

เทคนิคการบีบอัดข้อมูลสำหรับอาร์เอฟไอดีเพื่อประยุกต์ใช้กับโลจิสติกส์

DATA COMPRESSION TECHNIQUE FOR RFID-BASED LOGISTIC
APPLICATION

พัชรภรณ์ เขยสุวรรณ

PATCHARAPORN CHOEYSUWAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

KMITL-2013-EN-M-040-009

DATA COMPRESSION TECHNIQUE FOR RFID-BASED LOGISTIC
APPLICATION

PATCHARAPORN CHOEYSUWAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRONICS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2013
KMITL-2013-EN-M-040-009






COPYRIGHT 2013

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ เทคนิคการบีบอัดข้อมูลสำหรับอาร์เอฟไอดีเพื่อประยุกต์ใช้กับโลจิสติกส์
Thesis Title Data Compression Technique for RFID-based Logistic Application
นักศึกษา นางสาวพัชราภรณ์ เชยสุวรรณ
รหัสประจำตัว 52610706
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.สมศักดิ์ ชุมช่วย
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2013-EN-M-040-009

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สุรพันธุ์	เอื้อไพบูลย์	
ผศ.ดร.ยุทธนา	คิดใจเดียว	
รศ.ดร.ปิยะ	โควินท์วิวัฒน์	
ผศ.ดร.กิตติพล	ชิตสกุล	
รศ.ดร.สมศักดิ์	ชุมช่วย	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 11 มกราคม พ.ศ. 2556 เวลา 10.00-12.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(ศาสตราจารย์ ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 11 มกราคม พ.ศ. 2556

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เทคนิคการบีบอัดข้อมูลสำหรับอาร์เอฟไอดีเพื่อประยุกต์ใช้กับ โลจิสติกส์
นักศึกษา	นางสาวพัชราภรณ์ เขยสุวรรณ
รหัสประจำตัว	52610706
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	อิเล็กทรอนิกส์
พ.ศ.	2556
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.สมศักดิ์ ชุมช่วย

บทคัดย่อ

การรับส่งข้อมูลภายใต้ระบบการบ่งชี้อัตโนมัติอาร์เอฟไอดีที่มีขีดความสามารถด้านหน่วยความจำขนาดเล็กโดยขึ้นอยู่กับสถาปัตยกรรมการออกแบบป้าย (Tag) เมื่อต้องการเก็บข้อมูลสำคัญจำนวนมากลงบนป้ายซึ่งข้อมูลเหล่านี้ ได้แก่ แหล่งผลิตสินค้า วันเดือนปีที่ทำการผลิต รหัสสินค้า ชื่อผลิตภัณฑ์ รหัสเฉพาะชนิดของผลิตภัณฑ์ จากนั้นนำมารวมเป็นรหัสเฉพาะของสินค้า ดังนั้นข้อมูลประจำตัวสินค้าจำนวนมากจะถูกส่งไปถึงลูกค้า ในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอเทคนิคการเข้ารหัสโดยวิธีจัดเรียงข้อมูลใหม่โดยอาศัยการตรวจสอบข้อมูลที่มีอักขระซ้ำกันในแต่ละหลักและเข้ารหัสใหม่ (Run Length Encoding-Liked: RLE-Liked) โดยในการทดลองแรกทำให้ขนาดข้อมูลลดลงจากต้นฉบับลงไป 80 เปอร์เซ็นต์ และได้นำไปเข้ารหัสเชิงคณิตศาสตร์ (Arithmetic coding) เพื่อศึกษาขนาดที่ลดลงจากการเข้ารหัส ซึ่งได้ลดลงเฉลี่ย 40 เปอร์เซ็นต์ การเข้ารหัสแบบเชิงคณิตศาสตร์นี้ยังช่วยให้ข้อมูลที่ส่งไปถึงลูกค้ามีความปลอดภัยจากการอ่านข้อมูลโดยตรง จากนั้นนำมาประยุกต์ใช้กับรหัสสินค้าในระบบโลจิสติกส์ของโรงงานอุตสาหกรรม โดยได้ศึกษาและวิเคราะห์การนำเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีมาประยุกต์ใช้งานจริงเปรียบเทียบกับระบบเดิมที่ใช้เทคโนโลยีรหัสแท่ง (Barcode) ในการพัฒนากระบวนการระบุหมายเลขกล่อง นับชนิดสินค้าและจำนวนสินค้า รวมทั้งกระบวนการระบุเลขกล่องของสินค้าบนชั้นไม้วางกล่อง (Pallet) โดยในการวิจัยนี้ได้เลือกใช้อุปกรณ์ในย่านความถี่สูง 860 MHz-930 MHz บนมาตรฐาน ISO/IEC 18000-6C Class 1 Gen 2 และวิเคราะห์การประเมินผลทางธุรกิจโดยอาศัยเครื่องมือการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ ซึ่งนำเสนอการวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value) โดยพิจารณาในช่วงระยะเวลา 5 ปี สำหรับเป็นข้อมูลในการตัดสินใจการลงทุนในช่วงระยะกลางต่อเนื่องถึงระยะยาว

Thesis	Data compression technique for RFID-based logistic application
Student	Miss Patcharaporn Choeyesuwan
Student ID	52610706
Degree	Master of Engineering
Program	Electronics
Year	2013
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr.Somsak Choomchuay

Abstract

The principle of RFID is identifying objects using the radio frequency transmission. The communication capability is the limited memory of RFID tag which belongs to the architecture design. The large important information contains such as factory site, date of operation, product code, product name and identified code of product into identified serial number of product. Hence a large number of identified serial numbers is delivered to customer. This thesis proposes the technique of lossless compression encoding by rearranged information. The process arranges and reorders the repeated information in each digit and encoding by using technique Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked). The first study result has decreased of 80% in the original size. Then result is passed through Arithmetic coding process to study the capability of memory size reduction of approximately 40% in the RLE-Liked size, in the same time increasing the privacy and security information before sending to customer against directly understanding. Furthermore we applied compression encoding with serial product number in Logistic of industrial factory. We additionally analyzed strength and weakness comparison between RFID system and the current process of Barcode system in order to develop final packing process and shipping process. The RFID hardware's specification using the UHF frequency at 860 MHz-930 MHz on ISO/IEC 18000-6C Class 1 Gen 2 is the media of our investigation. For the analysis of business deployment, an economic analysis tool is employed. The Net

Present Value (NPV) analyzed in 5 year-period has been carried out for the purpose of short-term to long-term investment.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ เลขที่ HDD-01-52-11M ภายใต้ชื่อโครงการ I/U CRC (Industry/University Cooperate Research Center in Data Storage Technology and applications)

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. สมศักดิ์ ชุมช่วย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ คำสอน ตลอดจนการถ่ายทอดองค์ความรู้ กระบวนการคิด การแก้ปัญหา และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณท่านคณาจารย์ประจำภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า และก่อให้เกิดแรงบันดาลใจ ในการทำวิจัยให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ ประจำภาควิชาโทรคมนาคม และเพื่อนๆในห้องวิจัยของภาควิชาโทรคมนาคมที่ให้คำปรึกษาการทดลองในห้องทดลอง Microwave Anechoic Chamber ด้วยดี

ขอขอบคุณพี่ น้องและเพื่อนๆ ร่วมห้องเรียน ห้องวิจัย และเพื่อนร่วมคณะ ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และคอยช่วยเหลือติดต่อข่าวสารต่างๆ ยามที่ข้าพเจ้าอยู่ในช่วงเวลาทำงาน ตลอดจนให้กำลังใจที่ดีแก่กันตลอดเสมอมา

ขอขอบคุณ คุณประพัฒน์ ทองจันทร์ ที่ได้ให้คำแนะนำและวิธีการเรียนรู้ต่างๆเกี่ยวกับการศึกษาระดับปริญญาโทตลอดจนกำลังใจที่ดีเสมอ

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ผู้ให้กำเนิดด้วยเคารพอย่างสูงยิ่งและตลอดจนคุณสุริยัสสา เขยสุวรรณ ซึ่งเป็นบุคคลในครอบครัวอันเป็นที่รัก ที่ได้มอบกำลังใจที่ยิ่งใหญ่แก่ข้าพเจ้าทั้งเรื่องเรียนและทำงานให้สำเร็จลุล่วงด้วยดีเสมอ

พัชราภรณ์ เขยสุวรรณ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	X
สารบัญรูป.....	XIV
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	6
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	7
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	7
1.5 ขอบเขตงานวิจัย.....	8
1.6 โครงสร้างวิทยานิพนธ์.....	9
บทที่ 2 ทบทวนงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	11
2.1 โครงสร้างพื้นฐานของการสื่อสารข้อมูล.....	11
2.1.1 Entropy.....	12
2.2 การเข้ารหัสข้อมูล.....	13
2.2.1 Run Length Encoding (RLE) [12].....	13
2.2.2 Burrow Wheeler Transform (BWT) [13-14].....	14
2.2.3 Move To Front (MTF) [15].....	15
2.2.4 LZ77.....	15
2.2.5 LZSS (Lempel-Ziv-Storer-Szymanski).....	16

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.6 LZW (Lempel-Ziv-Welch).....	16
2.2.7 Huffman coding.....	18
2.2.8 Arithmetic coding [23].....	20
2.2.9 Bzip2.....	25
2.2.10 Zlip.....	25
2.3 เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี (Radio Frequency Identification: RFID).....	25
2.3.1 ป้าย (Tag หรือ Transponder) [1].....	26
2.3.1.1 ป้ายแบบพาสซีฟ (Passive tags).....	26
2.3.1.2 ป้ายแบบแอ็กทีฟ (Active tags).....	28
2.3.1.3 ป้ายแบบกึ่งพาสซีฟ (Semi-Passive tags).....	28
2.3.2 เครื่องอ่าน (Reader หรือ Interrogator) [1].....	30
2.3.3 ความถี่ที่ใช้งาน [1].....	31
2.3.4 การสื่อสารระหว่างป้ายและเครื่องอ่าน (Protocol).....	31
2.3.4.1 โครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลของป้ายแบบพาสซีฟ EPC Class1 Gen2[1, 32].	31
2.3.4.2 มาตรฐาน (Electronic Product Code Standard: EPC Standards) [34].	33
2.3.4.3 ประเภทของป้าย RFID (EPC™ Tag Classifications) [1,8].....	34
2.3.4.4 EPCglobal Architecture Framework [37].....	35
2.3.4.5 RFID Network [38].....	36
2.3.4.6 RFID Middleware [8, 38, 39].....	37
2.3.5 มาตรฐาน ISO/IEC [1].....	38
2.3.6 มาตรฐาน ISO/IEC 18000-6 [1, 40].....	39
2.3.6.1 Type A [1].....	39
2.3.6.2 Type B [1].....	39
2.3.6.3 Type C [1].....	39

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.7 การนำเทคนิคการบีบอัดข้อมูลมาใช้กับหน่วยความจำของป้าย RFID.....	40
บทที่ 3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	42
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	42
3.1.1 หน่วยประมวลผลทางคอมพิวเตอร์.....	42
3.1.2 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบเทคโนโลยีป้องกันข้อมูลด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID).....	43
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์อื่นๆ.....	44
3.2.1 กล่องบรรจุหีบห่อ เพื่อเป็นต้นแบบทดสอบจำนวน 30 กล่อง.....	44
3.2.2 ชั้นไม้วางกล่อง (Pallet).....	45
3.2.3 ตลับเมตรวัดระยะ.....	45
3.2.4 ขายึดเครื่องอ่านและเขียนข้อมูลลงป้าย.....	45
3.3 ศึกษาปัญหาของขบวนการปัจจุบัน.....	47
3.3.1 การระบุเลขกล่องและนับจำนวนของสินค้า (Final packing process).....	47
3.3.2 การระบุเลขกล่องชนิดสินค้าและจำนวนบนชั้นไม้วางกล่อง (Shipping process).....	47
3.4 ปัจจัยที่สำคัญในการพิจารณา.....	50
3.5 เปรียบเทียบขั้นตอนการทำงานของระบบเทคโนโลยีป้องกันข้อมูลด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID).....	51
บทที่ 4 วิธีการทดลอง ผลการทดลอง และวิเคราะห์การทดลอง.....	55
4.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาวิธีการจัดข้อมูลและออกแบบวิธีการเข้ารหัสใหม่.....	56
4.1.1 วิธีการทดลอง.....	56
4.1.2 ผลการทดลอง.....	61
4.1.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	62
4.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาวิธีการเข้ารหัสข้อมูลแบบต่างๆ.....	63
4.2.1 วิธีการทดลอง.....	63

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.2 ผลการทดลอง	63
4.2.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	64
4.3 การทดลองที่ 3 ศึกษาการเข้ารหัสข้อมูลแบบ Arithmetic.....	65
4.3.1 วิธีการทดลอง	65
4.3.1.1 เปรียบเทียบขนาดความจุของข้อมูลที่ได้กับก่อนการบีบอัด	67
4.3.1.2 ทดลองชุดข้อมูลโดยอ้างอิงจากชุดของความน่าจะเป็นต่างกลุ่มกัน	70
4.3.2 ผลการทดลอง	71
4.3.2.1 ผลการทดลองของ 4.3.1.1	71
4.3.2.2 ผลการทดลองของ 4.3.1.2	71
4.3.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	72
4.4 การทดลองที่ 4 ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอ่านเพื่อนำไปใช้งานจริง.....	74
4.4.1 วิธีการทดลอง.....	74
4.4.1.1 ตำแหน่งของป้ายที่ทำกับเครื่องอ่าน	74
4.4.1.2 ระยะห่างที่มากที่สุดจากเครื่องอ่านถึงป้าย	75
4.4.1.3 ความเร็วในการอ่านป้ายต่อวินาที	75
4.4.2 ผลการทดลอง	79
4.4.2.1 ผลการทดลองตำแหน่งของป้ายที่ทำกับเครื่องอ่าน.....	79
4.4.2.2 ผลการทดลองประสิทธิภาพของเครื่องอ่านกับป้ายชนิดที่ 1.....	80
4.4.2.3 ผลการทดลองประสิทธิภาพของเครื่องอ่านกับป้ายชนิดที่ 2.....	93
4.4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	105
4.5 การทดลองที่ 5 ศึกษาการทำงานเมื่อนำระบบเทคโนโลยีป้องกันข้อมูล (RFID) เพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานจริง	112
4.4.1 วิธีการทดลอง.....	112
4.4.2 ผลการทดลอง	114

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	115
บทที่ 5 การวิเคราะห์ระบบเทคโนโลยีบังคับด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) ในเชิงเศรษฐศาสตร์.....	117
5.1 พิจารณาระบบเทคโนโลยีบังคับด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) มาประยุกต์ใช้งานจริง	117
5.1.1 การรวบรวมข้อมูลไว้ที่ศูนย์กลาง (Gather and consolidate RF data).....	117
5.1.2 ระบบที่สามารถตรวจสอบได้เป็นปัจจุบัน (Real-time visualization/dashboards)	118
5.1.3 การทำงานอย่างเป็นระบบแบบอัตโนมัติ (Take action/Close the automation loop).....	118
5.1.4 แลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกัน (Share RF data)	118
5.2 การวิเคราะห์ระบบเทคโนโลยีบังคับด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) ในเชิงเศรษฐศาสตร์และ คำนวณค่าใช้จ่ายในการพัฒนาระบบ (Economics and Cost-benefit analysis of RFID Implementations in supply chain).....	119
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	134
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	135
6.2 พิจารณาข้อดีข้อเสียและข้อจำกัดการใช้งาน.....	137
6.3 ข้อเสนอแนะที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง	138
เอกสารอ้างอิง.....	139
ภาคผนวก	143
ภาคผนวก ก. ข้อมูลประกอบผลการทดลองที่ 4	144
1. ขนาดพื้นที่ปฏิบัติงานจริง.....	145
2. ผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรมการใช้งานสำหรับอ่านเขียนข้อมูลลงป้าย.....	146
3. รูปแบบการกระจายคลื่น (Radiation Pattern) ของป้ายชนิดที่ 1 และ 2.....	158
4. ผลการทดลองรูปแบบการกระจายคลื่น (Radiation Pattern) ของป้ายชนิดที่1และชนิดที่2...	159

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1 รูปแบบการกระจายคลื่น (Radiation Pattern) ของป้ายชนิดที่ 1.....	160
4.2 รูปแบบการกระจายคลื่น (Radiation Pattern) ของป้ายชนิดที่ 2.....	166
ภาคผนวก ข. ผลงานที่ได้รับการเผยแพร่	172
A Technique for Label Text Compression Applied to RFID Passive Tag	173
A Framework of Hybrid Double-Encryption Applied to RFID-Based System.....	179
ประวัติผู้เขียน	185

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) และระบบรหัสแท่ง (Barcode) [8-9].....	5
ตารางที่ 1.2 ผลสำรวจและวิเคราะห์ประโยชน์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้ระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) [10]	6
ตารางที่ 2.1 การเข้ารหัสแบบ Burrow Wheeler Transform (BWT).....	14
ตารางที่ 2.2 การเข้ารหัสแบบ Move To Front (MTF)	15
ตารางที่ 2.3 การเข้ารหัสแบบ LZ77 [18]	16
ตารางที่ 2.4 ตารางเริ่มต้นของการเข้ารหัสอักขระ “banana_bandana”	17
ตารางที่ 2.5 ขั้นตอนการเข้ารหัสอักขระ “banana_bandana”	17
ตารางที่ 2.6 การเข้ารหัสข้อมูลของชุดอักขระ “HOOKUPHHHU”	19
ตารางที่ 2.7 การเข้ารหัสแบบ Huffman coding	19
ตารางที่ 2.8 ผลของการเข้ารหัสข้อมูลของชุดอักขระ “HOOKUPHHHU”	20
ตารางที่ 2.9 ความน่าจะเป็นแบบสะสมของอักขระ a, b, c, d.....	21
ตารางที่ 2.10 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของป้ายแบบแพสซีฟ แอ็กทีฟ และกึ่งแพสซีฟ [2,8]	30
ตารางที่ 2.11 สัญญาณความถี่และตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานในย่านความถี่ต่างๆ[1].....	31
ตารางที่ 2.12 โครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลภายในหน่วยความจำของป้ายแบบแพสซีฟ	32
ตารางที่ 2.13 ประเภทของป้าย RFID [1, 2, 8, 36].....	35
ตารางที่ 2.14 รายละเอียดข้อมูลและความจุ	40
ตารางที่ 2.15 อัตราส่วนการบีบอัดข้อมูล	41
ตารางที่ 2.16 เวลาที่ใช้ในการเข้ารหัสและถอดรหัส	41
ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบทางด้านประสิทธิภาพการทำงานของระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) และระบบรหัสแท่ง (Barcode) ของกระบวนการปฏิบัติงาน	51
ตารางที่ 4.1 จำนวนชิ้นงานต่อ 1 หน่วยห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติก	56
ตารางที่ 4.2 รหัสสินค้าทั้ง 17 อักขระที่แบ่งเป็นสามกลุ่ม	58
ตารางที่ 4.3 แบ่งกลุ่มอักขระ C5 ถึง C12	59

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.4 อักขระที่ C5 ถึง C12 แบ่งเป็นกลุ่ม A1-A2-A3 กลุ่ม B1-B2-B3 และกลุ่ม C1-C2.....	60
ตารางที่ 4.5 ชุดข้อมูลตัวอย่างของรหัสสินค้าที่นำมาทดสอบ	68
ตารางที่ 4.6 ข้อมูลที่จัดเรียงด้วยวิธี Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked).....	69
ตารางที่ 4.7 กลุ่มตัวอย่างชุดข้อมูล	70
ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองการเข้ารหัสข้อมูลแบบ Arithmetic ของงานทั้ง 4 กลุ่ม	71
ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองการเข้ารหัสข้อมูลโดยอ้างอิงจากชุดของความน่าจะเป็นต่างกลุ่มกัน....	72
ตารางที่ 4.10 ขนาดและมุมของ 15 ป้าย ที่ระยะห่าง 1 เมตรถึง 12 เมตร.....	78
ตารางที่ 4.11 ความสามารถในการอ่านป้ายชนิดที่ 1	79
ตารางที่ 4.12 ความสามารถในการอ่านป้ายชนิดที่ 2	80
ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองที่ระยะ 1 เมตร	81
ตารางที่ 4.14 ผลการทดลองที่ระยะ 2 เมตร	82
ตารางที่ 4.15 ผลการทดลองที่ระยะ 3 เมตร	83
ตารางที่ 4.16 ผลการทดลองที่ระยะ 4 เมตร	84
ตารางที่ 4.17 ผลการทดลองที่ระยะ 5 เมตร	85
ตารางที่ 4.18 ผลการทดลองที่ระยะ 6 เมตร	86
ตารางที่ 4.19 ผลการทดลองที่ระยะ 7 เมตร	87
ตารางที่ 4.20 ผลการทดลองที่ระยะ 8 เมตร	88
ตารางที่ 4.21 ผลการทดลองที่ระยะ 9 เมตร	89
ตารางที่ 4.22 ผลการทดลองที่ระยะ 10 เมตร	90
ตารางที่ 4.23 ผลการทดลองที่ระยะ 11 เมตร	91
ตารางที่ 4.24 ผลการทดลองที่ระยะ 12 เมตร	92
ตารางที่ 4.25 ผลการทดลองที่ระยะ 1 เมตร	93
ตารางที่ 4.26 ผลการทดลองที่ระยะ 2 เมตร	94
ตารางที่ 4.27 ผลการทดลองที่ระยะ 3 เมตร	95

ตารางที่ 4.28 ผลการทดลองที่ระยะ 4 เมตร	96
--	----

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.29 ผลการทดลองที่ระยะ 5 เมตร	97
ตารางที่ 4.30 ผลการทดลองที่ระยะ 6 เมตร	98
ตารางที่ 4.31 ผลการทดลองที่ระยะ 7 เมตร	99
ตารางที่ 4.32 ผลการทดลองที่ระยะ 8 เมตร	100
ตารางที่ 4.33 ผลการทดลองที่ระยะ 9 เมตร	101
ตารางที่ 4.34 ผลการทดลองที่ระยะ 10 เมตร	102
ตารางที่ 4.35 ผลการทดลองที่ระยะ 11 เมตร	103
ตารางที่ 4.36 ผลการทดลองที่ระยะ 12 เมตร	104
ตารางที่ 4.37 ผลการทดลองการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอ่านเพื่อนำไปใช้งานจริงของป้ายชนิดที่ 1	106
ตารางที่ 4.38 ผลการทดลองการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอ่านเพื่อนำไปใช้งานจริงของป้ายชนิดที่ 2	108
ตารางที่ 4.39 เวลาแต่ละขั้นตอนของขบวนการใหม่	114
ตารางที่ 4.40 เวลาแต่ละขั้นตอนของ Final Packing process และ Shipping process	115
ตารางที่ 4.41 เปรียบเทียบจำนวนคนทำงานระหว่างขบวนการปัจจุบันและขบวนการใหม่	116
ตารางที่ 5.1 หัวข้อระบบต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ผลิต	120
ตารางที่ 5.2 หัวข้อระบบต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อผู้กระจายสินค้า	121
ตารางที่ 5.3 หัวข้อระบบต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อลูกค้า	122
ตารางที่ 5.4 รายการค่าคงที่เพื่อใช้ในการคำนวณ	123
ตารางที่ 5.5 RFID Implementation Cost	124
ตารางที่ 5.6 รายการค่าใช้จ่ายของระบบใหม่เมื่อเลือกใช้ป้ายชนิดที่ 1 และ ป้ายชนิดที่ 2	125
ตารางที่ 5.7 Estimated Benefits and Saving	126
ตารางที่ 5.8 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ(Net Present Value: NPV) ของ RFID Implementation Cost ป้ายชนิดที่ 1	128

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 5.9 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ(Net Present Value: NPV) ของ RFID Implementation Cost ป้ายชนิดที่ 2	129
ตารางที่ 5.10 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ(Net Present Value: NPV) ของ Estimated Benefits and Saving	131
ตารางที่ 6.1 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสีย	137
ตารางที่ 6.2 ข้อจำกัดในการใช้งาน	138
ภาคผนวก	143
ตารางที่ 1 ผลของ RSSI ตั้งแต่ 0 องศา จนถึง 360 องศา ที่ตำแหน่งป้าย 0 องศา และ 90 องศา ของ ป้าย ลำดับที่หนึ่ง	162
ตารางที่ 2 ผลของ RSSI ตั้งแต่ 0 องศา จนถึง 360 องศา ที่ตำแหน่งป้าย 0 องศา และ 90 องศา ของ ป้าย ลำดับที่สอง	163
ตารางที่ 3 ผลของ RSSI ตั้งแต่ 0 องศา จนถึง 360 องศา ที่ตำแหน่งป้าย 0 องศา และ 90 องศา ของ ป้าย ลำดับที่สาม	164
ตารางที่ 4 ผลของ RSSI ตั้งแต่ 0 องศา จนถึง 360 องศา ที่ตำแหน่งป้าย 0 องศา และ 90 องศา ของ ป้าย ของค่าเฉลี่ยทั้ง 3 ป้าย	165
ตารางที่ 5 ผลของ RSSI ตั้งแต่ 0 องศา จนถึง 360 องศา ที่ตำแหน่งป้าย 0 องศา และ 90 องศา ของ ป้าย ลำดับที่หนึ่ง	168
ตารางที่ 6 ผลของ RSSI ตั้งแต่ 0 องศา จนถึง 360 องศา ที่ตำแหน่งป้าย 0 องศา และ 90 องศา ของ ป้าย ลำดับที่สอง	169
ตารางที่ 7 ผลของ RSSI ตั้งแต่ 0 องศา จนถึง 360 องศา ที่ตำแหน่งป้าย 0 องศา และ 90 องศา ของ ป้าย ลำดับที่สาม	170
ตารางที่ 8 ผลของ RSSI ตั้งแต่ 0 องศา จนถึง 360 องศา ที่ตำแหน่งป้าย 0 องศา และ 90 องศา ของ ป้าย ของค่าเฉลี่ยทั้ง 3 ป้าย	171

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 รหัสแท่ง 1 มิติ มาตรฐาน UPC-A และมาตรฐาน UPC-E [3].....	2
รูปที่ 1.2 รหัสแท่ง 1 มิติมาตรฐาน EAN-8 และมาตรฐาน EAN-13 [3]	2
รูปที่ 1.3 รหัสแท่ง 2 มิติมาตรฐาน QR-Code [5]	3
รูปที่ 1.4 รหัสแท่ง 2 มิติมาตรฐาน Data Matrix [6].....	3
รูปที่ 1.5 ตัวอย่างการทำงานเพื่อเปรียบเทียบของระบบ RFID กับ Barcode[7].....	4
รูปที่ 2.1 ระบบการสื่อสารข้อมูล (Communication System).....	12
รูปที่ 2.2 การเข้ารหัสแบบ Run Length Encoding (RLE).....	13
รูปที่ 2.3 Optimum binary code [21]	18
รูปที่ 2.4 Binary Tree.....	20
รูปที่ 2.5 ความน่าจะเป็นแบบสะสมของอักขระ a, b, c, d	21
รูปที่ 2.6 ลำดับขั้นตอนการเข้ารหัสข้อมูล “abaabcd” [23].....	24
รูปที่ 2.7 การเข้ารหัสแบบ Bzip2 [25]	25
รูปที่ 2.8 การเข้ารหัสแบบ Zlip	25
รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบ RFID.....	26
รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบหลักของป้ายแบบพาสซีฟ (Passive tags).....	26
รูปที่ 2.11 รูปแบบผลิตภัณฑ์ต่างๆของป้ายแบบพาสซีฟในปัจจุบัน.....	27
รูปที่ 2.12 การประยุกต์ใช้งานของป้ายแบบแอ็กทีฟ.....	28
รูปที่ 2.13 ป้ายแบบกึ่งพาสซีฟ [28].....	29
รูปที่ 2.14 การประยุกต์ใช้งานของป้ายแบบกึ่งพาสซีฟ	29
รูปที่ 2.15 เครื่องอ่านแบบต่างๆ.....	30
รูปที่ 2.16 ตำแหน่งของข้อมูล (Logical Address) ของแต่ละกลุ่ม (Memory Bank) [33].....	32
รูปที่ 2.17 รหัสระบบ EPC (Electronic Product Code Type 1) [35].....	34
รูปที่ 2.18 Architecture Framework Overview	36
รูปที่ 2.19 RFID Network	36

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.20 ความสัมพันธ์ของมิดเดิลแวร์(Middleware) กับเครือข่าย RFID และระบบไอที [8].....	37
รูปที่ 2.21 รูปแบบโปรแกรมการใช้งาน การควบคุมระบบต่างๆ [1].....	38
รูปที่ 2.22 Type A interrogator architecture.....	39
รูปที่ 2.23 Type B interrogator architecture.....	39
รูปที่ 2.24 Type C interrogator architecture.....	39
รูปที่ 3.1 เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับประมวลผล	42
รูปที่ 3.2 เครื่องอ่านและเขียนข้อมูลลงป้าย	43
รูปที่ 3.3 ป้ายชนิดที่ 1 (Monza 4)	43
รูปที่ 3.4 ป้ายชนิดที่ 2 (UCODE G2XM).....	44
รูปที่ 3.5 กล่องบรรจุหีบห่อ	44
รูปที่ 3.6 ชั้นไม้วางกล่อง (Pallet)	45
รูปที่ 3.7 โครงสร้างอุปกรณ์และการเชื่อมต่อ	46
รูปที่ 3.8 ภาพถ่ายจริงของอุปกรณ์และการเชื่อมต่อที่ห้องปฏิบัติการ	46
รูปที่ 3.9 ผังงาน (Flowchart) ของขั้นตอนการทำงาน Final Packing process	48
รูปที่ 3.10 ผังงาน (Flowchart) ของขั้นตอนการทำงาน Shipping process	49
รูปที่ 3.11 ผังงาน (Flowchart) การทำงาน Final packing process เมื่อนำ RFID มาใช้.....	52
รูปที่ 3.12 ผังงาน (Flowchart) การทำงาน Shipping process เมื่อนำ RFID มาใช้.....	53
รูปที่ 3.13 ผังงาน (Flowchart) รวมการทำงาน Final packing process และShipping process..	54
รูปที่ 4.1 รหัสเฉพาะที่แทนค่าต่างๆ ใน 1 ชั้นงาน มีจำนวน 17 อักขระ	57
รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบรหัสเฉพาะของสินค้าทั้ง 17 อักขระโดยพิจารณาความถี่ที่เกิด.....	57
รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบก่อนและหลังจัดเรียงข้อมูลด้วยวิธี Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked).....	61
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าหน่วยความจุของทั้ง 9 รูปแบบ.....	62

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.5 กราฟ Box-plot จากการสุ่มตัวอย่างรหัสสินค้า.....	62
รูปที่ 4.6 แสดงขั้นตอนของการทดลองที่ 2	63
รูปที่ 4.7 กราฟของผลการทดลองที่ 2.....	64
รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างของผลการทดลองกับกลุ่มสินค้า B.....	65
รูปที่ 4.9 รูปแบบของรหัสสินค้าบนสติ๊กเกอร์.....	66
รูปที่ 4.10 ความหมายของแต่ละอักขระของรหัสสินค้า.....	66
รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบผลของการเข้ารหัสข้อมูลของงานทั้ง 4 กลุ่ม	73
รูปที่ 4.12 การจัดเรียงกล่องบนชั้นไม้วางกล่อง (Pallet)	74
รูปที่ 4.13 ป้าย(Tag) ที่ติดบนกล่องทั้ง 15 กล่อง.....	75
รูปที่ 4.14 การจัดอุปกรณ์ของการทดลองกลุ่มทดลอง 15 ชั้น.....	76
รูปที่ 4.15 ภาพถ่ายจริงของอุปกรณ์การทดลองกลุ่มทดลอง 15 ชั้น และโปรแกรมที่ใช้งาน	76
รูปที่ 4.16 ความสูงของเครื่องอ่านและความสูงที่ตำแหน่งแนวตั้งของป้าย	77
รูปที่ 4.17 ตำแหน่งของป้ายและเครื่องอ่านในเวกเตอร์ ระบบ 3 มิติ.....	77
รูปที่ 4.18 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 1 เมตร	81
รูปที่ 4.19 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 2 เมตร	82
รูปที่ 4.20 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 3 เมตร	83
รูปที่ 4.21 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 4 เมตร	84
รูปที่ 4.22 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 5 เมตร	85
รูปที่ 4.23 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 6 เมตร	86
รูปที่ 4.24 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 7 เมตร	87
รูปที่ 4.25 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 8 เมตร	88
รูปที่ 4.26 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 9 เมตร	89
รูปที่ 4.27 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 10 เมตร.....	90
รูปที่ 4.28 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 11 เมตร.....	91

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.29 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 12 เมตร.....	92
รูปที่ 4.30 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 1 เมตร.....	93
รูปที่ 4.31 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 2 เมตร.....	94
รูปที่ 4.32 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 3 เมตร.....	95
รูปที่ 4.33 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 4 เมตร.....	96
รูปที่ 4.34 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 5 เมตร.....	97
รูปที่ 4.35 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 6 เมตร.....	98
รูปที่ 4.36 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 7 เมตร.....	99
รูปที่ 4.37 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 8 เมตร.....	100
รูปที่ 4.38 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 9 เมตร.....	101
รูปที่ 4.39 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 10 เมตร.....	102
รูปที่ 4.40 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 11 เมตร.....	103
รูปที่ 4.41 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 12 เมตร.....	104
รูปที่ 4.42 Run Chart ของค่าเฉลี่ยของค่าพารามิเตอร์ (Parameter)RSSI ของป้ายชนิดที่ 1.....	107
รูปที่ 4.43 Run Chart ของค่าเฉลี่ยของค่าพารามิเตอร์ (Parameter)RSSI ของป้ายชนิดที่ 2.....	109
รูปที่ 4.44 Run Chart เปรียบเทียบค่า RSSI ของป้ายชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2.....	110
รูปที่ 4.45 Box plot เปรียบเทียบค่า RSSI ของป้ายชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2.....	110
รูปที่ 4.46 Radiation Pattern ของป้ายชนิดที่ 1.....	111
รูปที่ 4.47 Radiation Pattern ของป้ายชนิดที่ 2.....	111
รูปที่ 4.48 ผังงาน (Flowchart) ของขั้นตอนการทำงานใหม่โดยใช้ระบบ RFID.....	113
รูปที่ 5.1 แนวโน้มของโอกาสที่ได้รับจากการนำเทคโนโลยี RFID มาใช้งาน [1].....	118
รูปที่ 5.2 เปรียบเทียบมูลค่าที่ลงทุนกับผลประโยชน์ที่ได้รับในช่วงปี Year0 ถึง Year5.....	132
ภาคผนวก.....	143

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 1 ขนาดพื้นที่ปฏิบัติงานจริง.....	145
รูปที่ 2 ผลการทดลองที่ระยะ 1 เมตร ของป้ายชนิดที่ 1.....	146
รูปที่ 3 ผลการทดลองที่ระยะ 2 เมตร ของป้ายชนิดที่ 1.....	146
รูปที่ 4 ผลการทดลองที่ระยะ 3 เมตร ของป้ายชนิดที่ 1.....	147
รูปที่ 5 ผลการทดลองที่ระยะ 4 เมตร ของป้ายชนิดที่ 1.....	147
รูปที่ 6 ผลการทดลองที่ระยะ 5 เมตร ของป้ายชนิดที่ 1.....	148
รูปที่ 7 ผลการทดลองที่ระยะ 6 เมตร ของป้ายชนิดที่ 1.....	148
รูปที่ 8 ผลการทดลองที่ระยะ 7 เมตร ของป้ายชนิดที่ 1.....	149
รูปที่ 9 ผลการทดลองที่ระยะ 8 เมตร ของป้ายชนิดที่ 1.....	149
รูปที่ 10 ผลการทดลองที่ระยะ 9 เมตร ของป้ายชนิดที่ 1.....	150
รูปที่ 11 ผลการทดลองที่ระยะ 10 เมตร ของป้ายชนิดที่ 1.....	150
รูปที่ 12 ผลการทดลองที่ระยะ 11 เมตร ของป้ายชนิดที่ 1.....	151
รูปที่ 13 ผลการทดลองที่ระยะ 12 เมตร ของป้ายชนิดที่ 1.....	151
รูปที่ 14 ผลการทดลองที่ระยะ 1 เมตร ของป้ายชนิดที่ 2.....	152
รูปที่ 15 ผลการทดลองที่ระยะ 2 เมตร ของป้ายชนิดที่ 2.....	152
รูปที่ 16 ผลการทดลองที่ระยะ 3 เมตร ของป้ายชนิดที่ 2.....	153
รูปที่ 17 ผลการทดลองที่ระยะ 4 เมตร ของป้ายชนิดที่ 2.....	153
รูปที่ 18 ผลการทดลองที่ระยะ 5 เมตร ของป้ายชนิดที่ 2.....	154
รูปที่ 19 ผลการทดลองที่ระยะ 6 เมตร ของป้ายชนิดที่ 2.....	154
รูปที่ 20 ผลการทดลองที่ระยะ 7 เมตร ของป้ายชนิดที่ 2.....	155
รูปที่ 21 ผลการทดลองที่ระยะ 8 เมตร ของป้ายชนิดที่ 2.....	155
รูปที่ 22 ผลการทดลองที่ระยะ 9 เมตร ของป้ายชนิดที่ 2.....	156
รูปที่ 23 ผลการทดลองที่ระยะ 10 เมตร ของป้ายชนิดที่ 2.....	156
รูปที่ 24 ผลการทดลองที่ระยะ 11 เมตร ของป้ายชนิดที่ 2.....	157

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 25 ผลการทดลองที่ระยะ 12 เมตร ของป้ายชนิดที่ 2.....	157
รูปที่ 26 รูปแบบการกระจายคลื่นของป้ายชนิดที่ 1	158
รูปที่ 27 รูปแบบการกระจายคลื่นของป้ายชนิดที่ 2	158
รูปที่ 28 ภาพถ่ายจริงของอุปกรณ์การทดลองหารูปแบบการกระจายคลื่น	160
รูปที่ 29 Radiation Pattern ของ S-Plane และ E-Plane ของป้ายลำดับที่หนึ่ง.....	160
รูปที่ 30 Radiation Pattern ของ S-Plane และ E-Plane ของป้ายลำดับที่สอง	161
รูปที่ 31 Radiation Pattern ของ S-Plane และ E-Plane ของป้ายลำดับที่สาม	161
รูปที่ 32 ค่าเฉลี่ยของRadiation Pattern ของ S-Plane และ E-Plane ของป้ายทั้ง 3 ชั้น	161
รูปที่ 33 Radiation Pattern ของ S-Plane และ E-Plane ของป้ายลำดับที่หนึ่ง.....	166
รูปที่ 34 Radiation Pattern ของ S-Plane และ E-Plane ของป้ายลำดับที่สอง	166
รูปที่ 35 Radiation Pattern ของ S-Plane และ E-Plane ของป้ายลำดับที่สาม	167
รูปที่ 36 ค่าเฉลี่ยของRadiation Pattern ของ S-Plane และ E-Plane ของป้ายทั้ง 3 ชั้น	167

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมได้มีการพัฒนาขั้นตอนและกระบวนการทำงาน (Process) รวมทั้งการจัดเก็บสินค้า (Store and warehouse) โดยอาศัยระบบการบ่งชี้อัตโนมัติ (Automatic Identification: Auto-ID) ซึ่งได้นำมาประยุกต์ใช้ในงานธุรกิจอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เช่น ห่วงโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ ระบบคลังสินค้า สายการผลิตในโรงงาน ระบบขนส่ง เป็นต้น ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันถึงลักษณะเฉพาะของสินค้า ขบวนการผลิต ปริมาณการผลิต และวัตถุดิบในกระบวนการผลิต ระบบการบ่งชี้อัตโนมัตินี้ช่วยส่งเสริมให้ขั้นตอนการทำงานเกิดความสะดวกรวดเร็ว โดยสามารถบันทึกข้อมูลได้อย่างรวดเร็วและลดข้อผิดพลาดของระบบที่เกิดจากการจดบันทึกด้วยมนุษย์

เทคโนโลยีบ่งชี้อัตโนมัติที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปในภาคอุตสาหกรรม คือ เทคโนโลยีรหัสแท่ง (Barcode) [1-2] ซึ่งมีลักษณะเป็นรหัสแท่งสีดำขนาดต่างๆ เรียงกันเป็นกลุ่มมีทั้งแบบ 1 มิติและ 2 มิติ โดยรหัสแท่งนี้จะถูกติดอยู่ในรูปแบบสติ๊กเกอร์บนสินค้าต่างๆ ซึ่งพนักงานขายจะใช้เครื่องอ่านรหัสแท่งทำการอ่านข้อมูลของสินค้าที่ละชิ้นที่รหัสแท่ง และประมวลผลข้อมูลเป็นราคาสุทธิที่ลูกค้าต้องจ่ายในขณะเดียวกันข้อมูลพื้นฐานข้อมูลจะคำนวณสินค้าคงคลังต่อไป อย่างไรก็ตามแม้เป็นที่นิยมใช้งานเพราะมีค่าใช้จ่ายถูก แต่ข้อเสียคือเก็บข้อมูลในรหัสแท่งได้น้อย เครื่องอ่านต้องจับภาพในแนวเส้นสายตาเฉพาะระยะใกล้และไม่สามารถแก้ไขข้อมูลในรหัสแท่งใหม่ได้

มาตรฐานการระบุรหัสตัวเลขที่แถบรหัสแท่งสีดำ มีหลายรูปแบบซึ่งเหมาะกับการใช้งานต่างๆ ซึ่งเป็นที่นิยมนำมาติดเป็นรหัสบ่งชี้วัตถุหรือสินค้าในปัจจุบัน [3] เช่น ระบบรหัสแท่ง 1 มิติมาตรฐาน UPC-A (Universal Product Code -A) หรือ UCC-12 (Uniform Code Council-12) [4] แสดงในรูปที่ 1.1 ประกอบด้วยตัวเลข 12 หลักอยู่ใต้แถบรหัสแท่งสีดำ โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มรหัสตัวเลขหลักแรกระบุ UCC Company prefix ซึ่งระบุรหัสเฉพาะของบริษัทในประเทศแคนาดาและสหรัฐอเมริกาโดยตัวเลขเหล่านี้ส่งออกโดยองค์กร GS1 ของแคนาดาและสหรัฐอเมริกาตามลำดับ รหัสตัวเลขห้าหลักถัดมาเป็นรหัสระบุสินค้าของบริษัท (Item Number) และรหัสตัวเลขหลักสุดท้ายคือ Check digit ของรหัสตัวเลขสินค้านี้ส่วนระบบรหัสแท่ง 1 มิติมาตรฐาน UPC-E (Universal Product Code-E) [4] แสดงในรูปที่ 1.1 [3] ประกอบด้วยรหัสตัวเลข 8 หลัก โดยกำหนดให้ตัวเลขหลักแรกเป็นศูนย์เสมอ หกหลักถัดมาได้จากการคำนวณค่า Company prefix ของ UCC12 หลัก และรหัสตัวเลขหลักสุดท้ายคือ Checkdigit สามารถพบรหัสแท่ง 1 มิติมาตรฐาน UPC-A และ UPC-E ได้ในสินค้าของแคนาดาและสหรัฐอเมริกา



รูปที่ 1.1 รหัสแท่ง 1 มิติ มาตรฐาน UPC-A และมาตรฐาน UPC-E [3]

ระบบรหัสแท่ง 1 มิติ มาตรฐาน EAN-8 (European Article Number-8) [4] แสดงในรูปที่ 1.2 [3] มีจำนวนรหัสตัวเลข 8 หลักเท่ากับแบบมาตรฐาน UPC-E โดย สองหลักแรกระบุรหัสของ EAN ห้าหลักถัดมาระบุรหัสสินค้าของบริษัท (Item Number) และหลักสุดท้ายคือ Check digit ส่วนระบบรหัสแท่ง 1 มิติ มาตรฐาน EAN-13 (European Article Number-13) [4] แสดงในรูปที่ 1.2 [3] มีจำนวนรหัสตัวเลข 13 หลัก โดยมีรูปแบบการใส่รหัสเหมือนกับมาตรฐาน UPC-A สามารถพบรหัสแท่ง 1 มิติ มาตรฐาน EAN-8 และ EAN-13 ในสินค้าจากประเทศต่างๆนอกเหนือจากแคนาดา และสหรัฐอเมริกา พบในสินค้าประเภทบรรจุหีบห่อ กล่องบรรจุสินค้าส่งไปขายต่างประเทศ ระบบหนังสือที่วางขาย เป็นต้น



รูปที่ 1.2 รหัสแท่ง 1 มิติมาตรฐาน EAN-8 และมาตรฐาน EAN-13 [3]

ระบบรหัสแท่ง 2 มิติ มาตรฐาน QR-Code (Quick Response Code) [5] แสดงในรูปที่ 1.3 มีสัญลักษณ์เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยมีสี่เหลี่ยมเล็กๆที่มุม 3 มุม ภายในมีสี่เหลี่ยมเล็กๆ กระจายอยู่ภายใน โดยมีความเข้มของเฉดสีดำเข้มอ่อนต่างกันไป สามารถบรรจุอักขระตัวเลข (Numeric data) อักขระอื่นๆ (Alphanumeric data) และยังสามารถบรรจุอักขระภาษาญี่ปุ่นแบบคันจิได้โดยตรง จำเป็นต้องใช้เครื่องอ่านที่มีความสามารถสูงมากกว่ารหัสแท่ง 1 มิติ เช่น กล้องอ่านความละเอียดสูง ชนิด CCD array พร้อมหน่วยประมวลผลภาพ (Image processing technology) สามารถพบรหัสแท่ง 2 มิติได้ในสินค้าของประเทศญี่ปุ่นและแถบเอเชีย ซึ่งใช้งานกันอย่างแพร่หลาย



รูปที่ 1.3 รหัสแท่ง 2 มิติมาตรฐาน QR-Code [5]

ระบบรหัสแท่ง 2 มิติ มาตรฐาน Data Matrix [6] แสดงในรูปที่ 1.4 โดย GS1 ได้กำหนดมาตรฐานออกมาเป็น Data Matrix ECC200 ให้ใช้งานอย่างแพร่หลาย มีสัญลักษณ์เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยมีสี่เหลี่ยมเล็กๆ กระจายอยู่ภายใน โดยมีความเข้มของเฉดสีดำเข้มอ่อนต่างกันไป สามารถบรรจุข้อมูลได้มาก นิยมใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกาและแถบยุโรป นำไปประยุกต์เป็นการติดฉลากด้วยเลเซอร์ (Laser marking) นิยมใช้งานด้านโลจิสติกส์ งานไปรษณีย์ อุตสาหกรรมยาและสุขภาพ

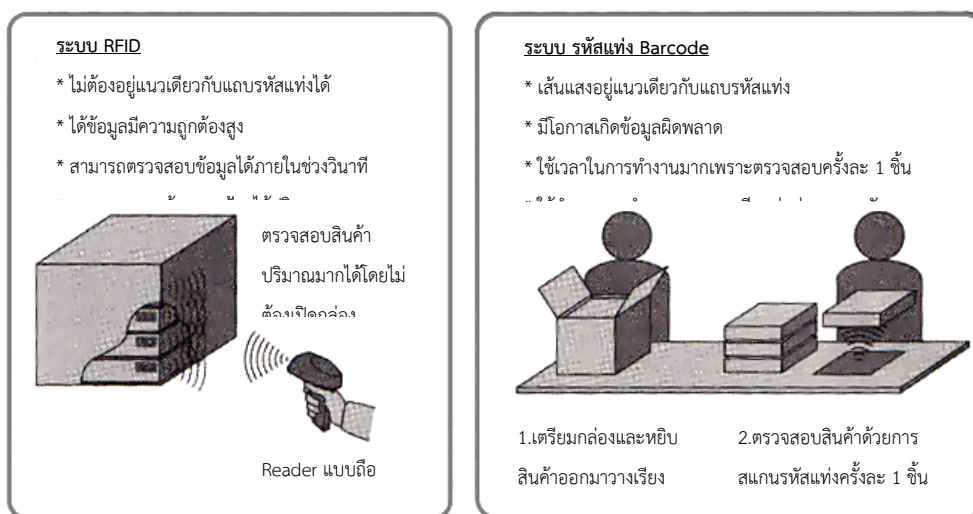


รูปที่ 1.4 รหัสแท่ง 2 มิติมาตรฐาน Data Matrix [6]

เทคโนโลยีบ่งชี้อัตโนมัตินี้กำลังเป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ เทคโนโลยีบ่งชี้อัตโนมัตินี้แบบไร้สัมผัส หรือ เทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency Identification: RFID) ข้อมูลจะถูกจัดเก็บในหน่วยความจำของป้าย tag ในการติดต่อสื่อสารข้อมูลบนป้ายและเครื่องอ่าน โดยอาศัยคลื่นความถี่วิทยุโดยการส่งพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่านให้กับป้าย (Tag) ด้วยคุณสมบัติการทำงานแบบไร้สัมผัส สามารถอ่านเขียนข้อมูลได้ในระยะห่าง ลดปัญหาความคลาดเคลื่อนในการอ่านและเขียนข้อมูลเพราะสามารถอ่านได้หลายแนว รวมทั้งมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าเพราะไม่ต้องสัมผัสหรือเสียดสีกับวัตถุใดๆ นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุยังเกี่ยวข้องกับวิศวกรรมในหลายด้าน ได้แก่ ด้านสื่อสารดิจิทัลด้านอิเล็กทรอนิกส์ด้านสายอากาศ เป็นต้น เกิดเป็นนวัตกรรมใหม่ทางเทคโนโลยีที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย เทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นวิทยุนี้สามารถประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ ได้แก่ การผลิตสินค้ายานยนต์ในอุตสาหกรรมการผลิต ประยุกต์ใช้กับห่วงโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ การควบคุมการขนส่งสินค้าเข้าออก กระบวนการหีบห่อและสินค้าคงคลังทำให้สะดวกต่อการใช้งาน ลดแรงงานที่ต้องตรวจสอบชิ้นงานขนาดเล็กจำนวนมากด้วยขั้นตอนซ้ำกันในแต่ละหีบห่อ อีกทั้งการอ่านเขียนและบันทึกข้อมูล

ทำได้อย่างรวดเร็วและลดข้อผิดพลาดของระบบที่เกิดจากการจดนับบันทึกด้วยมนุษย์และสามารถนำข้อมูลที่ไปประมวลผลต่อได้ทันที

จากรูปที่ 1.5 แสดงตัวอย่างการทำงานของขั้นตอนการตรวจสอบสินค้าและตรวจนับสินค้าก่อนการบรรจุหีบห่อ [7] เพื่อเปรียบเทียบการทำงานด้วยระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) และระบบรหัสแท่ง (Barcode) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในขบวนการ (Unit per hours) พบว่าระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) ให้ค่ามากกว่าระบบรหัสแท่ง ซึ่งหมายถึงจำนวนชิ้นงานที่ได้มากกว่าในเวลาเท่ากัน สามารถลดแรงงานและวัตถุดิบในการตรวจนับและบรรจุหีบห่อต่อหน่วย ลดขั้นตอนการปฏิบัติงานให้สั้นลงด้วยแรงงานที่น้อยลง



รูปที่ 1.5 ตัวอย่างการทำงานเพื่อเปรียบเทียบของระบบ RFID กับ Barcode [7]

จากตารางที่ 1.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) และระบบรหัสแท่ง (Barcode) โดยพิจารณาในด้านต่างๆ ทั้งทางด้านเทคนิคและการใช้งานทั่วไปโดยระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) ทำงานได้ดีกว่าระบบรหัสแท่ง (Barcode) ดังนี้ ได้แก่ มีอัตราความเร็วในการอ่านข้อมูลต่อชิ้นมากกว่า 8 เท่า โดยในแต่ละครั้งสามารถอ่านได้มากถึง 1,000 ชิ้นต่อครั้ง มีระยะห่างการทำงานของเครื่องอ่านและเขียนข้อมูลได้หลายฟุตโดยไม่ต้องอยู่ในแนวเส้นสายตา มีหน่วยความจำปริมาณมากและสามารถอ่าน-เขียนข้อมูลได้หลายครั้งโดยมีอายุการใช้งานนานมากกว่า10 ปี และยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยลบข้อมูลเก่าออกและเขียนลงไปใหม่ได้ ซึ่งสามารถทำการใส่ข้อมูลเฉพาะเพื่อความปลอดภัยของข้อมูลจากการอ่านจากบุคคลอื่น แต่ทั้งนี้ราคาของป้ายสูงกว่าสติ๊กเกอร์บาร์โค้ดอยู่มากเนื่องจากสถาปัตยกรรมการออกแบบ แต่ยังคงทำให้มีการใช้งานได้หลากหลายและประสิทธิภาพสูงกว่า

ตารางที่ 1.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) และระบบรหัสแท่ง (Barcode) [8-9]

ข้อพิจารณา	ระบบรหัสแท่ง (Barcode)	ระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID)
เทคโนโลยี	แสงเลเซอร์ (Optical laser)	คลื่นวิทยุ (Radio Frequency: RF)
ตำแหน่งการอ่านข้อมูลจากแถบรหัส	เส้นแสงอยู่แนวเดียวกับแถบรหัสแท่ง (Line of sight)	ไม่ต้องอยู่แนวเดียวกับแถบรหัสแท่งได้ (Non Line of sight possible)
อัตราความเร็วในการอ่านข้อมูล (Read rate)	ช้า – 1 ชิ้นต่อครั้ง โดยเฉลี่ย 4 วินาที	เร็ว – ได้มากถึง 1000 ชิ้นต่อครั้งอย่างต่อเนื่อง โดยเฉลี่ย 0.5 วินาที
ระยะห่างที่สามารถอ่านข้อมูล (Read range)	ระยะหลายนิ้วจนถึงฟุต (ยังอยู่ในเส้นแสงอยู่แนวเดียวกับแถบรหัสแท่ง)	ได้มากถึง 40 ฟุตในแบบแพสซีฟและได้มากกว่า 100 ฟุตในแบบแอ็กทีฟ
ปริมาณหน่วยความจำที่จัดเก็บได้ (Memory/Data size)	1-100 ไบต์	1 ไบต์ ถึง 128 กิโลไบต์
ความสามารถในการจัดการหน่วยความจำ (Memory capabilities)	แบบ Static –อ่านได้อย่างเดียวและมีขนาดจำกัด	แบบ Dynamic มีความสูง สามารถอ่าน-เขียนได้หลายครั้ง เพิ่มข้อมูลได้
อายุการใช้งาน (Service life)	อยู่ได้ตลอดจนกว่าป้ายจะเปื้อนหรือฉีกขาดจนไม่สามารถอ่านได้	อยู่ได้นานมากกว่า 10 ปีขึ้นไป
การนำกลับมาใช้ใหม่ (Reusability)	ไม่ได้	ได้
ความปลอดภัยของข้อมูล (Access security)	ต่ำ	สูง
ราคาป้าย (Tag price)	<\$0.01	\$0.10 ถึง \$1.00 (ป้ายแพสซีฟ)
ระบบอัตโนมัติ (Automation)	ต้องการพนักงานทำงานตลอดเวลา (Labor intensive)	ในเครื่องอ่านประเภท Fix Reader ไม่ต้องมีพนักงานคอยป้อนข้อมูล

จากตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ พบว่า ระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) มีข้อได้เปรียบมากกว่าระบบรหัสแท่ง (Barcode) หลายด้าน ดังนั้นจึงพบว่าระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) สามารถนำมาพัฒนาและประยุกต์ใช้ได้ผลดีกว่าระบบรหัสแท่ง (Barcode) ซึ่งจากการศึกษาที่น่าสนใจจากการสำรวจและวิเคราะห์การจัดการสินค้าคงคลัง (Retail Out-Of-Stock: OOS) ของภาคอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพ [9] ทำให้เกิดมูลค่าและประโยชน์ด้านต่างๆ ดังในตารางที่ 1.2 โดยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการสินค้าคงคลัง ลดการดูแลจัดเก็บสินค้าคงคลังในพื้นที่ มีการตรวจสอบสินค้าที่มีความเชื่อถือและแน่นอนในเรื่องของจำนวนชนิด กลุ่ม รวมทั้งรายละเอียดต่างๆที่เกี่ยวกับสินค้า

ตารางที่ 1.2 ผลสำรวจและวิเคราะห์ประโยชน์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้ระบบเทคโนโลยีบังคับด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) [10]

ผลประโยชน์ที่ได้รับ	เปอร์เซ็นต์ (%)
ลดปริมาณสินค้าคงคลังขาดแคลน	60% - 80%
เพิ่มความถูกต้องของสินค้าคงคลังได้ดีกว่า	98% - 99.9%
ลดปริมาณการตรวจนับสินค้าคงคลัง	75% - 92%
ลดปริมาณต้นทุนของสินค้าคงคลัง	30% - 59%
ลดเวลาในการตรวจรับสินค้า	91%
เพิ่มปริมาณการสั่งซื้อสินค้าจากลูกค้า	91%
เพิ่มปริมาณการสั่งซื้อ	4% to 21%

แต่อย่างไรก็ตาม ระบบเทคโนโลยีบังคับด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) เป็นสิ่งทีภาคอุตสาหกรรมได้เริ่มเข้ามาใช้งาน จึงยังมีราคาที่สูงกว่า ดังนั้นต้องพิจารณาประเภทของป้ายความถี่ที่เหมาะสมในการใช้งาน และ หน่วยความจำที่ต้องการในการบันทึกลงป้าย เมื่อขนาดความจุน้อยบันทึกลงในป้ายที่มีหน่วยความจำน้อย กระบวนการอ่านเขียนข้อมูลไม่ซับซ้อน ทำให้ราคาอุปกรณ์ลดลง แต่ยังคงขาดความปลอดภัยของข้อมูล โดยเมื่อพิจารณาข้อมูลที่ต้องการบันทึกมีมากขึ้นลงในป้ายที่มีหน่วยความจำกีดหรือน้อยกว่า จึงต้องอาศัยการบีบอัดข้อมูลมาช่วย อีกทั้งยังมีความปลอดภัยของข้อมูลภายในบริษัทอีกด้วย เพราะต้องอาศัยโปรแกรมเฉพาะในการเข้ารหัสและถอดรหัส

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อนำวิธีการเข้ารหัสและถอดรหัสโดยอาศัยทฤษฎีการบีบอัดข้อมูลเพื่อลดขนาดข้อมูลก่อนการบันทึกลงในหน่วยความจำของป้าย
2. พัฒนาระบบเทคโนโลยีบังคับด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) มาใช้ในขบวนการทำงานแทนระบบรหัสแท่ง (Barcode) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบโลจิสติกส์โดยศึกษาเปรียบเทียบขั้นตอนการทำงาน และมูลค่าการลงทุน
3. พัฒนาและปรับปรุงขั้นตอนการบรรจุหีบห่อและตรวจสอบสินค้าก่อนขนส่งถึงลูกค้า เพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตและลดกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า (Non-Value added) ได้แก่ ความเร็วใน

การทำงาน ปริมาณการตรวจสอบชิ้นงานต่อครั้ง ช่วยลดปริมาณการสั่งซื้อป้ายต่อครั้งเพราะสามารถนำป้ายกลับมาใช้ซ้ำได้ใหม่ ลดขั้นตอนการปฏิบัติงานและลดจำนวนคนในขั้นตอนการทำงานหลังจากปรับปรุงใหม่

4. ศึกษาและวิเคราะห์ระบบในเชิงเศรษฐศาสตร์ของผลกำไรที่ตอบแทนจากการลงทุนในระยะเวลา 5 ปี เพื่อศึกษาเป็นแนวทางการลงทุนในภาคอุตสาหกรรม

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการเทคนิคการเข้ารหัสโดยวิธีจัดเรียงข้อมูลใหม่โดยอาศัยการตรวจสอบข้อมูลที่มีอักขระซ้ำกันในแต่ละหลักและเข้ารหัสใหม่ (Run Length Encoding-Liked: RLE-Liked) ซึ่งช่วยทำให้ขนาดข้อมูลลดลงจากต้นฉบับได้ และยังได้ทำการเข้ารหัสโดยการบีบอัดข้อมูลโดยใช้วิธีการเข้ารหัสเชิงคณิตศาสตร์ (Arithmetic coding) เพื่อทำให้ขนาดข้อมูลปริมาณมากมีค่าลดลงและสามารถบันทึกลงในป้ายที่มีขนาดจำกัด อีกทั้งยังทำให้ข้อมูลมีความปลอดภัยจากการอ่านข้อมูลของสินค้าโดยตรง

