สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# ระบบรายงานสถานะของรถแข่งผ่านการสื่อสารไร้สาย

# WIRELESS MONITORING FOR RACING CAR

T119526

นายนที เฮงพร้อม

**NATHEE HENGPROM**

นายพรชัย ทวีเดช

**PORNCHAI TAWEEDET**

นายพรชัย สิงตะนะ

**PORNCHAI SINGTANA**

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....119526
วัน,เดือน,ปี.....- 8 S.A. 2554

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# WIRELESS MONITORING FOR RACING CAR

NATHEE HENGPORM

PORNCHAI TAWEEDET

PORNCHAI SINGTANA

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|---|---|---|
| **หัวข้อปริญญานิพนธ์** | ระบบรายงานสถานะของรถแข่งผ่านการสื่อสารไร้สาย<br>(Wireless Monitoring for Racing Car) | |
| **รายชื่อนักศึกษา** | นายนที เฮงพร้อม | รหัสนักศึกษา 50010729 |
| | นายพรชัย ทวีเดช | รหัสนักศึกษา 50011035 |
| | นายพรชัย สิงตะนะ | รหัสนักศึกษา 50011037 |
| **ปริญญา** | วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต | |
| **สาขาวิชา** | วิศวกรรมสารสนเทศ | |
| **พ.ศ.** | 2553 | |
| **อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์** | ผศ.ดลชัย สุขเจริญผล | |

---

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับการอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

.....

(ผศ.ดลชัย สุขเจริญผล)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|---|---|---|
| **หัวข้อปริญญานิพนธ์** | ระบบรายงานสถานะของรถแข่งผ่านการสื่อสารไร้สาย (Wireless Monitoring for Racing Car) | |
| **รายชื่อนักศึกษา** | นายนที เฮงพร้อม | รหัสนักศึกษา 50010729 |
| | นายพรชัย ทวีเดช | รหัสนักศึกษา 50011035 |
| | นายพรชัย สิงตะนะ | รหัสนักศึกษา 50011037 |
| **ปริญญา** | วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต | |
| **สาขาวิชา** | วิศวกรรมสารสนเทศ | |
| **พ.ศ.** | 2553 | |
| **อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์** | ผศ.ดลชัย สุขเจริญผล | |

---

# บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอระบบรายงานสถานะของรถแข่งผ่านการสื่อสารไร้สาย โดยการประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์ร่วมกับเทคโนโลยีไมโครคอนโทรเลอร์ และส่งผ่านข้อมูลสถานะของเครื่องยนต์มายัง Cock Pit ด้วยอุปกรณ์สื่อสารไร้สาย เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์แก้ปัญหาและนำไปปรับปรุงรถแข่งให้มีสมรรถนะที่ดีขึ้น เพื่อนำไปใช้ในการแข่งขัน โดยข้อมูลสถานะของเครื่องยนต์ที่ได้รับจะมีส่วนของ GUI (Graphic User Interface) ที่ใช้ในการแสดงผลเพื่อช่วยอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|---|---|---|
| **Thesis Title** | Wireless monitoring for racing car | |
| **Student** | Mr. Nathee Hengprom | Student ID. 50010729 |
| | Mr. Pornchai Taweedet | Student ID. 50011035 |
| | Mr. Pornchai Singtana | Student ID. 50011037 |
| **Graduate Level** | Bachelor of Engineering | |
| **Department** | Information Engineering | |
| **Academic Year** | 2010 | |
| **Advisor** | Asst. Prof. Dolchai Sookcharoenphol | |

---


# Abstract

This project presents an engine status monitoring of a small racing car via wireless communication. The application of sensor and microcontroller technology through transmits engine status information to the car cockpit with wireless communication devices. A main part implements is an integration of main sensors and microcontroller then all status information transmits to the car cockpit by using MiWi P2P protocol. For solve problems and analyze engine data to improve the racing car performance in competition. The engine status information that has been used GUI (Graphic User Interface) display to help convenience the users. All engine status information can be real time display to staffs by GUI.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีต้องขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่รักและเคารพยิ่งของเรา ที่ทำงานอาบเหงื่อ ต่างน้ำ เพื่อทำให้เรามีวันนี้ได้ ขอขอบพระคุณครูบาอาจารย์ทุกท่านที่อบรมบ่มเพาะพวกเราตั้งแต่เล็กจนโต

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดลชัย สุขเจริญผล ที่คอยช่วยเหลือให้คำปรึกษาในการทำงานในด้านต่างๆ ให้เป็นไปอย่างถูกต้องเกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด

ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่ คอยให้ความช่วยเหลือให้คำปรึกษาพวกเรามาตลอด ทำให้งานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และ ขอบคุณทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อันเป็นสถานศึกษาหาความรู้ที่ทำให้พวกเราได้สำเร็จการศึกษาเป็นบัณฑิตที่ดีและมีคุณภาพออกมาเพื่อรับใช้สังคมเป็นคนดีเพื่อพัฒนาประเทศชาติให้เจริญก้าวหน้าสืบไป

นายนที เฮงพร้อม
นายพรชัย ทวีเดช
นายพรชัย สิงตะนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อ | I |
| Abstract | II |
| กิตติกรรมประกาศ | III |
| สารบัญ | IV |
| สารบัญตาราง | VIII |
| สารบัญรูปภาพ | IX |
| **บทที่ 1 บทนำ** | 1 |
| 1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา | 1 |
| 1.2 จุดประสงค์ | 1 |
| 1.3 ขอบเขตของโครงงาน | 2 |
| 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| 1.5 อุปกรณ์ที่ใช้ | 2 |
| 1.6 สถาปัตยกรรมของระบบ | 3 |
| 1.7 ขั้นตอนการดำเนินงาน | 4 |
| **บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง** | 5 |
| 2.1 การส่งสัญญาณผ่านคลื่นวิทยุ | 5 |
| 2.1.1 การรับส่งสัญญาณโดยใช้คลื่นวิทยุ | 5 |
| 2.1.2 เครื่องส่งสัญญาณวิทยุ(Transmitter) | 5 |
| 2.1.3 เสาอากาศ(Antenna) | 6 |
| 2.1.4 เครื่องรับสัญญาณวิทยุ (Receiver) | 6 |
| 2.1.5 คุณสมบัติของคลื่นวิทยุ | 6 |
| 2.1.6 การลดทอนของคลื่น (Attenuation) | 6 |
| 2.1.7 ผลของสิ่งกีดขวางที่มีผลต่อการรับสัญญาณคลื่นวิทยุ | 8 |
| 2.1.8 การสะท้อนของคลื่น(Reflection) | 10 |
| 2.1.9 การสะท้อนและการเดินทางของคลื่นจากหลายทิศทาง (Multipath) | 10 |
| 2.1.10 Delay Spread ตัวแปรที่บอกถึงปัญหา Multipath | 11 |
| 2.1.11 การสะท้อนอย่างกระจัดกระจาย(Scattering) | 12 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| 2.1.12 การเลี้ยวเบน (Diffraction) | 12 |
| 2.1.13 สัญญาณรบกวน (Noise) | 13 |
| 2.1.14 อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio) | 13 |
| 2.1.15 สัญญาณรบกวนที่เกิดจากระบบสื่อสารรบกวนกันเอง | 14 |
| 2.1.16 การรบกวนจากช่องสัญญาณข้างเคียง | 14 |
| 2.1.17 เทคนิคการป้องกันการรบกวนจากช่องสัญญาณข้างเคียง | 14 |
| 2.1.18 การรบกวนในช่องสัญญาณเดียวกัน | 15 |
| 2.2 ระบบเครือข่ายไร้สาย | 16 |
| 2.2.1 ความถี่ย่านเสรี (ISM Band) | 16 |
| 2.2.2 เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระยะสั้นด้วยคลื่นวิทยุ | 17 |
| 2.2.3 มาตรฐาน IEEE 802.15.4 | 17 |
| 2.2.3.1 IEEE 802.15.4 Physical Layer | 19 |
| 2.2.3.2 IEEE 802.15.4 MAC Layer | 20 |
| 2.2.3.3 IEEE 802.15.4 Piconets | 20 |
| 2.2.3.4 IEEE 802.15.4 MiWi™ Wireless Protocol | 22 |
| 2.3 โปรแกรมภาษา Visual C# | 26 |
| 2.3.1 Integrated Development Environment (IDE) | 26 |
| 2.3.2 ขั้นตอนการเขียนโปรแกรม | 27 |
| 2.4 Microcontroller | 28 |
| 2.4.1 โครงสร้างโดยทั่วไป | 28 |
| 2.4.2 PIC | 30 |
| 2.4.2.1 ความเร็วของ PIC | 30 |
| 2.4.2.2 หน่วยความจำของ PIC | 30 |
| 2.4.2.3 สถาปัตยกรรมของPIC | 30 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| 2.4.2.4 Flash Program Memory | 31 |
| 2.4.2.5 EEPROM | 31 |
| 2.4.2.6 SFR Registers | 32 |
| 2.4.2.7 Program Counter | 32 |
| 2.4.2.8 Level Stack | 33 |
| 2.4.2.9 STATUS Register | 33 |
| 2.4.2.10 FSR Register | 33 |
| 2.4.2.11 Address Multiplexer | 34 |
| 2.4.2.12 EEDATA | 34 |
| 2.4.2.13 EEADR | 34 |
| 2.4.2.14 Timer | 34 |
| 2.4.2.15 I/O Ports | 34 |
| 2.4.2.16 Timing Generation | 34 |
| 2.5 ECU | 36 |
| 2.6 SQL | 38 |
| 2.6.1 Select query | 38 |
| 2.6.2 Update query | 39 |
| 2.6.3 Insert query | 39 |
| 2.6.4 Delete query | 39 |
| 2.6.5 SQLite | 39 |
| **บทที่ 3 การออกแบบโครงสร้าง** | 40 |
| 3.1 Block Diagram ของระบบ | 40 |
| 3.1.1 Flow Chart การทำงานในฝั่งส่ง | 41 |
| 3.1.2 Flow Chart ของการส่งข้อมูลไปยังส่วนติดต่อผู้ใช้ | 42 |
| 3.1.3 Flow Chart การทำงานของส่วนติดต่อผู้ใช้ | 43 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)

**เรื่อง** **หน้า**


3.2 การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้โดยภาษา Visual C# 44

3.3 การออกแบบวงจรของ Microcontroller 49

3.3.1 ภาคจ่ายไฟ 49

3.3.2 ภาคไมโครคอนโทรลเลอร์ 49

3.3.3 ภาคส่งสัญญาณสื่อสารไร้สาย 52

**บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง** 53

**บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง** 57

**บรรณานุกรม** 60

**ภาคผนวก** 61

ภาคผนวก ก. รายละเอียดของวงจร 61

ภาคผนวก ข. รูปภาพของโครงงาน 68

ภาคผนวก ค. การติดตั้งบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ 70

ภาคผนวก ง. รายละเอียดของอุปกรณ์ 73



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

**ชื่อตาราง** **หน้า**

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนิน 4
ตารางที่ 2.1 อัตราการลดทอนของคลื่นเมื่อเจอวัสดุต่างๆ 9
ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงค่า Delay Spread 11
ตารางที่ 2.3 Wireless Comparisons 18
ตารางที่ 2.4 ตารางโหมดการรักษาความปลอดภัยของ IEEE 802.15.4 25
ตารางที่ 2.5 แพคเกตข้อมูลเมื่อมีการเปิดใช้งานโหมดรักษาความปลอดภัย 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

**รูปภาพ** **หน้า**


รูปที่ 1.1 Block Diagram การทำงานของภาคส่ง 3
รูปที่ 1.2 Block Diagram การทำงานของภาครับ 4
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบหลักๆในการสื่อสารไร้สาย โดยใช้คลื่นวิทยุในการรับส่งสัญญาณ 5
รูปที่ 2.2 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นวิทยุคล้ายกับแสงจากหลอดไฟ 7
รูปที่ 2.3 กราฟแสดงความแรงสัญญาณกับระยะทาง 7
รูปที่ 2.4 ผลของระยะทางที่มีผลกระทบกับความแรงของสัญญาณ 8
รูปที่ 2.5 เขตเงาของสัญญาณที่ทำให้มือถือรับสัญญาณได้ต่ำ 9
รูปที่ 2.6 การสะท้อนของวิทยุคลื่นสั้นในระบบ AM 10
รูปที่ 2.7 การสะท้อนและการเดินทางจากคลื่นจากหลายทิศทาง 11
รูปที่ 2.8 การเลี้ยวเบนของคลื่นเมื่อเจอสิ่งกีดขวางขนาดใหญ่มากๆ 12
รูปที่ 2.9 สัญญาณรบกวน 13
รูปที่ 2.10 การรบกวนจากช่องสัญญาณข้างเคียง 14
รูปที่ 2.11 ระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณเพื่อป้องกันการรบกวน 15
รูปที่ 2.12 ผู้ใช้ในบริเวณที่คาบเกี่ยวระหว่างเครื่องส่งสองเครื่อง 15
รูปที่ 2.13 เครือข่ายไวร์เลสประเภทต่างๆ ตามมาตรฐาน 802.11 16
รูปที่ 2.14 IEEE 802.15.4 Protocol Stack 18
รูปที่ 2.15 Bands and channels in IEEE 802.15.4 standard 19
รูปที่ 2.16 Ad hoc Network and Peer-to-Peer Topology 21
รูปที่ 2.17 บล็อกไดอะแกรมของ The MiWi P2P Protocol 23
รูปที่ 2.18 ส่วนประกอบของ Integrated Development Environment (IDE) 26
รูปที่ 2.19 ภาษาของ Micro-Controller 29
รูปที่ 2.20 กล่อง ECU รุ่น S60 Pro 36
รูปที่ 2.21 วงจรเซ็นเซอร์ต่างๆที่ต่อเข้ากับกล่องECU 37
รูปที่ 3.1 Block Diagram ของระบบ 40
รูปที่ 3.2 Flow Chart การทำงานในฝั่งส่ง 41
รูปที่ 3.3 Flow Chart การทำงานในฝั่งรับ 42
รูปที่ 3.4 Flow Chart การทำงานของส่วนติดต่อผู้ใช้ 43
รูปที่ 3.5 ส่วนติดต่อผู้ใช้ในหน้าแรก 44


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป(ต่อ)

**รูปภาพ** **หน้า**


รูปที่ 3.6 ส่วนติดต่อผู้ใช้ในหน้าที่สอง 45
รูปที่ 3.7 ส่วนติดต่อผู้ใช้ในหน้าที่สาม 46
รูปที่ 3.8 ส่วนติดต่อผู้ใช้ในหน้าที่สี่ 47
รูปที่ 3.9 ส่วนติดต่อผู้ใช้หน้าที่ห้า 48
รูปที่ 3.10 วงจร IC Switching Regulator 49
รูปที่ 3.11 แสดงการใช้งานของขา dsPIC33F 50
รูปที่ 3.12 สถาปัตยกรรมภายในของ dsPIC33F 51
รูปที่ 3.13 Block Diagram การทำงานของ MRF24J40MB 52
รูปที่ 3.14 แสดงหน้าที่ของขาต่างๆ ในโมดูล MRF24J40MB 52
รูปที่ 4.1 การตั้งค่าการทำงานของส่วนติดต่อผู้ใช้ 53
รูปที่ 4.2 การทำงานของส่วนติดต่อผู้ใช้ในหน้าจอ Dashboard 54
รูปที่ 4.3 การแสดงผลในรูปของกราฟ 55
รูปที่ 4.4 การแสดงผลการทำงานในส่วนของการบันทึกข้อมูล 56
รูปที่ 4.4 แสดงขั้นตอนการลบฐานข้อมูล 56
รูปที่ ก.1 วงจรส่วนประมวลผลหลัก 62
รูปที่ ก.2 วงจรแปลง RS-232 63
รูปที่ ก.3 วงจรภาคจ่ายไฟ 64
รูปที่ ก.4 ลายวงจรของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ด้านบน 65
รูปที่ ก.4 ลายวงจรของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ด้านล่าง 66
รูปที่ ก.5 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ 67
รูปที่ ข.1 บอร์ดไมโครคอนโทลเลอร์ที่ใช้ในโครงงาน 69
รูปที่ ข.2 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ด้านรับและด้านส่ง 69
รูปที่ ค.3 การติดตั้งบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ด้านส่ง 71
รูปที่ ค.4 การติดตั้งบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ด้านรับ 72


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา

สมาคมวิศวกรรมยานยนต์ไทย Society of Automotive Engineers - Thailand (TSAE) ได้ก่อตั้งขึ้นอย่างเป็นทางการตั้งแต่ปี 2541 โดยมีวัตถุประสงค์หลักในการรวบรวมบุคคลากรในแวดวงอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนให้มาดำเนินกิจกรรมร่วมกันในระดับชาติและระดับนานาชาติร่วมกับสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ของประเทศต่างๆ และเป็นศูนย์กลางในการรวบรวมและเผยแพร่ข้อมูลด้านเทคโนโลยียานยนต์แก่สมาชิกและผู้สนใจทั่วไป

สมาคมวิศวกรรมยานยนต์แห่งประเทศไทย (TASE) จัดการแข่งขัน รายการ TSAE Auto Challenge รถยนต์ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ที่มีลักษณะเป็น Formula car ระดับอุดมศึกษา ชิงถ้วยรางวัลพระราชทานของ สมเด็จพระเทพฯ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมสนับสนุนการพัฒนาทักษะวิศวกรรมยานยนต์เสริมสร้างบุคลากรด้านยานยนต์ในประเทศไทย สนับสนุนการออกแบบการสร้างยานยนต์และการจัดการอย่างครบวงจร รวมถึงส่งเสริมให้เกิดนวัตกรรมด้านยานยนต์โดยฝีมือคนไทยเพื่อนำไปสู่การแข่งขันระดับโลก

ในการแข่งรถ Student Formula Auto Challenge (TSAE) โดยทางสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (ชมรมยานยนต์) ได้สร้างรถแข่งเพื่อส่งเข้าแข่งขันในรายการดังกล่าวด้วย ดังนั้นสภาพโดยรวมของตัวรถนั้นต้องมีสภาพที่พร้อมก่อนการแข่งขัน แต่นั่นก็ไม่ได้หมายความว่าในขณะทำการแข่งขันอยู่ รถที่ใช้ลงแข่งขันนั้นจะไม่มีปัญหาในขณะที่กำลังทำการแข่งขัน การที่เราจะแก้ไขข้อผิดพลาดของรถแข่งในขณะที่ทำการแข่งขันอยู่นั้นทำได้ยาก

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างระบบการรายงานสถานะแบบไร้สายของรถแข่งให้เจ้าหน้าที่ในทีมได้ทราบ
2. เพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรมผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์
3. เพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรม Visual Basic ซึ่งเป็นภาษาที่ใช้ในการออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้
4. เพื่อศึกษาการทำงานของระบบเครือข่ายไร้สายแบบ MiWi P2P Protocol
5. เพื่อนำระบบการรายงานสถานะของรถแข่งแบบไร้สาย มาใช้ในการแข่งขัน TSAE Auto Challenge ปี 2010 ที่ทางสมาคมวิศวกรรมยานยนต์แห่งประเทศไทยจัดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.3 ขอบเขตของโครงงาน

โครงการนี้เป็นการพัฒนาและปรับปรุงการรายงานสถานะในรถแข่งขนาดเล็กที่ใช้ในการแข่งขันในรายการ TSAE Auto Challenge เพื่อให้มีความสามารถในการรายงานสถานะของรถแข่งในแบบ real-time ผ่านการสื่อสารไร้สาย โดยมีความสามารถในการทำงานดังต่อไปนี้

1. เพื่อให้เจ้าหน้าที่ในทีมที่ไม่ใช่นักขับสามารถดูสถานะต่างๆของรถ แล้วรายงานให้นักแข่งทราบ ซึ่งจะได้หาทางแก้ไขสถานการณ์ต่างๆที่อาจจะเกิดขึ้นในขณะแข่งขัน
2. สามารถทราบสถานะต่างๆในรถแข่ง โดยผ่านทางส่วนติดต่อผู้ใช้ ที่สามารถใช้งานได้ง่าย มีระบบการแจ้งเตือนสถานะที่อาจจะไม่ปกติของรถแข่งขณะแข่งขันได้

## 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้ในการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์
2. ได้รับความรู้ของระบบการส่งข้อมูลแบบไร้สาย MiWi P2P Protocol
3. ได้รับความรู้ในการเขียนโปรแกรม Visual Basic เพื่อเป็นส่วนในการติดต่อกับผู้ใช้
4. ได้สร้างชื่อเสียงให้กับสถาบันในการแข่งขัน TSAE Auto Challenge

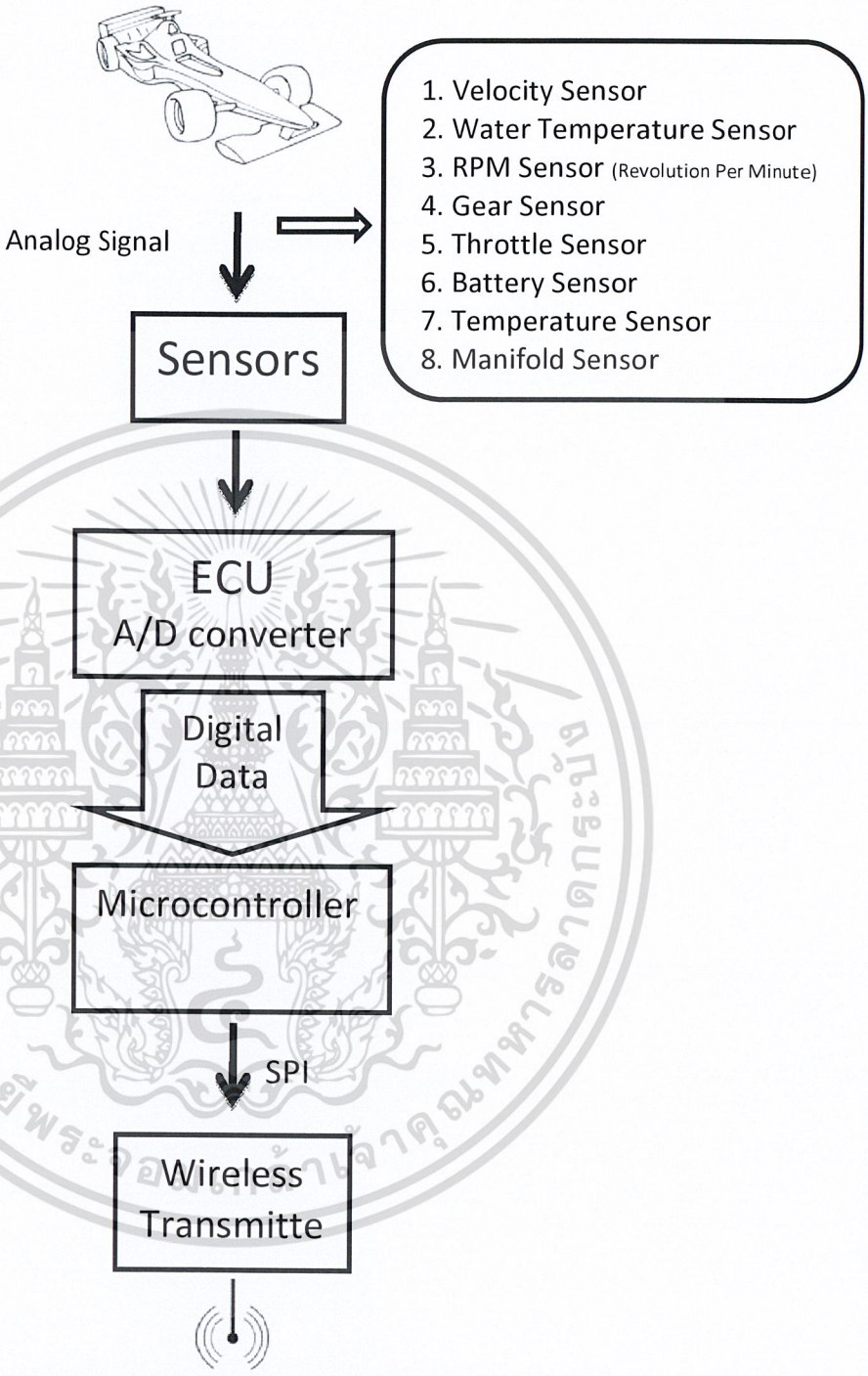
## 1.5 อุปกรณ์ที่ต้องใช้

1. ฮาร์ดแวร์
    - กล่อง ECU 1 กล่อง
    - Microcontroller dsPIC33FJ128M706 ของบริษัท Microchip 2 ตัว
    - Module Wireless Microchip MRF24J40MB 2 ตัว
    - คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการรับสถานะ 1 ตัว
2. ซอร์ฟแวร์
    - โปรแกรม MPLAB C30 เพื่อใช้ในการเขียนควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์
    - โปรแกรม Visual Studio เพื่อใช้ในการเขียนภาษา Visual Basic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.6 สถาปัตยกรรมของระบบ

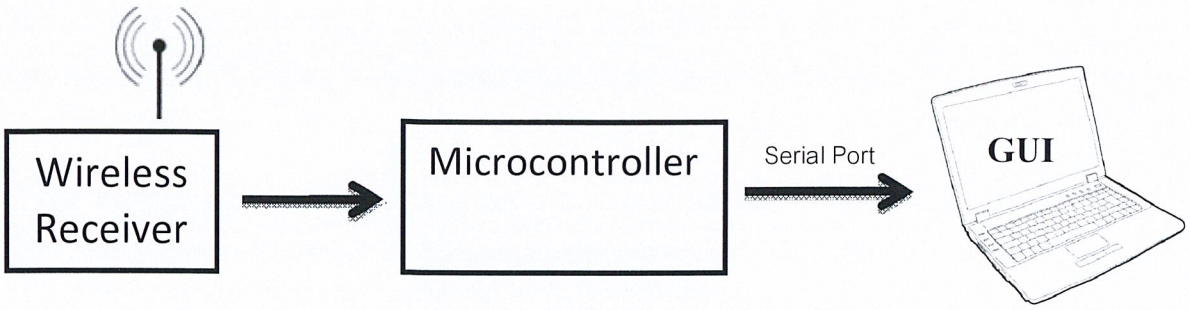
<u>ภาคส่ง</u>




รูปที่ 1.1 Block Diagram การทำงานของภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาครับ**




รูปที่ 1.2 Block Diagram การทำงานของภาครับ

## 1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน

| ขั้นตอนการทำโครงงาน | ช่วงระยะเวลา | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2553 | | | | | | | 2554 | |
| | มิ.ย | ก.ค. | ส.ค | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ |
| 1.กำหนดปัญหาที่จะทำการศึกษา | ← | → | | | | | | | |
| 2.ออกแบบวงจรที่รับ – ส่งสัญญาณ | | ← | → | | | | | | |
| 3.ทำการทดลองในภาคทฤษฎี | | | ← | → | → | → | → | | |
| 4.ศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในวงจรเพื่อทำการแก้ไข และปรับปรุงวงจร | | | | ← | → | → | → | → | → |
| 5.การทำปริญญานิพนธ์ | | | | ← | → | → | → | → | → |

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนิน

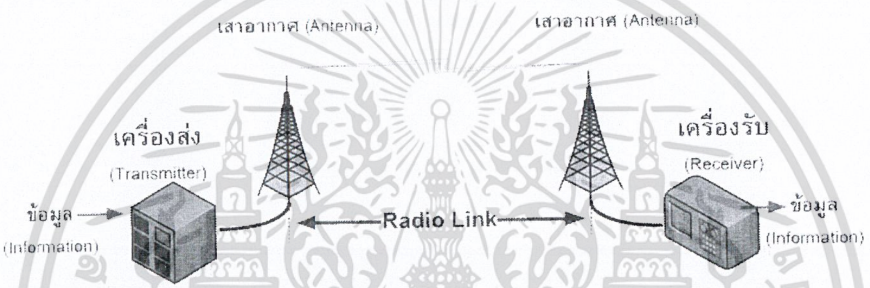
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 การส่งสัญญาณผ่านคลื่นวิทยุ

### 2.1.1 การรับส่งสัญญาณโดยใช้คลื่นวิทยุ

เป้าหมายหลักๆ ของการใช้คลื่นวิทยุในการรับส่งข้อมูลก็คือ การส่งข้อมูลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งโดยใช้คลื่นวิทยุ ซึ่งไม่จำเป็นต้องเดินสายเชื่อมต่อระหว่าง 2 จุดนั้น และเราต้องการอุปกรณ์หลักๆ อยู่ 3 ประการ คือ เครื่องส่ง เสาอากาศ และเครื่องรับ




**รูปที่ 2.1** ส่วนประกอบหลักๆในการสื่อสารไร้สาย โดยใช้คลื่นวิทยุในการรับส่งสัญญาณ[3]

### 2.1.2 เครื่องส่งสัญญาณวิทยุ(Transmitter)

เมื่อเราต้องการจะส่งข้อมูลไม่ว่าจะเป็นสัญญาณเสียงเพลง หรือข้อมูลที่เป็นดิจิตอล ก็ต้องป้อนข้อมูลนี้ให้กับเครื่องส่งสัญญาณ หลังจากนั้นข้อมูลนี้ก็จะถูกโมดูเลตเข้ากับคลื่นพาหะซึ่งเป็นคลื่นวิทยุ ใช้สำหรับนำพาข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทาง หลังจากโมดูเลตเสร็จเราก็จะได้สัญญาณวิทยุ ซึ่งเราก็จะนำไปผ่านวงจรขยาย เพื่อเพิ่มความแรงของสัญญาณเพื่อให้ส่งออกอากาศได้ในระยะทางไกลๆ สัญญาณวิทยุนี้ก็จะถูกส่งไปยังเสาอากาศโดยผ่านสายนำสัญญาณเพื่อออกอากาศต่อไป

### 2.1.3 เสาอากาศ(Antenna)

หน้าที่หลักของเสาอากาศก็คือ การแปลงสัญญาณวิทยุนี้เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อส่งออกอากาศไปจากภาคส่งคลื่นวิทยุ และทำหน้าที่ในการแปลงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ในอากาศไปเป็นสัญญาณวิทยุเพื่อส่งให้ภาครับดีโมดูเลตข้อมูลออกจากสัญญาณวิทยุต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสาอากาศจัดเป็นอุปกรณ์หนึ่งที่มีความสำคัญมากถ้าเสาอากาศไม่มีคุณภาพก็จะส่งสัญญาณไม่ออกหรือไม่สามารถรับสัญญาณได้เลย ซึ่งมีตัวแปรหลายๆค่าที่ใช้บอกคุณสมบัติเสาอากาศ เช่น เกน(Gain) หรืออัตราขยายเป็นตัวบอกว่า เสาอากาศนี้มีคุณสมบัติในการแปลงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาเป็นสัญญาไฟฟ้าได้ดีเพียงใด ค่าบีมวิธ (Beamwidth) ซึ่งบอกรูปร่างลักษณะการกระจายคลื่นว่าเป็นรูปแบบไหน การเลือกใช้เสาอากาศที่มีทิศทางช่วยกำหนดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นได้ดีกว่า และค่า SWR เป็นตัวเลขที่บอกถึงคลื่นที่สะท้อนกลับมาเมื่อเราส่งสัญญาณออกอากาศไป หากค่า SWR นี้มีค่าสูงมากๆ ก็อาจจะทำให้เครื่องส่งพังได้

### 2.1.4 เครื่องรับสัญญาณวิทยุ (Receiver)

หลังจากมีการส่งสัญญาณออกอากาศมา จะมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากระจายออกไป ในระบบเครื่องรับวิทยุก็จะใช้เสาอากาศในการเปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้มาเป็นสัญญาณไฟฟ้า หลังจากนั้นก็จะขยายสัญญาณให้มีความแรงขึ้น สัญญาณนี้ก็จะถูกดีโมดูเลตข้อมูลออกจากคลื่นพาหะ ข้อมูลที่ได้ก็จะถูกเอาไปใช้งานนั่นเป็นการสิ้นสุดขบวนการรับและส่งคลื่นวิทยุ

ภาครับนั้นเป็นส่วนที่สำคัญมากเพราะเป็นส่วนที่แยกข้อมูลออกจากคลื่นพาหะ หากมีประสิทธิภาพดีก็จะสามารถแยกคลื่นที่มีความแรงน้อยมากๆออกจากสัญญาณรบกวนได้ ค่านี้ส่วนใหญ่จะรู้จักในชื่อของ “ความไวของเครื่องรับ (Sensitivity)” ในสภาวะความเป็นจริงจะมีคลื่นวิทยุความถี่ข้างเคียงอยู่มากมายเครื่องรับที่ดีจะต้องมีความสามารถในการแยกแยะสัญญาณที่ต้องการกับความถี่ข้างเคียงได้ ค่านี้เรามักจะเรียกว่า “ความสามารถในการแยกแยะสัญญาณ (Selectivity)”

