



# วิทยานิพนธ์

ระบบป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ผ่านช่องสัญญาณไร้สาย

**ELECTRONIC SHELF LABELING SYSTEM OVER  
WIRELESS CHANNEL**

นายวรุช ทองน้ำเพ็ญ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)  
ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า

วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขา

ภาควิชา

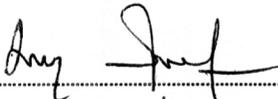
เรื่อง ระบบป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ผ่านช่องสัญญาณไร้สาย

Electronic Shelf Labeling System over Wireless Channel

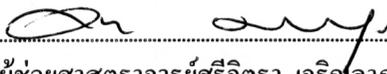
นามผู้วิจัย นายวรุฑ ทองน้ำเพ็ญ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

  
( รองศาสตราจารย์มงคล รักษาพัชรวงศ์, Ph.D. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศรีจิตรา เจริญลาภนพรัตน์, Ph.D. )

หัวหน้าภาควิชา

  
( รองศาสตราจารย์มงคล รักษาพัชรวงศ์, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

  
( รองศาสตราจารย์วันัย อางคงหาญ, M.A. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 26 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2551

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ระบบป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ผ่านช่องสัญญาณไร้สาย

Electronic Shelf Labeling System over Wireless Channel

โดย

นายวรุช ทองน้ำเพ็ญ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

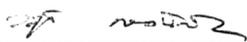
พ.ศ. 2551

วรุช ทองน้ำเพ็ญ 2551: ระบบป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ผ่านช่องสัญญาณไร้สาย ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์มงคล รักษาพัชรวงษ์, Ph.D. 62 หน้า

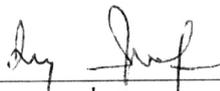
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการวิจัยและพัฒนาาระบบป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ผ่านช่องสัญญาณไร้สาย ด้วยเทคนิคการรับส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุ เพื่อลดความซับซ้อนของระบบในการติดตั้งตัวกระจายสัญญาณ และเพิ่มประสิทธิภาพในส่งสัญญาณตอบกลับสำหรับป้ายแสดงข้อมูลสินค้า ตัวระบบประกอบด้วยส่วนของป้ายราคาสินค้า ตัวกระจายสัญญาณ และซอฟต์แวร์สำหรับควบคุมจัดการระบบ

งานวิจัยนี้ได้นำอุปกรณ์รับ-ส่งคลื่นวิทยุมีการมอดูเลทแบบ FSK ย่านความถี่ ISM Band พัฒนาร่วมกับสมองกลฝังตัวตระกูล MSP430 สำหรับป้ายแสดงข้อมูลสินค้าที่มีความสามารถในการแสดงผลทางหน้าจอแสดงผลแบบ LCD มาใช้ในส่วนการเปลี่ยนแปลงข้อมูลสินค้า ให้สามารถทำงานร่วมกันเป็นระบบเครือข่าย รวมถึงการออกแบบการประหยัดพลังงานในทั้งสองส่วนข้างต้น เพื่อให้ป้ายแสดงข้อมูลสินค้ามีอายุการใช้งานที่ยาวนาน

จากผลการวิจัย ระบบสามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลได้มากกว่า 16.66 นาทีต่อ 1,000 ป้าย และมีอายุการใช้งาน 2-3 ปี ต่อถ่านกระดุม 1 ก้อน (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนการเปลี่ยนแปลงข้อมูล) ด้วยระยะทำการในที่โล่งแจ้ง 100-200 เมตร ด้วยประสิทธิภาพในการรับข้อมูลมากกว่า 98 เปอเซ็นต์



ลายมือชื่อนิติติ



ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

13 / 03 / 2551

Warutt Thongnumpen 2008: Electronic Shelf Labeling System over Wireless Channel.  
Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering,  
Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor  
Mongkol Raksapatcharawong, Ph.D. 62 pages.

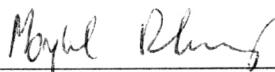
This thesis proposes research and development of electronic shelf labeling over wireless channel by using radio transceiver module to reduce system complexity and improve system performance by adding acknowledgement ability in electronic shelf labeling. The system comprises of electronic shelf labeling, signal broadcaster and software management.

This radio transceiver module support FSK modulation and operates in 433 MHz ISM band that was developed with MSP430 microcontroller and was displayed with LCD. The reduction in power consumption and network design support electronic shelf labeling an over longer lifetime.

As a result, electronic shelf labeling has an updated rate of more than 16.66 minutes per 1,000 labels and has 2-3 years battery lifetime (upon frequency of label updated) in 100-200 meters working range with more than 98 percent efficiency.



Student's signature



Thesis Advisor's signature

13 / 03 / 2008

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. มงคล รักษาพัชรวงค์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วัชรวิ วัชรเชนทร์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรีจิตรา เจริญลาภนพรัตน์ ที่ได้ให้โอกาสให้ผมได้ทำการศึกษาและทำการวิจัยนี้ ตลอดจนการให้คำปรึกษาแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องในวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำหรับการอบรม และรางวัลสำหรับการผลิตต้นแบบในโครงการแข่งขันพัฒนาผลิตภัณฑ์ด้วยสมองกลฝังตัว ครั้งที่ 1

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยให้ความรักและดูแลเอาใจใส่ ขอบคุณเพื่อน ๆ ที่คอยให้กำลังใจ และขอบคุณพี่น้องในห้องวิจัย SCORPion Lab ทุกคน ที่มีส่วนสำคัญในการช่วยแนะนำและแก้ไขในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และหากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อบกพร่องประการใด ข้าพเจ้ายินดีรับข้อเสนอแนะและขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

วรุช ทองน้ำเพ็ญ

มีนาคม 2551

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	16
อุปกรณ์	16
วิธีการ	17
ผลและวิจารณ์	42
สรุปและข้อเสนอแนะ	48
สรุป	48
ข้อเสนอแนะ	48
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	49
ภาคผนวก	50
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	62

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงคุณสมบัติการสื่อสาร RS485 เทียบกับมาตรฐานการสื่อสารอนุกรมอื่นๆ	12

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	สถาปัตยกรรมภายใน MSP430	5
2	ลำดับความสำคัญการใช้ Interrupt	6
3	โหมดการใช้งานบน MSP4304xx	7
4	Block diagram การใช้งาน USART โหมด SPI	8
5	Block diagram การขับ LCD ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MSP4304xx	9
6	การ Modulation แบบ ASK	13
7	การ Modulation แบบ FSK	14
8	การ Modulation แบบ PSK	15
9	อุปกรณ์ซอฟต์แวร์สำหรับการทดลอง	17
10	อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์สำหรับการทดลอง	17
11	หลักการการทำงานของระบบป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์	18
12	ผลลัพธ์การออกแบบผลิตภัณฑ์	19
13	อุปกรณ์หลักของระบบป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์	20
14	ป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์	21
15	อุปกรณ์กระจายสัญญาณ	21
16	ซอฟต์แวร์ตัวอย่างที่ติดตั้งบนคอมพิวเตอร์ศูนย์กลาง	22
17	สถาปัตยกรรมของระบบป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์	23
18	การเชื่อมต่อป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์	24
19	ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MSP430	25
20	อัตราการใช้พลังงานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MSP4304xx	25
21	จอแสดงผลสีเหลวแบบแก้ว	26
22	ตัวอย่างหลักการแสดงผลสำหรับจอแสดงผลแบบแก้ว (3-Mux)	27
23	อุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุ	27
24	รูปแบบสัญญาณ SPI	28
25	รูปแบบแพ็คเกจข้อมูล	29

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	ตัวอย่างการส่งคำสั่งให้อุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุ	29
27	แสดงการแพร่คลื่นของสายอากาศแบบ โม โน โพล	30
28	อุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุ	31
29	แสดงโปรแกรม Delphi 6.0	32
30	แสดงตัวอย่างการออกแบบฐานข้อมูล	33
31	รูปแบบการรับส่งแบบ Alohanet	34
32	รูปแบบการเชื่อมต่อแบบขนาน RS422 และ RS485	36
33	สถาปัตยกรรมการสื่อสารข้อมูลป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์	37
34	PCB ชนิดสองหน้า	38
35	การออกแบบองค์ประกอบภายนอกสำหรับป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์	39
36	การให้ขนาดองค์ประกอบภายนอกสำหรับป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์	39
37	การออกแบบองค์ประกอบภายนอกสำหรับอุปกรณ์กระจายสัญญาณ	40
38	การให้ขนาดองค์ประกอบภายนอกสำหรับอุปกรณ์กระจายสัญญาณ	40
39	โครงสร้างป้ายสินค้าอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการผลิตต้นแบบรวดเร็ว	41
40	โครงสร้างอุปกรณ์กระจายสัญญาณสำหรับการผลิตต้นแบบรวดเร็ว	41
41	แผ่นวงจร PCB แบบสองหน้าสำหรับต้นแบบป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์	46
42	ต้นแบบรวดเร็วสำหรับต้นแบบป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์	47

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A/D	=	Analog-to-Digital Converter
CRC	=	Cyclic Redundancy Check
D/A	=	Digital-to-Analog Converter
DCO	=	Digitally-Controlled Oscillator
DMA	=	Direct Memory Access
I2C	=	Multi-Master Serial Computer Bus
I/O	=	Input/Output
LCD	=	Liquid Crystal Display
LED	=	Light-Emitting Diode
LFXT	=	Low-Frequency Crystals
LPM	=	Low-Power Modes
ISM	=	Industrial, Scientific and Medical
RISC	=	Reduced Instruction Set Computer
RSSI	=	Received Signal Strength Indication
SIMO	=	Slave in, Master out
SOMI	=	Slave out, Master in
SPI	=	Serial Peripheral Interface Bus
STE	=	Slave transmit enable
UART	=	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
UCLK	=	UART SPI Clock
XT	=	Crystals

# ระบบป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ผ่านช่องสัญญาณไร้สาย

## Electronic Shelf Labeling System over Wireless Channel

### คำนำ

ในปัจจุบัน ผู้ประกอบการร้านค้าขนาดกลางถึงขนาดใหญ่อันได้แก่ ห้างสรรพสินค้า ร้านขายของชำขนาดกลาง ร้านขายอาหารสด ร้านขายอุปกรณ์ตกแต่งบ้าน เป็นต้น ต่างมีความจำเป็นต้องเปลี่ยนป้ายราคาสินค้าอยู่เป็นประจำ อันเนื่องมาจากกลยุทธ์ทางการตลาดที่มักมีการปรับเปลี่ยนราคาสินค้าเพื่อกระตุ้นยอดขายซึ่งเป็นการสร้างความแข็งแกร่งทางการต่อรองและลดภาระในการสำรองสินค้า หากแต่การเปลี่ยนแปลงราคาสินค้านั้น ผู้ประกอบการจะต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการจ้างแรงงานจำนวนมาก ทำให้ต้นทุนในการประกอบการเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้การใช้แรงงานในการเปลี่ยนป้ายราคาสินค้ามักจะเกิดข้อผิดพลาดอยู่เสมอ ซึ่งทำให้ลูกค้ารู้สึกที่ผู้ประกอบการไม่ซื่อสัตย์ และรู้สึกไม่ประทับใจที่จะกลับมาใช้บริการอีก ทำให้ผู้ประกอบการร้านค้าสูญเสียบรรยากาศได้

ทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการออกแบบและพัฒนาระบบการแสดงผลข้อมูลราคาสินค้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการข้อมูล ราคาและปริมาณสินค้า ซึ่งเรียกว่า ระบบป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ผ่านช่องสัญญาณไร้สาย ดังมีความสามารถในการแก้ไขปรับปรุงด้านข้อมูลและราคาสินค้ารวมทั้งข้อมูลปริมาณสินค้าโดยการรับส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณไร้สายเป็นระบบเครือข่ายไปยังคอมพิวเตอร์ศูนย์กลาง ทำให้สามารถปรับปรุงข้อมูลได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว โดยยังคงรูปลักษณะของป้ายราคาสินค้าแบบเดิมที่ผู้บริโภคคุ้นเคยไว้ทุกประการ อีกทั้งยังสามารถติดตั้งเข้ากับระบบเดิมของผู้ประกอบการได้ทันที โดยป้ายราคาสินค้าอิเล็กทรอนิกส์แบบไร้สายนั้นมีหลักการทำงานคือ ใช้ระบบคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกับฐานข้อมูลสินค้าเข้ามาสั่งการ ส่งข้อมูลไปยังเครือข่ายตัวกระจายสัญญาณตามจุดต่างๆ ให้ป้ายราคาสินค้าแต่ละป้ายแสดงหน้าจอออกมาตามข้อมูลที่ได้อ่านที่เข้าไป โดยมีการส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ศูนย์กลางไปยังแต่ละป้ายด้วยคลื่นวิทยุไร้สาย ที่ช่วยให้การติดตั้ง หรือเคลื่อนย้ายป้ายราคาสินค้า สามารถทำได้โดยสะดวก

แม้ว่าการรับส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณไร้สายจะมีโอกาสผิดพลาดมากกว่าช่องสัญญาณแบบมีสาย แต่ด้วยความยืดหยุ่น และความสะดวกรวดเร็วในการติดตั้งเคลื่อนย้าย การออกแบบ

พัฒนาอุปกรณ์ป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์จึงต้องออกแบบให้มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลให้มีประสิทธิภาพสูง ใช้ปริมาณข้อมูลเท่าที่จำเป็น มีการตรวจสอบข้อมูลทั้งฝั่งรับและฝั่งส่งตามระยะทางที่กำหนด และสามารถแจ้งข้อผิดพลาดได้

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาต้นแบบระบบป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ผ่านช่องสัญญาณไร้สาย
2. สามารถลดระยะเวลาที่สูญเสียไปกับการเปลี่ยนแปลงป้ายแสดงข้อมูลสินค้าได้
3. สามารถลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงข้อมูลราคาสินค้าได้
4. สามารถนำทั้งส่วนอุปกรณ์และระบบที่ออกแบบ ประยุกต์เพื่อนำไปใช้เชิงพาณิชย์ได้
5. สามารถนำฟังก์ชันการทำงานต่างๆ ทั้งส่วนอุปกรณ์และระบบไปประยุกต์ใช้กับระบบสื่อสารอื่นๆ ได้

## การตรวจเอกสาร

### 1. ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MSP4304xx

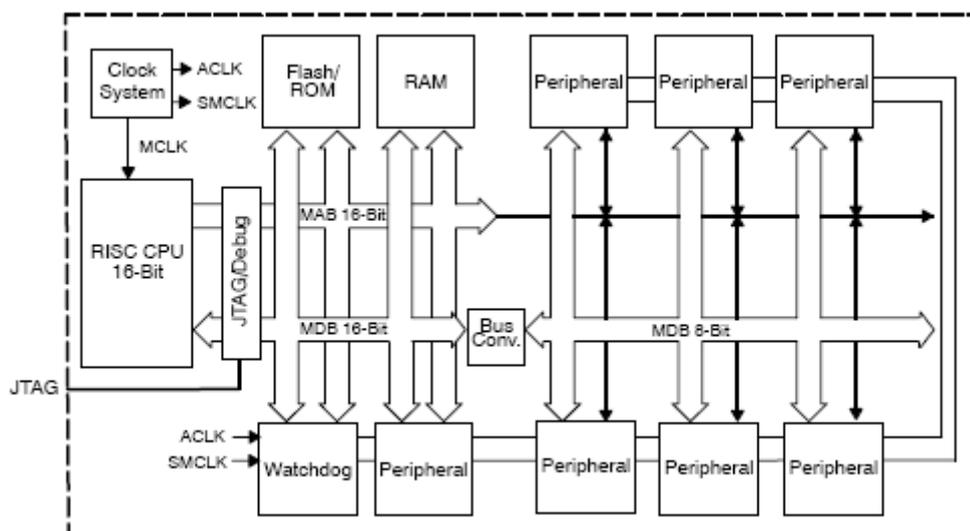
Texas Instruments (2006) MSP4304xx (Mixed-Signal Processors) ถือเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ 16 บิต ที่รวมความสามารถในการขับ LCD ได้ตั้งแต่ 56-160 Segment ใช้พลังงานต่ำผลิตโดยบริษัท Texas Instrument ทำการโปรแกรมและดีบั๊กตรวจสอบการทำงานได้ โดยผ่านขั้วต่อ JTAG (Joint Test Action Group) ผ่านทางพอร์ตขนาน (Printer Port) โดย JTAG ใช้มาตรฐาน JEDEC (Joint Electron Device Engineering Council) ใช้ทั้งหมด 4 ขา คือ TMS, TCK, TDI และ TDO โดยใช้ในการเลื่อนรีจิสเตอร์ (Register) หรือดาวน์โหลดผ่านทางวงจรบูตสเตรปโหลด (Bootstrap Loader) ร่วมกับไมโครโปรเซสเซอร์ของ MSP430 ที่เป็นแบบแฟลช (Flash) ทั้งหมด มีคุณสมบัติเด่นดังนี้

1. ไมโครคอนโทรลเลอร์ 16 บิต แบบ RISC โครงสร้างแบบ Von-Neumann
2. มีรีจิสเตอร์ 16 บิต สำหรับทำงานรวม 16 ตัว
3. มีชุดคำสั่งในการทำงานเพียง 27 คำสั่ง อ้างอิงหน่วยความจำได้ 7 โหมด
4. ใช้แรงดันไฟฟ้าในการทำงานต่ำเพียง 1.8 ถึง 3.6 โวลต์
5. ใช้กระแสไฟฟ้าต่ำมาก ที่โหมดทำงานทั่วไปใช้พลังงาน 250-300 ไมโครแอมป์ที่ 2.2 โวลต์ ที่โหมด Standby ใช้พลังงาน 1.6 ไมโครแอมป์ ที่โหมด LPM3 และ 0.1 ไมโครแอมป์ ที่โหมด LPM4
6. มี Brownout Detector สำหรับหยุดการทำงานเมื่อแรงดันต่ำเกินไป
7. ใช้ความถี่ในระบบได้ตั้งแต่ 32.768 KHz จนถึง 8 MHz โดยเลือกจากตัวกำเนิดความถี่ภายใน หรือต่อร่วมกับอุปกรณ์ ภายนอกได้ที่ LFX1 และ XT2 หรือใช้ตัวต้านทานสำหรับกำหนดความถี่ DCO ได้
8. โมดูล I/O ทั่วไป ( Digital I/O , Comparator , Timer 16 และ 8 บิต )
9. โมดูล I/O พิเศษ ที่มีในบางรุ่น ได้แก่ USART0-1 สำหรับ I2C-SPI-UART 0-1, Timer B3-B7, A/D 10-12 บิต, Temperature sensor, D/A 12 บิต, DMA Controller (ในรุ่น 15x และ 16x), Hardware multiplier (ในรุ่น 14x, 15x และ 16x), LCD Driver (ในรุ่น 4xx) และ SVS (Supply Voltage Supervisor)

## 10. ทำงานได้ที่อุณหภูมิ -40 ถึง 85 องศาเซลเซียส

### 1.1 สถาปัตยกรรมภายใน MSP430

MSP4304xx ออกแบบมาโดยเฉพาะสำหรับการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ โดยแยกการใช้งาน Clock เป็น 2 ส่วน คือส่วนการใช้งานความถี่ต่ำ Auxiliary Clock (ACLK) ขนาด 32 kHz เพื่อใช้สำหรับ Real-time Clock และการปลุกไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนการใช้งานความถี่สูงจาก Master Clock (MCLK) เพื่อใช้สำหรับความเร็วการประมวลผลขณะไมโครคอนโทรลเลอร์ในโหมดทำงาน

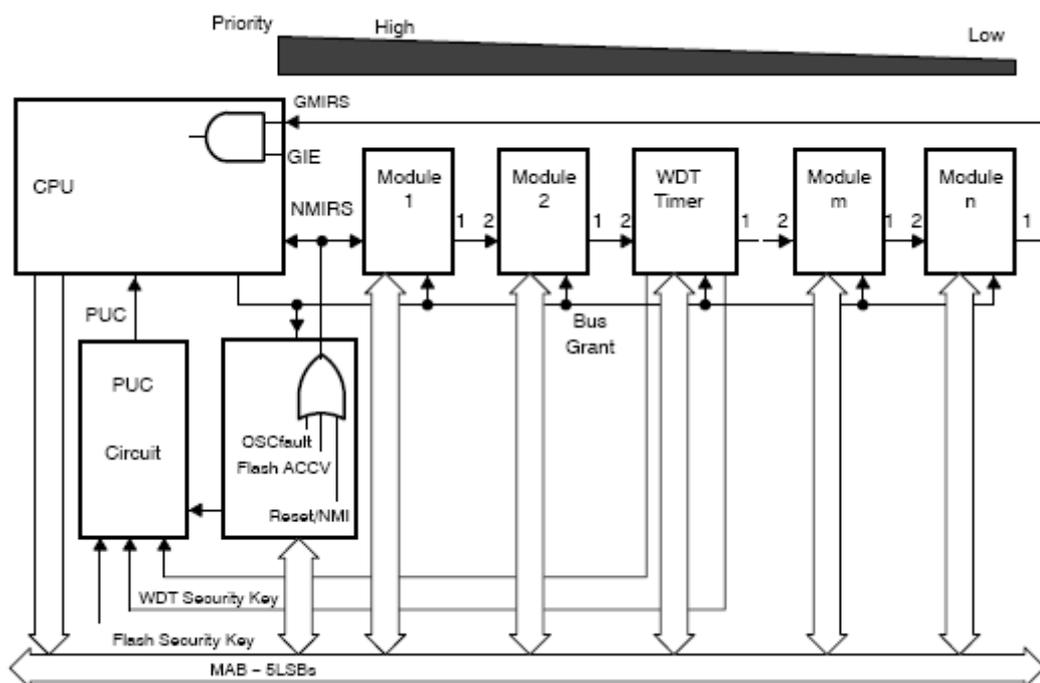


ภาพที่ 1 สถาปัตยกรรมภายใน MSP430

### 1.2 การใช้งาน Interrupt

Interrupt เป็นสัญญาณจากอุปกรณ์ที่ต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือรูปแบบโปรแกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ทำให้โปรแกรมหลักซึ่งควบคุมขั้นตอนการทำงานหยุด และมีข่าวสารให้ทำคำสั่งต่อไป หลังจากสัญญาณ Interrupt ถูกส่งเข้ามาไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำคำสั่งภายใน Interrupt จนเสร็จสิ้นแล้วจึงกลับไปทำคำสั่งอื่นๆตามขั้นตอนของโปรแกรมต่อไป

