาดชัน พื้นที่ที่มีหน้าดินตื้น และพื้นที่ที่มีระดับน้ำใต้ดินสูง

ลักษณะพันธุ์ PB 255

พ่อ - แม่พันธุ์ PB 32/36 x PB 5/51

ลักษณะประจำพันธุ์: ใบมีรูปร่างป้อมกลางใบ สีเขียวอ่อน ฉัตรใบเป็นรูปครึ่งวงกลม ลำต้นตรง ระยะยางอ่อนแตกกิ่งเร็ว กิ่งมีขนาดเล็กจำนวนมาก ทรงพุ่มมีขนาดใหญ่เป็นรูปกลม ผลัดใบช้า

ลักษณะทางการเกษตร: เปลือกเค็มและเปลือกงอกใหม่หนา ผลผลิตเนื้อยาง 10 ปี กรีดเฉลี่ย 318 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี มีจำนวนต้นเปลือกแห้งปานกลาง อ่อนแอต่อโรคใบร่วง โรคใบจุดนูน และโรคราสีชมพู ต้านทานโรคราแป้งและโรคเส้นดำระดับปานกลาง และต้านทานลมดี

ลักษณะดีเด่น: ผลผลิตเนื้อยางและเนื้อไม้สูง เปลือกหนานิ่ม กรีดง่าย ต้านทานลมค่อนข้างดี

ข้อจำกัด / ข้อควรระวัง: อ่อนแอต่อโรคใบร่วง ใบจุดนูน และโรคราสีชมพู ไม่แนะนำการกรีดที่มีวันกรีดติดต่อกันเพราะจะทำให้ผลผลิตลดลงและต้นยางแสดงอาการเปลือกแห้งได้ง่าย

พื้นที่แนะนำ: ปลูกได้ในพื้นที่ทั่วไป ทั้งในพื้นที่ลาดชัน พื้นที่ที่มีหน้าดินตื้น และพื้นที่ที่มีระดับน้ำใต้ดินสูง ยกเว้นพื้นที่ที่มีโรคใบร่วง โรคใบจุดนูน และโรคราสีชมพู ระบาดรุนแรง

ลักษณะพันธุ์ PB 260

พ่อ - แม่พันธุ์ PB 49 x PB 5/51

ลักษณะประจำพันธุ์: ใบมีรูปร่างป้อมปลายใบ สีเขียวเข้ม ฉัตรเป็นรูปกรวย ลำต้นตรง การแตกกิ่งสมดุติ กิ่งมีขนาดเล็กจำนวนมาก พุ่มใบทึบ ทรงพุ่มมีขนาดใหญ่เป็นรูปรี ผลัดใบค่อนข้างช้า

ลักษณะทางการเกษตร: ในระยะก่อนเปิดกรีดการเติบโตดี ระหว่างการกรีดเติบโตปานกลาง เปลือกเดิมหนาปานกลาง เปลือกงอกใหม่บาง ผลผลิตเนื้อยาง 10 ปีกรีดเฉลี่ย 322 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี มีจำนวนต้นเปลือกแห้งปานกลาง ด้านทานปานกลางต่อโรคใบร่วง โรคราแป้ง โรคใบจุดนูน และโรคเส้นดำ ด้านทานดีต่อโรคราสีชมพูและด้านทานลมค่อนข้างดี

ลักษณะดีเด่น: ผลผลิตเนื้อยางและเนื้อไม้สูง ด้านทานโรคราสีชมพูระดับดี และด้านทานลมดี

ข้อจำกัด / ข้อควรระวัง: ไม่แนะนำการกรีดที่มีวันกรีดติดต่อกันเพราะจะทำให้ต้นยางแสดงอาการเปลือกแห้งได้ง่าย

พื้นที่แนะนำ: ปลูกได้ในพื้นที่ทั่วไป

ลักษณะพันธุ์ RRIC 110

พ่อ - แม่พันธุ์ RRIC 7 x LCB 1320

ลักษณะประจำพันธุ์: ใบมีรูปร่างป้อมปลายใบ สีเขียวเข้ม ฉัตรใบเป็นรูปกรวย ลำต้นตรง ในช่วงยางอ่อนแตกกิ่งขนาดกลางและเล็กจำนวนมาก พุ่มใบทึบ อายุมาก ทั้งกิ่งด้านล่าง ทำให้พุ่มใบค่อนข้างบาง ทรงพุ่มมีขนาดใหญ่เป็นรูปพัด เริ่มผลัดใบช้า

ลักษณะทางการเกษตร: เปลือกเดิมหนา และเปลือกงอกใหม่บาง ผลผลิตเนื้อยาง 10 ปีกรีดเฉลี่ย 324 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี มีจำนวนต้นเปลือกแห้งน้อย ด้านทานโรคใบร่วงระดับดี ด้านทานต่อโรคราแป้งโรคใบจุดนูน โรคเส้นดำและโรคราสีชมพูปานกลาง ด้านทานลมปานกลาง

ลักษณะดีเด่น: ผลผลิตเนื้อยางและเนื้อไม้สูง การเจริญเติบโตดีมากในระยะก่อนเปิดกรีดทำให้เปิดกรีดได้เร็ว ด้านทานต่อโรคใบร่วงระดับดี และมีจำนวนต้นเปลือกแห้งน้อย

ข้อจำกัด / ข้อควรระวัง: เปลือกบาง เมื่อนำยางไปทำเป็นแผ่นยางดิบจะมีสี
ค่อนข้างคล้ำ

พื้นที่แนะนำ: ปลุกได้ในพื้นที่ทั่วไป ยกเว้นพื้นที่ลาดชัน พื้นที่ที่มีหน้าดินตื้น พื้นที่ที่มี
ระดับน้ำใต้ดินสูงและพื้นที่ลมแรง

2.1.3 กลุ่ม 3: พันธุ์ยางผลผลิตเนื้อไม้สูง

ลักษณะพันธุ์ ฉะเชิงเทรา 50 (RRIT 402)

พ่อ - แม่พันธุ์ RRIC 110 ill.*

ลักษณะประจำพันธุ์: ใบมีรูปร่างป้อมปลายใบ สีเขียวเข้ม ฉัตรใบเป็นรูปกรวย การแตก
กิ่งอยู่ในระดับสูง ลักษณะการแตกกิ่งสมดุลง รูปทรงลำต้นตรง มีลักษณะกลม ทรงพุ่มค่อนข้างใหญ่

ลักษณะทางการเกษตร: การเจริญเติบโตดีมาก ในช่วงอายุ 6 ปี ด้านทานโรคใบร่วงที่
เกิดจากเชื้อไฟทอปโทรา และโรคราแป้งระดับปานกลาง ด้านทานโรคใบจุดนูนระดับดี

ลักษณะดีเด่น: ผลผลิตเนื้อไม้สูง ด้านทานโรคใบจุดนูนระดับดี

ข้อจำกัด / ข้อควรระวัง: -

พื้นที่แนะนำ: ปลุกได้ในพื้นที่ทั่วไป

* หมายเหตุ: ill = illegitimate clonal seed หมายถึง เมล็ดที่เก็บจากต้นแม่พันธุ์ RRIC
110 ที่เกิดจากการผสมข้ามตามธรรมชาติ

ลักษณะพันธุ์ AVROS 2037

พ่อ - แม่พันธุ์ AVROS 352 x AVROS 256

ลักษณะประจำพันธุ์: มีรูปร่างป้อมปลายใบ ฉัตรเป็นรูปครึ่งวงกลม พุ่มใบทึบทั้งกิ่งเล็ก
ค่อนข้างเร็ว เมื่ออายุมากเหลือกิ่งขนาดใหญ่ 1-2 กิ่งในระดับสูง ทำให้ทรงพุ่มโปร่ง รูปทรงลำต้นตรง

ลักษณะทางการเกษตร: การเจริญเติบโตดีมากในช่วงอายุ 6 ปี 15 ปี และ 20 ปี
อ่อนแอต่อโรคใบร่วง ด้านทานปานกลางต่อโรคราแป้ง ด้านทานดีต่อโรคใบจุดนูน และโรคราสีชมพู
ด้านทานลมได้ดี

ลักษณะดีเด่น: ผลผลิตเนื้อไม้สูง ด้านทานดีต่อโรคใบจุดนูนและโรคราสีชมพู ด้านทาน
ลมได้ดี

ข้อจำกัด / ข้อควรระวัง: อ่อนแอต่อโรคใบร่วงที่เกิดจากเชื้อไฟทอปโทรา การแตกกิ่ง
ระยะแรกจะไม่สมดุลง และในช่วงอายุมากต้นยางจะโค้งในส่วนยอด

พื้นที่แนะนำ: ปลุกได้ในพื้นที่ทั่วไป ยกเว้นพื้นที่ที่มีโรคใบร่วงระบาดรุนแรง

ลักษณะพันธุ์ BPM 1

พ่อ - แม่พันธุ์ AVROS 308 x AVROS 163

ลักษณะประจำพันธุ์: มีรูปร่างป้อมกลางใบ สีเขียวเข้ม ฉัตรใบเป็นรูปครึ่งวงกลม การแตกกิ่งสมตุล กิ่งมีขนาดเล็กจำนวนมาก ทรงพุ่มเป็นรูปกรวย พุ่มใบทึบ เมื่ออายุมากกิ่งกิ่งเหลือกิ่งขนาดใหญ่ 3-5 กิ่งในระดับสูง ทำให้ทรงพุ่มโปร่ง รูปทรงลำต้นตรง มีลักษณะกลม เริ่มผลัดใบเร็ว

ลักษณะทางการเกษตร: การเจริญเติบโตดีมากในช่วงอายุ 6 ปี 15 ปี และ 20 ปี ต้านทานโรคใบร่วง โรคราแป้ง โรคใบจุดนูนและโรคราสีชมพูระดับปานกลาง และต้านทานลมระดับค่อนข้างดี

ลักษณะดีเด่น: การเจริญเติบโตดีมาก ต้านทานโรคใบร่วงที่เกิดจากเชื้อไฟทอปโทรา ระดับดี และต้านทานลมระดับค่อนข้างดี

พื้นที่แนะนำ: ปลูกได้ในพื้นที่ทั่วไป ยกเว้นพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ

2.2 การแบ่งขนาดของสวนยาง

ขนาดของสวนยาง คือ ความมากน้อยของพื้นที่ที่ใช้ในการปลูกยาง แบ่งเป็น 3 ขนาด คือ

1. สวนยางขนาดเล็ก หมายถึง สวนยางที่มีเนื้อที่ตั้งแต่ 2-50 ไร่
2. สวนยางขนาดกลาง หมายถึง สวนยางที่มีเนื้อที่ตั้งแต่ 52-250 ไร่
3. สวนยางขนาดใหญ่ หมายถึง สวนยางที่มีเนื้อที่มากกว่า 250 ไร่ ขึ้นไป

2.3 การแบ่งเขตพื้นที่ปลูกยางเพื่อใช้เป็นข้อพิจารณาเบื้องต้น

การแบ่งเขตพื้นที่ปลูกยางได้แบ่งเป็นพื้นที่ปลูกยางเดิม 6 เขต โดยในภาคใต้ 4 เขต ภาคตะวันออก 2 เขต และพื้นที่ปลูกยางใหม่ 2 เขต คือเขตส่งเสริมภาคเหนือ และเขตส่งเสริมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังนี้

2.3.1 พื้นที่ปลูกยางเดิม

ภาคใต้

1) เขตฝั่งตะวันตก ได้แก่ จังหวัดระนอง ภูเก็ต พังงา ส่วนใหญ่ของจังหวัดกระบี่ ตอนเหนือของจังหวัดตรัง และทางตอนใต้ของจังหวัดสุราษฎร์ธานี พื้นที่ในเขตนี้มี ปริมาณน้ำฝน ระหว่าง 2,000-5,000 มิลลิเมตรต่อปี จำนวนวันฝนตก 161-227 วันต่อปี อาจมีลมแรงที่ก่อให้เกิดความเสียหายในบางพื้นที่ ดังนั้นควรเลือกพันธุ์ยางที่ต้านทานต่อโรคใบร่วงที่เกิดจากเชื้อไฟทอปโทรา โรคเส้นดำ และโรคใบจุดนูน พันธุ์ยางที่แนะนำ ได้แก่ กลุ่ม 1 พันธุ์สถาบันวิจัยยาง 251 สถาบันวิจัยยาง 226 BPM 24 กลุ่ม 2 พันธุ์ PB235 PB260 RRIC110 กลุ่ม 3 พันธุ์ฉะเชิงเทรา 50 BPM1

2) เขตตอนกลาง ได้แก่ จังหวัดชุมพร นครศรีธรรมราช พัทลุง ด้านตะวันออกและ ส่วนกลางของจังหวัดสุราษฎร์ธานี ด้านตะวันออกของจังหวัดกระบี่ จังหวัดตรัง (ยกเว้นทางตอนเหนือ) และจังหวัดสงขลา (ยกเว้นบริเวณชายแดนที่ติดต่อกับประเทศมาเลเซีย) พื้นที่ในเขตนี้มีปริมาณน้ำฝน ระหว่าง 1,800-2,600 มิลลิเมตรต่อปี จำนวนวันฝนตก 183-195 สามารถปลูกได้ทุกพันธุ์ที่แนะนำ

3) เขตตอนใต้ ได้แก่ จังหวัดปัตตานี ยะลา และนราธิวาส (ยกเว้นบริเวณที่อยู่ติด เขตชายแดนของประเทศมาเลเซีย) พื้นที่ในเขตนี้มีปริมาณน้ำฝน 2,000-3,000 มิลลิเมตรต่อปี จำนวน วันฝนตก 159-174 วันต่อปี ในบางปีที่มีปริมาณฝนมากอาจมีปัญหาการระบาดของโรคใบร่วงที่เกิด จากเชื้อไฟทอปโทรา โรคเส้นดำ และโรคจุดดำน และบางพื้นที่ในจังหวัดยะลาและนราธิวาสอาจมี ปัญหาเนื่องจากสภาพลมแรง พันธุ์ยางที่แนะนำ ได้แก่ กลุ่ม 1 พันธุ์ สถาบันวิจัยยาง251 สถาบันวิจัย ยาง226 BPM24 กลุ่ม 2 พันธุ์ PB235 PB260 กลุ่ม 3 พันธุ์ ฉะเชิงเทรา50 BPM1 ยกเว้นบางพื้นที่ใน จังหวัดยะลา และนราธิวาส ที่มีลมแรงไม่ควรปลูกยางพันธุ์สถาบันวิจัยยาง 251

ภาคตะวันออก

1) เขตตอนกลางของภาคตะวันออก ได้แก่ จังหวัดระยอง ชลบุรี และฉะเชิงเทรา ซึ่งมีปริมาณฝนระหว่าง 1,200-1,500 มิลลิเมตรต่อปี จำนวนวันฝนตก 119-128 วันต่อปี สามารถปลูก ได้ทุกพันธุ์ที่แนะนำ

2) เขตชายแดนภาคตะวันออก ได้แก่ จังหวัดจันทบุรี และตราด มีปริมาณฝน ระหว่าง 2,500-3,500 มิลลิเมตรต่อปี จำนวนวันฝนตก 170-193 วันต่อปี ในเขตนี้มีโรคใบร่วงที่เกิด จากเชื้อไฟทอปโทรา และโรคเส้นดำระบาดรุนแรง พันธุ์ยางที่แนะนำ ได้แก่ กลุ่ม 1 พันธุ์สถาบันวิจัย ยาง251 สถาบันวิจัยยาง226 BPM24 กลุ่ม 2 พันธุ์ PB235 PB260 RRIC110 กลุ่ม 3 พันธุ์ฉะเชิงเทรา 50 BPM1

2.3.2 พื้นที่ปลูกยางใหม่

การขยายพื้นที่ปลูกยางใหม่ในเขตส่งเสริมภาคเหนือ 17 จังหวัด ได้แก่ จังหวัด เชียงราย เชียงใหม่ พะเยา น่าน ลำปาง แพร่ ลำพูน พิชณุโลก แม่ฮ่องสอน กำแพงเพชร ตาก สุโขทัย อุตรดิตถ์ พิจิตร นครสวรรค์ อุทัยธานี และจังหวัดเพชรบูรณ์ และเขตส่งเสริมในภาค ตะวันออกเฉียงเหนือ แบ่งพื้นที่ปลูกยางตามปริมาณน้ำฝนดังนี้

- พื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนมากกว่า 1,600 มิลลิเมตรต่อปี

พื้นที่ส่วนใหญ่มีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนระหว่าง 1,600-2,400 มิลลิเมตรต่อปีจำนวน วันฝนตก 118-149 วัน ในพื้นที่ดังกล่าวบางปีที่มีปริมาณฝนมากอาจมีปัญหาการระบาดของโรคใบร่วง ที่เกิดจากเชื้อไฟทอปโทรา โรคเส้นดำ โรคราสีชมพู และโรคใบจุดดำน แต่การระบาดมีความรุนแรงน้อย

กว่าในพื้นที่ภาคใต้เนื่องจากการกระจายตัวของฝนอยู่ในช่วงที่แคบกว่าในระหว่างเดือนพฤษภาคม หรือมิถุนายน ถึงเดือนกันยายน จึงทำให้ลดการระบาดของโรคใบร่วงจากเชื้อไฟทอปโทรา

- พื้นที่ที่มีปริมาณฝนต่ำกว่า 1,600 มิลลิเมตรต่อปี

พื้นที่ส่วนใหญ่มีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนระหว่าง 1,056-1,599 มิลลิเมตรต่อปีจำนวน วันฝนตก 102-145 วัน การมีปริมาณน้ำฝนในระดับต่ำ มีผลกระทบต่อการปลูกสร้างสวนยางในช่วงปีแรกทำให้อัตราการรอดตายต่ำ ต้นยางเกิดแผลไหม้เนื่องจากแสงแดด การเจริญเติบโตช้า ให้ผลผลิตน้อยและอาจมีการระบาดของโรคราแป้งและโรคใบจุดนูน ดังนั้นควรเลือกปลูกในช่วงที่เหมาะสมและดูแลรักษาอย่างดี สามารถปลูกได้ทุกพื้นที่ที่แนะนำ ยกเว้นในพื้นที่ที่มีการระบาดของโรคราแป้งรุนแรงไม่ควรปลูกยางพันธุ์สถาบันวิจัยยาง226 และพันธุ์PB235และในพื้นที่ที่สภาพดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ดินลูกรัง หรือมีชั้นดินดานไม่ควรปลูกยางพันธุ์สถาบันวิจัยยาง251 BPM24 และพันธุ์ BPM1

2.4 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการปลูกยางพารา

สภาพแวดล้อมต่างๆเป็นปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของต้นยาง การพิจารณาเพื่อปลูกสร้างสวนยางจึงต้องคำนึงถึงสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องและเหมาะสม ดังนี้

2.4.1 สภาพพื้นที่ และภูมิอากาศ พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกยางพาราควรสูงจากระดับน้ำทะเลไม่เกิน 200 เมตร ซึ่งยางพาราจะเจริญเติบโตเป็นปกติ คือ สามารถกรีดยางได้เมื่ออายุประมาณ 6 ปี เมื่อความสูงเพิ่มขึ้นทุกๆ 100 เมตรจะทำให้ต้นยางเจริญเติบโตช้ากว่าปกติ 6 เดือน แต่ในปัจจุบันพบว่าสามารถปลูกยางได้จนถึงระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลไม่เกิน 600 เมตร และควรเป็นพื้นที่ราบหรือมีความลาดเทเล็กน้อยไม่ควรเกิน 35 องศา การปลูกยางในพื้นที่ที่มีความลาดเทสูงขึ้นจะเกิดการชะล้างผิวหน้าดินสูงจนอาจเกิดแผ่นดินถล่มได้ง่ายหากมีปริมาณฝนตกหนักมากติดต่อกันหลายวัน อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการปลูกยางพาราเฉลี่ยตลอดปี 28 องศาเซลเซียส และไม่ควรปลูกยางในแหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส เพราะจะทำให้ต้นยางชะงักการเจริญเติบโตดังนั้นการปลูกยางบนที่สูงจึงมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นยางทั้งนี้เนื่องจากที่ระดับความสูงเพิ่มขึ้นทุกๆ 100 เมตรจะทำให้อุณหภูมิลดลง 0.5 องศาเซลเซียส ยางพาราเจริญเติบโตได้ดีในแหล่งที่มีฝนตกสม่ำเสมอตลอดปีและมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 2,000 มิลลิเมตรต่อปี แหล่งปลูกยางพาราของประเทศไทยทั้งภาคใต้และภาคตะวันออก ส่วนใหญ่มีปริมาณน้ำฝนมากกว่า 1,400 มิลลิเมตรต่อปี อย่างไรก็ตามในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่านี้ คือมีปริมาณน้ำฝน 1,200 – 1,400 มิลลิเมตรต่อปี เช่นในพื้นที่ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือก็สามารถปลูกยางพาราได้แต่ทั้งนี้ต้องมีจำนวนวันฝนตก 120- 150 วันต่อปี

2.4.2 ลักษณะดิน ดินที่เหมาะสมต่อการปลูกยางพาราควรมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีเหมาะสม ซึ่งคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความลึกของหน้าดิน ปกติต้นยางจะต้องการดินที่มีหน้าดินลึกไม่น้อยกว่า 1 เมตร โดยไม่มีชั้นของหินแข็งหรือดินดานขัดขวางการเจริญเติบโตของราก มีการระบายน้ำดี ไม่มีน้ำขัง และระดับน้ำใต้ดินลึกกว่า 1 เมตร ลักษณะโครงสร้างของดินควรเป็นดินที่มีลักษณะเป็นก้อนเหลี่ยมมุมมน มีความร่วนเหนียวพอเหมาะ อุ่มน้ำได้ดี เนื้อดินควรเป็นดินเหนียวร่วนเหนียว ร่วน หรือร่วนปนทราย กล่าวคือ ควรมีอนุภาคดินเหนียวอย่างน้อยประมาณ 35% เพื่อให้ดินสามารถเก็บความชื้นและดูดซับธาตุอาหารได้ดีและมีอนุภาคดินทรายประมาณ 30% เพื่อให้ดินมีการระบายอากาศดี ดินที่มีเนื้อดินเหมาะสมต่อการปลูกยาง ได้แก่ ชุดดินอ่าวลึกมีเนื้อดินเป็นดินเหนียว ชุดดินภูเก็ตเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ชุดดินคองหงส์เป็นดินร่วนทราย เป็นต้น ส่วนดินที่ไม่เหมาะสมกับการปลูกยางจะมีเนื้อดินเป็นดินทรายซึ่งมีอนุภาคของดินทรายประมาณ 80% ดินเช่นนี้จะดูดยึดน้ำและธาตุอาหารได้น้อยทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำและขาดความชื้นในฤดูแล้ง ส่วนคุณสมบัติทางเคมี ควรเป็นดินที่มีธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองอย่างเพียงพอ แต่ไม่มากเกินไปจนอาจทำให้เกิดอันตรายกับพืช ความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 4.5-5.5 และไม่เป็นดินเกลือ

3. การเก็บรักษาน้ำยางพารา

น้ำยางจากธรรมชาติจะเกิดการเสียสภาพการเป็นของเหลวและจับตัวแข็งและมีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ (เม็ดพริก) ภายในระยะเวลาไม่กี่ชั่วโมงหลังจากถูกกรีดออกจากต้นยางการจับตัวดังกล่าวจะช้าหรือเร็วเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม คุณสมบัติความคงตัวของน้ำยางแต่ละพันธุ์ เป็นต้นเมื่อเกิดการเสียสภาพ น้ำยางจะแยกออกเป็น สองส่วน คือส่วนของน้ำยางกับส่วนของเซรัม และภายหลังจากน้ำยางจับตัวแล้ว จะมีกลิ่นบูดเหม็นของน้ำยางเกิดขึ้น ฉะนั้นเพื่อป้องกันมิให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อนและเพื่อไม่ให้มีกลิ่นบูดเหม็นเกิดขึ้น จึงมีความจำเป็นต้องรักษาสภาพน้ำยางให้น้ำยางเหลวเหมือนเมื่อแรกออกจากต้น

การรักษาสภาพน้ำยาง จำแนกออกเป็น

3.1 การรักษาสภาพน้ำยางไว้ให้คงสภาพเหลวอยู่ได้นาน (Long-term Preservation) มีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาสภาพน้ำยางในช่วงระยะเวลาการเก็บสต็อกและขณะการขนส่งจากโรงงานผลิต ไปโรงงานอุตสาหกรรมผลิตวัตถุดิบสำเร็จรูปต่างๆ สารเคมีที่ใช้เพื่อการนี้อาจเรียกว่า สารรักษาสภาพน้ำยาง (Preservatives)

3.2 การรักษาสภาพน้ำยางไว้ให้คงสภาพเหลวอยู่ในช่วงเวลาสั้น (Short-term Preservation) เพื่อรักษาน้ำยางให้คงอยู่เป็นของเหลวได้ 2-3 วันก่อนที่จะนำเข้าสู่กรรมวิธีการทำยางแห้งรูปต่างๆ หรือ ก่อนการทำเป็นน้ำยางข้น สารเคมีที่ใช้เพื่อการนี้อาจเรียกว่า สารป้องกันน้ำยางจับตัว (Anticoagulant)

4. การหาปริมาณเนือยงแห่งในน้ำยงสด

น้ำยงเป็นขงเหลวสีขวถึงขวปนเหลือง มีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน คื ส่วนที่เป็นเนือยง กับส่วนที่ไม่ใช่ยง ปกติในน้ำยงจะมีเนือยงแห่งประมาณ 25-45 เปอร์เซนต์ การจำหน่ยน้ำยงสดจะคิดรคซื้อขยจกปริมาณเนือยงแห่งในน้ำยง หรือการนำน้ำยงสดไปแปรรูปต่งๆ จำเป็นต้องทรบปริมาณเนือยงแห่งที่มีอยู่ในน้ำยงก่อน จึงจะสามารถค่นวณปริมาณการใช้สารเคมีได้อย่างถูกต้องแม่นย่ การตรวจหปริมาณเนือยงแห่งสามารถกระทำได้หลายวิธี แต่ที่นิยมกันอยู่ในปัจจุบันมี 2 วิธี ดังนี้

4.1 การใช้เมโทรแลค (Metrolac)

เมโทรแลคเป็นเครื่องมือวัด โดยยาคัยค่วมถ่วงจำเพาะขงน้ำยง เมโทรแลคมีทั้งชนิดที่ทำจกโลหะและแก้ว มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คื ส่วนก้น และส่วนกระเปาะที่ส่วนก้นจะมีสเกลขีดค่นวณค่าเนือยงแห่งไว้ โดยมี 2 มตร คือ มตรอังกฤษ ซึ่งบอกค่วเป็นปอนต์ต่อแกลลอนและมตรเมตริก ซึ่งจะบอกค่วเป็นกรัมต่อลิตร(เป็นมตรที่นิยมใช้เนือยงจกสามารถค่นวณค่วเป็นกิโลกรัมได้ง่าย)

ตรขงที่ 1 ตรขงเปรียบเทียบค่วขงเปอร์เซนต์เนือยงแห่งกับค่วมถ่วงจำเพาะ

เปอร์เซนต์เนือยงแห่ง	ค่วมถ่วงจำเพาะ
25	0.992
26	0.990
27	0.989
28	0.988
29	0.987
30	0.986
31	0.984
32	0.983
33	0.982
34	0.981
35	0.980
36	0.979
37	0.978
38	0.976
39	0.975
40	0.974

วิธีการคำนวณ

ค่าที่อ่านได้จากก้านเมโทรแลค เท่ากับ 100 ตามมาตราวัดในระบบเมตริก

วิธีคำนวณ $100 \times 3 = 300$ กรัมต่อลิตร (1,000 ซี.ซี.)

คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ = $\frac{300 \text{ กรัม}}{1,000 \text{ ซี.ซี.}} \times 100 = 30\%$

หมายความว่า ในน้ำยางสด 1 ลิตร เมื่อนำมาทำให้แห้งแล้วจะมีเนื้อแห้ง จำนวน 300 กรัม เนื่องจากการใช้งานเมโทรแลคจะเกิดความคลาดเคลื่อนได้ง่าย ดังนั้นจึงควรปฏิบัติตามขั้นตอนโดยใช้ความละเอียดในเรื่องเหล่านี้ คือ

- ไม่เจือปนสิ่งอื่นใดลงในน้ำยางสดก่อนนำมาวัด
- ไม่ทำให้น้ำยางมีอุณหภูมิผิดไปจากปกติ (อุณหภูมิที่ต่ำกว่าค่าที่อ่านได้จะมากขึ้น อุณหภูมิสูงขึ้นค่าที่อ่านได้จะลดลง)
- ผสมน้ำยางในอัตราที่ถูกต้องแม่นยำ
- ทำความสะอาดเมโทรแลคก่อนใช้งานทุกครั้ง พร้อมปรับอุณหภูมิให้เป็นปกติเสมอ
- อ่านค่าด้วยความละเอียดแม่นยำ ปาดฟองให้หมด มองในระดับสายตา การใช้งานเมโทรแลคมีปัจจัยที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้มาก ดังนั้นจึงไม่แนะนำให้มาใช้วัดเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งเพื่อการซื้อขายน้ำยาง แต่จะแนะนำให้ใช้สำหรับใช้งานในโรงงานแปรรูปน้ำยางเท่านั้น เนื่องจากสะดวกรวดเร็วกว่าวิธีอื่นๆ

เปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งในน้ำยางจะมีค่าผกผันกับค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาง กล่าวคือค่าเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งจะสูงขึ้น แต่ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาง จะลดลง ในทางกลับกันค่าเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งจะต่ำลงแต่ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยางจะเพิ่มขึ้น ดังนั้นถ้าเมโทรแลคจมลงในน้ำยางมาก ก็หมายความว่า น้ำยางมีเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งมาก สเกลบอกค่าด้านล่างของเมโทรแลคที่ใกล้กระเปาะจะเป็นค่าต่ำ ส่วนด้านบนเป็นค่าสูง

4.2 การหาเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งโดยวิธีการอบตัวอย่างแห้ง

เป็นวิธีที่นิยมใช้ในงานวิจัยและในงานควบคุมคุณภาพที่ต้องการความถูกต้องแม่นยำสูง โดยจะต้องใช้เวลาดำเนินการประมาณ 1-2 วัน ซึ่งมีขั้นตอนการปฏิบัติ ดังนี้

4.2.1 ทำการสูมตักน้ำยางตัวอย่างมา ประมาณ 50 กรัม



ภาพที่ 1 รูปตัวอย่างน้ำยางที่ใช้ทดสอบ

4.2.2 เทน้ำยางตัวอย่างลงในจานอะลูมิเนียม เจานละประมาณ 10 กรัม และนำไปซึ่ง จัดบันทึกน้ำหนักโดยละเอียด



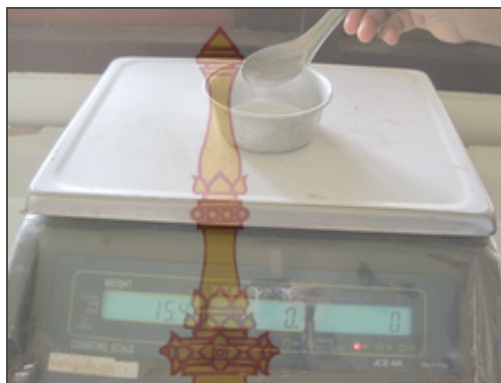
ภาพที่ 2 ชั่งน้ำหนักน้ำยางตัวอย่าง

4.2.3 เติมน้ำกลั่นลงในจานบรรจุน้ำยางจานละ 10-20 ซี.ซี.



ภาพที่ 3 เติมน้ำกลั่นลงในน้ำยาง

4.2.4 หยตสารละลาย อะซีติก 2% โดยปริมาตรลงจานละ 15-20 ซี.ซี. หมุนช้าๆ เพื่อให้มีการผสมเข้ากันจนทั่ว



ภาพที่ 4 หยตสารละลายอะซีติกลงในน้ำยาง

4.2.5 วางทิ้งไว้ให้ยางจับตัวประมาณ 30 นาที



ภาพที่ 5 ตัวอย่างยางที่จับตัว

4.2.6 นำชิ้นยางออกจากจานไปทำการรีดให้เป็นแผ่นบาง โดยให้มีความหนาไม่เกิน 2 มม.



ภาพที่ 6 รีดตัวอย่างยางให้เป็นแผ่นบาง

4.2.7 ล้างแผ่นยางให้สะอาดและนำไปอบในตู้อบอุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส นานประมาณ 16-20 ชั่วโมง จนกระทั่งแผ่นยางแห้งโดยจะเห็นแผ่นยางเป็นแผ่นใสไม่มีจุดขาวแล้วนำแผ่นยางไปทิ้งให้เย็นในโหลสุญญากาศ



ภาพที่ 7 อบแผ่นยางจนแห้งนำไปทิ้งให้เย็นในโหลดูดความชื้น

4.2.8 ทำการชั่งน้ำหนักแผ่นยางและจัดบันทึก



ภาพที่ 8 ชั่งน้ำหนักแผ่นยาง

4.2.9 ทำการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งโดยใช้สูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง(\%)} = \frac{\text{น้ำหนักแผ่นยางแห้ง}}{\text{น้ำหนักยางสด}} \times 100 \quad \dots\dots(1)$$

ตัวอย่างเช่น น้ำยางสดตัวอย่างหนึ่งหนัก 10 กรัม เมื่อทำเป็นแผ่นและอบแห้งแล้วชั่งน้ำหนักได้ 2.8 กรัม อยากทราบว่าน้ำยางสดตัวอย่างนั้นมีเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งเท่าใด

วิธีคิด

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง(\%)} &= \frac{\text{น้ำหนักแผ่นยางแห้ง}}{\text{น้ำหนักยางสด}} \times 100 \\ &= \frac{2.8 \times 100}{10} = 28\% \end{aligned}$$

10

นั่นคือน้ำยางสดตัวอย่างนั้นมีเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง 28%

5. เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network: WSN) นั้นประกอบด้วย 3 ส่วนประกอบหลัก อันได้แก่ หน่วยร่วมเซนเซอร์ เกตเวย์ และสถานีฐาน (Base Station) โดยหน่วยร่วมเซนเซอร์จำนวนมากจะกระจายตัวในสภาพแวดล้อมเพื่อทำการเก็บข้อมูล โดยแต่ละหน่วยร่วมเซนเซอร์จะทำการติดต่อสื่อสารกันแบบไร้สายกับหน่วยร่วมเซนเซอร์ข้างเคียง แต่ละหน่วยร่วมเซนเซอร์จะมีการควบคุมและจัดการงานในตัวเอง (Self-organize) ทุกๆ หน่วยร่วมเซนเซอร์ที่ติดต่อกันสามารถทำงานร่วมกัน (Collaboration) เป็นเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ทำให้แต่ละหน่วยร่วมเซนเซอร์สามารถส่งข้อมูลไปหากันได้ โดยผ่านหน่วยร่วมเซนเซอร์ที่เชื่อมต่อกัน แม้ว่าหน่วยร่วมเซนเซอร์ปลายทางไม่สามารถติดต่อกับหน่วยร่วมเซนเซอร์ต้นทางได้โดยตรง โดยให้หน่วยร่วมเซนเซอร์ระหว่างทางช่วยส่งข้อมูลต่อกันตั้งแต่ต้นทางถึงปลายทาง วิธีการส่งแบบนี้ เรียกว่า การส่งแบบมัลติฮอป (Multi-hop) เกตเวย์

มัลติฮอป (Multi-hop) เกตเวย์ มีหน้าที่ในการรับ-ส่งข้อมูล ระหว่างสถานีฐานและเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย โดยหน่วยร่วมเซนเซอร์ที่เป็นเกตเวย์ อาจเป็นหน่วยร่วมเซนเซอร์ธรรมดาหรือเป็นหน่วยร่วมเซนเซอร์ที่มีความสามารถพิเศษในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายก็ได้ สถานีฐานจะมีหน้าที่ในการเก็บข้อมูลที่วัดได้จากหน่วยร่วมเซนเซอร์ในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายผ่านเกตเวย์ โดยควบคุมการทำงานและติดต่อกับผู้ใช้งาน หรืออาจใช้ติดต่อสื่อสารกับเครือข่ายอื่นๆ เนื่องจากเป็นการทำงานแบบไร้สายทำให้แต่ละหน่วยร่วมเซนเซอร์ใช้แหล่งพลังงานภายในหน่วยร่วมเซนเซอร์เอง หรือในบางกรณีอาจใช้แหล่งกำเนิดพลังงานเพื่อให้หน่วยร่วมเซนเซอร์ทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ทำให้เครือข่ายมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ด้วยเหตุนี้หน่วยร่วมเซนเซอร์อาจหยุดทำงานได้ เพราะพลังงานหมด หรือจะกลับขึ้นมาทำงานได้อีกครั้งเมื่อมีพลังงานเพียงพอ รวมไปถึงในบางเครือข่ายที่มีหน่วยร่วมเซนเซอร์ที่เคลื่อนที่ได้ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของหน่วยร่วมเซนเซอร์นั้นมีผลต่อโครงสร้าง (Topology) ของเครือข่ายและส่งผลถึงเส้นทางในการส่งข้อมูลของหน่วยร่วมเซนเซอร์ในเครือข่ายไร้สาย โดยเส้นทางในการส่งข้อมูลในแต่ละโครงสร้างนั้นขึ้นอยู่กับวิธีการหาเส้นทาง (Routing Algorithm) ในเครือข่ายไร้สายนั้นๆ



ภาพที่ 9 รูปแสดงแบบจำลองการทำงานของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

เนื่องจากข้อจำกัดในหลายๆ ด้าน เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายจึงมีระบบเครือข่ายที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับการใช้งานเช่น ในระบบเตือนภัย ระบบเครือข่ายต้องการความเร็วสูงในการส่งข้อมูลและจะส่งข้อมูล เมื่อเกิดอุบัติเหตุขึ้นเท่านั้นเพื่อประหยัดพลังงาน ในระบบวัดและควบคุมทางการเกษตร ระบบเครือข่ายไม่ต้องการความเร็วสูงในการส่งข้อมูล แต่จะส่งข้อมูลตลอดเวลาโดยอาจมีการรวมข้อมูล (Data Fusion) ในระหว่างเส้นทางการเดินทางของข้อมูลเพื่อลดจำนวนครั้งของการ สื่อสารและประหยัดพลังงาน ดังนั้นการเลือกชนิดและออกแบบเครือข่ายจะต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับการใช้งาน



ภาพที่ 10 ระดับชั้นโปรโตคอลของเครือข่ายสื่อสารไร้สาย

5.1 โปรโตคอลสแตก (Protocol stack) หรือระดับชั้นเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

เนื่องจากเซนเซอร์ไร้สายก็มีแหล่งพลังงานที่จำกัด ทำให้พลังงานมีผลมากกับเซนเซอร์ไร้สายและเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ในด้านการออกแบบจึงปรับปรุงโปรโตคอลสแตกของ โมเดล Open Systems Interconnection (OSI) โดยแบ่งเป็นสามชั้น และหนึ่งระนาบดังภาพที่ 2 แต่ละชั้นจะทำหน้าที่เฉพาะของตัวเอง คอยให้ความช่วยเหลือชั้นบนและขอความช่วยเหลือจากชั้นล่างที่ติดกับชั้นตัวเอง ส่วนระนาบซึ่งเชื่อมโยงกับทุกชั้นจะควบคุมบริหารจัดการในทุกชั้นให้ทำงานตามวัตถุประสงค์ของระนาบ การใช้งานที่แตกต่างกันก็ ส่งผลถึงรูปแบบโปรโตคอลสแตกที่แตกต่างกัน

5.1.1 ชั้นกายภาพ (Physical layer) รับผิดชอบการรับ-ส่งสัญญาณไร้สายในด้านกายภาพ เช่น ช่วงความถี่สัญญาณ การมอดูเลต (Modulation) การเข้ารหัสระดับช่องสัญญาณ (Channel coding) ทางชั้นกายภาพในประเทศไทยจะใช้ช่วงความถี่สาธารณะและกำลังส่งตามกฎหมายกำหนด

5.1.2 ชั้นเชื่อมต่อข้อมูล (Data link layer) รับผิดชอบการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างเซนเซอร์ข้างเคียง การเข้าใช้ช่องสัญญาณ (Medium access control: MAC) การควบคุมข้อผิดพลาด (Error control) ของข้อมูล เพื่อให้การสื่อสารระหว่างหน่วยร่วมเซนเซอร์ถูกต้องและเชื่อถือได้ ปัจจุบันการเข้าใช้ช่องสัญญาณของหน่วยร่วมเซนเซอร์จะเป็นแบบสุ่มเข้าใช้งาน (Random access) ที่เป็นเช่นนี้เพราะการใช้งานเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายประกอบไปด้วยหน่วยร่วมเซนเซอร์อยู่เป็นจำนวนมากและไม่

มีโครงสร้างที่แน่นอนทำให้การควบคุมแบบรวมศูนย์ทำได้ยาก และการใช้ช่องสัญญาณแบบสุ่มทำให้เกิดความเท่าเทียมกันในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ

5.1.3 ชั้นเครือข่าย (Network layer) รับผิดชอบการรับ-ส่งข้อมูลระดับเครือข่าย เนื่องจากเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายใช้การส่งข้อมูลแบบมัลติฮอป เพื่อส่งข้อมูลจากหน่วยร่วมเซนเซอร์ไปยังสถานีฐาน การคำนวณหาเส้นทางที่เหมาะสมในการส่งข้อมูลเป็นหน้าที่หลักของชั้นนี้

5.1.4 ระนาบพลังงาน (Power plane) รับผิดชอบควบคุมการใช้พลังงานในชั้นต่างๆ ของหน่วยร่วมเซนเซอร์และเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายให้มีประสิทธิภาพ โดยอาจประสานงานข้ามชั้น (Cross layer) เช่น หน่วยร่วมเซนเซอร์ที่เหลือน้อยอาจลดพลังงานในการส่งข้อมูลในชั้นกายภาพโดยประสานงานกับชั้นเครือข่ายเพื่อเลือกเส้นทางที่ควรส่งข้อมูลในกรณีที่ระยะส่งข้อมูลลดลงเนื่องการลดพลังงานในการส่งข้อมูล

5.2 มาตรฐานระบบเครือข่าย

มาตรฐานระบบเครือข่ายที่ใช้ในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายจะเป็นมาตรฐานเฉพาะกลุ่มที่พัฒนาขึ้นและเริ่มใช้ในงานวิจัยและงานจริง ซึ่งแตกต่างจากกรณีของอินเทอร์เน็ต

Zigbee พัฒนาโดย Zigbee Alliance บนมาตรฐานของ IEEE 801.5.4 ความถี่ที่ใช้คือความถี่สาธารณะ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ (GHz) ความเร็วด้านกายภาพ 250 กิโลบิตต่อวินาที (kbps) และระยะทำการ 10-75 เมตร

Wibree พัฒนาโดย Nokia Research Center ด้วยการแก้ไข Bluetooth ให้ใช้พลังงานน้อยลง ทำให้ Wibree ทำงานได้สองแบบ คือ Wibree Stand-Alone Chip ซึ่งจะทำงานแบบใช้พลังงานต่ำ สำหรับการส่งข้อมูลจำนวนน้อยและ Bluetooth-Wibree Dual-Mode ซึ่งทำงานติดต่อกับ Bluetooth และ Wibree ความถี่ที่ใช้คือความถี่สาธารณะ 2.4 GHz ความเร็วด้านกายภาพ 1 Mbps และระยะทำการ 5-10 เมตร

IPv6 over Low power WPAN (6LoWPAN) พัฒนาโดย 6LoWPAN working group เพื่อให้ IPv6 ทำงานร่วมกับมาตรฐาน IEEE 801.5.4 เพื่อติดต่อกันระหว่างหน่วยร่วมเซนเซอร์ซึ่งอยู่ในสภาพแวดล้อมจริงกับโปรแกรมต่างๆ ที่ทำงานผ่าน IPv6

5.3 การพิจารณาระบบเครือข่าย

5.3.1 การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากหน่วยร่วมเซนเซอร์มีพลังงานอยู่จำกัด ซึ่งพลังงานที่มีเก็บสะสมอยู่ เป็นตัวแปรหนึ่งของการใช้งานหน่วยร่วมเซนเซอร์และอายุของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

5.3.2 ความล่าช้าของข้อมูล การใช้งานเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายในบางประเภทต้องการให้ได้ข้อมูลเร็วที่สุดหรือมีระดับ ความล่าช้าของข้อมูลไม่เกินค่าที่กำหนดหลังจากหน่วยร่วมเซนเซอร์เก็บ

ข้อมูลได้ เช่น ในงานสัญญาณเตือนภัยสึนามิ ไฟป่าหรือในงานควบคุมที่ความล่าช้าของข้อมูล (Delay-Sensitive) มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบควบคุม เป็นต้น

5.3.3 ความถูกต้องของข้อมูล เครื่องข่ายเซนเซอร์ไร้สายควรจะให้ข้อมูลที่ถูกต้องสูง ซึ่งขึ้นอยู่กับความแม่นยำของเซนเซอร์และการประมวลผลข้อมูลในหน่วยร่วมเซนเซอร์หรือในเครือข่าย เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องที่สุด

5.3.4 ความทนทานต่อความเสียหาย เหตุการณ์ที่หน่วยร่วมเซนเซอร์ไม่สามารถทำงานได้มีโอกาสดังขึ้นได้ ดังนั้นเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายต้องปรับเปลี่ยนโครงสร้างเพื่อให้เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายยังคงทำงานต่อไปได้ เช่น การมีเส้นทางสำรองในการเชื่อมต่อเครือข่ายและในการส่งข้อมูล

5.3.5 ความสามารถในการส่งข้อมูล แบ่งออกเป็น ความสามารถในการส่งข้อมูลของแต่ละหน่วยร่วมเซนเซอร์และความสามารถในการส่งข้อมูลของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ในกรณีที่ส่งข้อมูลไม่พร้อมกัน ความสามารถในการส่งข้อมูลของแต่ละหน่วยร่วมเซนเซอร์เป็นสิ่งสำคัญ แต่ในกรณีที่ส่งข้อมูลพร้อมๆ กันจำนวนมาก ความสามารถในการส่งข้อมูลของเครือข่ายเป็นสิ่งสำคัญซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้งานเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

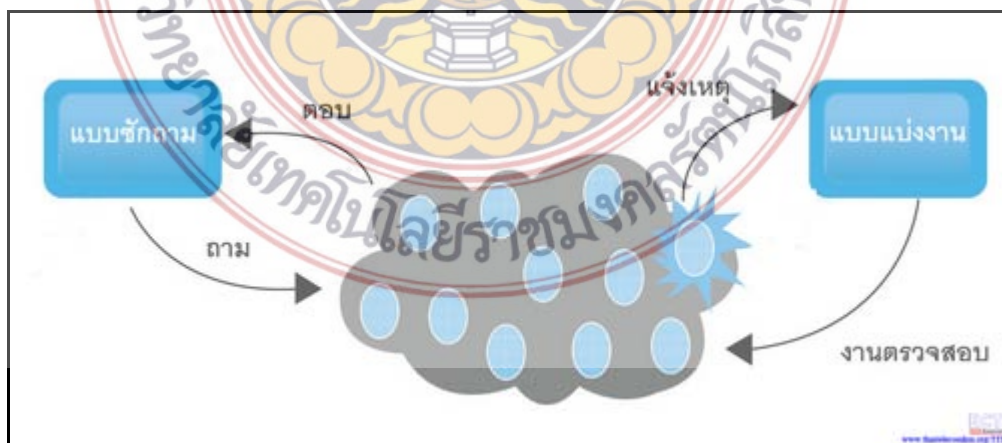
5.3.6 จำนวนหน่วยร่วมเซนเซอร์ในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายเป็นปัจจัยหลักกับค่าใช้จ่ายและความคุ้มค่าในการเลือกใช้ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

5.4 การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

การใช้งานเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายแบ่งออกตามลักษณะการใช้งานได้เป็น 2 ประเภทคือ

5.4.1 แบบซักถาม (Querying)

เมื่อเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายถูกถามหาข้อมูลหน่วยร่วมเซนเซอร์ใดๆ ที่มีข้อมูลจะตอบกลับผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ตัวอย่างเช่น ในงานการเกษตร หน่วยร่วมเซนเซอร์จะถูกถามเมื่อโปรแกรมที่ใช้งานต้องการใช้ข้อมูลความชื้นและอุณหภูมิ หน่วยร่วมเซนเซอร์จะตอบด้วยข้อมูลที่ถูเก็บบันทึกไว้ในแต่ละหน่วยร่วมเซนเซอร์



ภาพที่ 11 ลักษณะการใช้งานเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายแบบซักถามและแบบแบ่งงาน

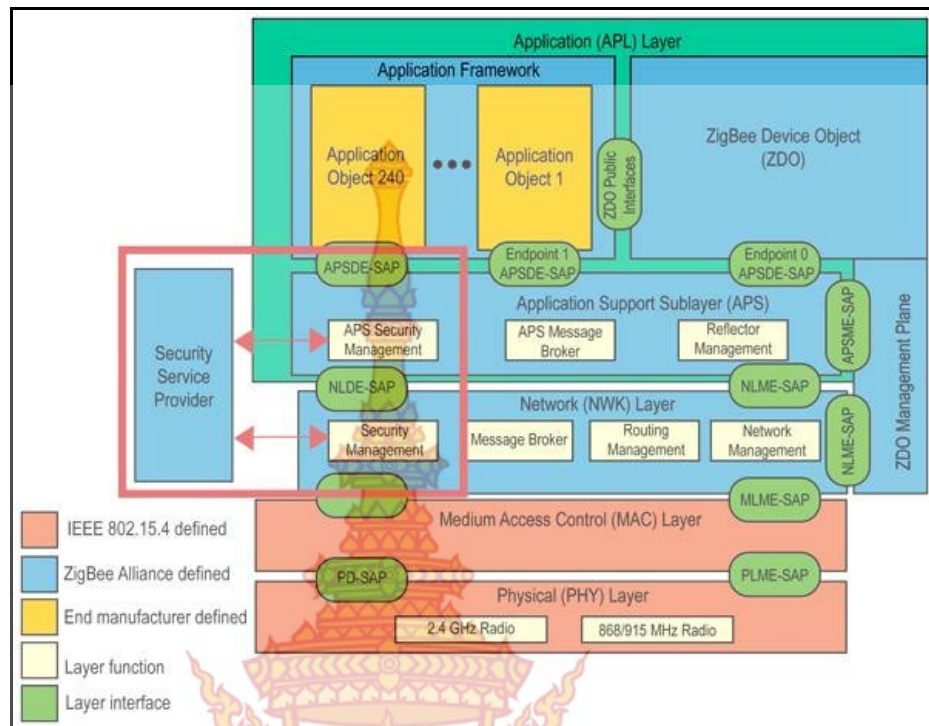
5.4.2 แบบแบ่งงาน (Tasking)

เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายรับหน้าการตรวจสอบเหตุการณ์ต่างๆ เมื่อเกิดเหตุการณ์ที่ได้รับมอบหมายให้ตรวจสอบ หน่วยร่วมเซนเซอร์จะแจ้งข้อมูลผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายกลับทันที ดังภาพที่ 11 ตัวอย่างเช่น ในการเตือนภัยไฟป่า เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายได้รับมอบหมายให้เฝ้าวัดความร้อนและควันไฟ หน่วยร่วมเซนเซอร์จะแจ้งข้อมูลกลับทันทีเมื่อตรวจวัดความร้อนและควันไฟได้เกินระดับที่ตั้งไว้เท่านั้น