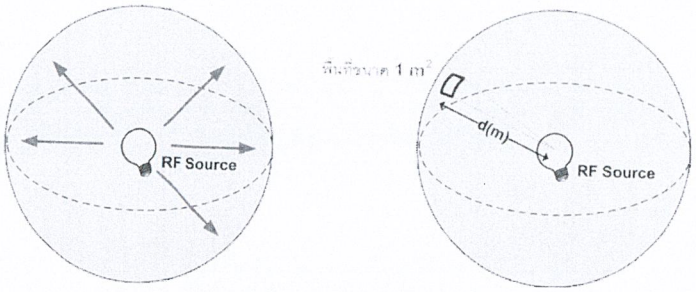
### 2.1.5 คุณสมบัติของคลื่นวิทยุ

คลื่นวิทยุส่วนใหญ่ก็จะมีสมบัติเหมือนกับคลื่นทั่วๆ ไป ไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติการแทรกสอด การเลี้ยวเบน การสะท้อน หรือการหักเห คุณสมบัติเหล่านี้คุณจะเคยศึกษาในตอนมัธยมปลาย แต่มีคุณสมบัติของคลื่นบางประการที่ควรจะทราบเพิ่มเติม ซึ่งมีดังต่อไปนี้

### 2.1.6 การลดทอนของคลื่น (Attenuation)

การแพร่กระจายของคลื่นวิทยุก็คล้ายกับแสงไฟ เมื่อเราอยู่ใกล้กับหลอดไฟนี้ก็จะเห็นว่าหลอดไฟสว่างจ้าจนแทบจะมองไม่ได้ และเมื่อคุณเดินห่างจากหลอดไฟออกไปก็จะสังเกตุเห็นว่าหลอดไฟนี้สว่างลดลง สาเหตุมาจากก็เพราะว่าเมื่อลำแสงกระจายออกไป เมื่อคุณอยู่ใกล้ๆ ก็จะมีลำแสงจำนวนมากกระจายผ่านพื้นที่หนึ่งๆมาก แต่เมื่อห่างออกไปจำนวนลำแสงที่ผ่านพื้นที่วงกลมก็จะลดลง นั่นทำให้ความเข้มของแสงต่อพื้นที่ลดลงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.2** ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นวิทยุคล้ายกับแสงจากหลอดไฟ [3]

การแพร่กระจายของคลื่นวิทยุนี้ก็จะมีลักษณะคล้ายกับแสงเช่นกัน เพราะคลื่นวิทยุก็เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งเหมือนกัน ความแรงของสัญญาณวิทยุก็จะลดลงตามระยะห่างจากต้นกำเนิดเป็นอัตราส่วนผกผันกำลังสอง นั่นหมายความว่า ยิ่งคุณอยู่ห่างจากต้นกำเนิดแสงมากเท่าไหร่ ความแรงของสัญญาณก็จะยิ่งลดลงมากเป็นทวีคูณ ตามสมการความเข้มของสัญญาณ Power Flux Density โดยมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร

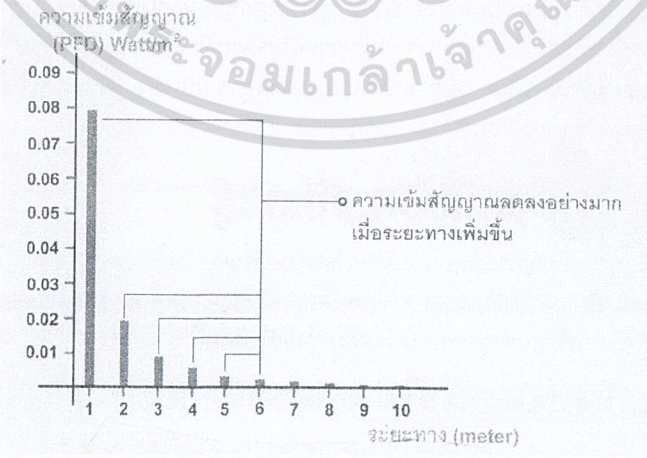
สมการความเข้มของสัญญาณ : Power Flux Density (PFD)

$$P_{pfd} = \frac{P_t}{4\pi d^2}$$

$P_t$ คือ ความแรงของสัญญาณจากเครื่องส่ง (Watt)

$P_{pfd}$ คือ ความเข้มของสัญญาณที่เครื่องรับ ซึ่งห่างจากเครื่องส่งเป็นระยะทาง (วัตต์/ตารางเมตร)

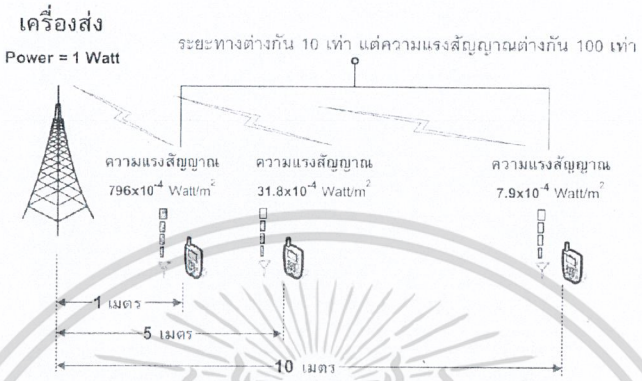
$d$ คือ ระยะห่างระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ (เมตร)




**รูปที่ 2.3** กราฟแสดงความแรงสัญญาณกับระยะทาง [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำสมการดังกล่าวมาวาดเป็นกราฟ จะพบว่าความเข้มของสัญญาณจะแปรผกผันในอัตราส่น ของระยะทางกำลังสอง ตัวอย่างเช่น สถานีวิทยุส่งสัญญาณความแรง 1 วัตต์ และอยู่ห่าง 1 เมตร ความเข้มของสัญญาณจะเท่ากับ 0.079 Watt/$m^2$ แต่เมื่อคุณอยู่ห่าง 10 เมตร ความแรงของสัญญาณก็จะเกือบเป็นศูนย์คือ 0.00079 Watt/$m^2$ หรือต่างกัน 100 เท่า



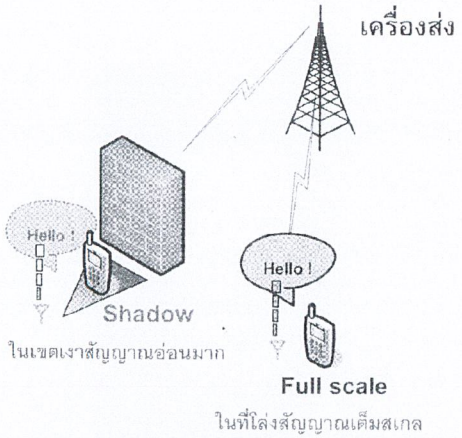

**รูปที่ 2.4** ผลของระยะทางที่มีผลกระทบกับความแรงของสัญญาณ [3]

หากลองดูการใช้งานอุปกรณ์สื่อสารทั่วไป คุณจะเห็นว่า ยิ่งเราห่างจากเครื่องส่งสัญญาณวิทยุเท่าใด ความแรงของสัญญาณที่ปรากฏอยู่ที่หน้าจอก็จะลดลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น ซึ่งคุณสามารถสังเกตุเห็นจากหน้าจอแสดงความแรงของสัญญาณวิทยุได้ด้วย

### 2.1.7 ผลของสิ่งกีดขวางที่มีผลต่อการรับสัญญาณคลื่นวิทยุ

ในสภาวะการใช้งานทั่วไป คงหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะมีสิ่งกีดขวางต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นอาคาร ต้นไม้ เสาไฟฟ้า ผนังห้อง หรือกระจก สิ่งเหล่านี้อาจจะมีคุณสมบัติในการลดทอนและการดูดซับคลื่น ซึ่งวัสดุที่มีผลต่อคลื่นวิทยุที่สำคัญก็คือ โลหะ ซึ่งคุณสามารถสังเกตุได้ง่ายๆ ว่าเมื่อคุณอยู่ในลิฟต์ โทรศัพท์มือถือมักจะรับสัญญาณไม่ได้หรือสายมักจะหลุดบ่อย วัสดุที่สองก็คือ ผนังคอนกรีตจะมีอัตราการลดทอนสัญญาณสูง เมื่อคลื่นวิทยุปะทะกับผนังคอนกรีตก็จะผ่านไปไม่ได้ จะสังเกตุได้จากการเดินเข้าไปในอาคารจอดรถชั้นใต้ดิน ซึ่งมักจะมีผนังคอนกรีตหนาๆ วัสดุเหล่านั้นจะป้องกันไม่ให้คลื่นผ่านไปได้ทำให้คุณรับสัญญาณไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.5** เขตเงาของสัญญาณที่ทำให้มือถือรับสัญญาณได้ต่ำ [3]

ลักษณะของสิ่งกีดขวางอีกประการหนึ่งคือ การบังคลื่นของสิ่งกีดขวางขนาดใหญ่ทำให้เกิดเขตเงา(Shadow) อาการนี้มักจะเกิดขึ้นเมื่อคุณอยู่หลังอาคารสูงๆ หรือภูเขา ซึ่งคุณจะสังเกตุได้ง่ายๆ จากการขับรถไปในบริเวณที่มีหุบเขา ภูเขาเหล่านี้จะบังคลื่นทำให้รับฟังวิทยุขาดๆ หายๆ และเมื่อพ้นบริเวณนั้นสัญญาณวิทยุก็จะกลับมาชัดเจนเหมือนเดิม

ยิ่งคุณอยู่ในเขตอาคารสูงมากๆ หรืออาศัยอยู่ในอาคารพาณิชย์หรือตึกแถว คุณอาจจะพบกับปัญหานี้มากขึ้น ดังตัวอย่างเช่น เมื่อคุณอยู่ในบ้านมักจะใช้โทรศัพท์ไม่ได้ เพราะผนังคอนกรีตที่บ้านหนาเหลือเกิน แต่พอออกมานอกบ้านโทรศัพท์ก็ใช้งานได้ตามปกติ นี่เป็นการลดทอนคลื่นประเภทหนึ่งที่เกิดจากสิ่งกีดขวาง

**ตารางที่ 2.1** อัตราการลดทอนของคลื่นเมื่อเจอวัสดุต่างๆ

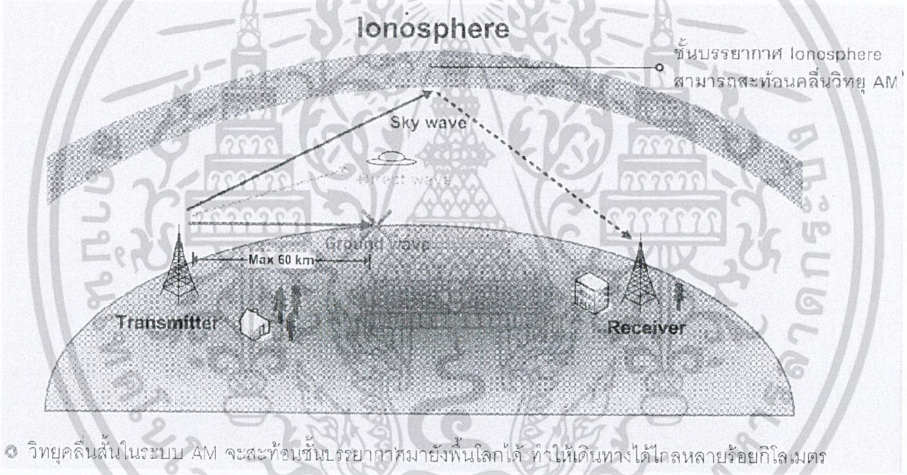
| วัสดุ | อัตราการลดทอน (dB) | |
|---|---|---|
| | 2.4 GHz | 5.2 GHz |
| ผนังเบา ผนังยิปซัม | 3-4 | 3-5 |
| พาร์ติชันกั้นห้อง | 2-5 | 4-9 |
| ประตูไม้ | 3-4 | 6-7 |
| กำแพงอิฐ/คอนกรีต | 6-18 | 10-30 |
| กระจกหน้าต่างไม่เคลือบสะท้อนแสง | 2-3 | 6-8 |
| กระจก 2 ชั้นสำหรับกันเสียง | 13 | 20 |
| ประตูกันกระสุน | 10 | 20 |
| ประตูเหล็ก/ประตูหนีไฟ | 13-19 | 25-32 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.8 การสะท้อนของคลื่น(Reflection)

การสะท้อนเป็นคุณสมบัติหนึ่งของคลื่นวิทยุ ที่คล้ายกับการสะท้อนของแสงที่ตกกระทบกระจกแล้วจะสะท้อนไปในทิศทางตรงกันข้ามกับองศาตกกระทบ คุณสมบัติการสะท้อนของคลื่นได้ถูกนำมาใช้ในระบบสื่อสารระยะไกล เพราะโลกมีส่วนโค้ง การติดต่อสื่อสารในระยะสายตาที่เป็นเส้นตรงจะเดินทางไปได้ไม่เกิน 60 กิโลเมตร หากเกินกว่านั้นจะถูกส่วนโค้งของโลกบัง นั่นเป็นเหตุผลว่าทำไมต้องตั้งเสาอากาศไว้ในที่สูงๆ เพื่อเพิ่มระยะทางและให้พ้นส่วนโค้งและสิ่งกีดขวาง แต่นั่นก็ไม่ได้แก้ปัญหาเป็นเพียงการบรรเทาให้ลดลงเท่านั้น

คุณสมบัติการสะท้อนนี้ได้ถูกนำมาใช้กับวิทยุคลื่นสั้นในย่าน HF (High Frequency) โดยส่งสัญญาณวิทยุกำลังสูงไปสะท้อนในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere) ซึ่งเป็นชั้นที่เต็มไปด้วยประจุไฟฟ้า นั่นทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นวิทยุ นี่เป็นเทคนิคที่ใช้ส่งวิทยุ AM ออกไปเป็นระยะทางไกลหลายร้อยกิโลเมตร




**รูปที่ 2.6** การสะท้อนของวิทยุคลื่นสั้นในระบบ AM [3]

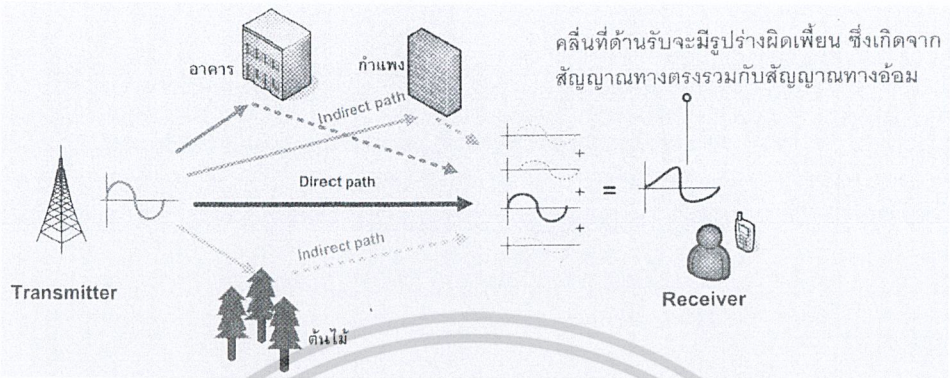
สำหรับความถี่ในระดับ GHz ซึ่งเป็นคลื่นความถี่หลักที่ใช้ในระบบไวร์เลสแลนนั้น คลื่นจะมีคุณสมบัติคล้ายแสงมากขึ้น ที่จะพุ่งตรงเป็นลำออกไปตกกระทบแล้วสะท้อน โดยเฉพาะกับวัสดุ เช่น โลหะ นั่นทำให้เกิดการสะท้อนเป็นอย่างดี และวัสดุผิวเรียบก็จะทำให้เกิดการสะท้อนเช่นกัน ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นมากในอาคารและบ้านทั่วๆ ไป เพราะในห้องจะมีอุปกรณ์อยู่มากมาย ต่างจากในที่โล่งแจ้งที่มักจะไม่มีสิ่งกีดขวางใดๆ

### 2.1.9 การสะท้อนและการเดินทางของคลื่นจากหลายทิศทาง (Multipath)

นอกเหนือไปจากคุณสมบัติการลดทอนแล้ว คลื่นยังมีคุณสมบัติการสะท้อนจากวัตถุต่างๆได้ เมื่อคุณส่งสัญญาณวิทยุออกอากาศมา เมื่อคลื่นเดินทางมาถึงคุณก็จะมาจากหลายทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะเกิดจากการสะท้อนจากวัตถุหลายๆ อย่างรอบตัวเรา ซึ่งเราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “การเดินทางของคลื่นมาจากหลายทิศทาง(Multipath)” ปรากฏการณ์นี้มีทั้งข้อดีและข้อเสีย




**รูปที่ 2.7** การสะท้อนและการเดินทางจากคลื่นจากหลายทิศทาง [3]

ข้อดีก็คือ การสะท้อนของคลื่นจากหลายทิศทาง ทำให้เราสามารถรับสัญญาณได้แม้ว่าคุณอยู่หลังอาคารสูงๆ หรือในหุบเขาคลื่นที่เดินทางมาก็จะสะท้อนกับวัตถุรอบกายเราจนเดินทางมาถึงตัวเราได้โดยไม่จำเป็นว่าคุณต้องอยู่ในระยะสายตากับเครื่องส่งวิทยุนั้น แต่บางครั้งก็กลายเป็นข้อเสียกล่าวคือ การเดินทางของคลื่นที่มาจากหลายทิศทาง ทำให้คลื่นเดินทางมายังปลายทางเร็วและช้าไม่เท่ากัน ทำให้รูปร่างสัญญาณที่มาถึงยังเครื่องรับมีรูปร่างผิดเพี้ยนไป เครื่องรับก็จะรับสัญญาณได้ไม่ชัดเจน

นี่เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องรับในเขตเมืองมากที่สุด ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดก็คือ เมื่อคุณตั้งเครื่องรับวิทยุไว้บางจุดก็จะรับสัญญาณไม่ชัด แต่เมื่อเปลี่ยนที่ตั้งเพียงเล็กน้อยก็จะรับสัญญาณได้ชัดเจนขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

### 2.1.10 Delay Spread ตัวแปรที่บอกถึงปัญหา Multipath

Delay Spread หมายถึง ค่าที่บอกความแตกต่างระหว่างสัญญาณที่มาถึงเป็นตัวแรก (ส่วนมากจะเป็นสัญญาณในทิศทางตรงจากต้นทางไปยังปลายทาง) กับสัญญาณวิทยุที่มาถึงช้าที่สุด เนื่องจากสะท้อนมาหลายครั้ง หากมีค่ามากแสดงว่ามีวัตถุในบริเวณนั้นมาก หรืออาคารมีความซับซ้อน มีวัสดุสะท้อนคลื่น เช่น Multipath มีหน่วยเป็นนาโนวินาที (nS = 10-9S)

**ตารางที่ 2.2** ตารางแสดงค่า Delay Spread

| สภาพแวดล้อม | ค่า Delay Spread (nS) |
|---|---|
| บ้าน | ประมาณ 50 nS |
| ออฟฟิศ | ประมาณ 100 nS |
| โรงงาน | ประมาณ 200-300 nS |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.11 การสะท้อนอย่างกระจัดกระจาย(Scattering)

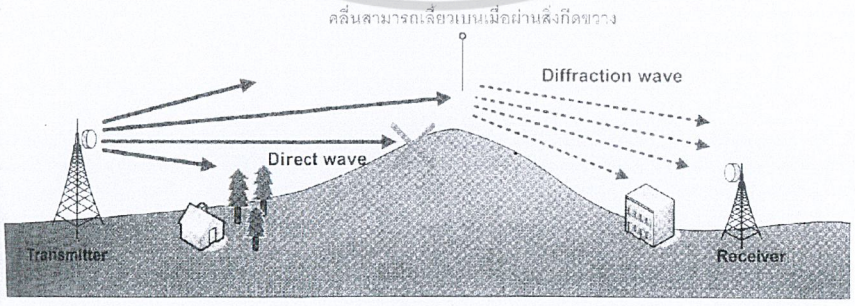
Scattering เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากการสะท้อนหลายๆ ครั้งอย่างกระจัดกระจาย อันเกิดจากความยาวของคลื่นวิทยุนั้นมากกว่าวัตถุ ผลก็คือ คลื่นกระจัดกระจายออกไปหลายๆ ทิศทางอย่างคาดเดาไม่ได้ ลองคิดถึงลูกบอลดิสโก้ที่อยู่ในผับ เมื่อมีคนส่อง Spotlight ตรงไปยังลูกบอลก็จะเกิดเป็นแสงกระจัดกระจายออกรอบทิศทาง ดูสวยงามดี แต่ในระบบสื่อสารนั้นทำให้เกิดคลื่นไร้ทิศทาง แล้วคลื่นนี้จะอ่อนกำลังและเดินทางไปถึงปลายทางน้อยมาก

ตัวอย่าง Scattering ที่เกิดในชีวิตประจำวันก็คือ ฝนและหิมะ คลื่นความถี่วิทยุกระจายเสียง (FM Radio) ซึ่งอยู่ในช่วง 100 MHz นั้นจะไม่มีผลกระทบต่อฝนหรืออัตราความชื่นในอากาศ ต่างจากคลื่นความถี่ของโทรทัศน์ระบบดาวเทียมย่าย Ku-Band ซึ่งมีความถี่ประมาณ 10 GHz คลื่นนี้จะไม่สามารถทะลุผ่านฝนได้ ทุกๆ ครั้งที่ฝนตกหนักคุณจึงไม่สามารถดูโทรทัศน์ระบบดาวเทียมได้ คุณจะเห็นว่าความถี่สูงๆ เมื่อเจอกับสิ่งกีดขวางนั้นก็จะกระจัดกระจายออกแล้วถูกลดทอนไปพร้อมๆกัน

### 2.1.12 การเลี้ยวเบน (Diffraction)

การเลี้ยวเบนเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของคลื่นวิทยุ ที่พบกับสิ่งกีดขวางแล้วจะเลี้ยวเบนเข้าไปยังมุมอับสัญญาณ แต่จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นและความแรงคลื่นเช่นกัน โดยคลื่นความถี่สูงๆ จะมีการเลี้ยวเบนค่อนข้างน้อย เนื่องจากมีคุณสมบัติคล้ายแสง ส่วนคลื่นความถี่ต่ำจะเลี้ยวเบนได้มากกว่า

ปรากฏการณ์นี้ที่เห็นในชีวิตประจำวันคือ การตั้งเครื่องส่งและเครื่องรับโดยมีภูเขาบังสัญญาณอยู่ แต่ด้านหลังภูเขายังมีคลื่นวิทยุเพียงพอที่จะรับฟังได้ เนื่องจากคลื่นได้เลี้ยวเบนหลังจากผ่านยอดเขามาแล้วส่วนในระบบไวร์เลสแลนก็ได้แก่ เครื่องลูกข่ายที่อยู่หลังตู้เหล็กซึ่งด้านหน้าจะสะท้อนคลื่น แต่คลื่นที่ผ่านด้านข้างจะเลี้ยวเบนมาถึงภาครับสัญญาณได้

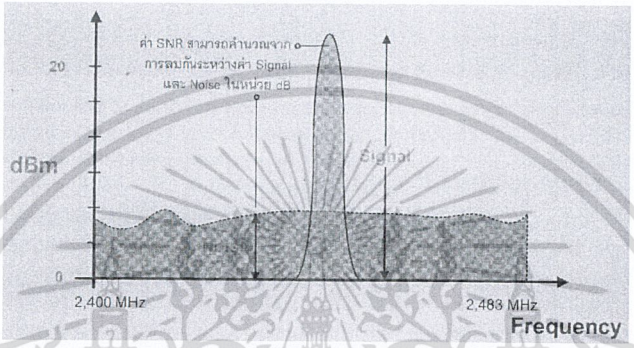



**รูปที่ 2.8** การเลี้ยวเบนของคลื่นเมื่อเจอสิ่งกีดขวางขนาดใหญ่มากๆ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.13 สัญญาณรบกวน (Noise)

สัญญาณรบกวนนั้นเป็นสัญญาณที่เราไม่ต้องการ ซึ่งมักจะปรากฏขึ้นมาทำให้เราไม่สามารถแยกแยะสัญญาณที่เราต้องการออกมาได้ ตัวอย่างเช่น เสียงซ่าที่ปรากฏอยู่ในระบบโทรศัพท์ นี่ก็เป็นสัญญาณรบกวนประเภทหนึ่ง การเกิดขึ้นของสัญญาณรบกวนนั้นมีด้วยกันหลายประเภท บางประเภทจะเกิดจากธรรมชาติ เช่น ฟ้าผ่า จุดบอดบนดวงอาทิตย์ แต่บางอย่างก็เกิดจากมนุษย์ เช่น ไฟฟ้าสปาร์คจากหัวเทียน การหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้า เหตุการณ์เหล่านี้ทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่จะแพร่กระจายไปรบกวนระบบสื่อสารได้




**รูปที่ 2.9** สัญญาณรบกวน [3]

### 2.1.14 อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio)

อัตราความแรงของสัญญาณต่อสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนนั้นเป็นส่วนที่มีความสำคัญมาก เพราะเป็นตัวบอกถึงคุณภาพของสัญญาณในระบบสื่อสารว่าดีเพียงใด หากสัญญาณข้อมูลมีความแรงมากกว่าสัญญาณรบกวนคุณก็จะได้ยินเสียงที่ชัดเจน แต่ถ้าสัญญาณข้อมูลมีความแรงต่ำกว่าสัญญาณรบกวนแล้ว คุณก็จะไม่สามารถแยกแยะสัญญาณข้อมูลออกมาได้ หน่วยที่ใช้วัดค่านี้จะมีหน่วยเป็น “เดซิเบล(Decibel)” ซึ่งมีสูตรคือ

$$\frac{SNR = 10\log Signal}{Noise}$$

ในการคำนวณหากมีการคิดค่าความแรงของสัญญาณในหน่วยเดซิเบลแล้ว ก็สามารถนำค่านั้นมาลบกันได้ ซึ่งก็ตรงตามสูตรทางคณิตศาสตร์ที่ว่า

$$SNR_{dB} = Signal_{dB} - Noise_{dB}$$

ค่า SNR นี้ยิ่งมากก็ยิ่งหมายความว่าจะรับสัญญาณได้ชัดเจนมาก และระบบไวร์เลสแลนสามารถส่งได้ที่ความเร็วสูงๆ แต่ถ้าค่า SNR น้อยระบบก็จะรับสัญญาณได้ไม่ชัดเจน จึงต้องปรับลดความเร็วลง

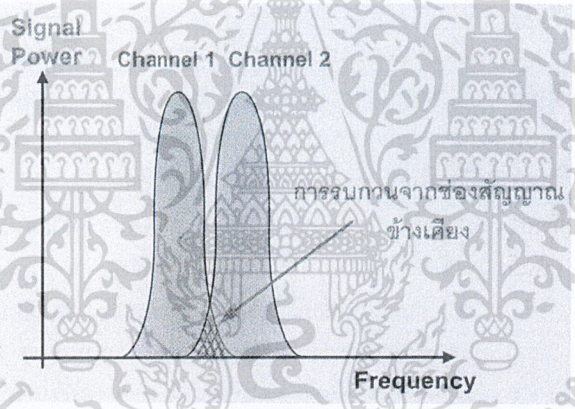
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.15 สัญญาณรบกวนที่เกิดจากระบบสื่อสารรบกวนกันเอง

สัญญาณรบกวนบางประเภทก็เกิดจากระบบสื่อสารรบกวนกันเอง โดยคลื่นเหล่านี้จะแพร่กระจายออกมาทำให้สัญญาณที่รับได้ด้อยคุณภาพลงไป มีทั้งที่เกิดขึ้นแบบตั้งใจและไม่ตั้งใจ ส่วนมากจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบคือ การรบกวนจากช่องสัญญาณข้างเคียงและการรบกวนจากช่องสัญญาณเดียวกัน

### 2.1.16 การรบกวนจากช่องสัญญาณข้างเคียง

การรบกวนจากช่องสัญญาณข้างเคียง(Adjacent Channel Interference) เกิดขึ้นจากการส่งออกอากาศสัญญาณวิทยุนั้นจะเกิดความถี่อื่นๆรอบความถี่หลัก แม้ว่าความถี่นี้จะมีความแรงสัญญาณไม่มาก แต่เมื่อความถี่ของช่องสัญญาณทั้งสองนี้อยู่ใกล้กันมากก็จะเกิดการรบกวนกันได้ ข้อมูลที่อยู่ในช่วงสเปกตรัมของสัญญาณช่วงที่จะเกิดการรบกวนกันขึ้นนั้นจะไม่สามารถแยกแยะออกมาได้

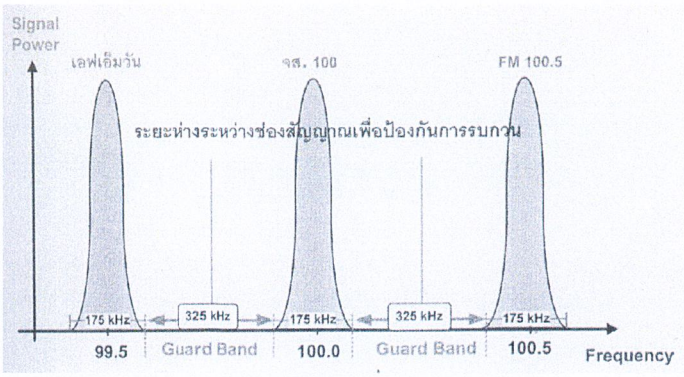



**รูปที่ 2.10** การรบกวนจากช่องสัญญาณข้างเคียง [3]

### 2.1.17 Guard Band เทคนิคการป้องกันการรบกวนจากช่องสัญญาณข้างเคียง

เคล็ดลับง่ายๆ ในการป้องกันสัญญาณรบกวนจากช่องสัญญาณข้างเคียง ทำได้โดยการกำหนดช่องว่างระหว่างสัญญาณข้างเคียงเพื่อป้องกันการรบกวน(Guard Band) ตัวอย่างของการกำหนดช่องว่างของช่องสัญญาณจะเห็นได้ชัดในระบบวิทยุ FM นั้น แต่ละช่องสัญญาณจะมีระยะห่างกัน 0.5 MHz เช่น คลื่นของ จส.100 ที่มีความถี่ 100 MHz จะห่างกับช่องข้างเคียงคือคลื่นเอฟเอ็มวัน ที่มีความถี่ 99.5 MHz และคลื่น Mcot.net ที่มีความถี่ 100.5 MHz

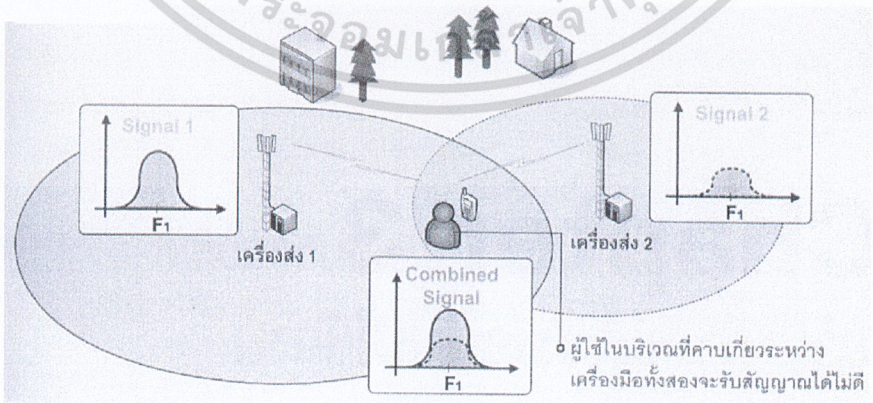
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.11** ระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณเพื่อป้องกันการรบกวน [3]