จากการศึกษาคุณสมบัติและประโยชน์ต่างๆของระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) ทำให้พบว่าสามารถนำมาพัฒนาระบบโลจิสติกส์ ในขบวนการบรรจุหีบห่อสินค้าและสินค้าคงคลังเพื่อการขนส่งให้มีประสิทธิภาพได้ดีกว่าระบบรหัสแท่ง (Barcode) โดยการนำเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) เข้ามาทดแทนระบบเดิมคือ ระบบรหัสแท่ง (Barcode) ช่วยทำให้กระบวนการทำงานและขั้นตอนการปฏิบัติงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น จำนวนขั้นตอนของขบวนการผลิตลดลง ลดจำนวนพนักงานเพื่อให้สัมพันธ์กับขั้นตอนการทำงานใหม่ การตรวจสอบสินค้าและขั้นตอนการทำงาน (Audit costs) ลดลง การแก้ไขขั้นตอนการบรรจุหีบห่อและการตรวจสอบข้อผิดพลาดจากการผลิต (Rework costs) มีขั้นตอนที่รวดเร็วและใช้เวลาลดลง เป็นต้น ซึ่งจากการพัฒนาและปรับปรุงนี้ทำให้ระบบการทำงานของสายการผลิตและการจัดการสินค้าคงคลังมีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยสามารถให้ผลกำไรที่ตอบแทนให้กับผู้ลงทุนในระยะยาวได้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

การบีบอัดข้อมูลเพื่อให้มีขนาดลดลงสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ การลดขนาดโดยทำให้สูญเสียข้อมูลเพียงบางส่วน (Lossy data compression) และการลดขนาดโดยไม่สูญเสียข้อมูล ซึ่งอาศัยการจัดเรียงข้อมูลใหม่โดยใช้เทคนิคการบีบอัดข้อมูลวิธีต่างๆ ในการลดขนาดข้อมูลประเภทตัวอักษร (Text) นิยมการบีบอัดข้อมูลแบบการเข้ารหัสข้อมูลตัวอักษร (Text Compression) ซึ่งทำให้ขนาดลดลงโดยไม่สูญเสียข้อมูลต้นฉบับ เช่น Run Length Encoding (RLE), Burrow Wheeler Transform (BWT), Move To Front (MTF), LZ77, Huffman coding , Arithmetic coding,

Bzip2 และ Zlib เป็นต้น ซึ่งแต่ละทฤษฎีการบีบอัดข้อมูลอาศัยเทคนิคการเข้ารหัสแตกต่างกัน โดยบางทฤษฎีสามารถอ่านค่าแล้วทราบความหมายต้นฉบับได้ และบางทฤษฎีต้องอาศัยการคำนวณเชิงคณิตศาสตร์เพื่อให้สามารถอ่านข้อมูลต้นฉบับได้ จากการบีบอัดข้อมูลนี้นำมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลที่ต้องการบันทึกลงหน่วยความจำของป้าย (Tag) สามารถลดขนาดข้อมูลปริมาณมากให้มีขนาดลดลงเพื่อให้สามารถเก็บข้อมูลของต้นฉบับได้ครบถ้วนและบันทึกลงป้ายที่มีขนาดจำกัดได้ ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเข้ารหัสแบบไม่สูญเสียข้อมูลต้นฉบับด้วยเทคนิคการเรียงข้อมูลใหม่โดยอาศัยการตรวจสอบข้อมูลที่มีอักษรซ้ำกันในแต่ละหลักและเข้ารหัสใหม่ (Run Length Encoding-Liked: RLE-Liked) ซึ่งเป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับข้อมูลของรหัสสินค้าที่มีค่าซ้ำกันในแต่ละหลักในแต่ละหน่วยการผลิตและได้นำไปเข้ารหัสเชิงคณิตศาสตร์ (Arithmetic coding) ซึ่งอาศัยหลักการเข้ารหัสข้อมูลที่มีความถี่ของการเกิดอักษรมาใช้ในการคำนวณการเข้ารหัส และยังทำให้ข้อมูลที่ได้อ่านมีความปลอดภัยจากการอ่านโดยตรง ซึ่งต้องอาศัยสมการในการอ่านข้อมูลต้นฉบับ และได้นำประโยชน์จากการเข้ารหัสด้วยวิธีนี้ไปประยุกต์ใช้ในการบันทึกข้อมูลสินค้าขนาดปริมาณมากเพื่อระบุตัวตนสินค้า

1.5 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาทฤษฎีการบีบอัดข้อมูลแบบต่างๆและนำเสนอเทคนิคการเข้ารหัสวิธีจัดเรียงข้อมูลใหม่โดยอาศัยการตรวจสอบข้อมูลที่มีอักษรซ้ำกันในแต่ละหลักของแต่ละหน่วยการผลิตเพื่อเข้ารหัสใหม่ (Run Length Encoding-Liked: RLE-Liked) และได้นำไปเข้ารหัสเชิงคณิตศาสตร์ (Arithmetic coding) โดยใช้ข้อมูลต้นฉบับคือ รหัสเฉพาะตัวของสินค้าที่ทำการผลิตและรหัสข้อมูลของสินค้าที่ข้างกล่องบรรจุภัณฑ์ เพื่อศึกษาขนาดที่ลดลงและเหมาะสมต่อการใช้งานศึกษาค้นคว้าเพื่อคัดเลือกให้เหมาะสมต่อการใช้งานในระบบโลจิสติกส์ คือ คลื่นความถี่ย่านสูงยิ่ง (Ultra High Frequency: UHF) ที่ย่านความถี่ 860-930 MHz ภายใต้มาตรฐาน ISO/IEC 18000-6C หรือ EPC Class1 Gen2 และคัดเลือกเครื่องอ่านและป้ายที่เหมาะสมต่อการใช้งาน คือ เครื่องอ่านประเภท UHF Reader Integrated Antenna (Built in Circular Polarized Antenna) เพื่อให้เกิดความยืดหยุ่นในการติดตั้งและใช้งานในบริเวณสถานที่จริง และป้ายชนิดพาสซีฟ (Passive tags) ที่เหมาะสมต่อการใช้งานเก็บข้อมูลสำหรับระบบโลจิสติกส์ จากนั้นนำเทคนิคการบีบอัดข้อมูลที่ศึกษามาประยุกต์ใช้กับป้ายในระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) ที่นำมาทดแทนระบบเดิมคือ ระบบรหัสแท่ง (Barcode) โดยใช้ในขบวนการทำงานของการบรรจุหีบห่อ การตรวจสอบสินค้า และการตรวจนับสินค้าก่อนส่งสินค้าไปถึงลูกค้า เปรียบเทียบข้อดีข้อเสีย รวมทั้งมูลค่าการลงทุนของทั้งสองระบบ ศึกษาขั้นตอนการทำงานใหม่ที่ปรับปรุงด้วยการปฏิบัติงานภายใต้ระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) และรวมทั้งศึกษาและวิเคราะห์ระบบในเชิงเศรษฐศาสตร์ของผลกำไรตอบแทนจากการลงทุนในระยะเวลา 5 ปี เพื่อศึกษาให้เห็นถึงมูลค่าการลงทุนและผลกำไรตอบแทนที่ได้จากการลงทุนด้วยระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) ในภาคอุตสาหกรรมจริง

1.6 โครงสร้างวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บท ซึ่งประกอบด้วย

บทที่ 1 ความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย และขอบเขตของการวิจัย

บทที่ 2 ทฤษฎีการบีบอัดข้อมูลชนิดต่างๆ คือ

Run Length Encoding (RLE), Burrow Wheeler Transform (BWT)

Move To Front (MTF), LZ77, LZSS (Lempel-Ziv-Storer-Szymanski)

LZW (Lempel-Ziv-Welch), Huffman coding Arithmetic coding

Bzip2, Zlip

เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี (Radio Frequency Identification: RFID)

อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง การสื่อสารระหว่างป้ายและเครื่องอ่าน (Protocol)

มาตรฐาน EPC (EPC Standards)

โครงสร้างการทำงาน (EPCglobal Architecture Framework)

ระบบเครือข่าย RFID Network การใช้งานระหว่างอุปกรณ์ (RFID Middleware)

มาตรฐานของ RFID (RFID Air-Interface Standards) กลุ่ม ISO/IEC

มาตรฐาน ISO/IEC 18000-6C หรือ EPC Class 1 Gen 2 ที่นำมาใช้งาน

บทที่ 3 อธิบายถึงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

การออกแบบการทดลองและการจำลองการทดลอง

ศึกษาปัญหาของขบวนการปัจจุบันของขั้นตอนการระบุเลขกล่องและนับจำนวนของ

สินค้า (Final packing process) และการระบุเลขกล่องชนิดสินค้าและจำนวนบน

ชั้นไม้วางกล่อง (Shipping process) รวมทั้งปัจจัยที่สำคัญที่ต้องนำมาพิจารณา

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) กับระบบรหัสแท่ง (Barcode)

ออกแบบขั้นตอนการทำงานใหม่ด้วยการใช้ระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) ในขบวนการระบุเลขกล่องและนับจำนวนของสินค้า (Final packing process) และการระบุเลขกล่องชนิดสินค้าและจำนวนบนชั้นไม้วางกล่อง (Shipping process)

บทที่ 4 วิธีการทดลอง ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลองโดย

ทดลองการเข้ารหัสข้อมูลโดยใช้รหัสเฉพาะตัวของสินค้าด้วยวิธีการตรวจสอบข้อมูลที่มีอักขระซ้ำกันในแต่ละหลักของแต่ละหน่วยการผลิตเพื่อเข้ารหัสใหม่ (Run Length Encoding-Liked: RLE-Liked)

ทดลองการบีบอัดข้อมูลด้วยวิธีต่างๆ แล้วเปรียบเทียบผลของขนาดข้อมูลที่ลดลง
ทดลองการเข้ารหัสข้อมูลโดยใช้รหัสข้อมูลของสินค้าที่ข้างกล่องบรรจุภัณฑ์ด้วยวิธีการเข้ารหัสใหม่ (Run Length Encoding-Liked: RLE-Liked) และรหัสเชิงคณิตศาสตร์ (Arithmetic coding)

ทดลองประสิทธิภาพเครื่องมือและอุปกรณ์เพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งาน

ทดลองและเปรียบเทียบกระบวนการทำงานเมื่อนำระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) เพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานจริง

บทที่ 5 การวิเคราะห์ระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) ในเชิงเศรษฐศาสตร์

พิจารณาระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) เมื่อประยุกต์ใช้งานจริง
การวิเคราะห์ระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) ในเชิงเศรษฐศาสตร์ และการคำนวณค่าใช้จ่ายในการพัฒนาระบบ (Economics and Cost-benefit analysis of RFID Implementations in supply chain) โดยพิจารณาผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นต่อผู้ผลิต ผู้กระจายสินค้า และลูกค้า

คำนวณค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์อันเกิดจากการลงทุนเปรียบเทียบ โดยนำค่าของมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) และค่าตอบแทนจากการลงทุน (Return of Investment: ROI) มาพิจารณาการลงทุน แสดงให้เห็นการเลือกใช้งานของฝ่ายทั้ง 2 ชนิด

บทที่ 6 การสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การนำวิธีการจัดเรียงข้อมูลก่อนการเข้ารหัสด้วยวิธีการเข้ารหัสใหม่ (Run Length Encoding-Liked: RLE-Liked) ช่วยทำให้ขนาดความจุของข้อมูลลดลง และเมื่อนำไปเข้ารหัสต่อด้วยวิธีรหัสเชิงคณิตศาสตร์ (Arithmetic coding) ทำให้ขนาดข้อมูลลดลงได้อีก โดยทำให้ขนาดความจุสุดท้ายมีขนาดเล็กกว่าหน่วยความจำของฝ่าย (User memory) และบันทึกใช้งานได้

ภาคผนวก

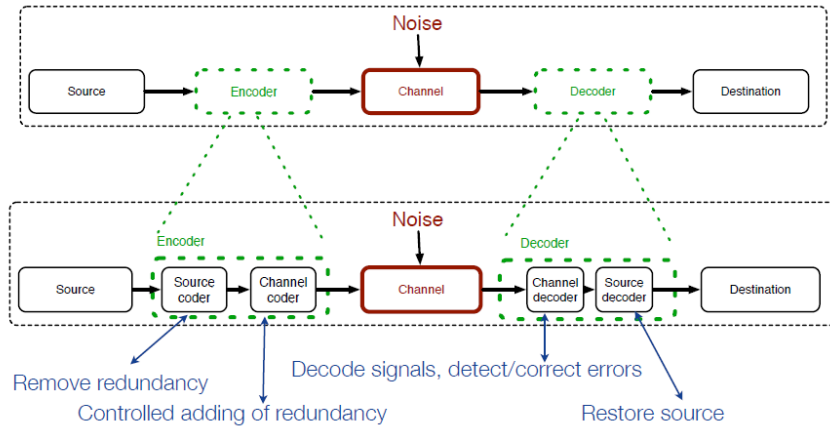
บทที่ 2

ทบทวนงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การเข้ารหัสแบบอักขระเริ่มต้นขึ้นจากใช้รหัสสัญญาณโทรเลข (Morse code) ซึ่งถูกสร้างขึ้นใช้ในปีค.ศ.1838 โดยนำตัวอักษรที่ใช้ประจำในการสื่อสารผ่านการส่งโทรเลขโดยเรียกว่า รหัสแบบอักขระ (Codeword) ในปี ค.ศ.1949 Claude Shannon และ Robert Fano พัฒนาทฤษฎีการบีบอัดข้อมูลแบบ Shannon-Fano ซึ่งใช้หลักการเข้ารหัสข้อมูลแบบกลุ่มคำ (Block of data) ที่อาศัยค่าความน่าจะเป็นของอักขระที่เกิดขึ้น ผลจากการเข้ารหัสได้จำนวนอักขระที่สั้นลง ในปี ค.ศ. 1951 David Huffman ได้เสนอทฤษฎีการเข้ารหัสแบบ Huffman ซึ่งใช้หลักการบีบอัดข้อมูลโดยอาศัยการคำนวณความน่าจะเป็นของอักขระที่เกิดขึ้นโดยอาศัยแผนผังรูปต้นไม้ (Binary tree) ที่มีการสร้างจากฐานล่างขึ้นสู่ยอดและอ่านค่าการเข้ารหัสข้อมูลของแต่ละอักขระจากบนลงล่างในรูปของเลขฐานสอง ทฤษฎีทั้งสองนี้ได้ถูกนำมาใช้ในการเข้ารหัสข้อมูลอย่างแพร่หลาย จนกระทั่งปี ค.ศ.1977 Abraham Lempel และ Jacob ได้ค้นพบวิธีการเข้ารหัสแบบใหม่ คือ LZ77 ที่อาศัยหลักการเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำเพื่อแยกอักขระและประมวลผล (Sliding window) ทฤษฎีนี้ได้ถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางและพัฒนาทฤษฎีใหม่โดยอาศัยพื้นฐานของ LZ77 เช่น DEFLATE, Bzip2 เป็นต้น ซึ่งพัฒนาใช้กับโปรแกรมลดขนาดข้อมูล (Zip) ในช่วงปี ค.ศ.1980-1990 การบีบอัดข้อมูลแบบไม่สูญเสีย (Lossless data compression) ได้รับความนิยมอย่างมากเพื่อนำมาใช้กับภาพดิจิทัลโดยได้มีการพัฒนาเทคนิคการเข้ารหัสวิธีใหม่ที่ใช้ทฤษฎีพื้นฐานของการเข้ารหัสมาร่วมใช้งาน เช่น FAXCCITT3 (Run-Length coding and Huffman), GIF (LZW), JPEG (Lossy discrete cosine transform and Huffman or Arithmetic) , BMP (Run-length coding) เป็นต้น [11]

2.1 โครงสร้างพื้นฐานของการสื่อสารข้อมูล

โครงสร้างพื้นฐานของระบบการสื่อสารข้อมูล (Communication System) ประกอบด้วย ข้อมูล (Source) ที่ส่งผ่านช่องทาง (Channel) ไปยังจุดหมาย (Destination) ดังรูปที่ 2.1 ข้อมูล (Source) ส่งผ่านไปยังตัวเข้ารหัส (Source Encoder) ซึ่งทำการเข้ารหัสหรือบีบอัดข้อมูล โดยการเข้ารหัสข้อมูลที่ไม่สูญเสียข้อมูลของต้นฉบับ (Source) เรียกว่า การบีบอัดข้อมูลแบบไม่สูญเสีย (Lossless data compression)นิยมใช้กับข้อมูลที่เป็นอักขระ ข้อความ ตัวอักษร และการเข้ารหัสข้อมูลโดยสูญเสียข้อมูลบางส่วนลงเพื่อให้มีขนาดเล็กลง เรียกว่า เรียกว่า การบีบอัดข้อมูลแบบสูญเสีย (Lossy data compression) นิยมใช้กับข้อมูลที่เป็นรูปภาพและเสียง



รูปที่ 2.1 ระบบการสื่อสารข้อมูล (Communication System)

2.1.1 Entropy

คือ จำนวนบิตที่น้อยที่สุดที่แทนอักขระที่อยู่ในข้อมูลนั้นๆ โดยคำนวณจากความน่าจะเป็นที่
เกิดขึ้นของอักขระ

กำหนดให้ อักขระของข้อมูล คือ x_1, x_2, \dots, x_n ความน่าจะเป็นของอักขระแต่ละตัว คือ p_1, p_2, \dots, p_n ดังนั้น แทนได้ดังสมการที่ 2.1 ดังนี้

$$H(p_1 \dots p_n) = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i \quad (2.1)$$

ตัวอย่าง การหา Entropy ของ $X = (A, B)$ โดย อักขระของข้อมูล X คือ A และ B
ความน่าจะเป็นของอักขระ A และ B คือ $p_A = 0.5$ และ $p_B = 0.5$
ดังนั้นจากสมการที่ 2.1 Entropy คือ

$$\begin{aligned} H(A, B) &= -p_A \log_2 p_A - p_B \log_2 p_B \\ &= -0.5 \log_2 (0.5) - 0.5 \log_2 (0.5) = 1 \end{aligned}$$

ดังนั้น $H(A, B) = 1$ หมายถึง จำนวน 1 บิตต่ออักขระของข้อมูล
จากสมการ ที่ 2.1 เมื่อความน่าจะเป็นของอักขระแต่ละตัวมีค่าเท่ากัน คือ

$$p_1 = p_2 = \dots = p_n = 1/n$$

ดังนั้น Entropy ที่มีค่ามากที่สุด คือ

$$H(p_1 \dots p_n) = \log_2 n$$

และ เมื่อความน่าจะเป็นของแต่ละอักขระเท่ากับ ศูนย์
ดังนั้น Entropy ที่มีค่าน้อยที่สุด คือ

$$H(p_1 \dots p_n) = 0$$

คำจำกัดความที่อธิบายลักษณะข้อมูลต่างๆ ดังนี้

- กำหนดให้ A ประกอบด้วยเซตของอักขระซึ่งมีสมาชิก (Element) อย่างน้อยหนึ่งตัว เช่น $A = \{a, b, c, d, e\}$
- สัญลักษณ์ (Symbol) คือ สมาชิก (Element) ของอักขระที่อยู่ใน A เช่น $b \in A$
- ข้อมูลของสัญลักษณ์ (Sequence of Symbols) ประกอบด้วยอักขระ (Element) ที่เรียงต่อกันเช่น ccdabdcaad...
- อักขระที่เข้ารหัส (Codeword) คือ ข้อมูลที่เรียงกันในรูปเลขฐานสอง (Sequence of bits) ของสัญลักษณ์หรือข้อความนั้น เช่น 110101001101010...
- ขนาดบิตต่ออักขระคือ ข้อมูลที่เข้ารหัสแล้วต่อข้อมูลต้นฉบับ (Bits per symbol: BPS)

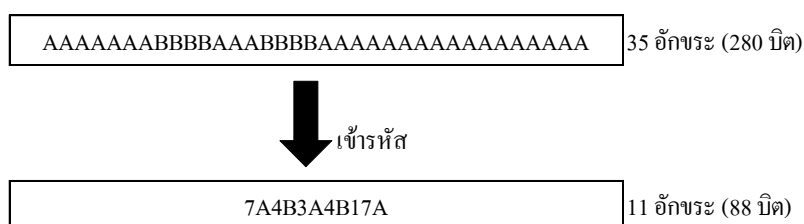
$$BPS = \frac{|Encoded|}{|Original|} \quad (2.2)$$

- ลักษณะของข้อมูลที่แสดงอักขระแต่ละตัวนั้นแบ่งได้ 2 ชนิด คือ
 - แบบกำหนดอักขระด้วยเลขฐานสองที่มีจำนวนความยาว (Length) เท่ากันทุกอักขระ (Fixed-length codes) เช่น $A = 000, B = 001, C = 010, D = 011, E = 100, F = 101$
 - แบบกำหนดอักขระด้วยเลขฐานสองที่มีจำนวนความยาว (Length) ไม่เท่ากันทุกอักขระ (Variable-length codes) เช่น $A = 0, B = 00, C = 110, D = 111, E = 1000, F = 1011$

2.2 การเข้ารหัสข้อมูล

2.2.1 Run Length Encoding (RLE) [12]

เป็นการเข้ารหัสข้อมูลด้วยการนับจำนวนข้อมูลที่ติดกันแล้วแทนด้วยอักขระนั้น
ตัวเดียวพร้อมจำนวนนับต่อท้าย สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลที่มีค่าซ้ำกัน ผลจากการเข้ารหัส
จะทำให้ขนาดข้อมูลลดน้อยลง



รูปที่ 2.2 การเข้ารหัสแบบ Run Length Encoding (RLE)

จากรูปที่ 2.2 แสดงการเข้ารหัสแบบ Run Length Encoding (RLE) ของชุดข้อมูลจำนวน 35 อักขระของ “AAAAAABBBBAAABBBAAAAAAAAAAAAAAAA” หลังจากผ่านการเข้ารหัสแล้วได้ชุดข้อมูลใหม่คือ “7A4B3A4B17A” ซึ่งมีจำนวนอักขระ 11 อักขระ ขนาดลดลง 192 บิต (68.6%)

2.2.2 Burrow Wheeler Transform (BWT) [13-14]

ในปี ค.ศ.1994 M.Burrows และ D.J.Wheeler ได้เสนอทฤษฎีขึ้นโดยใช้หลักการทำงานของ การเข้ารหัสข้อมูลแบบชุดข้อมูล (Block of data) แล้วนำมาจัดเรียงข้อมูลใหม่ด้วยวิธีการสลับที่โดย ขนาดของชุดข้อมูลใหม่เท่ากับชุดข้อมูลเดิม ความสัมพันธ์นี้สามารถแสดงได้ดังสมการ ที่ 2.3

$$T = \{t(0), t(1), \dots, t(|T|) - 1\}, i = 0, 1, \dots, |T| - 1 \tag{2.3}$$

โดยกำหนดให้ T คือ ชุดข้อมูลก่อนการเข้ารหัส t คืออักขระแต่ละตัวที่อยู่ภายใน i คือ ตำแหน่งแต่ละอักขระของชุดข้อมูลโดยมีค่าเริ่มจาก 0 จนถึงตำแหน่งที่ |T| - 1 โดยขณะกำลังเข้ารหัส ข้อมูลต้นฉบับด้วยวิธีการสลับที่ซึ่งอาศัยความสัมพันธ์จากสมการ ที่ 2.4 [12-13]

$$R(i) = \{t(i-1), t(i-2), \dots, t(|T|-1), t(i)\} \tag{2.4}$$

โดย R(i) คือ ชุดข้อมูลขณะกำลังเข้ารหัส

จากตารางที่ 2.1 แสดงการเข้ารหัสของชุดข้อมูล T = “MISSISSIPPI” โดยตารางที่ 2.1 ก) ได้จากการนำสมการ ที่ 2.3 และ 2.4 มาหาความสัมพันธ์ของแต่ละแถวที่ R(i) โดยวิธีการสลับที่ซึ่งมีข้อสังเกตคือ อักขระตัวแรกของแถวที่ R(i) จะถูกย้ายไปอยู่ตำแหน่งสุดท้ายของแถวที่ R(i+1) จากตารางที่ 2.1 ข) เรียงลำดับแถวที่ R(i) ด้วยวิธีการเรียงลำดับตามตัวอักษรของชุดอักขระ (Lexicographical) ใหม่อีกครั้ง ดังนั้นรหัสข้อมูลที่ผ่านการเข้ารหัสแล้วคือการเรียงอักขระตัวสุดท้ายของแต่ละแถว ค่าที่ได้คือ PSSMIPISSII

ตารางที่ 2.1 การเข้ารหัสแบบ Burrow Wheeler Transform (BWT)

T	MISSISSIPPI	T	MISSISSIPPI
R(0)	MISSISSIPPI	R(10)	IMISSISSIPP
R(1)	ISSISSIPPIM	R(7)	IPPIMISSISS
R(2)	SSISSIPPIMI	R(4)	ISSIPPIMISS
R(3)	SISSIPPIMIS	R(1)	ISSISSIPPIM
R(4)	ISSIPPIMISS	R(0)	MISSISSIPPI
R(5)	SSIPPIMISSI	R(9)	PIMISSISSIP
R(6)	SIPPIMISSIS	R(8)	PPIMISSISSI

R(7)	IPPIMISSISS
R(8)	PPIMISSISSI
R(9)	PIMISSISSIP
R(10)	IMISSISSIPP

ก)

R(6)	SIPPIMISSIS
R(3)	SISSIPPIMIS
R(5)	SSIPPIMISSI
R(2)	SSISSIPPIM

ข)

2.2.3 Move To Front (MTF) [15]

เป็นการเข้ารหัสข้อมูลด้วยวิธีการเลื่อนตำแหน่งอักขระ ลำดับข้อมูลของแต่ละอักขระนำมาเรียงเป็นค่าที่ผ่านการเข้ารหัสแล้ว จากตารางที่ 2.2 แสดงการเข้ารหัส โดยกำหนดให้ N คือ จำนวนตำแหน่งของลำดับที่เรียงจากอักขระที่ $\{A_1, \dots, A_N\}$ $C(i)$ คือ ลำดับของอักขระที่เข้ารหัส (Codewords) i คือ ค่าตำแหน่งของลำดับอักขระที่เกิดจากการเรียง $\{A_1, \dots, A_N\}$ เมื่อ T คือ ชุดข้อมูลก่อนการเข้ารหัส โดย $T = A_3A_4A_1A_2A_2A_6A_2$ และ เรียงลำดับตามตำแหน่ง (Ascending) คือ $A_1A_2A_3A_4A_5A_6$ โดยป้อนข้อมูลเพื่อเข้ารหัสทีละอักขระ และพิจารณาตำแหน่งของอักขระที่ป้อนเข้ามา ซึ่งจะไปที่ตำแหน่งแรกของชุดลำดับตำแหน่ง จากนั้นจึงพิจารณาข้อมูลเพื่อเข้ารหัสจนครบทุกตัว ค่าลำดับตำแหน่งประจำของแต่ละอักขระที่ป้อนเข้ารหัส คือ ค่าคำตอบที่ผ่านการเข้ารหัส คือ C(3)C(4)C(3)C(1)C(6)C(2)

ตารางที่ 2.2 การเข้ารหัสแบบ Move To Front (MTF)

รหัส	ลำดับอักขระ
$A_3A_4A_1A_2A_2A_6A_2$	$[A_1A_2A_3A_4A_5A_6]$
$A_3 \rightarrow C(3)$	$[A_3A_1A_2A_4A_5A_6]$
$A_4 \rightarrow C(4)$	$[A_4A_3A_1A_2A_5A_6]$
$A_1 \rightarrow C(3)$	$[A_1A_4A_3A_2A_5A_6]$
$A_2 \rightarrow C(4)$	$[A_2A_1A_4A_3A_5A_6]$
$A_2 \rightarrow C(1)$	$[A_2A_1A_4A_3A_5A_6]$
$A_6 \rightarrow C(6)$	$[A_6A_2A_1A_4A_3A_5]$
$A_2 \rightarrow C(2)$	$[A_2A_6A_1A_4A_3A_5]$

2.2.4 LZ77

ในปี ค.ศ. 1977 Jacob Ziv และ Abraham Lempel [16] ได้เสนอหลักการเข้ารหัสชุดข้อมูลด้วยวิธีการทำแบบจำลองจากกลุ่มอักขระต้นแบบเพื่อใช้ในการเข้ารหัส (Sliding window) โดยนำอักขระก่อนหน้ามาร่วมพิจารณาตำแหน่งร่วมกัน (Adaptive Dictionary) สามารถพิจารณาผลจากการเข้ารหัสข้อมูลแต่ละอักขระด้วย 2 หลักการ [17] คือ

- อักขระที่ต้องการเข้ารหัสไม่มีค่าซ้ำกับลำดับก่อนหน้าให้ใช้ $(0, 0, c)$
- อักขระที่ต้องการเข้ารหัสมีค่าซ้ำกับลำดับก่อนหน้าให้ใช้ (o, l, c)

กำหนดให้ o คือ ตำแหน่งของข้อมูลก่อนหน้า l คือ ความยาวของกลุ่มอักขระต้นแบบ และ c คือ อักขระตัวแรกที่เข้ารหัสเป็นลำดับถัดมา

จากตารางที่ 2.3 ค่าที่ต้องการเข้ารหัส คือ “ABRACADABRAD” [18]

ดังนั้นข้อมูลที่ผ่านการเข้ารหัสแล้วคือ (0,0,A)(0,0,B)(0,0,R)(3,1,C)(2,1,D)(7,4,D) อัตราส่วนของการบีบอัดข้อมูล (Compression rate) คือ $(12 * 8) / (6 * (5 + 2 + 3)) = 96 / 60 = 1.6$ หรือขนาดข้อมูลลดลง 37.5%

ตารางที่ 2.3 การเข้ารหัสแบบ LZ77 [18]

String = ABRACADABRAD											Output		
7	6	5	4	3	2	1							
							A	B	R	A	...	(0,0,A)	
						A	B	R	A	C	...	(0,0,B)	
					A	B	R	A	C	A	...	(0,0,R)	
			A	B	R	A	C	A	D	...	(3,1,C)		
		A	B	R	A	C	A	D	A	B	...	(2,1,D)	
A	B	R	A	C	A	D	A	B	R	A	D	(7,4,D)	
A	B	R	A	C	A	D							
Search buffer							Look-ahead buffer						

2.2.5 LZSS (Lempel-Ziv-Storer-Szymanski)

ในปีค.ศ. 1982 James A. Storer และ Thomas G. Szymanski [19] ได้พัฒนาขึ้นจากการเข้ารหัสแบบ LZ77 โดยแตกต่างจากวิธีการเข้ารหัสของ LZ77 คือ นำตำแหน่งของข้อมูลก่อนหน้าและความยาวของกลุ่มอักขระต้นแบบ มาพิจารณาเท่านั้น เช่น

String = abracadabra

Encode = abracad(1,4)

จะเห็นได้ว่า ค่าอักขระ “abra” แทนด้วย 1 คือ ตำแหน่งของข้อมูลก่อนหน้าที่เคยเกิดขึ้น และ 4 คือ ความยาวของกลุ่มอักขระต้นแบบนั้น และไม่ได้นำอักขระตัวแรกที่เข้ารหัสเป็นลำดับถัดมาเข้าพิจารณา ดังนั้นการเข้ารหัสแบบ LZSS ลดขนาดความจุลงได้มากกว่า LZ77

2.2.6 LZW (Lempel-Ziv-Welch)

ในปี ค.ศ. 1984 Terry Welch [20] ได้เสนอบทความ “A Technique for High-Performance Data Compression” โดยนำเสนอเทคนิคการบีบอัดข้อมูลโดยการเข้ารหัสแบบ

อ้างอิงตาราง (Dictionary-based Compression Algorithm) ซึ่งข้อมูลอักขระก่อนเข้ารหัสจะถูก แจกแจงแต่ละอักขระและแทนด้วยตำแหน่งในตาราง (Index) และเมื่อมีการเข้ารหัสอักขระใหม่จะทำการเพิ่มอักขระใหม่นั้นพร้อมทั้งตำแหน่งถัดไปลงในตาราง ข้อมูลที่ทำการเข้ารหัสมีค่าซ้ำกันมากจะทำให้ขนาดข้อมูลหลังการเข้ารหัสมีค่าน้อยลง เทคนิคการเข้ารหัสแบบ LZW นิยมใช้ในไฟล์รูปภาพประเภท GIF, TIFF และ Postscript ซึ่งในปี ค.ศ. 1985 ได้จดสิทธิบัตร (U.S Patent 4,558,302) และหมดอายุลงในปี ค.ศ. 2003

จากตารางที่ 2.4 แสดงตารางเริ่มต้นที่ใช้ในการเข้ารหัสอักขระคือ “banana_bandana” โดยเรียงอักขระแบบไม่ซ้ำกันลงในตารางและแสดงขั้นตอนการหาค่าที่ได้จากการเข้ารหัสดังตารางที่ 2.5 ค่าที่ต้องการเข้ารหัส คือ “banana_bandana” ดังนั้นข้อมูลที่ผ่านมาการเข้ารหัสแล้วคือ 1,0,3,6,0,4,5,3,2,8 หรือเท่ากับ 120 บิต (=10x12 [20])

ตารางที่ 2.4 ตารางเริ่มต้นของการเข้ารหัสอักขระ “banana_bandana”

ลำดับ	อักขระ
0	a
1	b
2	d
3	n
4	_ (Space)

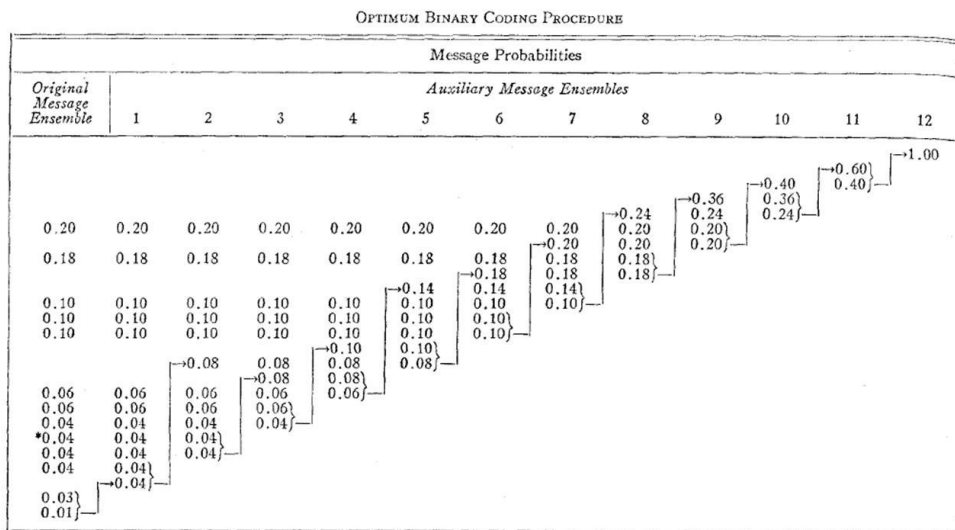
ตารางที่ 2.5 ขั้นตอนการเข้ารหัสอักขระ “banana_bandana”

ลำดับ (Input)	อักขระ ปัจจุบัน	เคยปรากฏ มาก่อน	คำตอบ (Encoded Output)	อักขระใหม่/ ตำแหน่ง
<i>b</i>	b	√	-	-
<i>ba</i>	ba	X	1	ba / 5
<i>ban</i>	an	X	1,0	an / 6
<i>banana</i>	na	X	1,0,3	na / 7
<i>banan</i>	an	√	1,0,3	-
<i>bananaa</i>	ana	X	1,0,3,6	ana / 8
<i>banana_</i>	a_	X	1,0,3,6,0	a_ / 9
<i>banana_b</i>	_b	X	1,0,3,6,0,4	_b / 10
<i>banana_ba</i>	ba	√	1,0,3,6,0,4	-

banana_ban	ban	X	1,0,3,6,0,4,5	ban / 11
banana_ban d	nd	X	1,0,3,6,0,4,5,3	nd / 12
banana_ban da	da	X	1,0,3,6,0,4,5,3,2	da / 13
banana_ban dan	an	✓	1,0,3,6,0,4,5,3,2	-
banana_ban $dana$	ana	✓	1,0,3,6,0,4,5,3,2,8	-

2.2.7 Huffman coding

ในปี ค.ศ.1952 David Huffman [21] ได้เสนอบทความชื่อเรื่อง “A Method for the Construction of Minimum-Redundancy Codes” ซึ่งการเข้ารหัสนี้ใช้เทคนิคความน่าจะเป็น (Probability) มาใช้ในการคำนวณ โดยประกอบไปด้วยความยาวรหัสเฉพาะ (Prefix code) และกลุ่มของความน่าจะเป็นของแต่ละรหัส (set of probabilities) ซึ่งค่าความน่าจะเป็นรวมของอักขระที่เข้ารหัสทั้งหมดเท่ากับ 1 โดยมีรหัส (Codeword) ที่เป็นเลขฐานสองที่สร้างจากกิ่งสาขาของแผนภูมิแบบเลขฐานสอง (Binary Tree ของ Huffman Tree) ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 Optimum binary code [21]

$$\sum_{i=1}^N P(i) = 1 \tag{2.5}$$

$$L_{av} = \sum_{i=1}^N P(i)L(i) \tag{2.6}$$

กำหนดให้ N คือ จำนวนอักขระทั้งหมดที่เข้ารหัส $P(i)$ คือ ความน่าจะเป็นของอักขระในตำแหน่งที่ i $L(i)$ คือ ความยาวของข้อมูลที่เข้ารหัส L_{av} คือ ความยาวเฉลี่ยของรหัสข้อมูล

หาค่าความน่าจะเป็นของแต่ละอักขระในชุดข้อมูลโดยเรียงลำดับตามนิยามสมการที่ 2.7 และความยาวของแต่ละอักขระจะได้ดังนิยามสมการที่ 2.8

$$P(1) \geq P(2) \geq \dots \geq P(N-1) \geq P(N) \quad (2.7)$$

$$L(1) \leq L(2) \leq \dots \leq L(N-1) \leq L(N) \quad (2.8)$$

จากความสัมพันธ์ของสมการข้างต้นนี้ นำมาประยุกต์การเข้ารหัสกับแผนภูมิแบบเลขฐานสอง (Binary tree) โดยนำ 0 และ 1 มาหาอักขระที่เข้ารหัส ซึ่งกำหนดให้ค่า ระยะ $L(N)$ ถึง $L(N-1)$ (Prefixes) เป็น 0 ทางซ้าย และเป็น 1 ทางขวาเมื่อทำการอ่านค่าของแต่ละอักขระให้อ่านเรียงจากบนลงมาตามระยะ $L(N)$ ถึง $L(N-1)$ ซึ่งถูกกำหนดให้เป็น 0 หรือ 1 จนถึงอักขระนั้นที่ตำแหน่ง i

กำหนดให้ รหัสข้อมูลของชุดอักขระ “HOOKUPHHHU” สามารถแจกแจงความน่าจะเป็นของแต่ละอักขระ $P(i)$ ได้ดังตารางที่ 2.6 โดยในตารางที่ 2.7 ใช้วิธีการหาข้อมูลที่เข้ารหัสด้วยวิธีที่เหมือนกับรูปที่ 2.3

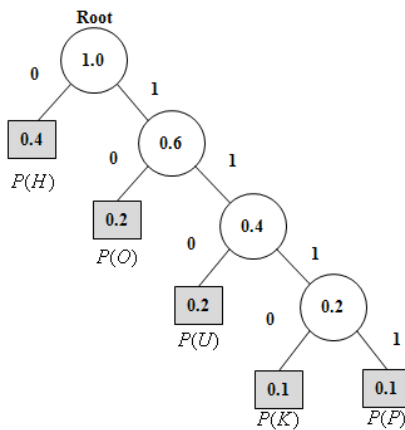
ตารางที่ 2.6 การเข้ารหัสข้อมูลของชุดอักขระ “HOOKUPHHHU”

อักขระ	จำนวน	ความน่าจะเป็น $P(i)$
H	4	$P(H) = 4/10 = 0.4$
O	2	$P(O) = 2/10 = 0.2$
U	2	$P(U) = 2/10 = 0.2$
K	1	$P(K) = 1/10 = 0.1$
P	1	$P(P) = 1/10 = 0.1$
รวม	10	$\sum_{i=1}^N P(i) = 10/10 = 1.0$

ตารางที่ 2.7 การเข้ารหัสแบบ Huffman coding

Message Probabilities				
Original Message Ensemble	Auxiliary Message Ensembles			
	1	2	3	4
$P(H)$	(0.4)	(0.4)	(0.4)	(0.6)
$P(O)$	(0.2)	(0.2)	(0.4)	(0.4)
$P(U)$	(0.2)	(0.2)	(0.2)	(0.2)
$P(K)$	(0.1)	(0.2)	(0.2)	(0.2)
$P(P)$	(0.1)	(0.2)	(0.2)	(0.2)

จากตารางที่ 2.6 และ 2.7 สามารถทำ Binary Tree [22] ในแนวตั้งได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 Binary Tree

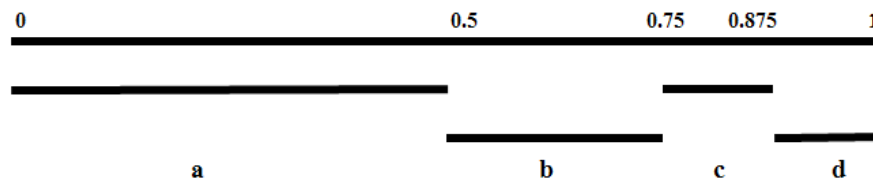
ตารางที่ 2.8 ผลของการเข้ารหัสข้อมูลของชุดอักขระ “HOOKUPHHHU”

อักขระ	จำนวน	ความน่าจะเป็น $P(i)$	อักขระที่เข้ารหัส	จำนวนบิตหลังเข้ารหัส
H	4	$P(H) = 4/10 = 0.4$	0	4
O	2	$P(O) = 2/10 = 0.2$	10	4
U	2	$P(U) = 2/10 = 0.2$	110	6
K	1	$P(K) = 1/10 = 0.1$	1110	4
P	1	$P(P) = 1/10 = 0.1$	1111	4
รวม	10	$\sum_{i=1}^N P(i) = 10/10 = 1.0$		22

จากความสัมพันธ์ข้างต้นสามารถหารหัส (Codeword) ได้ดังตารางที่ 2.8 ข้อมูลต้นแบบมีขนาด 80 บิต ลดลงเหลือ 22 บิต หรือ ลดลง 72.5%

2.2.8 Arithmetic coding [23]

คือ การเข้ารหัสข้อมูลโดยการพิจารณาค่าความน่าจะเป็นของอักขระรวมทั้งหมดที่อยู่ในช่วง 0 และ 1 หรือ $[0,1)$ ผลรวมของค่าความน่าจะเป็นของอักขระแต่ละตัวรวมกันได้เท่ากับ 1 และใช้การพิจารณาค่าช่วงขอบต่ำ (Interval *low*) และช่วงขอบสูง (Interval *high*) ซึ่งเป็นผลจากการคำนวณความน่าจะเป็นแบบสะสม (Cumulative probabilities) เพื่อหาความสัมพันธ์ของแต่ละอักขระที่เข้ารหัสจากรูปที่ 2.5 แสดงการแจกแจงความน่าจะเป็นของ “abaabcd a” โดยแสดงความน่าจะเป็นแบบสะสมของอักขระ a, b, c, d ซึ่งผลรวมของความน่าจะเป็นทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 1



รูปที่ 2.5 ความน่าจะเป็นแบบสะสมของอักขระ a, b, c, d

$$K(a_k) = \sum_{i=1}^k P_M(a_i) \quad (2.9)$$

จากสมการที่ 2.9 กำหนดให้ P_M คือ ค่าความน่าจะเป็นของอักขระ a_i คือ อักขระแต่ละตัวที่เข้ารหัสซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงของ $[0,1)$ และ $K(a_k)$ คือ ค่าความน่าจะเป็นแบบสะสม (Cumulative probabilities) จากรูปที่ 2.4 สามารถหาความสัมพันธ์ได้จากสมการที่ 2.9 และสรุปได้ดังตาราง ที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ความน่าจะเป็นแบบสะสมของอักขระ a, b, c, d

$P_M(a_i)$	$K(a_k)$
$P_M(a) = 0.5$	$K(0) = 0.0$
$P_M(b) = 0.25$	$K(1) = 0.5$
$P_M(c) = 0.125$	$K(2) = 0.75$
$P_M(d) = 0.125$	$K(3) = 0.875$

จากสมการที่ 2.10 กำหนดให้ด้านขอบต่ำ (Lower bound): Low คือ ค่าความน่าจะเป็นแบบสะสมของอักขระที่ a_{k-1} และสมการที่ 2.11 กำหนดให้ด้านขอบสูง (Upper bound): High คือ ความน่าจะเป็นแบบสะสมของอักขระที่ a_k

$$\text{Low: } \sum_{i=1}^{k-1} P_M(a_i) = K(a_{k-1}) \quad (2.10)$$

$$\text{High: } \sum_{i=1}^k P_M(a_i) = K(a_k) \quad (2.11)$$

โดยหลักการพิจารณาในการเข้ารหัสของอักขระแต่ละตัว จะอยู่ในช่วงของ $[low, high)$ ใหม่ ทุกครั้งที่มีการเข้ารหัส อักขระตัวถัดไปที่เข้ามาสามารถพิจารณาด้านขอบต่ำและด้านขอบสูงได้ สมการที่ 2.12 และ 2.13 ตามลำดับ

$$low' := low + \sum_{i=1}^{j-1} P_M(a_i) \cdot (high - low) = low + K(a_{j-1}) \cdot (high - low) \quad (2.12)$$

$$high' := low + \sum_{i=1}^j P_M(a_i) \cdot (high - low) = low + K(a_j) \cdot (high - low) \quad (2.13)$$

ดังนั้นการเข้ารหัสข้อมูล “abaabcdca” นำหลักการเข้ารหัสข้างต้นมาพิจารณา โดยเริ่มพิจารณาจากช่วง $[0, 1)$ อักขระที่เข้ามาตัวแรกคือ a

$$Low = 0$$

$$High = 0 + 0.5(1) = 0.5$$

พิจารณาในช่วง $[0, 0.5)$ อักขระที่เข้าตัวถัดมา คือ b

$$Low = 0 + 0.5(0.5 - 0) = 0.25$$

$$High = 0 + 0.5(0.5 - 0) + 0.25(0.5 - 0) = 0 + (0.5 + 0.25)(0.5 - 0) = 0.375$$

พิจารณาในช่วง $[0.25, 0.375)$ อักขระที่เข้าตัวถัดมา คือ a

$$Low = 0.25 + 0(0.375 - 0.25) = 0.25$$

$$High = 0.25 + 0.5(0.375 - 0.25) = 0.3125$$

พิจารณาในช่วง $[0.25, 0.3125)$ อักขระที่เข้าตัวถัดมา คือ a

$$Low = 0.25 + 0(0.3125 - 0.25) = 0.25$$

$$High = 0.25 + 0.5(0.3125 - 0.25) = 0.28125$$

พิจารณาในช่วง $[0.25, 0.28125)$ อักขระที่เข้าตัวถัดมา คือ b

$$Low = 0.25 + 0.5(0.28125 - 0.25) = 0.265625$$

$$\begin{aligned} High &= 0.25 + 0.5(0.28125 - 0.25) + 0.25(0.28125 - 0.25) \\ &= 0.25 + (0.5 + 0.25)(0.28125 - 0.25) = 0.2734375 \end{aligned}$$

พิจารณาในช่วง $[0.265625, 0.2734375)$ อักขระที่เข้าตัวถัดมา คือ c

$$\begin{aligned} Low &= 0.265625 + 0.5(0.2734375 - 0.265625) + 0.25(0.2734375 - 0.265625) \\ &= 0.265625 + (0.5 + 0.25)(0.2734375 - 0.265625) = 0.271484375 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} High &= 0.265625 + 0.5(0.2734375 - 0.265625) + 0.25(0.2734375 - 0.265625) \\ &\quad + 0.125(0.2734375 - 0.265625) \\ &= 0.265625 + (0.5 + 0.25 + 0.125)(0.2734375 - 0.265625) \\ &= 0.2724609375 \end{aligned}$$

พิจารณาในช่วง $[0.271484375, 0.2724609375)$ อักขระที่เข้าตัวถัดมา คือ d

$$\begin{aligned} Low &= 0.271484375 + (0.5 + 0.25 + 0.125)(0.2724609375 - 0.271484375) \\ &= 0.2723388672 \end{aligned}$$

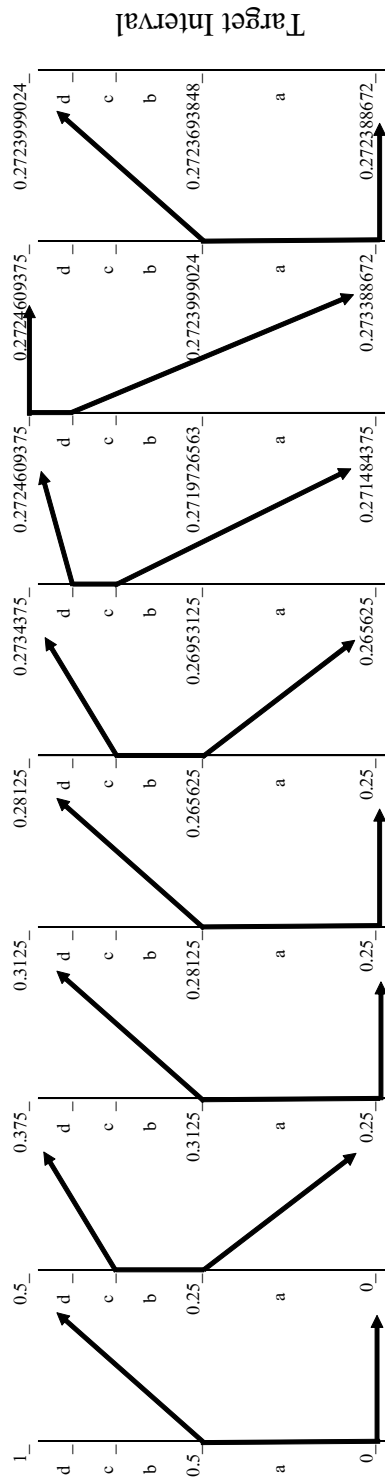
$$\begin{aligned} High &= 0.2714609375 + (0.5 + 0.25 + 0.125 + 0.125)(0.2724609375 - 0.271484375) \\ &= 0.2724609375 \end{aligned}$$

พิจารณาในช่วง $[0.2723388672, 0.2724609375)$ อักขระที่เข้าตัวถัดมา คือ a

$$Low = 0.2723388672 + 0(0.2724609375 - 0.2723388672) = 0.2723388672$$

$$High = 0.2723388672 + 0.5(0.2724609375 - 0.2723388672) = 0.2723999024$$

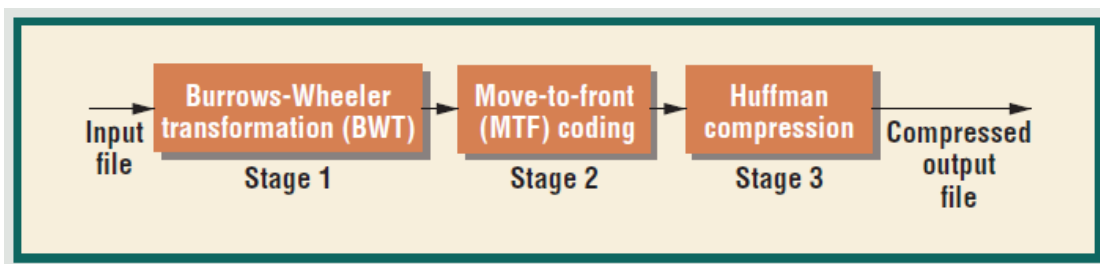
คำตอบที่ได้ อยู่ในช่วง $[0.2723388672, 0.273999024)$ แสดงลำดับตามขั้นตอนได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ลำดับขั้นตอนการเข้ารหัสข้อมูล "abaabcbda" [23]

2.2.9 Bzip2

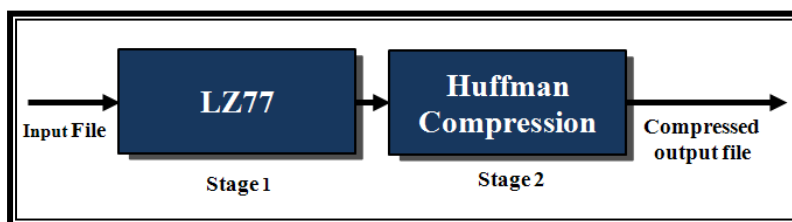
พัฒนาโดย Julian Seward [24] หลักการเข้ารหัสข้อมูลใช้หลักการเข้ารหัสของ BWT (Burrow Wheeler Transform), MTF และ Huffman ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การเข้ารหัสแบบ Bzip2 [25]

2.2.10 Zlip

พัฒนาโดย Jean-loup Gailly และ Mark Adler [26-27] หลักการเข้ารหัสข้อมูลใช้หลักการเข้ารหัสของ LZ77 และ Huffman ดังแสดงในรูปที่ 2.8



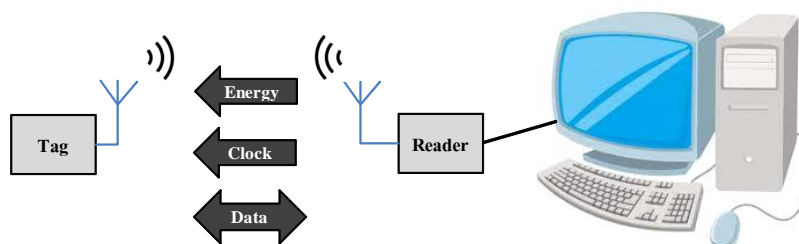
รูปที่ 2.8 การเข้ารหัสแบบ Zlip

2.3 เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี (Radio Frequency Identification: RFID)

โครงสร้างสถาปัตยกรรมภายในของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีมีการจัดเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำของป้ายซึ่งมีหลายรูปแบบการใช้งาน โดยมีลักษณะแบบไร้สัมผัส ทำให้ต้องมีกระบวนการส่งพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่านไปป้อนให้กับป้ายในรูปแบบต่างๆ และเกิดการกำหนดมาตรฐานทางเทคนิคเพื่อใช้ในการรับส่งข้อมูล สัญญาณนาฬิกาและพลังงานไฟฟ้าระหว่างเครื่องอ่านและป้ายโดยอาศัยคลื่นความถี่วิทยุในการสื่อสาร จากรูปที่ 2.9 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของระบบ RFID ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน [1] ดังนี้

- ป้าย (Tag หรือ Transponder) ซึ่งถูกออกแบบให้มีรูปแบบและขนาดต่างๆเหมาะสมตามการใช้งาน มีการยึดติดกับวัตถุหรือสินค้าที่ต้องการระบุตัวตน ติดตามหรือตรวจนับ
- เครื่องอ่าน (Reader หรือ Interrogator) ทำหน้าที่ในการติดต่อสื่อสารกับป้าย RFID โดยใช้คลื่นวิทยุในการอ่านหรือเขียนข้อมูลเข้าไปในป้าย

- การสื่อสารระหว่างป้ายและเครื่องอ่าน (Protocol) ซึ่งอาศัยความถี่ย่านต่างๆในการสื่อสารภายใต้มาตรฐานอีพีซี (EPC : Electronic Product Code) และ ไอเอสโอ (ISO: International Organization for Standardization)

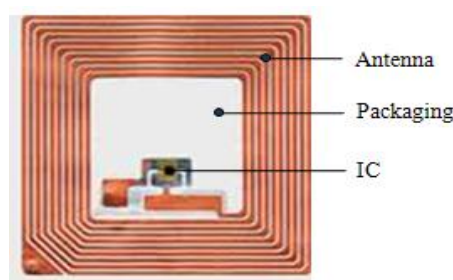


รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบ RFID

2.3.1 ป้าย (Tag หรือ Transponder) [1]

2.3.1.1 ป้ายแบบพาสซีฟ (Passive tags)

เป็นป้ายชนิดไม่มีแหล่งกำเนิดพลังงานบรรจุไว้ภายใน พลังงานจะถูกสร้างจากเครื่องอ่าน โดยอาศัยคลื่นความถี่วิทยุไปกระตุ้นสายอากาศ (Antenna) เกิดการแปลงสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าให้เกิดพลังงานไฟฟ้า ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในวงจรภายในตัวป้ายและเริ่มประมวลผลสัญญาณพร้อมกับส่งผลลัพธ์กลับไปยังเครื่องอ่าน ในการทำงานของป้ายแบบพาสซีฟจะต้องอยู่ภายในบริเวณของเครื่องอ่านเพราะต้องอาศัยพลังงานจากเครื่องอ่าน ย่านความถี่ที่นิยมใช้กับป้ายแบบพาสซีฟ ได้แก่ ย่านความถี่ต่ำ (LF) ความถี่สูง (HF) และ ความถี่สูงยิ่ง (UHF) โดยมีระยะการทำงานตั้งแต่ 2 มิลลิเมตร ถึง 8 เมตร (ขึ้นอยู่กับสถาปัตยกรรมการออกแบบวงจรและสายอากาศภายในป้าย) จากรูปที่ 2.10 ส่วนประกอบหลักของป้ายแบบพาสซีฟคือ วงจรรวม (IC : integrated circuit) สายอากาศ และ บรรจุภัณฑ์ (Packaging) ซึ่งรวมวงจรรวมและสายอากาศไว้ในชั้นเดียวกัน



รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบหลักของป้ายแบบพาสซีฟ (Passive tags)

จากรูปที่ 2.11 แสดงรูปแบบผลิตภัณฑ์ต่างๆของป้ายแบบพาสซีฟที่นำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ ในปัจจุบัน เช่น ระบบขนส่งมวลชน บัตรโดยสาร โรงพยาบาล ร้านค้าปลีก โลจิสติกส์ สายงานการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม ธุรกิจแฟชั่นและเครื่องประดับ ระบบห้องสมุด ระบบรหัสประจำตัวสัตว์ การกีฬา เป็นต้น



ก) บัตรโดยสาร



ข) โรงพยาบาล



ค) สินค้าและธุรกิจค้าปลีก



ง) สายการผลิตและโลจิสติกส์



จ) ธุรกิจแฟชั่นและเครื่องประดับ



ฉ) ระบบห้องสมุด



ช) ระบบรหัสประจำตัวสัตว์

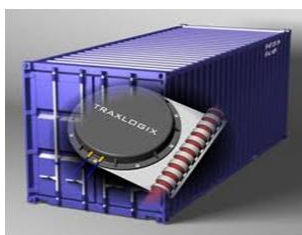


ซ) การกีฬา

รูปที่ 2.11 รูปแบบผลิตภัณฑ์ต่างๆของป้ายแบบแพลตฟอร์มในปัจจุบัน

2.3.1.2 ป้ายแบบแอ็กทีฟ (Active tags)

เป็นป้ายชนิดที่มีแหล่งกำเนิดพลังงานหรือแบตเตอรี่ภายใน ซึ่งสามารถทำให้ป้ายเกิดการดำเนินงานได้ตลอดเวลาโดยไม่จำเป็นต้องอยู่ในบริเวณรัศมีการอ่านของเครื่องอ่านและสามารถทำหน้าที่เป็นตัวเริ่มต้นการติดต่อสื่อสารกับเครื่องอ่านได้ ดังนั้นคลื่นสัญญาณความถี่ของป้ายแบบแอ็กทีฟจะมีพลังงานมากกว่าแบบพาสซีฟและมีระยะการอ่านจากเครื่องอ่านได้ระยะเมตรถึงกิโลเมตร ดังนั้นจึงนิยมนำมาใช้ร่วมกับระบบ GPS (Global positioning system) เพื่อระบุตำแหน่งของวัตถุที่ติดกับป้ายซึ่งมักนิยมติดกับวัตถุที่มีมูลค่าสูง เช่น รถยนต์ หรือตู้สินค้า (Container) ย่านความถี่ที่นิยมใช้กับป้ายแบบแอ็กทีฟ ได้แก่ ความถี่สูงยิ่ง (UHF) และ ไมโครเวฟ เช่น 455 MHz, 2.45 GHz, 5.8 GHz เป็นต้น มีระยะการทำงานตั้งแต่ 20 เมตร ถึงหน่วยกิโลเมตร จากรูปที่ 2.12 เป็นการประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆในปัจจุบัน เช่น ระบบติดตามและระบุตำแหน่งของตู้สินค้า การขนส่งสินค้า ระบบตรวจสอบอายุการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆของโรงกลั่นน้ำมันและแก๊สธรรมชาติ ระบบตรวจสอบการใช้งานและคลังสินค้าของอาวุธสงคราม เป็นต้น