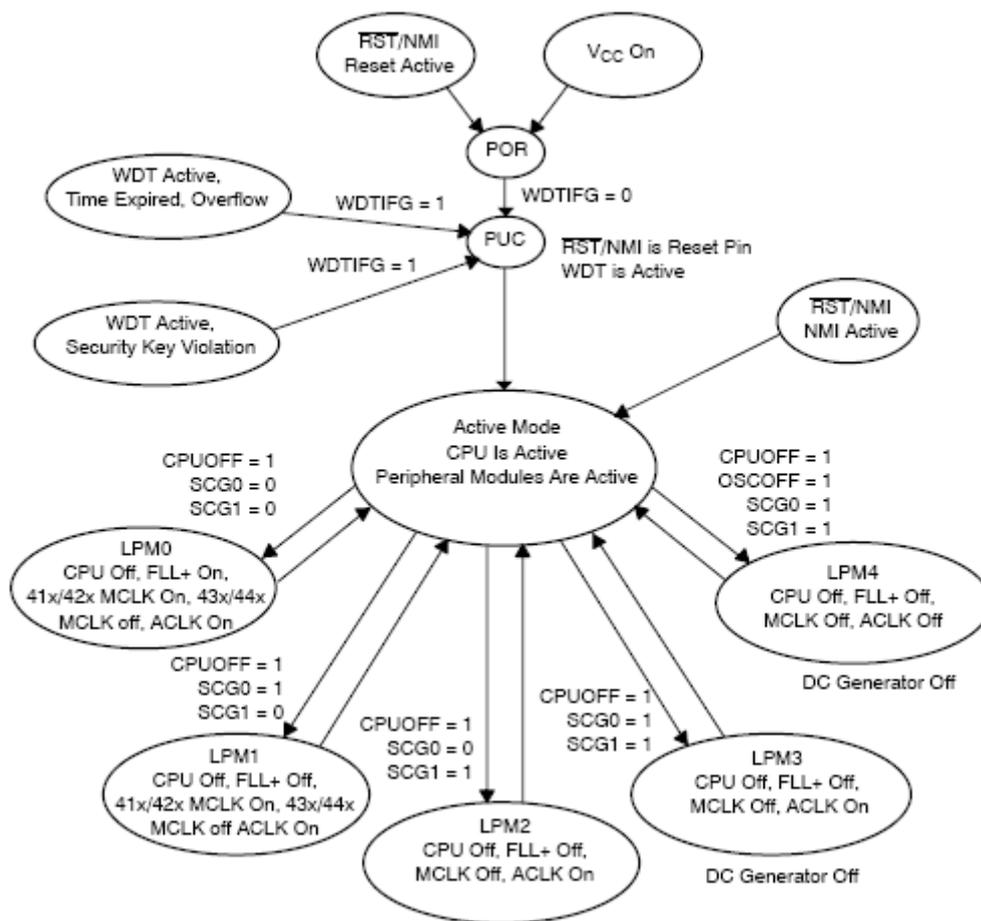
Interrupt ในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MSP4304xx มีด้วยกัน 3 ชนิด คือ System reset, Non-Maskable และ Maskable โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำตามลำดับความสำคัญของ Interrupt ที่มาก่อน



ภาพที่ 2 ลำดับความสำคัญการใช้ Interrupt

### 1.3 โหมดการทำงานของ MSP4304xx

MSP4304xx ออกแบบมาสำหรับการใช้งานด้วยพลังงานต่ำ ดังนั้นจึงมีโหมดการใช้งานให้เลือกถึง 5 โหมด คือ AM (Active Mode) และ LPM0-LPM4 ขณะไม่มีการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์จะเลือกใช้งานในโหมดประหยัดพลังงานต่างๆให้เหมาะสมกับการใช้งานนั้น และเมื่อต้องการใช้งาน สามารถปลุกไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยสัญญาณ Interrupt เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าสู่โหมดการทำงานปกติ



ภาพที่ 3 โหมดการใช้งานบน MSP4304xx

#### 1.4 การใช้งาน Digital I/O

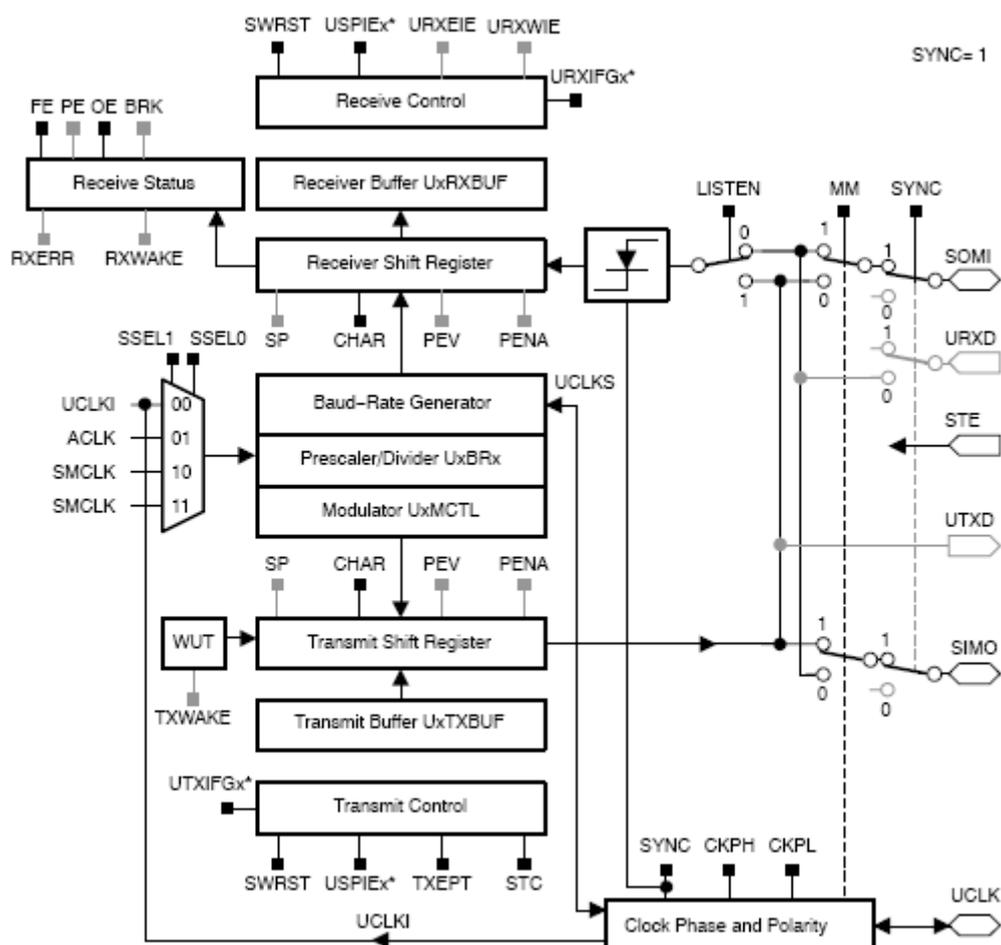
ไมโครคอนโทรลเลอร์ MSP4304xx มีพอร์ต Digital I/O ให้เลือกใช้สูงสุดถึง 10 พอร์ต โดยแต่ละพอร์ต มีให้เลือกใช้งานสูงสุด 10 ขา ซึ่งแต่ละขาสามารถกำหนดการใช้งานแยกกันให้เป็นแบบ Input หรือ Output ก็ได้ โดยที่พอร์ต P1 และ P2 มีความสามารถในการตรวจสัญญาณ Interrupt จากอุปกรณ์ภายนอกได้ โดยกำหนดได้ว่าให้ตรวจสอบแบบขอบขาขึ้นหรือขอบขาลงก็ได้

#### 1.5 การใช้งาน USART Peripheral Interface โหมด SPI

ในโหมดการใช้งาน Synchronous สำหรับการใช้งาน UART Interface ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ MSP4304xx ใช้ขาสัญญาณที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารอยู่ด้วยกัน 4 ขา

ได้แก่ SIMO, SOMI, UCLK และ STE โดย โหมด SPI นี้จะถูกเลือกเมื่อบิต SYNC ถูกเซตเท่ากับ 1 และบิต I2C ถูกเคลียร์เท่ากับ 0 คุณสมบัติของ MSP430 ในโหมด SPI สามารถสรุปได้ดังนี้

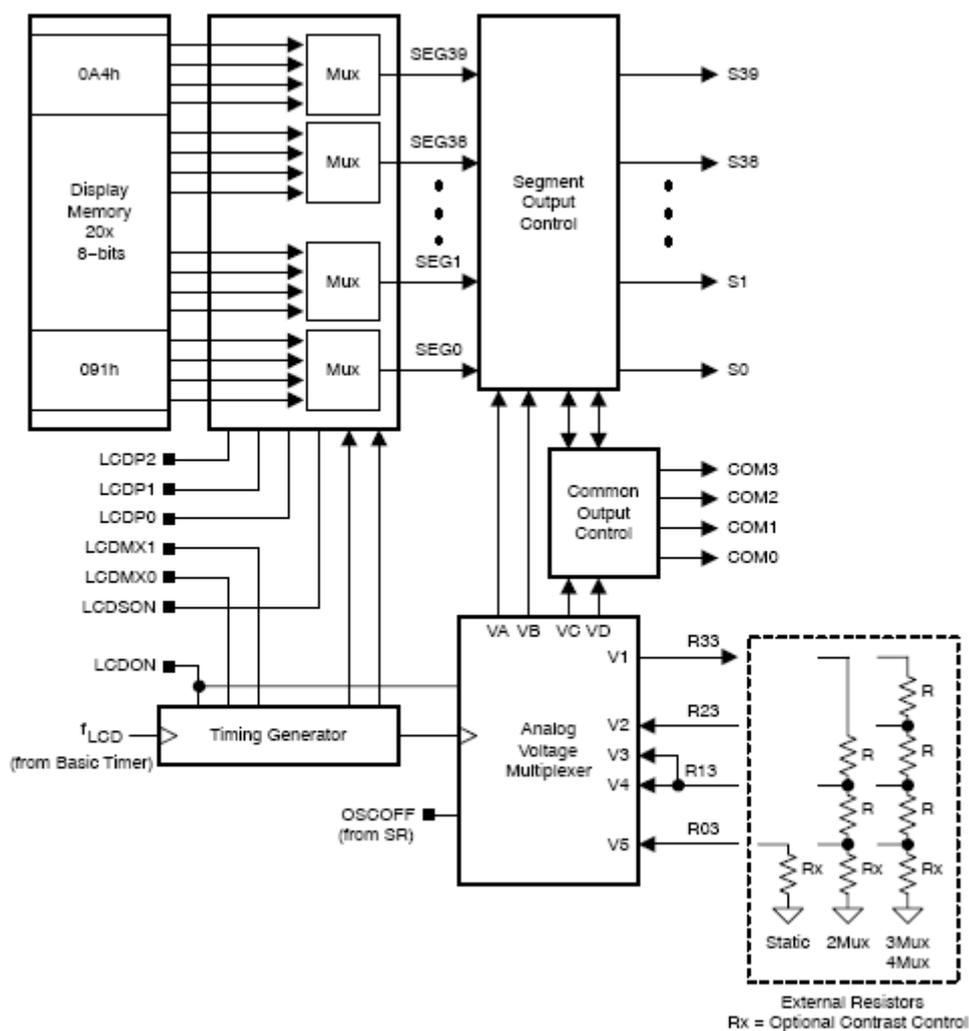
1. ความยาวในการส่งข้อมูลขนาด 7 หรือ 8 บิต
2. เลือกการใช้งาน SPI ได้ทั้ง 3 ขาหรือ 4 ขา
3. การทำงานของ SPI สามารถเลือกการทำงานเป็นโหมด Master หรือโหมด Slave
4. Shift Register, Buffer Register สำหรับการรับและการส่ง แยกเป็นอิสระกัน
5. สามารถเลือกควบคุม ขั้ว และ เฟส การทำงานของสัญญาณ Clock ได้
6. สามารถโปรแกรมความถี่ UCLK ในโหมด Master ได้
7. Interrupt ในการรับและการส่งจะแยกเป็นอิสระต่อกัน



ภาพที่ 4 Block diagram การใช้งาน USART โหมด SPI

## 1.6 การควบคุมส่วนแสดงผลผ่านจอ LCD

คุณสมบัติพิเศษของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MSP4304xx คือมีส่วนจัดการแสดงผลผ่านจอ LCD (LCD Driver) รวมอยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์โดยไม่ต้องต่ออุปกรณ์ภายนอก ส่วนการขับจอแสดงผล LCD กำหนดแรงดันกระแสสลับ (Alternating Current) และสัญญาณพื้นฐาน (Common) โดยอัตโนมัติ รองรับการขับ LCD 4 ประเภท คือ Static, 2-Mux, 3-Mux และ 4-Mux



ภาพที่ 5 Block diagram การขับ LCD ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MSP4304xx

## 2. อุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุไร้สายย่านความถี่ 433-915 MHz

อุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุไร้สายที่เลือกใช้เป็นอุปกรณ์ที่สามารถรับส่งข้อมูลได้ระยะมากกว่า 200 เมตร ในที่โล่งแจ้ง รองรับการเปลี่ยนแปลงหลายความถี่ มีอัตราการรับส่งข้อมูลที่ไม่ช้าจนเกินไป มีโหมดการประหยัดพลังงาน และมีการ Modulation แบบ FSK (Frequency Shift Keying) สามารถเลือกใช้ได้ใน 3 ย่านความถี่คือ 433 MHz, 868 MHz และ 915 MHz สามารถเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้หลายรุ่น จึงเหมาะสมกับการใช้งานป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ข้อมูลในการรับส่งไม่มาก ซึ่งอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุไร้สายดังกล่าว มีคุณสมบัติเด่นดังนี้

1. มีการทำงานที่รวดเร็ว รับคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ได้
2. สามารถทำ Frequency-Hopping ได้
3. อัตราการรับส่งข้อมูลสูงสุด 115.2 kbps
4. เชื่อมต่อกับสายอากาศภายนอกได้โดยตรง
5. มีส่วนขยายกำลังภาครับและภาคส่ง
6. มีฟังก์ชันตรวจความแรงของสัญญาณ (Received Signal Strength Indication - RSSI)
7. มีฟังก์ชันการตรวจสอบคุณภาพสัญญาณ (Data Quality Detector - DQD)
8. มีระบบ Clock Recovery
9. รับส่งข้อมูลแบบ Serial
10. FIFO ในภาครับขนาด 16 บิต
11. มีโหมดประหยัดพลังงาน ปรับขนาดและระยะเวลาการตื่นของอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุได้
12. ใช้พลังงานต่ำ 2.2-3.8 โวลต์
13. ในโหมด Standby ใช้พลังงานเพียง 0.3 ไมโครแอมป์

## 3. แนะนำมาตรฐานการสื่อสารอนุกรม RS232, RS422 และ RS485

RS485 เป็นหนึ่งในมาตรฐานการสื่อสารแบบอนุกรม (Serial Communication) ที่ถูกกำหนดขึ้นมาโดยกลุ่มพันธมิตรอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศสหรัฐอเมริกา (Electronic Industries Alliance - EIA) เพื่อตอบสนองต่อความต้องการใช้งานที่ต้องการเชื่อมต่ออุปกรณ์หลายๆ

ตัวบนซ้ายสายเดียวกัน โดยมีระยะทางการสื่อสารที่ไกลขึ้น และมีความเร็วรับส่งข้อมูลที่สูงขึ้น เมื่อเทียบกับมาตรฐานการสื่อสาร RS232 ที่ถูกกำหนดขึ้นมาโดยกลุ่มพันธมิตรอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์เช่นเดียวกัน

RS232C เป็นมาตรฐาน RS232 ที่มีการปรับปรุงแก้ไขจากมาตรฐานเดิม ซึ่งเราอาจคุ้นเคยกับชื่อนี้มากกว่า RS232A หรือ RS232B อันที่จริงแล้วยังมีมาตรฐาน RS232D ที่ใหม่กว่า RS232C โดยที่มีการเพิ่มข้อกำหนดของคอนเน็กเตอร์แบบ DB เข้าไปด้วย เช่น DB-25 ซึ่งในขณะนั้น สิทธิบัตรของตัวคอนเน็กเตอร์แบบนี้ได้หมดอายุลงพอดี จึงสามารถรวมข้อกำหนดเข้าไว้ได้

ลักษณะโดยทั่วไปของการเชื่อมต่อข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS232 คือเป็นการสื่อสารข้อมูลแบบจุดต่อจุด ซึ่งเดิมทีเป็นการสื่อสารข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับโมเด็ม ซึ่งจริงๆ แล้วทั้งสองฝั่งจะเป็นอะไรก็ได้ การสื่อสารเป็นแบบสองทางพร้อมกัน (Full-duplex) โดยอาจใช้สายสัญญาณอื่นร่วมเพื่อทำแฮนด์เชก (Hand-shake) หรือไม่ก็ได้ มาตรฐาน RS-232 จำกัดความยาวสายไว้ที่ 50 ฟุต (หรือประมาณ 15 เมตร) สำหรับการส่งสัญญาณที่ความเร็ว 19,200 บิตต่อวินาที โดยที่ความยาวสายจะต้องสั้นลงถ้าต้องการสื่อสารที่ความเร็วสูงขึ้น และถ้ามีสัญญาณรบกวนมากๆ เช่นในโรงงาน หรือบริเวณใกล้เครื่องจักรที่เป็นแบบมีการสวิตซ์สัญญาณไฟฟ้าที่กระแสดังสูงๆ ก็จะทำให้ต้องมีการลดความเร็วในการส่งสัญญาณลงหรือใช้สายที่สั้นลง

มาตรฐาน RS422 หรือ RS422A ถูกกำหนดขึ้นโดยสมาคมผู้ประกอบการอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์หรือ EIA เช่นเดียวกับมาตรฐาน RS232 และ RS485 โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะแก้ปัญหาเรื่องความยาวของสายสื่อสารโดยใช้การส่งสัญญาณแบบผลต่าง (Differential) แทนที่จะใช้การส่งสัญญาณแบบอ้างอิงกับจุดกราวด์ (หรือสายดิน) เช่นเดียวกับ RS232 การส่งสัญญาณแบบ Differential นี้ช่วยลดปัญหาสัญญาณรบกวนจาก 2 ปัจจัยด้วยกัน ได้แก่ ปัญหาแรงดันกราวด์ 2 ฝั่งสายไม่เท่ากัน อันเกิดจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายกราวด์ที่ยาวมากๆ ก่อให้เกิดความต่างศักย์ และปัญหาสัญญาณรบกวนที่เกิดจากแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำในสาย โดยหากสายไฟที่ใช้ถูกดีเกลียวและวางไว้ใกล้กัน เมื่อมีแรงดันเหนี่ยวนำจะปรากฏแรงดันรบกวนบนสายทั้งสองเท่าๆ กัน เป็นผลให้ ตัวรับที่อ่านความต่างศักย์ระหว่างสายอ่านข้อมูลได้เช่นเดิม ทั้งสองปัจจัยนี้เองเป็นสาเหตุที่ทำให้ความต้านทานต่อสัญญาณรบกวนของการสื่อสารแบบ RS232 ต่ำกว่า RS422) ตามมาตรฐาน RS422 นี้จะใช้สายสัญญาณทั้งหมด 4 เส้น (2 เส้นสำหรับการส่งสัญญาณ และอีก 2 เส้น

สำหรับรับสัญญาณ) และสามารถใช้ความยาวสายสัญญาณได้ถึง 4,000 ฟุต (หรือ 1.2 กม.) ที่ความเร็ว 100,000 บิตต่อวินาที และการสื่อสารเป็นแบบ 2 ทางพร้อมกัน (Full Duplex)

เหตุที่การสื่อสาร RS422 และ RS485 สามารถรับส่งสัญญาณข้อมูลได้ไกลขึ้นและเร็วขึ้นนั้น เป็นเพราะใช้เทคนิคสัญญาณรับส่งแบบดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Mode) ขณะที่ RS232 ใช้เทคนิคสัญญาณรับส่งแบบคอมมอน(Common Mode) สัญญาณรับส่งแบบคอมมอนนั้นจะใช้สัญญาณกราวด์ (Ground Signal) เป็นตัวเปรียบเทียบปัญหาจะเกิดขึ้นเมื่อระดับสัญญาณกราวด์ของตัวรับและตัวส่งไม่เท่ากัน ยิ่งระดับสัญญาณแตกต่างกันมากเท่าไรก็ยิ่งมีผลต่อความผิดพลาดในการสื่อสารมากขึ้นเท่านั้น เพราะการตีความข้อมูลที่รับเข้ามาว่าเป็นศูนย์หรือหนึ่งจะดูจากระดับความแตกต่างระหว่างสัญญาณกราวด์กับสัญญาณข้อมูลที่รับเข้ามา และยิ่งเมื่อมีสัญญาณรบกวนสอดแทรกเข้ามาในสายสัญญาณมากเท่าไร ก็ยิ่งทำให้การตีความสัญญาณมีโอกาสผิดพลาดสูงมากยิ่งขึ้น อธิบายอย่างง่าย คือระดับความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูลจะสูงขึ้นจนไม่สามารถสื่อสารกันได้ หรือต้องลดระดับความเร็วในการสื่อสารลงมา

ขณะที่สัญญาณรับส่งแบบดิฟเฟอเรนเชียลนั้น จะไม่ใช่สัญญาณกราวด์เป็นระดับอ้างอิงหรือเปรียบเทียบ แต่จะดูที่ความต่างของสัญญาณของกลุ่มสายเป็นสำคัญ ทำให้ปัญหาเรื่องความแตกต่างของสัญญาณกราวด์ ระหว่างอุปกรณ์รับและอุปกรณ์ส่งหมดไป (เพราะไม่ถูกนำมาใช้อ้างอิง) และถ้าหากกลุ่มสายที่ใช้รับส่งสัญญาณ พันกันเป็นเกลียวก็จะยิ่งส่งผลให้สัญญาณรบกวนจากภายนอกที่สอดแทรกเข้ามาในกลุ่มสายก็จะถูกกำจัดออกไป ได้โดยง่าย เป็นผลให้การสื่อสาร RS485 ทนต่อสัญญาณรบกวนภายนอกได้สูง สามารถรับส่งสัญญาณได้ไกลขึ้นและเร็วขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคสัญญาณรับส่งแบบคอมมอน