### 2.1.18 การรบกวนในช่องสัญญาณเดียวกัน

การรบกวนในช่องสัญญาณเดียวกัน(Co-Channel Interference) เป็นการรบกวนที่เกิดขึ้นเมื่อมีเครื่องส่ง 2 เครื่องส่งสัญญาณออกอากาศที่ความถี่เดียวกัน และเครื่องรับอยู่ในบริเวณที่สามารถรับสัญญาณจากเครื่องส่งทั้งสองได้ คลื่นจากสถานีทั้งสองจะรบกวนกันเอง โดยคุณจะรับสัญญาณได้ขาดๆ หายๆ บางครั้งก็รับสัญญาณได้จากเครื่องส่งเครื่องแรก หรือบางครั้งก็รับสัญญาณได้จากเครื่องส่งที่สอง ขึ้นอยู่กับว่าบริเวณที่คุณอยู่และกำลังส่งของสถานีนั้นว่าใครจะแรงกว่ากัน ตัวอย่างของการรบกวนประเภทนี้ที่ชัดเจนก็คือ สถานีวิทยุกระจายเสียงในกรุงเทพมหานคร กับต่างจังหวัด ทั้งสองมักจะใช้ความถี่เดียวกัน แต่ก็มีที่ตั้งห่างกันเป็นร้อยกิโลเมตร ถ้าคุณอยู่ในกรุงเทพฯ ก็จะรับสัญญาณได้ชัด แต่เมื่อเดินทางไปต่างจังหวัด ซึ่งอยู่ในบริเวณคาบเกี่ยวกับสถานีทั้งสองนี้จะประสบปัญหาการรบกวนประเภทนี้ หากสถานีใดมีกำลังส่งแรงกว่า คุณก็จะสามารถรับสัญญาณได้จากสถานีนั้น




**รูปที่ 2.12** ผู้ใช้ในบริเวณที่คาบเกี่ยวระหว่างเครื่องส่งสองเครื่อง [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

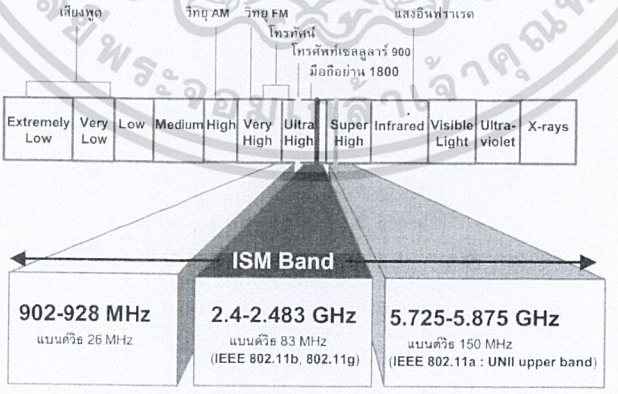
## 2.2 ระบบเครือข่ายไร้สาย

เครื่อข่ายไร้สายเฉพาะบริเวณ , WLAN, 802.11 ในปัจจุบันการเชื่อมโยงข้อมูลการเข้าถึงข้อมูลเป็นปัจจัยสำคัญของการดำเนินธุรกิจ ทำให้เทคโนโลยีที่กำลังมาแรงขณะนี้ถูกกล่าวถึงเป็นอย่างมาก เทคโนโลยีดังกล่าว คือ ระบบเครือข่ายไร้สาย(Wireless LAN:WLAN) เป็นระบบเชื่องโยงระหว่างคอมพิวเตอร์หรือเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่ใช้สายเข้าด้วยกัน หรือเพื่อเชื่อมต่อกับอินเตอร์เน็ต โดยอาศัยคลื่นวิทยุ (Radio Frequency :RF) รับส่งข้อมูลแทนสายเคเบิลหรือการเชื่อมต่อแบบปกติ คลื่นวิทยุที่ใช้อยู่ในย่านความถี่ ISM Band (Industrial Scientific and Medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่สาธารณะสามารถใช้งานโดยไม่ต้องขออนุญาต

### 2.2.1 ความถี่ย่านเสรี (ISM Band)

ความถี่วิทยุนั้นถือเป็นทรัพยากรที่มีค่ามาก ผู้ใดมีเครื่องรับส่งวิทยุก็สามารถนำคลื่นความถี่นี้ไปใช้งานก็จะได้ประโยชน์จากคลื่นความถี่นี้ ไม่ว่าจะใช้ในการสื่อสารภาพ เสียง หรือข้อมูล นั่นทำให้มีผู้ต้องการนำความถี่ไปใช้งานเป็นจำนวนมาก แต่ถ้าไม่มีผู้จัดการความถี่แล้วก็จะมีปัญหาการรบกวนกันได้

ผู้ที่มีหน้าที่จัดสรรความถี่ในประเทศไทยก็คือ กทช. (คณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ) ซึ่งมีหน้าที่วางแผนและจัดสรรความถี่ให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานสูงสุด และยังมีหน้าที่ตรวจสอบและเฝ้าฟังเพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนกันอีกด้วย นั่นก็ทำให้เกิดข้อกำหนดต่างๆ มากมาย เช่น กำลังส่งที่ใช้ได้ ความแรงของความถี่ข้างเคียงของเครื่องส่งที่จะผลิตออกมาได้ แบนด์วิธของเครื่องส่ง อัตราขยายของเสาอากาศ (Antenna Gain) ที่ใช้งานได้ในแต่ละความถี่




**รูปที่ 2.13** ความถี่ย่าน ISM Band [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

### 2.2.2 เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระยะสั้นด้วยคลื่นวิทยุ

เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่ต้องการกำลังส่งไม่สูงมากนัก อุปกรณ์มีขนาดเล็กกะทัดรัด สะดวกในการติดตั้งและใช้งาน สามารถใช้งานได้ในบริเวณที่มีคลื่นความถี่วิทยุหนาแน่น ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ การเพิ่มขนาดของเครือข่ายทำได้โดยสะดวกลงทุนต่ำกว่า การสื่อสารแบบใช้สาย แต่มีข้อจำกัดคือโพรโตคอลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารต้องมีระบบการจัดการที่ดีเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาความซับซ้อนของระบบเครือข่าย ระยะทางที่สามารถรับส่งได้มีจำกัด ถ้าจะส่งข้อมูลในระยะไกลก็ต้องใช้อุปกรณ์เพิ่มเติมเป็นจำนวนมากเพื่อให้ข้อมูลไปถึงปลายทางได้อย่างถูกต้อง

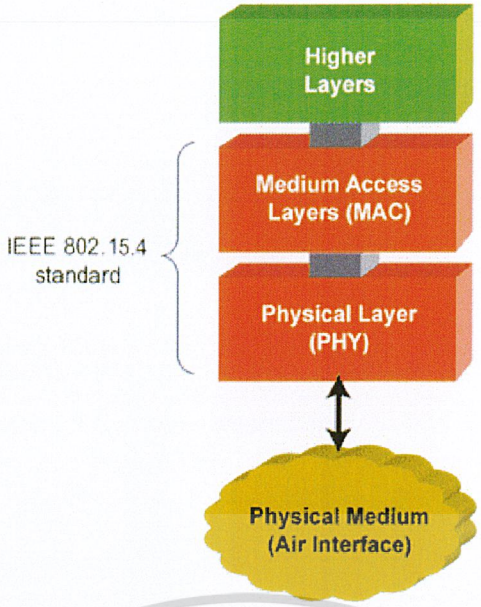
เทคโนโลยีการสื่อสารผ่านคลื่นวิทยุระยะสั้นนี้สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลายด้าน เช่น ด้านสิ่งแวดล้อม ตัว อย่างคือ ระบบการตรวจสอบการเกิดไฟป่า ระบบตรวจสอบสภาพดิน ด้านสุขภาพตัวอย่างคือ การตรวจสอบอัตราการเต้นของหัวใจ ด้านการค้าอุตสาหกรรม ตัวอย่างคือ การตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักร การสื่อสารผ่านคลื่นวิทยุในระยะสั้นนี้เมื่อแบ่งตามความเร็วในการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย (Throughput) จะแบ่งได้เป็นสามประเภทคือ Low , Medium และ High , Low Throughput มีความเร็ว 20-40, 250 Kbit/s ใช้งานในด้านการตรวจจับ (sensing) การติดตาม (tracking) และการเฝ้าดู (monitoring) ตัวอย่างเช่น Wireless Sensor Network ซึ่งอยู่บนมาตรฐาน 802.15.4 ส่วน Medium throughput มีความเร็วในการส่งข้อมูล 1-11 Mbit/s ได้แก่ เทคโนโลยี Bluetooth, IEEE802.11b WLAN, Home RF, Personal Area Network (PAN) สำหรับ High throughput มีความเร็วในการส่งข้อมูล 50-100 Mbit/s ได้แก่เทคโนโลยี IEEE802.11a

### 2.2.3 มาตรฐาน IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4 เป็นมาตรฐานของระดับชั้น Physical (PHY) และ Media Access Control (MAC) สำหรับอุปกรณ์ส่งข้อมูลไร้สายที่ต้องการความเร็วในการส่งข้อมูลต่ำ ออกแบบมาเพื่อให้ใช้พลังงานน้อย สำหรับอุปกรณ์ที่มีราคาไม่สูง การส่งข้อมูลมีความเชื่อถือได้เพราะมีความถูกต้องสูง และสามารถใช้ได้ทั้งในเครือข่ายแบบ star และ peer-to-peer มีระยะทางที่สามารถส่งข้อมูลได้ประมาณ 10 - 75 เมตร ขึ้นอยู่กับกำลังที่ใช้ในการส่งข้อมูลและสภาพแวดล้อมตอนที่ส่งและสามารถเลือกความถี่ที่ใช้ได้สามช่วงเพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน มีการเข้ารหัสข้อมูลเพื่อความปลอดภัยของข้อมูลที่จะส่งโดยใช้ระบบ Advance Encryption system (AES)

119526

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.14** IEEE 802.15.4 Protocol Stack [9]

**ตารางที่ 2.3** Wireless Comparisons

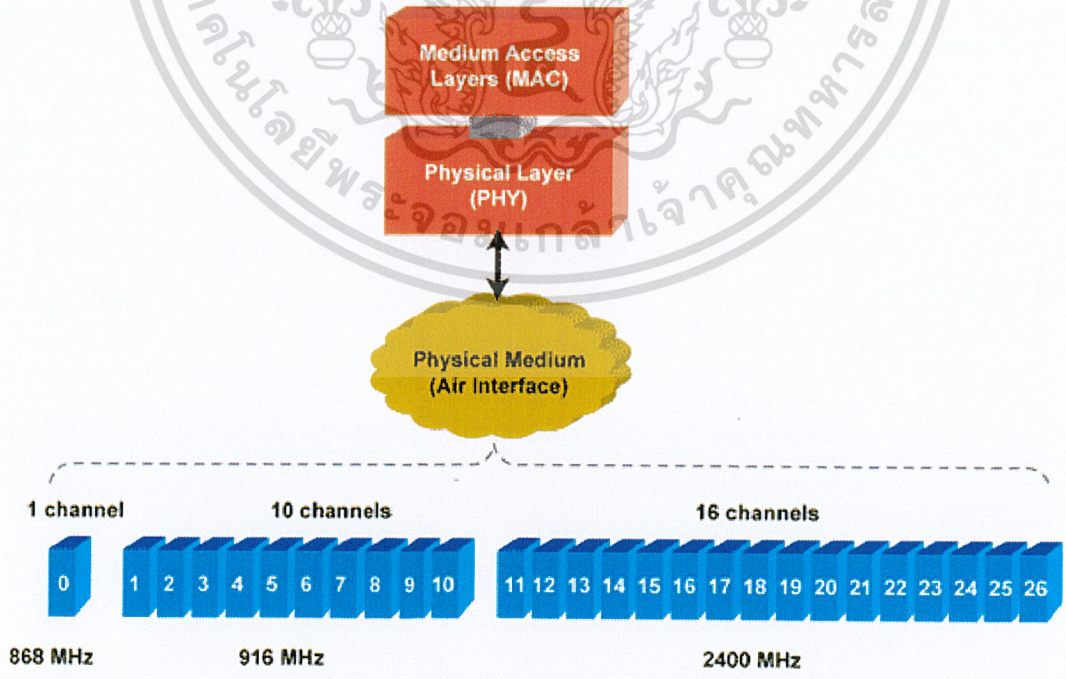
| | ZigBee | 802.11 (Wi-Fi) | Bluetooth | UWB (Ultra Wide Band) | Wireless USB | IR Wireless |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Data Rate | *20, 40, and 250 Kbits/s* | 11 & 54 Mbits/sec | 1 Mbits/s | 100-500 Mbits/s | 62.5 Kbits/s | 20-40 Kbits/s 115 Kbits/s 4 & 16 Mbits/s |
| Range | *10-100 meters* | 50-100 meters | 10 meters | <10 meters | 10 meters | <10 meters (line of sight) |
| Networking Topology | *Ad-hoc, peer to peer, star, or mesh* | Point to hub | Ad-hoc, very small networks | Point to point | Point to point | Point to point |
| Operating Frequency | *868 MHz (Europe) 900-928 MHz (NA), 2.4 GHz (worldwide)* | 2.4 and 5 GHz | 2.4 GHz | 3.1-10.6 GHz | 2.4 GHz | 800-900 nm |
| Complexity (Device and application impact) | Low | High | High | Medium | Low | Low |
| Power Consumption (Battery option and life) | *Very low (low power is a design goal)* | High | Medium | Low | Low | Low |
| Security | *128 AES plus application layer security* | | 64 and 128 bit encyption | | | |
| Other Information | *Devices can join an existing network in under 30ms* | Device connection requires 3-5 seconds | Device connection requires up to 10 seconds | | | |
| Typical Applications | *Industrial control and monitoring, sensor networks, building automation, home control and automation, toys, games* | Wireless LAN connectivity, broadband Internet access | Wireless connectivity between devices such as phones, PDA, laptops, headsets | Streaming video, home entertainment applications | PC peripheral connections | Remote controls, PC, PDA, phone, laptop links |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3.1 IEEE 802.15.4 Physical Layer

มาตรฐาน IEEE 802.15.4 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 , ออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์ ระยะทางในการส่งขอมูลอยู่ที่ 10 ถึง 75 เมตร ขึ้นอยู่กับกำลังงานและสิ่งแวดล้อม

ในชั้นนี้จะใช้วิธี Direct Sequence Spread spectrum (DSSS) โดยย่านความถี่ 2.4 GHz โดยใช้การ มอดูเลชั่นแบบ O-QPSK ความกว้างของช่องสัญญาณ 2-5 MHz ส่วนย่านความถี่ 868-900 MHz ใช้การมอดูเลชั่นแบบ BPSK กลไกในการเข้าถึงช่องสัญญาณทั้งสองอยู่ในมาตรฐาน 802.15.4 สำหรับเครือข่าย non-beacon ซึ่งเป็นมาตรฐาน ALOHA CSMA-CA เป็นการสื่อสารที่มีการแจ้งเมื่อได้รับข้อมูล ในเครือข่าย beacon-enable โครงสร้างของ super frame ใช้สำหรับควบคุมการเข้าถึงช่องสัญญาณ ซึ่งตั้งขึ้นโดย network coordinator เพื่อใช้ในการส่ง beacon ในช่วงเวลาที่กำหนด และมี 16 time slots ระหว่าง beacon เพื่อใช้ในการช่วงชิงในการเข้าถึงช่องสัญญาณในแต่ละ time slot อย่างไรก็ตาม network coordinator สามารถ บอกได้มากถึง 7 time slots ในแต่ละช่วงเวลาของ beacon เพื่อคุณภาพของการให้บริการ




**รูปที่ 2.15** Bands and channels in IEEE 802.15.4 standard[9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.2.3.2 IEEE 802.15.4 MAC Layer**

ในชั้นของ MAC สามารถรองรับขนาดแพกเก็จได้สูงสุด 128 ไบต์ ภายในประกอบด้วย payload ขนาด 104 ไบต์ไว้ และมี address ของแต่ละ Node ที่มีความยาว 64 บิต และ16 บิต (รองรับได้ 65,000 nodes) ทั้งนี้ในชั้น MAC จะมีทั้งส่วนที่เกี่ยวข้องกับโครงข่ายและไม่เกี่ยวข้องกับโครงข่าย ที่มี beacons ในโครงสร้างของ super frame สำหรับการซิงโครไนซ์ และยังมีกลไกแบบ GTS (Guaranteed Time Slot) สำหรับการสื่อสารที่มีความสำคัญสูง ส่วนการเข้าใช้ช่องสัญญาณจะใช้วิธี Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA-CA) ใน MAC sub layer จะทำหน้าที่ 2 อย่างคือ MAC data service และ MAC management service โดยมีคุณสมบัติต่างๆดังนี้

- Beacon management
- Channel access
- GTS management
- Frame validation
- Acknowledgement frame delivery
- Association and Disassociation

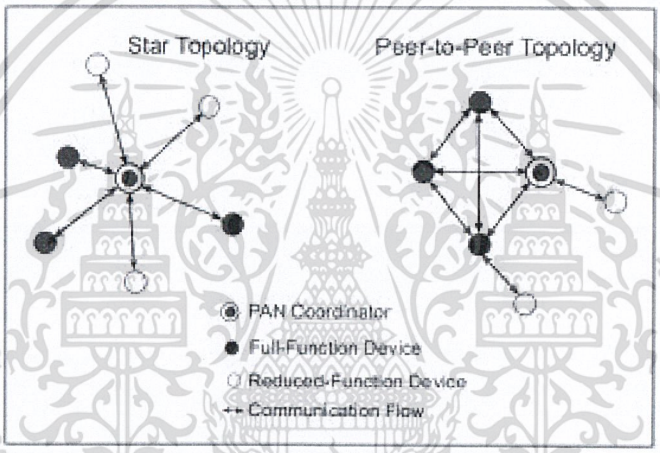
ระบบเนตเวิร์กแบบ LR-WPAN(Low data Rate WPAN) สามารถที่จะเลือกใช้ Super Frame Structure ได้โดยรูปแบบของ Super Frame จะถูกกำหนดโดย PAN Coordinator Super Frame จะถูกแบ่งออกเป็น 16 slot ซึ่งในการส่ง Beacon จะส่งไปกับเฟรมแรกของ Super Frame นี้ และหาก Coordinator ไม่ต้องการใช้ Super Frame Structure Coordinator จะไม่ทำการส่ง Beacon มากับเฟรมแรก Beacon จะใช้ในการ Synchronize กับอุปกรณ์อื่นๆ , ใช้ในการระบุ PAN และ ใช้อธิบายโครงสร้างของ Super Frame การทำงานโดยใช้ Super Frame นั้นจะมีสองสถานะคือ Active และ Inactive ในการทำงานแบบ Inactive นั้น Coordinator จะไม่ติดต่อกับ PAN และจะปรับตัวเองเข้าสู่ Low-Power mode ส่วนในสถานะ Active นั้นจะถูกแบ่งออกเป็นสองช่วงเวลา คือ Contention Access Period (CAP) และ Contention Free Period (CFP)

**2.2.3.3 IEEE 802.15.4 Piconets**

ชั้น MAC Layer มาตรฐาน IEEE 802.15.4 จัดเตรียมการเพื่อ support ระหว่างสอง wireless network topology เช่น การเชื่อมต่อแบบ star และ peer-to-peer โดยสำหรับการใช้งานในบ้านนั้นจะเป็นแบบ star และในทางอุตสาหกรรมและธุรกิจจะใช้การเชื่อมต่อแบบ peer-to-peer สำหรับโครงสร้างแบบ star การเชื่อมต่อภายในเครือข่าย(network) จะถูกควบคุมด้วย PAN coordinator เพียงอันเดียว โดย PAN coordinator นี้จะทำหน้าที่เป็นเหมือนผู้ดูแลเครือข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(network master) ทำหน้าที่ initialize เครือข่าย จัดการ node ในเครือข่ายและเก็บข่าวสารของ node ในเครือข่าย เพียงอุปกรณ์แบบ FFD (full-function device) สามารถส่ง beacon frame ก็อาจกลายเป็น PAN coordinator ได้ อย่างไรก็ตามอุปกรณ์แบบ RFDs (Reduced-function device) อาจมีส่วนร่วมในเครือข่ายแบบ star ได้ ยิ่งกว่านั้น เครือข่ายแบบ star จะทำงาน independent กับเครือข่ายอื่นๆใน IEEE 802.15.4 FFD อาจจะสร้าง เครือข่าย star หลังจากทำ scan channel ถ้า FFD ไม่สามารถตรวจพบการส่ง beacon frame และเริ่มต้นทำหน้าที่ PAN coordinator โดยการส่ง beacon frame ที่มี unique network identifier หรือ ID ทุกอุปกรณ์ที่มีส่วนร่วมอยู่ใน LR-WPANs ต่างใช้ IEEE 64-bit Address ที่ unique เมื่อมีอุปกรณ์ตัวหนึ่งเริ่มทำการส่ง beacon frame อุปกรณ์อื่นก็อาจจะมีการติดต่อเข้าเพื่อขอมีส่วนร่วมโดยส่ง association message เข้ามาที่ ad hoc network




**รูปที่ 2.16** Adhoc Network and Peer-to-Peer Topology [9]

เครือข่ายแบบ Peer-to-peer ซึ่งเป็นการส่งผ่านข้อมูลในเครือข่ายอุปกรณ์ จะอนุญาตให้อุปกรณ์ FFD ติดต่อกับ FFD อื่นที่อยู่ภายในอาณาเขตของตัวมันเองและส่ง message ไปยัง FFD ที่อยู่นอกเขตอีกด้วย ซึ่งเครือข่ายแบบ peer-to-peer นี้สามารถทำให้ ad hoc wireless network ซับซ้อนขึ้นด้วยการเพิ่มการครอบคลุมพื้นที่เนื่องจาก multihop และ mesh network จะกำหนดคุณสมบัติที่อนุญาตในการส่ง message ส่วน RFDs อาจจะสามารถเข้ามาร่วมในเครือข่าย peer-to-peer แต่จะไม่สามารถทำ relay ได้

อีกหนึ่งชนิดของเครือข่ายแบบ peer-to-peer เครือข่าย cluster-tree ซึ่งจะเป็นการรวมกันของแบบ Star และ Mesh เพื่อที่จะได้ประโยชน์จากทั้งสองแบบสามารถรองรับจำนวนของ node และสามารถใช้งานจากแบตเตอรี่ได้นาน โดยเครือข่ายชนิดนี้จำนวนของอุปกรณ์เครือข่ายจะอยู่บนหลักการ “cluster heads” โครงสร้างนี้จะจัดหา path ให้กับอุปกรณ์เครือข่ายชนิดต่างๆและสามารถมีการขยายเครือข่ายออกไปให้กว้างขึ้น ในหลายๆกรณีเครือข่ายแบบ peer-to-peer จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกอุปกรณ์ตัวหนึ่งให้ทำหน้าที่ PAN coordinator ระหว่างการสร้าง เครือข่ายแบบ peer-to-peer จะต้องมีตรวจสอบแล้วว่าการทำงานต่างๆนั้นรองรับการทำงานและ service ของอุปกรณ์เครือข่าย ทำให้สามารถทำงานได้

มาตรฐาน IEEE 802.15.4 รองรับโครงสร้าง superframe ที่ดูแลจัดการโดย PAN coordinator รูปแบบของ superframe โดย superframe เริ่มจากการส่ง beacon frame ที่ใช้โดยอุปกรณ์เพื่อ synchronize เครือข่าย , จัดหา network ID , และข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างของ superframe สำหรับ superframe นี้จะแบ่งออกเป็น 16 timeslots เพื่อจัดเตรียมไว้สำหรับ contention access period (CAP) การใช้ CSMA/CA , อุปกรณ์เครือข่ายพยายามที่จะเชื่อมต่อกันด้วย PAN coordinator ระหว่างคาบเวลานี้ ผู้ประสานงานเครือข่าย (network coordinator) สามารถที่จะใช้ส่วนแบ่งของ superframe เพื่อทำการ request อุปกรณ์เครือข่ายได้ และ guaranteed timeslots (GTS) จะอยู่ส่วนท้ายของ superframe และจาก CAP

#### 2.2.3.4 IEEE 802.15.4 MiWi™ Wireless Protocol

**Introduction**

The MiWi P2P protocol โดยทำการปรับเปลี่ยนสเป็คของ IEEE 802.15.4 ในชั้นของ Media Access Control (MAC) โดยการเพิ่มคำสั่งที่ลดความซับซ้อนของขั้นตอน Handshaking ซึ่งจะช่วยลดความยุ่งยากในการตัดการเชื่อมต่อและการทำ Channel Hopping โดยการเพิ่มคำสั่งเพิ่มเติมในส่วนของ MAC Layer

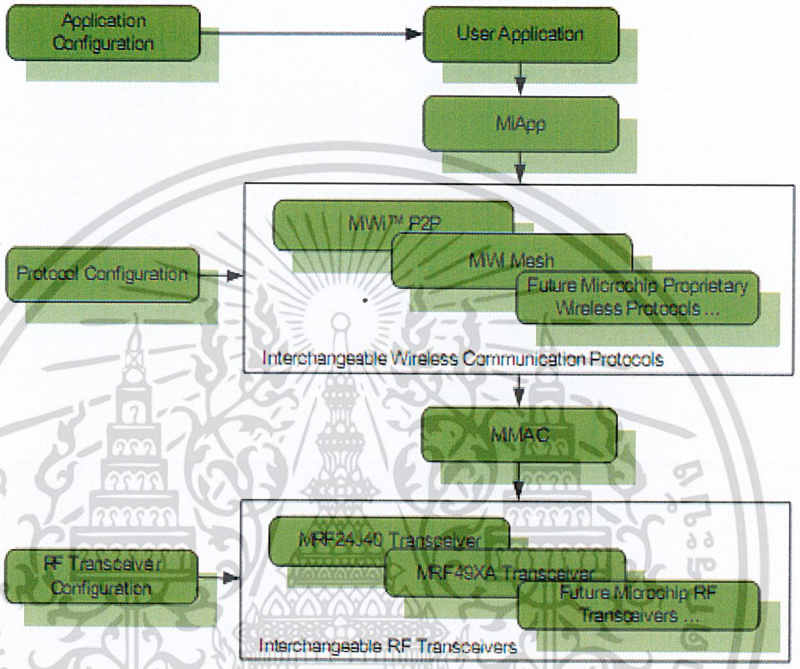
**Protocol Features**

- มี 16 channel ในคลื่นความถี่ 2.4 GHz (ใช้กับโมดูล MRF24J40 Transceiver)
- สามารถทำงานกับไมโครคอนโทรเลอร์ของ Microchip ในรุ่น PIC18, PIC24, dsPIC33 และ PIC32 platforms
- รองรับ Microchip C18, C30 and C32 คอมไพเลอร์
- สนับสนุน Sleeping Device ที่จุดสิ้นสุดของการสื่อสาร
- เปิดการใช้งานในส่วนของ Energy Detection และทำการสแกนหาช่องสัญญาณที่มีสัญญาณ รบกวนน้อยที่สุด
- มีการสแกนการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่มีอยู่
- รองรับการทำงานในทุกโหมดรักษาความปลอดภัยที่กำหนดไว้ใน IEEE 802.15.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Protocol Considerations**

The MiWi P2P protocol เป็นรูปแบบของมาตรฐาน IEEE 802.15.4 มีการรองรับการทำงานแบบ Peer-to-Peer และ Star Topologies โดยไม่มีกลไกในการกำหนดเส้นทาง ดังนั้นการติดต่อสื่อสารจะครอบคลุมโดยช่วงของสัญญาณวิทยุ ไม่รองรับการทำงานของ Guaranteed Time Slot (GTS) และ beacon networks




**รูปที่ 2.17** บล็อกไดอะแกรมของ The MiWi P2P Protocol [7]

**รูปแบบการทำงานของอุปกรณ์**

The MiWi P2P protocol จะสามารถตั้งค่าการทำงานของอุปกรณ์ที่สื่อสารกันได้ 2 รูปแบบคือ

1. Full Function Device(FFD) คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ได้เต็มที่
2. Reduce Function Device(RFD) คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ได้บางส่วน

ตามมาตรฐาน อุปกรณ์แบบ FFD จะสนับสนุนการทำงานพื้นฐานทางกายภาพ และแมครวม 49 อย่าง แต่อุปกรณ์แบบ RFD จะสนับสนุนแค่38 อย่าง การติดต่อสื่อสารของอุปกรณ์ FFD จะติดต่อกับอุปกรณ์ FFD ตัวอื่นๆ และ อุปกรณ์RFD ได้โดยอุปกรณ์ FFD จะทำงานได้ 3 ลักษณะ คือ

1. ตัวประสานงานเครือข่ายส่วนบุคคล (PAN Coordinator)
2. ตัวประสานงาน (Coordinator)
3. อุปกรณ์ (Device)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่อุปกรณ์ RFD จะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ (Device) อย่างเดียว การเคลื่อนย้ายข้อมูลมี 3 ลักษณะ คือ

1. จากอุปกรณ์ไปตัวประสานงาน (Device to a coordinator)
2. จากตัวประสานงานไปอุปกรณ์ (Coordinator to device)
3. ระหว่างอุปกรณ์ที่อยู่ในระดับเดียวกัน (Peer to peer)

โทโปโลยีของ MiWi P2P protocol จะมี 2 ลักษณะคือ

1.แบบ ดาว (Star Topology) และแบบระดับเดียวกัน (Peer to Peer Topology) ในรูปแบบดาวจะมีการติดต่อสื่อสาร ระหว่าง PAN Coordinator กับอุปกรณ์ ซึ่งอุปกรณ์ทั้งหมดในเครือข่ายจะมีตำแหน่งแบบขยาย (Extended Address) และสามารถเปลี่ยนตำแหน่งเป็นแบบสั้น (Short Address) โดย PAN Coordinatorในขณะที่ทำการเชื่อมโยงความสัมพันธ์กัน ระห่างอุปกรณ์ (Device Associate)

2.โทโปโลยีแบบที่ 2 (Peer to peer) มี PAN Coordinator เหมือนแบบที่ 1 แต่อุปกรณ์แต่ละตัวสามารถติดต่อระหว่างกันได้ ในระยะการติดต่อของแต่ละอุปกรณ์ โทโปโลยีนี้ สามารถนำมาสร้างเป็นเครือข่าย ที่มีความซับซ้อนมากขึ้นได้

**ขั้นตอนการทำงานของ MiWi P2P Protocol coordinator**

MiWi coordinator จะเริ่มต้นเครือข่าย โดยการตรวจสอบการใช้ช่องสัญญาณวิทยุภายในบริเวณรอบๆ ถ้ามีช่องสัญญาณที่ไม่ถูกใช้โดย coordinator ตัวอื่น ก็สามารถเริ่มต้นเครือข่ายได้ หลังจากนั้น coordinator ก็จะทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางของเครือข่าย รองรับการเข้าร่วมเครือข่ายของ MiWi end-device และรองรับการร้องขออื่นๆ ตามมาตรฐานด้วยเช่นกัน ในโครงงานนี้ coordinator รองรับการเข้าร่วมเครือข่าย การออกจากเครือข่าย และการร้องขอการ Binding เท่านั้น

**ขั้นตอนการทำงานขอ ง MiWi P2P Protocol end-device**

MiWi end-device จะเริ่มต้นการทำงานโดยการร้องขอการเข้าร่วมเครือข่ายไปยัง coordinator ประจำเครือข่ายนั้นๆ โดยการตรวจสอบผ่านช่องสัญญาณต่างๆ ว่า coordinator ใช้ช่องสัญญาณใดอยู่เมื่อเข้าร่วมเครือข่ายแล้ว end-device จึงสามารถทำการร้องขอคำสั่งอื่นๆ ผ่านทาง coordinator ได้ เช่น การส่งข้อความทั่วไป (Message), การร้องขอการ binding (Binding request), การขอออกจากเครือข่าย

**การรักษาความปลอดภัยใน MiWi Protocol**

ใน MiWi Protocol นั้น มีระบบรักษาความปลอดภัยตามมาตรฐานของ IEEE 802.15.4 ซึ่งมีทั้งหมดด้วยกัน 7 โหมด โดยในแต่ละหมดสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ AES-CTR mode, AES-CBC-MAC modes, AES-CCM modes

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.4** ตารางโหมดการรักษาความปลอดภัยของ IEEE 802.15.4

| Security Mode | | Security Services | | | | MIC (Bytes) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Identifier | Name | Access Control | Data Encryption | Message Integrity | Sequential Freshness | |
| 01h | AES-CTR | X | X | — | X | 0 |
| 02h | AES-CCM-128 | X | X | X | X | 16 |
| 03h | AES-CCM-64 | X | X | X | X | 8 |
| 04h | AES-CCM-32 | X | X | X | X | 4 |
| 05h | AES-CBC-MAC-128 | X | — | X | — | 16 |
| 06h | AES-CBC-MAC-64 | X | — | X | — | 8 |
| 07h | AES-CBC-MAC-32 | X | — | X | — | 4 |