ก) ระบบติดตามตู้สินค้า



ข) ระบบโลจิสติกส์



ค) ระบบตรวจสอบสินค้า



ง) การขนส่งสินค้า



จ) โรงกลั่นน้ำมัน

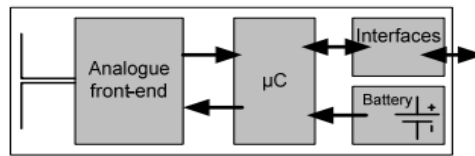


ฉ) คลังสินค้าอาวุธสงคราม

รูปที่ 2.12 การประยุกต์ใช้งานของป้ายแบบแอ็กทีฟ

2.3.1.3 ป้ายแบบกึ่งพาสซีฟ (Semi-Passive tags)

เกิดจากการรวมการทำงานแบบพาสซีฟและแอ็กทีฟไว้ด้วยกัน เมื่อวงจรพาสซีฟได้ถูกกระตุ้นจากสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งมาจากเครื่องอ่าน เกิดการกระตุ้นวงจรแอ็กทีฟภายในป้ายเพื่อให้เกิดการทำงานภายในและทำการส่งสัญญาณกลับไปให้เครื่องอ่าน พลังงานภายในหรือแบตเตอรี่จะทำงานก็ต่อเมื่อมีการถูกกระตุ้นจากวงจรพาสซีฟเท่านั้น และเมื่อไม่มีการส่งสัญญาณจะเข้าสู่ระบบพัก (Sleep mode) ย่านความถี่ที่นิยมใช้กับป้ายแบบกึ่งพาสซีฟ ได้แก่ ความถี่สูงยิ่ง (UHF) จากรูปที่ 2.13 ก) แสดงสถาปัตยกรรมภายในของวงจรและ รูปที่ 2.13 ข) ตัวอย่างวงจรของป้ายแบบกึ่งพาสซีฟ (CAEN tag [28])



ก)



ข)

รูปที่ 2.13 ป้ายแบบกึ่งแพสซีฟ [28]

จากรูปที่ 2.14 เป็นการประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆในปัจจุบัน ได้แก่ ระบบจอตกรถ [29] ดังรูปที่ 2.14 ก) การให้ข้อมูลต่างๆแก่ผู้เข้าชมงานวิจัยของ MIT media lab [30] โดยติดเข็ม (RFID Badge) ไว้ที่เสื้อ สัมผัสหน้าจอตกรถเพื่ออ่านรายละเอียดต่างๆและเก็บข้อมูลของผู้มาเยี่ยมชมไว้ในระบบฐานข้อมูล ดังรูปที่ 2.14 ข) ชั้นแสดงสินค้าตัวอย่างในห้างสรรพสินค้า [31] ดังรูปที่ 2.14 ค) เป็นต้น



ก)



ข)



ค)

รูปที่ 2.14 การประยุกต์ใช้งานของป้ายแบบกึ่งแพสซีฟ

จากลักษณะสถาปัตยกรรมภายในของวงจรถออิเล็กทรอนิกส์และการประยุกต์ใช้งานของป้ายทั้ง 3 ประเภท สามารถสรุปข้อเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆได้ดังตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของป้ายแบบแทสซิฟ แอ็กทีฟ และกึ่งแทสซิฟ [2, 8]

คุณสมบัติของป้าย	แทสซิฟ	กึ่งแทสซิฟ	แอ็กทีฟ
แหล่งพลังงาน	ไม่มีแหล่งกำเนิดพลังงานในตัวเอง อาศัยพลังงานที่ถูกส่งจากเครื่องอ่าน	มีแหล่งกำเนิดพลังงานในตัวเอง (แบตเตอรี่)	มีแหล่งกำเนิดพลังงานในตัวเอง (แบตเตอรี่)
การเริ่มต้นการติดต่อสื่อสาร	เครื่องอ่าน	เครื่องอ่าน	เครื่องอ่านหรือป้าย
ขนาด	เล็ก (0.15mm x 0.15 mm x 7.5µm)*	ขนาดกลาง (54.4mm x56.38mm x5mm)*	ใหญ่ (38.1mmx76.2 mmx12.7 mm)*
ระยะการอ่าน	สั้น (2 มิลลิเมตรถึง8เมตร)*	ปานกลาง (ได้ถึง 100 เมตร)*	ไกล (ได้ถึง 1.5 กิโลเมตร)*
คลื่นความถี่ที่นิยมใช้	LF / HF / UHF	UHF	UHF / Microwave
การประยุกต์ใช้งาน	การใช้งานหลากหลาย ระบุรหัสและข้อมูลเฉพาะ	ระบบติดตามวัตถุ ระบุรหัสในอุปกรณ์ที่มีราคาสูง	ระบบการขนส่ง โลจิสติกส์
ราคา	ถูก (เปรียบเทียบกับกึ่งแทสซิฟและแอ็กทีฟ)	ปานกลาง	แพง

* ขึ้นอยู่กับสถาปัตยกรรมการออกแบบวงจรและสายอากาศภายในป้าย

2.3.2 เครื่องอ่าน (Reader หรือ Interrogator) [1]

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่อ่านข้อมูลที่ได้รับมาจากป้ายและสามารถเขียนข้อมูลลงป้าย โดยอาศัยเสาอากาศวิทยุ (Antenna) เพื่อส่งสัญญาณคลื่นวิทยุเพื่อติดต่อสื่อสารกับป้าย มีวงจรสำหรับเครื่องอ่านเพื่อจัดการข้อมูลไม่ให้เกิดการชนกันของข้อมูล (Anticollision) การเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโดยมีทั้งแบบสายอากาศในตัวเครื่อง (Embedded / Built-in Antenna) หรือสายอากาศแยกแยกจากเครื่องต่างหาก รูปที่ 2.15 แสดงเครื่องอ่านแบบต่างๆ โดยเลือกใช้ให้เหมาะสมกับการใช้งานและให้ตรงกับความต้องการ



ก) Hand held reader



ข) Fixed reader



ค) Mobile PDA reader

ง) Wireless reader

รูปที่ 2.15 เครื่องอ่านแบบต่างๆ

2.3.3 ความถี่ที่ใช้งาน [1]

คุณสมบัติสำคัญในการเลือกใช้อุปกรณ์ RFID ให้เหมาะสมต่อการใช้งานแต่ละประเภท จากตารางที่ 2.11 แสดงช่วงความถี่ของสัญญาณ 4 ย่านความถี่ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระยะการทำงานของป้าย จะเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านอื่นๆเช่นขนาดของสายอากาศ ตำแหน่งของเครื่องอ่านและป้าย ประเภทป้าย เป็นต้น

ตารางที่ 2.11 สัญญาณความถี่และตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานในย่านความถี่ต่างๆ [1]

ย่านความถี่	ช่วงความถี่	ความถี่ที่นิยมใช้	การประยุกต์ใช้งาน
ความถี่ต่ำ LF : Low Frequency	30 kHz - 300 kHz	<ul style="list-style-type: none"> • 30 kHz • 125 kHz • 134.2 kHz • 300 kHz 	<ul style="list-style-type: none"> • ระบบควบคุมการจัดเก็บข้อมูล • ระบบบ่งชี้รหัสประจำตัวสัตว์ • ระบบบ่งชี้รหัสประจำตัวสินค้า • สายการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม • ห้างสรรพสินค้า ร้านค้าต่างๆ
ความถี่สูง HF : High Frequency	3 MHz - 30 MHz	<ul style="list-style-type: none"> • 3MHz • 13.56 MHz(ISO15693) • 30 MHz 	<ul style="list-style-type: none"> • ระบบสินค้าคงคลังและโลจิสติกส์ • อุตสาหกรรมยานยนต์และการตรวจสอบติดตามสินค้า • ร้านค้าขายปลีก • โรงพยาบาล • สนามบิน ตรวจสอบกระเป๋าเดินทาง • ระบบห้องสมุด • ระบบติดตามและตรวจสอบที่จอดรถ • ระบบรักษาความปลอดภัย • สมาร์ทการ์ด
ความถี่สูงยิ่ง UHF : Ultra High Frequency	300 MHz-3 GHz	<ul style="list-style-type: none"> • 300 MHz • 433 MHz • 866 MHz (Europe) • 915MHz (US) 	<ul style="list-style-type: none"> • ร้านค้าขายปลีก • ระบบจ่ายค่าทางด่วน • โลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทาน • ประยุกต์ใช้กับงานในระยะไกล • ระบบติดตามวัตถุสิ่งของ
ความถี่ไมโครเวฟ Microwave	3 GHz - 300 GHz	<ul style="list-style-type: none"> • 2.45 GHz • 3.0 GHz 	<ul style="list-style-type: none"> • ประยุกต์ใช้กับงานในระยะไกล • ระบบติดตามวัตถุสิ่งของ • ระบบขนส่งสินค้า

2.3.4 การสื่อสารระหว่างป้ายและเครื่องอ่าน (Protocol)

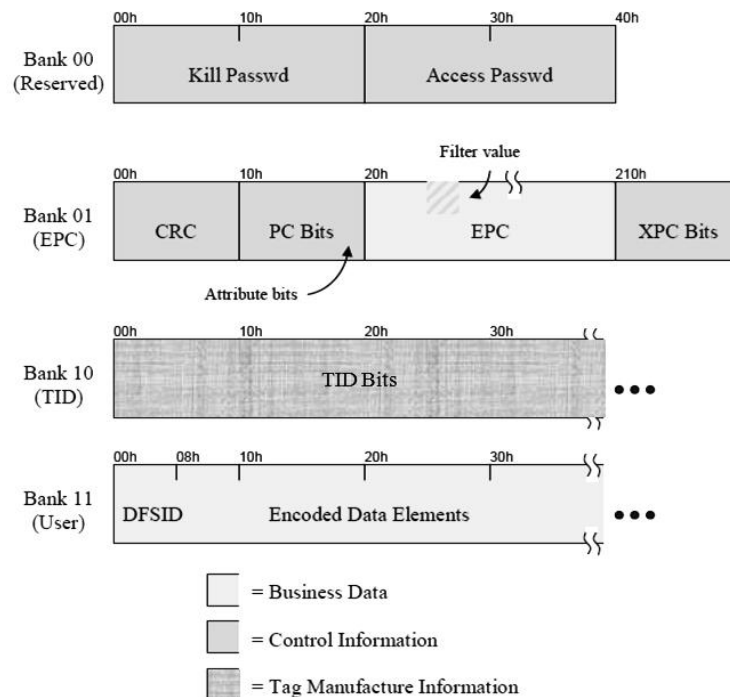
2.3.4.1 โครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลของป้ายแบบแพสซีฟ EPC Class 1 Gen 2 [1, 32]

ป้ายแพลสซิฟมีโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลภายในหน่วยความจำ (Logical Memory Bank) แบ่งได้ 4 กลุ่ม คือ Reserved Memory, EPC (Electronic Product Code) Memory, TID (Tag Identification) Memory และ User Memory ดังตารางที่ 2.12

ตารางที่ 2.12 โครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลภายในหน่วยความจำของป้ายแบบแพลสซิฟ

Memory	Bank Parameter	Size (Bits)
Reserved	00 ₂	64
EPC	01 ₂	128
TID	10 ₂	0,32,64
User	11 ₂	0 หรือ มากกว่า

โดยแสดงตำแหน่งของข้อมูล (Logical Address) ของแต่ละกลุ่ม (Memory Bank) ดังรูปที่ 2.16 [33] Business Data คือ ส่วนที่เป็นรหัส EPC ของ EPC Memory และ User Memory เป็นข้อมูลที่บอกถึงการบ่งชี้วัตถุ (Physical Object) ให้มีค่าเฉพาะตัวไม่ซ้ำกับป้าย RFID อื่น โดยข้อมูลเหล่านี้จะใช้ในการประมวลผลเพื่อระบุข้อมูลที่อยู่ในป้าย RFID เพื่อทำขบวนการในขั้นตอนการผลิต ถัดไป Control Information คือ ส่วนที่เป็นข้อมูลเพื่อใช้ควบคุมการติดต่อสื่อสารของป้าย และ Tag Manufacture Information คือ ส่วนที่เป็นข้อมูลเพื่อบ่งชี้รหัสผู้ผลิต (Manufacturer ID) และรหัสบ่งชี้รุ่นของผลิตภัณฑ์ (Serial Number) โดยจะทำหน้าที่เหมือน Control Information และโดยทั่วไปไม่ได้นำข้อมูลนี้ไปใช้ต่อในขบวนการผลิตเหมือน Business Data รายละเอียดของแต่ละหน่วยความจำ (Logical Memory Bank) มีดังนี้



รูปที่ 2.16 ตำแหน่งของข้อมูล (Logical Address) ของแต่ละกลุ่ม (Memory Bank) [33]

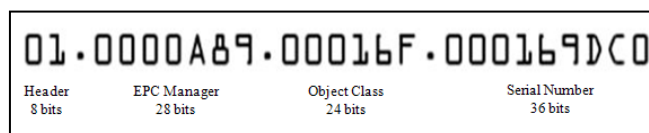
- กลุ่มการจัดเก็บข้อมูลแบบ Reserved Memory [32]
ประกอบด้วยหน่วยความจำประเภท Kill Password จำนวน 32 บิต ที่ตำแหน่ง 00h – 1Fh และหน่วยความจำประเภท Access Password จำนวน 32 บิต ที่ตำแหน่ง 20h – 3Fh
- กลุ่มการจัดเก็บข้อมูลแบบ EPC (Electronic Product Code) Memory
ประกอบด้วยหน่วยความจำประเภท Cyclic Redundancy Check (CRC-16) จำนวน 16 บิต ที่ตำแหน่ง 00h – 0Fh หน่วยความจำถัดไปคือ Protocol Control (PC) จำนวน 16 บิต ที่ตำแหน่ง 10h – 1Fh และหน่วยความจำถัดไปคือ Code ซึ่งระบุตามมาตรฐานระบบ EPC จำนวน 96 บิต โดยเริ่มที่ตำแหน่ง 20h และป้ายที่มี Extended Protocol Control (XPC) เริ่มที่ตำแหน่ง 210h
- กลุ่มการจัดเก็บข้อมูลแบบ TID (Tag Identification) Memory [33]
ประกอบด้วยหน่วยความจำประเภท Unique ID (UID) ตามมาตรฐาน ISO/IEC 15963 จำนวน 8 บิต ที่ตำแหน่ง 00h – 07h หน่วยความจำถัดไปคือ Mask Designer Identifier (MDID) จำนวน 12 บิต ที่ตำแหน่ง 08h – 13h หน่วยความจำถัดไปคือ Tag Model Number (TMN) จำนวน 12 บิต ที่ตำแหน่ง 14h– 1Fh และหน่วยความจำถัดไปคือ Serialized Tag Identification (STID) ซึ่งเป็นส่วนเพิ่มเติมขึ้นมาสำหรับบางป้ายที่มี โดยการระบุให้ป้ายนี้มีค่าเฉพาะตัวของแต่ละป้าย (Physical object)
- กลุ่มการจัดเก็บข้อมูลแบบ User Memory [33]
ประกอบด้วยหน่วยความจำที่สามารถให้ผู้ใช้งานบันทึกข้อมูลได้ จำนวนหน่วยความจำขึ้นอยู่กับารออกแบบป้าย โดยมีหลายขนาดให้เลือกใช้ เช่น 96 บิต 256 บิต หรือ 512 บิต เป็นต้น

คือ โครงสร้างในการกำหนดเลขรหัสให้กับสินค้า [8] โดยได้เริ่มขึ้นจากศูนย์วิจัย Auto-ID center ของสถาบันเทคโนโลยีแมตสซาซุเซตส์ (MIT) ซึ่งก่อตั้งเมื่อปี ค.ศ.1999 ได้ร่วมมือกับบริษัทอุตสาหกรรมชั้นนำและศูนย์วิจัยจากมหาวิทยาลัยชั้นนำ 5 แห่งจากทั่วโลก เพื่อร่วมกันสร้างมาตรฐานทางเทคโนโลยีและระบบต่างๆที่เกี่ยวข้องกับ RFID สำหรับนำเทคโนโลยี RFID ไปสร้าง พัฒนา และประยุกต์ใช้งาน โดยในปี ค.ศ.2003 EPCglobal ได้ถูกสร้างขึ้นจากความร่วมมือกันระหว่าง Uniform Code Council, Inc. (UCC) และ EAN International (EAN) กำหนดมาตรฐานต่างๆของ EPC Network Standard โดยปัจจุบัน EPCglobal, Inc. (GS1) เป็นผู้ดูแล ซึ่งเป็นมาตรฐานในการกำหนดเลขรหัสเพื่อบ่งชี้สินค้าแต่ละหน่วยย่อยของสินค้าให้ไม่ซ้ำกันและประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคโนโลยี RFID เพื่อใช้บ่งชี้สินค้า ทำให้เกิดประสิทธิภาพต่อห่วงโซ่อุปทานเป็นอย่างมาก

รหัสระบบ EPC คือโครงสร้างเลขรหัสที่อยู่ในไมโครชิพของป้าย RFID Tags เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลที่ปล่อยสัญญาณส่งไปให้เครื่องรับเพื่อบ่งชี้รหัสเฉพาะตัวของสินค้าแต่ละชิ้นโดยมีพื้นที่หน่วยความจำ 96 บิต แบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลัก ดังรูปที่ 2.17 โดยแต่ละส่วน คือ

Header	จำนวน 8 บิต	ระบุ ส่วนหัว กำหนดโครงสร้างเวอร์ชัน รุ่นของรหัส EPC
EPC Manager	จำนวน 28 บิต	ระบุหมายเลขผู้จัดการ กำหนดชื่อบริษัทหรือหน่วยงาน
Object Class	จำนวน 24 บิต	ระบุ ระดับชั้นของวัตถุ กำหนดชื่อสินค้า
Serial Number	จำนวน 36 บิต	ระบุ กำหนดรหัสเฉพาะของสินค้าแต่ละชิ้น

Electronic Product Code Type 1



รูปที่ 2.17 รหัสระบบ EPC (Electronic Product Code Type 1) [35]

2.3.4.3 ประเภทของป้าย RFID (EPC™ Tag Classifications) [1,8]

EPCglobal, Inc. ได้แบ่งป้ายออกเป็น 6 ประเภท คือ กลุ่ม (Class) 0-5 โดยมีลักษณะเฉพาะแตกต่างกันในแต่ละกลุ่ม ซึ่งนิยมใช้งานในป้ายระดับชั้น 0 - 4 [36] จำแนกได้ดังนี้

1. ป้ายระดับชั้น 0 (Class 0) สำหรับป้ายแบบแพสซีฟ หมายเลขรหัส EPC ถูกระบุจากบริษัทผู้ผลิตซึ่งไม่สามารถเขียนข้อมูลลงได้อีก สามารถอ่านข้อมูลได้อย่างเดียว นำไปประยุกต์ใช้งานเพื่อระบุตัวตนของวัตถุเท่านั้น ทำให้การทำงานไม่ซับซ้อน และมีราคาต่ำ
2. ป้ายระดับชั้น 1 (Class 1) สำหรับป้ายแบบแพสซีฟ ผู้ใช้งานสามารถเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำได้หนึ่งครั้ง สามารถอ่านข้อมูลได้หลายครั้ง ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบันโดยทำงานร่วมกับมาตรฐาน ISO/IEC
3. ป้ายระดับชั้น 2 (Class 2) สำหรับป้ายแบบแพสซีฟ ผู้ใช้งานสามารถอ่านและเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำได้หลายครั้ง และมีฟังก์ชันการควบคุมการยืนยันตัวตนและด้านความปลอดภัย

4. ป้ายระดับชั้น 3 (Class 3) สำหรับป้ายแบบกึ่งพาสซีฟ โดยผู้ใช้งานสามารถอ่านและเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำได้หลายครั้ง มีวงจรเซ็นเซอร์และด้านความปลอดภัยในตัวป้าย
5. ป้ายระดับชั้น 4 (Class 4) สำหรับป้ายแบบแอ็กทีฟ มีแหล่งกำเนิดพลังงานภายในตัวป้าย โดยผู้ใช้งานสามารถอ่านและเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำได้หลายครั้ง มีวงจรเซ็นเซอร์และด้านความปลอดภัยในตัวป้าย ทำเครือข่าย Ad hoc
6. ป้ายระดับชั้น 5 (Class 5) สำหรับป้ายแบบแอ็กทีฟที่สามารถติดต่อสื่อสารกับป้ายอื่นๆได้ หรือเรียกว่า ป้ายเครื่องอ่าน (Reader tags) ทำเครือข่าย Intelligent wireless network

ดังตารางที่ 2.13 แสดงรายละเอียดสรุปป้ายทั้ง 6 ประเภท ซึ่งแบ่งเป็นกลุ่ม (Class) ที่ระดับชั้น 0 - 5 โดยพิจารณาเปรียบเทียบ ด้านหน่วยความจำ ความสามารถของโปรแกรมที่ใช้งาน แหล่งกำเนิดพลังงานภายใน ช่องทางการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและป้าย และด้านราคา

ตารางที่ 2.13 ประเภทของป้าย RFID [1,2,8,36]

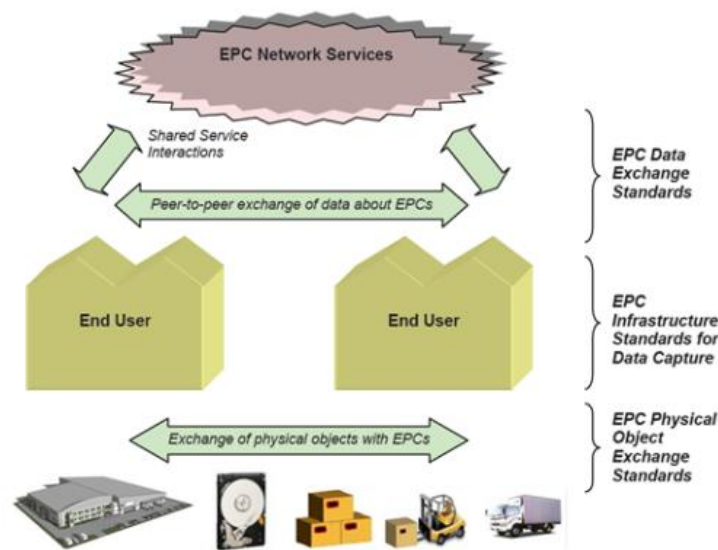
EPC Class	หน่วยความจำ	โปรแกรม	แหล่งกำเนิดพลังงานภายใน	การติดต่อสื่อสาร	ราคา
Class 0	Read-only Passive tags	ทำโดยบริษัทผู้ผลิต อ่านได้อย่างเดียว	ไม่มี	Backscatter	ต่ำ
Class 1	Write-Once-Read-Many Passive tags	ผู้ใช้งานสามารถเขียนข้อมูลได้หนึ่งครั้ง อ่านได้หลายครั้ง	ไม่มี	Backscatter	ต่ำ
Class 2	Re-Writable Passive tags	ผู้ใช้งานสามารถอ่านเขียนข้อมูลได้หลายครั้ง	ไม่มี	Backscatter	ปานกลาง
Class 3	Semi-Passive tags	ผู้ใช้งานสามารถอ่านเขียนข้อมูลได้หลายครั้ง	แบตเตอรี่	Backscatter	สูง
Class 4	Active tags	ผู้ใช้งานสามารถอ่านเขียนข้อมูลได้หลายครั้ง	แบตเตอรี่	Active Transmission	สูง

Class 5	Active tags / Reader tags	อ่านหรือเขียนได้ไม่จำกัด	แบตเตอรี่	Active Transmission	สูงมาก
---------	------------------------------	--------------------------	-----------	------------------------	--------

2.3.4.4 EPCglobal Architecture Framework [37]

โครงสร้างของ EPCglobal แสดงถึงความสัมพันธ์ต่อผู้ใช้และการนำไปประยุกต์ใช้งาน โดยแบ่งเป็นจุดประสงค์ของการทำงานในแต่ละกลุ่มเพื่อให้ผู้ใช้งานเข้าใจร่วมกันและนำไปพัฒนา ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่ม แสดงดังรูปที่ 2.18 ได้แก่

1. EPC Physical Object Exchange สินค้าที่มีการระบุป้ายรหัสเฉพาะตัวของรหัส EPC ที่อยู่ในสายห่วงโซ่อุปทาน เพื่อบ่งชี้ว่าสินค้าเหล่านี้ได้ถูกระบุตัวตน และผ่านขบวนการรับส่งสินค้าหรือผ่านการตรวจสอบ ซึ่งใช้หมายเลข EPC ที่อยู่บนสินค้าเป็นตัวกลางในการบ่งชี้สินค้าให้ผู้ใช้งานเข้าใจตรงกันได้
2. EPC Infrastructure for Data Capture ผู้ใช้งานนำรหัสเฉพาะตัวของรหัส EPC ที่อยู่บนสินค้ามาเป็นตัวกลางในการบ่งชี้สินค้า นำข้อมูลที่ระบุมาใช้ร่วมกัน
3. EPC Data Exchange การบันทึกและจัดเก็บข้อมูลของรหัส EPC ให้อยู่ในระบบ ผู้ใช้งานสามารถบันทึก เก็บข้อมูล หรือดึงข้อมูลมาใช้งานได้

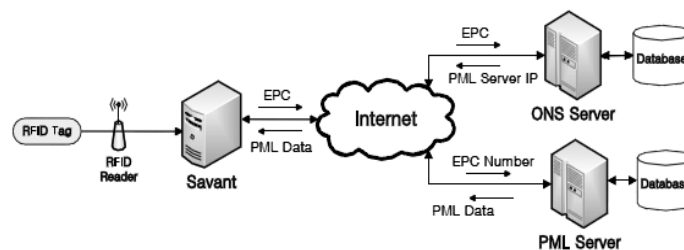


รูปที่ 2.18 Architecture Framework Overview

เครือข่ายของ EPCglobal ประกอบด้วยรหัส EPC, เทคโนโลยี RFID, โปรแกรมสนับสนุนมาตรฐาน EPCglobal และอื่นๆ เพื่อให้บริการด้านต่างๆ ได้แก่ การกำหนดหมายเลขรหัสเฉพาะที่เป็นหนึ่งเดียวของสินค้าที่ต้องการระบุตัวตน การตรวจหาและระบุตัวตนของสินค้า การรวบรวมและกรองข้อมูล โดยอยู่ในส่วนของการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านและฐานข้อมูล และข้อมูลที่สำคัญจะถูกบันทึกในฐานข้อมูล การสอบถามและการจัดเก็บข้อมูล และการระบุตำแหน่งของสินค้าและข้อมูล

2.3.4.5 RFID Network [38]

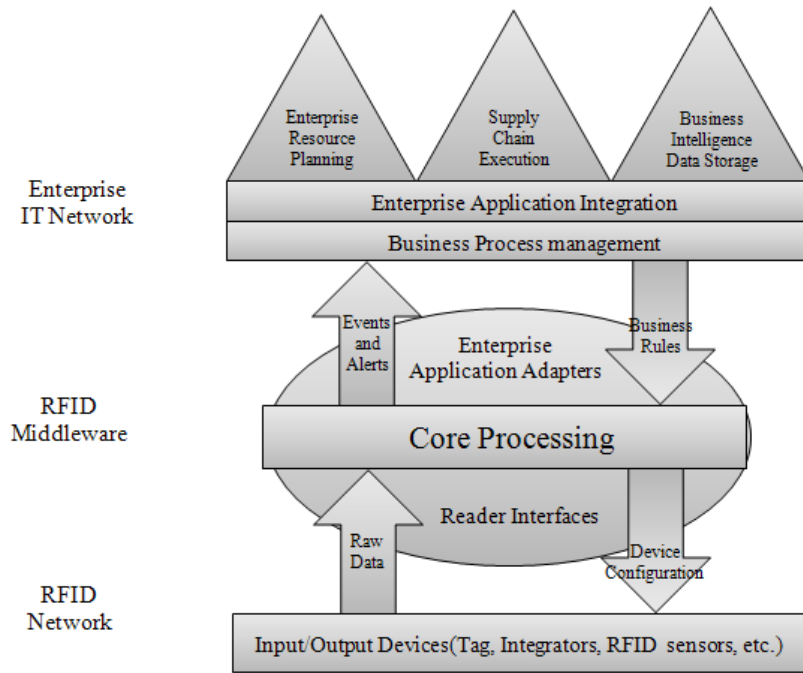
เครือข่าย RFID ประกอบด้วยเครื่องอ่านที่อ่านข้อมูลที่อยู่ในป้ายโดยอาศัยสัญญาณคลื่นวิทยุเพื่อติดต่อสื่อสารกับป้าย มิดเดิลแวร์ (Middleware) จะทำการเชื่อมข้อมูลต่างๆที่ได้รับให้กับโปรแกรมและระบบฐานข้อมูลสำหรับระบบระบุรหัสเฉพาะเพื่อบ่งชี้วัตถุ จากรูปที่ 2.19 ศูนย์วิจัย Auto-ID center ได้ออกแบบระบบเครือข่าย RFID เรียกว่า Savant model โดยเครื่องอ่านได้รับข้อมูลที่ส่งมาจากป้ายในรูปของรหัส EPC และส่งผ่านมาให้คอมพิวเตอร์ (Savant) ซึ่งจะส่งรหัส EPC ที่ได้รับต่อไปยัง Object Name Service (ONS) ที่เชื่อมต่อกับฐานข้อมูลและส่วน Physical Markup Language (PML) ส่งข้อมูลกลับออกไปยัง Savant



รูปที่ 2.19 RFID Network

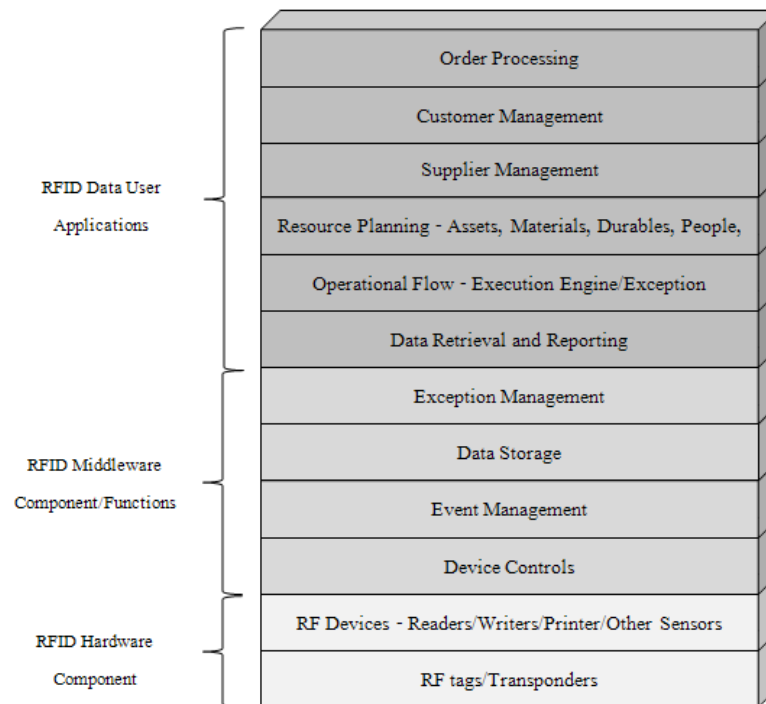
2.3.4.6 RFID Middleware [8, 38,39]

มิดเดิลแวร์ (Middleware) เป็นโปรแกรมที่ติดต่อกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ RFID ที่มีการเชื่อมโยงระบบไอทีที่องค์กร (Enterprise IT Systems) โดยเชื่อมโยงกับระบบเครือข่าย RFID กับระบบไอทีขนาดใหญ่ มิดเดิลแวร์ (Middleware) ทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลของรหัสเฉพาะและข้อมูลของป้าย การกรองข้อมูล และประมวลผลแบบทันที (Real-time) เพื่อเก็บข้อมูลเหล่านี้ในฐานข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ต่อไป จากรูปที่ 2.20 แสดงความสัมพันธ์ของมิดเดิลแวร์ (Middleware) กับเครือข่าย RFID และระบบไอทีขนาดใหญ่ขององค์กร



รูปที่ 2.20 ความสัมพันธ์ของมิดเดิลแวร์ (Middleware) กับเครือข่าย RFID และระบบไอที [8]

จากความสัมพันธ์จากรูปที่ 2.20 สามารถแจกแจงและแสดงตัวอย่างรูปแบบโปรแกรมการใช้งาน การควบคุมระบบต่างๆในแต่ละกลุ่มซึ่งต่างมีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกันดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 รูปแบบโปรแกรมการใช้งาน การควบคุมระบบต่างๆ [1]

2.3.4 มาตรฐาน ISO/IEC [1]

มาตรฐาน International Organization for Standardization (ISO) และ International Electrotechnical Commission (IEC) ร่วมกับ Joint Technical Committee1 (JTC1) ภายใต้กลุ่มการทำงาน SC31 ซึ่งกลุ่ม WG4 (Working Group 4) ได้อธิบายรายละเอียดเกี่ยวกับมาตรฐาน RFID (RFID Air-Interface Standards) สำหรับบ่งชี้ตัวสินค้าภายใต้มาตรฐานกลุ่ม ISO/IEC 18000 แบ่งออกได้เป็น 6 ส่วน คือ

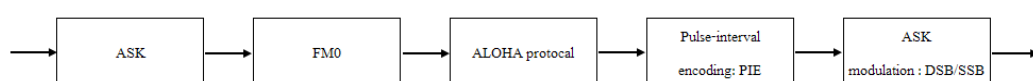
1. ISO/IEC 18000-1: Generic Parameters for the Air Interface for Globally Accepted Frequencies
2. ISO/IEC 18000-2: Parameters for Air Interface Communications below 135 KHz
3. ISO/IEC 18000-3: Parameters for Air Interface Communications at 13.56 MHz
4. ISO/IEC 18000-4: Parameters for Air Interface Communications at 2.45 GHz
5. ISO/IEC 18000-6: Parameters for Air Interface Communications at 860-960 MHz
6. ISO/IEC 18000-7: Parameters for Air Interface Communications at 433 MHz

2.3.5 มาตรฐาน ISO/IEC 18000-6 [1, 40]

เป็นมาตรฐานที่นิยมใช้ในระบบห่วงโซ่อุปทานเพราะความยาวคลื่นขนาดปานกลางขนาด 860-960 MHz มีความเร็วในการติดต่อสื่อสารส่งผ่านข้อมูลที่บ่งชี้ตัวสินค้าได้ดี ลักษณะการทำงานเป็นแบบการกระจายย้อนกลับ (back scatter) สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทตามลักษณะการเข้ารหัสข้อมูลแบบต่างๆ ได้แก่

2.3.6.1 Type A [1]

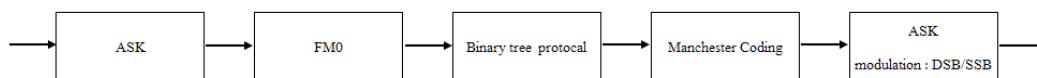
ใช้การเข้ารหัสข้อมูลแบบ ALOHA และ Pulse-interval encoding (PIE) จากรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 Type A interrogator architecture

2.3.6.2 Type B [1]

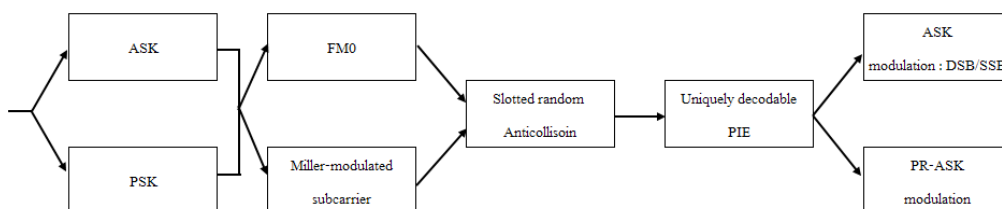
ใช้การเข้ารหัสข้อมูลแบบ Binary-tree collision-arbitration และ Manchester จาก รูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 Type B interrogator architecture

2.3.6.3 Type C [1]

ใช้การเข้ารหัสข้อมูลแบบ double-sideband amplitude-shift keying (DSB-ASK) หรือ single-sideband amplitude-shift keying (SSB-ASK) หรือ phase-reversal amplitude-shift keying (PR-ASK) และ PIE จากรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 Type C interrogator architecture

จากมาตรฐาน ISO/IEC 18000-6 (Type C) โดยทั่วไป ป้ายประเภทความถี่สูงย่าน UHF นิยมใช้ที่มาตรฐานย่านความถี่ 900 MHz Class 0 (RO) และย่านความถี่ 860-930 MHz Class 1 (WORM) ในระยะแรกกำหนดให้มี Class 0 และ Class 1 Gen1 แต่พบว่า เครื่องอ่านเครื่องเดียวกันไม่สามารถอ่านป้ายทั้งคู่ได้ ต้องใช้เครื่องอ่านเฉพาะอ่านป้ายแต่ละประเภท ดังนั้นจึงได้พัฒนามาเป็น Class 1 Gen 2 (Type C) ที่เครื่องอ่านสามารถอ่านได้ทุกป้ายในย่านความถี่เดียวกันนี้อีกทั้งมีความสามารถในการอ่านและเขียนข้อมูลอย่างรวดเร็ว ในปัจจุบันจึงนิยมใช้มาตรฐานแบบ ISO/IEC 18000-6C Class 1 Gen 2 (Read and Write many times) อย่างกว้างขวางโดยเป็นมาตรฐานสากลที่ได้ประกาศตาม EPC Global Tags Standard V.1.3 เมื่อวันที่ 8 มีนาคม 2006 เป็นมาตรฐานที่ใช้สำหรับ RFID Class 1 Generation 2 (860 MHz – 930 MHz Class 1 Radio Frequency (RF) Identification Tag Specification)

2.3.7 การนำเทคนิคการบีบอัดข้อมูลมาใช้กับหน่วยความจำของป้าย RFID

จากการศึกษาตัวอย่างงานวิจัยที่นำเทคนิคการเข้ารหัสข้อมูลด้วยวิธีต่างๆ ลงบันทึกในป้าย RFID งานวิจัยหัวข้อ “The application of LZSS in the RFID tags” [41] ได้นำเทคนิคการบีบอัดข้อมูลแบบไม่สูญเสีย โดยนำไปประยุกต์ใช้กับข้อมูลที่จะนำไปเขียนลงบนป้าย RFID ซึ่งทดสอบกับ

ระบบเทคโนโลยีบังคับด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) ที่ย่านความถี่ 13.56 MHz ภายใต้มาตรฐาน ISO/IEC 15961-3 เลือกทดสอบกับป้าย RFID สำหรับใช้งานในอุตสาหกรรมยานยนต์ โดยมีค่าความจุของแต่ละรหัสที่ใช้บังคับตามข้อมูลที่บันทึกลงป้าย ตามตารางที่ 2.14 โดยในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบที่ค่าความจุของข้อมูล (Objects of data are identified) ขนาด 10 Kbyte เพื่อนำมาทดสอบด้วยเทคนิคการบีบอัดข้อมูลแบบ Huffman, LZ77, LZW และ LZSS

ตารางที่ 2.14 รายละเอียดข้อมูลและความจุ

ลำดับ	รายละเอียด	ชนิดของข้อมูล	ความจุ (ไบต์)
1	Tag's own unique identifier	Char	8
2	Application Flag Identifier	Char	1
3	Storage format logo	int	1
4	Category identification code	int	8
5	Registration Management structure code	int	1
6	Objects of data are identified	char	10k

โดยพบว่าอัตราส่วนขนาดข้อมูลที่ได้จากการบีบอัดต่อขนาดข้อมูลก่อนการเข้ารหัส มีค่าดังตารางที่ 2.15 โดยเทคนิคการเข้ารหัสแบบ LZSS ได้ 41% แสดงให้เห็นว่าขนาดข้อมูลที่ได้จากการบีบอัดมีค่าน้อยกว่าเทคนิคการเข้ารหัสวิธีอื่น และได้ทำการทดลองเพิ่มโดยศึกษาเวลาที่ได้ใน การเข้ารหัสและถอดรหัสข้อมูล พบว่าความเร็วของการเข้ารหัสแบบ Huffman ใช้เวลามากที่สุดทั้งการเข้ารหัสและถอดรหัส ส่วนการเข้ารหัสแบบ LZSS ใช้ความเร็วเร็วที่สุด ดังตารางที่ 2.16 ดังนั้นการเข้ารหัสแบบ LZSS จึงเป็นเทคนิคการเข้ารหัสที่เร็วกว่าวิธีอื่นที่ใช้ในการเปรียบเทียบนี้

ตารางที่ 2.15 อัตราส่วนการบีบอัดข้อมูล

Algorithm	ขนาดข้อมูลที่ได้หลังการบีบอัดเทียบกับก่อนการเข้ารหัส
Huffman	61 %
LZ77	60 %
LZW	51 %
LZSS	41 %

ตารางที่ 2.16 เวลาที่ใช้ในการเข้ารหัสและถอดรหัส

Algorithm	เวลาที่ใช้ในการเข้ารหัส (วินาที)	เวลาที่ใช้ในการถอดรหัส(วินาที)
Huffman	4.21	3.13
LZ77	3.11	1.66
LZW	1.63	0.81
LZSS	1.62	0.35

จากนั้นจึงนำทดลองกับข้อมูลที่มีขนาดความจุ 10 Kbyte ที่ย่านความถี่ 13.56 MHz ได้ขนาดความจุของข้อมูลหลังจากการเข้ารหัสแล้วเหลือ 3.6 Kbyte (36%) เวลาในการเข้ารหัสลดลง 0.483 วินาทีเมื่อเทียบกับการเข้ารหัสโดยไม่ได้ผ่านเทคนิคการบีบอัด จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเข้ารหัสแบบ LZSS มีประสิทธิภาพในการบีบอัดข้อมูล สามารถลดเวลาในการเข้ารหัสและถอดรหัสได้ดีกว่าวิธี Huffman, LZ77 และ LZW โดยไม่มีผลกระทบต่ออัตราการติดต่อสื่อสารข้อมูลของระบบเทคโนโลยีป้องกันการขโมยข้อมูล (RFID)

จากการศึกษาวิจัยของทดลองข้างต้นซึ่งทดลองการเข้ารหัสกับป้าย RFID ที่ย่านความถี่ 13.56 MHz ดังนั้น จึงนำไปประยุกต์การเข้ารหัสข้อมูลกับป้าย RFID แบบแพสซีฟ EPC Class 1 Gen 2 ที่ย่านความถี่ UHF 860-960 MHz ซึ่งเป็นป้ายที่นิยมใช้ในระบบโลจิสติกส์และสินค้าคงคลัง โดยได้ออกแบบการทดลองในบทที่ 3 และการทดลองในบทที่ 4

บทที่ 3

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการทดลองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์วิจัย ประกอบไปด้วย สอง ส่วนหลัก คือ หน่วยประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) ดังนี้

3.1.1 หน่วยประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ ประกอบไปด้วย

1. คอมพิวเตอร์

- Intel Core Duo Processor T2050 (1.73GHz, 2MB L2 Cache)
- 1.50 GB DDR2-RAM



รูปที่ 3.1 เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับประมวลผล

2. โปรแกรมที่ใช้เพื่อทำการบีบอัดข้อมูล อ่านและเขียนข้อมูลลงป้าย

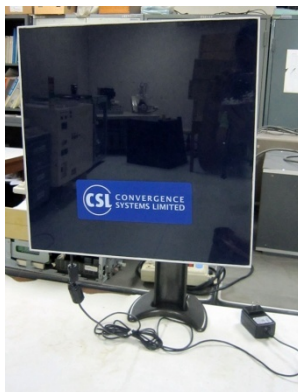
- Microsoft Visual Studio : C#
- Read/ Write Program ของเครื่องอ่าน

3.1.2 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบเทคโนโลยีบังคับใช้คลื่นความถี่วิทยุ (RFID) ประกอบไปด้วย

1. เครื่องอ่านและเขียนข้อมูลลงป้าย (RFID Reader)

UHF Reader - Integrated Antenna (Built Circular Polarized Antenna)

- Frequency : UHF (920-925 MHz)
- Protocol : EPC Class 1 Gen 2
- Connectivity: TCP/IP , POE
- External Control : 2xGPO , 2xGPI
- Read range: 7-8 M.
- Power : 48 V.
- Dimension : 30 x 30 x 4 cm.
- Weight : 5 lbs.



รูปที่ 3.2 เครื่องอ่านและเขียนข้อมูลลงป้าย

2. ป้าย (Tags)

ชนิดที่ 1 UHF label

- IC design : Monza 4 [42]
- Frequency : UHF (920-925 MHz)

- Protocol : EPC Class 1 Gen 2
- EPC/ User Memory : 96 bits/512 bits
- Dimension : 92 x 12 mm.



รูปที่ 3.3 ป้ายชนิดที่ 1 (Monza 4)

ชนิดที่ 2 UHF label

- IC design : UCODE G2XM [43]
- Frequency : UHF (860-960 MHz)
- Protocol : EPC Class 1 Gen 2
- EPC/ User Memory : 240 bits/512 bits
- Dimension : 95 x 5.5 mm.



รูปที่ 3.4 ป้ายชนิดที่ 2 (UCODE G2XM)

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์อื่นๆ

3.2.1 กล่องบรรจุหีบห่อ เพื่อเป็นต้นแบบทดสอบจำนวน 30 กล่อง

- Dimension : W380 x L480 x H330 mm.
- Carton : KA230/CA125/KA230CF



รูปที่ 3.5 กล่องบรรจุหีบห่อ

3.2.2 ชั้นไม้วางกล่อง (Pallet)

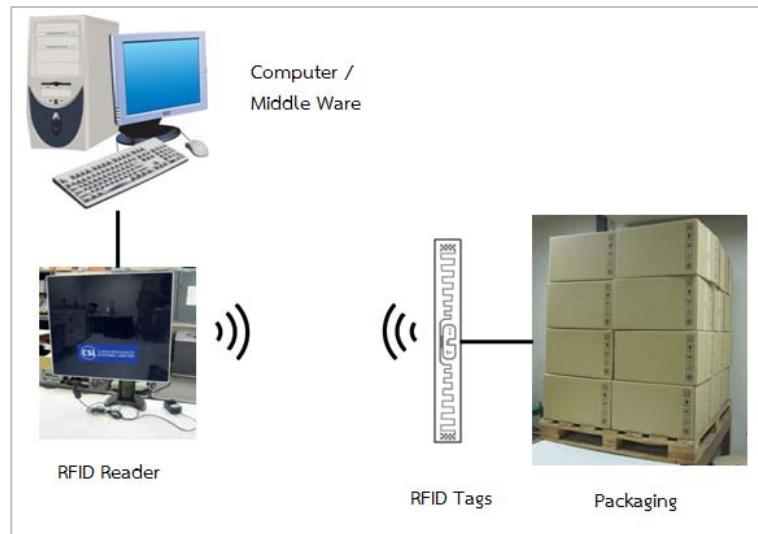
- Dimension : W1016 x L1219 x H127 mm.
- Material : Wood



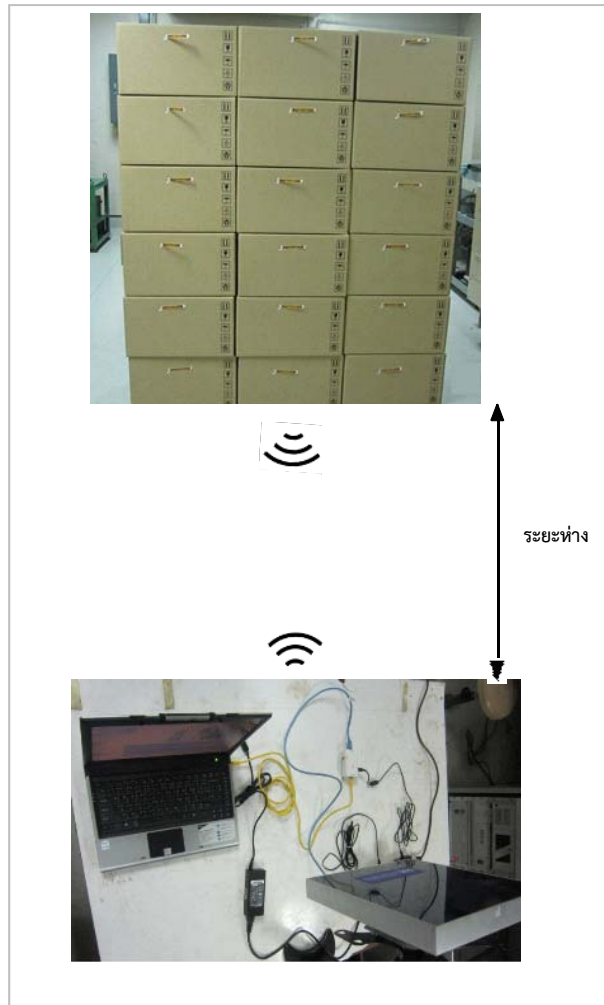
รูปที่ 3.6 ชั้นไม้วางกล่อง (Pallet)

3.2.3 ตลับเมตรวัดระยะ

3.2.4 ข่ายึดเครื่องอ่านและเขียนข้อมูลลงป้าย



รูปที่ 3.7 โครงสร้างอุปกรณ์และการเชื่อมต่อ



รูปที่ 3.8 ภาพถ่ายจริงของอุปกรณ์และการเชื่อมต่อที่ห้องปฏิบัติการ

จากรูปที่ 3.7 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ของระบบเทคโนโลยีบังคับด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) เชื่อมต่อเข้ากับหน่วยประมวลผลผ่านทางคอมพิวเตอร์ และ รูปที่ 3.8 แสดงภาพถ่ายจริงของอุปกรณ์และการเชื่อมต่อที่ห้องปฏิบัติการ เพื่อจำลองการทำงานของกระบวนการระบุรหัสสินค้าและตรวจสอบสินค้าที่กล่องบรรจุหีบห่อ ซึ่งลำดับการทำงาน เริ่มจาก โปรแกรมประมวลผลข้อมูลที่เป็นรหัสเฉพาะของสินค้าในกล่อง ได้ทำการบีบอัดข้อมูล จากนั้นจึงเขียนบนป้าย กระบวนการนี้เป็นการบันทึกข้อมูลเฉพาะของสินค้าลงบนป้าย แล้วนำแผ่นป้ายไปติดลงทุกกล่อง เพื่อระบุสินค้าประจำกล่อง กระบวนการถัดมา เป็นการตรวจสอบสินค้าที่อยู่ในกล่อง ซึ่งวางบนชั้นไม้วางกล่อง (Pallet) เพื่อทำการตรวจสอบสินค้าภายในกล่องให้ถูกต้องเรียบร้อยก่อนส่งไปยังลูกค้าต่อไป

3.3 ศึกษาปัญหาของขบวนการปัจจุบัน

กระบวนการทำงานในปัจจุบัน ประกอบด้วย

- การระบุเลขกล่องของสินค้า
- การตรวจสอบชนิดสินค้าและจำนวนในกล่อง
- การตรวจสอบเลขกล่องของสินค้าชั้นไม้วางกล่อง (Pallet)
- การตรวจสอบชนิดสินค้าและจำนวนบนชั้นไม้วางกล่อง (Pallet)

โดยมีรายละเอียดแต่ละหัวข้อ ดังนี้

3.3.1 การระบุเลขกล่องและนับจำนวนของสินค้า (Final packing process)

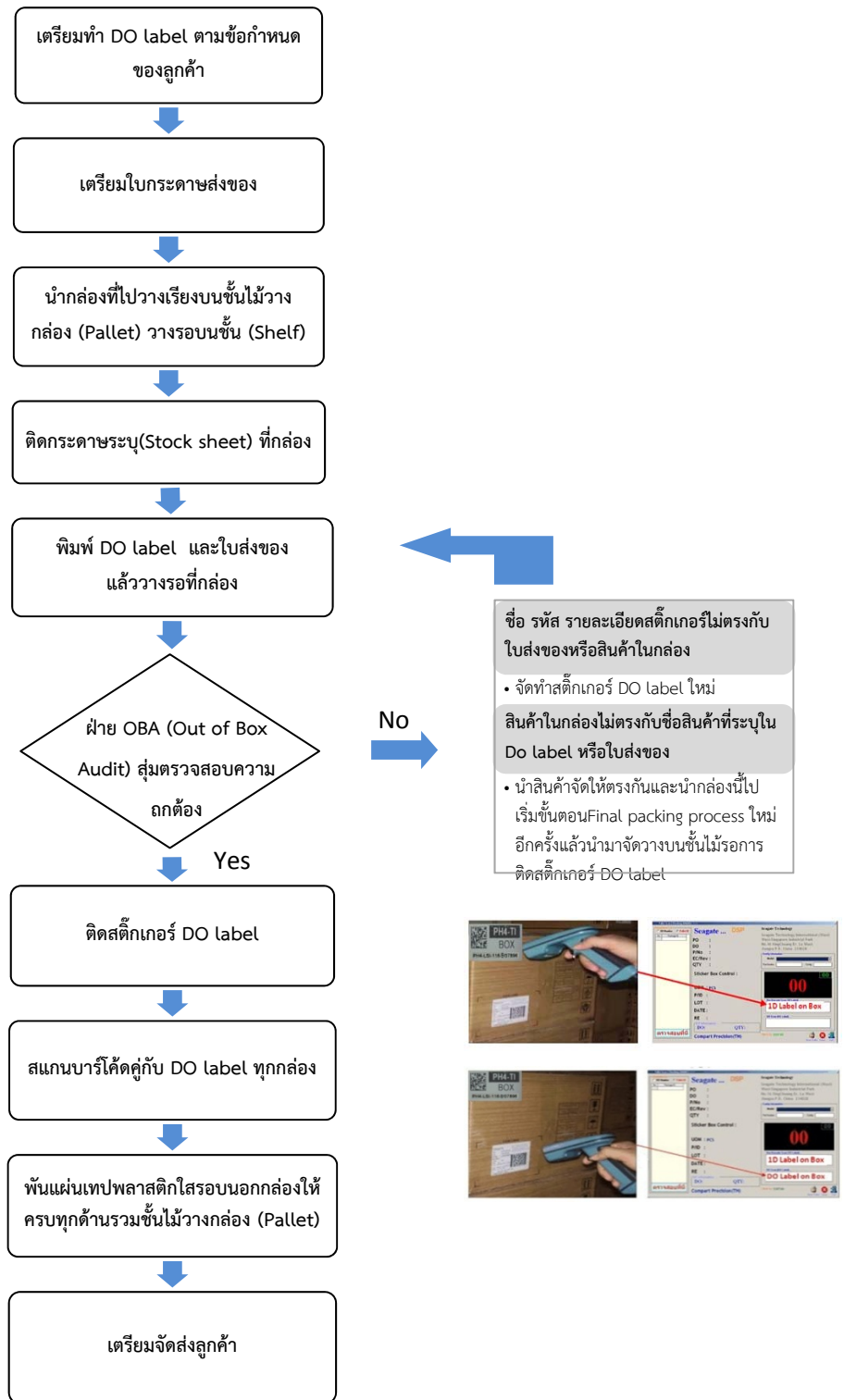
ในขบวนการระบุเลขกล่องและนับจำนวนของสินค้า แบ่งชนิดของบรรจุภัณฑ์สินค้าออกเป็น 2 ประเภท คือ ชนิดห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกสองชุดในหนึ่งกล่องบรรจุหีบห่อ และชนิดห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกสี่ชุดในหนึ่งกล่องบรรจุหีบห่อ โดยเริ่มจากรับห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ถูกส่งมาจากสายงานของขบวนการผลิตภายใต้ห้องสะอาด (Cleanroom) โดยขึ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ถูกบรรจุอยู่ในสภาพพลาสติกและห่อด้วยพลาสติก 2 ชั้นติดบาร์โค้ด พนักงานจัดเตรียมกล่องให้ตรงกับชนิดของสินค้าและประกอบกล่องโดยใช้เทปพลาสติกใส จากนั้นเลือกโปรแกรมสแกนบาร์โค้ดให้เหมาะกับชนิดบรรจุภัณฑ์ซึ่งมีสองชนิด คือ ชนิดห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกสองชุดในหนึ่งกล่องบรรจุหีบห่อ และชนิดห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกสี่ชุดในหนึ่งกล่องบรรจุหีบห่อ เพื่อตรวจสอบและนับจำนวนสินค้าในห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกให้ถูกต้องตรงกัน ให้พนักงานสแกนบาร์โค้ดข้างกล่อง และสแกนบาร์โค้ดที่ข้างห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกให้ครบแบบชนิดสองชุดหรือสี่ชุด เมื่อตรวจสอบแล้วพบว่าบาร์โค้ดถูกต้องและสินค้าตรงกันแล้วให้พนักงานบรรจุลงกล่องและปิดผนึกกล่องบรรจุหีบห่อให้เรียบร้อย นำกล่องไปวางเรียงบนชั้นไม้วางกล่อง (Pallet) ที่ Shipping Store โดยการเรียงกล่องบนชั้นไม้วางกล่อง (Pallet) มีสองชนิด คือ จำนวน 24 กล่อง และ 30 กล่อง ขั้นตอนการทำงานของขบวนการนี้ อธิบายได้ดังผังงาน (Flowchart) และรูปประกอบดังแสดงในรูปที่ 3.9

3.3.2 การระบุเลขกล่องชนิดสินค้าและจำนวนบนชั้นไม้วางกล่อง (Shipping process)

ในกระบวนการระบุเลขกล่องชนิดสินค้าและจำนวนบนชั้นไม้วางกล่อง (Pallet) มีขั้นตอนการทำงานเริ่มจาก พนักงานเตรียมป้ายสติ๊กเกอร์ระบุรหัสสินค้าและที่อยู่จัดส่งลูกค้า (DO label) ซึ่งป้ายนี้เป็นความต้องการของลูกค้าที่ต้องจัดทำ เตรียมใบกระดาษส่งของที่ระบุสินค้า พนักงานนำกล่องที่ได้วางเรียงบนชั้นไม้วางกล่อง นำไปวางรอไว้ที่ชั้น (Shelf) ทำกระดาษระบุผลิตภัณฑ์และสถานที่จัดส่งของลูกค้าแล้วนำมาติดไว้ด้านข้างกล่องที่ตำแหน่งวางรอที่ชั้น จากนั้นพนักงานตรวจสอบสินค้าที่ต้องจัดส่ง



รูปที่ 3.9 ผังงาน (Flowchart) ของขั้นตอนการทำงาน Final packing process



รูปที่ 3.10 ผังงาน (Flowchart) ของขั้นตอนการทำงาน Shipping process

และพิมพ์สติ๊กเกอร์ที่มีรายละเอียดของการจัดส่ง นำมาวางเตรียมไว้ที่กล่อง พนักงานฝ่าย OBA (Out of Box Audit) สุ่มตรวจสอบกล่องสินค้าหนึ่งกล่องต่อสินค้าบนหนึ่งชั้นไม้วางกล่อง โดยตรวจสอบสติ๊กเกอร์ ชื่อสินค้า จำนวน และ สินค้าในห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกให้ถูกต้องตรงกัน ปิดปากกล่องให้เรียบร้อยเหมือนเดิม จากนั้นพนักงานจะทำการติดสติ๊กเกอร์ข้างกล่องทุกกล่องที่อยู่บนชั้นไม้วางกล่อง สแกนบาร์โค้ดที่ข้างกล่องคู่กับป้ายสติ๊กเกอร์ระบุรหัสสินค้าและที่อยู่จัดส่งลูกค้า (DO label) จำนวน 24 กล่อง หรือ 30 กล่อง พันแผ่นเทพพลาสติกใสรอบนอกกล่องให้ครบทุกด้านรวมชั้นไม้วางกล่อง แล้วย้ายไปวางรอจัดส่งขึ้นรถ ส่งให้ลูกค้าต่อไป ขั้นตอนการทำงานของขบวนการนี้ อธิบายได้ดังผังงาน (Flowchart) และรูปประกอบดังแสดงในรูปที่ 3.10