6. หลักการทำงานของ Zigbee

Zigbee เป็นชื่อที่ได้มาจากพฤติกรรมการสื่อสารของผึ้ง โดยผึ้งจะบินแบบซิกแซ็กและจะให้ข้อมูลข่าวสารระหว่างผึ้งด้วยกัน ที่เกี่ยวกับ ตำแหน่ง ระยะทางและทิศทางของอาหารที่พวกมันกำลังหาอยู่ Zigbee ถูกสร้างขึ้นในการทำระบบเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล(WPAN) อยู่ภายใต้มาตรฐาน IEEE 801.5.4 โดยมาตรฐานนี้ใช้งานสำหรับการสื่อสารความเร็วต่ำ ใช้กำลังไฟฟ้าน้อย อุปกรณ์ราคาถูก และมีคุณสมบัติการจัดการตัวเองได้เป็นเทคโนโลยีไร้สายที่ร่วมกันสื่อสารข้อมูลผ่านเซนเซอร์ขนาดเล็กจิ๋ว จำนวนเป็นพันๆ หมื่นๆ ชั้นที่ฝังอยู่ตามส่วนต่างๆ ในอาคาร สำนักงาน โรงงานหรือแม้แต่ในบ้าน การทำงานของมันจะเป็นการรับ-ส่งคลื่นสัญญาณข้อมูลผ่านชิปเล็กจิ๋วนี้จุดต่อจุดไปเรื่อยๆ จนถึงปลายทางที่ต้องการดาวน์โหลดข้อมูลลงในเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ข้อมูลที่ได้อาจจะเป็นการวัดอุณหภูมิการเคลื่อนไหวของสิ่งมีชีวิต จับปริมาณมลพิษในอากาศ ปริมาณน้ำท่อแก๊สโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์หรือแบตเตอรี่ขนาดเล็กที่กินไฟน้อยมากจึงสามารถฝังทิ้งไว้ในที่ห่างไกลได้เป็น 10 ปี ว่ากันว่าเทคโนโลยี Zigbee นี้จะช่วยทำให้บริษัทที่เกี่ยวข้องกับการส่งพลังงานเช่น น้ำมัน ประปา น้ำในเขื่อน ท่อแก๊ส สามารถประหยัดการสูญเสียได้อย่างน้อย 10-15% และในอนาคตอันใกล้เมื่อเทคโนโลยีนาโนก้าวหน้ามากขึ้น เซนเซอร์ Zigbee จะมีขนาดเล็กเท่าหัวเข็มหมุดสามารถฝังได้ แม้กับในร่างกายของสิ่งมีชีวิตก็ได้

Zigbee เป็นมาตรฐานสากล กำหนดโดย Zigbee Alliance เป็นการสื่อสารแบบไร้สายที่มีอัตราการรับส่งข้อมูลต่ำ ประหยัดพลังงาน อุปกรณ์มีราคาถูก จุดประสงค์ก็เพื่อให้สามารถสร้างระบบที่เรียกว่าระบบโครงข่ายไร้สาย (Wireless Sensor Network) ได้ ซึ่งระบบนี้จะสามารถทำงานในร่มกลางแจ้ง ทนต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ดี และประกอบกับการประหยัดพลังงานทำให้สามารถทำงานได้ด้วยแบตเตอรี่ขนาดเล็ก เช่น ถ่าน AA 2 ก้อน เหมาะสำหรับการใช้งานกับ Monitoring



ภาพที่ 12 รูปแบบโปรโตคอลมาตรฐาน Zigbee Alliance

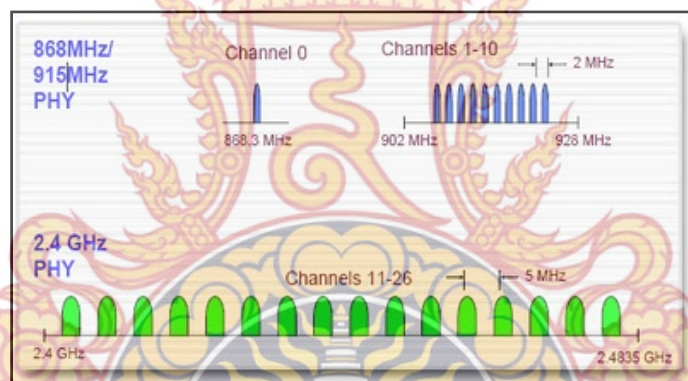
Zigbee เป็นระบบสื่อสารไร้สาย (Wireless Telecommunication) มีมากมายหลายรูปแบบ เช่น GSM, CDMA, วิทยุย่าน 27 MHz และ 433 MHz, Wireless Lan, Wifi, WiMax ฯลฯ สำหรับในสมัยก่อน การจะทำเครื่องส่งเครื่องรับ ต้องมีความรู้ทางด้าน RF Engineer ซึ่งจะสามารถออกแบบวงจรเครื่องส่ง เครื่องรับ , มีหน้าที่ทำการ Matching สายอากาศ , การออกแบบสายอากาศ สำหรับย่านความถี่ต่าง ๆ แต่สมัยนี้มี IC RF ที่ Integrated รวมเอาภาคการออกแบบของ RF Engineer เข้าไปหลายส่วน ทำให้ง่ายในระดับที่ไม่ต้องมีความรู้ทางด้าน RF Engineer ก็สามารถสร้างวงจรส่งและรับได้ทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ จะมีความเกี่ยวข้องกับการสื่อสารทั้งสิ้น เช่น การสร้างเครือข่ายของระบบหนึ่ง ๆ การติดต่อสื่อสารใช้งานอุปกรณ์ RF Module และ ที่คุ้นเคยกันดีก็คือการสื่อสารเพื่อใช้งานติดต่อกับอุปกรณ์อื่น ๆ ผ่าน Interface ต่าง ๆ เช่น RS232(UART), SPI, I²C, CAN, RS485, Ethernet, LAN, TCP/IP และ USB เป็นต้น ผู้ที่เคยเขียน Software ที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารต่าง ๆ จะมีความเข้าใจเกี่ยวกับโปรโตคอลสื่อสาร สามารถเรียนรู้ การสื่อสารแบบอื่น ๆ ได้ไม่ยาก การเขียน Software ลักษณะการรับ Stream Data เพื่อมาเก็บใน Buffer แล้วทำการ Encapsulate, De-capsulate Data (เช่น การเขียนโปรแกรมทางด้าน Network Security, UART และ I²C แล้วนำข้อมูลไปใช้งาน เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับงานทางด้าน การติดต่อสื่อสารเกือบทุกรูปแบบ

สำหรับการอธิบายในเชิงทฤษฎีนั้น การสื่อสารแต่ละแบบควรที่จะอธิบายอ้างอิงกับ OSI Layer ได้ ยกตัวอย่าง ระบบเครือข่าย LAN จะใช้โปรโตคอล TCP/IP ซึ่งสามารถที่จะแยกได้ว่า ขั้นตอนไหนจัดอยู่ในลำดับชั้น OSI Layer อะไร สำหรับ การสื่อสารไร้สาย ก็จะสามารถอ้างอิงได้ว่า

เป็นภาคทางด้าน Physical Layer หรือชั้นที่สูงขึ้น แยกแยะได้ตาม OSI Layer เช่นกัน แต่ในทางการปฏิบัติใช้งานจริง นักพัฒนาเพียงทราบทฤษฎีเพียงเล็กน้อยที่จะสามารถนำไปพัฒนางานได้แล้ว

Zigbee ยังมีปัญหาที่ต้องการการวิจัย แก้ไขให้เหมาะสมกับ Application ต่าง ๆ อีกมาก เช่น การ Routing และการประหยัดพลังงาน ฯลฯ สำหรับนักศึกษาที่ต้องการทำวิจัยเรื่อง Zigbee ควรจะมีความรู้ทางทฤษฎี เกี่ยวกับ OSI Layer เพื่อให้เข้าใจในทางทฤษฎีหลักของ Zigbee เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ OSI Layer หรือ TCP/IP Protocol จะได้มีพื้นฐาน การเขียนโปรแกรม Zigbee Network ได้ และสามารถสร้างเครือข่าย Xbee ที่เหมาะสมกับ Application นั้น ๆ ได้ จึงเป็นการทำวิจัยเรื่อง Zigbee อย่างแท้จริง

Zigbee กำหนด ย่านความถี่ใช้งานตามมาตรฐานไว้ 3 ย่านความถี่คือ ย่าน 2.4 GHz ย่าน 915 MHz และย่าน 868 MHz โดยแต่ละย่านจะมีช่องสัญญาณ 16 ช่อง , 10 ช่อง และ 1 ช่อง ตามลำดับ ส่วน อัตรารับส่งข้อมูล (ทางอากาศ) จะอยู่ที่ 250 กิโลบิตต่อวินาที, 40 กิโลบิตต่อวินาที และ 20 กิโลบิตต่อวินาที ตามลำดับเช่นกัน แสดงจากภาพที่ 13



ภาพที่ 13 ลักษณะการส่งสัญญาณของ Zigbee

6.1 หลักการทำงานของ Zigbee

ลักษณะการ รับ - ส่ง สัญญาณข้อมูลผ่าน ชิพขนาดเล็กลักษณะเป็นจุดต่อจุดไปเรื่อย ๆ (Point to Point) จนถึงปลายทางหรือจุดที่ต้องการรับทราบข้อมูลในการรับส่งสัญญาณ Zigbee นั้น จะมีช่องทางเข้าสัญญาณโดยใช้ Carrier sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA-CA) หรืออาจจะมีช่องทางเข้าสัญญาณหลาย ๆ ช่องทางเพื่อเป็นการป้องกันการชนกันของสัญญาณ โดยลักษณะการต่อเป็น แบบ Star , Mesh , Peer-to-Peer โดยแต่ละอุปกรณ์จะมีแอดเดรสที่มีความยาว 64 บิต หรือ 16 บิต

6.2 ชนิดและประเภทของ Zigbee มีอยู่ 2 ชนิด คือ

6.2.1 Physical Device มีอยู่ 2 ชนิด คือ

- Full Function device: FFD โดยจะใช้ เร้าเตอร์เป็นสื่อกลางในการส่งผ่านข้อมูลจากอุปกรณ์อื่น ๆ สามารถทำงานได้ในทุก Topology และสามารถทำเป็นจุดเชื่อมต่อกันได้

- Reduced Function Device: RFD เชื่อมต่อภายในเครือข่ายใช้พลังงานแบตเตอรี่เหมาะแก่การเชื่อมต่อกันภายในเครือข่าย ไม่สามารถถ่ายทอดข้อมูลจากอุปกรณ์อื่น ๆ ได้ทำงานได้ในเครือข่ายที่เป็นแบบดาว (Star)

6.2.2 Logical Device มีอยู่ 3 ชนิด คือ

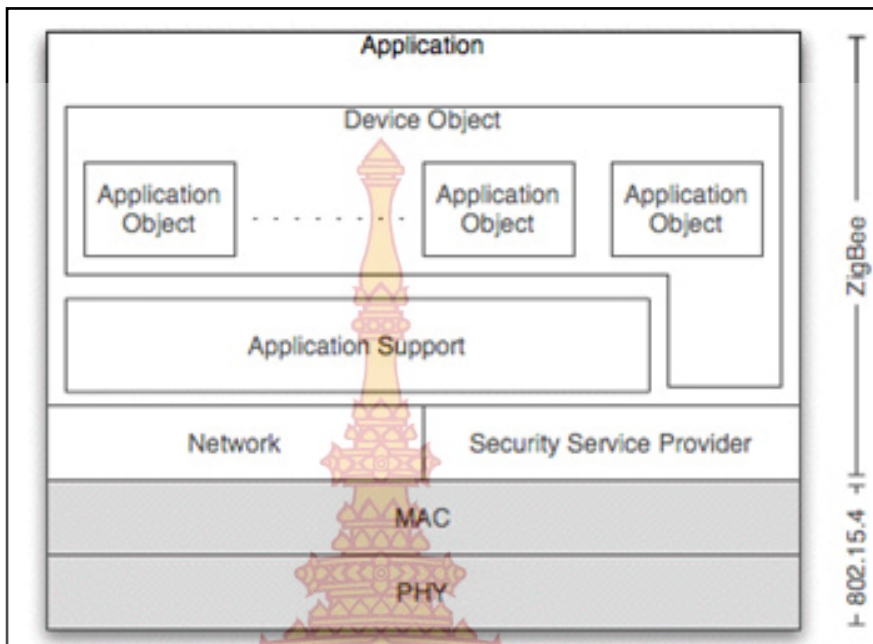
- Zigbee Coordinators เป็นจุดประสานเชื่อมต่อเครือข่าย ทำหน้าที่จัดเก็บข้อมูลลงเครือข่าย
- Zigbee Router ทำหน้าที่จัดการเส้นทางการส่งผ่านข้อมูลภายในโครงข่ายระหว่างคู่ของโหนด
- Zigbee End Device เป็นโหนดในส่วนของผู้ใช้งาน ทำหน้าที่รับสัญญาณจาก sensor ที่ปลายทาง

Zigbee ถูกออกแบบมาให้ทำงานอยู่ในส่วนของ Application layer, Application support layer และ Network layer โดยจะใช้ MAC layer และ Physical layer ตามมาตรฐาน IEEE801.5.4 โดยแต่ละในเครือข่ายจะต้องมี Full Function Device อย่างน้อย 1 ตัวที่คอยทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางของเครือข่ายเรียกว่า PAN Coordinator และจะต้องมี Reduce Function Device เป็นส่วนร่วมในเครือข่ายนั้น ๆ ด้วย

Application layer เป็นชั้นของส่วนที่มี End - point อยู่ เรียกว่า Application framework โดยจะมี Zigbee Device Object (ZDO) ทำหน้าที่ในการจัดการเข้าถึงข้อมูล และการใช้งาน Application layer, Application support sub-layer ทำหน้าที่ในการสร้างเฟรมของ Application layer ที่จะทำหน้าที่ในการ รับ-ส่ง ข้อมูลรวมถึงการจัดการด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการ Application layer ในส่วนของ Network layer ทำหน้าที่ในการ routing จากต้นทางไปยังปลายทาง ซึ่งอาจจะอยู่ในเครือข่ายเดียวกันหรือต่างกัน

6.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรโตคอล Zigbee

ลักษณะการทำงานของ Protocol Zigbee จากภาพที่ 14 นั้น Coordinator Zigbee จะเริ่มการทำงานโดยการตรวจสอบช่องการใช้สัญญาณวิทยุภายในบริเวณรอบๆ ถ้ามีช่องสัญญาณที่ไม่ถูกใช้โดย Coordinator ตัวอื่น ก็สามารถเริ่มต้นเครือข่ายได้ หลังจากนั้น coordinator จะทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางของเครือข่าย รองรับการทำงานร่วมของ Zigbee End Device และรองรับการร้องขออื่น ๆ ตามมาตรฐานด้วยกัน ในโครงข่ายนี้ Coordinator รองรับการทำงานเครือข่าย การออกจากเครือข่ายและการร้องขอการ Blinding เท่านั้น

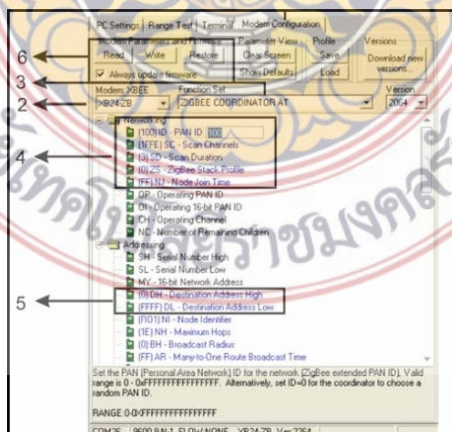


ภาพที่ 14 โครงสร้าง Protocol Zigbee

ขั้นตอนการทำงานของ Zigbee End-Device จะเริ่มทำงานโดยการร้องขอการเข้าร่วมไปยัง Coordinator ประจำเครือข่ายนั้นๆ โดยการตรวจสอบผ่านช่องสัญญาณต่างๆว่า Coordinator ใช้ช่องสัญญาณใดเมื่อเข้าร่วมในเครือข่ายแล้ว End-device จึงจะสามารถร้องขอคำสั่งอื่นๆ ผ่านทาง Coordinator ได้ เช่น การส่งข้อความ (Message) การร้องขอการ Blinding (Binding Request) หรือ แม้กระทั่งการออกจากเครือข่าย เป็นต้น

6.4 ขั้นตอนการตั้งค่า Zigbee ในโปรแกรม X-CTU มีดังนี้

6.4.1 ตั้งค่า Zigbee ให้เป็น Coordinator จากภาพที่ 15 เป็นการแสดงการตั้งค่าให้ Zigbee ทำหน้าที่เป็น Coordinator มีขั้นตอนดังนี้



ภาพที่ 15 การตั้งให้ Zigbee ทำหน้าที่เป็น Coordinator

6.4.1.1 เข้าไปที่ Modem Configuration และเลือก Zigbee ให้ตรงตามรุ่นที่ใช้

6.4.1.2 เปลี่ยน Firmware ให้เป็น ZIGBEE COORDINATOR AT (ใช้กับ Zigbee รุ่น XB24-ZB) หรือ ZNET 2.5 COORDINATOR AT (ใช้กับ XB24-B)

6.4.1.3 ตั้งเป็น PAN (Personal Area Network) ของโมดูลแต่ละตัว

6.4.1.4 กำหนด Destination (จุดหมายที่ต้องการรับส่งข้อมูล) ตั้งค่า DH=00, DL=FFFF

6.4.1.5 เลือกเครื่องหมายถูก ที่ Always Update Firmware แล้ว คลิก Write (Zigbee ที่ถูกกำหนดให้เป็น Coordinator จะไม่สามารถทำงานในโหมด ประหยัดพลังงานได้)

6.4.2 การตั้งค่าให้ Zigbee ให้ทำงานเป็น End device

จากภาพที่ 16 เป็นการตั้งค่าให้ Zigbee ทำหน้าที่เป็น End device โดยมี ขั้นตอนการทำงานต่อไปนี้

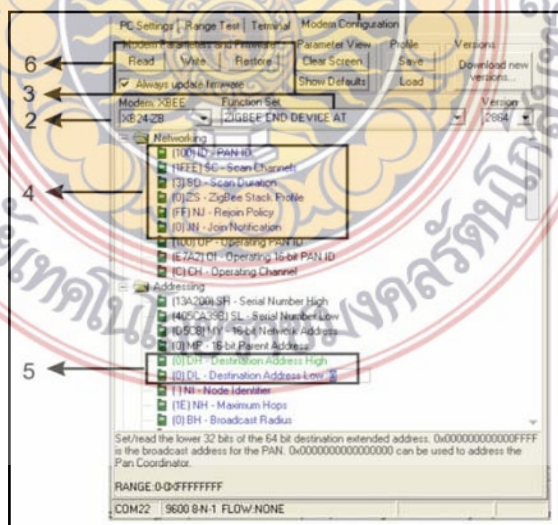
6.4.2.1 เข้าไปที่ Modem Configuration

6.4.2.2 เลือก Modem Zigbee ให้ตรงตามรุ่นที่ใช้

6.4.2.3 เปลี่ยน Firmware ให้เป็น ZIGBEE END DEVICE AT (ใช้กับ Zigbee รุ่น XB24-ZB) หรือ ZNET2.5 ROUTER/END DEVICE AT (ใช้กับ Zigbee รุ่น XB24-B) โดยสามารถ ดูได้ในแต่ละโมดูล

6.4.2.4 ตั้ง PAN (Personal Area Network) จะต้องตั้งให้เหมือนกับ Coordinator

6.4.2.5 กำหนด Destination (จุดหมายที่ต้องการ รับส่งข้อมูลด้วย) โดยตั้งค่า DH=00, DL=00



ภาพที่ 16 แสดงการตั้งค่า Zigbee ให้เป็น End device บนโปรแกรม X-CTU

6.5 การเชื่อมโยงเครือข่าย Zigbee ได้แบ่งตามลักษณะการทำงาน 3 แบบ ดังนี้คือ

6.5.1 Coordinator มีหน้าที่สร้างการสื่อสาร เชื่อมโยงเครือข่าย ระหว่าง End Device กับ Router หรือ Coordinator กับ Coordinator ด้วยกัน หรือ Coordinator กับ Router กำหนด address ให้กับ device ที่อยู่ในวงเครือข่าย ไม่ให้ซ้ำกัน ดูแลจัดการเรื่องการ Routing เส้นทางซึ่งเทียบได้กับ FFD

6.5.2 End Device เป็นอุปกรณ์ปลายทางสุด ซึ่งจะรับสัญญาณจาก Sensor ที่ปลายทาง โดยที่ใช้พลังงานต่ำในการทำงาน เทียบได้กับ RFD หรือ FFD บางกรณี ขึ้นอยู่กับ Sensor ที่ใช้งาน

6.5.3 Router มีหน้าที่รับส่งข้อมูล ในเส้นทางต่าง ๆ ของเครือข่าย ซึ่งเทียบได้กับ FFD

สำหรับ Zigbee เป็นเทคโนโลยีไร้สายที่ร่วมกันสื่อสารข้อมูลผ่านเซนเซอร์ขนาดเล็กจิ๋ว จำนวนเป็นพันๆ หมื่นๆ ขึ้นที่ฝังอยู่ตามส่วนต่างๆ ในอาคาร สำนักงาน โรงงาน หรือแม้แต่ในบ้าน การทำงานของมันจะเป็นการรับ-ส่งคลื่นสัญญาณข้อมูลผ่านชิปเล็กจิ๋วนี้จุดต่อจุดไปเรื่อยๆจนถึงปลายทางที่ต้องการดาวน์โหลดข้อมูลลงในเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ข้อมูลที่ได้ อาจจะเป็นการวัดอุณหภูมิการเคลื่อนไหวของสิ่งมีชีวิต จับปริมาณมลพิษในอากาศ ปริมาณน้ำท่อแก๊ส โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์หรือแบตเตอรี่ขนาดเล็กที่กินไฟน้อยมากจึงสามารถฝังทิ้งไว้ในที่ห่างไกลได้ เป็น 10 ปี ว่ากันว่าเทคโนโลยี Zigbee นี้จะช่วยทำให้บริษัทที่เกี่ยวข้องกับการส่งพลังงาน เช่น น้ำมัน ประปา น้ำในเขื่อน ท่อแก๊ส สามารถประหยัดการสูญเสียได้อย่างน้อย 10-15% และในอนาคตอันใกล้นี้ เมื่อเทคโนโลยีนาโนก้าวหน้ามากขึ้น เซนเซอร์ Zigbee จะมีขนาดเล็กเท่าหัวเข็มหมุดสามารถฝังได้แม้กับในร่างกายของสิ่งมีชีวิตก็ได้

ลักษณะของ Zigbee มีทางเข้าช่องสัญญาณโดยการใช้ Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA - CA) หรือมีทางเข้าช่องสัญญาณหลายๆ ทาง เพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันระยะทางโดยทั่วไปประมาณ 50 เมตร มี Topology แบบ Star , Peer-to-Peer, mesh ทั้งนี้แต่ละอุปกรณ์จะมีแอดเดรส ที่มีความยาว 64 หรือ 16 บิต (รองรับได้ 64,000 อุปกรณ์) มาตรฐาน IEEE 801.5.4 ที่ถูกกำหนดไว้ใน ชั้น Physical Layer มีอยู่ 3 ความถี่คือ 2.4-2.4835 GHz Bit Rate 250 kb/s มีอยู่ 16 ช่องสัญญาณ คือช่องสัญญาณที่ 11-26, 868-870 MHz bit rate 20 kb/s มีอยู่ 1 ช่องสัญญาณ คือช่องสัญญาณที่ 0 และ 902-928 MHz bit rate 40 kb/s มีอยู่ 10 ช่องสัญญาณ คือ ช่องสัญญาณที่ 1-10 โดยความถี่ 2.4-2.4835 GHz สามารถใช้งานได้ทั่วโลก และความถี่ 868-870 MHz และ 902-928 MHz ใช้งานได้ในพื้นที่ของอเมริกาเหนือ, ยุโรป, ออสเตรเลียและนิวซีแลนด์

6.6 ชนิดอุปกรณ์ของ Zigbee

ชนิดของอุปกรณ์ Zigbee มีอยู่ 2 ชนิด คือ แบบ Physical Device และ Logical Device แบบ Physical Device มี 2 ประเภท คือ

6.6.1 แบบ Logical Device มี 2 ประเภท คือ

6.6.1.1 Full Function Device: FFD เป็นเราเตอร์ที่เป็นสื่อกลางในการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์อื่นๆ ใช้พลังงานจาก power line ทำงานได้ในทุก Topology และสามารถทำเป็นจุดเชื่อมต่อกันได้

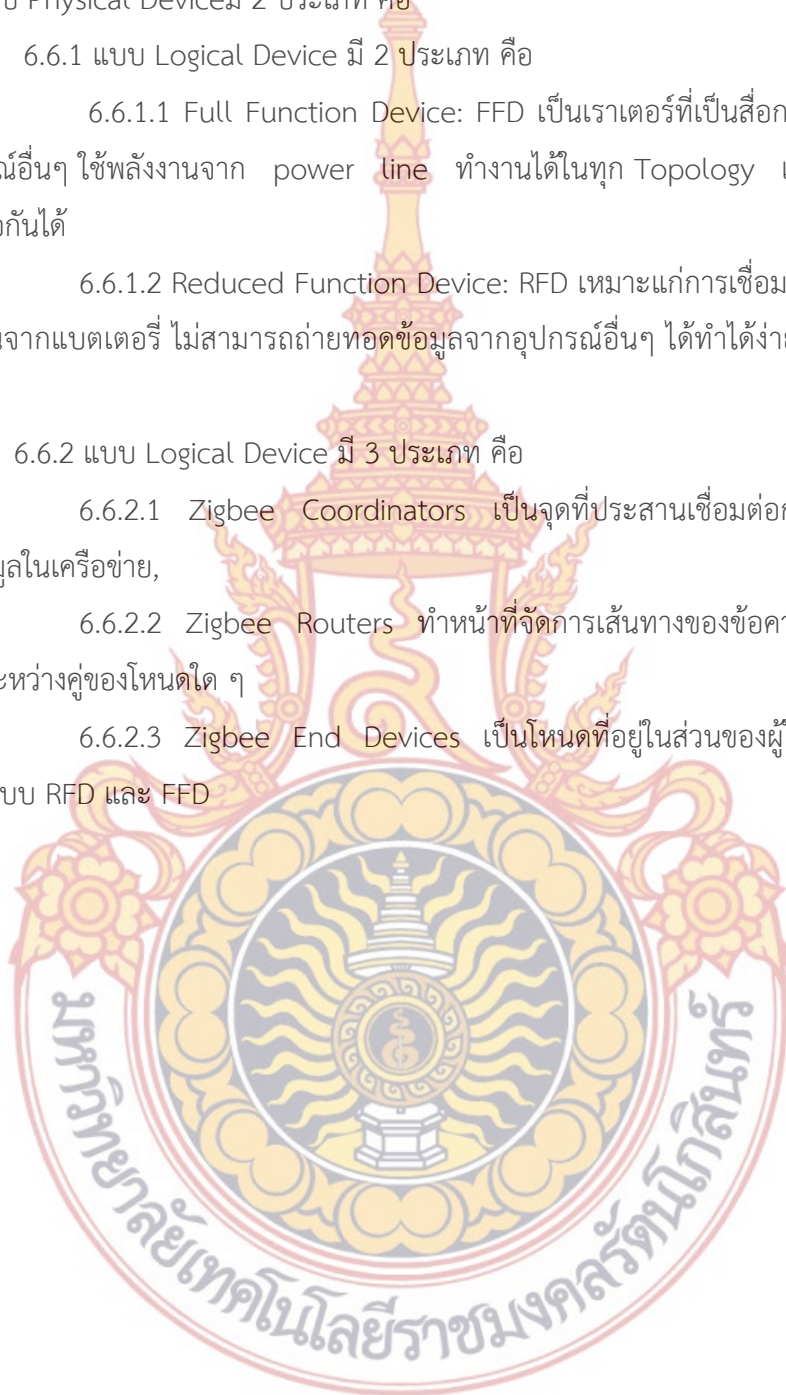
6.6.1.2 Reduced Function Device: RFD เหมาะแก่การเชื่อมต่อภายในเครือข่าย ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ ไม่สามารถถ่ายทอดข้อมูลจากอุปกรณ์อื่นๆ ได้ทำได้ง่ายในเครือข่ายที่เป็นแบบ Star

6.6.2 แบบ Logical Device มี 3 ประเภท คือ

6.6.2.1 Zigbee Coordinators เป็นจุดที่ประสานเชื่อมต่อกัน ทำหน้าที่ในการจัดเก็บข้อมูลในเครือข่าย,

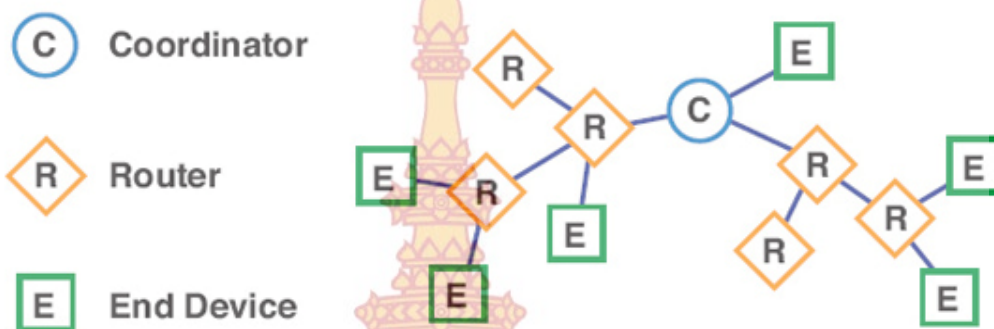
6.6.2.2 Zigbee Routers ทำหน้าที่จัดการเส้นทางของข้อความที่ส่งผ่านภายในโครงข่ายระหว่างคู่ของโหนดใด ๆ

6.6.2.3 Zigbee End Devices เป็นโหนดที่อยู่ในส่วนของผู้ใช้งาน โดยสามารถเป็นได้ทั้งแบบ RFD และ FFD



ZigBee Nodes

The ZigBee Protocol defines three types of nodes: Coordinators, Routers and End Device, with a requirement of one Coordinator per network. While all nodes can send and receive data, there are differences in the specific roles they play.



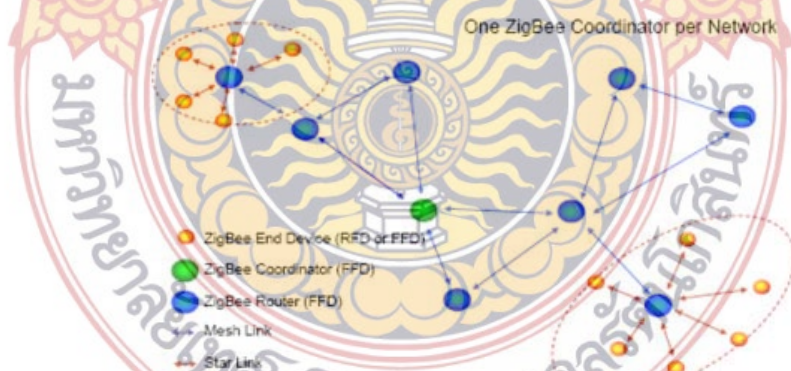
Coordinators are the most capable of the three node types. There is exactly one coordinator in each network and it is the device that establishes the network originally. It is able to store information about the network, including security keys.

Routers act as intermediate nodes, relaying data from other devices.

End Devices can be low-power / battery-powered devices. They have sufficient functionality to talk to their parents (either the coordinator or a router) and cannot relay data from other devices. This reduced functionality allows for the potential to reduce their cost.

ZigBee offers these advantages:

- Open standard with interoperability between vendors
- Option for lower cost, reduced function end nodes



ภาพที่ 17 รูปแบบการทำงานของ Zigbee

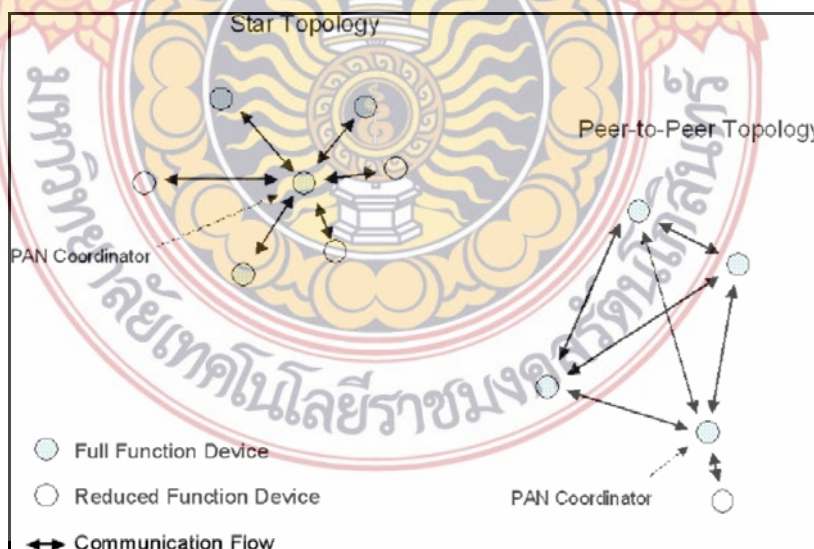
(** Fred Eady , Hands-On Zigbee Implementing 801.5.4 with Microcontrollers , Elsevier Inc.)

การประยุกต์ใช้งาน Zigbee นั้นจะแบ่งแยกตามประเภทของข้อมูลข่าวสาร ที่มีอยู่ 3 แบบคือ ข้อมูลแบบ Periodic ข้อมูลเป็นช่วงเวลา โปรแกรมสามารถควบคุมอัตราการส่งและตัวตรวจจับสัญญาณกระตุ้น เช็คข้อมูลและทำให้ข้อมูลไม่เคลื่อนไหวใช้สำหรับ เซนเซอร์ และ มิเตอร์ ข้อมูลแบบ Intermittent เป็นลักษณะที่มีการส่งผ่านข้อมูลเมื่อมีการใช้งาน เช่น สวิตช์ไฟ และ ข้อมูลแบบ Repetitive Low Latency ใช้ในงานที่ต้องการ Latency น้อย ๆ โดยการสื่อสารจะใช้วิธีจัดสรรช่องเวลา และสามารถใช้กลไกแบบ GTS เพื่อรับประกันคุณภาพของการบริการ นำไปใช้ในงาน เช่น เมาส์ไร้สาย เป็นต้น

โปรโตคอล Zigbee ถูกออกแบบมาเฉพาะในส่วนของ Application Layer, Application Support Layer และ Network Layer เท่านั้น แต่ใช้ MAC layer และ Physical layer ตามมาตรฐาน IEEE801.5.4 รูปแบบเครือข่ายตามมาตรฐาน IEEE 801.5.4 แบ่งออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ แบบดาว และแบบตาข่ายร่างแห ตัวอย่างการสร้างเครือข่ายดังภาพที่ 7 โดยในแต่ละเครือข่ายจะต้องมี FFD 1 ตัวทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางของเครือข่าย เรียกว่า PAN Coordinator และ RFD จะเข้าร่วมเครือข่ายกับ PAN Coordinator ประจำเครือข่ายนั้นๆมาตรฐาน IEEE 801.5.4 ได้แบ่งย่านความถี่วิทยุออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ช่วง 868 MHz มี 1 ช่องสัญญาณ, ช่วง 915 MHz มี 10 ช่องสัญญาณ และ ช่วง 2,450 MHz มี 16 ช่องสัญญาณ โดยในโครงการนี้ใช้ย่านความถี่ 2,450 MHz ซึ่งมีความถี่ของแต่ละช่องสัญญาณย่อยตามสมการที่ (2)

$$F_c = 2405 + 5(k-11) \dots\dots\dots(2)$$

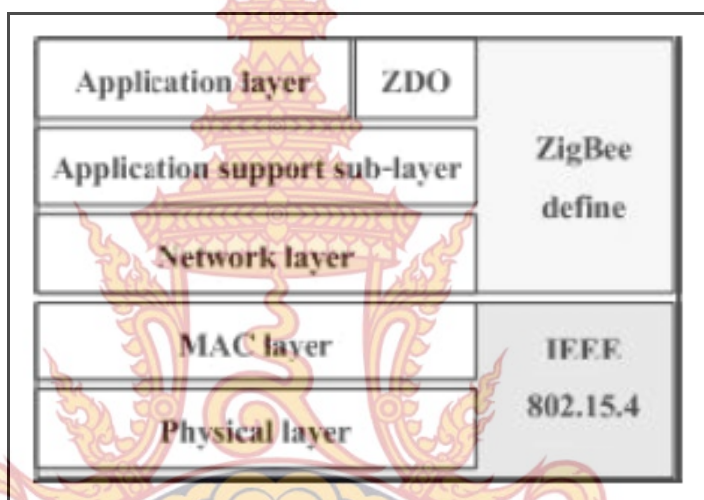
สำหรับ $k = 11, 12, \dots, 26$ เมื่อ k คือ หมายเลขของช่องสัญญาณ



ภาพที่ 18 รูปแบบเครือข่าย IEEE 801.5.4

6.7 โครงสร้างของโปรโตคอล Zigbee

Application Layer เป็นชั้นที่มีส่วนของ Endpoint อยู่ เรียกว่า Application Framework โดยมี Zigbee Device Object (ZDO) ทำหน้าที่ในการจัดการในการเข้าถึงและใช้งาน Application Layer Application Support Sub-Layer ทำหน้าที่ในการสร้างเฟรมของ Application Layer และทำหน้าที่ในการรับส่งข้อมูลรวมถึงการจัดการด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับ Application Layer Network Layer ทำหน้าที่ใช้ในการ Routing ข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางที่อาจอยู่ภายในเครือข่ายเดียวกันหรือต่างเครือข่าย



ภาพที่ 19 โครงสร้างโปรโตคอล Zigbee

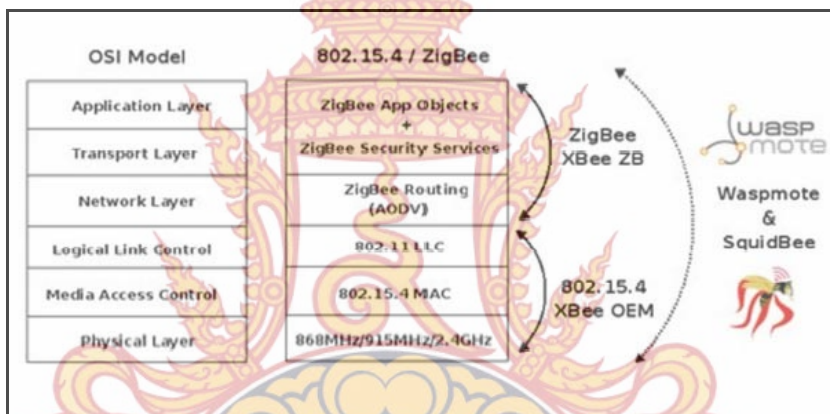
ขั้นตอนการทำงานของโปรโตคอล Zigbee ขั้นตอนการทำงานของ Zigbee Coordinator Zigbee Coordinator จะเริ่มต้นเครือข่ายโดยการตรวจสอบการใช้ช่องสัญญาณวิทยุภายในบริเวณรอบๆถ้ามีช่องสัญญาณที่ไม่ถูกใช้โดย Coordinator ตัวอื่นก็สามารถเริ่มต้นเครือข่ายได้ หลังจากนั้น Coordinator ก็จะทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางของเครือข่าย รองรับการเข้าร่วมเครือข่ายของ Zigbee end-device และรองรับการร้องขออื่นๆ ตามมาตรฐานด้วยเช่นกันในโครงงานนี้ Coordinator รองรับการเข้าร่วมเครือข่าย การออกจากเครือข่ายและการร้องขอการ Binding เท่านั้น

ขั้นตอนการทำงานของ Zigbee end-device Zigbee end-device จะเริ่มต้นการทำงานโดยการร้องขอการเข้าร่วมเครือข่ายไปยัง Coordinator ประจำเครือข่ายนั้นๆ โดยการตรวจสอบผ่านช่องสัญญาณต่างๆ ว่า Coordinator ใช้ช่องสัญญาณใดอยู่เมื่อเข้าร่วมเครือข่ายแล้ว end-device จึงสามารถทำการร้องขอคำสั่งอื่นๆ ผ่านทาง Coordinator ได้ เช่นการส่งข้อความทั่วไป (Message), การร้องขอการ Binding (Binding Request), การขอลออกจากเครือข่าย

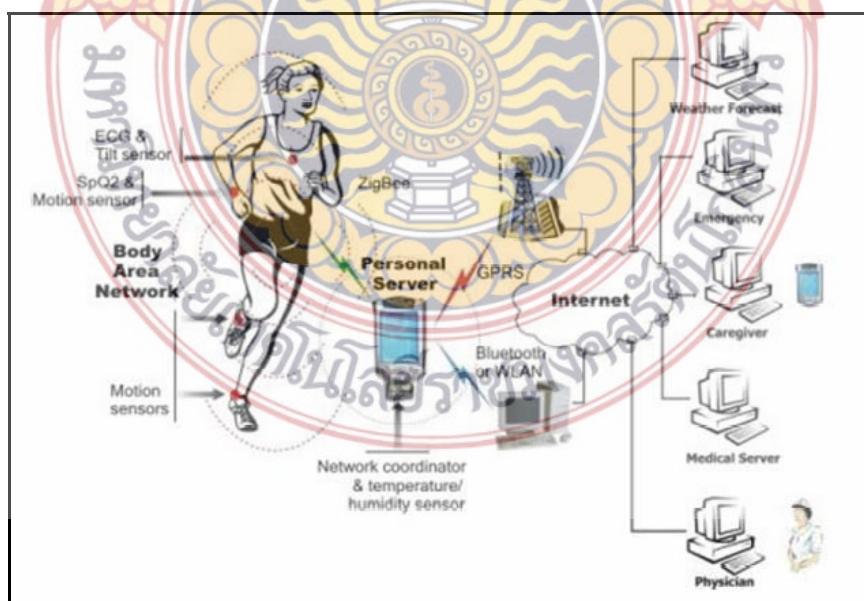
7. มาตรฐาน IEEE 801.5.4 กับ Zigbee

7.1 IEEE 801.5.4 เป็นมาตรฐานที่กำหนดใช้ในชั้น การสื่อสารที่ 2 ในแบบจำลอง OSI เพื่อสื่อสารกัน ระหว่างสองอุปกรณ์ ถูกสร้างขึ้นโดยสถาบันวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (IEEE) ซึ่งงานหลักคือการทำมาตรฐานเพื่อให้การพัฒนาเทคโนโลยีเป็นไปในทิศทางเดียวกันในอุปกรณ์ Wasmote ใช้ XBee 801.5.4 OEM RF Modules

7.2 Zigbee เป็นมาตรฐานที่กำหนดใช้ในชั้น การสื่อสารที่ 3 ในแบบจำลอง OSI จุดประสงค์หลักคือการสร้างลำดับชั้นเครือข่าย (Hierarchy) เพื่อกำหนดจำนวนของอุปกรณ์สื่อสารให้เป็นกลุ่มของการสื่อสารเพื่อกำหนดคุณลักษณะพิเศษ เช่น การเข้ารหัสลับ, การยืนยันตัวตน และในการให้บริการโปรแกรมประยุกต์ชั้นบนซึ่งสร้างขึ้น โดย Zigbee Alliance ในอุปกรณ์ Wasmote โพรโตคอลนี้ถูกกำหนดไว้โดยใช้โมดูล XBee XB Digi



ภาพที่ 20 รูปแบบโปรโตคอล 801.5.4 และ Zigbee



ภาพที่ 21 Wireless Body Area Network (WBAN)

นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์พื้นฐานที่หลากหลายในชีวิตประจำวันถ้าเรานำมาตรฐานเครือข่ายแบบไร้สาย IEEE 801.5.4 มาประยุกต์ใช้แบบยูบิควิตัส โดยเป็นการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์กับอุปกรณ์ หรือ อุปกรณ์กับมนุษย์ ที่ผ่านระบบเครือข่ายไร้สายทั้งนี้ประโยชน์ที่ได้รับมีดังนี้

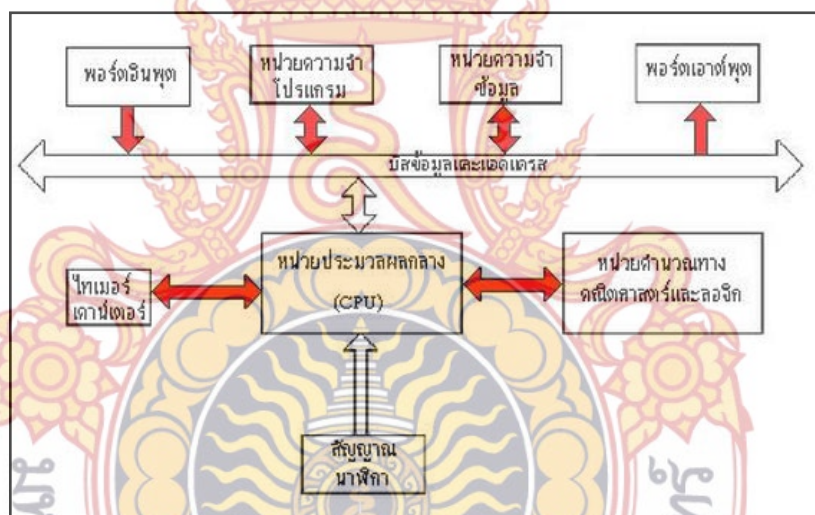
- ระบบการควบคุมอัตโนมัติ ที่บ้าน โรงงาน และ โกดังเก็บสินค้า เป็นต้น
- ระบบการติดตามสำหรับ ความปลอดภัย ชีวิตอนามัย และสิ่งแวดล้อม เป็นต้น
- การตรวจหาตำแหน่งที่นำไปใช้ใน การปฏิบัติการทางทหาร การทำงานของนักผจญเพลิง และ บริษัทที่ต้องการการตรวจหาตำแหน่งแบบเวลาจริง
- ให้ความบันเทิง เช่น เกมฝึกทักษะ และของเล่นแบบ interactiveมาตรฐาน 801.5.4 หรือ ZigBee ถ้ามีการใช้งานเกิดขึ้นจริงนั้นจะมีผลต่อการใช้ชีวิตประจำวันของเราอย่างมากเช่น ในทางชีวิตอนามัย

นอกจากนี้ระบบ 801.5.4 จะช่วยเตือนภัยจากสิ่งแวดล้อม รวมถึงอุบัติเหตุต่างๆ เช่น ไฟไหม้ น้ำท่วมแผ่นดินไหว เป็นต้นทั้งนี้ระบบเตือนภัยในปัจจุบันไม่ได้เชื่อมต่อกันเป็นระบบเครือข่ายและตัวอุปกรณ์เองมีช่วงการใช้งานจากแบตเตอรี่สั้นนอกจากนี้ยังมีราคาแพงอีกด้วย แต่ในระบบ 801.5.4 สามารถใช้ได้กับอุปกรณ์พื้นฐานเช่น เซนเซอร์ และ Actuators ที่มีราคาถูกทำให้สามารถติดตามเหตุการณ์ต่างๆและอุปกรณ์จะทำงานอย่างอัตโนมัติตามที่เราต้องการสำหรับการประยุกต์ระบบ 801.5.4 มาใช้ภายในบ้านจะสามารถทำให้อุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มาจากหลากหลายผู้ผลิตสื่อสารระหว่างกันเป็นระบบเครือข่ายได้ เช่น เมื่อมีสายโทรศัพท์เข้ามาโทรศัพท์คนจะลดเสียงลงอัตโนมัติ ทั้งนี้เราเองไม่ต้องเซตค่าต่างๆให้กับอุปกรณ์แต่อุปกรณ์เองจะเรียนรู้เองจากพฤติกรรมของเราภายในบ้านโดยแต่ละอุปกรณ์จะตรวจจับค่าต่างๆ เช่น ความเข้มแสงหลอดไฟ อุณหภูมิ เพลงช่องโทรทัศน์ และ Web Site โดยแต่ละอุปกรณ์จะเรียนรู้รสนิยมของแต่ละคนและบันทึกไว้ นอกจากนี้เราสามารถนำระบบ 801.5.4 มาประยุกต์ใช้ในการคมนาคม กับอุปกรณ์พื้นฐานต่างๆที่อยู่ตามท้องถนนทางด่วน และที่อื่น ๆ ทั้งนี้อุปกรณ์ต่างๆจะสื่อสารกันเองเป็นระบบเครือข่าย ในระหว่างการเดินทางของรถบนท้องถนนอุปกรณ์ที่อยู่ข้างทางจะส่งข้อมูลที่จำเป็นในการเดินทางสำหรับถนนที่รถวิ่งอยู่เช่น ความเร็วสูงสุดที่วิ่งได้ เส้นทางเป็นรถเดินทางเดียวหรือสองทาง สภาพการจราจร ข้อมูลอุบัติเหตุ เป็นต้น นอกจากนี้อุปกรณ์ต่างๆที่อยู่ข้างถนนจะมีการทำงานแบบอัตโนมัติด้วยเช่นไฟส่องทางจะลดความเข้มลงเมื่อไม่มีรถวิ่งผ่านมา และระบบควบคุมการจราจร เป็นต้น ประโยชน์อีกอย่างหนึ่งคือ สามารถตรวจหาตำแหน่งของรถได้ซึ่งจะคล้ายกับระบบ GPS แต่ระบบ GPS นี้ไม่สามารถตรวจหาตำแหน่งในบางสถานที่ได้ เช่นในอุโมงค์ ภายในอาคาร เป็นต้น และระบบ GPS ยังมีความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งมากกว่าการใช้งานในระบบ 801.5.4 อีกด้วย

8. การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

8.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่ภายในประกอบไปด้วยวงจรอื่นๆหลายวงจรและทำงานร่วมกัน เช่น หน่วยประมวลผลกลาง (CPU: Central Processing Unit) หน่วยความจำทางคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU: Arithmetic Logic Unit) วงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) หน่วยความจำ (Memory: ROM, Ram) วงจรรับสัญญาณอินพุตและขับสัญญาณเอาต์พุต (I/O Port) เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานควบคุมได้ดี เนื่องจากสามารถเขียนโปรแกรมควบคุมได้อย่างอิสระตามความต้องการ โดยมีข้อแตกต่างจากไมโครโปรเซสเซอร์ คือ ในวงจรพื้นฐานของไมโครโปรเซสเซอร์จะไม่มีจำพวก RAM, ROM และ Port อยู่ในตัวของไมโครโปรเซสเซอร์ แต่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีครบทั้ง 3 อย่างที่กล่าวมาโดยจะอยู่ภายในชิปซึ่งจากภาพที่ 22 แสดงถึงโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์



ภาพที่ 22 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์

8.2 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รุ่น UNO R3

Arduino เป็นภาษาอิตาลี เป็นชื่อที่สำหรับใช้เพื่อโครงการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลของ AVR (Alf Egil Bogen and Vegard Wollan's RISC processor) แบบรหัสเปิด (Open source) ที่ได้รับการปรับปรุงมาจากอีกโครงการ “Wiring” ที่ใช้ ATmega128 ที่มีหน่วยความจำและ I/O ค่อนข้างมากและตัวถังของ ATmega128 เป็นอุปสรรคกับผู้เริ่มใช้งานในเบื้องต้น จึงไม่เป็นที่นิยม จากนั้นทีมงานของ Arduino ได้นำมาพัฒนาต่อยอดโดยให้สามารถใช้งาน AVR ขนาดเล็กได้จึงทำให้งจรของบอร์ดมีขนาดเล็กลง อีกทั้งยังใช้อุปกรณ์จำนวนน้อยอีกด้วย ทำให้ง่ายในการต่อวงจรและประหยัดในการสร้าง บอร์ดมาก จึงทำให้ Arduino ได้รับความนิยมอย่างมาก Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ AVR ขนาดเล็กเป็นตัวประมวลผล เหมาะสำหรับการศึกษาเรียนรู้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ และการนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ทั้งอินพุตและเอาต์พุต ต่างๆได้ โปรแกรม ภาษาของ Arduino จะใช้รูปแบบของภาษา C++ โดยในการทดลองนี้จะเป็นการเริ่มต้นศึกษาการใช้งานบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Model แบบ Arduino UNO R3 ใช้ชิพ ATmega328P รั้นที่ความถี่ 16 MHz หน่วยความจำแฟลช 32 KB แรม 2 KB บอร์ดใช้ไฟกระแสตรง (Vdc) 7 ถึง 12 V มีระดับแรงดันไฟฟ้าในการทำงานและขาสัญญาณอยู่ที่ 5 V (TTL) มี Digital Input / Output 14 ขา (เป็น PWM ได้ 6 ขา) มี Analog Input 6 ขา Serial UART 1 ชุด I²C 1 ชุด SPI 1 ชุด เขียนโปรแกรม บนซอฟต์แวร์ Arduino IDE และโปรแกรมผ่านพอร์ต USB โดยลักษณะโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รุ่น Uno ที่ใช้จะมีดังต่อไปนี้