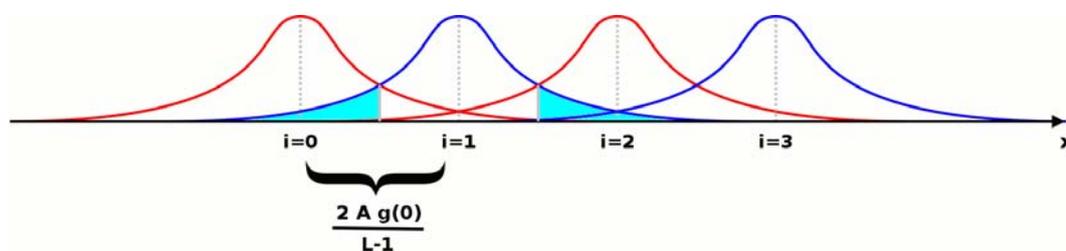
ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติการสื่อสาร RS485 เทียบกับมาตรฐานการสื่อสารอนุกรมอื่นๆ

การสื่อสารอนุกรม	RS232	RS422	RS485
Differential	ไม่มี	มี	มี
จำนวน Driver สูงสุด	1	1	32
จำนวน Receiver สูงสุด	1	10	32
โหมดการทำงาน	Half duplex Full duplex	Half duplex	Half duplex

Network Topology	Point-to-point	Multidrop	Multipoint
ระยะทางสูงสุด	15 m	1200 m	1200 m
ระยะทางสูงสุดที่ 12 เมตร	20 kbps	10 Mbps	35 Mbps
ระยะทางสูงสุดที่ 1200 เมตร	1 kbps	100 kbps	100 kbps
Slew rate สูงสุด	30 โวลต์ต่อ ไมโครวินาที	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล
ความต้านทาน Receiver input	3-7 กิโลโอห์ม	> 4 กิโลโอห์ม	> 12 กิโลโอห์ม
Driver load impedance	3-7 กิโลโอห์ม	100 โอห์ม	54 โอห์ม
Receiver input sensitivity	+/- 3 โวลต์	+/- 200 มิลลิโวลต์	+/- 200 มิลลิโวลต์
Receiver input range	+/- 15 โวลต์	+/- 10 โวลต์	-7 ถึง 12 โวลต์
แรงดัน Driver output สูงสุด	+/- 25 โวลต์	+/- 6 โวลต์	-7 ถึง 12 โวลต์
แรงดัน Driver output ต่ำสุด	+/- 5 โวลต์	+/- 2 โวลต์	+/- 1.5 โวลต์

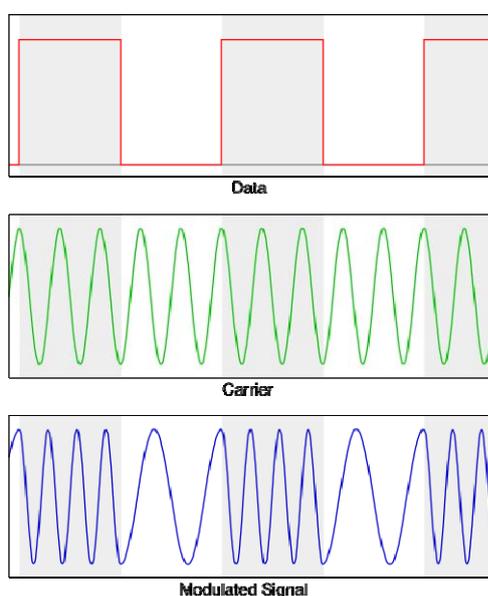
#### 4. การ Modulation แบบ ASK, FSK และ PSK

ASK (Amplitude Shift Keying) คือการเปลี่ยนระดับความสูงของสัญญาณ (แอมพลิจูด) ตามบิตข้อมูล โดยที่ความถี่และเฟสของคลื่นยังคงเดิม ระดับของแอมพลิจูดจะแทนด้วยตัวเลข 1 และ 0 จุดเด่นของการ Modulation แบบ ASK คือสามารถถอดแบบได้ง่าย เนื่องจากเป็นการคูณกันของฟังก์ชัน 2 ชนิด ทำให้การคำนวณคุณสมบัติไม่ซับซ้อน แต่จุดด้อยของ ASK คือ มีภูมิต้านทานต่อสัญญาณรบกวนต่ำ หากมีสัญญาณรบกวนมากอาจเกิดความผิดพลาดในการสื่อสารได้ง่าย



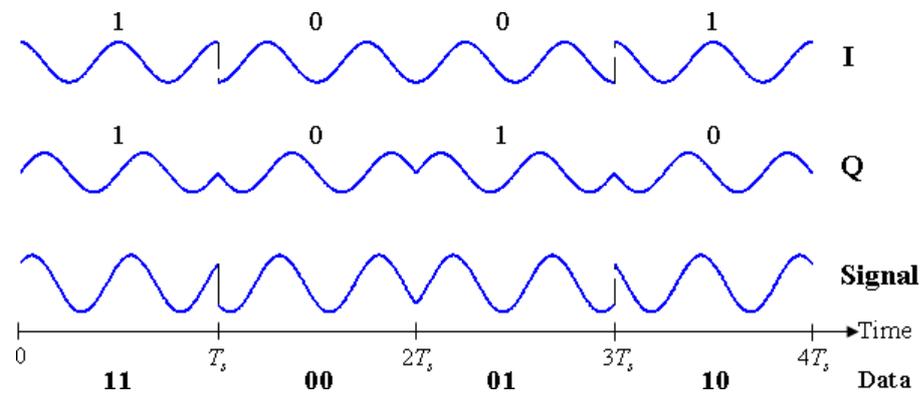
ภาพที่ 6 การ Modulation แบบ ASK

FSK (Frequency Shift Keying) คือการเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณพาหะตามบิตข้อมูล จุดเด่นของการ Modulation แบบ FSK คือมีภูมิคุ้มกันด้านทานต่อสัญญาณรบกวนมากกว่าวิธีการ Modulation แบบ ASK เนื่องจากอุปกรณ์ด้านรับจะทำการมองหาความถี่เฉพาะ ที่อยู่ในช่วงเวลาหนึ่งๆ โดยไม่สนใจสัญญาณ Noise รบกวนกระชากระยะสั้น (Transient Noise) จุดด้อยของ FSK คือต้องการ Bandwidth ที่มากกว่ากว่าวิธีการ Modulation แบบ ASK เมื่อส่งข้อมูลที่มี Baud Rate เท่ากัน



ภาพที่ 7 การ Modulation แบบ FSK

PSK (Phase Shift Keying) คือการเปลี่ยนเฟส (ตำแหน่งเริ่มต้น) ของสัญญาณพาหะ (Carrier) ตามบิตข้อมูล จุดเด่นของการ Modulation แบบ PSK คือสามารถทนทานต่อสัญญาณรบกวนมากกว่า ASK ในขณะที่ใช้แถบความถี่แคบกว่าการ Modulation แบบ FSK นอกจากนี้ยังสามารถแทนสัญลักษณ์ได้มากกว่า 1 บิตต่อหน่วยสัญญาณ แต่จุดด้อยของ PSK คือการออกแบบเครื่องรับ/ส่ง และวิเคราะห์ ทำได้ยากกว่า ASK และ FSK ส่วนการผสมสัญญาณแบบ PSK ในรูปแบบต่างๆ สามารถแสดงโดยแผนผัง Constellation ซึ่งบอกตำแหน่ง Phase ของสัญลักษณ์ จากตัวอย่าง 1 Symbol = 1 Bit เรียกว่า Binary PSK



ภาพที่ 8 การ Modulation แบบ PSK

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล AMD Athlon(tm) XP Processor 2500+, 1.83 GHz, 1 GB DDR-RAM, 80 GB HDD
2. โปรแกรม Adobe Photoshop
3. โปรแกรม Sketchup
4. โปรแกรม SolidWorks
5. โปรแกรม Delphi 6.0
6. โปรแกรม Microsoft(R) Office Access 2003
7. โปรแกรม Keil
8. โปรแกรม Atmel MCU ISP Software 1.0
9. โปรแกรม IAR Embedded Workbench 3.40
10. โปรแกรม Protel 99 SE
11. บอร์ดพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ MSP-TS430PN80 จากบริษัท Texas Instrument
12. ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MSP430F/C4xx จากบริษัท Texas Instrument
13. ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS51, AT89S8252 และ AT89S53 จาก ATMEL Corporation
14. LCD 7-Segment แบบแก้ว ขนาด 4+2 ตัวอักษร ขนาด 5.1x3.1 cm แบบไม่มี Backlight
15. อุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุไร้สาย (RF Module) ย่านความถี่ 433-915 MHz อัตราการรับส่งข้อมูลไม่ต่ำกว่า 500 bps รัศมีการส่งไม่ต่ำกว่า 150 เมตรในพื้นที่โล่งแจ้ง รองรับย่านการทำงานระดับ 3 โวลต์



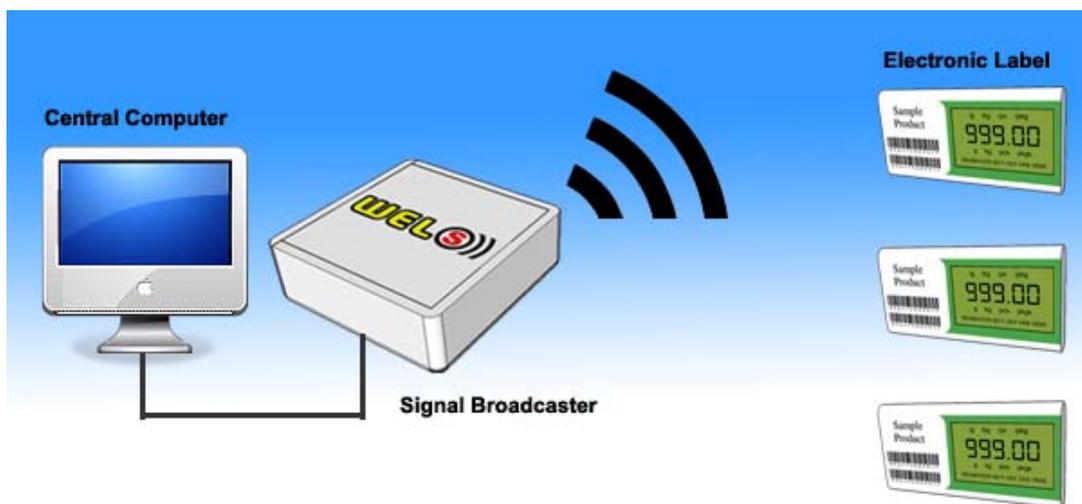
ภาพที่ 9 อุปกรณ์ซอฟต์แวร์สำหรับการทดลอง



ภาพที่ 10 อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์สำหรับการทดลอง

### วิธีการ

สำหรับระบบป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ผ่านช่องสัญญาณไร้สายระบบประกอบด้วยอุปกรณ์ 3 ส่วนหลัก คือ ป้ายแสดงราคาสินค้า, อุปกรณ์กระจายสัญญาณวิทยุ และคอมพิวเตอร์ศูนย์กลางซึ่งมีซอฟต์แวร์ควบคุมอยู่ภายใน โดยมีหลักการทำงานคือ ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ซึ่งเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลสินค้าส่งข้อมูลราคาสินค้าไปยังอุปกรณ์กระจายสัญญาณเพื่อแปลงข้อมูลเป็นคลื่นวิทยุไร้สาย ส่งไปยังป้ายแสดงข้อมูลสินค้าแต่ละป้าย หลังจากนั้นป้ายจะรับข้อมูลดังกล่าวนำไปประมวลผล แล้วแสดงผลออกมาเป็นตัวเลขทางหน้าจอผลึกเหลวแบบแก้ว (Glass LCD Module)

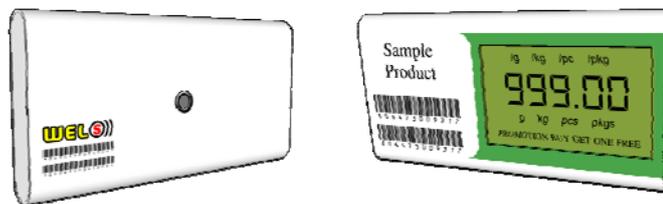


ภาพที่ 11 หลักการทำงานของระบบป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์

### 1. การออกแบบระบบป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์

ด้วยเหตุที่ผู้ประกอบการมีต้นทุนในการแสดงข้อมูลสินค้าสูงขึ้น อันเนื่องมาจากกลยุทธ์ทางการตลาดที่มักมีการปรับเปลี่ยนราคาสินค้าอยู่เสมอ ผู้ประกอบการจึงมองหาผลิตภัณฑ์ที่สามารถปรับเปลี่ยนป้ายแสดงข้อมูลสินค้าด้วยค่าใช้จ่ายที่ลดลง จึงได้เป้าหมายการออกแบบผลิตภัณฑ์ ดังนี้

1. ผลิตภัณฑ์สามารถเปลี่ยนแปลงราคาสินค้าได้อัตโนมัติ โดยใช้ผู้ดำเนินการให้น้อยที่สุด
2. ผลิตภัณฑ์ยังคงรูปแบบการใช้งานเหมือนป้ายแสดงราคาสินค้าแบบเดิมทุกประการ
3. ผลิตภัณฑ์มีราคาไม่แพงจนเกินไป คู่ค้าตอนการนำมาใช้ทดแทนแรงงานได้
4. ผลิตภัณฑ์สามารถติดตั้งได้ง่าย และสามารถติดตั้งเข้ากับพื้นที่เดิมได้ทันที.
5. ผลิตภัณฑ์มีการทำงานที่เชื่อถือได้ สามารถตรวจสอบการทำงานได้
6. ผลิตภัณฑ์มีความคงทน สามารถใช้งานได้นาน โดยไม่ต้องบำรุงรักษาบ่อย
7. ผลิตภัณฑ์สามารถพัฒนาฟังก์ชันการใช้งานเพิ่มเติมได้ เช่น วันหมดอายุ การตรวจสอบที่มาของสินค้า



ภาพที่ 12 ผลลัพธ์การออกแบบผลิตภัณฑ์

ป้ายแสดงราคาสินค้าอิเล็กทรอนิกส์มีหน้าจอตัวเลขที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้รวดเร็ว โดยมีการสั่งงานจากระบบคอมพิวเตอร์ศูนย์กลางผ่านระบบคลื่นวิทยุไร้สาย ออกแบบให้ติดตั้งเข้ากับชั้นวางสินค้าเดิมได้ทันที ใช้แบตเตอรี่ในตัวและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานต่อถ่านหนึ่งชุด ผลลัพธ์ของการออกแบบผลิตภัณฑ์ จึงออกมา ดังนี้

1. ผลิตภัณฑ์ใช้หน้าจอแสดงผลแบบแก้ว มีอัตราบริโภคพลังงานไฟฟ้าต่ำ ช่วยให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน
2. ผลิตภัณฑ์ใช้ระบบคอมพิวเตอร์จากศูนย์กลางเข้ามาควบคุมการทำงานทั้งหมด เพราะระบบคอมพิวเตอร์มีการทำงานที่เชื่อถือได้ สามารถตรวจสอบความถูกต้องหลังจากสั่งการได้ง่าย
3. ผลิตภัณฑ์ใช้การเชื่อมต่อกับศูนย์กลางด้วยคลื่นวิทยุไร้สาย สามารถติดต่อได้ 2 ทิศทาง ทำให้สามารถตรวจสอบความถูกต้องได้ และด้วยคุณสมบัติของคลื่นวิทยุที่แพร่กระจายออกในทุกทิศทาง สามารถทะลุทะลวงสิ่งกีดขวางได้ ช่วยให้การติดตั้งในพื้นที่ปฏิบัติงานรวดเร็ว
4. ผลิตภัณฑ์ใช้ตัวถังผลิตจากพลาสติก ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) มีสีขาว รูปทรงโค้งมน มีความคงทนต่อแรงกระแทกช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความคงทนมากขึ้น นอกจากนี้พลาสติก ABS ยังไม่ขวางการแพร่คลื่นวิทยุเหมือนพลาสติกชนิดอื่น ช่วยให้คลื่นวิทยุไม่ถูกลดทอนกำลังส่ง และด้วยรูปทรงโค้งมน มีสีขาว ช่วยให้ผลิตภัณฑ์ดูกลมกลืนเข้ากับชั้นวางสินค้าเดิม
5. ผลิตภัณฑ์มีขาคีชั้นวางสินค้าที่สามารถถอดปรับเปลี่ยนได้ ช่วยให้ผลิตภัณฑ์สามารถติดตั้งเข้ากับชั้นวางสินค้าหลายๆประเภทได้ อาทิเช่น เมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปติดตั้งกับไม้แขวนเสื้อ เพียงแค่ถอดขาคีเดิมออก แล้วเปลี่ยนขาคีพิเศษที่สามารถติดตั้งเข้ากับไม้แขวนเสื้อได้ทันที ช่วยเพิ่มความคุ้มค่าให้กับผลิตภัณฑ์ และลดต้นทุนจากความซับซ้อนในการผลิตสินค้า

## 2. อุปกรณ์หลักของระบบป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์

อุปกรณ์หลักของระบบป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ป้ายแสดงราคาสินค้า, อุปกรณ์กระจายสัญญาณวิทยุ และคอมพิวเตอร์ศูนย์กลาง



ภาพที่ 13 อุปกรณ์หลักของระบบป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์

### 2.1 ป้ายแสดงข้อมูลราคาสินค้า

ป้ายแสดงข้อมูลราคาสินค้าทำหน้าที่รับข้อมูลแบบไร้สายจากอุปกรณ์กระจายสัญญาณ มาประมวลและแสดงผล โดยเลือกใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดกินกระแสต่ำเป็นพิเศษ เช่น หน้าจอผลึกเหลวแบบแก้ว (Glass LCD module) และไมโครคอนโทรลเลอร์แบบใช้พลังงานต่ำ เพื่อให้ตัวป้ายสามารถใช้งานแบตเตอรี่ได้ยาวนาน นอกจากนี้ตัวป้ายยังประกอบไปด้วยชุดรับส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุไร้สายทำงานที่ย่านความถี่ ISM (Industrial, Scientific and Medical) ทำให้สามารถเข้าใช้งานย่านความถี่ดังกล่าวได้ทันที โดยไม่ต้องได้ขออนุญาตและเสียค่าธรรมเนียมใดๆ จากสำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กทช.) มีรัศมีการทำการประมาณ 200 เมตร ในพื้นที่โล่งแจ้ง พร้อมทั้งเลือกใช้แบตเตอรี่แบบกระดุมชนิด Lithium เบอร์มาตรฐาน CR20xx ที่มีขนาดบาง และสามารถซื้อเปลี่ยนได้ง่ายตามท้องตลาด มีอายุการใช้งานแบตเตอรี่โดยเฉลี่ยอยู่ประมาณ 2 ปี

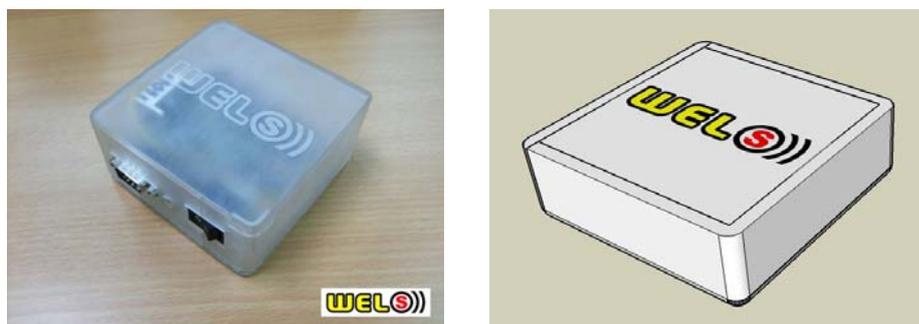


ภาพที่ 14 ป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์

## 2.2 อุปกรณ์กระจายสัญญาณ (Signal Broadcaster)

อุปกรณ์กระจายสัญญาณทำหน้าที่เป็นสื่อกลางที่รับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ศูนย์กลางเพื่อสื่อสารรับส่งข้อมูลกับป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์เพื่อแสดงผล และสามารถสื่อสารข้อมูลกับอุปกรณ์กระจายสัญญาณตัวอื่นได้ โดยไม่ใช้ช่องสัญญาณเดียวกับป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ ระบบออกแบบให้รองรับการควบคุมป้ายได้ประมาณ 1,000 ป้ายต่อชุด ซึ่งมีอัตราในการส่งข้อมูลมากกว่า 100 ป้ายต่อนาทีต่อชุด

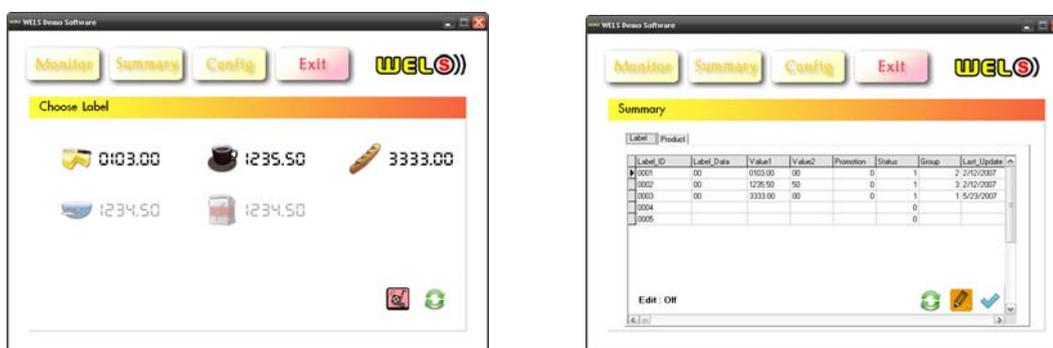
อุปกรณ์กระจายสัญญาณมีรัศมีทำการประมาณ 200 เมตรในพื้นที่โล่งแจ้ง ใช้พลังงานจากหม้อแปลงแรงดันกระแสตรงขนาด 9-12 โวลต์