3.4 ปัจจัยที่สำคัญในการพิจารณา

จากสองขั้นตอนการทำงานข้างต้น ได้แก่การระบุเลขกล่องและนับจำนวนของสินค้า (Final packing process) และการระบุเลขกล่องชนิดสินค้าและจำนวนบนชั้นไม้วางกล่อง (Shipping process) นั้น พบว่า แต่ละขั้นตอนยังอาศัยพนักงานในการจัดทำ (Manual) เป็นส่วนมากซึ่งต้องอาศัยความถูกต้องในแต่ละวิธี และบางขั้นตอนยังเกิดความซ้ำซ้อนต่อการปฏิบัติงานดังนั้น ปัจจัยที่สำคัญในการพัฒนาขั้นตอนการทำงาน มีดังนี้ ได้แก่

- ข้อมูลเฉพาะตัวสินค้ามีความถูกต้องตรงกับสินค้าในกล่อง
- เวลาที่ปฏิบัติงานซ้ำๆกัน เช่น ขั้นตอนการสแกนบาร์โค้ดที่ห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติก หรือ สแกนบาร์โค้ดคู่กับ DO label ทุกกล่อง
- การตรวจสอบซ้ำจากพนักงานฝ่าย OBA (Out of Box Audit) สุ่มตรวจสอบความถูกต้อง เป็นแบบการจัดทำด้วยการบันทึกลงกระดาษ (Manual)
- เมื่อพบสินค้าในกล่องไม่ตรงกับใบสั่งซื้อหรือเกิดข้อผิดพลาดจากขั้นตอนการทำงาน จะต้องเปิดกล่องเพื่อตรวจสอบใหม่อีกครั้งและเริ่มขั้นตอนการทำงานใหม่ทั้งหมด ซึ่งในบางครั้ง สินค้าได้ถูกส่งไปถึงลูกค้า ทำให้เกิดความเสียหาย สินค้าถูกส่งกลับมาตรวจสอบ และไม่สามารถระบุกล่องที่ผิดพลาดได้ จึงต้องเปิดกล่องทั้งหมด เพื่อตรวจสอบสินค้า ทำให้เกิดมูลค่า (Cost) ในการตรวจสอบ แรงงานพนักงาน ราคาของบรรจุภัณฑ์ชิ้นใหม่ ซึ่งการจัดการสินค้าคงคลังโดยรวมเกิดมูลค่าความเสียหาย
- จำนวนพนักงานในขั้นตอนที่ไม่เกิดมูลค่า (Non-Value Added)
- การบันทึกข้อมูลของกล่องที่ถูกส่งกลับมาว่ามีช่วงระยะเวลาานเท่าใด หรือ เสียหายไปมากน้อยเท่าใด สามารถนำป้ายกลับมาใช้ซ้ำได้

- ความปลอดภัยของสินค้าภายในตัวกล่อง
- ข้อกำหนดที่ไม่สามารถเปลี่ยนได้จากลูกค้าและของบริษัทที่ทำการทดลอง

3.5 เปรียบเทียบขั้นตอนการทำงานของระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วย คลื่นความถี่วิทยุ

เมื่อนำระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) มาใช้แทนระบบรหัสแท่ง จึงได้เปลี่ยนแปลงขั้นตอนการปฏิบัติงานและจัดเรียงขั้นตอนใหม่เพื่อให้เหมาะสมโดยพิจารณาจากปัจจัยที่สำคัญในหัวข้อที่ 3.4 ซึ่งในรูปที่ 3.11 แสดงถึงขั้นตอนการปฏิบัติงานใหม่โดยใช้ระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) ในขั้นตอนของการระบุเลขกล่องและนับจำนวนของสินค้า (Final packing process) และรูปที่ 3.12 แสดงการระบุเลขกล่องชนิดสินค้าและจำนวนบนชั้นไม้วางกล่อง (Shipping process) จากรูปที่ 3.11 ขั้นตอนที่มีการเปลี่ยนแปลงคือ ขั้นตอนการสแกนบาร์โค้ดที่ข้างกล่องและบาร์โค้ดที่ห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกให้ครบแบบชนิดสองชุดหรือสี่ชุด เปลี่ยนเป็นการสแกนเฉพาะบาร์โค้ดที่ห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกให้ครบแบบชนิดสองชุดหรือสี่ชุดแล้วนำป้าย RFID มาติดแทนบาร์โค้ดที่ข้างกล่อง

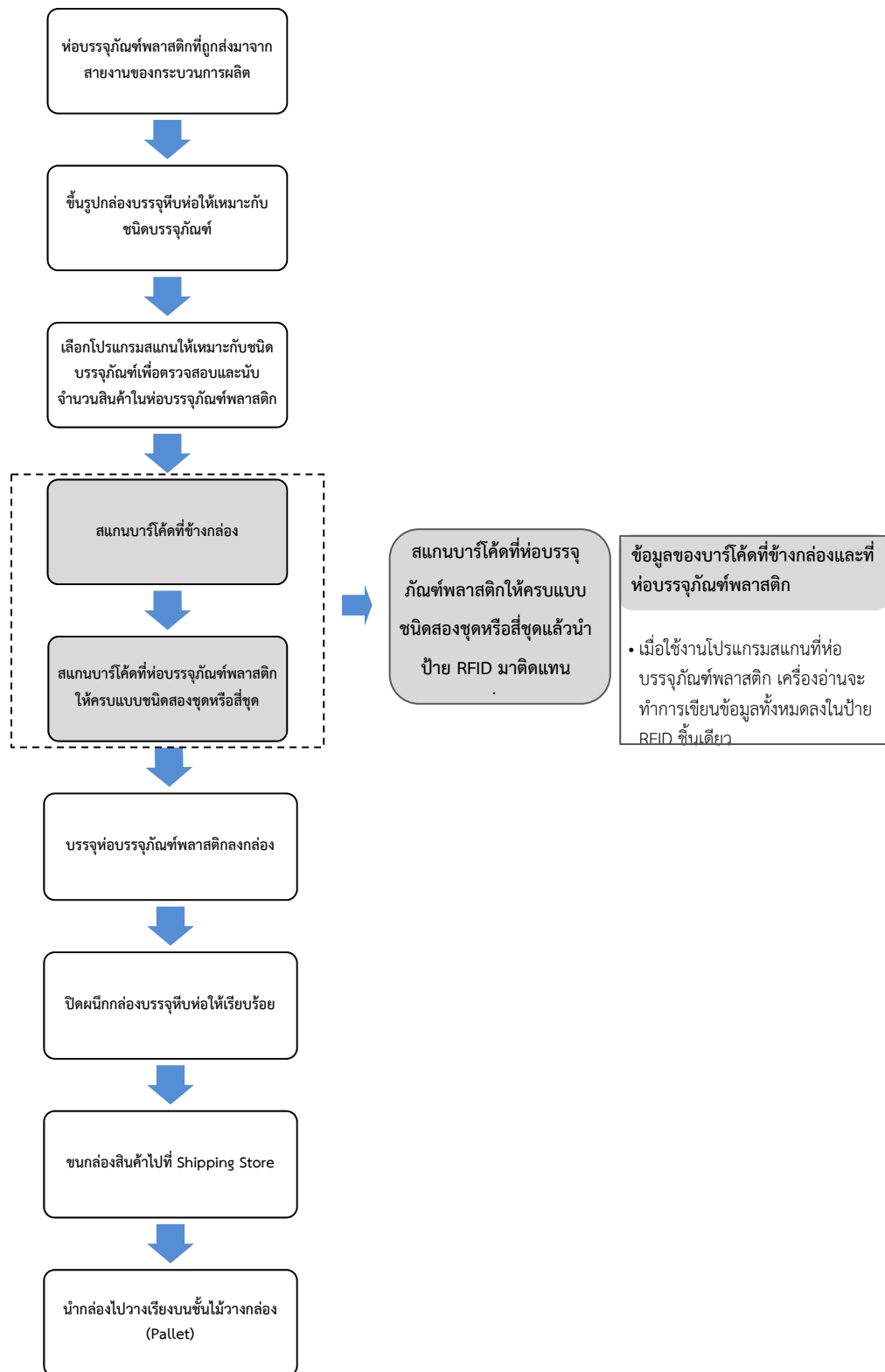
จากรูปที่ 3.12 แสดงขั้นตอนใหม่โดยเริ่มจากการติด DO label และใบส่งของที่กล่อง พนักงานนำกล่องทั้งหมดบนชั้นไม้มาพันด้วยเทปพลาสติกใสรอบนอกกล่องโดยใช้เครื่องพันเทปพลาสติก (Wrap machine) ในขณะเดียวกับเครื่องอ่านได้ทำการอ่านทุกป้ายที่ข้างกล่อง เพื่อเป็นการตรวจสอบสินค้าแทนการสแกนบาร์โค้ดทุกกล่องและการสุ่มตรวจจากฝ่าย OBA (Out of Box Audit) โดยมีหลักการตรวจสอบครอบคลุมถึงแบบเดิมด้วย คือ ตรวจสอบประเภทสินค้า จำนวน เลขที่การผลิต ตรวจสอบสินค้าในกล่องว่าถูกต้องตามใบสั่งซื้อ ซึ่งยังสามารถตรวจสอบได้อีกว่าสินค้าในกล่องมีอะไรบ้างได้ทันที

ดังนั้นรูปที่ 3.13 สรุปขั้นตอนการทำงานใหม่โดยรวมขั้นตอนของการระบุเลขกล่องและนับจำนวนของสินค้า (Final packing process) และการระบุเลขกล่องชนิดสินค้าและจำนวนบนชั้นไม้วางกล่อง (Shipping process) โดยนำระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) มาใช้งาน

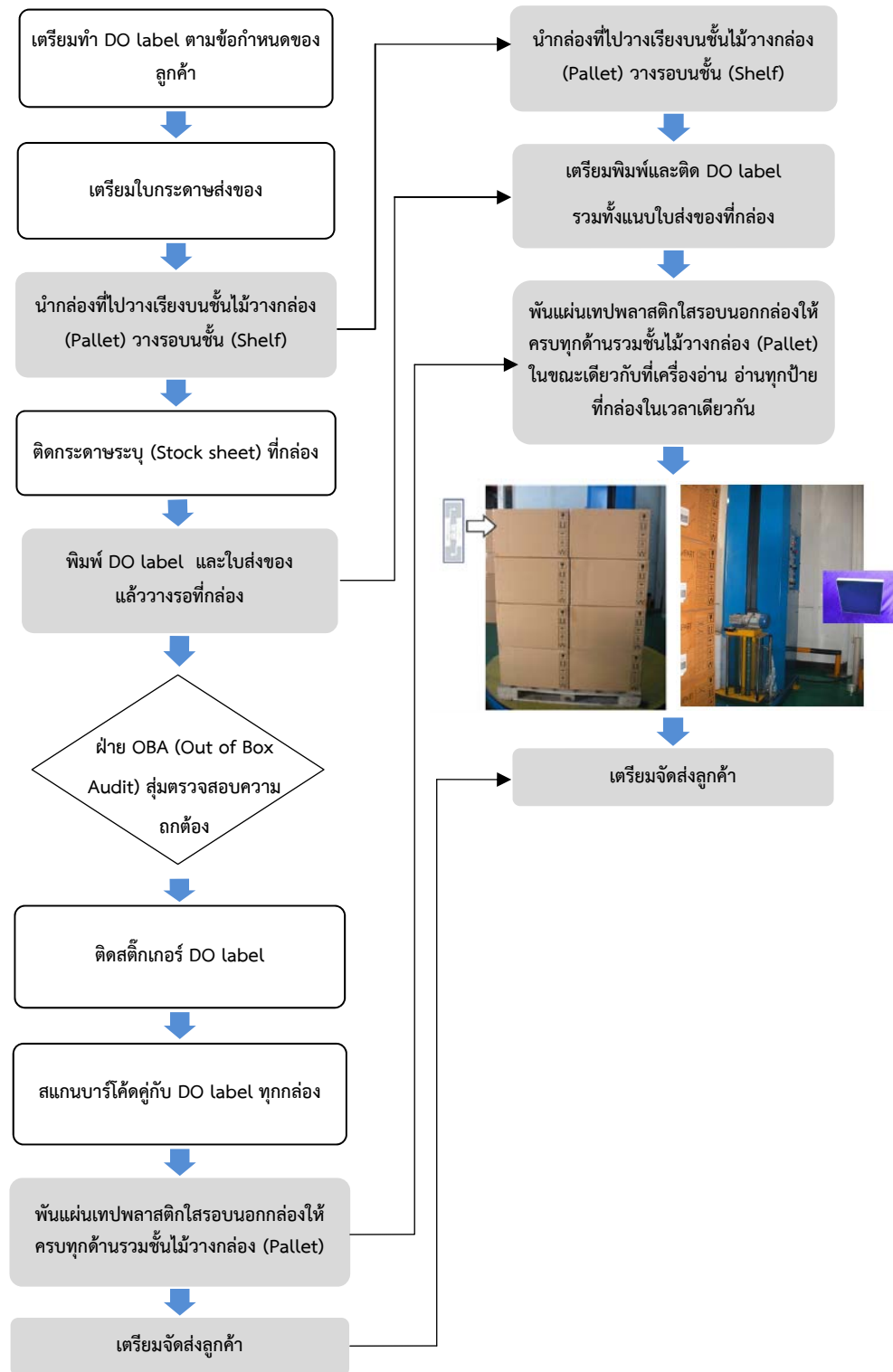
พิจารณาขั้นตอนการทำงานใหม่โดยใช้ระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) มาใช้งาน เปรียบเทียบกับวิธีเดิม ได้ดังตารางที่ 3.1 โดยเปรียบเทียบทางด้านประสิทธิภาพการทำงานของระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) กับระบบรหัสแท่ง (Barcode)

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบทางด้านประสิทธิภาพการทำงานของระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) และระบบรหัสแท่ง (Barcode) ของกระบวนการปฏิบัติงาน

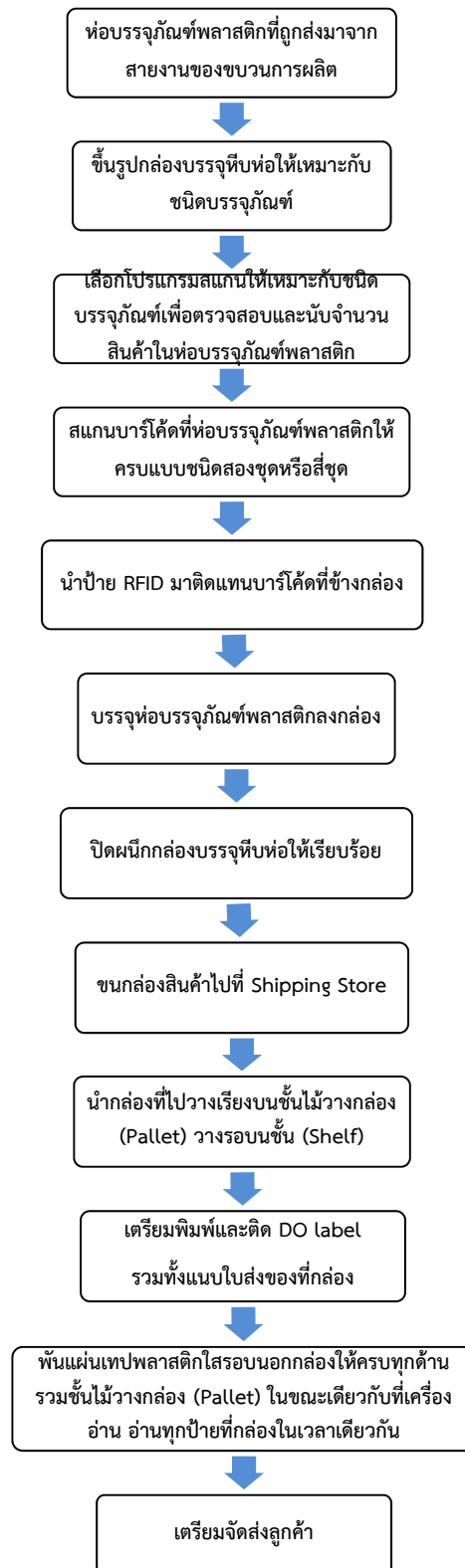
ข้อพิจารณา	ระบบรหัสแท่ง (Barcode)	ระบบเทคโนโลยีบังคับด้วย คลื่นความถี่วิทยุ (RFID)
อัตราความเร็วในการอ่านข้อมูล (Read rate)	1 ดวงต่อครั้ง ครั้งโดยเฉลี่ยครั้งละ 4 วินาที	24-30 ดวงต่อครั้ง ครั้งโดยเฉลี่ยครั้งละ 0.5 วินาที
ตำแหน่งการอ่านข้อมูลจากแถบรหัส	เส้นแสงอยู่แนวเดียวกับแถบรหัสแท่ง	ไม่ต้องอยู่แนวเดียวกับแถบรหัสแท่งได้
ระยะห่างที่สามารถอ่านข้อมูล	น้อยกว่า 15 เซนติเมตร	ได้ไกลถึง 8 เมตร
ระบบอัตโนมัติ (Automation)	พนักงานทำงานตลอดเวลาและใช้ พนักงานจำนวนมาก	ไม่ต้องมีพนักงานคอยป้อนข้อมูลแต่ละ กล่องและใช้พนักงานจำนวนน้อย
บันทึกข้อมูลที่ป้ายชำหรือทำใหม่	บันทึกหรือพิมพ์ได้ครั้งเดียว	บันทึกใหม่ได้หลายครั้ง
นำกลับมาใช้ใหม่	ใช้ได้ครั้งเดียว	นำกลับมาใช้ใหม่ได้จนกว่าป้ายจะขาด
หน่วยความจำภายในป้าย	ไม่มี	มี



รูปที่ 3.11 ผังงาน (Flowchart) การทำงาน Final packing process เมื่อนำ RFID มาใช้



รูปที่ 3.12 ฟังงาน (Flowchart) การทำงาน Shipping process เมื่อนำ RFID มาใช้



รูปที่ 3.13 ผังงาน (Flowchart) รวมการทำงาน Final packing process และ Shipping process

บทที่ 4

วิธีการทดลอง ผลการทดลอง และวิเคราะห์การทดลอง

สำหรับการทดลองในบทนี้จะประกอบไปด้วย 5 การทดลอง ตามลำดับดังนี้

- การทดลองที่ 1 ศึกษาวิธีการจัดข้อมูลและออกแบบวิธีการเข้ารหัสด้วยวิธี Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked)
- การทดลองที่ 2 ศึกษาเปรียบเทียบการเข้ารหัสข้อมูลแบบต่างๆ
- การทดลองที่ 3 ศึกษาการเข้ารหัสข้อมูลด้วยวิธีของ Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked) และ Arithmetic
- การทดลองที่ 4 ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอ่านเพื่อนำไปใช้งานจริง
- การทดลองที่ 5 ศึกษาการทำงานเมื่อนำระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) เพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานจริง

4.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาวิธีการจัดข้อมูลและออกแบบวิธีการเข้ารหัสด้วยวิธี Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked)

วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้ เพื่อทำการศึกษารูปแบบการจัดการข้อมูลปริมาณมากให้เหมาะสม ก่อนทำการเข้ารหัส ซึ่งทำการทดลองการเข้ารหัสข้อมูลโดยใช้รหัสที่เฉพาะตัวของสินค้าด้วยวิธีการ ตรวจสอบข้อมูลที่มีอักขระซ้ำกันในแต่ละหลักของแต่ละหน่วยการผลิตเพื่อเข้ารหัสใหม่

4.1.1 วิธีการทดลอง

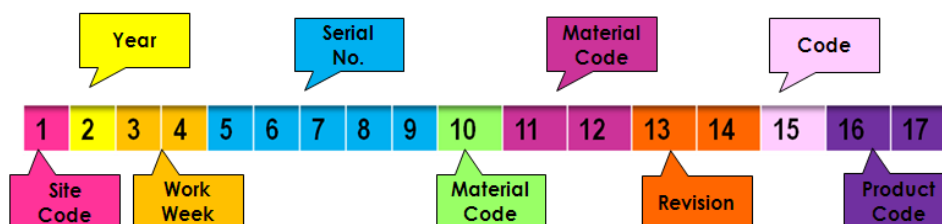
ข้อมูลของรหัสเฉพาะ (Serial Number) ของสินค้าแต่ละชิ้นในหีบบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ถูกส่งมาจากสายงานของกระบวนการผลิตภายใต้ห้องสะอาด (Cleanroom) มีจำนวนแตกต่างกันตามรูปร่างของสินค้าและขนาดบรรจุชิ้นงาน ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 จำนวนชิ้นงานต่อ 1 หน่วยหีบบรรจุภัณฑ์พลาสติก

ชื่อสินค้า	จำนวนชิ้นงานต่อถาด	จำนวนถาดต่อหีบ บรรจุภัณฑ์พลาสติก	จำนวนชิ้นงานต่อหีบ บรรจุภัณฑ์พลาสติก
A	8	4	32
B	8	5	40
C	10	5	50
D	10	6	60
E	10	8	80

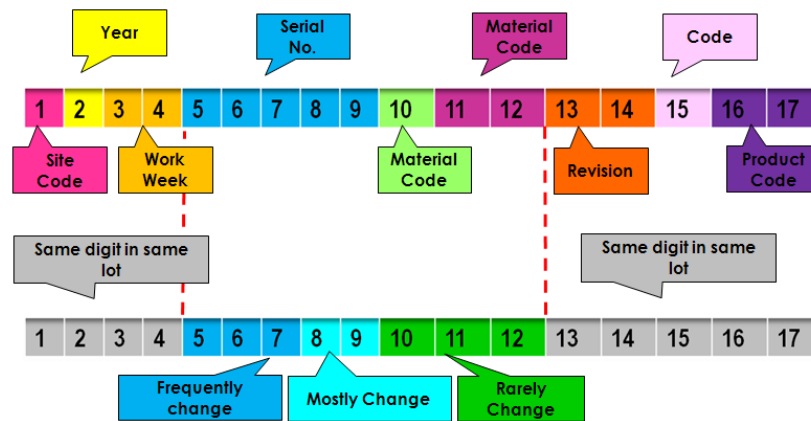
จากตารางที่ 4.1 เลือกสินค้า E ซึ่งมีจำนวนชิ้นงานต่อหีบบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่มากที่สุด คือ 80 ชิ้น มาเป็นตัวอย่างในการทดลอง ในแต่ละชิ้นงานมีรหัสเฉพาะ (Serial Number) เพื่อระบุชื่อสินค้า ปีที่ผลิต โดยรหัสที่แทนค่าเหล่านี้เป็นรหัสที่เกิดจากลูกค้ำกำหนด ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้นจึงต้องนำข้อจำกัดเหล่านี้มาร่วมพิจารณาด้วย จากรูปที่ 4.1 แสดงถึงรหัสเฉพาะที่แทนค่าต่างๆ

ใน 1 ชิ้นงาน ประกอบด้วย 17 อักขระ เริ่มจากอักขระตัวซ้าย อักขระลำดับแรกแทนสถานที่ผลิต อักขระตัวที่สองแทนปีที่ผลิต อักขระตัวที่สามและสี่แทนสัปดาห์ที่ทำการผลิต อักขระตัวที่ห้าถึงเก้า แทนเลขลำดับของสินค้าที่ทำการผลิตช่วงเวลานั้นๆ อักขระตัวที่สิบแทนรหัสวัตถุดิบที่นำมาผลิต อักขระตัวที่สิบเอ็ดและสิบสองแทนรหัสวัตถุดิบอีกประเภทที่นำมาผลิต อักขระตัวที่สิบสามและสิบสี่ แทนรุ่นของการออกแบบของวัตถุดิบที่ทำการผลิต อักขระตัวที่สิบห้าแทนรหัสเฉพาะที่ลูกค้ากำหนด อักขระตัวที่สิบหกและสิบเจ็ดแทนรหัสเฉพาะของสินค้านั้นๆ



รูปที่ 4.1 รหัสเฉพาะที่แทนค่าต่างๆ ใน 1 ชิ้นงาน มีจำนวน 17 อักขระ

จากการพิจารณารหัสสินค้าทั้ง 17 อักขระ พบว่า ในสินค้าชนิดเดียวกัน ผลิตในชุดเดียวกัน จะมีบางอักขระที่ซ้ำกัน ได้แก่ อักขระแรกแทนสถานที่ผลิต อักขระตัวที่สองแทนปีที่ผลิต อักขระตัวที่สามและสี่แทนสัปดาห์ที่ทำการผลิต และอักขระตัวที่สิบสามและสิบสี่แทนรุ่นของการออกแบบของวัตถุดิบที่ทำการผลิต อักขระตัวที่สิบห้าแทนรหัสเฉพาะที่ลูกค้ากำหนด อักขระตัวที่สิบหกและสิบเจ็ดแทนรหัสเฉพาะของสินค้านั้นๆ แสดงให้เห็นอักขระที่ซ้ำกันดังในรูปที่ 4.2 เพื่อเปรียบเทียบความถี่ของอักขระที่เกิดขึ้นในแต่ละอักขระ ส่วนอักขระลำดับที่ห้าถึงสิบสอง แบ่งได้เป็นสามกลุ่ม คือ อักขระที่ห้าถึงเจ็ดแทนเลขลำดับของสินค้าที่ทำการผลิตช่วงเวลานั้นๆมีการเปลี่ยนแปลงไปตามจำนวนของสินค้าที่ทำการผลิต อักขระที่แปดและเก้าพบว่าตัวเลขมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดโดยมีตั้งแต่เลข 0, 1, ... จนถึงเลข 9 ส่วนอักขระลำดับที่สิบถึงสิบสองแทนรหัสวัตถุดิบ ซึ่งพบว่าในสินค้าชนิดเดียวกัน อักขระลำดับที่สิบจะมีค่าที่ซ้ำกันเป็นจำนวนมากและอักขระลำดับที่สิบเอ็ดและสิบสองมีค่าแตกต่างกันตามรหัสวัตถุดิบซึ่งสามารถผลิตรวมกันได้



รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบรหัสเฉพาะของสินค้าทั้ง 17 อักขระโดยพิจารณาความถี่ที่เกิด

จากรหัสสินค้าทั้ง 17 อักขระ นำข้อมูลสินค้าจำนวน 80 รหัส มาเรียงข้อมูลลงตารางเพื่อจัดกลุ่มโดยแบ่งตามรหัสเฉพาะของแต่ละอักขระ กำหนดให้ C แทนอักขระ (Character) ของแต่ละตำแหน่ง ซึ่งประกอบด้วย C1, C2, C3, ...,C17 โดย C1 แทนอักขระแรกทีลำดับซ้ายสุด C2 แทนอักขระถัดมาเป็นลำดับที่สอง จนถึง C17 เป็นอักขระสุดท้ายทีลำดับขวาสุด ตารางที่ 4.2 แสดงรหัสสินค้าทั้ง 17 อักขระ ของกลุ่มตัวอย่างสินค้า ซึ่งได้แบ่งกลุ่มออกเป็น สามกลุ่มใหญ่ ได้แก่ กลุ่มที่หนึ่ง C1 ถึง C4 กลุ่มที่สอง C5 ถึง C12 และกลุ่มที่สาม C13 ถึง C17

ตารางที่ 4.2 รหัสสินค้าทั้ง 17 อักขระที่แบ่งเป็นสามกลุ่ม

Serial Number	C1-C4	C5-C12	C13-C17
T03076ADF101CBC06	T030	76ADF101	CBC06
T03076AD2101CBC06	T030	76AD2101	CBC06
T03076B3M101CBC06	T030	76B3M101	CBC06
T03076B3S101CBC06	T030	76B3S101	CBC06
T03076B3G101CBC06	T030	76B3G101	CBC06
T03073Q19101CBC06	T030	73Q19101	CBC06
T03073RDG101CBC06	T030	73RDG101	CBC06
T03073RHD101CBC06	T030	73RHD101	CBC06
T03073RD8101CBC06	T030	73RD8101	CBC06
T03073RHC101CBC06	T030	73RHC101	CBC06

T03073RSA101CBC06	T030	73RSA101	CBC06
T03073RYW101CBC06	T030	73RYW101	CBC06
T03073RKB101CBC06	T030	73RKB101	CBC06
T03073SRG101CBC06	T030	73SRG101	CBC06
T03073SM6101CBC06	T030	73SM6101	CBC06

*จากตารางตัวอย่างแสดงรหัสสินค้าทั้ง 17 อักขระ ไว้เพียง 15 รหัส

จากตารางที่ 4.2 พิจารณารหัสสินค้าทั้ง 17 อักขระที่แบ่งเป็นสามกลุ่ม พบว่า กลุ่มที่หนึ่ง C1 ถึง C4 มีค่าเหมือนกัน เนื่องจากระบุสินค้าชนิดเดียวกัน ผลิตในชุดเดียวกัน ปีและสัปดาห์ที่ทำการผลิตจึงเป็นเลขเดียวกัน และกลุ่มที่สาม C13 ถึง C17 มีค่าเหมือนกัน เนื่องจากระบุรุ่นของการออกแบบของวัตถุดิบที่ทำการผลิตโดยสินค้าชนิดเดียวกันจะมีรุ่นเดียวกัน รวมทั้งรหัสเฉพาะซึ่งแทนชื่อสินค้านั้นๆ อักขระที่ C13 ถึง C17 จึงมีค่าเหมือนกัน ดังนั้นพิจารณาที่กลุ่มที่สอง C5 ถึง C12 แยกพิจารณาการเข้ารหัสเป็นสองกลุ่ม คือ C5 ถึง C9 ซึ่งเป็นอักขระแทนเลขลำดับของสินค้าที่ทำการผลิตช่วงเวลานั้นๆ และอีกกลุ่มคือ C10 ถึง C12 ซึ่งเป็นอักขระแทนรหัสวัตถุดิบ โดยพิจารณาที่ละอักขระจากตารางที่ 4.3 แสดงการแบ่งกลุ่มของอักขระ C5 ถึง C12 เพื่อแยกแต่ละอักขระให้เห็นชัดเจน

ตารางที่ 4.3 แบ่งกลุ่มอักขระ C5 ถึง C12

Serial Number	C1-C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13-C17
T03076ADF101CBC06	T030	7	6	A	D	F	1	0	1	CBC06
T03076AD2101CBC06	T030	7	6	A	D	2	1	0	1	CBC06
T03076B3M101CBC06	T030	7	6	B	3	M	1	0	1	CBC06
T03076B3S101CBC06	T030	7	6	B	3	S	1	0	1	CBC06
T03076B3G101CBC06	T030	7	6	B	3	G	1	0	1	CBC06
T03073Q19101CBC06	T030	7	3	Q	1	9	1	0	1	CBC06
T03073RDG101CBC06	T030	7	3	R	D	G	1	0	1	CBC06
T03073RHD101CBC06	T030	7	3	R	H	D	1	0	1	CBC06
T03073RD8101CBC06	T030	7	3	R	D	8	1	0	1	CBC06
T03073RHC101CBC06	T030	7	3	R	H	C	1	0	1	CBC06
T03073RSA101CBC06	T030	7	3	R	S	A	1	0	1	CBC06
T03073RYW101CBC06	T030	7	3	R	Y	W	1	0	1	CBC06

T03073RKB101CBC06	T030	7	3	R	K	B	1	0	1	CBC06
T03073SRG101CBC06	T030	7	3	S	R	G	1	0	1	CBC06
T03073SM6101CBC06	T030	7	3	S	M	6	1	0	1	CBC06

จากการพิจารณาแต่ละอักขระของรหัสสินค้าทั้ง 17 อักขระแล้วจึงทำการเข้ารหัสข้อมูลทั้ง 80 รหัส โดยใช้วิธีของ Run Length Encoding-Liked: RLE-Liked ซึ่งพัฒนามาจากวิธีการเข้ารหัส Run Length Encoding (RLE) โดยประยุกต์การเข้ารหัสในแนวคอลัมน์ ดังนี้

- กลุ่ม A1 ทดลองเข้ารหัสทีละ 1 อักขระโดยใช้คอลัมน์ C5 C6 C7
- กลุ่ม A2 ทดลองเข้ารหัสทีละ 2 อักขระโดยใช้คอลัมน์ C5 C6 และทีละ 1 อักขระโดยใช้คอลัมน์ C7
- กลุ่ม A3 ทดลองเข้ารหัสทีละ 3 อักขระโดยใช้คอลัมน์ C5 C6 C7
- กลุ่ม B1 ทดลองเข้ารหัสทีละ 1 อักขระโดยใช้คอลัมน์ C10 C11 C12
- กลุ่ม B2 ทดลองเข้ารหัสทีละ 2 อักขระโดยใช้คอลัมน์ C11 C12 และทีละ 1 อักขระโดยใช้คอลัมน์ C10
- กลุ่ม B3 ทดลองเข้ารหัสทีละ 3 อักขระโดยใช้คอลัมน์ C10 C11 C12
- กลุ่ม C1 ใช้คอลัมน์ C8 ทดลองเข้ารหัสแบบเรียงตามลำดับเนื่องจากมีค่าซ้ำกันน้อยมาก
- กลุ่ม C2 ใช้คอลัมน์ C9 ทดลองเข้ารหัสแบบเรียงตามลำดับเนื่องจากมีค่าซ้ำกันน้อยมาก

ดังนั้นจากการพิจารณาแต่ละอักขระข้างต้น แสดงการพิจารณาได้ดังตารางที่ 4.4 แสดงถึงอักขระที่ C5 ถึง C12 โดยแบ่งเป็นกลุ่ม A1-A2-A3 กลุ่ม B1-B2-B3 และกลุ่ม C1-C2 ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.4 อักขระที่ C5 ถึง C12 แบ่งเป็นกลุ่ม A1-A2-A3 กลุ่ม B1-B2-B3 และกลุ่ม C1-C2

Serial Number	C1-C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13-C17
T03076ADF101CBC06	T030	7	6	A	D	F	1	0	1	CBC06
T03076AD2101CBC06	T030	7	6	A	D	2	1	0	1	CBC06
T03076B3M101CBC06	T030	7	6	B	3	M	1	0	1	CBC06

T03076B3S101CBC06	T030	7 6 B	3 S	1 0 1	CBC06
T03076B3G101CBC06	T030	7 6 B	3 G	1 0 1	CBC06
T03073Q19101CBC06	T030	7 3 Q	1 9	1 0 1	CBC06
T03073RDG101CBC06	T030	7 3 R	D G	1 0 1	CBC06
T03073RHD101CBC06	T030	7 3 R	H D	1 0 1	CBC06
T03073RD8101CBC06	T030	7 3 R	D 8	1 0 1	CBC06
T03073RHC101CBC06	T030	7 3 R	H C	1 0 1	CBC06
T03073RSA101CBC06	T030	7 3 R	S A	1 0 1	CBC06
T03073RYW101CBC06	T030	7 3 R	Y W	1 0 1	CBC06
T03073RKB101CBC06	T030	7 3 R	K B	1 0 1	CBC06
T03073SRG101CBC06	T030	7 3 S	R G	1 0 1	CBC06
T03073SM6101CBC06	T030	7 3 S	M 6	1 0 1	CBC06
		A1-A2-A3	C1-C2	B1-B2-B3	

จากตารางที่ 4.4 สามารถจัดเรียงได้ดังนี้

กลุ่ม A1-A2-A3

A1 : 7,15,6,5,3,10,A,2,B,3,Q,1,R,7,S,2

A2 : 276,5,273,10,A,2,B,3,Q,1,R,7,S,2

A3 : 376A, 2,376B, 3,373Q, 1,373R, 7,373S, 2

กลุ่ม B1-B2-B3

B1 : 1,15,0,15,1,15

B2 : 1,15,201,15

B3 : 3101,15

กลุ่ม C1-C2

C1 : DD3331DHDHSYKRM

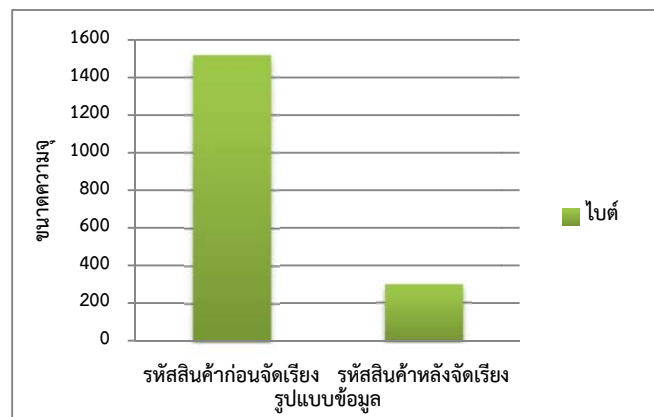
C2 : F2MSG9GD8CAWBG6

จากนั้นนำมาจัดเรียงโดยใช้รูปแบบ A1 หรือ A2 หรือ A3 รวมกับ C1 และ C2 รวมกับ B1 หรือ B2 หรือ B3 ได้ 9 รูปแบบ ดังนี้

A1+C1+C2+B1	A2+C1+C2+B1	A3+C1+C2+B1
A1+C1+C2+B2	A2+C1+C2+B2	A3+C1+C2+B2
A1+C1+C2+B3	A2+C1+C2+B3	A3+C1+C2+B3

4.1.2 ผลการทดลอง

จากรูปที่ 4.3 แสดงผลการทดลองที่ 1 จากการทดลองพบว่า เมื่อทำการจัดเรียงข้อมูลใหม่ด้วยวิธี Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked) ค่าขนาดความจุลดลงจาก 1,518 ไบต์ เหลือเฉลี่ย 297 ไบต์หรือขนาดความจุลดลงเฉลี่ยเหลือ 20 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลก่อนการเข้ารหัส

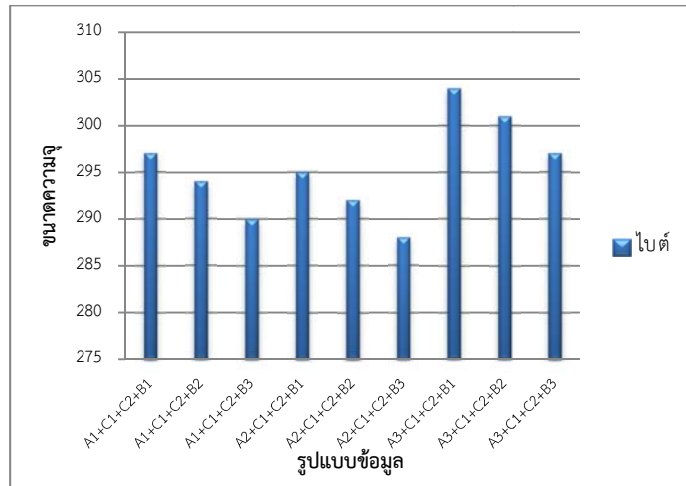


รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบก่อนและหลังจัดเรียงข้อมูลด้วยวิธี Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked)

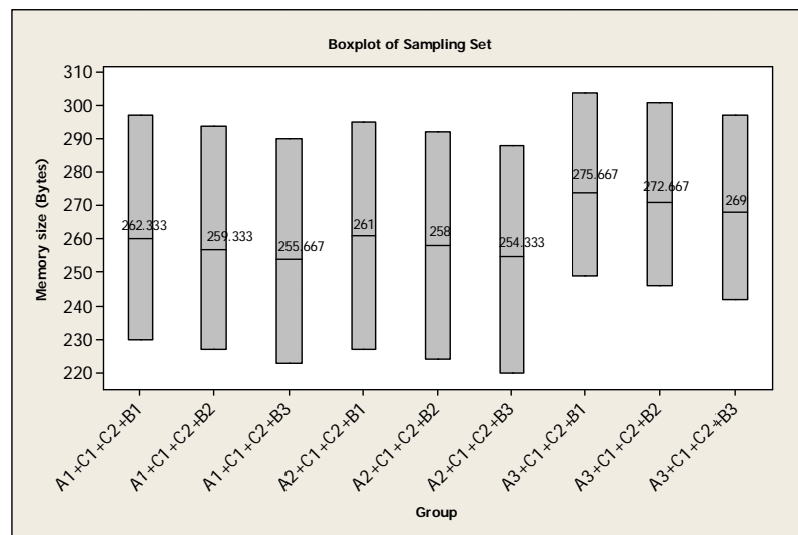
4.1.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากรูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าขนาดความจุในแนวแกน y และรูปแบบของการจัดเรียงข้อมูลใหม่ด้วยวิธี Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked) ทั้ง 9 รูปแบบในแนวแกน x พบว่า การจัดรูปแบบด้วยกลุ่ม A1 และ A2 ได้ค่าขนาดความจุน้อยกว่ากลุ่ม A3 และกลุ่ม A3 มีค่าสูงสุด โดยแต่ละกลุ่ม เมื่อพิจารณาจากการจัดรูปแบบของกลุ่ม B1-B2-B3 พบว่า กลุ่ม B3 ให้ค่าต่ำสุดในแต่ละกลุ่มของ A1-A2-A3 โดยในการทดลองนี้ใช้การสุ่มข้อมูลของรหัสสินค้าจำนวน 80 รหัส ซึ่งในแต่ละ

ช่วงเวลาของการผลิต ให้ค่ารหัสสินค้าที่แตกต่างกัน ดังนั้นค่าที่ได้อาจให้ค่าที่แตกต่างกันแต่ยังอยู่ในรูปแบบเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.5 นำข้อมูลของรหัสสินค้าจำนวน 80 รหัส โดยสุ่มจากกลุ่มรหัสสินค้าอื่น แล้วนำมาบันทึกลงกราฟ Box-plot แสดงผลข้อมูลไปในทางเดียวกัน



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าหน่วยความจุของทั้ง 9 รูปแบบ



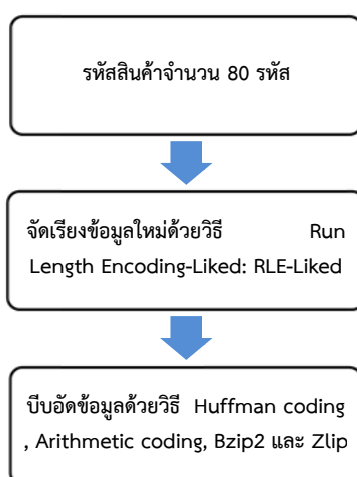
รูปที่ 4.5 กราฟ Box-plot จากการสุ่มกลุ่มตัวอย่างรหัสสินค้า

4.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาวิธีการบีบอัดข้อมูลแบบต่างๆ

วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้ทำการศึกษาการบีบอัดข้อมูลด้วยวิธีต่างๆ คือ Huffman coding, Arithmetic coding, Bzip2 และ Zlip เพื่อเปรียบเทียบขนาดความจุที่ลดลง

4.2.1 วิธีการทดลอง

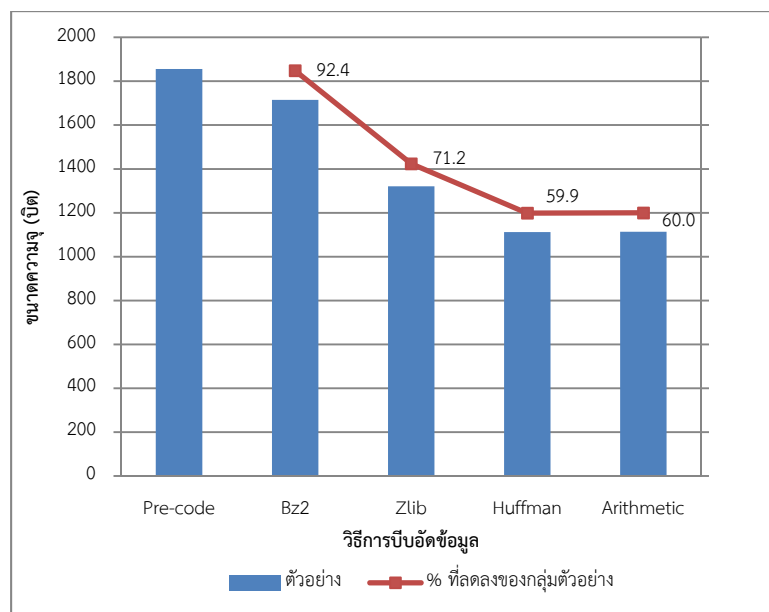
รหัสสินค้าจำนวน 80 รหัส ที่ได้จัดเรียงข้อมูลด้วยวิธี Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked) จากการทดลองที่ 1 นำมาใช้เป็นข้อมูลในการบีบอัดข้อมูลด้วยวิธีต่างๆของการทดลองที่ 2 จากรูปที่ 4.6 แสดงขั้นตอนของการทดลองที่ 2 เริ่มจากการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองที่ 1 จนกระทั่งได้ผลลัพธ์ที่เกิดจากการบีบอัดด้วยวิธี Huffman coding, Arithmetic coding, Bzip2 และ Zlip



รูปที่ 4.6 แสดงขั้นตอนของการทดลองที่ 2

4.2.2 ผลการทดลอง

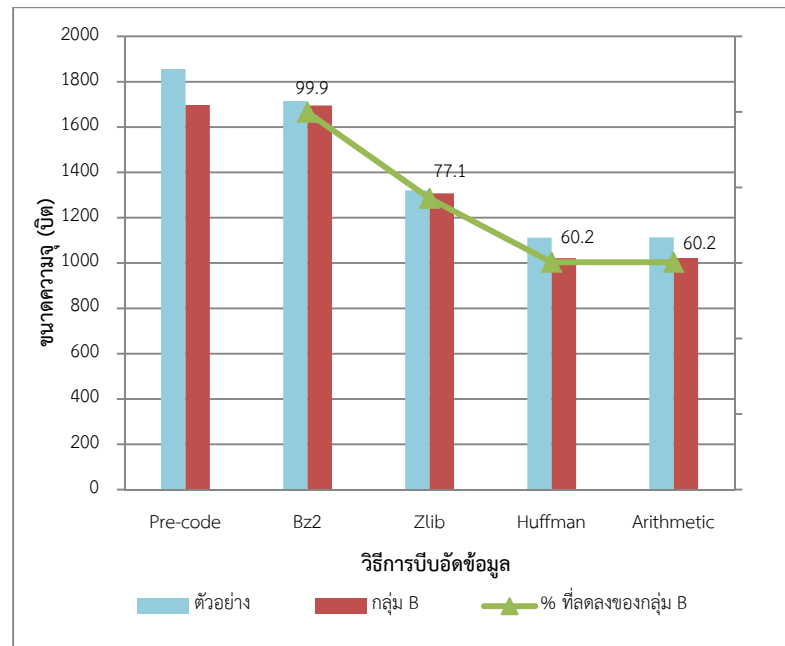
จากรูปที่ 4.7 แสดงกราฟของผลการทดลองที่ 2 เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการจัดเรียงด้วยวิธี Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked) ของการทดลองที่ 1 แล้วบีบอัดข้อมูลต่อด้วยวิธี Huffman coding, Arithmetic coding, Bzip2 และ Zlip พบว่า ขนาดความจุของข้อมูลมีค่าน้อยลงไปจากขนาดข้อมูลก่อนการบีบอัดทั้งสิ้นวิธี โดยเฉลี่ยดังนี้ Bzip2 ขนาดความจุลดลงเหลือ 92.4% Zlip ขนาดความจุลดลงเหลือ 71.2% Huffman coding ขนาดความจุลดลงเหลือ 59.9% และ Arithmetic coding ขนาดความจุลดลงเหลือ 60.0%



รูปที่ 4.7 กราฟของผลการทดลองที่ 2

4.2.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลอง พบว่าการบีบอัดข้อมูลในขั้นตอนต่อจากวิธี Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked) ด้วยวิธี Huffman coding และ Arithmetic coding ให้ค่าขนาดความจุของข้อมูลมีค่าน้อยลงไปจากขนาดข้อมูลก่อนการบีบอัดที่ลดลงใกล้เคียงกัน ซึ่งลดลงเหลือ 59.9% และ 60.0% ตามลำดับ โดยในแต่ละกลุ่มข้อมูล ถ้าคาร์รหัสทั้ง 17 อักขระบางตำแหน่งมีค่าที่ซ้ำกันมาก จะทำให้ขนาดความจุของวิธี Huffman coding และ Arithmetic coding มีค่าน้อยลงอีกโดยอ้างอิงจากทฤษฎีที่น่าความน่าจะเป็นที่เกิดอักขระและการสะสมความถี่มาคำนวณ ในขณะที่วิธี Bzip2 และ Zlib ใช้หลักการเลื่อน (Shift) สลับที่ และการเลื่อนข้อมูลเป็นชุด (Sliding window) และเมื่อพิจารณาจากชุดข้อมูลแล้ว ทดลองนำกลุ่มข้อมูลจากกลุ่มสินค้า B ที่มีรหัสสินค้าจำนวน 80 รหัส เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่าง พบว่า ให้ผลเป็นไปในแนวทางเดียวกัน คือ วิธี Huffman coding และ Arithmetic coding ให้ค่าขนาดความจุของข้อมูลน้อยลงไปจากขนาดข้อมูลก่อนการบีบอัดซึ่งลดลงใกล้เคียงกันซึ่งลดลงเหลือ 60.2% Bzip2 มีขนาดความจุของข้อมูลน้อยลงไปจากขนาดข้อมูลก่อนการบีบอัดซึ่งลดลงเหลือ 77.1% และ Zlib มีขนาดความจุของข้อมูลน้อยลงไปจากขนาดข้อมูลก่อนการบีบอัดซึ่งลดลงเหลือ 99.9% โดยกล่าวได้ว่ามีค่าลดลงน้อยมาก แสดงผลการทดลองในรูปที่ 4.8 เปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างของผลการทดลองกับกลุ่มสินค้า B ซึ่งพบว่ามีค่าเป็นไปในแนวทางเดียวกัน



รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างของผลการทดลองกับกลุ่มสินค้า B

4.3 การทดลองที่ 3 ศึกษาการเข้ารหัสข้อมูลด้วยวิธี Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked) และ Arithmetic

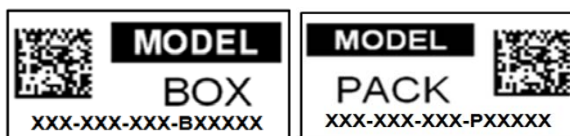
วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อศึกษาข้อมูลของการเข้ารหัสข้อมูลแบบ Arithmetic โดยใช้ข้อมูลของรหัสสินค้าที่ติดข้างกล่องและห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกโดยอ้างอิงการตั้งชื่อและความหมายของแต่ละอักขระในรูปแบบเดียวกับในปัจจุบันซึ่งอยู่ในรูปแบบระบบรหัสแท่ง (Barcode) โดยพิจารณาข้อมูลที่นำมาเข้ารหัสแบ่งเป็นสองกลุ่มเปรียบเทียบในสินค้าชนิดเดียวกัน คือ กลุ่มแรกเป็นข้อมูลที่เกิดการรหัสเฉพาะของสินค้าที่มีการผลิตในช่วงเวลาเดียวกัน และ กลุ่มที่สองเป็นข้อมูลที่เกิดจากรหัสเฉพาะของสินค้าที่มีการผลิตในช่วงเวลาที่ต่างกัน ซึ่งทำให้ค่าบางอักขระมีค่าแตกต่างกันมากกว่ากลุ่มแรก อีกทั้งทดลองชุดข้อมูลโดยอ้างอิงจากชุดของความน่าจะเป็นต่างกลุ่มกันเพื่อศึกษาผลการทดลองที่ได้ ดังอธิบายรายละเอียดในวิธีการทดลอง

4.3.1 วิธีการทดลอง

พิจารณาการตั้งชื่อและความหมายของแต่ละอักขระในปัจจุบันซึ่งอยู่ในรูปแบบระบบรหัสแท่ง (Barcode) เพื่อนำไปอ้างอิงกับการเข้ารหัสในรูปแบบระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

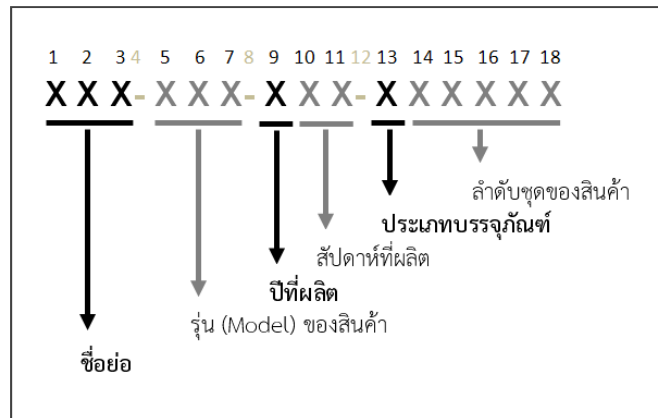
(RFID) โดยเริ่มจากสินค้าในห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ถูกส่งมาจากสายงานของกระบวนการผลิต ภายใต้ห้องสะอาด (Cleanroom) มีสติ๊กเกอร์ระบบรหัสแท่ง 2 มิติ เพื่อระบุ ชื่อผลิตภัณฑ์ เดือนปีที่ผลิต และลำดับของชุดสินค้าที่ผลิตในคำสั่งซื้อนั้นๆ จากรูปที่ 4.9 แสดงตัวอย่างของรหัสสินค้า ประกอบด้วยสติ๊กเกอร์ประจำห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกและข้างกล่องบรรจุภัณฑ์โดยรหัสสินค้า 1 รหัส มีจำนวน 18 อักขระ ซึ่งแต่ละหลักจะมีเครื่องหมายยัติภังค์คั่นไว้ ความหมายในแต่ละหลักเป็นดังนี้

- อักขระลำดับที่หนึ่งถึงสาม คือ ชื่ออักษรย่อของผลิตภัณฑ์
- อักขระลำดับที่ห้าถึงเจ็ด คือ รุ่น (Model) ของสินค้า
- อักขระลำดับที่เก้าคือปีที่ผลิตสินค้า เช่น ผลิตสินค้าในปี ค.ศ.2012 ให้ระบุอักขระแทนตัวเลขท้ายสุดของปีนั้น คือ เลข 2
- อักขระลำดับที่สิบถึงสิบเอ็ด คือ ลำดับสัปดาห์ตามปฏิทินการทำงานของการผลิตสินค้า
- อักขระลำดับที่สิบสาม คือ ประเภทบรรจุภัณฑ์ B แทนชนิดกล่อง และ P แทนชนิดห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติก
- อักขระลำดับที่สิบสี่ถึงสิบแปด คือ ลำดับของชุดสินค้าที่ผลิตตามชนิดของสินค้านั้นๆ



รูปที่ 4.9 รูปแบบของรหัสสินค้าบนสติ๊กเกอร์

โดยแสดงรายละเอียดของความหมายแต่ละกลุ่มอักขระดังรูปที่ 4.10 ซึ่งในหนึ่งกล่องบรรจุภัณฑ์ประกอบด้วย สติ๊กเกอร์ข้างกล่อง 1 ดวง และข้างห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกจำนวน 2 หรือ 4 ห่อตามชนิดของสินค้านั้นๆ เช่น รหัสสินค้าแทนชนิดกล่อง คือ PH4-LSI-128-B04001,MT-DSP3-127-B00520 และรหัสสินค้าแทนชนิดห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติก คือ PH4-LSI-128-P00106,MT-DSP3-127-P01425 เป็นต้น



รูปที่ 4.10 ความหมายของแต่ละอักขระของรหัสสินค้า

จากรหัสสินค้า 18 อักขระ ข้อมูลที่ใช้ทดสอบ 1 ชุด ประกอบด้วย รหัสสินค้าประจำกล่อง 1 รหัส ร่วมกับ รหัสสินค้าประจำห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติก จำนวน 2 หรือ 4 รหัส ซึ่งได้แจกแจงรายละเอียดของข้อมูลที่นำมาเข้ารหัสได้ตามตารางที่ 4.5 เพื่อเป็นกลุ่มทดสอบที่จะนำไปเข้ารหัสด้วยวิธี Arithmetic โดยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 หัวข้อย่อย คือ

4.3.1.1 เปรียบเทียบขนาดความจุของข้อมูลที่ได้อีกกับการบีบอัด ซึ่งแบ่งชุดข้อมูลการทดลองออกเป็น 4 ประเภท คือ

กลุ่มแรก เป็นรหัสสินค้าประจำกล่อง 1 รหัส ร่วมกับ รหัสสินค้าประจำห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติก 2 รหัส ซึ่ง รหัสของสินค้าประจำห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติก มีลำดับของชุดของสินค้าเรียงกันเป็นตัวอย่างของสินค้าที่มีการผลิตเรียงตามลำดับก่อนหลังในวันเดียวกัน

กลุ่มที่สอง เป็นรหัสสินค้าประจำกล่อง 1 รหัส ร่วมกับ รหัสสินค้าประจำห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติก 2 รหัส ซึ่ง รหัสของสินค้าประจำห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติก มีลำดับของชุดของสินค้าไม่เรียงกัน ซึ่งเป็นตัวอย่างของสินค้าที่มีการผลิตต่างสัปดาห์และลำดับของชุดสินค้าไม่เรียงตามลำดับ เป็นตัวอย่างของสินค้าที่มีการคัดแยกไปตรวจสอบและนำมาบรรจุหีบห่อใหม่ แต่ยังคงเป็นสินค้าชนิดเดียวกัน

กลุ่มที่สาม เป็นรหัสสินค้าประจำกล่อง 1 รหัส ร่วมกับ รหัสสินค้าประจำห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติก 4 รหัส เป็นตัวแทนของกลุ่มข้อมูลที่มีจำนวนอักขระมากที่สุดของสินค้าที่ผลิต ซึ่งรหัสของ

สินค้าประจำหอบรรจุภัณฑ์พลาสติก มีลำดับของชุดของสินค้าเรียงกัน เป็นตัวอย่างของสินค้าที่มีการผลิตเรียงตามลำดับก่อนหลังในวันเดียวกัน

กลุ่มที่สี่ เป็นรหัสสินค้าประจำกล่อง 1 รหัส ร่วมกับ รหัสสินค้าประจำหอบรรจุภัณฑ์พลาสติก 4 รหัส เป็นตัวแทนของกลุ่มข้อมูลที่มีจำนวนอักขระมากที่สุดของสินค้าที่ผลิต ซึ่งรหัสของสินค้าประจำหอบรรจุภัณฑ์พลาสติก มีลำดับของชุดของสินค้าไม่เรียงกัน จัดเป็นกลุ่มที่มีรหัสสินค้าต่างกันมากที่สุด ซึ่งเป็นตัวอย่างของสินค้าที่มีการผลิตต่างสัปดาห์และลำดับของชุดสินค้าไม่เรียงตามลำดับ เป็นตัวอย่างของสินค้าที่มีการคัดแยกไปตรวจสอบและนำมาบรรจุหีบห่อใหม่ แต่ยังคงเป็นสินค้าชนิดเดียวกันโดยรหัสสินค้าในกลุ่มที่ 4 เป็นรหัสข้อมูลสินค้าที่แตกต่างกันมากที่สุดและเป็นสถานะที่ไม่พบในสายการผลิตปกติ

ตารางที่ 4.5 ชุดข้อมูลตัวอย่างของรหัสสินค้าที่นำมาทดสอบ

กลุ่มทดลอง	รหัส	ลักษณะข้อมูล	ขนาดความจุ (ไบต์)
กลุ่มที่ 1	PH4-LSI-128-B04001	เรียง	56
	PH4-LSI-128-P00106		
	PH4-LSI-128-P00107		
กลุ่มที่ 2	PH4-LSI-128-B04001	สุ่ม	56
	PH4-LSI-128-P13425		
	PH4-LSI-135-P67890		
กลุ่มที่ 3	PH4-LSI-128-B04001	เรียง	94
	PH4-LSI-128-P00108		
	PH4-LSI-128-P00109		

	PH4-LSI-128-P00110 PH4-LSI-128-P00111		
กลุ่มที่ 4	PH4-LSI-128-B04001 PH4-LSI-128-P13425 PH4-LSI-134-P24689 PH4-LSI-129-P12345 PH4-LSI-131-P56789	สุ่ม	94