**ตารางที่ 2.5** รูปแบบของแพคเกตข้อมูลเมื่อมีการเปิดใช้งานโหมดรักษาความปลอดภัย

| Bytes | 2 | 1 | 2 | 2/8 | 2 | 8 | 4 | 1 | Various | 0/4/8/16 | 2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Frame Control | Sequence Number | Destination PAN ID | Destination Address | Source PAN ID | Source Address | Frame Counter | Key Sequence Number | Encrypted Payload | MIC | FCS |
| | | | Addressing Fields | | | | Security Header | | | | |

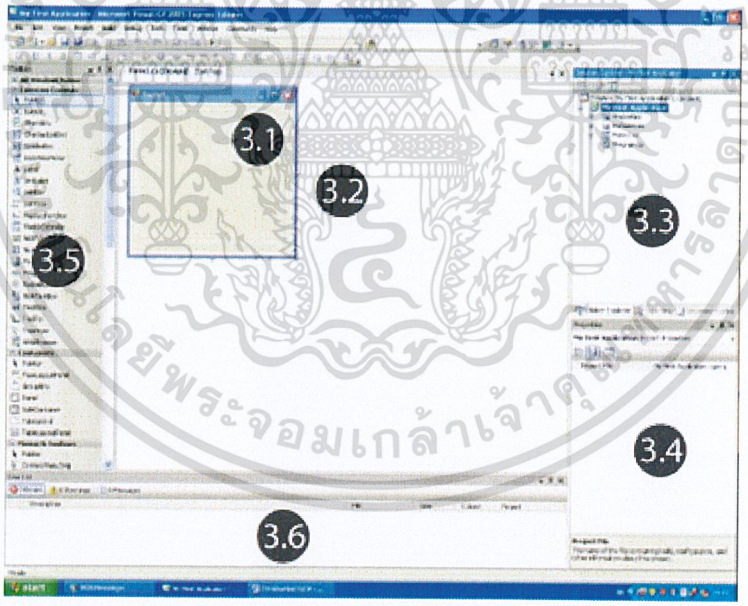
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 โปรแกรมภาษา Visual C#

Microsoft Visual C# เป็นเครื่องมือสำหรับใช้พัฒนา Window Application ( โปรแกรมสำเร็จรูปที่ ทำงานบนระบบปฏิบัติการวินโด้ว ) ซึ่งภาษา Visual C# เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ระดับสูงที่มีรูปแบบการเขียน โปรแกรมแบบโปรแกรมเชิงวัตถุสมัยใหม่ ( Moden Object Oriented Programming ) คือมองทุกส่วนของ โปรแกรมเป็นวัตถุ ( Object ) วัตถุแต่ละวัตถุจะมีชื่อ (Name) มีคุณสมบัติ (Properties) และมีวิธีการ (Method) ต่างๆกันออกไป โปรแกรมเมอร์สามารถเลือกวัตถุเหล่านั้นมาใช้งานได้ทันทีจากทูลบอกส์ ไม่ต้องเขียน ซอสโคทสร้างเอง และยังสามารถปรับเปลี่ยนคุณสมบัติต่างๆให้เหมาะสมกับการใช้งานอีกด้วย

### 2.3.1 Integrated Development Environment (IDE)

หน้าจอของ Visual C# มีส่วนประกอบสำคัญ 6 ส่วน ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 1 โปรแกรมเมอร์ จำเป็นต้องศึกษา ทำความเข้าใจให้รู้จักหน้าที่ และการใช้งานส่วนต่างๆให้เข้าใจเพื่อให้สามารถใช้โปรแกรมได้ อย่างถูกต้อง




**รูปที่ 2.18** ส่วนประกอบของ Integrated Development Environment (IDE) [10]

3.1 Design Window: เป็นหน้าต่างที่ใช้สำหรับออกแบบส่วนประกอบของหน้าจอโปรแกรม (Form Design) โดยติดต่อกับผู้ใช้แบบกราฟฟิก ผู้ใช้สามารถลากแล้ววาง (Drage and Drop) วัตถุ (Control Object) ที่ต้องการใช้ในการเขียนโปรแกรมในหน้าต่างเครื่องมือ (ToolBox) มาวางใน Form ได้ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 Code Window: มีลักษณะคล้ายกับ Design Window เป็นหน้าต่างให้ผู้ใช้พิมพ์ หรือแก้ไขชุดรหัคำสั่ง (Source Code) ให้โปรแกรมทำงาน หรือเพิ่มรหัสคำสั่งอัตโนมัติโดยดับเบิลคลิกบนวัตถุใน Form

3.3 Solution Explorer: ทำหน้าที่แสดงรายการแฟ้มข้อมูลทั้งหมดที่ใช้สร้างโปรแกรม รวมทั้ง ทรัพยากรณ์ต่างๆที่ใช้ด้วย

3.4 Properties Explorer: แสดงคุณสมบัติของคอนโทรออบเจ็กต่างๆที่ใช้สร้างโปรแกรม เช่น สี ขนาด ข้อความ ตำแหน่ง เป็นต้น โดยจะแสดงรายการคุณสมบัติของออบเจ็กเมื่อผู้ใช้คลิกเม้าส์เลือก

3.5 ToolBox: คอนโทรออบเจ็กเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างโปรแกรมแยกเป็นกลุ่มๆ เช่น กลุ่ม Data, Components, Web Forms, Menu, Data Base เป็นต้น

3.6 Error List: หน้าต่างแสดงข้อผิดพลาดของการเขียนรหัสคำสั่ง

**2.3.2 ขั้นตอนการเขียนโปรแกรม**

การเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษา Visual C# เป็นเครื่องมือ มีขั้นตอน 5 ขั้น ดังต่อไปนี้

1.การสร้างโปรเจ็กใหม่ ( New Project ) โปรเจ็กใน Visual C# หมายถึงองค์ประกอบทั้งหมดที่จำเป็นสำหรับสร้างโปรแกรมสำเร็จรูป ( Windows Application ) ซึ่งประกอบด้วยระหัสคำสั่ง แลแฟ้มข้อมูลจำนวนมาก กดหก

2.ออกแบบหน้าจอของโปรแกรม (Design Form) อาจเริ่มต้นโดยร่างบนกระดาษ เพื่อให้เห็น ภาพรวมของการทำงาน ว่าโปรแกรมประกอบด้วยอะไรบ้าง ตำแหน่งของส่วนประกอบต่างๆ ทำงานต่อเนื่องกัน อย่างไร เช่นการรับข้อมูล การแสดงผล เป็นต้น การออกแบบหน้าจอรวมถึงการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของคอนโทรออบเจ็กให้เหมาะสมกับการใช้งานด้วย

3.เขียนชุดรหัสคำสั่ง (Source Code) เพื่อควบคุมการทำงานของโปรแกรม

4.ดีบัก (Debugging) ตรวจข้อผิดพลาดของรหัสคำสั่ง และลองใช้โปรแกรม การดีบักทำได้โดยเลือกคำสั่ง Debug / Start Debugging หรือ กดแป้นพิมพ์ลัด F5 หากดีบักพบที่ผิดไม่ว่าจะเป็นการพิมพ์ผิด ไม่ถู ไวยกรณ์ หรือผิดโครงสร้าง โปรแกรมเมอร์ต้องกลับไปแก้ให้ถูกต้อง แล้วดีบักใหม่ จนไม่มีที่ผิด จึงจะสร้างโปรแกรมให้ทดลองใช้โปรแกรม

5.พับบริชชิ่ง (Pubblishing) เป็นการสร้างแฟ้มข้อมูลติดตั้งโปรแกรม การพับบริชทำได้โดยการสั่คำสั่ง Publish แล้วทำตามหน้าจอจนครบ สุดท้ายจะได้แฟ้มข้อมูล setup.exe สำหรับติดตั้งโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 Microcontroller

Micro-Controller คือ ตัวควบคุมการทำงานของอุปกรณ์หรือขบวนการต่างๆ ซึ่งอาจทำขึ้นมาจากวงจรไฟฟ้ากลไก PLC ฯลฯMicro-Controller ก็คือ อุปกรณ์ประเภทสารกึ่งตัวนำที่รวบรวมฟังก์ชั่นการทำงานต่างๆ ไว้ภายในตัวของมันเอง มีขนาดเล็ก และสามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ที่เชื่อมต่อกับตัวมัน โดยเน้นความสมบูรณ์ภายในตัวของมันเองและง่ายต่อการนำไปใช้งานหรือแก้ไขดัดแปลง

### 2.4.1 โครงสร้างโดยทั่วไป

โครงสร้างโดยทั่วไป ของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น สามารถแบ่งออกมาได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

1.หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU : Central Processing Unit)

2.หน่วยความจำ (Memory) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) เปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คือข้อมูลใดๆ ที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่สูญหายไปแม้ไม่มีไฟเลี้ยง อีกส่วนหนึ่งคือหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ใช้เป็นเหมือนกกระดาษทดในการคำนวณของซีพียู และเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน แต่หากไม่มีไฟเลี้ยง ข้อมูลก็จะหายไปคล้ายกับหน่วยความแรม (RAM) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วๆ ไป แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ หน่วยความจำข้อมูลจะมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรม ซึ่งข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง และเป็นอีอีพรอม (EEPROM : Erasable Electrically Read-Only Mempry) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง

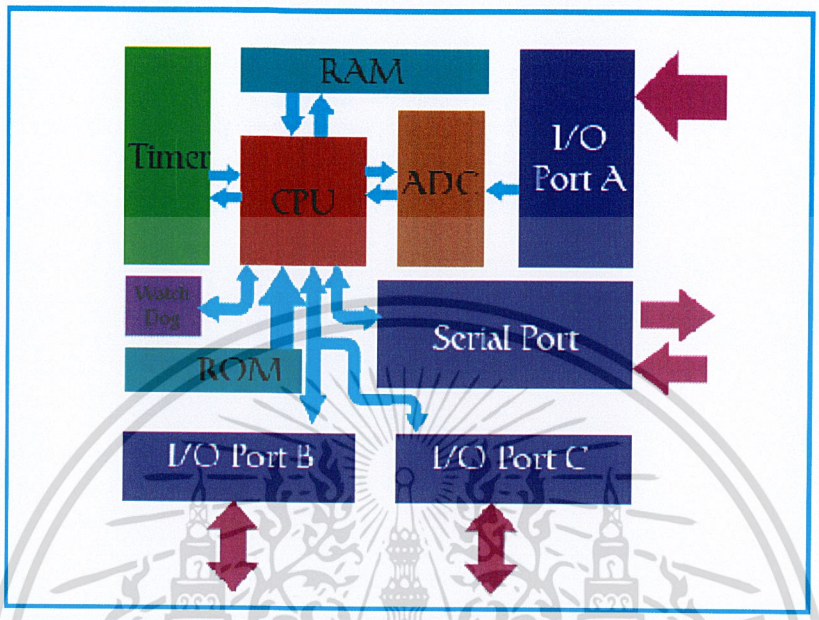
3.ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port) มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) ส่วนนี้จะใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมาก ใช้ร่วมกันระหว่างพอร์ตอินพุต เพื่อรับสัญญาณอาจจะด้วยการกดสวิตช์ เพื่อนำไปประมวลผลและส่งไปพอร์ตเอาต์พุต เพื่อแสดงผลเช่น การติดสว่างของหลอดไฟ เป็นต้น

4.ช่องทางเดินของสัญญาณ หรือบัส (BUS) คือเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่าง ซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต เป็นลักษณะของสายสัญญาณ จำนวนมากอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแบ่งเป็นบัสข้อมูล (Data Bus) , บัสแอดเดรส (Address Bus) และบัสควบคุม (Control Bus)

5.วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะขึ้นอยู่กับการกำหนดจังหวะ หากสัญญาณนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความถี่สูง จังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้ถี่ขึ้นส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์จัวนั้น มีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย




**รูปที่ 2.19** ภาษาของ Micro-Controller

ภาษาที่ใช้กับ MicroController นั้นจะแตกต่างกันตาม MicroController ของแต่ละตระกูล แต่ประเภทของภาษาที่ใช้สามารถแบ่งออกเป็น

ภาษาเครื่อง/ภาษาAssembly

ภาษาเครื่อง(Machine Language) คือโปรแกรมที่ MicroController สามารถเข้าใจมัน แต่มันไม่ง่ายสำหรับ มนุษย์ที่จะอ่านได้ ภาษา Assembly คือ รูปแบบของภาษาเครื่องที่มนุษย์สามารถอ่านออกได้ ภาษา assembly เป็นโปรแกรมที่ทำหน้าที่ในการแปลงจากคำสั่งที่มนุษย์เอ่านออกได้ไปเป็นภาษาเครื่อง ซึ่งแปลงคำสั่ง/คำสั่ง โปรแกรมที่เขียนโดยภาพา assembly จะทำงานเร็วและมีขนาดเล็ก เพราะว่ามันสามารถเข้าถึง Hardware ได้โดยตรง แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการเขียนของผู้เขียนด้วย

Interpreters

คือ ภาษาระดับสูงซึ่งใกล้เคียงกับภาษาของมนุษย์ โดยจะฝังตัวอยู่ในหน่วยความจำ และทำหน้าที่อ่านคำสั่งจากโปรแกรมขึ้นมาทีละคำสั่งแล้วปฏิบัติตามคำสั่งนั้นๆ ตัวอย่างของ interpreter ที่รู้จักกันดีคือ ภาษา BASIC ข้อเสียของ interpreter คือ ทำงานได้ช้า เนื่องจากต้องแปลคำสั่งทีละคำสั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Compilers

คือ ภาษาระดับสูงซึ่งทำหน้าที่แปลโปรแกรมที่เขียนขึ้นให้เป็นภาษาเครื่อง จากนั้นจึงนำเอาโปรแกรมที่แปลเสร็จแล้วเข้าไปเก็บในหน่วยความจำ ทำให้การทำงานเร็วขึ้น ตัวอย่างเช่น ภาษา C เป็นต้น

### 2.4.2 PIC

PIC คือ microcontroller อีกระกูลหนึ่ง ย่อมาจากคำว่า Peripheral Interface Controller ซึ่ง conceptของเจ้า microcontroller ตระกูลนี้ก็คือ พยายามรวมเอาทุกอย่างเอาไว้ในตัวของมันไม่ว่าจะเป็นPROGRAM MEMROY, RAM, EEPROM, SERIAL, I2C, PWM, A/D ฯลฯ โดยไม่จำเป็นต้องต่ออุปกรณ์เสริมจากภายนอก ในตัวของ PIC จะมีฟังก์ชันที่ใช้ในการประมวลผลรวมทั้งหน่วยความจำ ซึ่งทำให้มันเหมือนกัน CPU ตัวนึงเลยทีเดียว

#### 2.4.2.1 ความเร็วของ PIC

ภาคของความถี่สัญญาณนาฬิกา ปัจจุบันสามารถทำสัญญาณนาฬิกาได้ที่ 20 MHz ซึ่งทำให้หนึ่งคำสั่งของ PIC ใช้เวลาเพียง 0.25 uSec แต่อย่างไรก็ตามได้มีบริษัทอื่นได้ซื้อลิขสิทธิ์ PIC จาก microchipและได้สร้าง chip ที่มีความเร็วได้มากกว่าเดิมขึ้นไปอีก

#### 2.4.2.2 หน่วยความจำของ PIC

ในอดีตหน่วยความจำของ PIC จะค่อนข้างน้อย คืออยู่ระหว่าง 512 words ถึง 4K words แต่ในปัจจุบัน บริษัท microchip ซึ่งเป็นเจ้าของ PIC ได้พัฒนาจนทำให้ memory ของ PIC มีขนาดเป็นหลายสิบกิโลไบต์ และมีทีท่าว่าจะขยายได้ใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ ในเรื่องของการนับขนาดของหน่วยความจำของ PICจะนับไม่เหมือนปกติ โดยที่ หนึ่งคำสั่งของ PIC จะมีขนาด 14 bits ดังนั้นเราจะเรียกว่า 1 word ของ PICจะมีขนาด 14 bits เช่น PIC16F84A ระบุว่ามีหน่วยความจำ 1 K (ซึ่งหมายถึง 1 Kword ถ้าคำนวณให้เป็นแบบ 1 byte = 8 bit จะได้ว่า 1 x 1,024 x 14 = 14,336 bits ดังนั้นก็คือ14,336/(8 x 1,024) = 1.75K bytes นั่นเอง

#### 2.4.2.3 สถาปัตยกรรมของPIC

ตอนนี้มี 3 สายหลักๆ สมัยก่อนมีแค่สอง คือขึ้นต้นด้วย 16xxx,17xxx และใหม่ล่าสุดคือ 18xxx ถ้าพูดถึง คุณสมบัติที่เหนือกว่าเรียงจากน้อยสุดไปมากสุดก็คือ 16 -> 17 -> 18 คำสั่ง assembly ของ 17และมี 18 จะมีมากกว่า 16 ทำให้เขียนโปรแกรมได้ง่ายกว่า ราคาก็จะสูงกว่าด้วย แต่ที่เป็นที่นิยมก็คือตระกูล 16xxx

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.4.2.4 Flash Program Memory

Flash memory เป็นพื้นที่หน่วยความจำสำหรับเก็บ program ที่เราเขียนขึ้น ซึ่งมีขนาด 1,024words ถึงแม้ว่าจะไม่มีไฟฟ้าจ่ายให้กับ MCU ข้อมูลที่เก็บอยู่ใน flash memory ก็จะไม่หายไป จุดเด่นของFlash memory ก็คือสามารถเขียนทับเข้าไปใหม่ได้หลายๆ ครั้งซึ่งจำนวนครั้งจะอยู่ที่ประมาณ 1000 ครั้งภายใน program memory อาจสามารถแบ่งเป็นส่วนๆ ได้ดังนี้Reset Vector ( 0000h ) เมื่อการ reset เกิดขึ้นเนื่องจากมีการป้อนไฟเข้า MCU เป็นครั้งแรก หรือเกิด WDT(Watchdog Timer) time-out หรือในกรณีอื่นๆ โปรแกรมจะเริ่มต้นหลังจาก reset ณ ตำแหน่งนี้Peripheral Interrupt Vector ( 0004h ) เมื่อเกิดการ interrupt ขึ้น program memory pointer จะชี้มายังณ ตำแหน่งนี้Configuration word ( 2007h ) การทำงานเบื้องต้นของ PIC จะถูกกำหนดที่หน่วยความจำตรงนี้ ไม่ว่าจะเป็น Enable/Disable Power-up timer, Enable/Disable Watchdog timer, Oscillator Selectionbits(กำหนดที่มาของสัญญาณนาฬิกา) หน่วยความจำที่ตำแหน่งนี้ไม่สามารถเขียนได้ด้วยการเขียนโปรแกรมจะต้องกำหนดในขณะทำการเขียนโปรแกรมลงสู่ Flash memory ของ MCU RAM(RandomAccess Memory) File Registers หน่วยความจำของ RAM ภายใน PIC16F84(A) จะมีโครงสร้างเป็นแบ่งเป็น bank โดยจะมีขนาด 80 bytes(00h-4Fh) ต่อ bank ในกรณีของ PIC16F84A จะมี 2 banks Memory ในส่วนนี้จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรก 12 bytes(00h-0Bh) ของแต่ละ bank ซึ่งจะถูกเรียกว่า SFR(Special Function Registers) จะใช้สำหรับบันทึกสถานะการทำงานของ PIC, เงื่อนไขของการกำหนดสถานะของ port ว่าเป็น input/output ports และเงื่อนไขอื่นๆ ส่วนที่สองจะมีขนาด 68 bytes(0Ch-4Fh) ซึ่งเริ่มตั้งแต่ ไบต์ที่ 13 จะถูกเรียกว่า GPR(General Purpose Registers) ซึ่งสามารถใช้เป็นหน่วยความจำที่จะเก็บผลลัพธ์ และเงื่อนไขต่างๆ เพื่อใช้ในการประมวลผลโปรแกรมขณะโปรแกรมทำงาน ถึงแม้ว่า PIC16F84A จะมี 2 bank แต่ SFR จะมีทั้งหมดเพียง 16 ชนิดไม่ใช่ 24 ชนิด โดย SFR บางตัวจะมีอยู่ทั้ง 2 bank ส่วน GPR ถึงแม้จะเปลี่ยน bank ก็ยังคงชี้ไปยังตำแหน่งเดิมเพราะ 16F84A มี GPR อยู่เพียง bank เดียวเท่านั้น และเมื่อไม่มีไฟฟ้าจ่ายให้กับ PIC ค่าในmemory ส่วนนี้จะหายไปหมด อย่างไรก็ตามพื้นที่ใน GPR สามารถเขียนใหม่กี่ครั้งก็ได้ ไม่มีข้อจำกัดจำนวนครั้ง

#### 2.4.2.5 EEPROM(Electrically Erasable Programmable Read Only Memory)

หน่วยความจำในส่วนนี้เมื่อไม่มีไฟฟ้าจ่ายให้กับ MCU แล้วข้อมูลที่อยู่ภายในยังคงอยู่จะไม่หายไปและสามารถเขียนด้วยคำสั่งของ program จะมีขนาด 64 bytes. อย่างไรก็ตามการเขียนซ้ำก็มีข้อจำกัดโดยสามารถเขียนทับใหม่ได้ประมาณ 1 ล้านครั้ง ดังนั้นหน่วยความในส่วนนี้จะใช้เก็บข้อมูลที่ไม่ค่อยจะเปลี่ยนแปลงบ่อยนัก หน่วยความจำในส่วนนี้สามารถเก็บข้อมูลได้นาน 40 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.4.2.6 SFR Registers

SFR(Special Function Registers) มีอยู่ 16 ชนิดด้วยกัน ซึ่งสามารถอ้างถึงด้วยการ เปลี่ยนตำแหน่งของ bank ที่จะอ้าง จากรูปข้างล่างแสดงถึงโครงสร้างของ File Registers. ทั้งหมดจะมีขนาด 160 bytes แต่ในข้อเท็จจริงแล้วจะไม่สามารถอ้างได้ครบทั้งหมด ในส่วนที่เป็นสีขาวแล้วมีลูกศรชี้จะหมายถึงว่า ถ้าเราอ้าง RAM ที่ตำแหน่งนี้ใน BANK 1 ค่าที่ได้ก็คือค่าทางซ้ายมือที่อยู่ใน BANK 0 นั่นเองเช่นเมื่อเราอ้างที่ address 84h ใน Bank 1 ค่าที่ได้ก็จะเป็น ค่า FSR ที่อยู่ใน BANK 0 สำหรับในส่วนที่เป็นสีเทาก็ คือ memory ที่ไมสามารถอ้างถึงได้

ตัวแปรใน SFR มีดังนี้

- INDF : จะเก็บค่าของ Data memory ที่ถูกชี้แบบ indirect addressing
- TMR0 : เป็นTimer counter ของ Timer 0PCL : เก็บค่า 8 bits ล่างของ program counter
- STATUS : จะเก็บค่า Flag ของผลลัพธ์ที่เกิดจากการคำนวณ
- FSR : เป็น pointer ใช้สำหรับอ้างอิง data memory แบบ indirect
- PORTA : เก็บค่าสถานะของ PORTA
- PORTB : เก็บค่าสถานะของ PORTB
- EEDATA : เก็บค่าของ Data ที่ EEPADR ชี้อยู่
- EEADR : ตำแหน่งของ EEPROM ที่ต้องการอ้างถึง
- PCLATH : เป็น 5 bits บนของ program counter
- INTCON : ใช้คำคุมการเกิด Interruption
- OPTION_REG : ใช้สำหรับกำหนด Mode การทำงานของ MCU
- TRISA : ใช้กำหนด Mode ของ PORTA ว่าเป็น INPUT หรือ OUTPUT
- TRISB : ใช้กำหนด Mode ของ PORTB ว่าเป็น INPUT หรือ OUTPUT
- EECON1 : เป็น register ที่ใช้ควบคุม EEPROM
- EECON2 : เป็น register ที่ใช้ป้องกันการเขียน EEPROM

#### 2.4.2.7 Program Counter

เป็น Counter ที่แสดงถึงตำแหน่ง address ของ program ที่เขียนเข้าไปไว้ใน flash memory ที่กำลังทำการประมวลผล ซึ่งจะเป็น counter ขนาด 13 bits โดยทั่วไปแล้ว counter ตัวนี้จะเพิ่มขึ้น 1 ทุกๆครั้งเมื่อมีกาประมวลผลคำสั่งเกิดขึ้น 1 ครั้ง ซึ่งค่าที่แสดงก็คือตำแหน่งของคำสั่งต่อไปที่จะทำการประมวลผล แต่เมื่อประมวลคำสั่ง JUMP ตัว counter จะมีค่าเท่ากับตำแหน่งที่คำสั่ง JUMP นั้นอ้างถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.4.2.8 Level Stack**

stack คือ memory ซึ่งจะเก็บค่า return address ของ program ตัวอย่างเช่น เมื่อต้องทำการประมวลผลอย่างหนึ่งหลายๆ ครั้ง ซึ่ง program ในส่วนนี้ถูกสร้างเป็น subroutine ไว้ ในตอนสุดท้ายของsubroutine ก็จะมีคำสั่ง RUTURN ทุกครั้ง ในการเรียกใช้เราจะใช้คำสั่ง CALL ในการเรียก subroutineตำแหน่ง program address ที่ถัดจากคำสั่ง CALL ก็จะถูกเก็บลงสู่ stack (กระบวนการนี้บางครั้งจะเรียกว่า PUSH) หลังจากได้ประมวลผลคำสั่งใน subroutine แล้ว ในตอนสุดท้ายเมื่อมาเจอคำสั่งRETURN มันก็จะทำการกระโดดไปยังตำแหน่งที่เก็บไว้ใน stack( กระบวนการนี้บางครั้งจะเรียกว่า POP)แต่เนื่องจากว่า stack มีขนาดเพียง 8 เท่านั้น นั่นก็หมายความว่าเราสามารถเรียก คำสั่ง CALL ได้ เก้าครั้งติดต่อกันเท่านั้น ซึ่งถ้าใช้คำสั่ง CALL ไปมากกว่านั้นโดยไม่ RETURN กลับ ค่า stack จะถูกทับเป็นผลทำให้ เมื่อใช้คำสั่ง RETURN ก็จะไม่สามารถกลับไปยังตำแหน่งเดิมได้

คำสั่งต่างๆ ของโปรแกรม ที่ถูกชี้โดย program counter จะถูกอ่านข้าไปยัง register ตัวนี้ โดยกระบวนการนี้จะถูกเรียกว่า FETCH. Instruction Decode & Control คำสั่งที่ถูก FETCH ไว้ในinstruction register จะถูกแปลความหมายและทำงานตามคำสั่งนั้น Multiplexer and Arithmetic LogicUnit โดยการแปลความหมายและทำงานตามคำสั่งจะถูกกระทำโดย Multiplexer และ the ArithmeticLogic Unit(ALU) W Register ย่อมาจาก work register มันจะมีหน้าที่สำหรับเก็บผลของการคำนวณที่เกิดจาก ALU เอาไว้ชั่วคราว เพื่อที่จะนำมาคำนวณต่อไป ตัวของมันจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการคำนวณต่างๆ และมันยังทำหน้าที่ส่งผ่านสถานะoutput ของ input-output port อีกด้วย

**2.4.2.9 STATUS Register**

เป็น register ซึ่งจะเก็บค่าผลของ ALU(เช่น ผลลัพธ์ของการ บวก ลบ ของ register เป็น 0, บวก,ลบ), เงื่อนไขการเกิด timeout , เป็นตัวกำหนดว่าขณะนี้ PIC อ้าง register ที่ bank ไหน

**2.4.2.10 FSR Register**

FSR(File Select Register) ใช้สาหรับอ้างตำแหน่งของ RAM ในรูปแบบ indirect address การอ้างแบบ direct address ก็คือรูปแบบที่อ้างถึง Address นั้นโดยเฉพาะเจาะจงเลย เช่น movfw h'20' ซึ่งหมายความว่าทำการอ่านค่า ที่ address 20 มาเก็บไว้ที่ w register ในกรณีนี้สามารถอ้างตำแหน่งได้8ตั้งแต่ 0 ถึง 127 หรืออ้างได้เพียง 7 bit ซึ่งจะอยู่ในขอบเขต 1 bank ในการที่จะเปลี่ยน bank จำเป็นที่จะต้องเกี่ยวข้องกับ RP0 bits ของ STATUS register การอ้างแบบ indirect address โดยใช้ FSRregister จะนิยมใช้ในการอ้าง address ที่อยู่ติดๆ กันด้วยการอาศัยคำสั่ง inc FSR เพื่อเลื่อนไปยังตำแหน่ง memory ถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.4.2.11 Address Multiplexer

ใช้เป็นตัวแบ่งแยกว่าเป็น indirect addressing หรือ the direct address. ซึ่งหมายความว่าทำการอ่านค่า ที่ address 20 มาเก็บไว้ที่ w register ในกรณีนี้สามารถอ้างตำแหน่งได้ตั้งแต่ 0 ถึง 127 หรืออ้างได้เพียง 7 bit ซึ่งจะอยู่ในขอบเขต 1 bank ในการที่จะเปลี่ยน bank จำเป็นที่จะต้องเกี่ยวข้องกับ RP0bits ของ STATUS register การอ้างแบบ indirect address โดยใช้ FSR register จะนิยมใช้ในการอ้างaddress ที่อยู่ติดๆ กันด้วยการอาศัยคำสั่ง inc FSR เพื่อเลื่อนไปยังตำแหน่ง memory ถัดไป

#### 2.4.2.12 EEDATA

เป็น register ที่จะใช้เมื่อมีการอ่านหรือเขียนข้อมูล EEPROM

#### 2.4.2.13 EEADR

เป็น register ที่ใช้สำหรับอ้าง address ของ EEPROM. ซึ่งใน PIC16F84A จะมีหน่วยความจำEEPROM อยู่ทั้งหมด 64 bytes เมื่อจะทำการเขียน EEPROM จะต้อง เขียนข้อมูล 55h และ AAh ไปยังEECON2 เสียก่อนจึงจะเริ่มต้นการเขียน EEPROM ได้

#### 2.4.2.14 Timer

PIC16F84A จะมี timer เพียงแค่ตัวเดียว (TMR0) มีขนาด 8 bits การทำงานของมันก็คือมันจะทำการนับไปเรื่อยๆ และจะเกิดการ time-out เมื่อการนับมาถึง 256 ซึ่งจะทำให้ T0IF bit ของ INTCONregister ซึ่งเป็น SFR กลายเป็น "1" ซึ่งมีผลทำให้เกิดการ interrupt เกิดขึ้นเมื่อเกิดการ time-out. สำหรับการที่จะกำหนดว่าจะให้มีการ interrupt ของ TMR0 เกิดขึ้นได้หรือไม่นั้นกำหนดได้จาก the GIF bit และT0IE bit ของINTCON register ซึ่งเป็น SFR โดยถ้าเป็น "1" ก็หมายความว่ากำหนดให้มีการ interruptเกิดขึ้นได้

#### 2.4.2.15 I/O Ports

PIC16F84(A) จะมี I/O Ports ทั้งหมด 13 ขา ซึ่งการกำหนดว่าจะให้ขานั้นเป็น INPUT หรือOUTPUT นั้นสามารถกำหนดได้ด้วยโปรแกรม ทั้ง 13 ขานั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มด้วยกันก็คือ5 ขาเป็น A port และอีก 8 ขาที่เหลือเรียกว่า B port

#### 2.4.2.16 Timing Generation

PIC จะมีวงจรภายในที่จะสร้างสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดความจังหวะของการทำงานของตัวมัน โดยสัญญาณนาฬิกานี้จะมีแหล่งกำเนิดมาจาก crystal หรือ ceramic oscillator จากภายนอก เมื่อสัญญาณนาฬิกาต้องการความแม่นยำสูงเราจะต้องเลือกใช้ crystal แต่โดยปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั่วๆไปแล้วจะใช้ ceramicresonator ต่อเข้ากับ capacitors เป็น module อยู่ภายนอก PIC16F84A จะ execute 1 คำสั่ง(1 cycle)จะใช้สัญญาณนาฬิกา 4 pulses โดยจะใช้ pipeline architecture แต่ในกรณีของคำสั่ง JUMP จะใช้ 2cycle สำหรับเวลาที่ใช้ในการ execute นั้นโดยปกติแล้วจะใช้เวลา 200 nanoseconds ถ้าใช้ crystal ที่ความถี่ 20MHz, 1/(20MHz) = 50 nanoseconds. หมายความว่าสามารถ Execute คำสั่ง 5,000,000instructions ภายในเวลา 1 วินาที Initialization circuits



