



การตรวจสอบบาร์โค้ดโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ

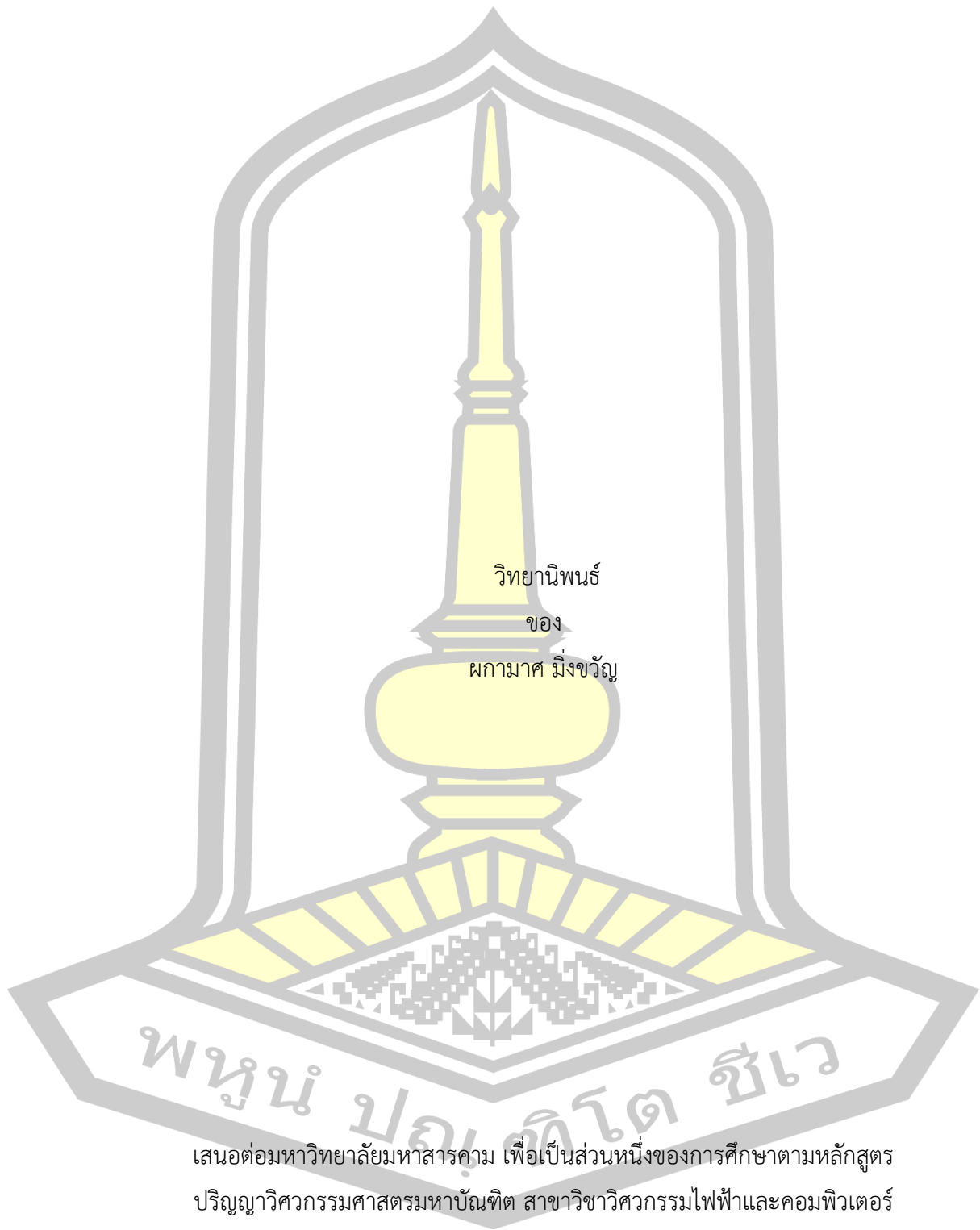
วิทยานิพนธ์
ของ
ผกามาศ มิ่งขวัญ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

มกราคม 2563

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การตรวจสอบบาร์โค้ดโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ



วิทยานิพนธ์
ของ
ผกามาศ มิ่งขวัญ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

มกราคม 2563

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Barcode Verification using Image Processing Technique

Phakamat Mingkhwan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Engineering (Electrical and Computer Engineering)

January 2020

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนางสาวผกามาศ มิ่งขวัญ
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. อติเรก จันทะคุณ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผศ. ดร. ชลธิ์ โพธิ์ทอง)

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. นิวัตร อังควิศิษฐพันธ์)

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. ณัฐวุฒิ สุวรรณทา)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัย
มหาสารคาม

.....

(ศ. ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....

(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง การตรวจสอบบาร์โค้ดโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ
 ผู้วิจัย ผกามาศ มิ่งขวัญ
 อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชลธิ์ โพธิ์ทอง
 ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
 มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่พิมพ์ 2563

บทคัดย่อ

บาร์โค้ดมีบทบาทในการตรวจสอบสินค้าในกระบวนการผลิตและบรรจุภัณฑ์ของภาคอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากมีความรวดเร็วและถูกต้องสูงเมื่อเทียบกับการตรวจสอบด้วยคน อย่างไรก็ตาม หัวอ่านบาร์โค้ดส่วนใหญ่อ่านบาร์โค้ดได้ทีละตัว แต่ในกระบวนการผลิตและบรรจุภัณฑ์บ่อยครั้ง ต้องการการอ่านบาร์โค้ดพร้อมกันทีละหลาย ๆ ตัว เพื่อความสะดวกรวดเร็วและลดความผิดพลาดเกี่ยวกับลำดับก่อนหลัง

งานวิจัยนี้นำเสนอการใช้ระบบการประมวลผลภาพอ่านบาร์โค้ดหลายๆบาร์โค้ดพร้อมกัน ระบบที่นำเสนอประกอบด้วย กล้องถ่ายภาพ และโปรแกรมประมวลผลภาพ เอ็นไอ วิซชัน 2018 โดยโปรแกรมประมวลผลภาพจะอ่านรหัสบาร์โค้ดพร้อม ๆ กันหลายค่า จากภาพถ่าย ผลการทดลองพบว่า ระบบที่นำเสนอสามารถอ่านบาร์โค้ดได้ 5-7 วินาที ต่อการอ่านบาร์โค้ด 10 ชุด ซึ่งเร็วกว่าการทำงานด้วยคน (19-27 วินาที) เร็วขึ้น 3-4 เท่า มีความแม่นยำ 98.64 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความแม่นยำสูงกว่าการทำงานด้วยคน (94.04 เปอร์เซ็นต์) คิดเป็นร้อยละ 4.60

คำสำคัญ : อ่านบาร์โค้ด, การประมวลผลภาพ, ลดเวลา, เอ็นไอวิชัน

พหุณ ปณุ สกิต ชีเว

TITLE	Barcode Verification using Image Processing Technique		
AUTHOR	Phakamat Mingkhwan		
ADVISORS	Assistant Professor Chonlatee Photong , Ph.D.		
DEGREE	Master of Engineering	MAJOR	Electrical and Computer Engineering
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2020

ABSTRACT

The barcode has an important role for manufacturing and packing process inspection due to its fast and high accuracy when compared to human. However, most barcode readers can read only one barcode at a time while some inspection processes would require multiple-barcode reading for more convenient, faster and less failure on reading series.

This research proposes a multiple barcode reader using an image processing program. The system consists of a camera and a NI Vision 2018 image processing program. The program will read several barcodes at a time from a photograph captured from the camera. The test results showed that the proposed system could spend 5-7 seconds for reading 10 barcodes; which was faster than human's operation (19-27 seconds) by 3-4 times. In addition, the proposed system also provided high accuracy 98.64 %, which was better than human's operation (94.04) by 4.60 %.

Keyword : Barcode readers, Image processing, Downtime reduction, IN Vision

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับทุนจากโครงการบูรณาการการเรียนรู้กับการทำงาน (Work Integrated Learning, WiL) โดยสำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรมแห่งชาติ (สอวช)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจากบุคคลต่างๆหลายท่านดังนี้ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลธิ์ โพธิ์ทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ท่านให้โอกาส ดูแล เอาใจใส่ คอยให้คำแนะนำทั้งแนวทางในด้านการเรียน และการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ ลุล่วงไปด้วยดี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อติเรก จันทะคุณ ผู้ทรงคุณวุฒิมาเป็นประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัตร อังควิศิษฐพันธ์ กรรมการสอบ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ สุวรรณทา กรรมการสอบ

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเจ้าของเอกสาร บทความ และหนังสือตำราทุกท่านที่ผู้วิจัยใช้ในการสืบค้นข้อมูลที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษาและบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ ที่ร่วมโครงการ สอวช พี่ๆ ในบริษัทสมาร์ท (2015) เซอร์วิสেস จำกัด ที่คอยดูแล ให้คำปรึกษาเรื่องต่างๆ รวมถึงพี่ๆ ที่ทำงานร่วมกันที่คอยให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา และให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกๆเรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

พูน ปณ สิโต ชีเว

ผกามาศ มิ่งขวัญ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพประกอบ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.5 แผนการดำเนินการศึกษา.....	5
1.6 สถานที่ดำเนินการศึกษา	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 ความรู้เกี่ยวกับบาร์โค้ด.....	7
2.2 ประเภทของบาร์โค้ด.....	12
2.3 สติกเกอร์บาร์โค้ด (Barcode sticker or label).....	15
2.4 การถอดรหัสบาร์โค้ด	18
2.5 ความรู้เกี่ยวกับการประมวลผลภาพดิจิทัล.....	33
2.6 การประมวลผลภาพคอมพิวเตอร์กราฟิก.....	39
2.7 แมชชีนวิชั่น (Machine vision).....	40

2.8 การถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิตอล	44
2.9 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	46
2.10 กฎหมายที่เกี่ยวข้อง	50
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	52
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	57
3.1 การออกแบบและโครงสร้าง	57
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการ	65
3.3 การออกแบบการทดลอง	85
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปราย	86
4.1 สำรวจของข้อมูลการสแกนบาร์โค้ดโดยใช้สแกนเนอร์ของสถานีบรรจุภัณฑ์	86
4.2 ผลการทดลอง	92
4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง	102
บทที่ 5 สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ	104
5.1 สรุปผลการวิจัย	104
5.2 ข้อเสนอแนะ	106
บรรณานุกรม	107
ภาคผนวก	112
ภาคผนวก ก แสดงข้อมูลจำเพาะของกล้อง Logitech C922 Webcam	113
ภาคผนวก ข แสดงภาพผลการทดลองของกลุ่มตัวอย่างที่ 1	116
ภาคผนวก ค แสดงภาพผลการทดลองของกลุ่มตัวอย่างที่ 2	134
ภาคผนวก ง แสดงภาพผลการทดลองของกลุ่มตัวอย่างที่ 3	144
ประวัติผู้เขียน	154

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1.1 แผนการดำเนินการศึกษา	5
ตาราง 2.1 มาตรฐานค่าความเข้มแสงสว่าง [26]	50
ตาราง 2.2 เปรียบเทียบความเข้มแสงสว่างในอาคารตามมาตรฐาน CIE, IES, BS (International Standard) [26]	51
ตาราง 2.3 เปรียบเทียบความเข้มแสงสว่างในโรงงานตามมาตรฐาน CIE, IES, BS (International Standard) [26]	51
ตาราง 4.1 ตัวอย่างข้อมูลการสแกนบาร์โค้ดผิดของกลุ่มตัวอย่างที่ 1	86
ตาราง 4.2 ตัวอย่างข้อมูลการสแกนบาร์โค้ดผิดของกลุ่มตัวอย่างที่ 2	87
ตาราง 4.3 ตัวอย่างข้อมูลการสแกนบาร์โค้ดผิดของกลุ่มตัวอย่างที่ 3	89
ตาราง 4.4 Tack time ของกลุ่มตัวอย่างที่ 1	90
ตาราง 4.5 Tack time ของกลุ่มตัวอย่างที่ 2 และ 3	91
ตาราง 4.6 ผลการทดลองกลุ่มตัวอย่างที่ 1	94
ตาราง 4.7 Tack time ของการอ่านบาร์โค้ดโดยใช้การประมวลผลภาพกลุ่มตัวอย่างที่ 1	95
ตาราง 4.8 ผลการทดลองกลุ่มตัวอย่างที่ 2	98
ตาราง 4.9 Tack time ของการอ่านบาร์โค้ดโดยใช้การประมวลผลภาพกลุ่มตัวอย่างที่ 2	99
ตาราง 4.10 ผลการทดลองกลุ่มตัวอย่างที่ 3	101
ตาราง 4.11 Tack time ของการอ่านบาร์โค้ดโดยใช้การประมวลผลภาพกลุ่มตัวอย่างที่ 3	102

พูน บณ สิโต ชีโว

สารบัญภาพประกอบ

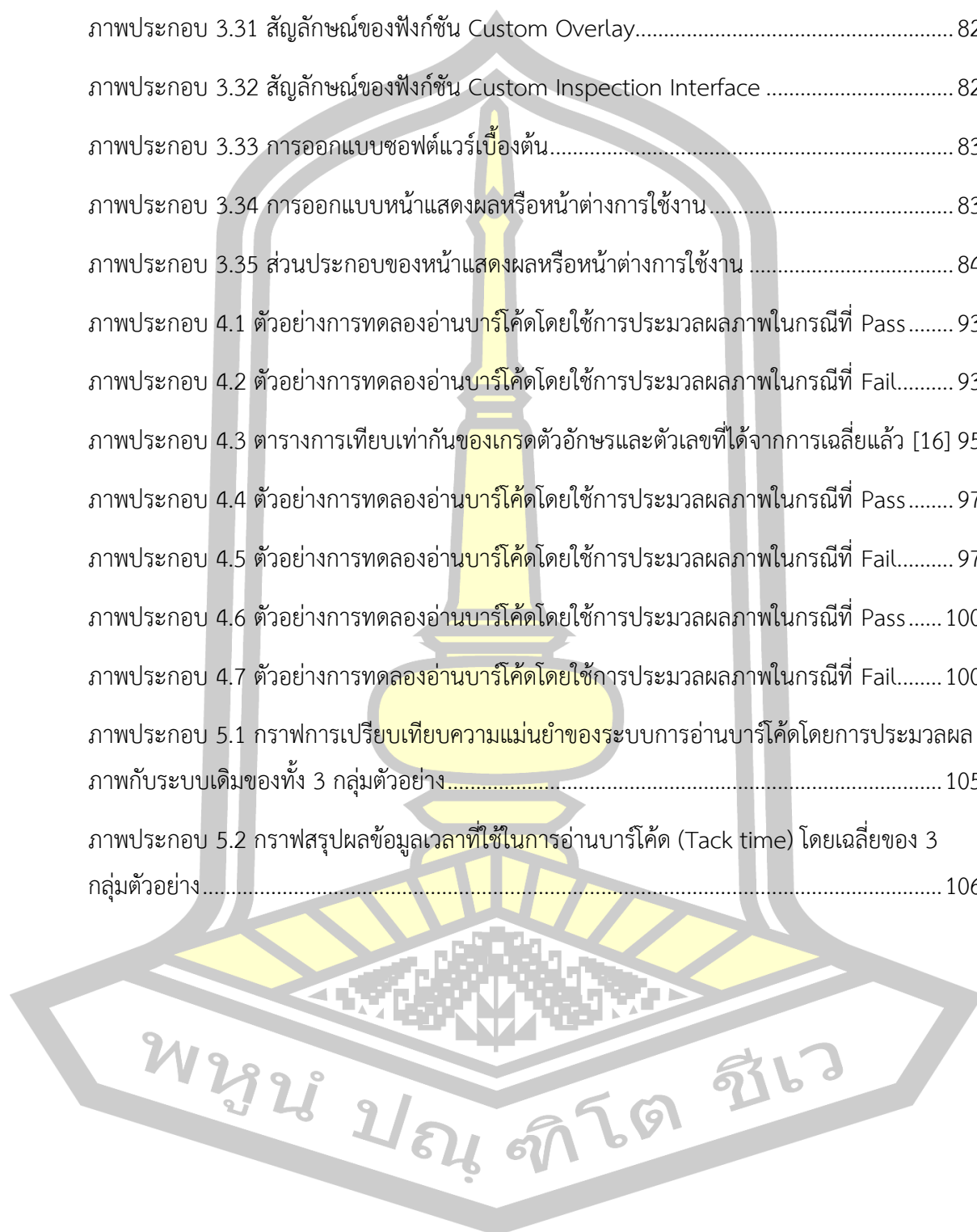
	หน้า
ภาพประกอบ 2.1 องค์ประกอบของบาร์โค้ด [3].....	8
ภาพประกอบ 2.2 ลักษณะการแปลรหัสสัญญาณ [12].....	9
ภาพประกอบ 2.3 บาร์โค้ด EAN-8 [13].....	12
ภาพประกอบ 2.4 บาร์โค้ด UPC-A (Universal Product Code) [13]	12
ภาพประกอบ 2.5 บาร์โค้ด UPC-E [13]	13
ภาพประกอบ 2.6 Interleaved 2 of 5 [13].....	13
ภาพประกอบ 2.7 โค้ด 39 (Code 39) [13].....	13
ภาพประกอบ 2.8 โค้ด 128 (Code 128) [13].....	14
ภาพประกอบ 2.9 PDF417 (Portable data file) [13]	14
ภาพประกอบ 2.10 Data matrix [13].....	15
ภาพประกอบ 2.11 สติกเกอร์บาร์โค้ด (Barcode sticker or label) [14].....	16
ภาพประกอบ 2.12 สติกเกอร์บาร์โค้ดแบบต่างๆ [14].....	18
ภาพประกอบ 2.13 กราฟแสดงความสามารถในการอ่านรหัส [10].....	18
ภาพประกอบ 2.14 อุปกรณ์ประกอบในเครื่องอ่าน [12]	19
ภาพประกอบ 2.15 แผนผังการจำแนกประเภทของเครื่องอ่านรหัสบาร์โค้ด [12].....	20
ภาพประกอบ 2.16 Pen type scanner [15]	20
ภาพประกอบ 2.17 CCD Readers [15].....	21
ภาพประกอบ 2.18 Laser scanner จะมีเส้นสแกนเป็นแสงเลเซอร์ [15]	21
ภาพประกอบ 2.19 Image scanner มีกล้องอยู่ตรงกลาง [15]	22
ภาพประกอบ 2.20 บาร์โค้ดคุณภาพต่ำเครื่องอ่านชนิดอื่นอ่านไม่ได้ แต่ Image scanner สามารถอ่านได้ [15].....	22