ภาพที่ 15 อุปกรณ์กระจายสัญญาณ

### 2.3 คอมพิวเตอร์ศูนย์กลาง (Central Computer)

คอมพิวเตอร์ศูนย์กลางทำหน้าที่รับข้อมูลราคาสินค้าจากผู้ควบคุม สามารถทำงานร่วมกับฐานข้อมูลของระบบ P.O.S (Point of sale) เดิมได้ ตัวซอฟต์แวร์มีความสามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลราคาที่ได้แสดงผลบนป้ายสินค้าได้ และสามารถตรวจสอบความคืบหน้าของงานได้ นอกจากนี้ยังสามารถตั้งเวลาในการเปลี่ยนแปลงราคาสินค้าล่วงหน้าได้ สามารถแจ้งเตือนได้หากป้ายแสดงผลใดแบตเตอรี่ใกล้หมด และสามารถรายงานผู้ควบคุมได้ หากพบว่าป้ายถูกขโมยออกไปจากพื้นที่ร้านค้า



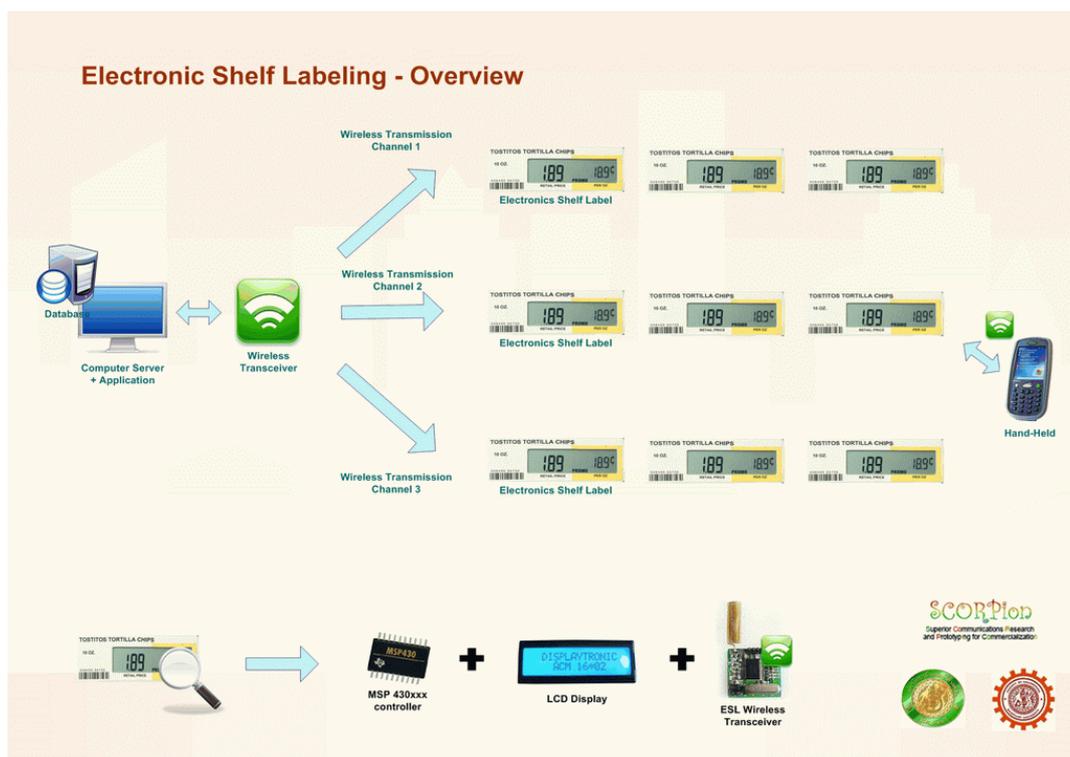
ภาพที่ 16 ซอฟต์แวร์ตัวอย่างที่ติดตั้งบนคอมพิวเตอร์ศูนย์กลาง

ระบบควบคุมจัดการป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ มีหน้าที่ดังนี้

1. ลงทะเบียนป้ายอิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาติดตั้งใหม่
2. ปรับปรุงและแก้ไขข้อมูลราคาการแสดงผลบนป้ายอิเล็กทรอนิกส์
3. อ่านและบันทึกข้อมูลจากฐานข้อมูลกลาง
4. มีส่วนเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลภายนอก
5. ติดต่อและจัดการระบบการรับส่งข้อมูลตามเครื่องกระจายสัญญาณ
6. ตรวจสอบและรายงานการตอบรับของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ
7. ตรวจสอบสภาพแบตเตอรี่ของแต่ละป้ายอิเล็กทรอนิกส์
8. ตรวจสอบความแรงสัญญาณป้ายอิเล็กทรอนิกส์ที่จะติดตั้ง
9. สรุปและรายงานผลออกมาตามสื่อต่างๆได้
10. รองรับการขยายระบบ และอุปกรณ์เชื่อมต่ออื่นๆ

### 3. สถาปัตยกรรมของระบบ

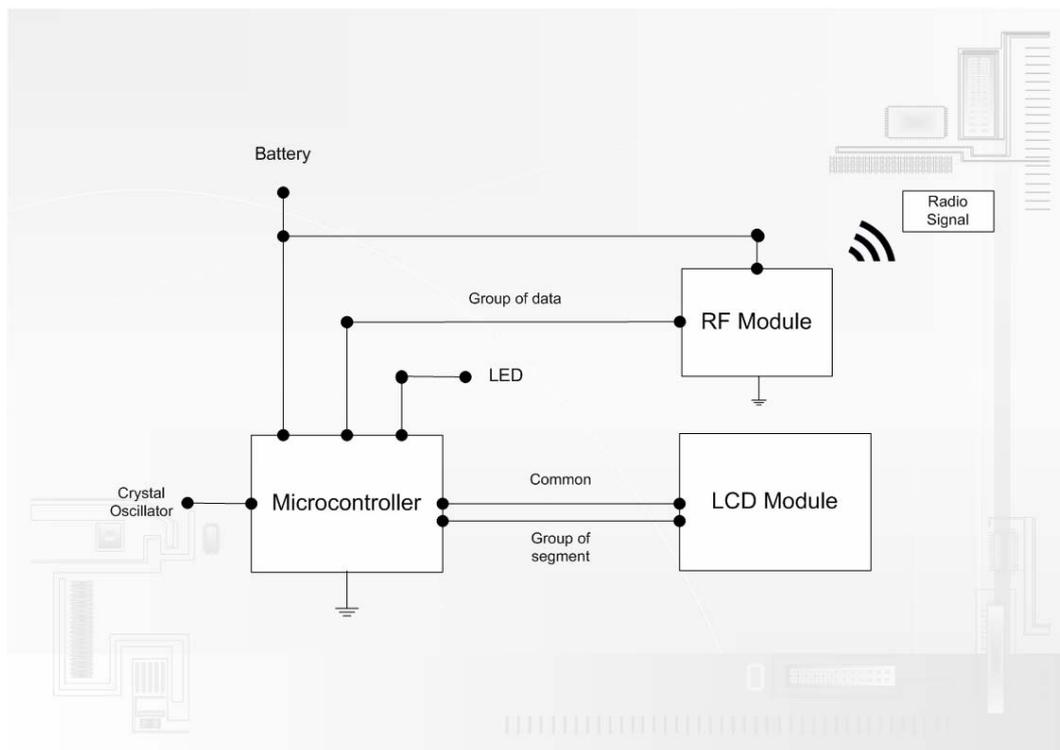
สถาปัตยกรรมของระบบป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ คอมพิวเตอร์ศูนย์กลาง (Central Computer) ซึ่งมีการสื่อสารโดยตรงกับอุปกรณ์กระจายสัญญาณ (Signal Broadcaster หรือ Repeater) กระจายสัญญาณแบบกลุ่มไปยังป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ด้วยคลื่นวิทยุไร้สาย



ภาพที่ 17 สถาปัตยกรรมของระบบป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์

#### 3.1 รายละเอียดด้านอุปกรณ์ป้าย

ป้ายอิเล็กทรอนิกส์ มีหน้าจอแสดงผลเป็นตัวเลขขนาดใหญ่แสดงผลตำแหน่งคงที่สามารถแสดงหมายเลขได้ 4+2 หลัก สามารถออกแบบตามขนาดต่างๆได้ ข้อมูลต่างๆรับมาจากอุปกรณ์กระจายสัญญาณ (Broadcaster or Repeater) โดยป้ายมีอายุการใช้งานประมาณ 2 ปีต่อการเปลี่ยนแบตเตอรี่หนึ่งครั้ง



ภาพที่ 18 การเชื่อมต่อป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์

### 3.1.1 หน่วยประมวลผล

Texas Instruments (2007) หน่วยประมวลผลหลักที่เลือกใช้คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MSP4304xx จาก Texas Instrument เนื่องจากเป็นหน่วยประมวลผลที่มีประสิทธิภาพ ใช้กำลังไฟต่ำมาก (ระดับไมโครแอมป์) ทำให้ใช้กับแบตเตอรี่แบบกระดุมได้เพียงก้อนเดียว (ตระกูล CR2xxx) และรองรับการขับจอแสดงผลแบบ LCD ได้อย่างน้อย 96 segment โดยไม่ต้องเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกอื่นๆ

หน่วยประมวลผลทำหน้าที่ประมวลผลและแปลความหมายจากข้อมูลที่ได้รับ และส่งข้อมูลเพื่อสั่งงานอุปกรณ์เชื่อมต่อต่างๆ เช่นจอแสดงผล LCD แบบแก้ว, อุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุ (RF module) และ หลอดไฟแสดงผล (LED) เป็นต้น

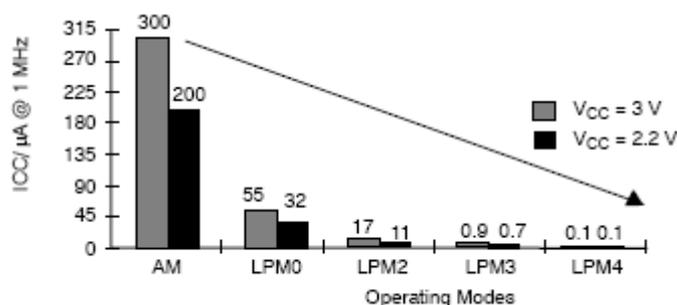


ภาพที่ 19 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MSP430

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MSP4304xx สามารถเชื่อมต่อกับจอแสดงผล LCD โดยผ่านส่วนขับจอแสดงผล (LCD Driver) ที่อยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้สูงสุดถึง 4-Mux (Multiplex) ควบคุมโดยการกำหนดค่าลงในหน่วยความจำของ LCD

IAR Systems (2006) อีกเหตุผลหนึ่ง que เลือกไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MSP4304xx เนื่องจากเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 16 บิต ที่มีอัตราการใช้พลังงานต่ำมาก สถานะการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้พลังงาน 280-560 ไมโครแอมป์ มีโหมดการประหยัดพลังงานให้เลือกใช้ 4 โหมด คือ LPM0 ถึง LPM4 ซึ่งใช้พลังงานต่ำสุดเพียง 0.1 ไมโครแอมป์ในโหมด LPM4

สำหรับการแสดงข้อมูลป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ ไม่มีความจำเป็นให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เปิดใช้งานตลอดเวลา เพียงแต่แสดงผลข้อมูลออกมาทางจอแสดงผล LCD เท่านั้น การใช้งานส่วนใหญ่จึงอยู่ในโหมดประหยัดพลังงาน LPM3 ซึ่งทำงานเฉพาะ Auxiliary Clock (Clock ที่เชื่อมต่อกจากภายนอก) สำหรับการขับจอแสดงผล LCD โดยใช้พลังงานเพียง 1.0 ถึง 2.5 ไมโครแอมป์เท่านั้น



ภาพที่ 20 อัตราการใช้พลังงานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MSP4304xx

### 3.1.2 จอแสดงผล (LCD Module)

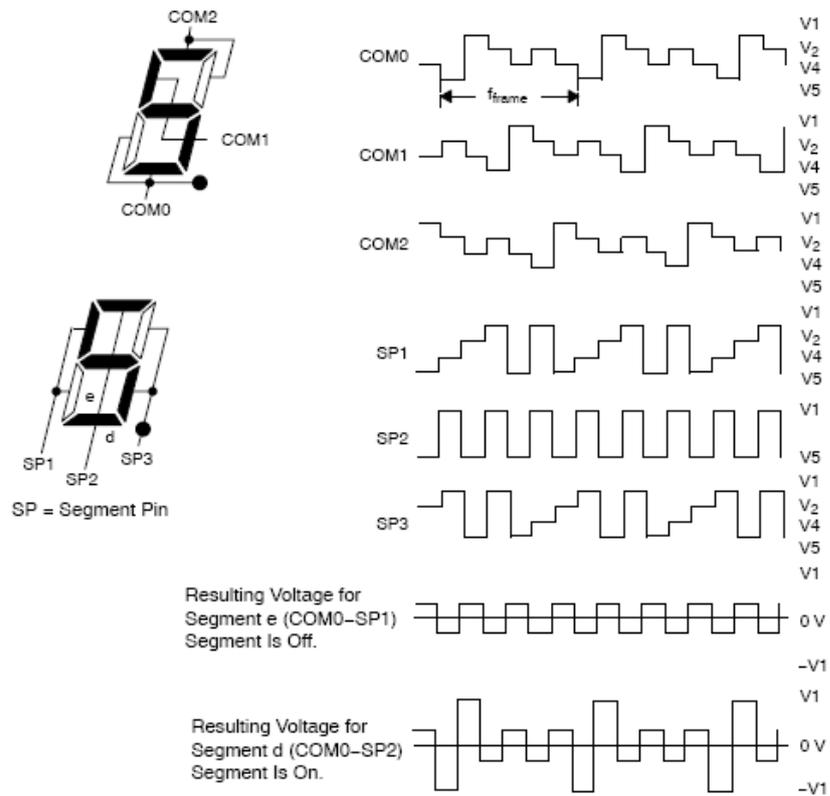
อุปกรณ์ที่เลือกใช้คือจอแสดงผลผลึกเหลวแบบแก้ว (Glass LCD Module) แบบไม่มี Backlight เนื่องจากเป็นจอแสดงผลที่ใช้กำลังไฟต่ำ มีราคาถูก การเชื่อมต่อที่ง่าย และใช้ทรัพยากรในการประมวลผลต่ำ



ภาพที่ 21 จอแสดงผลผลึกเหลวแบบแก้ว

จอแสดงผลผลึกเหลวแบบแก้วนั้น จะมีอัตราการใช้พลังงานต่ำมาก เมื่อไม่ใช้แสงสำหรับส่องหน้าจอ อัตราการใช้พลังงานจึงขึ้นโดยตรงกับพื้นที่แสดงผล และจำนวนจุดที่เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยทั่วไปแล้ว อัตราการใช้พลังงานสำหรับจอแสดงผลผลึกเหลวแบบแก้วอยู่ที่ประมาณ 5 ไมโครแอมป์ต่อตารางเซนติเมตร ทั้งนี้การแสดงผลในแต่ละ Segment ของหน้าจามาจากการเปรียบเทียบสัญญาณของ Segment นั้นกับสัญญาณพื้นฐาน (Common) หากนำมาเปรียบเทียบกันแล้วได้รูปแบบสัญญาณที่สูงกว่า จอแสดงผลจะแสดง Segment นั้นให้เห็น

การสั่งการแสดงผลในแต่ละ Segment เกิดจากการสร้างสัญญาณคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MSP4304xx ด้วยสัญญาณ Clock จาก Oscillator ภายนอกขนาด 32.768 kHz แล้วจึงนำมา Multiplex ด้วยวงจรมัลติเพลกซ์ใน ทำให้เกิดรูปแบบสัญญาณพื้นฐาน (Common) ได้ถึง 4 รูปแบบ คือ Static, 2-Mux, 3-Mux และ 4-Mux ดังนั้น การเชื่อมต่อกับจอแสดงผลผลึกเหลวแบบแก้ว จึงต้องเลือกรูปแบบสัญญาณพื้นฐานให้ตรงกัน



ภาพที่ 22 ตัวอย่างหลักการแสดงผลสำหรับจอแสดงผลแบบแก้ว (3-Mux)

### 3.1.3 อุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุ (RF Module)

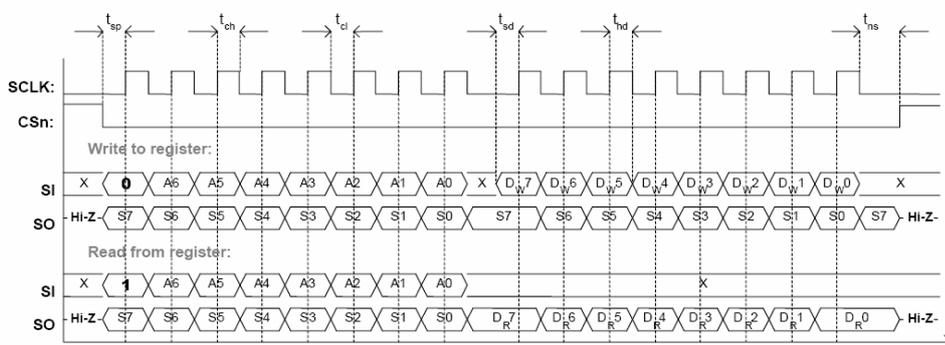
อุปกรณ์รับส่งข้อมูลคลื่นวิทยุไร้สาย (RF Module) ย่านความถี่ ISM Band มีการ Modulation แบบ FSK (Frequency Shift Keying) สามารถเลือกใช้ได้ใน 3 ย่านความถี่คือ 433 MHz, 868 MHz และ 915 MHz อัตราการรับส่งข้อมูลใช้งานประมาณ 800 bps รัศมีการส่งมากกว่า 200 เมตรในที่โล่งแจ้ง และรองรับย่านการทำงานระดับ 2.2 - 3.8 โวลต์



ภาพที่ 23 อุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุ

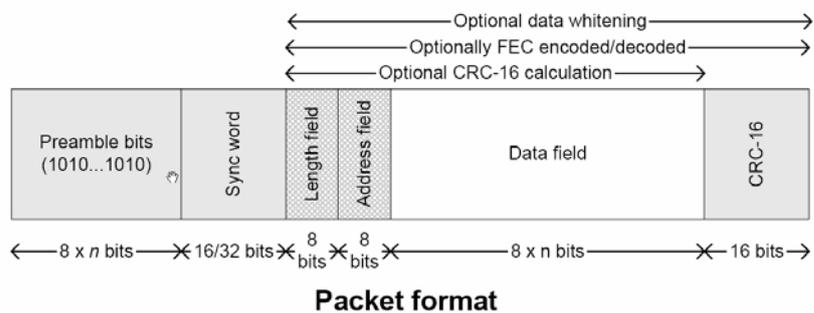
เนื่องจากอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุมีอัตราการใช้พลังงานค่อนข้างสูงขณะเปิดใช้งาน คือ 11-13 มิลลิแอมป์ สำหรับภาครับ และ 15-17 มิลลิแอมป์ ในภาคส่ง ด้วยเหตุนี้จึงต้องเลือกใช้รูปแบบการประหยัดพลังงาน โดยมีหลักการทำงาน คือการกำหนดให้อุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุเปิดใช้งานเป็นช่วงเวลา และกำหนดระยะเวลาการเปิดด้วย ตัวอย่างเช่น เลือกเปิดใช้งานทุก 1 วินาที โดยมีระยะเวลาการเปิด 20 มิลลิวินาที เป็นต้น หากมีข้อมูลส่งด้วยช่องทางและความถี่เดียวกัน อุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุจะทำการตรวจสอบรูปแบบของข้อมูลและส่งสัญญาณกระตุ้นไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อตรวจสอบข้อมูลภายในต่อไป

การติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุจำเป็นต้องกำหนดค่าต่างๆ ให้ตรงกันผ่านรีจิสเตอร์ ด้วยการสื่อสารข้อมูลที่เรียกว่า SPI (Serial Peripheral Interface) ซึ่งรวมถึงการสื่อสารภายในอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุเองด้วย การสื่อสารข้อมูลแบบ SPI ประกอบด้วยสัญญาณ 4 รูปแบบ คือ SCLK (Serial Clock), CS (Chip Select), SI (Serial Data IN) และ SO (Serial Data Out)

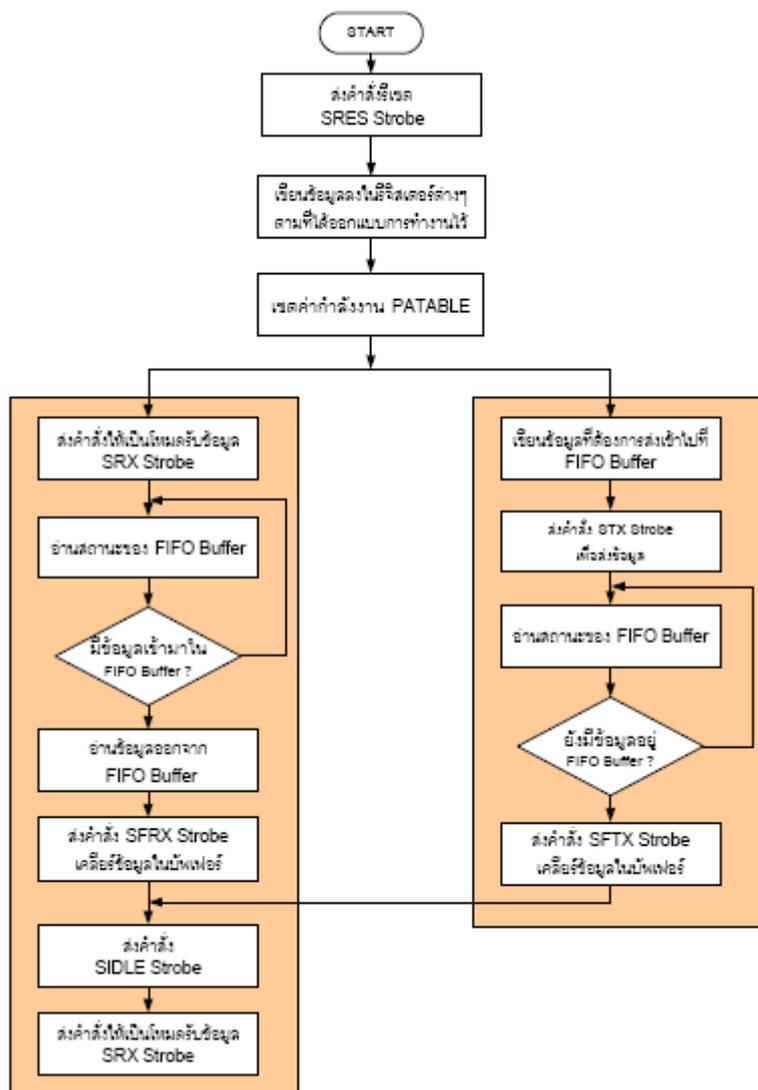


ภาพที่ 24 รูปแบบสัญญาณ SPI

สำหรับรูปแบบในการรับส่งข้อมูลผ่านทางช่องสัญญาณ อุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุ จะทำการเพิ่มเติมข้อมูลของทุกแพ็กเกจ เพื่อความสะดวกในการรับและตรวจสอบข้อมูล ข้อมูลที่เพิ่มเติมลงในแต่ละแพ็กเกจประกอบด้วย Preamble, Sync Word, Length Field, Address Field และ CRC (Cyclic Redundancy Check)