8.2.1 USB Port ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออัปโหลดโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด

8.2.2 Reset Button เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่

8.2.3 ICSP Port ของ Atmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน Atmega16U2

8.2.4 I/O Port เป็นพอร์ต Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่นๆ เพิ่มเติมด้วย เช่น Pin 0 และ Pin 1 เป็นขา Tx, Rx Serial, Pin 3, 5, 6, 9, 10 และ 11 เป็นขา PWM

8.2.5 ICSP Port โดย Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader

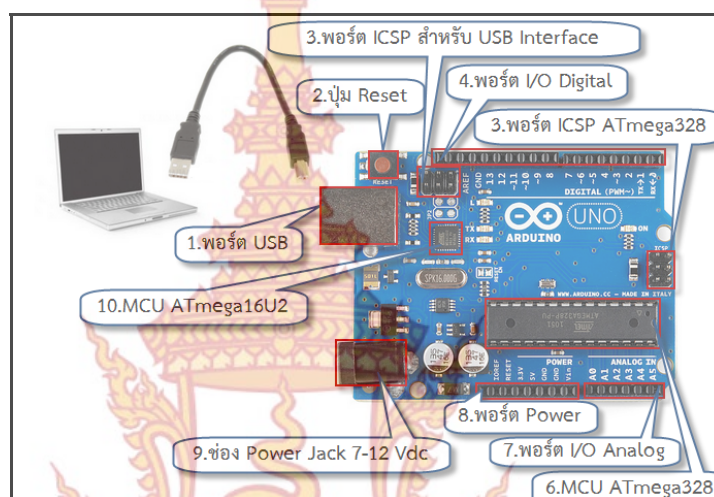
8.2.6 MCU โดย Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino

8.2.7 I/O Port นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้ว ยังเปลี่ยนเป็น ช่องรับสัญญาณอนาล็อก ตั้งแต่ขา A0-A5

8.2.8 Power Port เป็นไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3 Vdc, +5Vdc, GND และ Vin

8.2.9 Power Jack เป็นรับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 Vdc

8.2.10 MCU ของ Atmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน Atmega16U2



ภาพที่ 23 ส่วนประกอบของไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รุ่น UNO R3

Arduino เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ ATmega328P เป็น MCU ประจำบอร์ด โดย MCU รุ่นนี้ มีขา pin ทั้งหมด 28 ขาและมีจุดเด่นคือเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็ก แต่เพียงพร้อมไปด้วยทรัพยากรพื้นฐานต่างๆ อย่างครบถ้วน จึงมีความเหมาะสมเป็นอย่างยิ่งในการใช้งานทั่วไป สำหรับภายในมีทั้งระบบฮาร์ดแวร์ของ SPI, UART, I²C, Watchdog, Timer/Counter และ PWM เป็นต้นและสามารถใช้ในการพัฒนาโปรแกรมด้วย Arduino ได้ทันที

8.3 คุณสมบัติของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รุ่น UNO R3

ชุดโมดูลบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino มี ATmega328P เป็น MCU ตระกูล AVR ประจำบอร์ด โดยเลือกใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบ Crystal Oscillator ที่มีค่า 16 MHz เพื่อให้สามารถใช้งานพอร์ตสื่อสารอนุกรมได้อย่างลงตัว โดยมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

8.3.1 บอร์ดสามารถเปลี่ยนการติดตั้ง MCU เป็นแบบ 28 pin หรือเบอร์อื่นในอนุกรมเดียวกันได้โดยไม่ต้องมีการดัดแปลงใดๆ เช่น ATmega88 เป็นต้น

8.3.2 มีหน่วยความจำแบบ Flash 32 Kbyte โดยแบ่งเป็น Boot loader 2 Kbyte

8.3.3 มี EPROM 1Kbyte/SRAM 2Kbyte

8.3.4 มีความเร็วสัญญาณนาฬิกา (Speed Clock) 16 MHz

8.3.5 มีพอร์ตเป็น 14 Digital input/output pins ซึ่งมี 6 pin สามารถสร้างเป็น PWM

Outputs

8.3.6 มีพอร์ต 6 Analog input/output pins

8.3.7 ไฟกระแสตรง (DC) ขา I/O pin มีค่า 40 mA

8.3.8 ไฟกระแสตรง (DC) ขา 3.3V pin มีค่า 50 mA

8.3.9 MCU ประจำบอร์ดที่ได้รับการติดตั้ง Boots loader สามารถอัปเดตโค้ดให้บอร์ดผ่านทางพอร์ตสื่อสารแบบอนุกรมได้ทันที

8.3.10 มีขั้วต่อ USB Interface สื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมเข้าคอมพิวเตอร์ได้ทันที

8.3.11 มี LED สำหรับแสดงสถานะไฟเลี้ยง

8.3.12 มี LED แสดงสถานะการรับส่งข้อมูล

8.3.13 ใช้ไฟเลี้ยงประจำบอร์ด 7-12 Volt (DC)

8.4 ทฤษฎีไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR รุ่น ATmega328P

8.4.1 สถาปัตยกรรมขั้นสูงแบบ RISC (Reduce Instruction Set Computer)

- RISC คือตัวทำให้การประมวลผลมีความเร็ว 1 คำสั่ง/1 clock หรือ CPU สามารถประมวลคำสั่งได้ 1 MIPS/MHz

- ชุดคำสั่ง 131 คำสั่งต่อ 1 รอบนาฬิกา

- รีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต 32 ตัว

- ความเร็วในการประมวลผลมากกว่า 20 ล้านคำสั่งต่อวินาที (MIPS) ที่ 20 MHz

โดยมีคุณสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้

หน่วยความจำ

- แบบ 32 Kbyte สามารถเขียนลบโปรแกรมได้ 10,000 ครั้ง
- แบบ EPROM 1Kbyte สามารถเขียนและลบโปรแกรมได้ 100,000 ครั้ง
- แบบ SRAM 2 Kbyte

ไฟเลี้ยง

- ระหว่าง 1.8 ถึง 2.5 v

ความถี่สัญญาณนาฬิกา

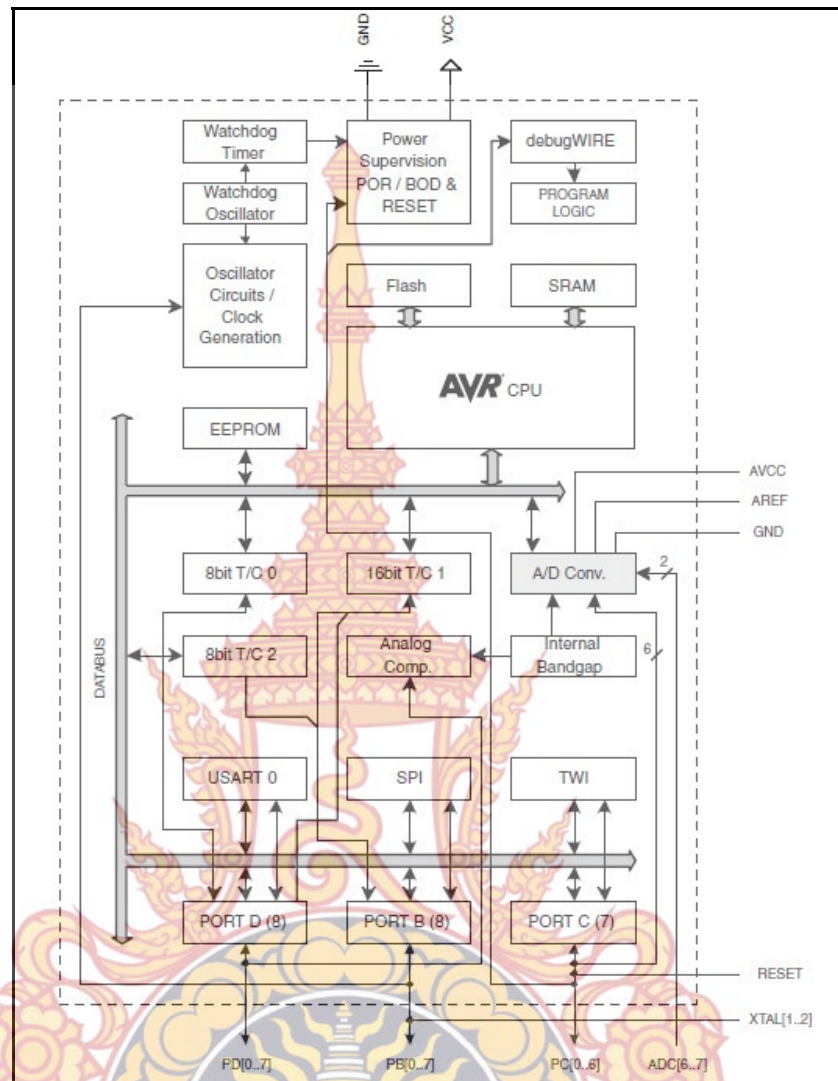
- ระหว่าง 0 ถึง 4 MHz
- มีการรองรับอุปกรณ์ต่อพ่วง
- อุปกรณ์สื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมแบบ I²C และ USART อื่นๆ
- มีระบบ Reset แบบอัตโนมัติเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์
- มีฟังก์ชันตรวจสอบแรงดัน
- มีระบบการขัดจังหวะทั้งภายในและภายนอก
- มีระบบตรวจจับความผิดพลาดของ CPU
- มีโหมดอนุรักษ์พลังงาน 5 mode ได้แก่ Idle, ADC Noise Reduction,

Power-Save, Power-Down, Standby

8.4.2 ส่วนประกอบของไอซี ATmega328P

(PCINT14/RESET) PC6	1	28	PC5 (ADC5/SCL/PCINT13)
(PCINT16/RXD) PC0	2	27	PC4 (ADC4/SDA/PCINT12)
(PCINT17/TXD) PC1	3	26	PC3 (ADC3/PCINT11)
(PCINT18/INT0) PC2	4	25	PC2 (ADC2/PCINT10)
(PCINT19/OC2B/INT1) PC3	5	24	PC1 (ADC1/PCINT9)
(PCINT20/XCK/T0) PC4	6	23	PC0 (ADC0/PCINT8)
VCC	7	22	GND
GND	8	21	AREF
(PCINT6/XTAL1/TOSC1) PB6	9	20	AVCC
(PCINT7/XTAL2/TOSC2) PE7	10	19	PB5 (SCK/PCINT5)
(PCINT21/OC0B/T1) PE5	11	18	PB4 (MISO/PCINT4)
(PCINT22/OC0A/AIN0) PC6	12	17	PB3 (MOSI/OC2A/PCINT3)
(PCINT23/AIN1) PC7	13	16	PB2 (SS/OC1B/PCINT2)
(PCINT0/CLKO/ICF1) PE0	14	15	PB1 (OC1A/PCINT1)

ภาพที่ 24 ส่วนประกอบ ATmega328P



ภาพที่ 25 สถาปัตยกรรมชั้นสูงของ AVR รุ่น ATmega328P แบบ RISC



ตารางที่ 2 ตารางแสดงฟังก์ชันการทำงานของ ATmega328P

ชื่อ	รายละเอียด	ขา
GND	ขากราวด์ต่อสายดิน	8, 22
Vcc	ไฟเลี้ยง 1.8 ถึง 5.5 Vdc	7
Port B(PB 7: 0) XTAL1/XTAL2/TOSC1/TOSC2	<ul style="list-style-type: none"> - เป็นพอร์ต 2 ทิศทาง ขนาด 8 บิต โดยสามารถกำหนดให้ขาของแต่ละพอร์ตสามารถตั้งค่าให้ Pull up Resistor ได้ (ภายในเป็นอิสระแยกจากกันเพื่อตั้งแรงดันของลอจิก 1 ให้เท่ากับ 5 Vdc) - สามารถใช้งานพิเศษตามความต้องการของ ATmega 328 โดยขึ้นอยู่กับค่าสัญญาณนาฬิกาที่ขา PB6 ที่ใช้เป็นแรงดัน Oscillator และขาอินพุตของวงจรสัญญาณ Clock Oscillator 	9, 10, 14-19
PC6/RESET	ขา Reset	1
Port D (PD7:0)	<ul style="list-style-type: none"> - เป็นพอร์ตสองทิศทางขนาด 8 บิต โดยสามารถกำหนดให้ขาของแต่ละพอร์ตสามารถตั้งค่าให้ Pull up Resistor ได้ - สามารถใช้งานพิเศษตามความต้องการของ ATmega 328 	1-6, 11-13
AVCC	ใช้จ่ายไฟให้กับวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล มักจะต่อเข้ากับขา VCC	20
AREF	แรงดันอ้างอิงที่ใช้งานในส่วนของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลมักต่อกับ VCC	21
ADC7:6 (TQFP and QFN/MLF Package Only)	ขากำลังงานใช้แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล	23-28
Port C (PC5:0)	<ul style="list-style-type: none"> - เป็นพอร์ตสองทิศทางขนาด 8 บิต โดยสามารถกำหนดให้ขาของแต่ละพอร์ตสามารถตั้งค่าให้ Pull up Resistor ได้ - สามารถใช้งานพิเศษตามความต้องการของ ATmega 328 	23-28

8.5 โครงสร้างการเขียนโปรแกรมภาษาซีของ Arduino

ภาษาซีของ Arduino จะจัดแบ่งรูปแบบโครงสร้างของการเขียนโปรแกรมเป็นส่วนย่อยๆ หลายๆ ส่วน โดยเรียกแต่ละส่วนว่า “ฟังก์ชัน” และเมื่อนำฟังก์ชันมารวมเข้าด้วยกัน ก็จะเรียกว่า “โปรแกรม” โดยโครงสร้างการเขียนโปรแกรมของ Arduino ทุกๆ โปรแกรมจะประกอบไปด้วยฟังก์ชันจำนวนเท่าใดก็ได้ แต่อย่างน้อยที่สุดต้องมี 2 ฟังก์ชันคือ Setup() และ Loop()

- Setup() : เป็นฟังก์ชันบังคับที่ต้องกำหนดให้มีทุกๆ โปรแกรมถึงแม้ว่าบางโปรแกรมจะไม่ต้องการใช้งานก็ยังจำเป็นต้องประกาศไว้เสมอ เพียงแต่ไม่ต้องเขียนคำสั่งใดๆ ไว้หลังวงเล็บปีกกา {} ที่ใช้เป็นตัวกำหนดขอบเขตของฟังก์ชัน โดยฟังก์ชันนี้จะใช้สำหรับบรรจุคำสั่งที่ต้องการให้โปรแกรมทำงานเพียงรอบเดียว ตอนเริ่มต้นทำงานของโปรแกรมครั้งแรกเท่านั้น ซึ่งได้แก่คำสั่งเกี่ยวกับการ Setup ค่าการทำงานต่างๆ เช่น การกำหนดหน้าที่ของการใช้งานของ Pin Mode และค่า Baudrate สำหรับการใช้งานสื่อสารพอร์ตอนุกรม เป็นต้น

- Loop() : เป็นส่วนฟังก์ชันบังคับที่ต้องกำหนดให้มีในทุกๆ โปรแกรม เช่นเดียวกันกับฟังก์ชัน Setup() โดยฟังก์ชัน Loop() นี้จะใช้ในการบรรจุคำสั่งที่ต้องการให้โปรแกรมทำงานเป็นวนรอบซ้ำ ๆ กันไปไม่รู้จบ ซึ่งเปรียบเทียบกับ ฟังก์ชัน Main () ใน ANSCI-C นั่นเอง

9. การสื่อสารแบบอนุกรม

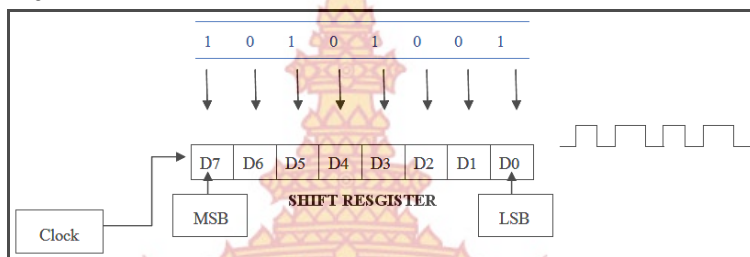
ทฤษฎีการสื่อสารแบบอนุกรม เป็นการรับส่งข้อมูลที่ละบิตจนครบ 1 ไบต์ ถ้าต้องการส่งข้อมูล 1 ไบต์คือ D0 - D7 อาจจะส่ง D0 ออกไปก่อน แล้วตามด้วย D1 ไปเรื่อยๆ จนถึง D7 โดยการส่งข้อมูลแบบอนุกรมมีความแตกต่างกับแบบขนานทั้งข้อดีและข้อเสียดังนี้ การส่งข้อมูลแบบขนานสามารถรับส่งข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว เพราะการส่งข้อมูลสามารถทำได้ทีละบิตครบ 1 ไบต์ แต่ถ้าต้องการส่งระยะทางไกลๆ จะต้องสิ้นเปลืองสายสัญญาณมาก สำหรับการส่งข้อมูลแบบอนุกรมจะแตกต่างคือ ถ้าส่งระยะทางไกลๆ จะประหยัดสายสัญญาณ จากการใช้สายสัญญาณอย่างน้อยสองเส้นคือ สายสัญญาณกับสายกราวด์ แต่การรับส่งข้อมูลจะใช้เวลาานกว่าเนื่องจากการรับส่งค่าทีละบิต

9.1 การสื่อสารข้อมูลแบบ Asynchronous

การสื่อสารข้อมูลแบบ Asynchronous เป็นการรับและส่งข้อมูลโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิกาพร้อมด้วยแต่จะใช้การกำหนดค่าอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกอัตรานี้ว่า Baud rate (Bit/second) รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบ Asynchronous ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ

- 9.1.1 บิตเริ่มต้น (Start bit) มีขนาด 1 บิต
- 9.1.2 บิตข้อมูลแบบอนุกรม มีขนาด 8 บิต
- 9.1.3 บิตตรวจสอบพาริตี (Parity bit) มีขนาด 1 บิตหรือไม่ก็ได้
- 9.1.4 บิตหยุด (Stop bit) มีขนาด 1 บิต

เมื่อไมโครคอมพิวเตอร์ต้องการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมตัวไมโครคอมพิวเตอร์จะส่งข้อมูลออกไปแบบขนานก่อน จากนั้นจะมีอุปกรณ์ที่มาต่อพอร์ต เพื่อแปลงข้อมูลแบบขนานให้เป็นอนุกรมทีหนึ่ง ตัวแปลงข้อมูลนี้อาจพิจารณาว่าเป็น Shift Register



ภาพที่ 26 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม

สำหรับตัวรับข้อมูลแบบอนุกรมนั้นเมื่อตัวรับข้อมูลทำงานจะเป็นการรับเข้ามาใน Shift Register แล้วส่งข้อมูลให้ไมโครคอมพิวเตอร์แบบขนานอีกที่ระบบคอมพิวเตอร์ ในปัจจุบันมีตัวแปลง Parallel to Serial และ Serial to Parallel อยู่ในชิพไอซีเรียกว่า Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART) การส่งข้อมูลแบบอนุกรมนั้นจะต้องมีการเพิ่มเติมข้อมูลบางอย่างเข้าไปเพื่อให้ข้อมูลมีความถูกต้องมากขึ้น

Start	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	Parity	Stop
-------	----	----	----	----	----	----	----	----	--------	------

ภาพที่ 27 บิตการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

ถ้ามีการส่งข้อมูลแบบ 8 บิตจะต้องมีการส่งบิตแรกออกไปก่อน เรียกว่า บิตเริ่มต้น (Start Bit) ถ้ามีการส่งข้อมูลหลายๆไบต์ออกมาบิตนี้จะเป็นตัวบอกว่ามีข้อมูลใหม่มาแล้ว โดยทั่วไปบิตเริ่มต้นมักมีระดับลอจิกเป็น “0” ต่อจากนั้น จะเป็น ข้อมูลบิต D0-D7 จากนั้นตามด้วยบิตตรวจสอบและบิตหยุด เพื่อบอกการสิ้นสุดของบิตข้อมูลซึ่งบิตหยุดอาจมากกว่า 1 บิตก็ได้การสื่อสารแบบอนุกรมนี้การกำหนดอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลจะบอกเป็นบิตต่อวินาที (bps) ที่เรียกว่าอัตราบอดเรต (Baud Rate) โดยค่ามาตรฐานที่ใช้กรณีหลายค่า เช่น ค่า 9,600 bps.หรือ ค่า 115,200 bps. เป็นต้น

10. หลักการพื้นฐานของ USB

USB หรือ Universal Serial Bus ได้ถูกกำหนดขึ้นมาโดยบริษัทยักษ์ใหญ่ผู้นำทางด้านอุปกรณ์ไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ซึ่งประกอบไปด้วย COMPAQ, IBM, DEC, Intel, Microsoft, NEC และ Northern Telecom ช่วยกันวางมาตรฐานให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน โดยในยุคเริ่มแรกนั้นมาตรฐานของ USB ที่ ออกสู่สาธารณะชนเป็นครั้งแรกเมื่อวันที่ 11 พฤศจิกายน ปี ค.ศ.1994 คือ Revision 0.7 และได้ปรับปรุงแก้ไขเรื่อยมา จนกระทั่งเมื่อ วันที่ 15 มกราคม ปี ค.ศ.1996 ได้ออกมาเป็น Revision 1.0 (USB1.0) ได้เป็นผลสำเร็จและยังได้ปรับปรุงพัฒนา แก้ไขปัญหาต่างๆ เรื่อยมาจนเมื่อวันที่ 23 กันยายน ค.ศ. 1998 ได้เป็น Revision 1.1 (USB1.1) เมื่อความเร็วที่ได้ ยังไม่เพียงพอกับความต้องการตั้งนั้นทางกลุ่มผู้พัฒนา หรือ USB-IF (USB Implementers Forum, Inc.) ได้ร่างมาตรฐาน USB รุ่นใหม่ และได้ข้อสรุป เป็นมาตรฐานที่แน่นอน คือ USB 2.0 ในเดือนเมษายน ปี ค.ศ. 2000 สำหรับความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลนั้น USB 1.1 จะมีความเร็วอยู่ที่ 12Mbps ส่วน USB 2.0 นั้น รองรับระดับการรับส่งข้อมูลได้ถึง 3 ระดับ คือ

- ความเร็ว 1.5 Mbps (Low Speed) สำหรับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่ไม่จำเป็นต้องส่งข้อมูลคราวละมากๆ
- ความเร็ว 12 Mbps (Full Speed) สำหรับการเชื่อมต่อกับ USB 1.1
- ความเร็ว 480 Mbps (Hi-Speed) สำหรับการเชื่อมต่อกับ USB 2.0 ด้วยกัน

10.1. ชนิดของหัว Connector

Connector มีอยู่ 2 แบบ คือ แบบ A และ แบบ B และ Socket ดังรูป



ภาพที่ 28 ชนิดของหัว Connector แบบ A และแบบ B

ลักษณะการทำงานของหัวต่อทั้งสองแบบมีดังนี้

- แบบ A: เป็นการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ไปยังเครื่อง Computer เพื่อการประมวลเรียกว่า UpStream
- แบบ B: เป็นการส่งข้อมูลเข้าหาอุปกรณ์ เรียกว่า DownStream

10.2 ลักษณะการเชื่อมต่อ

การเชื่อมต่อใช้งานนั้นสามารถ เชื่อมต่อร่วมกันได้ทั้งที่เป็น USB1.1 และ USB 2.0 แต่จะได้ความเร็วที่ต่างกัน

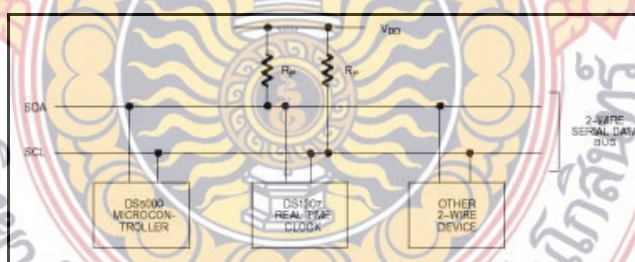
หากต่ออุปกรณ์มาตรฐาน USB1.1 บนระบบบัสที่เป็น USB2.0 จะได้ความเร็วเท่ากับ 12 Mbps

หากต่ออุปกรณ์มาตรฐาน USB2.0 บนระบบบัสที่เป็น USB1.1 จะได้ความเร็วเท่ากับ 12 Mbps

หากต่ออุปกรณ์มาตรฐาน USB2.0 บนระบบบัสที่เป็น USB2.0 จะได้ความเร็วเท่ากับ 480 Mbps

11. การสื่อสารแบบ I²C Bus

Inter Integrate Circuit Bus (IIC Bus) เรียกสั้นๆว่า “I²C Bus” ซึ่งเป็นชื่อของการติดต่อสื่อสารแบบอนุกรมแบบหนึ่งถูกคิดค้นและพัฒนาโดย PHILIPS SEMICONDUCTOR เมื่อหลายปีก่อน แต่เพิ่งมาได้รับความนิยมแพร่หลายเมื่อไม่นานมานี้ ซึ่งปัจจุบันนี้ได้มีหลายบริษัทให้ความสนใจในการติดต่อสื่อสารแบบนี้เป็นอย่างมาก เนื่องจากรูปแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์ด้วยระบบบัสแบบนี้จะมีข้อดีคือใช้สัญญาณในการเชื่อมต่อเพียง 2 เส้น (SCL และ SDA) แต่สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์จำนวนหลายตัวในบัสเดียวได้ ซึ่งปัจจุบันถือว่าเป็นยุคสมัยของไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็ก เนื่องจากระบบการทำงานของวงจรมีขนาดเล็กกะทัดรัดและสามารถใช้งานได้หลายหลาย ดังนั้นพวก Chip support ต่างๆจึงได้ออกแบบมาเพื่อตอบสนองการใช้งานแบบ I²C Bus มากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 29 ลักษณะการเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบ I²C BUS

11.1 การเชื่อมต่อบัสแบบ I²C Bus

การเชื่อมต่อนี้จะใช้สัญญาณทั้งหมด 2 เส้นคือ SCL และ SDA โดยการติดต่อระหว่างอุปกรณ์จะเป็นแบบ 2 ทิศทาง โดยสัญญาณทั้งสองเส้นจะต้องต่อกับตัวต้านทาน Pull up ไว้เพื่อให้สถานะของบัสในขณะที่ไม่ถูกใช้งานเป็นลอจิก “1” ทั้งคู่โดยอุปกรณ์ต่างๆที่ถูกรออกแบบมาเพื่อเชื่อมต่อกับบัสแบบนี้จะต้องสร้างวงจรภาคเอาท์พุทให้เป็นแบบ Open Drain หรือ Open collector เสมอเพื่อให้อุปกรณ์สามารถติดต่อกันได้มากกว่า 1 อุปกรณ์

11.2 หลักการของ I²C

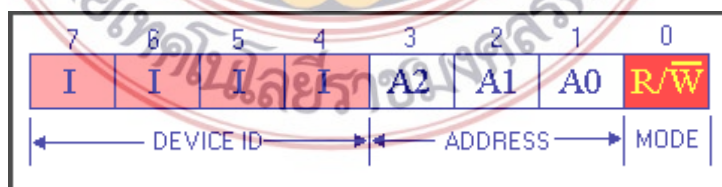
บัส I²C ประกอบด้วยสายสัญญาณ 2 เส้นดังที่ได้กล่าวมาแล้วคือ SDA และ SCL อุปกรณ์ที่ต่อพ่วงบนบัสสามารถมีได้มากมาย ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดรูปแบบของการติดต่อบนบัสหรือเรียกว่า โพรโตคอล (Protocol) เพื่อให้ผู้ใช้งานทราบว่า ขณะนี้อุปกรณ์ใดติดต่อกันอยู่ และอุปกรณ์ตัวใดเป็นตัวรับหรือตัวส่ง ต่อไปนี้เป็นารอธิบายลักษณะหน้าที่ และนิยามของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่บนบัส I²C เพื่อเป็นข้อตกลงพื้นฐานก่อนที่จะอธิบายการทำงานของบัส I²C ต่อไป

อุปกรณ์ที่เป็นผู้สร้างข้อมูลหรือส่งข้อมูลเรียกว่า ตัวส่ง (Transmitter) อุปกรณ์ที่เป็นผู้รับข้อมูลเรียกว่า ตัวรับ (Receiver) ในอุปกรณ์บนบัส I²C สามารถเป็นได้ทั้งตัวรับและตัวส่งบางอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นตัวรับเพียงอย่างเดียวจะไม่มีอุปกรณ์ใดบนบัส I²C เรียกว่า มาสเตอร์ (Master) อุปกรณ์ที่ถูกควบคุมหรืออุปกรณ์ที่ต่อพ่วงเข้าไปบนบัส I²C เรียกว่า สเลฟ (Slave) โดยข้อกำหนด 2 ประการสำคัญของการติดต่อบนบัส I²C คือ

11.2.1 กรณีถ่ายทอดข้อมูล จะเกิดขึ้นได้เมื่อบัสว่างเท่านั้น

11.2.2 กรณีอยู่ในระหว่างการถ่ายทอดข้อมูล เมื่อใดก็ตามที่สายสัญญาณนาฬิกา SCL มีสถานะเป็นลอจิกสูง สายข้อมูล SDA ต้องรักษาข้อมูลไว้ อย่าให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นเด็ดขาด มิฉะนั้นสัญญาณที่เกิดขึ้นจะได้รับการแปลความหมายเป็นสัญญาณควบคุมแทน

การรับส่งข้อมูลของ I²C บัส จะเริ่มต้นด้วยการที่ตัวแม่สร้างสภาวะเริ่มต้น (Start Condition) เพื่อขอใช้บัสจากนั้นจึงเริ่มการส่งรหัสควบคุม (Control Byte) เพื่อใช้ระบุตำแหน่งของแอดเดรสตัวลูกที่ต้องการใช้ติดต่อกันในระบบบัส โดยค่าตำแหน่งแอดเดรสนี้ อุปกรณ์แต่ละตัวจะมีรหัสแอดเดรสที่แตกต่างกันออกไป ไม่มีการซ้ำกันในระบบบัสเดียวกัน โดยรหัส Control Byte จะมีขนาด 8 บิตซึ่ง 7 บิตแรก เริ่มจาก MSB จะเป็นค่าตำแหน่งแอดเดรสของตัวลูก ส่วนบิตที่ 8 (LSB) จะเป็นบิตสุดท้ายของไบต์ใช้สำหรับระบุทิศทางการรับส่ง (R/W) โดยถ้าบิต LSB มีค่าเป็น “0” จะหมายถึงตัวแม่เขียนข้อมูลไปหาตัวลูก โดยข้อมูลจะรับส่งกันครั้งละ 1 ไบต์ และปิดท้ายข้อมูลของแต่ละไบต์ด้วยบิตแสดงการตอบรับ (Acknowledge Bit) โดยลักษณะโครงสร้าง Control Byte ของอุปกรณ์ แบบ I²C มีดังนี้



ภาพที่ 30 ลักษณะของ Control Byte ของ I²C Bus

จากภาพที่ 30 จะเห็นได้ว่ารหัส Control Byte ของอุปกรณ์ I²C จะมีขนาด 8 บิต โดยที่บิตที่ 7 ถึงบิตที่ 4 จะเป็นรหัสประจำตัวของอุปกรณ์แต่ละตัวที่ถูกกำหนดไว้ตายตัวจากโรงงาน ซึ่งผู้ใช้งานต้องศึกษาข้อมูลจากคู่มือ Data sheet ของอุปกรณ์นั้นเองว่าอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้งานมีรหัสประจำตัวเป็นเท่าใด ส่วนบิตที่ 3 ถึงบิตที่ 1 จะมีไว้สำหรับการเลือกต่ออุปกรณ์ที่อยู่ในบัส โดยค่าของทั้ง 3 บิตนี้ จะต้องเป็นค่าที่ ตรงกับการกำหนดสถานะทางลอจิก ให้กับขาสัญญาณของ A2, A1, A0 ของอุปกรณ์ด้วย ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ที่มีรหัสประจำตัวเป็น “0111” อาจถูกออกแบบให้สามารถต่อร่วมกันภายในบัสเดียวกันจำนวน 8 ตัว โดยการกำหนดสถานะของลอจิกให้กับขาสัญญาณ A2, A1, A0 ให้มีความแตกต่างกันจากวงจรที่อยู่

แต่อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์ I²C บางตัว อาจถูกออกแบบให้ต่อได้ในระบบบัสเดียวกันเพียงตัวเดียวโดยไม่มีขาสัญญาณในการเลือกตำแหน่งของอุปกรณ์อยู่ด้วย ค่าของ Control Byte ในตำแหน่งบิตที่ 3 ถึงบิตที่ 1 ก็อาจถูกกำหนดไว้ตายตัวเป็น 000 เสมอก็ได้ ส่วนค่า Control Byte ของบิต 0 นั้น จะถูกกำหนดไว้เป็นทิศทางของข้อมูล โดยถ้าบิต 0 มีค่าเป็น 1 หมายถึงตัวแม่ต้องการอ่านค่าข้อมูลจากอุปกรณ์ ถ้ามีค่าเป็น 0 หมายถึงตัวแม่ต้องการเขียนค่า

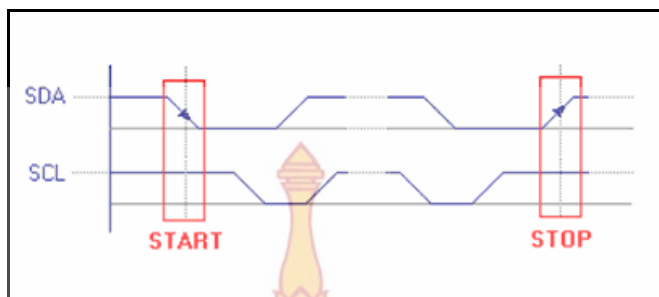
สำหรับการรับส่งข้อมูลนั้นไม่มีการกำหนดตายตัวว่าจะต้องส่งกันครั้งละกี่ไบต์ ขึ้นอยู่กับข้อตกลงระหว่างอุปกรณ์แต่ละชนิดจะกำหนดขึ้นโดยในการรับส่งแต่ละครั้ง ตัวแม่จะเป็นตัวควบคุมการรับส่งเองทั้งหมด ซึ่งในกรณีที่ตัวแม่ต้องการติดต่อกับอุปกรณ์หลายๆ ตัวนั้น หลังจากตัวแม่สร้างสถานะเริ่มต้นเสร็จแล้ว และทำการติดต่อข้อมูลกับอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว ถ้าตัวแม่ต้องการติดต่อข้อมูลกับอุปกรณ์อื่นไม่จำเป็นต้องสร้างสถานะสิ้นสุด แต่ตัวแม่สามารถสร้างสถานะเริ่มต้นขึ้นมาใหม่พร้อมกับส่ง Control Byte ใหม่ไปติดต่อกับอุปกรณ์ที่ต้องการได้ทันที เมื่อทำการติดต่อรับส่งข้อมูลเรียบร้อยแล้วจึงสั่งหยุด Stop Condition เพื่อเป็นการเลิกใช้บัสที่มีอยู่และปล่อยให้บัสว่าง

11.3 สถานะที่เกิดขึ้นบนบัส I²C มีด้วยกัน 5 สถานะ ดังนี้

11.3.1 บัสว่าง (Bus not busy) สถานะนี้เกิดขึ้นเมื่อสถานะลอจิกบนสาย SDA และ SCL เป็นลอจิกสูงทั้งคู่ นั่นหมายความว่า การถ่ายทอดข้อมูลสามารถเริ่มต้นขึ้นได้

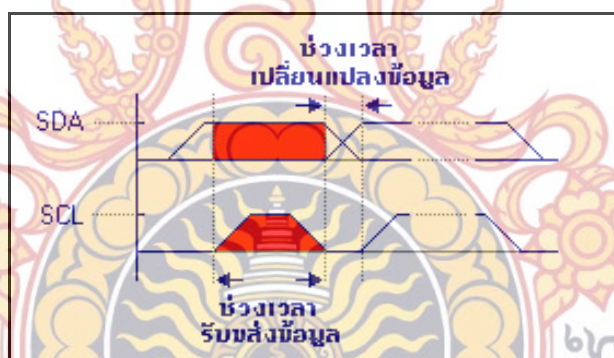
11.3.2 เริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูล (Start data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจากสูงไปต่ำ ในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง เรียกสถานะที่เกิดขึ้นนี้ว่าสถานะเริ่มต้น (START)

11.3.3 หยุดการถ่ายทอดข้อมูล (Stop data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจากต่ำไปสูง ในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง เรียกสถานะที่เกิดขึ้นนี้ว่าสถานะหยุด (STOP)



ภาพที่ 31 เงื่อนไขของสถานะเริ่มต้น และสิ้นสุดของ I²C Bus

11.4 ข้อมูลดำรงอยู่บนบัส (Data valid) สถานะนี้เกิดขึ้นถัดจากสถานะเริ่มต้น โดยสถานะลอจิกที่เกิดขึ้นบนสาย SDA คือข้อมูลที่ทำการถ่ายทอด เมื่อสาย SCL เป็นลอจิกสูงสถานะที่สาย SDA ต้องคงที่ เพื่อให้อุปกรณ์รับรู้ข้อมูลในจังหวะนั้นว่าเป็น “0” หรือ “1” ข้อมูลอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ในขณะที่สาย SCL เป็นลอจิกต่ำ แต่เมื่อใดก็ตามที่ต้องการให้เกิดการถ่ายทอดข้อมูลอย่างสมบูรณ์ สถานะลอจิกที่ขา SDA ต้องคงที่ตลอดช่วงเวลาที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง หากเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะลอจิกในขณะที่สาย SCL มีลอจิกสูงอยู่นั้น อุปกรณ์มาสเตอร์ที่ทำการควบคุมการถ่ายทอดข้อมูลจะแปลความหมายเป็นสถานะหยุดหรือสถานะเริ่มต้นก็ได้ ทำให้ข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดเกิดความผิดพลาดขึ้น



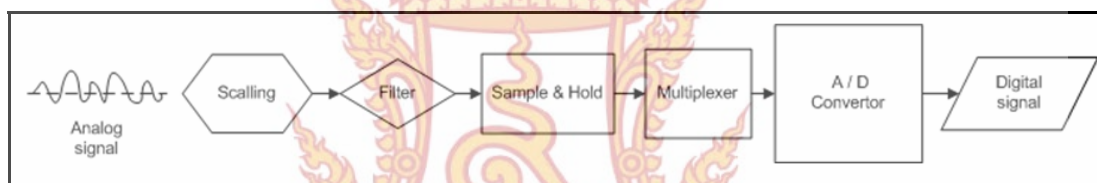
ภาพที่ 32 ช่วงเวลารับส่งบิตข้อมูลของ I²C BUS

11.5 รับข้อมูล (Acknowledge) เกิดขึ้นหลังจากที่การถ่ายทอดข้อมูลจากตัวส่งมายังตัวรับเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ โดยตัวส่งจะทำการส่งข้อมูลมา 1 บิตเรียกว่า บิตรับรู้ (Acknowledge Bit) มีสถานะเป็นลอจิกสูง หลังจากส่งข้อมูลมาครบถ้วน ส่วนอุปกรณ์มาสเตอร์จะทำการส่งสัญญาณรับรู้พิเศษ ซึ่งสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกา เพื่อตอบสนองบิตรับรู้ที่ส่งมาจากตัวรับจะส่งบิตรับรู้ที่มีสถานะลอจิกต่ำลงบนบัส อุปกรณ์สเลฟที่ถูกอ้างถึงในการติดต่อหรือกำลังติดต่ออยู่ในขณะนั้นก็จะกำเนิดบิตรับรู้เพื่อตอบสนอง ให้ทราบว่าได้รับข้อมูลในแต่ละไบต์เรียบร้อยแล้ว

12. การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D Converter) หรือ Analog to Digital Converter เป็นโมดูลที่ทำหน้าที่ในการรับค่าสัญญาณอนาล็อกอินพุตจากภายนอก PIC แล้วนำสัญญาณอนาล็อกที่ได้มาทำการแปลงสัญญาณให้เป็นดิจิทัล เพื่อให้ PIC สามารถนำสัญญาณที่ได้มาประมวลผล เพราะสัญญาณภายใน PIC นั้นจะเป็นสัญญาณดิจิทัล (ลอจิก 0 หรือ ลอจิก 1) ประโยชน์ของการมีโมดูล A/D Converter คือ สามารถรับค่าสัญญาณอนาล็อก

หลักการทำงาน แสดงได้ดังภาพที่ 33 คือเริ่มจากสัญญาณอนาล็อกจะผ่านการ Scaling ก่อน เพื่อให้สัญญาณอินพุตมีจุดต่ำสุด สูงสุดอยู่ในย่านที่สามารถแปลงความถี่ได้ เช่นในตอนแรกแรงดันที่เข้ามาที่ ไมโครคอนโทรลเลอร์มีค่าเป็น 0 - 50 โวลต์ จะต้องทำการ Scaling ก่อนเช่น อาจจะทำการแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) ก่อนเพื่อให้แรงดันที่เข้ามาเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์อยู่ในช่วงที่ไมโครคอนโทรลเลอร์รับได้



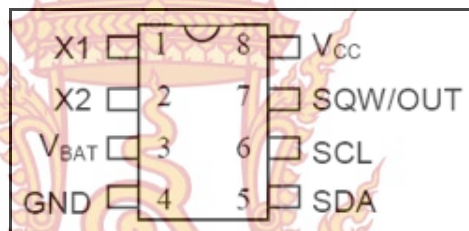
ภาพที่ 33 ส่วนประกอบของกระบวนการ A/D Converter

ต่อจากการทำ Scaling คือการ Filter เพื่อลดทอนสัญญาณความถี่สูงๆออกไป ต่อมาเข้ากระบวนการ Sample & hold เพื่อทำการ Sampling สัญญาณเพื่อให้ค่าสัญญาณแต่ละช่วงที่ทำการ Sampling มีค่าคงที่ตลอดเวลา

ขั้นตอนสุดท้ายคือการเข้าสู่กระบวนการ A/D Converter คือการทำ Multiplex เพราะว่าบางครั้งอาจจะได้รับเพียงค่าสัญญาณอนาล็อกเพียงช่องสัญญาณเดียว ทำให้ต้องทำการ Multiplexer เพื่อเลือกช่องสัญญาณที่ต้องการป้อนเข้าสู่ A/D Converter จากนั้นจึงจะทำการแปลงสัญญาณเป็นดิจิทัล แล้วจึงมีการนำค่าสัญญาณไปใช้งานต่อไป

13. การทำงาน RTC (Real Time Clock) ด้วย DS1307

ระบบฐานเวลา เป็นสิ่งสำคัญที่สามารถนำไปใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้หลากหลาย ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์เองก็มีทามเมอร์เพื่อใช้ในการจับเวลาหรือนำไปใช้เป็นฐานเวลาจริงได้เช่นกัน แต่เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถทำงานได้ต่อเมื่อมีไฟเลี้ยงเท่านั้น ดังนั้นการใช้ทามเมอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ สร้างฐานเวลาจริงจึงไม่เหมาะสมในบางแอปพลิเคชัน DS1307 เป็นไอซีฐานเวลาของดัลลัสเซมิคอนดักเตอร์ (Dallas Semiconductor) มีบัสรับส่งข้อมูลแบบ I²C ซึ่งเป็นแบบ 2 wire สามารถสื่อสารได้ 2 ทิศทาง (Bi-Direction bus) ฐานเวลาของ DS1307 นั้นสามารถเก็บข้อมูล วินาที, นาที, ชั่วโมง, วัน, วันที่, เดือน และปี ได้ ระบบเวลาสามารถทำงานโหมดรูปแบบ 24 ชั่วโมง หรือ 12 ชั่วโมง AM/PM ก็ได้ ภายมีระบบตรวจจับแหล่งจ่ายไฟ โดยถ้าแหล่งจ่ายไฟหลักถูกตัดไป DS1307 สามารถสวิตช์ไปใช้ไฟจากแบตเตอรี่ และทำงานต่อไป โดยที่ยังสามารถรักษาข้อมูลไว้ได้ โครงสร้างมีขาทั้งหมด 8 ขาดังแสดงในภาพที่ 34 และมีรายละเอียดการทำงานของขาต่าง ๆ ดังนี้



ภาพที่ 34 ตำแหน่งขาของไอซี DS1307 RTC

VCC: ใช้ต่อไฟเลี้ยง +5V

GND: ใช้ต่อกราวด์

VBAT: ใช้ต่อกับแบตเตอรี่ 3V เพื่อรักษาการทำงาน ในกรณีที่ไม่มีไฟเลี้ยงจ่าย

SDA: ขารับส่งข้อมูลด้วยระบบบัส I²C

SCL: ขาสัญญาณนาฬิกาสำหรับการรับส่งข้อมูลด้วยระบบบัส I²C

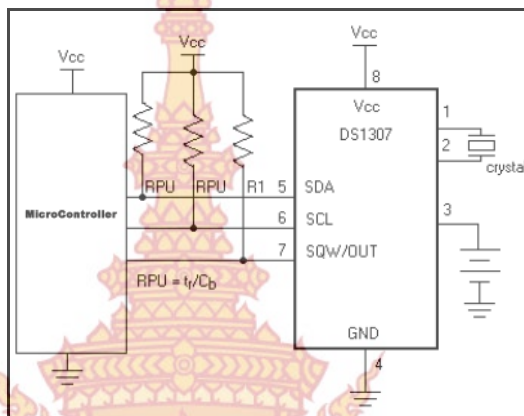
SQW/OUT: ขาเอาต์พุตสัญญาณ Square Wave สามารถเลือกความถี่ได้

X1, X2: ใช้ต่อกับคริสตัลความถี่มาตรฐาน 32.768 kHz เพื่อสร้างฐานเวลาจริง

ให้กับ IC

ระบบบัสข้อมูลแบบ I²C (Inter-IC Communication) ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัทฟิลิปส์ (Phillips) การรับส่งข้อมูลใช้สายสัญญาณเพียงแค่ 2 เส้น คือสายสัญญาณข้อมูล SDA (Serial Data line) และสายสัญญาณนาฬิกา SCL (Serial Clock line) มีการทำงานเป็นแบบ Master, Slave โดยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็น Master (ไมโครคอนโทรลเลอร์) จะควบคุมการรับส่งข้อมูล และควบคุมสัญญาณนาฬิกาบน SCL ส่วนอุปกรณ์ Slave (DS1307) นั้นจะทำงานภายใต้การควบคุมของอุปกรณ์ Master

การต่อใช้งานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยระบบบัส I²C นั้น สามารถทำได้โดยต่อตัวต้านทาน Pull up ดังแสดงในภาพที่ 35 ในกรณีที่ต้องการต่อร่วมกับอุปกรณ์ Slave หลายตัวก็สามารถทำได้โดยต่ออุปกรณ์ Slave ขนานกันไป การติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ Master กับ Slave แต่ละตัวนั้นจะถูกแยกโดย Address ของอุปกรณ์ Slave ซึ่งจะถูกส่งจากอุปกรณ์ Master ไปยังอุปกรณ์ Slave ก่อนเริ่มการรับส่งข้อมูล



ภาพที่ 35 การเชื่อมต่อ DS1307 เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยระบบบัสแบบ I²C

13.1 การรับส่งข้อมูลแบบ I²C

การรับส่งข้อมูลแบบ I²C นั้น มีข้อกำหนดอยู่ 2 ประการด้วยกันคือ

13.1.1 การรับส่งข้อมูลจะเริ่มขึ้นได้เมื่อบัสมีสถานะว่างเท่านั้น

13.1.2 ในช่วงที่ทำการรับส่งข้อมูลอยู่ สายสัญญาณ SDA ต้องไม่เปลี่ยนสถานะในช่วงที่ SCL มีสถานะเป็นลอจิก “1” ถ้า SDA มีการเปลี่ยนสถานะในช่วงที่ SCL เป็นลอจิก “1” จะถือว่าเป็นสัญญาณควบคุมการรับส่งข้อมูล

13.2 สถานะการรับส่งข้อมูลแบบ I²C

สถานการณ์รับส่งข้อมูลแบบ I²C สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 สถานะด้วยกัน ดังแสดงในภาพที่ 34 และมีรายละเอียดดังนี้

13.2.1 สถานะว่าง (Bus not busy): สัญญาณ SDA และ SCL มีระดับสัญญาณเป็น High

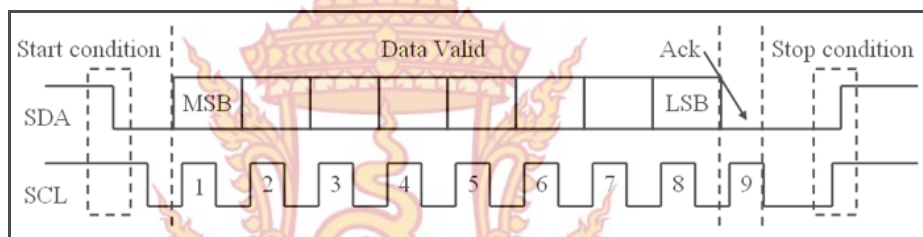
13.2.2 เริ่มส่งข้อมูล (Start data transfer): มีการเปลี่ยนระดับสัญญาณของ SDA จาก High เป็น Low ในขณะที่ SCL มีระดับสัญญาณเป็น High ค้างไว้

13.2.3 หยุดส่งข้อมูล (Stop data transfer): มีการเปลี่ยนระดับสัญญาณของ SDA จาก Low เป็น High ในขณะที่ SCL มีระดับสัญญาณเป็น High ค้างไว้

13.2.4 รับส่งข้อมูล (Data valid): มีการรับส่งข้อมูลผ่านสายสัญญาณ SDA โดยข้อมูลแต่ละบิตจะถูกส่งในช่วงที่ SCL มีระดับเป็น High โดยในช่วงที่ SCL มีสถานะเป็น High อยู่ นั้น SDA จะต้องไม่เกิดการเปลี่ยนระดับสัญญาณ

การรับส่งข้อมูล SDA จะเปลี่ยนระดับของสัญญาณ ในช่วงที่ SCL มีระดับสัญญาณเป็น Low เท่านั้น ตามมาตรฐานการส่งข้อมูล แบบ I²C นี้สามารถส่งข้อมูลด้วยความถี่สัญญาณนาฬิกาสูงสุด 100 kHz ที่โหมดการทำงานธรรมดา และ 400 kHz ที่โหมดการทำงานแบบเร็ว แต่สำหรับ DS1307 สามารถทำงานได้ในโหมดธรรมดาเท่านั้น