นำกลุ่มทดลองทั้ง 4 กลุ่ม ใช้เป็นข้อมูลก่อนการเข้ารหัสด้วยวิธี Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked) และ Arithmetic โดยแบ่งการทดลองการเข้ารหัสดังนี้

1. ใช้วิธีเข้ารหัสด้วย Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked)
 2. ใช้วิธีเข้ารหัสด้วย Arithmetic
 3. ใช้วิธีเข้ารหัสด้วย Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked) และ Arithmetic
- การนำวิธีการเข้ารหัสด้วยวิธี Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked) ต้องทำการจัดเรียงข้อมูลก่อนการเข้ารหัส โดยแต่ละกลุ่มจัดเรียงข้อมูลใหม่ด้วยการเข้าที่ละ 1 อักขระ ซึ่งใช้วิธีเดียวกับกลุ่ม A1 ของการทดลองที่ 1 ได้ดังตารางที่ 4.6 ดังนี้

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลที่จัดเรียงด้วยวิธี Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked)

กลุ่มทดลอง	รหัส	จัดเรียงข้อมูลใหม่
กลุ่มที่ 1	PH4-LSI-128-B04001 PH4-LSI-128-P00106 PH4-LSI-128-P00107	3PH4,3LSI,3128,1B,2P,30,14,20,10, 21,30,11,16,17
กลุ่มที่ 2	PH4-LSI-128-B04001 PH4-LSI-128-P13425	3PH4,3LSI,31,22,13,28,15,1B,2P,10, 11,16,14,13,17,10,14,18,10,12,19,1 1,15,10

	PH4-LSI-135-P67890	
กลุ่มที่ 3	PH4-LSI-128-B04001 PH4-LSI-128-P00108 PH4-LSI-128-P00109 PH4-LSI-128-P00110 PH4-LSI-128-P00111	5PH4,5LSI,5128,1B,4P,50,14,41,30, 21,11,18,19,10,11
กลุ่มที่ 4	PH4-LSI-128-B04001 PH4-LSI-128-P13425 PH4-LSI-129-P12345 PH4-LSI-131-P56789 PH4-LSI-134-P24689	5PH4,5LSI,51,32,23,28,19,11,14,1B, 4P,10,21,15,12,14,13,12,16,14,10,1 4,13,17,16,10,12,14,28,11,125,29

4.3.1.2 ทดลองชุดข้อมูลโดยอ้างอิงจากชุดของความน่าจะเป็นต่างกลุ่มกัน

นำกลุ่มข้อมูลตัวอย่างโดยเลือกชุดข้อมูลชนิดกลุ่มที่สามของการทดลอง 4.3.1.1 ดังตารางที่ 4.7 ซึ่งเป็นชุดข้อมูลในภาวะปกติของกระบวนการผลิต โดยใช้ชุดของความน่าจะเป็นต่างกลุ่มกันเพื่อนำมาอ้างอิง ซึ่งนำกลุ่มข้อมูลตัวอย่างผ่านการเข้ารหัสด้วยวิธี Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked) และวิธีการบีบอัดข้อมูลแบบ Arithmetic

ตารางที่ 4.7 กลุ่มตัวอย่างชุดข้อมูล

กลุ่มทดลอง	รหัส	จัดเรียงข้อมูลใหม่
------------	------	--------------------

กลุ่มที่ 1	PH4-LSI-128-B04001 PH4-LSI-128-P00001 PH4-LSI-128-P00002 PH4-LSI-128-P00003 PH4-LSI-128-P00004	5PH4,5LSI,51,52,58,1B,4P,50,14,40, 50,50,21,12,13,14
กลุ่มที่ 2	PH4-LSI-128-B04002 PH4-LSI-128-P00005 PH4-LSI-128-P00006 PH4-LSI-128-P00007 PH4-LSI-128-P00008	5PH4,5LSI,51,52,58,1B,4P,50,14,40, 50,50,12,15,16,17,18
กลุ่มที่ 3	PH4-LSI-128-B04003 PH4-LSI-128-P00011 PH4-LSI-128-P00012 PH4-LSI-128-P00013 PH4-LSI-128-P00014	5PH4,5LSI,51,52,58,1B,4P,50,14,40, 50,10,41,13,11,12,13,14
กลุ่มที่ 4	PH4-LSI-128-B04004 PH4-LSI-128-P00015 PH4-LSI-128-P00016 PH4-LSI-128-P00017 PH4-LSI-128-P00018	5PH4,5LSI,51,52,58,1B,4P,50,14,40, 50,10,41,14,15,16,17,18
กลุ่มที่ 5	PH4-LSI-128-B04005 PH4-LSI-128-P00021 PH4-LSI-128-P00022 PH4-LSI-128-P00023 PH4-LSI-128-P00024	5PH4,5LSI,51,52,58,1B,4P,50,14,40, 50,10,42,15,11,12,13,14

4.3.2 ผลการทดลอง

4.3.2.1 ผลการทดลองของ 4.3.1.1

จากกลุ่มทดลองทั้งสี่กลุ่มได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.8 แสดงขนาดข้อมูลของการเข้ารหัสทั้ง 3 วิธีคือ

1. ใช้วิธีเข้ารหัสด้วย Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked)

2. ใช้วิธีเข้ารหัสด้วย Arithmetic
3. ใช้วิธีเข้ารหัสด้วย Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked) และ Arithmetic

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองการเข้ารหัสข้อมูลของงานทั้ง 4 กลุ่ม

กลุ่มทดลอง	ข้อมูล	ก่อนเข้ารหัส (ไบต์)	Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked) (ไบต์)	Arithmetic (ไบต์)	Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked) และ Arithmetic (ไบต์)
กลุ่มที่ 1	เรียง	56	47	54	42
กลุ่มที่ 2	สุ่ม	56	75	58	60
กลุ่มที่ 3	เรียง	94	50	86	42
กลุ่มที่ 4	สุ่ม	94	100	98	78

จากผลการทดลองกลุ่มข้อมูลที่ 3 ซึ่งเกิดจากการนำรหัสสินค้าประจำกล่อง 1 รหัส ร่วมกับรหัสสินค้าประจำห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติก 4 รหัส โดยชุดของสินค้ามีข้อมูลเรียงกันตามลำดับ เข้ารหัสด้วยวิธี Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked) มีขนาดความจุของข้อมูลน้อยลงไปจากขนาดข้อมูลก่อนการบีบอัดซึ่งลดลงเหลือ 53.2% ซึ่งใกล้เคียงกับขนาดของกลุ่มข้อมูลที่ 1 ซึ่งเกิดจากการนำรหัสสินค้าประจำกล่อง 1 รหัส ร่วมกับรหัสสินค้าประจำห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติก 2 รหัส โดยชุดของสินค้ามีข้อมูลเรียงกันตามลำดับ และเมื่อนำไปเข้ารหัสต่อด้วยวิธี Arithmetic ขนาดความจุของข้อมูลลดลงเหลือ 44.7% และการเข้ารหัสด้วยวิธี Arithmetic ขึ้นตอนเดียวของทั้งสี่กลุ่มข้อมูลมีขนาดความจุของข้อมูลหลังการบีบอัดใกล้เคียงกับก่อนเข้ารหัส

4.3.2.2 ผลการทดลองของ 4.3.1.2

จากการนำกลุ่มของชุดข้อมูลชนิดกลุ่มที่สาม ซึ่งเป็นรหัสสินค้าประจำกล่อง 1 รหัส ร่วมกับรหัสสินค้าประจำห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติก 4 รหัส จำนวน 5 ชุดกลุ่มตัวอย่าง ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองการเข้ารหัสข้อมูลโดยอ้างอิงจากชุดของความน่าจะเป็นต่างกลุ่มกัน

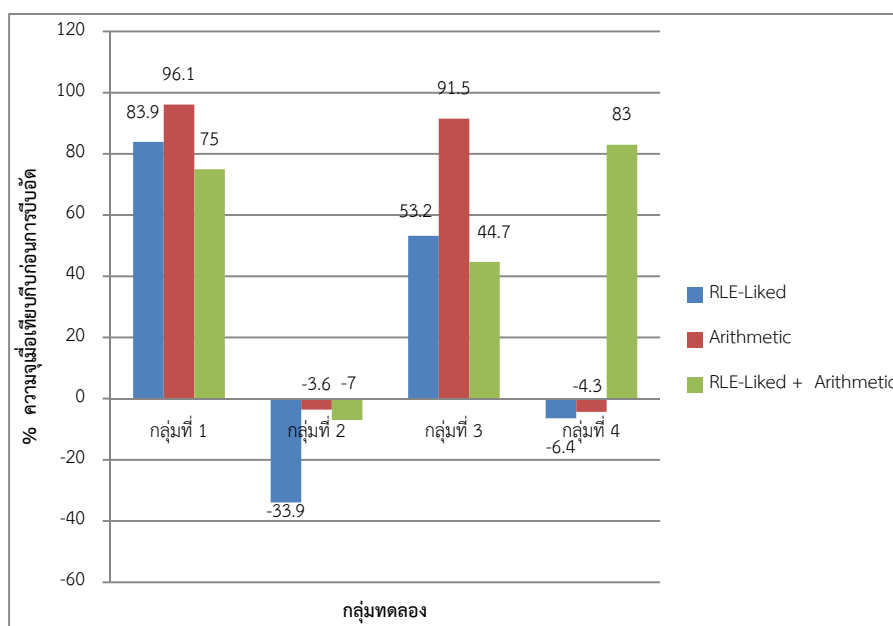
กลุ่มทดลอง	ก่อนเข้ารหัส (ไบต์)	Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked) (ไบต์)	Arithmetic (ไบต์)	RLE-Liked และ Arithmetic (ไบต์)	RLE-Liked และ Arithmetic (ไบต์) โดยอ้างอิงความน่าจะเป็นของกลุ่มที่ 1
กลุ่มที่ 1	94	56	79	41	41
กลุ่มที่ 2	94	56	84	43	Error
กลุ่มที่ 3	94	56	84	45	44
กลุ่มที่ 4	94	56	83	44	Error
กลุ่มที่ 5	94	56	83	45	45

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อนำกลุ่มทดลองทั้ง 5 กลุ่ม นำมาผ่านวิธีการบีบอัดข้อมูลแบบ Arithmetic โดยอ้างอิงชุดความน่าจะเป็นของการคำนวณ โดยใช้กลุ่มที่ 1 พบว่า กลุ่มการทดลองที่ 2 และ 4 ไม่สามารถคำนวณออกมาได้ถูกต้องตามสมการที่ 2.12 และ 2.13 ของหัวข้อ 2.2.8 Arithmetic coding ส่วนกลุ่มการทดลองที่ 1, 3 และ 5 สามารถคำนวณได้ขนาดดังตารางที่ 4.9

4.3.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ 4.3.2.1 พิจารณาจากรูปที่ 4.11 พบว่าลักษณะกลุ่มข้อมูลที่ใช้เข้ารหัสมีผลต่อวิธีการเข้ารหัสและขนาดความจุหลังการเข้ารหัส จากกลุ่มข้อมูลที่ 1 ซึ่งเกิดจากการนำรหัสสินค้าประจำกล่อง 1 รหัส รวมกับ รหัสสินค้าประจำห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติก 2 รหัส โดยชุดของสินค้ามีข้อมูลเรียงกันตามลำดับ และกลุ่มข้อมูลที่ 3 ซึ่งเกิดจากการนำรหัสสินค้าประจำกล่อง 1 รหัส รวมกับ รหัสสินค้าประจำห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติก 4 รหัส โดยชุดของสินค้ามีข้อมูลเรียงกันตามลำดับ เช่นเดียวกัน ลักษณะกลุ่มข้อมูลที่ 3 ซึ่งมีค่าซ้ำกันมากในแต่ละตำแหน่งของแต่ละรหัส นำมาเข้ารหัสโดยใช้วิธี Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked) ขนาดความจุของข้อมูลน้อยลงไปจากขนาดข้อมูลก่อนการบีบอัดซึ่งลดลงเหลือ 83.9% และ 53.2% ตามลำดับ ส่วนกลุ่มข้อมูลที่ 2 และกลุ่มข้อมูลที่ 4 มีรหัสสินค้าแตกต่างกันโดยสินค้าที่มีการผลิตต่างสัปดาห์และลำดับของชุดสินค้าไม่เรียงตามลำดับ ทำให้ข้อมูลแต่ละตำแหน่งมีค่าไม่ซ้ำกัน เมื่อนำไปเข้ารหัสด้วยวิธี Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked) โดยมีขนาดความจุของข้อมูลเพิ่มขึ้นไปจากขนาดข้อมูลก่อนการบีบอัดซึ่งเพิ่มขึ้น 33.9% และ 6.4 % ตามลำดับ การเข้ารหัสด้วยวิธี Arithmetic ของกลุ่มข้อมูลที่ 1 และกลุ่มข้อมูลที่ 3 ขนาดความจุของข้อมูลน้อยลงไปจากขนาดข้อมูลก่อนการบีบอัดซึ่งลดลงเหลือ

ประมาณ 96.1% และ 91.5% ตามลำดับ และขนาดความจุของกลุ่มข้อมูลที่ 2 และกลุ่มข้อมูลที่ 4 มีขนาดความจุของข้อมูลเพิ่มขึ้นไปจากขนาดข้อมูลก่อนการบีบอัดซึ่งเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ 3.6% และ 4.3% ตามลำดับเมื่อนำข้อมูลผ่านการจัดเรียงข้อมูลที่เกิดซ้ำกันแล้วด้วยวิธี Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked) และนำไปเข้ารหัสแบบ Arithmetic ขนาดความจุของข้อมูลน้อยลงไปจากขนาดข้อมูลก่อนการบีบอัดซึ่งกลุ่มข้อมูลที่ 1 ลดลงเหลือ 75% กลุ่มข้อมูลที่ 3 ลดลงเหลือ 44.7% ซึ่งลดลงได้มากที่สุด และกลุ่มข้อมูลที่ 4 ลดลงเหลือ 83% ส่วนกลุ่มข้อมูลที่ 2 เพิ่มขึ้น 7% ดังนั้นจะเห็นได้ว่าลักษณะข้อมูลที่ใช้ในการเข้ารหัสมีผลต่อขนาดความจุหลังการเข้ารหัส เมื่อก่อนข้อมูลไม่มีการเรียงกันตามลำดับ ทำให้ตัวเลขไม่มีค่าที่ซ้ำกัน จึงลดขนาดข้อมูลได้น้อยและการเข้ารหัสข้อมูลด้วยวิธีต่างๆ ซึ่งอาศัยลักษณะข้อมูลที่ซ้ำกัน จึงทำให้ลดขนาดข้อมูลได้น้อย ในขณะที่กลุ่มข้อมูลที่มีการเรียงกันตามลำดับ ทำให้เกิดตัวเลขที่มีค่าซ้ำกันในหลายๆตำแหน่ง ซึ่งสอดคล้องกับเทคนิคการเข้ารหัสด้วยวิธี Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked) และ Arithmetic ทำให้ขนาดความจุลดลงได้



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบผลของการเข้ารหัสข้อมูลของงานทั้ง 4 กลุ่ม

จากผลการทดลองที่ 4.3.2.2 แสดงให้เห็นว่า เมื่อนำกลุ่มของชุดข้อมูลชนิดกลุ่มที่สาม ซึ่งเป็นรหัสสินค้าประจำกล่อง 1 รหัส รวมกับ รหัสสินค้าประจำหีบบรรจุภัณฑ์พลาสติก 4 รหัส จำนวน 5 ชุดกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นชุดข้อมูลในภาวะปกติของกระบวนการผลิต โดยใช้ชุดของความน่าจะเป็นต่าง

กลุ่มกันเพื่อนำมาอ้างอิงของวิธีการบีบอัดข้อมูลแบบ Arithmetic โดยกลุ่มการทดลองที่ 2 และ 4 ไม่สามารถคำนวณออกมาได้ถูกต้องตามสมการที่ 2.12 และ 2.13 ของหัวข้อ 2.2.8 Arithmetic coding ซึ่งพิจารณาข้อมูลจากตารางที่ 4.7 ของหัวข้อ 4.3.1.2 พบว่า มีอักขระที่ไม่มีในชุดของความน่าจะเป็น คือ 7 ซึ่งทำให้ไม่สามารถคำนวณตามสมการได้ ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ถ้าชุดของความน่าจะเป็นอ้างอิงสามารถครอบคลุมทุกอักขระที่อาจเกิดขึ้นก็สามารถใช้เป็นชุดของความน่าจะเป็นอ้างอิงในการคำนวณหาโดยใช้วิธีการบีบอัดข้อมูลแบบ Arithmetic

4.4 การทดลองที่ 4 ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอ่านเพื่อนำไปใช้งานจริง

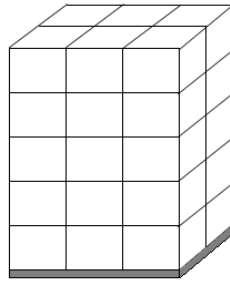
วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้ เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องอ่าน ประสิทธิภาพการทำงานที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานจริงซึ่งตัวแปรที่สำคัญในการพิจารณาคือ มุมของป้าย (Tag) ที่ทำกับเครื่องอ่านระยะห่างจากป้ายถึงเครื่องอ่านที่ยังสามารถทำงานได้ในระยะห่างต่างๆและความเร็วที่เครื่องสามารถอ่านต่อวินาทีในแต่ละกลุ่มการทดลองเพื่อเปรียบเทียบ โดยการทดลองนี้พิจารณาในสภาพแวดล้อมที่ไม่มีสิ่งกีดขวางใดๆ

4.4.1 วิธีการทดลอง

เครื่องอ่าน (RFID Reader) เป็นชนิด Integrated Antenna (Built in Circular Polarized Antenna) ซึ่งทำงานที่ความถี่ย่าน UHF ที่ 920-925 MHz โดยในการทดลองนี้ ผู้วิจัยได้แบ่งการทดลองออกเป็นสามกลุ่มย่อย เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องอ่านเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานจริง ได้แก่ มุมของป้ายที่ทำกับเครื่องอ่าน ระยะห่างที่มากที่สุดจากเครื่องอ่านถึงป้าย และความเร็วในการอ่านป้ายต่อวินาที

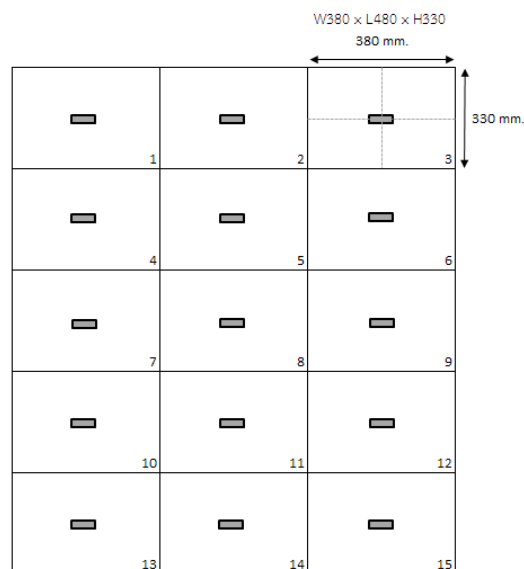
4.4.1.1 ตำแหน่งของป้ายที่ทำกับเครื่องอ่าน

พิจารณาจำนวนชิ้นงานเพื่อเป็นตัวแทนกลุ่มที่ใช้ในการทดลองนี้ สินค้าที่บรรจุลงกล่องปิดผนึกเรียบร้อยแล้ว จัดเรียงบนชั้นไม้วางกล่อง (Pallet) ลักษณะการจัดเรียงเป็นดังรูปที่ 4.12 ซึ่งมีจำนวน 30 กล่องต่อหนึ่งชั้นไม้วางกล่อง (Pallet) โดยมีป้าย (Tag) หันออกด้านละ 1 ชั้นต่อกล่อง



รูปที่ 4.12 การจัดเรียงกล่องบนชั้นไม้วางกล่อง (Pallet)

เนื่องจากสินค้าภายในกล่องเป็นโลหะที่มีปริมาณมาก ดังนั้นทำให้ประสิทธิภาพเครื่องอ่านไม่สามารถอ่านไปถึงป้ายที่ติดด้านตรงข้ามได้ทั้งหมด ดังนั้นจำนวนป้ายชิ้นงานที่น้อยที่สุดในการทดลองคือ 15 ชิ้น โดยพิจารณาที่ด้านเดียว ติดป้ายที่ตำแหน่งระยะตรงกลางกล่อง (ตำแหน่งที่ความสูงจากฐานกล่อง 165 มิลลิเมตร กว้าง 190 มิลลิเมตร) ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ป้าย (Tag) ที่ติดบนกล่องทั้ง 15 กล่อง

4.4.1.2 ระยะห่างที่มากที่สุดจากเครื่องอ่านถึงป้าย

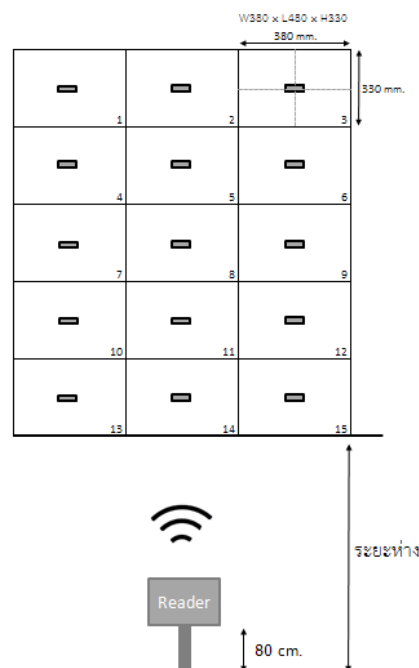
จากตำแหน่งของป้ายที่อ่านได้จากการติดทั้ง 15 กล่องนี้ นำมาหาระยะห่างที่เครื่องอ่านสามารถทำงานได้ดีที่สุด (Best case) และได้น้อยที่สุด (Worst case) โดยจากคุณสมบัติของเครื่องอ่าน กำหนดความสามารถในการทำงานที่ระยะมากที่สุด คือ 8 เมตร ดังนั้นจึงทำการแบ่งระยะห่างทุกๆ 1 เมตร โดยเริ่มที่ระยะ 1 เมตร จนถึง 8 เมตร และทดสอบเพิ่มเติมจนถึงระยะ 12 เมตร ซึ่งเป็น

ความยาวที่มากที่สุดของห้องปฏิบัติงาน (ดูรายละเอียดขนาดพื้นที่ภาคผนวก ก. หัวข้อ 1 ขนาดพื้นที่ปฏิบัติงานจริง) ที่กระบวนการ Shipping process โดยเป็นการเก็บข้อมูลเพื่อทดสอบตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดที่เครื่องอ่านสามารถอ่านป้ายได้

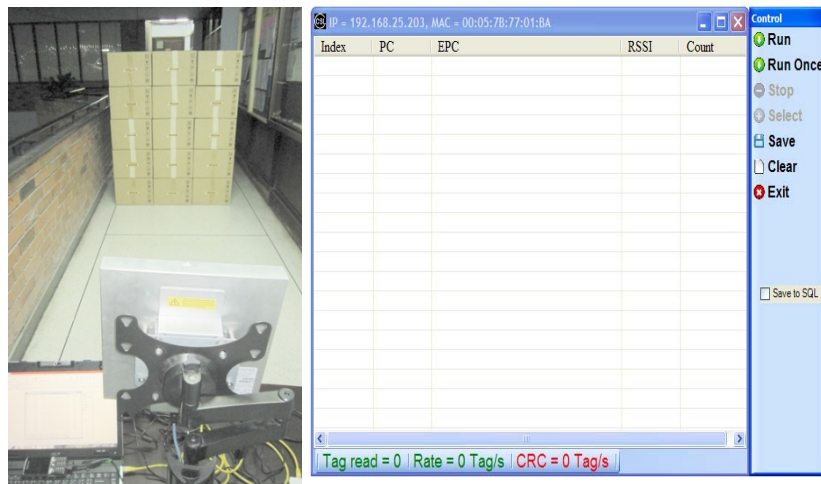
4.4.1.3 ความเร็วในการอ่านป้ายต่อวินาที

ทดลองความเร็วของเครื่องอ่านที่อ่านข้อมูลได้จากป้าย โดยมีค่า Power ของเครื่องอ่าน คือ 30 dBm หรือ 1 Watt เป็นค่าตัวแปรคงที่ ในการทดลองนี้ศึกษาความเร็วเมื่อมุมและระยะห่างมีค่าต่างๆกัน โดยในการทดลองที่ 4.4.1.3 หาค่าความเร็วโดยเฉลี่ยต่อวินาทีที่เครื่องอ่านสามารถอ่านป้ายทั้ง 15 ชั้นในระยะ 1 เมตร จนถึง 12 เมตร ซึ่งใช้ป้ายชนิดที่ 1 (Monza 4) และ ชนิดที่ 2 (UCODE G2XM) เพื่อเป็นกลุ่มทดลองตัวอย่างของป้ายที่นิยมใช้ในปัจจุบันและหาซื้อได้ทั่วไปซึ่งมีรายละเอียดข้อมูลจำเพาะสินค้าที่ใกล้เคียงกัน ดังรายละเอียดในบทที่ 3 เครื่องมือและอุปกรณ์

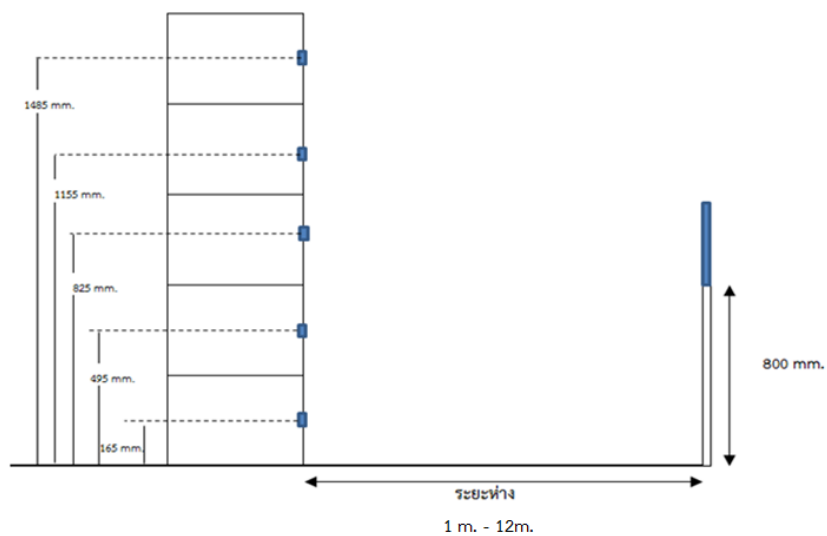
จากการออกแบบการทดลองทั้งสามกลุ่มย่อยรูปที่ 4.14 แสดงการจัดอุปกรณ์ของการทดลองของกลุ่มทดลอง 15 ชั้น ภาพถ่ายจริงของอุปกรณ์การทดลองกลุ่มทดลอง 15 ชั้นและโปรแกรมการใช้งาน ดังรูปที่ 4.15 และรายละเอียดความสูงของเครื่องอ่านและความสูงที่ตำแหน่งแนวตั้งของป้าย ดังรูปที่ 4.16 โดยหาตำแหน่งและมุมมองของเครื่องที่ทำกับป้ายในเวกเตอร์ ระบบ 3 มิติ (Cartesian) ซึ่งแสดงตำแหน่งของ 15 ป้าย ดังรูปที่ 4.17 และตารางที่ 4.10 แสดงขนาดและมุมของทั้ง 15 ป้ายที่ระยะห่าง 1 เมตรถึง 12 เมตร



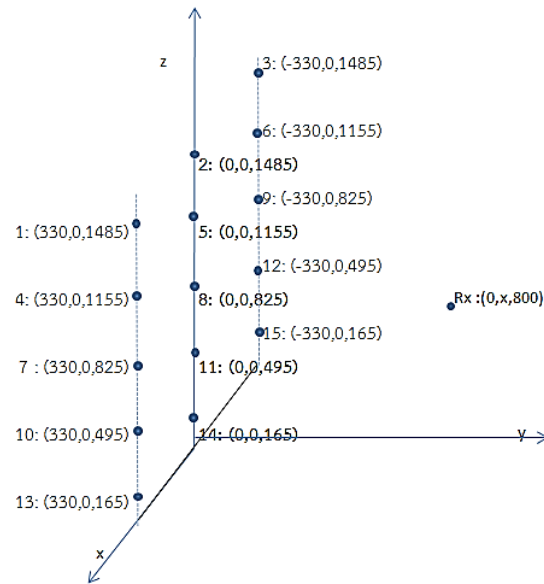
รูปที่ 4.14 การจัดอุปกรณ์ของการทดลองกลุ่มทดลอง 15 ชั้น



รูปที่ 4.15 ภาพถ่ายจริงของอุปกรณ์การทดลองกลุ่มทดลอง 15 ชั้น และโปรแกรมที่ใช้งาน



รูปที่ 4.16 ความสูงของเครื่องอ่านและความสูงที่ตำแหน่งแนวตั้งของป้าย



รูปที่ 4.17 ตำแหน่งของป้ายและเครื่องอ่านในเวกเตอร์ ระบบ 3 มิติ

ตารางที่ 4.10 ขนาดและมุมของ 15 บ้าย ที่ระยะห่าง 1 เมตรถึง 12 เมตร

ระยะห่าง ลำดับงาน ทดลอง	1 เมตร		2 เมตร		3 เมตร		4 เมตร		5 เมตร		6 เมตร		7 เมตร		8 เมตร		9 เมตร		10 เมตร		11 เมตร		12 เมตร	
	ขนาด	มุม	ขนาด	มุม	ขนาด	มุม	ขนาด	มุม	ขนาด	มุม	ขนาด	มุม	ขนาด	มุม	ขนาด	มุม	ขนาด	มุม	ขนาด	มุม	ขนาด	มุม	ขนาด	มุม
1	1,257.87	37.35	2,140.62	20.88	3,095.52	14.27	4,072.13	10.80	5,057.89	8.68	6,048.33	7.25	7,041.47	6.22	8,036.31	5.45	9,032.29	4.85	10,029.07	4.36	11,026.43	3.97	12,024.24	3.64
2	1,213.81	34.53	2,115.03	18.98	3,077.88	12.92	4,058.74	9.76	5,047.11	7.83	6,039.32	6.54	7,033.73	5.61	8,029.53	4.92	9,026.26	4.37	10,023.64	3.94	11,021.49	3.58	12,019.71	3.28
3	1,257.87	37.34	2,140.62	20.88	3,095.52	14.27	4,072.13	10.80	5,057.89	8.68	6,048.33	7.25	7,041.47	6.22	8,036.31	5.45	9,032.29	4.85	10,029.07	4.36	11,026.43	3.97	12,024.24	3.64
4	1,111.27	25.86	2,057.89	16.62	3,038.90	9.18	4,029.26	6.91	5,023.44	5.54	6,019.55	4.62	7,016.76	3.96	8,014.67	3.47	9,013.04	3.08	10,011.74	2.77	11,010.67	2.52	12,009.78	2.31
5	1,061.14	19.54	2,031.26	10.06	3,020.93	6.75	4,015.72	5.07	5,012.59	4.06	6,010.49	3.39	7,009.00	2.90	8,007.87	2.54	9,007.00	2.25	10,006.30	2.03	11,005.73	1.85	12,005.25	1.69
6	1,111.27	25.59	2,057.89	13.62	3,038.90	9.18	4,029.26	6.91	5,023.44	5.54	6,019.55	4.62	7,016.76	3.96	8,014.67	3.47	9,013.04	3.08	10,011.74	2.77	11,010.67	2.52	12,009.78	2.31
7	1,053.34	18.31	2,027.20	9.37	3,018.20	6.30	4,013.67	4.73	5,010.94	3.79	6,009.12	3.16	7,007.82	2.70	8,006.84	2.37	9,006.08	2.11	10,005.47	1.89	11,004.98	1.72	12,004.56	1.58
8	1,000.31	1.43	2,000.16	0.72	3,000.10	0.47	4,000.08	0.36	5,000.06	0.28	6,000.05	0.23	7,000.04	0.19	8,000.04	0.18	9,000.03	0.15	10,000.03	0.14	11,000.03	0.13	12,000.03	0.13
9	1,053.34	18.31	2,027.20	9.37	3,018.20	6.26	4,013.67	4.73	5,010.94	3.79	6,009.12	3.16	7,007.82	2.70	8,006.84	2.37	9,006.08	2.11	10,005.47	1.89	11,004.98	1.72	12,004.56	1.58
10	1,096.32	24.20	2,049.86	12.66	3,033.47	8.52	4,025.16	6.41	5,020.15	5.14	6,016.80	4.28	7,014.41	3.67	8,012.61	3.21	9,011.21	2.86	10,010.09	2.57	11,009.17	2.34	12,008.41	2.14
11	1,045.48	16.96	2,023.12	8.67	3,015.46	8.52	4,011.61	4.36	5,009.29	3.49	6,007.75	2.91	7,006.64	2.49	8,005.81	2.18	9,005.17	1.94	10,004.65	1.75	11,004.23	1.72	12,003.88	1.46
12	1,096.32	24.20	2,049.86	12.66	3,033.47	8.52	4,025.16	6.41	5,020.15	5.14	6,016.80	4.28	7,014.41	3.67	8,012.61	3.21	9,011.21	2.86	10,010.09	2.57	11,009.17	2.34	12,008.41	2.14
13	1,229.68	35.59	2,124.18	19.69	3,084.17	13.42	4,063.51	10.14	5,050.95	8.14	6,042.53	6.80	7,036.49	5.84	8,031.94	5.11	9,028.41	4.55	10,025.57	4.09	11,023.25	3.72	12,021.32	3.41
14	1,184.58	32.42	2,098.39	17.61	3,066.47	11.95	4,050.09	9.02	5,040.16	7.23	6,033.51	6.04	7,028.74	5.18	8,025.16	4.54	9,022.37	4.03	10,020.14	32.63	11,018.31	3.30	12,016.79	3.03
15	1,229.68	35.59	2,124.18	19.69	3,084.17	13.42	4,063.51	10.14	5,050.95	8.14	6,042.53	6.80	7,036.49	5.84	8,031.94	5.11	9,028.41	4.55	10,025.57	4.09	11,023.25	3.72	12,021.32	3.41

4.4.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองของการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอ่านเพื่อนำไปใช้งานจริงของป้ายทั้งสองชนิด ผู้วิจัยได้นำผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรม (ดูรูปผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรม ภาคผนวก ก. หัวข้อ 2 ผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรมการใช้งานสำหรับอ่านและเขียนข้อมูลลงป้าย) แสดงผลการทดลองของหัวข้อ 4.4.1.1 ซึ่งคำนวณหาขนาดและมุมของ Cartesian Vector ดังตารางที่ 4.10

4.4.2.1 ผลการทดลองตำแหน่งของป้ายที่ทำกับเครื่องอ่าน

จากการทดลองพบว่าป้ายชนิดที่ 1 ที่ระยะห่าง 1 เมตรจนถึง 8 เมตร เป็นระยะที่เครื่องอ่านสามารถอ่านได้ครบทั้ง 15 ป้าย และที่ระยะห่าง 9 เมตร เครื่องอ่านเริ่มอ่านป้ายไม่ครบทั้ง 15 ป้าย โดยป้ายตำแหน่งที่ 13 ไม่สามารถอ่านได้ ซึ่งเป็นระยะที่ความสูงจากพื้น 165 mm. ขนาดเวกเตอร์คือ 9,028.41 mm. (9.028 m.) ระยะห่างจาก 10 เมตรจนถึง 12 เมตร ตำแหน่งป้ายที่ 13 ถึง 15 ที่ระยะความสูงจากพื้น 165 mm. เป็นตำแหน่งป้ายที่ไม่สามารถอ่านได้เช่นกันและเป็นมุมขององศาที่น้อยมากแสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.11 โดยช่องสีเข้ม (N) แสดงป้ายที่ไม่สามารถอ่านได้

ตารางที่ 4.11 ความสามารถในการอ่านป้ายชนิดที่ 1

ลำดับงานทดลอง	1 เมตร	2 เมตร	3 เมตร	4 เมตร	5 เมตร	6 เมตร	7 เมตร	8 เมตร	9 เมตร	10 เมตร	11 เมตร	12 เมตร
1	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
2	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
3	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
4	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
5	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
6	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
7	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
8	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
9	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
10	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
11	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
12	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
13	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N
14	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N
15	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N

ป้ายชนิดที่ 2 ที่ระยะห่าง 1 เมตรและ 2 เมตร เป็นระยะที่เครื่องอ่านสามารถอ่านได้ครบทั้ง 15 ป้าย และเมื่อเพิ่มระยะห่างตั้งแต่ 3 เมตรขึ้นไปจนถึง 12 เมตร มีตำแหน่งป้ายที่ไม่สามารถอ่านได้ โดยเพิ่มจำนวนป้ายที่ไม่สามารถอ่านได้ในตำแหน่งตามระยะห่างที่มากขึ้น โดยระยะที่ 9 เมตรจนถึง 12 เมตร ตำแหน่งป้ายที่ 10 เมตร ถึง 15 เมตร ไม่สามารถอ่านได้ ซึ่งเป็นค่ามุมขององศาของป้ายมีค่าน้อยมากค่าเฉลี่ยที่ 4 องศา ทั้งด้านบนและด้านล่าง ดังแสดงผลการทดลองของป้ายชนิดที่ 2 ดังตารางที่ 4.12 โดยช่องสีเข้ม (N) แสดงป้ายที่ไม่สามารถอ่านได้

ตารางที่ 4.12 ความสามารถในการอ่านป้ายชนิดที่ 2

ลำดับงานทดลอง	1 เมตร	2 เมตร	3 เมตร	4 เมตร	5 เมตร	6 เมตร	7 เมตร	8 เมตร	9 เมตร	10 เมตร	11 เมตร	12 เมตร
1	Y	Y	N	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	N
2	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	Y
3	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N
4	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
5	Y	Y	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	Y
6	Y	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	N
7	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
8	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
9	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N
10	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N
11	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N
12	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N
13	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N
14	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N
15	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N

4.4.2.2 ผลการทดลองประสิทธิภาพของเครื่องอ่านกับป้ายชนิดที่ 1

จากวิธีการทดลองหัวข้อ 4.4.1.2 ระยะห่างระหว่างเครื่องอ่านถึงป้าย และ 4.4.1.3 ความเร็วในการอ่านป้ายต่อวินาที ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.13 ถึง 4.24 และรูปที่ 4.18 ถึง 4.29 แสดงผลข้อมูลและวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูป (MINITAB) [44] มาใช้ศึกษาความแตกต่างระหว่างกลุ่มของผลการทดลองการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอ่านเพื่อนำไปใช้งานจริงของป้ายชนิดที่ 1 (IC: Monza4) โดยแบ่งเป็นตารางแสดงบันทึกผลการทดลองที่ระยะ 1 เมตร จนถึงระยะ 12 เมตร ค่าที่ได้จากการทดลองเป็นค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่าน (Receive Signal Strength Indication: RSSI) ของแต่ละชิ้นงานในแต่ละระยะห่างซึ่งเป็นค่าที่เกิดจากการคำนวณของชุดคำสั่งที่สร้างไว้ภายในของโปรแกรม และ

แสดงค่าเฉลี่ยรวม (Rate) ที่เครื่องอ่านได้ต่อวินาทีในระยะที่ 1 เมตร ถึง 12 เมตร นอกจากนี้คำนวณค่าทางสถิติโดยใช้ฟังก์ชัน Descriptive Statistics รวมทั้ง ฟังก์ชัน Run Chart เพื่อสังเกตรูปแบบของข้อมูลในแต่ละจุดเพื่อศึกษาแนวโน้มในแต่ละช่วงระยะห่าง

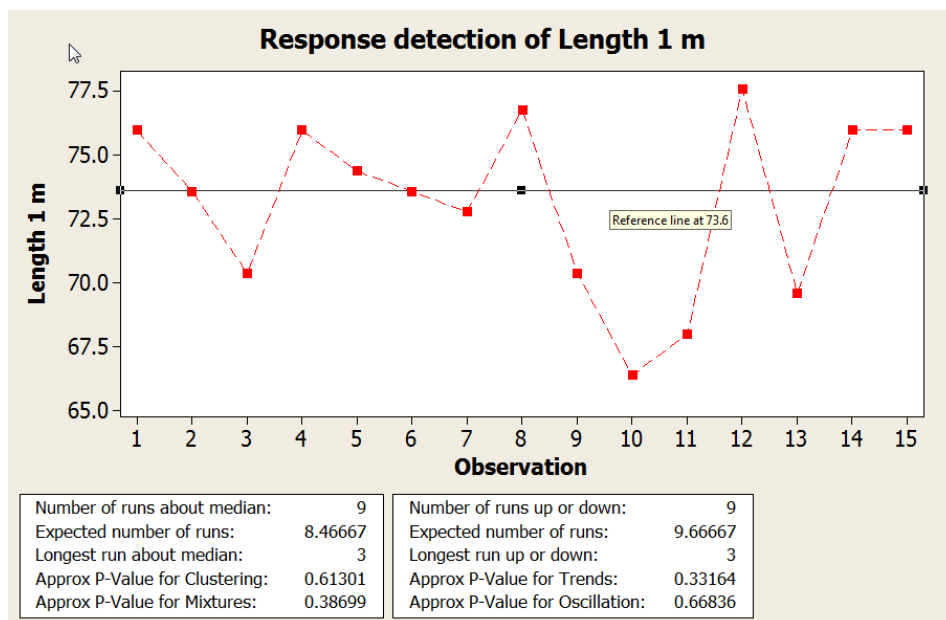
ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองที่ระยะ 1 เมตร

ระยะห่างจาก เครื่องอ่าน ถึงป้าย (เมตร)	ลำดับงานทดลอง															ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้ (Tag/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	76.0	73.6	70.4	76.0	74.4	73.6	72.8	76.8	70.4	66.4	68.0	77.6	69.6	76.0	76.0	118.7

Descriptive Statistics: Length 1 m

Variable N N* Mean SE Mean StDev Minimum Q1 Median Q3
 Length 1 m 15 0 73.173 0.893 3.459 66.400 70.400 73.600 76.000

Variable Maximum
 Length 1 m 77.600



รูปที่ 4.18 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 1 เมตร

จากผลการทดลองที่ระยะห่าง 1 เมตร พบว่าเครื่องอ่านสามารถอ่านป้ายได้ครบทั้ง 15 ป้าย ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่านของค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 73.173 ป้ายตำแหน่งที่ 10 พบว่ามีค่าต่ำที่สุด คือ 66.4 ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้จากโปรแกรม คือ 118.7 tag/s

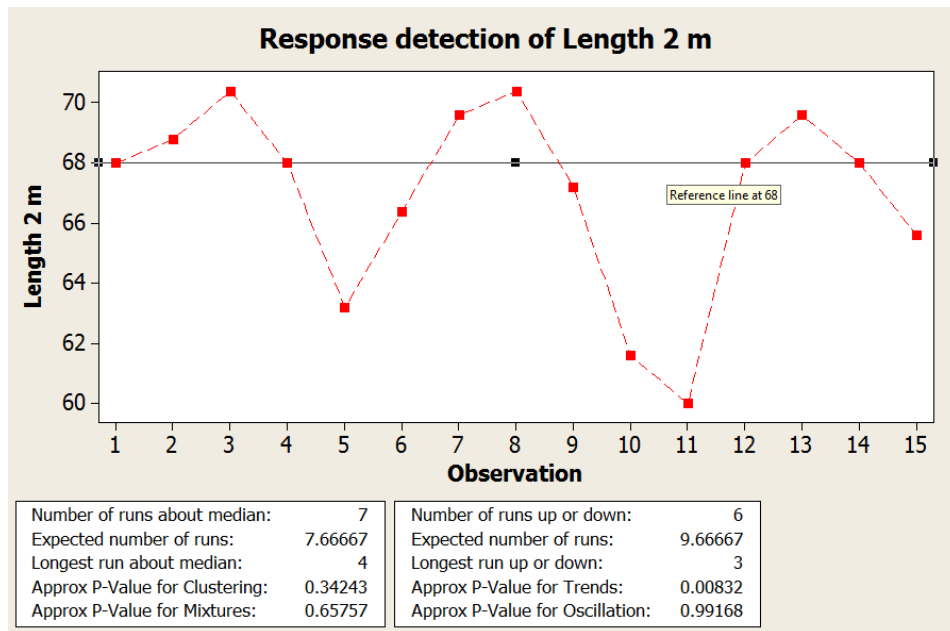
ตารางที่ 4.14 ผลการทดลองที่ระยะ 2 เมตร

ระยะห่างจาก เครื่องอ่าน ถึงป้าย (เมตร)	ลำดับงานทดลอง															ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้ (Tag/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
2	68.0	68.8	70.4	68.0	63.2	66.4	69.6	70.4	67.2	61.6	60.0	68.0	69.6	68.0	65.6	120.8

Descriptive Statistics: Length 2 m

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
Length 2 m	15	0	66.987	0.813	3.149	60.000	65.600	68.000	69.600

Variable	Maximum
Length 2 m	70.400



รูปที่ 4.19 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 2 เมตร

จากผลการทดลองที่ระยะห่าง 2 เมตร พบว่าเครื่องอ่านสามารถอ่านป้ายได้ครบทั้ง 15 ป้าย ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่านของค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 66.987 ป้ายตำแหน่งที่ 11 พบว่ามีค่าต่ำที่สุด คือ 60.0 ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้จากโปรแกรม คือ 120.8 tag/s

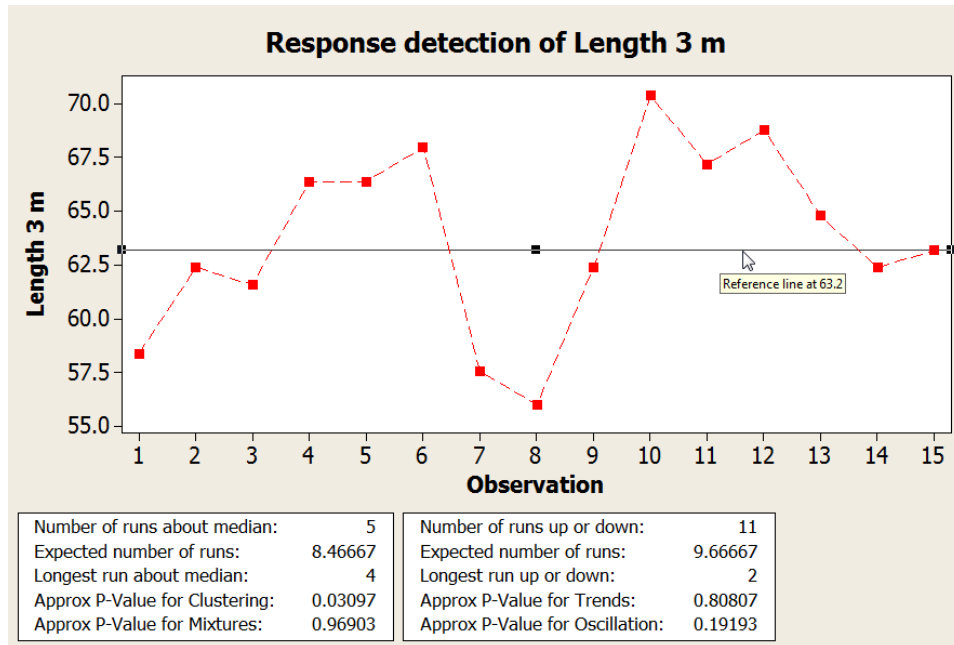
ตารางที่ 4.15 ผลการทดลองที่ระยะ 3 เมตร

ระยะห่างจาก เครื่องอ่าน ถึงป้าย (เมตร)	ลำดับงานทดลอง															ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้ (Tag/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
3	58.4	62.4	61.6	66.4	66.4	68.0	57.6	56.0	62.4	70.4	67.2	68.8	64.8	62.4	63.2	127.8

Descriptive Statistics: Length 3 m

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
Length 3 m	15	0	63.73	1.09	4.24	56.00	61.60	63.20	67.20

Variable	Maximum
Length 3 m	70.40



รูปที่ 4.20 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 3 เมตร

จากผลการทดลองที่ระยะห่าง 3 เมตร พบว่าเครื่องอ่านสามารถอ่านป้ายได้ครบทั้ง 15 ป้าย ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่านของค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 63.73 ป้ายตำแหน่งที่ 8 พบว่ามีค่าต่ำที่สุด คือ 56.0 ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้จากโปรแกรม คือ 127.8 tag/s

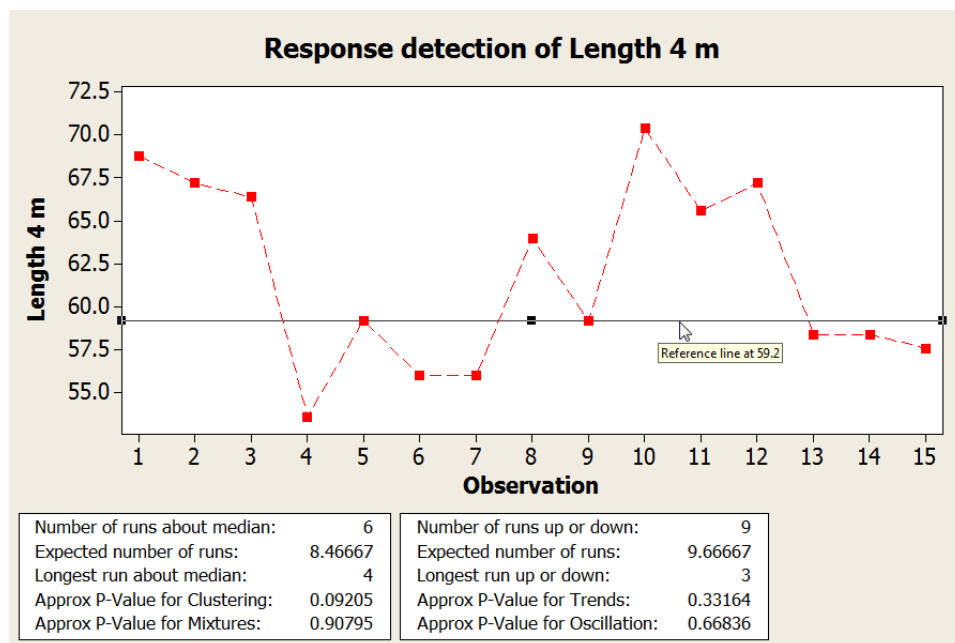
ตารางที่ 4.16 ผลการทดลองที่ระยะ 4 เมตร

ระยะห่างจาก เครื่องอ่าน ถึงป้าย (เมตร)	ลำดับงานทดลอง															ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้ (Tag/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
4	68.8	67.2	66.4	53.6	59.2	56.0	56.0	64.0	59.2	70.4	65.6	67.2	58.4	58.4	57.6	128.2

Descriptive Statistics: Length 4 m

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
Length 4 m	15	0	61.87	1.40	5.41	53.60	57.60	59.20	67.20

Variable	Maximum
Length 4 m	70.40



รูปที่ 4.21 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 4 เมตร

จากผลการทดลองที่ระยะห่าง 4 เมตร พบว่าเครื่องอ่านสามารถอ่านป้ายได้ครบทั้ง 15 ป้าย ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่านของค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 61.87 ป้ายตำแหน่งที่ 4 พบว่ามีค่าต่ำที่สุด คือ 53.6 ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้จากโปรแกรม คือ 128.2 tag/s

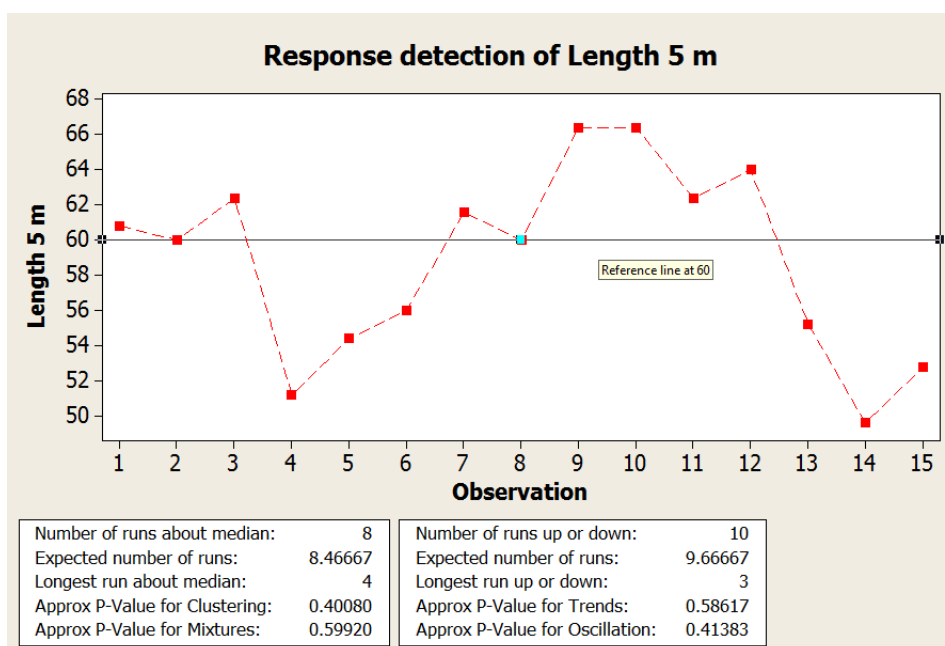
ตารางที่ 4.17 ผลการทดลองที่ระยะ 5 เมตร

ระยะห่างจาก เครื่องอ่าน ถึงป้าย (เมตร)	ลำดับงานทดลอง															ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้ (Tag/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
5	60.8	60.0	62.4	51.2	54.4	56.0	61.6	60.0	66.4	66.4	62.4	64.0	55.2	49.6	52.8	127.0

Descriptive Statistics: Length 5 m

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
Length 5 m	15	0	58.88	1.38	5.36	49.60	54.40	60.00	62.40

Variable	Maximum
Length 5 m	66.40



รูปที่ 4.22 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 5 เมตร

จากผลการทดลองที่ระยะห่าง 5 เมตร พบว่าเครื่องอ่านสามารถอ่านป้ายได้ครบทั้ง 15 ป้าย ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่านของค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 58.88 ป้ายตำแหน่งที่ 14 พบว่ามีค่าต่ำที่สุด คือ 49.6 ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้จากโปรแกรม คือ 127.0 tag/s

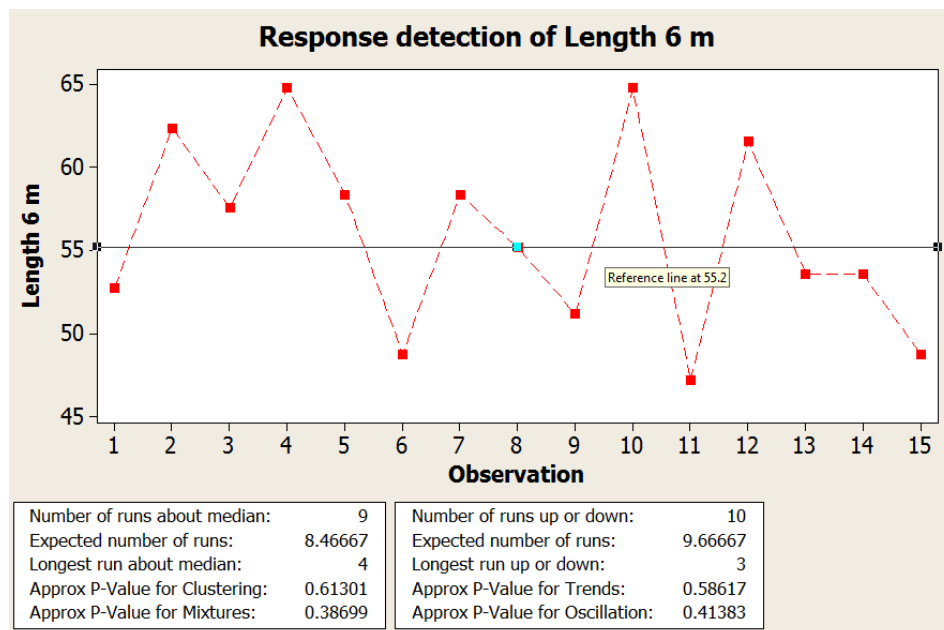
ตารางที่ 4.18 ผลการทดลองที่ระยะ 6 เมตร

ระยะห่างจาก เครื่องอ่าน ถึงป้าย (เมตร)	ลำดับงานทดลอง															ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้ (Tag/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
6	52.8	62.4	57.6	64.8	58.4	48.8	58.4	55.2	51.2	64.8	47.2	61.6	53.6	53.6	48.8	125.2

Descriptive Statistics: Length 6 m

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
Length 6 m	15	0	55.95	1.49	5.78	47.20	51.20	55.20	61.60

Variable	Maximum
Length 6 m	64.80



รูปที่ 4.23 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 6 เมตร

จากผลการทดลองที่ระยะห่าง 6 เมตร พบว่าเครื่องอ่านสามารถอ่านป้ายได้ครบทั้ง 15 ป้าย ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่านของค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 55.95 ป้ายตำแหน่งที่ 11 พบว่ามีค่าต่ำที่สุด คือ 47.2 ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้จากโปรแกรม คือ 125.2 tag/s

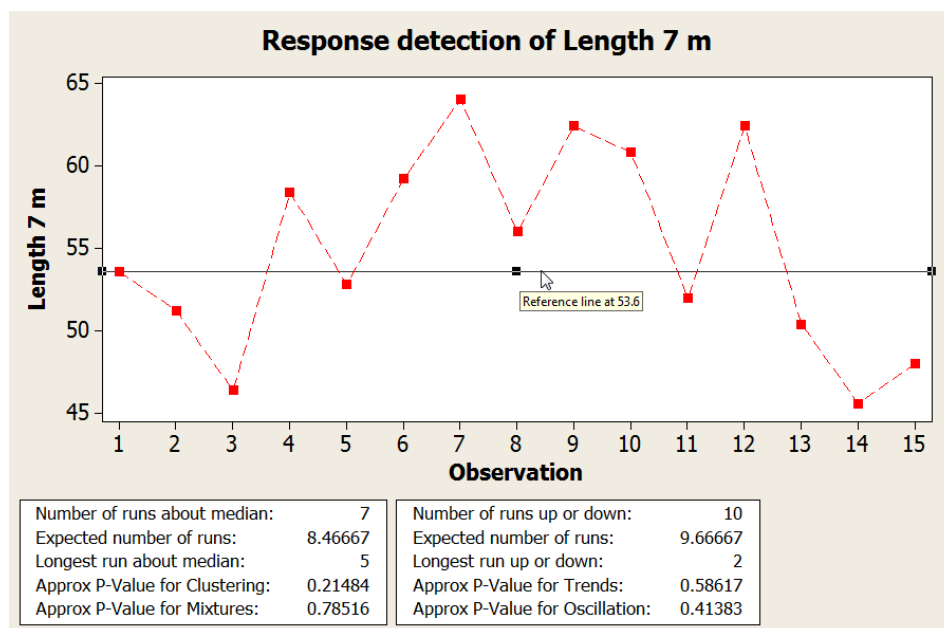
ตารางที่ 4.19 ผลการทดลองที่ระยะ 7 เมตร

ระยะห่างจาก เครื่องอ่าน ถึงป้าย (เมตร)	ลำดับงานทดลอง															ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้ (Tag/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
7	53.6	51.2	46.4	58.4	52.8	59.2	64.0	56.0	62.4	60.8	52.0	62.4	50.4	45.6	48.0	111.6

Descriptive Statistics: Length 7 m

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
Length 7 m	15	0	54.88	1.57	6.08	45.60	50.40	53.60	60.80

Variable	Maximum
Length 7 m	64.00



รูปที่ 4.24 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 7 เมตร

จากผลการทดลองที่ระยะห่าง 7 เมตร พบว่าเครื่องอ่านสามารถอ่านป้ายได้ครบทั้ง 15 ป้าย ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่านของค่าเฉลี่ยอยู่ที่

54.88 ป้ายตำแหน่งที่ 14 พบว่ามีค่าต่ำที่สุด คือ 45.6 ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้จากโปรแกรม คือ 111.6 tag/s