ภาพที่ 25 รูปแบบแพ็คเกจข้อมูล



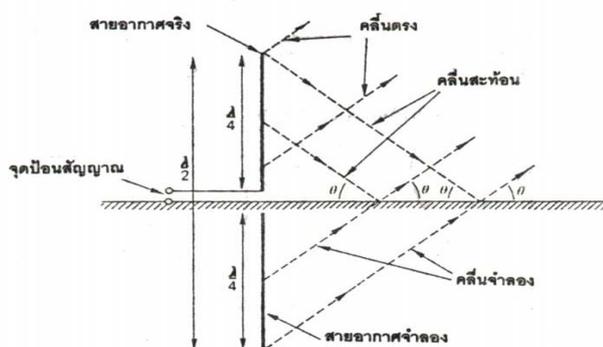
ภาพที่ 26 ตัวอย่างการส่งคำสั่งให้อุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุ

เมื่อใช้อุปกรณ์รับส่งสัญญาณวิทยุร่วมกับ อุปกรณ์กระจายสัญญาณและป้ายแสดงข้อมูลสินค้า มีข้อดี คือป้ายแสดงข้อมูลสินค้าสามารถตอบกลับอุปกรณ์กระจายสัญญาณได้ ทำให้สามารถตรวจสอบข้อมูล และสถานะของป้ายแสดงข้อมูลสินค้าได้ อีกทั้งสามารถเพิ่มฟังก์ชันการตอบกลับที่สามารถตรวจสอบได้จากคอมพิวเตอร์ศูนย์กลางได้ เช่น การตรวจสอบอายุแบตเตอรี่ การติดตามสถานะป้าย การตรวจสอบคุณภาพสัญญาณ เป็นต้น

### 3.1.4 การออกแบบสายอากาศ (Antenna Design)

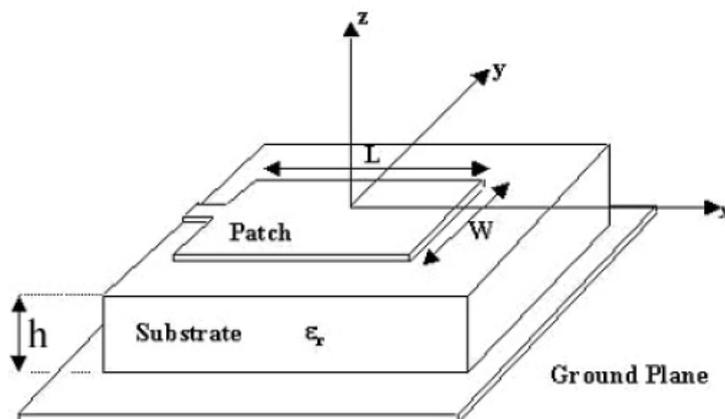
พินิจ เนื่องภิรมย์ (2008) การออกแบบสายอากาศสำหรับป้ายสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ได้เลือกใช้สายอากาศแบบโมโนโพลหรือสายอากาศแบบไมโครสตริปวางบนลายวงจร เนื่องจากเป็นสายอากาศมีประสิทธิภาพดี มีขนาดเล็ก พื้นที่ใช้งานน้อย และมีต้นทุนการผลิตต่ำ

สำหรับการเลือกใช้สายอากาศแบบโมโนโพลมีการออกแบบที่ง่าย คือใช้สายอากาศที่มีความยาวเท่ากับความยาวคลื่นหารด้วย 4 ติดตั้งในแนวตั้งกับพื้นโลก โดยมีจุดพีคที่บริเวณด้านล่างระหว่างสายอากาศกับพื้นดิน ซึ่งมีคุณสมบัติแพร่คลื่นได้ขนาดเท่ากันทุกทิศทางในระนาบแนวนอน ส่วนระนาบแนวตั้งมีพลังงานบางส่วนพุ่งสู่ฟ้าและอีกบางส่วนพุ่งเข้าหาพื้นดิน คลื่นที่มีทิศลงจะกระทบพื้นดิน และสะท้อนกลับขึ้นมาโดยมีค่ามุมตกกระทบเท่ากับค่ามุมสะท้อน (คิดจากพื้นโลกที่เรียบ) ณ จุดหนึ่งที่อยู่ห่างจากสายอากาศ พลังงานคลื่นที่รับได้เกิดจากคลื่นตรงและคลื่นที่สะท้อนกับพื้นโลก ค่าความเข้มสนามที่จุดนี้ เป็นค่ารวมของความเข้มสนามในคลื่นแต่ละแบบ



ภาพที่ 27 แสดงการแพร่คลื่นของสายอากาศแบบโมโนโพล

สำหรับสายอากาศแบบไมโครสตริป คือสายอากาศ ประกอบไปด้วยแผ่นโลหะที่วางติดอยู่บนสารแผ่นฐาน ซึ่งเป็นสารไดอิเล็กตริกเหนือกราวนด์เพลน อาจมีวัสดุหุ้มห่อ (Radome) เพื่อใช้ป้องกันสายอากาศได้ สายอากาศชนิดนี้มีข้อดีคือ สามารถออกแบบลงบนลายวงจรได้เลย ใช้พื้นที่น้อย และมีน้ำหนักเบากว่าสายอากาศชนิดอื่นๆ

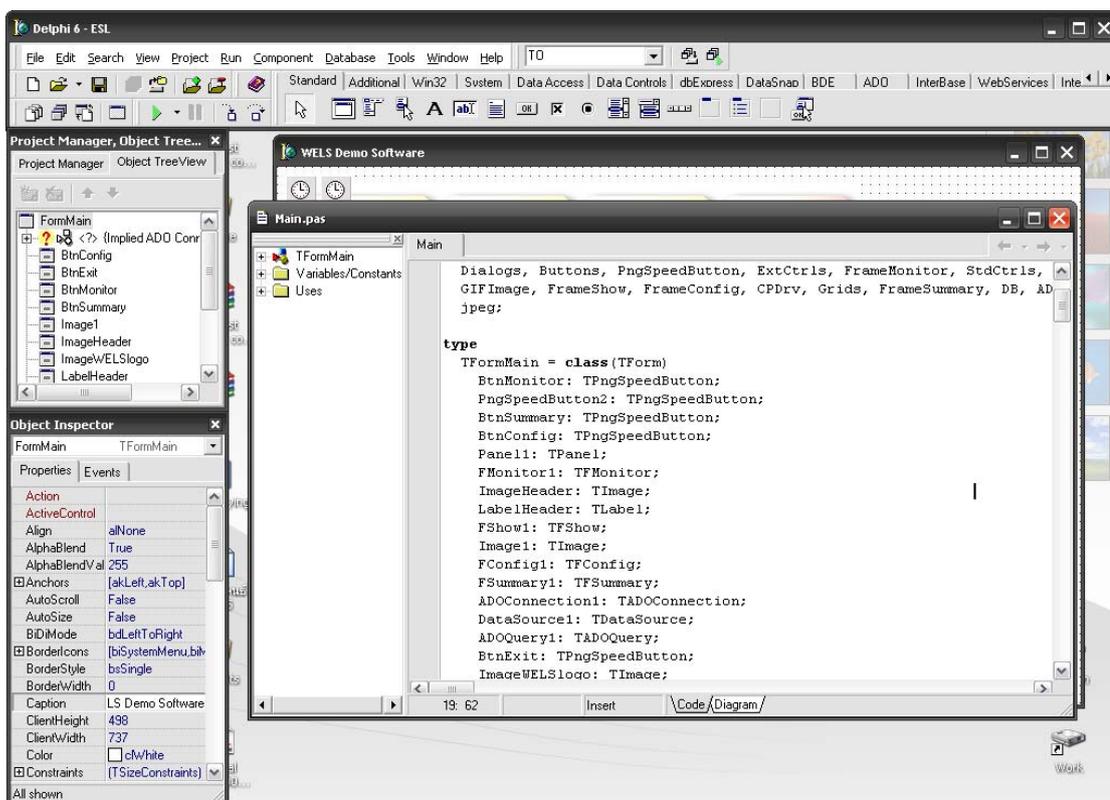


ภาพที่ 28 อุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุ

การออกแบบสายอากาศเบื้องต้นสำหรับการทดลอง จึงได้เลือกใช้สายอากาศแบบโมโนโพล และไมโครสตริป ที่มีความยาวเท่ากับความยาวคลื่นหารด้วย 2 และความยาวคลื่นหารด้วย 4 แล้วจึงทดสอบประสิทธิภาพ หาคความยาวที่เหมาะสมกับระยะทางที่เปลี่ยนไป

### 3.2 รายละเอียดด้านซอฟต์แวร์ (Software Management on Central Computer)

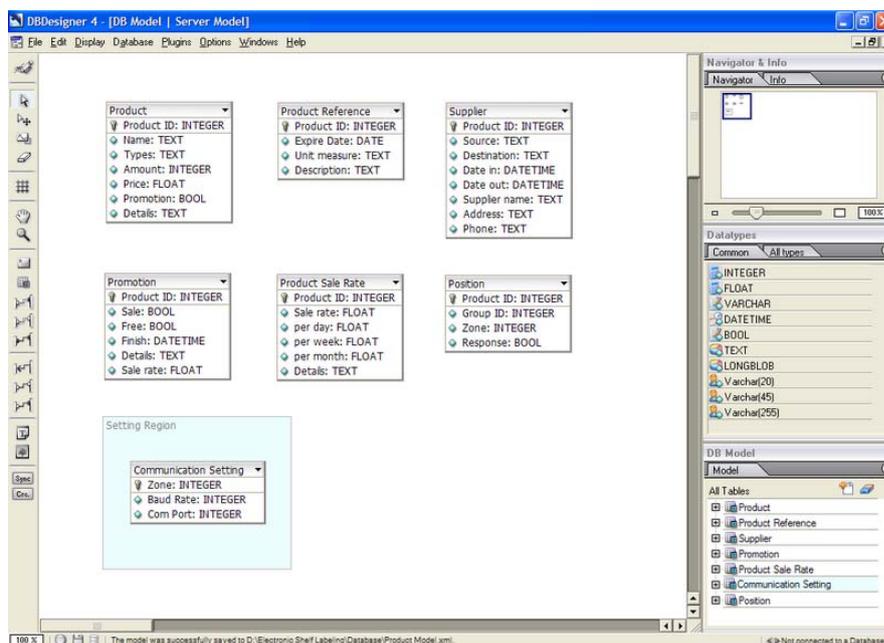
การทดลองในเบื้องต้น คือการเขียนซอฟต์แวร์ตัวอย่าง ในที่นี้ได้เลือกใช้โปรแกรม Delphi 6.0 เป็นเครื่องมือในการเขียนซอฟต์แวร์ เนื่องจากมีตัวเลือกการเชื่อมต่อกับผู้ใช้เป็นจำนวนมาก และหา Plug in ได้ง่าย โดยซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือส่วนการสื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม ส่วนการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล และส่วนแสดงผลกับผู้ใช้งาน



ภาพที่ 29 แสดงโปรแกรม Delphi 6.0

ส่วนการสื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ทอนุกรม RS232 ได้ทำการรับข้อมูลจากผู้ใช้งานเป็นชนิด String แล้วจึงแปลงรูปแบบข้อมูลออกมาเป็นไบต์ส่งข้อมูลผ่านพอร์ทอนุกรมตามค่าที่ตั้งไว้ในส่วนการรับข้อมูล หากมีข้อมูลส่งมาผ่านพอร์ทอนุกรม ตัวซอฟต์แวร์จะทำการตรวจสอบทั้งความยาวและรูปแบบข้อมูลที่ส่งมา หากตรงกัน ซอฟต์แวร์จะนำข้อมูลมาอัปเดตในฐานข้อมูลต่อไป

ในส่วนการสร้างฐานข้อมูล ได้ทำการออกแบบฐานข้อมูลผ่านโปรแกรม DB Designer 4 เพื่อออกแบบในเบื้องต้น แล้วจึงนำมาลงเป็นฐานข้อมูลในรูปแบบ SQL ผ่านโปรแกรม Microsoft Office Access ซอฟต์แวร์จะทำการเชื่อมต่อ บันทึก และเรียกใช้ฐานข้อมูล ผ่านช่องทางนี้



ภาพที่ 30 แสดงตัวอย่างการออกแบบฐานข้อมูล

### 3.3 รายละเอียดด้านการสื่อสารข้อมูล (Communication Protocol)

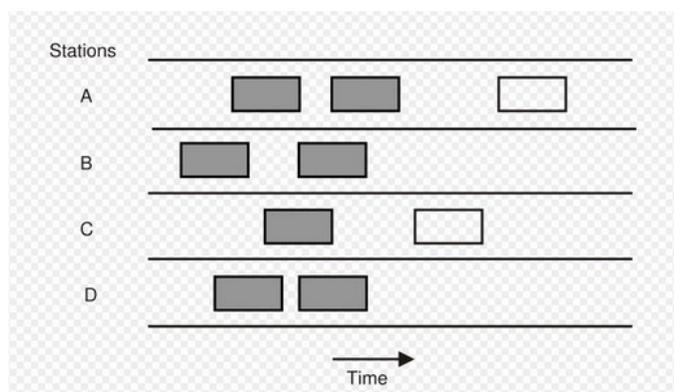
สถาปัตยกรรมการสื่อสารข้อมูลป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ศูนย์กลาง (Central Computer) กับอุปกรณ์กระจายสัญญาณ (Signal Broadcaster) การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์กระจายสัญญาณกับอุปกรณ์กระจายสัญญาณ และการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์กระจายสัญญาณกับป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ ทั้ง 3 ส่วนนี้ มีรูปแบบการเชื่อมต่อต่างกันอย่างชัดเจน โดยใช้รูปแบบของแพ็คเกจข้อมูลเดียวกัน การเชื่อมต่อของระบบ จึงต้องทำให้ทุกอุปกรณ์มีความเข้าใจรูปแบบการสื่อสารข้อมูลเดียวกัน

#### 3.3.1 การเชื่อมต่อระหว่าง คอมพิวเตอร์ศูนย์กลาง (Central Computer) กับอุปกรณ์กระจายสัญญาณ (Signal Broadcaster)

Fitzgerald, J. and A. Denny. (2005) ในระดับชั้น Physical layer การเชื่อมต่อในส่วนนี้ใช้ Comport ในการเชื่อมต่ออนุกรมด้วยโปรโตคอล RS232 ดังนั้น ในชั้น Data link จึงมี

การสื่อสารข้อมูลแบบ Serial แบบ Full Duplex จึงไม่เสี่ยงต่อการชนกันของข้อมูล โดยใช้ความเร็วในการเชื่อมต่อระหว่าง 9600-115200 bps

การออกแบบในส่วนนี้จึงมีลักษณะคล้าย ALOHA Topology ในเครือข่าย LAN (Local Area Network) โดยจะแยกการรับและการส่งอย่างชัดเจน คือฝั่งส่งจะทำการส่งข้อมูลเมื่อต้องการ ส่วนฝั่งรับจะทำหน้าที่รับข้อมูลเพียงอย่างเดียว และจะตอบกลับในกรณีที่ต้องการเท่านั้น



ภาพที่ 31 รูปแบบการรับส่งแบบ Alohanet

### 3.3.2 การเชื่อมต่อระหว่าง อุปกรณ์กระจายสัญญาณ (Signal Broadcaster) กับ อุปกรณ์กระจายสัญญาณ

ETT (2005) เนื่องจากข้อมูลที่ส่งออกมาจากคอมพิวเตอร์เป็นการสื่อสารอนุกรม RS232 การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์กระจายสัญญาณซึ่งมีลักษณะเป็นเครือข่าย ซึ่งมีระยะทางการเชื่อมต่อตั้งแต่ 100 เมตรขึ้นไป การเลือกใช้การสื่อสารอนุกรม RS232 อาจมีข้อจำกัดเรื่องระยะทางการรับส่งข้อมูล

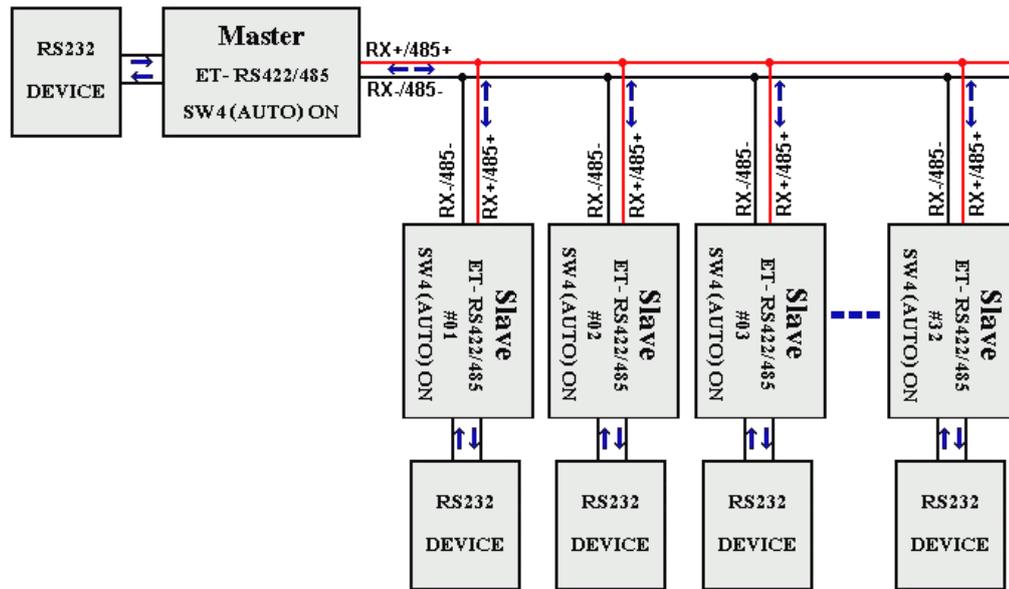
การเลือกใช้วิธีการเชื่อมต่อสำหรับอุปกรณ์กระจายสัญญาณ สามารถเลือกใช้ได้หลายวิธีทั้งการสื่อสารแบบมีสายและไร้สาย ได้แก่ RS485, RS422, LAN และ WLAN (Wireless LAN) ดังนั้น ในชั้น Data link จึงมีการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม ได้ทั้งแบบ Half Duplex หรือ Full Duplex

การส่งผ่านข้อมูลระหว่างอุปกรณ์กระจายสัญญาณด้วยกัน มีลักษณะเป็นเครือข่าย(Network) อุปกรณ์กระจายสัญญาณ จึงต้องมีส่วนการกำหนดเส้นทาง (Routing) สำหรับแต่ละอุปกรณ์กระจายสัญญาณ หรือส่วนในการตัดสินใจในการเลือกเส้นทางด้วยตนเองได้

สำหรับการเลือกใช้การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์กระจายสัญญาณแบบไร้สาย (LAN หรือ WLAN) สามารถเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีโปรโตคอลมาตรฐาน TCP/IP สำหรับการเชื่อมต่อแบบ LAN และโปรโตคอล 802.11b, 802.11g สำหรับ WLAN

สำหรับการเลือกใช้การเชื่อมต่อแบบ RS485 หรือ RS422 จำเป็นต้องแปลงรูปแบบการส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ศูนย์กลางจาก RS232 เป็น RS485 หรือ RS422 เสียก่อน แล้วจึงเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์กระจายสัญญาณให้เป็นแบบ RS485 หรือ RS422 ทั้งระบบ

การสื่อสารอนุกรม RS485 จะใช้สายทั้งหมด 2 เส้น เป็นการสื่อสารข้อมูลทางเดียว (Half Duplex) และใช้สาย 4 เส้นสำหรับการสื่อสารข้อมูล 2 ทิศทาง (Full Duplex) มีลักษณะการต่อแบบขนานทั้งระบบ (Master-Slave) รองรับการเชื่อมต่อถึง 32 ตัว มีการป้องกันข้อมูลชนกัน (Collision detect) เพื่อลดความผิดพลาดของระบบ คือการทำ Polling โดย Server ทำการตรวจหาการรับส่งข้อมูลของ Slave แต่ละตัวเป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ส่วนการสื่อสารอนุกรม RS422 จะใช้สายถึง 4 เส้น เป็นการสื่อสารข้อมูล 2 ทิศทาง (Full Duplex) สามารถสื่อสารข้อมูลได้เร็วกว่าโดยไม่ต้องคำนึงถึงการชนกันของข้อมูล มีลักษณะการต่อแบบขนานทั้งระบบ (Master-Slave) เช่นเดียวกัน แต่มีข้อด้อยคือรองรับการเชื่อมต่อเพียง 10 ตัวเท่านั้น



ภาพที่ 32 รูปแบบการเชื่อมต่อแบบขนาน RS422 และ RS485

### 3.3.3 การเชื่อมต่อระหว่าง อุปกรณ์กระจายสัญญาณ (Signal Broadcaster) กับป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์