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

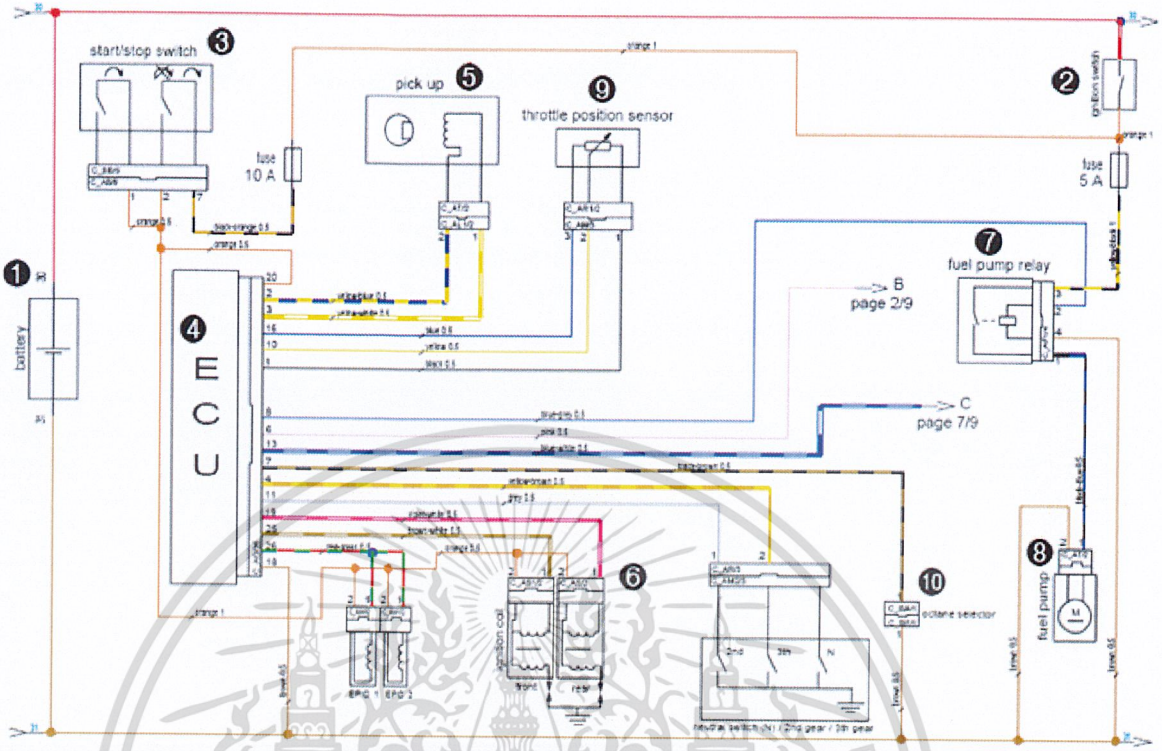
## 2.5 ECU

ECU ย่อมาจาก Electronic Control Unit เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มีพื้นฐานมาจากคอมพิวเตอร์ หน้าที่หลักของ กล่องเครื่อง / ECU คือเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ต่างๆเพื่อนำมาประมวลผล และใช้ในการควบคุมการการสั่งจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงและการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ ทำให้เครื่องยนต์ทำงานได้ตามมาตรฐานทางด้านมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม โดยที่กำลังของเครื่องยนต์ยังทำงานได้เต็มประสิทธิภาพรวมทั้งการตรวจ สอบสถานะการทำงานของอุปกรณ์อื่นๆที่ทำงานร่วมกับเครื่องยนต์ (Diagnostic) นอกจากนี้ในปัจจุบันค่ายรถยนต์ ต่างๆได้มีการเพิ่มคุณสมบัติเฉพาะให้กับ ECU และเครื่องยนต์ของตนเองตามเทคโนโลยีที่ได้รับการพัฒนาของแต่ละค่าย

ในเครื่องยนต์ปัจจุบัน ECU จะไม่ควบคุมเพียงแค่ การจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง และ การจุดระเบิดเท่านั้น ECU ยังสามารถ ที่จะควบคุมระบบต่างๆ อาทิเช่นระบบปรับความยาวท่อร่วมไอดีแปรผัน ระบบวาล์วแปรผัน การทำงานของคอมเพรสเซอร์แอร์ พัดลมระบายความร้อน ระบบควบคุมไอน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น ซึ่งความสามารถเหล่านี้ไม่เป็นเพียงการลดความซ้ำซ้อนของอุปกรณ์ต่างๆ ECU สามารถที่จะจัดการให้อุปกรณ์ต่างๆ ทำงานสัมพันธ์กันได้ เพื่อประสิทธิภาพเครื่องยนต์สูงสุดลดมลภาวะ และประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง ยังผลให้เครื่องยนต์ประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง มีกำลังที่สูงขึ้น ยืดอายุการใช้งาน มีการตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว และลดมลภาวะที่ปล่อยออกมา นอกจากนี้ ECU ยังทำงานร่วมกับระบบกันขโมย (Immobilizer) โดยระบบจะไม่อนุญาตให้กุญแจที่ไม่ถูกต้องสามารถสตาร์ทเครื่องยนต์ติดได้

**รูปที่ 2.20** กล่อง ECU รุ่น S60 Pro

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.21** วงจรเซ็นเซอร์ต่างๆที่ต่อเข้ากับกล่องECU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 SQL

เอสคิวแอล (SQL) คือ ภาษาสอบถามข้อมูล หรือภาษาจัดการข้อมูลอย่างมีโครงสร้าง มีการพัฒนาภาษาคอมพิวเตอร์ และโปรแกรมฐานข้อมูลที่รองรับมากมาย เพราะจัดการข้อมูลได้ง่าย เช่น MySQL, MsSQL, PostgreSQL หรือ MS Access เป็นต้น สำหรับโปรแกรมฐานข้อมูลที่ได้รับความนิยมคือ MySQL เป็น Open Source ที่ใช้งานได้ทั้งใน Linux และ Windows
SQL เป็นภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม เพื่อจัดการกับฐานข้อมูลโดยเฉพาะ เราสามารถแบ่งการทำงานได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. Select query ใช้สำหรับดึงข้อมูลที่ต้องการ
2. Update query ใช้สำหรับแก้ไขข้อมูล
3. Insert query ใช้สำหรับการเพิ่มข้อมูล
4. Delete query ใช้สำหรับลบข้อมูลออกไป

### 2.6.1 Select query

ใช้ในการดึงข้อมูลในฐานข้อมูล จะมีการค้นหารายการจากตารางในฐานข้อมูล ตั้งแต่หนึ่งตารางขึ้นไป ตามเงื่อนไขที่สั่ง ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นเซตของข้อมูลที่สามารถสร้าง เป็นตารางใหม่ หรือใช้แสดงออกมาทางจอภาพเท่านั้น โดยมีรูปแบบดังนี้

**Select** *"รายละเอียดที่เลือก"* **From** *"ตารางแหล่งที่มา"* **Where** *"กำหนดเงื่อนไขฐานข้อมูลที่เลือก"* **Group by** *"ชื่อคอลัมน์"*

ตัวอย่างการใช้งาน

1. **Select** fmane,lname **From** stdinfo
   หมายถึง ให้แสดงเฉพาะคอลัมน์ fname คือ ชื่อ และคอลัมน์ lname คือ นามสกุล จากตาราง stdinfo
2. **Select** fname,lname **From** stdinfo **Where** programe="สังคมศึกษา"
   หมายถึง ให้แสดงชื่อ และนามสกุลจากตาราง stdinfo ซึ่งมีโปรแกรมวิชาเป็นสังคมศึกษา
3. **Select** fname **From** stdinfo **Where** fname Like 'ส%'
   หมายถึง ให้เลือกรายชื่อ นักศึกษาที่มีอักษรนำหน้าเป็น "ส" ขึ้นมาแสดงทั้งหมด
4. **Select** id,fname,lname **From** stdinfo **Where** id="001" **AND** id="005"
   หมายถึง ให้แสดง รหัสประจำตัวนักศึกษา ,ชื่อ และ นามสกุล ที่มีรหัสเป็น 001 และ 005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.2 Update query

ใช้สำหรับการแก้ไขข้อมูลในตาราง โดยแก้ในคอลัมน์ที่มีค่าตรงตามเงื่อนไข มีรูปแบบดังนี้

**Update** ชื่อตาราง **Set** [ชื่อคอลัมน์=ค่าที่จะใส่เข้าไปในคอลัมน์นั้น ๆ ] **Where** เงื่อนไข

เช่น จากตารางแสดงรายชื่อนักศึกษากรณีที่นักศึกษาชื่อ สมบัติ มักน้อย ย้ายโปรแกรมวิชา จากสังคมศึกษา ไปเป็นภาษาไทย เราใช้คำสั่งดังนี้

**Select** stdinfo **Set** programe='ภาษาไทย' **Where** Fname='สมบัติ' and Lname='มักน้อย'

### 2.6.3 Insert query

ใช้ในการเพิ่มเติมข้อมูลใหม่ ๆ เข้าไปในฐานข้อมูล มีรูปแบบดังนี้

**Insert Into** ชื่อตาราง [=ชื่อคอลัมน์1, 2 ...] **Values** [ค่าที่จะใส่ลงในคอลัมน์ 1, 2 ...]

เช่น ต้องการเพิ่มรายชื่อนักศึกษา ที่มีรหัสประจำตัวเป็น 007 ชื่อ กมลวรรณ ศิริกุล โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์ เราสามารถใช้คำสั่งดังนี้

**Insert into** stdinfo (id, fname, lname, programe) **Values** ('007','กมลวรรณ','ศิริกุล','วิทยาศาสตร์')

### 2.6.4 Delete query

ใช้ลบข้อมูลออกจากตาราง มีรูปแบบดังนี้

**Delete From** ชื่อตาราง **Where** เงื่อนไข

เช่น ต้องการลบรหัสประจำตัวนักศึกษา 005 ออกจากฐานข้อมูล เราใช้คำสั่งดังนี้

**Delete** From stdinfo **Where** id='005'

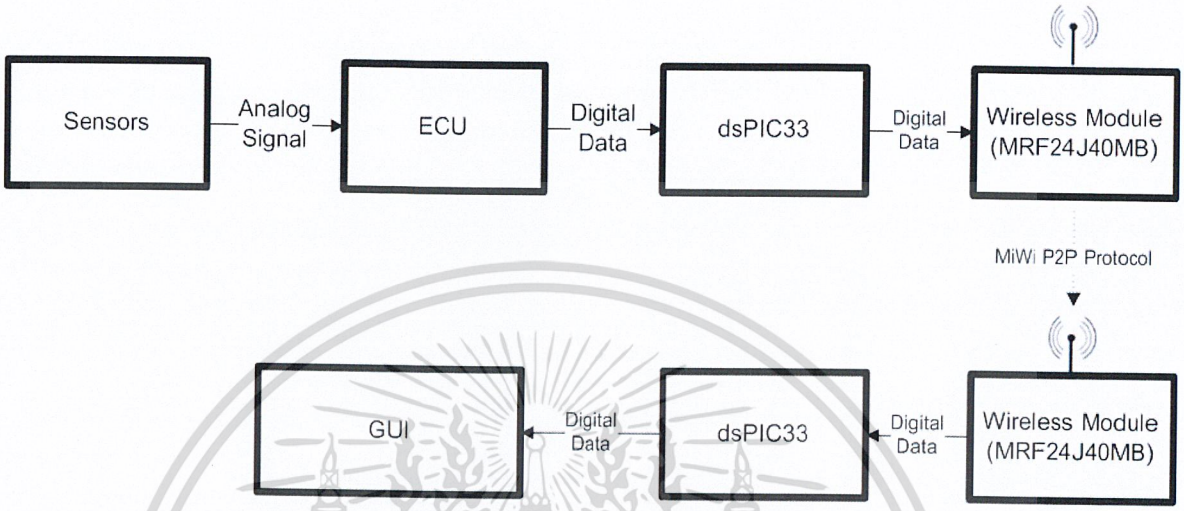
### 2.6.5 SQLite

SQLite เป็นฐานข้อมูลฉบับกระเป๋าทำนองเดียวกับ Access สิ่งที่แตกต่างกันคือ ฟรี ติดตั้งง่าย ไม่จำกัดระบบปฏิบัติการทั้งวินโดวส์ แมค และลินุกซ์ สำหรับฐานข้อมูลของ SQLite เป็นลักษณะไฟล์ข้อมูลธรรมดา กล่าวคือ เก็บข้อมูลไว้ในไฟล์เพียงไฟล์เดียวเช่นเดียวกับ *.mdb ของ Access และ *.mdf ของ SQL Server ดังนั้นเพื่อไม่ให้สับสนก็ควรตั้งชื่อนามสกุลของไฟล์ที่ไม่ไปชนกับฐานข้อมูลตระกูลอื่น ยกตัวอย่างเช่น .db, .dat, .sdb, .s3db เป็นต้น SQLite เหมาะกับแอปพลิเคชันแบบ Standalone แต่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น ดิกชินนารี แคตาล็อคสินค้า โปรแกรมแบบสอบถาม การเก็บข้อมูลที่ต้องการส่งเป็นไฟล์ข้อมูลทางเมล์หรือมือถือ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# การออกแบบโครงสร้าง

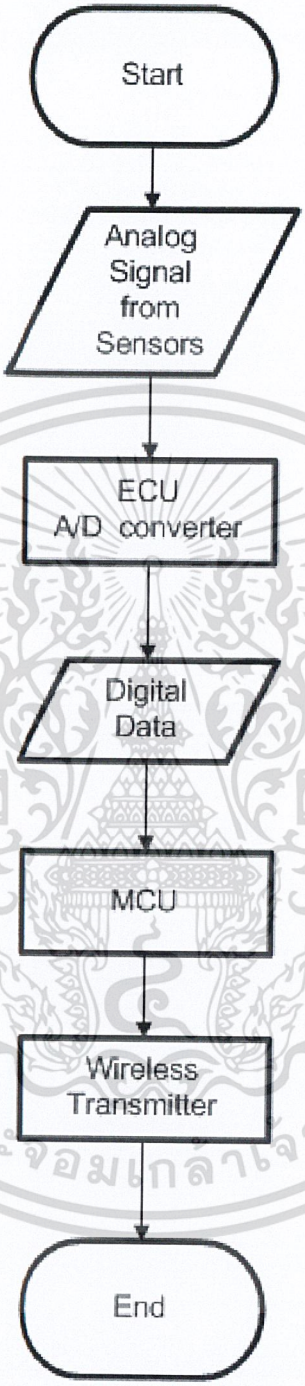
## 3.1 Block Diagram ของระบบ




**รูปที่ 3.1** Block Diagram ของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

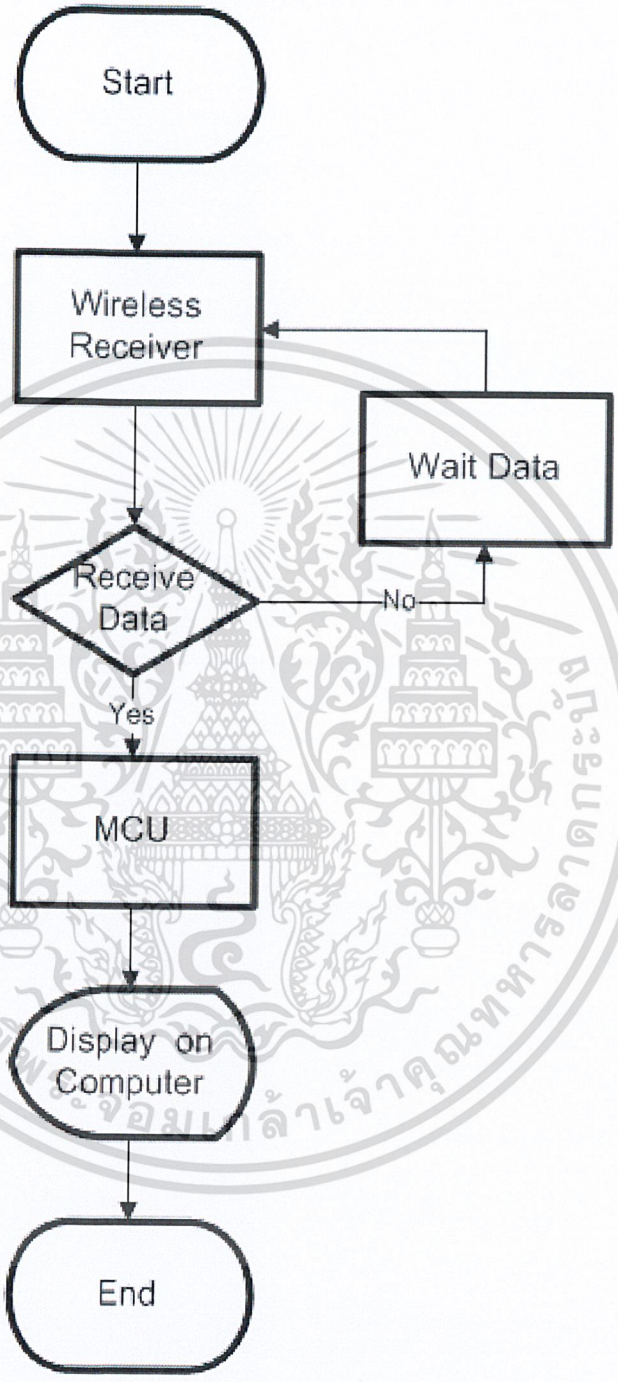
### 3.1.1 Flow Chart การทำงานในฝั่งส่ง




รูปที่ 3.2 Flow Chart ของ Microcontroller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

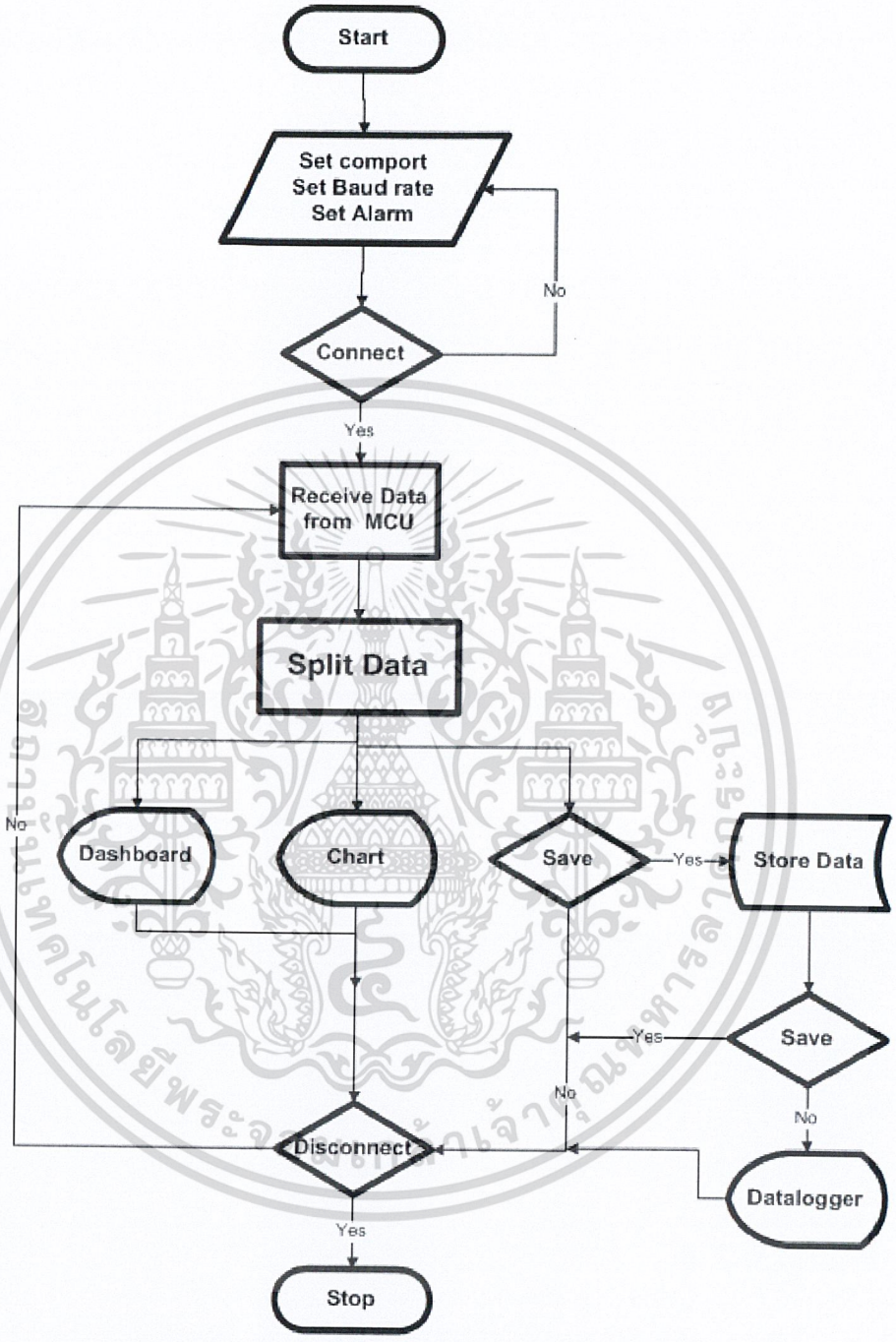
### 3.1.2 Flow Chart ของการส่งข้อมูลไปยังส่วนติดต่อผู้ใช้




**รูปที่ 3.3** Flow Chart ของส่วนการแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3 Flow Chart การทำงานของส่วนติดต่อผู้ใช้




**รูปที่ 3.4** Flow Chart การทำงานของส่วนติดต่อผู้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2 การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้โดยภาษา Visual C#

การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ในโครงงานชิ้นนี้ จะใช้โปรแกรม Visual C# เข้ามาช่วยเพื่อใช้ในการแสดงผลออกมาเป็นตัวเลขบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยเราได้ออกแบบมา 5 หน้า โดยในหน้าแรกจะมีในส่วนของชื่อสถาบันและชื่อของโครงงาน

**รูปที่ 3.5** ส่วนติดต่อผู้ใช้ในหน้าแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

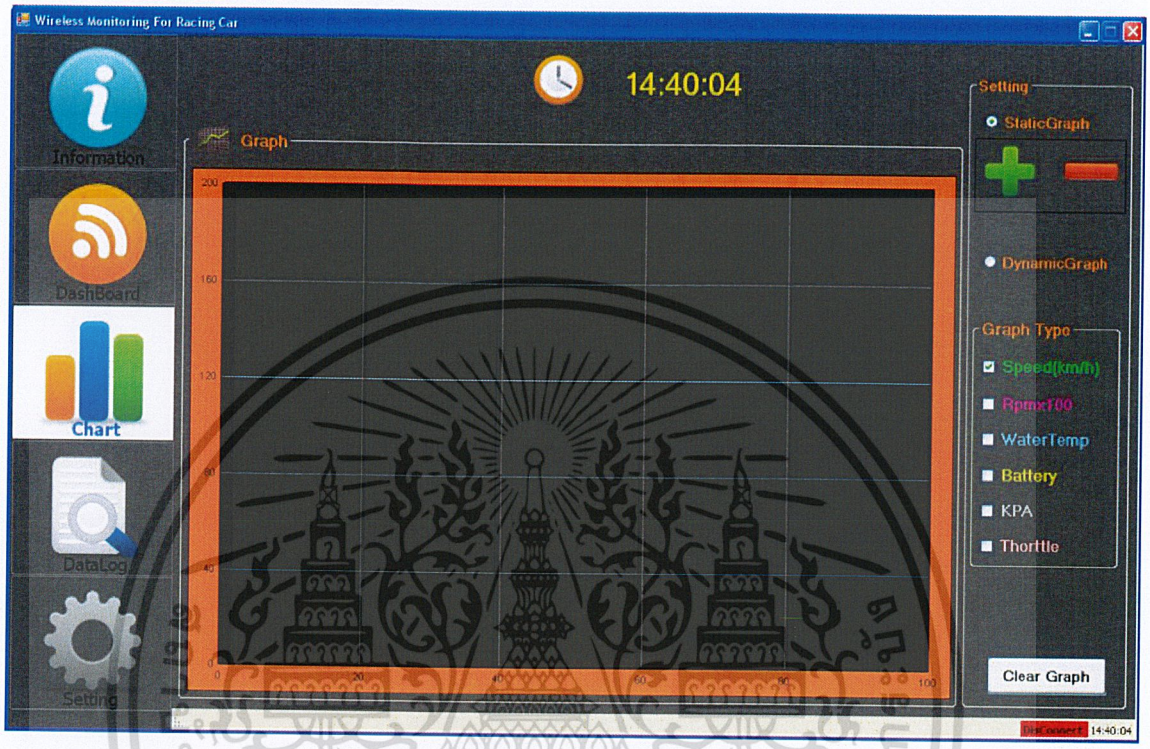
ในหน้าที่สองจะเป็นส่วนของการแสดงผลข้อมูลที่รับมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีข้อมูลที่แสดงผลดังนี้

1. Speed – จะบอกความเร็วของรถแข่ง
2. RPM – จะบอกความเร็วของรอบเครื่องยนต์
3. Throttle – จะค่าของการหมุนของลิ้นปีกผีเสื้อ
4. Gear – จะบอกส่วนของเกียร์ว่าขณะนั้นรถอยู่ในเกียร์ใด
5. Battery- จะบอกค่าแบตเตอรี่ที่เหลืออยู่ในรถ
6. Water Temp. – จะบอกค่าอุณหภูมิของหม้อน้ำ
7. Temperature – บอกค่าอุณหภูมิของอากาศนอกตัวรถ
8. KPa – จะบอกค่าความดันของอากาศภายนอกก่อนเข้ากระบอกสูบของเครื่องยนต์

**รูปที่ 3.6** ส่วนติดต่อผู้ใช้ในหน้าที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

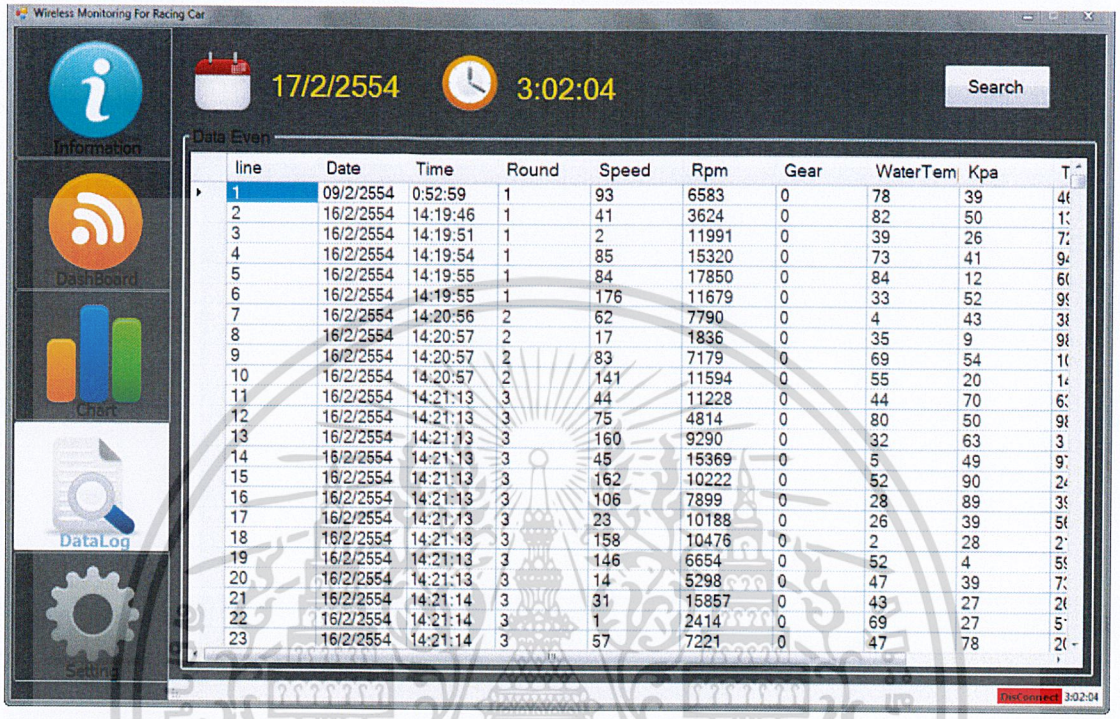
ในหน้าที่สามจะแสดงผลข้อมูลในรูปแบบของกราฟที่สัมพันธ์กับช่วงเวลา โดยแสดงค่าของข้อมูล Speed และ RPM สามารถเคลียร์ค่าของกราฟได้โดยกดที่ปุ่ม Clear และมีปุ่มบวกและลบ เพื่อเพิ่มขนาดของแกนเวลา




**รูปที่ 3.7** ส่วนติดต่อผู้ใช้ในหน้าที่สาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในหน้าที่สี่จะเป็นส่วนของ Data Logger เป็นส่วนที่เอาไว้เก็บค่าข้อมูลเอาไว้ในฐานข้อมูล เพื่อที่เราจะได้สามารถนำข้อมูลที่เก็บมาไว้มาช่วยในการปรับแต่งรถให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

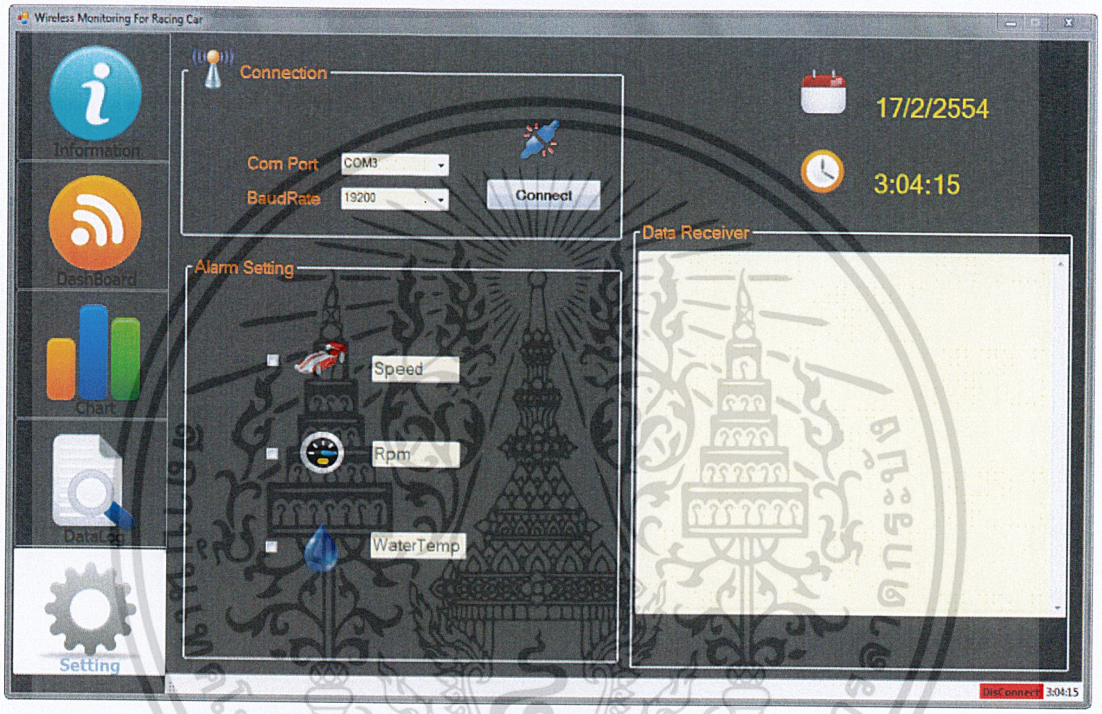



**รูปที่ 3.8** ส่วนติดต่อผู้ใช้ในหน้าที่สี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในหน้าสุดท้ายจะเป็นในการ Setting ค่าต่างๆ โดยค่าที่เราสามารถเซตได้มีดังนี้

1. Connection Setting เอาไว้เซตค่าของ Comport ที่เราใช้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์สื่อสารไร้สาย Baud rate เอาไว้กำหนดอัตราการรับและส่งข้อมูล โดยสามารถกำหนดค่าได้ตั้งแต่ 600 – 115200
2. Alarm Setting เป็นส่วนเอาไว้กำหนดสัญญาณเตือน เมื่อข้อมูลที่รับมีค่ามากกว่าที่เรากำหนดไว้ และในส่วน Data Receiver เป็นแสดงข้อมูลเมื่อมีการเชื่อมต่อแล้ว