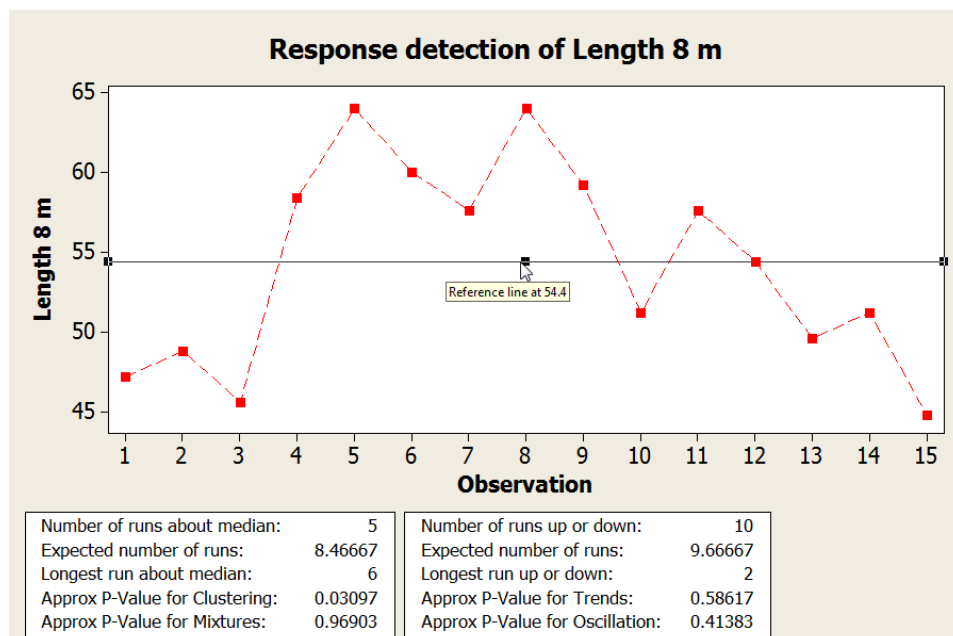
ตารางที่ 4.20 ผลการทดลองที่ระยะ 8 เมตร

ระยะห่างจาก เครื่องอ่าน ถึงป้าย (เมตร)	ลำดับงานทดลอง															ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้ (Tag/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
8	47.2	48.8	45.6	58.4	64.0	60.0	57.6	64.0	59.2	51.2	57.6	54.4	49.6	51.2	44.8	120.5

Descriptive Statistics: Length 8 m

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
Length 8 m	15	0	54.24	1.65	6.39	44.80	48.80	54.40	59.20

Variable	Maximum
Length 8 m	64.00



รูปที่ 4.25 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 8 เมตร

จากผลการทดลองที่ระยะห่าง 8 เมตร พบว่าเครื่องอ่านสามารถอ่านป้ายได้ครบทั้ง 15 ป้าย ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่านของค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 54.24 ป้ายตำแหน่งที่ 15 พบว่ามีค่าต่ำที่สุด คือ 44.8 ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้จากโปรแกรม คือ 120.5 tag/s

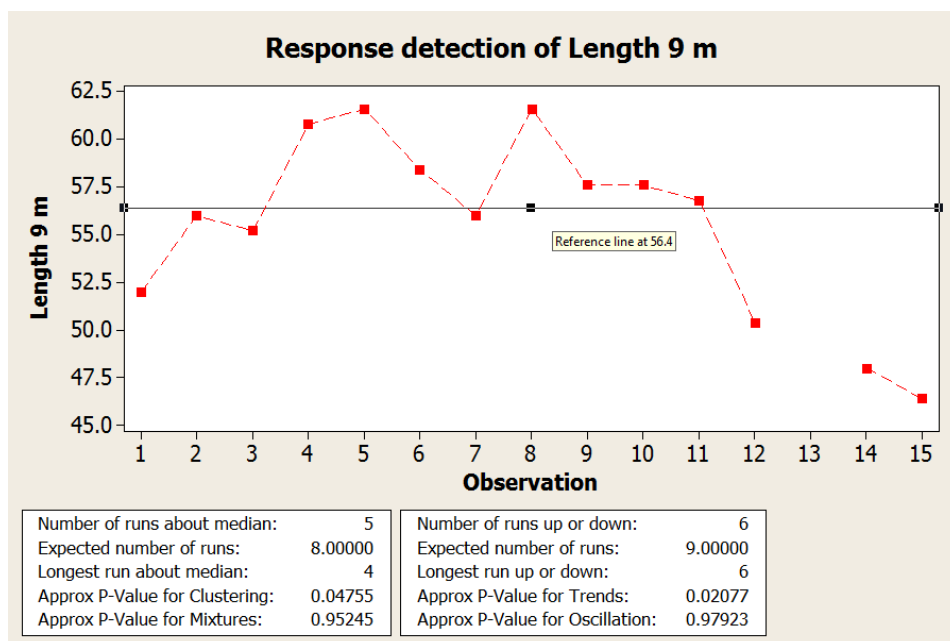
ตารางที่ 4.21 ผลการทดลองที่ระยะ 9 เมตร

ระยะห่างจาก เครื่องอ่าน ถึงป้าย (เมตร)	ลำดับงานทดลอง															ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้ (Tag/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
9	52.0	56.0	55.2	60.8	61.6	58.4	56.0	61.6	57.6	57.6	56.8	50.4	-	48.0	46.4	118.4

Descriptive Statistics: Length 9 m

Variable N N* Mean SE Mean StDev Minimum Q1 Median Q3
 Length 9 m 14 1 55.60 1.28 4.80 46.40 51.60 56.40 59.00

Variable Maximum
 Length 9 m 61.60



รูปที่ 4.26 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 9 เมตร

จากผลการทดลองที่ระยะห่าง 9 เมตร พบว่าเครื่องอ่านสามารถอ่านป้ายได้ 14 ป้าย ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่านของค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 55.60 ป้ายตำแหน่งที่ 13 ไม่มีการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่าน และป้ายตำแหน่งที่ 15 พบว่ามีค่าต่ำที่สุด คือ 46.4 ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้จากโปรแกรม คือ 118.4 tag/s

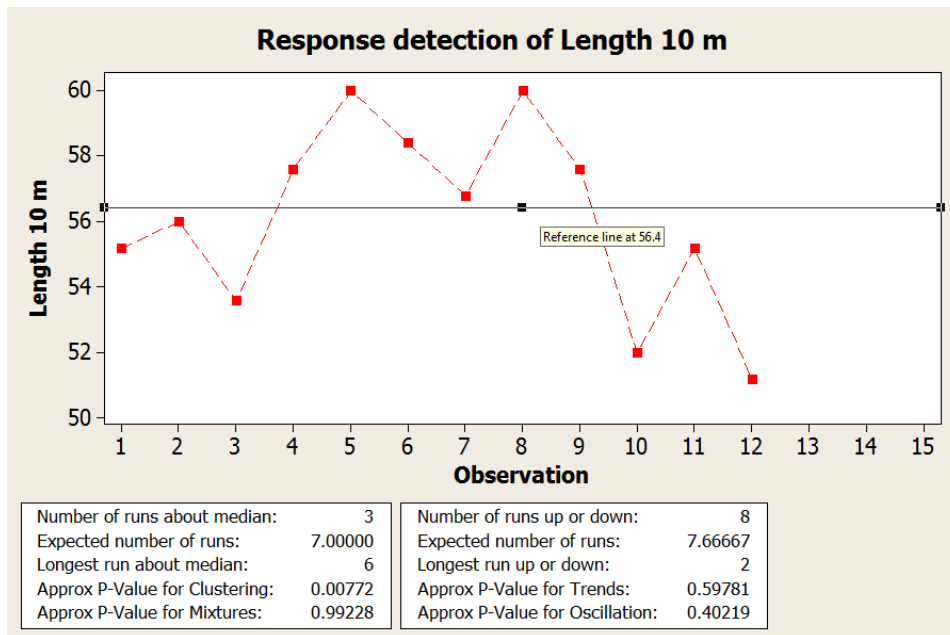
ตารางที่ 4.22 ผลการทดลองที่ระยะ 10 เมตร

ระยะห่างจาก เครื่องอ่าน ถึงป้าย (เมตร)	ลำดับงานทดลอง															ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้ (Tag/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
10	55.2	56.0	53.6	57.6	60.0	58.4	56.8	60.0	57.6	52.0	55.2	51.2	-	-	-	120.9

Descriptive Statistics: Length 10 m

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
Length 10 m	12	3	56.133	0.823	2.851	51.200	54.000	56.400	58.200

Variable	Maximum
Length 10 m	60.000



รูปที่ 4.27 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 10 เมตร

จากผลการทดลองที่ระยะห่าง 10 เมตร พบว่าเครื่องอ่านสามารถอ่านป้ายได้ 12 ป้าย ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่านของค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 56.133 ป้ายตำแหน่งที่ 13, 14 และ 15 ไม่มีการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่าน และป้ายตำแหน่งที่ 12 พบว่ามีค่าต่ำที่สุด คือ 51.2 ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้จากโปรแกรม คือ 120.9 tag/s

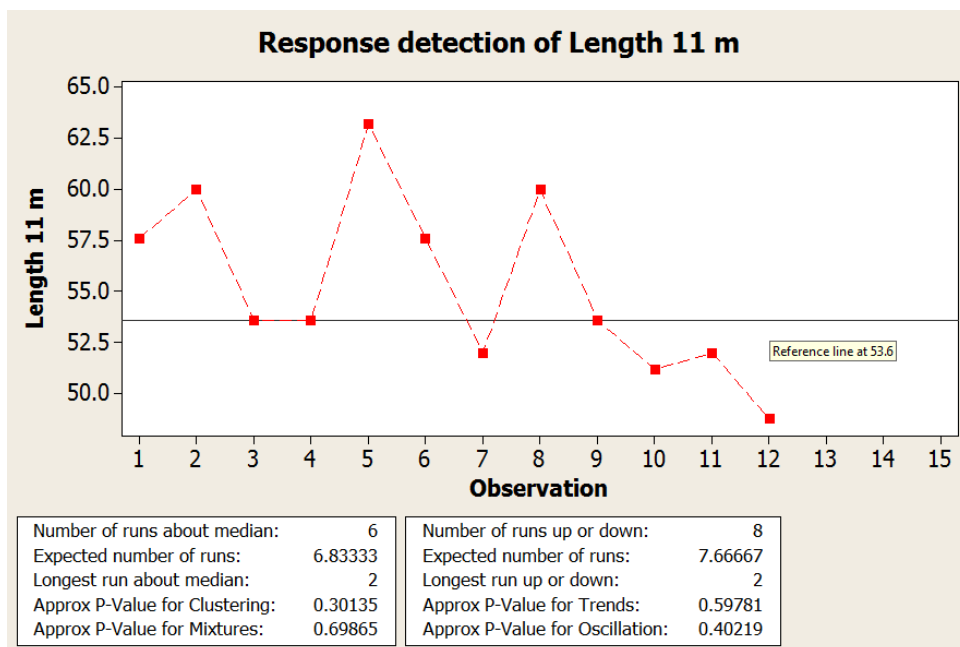
ตารางที่ 4.23 ผลการทดลองที่ระยะ 11 เมตร

ระยะห่างจาก เครื่องอ่าน ถึงป้าย (เมตร)	ลำดับงานทดลอง															ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้ (Tag/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
11	57.6	60.0	53.6	53.6	63.2	57.6	52.0	60.0	53.6	51.2	52.0	48.8	-	-	-	123.0

Descriptive Statistics: Length 11 m

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
Length 11 m	12	3	55.27	1.25	4.33	48.80	52.00	53.60	59.40

Variable	Maximum
Length 11 m	63.20



รูปที่ 4.28 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 11 เมตร

จากผลการทดลองที่ระยะห่าง 11 เมตร พบว่าเครื่องอ่านสามารถอ่านป้ายได้ 12 ป้าย ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่านของค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 55.27 ป้ายตำแหน่งที่ 13, 14 และ 15 ไม่มีการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่าน และป้ายตำแหน่งที่ 12 พบว่ามีค่าต่ำที่สุด คือ 48.8 ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้จากโปรแกรม คือ 123.0 tag/s

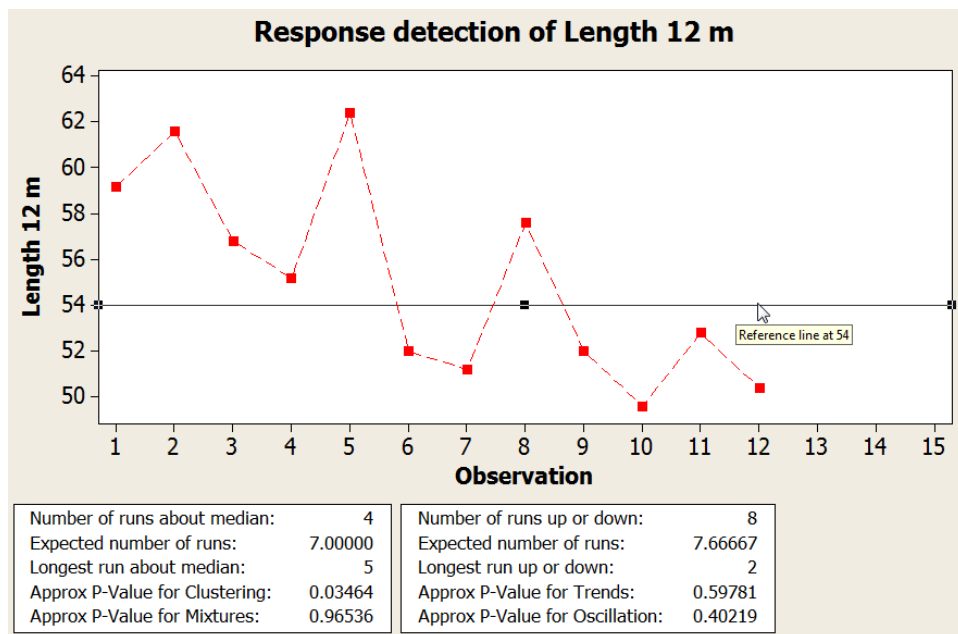
ตารางที่ 4.24 ผลการทดลองที่ระยะ 12 เมตร

ระยะห่างจาก เครื่องอ่าน ถึงป้าย (เมตร)	ลำดับงานทดลอง															ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้ (Tag/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
12	59.2	61.6	56.8	55.2	62.4	52.0	51.2	57.6	52.0	49.6	52.8	50.4	-	-	-	123.2

Descriptive Statistics: Length 12 m

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
Length 12 m	12	3	55.07	1.27	4.41	49.60	51.40	54.00	58.80

Variable	Maximum
Length 12 m	62.40



รูปที่ 4.29 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 12 เมตร

จากผลการทดลองที่ระยะห่าง 12 เมตร พบว่าเครื่องอ่านสามารถอ่านป้ายได้ 12 ป้าย ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่านของค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 55.07 ป้ายตำแหน่งที่ 13, 14 และ 15 ไม่มีการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่าน และป้ายตำแหน่งที่ 10 พบว่ามีค่าต่ำที่สุด คือ 49.6 ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้จากโปรแกรม คือ 123.2 tag/s

4.4.2.3 ผลการทดลองของการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอ่านกับป้ายชนิดที่ 2

ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.25 ถึง 4.36 และรูปที่ 4.30 ถึง 4.41 ซึ่งเป็นผลการทดลองการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอ่านเพื่อนำไปใช้งานจริงของป้ายชนิดที่ 2 (IC: UCODE G2XM) บันทึกผลการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.2.2

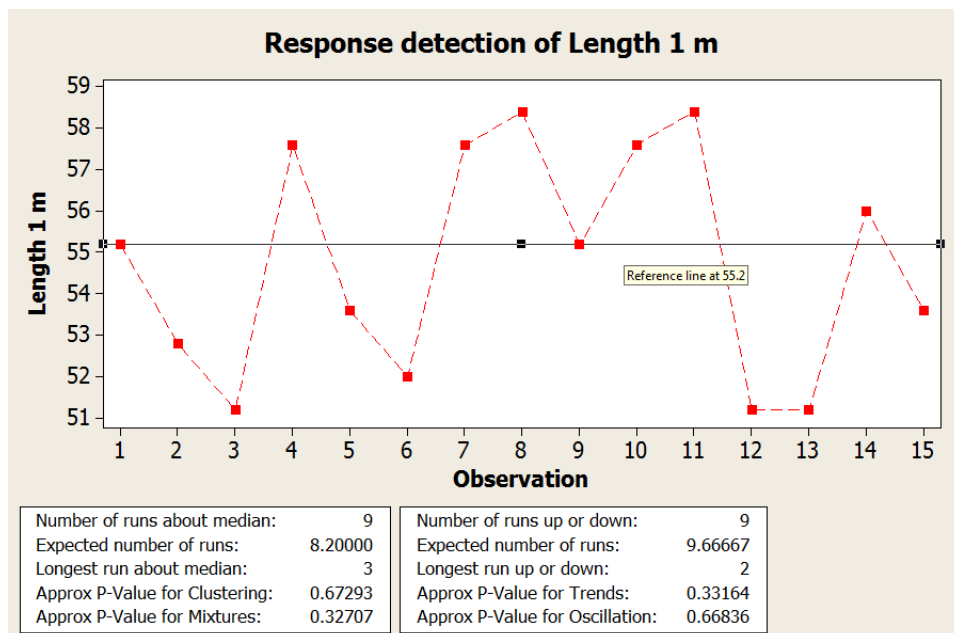
ตารางที่ 4.25 ผลการทดลองที่ระยะ 1 เมตร

ระยะห่างจาก เครื่องอ่าน ถึงป้าย (เมตร)	ลำดับงานทดลอง															ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้ (Tag/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	55.2	52.8	51.2	57.6	53.6	52.0	57.6	58.4	55.2	57.6	58.4	51.2	51.2	56.0	53.6	118.2

Descriptive Statistics: Length 1 m

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
Length 1 m	15	0	54.773	0.706	2.736	51.200	52.000	55.200	57.600

Variable	Maximum
Length 1 m	58.400



รูปที่ 4.30 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 1 เมตร

จากผลการทดลองที่ระยะห่าง 1 เมตร พบว่าเครื่องอ่านสามารถอ่านป้ายได้ครบทั้ง 15 ป้าย ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่านของค่าเฉลี่ยอยู่ที่

54.773 ป้ายตำแหน่งที่ 3, 12, 13 พบว่ามีค่าต่ำที่สุด คือ 51.2 ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้จากโปรแกรม คือ 118.2 tag/s

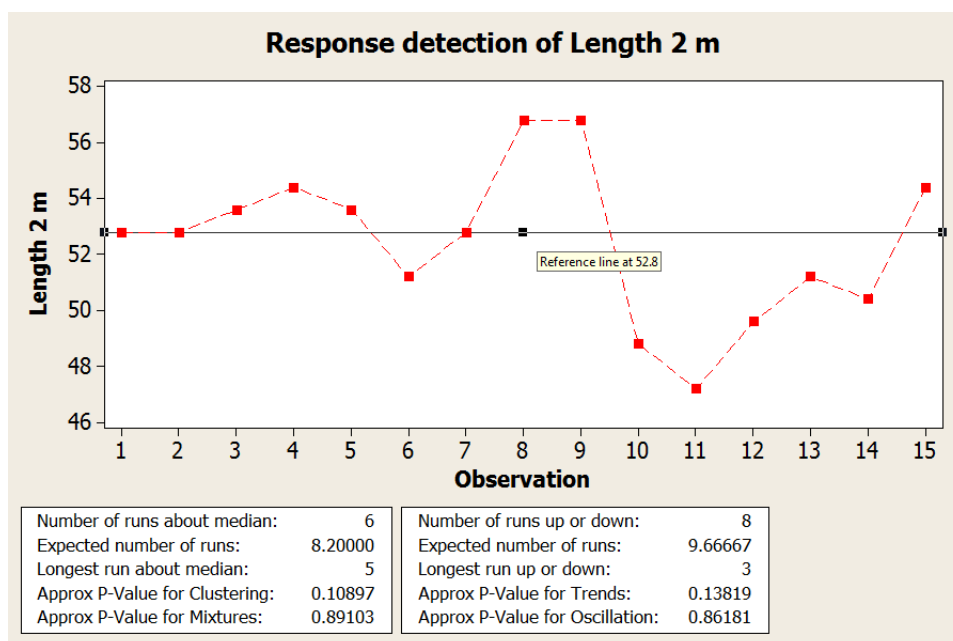
ตารางที่ 4.26 ผลการทดลองที่ระยะ 2 เมตร

ระยะห่างจาก เครื่องอ่าน ถึงป้าย (เมตร)	ลำดับงานทดลอง															ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้ (Tag/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
2	52.8	52.8	53.6	54.4	53.6	51.2	52.8	56.8	56.8	48.8	47.2	49.6	51.2	50.4	54.4	40.4

Descriptive Statistics: Length 2 m

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
Length 2 m	15	0	52.427	0.706	2.736	47.200	50.400	52.800	54.400

Variable	Maximum
Length 2 m	56.800



รูปที่ 4.31 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 2 เมตร

จากผลการทดลองที่ระยะห่าง 2 เมตร พบว่าเครื่องอ่านสามารถอ่านป้ายได้ครบทั้ง 15 ป้าย ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่านของค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 52.427 ป้ายตำแหน่งที่ 11 พบว่ามีค่าต่ำที่สุด คือ 47.2 ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้จากโปรแกรม คือ 40.4 tag/s

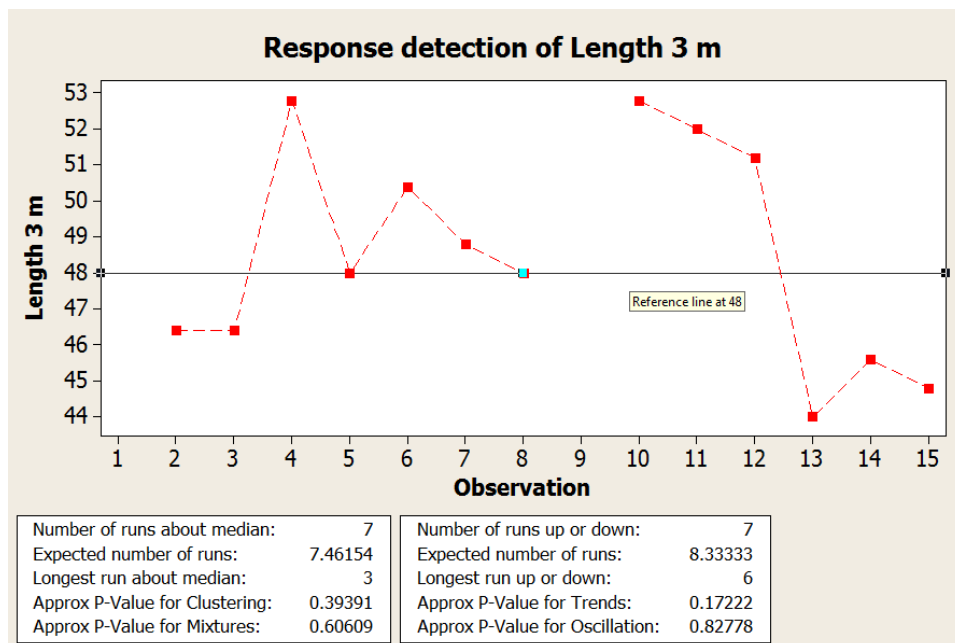
ตารางที่ 4.27 ผลการทดลองที่ระยะ 3 เมตร

ระยะห่างจาก เครื่องอ่าน ถึงป้าย (เมตร)	ลำดับงานทดลอง															ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้ (Tag/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
3	-	46.4	46.4	52.8	48.0	50.4	48.8	48.0	-	52.8	52.0	51.2	44.0	45.6	44.8	115.3

Descriptive Statistics: Length 3 m

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
Length 3 m	13	2	48.554	0.847	3.053	44.000	46.000	48.000	51.600

Variable	Maximum
Length 3 m	52.800



รูปที่ 4.32 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 3 เมตร

จากผลการทดลองที่ระยะห่าง 3 เมตร พบว่าเครื่องอ่านสามารถอ่านป้ายได้ 13 ป้าย ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่านของค่าเฉลี่ยอยู่ที่

48.554 ป้ายตำแหน่งที่ 1 และ 9 ไม่มีการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่าน และป้ายตำแหน่งที่ 13 พบว่ามีค่าต่ำที่สุด คือ 44.0 ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้จากโปรแกรม คือ 115.3 tag/s

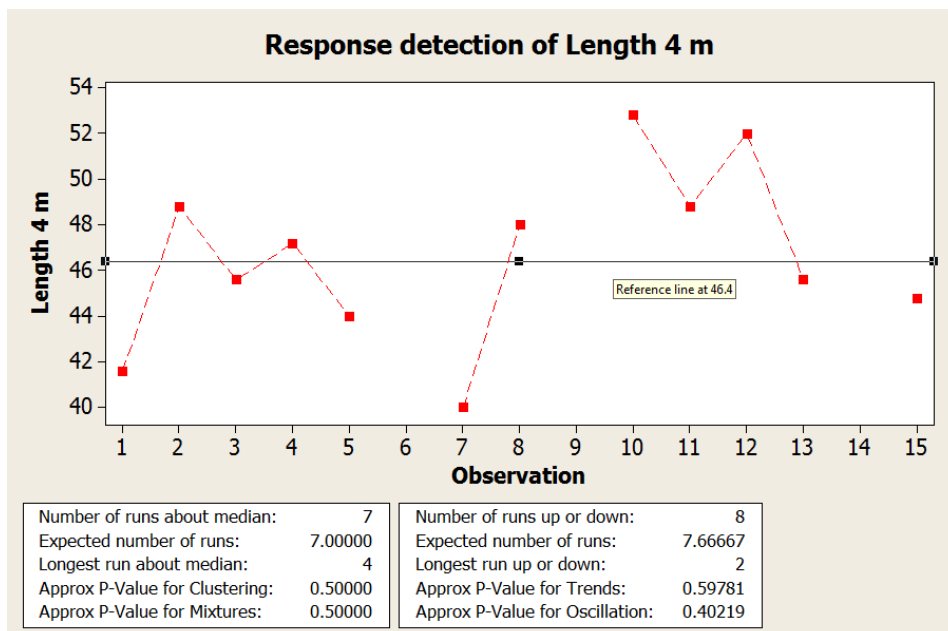
ตารางที่ 4.28 ผลการทดลองที่ระยะ 4 เมตร

ระยะห่างจาก เครื่องอ่าน ถึงป้าย (เมตร)	ลำดับงานทดลอง															ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้ (Tag/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
4	41.6	48.8	45.6	47.2	44.0	-	40.0	48.0	-	52.8	48.8	52.0	45.6	-	44.8	69.4

Descriptive Statistics: Length 4 m

Variable N N* Mean SE Mean StDev Minimum Q1 Median Q3
 Length 4 m 12 3 46.60 1.10 3.82 40.00 44.20 46.40 48.80

Variable Maximum
 Length 4 m 52.80



รูปที่ 4.33 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 4 เมตร

จากผลการทดลองที่ระยะห่าง 4 เมตร พบว่าเครื่องอ่านสามารถอ่านป้ายได้ 12 ป้าย ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่านของค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 46.6 ป้ายตำแหน่งที่ 6, 9 และ 14 ไม่มีการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่าน และป้ายตำแหน่งที่ 7 พบว่ามีค่าต่ำที่สุด คือ 40.0 ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้จากโปรแกรม คือ 69.4 tag/s

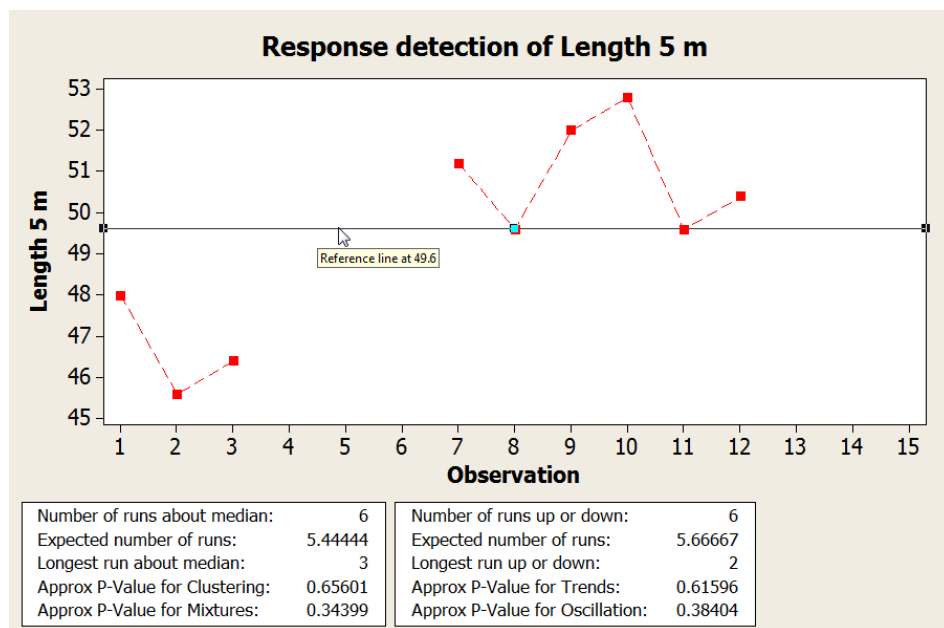
ตารางที่ 4.29 ผลการทดลองที่ระยะ 5 เมตร

ระยะห่างจาก เครื่องอ่าน ถึงป้าย (เมตร)	ลำดับงานทดลอง															ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้ (Tag/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
5	48.0	45.6	46.4	-	-	-	51.2	49.6	52.0	52.8	49.6	50.4	-	-	-	56.9

Descriptive Statistics: Length 5 m

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
Length 5 m	9	6	49.511	0.816	2.448	45.600	47.200	49.600	51.600

Variable	Maximum
Length 5 m	52.800



รูปที่ 4.34 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 5 เมตร

จากผลการทดลองที่ระยะห่าง 5 เมตร พบว่าเครื่องอ่านสามารถอ่านป้ายได้ 9 ป้าย ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่านของค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 49.511 ป้ายตำแหน่งที่ 4, 5, 6, 13, 14 และ 15 ไม่มีการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่าน และป้ายตำแหน่งที่ 2 พบว่ามีค่าต่ำที่สุด คือ 45.6 ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้จากโปรแกรม คือ 56.9 tag/s

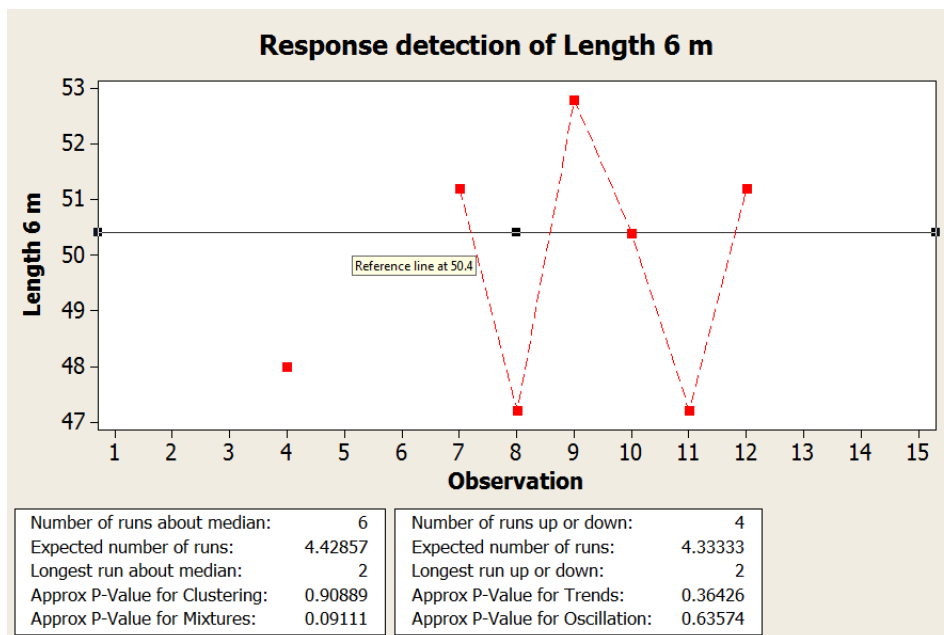
ตารางที่ 4.30 ผลการทดลองที่ระยะ 6 เมตร

ระยะห่างจาก เครื่องอ่าน ถึงป้าย (เมตร)	ลำดับงานทดลอง															ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้ (Tag/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
6	-	-	-	48.0	-	-	51.2	47.2	52.8	50.4	47.2	51.2	-	-	-	51.3

Descriptive Statistics: Length 6 m

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
Length 6 m	7	8	49.714	0.845	2.236	47.200	47.200	50.400	51.200

Variable	Maximum
Length 6 m	52.800



รูปที่ 4.35 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 6 เมตร

จากผลการทดลองที่ระยะห่าง 6 เมตร พบว่าเครื่องอ่านสามารถอ่านป้ายได้ 7 ป้าย ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่านของค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 49.714 ป้ายตำแหน่งที่ 1, 2, 3, 5, 6, 13, 14 และ 15 ไม่มีการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่าน และป้ายตำแหน่งที่ 8, 11 พบว่ามีค่าต่ำที่สุด คือ 47.2 ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้จากโปรแกรม คือ 51.3 tag/s

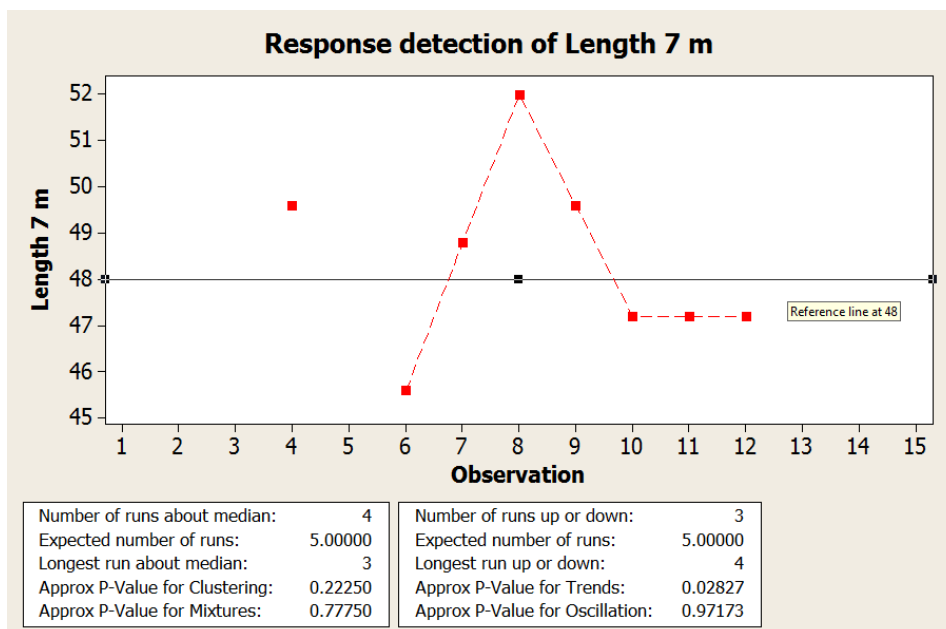
ตารางที่ 4.31 ผลการทดลองที่ระยะ 7 เมตร

ระยะห่างจาก เครื่องอ่าน ถึงป้าย (เมตร)	ลำดับงานทดลอง															ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้ (Tag/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
7	-	-	-	49.6	-	45.6	48.8	52.0	49.6	47.2	47.2	47.2	-	-	-	60.1

Descriptive Statistics: Length 7 m

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
Length 7 m	8	7	48.400	0.709	2.006	45.600	47.200	48.000	49.600

Variable	Maximum
Length 7 m	52.000



รูปที่ 4.36 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 7 เมตร

จากผลการทดลองที่ระยะห่าง 7 เมตร พบว่าเครื่องอ่านสามารถอ่านป้ายได้ 8 ป้าย ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่านของค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 48.4 ป้ายตำแหน่งที่ 1, 2, 3, 5, 13, 14 และ 15 ไม่มีการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่านและป้ายตำแหน่งที่ 6 พบว่ามีค่าต่ำที่สุด คือ 45.6ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้จากโปรแกรม คือ 60.1 tag/s

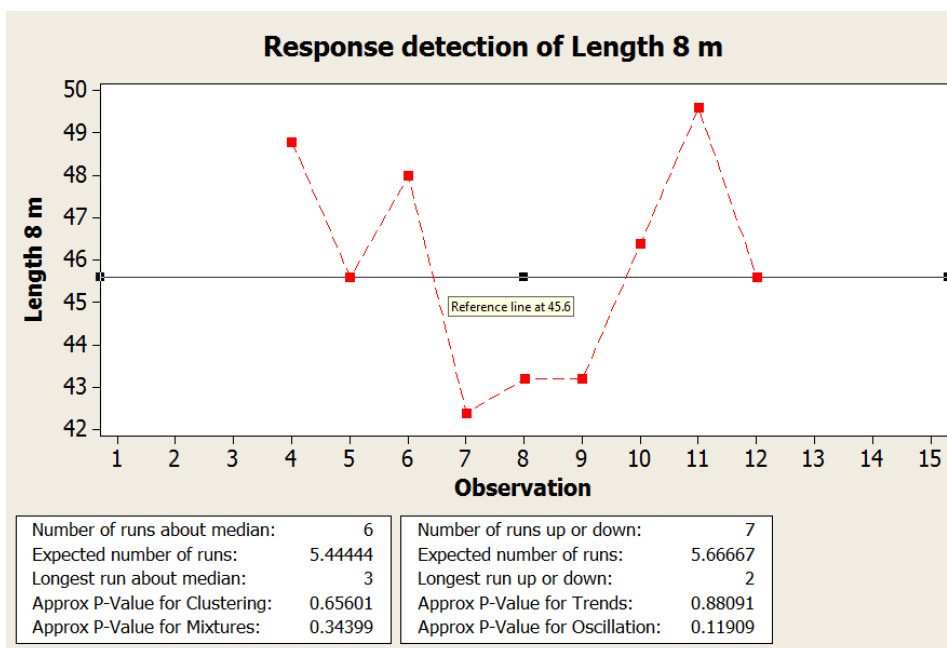
ตารางที่ 4.32 ผลการทดลองที่ระยะ 8 เมตร

ระยะห่างจาก เครื่องอ่าน ถึงป้าย (เมตร)	ลำดับงานทดลอง															ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้ (Tag/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
8	-	-	-	48.8	45.6	48.0	42.4	43.2	43.2	46.4	49.6	45.6	-	-	-	28.1

Descriptive Statistics: Length 8 m

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
Length 8 m	9	6	45.867	0.8664	2.592	42.400	43.200	45.600	48.400

Variable	Maximum
Length 8 m	49.600



รูปที่ 4.37 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 8 เมตร

จากผลการทดลองที่ระยะห่าง 8 เมตร พบว่าเครื่องอ่านสามารถอ่านป้ายได้ 8 ป้าย ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่านของค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 45.867 ป้ายตำแหน่งที่ 1, 2, 3, 13, 14 และ 15 ไม่มีการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่าน และป้ายตำแหน่งที่ 7 พบว่ามีค่าต่ำที่สุด คือ 42.4 ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้จากโปรแกรม คือ 28.1 tag/s

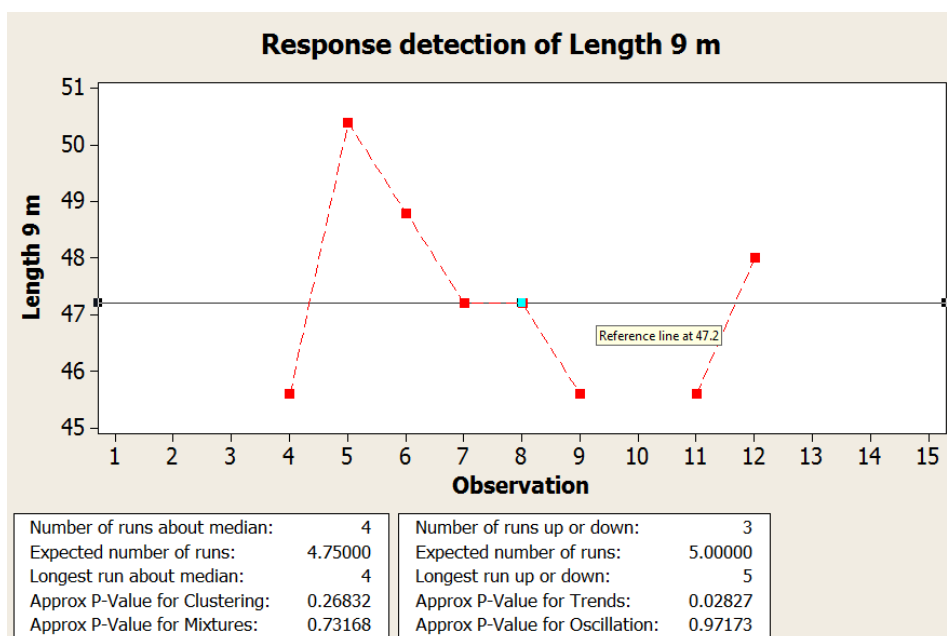
ตารางที่ 4.33 ผลการทดลองที่ระยะ 9 เมตร

ระยะห่างจาก เครื่องอ่าน ถึงป้าย (เมตร)	ลำดับงานทดลอง															ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้ (Tag/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
9	-	-	-	45.6	50.4	48.8	47.2	47.2	45.6	-	45.6	48.0	-	-	-	34.1

Descriptive Statistics: Length 9 m

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
Length 9 m	8	7	47.300	0.613	1.734	45.600	45.600	47.200	48.600

Variable	Maximum
Length 9 m	50.400



รูปที่ 4.38 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 9 เมตร

จากผลการทดลองที่ระยะห่าง 9 เมตร พบว่าเครื่องอ่านสามารถอ่านป้ายได้ 8 ป้าย ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่านของค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 47.30 ป้ายตำแหน่งที่ 1, 2, 3, 10, 13, 14 และ 15 ไม่มีการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่าน และป้ายตำแหน่งที่ 4, 9, 11 พบว่ามีค่าต่ำที่สุด คือ 45.6 ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้จากโปรแกรม คือ 34.1 tag/s

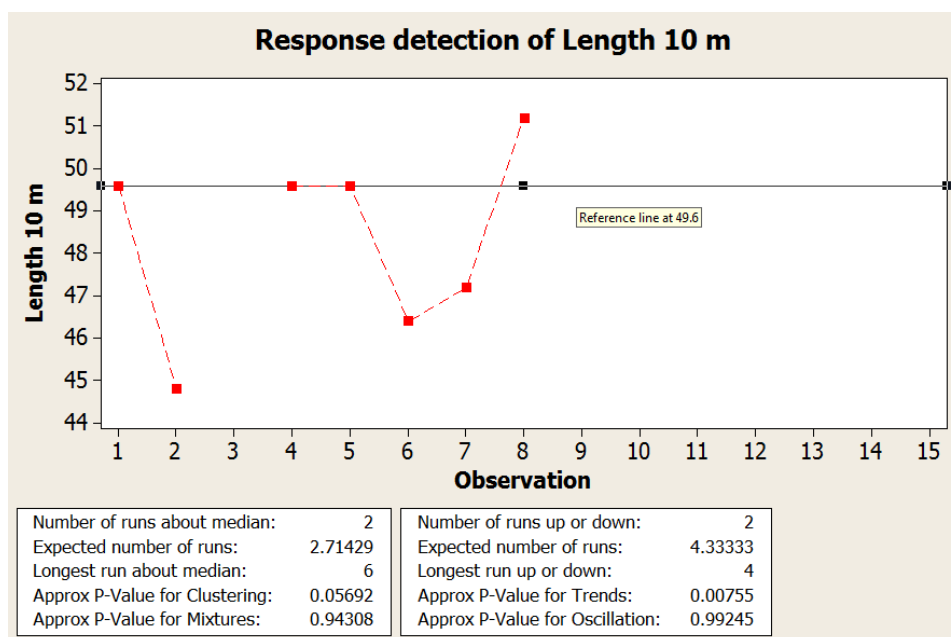
ตารางที่ 4.34 ผลการทดลองที่ระยะ 10 เมตร

ระยะห่างจาก เครื่องอ่าน ถึงป้าย (เมตร)	ลำดับงานทดลอง															ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้ (Tag/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
10	49.6	44.8	-	49.6	49.6	46.4	47.2	51.2	-	-	-	-	-	-	-	40.4

Descriptive Statistics: Length 10 m

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
Length 10 m	7	8	48.343	0.853	2.256	44.800	46.400	49.600	49.600

Variable	Maximum
Length 10 m	51.200



รูปที่ 4.39 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 10 เมตร

จากผลการทดลองที่ระยะห่าง 10 เมตร พบว่าเครื่องอ่านสามารถอ่านป้ายได้ 7 ป้าย ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่านของค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 48.343 ป้ายตำแหน่งที่ 3 และ 9 ถึง 15 ไม่มีการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่าน และป้ายตำแหน่งที่ 2 พบว่ามีค่าต่ำที่สุด คือ 44.8 ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้จากโปรแกรม คือ 40.4 tag/s

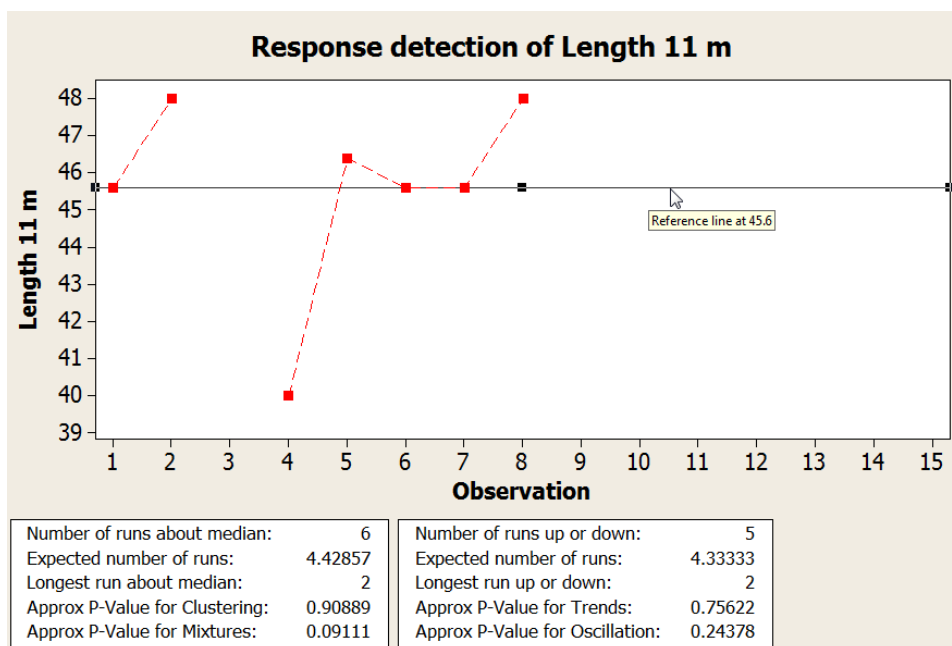
ตารางที่ 4.35 ผลการทดลองที่ระยะ 11 เมตร

ระยะห่างจาก เครื่องอ่าน ถึงป้าย (เมตร)	ลำดับงานทดลอง															ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้ (Tag/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
11	45.6	48.0	-	40.0	46.4	45.6	45.6	48.0	-	-	-	-	-	-	-	34.9

Descriptive Statistics: Length 11 m

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
Length 11 m	7	8	45.60	1.02	2.69	40.00	45.60	45.60	48.00

Variable	Maximum
Length 11 m	48.00



รูปที่ 4.40 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 11 เมตร

จากผลการทดลองที่ระยะห่าง 11 เมตร พบว่าเครื่องอ่านสามารถอ่านป้ายได้ 7 ป้าย ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่านของค่าเฉลี่ยอยู่ที่

45.60 ป้ายตำแหน่งที่ 3 และ 9 ถึง 15 ไม่มีการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่าน และป้ายตำแหน่งที่ 4 พบว่ามีค่าต่ำที่สุด คือ 40.0 ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้จากโปรแกรม คือ 34.9 tag/s

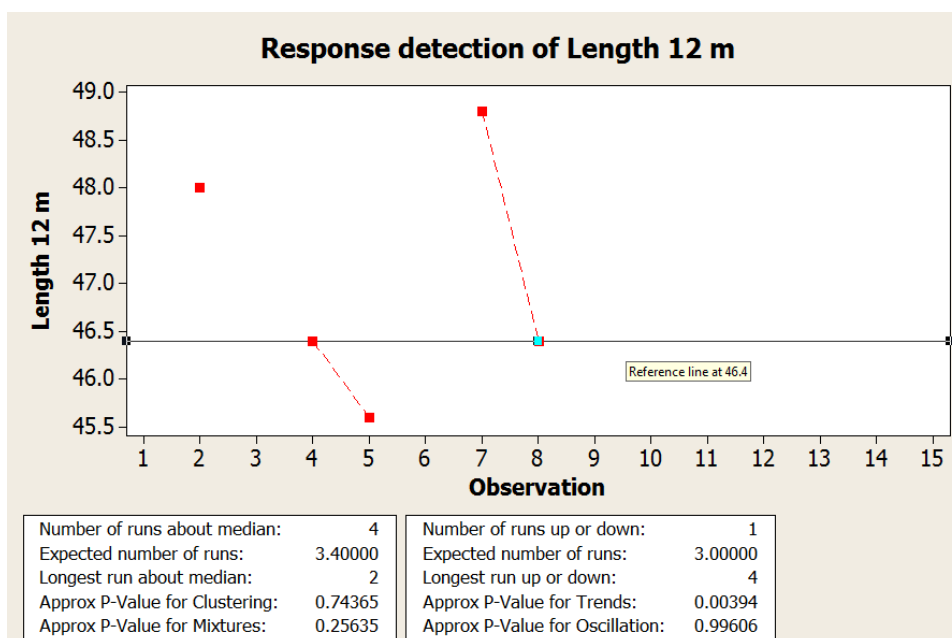
ตารางที่ 4.36 ผลการทดลองที่ระยะ 12 เมตร

ระยะห่างจาก เครื่องอ่าน ถึงป้าย (เมตร)	ลำดับงานทดลอง															ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้ (Tag/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
12	-	48.0	-	46.4	45.6	-	48.8	46.4	-	-	-	-	-	-	-	31.5

Descriptive Statistics: Length 12 m

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
Length 12 m	5	10	47.040	0.588	1.315	45.600	46.000	46.400	48.400

Variable	Maximum
Length 12 m	48.800



รูปที่ 4.41 Descriptive Statistics และ Response detection ที่ระยะ 12 เมตร

จากผลการทดลองที่ระยะห่าง 12 เมตร พบว่าเครื่องอ่านสามารถอ่านป้ายได้ 5 ป้าย ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่านของค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 47.040 ป้ายตำแหน่งที่ 1, 3, 6 และ 9 ถึง 15 ไม่มีการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่าน และป้ายตำแหน่งที่ 5 พบว่ามีค่าต่ำที่สุด คือ 45.6 ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้จากโปรแกรม คือ 31.5 tag/s

จากผลการทดลองของการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอ่านกับป้ายชนิดที่ 1 โดยพิจารณาตารางที่ 4.13 ถึง 4.24 และรูปที่ 4.18 ถึง 4.29 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ซึ่งใช้โปรแกรมสำเร็จรูป MINITAB โดยใช้ฟังก์ชัน Descriptive Statistics และ Run Chart สังเกตรูปแบบข้อมูลของตัวแปรในแนวแกน x ซึ่งเป็นค่าที่ไม่ได้เกิดจากการสุ่ม สังเกตรูปแบบการกระจายของข้อมูลและแนวโน้มตามค่าในแนวแกน y [39] ที่ตำแหน่งของป้ายที่ทำกับเครื่องอ่านแยกตามระยะห่างตั้งแต่ 1 เมตรจนถึง 15 เมตร พบว่าระยะห่างตั้งแต่ 1 เมตรจนถึง 8 เมตร เครื่องอ่านสามารถอ่านป้ายได้ครบทั้ง 15 ป้าย โดยมีค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่านของค่าเฉลี่ยลดลงตามระยะทางที่มากขึ้นและที่ระยะห่างที่ 9 เมตร เครื่องอ่านสามารถอ่านป้ายได้ลดลงเหลือ 14 ป้าย ระยะห่างที่ 10 เมตรจนถึง 12 เมตร อ่านได้ลดลง เหลือ 12 ป้าย พิจารณาพบว่า ระยะทางที่มากขึ้นค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่านมีค่าลดลง

จากผลการทดลองของการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอ่านกับป้ายชนิดที่ 2 โดยพิจารณาตารางที่ 4.25 ถึง 4.36 และรูปที่ 4.30 ถึง 4.41 พบว่าที่ระยะห่าง 1 เมตร ถึง 2 เมตร เครื่องอ่านสามารถอ่านป้ายได้ครบทั้ง 15 ป้าย โดยมีค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่านของค่าเฉลี่ยลดลงตามระยะทางที่มากขึ้นเช่นเดียวกับป้ายชนิดที่ 1 ระยะห่างตั้งแต่ 3 เมตรจนถึง 12 เมตร พบว่าอ่านป้ายได้ลดลงเป็นจำนวนมากเมื่อเปรียบเทียบกับป้ายชนิดที่ 1

4.4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลองเพื่อศึกษาลักษณะตัวแปรที่สำคัญ ได้แก่ ตำแหน่งของป้ายที่ทำกับเครื่องอ่าน ระยะห่างที่มากที่สุดจากเครื่องอ่านถึงป้าย และ ความเร็วในการอ่านป้ายต่อวินาที หลังจากได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 4.13 ถึง 4.36 และรูปที่ 4.18 ถึง 4.41 ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลของผลการทดลองที่ได้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอ่านเพื่อนำไปใช้งานจริงของป้ายชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 โดยรวมผลการทดลองที่ระยะห่าง 1 เมตร ถึง 12 เมตร ดังตารางที่ 4.37 นี้ตามลำดับซึ่งแสดงถึง

ความแตกต่างของค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่าน (Receive Signal Strength Indication: RSSI) โดยสีที่แทนแต่ละช่องในตาราง (Colour-coded Array) แบ่งออกเป็น 3 สี แทนค่าพารามิเตอร์ 3 กลุ่ม ซึ่งคำนวณจากค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองได้ดีที่สุดและน้อยที่สุดแล้วแบ่งข้อมูลออกเป็น 3 ช่วงเท่าๆกัน เพื่อให้เห็นค่าที่แตกต่างตามช่วงของข้อมูล อ่านได้ดี อ่านได้ปานกลาง และ อ่านได้น้อย โดยสีเข้มแทนค่าที่เครื่องสามารถอ่านได้ดีที่สุดและสีอ่อนลงแทนค่าที่เครื่องสามารถอ่านได้น้อยลงตามลำดับ

ตารางที่ 4.37 ผลการทดลองการศึกษาประสิทธิภาพเครื่องอ่านเพื่อนำไปใช้งานจริงของป้ายชนิดที่ 1

ลำดับงาน ทดลอง	ระยะห่างจากเครื่องอ่านถึงป้าย (เมตร)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	76.0	68.0	58.4	68.8	60.8	52.8	53.6	47.2	52.0	55.2	57.6	59.2
2	73.6	68.8	62.4	67.2	60.0	62.4	51.2	48.8	56.0	56.0	60.0	61.6
3	70.4	70.4	61.6	66.4	62.4	57.6	46.4	45.6	55.2	53.6	53.6	56.8
4	76.0	68.0	66.4	53.6	51.2	64.8	58.4	58.4	60.8	57.6	53.6	55.2
5	74.4	63.2	66.4	59.2	54.4	58.4	52.8	64.0	61.6	60.0	63.2	62.4
6	73.6	66.4	68.0	56.0	56.0	48.8	59.2	60.0	58.4	58.4	57.6	52.0
7	72.8	69.6	57.6	56.0	61.6	58.4	64.0	57.6	56.0	56.8	52.0	51.2
8	76.8	70.4	56.0	64.0	60.0	55.2	56.0	64.0	61.6	60.0	60.0	57.6
9	70.4	67.2	62.4	59.2	66.4	51.2	62.4	59.2	57.6	57.6	53.6	52.0
10	66.4	61.6	70.4	70.4	66.4	64.8	60.8	51.2	57.6	52.0	51.2	49.6
11	68.0	60.0	67.2	65.6	62.4	47.2	52.0	57.6	56.8	55.2	52.0	52.8
12	77.6	68.0	68.8	67.2	64.0	61.6	62.4	54.4	50.4	51.2	48.8	50.4
13	69.6	69.6	64.8	58.4	55.2	53.6	50.4	49.6	-	-	-	-
14	76.0	68.0	62.4	58.4	49.6	53.6	45.6	51.2	48.0	-	-	-
15	76.0	65.6	63.2	57.6	52.8	48.8	48.0	44.8	46.4	-	-	-
ค่าเฉลี่ยที่ อ่านได้ (Tag/s)	118.7	120.8	127.8	128.2	127.0	125.2	111.6	120.5	118.4	120.9	123.0	123.2

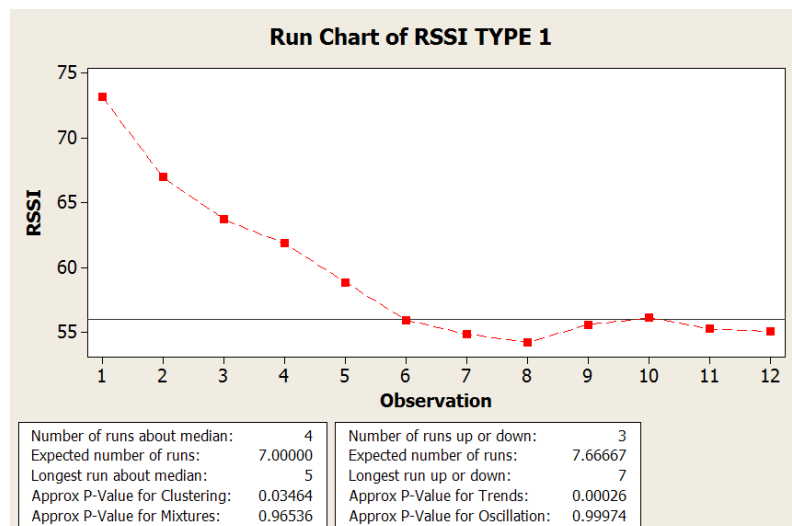


อ่านได้ดี	77.6 - 66.7
อ่านได้ปานกลาง	66.7- 55.7
อ่านได้น้อย	55.7- 44.8

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	15

จากตารางที่ 4.37 ของป้ายชนิดที่ 1 ค่าเฉลี่ยของค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนอง ค่าที่มากที่สุด คือ 77.6 และน้อยที่สุด คือ 66.7 แบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงดังนี้ อ่านได้ดีที่สุดในช่วง 77.6 – 66.7 อ่านได้ปานกลางอยู่ในช่วง 66.7 – 55.7 และ อ่านได้น้อยอยู่ในช่วง 55.7 – 44.8 พิจารณาได้ว่า ค่าความเข้มมากที่สุดที่อ่านได้ดีที่สุดในระยะห่าง 1 เมตร ถึง ค่าความเข้มมากที่สุดที่อ่านได้ดีที่สุดในระยะห่าง 1 เมตร ถึง 4 เมตร และค่าความเข้มปานกลางที่อ่านได้ปานกลางอยู่ในระยะตั้งแต่ 1 เมตรจนถึง 12 เมตร ส่วนค่าความเข้มน้อยที่สุดที่อ่านได้น้อยพบได้ตั้งแต่ระยะห่างที่ 4 เมตรจนถึง 12 เมตร โดยมีป้ายที่ไม่มีการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่านเฉพาะกล่องแถวล่างสุดซึ่งสูงจากพื้น 165 mm. ที่ระยะตั้งแต่ที่ 9 เมตรจนถึง 12 เมตร

จาก Run Chart รูปที่ 4.42 แสดงค่าเฉลี่ยของค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่าน (Receive Signal Strength Indication: RSSI) มีแนวโน้มลดลงอย่างเสถียร (stable and predictable manner) [45] ตามระยะห่างที่มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับตาราง (Colour-coded Array) ที่ 4.37



รูปที่ 4.42 Run Chart ของค่าเฉลี่ยของค่าพารามิเตอร์ (Parameter) RSSI ของป้ายชนิดที่ 1

ตารางที่ 4.38 ผลการทดลองการศึกษาประสิทธิภาพเครื่องอ่านเพื่อนำไปใช้งานจริงของป้ายชนิดที่ 2

ลำดับงาน ทดลอง	ระยะห่างจากเครื่องอ่านถึงป้าย (เมตร)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	55.2	52.8	-	41.6	48.0	-	-	-	-	49.6	45.6	-
2	52.8	52.8	46.4	48.8	45.6	-	-	-	-	44.8	48.0	48.0
3	51.2	53.6	46.4	45.6	46.4	-	-	-	-	-	-	-
4	57.6	54.4	52.8	47.2	-	48.0	49.6	48.8	45.6	49.6	40.0	46.4
5	53.6	53.6	48.0	44.0	-	-	-	45.6	50.4	49.6	46.4	45.6
6	52.0	51.2	50.4	-	-	-	45.6	48.0	48.8	46.4	45.6	-

7	57.6	52.8	48.8	40.0	51.2	51.2	48.8	42.4	47.2	47.2	45.6	48.8
8	58.4	56.8	48.0	48.0	49.6	47.2	52.0	43.2	47.2	51.2	48.0	46.4
9	55.2	56.8	-	-	52.0	52.8	49.6	43.2	45.6	-	-	-
10	57.6	48.8	52.8	52.8	52.8	50.4	47.2	46.4	-	-	-	-
11	58.4	47.2	52.0	48.8	49.6	47.2	47.2	49.6	45.6	-	-	-
12	51.2	49.6	51.2	52.0	50.4	51.2	47.2	45.6	48.0	-	-	-
13	51.2	51.2	44.0	45.6	-	-	-	-	-	-	-	-
14	56.0	50.4	45.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	53.6	54.4	44.8	44.8	-	-	-	-	-	-	-	-
ค่าเฉลี่ยที่ อ่านได้ (Tag/s)	118.2	40.4	115.3	69.4	56.9	51.3	60.1	28.1	34.1	40.4	34.9	31.5



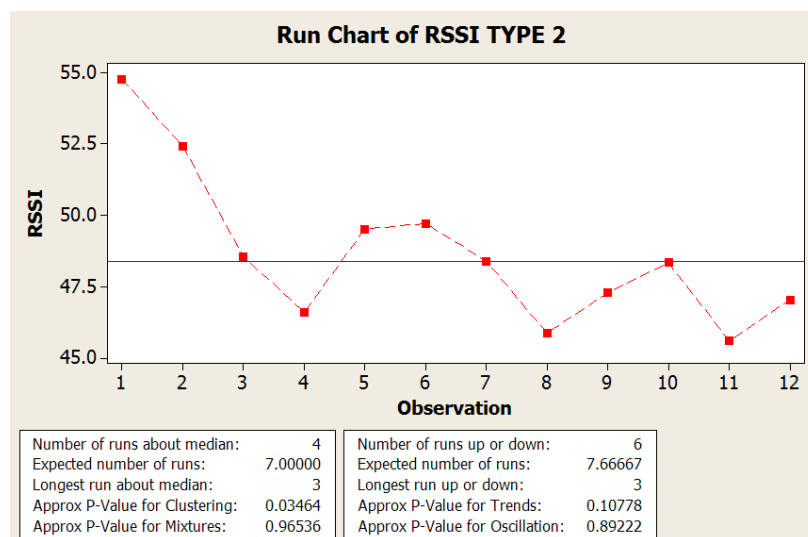
อ่านได้ดี 58.4- 52.3
 อ่านได้ปานกลาง 52.3- 46.1
 อ่านได้น้อย 46.1- 40.0

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	15

จากตารางที่ 4.38 ของป้ายชนิดที่ 2 ค่าเฉลี่ยของค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองค่าที่มากที่สุด คือ 58.4 และค่าที่น้อยที่สุด คือ 40.0 แบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงดังนี้ อ่านได้ดีที่สุดในช่วง 58.4 – 52.3 อ่านได้ปานกลางอยู่ในช่วง 52.3 – 46.1 และ อ่านได้น้อยอยู่ในช่วง 46.1 – 40.0 พิจารณาได้ว่า ค่าความเข้มมากที่สุดที่อ่านได้ดีมีความหนาแน่นอยู่ในระยะ 1 เมตร ถึง 2 เมตร และกระจายตัวถึงระยะที่ 6 เมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งป้ายสูงที่จากพื้น 495 mm. และ 825 mm. ซึ่งใกล้เคียงกับความสูงของเครื่องอ่านที่ 800 mm. ค่าความเข้มปานกลางที่อ่านได้ปานกลางอยู่ในระยะตั้งแต่ 1 เมตรจนถึง 12 เมตร ส่วนค่าความเข้มน้อยที่สุดที่อ่านได้น้อยพบได้ตั้งแต่ระยะห่างที่ 3 เมตรจนถึง 12 เมตร โดยมีป้ายที่ไม่มีการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่านตั้งแต่ระยะห่างที่ 3 เมตร กระจายจนถึงที่ระยะ 9 เมตร ตำแหน่งแถวบนที่ความสูงห่างจากพื้น 1485 mm. และแถว

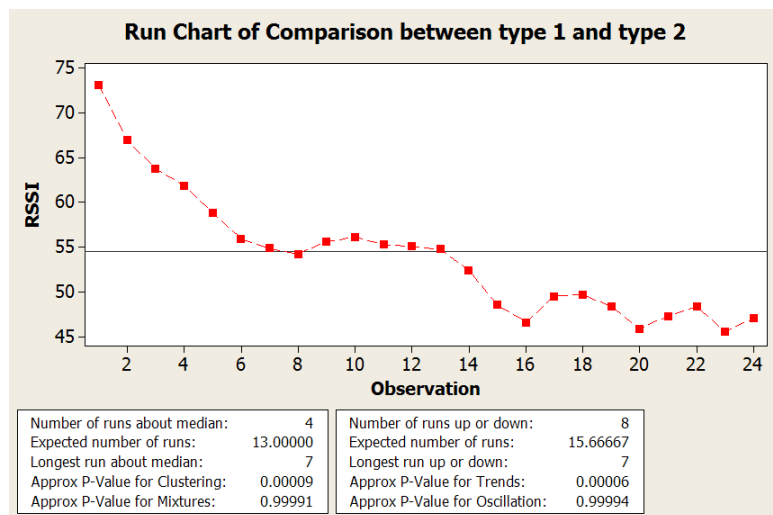
ล่างที่ความสูงห่างจากพื้น 165 mm. และที่ระยะห่าง 10 เมตร จนถึง 12 เมตร มีป้ายที่ไม่มี การตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่านเพิ่มขึ้นที่ความสูง 825 mm. และ 495 mm.

