สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีไร้สายแบบโครงข่าย

THE WIRELESS RFID READER FOR NETWORK

T103004

โดย

นายเจษฎา อมรวิทยกิจเวชา

นางสาวชนิธินุช สุขเสวบัณฑิต

นายศิรพงษ์ สุจิตตาภิรมย์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 103004
วัน,เดือน,ปี 24 ส.ค. 2552

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว

ปีการศึกษา 2551 (ลงชื่อ).....ผู้ตรวจ

ภาควิชา

วิศวกรรมโทรคมนาคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีไร้สายแบบโครงข่าย

THE WIRELESS RFID READER FOR NETWORK

โดย

นายเจษฎา อมรวิทยกิจเวชา

นางสาวชนิธินุช สุขเสวบัณฑิต

นายศิรพงษ์ สุจิตตาภิรมย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว

(ลงชื่อ).....ผู้ตรวจ

ภาควิชา

วิศวกรรมโทรคมนาคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีไร้สายแบบโครงข่าย

THE WIRELESS RFID READER FOR NETWORK

โดย

นายเจษฎา อมรวิทยกิจเวชา 48010149

นางสาวชนิธินุช สุขเสวบัณฑิต 48010174

นายศิรพงษ์ สุจิตตาภิรมย์ 48010888

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. ปราโมทย์ วาดเขียน

ผศ.ดร. จีรสุดา โกษียาภรณ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2551

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2551

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีไร้สายแบบโครงข่าย

THE WIRELESS RFID READER FOR NETWORK

ผู้จัดทำ

1. นายเจษฎา อมรวิทยกิจเวชา 48010149
2. นางสาวชนิธินุช สุขเสวบัณฑิต 48010174
3. นายศิรพงษ์ สุจิตตาภิรมย์ 48010888

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. ปราโมทย์ วาดเขียน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. จีรสุดา โกษียาภรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานเลขที่ 512408

เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีไร้สายแบบโครงข่าย

THE WIRELESS RFID READER FOR NETWORK

โดย นายเจษฎา อมรวิทยกิจเวชา 48010149
นางสาวชนิธินุช สุขเสวบัณฑิต 48010174
นายศิรพงษ์ สุจิตตาภิรมย์ 48010888

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ปราโมทย์ วาดเขียน

ผศ.ดร. จีรสุดา โกษียาภรณ์

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการนำเสนอเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีแบบไร้สาย ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการตรวจสอบวัสดุที่มีขนาดใหญ่ หรือ ตรวจสอบสิ่งของที่มีจำนวนมาก เช่น ในโรงงานขนาดใหญ่ หรือ คลังสินค้า เป็นต้น โดยอาร์เอฟไอดีแบบไร้สายมีขั้นตอนการทำงานดังนี้ คือ อาร์เอฟไอดี ซึ่งจะถูกควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำการอ่านข้อมูลจากแท็ก (RFID Tags) ผ่านทางคลื่นวิทยุ ข้อมูลที่ได้จะถูกส่งเข้าโมดูลไร้สายซิกบี 2.4 กิกะเฮิร์ต (Zigbee 2.4 GHz) ทางด้านส่ง ไปยังโมดูลไร้สายซิกบีทางด้านรับ ซึ่งจะถูกเชื่อมต่อเข้ากับอิเทอร์เน็ตโมดูล (Ethernet Module) ส่งผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่น (LAN) เข้าสู่คอมพิวเตอร์ และทำการแสดงผลออกทางหน้าจอ

ABSTRACT

This project presents the wireless RFID reader which can be used for checking large size or large numbers of objects for example in large factory or warehouse, etc. The operation of the wireless RFID reader is that the wireless RFID reader controlled by a microcontroller will scan RFID tags through radio wave. Then the data is sent through theซิกบี module 2.4 GHz transmitter to theซิกบี module 2.4 GHz receiving which is connected with the Ethernet module. The data therefore can be sent via LAN to the computer and display the data on the monitor .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี (RFID)	3
2.1.1 ข้อเปรียบเทียบอาร์เอฟไอดี และบาร์โค้ด (Barcode)	4
2.1.2 วิวัฒนาการของอาร์เอฟไอดี	5
2.1.3 องค์ประกอบของระบบอาร์เอฟไอดี	6
2.1.3.1 แท็ก (Tags) หรือ ทรานสปอนเดอร์ (Transponders)	7
2.1.3.2 เครื่องอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator)	9
2.1.4 หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบ	10
2.1.5 การสื่อสารแบบไร้สายของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี	11
2.1.6 รูปแบบของการสื่อสารข้อมูลระหว่างแท็กและเครื่องอ่านข้อมูล	11
2.1.7 หลักการและเทคนิคที่ใช้รับและส่งข้อมูลระหว่างแท็กและเครื่องอ่าน	12
2.1.8 การป้องกันการชนกันของสัญญาณข้อมูล (Anti-Collision)	14
2.1.9 ความถี่ของคลื่นพาหะ	15
2.1.10 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิดธ์	16
2.1.11 ระยะการรับส่งข้อมูลและส่ง	17
2.1.12 มาตรฐานของอาร์เอฟไอดี	17
2.2 รูปแบบการสื่อสารแบบอนุกรม	19
2.2.1 การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส (Synchronous)	19
2.2.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous)	19
2.3 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับมาตรฐานพอร์ตอนุกรม (RS-232)	20
2.3.1 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232	21
2.3.2 คำอธิบายการทำงานของแต่ละขาที่ใช้งานของ DB-9	22
2.4 IEEE 802.15.4	24
2.4.1. IEEE 802.15.4 Physical Layer	24
2.4.2. IEEE 802.15.4 Piconets	24
2.4.3 โมดูลไร้สายซิกบี	28
2.5 โมดูลไร้สายซิกบี	28
2.5.1 คุณสมบัติทั่วไปของโมดูลไร้สายซิกบี	29
2.5.2 คุณสมบัติด้านการสื่อสารข้อมูลของโมดูลไร้สายซิกบี	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.3 โครงสร้างของโมดูลไร้สายซิกบี	31
2.5.3.1 เน็ตเวิร์กเลเยอร์ (Network Layer)	32
2.5.3.2 แอพพลิเคชันเลเยอร์ (Application Layer)	32
2.5.3.3 ฟิสิคัลเลเยอร์ (Physical Layer)	32
2.5.3.4 Media access control (MAC Layer)	33
2.5.4 อุปกรณ์ซิกบี	33
2.5.4.1 ซิกบีโคออดิเนต (Zigbee Coordinator)	33
2.5.4.2 ซิกบีเราเตอร์ (Zigbee Router)	33
2.5.4.3 ซิกบีเอนดิไวซ์ (Zigbee end Device)	33
2.5.5 การส่งข้อมูลของโมดูลไร้สายซิกบี	34
2.5.6 การทำงานของโมดูลไร้สายซิกบี	34
2.5.7 ความปลอดภัยของโมดูลไร้สายซิกบี	35
2.6 เครือข่ายอีเทอร์เน็ท	37
2.6.1 ส่วนประกอบหลักที่สำคัญของเครือข่ายอีเทอร์เน็ท	37
2.6.2 เฟรมบนระบบอีเทอร์เน็ท	38
2.6.3 เฟรมมาตรฐานของ IEEE802.3	39
2.6.4 ข้อกำหนดเกี่ยวกับขนาดของดาต้าเฟรม	43
2.7 โปรโตคอลทีซีพี/ไอพี (Protocol TCP/IP)	44
2.7.1 จุดประสงค์ของทีซีพี/ไอพี	44
2.7.2 โครงสร้างของโปรโตคอลทีซีพี/ไอพี	44
2.7.3 ชั้นโฮสต์-เครือข่าย (Host-to-Network Layer)	47
2.7.4 ชั้นสื่อสารอินเทอร์เน็ท (The Internet Layer)	47
2.7.4.1 ไอพี (IP: Internet Protocol)	48
2.7.4.2 ไอซีเอ็มพี (ICMP: Internet Control Message Protocol)	49
2.7.5 ชั้นสื่อสารนำส่งข้อมูล (Transport Layer)	50
2.7.5.1 ยูดีพี (UDP: User Datagram Protocol)	50
2.7.5.2 ทีซีพี (TCP: Transmission Control Protocol)	54
2.7.6 ชั้นสื่อสารการประยุกต์ (Application Layer)	54
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	55
3.1 การรับส่งค่ารหัสจากเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี	55
3.2 วงจรที่ใช้ในโครงงาน	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.1 วงจรทางด้านส่ง	58
3.2.2 วงจรส่วนกลาง	58
3.2.3 วงจรรวมทางด้านรับฝั่งซีเรียล	59
3.2.4 วงจรทางด้านรับฝั่งอีเทอร์เน็ท	59
3.3 การออกแบบบล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจร	60
บทที่ 4 ผลการทดลอง	65
4.1 ส่วนการเชื่อมต่อของอาร์เอฟไอดีกับแท็ก	65
4.2 ส่วนของโมดูลไร้สายซิกบี	69
4.3 ส่วนของการรับค่าอินเตอร์เฟสพอร์ตอนุกรม และส่วนของการแสดงข้อมูลจากฐานข้อมูล	70
4.4 ส่วนของการทดลองการแสดงผลข้อมูล	76
4.5 ส่วนของการทดลองแสดงข้อมูลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์	77
บทที่ 5 สรุปผลและวิเคราะห์การทดลอง	78
5.1 บทวิจารณ์	78
5.1.1 ในส่วนของอาร์เอฟไอดี	78
5.1.2 ในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์	78
5.1.3 ในส่วนของโมดูลไร้สายซิกบี	78
5.1.4 ในส่วนของโปรแกรมเดลไฟ	78
5.2 บทสรุป	78
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก ก. โค้ดอาร์เอฟไอดี (Code RFID)	
ภาคผนวก ข. ซิกบี คอมมานด์ โหมด (Zigbee Command Mode)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงระบบอาร์เอฟไอดีแบบโครงข่าย	2
รูปที่ 2.1 แสดงระบบอาร์เอฟไอดี	3
รูปที่ 2.2 แสดงบาร์โค้ดและอาร์เอฟไอดี	4
รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างการใช้งานแท็กและเครื่องอ่านข้อมูล (Reader)	6
รูปที่ 2.4 แสดงองค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบอาร์เอฟไอดี	6
รูปที่ 2.5 แสดงแท็กในรูปแบบต่าง ๆ	7
รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างแท็กชนิดแอ็กทีฟ	8
รูปที่ 2.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมของแท็กชนิดพาสซีฟ	9
รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างภายในเครื่องอ่าน	10
รูปที่ 2.9 แสดงการสื่อสารระหว่างแท็กและตัวรับข้อมูล	11
รูปที่ 2.10 แสดงรูปแบบการสื่อสารข้อมูลของแท็กและเครื่องอ่านข้อมูล	12
รูปที่ 2.11 แสดงการมอดูเลตแบบต่างๆ	13
รูปที่ 2.12 แสดงตัวอย่างคลื่นความถี่อาร์เอฟไอดี	14
รูปที่ 2.13 แสดงการเหนี่ยวนำสัญญาณ	14
รูปที่ 2.14 แสดงอัลกอริทึมการป้องกันการชนกันของข้อมูล (Anti-Collision) ในแท็ก	15
รูปที่ 2.15 แสดงการใช้งานของแต่ละย่านความถี่	16
รูปที่ 2.16 แสดงรูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบซิงโครนัส	19
รูปที่ 2.17 แสดงรูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบอะซิงโครนัส	20
รูปที่ 2.18 แสดงการส่งข้อมูลผ่านมาตรฐาน RS-232	20
รูปที่ 2.19 คอนเน็กเตอร์ แบบ DB-9	21
รูปที่ 2.20 การต่ออุปกรณ์ภายนอกแบบ RS-232 โดยใช้สายสัญญาณเพียง 3 เส้น	21
รูปที่ 2.21 IEEE 802.15.4 LR-WPAN star topology	25
รูปที่ 2.22 IEEE 802.15.4 peer-to-peer network topology	26
รูปที่ 2.23 IEEE 802.15.4 cluster-tree network topology	27
รูปที่ 2.24 IEEE 802.15.4 superframe structure	27
รูปที่ 2.25 ปริมาณการใช้ทรูพุตของมาตรฐานการสื่อสารไร้สายแบบต่างๆ	29
รูปที่ 2.26 แสดงการส่งข้อมูลภายในโมดูลไร้สายซิกบี	31
รูปที่ 2.27 แสดงตัวอย่างการสร้างเครือข่ายของอุปกรณ์ซิกบี	33
รูปที่ 2.28 แผนภาพแสดงโหมดการทำงานของซิกบี	34
รูปที่ 2.29 แสดงเฟรมแมคกับการรักษาความปลอดภัย	35
รูปที่ 2.30 แสดงการรักษาความปลอดภัยในเน็ตเวิร์กเลเยอร์	36
รูปที่ 2.31 แสดงการรักษาความปลอดภัยในแอพพลิเคชันเลเยอร์	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.32 ลักษณะโครงสร้างของเฟรมข้อมูล	38
รูปที่ 2.33 ลักษณะของอีเทอร์เน็ท II เฟรม	38
รูปที่ 2.34 แสดงส่วนการทำงานของ Preamble	39
รูปที่ 2.35 OSI Model เทียบกับ DoD Model	46
รูปที่ 2.36 ขั้นตอนการแคปซูเลชันและการดีแคปซูเลชัน	46
รูปที่ 2.37 แสดงโครงสร้างของทีซีพี/ไอพี	47
รูปที่ 2.38 ไอพีเฮดเดอร์	49
รูปที่ 2.39 ไอซีเอ็มพีเฮดเดอร์	50
รูปที่ 2.40 ยูดีพีเฮดเดอร์	51
รูปที่ 2.41 ทีซีพีเฮดเดอร์	53
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงระบบของโครงงาน	57
รูปที่ 3.2 วงจรด้านส่ง	58
รูปที่ 3.3 วงจรส่วนกลาง	58
รูปที่ 3.4 วงจรด้านรับ	59
รูปที่ 3.5 วงจรทางด้านรับฝั่งอีเทอร์เน็ท	59
รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมของวงจรรวมทางด้านส่ง	60
รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมของวงจรรวมส่วนกลาง	61
รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมของวงจรฝั่งรับด้านอนุกรม	61
รูปที่ 3.9 การทำงานในการแสดงผลข้อมูลในฐานข้อมูลออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ เมื่อรับค่า 1 ไบต์	62
รูปที่ 3.10 การทำงานของโปรแกรมในการบันทึกค่าลงในฐานข้อมูล และการแสดงข้อมูลในฐานข้อมูล เมื่อรับค่าแบบอนุกรม	63
รูปที่ 3.11 การทำงานในการแสดงผลข้อมูลในฐานข้อมูลออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ เมื่อรับค่าเป็นแพ็กเกจ	64
รูปที่ 4.1 สัญญาณพัลส์ BAH	65
รูปที่ 4.2 ส่งสัญญาณพัลส์ 02H	65
รูปที่ 4.3 ส่งสัญญาณพัลส์ 031H	66
รูปที่ 4.4 ส่งสัญญาณพัลส์ 89H	66
รูปที่ 4.5 สัญญาณพัลส์ที่ส่งไปยังเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี	67
รูปที่ 4.6 ส่งสัญญาณพัลส์ที่เครื่องอ่านรับข้อมูลจากแท็กในโหมดเก็ตแท็กอินฟอร์เมชัน	67
รูปที่ 4.7 ข้อมูลที่แท็กส่งกลับมาเครื่องอ่านในโหมดการทำงานเก็ตแท็กอินฟอร์เมชัน	68
รูปที่ 4.8 รูปร่างสเปกตรัมอาร์เอฟไอดี เมื่อวัดที่ความถี่ 13.56 เมกะเฮิรตซ์	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.9 แสดงข้อมูลของแท็กที่ถูกส่งเข้ามายังโมดูลไร้สายซิกบีภาครับ	69
รูปที่ 4.10 รูปร่างสเปกตรัมของซิกบี เมื่อวัดที่ความถี่ 2.413 กิกะเฮิรตซ์	69
รูปที่ 4.11 แสดงหน้าต่าง Insert เพื่อกรอกข้อมูลของสินค้าที่ต้องการบันทึกลงในฐานข้อมูล	70
รูปที่ 4.12 การแสดงหน้าต่างยืนยันว่าทำการบันทึกข้อมูลเรียบร้อยแล้ว	70
รูปที่ 4.13 แสดงข้อมูลต่างๆ ที่ถูกบันทึกลงในฐานข้อมูล	71
รูปที่ 4.14 แสดงฐานข้อมูล php myadmin ที่ทำการบันทึกข้อมูลเรียบร้อยแล้ว	71
รูปที่ 4.15 หน้าต่างแสดงข้อมูลของสินค้า เมื่อทำการรับค่ารหัสสินค้าจากพอร์ตอนุกรม	72
รูปที่ 4.16 หน้าต่างที่ใช้ใส่ตัวเลขตามจำนวนที่จะทำการเบิกสินค้า	72
รูปที่ 4.17 แสดงหน้าต่างย่อยและข้อความเพื่อยืนยัน เมื่อทำการเบิกสินค้า	73
รูปที่ 4.18 แสดงจำนวนสินค้าคงเหลือที่ปรากฏในฐานข้อมูล หลังจากทำการเบิกสินค้าไปแล้ว	73
รูปที่ 4.19 แสดงจำนวนสินค้าคงเหลือที่ปรากฏในฐานข้อมูล php myadmin หลังจากทำการเบิกสินค้าไปแล้ว	74
รูปที่ 4.20 หน้าต่างที่ใช้ใส่ตัวเลขตามจำนวนที่จะทำการเพิ่มสินค้า	74
รูปที่ 4.21 แสดงหน้าต่างย่อยและข้อความเพื่อยืนยัน เมื่อทำการเพิ่มสินค้า	75
รูปที่ 4.22 แสดงจำนวนสินค้าคงเหลือที่ปรากฏในฐานข้อมูล หลังจากทำการเพิ่มสินค้าเข้าไปแล้ว	75
รูปที่ 4.23 แสดงจำนวนสินค้าคงเหลือที่ปรากฏในฐานข้อมูล php myadmin หลังจากทำการเพิ่มสินค้าเข้าไปแล้ว	76
รูปที่ 4.24 แสดงผลหน้าจอโปรแกรม wireshark เมื่อมีการส่งแพ็กเก็จเข้ามาในคอมพิวเตอร์	76
รูปที่ 4.25 การแสดงผลข้อมูลผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ฝั่งอีเทอร์เน็ท	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ย่านความถี่ต่างๆของระบบอาร์เอฟไอดีและการใช้งาน	16
ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบมาตรฐานของ ISO และ EPC Global	18
ตารางที่ 2.3 แสดงรายละเอียดการต่อคอนเน็กเตอร์แบบ DB9 ตามมาตรฐาน RS-232	22
ตารางที่ 2.4 รายละเอียดการต่อคอนเน็กเตอร์แบบ DB25 ตามมาตรฐาน RS-232	23
ตารางที่ 2.5 IEEE 802.15.4 frequency bands and data transfer rates	24
ตารางที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของเทคโนโลยีไร้สายในแบบต่างๆ	28
ตารางที่ 2.7 การจัดขาของโมดูลซิกบีโปร (Zigbee-Pro) และฟังก์ชั่นในการทำงาน	30
ตารางที่ 2.8 ตัวอย่างแอดเดรสต้นทางของผู้ผลิต	41
ตารางที่ 2.9 แสดงรหัสที่ใช้แสดงโปรโตรคอลในช่องไทป์	42
ตารางที่ 2.10 รายละเอียดของยูดีพี เฮดเดอร์	51
ตารางที่ 2.11 UDP Port Number	52
ตารางที่ 3.1 แสดงค่ารีจิสเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมรับค่าจากเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ในปัจจุบันการพัฒนาเทคโนโลยีในด้านต่างๆ ส่วนใหญ่มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้มนุษย์มีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น มีความสะดวกสบายและความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น หนึ่งในเทคโนโลยีหลากหลายเหล่านั้น อาร์เอฟไอดี (RFID : Radio Frequency Identification) เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมในการใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ซึ่งอาร์เอฟไอดีเป็นเทคโนโลยีของการระบุข้อมูลที่แสดงถึงเอกลักษณ์ของวัตถุหรือบุคคลด้วยคลื่นความถี่วิทยุ นิยมนำมาประยุกต์ใช้ในด้านการสื่อสาร ด้านการขนส่ง ด้านการแพทย์ และการเข้า-ออกสำนักงาน ฯลฯ เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี มีส่วนประกอบหลักๆ 2 ส่วน คือ เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี (RFID Reader) และแท็ก (Tags) เครื่องอ่านนั้นสามารถอ่านข้อมูลภายในแท็ก และเขียนข้อมูลลงในแท็กโดยตรงได้ ส่วนแท็กจะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ไมโครชิปซึ่งทำหน้าที่เก็บข้อมูล โดยภายในชิปจะมีทั้งหน่วยความจำและตัวประมวลผลอยู่ และอีกส่วนคือ ขดลวดเพื่อทำหน้าที่เป็นสายอากาศสำหรับรับ-ส่งคลื่นวิทยุและสร้างพลังงานป้อนให้ส่วนของไมโครชิป เนื่องจากเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี มีความสะดวกในหลายๆด้าน เช่น สามารถอ่านได้อัตโนมัติเมื่อแท็กมาอยู่ในรัศมีการอ่าน โดยการอ่านข้อมูลสามารถทำได้พร้อมๆกัน ครั้งละหลายๆแท็กอย่างรวดเร็ว ซึ่งการอ่านนั้นไม่จำเป็นต้องเห็นตัวแท็กและแท็กไม่จำเป็นต้องอยู่ระนาบเดียวกับเครื่องอ่าน เครื่องอ่านสามารถอ่านแท็กได้ในระยะไกล ทนต่อความเปียกชื้นและแรงกระแทก มีความปลอดภัยสูง อีกทั้งสามารถนำแท็กนั้นกลับมาใช้ใหม่ได้อีกหลายครั้งเป็นการลดต้นทุนการผลิตและประหยัดทรัพยากร เป็นต้น

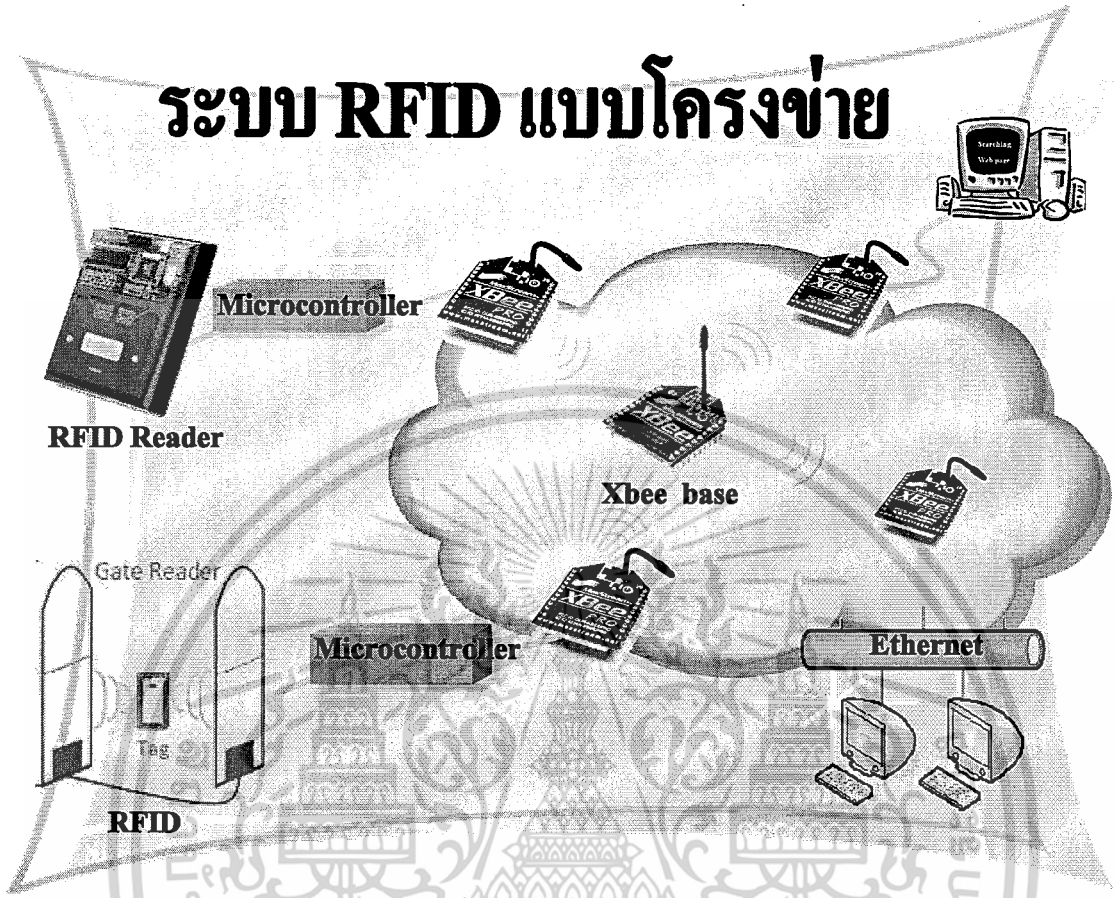
จากข้อดีที่น่าสนใจและความแพร่หลายของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี จึงนำมาประยุกต์เพื่อใช้ในโครงงานนี้ซึ่งเป็นการรับ-ส่งข้อมูลไร้สายแบบโครงข่าย การทำงานของระบบมีขั้นตอนดังนี้ เริ่มแรกเมื่อเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี ทำการติดต่อกับแท็กเพื่ออ่านข้อมูลนั้น แท็กจะทำการส่งข้อมูลผ่านทางคลื่นความถี่วิทยุไปยังเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี ที่ถูกควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยข้อมูลที่ส่งมานั้นจะถูกเก็บลงในหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งข้อมูลที่อยู่ในหน่วยความจำไปยังโมดูลไร้สายซิกบีทางภาคส่ง แล้วข้อมูลจะถูกส่งผ่านคลื่นความถี่วิทยุไปยังโมดูลไร้สายซิกบีทางภาครับ โดยจะผ่านโมดูลไร้สายซิกบีเบส (Zigbee Base) ก่อน ซึ่งภาครับนั้นจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกจะใช้โมดูลไร้สายซิกบีทำการรับข้อมูล แล้วส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม (RS-232) เพื่อทำการแสดงประวัติและยืนยันตัวบุคคล และส่วนที่ 2 จะใช้โมดูลไร้สายซิกบีทำการรับข้อมูล แล้วส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ หลังจากนั้นข้อมูลจะถูกส่งไปยังส่วนของอีเทอร์เน็ทโมดูล (Ethernet module) แล้วส่งผ่านสายแลน (LAN: Local Area Network) เพื่อนำข้อมูลมาแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ โดยมีบล็อกไดอะแกรมดังรูป 1.1

โครงงานระบบอาร์เอฟไอดีแบบโครงข่ายนี้ จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของระบบ อาร์เอฟไอดี และแบบโครงข่ายของโมดูลไร้สายซิกบี
2. เพื่อส่งผ่านข้อมูลในระยะไกลและลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสายแลน
3. ทำการพัฒนาระบบอาร์เอฟไอดี และแบบโครงข่ายของโมดูลไร้สายซิกบี เพื่อประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เพื่อทำการส่งข้อมูลไปยังระบบแลน โดยใช้อีเทอร์เน็ทโมดูล



รูป 1.1 แสดงระบบอาร์เอฟไอดีแบบโครงข่าย

อุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินงานในโครงงานระบบอาร์เอฟไอดีแบบโครงข่าย แบ่งเป็นส่วนของฮาร์ดแวร์ (Hardware) และซอฟต์แวร์ (Software) มีดังนี้

ส่วนของฮาร์ดแวร์ ประกอบด้วย

- เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี (RFID Reader)
- แท็ก (Tags)
- อีเทอร์เน็ทโมดูล (Zigbee Base)
- โมดูลไร้สายซิกบี (Zigbee Base) จำนวน 4 ตัว

ส่วนของซอฟต์แวร์ ประกอบด้วย

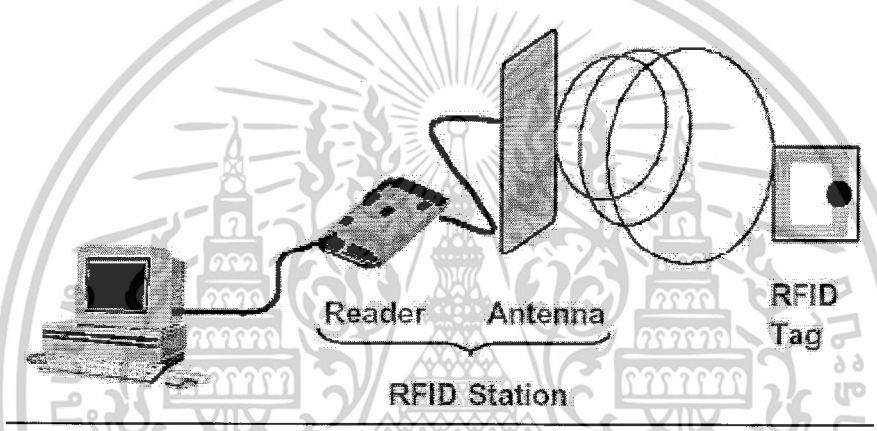
- ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)
- ภาษาจาว่า (JAVA)
- ภาษาแอสเซมบลี (Assambly)
- ภาษาเดลไฟ (Delphi)
- ภาษาซี (C Language)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี

อาร์เอฟไอดี (RFID) ย่อมาจากคำว่า Radio Frequency Identification เป็นระบบระบุลักษณะของวัตถุที่นำเอาคลื่นวิทยุมาเป็นคลื่นพาหะเพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์สองชนิดที่เรียกว่า แท็ก (Tag) และเครื่องอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator) ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless) โดยการนำข้อมูลที่ต้องการส่ง มาทำการมอดูเลต (Modulation) กับคลื่นวิทยุแล้วส่งออกผ่านทางสายอากาศที่อยู่ในตัวรับข้อมูล ดังแผนผังการทำงานของระบบอาร์เอฟไอดีในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงระบบอาร์เอฟไอดี

การใช้งานอาร์เอฟไอดี จะมีลักษณะการใช้งานที่คล้ายกับระบบบาร์โค้ด (Barcode) และยังสามารถรองรับความต้องการอีกหลายอย่างที่บาร์โค้ดไม่สามารถตอบสนองได้ ปัจจุบันมีการนำอาร์เอฟไอดี มาใช้งานกันในงานหลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็นในบัตรชนิดต่างๆ เช่น บัตรประจำตัวประชาชน บัตรเอทีเอ็ม บัตรสำหรับผ่านเข้าออกห้องพัก บัตรโดยสารของสายการบิน บัตรจอดรถ ในฉลากของสินค้า หรือแม้แต่ใช้ฝังลงในตัวสัตว์เพื่อบันทึกประวัติ หรือระบุความแตกต่างของสัตว์แต่ละตัวที่อยู่ในฟาร์ม เป็นต้น การนำอาร์เอฟไอดี มาใช้งานก็เพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบการผ่านเข้าออกบริเวณใดบริเวณหนึ่ง หรือเพื่ออ่านหรือเก็บข้อมูลบางอย่างเอาไว้ ยกตัวอย่างเช่นในกรณีที่เป็นฉลากสินค้าอาร์เอฟไอดี ก็จะถูกนำมาใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับสินค้า เพื่อให้สามารถทราบถึงที่มาที่ไปของสินค้าชิ้นนั้นๆ ได้ เป็นต้น นอกจากนี้ระบบอาร์เอฟไอดียังสามารถใช้งานได้แม้ในขณะที่วัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ เช่นในขณะสินค้ากำลังเคลื่อนที่อยู่บนสายพานการผลิต (Conveyor) หรือในบางประเทศก็มีการใช้ระบบอาร์เอฟไอดีในการเก็บค่าผ่านทางด่วนโดยที่ผู้ใช้บริการทางด่วนไม่ต้องหยุดรถเพื่อจ่ายค่าบริการ ผู้ใช้บริการทางด่วนจะมีแท็กติดอยู่กับรถ และแท็กจะทำการสื่อสารกับตัวอ่านข้อมูล ผ่านสายอากาศขนาดใหญ่ที่ติดตั้งอยู่ตรง

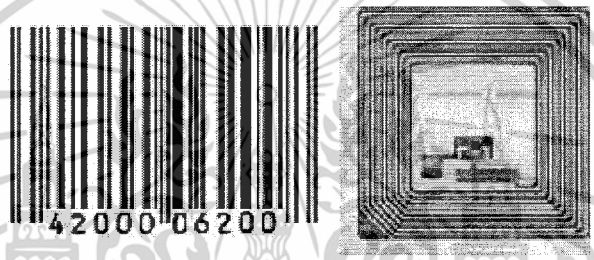
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริเวณทางขึ้นทางด่วน ในขณะที่รถแล่นผ่านสายอากาศ ตัวอ่านข้อมูลก็จะคิดค่าบริการและบันทึกจำนวนเงินที่เหลือลงในแท็กโดยอัตโนมัติ

สำหรับรูปแบบของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีที่ใช้ในการดังกล่าวก็มีทั้งแบบสมาร์ทการ์ดที่สามารถถูกเขียนหรืออ่านข้อมูลออกมาได้โดยไม่ต้องมีการสัมผัสกับเครื่องอ่านบัตรหรือคอนแทคเลสสมาร์ทการ์ด (Contact less Smart card), เหรียญ, ป้ายชื่อหรือฉลากซึ่งมีขนาดเล็กมากจนสามารถแทรกลงระหว่างชั้นของเนื้อกระดาษ หรือฝังเอาไว้ในตัวสัตว์ได้

2.1.1 ข้อเปรียบเทียบอาร์เอฟไอดีและบาร์โค้ด (Barcode)

สักษณะของบาร์โค้ดและอาร์เอฟไอดี ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงบาร์โค้ดและอาร์เอฟไอดี

- อาร์เอฟไอดีสามารถทำได้ทั้งอ่านและเขียน โดยจะทำการประมวลผลแล้วสามารถบันทึกข้อมูลบางอย่างกลับลงไปในแท็กที่ตัวสินค้าได้โดยตรง และสามารถเขียนทับข้อมูลได้ จึงทำให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ซึ่งจะลดต้นทุนของการผลิตป้ายสินค้า ซึ่งคิดเป็นประมาณ 5% ของรายรับของบริษัท ในขณะที่ระบบบาร์โค้ดสามารถทำการอ่านแถบรหัสได้อย่างเดียว

- อาร์เอฟไอดีมีความปลอดภัยสูงเนื่องจากข้อมูลเป็นเป็นข้อมูลดิจิตอลในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งสามารถเพิ่มความปลอดภัยของข้อมูลด้วยการเข้ารหัสได้ อาร์เอฟไอดีสามารถอ่านได้โดยอัตโนมัติ เมื่อแท็กอยู่ในรัศมีของการอ่าน และสามารถอ่านข้อมูลได้พร้อมๆ กัน หลายๆ แท็กอย่างรวดเร็ว แต่การใช้งานระบบบาร์โค้ด ผู้ใช้งานจะต้องนำเครื่องสแกนไปอ่านที่แถบรหัสโดยตรงและสามารถอ่านได้ทีละแถบเท่านั้น ความเร็วในการอ่านข้อมูลจากแถบอาร์เอฟไอดีเร็วกว่าการอ่านข้อมูลจากแถบบาร์โค้ดหลายสิบเท่า

- อาร์เอฟไอดีสามารถขจัดปัญหาที่เกิดขึ้นจากการอ่านข้อมูลซ้ำที่อาจเกิดขึ้นจากระบบบาร์โค้ด และค่าเฉลี่ยของความถูกต้องของการอ่านข้อมูลด้วยเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีนั้นจะอยู่ที่ประมาณ 99.5 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ความถูกต้องของการอ่านข้อมูลด้วยระบบบาร์โค้ดอยู่ที่ 80 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อาร์เอฟไอดีสามารถอ่านได้แม้ไม่เห็นตัวป้ายที่ติดอยู่ และป้ายไม่ต้องอยู่ในระนาบเดียวกับเครื่องอ่าน ทำให้ไม่ต้องเคลื่อนย้ายสิ่งของ จึงสามารถลดความเสียหายของแท็ก ลดเวลาและลดข้อผิดพลาดในการทำงาน

- อาร์เอฟไอดีสามารถอ่านได้จากระยะไกล แม้อยู่ในพื้นที่ๆไม่สะดวกหรือในพื้นที่อันตรายในขณะที่ระบบบาร์โค้ดต้องอยู่ในระยะใกล้และตำแหน่งที่สแกนถึง

- อาร์เอฟไอดีทนต่อความเปียกชื้น แรงสั่นสะเทือน การกระทบกระแทก สามารถอ่านได้แม้ในสภาพทัศนวิสัยไม่ดี

2.1.2 วิวัฒนาการของอาร์เอฟไอดี

อาร์เอฟไอดีมีมาตั้งแต่ยุคสงครามโลกครั้งที่ 2 ทางด้านการพัฒนาได้มีการให้สิทธิบัตรของอเมริกาเกี่ยวกับอาร์เอฟไอดี อันแรกให้กับ Mario W. Cardullo เป็นสิทธิบัตรเกี่ยวกับป้ายแบบแอ็กทีฟเมื่อวันที่ 23 มกราคม ค.ศ. 1973 และในปีเดียวกันได้มีการมอบสิทธิบัตรเกี่ยวกับป้ายแบบแพสซีฟแก่ Charles Walton ได้อนุญาตสิทธิให้บริษัท Schlage เป็นผู้ผลิต

ในช่วงปี ค.ศ. 1970 รัฐบาลสหรัฐอเมริกาได้มีการพัฒนาเกี่ยวกับอาร์เอฟไอดีเหมือนกันที่ศูนย์วิจัยแห่งชาติลอส อลามอส (Los Alamos National Laboratory) มลรัฐนิวเม็กซิโก ใช้สำหรับการติดตามวัตถุนิวเคลียร์ให้กับกระทรวงพลังงาน โดยใช้อาร์เอฟไอดีติดกับรถบรรทุก และเครื่องอ่านที่ประตูทางเข้าออก และต่อมาได้พัฒนาเป็นระบบเก็บค่าทางด่วนอัตโนมัติ

ในขณะเดียวกันกระทรวงเกษตรของสหรัฐมีความต้องการป้ายแบบแพสซีฟชนิดความถี่ 125 กิโลเฮิรตซ์ สำหรับติดวัว เพื่อใช้แยกแยะว่าวัวตัวไหนมีการฉีดวัคซีนแล้วหรือไม่ ทางศูนย์วิจัยแห่งชาติลอส อลามอส ได้พัฒนาอาร์เอฟไอดีความถี่ 125 กิโลเฮิรตซ์ สำหรับฝังใต้ผิวหนังของวัว อาร์เอฟไอดีความถี่ 125 กิโลเฮิรตซ์ ได้มีการใช้ในเชิงพาณิชย์ในหลายรูปแบบ และต่อมาได้มีการพัฒนาไปที่ความถี่ 13.56 เมกะเฮิรตซ์

ในช่วงต้นปี ค.ศ. 1990 บริษัทไอบีเอ็มได้พัฒนาและจดสิทธิบัตรอาร์เอฟไอดีในย่านความถี่สูงยิ่ง (UHF : ย่านความถี่ตั้งแต่ 300 เมกะเฮิรตซ์ ถึง 3 กิกะเฮิรตซ์) แต่เมื่อไอบีเอ็มมีปัญหาการเงินได้ขายสิทธิบัตรเกี่ยวกับอาร์เอฟไอดีให้กับบริษัท Intermec ในช่วงกลาง ค.ศ. 1990 ในช่วงนั้นการใช้งานยังไม่แพร่หลายนักเนื่องจากอุปกรณ์ยังมีราคาแพงมาก

อาร์เอฟไอดีในย่านความถี่สูงยิ่งได้แจ้งเกิดอีกครั้งในปี ค.ศ. 1999 เมื่อยูซีซี (UCC :Uniform Code Council) EAN International บริษัทพร็อกเตอร์ แอนด์ แกมเบิล (Procter & Gamble) และบริษัท Gillette ได้ร่วมก่อตั้งศูนย์ Auto-ID ขึ้นที่สถาบันเทคโนโลยีแมสซาชูเซตส์ (MIT) ประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อพัฒนาแนวทางในการใช้ อาร์เอฟไอดี ในห่วงโซ่อุปทาน (Supply chain) ในช่วงปี ค.ศ. 1999 - 2003 Auto - ID ได้รับการสนับสนุนจากบริษัทเอกชนจำนวนมาก และได้มีการขยายศูนย์ Auto-ID ไปยังประเทศออสเตรเลีย อังกฤษ สวิตเซอร์แลนด์ ญี่ปุ่น และจีน ได้มีการพัฒนามาตรฐานใหม่ที่เรียกว่า รหัสสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ EPC (Electronic Product Code) และในปี ค.ศ. 2003 เทคโนโลยีนี้ได้ถูกขายให้กับ UCC ซึ่งได้ร่วมกับ EAN ตั้งบริษัท EPCglobal เพื่อพัฒนา EPC ในเชิงพาณิชย์ ส่วนศูนย์ Auto-ID

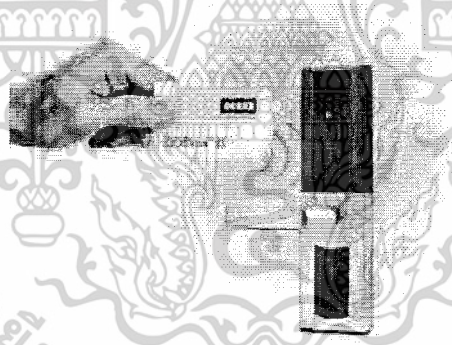
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ปิดตัวลงอย่างเป็นทางการ ยังคงเหลือเฉพาะส่วนปฏิบัติการวิจัยและพัฒนา (Auto-ID Lab) ในเดือนธันวาคม ค.ศ. 2004 ทาง EPCglobal ได้รับรองมาตรฐาน EPC Gen2

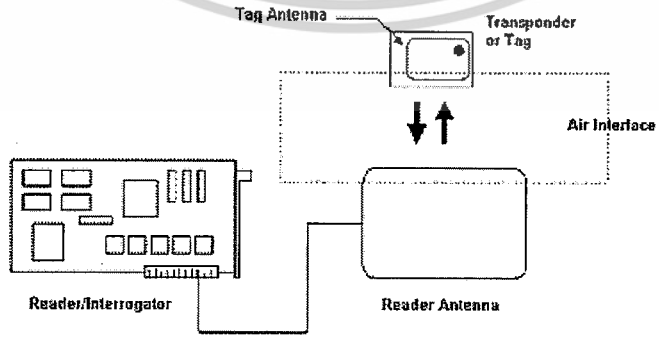
ส่วนการใช้งานในนั้นบริษัทใหญ่ๆ เช่น Tesco และ Walmart หรือแม้แต่กระทรวงกลาโหมสหรัฐได้วางแผนที่จะใช้ EPC สำหรับติดตามสินค้าที่ส่งในสายใยอุปทานของตน

2.1.3 องค์ประกอบของระบบอาร์เอฟไอดี

องค์ประกอบในระบบอาร์เอฟไอดี จะมีหลักๆ อยู่ 2 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนแรกคือฉลากหรือป้ายขนาดเล็กที่จะถูกผนึกอยู่กับวัตถุที่เราสนใจ โดยฉลากนี้จะทำการบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้นๆ เอาไว้ ฉลากดังกล่าวมีชื่อเรียกว่า ทรานสปอนเดอร์ (Transponder, Transmitter & Responder) หรือที่เรียกกันโดยทั่ว ไปว่า "แท็ก (Tag)" ส่วนที่สองก็คืออุปกรณ์สำหรับอ่านหรือเขียนข้อมูลภายในแท็ก มีชื่อเรียกว่า ทรานสซิฟเวอร์ (Transceiver, Transmitter & Receiver) หรือที่เรียกกันโดยทั่ว ๆ ไปว่า "เครื่องอ่าน" (Reader) ทั้งสองส่วนจะสื่อสารกันโดยอาศัยช่องความถี่วิทยุ สัญญาณนี้ผ่านได้ทั้งโลหะและอโลหะแต่ไม่สามารถติดต่อกับเครื่องอ่านให้อ่านได้โดยตรง เมื่อเครื่องอ่านส่งข้อมูลผ่านความถี่วิทยุ แสดงถึงความต้องการข้อมูลที่ถูกระบุไว้จากแท็ก แท็กจะตอบข้อมูลกลับดังรูปที่ 2.3 และเครื่องอ่านจะส่งข้อมูลต่อไปยังส่วนประมวลผลหลักของคอมพิวเตอร์ โดยเครื่องอ่านจะติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์โดยผ่านสายเครือข่ายแลน หรือส่งผ่านทางความถี่วิทยุจากทั้งอุปกรณ์มีสายและอุปกรณ์ไร้สาย รูปที่ 2.4 แสดงองค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบอาร์เอฟไอดี



รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างการใช้งานแท็กและเครื่องอ่านข้อมูล (Reader)



รูปที่ 2.4 แสดงองค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบอาร์เอฟไอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.1. แท็ก (Tags) หรือ ทรานสปอนเดอร์ (Transponders)