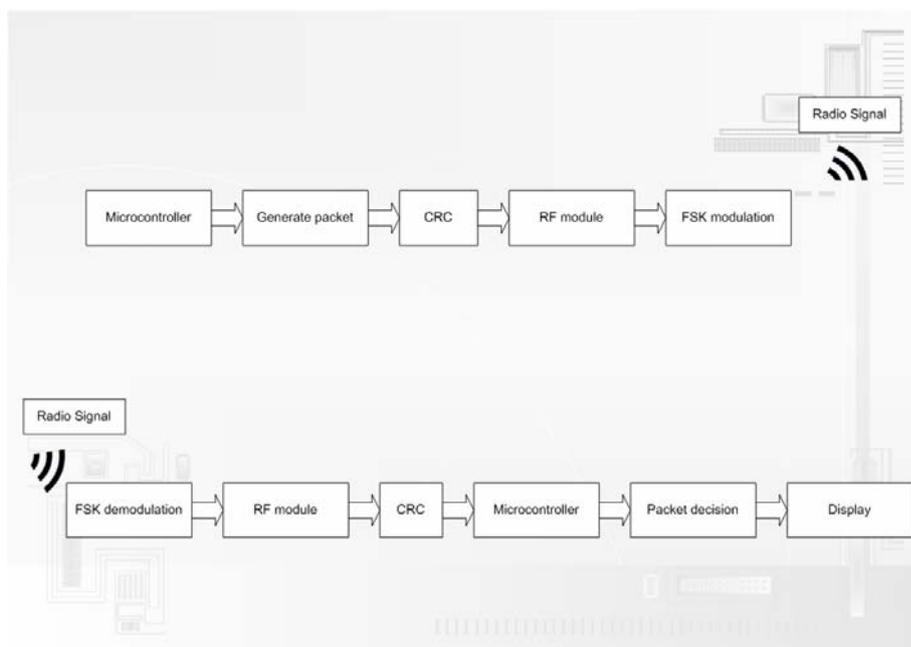
การเชื่อมต่อส่วนนี้ ถือเป็นส่วนสุดท้าย และเป็นส่วนที่มีจำนวนในการเชื่อมต่อมากที่สุดในระบบ ในชั้น Physical layer ของระบบ การเชื่อมต่อในส่วนนี้ มีการเชื่อมต่อผ่านคลื่นวิทยุ ย่านความถี่ 433 MHz, 868 MHz และ 915 MHz อัตราการส่ง 800-1000 kbps มีการ Modulation แบบ FSK

เนื่องจากป้ายแสดงข้อมูลสินค้ามีจำนวนมาก หากใช้คลื่นวิทยุย่านความถี่เดียวกันในการปรับเปลี่ยนป้ายข้อมูลสินค้าจะสามารถปรับเปลี่ยนได้ช้าเนื่องจากจะต้องรบกวนกันของอุปกรณ์กระจายสัญญาณใกล้เคียง ปัญหานี้สามารถแก้ไขโดยการแบ่งความถี่ โดยการจัดกลุ่มของป้ายข้อมูลสินค้าให้มีความถี่ต่างกัน การปรับปรุงข้อมูลสินค้าจึงสามารถทำได้หลายกลุ่มพร้อมกัน

ในด้านการส่งข้อมูล จะทำการส่งข้อมูลด้วยจำนวนแพ็คเกจจิ้งที่ ด้วยความเร็วที่ตั้งค่าเอาไว้ ทำให้ได้ช่วงระยะเวลาที่แน่นอน จึงสามารถคาดคะเนอัตราความเร็วการปรับเปลี่ยนข้อมูลป้ายสินค้าได้อย่างแม่นยำ

ในชิปประมวลผล RF12B ได้มีส่วนของ Synchronization, Preamble, Forward Error Correction (FEC) และ Interleaving อีกทั้งยังมีการเพิ่มในส่วนของ CRC (Cyclic Redundancy Check) ขนาด 8-16 บิต ทำให้สามารถลดและตรวจสอบความผิดพลาด, แก้ไขข้อมูลที่ไม่ได้รับ และปรับปรุงข้อมูลได้

ข้อมูลที่ส่งอยู่ในรูปแพ็คเกจจากป้ายแสดงข้อมูลสินค้า จะทำการเติม Frame start ในส่วนต้นเพื่อใช้ในการตรวจสอบการอ่านข้อมูล และปิดท้ายด้วย CRC ด้วยความยาวคงที่ของทุกแพ็คเกจ มีการแยก Field ในแต่ละแพ็คเกจอย่างชัดเจนทั้งในส่วนของการระบุหมายเลขฝั่งรับ ฝั่งส่ง และชนิดของข้อมูล



ภาพที่ 33 สถาปัตยกรรมการสื่อสารข้อมูลป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์

#### 4. การออกแบบผลิตภัณฑ์

รูปแบบและประโยชน์ใช้สอยของผลิตภัณฑ์มีส่วนสำคัญในการช่วยผลักดันให้ผลงานวิจัยสามารถนำไปเป็นสินค้าเชิงพาณิชย์ได้ เมื่อผู้วิจัยทำการออกแบบต้นแบบวงจรให้มีขนาดเหมาะสมกับการใช้งานจริงแล้ว จึงเลือกทำการออกในส่วนของรูปลักษณะภายนอกเพื่อสื่อให้ผู้ใช้งานเข้าใจถึง

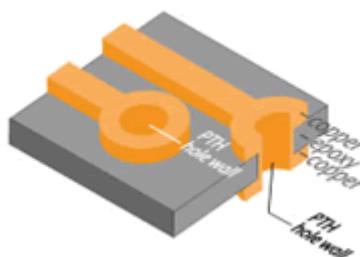
ความหมายและการใช้งานผลิตภัณฑ์นั้น โดยต้องออกแบบให้สินค้าสามารถใช้ประโยชน์ได้สูงสุด มีการเชื่อมต่อได้ง่าย และมีต้นทุนที่สามารถแข่งขันกับตลาดสินค้าในปัจจุบันได้

ขั้นตอนการออกแบบผลิตภัณฑ์สำหรับงานวิจัยนี้ แบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือการออกแบบลายวงจร การออกแบบองค์ประกอบภายนอกของผลิตภัณฑ์ และการผลิตต้นแบบรวดเร็วสำหรับการทดลองใช้งาน

#### 4.1 การออกแบบลายวงจร

PCB (Printed Circuit Board) คือชิ้นส่วนประกอบทางไฟฟ้าที่ถูกใช้เป็นเส้นทางนำสัญญาณทางไฟฟ้าและเชื่อมสัญญาณให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยวัสดุตัวนำ (ทองแดง) ที่ถูกทำให้เป็นเส้นบนพื้นวัสดุฉนวนไฟฟ้า หลังจากที่ได้ออกแบบผังวงจรและทดสอบบนบอร์ดทดลองสมบูรณ์แล้ว จึงได้ทำการออกแบบลายวงจร PCB โดยเลือกใช้โปรแกรม Protel 99 SE ในการออกแบบ PCB เพื่อลดขนาดของวงจรใช้สำหรับประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบต่อไป

ลักษณะของลายวงจรที่เลือกใช้เป็นแบบ PCB ชนิดสองหน้า (Double Side Plate Through Hole) ซึ่งเป็น PCB ที่มีเส้นลายวงจรเชื่อมสัญญาณทางไฟฟ้าทั้งสองด้าน



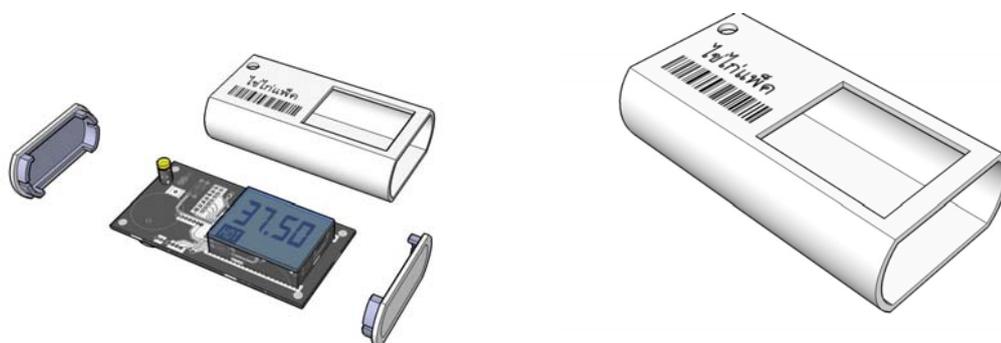
ภาพที่ 34 PCB ชนิดสองหน้า

#### 4.2 การออกแบบองค์ประกอบภายนอกของผลิตภัณฑ์

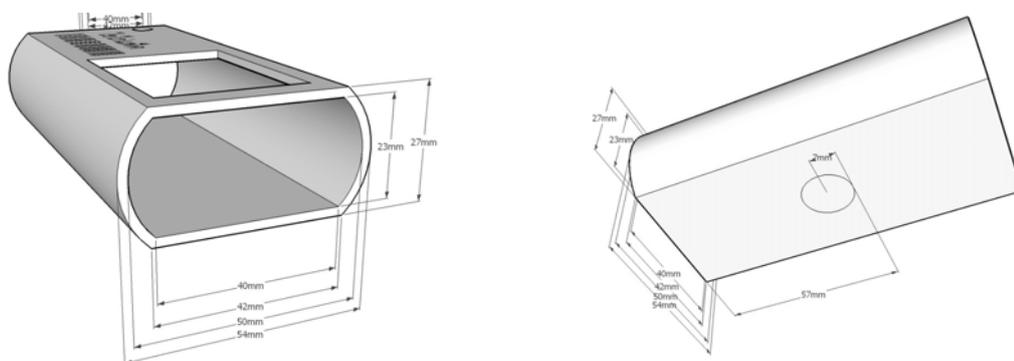
การออกแบบองค์ประกอบภายนอกของผลิตภัณฑ์ประกอบการออกแบบรูปลักษณะภายนอกและการออกแบบชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ ได้เลือกใช้โปรแกรม Adobe Photoshop และ

โปรแกรม Sketchup โดยข้อดีของโปรแกรม Sketchup คือสามารถออกแบบผลิตภัณฑ์ได้ 3 มิติและกำหนดขนาดได้

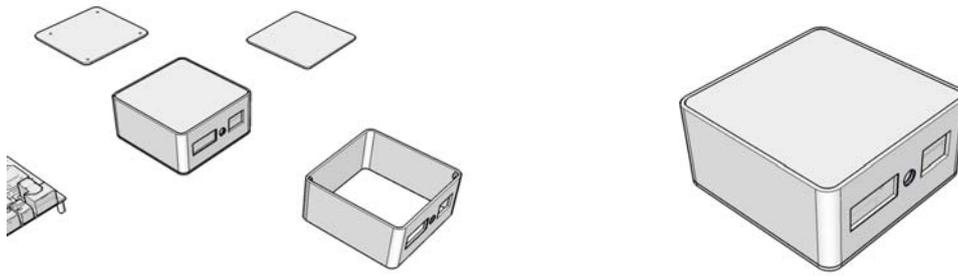
การออกแบบองค์ประกอบภายนอก มีการออกแบบ 2 ขั้นตอน คือการออกแบบรูปร่างและพื้นผิว โดยร่างลักษณะของอุปกรณ์ที่จะออกแบบ แล้วจึงนำขนาดลายวงจรมาเปรียบเทียบเพื่อให้ได้องค์ประกอบภายนอกที่เหมาะสม



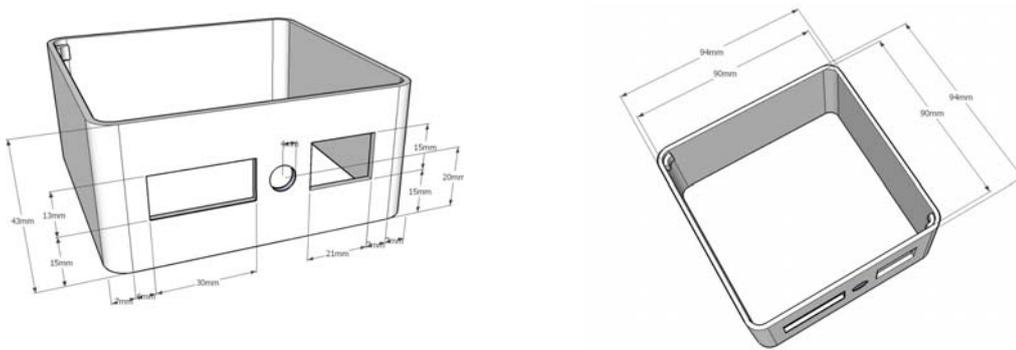
ภาพที่ 35 การออกแบบองค์ประกอบภายนอกสำหรับป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์



ภาพที่ 36 การให้ขนาดองค์ประกอบภายนอกสำหรับป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์



ภาพที่ 37 การออกแบบองค์ประกอบภายนอกสำหรับอุปกรณ์กระจายสัญญาณ



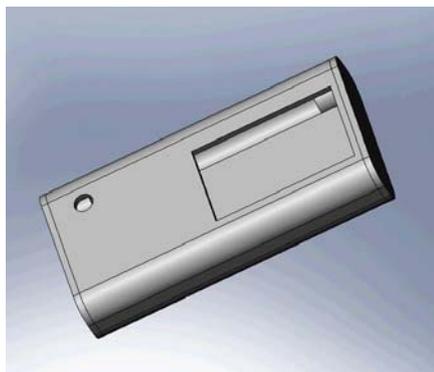
ภาพที่ 38 การให้ขนาดองค์ประกอบภายนอกสำหรับอุปกรณ์กระจายสัญญาณ

#### 4.3 การผลิตต้นแบบรวดเร็วสำหรับการทดลองใช้งาน

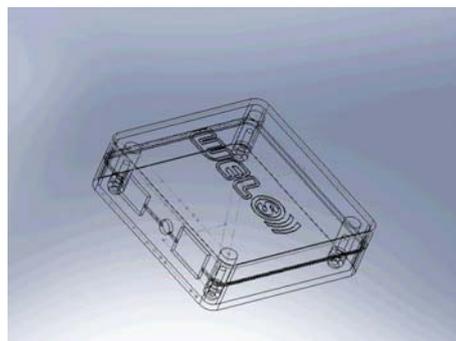
การผลิตต้นแบบรวดเร็ว (Rapid Prototyping) เป็นการผลิตต้นแบบเหมือนจริงจากไฟล์ CAD (Computer-aided Design) โดยตรงด้วยเวลาอันสั้น ซึ่งมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการทำแม่พิมพ์ได้ ขนาดและคุณสมบัติใกล้เคียงกับที่ออกแบบไว้มาก

ประโยชน์ของการผลิตต้นแบบรวดเร็ว คือการช่วยลดค่าใช้จ่ายในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ผู้ออกแบบได้เห็นต้นแบบขนาดเท่ากับของจริงที่ออกแบบไว้ และข้อผิดพลาดในส่วนต่างๆเมื่อได้ต้นแบบมาทดลองใช้งานจริง โดยเฉพาะส่วนที่มีความซับซ้อน

การผลิตต้นแบบรวดเร็ว ใช้ไฟล์ประเภท STL ซึ่งโปรแกรมที่สามารถสร้างไฟล์ประเภทนี้ ได้แก่ AutoCAD, Pro/Engineer, Solid Designer, SolidEdges, SolidWorks เป็นต้น ในการออกแบบครั้งนี้ ได้เลือกใช้โปรแกรม AutoCAD ในการออกแบบ



ภาพที่ 39 โครงร่างป้ายสินค้าอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการผลิตต้นแบบรวดเร็ว



ภาพที่ 40 โครงร่างอุปกรณ์กระจายสัญญาณสำหรับการผลิตต้นแบบรวดเร็ว

## ผลและวิจารณ์

การทดสอบระบบป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วย 3 ส่วน คือป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์กระจายสัญญาณ และการสื่อสารข้อมูล ดังแสดงในวิธีการทดลองข้างต้น แล้วจึงนำมาต่อกันเป็นระบบเพื่อทดสอบประสิทธิภาพโดยรวมอีกครั้งหนึ่ง

### 1. การทดสอบป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์

ในการพัฒนาป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ จะต้องทำการทดสอบการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ละส่วน ได้แก่ การเชื่อมต่อกับจอแสดงผล การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุ อีกทั้งการทดสอบประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน และคุณภาพสัญญาณอีกด้วย แล้วจึงนำไปรวมกับระบบอีกครั้งหนึ่ง

#### 1.1 การทดสอบด้านการประหยัดพลังงาน

การออกแบบส่วนประหยัดพลังงานถือเป็นส่วนสำคัญที่สุด เนื่องจากป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ติดตั้งอยู่บนชั้นวางของโดยใช้พลังงานโดยตรงจากแบตเตอรี่ภายใน จำเป็นต้องมีอายุการใช้งานยาวนานเพื่อให้มีการบำรุงรักษาต่ำ โดยที่การปรับเปลี่ยนข้อมูลสินค้าต้องไม่ซับซ้อนเกินไป เพื่อให้มีการประหยัดพลังงานสูงสุด จึงต้องมีการออกแบบส่วนประหยัดพลังงานของทั้งไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุ

เนื่องจากป้ายแสดงข้อมูลสินค้ามีอัตราการใช้พลังงานระดับไมโครแอมป์ การวัดค่าการใช้พลังงานแต่ละครั้งอาจไม่เท่ากัน การทดสอบส่วนประหยัดพลังงานจึงทดสอบจากการคำนวณพลังงานเฉลี่ยที่ใช้ทั้งหมด แล้วจึงนำไปทดสอบโดยการใช้งานจริง เพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานจริงตามสมมติฐานที่วางไว้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้พลังงานเฉลี่ย 1.1 ไมโครแอมป์ในโหมดประหยัดพลังงาน และ 280-420 ไมโครแอมป์ในโหมดการใช้งานปกติ (ขณะทำการรับส่งข้อมูลหรือเรียกใช้งานในฟังก์ชันต่างๆ) อุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุใช้พลังงานเฉลี่ย 11-15 มิลลิแอมป์ สำหรับภาครับ 15-17 มิลลิแอมป์ ในภาคส่ง และ 1.5 ไมโครแอมป์ในโหมดประหยัดพลังงาน โดยมีอัตราการเปิดใช้งาน

น้อยกว่า 2 เปอเซ็นต์ ส่วนจอแสดงผลแบบแก้วใช้พลังงานเฉลี่ย 5 ไมโครแอมป์ต่อตารางเซนติเมตร ดังนั้น ป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์จะใช้พลังงานทั้งหมดไม่เกิน 84.51 ไมโครแอมป์ ในโหมดประหยัดพลังงาน และการรับข้อมูล 1 ครั้ง ใช้พลังงานทั้งหมดไม่เกิน 5 ไมโครแอมป์ โดยไม่รวมส่วนการประมวลผลข้อมูลสำหรับฟังก์ชันการใช้งานอื่นๆ ดังนั้น ในการใช้งานจริง ป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ 1 ป้ายจะมีอายุการใช้งานมากกว่า 2 ปีต่อแบตเตอรี่แบบกระดุม 1 ก้อน ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับปริมาณการเปลี่ยนข้อมูลป้ายด้วย โดยปกติแล้ว หากไม่คิดด้านอายุการใช้งาน แบตเตอรี่ ป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์สามารถรับและส่งข้อมูลได้มากกว่า 30,000 ครั้ง

## 1.2 การทดสอบด้านคุณภาพสัญญาณ

การออกแบบป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ให้เหมาะสมกับชั้นวางป้ายแสดงข้อมูลสินค้าที่มีอยู่เดิม ป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ควรมีขนาดที่ไม่ใหญ่จนเกินไป ติดตั้งง่าย และสามารถแทนที่ป้ายแสดงข้อมูลสินค้าเดิมได้ทันที การออกแบบเสาสัญญาณรับส่งข้อมูลควรมีขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับการรับส่งข้อมูลระยะไกล

ตามคุณสมบัติของอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุ อุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุสามารถรับส่งข้อมูลสูงสุดได้ไกลมากกว่า 200 เมตร ในที่โล่งแจ้ง สำหรับความถี่ใช้งาน 433 MHz ซึ่งเป็นความถี่ย่าน ISM จึงไม่ต้องขออนุญาตสำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคม

ในทางปฏิบัติ การวัดระยะการรับส่งข้อมูลจริงจะต้องคำนึงถึงคุณภาพสัญญาณด้วย ด้วยระยะทางและความเร็วในการรับส่งใช้งานจริง จึงต้องมีการทดสอบประสิทธิภาพการรับส่งคลื่นวิทยุ ดังกล่าว ด้วยการวัดความแรงสัญญาณ (RSSI) ที่ได้รับเมื่อเทียบกับระยะทางที่เพิ่มขึ้น ความแรงสัญญาณจะลดลงเรื่อยๆ

การวัดสัญญาณ RSSI นั้นหมายถึงการบอกความแรงของสัญญาณ หากสัญญาณมีความแรงมากพอ โอกาสในการรับข้อมูลที่ถูกต้องจะมีมาก แต่หากจะวัดเป็นระยะที่แน่นอนเป็นระยะทางก็เมตร จะต้องคำนวณจากค่า Free Space Loss ของสัญญาณ แต่ผลที่ได้นั้นไม่เป็นที่ประทับใจ เนื่องจากขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ อย่าง เช่น สัญญาณที่มาจากเครื่องมายังสายอากาศของอุปกรณ์กระจายสัญญาณนั้น ไม่ได้มาเป็นเส้นตรงเสียทีเดียว แต่มันจะมีการสะท้อนและหักเหจากสิ่งกีดขวางต่างๆ ก่อนที่จะมาถึงป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ การวัดความแรงของสัญญาณ

ส่วนใหญ่มักจะทำการวัดเป็นระดับขั้น ตาม Threshold ที่ตั้งค่าไว้ ไม่ได้วัดเป็นค่าเส้นตรงโดยตรงโดยตลอด เพราะการวัดค่าที่แท้จริงมักคลาดเคลื่อน ความแรงของสัญญาณที่ส่งออกมานั้นไม่มีทางที่จะทราบได้ว่า ณ ขณะนั้นอุปกรณ์กระจายสัญญาณมันส่งออกมาที่วัดได้ เพราะมันขึ้นอยู่กับสภาพของเครื่อง สภาพของแบตเตอรี่ และสภาวะอากาศ เมื่อไม่รู้กำลังส่งที่แน่นอนจะคำนวณหาค่าระยะทางโดยใช้ Free Space Loss ไม่ได้