ภาพประกอบ 2.21 สแกนเนอร์แบบด้ามปืน [15]	22
ภาพประกอบ 2.22 สแกนเนอร์แบบยึดติดฐาน [15]	23
ภาพประกอบ 2.23 แบบที่รู้บัตร [15]	23
ภาพประกอบ 2.24 แบบ PDA Mobile [15]	24
ภาพประกอบ 2.25 โทรศัพท์มือถือ [15]	24
ภาพประกอบ 2.26 Scan line บาร์โค้ด [16]	25
ภาพประกอบ 2.27 แสดงการสะท้อนการสแกนแบบผ่าน (Pass) [16]	25
ภาพประกอบ 2.28 แสดงการสะท้อนการสแกนแบบล้มเหลว (Fail) [16]	26
ภาพประกอบ 2.29 แสดงการผ่านการหาค่า Edge [16]	26
ภาพประกอบ 2.30 แสดงความล้มเหลวในการกำหนดค่า Edge [16]	27
ภาพประกอบ 2.31 Minimum reflectance (Pass) [16]	28
ภาพประกอบ 2.32 Minimum reflectance (Fail) [16]	28
ภาพประกอบ 2.33 Minimum edge contrast (Pass) [16]	29
ภาพประกอบ 2.34 Minimum edge contrast (Fail) [16]	29
ภาพประกอบ 2.35 ตัวอย่างลักษณะเกรด A หรือ 4 ของ Symbol contrast [16]	30
ภาพประกอบ 2.36 ตัวอย่างลักษณะเกรด F หรือ 0 ของ Symbol contrast [16]	31
ภาพประกอบ 2.37 ตัวอย่าง Modulation ที่ได้เกรด A หรือ 4 [16]	31
ภาพประกอบ 2.38 ตัวอย่าง Modulation ที่ได้เกรด F หรือ 0 [16]	32
ภาพประกอบ 2.39 ตัวอย่าง Defects ที่ได้เกรด A หรือ 4 [16]	32
ภาพประกอบ 2.40 ตัวอย่าง Defects ที่ได้เกรด F หรือ 0 [16]	33
ภาพประกอบ 2.41 การแปลงภาพแอนะล็อกให้เป็นภาพดิจิทัล [17]	34
ภาพประกอบ 2.42 ภาพแบบ Binary หรือ ภาพขาว-ดำ [17]	35
ภาพประกอบ 2.43 ภาพแบบ Grayscale [17]	35
ภาพประกอบ 2.44 ภาพแบบ RGB [17]	36

ภาพประกอบ 2.45 ภาพแบบ Indexed [17].....	36
ภาพประกอบ 2.46 ระดับสีของ Grayscale ตามขนาดข้อมูลที่เก็บค่าสี [17].....	37
ภาพประกอบ 2.47 วงล้อสีแบบ RGB [17]	37
ภาพประกอบ 2.48 ความแตกต่างของสีแสง (RGB) และสีวัตถุ (CMYK) [17].....	38
ภาพประกอบ 2.49 โมเดลสี HSV ในรูปแบบโคน (Cone) [17].....	38
ภาพประกอบ 2.50 รูปที่เก็บในแต่ละ Channel ในระบบสี RGB และ HSV [17]	39
ภาพประกอบ 2.51 ตัวอย่างการเปรียบเทียบของการประมวลผลแบบ Vector และ การประมวลผลแบบ Bitmap [18].....	40
ภาพประกอบ 2.52 ตัวอย่างไดอะแกรมแสดงขั้นตอนทั่วไปในการประมวลผลของระบบแมชีนวิชั่น [19].....	41
ภาพประกอบ 2.53 ตัวรับภาพ CCD [21]	45
ภาพประกอบ 2.54 ภาพถ่ายดิจิทัลแบบปกติและภาพที่ถูกขยาย [21]	45
ภาพประกอบ 2.55 การ Down sampling จะไม่ทำให้ภาพสูญเสียความคมชัด แต่จะให้ประโยชน์ในด้านขนาดไฟล์ภาพ [21].....	46
ภาพประกอบ 2.56 ลูมินนซ์ของวัตถุเมื่อเทียบกับสภาพแวดล้อม [22].....	47
ภาพประกอบ 3.1 ภาพแสดงลักษณะของสถานีบรรจุภัณฑ์ (Packing).....	58
ภาพประกอบ 3.2 แสดงขั้นตอนการทำงานหลักๆของสถานีบรรจุภัณฑ์ (Packing).....	59
ภาพประกอบ 3.3 ภาพแสดงลักษณะเบื้องต้นของชุดทดลองที่ออกแบบ	60
ภาพประกอบ 3.4 ระยะห่างระหว่างกล่องกับฐานวาง Master pack.....	61
ภาพประกอบ 3.5 ระยะห่างระหว่าง HD Pro Webcam C920 แต่ละตัว.....	61
ภาพประกอบ 3.6 การออกแบบแผนผังการทำงานของระบบ	63
ภาพประกอบ 3.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการตรวจสอบบาร์โค้ดโดยใช้กล้องถ่ายภาพ.....	67
ภาพประกอบ 3.8 โค้ด 128 (Code 128) [13].....	67
ภาพประกอบ 3.9 บาร์โค้ด EAN-13 [13]	67
ภาพประกอบ 3.10 Data Matrix [13].....	68

ภาพประกอบ 3.11 Logitech HD Webcam C270 [37].....	68
ภาพประกอบ 3.12 Logitech C922 Webcam [38]	69
ภาพประกอบ 3.13 ส่วนประกอบของ Logitech C922 Webcam [39].....	69
ภาพประกอบ 3.14 สติกเกอร์ตัวอย่างที่ติดอยู่บนกล่องโทรศัพท์จำนวน 10 กล่อง	70
ภาพประกอบ 3.15 แผนผังการทำงานของโปรแกรม NI Vision builder automated inspection (VBAI)	71
ภาพประกอบ 3.16 สัญลักษณ์ของฟังก์ชัน Acquire Image	72
ภาพประกอบ 3.17 สัญลักษณ์ของฟังก์ชัน Reads 1D Barcode.....	72
ภาพประกอบ 3.18 สัญลักษณ์ของฟังก์ชัน Reads 2D Barcode.....	74
ภาพประกอบ 3.19 ส่วนประกอบต่างๆของโค้ดดาต้าเมทริกซ์ โดยที่ส่วนที่ 1, 2, 3 และ 4 คือ Quiet zone, Finder pattern, Clock pattern และเซลล์ข้อมูลเดี่ยว ตามลำดับ [19].....	75
ภาพประกอบ 3.20 การเทียบเกรดสัญลักษณ์โดยรวมแบบตัวอักษรและตัวเลข [40].....	77
ภาพประกอบ 3.21 โค้ดดาต้าเมทริกซ์ที่มีค่าความคมชัดของสัญลักษณ์เป็นเกรด F [19].....	77
ภาพประกอบ 3.22 โค้ดดาต้าเมทริกซ์ที่มีค่า Print growth เท่ากับ 0.79 ซึ่งถูกจัดให้เป็นเกรด C [19].....	78
ภาพประกอบ 3.23 ตัวอย่างของโค้ดดาต้าเมทริกซ์ที่มีความไม่คงตัวเชิงแกนเป็นเกรด F [19].....	78
ภาพประกอบ 3.24 ตัวอย่างโค้ดดาต้าเมทริกซ์ที่มีเกรดปริมาณการไม่ใช้การแก้ความผิดพลาดเป็นเกรด F [19]	79
ภาพประกอบ 3.25 โค้ดดาต้าเมทริกซ์ที่มีการแปรผันของค่าการสะท้อนแสงพื้นผิว [19]	80
ภาพประกอบ 3.26 ภาพตัวอย่างโค้ดดาต้าเมทริกซ์ที่มีเกรด Modulation เป็นเกรด F [19]	80
ภาพประกอบ 3.27 ตัวอย่างความเสียหายต่างๆ ที่เกิดกับแพตเทิร์นคงที่ [19]	80
ภาพประกอบ 3.28 ตัวอย่างภาพโค้ดที่มีค่าความเสียหายที่เกิดกับแพตเทิร์นคงที่ซึ่งถูกพิจารณาเป็นเกรด F และมีเกรด Modulation เป็นเกรด C [19]	81
ภาพประกอบ 3.29 ตัวอย่างความไม่คงตัวเชิงกริด โดยที่ 1 คือ โค้ดที่กำลังทดสอบ และ 2 คือ ขอบของตำแหน่งกริดที่ควรจะเป็น [19]	81

ภาพประกอบ 3.30 ตัวอย่างภาพโค้ดที่มีความไม่คงตัวเชิงกริดเป็นเกรด F [19]	81
ภาพประกอบ 3.31 สัญลักษณ์ของฟังก์ชัน Custom Overlay.....	82
ภาพประกอบ 3.32 สัญลักษณ์ของฟังก์ชัน Custom Inspection Interface	82
ภาพประกอบ 3.33 การออกแบบซอฟต์แวร์เบื้องต้น.....	83
ภาพประกอบ 3.34 การออกแบบหน้าแสดงผลหรือหน้าต่างการใช้งาน.....	83
ภาพประกอบ 3.35 ส่วนประกอบของหน้าแสดงผลหรือหน้าต่างการใช้งาน	84
ภาพประกอบ 4.1 ตัวอย่างการทดลองอ่านบาร์โค้ดโดยใช้การประมวลผลภาพในกรณีที่ Pass.....	93
ภาพประกอบ 4.2 ตัวอย่างการทดลองอ่านบาร์โค้ดโดยใช้การประมวลผลภาพในกรณีที่ Fail.....	93
ภาพประกอบ 4.3 ตารางการเทียบเท่ากันของเกรดตัวอักษรและตัวเลขที่ได้จากการเฉลี่ยแล้ว [16]	95
ภาพประกอบ 4.4 ตัวอย่างการทดลองอ่านบาร์โค้ดโดยใช้การประมวลผลภาพในกรณีที่ Pass.....	97
ภาพประกอบ 4.5 ตัวอย่างการทดลองอ่านบาร์โค้ดโดยใช้การประมวลผลภาพในกรณีที่ Fail.....	97
ภาพประกอบ 4.6 ตัวอย่างการทดลองอ่านบาร์โค้ดโดยใช้การประมวลผลภาพในกรณีที่ Pass.....	100
ภาพประกอบ 4.7 ตัวอย่างการทดลองอ่านบาร์โค้ดโดยใช้การประมวลผลภาพในกรณีที่ Fail.....	100
ภาพประกอบ 5.1 กราฟการเปรียบเทียบความแม่นยำของระบบการอ่านบาร์โค้ดโดยการประมวลผลภาพกับระบบเดิมของทั้ง 3 กลุ่มตัวอย่าง.....	105
ภาพประกอบ 5.2 กราฟสรุปผลข้อมูลเวลาที่ใช้ในการอ่านบาร์โค้ด (Tack time) โดยเฉลี่ยของ 3 กลุ่มตัวอย่าง.....	106



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทยมีการนำเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ (Image processing) เข้ามาประยุกต์ใช้งานในกระบวนการผลิตตลอดจนการบรรจุภัณฑ์ ซึ่งเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ (Image processing) นี้เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อาทิเช่น โรงงานประกอบชิ้นส่วนยานยนต์ โรงงานผลิตบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ โรงงานประกอบชิ้นส่วนโทรศัพท์ เป็นต้น ทั้งนี้เพราะเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ (Image processing) สามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วและมีความถูกต้องแม่นยำสูง ซึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มักจะใช้งานร่วมกับเครื่องจักร เรียกว่า “แมชชีนวิชัน”(Machine vision) [1] เนื่องจากสามารถนำระบบนี้มาใช้แทนการตรวจสอบสินค้าด้วยสายตามนุษย์ ซึ่งสายตามนุษย์มีข้อจำกัดในเรื่องความเร็วและความถูกต้อง ดังนั้นแมชชีนวิชัน (Machine vision) จึงเป็นเครื่องมือควบคุมคุณภาพที่มีความน่าเชื่อถือและคุ้มค่าต่อการลงทุนของภาคอุตสาหกรรม ซึ่งความสามารถของระบบแมชชีนวิชัน (Machine vision) จะมีประโยชน์กับการทำงานเพื่อตรวจสอบวัตถุหรือสิ่งของที่จุดสนใจ ซึ่งทำได้หลายวิธี ได้แก่ การวัดมิติของชิ้นงาน วัดค่าสี ค่าความสว่าง ตรวจสอบชิ้นส่วนว่ามีหรือไม่มี นับจำนวน หาดำแหน่ง ความเอียงของชิ้นส่วน อ่านบาร์โค้ด อ่านตัวอักษร และการทำงานร่วมกับกล้องจริงตลอดจนการส่งการผ่านฮาร์ดแวร์ให้สร้างสัญญาณ Pass/Fail กับวัตถุทดลองแต่ละชิ้น [2]

แมชชีนวิชัน (Machine vision) มีองค์ประกอบหลักอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนของฮาร์ดแวร์ และส่วนของซอฟต์แวร์ ซึ่งทั้งสองส่วนนี้จะทำงานร่วมกัน โดยในส่วนของฮาร์ดแวร์จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ของการได้มาซึ่งภาพ อาทิเช่น กล้องถ่ายภาพ เลนส์ แสงสว่าง เป็นต้น โดยการเลือกใช้งานขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของงาน และในส่วนซอฟต์แวร์ที่นิยมนำมาใช้ในการประมวลผลภาพของภาคอุตสาหกรรมมีหลากหลายซอฟต์แวร์ ยกตัวอย่างเช่น MATLAB , Lab VIEW , OpenCV และ NI Vision builder automated inspection (VBAI) [2] เป็นต้น

โรงงานอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่งในเขตจังหวัดปทุมธานี เป็นสถานประกอบการที่ทำการผลิตโทรศัพท์มือถือ ที่มีการควบคุมคุณภาพสินค้าในกระบวนการผลิต ตั้งแต่การประกอบโทรศัพท์มือถือถือตลอดจนถึงการบรรจุกล่องและการตรวจสอบคุณภาพสินค้า ซึ่งการตรวจสอบคุณภาพของสินค้าถือ

เป็นสิ่งสำคัญมาก เพราะหากผิดพลาดอาจส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือของโรงงาน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบสินค้าทุกชิ้นก่อนการส่งออกสู่ตลาดอย่างเคร่งครัด การตรวจสอบคุณภาพของสินค้าจะเริ่มตั้งแต่การรับชิ้นส่วนของโทรศัพท์มือถือ กระบวนการประกอบโทรศัพท์มือถือ ตลอดจนถึงการบรรจุกล่อง ซึ่งในปัจจุบันส่วนของการบรรจุกล่องนั้นจะมีการตรวจสอบตั้งแต่การประกอบกล่องโทรศัพท์มือถือ ฉลากต่างๆบนกล่อง โดยใช้ Machine Vision และใช้ซอฟต์แวร์ NI Vision builder automated inspection (VBAI) ในการตรวจสอบเป็นส่วนใหญ่ แต่ส่วนสุดท้ายของการบรรจุกล่องบรรจุภัณฑ์หลัก (Master pack) ที่ต้องมีการสแกนบาร์โค้ดบนฉลากสินค้าเพื่อตรวจสอบว่าการบรรจุกล่องนั้นถูกต้องตามลำดับและกระบวนการบรรจุกล่องหรือไม่ มีการใช้แรงงานมนุษย์ในการตรวจสอบ ซึ่งผู้ปฏิบัติงานจะต้องผ่านการอบรมและฝึกความชำนาญงาน โดยผู้ปฏิบัติงานต้องทำงานเป็นลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) ประกอบกล่องบรรจุภัณฑ์หลัก หรือ Master pack เพื่อรอการบรรจุกล่องโทรศัพท์มือถือ