แท็ก (Tag) นั้นเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าทรานสปอนเดอร์ (Transponder) มาจากคำว่าทรานสมิตเตอร์ (Transmitter) ผสมกับคำว่าเรสปอนเดอร์ (Responder) นั่นเอง ถ้าจะแปลให้ตรงตามศัพท์ แท็กก็จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณหรือข้อมูลที่บันทึกอยู่ในแท็กตอบสนองไปที่ตัวอ่านข้อมูล การสื่อสารระหว่างแท็กและตัวอ่านข้อมูลจะเป็นแบบไร้สายผ่านอากาศโดยอาศัยช่องความถี่วิทยุ โครงสร้างภายในแท็กจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนของไอซีซึ่งเป็นชิปสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Chip) ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับส่วนของขดลวดซึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศสำหรับรับส่งข้อมูล

แท็กอาจมีรูปร่างได้หลายแบบดังรูปที่ 2.5 ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน โดยอาจมีรูปร่างเหมือนบัตรเครดิตในการใช้งานทั่วไป หรือเล็กขนาดไส้ดินสอยาวเพียง 10 มิลลิเมตร เพื่อฝังเข้าไปใต้ผิวหนังสัตว์ในกรณีนำไปใช้ในงานปศุสัตว์ หรืออาจมีขนาดใหญ่มากสำหรับแท็กที่ใช้ติดกับเครื่องจักรขณะทำการขนส่ง แท็กอาจนำไปติดไว้กับสินค้าในร้านค้าปลีกทั่วไปเพื่อป้องกันขโมย โดยจะมีการติดตั้งสายอากาศของตัวอ่านข้อมูลขนาดใหญ่ไว้ตรงประตูทางออกเพื่อทำการตรวจจับขโมย

ชิปที่อยู่ในแท็กจะมีหน่วยความจำซึ่งอาจเป็นแบบอ่านได้อย่างเดียว (ROM) หรือทั้งอ่านทั้งเขียน (RAM) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งาน โดยปกติหน่วยความจำแบบอ่านได้อย่างเดียว จะใช้เก็บข้อมูลเกี่ยวกับการรักษาความปลอดภัย เช่นข้อมูลของบุคคลที่มีสิทธิผ่านเข้าออกในบริเวณที่มีการควบคุมหรือระบบปฏิบัติการ ในขณะที่หน่วยความจำแบบทั้งอ่านทั้งเขียน จะใช้เก็บข้อมูลชั่วคราวในระหว่างที่แท็กและตัวอ่านข้อมูลทำการติดต่อสื่อสารกัน

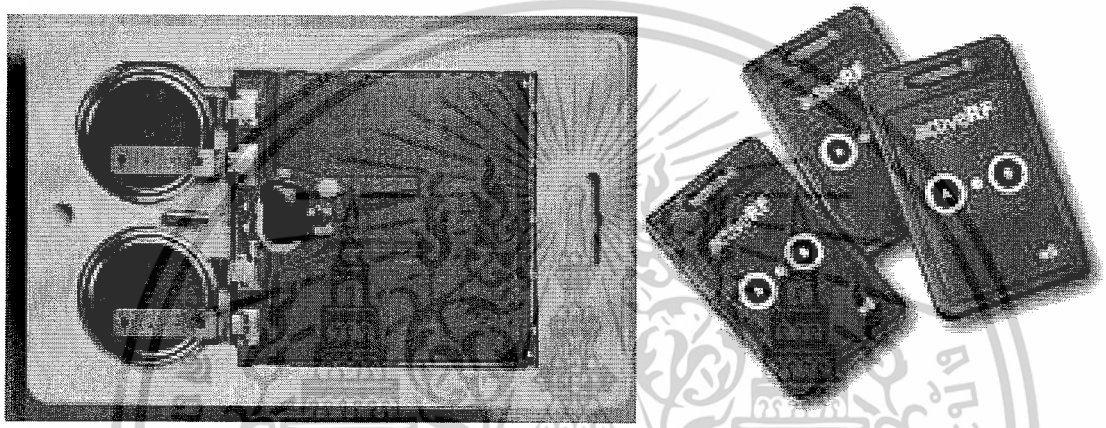
นอกจากนี้อาจมีการนำหน่วยความจำแบบอีอีพรอม (EEPROM) มาใช้ในกรณีต้องการเก็บข้อมูลในระหว่างที่แท็กและเครื่องอ่านข้อมูลทำการสื่อสาร และข้อมูลยังคงอยู่ถึงแม้จะไม่มีพลังงานไฟฟ้าป้อนให้แก่แท็ก

รูปที่ 2.5 แสดงแท็กในรูปแบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถแบ่งชนิดของแท็กออกเป็น 2 ชนิดคือ

1. แท็กชนิดแอ็กทีฟ (Active Tag) แท็กชนิดนี้จะมีแบตเตอรี่อยู่ภายในดังรูปที่ 2.6 เพื่อป้อนพลังงานไฟฟ้าให้แท็กทำงานโดยปกติ เราจะสามารถทั้งอ่านและเขียนข้อมูลลงในแท็กชนิดนี้ได้ และการที่ต้องใช้แบตเตอรี่จึงทำให้แท็กชนิดแอ็กตีฟมีอายุการใช้งานจำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่หมดก็ต้องนำแท็กไปทิ้งไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากจะมีการซีล (seal) ที่ตัวแท็กจึงไม่สามารถเปลี่ยนแบตเตอรี่ได้ อย่างไรก็ตามถ้าเราสามารถออกแบบวงจรของแท็กให้กินกระแสไฟน้อยๆ ก็อาจจะมีอายุการใช้งานนานนับสิบปี



รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างแท็กชนิดแอ็กทีฟ

นอกจากนี้แท็กยังสามารถแบ่งตาม รูปแบบในการใช้งานได้เป็น 3 แบบ คือ

1. แบบที่สามารถถูกอ่านและเขียนข้อมูลได้อย่างอิสระ (Read–Write)
2. แบบเขียนได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นแต่อ่านได้อย่างอิสระ (Write-Once Read-Many หรือ WORM)
3. แบบอ่านได้เพียงอย่างเดียว (Read-Only)

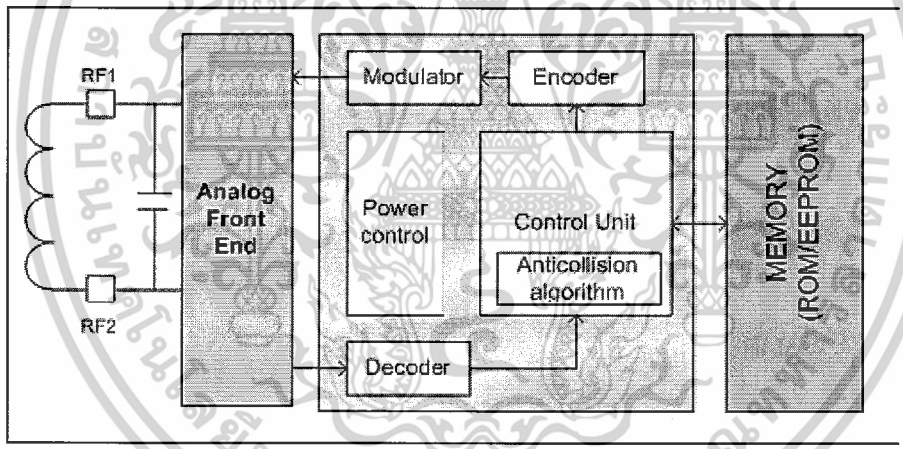
2. แท็กชนิดพาสซีฟ (Passive Tag) จะไม่มีแบตเตอรี่อยู่ภายใน แต่จะทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวอ่านข้อมูล จึงทำให้แท็กชนิดพาสซีฟมีน้ำหนักเบากว่าแท็กชนิดแอ็กทีฟ ราคาถูกกว่า และมีอายุการใช้งานไม่จำกัด แต่ข้อเสียก็คือระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ซึ่งสามารถส่งข้อมูลได้ไกลสุดเพียง 1.5 เมตรถือว่าเป็นระยะการอ่านที่สั้น มีหน่วยความจำขนาดเล็กซึ่งโดยทั่วๆไปประมาณ 32 ถึง 128 บิต และตัวเครื่องอ่านข้อมูลจะต้องมีความไวและกำลังที่สูง นอกจากนี้แท็กชนิดพาสซีฟมักจะมีปัญหาเมื่อนำไปใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่มีสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนสูงอีกด้วย แต่ข้อได้เปรียบในเรื่องราคาต่อหน่วยที่ต่ำกว่าแท็กชนิดแอ็กทีฟและอายุการใช้งานทำให้แท็กชนิดแพสซีฟนี้เป็นที่นิยมมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอซีของแท็กชนิดพาสซีฟที่มีการผลิตออกมาจะมีทั้งขนาดและรูปร่างเป็นได้ ตั้งแต่แท่ง หรือแผ่นที่มีขนาดเล็กจนไม่สามารถมองเห็นได้ ไปจนถึงขนาดใหญ่สะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดงานที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปโครงสร้างภายในส่วนที่เป็นไอซีของแท็กนั้นก็จะประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ ดังบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.7 คือ

1. ส่วนของควบคุมการทำงานของภาครับส่งสัญญาณวิทยุ (Analog Front-End) สำหรับส่วนนี้ประกอบด้วยภาคมอดูเลตและดีมอดูเลต (สำหรับรับส่งข้อมูลระหว่างแท็กกับตัวเครื่องอ่าน) และวงจรกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

2. ส่วนควบคุมภาคดิจิตอล (Digital Control Unit) ซึ่งรับหน้าที่จัดการเกี่ยวกับกระบวนการทางดิจิตอลทั้งหมด โครงสร้างหลักๆ ของส่วนนี้จะประกอบด้วย ส่วนของหน่วยความจำ (Memory) ซึ่งประกอบด้วยหน่วยความจำแรม (RAM) รอม (ROM) อีอีพรอม (EEPROM) ส่วนของการเข้ารหัส (Crypts Unit) ส่วนตอบรับสัญญาณร้องขอ (Answer to Request) ส่วนควบคุมและประมวลผลทางคณิตศาสตร์ (Control & Arthritic Unit) อย่างไรก็ตามโครงสร้างภายในของแท็กที่ต่างผู้ผลิตหรือต่างรุ่นกัน บางครั้งก็อาจมีไม่ครบถ้วนทุกส่วนอย่างที่ได้ยกมา ซึ่งรายละเอียดโครงสร้างตลอดจนรายละเอียดในการทำงานของแท็กเบอร์ใดๆ ก็สามารถดูได้จากดาต้าชีต (Data sheet) ของบริษัทผู้ผลิตแท็กเบอร์นั้นๆ



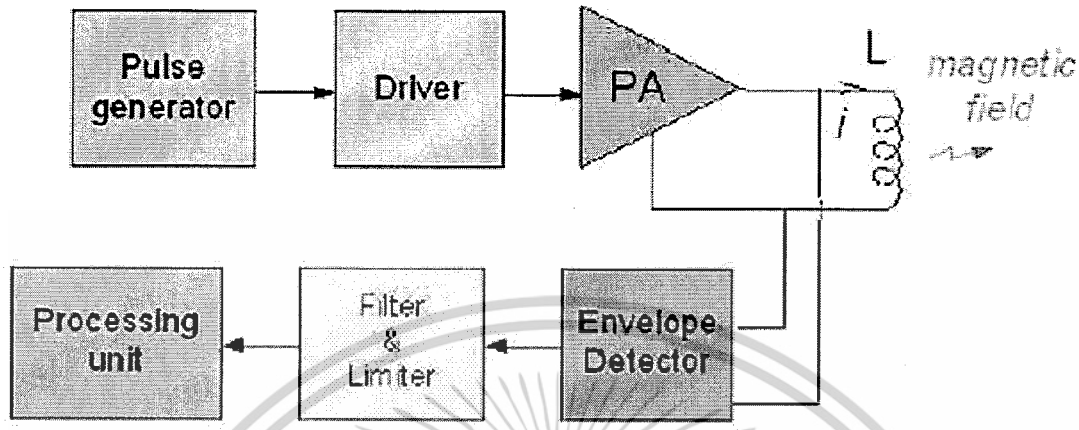
รูปที่ 2.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมของแท็กชนิดพาสซีฟ

2.1.3.2 เครื่องอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator)

หน้าที่สำคัญของตัวอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator) ก็คือ การเชื่อมต่อเพื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลลงในแท็ก ด้วยสัญญาณความถี่วิทยุ ถ้าเป็นการรับข้อมูลที่ส่งมาจากแท็ก จะทำการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล ถอดรหัสข้อมูล และนำข้อมูลผ่านเข้าสู่กระบวนการต่อไป ภายในเครื่องอ่านจะประกอบด้วย เสาอากาศที่ทำจากขดลวดทองแดง เพื่อใช้รับส่งสัญญาณภาครับและภาคส่งสัญญาณวิทยุ และวงจรควบคุมการอ่าน-เขียนข้อมูล จำพวกไมโครคอนโทรลเลอร์ และส่วนของการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 2.8 โดยลักษณะ ขนาด และรูปร่างของเครื่องอ่านจะแตกต่างกันไปตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทของการใช้งาน เช่น แบบมือถือขนาดเล็ก หรือติดผนัง จนไปถึงขนาดใหญ่เท่าประตู (Gate size) เป็นต้น



รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างภายในเครื่องอ่าน

ในเครื่องอ่านทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้

- ภาครับและส่งสัญญาณวิทยุ
- ภาคสร้างสัญญาณพาหะ
- ขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ
- วงจรจูนสัญญาณ
- หน่วยประมวลผลข้อมูล และภาคติดต่อกับคอมพิวเตอร์

นอกจากนี้ยังสามารถถือได้ว่าระบบประยุกต์ใช้งาน เป็นส่วนประกอบของอาร์เอฟไอดี ได้อีกด้วย ซึ่งระบบประยุกต์ใช้งานนี้ รวมถึงระบบฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ประยุกต์ใช้งาน หรือระบบฐานข้อมูล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระบบการใช้งานที่เกี่ยวข้อง เช่น ระบบข้อมูลสินค้า ระบบบริหารงานบุคคล ฯลฯ

2.1.4 หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบ

1. ตัวเครื่องอ่านข้อมูลจะปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา และคอยตรวจจับว่ามีแท็กเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือไม่ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือการคอยตรวจจับว่ามีการมอดูเลตสัญญาณเกิดขึ้นหรือไม่

2. เมื่อมีแท็กเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้า แท็กจะได้รับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้แท็กเริ่มทำงาน และจะส่งข้อมูลในหน่วยความจำที่ผ่านการมอดูเลตกับคลื่นพาหะแล้วออกมาทางสายอากาศที่อยู่ภายในแท็ก

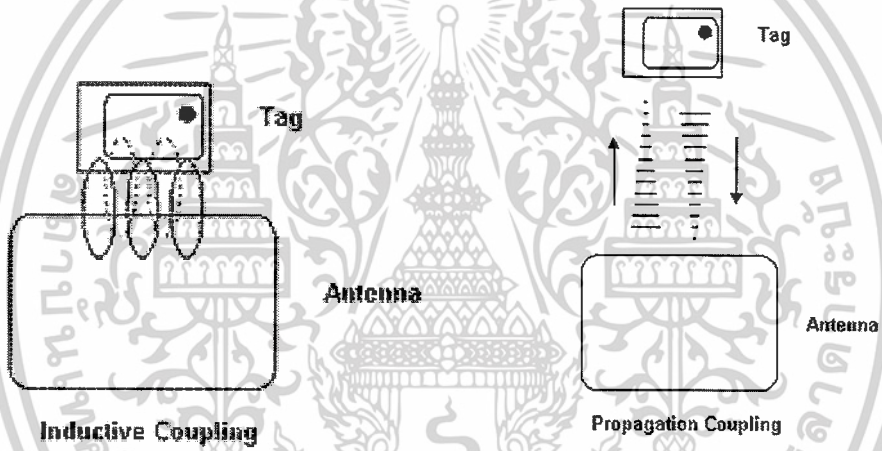
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คลื่นพาหะที่ถูกส่งออกมาจากแท็กจะเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมปลิจูด, ความถี่ หรือเฟส ขึ้นอยู่กับวิธีการมอดูเลต

4. ตัวอ่านข้อมูลจะตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของคลื่นพาหะแปลงออกมาเป็นข้อมูลแล้วทำการถอดรหัส และส่งไปยังคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมเพื่อนำข้อมูลไปใช้งานต่อไป

2.1.5 การสื่อสารแบบไร้สายของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี

การสื่อสารข้อมูลของระบบอาร์เอฟไอดี คือระหว่างแท็กและเครื่องอ่านข้อมูลจะสื่อสารแบบไร้สายผ่านอากาศ โดยจะนำข้อมูลมาทำการมอดูเลตกับคลื่นพาหะที่เป็นคลื่นความถี่วิทยุโดยมีสายอากาศ (Antenna) ที่อยู่ในตัวอ่านข้อมูลเป็นตัวรับและส่งคลื่นซึ่งแบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกันคือ วิธีเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Inductive Coupling หรือ Proximity Electromagnetic) กับ วิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromegnatic Propogation Coupling) ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงการสื่อสารระหว่างแท็กและตัวรับข้อมูล

2.1.6 รูปแบบของการสื่อสารข้อมูลระหว่างแท็กและเครื่องอ่านข้อมูล

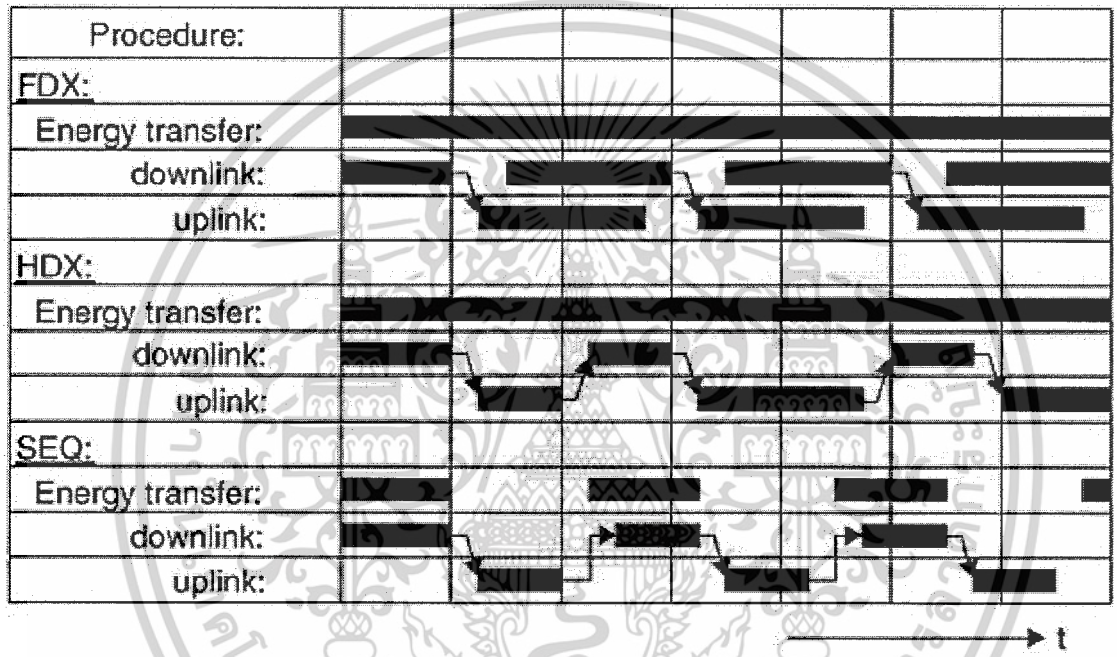
1. การสื่อสารแบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex : FDX)

การสื่อสารแบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex : FDX)หรือการสื่อสารแบบสองทาง (Both-way communication) ตัวกลางในการส่งข้อมูลมีช่องสัญญาณ 2 ช่อง และอุปกรณ์หลายทางทำให้สามารถส่งและรับข้อมูลได้พร้อม ๆ กัน ข้อสังเกตอย่างหนึ่งสำหรับระบบฟูลดูเพล็กซ์ก็คือถึงแม้ว่าตัวกลางตลอดจนอุปกรณ์หลายทาง ทั้งสองข้างมีความสามารถ รับส่งข้อมูลได้พร้อมกัน แต่ในการใช้งานจริงนั้น ผู้ใช้หลายทางอาจส่งข้อมูลมาแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ ซึ่งอาจเนื่องมาจากโอเปอเรเตอร์ไม่สามารถแปลความหมายของข่าวสารที่เข้ามาและข่าวสารที่ส่งออกไปในเวลาเดียวกันได้แต่จะทำงานแค่อย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งมีรูปแบบการทำงานดังรูปที่ 2.10 (รูปบน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การสื่อสารแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (Half Duplex : HDX)

การสื่อสารแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (Half Duplex : HDX) หรือการสื่อสารแบบทางใดทางหนึ่ง (Either-way communication) ตัวกลางในการส่งข้อมูลแบบนี้สามารถส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณส่งไปได้ทั้งสองทางแต่ต้องสลับกัน จะส่งในเวลาเดียวกันไม่ได้ ตัวอย่างเช่น วิทยุสื่อสารในรถตำรวจ ซึ่งเมื่อเวลาผู้พูดพูดจบมักจะต่อท้ายด้วยคำว่า เปลี่ยน ทั้งนี้เพื่อให้ผู้รับสามารถทราบได้อย่าง รวดเร็วว่าข้อมูลที่ส่งมานั้นหมดแล้วสามารถส่งข้อมูลตอบกลับไปได้ นั่นคือเมื่อผู้รับได้รับข้อมูลแล้ว ผู้รับจะใช้ระยะเวลาหนึ่ง ในการ ตีความและทราบว่าข้อมูลจาก ผู้ส่งหมดแล้ว และพร้อมที่จะตอบกลับไป ซึ่งมีรูปแบบการทำงานดังรูปที่ 2.10 (รูปกลาง)



รูปที่ 2.10 แสดงรูปแบบการสื่อสารข้อมูลของแท็กและเครื่องอ่านข้อมูล

2.1.7 หลักการและเทคนิคที่ใช้รับและส่งข้อมูลระหว่างแท็กและเครื่องอ่าน

โดยมากเทคนิคในการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านและแท็ก จะใช้หลักการมอดูเลตทางแอมปลิจูด (Amplitude Modulation: AM) หรือ ใช้การมอดูเลตทางแอมปลิจูดบวกกับการเข้ารหัสแมนเชสเตอร์ (Manchester encoded AM) แต่ทว่าในปัจจุบันก็มีแท็กที่ใช้การมอดูเลตแบบอื่นๆ ด้วยดังรูปที่ 2.11 เช่น การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (Phase Shift Keying: PSK) การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (Frequency Shift Keying: FSK) หรือการใช้การมอดูเลตทางความถี่ (Frequency Modulation: FM) เป็นต้น ซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบจะเลือกให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานแต่ละประเภท

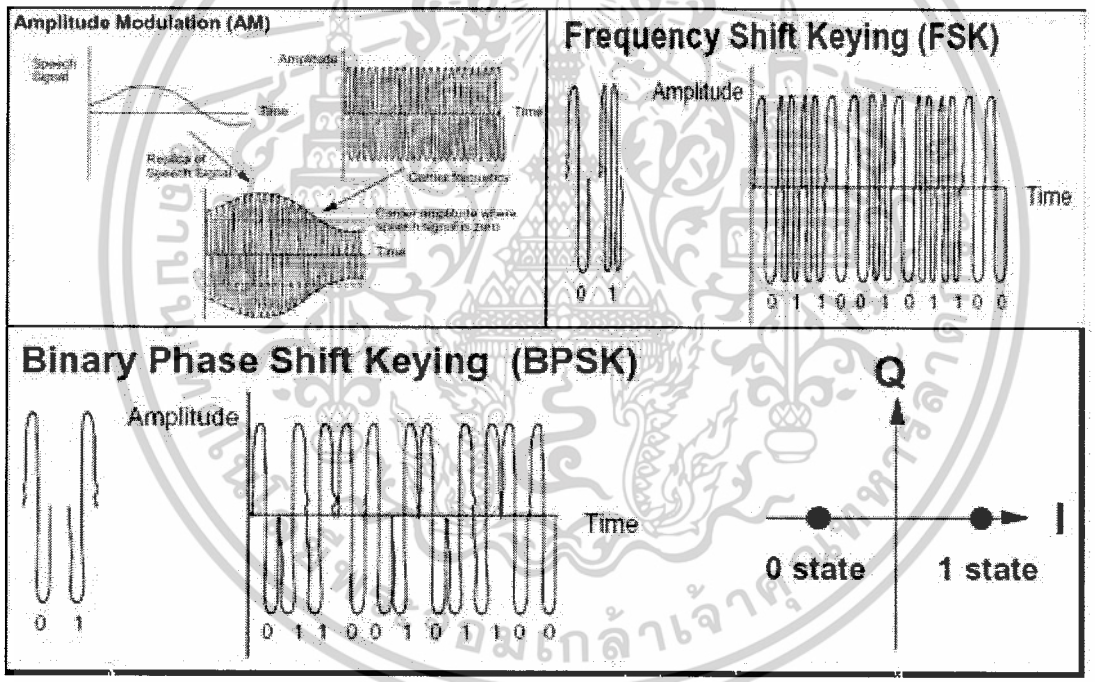
- การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมปลิจูด (ASK) ความถี่ของคลื่นพาห์ (Carrier Wave) ซึ่งทำหน้าที่นำสัญญาณอนาล็อกผ่านตัวกลางสื่อสารนั้นจะคงที่ ลักษณะของสัญญาณมอดูเลตเมื่อค่าของบิตของสัญญาณข้อมูลดิจิตอลมีค่าเป็น 1 ขนาดของคลื่นพาห์จะสูงขึ้นกว่าปกติ และเมื่อบิตมีค่าเป็น 0 ขนาดของคลื่นพาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะตกลงกว่าปกติ การมอดูเลต ASK มักจะไม่ค่อยได้รับความนิยมเพราะจะถูกรบกวนจากสัญญาณอื่นได้ง่าย

- **การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (FSK)** ในการมอดูเลตแบบนี้ ขนาดของคลื่นพาห์จะไม่เปลี่ยนแปลง ที่เปลี่ยนแปลงคือความถี่ของคลื่นพาห์นั่นคือ เมื่อบิตมีค่าเป็น 1 ความถี่ของคลื่นพาห์จะสูงกว่าปกติและเมื่อบิตมีค่าเป็น 0 ความถี่ของคลื่นพาห์ก็จะต่ำกว่าปกติ

- **การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (PSK)** หลักการของการมอดูเลตแบบนี้ คือ ค่าของขนาดและความถี่ของคลื่นพาห์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่ที่จะเปลี่ยนคือ เฟสของสัญญาณกล่าวคือ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะของบิตจาก 1 ไปเป็น 0 หรือเปลี่ยนจาก 0 ไปเป็น 1 เฟสของคลื่นจะเปลี่ยน (Shift) ไป 180 องศาด้วย หลักการการมอดูเลตเชิงเลขทางเฟสสามารถทำได้ทั้งแบบ 4 เฟส (0, 90, 180 และ 270 องศา) และแบบ 8 เฟส (0, 45, 90, 135, 180, 225, 270 และ 315 องศา) ในการมอดูเลตเพื่อเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลดิจิตอลให้เป็นสัญญาณแอนะล็อกทั้ง 3 แบบ วิธีการแบบการมอดูเลตเชิงเลขทางเฟสจะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นน้อยที่สุดได้สัญญาณที่มีคุณภาพดีที่สุดแต่วงจรการทำงานจะยุ่งยากกว่าและราคาสูงกว่า

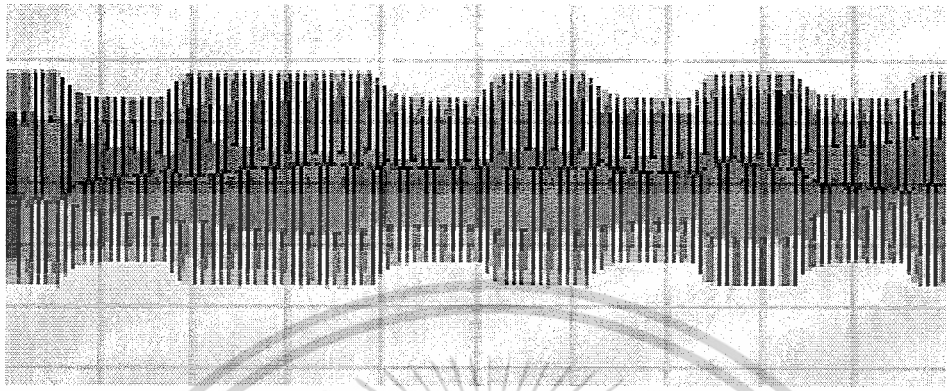


รูปที่ 2.11 แสดงการมอดูเลตแบบต่างๆ

ในการรับส่งข้อมูลหรือสัญญาณวิทยุระหว่างแท็กกับเครื่องอ่านจะทำได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อเมื่อสายอากาศมีความยาวที่เหมาะสมกับความถี่พาหะที่ใช้งาน คลื่นความถี่อาร์เอฟไอดี ดังรูปที่ 2.12 เช่น เมื่อความถี่ใช้งานเป็น 13.56 เมกะเฮิรตซ์ ความยาวของเสาอากาศ (เป็นเส้นตรง) ที่เหมาะสมก็คือ 22.12 เมตร แน่นอนว่าในทางปฏิบัติเราคงไม่สามารถนำเสาอากาศที่ใหญ่ขนาดนั้นมาใช้งานกับ แท็กขนาดเล็กของเราได้ สายอากาศที่ดูเหมาะจะใช้ร่วมกับแท็กมากที่สุด ก็คือสายอากาศที่เป็นขดลวดขนาดเล็ก หรือที่มีชื่ออย่างเป็นทางการว่าสายอากาศแบบแมกเนติกไดโพล (magnetic dipole antenna) รูปแบบ

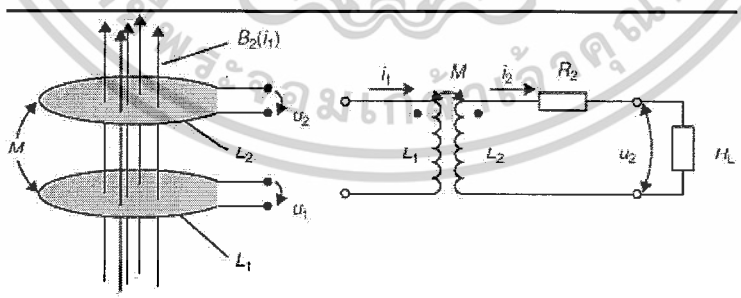
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสายอากาศแบบนี้ก็จะมีอยู่หลากหลาย ทั้งแบบที่เป็นขดลวดพันบนแกนอากาศหรือแกนเฟอร์ไรต์ แบบที่เป็นวงลูปที่ทำขึ้นจากลาย ทองแดง บนแผ่นวงจรพิมพ์ ทั้งที่เป็นลูปแบบวงกลมและสี่เหลี่ยม ทั้งนี้ความเหมาะสมในการใช้งานก็แตกต่างกันไปตามความถี่พาหะ และประเภทของงาน ด้วยเช่นกัน



รูปที่ 2.12 แสดงตัวอย่างคลื่นความถี่อาร์เอฟไอดี

นอกจากการรับส่งข้อมูลแล้วสายอากาศก็ยังทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับแท็กด้วย โดยอาศัยหลักการทำงานตามแนวคิดของไมเคิล ฟาราเดย์ เรื่องแรงดันเหนี่ยวนำในขดลวดดังรูปที่ 2.13 ที่เกิดขึ้นจากเส้นแรงแม่เหล็ก (จากเครื่องอ่าน) ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Time-varying magnetic field) พุ่งผ่านสายอากาศของแท็กเมื่อแท็กและเครื่องอ่านตั้งอยู่ห่างกัน ในระยะ 0.16 เท่าของความยาวคลื่นพาหะ ที่ใช้เรียกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ว่าทรานสฟอร์มเมอร์ไทป์คลับปลิ้ง (transformer-type coupling) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์แบบเดียวกับการเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นระหว่างขดลวดปฐมภูมิ (primary) และขดลวดทุติยภูมิ (secondary) ในหม้อแปลงไฟฟ้า (transformer) จะเป็นวงจรพื้นฐานสำหรับอธิบายกลไกที่เกิดขึ้นในการส่งข้อมูลของแท็ก



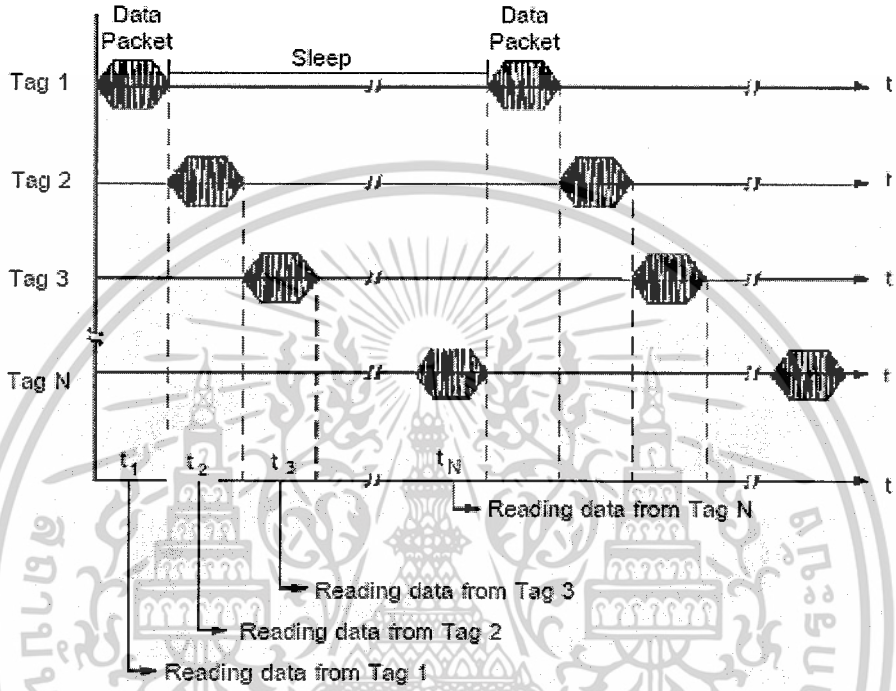
รูปที่ 2.13 แสดงการเหนี่ยวนำสัญญาณ

2.1.8 การป้องกันการชนกันของสัญญาณข้อมูล (Anti-Collision)

การอ่านข้อมูลจากแท็กได้หลายๆ แท็กในเวลาเดียวกัน เป็นข้อดีข้อหนึ่งของอาร์เอฟไอดีจะทำให้การอ่านข้อมูลของแท็ก จำนวนมากทำได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งสิ่งที่ทำให้การอ่านข้อมูลจากแท็กได้พร้อมๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นก็คือ อัลกอริทึมที่ใช้ในการป้องกันการชนของข้อมูล (Anti-Collision) ที่อยู่ภายในระบบอาร์เอฟไอดีนั้นเอง ดังรูปที่ 2.14 ซึ่งแสดงอัลกอริทึมที่ใช้ป้องกันการชนข้อมูลของแท็กบางชนิด โดยหลักการของการอ่านข้อมูลจาก แท็กจะอ่านเป็นลำดับในเวลาที่กำหนด แต่ละแท็กจะไม่ส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่านทันทีจะมีการจัดสรรลำดับเวลา (Time Slot) ในการส่งข้อมูลที่เวลาต่างๆ กัน ตามอัลกอริทึมที่กำหนด ทำให้ข้อมูลที่เครื่องอ่านรับได้ไม่มีการชนของข้อมูลที่ส่งมาจากแท็กหลายแท็กพร้อมกันนั่นเอง



รูปที่ 2.14 แสดงอัลกอริทึมการป้องกันการชนกันของข้อมูล (Anti-Collision) ในแท็ก

2.1.9 ความถี่ของคลื่นพาหะ

ในปัจจุบันได้มีการรวมกลุ่มระหว่างแต่ละประเทศ เพื่อทำการกำหนดมาตรฐานความถี่คลื่นพาหะของระบบอาร์เอฟไอดี โดยมีสามกลุ่มใหญ่ๆ คือ กลุ่มประเทศในยุโรปและแอฟริกา (Region 1), กลุ่มประเทศอเมริกาเหนือและอเมริกาใต้ (Region 2) และสุดท้ายคือกลุ่มประเทศตะวันออกไกลและออสเตรเลีย (Region 3) ซึ่งแต่ละกลุ่มประเทศจะกำหนดแนวทางในการเลือกใช้ความถี่ต่างๆให้แก่บรรดาประเทศสมาชิก

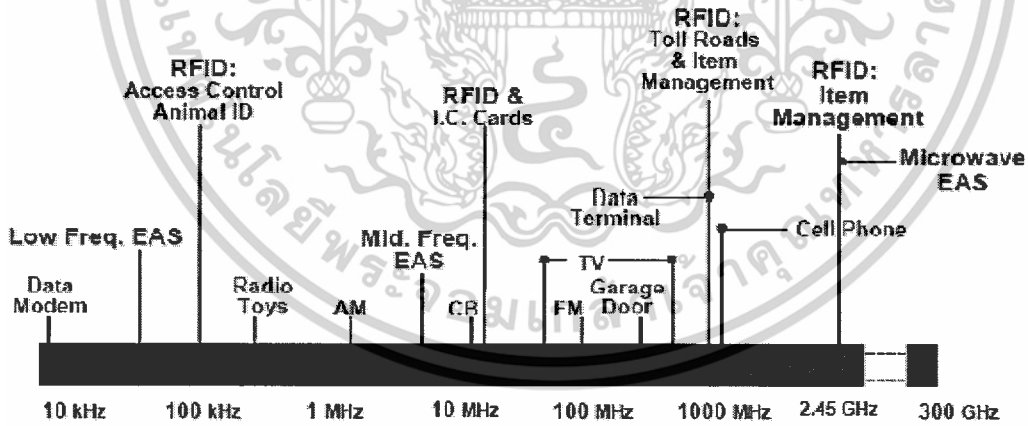
ในปัจจุบันคลื่นพาหะที่ใช้งานกันในระบบอาร์เอฟไอดีจะอยู่ในย่านความถี่ไอเอสเอ็ม (ISM : Industrial-Scientific-Medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่กำหนดการใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์และการแพทย์ สามารถใช้งานได้โดยไม่ตรงกับย่านความถี่ที่ใช้งานในการสื่อสารทั่วไป โดยความถี่ของคลื่นพาหะที่นิยมใช้งานในย่านความถี่ต่ำ ย่านความถี่สูง ย่านความถี่สูงยิ่งและย่านความถี่ไมโครเวฟ ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 นอกจากนี้รัฐบาลของแต่ละประเทศ โดยทั่วไปจะมีการออกกฎหมายเกี่ยวกับระเบียบการใช้งานย่านความถี่ต่างๆ รวมถึงกำลังส่งของระบบอาร์เอฟไอดีด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ย่านความถี่ต่างๆของระบบอาร์เอฟไอดีและการใช้งาน

ย่านความถี่		ระยะทาง	การใช้งาน
ย่านความถี่ต่ำ (Low Frequency: LF)	125-134 kHz	18 นิ้ว	ปศุสัตว์ หรือ ป้ายสินค้ากันขโมยที่อ่านในระยะใกล้ หรือระบบกันขโมยรถยนต์
ย่านความถี่สูง (High Frequency: HF)	13.553-13.567 MHz	3 ฟุต อ่านได้เร็ว (10-100 ป้ายต่อวินาที)	ห้องสมุด, สมาร์ตการ์ด ระบบติดตามหนังสือ ระบบปิดเปิดประตู
ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency: UHF)	400-1000 MHz (สหรัฐอเมริกาใช้ 433 MHz)	10 -30 ฟุต อ่านได้เร็วมาก (100-1000 ป้ายต่อวินาที)	ตู้สินค้า รถบรรทุก แท่นยกสินค้า (pallet)
ย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave Frequency)	2.45 GHz, 5.8 GHz	>30 ฟุต	อุปกรณ์ไร้สาย

จากรูปที่ 2.15 จะเห็นได้ว่าระบบอาร์เอฟไอดีไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้กับทุกๆ คลื่นความถี่วิทยุ เนื่องจากช่วงคลื่นความถี่ในปัจจุบันได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ อีกมากมาย เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ วิทยุ โทรทัศน์ เป็นต้น การจะนำช่วงคลื่นความถี่ใดๆ มาประยุกต์ใช้กับอาร์เอฟไอดี ต้องมั่นใจว่าจะไม่ถูกรบกวนจากคลื่นความถี่อื่นๆ



รูปที่ 2.15 แสดงการใช้งานของแต่ละย่านความถี่

2.1.10 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิดธ์

อัตราการรับส่งข้อมูล (Data Transfer Rate) จะขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นพาหะ โดยปกติถ้าความถี่ของคลื่นพาหะยิ่งสูง อัตราการรับส่งข้อมูลก็จะยิ่งสูงตามไปด้วย ส่วนการเลือกแบนด์วิดธ์ หรือย่านความถี่นั้นก็จะมีผลต่ออัตราการรับส่งข้อมูลเช่นกัน โดยมีหลักว่า แบนด์วิดธ์ควรจะมีค่ามากกว่าอัตราการรับส่งข้อมูลที่ต้องการอย่างน้อยสองเท่า ยกตัวอย่างเช่น ถ้าใช้แบนด์วิดธ์ในช่วง 2.4-2.5 กิกะเฮิรตซ์ ก็จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สามารถรองรับอัตราการรับส่งข้อมูลได้ถึงประมาณ 2 เมกะบิตต่อวินาที เป็นต้น แต่การใช้แบนด์วิดธ์ที่กว้างเกินไปก็อาจทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณรบกวนมาก หรือทำให้อัตราส่วนระหว่างกำลังของสัญญาณกับสัญญาณรบกวน (SNR) ต่ำลงนั่นเอง ดังนั้นการเลือกใช้แบนด์วิดธ์ให้ถูกต้องก็เป็นส่วนสำคัญในการพิจารณา

2.1.11 ระยะการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง

ระยะการรับส่งข้อมูลในระบบอาร์เอฟไอดีขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญต่างๆ คือ กำลังส่งของตัวอ่านข้อมูล (Reader/Interrogator Power) กำลังส่งของแท็ก (Tag Power) และสภาพแวดล้อม ส่วนการออกแบบสายอากาศของตัวอ่านข้อมูล จะเป็นตัวกำหนดลักษณะรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศ ดังนั้นระยะการรับส่งข้อมูล บางทีอาจขึ้นอยู่กับมุมของการรับส่งระหว่างแท็กและตัวอ่านข้อมูลด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสำคัญ

ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทั่วไปจะลดลงตามระยะทางโดยแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสอง แต่ในบางสภาพแวดล้อมซึ่งอาจมีการสะท้อนกลับของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสิ่งต่างๆรอบตัว เช่น โลหะ ก็อาจทำให้ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าลดลงอย่างรวดเร็ว โดยอาจแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสี่ ปรากฏการณ์เช่นนี้เราเรียกว่า มัลติพาทแอทเทนนูเอชัน (Multi-path Attenuation) ซึ่งจะส่งผลให้ระยะการรับส่งข้อมูลสั้นลง หรือแม้กระทั่งความชื้นในอากาศก็อาจมีผลในกรณีที่ความถี่สูงๆ ดังนั้นการนำระบบอาร์เอฟไอดีไปใช้งานก็ควรมีการคำนึงถึงสภาพแวดล้อม เพราะจะมีผลกระทบกับระยะการรับส่งข้อมูล และพยายามติดตั้งระบบให้ห่างไกลจากโลหะ ซึ่งอาจทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้

กำลังส่งของแท็กที่จะส่งกลับมายังตัวอ่านข้อมูลนั้น โดยทั่วไปจะมีกำลังที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับกำลังส่งของตัวอ่านข้อมูล ดังนั้นความไวในการตรวจจับสัญญาณของตัวอ่านข้อมูล ก็เป็นอีกจุดหนึ่งที่ต้องพิจารณา ถึงแม้ในทางเทคนิคเราจะสามารถทำให้ตัวอ่านข้อมูลมีกำลังส่งมากเท่าใดก็ได้ แต่โดยทั่วไปจะถูกจำกัดโดยกฎหมายของแต่ละประเทศ เช่นเดียวกับความถี่ ดังนั้นในระบบอาร์เอฟไอดี โดยทั่วๆไปจะมีกำลังส่งอยู่ระหว่าง 100 -500 ไมโครวัตต์เท่านั้น

2.1.12 มาตรฐานของอาร์เอฟไอดี

โดยผู้กำหนดมาตรฐานการใช้งานอาร์เอฟไอดีมีอยู่ 2 หน่วยงานหลัก ได้แก่ international Organization of Standard หรือ ISO (http://www.iso.org) และ EPC Global (http://www.epcglobalinc.org) โดยที่มาตรฐานของอาร์เอฟไอดี มีการกำหนดไว้ 4 ด้านดังนี้

- มาตรฐานด้านเทคโนโลยี (Technology)
- มาตรฐานรูปแบบของข้อมูล (Data format)
- มาตรฐานวิธีการทดสอบ (Conforment)
- มาตรฐานการใช้งาน (Applications)