การวัดความแรงสัญญาณ (RSSI) ของป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ จึงสามารถวัดได้จาก Threshold ที่ตั้งไว้เป็นระดับขั้น ซึ่งมีความห่างเท่าๆกันเป็นระดับ dBm หรือเป็นจำนวนเท่าของมิลลิวัตต์ การทดสอบในเบื้องต้นจึงทดสอบที่โล่งเพื่อให้ผลของระยะทางใกล้เคียงกับคุณสมบัติของอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุ แม้ว่าระยะทางจริงที่ได้จากการทดสอบจะเป็นค่าโดยประมาณ แต่มีความคลาดเคลื่อนไม่มาก สามารถนำมาอ้างอิงในการประมาณระยะทางติดตั้งได้ โดยการหักลบค่า Free Space Loss และการสะท้อนหักเหของสัญญาณจากอุปกรณ์กระจายสัญญาณ

การทดลองจึงได้ทดสอบกับสายอากาศ 2 ประเภท คือแบบโมโนโพลและไมโครสตริป ด้วยความยาวเท่ากับความยาวคลื่นหารด้วย 4 ด้วยอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุความถี่ 433 MHz อัตรารับส่งข้อมูล 800-1200 บิตต่อวินาที แบนวิธ 67 kHz ผลการทดลอง พบว่า สายอากาศแบบโมโนโพลสามารถรับส่งข้อมูลได้ไกลกว่า ระยะที่สามารถรับข้อมูลได้ถูกต้องมากกว่า 35 เมตร และระยะที่มี RSSI ดีกว่า -103 dBm อยู่ที่มากกว่า 18 เมตร ส่วนสายอากาศแบบไมโครสตริปจะสามารถรับข้อมูลและมีระยะที่มี RSSI ดีกว่า -103 dBm อยู่ที่มากกว่า 15 เมตร

## 2. การทดสอบอุปกรณ์กระจายสัญญาณ

เนื่องจากอุปกรณ์กระจายสัญญาณไม่ได้ใช้พลังงานโดยตรงจากแบตเตอรี่ จึงไม่มีความจำเป็นต้องใช้โหมคประหยัดพลังงาน การทดสอบจึงมุ่งเน้นถึงประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์กระจายสัญญาณ และอุปกรณ์กระจายสัญญาณกับป้ายแสดงข้อมูลสินค้า

สำหรับการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์กระจายสัญญาณด้วยกัน สามารถเลือกใช้ได้หลายวิธีทั้งการสื่อสารแบบมีสายและไร้สาย ได้แก่ RS485, RS422, LAN และ WLAN (Wireless LAN) แต่เนื่องจากข้อมูลที่ส่งออกมาจากคอมพิวเตอร์เป็นการสื่อสารอนุกรม RS232 จึงต้องมีการแปลงรูปแบบการรับส่งข้อมูลก่อน

RS485 และ RS422 ถือเป็นทางเลือกการเชื่อมต่อที่สะดวกและมีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด มีประสิทธิภาพเพียงพอกับระบบป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ โดยข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ ศูนย์กลางใช้การสื่อสารอนุกรม RS232 มีความเร็วในการเชื่อมต่อสูงสุด 115.2 kbps และมีการแปลงเป็นการสื่อสารอนุกรม RS485 และ RS422 ซึ่งมีความเร็วในการเชื่อมต่อสูงสุดมากกว่า 250 kbps การทดสอบใช้งานจริงจะมีการทดสอบในทั้ง 2 ส่วน เพราะเมื่อระยะทางการรับส่งข้อมูลมากขึ้น อัตราการผิดพลาดของข้อมูลย่อมสูงขึ้น จึงต้องมีการปรับความเร็วให้เหมาะสมตามระยะทางที่มากขึ้นด้วย ซึ่งในการทดลองได้เลือกใช้ความเร็วในการเชื่อมต่อ 19.2 kbps ส่วนการเชื่อมต่อไร้สายแบบ WLAN ใช้โปรโตคอล 802.11b, 802.11g มีความเร็วในการเชื่อมต่อสูงสุดถึง 11 Mbps สำหรับโปรโตคอล 802.11b และ 54 Mbps สำหรับโปรโตคอล 802.11g

สำหรับการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์กระจายสัญญาณกับป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ เป็นการสื่อสารผ่านอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุ มีความเร็วในการเชื่อมต่อสูงสุด 115.2 kbps แต่การใช้งานจริง หากใช้ความเร็วเชื่อมต่อสูงสุดการรับส่งข้อมูลที่ถูกต้อง จะได้ระยะทางน้อยมาก ในการทดลองจึงได้ปรับลดความเร็วในการเชื่อมต่อเหลือ 8-12 kbps แล้ววัดจำนวนที่รับข้อมูลได้เมื่อเทียบกับจำนวนข้อมูลที่ส่ง จากการทดลอง จำนวนข้อมูลการรับที่ได้เฉลี่ย มากกว่า 98 เปอเซ็นต์ และจำนวนข้อมูลที่ได้รับถูกต้องเฉลี่ย 98 เปอเซ็นต์

การแก้ปัญหาที่รับข้อมูลไม่ได้ทั้งหมดหรือรับข้อมูลผิดพลาด สามารถทำได้โดยปรับปรุงโปรโตคอลการสื่อสารข้อมูลให้มีการปรับปรุงข้อมูลเป็นระยะหรือเพิ่มกำลังในภาคส่งแล้ววัดประสิทธิภาพการรับ ทำให้ประสิทธิภาพในการรับใกล้เคียง 100 เปอเซ็นต์มากที่สุด สำหรับการแก้ปัญหาที่เป็นจุดเด่นของระบบป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์นี้คือ การตอบกลับ (Acknowledge) เพื่อแจ้งสถานะหรือแจ้งผลการรับข้อมูล

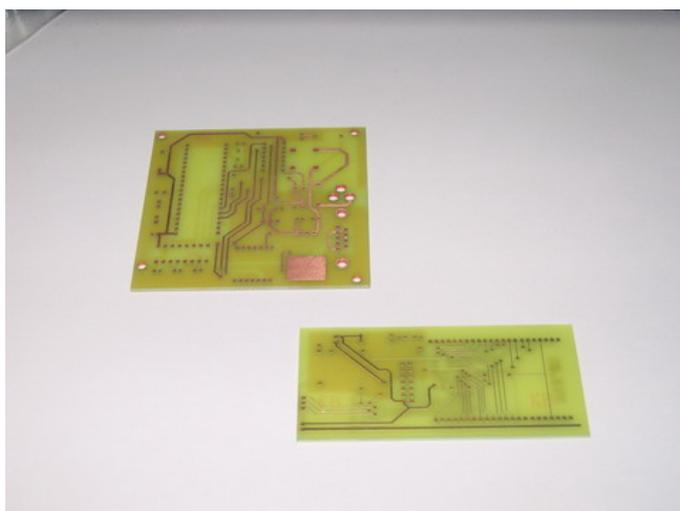
หากนำการตอบกลับ (Acknowledge) มาใช้กับระบบป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ มีข้อดีคือสามารถแจ้งทุกผลการรับข้อมูลกลับไปยังคอมพิวเตอร์ศูนย์กลาง ทำให้รู้ได้ถึงสถานะการทำงานของทุกป้าย ประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลจึงสามารถรับรองได้ที่ 100 เปอเซ็นต์ แต่ข้อเสียของระบบการตอบกลับคือ มีต้นทุนต่อป้ายแสดงข้อมูลสินค้าสูงขึ้น ใช้พลังงานที่แบตเตอรี่จากป้ายแสดงข้อมูลสินค้ามากขึ้น ทำให้อายุการใช้งานป้ายต่อแบตเตอรี่ 1 ก้อนลดลงมาก และระบบจะมีการปรับปรุงข้อมูลช้าลง เนื่องจากมีความซับซ้อนในการจัดการข้อมูลมาก อุปกรณ์กระจายสัญญาณ

จะต้องควบคุมลำดับการรับส่งข้อมูลกับป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ และทำส่วนป้องกันข้อมูลชนกันระหว่างอุปกรณ์สัญญาณกับคอมพิวเตอร์ศูนย์กลาง

อีกทางเลือกสำหรับนำการตอบกลับมาใช้กับระบบป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ คือ นำการตอบกลับมาใช้เพียงบางส่วน เช่น นำมาใช้กับฟังก์ชันตรวจสอบแบตเตอรี่ ฟังก์ชันการตรวจรอย (Tracking) การตรวจวัดความแรงสัญญาณ (RSSI) และการสุ่มตรวจสอบสถานะป้ายแสดงข้อมูลสินค้า ด้วยวิธีนี้ ระบบป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์จะมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงขึ้น ระบบมีการจัดการง่าย โดยสามารถควบคุมและรายงานผลจากคอมพิวเตอร์ศูนย์กลางเพียงอย่างเดียว แม้ว่าจะมีต้นทุนต่อป้ายแสดงข้อมูลสินค้าสูงขึ้น แต่การจัดการระบบไม่ยุ่งยากและยังมีอายุการใช้งานแบตเตอรี่ใกล้เคียงกับระบบที่ไม่มีการตอบกลับด้วย

### 3. ผลลัพธ์การออกแบบผลิตภัณฑ์

สำหรับการผลิตแผ่นวงจร PCB และต้นแบบรวดเร็ว (Rapid Prototyping) ครั้งนี้ ได้รับการสนับสนุนจากศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) โดยการผลิตลายวงจร PCB ได้รับการสนับสนุนจากโครงการเทคโนโลยีแผ่นวงจรพิมพ์ (PCBTEC) และการผลิตต้นแบบรวดเร็วได้รับการสนับสนุนจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)



ภาพที่ 41 แผ่นวงจร PCB แบบสองหน้าสำหรับต้นแบบป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์



ภาพที่ 42 ต้นแบบรวดเร็วสำหรับต้นแบบป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

ด้วยการแข่งขันในการของร้านค้าในปัจจุบัน ค่าใช้จ่ายในด้านป้ายกระดาษ แรงงาน และความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการแสดงราคาที่ไม่ถูกต้อง เหล่านี้ล้วนเป็นสิ่งนำไปให้ผู้ประกอบการต่างสนใจในส่วนและเทคโนโลยีในการแสดงผลและตรวจสอบราคาด้วยระบบป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics Shelf Labeling System) มากขึ้น ซึ่งมีความเป็นไปได้สูงที่ผู้ประกอบการจะมีแผนนำเข้าและเริ่มใช้งานระบบในอนาคตอันใกล้

ทางผู้วิจัยได้สังเกตเห็นถึงความเป็นไปได้ในธุรกิจประเภทนี้ ซึ่งยังพบการจำหน่ายด้วยสินค้าที่ผลิตในประเทศ มีเพียงแต่การนำเข้ามาเสนอจำหน่ายเท่านั้น และด้วยร้านค้าในกลุ่มเป้าหมายรวมกันกว่า 165 สาขา จำนวนนับล้านป้าย มีมูลค่าการตลาดนับพันล้านบาท หากประเทศไทยสามารถผลิตสินค้า และทรัพย์สินทางปัญญา (Know-How) เองได้ ด้วยการสนับสนุนจากภาครัฐบาลและเอกชน จะสามารถสกัดกั้นรายได้จากการนำเข้ารวมถึงการจ้างงานในการผลิตสินค้าอีกด้วย

### ข้อเสนอแนะ

ระบบป้ายแสดงข้อมูลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำการวิจัยและพัฒนาขึ้น โดยมุ่งเน้นการคิดค้นต้นแบบระบบการแสดงผลข้อมูลสินค้าให้รวดเร็วและทันสมัยยิ่งขึ้น ซึ่งระบบที่ค่อนข้างยืดหยุ่นต่อการรวมกับระบบต่างๆ ทั้งในส่วนของพัฒนาการสื่อสารข้อมูล และอุปกรณ์เชื่อมต่อเพิ่มเติม ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเชิงพาณิชย์ได้

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

พินิจ เนื่องภิรมย์. 2008. **ความรู้ขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับสายอากาศ (ตอนที่ 2).**

<http://elec.pnt.rmutl.ac.th/antenna/lesson3.pdf>. แหล่งที่มา: <http://elec.pnt.rmutl.ac.th>,  
มกราคม 2008.

ETT. 2005. **User Manual ET-RS422/485/OPTOISOLATION V2.0.**

[http://www.ett.co.th/download/12INTERFACE/12A30/manual\\_Rev1\\_et\\_422\\_485\\_V2.p  
df](http://www.ett.co.th/download/12INTERFACE/12A30/manual_Rev1_et_422_485_V2.pdf). Available Source: <http://www.ett.co.th>, 2006.

Fitzgerald, J. and A. Denny. 2005. **Business Data Communications and Networking.** 8 ed.  
Wiley, New Jersey.

IAR Systems. 2006. **MSP430 IAR Embedded Workbench® IDE User Guide for Texas  
Instruments' MSP430 Microcontroller Family.**

<ftp://ftp.iar.se/WWWfiles/msp430/guides/oc430.pdf>. Available Source:  
<http://www.iar.com>, March , 2006.

Texas Instruments. 2007. **MSP430x43x1, MSP430x43x, MSP430x44x Mixed Signal  
Controller.** <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/msp430f435.pdf>. Available Source:  
<http://www.ti.com>, 2007.

Texas Instruments. 2006. **MSP430x4xx User's Guide.** [http://focus.ti.com/lit/  
ug/slau056g/slau056g.pdf](http://focus.ti.com/lit/ug/slau056g/slau056g.pdf). Available Source: <http://www.ti.com>, 2006.

ภาคผนวก

## บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

### 1. แนวธุรกิจที่ดำเนินการ

ในปัจจุบัน ผู้ประกอบการร้านค้าต่างมีความจำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงป้ายราคาสินค้าอยู่เป็นประจำ อันเนื่องมาจากกลยุทธ์ทางการตลาดที่มักมีการปรับเปลี่ยนราคาสินค้าเพื่อทำโปรโมชันดึงดูดใจผู้บริโภค หากแต่การเปลี่ยนแปลงป้ายราคาสินค้าแต่ละครั้ง ผู้ประกอบการต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการจ้างแรงงาน และสิ้นเปลืองเวลาเป็นอย่างมาก ยังผลให้ผู้ประกอบการมีต้นทุนที่สูงขึ้น ผู้ประกอบการจึงมองหาวิธีที่สามารถลดต้นทุนดังกล่าว ทางผู้วิจัยจึงมองเห็นช่องทางที่จะสามารถดำเนินธุรกิจได้โดยนำเสนอผลิตภัณฑ์สำหรับช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าว ด้วยป้ายราคาสินค้าอิเล็กทรอนิกส์แบบไร้สายที่ช่วยลดต้นทุนที่เกิดจากการจ้างงานให้ลดลง และเพิ่มความรวดเร็วในการดำเนินการ โดยยังคงลักษณะของป้ายราคาสินค้าแบบเดิมที่ผู้บริโภคคุ้นเคยไว้ทุกประการ อีกทั้งยังสามารถติดตั้งเข้ากับระบบเดิมของผู้ประกอบการได้ทันที ส่งผลให้ผู้ประกอบการประหยัดค่าใช้จ่าย โดยป้ายราคาสินค้าอิเล็กทรอนิกส์แบบไร้สายนั้นมีหลักการทำงานคือ ใช้ระบบคอมพิวเตอร์เข้ามาสั่งการ ให้ป้ายราคาสินค้าแต่ละป้าย แสดงราคาออกมาตามข้อมูลที่ได้อัปโหลดเข้าไป โดยมีการส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ศูนย์กลางไปยังแต่ละป้ายด้วยคลื่นวิทยุไร้สาย ที่ช่วยให้การติดตั้ง หรือเคลื่อนย้ายป้ายราคาสินค้า สามารถทำได้โดยสะดวก

ทางผู้วิจัยจึงได้พัฒนาป้ายราคาสินค้าอิเล็กทรอนิกส์แบบไร้สาย ภายใต้ชื่อตราหือสินค้า “WELS” โดยตั้งเป้ากลุ่มลูกค้าหลัก คือซูเปอร์มาร์เก็ตขนาดใหญ่ มีการนำเสนอสินค้าที่ราคาไม่แพงจนเกินไป สามารถทำให้ผู้ประกอบการคืนทุนได้ภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว นอกจากนี้ยังมีทีมบริการที่รวดเร็วและชำนาญการคอยให้บริการดูแลลูกค้าอย่างใกล้ชิด ในอนาคตทางกลุ่มได้ตั้งเป้าหมายที่จะส่งสินค้าออกไปยังต่างประเทศ โดยใช้กลุ่มลูกค้าภายในประเทศเป็นผู้อ้างอิงคุณภาพ

### 2. โอกาสธุรกิจและปัจจัยความสำเร็จ

ทางผู้วิจัยได้มองเห็นโอกาสทางธุรกิจ ตลอดจนปัจจัยความสำเร็จ ด้วยภาพที่ค่อนข้างชัดเจนว่า ผู้ประกอบการร้านค้าทุกรายล้วนแต่ต้องการลดต้นทุนในการดำเนินการให้น้อยที่สุด ซึ่งต้นทุนที่เกิดจากการเปลี่ยนป้ายราคาสินค้านั้นก็เป็นภาระที่หนักอย่างหนึ่งของผู้ประกอบการ ซึ่ง

หากนำเสนอผลิตภัณฑ์ที่สามารถลดต้นทุนของผู้ประกอบการได้ ก็ย่อมเป็นที่ต้องการของผู้ประกอบการทุกราย เมื่อพิจารณาถึงคู่แข่งเมื่อเทียบชนิดของผลิตภัณฑ์แล้ว พบว่าภายในประเทศนั้นไม่มีคู่แข่งใดๆทั้งสิ้น และการที่ทางกลุ่มจะเป็นผู้ผลิตคิดค้นรายแรกในประเทศไทย ก็ยังทำให้ทางกลุ่มเข้ามีโอกาสเข้าครอบครองตลาดส่วนใหญ่ไว้ได้ทั้งหมด ทำให้คู่แข่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคตเกิดความยากลำบากที่จะเข้าตลาดในแนวเดียวกัน และหากมองไปถึงคู่แข่งจากต่างชาติ อาทิเช่น บริษัท Pricer AB ประเทศสวีเดน ยังคงใช้ระบบการติดต่อสื่อสารไร้สายด้วยคลื่นแสงอินฟราเรดที่มีข้อจำกัดด้านการติดตั้ง และประสิทธิภาพในความแม่นยำที่น้อยกว่า อาทิเช่น ต้องมีการออกแบบผังการวางสินค้าภายในร้านใหม่ทั้งหมด ไม่สามารถตรวจสอบความถูกต้องหลังจากแก้ไขราคาสินค้าได้ นอกจากนี้ป้ายแสดงราคาสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ที่จะขายในประเทศไทยนั้นจำเป็นที่จะต้องทำการปรับแต่งคุณสมบัติให้เข้ากับวัฒนธรรมของประเทศไทย ดังเช่น ภาษา พื้นฐานความเข้าใจในการใช้งานของคนไทย ซึ่งเป็นเป็นเรื่องที่บริษัทต่างชาติ ที่ไม่มีประสบการณ์เท่าผู้ผลิตภายในประเทศ

### 3. กลุ่มตลาดเป้าหมาย และการคาดคะเนกลุ่มลูกค้าเป้าหมาย

ตลาดเป้าหมายหลักอยู่ที่ผู้ประกอบการซูเปอร์มาร์เก็ตขนาดใหญ่ที่มีอยู่เป็นจำนวนมากในประเทศไทย อาทิเช่น บิ๊กซี, เทสโก้-โลตัส, ซิเมนต์ไทยโฮมมาร์ท ซึ่งร้านค้าเหล่านี้ต่างมีสาขาอยู่จำนวนมากมาย จึงจะเห็นได้ว่าเป็นตลาดที่กำลังซื้อสูงมาก ทั้งในเรื่องของปริมาณ และมูลค่า จึงมีแผนการเข้าถึงกลุ่มลูกค้าเป้าหมายเหล่านี้ด้วยการติดต่อสาธิตสินค้าต่อผู้ประกอบการซูเปอร์มาร์เก็ตโดยตรง ซึ่งหากผู้ประกอบการมีความสนใจ แต่ยังไม่แน่ใจในประสิทธิภาพของสินค้าตามที่ได้โฆษณาไว้ ยังมีแผนที่จะติดตั้งชุดสาธิตให้ทดลองใช้งานจำนวนหนึ่ง ซึ่งหากสามารถพิสูจน์ได้ว่าป้ายราคาสินค้าอิเล็กทรอนิกส์แบบไร้สาย สามารถช่วยลดต้นทุนในการดำเนินการได้ ผู้ประกอบการก็จะต้องสั่งซื้อสินค้า ประกอบกับการใช้กลยุทธ์ตั้งราคาสินค้าที่เทียบเคียงกับสินค้าจากต่างประเทศ แต่ชูจุดเด่นด้านประสิทธิภาพ และการให้บริการที่เหนือกว่าคู่แข่ง ก็ย่อมทำให้กลุ่มลูกค้าที่ตัดสินใจใช้ผลิตภัณฑ์

โดยการประมาณการแล้ว ประเทศไทยมีร้านค้าในกลุ่มเป้าหมายรวมๆกันแล้วกว่า 165 สาขา ซึ่งแต่ละสาขานั้นมีความต้องการป้ายเฉลี่ยแล้วสาขาละ 15,000 ป้าย ทำให้ประเทศไทยมีความต้องการป้ายแสดงราคาอิเล็กทรอนิกส์กว่า 2,475,000 ป้าย ซึ่งนับเป็นมูลค่านับพันล้านบาท

#### 4. ข้อได้เปรียบในการแข่งขัน

ด้วยการนำเทคโนโลยีคลื่นวิทยุไร้สายมาใช้ในป้ายแสดงราคาสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้ผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันของกลุ่มมีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่า เช่น ข้อจำกัดในการติดตั้งที่ไม่สะดวกเท่า และไม่มีระบบตรวจสอบความถูกต้องในการทำงาน อันเป็นคุณสมบัติที่พึงจะมีในการใช้งานจริง ประกอบเป็นผู้ผลิตคิดค้นผลิตภัณฑ์ในประเทศ ย่อมจะเข้าใจถึง ภาษา ความต้องการ และ วัฒนธรรมในการบริโภคของคนไทย มากกว่าบริษัทคู่แข่งจากต่างชาติ สิ่งเหล่านี้ก็ยิ่งทำให้มีความได้เปรียบคู่แข่งต่างชาติอยู่หลายประการ