2) ยกกล่องบรรจุภัณฑ์หลัก (Master pack) วางข้างน้ำหนักร

3) สแกนบาร์โค้ดตามลำดับ

4) สแกนบาร์โค้ดตามลำดับอีกครั้งเพื่อเป็นการยืนยันว่าข้อมูลถูกต้องตามระบบหรือไม่

5) ปิดกล่องบรรจุภัณฑ์หลัก (Master pack)

6) สแกนบาร์โค้ดที่กล่องบรรจุภัณฑ์หลัก (Master pack)

7) ติดฉลาก (Label) และทำการสแกนบาร์โค้ดที่กล่องบรรจุภัณฑ์หลัก (Master pack)

8) นำกล่องบรรจุภัณฑ์หลัก (Master pack) ไปวางไว้ที่ Pallet

โดยภายในกล่องบรรจุภัณฑ์ (Master pack) จะประกอบด้วยกล่องโทรศัพท์มือถือเป็นจำนวน 10 20 หรือ 50 กล่อง ขึ้นอยู่กับการสั่งซื้อของลูกค้า ซึ่งลักษณะและขนาดกล่องโทรศัพท์มือถือรวมถึงกล่องบรรจุภัณฑ์หลัก (Master pack) จะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับคำสั่งซื้อของลูกค้าเช่นเดียวกัน

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า ในกระบวนการที่ต้องตรวจสอบและบรรจุกล่องบรรจุภัณฑ์หลัก (Master pack) นั้นผู้ปฏิบัติงานต้องทำงานหลายขั้นตอนถึงแม้ผู้ปฏิบัติงานจะผ่านการอบรมและฝึกความชำนาญงานมาแล้วก็ตาม แต่ก็ยังประสบปัญหาในเรื่องของการใช้เวลาในการปฏิบัติงานนาน อีกทั้งการทำงานที่ซ้ำซ้อนเป็นเวลานาน อาจทำให้ผู้ปฏิบัติงานเกิดความเมื่อยล้าและเกิดความผิดพลาดในการปฏิบัติงานขึ้นได้

ผู้วิจัยได้เห็นความสำคัญของปัญหาดังกล่าว ดังนั้นจึงควรมีการนำเทคโนโลยีเข้ามาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจสอบการบรรจุกล่องบรรจุภัณฑ์หลัก (Master pack) ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความรวดเร็วและมีความถูกต้องแม่นยำมากกว่าการใช้แรงงานมนุษย์

ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาค้นคว้า พบว่า มีการนำเทคโนโลยีการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้งานได้อย่างหลากหลาย อาทิเช่น การพัฒนาเครื่องตรวจสอบเชิงมองเห็นแบบอัตโนมัติสำหรับกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ [3] การระบุความผิดพลาดบนซองบุหรี่โดยใช้วิธีการประมวลผลภาพ [4] การตรวจหาข้อบกพร่อง PCB เปลือยโดยวิธีการลบบรรยากาศด้วย Machine vision [5] การอ่านบาร์โค้ดสองมิติแบบเรียลไทม์ [6] การวัดความเข้มข้นของฝุ่นตาม VBAI [7] การพัฒนาระบบวิเคราะห์การไหลเวียนของเลือดด้วย NI Vision builder AI [8] และการเปรียบเทียบอัลกอริธึมสามประการในการจำแนกมะกอกตารางโดยใช้วิธีการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์ [9] จากการศึกษาดังกล่าวจะสังเกตได้ว่าส่วนใหญ่จะนำเทคโนโลยีการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้งานในส่วนของการตรวจสอบหรือตรวจหาสิ่งต่างๆที่เป็นจุดสนใจ และซอฟต์แวร์ NI Vision builder automated inspection (VBAI) ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายทั้งในภาคอุตสาหกรรมและในภาคส่วนอื่นๆ

เช่นเดียวกัน ในโรงงานดังกล่าวมีการนำซอฟต์แวร์ NI Vision builder automated inspection (VBAI) มาตรวจสอบชิ้นงานในกระบวนการผลิต ผู้วิจัยจึงมีความสนใจใช้ซอฟต์แวร์ NI Vision builder automated inspection (VBAI) ในการวิจัย เนื่องจากมีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานในกระบวนการตรวจสอบบาร์โค้ดของการบรรจุกล่องบรรจุภัณฑ์หลัก (Master pack) ที่ผู้วิจัยต้องการลดเวลาในการปฏิบัติงานของผู้ปฏิบัติงานและลดความผิดพลาดของการปฏิบัติงาน ซึ่งผู้วิจัยจะได้ทำการศึกษา ออกแบบ และจัดสร้างระบบการประมวลผลภาพ เพื่อให้สามารถบรรลุเป้าหมายดังกล่าวนี้ได้ จึงเป็นที่มาของการวิจัยนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาและออกแบบระบบอ่านบาร์โค้ดแบบหลายรหัสด้วยการประมวลผลภาพ

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะและความสามารถในการลดระยะเวลาอ่านรหัสเทียบกับระบบเดิม

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ออกแบบและสร้างระบบตรวจสอบเพื่อพัฒนาการควบคุมฉลากสินค้า โดยใช้การประมวลผลภาพดิจิทัล โดยใช้ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ของโรงงานอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่งในเขตจังหวัดปทุมธานี

1.3.2 เป็นการพัฒนาการตรวจสอบและรวบรวมข้อมูลบาร์โค้ดบนฉลากสินค้าของผลิตภัณฑ์หลายรหัสภายในกล่องบรรจุภัณฑ์หลัก (Master pack) ได้ในครั้งเดียว

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ประโยชน์ที่ผู้วิจัยคาดว่าจะได้รับ

1.4.1.1 ได้ผลการศึกษาระบบอ่านบาร์โค้ดแบบหลายรหัสด้วยการประมวลผลภาพ

1.4.1.2 ได้ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะและความสามารถในการลดระยะเวลาอ่านรหัสบาร์โค้ดเทียบกับระบบเดิม

1.4.2 ประโยชน์ที่โรงงานอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่งในเขตจังหวัดปทุมธานี คาดว่าจะได้รับ

1.4.2.1 ระบบนี้จะสามารถลดเวลาในการปฏิบัติงานของผู้ปฏิบัติงานและช่วยเพิ่มกำลังการผลิตสินค้าได้มากยิ่งขึ้น

1.4.2.2 ระบบนี้จะสามารถลดความผิดพลาดของผู้ปฏิบัติงานได้

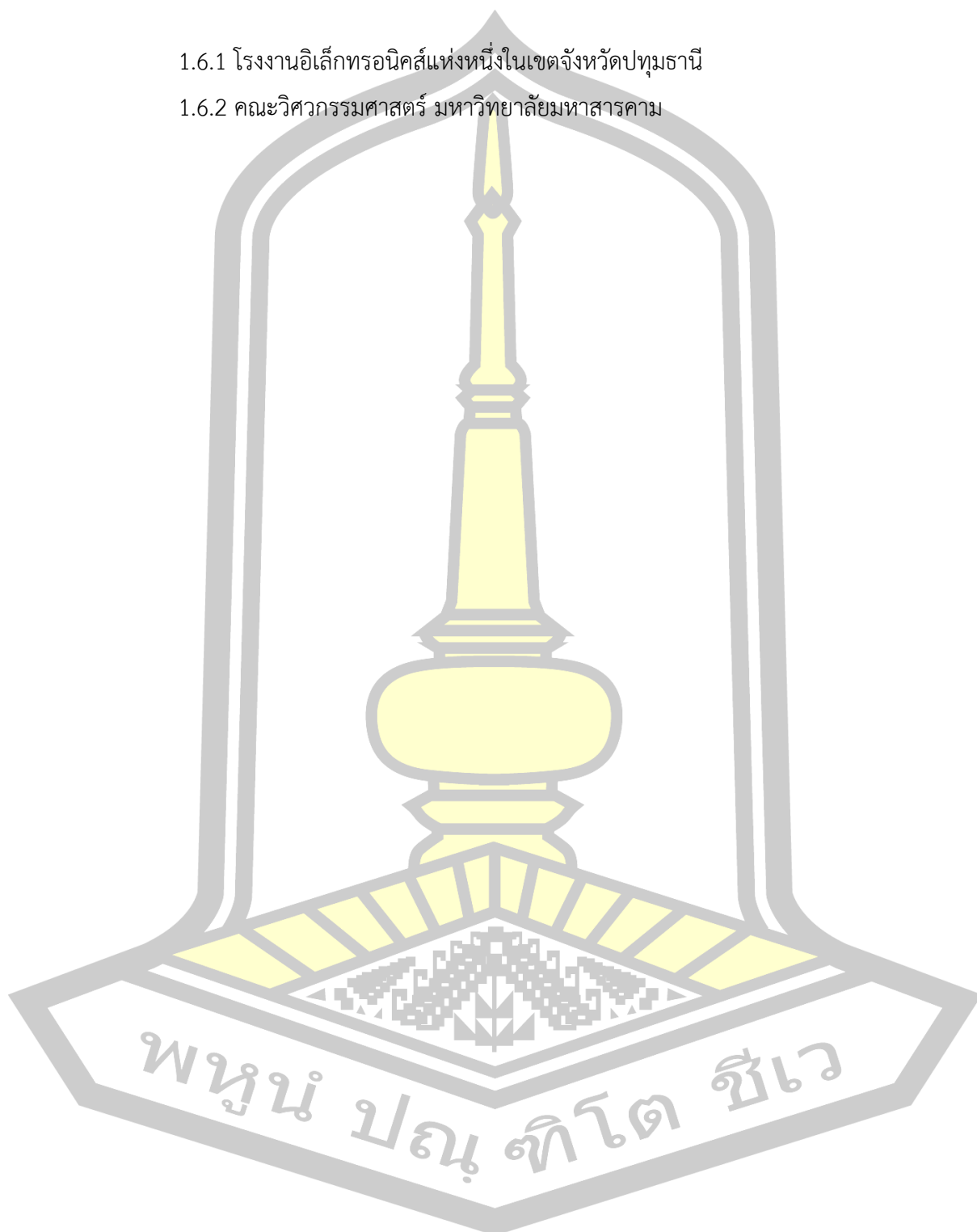
1.4.2.3 ระบบนี้จะช่วยลดการเกิดปัญหาด้านคุณภาพของการบรรจุภัณฑ์ของโรงงานอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่งในเขตจังหวัดปทุมธานี



1.6 สถานที่ดำเนินการศึกษา

1.6.1 โรงงานอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่งในเขตจังหวัดปทุมธานี

1.6.2 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้เกี่ยวกับบาร์โค้ด

2.1.1 บาร์โค้ด (Barcode)

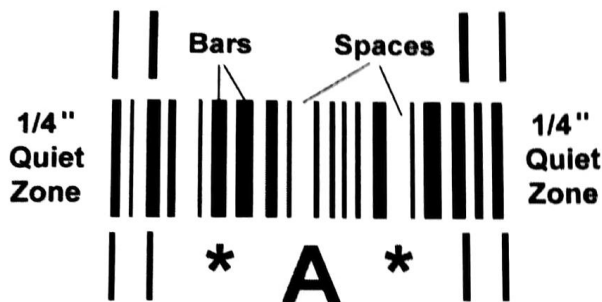
บาร์โค้ด (Barcode) หมายถึง สัญลักษณ์รหัสแท่งที่ใช้แทนข้อมูลตัวเลขหรือข้อความ ตัวอักษรที่มีลักษณะเป็นแถบ มีความหนาบางแตกต่างกันขึ้นอยู่กับตัวเลขที่กำลังอยู่ข้างล่าง ซึ่งถูกบันทึกเข้าไปยังคอมพิวเตอร์โดยวิธีการสแกนรหัสแท่งแทนการพิมพ์ตัวเลขหรือข้อความตัวอักษรผ่านคีย์บอร์ด (Keyboard) บาร์โค้ดประกอบด้วยแท่งกว้างกับแคบรวมตัวกันอยู่ในรูปแบบเลขฐานสอง (Binary level) ซึ่งสามารถมองเป็นสัญลักษณ์แท่งสีดำกับช่องว่างสีขาวระหว่างรูปแท่งหลายแท่งผสมกันอยู่ โดยใช้เครื่องสแกนเนอร์ถอดรหัส (Decoding) เป็นข้อมูลตัวเลขหรือข้อความตัวอักษร [10] ระบบนี้เป็นมาตรฐานสากลที่นิยมใช้กันทั่วโลก การนำเข้าข้อมูลจากรหัสแถบเป็นวิธีที่รวดเร็วและความน่าเชื่อถือได้ของข้อมูลมีสูงและให้ความสะดวกแก่ผู้ใช้งานได้ดี [11]

บาร์โค้ดมีคุณสมบัติเด่น คือ

- พิมพ์ป้ายบาร์โค้ดไว้มาก่อนเป็นจำนวนมากได้
- ต้นทุนการจัดเทคโนโลยีบาร์โค้ดถูกสุด
- แปลงเลขหมายอัตโนมัติที่ให้ความสะดวกและความแม่นยำสูง [10]

2.1.2 องค์ประกอบของระบบบาร์โค้ด (Barcoding elements)

บาร์โค้ดหรือรหัสแท่ง เป็นการนำเอาเส้นที่มีความหนาแตกต่างกันมาเรียงในแนวตั้ง และมีช่องว่างระหว่างเส้นซึ่งรวมเรียกว่า องค์ประกอบของรหัสแท่ง สามารถใช้แทนตัวเลขหรือตัวอักษรได้มากมาย และแตกต่างกัน ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 2.1



ภาพประกอบ 2.1 องค์ประกอบของบาร์โค้ด [3]

องค์ประกอบของบาร์โค้ดประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนลายเส้นซึ่งเป็นลายเส้นสีขาว (Spaces) และสีดำ (Bars) มีขนาดความกว้างของลายเส้นตามมาตรฐานแต่ละชนิดของบาร์โค้ด ส่วนข้อมูลตัวอักษรเป็นส่วนที่แสดงความหมายของข้อมูลลายเส้นสำหรับให้อ่านเข้าใจได้ และส่วนสุดท้ายแถบว่าง (Quiet zone) เป็นส่วนที่เครื่องอ่านบาร์โค้ดใช้กำหนดขอบเขตของบาร์โค้ด และกำหนดค่าให้กับสีขาว (ความเข้มของการสะท้อนแสงในสีของพื้นผิวแต่ละชนิดที่ใช้แทนสีขาว) โดยแต่ละเส้นจะมีความยาวเท่ากันเรียงตามลำดับในแนวนอนจากซ้ายไปขวา ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อเครื่องอ่านบาร์โค้ด (Barcode scanner) ในการอ่านข้อมูลที่บันทึกไว้ แต่โดยทั่วไปแล้วบาร์โค้ดจะมีส่วนประกอบต่างๆ 4 ส่วน ดังต่อไปนี้

- 1) Quiet zone เป็นบริเวณที่ว่างเปล่าไม่มีการพิมพ์ข้อความใดๆ โดยจะอยู่ก่อนและหลังบาร์โค้ด
- 2) Start/ Stop character เป็นบริเวณแถบแท่งหรือช่องว่าง
- 3) Data เป็นบริเวณแถบแท่งหรือช่องว่างที่แทนข้อมูลต่างๆ ที่เราต้องการ
- 4) Check digit เป็นบริเวณแถบแท่งที่ไว้สำหรับเก็บค่าตัวเลข เพื่อตรวจสอบในข้อมูลส่วน Data เพื่อเตรียมส่งให้เซนเซอร์เริ่มต้นหรือหยุดบาร์โค้ด เพื่อให้มั่นใจว่าถูกต้องแม่นยำ [11]

การทำงานเมื่อเครื่องอ่านอ่านผ่านไปยังรหัสที่ติดไว้ แสงจากเครื่องอ่านจะถูกดูดในส่วน of แท่งสีดำ และส่วนของช่องว่างสีขาวจะสะท้อน และจะมีตัวจับแสงที่สะท้อนกลับ (A photocell detector) และเปลี่ยนเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ส่งไปยังคอมพิวเตอร์โดยมีซอฟต์แวร์สำหรับแปลสัญญาณต่ออีกครั้ง และส่งไปยังโปรแกรมประมวลผลข้อมูลและเก็บข้อมูลไว้ใช้งานต่อไป ตัวอย่างลักษณะการแปลรหัสสัญญาณดังแสดงในภาพประกอบ 2.2



ภาพประกอบ 2.2 ลักษณะการแปลรหัสสัญญาณ [12]