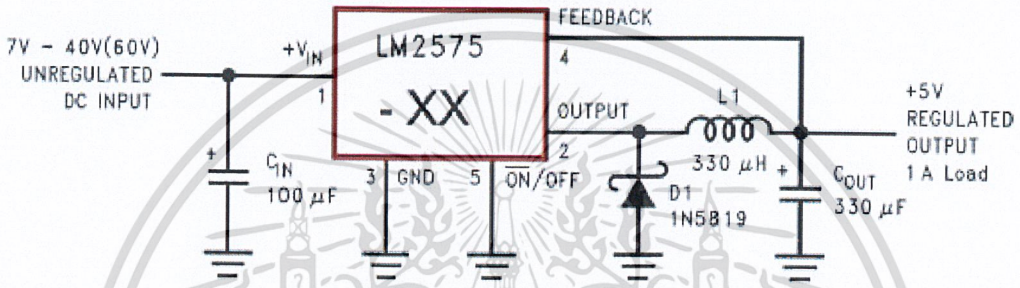

**รูปที่ 3.9** ส่วนติดต่อผู้ใช้หน้าที่ห้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.3 การออกแบบวงจรของ Microcontroller

### 3.3.1 ภาคจ่ายไฟ

ภาคจ่ายไฟในวงจรนี้เราได้ใช้ IC Regulator เบอร์ LM-2575 ซึ่งเป็น IC Switching Regulator ที่แปลงแรงดันจาก 7-20 V. เป็น 3.3 V. เพื่อจ่ายไฟให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถทำงานได้ ซึ่ง IC Switching Regulator มีข้อดีคือ ในขณะทำงานจะมีความร้อนเกิดขึ้นที่ตัว IC ค่อนข้างน้อย และไฟที่จ่ายออกมาจาก IC ค่อนข้างเสถียรกว่า IC พวก 79xx ,78xx เพราะว่ามี feed back ป้อนกลับให้ตัว IC จึงทำให้ IC LM-2575 น่าใช้งาน

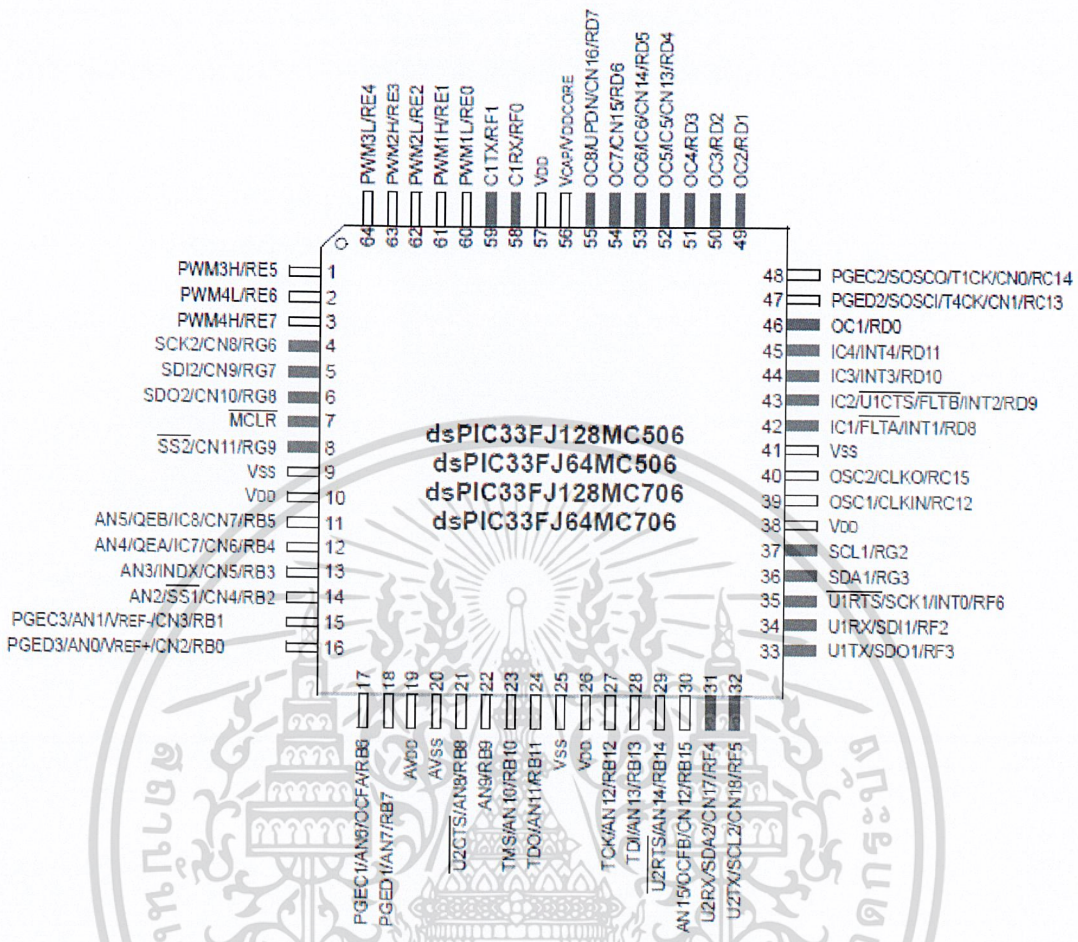



**รูปที่ 3.10** วงจร IC Switching Regulator

### 3.3.2 ภาคไมโครคอนโทรลเลอร์

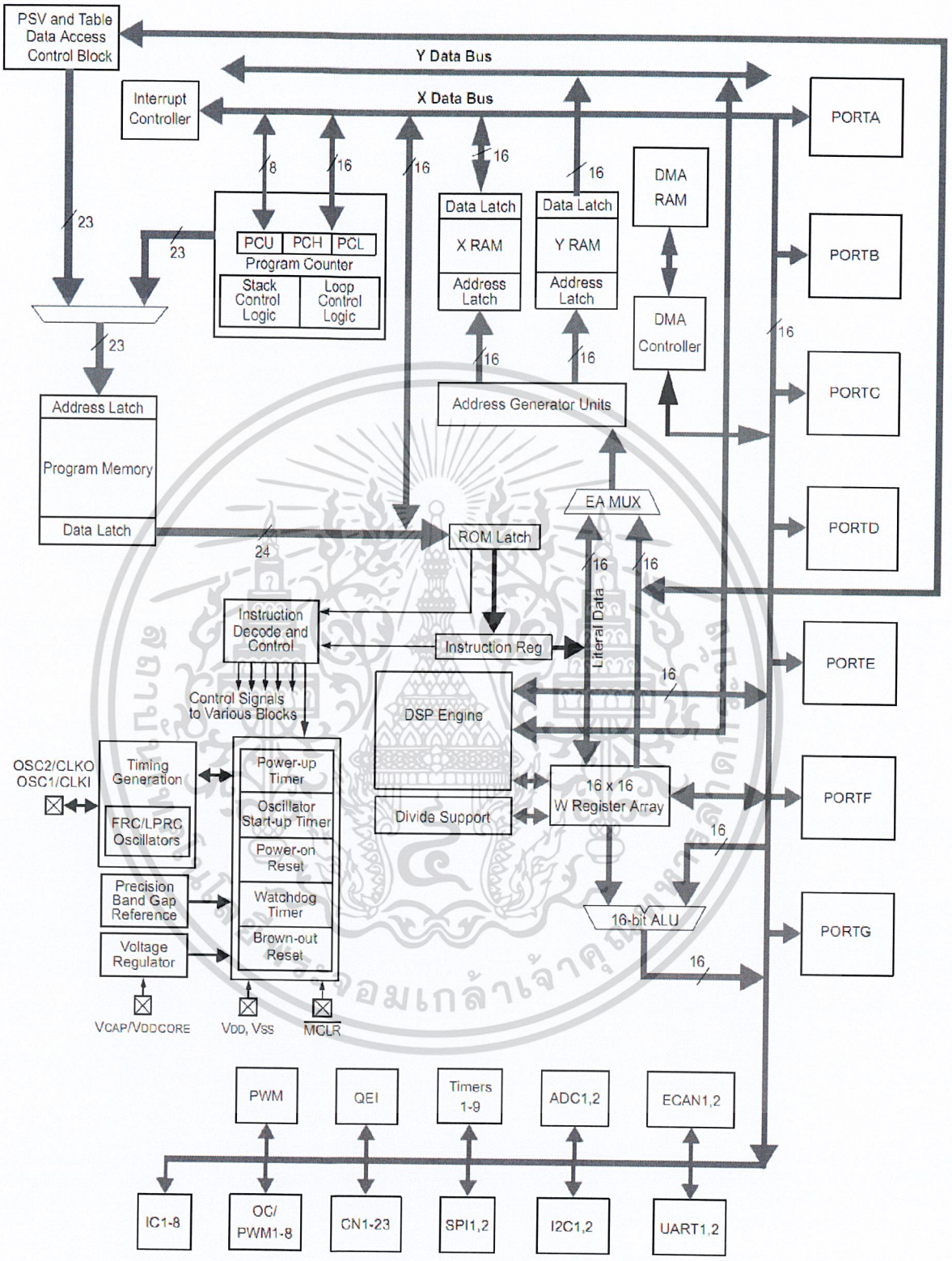
ภาคไมโครคอนโทรลเลอร์เราจะใช้ dsPIC_33F เบอร์ dsPIC_33FJ128MC706 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูลที่ได้รับมาจากกล่อง ECU ซึ่ง dsPIC33F มีความเร็วในการประมวลผล 40 MIPS เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 16 bit มีหน่วยความจำ Flash 128 KB. Ram 16 KB. มี module analog to digital converter 2 module 16 channel ความเร็วในการแปลงสัญญาณ analog to digital ขนาด 10 bit เท่ากับ 1.1 Mbps ขนาด 12 bit เท่ากับ 512 Kbps มีพอร์ตสื่อสารแบบอนุกรม 2 ช่อง แบบ SPI 2 ช่อง มี analog input channel 32 ช่อง และมีพอร์ตใช้งานแบบดิจิตอล คือพอร์ต RA 16 ช่อง RB 16 ช่อง RD 16 ช่อง RE 10 ช่อง RF 14 ช่อง RG 16 ช่อง มีคุณสมบัติในการแปลง Analog to Digital ที่มีความเร็วและประสิทธิภาพสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 3.11** แสดงการใช้งานของขา dsPIC33FJ128MC706

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



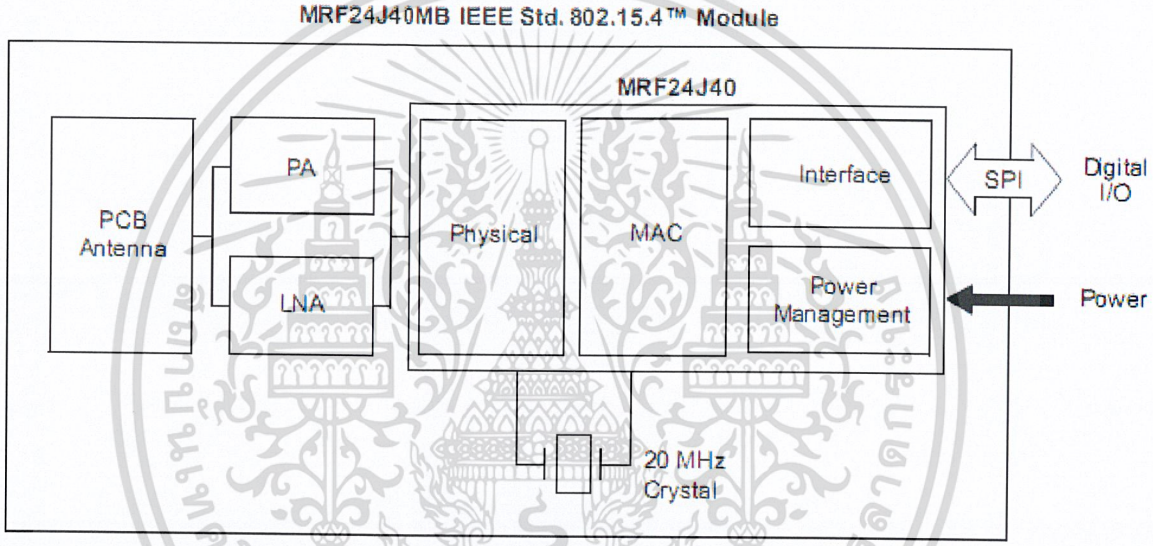

**รูปที่ 3.12** สถาปัตยกรรมภายในของ dsPIC33F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

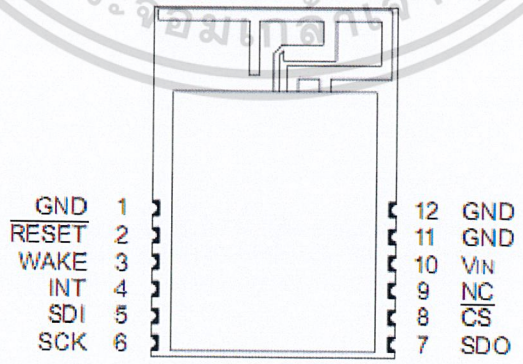
### 3.3.3 ภาคส่งสัญญาณสื่อสารไร้สาย

ในภาคส่งสัญญาณข้อมูลผ่านไวร์เลสเราใช้โมดูลไวร์เลสMRF24J40MB ของบริษัท Microchip รับข้อมูลดิจิตอลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยผ่านการสื่อสารแบบ SPI (Serial Peripheral Interface) ซึ่งเป็นการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูง

โมดูลไวร์เลส MRF24J40MB รองรับมาตรฐาน IEEE 802.15.4 สามารถใช้งานในส่วนของ Zigbee Protocol Stack และ MiWi Protocol Stack เข้ากันได้กับ dsPIC33 ใช้แรงดันในการใช้งาน 2.4 – 3.6 V. สามารถส่งได้ไกลประมาณ 4000 ฟุต และสามารถเพิ่มกำลังงานในการส่งได้อีก 20 dBm




**รูปที่ 3.13** Block Diagram การทำงานของ MRF24J40MB




**รูปที่ 3.14** แสดงหน้าที่ของขาต่างๆในโมดูล MRF24J40MB

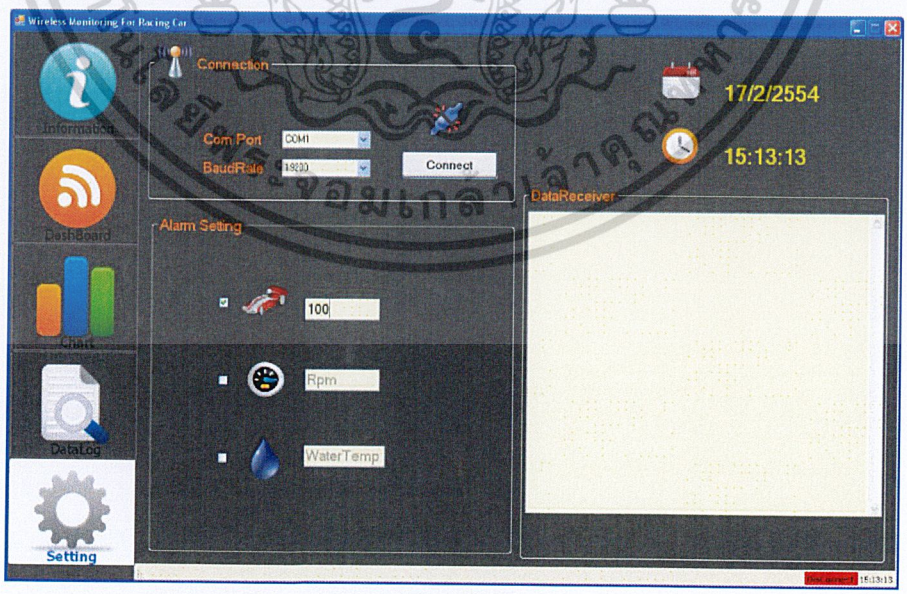
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4

# การทดลองและผลการทดลอง

จากการออกแบบ GUI ขึ้นมา โดยการใช้โปรแกรม Microsoft Visual Studio C# 2008 เพื่อใช้แสดงผลในส่วนของค่าต่างๆที่เราต้องการทราบผล โดยรับข้อมูลมาจากไมโครคอนโทรล-เลอร์ให้แสดงค่าที่ได้รับจากตัวเซ็นเซอร์นั้นๆออกมาแสดงผลที่ Graphic User Interface ที่เราสร้างขึ้นมา

เมื่อทำการติดตั้งบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับตัวรถแข่งและเชื่อมต่อกับคอมพิว-เตอร์แล้ว จากนั้นทำการเปิดกล่อง ECU ที่ตัวรถแข่งและทำการเชื่อมต่อ GUI ที่เครื่องคอมพิวเตอร์ โดยไปที่หน้าจอ Setting ทำการเลือก Com Port ที่จะเชื่อมต่อ ในที่นี้เราใช้ Com1 จากนั้นเลือกค่า Baud Rate ที่ใช้ในการรับข้อมูล ในที่นี้เราเลือกค่า 19200 จากนั้นกดที่ปุ่ม Connect ถ้ามีการเชื่อมต่อแล้ว จะมีข้อมูลผ่านเข้ามาตรงส่วนของ Status เมื่อทำการเชื่อมต่อแล้ว เราสามารถเลือกได้ว่าจะมีการเปิดใช้งานในโหมดAlarmหรือไม่ โดยเลือกเครื่องหมายหน้าข้อมูลที่ต้องการเตือน ให้ใส่ค่าที่ต้องการเตือนลองไปในช่องว่าง ในที่นี้ได้ทำการเปิดใช้งาน โดยใส่ค่าการเตือนในช่องของ Speed = 100 จากนั้นให้ทำการคลิกที่เครื่องหมายถูก เพื่อทำการยืนยันค่าที่ต้องการเตือนเมื่อเราทำการเซตอัพค่าต่างๆครบเรียบร้อยแล้ว เราจะคลิกไปที่หน้าของ Dashboard เพื่อทำการดูค่าต่างๆที่รับมาจากตัวรถ




**รูปที่ 4.1** การตั้งค่าการทำงานของส่วนติดต่อผู้ใช้

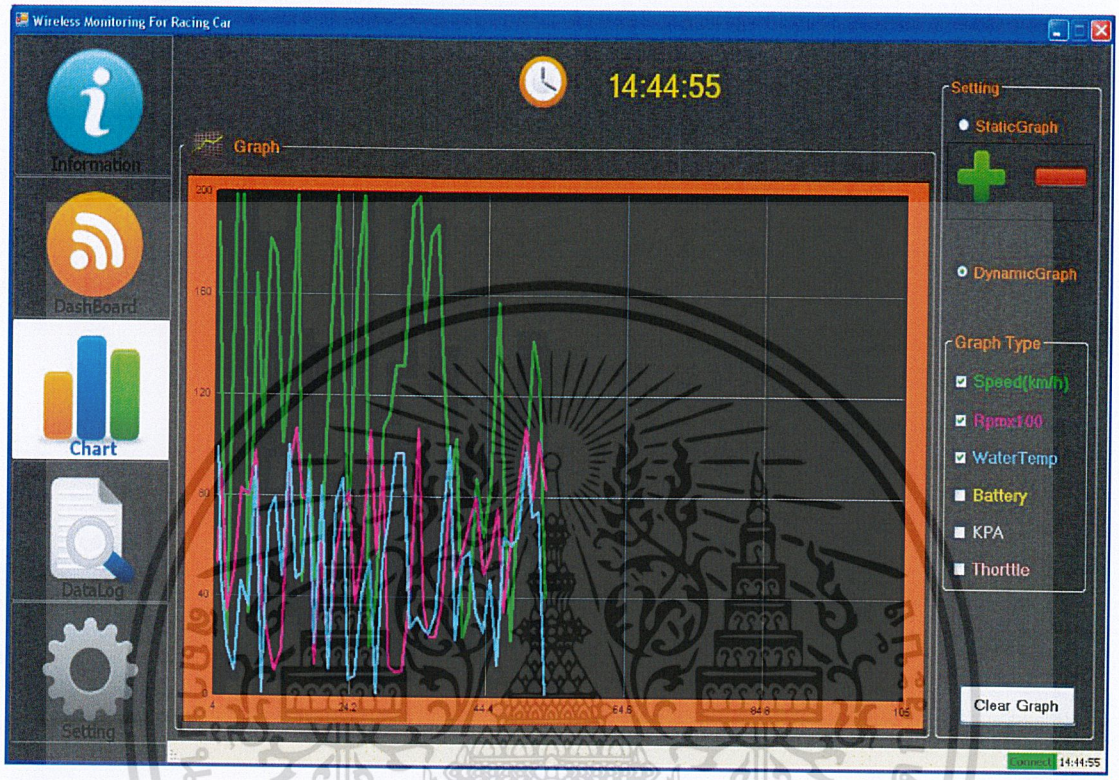
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในหน้าจอ Dashboard จะแสดงค่าข้อมูลที่รับเข้ามาจากตัวรถ โดยมีค่าของ ความเร็ว ความเร่งรอบเครื่อง อุณหภูมิหม้อน้ำ เกียร์ แบตเตอรี่ อุณหภูมิของอากาศภายนอกตัวรถ อัตราการเปิดของลิ้นปีกผีเสื้อ ความแรงของสัญญาณที่รับได้ และปุ่ม REC เป็นปุ่มที่จะใช้เมื่อต้องการบันทึกข้อมูลลงใน Data logger จากการที่ได้ทำการเปิดการใช้งานในโหมด Alarm เมื่อค่าของความเร็วรถแข่ง หรือความเร็วรอบเครื่องมีค่าสูงกว่าที่เราทำการตั้งค่าไว้ สีของเกจ์ก็จะเปลี่ยนเป็นสีแดง เมื่อค่าของแบตเตอรี่มากกว่า 10 จะมีเครื่องหมายเตือนและตัวหนังสือเปลี่ยนเป็นสีแดง

**รูปที่ 4.2** การทำงานของส่วนติดต่อผู้ใช้ในหน้าจอ Dashboard

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

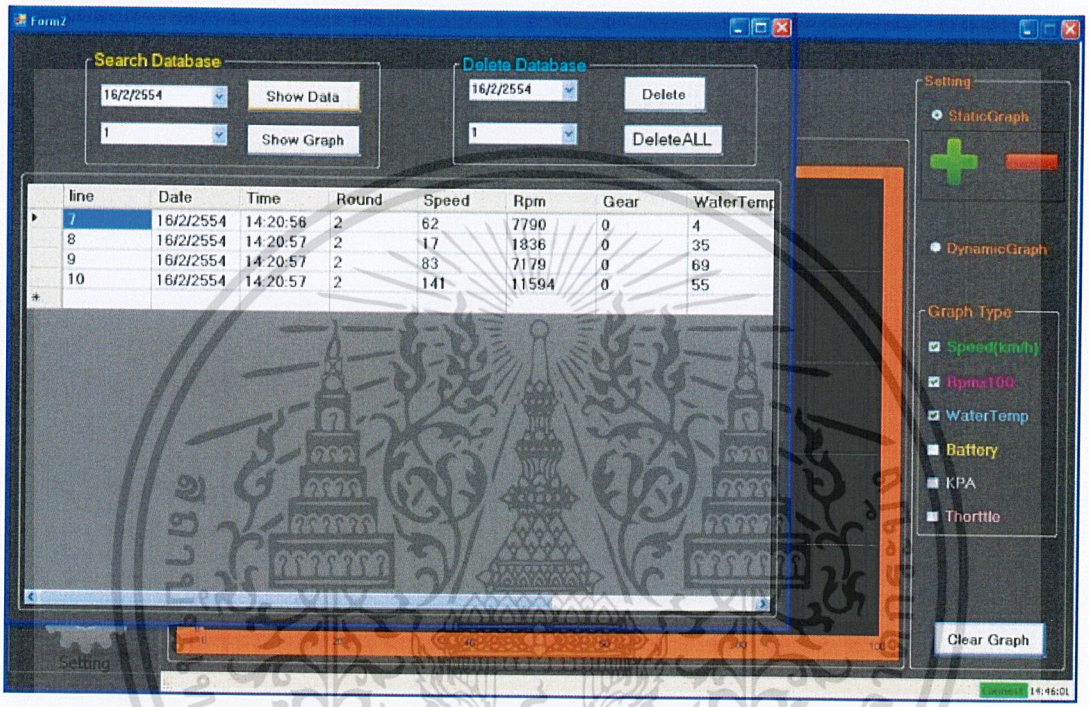
ในหน้าของ Chart เป็นการแสดงข้อมูลในรูปของกราฟ โดยการเลือกที่จะแสดงค่าข้อมูลของSpeed , RPM , Water Temp , Battery , KPA , Throttle โดยอ้างอิงกับเวลาสามารถที่จะล้างข้อมูลกราฟได้โดยการกดที่ปุ่ม Clear



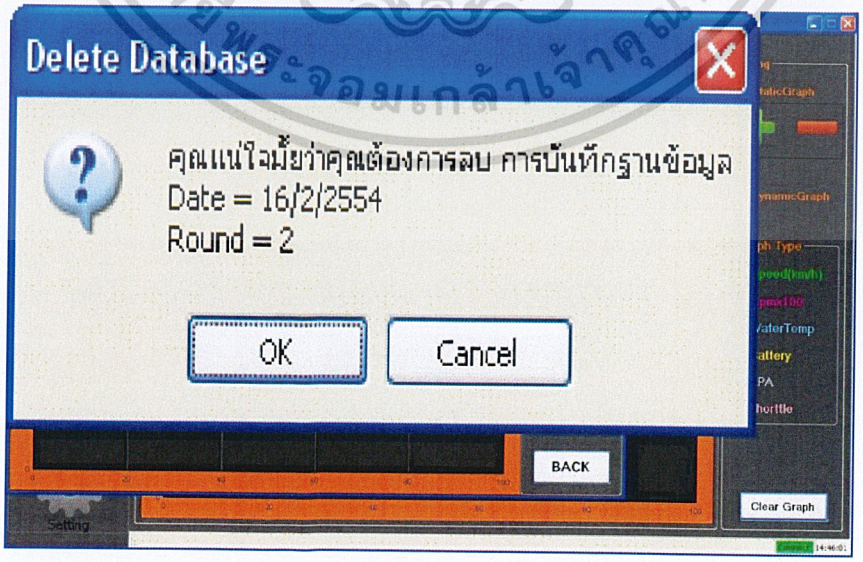

**รูปที่ 4.3** การแสดงผลในรูปของกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในหน้าจอ Data logger เมื่อทำการกดปุ่ม REC ที่หน้า Dashboard ข้อมูลจะผ่านเข้ามาเก็บบันทึกใน Database และแสดงผลผ่านทางหน้าต่าง Data Evenหากต้องการดูข้อมูลย้อนหลังที่บันทึกไว้ สามารถค้นหาโดยการกดปุ่ม Search และป้อนข้อมูลวันที่ต้องการ และเลือกรอบที่บันทึกไว้ของวันนั้นๆ โดยข้อมูลที่ได้ จะแสดงในรูปของตัวเลขหรือกราฟ และหากต้องการลบ Database อันเก่าก็สามารถเลือกว่าจะลบรอบไหนได้ หรือเลือกลบทั้งหมดได้




**รูปที่ 4.3** การแสดงผลการทำงานในส่วนของการบันทึกข้อมูล




**รูปที่ 4.4** แสดงขั้นตอนการลบฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# สรุปผลการทดลอง

## 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากความต้องการที่จะส่งข้อมูลจากตัวรถออกมายังทีมงาน จึงทำให้เกิดความคิดที่จะสร้าง "ระบบการรายงานสถานะรถแข่งผ่านการสื่อสารไร้สาย" ขึ้นมา

ในขั้นตอนแรกจะทำการออกแบบลักษณะของงานในขั้นต้น โดยเลือกอุปกรณ์ที่ใช้ วิธีการดำเนินงานและขอบเขตของงาน หลังจากนั้นจะเป็นขั้นตอนการสืบหาและรวบรวมข้อมูลทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับโครงงานนี้ และทำการออกแบบลักษณะของวงจร ออกแบบ GUI เมื่อออกแบบลายวงจรเรียบร้อยแล้ว จะทำการประกอบขึ้นมาเป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เสร็จสมบูรณ์ เมื่อได้อุปกรณ์ที่ใช้ทดลองแล้วจึงทำการเขียนโปรแกรมควบคุมบอร์ดไมโครคอน-โทรลเลอร์ โดยจะใช้โปรแกรม MPLAB C30 ในการเขียนโปรแกรม และในส่วนของหน้าจอการติดต่อผู้ใช้ จะใช้โปรแกรม Visual Studio C# ในการเขียนโปรแกรม หลังจากทำขั้นตอนดังกล่าวแล้ว จะนำอุปกรณ์ที่เสร็จสมบูรณ์ไปติดตั้งที่ตัวรถแข่งและเครื่องคอมพิวเตอร์ เมื่อทำการทดลองผลปรากฏว่าสามารถทำการส่งผ่านข้อมูลจากตัวรถแข่งด้วยการสื่อสารไร้สายมายัง Cock Pit ได้

## 5.2 สรุปปัญหาจากการทดลอง

1. เนื่องจากความรู้ของผู้ทำโครงงานมีไม่เพียงพอจึงทำให้ใช้เวลาในการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเป็นระยะเวลานาน

2. เนื่องจากในข้อแรกจึงทำให้การออกแบบลายวงจรมีความผิดพลาดเกิดขึ้น จึงต้องมีการแก้ไขหลายครั้ง และการเขียนโปรแกรมในส่วนการส่งไวร์เลส โดยใช้โปรโตคอล MiWi นั้นเป็นเรื่องใหม่สำหรับผู้ทำโครงงานจึงใช้เวลาในการศึกษาและเขียนโปรแกรมนานขึ้น

3. มีความล่าช้าและความไม่สะดวกในการทดลองอยู่บ้าง เนื่องจากต้องใช้รถยนต์ของทางชมรมยานยนต์ ซึ่งรถอาจจะไม่พร้อมในการทดลองบ้างในบางครั้งที่จะเข้าไปทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อ

1. ทำให้สามารถมีการปรับจูนตัวกล่อง ECU ผ่านการสื่อสารไร้สายได้

2. ทำให้การสื่อสารไวร์เลสมีการติดต่อกันเป็นเครือข่ายที่ใหญ่ขึ้น เพื่อให้สามารถที่จะดูสถานะของรถแข่งจากเครื่องคอมพิวเตอร์หลายๆ เครื่องได้

3. ทำการขยายเครือข่ายการติดต่อที่ครอบคลุมขอบเขตการใช้งานที่กว้างขึ้นกว่าเดิมได้ โดยใช้จำนวนของโหนดให้มากกว่า 2 โหนดขึ้นไป

4. พัฒนาการสื่อสารให้เป็นระบบ real time มากยิ่งขึ้นกว่าเดิม




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บรรณานุกรม


[1] นางสาวเบญจลักษณ์ ตั้งสัจธรรม,นายปกรณ์ ทองขาว,นายอลงกต วัฒนลออสมบุญ ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2551

[2] Jelena Misic and Vojislav B. Misic, Wireless personal area networks : Performance, Interconnections and Security with IEEE 802.15.4, Chichester : John Wiley, c2008

[3] อำนาจ มีมงคล,อรรณนพ ขันธิกุล, ออกแบบและติดตั้งระบบ Wireless LAN 2nd Edition, นนทบุรี : ไอดีซีฯ , 2553

[4] ประจิน พลังสันติกุล, การเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ ,กรุงเทพฯ : บริษัท แอพซอฟต์เทค จำกัด,2551

[5] พงษ์พันธ์ ศิวิลัย , SQL Server 2008 ฉบับสมบูรณ์, กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2552

[6] http://www.thaieasyelec.com

[7] http://www.microchip.com

[8] http://www.codeproject.com

[9] http://www.meshnetics.com/learning/index.php?show=17

[10] http://images.vrudesign.multiply.multiplycontent.com/attachment/0/SO2vpQoKCoAAAAPOlfI1 /IntroductionToC%23.pdf?nmid=83914835

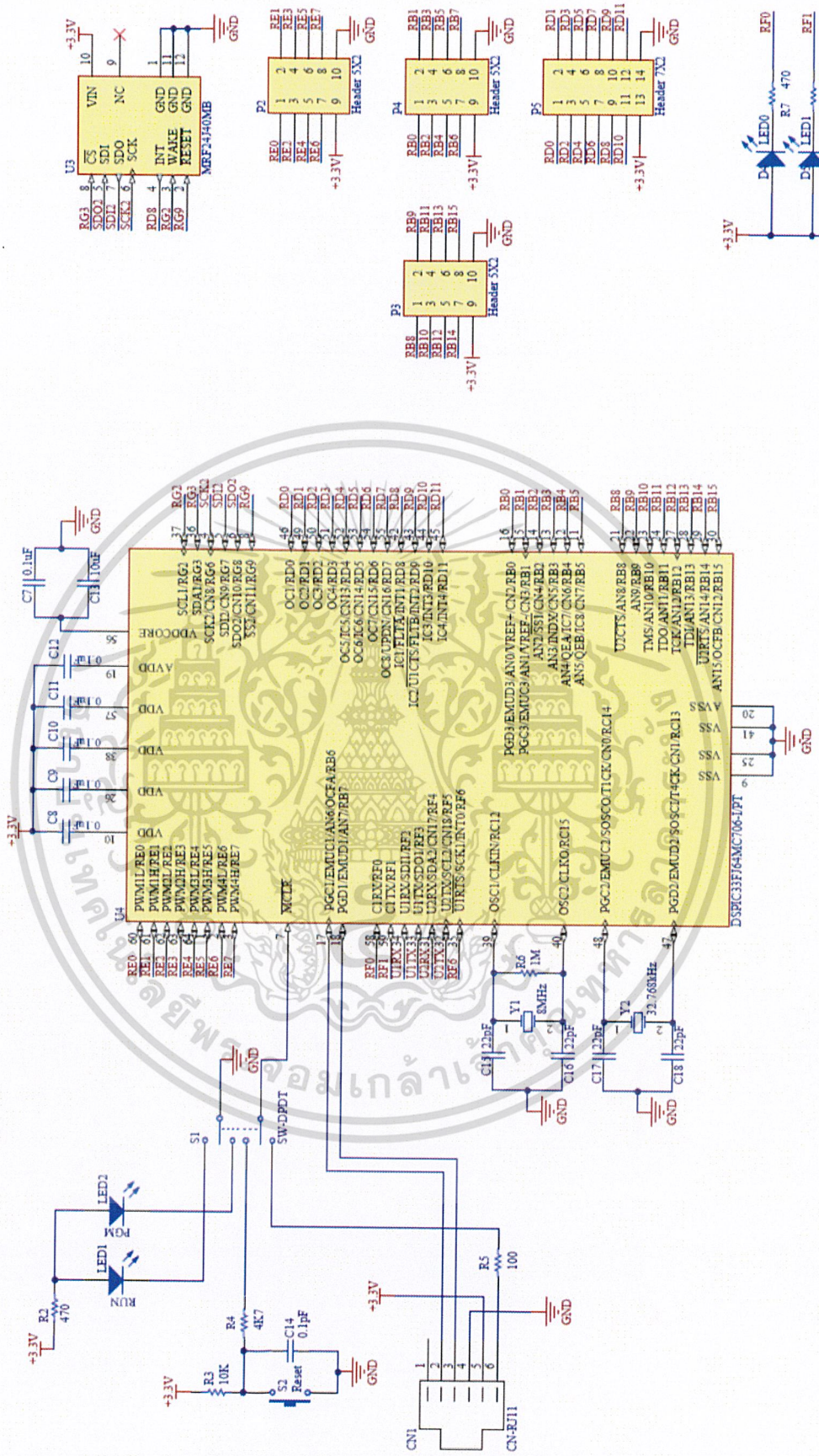


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก.