#### 5. การวิเคราะห์ จุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส และอุปสรรค

##### 5.1 จุดแข็ง (Strength)

1. สินค้ามีการพัฒนา และผลิตภายในประเทศ ที่ซึ่งมีค่าแรงต่ำกว่าพื้นที่ทางแถบยุโรป หรือสหรัฐอเมริกา ทำให้สินค้าของทางกลุ่มสามารถผลิตสินค้าออกมาได้มีต้นทุนในราคาต่ำกว่าคู่แข่ง
2. เป็นการพัฒนาภายในประเทศ จึงมีความเข้าใจในภาษา, ความต้องการ และ วัฒนธรรมท้องถิ่นได้ดีกว่าบริษัทจากต่างชาติ
3. ด้วยการผลิตและจำหน่ายอยู่ภายในประเทศ การให้บริการลูกค้าจึงสามารถทำได้สะดวก และรวดเร็วกว่าสินค้านำเข้า
4. มีประสิทธิภาพสินค้าที่เหนือกว่าคู่แข่งโดยทั่วไป และเลือกใช้คลื่นความถี่ที่ได้รับอนุญาตถูกต้องตามกฎหมายในประเทศไทย
5. ผู้เปิดตลาดเป็นเจ้าแรกในประเทศไทย จึงยังมีช่องทางอีกมาก และไม่มีการแข่งขัน

##### 5.2 จุดอ่อน (Weakness)

โดยพื้นฐานทางความคิดของคนไทย มักมีความเชื่อถือสินค้าไทยน้อยกว่าสินค้าจากต่างประเทศ อีกทั้งเป็นสินค้าตราหือใหม่ที่ไม่ม่แหล่งอ้างอิงในประสิทธิภาพสินค้า ทำให้ผู้ซื้ออาจไม่มั่นใจในคุณภาพ หรือการบริการหลังการขาย

เพื่อความสนใจในผลิตภัณฑ์ ผู้ประกอบการสามารถทดลองใช้สินค้าได้ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง เช่น อาจจะไปทดลองติดตั้งเฉพาะบริเวณร้านอาหารสดที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงราคาสินค้าบ่อยที่สุด ซึ่งเมื่อใช้งานแล้วลูกค้าเกิดความพอใจในประสิทธิภาพ จนเกิดการซื้อซ้ำขึ้นก็จะเป็นการสร้างความมั่นใจให้แก่ผู้ซื้อรายต่อไป

นอกจากนี้ยังร่วมมือกับสหกรณ์ของตามมหาวิทยาลัยต่างๆ เพื่อขอใช้สถานที่จัดตั้งร้านค้าตัวอย่างขึ้นมาเพื่อเป็นการสาธิตให้แก่ผู้ประกอบการ และในอนาคตทางกลุ่มยังมีนโยบายผลักดันให้ผลิตภัณฑ์ของทางกลุ่มได้รับการรับรองเป็นไปตามมาตรฐานสากล ดังเช่น มาตรฐาน ม.อ.ก. (ประเทศไทย), FCC, ITU, IEC ซึ่งจะช่วยให้ลูกค้าเกิดความมั่นใจต่อการตัดสินใจซื้อสินค้ามากขึ้น

### 5.3 โอกาส (Opportunity)

1. ด้วยภาวะการแข่งขันของธุรกิจในปัจจุบัน ผู้ประกอบการทุกรายจึงต้องการลดการใช้แรงงานเพื่อให้ต้นทุนประกอบการต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้
2. ด้วยข้อกำหนดของกฎหมายคุ้มครองผู้บริโภคในปัจจุบันประกาศให้การบิดป้ายราคาสินค้าผิดไปจากความจริงเป็นสิ่งผิดกฎหมาย ผู้ประกอบการจึงต้องการเลี่ยงต่อความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น

### 5.4 อุปสรรค (Threat)

1. ด้วยข่าวสภาวะทางเศรษฐกิจที่อาจถดถอย อาจทำให้ผู้ประกอบการชะลอการลงทุน
2. อัตราค่าแรงขั้นต่ำในภูมิภาคเอเชียต่ำกว่าภูมิภาคทางยุโรป หรือสหรัฐอเมริกาอยู่มาก อาจทำให้ข้อพิจารณาด้านความคุ้มค่าในการลงทุน มีน้ำหนักน้อยลงในมุมมองของผู้ประกอบการ

แนวทางแก้ปัญหา คือการนำเสนอข้อดีของป้ายแสดงราคาสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ในด้านอื่นๆ เช่น เพิ่มความถูกต้องในการแสดงผลราคาสินค้า, เพิ่มภาพลักษณ์ที่ดีให้แก่ร้านค้าของผู้ประกอบการ, เพิ่มประสิทธิภาพขององค์กร, เพิ่มเทคนิคในการทำโปรโมชันดึงดูดลูกค้า

## แผนการตลาด

### 1. สมมติฐานในการวางแผนการตลาด

#### 1.1 สภาพแวดล้อมทางธุรกิจ

ผู้ประกอบการร้านค้าขนาดใหญ่ในปัจจุบันมีการแข่งขันกับคู่แข่งสูง โดยมักใช้กลยุทธ์ในการปรับเปลี่ยนราคาสินค้าเพื่อดึงดูดความสนใจของลูกค้า แต่วิธีการปรับเปลี่ยนราคาในปัจจุบันมีค่าใช้จ่ายสูงไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของแรงงานและทรัพยากรเวลา ผู้ประกอบการจึงมีแนวโน้มที่จะลดต้นทุนจากการจ้างแรงงาน และมองหาเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพมาทดแทน

#### 1.2 สภาพแวดล้อมด้านสังคมและวัฒนธรรม

ในสภาวะธุรกิจที่มีการแข่งขันสูง ความพึงพอใจของลูกค้าถือเป็นสิ่งสำคัญที่ผู้ประกอบการทุกรายต้องรักษาไว้ ผู้ประกอบการจึงหลีกเลี่ยงปัจจัยที่ก่อให้เกิดภาพลักษณ์ในทางลบแก่ร้านค้าของตน เช่น การผิดพลาดที่เกิดจากการคิดป้ายราคาสินค้าไม่ตรงกับราคาขายจริงที่มักทำให้ลูกค้าเข้าใจว่าผู้ประกอบการไม่มีความสุจริต ทำให้เกิดชื่อเสียงที่เสียหายต่อร้านค้า นอกจากนี้กฎหมายคุ้มครองผู้บริโภคในปัจจุบันยังประกาศให้ร้านค้าที่คิดป้ายราคาสินค้าผิดไปจากความจริงเป็นการกระทำที่ผิดกฎหมาย ผู้ประกอบการจึงพยายามมองหาช่องทางที่จะเลี่ยงต่อการดำเนินคดีโดยไม่ได้ตั้งใจ

#### 1.3 สภาพแวดล้อมด้านเทคโนโลยี

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในปัจจุบัน ทำให้ระบบสมองกลฝังตัวมีราคาลดลงเรื่อยๆ จนคุ้มค่าพอที่จะสามารถนำมาแทนที่การทำงานที่ใช้แรงงานบางอย่างได้ ดังเช่น การปรับเปลี่ยนข้อมูลราคาแบบเดิมที่ใช้แรงงานคน สามารถถูกแทนที่ด้วยระบบป้ายแสดงราคาสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ ที่มีความถูกต้อง แม่นยำ และรวดเร็วเหนือกว่า

## 2. วิเคราะห์การแข่งขัน

### 2.1 การแข่งขันจากป้ายแสดงราคาสินค้าแบบเดิม

ผู้ผลิตป้ายแสดงราคาสินค้าแบบเดิมนั้น หากจะแข่งขันกับป้ายแสดงราคาสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ได้ ก็จะต้องลดราคาสินค้าของตนให้ถูกกว่าปัจจุบันอีก ซึ่งจากการสำรวจในปัจจุบันพบว่า เป็นธุรกิจที่มีการแข่งขันสูง และมีผลกำไรน้อย ทางกลุ่มจึงพิจารณาว่าผู้ผลิตป้ายแสดงราคาสินค้าแบบเดิมนั้น ไม่สามารถที่จะแข่งขันทางด้านราคาได้ไปมากกว่านี้อีก หากแต่มีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนมาผลิตป้ายกระดาษสำหรับติดบนป้ายแสดงราคาสินค้าอิเล็กทรอนิกส์เสียมากกว่า

### 2.2 การแข่งขันจากคู่แข่งภายในประเทศ

เนื่องด้วยผู้ผลิต และคิดค้นป้ายแสดงราคาสินค้าอิเล็กทรอนิกส์แบบไร้สายเป็นรายแรกในประเทศไทย ทำให้ในขณะนี้ยังไม่มีคู่แข่งใดๆทั้งสิ้น และในอนาคตก็ยากที่จะมีคู่แข่งที่เลียนแบบเกิดขึ้นในเวลาอันสั้น สืบเนื่องมาจากการทำวิจัยใช้ระยะเวลานาน และต้องมีองค์ความรู้เพียงพอ ดังนั้นการทำตลาดภายในประเทศนั้นยังเปิดกว้างอีกมาก และคาดว่าจะมีระยะเวลายาวนาน

### 2.3 การแข่งขันจากคู่แข่งภายนอกประเทศ

ถึงแม้ว่าจะมีสินค้าในลักษณะดังกล่าวขายอยู่ในต่างประเทศประมาณ 4 – 5 ราย แต่ยังมีข้อด้อยที่ทำให้สินค้าจากต่างประเทศ ยากที่จะเข้ามาทำตลาด ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของราคาที่คู่แข่งภายในประเทศสามารถขายได้ในราคาที่ต่ำกว่า อันเนื่องมาจากต้นทุนการผลิตในย่านเอเชียมีค่าแรงที่ต่ำกว่า นอกจากนั้นยังต้องเสียภาษีนำเข้า และต้นทุนในการจัดตั้งบริษัทข้ามชาติ นอกจากนี้ป้ายอิเล็กทรอนิกส์ยังจำเป็นที่จะต้องได้รับการปรับปรุงในเรื่องของภาษา และวัฒนธรรมความต้องการของคนไทย ที่ซึ่งเป็นเรื่องต้องเสียเวลา และงบประมาณในการดำเนินการที่เพิ่มขึ้น

### ตารางผนวกที่ 1 SWOT Analysis

ป้ายแบบอิเล็กทรอนิกส์		ป้ายกระดาษแบบเดิม
WELS	ยี่ห้อ A	
<b>Strength</b>		
1. ต้นทุนค่าแรงผลิตต่ำ 2. สามารถให้บริการได้รวดเร็วกว่าสินค้านำเข้า 3. ใช้เทคนิคการรับข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุ ง่ายต่อการติดตั้ง	1. มีการติดตั้งใช้งานจริงแล้วเป็นจำนวนมากในย่านยุโรป	1. ใช้เงินลงทุนน้อย ไม่เสี่ยง 2. เป็นระบบที่เรียบง่าย
<b>Weakness</b>		
1. เป็นตราที่ยี่ห้อใหม่	1. ใช้เทคนิคการรับข้อมูลด้วยคลื่นแสง ยากต่อการติดตั้ง 2. มีราคาแพง เพราะต้องนำเข้า	1. สิ้นเปลืองค่าแรงงาน 2. ไม่แม่นยำ ผิดพลาดบ่อย
<b>Opportunity</b>		
1. ธุรกิจร้านค้ามีการขยายตัวเพิ่มขึ้นทุกปี ความต้องการป้ายแสดงราคาสินค้าก็เพิ่มมากขึ้น		
2. ผู้ประกอบการต้องการลดต้นทุนในการดำเนินการ		
3. กฎหมายประกาศให้การติดป้ายราคาสินค้าผิดไปจากเป็นความจริง มีบทลงโทษ		
<b>Threat</b>		
1. เศรษฐกิจถดถอย ผู้ประกอบการชะลอการลงทุน		
2. อัตราค่าแรงในแถบเอเชียต่ำกว่าภูมิภาคอื่น		

### 3. การวิเคราะห์กลุ่มเป้าหมาย

ตลาดเป้าหมายหลักอยู่ที่ผู้ประกอบการซูเปอร์มาร์เก็ตขนาดใหญ่ซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมากในประเทศไทย อาทิเช่น บิ๊กซี, เทสโก้-โลตัส, ซิเมนต์ไทยโฮมมาร์ท ซึ่งร้านค้าเหล่านี้ต่างมีสาขาอยู่จำนวนมากมาย จึงเห็นได้ว่าเป็นตลาดที่กำลังซื้อสูงมาก โดยการประมาณการแล้ว ประเทศไทยมี

ร้านค้าในกลุ่มเป้าหมายรวมๆกันแล้วกว่า 165 สาขา ซึ่งแต่ละสาขานั้นมีความต้องการป้ายเฉลี่ยแล้ว สาขาละ 15,000 ป้าย ทำให้ประเทศไทยมีความต้องการป้ายแสดงราคาอิเล็กทรอนิกส์กว่า 2,475,000 ป้าย ซึ่งเป็นมูลค่านับพันล้านบาท

## กลยุทธ์ สินค้า ผลิตภัณฑ์ และบริการ

### 1. ชื่อตราหือและความหมาย

ชื่อตราหือ “WELS” เป็นอักษรย่อมาจากคำว่า Wireless Electronic Labeling System ซึ่งอักษรย่อคำว่า WELS นั้น มีการออกเสียงที่ใกล้เคียงกับคำว่า well ซึ่งแปลว่าดี ทำให้ลูกค้าเกิดความรู้สึกในเชิงบวกกับผลิตภัณฑ์ และมีตัวอักษร “W” ที่สร้างภาพให้เห็นถึงระบบ ไร้สาย (Wireless) ที่ใช้งานได้สะดวก ภายใต้สโลแกน “be WELS be well”

ชื่อหือเป็นสื่อแสดงถึงความอัจฉริยะของระบบ เน้นความชัดเจนของตัวอักษรด้วยขอบดำ มีอักษรตัว “S” ซึ่งย่อมาจากคำว่า System มีสีแดงที่แสดงความเข้มแข็งเพื่อให้รู้สึกว่ระบบมีความมั่นคง ตัวถังใช้สีขาว แสดงถึงความเรียบง่าย เพื่อให้เข้ากันกับชั้นวางสินค้าที่แตกต่างกันในแต่ละสถานที่ และมองคล้ายกับป้ายกระดาษแบบเดิม สร้างภาพลักษณ์ที่คุ้นเคยให้แก่ผู้ใช้งาน



ภาพผนวกที่ 1 ตราหือ WELS

### 2. กลยุทธ์ช่องทางการจัดจำหน่าย

เนื่องด้วยเป็นผู้คิดค้นป้ายแสดงราคาสินค้าอิเล็กทรอนิกส์แบบไร้สายรายแรกในประเทศไทย ทำให้ประสบปัญหาความน่าเชื่อถือในตราหือใหม่ ดังนั้นกลยุทธ์ในการจัดจำหน่ายจึงเน้นไปที่การขายตรงกล่าวคือ ให้ผู้ขายเข้าไปติดต่อผู้ประกอบการเพื่อสาธิตคุณภาพของสินค้า ซึ่งหากลูกค้ายังไม่มั่นใจในคุณภาพของสินค้า ก็จะเสนอให้มีการทดลองใช้สินค้าในช่วงระยะเวลาหนึ่ง เช่น ทดลองนำป้ายไปติดตั้งในบริเวณเขตขายอาหารสด ที่ซึ่งจากการสำรวจแล้วพบว่าเป็นจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงราคาสินค้าบ่อยที่สุด ซึ่งหลังจากการทดลองแล้วย่อมพบว่าการเปลี่ยนมาใช้ป้ายแสดงราคาสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ของทางกลุ่มนั้นสามารถช่วยลดต้นทุน และเพิ่มความแม่นยำในการทำงานได้จริง ซึ่งถ้าหากมีผู้ประกอบการรายใดเลือกใช้ในระบบของทางกลุ่ม ก็จะทำให้ผู้ประกอบการรายถัดๆ ไปเกิดความมั่นใจในการตัดสินใจยิ่งขึ้น

### 3. กลยุทธ์การส่งเสริมการขาย

จากการสำรวจนั้นพบว่าในครั้งแรกของการซื้อผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ ผู้ประกอบการส่วนใหญ่จะไม่มั่นใจใช้ป้ายจำนวนมากกับร้านค้าของตน เนื่องจากจำเป็นต้องทดลองใช้งานซักระยะหนึ่งก่อน ดังนั้นทางกลุ่มจึงมีกลยุทธ์ส่งเสริมการขายให้สามารถผลักดันสินค้าออกไปได้มากขึ้น และไวขึ้น กล่าวคือผู้ประกอบการยังส่งซื้อสินค้าจำนวนมากขึ้นเท่าใด ก็จะได้รับส่วนลดมากขึ้นเท่านั้น โดยยอดการสั่งซื้อสามารถสะสมได้เป็นระยะเวลา 3 เดือนนับจากการสั่งซื้อครั้งแรก

### 4. กลยุทธ์การโฆษณา

กลยุทธ์การโฆษณากระทำเพื่อส่งเสริมให้ลูกค้าเข้าใจถึงประสิทธิภาพของป้ายแสดงราคาสินค้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ ที่ช่วยลดต้นทุนการประกอบการได้ปีละหลายแสนบาท ซึ่งกลุ่มเป้าหมายสำหรับการโฆษณานั้นคือกลุ่มผู้ประกอบการ หรือผู้บริหารซูเปอร์มาร์เก็ตขนาดใหญ่ โดยผ่านทางนิตยสารธุรกิจ และหนังสือพิมพ์ธุรกิจต่างๆ เช่น นิตยสารประชาชาติธุรกิจ, นิตยสารผู้จัดการ, หนังสือพิมพ์บางกอกโพสต์, นิตยสารธุรกิจแนวหน้า มีจุดขายสำหรับผลิตภัณฑ์ สามารถคืนทุนได้จริง ใช้เทคโนโลยีคลื่นวิทยุไร้สายช่วยให้การติดตั้ง และดูแลรักษาง่ายดาย ประกอบกับการใช้คำนิยามว่า “ติดตั้งป้ายแสดงราคาสินค้าแบบอิเล็กทรอนิกส์วันนี้ รับเงินแสนคืนทุกปี” โดยมีการยกตัวอย่างค่าใช้จ่ายที่จากการจ้างแรงงานลดลง ถ้าหากมีการติดตั้งป้ายแสดงราคาสินค้าของทางกลุ่ม

ในเบื้องต้นนั้นทางกลุ่มวางแผนว่าจะให้นิตยสารต่างๆ ที่สนใจเข้ามาสัมภาษณ์เพื่อนำข้อมูลของผลิตภัณฑ์ไปเผยแพร่ในนิตยสาร เพราะต้องการประหยัดค่าใช้จ่ายในการลงทุน ซึ่งหากบริษัทมีเงินทุนเพียงพอเมื่อไหร่จึงจะขยายเพิ่มเติมในการลงประกาศที่หน้าโฆษณา

### 5. แผนฉุกเฉินด้านการตลาด

จากการวิเคราะห์จุดอ่อนของสินค้าที่ได้กล่าวไว้ในบทสรุปผู้บริหาร ซึ่งจุดอ่อนที่สำคัญก็คือ WELS เป็นตราหือใหม่ที่ตลาดไม่คุ้นเคย อาจทำให้ผู้ประกอบการไม่กล้าลงทุนเนื่องจากจะต้องใช้เงินลงทุนจำนวนมาก และเสียเวลาในการลองผิดลองถูกจากการใช้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ทางกลุ่มจึงจำเป็นต้องหาทางแก้ไขหากปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นจริง โดยสมมุติว่าหากไม่มีผู้ประกอบการร้านค้าขนาดใหญ่รายใดกล้าใช้ผลิตภัณฑ์ของทางกลุ่ม ทางกลุ่มก็จะเปลี่ยนเป้าหมายกลุ่มลูกค้าในปีแรกไปยังร้านค้าขนาดเล็ก เช่น ร้านขายขนมปังกาโต้เฮ้าส์ โดยยึดหลักที่ว่าพยายามให้มีผู้ประกอบการรายเล็กเกิดการใช้งานจริงก่อน เพื่อเป็นตัวอย่างให้ผู้ประกอบการรายใหญ่เกิด

ความมั่นใจที่จะลงทุน นอกจากนี้ยังสามารถตั้งร้านค้าทดลองขนาดเล็ก โดยดำเนินการร่วมกับสหกรณ์ของทางมหาวิทยาลัยเพื่อใช้เป็นร้านค้าตัวอย่างสำหรับสาธิต

#### 6. ความต้องการของแหล่งเงินทุน

เนื่องจากลักษณะสินค้าของทางกลุ่มไม่จำเป็นที่จะต้องสต็อกสินค้าไว้ล่วงหน้า ทำให้ธุรกิจของทางกลุ่มไม่จำเป็นต้องใช้เงินลงทุนในช่วงแรกมากนัก หากแต่เงินลงทุนที่ต้องการก็จะมีเพียงเงินทุนเพื่อสนับสนุนการวิจัย และพัฒนาเท่านั้น ซึ่งทางกลุ่มได้ก็ได้มองหาแหล่งลงทุนเพื่อเข้ามาให้การสนับสนุนไว้แล้ว โดยในขณะนี้ได้รับการสนับสนุนส่วนหนึ่งจากทางภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งนับว่าเพียงพอต่อการวิจัยจนเสร็จสิ้นเป็นผลิตภัณฑ์ และเมื่อมีผู้สนใจซื้อตัวผลิตภัณฑ์ขึ้นมา ก็จะให้ชำระเงินล่วงหน้าเพื่อให้ทางบริษัทมีเงินหมุนเวียนในการจัดทำสินค้าส่งมอบให้ลูกค้าต่อไป

## ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายวรุช ทองน้ำเพ็ญ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 11 ธันวาคม 2526
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน พ.ศ. 2547
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นักศึกษาระดับปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	อาคารวิศวกรรมศาสตร์ 60 ปี ชั้น 6 ห้อง 603/R3
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	รางวัลที่ 2 การประกวดการแข่งขันพัฒนาผลิตภัณฑ์ด้วย ระบบสมองกลฝังตัว
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	