รหัสแท่งไม่ได้มีความสำคัญมากนัก เพราะจะเกิดประโยชน์ต่อการนำเอาระบบต่างๆ มาประยุกต์ใช้แบบเต็มระบบ ซึ่งต้องอาศัยระบบคอมพิวเตอร์ในการประยุกต์ใช้

2.1.3 ความแม่นยำในการอ่านรหัส

ความแม่นยำในการอ่านรหัสขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ต่อไปนี้ ซึ่งได้แก่ ความละเอียด ความแตกต่างของความเข้ม (Contrast) และความไม่สมบูรณ์ของแถบรหัส

2.1.4 ความหลากหลายของรหัส

รหัสมีลักษณะอื่นๆ ที่แตกต่างกันอีกหลายประการ อาทิเช่น เป็นรหัสแทนตัวเลข หรือ รหัสแทนทั้งตัวเลขและตัวอักษร ความยาวของแถบรหัสคงที่ หรือแปรเปลี่ยนได้ เป็นต้น การเลือกใช้ นั้นขึ้นอยู่กับลักษณะงาน โดยจะพิจารณาเลือกรหัสจากชุดตัวอักษรที่รหัสสามารถแทนได้ ความยากง่ายในการใส่รหัส ความแม่นยำของรหัส ความยืดหยุ่นต่อความเร็วที่ใช้ในการอ่าน และความต้านทานต่อความไม่สมบูรณ์ในการพิมพ์ เป็นต้น ซึ่งรหัสที่ใช้กันในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ก็มีหลากหลายประเภทขึ้นอยู่กับลักษณะของงานในปัจจุบัน [11]

2.1.5 การใช้รหัสแท่งในทางธุรกิจ (Barcoding application)

กิจกรรมที่นิยมใช้ระบบบาร์โค้ดมีดังต่อไปนี้

การตรวจสอบในการประกอบงาน (Assembly checking) ส่วนมากเป็นการประกอบตามคำสั่งลูกค้า เพื่อลดรอบเวลาในการดำเนินงาน ถ้าจะประกอบงานใด ผู้ปฏิบัติงานก็จะอ่านรหัสสินค้า จะสามารถคำนวณปริมาณสินค้าได้ทันที สามารถส่งส่วนประกอบย่อยได้ล่วงหน้า และคอมพิวเตอร์สามารถที่จะตรวจเช็คให้ถูกต้องตามข้อกำหนด

การควบคุมสินทรัพย์ถาวร (Fixed asset control) ในแต่ละบริษัทมีการจัดซื้อสินค้าสินทรัพย์ถาวรมากมาย ระบบบาร์โค้ดช่วยให้ตรวจสอบตำแหน่งที่ตั้งของสินทรัพย์ จำนวน ราคา โดยใช้เครื่องอ่านแบบพกพา หรือแบบอื่นๆตามความสะดวก

จุดขาย (Point of sale) ในห้างสรรพสินค้า ร้านสะดวกซื้อ รวมถึงร้านอาหารจากรถยนต์ จะมีการใช้ระบบบาร์โค้ดอย่างแพร่หลาย เพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดในการคิดเงิน ตัวสินค้าหน้าจอ สามารถดูได้ตลอดเวลา สามารถจัดกำหนดการเติมสินค้าได้อย่างเหมาะสมไม่ต้องมีสินค้าคงคลังในปริมาณสูง

สั่งจองล่วงหน้า (Order booking) ใช้ในการจองสินค้าตามเอกสารโฆษณา การประมาณราคาค่าซ่อมรถ ระบบการเดินบัญชี การจองตั๋วรถโดยสาร เป็นต้น

การติดตามงานและต้นทุนงาน (Job costing and tracking) เมื่องานแล้วเสร็จสามารถยิงบาร์โค้ด จะส่งผลในการคำนวณต้นทุนงานได้โดยอัตโนมัติ

การกระจายแรงงาน (Labor distribution) การใช้บาร์โค้ดแทนรหัสประจำตัวพนักงาน สามารถทำให้ง่ายต่อการโยกย้ายข้ามแผนก เพราะสามารถอ่านจากเครื่องอ่านได้ทันที สามารถแก้ไขระบบจ่ายเงินเดือนได้ง่าย

ระบบห้องสมุดอัตโนมัติ (Library automation) ปัจจุบันมีการใช้ระบบบาร์โค้ดติดตามตำรา ในชื่อของ ISBN (International standard book number) สามารถเช็คได้โดยอัตโนมัติ

การอ่านมิเตอร์ (Meter reading) ในปัจจุบันการไฟฟ้านครหลวงเริ่มใช้ระบบบาร์โค้ด เพื่อใช้เก็บรวบรวมข้อมูลหมายเลขมิเตอร์ไฟฟ้า ลดความผิดพลาดในการจดโดยการนำเครื่องอ่านแบบมือถือ (Hand Held)

การจัดการด้านเก็บบันทึกข้อมูล (Records management) เช่น บันทึกประวัติผู้ป่วย บันทึกประวัติ การทำประกัน การกู้ยืมเงิน โดยเก็บไว้ในแฟ้มของแต่ละรายโดยการติดบาร์โค้ดไว้บริเวณที่สามารถอ่านได้สะดวก บางครั้งใช้การอ่านด้วยบัตร และสามารถติดตามบุคลากรเข้าออกตลอดเวลา

การชำระค่าบริการ (Remittance processing) การพิมพ์บาร์โค้ดบนต้นฉบับใบจ่ายเงินสามารถเก็บข้อมูลโดยไม่ต้องพิมพ์ข้อมูลของลูกค้า จำนวนเงิน ลดความซ้ำซ้อน

การตรวจนับสต็อก (Stock taking) เครื่องอ่านแบบมือถือสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย เป็นที่นิยมในการตรวจนับสินค้าคงคลัง เพราะในเครื่องบันทึกสินค้าด้วยบาร์โค้ดไว้เรียบร้อยแล้วสามารถรับทราบข้อมูลในเวลาที่เหมาะสมได้

การบันทึกเวลาทำงาน (Time and attendance) ปัจจุบันมีการใช้บาร์โค้ดแทนรหัสพนักงาน ซึ่งสามารถอ่านด้วยระบบเครื่องอ่านบัตร ซึ่งทำให้เราสามารถบันทึกข้อมูลเวลาเข้าออกทำงานได้โดยอัตโนมัติ ทำให้การทำการระบบเงินเดือนมีความสะดวก รวดเร็ว ทันเวลา ด้วยการประมวลผลผ่านซอฟต์แวร์ระบบเงินเดือนและประเมินผลงานได้รวดเร็วขึ้น

การรับสินค้า (Receiving) เมื่อรับสินค้าจากการจัดซื้อ ผู้ปฏิบัติงานสามารถตรวจสอบสินค้าได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ง่ายต่อการทำงาน

การจัดส่ง (Shipping) ในการจัดส่งสามารถระบุผู้รับ สถานที่ส่ง วันส่ง น้ำหนักที่ขนส่ง คำนวณหาปริมาณงาน ถ้าส่งผิดสามารถตรวจเช็คได้ทันที

การหยิบสินค้าตามคำสั่ง (Picking) ปัจจุบันมีซอฟต์แวร์จัดการคลังสินค้าที่สามารถระบุตำแหน่ง จัดเก็บ จำนวนที่เหลือจึงทำให้สามารถค้นหาและหยิบสินค้าตามคำสั่ง และจ่ายสินค้าออกโดยใช้ร่วมกับระบบบาร์โค้ด

การเคลื่อนย้ายสินค้าออกจากท่า (Warehouse put-away) ผู้ปฏิบัติงานสามารถนำสินค้าออกจากท่าขึ้นลงและเข้าจัดเก็บโดยอ่านรายการสินค้าแต่ละรายการ จะทราบตำแหน่งที่เก็บสินค้าพื้นที่ว่าง และประมวลผลบนคอมพิวเตอร์ ทำให้สามารถทำงานได้รวดเร็วมากยิ่งขึ้น

การติดตามการให้บริการในระบบรับประกันผลงาน (Warranty and service tracking) ในกรณีที่เรารับสินค้าเข้า บาร์โค้ดสามารถบันทึกวันรับ บันทึกประวัติการซ่อม ความบกพร่อง ค่าใช้จ่ายในการซ่อมของผู้ขายเพื่อใช้ในการวิเคราะห์งานในอนาคต

การติดตามสินค้าระหว่างการผลิต (Work-In-process inventory tracking) ในปัจจุบันมีการเชื่อมต่อด้วยระบบออนไลน์ และมีเครื่องอ่านแบบไร้สายที่สะดวกในการใช้งาน สามารถอ่านที่แผ่นใบสั่งงาน สายการผลิต จำนวนสินค้าคงคลังที่เหลือการผลิต ทำให้สามารถติดตามความก้าวหน้าของงานได้โดยง่ายและต้นทุนสินค้าในระหว่างการผลิตต่ำลง

2.1.6 ข้อควรคำนึงในการใช้ระบบบาร์โค้ด (Word of caution)

ระบบบาร์โค้ดใช้เฉพาะการรวบรวมข้อมูลเท่านั้นไม่สามารถแก้ไขข้อผิดพลาดในคลังสินค้าหรือโลจิสติกส์ได้ ไม่สามารถทำงานตามลำพังได้ ต้องใช้ร่วมกับซอฟต์แวร์ในการอ่านและแปลรหัสที่อยู่ในรูปซอฟต์แวร์บาร์โค้ด และซอฟต์แวร์จัดการสินค้าในคลังสินค้าซึ่งติดตั้งไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ การตัดสินใจในการทำงานก็ขึ้นอยู่กับผู้ควบคุมคลังสินค้าหรือผู้จัดการ เพราะลำพังบาร์โค้ดเองไม่สามารถตัดสินใจแทนมนุษย์ได้ [12]

2.2 ประเภทของบาร์โค้ด

2.2.1 EAN-8 เป็นบาร์โค้ดแบบ EAN ที่เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ขนาดเล็ก ใช้หลักการคล้ายกันกับบาร์โค้ดแบบ EAN-13 แต่จำนวนหลักน้อยกว่า คือ จะมีตัวเลข 2 หรือ 3 หลัก แทนรหัสประเทศ 4 หรือ 5 หลักเป็นข้อมูลสินค้า และอีก 1 หลักสำหรับตัวเลขตรวจสอบความถูกต้องของบาร์โค้ด (Check digit) แต่สามารถขยายจำนวนหลักออกไปได้อีก 2 หรือ 5 หลัก ในลักษณะของ Extension barcode (UPC-A+2 , UPC-A+5) ซึ่งเป็นลักษณะที่แตกต่างกับการใช้บาร์โค้ดแบบ UPC-E ที่จะต้องพิมพ์ออกมาในรูปแบบเต็มเหมือน UPC-A แต่ทำการตัด 0 (ศูนย์) ออก ข้อมูลตัวเลขในสัญลักษณ์บาร์โค้ดแบบ EAN-8 จะบ่งชี้ถึงผู้ผลิตและผลิตภัณฑ์ และเมื่อมีการใช้ EAN-8 มากขึ้นในหลายประเทศ จำนวนของตัวเลขที่นำมาใช้ซึ่งมีจำนวนจำกัดทำให้ไม่เพียงพอกับผู้ใช้จึงใช้บาร์โค้ดแบบ EAN-13 แทน ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 2.3



ภาพประกอบ 2.3 บาร์โค้ด EAN-8 [13]

2.2.2 UPC-A (Universal product code) พบมากในธุรกิจค้าปลีกของประเทศสหรัฐอเมริกา และ แคนาดา รหัสบาร์โค้ดที่ใช้เป็นแบบ 12 หลัก หลักที่ 1 เป็นหลักที่ระบุประเภทสินค้า และตัวที่ 12 เป็นหลักที่แสดงตัวเลขที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้องของบาร์โค้ด รหัสบาร์โค้ดแบบ UPC มีหน่วยงาน Uniform council (UCC) ที่ตั้งอยู่รัฐ OHIO ประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นผู้ดูแลในการจดทะเบียนบาร์โค้ด ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 2.4



ภาพประกอบ 2.4 บาร์โค้ด UPC-A (Universal Product Code) [13]

2.2.3 UPC-E เป็นบาร์โค้ดแบบ UPC ที่เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ขนาดเล็ก ถูกพัฒนามาจากบาร์โค้ดแบบ UPC-A โดยตัดเลข 0 (ศูนย์) ออกทั้งหมด บาร์โค้ด UPC-E สามารถพิมพ์ออกมาได้ขนาดเล็กมาก ใช้สำหรับป้ายขนาดเล็กที่ติดบนตัวสินค้า ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 2.5



ภาพประกอบ 2.5 บาร์โค้ด UPC-E [13]

2.2.4 Interleaved 2 of 5 เป็นรหัสบาร์โค้ดที่ใช้ในระบบรับ-ส่งสินค้า รหัสบาร์โค้ดแบบนี้เหมาะสำหรับพิมพ์ลงบนกระดาษลูกฟูก มักใช้ในโกดังจัดเก็บสินค้า และอุตสาหกรรมต่างๆ ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 2.6



ภาพประกอบ 2.6 Interleaved 2 of 5 [13]

2.2.5 บาร์โค้ดที่ใช้ตัวเลขและตัวอักษร

2.2.5.1 โค้ด 39 (Code 39) รูปสัญลักษณ์ของรหัสแท่งประเภทนี้ถูกพัฒนาขึ้นมา จากความต้องการที่จะนำเอาข้อมูลที่เป็นตัวอักษรเข้าไปในรหัสแท่ง ซึ่งนิยมใช้มากที่สุดในธุรกิจและอุตสาหกรรมที่ไม่เกี่ยวข้องกับอาหาร โดยทั่วไปแล้วนิยมนำไปใช้งานด้านการจัดการสินค้าคงคลัง หรือการติดตามความเคลื่อนไหวของวัตถุดิบในโรงงานผลิตสินค้า ความยาวของรูปสัญลักษณ์แบบโค้ด 39 นี้ค่อนข้างยาวและอาจจะไม่เหมาะสมหากฉลากสินค้ามีพื้นที่จำกัด ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 2.7



ภาพประกอบ 2.7 โค้ด 39 (Code 39) [13]

2.2.5.2 โค้ด 128 (Code 128) เนื่องจากโค้ด 39 เก็บข้อมูลที่เป็นตัวอักษรได้ค่อนข้างจำกัด ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาโค้ด 128 ขึ้นมาใช้งาน และเหมาะสมกับฉลากสินค้าที่มีพื้นที่จำกัด เพราะรหัสแท่งแบบโค้ด 128 นี้จะกะทัดรัดและดูแน่นกว่าโค้ด 39 โดยทั่วไปแล้วโค้ด 128 นิยมใช้ในอุตสาหกรรม การจัดส่งสินค้าซึ่งมีปัญหาด้านการพิมพ์ฉลาก ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 2.8



ภาพประกอบ 2.8 โค้ด 128 (Code 128) [13]

2.2.5.3 PDF417 (Portable data file) เป็นบาร์โค้ด 2 มิติแบบสแต็ก ซึ่งพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1992 โดยบริษัท Symbol Technologies ประเทศสหรัฐอเมริกา บาร์โค้ดแบบ PDF417 สอดคล้องกับมาตรฐาน ISO/IEC 15438 และ AIM USS-PDF417 ลักษณะบาร์โค้ดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีส่วนเข้ารหัสข้อมูลหรือที่เรียกว่าโมดูลข้อมูล (Data module) เป็นแถบสีดำและสีขาวเรียงตัวกันหลายๆ แถวทางแนวตั้งและแนวนอน ซึ่งประกอบด้วย 3 ถึง 90 แถว และ 1 ถึง 30 คอลัมน์ สามารถบรรจุข้อมูลได้มากที่สุดถึง 2,710 ตัวเลข 1,850 ตัวอักษร 1,018 ไบนารี คำว่า PDF ย่อมาจาก Portable data file และประกอบไปด้วย 4 แถบ และ 4 ช่องว่างใน 17 โมดูล จึงทำให้ได้หมายเลข 417 เครื่องอ่านบาร์โค้ดจะสามารถอ่านได้ในทิศทางเดียว เช่น อ่านจากทางซ้ายไปขวา หรือ ขวาไปซ้าย และอ่านจากบนลงล่าง หรือ ล่างขึ้นบน เป็นต้น โดยส่วนใหญ่บาร์โค้ดแบบ PDF417 จะนำไปใช้กับงานที่ต้องการความละเอียด และถูกต้องเป็นพิเศษ PDF417 รูปสัญลักษณ์ของรหัสแท่งแบบ PDF417 หรือเรียกอีกอย่างว่า รหัสแท่งสองมิติ เป็นรูปสัญลักษณ์ที่มีความหนาแน่นของรหัสแท่งมากกว่าปกติและไม่เป็นเส้นตรง ลักษณะใกล้เคียงกับตารางอักษรไขว้ สิ่งที่ทำให้รหัสแท่งแบบ PDF417 แตกต่างจากรหัสแท่งแบบอื่น ๆ ที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดก็คือข้อมูลที่เก็บอยู่ในรหัสแท่ง PDF417 จะเก็บข้อมูลเป็นลักษณะแฟ้มข้อมูลแทนที่จะเป็นข้อมูลตัวเลขอ้างอิงบางรัฐ (ในประเทศอเมริกา) จะนำรหัสแท่งสองมิติไปใช้บนใบขับขี่ ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลส่วนตัวได้มากมาย เช่น ชื่อ รูปภาพ บันทึกข้อหาที่เคยฝ่าฝืนกฎจราจร และข้อมูลอื่นๆ ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 2.9