ทั้งนี้ทั้งสองหน่วยงานได้มีการกำหนดมาตรฐานต่างๆ ดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
103004

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบมาตรฐานของ ISO และ EPC Global

	ISO/IEC	EPC
เทคโนโลยี	ISO/IEC 18000 – RFID for Item Management Part 2 - < 135 kHz Part 3 - 13.56 MHz Part 4 - 2450 MHz Part 6 - 860 - 960 MHz Part 7 - 433.92 MHz (active)	Class I-V (13.56 and UHF only) Class 0/Class I: read-only passive tags Class II tags: passive tags with additional functionality Class III tags: semi-passive RFID tags Class IV tags: active tags with broad-band peer-to-peer communication Class V tags : Readers Can power other Class I, II and III tags; Communicate with Classes IV and V.
รูปแบบของข้อมูล	ISO/IEC 15418 - Application Identifiers & Data Identifiers ISO/IEC 15434 - Syntax ISO/IEC 15459 - Transport License Plate ISO/IEC 15961 - Data Protocol: Application Interface ISO/IEC 15962 - Data Protocol: Data Encoding Rules and Logical Memory Functions	EPC Class 0 - 64 bits Class 1 - 96 bits Class 1 G2 - 128/256 bits Class 2 - Class 1 with larger memory and read/write Class 3 - Class 2 with sensors (semi-passive) Class 4 – passive tags
วิธีการทดสอบ	ISO/IEC 18047 - RFID device conformance test methods	-
การใช้งาน	Vary by Industries e.g. ISO 10374 - Freight containers —Automatic identification ISO 18185 - Freight Containers - Radio-frequency communication protocol for electronic seal ISO 11785 - Radio-frequency identification of animals	-

หมายเหตุ EPC : Electronic Product Code คือการกำหนดรหัสสินค้าโดยใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ และนอกเหนือจาก ISO และ EPC Global แล้วยังมีหน่วยงานอื่นอีก เช่น Ubiquitous ID หรือ มาตรฐาน UID ที่ทางประเทศญี่ปุ่นให้การสนับสนุนและกำหนดมาตรฐานเพื่อใช้งานในประเทศโดยมีความแตกต่างกับ ISO และ EPC Global ในเชิงรายละเอียดทางเทคนิค หรือจะเป็นมาตรฐาน AIM (Automatic Identification and Data Collection) ซึ่งเป็นผู้ริเริ่มต้นทำรหัสแท่ง หรือระบบบาร์โค้ด เป็นต้น

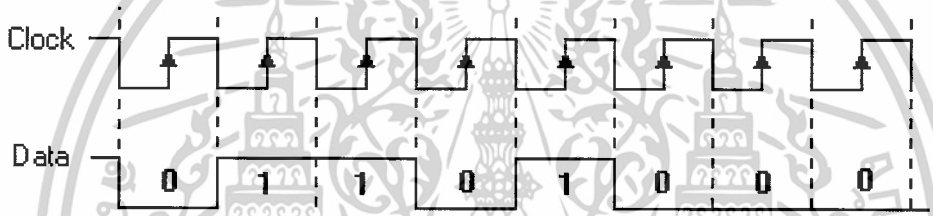
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 รูปแบบการสื่อสารแบบอนุกรม

การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม มีข้อดีคือ ใช้สายสัญญาณน้อยและส่งได้เป็นระยะทางไกล สำหรับโครงงานนี้ใช้การติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ รับส่งข้อมูลแบบอนุกรมกับคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการเปลี่ยนระดับสัญญาณไฟฟ้าตามมาตรฐานในการรับส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรม (Serial Port) ของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งสัญญาณข่าวสารที่ได้ถูกประมวลโดยโปรแกรมวิชวลเบสิก (Visual Basic) เพื่อแสดงผลออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ มีด้วยกันอยู่ 2 แบบ คือแบบซิงโครนัส (Synchronous) และแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous)

2.2.1 การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส (Synchronous)

การรับส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส มีรูปแบบดังรูปที่ 2.16 โดยการรับส่งข้อมูลนั้น จะมีสัญญาณนาฬิกา ซึ่งเป็นตัวกำหนด จังหวะเวลา การส่งข้อมูล ร่วมอยู่ด้วยอีกเส้นหนึ่ง ใช้คู่กับสัญญาณข้อมูล ตัวอย่างเช่น การส่งสัญญาณจากคีย์บอร์ด



รูปที่ 2.16 แสดงรูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบซิงโครนัส

2.2.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous)

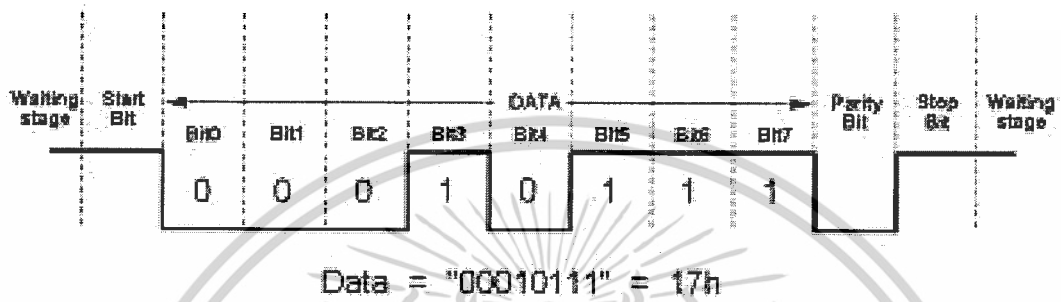
การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัสคือ การรับและส่งข้อมูลไปในสายโดยไม่จำเป็นต้องมีสายสัญญาณนาฬิการ่วมด้วย ซึ่งแตกต่างกับการสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัสที่ต้องใช้สายสัญญาณนาฬิกาในการรับและส่งสัญญาณเพิ่มขึ้นมาอีกหนึ่งเส้น สำหรับการสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัสนั้นจะใช้การกำหนดค่าสัญญาณนาฬิกาทั้งภาครับและภาคส่งให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการกำหนดค่าให้ทั้งภาครับและภาคส่งว่า อัตราการถ่ายทอดข้อมูล หรือ บอดเรต (baudrate) ซึ่งมีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที (Bit Per Second : bps)

จากรูปที่ 2.17 เป็นรูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการสื่อสารอนุกรมแบบอะซิงโครนัส ซึ่งมีส่วนประกอบอยู่ด้วยกัน 4 ส่วนคือ

1. บิตเริ่มต้น (Start Bit) จะมีขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูลแบบอนุกรมจะมีขนาด 5, 6, 7 หรือ 8 บิต
3. บิตตรวจสอบพาริตี้ (Parity Bit) จะมีขนาด 1 บิตหรือไม่มี
4. บิตปิดท้าย (Stop Bit) จะมีขนาด 1, 1.5 หรือ 2 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งหลักการทำงานในรูปที่ 2.17 สามารถอธิบายได้คือขณะที่ไม่มีข้อมูลส่งมานั้นขา Data จะมีสถานะลอจิก “1” (High) ซึ่งจะเรียกสถานะนี้ว่าสถานะหยุดรอ (Waiting Stage) การเริ่มต้นส่งข้อมูลจะเริ่มจากการให้ขา Data มีลอจิก “0” (Low) ด้วยช่วงขนาด 1 บิต เราเรียกบิตนี้ว่าบิตเริ่มต้น (Start Bit) จากนั้นบิตข้อมูลจะถูกส่งออกไป โดยเริ่มส่งจากบิต LSB ก่อนจนถึงบิต MSB จากนั้นจะตามด้วยบิตพาริตี้ (Parity Bit) ซึ่งใช้เพื่อตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูล บิตสุดท้ายที่จะส่งคือ Stop Bit ซึ่งจะให้ขา Data มีสถานะลอจิก “1” (High) อีกครั้งเพื่อทำให้ยืนยันสถานะหยุดรอ (Waiting Stage) ด้วยขนาด 1 บิต และเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูล



รูปที่ 2.17 แสดงรูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบอะซิงโครนัส

2.2.2.1 หน้าที่สำคัญของสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous)

- รับสัญญาณ

1. เปลี่ยนสัญญาณอินพุตที่เข้ามาแบบอนุกรมให้เป็นแบบขนาน
2 .ตรวจสอบความผิดพลาดของสัญญาณที่รับ
3. ตัดสต็อปบิต (Stop Bit) และพาริตี้บิต (Parity Bit)
4. สัญญาณให้ซีพียูรับรู้ว่า ได้รับสัญญาณไว้แล้ว

- ส่งสัญญาณ

1. เปลี่ยนสัญญาณแบบขนานจากซีพียู ค่อยๆ ทยอยส่งออกเป็นแบบอนุกรม
2. เพิ่มสต็อปบิตและพาริตี้บิต
3. เพิ่มสัญญาณควบคุมโมเด็มที่เชื่อมต่อ (ถ้ามี)

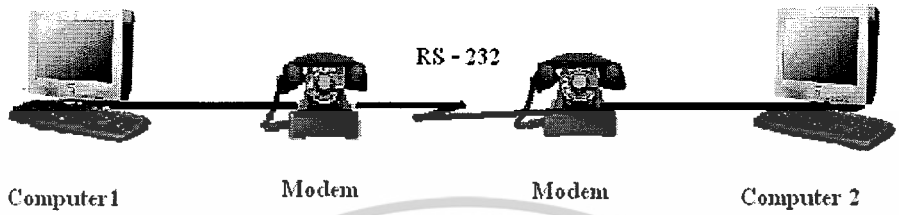
2.3 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับมาตรฐานพอร์ตอนุกรมอาร์เอส 232 (RS- 232)

โดยปกติเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์จะมีพอร์ตที่เป็นอนุกรมชื่อว่า อาร์เอส 232 (RS- 232) อยู่ในตัวมันเองอยู่แล้ว ซึ่งพอร์ตอนุกรมอาร์เอส 232 นี้ ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลในแบบอนุกรมเรียกว่า Universal Asynchronous Adapter เหตุที่มีชื่อเรียกว่า อาร์เอส 232 ก็เนื่องมาจากสมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ของอเมริกา หรือ EIA (RS-232 : Recommended Standard Number 232, EIA: Electronic Industry Association) ได้กำหนดมาตรฐานของอุปกรณ์สื่อสารแบบอนุกรมเอาไว้ภายใต้ชื่อว่า อาร์เอส 232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบอาร์เอส 232

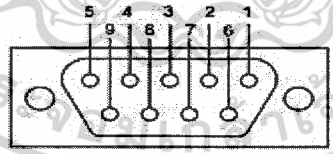
มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรมอาร์เอส 232 เป็นมาตรฐานที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง ในการนำเอามาตรฐานอาร์เอส 232 ไปประยุกต์ใช้งาน จะถูกใช้งานในการส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์โดยเชื่อมต่อกับโมเด็มดังรูปที่ 2.18



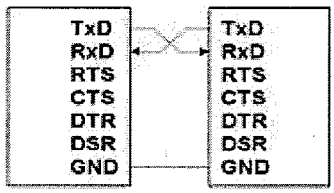
รูปที่ 2.18 แสดงการส่งข้อมูลผ่านมาตรฐานอาร์เอส 232

มาตรฐานอาร์เอส 232 ได้กำหนดรูปแบบของอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (Data Terminal Equipment : DTE) กับวงจรข้อมูลปลายทาง (Data Circuit Terminating : DCE) ไว้ว่า อุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูลจะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัวเช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งมีความสามารถในการสร้างบิตข้อมูลแบบอนุกรมได้ ส่วนอุปกรณ์วงจรข้อมูลปลายทาง จะทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจากอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูลเท่านั้น โดยการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองจะกระทำผ่านมาตรฐานอาร์เอส 232

ข้อแตกต่างของอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูลและอุปกรณ์วงจรข้อมูลปลายทางอย่างหนึ่งที่เห็นได้ชัดคือคอนเน็กเตอร์ของเชื่อมต่อข้อมูลจะเป็นตัวผู้ ส่วนคอนเน็กเตอร์ของวงจรข้อมูลปลายทางจะเป็นตัวเมีย ซึ่งพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะเป็นแบบเชื่อมต่อข้อมูลส่วนคอนเน็กเตอร์ที่อยู่ที่โมเด็มจะเป็นแบบวงจรข้อมูลปลายทาง



รูปที่ 2.19 คอนเน็กเตอร์ แบบ DB-9



รูปที่ 2.20 การต่ออุปกรณ์ภายนอกแบบอาร์เอส 232 โดยใช้สายสัญญาณเพียง 3 เส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับมาตรฐานอาร์เอส 232 ซี โดยปกติขั้วต่อพอร์ตของอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล จะเป็นขั้วต่อตัวผู้ เช่นเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ (เครื่องคอมพิวเตอร์ ส่วนบุคคล PC) และขั้วต่อพอร์ตของอุปกรณ์วงจรข้อมูลปลายทางจะเป็นข้อต่อตัวเมีย เช่น พอร์ตของโมเด็ม ซึ่งทั้งเชื่อมต่อข้อมูล และวงจรข้อมูลปลายทางจะมีทั้งแบบ 9 ขา (DB9) ดังรูปที่ 2.19 และ 25 ขา (DB25) โดยมีรายละเอียดของขา ดังตารางที่ 2.3 และตารางที่ 2.4 ตามลำดับ ซึ่งจะมีรูปแบบการต่อที่หลากหลายขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการใช้งานด้านต่างๆ เช่น รูปแบบการต่อเพื่อใช้งานโดยใช้สายสัญญาณ 3 เส้น ดังรูปที่ 2.20 เป็นต้น

ตารางที่ 2.3 แสดงรายละเอียดการต่อคอนเน็กเตอร์แบบ DB9 ตามมาตรฐานอาร์เอส 232

หมายเลขขาสัญญาณ	ชื่อของสายสัญญาณ
1	Data Carrier Detect
2	Received Data
3	Transmitted Data
4	Data Terminal Ready
5	Signal Ground
6	Data Set Ready
7	Request To Send
8	Clear To Send
9	Ring Indicator

2.3.2 คำอธิบายการทำงานของแต่ละขาที่ใช้งานของ DB-9

จากตารางที่ 2.3

- Transmit Data (TD) เป็นสัญญาณที่ส่งออกจากเชื่อมต่อข้อมูล (หรือตัวไมโครคอมพิวเตอร์พิวเตอร์) ไปยังโมเด็มหรือต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์ตัวอื่น เมื่อไม่มีสัญญาณส่งออกสถานะภาพของลอจิกที่ขานี้มีค่าเท่ากับ “1” หรือเทียบเท่า Stop Bit

- Received Data (RD) เป็นทางสัญญาณเข้าไปยังวงจรข้อมูลปลายทาง หรือไมโครคอมพิวเตอร์เมื่อไม่มีสัญญาณ รับเข้ามา ขานี้จะมีสถานะภาพลอจิกเป็น “1”

- Request to Send (RTS) ใช้สำหรับส่งสัญญาณไปยังโมเด็มหรือเครื่องพิมพ์เป็นการเรียกร้องที่จะส่งสัญญาณมาทาง TD สัญญาณนี้จะใช้คู่กับ CTS ที่อุปกรณ์รับ หากได้รับ สัญญาณ RTS จะตรวจตัวเองว่าพร้อมจะรับสัญญาณได้หรือยัง หากพร้อมก็จะส่งสัญญาณออกไปที่สาย CTS

- Clear to Send (CTS) เมื่อสายสัญญาณนี้อยู่ในสภาวะออฟ (Negative Valtage หรือลอจิก”1”) หมายความว่า อุปกรณ์รับกำลังบอกว่า พร้อมจะรับข้อมูลแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Data Set Ready (DSR) เมื่อสายสัญญาณนี้อยู่ในสภาวะออน (ลอกจิก"0") จะเป็นการบอกไมโครคอมพิวเตอร์ว่า พร้อมที่จะส่งได้แล้ว

- Signal Ground (SG) ทำหน้าที่เป็นระดับแรงดันอ้างอิงสำหรับทุกๆสายสัญญาณจะมีแรงดันเป็น "0" เมื่อเทียบกับสายสัญญาณอื่นๆ

- Data Terminal Ready (DTR) คอมพิวเตอร์เปิดสัญญาณนี้ให้ออน (ลอจิก"0") เมื่อพร้อมที่จะติดต่อรับส่งข้อมูล

ตารางที่ 2.4 รายละเอียดการต่อคอนเน็กเตอร์แบบ DB25 ตามมาตรฐานอาร์เอส 232

หมายเลขขาสัญญาณ	ชื่อของสายสัญญาณ
1	Protective Ground
2	Transmitted Data
3	Received Data
4	Request To Send
5	Clear To Send
6	Data Set Ready
7	Signal Ground
8	Received Line Signal Detect
9	Reserved For Testing
10	Reserved For Testing
11	Unassigned
12	Secondary Received Line Signal Detect
13	Secondary Clear To Send
14	Secondary Transmitted Data
15	Transmission Signal Element Timing
16	Secondary Received Data
17	Receiver Signal Element Timing
18	Unassigned
19	Secondary Request To Send
20	Data Terminal Ready
21	Signal Quality Detector
22	Ring Indicator
23	Data Signal Rate Detector
24	Transmitter Signal Element Timing
25	Unassigned

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 IEEE 802.15.4

มาตรฐาน IEEE 802.15.4 เป็นมาตรฐานสำหรับเครือข่ายแบบไร้สายระยะใกล้ความเร็วต่ำหรือ low-rate WPAN (LR-WPAN) โดยมีคุณลักษณะ คือ อัตราการรับ-ส่งข้อมูล ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 250 กิโลบิตต่อวินาที ใช้กำลังไฟฟ้าน้อย อุปกรณ์มีราคาถูก นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์พื้นฐานที่หลากหลายในชีวิตประจำวันและโดยมากการนำมาประยุกต์ใช้ของ WPAN มักจะเกี่ยวข้องกับ wireless sensor networks (WSNs)

2.4.1 IEEE 802.15.4 Physical Layer

ชั้นฟิสิคัลเลเยอร์มาตรฐาน IEEE 802.15.4 มีการใช้ 3 ความถี่ คือ 868/868.6 เมกะเฮิรตซ์ ใช้ดีเอสเอสเอส (DSSS: Direct-Sequence Spread Spectrum) โดยอัตราความเร็วของข้อมูล 20 กิโลบิตต่อวินาที สำหรับความถี่ 902/928 เมกะเฮิรตซ์ ใช้ดีเอสเอสเอส โดยอัตราความเร็วของข้อมูล 40 กิโลบิตต่อวินาที และความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ใช้ดีเอสเอสเอสโดยอัตราความเร็วของข้อมูล 250 กิโลบิตต่อวินาที สำหรับความถี่ 868 เมกะเฮิรตซ์ จะมี 1 ช่องสัญญาณสื่อสาร, 10 ช่องสัญญาณใน 915 เมกะเฮิรตซ์ และ16 ช่องสัญญาณ ใน 2.4 กิกะเฮิรตซ์ โดยย่านความถี่เหล่านี้ไม่ใช่ความถี่สากล โดย 868 เมกะเฮิรตซ์ ใช้ในยุโรป, 915 เมกะเฮิรตซ์ ใช้ในอเมริกา และ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ถือว่าเป็นความถี่ที่ใช้กันมากที่สุดในโลก ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 IEEE 802.15.4 frequency bands and data transfer rates

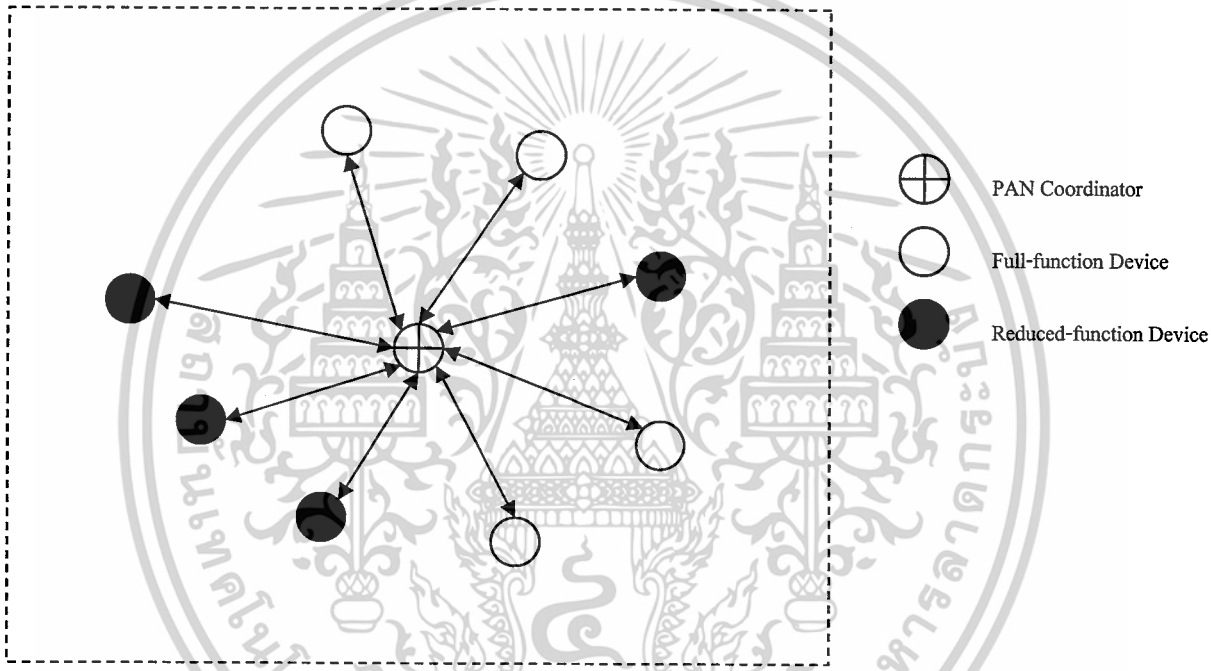
Band (เมกะเฮิรตซ์)	Frequency Band (เมกะเฮิรตซ์)	Bit Rate (kbps)	Symbol Rate (kbps)	DSS Spreading Parameter	
				Modulation Technique	Chip Rate
868	868-868.6	20	20	BPSK	300 kcps
915	902-928	40	40	BPSK	600 kcps
2400	2400-2483.5	250	62.5	O-QPSK	2 mcps

2.4.2. IEEE 802.15.4 Piconets

ชั้นแมคเลเยอร์มาตรฐาน IEEE 802.15.4 จัดเตรียมการเพื่อรองรับ ระหว่างสองโทโปโลยีโครงข่ายไร้สาย (wireless network topology) เช่น การเชื่อมต่อแบบสตาร์ และแบบจุดต่อจุดโดยสำหรับการใช้งานในบ้านนั้นจะเป็นแบบสตาร์ และในทางอุตสาหกรรมและธุรกิจจะใช้การเชื่อมต่อแบบจุดต่อจุดสำหรับโครงสร้างแบบสตาร์ มีรูปแบบดังรูปที่ 2.21 ซึ่งมีการเชื่อมต่อภายในเครือข่าย จะถูกควบคุมด้วย PAN coordinator เพียงอันเดียว โดย PAN coordinator นี้จะทำหน้าที่เป็นเหมือนผู้ดูแลเครือข่าย (network master) ทำหน้าที่อินนิเชียลไรซ์ (initialize) เครือข่าย จัดการโหนดในเครือข่ายและเก็บข่าวสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของโหนดในเครือข่าย เพียงอุปกรณ์แบบฟลูฟังก์ชันดิไวซ์ (FFD : full-function device) สามารถส่งเบคอนเฟรม ก็อาจกลายเป็น PAN coordinator ได้ อย่างไรก็ตามอุปกรณ์แบบรีดิวฟังก์ชันดิไวซ์ (RFDs :Reduced-function device) อาจมีส่วนร่วมในเครือข่ายแบบสตาร์ ได้ ยิ่งกว่านั้น เครือข่ายแบบสตาร์ จะทำงานเป็นอิสระจากเครือข่ายอื่นๆใน IEEE 802.15.4 FFD อาจจะสร้าง เครือข่ายสตาร์ หลังจากทำค้นหาช่องสัญญาณ ถ้าฟลูฟังก์ชันดิไวซ์ ไม่สามารถตรวจพบการส่งเบคอนเฟรมและเริ่มต้นทำหน้าที่ PAN coordinator โดยการส่งเบคอนเฟรมที่มีไอดี (ID : unique network identifier) ของทุกอุปกรณ์ที่มีส่วนร่วมอยู่ใน LR-WPANs ต่างใช้ IEEE 64-bit Address ที่ยูนิค (unique) เมื่อมีอุปกรณ์ตัวหนึ่งเริ่มทำการส่งเบคอนเฟรม อุปกรณ์อื่นก็อาจจะมีการติดต่อเข้าเพื่อขอมีส่วนร่วมโดยส่งแอสโซสิเอชันแมสเซส (association message) เข้ามาที่แอดฮอกเน็ตเวิร์ก (ad hoc network)



รูปที่ 2.21 IEEE 802.15.4 LR-WPAN star topology

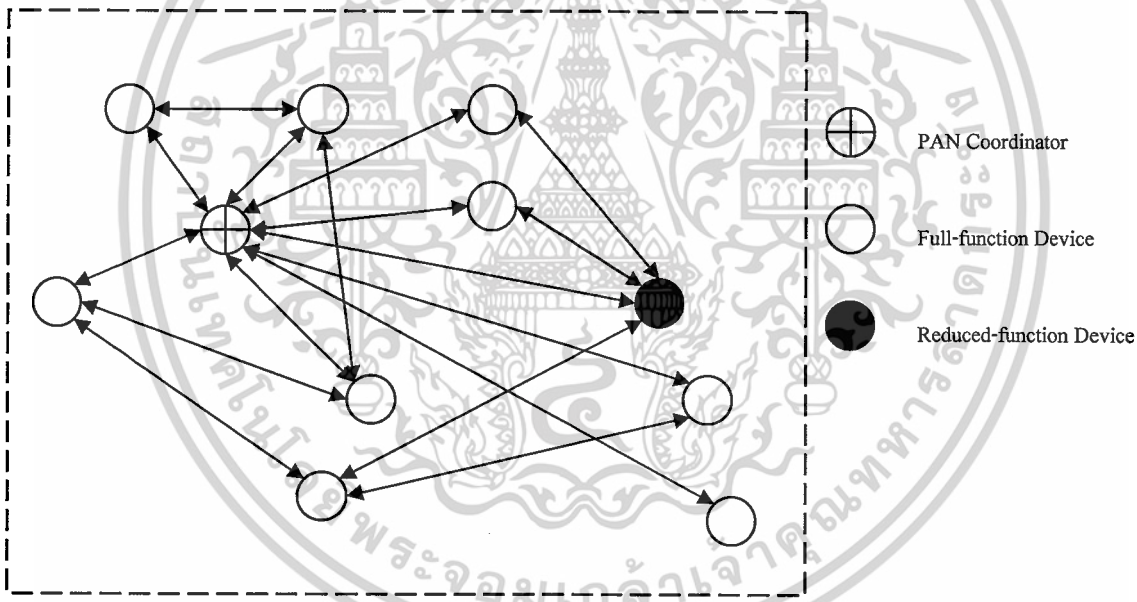
เครือข่ายแบบจุดต่อจุด มีรูปแบบดังรูปที่ 2.22 ซึ่งเป็นการส่งผ่านข้อมูลในเครือข่ายอุปกรณ์ จะอนุญาตให้ฟลูฟังก์ชันดิไวซ์ ติดต่อกับฟลูฟังก์ชันดิไวซ์อื่นที่อยู่ภายในอาณาเขตของตัวมันเอง และส่งแมสเซสไปยังฟลูฟังก์ชันดิไวซ์ ที่อยู่นอกเขตอีกด้วย ซึ่งเครือข่ายแบบจุดต่อจุดนี้สามารถทำให้แอดฮอกไวเลสเน็ตเวิร์กซับซ้อนขึ้นด้วยการเพิ่มการครอบคลุมพื้นที่เนื่องจากมัลติฮอบ (multihop) และโครงข่ายเมสจะกำหนดคุณสมบัติที่อนุญาตในการส่งแมสเซส ส่วนรีดิวฟังก์ชันดิไวซ์ อาจจะสามารถเข้ามาร่วมในเครือข่ายแบบจุดต่อจุด แต่จะไม่สามารถทำรีเลย์ ได้

อีกหนึ่งชนิดของเครือข่ายแบบจุดต่อจุดเครือข่ายคลัสเตอร์ทรี มีรูปแบบดังรูปที่ 2.23 ซึ่งจะเป็นการรวมกันของแบบสตาร์และเมส เพื่อที่จะได้ประโยชน์จากทั้งสองแบบสามารถรองรับจำนวนของโหนด และสามารถใช้งานจากแบตเตอรี่ได้นาน โดยเครือข่ายชนิดนี้จำนวนของอุปกรณ์เครือข่ายจะอยู่บน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

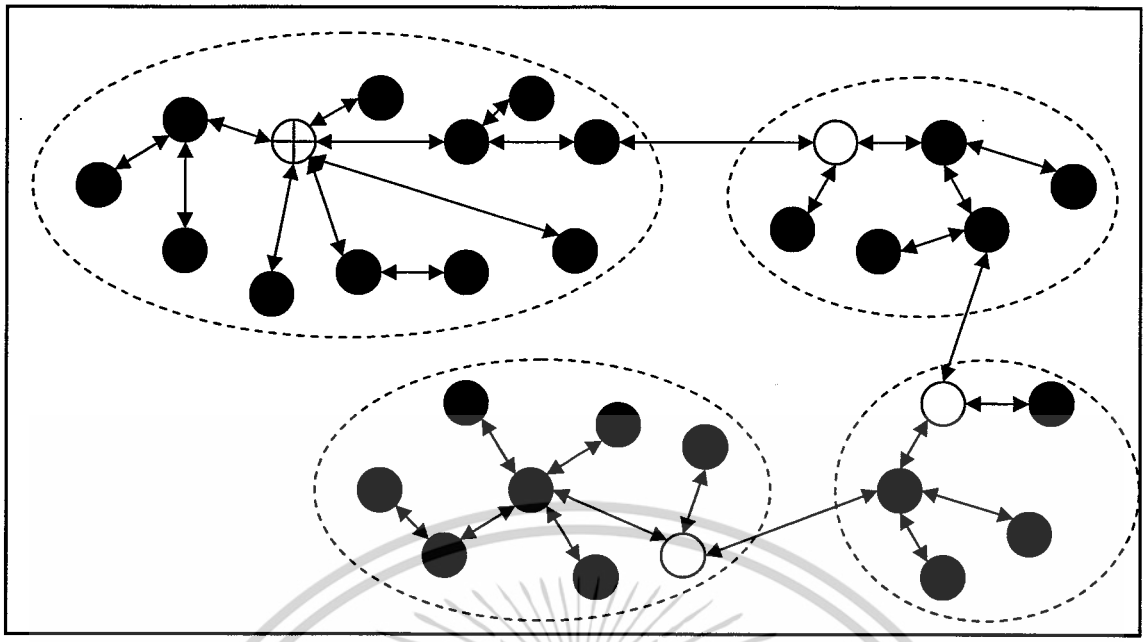
หลักการคลัสเตอร์เฮด (cluster heads) โครงสร้างนี้จะจัดหาเส้นทาง (Path) ให้กับอุปกรณ์เครือข่ายชนิดต่างๆและสามารถมีการขยายเครือข่ายออกไปให้กว้างขึ้น ในหลายๆกรณีเครือข่ายแบบจุดต่อจุด จะเลือกอุปกรณ์ตัวหนึ่งให้ทำหน้าที่ PAN coordinator ระหว่างการสร้างเครือข่ายแบบจุดต่อจุดจะต้องมีตรวจสอบแล้วว่าการทำงานต่างๆนั้นรองรับการทำงานและบริการของอุปกรณ์เครือข่ายทำให้สามารถทำงานได้

มาตรฐาน IEEE 802.15.4 รองรับโครงสร้างซูเปอร์เฟรม (superframe) ที่ดูแลจัดการโดย PAN coordinator รูปแบบของซูเปอร์เฟรมแสดงดังรูปที่ 2.24 โดยซูเปอร์เฟรม เริ่มจากการส่งเบคอนเฟรม (beacon Frame) ที่ใช้โดยอุปกรณ์เพื่อซิงโครไนซ์เครือข่าย, จัดหาเน็ตเวิร์กไอดี, และข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างของซูเปอร์เฟรม สำหรับซูเปอร์เฟรมนี้จะแบ่งออกเป็น 16 ไทม์สล็อต (timeslots) เพื่อจัดเตรียมไว้สำหรับซีเอพี (CAP: contention access period) การใช้ CSMA/CA , อุปกรณ์เครือข่ายพยายามที่จะเชื่อมต่อกันด้วย PAN coordinator ระหว่างคาบเวลานี้ ผู้ประสานงานเครือข่าย (network coordinator) สามารถที่จะใช้ส่วนแบ่งของซูเปอร์เฟรมเพื่อทำการร้องขออุปกรณ์เครือข่ายได้ และ guaranteed timeslots (GTS) จะอยู่ส่วนท้ายของซูเปอร์เฟรมและจากซีเอพี

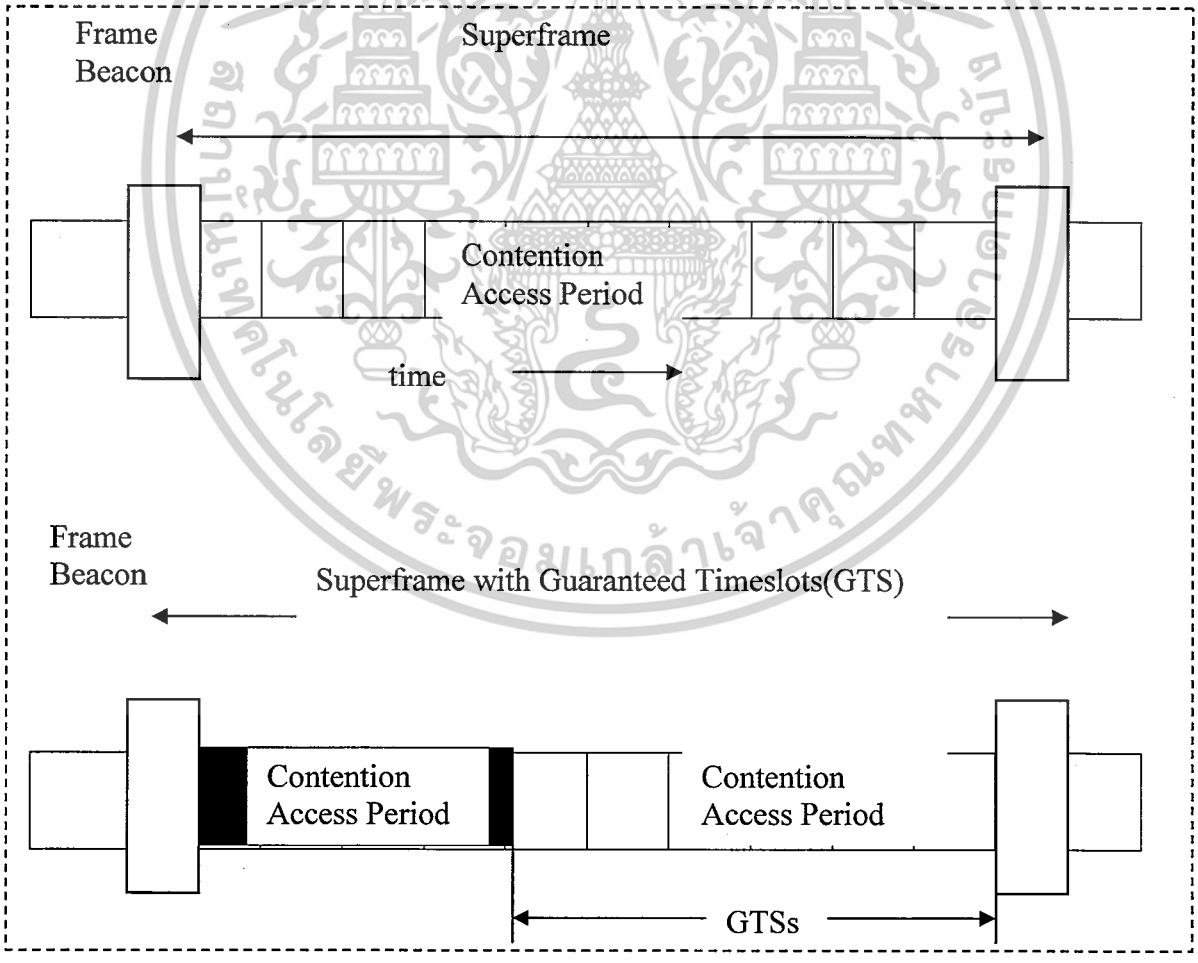


รูปที่ 2.22 IEEE 802.15.4 peer-to-peer network topology

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 IEEE 802.15.4 cluster-tree network topology



รูปที่ 2.24 IEEE 802.15.4 superframe structure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 โมดูลไร้สายซิกบี

เนื่องจากในช่วงหลายปีที่ผ่านมาเทคโนโลยีเครือข่ายเซนเซอร์แบบไร้สาย (Wireless Sensor Network) เป็นหัวข้อวิจัยที่แพร่หลายเป็นอย่างมาก โดยหัวข้อที่มีการศึกษาล่าสุดก็คือ เทคโนโลยีมาตรฐาน IEEE 802.15.4 และ ซิกบีที่มีการนำเทคโนโลยีที่วิจัยในห้องทดลองมาประยุกต์สร้างผลิตภัณฑ์ขึ้น โดยการเชื่อมต่อของ เครือข่ายเซนเซอร์แบบไร้สายจะทำงานบนมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ซึ่งในชั้นฟิสิคัลเลเยอร์ ของมาตรฐาน IEEE 802.15.4 มีการใช้ 3 ความถี่ คือ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ และ 896/915 เมกะเฮิรตซ์ สำหรับความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ จะมีช่องสื่อสาร 16 ช่องที่มีอัตราเร็วข้อมูล 250 กิโลบิตต่อวินาที สำหรับความถี่ 896 เมกะเฮิรตซ์ จะมีช่องสื่อสาร 10 ช่องที่มีอัตราเร็วข้อมูล 40 กิโลบิตต่อวินาที สำหรับความถี่ 915 กิกะเฮิรตซ์ จะมีช่องสื่อสาร 1 ช่องที่มีอัตราเร็วข้อมูล 20 กิโลบิตต่อวินาที สำหรับชั้นเน็ตเวิร์ก/ซีเคียวและชั้นแอพพลิเคชันเลเยอร์จะอยู่บนพื้นฐานของระบบ IEEE 802.15.4 ซึ่งในชั้นเน็ตเวิร์ก สามารถรองรับได้ 3 แบบ คือ สตาร์ (Star) เมส (mesh) และ คลัสเตอร์ทรี (Cluster tree) และจากคุณสมบัติหลายอย่างที่ได้จากมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ทำให้บริษัท maxstream ได้สร้างอุปกรณ์ซิกบี ซึ่งมีคุณสมบัติเด่น เช่น มีขนาดเล็กกะทัดรัด, กินไฟต่ำและสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกโดยใช้การเชื่อมต่อแบบอนุกรมอาร์เอส 232 ซึ่งเหมาะกับการนำมาใช้งานในเครือข่ายเซนเซอร์แบบไร้สายโดยให้รองรับกับมาตรฐาน IEEE 802.15.4 จากที่ซิกบีรองรับโทโปโลยีแบบเมส (Mesh) ทำให้ต้องใช้มัลติเพิลเราท์ติ้งอัลกอริทึม (multiple routing algorithms)

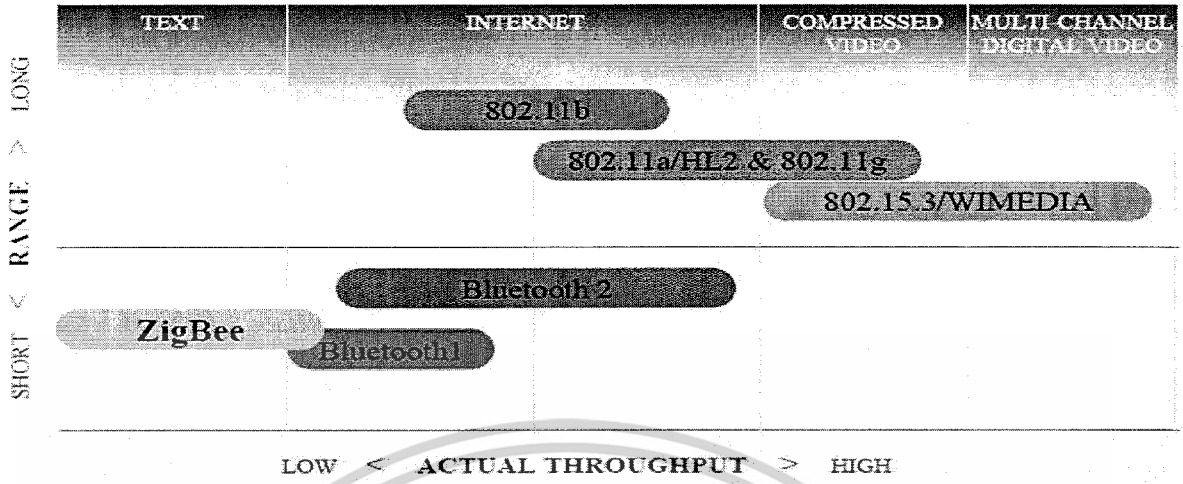
2.5 โมดูลไร้สายซิกบี

ซิกบี (Zigbee) เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายที่ถูกพัฒนาให้มีจุดเด่นกว่าเทคโนโลยีไร้สายแบบอื่นๆ เช่น ราคาต่ำ ใช้พลังงานน้อยสามารถติดตั้งไว้ได้นาน และสามารถสร้างเครือข่ายได้ซึ่งเหมาะกับการใช้งานด้านเซนเซอร์ไร้สาย ตรวจสอบตำแหน่งของวัตถุ ตรวจสอบสภาพแวดล้อม ดังตารางที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบเทคโนโลยีไร้สายต่างๆ และรูปที่ 2.25 แสดงปริมาณการใช้ทรูพุต (Throughput) ของมาตรฐานการสื่อสารไร้สายแบบต่างๆ

ตารางที่ 2.6 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเทคโนโลยีไร้สายในแบบต่างๆ

Standard	ซิกบี®802.15.4	Wi-Fi™802.11b	Bluetooth™802.15.1
Transmission Range (meters)	1 – 100	1 - 100	1 – 10
Battery Life (days)	100 – 1,000	0.5 – 5.0	1 – 7
Network Size (# of nodes)	> 64,000	32	7
Application	Monitoring & Control	Web, Email, Video	Cable Replacement
Stack Size (KB)	4 – 32	1,000	250
Throughput (kb/s)	20 – 250	11,000	720

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 ปริมาณการใช้ทรูพุตของมาตรฐานการสื่อสารไร้สายแบบต่างๆ

2.5.1 คุณสมบัติทั่วไปของโมดูลไร้สายซิกบี มีดังนี้

- ทำงานในย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์
- มีสายอากาศแบบวิป (whip)
- ระยะทำการในที่ร่ม ประมาณ 100 เมตร
- ระยะทำการกลางแจ้ง (Line of sight) ประมาณ 1500 เมตร
- มีกำลังส่ง 60 ไมโครวัตต์ (18 มิลลิเดซิเบล)
- ความไวในการรับสัญญาณ -100 มิลลิเดซิเบล (1% packet error rate)
- การทำงานของขาพอร์ต สามารถกำหนดผ่านทางซอฟต์แวร์ เพื่อให้ทำงานเป็นอินพุตแอนะล็อก สำหรับใช้ในการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล และอินพุตเอาต์พุตดิจิทัล
- มีขนาด 0.96"×1.297" หรือ 2.438 เซนติเมตร × 3.294 เซนติเมตร
- ไฟเลี้ยง 2.8 - 3.4 โวลต์
- กระแสไฟฟ้าเมื่อส่งข้อมูล 0.215 แอมแปร์และเมื่อรับข้อมูล 0.055 แอมแปร์และน้อยกว่า 10 ไมโครแอมแปร์ ในโหมดการลดพลังงานที่ไฟเลี้ยง 3.3 V
- ใช้งานที่อุณหภูมิ -40 ถึง 80 องศาเซลเซียส
- การจัดขา และฟังก์ชั่นการทำงาน แสดงดังตารางที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 การจัดขาของโมดูลซิกบีโปร (Zigbee-Pro) และฟังก์ชั่นในการทำงาน