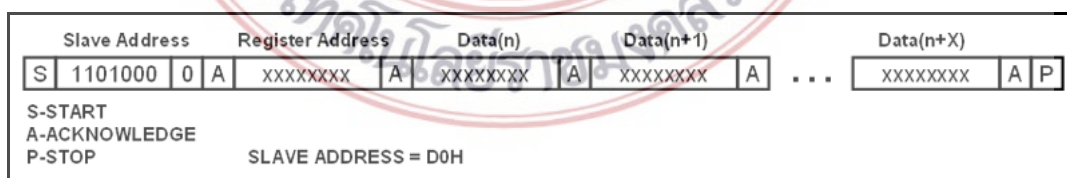
การตอบรับ (Acknowledge): เกิดขึ้นหลังจากที่มีการรับส่งข้อมูลครบแล้ว โดยอุปกรณ์ Master ต้องสร้างสัญญาณ Clock บน SCL เพิ่มอีกลูก อุปกรณ์ที่เป็นตัวรับข้อมูลจะดึงระดับสัญญาณบน SDA ให้เป็น Low เพื่อให้ตัวส่งรับรู้ว่าตัวรับได้รับข้อมูลครบแล้ว



ภาพที่ 36 การรับส่งข้อมูลผ่านบัส I²C

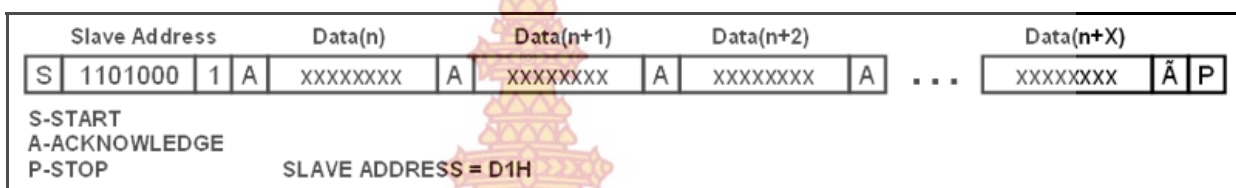
ในการรับส่งข้อมูลผ่านบัส I²C อุปกรณ์ Master จะเป็นผู้สร้างสัญญาณ Clock บน SDA และเป็นตัวควบคุมสถานะ Start และ Stop เพื่อควบคุมการรับส่งข้อมูลทั้งหมด

การส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ DS1307 ดังแสดงในภาพที่ 37 ไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องสร้างสถานะ Start ก่อน จากนั้นต้องส่ง Address ของ DS1307 ขนาด 7 บิตซึ่งมีค่าเป็น 1101000 และตามด้วยบิตระบุทิศทางของข้อมูล ในกรณีที่เป็นการเขียนข้อมูลลง DS1307 จะต้องเป็น “0” จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องส่งตำแหน่ง Address ภายในรีจิสเตอร์ของ DS1307 ที่ต้องการเขียนข้อมูลลง แล้วจึงค่อยเขียนข้อมูลลง โดยในการส่งข้อมูลแต่ละไบต์จะต้องรอบิต ACK จาก DS1307 ทุกไบต์เมื่อส่งจนครบแล้ว ถึงจะสร้างสถานะ Stop เพื่อกลับสู่สถานะว่าง



ภาพที่ 37 การเขียนข้อมูลอุปกรณ์ Slave ผ่านบัส I²C

การรับข้อมูลจากอุปกรณ์ Slave ดังแสดงในภาพที่ 38 เริ่มแรกไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องสร้างสถานะ Start ก่อน จากนั้นต้องส่ง Address ของ DS1307 ขนาด 7 บิตซึ่งมีค่าเป็น 1101000 และตามด้วยบิตระทิศทางของข้อมูล ในกรณีที่เป็นการอ่านข้อมูลจาก DS1307 จะต้องเป็น “1” จากนั้นจึงค่อยรับข้อมูลจากอุปกรณ์ Slave ทีละไบต์ โดยตำแหน่งที่อ่านเข้ามาจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งรีจิสเตอร์พอยท์เตอร์ ซึ่งจะเป็นตำแหน่งท้ายสุดที่ได้ทำการเขียนข้อมูลไว้ เมื่ออ่านข้อมูลครบแต่ละไบต์อุปกรณ์ Master ต้องส่ง Acknowledge บิตกลับไปให้อุปกรณ์ Slave ด้วย ในกรณีที่ไบต์สุดท้าย อุปกรณ์ Master ต้องส่ง “Not Acknowledge” กลับไป



ภาพที่ 38 การอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์ Slave ผ่านบัส I²C

ภายใน DS1307 มีรีจิสเตอร์ภายในใช้เก็บข้อมูลเวลาขนาด 7 ไบต์ 00H-06H ดังแสดงในภาพที่ 39 ข้อมูลค่าเวลาและวันที่จะถูกเก็บอยู่ในรูปของเลขฐาน 10 สามารถเลือกได้ว่าให้ทำงานแบบ 12 ชั่วโมง หรือ 24 ชั่วโมง โดยกำหนดที่บิตที่ 6 ที่แอดเดรส 02H โดยถ้าเป็น “1” จะเป็นการทำงานในโหมด 12 ชั่วโมง และเมื่อเลือกแบบ 12 ชั่วโมง ที่บิต 5 ในแอดเดรส 02H นั้นจะใช้แสดงค่า AM/PM โดยถ้าบิตนี้เป็น “1” จะเป็น PM ในกรณีที่แสดงแบบ 24 ชั่วโมง บิตนี้จะใช้ในการแสดงค่าของหลักสิบในของหน่วยชั่วโมงด้วย

BIT 7								BIT 0	
00H	CH	10 SECONDS			SECONDS			00-59	
	0	10 MINUTES			MINUTES			00-59	
	0	12 / 24	10 HR / AP	10 HR		HOURS			01-12 / 00-23
	0	0	0	0	0	DAY			1-7
	0	0	10 DATE			DATE			
	0	0	0	10 MONTH		MONTH			01-12
		10 YEAR			YEAR			00-99	
07H	OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0	

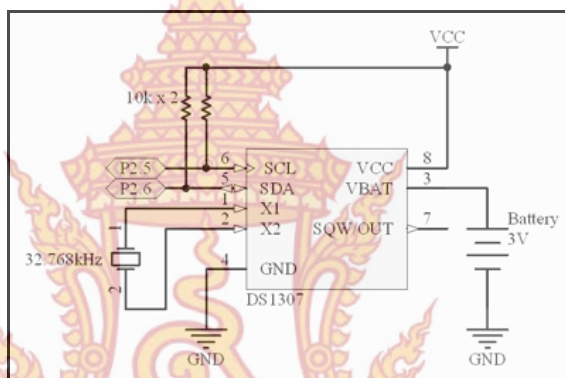
ภาพที่ 39 รีจิสเตอร์ภายในไอซีฐานเวลา DS1307

ไมโครคอนโทรลเลอร์จะคอยตรวจสอบรีจิสเตอร์ภายใน DS1307 ที่ตำแหน่ง 01H ซึ่งใช้เก็บค่าเวลาหน่วยนาที่ เมื่อค่าภายในรีจิสเตอร์นี้เปลี่ยนไป ไมโครคอนโทรลเลอร์จะอ่านข้อมูลเวลา

ชั่วโมง และนาฬิกา ภายในรีจิสเตอร์ของ DS1307 ขณะนั้นออกมา และส่งข้อมูลนั้นออกมาแสดงผลทางพอร์ตอนุกรมดังแสดงในภาพที่ 39

การทดลองได้ต่อ DS1307 กับไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino โดยใช้พอร์ต P2.5 และ P2.6 ของไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นบัส I²C ต่อกับ SCL และ SDA ของ DS1307 ดังแสดงในภาพที่ 40 ส่วนขาสัญญาณ SQW/OUT นั้นไม่ได้ใช้สร้างสัญญาณให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่ใช้การวนลูปคอยตรวจสอบค่าภายในรีจิสเตอร์ของ DS1307 แทน

การควบคุมการทำงานของโปรแกรมและการแสดงผล ได้ใช้โปรแกรม HyperTerminal เป็นโปรแกรมติดต่อผ่านพอร์ตอนุกรมด้วยอัตราข้อมูล 9,600 bps ดังแสดงในภาพที่ 40



ภาพที่ 40 การเชื่อมต่อวงจร DS 1307

ในส่วนโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบ ได้เขียนให้ไมโครคอนโทรลเลอร์คอยตรวจสอบพอร์ตอนุกรมและรีจิสเตอร์ภายใน DS1307 ในกรณีที่มีข้อมูล “r” เข้ามาทางพอร์ตอนุกรม ไมโครคอนโทรลเลอร์จะเขียนข้อมูลเวลา, วันที่, เดือน และปี ที่เก็บอยู่ใน Flash Memory ลงในรีจิสเตอร์ของ DS1307 รวมทั้งตั้งให้ DS1307 ทำงานในโหมด 24 ชั่วโมง ส่วนในกรณีที่มีข้อมูล “s” เข้ามาทางพอร์ตอนุกรม ไมโครคอนโทรลเลอร์จะแสดงข้อมูลเวลา, วันที่, เดือน และปี ออกมาทางพอร์ตอนุกรม ดังแสดงในภาพที่ 41

ภาพที่ 41 ทดสอบการใช้งาน DS1307 ผ่านบัส I²C

14. หน่วยความจำสำหรับการเก็บข้อมูล

หน่วยความจำสำหรับการเก็บข้อมูล แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ประกอบด้วย

14.1 SD Card

SD Card ย่อมาจาก Secure Digital Card เป็นอุปกรณ์ในการจัดเก็บข้อมูล แบบ Nand Flash Memory เป็นการ์ดหน่วยความจำแบบ non-volatile memory คือเป็นหน่วยความจำแบบไม่ลบเลือนซึ่งเป็นหน่วยความจำในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ข้อมูลในนั้นจะไม่ลบหายไป แม้ว่าจะปิดกระแสไฟแล้วก็ตาม เริ่มแรก SD card ได้มีบริษัทที่ร่วมกันพัฒนาของ Matsushita SanDisk และ Toshiba Secure Digital Card นั้นนิยมนำมาใช้กับอุปกรณ์พกพาขนาดเล็กต่างๆ หลายประเภท ไม่ว่าจะเป็น กล้องดิจิทัล, PDAs, โทรศัพท์มือถือ, เครื่องรับ GPS และเครื่องวีดีโอเกม ความจุมาตรฐานของ Secure Digital (SD) สามารถมีความจุได้ตั้งแต่ 4 MB ถึง 4 GB ยังมีรุ่นที่สามารถมีความจุสูง คือ SDHC สามารถมีความจุได้ถึง 4 GB ถึง 32 GB

14.2 Micro SD Card

Micro SD Card เป็นหน่วยเก็บข้อมูลแบบ SD card ที่ถูกพัฒนาให้มีขนาดเล็กลงเพื่อนำไปใช้กับโทรศัพท์ หรือ แท็บเล็ตที่มีขนาดเล็กลงในปัจจุบัน เนื่องจากราคาที่ถูกลง ขนาดเล็กพกพาได้ง่าย ความจุมากพอกๆกับ SD card เหมาะสำหรับเครื่องโทรศัพท์มือถือและเครื่องมัลติมีเดียอื่นๆ และมี Card Suit สำหรับแปลงไปใช้งานแทน SD card ซึ่งทำให้ได้รับความนิยมมากขึ้นในปัจจุบัน บางครั้งสามารถนำมาใช้แทน SD card ได้

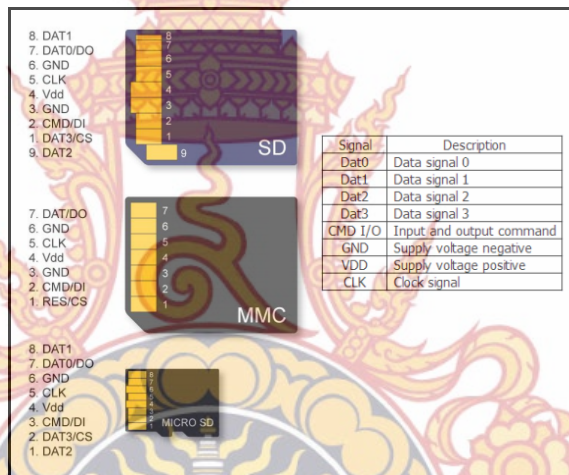


ภาพที่ 42 หน่วยความจำแบบ MMC (ซ้าย), SD card (กลาง), และ Micro SD card (ขวา)

14.3 MMC Card

MMC Card เป็น Flash Memory อีกชนิดหนึ่งที่มีขนาดและรูปร่างคล้ายกับ SD Card โดย MMC ย่อมาจากคำว่า Multi Media Card เปิดตัวสู่ตลาดของ Flash Memory ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1997 โดยบริษัท Siemens AG แห่งเยอรมัน และ บริษัท Sandisk แห่งสหรัฐอเมริกา วัตถุประสงค์ของการผลิต MMC Card นี้ก็เพื่อสนองตอบความต้องการในการใช้ MMC Card นี้ในเครื่องใช้ในระบบดิจิทัลเช่น กล้องถ่ายรูปแบบดิจิทัล, กล้องถ่ายวีดีโอแบบดิจิทัล, เครื่องเสียงประเภทดิจิทัล เช่น

เพลงในระบบดิจิทัล, เครื่องเล่นเกม, สมุดบันทึกดิจิทัล, แฟ้มรูปภาพ, โทรศัพท์มือถือ, เครื่องเล่น MP3 และ เครื่องคอมพิวเตอร์พกพาขนาดฝ่ามือ PDA เป็นต้น ซึ่งดูรูปร่างภายนอกแล้วก็จะคล้ายๆกับ การ์ด SD Card บางเครื่องบางรุ่นก็สามารถเสียบในช่องเสียบของ SD Card Slot ได้ด้วย ซึ่งแนวโน้ม จะมีผู้ผลิต และผู้ใช้ MMC Card มากขึ้นเรื่อยๆ เพราะเทคโนโลยีของ MMC ไม่ต้องเสียค่าลิขสิทธิ์ MMC Card มีส่วนคล้ายกับ SD Card ก็คือขนาดกว้างยาวเท่ากัน จะผิดกันก็ความหนาบาง โดยที่ MMC Card มีความบางกว่า SD Card ด้วยมาตรฐานที่ใกล้เคียงกันมากทำให้ MMC Card สามารถใช้ แทน SD Card ได้เป็นส่วนใหญ่ เพียงแต่ว่าในทางกลับกันหากอุปกรณ์ หรือ โทรศัพท์มือถือบางรุ่นที่ ผลิตเพื่อให้ออกมาใช้กับ MMC Card เท่านั้น ไม่สามารถที่จะเอา SD Card มาใช้แทนได้เลย MMC Card ใน ทุกๆรุ่นทุกแบบก็ยังมีวิวัฒนาการใหม่ๆออกมาเรื่อยๆตามเทคโนโลยีที่ยังมีความต้องการใช้งานในระบบ MultiMedia ในยุคดิจิทัล



ภาพที่ 43 การจัดเรียงขาของ SD card MMC และ Micro SD card และตารางอธิบาย

15. การสื่อสารแบบ SPI

การสื่อสารแบบ SPI (Serial Peripheral Interface) จัดเป็นการสื่อสารแบบอนุกรมแบบ Synchronous รูปแบบหนึ่งที่มีการออกแบบขึ้นมาเพื่อใช้งานกับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ต่างๆ มาเป็นระยะเวลานานแล้ว ซึ่งมีการนำไปใช้งานในลักษณะต่างๆ ได้หลายอย่างเช่น ใช้ในการถ่ายเท ข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ ลักษณะการทำงานของ การสื่อสารแบบ Synchronous นั้น จะมีการแยก สัญญาณข้อมูลและสัญญาณนาฬิกา ออกจากกันโดยเด็ดขาด โดยมีสัญญาณที่ใช้ในการเชื่อมต่อ จำนวน 3 กลุ่มคือ

15.1 สัญญาณข้อมูล (Data) อาจจะมีจำนวน 1 หรือ 2 สัญญาณก็ได้ ขึ้นอยู่กับการออกแบบ เช่น ถ้าเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับข้อมูล เพียงอย่างเดียวก็จะมีสัญญาณ Data Input เพียงเส้นเดียว

แต่ถ้าเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลด้วยก็จะต้องมีสัญญาณ Data Input (SDI และ MISO) และ Data Output (SDO หรือMOSI) แยกออกจากกันอย่างละ 1 สัญญาณ

15.2 สัญญาณนาฬิกา (Clock) ซึ่งสัญญาณนี้จะมีความสำคัญมาก ใช้ทำหน้าที่ ซิงโครไนซ์กันระหว่างตัวรับและตัวส่งในการรับส่งข้อมูล โดยปกติสัญญาณนี้จะถูกสร้างขึ้นโดยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็น Master โดยอุปกรณ์ตัวที่ทำหน้าที่เป็น Slave นั้น จะทำการอ่านสัญญาณ Data ให้สอดคล้องสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกาที่ส่งมาจากตัว Master

15.3 สัญญาณควบคุม (SS#) เมื่อเป็น Master สัญญาณนี้จะเป็น Output ใช้สำหรับเลือกการทำงานของอุปกรณ์ Slave ที่ต้องการจะติดต่อกับ แต่ในอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็น Slave สัญญาณนี้จะเป็นตัวเลือกการทำงานให้กับอุปกรณ์ที่เป็นตัว Slave เพื่อให้เริ่มรับส่งข้อมูลกัน

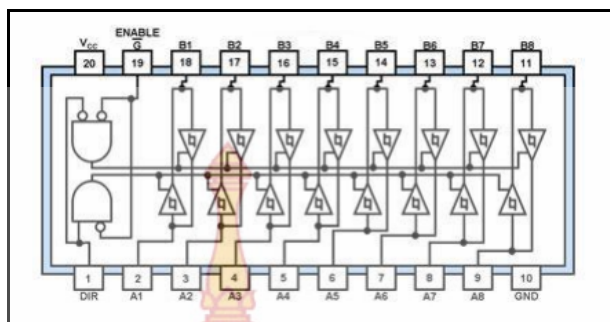
ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ติดต่อสื่อสารแบบ SPI กับ SD card โดยใช้คำสั่ง Library ของ Arduino ชื่อ SD.h ซึ่งถูกพัฒนาไว้เพื่อรองรับการต่อใช้งาน SD card แบบ ISP การเชื่อมต่อระบบสื่อสารแบบ SPI กับไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3 (ATmega 328) ซึ่งถูกกำหนดโดยโปรแกรม ARDUINO สามารถเทียบขาได้จากตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3 ตารางการจัดขาสัญญาณ SPI ของบอร์ด Arduino UNO R3

Arduino UNO R3	SPI
12	MISO (Master In Slave Out)
11	MOSI (Master Out Slave In)
13	SCK (Serial Clock)
4	SS(Slave), CS(Chip Select)

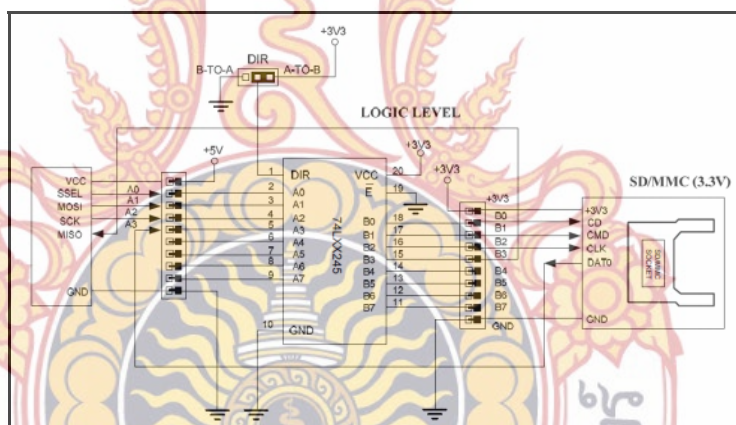
เนื่องจาก SD card ใช้แรงดันขนาด 3.3V จึงต้องใช้วงจรขับเข้ามาเพิ่ม ซึ่งกลุ่มเราได้เลือกไอซีเบอร์ 74HC245 เพื่อช่วยแปลงสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดแรงดันไฟตรงขนาด +5V เป็นสัญญาณติดต่อกับ SD card ขนาด +3.3V ซึ่งแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงขนาด 3.3 V ได้เลือกใช้ไอซีเร็กกูเลเตอร์เบอร์ LM1117T-3.3

ไอซีเบอร์ 74245 เป็นไอซีบัฟเฟอร์ 8 ช่องสัญญาณ นำมาใช้เป็นตัวขับสัญญาณสื่อสารจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ไฟแรงดันขนาด +5Vdc ไปยัง SD card ที่ใช้ไฟแรงดันขนาด +3.3Vdc โดยลักษณะโครงสร้างภายในและขาสัญญาณ และการเชื่อมต่อระหว่าง SD card กับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยผ่านไอซี 74HC245 แสดงดังรูปต่อไปนี้

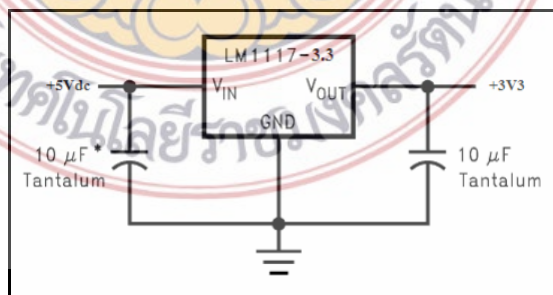


ภาพที่ 44 โครงสร้างขาสัญญาณของไอซี 74245

เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณสื่อสารขนาดแรงดัน 5V ไปที่ SD card โดยส่งไปที่ ไอซี 74245 ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนขนาดแรงดันของสัญญาณ 5V เป็นแรงดันสัญญาณขนาด 3.3V เช่น ที่ขา SSEL, MOSI SCK แต่ในกรณีที่ SD card จะส่งสัญญาณกลับไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ จะต้องส่งสัญญาณจาก SD card ไปยังด้านขาเข้า แล้วต่อสัญญาณขาออกไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ สัญญาณที่ผ่านเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีขนาด 3.3V เพราะแรงดันที่ใช้ขับไอซีมีขนาด 3.3V ขาสัญญาณที่ถูกส่งจาก SD card เข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ MISO



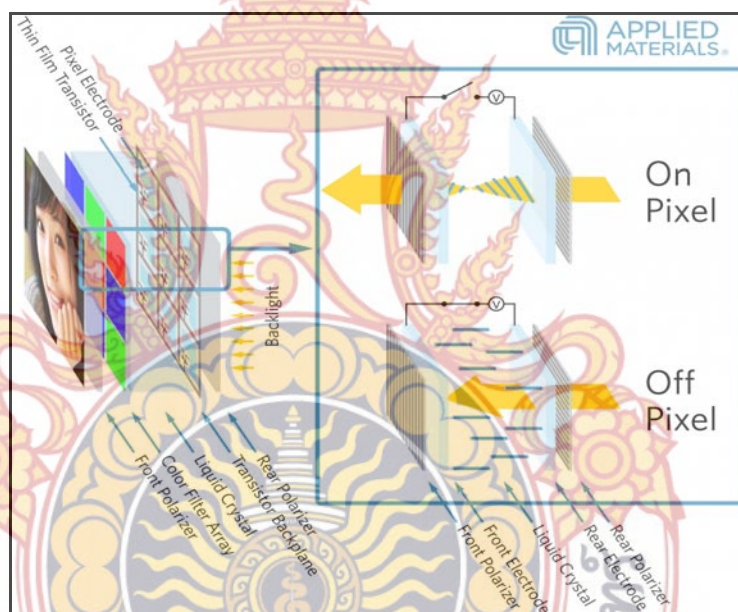
ภาพที่ 45 วงจรเชื่อมต่อระหว่าง SD card กับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านไอซี 74245



ภาพที่ 46 แหล่งจ่ายไฟ +3.3Vdc โดยใช้ไอซี Regulator LM1117T-3.3

16. การทำงานของ LCD

หลักการทำงานของ LCD (Liquid Crystal Display) ของเหลวพิเศษที่มีคุณสมบัติการบิดแกนโพลาไรซ์ของแสง เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าไประหว่างสารเหล่านี้ โมเลกุลของมันจะบิดตัว และทำให้แสงไม่สามารถผ่านกระจกออกมาได้ ถ้าไม่มีการจ่ายแรงดันไฟฟ้าแสงจะทะลุผ่านออกมาได้ การทำงานเกิดจากกระจกโพลาไรซ์ 2 แผ่น ที่มีแกนตั้งฉากกัน ดังนั้นถ้าไม่ทำอะไรเลยแสงจะไม่สามารถลอดผ่านออกมาได้ เหมือนเอาแว่นตาโพลาไรซ์สองอันมาบิดทำมุมตั้งฉากกัน แสงจะไม่ลอดผ่าน พบว่ามีของเหลวชนิดหนึ่งที่ปกติแล้วจะสามารถบิดแกนโพลาไรซ์ของแสงได้ เป็นแนวความคิดเอามาทำจอ LCD ถ้าไม่มีการจ่ายแรงดันเข้าไป สารเหลวที่วางนี้จะบิดแกนโพลาไรซ์ของแสงไป 90 องศา ทำให้แสงสามารถลอดออกมาได้จากกระจกโพลาไรซ์คู่นี้ได้ ในทางกลับกันถ้ามีแรงดันจ่ายไประหว่างสารเหลวนี้จะไม่เกิดการบิดตัวของแสง ทำให้แสงไม่สามารถลอดออกมาได้ครับ



ภาพที่ 47 การทำงานของ LCD (Liquid Crystal Display)

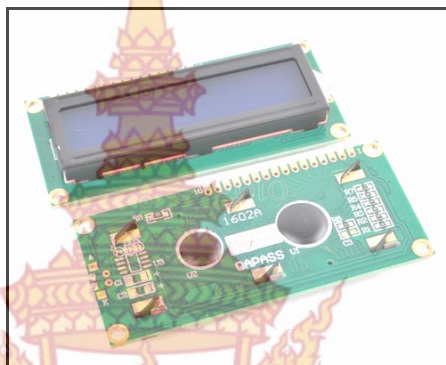
การเอาอิเล็กทรอนิกส์มาบังคับการทำงานของของเหลวได้นี้มาทำเป็นรูปตัวเลข ก็จะเห็นแบบที่ใช้ในเครื่องคิดเลข หรือประกอบเซลล์เล็กๆ ขึ้นมาเป็นเมตริกซ์ ทำให้สามารถควบคุมให้เป็นตัวอักษรหรือรูปภาพได้ จากนั้นก็เอามาทำจอ LCD Matrix เริ่มมีการผสมสี RGB และทำให้จอมีความละเอียดมากขึ้น (Pixel ต่อพื้นที่) กลายเป็นทีวีจอ LCD สีที่เห็นในปัจจุบัน

LCD ชนิดที่เป็น Matrix ซึ่งใช้แสดงตัวอักษรมาตรฐาน จอ LCD matrix สามารถฉายแสงเป็นภาพ หรือตัวอักษรมาตรฐาน LCD ขนาด 16x2 Character (หมายถึง 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด) ถ้าดูแต่ละตัวอักษรมีขนาด Matrix 5x8 ซึ่งแสดงถึงความละเอียดของตัวอักษร

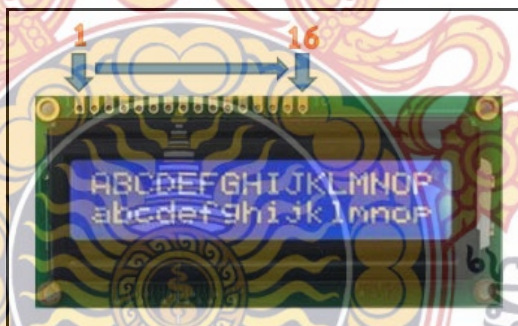
จอ LCD 16x2 Character ที่นิยมนำมาใช้จะมีอยู่ 2 แบบด้วยกัน คือ LCD แบบปกติ ที่เชื่อมต่อแบบขนาน (Parallel) และ LCD แบบที่เชื่อมต่ออนุกรม (Serial) แบบ I²C โดยทั้ง 2 แบบ ตัวจอมีลักษณะเดียวกันเพียงแต่แบบ I²C จะมีบอร์ดเสริมทำให้สื่อสารแบบ I²C ได้เชื่อมต่อได้สะดวกขึ้น

16.1 การเชื่อมต่อจอ LCD

การเชื่อมต่อจอ LCD แบบขนาน (Parallel) มีจำนวนขาทั้งหมด 16 ขา



ภาพที่ 48 จอ LCD 16x2 Character เชื่อมต่อแบบขนาน (Parallel)



ภาพที่ 49 ด้านหน้าจอ LCD 16x2 Character เชื่อมต่อแบบขนาน (Parallel)

การควบคุมการแสดงผลของ LCD หรือสั่งงาน ตัวจอ LCD นั้นมีส่วนควบคุม (Controller) รวมไว้ในตัวแล้ว ผู้ใช้สามารถส่งรหัสคำสั่งควบคุมการทำงานของจอ LCD ผ่าน Controller ว่าต้องการใช้แสดงผลอย่างไร โดย LCD Controller ของจอตัวนี้เป็น Hitachi เบอร์ HD44780 และขาในการเชื่อมต่อระหว่าง LCD กับ Microcontroller มีดังนี้

- 16.1.1 GND เป็นกราวด์ใช้ต่อระหว่าง Ground ของระบบ Microcontroller กับ LCD
- 16.1.2 VCC เป็นไฟเลี้ยงวงจรที่ป้อนให้กับ LCD ขนาด +5VDC
- 16.1.3 VO ใช้รับความสว่างของหน้าจอ LCD
- 16.1.4 RS ใช้บอกให้ LCD Controller ทราบว่า Code ที่ส่งมาทางขา Data เป็นคำสั่งหรือข้อมูล
- 16.1.5 R/W ใช้กำหนดว่าจะอ่านหรือเขียนข้อมูลกับ LCD Controller
- 16.1.6 E เป็นขา Enable หรือ Chips Select เพื่อกำหนดการทำงานให้กับ LCD Controller
- 16.1.7 DB0-DB7 เป็นขาสัญญาณ Data ใช้สำหรับเขียนหรืออ่านข้อมูล/คำสั่ง กับ LCD Controller

16.2 การสั่งงาน LCD Controller

วิธีการสั่งงาน LCD Controller จะแตกต่างกันไป โดย LCD Controller สามารถรับรหัสคำสั่งจาก Microcontroller ได้จากสัญญาณ RS R/W และ DB0-DB7 ในขณะที่สัญญาณ E มีค่า Logic เป็น “1” ซึ่งสัญญาณเหล่านี้จะใช้ร่วมกันเพื่อกำหนดเป็นรหัสคำสั่งสำหรับสั่งงาน LCD โดยหน้าที่ของแต่ละสัญญาณ พอสรุปได้ดังนี้

16.2.1 E เป็นสัญญาณ Enable เมื่อมีค่าเป็น “1” เป็นการบอกให้ LCD ทราบว่าอุปกรณ์ภายนอกต้องการติดต่ออ่านหรือเขียนข้อมูล “0” ให้ LCD ไม่สนใจสัญญาณ RS R/W และ DB7-DB0

16.2.2 RS เป็นสัญญาณสำหรับกำหนดให้ LCD ทราบว่าอุปกรณ์ภายนอกต้องการติดต่อกับ LCD ในขณะนั้นเป็นรหัสคำสั่งหรือข้อมูล โดยถ้า RS = “0” หมายถึง คำสั่ง แต่ถ้า RS = “1” หมายถึง ข้อมูล

16.2.3 R/W เป็นสัญญาณสำหรับบอกให้ LCD ทราบว่าอุปกรณ์ภายนอกต้องการอ่านหรือเขียนกับ LCD โดย ถ้า R/W = “0” หมายถึง การเขียน และ R/W = “1” หมายถึง อ่าน

16.2.4 DB0-DB7 เป็นสัญญาณแบบ 2 ทิศทาง โดยจะสัมพันธ์กับสัญญาณ R/W ใช้สำหรับรับส่ง คำสั่งและข้อมูลระหว่าง LCD กับอุปกรณ์ภายนอก โดยถ้า R/W = “0” สัญญาณ DB7-DB0 จะส่งจากอุปกรณ์ภายนอกมาที่ LCD แต่ถ้า R/W = “1” สัญญาณ DB7-DB0 จะส่งจาก LCD ไปยังอุปกรณ์ภายนอก

การเชื่อมต่อสัญญาณขาข้อมูลระหว่าง Microcontroller กับ LCD Controller สามารถทำได้ 2 ลักษณะ คือ การเชื่อมต่อแบบ 8 บิต (DB0-DB7) และการเชื่อมต่อแบบ 4 บิต (DB4-DB7) ทั้งสองแบบแตกต่างกันเพียงจำนวนขาที่ใช้คือ 8 หรือ 4 ขา และยังสามารถทำงานได้เหมือนกัน ในการส่งข้อมูลแบบ 4 ขา ย่อมทำได้ช้ากว่า 8 ขา แต่ไม่ได้ช้ามากจนสังเกตได้ด้วยสายตา ในการต่อกับ Arduino นั้น จึงนิยมต่อเพียง 4 ขา หรือ 4 บิตเท่านั้น เพื่อเป็นการประหยัดขาในการต่อใช้งานไปไว้ต่อกับอุปกรณ์อื่น ตัวอย่างเช่น Arduino UNO R3 นั้นมีขาให้ใช้งานค่อนข้างน้อย

ตารางที่ 4 ตารางการเชื่อมต่อ LCD แบบขนาน (Parallel) กับบอร์ด Arduino

Pin No	Function	Name
1	Ground (0V)	Ground
2	แหล่งจ่ายไฟ voltage; 5V (4.7V – 5.3V)	Vcc
3	LCD Control สำหรับปรับความเข้มของตัวอักษร	V _{EE}
4	Register Select เป็นขาอินพุต สำหรับเลือกเขียนอ่านข้อมูลในรีจิสเตอร์	Register Select (RS)
5	Read/Write เป็นขาอินพุต สำหรับเลือกโหมดเขียนหรืออ่านข้อมูล	Read/write (RW)
6	Enable เป็นขาอินพุต สำหรับสัญญาณ Pulse เมื่อต้องการเขียนหรืออ่านข้อมูล	Enable
7	8-bit data pins	DB0
8		DB1
9		DB2
10		DB3
11		DB4
12		DB5
13		DB6
14		DB7
15	ขา Vcc สำหรับ LED Backlight V _{CC} (5V)	Led+ (A)
16	ขา Gnd สำหรับ LED Backlight Ground (0V)	Led- (K)

16.3 รายละเอียดคำสั่งที่ใช้ในการสั่งงานระหว่าง Arduino กับจอ LCD

คำสั่งในการควบคุมจอ LCD ของ Arduino นั้น ทาง Arduino.cc เขียนเป็น Library มาให้เพื่อสะดวกในการนำไปใช้งาน หลังจากต่อสายเสร็จเรียบร้อย ขั้นตอนแรกในการเริ่มเขียนโปรแกรมคือการเรียกใช้ Library ของ LCD จากไฟล์ชื่อ LiquidCrystal.h หลังจากนั้นมาดูกันว่า มีฟังก์ชันที่สำคัญอะไรบ้างที่ใช้สั่งงานให้จอ LCD

ฟังก์ชัน LiquidCrystal(); ใช้ประกาศขาที่ต้องการส่งข้อมูลไปยังจอ LCD รูปแบบในการสั่งงานคือ

16.3.1 LiquidCrystal LCD (rs, enable, d4, d5, d6, d7)= กรณีใช้งานแบบ 4 บิต

16.3.2 LiquidCrystal LCD (rs, enable, d0, d1, d2, d3, d4, d5, d6, d7)= กรณีใช้งานแบบ 8 บิต

การใช้แบบ 4 บิต คือ LiquidCrystal lcd (12, 11, 4, 5, 6, 7); ก็หมายถึงการเชื่อมต่อ rs ที่ขา 12, Enable ที่ขา 11 , และ DB4-DB7 ที่ขา 4-7 ของ Arduino ตามลำดับ

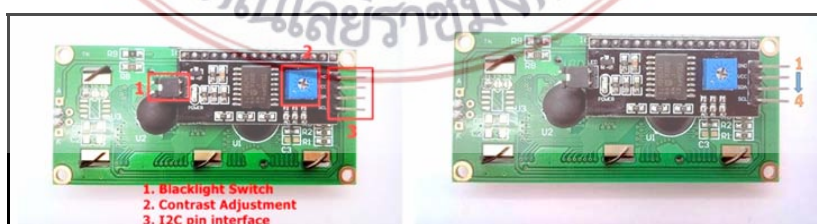
ฟังก์ชัน begin(); เป็นการกำหนดใช้ขนาดของจอ ในบทความนี้เราใช้ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด จึงประกาศเป็น lcd.begin(16, 2);

ฟังก์ชัน setCursor(); เป็นการกำหนดใช้ตำแหน่งและบรรทัดของ Cursor เช่น lcd.setCursor(0, 1); คือให้เคอร์เซอร์ไปที่ตำแหน่งที่ 0 บรรทัดที่ 1 การนับตำแหน่งเริ่มจาก 0 ดังนั้น LCD 16x2 มีตำแหน่ง 0 - 15 บรรทัด คือ 0 กับ 1

ฟังก์ชัน print(); เป็นการกำหนดใช้ข้อความที่ต้องการแสดง เช่น lcd.print("Hello World"); คือ ให้แสดงข้อความ "Hello World" ออกทางหน้าจอ LCD

16.4 การเชื่อมต่อจอ LCD แบบอนุกรม (Serial I²C)

จอ LCD ที่มีการเชื่อมต่อแบบ I²C หรือเรียกอีกอย่างว่าการเชื่อมต่อแบบ Serial มี 4 ขา จะเป็นจอ LCD ธรรมดาทั่วไปที่มาพร้อมกับบอร์ด I²C Bus ที่ทำให้การใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้นและยังมาพร้อมกับ VR สำหรับปรับความเข้มของจอในรูปแบบ I²C จะใช้ขาในการเชื่อมต่อกับ Microcontroller เพียง 4 ขา (แบบ Parallel ใช้ 16 ขา) แสดงตามภาพที่ 48 ซึ่งทำให้ใช้งานได้ง่าย และสะดวกมากยิ่งขึ้น สามารถดูได้จากตาราง 3



ภาพที่ 50 ด้านหลังจอ LCD 16x2 Character เชื่อมต่อแบบอนุกรม (Serial I²C)

การควบคุมหรือสั่งงานการแสดงผลของจอ LCD (I^2C) โดยทั่วไปจอ LCD จะมีส่วนควบคุม (Controller) อยู่ในตัวแล้ว ผู้ใช้สามารถส่งรหัสคำสั่งสำหรับควบคุมการทำงานของจอ LCD (I^2C) เช่นเดียวกันกับจอ LCD แบบธรรมดา พุดง่ายๆ คือรหัสคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมนั้นเหมือนกัน แต่ต่างกันตรงที่รูปแบบในการรับส่งข้อมูล ในบทความนี้เราจะมาพูดถึงจอ LCD 16x2 ที่มีการส่งข้อมูลรูปแบบ I^2C ที่ใช้ขาเพียง 4 ขาที่ใช้ในการเชื่อมต่อเท่านั้น

16.4.1 GND เป็น Ground ใช้ต่อระหว่าง Ground ของระบบ Microcontroller กับจอ LCD

16.4.2 VCC เป็นไฟเลี้ยงวงจรที่ป้อนให้กับจอ LCD มีขนาด +5VDC

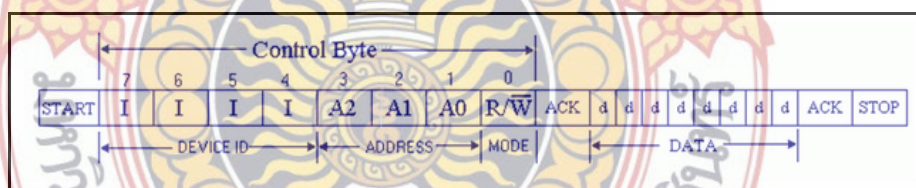
16.4.3 SDA (Serial Data) เป็นขาที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล

16.4.4 SCL (Serial Clock) เป็นขาสัญญาณนาฬิกาในการรับส่งข้อมูล

ตารางที่ 5 ตารางการเชื่อมต่อ LCD แบบอนุกรม (Serial I^2C) กับบอร์ด Arduino

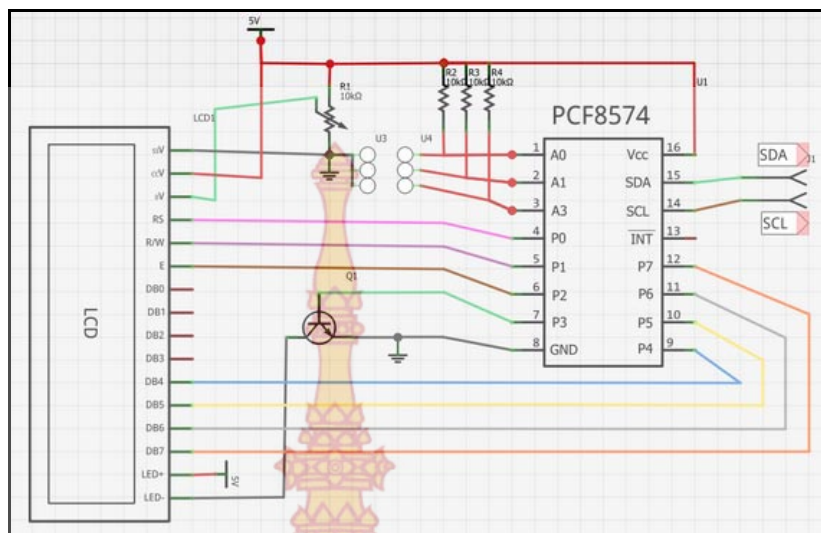
Pin No	Function	Name
1	Ground (0V)	Ground
2	แหล่งจ่ายไฟ voltage; +5V (4.7V – 5.3V)	Vcc
3	Serial Data	SDA
4	Serial Clock	SCL

16.5 การรับ-ส่งข้อมูลแบบ I^2C BUS



ภาพที่ 51 รูปแบบการรับส่งข้อมูลแบบ I^2C BUS

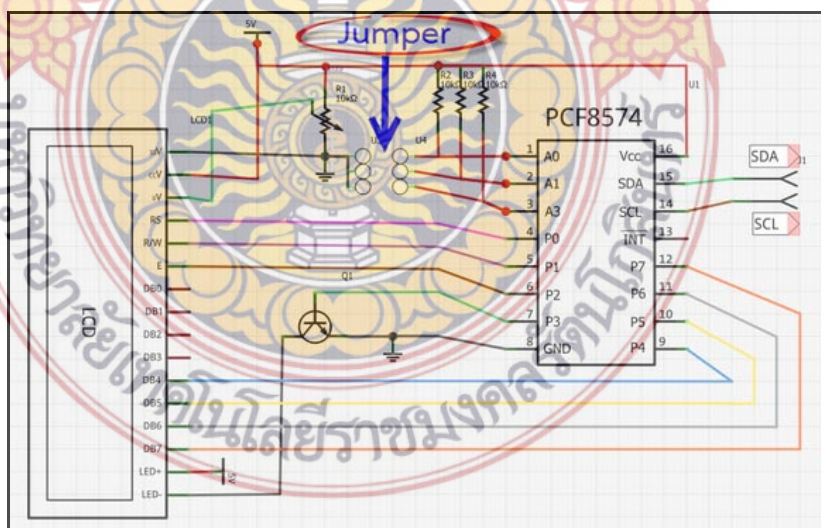
สำหรับการเชื่อมต่อสัญญาณระหว่าง Microcontroller กับ LCD ที่มีบอร์ด I^2C อยู่แล้วนั้น การส่งข้อมูลจาก Microcontroller จะถูกส่งออกมาในรูปแบบ I^2C ไปยังบอร์ด I^2C และบอร์ดจะมีหน้าที่จัดการข้อมูลให้ออกมาในรูปแบบปกติ หรือแบบ Parallel เพื่อใช้ในการติดต่อไปยังจอ LCD โดยที่รหัสคำสั่งที่ใช้ในการสั่งงานจอ LCD ยังคงไม่ต่างกับจอ LCD ที่เป็นแบบ Parallel โดยส่วนใหญ่บอร์ด I^2C จะเชื่อมต่อกับตัวควบคุมของจอ LCD เพียง 4 บิตเท่านั้น วงจรภายในระหว่างจอ LCD กับบอร์ด I^2C นั้นแสดงตามภาพที่ 52



ภาพที่ 52 การเชื่อมต่อจอ LCD กับบอร์ด I²C

จากรูปวงจรจะเห็นได้ว่าจอ LCD และ บอร์ด I²C ได้มีการเชื่อมต่อขาสำหรับการรับส่งข้อมูล เป็นแบบ 4 บิต ขาที่เชื่อมต่อไว้คือ ขา P4 > DB4, P5 > DB5, P6 > DB6, P7 > DB7 และขา P2 > E(Enable), P1 > R/W, P0 > RS รวมไปถึงตัวต้านทานสำหรับปรับค่าความเข้มของตัวอักษร และ Switch Backlight จากวงจรขาที่จำเป็นในการใช้งานถูกเชื่อมต่อเข้ากับตัวบอร์ด I²C และอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์เรียบร้อยแล้ว สถานะพร้อมใช้งาน

ส่วนเพิ่มเติมในกรณีต้องการเปลี่ยน Address ใหม่ หรือต้องการต่อจอ LCD มากกว่า 1 จอ เบื้องต้นบอร์ด I²C ได้ทำการกำหนดมาแล้ว โดยการต่อไฟ 5Vdc เข้าไว้ที่ขา A0-A2 ของบอร์ด I²C



ภาพที่ 53 การเชื่อมต่อจอ LCD มากกว่า 1 จอ

จึงทำให้ Address นั้นคือ 27 เลขที่ Address แสดงได้จากภาพที่ 54

Pin connectivity			Address of PCF8574							Address byte value		7-bit hexadecimal address without R/W	
A2	A1	A0	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	R/W	Write		Read
V _{SS}	V _{SS}	V _{SS}	0	1	0	0	0	0	0	-	40h	41h	20h
V _{SS}	V _{SS}	V _{DD}	0	1	0	0	0	0	1	-	42h	43h	21h
V _{SS}	V _{DD}	V _{SS}	0	1	0	0	0	1	0	-	44h	45h	22h
V _{SS}	V _{DD}	V _{DD}	0	1	0	0	0	1	1	-	46h	47h	23h
V _{DD}	V _{SS}	V _{SS}	0	1	0	0	1	0	0	-	48h	49h	24h
V _{DD}	V _{SS}	V _{DD}	0	1	0	0	1	0	1	-	4Ah	4Bh	25h
V _{DD}	V _{DD}	V _{SS}	0	1	0	0	1	1	0	-	4Ch	4Dh	26h
V _{DD}	V _{DD}	V _{DD}	0	1	0	0	1	1	1	-	4Eh	4Fh	27h

0 1 0 0 A2 A1 A0 0

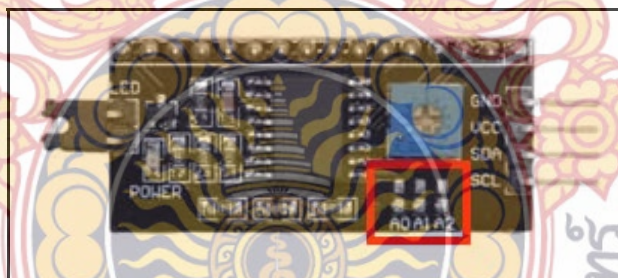
fixed hardware selectable

002aad628

ภาพที่ 54 การกำหนด Address สำหรับจัมเปอร์บอร์ด PCF8574

จากตารางด้านบนเราจะเห็นได้ว่า เราสามารถกำหนด Address ได้ถึง 8 Address ด้วยกัน จากตัวอย่างโค้ด Address คือ 27 นั่นคือเราได้จ่ายไฟ หรือให้สถานะ High (1) ไว้ที่ขา A0, A1, A2 ดังแสดงตามภาพที่ 55 ถ้าเราต้องการเปลี่ยน Address เราต้องทำการแก้ไข Input ที่จ่ายให้ขา A0-A2 สามารถทำได้ดังนี้

16.5.1 ด้านหลังบอร์ด I²C จะมีจัมเปอร์ให้เราบัดกรี 3 จุดคือ A0, A1, A2 ถ้าไม่ได้ต่อเข้าหากันคือ ค่าเริ่มต้น High(1) ทั้ง 3 ขา ถ้าทำการบัดกรีเข้าหากันคือ การทำให้ขานั้นอยู่ในสถานะ Low(0)



ภาพที่ 55 ตำแหน่งจัมเปอร์ด้านหลังบอร์ด I²C

16.5.2 ถ้าต้องการให้ Address = 26 เราต้องทำการเชื่อมต่อจัมเปอร์ที่ขา A0 ตามภาพ ตำแหน่ง Address ก็จะเป็น 26 (ตำแหน่ง Address ดูได้จากภาพที่ 56)

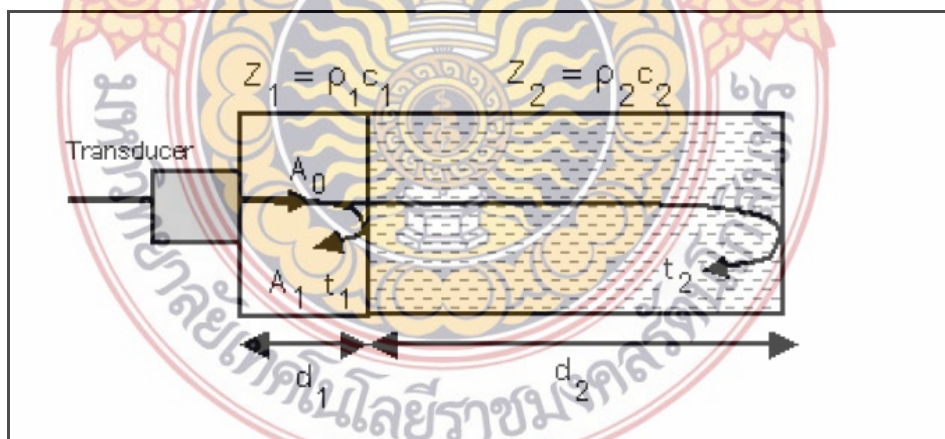


ภาพที่ 56 ตำแหน่งจัมเปอร์ Address = 26 ด้านหลังบอร์ด I²C

17. เซนเซอร์วัดความหนาแน่นของน้ำยางพารา

การวัดความหนาแน่นของน้ำยางพาราด้วยคลื่นอัลตราโซนิกมาประยุกต์ใช้วัดความหนาแน่นของน้ำยางพารา ค่าความหนาแน่นเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญ ที่บอกถึงสมบัติของตัวกลางชนิดนั้น เมื่อความหนาแน่นมีการเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย อาจทำให้สมบัติของตัวกลางชนิดนั้นมีการเปลี่ยนแปลงไป โดยสามารถใช้เป็นดัชนีตรวจสอบคุณภาพที่สำคัญของน้ำยางพารา การสะท้อนกลับของคลื่นเสียงเมื่อเคลื่อนที่ไปชนรอยต่อของตัวกลางที่มีอิมพีแดนซ์เสียงที่แตกต่างกัน ค่าอิมพีแดนซ์เสียงจะขึ้นกับค่าความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกและค่าความหนาแน่นของตัวกลาง การวัดคาบเวลาที่คลื่นใช้เคลื่อนที่ไปกลับในตัวกลาง และแอมพลิจูดของพัลส์สะท้อนกลับลำดับที่ 1 เป็นการสะท้อนกลับระหว่างตัวกลางแผ่นอ้างอิงกับตัวกลางของเหลวทำให้สามารถวัดค่าความหนาแน่นของน้ำยางพาราได้ ด้วยการอาศัยพัลส์สะท้อนกลับของคลื่นอัลตราโซนิก มีความไวสูงในการวัดความหนาแน่น เป็นการวัดที่ตัวทรานสดิวเซอร์ไม่ต้องสัมผัสกับของเหลวที่ต้องการทดสอบโดยตรงทำให้ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน รวมทั้งอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบประกอบไปด้วยส่วนกำเนิดคลื่น ส่วนตัวรับคลื่นและส่วนแสดงผล มีขนาดเล็กไม่ซับซ้อน ทำให้สามารถจัดระบบการวัดได้โดยง่าย