ภาพประกอบ 2.9 PDF417 (Portable data file) [13]

2.2.5.4 Data matrix บาร์โค้ด 2 มิติแบบนี้ ถูกพัฒนาโดยบริษัท RVSI Acuity Cimatrix ประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อปี ค.ศ. 1989 สอดคล้องกับมาตรฐาน ISO/IEC 16022 และ ANSI/AIM BC11-ISS-Data matrix ลักษณะบาร์โค้ดมีทั้งรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสและสี่เหลี่ยมผืนผ้า สำหรับบาร์โค้ดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีโมดูลข้อมูลระหว่าง 10×10 ถึง 144×144 โมดูล และรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

มี 8×18 ถึง 16×48 โมดูล Data matrix สามารถบรรจุข้อมูลได้มากที่สุด 3,116 ตัวเลข หรือ 2,355 ตัวอักษร แต่สำหรับข้อมูลประเภทอื่นได้แก่ข้อมูลเลขฐานสองบรรจุได้ 1,556 ไบต์ (1 ไบต์ เท่ากับเลขฐานสอง 8 หลัก) และตัวอักษรภาษาญี่ปุ่นบรรจุได้ 778 ตัวอักษร รูปแบบค้นหาของ บาร์โค้ดแบบ Data matrix อยู่ที่ตำแหน่งของด้านซ้ายและด้านล่างของบาร์โค้ด บาร์โค้ด Data matrix ส่วนใหญ่ใช้ในงานที่มีพื้นที่จำกัดและต้องการบาร์โค้ดขนาดเล็ก [13] ตัวอย่างดังแสดงใน ภาพประกอบ 2.10



ภาพประกอบ 2.10 Data matrix [13]

2.3 สติกเกอร์บาร์โค้ด (Barcode sticker or label)

สติกเกอร์บาร์โค้ด เป็นส่วนประกอบหนึ่งของเครื่องพิมพ์สติกเกอร์บาร์โค้ด (Barcode label printer) หรือเครื่องพิมพ์ในระบบความร้อน (Thermal transfer) โดยจะมีเนื้อสติกเกอร์ หลากหลายชนิด เช่น สติกเกอร์เนื้อกึ่งมันกึ่งด้าน เนื้อขาวด้าน เนื้อขาวเงา เนื้อ PP เนื้อ Direct thermal เนื้อฟรอยด์เทา และ ฯลฯ สติกเกอร์ทุกแบบสามารถใช้ได้กับเครื่องพิมพ์บาร์โค้ดทุกยี่ห้อ ไม่ว่าจะเป็น TSC Intermec Zebra, Argox และยี่ห้ออื่นๆ จะมีความแตกต่างกันที่คุณสมบัติในด้านของการนำไปใช้งานมากกว่า โดยทางบริษัทที่ทำการจัดจำหน่ายมีจำหน่ายทั้งสติกเกอร์ขาวเปล่าขนาด มาตรฐานที่นิยมใช้กัน เช่น 3.2×2 ซม. 4.0×3.0 ซม., 8×5 ซม. และขนาดต่างๆตามการใช้งาน ของลูกค้า ตัวอย่างสติกเกอร์บาร์โค้ดดังแสดงในภาพประกอบ 2.11

พูน บณ สิโต ชีเว



ภาพประกอบ 2.11 สติกเกอร์บาร์โค้ด (Barcode sticker or label) [14]

2.3.1 ความแตกต่างของเนื้อสติกเกอร์บาร์โค้ด

2.3.1.1 สติกเกอร์กึ่งมันกึ่งด้าน เป็นเนื้อสติกเกอร์ที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากมีราคาค่อนข้างถูก ใช้ในงานทั่วไป เช่น การติดราคาและรายละเอียดสินค้า ซึ่งมีการขายเปลี่ยนมือไว โดยจะต้องเป็นงานที่ไม่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นหรือความร้อนเกินอุณหภูมิปกติ ไม่ป้องกันการขูดขีด หมึกมีโอกาสหลุดร่อนตามระยะเวลาการใช้งาน หรือสติกเกอร์สามารถฉีกขาดได้ มีความมันเงาเล็กน้อย โดยนิยมใช้กันมากที่สุดกับหมึกพิมพ์ริบบอนเนื้อ Wax เนื่องจากมีราคาถูกที่สุด เพื่อลดต้นทุนสินค้าให้ต่ำที่สุด

2.3.1.2 สติกเกอร์ขาวด้าน เป็นอีกเนื้อสติกเกอร์ที่มีความนิยมใช้เช่นเดียวกัน ราคาอยู่ในระดับที่เทียบเท่ากับสติกเกอร์เนื้อกึ่งมันกึ่งด้าน ใช้ในงานทั่วไป คุณสมบัติโดยรวมจะเหมือนกับสติกเกอร์กึ่งมันกึ่งด้าน จะมีความแตกต่างตรงที่จะไม่มีความมันเงาใดๆเลย นิยมใช้กับหมึกพิมพ์ริบบอนเนื้อ Wax

2.3.1.3 สติกเกอร์เนื้อขาวนวล (TTR Transfer) เป็นสติกเกอร์ที่มีลักษณะสีขาวนวล เนื้อเรียบเป็นพิเศษ มีความสวยงาม เนื่องจากความเรียบเนียนของพื้นผิว จึงทำให้เหมาะกับการพิมพ์สติกเกอร์แบบ pre-printed หรือสติกเกอร์ที่มีการสั่งพิมพ์สีจากทางโรงงาน เพราะจะได้ในเรื่องของความคมชัด สวยงาม นิยมใช้กับหมึกพิมพ์ริบบอนสองประเภท คือเนื้อ Wax ธรรมดา และ เนื้อ Wax หรือ Resin และ Resin ขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งานของลูกค้า

2.3.1.4 สติกเกอร์ฟรอยด์ เป็นสติกเกอร์เนื้อหนาสีเทา มีราคาค่อนข้างสูงจึงเหมาะกับงานที่มีความเฉพาะเจาะจงมากกว่า เนื่องจากคุณสมบัติที่สามารถประยุกต์ใช้ได้กับงานที่ต้องการความคงทน เช่น งานทรัพย์สินงานอุตสาหกรรมเครื่องยนต์ ซึ่งต้องการสติกเกอร์ที่มีอายุการใช้งาน

ยาวนาน ทนความร้อนได้สูง ชูดไม่ออก นิยมใช้หมึกพิมพ์รีบบอนเนื้อ Resin เนื่องจากเป็นรีบบอนที่ทนต่อการขีดข่วน

2.3.1.5 สติกเกอร์ Direct thermal เป็นเนื้อสติกเกอร์แบบความร้อนที่ไม่ต้องใช้ตัวกลาง (หมึกพิมพ์รีบบอน) ในการพิมพ์ ในตัวกระดาษจะมีเคมีที่จะเกิดสีเมื่อสัมผัสความร้อนในปริมาณที่พอเหมาะ โดยหัวพิมพ์จะมีตัวกำเนิดความร้อนซึ่งทำหน้าที่ส่งความร้อนมาที่กระดาษ ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี และทำให้สีของกระดาษเปลี่ยนแปลง สติกเกอร์ชนิดนี้จะมีราคาสูงกว่าเนื้อสติกเกอร์ทั่วไป เนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้หมึกพิมพ์รีบบอน นิยมใช้ในงานที่มีอายุการใช้งานสั้น เช่น สีน้าบริโภคต่างๆ เพราะเนื้อสติกเกอร์จะมีผลกระทบเมื่อโดนความร้อน หรือแสง UV

2.3.1.6 สติกเกอร์เนื้อ PP Mat (Upo) เป็นเนื้อสติกเกอร์ชนิดพลาสติก มีความทนทานสูง ฉีกไม่ขาด สามารถกันน้ำได้ สติกเกอร์มีทั้งชนิดขาวมัน และขาวด้าน แต่ราคาค่อนข้างสูงเนื่องจากวัตถุดิบไม่ใช่กระดาษ แต่ถ้าเลือกชนิดขาวด้านราคาจะถูกกว่าเล็กน้อยเหมาะกับงานอุตสาหกรรมอาหาร งานห้องเย็น งานทรัพย์สิน นิยมใช้กับหมึกพิมพ์รีบบอนสองประเภท คือเนื้อ Wax หรือ Resin ขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งานของลูกค้า

2.3.1.7 สติกเกอร์ขาวมัน (อาร์ตมัน) เป็นเนื้อสติกเกอร์ที่มีความมันเงา มีความคมชัดสวยงาม สามารถใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นได้เล็กน้อย เหมาะสำหรับการใช้ในงานสินค้าต่างๆที่ต้องการความสวยงาม นิยมใช้กับหมึกพิมพ์รีบบอนสองประเภท คือเนื้อ Wax และเนื้อ Wax หรือ Resin ขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งานของลูกค้า

2.3.1.8 สติกเกอร์เนื้อ PVC ใส เป็นเนื้อสติกเกอร์ชนิดพลาสติกใส มองทะลุได้ มีความทนทานสูง ฉีกไม่ขาด สามารถกันน้ำได้ มีราคาค่อนข้างสูงเนื่องจากวัตถุดิบไม่ใช่กระดาษ เหมาะกับงานเครื่องสำอาง ฉลากสินค้าที่ต้องการความหรูหรา นิยมใช้กับหมึกพิมพ์รีบบอนสองประเภท คือเนื้อ Wax หรือ Resin และ Resin ขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งานของลูกค้า ตัวอย่างสติกเกอร์ดังแสดงในภาพประกอบ 2.12 [14]



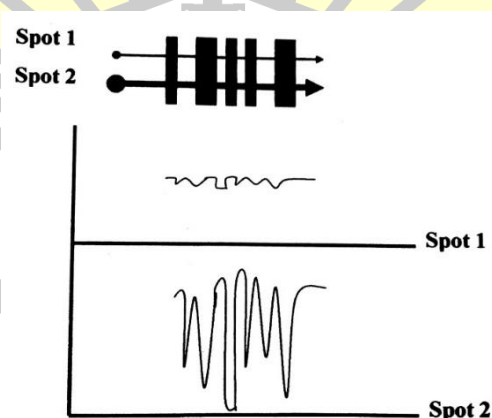
ภาพประกอบ 2.12 สติกเกอร์บาร์โค้ดแบบต่างๆ [14]

2.4 การถอดรหัสบาร์โค้ด

2.4.1 หลักการพื้นฐานของเครื่องอ่าน

เครื่องอ่านรหัสเป็นอุปกรณ์ที่แปรข้อมูลจากรหัสเป็นสัญญาณดิจิตอลผ่านคอมพิวเตอร์ โดยการทำงานของเครื่องอ่าน จะทำหน้าที่ในการผลิตลำแสงซึ่งดูดซึมส่วนที่เป็นแท่งทึบและสะท้อนส่วนที่เป็นช่องว่างระหว่างแท่งสัญญาณที่สะท้อนขึ้นจะแปรเป็นตัวอักษรหรือตัวเลข โดยตัวแปลรหัสสามารถติดไว้ภายในเครื่องอ่าน หรือแยกกันกับเครื่องก็ได้เพื่อให้เกิดความสะดวกในการเคลื่อนย้าย ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีบาร์โค้ดที่นิยมใช้เครื่องอ่านมีหลายประเภท โดยส่วนมาก นิยมแบ่งกลุ่มได้คือ แบบสัมผัส (Contact) แบบไม่สัมผัส (Non-contact) แบบเคลื่อนย้ายได้ (Portable) และแบบยึดติดกับที่ (Fixed position)

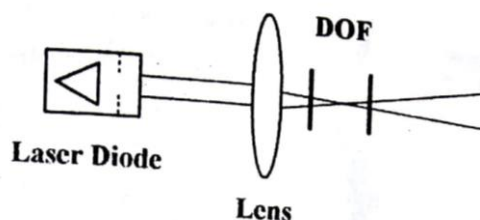
บาร์โค้ดอาศัยหลักการแตกต่างระหว่างสีของแท่ง และสีของพื้น ดังนั้นการทำงานของเครื่องอ่านต้องอาศัยการสะท้อนกลับของสีที่แตกต่างกัน ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 2.13



ภาพประกอบ 2.13 กราฟแสดงความสามารถในการอ่านรหัส [10]

จากภาพประกอบ 2.13 จะเห็นว่ากราฟความสัมพันธ์เกี่ยวกับความสามารถในการอ่านของเครื่องอ่าน ความละเอียดของแถบ (Resolution) หรือขนาดของลำแสงกับขนาดความกว้างของขนาดแท่งรหัส(แถบสีดำหรือแถบสีขาวที่แคบที่สุด) ในทางปฏิบัติใช้จุดลำแสงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.2 มม. [10] โดยเมื่อแสงมีขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้สามารถอ่านได้ดีขึ้น นั้นแสดงว่าเครื่องอ่านรหัสที่ดีต้องสามารถผลิตลำแสง มุมในการอ่านที่กว้างขึ้น โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการอ่านรหัสมีองค์ประกอบหลักในการผลิตลำแสง ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดที่ต้องบรรจุในเครื่องอ่านทุกตัว เรียกว่า ตัวผลิตลำแสงเลเซอร์ (Laser diode) ลำแสงที่ผลิตได้จะส่งผ่านเลนส์มายังวัสดุที่อ่าน ตามภาพประกอบ 2.14 ถ้าสามารถอ่านในระยะไกลได้ราคาจะยิ่งสูง [12]

ส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งคือความยาวคลื่นของแสงที่ใช้ ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้่านรหัสแถบสีต่างๆ โดยทั่วไปใช้แสงอินฟราเรด (Infrared) ที่มีความยาวคลื่นประมาณ 0.95 ไมครอน (Micron) สำหรับอ่านแถบขาวดำ และใช้แสงสีแดงที่มีความยาวคลื่น 0.65 ถึง 0.7 ไมครอน สำหรับอ่านรหัสแถบสีเขียวหรือสีน้ำเงินที่พิมพ์บนพื้นสีเหลืองหรือส้ม ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 2.14 [10]

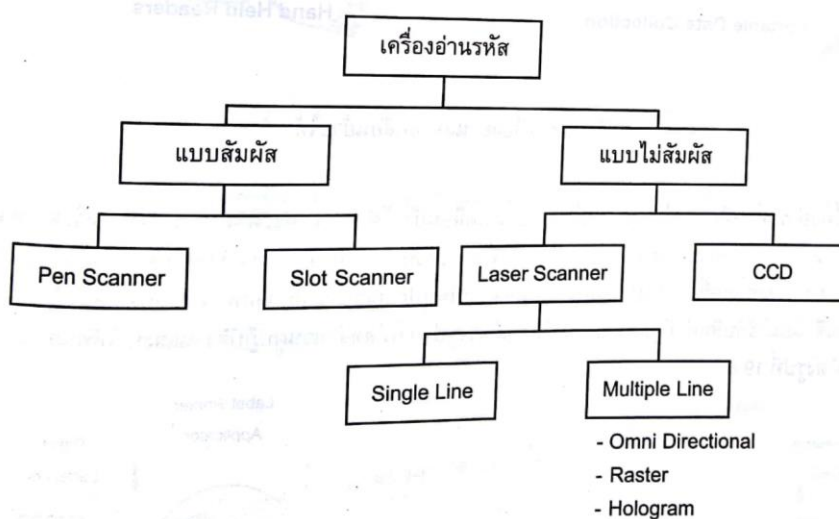


ภาพประกอบ 2.14 อุปกรณ์ประกอบในเครื่องอ่าน [12]

2.4.2 ประเภทเครื่องอ่านบาร์โค้ด

ในปัจจุบันจำแนกเครื่องอ่านเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ แบบสัมผัสกับไม่สัมผัสตามแผนผังในภาพประกอบ 2.15

พหุณ ปณ สิโต ชีเว



ภาพประกอบ 2.15 แผนผังการจำแนกประเภทของเครื่องอ่านรหัสบาร์โค้ด [12]

2.4.2.1 Pen type scanner มีลักษณะเหมือนปากกาใช้วิธีการลากเพื่ออ่านค่า โดยภายในตัวเครื่องอ่านจะมีเซนเซอร์ตัวเดียวเพื่อรับแสงสะท้อนในส่วนที่เงาดำกับเงาขาว ปัจจุบันไม่นิยมใช้แล้ว เนื่องจากช้าและราคาเครื่องสแกนอื่นๆราคาต่ำลง ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 2.16



ภาพประกอบ 2.16 Pen type scanner [15]