ขาที่	ชื่อขา	การทำงาน
1	Vcc	ขาต่อไฟเลี้ยง +3.3 โวลต์
2	DOUT	ขาเอาต์พุตส่งข้อมูลอนุกรม
3	DIN	ขาอินพุตรับข้อมูลอนุกรม
4	DO8	ขาเอาต์พุตดิจิทัล ช่อง 8
5	RESET	ขารีเซ็ตหลัก (Active “0 ”)
6	PWM0/RSSI	ขาเอาต์พุต PWM ช่อง 0 และขาเอาต์พุตแสดงความแรงของการรับสัญญาณ
7	PWM1	ขาเอาต์พุต PWM ช่อง 1
8	ไม่ใช้งาน	
9	DTR/SLEEP_RQ/DI8	ขาอินพุตรับสัญญาณให้หยุดทำงานเข้าสู่โหมดสลีปหรือขาอินพุตดิจิทัล ช่อง 8
10	GND	ขาต่อกราวด์
11	AD4/DIO4	ขาอินพุตแอนะล็อก 4 หรือ ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิทัล 4
12	CTS/DIO7	อินพุตรับสัญญาณแจ้งการส่งข้อมูลจากโฮสต์ (Clear-To-Send) ใช้ในการควบคุมจังหวะการรับส่งข้อมูล หรือ ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิทัล 7
13	ON/SLEEP	ขาแสดงสถานะการทำงาน “0” อยู่ในโหมดทำงานปกติ “1” อยู่ในโหมดสลีป
14	VREF	ขาต่อแรงดันอ้างอิงสำหรับโมดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ภายใน XBee-PRO
15	Associated/AD5/DIO5	ขาแสดงสถานะการเชื่อมต่อ หรือ ขาอินพุตแอนะล็อก 5 หรือ ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิทัล 5
16	RTS/AD6/DIO6	ขาเอาต์พุตแจ้งความพร้อมในการส่งข้อมูล หรือ ขาอินพุตแอนะล็อก 6 หรือ ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิทัล 6
17	AD3/DIO3	ขาอินพุตแอนะล็อก 3 หรือ ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิทัล 3
18	AD2/DIO2	ขาอินพุตแอนะล็อก 2 หรือ ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิทัล 2
19	AD1/DIO1	ขาอินพุตแอนะล็อก 1 หรือ ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิทัล 1
20	AD0/DIO0	ขาอินพุตแอนะล็อก 0 หรือ ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิทัล 0

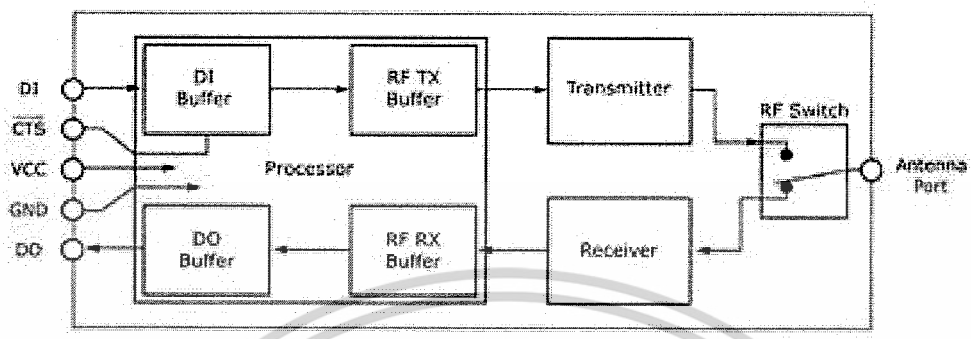
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่งข้อมูลภายใน ซิกบี แสดงดังรูปที่ 2.26

DI : Data IN

DO : Data Out

Antenna : สายอากาศ



รูปที่ 2.26 การส่งข้อมูลภายในโมดูลไร้สายซิกบี

2.5.2 คุณสมบัติด้านการสื่อสารข้อมูลของโมดูลไร้สายซิกบี มีดังนี้

- สามารถทำงานเป็นอุปกรณ์มาสเตอร์และสเลฟได้
- อัตราบิต 250 กิโลบิตต่อวินาที
- อัตราบอด 1.2 – 115.2 กิโลบิตต่อวินาที
- รูปแบบโครงข่ายข้อมูลที่รองรับเป็นแบบจุดต่อจุด (Point-to-point) จุดต่อหลายจุด (Point-to-multipoint) และ ความเข้ากันได้กับอุปกรณ์ตามมาตรฐาน 802.15.4
- มีการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบ Channel access using Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA - CA) หรือมีทางเข้าช่องสัญญาณหลายๆ ทาง เพื่อหลีกเลี่ยงการชนกัน
- มีโทโปโลยีแบบสตาร์ แบบจุดต่อจุดและแบบเมส
- สามารถรองรับแอดเดรส (Address) ได้ถึง 64 bit IEEE แอดเดรส (65535 โครงข่าย)
- รองรับการทำงานทั้งแบบ API และ AT command
- เทคโนโลยีในการกระจายคลื่นแบบดีเอสเอสเอส
- ใช้พลังงานต่ำ (สามารถใช้ได้หลายเดือนจนถึงปี)

2.5.3 โครงสร้างของโมดูลไร้สายซิกบี

มาตรฐานของซิกบี มีการแบ่งเป็นเลเยอร์ (Layer) ซึ่งเลเยอร์เหล่านี้จะทำให้การใช้งานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ราคาถูก ติดตั้งง่าย การส่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือ ใช้พลังงานน้อย แบ่งเป็นเลเยอร์ต่างๆ ดังนี้

2.5.3.1 เน็ตเวิร์กเลเยอร์ (Network Layer)

เลเยอร์นี้ถูกออกแบบมาเพื่อทำให้การส่งข้อมูลในเน็ตเวิร์ก ใช้พลังงานไม่มาก สามารถจัดการกับเน็ตเวิร์กที่มีจำนวนโหนดมากๆ ทำหน้าที่ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถสร้าง เน็ตเวิร์ก ขึ้นใหม่ได้
- สามารถเข้าร่วมและออกจาก เน็ตเวิร์ก ได้
- สามารถกำหนดค่าของสแตก (stack) ได้
- กำหนดแอดเดรสให้กับอุปกรณ์แต่ละตัวได้
- สามารถติดต่อกับอุปกรณ์อื่นๆแบบซิงโครไนเซชันได้
- ทำให้เฟรมรับส่งมีความปลอดภัย
- จัดหาเส้นทางของเฟรมปลายทาง

2.5.3.2 แอพพลิเคชันเลเยอร์ (Application Layer)

เลเยอร์นี้ของซิกบี ประกอบด้วย ตัวอุปกรณ์ซิกบีเชิงวัตถุ (ZDO: Zigbee Device Object), user-defined application profile(s) และ Application Support (APS) sub-layer

2.5.3.2.1 แอพพลิเคชันซัพพอร์ตเลเยอร์ (APS: Application Support Layer) ทำหน้าที่ดังนี้

- Discovery สามารถค้นหาและระบุได้ว่าอุปกรณ์ตัวใดติดต่ออยู่กับอุปกรณ์ตัวใดอยู่
- Binding สามารถจับคู่อุปกรณ์ไว้ด้วยกันได้โดยใช้ table of binding และ forward messages ระหว่างอุปกรณ์

2.5.3.2.2 ตัวอุปกรณ์ซิกบีเชิงวัตถุ (ZDO: Zigbee Device Object) ทำหน้าที่ดังนี้

- กำหนดหน้าที่ของอุปกรณ์แต่ละตัวภายในโครงข่าย เช่น โคออดิเนตซิกบีหรือเอนดิไวซ์
- สร้างหรือตอบสนองการร้องขอ
- สร้างระบบรักษาความปลอดภัยระหว่างอุปกรณ์ในโครงข่าย โดยเลือกจากซิกบีซีเคียวริตีเมตอด (Zigbee's security methods) เช่น public key, symmetric key

2.5.3.2.3 ยูเซอร์ ดีไฟน์แอพพลิเคชัน (User-defined application) หมายถึง เอนดีไวซ์ (end device) ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานซิกบี

2.5.3.3 ฟิสิคัลเลเยอร์ (Physical Layer)

IEEE 802.15.4 ถูกออกแบบมาเพื่อลดต้นทุนของความต้องการโดยการใช้วิธีไดเรกซีเควน (direct sequence) ซึ่งทำให้วงจรไฟฟ้ามีความง่ายมากขึ้น ทำให้ราคาของการติดตั้งลดลง ฟิสิคัลไทป์ดิไวซ์ (Physical type device) ที่จะช่วยลดต้นทุนของระบบมี 2 อย่างคือ ฟลูฟังก์ชันดิไวซ์ (FFD: full function devices) และ รีดิวฟังก์ชันดิไวซ์ (RFD: reduced function devices)

2.5.3.3.1 Full function device (FFD)

- สามารถฟังก์ชันได้ในทุกๆโทโปโลยี
- สามารถทำเป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างเครือข่ายได้
- สามารถทำเป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อได้
- สามารถติดต่อได้กับทุกๆ อุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3.3.2 Reduced function device (RFD)

- ทำได้เฉพาะในโทโปโลยีแบบสตาร์
- ไม่สามารถเป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างเครือข่ายได้
- สามารถคุยได้กับอุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างเครือข่ายเท่านั้น
- สะดวกในการติดตั้ง

IEEE 802.15.4 โครงข่ายซิกบี ต้องการฟลูฟังก์ชันดิไวซ์ ที่เป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างเครือข่ายอย่างน้อยหนึ่งตัว แต่ตัว End point device จะต้องเป็นรีดิวฟังก์ชันดิไวซ์ เพื่อที่จะลดต้นทุน

2.5.3.4 Media access control (MAC) layer

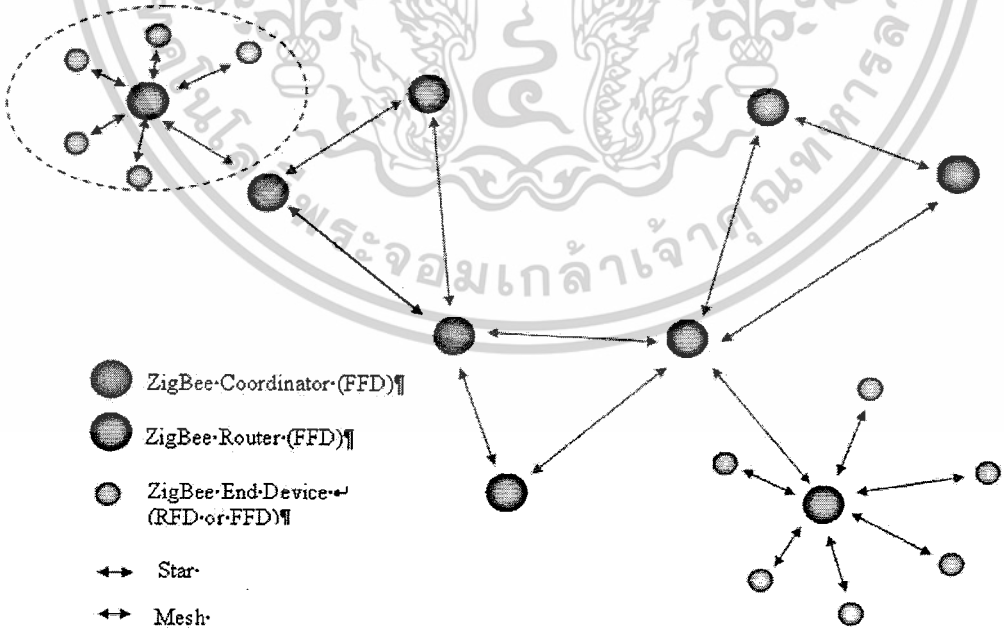
เลเยอร์นี้ถูกออกแบบมาเพื่อให้สามารถใช้โทโปโลยีได้หลายแบบโดยไม่ซับซ้อน ซึ่งทำให้สามารถใช้งานได้กับอุปกรณ์จำนวนมากๆ

2.5.4 อุปกรณ์ซิกบี ดังรูปที่ 2.27 แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

2.5.4.1 ซิกบีโคออดิเนต (Zigbee Coordinator) ทำหน้าที่สร้างโครงข่ายจัดการโหนดในโครงข่ายและเก็บข่าวสารของโหนดในโครงข่าย

2.5.4.2 ซิกบีเราเตอร์ (Zigbee Router) ทำหน้าที่จัดการเส้นทางของข้อมูลที่ส่งผ่านภายในโครงข่ายระหว่างโหนดที่ส่งผ่านภายในโครงข่ายระหว่างโหนด

2.5.4.3 ซิกบีเอนดิไวซ์ (Zigbee end Device) เป็นจุดปลายของโครงสร้างเครือข่าย อยู่ในส่วนของผู้ใช้งานโดยสามารถเป็นได้ทั้งแบบรีดิวฟังก์ชันดิไวซ์ และแบบฟลูฟังก์ชันดิไวซ์



รูปที่ 2.27 ตัวอย่างการสร้างเครือข่ายของอุปกรณ์ ซิกบี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5 การส่งข้อมูลของโมดูลไร้สายซิกบี

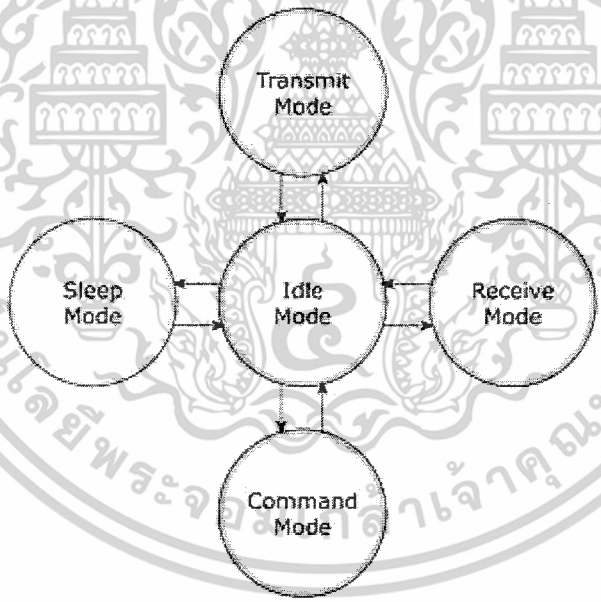
การส่งข้อมูลแบบอาร์เอฟ (RF) ของแต่ละแพ็กเกจในส่วนของเฮดเดอร์ จะประกอบไปแอดเดรสต้นทางและแอดเดรสปลายทาง โดยที่ IEEE802.15.4 จะมีโครงสร้าง 2 แบบ นั่นคือแบบสั้น 16 บิต แอดเดรส (short 16-bit addresses) และแบบยาว 64 บิตแอดเดรส (long 64-bit addresses) ซึ่ง 64 บิต แอดเดรสจะสามารถอ่านคำสั่ง SL (Serial Number Low) และ SH (Serial Number High) และการส่งข้อมูลแบบอาร์เอฟ จะส่งได้ 2 โหมด คือ โหมดยูนิแคส (Unicast Mode) และโหมดบรอดแคส (Broadcast Mode)

- การส่งแพ็คเกจโดยใช้โครงสร้าง 16 บิตแอดเดรส ให้ตั้งค่าตัวแปร DL (Destination Address Low) ให้เท่ากับ ตัวแปร MY และตั้งค่าตัวแปร DH (Destination Address High) เป็น '0'

- การส่งแพ็คเกจโดยใช้โครงสร้าง 64 บิตแอดเดรส ให้ตั้งค่าแอดเดรสปลายทาง (DL + DH) ให้เข้ากับแอดเดรสต้นทาง (SL + SH) ของปลายทางที่จะส่งแพ็คเกจไป

2.5.6 การทำงานของซิกบี

การทำงานของซิกบี แบ่งได้ออกเป็น 5 โหมด ดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 แผนภาพแสดงโหมดการทำงานของซิกบี

- Idle Mode เป็นโหมดที่ไม่มีการรับส่งข้อมูล และเป็นโหมดกลางที่สามารถเปลี่ยนไปยังโหมดต่างๆได้

- Transmit Mode มีการส่งข้อมูลได้สองวิธี

1. Direct Transmission – ข้อมูลทั้งหมดจะถูกส่งไปยัง Destination Address ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Indirect Transmission – ข้อมูลจะถูกเก็บไว้จนกว่าจะถึงเวลาส่งเท่านั้น และจะส่งไปยังที่มีการตอบรับมา (Source Address = Destination Address)

- **Receive Mode** ข้อมูล RF จะถูกรับทางสายอากาศ

- **Sleep Mode** RF อยู่ในสถานะที่มีการใช้กำลังไฟฟ้าต่ำหรือไม่มีการใช้ การเข้ามาอยู่ในโหมดนี้จะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขต่อไปนี้อย่างน้อยหนึ่งอย่าง (ค่าของตัวแปรSM ต้องไม่เป็น0)

1. มีการใช้งานที่ Sleep_RQ (pin 9)
2. อยู่โหมด idle (ไม่มีการรับส่งข้อมูล) เป็นเวลานานมากกว่าที่กำหนดไว้ที่ตัวแปร ST (Time before Sleep)

- **Command Mode** เป็นโหมดคำสั่งโดยจะใช้ลำดับเป็นสำคัญ

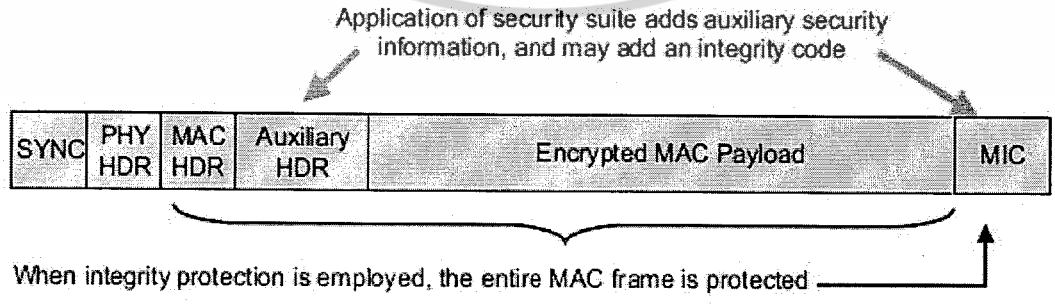
2.5.7 ความปลอดภัยของซิกบี

ความสำเร็จของ ซิกบี เน็ตเวิร์ก เลเยอร์ คือ การระบุตำแหน่งเครือข่ายเครือข่ายแบบประสานเวลา (Synchronization) ความปลอดภัยของเฟรม (Frames security) และการหาเส้นทางของข้อมูล

ซิกบี มีการรักษาความปลอดภัยโดยใช้กุญแจสมมาตร (Symmetric key) มีการรักษาความปลอดภัยระหว่าง เลเยอร์ ครอบคลุมทั้งเครือข่ายและแอพพลิเคชันเลเยอร์ สนับสนุนความปลอดภัยระหว่างโหนดคือต้นทางและปลายทางจะต้องมีการใช้กุญแจตัวเดียวกันในการเข้าถึงข้อมูลนอกจากนั้นหากเฟรมแมค (MAC Frame) ต้องการความปลอดภัย ชั้นแมคเลเยอร์ก็จะช่วยรักษาความปลอดภัย

ในแมคเลเยอร์ 802.15.4 AES มีกลไกการรักษาความปลอดภัยอย่างเหมาะสมมีการป้องกันความเป็นส่วนตัว ความมั่นคง การระบุตัวตนของเฟรมแมค

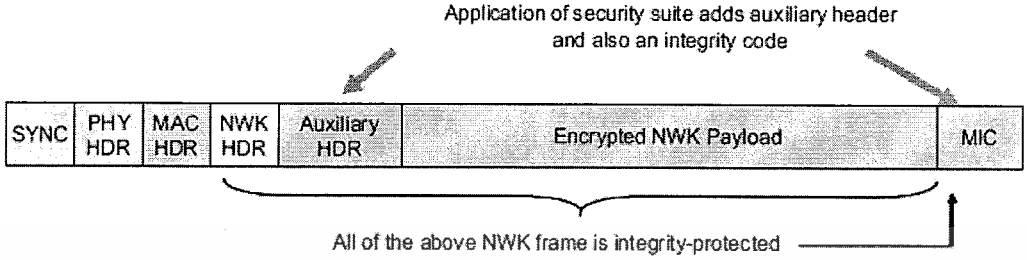
Auxiliary Header ที่อยู่หน้าแมคเพลโหลด (Mac payload) เป็นตัวบอกว่าเฟรมนั้นมีการเข้ารหัสข้อมูลหรือไม่ ความสมบูรณ์ของเฟรมตรวจสอบโดยคำนวณเอ็มไอซี (MIC) ที่อยู่หลังแมคเพลโหลดมีการใช้ AES ในการตรวจสอบตัวบุคคลในบางโอกาส รูปที่2.29 แสดงเฟรมแมคกับการรักษาความปลอดภัย สำหรับรูปแบบการใช้งาน AES มีการใช้หลายโหมด เช่น สำหรับการเข้ารหัสใช้โหมดเคาน์เตอร์ (CRT) การตรวจสอบความสมบูรณ์ของเฟรมใช้โหมดซีบีซีแมค (CBC-MAC) และโหมดซีซีเอ็ม (CCM) ที่สามารถใช้ในการเข้ารหัสและการตรวจสอบความสมบูรณ์ของเฟรมได้



รูปที่ 2.29 เฟรมแมคกับการรักษาความปลอดภัย

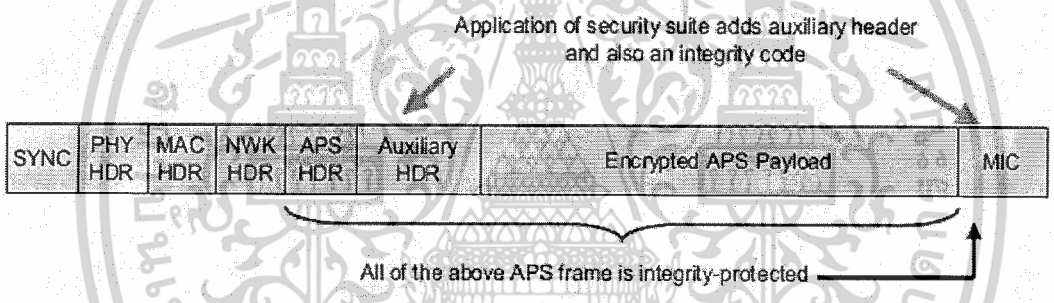
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในเน็ตเวิร์กเลเยอร์ใช้ซีซีเอ็มในการเข้ารหัส เพราะเน็ตเวิร์กเลเยอร์ใช้เฉพาะโหมดซีซีเอ็ม สำหรับทุกๆรูปแบบของการรักษาความปลอดภัย ข้อความที่มีการรักษาความปลอดภัยมีความคล้ายคลึงกับเฟรมแมค ดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 การรักษาความปลอดภัยในเน็ตเวิร์กเลเยอร์

ความปลอดภัยในแอพพลิเคชันเลเยอร์ทำงานคล้ายเน็ตเวิร์กเลเยอร์ และแมคเลเยอร์ โดยใช้ "link key" หรือ "Network key" ในการป้องกันข้อมูลและห่อหุ้มข้อมูลเอาไว้ภายในดังรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 การรักษาความปลอดภัยในแอพพลิเคชันเลเยอร์

2.6 เครือข่ายอีเทอร์เน็ท

ระบบเครือข่ายอีเทอร์เน็ทเป็นระบบเครือข่ายท้องถิ่นหรือแลน ประกอบด้วยส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ทำงานร่วมกันเพื่อการส่งถ่ายข้อมูลในระบบดิจิทัลระหว่างคอมพิวเตอร์ระบบที่ใช้อีเทอร์เน็ทนั้นเหมาะกับงานที่ต้องการรับส่ง/ข้อมูลในอัตราความเร็วสูงเป็นช่วงๆเป็นครั้งคราว การรับ/ส่งข้อมูลในเครือข่ายแบบอีเทอร์เน็ท แต่ละครั้งเป็นไปอย่างไม่มีวินัย นั่นคือเมื่อตรวจสอบแล้วว่าในขณะนั้นไม่มีเครื่องอื่นๆ กำลังส่งข้อมูลแต่ละเครื่องจะแย่งกันส่งข้อมูลออกมา โดยเครื่องใดที่ส่งข้อมูลออกมาจะมีหน้าที่เฝ้าดูว่ามีเครื่องอื่นทำการส่งข้อมูลออกไปพร้อมกันด้วยหรือไม่ เพราะถ้าเกิดการส่งพร้อมกันแล้วจะก่อให้เกิดการชนกันของข้อมูล แต่ถ้าตรวจจับได้ว่ามีการชนกันขึ้นก็จะหยุดส่งแล้วรอคอยเป็นระยะเวลาสั้นๆ ก่อนจะทำการส่งข้อมูลออกไปอีกครั้งหนึ่ง เวลาที่ใช้ในการรอคอยนั้นเป็นค่าที่สุ่มขึ้นมา ซึ่งมีความสั้นยาวต่างกันไป เทคนิคหลายอย่างเช่นที่นำมาใช้ในการรอคอยเพื่อหลีกเลี่ยงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนกันซ้ำสองหนึ่งในนั้นคือคำนวณการเพิ่มระยะเวลารอคอยแบบ Exponential ซึ่งมีชื่อเรียกว่า Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD)

ระบบเครือข่ายอีเทอร์เน็ท มีลักษณะพิเศษดังนี้

- เป็นระบบเครือข่ายที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลในรูปแบบดิจิทัลที่มีความเร็วตั้งแต่ 10 เมกะบิตต่อวินาที จนถึง 1,000 บิตต่อวินาที (1 Gbps)
- เป็นเครือข่ายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ตั้งแต่ขนาด 205 เมตรจนถึงขนาด 4,000 เมตร
- ใช้โปรโตคอลการทำงานที่เรียกว่า CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect) ซึ่งเป็นมาตรฐานของ IEEE 802.3 นอกจากนี้ก็ยังมีมาตรฐาน IEEE 802.3u สำหรับ 100 เมกะบิตต่อวินาที แฟสอีเทอร์เน็ท (fast Ethernet) และ IEEE 2.3 สำหรับกิกะบิตอีเทอร์เน็ท (Gigabit Ethernet) รวมทั้ง IEEE 802.3ab สำหรับกิกะบิตอีเทอร์เน็ทที่ใช้สายทองแดง
- หนึ่งเครือข่ายอีเทอร์เน็ท สามารถมีอุปกรณ์เชื่อมต่อ เช่น คอมพิวเตอร์ลูกข่าย อุปกรณ์วงจรทวนสัญญาณ เป็นต้น ได้มากมายถึง 1,024 รายการหรือเรียกว่าโหนด
- เป็นระบบเครือข่ายที่มีการเชื่อมต่อในรูปแบบบัสและ สตาร์โทโปโลยี
- อุปกรณ์ที่ใช้มีราคาประหยัด
- มีความน่าเชื่อถือสูง โดยเฉพาะหากใช้สื่อที่เป็นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber)
- มีเครื่องมือในรูปแบบของซอฟแวร์ที่ใช้บริหารจัดการเครือข่ายมากมายที่ทำงานภายใต้เอสเอ็นเอ็มพี (SNMP: Simple Network Management Protocol)

2.6.1 ส่วนประกอบหลักที่สำคัญของเครือข่ายอีเทอร์เน็ท

ระบบเครือข่ายอีเทอร์เน็ท มีส่วนประกอบหลักซึ่งเมื่อทำงานด้วยกันแล้วก็จะเป็นเครือข่ายที่มีประสิทธิภาพการทำงานสูงดังนี้

1. ตัวเฟรมเป็นชุดรูปแบบของบิตข้อมูลข่าวสารที่ใช้ส่งผ่านมาบนระบบ หากไม่มีเฟรมเราจะไม่สามารถสื่อสารข้อมูลบนเครือข่ายได้ การรับส่งข้อมูลข่าวสารบนเครือข่ายอีเทอร์เน็ท จะต้องเป็นไปในรูปแบบเฟรมมาตรฐาน 2 แบบ และเป็นแบบใดแบบหนึ่งเท่านั้น (การ์ดแลนเป็นผู้สร้างเฟรมนี้ขึ้นมา)

2. ชุดโปรโตคอลที่ใช้ในการควบคุมการแอกเซสเข้าไปที่เครือข่าย (Media Access Control Protocol) ซึ่งประกอบด้วยชุดของกฎกติกาที่อยู่ในอีเทอร์เน็ทอินเตอร์เฟส (เช่น การ์ดแลน เป็นต้น) ซึ่งเป็นกฎมาตรฐานที่จะยอมให้คอมพิวเตอร์ต่างๆสามารถเข้ามาที่เครือข่ายและแบ่งใช้ทรัพยากรต่างๆบนเครือข่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. อุปกรณ์ที่ใช้รับส่งสัญญาณบนเครือข่าย (Signaling Components) ประกอบด้วยชุดของอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อและส่งสัญญาณเพื่อการรับส่งข้อมูลภายในเครือข่าย

4. สื่อที่ใช้ในการรับส่งสัญญาณข้อมูลบนเครือข่าย (Physical Medium) ประกอบด้วยสายสัญญาณรวมทั้งอุปกรณ์ทางฮาร์ดแวร์อื่นๆ ที่จะช่วยในการนำพาข้อมูลข่าวสารต่างๆ ในรูปแบบดิจิทัลวิ่งไปมาบนเครือข่าย

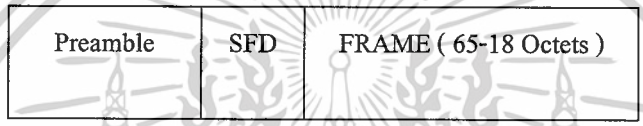
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 เฟรมบนระบบอีเทอร์เน็ท

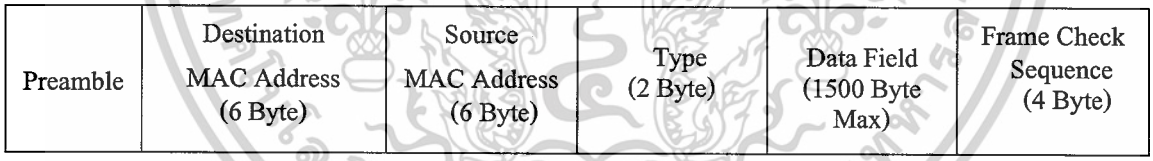
หัวใจสำคัญของระบบอีเทอร์เน็ท ได้แก่ เฟรมข้อมูลทางข่าวสารและอุปกรณ์ทางฮาร์ดแวร์ที่เชื่อมต่อสื่อสารบนเครือข่าย ซึ่งได้แก่ การ์ดอีเทอร์เน็ทแลน สายสัญญาณและอุปกรณ์เสริมอื่นๆ ที่จะช่วยนำพาข้อมูลในรูปแบบของบิตทางดิจิทัลที่เรียกว่า "เฟรม" วิ่งไปมาระหว่างคอมพิวเตอร์บนเครือข่าย

เฟรมข้อมูลสำหรับระบบอีเทอร์เน็ท ประกอบขึ้นด้วยกลุ่มของบิตที่เป็นข้อมูลและข่าวสารสำคัญแบ่งออกเป็นขนาดสัดส่วนที่แน่นอนที่เรียกว่า "ช่อง Field"

จากรูปที่ 2.32 แสดงให้เห็นรูปแบบของเฟรมข้อมูลที่ใช้บนอีเทอร์เน็ท ได้แก่ เฟรมอีเทอร์เน็ทตามมาตรฐาน IEEE 802.3 ส่วนรูปที่ 2.33 เป็น อีเทอร์เน็ท II เฟรม ซึ่งทั้งสองเฟรมจะมีความแตกต่างกันเล็กน้อย ทำให้เครือข่ายที่ใช้เฟรมแตกต่างกันนี้อาจไม่สามารถเข้ากันได้หมายความว่าระบบเครือข่ายอีเทอร์เน็ท จะต้องเลือกใช้อุปกรณ์เครือข่ายที่คอยสนับสนุนเฟรมอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น อย่างไรก็ดีมีผู้ที่ผลิตอุปกรณ์สนับสนุนเฟรมทั้งสองแบบไว้ในตัวเดียวกันด้วยเช่นกัน



รูปที่ 2.32 ลักษณะโครงสร้างของเฟรมข้อมูล



รูปที่ 2.33 ลักษณะของอีเทอร์เน็ท II เฟรม

2.6.3 เฟรมมาตรฐานของ IEEE802.3

- ช่อง Preamble

ช่อง Preamble ประกอบด้วยบิตข่าวสารที่เป็นเลข 1 และ 0 สลับกัน และสิ้นสุดที่ 11 ดังรูปที่ 2.34 ซึ่งเป็นบิตที่ 63 และ 64 เป็นบิตข่าวสารที่ยังไม่ใช่ข้อมูลจริงของผู้ส่ง Preamble ประกอบด้วยข่าวสารที่มีขนาด 7 หรือ 8 ไบต์ จุดประสงค์ของข่าวสารนี้ก็เพื่อใช้สร้างจังหวะการรับข้อมูลให้แก่ผู้รับ โดยที่ส่วนนี้จะไปถึงตัวผู้รับก่อน ทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์ของผู้รับสามารถปรับจังหวะความเร็วให้เข้ากับผู้ส่งได้ (Synchronize) สำหรับเฟรมแบบอีเทอร์เน็ท II จะมีขนาด 8 ไบต์ และถ้าเป็นมาตรฐาน IEEE802.3 แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องนี้จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1. Preamble

2. Start of Frame Delimeter

จุดประสงค์อีกประการหนึ่งของ Preamble ได้แก่ การทำให้แน่ใจว่าระยะเวลาความห่างระหว่างเฟรมที่ 1 กับเฟรมถัดมา จะมีความห่างอยู่ที่ 9.6 ไมโครวินาที โดยมาตรฐานทั้งนี้ก็เพื่อการปฏิบัติการตรวจสอบความผิดพลาดและกู้สถานการณ์เมื่อเกิดปัญหา

Preamble	
10101010101010101010101010101011010101	101010101010111

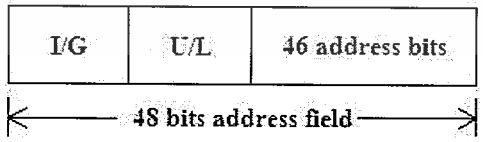
รูปที่ 2.34 แสดงส่วนการทำงานของ Preamble

ช่อง Preamble รวมทั้ง Start of Frame Delimeter นี้จะถูกถอดออกไปเป็นอันดับแรกหลังจากคอมพิวเตอร์ของผู้รับได้เฟรมข้อมูลนี้เป็นที่เรียบร้อยแล้ว โดยการ์ด LAN ของผู้รับจะทำการตรวจสอบว่าจำนวนบิตในช่อง Preamble มีครบ 64 บิตหรือไม่ หากไม่ครบก็แสดงว่าเป็นเฟรมที่ไม่สมบูรณ์ โดยอาจเป็นเฟรมที่หลงเหลือมาจากการชนกับเครือข่ายก็ได้ ลักษณะเช่นนี้ การ์ดแลนของผู้รับจะปฏิเสธที่จะรับและโยนทิ้ง (Frame Drop) ในทันที

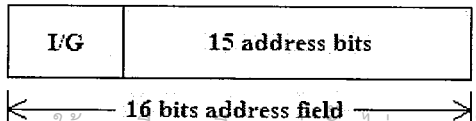
- ช่อง Destination Address

ในช่องแอดเดรสปลายทางประกอบด้วยข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับแอดเดรสหรือที่อยู่ของผู้รับปลายทาง ช่องนี้ถูกแบ่งออกเป็นช่องย่อยๆที่เรียกว่า ซับฟิลด์ (Sub-fields) ซึ่งเก็บข้อมูลข่าวสารที่ใช้ดูแลการทำงานของเครือข่าย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแอดเดรสที่ปรากฏอยู่ในช่องนี้ไม่ว่าช่องแอดเดรสนี้จะมีแอดเดรสที่ถูกเจาะจงเป็นรายบุคคลหรือเป็นกลุ่มของผู้รับก็ตาม

ก. ช่องข่าวสารขนาด 2 ไบต์



ข. ช่องข่าวสารขนาด 6 ไบต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ - หากค่าบิตในช่องย่อย I/G มีค่าเป็น "0" ก็หมายถึง แอดเดรสที่ระบุตัวคอมพิวเตอร์ผู้รับอย่างเฉพาะเจาะจง แต่ถ้ามีค่าเป็น "1" ก็หมายถึง คอมพิวเตอร์ที่ระบุแอดเดรสเป็นกลุ่มไม่เจาะจงเครื่องใดเครื่องหนึ่ง

หากค่าบิตในช่อง U/L มีค่าเป็น "0" ก็หมายความว่าแอดเดรสนี้ถูกกำหนดมาตรฐานโดย IEEE และถ้ามีค่าเป็น "1" ก็จะหมายถึงเป็นแอดเดรสมาตรฐานเฉพาะองค์กรที่ระบุมาตรฐานในซอฟต์แวร์ซึ่งแอดเดรสมาตรฐานที่เราใช้กันอยู่ทุกวันนี้ถูกควบคุมโดย IEEE

จากกรอบแผนผัง ก. และ ข. เป็นการแสดงรูปภาพในช่องย่อยๆของแอดเดรสปลายทาง ซึ่งมีทั้งแบบขนาด 2 ไบต์ สำหรับเฟรมแบบ IEEE 802.3 เท่านั้นส่วนแบบ 6 ไบต์ สำหรับเฟรมแบบอีเทอร์เน็ทและ IEEE 802.3 ผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้ช่องย่อยในแอดเดรสปลายทาง ทั้งแบบ 2 ไบต์และ 6 ไบต์ อย่างใดอย่างหนึ่งและเนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้เป็นแบบ IEEE 802.3 ดังนั้นทุกสถานีเครือข่ายทุกเครื่องจะต้องใช้โครงสร้างการอ้างอิงแอดเดรสแบบเดียวกันเสมอ เช่น หากเลือกใช้แบบ 2 ไบต์ก็หมายความว่าคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องที่เชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายจะต้องใช้แบบ 2 ไบต์ทั้งหมด ปัจจุบันเครือข่ายเกือบทั้งหมดใช้มาตรฐานแบบ 6 ไบต์ เพื่อการอ้างอิงแอดเดรสถึงกัน แต่ก็ยังร่วมช่องขนาด 2 ไบต์นี้เข้าไปเป็นทางเลือกอีกด้วย

- ช่อง I/G

มีการจัดตั้งค่าบิตขึ้นในช่องนี้โดยการ์ดแลน ซึ่งหากค่านี้ถูกตั้งค่าไว้ที่ "0" ก็แสดงว่าตัวแอดเดรสที่ระบุอยู่ในช่องแอดเดรสปลายทางนั้นเป็นแอดเดรสที่ระบุตัวคอมพิวเตอร์ผู้รับแบบเฉพาะเจาะจง แต่ถ้าถูกตั้งค่าเป็น "1" ก็แสดงว่าแอดเดรสในช่องแอดเดรสปลายทางนี้เป็นแอดเดรสที่ใช้ติดต่อผู้รับที่เป็นกลุ่มคอมพิวเตอร์ทั้งหลาย เราเรียก กรุ๊ปแอดเดรส (Group Address) ตัวอย่างกรุ๊ปแอดเดรส ได้แก่ "FFFFFFFFFFFF" ซึ่งถือว่าเป็นบรอดแคสติงแอดเดรส (Broadcasting Address) หรือแอดเดรสที่ไม่เจาะจงผู้รับ โดยผู้รับเป็นกลุ่มหรือทั้งหมดก็สามารถรับข้อมูลข่าวสารนี้ได้

- ช่องย่อย U/L

ช่องย่อย U/L มีไว้สำหรับช่องขนาด 6 ไบต์เท่านั้น ค่าที่ถูกตั้งไว้ในช่องย่อยนี้เป็นการบ่งบอกให้ทราบว่าแอดเดรสที่ปรากฏอยู่ในช่องแอดเดรสปลายทางนี้เป็นแอดเดรสที่ถูกกำหนดมาตรฐานโดย IEEE หรือองค์กรอย่างเฉพาะเจาะจง

- ช่อง Source Address

สำหรับช่องแอดเดรสต้นทางนี้ มีไว้เพื่อแสดงตัวสถานีเครือข่ายต้นทางที่เป็นต้นทางส่งข้อมูลข่าวสารเข้ามาและเช่นเดียวกับช่องแอดเดรสปลายทาง กล่าวคือ ช่องแอดเดรสต้นทางสามารถมีช่องย่อยได้ทั้งแบบ 2 ไบต์หรือ 6 ไบต์อย่างใดอย่างหนึ่ง

ช่องย่อยแอดเดรสต้นทางแบบ 2 ไบต์ใช้กับมาตรฐาน IEEE 802.3 และต้องใช้แอดเดรสปลายทางขนาด 2ไบต์เท่านั้น รวมทั้งทุกสถานีลูกข่ายจะต้องใช้ช่องแอดเดรสขนาด 2 ไบต์ส่วนช่องย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาด 6 ไบต์ สามารถใช้ได้ทั้งมาตรฐานอีเทอร์เน็ท ทั่วไปและ IEEE 802.3 และเมื่อมีการเลือกใช้ช่องย่อย 6 ไบต์ก็จะมีการกำหนดให้ 3 ไบต์แรกเป็นแอดเดรสที่ IEEE กำหนดให้ผู้ผลิตต่างๆ ซึ่งแอดเดรสนี้จะถูกฝังตัวอยู่ในไมโครชิป บนการ์ดแลน ส่วนที่เหลืออีก 3 ไบต์ ก็จะเป็นแอดเดรสที่ผู้ผลิตการ์ดแลน แต่ละแห่งนำไปกำหนดกันเองต่อไป แสดงตัวอย่างแอดเดรสต้นทางของผู้ผลิตดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ตัวอย่างแอดเดรสต้นทางของผู้ผลิต

ผู้ผลิตการ์ดแลน	รหัสผู้ผลิตขนาด 3 ไบต์
Cisco	00-00-0C
Cabletron	00-00-1D
Intel	00-AA-00
3 Com	02-60-8C
Hewlett Packard	08-00-09
Sun	08-00-20
DEC	08-00-2B
Shiva	00-80-D
Xerox	00-00-AA
IBM	08-00-5A

- ช่อง แสดง TYPE

ช่องแสดงไทป์ (Type) มีขนาด 2 ไบต์ใช้กับ อีเทอร์เน็ทเฟรมเท่านั้น โดยช่องนี้ใช้เพื่อแสดงว่าโปรโตคอลการทำงานของเฟรมนี้เป็นแบบใด จุดประสงค์ คือ เพื่อต้องการให้ทราบว่าข้อมูลที่อยู่ในเฟรมนี้จะทำงานภายใต้โปรโตคอลใด ซึ่งผู้รับจะได้เตรียมการแปลความหมายที่อยู่ในช่องข้อมูลได้ถูกต้อง

ภายใต้ระบบเครือข่ายอีเทอร์เน็ท เราสามารถใช้โปรโตคอลได้หลายตัวพร้อมกันบนเครือข่ายแลนและบริษัท XEROX ทำหน้าที่เป็นผู้ให้บริการกำหนดพิกัดระยะของแอดเดรสที่เป็นลิขสิทธิ์ให้แก่ผู้ผลิตการ์ดแลนต่างๆ รวมทั้งการกำหนดค่าที่ใช้แสดงแทนโปรโตคอลที่ใช้ในช่องไทป์ ดังตารางที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 แสดงรหัสที่ใช้แสดงโปรโตรคอลในช่องไทป์

โปรโตรคอลที่ใช้	ค่าที่เป็นรหัสแบบเลขฐาน 16
IP	0800
X.75 Internet	0801
X.25 Level 3	0805
Address Resolution Protocol (ARP)	0806
Banyan Systems	0BAD
BBN Simnet	5208
DEC MOP Dump/Load	6001
DEC MOP Remote Console	6002
DEC DECNET Phase IV Route	6003
DEC LAT	6004
DEC Diagnostic Protocol	6005
DEC LANBridge	8038
DEC Ethernet Encryption	803D
Apple Talk	809B
IBM SNA Service on Ethernet	80D5
Apple Talk ARP	80F3
NetWare IPX/SPX	8137
SNMP	814C

- ช่อง TYPE

ช่องนี้มีขนาดความยาวเพียง 2 ไบต์ใช้ได้กับเฟรมมาตรฐาน IEEE802.3 เท่านั้นเป็นช่องที่ใช้แสดงขนาดจำนวนของไบต์ที่มีปรากฏอยู่ในช่องดาต้า (Data)

ภายใต้มาตรฐานอีเทอร์เน็ท และ IEEE 802.3 ขนาดของเฟรมจะมีขนาดเล็กที่สุดไม่ต่ำกว่า 64 ไบต์ นับตั้งแต่ชุดแรกสุดคือ Preamble จนถึงช่องสุดท้าย ได้แก่ FCS และการกำหนดให้มีขนาดเล็กที่สุดไม่น้อยกว่า 64 ไบต์นี้ จุดประสงค์ก็เพื่อให้แน่ใจว่าช่วงระยะการส่งข้อมูลมีมากพอที่จะทำให้การ์ดแลนสามารถตรวจพบการเกิดการชนกันของข้อมูลบนสายสัญญาณที่มีขนาดความยาวที่สุดของเครือข่าย หากขนาดเฟรมเล็กกว่า 64 ไบต์ ก็อาจเกิดปัญหาการชนกันของข้อมูล ซึ่งจะนำไปสู่ปัญหาบนเครือข่ายได้

บนพื้นฐานของเฟรมขนาดเล็กที่สุดคือ 64 ไบต์ และมีการใช้ช่องแอดเดรสขนาด 2 ไบต์ หมายความว่าช่องสำหรับดาต้า จะต้องมีขนาดเล็กสุดไม่ต่ำกว่า 46 ไบต์ (เมื่อหักขนาดและจำนวนช่องต่างๆออกไปหมดแล้ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อใดที่ข้อมูลมีขนาดเล็กกว่า 46 ไบต์ช่องของดาต้า ที่อยู่ในเฟรมจะถูกใส่ค่าเพิ่มให้ได้อย่างน้อยเป็น 46 ไบต์