การนำคลื่นอัลตราโซนิกมาประยุกต์ใช้ในการวัดความหนาแน่นของน้ำยางพารา จะใช้หลักการพัลส์สะท้อนกลับ โดยอาศัยสมบัติของการสะท้อนกลับของคลื่น เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ไปชนรอยต่อของตัวกลางที่มีค่าอิมพีแดนซ์เสียงแตกต่างกันระหว่างตัวกลางที่ 1 เป็นตัวกลางอ้างอิงของอากาศที่ทราบค่าความหนาแน่น และตัวกลางที่ 2 เป็นตัวกลางของน้ำยางพาราที่ต้องการวัดค่าความหนาแน่น สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 57 แสดงคลื่นเคลื่อนที่ไปชนรอยต่อของตัวกลางที่มีค่าอิมพีแดนซ์เสียงที่แตกต่างกัน

- เมื่อ Z_1 เป็น อิมพีแดนซ์เสียงของตัวกลางที่ 1 (ตัวกลางอ้างอิงของอากาศ)
 Z_2 เป็น อิมพีแดนซ์เสียงของตัวกลางที่ 2 (ตัวกลางของน้ำยางพารา)
 c_1 เป็น ความเร็วเสียงในตัวกลางที่ 1 (ตัวกลางอ้างอิงของอากาศ)
 c_2 เป็น ความเร็วเสียงในตัวกลางที่ 2 (ตัวกลางของน้ำยางพารา)
 p_1 เป็นความหนาแน่นของตัวกลางที่ 1 (ตัวกลางอ้างอิงของอากาศ)
 p_2 เป็นความหนาแน่นของตัวกลางที่ 2 (ตัวกลางของน้ำยางพารา)
 t_1 เป็นเวลาที่คลื่นเสียงเดินทางไปกลับในตัวกลางที่ 1 (ตัวกลางอ้างอิงของอากาศ)
 t_2 เป็นเวลาที่คลื่นเสียงเดินทางไปกลับในตัวกลางที่ 2 (ตัวกลางของน้ำยางพารา)
 d_1 ระยะของความหนาของตัวกลางที่ 1 (ตัวกลางอ้างอิงของอากาศ)
 d_2 ระยะของความหนาของตัวกลางที่ 2 (ตัวกลางของน้ำยางพารา)
 A_0 แอมพลิจูดของคลื่นตกกระทบ
 A_1 แอมพลิจูดของคลื่นสะท้อนกลับลำดับที่ 1

ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ(R) แสดงได้ดังสมการที่ 3

$$\text{ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ(R)} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \dots\dots\dots(3)$$

และค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่าน (T) แสดงได้ดังสมการที่ 4

$$\text{ค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่าน(T)} = 1 + R \dots\dots\dots(4)$$

โดยที่ค่าอิมพีแดนซ์เสียงในตัวกลางจะมีค่าดังสมการที่ 5

$$\text{ค่าอิมพีแดนซ์เสียงในตัวกลาง(Z)} = \rho c \dots\dots\dots(5)$$

เมื่อ ρ คือความหนาแน่นของตัวกลาง และ c คือความเร็วเสียงที่เคลื่อนที่ในตัวกลาง แทนสมการที่ 5 ลงในสมการที่ 3 และ 4 จะได้

$$\text{ค่าความหนาแน่นของตัวกลาง}(\rho_2) = \frac{\rho_1 c_1 (1+R)}{c_2 (1-R)} \dots\dots\dots(6)$$

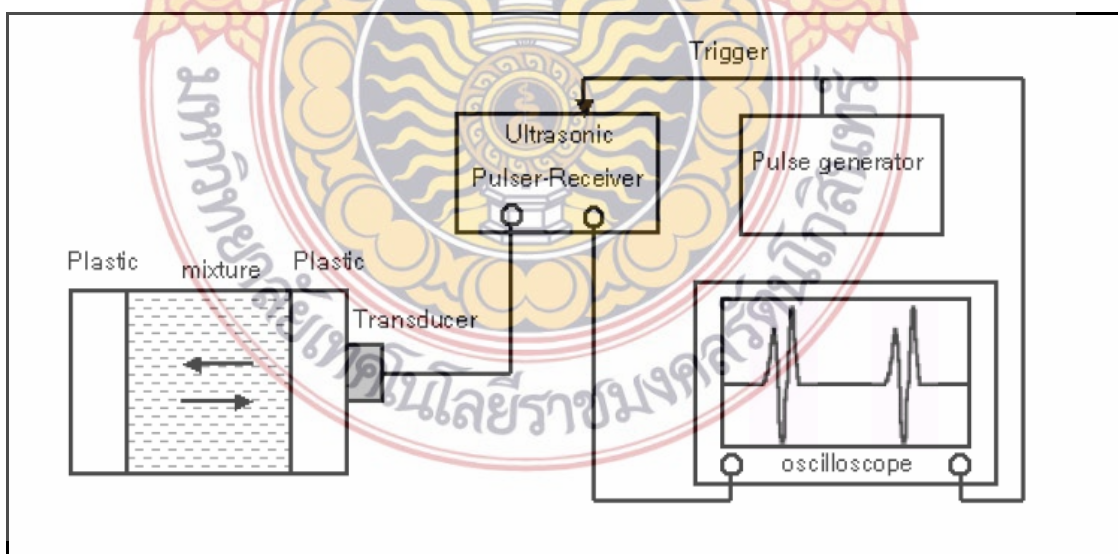
ค่าความเร็วเสียงในตัวกลาง สามารถหาได้จากสองเท่าของชั้นความหนาตัวกลางหารด้วยเวลาที่คลื่นเสียงเคลื่อนที่ไปและกลับในตัวกลาง ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับจะหาได้จากอัตราส่วนระหว่างค่าแอมพลิจูดสูงสุดและต่ำสุด (Peak-to-Peak) ของคลื่นสะท้อนกลับลำดับที่หนึ่ง A_1 กับแอมพลิจูดสูงสุดและต่ำสุดของคลื่นตกกระทบ A_0 โดยสามารถเขียนเป็นสมการที่ 7 ได้ดังนี้

$$c_2 = \frac{2d_2}{t_2}, c_1 = \frac{2d_1}{t_1} \text{ และ } R = \frac{A_1}{A_0} \quad \dots\dots\dots(7)$$

เมื่อแทนค่าสมการที่ 7 ลงในสมการที่ 6 จะได้สมการค่าความหนาแน่นในตัวกลางของน้ำยางพาราที่ทดสอบคือสมการที่ 8

$$\text{ค่าความหนาแน่นของตัวกลาง}(\rho_2) = \rho_1 \frac{(2d_1/t_1)(1+(A_1/A_0))}{(2d_2/t_2)(1-(A_1/A_0))} \quad \dots\dots\dots(8)$$

ภาครับภาคส่งสัญญาณคลื่นอัลตราโซนิก (Pulser-Receiver) ทรานสดิวเซอร์แบบตัวรับตัวส่งตัวเดียวกันความถี่กลาง 46 kHz ตัวคลัปปลิงด้วยน้ำยางพารา ดิจิตอลออสซิลโลสโคปช่วงกว้างความถี่ 100 MHz เครื่องกำเนิดพัลส์ 30 MHz และดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ ในการทดลองใช้พลาสติกเป็นชั้นตัวกลางของแข็ง อ่างอิงที่ทราบค่าความหนาแน่น ส่วนของเหลวที่ต้องการทดสอบใช้น้ำผสมน้ำยางพารา ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 27°C และของเหลวที่ทดสอบไม่มีกาไรไหล สามารถทดลองได้ตามภาพที่ 58



ภาพที่ 58 รูปแบบการตั้งค่าการทดสอบเซนเซอร์วัดความหนาแน่นของน้ำยางพารา การวิเคราะห์เวลาในการ Charge และ Discharge Capacitor

ช่วงเวลาในการ Charge -Capacitor จาก 0 ถึง $V_{cc}/3$ ใช้เวลา t_1

$$\begin{aligned} \text{จาก } V_c(t) &= V_{cc}(1-e^{-t/RC}) \\ V_{cc}/3 &= V_{cc}(1-e^{-t_1/RC}) \\ -t_1/RC &= \ln(2/3) \\ &= -0.405 \\ t_1 &= 0.405RC \end{aligned}$$

และช่วงเวลาในการ Charge +Capacitor จาก 0 ถึง $2V_{cc}/3$ ใช้เวลา t_2

$$\begin{aligned} 2V_{cc}/3 &= V_{cc}(1-e^{-t_2/RC}) \\ -t_2/RC &= \ln(1/3) \\ &= -1.098 \\ t_2 &= 1.098RC \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} T_1 &= t_2 - t_1 \\ &= (1.098 - 0.405)RC \\ &= 0.69RC \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$T_1 = 0.69R_A C \quad \dots\dots\dots(9)$$

ช่วงเวลาการ Discharge Capacitor จาก $2V_{cc}/3$ ถึง $V_{cc}/3$

$$\begin{aligned} \text{จาก } V_c(t) &= V_{cc}(e^{-t/RC}) \\ V_{cc}/3 &= (2V_{cc}/3)(e^{-t/RC}) \\ T &= -RC \ln(1/3) \\ &= 0.69RC \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$T_2 = 0.69R_B C \quad \dots\dots\dots(10)$$

จาก T

ดังนั้น

$$T = T_1 + T_2 = 0.69(R_A + R_B)C \quad \dots\dots\dots(11)$$

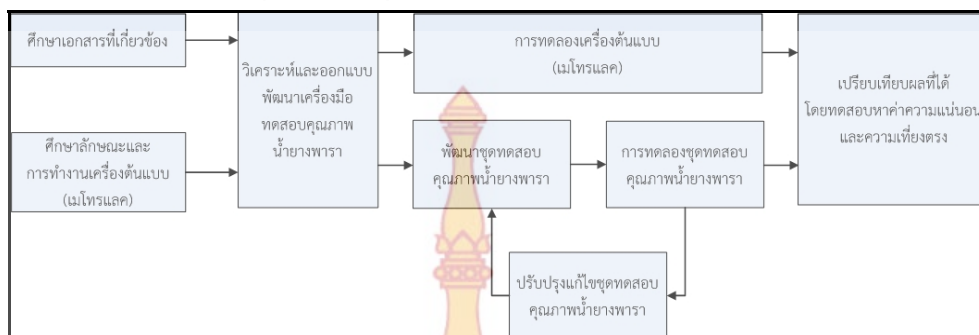
บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการออกแบบและพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราด้วยเครือข่ายเซนเซอร์ ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์หาคุณภาพของน้ำยางพารา จากตัวอย่าง 2 พันธุ์ ประกอบด้วย RRIM600 และ RRIT251 ที่ปลูกในบริเวณ ตำบลบ้านค่าย อ.บ้านค่าย จ.ระยอง โดยทำการวัดคุณภาพน้ำยางพาราจากชุดเครื่องวัดมาตรฐานแบบเดิมที่เรียกว่า เมโทรแลค วัดความถ่วงจำเพาะของน้ำยางพาราเปรียบเทียบกับชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นด้วยเซนเซอร์ที่การอาศัยการสะท้อนกลับของคลื่นอัลตราโซนิก ด้วยดัชนีตรวจสอบคุณภาพที่สำคัญของน้ำยางพาราการสะท้อนกลับของคลื่นเสียงเมื่อเคลื่อนที่ไปชนรอยต่อของตัวกลางที่มีอิมพีแดนซ์เสียงที่แตกต่างกัน โดยค่าอิมพีแดนซ์เสียงจะขึ้นกับค่าความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกและค่าความหนาแน่นของตัวกลางและอุณหภูมิของน้ำยางพาราที่วัดได้ การออกแบบและพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราด้วยเครือข่ายเซนเซอร์ แบ่งออกเป็น 7 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้ คือ

1. การออกแบบและพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราด้วยเครือข่ายเซนเซอร์
2. ชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราด้วยเครือข่ายเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้น
3. การออกแบบวงจรชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราด้วยเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย
4. คุณลักษณะ i-Module RTC DS1307
5. โครงสร้าง i-Module RTC DS1307
6. คุณลักษณะ i-Module Arduino Connector Base Shield
7. การเชื่อมต่อ i-Module Arduino Connector Base Shield
8. การออกแบบเครือข่ายเซนเซอร์ชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราที่พัฒนาขึ้น
9. ขั้นตอนกำหนดค่าใน X-CTU
10. ประเภทของโมดูล Xbee
11. รูปแบบ Topology
12. การเขียนโปรแกรมประยุกต์ติดต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม

1. การออกแบบและพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราด้วยเครือข่ายเซนเซอร์



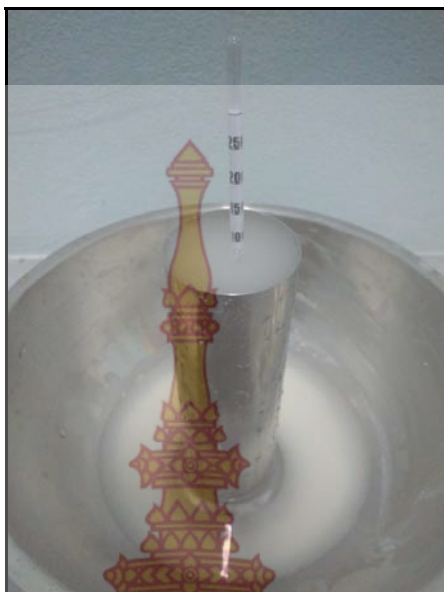
ภาพที่ 59 แสดงขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราด้วยเครือข่ายเซนเซอร์

1.1 ทดสอบการหาคุณภาพน้ำยางพารา (%DRC) จากชุดเครื่องวัดต้นแบบเมโทรแลค

การทดสอบหาคุณภาพน้ำยางพารา (%DRC) จากชุดเครื่องวัดต้นแบบวัดความถ่วงจำเพาะมาตรฐานที่เรียกว่า เมโทรแลค (Metrolec) เป็นเครื่องวัดความถ่วงจำเพาะมาตรฐานของน้ำยางพาราที่ทำได้จากบริษัทผู้ผลิตเพื่อเก็บข้อมูลนำไปเปรียบเทียบกับเปรียบเทียบชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นด้วยเซนเซอร์ที่การอาศัยการสะท้อนกลับของคลื่นอัลตราโซนิก ด้วยดัชนีตรวจสอบคุณภาพที่สำคัญของน้ำยางพารากการสะท้อนกลับของคลื่นเสียงและอุณหภูมิของน้ำยางพาราที่วัดได้

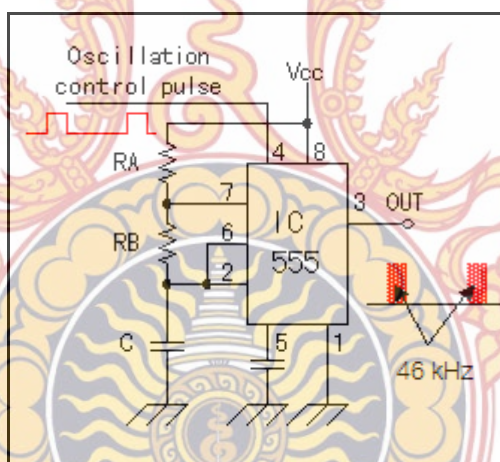


ภาพที่ 60 แสดงอุปกรณ์หาคุณภาพน้ำยางพารา (%DRC) จากชุดเครื่องวัดต้นแบบเมโทรแลค



ภาพที่ 61 แสดงวิธีการวัดคุณภาพน้ำยางพารา (%DRC) จากชุดเครื่องวัดต้นแบบเมโทรแลค

1.2 การออกแบบระบบการทำงานของเซนเซอร์วัดความหนาแน่นของน้ำยางพารา



ภาพที่ 62 แสดงวงจรอัลตราโซนิกออสซิลเลเตอร์

จากภาพที่ 62 วงจร IC555 เป็นวงจรที่สร้างออสซิลเลเตอร์ความถี่อัลตราโซนิก 46kHz ด้วย $R_B > R_A$ ที่ใช้นำมาหาค่าช่วงคาบ (Duty) โดยมีสัดส่วนเปิด/ปิด 50% ของคลื่นออสซิลเลเตอร์ ความถี่อัลตราโซนิกจะถูกปรับจากความถี่เรโซแนนซ์ของตัวเซนเซอร์ ดังนั้นจึงทำให้สามารถปรับความถี่ออสซิลเลเตอร์ด้วยค่าของ R_B ที่เป็นความต้านทานแบบเปลี่ยนค่าได้ (Variable Resistor)

การหาค่าความหนาแน่นของน้ำยางพาราที่ทดสอบชนิด RRIM600 ที่มีค่าความหนาแน่นของอากาศ (ρ_1) เท่ากับ 1.292 kg/m^3 มีระยะของความหนาของตัวกลางอ้างอิงของอากาศ (d_1) 10 เซนติเมตร และระยะของความหนาของตัวกลางของน้ำยางพารา (d_2) 30 เซนติเมตร โดยใช้เวลาทดสอบ (t_1, t_2) 30 วินาที มีสัดส่วนของแอมพลิจูดของคลื่นตกกระทบต่อแอมพลิจูดของคลื่นสะท้อนกลับลำดับที่ 1 (A_0/A_1) มีค่าเท่ากับ 0.99

A_0 แอมพลิจูดของคลื่นตกกระทบ

A_1 แอมพลิจูดของคลื่นสะท้อนกลับลำดับที่ 1

ดังนั้น ค่าความหนาแน่นของอากาศ (ρ_1) = 1.292 kg/m^3
 ระยะของความหนาของตัวกลางอ้างอิงของอากาศ (d_1) = 0.01 m
 ระยะของความหนาของตัวกลางของน้ำยางพารา (d_2) = 0.03 m
 เวลาที่คลื่นเสียงเดินทางไปกลับในตัวกลางอ้างอิงของอากาศ (t_1) = 30 second
 เวลาที่คลื่นเสียงเดินทางไปกลับในตัวกลางของน้ำยางพารา (t_2) = 30 second
 สัดส่วนแอมพลิจูดของคลื่นตกกระทบต่อคลื่นสะท้อนกลับลำดับที่ 1 (A_0/A_1) = 0.99
 จากการหาค่าความหนาแน่นในตัวกลางของน้ำยางพาราที่ทดสอบ จากสมการที่ 8 จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{ค่าความหนาแน่นของตัวกลาง } (\rho_2) &= \rho_1 \frac{(2d_1/t_1)(1+(A_1/A_0))}{(2d_2/t_2)(1-(A_1/A_0))} \\ &= 1.292 \frac{(2 \times 0.01/30)(1+0.99)}{(2 \times 0.03/30)(1-0.99)} \\ &= 85.70 \end{aligned}$$

นำค่าที่ได้นำไปเปรียบวัดกับค่าความหนาแน่นของน้ำยางพารา (%DRC) เพื่อนำไปเขียนโปรแกรมสำหรับการพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่ได้ทำการวิจัย

การวิเคราะห์ห้วงจรอัลตราโซนิกออสซิลเลเตอร์เพื่อหาเวลาในการ Charge และ Discharge Capacitor ของการพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพารา

ช่วงเวลาในการ Charge -Capacitor จาก 0 ถึง $V_{cc}/3$ ใช้เวลา t_1

จากสมการที่ 9 จะได้ค่า $T_1 = 0.69R_A C$

และสมการที่ 10 จะได้ค่า $T_2 = 0.69R_B C$

ดังนั้นสมการที่ 11 จะได้ค่า $T = T_1 + T_2$

$$= 0.69(R_A + R_B)C$$

ตัวอย่าง การคำนวณความถี่ จาก $R_A = 1.5\text{k}\Omega$, $R_B = 15\text{k}\Omega$ และ $C = 1,000\text{ pF}$

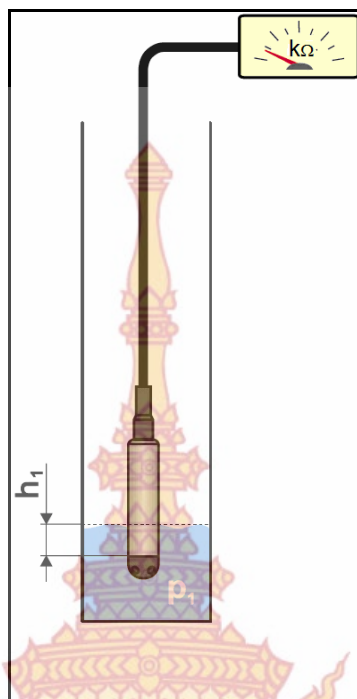
$$\begin{aligned} \text{จาก } T_L &= 0.69R_B C \\ &= 0.69 \times 15 \times 10^3 \times 1000 \times 10^{-12} \\ &= 10.35 \times 10^{-6} \\ &= 10.35 \mu\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จาก } T_H &= 0.69(R_A + R_B)C \\ &= 0.69 \times 16.5 \times 10^3 \times 1000 \times 10^{-12} \\ &= 11.39 \times 10^{-6} \\ &= 11.39 \mu\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f &= 1/(T_L + T_H) \\ &= 1/((10.35 + 11.39) \times 10^{-6}) \\ &= 46 \times 10^3 \\ &= 46 \text{ kHz} \end{aligned}$$

1.3 การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์วัดความหนาแน่นของน้ำยางพารา

จากการทดสอบการทำงานของเซนเซอร์วัดความหนาแน่นของน้ำยางพาราด้วยวิธีการจุ่มเซนเซอร์ลงไปใต้น้ำยางพารา โดยระดับความสูงได้จากการปรับตามระยะปลายเซนเซอร์ไปจนถึงผิวน้ำยางพารา วัดความต้านทานไฟฟ้าด้วยโอห์มมิเตอร์($\times 1\text{k}$) เปรียบเทียบกับค่าวัดความถ่วงจำเพาะมาตรฐานที่เรียกว่า เมโทรแลค (Metrolec) และวัดอุณหภูมิของน้ำยางพาราที่วัดได้ ทำการทดสอบวัดซ้ำๆ กับน้ำยางพารา 10 จำนวนตัวอย่าง แล้วทำการบันทึกผลที่ได้



ภาพที่ 63 แสดงการทดสอบวัดค่าความนำไฟฟ้าของเซนเซอร์วัดความหนาแน่นของน้ำยางพารา

1.4 เปรียบเทียบค่าต่างๆ ของชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับชุดทดสอบต้นแบบ

ทดสอบวัดค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยางพารา ค่าความต้านทานไฟฟ้า และอุณหภูมิของน้ำยางพารา โดยเบื้องต้นให้ใช้ชุดทดสอบต้นแบบเมโทรแลค (Metrolec), ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ และเทอร์โมมิเตอร์ เพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงในการเปรียบเทียบกับชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้น โดยทำการทดลองในกลุ่มตัวอย่าง ทั้ง 2 พันธุ์ คือ RRIM600 และ RRIT251 จำนวน 10 ตัวอย่างทดลอง โดยในแต่ละครั้งให้ทำการบันทึกข้อมูลผลที่ได้ลงในตารางบันทึกค่า ใช้วิธีการทดลองกับชุดทดสอบต้นแบบเมโทรแลค (Metrolec) เพื่อทำการทดสอบหาปริมาณเนื้อยางแห้ง ก่อนทำการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าและอุณหภูมิของน้ำยางพาราที่วัดได้ เพื่อให้ผลการทดลองมีความเที่ยงตรงและแม่นยำมากที่สุด

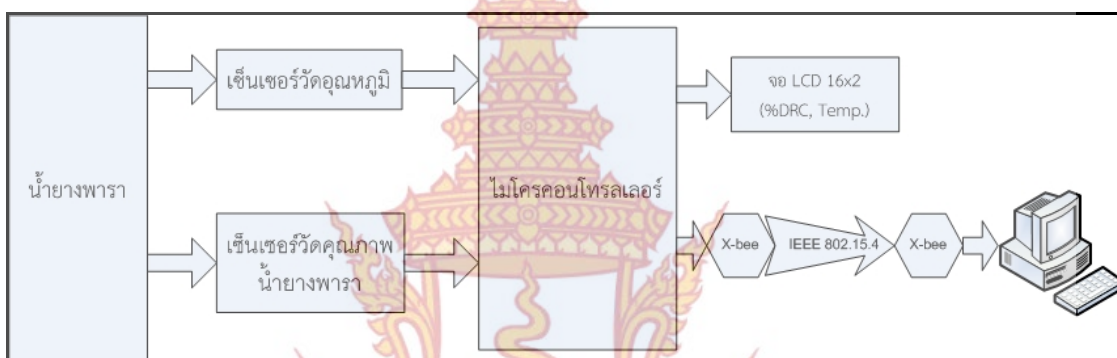
1.5 การทดลองชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราด้วยเครือข่ายเซนเซอร์ที่พัฒนา

15.1 การวัดค่าความแน่นอน (Accuracy) ด้วยการนำชุดทดสอบมาทำการทดลองวัดค่าเปอร์เซ็นต์ยางแห้ง (%DRC) จากตัวอย่างน้ำยางพารา จำนวน 10 ตัวอย่าง นำผลที่บันทึกได้เทียบกับการทดสอบโดยวิธีอบแห้ง เพื่อหาค่าความผิดพลาด

15.2 การวัดค่าเที่ยงตรง (Reproducibility) ด้วยการนำชุดทดสอบมาทำการทดลองวัดค่าเปอร์เซ็นต์ยางแห้ง (%DRC) จากตัวอย่างน้ำยางพารา จำนวน 10 ตัวอย่างทดลอง ทดสอบวัดซ้ำตัวอย่างละ 5 ครั้ง นำผลที่บันทึกได้เทียบกับการทดสอบโดยวิธีอบแห้ง เพื่อหาค่าความผิดพลาด

2. ชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราด้วยเครือข่ายเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้น

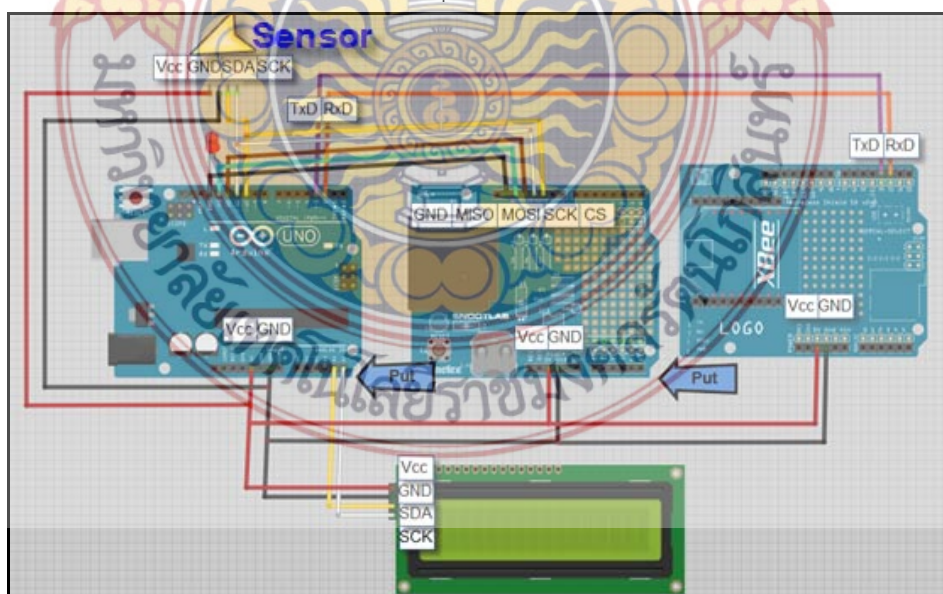
ส่วนประกอบของการพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราด้วยเครือข่ายเซนเซอร์ ประกอบด้วย เซนเซอร์วัดคุณภาพน้ำยางพารา (%DRC) ด้วยคลื่นอัลตราโซนิก, เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ, ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3, จอ LCD ขนาด 16x2 เพื่อแสดงผลคุณภาพน้ำยางพารา (%DRC) กับอุณหภูมิของน้ำยางพารา และชุดรับส่งข้อมูลเครือข่ายไร้สาย Zigbee ในแต่ละโหนดด้วยโปรโตคอล IEEE802.15.4 เพื่อส่งข้อมูลไปจากเครื่องคอมพิวเตอร์ปลายทางด้วยโปรแกรมอินเทอร์เน็ตเฟสที่เขียนด้วย C#



ภาพที่ 64 แสดงส่วนประกอบของการพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราด้วยเครือข่ายเซนเซอร์

3. การออกแบบวงจรชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราด้วยเครือข่ายไร้สาย

ออกแบบวงจรโหนดเซนเซอร์มีส่วนประกอบหลักของวงจรประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3, Zigbee และ เซนเซอร์วัดคุณภาพน้ำยางพารา (%DRC) ดังแสดงในภาพที่ 65



ภาพที่ 65 การออกแบบวงจรโหนดเซนเซอร์

4. คุณลักษณะ i-Module RTC DS1307

เป็นโมดูล Real Time Clock โดยถูกออกแบบมาเพื่อใช้เชื่อมต่อกับ i-Module Arduino Connector Base Shield รวมถึงรองรับการใช้งานร่วมกับบอร์ดทดลองหรือวงจรอื่นๆ โดยนำมาใช้เป็น Interface เพื่อใช้สร้างและเก็บข้อมูลฐานเวลาจริง รวมถึงมีแบตเตอรี่เพื่อใช้แบ็คอัพเวลารวมอยู่บนโมดูล

คุณสมบัติ (Features)

- เป็นโมดูลประเภท Real Time Clock โดยใช้ RTC เบอร์ DS1307
- มีแบตเตอรี่เพื่อ Backup ฐานเวลา

การนำไปประยุกต์ใช้งาน (Application Ideas)

ทดสอบการเขียนโปรแกรมสื่อสารแบบ I²C, ใช้เก็บข้อมูลเวลา และสร้างนาฬิกา

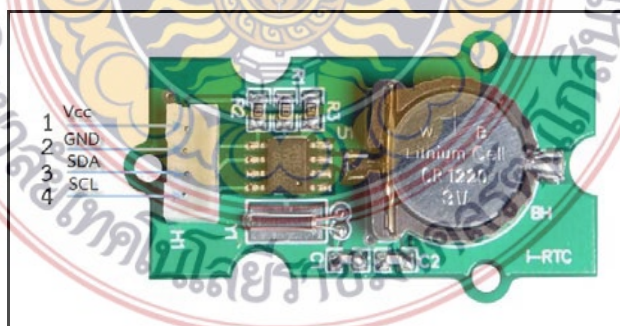
ข้อควรระวังในการใช้งาน (Caution/Warning)

- แหล่งจ่ายไฟ V_{CC} ไม่ควรเกินระดับ TTL (0-5V_{dc})
- ตรวจสอบแบตเตอรี่ เพื่อประสิทธิภาพในการ Backup เวลาของโมดูล
- ควรอ่านเอกสารก่อนการต่อวงจรจริง

คุณลักษณะ (Specification)

- สื่อสารโดยใช้รูปแบบ I²C
- ใช้ IC Real Time Clock เบอร์ DS1307
- ใช้แรงดันในการทำงาน 3V-5.5V_{dc} (แรงดันที่เหมาะสม 5V_{dc})
- แบตเตอรี่ Backup เป็นประเภท Lithium – 3V ขนาด CR1220

5. โครงสร้าง i-Module RTC DS1307



ภาพที่ 66 โครงสร้าง i-Module RTC DS1307

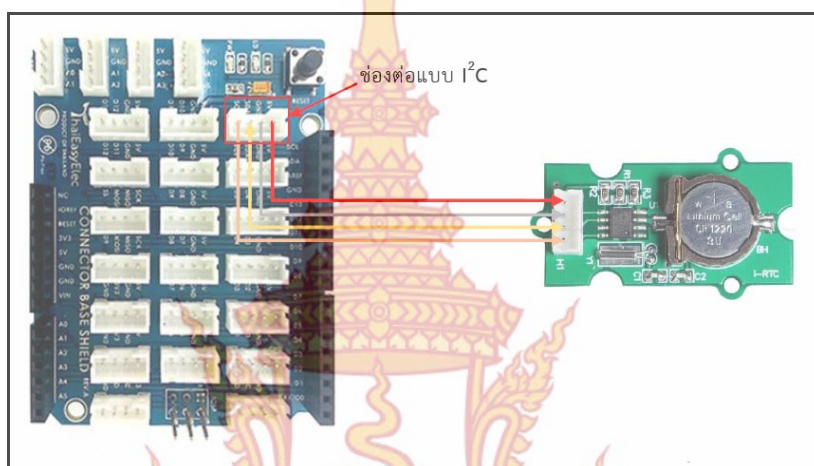
ตำแหน่งขาที่ 1 เป็นแหล่งจ่ายแรงดัน(Vcc) 2.4 – 5.5 Vdc (แรงดันที่เหมาะสม 3Vdc)

ตำแหน่งขาที่ 2 เป็นกราวด์(GND)

ตำแหน่งขาที่ 3 เป็นสายสัญญาณรับส่งข้อมูล(Data) แบบอนุกรม (Serial Data: SDA)
ตำแหน่งขาที่ 4 เป็นสายสัญญาณนาฬิกา(SCK) แบบอนุกรม (Serial Clock: SCK) เพื่อ
กำหนดจังหวะในการสื่อสารข้อมูล

การเชื่อมต่อ i-Module RTC DS1307

การเชื่อมต่อ i-Module RTC DS1307 ผ่าน i-Module Arduino Connector Base Shield
ใช้สาย 4 เส้น โดยเชื่อมต่อไปยังขาที่รองรับการสื่อสารแบบ I2C ซึ่งประกอบด้วยขา SDA และ SCL



ภาพที่ 67 การเชื่อมต่อระหว่าง i-Module RTC ผ่าน i-Module Arduino Connector Base Shield

6. คุณสมบัติ i-Module Arduino Connector Base Shield

เป็นโมดูลที่ถูกออกแบบมาเพื่อขยายช่องเสียบ Connector ร่วมกับ i-Module ใช้เชื่อมต่อ
ในรูปแบบ Shield ร่วมกับ Arduino Board เพื่อแยก Vcc, GND และขาสัญญาณ ออกเป็นช่อง
สำหรับเสียบโดยใช้ connector 4 pin โดยสามารถเชื่อมต่อเพื่อใช้งานกับ i-Module ได้ทันที ด้วย
สายเชื่อมต่อ 4 เส้น

คุณสมบัติ

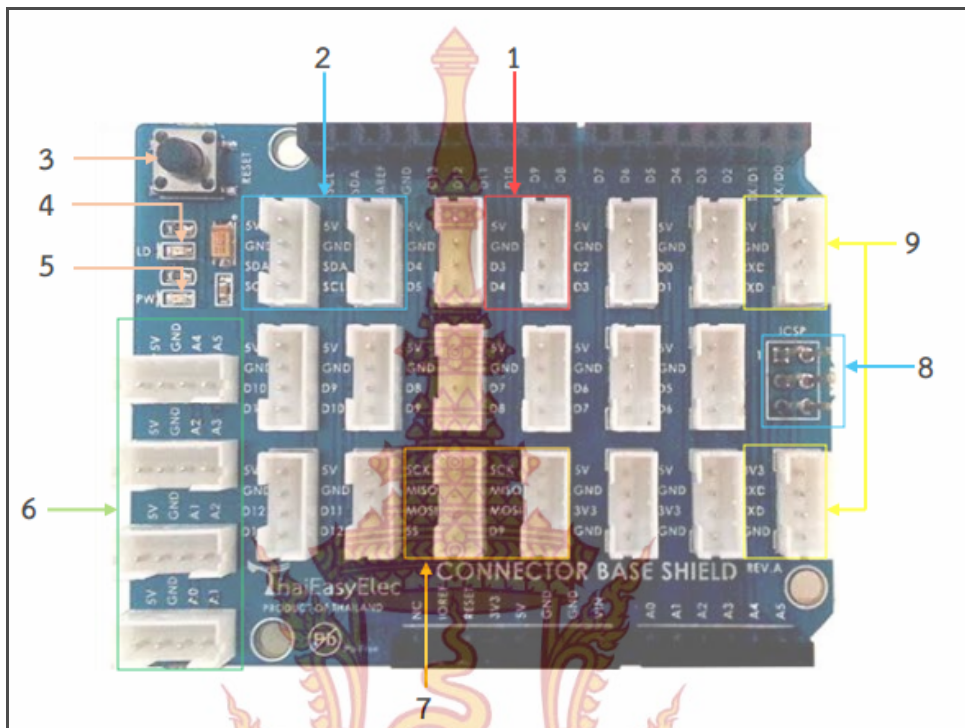
- มี LED แสดงสถานะไฟเลี้ยงของบอร์ด
- มีสวิตช์สำหรับ Reset บอร์ด
- มี LED ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับขา 13 เพื่อใช้ทดสอบการทำงาน

คุณลักษณะ

- แสดงผลสถานะไฟเลี้ยงด้วย LED สีแดงแบบ SMD
- แสดงผลการท างานซึ่งเชื่อมต่อเข้ากับขา 13 ด้วย LED สีเขียวแบบ SMD
- บอร์ดมีช่องเสียบ Connector ขนาด 4 pin จ านวน 24 ช่อง
- สามารถเสียบ Shield เพิ่มเติมได้

7. การเชื่อมต่อ i-Module Arduino Connector Base Shield

การเชื่อมต่อ i-Module Arduino Connector Base Shield ด้วยสาย 4 เส้น

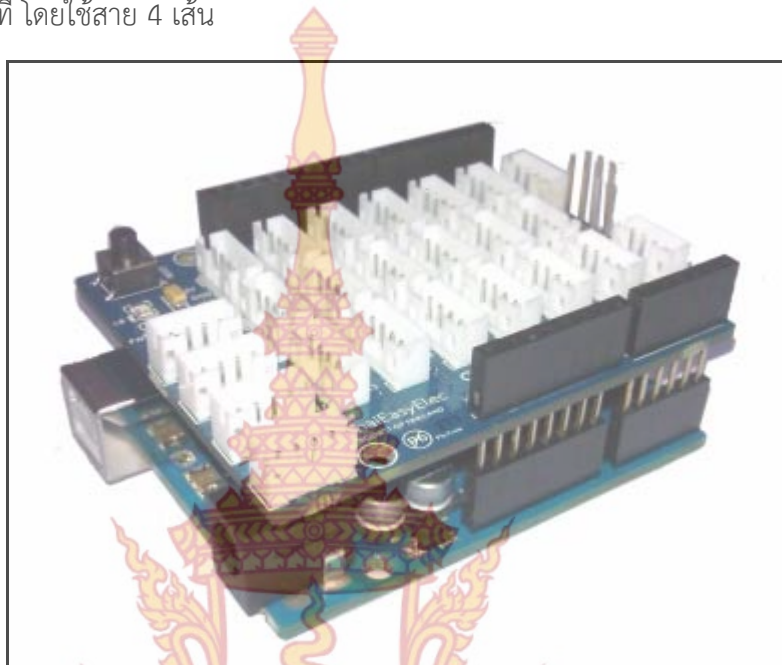


ภาพที่ 68 การเชื่อมต่อ i-Module Arduino Connector Base Shield

ตารางที่ 6 ตารางการกำหนดการใช้งาน i-Module Arduino Connector Base Shield

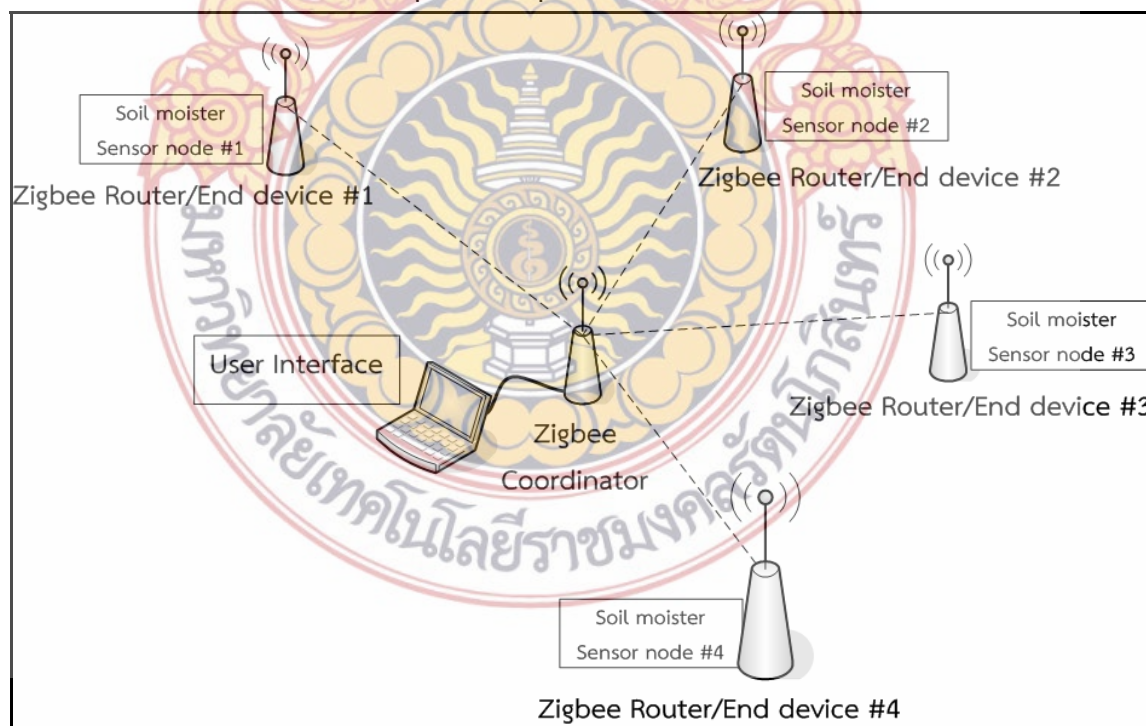
หมายเลข	การใช้งาน
1	ตัวอย่างช่องเสียบ Connector ขนาด 4 pin พร้อมชื่อแต่ละขา
2	ช่องสำหรับการเชื่อมต่อการสื่อสารแบบ I ² C จำนวน 2 ช่อง
3	สวิตช์ Reset
4	ไฟ LED แสดงสถานะการทำงานที่เชื่อมต่อกับขา 13
5	ไฟ LED แสดงสถานะไฟเลี้ยง
6	ช่องสำหรับการเชื่อมต่อการอ่านค่าแบบ Analog จำนวน 4 ช่อง
7	ช่องสำหรับการเชื่อมต่อการสื่อสารแบบ SPI จำนวน 2 ช่อง
8	ช่องสำหรับการเชื่อมต่อแบบ ICSP
9	ช่องสำหรับการเชื่อมต่อการสื่อสารแบบ UART-TTL จำนวน 2 ช่อง โดยแบ่งเป็นช่องจ่ายไฟเลี้ยง 3 Vdc และ 5 Vdc อย่างละ 1 ช่อง

ในการใช้งาน i-Module Arduino Connector Base Shield จะนำมาใช้เป็น Shield โดยเสียบลงบนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino และสามารถเชื่อมต่อจากบอร์ดไปยัง i-Module และอุปกรณ์อื่นๆได้ทันที โดยใช้สาย 4 เส้น



ภาพที่ 69 การเชื่อมต่อบอร์ด Arduino UNO R3 กับ i-Module Arduino Connector Base Shield

8. การออกแบบเครือข่ายเซนเซอร์ชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราที่พัฒนาขึ้น



ภาพที่ 70 การออกแบบเครือข่ายที่ใช้พัฒนาระบบเครือข่ายเซนเซอร์ชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพารา (%DRC)

การออกแบบเครือข่ายเซนเซอร์ชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราเป็นเครือข่ายแบบสตาร์ (Star Topology) โดยแบ่งออกเป็น 5 โหนด แบ่งตามหน้าที่การทำงานคือ โหนดที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างเครื่องเครือข่ายแม่ (Server) ของอุปกรณ์เชื่อมต่อ (User Interface) ส่วนที่เหลืออีก 4 โหนด จะเป็นส่วนที่เชื่อมต่อกับเครือข่ายเซนเซอร์ชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพารา โดยมี การออกแบบโครงสร้างของระบบ แสดงไว้ในภาพที่ 70

จากการออกแบบเครือข่ายที่ใช้พัฒนาระบบ สามารถอธิบายการทำงานทั้งหมดได้ดังนี้

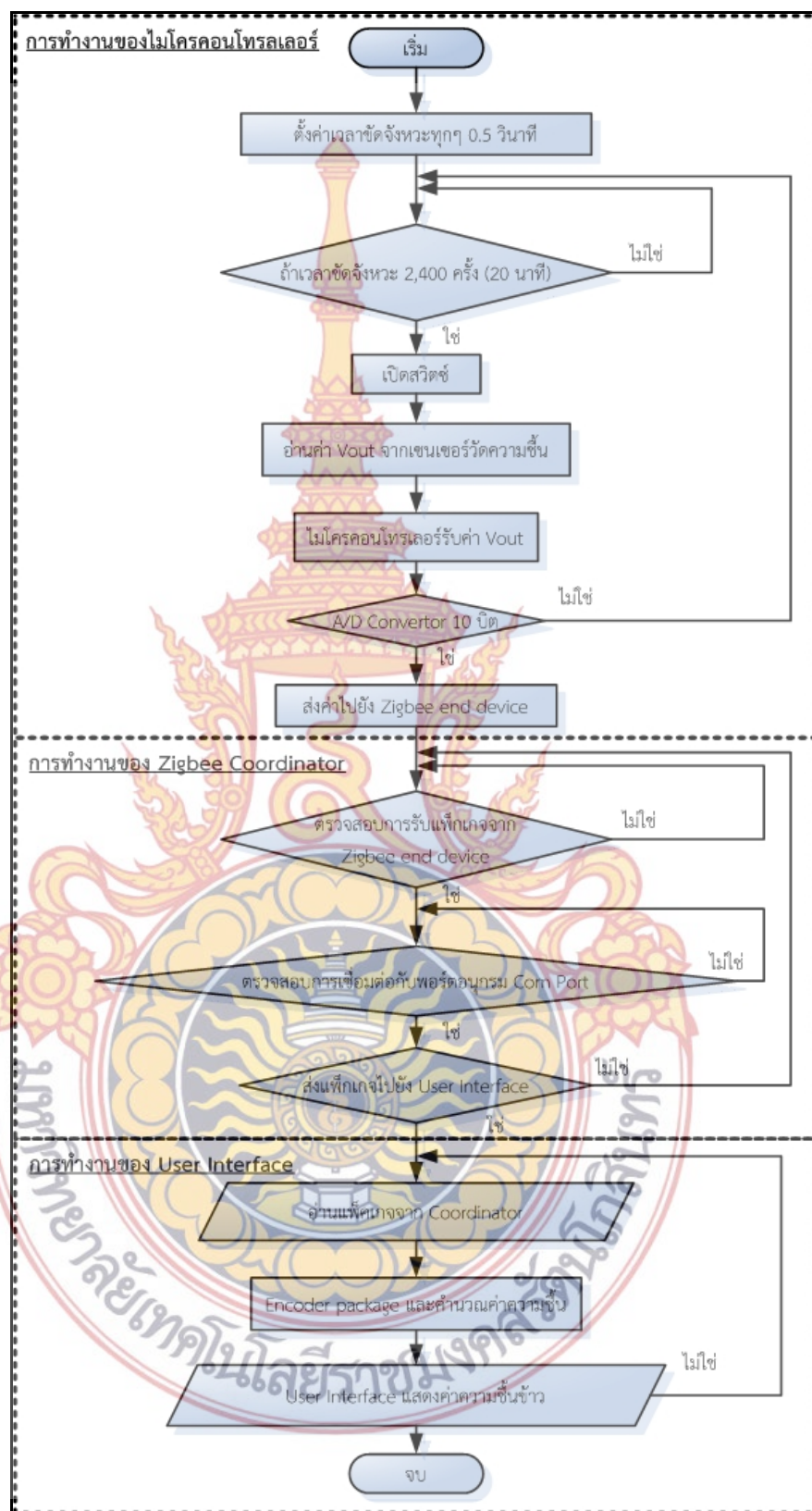
- เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้เครื่องเครือข่ายแม่ (Server) จะมี Zigbee Coordinator ใช้เป็นสื่อกลางระหว่าง Zigbee Router/End Device ทั้ง 4 โหนด กับ User Interface
- อุปกรณ์เครือข่ายเซนเซอร์ชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพารา ทั้ง 4 โหนด จะมีการเชื่อมต่อกับ Zigbee Router/ End Device โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3 ควบคุมการทำงานในการอ่านค่าในแต่ละครั้ง
- อุปกรณ์ Zigbee ที่นำมาใช้พัฒนาระบบจะต้องเป็นแบบ Xbee Series 2 เป็นอย่างน้อยเพื่อรองรับระบบเครือข่ายไร้สายแบบสตาร์ (Star Topology)

หลักการทำงานของระบบเครือข่ายเซนเซอร์ชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพารา (%DRC) โดยใช้ Zigbee ในการสื่อสาร สามารถอธิบายได้จากโฟลว์ชาร์ต (Flowchart) ภาพที่ 71 โดยมีหลักการทำงานดังต่อไปนี้

2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino จะทำเวลาขัดจังหวะ (Timer Interrupt) ทุกๆ 0.5 วินาที เมื่อเวลาขัดจังหวะ (Timer Interrupt) เกิดครบ 2,400 ครั้ง (20 นาที) ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino จะสั่งการให้สวิตช์เปิดการทำงานเพื่ออ่านค่าของแรงดันที่ได้จากเครือข่ายเซนเซอร์ชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพารา (%DRC) แรงดันที่ได้จากเซนเซอร์จะเข้าสู่กระบวนการ ADC Conversion ความละเอียด 10 บิต ก่อนที่จะส่งให้ Zigbee Router/End Device

2.2 โหนด Zigbee Coordinator จะทำการตรวจสอบข้อมูลว่าได้รับข้อมูลหรือไม่ เมื่อได้รับข้อมูลแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะตรวจสอบว่า Coordinator ได้ต่อกับคอมพิวเตอร์ไว้หรือไม่ โดยทำการตรวจสอบกับพอร์ตอนุกรม (Com Port) เมื่อพบว่า Coordinator ต่อกับคอมพิวเตอร์จะทำการส่งข้อมูลที่เป็น Packet ไปยัง User Interface ต่อไป

2.3 เมื่อ User Interface ได้รับข้อมูลจาก Coordinator จะทำการส่งค่า Package ที่แปลงได้เป็นตัวเลข 10 bits และนำค่าที่ได้ไปคำนวณในสมการที่ได้จากการทดลองและแสดงค่าคุณภาพน้ำยางพารา (%DRC) บน User Interface



ภาพที่ 71 โฟลว์ชาร์ต (Flowchart) การทำงานของระบบเครือข่ายเซนเซอร์ ชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพารา

ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ทำการขัดจังหวะการทำงานของหน่วยประมวลผลข้อมูล (Timer Interrupt) ทุกๆ 0.5 วินาที เมื่อการขัดจังหวะการทำงาน (Timer Interrupt) เกิดครบ 2,400 ครั้ง (20 นาที) ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino จะสั่งให้สวิตช์เปิดการทำงานเพื่ออ่านค่าของแรงดันที่ได้จากเครือข่ายเซนเซอร์ชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพารา (%DRC) โดยแรงดันที่ได้จากเซนเซอร์จะเข้าสู่กระบวนการแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นดิจิตอล (ADC Conversion) ความละเอียด 10 บิต ก่อนที่จะส่งสัญญาณให้ Zigbee Router/End Device

โหมด Zigbee Coordinator จะทำการตรวจสอบข้อมูลว่าได้รับข้อมูลแล้วหรือไม่ เมื่อได้รับข้อมูลมาแล้วขั้นตอนต่อมาจะตรวจสอบว่า Coordinator ต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้เก็บฐานข้อมูลหรือไม่ โดยมีขั้นตอนการตรวจสอบ Com Port ดังแสดงในโฟลว์ชาร์ต (Flowchart) ภาพที่ 71 เมื่อพบว่า Coordinator ต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้เก็บฐานข้อมูลอยู่จะทำการส่งข้อมูลที่เป็น packet ไปยัง User Interface ต่อไป

9. ขั้นตอนกำหนดค่าใน X-CTU

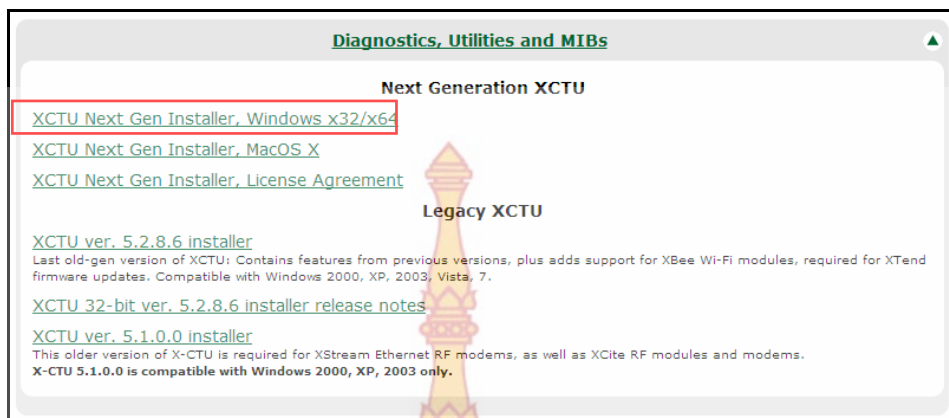
การกำหนดค่ามีขั้นตอนดังนี้



ภาพที่ 72 เว็บไซต์ที่ดาวน์โหลดโปรแกรม X-CTU

1. ติดตั้งโปรแกรม X-CTU โดย download ไฟล์ติดตั้งได้ที่

<http://www.digi.com/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/xctu> จากนั้นเลือกไฟล์ติดตั้งที่ตรงกับ OS ที่ติดตั้ง ในตัวอย่างนี้เลือกเป็น XCTU NEXT Gen Installer, Windows x32/x64



ภาพที่ 73 เลือกโปรแกรมให้ตรงกับ OS ที่ใช้งาน

VCP Drivers

Virtual COM port (VCP) drivers cause the USB device to appear as an additional COM port available to the PC. Application software can access the USB device in the same way as it would access a standard COM port.