2.4.2.2 CCD Readers (Charge coupled device) เป็นเทคโนโลยีเดียวกันกับเทคโนโลยีการถ่ายภาพ แต่ CCD Readers จะมีเซนเซอร์รับการสะท้อนแสงเป็นแนวยาวซึ่งมีเพียงไม่กี่ตัว หากเทียบกับกล้องดิจิตอล CCD Readers ถือว่าเป็นเทคโนโลยีแบบเก่าดั้งเดิมจะสแกนได้กว้างสุดตามความยาวของตัวสแกนเนอร์ จะเห็นว่า เครื่องอ่านประเภทนี้ ช่องอ่านจะกว้างรับกับความยาวบาร์โค้ด

และไม่สามารถอ่านในระยะไกลเกิน 1 นิ้ว เพราะเซนเซอร์จะรับแสงสะท้อนในระยะใกล้เท่านั้น และชิ้นงานต้องไม่สั่นไหว ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 2.17



ภาพประกอบ 2.17 CCD Readers [15]

2.4.2.3 Laser readers จะใช้เลเซอร์ ซึ่งมีความเข้มแสงสูงยิงไปที่บาร์โค้ดแล้วจับความถี่แสงที่สะท้อนกลับ ข้อดีคือ ความแม่นยำสูง สแกนระยะไกลได้สูงสุดถึง 60 - 80 ซม. สแกนได้แม้ป้ายบาร์โค้ดสั่นไหว ปัจจุบันเป็นที่นิยมที่สุดเพราะราคาลดลงมากจนราคาใกล้เคียงกันในกลุ่มตลาดล่าง ประสิทธิภาพการทำงานดี มีความแม่นยำ พบปัญหาน้อย ตัวอย่างการใช้ Laser readers แสดงในภาพประกอบ 2.18



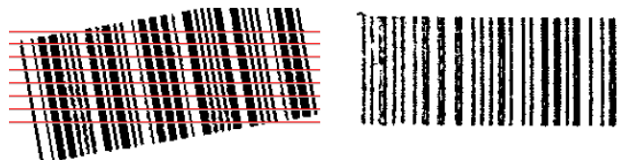
ภาพประกอบ 2.18 Laser scanner จะมีเส้นสแกนเป็นแสงเลเซอร์ [15]

2.4.2.4 Imaging scanner มีการใช้เทคโนโลยี CCD แต่ที่แตกต่างจาก CCD Readers คือความละเอียดที่สูงขึ้น เพราะจะมีการถ่ายภาพออกมาเหมือนกล้องถ่ายภาพ (ลักษณะของ Image scanner แสดงในภาพประกอบ 2.19) ทำให้ข้อมูลที่ส่งไปยังเครื่องรับได้ตัวบาร์โค้ดทั้งหมดมาประมวลผ่านวงจรคำนวณ และทำการวิเคราะห์ว่าบาร์โค้ดนี้ มีโค้ดอะไร หากเป็นยุคแรกๆอาจจะมี ความละเอียดน้อย ทำให้อ่านแล้วไม่สำเร็จ แต่ปัจจุบันเทคโนโลยีนี้สูงขึ้น ความละเอียดมาก ทำให้มีความแม่นยำสูง ซึ่งจะแม่นยำกว่าเครื่องอ่านประเภทอื่นๆ แต่ราคาจะแพง เพราะสามารถอ่านได้ทั้ง

1D 2D และอ่านแบบอื่นๆ คุณสมบัติที่เป็นจุดเด่นคือ สามารถสแกนได้ทุกทิศทาง 360 องศา โดยไม่ต้องจับป้ายให้ตรงกับบาร์โค้ดก็สามารถสแกนบาร์โค้ดที่คุณภาพการพิมพ์ต่ำได้ เพราะเครื่องจะรับภาพบาร์โค้ดทั้งหมดมาประมวลผล ตัวอย่างการอ่านบาร์โค้ดแสดงในภาพประกอบ 2.20



ภาพประกอบ 2.19 Image scanner มีกล้องอยู่ตรงกลาง [15]



ภาพประกอบ 2.20 บาร์โค้ดคุณภาพต่ำเครื่องอ่านชนิดอื่นอ่านไม่ได้ แต่ Image scanner สามารถอ่านได้ [15]

2.4.3 ประเภทตามรูปลักษณะ

2.4.3.1 แบบด้ามปืน เป็นแบบที่พบเห็นทั่วไป ใช้งานง่าย ลักษณะของสแกนเนอร์แสดงในภาพประกอบ 2.21



ภาพประกอบ 2.21 สแกนเนอร์แบบด้ามปืน [15]

2.4.3.2 แบบยึดติดฐาน ทำงานโดยเคลื่อนป้ายบาร์โค้ดเข้าหา เครื่องอ่าน ซึ่งสามารถสแกนอัตโนมัติและไม่ต้องสนใจทิศทางของป้าย Omni directional ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 2.22



ภาพประกอบ 2.22 สแกนเนอร์แบบยึดติดฐาน [15]

2.4.3.3 แบบที่รู้ดบัตร ใช้สำหรับงานสมาชิก Time attendant ระบบความปลอดภัย โดยมีลักษณะดังแสดงในภาพประกอบ 2.23



ภาพประกอบ 2.23 แบบที่รู้ดบัตร [15]

2.4.3.4 แบบ PDA Mobile ปกติเครื่องอ่านบาร์โค้ดต้องผ่านคอมพิวเตอร์หากจะทำสแกนในบริเวณที่ไกลจากคอมพิวเตอร์ แต่ PDA Mobile มีคอมพิวเตอร์ในตัว สามารถส่งข้อมูลเข้าสู่ระบบได้ทันทีในแบบไร้สาย อีกทั้งสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อทำงานได้สูงขึ้น เช่น ยิงบาร์โค้ดเสร็จก็ถ่ายรูปสินค้าเก็บไว้ ปัจจุบันจะใช้ OS Windows CE, Windows mobile และ Android ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 2.24



ภาพประกอบ 2.24 แบบ PDA Mobile [15]

2.4.3.5 โทรศัพท์มือถือ โทรศัพท์มือถือในปัจจุบันมีการติดกล้องในตัวเพื่องาน Application ของการอ่านมาติตตั้งก็ใช้ได้แต่คุณภาพจะเหมาะกับการใช้งานแบบส่วนตัวหรือใช้เป็นครั้งคราว เพราะประสิทธิภาพและความคล่องตัวในการใช้งานจะไม่สู้อุปกรณ์ที่ทำการออกแบบมาโดยเฉพาะได้ [5] ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 2.25



ภาพประกอบ 2.25 โทรศัพท์มือถือ [15]

2.4.4 มาตรฐานคุณภาพการพิมพ์บาร์โค้ด

มาตรฐานคุณภาพการพิมพ์บาร์โค้ด ANSI, CEN และ ISO แสดงพารามิเตอร์หลายอย่างที่มีผลต่อคุณภาพของบาร์โค้ดที่พิมพ์ออกมาอย่างมาก ซึ่งการสะท้อนการสแกน คือการบันทึกค่าการสะท้อน (00% ถึง 100%) ที่วัดตามเส้นเดียวตลอดความกว้างทั้งหมดของบาร์โค้ด ดังภาพประกอบ 2.26 โดยแต่ละพารามิเตอร์จะผ่าน (Pass) หรือล้มเหลว (Fail) นั้นจะถูกประเมินเป็นเกรด (Grad) (A(4), B(3), C(2), D(1), F(0))



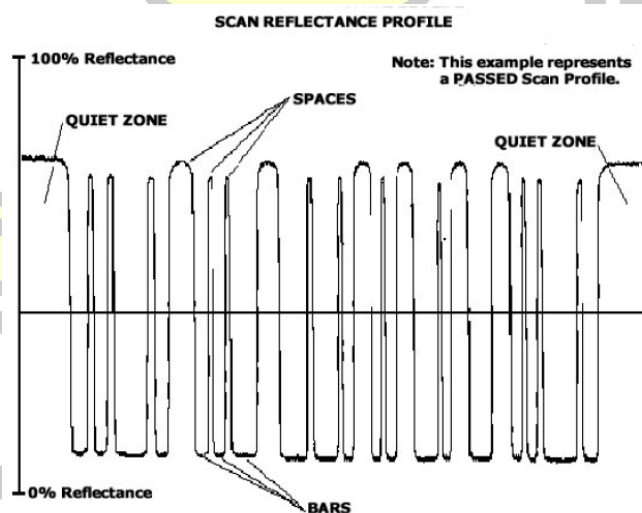
ภาพประกอบ 2.26 Scan line บาร์โค้ด [16]

ในการอ่านบาร์โค้ดมีการนับองค์ประกอบ (บาร์และช่องว่าง) โดยใช้การตรวจจับขอบ

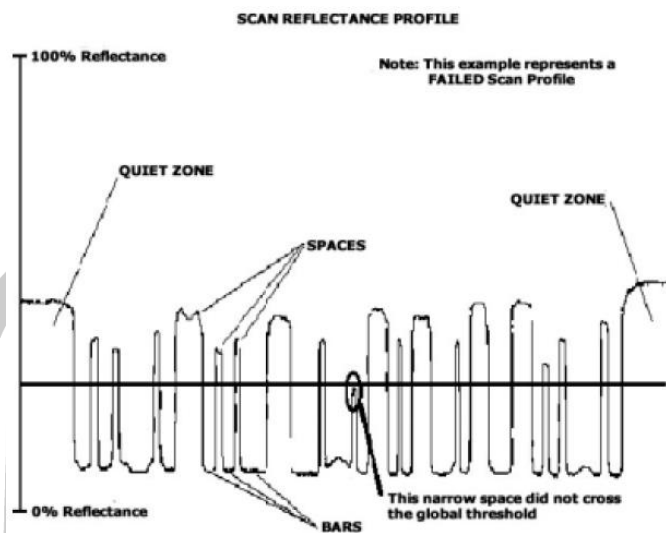
2.4.4.1 การกำหนดขอบ (Edge determination) (Pass/Fail) ลักษณะการสะท้อนการสแกนแบบผ่าน (Pass) แสดงดังภาพประกอบ 2.27 และการสะท้อนการสแกนแบบล้มเหลว (Fail) แสดงดังภาพประกอบ 2.28 โดยมีสูตรการคำนวณดังสมการ 2.1

$$GT = R_{\min} + SC/2 \quad (2.1)$$

โดยที่ GT คือ Global Threshold, $R_{\min}$ คือ การสะท้อนขั้นต่ำที่สุด และ SC คือ Symbol Contrast

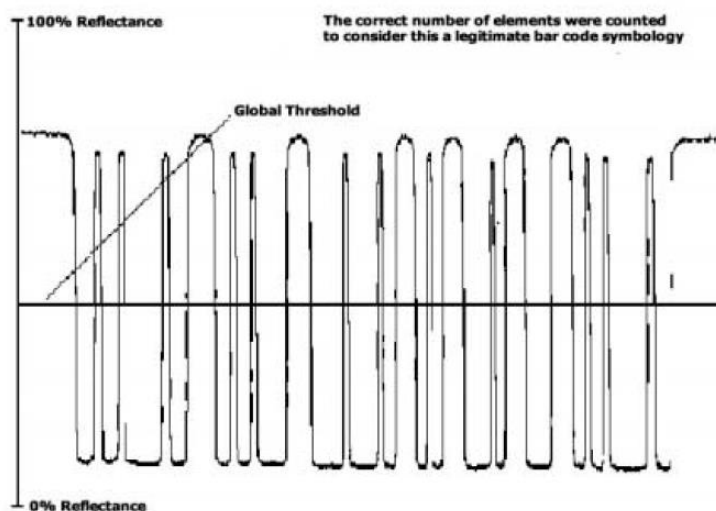


ภาพประกอบ 2.27 แสดงการสะท้อนการสแกนแบบผ่าน (Pass) [16]

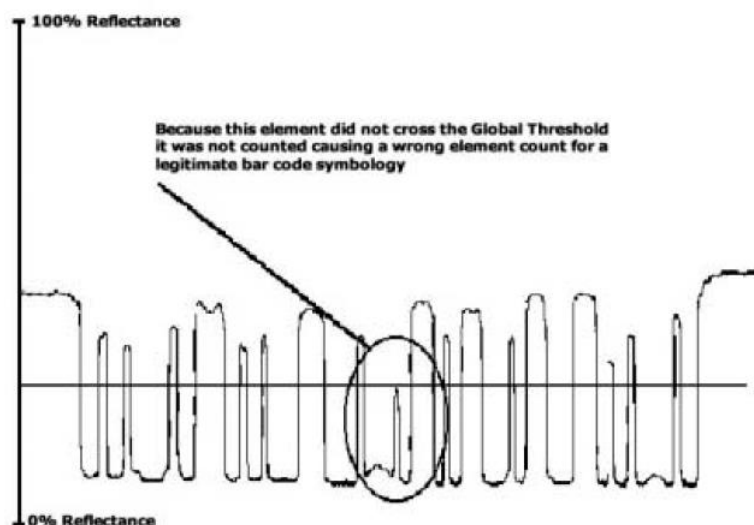


ภาพประกอบ 2.28 แสดงการสะท้อนการสแกนแบบล้มเหลว (Fail) [16]

การกำหนดขอบนั้นสามารถทำได้โดยการนับจำนวนการข้ามที่ Global Threshold เพื่อยืนยันว่าการนับนั้นสอดคล้องหรือถือเป็นการไม่สอดคล้องกับสัญลักษณ์บาร์โค้ดที่รู้จัก หากบาร์โค้ดเป็นไปตามนั้นจะผ่านหากพิจารณาว่าไม่สอดคล้อง ภาพประกอบ 2.29 แสดงการผ่านการหาค่า Edge และภาพประกอบ 2.30 แสดงความล้มเหลวในการกำหนดค่า Edge



ภาพประกอบ 2.29 แสดงการผ่านการหาค่า Edge [16]



ภาพประกอบ 2.30 แสดงความล้มเหลวในการกำหนดค่า Edge [16]

หลังจากบาร์โค้ดผ่านการกำหนดขอบแล้วมีพารามิเตอร์ 8 อย่างที่ต้องวิเคราะห์ ซึ่งการวิเคราะห์จะให้การประเมินเป็นเกรด (Grading) ตามมาตรฐาน (4 (A), 3 (B), 2 (C), 1 (D) หรือ 0 (F) โดยที่ 4 (A) ดีที่สุด และ 0 (F) เท่ากับ Fail พารามิเตอร์เหล่านี้โดยทั่วไปเปลี่ยนแบบวิธีการต่าง ๆ ที่เทคโนโลยีสแกนเนอร์ใช้ในการแปลงสัญญาณที่ได้รับ

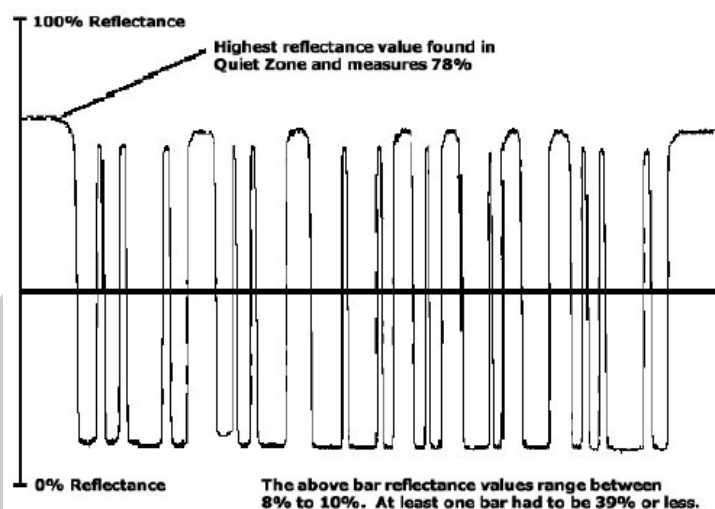
2.4.4.2 การสะท้อนแสงที่น้อยที่สุด (Minimum reflectance) (Pass/Fail) การสะท้อนแสงที่น้อยที่สุดมีสูตรการคำนวณหาตั้งสมการ (2.2-2.3)

$$R_{\min} \leq 0.5 R_{\max} = \text{Pass} \text{ ซึ่งเท่ากับเกรด A หรือ 4} \quad (2.2)$$

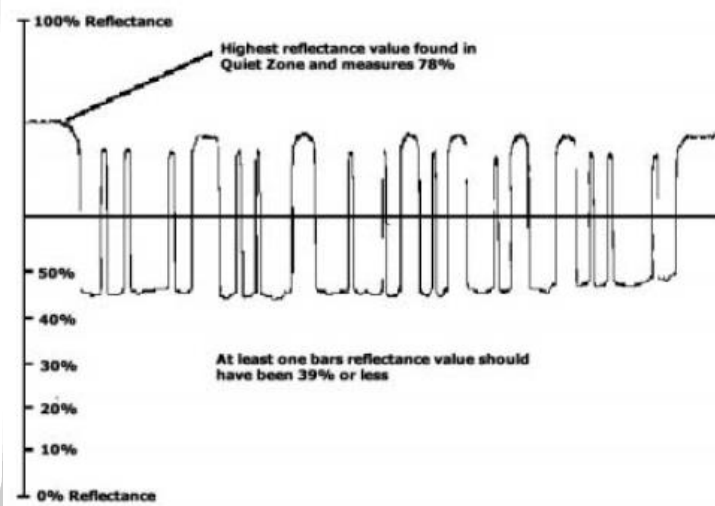
$$R_{\min} > 0.5 R_{\max} = \text{Fail} \text{ ซึ่งเท่ากับเกรด F หรือ 0} \quad (2.3)$$