- ช่อง Data (Data Field)

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าช่องของ ดาต้าอย่างน้อยต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 46 ไบต์เพื่อให้แน่ใจว่าเฟรมมีขนาดไม่ต่ำกว่า 64 ไบต์ซึ่งหมายความว่าการแพร่ข้อมูลขนาดหนึ่งไม่ว่า 1 หรือ 10 ไบต์ก็ตามต้องมาจาก 46ไบต์นี้แต่ถ้าข้อมูลในช่องนี้เล็กกว่า 46ไบต์ แน่นอนว่าต้องมีการเพิ่มไบต์ลงไปอีกเพื่อให้ได้ขนาด 46 ไบต์อยู่ดี ขนาดของข้อมูลที่อยู่ใน ดาต้า จะต้องมีขนาดสูงสุดไม่เกิน 1,500 ไบต์ช่องตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลในเฟรม (Frame Check Sequence)

- ช่อง Frame Check Sequence

ใช้ได้ในเฟรมมาตรฐานทั้งอีเทอร์เน็ท และ IEEE802.3 เป็นช่องที่ประกอบด้วยข้อมูลที่ใช้เป็นกลไกในการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลภายในเฟรม

หลักการทำงานมีอยู่ว่า ก่อนที่เครื่องผู้ส่งจะส่งข้อมูลออกไปที่เครือข่ายการ์ดแลน จะคำนวณค่าต่างๆ ในช่องต่างๆซึ่งครอบคลุมตั้งแต่ช่องแอดเดรส ต่างๆของไทป์ และช่อง Length รวมทั้งช่องดาต้า การคำนวณค่าแบบนี้เรียกว่า Cyclic Redundancy Check (CRC) ซึ่งหลังจากที่ได้คำนวณค่าเสร็จสิ้นแล้ว ผลลัพธ์ที่คำนวณได้มีขนาด 4 ไบต์จะถูกนำไปใส่ไว้ในช่องตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลในเฟรมแห่งนี้

เมื่อเฟรมถูกส่งมาถึงผู้รับแล้ว ตัวการ์ดแลนของผู้รับจะทำการตรวจสอบค่าที่อยู่ในช่อง Preamble เพื่อดูว่ามีความถูกต้องหรือไม่ เพื่อให้แน่ใจว่าเฟรมที่ทำการตรวจสอบอยู่นี้ไม่ได้เป็นเฟรมที่เหลือรอดจากการชนกันของสัญญาณในเครือข่ายและหาก Preamble ไม่มีปัญหาเรื่องความถูกต้องก็จะมีการคำนวณค่าที่อยู่ในช่องตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลในเฟรมต่อไป หากมีความผิดพลาดกล่าวคือค่าที่ได้ไม่ตรงกับค่าที่ได้จากการที่คำนวณได้จากต้นทางแสดงว่าเป็นเฟรมที่มีปัญหา ซึ่งก็มักเป็นปัญหาจากสายสัญญาณรวมทั้งสัญญาณรบกวน ซึ่งในที่สุดการ์ดแลน ก็จะปฏิเสธที่จะรับเฟรมที่เข้ามานี้ในที่สุด

2.6.4 ข้อกำหนดเกี่ยวกับขนาดของดาต้าเฟรม

ขนาดของดาต้าเฟรม มีมาตรฐานดังต่อไปนี้

- ขนาดเล็กที่สุด ต้องไม่น้อยกว่า 64 ไบต์ โดยมี 12 ไบต์สำหรับแอดเดรส 2 ไบต์สำหรับช่อง Length 46 ไบต์สำหรับเก็บข้อมูล และ 4 ไบต์สำหรับตรวจสอบความผิดพลาดข้อมูล

- ขนาดใหญ่ที่สุด ต้องไม่เกิน 1,518 ไบต์ โดยแบ่งออกเป็น 12 ไบต์สำหรับแอดเดรส 2 ไบต์สำหรับ Length 1,500 ไบต์สำหรับข้อมูล และ 4 ไบต์สำหรับช่องตรวจสอบความผิดพลาดข้อมูล

- เฟรมที่มีขนาดเล็กที่สุด 64 ไบต์นี้เทียบกับ 512 บิต (Bit/Byte) โดยที่ระบบ อีเทอร์เน็ท มีค่าบิตไทม์ (Bit Time) อยู่ที่ 0.1 ไมโครวินาที (Bit Time เป็นช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลขนาด 1 บิต) ดังนั้นการส่งข้อมูลขนาดเล็กที่สุดคือ 64 ไบต์จะต้องใช้เวลาอยู่ที่ 51.2 ไมโครวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 โปรโตคอลทีซีพี/ไอพี (Protocol TCP/IP)

โปรโตคอลทีซีพี/ไอพี (TCP/IP :Transmitsion Control Protocol/Internet Protocol) เป็นชุดของโปรโตคอลที่ถูกใช้ในการสื่อสารผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถใช้สื่อสารจากต้นทางข้ามเครือข่ายไปยังปลายทางได้ และสามารถหาเส้นทางที่จะส่งข้อมูลไปได้เองโดยอัตโนมัติ ถึงแม้ว่าในระหว่างทางอาจจะผ่านเครือข่ายที่มีปัญหา โปรโตคอลก็ยังคงหาเส้นทางอื่นในการส่งผ่านข้อมูลไปให้ถึงปลายทางได้

ชุดโปรโตคอลนี้ได้รับการพัฒนามาตั้งแต่ปี 1960 ซึ่งถูกใช้เป็นครั้งแรกในเครือข่าย ARPANET ซึ่งต่อมาได้ขยายการเชื่อมต่อไปทั่วโลกเป็นเครือข่ายอินเตอร์เน็ต ทำให้ ทีซีพี/ไอพีเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางจนถึงปัจจุบัน

2.7.1 จุดประสงค์ของทีซีพี/ไอพี

ทีซีพี/ไอพีมีจุดประสงค์ของการสื่อสารตามมาตรฐาน สามประการคือ

1. เพื่อใช้ติดต่อสื่อสารระหว่างระบบที่มีความแตกต่างกัน

2. ความสามารถในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบเครือข่าย เช่นในกรณีที่ผู้ส่งและผู้รับยังคงมีการติดต่อกันอยู่ แต่โหนดกลางที่ใช้เป็นผู้ช่วยรับ-ส่งเกิดเสียหายใช้การไม่ได้ หรือสายสื่อสารบางช่วงถูกตัดขาด กฎการสื่อสารนี้จะต้องสามารถจัดหาทางเลือกอื่นเพื่อทำให้การสื่อสารดำเนินต่อไปได้โดยอัตโนมัติ

3. มีความคล่องตัวต่อการสื่อสารข้อมูลได้หลายชนิด ทั้งแบบที่ไม่มีความเร่งด่วน เช่น การจัดส่งแฟ้มข้อมูล และแบบที่ต้องการรับประกันความเร่งด่วนของข้อมูล เช่น การสื่อสารแบบเรียลไทม์ (real-time) และทั้งการสื่อสารแบบเสียง (Voice) และข้อมูล (data)

2.7.2 โครงสร้างของ โปรโตคอลทีซีพี/ไอพี

- แอพพลิเคชันเลเยอร์

มีโปรโตคอลสำหรับสร้างจอเทอร์มินัลเสมือนช่วยให้ผู้ใช้สามารถติดต่อกับเครื่องโฮสต์ที่อยู่ไกลออกไปโดยผ่านอินเทอร์เน็ต และสามารถทำงานได้เสมือนกับว่ากำลังนั่งทำงานอยู่ที่เครื่องโฮสต์นั้น เรียกว่า เทลเน็ต (TELNET) โปรโตคอลสำหรับการจัดการแฟ้มข้อมูลช่วยในการคัดลอกแฟ้มข้อมูลมาจากเครื่องอื่นที่อยู่ในระบบเครือข่ายหรือส่งสำเนาแฟ้มข้อมูลไปยังเครื่องใดๆก็ได้ เรียกว่า เอฟทีพี (FTP) และโปรโตคอลสำหรับให้บริการจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ช่วยในการจัดส่งข้อความไปยังผู้ใช้ในระบบ หรือรับข้อความที่มีผู้ส่งเข้ามาเรียกว่า เอสเอ็มทีพี (SMTP)

- ทรานสปอร์ตเลเยอร์

แบ่งเป็นโปรโตคอล 2 ชนิดตามลักษณะ ลักษณะแรกเรียกว่า ทีซีพี (TCP: Transmission Control Protocol) เป็นแบบที่มีการกำหนดช่วงการสื่อสารตลอดระยะเวลาการสื่อสาร (connection-oriented) ซึ่งจะยอมให้มีการส่งข้อมูลเป็นแบบไบต์สตรีม (Byte stream) ที่ไว้ใจได้โดยไม่มีข้อผิดพลาด ข้อมูลที่มีปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนเล็กๆ เรียกว่า แมสเซส (message) ซึ่งจะถูกส่งไปยังผู้รับผ่านทางชั้นสื่อสารของอินเทอร์เน็ต ทางฝ่ายผู้รับจะนำแมสเซสมาเรียงต่อกันตามลำดับเป็นข้อมูลตัวเดิม ทีซีพียังมีความสามารถในการควบคุมการไหลของข้อมูลเพื่อป้องกันไม่ให้ผู้ส่ง ส่งข้อมูลเร็วเกินกว่าที่ผู้รับจะทำงานได้ทันอีกด้วย

โปรโตคอลการนำส่งข้อมูลแบบที่สองเรียกว่า ยูดีพี (UDP :User Datagram Protocol) เป็นการติดต่อแบบไม่ต่อเนื่อง (connectionless) มีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลแต่จะไม่มีการแจ้งกลับไปยังผู้ส่ง จึงถือได้ว่าไม่มีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้มีข้อดีในด้านความรวดเร็วในการส่งข้อมูล จึงนิยมใช้ในระบบผู้ให้และผู้ใช้บริการ (client/server system) ซึ่งมีการสื่อสารแบบถาม/ตอบ (request/reply) นอกจากนั้นยังใช้ในการส่งข้อมูลประเภทภาพเคลื่อนไหวหรือการส่งเสียง (voice) ทางอินเทอร์เน็ต

- อินเตอร์เน็ตเลเยอร์

ใช้ประเภทของระบบการสื่อสารที่เรียกว่า ระบบเครือข่ายแบบสลับช่องสื่อสารระดับแพ็กเก็ต (packet-switching network) ซึ่งเป็นการติดต่อแบบไม่ต่อเนื่อง (Connectionless) หลักการทำงานคือการปล่อยให้ข้อมูลขนาดเล็กที่เรียกว่า แพ็กเก็ต (Packet) สามารถไหลจากโหนดผู้ส่งไปตามโหนดต่างๆ ในระบบจนถึงจุดหมายปลายทางได้โดยอิสระ หากว่ามีการส่งแพ็กเก็ตออกมาเป็นชุดโดยมีจุดหมายปลายทางเดียวกันในระหว่างการเดินทางในเครือข่าย แพ็กเก็ตแต่ละตัวในชุดนี้ก็จะเป็นอิสระแก่กันและกัน ดังนั้น แพ็กเก็ตที่ส่งไปถึงปลายทางอาจจะไม่เป็นไปตามลำดับก็ได้

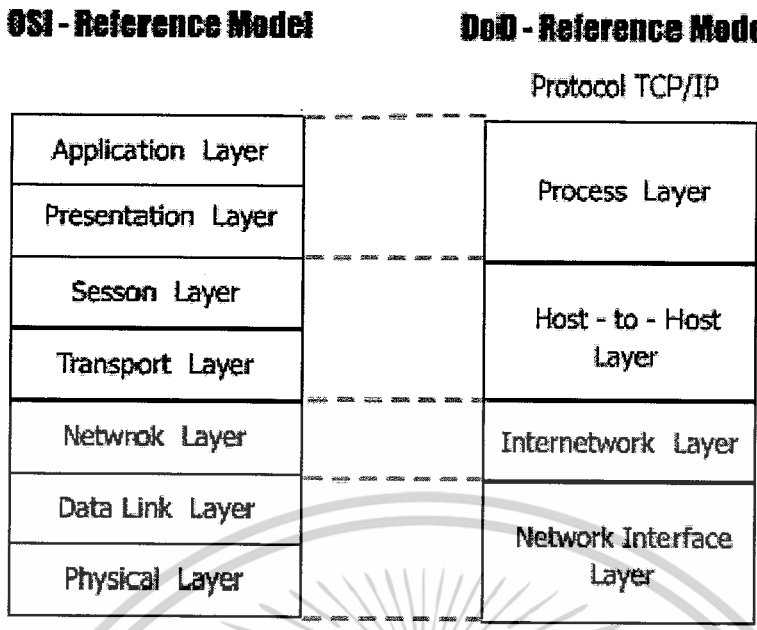
- เน็ตเวิร์กแอคเซสเลเยอร์

โปรโตคอลสำหรับการควบคุมการสื่อสารในชั้นนี้เป็นสิ่งที่ไม่มีการกำหนดรายละเอียดอย่างเป็นทางการ หน้าที่หลักคือการรับข้อมูลจากชั้นสื่อสารไอพี มาแล้วส่งไปยังโหนดที่ระบุไว้ในเส้นทางเดิน ข้อมูลทางด้านผู้รับก็จะทำงานในทางกลับกัน คือรับข้อมูลจากสายสื่อสารแล้วนำส่งให้กับโปรแกรมในชั้นสื่อสาร

DoD - Reference Model นั้นเป็นรูปแบบมาตรฐาน ของระบบเครือข่าย ที่ใช้ โปรโตคอล ทีซีพี/ไอพีซึ่งชื่อของ ทีซีพี/ไอพีมาจากชื่อของโปรโตคอล 2 ตัวคือ ทีซีพี (TCP :Transmission Control Protocol) และไอพี (IP:Internet Protocol) โดยรูปแบบของข้อมูลมีลักษณะเป็นแพ็กเกต (Packet) คือ เป็นอินเทอร์นัลแพ็กเกต (Internal Packet) ซึ่งไม่ขึ้นอยู่กับฟิสิคัลเน็ตเวิร์ก ทำให้ผู้ใช้มองเห็นลักษณะเครือข่ายคอมพิวเตอร์ทั้งหมดที่เชื่อมต่อกันเป็นเครือข่ายเดียวกัน

โดยเมื่อได้เทียบลำดับชั้น (Layer) กับมาตรฐานของ OSI - Reference Model แล้ว จะเป็นดังรูปที่ 2.35 ซึ่ง เราจะเห็นว่า บาง เลเยอร์ ของ ทีซีพี/ไอพีนั้นจะเทียบได้กับ มาตรฐาน ISO Model ได้ 2 ชั้น อย่างเช่น เลเยอร์ ของโพรเซสเลเยอร์ ของโปรโตคอลทีซีพี/ไอพีจะเทียบได้กับ 2 เลเยอร์ คือ แอพพลิเคชันเลเยอร์ กับพรีเซ็นเทชันเลเยอร์ ของ OSI - Reference Model รวมกัน

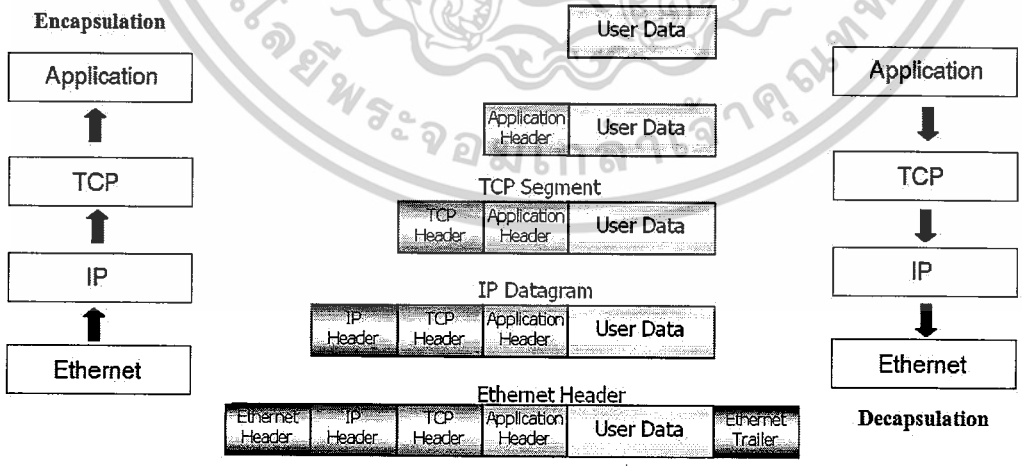
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.35 OSI Model เทียบกับ DoD Model

การเอนแคปซูเลชัน/ดีแคปซูเลชัน (Encapsulation / Decapsulation)

การส่งข้อมูลผ่านในแต่ละเลเยอร์ แต่ละเลเยอร์จะทำการประกอบข้อมูลที่ได้รับมา กับข้อมูลส่วนควบคุมซึ่งถูกนำมาไว้ในส่วนหัวของข้อมูลเรียกว่า เฮดเดอร์ ภายในเฮดเดอร์จะบรรจุข้อมูลที่สำคัญของโปรโตคอลที่ทำการเอนแคปซูเลชันเมื่อผู้รับได้รับข้อมูล ก็จะเกิดกระบวนการทำงานย้อนกลับคือโปรโตคอลเดียวกัน ทางฝั่งผู้รับก็จะได้รับข้อมูลส่วนที่เป็นเฮดเดอร์ก่อนและนำไปประมวลและทราบว่าข้อมูลที่ตามมามีลักษณะอย่างไร ซึ่งกระบวนการย้อนกลับนี้เรียกว่าดีแคปซูเลชัน ดังรูปที่ 2.36



รูปที่ 2.36 ขั้นตอนการแคปซูเลชัน และการดีแคปซูเลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันในแต่ละเลเยอร์มีชื่อเรียกแตกต่างกัน ดังนี้

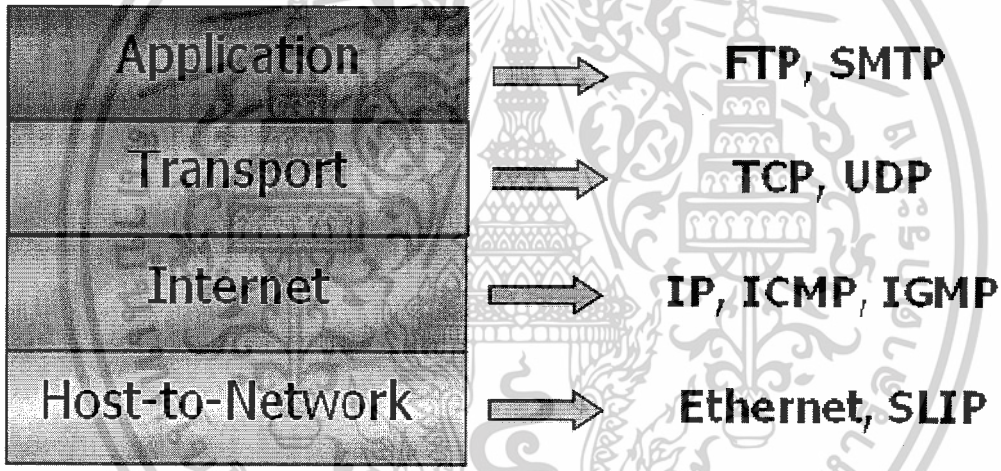
- ข้อมูลที่มาจากผู้ใช้ หรือก็คือข้อมูลที่ผู้ใช้เป็นผู้ป้อนให้กับแอพพลิเคชัน เรียกว่า ยูเซอร์ดาต้า (User Data) เมื่อแอพพลิเคชั่นได้รับข้อมูลจากผู้ใช้ ก็จะนำมาประกอบกับส่วนหัวของแอพพลิเคชั่น เรียกว่า แอพพลิเคชันดาต้า (Application Data) และส่งต่อไปยังโปรโตคอลทีซีพี

- เมื่อโปรโตคอลทีซีพี ได้รับ แอพพลิเคชันดาต้า ก็จะนำมารวมกับเฮดเดอร์ของโปรโตคอลทีซีพี เรียกว่า ทีซีพีเซคเมนต์ (TCP Segment) และส่งต่อไปยังโปรโตคอลไอพี

- เมื่อโปรโตคอลไอพี ได้รับทีซีพีเซคเมนต์ ก็จะนำมารวมกับเฮดเดอร์ของโปรโตคอลไอพี เรียกว่า ไอพีดาต้าแกรม (IP Datagram) และส่งต่อไปยังเลเยอร์โฮสต์-เครือข่าย

- ในระดับโฮสต์-เครือข่ายจะ นำไอพีดาต้าแกรม มาเพิ่มส่วนการแก้ไขข้อผิดพลาด (Error Correction) และ แฟลก (flag) เรียกว่า อีเทอร์เน็ทเฟรม ก่อนจะแปลงข้อมูลเป็นสัญญาณไฟฟ้า ส่งผ่านสายสัญญาณที่เชื่อมโยงอยู่ต่อไป

ในแต่ละเลเยอร์ของโครงสร้าง ทีซีพี/ไอพีสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.37



รูปที่ 2.37 แสดงโครงสร้างของทีซีพี/ไอพี

2.7.3 ชั้นโฮสต์-เครือข่าย (Host-to-Network Layer)

โปรโตคอลสำหรับการควบคุมการสื่อสารในชั้นนี้เป็นสิ่งที่ไม่มีการกำหนดรายละเอียดอย่างเป็นทางการ หน้าที่หลักคือการรับข้อมูลจากชั้นสื่อสารไอพี มาแล้วส่งไปยังโหนดที่ระบุไว้ในเส้นทางเดิน ข้อมูลทางด้านผู้รับก็จะทำงานในทางกลับกัน คือรับข้อมูลจากสายสื่อสารแล้วนำส่งให้กับโปรแกรมในชั้นสื่อสาร

2.7.4 ชั้นสื่อสารอินเทอร์เน็ต (The Internet Layer)

ใช้ประเภทของระบบการสื่อสารที่เรียกว่า ระบบเครือข่ายแบบสลับช่องสื่อสารระดับแพ็กเก็ต (packet-switching network) ซึ่งเป็นการติดต่อแบบไม่ต่อเนื่อง (Connectionless) หลักการทำงานคือการปล่อยให้ข้อมูลขนาดเล็กที่เรียกว่า แพ็กเก็ต สามารถไหลจากโหนดผู้ส่งไปตามโหนดต่างๆ ในระบบจนถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดหมายปลายทางได้โดยอิสระ หากว่ามีการส่งแพ็กเก็ตออกมาเป็นชุดโดยมีจุดหมายปลายทางเดียวกันในระหว่าง การเดินทางในเครือข่าย แพ็กเก็ตแต่ละตัวในชุดนี้ก็จะเป็นอิสระแก่กันและกัน ดังนั้น แพ็กเก็ตที่ส่งไปถึงปลายทางอาจจะไม่เป็นไปตามลำดับก็ได้

2.7.4.1 ไอพี (IP: Internet Protocol)

ไอพี (IP) เป็นโปรโตคอลในระดับเน็ตเวิร์คเลเยอร์ ทำหน้าที่จัดการเกี่ยวกับแอดเดรสและข้อมูล และควบคุมการส่งข้อมูลบางอย่างที่ใช้ในการหาเส้นทางของแพ็กเก็ต ซึ่งกลไกในการหาเส้นทางของ IP จะมีความสามารถในการหาเส้นทางที่ดีที่สุด และสามารถเปลี่ยนแปลงเส้นทางได้ในระหว่างการส่งข้อมูล และมีระบบการแยกและประกอบดาต้าแกรม (datagram) เพื่อรองรับการส่งข้อมูลระดับดาต้าลิงค์ ที่มีขนาดเอ็มทียู (MTU:Maximum Transmission Unit) ที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถนำไอพีไปใช้บนโปรโตคอลอื่นได้หลากหลาย เช่น อีเทอร์เน็ท, Token Ring หรือ Apple Talk

การเชื่อมต่อของไอพี เพื่อทำการส่งข้อมูล จะเป็นการติดต่อแบบไม่ต่อเนื่องหรือเกิดเส้นทางการเชื่อมต่อในทุกๆครั้งของการส่งข้อมูล 1 ดาต้าแกรม โดยจะไม่ทราบถึงข้อมูลดาต้าแกรมที่ส่งก่อนหน้าหรือส่งตามมา แต่การส่งข้อมูลใน 1 ดาต้าแกรม อาจจะเกิดการส่งได้หลายครั้งในกรณีที่มีการแบ่งข้อมูลออกเป็นส่วนย่อยๆ (fragmentation) และถูกนำไปรวมเป็นดาต้าแกรมเดิมเมื่อถึงปลายทาง

เฮดเดอร์ของไอพี ดังรูปที่ 2.38 โดยปกติจะมีขนาด 20 ไบต์ ยกเว้นในกรณีที่มีการเพิ่มออฟชันบางอย่าง ฟิลด์ของเฮดเดอร์ไอพี จะมีความหมายดังนี้

Version : หมายเลขเวอร์ชันของโปรโตคอล ที่ใช้งานในปัจจุบันคือ เวอร์ชัน 4 (IPv4) และเวอร์ชัน 6 (IPv6)

Header Length : ความยาวของเฮดเดอร์ โดยทั่วไปถ้าไม่มีส่วนออฟชันจะมีค่าเป็น 5 (5*32 bit)

Type of Service (TOS) : ใช้เป็นข้อมูลสำหรับเราเตอร์ในการตัดสินใจเลือกการเราต์ข้อมูลในแต่ละดาต้าแกรม แต่ในปัจจุบันไม่ได้มีการนำไปใช้งานแล้ว

Length : ความยาวทั้งหมดเป็นจำนวนไบต์ของดาต้าแกรม ซึ่งด้วยขนาด 16 บิตของฟิลด์ จะหมายถึงความยาวสูงสุดของดาต้าแกรม คือ 65535 ไบต์ (64k) แต่ในการส่งข้อมูลจริง ข้อมูลจะถูกแยกเป็นส่วนๆตามขนาดของ MTU ที่กำหนดในลิงค์เลเยอร์ และนำมารวมกันอีกครั้งเมื่อส่งถึงปลายทาง แอพพลิเคชั่นส่วนใหญ่จะมีขนาดของดาต้าแกรมไม่เกิน 512 ไบต์

Identification : เป็นหมายเลขของดาต้าแกรมในกรณีที่มีการแยกดาต้าแกรมเมื่อข้อมูลส่งถึงปลายทางจะนำข้อมูลที่มีเป้าหมายเดียวกันมารวมกัน

Flag : ใช้ในกรณีที่มีการแยกดาต้าแกรม

Fragment Offset : ใช้ในการกำหนดตำแหน่งข้อมูลในดาต้าแกรมที่มีการแยกส่วน เพื่อให้สามารถนำกลับมาเรียงต่อกันได้อย่างถูกต้อง

Time to Live (TTL) : กำหนดจำนวนครั้งที่มากที่สุดที่ดาต้าแกรมจะถูกส่งระหว่างฮอบ (การส่งผ่านข้อมูลระหว่างเน็ตเวิร์ค) เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการส่งข้อมูลโดยไม่สิ้นสุด โดยเมื่อข้อมูลถูกส่งไป 1 ฮอบ จะทำการลดค่าทีทีแอลลง 1 เมื่อค่าของทีทีแอลเป็น 0 และข้อมูลยังไม่ถึงปลายทาง ข้อมูลนั้นจะถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยกเลิก และเราเตอร์สุดท้ายจะส่งข้อมูลไอซีเอ็มพีแจ้งกลับมายังต้นทางว่าเกิดไทม์เอาต์ในระหว่างการส่งข้อมูล

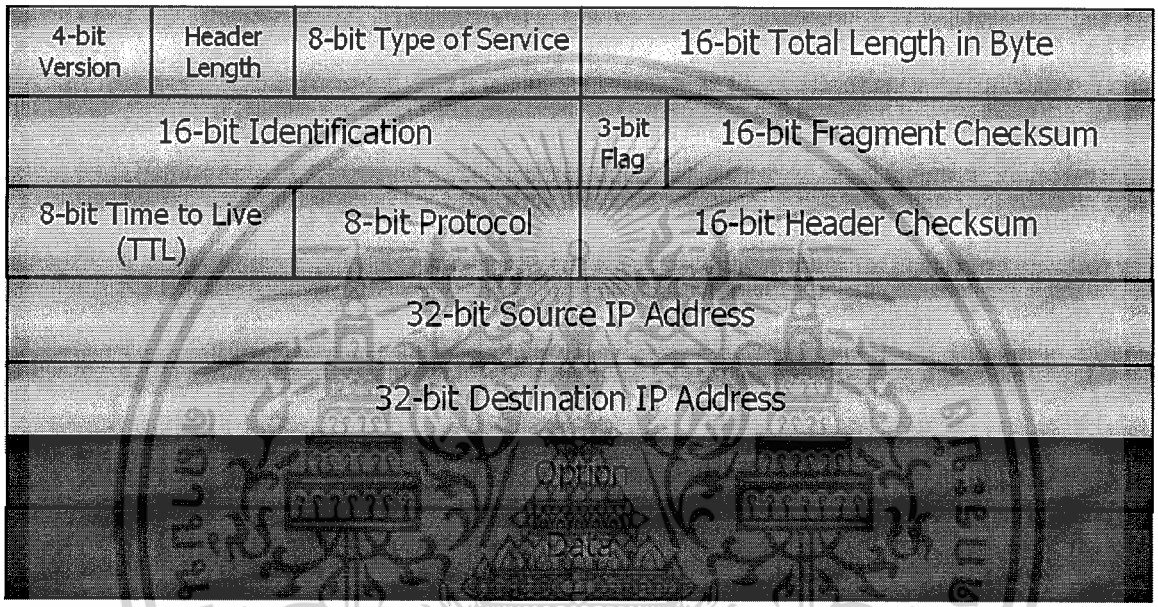
Protocol : ระบุโปรโตคอลที่ส่งในดาต้าแกรม เช่น ทีซีพี ,ยูดีพี หรือ ไอซีเอ็มพี

Header checksum : ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลในเฮดเดอร์

Source IP address : หมายเลขไอพีของผู้ส่งข้อมูล

Destination IP address : หมายเลขไอพี ของผู้รับข้อมูล

Data : ข้อมูลจากโปรโตคอลระดับบน



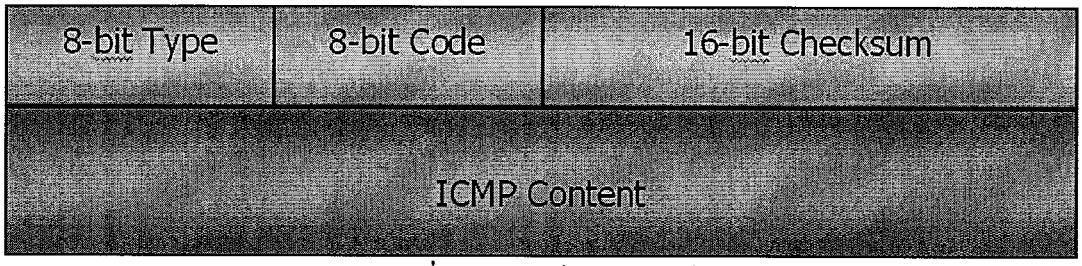
รูปที่ 2.38 ไอพีเฮดเดอร์

2.7.4.2 ไอซีเอ็มพี (ICMP: Internet Control Message Protocol)

ไอซีเอ็มพีเป็นโปรโตคอลที่ใช้ในการตรวจสอบและรายงานสถานภาพของดาต้าแกรม ในกรณีที่เกิดปัญหากับดาต้าแกรม เช่น เราเตอร์ไม่สามารถส่งดาต้าแกรมไปถึงปลายทางได้ ไอซีเอ็มพีจะถูกส่งออกไปยังโฮสต้นทางเพื่อรายงานข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ดี ไม่มีอะไรรับประกันได้ว่า ไอซีเอ็มพีแมสเสจที่ส่งไปจะถึงผู้รับจริงหรือไม่ หากมีการส่งดาต้าแกรมออกไปแล้วไม่มีไอซีเอ็มพีแมสเสจฟ้องข้อผิดพลาดกลับมา ก็แปลความหมายได้สองกรณีคือ ข้อมูลถูกส่งไปถึงปลายทางอย่างเรียบร้อย หรืออาจจะมีปัญหา ในการสื่อสารทั้งการส่งดาต้าแกรม และไอซีเอ็มพีแมสเสจที่ส่งกลับมาก็มีปัญหาระหว่างทางก็ได้ ไอซีเอ็มพีจึงเป็นโปรโตคอลที่ไม่มีความน่าเชื่อถือ (unreliable) ซึ่งจะเป็นหน้าที่ของโปรโตคอลในระดับสูงกว่าเน็ตเวิร์กเลเยอร์ ในการจัดการให้การสื่อสารนั้นๆ มีความน่าเชื่อถือ

ในส่วนของไอซีเอ็มพีแมสเสจจะประกอบด้วยไทป์ ขนาด 8 บิต เช็คซัมขนาด 16 บิต และส่วนของคอนเทนต์ ซึ่งจะมีขนาดแตกต่างกันไปตามไทป์และโค้ด ดังรูปที่ 2.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.39 ไอซีเอ็มพีเฮดเดอร์

2.7.5 ชั้นสื่อสารนำส่งข้อมูล (Transport Layer)

แบ่งเป็นโปรโตคอล 2 ชนิดตามลักษณะ ลักษณะแรกเรียกว่า ทีซีพี (TCP : Transmission Control Protocol) เป็นแบบที่มีการกำหนดช่วงการสื่อสารตลอดระยะเวลาการสื่อสาร (connection-oriented) ซึ่งจะยอมให้มีการส่งข้อมูลเป็นแบบไบต์สตรีมที่ไว้ใจได้โดยไม่มีข้อผิดพลาด ข้อมูลที่มีปริมาณมากจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนเล็กๆ เรียกว่า แมส ซึ่งจะถูกส่งไปยังผู้รับผ่านทางชั้นสื่อสารของอินเทอร์เน็ต ทางฝ่ายผู้รับจะนำแมสเสซมาเรียงต่อกันตามลำดับเป็นข้อมูลตัวเดิม ทีซีพียังมีความสามารถในการควบคุมการไหลของข้อมูลเพื่อป้องกันไม่ให้ผู้ส่ง ส่งข้อมูลเร็วเกินกว่าที่ผู้รับจะทำงานได้ทันอีกด้วย

โปรโตคอลการนำส่งข้อมูลแบบที่สองเรียกว่า ยูดีพี (UDP : User Datagram Protocol) เป็นการติดต่อแบบไม่ต่อเนื่อง (connectionless) มีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลแต่จะไม่มีการแจ้งกลับไปยังผู้ส่ง จึงถือได้ว่าไม่มีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้มีข้อดีในด้านความรวดเร็วในการส่งข้อมูล จึงนิยมใช้ในระบบผู้ให้และผู้ใช้บริการ (client/server system) ซึ่งมีการสื่อสารแบบ ถาม/ตอบ (request/reply) นอกจากนั้นยังใช้ในการส่งข้อมูลประเภทภาพเคลื่อนไหวหรือการส่งเสียง (voice) ทางอินเทอร์เน็ต

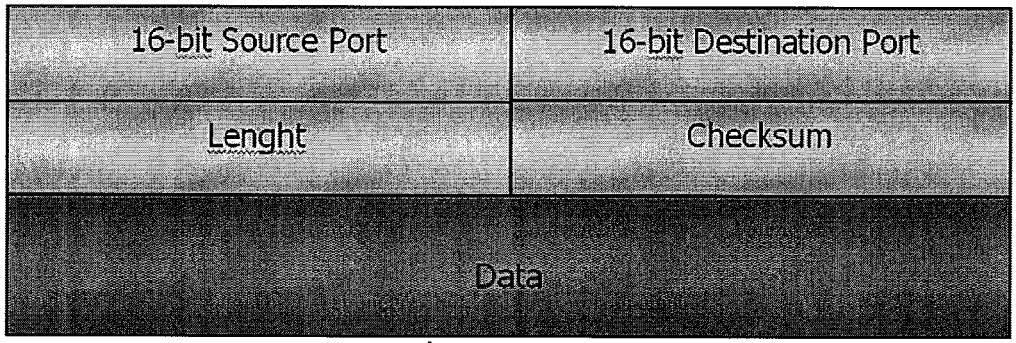
2.7.5.1 ยูดีพี (UDP : User Datagram Protocol)

เป็นโปรโตคอลที่อยู่ในทรานสปอร์ตเลเยอร์ เมื่อเทียบกับโอเอสไอโมเดลโดยการส่งข้อมูลของยูดีพีนั้นจะเป็นการส่งครั้งละ 1 ชุดข้อมูล เรียกว่า ยูดีพีดาต้าแกรม (UDP datagram) ซึ่งจะไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างดาต้าแกรมและจะไม่มีกลไกการตรวจสอบความสำเร็จในการรับส่งข้อมูล ในส่วนของกลไกการตรวจสอบโดยเช็คซัมของยูดีพีนั้นเพื่อเป็นการป้องกันข้อมูลที่อาจจะถูกแก้ไข หรือมีความผิดพลาดระหว่างการส่ง และหากเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว ปลายทางจะได้รู้ว่ามีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น แต่จะเป็นการตรวจสอบเพียงฝ่ายเดียวเท่านั้น โดยในข้อกำหนดของยูดีพี หากพบว่าเช็ตซัมเออเรอร์ก็ให้ผู้รับปลายทางทำการทิ้งข้อมูลนั้น แต่จะไม่มีการแจ้งกลับไปยังผู้ส่งแต่อย่างใด การรับส่งข้อมูลแต่ละครั้งหากเกิดข้อผิดพลาดในระดับไอพี เช่น ส่งไม่ถึง หมดเวลา ผู้ส่งจะได้รับแมสเสซผิดพลาดจากระดับไอพี เป็นไอซีเอ็มพีเออเรอร์แมสเซส เมื่อข้อมูลส่งถึงปลายทางถูกต้อง แต่เกิดข้อผิดพลาดในส่วนของยูดีพีเอง จะไม่มีการยืนยัน หรือแจ้งให้ผู้ส่งทราบแต่อย่างใด

- ยูดีพีเฮดเดอร์

ยูดีพีเฮดเดอร์ ดังรูปที่ 2.40 และ มีรายละเอียดดังตารางที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.40 ยูดีพีเฮดเดอร์

Source Port Number : มี 16 บิตใช้ระบุเป็นซอร์สแอพพลิเคชันเลเยอร์ ทำการส่งยูดีพีแมสเซส โดยพอร์ตต้นทางเป็นพอร์ต ที่ใช้ในการเลือก เมื่อใดที่ไม่ได้ใช้ จะตั้งค่าเป็น 0x00-00 IP multicast traffic เปรียบเสมือนวีดีโอแคสใช้ส่งยูดีพี สามารถใช้ค่า 0x00-00 เพราะจะไม่ตอบรับวีดีโอทราฟฟิกเป็นเพียงการสมมติ แอพพลิเคชันเลเยอร์ ใช้พอร์ตต้นทางในการนำยูดีพีแมสเซสเข้ามาพอร์ตปลายทางสำหรับการตอบรับ

Destination Port Number : มี 16 บิตใช้ระบุเป็น Destination Application Layer Protocol การรวมของ Destination IP Address ของ IP เฮดเดอร์ และ Destination พอร์ตของ ยูดีพี เฮดเดอร์ จะไม่เหมือนใครสำหรับกระบวนการที่จะส่งข้อมูล

UDP Length : มี 16 บิตที่ใช้ในการแสดงความยาวในยูดีพีแมสเซสมีความยาวน้อยที่สุด 8 ไบต์ (ขนาดของยูดีพีเฮดเดอร์) และมากที่สุด 65,515 ไบต์ (ค่าสูงสุด ไอพีดาต้าแกรม 65,535 ไบต์ น้อยกว่าค่าน้อยที่สุด ไอพีเฮดเดอร์ 20 ไบต์) ความยาวมากที่สุดที่แท้จริงถูกจำกัดโดยเอ็มทียู ซึ่งจะทำการเชื่อมโยง โดยยูดีพีแมสเซสเป็นตัวส่งความยาว ยูดีพีสามารถคำนวณได้จากความยาวทั้งหมดและความยาวของไอพีเฮดเดอร์ฟิลด์ในอพีเฮดเดอร์

Checksum : มี 16 บิตโดยจะทำการตรวจระดับของบิตอย่างสมบูรณ์สำหรับยูดีพีแมสเซส โดยที่ยูดีพีเช็คซัมคำนวณโดยใช้วิธีเดียวกันกับไอพีเฮดเดอร์เช็คซัม

ตารางที่ 2.10 รายละเอียดของยูดีพีเฮดเดอร์

ตำแหน่ง	ชื่อ	อธิบาย
บิต 0-15	Source port Number	หมายเลขพอร์ตต้นทางที่ส่งดาต้าแกรมนี้ มีความยาว 16 บิต
บิต 16-31	destination port number	หมายเลขพอร์ตปลายทางที่จะเป็นผู้รับดาต้าแกรม มีความยาว 16 บิตเช่นกัน
บิต 32-47	UDP length	ความยาวของดาต้าแกรม ทั้งส่วน เฮดเดอร์ และ data นั่น หมายความว่าค่าที่น้อยที่สุดในฟิลด์นี้คือ 8 ซึ่งเป็นขนาดของเฮดเดอร์
บิต 48-63	Checksum	เป็นตัวตรวจสอบความถูกต้องของยูดีพีดาต้าแกรม และจะนำข้อมูลบางส่วนในไอพีเฮดเดอร์มาคำนวณด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- UDP PORT

ยูดีพีพอร์ตจะแสดงที่ตั้งหรือแถวของแมสเซสที่ชัดเจนสำหรับการส่งแมสเซส ถึงแอพพลิเคชันเลเยอร์โปรโตคอล โดยใช้ยูดีพีเซอร์วิส รวมถึงในแต่ละตัวของยูดีพีแมสเซสเป็นพอร์ตต้นทางและพอร์ตปลายทาง ซึ่ง Internet Assigned Number Authority (IANA) จะเป็นตัวกำหนดหมายเลขพอร์ต แสดงหมายเลขพอร์ตดังตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 UDP Port Number

Port Numbers	Application Layer Protocol
53	Domain Name System (DNS)
67	BOOTP client (Dynamic Host Configuration Protocol [DHCP])
68	BOOTP server (DHCP)
69	Trivial File Transfer Protocol (TFTP)
137	NetBIOS Name Service
138	NetBIOS Datagram Service
161	Simple Network Management Protocol (SNMP)
520	Routing Information Protocol (RIP)
445	Direct hosting of server Message Block (SMB) datagram over TCP/IP
1812 , 1813	Remote Authentication Dial-In User Service (RADIUS)

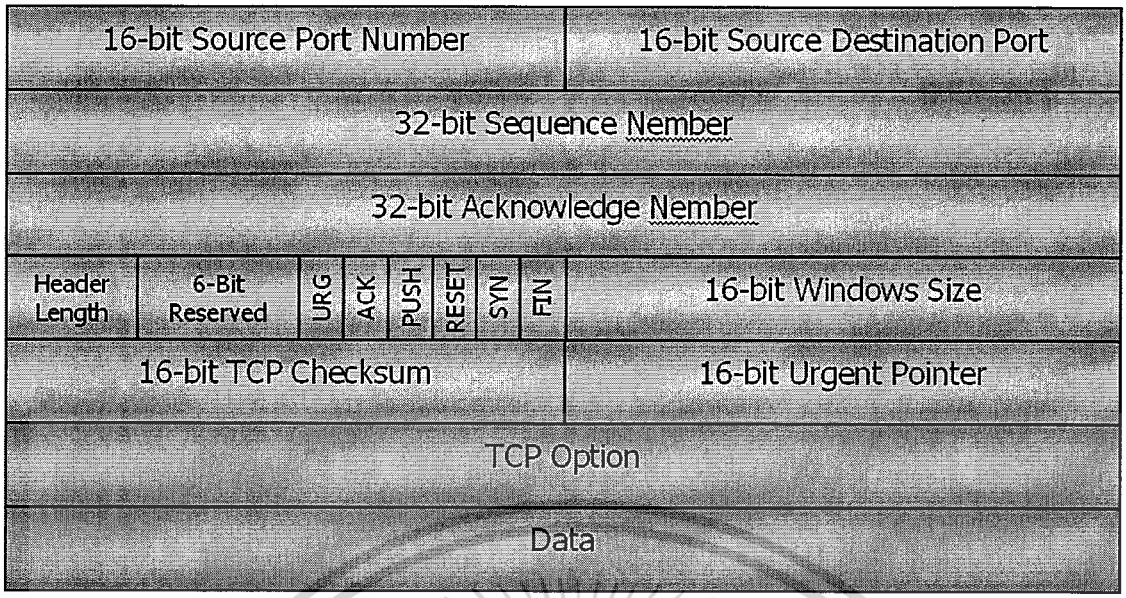
- UDP Checksum

เช็คซัมเป็น เลข 16 บิตถูกคำนวนด้วยวิธี one's complement โดยนำ Pseudo เฮดเดอร์ และข้อมูลทั้งหมดใน ยูดีพีดาต้าแกรม มาคำนวน