จาก Run Chart รูปที่ 4.43 แสดงค่าเฉลี่ยของค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่าน (Receive Signal Strength Indication: RSSI) มีแนวโน้มลดลงตามระยะห่างที่มากขึ้นโดยสอดคล้องกับตาราง (Colour-coded Array) ที่ 4.38 ซึ่งตั้งแต่ระยะห่างที่ 4 เมตร จนถึง 12 เมตร พบว่า แนวโน้มไม่คงที่ ข้อมูลมีการแกว่งตัวขึ้นลง (Lurking variable [45])

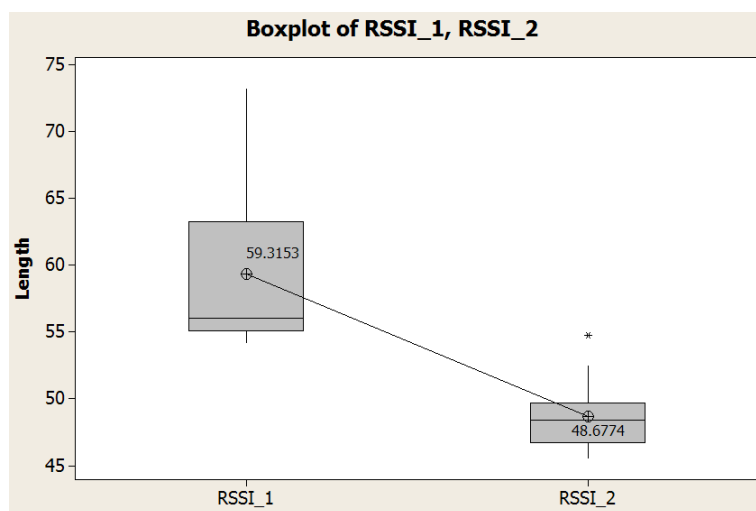


รูปที่ 4.43 Run Chart ของค่าเฉลี่ยของค่าพารามิเตอร์ (Parameter) RSSI ของป้ายชนิดที่ 2

เมื่อนำการวิเคราะห์ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่าน (Receive Signal Strength Indication: RSSI) ทั้งป้ายชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 มาทำการวิเคราะห์รวมในกราฟเดียวกันของ Run chart จากรูปที่ 4.44 พบว่า ป้ายชนิดที่ 1 กลุ่มข้อมูลมีค่าสูงกว่าป้ายชนิดที่ 2 และค่าที่น้อยที่สุดของป้ายชนิดที่ 1 มีใกล้เคียงกับค่าที่มากที่สุดของป้ายชนิดที่ 2 พิจารณาข้อมูลให้เห็นชัดด้วย Box plot ดังรูปที่ 4.45 ค่าเฉลี่ยของข้อมูลป้ายชนิดที่ 1 เปรียบเทียบกับป้ายชนิดที่ 2 มีความแตกต่างอย่างชัดเจน



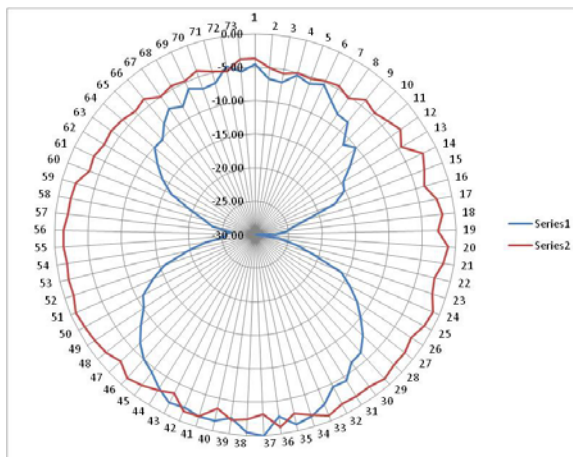
รูปที่ 4.44 Run Chart เปรียบเทียบค่า RSSI ของป้ายชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2



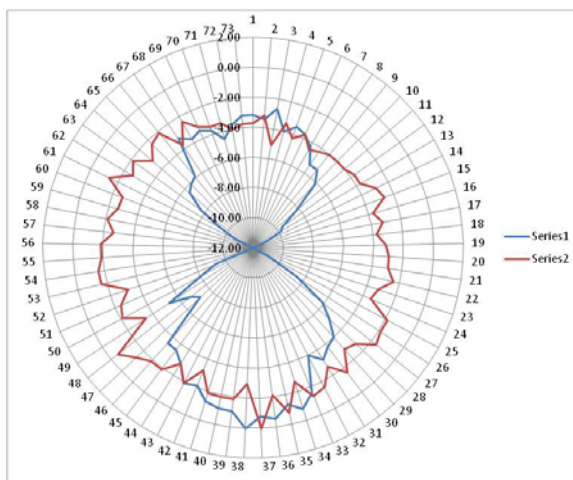
รูปที่ 4.45 Box plot เปรียบเทียบค่า RSSI ของป้ายชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2

นำผลการทดลองจริงเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของป้ายและdatasheet (ภาคผนวก ก. ข้อ 3) จากผู้ผลิตป้ายนำป้ายชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 พิจารณารูปแบบการกระจายคลื่นของสายอากาศ (Radiation pattern) ซึ่งทำการทดลองจากห้องทดลอง Microwave Anechoic Chamber โดยสุ่มป้ายตัวอย่างมาชนิดละ 3 ชิ้น (รายละเอียดของ Radiation pattern ที่ภาคผนวก ก. หัวข้อ 4 และ 5 ผลการทดลองรูปแบบการกระจายคลื่นของป้ายชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 ตามลำดับ) พบว่า ค่าเฉลี่ย

ของป้ายชนิดที่ 1 ดังรูปที่ 4.46 E-Plane และ S-Plane กระจายตัวได้ดีกว่าป้ายชนิดที่ 2 ดังรูปที่ 4.47 ซึ่งทำให้ค่า RSSI ของป้ายชนิดที่ 1 มีค่ามากกว่าชนิดที่ 2 และ ได้ระยะการอ่านที่มากกว่าซึ่ง สอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้ และ ใกล้เคียงกับ datasheet



รูปที่ 4.46 Radiation Pattern ของป้ายชนิดที่ 1



รูปที่ 4.47 Radiation Pattern ของป้ายชนิดที่ 2

4.5 การทดลองที่ 5 ศึกษาการทำงานเมื่อนำระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) เพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานจริง

วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อศึกษาการทำงานของระบบเทคโนโลยีป้องกันความถี่วิทยุ (RFID) เมื่อนำมาใช้กับขั้นตอนของการระบุเลขกล่องและนับจำนวนของสินค้า (Final packing process) และ การระบุเลขกล่อง ชนิดสินค้าและจำนวนบนชั้นไม้วางกล่อง (Shipping process)

4.4.1 วิธีการทดลอง

จากกระบวนการทำงานในปัจจุบันได้แบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็น การระบุเลขกล่องและนับจำนวนของสินค้า (Final packing process) และ การระบุเลขกล่อง ชนิดสินค้าและจำนวนบนชั้นไม้วางกล่อง (Shipping process) ได้นำระบบเทคโนโลยีป้องกันความถี่วิทยุ (RFID) มาแทนรหัสแท่ง (Barcode) จากการศึกษาปัญหาของขบวนการปัจจุบัน จากที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 เมื่อพิจารณาขั้นตอนการทำงานของทั้งสองกระบวนการ จึงได้สร้างกระบวนการใหม่ขึ้น โดยรวมขั้นตอนการทำงานของการระบุเลขกล่องและนับจำนวนของสินค้า (Final packing process) และ การระบุเลขกล่อง ชนิดสินค้าและจำนวนบนชั้นไม้วางกล่อง (Shipping process) ไว้ด้วยกัน ทำให้จำนวนขั้นตอนการทำงานโดยรวมสั้นลงและกระชับมากขึ้น ซึ่งรูปที่ 4.48 แสดงผังงาน (Flow Chart) ของขั้นตอนการทำงานใหม่ โดยเริ่มจากขั้นตอนการทำงานของขั้นตอนที่เป็นการระบุเลขกล่องและนับจำนวนของสินค้า (Final packing process) เริ่มที่ขั้นตอนแรก คือ การรับห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ถูกส่งมาจากสายงานของขบวนการผลิต ในขณะที่พนักงานได้ขึ้นรูปกล่องบรรจุหีบห่อให้เหมาะสมกับชนิดบรรจุภัณฑ์จากนั้นเลือกโปรแกรมสแกนที่กำหนดไว้ให้เหมาะสมกับชนิดบรรจุภัณฑ์เพื่อตรวจสอบและนับจำนวนสินค้าในห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกให้ครบแบบชนิดสองชุดหรือสี่ชุดขั้นตอนที่ปรับปรุงใหม่คือ นำข้อมูลของกล่องและป้ายมาเขียนลงป้ายแล้วติดไว้ที่ข้างกล่องแทนบาร์โค้ด จากนั้นบรรจุห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกลงกล่องแล้วปิดผนึกกล่องบรรจุหีบห่อให้เรียบร้อยพร้อมขนกล่องสินค้าไปที่ Shipping Store ซึ่งเข้าสู่ขั้นตอนของการระบุเลขกล่อง ชนิดสินค้าและจำนวนบนชั้นไม้วางกล่อง (Shipping process) นำกล่องที่ได้ไปวางเรียงบนชั้นไม้วางกล่อง (Pallet) วางรอบบนชั้น (Shelf) เพื่อติด DO label รวมทั้งแนบใบส่งของไว้ที่กล่อง จากนั้นนำสินค้าที่อยู่บนชั้นไม้วางกล่อง (Pallet) ไปพันด้วยแผ่นเทปพลาสติกใสรอบนอกกล่องให้ครบทุกด้านรวมชั้นไม้วางกล่อง (Pallet) ซึ่งในขณะเดียวกันนี้เครื่องอ่านก็จะทำการตรวจสอบป้ายทุกป้ายที่ติดอยู่ข้างกล่อง เพื่อตรวจสอบเลขกล่อง ชนิดสินค้า จำนวน ให้มีความถูกต้องตรงกับคำสั่งซื้อ ไม่ให้มีชนิดสินค้าหรือจำนวนคลาดเคลื่อนก่อนส่งถึงมือลูกค้า

ผลการทดลองเป็นค่าวินาทีที่จับเวลาได้ของแต่ละขั้นตอนของขบวนการใหม่ และใช้ค่าเหล่านี้ในการคำนวณหา UPH (Unit Per Hours) ได้ต่อไป



รูปที่ 4.48 ผังงาน (Flowchart) ของขั้นตอนการทำงานใหม่โดยใช้ระบบ RFID

4.4.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองเพื่อศึกษาค่า UPH ของขั้นตอนการทำงานของขบวนการใหม่ ได้ดังตารางที่ 4.39 ดังนี้

ตารางที่ 4.39 เวลาแต่ละขั้นตอนของขบวนการใหม่

ลำดับ	ขั้นตอนของขบวนการใหม่	เวลาที่ใช้ (วินาที)
1	ขึ้นรูปกล่องบรรจุหีบห่อให้เหมาะกับชนิดบรรจุภัณฑ์	15.00
2	สแกนบาร์โค้ดที่ห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกให้ครบแบบชนิดสองชุดหรือสี่ชุด	21.92
3	นำป้าย RFID มาติดแทนบาร์โค้ดที่ข้างกล่อง	3.00
4	บรรจุห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกลงกล่อง	37.70
5	ปิดผนึกกล่องบรรจุหีบห่อให้เรียบร้อย	10.00
6	ขนกล่องสินค้าไปที่ Shipping Store	5.00
7	นำกล่องที่ไปวางเรียงบนชั้นไม้วางกล่อง (Pallet) วางรอบบนชั้น (Shelf)	15.00
8	เตรียมพิมพ์และติด DO label รวมทั้งแนบใบส่งของที่กล่อง	124.00
9	พันแผ่นเทปพลาสติกใสรอบนอกกล่องและชั้นไม้วางกล่อง (Pallet) และเครื่องอ่านได้อ่านทุกป้ายข้างกล่องในเวลาเดียวกัน	47.00
10	เตรียมจัดส่งลูกค้า	10.00
	รวมเวลาที่ใช้ทั้งหมดของขบวนการใหม่	288.62

จากผลการทดลองรวมเวลาที่ใช้ทั้งหมดของขบวนการใหม่ได้ 288.62 วินาที ซึ่งเท่ากับ 4.81 นาที ของการทำงานด้วยการสแกนบาร์โค้ดพร้อมติดป้าย 1 กล่อง และการอ่านข้อมูลของสินค้าบน 1 ชั้นไม้วางกล่อง (Pallet)

4.4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากขบวนการใหม่ที่สร้างขึ้น พบว่ามีจำนวนขั้นตอนการทำงานสั้นกว่าขบวนการเดิมหลายขั้นตอน จากรูปที่ 3.11 และ 3.12 แสดงให้เห็นขั้นตอนที่ปรับปรุงและขั้นตอนที่ยกเลิก คือ ลำดับที่ 2, 9 และ 10 ซึ่งขั้นตอนการระบุเลขกล่องและนับจำนวนของสินค้า (Final packing process) และการระบุเลขกล่อง ชนิดสินค้าและจำนวนบนชั้นไม้วางกล่อง (Shipping process) ได้ดังตารางที่ 4.40 ต่อไปนี้

ตารางที่ 4.40 เวลาแต่ละขั้นตอนของ Final Packing process และ Shipping process

ลำดับ	ขั้นตอนของFinal Packing process และ Shipping process	เวลาที่ใช้ (วินาที)
1	ขึ้นรูปกล่องบรรจุหีบห่อให้เหมาะกับชนิดบรรจุภัณฑ์	15.00
2	สแกนบาร์โค้ดที่ข้างกล่อง	3.79
3	สแกนบาร์โค้ดที่ห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกให้ครบแบบชนิดสองชุดหรือสี่ชุด	21.92
4	บรรจุห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกลงกล่อง	37.70
5	ปิดผนึกกล่องบรรจุหีบห่อให้เรียบร้อย	10.00
6	ขนกล่องสินค้าไปที่ Shipping Store	5.00
7	นำกล่องที่ได้วางเรียงบนชั้นไม้วางกล่อง (Pallet) วางรอบบนชั้น (Shelf)	15.00
8	เตรียมพิมพ์และติด DO label รวมทั้งแนบใบส่งของที่กล่อง	124.00
9	ฝ่าย OBA (Out of Box Audit) สุ่มตรวจสอบความถูกต้อง	60.00

10	สแกนบาร์โค้ดคู่กับ DO label ทุกกล่อง	94.80
11	พื้นแผ่นเทพพลาสติกใสรอบนอกกล่องให้ครบทุกด้านรวมชั้นไม้วางกล่อง (Pallet)	47.85
12	เตรียมจัดส่งลูกค้า	10.00
	รวมเวลาที่ใช้ทั้งหมดของขบวนการ	445.06

จากตารางที่ 4.40 รวมเวลาที่ใช้ทั้งหมดของขบวนการเดิม คือ 445.06 วินาที หรือ 7.42 นาที มากกว่าเวลาโดยรวมทั้งหมดของขบวนการใหม่ 156.44 วินาที หรือ 2.61 นาที โดยสามารถยกเลิกขั้นตอนที่แสดงเป็นช่องสีเทาจากตารางที่ 4.40 รวมเวลาการทำงานได้ 158.59 วินาที หรือ 2.64 นาที ทั้งนี้ขั้นตอนการทำงานที่ลดลงและหายไปในขบวนการใหม่ยังทำให้จำนวนพนักงานลดลงด้วย โดยแยกแต่ละขั้นตอนการทำงานพบว่า ขบวนการใหม่ใช้พนักงาน 7 คน ซึ่งน้อยกว่าขบวนการปัจจุบัน อยู่ 3 คน ดังตารางที่ 4.41 นี้

ตารางที่ 4.41 เปรียบเทียบจำนวนคนทำงานระหว่างขบวนการปัจจุบันและขบวนการใหม่

ขบวนการปัจจุบัน	จำนวนคน	ขบวนการใหม่	จำนวนคน
ชั้นรูปกล่องบรรจุหีบห่อให้เหมาะกับชนิดบรรจุภัณฑ์	1	ชั้นรูปกล่องบรรจุหีบห่อให้เหมาะกับชนิดบรรจุภัณฑ์	1
สแกนบาร์โค้ดที่ข้างกล่อง			
สแกนบาร์โค้ดที่ห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกให้ครบแบบชนิดสองชุดหรือสี่ชุด	1	สแกนบาร์โค้ดที่ห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกให้ครบแบบชนิดสองชุดหรือสี่ชุด	1
		นำป้าย RFID มาติดแทนบาร์โค้ดที่ข้างกล่อง	
บรรจุห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกกล่อง		บรรจุห่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกกล่อง	1
ปิดผนึกกล่องบรรจุหีบห่อให้เรียบร้อย	1	ปิดผนึกกล่องบรรจุหีบห่อให้เรียบร้อย	1
ขนกล่องสินค้าไปที่ Shipping Store		ขนกล่องสินค้าไปที่ Shipping Store	1
นำกล่องที่ได้วางเรียงบนชั้นไม้วางกล่อง (Pallet) วางรอบชั้น (Shelf)	1	นำกล่องที่ได้วางเรียงบนชั้นไม้วางกล่อง (Pallet) วางรอบชั้น (Shelf)	
เตรียมพิมพ์และติด DO label รวมทั้งแนบใบส่งของที่กล่อง	1	เตรียมพิมพ์และติด DO label รวมทั้งแนบใบส่งของที่กล่อง	1
ฝ่าย OBA (Out of Box Audit) สุ่มตรวจสอบความถูกต้อง	2		
สแกนบาร์โค้ดคู่กับ DO label ทุกกล่อง	1		
พื้นแผ่นเทพพลาสติกใสรอบนอกกล่องให้ครบทุกด้านรวมชั้นไม้วางกล่อง (Pallet)	1	พื้นแผ่นเทพพลาสติกใสรอบนอกกล่องและชั้นไม้วางกล่อง (Pallet) และเครื่องอ่านได้อ่านทุกป้ายข้างกล่องในเวลาเดียวกัน	1
เตรียมจัดส่งลูกค้า	1	เตรียมจัดส่งลูกค้า	1
รวมจำนวนคนทำงาน	10	รวมจำนวนคนทำงาน	7

บทที่ 5

การวิเคราะห์ระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID)

ในเชิงเศรษฐศาสตร์

การพัฒนาระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) ของระบบห่วงโซ่อุปทานมีผลโดยตรงต่อขบวนการในสายการผลิตด้านต่างๆ [46] ได้แก่ การจัดการอุปสงค์ (Demand management) การบริหารและจัดการคลังสินค้า (Order fulfillment) การบริหารกิจกรรมการผลิต (Manufacturing flow management) และ การบริหารผลตอบแทน (Return management) เป็นต้น ต้องอาศัยการวางแผนและประเมินผลทางธุรกิจเพื่อให้ประสบความสำเร็จโดยใช้กลยุทธ์ทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งการนำหลักการพิจารณาและประเมินผลทางธุรกิจโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ เช่น การวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value) ค่าตอบแทนจากการลงทุน (Return of Investment เป็นต้น และใช้หลักการวางแผนแบบระยะสั้น (Short-term) ระยะกลาง (Medium-term) และ ระยะยาว (Long-term) เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจลงทุนทำธุรกิจ [1] ซึ่งโดยทั่วไป หลักการวางแผนแบบระยะสั้น (Short-term) จะใช้เวลาคาดหมายในการประเมินระยะเวลา 1 ปี ในระยะกลาง (Medium-term) ใช้ระยะเวลา 1 ปี ถึง 5 ปี และระยะยาว (Long-term) ใช้ระยะเวลา 3 ปี หรือมากกว่า 5 ปีขึ้นไป โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ช่วงระยะเวลา 5 ปี เพื่อพิจารณาในช่วงเวลาระยะกลาง (Medium-term) และต่อเนื่องในระยะยาว (Long-term)

5.1 พิจารณาระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) มาประยุกต์ใช้งานจริง

การนำระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) มาประยุกต์ใช้ในระบบ ก่อให้เกิดการตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานในด้านต่างๆ โดยมีแนวโน้มของมูลค่าที่ก่อให้เกิดประโยชน์ที่ได้รับเพิ่มขึ้นตามลักษณะงานและความต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 5.1 จำแนกได้เป็น 4 ข้อ [1] ได้แก่

5.1.1 การรวบรวมข้อมูลไว้ที่ศูนย์กลาง (Gather and consolidate RF data)

เครื่องอ่านได้ทำการอ่านข้อมูลจากป้ายซึ่งอาจติดอยู่วัตถุใดๆ เช่น กล่องบรรจุภัณฑ์ ชั้นไม้วางกล่อง (pallet) ข้อมูลจากทุกป้ายจะถูกเก็บไว้ตามที่ต้องการ (Mandate compliance)

ลดอัตราเสี่ยงต่อการป้อนข้อมูลเข้าระบบผิดพลาด (Reduce data entry error) และยังช่วยให้ระบบสามารถตรวจสอบสินค้าหรือวัตถุได้อย่างทันที (Operational visibility)

5.1.2 ระบบที่สามารถตรวจสอบได้เป็นปัจจุบัน

(Real-time visualization/ dashboards)

ข้อมูลที่จัดเก็บเป็นการตรวจสอบได้เป็นปัจจุบัน มีการปรับปรุงข้อมูลอยู่เสมอ ดังนั้นสามารถใช้ข้อมูลเหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งในการวางแผนทางธุรกิจโดยอาศัยเครื่องมือชี้วัดเป้าหมาย (Key performance indicators: KPIs) ในสายการผลิตและห่วงโซ่อุปทาน ซึ่งช่วยในการตัดสินใจปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นเช่น ของเสียจากกระบวนการผลิตหรือเกิดการสูญหาย (Shrinkage) วัสดุหรือสินค้ามีค้างในคลังมากเกินไปจนความจำเป็น (Overstocks items) หรือ การขาดแคลนสินค้าในคลังทำให้สินค้าไม่เพียงพอต่อการหมุนเวียน (Out-of-stock inventory)

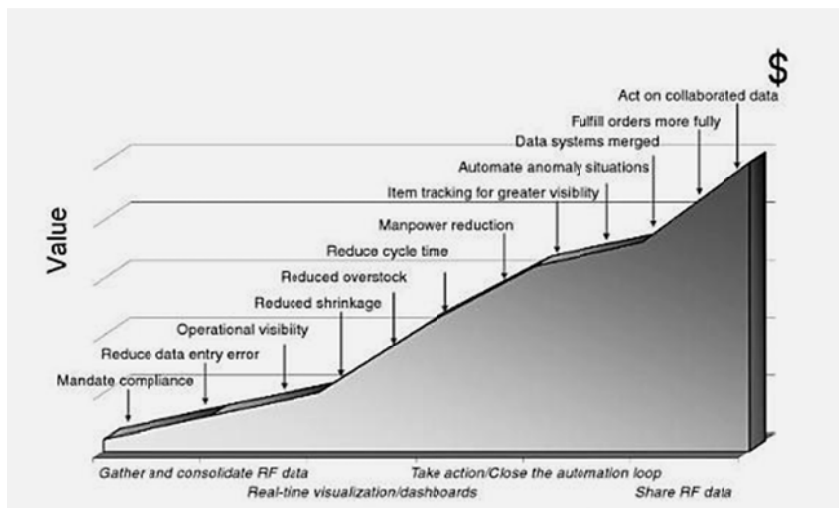
5.1.3. การทำงานอย่างเป็นระบบแบบอัตโนมัติ

(Take action/ Close the automation loop)

เป็นการทำงานอย่างเป็นระบบแบบอัตโนมัติของขบวนการปฏิบัติงาน ซึ่งทำงานได้รวดเร็วที่สุดและถูกต้องกว่าวิธีที่อาศัยคนในการทำงาน ทำให้สามารถลดจำนวนพนักงานลงได้ (Manpower reduction) เวลาของขบวนการในการปฏิบัติงานสั้นลง (Shorter cycle time) และยังคงรักษาระบบการทำงานโดยรวมให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นได้ (Maintain process flow)

5.1.4. แลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกัน (Share RF data)

เป็นการแลกเปลี่ยนข้อมูลจากผู้ใช้งานหนึ่งส่งต่อไปยังผู้ใช้งานอื่น เป็นการทำงานร่วมกับลูกค้า แจ้งรายละเอียดของสินค้าที่ส่งไป หรือทำงานร่วมกับผู้ผลิต โดยนำป้ายมาเขียนข้อมูลสินค้าหรือข้อมูลอื่นๆ โดยทั้งลูกค้าและผู้ผลิตสามารถตรวจสอบข้อมูลของวัตถุหรือสินค้านั้นย้อนกลับหรือในปัจจุบันได้ ในกรณีที่พบว่าสินค้ามีปัญหาอันเกิดจากสาเหตุต่างๆ สามารถตรวจสอบได้อย่างรวดเร็วและคำนวณสินค้าที่ต้องจัดส่งเพิ่มหรือตรวจสอบปัญหาทำได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 5.1 แนวโน้มของโอกาสที่ได้รับจากการนำเทคโนโลยี RFID มาใช้งาน [1]

ซึ่งจะได้กล่าวโดยละเอียดในแต่ละส่วนในหัวข้อ 5.3 รวมทั้งการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายการนำระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) มาประยุกต์ใช้ในการจัดการสินค้าของโรงงานอุตสาหกรรม

5.2 การวิเคราะห์ระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) ในเชิงเศรษฐศาสตร์และคำนวณค่าใช้จ่ายในการพัฒนาระบบ (Economics and Cost-benefit analysis of RFID Implementations in supply chain)

จากหัวข้อที่ 5.1 แสดงให้เห็นถึงระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) สามารถเข้ามาช่วยจัดการข้อมูลและกระบวนการปฏิบัติงานต่างๆในระบบให้ดีขึ้นได้ ห่วงโซ่อุปทาน (Supply chain) คือ ระบบสร้างความสัมพันธ์ขององค์กรทั้งภายในและภายนอกเป็นลูกโซ่เชื่อมโยงทั้งระบบการวางแผนและแก้ไขปัญหาอย่างทันท่วงที่เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งจึงต้องมีการกำหนดเครื่องมือวัดเพื่อใช้วัดผลเพื่อดำเนินงานหรือประเมินผลการดำเนินงานในด้านต่างๆ ขององค์กร (Key performance indicators: KPIs) เพื่อให้บรรลุเป้าหมายขององค์กรที่ได้กำหนดขึ้น ดังนั้นจึงมีการนำเทคนิค Lean Manufacturing ซึ่งเป็นระบบบริหารจัดการด้านการผลิตให้สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าแบบทันที โดยทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ลดการสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ขจัดขั้นตอนหรือกระบวนการที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ (Non-Value Added) ดังนั้น Lean Manufacturing System คือ ระบบการผลิตที่มุ่งเน้นการไหล (Flow) ของงานเป็นหลัก กำจัดความสูญเปล่า (Waste) ในขั้นตอน

การทำงานต่างๆ และเพิ่มคุณค่า (Value) ให้กับตัวสินค้าอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจสูงสุด (Customer Satisfaction) การนำเอาระบบเทคโนโลยีป้องกันด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) มาใช้งานร่วมกับระบบ Lean Manufacturing System จึงเป็นระบบที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมในปัจจุบัน ก่อให้เกิดประโยชน์แก่องค์กร ช่วยส่งเสริมระบบงานในขบวนการต่างๆ เช่น การผลิตเป็นไปตามคำสั่งซื้อ (Build-to-order production) จัดส่งสินค้าทันเวลาพอดี (Just-in-time: JIT Delivery) เป็นต้น ดังนั้นจึงแบ่งรายละเอียดให้ชัดเจนโดยจำแนกให้เห็นภาพทั้งสายการผลิต (Supply chain) ซึ่งประกอบด้วย ประโยชน์ที่ผู้ผลิตได้รับ (Benefits for Manufacturers) ประโยชน์ที่ผู้กระจายสินค้าได้รับ (Benefits for Distribution Centers) และประโยชน์ที่ลูกค้าได้รับ (Benefits for Customer)

ตารางที่ 5.1 [7], [47-48] แสดงถึง ประโยชน์ที่ผู้ผลิตได้รับ (Benefits for Manufacturers) โดยกล่าวถึงสายการผลิต งานขาย การควบคุมสินค้าคงคลัง การกระจายสินค้า โดยแจกแจงเป็นหัวข้อของระบบต่างๆ ดังตาราง

ตารางที่ 5.1 หัวข้อระบบต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ผลิต

หัวข้อของระบบ	ประโยชน์ที่ผู้ผลิตได้รับ
Inventory control	<ul style="list-style-type: none"> • ลดปริมาณสินค้าคงคลังด้วยการส่งมอบแบบทันเวลา (JIT Inventory) • สามารถตรวจสอบสินค้าคงคลังได้ตลอดเวลาและมีความถูกต้อง • เลือกกำจัดวัตถุดิบที่หมดอายุได้อย่างถูกต้องและคุ้มค่า
Distribution	<ul style="list-style-type: none"> • มีการกระจายข้อมูลส่งต่อไปยังผู้กระจายสินค้าเพื่อให้ทำงานได้อย่างต่อเนื่อง

Order Fulfillment	<ul style="list-style-type: none"> ข้อมูลที่จัดเก็บตรงกับสินค้าที่มีอยู่จริงและตรงกับใบสั่งซื้อ
Asset management	<ul style="list-style-type: none"> สามารถวางแผน ตรวจสอบ และดูแลรักษาเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
Manufacturing optimization	<ul style="list-style-type: none"> ขั้นตอนการผลิตกระชับเหมาะสมและมีกระบวนการทำงานเข้าใจง่ายต่อการใช้งาน ส่งเสริมให้เกิดการวางแผนการผลิตที่ชัดเจนและมีประสิทธิภาพ ลดปริมาณ WIP (Work in process) ทำให้เกิดการหมุนเวียนวัตถุดิบตามรายการคำสั่งซื้อ
Authenticity and Anticounterfeiting	<ul style="list-style-type: none"> ระบุตัวตนของวัตถุได้ง่ายและสามารถระบุวัตถุที่ไม่เกี่ยวข้องออกไป
Individualized sales and marketing	<ul style="list-style-type: none"> ระบุชิ้นงานได้ถูกต้อง ช่วยลดเวลาการทำงานในการตรวจสอบข้อมูล
Service and product recalls	<ul style="list-style-type: none"> ลดค่าใช้จ่ายในการนำสินค้าส่งคืนเพื่อกลับมาตรวจสอบ

ตารางที่ 5.2 [7], [47-48] แสดงถึงประโยชน์ที่ผู้กระจายสินค้าได้รับ (Benefits for Distribution Centers) โดยกล่าวถึงการรับสินค้าและส่งสินค้า การจัดเก็บสินค้า และการจัดการสินค้า โดยแจกแจงเป็นหัวข้อต่างๆดังตาราง

ตารางที่ 5.2 หัวข้อระบบต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อผู้กระจายสินค้า

หัวข้อของระบบ	ประโยชน์ที่ผู้กระจายสินค้าได้รับ
Shipping and receiving	<ul style="list-style-type: none"> ระบบการส่งผ่านงานไปยังแต่ละขั้นตอนการทำงานเป็นไปอย่างอัตโนมัติ ลดแรงงาน (Labor cost) ระบบมีการตรวจสอบแบบอัตโนมัติและทำงานได้

	อย่างรวดเร็ว
Storage and Fulfillment	<ul style="list-style-type: none"> • จัดเก็บสินค้าถูกต้องตามตำแหน่งและสถานที่ที่กำหนด • ตรวจสอบข้อมูลสินค้าย้อนหลังได้อย่างรวดเร็ว • ลดอัตราการเสื่อมสภาพของเครื่องจักรและการจัดเก็บ (Asset) • ลดจำนวนสินค้าที่ต้องรอป้อนลูกค้า (Safety stock)
Task and Resource Management	<ul style="list-style-type: none"> • ระบบของแต่ละส่วนการทำงานเป็นไปอย่างอัตโนมัติและเป็นปัจจุบัน (Real-Time) • ขั้นตอนของสายการผลิตเป็นไปอย่างรวดเร็ว ถูกต้องและอัตโนมัติ • ขั้นตอนการทำงานจัดเก็บลงบรรจุภัณฑ์ การจัดส่งสินค้าลงกล่อง เป็นไปอย่างถูกต้องตรงกัน

ตารางที่ 5.3 [7], [47-48] แสดงถึงประโยชน์ที่ลูกค้าได้รับ (Benefits for Customer) โดยกล่าวถึงสินค้าในระบบ ระบบการจัดการสินค้าคงคลัง ความรวดเร็วในการทำงาน โดยแจกแจงเป็นหัวข้อต่างๆดังตาราง

ตารางที่ 5.3 หัวข้อระบบต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อลูกค้า

หัวข้อของระบบ	ประโยชน์ที่ลูกค้าได้รับ
---------------	-------------------------

Benefits of Speed	<ul style="list-style-type: none"> • ลดจำนวนคำสั่งซื้อที่ล่าช้าเนื่องจากสินค้าไม่มีเหลือพอในคลัง • ทำให้ระบบงานมีความเร็วมากขึ้น เกิดจากการได้รับข้อมูลได้รวดเร็วและถูกต้องมากขึ้น ทั้งการรับสินค้า ขบวนการผลิต การเปลี่ยนสินค้า หรือการส่งสินค้า • ทำให้ข้อมูลลำดับงานเข้าก่อนออกก่อนมีความชัดเจน และถูกต้อง • ลูกค้าเกิดความพึงพอใจเมื่อมีการร้องขอสินค้าทันทีโดยสามารถระบุข้อมูลเกี่ยวกับสินค้าได้อย่างชัดเจน • ตรวจสอบสินค้าในคลังได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว • สามารถเพิ่มปริมาณผู้กระจายสินค้าได้มากขึ้นซึ่งอาศัยข้อมูลที่มี จัดระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำ
Benefits of Visibility	<ul style="list-style-type: none"> • ตรวจสอบปริมาณ สินค้า กล่องบรรจุภัณฑ์ ชั้นไม้ ได้ตลอดทั้งระบบ • ระบุสินค้าทั้งหมดได้ทันทีเมื่อผ่านจุดอ่านข้อมูล • จัดการสินค้าที่ถูกตีกลับได้อย่างถูกต้อง ตรงชนิดและจำนวนของสินค้า • ป้องกันการรวมชนิดสินค้าที่ไม่เหมือนกันไว้ที่เดียวกัน คัดแยกเป็นชนิดๆ ได้อย่างถูกต้อง

จากการนำระบบเทคโนโลยีบังคับด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) มาประยุกต์ใช้ในขบวนการระบุเลขกล่องและนับจำนวนของสินค้า (Final packing process) และ การระบุเลขกล่อง ชนิดสินค้าและจำนวนบนชั้นไม้วางกล่อง (Shipping process) พิจารณาค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) และค่าตอบแทนจากการลงทุน (Return of Investment: ROI) [1] ที่เกิดจากการนำขบวนการใหม่นี้มาประยุกต์ ใช้แทนระบบเดิมที่เป็นระบบรหัสแท่ง (Barcode)

จากตารางที่ 5.4 แสดงรายการค่าคงที่ต่างๆเพื่อใช้ในการคำนวณโดยคิดที่การทำงานในหนึ่งวันที่มีจำนวนชั่วโมงการทำงาน 8 ชั่วโมง หรือคิดเป็น 1 รอบกะการทำงานเท่านั้น ประกอบด้วยรายการดังนี้

ตารางที่ 5.4 รายการค่าคงที่เพื่อใช้ในการคำนวณ

หัวข้อ	รายการค่าคงที่	หน่วย
1.	จำนวนวันทำงานต่อเดือน	26 วัน
2	จำนวนชั่วโมงการทำงานต่อวันต่อรอบกะการทำงาน	8 ชั่วโมง
3	จำนวนชิ้นงานที่มากที่สุดต่อชั้นไม้ pallet โดยบรรจุ 24 กล่อง ต่อ pallet	5,760 ชิ้น
4	สินค้าที่ผลิตได้ต่อวันเฉลี่ย	100,000 ชิ้น
5	จำนวนสินค้าบนชั้นไม้ pallet ที่ผลิตได้ต่อวัน	18 pallet
6	เงินเดือนคิดเฉลี่ยต่อชั่วโมง (ค่าแรงเฉลี่ย 15,000 บาท ต่อเดือน)	72.12 บาทต่อชั่วโมง
7	เวลาของขบวนการใหม่ที่ลดลงจากขบวนการเดิม	156.44 วินาที
8	เวลาที่ลดลงของการทำ Inventory checking	154.80 วินาที
9	ราคาสติ๊กเกอร์บาร์โค้ดของระบบแท่ง	0.05 บาทต่อชิ้น
10	ราคาป้ายชนิดที่ 1	30.00 บาทต่อชิ้น
11	ราคาป้ายชนิดที่ 2	15.00 บาทต่อชิ้น

รายการที่คำนวณแบ่งเป็น 2 ตารางใหญ่ๆ คือ ตารางที่ 5.5 แสดงถึงรายการค่าใช้จ่ายของระบบเทคโนโลยีบังคับด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) ที่นำมาประยุกต์ใช้ในขบวนการใหม่ (RFID Implementation Cost) โดยแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับราคาอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายของระบบใหม่ ซึ่งแจกแจงรายละเอียดในส่วนของค่าใช้จ่ายคงที่ (Fix cost/One-time Cost) เป็นรายการที่ต้องจ่ายตอนเริ่มต้นของการวางระบบใหม่ และค่าใช้จ่ายประจำปี (Annual cost) เป็นรายการที่ต้องทำเป็นรายปี โดยตารางนี้ ยังแสดงการคำนวณป้ายชนิดที่ 1 และ ชนิดที่ 2 ดังตารางที่ 5.6 เพื่อการพิจารณาด้วย

ตารางที่ 5.5 RFID Implementation Cost

หัวข้อ	รายละเอียด	หน่วย	ราคา(บาท)
รายการค่าใช้จ่ายคงที่ (Fix cost/One-time Cost)			
1	ป้าย คัดอัตราการได้กล่องคืนเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (Turn over) 5 วัน • ป้ายชนิดที่ 1 • ป้ายชนิดที่ 2	24x18x5 24x18x5	64,800.00 32,400.00
2	เครื่องอ่านชนิด Built-in Antenna • สำหรับเขียนข้อมูลลงป้าย • สำหรับอ่านข้อมูลสินค้าบน pallet	1 1	50,000.00 50,000.00
3	ระบบ Network และ Database (เพิ่มเติมเฉพาะส่วนของ RFID)	1	50,000.00
4	โปรแกรมการใช้งาน	1	100,000.00
5	ค่าแรงติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์	1	20,000.00
รายการค่าใช้จ่ายประจำปี (Annual cost)			
6	อบรมการใช้งาน (เฉลี่ยต่อพนักงาน 1 คน)	1	500.00
7	การบำรุงดูแลรักษา (PM)	2	10,000.00
8	บริการหลังการขาย (เฉลี่ยต่อครั้ง)	1	1,000.00

ตารางที่ 5.6 รายการค่าใช้จ่ายของระบบใหม่เมื่อเลือกใช้ป้ายชนิดที่ 1 และ ป้ายชนิดที่ 2

หัวข้อ	รายละเอียด	ราคา(บาท)
รายการค่าใช้จ่าย ป้ายชนิดที่ 1		
1	รายการค่าใช้จ่ายคงที่ (Fix cost/One-time Cost)	334,800.00
2	รายการค่าใช้จ่ายประจำปี (Annual cost)	11,500.00
	รวมค่าใช้จ่ายต่อปี	346,300.00
รายการค่าใช้จ่าย ป้ายชนิดที่ 2		
1	รายการค่าใช้จ่ายคงที่ (Fix cost/One-time Cost)	302,400.00
2	รายการค่าใช้จ่ายประจำปี (Annual cost)	11,500.00
	รวมค่าใช้จ่ายต่อปี	313,900.00

ส่วนตารางที่ 5.7 แสดงถึงรายการผลประโยชน์และการลดค่าใช้จ่ายที่ได้ (Estimated Benefits and Saving) โดยคำนวณผลประโยชน์จากเวลาที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบขบวนการใหม่กับขบวนการเดิม จำนวนพนักงานที่ลดลงที่ส่งผลให้ทรัพยากรอื่นๆ ใช้ปริมาณลดลงด้วยคำนวณ โดยคิดที่การทำงานในหนึ่งวันที่มีจำนวนชั่วโมงการทำงาน 8 ชั่วโมง หรือคิดเป็น 1 รอบกะการทำงานเท่านั้น

ตารางที่ 5.7 Estimated Benefits and Saving

หัวข้อ	รายละเอียด	หน่วย	ราคา(บาท)
	รายการค่าใช้จ่ายคงที่ (Fix cost/One-time Cost)		
1	ค่าใช้จ่ายที่ลดลงจากขั้นตอนการทำงานที่ลดลงต่อปี (Saving cost during process)	244.05 ชั่วโมงต่อปี	17,600.63
2	พนักงานลดลง	3	45,000.00
3	สต็อกเกอร์บาร์โค้ดที่ลดลง	5x24x18x26x12	33,696.00
4	รายการอุปกรณ์ที่ลดลง		
	• คอมพิวเตอร์ของพนักงาน OBA	1	25,000.00
	• เอกสารของ OBA	1	1,000.00
	• อุปกรณ์สำนักงานของ OBA	1	1,000.00
	• คอมพิวเตอร์ของพนักงาน Store	1	25,000.00
	• สแกนเนอร์ของพนักงาน Store	1	30,000.00
5	ค่าใช้จ่าย Inventory checking ที่ลดลง	241.49 ชั่วโมงต่อปี	17,416.12

รายการค่าใช้จ่ายประจำปี (Annual cost)			
6	อบรมการใช้งาน (เฉลี่ยต่อพนักงาน 1 คน)	1	500.00
7	การบำรุงดูแลรักษา (PM)	1	10,000.00
8	ค่าซ่อมแซมอุปกรณ์ (เฉลี่ยต่อครั้ง)	1	1,000.00
รวมผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายที่ลดลงต่อปี			207,212.75

จากสมการที่ 5.1 คือ การหาค่าของมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) คือ ผลรวมของมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับและกระแสเงินสดจ่าย โดยนำมาคิดลดด้วยอัตราผลตอบแทนที่ต้องการ

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{V_t}{(1+D)^t} \quad (5.1)$$

โดยกำหนดให้ V_t คือ กระแสเงินสด (Cash flow series) ที่ช่วงเวลา t n คือ จำนวนของช่วงระยะเวลาที่ต้องการวิเคราะห์ t คือ ช่วงระยะเวลา D คือ อัตราคิดลดหรืออัตราผลตอบแทน (Discount rate)

จากตารางที่ 5.5, 5.6 และ 5.7 นำมาคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ภายใน 5 ปี (Cash flow series [1]) โดยเมื่อเริ่มนำระบบเทคโนโลยีบังคับด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) มาประยุกต์ใช้ ระยะเวลาในการทดสอบ ติดตั้ง ทดลองใช้เครื่องมืออุปกรณ์ จนถึงเริ่มใช้งานจริง คิดระยะเวลาที่ค่าเฉลี่ย 6 เดือน ดังนั้นในปีแรก (Year 0) จึงยังไม่มีผลประโยชน์ที่ได้รับรายการค่าใช้จ่ายของป้าย ในปีแรก (Year 0) คิดจำนวนเต็มต่อปี และซื้อเพิ่มปีละ 10% ซึ่งเป็นอัตราที่หายไปจากระบบ (Yield lost) อันเกิดจากป้ายที่อาจสูญหายไปพร้อมกับกล่องบรรจุภัณฑ์อันเกิดจาก

ระบบการจัดเก็บหรือใช้งานจากลูกค้าโดยเป็นค่าเฉลี่ย ณ ปัจจุบัน ส่วนราคาค่าใช้จ่ายคงที่อื่นเป็นรายการที่ซื้อครั้งแรกเพียงครั้งเดียว (One-time Cost) และค่าใช้จ่ายประจำปีที่ต้องจ่ายทุกปีการใช้งาน คือ ค่าอบรมพนักงาน ค่าบำรุงดูแลรักษา (Preventive Maintenance : PM) รวมทั้งซ่อมแซมเบื้องต้น และ ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับบริการหลังการขาย ซึ่งรวมถึง การปรับเครื่องเพื่อให้พร้อมใช้งานอย่างถูกต้องตามลักษณะการใช้งาน (Calibration)

ตารางที่ 5.8 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ของ RFID Implementation Cost ปีายชนิดที่ 1

หัวข้อ	รายละเอียด	NPV	Year0	Year1	Year2	Year3	Year4	Year5	Total
รายการค่าใช้จ่ายคงที่(Fix cost/One-time Cost)									
1	ป้าย คัดอัตราการได้กล่องคืนเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (Turn over) 5 วัน								
	ป้ายชนิดที่ 1 * Yield lost 10% / Year		-64,800.00	-6,480.00*	-6,480.00*	-6,480.00*	-6,480.00*	-6,480.00*	-97,200.00
2	เครื่องอ่านชนิด Built-in Antenna								
	เครื่องที่ไว้สำหรับเขียนข้อมูลลงป้าย		-50,000.00	0	0	0	0	0	-50,000.00
	เครื่องที่ไว้สำหรับอ่านข้อมูลสินค้าบน pallet		-50,000.00	0	0	0	0	0	-50,000.00
3	ระบบ Network และ Database (เพิ่มเติมเฉพาะส่วนของ RFID)		-50,000.00	0	0	0	0	0	-50,000.00
4	โปรแกรมการใช้งาน		-100,000.00	0	0	0	0	0	-100,000.00
5	ค่าแรงติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์		-20,000.00	0	0	0	0	0	-20,000.00
รายการค่าใช้จ่ายประจำปี (Annual cost)									
6	อบรมการใช้งาน (เฉลี่ยต่อพนักงาน 1 คน)		-500.00	-500.00	-500.00	-500.00	-500.00	-500.00	-3,000.00
7	การบำรุงดูแลรักษา (PM)		-10,000.00	-10,000.00	-10,000.00	-10,000.00	-10,000.00	-10,000.00	-60,000.00
8	บริการหลังการขาย (เฉลี่ยต่อครั้ง)		-1,000.00	-1,000.00	-1,000.00	-1,000.00	-1,000.00	-1,000.00	-6,000.00

รวม	-411,113.88	-346,300.00	-17,980.00	-17,980.00	-17,980.00	-17,980.00	-17,980.00	-17,980.00	-436,200.00
-----	-------------	-------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	-------------

ตารางที่ 5.9 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ของ RFID Implementation Cost ปีที่ 2

หัวข้อ	รายละเอียด	NPV	Year0	Year1	Year2	Year3	Year4	Year5	Total
รายการค่าใช้จ่ายคงที่(Fix cost/One-time Cost)									
1	ป้าย คัดอัตราการได้กล่องคืนเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (Turn over) 5 วัน ป้ายชนิดที่ 2 * Yield lost 10% / Year		-32,400.00	-3,240.00 *	-3,240.00 *	-3,240.00 *	-3,240.00 *	-3,240.00 *	-48,600.00
2	เครื่องอ่านชนิด Built-in Antenna เครื่องที่ไว้สำหรับเขียนข้อมูลลงป้าย		-50,000.00	0	0	0	0	0	-50,000.00
	เครื่องที่ไว้สำหรับอ่านข้อมูลสินค้าบน pallet		-50,000.00	0	0	0	0	0	-50,000.00
3	ระบบ Network และ Database (เพิ่มเติมเฉพาะส่วนของ RFID)		-50,000.00	0	0	0	0	0	-50,000.00
4	โปรแกรมการใช้งาน		-100,000.00	0	0	0	0	0	-100,000.00
5	ค่าแรงติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์		-20,000.00	0	0	0	0	0	-20,000.00
รายการค่าใช้จ่ายประจำปี (Annual cost)									
6	อบรมการใช้งาน (เฉลี่ยต่อพนักงาน 1 คน)		-500.00	-500.00	-500.00	-500.00	-500.00	-500.00	-3,000.00
7	การบำรุงดูแลรักษา (PM)		-10,000.00	-10,000.00	-10,000.00	-10,000.00	-10,000.00	-10,000.00	-60,000.00

8	บริการหลังการขาย (เฉลี่ยต่อครั้ง)		-1,000.00	-1,000.00	-1,000.00	-1,000.00	-1,000.00	-1,000.00	-6,000.00
	รวม	-367,034.40	-313,900.00	-14,740.00	-14,740.00	-14,740.00	-14,740.00	-14,740.00	-387,600.00

จากตารางที่ 5.8 แสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ของ RFID Implementation Cost ป้ายชนิดที่ 1 คำนวณค่า NPV ได้ดังนี้

กำหนดให้ค่า D คือ 0.12 (12%)

$$NPV_1 = \frac{-346,300}{(1+0.12)^0} + \frac{-17,980}{(1+0.12)^1} + \frac{-17,980}{(1+0.12)^2} + \frac{-17,980}{(1+0.12)^3} + \frac{-17,980}{(1+0.12)^4} + \frac{-17,980}{(1+0.12)^5}$$

$$NPV_1 = (-346,300) + (-16,053.57143) + (-14,333.54592) + (-12,797.80886)$$

$$+ (-11,426.61505) + (-10,202.33487)$$

$$NPV_1 = -411,113.88$$

จากตารางที่ 5.9 แสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ของ RFID Implementation Cost ป้ายชนิดที่ 2 คำนวณค่า NPV ได้ดังนี้

กำหนดให้ค่า D คือ 0.12 (12%)

$$NPV_2 = \frac{-313,900}{(1+0.12)^0} + \frac{-14,740}{(1+0.12)^1} + \frac{-14,740}{(1+0.12)^2} + \frac{-14,740}{(1+0.12)^3} + \frac{-14,740}{(1+0.12)^4} + \frac{-14,740}{(1+0.12)^5}$$

$$NPV_2 = (-313,900) + (-13,160.71429) + (-11,750.63776) + (-10,491.64085)$$

$$+ (-9,367.536476) + (-8,363.871853)$$

$$NPV_2 = -367,034.40$$

ตารางที่ 5.10 แสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ของ Estimated Benefits and Saving ซึ่งเป็นค่าที่สามารถลดค่าใช้จ่ายได้ในทุกปีการผลิต คิดที่ช่วงเวลา 5 ปี ได้ดังนี้

ตารางที่ 5.10 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ของ Estimated Benefits and Saving

หัวข้อ	รายละเอียด	NPV	Year0	Year1	Year2	Year3	Year4	Year5	Total
	รายการค่าใช้จ่ายคงที่(Fix cost/One-time Cost)								
1	ค่าใช้จ่ายที่ลดลงจากขั้นตอนการทำงานที่ลดลงต่อปี (Saving cost during process)		0	17,600.63	35,201.26	52,801.89	70,402.52	88,003.15	264,009.5
2	พนักงานลดลง		0	45,000.00	90,000.00	135,000.00	180,000.00	225,000.00	675,000.00
3	สต็อกเกอร์บาร์โค้ดที่ลดลง		0	33,696.00	67,392.00	101,088.00	134,784.00	168,480.00	505,440.00
4	คอมพิวเตอร์ของพนักงาน OBA		0	25,000.00	50,000.00	75,000.00	100,000.00	125,000.00	375,000.00
	เอกสารของ OBA		0	1,000.00	2,000.00	3,000.00	4,000.00	5,000.00	15,000.00
	อุปกรณ์สำนักงานของ OBA		0	1,000.00	2,000.00	3,000.00	4,000.00	5,000.00	15,000.00
	คอมพิวเตอร์ของพนักงาน Store		0	25,000.00	50,000.00	75,000.00	100,000.00	125,000.00	375,000.00
	สแกนเนอร์ของพนักงาน Store		0	30,000.00	60,000.00	90,000.00	120,000.00	150,000.00	450,000.00
5	ค่าใช้จ่าย Inventory checking ที่ลดลง		0	17,416.12	34,832.24	52,248.36	69,664.48	87,080.60	261,241.80
	รายการค่าใช้จ่ายประจำปี (Annual cost)								
6	อบรมการใช้งาน (เฉลี่ยต่อพนักงาน 1 คน)		0	500.00	1,000.00	1,500.00	2,000.00	2,500.00	7,500.00
7	การบำรุงดูแลรักษา (PM)		0	10,000.00	20,000.00	30,000.00	40,000.00	50,000.00	150,000.00
8	บริการหลังการขาย (เฉลี่ยต่อครั้ง)		0	1,000.00	2,000.00	3,000.00	4,000.00	5,000.00	15,000.00

	รวม	2,072,498.87	0	207,212.75	414,425.50	621,638.25	828,851.00	1,036,063.80	3,108,191.75
--	-----	--------------	---	------------	------------	------------	------------	--------------	--------------

จากตารางที่ 5.10 แสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ของ Estimated Benefits and Saving คำนวณค่า NPV ได้ดังนี้

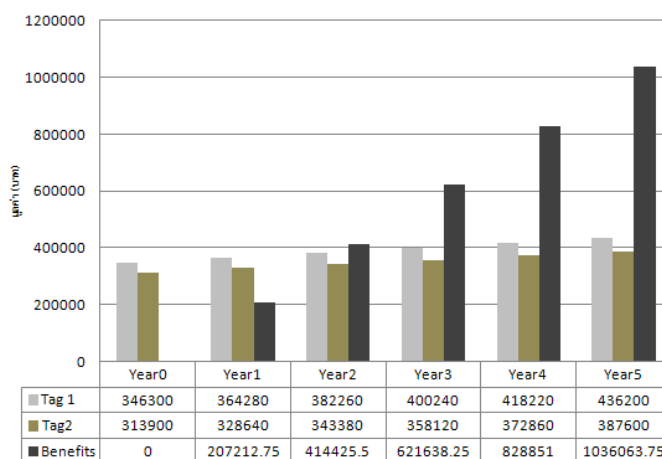
กำหนดให้ค่า D คือ 0.12 (12%)

$$NPV_B = 0 + \frac{207,212.75}{(1+0.12)^1} + \frac{414,425.50}{(1+0.12)^2} + \frac{621,638.25}{(1+0.12)^3} + \frac{828,851.00}{(1+0.12)^4} + \frac{1,036,063.75}{(1+0.12)^5}$$

$$NPV_B = (185,011.38) + (330,377.47) + (442,469.83) + (526,749.79)$$

$$NPV_B = 2,072,498.87$$

จากตารางที่ 5.8, 5.9 และ 5.10 มีข้อสังเกตว่าในปีแรก (Year 0) ยังไม่มีผลประโยชน์ที่ได้รับจากการลงทุน ต่อมาในปี Year1 มูลค่าการลงทุนยังคงสูงกว่าผลประโยชน์ที่ได้รับ จากนั้นในปี Year2 จึงเห็นว่าผลประโยชน์ที่ได้รับมากกว่าการลงทุน ในปี Year4 ผลประโยชน์ที่ได้รับมีค่ามากกว่าการลงทุนเฉลี่ย 2 เท่า และในปี Year5 ผลประโยชน์ที่ได้รับมีค่ามากกว่าการลงทุนเฉลี่ย 2.5 เท่า ดังรูปที่ 5.2 โดยคิดมูลค่าแบบความถี่สะสมของ Year0 จนถึง Year5