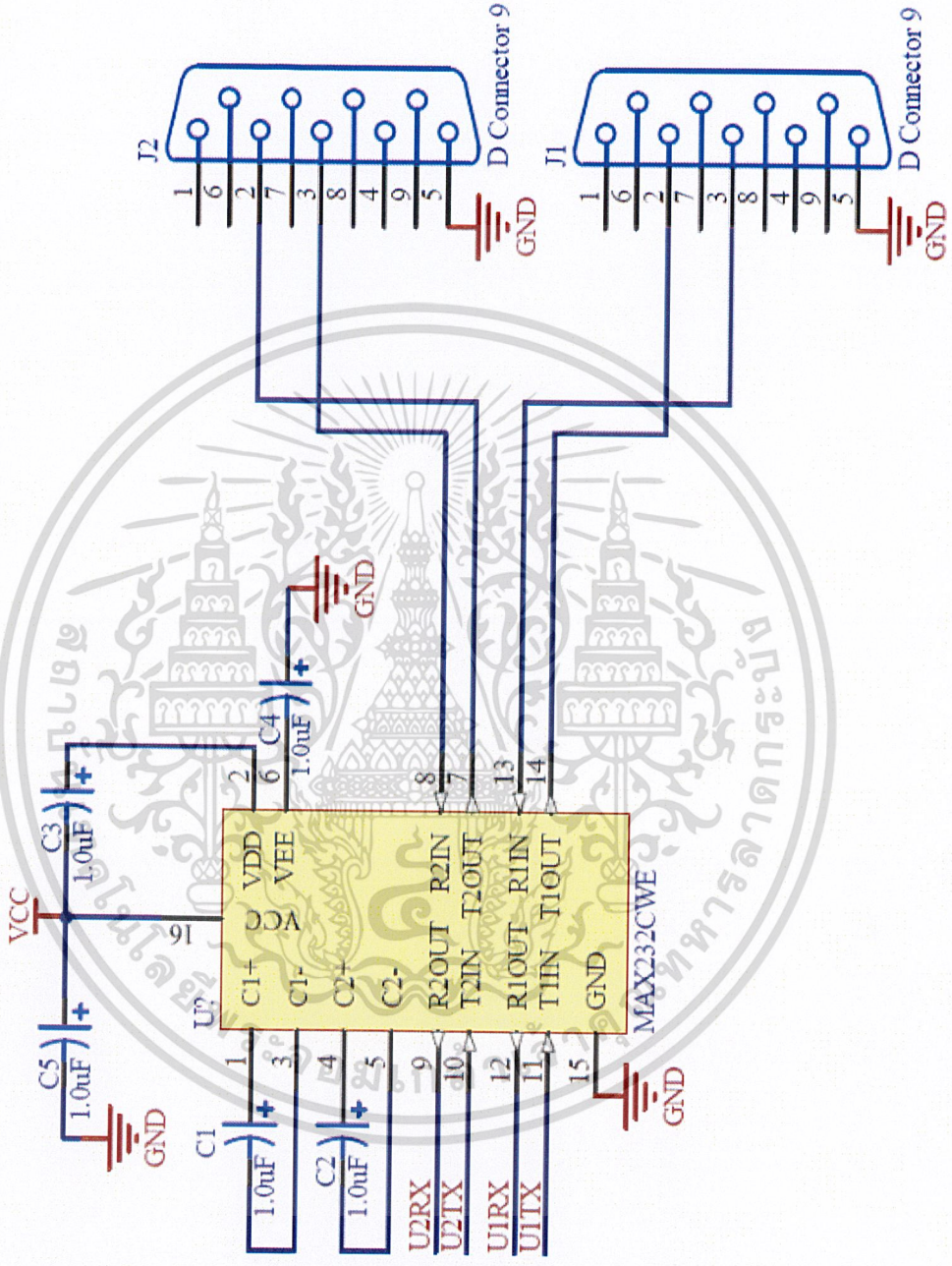
# รายละเอียดของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



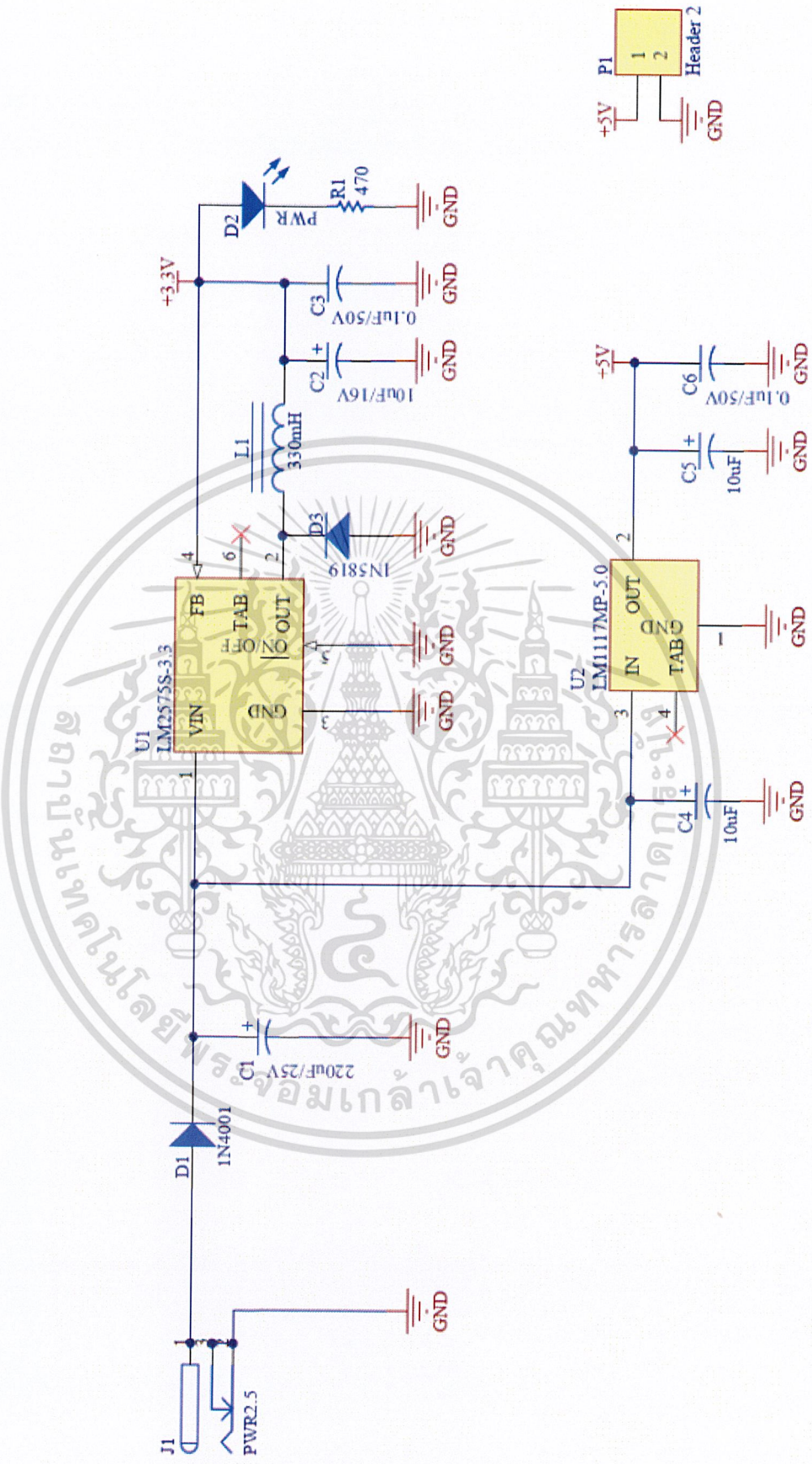
**รูปที่ ก.1** วงจรส่วนประมวลผลหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



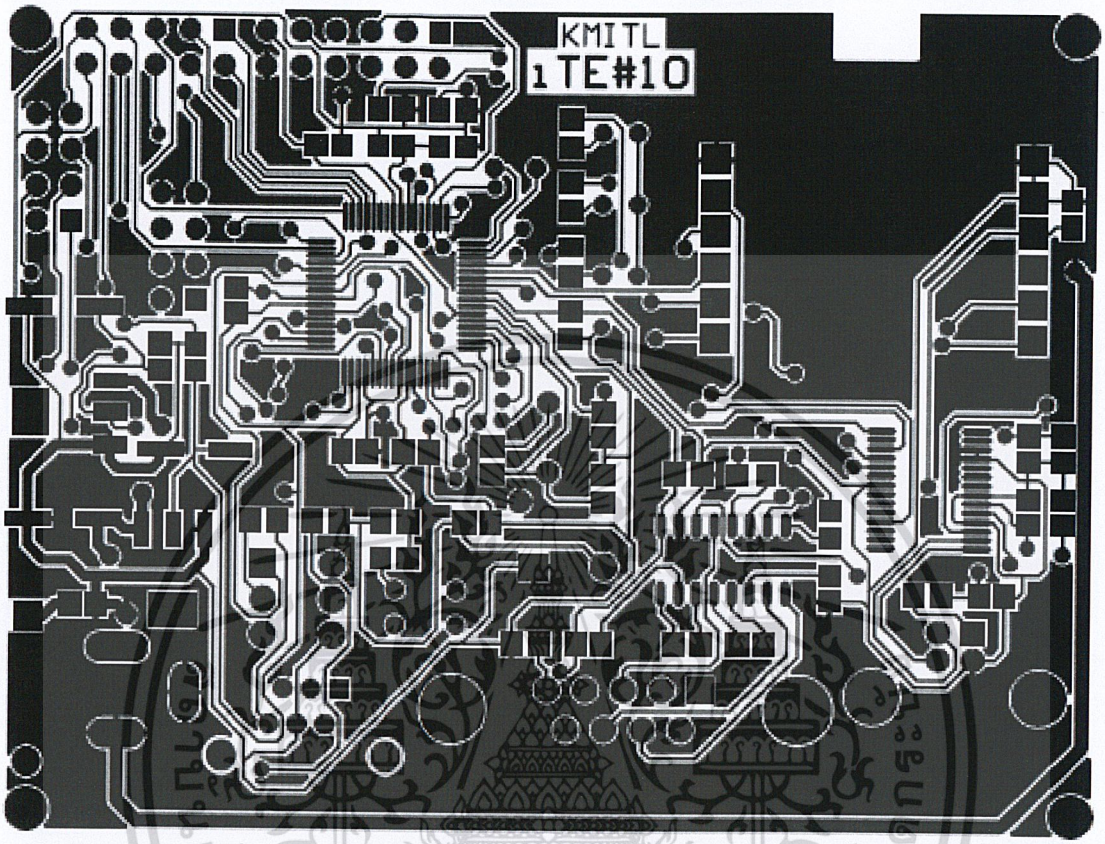

**รูปที่ ก.2** วงจรแปลง RS-232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



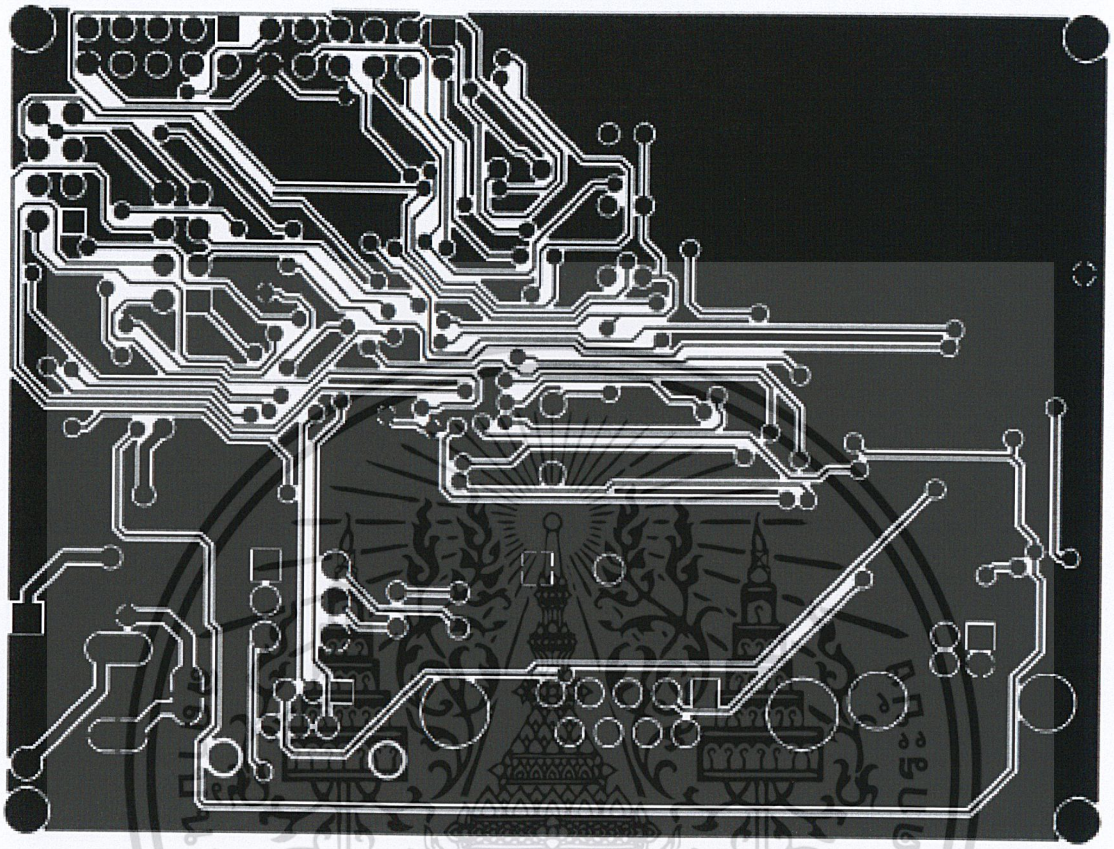

**รูปที่ ก.3** วงจรภาคจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



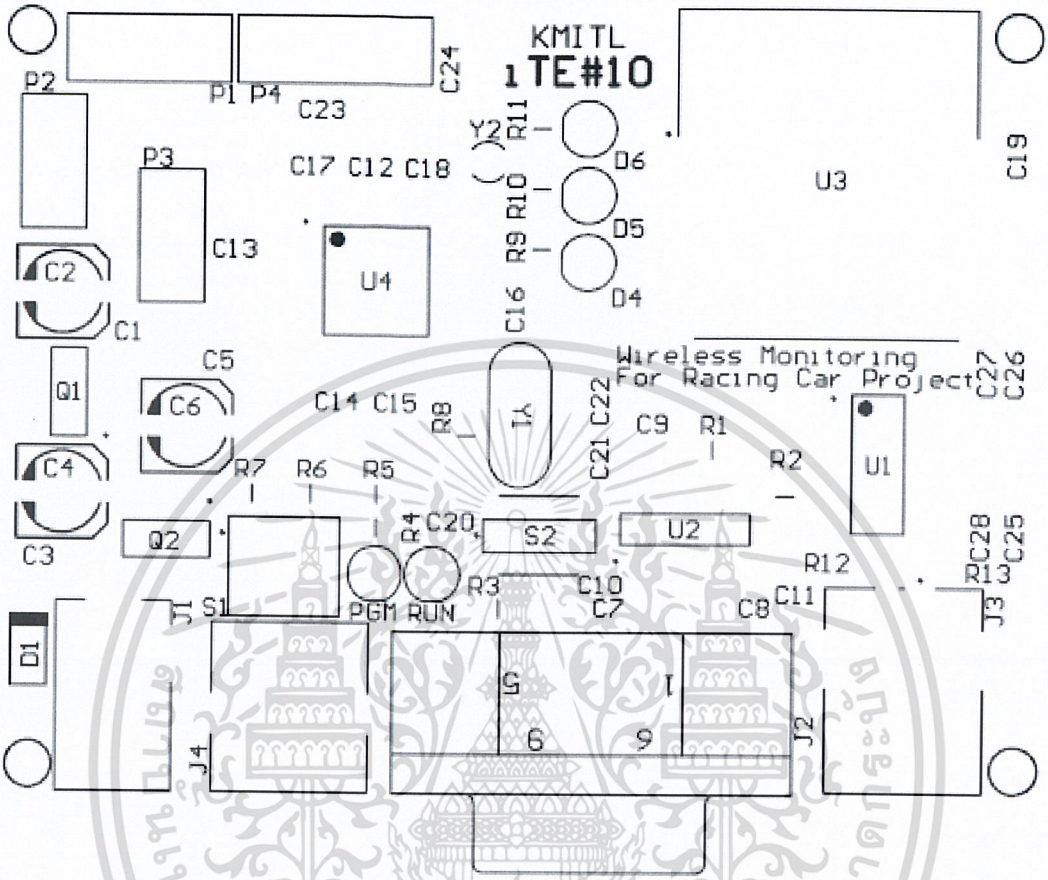

**รูปที่ ก.4** ลายวงจรของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ ก.4** ลายวงจรของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



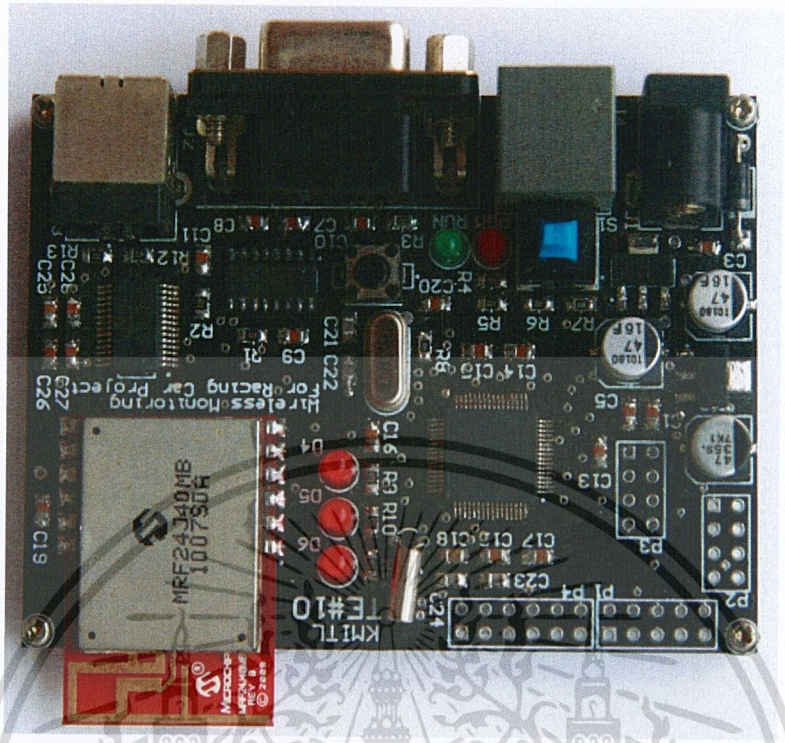

**รูปที่ ก.5** ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

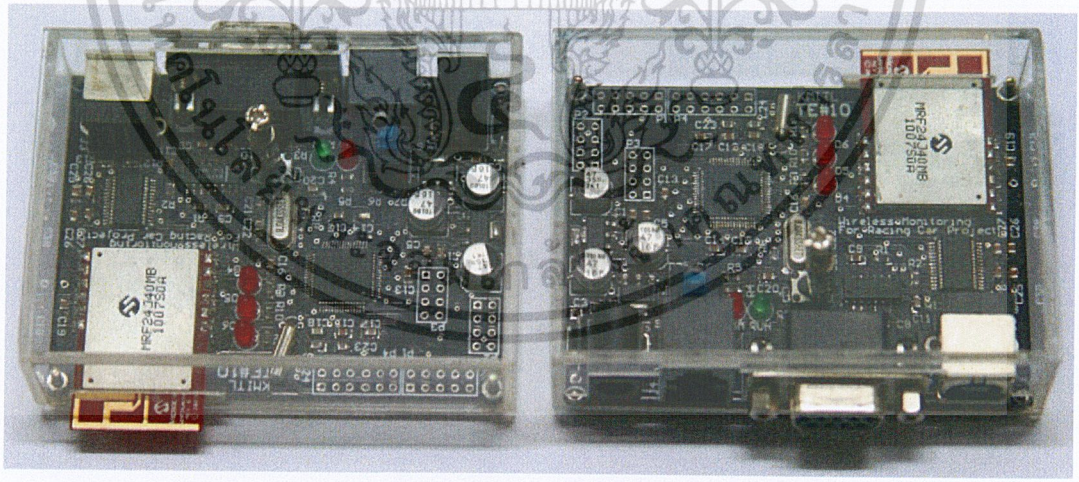
# ภาคผนวก ข.

## รูปภาพของโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ ข.1** บอร์ดไมโครคอนโทลเลอร์ที่ใช้ในโครงงาน



**รูปที่ ข.2** บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ด้านรับและด้านส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ค.

# การติดตั้งบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การติดตั้งบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

1. ทำการติดตั้งบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ด้านส่งที่ตัวรถแข่ง กับพอร์ต RS-232 ที่รับข้อมูลมาจากกล่อง ECU ที่ด้านข้างของตัวรถ

**รูปที่ ค.3** การติดตั้งบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ด้านส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการติดตั้งบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ด้านรับด้วยพอร์ต USB ที่เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการแสดงผลข้อมูล

**รูปที่ ค.4** การติดตั้งบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ด้านรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ง.

# รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MICROCHIP

# dsPIC33FJXXXMCX06/X08/X10

## High-Performance, 16-Bit Digital Signal Controllers

### Operating Range:

- Up to 40 MIPS operation (at 3.0-3.6V):
  - Industrial temperature range (-40°C to +85°C)

### High-Performance DSC CPU:

- Modified Harvard architecture
- C compiler optimized instruction set
- 16-bit wide data path
- 24-bit wide instructions
- Linear program memory addressing up to 4M instruction words
- Linear data memory addressing up to 64 Kbytes
- 83 base instructions: mostly 1 word/1 cycle
- Two 40-bit accumulators:
  - With rounding and saturation options
- Flexible and powerful addressing modes:
  - Indirect, Modulo and Bit-Reversed
- Software stack
- 16 x 16 fractional/integer multiply operations
- 32/16 and 16/16 divide operations
- Single-cycle multiply and accumulate:
  - Accumulator write back for DSP operations
  - Dual data fetch
- Up to ±16-bit shifts for up to 40-bit data

### Direct Memory Access (DMA):

- 8-channel hardware DMA
- 2 Kbytes dual ported DMA buffer area (DMA RAM) to store data transferred via DMA:
  - Allows data transfer between RAM and a peripheral while CPU is executing code (no cycle stealing)
- Most peripherals support DMA

### Interrupt Controller:

- 5-cycle latency
- Up to 67 available interrupt sources
- Up to five external interrupts
- Seven programmable priority levels
- Five processor exceptions

### Digital I/O:

- Up to 85 programmable digital I/O pins
- Wake-up/Interrupt-on-Change on up to 24 pins
- Output pins can drive from 3.0V to 3.6V
- All digital input pins are 5V tolerant
- 4 mA sink on all I/O pins

### On-Chip Flash and SRAM:

- Flash program memory, up to 256 Kbytes
- Data SRAM, up to 30 Kbytes (includes 2 Kbytes of DMA RAM)

### System Management:

- Flexible clock options:
  - External, crystal, resonator, internal RC
  - Fully integrated PLL
  - Extremely low jitter PLL
- Power-up Timer
- Oscillator Start-up Timer/Stabilizer
- Watchdog Timer with its own RC oscillator
- Fail-Safe Clock Monitor
- Reset by multiple sources

### Power Management:

- On-chip 2.5V voltage regulator
- Switch between clock sources in real time
- Idle, Sleep and Doze modes with fast wake-up

### Timers/Capture/Compare/PWM:

- Timer/Counters, up to nine 16-bit timers:
  - Can pair up to make four 32-bit timers
  - 1 timer runs as Real-Time Clock with external 32.768 kHz oscillator
  - Programmable prescaler
- Input Capture (up to eight channels):
  - Capture on up, down or both edges
  - 16-bit capture input functions
  - 4-deep FIFO on each capture
- Output Compare (up to eight channels):
  - Single or Dual 16-Bit Compare mode
  - 16-bit Glitchless PWM mode

© 2009 Microchip Technology Inc.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Communication Modules:

- 3-wire SPI (up to two modules):
  - Framing supports I/O interface to simple codecs
  - Supports 8-bit and 16-bit data
  - Supports all serial clock formats and sampling modes
- $I^2C$™ (up to two modules):
  - Full Multi-Master Slave mode support
  - 7-bit and 10-bit addressing
  - Bus collision detection and arbitration
  - Integrated signal conditioning
  - Slave address masking
- UART (up to two modules):
  - Interrupt on address bit detect
  - Interrupt on UART error
  - Wake-up on Start bit from Sleep mode
  - 4-character TX and RX FIFO buffers
  - LIN bus support
  - IrDA® encoding and decoding in hardware
  - High-Speed Baud mode
  - Hardware Flow Control with CTS and RTS
- Enhanced CAN™ (ECAN™ module) 2.0B active (up to 2 modules):
  - Up to eight transmit and up to 32 receive buffers
  - 16 receive filters and three masks
  - Loopback, Listen Only and Listen All Messages modes for diagnostics and bus monitoring
  - Wake-up on CAN message
  - Automatic processing of Remote Transmission Requests
  - FIFO mode using DMA
  - DeviceNet™ addressing support

## Motor Control Peripherals:

- Motor Control PWM (up to eight channels):
  - Four duty cycle generators
  - Independent or Complementary mode
  - Programmable dead time and output polarity
  - Edge or center-aligned
  - Manual output override control
  - Up to two Fault inputs
  - Trigger for ADC conversions
  - PWM frequency for 16-bit resolution (@ 40 MIPS) = 1220 Hz for Edge-Aligned mode, 610 Hz for Center-Aligned mode
  - PWM frequency for 11-bit resolution (@ 40 MIPS) = 39.1 kHz for Edge-Aligned mode, 19.55 kHz for Center-Aligned mode
- Quadrature Encoder Interface module:
  - Phase A, Phase B and index pulse input
  - 16-bit up/down position counter
  - Count direction status
  - Position Measurement (x2 and x4) mode
  - Programmable digital noise filters on inputs
  - Alternate 16-bit Timer/Counter mode
  - Interrupt on position counter rollover/underflow

## Analog-to-Digital Converters (ADCs):

- Up to two ADC modules in a device
- 10-bit, 1.1 Msps or 12-bit, 500 ksps conversion:
  - Two, four or eight simultaneous samples
  - Up to 32 input channels with auto-scanning
  - Conversion start can be manual or synchronized with one of four trigger sources
  - Conversion possible in Sleep mode
  - ±1 LSb max integral nonlinearity
  - ±1 LSb max differential nonlinearity

## CMOS Flash Technology:

- Low-power, high-speed Flash technology
- Fully static design
- 3.3V (±10%) operating voltage
- Industrial temperature
- Low-power consumption

## Packaging:

- 100-pin TQFP (14x14x1 mm and 12x12x1 mm)
- 80-pin TQFP (12x12x1 mm)
- 64-pin TQFP (10x10x1 mm)

| **Note:** | See the device variant tables for exact peripheral features per device. |
|---|---|


© 2009 Microchip Technology Inc.
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## dsPIC33F PRODUCT FAMILIES

The dsPIC33FJXXXMCX06/X08/X10 family of devices supports a variety of motor control applications, such as brushless DC motors, single and 3-phase induction motors and switched reluctance motors. The dsPIC33F Motor Control products are also well-suited for Uninterrupted Power Supply (UPS), inverters, switched mode power supplies, power factor correction and also for controlling the power management module in servers, telecommunication equipment and other industrial equipment.

The device names, pin counts, memory sizes and peripheral availability of each device are listed below. The following pages show their pinout diagrams.