2.7.5.2 TCP : (Transmission Control Protocol)

อยู่ในทรานสปอร์ตเลเยอร์ เช่นเดียวกับ ยูดีพี ทำหน้าที่จัดการและควบคุมการรับส่งข้อมูล ซึ่งมีความสามารถและรายละเอียดมากกว่ายูดีพี โดยดาต้าแกรมของทีซีพี จะมีความสัมพันธ์ต่อเนื่องกัน และมีกลไกควบคุมการรับส่งข้อมูลให้มีความน่าเชื่อถือ (reliable) และมีการสื่อสารอย่างเป็นกระบวนการ (connection-oriented) ซึ่งทีซีพีเฮดเดอร์ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.41 ทีซีพีเฮดเดอร์

มีรายละเอียด ดังนี้

Source Port Number : หมายเลขพอร์ตต้นทางที่ส่งดาต้าแกรมนี้

Destination Port Number : หมายเลขพอร์ตปลายทางที่จะเป็นผู้รับดาต้าแกรม

Sequence Number : ฟิลด์ที่ระบุหมายเลขลำดับอ้างอิงในการสื่อสารข้อมูลแต่ละครั้ง เพื่อใช้ในการแยกแยะว่าเป็นข้อมูลของชุดใด และนำมาจัดลำดับได้ถูกต้อง

Acknowledgment Number : ทำหน้าที่เช่นเดียวกับซีเควนนัมเบอร์แต่จะใช้ในการตอบรับ

Header Length : โดยปกติความยาวของเฮดเดอร์ทีซีพีจะมีความยาว 20 ไบต์ แต่อาจจะมากกว่านั้น ถ้ามีข้อมูลในฟิลด์ option แต่ต้องไม่เกิน 60 ไบต์

Flag : เป็นข้อมูลระดับบิตที่อยู่ในเฮดเดอร์ทีซีพีโดยใช้เป็นตัวบอกคุณสมบัติของแพ็กเก็ตทีซีพีขณะนั้นๆ และใช้เป็นตัวควบคุมจังหวะการรับส่งข้อมูลด้วย ซึ่ง Flag มีอยู่ทั้งหมด 6 บิต แบ่งได้ดังนี้

Type	Description
URG	ใช้บอกความหมายว่าเป็นข้อมูลด่วน และมีข้อมูลพิเศษมาด้วย (อยู่ใน Urgent pointer)
ACK	แสดงว่าข้อมูลในฟิลด์ Acknoeledge Number มาใช้งานได้
DSH	เป็นการแจ้งให้ผู้รับข้อมูลทราบว่าควรจะส่งข้อมูล Segment นี้ไปยัง Application ที่กำลังรออยู่โดยเร็ว
RST	ยกเลิกการติดต่อ (Reset) เนื่องจากในกรณีที่เกิดการสับสนขึ้นด้วยเหตุผลต่างๆ เช่น โฮสต์มีปัญหา ให้เริ่มต้นสื่อสารกันใหม่
SYN	ใช้ในการเริ่มต้นขอติดต่อกับปลายทาง
FIN	ใช้ส่งเพื่อแจ้งให้ปลายทางทราบว่ายุติการติดต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แฟลกในเฮดเดอร์ของทีซีพีมีความสำคัญในการกำหนดการทำงานของทีซีพีเซคเมนต์ เนื่องจากข้อมูลในเฮดเดอร์ของทีซีพีจะมีข้อมูลครบถ้วนทั้งการรับและการส่งข้อมูล ซึ่งในการทำงานแต่ละอย่างจะมีการใช้งานฟิลด์ไม่เหมือนกัน แฟลกจะเป็นตัวกำหนดว่าให้ใช้งานฟิลด์ไหน เช่น ฟิลด์ Acknowledgment number จะไม่ถูกใช้ในขั้นตอนการเริ่มต้นการเชื่อมต่อ แต่จะมีข้อมูลในฟิลด์ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ไม่มีความหมายใดๆ ซึ่งถ้าไม่มีแฟลก เป็นตัวกำหนดก็อาจจะมีการนำข้อมูลมาใช้ และก่อให้เกิดความผิดพลาดได้

2.7.6 ชั้นสื่อสารการประยุกต์ (Application Layer)

มีโปรโตคอลสำหรับสร้างจอเทอร์มินัลเสมือน เรียกว่า เทลเน็ต (TELNET) โปรโตคอลสำหรับการจัดการแฟ้มข้อมูล เรียกว่าเอฟทีพี และโปรโตคอลสำหรับการให้บริการจดหมายอิเล็กทรอนิกส์เรียกว่า เอสทีเอ็มพี โดยโปรโตคอลสำหรับสร้างจอเทอร์มินัลเสมือนช่วยให้ผู้ใช้สามารถติดต่อกับเครื่องโฮสต์ที่อยู่ไกลออกไปโดยผ่านอินเทอร์เน็ต และสามารถทำงานได้เสมือนกับว่ากำลังนั่งทำงานอยู่ที่เครื่องโฮสต์นั้น โปรโตคอลสำหรับการจัดการแฟ้มข้อมูลช่วยในการคัดลอกแฟ้มข้อมูลมาจากเครื่องอื่นที่อยู่ในระบบเครือข่ายหรือส่งสำเนาแฟ้มข้อมูลไปยังเครื่องใดๆก็ได้ โปรโตคอลสำหรับให้บริการจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ช่วยในการจัดส่งข้อความไปยังผู้ใช้ในระบบ หรือรับข้อความที่มีผู้ส่งเข้ามา

กล่าวโดยสรุป คือ โปรโตคอลทีซีพี/ไอพีทำงานโดยแบ่งเป็นชั้นเทียบกับโอเอสไอโมเดลได้กลไกในการทำงานของโปรโตคอล ทีซีพี/ไอพีมี 4 ชั้น ซึ่งในชั้นแรก คือ โพรเซสเลเยอร์ ทำหน้าที่ติดต่อกับแอพพลิเคชันและโปรโตคอลที่แอพพลิเคชันนั้นๆ ใช้งาน และส่งมาให้ชั้นโฮสต์-โฮสต์ เพื่อติดต่อกันระหว่างเครื่องเซิร์ฟเวอร์ให้บริการกับเครื่องผู้ขอใช้บริการ ในชั้นนี้จะมีการสร้างเซสชัน (Session) หรือการเชื่อมต่อระหว่างระบบขึ้นตามแต่ละโปรโตคอลที่ต้องการ ต่อมาเป็นการผนึกข้อมูลไปเป็นไอพีดาต้าแกรมที่ชั้นอินเตอร์เน็ตเวิร์กเลเยอร์ โดยอาศัยโปรโตคอลไอพีเพื่อให้สามารถติดต่อข้อมูลข้ามเครือข่ายและเครื่องที่ถูกต้องได้ และสุดท้ายการส่งข้อมูลออกสู่โลกภายนอกต้องอาศัยกลไกชั้น เน็ตเวิร์กอินเตอร์เฟสเลเยอร์ เพื่อแปลงข้อมูลใหม่ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าส่งออกไปเครือข่ายและอาจจะออกไปยังเกตเวย์ หรือเราเตอร์ เพื่อข้ามเครือข่ายออกไปยังเส้นทางที่กำหนดไว้ในอินเตอร์เน็ตโปรโตคอล ในแต่ละโปรโตคอลเหล่านี้ก็จะรับผิดชอบหน้าที่ของตนเพื่อผ่านข้อมูลลงไปยังระดับล่าง และออกสู่เครือข่ายอินเตอร์เน็ตในที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การคำนวณและการสร้าง

3.1 การรับส่งค่ารหัสจากเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี

ผู้จัดทำได้ใช้เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี รุ่น RFM015M-3 ที่สามารถทำได้ทั้งอ่านและเขียน และใช้บัตรรุ่น I.CODE SLI โดยจะให้สัญญาณเอาต์พุต เป็นสัญญาณอนุกรม รูปแบบสัญญาณเป็นรหัส ASCII ที่ได้จากการแปลงรหัสแถบจากบัตร โดยรายละเอียดของเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีสามารถดูได้จากภาคผนวก ซึ่งสามารถกำหนดค่าต่างๆ ของพารามิเตอร์ได้ การที่เราจะออกแบบส่วนที่ จะทำการรับค่ารหัสจากเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี เราต้องทราบเกี่ยวกับมาตรฐานของตัวเครื่อง และรูปแบบของข้อมูลที่ออกมาจากเครื่องดังนี้

1) อัตราการส่งข้อมูล 115200 บิตต่อวินาที

2) ดาต้าบิต 8 บิต มี 1 สต็อปบิต และมี 1 สตาร์ทบิต

3) ไม่มีการตรวจสอบพาริตี้บิต (Non – parity checking)

วิธีการคำนวณ

การคำนวณหา TH1 ต้องทำโดยกำหนดค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ค่า SMOD กำหนดเป็นได้ 2 ค่า คือ 0 กับ 1 โดยค่า SMOD นี้จะอยู่ในรีจีสเตอร์ PCON ในบิตที่ 7 โดยในการทดลองนั้นจะกำหนดค่า SMOD เท่ากับ 1

2. ค่า CPU OSC เป็นค่าความถี่ออสซิเลเตอร์ที่ใส่ให้กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งในการทดลองกำหนดค่า CPU OSC มีค่าเท่ากับ 22.1184 เมกะเฮิรตซ์

3. ค่าบอดเรตเป็นค่าบอดเรตที่กำหนดให้ตรงกับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี ซึ่งในการทดลองจะใช้ค่าบอดเรตเท่ากับ 22.1184 เมกะเฮิรตซ์

จากการกำหนดค่าต่างๆ จะได้ว่า

$$\text{สูตร baud rate mode 1,3} = \frac{(2^{smod} \times \text{CPU OSC})}{[32 \times 12 \times (256 - (TH1))]}$$

กำหนด ค่าบอดเรต = 115200

Smod = 1

CPU OSC = 22.1184 เมกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$115200 = \frac{(2^1 \times 22.1184 \times 10^6)}{[32 \times 12 \times (256 - (TH1))]}$$

$$TH1 = 255_{10} = 0FFH$$

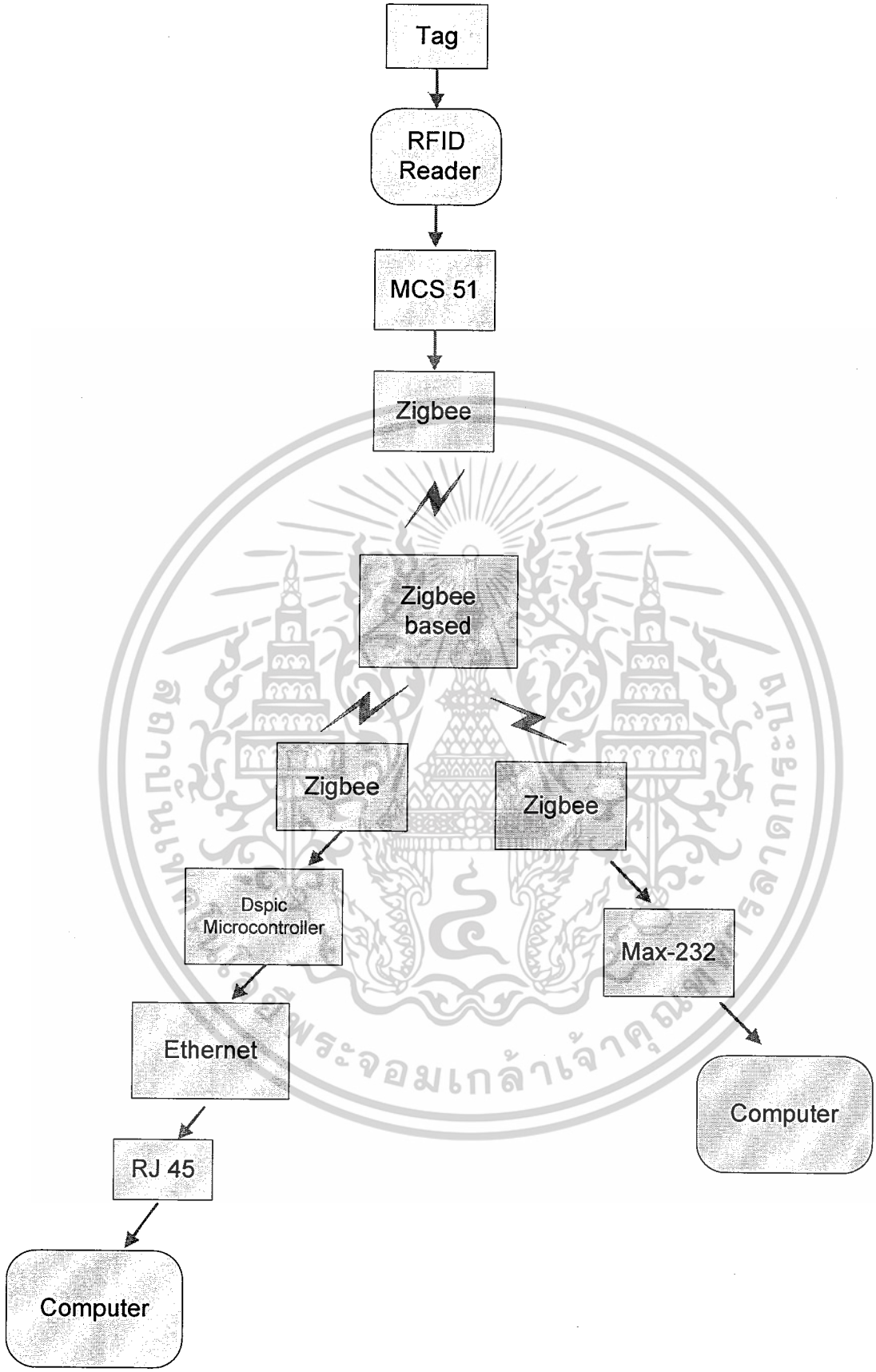
เราจึงต้องทำการเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อรับค่าจากเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี โดยกำหนดค่าที่รีจิสเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 3.1

ตาราง 3.1 แสดงค่ารีจิสเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมรับค่าจากเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี

รีจิสเตอร์ที่ใช้	ค่าที่ใช้	เหตุผล
PCON	80H	การกำหนดค่า SMOD เท่ากับ 1 เพื่อเป็นการกำหนดค่าอัตราเร็วเป็น 2 เท่า
SCON	50H	เป็นการกำหนดโหมดการรับ-ส่งข้อมูล
TMOD	21H	เป็นการกำหนดค่าการรับ–ส่ง ให้มีดาต้าบิต 8 บิต
TH1	0FFH	เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณค่าการกำหนดอัตราการรับ-ส่งข้อมูล 115200 บิตต่อวินาที

โดยโครงงานนี้เป็นการรับส่งข้อมูลไร้สายแบบโครงข่าย ซึ่งการทำงานของระบบมีขั้นตอนดังนี้ เริ่มแรกเมื่อเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี ทำการติดต่อกับแท็กเพื่ออ่านข้อมูลนั้น แท็กจะทำการส่งข้อมูลผ่านทางคลื่นความถี่วิทยุไปยังเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี ที่ถูกควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยข้อมูลที่ส่งมานั้นจะถูกเก็บลงในหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นจะส่งข้อมูลที่อยู่ในหน่วยความจำไปยังโมดูลไร้สายซิกบีทางภาคส่ง แล้วข้อมูลจะถูกส่งผ่านคลื่นความถี่วิทยุไปยังโมดูลไร้สายซิกบีทางภาครับ ซึ่งจะผ่านโมดูลไร้สายซิกบีเบสก่อน โดยภาครับนั้นจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกจะใช้โมดูลไร้สายซิกบีทำการรับข้อมูล แล้วส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรมอาร์เอส 232 เพื่อทำการแสดงข้อมูลและยืนยันตัวสินค้า และส่วนที่ 2 จะใช้โมดูลไร้สายซิกบีทำการรับข้อมูล แล้วส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อนำข้อมูลที่เข้ามาส่งไปยังส่วนของอีเทอร์เน็ทโมดูล แล้วส่งผ่านสายแลนเพื่อนำข้อมูลมาแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ โดยมีบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



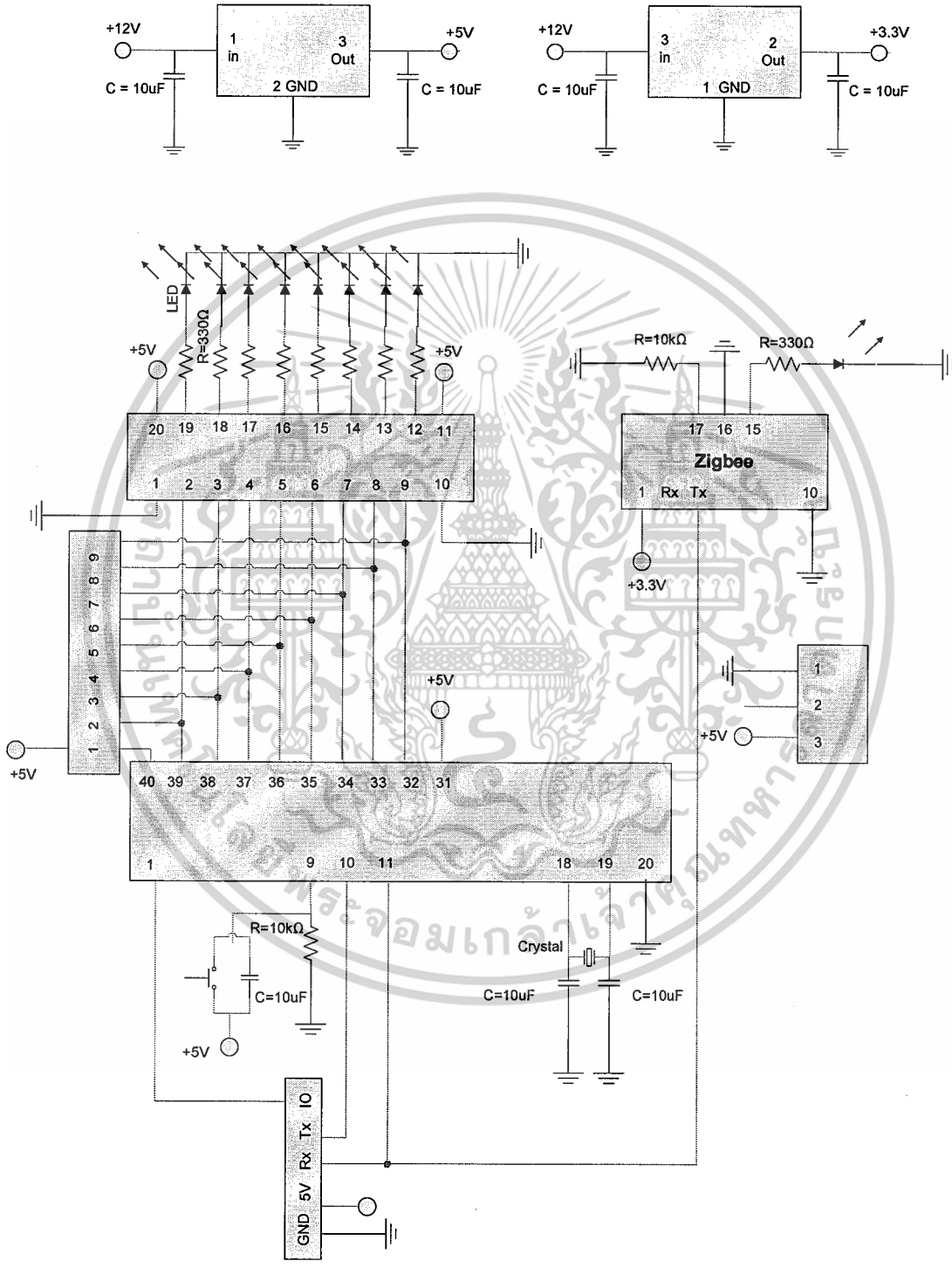
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงระบบของโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วงจรที่ใช้ในโครงงาน

3.2.1 วงจรทางด้านส่ง

วงจรทางด้านส่งซึ่งประกอบด้วยเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีและไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงดังรูปที่ 3.2

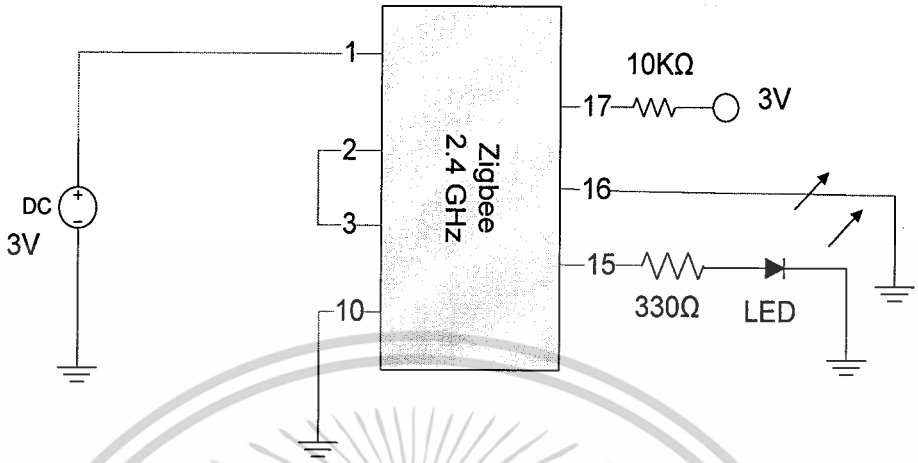


รูปที่ 3.2 วงจรด้านส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 วงจรส่วนกลาง

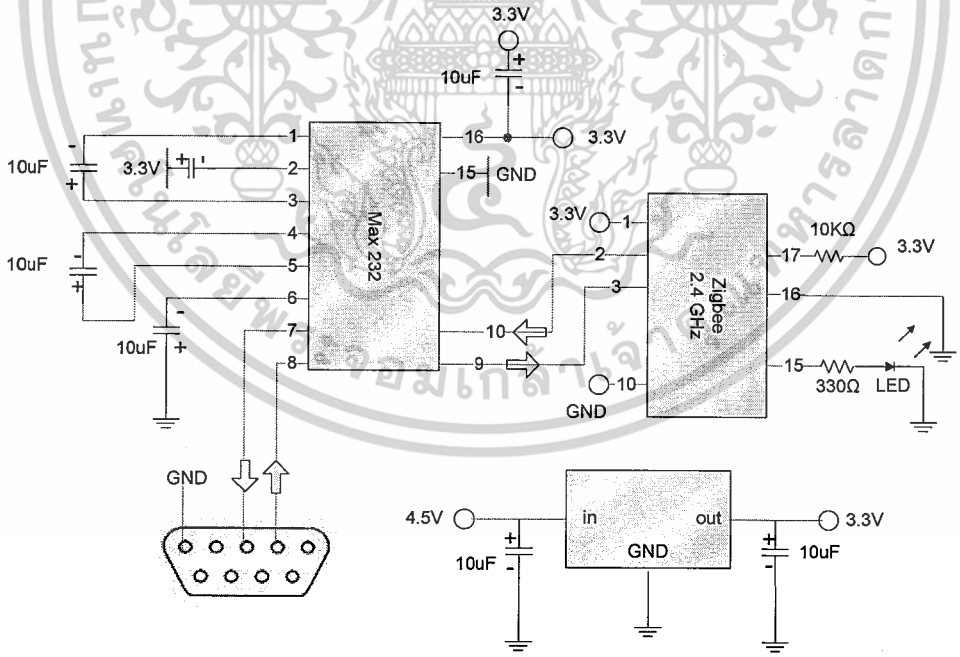
วงจรส่วนกลางแสดงดังรูปที่ 3.3 ซึ่งประกอบไปด้วยโมดูลไร้สาย (ซิกบี 2.4 เมกะเฮิรตซ์)



รูปที่ 3.3 วงจรส่วนกลาง

3.2.3 วงจรรวมทางด้านรับฝั่งซีเรียล

วงจรรวมทางด้านรับแสดงดังรูปที่ 3.4 ประกอบด้วย โมดูลไร้สายซิกบี และMax-232

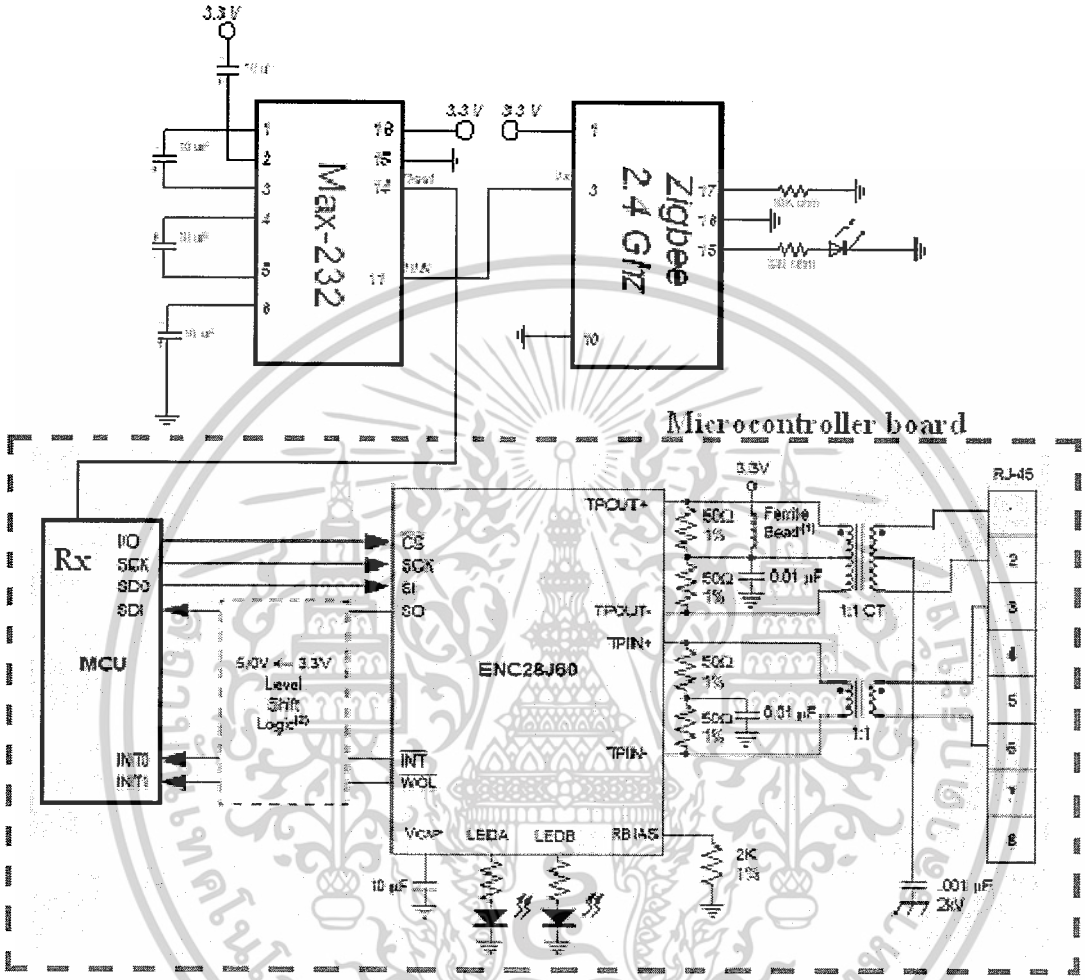


รูปที่ 3.4 วงจรด้านรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 วงจรทางด้านรับฝั่งอีเทอร์เน็ท

วงจรทางด้านรับฝั่งอีเทอร์เน็ทแสดงดังรูปที่ 3.5 ประกอบด้วย โมดูลไร้สายซิกบี, Max-232 และไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ด

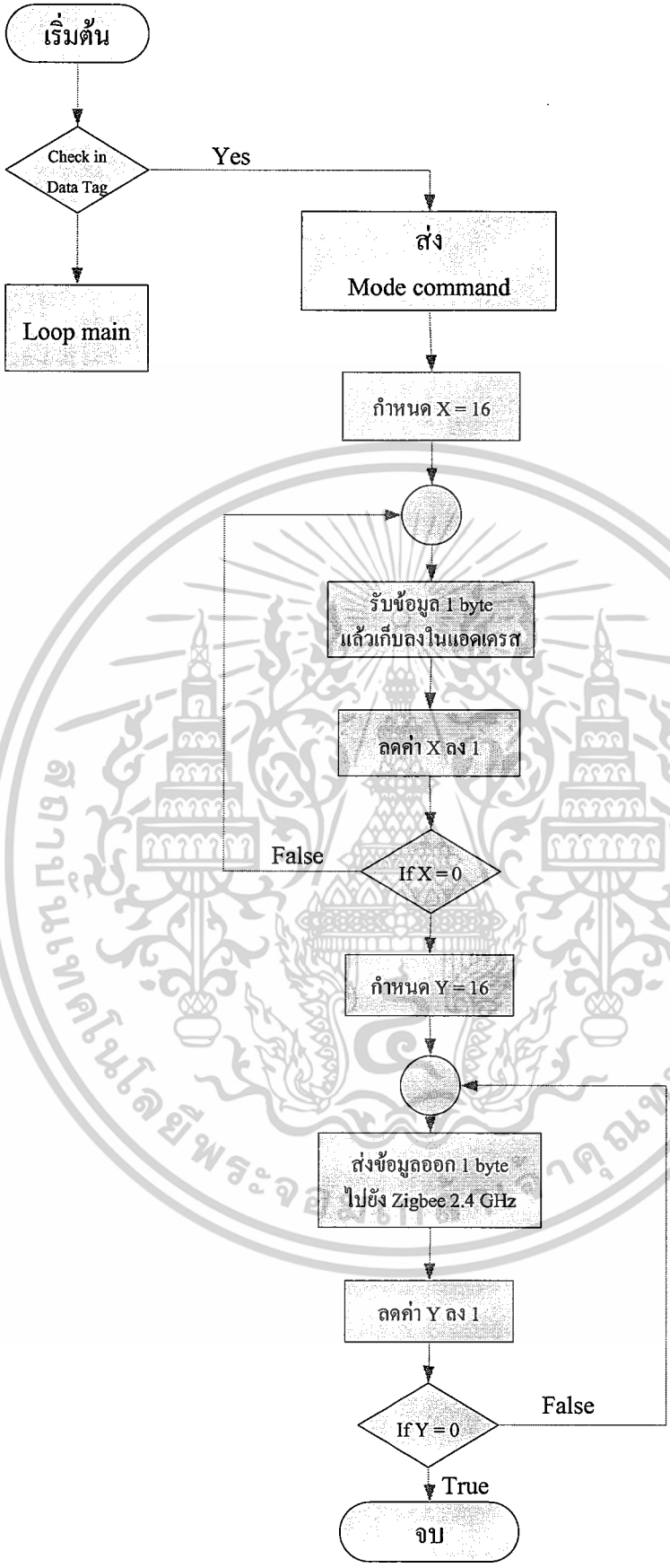


รูปที่ 3.5 วงจรทางด้านรับฝั่งอีเทอร์เน็ท

3.3 การออกแบบบล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจร

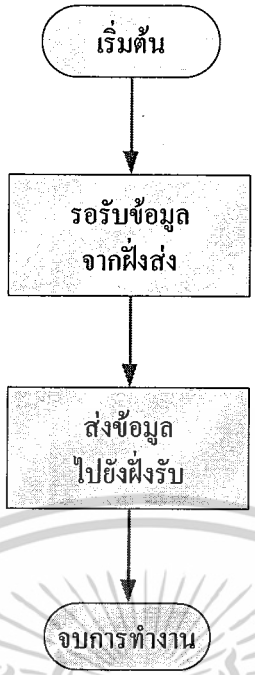
ในการทำงานทางด้านส่ง วงจรรวมส่วนกลาง วงจรทางด้านรับฝั่งอนุกรม และวงจรทางด้านรับฝั่งอีเทอร์เน็ท มีการออกแบบขั้นตอนการทำงานดังบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.6 รูปที่ 3.7 รูปที่ 3.8 และรูปที่ 3.9 ตามลำดับ นอกจากนี้การทำงานของโปรแกรมในการบันทึกค่าลงในฐานข้อมูล และการแสดงผลข้อมูลในฐานข้อมูล เมื่อรับค่าอนุกรม และรับค่าเป็นแพ็กเกจนั้น สามารถแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมการทำงาน ดังรูปที่ 3.10 และรูปที่ 3.11 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

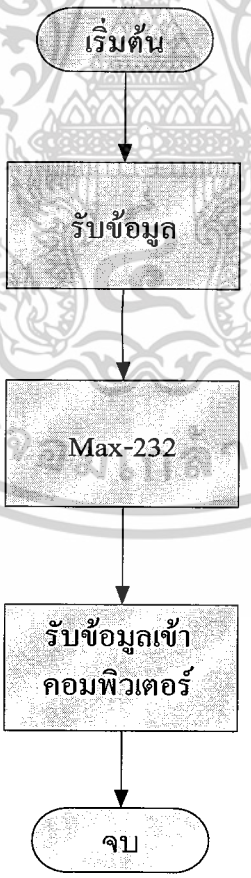


รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมของวงจรรวมทางด้านส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมของวงจรรวมส่วนกลาง

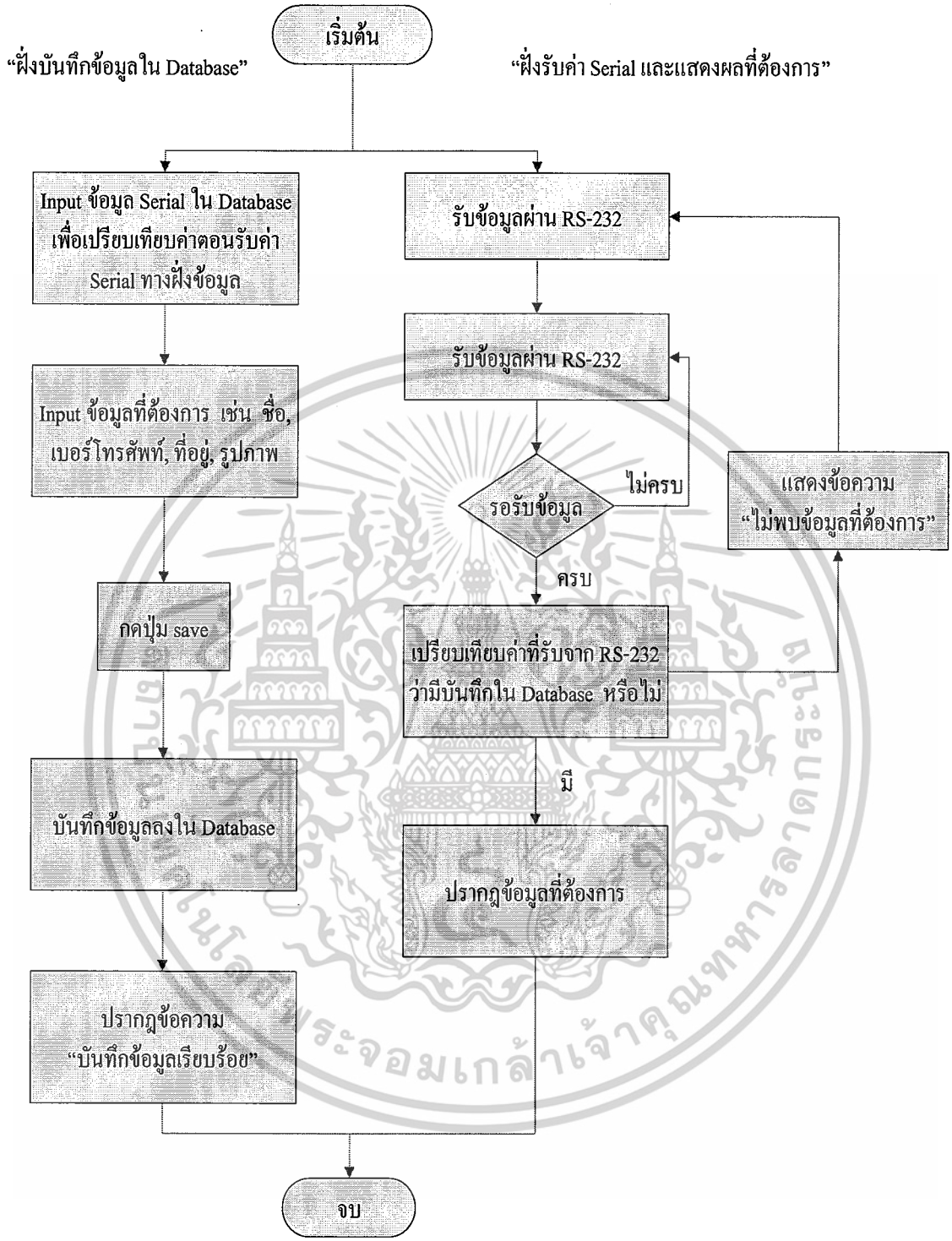


รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมของวงจรฝั่งรับด้านอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.9 การทำงานในการแสดงผลข้อมูลในฐานข้อมูล
ออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อรับค่า 1 ไบต์

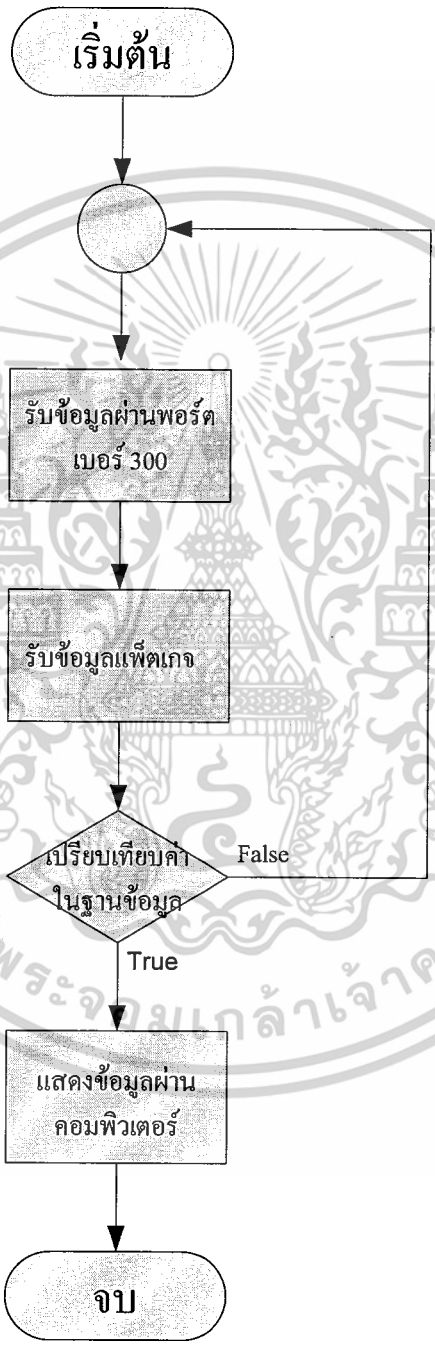
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 การทำงานของโปรแกรมในการบันทึกค่าลงในฐานข้อมูล
และการแสดงข้อมูลในฐานข้อมูล เมื่อรับค่าแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของบล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของโปรแกรมเคลไฟนั้นจะแบ่งการทำงานเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือ ส่วนของการเพิ่มข้อมูลในฐานข้อมูล และส่วนที่สอง คือ ส่วนการรับค่าแบบอนุกรม ซึ่งรับค่าจากเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี แล้วนำค่ามาเปรียบเทียบกับค่าในฐานข้อมูลที่บันทึกไว้ก่อนหน้านี้ ว่าพบข้อมูล Serial นี้ ในฐานข้อมูลหรือไม่ ถ้าพบข้อมูลที่บันทึกในฐานข้อมูล ก็จะแสดงผลข้อมูลนั้นออกมา



รูปที่ 3.11 การทำงานในการแสดงผลข้อมูลในฐานข้อมูล
ออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อรับค่าเป็นแพ็กเกจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

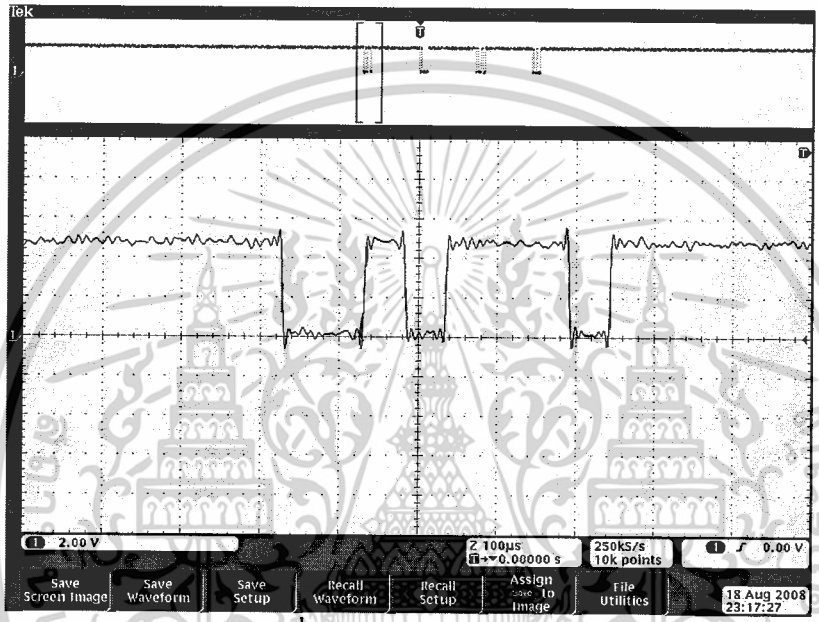
การทดลองและผลการทดลอง

4.1 ส่วนการเชื่อมต่อของเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีกับแท็ก

- โหมดการทำงานเก็ตแท็กอินฟอร์เมชัน (Get tag information)

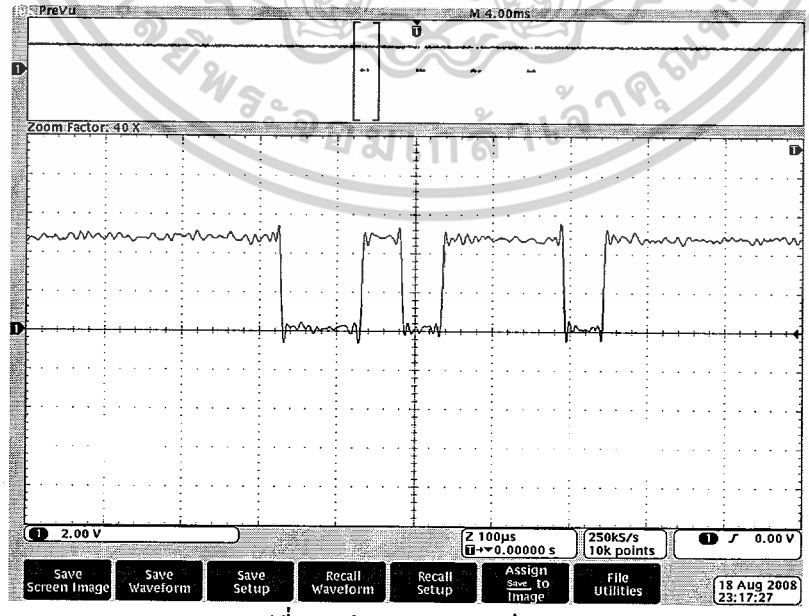
ในการติดต่อระหว่างอาร์เอฟไอดีกับแท็ก ในโหมดการทำงานเก็ตแท็กอินฟอร์เมชัน ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการส่งรหัสสัญญาณพัลส์ไปยังเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี ได้ผลการทดลองดังนี้

จากรูปที่ 4.1 ส่งสัญญาณพัลส์ OBAH ไปยังเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี



รูปที่ 4.1 สัญญาณพัลส์ BAH

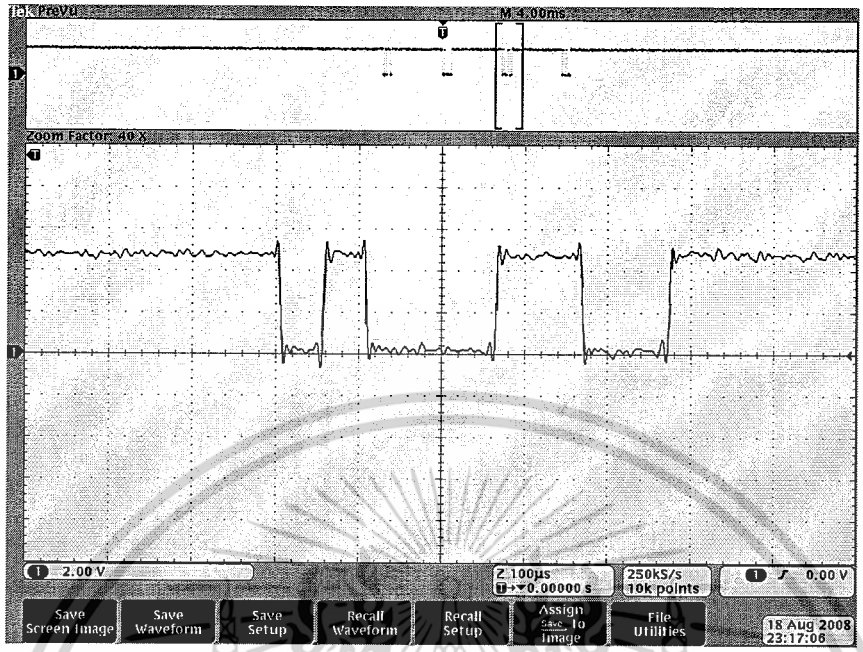
จากรูปที่ 4.2 ส่งสัญญาณพัลส์ 02H ไปยังเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี



รูปที่ 4.2 ส่งสัญญาณพัลส์ 02H

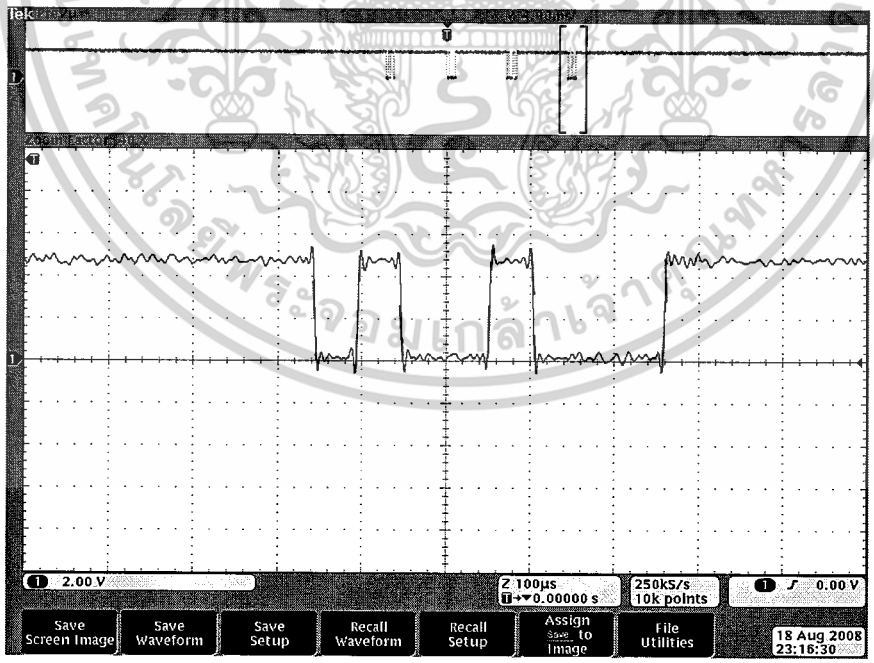
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 ส่งสัญญาณพัลส์ 031H ไปยังเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี



รูปที่ 4.3 ส่งสัญญาณพัลส์ 031H

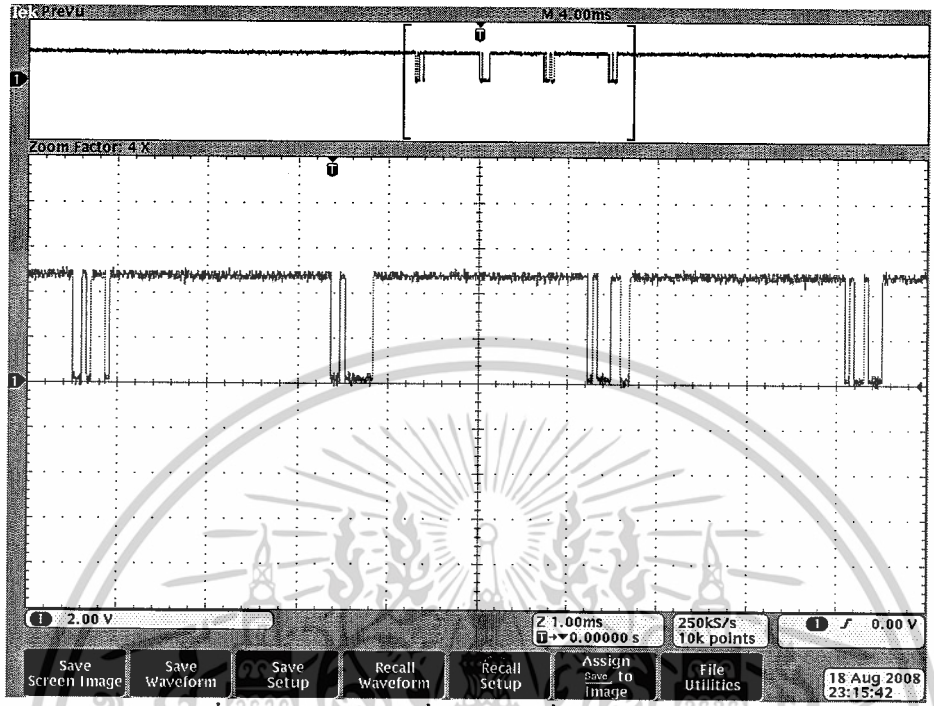
จากรูปที่ 4.4 ส่งสัญญาณพัลส์ 89H ไปยังเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี



รูปที่ 4.4 ส่งสัญญาณพัลส์ 89H

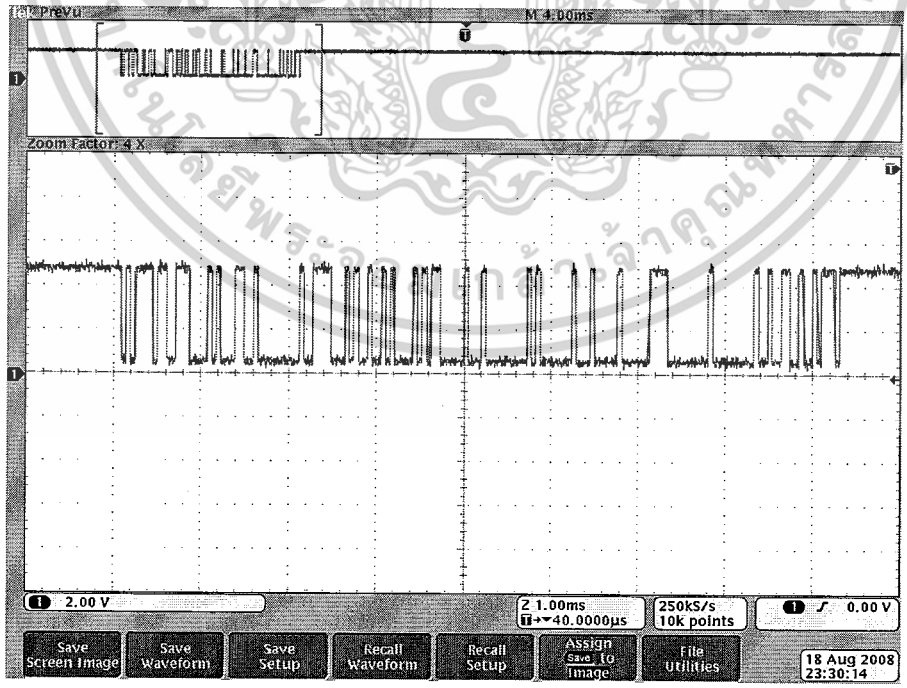
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการส่งสัญญาณพัลส์แต่ละครั้งนั้น จะทำการหน่วงเวลา 0.020 วินาที ซึ่งจะได้ผลรวมของสัญญาณพัลส์ที่ส่งไปดังผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 สัญญาณพัลส์ที่ส่งไปยังเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี

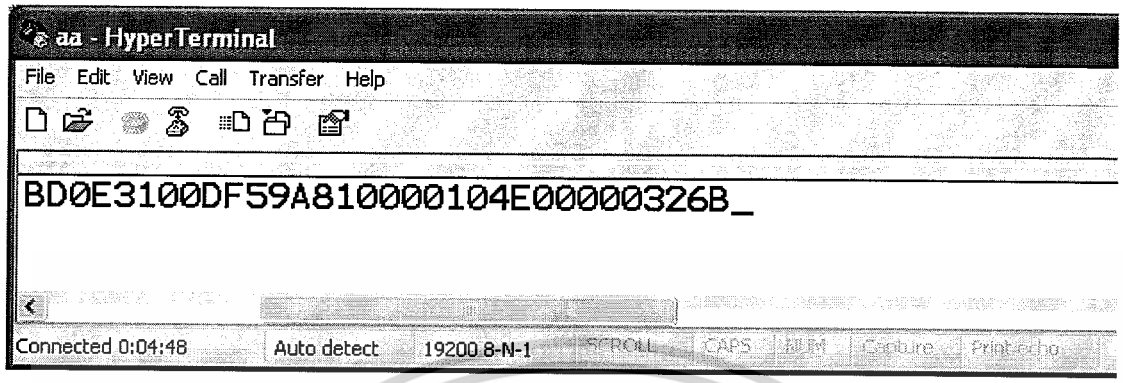
เมื่อทำการส่งสัญญาณพัลส์เสร็จสิ้น เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีจะทำการติดต่อกับแท็ก แล้วแท็กจะส่งสัญญาณกลับมายังเครื่องอ่าน ซึ่งจะได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ส่งสัญญาณพัลส์ที่เครื่องอ่านรับข้อมูลจากแท็กในโหมดเก็ตแท็กอินฟอร์เมชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

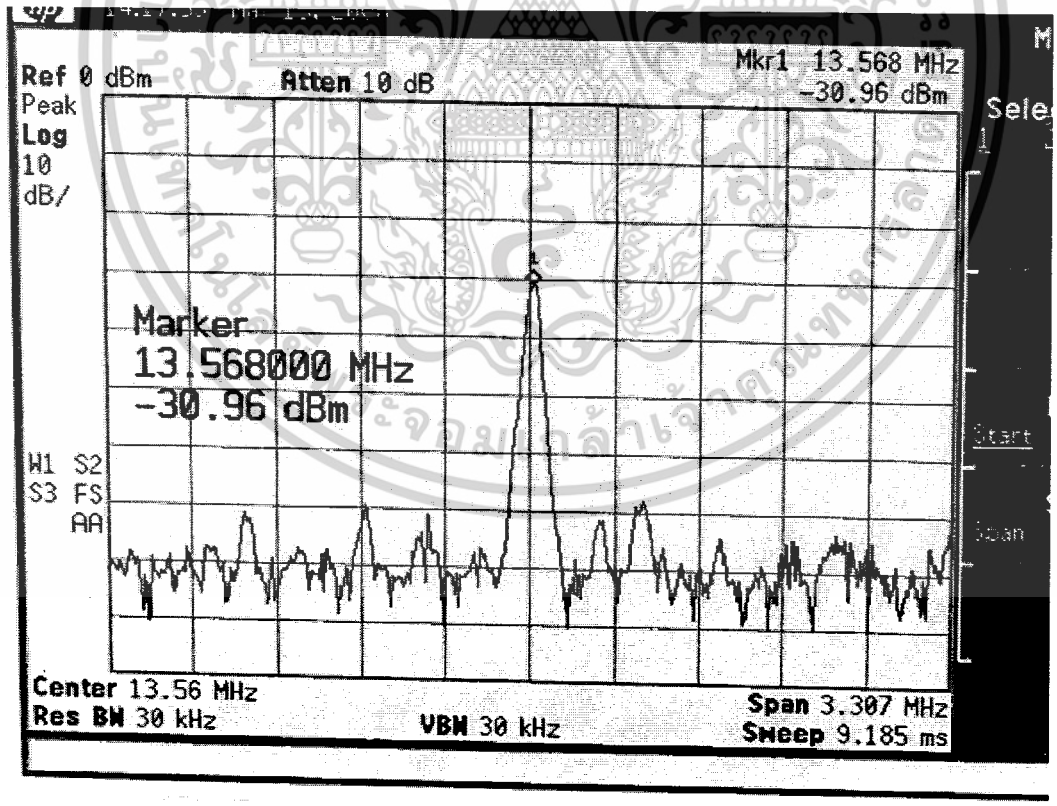
เมื่อนำสัญญาณที่เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีรับข้อมูลจากแท็ก ดังรูปที่ 4.6 แสดงผลผ่านโปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินอลได้ผลดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ข้อมูลที่แท็กส่งกลับมาเครื่องอ่านในโหมดการทำงานเก็ตแท็กอินฟอร์เมชัน

- ภาพสเปกตรัมของโมดูลอาร์เอฟไอดี

เมื่อทำการวัดสเปกตรัมของโมดูลอาร์เอฟไอดี วัดค่าได้ที่ความถี่ 13.568000 เมกะเฮิรตซ์ ดังรูปที่ 4.8

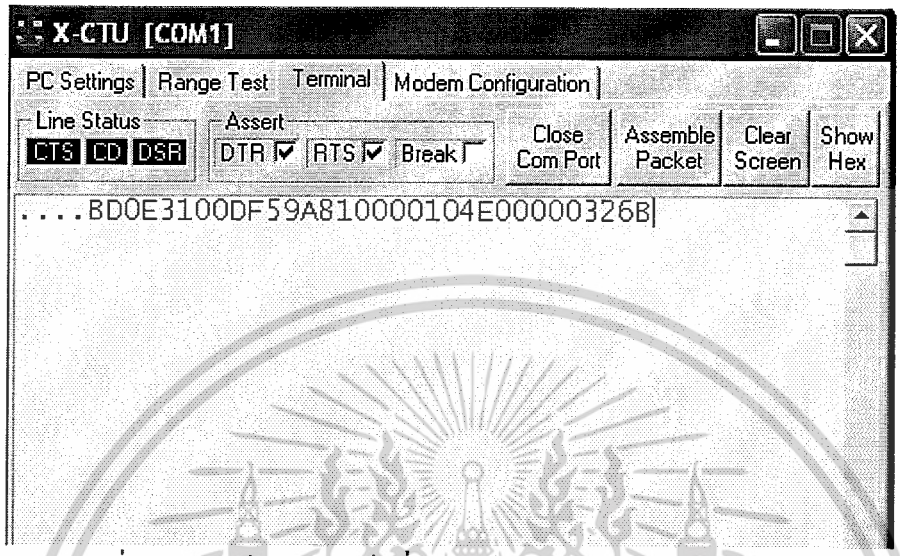


รูปที่ 4.8 รูปร่างสเปกตรัมอาร์เอฟไอดี เมื่อวัดที่ความถี่ 13.56 เมกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

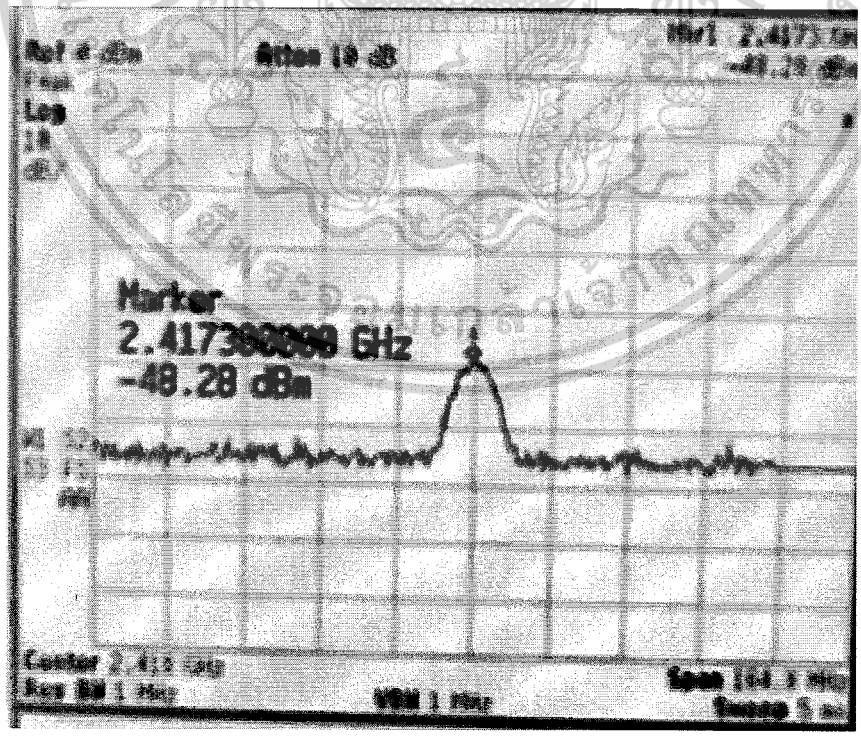
4.2 ส่วนของโมดูลไร้สายซิกบี

เมื่อข้อมูลที่เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี อ่านจากแท็กถูกส่งผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์, โมดูลไร้สายซิกบีภาคส่ง, โมดูลไร้สายซิกบี เบส และเมื่อส่งมาถึงโมดูลไร้สายซิกบีภาครับจะได้ข้อมูลดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงข้อมูลของแท็กที่ถูกส่งเข้ามายังโมดูลไร้สายซิกบีภาครับ

เมื่อทำการวัดสเปกตรัม ซิกบี วัดค่าได้ที่ความถี่ 2.413 กิกะเฮิรตซ์ ได้ความแรงของสัญญาณจากการวัดเป็น -48.28 มิลลิเดซิเบล ซึ่งเท่ากับ 59.156 ไมโครวัตต์ ดังรูปที่ 4.10



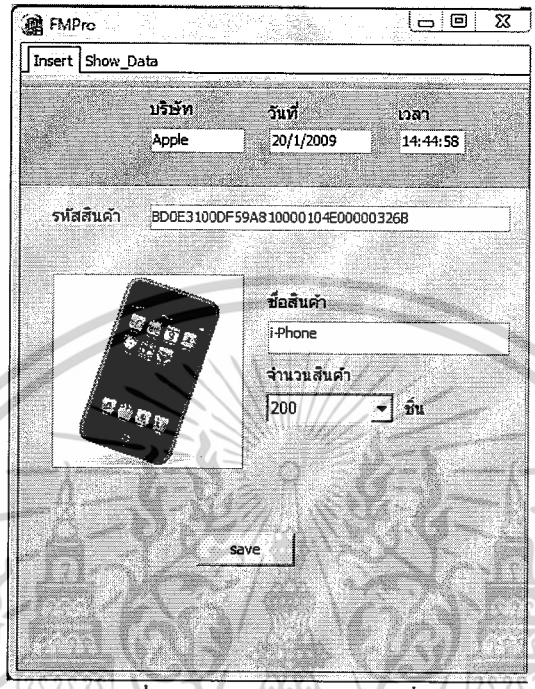
รูปที่ 4.10 รูปร่างสเปกตรัมของซิกบี เมื่อวัดที่ความถี่ 2.413 กิกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ส่วนของการรับค่าอินเตอร์เฟสพอร์ตอนุกรมและส่วนของการแสดงข้อมูลจากฐานข้อมูล

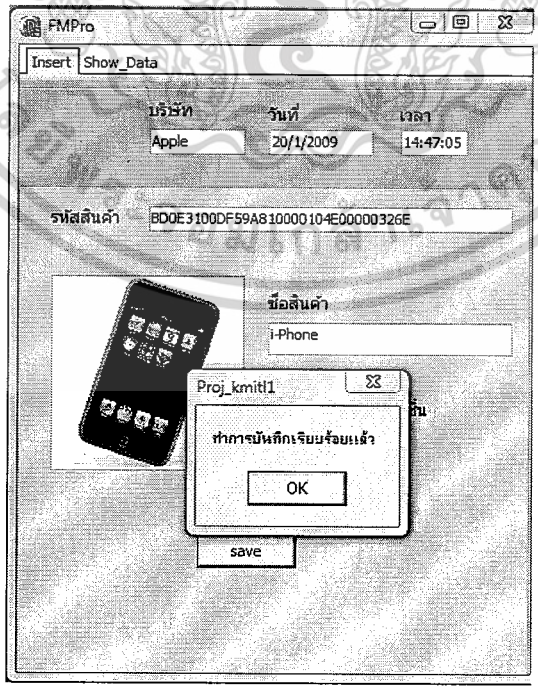
ขั้นตอนการเพิ่มสินค้าใหม่และบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูล

1. เมื่อต้องการเพิ่มสินค้าชนิดใหม่ในระบบคลังสินค้า เข้าไปในหน้าต่าง Insert กรอกข้อมูลที่ต้องการให้ครบถ้วน ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงหน้าต่าง Insert เพื่อกรอกข้อมูลของสินค้าที่ต้องการบันทึกลงในฐานข้อมูล

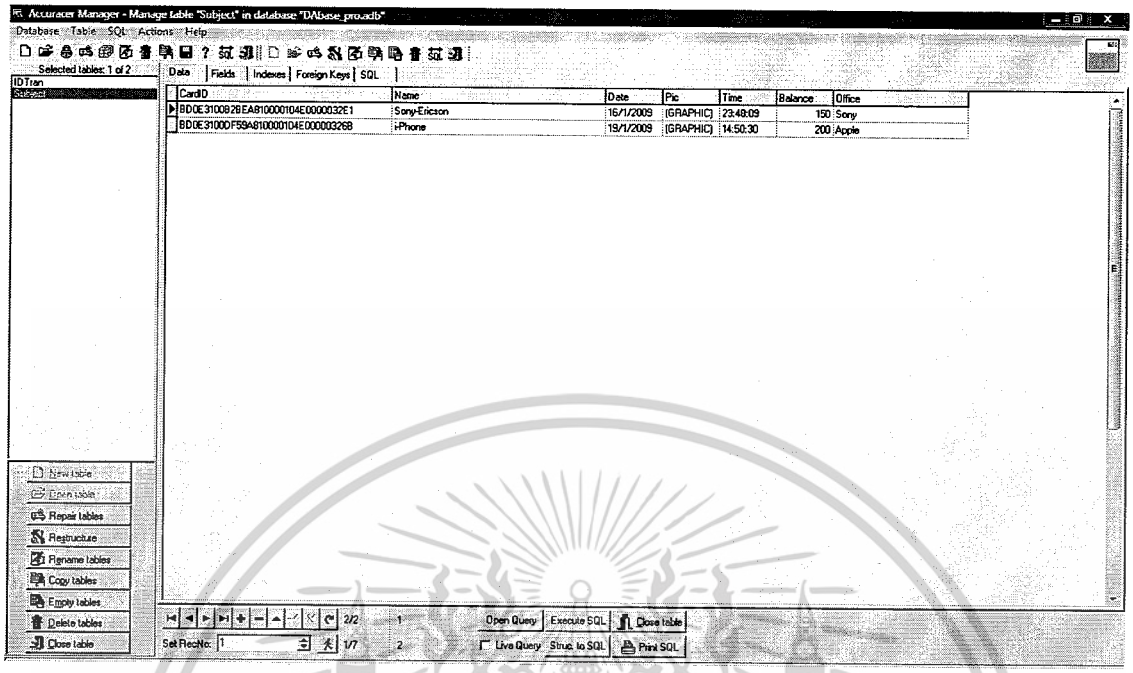
2. เมื่อกดปุ่ม save จะปรากฏหน้าต่างย่อยแสดงข้อความ “ทำการบันทึกเรียบร้อยแล้ว” โดยโปรแกรมจะทำการบันทึกข้อมูลต่างๆของสินค้าลงในฐานข้อมูล



รูปที่ 4.12 การแสดงหน้าต่างยืนยันว่าทำการบันทึกข้อมูลเรียบร้อยแล้ว

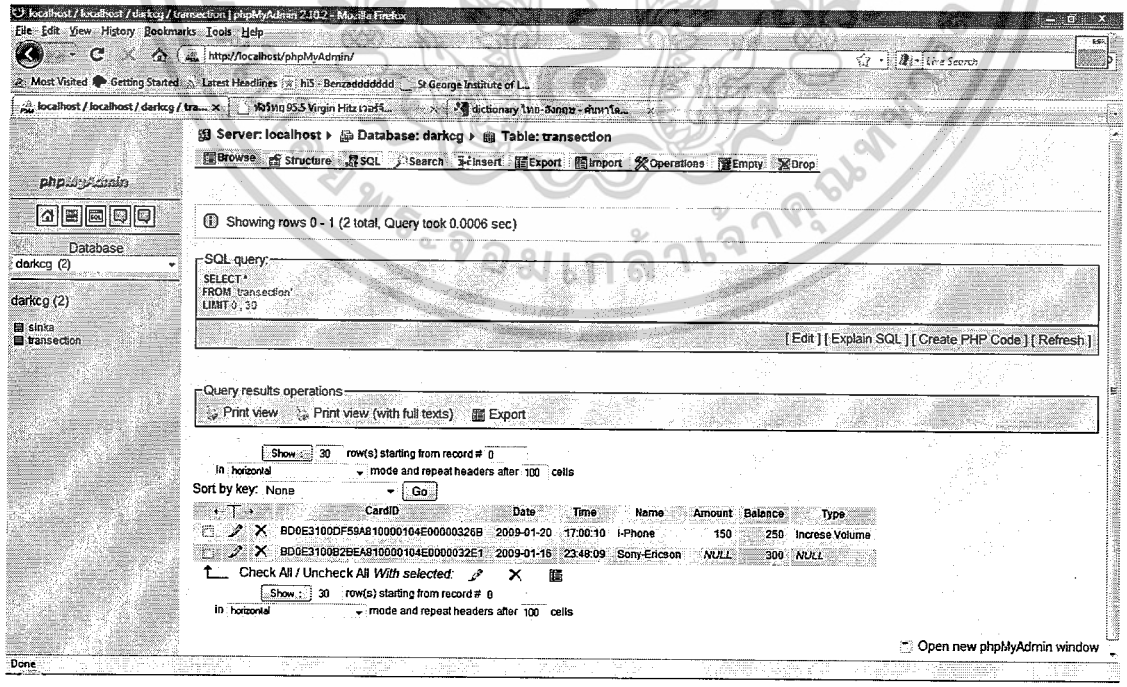
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หลังจากทำการบันทึกข้อมูลแล้ว ข้อมูลจะปรากฏในฐานข้อมูล ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แสดงข้อมูลต่างๆ ที่ถูกบันทึกลงในฐานข้อมูล

4. แสดงฐานข้อมูล PHPMyAdmin หลังจากข้อมูลต่างๆ ของสินค้าถูกบันทึกในฐานข้อมูล ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แสดงฐานข้อมูล PHPMyAdmin ที่ทำการบันทึกข้อมูลเรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการแสดงข้อมูลจากฐานข้อมูลและเพิ่มจำนวนสินค้า

1. ในการเบิกสินค้าหรือการเพิ่มจำนวนสินค้าจะทำในหน้าต่าง Show_Data เมื่อรับค่ารหัสสินค้าที่เราต้องการจะเบิกหรือเพิ่มจำนวนสินค้า ซึ่งหน้าต่างนี้จะแสดงข้อมูลต่างๆ ที่อยู่ในฐานข้อมูล รวมทั้งจำนวนสินค้าทั้งหมดที่มีในคลังสินค้า ดังรูปที่ 4.15

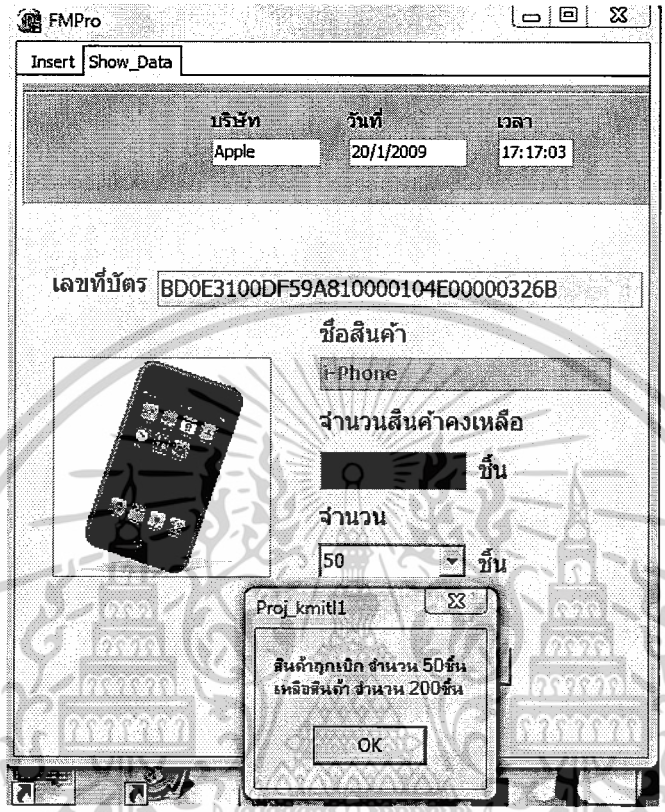
รูปที่ 4.15 หน้าต่างแสดงข้อมูลของสินค้า เมื่อทำการรับค่ารหัสสินค้าจากพอร์ตอนุกรม

2. ในกรณีที่ทำการเบิกสินค้า โดยเราจะทำการใส่ตัวเลขตามจำนวนที่ต้องการเบิกในช่อง “จำนวน” ในหน้าต่าง Show_Data ดังรูปที่ 4.16

รูปที่ 4.16 หน้าต่างที่ใช้ใส่ตัวเลขตามจำนวนที่จะทำการเบิกสินค้า

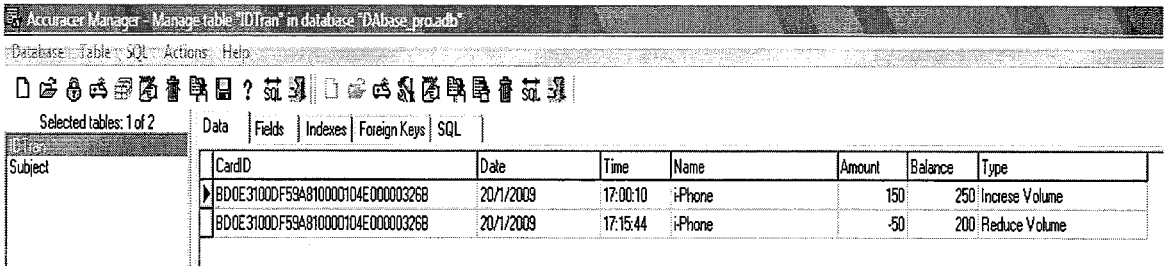
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เมื่อกดปุ่ม “เบิกสินค้า” จะมีหน้าต่างย่อยแสดงข้อความว่า เบิกสินค้าไปเท่าไหร่และเหลือสินค้าอยู่เท่าไหร่ พร้อมทั้งในช่องสินค้าคงเหลือ จะปรากฏจำนวนสินค้าคงเหลือหลังจากถูกเบิกสินค้าไปแล้ว ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 แสดงหน้าต่างย่อยและข้อความเพื่อยืนยัน เมื่อทำการเบิกสินค้า

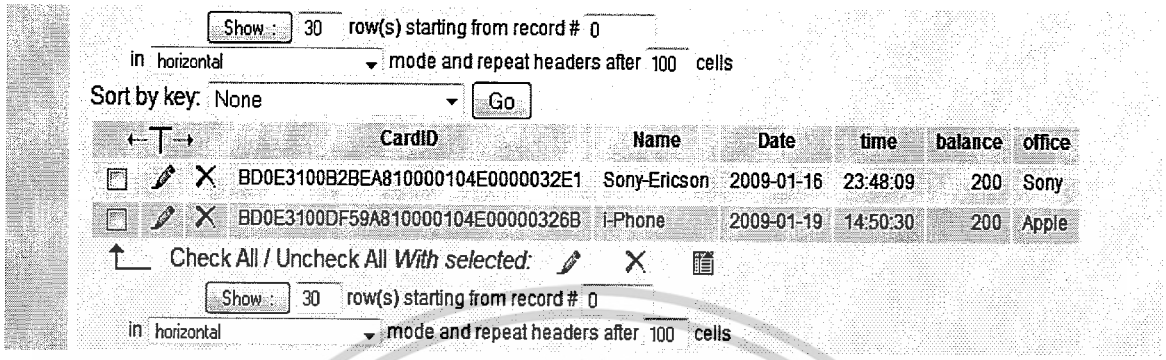
4. ฐานข้อมูลจะทำการอัพเดตข้อมูลทันที หลังจากที่ทำการเบิกสินค้าไปแล้ว ทำให้จำนวนสินค้าที่ปรากฏในฐานข้อมูลกลายเป็นจำนวนคงเหลือ ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 แสดงจำนวนสินค้าคงเหลือที่ปรากฏในฐานข้อมูล หลังจากทำการเบิกสินค้าไปแล้ว

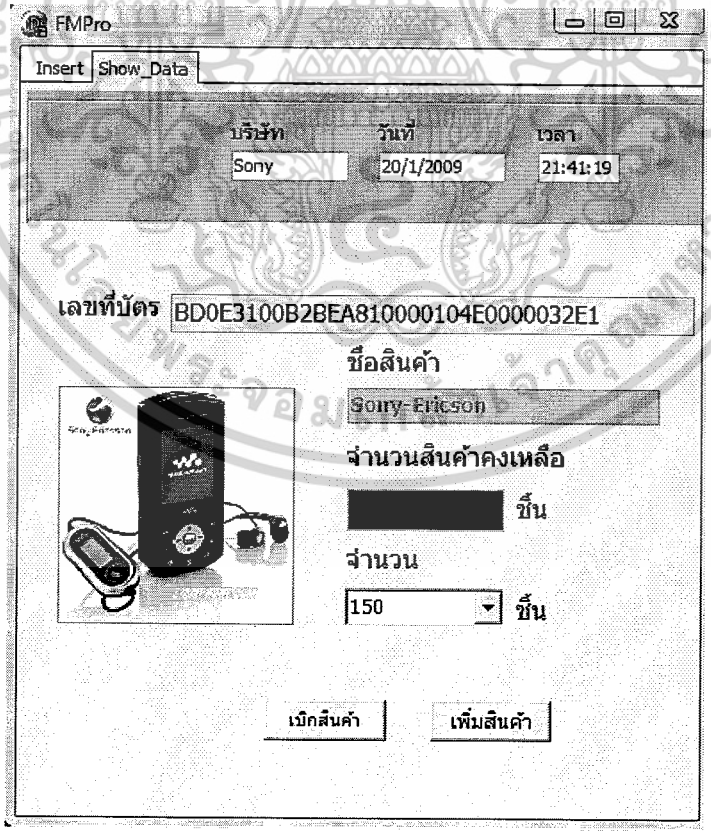
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ฐานข้อมูล PHPMyAdmin ที่ถูกอัพเดตข้อมูล หลังจากที่ทำการเบิกสินค้าไปแล้ว ทำให้จำนวนสินค้าที่ปรากฏในฐานข้อมูลกลายเป็นจำนวนคงเหลือ ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 แสดงจำนวนสินค้าคงเหลือที่ปรากฏในฐานข้อมูล PHPMyAdmin หลังจากทำการเบิกสินค้าไปแล้ว

6. ในกรณีการเพิ่ม โดยเราจะทำการใส่ตัวเลขตามจำนวนที่ต้องการเพิ่มสินค้าในช่อง “จำนวน” ในหน้าต่าง Show_Data ดังรูปที่ 4.20



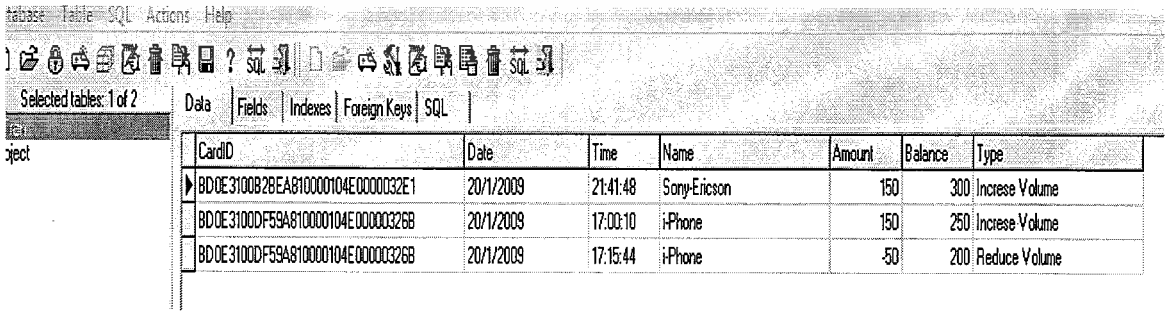
รูปที่ 4.20 หน้าต่างที่ใช้ใส่ตัวเลขตามจำนวนที่จะทำการเพิ่มสินค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เมื่อกดปุ่ม “เพิ่มสินค้า” จะมีหน้าต่างย่อยแสดงข้อความว่า รับสินค้าเพิ่มมาเท่าไหร่ และจำนวนสินค้าทั้งหมดเท่าไหร่ พร้อมทั้งในช่องสินค้าคงเหลือ จะปรากฏจำนวนสินค้าคงเหลือหลังจากทำการเพิ่มสินค้าไปแล้ว ดังรูปที่ 4.21

รูปที่ 4.21 แสดงหน้าต่างย่อยและข้อความเพื่อยืนยัน เมื่อทำการเพิ่มสินค้า

8. ฐานข้อมูลจะทำการอัพเดตข้อมูลทันที หลังจากที่ทำการเพิ่มสินค้าเข้าไปแล้ว ทำให้จำนวนสินค้าที่ปรากฏในฐานข้อมูลกลายเป็นจำนวนคงเหลือ ดังรูปที่ 4.22

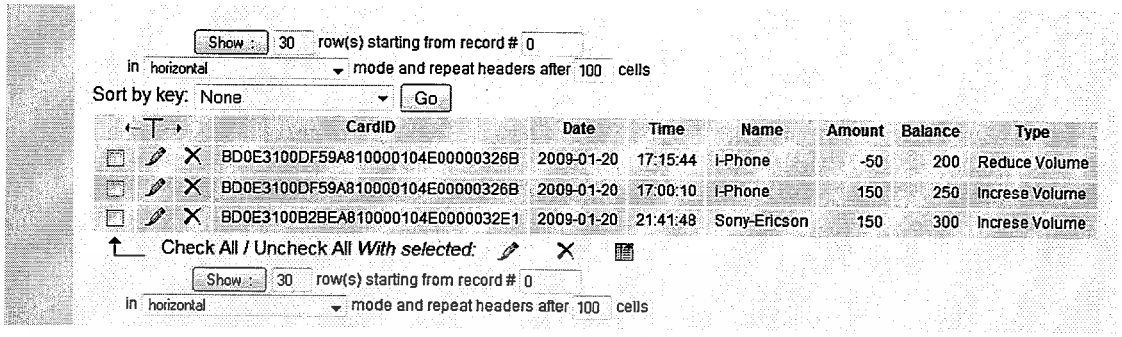


CardID	Date	Time	Name	Amount	Balance	Type
BD0E3100B2BEA810000104E0000032E1	20/1/2009	21:41:48	Sony-Ericson	150	300	Increse Volume
BD0E3100DF59A810000104E00000326B	20/1/2009	17:00:10	iPhone	150	250	Increse Volume
BD0E3100DF59A810000104E00000326B	20/1/2009	17:15:44	iPhone	-50	200	Reduce Volume

รูปที่ 4.22 แสดงจำนวนสินค้าคงเหลือที่ปรากฏในฐานข้อมูล หลังจากทำการเพิ่มสินค้าเข้าไปแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ฐานข้อมูลที่เป็น PHPMyAdmin ที่ถูกอัพเดตข้อมูล หลังจากที่ทำการเพิ่มสินค้าในคลังสินค้าไปแล้ว ทำให้จำนวนสินค้าที่ปรากฏในฐานข้อมูลกลายเป็นจำนวนคงเหลือ ดังรูปที่ 4.23



Show : 30 row(s) starting from record # 0
in horizontal mode and repeat headers after 100 cells
Sort by key: None Go

CardID	Date	Time	Name	Amount	Balance	Type
BD0E3100DF59A810000104E00000326B	2009-01-20	17:15:44	i-Phone	-50	200	Reduce Volume
BD0E3100DF59A810000104E00000326B	2009-01-20	17:00:10	i-Phone	150	250	Increse Volume
BD0E3100B2BEA810000104E0000032E1	2009-01-20	21:41:48	Sony-Ericson	150	300	Increse Volume

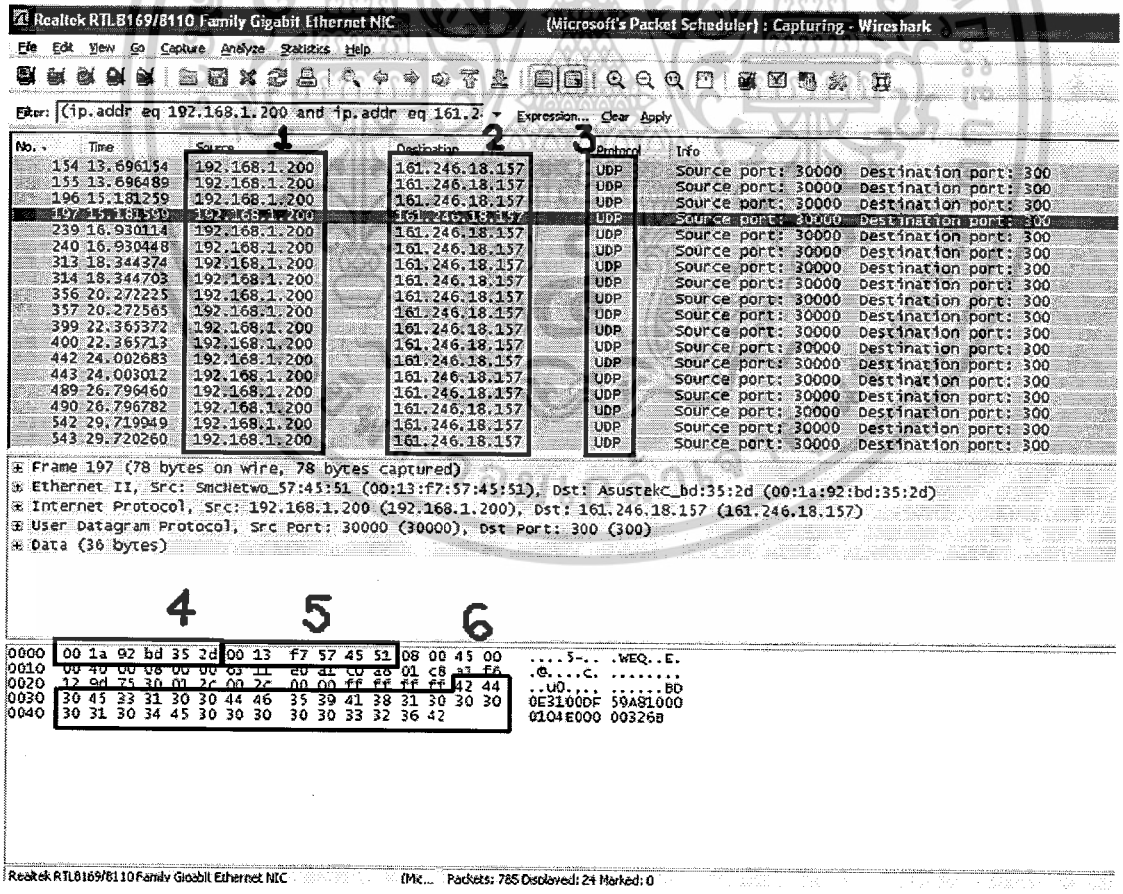
Check All / Uncheck All *With selected:*

Show : 30 row(s) starting from record # 0
in horizontal mode and repeat headers after 100 cells

รูปที่ 4.23 แสดงจำนวนสินค้าคงเหลือที่ปรากฏในฐานข้อมูล PHPMyAdmin หลังจากทำการเพิ่มสินค้าเข้าไปแล้ว

4.4 ส่วนของการทดลองการแสดงผลข้อมูล

การทดลองการแสดงผลข้อมูล wireshark จากผลการทดลองได้ดังรูป 4.24



รูปที่ 4.24 แสดงผลหน้าจอโปรแกรม wireshark เมื่อมีการส่งแพ็กเก็จเข้ามาในคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.24 อธิบายได้ดังนี้

- หมายเลข 1 : IP Address ของต้นทาง ซึ่งเป็น IP Address ของอีเทอร์เน็ท คือ 192.168.1.200

- หมายเลข 2 : IP Address ของปลายทางซึ่งเป็น IP Address ของเครื่องคอมพิวเตอร์ คือ 161.246.18.146

- หมายเลข 3 : ต้นทางและปลายทางมีการติดต่อสื่อสารกันโดยใช้โปรโตคอล ยูดีพี

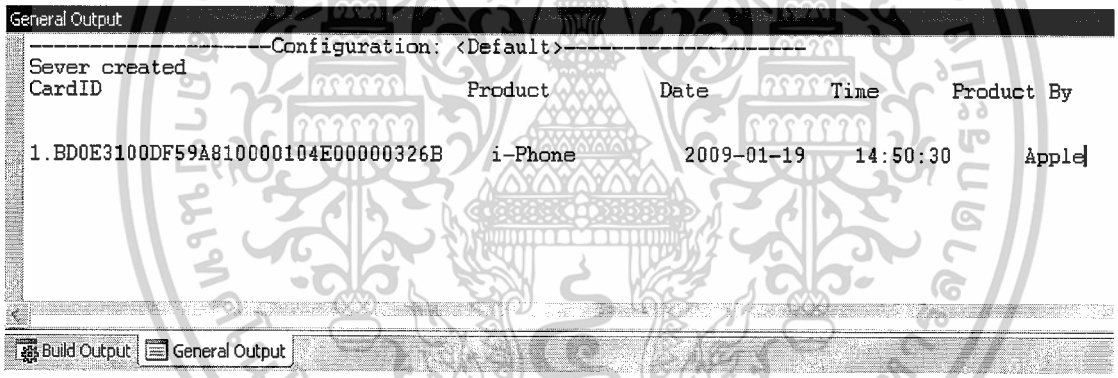
- หมายเลข 4 : Mac Address ของปลายทางซึ่งเป็น Mac Address ของเครื่องคอมพิวเตอร์ คือ 00-19-92-bd-35-2d

- หมายเลข 5 : Mac Address ของต้นทาง คือ 00-13-E7-57-45-51

- หมายเลข 6 : แสดงข้อมูลที่อยู่ในรูปแพ็คเกจ ซึ่งเป็นของข้อมูลของแท็กอาร์เอฟไอดี

4.5 ส่วนของการทดลองแสดงข้อมูลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

จากการทดลองแสดงข้อมูลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ทางฝั่งอีเทอร์เน็ทได้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.25 ซึ่งหน้าจอจะแสดงหมายเลขแท็กอาร์เอฟไอดีของสินค้า ชนิดของสินค้า วันที่และเวลาของสินค้าชนิดนี้ ตามลำดับ



รูปที่ 4.25 การแสดงผลข้อมูลผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ฝั่งอีเทอร์เน็ท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทวิจารณ์และสรุปผล

5.1 บทวิจารณ์

จากการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี ไมโครคอนโทรลเลอร์ โมดูลไร้สาย ซิกบี และโปรแกรมเดลไฟ พบปัญหาดังนี้

5.1.1 ในส่วนของอาร์เอฟไอดี

สำหรับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีที่ใช้ในโครงงานนี้ สามารถใช้งานได้ดี เครื่องอ่านมีแรงดัน 5 โวลท์ ในการใช้งานนั้นควรวางแท็กให้อยู่ในระยะไม่เกิน 75 มิลลิเมตร เพราะหากเกินจากระยะนี้จะไม่สามารถอ่านค่าได้

5.1.2 ในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการออกแบบการสื่อสารไร้สาย ในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ด้านส่ง จะทำหน้าที่รับค่าจากเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี แสดงข้อมูลเป็นไบนารี่บิต ผ่านหลอดไฟแอลอีดี แล้วไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการส่งค่าไปยังโมดูลไร้สาย ซิกบี ทางภาคส่ง ซึ่งการส่งข้อมูลไปยังโมดูลไร้สาย ซิกบี จำเป็นต้องใช้แรงดัน 3.3 โวลท์ ทางด้านภาครับเมื่อโมดูลไร้สายซิกบี รับค่ามาจะต้องแปลงแรงดันให้เหมาะสมกับการใช้งานโดยใช้วงจร MAX-232 ซึ่งต้องระวังไม่ให้ไฟเลี้ยงที่ป้อนวงจรเกิดการกระชากเพราะจะทำให้เกิดการส่งข้อมูลผิดพลาด และวงจรอาจเกิดความเสียหายได้

5.1.3 ในส่วนของโมดูลไร้สายซิกบี

โปรแกรมในการกำหนดค่าโมดูลไร้สาย ซิกบี จะกำหนดค่าโดยผ่านโปรแกรม X-CTU โดยการติดต่อสื่อสารระหว่างโมดูลไร้สาย ซิกบี ทางภาคส่งและภาครับจะทำการส่งค่ามาทีละไบต์ โมดูลไร้สาย ซิกบี จะใช้ไฟเลี้ยง 3.3 โวลท์ ซึ่งจะต้องใช้เรกูเรเตอร์ ในการแปลงแรงดันต้องระวังไม่จ่ายไฟเลี้ยงมากเกินข้อกำหนด มิฉะนั้นจะทำให้โมดูลไร้สาย ซิกบี เกิดความเสียหาย ทำให้สิ้นเปลืองเพราะมีราคาแพง

5.1.4 ในส่วนของโปรแกรมเดลไฟ

ในการเขียนโปรแกรมรับค่าจากพอร์ตอนุกรมและเปรียบเทียบค่าในฐานข้อมูลเพื่อแสดงผลนั้น พบปัญหาเนื่องจากความไม่ชำนาญในการเขียนโปรแกรมมากนัก ทำให้โปรแกรมอาจมีข้อผิดพลาดบางประการในการแสดงผลข้อมูล

5.2 บทสรุป

จากการที่ได้ทำการศึกษาและทดลองเพื่อสร้างอาร์เอฟไอดี แบบโครงข่ายพบว่า วงจรและโปรแกรมที่สร้างนั้นสามารถส่งข้อมูลจากทางภาคส่งไปยังภาครับแบบไร้สายและแสดงผลออกหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้ ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี อาจารย์ที่ปรึกษาให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือ จึงขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา คือ รศ.ดร. ปราโมทย์ วาดเขียน และผศ.ดร. จีรสุดา โกษียาภรณ์ ขอขอบคุณเพื่อนๆ และพี่ทุกๆ คนที่คอยให้คำแนะนำและเป็นปรึกษาเกี่ยวกับโครงงาน คณะผู้จัดทำจึงหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงงานนี้ จะสามารถนำไปเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อๆไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ประสิทธิ์ ทีฆพุฒิ, "เอกสารประกอบคำสอนวิชา 2102257 Telecommunication Network," คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535 – 2547

[2] ไพโรจน์ ไววานิจกิจ, "อาร์เอฟไอดี เทคโนโลยีสายพลิกโลก," วารสารเซมิคอนดัคเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, 2548-2549

[3] Andre Ampelas, "Towards a city pass ICARE-CALYPSO," electronics money and city services, 1998.