โดยที่ $R_{\min}$ คือ การสะท้อนต่ำสุด (Reflectance minimum) $R_{\max}$ คือ การสะท้อนสูงสุด (Reflectance maximum)

ค่าการสะท้อนแสงสำหรับอย่างน้อย 1 แถบต้องเท่ากับหรือน้อยกว่าครึ่งของค่าการสะท้อนแสงสูงสุดสำหรับพื้นที่ หากค่าการสะท้อนพื้นที่สูงสุดมีค่าเท่ากับ 80% ค่าการสะท้อนอย่างน้อย 1 แถบจะต้องเป็นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 40% ตัวอย่างการทดสอบผ่านและไม่ผ่านแสดงในภาพประกอบ 2.31 และภาพประกอบ 2.32 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 2.31 Minimum reflectance (Pass) [16]



ภาพประกอบ 2.32 Minimum reflectance (Fail) [16]

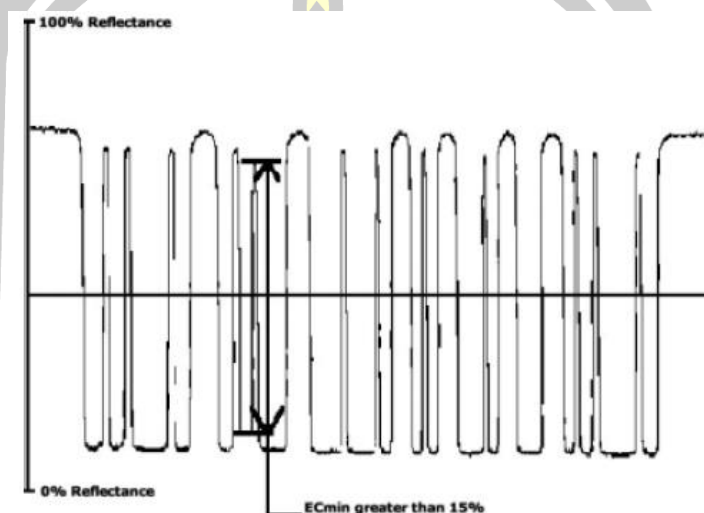
2.4.4.3 ความคมชัดของขอบที่เล็กที่สุด (Minimum edge contrast, EC_{min}) (Pass/Fail) ซึ่งการคำนวณแสดงดังสมการ (2.4)

$$EC_{min} = R_{s_{min}} - R_{b_{max}} \text{ (Worst pair)} \quad (2.4)$$

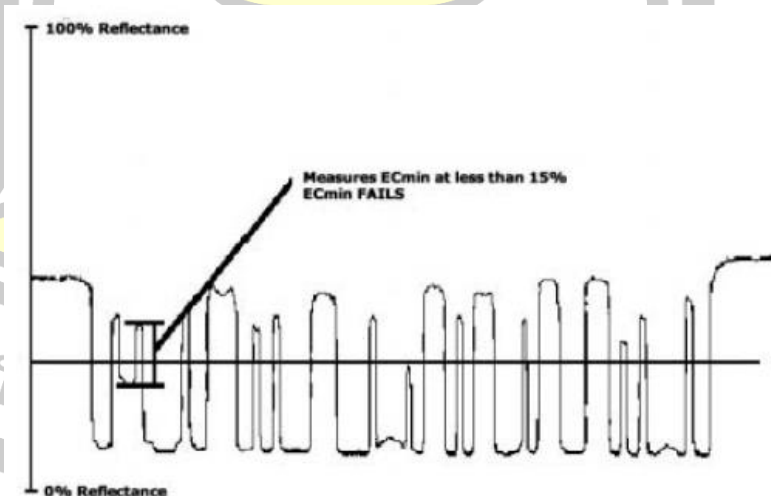
โดยที่ R_s คือ พื้นที่ว่างสะท้อนแสง (Space reflectance) และ R_b คือ แถบสะท้อนแสง (Bar reflectance)

ถ้า $EC_{min} \geq 15\%$ เท่ากับ Pass ซึ่งเท่ากับเกรด A หรือ 4 (ตัวอย่างแสดงดัง ภาพประกอบ 2.33)

ถ้า $EC_{min} < 15\%$ เท่ากับ Fail ซึ่งเท่ากับเกรด F หรือ 0 (ตัวอย่างแสดงดัง ภาพประกอบ 2.34)



ภาพประกอบ 2.33 Minimum edge contrast (Pass) [16]

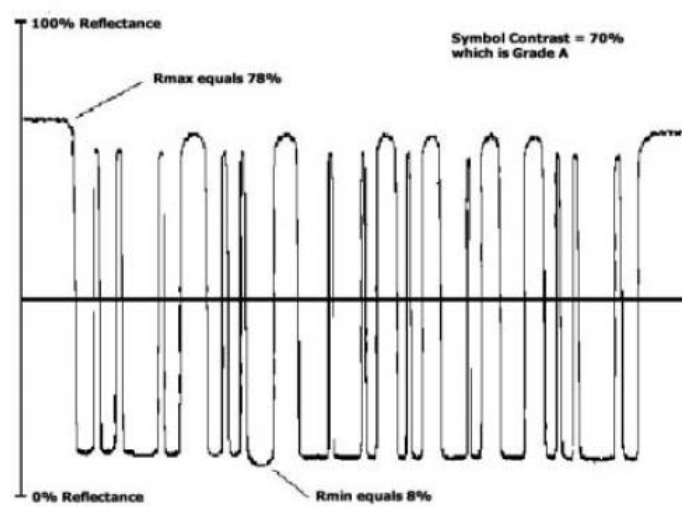


ภาพประกอบ 2.34 Minimum edge contrast (Fail) [16]

2.4.4.4 Symbol contrast, SC (Graded) เป็นความแตกต่างระหว่างค่าการสะท้อนสูงสุด ($R_{\max}$) และค่าการสะท้อนต่ำสุด ($R_{\min}$) ยิ่งค่าความแตกต่างสูงก็จะยิ่งได้เกรดดี โดยสามารถหาได้จากสมการ (2.5)

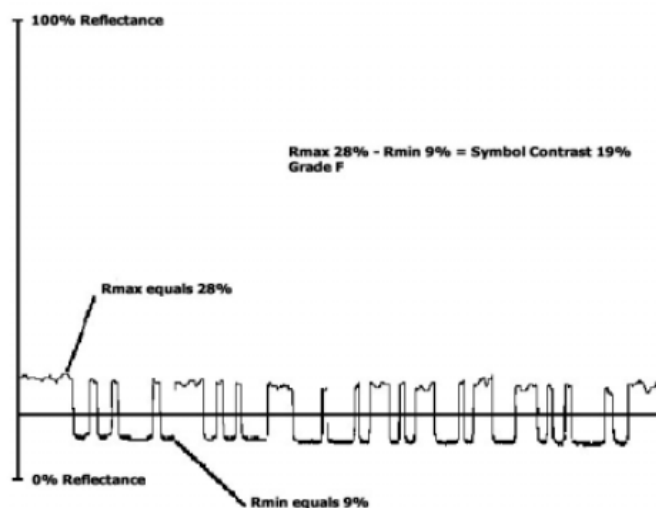
$$SC = R_{\max} - R_{\min} \quad (2.5)$$

โดยที่ $SC \geq 70\%$ จะเท่ากับเกรด A หรือ 4, $SC \geq 55\%$ จะเท่ากับเกรด B หรือ 3, $SC \geq 40\%$ จะเท่ากับเกรด C หรือ 2, $SC \geq 20\%$ จะเท่ากับเกรด D หรือ 1 และ $SC < 20\%$ จะเท่ากับเกรด F หรือ 0 (ตัวอย่างแสดงดังภาพประกอบ 2.35 และภาพประกอบ 2.36)



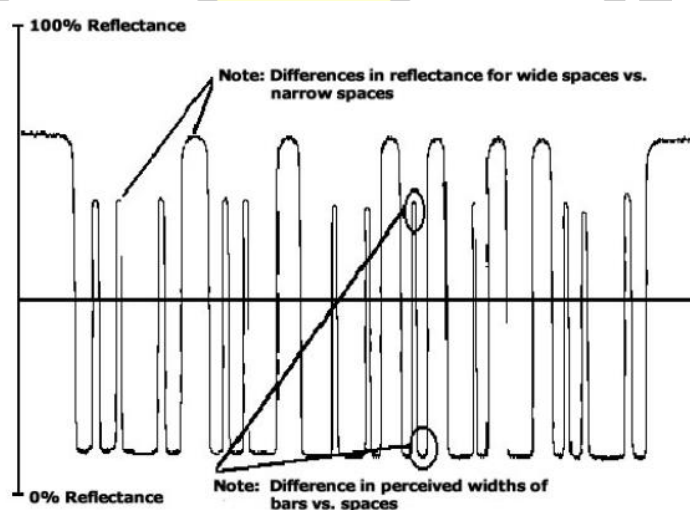
ภาพประกอบ 2.35 ตัวอย่างลักษณะเกรด A หรือ 4 ของ Symbol contrast [16]

พหุ ประ โท ชี เว

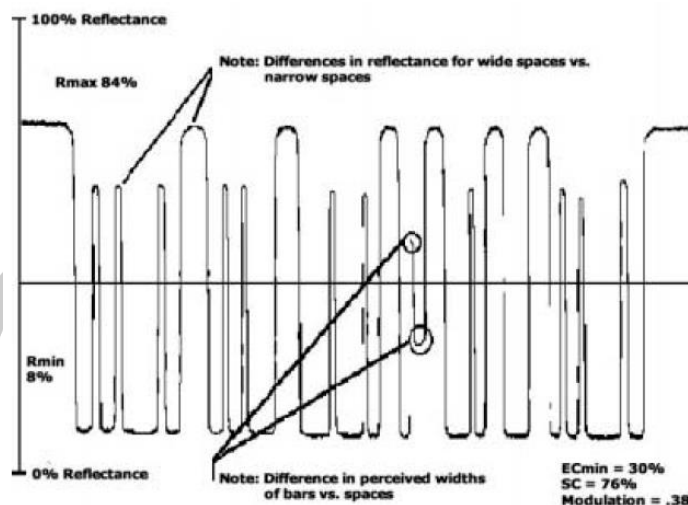


ภาพประกอบ 2.36 ตัวอย่างลักษณะเกรด F หรือ 0 ของ Symbol contrast [16]

2.4.4.5 Modulation, MOD (Graded) ตัววัดความสม่ำเสมอของการกระจายตัวของแสงสะท้อนในบริเวณแถบที่สว่างและมีด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างความคมชัดของขอบที่เล็กที่สุด (Edge contrast minimum, EC_{min}) และ Symbol contrast (SC) โดยที่ $MOD \geq 0.70$ จะเท่ากับเกรด A หรือ 4, ≥ 0.60 จะเท่ากับเกรด B หรือ 3, ≥ 0.50 จะเท่ากับเกรด C หรือ 2, ≥ 0.40 จะเท่ากับเกรด D หรือ 1 และ $MOD < 0.40$ จะเท่ากับเกรด F หรือ 0 (ตัวอย่างแสดงดังภาพประกอบ 2.37 และภาพประกอบ 2.38)

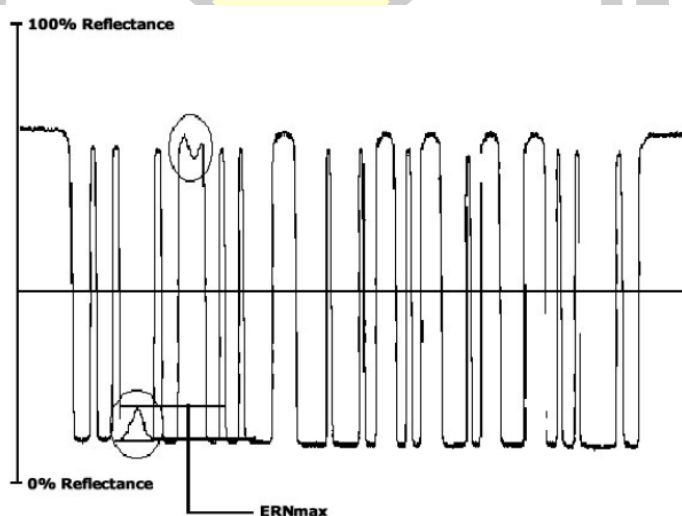


ภาพประกอบ 2.37 ตัวอย่าง Modulation ที่ได้เกรด A หรือ 4 [16]

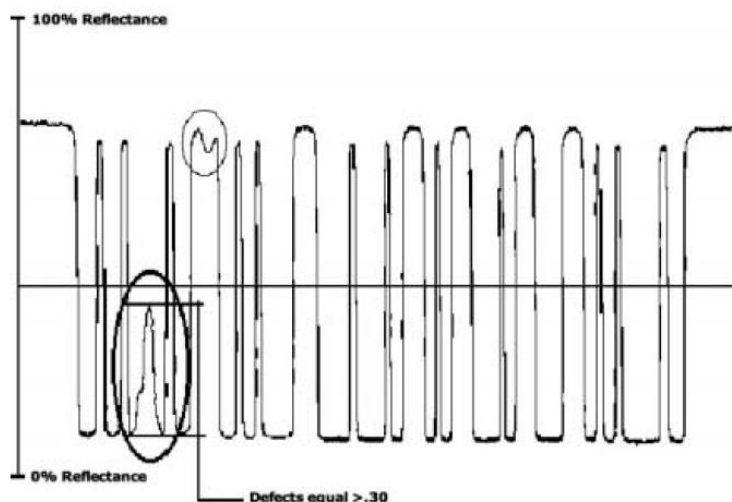


ภาพประกอบ 2.38 ตัวอย่าง Modulation ที่ได้เกรด F หรือ 0 [16]

2.4.4.6 Defects (Graded) เป็นความผิดปกติที่พบในการสะท้อนของบาร์หรือช่องว่าง ซึ่งสามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างการสะท้อนแสงขององค์ประกอบไม่สม่ำเสมอ (Element reflectance non-uniformity, ERN_{max}) และ Symbol contrast (SC) โดยที่ Defects ≤ 0.15 จะเท่ากับเกรด A หรือ 4, ≤ 0.20 จะเท่ากับเกรด B หรือ 3, ≤ 0.25 จะเท่ากับเกรด C หรือ 2, ≤ 0.30 จะเท่ากับเกรด D หรือ 1 และ < 0.30 จะเท่ากับเกรด F หรือ 0 (ตัวอย่างแสดงดังภาพประกอบ 2.39 และภาพประกอบ 2.40)



ภาพประกอบ 2.39 ตัวอย่าง Defects ที่ได้เกรด A หรือ 4 [16]



ภาพประกอบ 2.40 ตัวอย่าง Defects ที่ได้เกรด F หรือ 0 [16]

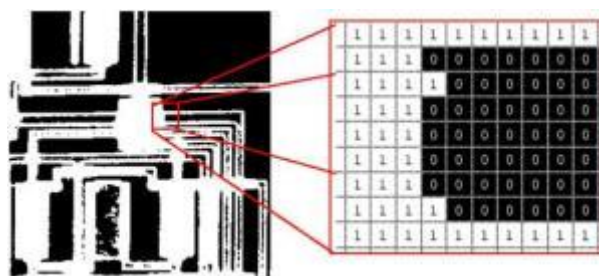
2.4.4.7 Decodability (Graded) เป็นความสามารถในการถอดรหัสบาร์โค้ด กล่าวคือ การวัดความแม่นยำของบาร์โค้ดที่พิมพ์ออกมากับอัลกอริทึมการถอดรหัสอ้างอิงที่เหมาะสม มีการเผยแพร่ความสัมพันธ์เชิงสถิติสำหรับความกว้างขององค์ประกอบและอัลกอริทึมการถอดรหัสบาร์โค้ด ให้ระยะขอบหรือความคลาดเคลื่อนสำหรับข้อผิดพลาดในกระบวนการพิมพ์และการอ่าน ความสามารถในการถอดรหัสวัดปริมาณของระยะขอบที่เหลือสำหรับกระบวนการอ่านหลังจากการพิมพ์บาร์โค้ดที่ทำการวัด การใช้อุปกรณ์อินพุตที่ไม่เหมาะสมในการตรวจสอบมีผลกระทบต่อความสามารถในการถอดรหัสเป็นอย่างมาก เมื่อตรวจสอบอาจทำให้ได้รับเกรดที่ต่ำกว่าเกรดจริง