### dsPIC33FJXXXMCX06/X08/X10 Controller Families

| Device | Pins | Program Flash Memory (Kbyte) | RAM (Kbyte)(1) | Timer 16-bit | Input Capture | Output Compare Std. PWM | Motor Control PWM | Quadrature Encoder Interface | Codec Interface | ADC | UART | SPI | I²C™ | Enhanced CAN™ | I/O Pins (Max)(2) | Packages |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| dsPIC33FJ64MC506 | 64 | 64 | 8 | 9 | 8 | 8 | 8 ch | 1 | 0 | 1 ADC, 16 ch | 2 | 2 | 2 | 1 | 53 | PT |
| dsPIC33FJ64MC508 | 80 | 64 | 8 | 9 | 8 | 8 | 8 ch | 1 | 0 | 1 ADC, 18 ch | 2 | 2 | 2 | 1 | 69 | PT |
| dsPIC33FJ64MC510 | 100 | 64 | 8 | 9 | 8 | 8 | 8 ch | 1 | 0 | 1 ADC, 24 ch | 2 | 2 | 2 | 1 | 85 | PF, PT |
| dsPIC33FJ64MC706 | 64 | 64 | 16 | 9 | 8 | 8 | 8 ch | 1 | 0 | 2 ADC, 16 ch | 2 | 2 | 2 | 1 | 53 | PT |
| dsPIC33FJ64MC710 | 100 | 64 | 16 | 9 | 8 | 8 | 8 ch | 1 | 0 | 2 ADC, 24 ch | 2 | 2 | 2 | 2 | 85 | PF, PT |
| dsPIC33FJ128MC506 | 64 | 128 | 8 | 9 | 8 | 8 | 8 ch | 1 | 0 | 1 ADC, 16 ch | 2 | 2 | 2 | 1 | 53 | PT |
| dsPIC33FJ128MC510 | 100 | 128 | 8 | 9 | 8 | 8 | 8 ch | 1 | 0 | 1 ADC, 24 ch | 2 | 2 | 2 | 1 | 85 | PF, PT |
| dsPIC33FJ128MC706 | 64 | 128 | 16 | 9 | 8 | 8 | 8 ch | 1 | 0 | 2 ADC, 16 ch | 2 | 2 | 2 | 1 | 53 | PT |
| dsPIC33FJ128MC708 | 80 | 128 | 16 | 9 | 8 | 8 | 8 ch | 1 | 0 | 2 ADC, 18 ch | 2 | 2 | 2 | 2 | 69 | PT |
| dsPIC33FJ128MC710 | 100 | 128 | 16 | 9 | 8 | 8 | 8 ch | 1 | 0 | 2 ADC, 24 ch | 2 | 2 | 2 | 2 | 85 | PF, PT |
| dsPIC33FJ256MC510 | 100 | 256 | 16 | 9 | 8 | 8 | 8 ch | 1 | 0 | 1 ADC, 24 ch | 2 | 2 | 2 | 1 | 85 | PF, PT |
| dsPIC33FJ256MC710 | 100 | 256 | 30 | 9 | 8 | 8 | 8 ch | 1 | 0 | 2 ADC, 24 ch | 2 | 2 | 2 | 2 | 85 | PF, PT |

**Note 1:** RAM size is inclusive of 2 Kbytes DMA RAM.

**2:** Maximum I/O pin count includes pins shared by the peripheral functions.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

© 2009 Microchip Technology Inc.

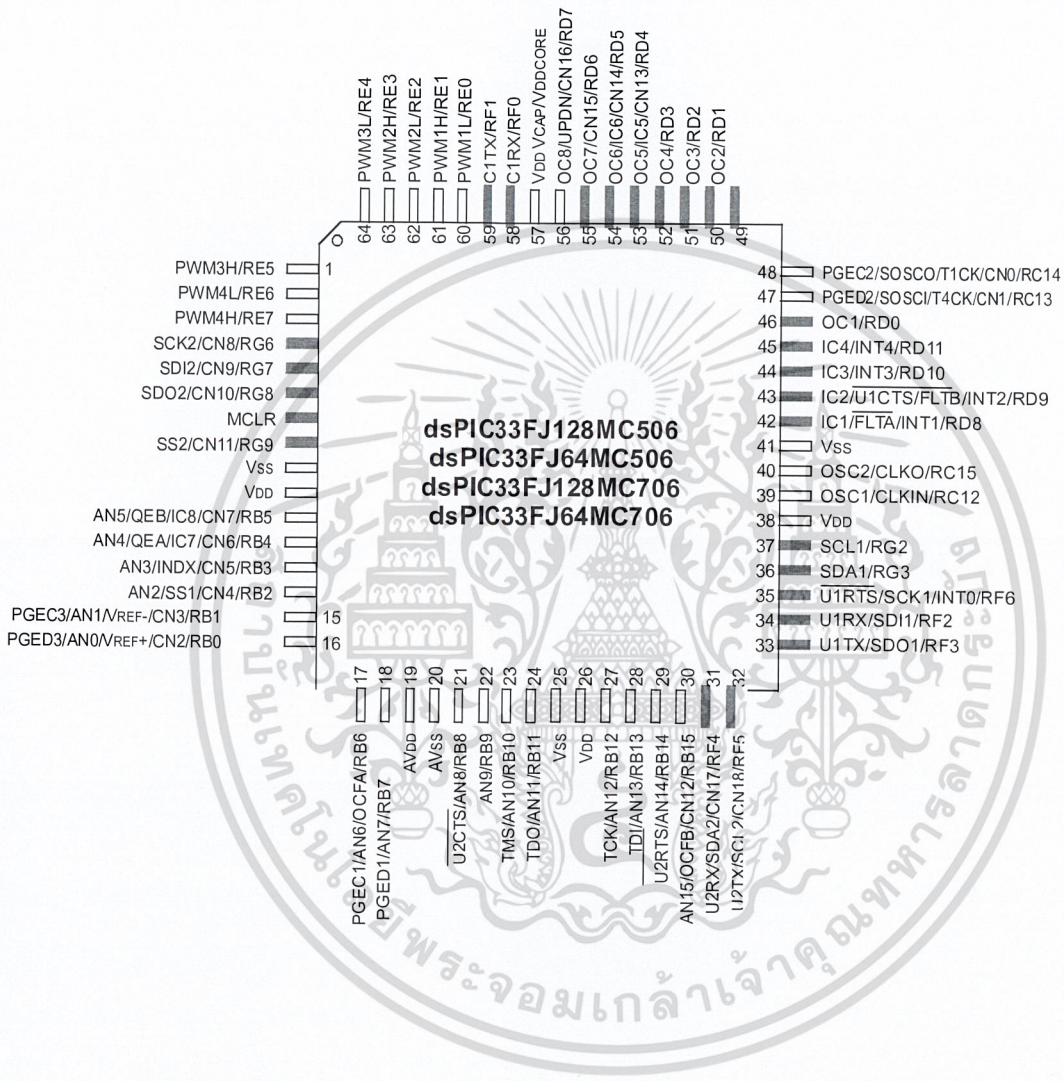


ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Pin Diagrams

**64-Pin TQFP**

■ = Pins are up to 5V tolerant






© 2009 Microchip Technology Inc.
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MICROCHIP

# AN1204

# Microchip MiWi™ P2P Wireless Protocol

*Author:* *Yifeng Yang*
*Microchip Technology Inc.*

## INTRODUCTION

The demand is growing for more and more applications to move to wireless communication.

The benefits are reduced costs and ease of implementation. Wireless communication does not require cabling and other hardware, and the associated installation costs. It also can be implemented in locations where cabling would be hard, if not impossible, to install.

Since the IEEE released the Wireless Personal Area Network (WPAN) specification (IEEE 802.15.4™) in 2003, it has become the de facto industry standard for low-rate WPANs (LR-WPAN). The specification applies to low data rate applications with low-power and low-cost requirements.

The Microchip MiWi™ P2P Wireless Protocol is a variation of IEEE 802.15.4, using Microchip's MRF24J40 2.4 GHz transceiver and any Microchip 8, 16 or 32-bit microcontroller with a Serial Peripheral Interface (SPI).

The protocol provides reliable direct wireless communication via an easy-to-use programming interface. It has a rich feature set that can be compiled in and out of the stack to meet a wide range of customer needs – while minimizing the stack footprint.

This application note describes the Microchip Wireless (MiWi™) Peer-to-Peer (P2P) Protocol and its differences from IEEE 802.15.4. The document details the supported features and how to implement them. Simple, application-level data structures and programming interfaces also are described.

This application note assumes that readers know C programming. It is strongly recommended that readers review the IEEE 802.15.4 specification before starting this application note or working with the MiWi P2P wireless protocol.

## Protocol Overview

The MiWi P2P protocol modifies the IEEE 802.15.4 specification's Media Access Control (MAC) layer by adding commands that simplify the handshaking process. It simplifies link disconnection and channel hopping by providing supplementary MAC commands.

However, application-specific decisions, such as when to perform an energy detect scan or when to jump channels, are not defined in the protocol. Those issues are left to the application developer.

## Protocol Features

The MiWi™ P2P Wireless Protocol:

- Provides 16 channels in the 2.4 GHz spectrum (using an MRF24J40 transceiver)
- Operates on Microchip PIC18, PIC24, dsPIC33 and PIC32 platforms
- Supports Microchip C18, C30 and C32 compilers
- Functions as a state machine (not RTOS-dependent)
- Supports a sleeping device at the end of the communication
- Enables Energy Detect (ED) scanning to operate on the least-noisy channel
- Provides active scan for detecting existing connections
- Supports all of the security modes defined in IEEE 802.15.4.
- Enables frequency agility (channel hopping)

## Protocol Considerations

The MiWi P2P protocol is a variation of IEEE 802.15.4 and supports both peer-to-peer and star topologies. It has no routing mechanism, so the wireless communication coverage is defined by the radio range.

Guaranteed Time Slot (GTS) and beacon networks are not supported, so both sides of the communication cannot go to Sleep at the same time.

If the application requires wireless routing instead of P2P communication; or interoperability with other vendors' devices; or a standard-based solution, for marketability, see *AN1066 "MiWi™ Wireless Protocol Stack"* or *AN965, "Microchip Stack for the ZigBee™ Protocol"*.

© 2008 Microchip Technology Inc.

# MRF24J40MB

## 2.4 GHz IEEE Std. 802.15.4™ 20 dBm RF Transceiver Module

### Features:

- IEEE Std. 802.15.4™ Compliant RF Transceiver
- Supports ZigBee®, MiWi™, MiWi P2P and Proprietary Wireless Networking Protocols
- Small Size: 0.9" x 1.3" (22.9 mm x 33.0 mm), Surface Mountable
- Integrated Crystal, Internal Voltage Regulator, Matching Circuitry, Power Amplifier, Low Noise Amplifier and PCB Antenna
- Easy Integration into Final Product – Minimize Product Development, Quicker Time to Market
- Radio Regulation Certified for United States (FCC), Canada (IC) and Europe (ETSI)
- Compatible with Microchip Microcontroller Families (PIC16F, PIC18F, PIC24F/H, dsPIC33 and PIC32)
- Up to 4000 ft. Range

### Operational:

- Operating Voltage: 2.4-3.6V (3.3V typical)
- Temperature Range: -40°C to +85°C Industrial
- Simple, Four-Wire SPI Interface
- Low-Current Consumption:
  - RX mode: 25 mA (typical)
  - TX mode: 130 mA (typical)
  - Sleep: 5 μA (typical)

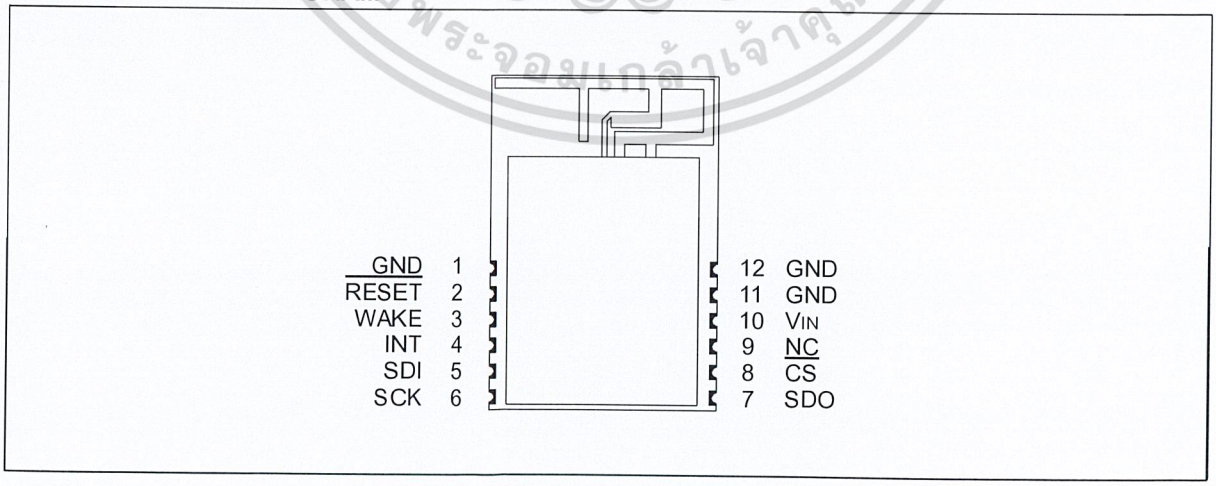
### RF/Analog Features:

- ISM Band 2.405-2.475 GHz Operation
- Data Rate: 250 kbps
- -102 dBm Typical Sensitivity with -23 dBm Maximum Input Level
- +20 dBm Typical Output Power with 56 dB TX Power Control Range
- Integrated Low Phase Noise VCO, Frequency Synthesizer and PLL Loop Filter
- Digital VCO and Filter Calibration
- Integrated RSSI ADC and I/Q DACs
- Integrated LDO
- High Receiver and RSSI Dynamic Range

### MAC/Baseband Features:

- Hardware CSMA-CA Mechanism, Automatic ACK Response and FCS Check
- Independent Beacon, Transmit and GTS FIFO
- Supports all CCA modes and RSS/LQI
- Automatic Packet Retransmit Capable
- Hardware Security Engine (AES-128) with CTR, CCM and CBC-MAC modes
- Supports Encryption and Decryption for MAC Sublayer and Upper Layer

**FIGURE 1: PIN DIAGRAM**




© 2009 Microchip Technology Inc.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.0 DEVICE OVERVIEW

The MRF24J40MB is a 2.4 GHz IEEE Std. 802.15.4™ compliant, surface mount module with integrated crystal, internal voltage regulator, matching circuitry, Power Amplifier, Low Noise Amplifier and PCB antenna. The MRF24J40MB module operates in the non-licensed 2.4 GHz frequency band. The integrated module design frees the integrator from extensive RF and antenna design, and regulatory compliance testing, allowing quicker time to market.

The MRF24J40MB module is compatible with Microchip's ZigBee®, MiWi™ and MiWi P2P software stacks. Each software stack is available as a free download, including source code, from the Microchip web site: http://www.microchip.com/wireless.

The MRF24J40MB module has received regulatory approvals for modular devices in the United States (FCC), Canada (IC) and Europe (ETSI). Modular approval removes the need for expensive RF and antenna design, and allows the end user to place the MRF24J40MB module inside a finished product and not require regulatory testing for an intentional radiator (RF transmitter).

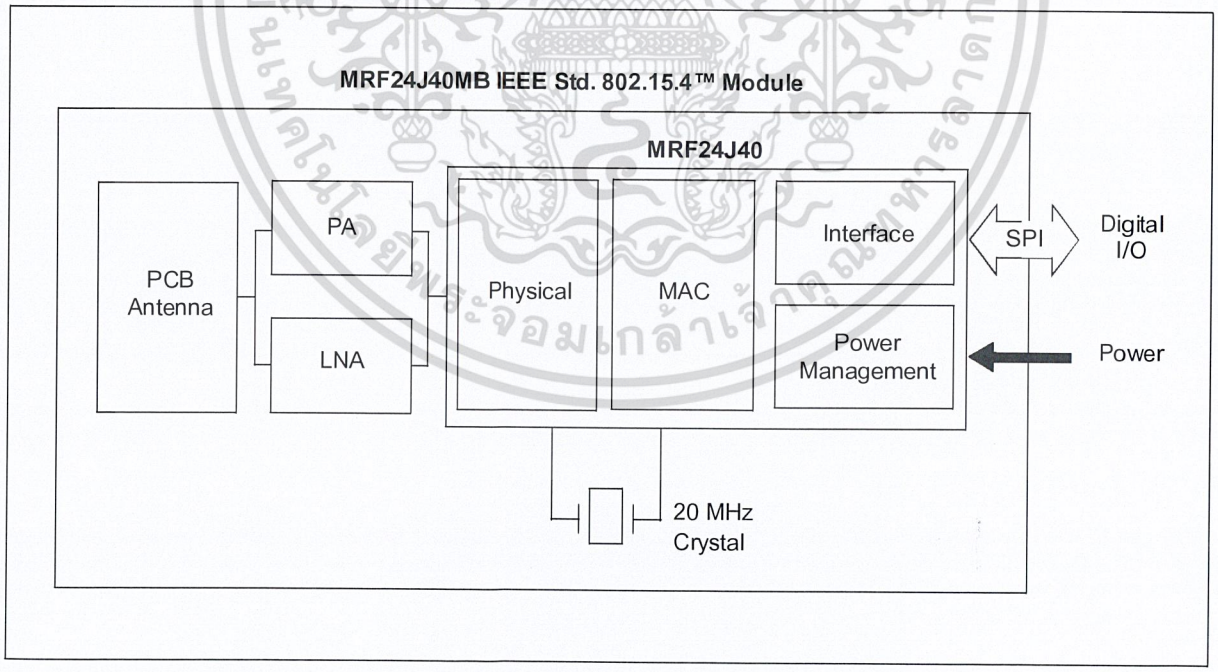
| **Note:** | See **Section 3.0 "Regulatory Approval"** for specific requirements to be followed by the integrator. |
|---|---|

### 1.1 Interface Description

Figure 1-1 shows a simplified block diagram of the MRF24J40MB module. The module is based on the Microchip Technology MRF24J40 IEEE 802.15.4™ 2.4 GHz RF Transceiver IC. The module interfaces to many popular Microchip PIC® microcontrollers via a 4-wire serial SPI interface, interrupt, wake, Reset, power and ground, as shown in Figure 1-2. Table 1-1 provides the pin descriptions.

Data communications with the MRF24J40MB module are documented in the *"MRF24J40 IEEE 802.15.4™ 2.4 GHz RF Transceiver Data Sheet"* (DS39776). Refer to the MRF24J40 Data Sheet for specific serial interface protocol and register definitions.

**FIGURE 1-1: MRF24J40MB BLOCK DIAGRAM**





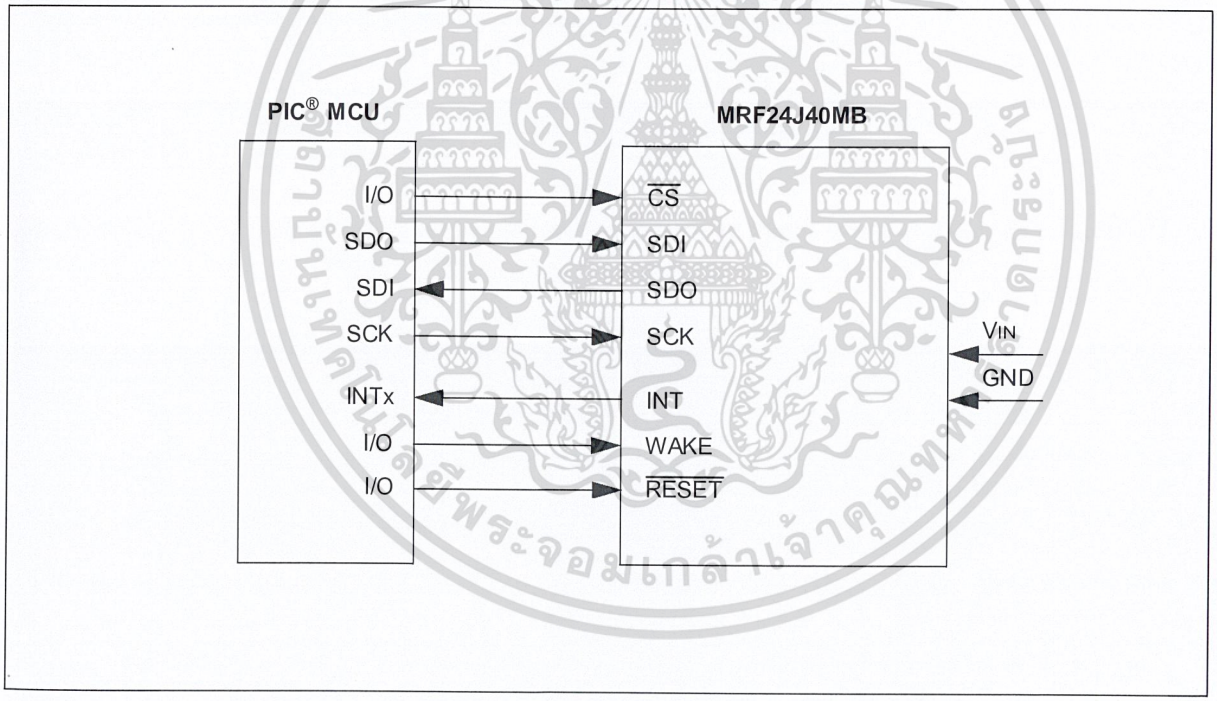

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TABLE 1-1: PIN DESCRIPTION**

| Pin | Symbol | Type | Description |
|---|---|---|---|
| 1 | GND | Power | Ground |
| 2 | $\overline{\text{RESET}}$ | DI | Global hardware Reset pin |
| 3 | WAKE | DI | External wake-up trigger |
| 4 | INT | DO | Interrupt pin to microcontroller |
| 5 | SDI | DI | Serial interface data input |
| 6 | SCK | DI | Serial interface clock |
| 7 | SDO | DO | Serial interface data output from MRF24J40 |
| 8 | $\overline{\text{CS}}$ | DI | Serial interface enable |
| 9 | NC | — | No connection |
| 10 | VIN | Power | Power supply |
| 11 | GND | Ground | Ground |
| 12 | GND | Ground | Ground |

**Legend:** Pin type abbreviation: D = Digital, I = Input, O = Output

**FIGURE 1-2: MICROCONTROLLER TO MRF24J40MB INTERFACE**





© 2009 Microchip Technology Inc.
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 Mounting Details

The MRF24J40MB is a surface mountable module. Module dimensions are shown in Figure 1-3. The module Printed Circuit Board (PCB) is 0.032" thick with castellated mounting points on the edge. Figure 1-4 is a recommended host PCB footprint for the MRF24J40MB.

The MRF24J40MB has an integrated PCB antenna. For the best performance, follow the mounting details shown in Figure 1-5. It is recommended that the module be mounted on the edge of the host PCB, and an area around the antenna, approximately 1.2", be kept clear of metal objects. A host PCB ground plane around the MRF24J40MB acts as a counterpoise to the PCB antenna. It is recommended to extend the ground plane at least 0.4" around the module.

**FIGURE 1-3: MODULE DETAILS**

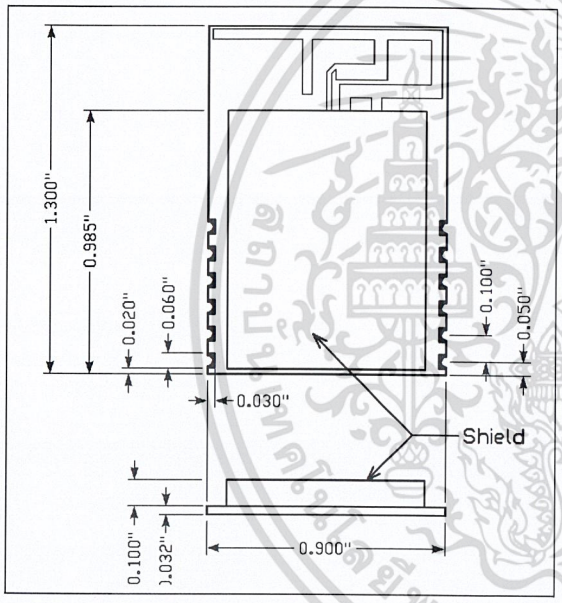
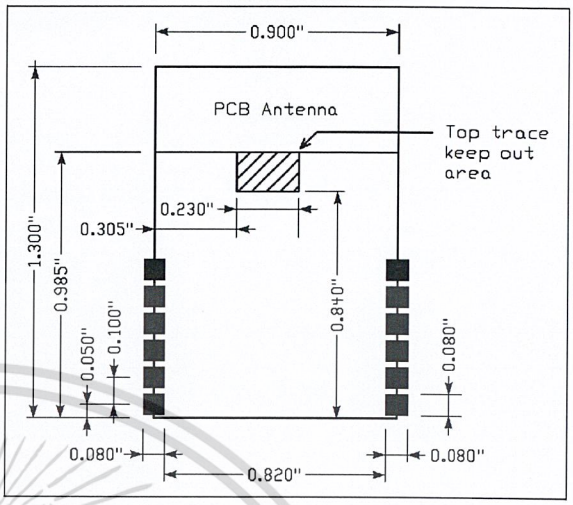


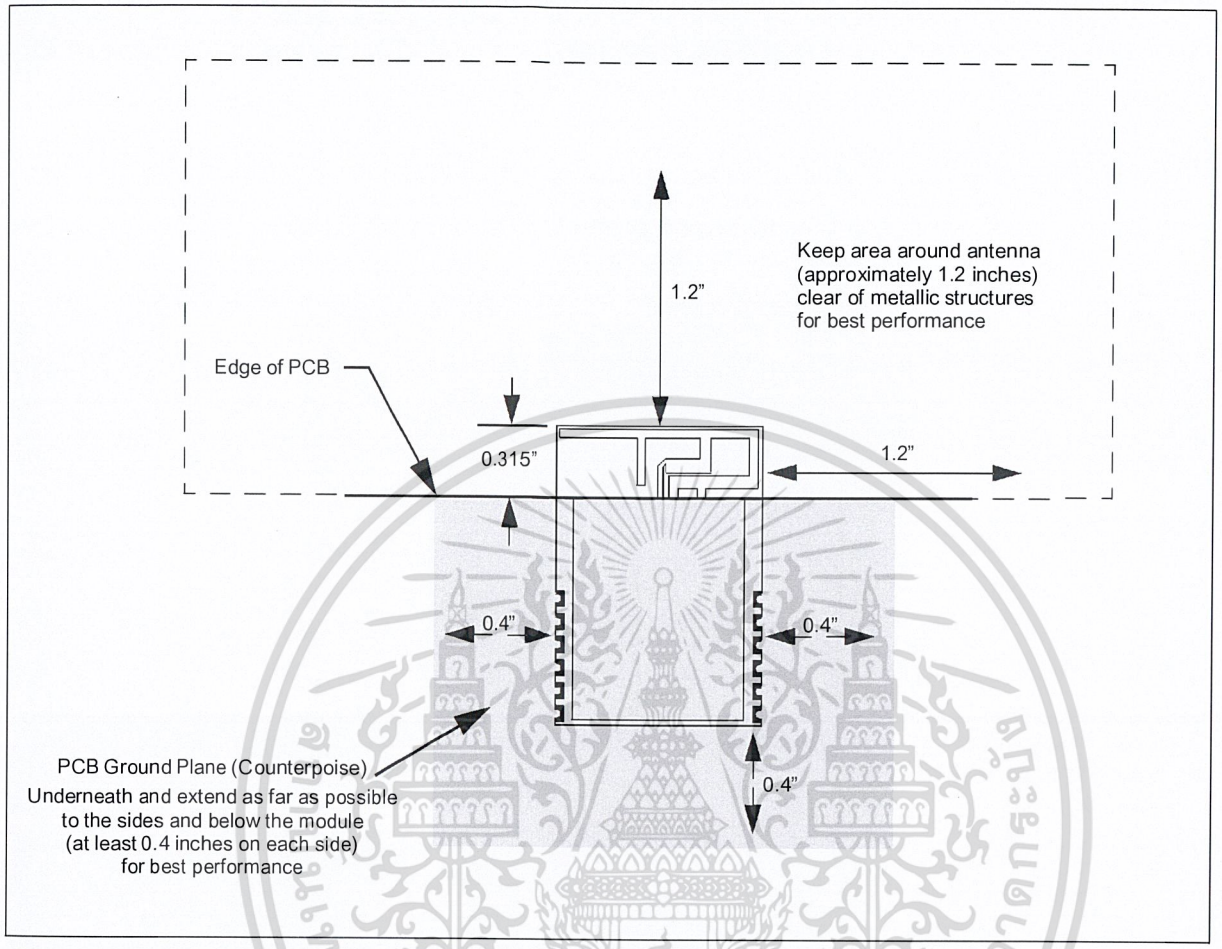

**FIGURE 1-4: RECOMMENDED PCB FOOTPRINT**





โอกาสนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**FIGURE 1-5: MOUNTING DETAILS**





© 2009 Microchip Technology Inc.
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.3 Operation

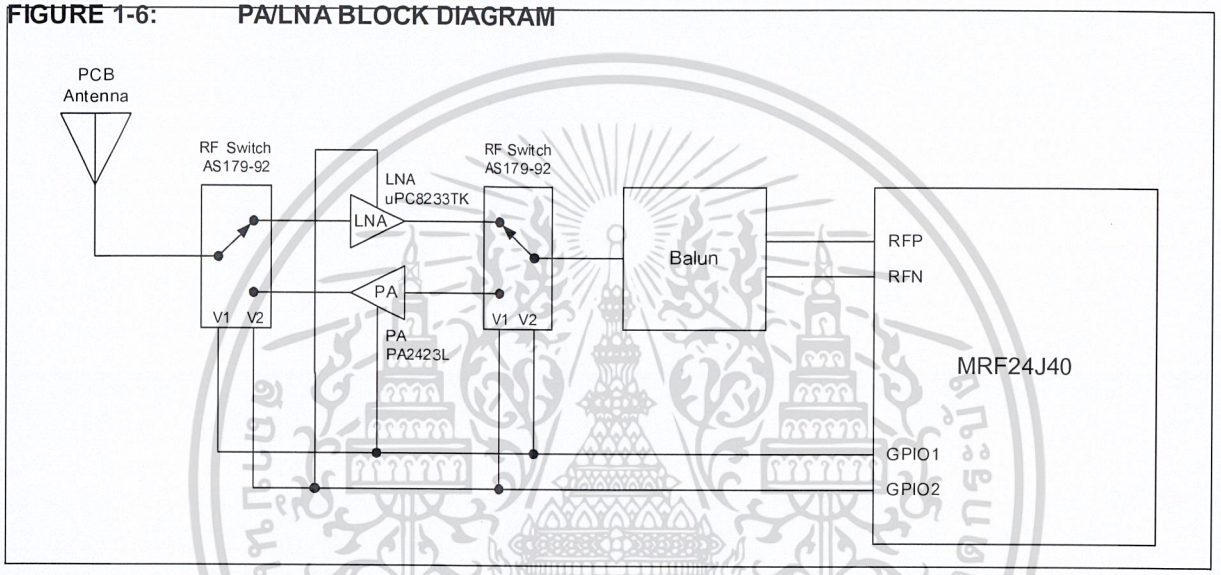
### 1.3.1 PA/LNA CONTROL

Operation of the Power Amplifier (PA) IC3 and Low Noise Amplifier (LNA) IC5 is controlled by the MRF24J40 internal RF state machine via RF switches, IC2 and IC4, and the GPIO1 and GPIO2 pins on the MRF24J40. Figure 1-6 shows the PA/LNA block diagram. Figure 2-1 is the schematic diagram for the module.

The internal RF state machine is configured for the PA/LNA mode by setting TESTMODE (0x22F<2:0>) = 111. Pins, GPIO1 and GPIO2, then control the RF switches, PA and LNA automatically when the MRF24J40 receives and transmits data.

| **Note:** | A complete explanation of the operation of the PA/LNA control is documented in the *"MRF24J40 Data Sheet"* (DS39776), **Section 4.2 "External PA/LNA Control"**. |
|---|---|

**FIGURE 1-6: PA/LNA BLOCK DIAGRAM**




### 1.3.2 ENERGY DETECTION (ED)

Before performing an energy detection (see **Section 3.6.1 "RSSI Firmware Request (RSSI Mode 1)"** in the *"MRF24J40 Data Sheet"* (DS39776)), perform the following steps:

1. Configure the internal RF state machine to normal operation (TESTMODE (0x22F<2:0>) = 000).
2. Configure GPIO2 and GPIO1 direction for the output (TRISGP2 (0x34<2>) = 1 and TRISGP1 (0x34<1>) = 1).
3. Set GPIO2 (0x33<2>) = 1 and GPIO1 (0x32<1>) = 0. This enables the LNA and disables the PA.
4. Perform the energy detection following the steps in **Section 3.6.1 "RSSI Firmware Request (RSSI Mode 1)"** in the *"MRF24J40 Data Sheet"* (DS39776).

| **Note:** | The LNA will amplify the received signal. The RSSI value will include the receive signal strength plus the LNA amplification. |
|---|---|

### 1.3.3 SLEEP

To get the lowest power consumption from the MRF24J40MB module during Sleep, it is necessary to disable both the PA and LNA. To do this, perform the following steps:

1. Configure the internal RF state machine to normal operation (TESTMODE (0x22F<2:0>) = 000).
2. Configure the GPIO2 and GPIO1 direction for output (TRISGP2 (0x34<2>) = 1 and TRISGP1 (0x34<1>) = 1).
3. Set GPIO2 (0x33<2>) = 0 and GPIO1 (0x32<1>) = 0. This disables the LNA and the PA.
4. Put the MRF24J40 to Sleep following the steps in the *"MRF24J40 Data Sheet"* (DS39776).

When waking the module, re-enable the PA/LNA mode.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้