รูปที่ 5.2 เปรียบเทียบมูลค่าที่ลงทุนกับผลประโยชน์ที่ได้รับในช่วงปี Year0 ถึง Year5

ดังนั้นพิจารณาค่าตอบแทนจากการลงทุน (Return of Investment: ROI) [1] คือ ตัวชี้วัดว่าระบบใหม่นี้ควรนำไปใช้หรือไม่ โดยพิจารณาที่ค่าที่ได้เป็นบวก (Gain) เหมาะสมที่จะนำไปใช้ หรือ ได้ค่าเป็นลบ (Lost) ไม่ควรนำไปใช้ ดังสมการที่ 5.2

$$ROI = \frac{V_f - V_i}{V_i} = \frac{V_f}{V_i} - 1 \quad (5.2)$$

โดยกำหนดให้ V_f คือ รายรับที่ได้จากการลงทุน และ V_i คือ รายจ่ายของการลงทุน (ต้นทุน) ดังนั้นจากสมการ 5.2 สามารถคำนวณ ROI ของนาระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) ที่นำมาประยุกต์ใช้ โดยแบ่งแสดงค่า ROI ของป้ายชนิดที่ 1 ดังสมการที่ 5.3 และ ชนิดที่ 2 ดังสมการที่ 5.4 ได้ดังนี้

$$ROI_1 = \frac{2,072,498.87}{411,113.88} - 1 = 3.04 = 304\% \quad (5.3)$$

$$ROI_2 = \frac{2,072,498.87}{367,034.40} - 1 = 4.65 = 465\% \quad (5.4)$$

จากสมการหาค่า ROI_1 และ ROI_2 พิจารณาได้ว่า มีความเหมาะสมที่จะนาระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) มาประยุกต์ใช้โดยเมื่อเลือกใช้ป้ายชนิดที่ 2 จะเป็นระบบที่น่าสนใจกว่าป้ายชนิดที่ 1 เพราะค่า ROI มีค่ามากกว่า แต่ทั้งนี้การเลือกใช้ป้ายชนิดที่ 1 หรือ ชนิด 2 นั้น ควรคำนึงถึงวัตถุประสงค์การใช้งาน เนื่องจากค่าลักษณะเฉพาะตัวที่แตกต่างกันของป้าย ดังผลการทดลองที่ 4 ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอ่านเพื่อนำไปใช้งานจริง

จากตารางที่ 5.8 แสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ของ RFID Implementation Cost ป้ายชนิดที่ 1 คำนวณค่า NPV ได้ดังนี้

กำหนดให้ค่า D คือ 0.12 (12%)

$$NPV_1 = \frac{-346,300}{(1+0.12)^0} + \frac{-17,980}{(1+0.12)^1} + \frac{-17,980}{(1+0.12)^2} + \frac{-17,980}{(1+0.12)^3} + \frac{-17,980}{(1+0.12)^4} + \frac{-17,980}{(1+0.12)^5}$$

$$NPV_1 = (-346,300) + (-16,053.57143) + (-14,333.54592) + (-12,797.80886)$$

$$+(-11,426.61505) + (-10,202.33487)$$

$$NPV_1 = -411,113.88$$

จากตารางที่ 5.9 แสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ของ RFID Implementation Cost ป้ายชนิดที่ 2 คำนวณค่า NPV ได้ดังนี้

กำหนดให้ค่า D คือ 0.12 (12%)

$$NPV_2 = \frac{-313,900}{(1+0.12)^0} + \frac{-14,740}{(1+0.12)^1} + \frac{-14,740}{(1+0.12)^2} + \frac{-14,740}{(1+0.12)^3} + \frac{-14,740}{(1+0.12)^4} + \frac{-14,740}{(1+0.12)^5}$$

$$NPV_2 = (-313,900) + (-13,160.71429) + (-11,750.63776) + (-10,491.64085)$$

$$+(-9,367.536476) + (-8,363.871853)$$

$$NPV_2 = -367,034.40$$

ตารางที่ 5.10 แสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ของ Estimated Benefits and Saving ซึ่งเป็นค่าที่สามารถลดค่าใช้จ่ายได้ในทุกปีการผลิต คิดที่ช่วงเวลา 5 ปี ได้ดังนี้

ตารางที่ 5.10 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ของ Estimated Benefits and Saving

หัวข้อ	รายละเอียด	NPV	Year0	Year1	Year2	Year3	Year4	Year5	Total
	รายการค่าใช้จ่ายคงที่(Fix cost/One-time Cost)								
1	ค่าใช้จ่ายที่ลดลงจากขั้นตอนการทำงานที่ลดลงต่อปี (Saving cost during process)		0	17,600.63	35,201.26	52,801.89	70,402.52	88,003.15	264,009.5
2	พนักงานลดลง		0	45,000.00	90,000.00	135,000.00	180,000.00	225,000.00	675,000.00
3	สต็อกเกอร์บาร์โค้ดที่ลดลง		0	33,696.00	67,392.00	101,088.00	134,784.00	168,480.00	505,440.00
4	คอมพิวเตอร์ของพนักงาน OBA		0	25,000.00	50,000.00	75,000.00	100,000.00	125,000.00	375,000.00
	เอกสารของ OBA		0	1,000.00	2,000.00	3,000.00	4,000.00	5,000.00	15,000.00
	อุปกรณ์สำนักงานของ OBA		0	1,000.00	2,000.00	3,000.00	4,000.00	5,000.00	15,000.00
	คอมพิวเตอร์ของพนักงาน Store		0	25,000.00	50,000.00	75,000.00	100,000.00	125,000.00	375,000.00
	สแกนเนอร์ของพนักงาน Store		0	30,000.00	60,000.00	90,000.00	120,000.00	150,000.00	450,000.00
5	ค่าใช้จ่าย Inventory checking ที่ลดลง		0	17,416.12	34,832.24	52,248.36	69,664.48	87,080.60	261,241.80
	รายการค่าใช้จ่ายประจำปี (Annual cost)								
6	อบรมการใช้งาน (เฉลี่ยต่อพนักงาน 1 คน)		0	500.00	1,000.00	1,500.00	2,000.00	2,500.00	7,500.00
7	การบำรุงดูแลรักษา (PM)		0	10,000.00	20,000.00	30,000.00	40,000.00	50,000.00	150,000.00

8	บริการหลังการขาย (เฉลี่ยต่อครั้ง)		0	1,000.00	2,000.00	3,000.00	4,000.00	5,000.00	15,000.00
	รวม	2,072,498.87	0	207,212.75	414,425.50	621,638.25	828,851.00	1,036,063.80	3,108,191.75

จากตารางที่ 5.10 แสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ของ Estimated Benefits and Saving คำนวณค่า NPV ได้ดังนี้

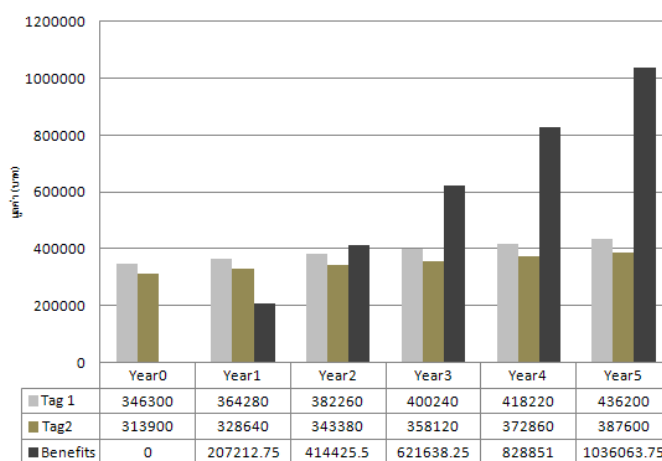
กำหนดให้ค่า D คือ 0.12 (12%)

$$NPV_B = 0 + \frac{207,212.75}{(1+0.12)^1} + \frac{414,425.50}{(1+0.12)^2} + \frac{621,638.25}{(1+0.12)^3} + \frac{828,851.00}{(1+0.12)^4} + \frac{1,036,063.75}{(1+0.12)^5}$$

$$NPV_B = (185,011.38) + (330,377.47) + (442,469.83) + (526,749.79)$$

$$NPV_B = 2,072,498.87$$

จากตารางที่ 5.8, 5.9 และ 5.10 มีข้อสังเกตว่าในปีแรก (Year 0) ยังไม่มีผลประโยชน์ที่ได้รับจากการลงทุน ต่อมาในปี Year1 มูลค่าการลงทุนยังคงสูงกว่าผลประโยชน์ที่ได้รับ จากนั้นในปี Year2 จึงเห็นว่าผลประโยชน์ที่ได้รับมากกว่าการลงทุน ในปี Year4 ผลประโยชน์ที่ได้รับมีค่ามากกว่าการลงทุนเฉลี่ย 2 เท่า และในปี Year5 ผลประโยชน์ที่ได้รับมีค่ามากกว่าการลงทุนเฉลี่ย 2.5 เท่า ดังรูปที่ 5.2 โดยคิดมูลค่าแบบความถี่สะสมของ Year0 จนถึง Year5



รูปที่ 5.2 เปรียบเทียบมูลค่าที่ลงทุนกับผลประโยชน์ที่ได้รับในช่วงปี Year0 ถึง Year5

ดังนั้นพิจารณาค่าตอบแทนจากการลงทุน (Return of Investment: ROI) [1] คือ ตัวชี้วัดว่าระบบใหม่นี้ควรนำไปใช้หรือไม่ โดยพิจารณาที่ค่าที่ได้เป็นบวก (Gain) เหมาะสมที่จะนำไปใช้ หรือ ได้ค่าเป็นลบ (Lost) ไม่ควรนำไปใช้ ดังสมการที่ 5.2

$$ROI = \frac{V_f - V_i}{V_i} = \frac{V_f}{V_i} - 1 \quad (5.2)$$

โดยกำหนดให้ V_f คือ รายรับที่ได้จากการลงทุน และ V_i คือ รายจ่ายของการลงทุน (ต้นทุน) ดังนั้นจากสมการ 5.2 สามารถคำนวณ ROI ของนาระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) ที่นำมาประยุกต์ใช้ โดยแบ่งแสดงค่า ROI ของป้ายชนิดที่ 1 ดังสมการที่ 5.3 และ ชนิดที่ 2 ดังสมการที่ 5.4 ได้ดังนี้

$$ROI_1 = \frac{2,072,498.87}{411,113.88} - 1 = 3.04 = 304\% \quad (5.3)$$

$$ROI_2 = \frac{2,072,498.87}{367,034.40} - 1 = 4.65 = 465\% \quad (5.4)$$

จากสมการหาค่า ROI_1 และ ROI_2 พิจารณาได้ว่า มีความเหมาะสมที่จะนาระบบเทคโนโลยี บ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) มาประยุกต์ใช้โดยเมื่อเลือกใช้ป้ายชนิดที่ 2 จะเป็นระบบที่น่าสนใจกว่า ป้ายชนิดที่ 1 เพราะค่า ROI มีค่ามากกว่า แต่ทั้งนี้การเลือกใช้ป้ายชนิดที่ 1 หรือ ชนิด 2 นั้น ควรคำนึงถึง วัตถุประสงค์การใช้งาน เนื่องจากค่าลักษณะเฉพาะตัวที่แตกต่างกันของป้าย ดังผลการทดลองที่ 4 ศึกษา ประสิทธิภาพของเครื่องอ่านเพื่อนำไปใช้งานจริง

จากตารางที่ 5.10 แสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ของ Estimated Benefits and Saving คำนวณค่า NPV ได้ดังนี้

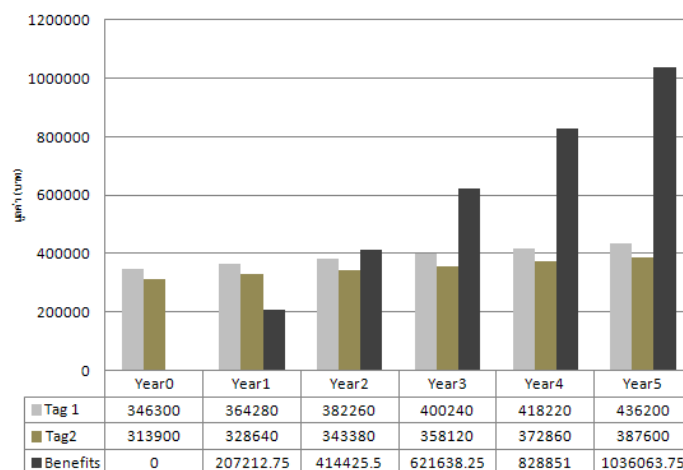
กำหนดให้ค่า D คือ 0.12 (12%)

$$NPV_B = 0 + \frac{207,212.75}{(1+0.12)^1} + \frac{414,425.50}{(1+0.12)^2} + \frac{621,638.25}{(1+0.12)^3} + \frac{828,851.00}{(1+0.12)^4} + \frac{1,036,063.75}{(1+0.12)^5}$$

$$NPV_B = (185,011.38) + (330,377.47) + (442,469.83) + (526,749.79)$$

$$NPV_B = 2,072,498.87$$

จากตารางที่ 5.8, 5.9 และ 5.10 มีข้อสังเกตว่าในปีแรก (Year 0) ยังไม่มีผลประโยชน์ที่ได้รับจากการลงทุน ต่อมาในปี Year1 มูลค่าการลงทุนยังคงสูงกว่าผลประโยชน์ที่ได้รับ จากนั้นในปี Year2 จึงเห็นว่าผลประโยชน์ที่ได้รับมากกว่าการลงทุน ในปี Year4 ผลประโยชน์ที่ได้รับมีค่ามากกว่าการลงทุนเฉลี่ย 2 เท่า และในปี Year5 ผลประโยชน์ที่ได้รับมีค่ามากกว่าการลงทุนเฉลี่ย 2.5 เท่า ดังรูปที่ 5.2 โดยคิดมูลค่าแบบความถี่สะสมของ Year0 จนถึง Year5



รูปที่ 5.2 เปรียบเทียบมูลค่าที่ลงทุนกับผลประโยชน์ที่ได้รับในช่วงปี Year0 ถึง Year5

ดังนั้นพิจารณาค่าตอบแทนจากการลงทุน (Return of Investment: ROI) [1] คือ ตัวชี้วัดว่าระบบใหม่นี้ควรนำไปใช้หรือไม่ โดยพิจารณาที่ค่าที่ได้เป็นบวก (Gain) เหมาะสมที่จะนำไปใช้ หรือได้ค่าเป็นลบ (Lost) ไม่ควรนำไปใช้ ดังสมการที่ 5.2

$$ROI = \frac{V_f - V_i}{V_i} = \frac{V_f}{V_i} - 1 \quad (5.2)$$

โดยกำหนดให้ V_f คือ รายรับที่ได้จากการลงทุน และ V_i คือ รายจ่ายของการลงทุน (ต้นทุน) ดังนั้นจากสมการ 5.2 สามารถคำนวณ ROI ของนำระบบเทคโนโลยีบังคับด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) ที่นำมาประยุกต์ใช้ โดยแบ่งแสดงค่า ROI ของป้ายชนิดที่ 1 ดังสมการที่ 5.3 และ ชนิดที่ 2 ดังสมการที่ 5.4 ได้ดังนี้

$$ROI_1 = \frac{2,072,498.87}{411,113.88} - 1 = 3.04 = 304\% \quad (5.3)$$

$$ROI_2 = \frac{2,072,498.87}{367,034.40} - 1 = 4.65 = 465\% \quad (5.4)$$

จากสมการหาค่า ROI_1 และ ROI_2 พิจารณาได้ว่า มีความเหมาะสมที่จะนำระบบเทคโนโลยีบังคับด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) มาประยุกต์ใช้โดยเมื่อเลือกใช้ป้ายชนิดที่ 2 จะเป็นระบบที่น่าสนใจกว่าป้ายชนิดที่ 1 เพราะค่า ROI มีค่ามากกว่า แต่ทั้งนี้การเลือกใช้ป้ายชนิดที่ 1 หรือ ชนิด 2 นั้น ควรคำนึงถึงวัตถุประสงค์การใช้งาน เนื่องจากค่าลักษณะเฉพาะตัวที่แตกต่างกันของป้าย ดังผลการทดลองที่ 4 ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอ่านเพื่อนำไปใช้งานจริง

จากตารางที่ 5.8 แสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ของ RFID Implementation Cost ป้ายชนิดที่ 1 คำนวณค่า NPV ได้ดังนี้

กำหนดให้ค่า D คือ 0.12 (12%)

$$NPV_1 = \frac{-346,300}{(1+0.12)^0} + \frac{-17,980}{(1+0.12)^1} + \frac{-17,980}{(1+0.12)^2} + \frac{-17,980}{(1+0.12)^3} + \frac{-17,980}{(1+0.12)^4} + \frac{-17,980}{(1+0.12)^5}$$

$$NPV_1 = (-346,300) + (-16,053.57143) + (-14,333.54592) + (-12,797.80886)$$

$$+(-11,426.61505) + (-10,202.33487)$$

$$NPV_1 = -411,113.88$$

จากตารางที่ 5.9 แสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ของ RFID Implementation Cost ป้ายชนิดที่ 2 คำนวณค่า NPV ได้ดังนี้

กำหนดให้ค่า D คือ 0.12 (12%)

$$NPV_2 = \frac{-313,900}{(1+0.12)^0} + \frac{-14,740}{(1+0.12)^1} + \frac{-14,740}{(1+0.12)^2} + \frac{-14,740}{(1+0.12)^3} + \frac{-14,740}{(1+0.12)^4} + \frac{-14,740}{(1+0.12)^5}$$

$$NPV_2 = (-313,900) + (-13,160.71429) + (-11,750.63776) + (-10,491.64085)$$

$$+(-9,367.536476) + (-8,363.871853)$$

$$NPV_2 = -367,034.40$$

ตารางที่ 5.10 แสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ของ Estimated Benefits and Saving ซึ่งเป็นค่าที่สามารถลดค่าใช้จ่ายได้ในทุกปีการผลิต คิดที่ช่วงเวลา 5 ปี ได้ดังนี้

ตารางที่ 5.10 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ของ Estimated Benefits and Saving

หัวข้อ	รายละเอียด	NPV	Year0	Year1	Year2	Year3	Year4	Year5	Total
	รายการค่าใช้จ่ายคงที่(Fix cost/One-time Cost)								
1	ค่าใช้จ่ายที่ลดลงจากขั้นตอนการทำงานที่ลดลงต่อปี (Saving cost during process)		0	17,600.63	35,201.26	52,801.89	70,402.52	88,003.15	264,009.5
2	พนักงานลดลง		0	45,000.00	90,000.00	135,000.00	180,000.00	225,000.00	675,000.00
3	สต็อกเกอร์บาร์โค้ดที่ลดลง		0	33,696.00	67,392.00	101,088.00	134,784.00	168,480.00	505,440.00
4	คอมพิวเตอร์ของพนักงาน OBA		0	25,000.00	50,000.00	75,000.00	100,000.00	125,000.00	375,000.00
	เอกสารของ OBA		0	1,000.00	2,000.00	3,000.00	4,000.00	5,000.00	15,000.00
	อุปกรณ์สำนักงานของ OBA		0	1,000.00	2,000.00	3,000.00	4,000.00	5,000.00	15,000.00
	คอมพิวเตอร์ของพนักงาน Store		0	25,000.00	50,000.00	75,000.00	100,000.00	125,000.00	375,000.00
	สแกนเนอร์ของพนักงาน Store		0	30,000.00	60,000.00	90,000.00	120,000.00	150,000.00	450,000.00
5	ค่าใช้จ่าย Inventory checking ที่ลดลง		0	17,416.12	34,832.24	52,248.36	69,664.48	87,080.60	261,241.80
	รายการค่าใช้จ่ายประจำปี (Annual cost)								
6	อบรมการใช้งาน (เฉลี่ยต่อพนักงาน 1 คน)		0	500.00	1,000.00	1,500.00	2,000.00	2,500.00	7,500.00
7	การบำรุงดูแลรักษา (PM)		0	10,000.00	20,000.00	30,000.00	40,000.00	50,000.00	150,000.00

8	บริการหลังการขาย (เฉลี่ยต่อครั้ง)		0	1,000.00	2,000.00	3,000.00	4,000.00	5,000.00	15,000.00
	รวม	2,072,498.87	0	207,212.75	414,425.50	621,638.25	828,851.00	1,036,063.80	3,108,191.75

จากตารางที่ 5.10 แสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ของ Estimated Benefits and Saving คำนวณค่า NPV ได้ดังนี้

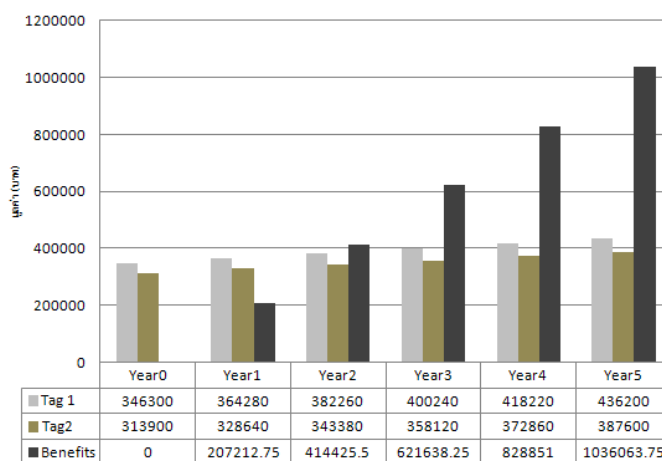
กำหนดให้ค่า D คือ 0.12 (12%)

$$NPV_B = 0 + \frac{207,212.75}{(1+0.12)^1} + \frac{414,425.50}{(1+0.12)^2} + \frac{621,638.25}{(1+0.12)^3} + \frac{828,851.00}{(1+0.12)^4} + \frac{1,036,063.75}{(1+0.12)^5}$$

$$NPV_B = (185,011.38) + (330,377.47) + (442,469.83) + (526,749.79)$$

$$NPV_B = 2,072,498.87$$

จากตารางที่ 5.8, 5.9 และ 5.10 มีข้อสังเกตว่าในปีแรก (Year 0) ยังไม่มีผลประโยชน์ที่ได้รับจากการลงทุน ต่อมาในปี Year1 มูลค่าการลงทุนยังคงสูงกว่าผลประโยชน์ที่ได้รับ จากนั้นในปี Year2 จึงเห็นว่าผลประโยชน์ที่ได้รับมากกว่าการลงทุน ในปี Year4 ผลประโยชน์ที่ได้รับมีค่ามากกว่าการลงทุนเฉลี่ย 2 เท่า และในปี Year5 ผลประโยชน์ที่ได้รับมีค่ามากกว่าการลงทุนเฉลี่ย 2.5 เท่า ดังรูปที่ 5.2 โดยคิดมูลค่าแบบความถี่สะสมของ Year0 จนถึง Year5



รูปที่ 5.2 เปรียบเทียบมูลค่าที่ลงทุนกับผลประโยชน์ที่ได้รับในช่วงปี Year0 ถึง Year5

ดังนั้นพิจารณาค่าตอบแทนจากการลงทุน (Return of Investment: ROI) [1] คือ ตัวชี้วัดว่าระบบใหม่นี้ควรนำไปใช้หรือไม่ โดยพิจารณาที่ค่าที่ได้เป็นบวก (Gain) เหมาะสมที่จะนำไปใช้ หรือ ได้ค่าเป็นลบ (Lost) ไม่ควรนำไปใช้ ดังสมการที่ 5.2

$$ROI = \frac{V_f - V_i}{V_i} = \frac{V_f}{V_i} - 1 \quad (5.2)$$

โดยกำหนดให้ V_f คือ รายรับที่ได้จากการลงทุน และ V_i คือ รายจ่ายของการลงทุน (ต้นทุน) ดังนั้นจากสมการ 5.2 สามารถคำนวณ ROI ของนาระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) ที่นำมาประยุกต์ใช้ โดยแบ่งแสดงค่า ROI ของป้ายชนิดที่ 1 ดังสมการที่ 5.3 และ ชนิดที่ 2 ดังสมการที่ 5.4 ได้ดังนี้

$$ROI_1 = \frac{2,072,498.87}{411,113.88} - 1 = 3.04 = 304\% \quad (5.3)$$

$$ROI_2 = \frac{2,072,498.87}{367,034.40} - 1 = 4.65 = 465\% \quad (5.4)$$

จากสมการหาค่า ROI_1 และ ROI_2 พิจารณาได้ว่า มีความเหมาะสมที่จะนาระบบเทคโนโลยี บ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) มาประยุกต์ใช้โดยเมื่อเลือกใช้ป้ายชนิดที่ 2 จะเป็นระบบที่น่าสนใจกว่า ป้ายชนิดที่ 1 เพราะค่า ROI มีค่ามากกว่า แต่ทั้งนี้การเลือกใช้ป้ายชนิดที่ 1 หรือ ชนิด 2 นั้น ควรคำนึงถึง วัตถุประสงค์การใช้งาน เนื่องจากค่าลักษณะเฉพาะตัวที่แตกต่างกันของป้าย ดังผลการทดลองที่ 4 ศึกษา ประสิทธิภาพของเครื่องอ่านเพื่อนำไปใช้งานจริง

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การเข้ารหัสข้อมูลมีการนำมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลด้านต่างๆอย่างกว้างขวาง ข้อมูลของรหัสขึ้นงานต่างๆเป็นการจัดเก็บในรูปแบบของข้อมูลประเภทข้อความตัวอักษร ซึ่งมีทั้งอักษรและตัวเลขรวมกันเป็นรหัสเฉพาะตัวของสินค้าแต่ละชิ้น เพื่อป้องกันและขี้บ่งรหัสประจำตัวให้กับสินค้าเป็นตัวกลางในการซื้อ ขาย และจัดเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบ เพื่อสำหรับใช้ในระบบอุตสาหกรรมต่างๆในปัจจุบัน เช่น โรงงานอุตสาหกรรม ระบบขนส่งมวลชน ระบบคลังสินค้าและโลจิสติกส์ เป็นต้น โดยนำเทคโนโลยีเข้ามาปรับปรุงและประยุกต์ใช้งานเพื่อให้ระบบมีความผิดพลาดน้อยที่สุดอันอาจเกิดจากปฏิบัติงานประจำวัน และทำให้ระบบมีประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมที่ดีขึ้น

งานวิจัยเรื่อง “เทคนิคการบีบอัดข้อมูลสำหรับอาร์เอฟไอดีเพื่อประยุกต์ใช้กับโลจิสติกส์” ผู้วิจัยได้ดำเนินวิจัยโดยเริ่มต้นจากการทบทวนวรรณกรรมและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังที่กล่าวในบทที่ 2 เพื่อนำข้อมูลที่เกี่ยวข้องมาศึกษาและประยุกต์ใช้กับงานวิจัยเพื่อจุดมุ่งหมายสำหรับการนำข้อมูลของรหัสสินค้ามาใช้ร่วมกับทฤษฎีการบีบอัดข้อมูลโดยอาศัยทฤษฎี เทคนิค และหลักการเข้ารหัสต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมกับข้อมูลที่ทำให้การเข้ารหัสซึ่งทำให้มีขนาดข้อมูลหลังการเข้ารหัสมีขนาดความจุที่ลดลง แล้วนำข้อมูลที่ได้มาประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) ในกระบวนการของการระบุเลขกล่องและนับจำนวนของสินค้า(Final packing process) และ การระบุเลขกล่องชนิดสินค้าและจำนวนบนชั้นไม้วางกล่อง (Shipping process) โดยในเบื้องต้นได้ทำการออกแบบระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) ดังที่กล่าวในบทที่ 3 อธิบายเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง หลังจากนั้นจึงแบ่งกลุ่มการทดลองออกเป็นกลุ่มต่างๆ ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 4 โดยการทดลองที่ 1 ถึง 3 เป็นการนำข้อมูลของรหัสสินค้ามาทดลองด้วยวิธีการเข้ารหัสโดยอาศัยทฤษฎี เทคนิค และหลักการเข้ารหัสต่างๆ และการทดลองที่ 4 การทดลองประสิทธิภาพของระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) ที่นำมาประยุกต์ให้เหมาะสมต่อการใช้งานทั้งเครื่องอ่านและป้าย รวมทั้งตัวแปรที่สำคัญต่อการใช้งาน ได้แก่ ตำแหน่งป้าย ระยะห่าง และความเร็วในการอ่านป้าย ในการทดลองที่ 5 เป็นการศึกษากการทำงานเมื่อนำระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) มาประยุกต์ใช้งานจริงและเปรียบเทียบกับวิธีเดิม ซึ่งผลการทดลองที่ได้นั้นจะนำมาวิเคราะห์หาข้อสรุปและข้อเสนอแนะต่างๆเพื่อใช้ในการพัฒนาต่อไป

6.1 สรุปผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 ศึกษาวิธีการจัดข้อมูลและออกแบบวิธีการเข้ารหัสด้วยวิธี Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked)

จากการใช้วิธีการเข้ารหัสด้วยวิธี Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked) ทำให้ข้อมูลมีค่าขนาดความจุลดลงจาก 1518 ไบต์ เหลือเฉลี่ย 297 ไบต์ หรือลดลงเฉลี่ย 80 เปอร์เซ็นต์ เห็นได้ชัดว่าการจัดเรียงข้อมูลอย่างเป็นระบบทำให้ขนาดข้อมูลลดลง และส่งผลให้เป็นข้อมูลก่อนการเข้ารหัสลำดับถัดไปมีขนาดน้อยลงตามไปด้วย

การทดลองที่ 2 ศึกษาเปรียบเทียบการเข้ารหัสข้อมูลแบบต่างๆ

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการจัดเรียงด้วยวิธี Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked) ของการทดลองที่ 1 แล้วบีบอัดข้อมูลด้วยวิธี Huffman coding, Arithmetic coding, Bzip2 และ Zlip พบว่า ขนาดความจุของข้อมูลมีค่าน้อยลง ทั้งสี่วิธี โดยเฉลี่ยดังนี้ Bzip2 ให้ค่าขนาดความจุของข้อมูลมีค่าน้อยลงไปจากขนาดข้อมูลก่อนการบีบอัดที่ลดลง โดยขนาดความจุลดลงเหลือ 7.6% และ Zlip ขนาดความจุลดลงเหลือ 28.8% ซึ่งใช้เทคนิคการเลื่อนอักขระ (Shift) การสลับลำดับของอักขระ และการเลื่อนข้อมูลเป็นชุด (Sliding window) ส่วนการเข้ารหัสด้วยวิธี Huffman coding ให้ค่าขนาดความจุของข้อมูลมีค่าน้อยลงไปจากขนาดข้อมูลก่อนการบีบอัดที่ลดลงเหลือ 59.9% และ Arithmetic coding ขนาดความจุลดลงเหลือ 60.0% โดยค่าขนาดความจุที่ลดลงใกล้เคียงกันซึ่งอาศัยเทคนิคการเข้ารหัสด้วยการนำค่าความน่าจะเป็นของการเกิดอักขระและการสะสมความถี่ของอักขระแต่ละตัวนั้นมาคำนวณ จากลักษณะของข้อมูลของรหัสสินค้ามีการจัดเรียงตัวที่มีค่าซ้ำกันในแต่ละหลัก เทคนิคการเข้ารหัสด้วย Huffman coding หรือ Arithmetic coding จึงเหมาะสมในการเลือกใช้ เพื่อให้ขนาดความจุหลังจากเข้ารหัสแล้ว มีค่าลดลงมากกว่า

การทดลองที่ 3 ศึกษาการเข้ารหัสข้อมูลด้วยวิธี Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked) และ Arithmetic

จากการทดลองที่ 4.3.2.1 กลุ่มข้อมูลที่ 3 ซึ่งเกิดจากการนำรหัสสินค้าประจำกล่อง 1 รหัส รวมกับ รหัสสินค้าประจำหีบบรรจุภัณฑ์พลาสติก 4 รหัส ได้ขนาดความจุลดลงที่ดีกว่ากลุ่มข้อมูลที่ 1, 2 และ 4 โดยชุดของสินค้ามีข้อมูลเรียงกันตามลำดับ เข้ารหัสด้วยวิธี Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked) มีขนาดความจุของข้อมูลน้อยลงไปจากขนาดข้อมูลก่อนการบีบอัดซึ่งลดลงเหลือ 53.2% ซึ่งใกล้เคียงกับขนาดของกลุ่มข้อมูลที่ 1 ซึ่งเกิดจากการนำรหัสสินค้าประจำกล่อง 1 รหัส รวมกับ รหัสสินค้าประจำหีบบรรจุภัณฑ์พลาสติก 2 รหัส โดยชุดของสินค้ามีข้อมูลเรียงกันตามลำดับ และเมื่อนำไปเข้ารหัสด้วยวิธี Arithmetic ขนาดความจุของข้อมูลลดลงเหลือ 44.7% และการเข้ารหัสด้วยวิธี Arithmetic ขั้นตอนเดียวของทั้งสี่กลุ่มข้อมูล ขนาดความจุมีค่าใกล้เคียงกับก่อนเข้ารหัส ดังนั้น การนำรหัสมาจัดเรียงด้วยวิธี Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked) และเข้ารหัสด้วยวิธี Arithmetic เป็นเทคนิคที่เหมาะสมที่สามารถนำมาใช้กับรหัสข้อมูลโดยให้ค่าขนาดความจุน้อยกว่าวิธีอื่นมากที่สุด และยังสอดคล้องกับลักษณะของรหัสข้อมูลในสภาวะปกติที่มักจะเรียงลำดับตามสายการผลิตที่ต่อเนื่องของลักษณะรหัสข้อมูลตามกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 3

จากการทดลองที่ 4.3.2.2 ชุดกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นชุดข้อมูลในภาวะปกติของกระบวนการผลิต โดยใช้ชุดของความน่าจะเป็นต่างกลุ่มกันเพื่อนำมาอ้างอิงของวิธีการบีบอัดข้อมูลแบบ Arithmetic โดยกลุ่มการทดลองที่ 2 และ 4 ไม่สามารถคำนวณออกมาได้ถูกต้องตามสมการที่ 2.12 และ 2.13 ของหัวข้อ 2.2.8 Arithmetic coding ซึ่งพิจารณาข้อมูลจากตารางที่ 4.7 ของหัวข้อ 4.3.1.2 พบว่ามีอักขระที่ไม่มีในชุดของความน่าจะเป็น คือ 7 ซึ่งทำให้ไม่สามารถคำนวณตามสมการได้ ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ถ้ากำหนดให้ชุดของความน่าจะเป็นอ้างอิงสามารถครอบคลุมทุกอักขระที่อาจเกิดขึ้นก็สามารถใช้ชุดของความน่าจะเป็นนั้นอ้างอิงในการคำนวณหาโดยใช้วิธีการบีบอัดข้อมูลแบบ Arithmetic แต่ทั้งนี้ผลที่ได้มีค่าแตกต่างกับการใช้ชุดของความน่าจะเป็นของกลุ่มตัวเอง

การทดลองที่ 4 ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอ่านเพื่อนำไปใช้งานจริง

ตัวแปรที่สำคัญที่นำมาใช้ในการทดลอง ได้แก่ ตำแหน่งของป้ายที่ทำกับเครื่องอ่านซึ่งคำนวณค่าเปรียบเทียบขนาดและมุมที่เครื่องอ่านทำกับป้าย ระยะห่างที่มากที่สุดจากเครื่องอ่านถึงป้าย และความเร็วในการอ่านป้ายต่อวินาที สามารถบ่งชี้ได้ว่า ตำแหน่งของป้ายที่ตำแหน่งต่างๆมีผลกับประสิทธิภาพการอ่านของป้ายที่ระยะห่างต่างๆกัน ค่าความเร็วในการอ่านป้ายที่แสดงโดยค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการตอบสนองของป้ายที่ส่งมาให้เครื่องอ่าน (Receive Signal Strength Indication: RSSI) แสดงให้เห็นถึงตำแหน่งและระยะห่างที่เหมาะสมต่อการใช้งานและขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะตัวของป้ายแต่ละชนิดโดยมีลักษณะเฉพาะแตกต่างกันตามการออกแบบ ซึ่ง

ในการทดลองนี้ได้เลือกชนิดที่ใช้ความถี่ย่าน UHF โดยมี Protocol คือ EPC Class1Gen2 และ User Memory 512 bits เท่ากัน แตกต่างกันที่การออกแบบ IC และ Antenna ซึ่งมีผลต่อการตอบสนองของสัญญาณที่แตกต่างกัน ดังนั้นก่อนการใช้งานจริง จำเป็นต้องมีการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์และระบบก่อน

การทดลองที่ 5 ศึกษาการทำงานเมื่อนำระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) เพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานจริง

กระบวนการใหม่ที่สร้างขึ้น พบว่ามีจำนวนขั้นตอนการทำงานสั้นกว่ากระบวนการเดิมหลายขั้นตอนโดยขั้นตอนที่ปรับปรุงและขั้นตอนที่ยกเลิกจากกระบวนการเดิมของขั้นตอนการระบุเลขกล่องและนับจำนวนของสินค้า (Final packing process) และ การระบุเลขกล่อง ชนิดสินค้าและจำนวนบนชั้นไม้วางกล่อง (Shipping process) กระบวนการใหม่ใช้เวลาการทำงานโดยรวมทั้งระบบน้อยกว่ากระบวนการเดิมอยู่ 156.44 วินาทีหรือ 2.61 นาที สามารถนำมาคำนวณเวลาการทำงานต่อวันที่ลดลงได้ ดังนี้ ค่าเฉลี่ยการผลิตสินค้าต่อวัน คือ 100,000 ชิ้น โดยค่าที่มากที่สุดของจำนวนชิ้นงาน (ชิ้น) ต่อชั้นไม้ (pallet) 5,760 ชิ้น ดังนั้นจะได้ 18 ชั้นไม้วางกล่อง (Pallet) ดังนั้นกระบวนการใหม่สามารถประหยัดเวลาได้ 47 นาที ต่อ ชั่วโมงการทำงานต่อวันปกติที่ 8 ชั่วโมง และยังคงพนักงานลงได้ 3 คน

6.2 พิจารณาข้อดีข้อเสียและข้อจำกัดการใช้งาน

จากการทดลองเพื่อวิเคราะห์การเข้ารหัสข้อมูลและประยุกต์ใช้กับระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) สามารถสรุปเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียกับระบบรหัสแท่ง (Barcode) แสดงดังตารางที่ 6.1 และข้อจำกัดในการใช้งาน แสดงดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.1 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสีย

ข้อพิจารณา	ระบบรหัสแท่ง(Barcode)	ระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID)
อัตราความเร็วในการอ่านข้อมูล (Read rate)	1 ดวงต่อครั้ง โดยเฉลี่ยครั้งละ 4 วินาที	24-30 ดวงต่อครั้ง โดยเฉลี่ยครั้งละ 0.5 วินาที

ตำแหน่งการอ่านข้อมูลจากแถบรหัส	เส้นแสงอยู่แนวเดียวกับแถบรหัสแท่ง	ไม่ต้องอยู่แนวเดียวกับแถบรหัสแท่งได้
ระยะห่างที่สามารถอ่านข้อมูล	น้อยกว่า 15 เซนติเมตร	ได้ไกลถึง 8 เมตร
ระบบอัตโนมัติ (Automation)	พนักงานทำงานตลอดเวลาและใช้จำนวนมาก	ไม่ต้องมีพนักงานคอยป้อนข้อมูลแต่ละกล่องและใช้พนักงานจำนวนน้อย
บันทึกข้อมูลที่ป้ายชำหรือทำใหม่	บันทึกหรือพิมพ์ได้ครั้งเดียว	บันทึกใหม่ได้หลายครั้ง
นำกลับมาใช้ใหม่	ใช้ได้ครั้งเดียว	นำกลับมาใช้ใหม่ได้จนกว่าป้ายจะขาด
หน่วยความจำภายในป้าย	ไม่มี	มี
ราคา	ราคาขึ้นอยู่กับขนาดสติ๊กเกอร์เฉลี่ย 0.05 บาท	ป้ายมีราคา 10-30 บาท
ความปลอดภัยของข้อมูล	ไม่มีความปลอดภัย สามารถคาดเดาได้และลอกเลียนแบบทำซ้ำขึ้นใหม่ได้	มีความปลอดภัยและไม่สามารถคาดเดารหัสได้ ดังนั้นจึงไม่สามารถลอกเลียนแบบและทำซ้ำใหม่ไม่ได้
เวลาทำงานของขบวนการทำงาน	ใช้เวลา 445.06 วินาที	ใช้เวลา 288.62 วินาที
จำนวนการอ่านต่อครั้ง	อ่านได้ 1 ป้ายต่อครั้ง	อ่านได้ที่เดียวทุกป้ายบน pallet
จำนวนพนักงาน	10 คน	7 คน
ราคาค่าใช้จ่ายอุปกรณ์	ต่ำ	สูง

ตารางที่ 6.2 ข้อจำกัดในการใช้งาน

ระบบรหัสแท่ง(Barcode)	ระบบเทคโนโลยีบังคับด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID)
บาร์โค้ดถูกทำลายได้ง่าย และถ้าแท่งบาร์โค้ดไม่สมบูรณ์ก็จะไม่สามารถอ่านรหัสนั้นได้	เกิดข้อผิดพลาดในการอ่านกรณีที่มีปริมาณป้ายมีจำนวนมากในเวลาเดียวกัน ซึ่งเกินความสามารถของเครื่องอ่านที่ระบุไว้
เครื่องสแกนทุกเครื่องสามารถอ่านแถบบาร์โค้ดได้ทุกบาร์โค้ดจึงไม่มีความปลอดภัยของข้อมูล	ป้ายกับเครื่องอ่านต้องใช้คลื่นที่อยู่ในย่านความถี่เดียวกันเท่านั้น
บาร์โค้ดไม่สามารถระบุได้ว่าได้ถูกอ่านไปแล้วหรืออ่านไปกี่ครั้งแล้วในช่วงระยะเวลาหนึ่งๆ	ป้ายจะรับส่งสัญญาณผิดพลาดเมื่อมีเครื่องอ่านสองเครื่องอยู่ในบริเวณเดียวกันและเกิดการรบกวนสัญญาณต่อกัน

เนื่องจากต้องสแกนบาร์โค้ดในระยะใกล้ มากจึงทำให้ต้องมีอุปกรณ์ต่างๆเพื่อ รองรับการจัดวางและใช้พื้นที่มากกว่า	สามารถอ่านทะลุผ่านวัตถุที่เป็นกระดาษและไม่ หนาแน่นได้ แต่ไม่สามารถอ่านผ่านวัตถุที่เป็น โลหะหรือของเหลว
--	--

6.3 ข้อเสนอแนะที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

การเข้ารหัสข้อมูลแบบชนิดตัวอักษรมีเทคนิคหลายแบบ เช่น Run Length Encoding (RLE), Burrow Wheeler Transform (BWT), Move To Front (MTF), LZ77, LZSS, LZW, Huffman coding และ Arithmetic coding โดยในงานวิจัยนี้ได้้นำการเข้ารหัสข้อมูลด้วยวิธี Run Length Encoding-Liked (RLE-Liked) และ Arithmetic coding มาประยุกต์ใช้กับข้อมูลที่ต้องการเขียนลงป้ายของระบบเทคโนโลยีบังคับด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) ซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลของรหัสสินค้าลงในหนึ่งป้ายได้เพียงพอกับหน่วยความจำที่มีอยู่ แต่ทั้งนี้อาจมีข้อจำกัดในกรณีที่สินค้าชนิดใหม่ๆ มีปริมาณข้อมูลมากทำให้หลังเข้ารหัสแล้ว หน่วยความจำของป้ายอาจไม่เพียงพอในการเก็บข้อมูลลงหนึ่งป้าย และอาจทำได้ในกรณีที่เทคโนโลยีคิดค้นใหม่ ทำให้ป้ายมีความจำเพิ่มขึ้นจำนวนมากในอนาคตทำให้เพียงพอต่อการบันทึกข้อมูล และเพื่อเพิ่มความปลอดภัยของข้อมูลหลังจากมีการเข้ารหัสข้อมูลแล้วอาจทำการเข้ารหัสแบบ Encryption ก่อนการเขียนข้อมูลลงป้าย

จากการประยุกต์ใช้ระบบเทคโนโลยีบังคับด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) มาแทนระบบรหัสแท่ง (Barcode) ในขบวนการระบุเลขกล่องและนับจำนวนของสินค้า (Final packing process) และการระบุเลขกล่อง ชนิดสินค้าและจำนวนบนชั้นไม้วางกล่อง (Shipping process) เมื่อนำมาพัฒนาในระบบงานจริง ต้องพิจารณาขั้นตอนการทำงานเพื่อให้เกิดประสิทธิผลมากที่สุด ได้แก่ ลดจำนวนพนักงานลงในขั้นตอนการทำงานที่ติดต่อกันที่อยู่ในบริเวณเดียวกันให้สามารถใช้พนักงานคนเดียวกันได้ ออกแบบสายการผลิตและตำแหน่งการทำงานเพื่อให้มีการเคลื่อนที่น้อยที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- [1] Banks, Jerry. Hanny, David. Pachano, Manuel A. and Thompson, Les G. **RFID applied**. New Jersey : John Wiley and Sons, Inc. 2007.
- [2] ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์ และคณะ. **ระบบบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ : Radio Frequency Identification (RFID) System**. พิมพ์ครั้งแรก. ปทุมธานี : ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ. 2552.
- [3] GS1 US. **“EAN/UPC”** [Online]. Available : <http://www.gs1us.org/resources/standards/ean-upc>. 2012.
- [4] GS1 Canada. **“Bar Coding for Designers, Printers & Packagers.”** [Slide]. Canada. GS1 Canada. 2002.
- [5] International Standard ISO/IEC 18004 : 2006(E). **Information technology-Automatic identification and data capture techniques-QR Code 2005 bar code symbology specification**. Switzerland. ISO. 2006.
- [6] GS1 France. **“An introduction and technical overview of the most advanced GS1 Application identifiers compliant symbology”** [Online]. Available : http://www.gs1.org/docs/barcodes/GS1_DataMatrix_Introduction_and_technical_overview.pdf. 2011.
- [7] Heinrich, Claus E. **RFID and Beyond : Growing Your Business Through Real World Awareness**. Indianapolis, Indiana : Wiley Publishing, Inc. 2005.
- [8] Hunt, V. Daniel. Puglia, Albert. Puglia, Mike. **A Guide to radio frequency identification**. Hoboken, New Jersey. John Wiley and Son, Inc. 2007.
- [9] Cynthia Bellian. **“Bar Codes Or RFID tags?”** [Online]. Available : <http://www.themhedajournal.org/index.php/2010/07/bar-codes-or-rfid-tags/>. 2010.
- [10] Jessica Säilä. **“The magic 5 cents per tag.”** [Online]. Available : <http://www.rfidarena.com/2012/4/5/the-magic-5-cents-per-tag.aspx> . 2012.
- [11] Wolfram, Stephen. **“A New Kind of Science.”** [Online]. Available : <http://www.wolframscience.com/reference/notes/1069b>. 2002.

- [12] IEEE. “**History of Lossless Data Compression Algorithms.**” [Online]. Available : http://www.ieeeeghn.org/wiki/index.php/History_of_Lossless_Data_Compression_Algorithms#Introduction. 2012.
- [13] Burrows, M. and Wheeler, D.J. **A Block Sorting Lossless Data Compression Algorithm.** Research Report 124, System Research Center, Palo Alto, CA, May 1994.
- [14] Lu, Chen Hua. Lin, Chun Yuan. Tang, Chuan Yi. “A Re-sequencing Tool for High Mismatch-tolerant Short Read Alignment Based on Burrows-Wheeler Transform.” **IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine Workshops.**, 2010. Pp. 549-554.
- [15] Langer, Michael. **Move-to-front algorithm.** [Slide]. COMP 423 lecture 8, McConnell Engineering, McGill University. 2008.
- [16] Ziv, Jacob and Lempel, Abraham. “A Universal Algorithm for Sequential Data Compression.” **IEEE Transactions on Information Theory.**,Vol. IT-23,No 3, May 1977. Pp. 337-343.
- [17] Favre, Ludovic. **Compression Algorithms.** [Slide]. Master Semester Project, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne. 2010.
- [18] Müller, Jens. **Data Compression LZ77.** [Slide]. Universität Stuttgart. 2008.
- [19] Binary Essence. “**Lempel-Ziv-Storer-Szymanski (LZSS)**” [Online]. Available : <http://www.binaryessence.com/dct/en000139.htm>.
- [20] Sooraj Bhat. “**LZW Data Compression**” [Online]. Available : <http://www.cs.duke.edu/csed/curious/compression/lzw.html>
- [21] Huffman, David A. “A Method for the Construction of Minimum-Redundancy Codes.” **Proceedings of the Institute of Radio Engineers.**, 40(9) , September 1952. Pp. 1098-1101.
- [22] Lee, yeuan-Kuen. **Chapter 3 Huffman Coding.** [Slide]. Ming Chuan University. 2003.
- [23] Bodden, Eric. **Arithmetic Coding revealed : A guided tour from theory to praxis.** [Slide]. Sable Technical Report No. 2007-5, School of Computer Science, Sable Research Group, McGill University. 2007.
- [24] Seward, Julian.“**BZip2 and Libbzip2.**”[Online].Available : <http://www.bzip.org>. 2012.

- [25] Pankratius, Victor. Jannesari, Ali and Tichy, Walter F. “ Parallelizing Bzip2 : A Case Study in Multicore Software Engineering.” **IEEE Software, IEEE Computer Society**, November/December 2009. Pp. 70-77.
- [26] Gailly, Jean-loup and Adler, Mark. “**Zlib 1.2.7**” [Online]. Available : <http://zlib.net/>. 2012.
- [27] RFC 1950. “**ZLIB Compressed Data Format Specification version 3.3.**” [Online]. Available : <http://www.faqs.org/rfcs/rfc1950.html> . 1996.
- [28] Aigner, Manfred. Plos, Thomas. Ruhanen, Antti and Coluccini, Stefano. **Secure Semi-Passive RFID Tag-Prototype and Analysis**. [Slide]. Building Radio frequency Identification for the Global Environment. 2008.
- [29] EZpass. “**E-Zpass Tags.**” [Online]. Available : <https://www.e-zpassny.com/en/about/tolltags.shtml>. 2012.
- [30] O’Connor, Mary Catherine. “**MIT Media Lab Launches Virtual RFID-Powered Blackboard.**”[Online].Available: <http://www.rfidjournal.com/article/view/7789> 2010.
- [31] Goliath. “**GOLIATH Technology.**” [Online]. Available : <http://www.goliathsolutions.com/technology.html> . 2012.
- [32] GS1US. “ **EPC™ Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 860 MHz-960 MHz version 1.2.0**” [Online].Available:http://www.gs1.org/gsmp/kc/epcglobal/uhfc1g2/uhfc1g2_1_2_0-standard-20080511.pdf. 2008.
- [33] GS1US. “ **GS1 EPC Tag Data Standard 1.6**” [Online].Available: http://www.gs1.org/gsmp/kc/epcglobal/tds/tds_1_6-RatifiedStd-20110922.pdf. 2011.
- [34] GS1US. **GS1 EPCglobal Standards in the Consumer Electronics Industry**. [Slide]. The EPCglobal Consumer Electronics Industry Action Group. 2012.
- [35] Brock, David L. “**The Virtual Electronic Product Code**” [Online].Available: <http://autoid.mit.edu/whitepapers/MIT-AUTOID-WH-011.PDF>. 2002.
- [36] GS1. **Tag Class Definitions**. [Slide]. EPCglobal. 2007.

- [37] GS1. “**The EPCglobal Architecture Framework, EPCglobal Final Version 1.3. .**” [Online]. Available : <http://www.epcglobalinc.org>. 2009.
- [38] Yoo, Jihyun and Park, Yongjin. “An Intelligent Middleware Platform and Framework for RFID Reverse Logistics.” **International Journal of Future Generation Communication and Networking**. Pp.75-81.
- [39] Liard, Micheal J. “**Raido Frequency Identification(RFID) Middleware Solutions : Global market Opportunity**”. [Online]. Available : <http://www.vdcresearch.com/> . 2004.
- [40] GS1. “**GS1 and ISO (International Standards Organization)**.” [Online]. Available : http://www.gs1.org/about/gs1_and_iso1 . 2012.
- [41] Heng, Li. Fei, Gao. Yanming, Xue and Shuo, Feng. “ The application of LZSS in the RFID tags” **International Symposium on Computer Network and Multimedia Technology (CNMT2009)**, 2009. Pp. 1-4.
- [42] Imprinj. “**THE MONZA[®] 4 RFID TAG CHIP FAMILY.**” [Online]. Available : http://www.imprinj.com/Monza_4_RFID_Tag_Chips.aspx.2012.
- [43] NXP. “**UCODE offers high anti-collision rates, long operating distances, and can help protect your brand.**” [Online]. Available : http://www.nxp.com/products/identification_and_security/smart_label_and_tag_ics/ucode/#products
- [44] Henderson, G Robin. **Six Sigma Quality Improvement with MINITAB**. West Sussex, England : John Wiley and Sons, Ltd. 2006.
- [45] Levin, David M. Ramsey, Patricia P. Smidt, Robert K. **Applied statistics for engineers and scientists: using Microsoft Excel and MINITAB**. New Jersey: Prentice-Hall, Inc. 2001.
- [46] Sabbaghi, Asghar and Vaidyanathan, Ganesh. “Effectiveness and Efficiency of RFID technology in Supply Chain Management : Strategic values and Challenges.” **Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research**.Chile. Vol.3. Issue.2.August 2008.Pp. 71-81.
- [47] Ozelkan, Ertunga C.. Sireli, Yesim. Munoz, Maria Paola and Mahadevan, Sriram. “A Decision Model to Analyze Costs and Benefits of RFID for superior Supply

- Chain Performance.” **PICMET 2006 Proceedings. Istanbul, Turkey.** 9-13 July 2006. Pp. 610-617.
- [48] Sounderpandian, Jayavel. Boppana, Rajendra V. Chalasani, Suresh and Madni, Asad M. “ Model for Cost-Benefit Analysis of RFID Implementations in Retail Stores.” **IEEE Systems Journal**, VOL.1,NO.2. December 2007. Pp.105-114.
- [49] Balanis, Constantine A. **Antenna Theory Analysis and Design**. New Jersey : John Wiley and Sons, Inc. 2005.

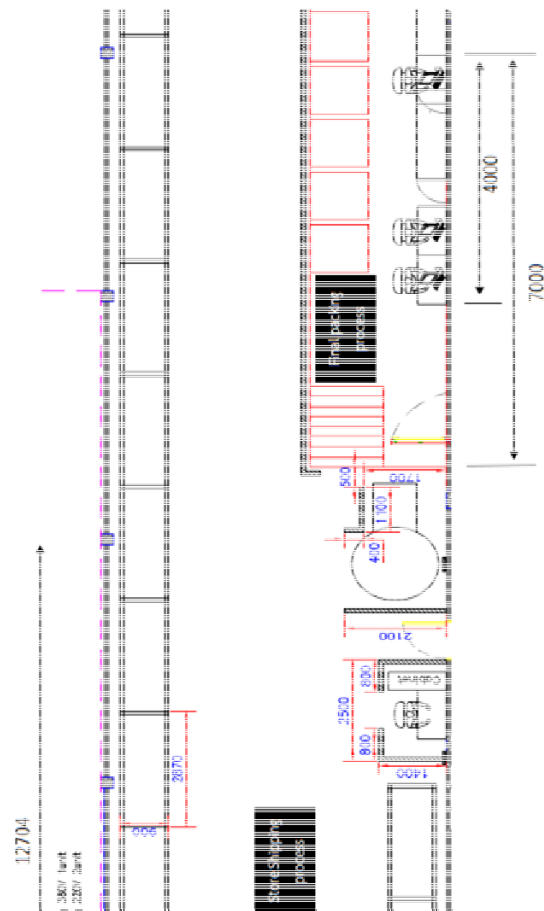
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลประกอบผลการทดลองที่ 4

1. ขนาดพื้นที่ปฏิบัติงานจริง

จุดประสงค์ เพื่อระบุขนาดกว้างยาวของบริเวณปฏิบัติงานจริง โดยขั้นตอนการระบุเลขกล่องและนับจำนวนของสินค้า (Final packing process) มีขนาดพื้นที่ คือ 7,000x2,500 mm. และ การระบุเลขกล่อง ชนิดสินค้าและจำนวนบนชั้นไม้วางกล่อง (Shipping process) ขนาดพื้นที่คือ 12,704x7,125 mm.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวพัชราภรณ์ เขยสุวรรณ
วัน เดือน ปีเกิด 4 ธันวาคม 2523 ที่กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ บ้านเลขที่ 50/54 หมู่ 5
ต.เกาะเรียน อ.พระนครศรีอยุธยา
จ.พระนครศรีอยุธยา 13000

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2545 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ.2549-2555 ตำแหน่ง วิศวกร (Supplier and Customer Quality Engineer)
บริษัทคอมพาร์ทพีริซัน (ประเทศไทย) จำกัด
รับผิดชอบงานด้านตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบจากโรงงานผู้ผลิตชิ้นส่วนและ
ตรวจสอบคุณภาพสินค้าที่ผ่านการประกอบก่อนส่งถึงลูกค้า

พ.ศ.2548-2549 ตำแหน่ง วิศวกร (Process Engineer)
บริษัทนิเด็คอิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด
รับผิดชอบงานด้านควบคุมดูแลให้สายการผลิตเป็นไปตามการออกแบบของ
ระบบการทำงานอย่างถูกต้องและวิเคราะห์ขบวนการเพื่อให้เกิดการพัฒนาให้มี
ประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากที่สุด

พ.ศ.2545-2547 ตำแหน่ง วิศวกร (Process Engineer)
บริษัทจีพีวีเอเซีย (ประเทศไทย) จำกัด
รับผิดชอบงานด้านการออกแบบขบวนการทำงานควบคุมดูแลให้สายการผลิต
เป็นไปตามการออกแบบ

ผลงานวิจัย

พ.ศ.2553 ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการระดับชาติ

- The 33rd Electrical Engineering Conference: EECON33, Chiang Mai, Thailand.
- “A Technique for Label Text Compression Applied to RFID Passive Tag”
- พ.ศ.2553 ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ
2010 International Workshop on Information Communication Technology (ICT-2010), Bangkok, Thailand.
- “A 2-STAGE COMPRESSION FOR RFID TAGS DATA”
- พ.ศ.2556 ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ
2013 International Conference on Embedded Systems and Intelligent Technology (ICESIT-2013), Nong Khai, Thailand.
- “A Framework of Hybrid Double-Encryption Applied to RFID-Based System”
- พ.ศ.2556 ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ
2013 International Conference on Green and Human Information Technology (ICGHIT-2013), Hanoi, Vietnam.
- “A Deployment of RFID for Manufacturing and Logistic”
- พ.ศ.2556 ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการทางด้านวิทยาศาสตร์/
เทคโนโลยีระดับชาติ
วิศวกรรมลาดกระบัง (Ladkrabang Engineering Journal) ปีที่ 30 ฉบับที่ 1
เดือนมีนาคม 2556
“การวิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบเทคโนโลยีบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่
วิทยุสำหรับการจัดการสินค้าคงคลัง”
“The Economics Analysis of RFID Implementation in Logistic”