This software is provided by Future Technology Devices International Limited "as is" and any express or implied warranties, including, but not limited to, the implied warranties of merchantability and fitness for a particular purpose are disclaimed. In no event shall future technology device international limited be liable for any direct, indirect, incidental, special, exemplary, or consequential damages (including, but not limited to, procurement of substitute goods or services; loss of use, data, or profits; or business interruption) however caused and on any theory of liability, contract, strict liability, or tort (including negligence or otherwise) arising in any way out of the use of this software, even if advised of the possibility of such damages.

FTDI drivers may be used only in conjunction with products based on FTDI parts.

FTDI drivers may be distributed in any form as long as license information is not modified.

If a custom vendor ID and/or product ID or description string are used, it is the responsibility of the product manufacturer to maintain any changes and subsequent WHQL re-certification as a result of making these changes.

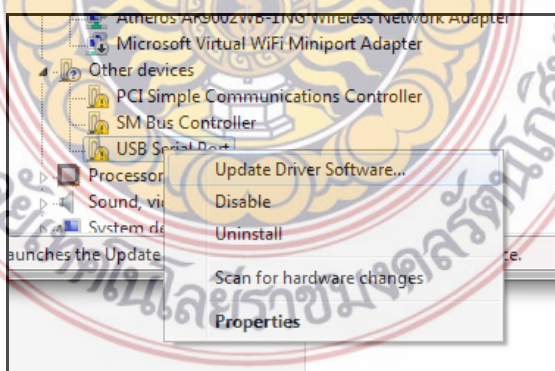
Currently Supported VCP Drivers:

Operating System	Release Date	Processor Architecture							Comments
		x86 (32-bit)	x64 (64-bit)	PPC	ARM	MIPSII	MIPSIV	SH4	
Windows*	2014-02-21	2.10.00	2.10.00	-	-	-	-	-	2.10.00 WHQL Certified Available as setup executable Release Notes
Linux	2009-05-14	1.6.0	1.5.0	-	-	-	-	-	All FTDI devices now supported in Ubuntu 11.10, kernel 3.0.0-19 Refer to FAQ-10 if you need a custom VCP VID/PID in Linux
Mac OS X	2012-08-10	2.2.18	2.2.18	2.2.18	-	-	-	-	Refer to FAQ-105 if you need a custom VCP VID/PID in MAC OS
Windows CE 4.2-5.2**	2012-01-05	1.1.0.20	-	-	1.1.0.20	1.1.0.10	1.1.0.10	1.1.0.10	-
Windows CE 6.0/7.0	2012-01-05	1.1.0.20 CE 6.0 CAT CE 7.0 CAT	-	-	1.1.0.20 CE 6.0 CAT CE 7.0 CAT	1.1.0.10	1.1.0.10	1.1.0.10	For use of the CAT files supplied for ARM and x86 builds refer to AN_219

ภาพที่ 74 เลือกโปรแกรมให้ตรงกับฮาร์ดแวร์ของเครื่องคอมพิวเตอร์

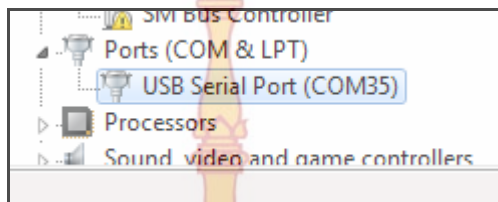
2. ติดตั้ง Driver USB to Serial สำหรับบอร์ด Mini Xbee USB Dongle โดย download ไฟล์ติดตั้งได้ที่ <http://www.ftdichip.com/Drivers/VCP.htm>

จากนั้นเลือกไฟล์ติดตั้งที่ตรงกับ OS ที่ติดตั้ง ในตัวอย่างนี้เลือกเป็น Windows X86 (32-bit)



ภาพที่ 75 ทำการอัปเดตไดรเวอร์ USB

3. ติดตั้ง Driver Mini Xbee USB Dongle โดยเสียบสาย USB เข้ากับบอร์ด และ PC เมื่อเข้าไปที่ Device Manager ในหัวข้อ Other Device คลิกขวา ที่ USB Serial Port เลือกหัวข้อ Update Driver Software ... จากนั้นเลือกที่อยู่ไฟล์ Driver ในข้อ 2



ภาพที่ 76 ตรวจสอบสถานการณ์เชื่อมต่อ USB

หลังจากติดตั้ง Driver เสร็จเรียบร้อยแล้ว PC จะเห็นบอร์ดเป็น USB Serial Port หนึ่งพอร์ตในระบบ

4. ตรวจสอบ Serial Number โดยใน Xbee ทุกตัวจะมีหมายเลข Serial Number อยู่ มีตัวเลขอยู่ 2 ชุด คือ SH (Serial Number High) และ SL (Serial Number Low) ใช้ค่านี้เพื่อกำหนด ให้ Xbee ทั้งสอง



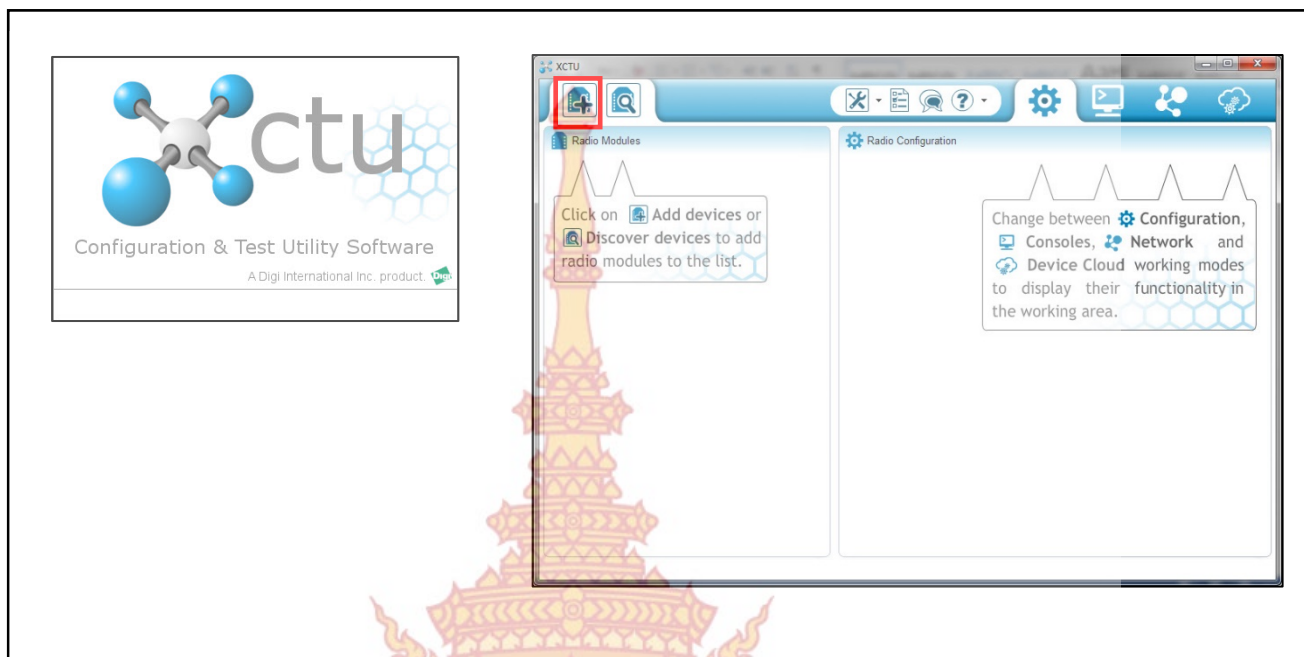
ภาพที่ 77 ทำการตรวจสอบ SH (Serial Number High) และ SL (Serial Number Low)

5. กำหนดค่าให้กับ Xbee ที่ต้องการเซตเป็น Coordinator ก่อน โดยต่อโมดูล Xbee เข้ากับบอร์ด Mini Xbee USB Dongle และต่อเข้ากับ PC



ภาพที่ 78 ทำการเชื่อมต่อ โมดูล Xbee เข้ากับบอร์ด Mini Xbee USB Dongle และต่อเข้ากับ PC

6. เปิดโปรแกรม XCTU กดปุ่ม Add a Radio module



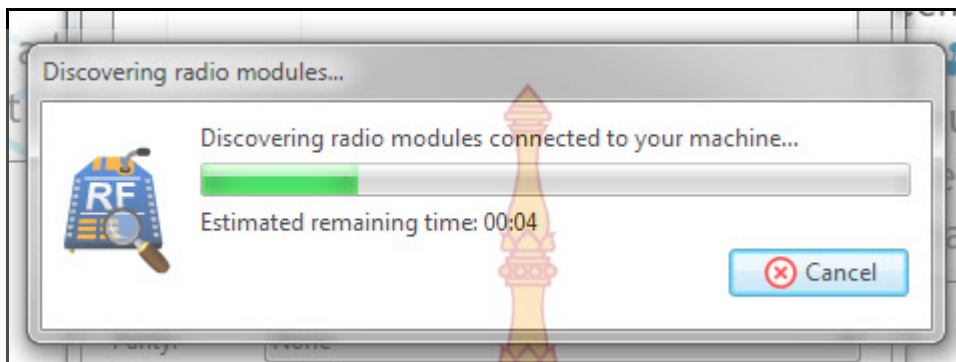
ภาพที่ 79 เปิดโปรแกรม X-CTU

7. เลือกหมายเลข Serial Port ของ Mini Xbee USB Dongle โดยกำหนด Baud rate เป็น 9600 bsp Data Bits เท่ากับ 8 Parity เป็น None Stop Bits เท่ากับ 1 และ Flow Control เป็น None จากนั้นกดปุ่ม Finish



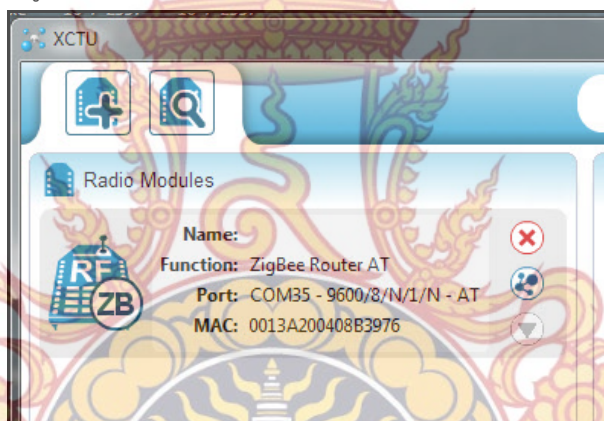
ภาพที่ 80 Serial Port ของ Mini Xbee USB Dongle

8. รอซ้กครู่โปรแกรม จะทำการค้นหาโมดูล Xbee



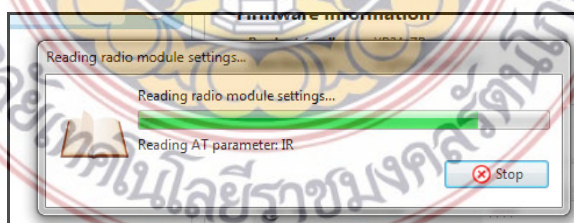
ภาพที่ 81 โปรแกรมทำการค้นหาโมดูล Xbee

9. จากนั้น โปรแกรมจะแสดงชื่อรุ่น Xbee ขึ้นมาดังภาพ คลิกที่ชื่อโมดูล เพื่อดูรายละเอียด Parameter ต่างๆของโมดูล



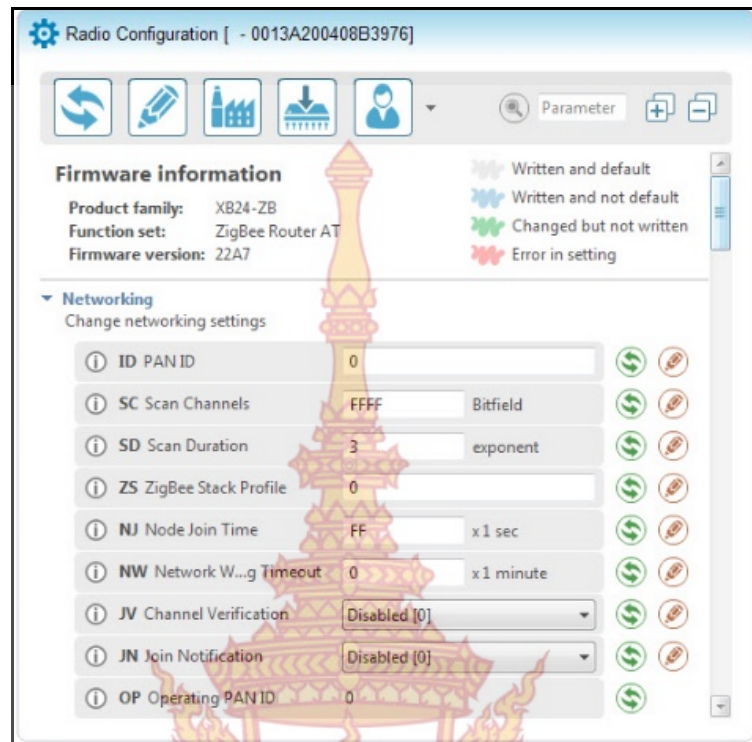
ภาพที่ 82 โปรแกรมจะแสดงชื่อรุ่น Xbee, พอร์ต และเลข MAC

10. รอซ้กครู่โปรแกรม จะทำการอ่านค่าบนโมดูล



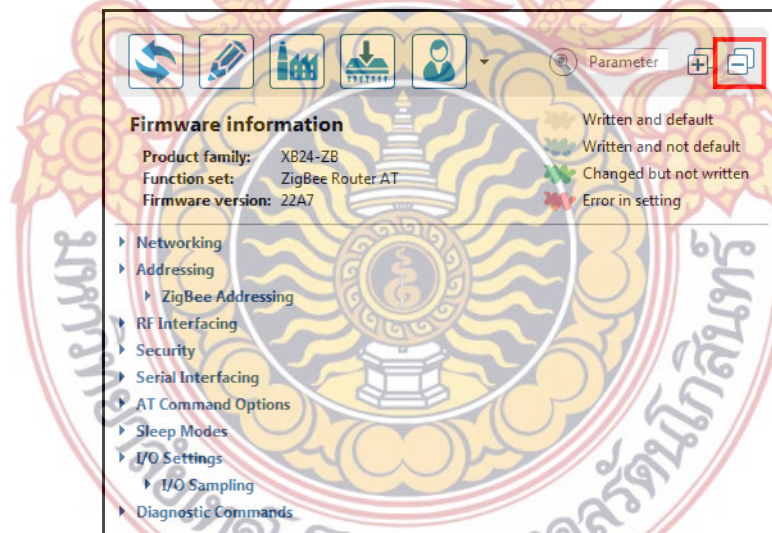
ภาพที่ 83 โปรแกรมอ่านค่าโมดูล Xbee

11. จากนั้นที่ด้านขวาของหน้าต่างโปรแกรม ที่หัวข้อ Radio Configuration จะแสดงค่า Parameter Xbee ต่างๆ



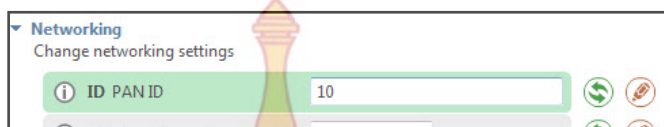
ภาพที่ 84 โปรแกรมแสดงค่า Parameter Xbee

12. กดปุ่ม Collapse All Setting Section เพื่อแสดงเฉพาะหัวข้อใหญ่เท่านั้น



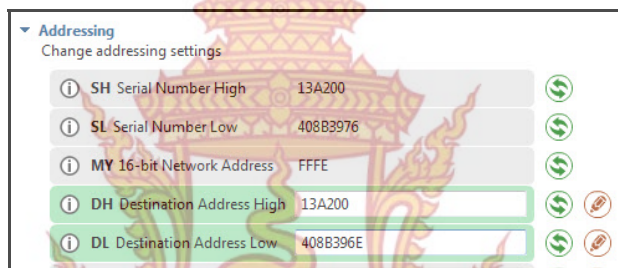
ภาพที่ 85 โปรแกรมแสดงหัวข้อใหญ่

13. ไปที่ หัวข้อ Networking >> PAN ID (Personal Area Network identifier) หมายเลข ID ของ Network ที่ Xbee ใช้ ในตัวอย่างนี้กำหนดเป็น 10



ภาพที่ 86 กำหนดค่า PAN ID ของเครือข่าย Xbee ที่ใช้

14. ไปที่ หัวข้อ Addressing >> Destination Address High, Destination Address Low กำหนด Serial Number Xbee ที่ต้องการติดต่อ ในตัวอย่างนี้ กำหนดเป็น DH เป็น 13A200 ,DL เป็น 408B396E



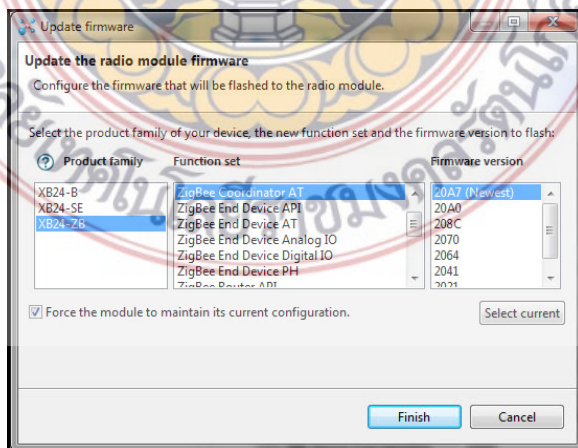
ภาพที่ 87 กำหนดค่า Serial Number Xbee ที่ต้องการติดต่อ

15. ทำการ Update Firmware



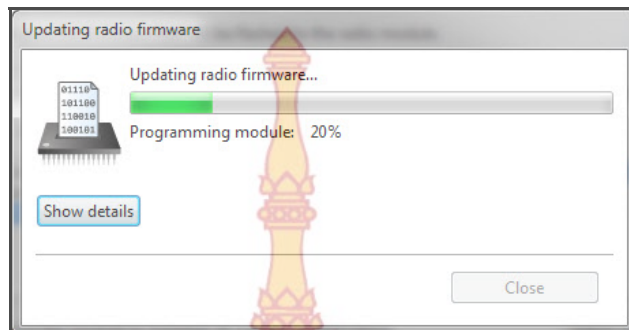
ภาพที่ 88 กดปุ่ม Update Firmware

16. เลือกรุ่น (Product family) ของ Xbee เป็น XB24-ZB ที่ช่อง Function set กำหนดให้ Xbee เป็น Coordinator โหมตการสื่อสารแบบ AT และเลือก Version เป็นรุ่นล่าสุด (20A7)



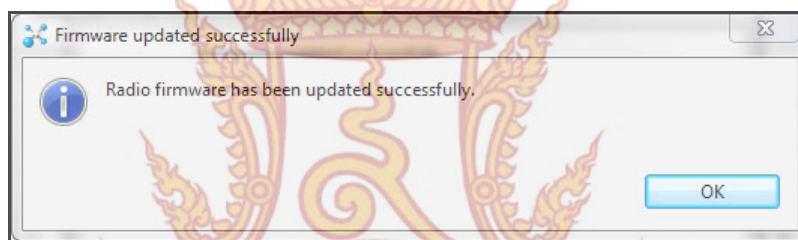
ภาพที่ 89 เลือกรุ่น (Product family) ของ Xbee

17. รอซึ่กครู่ โปรแกรมจะทำการอัปเดต Firmware และเซต Parameter ตามที่เราได้กำหนดไว้ก่อนหน้า



ภาพที่ 90 โปรแกรมจะทำการอัปเดต Firmware และเซต Parameter ตามที่กำหนด

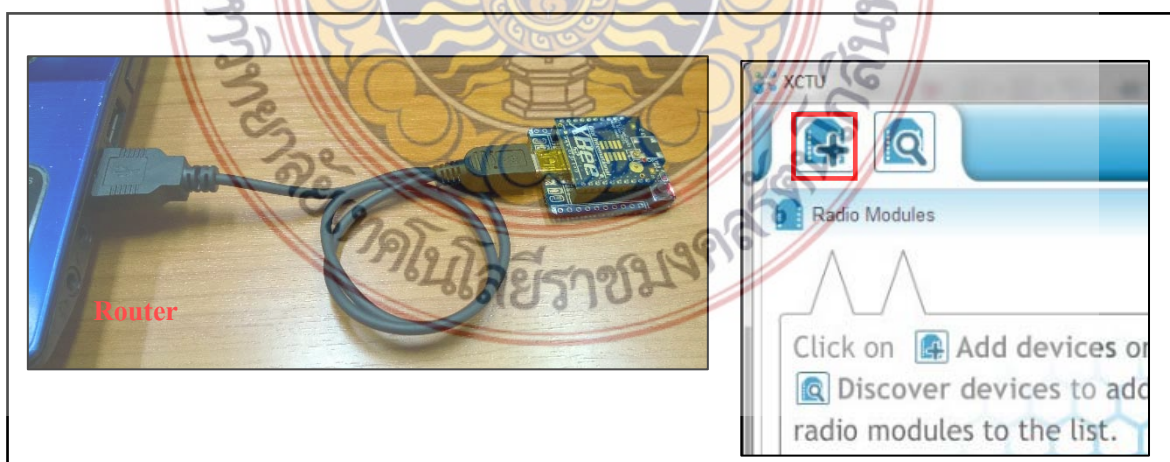
18. ถ้าการอัปเดตสำเร็จ โปรแกรมจะแสดงข้อความ “Radio firmware has been update successfully”



ภาพที่ 91 เสร็จทำการอัปเดตโปรแกรม Xbee ที่เป็น Coordinator

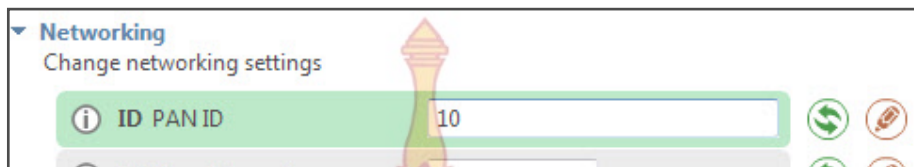
เสร็จขั้นตอนการเซตโมดูล Xbee เป็น Coordinator ต่อไปเซต Xbee อีกตัวเป็น Router ดังนี้

19. ถอด Xbee ที่เซตเป็น Coordinator แล้วใส่ Xbee ที่ต้องการเซตเป็น Router เข้าไปแทน ค้นหาโมดูลเช่นเดิม



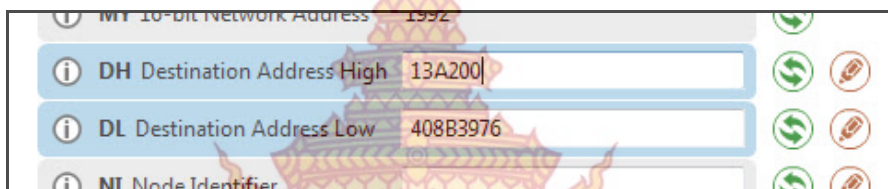
ภาพที่ 92 ทำการตั้งค่า Xbee ที่ต้องการเซตเป็น Router

20. ไปที่ หัวข้อ Networking >> PAN ID กำหนดค่าเดียวกับ Coordinator ในตัวอย่างนี้กำหนดเป็น 10



ภาพที่ 93 ตั้งค่า PAN ID ให้เป็นค่าเดียวกับ Coordinator

21. ในหัวข้อ Addressing หัวข้อ DH ,DL กำหนดเลข Serial Number ของ Xbee Router ลงไป



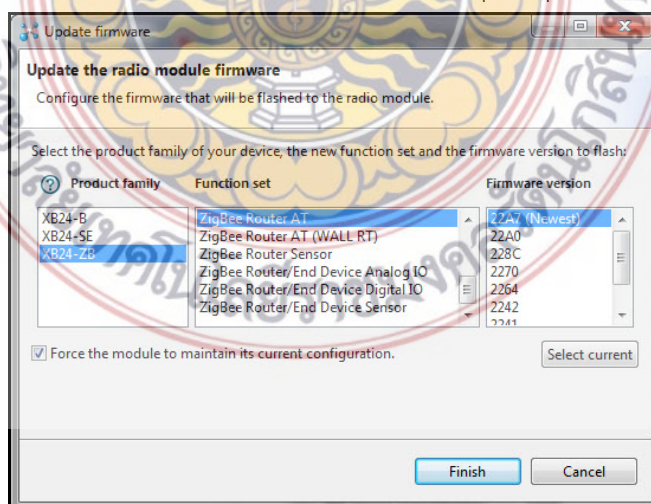
ภาพที่ 94 กำหนดค่า Serial Number ของ Xbee Router

22. ทำการ Update Firmware



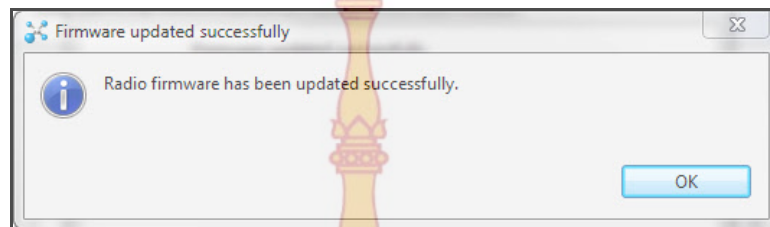
ภาพที่ 95 กดปุ่ม Update Firmware

23. เลือกรุ่น (Product family) ของ Xbee เป็น XB24-ZB ที่ช่อง Function set กำหนดให้ Xbee เป็น Router โหมดการสื่อสารแบบ AT และเลือก Version เป็นรุ่นล่าสุด (20A7)



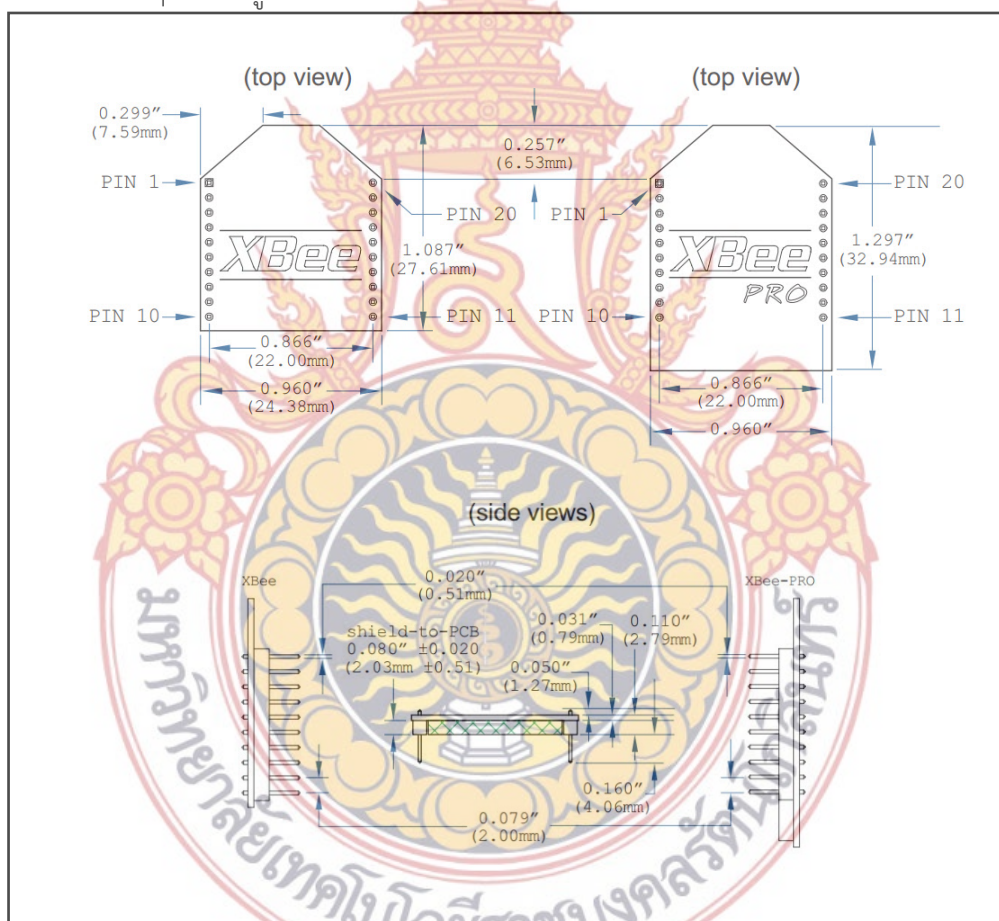
ภาพที่ 96 เลือกรุ่น (Product family) ของ Xbee

24. ถ้าการอัปเดตสำเร็จ โปรแกรมจะแสดงข้อความ “Radio firmware has been update successfully” เสร็จขั้นตอนการเซตโมดูล Xbee เป็น Router



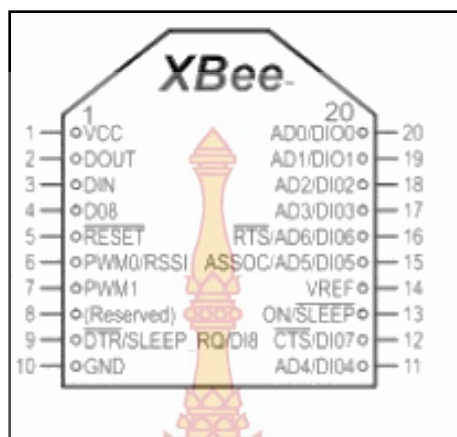
ภาพที่ 97 เสร็จทำการอัปเดตโปรแกรม Xbee ที่เป็น Router

ขนาดและขาต่างๆ ของโมดูล Xbee



ภาพที่ 98 ขนาดของโมดูล Xbee

ขนาดของโมดูล Xbee มาตรฐานกว้าง 24.38 mm ยาว 27.61 mm มีขาเชื่อมต่อ 20 ขา แต่ระยะห่างกัน 2.00 mm แต่ถ้าใน Xbee รุ่น Pro ความยาวของโมดูลจะกว้างขึ้นเป็น 32.94 mm แต่ตำแหน่งและจำนวนของขาเท่าเดิม



ภาพที่ 99 ตำแหน่งขา(Pin) ของโมดูล Xbee

รายละเอียดขาต่างๆของ Xbee มีดังนี้

ขาที่	ชื่อ	หน้าที่
1	VCC	ขาไฟ 3.3 V
2	DOUT	ขา Tx ของพอร์ต Serial โมดูล Xbee
3	DIN	ขา Rx ของพอร์ต Serial โมดูล Xbee
4	DO8	ขา 8 พอร์ต Digital Output
5	RESET	ขา Reset (โดยสัญญาณจะต้องเป็น Low ไม่ต่ำกว่า 200 ns)
6	PWM0(RSSI)	ขา 0 พอร์ตสัญญาณ PWM หรือขา RSSI (RX Signal Strength Indicator) ขาแสดงความแรงของสัญญาณที่รับได้
7	PWM1	ขา 1 พอร์ตสัญญาณ PWM
8	(Reserved)	ไม่ใช่
9	DTR/SLEEP/DI8	ขาสั่งให้ Xbee เข้าโหมด Sleep หรือขา 8 พอร์ต Digital Input
10	GND	ขากาวด์
11	AD4/DIO4	ขา 4 ของพอร์ตอ่านสัญญาณอนาล็อก หรือขา 4 พอร์ต Digital Input/output
12	CTS/DIO7	ขา CTS (Clear-To-Send Flow Control) หรือ หรือขา 7 พอร์ต Digital Input/output
13	ON/SLEEP	ขาแสดงสถานะ Xbee อยู่ในโหมด On(ทำงาน) หรือโหมด Sleep (หลับ)
14	VREF	ขาแรงดันอ้างอิง สำหรับอ่านสัญญาณอนาล็อก
15	ASSOC/AD5/DIO5	ขา Associated หรือ ขา 4 ของพอร์ตอ่านสัญญาณอนาล็อก หรือขา 5 พอร์ต Digital Input/output








รายละเอียดขาต่างๆของ Xbee มีดังนี้ (ต่อ)

ขาที่	ชื่อ	หน้าที่
16	RTS/AD6/DIO6	ขา RTS (Request to Send) หรือ ขา 6 ของพอร์ตอ่านสัญญาณอนาล็อก หรือขา 6 พอร์ตDigital Input/output
17	AD3/DIO3	ขา 3 ของพอร์ตอ่านสัญญาณอนาล็อก หรือขา 3 พอร์ตDigital Input/output
18	AD2/DIO2	ขา 2 ของพอร์ตอ่านสัญญาณอนาล็อก หรือขา 2 พอร์ตDigital Input/output
19	AD1/DIO1	ขา 1 ของพอร์ตอ่านสัญญาณอนาล็อก หรือขา 1 พอร์ตDigital Input/output
20	AD0/DIO0	ขา 0 ของพอร์ตอ่านสัญญาณอนาล็อก หรือขา 0 พอร์ตDigital Input/output

10. ประเภทของโมดูล Xbee












ประเภทของ Xbee แบ่งออกตามรุ่นที่ผู้ผลิตกำหนด โดยแต่ละรุ่นจะมี คุณสมบัติที่ต่างออกไป เช่น Xbee DigiMesh 2.4 , Xbee ZB, Xbee-PRO XSC เป็นต้น การเชื่อมต่อ Xbee ในเครือข่ายเดียวกัน ต้องใช้ Xbee รุ่นเดียวกัน ซึ่งแต่ละรุ่น ก็จะมีรุ่นย่อยที่มีกำลังส่งหรือใช้สายอากาศต่างกัน เช่น Xbee-PRO DigiMesh 2.4, Xbee-PRO ZB รุ่นย่อยเหล่านี้ก็ยังสามารถสื่อสารกับรุ่นที่มีกำลังส่งต่ำกว่าหรือสูงกว่าได้ เช่นรุ่น Xbee ZB สามารถสื่อสารได้กับ Xbee-PRO ZB หรือ Xbee-PRO ZB Wire Antena แต่ไม่สามารถสื่อสารได้กับ Xbee-PRO XSC มีรายละเอียดดังนี้

1. Xbee 802.15.4 (หรือเรียกว่า Xbee Series 1) เป็นโมดูล Xbee 802.15.4 ใช้ความถี่ 2.4 GHz บนมาตรฐาน IEEE 802.15.4 แต่ไม่มีชั้น Stack Layer ของ Zigbee อยู่ การเชื่อมต่อแบบ Mesh จึงใช้ firmware ของทาง Digi ชื่อว่า DigiMesh โดยใน Series 1 ก็จะแบ่งรุ่นตามกำลังส่ง ดังนี้

ภาพ	ชื่อ	เสาอากาศ	ระยะ *(Line-of-Sight)	กำลังส่ง	แรงดัน และ กระแส	อุปกรณ์ต่อเพิ่ม
	Xbee 1mW PCB Antenna	PCB Antenna	100 m	1mW	3.3V @ 50mA	
	Xbee 1mW Wire Antenna	Wire Antenna	100 m	1mW	3.3V @ 50mA	
	Xbee Pro 60mW Wire Antenna	Wire Antenna	1500 m	60mW	3.3V @ 215mA	
	Xbee Pro 60mW U.FL Connectio n	U.FL Connectio n	1500 m	60mW	3.3V @ 215mA	 +  OR 

*ระยะ (Line-of-Sight) เป็นระยะที่ทำได้ ขึ้นอยู่กับ สภาพแวดล้อมของระบบ และ สายอากาศที่ใช้ เนื่องจากความถี่ 2.4 GHz เป็นย่านความถี่สูง อัตราการลดทอนสัญญาณจะสูง และ สิ่งกีดขวางจะมีผลอย่างมากกับระยะทางที่ใช้งานได้

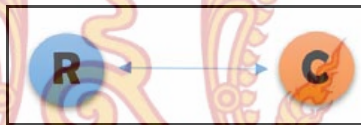
- Series 2 (หรือเรียกว่า Xbee Series 2) เป็นโมดูล Xbee ใช้ความถี่ 2.4 GHz บนมาตรฐาน IEEE 802.15.4 บน Stack Layer ของ Zigbee โดยใน Series 2 ก็จะแบ่งรุ่นตามกำลังส่ง ดังนี้

ภาพ	ชื่อ	เสาอากาศ	ระยะ *(Line-of-Sight)	กำลังส่ง	แรงดันและกระแส
	Xbee 2mW PCB Antenna	PCB Antenna	120m	3.3V @ 40mA	
	Xbee Pro 50mW RPSMA	RPSMA	1600m	3.3V @ 295mA	
	Xbee 2mW RPSMA	RPSMA	120m	3.3V @ 40mA	
	Xbee Pro 60mW U.FL Connection	U.FL Connectio n	1500m	3.3V @ 215mA	
	Xbee 2mW U.FL Connection	U.FL Connectio n	120m	3.3V @ 40mA	
	Xbee 2mW Wire Antenna	Wire Antenna	120m	3.3V @ 40mA	
	Xbee Pro 50mW PCB Antenna	PCB Antenna	1600m	3.3V @ 295mA	

ภาพ	ชื่อ	เสาอากาศ	ระยะ *(Line-of-Sight)	กำลังส่ง	แรงดันและกระแส
	Xbee Pro 50mW Wire Antenna	Wire Antenna	1600m	3.3V @ 295mA	
	Xbee Pro 50mW	U.FL Connectio n	1600m	3.3V @ 295mA	 +  OR 

11. รูปแบบ Topology

11.1 แบบ Point to Point คือ การเชื่อมต่อแบบตัวต่อตัว โดยกำหนดให้ ตัวแรกเป็น Coordinator อีกตัวกำหนดเป็น Router



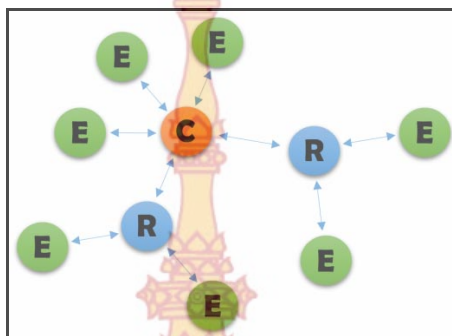
ภาพที่ 100 รูปแบบ Point to Point

11.2 แบบ Star (Broadcast) คือ การเชื่อมต่อแบบ Star หรือแบบ Broadcast เป็นการรับส่งข้อมูลแบบ ไม่เฉพาะเจาะจง จุดหมายปลายทางหรือ Xbee ทุกตัวที่อยู่ในระบบเครือข่ายเดียวกันสามารถส่งรับข้อมูลทุกข้อมูลได้ทุกตัว จะประกอบไปด้วย Xbee ที่ทำงานเป็น 2 รูปแบบ คือ แบบที่ 1 เป็น Coordinator ทำหน้าที่ สร้างเครือข่าย และ แบบที่ 2 เป็น End Device ทำหน้าที่ เป็นลูกข่าย



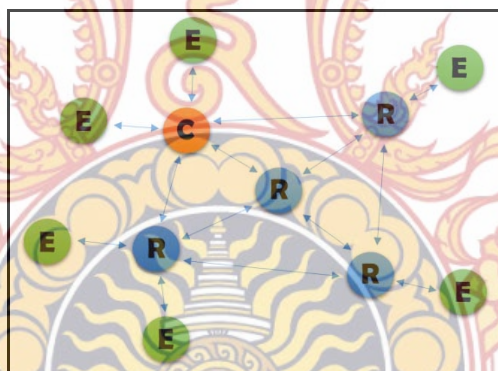
ภาพที่ 101 รูปแบบ Star (Broadcast)

11.3 แบบ Cluster Tree คือการรับส่งข้อมูล แบบ ส่งผ่าน เช่น A ต้องการติดต่อ กับ 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



ภาพที่ 102 รูปแบบ Cluster Tree

11.4 แบบ Mesh คือการเชื่อมต่อเครือข่ายแบบ Mesh เป็นโครงข่ายที่มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจาก ข้อมูลสามารถส่งไปถึงเป้าหมายได้หลายทาง ทำให้ ระบบนี้สามารถรับส่งข้อมูลไปยัง จุดหมายปลายทางได้ แม้จะเกิดความเสียหายของระบบในบางส่วนก็ตาม (ขึ้นอยู่กับ การออกแบบ ระบบของผู้ใช้ด้วย) ระบบนี้จึงเป็นระบบที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก



ภาพที่ 103 รูปแบบ Mesh

12. การเขียนโปรแกรมประยุกต์ติดต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม

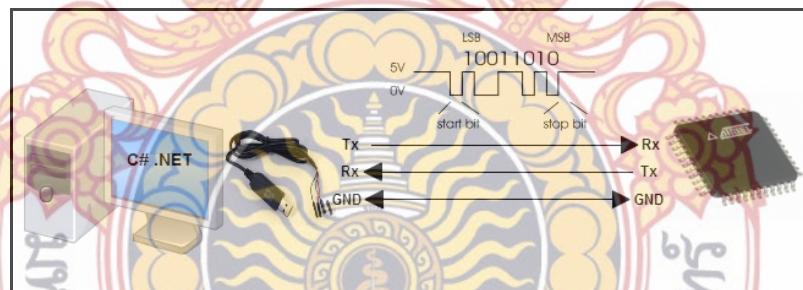
การเขียนโปรแกรมเพื่อดูข้อมูลผ่านทาง Serial Port Computer อาจจะใช้โปรแกรมที่ติดตั้งมากับระบบปฏิบัติการ Windows เช่น Hyper Terminal เป็นโปรแกรมสำเร็จภาพที่มีให้ดาวน์โหลดทางอินเทอร์เน็ต เช่น Putty หรือโปรแกรมติดต่อสื่อสารอื่น หากต้องการแค่ดูข้อมูลเพียงอย่างเดียว ก็คงเลือกใช้โปรแกรมเหล่านี้ได้ แต่กรณีที่มีความต้องการข้อมูลที่ได้รับมาไปประมวลผลต่อ หรือต้องการนำข้อมูลที่รับเข้ามาเป็นเงื่อนไขในการสั่งงาน ดังนั้นจำเป็นจะต้องสร้างโปรแกรมขึ้นมาใหม่เพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสารกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์เพื่อรับค่าจากไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วนำไปแสดงผลในประมวลผลข้อมูล

ดังนั้นต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาคอมพิวเตอร์ ภาษาใดภาษาหนึ่งเป็นอย่างน้อย ซึ่งในปัจจุบันภาษาคอมพิวเตอร์หลายๆ ภาษา มีความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับพอร์ตอนุกรม ไม่ว่าจะเป็น MATLAB, Python, Visual Studio.NET และ Lab View โปรแกรมเหล่านี้ล้วนแต่มีความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับพอร์ตอนุกรมที่เป็นไลบรารีเสริมที่มีการติดตั้งมากับภาษาเหล่านี้อยู่แล้ว

การติดต่อสื่อสารกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ด้วยภาษา C#.NET ที่ตอบโจทย์เกี่ยวกับ Windows Programming ได้ค่อนข้างครอบคลุม และยังเข้ากันได้กับ Windows เป็นอย่างดี หากใครสนใจที่จะเขียนด้วย Python ติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ผ่านทาง Serial Port Computer ก็ยังคงต้องแนะนำให้รู้จักกับ Serial Port Computer กันก่อน ซึ่งในปัจจุบันอาจจะหายากแล้วในคอมพิวเตอร์บางเครื่อง คงจะมีพอร์ต USB เข้ามาแทน แต่เราก็คงยังสามารถที่จะใช้ USB to TTL cable ที่มีขายอยู่ทั่วไป มาทดแทนกันได้ ขอเพียงมี Driver รองรับติดตั้งไว้ที่เครื่องคอมพิวเตอร์ของเรา ก็จะทำให้ Windows มองเห็นเป็นเสมือนพอร์ตอนุกรม พอร์ตหนึ่งเหมือนกัน

การทำงานแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ด้วยกัน ก็คือ

1. งานทางฝั่ง PC ได้แก่การเขียนโปรแกรมด้วย C#.NET ติดต่อกับ Serial Port
2. งานทางฝั่ง MCU ด้วยการเปิดการใช้งาน USART module เพื่อรอรับ/ส่งข้อมูล
3. รูปแบบของการสื่อสาร



ภาพที่ 104 รูปแบบการทำงานของพอร์ตอนุกรม

จากภาพที่ 58 จะเห็นว่า PC จะส่งข้อมูลออกทาง Tx (อ้างอิงตามสายแปลง USB to TTL Cable) ไปยังขา Rx ที่เป็นขา USART Module ทำหน้าที่รับข้อมูล และขา Tx ของไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งข้อมูลกลับมาที่ Rx ที่ฝั่งคอมพิวเตอร์และกราวด์ทั้งสองฝั่งต่อถึงกัน ซึ่งเป็นการต่อแบบ Null Modem Without Handshaking ขั้นตอนแรกจัดการกับฝั่ง PC ก่อน ด้วยการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C#.NET ของบริษัทไมโครซอฟท์ ซึ่งในเวอร์ชัน Express edition นั้นเพียงพอสำหรับการเขียนโปรแกรม การสร้างหน้าต่าง GUI (Graphic User Interface) และติดต่อกับพอร์ต Serial จากการติดตั้งโปรแกรมพัฒนา C# ด้วยโปรแกรม Microsoft Visual C# 2008 Express ขึ้นไป จากนั้นเตรียมสายแปลง USB to TTL เป็นสายสำหรับแปลงพอร์ต USB ให้เป็น Serial Port

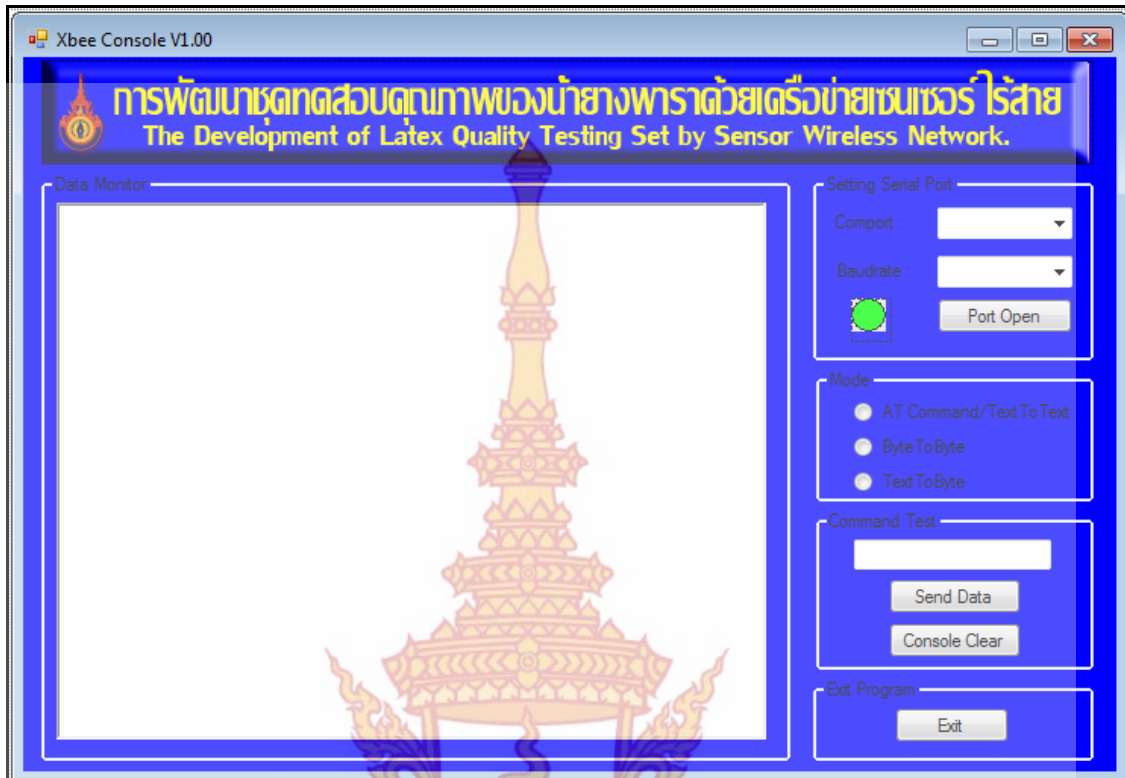
ที่คอมพิวเตอร์มองเห็น แต่ระดับสัญญาณอยู่ในช่วง TTL logic ดังนั้นไม่จำเป็นต้องใช้ IC Driver อย่างเช่น MAX232

การเขียนโปรแกรมประยุกต์ C# ติดต่อกับ Serial Port Computer การเขียนโค้ด C# เพื่อติดต่อกับ Serial Port Computer ควรศึกษารูปแบบข้อมูล (Protocol) ที่จะเขียนติดต่อกันระหว่าง Computer กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่ถ้าไม่ระบุรูปแบบการติดต่อข้อมูลทั้งสองฝั่ง ก็จะไม่สามารถออกแบบโปรแกรมที่ติดต่อกันได้

รูปแบบการสื่อสาร หรือที่เรียกว่า โพรโตคอล หากต้องการสื่อสารกันให้เข้าใจ ก็ต้องมีการกำหนดรูปแบบการสื่อสารให้สามารถเข้าใจได้ทั้งสองฝ่าย ถ้าฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งไม่รู้จักภาษาของอีกฝ่ายหนึ่งก็ต้องสื่อสารกันด้วยภาษากลาง ในทำนองเดียวกันไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการจะสื่อสารให้เข้าใจในสิ่งที่คอมพิวเตอร์ส่งออกมา ก็ต้องมีการตกลงการกำหนดรูปแบบการสื่อสารก่อน ในที่นี้จะใช้สัญลักษณ์ตัวอักษรเป็นตัวบ่งบอก รูปแบบของภาษาที่จะสื่อสารกัน

ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการอ่านค่าสัญญาณแรงดันไฟตรงผ่านทางช่อง ADC แล้วทำการส่งค่าที่อ่านได้ไปที่โปรแกรมเขียนด้วย Visual C# ที่อยู่บนคอมพิวเตอร์ทำการอัปเดตค่าบนหน้าจอ จากนั้นที่หน้าต่างของโปรแกรมที่เขียนขึ้น จะมีปุ่ม Button ให้กด เมื่อกดปุ่มไหน ให้ส่งค่ามาบอกที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นให้ LED ติดตามตำแหน่งปุ่มที่กด

ในส่วนของการติดต่อสื่อสารกับ Serial Port นั้น มีรูปแบบการติดต่อสื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ Asynchronous เป็นการสื่อสารแบบไม่ต้องอาศัยสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการสื่อสาร สายข้อมูลจะไม่มีสายสัญญาณเส้นใดที่เป็นสาย Clock เลยมีเพียงสาย Rx, Tx และ Gnd เท่านั้น ดังนั้นต้องมีส่วนของ Baud rate, Parity bit, Stop bit เข้ามาเกี่ยวข้องเพื่อเป็นตัวที่ใช้แปลงข้อมูลที่ได้รับมา ต่างฝ่ายต่างนำข้อมูลไปแปลตีความหมายกันเอง โดยอาศัยว่าข้อมูลที่ถูส่งออกมา มีรูปแบบเหมือนกันทั้งสองฝั่ง มี Baud rate, Parity bit, Stop bit เหมือนกัน ในที่นี้เพื่อไม่ให้ได้ตีความผิดใหญ่เกินไป ทั้งฝ่ายโปรแกรมบน PC และโปรแกรมบน MCU จะต้องกำหนดค่าเหล่านี้ให้ตรงกัน ข้อมูลที่รับมาจึงจะสามารถตีความหมายได้



ภาพที่ 105 หน้าจอโปรแกรมอินเตอร์เฟซด้วยภาษา C#

โค้ด C# กัน เริ่มจาก using System.IO.Ports; เพื่อจะสร้างออบเจกต์ Serial Port จาก Class Serial Port เมื่อได้ using แล้ว จึงสามารถที่จะสร้างออบเจกต์ได้

```
serial = new SerialPort(comportComboBox.SelectedItem.ToString(), 9600,
Parity.None, 8, StopBits.One);
```

จะเห็นว่ารับค่า Comport Name จาก comportComboBox.SelectedItem.ToString() ส่วน Baud Rate กำหนดค่าลงไป ใน Code เลย ในที่นี้คือ 9,600 bps. และให้ Parity bit เป็น None ให้ Data Bit มีความยาว 8 บิต และมี Stop Bit เท่ากับ 1 ค่าเหล่านี้จะต้องตรงกันทั้งโปรแกรมที่เขียนด้วย C# และโปรแกรมที่เขียนให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วทำการเพิ่ม Event Handler ให้กับออบเจกต์เพื่อแยกโค้ดไปเขียนการรับค่าทาง Serial Port

```
serial.DataReceived += new SerialDataReceivedEventHandler(serial_DataReceived);
//พิมพ์ serial.DataReceived += แล้วกด Tab 2 ครั้ง โปรแกรม Visual C# ide ด้วยการสร้าง Method serial_DataReceived ให้อัตโนมัติ
```

ใน Method serial_DataReceived เพิ่ม โค้ดจัดการสตริงที่อยู่ใน Buffer ของ Serial Port ข้อมูลที่รับมา โปรแกรมจะมองเห็นเป็นข้อมูลที่อยู่ในรูป String ที่ติดกัน จึงทำให้มีข้อมูลมาค้างอยู่ทางฝั่ง MCU มองเห็นข้อมูลเป็น String เหมือนกัน


```

void serial_DataReceived(object sender, SerialDataReceivedEventArgs e)
{
    string d = serial.ReadLine();
    int intBegin = d.IndexOf("#");
    int intEnd = d.IndexOf("*");
    int length = intEnd - (intBegin+1);
    char[] ch = { ',' };
    raw = d;
    data = d.Substring(intBegin + 1, length).Split(ch);
    this.BeginInvoke(new updateAnalogLabel(updateLabel));
}

```

ใน Serial_DataReceived() นี้ ทำตามเงื่อนไขที่ได้ตกลงกันไว้ก่อนหน้านี้ ก็คือ ทาง MCU จะส่งข้อมูลกลับมาที่ PC ในรูปแบบ #ADC1,ADC2,ADC3* ดังนั้นการหาตำแหน่งข้อมูลเริ่มต้นและสิ้นสุดก่อน จากนั้นจึงทำการแยกข้อมูลที่เหลือ (ADC1,ADC2,ADC3) ด้วยการแยกข้อมูลออกด้วยตัวแยก comma นำข้อมูลไปเก็บใน ตัวแปร Array ที่ชื่อ data

ส่วนการอัปเดตตัวเลขที่ได้รับมาไปที่ Control ต่างๆ บนฟอร์มนั้น ต้องอาศัย Delegate ฟังก์ชันจัดการในส่วนนี้ เพราะระหว่างที่รับข้อมูลอยู่นั้น ไม่มีส่วนไหนของโปรแกรมไปอัปเดตข้อมูลบนฟอร์มเลย จึงต้องพึ่ง Delegate เพื่อทำ Callback ฟังก์ชัน

```

private delegate void updateAnalogLabel();
private void updateLabel()
{
    analog1Label.Text = data[0];
    analog2Label.Text = data[1];
    analog3Label.Text = data[2];
    serialRecieveTextBox.AppendText(raw);
}

```

สังเกตใน serial_DataReceived() มีการเรียก updateAnalogLabel() ในส่วนของการส่งข้อมูลออกจากโปรแกรมไปทาง Serial Port โปรแกรม C# จะทำการส่งสถานะการกดปุ่มบนฟอร์มเพื่อไปบอกให้ MCU ขับหลอด LED ซึ่งรูปแบบข้อมูลที่กำหนดไว้

ดังนี้ #Button1, Button2, Button3* ซึ่งในส่วนของการส่งข้อมูลออกก็ดักจับ Event ที่กดปุ่มแล้วก็เรียกฟังก์ชัน serial.writer() ได้คือการส่งข้อมูลออก Serial Port กัน

```
private void sendStateButton() {  
    string s = "#" + Convert.ToInt32(stateButton1.ToString() + "," +  
    Convert.ToInt32(stateButton2.ToString() + "," +  
    Convert.ToInt32(stateButton3.ToString() + "*");  
    if (serial != null) {  
        if (serial.IsOpen) {  
            serial.Write(s);  
        }  
    }  
}
```

ข้อมูลที่วิ่งเข้าออก Serial Port เป็นแค่สตริงเพราะฉะนั้นจึงต้องทำการแปลงให้ข้อมูลให้เป็นสตริงก่อน แล้วนำมาต่อกันให้เป็นข้อมูลยาวแล้วก็เขียนออกไปที่ Serial Port



บทที่ 4

ผลการดำเนินการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยการพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราด้วยเครื่องข่ายเซนเซอร์ไร้สายได้ผลการทดลองเปรียบเทียบกับ การทดสอบโดยใช้แท่งเมโทรแลคทำการทดสอบขั้นตอนการเก็บผลการดำเนินการวิจัย มีดังต่อไปนี้

1. ทดสอบและวิเคราะห์ชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราด้วยเครื่องข่ายเซนเซอร์ไร้สาย
2. การเปรียบเทียบผลการทดลองของน้ำยางพาราแต่ละพันธุ์ด้วยแท่งเมโทรแลค
3. การเปรียบเทียบผลการทดลองของน้ำยางพาราแต่ละพันธุ์ด้วยชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมา
4. การวัดค่าความแม่นยำ (Accuracy) เปรียบเทียบผลการทดลองของน้ำยางพาราแต่ละพันธุ์ด้วยแท่งเมโทรแลคกับชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมา
5. การวัดค่าความเที่ยงตรง (Reproducibility) เปรียบเทียบผลการทดลองของน้ำยางพาราแต่ละพันธุ์ด้วยแท่งเมโทรแลคกับชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมา
6. ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้ชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่พัฒนาขึ้น

1. ทดสอบและวิเคราะห์ชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราด้วยเครื่องข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

การออกแบบการทดลองเพื่อพิสูจน์แนวความคิดของงานวิจัยนี้ ด้วยการเปรียบเทียบระหว่างการวัดค่าปริมาณเนื้อยางพาราแบบเก่าที่ใช้แท่งเมโทรแลคกับการวัดปริมาณเนื้อยางโดยใช้ชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่พัฒนาขึ้น โดยทำการทดลองเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำยางพารา 2 พันธุ์ ได้แก่ RRIM600 และ RRIT251 ที่ได้จากองค์การบริหารส่วนตำบลบ้านค่าย อำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง

การวัดคุณภาพน้ำยางพาราชนิด RRIM600 และ RRIT251 ด้วยแท่งเมโทรแลค แสดงตามภาพที่ 106 และ 107 แล้วทำการบันทึกผลการทดลองคุณภาพน้ำยางพาราแต่ละพันธุ์ เปรียบเทียบกับผลการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของเซนเซอร์ที่วัดคุณภาพน้ำยางพาราด้วยโอห์มมิเตอร์และการวัดค่าอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์ของน้ำยางพาราทั้งชนิดพันธุ์ RRIM600 และ RRIT251 ที่วัดค่าได้จำนวนชนิดละ 10 จำนวนตัวอย่าง ในการวัดคุณภาพน้ำยางพาราแต่ละครั้งให้ทำการบันทึกข้อมูลที่วัดได้ลงไป ในตารางบันทึกค่าแต่ละพันธุ์ของน้ำยางพาราที่ได้ทำการวัด โดยทำการทดสอบวัดคุณภาพน้ำยางพาราจากแท่งเมโทรแลคก่อนทำการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของเซนเซอร์ที่วัดคุณภาพน้ำยางพาราและอุณหภูมิของน้ำยางพาราชนิด RRIM600 และชนิด RRIT251 ด้วยโอห์มมิเตอร์ ดังแสดงตามภาพที่ 108 และ 109



ภาพที่ 106 การวัดคุณภาพน้ำยางพาราชนิด RRIM600 ด้วยแท่งเมโทรแลค



ภาพที่ 107 การวัดคุณภาพน้ำยางพาราชนิด RRIT251 ด้วยแท่งเมโทรแลค



ภาพที่ 108 การวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของเซนเซอร์วัดคุณภาพน้ำยางพาราชนิด RRIM600 ด้วยโอห์มมิเตอร์



ภาพที่ 109 การวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของเซนเซอร์วัดคุณภาพน้ำยางพาราชนิด RRIT251 ด้วยโอห์มมิเตอร์

ขั้นตอนการทดสอบชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมา มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

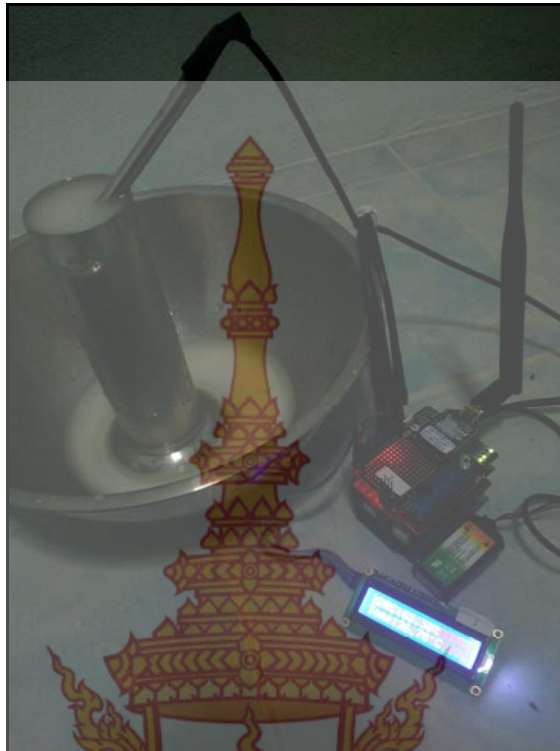
1. ทำการจุ่มเซนเซอร์วัดคุณภาพน้ำยางพาราลงไปในตัวอย่างน้ำยางพาราอีกประมาณ 10 เซนติเมตร เพื่อวัดความคุณภาพน้ำยางพารา (%DRC) ของน้ำยางพาราแต่ละชนิดด้วยชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นเอง ทดลองวัดคุณภาพน้ำยางพาราชนิด RRIM600 แสดงตามภาพที่ 110 และชนิด RRIT111 แสดงตามภาพที่ 113
2. ตั้งค่า Zigbee ในแต่ละโหนดเป็นแบบ Zigbee Router AT ด้วยโปรแกรม X-CTU กำหนดค่า PAN ID ให้เป็นเลขชุดเดียวกัน (ทดลองตั้งค่าเป็น 10) จากนั้นระบุค่า Destination Address High (DH) และ Destination Address Low (DL) ตามค่าของ Zigbee Coordinator AT ที่ระบุมาจากโรงงานผู้ผลิต
3. ต่อแบตเตอรี่แล้วเปิดสวิตช์ เพื่อทดสอบการทำงานของการทำงานการวัดคุณภาพน้ำยางพารา สังเกตที่จอ LCD จะพบค่าความชื้น (Humid) และค่าอุณหภูมิ (Temp.) เปลี่ยนแปลงตามค่าที่ได้รับมาจากเซนเซอร์วัดคุณภาพน้ำยางพารา ดังแสดงตามภาพที่ 112
4. โหนดศูนย์กลางที่เป็น Coordinator ที่ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ (PC) ตามภาพที่ 103 ให้ตั้งค่า Zigbee เป็นแบบ Zigbee Coordinator AT ด้วยโปรแกรม X-CTU พร้อมกำหนดค่า PAN ID ให้เป็นเลขชุดเดียวกัน (ทดลองตั้งค่าเป็น 10) จากนั้นระบุค่า Destination Address High (DH) เป็น 0 และ Destination Address Low (DL) เป็น FFFF เพื่อให้สามารถรับค่าได้จากทุกๆ โหนดที่รับค่าได้จากเซนเซอร์วัดคุณภาพน้ำยาง แสดงตามภาพที่ 113
5. จากนั้นเลือก Com port ที่ Serial setting port โดยเลือกพอร์ตที่ Zigbee Coordinator ต่ออยู่ หากไม่ทราบ Zigbee Coordinator ต่ออยู่กับพอร์ตไหนอยู่ สามารถตรวจสอบได้ โดยการคลิกขวาที่ My Computer ต่อไปให้ไปที่ Properties จากนั้นไปที่ Device manager และไปที่ Port ก็จะพบว่าอุปกรณ์ Zigbee Coordinator อยู่กับพอร์ตไหน เมื่อทราบพอร์ตแล้วให้เลือก Com port และตั้ง Baudrate เป็น 9,600 bps ตามที่ระบุไว้ในโปรแกรม พร้อมทั้งเลือกโหมดเป็น AT Command/Text to Text แล้วกดปุ่ม Port Open แสดงตามภาพที่ 114
6. รอประมาณ 1 นาที รับค่าที่ส่งมาจากโหนดเซนเซอร์วัดความชื้นจะถูกตั้งค่าให้อ่านโดยอัตโนมัติในทุกๆ 1 นาที และจะได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดิน (%) และอุณหภูมิ(°C) พร้อมแสดงวันเวลาที่รับค่าได้จากโหนดแต่ละตัว แสดงผลออกทางช่อง Data Monitor ค่าที่ได้รับจากการส่งผ่านเครือข่ายไร้สาย Xbee ด้วย IEEE802.15.4 จะแสดงผลการวัดคุณภาพน้ำยางพาราชนิด RRIM600 แสดงตามภาพที่ 115 และชนิด RRIT251 แสดงตามภาพที่ 116

7. ทำการตรวจสอบค่าคุณภาพน้ำยางพาราและค่าอุณหภูมิที่รับมาจากเซนเซอร์วัดคุณภาพน้ำยางพาราในโปรแกรม X-CTU จากโรงงานผู้ผลิต เป็นค่ามาตรฐานเพื่อเปรียบเทียบค่าที่แสดงจากโปรแกรมที่เขียนไว้ ตามภาพที่ 117



ภาพที่ 110 การทดลองวัดคุณภาพน้ำยางพาราชนิด RRIM600 ด้วยชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นเอง

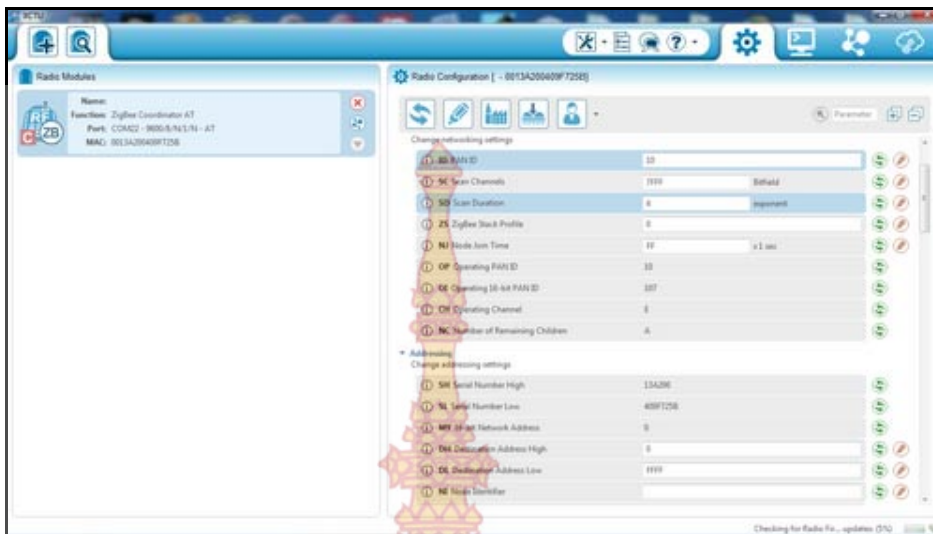




ภาพที่ 111 การทดลองวัดคุณภาพน้ำยางพาราชนิด RRIT251 ด้วยชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นเอง



ภาพที่ 112 จอ LCD ที่แสดงค่าคุณภาพน้ำยางพารา(%DRC) และอุณหภูมิในตัวอย่างน้ำยางพาราที่ทำการทดลอง



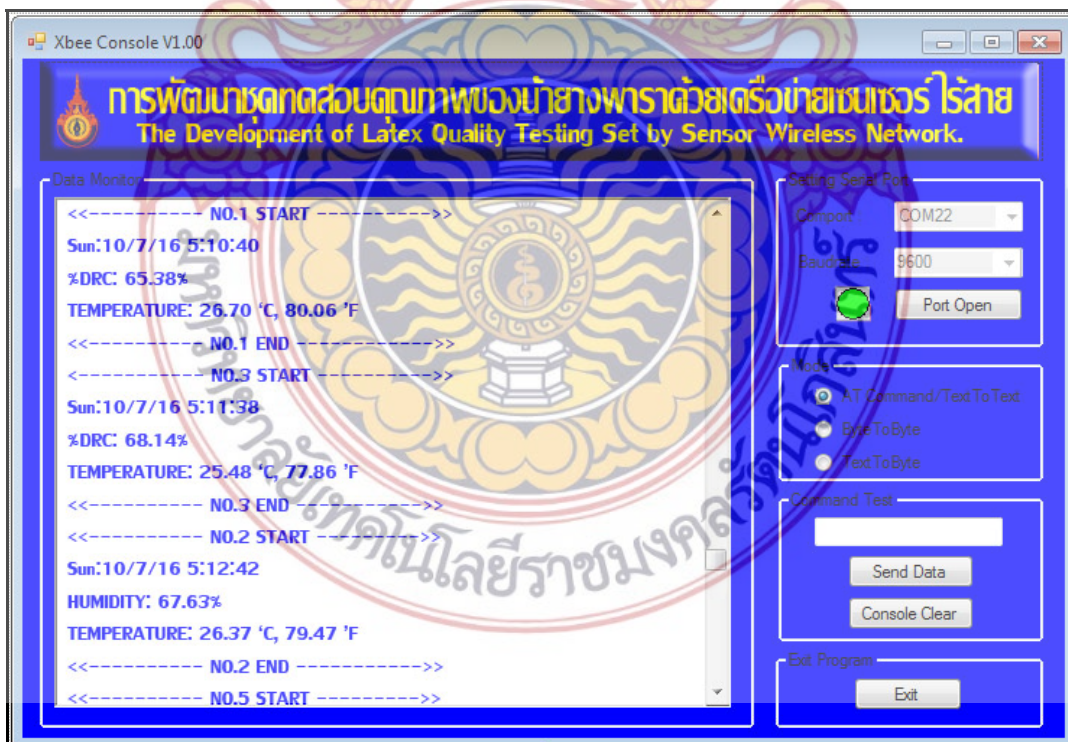
ภาพที่ 113 การตั้งค่าใน Zigbee Coordinator AT จากโปรแกรม X-CTU



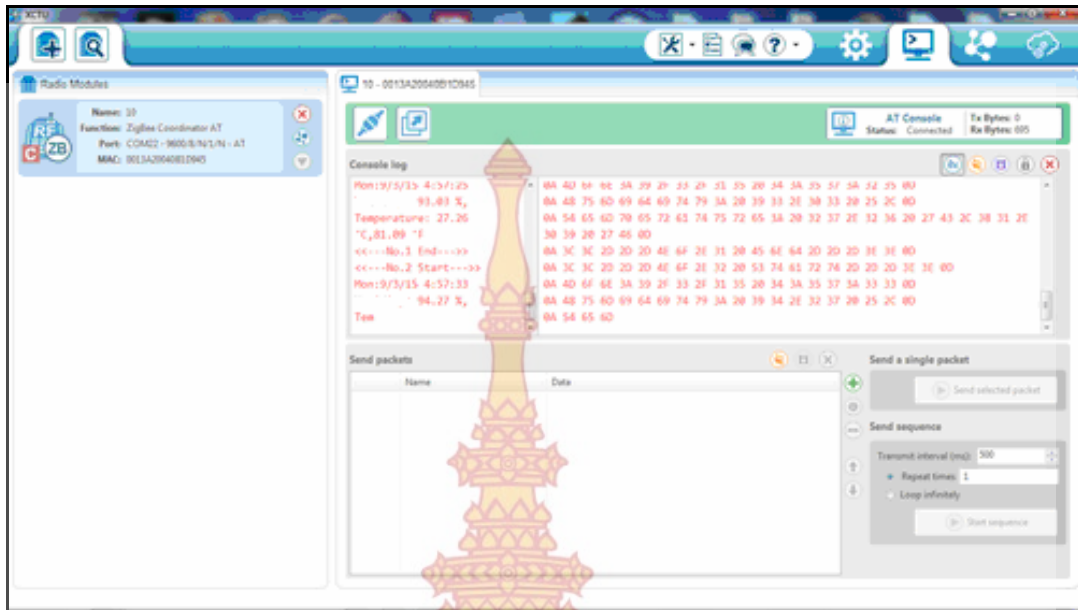
ภาพที่ 114 การตั้งค่า Com port, Baudrate และ Mode ก่อนเปิดพอร์ต



ภาพที่ 115 การทดลองวัดคุณภาพน้ำยางพาราชนิด RRIM600 ด้วย GUI ผ่านเครือข่ายไร้สาย Xbee ที่เขียนโปรแกรมด้วยภาษา C#



ภาพที่ 116 การทดลองวัดคุณภาพน้ำยางพาราชนิด RRIT251 ด้วย GUI ผ่านเครือข่ายไร้สาย Xbee ที่เขียนโปรแกรมด้วยภาษา C#



ภาพที่ 117 การแสดงผลค่าคุณภาพน้ำยางพาราและค่าอุณหภูมิด้วยโปรแกรม X-CTU มาตรฐาน

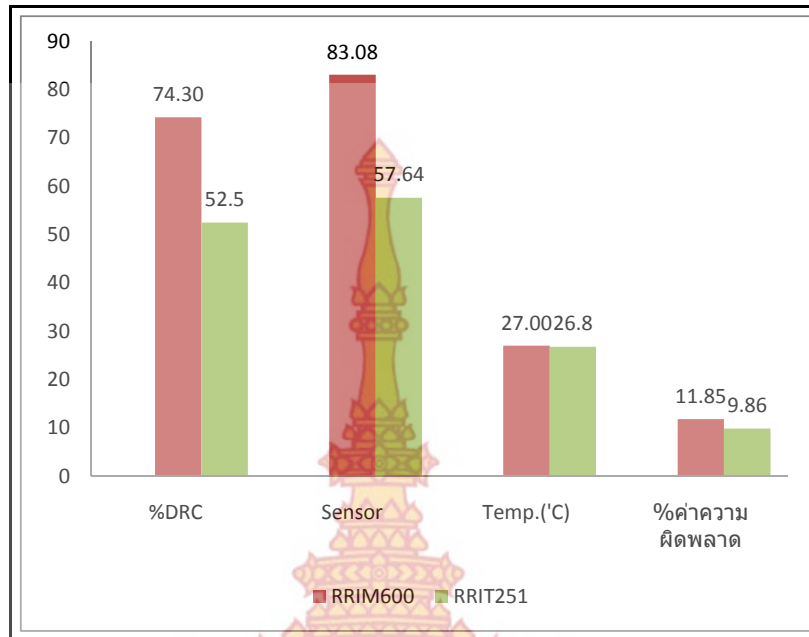
2. การเปรียบเทียบผลการทดลองของน้ำยางพาราแต่ละพันธุ์ด้วยแท่งเมโทรแลค

จากการนำผลการทดลองของน้ำยางพาราแต่ละพันธุ์ด้วยแท่งเมโทรแลค เป็นการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของเซนเซอร์ที่วัดคุณภาพน้ำยางพาราชนิด RRIM600 และ RRIT251 ด้วยโอห์มมิเตอร์ แล้วทำการบันทึกผลการทดลองคุณภาพน้ำยางพาราแต่ละพันธุ์ เปรียบเทียบกับผลการวัดคุณภาพน้ำยางพาราด้วยแท่งเมโทรแลค จะได้ผลการบันทึกตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบค่าคุณภาพน้ำยางพารา (%DRC) ด้วยแท่งเมโทรแลคเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานไฟฟ้าและอุณหภูมิของน้ำยางพาราในแต่ละพันธุ์

จำนวนตัวอย่าง	RRIM600				RRIT251			
	%DRC เมโทรแลค	Sensor โอห์มมิเตอร์ (x1k)	Temp.(°C)	%ค่าความผิดพลาด	%DRC เมโทรแลค	Sensor โอห์มมิเตอร์ (x1k)	Temp.(°C)	%ค่าความผิดพลาด
1	76.00	83.40	25.00	9.74	52.00	56.00	27.00	7.69
2	75.00	81.90	28.00	9.20	52.00	60.20	24.00	15.77
3	75.00	82.40	26.00	9.87	50.00	58.40	26.00	16.80
4	74.00	83.50	27.00	12.84	53.00	57.80	26.00	9.06
5	72.00	83.20	28.00	15.56	51.00	57.30	28.00	12.35
6	74.00	83.70	26.00	13.11	54.00	60.70	27.00	12.41
7	73.00	82.80	29.00	13.42	54.00	56.70	29.00	5.00
8	73.00	83.20	27.00	13.97	54.00	56.40	26.00	4.44
9	76.00	83.30	26.00	9.61	52.00	56.10	27.00	7.88
10	75.00	83.40	28.00	11.20	53.00	56.80	28.00	7.17
ค่าเฉลี่ย	74.30	83.08	27.00	11.85	52.50	57.64	26.80	9.86
S.D.	1.34	0.56	1.25	2.22	1.35	1.66	1.40	4.28

จากตารางที่ 7 เป็นผลการทดสอบค่าคุณภาพน้ำยางพารา (%DRC) ด้วยแท่งเมโทรแลคเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานไฟฟ้าและอุณหภูมิของน้ำยางพาราในแต่ละพันธุ์ นำมาเขียนในรูปของกราฟเพื่อแสดงผลได้ดังภาพที่ 118



ภาพที่ 118 กราฟแสดงผลการทดลองเฉลี่ยของน้ำย่างพาราแต่ละพันธุ์ด้วยแท่งเมโทรแลค

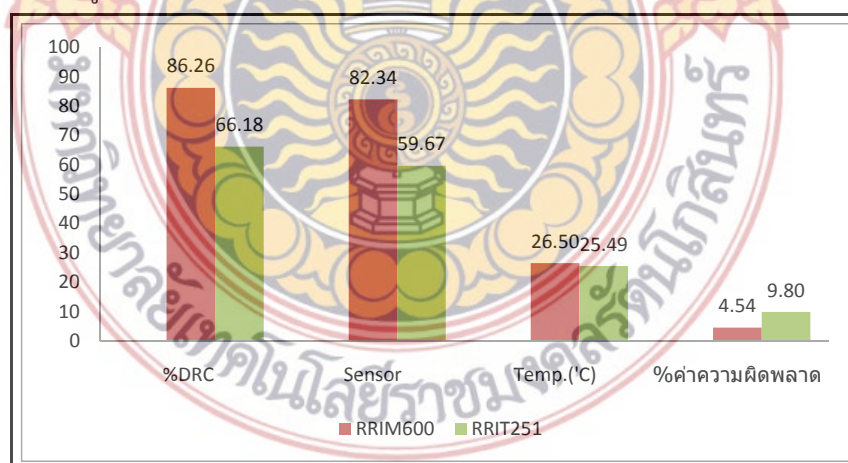
3. การเปรียบเทียบผลการทดลองของน้ำย่างพาราแต่ละพันธุ์ด้วยชุดทดสอบคุณภาพน้ำย่างพาราที่สร้างขึ้นมา

จากการนำผลการทดลองของน้ำย่างพาราแต่ละพันธุ์ด้วยชุดทดสอบคุณภาพน้ำย่างพาราที่สร้างขึ้นมาเป็นการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของเซนเซอร์ที่วัดคุณภาพน้ำย่างพาราชนิด RRIM600 และ RRIT251 ด้วยโอห์มมิเตอร์แล้วทำการบันทึกผลการทดลองคุณภาพน้ำย่างพาราแต่ละพันธุ์เปรียบเทียบกับผลการวัดคุณภาพน้ำย่างพาราด้วยชุดทดสอบคุณภาพน้ำย่างพาราที่สร้างขึ้นมาจะได้ผลการบันทึกตามตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบค่าคุณภาพน้ำยางพารา (%DRC) ด้วยชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมาเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานไฟฟ้าและอุณหภูมิของน้ำยางพาราในแต่ละพันธุ์

จำนวนตัวอย่าง	RRIM600				RRIT251			
	%DRC ชุดทดสอบที่สร้างขึ้น	Sensor โอห์มมิเตอร์ (x1k)	Temp.(°C)	%ค่าความผิดพลาด	%DRC ชุดทดสอบที่สร้างขึ้น	Sensor โอห์มมิเตอร์ (x1k)	Temp.(°C)	%ค่าความผิดพลาด
1	87.43	85.70	25.86	1.98	65.38	60.20	26.70	7.92
2	84.27	82.30	25.23	2.34	68.14	58.40	25.48	14.29
3	86.27	82.60	26.37	4.25	67.63	59.70	26.37	11.73
4	86.71	82.40	26.74	4.97	66.45	59.50	25.62	10.46
5	85.38	81.50	26.51	4.54	66.73	59.30	24.38	11.13
6	84.68	81.20	26.42	4.11	65.87	60.40	24.52	8.30
7	86.54	81.30	27.68	6.06	65.61	60.70	25.87	7.48
8	87.16	82.30	27.21	5.58	65.84	59.20	25.43	10.09
9	87.52	82.40	26.58	5.85	65.23	59.80	24.84	8.32
10	86.64	81.70	26.43	5.70	64.87	59.50	25.64	8.28
ค่าเฉลี่ย	86.26	82.34	26.50	4.54	66.18	59.67	25.49	9.80
S.D.	1.13	1.29	0.67	1.35	1.06	0.66	0.75	2.16

จากตารางที่ 8 เป็นผลการทดสอบค่าคุณภาพน้ำยางพารา (%DRC) ด้วยชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมาเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานไฟฟ้าและอุณหภูมิของน้ำยางพาราในแต่ละพันธุ์ นำมาเขียนในรูปของกราฟเพื่อแสดงผลได้ดังภาพที่ 119



ภาพที่ 119 กราฟแสดงผลการทดลองเฉลี่ยของน้ำยางพาราแต่ละพันธุ์ด้วยชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมา

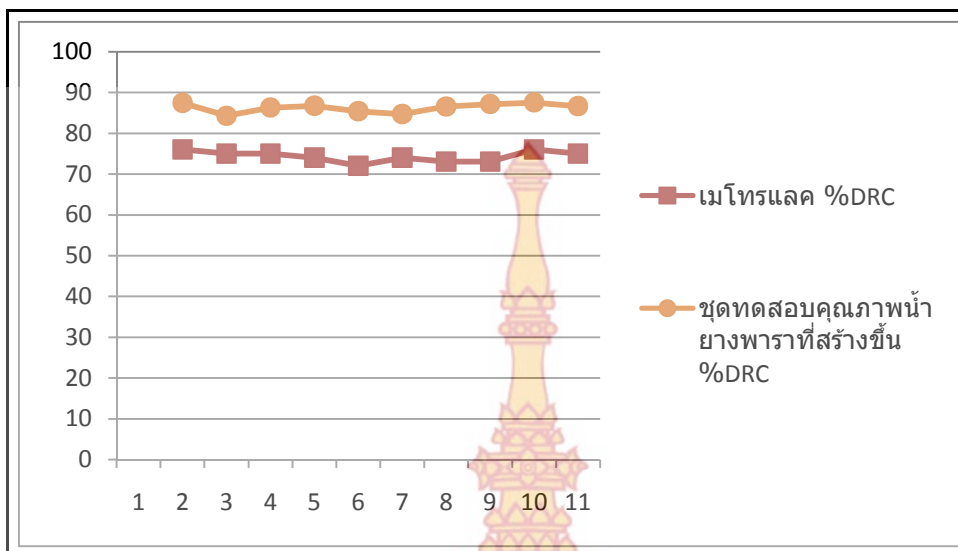
4. การวัดค่าความแน่นอน (Accuracy) เปรียบเทียบผลการทดลองของน้ำยางพาราแต่ละพันธุ์

ด้วยแท่งเมโทรแลคกับชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมา

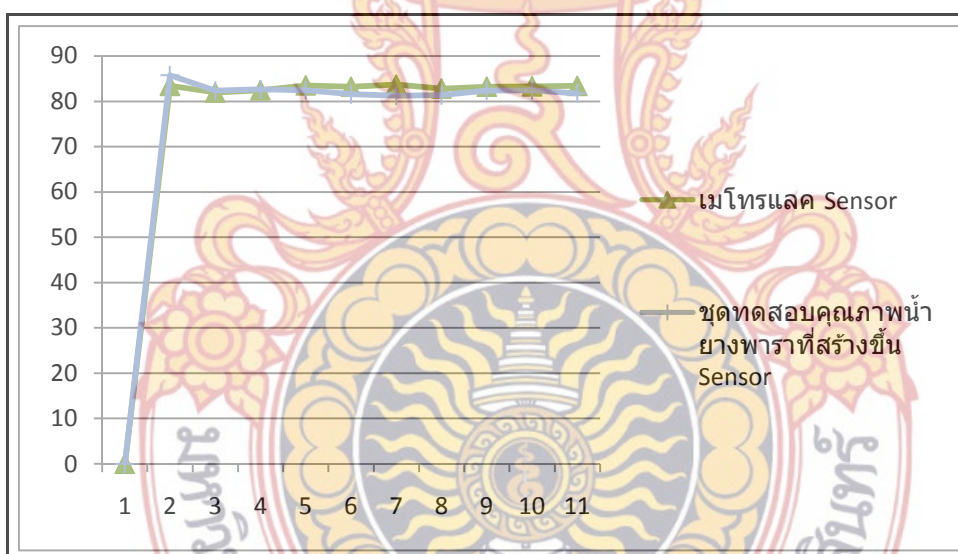
จากการนำผลการทดลองของน้ำยางพาราพันธุ์ RRIM600 ด้วยแท่งเมโทรแลคกับชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมา เป็นการวัดคุณภาพน้ำยางพาราชนิด RRIM600 กับค่าความต้านทานไฟฟ้าของเซนเซอร์ที่วัดคุณภาพน้ำยางพาราชนิด RRIM600 เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาด เป็นการวัดค่าความแน่นอน (Accuracy) ของชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมาและอุณหภูมิ จากการวัดคุณภาพน้ำยางพาราแล้วทำการบันทึกผลการทดลองคุณภาพน้ำยางพาราชนิด RRIM600 จำนวน 10 ตัวอย่าง เปรียบเทียบกับผลการวัดคุณภาพน้ำยางพาราด้วยแท่งเมโทรแลคกับชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมาจะได้ผลการบันทึกตามตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลการทดสอบน้ำยางพาราพันธุ์ RRIM600 เพื่อหาค่าความแน่นอน (Accuracy)

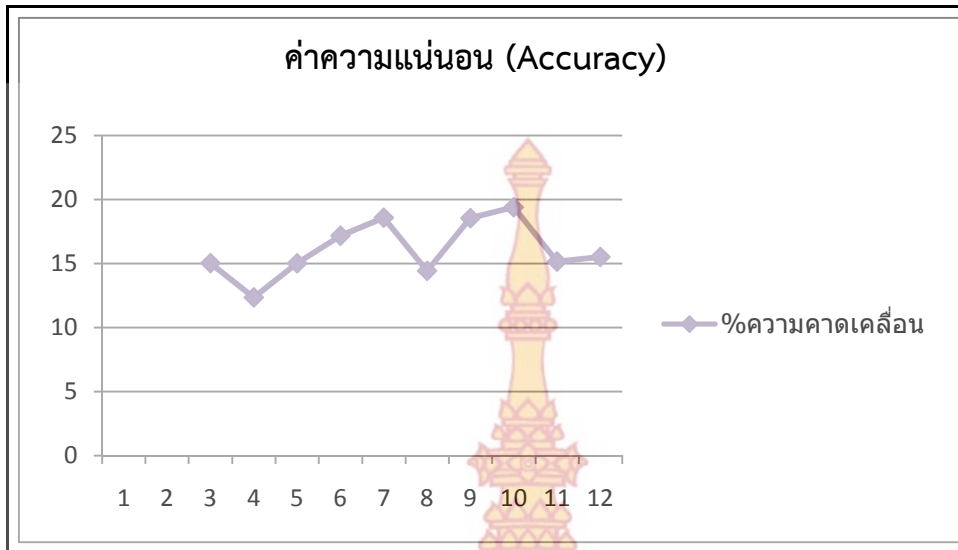
จำนวน ตัวอย่าง	เมโทรแลค			ชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้น			%ค่าความ คลาดเคลื่อน
	%DRC	Sensor โอห์มมิเตอร์ (x1k)	Temp.(°C)	%DRC	Sensor โอห์มมิเตอร์ (x1k)	Temp.(°C)	
1	76.00	83.40	25.00	87.43	85.70	25.86	15.04
2	75.00	81.90	28.00	84.27	82.30	25.23	12.36
3	75.00	82.40	26.00	86.27	82.60	26.37	15.03
4	74.00	83.50	27.00	86.71	82.40	26.74	17.18
5	72.00	83.20	28.00	85.38	81.50	26.51	18.58
6	74.00	83.70	26.00	84.68	81.20	26.42	14.43
7	73.00	82.80	29.00	86.54	81.30	27.68	18.55
8	73.00	83.20	27.00	87.16	82.30	27.21	19.40
9	76.00	83.30	26.00	87.52	82.40	26.58	15.16
10	75.00	83.40	28.00	86.64	81.70	26.43	15.52
ค่าเฉลี่ย	74.30	83.08	27.00	86.26	82.34	26.50	16.12
S.D.	1.34	0.56	1.25	1.13	1.29	0.67	2.22



ภาพที่ 120 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำยางพารา (%DRC) พันธุ์ RRIM600 ที่วัดจากเมโทรแลคกับชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมา



ภาพที่ 121 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบความต้านทานทางไฟฟ้าของเซนเซอร์ที่วัดคุณภาพน้ำยางพาราพันธุ์ RRIM600 ที่วัดจากเมโทรแลคกับชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมา



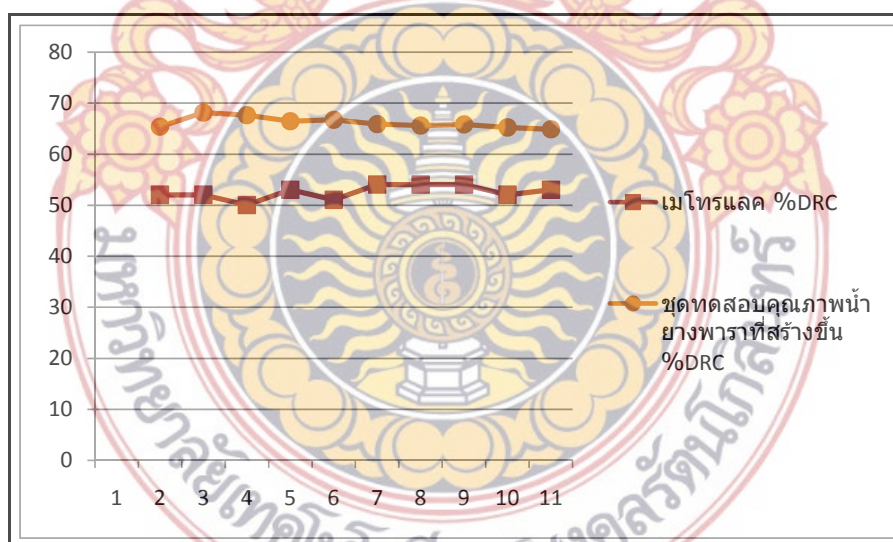
ภาพที่ 122 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความคาดเคลื่อนคุณภาพน้ำยางพาราพันธุ์ RRIM600 ที่วัดจากเมโทรแลคกับชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมา

จากชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมาทำการทดสอบหาคุณภาพน้ำยางพารา (%DRC) จากตัวอย่างน้ำยางพาราพันธุ์ RRIM600 จำนวน 10 ตัวอย่าง เปรียบเทียบกับการทดสอบหาคุณภาพน้ำยางพาราด้วยการวัดด้วยแท่งเมโทรแลค เพื่อหาค่าความแม่นยำ (Accuracy) พบว่ามีค่าความคาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 16.22% มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 2.22 มีลักษณะการตามกราฟที่แสดงตามภาพที่ 122

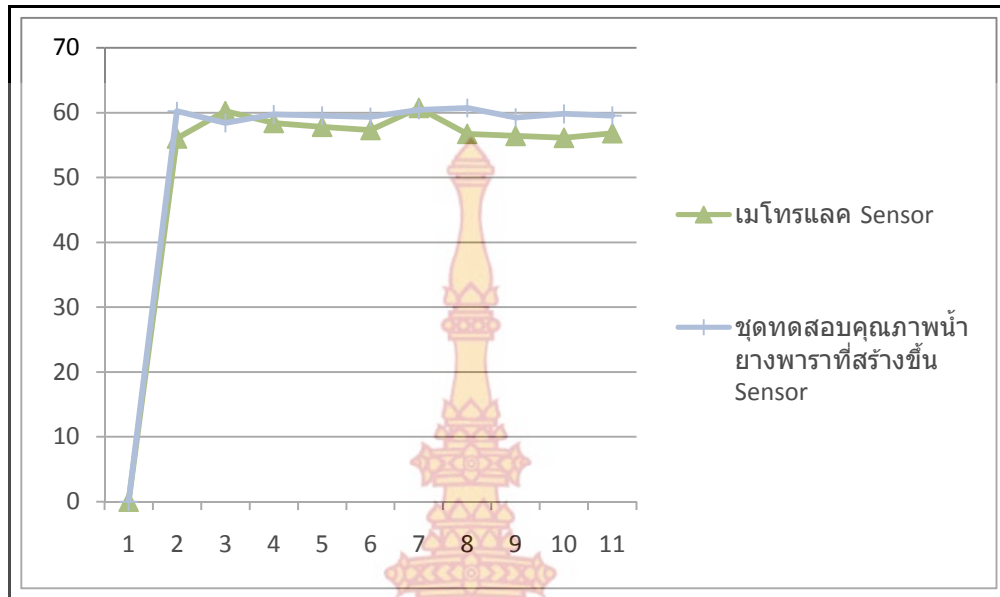
จากนั้นทำการนำผลการทดลองของน้ำยางพาราพันธุ์ RRIT251 ด้วยแท่งเมโทรแลคกับชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมา เป็นการวัดคุณภาพน้ำยางพาราชนิด RRIT251 กับค่าความต้านทานไฟฟ้าของเซนเซอร์ที่วัดคุณภาพน้ำยางพาราชนิด RRIT251 เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดเป็นการวัดค่าความแม่นยำ (Accuracy) ของชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมา และอุณหภูมิจากการวัดคุณภาพน้ำยางพาราแล้วทำการบันทึกผลการทดลองคุณภาพน้ำยางพาราชนิด RRIM600 จำนวน 10 ตัวอย่าง เปรียบเทียบกับผลการวัดคุณภาพน้ำยางพาราด้วยแท่งเมโทรแลคกับชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมาจะได้ผลการบันทึกตามตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลการทดสอบน้ำยางพาราพันธุ์ RRIT251 เพื่อหาค่าความแน่นอน (Accuracy)

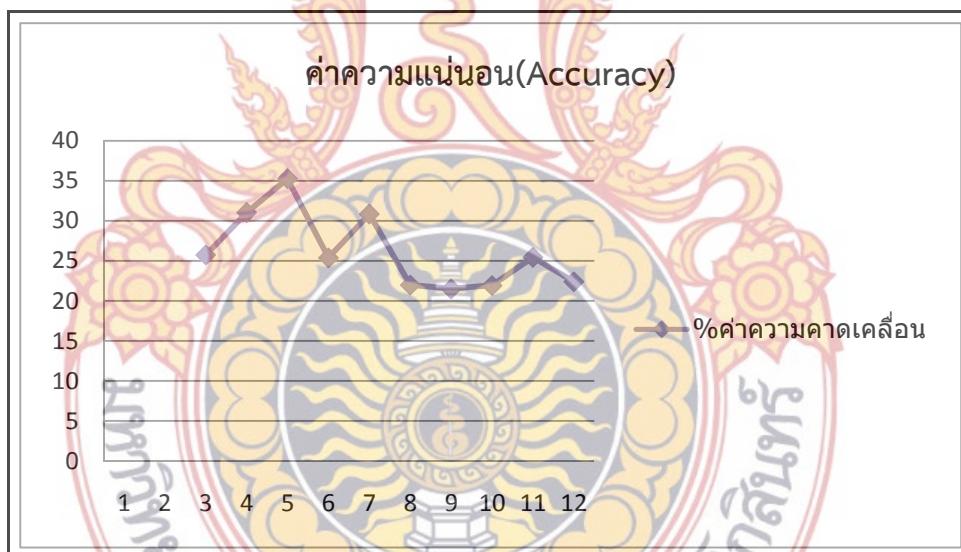
จำนวน ตัวอย่าง	เมโทรแลค			ชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้น			%ค่าความคาด เคลื่อน
	%DRC	Sensor โอห์มมิเตอร์ (x1k)	Temp.(°C)	%DRC	Sensor โอห์มมิเตอร์ (x1k)	Temp.(°C)	
1	52.00	56.00	27.00	65.38	60.20	26.70	25.73
2	52.00	60.20	24.00	68.14	58.40	25.48	31.04
3	50.00	58.40	26.00	67.63	59.70	26.37	35.26
4	53.00	57.80	26.00	66.45	59.50	25.62	25.38
5	51.00	57.30	28.00	66.73	59.30	24.38	30.84
6	54.00	60.70	27.00	65.87	60.40	24.52	21.98
7	54.00	56.70	29.00	65.61	60.70	25.87	21.50
8	54.00	56.40	26.00	65.84	59.20	25.43	21.93
9	52.00	56.10	27.00	65.23	59.80	24.84	25.44
10	53.00	56.80	28.00	64.87	59.50	25.64	22.40
ค่าเฉลี่ย	52.50	57.64	26.80	66.18	59.67	25.49	26.15
S.D.	1.35	1.66	1.40	1.06	0.66	0.75	4.73



ภาพที่ 123 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำยางพารา (%DRC) พันธุ์ RRIT251 ที่วัดจากเมโทรแลคกับชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมา



ภาพที่ 124 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบความต้านทานทางไฟฟ้าของเซนเซอร์ที่วัดคุณภาพน้ำยางพาราพันธุ์ RRIT251 ที่วัดจากเมโทรแลคกับชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมา



ภาพที่ 125 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความคาดเคลื่อนคุณภาพน้ำยางพาราพันธุ์ RRIT251 ที่วัดจากเมโทรแลคกับชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมา

จากชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมาทำการทดสอบหาคุณภาพน้ำยางพารา (%DRC) จากตัวอย่างน้ำยางพาราพันธุ์ RRIT251 จำนวน 10 ตัวอย่าง เปรียบเทียบกับการทดสอบหาคุณภาพน้ำยางพาราด้วยการวัดด้วยแท่งเมโทรแลค เพื่อหาค่าความแน่นอน (Accuracy) พบว่ามีค่าความคาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 26.15% มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 4.73 มีลักษณะการตามกราฟที่แสดงตามภาพที่ 125

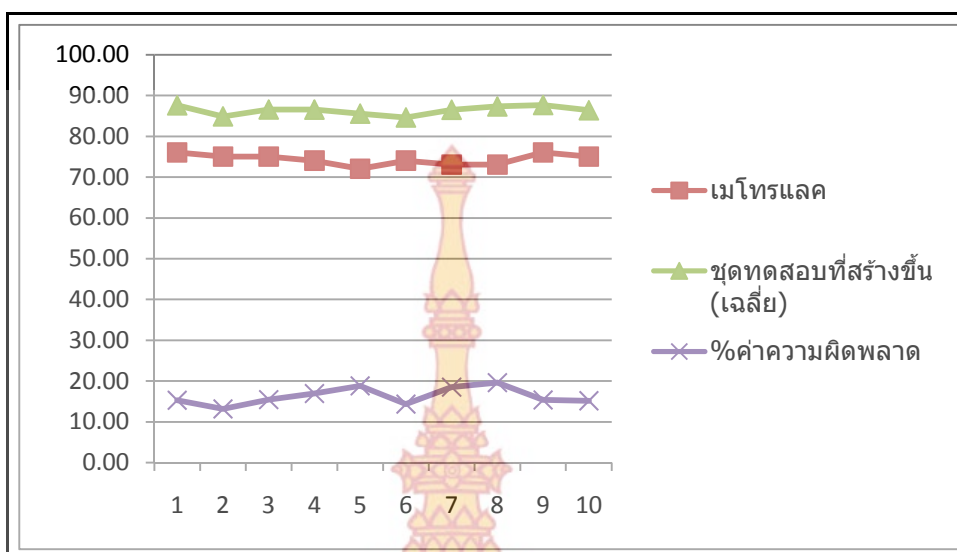
5. การวัดค่าความเที่ยงตรง (Reproducibility) เปรียบเทียบผลการทดลองของน้ำยางพารา

แต่ละพันธุ์ด้วยแท่งเมโทรแลคกับชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมา

ทำการทดลองกับชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นกับการทดลองวัดค่าคุณภาพน้ำยางพารา (%DRC) ด้วยแท่งเมโทรแลค จากตัวอย่างน้ำยางพาราแต่ละชนิด จำนวน 10 ตัวอย่าง ทดลองวัดค่าซ้ำตัวอย่างละ 5 ครั้ง ซึ่งในแต่ละครั้งให้ทำการบันทึกผลที่วัดได้ลงไปในตารางบันทึกค่า ใช้ค่าเฉลี่ยเปรียบเทียบกับผลการทดสอบด้วยแท่งเมโทรแลค เพื่อหาค่าความเที่ยงตรง (Reproducibility) ด้วยการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาด

ตารางที่ 11 ผลการทดสอบน้ำยางพาราพันธุ์ RRIM600 เพื่อหาค่าความเที่ยงตรง (Reproducibility)

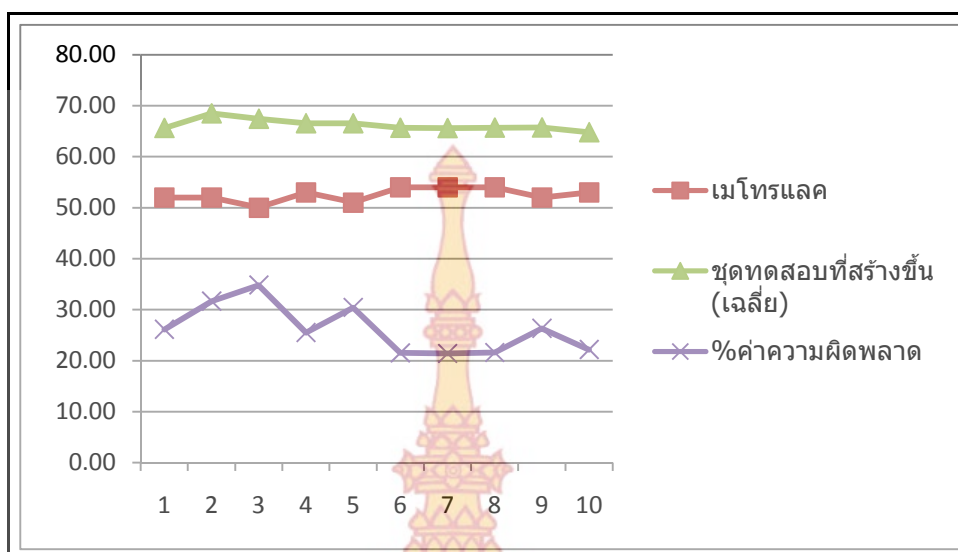
จำนวน ตัวอย่าง	คุณภาพน้ำยางพารา(%DRC)							%ค่าความ ผิดพลาด
	เมโทร แลค	ชุดทดสอบที่สร้างขึ้น (วัดครั้งที่)					ค่าเฉลี่ย	
		1	2	3	4	5		
1	76.00	87.43	87.76	87.51	87.48	87.77	87.59	15.25
2	75.00	84.27	85.46	84.54	84.85	85.23	84.87	13.16
3	75.00	86.27	86.54	86.68	86.43	86.87	86.56	15.41
4	74.00	86.71	86.32	86.46	86.78	86.43	86.54	16.95
5	72.00	85.38	85.57	85.53	85.55	85.72	85.55	18.82
6	74.00	84.68	84.56	84.52	84.73	84.57	84.61	14.34
7	73.00	86.54	86.35	86.78	86.38	86.45	86.50	18.49
8	73.00	87.16	87.55	87.11	87.23	87.52	87.31	19.61
9	76.00	87.52	87.87	87.74	87.21	87.96	87.66	15.34
10	75.00	86.64	86.42	86.34	86.58	86.67	86.53	15.37
ค่าเฉลี่ย	74.30	86.26	86.44	86.32	86.32	86.52	86.37	16.27



ภาพที่ 126 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของคุณภาพน้ำยางพาราพันธุ์ RRIM600 เพื่อหาค่าความเที่ยงตรง (Reproducibility)

ตารางที่ 12 ผลการทดสอบน้ำยางพาราพันธุ์ RRIT251 เพื่อหาค่าความเที่ยงตรง (Reproducibility)

จำนวน ตัวอย่าง	คุณภาพน้ำยางพารา(%DRC)							%ค่าความ ผิดพลาด
	เมโทร แลค	ชุดทดสอบที่สร้างขึ้น (วัดครั้งที่)					ค่าเฉลี่ย	
		1	2	3	4	5		
1	52.00	65.38	65.62	65.48	65.93	65.56	65.59	26.14
2	52.00	68.14	68.24	68.56	68.72	68.63	68.46	31.65
3	50.00	67.63	67.34	67.04	67.41	67.58	67.40	34.80
4	53.00	66.45	66.53	66.34	66.54	66.72	66.52	25.50
5	51.00	66.73	66.45	66.38	66.59	66.41	66.51	30.42
6	54.00	65.87	65.84	65.78	65.38	65.27	65.63	21.53
7	54.00	65.61	65.53	65.34	65.46	65.85	65.56	21.40
8	54.00	65.84	65.76	65.32	65.56	65.83	65.66	21.60
9	52.00	65.23	65.73	65.87	65.73	65.84	65.68	26.31
10	53.00	64.87	65.16	64.73	64.68	64.35	64.76	22.18
ค่าเฉลี่ย	52.5	66.18	66.22	66.08	66.20	66.20	66.18	26.15



ภาพที่ 127 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของคุณภาพน้ำยาฟาราพันธุ์ RRIT251 เพื่อหาค่าความเที่ยงตรง (Reproducibility)

6. ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้ชุดทดสอบคุณภาพน้ำยาฟาราที่พัฒนาขึ้นมา

กระบวนการประเมินผลความพึงพอใจมีวัตถุประสงค์เพื่อวัดความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบที่มีต่อการใช้ชุดทดสอบคุณภาพน้ำยาฟาราที่พัฒนาขึ้น จำนวน 5 ท่าน

ตารางที่ 13 ตารางการประเมินความพึงพอใจด้านความเหมาะสมในหน้าที่ทำงาน

รายการประเมินความพึงพอใจ	\bar{x}	SD	การแปลผล
1. ความสามารถของระบบในการรับส่งข้อมูล	4.00	0.53	ดีมาก
2. ความสามารถของระบบในการแสดงผลข้อมูล	4.00	0.48	ดีมาก
สรุปรายการประเมินความพึงพอใจ	4.00	0.50	ดีมาก

จากตารางที่ 13 ผลสรุปมีค่าเฉลี่ยโดยรวมในด้านนี้เท่ากับ 4.00 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.50 แสดงว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจด้านความเหมาะสมในหน้าที่การทำงาน อยู่ในระดับดีมาก

ตารางที่ 14 ตารางการประเมินความพึงพอใจด้านความถูกต้องในการทำงาน

รายการประเมินความพึงพอใจ	\bar{x}	SD	การแปลผล
1. ความถูกต้องของระบบในการรับส่งข้อมูล	3.95	0.53	ดีมาก
2. ความถูกต้องของระบบในการแสดงผลข้อมูล	4.00	0.41	ดีมาก
สรุปรายการประเมินความพึงพอใจ	3.98	0.47	ดีมาก

จากตารางที่ 14 ผลสรุปมีค่าเฉลี่ยโดยรวมในด้านนี้เท่ากับ 3.98 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.47 แสดงว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจด้านความถูกต้องในการทำงาน อยู่ในระดับ ดีมาก

ตารางที่ 15 ตารางการประเมินความพึงพอใจด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน

รายการประเมินความพึงพอใจ	\bar{x}	SD	การแปลผล
1. ความง่ายในการใช้ระบบงาน	4.00	0.53	ดีมาก
2. ความเร็วในการรับส่งข้อมูลและแสดงผลข้อมูล	3.90	0.48	ดีมาก
3. ความเหมาะสมในการออกแบบหน้าจอโดยรวม	3.80	0.83	ดีมาก
4. ความน่าใช้ของระบบในภาพรวม	4.00	0.43	ดีมาก
5. คู่มือการใช้งาน สื่อสารได้อย่างเข้าใจ และปฏิบัติตามขั้นตอนได้จริง	4.00	0.43	ดีมาก
สรุปรายการประเมินความพึงพอใจ	3.94	0.54	ดีมาก

จากตารางที่ 15 ผลสรุปมีค่าเฉลี่ยโดยรวมในด้านนี้เท่ากับ 3.94 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.54 แสดงว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน อยู่ในระดับดีมาก

ตารางที่ 16 ตารางการประเมินความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์

รายการประเมินความพึงพอใจ	\bar{x}	SD	การแปลผล
1. ความสามารถในการแสดงข้อมูล	4.00	0.57	ดีมาก
2. ความแม่นยำในการรับส่งข้อมูล	3.90	0.68	ดีมาก
สรุปรายการประเมินความพึงพอใจ	3.95	0.62	ดีมาก

จากตารางที่ 16 ผลสรุปมีค่าเฉลี่ยโดยรวมในด้านนี้เท่ากับ 3.95 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.62 แสดงว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจด้านความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ อยู่ในระดับดีมาก

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยการพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราด้วยเครื่องถ่ายเซนเซอร์ไร้สาย ได้สรุปผลการวิจัย มีดังต่อไปนี้

1. สรุปผลการวิจัย
2. อภิปราย
3. ข้อเสนอแนะ

๑. สรุปผลการวิจัย

ในการจัดทำโครงการวิจัยการพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราด้วยเครื่องถ่ายเซนเซอร์ไร้สายที่ใช้ตรวจสอบคุณภาพน้ำยางพาราในทางคณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการในแบบต่างๆ เพื่อมาประยุกต์ใช้กับเซนเซอร์ทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราที่ได้สร้างขึ้นวัดความหนาแน่นของน้ำยางพาราด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยได้ทำการเทียบวัด (Calibrate) การสะท้อนกลับของคลื่นเสียงเมื่อเคลื่อนที่ไปชนรอยต่อของตัวกลางที่มีอิมพีแดนซ์เสียงที่แตกต่างกัน ค่าอิมพีแดนซ์เสียงจะขึ้นกับค่าความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกและค่าความหนาแน่นของตัวกลาง การสะท้อนกลับระหว่างตัวกลางแผ่นอ้างอิงกับตัวกลางของเหลวทำให้สามารถวัดค่าความหนาแน่นของน้ำยางพาราได้ เป็นการวัดที่ตัวทรานสดิวเซอร์ไม่ต้องสัมผัสกับของเหลวที่ต้องการทดสอบโดยตรง ทำให้ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน รวมทั้งอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบประกอบไปด้วย ส่วนกำเนิดคลื่น ส่วนรับคลื่นและส่วนแสดงผล มีขนาดเล็กไม่ซับซ้อน ทำให้สามารถจัดระบบการวัดได้โดยง่าย จากการกำหนดสัดส่วน แอมพลิจูดของคลื่นตกกระทบต่อคลื่นสะท้อนกลับลำดับที่ 1 (A_0/A_1) เท่ากับ 0.99 จะทำให้ได้ค่าความหนาแน่นของน้ำยางพารา (%DRC) หรือ ρ_2 เท่ากับ 85.70 ด้วยความถี่ 46 กิโลเฮิร์ตซ์ แล้วนำค่าที่ได้นำไปเขียนโปรแกรมสำหรับการพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่ได้ทำการวิจัยเปรียบเทียบระหว่างการวัดค่าปริมาณเนื้อยางพาราแบบเก่าที่ใช้แท่งเมโทรแลคกับการวัดปริมาณเนื้อยางพาราโดยใช้ชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่พัฒนาขึ้น โดยทำการทดลองเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำยางพารา 2 พันธุ์ ได้แก่ RRIM600 และ RRIT251 ที่ได้จากองค์การบริหารส่วนตำบลบ้านค่าย อำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง แล้วทำการบันทึกผลการทดลองคุณภาพน้ำยางพาราแต่ละพันธุ์ เปรียบเทียบกับผลการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของเซนเซอร์ที่วัดคุณภาพน้ำยางพาราด้วยโอห์มมิเตอร์และการวัดค่าอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์ของน้ำยางพาราทั้งชนิดพันธุ์ RRIM600 และ RRIT251 ที่วัดค่าได้จำนวนชนิดละ 10 จำนวนตัวอย่าง ในการวัดคุณภาพ

น้ำยางพาราแต่ละครั้งให้ทำการบันทึกข้อมูลพบว่าการอ่านค่าความต้านทานไฟฟ้าของน้ำยางพาราทั้งชนิดพันธุ์ RRIM600 และ RRIT251 เทียบกับการวัดค่าปริมาณเนื้อยางพาราแบบเก่าที่ใช้แท่งเมโทรแลค มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเท่ากับ $10 \pm 2\%$ และเทียบกับชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมามีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเท่ากับ $7 \pm 3\%$ การวัดค่าความแน่นอน (Accuracy) เปรียบเทียบด้วยแท่งเมโทรแลคกับชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมา ผลการทดลองของน้ำยางพาราพันธุ์ RRIM600 มีเปอร์เซ็นต์ค่าความคาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 16.12 ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.22 ส่วนผลการทดลองของน้ำยางพาราพันธุ์ RRIT251 มีเปอร์เซ็นต์ค่าความคาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 26.15 ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน 4.73 การวัดค่าความเที่ยงตรง (Reproducibility) เปรียบเทียบผลการทดลองของน้ำยางพาราแต่ละพันธุ์ด้วยแท่งเมโทรแลคกับชุดทดสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่สร้างขึ้นมา จากตัวอย่างน้ำยางพาราแต่ละชนิด จำนวน 10 ตัวอย่าง ทดลองวัดค่าซ้ำตัวอย่างละ 5 ครั้ง ซึ่งในแต่ละครั้งให้ทำการบันทึกผลที่วัดได้ พบว่าผลการทดลองของน้ำยางพาราพันธุ์ RRIM600 มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 16.27 ส่วนผลการทดลองของน้ำยางพาราพันธุ์ RRIT251 มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 26.15 ส่วนการประเมินความพึงพอใจ จากจำนวนผู้ใช้ 5 ท่านพบว่าด้านความเหมาะสมในหน้าที่ทำงานมีค่าเฉลี่ยโดยรวมในด้านนี้เท่ากับ 4.00 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.50 แสดงว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจด้านความเหมาะสมในหน้าที่การทำงานอยู่ในระดับดีมาก ด้านความถูกต้องในการทำงานมีค่าเฉลี่ยโดยรวมในด้านนี้เท่ากับ 3.95 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.47 แสดงว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจด้านความถูกต้องในการทำงานอยู่ในระดับดีมาก ด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานมีค่าเฉลี่ยโดยรวมในด้านนี้เท่ากับ 3.92 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.54 แสดงว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานอยู่ในระดับดีมาก ด้านความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์มีค่าเฉลี่ยโดยรวมในด้านนี้เท่ากับ 3.90 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.62 แสดงว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจด้านความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์อยู่ในระดับดีมาก

2. อภิปราย

2.1 เซนเซอร์ทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราที่ได้สร้างขึ้นวัดความหนาแน่นของน้ำยางพาราด้วยคลื่นอัลตราโซนิกที่ผลิตขึ้นมีความต้านทานที่ไม่เท่ากัน หากต้องทำเซนเซอร์ใหม่จะต้องทำการวัดเทียบวัดค่าความต้านทานก่อนทุกครั้ง

2.2 เซนเซอร์ทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราที่ได้สร้างขึ้นวัดความหนาแน่นของน้ำยางพาราด้วยคลื่นอัลตราโซนิกมีความไวต่อความหนาแน่นของอากาศสูง มีผลต่อการวัดคุณภาพของน้ำยางพาราที่เปลี่ยนแปลงตามค่าความหนาแน่นของน้ำยางพารา ดังนั้นจึงควรเก็บรักษาเซนเซอร์ไว้ในที่ปลอดภัย

2.3 ปริมาณข้อมูลวัดความหนาแน่นของน้ำยางพาราที่ได้จากเซนเซอร์ทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราและอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลามีจำนวนมาก หากปริมาณข้อมูลมีมากจนเต็มบัฟเฟอร์ของ Zigbee แล้วก็จะทำให้การรับส่งข้อมูลไร้สายมีโอกาสค้างได้

2.4 แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงจากแบตเตอรี่หรือถ่าน 9 Vdc มีระยะเวลาในการทดสอบเก็บข้อมูลวัดความหนาแน่นของน้ำยางพาราที่ได้จากเซนเซอร์ทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราและอุณหภูมิมีค่อนข้างจำกัด จึงควรจะต้องมีแบตเตอรี่หรือถ่านสำรองไว้

2.5 สภาพน้ำยางพารามีความไวต่ออากาศ หากปล่อยให้ น้ำยางพาราสัมผัสกับอากาศเป็นเวลานานจะทำให้ น้ำยางพาราเปลี่ยนสภาพจากของเหลวที่เข้มข้นจนกลายเป็นของแข็งตัว ดังนั้นหากเก็บน้ำยางพาราไว้เป็นเวลานานไม่ควรให้ น้ำยางพาราสัมผัสกับอากาศหรือผสมน้ำยางพารากับแอมโมเนียเพื่อรักษาสภาพของน้ำยางพาราให้เป็นของเหลวตลอดเวลา

2.6 ช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลความหนาแน่นของน้ำยางพาราเพื่อทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราบริเวณที่ปลูกสวนยางพาราค่อนข้างจำกัดในละปี

3. ข้อเสนอแนะ

3.1 ควรติดตั้งหน่วยความจำเพิ่มเติม จำพวก SD Card เพื่อสำรองข้อมูลและลดโอกาสที่เก็บข้อมูลวัดความหนาแน่นของน้ำยางพาราที่รับส่งข้อมูลนั้นเต็มบัฟเฟอร์

3.2 ควรทำการเทียบวัด (Calibration) เซนเซอร์ทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราที่ได้สร้างขึ้นวัดความหนาแน่นของน้ำยางพาราด้วยคลื่นอัลตราโซนิกทุกครั้งที่ทำการทดสอบเพื่อทำให้ค่าที่ได้ออกมามีความแม่นยำและมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

3.3 ควรจุ่มเซนเซอร์ทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราที่ได้สร้างขึ้นวัดความหนาแน่นของน้ำยางพาราด้วยคลื่นอัลตราโซนิก ให้มีระยะลึกไม่ต่ำกว่า 5 เซนติเมตร เพื่อให้ผิวสัมผัสของเซนเซอร์ได้สัมผัสกับน้ำยางพาราได้อย่างเต็มที่


3.4 ควรเตรียมแบตเตอรี่หรือถ่าน 9 Vdc สำรองทุกครั้งที่ทำการทดสอบที่ใช้เวลานาน

3.5 ควรมียกกล่องเก็บอุปกรณ์วัดคุณภาพของน้ำยางพาราที่เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ให้ปราศจากการสัมผัสกับอากาศและความชื้น เพราะจะทำให้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เกิดความเสียหายได้

บรรณานุกรม

- ธนพงศ์ หยุ่มไธสง, อีรานวัฒน์ อื้อประเสริฐ, เครื่องไมโครคอนโทรลเลอร์ไร้สาย, ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, (2553).
- ธีระพล ลีเมธีธา, เริ่มต้นเขียนโปรแกรม C# ด้วย Visual C# ๒๑๐ Express, กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2554.
- ประจัน พลังสันติกุล, หนังสือการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ด้วย ภาษา C (เล่ม ๑), กรุงเทพฯ: บริษัทแอปซอฟต์แวร์ จำกัด
- ประจัน พลังสันติกุล, หนังสือการประยุกต์ใช้งานภาษา C กับไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR เล่ม ๒ กรุงเทพฯ: บริษัทแอปซอฟต์แวร์ จำกัด
- วรารณณ์ ขจรไชยกุล และคณะ, 2545, คู่มือเทคโนโลยียาง, พิมพ์ลักษณ์, สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ, หน้า 1-88.
- ศรยา เจริญลาภ, 2553, การศึกษาและพัฒนาเครื่องมือทดสอบคุณภาพของน้ำยางพารา. วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สถาบันวิจัยยาง, 2545, ข้อมูลวิชาการยางพารา, กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, หน้า 20-24.
- เอกชัย มะการ, เรียนรู้ เข้าใจ ใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ด้วย Arduino, กรุงเทพฯ: บริษัท อีทีที จำกัด, 2552.
- Michael Margolis, *Arduino Cookbook - Second Edition*, O'Reilly Media, 2012.
- Robert Faludi, *Building Wireless Sensor Networks Book - ๑ edition*, O'Reilly Media, 2011.
- Xbee Basic Configuration in Network Application [online] Available from: <http://www.thaieasyelec.com/article-wiki/basic-electronics/what-is-zigbee.html> [2015 March 13 10:30 PM]
- Zigbee คืออะไร [online] Available from: <http://www.thaieasyelec.com/article-wiki/basic-electronics/what-is-zigbee.html> [2015 March 11 8:00 PM]





ภาคผนวก ก

แบบสำรวจความพึงพอใจและใบรับรองการนำไปใช้ประโยชน์
การพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราด้วยเครือข่ายเซนเซอร์ ไร้สาย.

แบบสำรวจความพึงพอใจและใบรับรองการนำไปใช้ประโยชน์
การพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราด้วยเครือข่ายเซนเซอร์ ไร้สาย.

แบบสำรวจความพึงพอใจ การพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพาราด้วยเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย.

-
- คำชี้แจง:** 1. แบบสำรวจฉบับนี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำข้อมูลจากการสำรวจมาพัฒนา/ปรับปรุงระบบ เพื่อให้ได้ระบบตรงตามความต้องการของผู้ใช้
2. โปรดทำเครื่องหมาย ลงในช่องที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน ตามเกณฑ์การประเมินดังนี้

- 5 หมายถึง พึงพอใจมากที่สุด 4 หมายถึง พึงพอใจมาก 3 หมายถึง พึงพอใจปานกลาง
- 2 หมายถึง พึงพอใจน้อย 1 หมายถึง พึงพอใจน้อยที่สุด

ข้อมูลพื้นฐาน

- 1) เพศ ชาย หญิง
- 2) อายุ 20-25 ปี 26-30 ปี 31-35 ปี 36-40 40 ปีขึ้นไป
- 3) การศึกษา

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ				
	มากที่สุด (๕)	มาก (๔)	ปานกลาง (๓)	น้อย (๒)	น้อยที่สุด (๑)
การประเมินด้านความเหมาะสมในหน้าที่การทำงาน					
1. ความสามารถของระบบในการรับส่งข้อมูล					
2. ความสามารถของระบบในการแสดงผลข้อมูล					
การประเมินด้านความถูกต้องในการทำงาน					
1. ความถูกต้องของระบบในการรับส่งข้อมูล					
2. ความถูกต้องของระบบในการแสดงผลข้อมูล					
การประเมินด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน					
1. ความง่ายในการใช้ระบบงาน					
2. ความเร็วในการรับส่งข้อมูลและแสดงผลข้อมูล					

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ				
	มากที่สุด (๕)	มาก (๔)	ปานกลาง (๓)	น้อย (๒)	น้อยที่สุด (๑)
3. ความเหมาะสมในการออกแบบหน้าจอโดยรวม					
4. ความน่าใช้ของระบบในภาพรวม					
5. คู่มือการใช้งาน สื่อสารได้อย่างเข้าใจ และปฏิบัติตามขั้นตอนได้จริง					
การประเมินด้านความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์					
1. ความสามารถในการแสดงข้อมูล					
2. ความแม่นยำในการรับส่งข้อมูล					

- ข้อเสนอแนะ

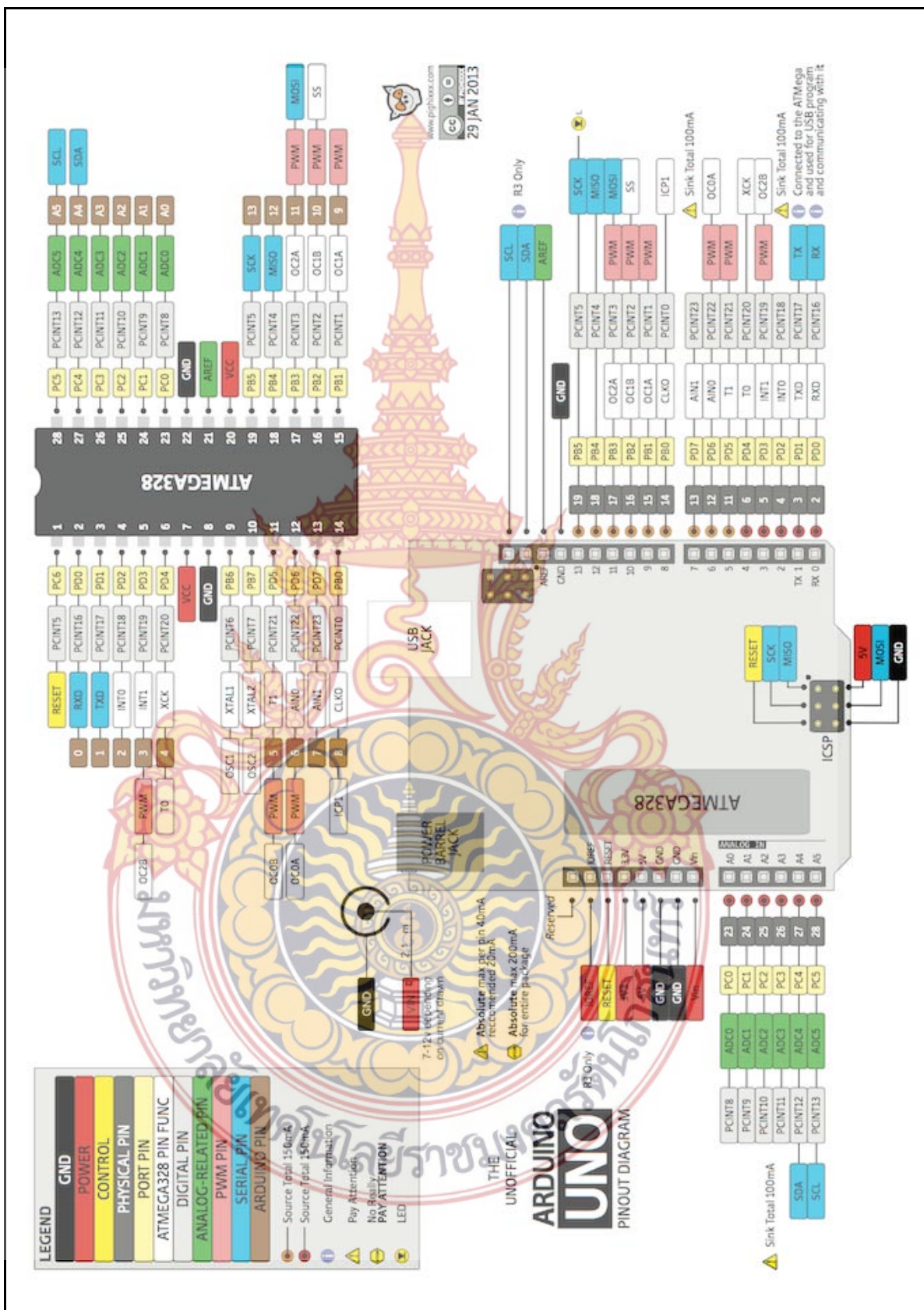
.....

.....

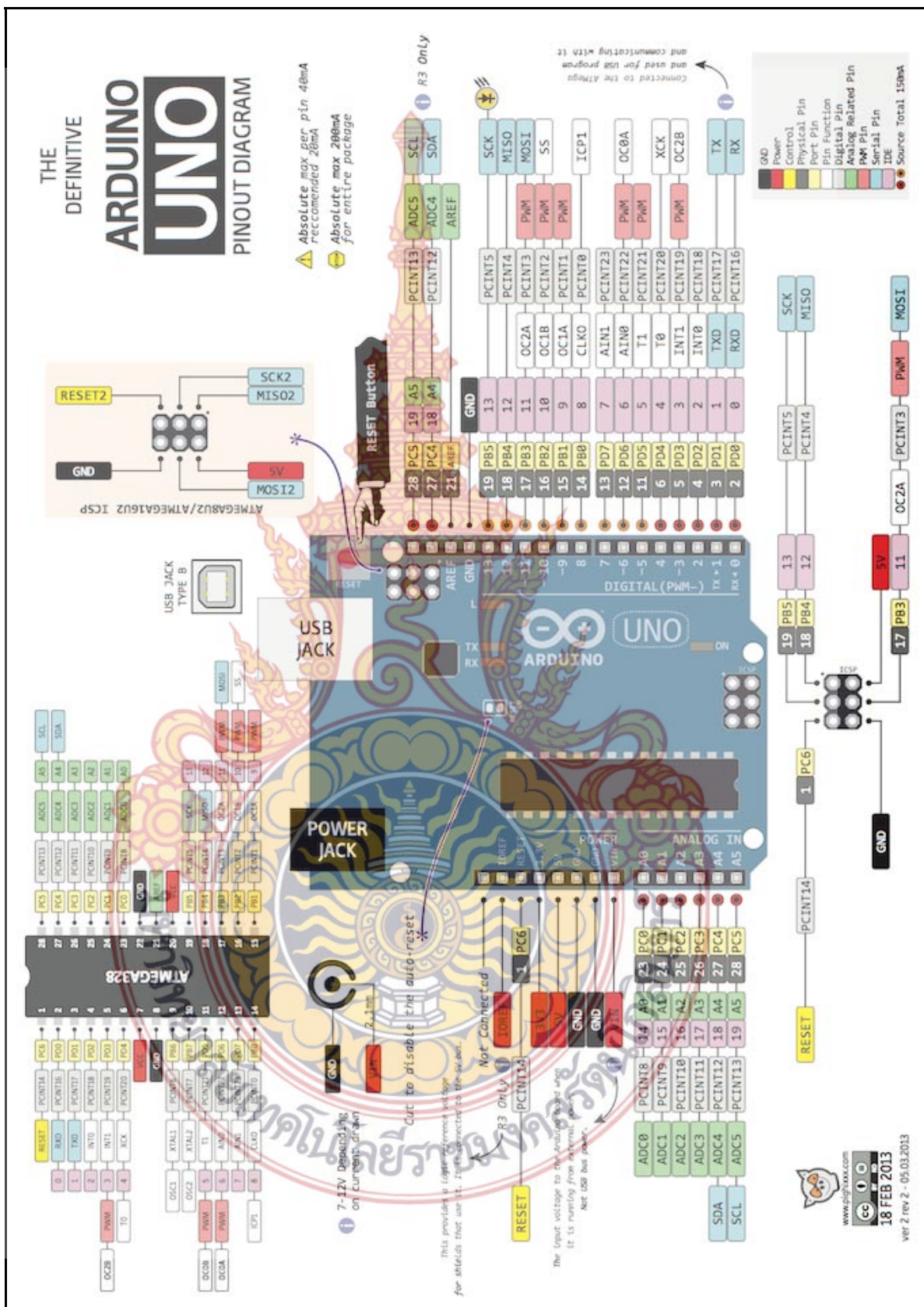
.....



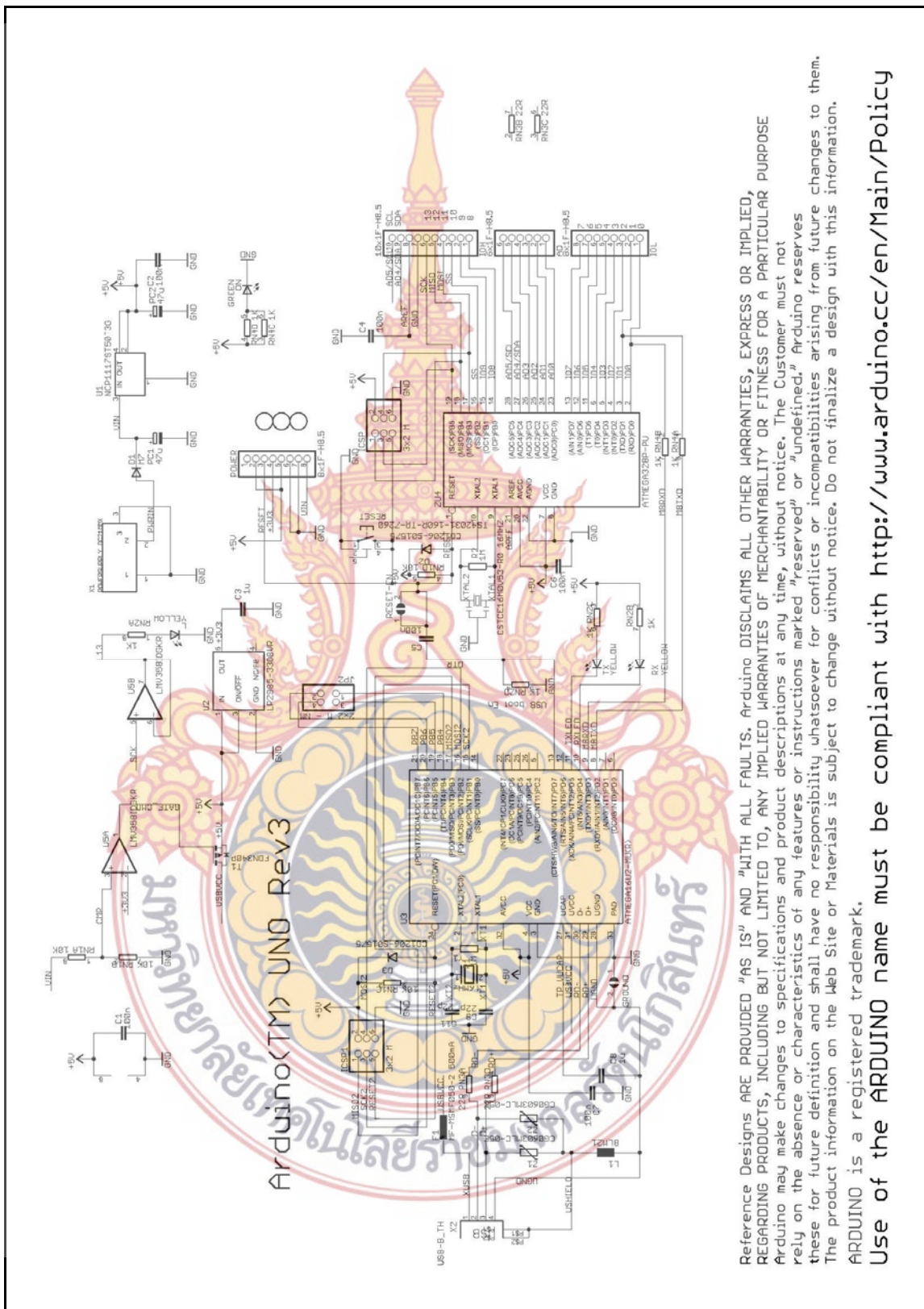




ภาพที่ ๑๒๘ ไดอะแกรม Arduino UNO R3 ด้านล่าง



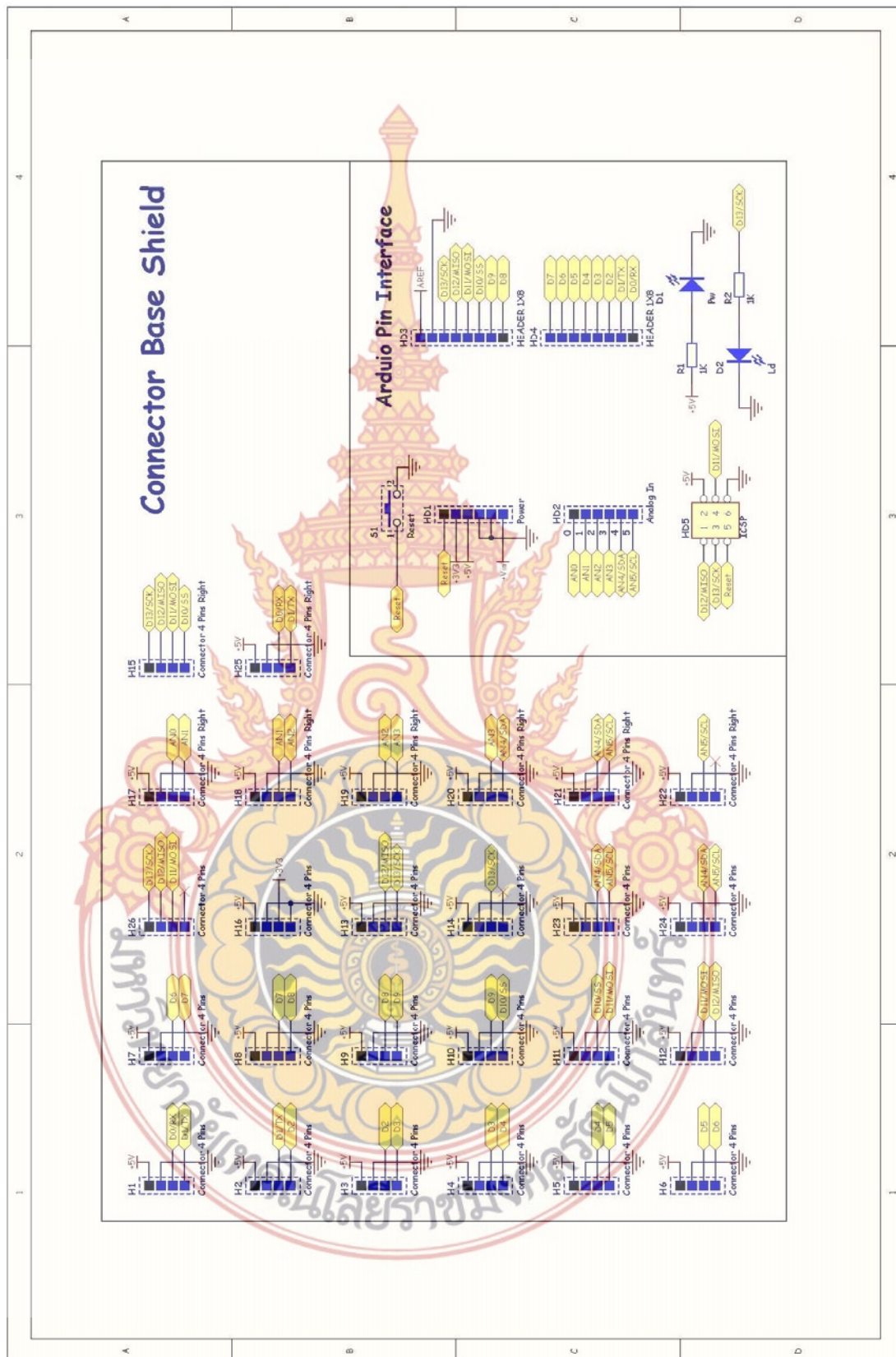
ภาพที่ ๑๒๗ ไดอะแกรม Arduino UNO R3 ด้านบน



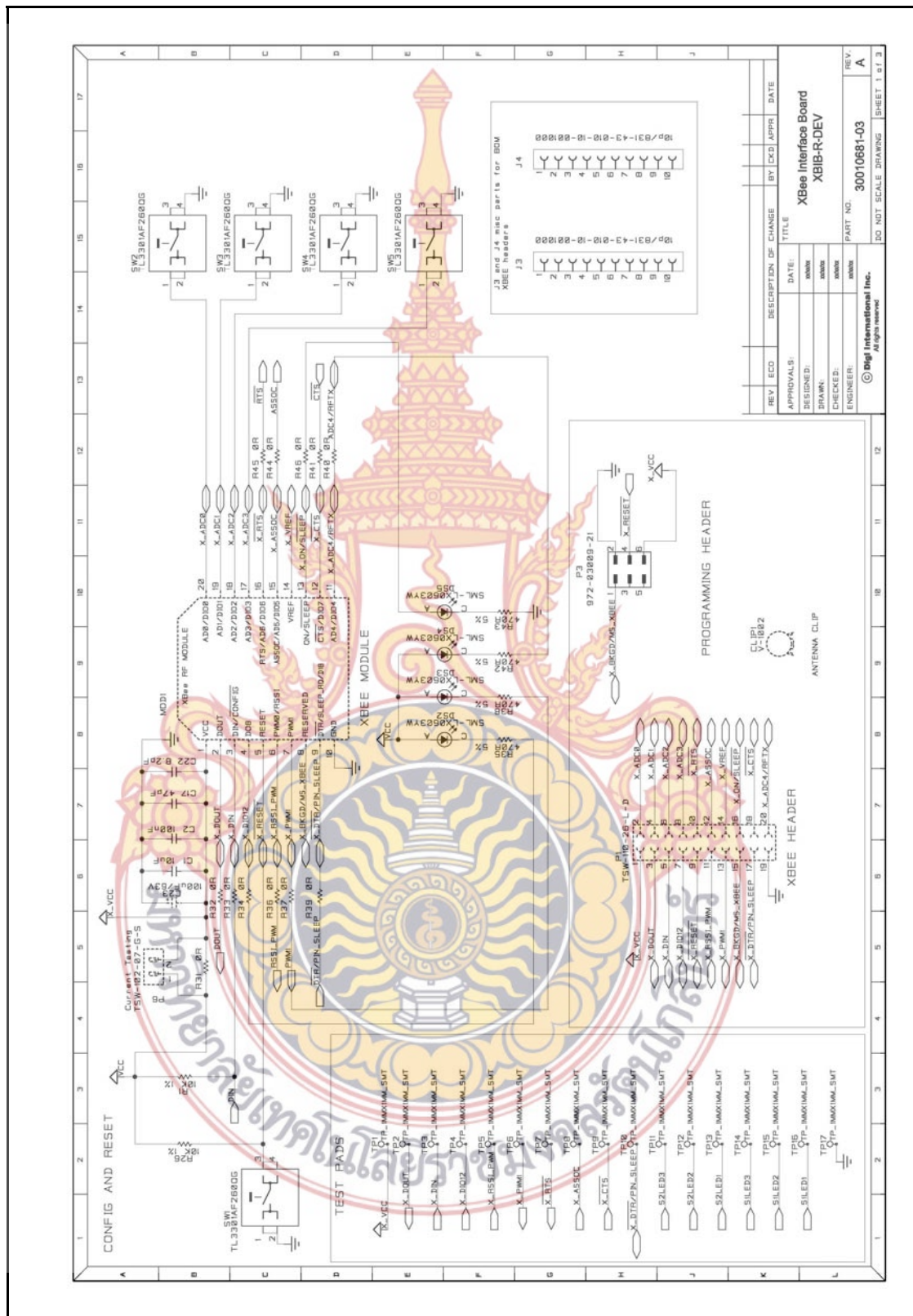
ภาพที่ ๓๐ แบบวงจร Arduino UNO R3

Reference Designs ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS. Arduino DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. Arduino may make changes to specifications and product descriptions at any time, without notice. The Customer must not rely on the absence or characteristics of any features or instructions marked "reserved" or "undefined." Arduino reserves these for future definition and shall have no responsibility whatsoever for conflicts or incompatibilities arising from future changes to them. The product information on the Web Site or Materials is subject to change without notice. Do not finalize a design with this information. ARDUINO is a registered trademark.

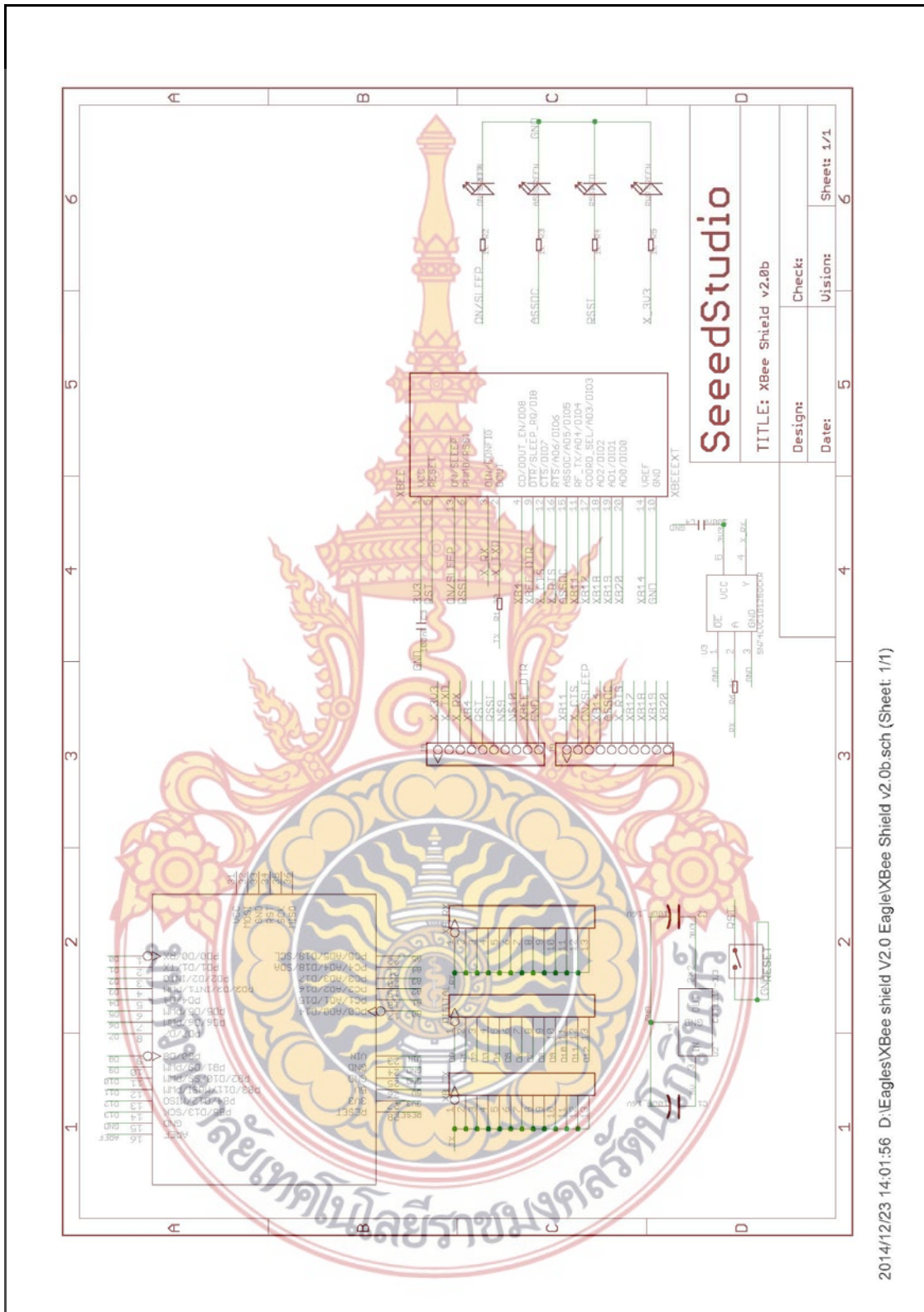
Use of the ARDUINO name must be compliant with <http://www.arduino.cc/en/Main/Policy>



ภาพที่ ๑๓๑ โดอะแกรมวงจร i-module connector base shield

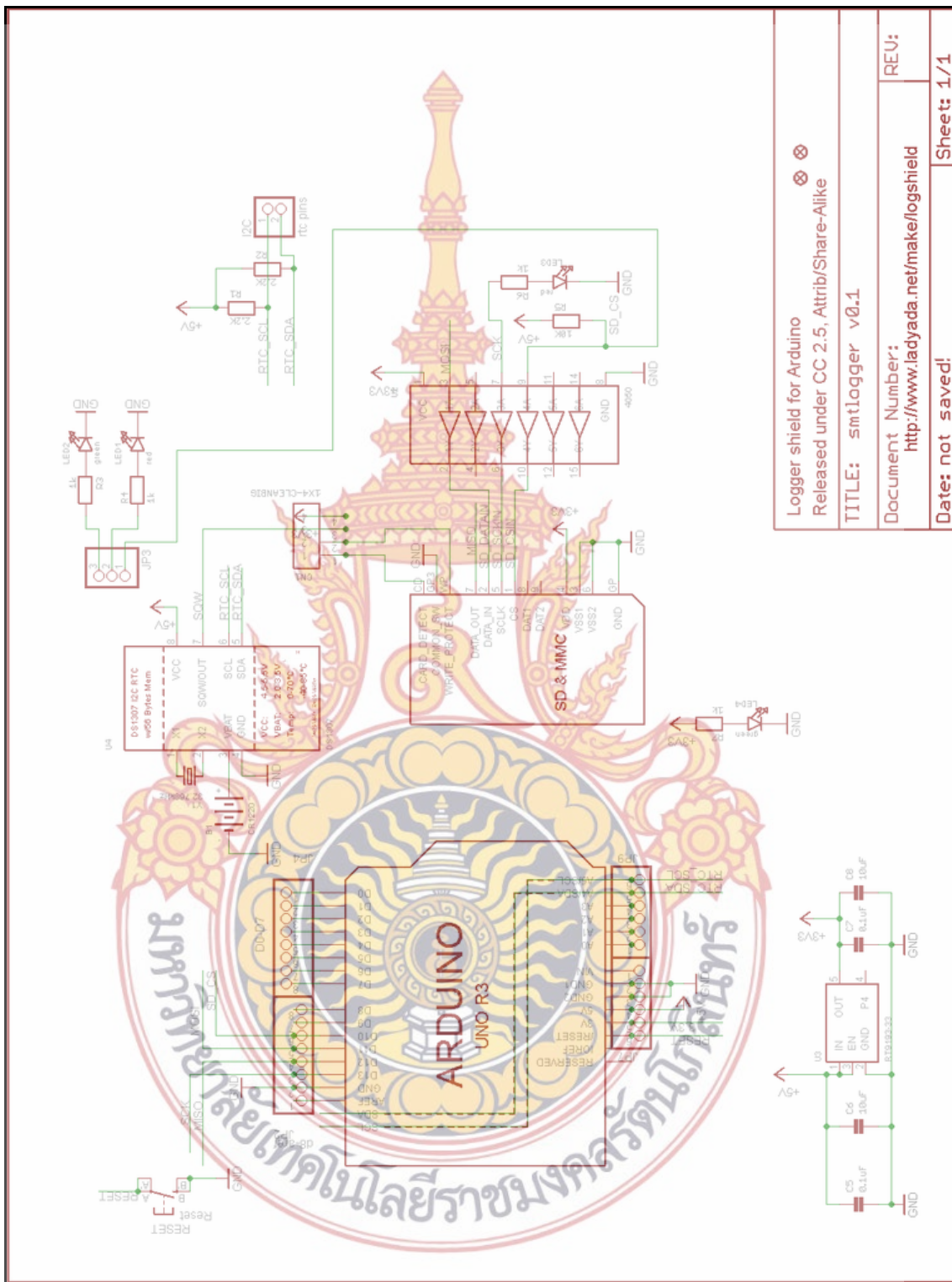


ภาพที่ ๑๓๒ แบบวงจร Xbee



2014/12/23 14:01:56 D:\Eagles\XBee shield V2.0 Eagle\XBee Shield v2.0b.sch (Sheet: 1/1)

ภาพที่ ๑๓๓ แบบวงจร Xbee Shield



ภาพที่ ๓๙ แบบวงจร Logger shield for Arduino

Logger shield for Arduino Released under CC 2.5, Atrib/Share-Alike TITLE: smllogger v0.1	
Document Number: http://www.ladyada.net/make/logshield	REU:
Date: not saved!	Sheet: 1/1





ภาพที่ 135 หนังสือแจ้งผลการพิจารณาบทความที่ส่งเข้าร่วมประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 7 (7th RMUTNC)



ภาพที่ 136 วุฒิบัตรการนำบทความวิจัยไปเผยแพร่การประชุมวิชาการระดับชาติ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 7 (7th RMUTNC)



ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นาย กาญจน์ชญา พานิชเจริญ
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr, KANBUNCHA PANICHCHAROEN
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3101501054418
2. ตำแหน่ง อาจารย์
3. หน่วยงานและสถานที่อยู่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ที่ทำงาน
โทรศัพท์มือถือ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ราชมงคลรัตนโกสินทร์ ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
E-mail kanbuncha.pan@rmutr.ac.th มือถือ 081-668-8678
4. ประวัติการศึกษา
 - ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม
 - ปริญญาโท ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
(คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ)
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา)
 - สาขาวิชา GSM/WCDMA
 - สาขาวิชา RDBMS

ประวัติผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายชาญยุทธ อูปายโกศล
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. CHANYUT AUPAYAGOSON
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 1200900002481
3. ตำแหน่ง อาจารย์
4. หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้สะดวก
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ กระทรวงศึกษาธิการ
E-mail: chanyut.a@rmutr.ac.th มือถือ 086-663-6998
5. ประวัติการศึกษา
 - ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีโทรคมนาคม)
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
 - ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
 - เทคโนโลยีพลังงาน
 - การประมวลผลทางภาพ