[4] Atmel Corporation, "RFID-ASIC Fact Sheet," March, 1994.

[5] Klaus DZiggel, "The SOFIS Auto-ID Identification System," Lecture script For SMAID'97, Dortmud, 1997.

[6] EAN UCC, "White Paper on Radio Frequency Identification," EAN International & UCC Inc, 1999.

[7] Scotts Valley, Escort System, Escort Menory System and John Deere Company, "RFID Application – Case Study. Agricultural Equipment Manufacture," California, 1988.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ก. โค้ดอาร์เอฟไอดี (Code RFID)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ORG 0000H
      MOV   P0,#00H
      MOV   PCON,#80H
      MOV   SCON,#50H
      MOV   TMOD,#21H
      MOV   TH1,#0FDH

      MOV   P0,#01001110B
      LCALL DELAY3

      CLR   TI
      CLR   RI

MAIN: JB    P1.0,$
      SETB  TR1

;************************************
;COMMAND    31
;************************************

      MOV   ACC,#0BAH
      LCALL DL_LCD
      LCALL TX

      MOV   ACC,#02H
      LCALL DL_LCD
      LCALL TX

      MOV   ACC,#31H
      LCALL DL_LCD
      LCALL TX

      MOV   ACC,#89H
      LCALL DL_LCD
      LCALL TX

      LCALL DL_LCD

      MOV   R0,#031H
      MOV   R4,#010H

RES:  LCALL RX
      MOV   @R0,ACC
      INC   R0
      DJNZ  R4,RES

      MOV   R0,#031H
      MOV   R4,#010H

PRE:  MOV   ACC,@R0
      MOV   P0,ACC
      LCALL DELAY3
      LCALL DIV
      INC   R0
      DJNZ  R4,PRE

      MOV   P0,#11111111B
       LCALL      DELAY3

;************************************
;COMMAND    32
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;************************************

        MOV    ACC,#0BAH
        LCALL  DL_LCD
        LCALL  TX

        MOV    ACC,#04H
        LCALL  DL_LCD
        LCALL  TX

        MOV    ACC,#32H
        LCALL  DL_LCD
        LCALL  TX

        MOV    ACC,#00H
        LCALL  DL_LCD
        LCALL  TX

        MOV    ACC,#01H
        LCALL  DL_LCD
        LCALL  TX

        MOV    ACC,#8DH
        LCALL  DL_LCD
        LCALL  TX

        LCALL  DL_LCD

        MOV    R0,#031H
        MOV    R4,#06H

RES_1:  LCALL  RX
        MOV    @R0,ACC
        INC    R0
        DJNZ   R4,RES_1

        MOV    R0,#031H
        MOV    R4,#06H

PRE_1:  MOV    ACC,@R0
        MOV    P0,ACC
        LCALL  DELAY3

        LCALL  DIV

        INC    R0
        DJNZ   R4,PRE_1

        MOV    P0,#11111111B
        LCALL  DELAY3

;****************************************
;COMMAND     33
;****************************************

        MOV    ACC,#0BAH
        LCALL  DL_LCD
        LCALL  TX

        MOV    ACC,#04H
        LCALL  DL_LCD
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LCALL TX

        MOV   ACC,#33H
        LCALL DL_LCD
        LCALL TX

        MOV   ACC,#00H
        LCALL DL_LCD
        LCALL TX

        MOV   ACC,#10H
        LCALL DL_LCD
        LCALL TX

        MOV   ACC,#09DH
        LCALL DL_LCD
        LCALL TX

        LCALL DL_LCD

        MOV   R0,#031H
        MOV   R4,#09H

RES_2:  LCALL RX
        MOV   @R0,ACC
        INC   R0
        DJNZ  R4,RES_2

        MOV   R0,#031H
        MOV   R4,#09H

PRE_2:  MOV   ACC,@R0
        MOV   P0,ACC
        LCALL DELAY3

        LCALL DIV

        INC   R0
        DJNZ  R4,PRE_2

        MOV   P0,#11111111B
        LCALL DELAY3

;*****************************************
;COMMAND    34
;*****************************************


CM_34:  MOV   ACC,#0BAH
        LCALL DL_LCD
        LCALL TX

        MOV   ACC,#07H
        LCALL DL_LCD
        LCALL TX

        MOV   ACC,#34H
        LCALL DL_LCD
        LCALL TX

        MOV   ACC,#00H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LCALL DL_LCD
        LCALL TX

        MOV   ACC,#08H
        LCALL DL_LCD
        LCALL TX

        MOV   ACC,#04H
        LCALL DL_LCD
        LCALL TX

        MOV   ACC,#02H
        LCALL DL_LCD
        LCALL TX

        MOV   ACC,#01H
        LCALL DL_LCD
        LCALL TX

        MOV   ACC,#086H
        LCALL DL_LCD
        LCALL TX

        LCALL DL_LCD

        MOV   R0,#031H
        MOV   R4,#09H

RES_3:  LCALL RX
        MOV   @R0,ACC
        INC   R0
        DJNZ  R4,RES_3

        MOV   R0,#031H
        MOV   R4,#09H

PRE_3:  MOV   ACC,@R0
        MOV   P0,ACC
        LCALL DELAY3

        LCALL DIV

        INC   R0
        DJNZ  R4,PRE_3

        MOV   P0,#11111111B
        LCALL DELAY3

;*****************************************
;COMMAND    35  AFI
;*****************************************

        MOV   ACC,#0BAH
        LCALL DL_LCD
        LCALL TX
        MOV   ACC,#03H
        LCALL DL_LCD
        LCALL TX

        MOV   ACC,#35H
        LCALL DL_LCD
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LCALL TX

        MOV   ACC,#38H
        LCALL DL_LCD
        LCALL TX

        MOV   ACC,#0B4H
        LCALL DL_LCD
        LCALL TX

        LCALL DL_LCD

        MOV   R0,#031H
        MOV   R4,#06H

RES_4:  LCALL RX
        MOV   @R0,ACC
        INC   R0
        DJNZ  R4,RES_4

        MOV   R0,#031H
        MOV   R4,#06H

PRE_4:  MOV   ACC,@R0
        MOV   P0,ACC
        LCALL DELAY3
        LCALL DIV

        INC   R0
        DJNZ  R4,PRE_4

        MOV   P0,#11111111B
        LCALL DELAY3


;*****************************************
;COMMAND    36 DSFID
;*****************************************

        MOV   ACC,#0BAH
        LCALL DL_LCD
        LCALL TX

        MOV   ACC,#03H
        LCALL DL_LCD
        LCALL TX

        MOV   ACC,#36H
        LCALL DL_LCD
        LCALL TX

        MOV   ACC,#04H
        LCALL DL_LCD
        LCALL TX

        MOV   ACC,#8BH
        LCALL DL_LCD
        LCALL TX

        LCALL DL_LCD
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV    R0,#031H
        MOV    R4,#06H

RES_5:  LCALL RX
        MOV    @R0,ACC
        INC    R0
        DJNZ   R4,RES_5

        MOV    R0,#031H
        MOV    R4,#06H

PRE_5:  MOV    ACC,@R0
        MOV    P0,ACC
        LCALL DELAY3
        LCALL DIV

        INC    R0
        DJNZ   R4,PRE_5

        MOV    P0,#11111111B
        LCALL DELAY3

        LCALL MAIN

;*****************************************
;ACS II
;*****************************************

DIV:    MOV    B,#010H
        DIV    AB
        MOV    R1,A
        MOV    R2,B

        MOV    A,R1
        LCALL COMPAR
        CJNE   A,#0FFH,TX1
        RET

TX1:    LCALL TX            ;SENT A
        MOV    A,R2
        LCALL COMPAR
        CJNE   A,#0FFH,TX2
        RET

TX2:    LCALL TX            ;SENT B
        MOV    A,#20H
        LCALL TX
        RET

;*************************************
;COMPARE
;*************************************

COMPAR:     CJNE  A,#00H,CP_1
        MOV    A,#30H
        RET
CP_1:   CJNE   A,#01H,CP_2
        MOV    A,#31H
        RET
CP_2:   CJNE   A,#02H,CP_3
        MOV    A,#32H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        RET
CP_3:   CJNE   A,#03H,CP_4
        MOV    A,#33H
        RET
CP_4:   CJNE   A,#04H,CP_5
        MOV    A,#34H
        RET
CP_5:   CJNE   A,#05H,CP_6
        MOV    A,#35H
        RET
CP_6:   CJNE   A,#06H,CP_7
        MOV    A,#36H
        RET
CP_7:   CJNE   A,#07H,CP_8
        MOV    A,#37H
        RET
CP_8:   CJNE   A,#08H,CP_9
        MOV    A,#38H
        RET
CP_9:   CJNE   A,#09H,CP_10
        MOV    A,#39H
        RET
CP_10:        CJNE  A,#0AH,CP_11
        MOV    A,#41H
        RET
CP_11:        CJNE  A,#0BH,CP_12
        MOV    A,#42H
        RET
CP_12:        CJNE  A,#0CH,CP_13
        MOV    A,#43H
        RET
CP_13:        CJNE  A,#0DH,CP_14
        MOV    A,#44H
        RET
CP_14:        CJNE  A,#0EH,CP_15
        MOV    A,#45H
        RET
CP_15:        CJNE  A,#0FH,CP_16
        MOV    A,#46H
        RET

CP_16:        MOV    A,#0FFH
        RET

;****************************************
;RX TX
;****************************************

TX:     MOV    SBUF,ACC
        JNB    TI,$
        CLR    TI
        RET

RX:     JNB    RI,$
        MOV    ACC,SBUF
        CLR    RI
        RET

;******************
;Delay 2ms
;******************
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DL_LCD:             MOV   R6,#0F0H
DEL00:              MOV   R7,#03H
DEL11:              DJNZ  R7,DEL11
                    DJNZ  R6,DEL00
                    RET

;******************
;Delay 10ms
;******************
DELAY1:             MOV   R6,#0FFH
DEL2:               MOV   R7,#013H
DEL3:               DJNZ  R7,DEL3
                    DJNZ  R6,DEL2
                    RET

;******************
;Delay 100ms
;******************
DELAY2:             MOV   R6,#0E6H
DEL4:               MOV   R7,#0D8H
DEL5:               DJNZ  R7,DEL5
                    DJNZ  R6,DEL4
                    RET

;******************
;Delay 1s
;******************
DELAY3:             MOV   R5,#0E0H
LOOP3:              MOV   R6,#0FFH
LOOP2:              MOV   R7,#07H
LOOP1:              DJNZ  R7,LOOP1
                    DJNZ  R6,LOOP2
                    DJNZ  R5,LOOP3
                    RET

END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ข. ซิกบี คอมมานด์ โหมด

(ZigBee Command Mode)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ZigBee Command Mode

สำหรับการควบคุมการทำงานของ ZigBee จำเป็นต้องใช้ Command ของ ZigBee ซึ่งรายละเอียดมีดังต่อไปนี้

1. Command Mode

การเปลี่ยนแปลงหรือการอ่านค่าพารามิเตอร์ของ RF Module จะต้องเข้าสู่ Command Mode ก่อน (Command mode คือสถานะที่โมดูลรับตัวอักษรมาแปลงเป็นคำสั่ง) อุปกรณ์ ZigBee สนับสนุน 2 โหมดคำสั่งคือ AT Command Mode และ API Command Mode

2. AT Command Mode

การเข้าสู่ AT Command mode ใช้คำสั่ง "+++"

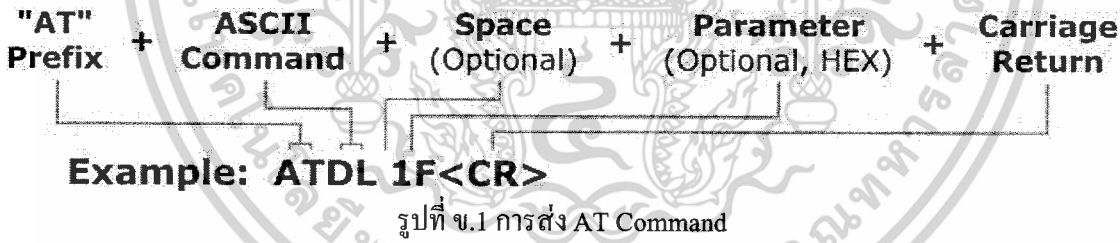
ค่าเริ่มต้นของ AT Command Mode

- ไม่มีตัวอักษรส่ง 1 วินาที [Guard Times parameter = 0x3E8]
- ตัวอักษร "+++" รอ 1 วินาที [CC(command sequence Characters parameter =0X2B]
- ไม่มีตัวอักษรส่ง 1 วินาที [Guard Times parameter = 0x3E8]

หมายเหตุ : การเข้าสู่โหมดคำสั่งต้องตั้ง Baud rate ให้ตรงกัน ค่าเริ่มต้นของ BD parameter =3 (9600 bps)

3. การส่ง AT Commands

การส่ง AT Command และ ค่าพารามิเตอร์ต้องใช้รูปแบบดังนี้



รูปที่ ข.1 การส่ง AT Command

ตัวอย่างคำสั่งก่อนหน้าใช้เปลี่ยน RF module Destination Address (Low) ให้เป็น "0X1F" เพื่อเก็บค่าไปยัง non-volatile memory แล้วส่งคำสั่ง WR (Write)

การใช้คำสั่ง WR เพื่อให้การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์และยังคงอยู่แม้จะทำการ Reset โมดูลไปแล้ว หากไม่ได้ใช้คำสั่ง WR ค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงจะกลับไปเหมือนเดิมเมื่อมีการ Reset โมดูลเกิดขึ้น

การตอบสนองของระบบ(System Response) เมื่อคำสั่งถูกส่งไปยังโมดูล โมดูลจะทำการอ่านและประมวลผลคำสั่ง เมื่อประมวลผลคำสั่งสำเร็จจะส่งข้อความ "ok" แต่ถ้าประมวลผลคำสั่งผิดพลาดจะส่งข้อความ "ERROR" ออกมาแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การออกจาก AT Command Mode

1. ส่ง ATCN (Exit Command mode)

หรือ

2.เมื่อไม่มีการส่งคำสั่งที่ถูกต้องภายในเวลาที่กำหนดใน CT (Command mode Timeout) และจะเข้าสู่สถานะว่าง (Idle Mode)

5. RF Module Configuration

5.1. Programming the RF Module

Setup

ตัวอย่างโปรแกรมนี้ต้องมีการติดตั้งโปแกรมของ MaxStream x-CTU และต่อ Serial port กับ คอมพิวเตอร์

1. ติดตั้ง MaxStream X-CTU ที่คอมพิวเตอร์ ดับเบิ้ลคลิกที่ไฟล์ “setup_X-CTU.exe”ซางสามารถดาวน์โหลดได้ที่ www.maxstream.net/support/downloads.php

2.ติดตั้ง RF module ที่บอร์ด แล้วเชื่อมต่อบอร์ดกับคอมพิวเตอร์

3.รันโปรแกรม X-CTU เลือก PC Setting ตรวจสอบ baud และ parity ให้ตรงกับ RF module

ตัวอย่าง การเปลี่ยนค่า Destination Address ของ RF module

ใช้โปรแกรม X-CTU Terminal tab ในการเปลี่ยนค่า DL(Destination Address Low) ของ RF Module แล้วบันทึกค่าไว้ในหน่วยความจำถาวร(non-volatile memory)

วิธีที่ 1 (1บรรทัดต่อ 1 คำสั่ง)

คำสั่ง AT	การตอบสนองของระบบ(System Response)
+++	OK<CR> (เข้าสู่โหมดคำสั่ง)
ATDL <Enter>	{แสดงค่า DL}<CR>(อ่านค่า Destination Address Low)
ATDL1A0D<Enter>	OK<CR>(แก้ไขค่า Destination Address Low)
ATWR<Enter>	OK<CR>(เขียนลงหน่วยความจำถาวร)
ATCN<Enter>	OK<CR>(ออกจากโหมดคำสั่ง)

วิธีที่ 2 (1บรรทัดใช้หลายคำสั่ง)

คำสั่ง AT	การตอบสนองของระบบ(System Response)
+++	OK<CR>(เข้าสู่โหมดคำสั่ง)
ATDL<Enter>	{แสดงค่า DL}<CR>(อ่านค่า Destination Address Low)
ATDL1A0D,WR,CN<Enter>	OK,OK,OK<CR>(แต่ละคำสั่งคั่นด้วย “,” ประมวลผลแต่ละคำสั่ง)

ตัวอย่าง การตั้งค่า RF module เป็นค่าตั้งต้น

เปิดโปรแกรม X-CTU เลือก แท็บ “Modem Configuration”

1.กดปุ่ม ‘READ’

2.กดปุ่ม ‘RESTORE’

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 Command Reference Tables

ใช้ตัวเลขฐานสิบหก ในการติดต่อกับ XBee/XBee-PRO RF module เลขฐานสิบหกระบุโดยนำหน้าด้วย "0X" ประเภทของคำสั่งมีดังนี้

- Special
- Networking & Security
- RF Interfacing
- Sleep (Low Power)
- Serial Interfacing
- I/O Settings
- Diagnostics
- AT Command Options

หมายเหตุ : แต่ละโมดูลใน PAN (Personal area network) จะต้องใช้ firmware version เดียวกัน

SPECIAL

ตารางที่ ข.1 XBee-PRO Commands-Special

AT Command	Command Category	Name and Description	Parameter Range	Default
WR	special	**Write**:เขียนค่าพารามิเตอร์ลงในหน่วยความจำถาวร โดยค่าพารามิเตอร์จะยังคงอยู่แม้จะมีการ Reset RF Module		
RE	special	**Restore Defaults** : ตั้งค่าพารามิเตอร์เป็นค่าดั้งเดิม		
FR	special	**Software Reset** : ตอบสนองทันทีกับOK ทำการ Reset ในอีก ประมาณ 100มิลลิวินาที		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 Network & Security

AT Command	Command Category	Name and Description	Parameter Range	Default
CH	Networking {Addressing}	**Channel** : อ่าน/ตั้งค่า หมายเลขช่องสัญญาณที่ใช้ส่งและรับระหว่าง RF module (ใช้ ช่องสัญญาณในโปรโตคอล 802.15.4)	0x0B - 0x1A (XBee) 0x0C - 0x17 (XBee-PRO)	0x0C (12d)
ID	Networking {Addressing}	**PAN ID** : อ่าน/ตั้งค่า PAN (Personal Area Network) ID ใช้ 0XFFF เพื่อบรอดคลาสต์ข้อความไปยังทุกๆ PANs	0 - 0xFFFF	0x3332 (13106d)
DH	Networking {Addressing}	**Destination Address High** : อ่าน/ตั้งค่า 32 bits บนจาก 64 bit destination address เมื่อรวมกับ DL จะเป็น Destination address ที่ใช้ในการส่งสัญญาณ การตั้งพารามิเตอร์ DH เป็นศูนย์และ DL น้อยกว่า 0XFFFF. 0X000000000000FFFF คือการบรอดคลาสต์ address สำหรับ PAN	0 - 0xFFFFFFFF	0
DL	Networking {Addressing}	**Destination Address Low** : อ่าน/ตั้งค่า 32 bits ล่างจาก 64 bit destination address เมื่อรวมกับ DH จะเป็น Destination address ที่ใช้ในการส่งสัญญาณ การตั้งพารามิเตอร์ DH เป็นศูนย์และ DL น้อยกว่า 0XFFFF. 0X000000000000FFFF คือการบรอดคลาสต์ address สำหรับ PAN	0 - 0xFFFFFFFF	0
MY	Networking {Addressing}	**16-bit Source Address** อ่าน/ตั้งค่า RF module 16-bit source address การตั้งค่า MY =0XFFF เพื่อ ปิดการรับ packet 16-bit addresses. 64-bit source address (serial number) และ broadcast address (0x000000000000FFFF)จะเปิดทำงานเสมอ	0 - 0xFFFF	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 Network & Security (ต่อ)

AT Command	Command Category	Name and Description	Parameter Range	Default
SH	Networking {Addressing}	**Serial Number High** : อ่าน 32 bits high ของ RF module IEEE 64-bit address จะมีค่าไม่ซ้ำ. 64 source address จะเปิดทำงานเสมอ	0 - 0xFFFFFFFF [read-only]	Factory-set
SL	Networking {Addressing}	**Serial Number Low** : อ่าน 32 bits low ของ RF module IEEE 64-bit address จะมีค่าไม่ซ้ำ. 64 source address จะเปิดทำงานเสมอ	0 - 0xFFFFFFFF [read-only]	Factory-set
RR	Networking {Addressing}	**XBee Retries** : อ่าน/ตั้งค่า จำนวนครั้งสูงสุดในการพยายามประมวลผลคำสั่งโดยจะเพิ่มจากค่าตั้งต้น 3 ครั้งของ 802.15.4 MAC. ซึ่ง 802.15.4 MAC จะพยายามประมวลผลคำสั่ง 3 ครั้ง	0 - 6	0
RN	Networking {Addressing}	**Random Delay Slots** : อ่าน/ตั้งค่า ค่าต่ำสุดของ back-off ใน CSMA-CA อัลกอริทึ่มซึ่งใช้ในการเลี่ยงการชนของสัญญาณ ถ้า RN = 0 จะไม่มีการทำ collision avoidance	0 - 3 [exponent]	0
MM	Networking {Addressing}	**MAC Mode** : อ่าน/ตั้งค่า MAC Mode ปิด/เปิด การใช้ MaxStream header ใน 802.15.4 packet.Mode 0(MM=0) คือ เปิดใช้งาน Mode 1 ,2 คือ 802.15.4 strict Mode	0 - 2 0 = MaxStream Mode 1 = 802.15.4 (no ACKs) 2 = 802.15.4 (with ACKs)	0
NI	Networking {Addressing}	**Node Identifier** : เก็บชื่อเฉพาะของโหนด โดยชื่อห้ามขึ้นต้นด้วยช่องว่าง ชื่อโหนดถูกแสดงโดยใช้คำสั่ง ND (Node Discover) การระบุชื่อโหนดจะใช้กับคำสั่ง DN (Destination Node)	20-character ASCII string	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 Network & Security (ต่อ)

AT Command	Command Category	Name and Description	Parameter Range	Default
ND	Networking {Addressing}	**Node Discover** :ค้นหาแล้วแสดงทุกๆ RF module ที่พบ โดยจะรายงานข้อมูลในแต่ละ module ดังนี้ MY<CR> SH<CR> SL<CR> DB<CR> NI<CR><CR>	optional 20-character NI value	
NT	Networking {Addressing}	**Node Discover Time** : อ่าน/ตั้งค่าระยะเวลาที่โหนดจะรอโหนดอื่นตอบสนองในการใช้คำสั่ง ND(Node Discover)	0x01 - 0xFC	0x19
DN	Networking {Addressing}	**Destination Node** : 1.DL และ DH ตั้งค่า address ของ module ตรงกับ Node Identifier 2.ได้รับ “OK” กลับ 3.RF module ออกจากโหมดคำสั่งอัตโนมัติ ถ้าไม่มีการตอบสนองจาก module ในเวลา 20 มิลลิวินาทีหรือไม่ได้ระบุพารามิเตอร์จะจบการทำงานคำสั่งแล้วแสดงข้อความ “error”	20-character ASCII string	
CE	Networking {Addressing}	**Coordinator Enable**: อ่าน/ตั้งค่า coordinator	0 - 1 0 = End Device 1 = Coordinator	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 Network & Security (ต่อ)

AT Command	Command Category	Name and Description	Parameter Range	Default
SC	Networking {Addressing}	**Scan channel** :อ่าน/ตั้งค่า รายการของช่องสัญญาณที่สแกนได้ ผลการสแกนได้มาเมื่อเข้าสู่โหมดคำสั่ง (AS,ED) ขณะที่ End device กำลังเข้าเครือข่าย Coordinator เริ่มทำงาน bit 0 - 0x0B bit 4 - 0x0F bit 8 - 0x13 bit12 - 0x17 bit 1 - 0x0C bit 5 - 0x10 bit 9 - 0x14 bit13 - 0x18 bit 2 - 0x0D bit 6 - 0x11 bit 10 - 0x15 bit14 - 0x19 bit 3 - 0x0E bit 7 - 0x12 bit 11 - 0x16 bit 15 - 0x1A	0 - 0xFFFF [bitfield] (bits 0, 14, 15 not allowed on the XBee-PRO)	0x1FFE (all XBee-PRO Channels)
SD	Networking {Addressing}	**Scan channels** : อ่าน/ตั้งค่า ช่วงเวลาในการสแกน End Device- ช่วงเวลาในการสแกนเพื่อเข้าร่วมในเครือข่าย ในระบบ beacon ตั้งค่า SD = BE ของ coordinator โดยที่ SD จะต้องอย่างน้อยเท่ากับค่าสูงสุดของ BE ของ Coordinator ที่จะเข้าร่วมเครือข่าย Coordinator – ถ้ามีการตั้งค่า PANID ใหม่ SD คือค่าที่กำหนดช่วงเวลาที่ Coordinator จะสแกนหาช่องสัญญาณเพื่อตั้ง PANs. ตัวอย่าง แสดงค่า 13 channel scan: ถ้า SD = 0, time = 0.18 sec SD = 8, time = 47.19 sec SD = 2, time = 0.74 sec SD = 10, time = 3.15 min SD = 4, time = 2.95 sec SD = 12, time = 12.58 min SD = 6, time = 11.80 sec SD = 14, time = 50.33 min	0-0x0F [exponent]	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 Network & Security (ต่อ)

AT Command	Command Category	Name and Description	Parameter Range	Default
A1	Networking {Addressing}	**End Device Association** : อ่าน/ตั้งค่า End Device bit 0 – ReassignPanID 0 – จะเข้าร่วมเครือข่ายเฉพาะ Coordinator ที่อยู่ใน PAN ID ตรงกับ module ID 1-จะเข้าร่วมเครือข่ายใน PAN ID ใดๆที่ทำงานอยู่ bit 1 –Reassign Channel 0- จะเข้าร่วมกับ Coordinator ที่ตรงกับช่องสัญญาณ CH ที่ตั้งไว้ 1- จะเข้าร่วมกับช่องสัญญาณใดๆที่ทำงานอยู่ bit 2- Auto Associate 0 - อุปกรณ์จะไม่ยายามเข้าร่วมเครือข่าย 1- อุปกรณ์จะพยายามเข้าร่วมเครือข่ายจนสำเร็จ หมายเหตุ : bit นี้ใช้กับเฉพาะระบบ non-beacon ส่วน End Device ในระบบ beacon จะเข้าร่วมกับ Coordinator เสมอ bit 3 –PollCoorOnPinWake 0 – Pin Wake จะไม่ poll pending data 1 – Pin Wake จะส่ง poll Request ไปยัง Coordinator เพื่อแยก pending data bit 4-7 สำรองไว้	0 - 0x0F [bitfield]	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 Network & Security (ต่อ)

AT Command	Command Category	Name and Description	Parameter Range	Default
A2	Networking {Addressing}	**Coordinator Association** : อ่าน/ตั้งค่า Coordinator bit 0 – Reassign PanID 0 – Coordinator จะไม่ทำ Active Scan ในการหา PANID ที่ใช้งานได้ 1 – Coordinator จะทำการ Active Scan หา PAN ID ที่ใช้งานได้ ถ้า PAN ID ไม่ตรงกันจะเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ ID bit 1 – ReassignChannel 0 – Coordinator จะไม่ทำการ Energy Scan หาช่องสัญญาณที่ว่าง มันจะทำงานบนช่องสัญญาณตามค่า พารามิเตอร์ CH 1- Coordinator จะทำการ Energy Scan หาช่องสัญญาณที่ว่างเพื่อทำงานในช่องสัญญาณนั้น bit 2 – AllowAssociation 0 – Coordinator จะไม่อนุญาตให้อุปกรณ์ใดๆเข้าร่วมเครือข่าย 1 – Coordinator จะอนุญาตให้อุปกรณ์เข้าร่วมเครือข่าย bit 3 – 7 สำรองไว้	0 - 7 [bitfield]	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 Network & Security (ต่อ)

AT Command	Command Category	Name and Description	Parameter Range	Default
AI	Networking {Addressing}	**Association Indication** : อ่าน ข้อผิดพลาดของ การร้องขอเข้าร่วม 0X00 – การเข้าร่วมสำเร็จ Coordinator เริ่มการทำงานสำเร็จหรือ End Device เข้าร่วมสำเร็จ 0X01 – หมดเวลา Active Scan 0X02 – ทำ Active Scan ไม่พบ PANs 0X03 – ทำ Active Scan พบ PAN แต่ไม่ได้ตั้งค่า CoordinatorAllowAssociation 0x04 – ทำ Active Scan พบ PAN แต่ Coordinator และ End Device ไม่ได้ configure ให้สนับสนุนแบบ beacon 0x05 – ทำ Active Scan พบ PAN แต่ Coordinator มีค่าพารามิเตอร์ ID ไม่ตรงกับค่าพารามิเตอร์ ID ของ End Device 0x06 – ทำ Active Scan พบ PAN แต่ Coordinator มีค่าพารามิเตอร์ CH ไม่ตรงกับค่าพารามิเตอร์ CH ของ End Device 0x07- หมดเวลา Energy Scan 0x08 – Coordinator ทำการร้องขอล้มเหลว 0x09 – Coordinator ไม่สามารถเริ่มทำงานได้เพราะค่าพารามิเตอร์ผิดพลาด 0x0A – Coordinator การ Realignment 0x0B – ไม่ได้ส่ง Association Request 0x0C – หมดเวลา Association Request – ไม่ได้รับการตอบกลับ	0 - 0x13 [read-only]	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 Network & Security (ต่อ)

AT Command	Command Category	Name and Description	Parameter Range	Default
		0x0D – Association Request มีค่าพารามิเตอร์ไม่ถูกต้อง 0x0E – Association Request –CCA failure 0X0F – Remote Coordinator ไม่ได้ส่ง Ack หลังจากส่ง Association Request 0X10 – Remote Coordinator ไม่ตอบ Association Request แต่ได้รับ Ack หลังจากส่ง request 0x11-[สำรองไว้] 0x12 – Sync-loss – ขาดการ synchronization กับ Beacon Coordinator 0x13 – ขาดการเข้าร่วมเครือข่าย		
DA	Networking {Addressing}	**Force Disassociation** : End Device จะยกเลิกการเข้าร่วมจาก Coordinator (หากเข้าร่วมอยู่) และพยายามเข้าร่วมใหม่		
FP	Networking {Addressing}	**Force Poll** : ร้องขอ ข้อความโดยอ้อม ที่เก็บไว้ใน Coordinator		
AS	Networking {Addressing}	**Active Scan** : ส่ง Beacon Request ไปยัง Broadcast Address (0XFFFF) และ Broadcast PAN (0xFFFF) ในทุกช่องสัญญาณ ค่าพารามิเตอร์กำหนดเวลาในการรอ Beacon ในแต่ละช่องสัญญาณ.	0 - 6	
ED	Networking {Addressing}	**Energy Scan** : กำหนดช่วงเวลาในการสแกนหาช่องสัญญาณ	0 - 6	
EE	Networking {Addressing}	**AES Encryption Enable** : เปิด/ปิด 128 – bit AES encryption	0 - 1	0 (disabled)
KY	Networking {Addressing}	**AES Encryption Key** : ตั้งค่า 128-bit AES (Advance Encryption Standard) key สำหรับเข้ารหัส/ถอดรหัสข้อมูล	0 - (any 16-Byte value)	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 Network & Security (ต่อ)

AT Command	Command Category	Name and Description	Parameter Range	Default
PL	Networking {Addressing}	**Power Level** : เลือก/อ่าน ระดับพลังงานที่ RF module ใช้ส่ง	0 - 4 (XBee / XBee-PRO) 0 = -10 / 10 dBm 1 = -6 / 12 dBm 2 = -4 / 14 dBm 3 = -2 / 16 dBm 4 = 0 / 18 dBm	4
CA	Networking {Addressing}	**CCA Threshold** : เลือก/อ่าน CCA (Clear Channel Assessment) ก่อนจะส่ง packet CCA จะทำการตรวจจับพลังงานบนช่องสัญญาณ ถ้าพลังงานมีค่าสูงกล่า CCA Threshold module จะไม่ส่ง packet	0 - 0x50 [-dBm]	0x2C (-44d dBm)

ตารางที่ ข.3 Sleep (Low Power)

AT Command	Command Category	Name and Description	Parameter Range	Default
SM	Sleep (Low Power)	**Sleep Mode** <NonBeacon firmware> อ่าน/ตั้งค่า Sleep mode	0 - 5 0 = No Sleep 1 = Pin Hibernate 2 = Pin Doze 3 = Reserved 4 = Cyclic sleep remote 5 = Cyclic sleep remote w/ pin wake-up 6 = [Sleep Coordinator] for backwards compatibility w/ v1.x6 only; otherwise, use CE command.	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 Sleep (Low Power) (ต่อ)

AT Command	Command Category	Name and Description	Parameter Range	Default
ST	Sleep (Low Power)	**Time before Sleep** <NonBeacon firmware> อ่าน/ตั้งค่า ช่วงเวลาช่วงที่ไม่มีข้อมูลส่งผ่านสาย serial หรือ RF ก่อนจะเข้าสู่ Sleep mode SM = 4-5 ค่า SM ของ Coordinator กับ End Device ต้องตรงกัน หมายเหตุ : ค่า GT ต้องน้อยกว่า ค่า ST เสมอ (ถ้า GT > ST จะแจ้งเตือนว่าไม่สามารถเข้าสู่โหลดคำสั่งได้) ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงค่า ST ให้เปลี่ยนแปลงค่า GT ด้วย	1 - 0xFFFF [x 1 ms]	0x1388 (5000d)
SP	Sleep (Low Power)	**Cyclic Sleep Period** : <NonBeacon firmware> อ่าน/ตั้งค่า ช่วงเวลา sleep Coordinator และ end Device ต้องมีค่า SP ตรงกัน หากต้องการส่งข้อความโดยตรงให้ตั้งค่า SP = 0 End Device –SP กำหนดช่วงการ sleep ในแต่ละช่วง cycle ช่วง sleep สูงสุดคือ 268 วินาที (0X68B0) Coordinator – SP คือค่าของช่วงเวลาที่จะเก็บ indirect message ก่อนที่จะทิ้งไป ซึ่ง Coordinator จะทิ้ง indirect message หลังจากช่วงเวลา 2.5*SP	0 - 0x68B0 [x 10 ms]	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 Sleep (Low Power) (ต่อ)

AT Command	Command Category	Name and Description	Parameter Range	Default
DP	Sleep (Low Power)	**Disassociated Cyclic Sleep Period** : <NonBeacon firmware> End Device –อ่าน/ตั้งค่า ช่วงเวลาที่ End Device จะ sleep เมื่อไม่พบ Coordinator สำหรับเข้าร่วมเครือข่าย ก่อนจะพยายามอีกครั้ง ซึ่งค่าสูงสุดของการ sleep คือ 268 วินาที (0X68B0) ในระบบ NonBeacon ค่า DP ควรมากกว่า 0	1 - 0x68B0 [x 10 ms]	0x3E8 (1000d)

ตารางที่ ข.4 Serial Interfacing

AT Command	Command Category	Name and Description	Parameter Range	Default
BD	Serial Interfacing	**Interfacing Data Rate** : อ่าน/ตั้งค่า serial interface data rate สำหรับติดต่อระหว่าง RF module serial port กับ host	0 - 7 (standard baud rates) 0 = 1200 bps 1 = 2400 2 = 4800 3 = 9600 4 = 19200 5 = 38400 6 = 57600 7 = 115200 0x80 - 0x1C200 (non-standard baud rates)	3
RO	Serial Interfacing	**Packetization Timeout** : อ่าน/ตั้งค่า ค่าหน่วงเวลาระหว่างตัวอักษรก่อนจะส่งข้อมูล ถ้าตั้งค่าเป็นศูนย์ตัวอักษรแต่ละตัวจะถูกส่งทันทีที่มาถึงแทนที่จะมีการ buffer ไว้ใน RF packet	0 - 0xFF [x character times]	3
AP	Serial Interfacing	**API Enable** :เปิด/ปิด API Mode	0 - 2 0 = Disabled 1 = API enabled 2 = API enabled (w/escaped control characters)	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 Serial Interfacing (ต่อ)

AT Command	Command Category	Name and Description	Parameter Range	Default
PR	Serial Interfacing	**Pull-up Resistor Enable** : อ่าน/ตั้งค่า bitfield สำหรับ ตั้งค่า สถานะ internal pull-up resistor สำหรับสาย I/O Bitfield Map: bit 0 - AD4/DIO4 (pin11) bit 1 - AD3 / DIO3 (pin17) bit 2 - AD2/DIO2 (pin18) bit 3 - AD1/DIO1 (pin19) bit 4 - AD0 / DIO0 (pin20) bit 5 - RTS / AD6 / DIO6 (pin16) bit 6 - DTR / SLEEP_RQ / DI8 (pin9) bit 7 - DIN/CONFIG (pin3) Bit set to "1" specifies pull-up enabled; "0" specifies no pull-up	0 - 0xFF	0xFF

ตารางที่ ข.5 I/O Settings

AT Command	Command Category	Name and Description	Parameter Range	Default
D8	Serial Interfacing	**DI8 Configuration** : อ่าน/เลือก สำหรับ DI8 (pin9) ของ RF module	0 - 1 0 = Disabled 3 = DI (1,2,4 & 5 n/a)	0
D7	Serial Interfacing	**DIO7 Configuration** : อ่าน/เลือก สำหรับ DI7 (pin12) สำหรับ RF module รวมถึง CTS flow control และ I/O setting	0 - 1 0 = Disabled 1 = CTS Flow Control 2 = (n/a) 3 = DI 4 = DO low 5 = DO high	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 I/O Settings (ต่อ)

AT Command	Command Category	Name and Description	Parameter Range	Default
D6	Serial Interfacing	**DIO6 Configuration** : อ่าน/เลือกสำหรับ DI6 (pin 16) รวมถึง CTS flow control และ I/O setting	0 - 1 0 = Disabled 1 = RTS flow control 2 = (n/a) 3 = DI 4 = DO low 5 = DO high	0
D5	Serial Interfacing	**DIO5 Configuration** : อ่าน/เลือกสำหรับ DI5 (pin 15) รวมถึง CTS flow control และ I/O setting	0 - 1 0 = Disabled 1 = Associated indicator 2 = ADC 3 = DI 4 = DO low 5 = DO high	1
D0-D4	Serial Interfacing	**(DI00-DI04) Configuration**: อ่าน/เลือกตั้งค่าสำหรับ บรรทัดต่อไปนี้ AD0/DIO0 (pin 20), AD1/DIO1 (pin 19), AD2/DIO2 (pin 18), AD3/DIO3 (pin 17), AD4/DIO4 (pin 11). Options include: Analog-to-digital converter, Digital Input and Digital Output.	0 - 1 0 = Disabled 1 = (n/a) 2 = ADC 3 = DI 4 = DO low 5 = DO high	0
IU	Serial Interfacing	**I/O Output Enable** : เปิด/ปิด ข้อมูล I/O ที่ได้รับเพื่อส่งไปยัง UART	0 - 1 0 = Disabled 1 = Enabled	1
IT	Serial Interfacing	**Sample before TX**: อ่าน/ตั้งค่า จำนวน sample ในการสะสมก่อนส่งข้อมูล ค่าสูงสุดของ sample ขึ้นอยู่กับจำนวน input ที่ enable ไว้	1 - 0xFF	1
IS	Serial Interfacing	**Force Sample** : อ่านทุก input ที่ enable (DI หรือ ADC) ข้อมูลถูกส่งกลับมายัง UART . ถ้าไม่ได้กำหนด input ไว้ (DI หรือ ADC) คำสั่งนี้จะมีข้อผิดพลาด	8-bit bitmap (each bit represents the level of an I/O line setup as an output)	-
IO	Serial Interfacing	**Digital Output Level** : ตั้งค่าระดับ digital output ที่ยอมให้ผ่าน DIO	-	-
IC	Serial Interfacing	**DIO Change Detect** : เปิด/ปิด การ monitor การตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของ DIO 0-7	0 - 0xFF [bitfield]	0 (disabled)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 I/O Settings (ต่อ)

AT Command	Command Category	Name and Description	Parameter Range	Default
IR		**Sample Rate** : อ่าน/ตั้งค่า sample rate	0 - 0xFFFF [x 1 msec]	0
AV		**ADC Voltage Reference** :<XBee-PRO only> อ่าน/ตั้งค่า voltage	0 - 1 0 = VREF pin 1 = Internal	0
IA		**I/O Input Voltage Reference** : อ่าน/ตั้งค่า address ของ module	0 - 0xFFFFFFFFFFFFFFFF	0xFFFFFFFF FFFFFFFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้