2.4.4.8 Decode (Pass/Fail) เป็นการถอดรหัสบาร์โค้ด โดยบาร์โค้ดจะส่งผ่านการถอดรหัสเมื่อบาร์และพื้นที่ที่กำหนดไว้สามารถแปลงเป็นชุดอักขระที่ใช้ได้โดยใช้อัลกอริทึมการถอดรหัสอ้างอิงมาตรฐาน (AIM, ANSI, CEN, ISO)

2.4.4.9 Quiet zones เป็นพื้นที่ขอบทางด้านซ้ายและขวาของบาร์โค้ด พื้นที่บริเวณนี้จะต้องชัดเจน เพื่อให้สามารถอ่านบาร์โค้ดได้สำเร็จ [16]

2.5 ความรู้เกี่ยวกับการประมวลผลภาพดิจิทัล

การประมวลผลภาพดิจิทัล เกี่ยวข้องกับการแปลงข้อมูลรูปที่เป็นสัญญาณแอนะล็อกให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล เพื่อใช้ในการประมวลผลผ่านทางคอมพิวเตอร์ได้ และ ยังนำมาใช้ในการลดปัญหาของภาพเช่น ลดสัญญาณรบกวนภายในภาพ เป็นต้น



ภาพประกอบ 2.42 ภาพแบบ Binary หรือ ภาพขาว-ดำ [17]

2.5.2 Grayscale Image เป็นรูปที่เก็บโดยใช้รูปแบบของอาร์เรย์ 2 มิติ โดยค่าที่เก็บจะมีค่าอยู่ในช่วงๆหนึ่ง ซึ่งระดับของสีขึ้นอยู่กับขนาดของบิตที่ใช้เก็บค่าสี ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 2.43



ภาพประกอบ 2.43 ภาพแบบ Grayscale [17]

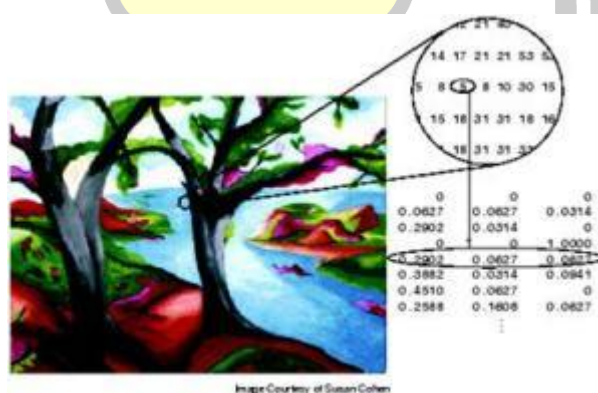
2.5.3 RGB Image หรือ True color image เป็นรูปที่เก็บโดยใช้อาร์เรย์ 3 มิติ ขนาด $m \times n \times 3$ โดยที่ m คือ ความยาว และ n คือ ความกว้างของภาพในหน่วยพิกเซล ส่วนมิติสุดท้ายนั้น ในแต่ละมิติจะเก็บค่าสีแยกกัน คือ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 2.44

พหุบัน ปณฺ ติโต ชเว



ภาพประกอบ 2.44 ภาพแบบ RGB [17]

2.5.4 Indexed image เป็นรูปที่มีรูปแบบการเก็บแบบ Indexed คือ ภาพประเภทนี้จะเก็บค่าสีเป็น Indexed และในแต่ละช่องอาร์เรย์ จะเก็บตำแหน่งของสีใน Indexed นั้นๆไว้ ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 2.45

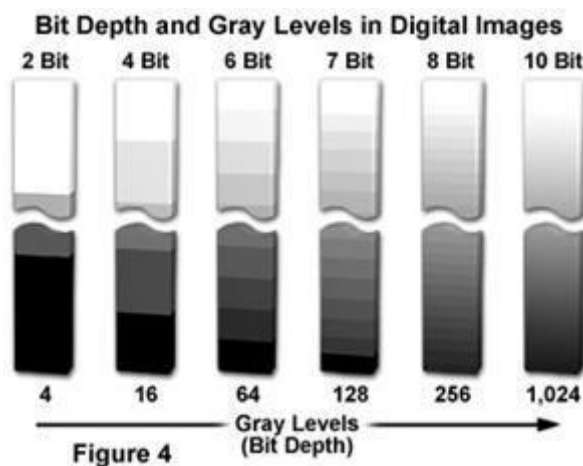


ภาพประกอบ 2.45 ภาพแบบ Indexed [17]

2.5.5 ระบบสี (Color model)

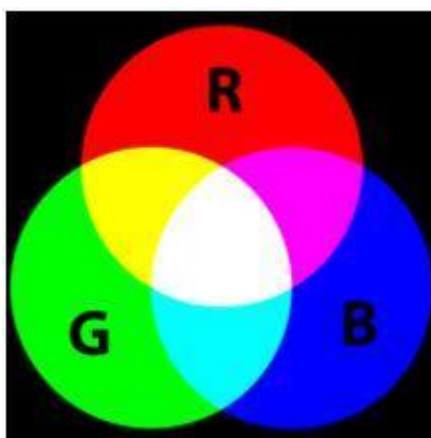
ระบบสี Grayscale เป็นช่วงของเฉดสีเทา ซึ่งแตกต่างกับภาพขาว-ดำ ที่มีเพียง 2 สี คือขาว กับดำ สีใน Grayscale นี้ แสดงถึงความเข้มของสี (Intensity) ในระดับต่างๆ โดยสีดำเป็น

ส่วนที่มีความเข้มของสีน้อย และสีขาวจะมีความเข้มของสีมาก จำนวนระดับของสีขึ้นอยู่กับขนาดของ บิตที่ใช้เก็บค่าสี โดยทั่วไปแล้วจะเก็บข้อมูลสีประเภทนี้ด้วยข้อมูลขนาด 8 บิต หรือ 1 ไบต์ ซึ่งจะทำให้ ความละเอียดของสีที่ 265 เกรดสี ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 2.46

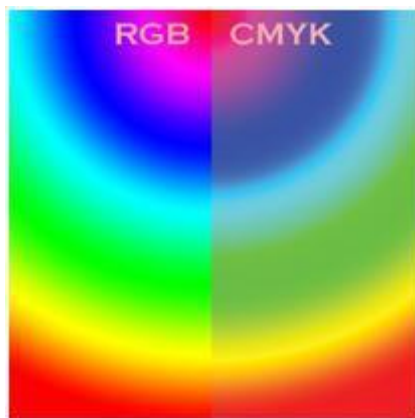


ภาพประกอบ 2.46 ระดับสีของ Grayscale ตามขนาดข้อมูลที่เก็บค่าสี [17]

ระบบสี RGB เป็นระบบสีที่ประกอบด้วยแม่สีหลักสามสี คือ แดง (Red) เขียว (Green) และน้ำเงิน (Blue) RGB (ตัวอย่างวงล้อสีแบบ RGB แสดงในภาพประกอบ 2.47) นั้นเป็น ระบบสีแสง และเป็นแบบ Additive คือ ถ้าไม่มีสีใดเลยจะมองเห็นเป็นสีดำ และในทางกลับกัน หากมี ครบทุกสีจะมองเป็นสีขาว จะต่างกับระบบสีแบบ Subtractive หรือระบบสีแบบ CMYK ที่เป็นสีที่เกิดจากการสะท้อน หรือเรียกกันทั่วไปว่าสีวัตถุ ตัวอย่างความแตกต่างดังแสดงในภาพประกอบ 2.48

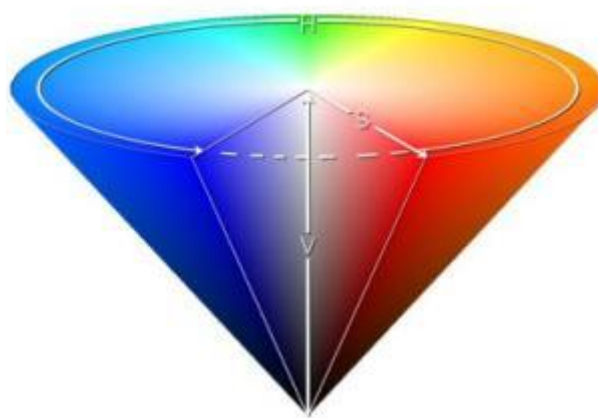


ภาพประกอบ 2.47 วงล้อสีแบบ RGB [17]

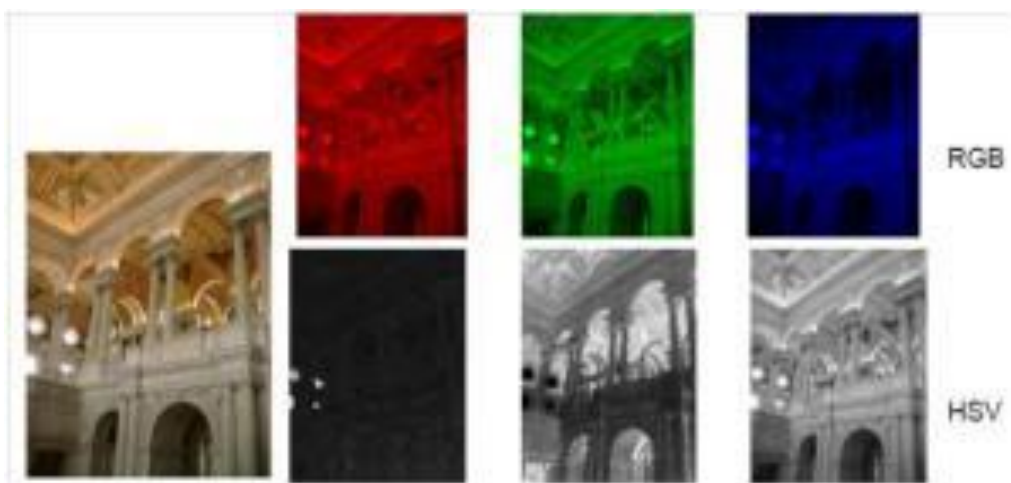


ภาพประกอบ 2.48 ความแตกต่างของสีแสง (RGB) และสีวัตถุ (CMYK) [17]

ระบบสี HSV (Hue, Saturation, Value) หรือ HSB (Hue, Saturation, Brightness) เป็นระบบสีที่นิยมใช้กันในหมึกแต่งภาพ (ภาพประกอบ 2.49 แสดงโมเดลสี HSV ในรูปแบบโคน (Cone)) เนื่องจากเป็นระบบสีที่ใกล้เคียงกับความคิดของมนุษย์ได้ดีกว่าระบบสี RGB โดย Hue คือ สีของภาพ, Saturation คือ ปริมาณความอิ่มตัวของสี ยิ่งมีค่านี้มาก ภาพจะมีสีสดยิ่งมีน้อย ภาพจะยังมีสีน้อยลง จนในที่สุดจะกลายเป็นรูปที่ลักษณะแบบ Grayscale และ Value หรือ Brightness เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณความสว่างของภาพ หากมีค่ามากภาพจะยิ่งมีความสว่างมากดังแสดงในภาพประกอบ 2.50 [17]



ภาพประกอบ 2.49 โมเดลสี HSV ในรูปแบบโคน (Cone) [17]



ภาพประกอบ 2.50 รูปที่เก็บในแต่ละ Channel ในระบบสี RGB และ HSV [17]

2.6 การประมวลผลภาพคอมพิวเตอร์กราฟิก

ภาพที่เก็บอยู่ในคอมพิวเตอร์นั้น จะมีการประมวลผลภาพอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ การประมวลผลแบบ Raster หรือ Bitmap และการประมวลผลแบบ Vector

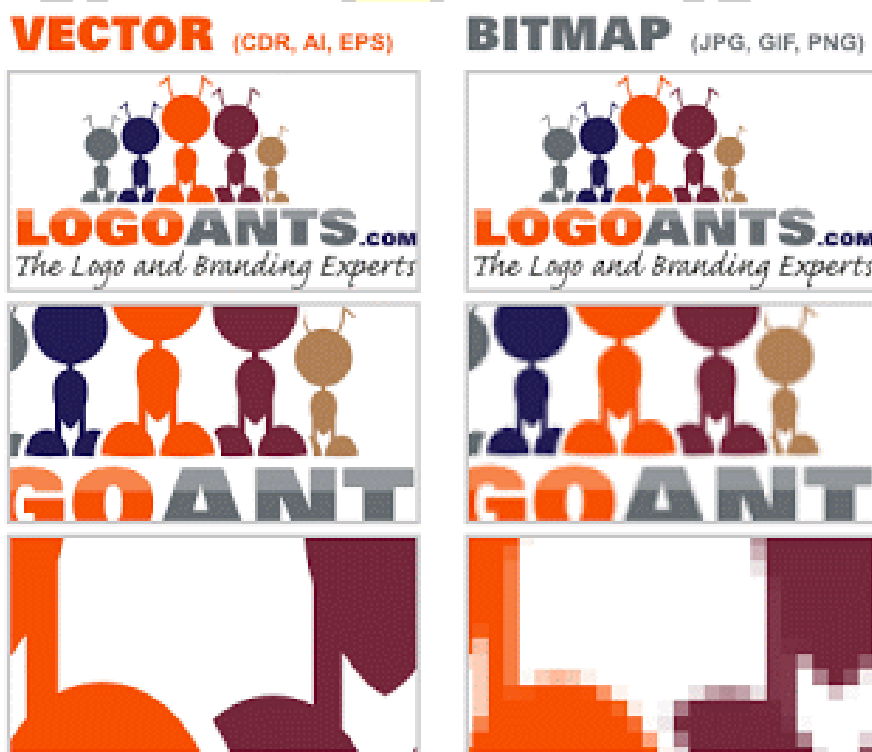
2.6.1 การประมวลผลแบบ Raster หรือ แบบมิตแมป (Bitmap) หรือเรียกว่า เป็นภาพแบบ Resolution dependent โดยหลักการทำงาน คือ จะเป็นการประมวลผลแบบอาศัยการอ่านค่าสีในแต่ละพิกเซล ซึ่งมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Bitmap ซึ่งจะเก็บค่าของข้อมูลเป็นค่า 0 และ 1 และในแต่ละพิกเซลจะมีการเก็บค่าสีที่เจาะจงในแต่ละตำแหน่ง ลักษณะสำคัญของภาพประเภทนี้ คือ จะประกอบขึ้นด้วยจุดสีต่างๆที่มีจำนวนคงที่ตายตัว ตามการสร้างภาพที่มีความละเอียดแตกต่างกันไป ภาพแบบบิตแมปนี้ มีข้อดี คือ เหมาะสำหรับภาพที่ต้องการระบายสี สร้างสี หรือกำหนดสีที่ต้องละเอียดและสวยงามได้ง่าย ข้อจำกัดคือ เมื่อมีพิกเซลจำนวนคงที่ นำภาพมาขยายให้ใหญ่ขึ้น ความละเอียดก็จะลดลง มองเห็นภาพเป็นแบบจุด และถ้าเพิ่มความละเอียดให้แก่ภาพ จะทำให้ไฟล์มีขนาดใหญ่ และเปลืองเนื้อที่หน่วยความจำมาก เป็นต้น

ไฟล์ของรูปภาพที่เกิดจากการประมวลผลแบบ Raster คือ ไฟล์พวกที่มี นามสกุล เป็น .BMP , .PCX, .TIF, .JPG, .GIF, .MSP, .PNG, .PCT โดยโปรแกรมที่ใช้จัดการกับภาพประเภทนี้ คือ โปรแกรมประเภทระบายภาพ (Painting Program) เช่น Photoscape, Paintbrush, Photoshop, Photostyler เป็นต้น

2.6.2 การประมวลผลแบบ Vector ภาพแบบเวกเตอร์ หรือ Object-oriented graphics หรือ เรียกว่า เป็นรูปภาพ Resolution-independent เป็นภาพที่มีลักษณะของการสร้าง

จากคอมพิวเตอร์ที่มีการสร้างให้แต่ละส่วนของภาพเป็นอิสระต่อกัน โดยแยกชิ้นส่วนของภาพทั้งหมดออกเป็นเส้นตรง รูปทรง หรือส่วนโค้ง โดยอ้างอิงตามความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ หรืออาศัยการคำนวณทางคณิตศาสตร์ โดยมีสีและตำแหน่งของสีที่แน่นอน ฉะนั้นไม่ว่าจะมีการเคลื่อนย้าย หรือย่อขยายขนาดของภาพ ก็จะไม่เสียรูปทรง และความละเอียดของภาพจะไม่ลดลง จึงทำให้ภาพยังคงชัดเจนเหมือนเดิม แม้ขนาดของภาพจะมีขนาดใหญ่ขึ้นหรือเล็กลงก็ตาม แต่มีข้อเสียที่ไม่สามารถใช้เอฟเฟกต์ในการปรับแต่งภาพได้เหมือนกับภาพแบบ Raster ตัวอย่างการเปรียบเทียบของการประมวลผลแบบ Vector และการประมวลผลแบบ Bitmap แสดงในภาพประกอบ 2.51

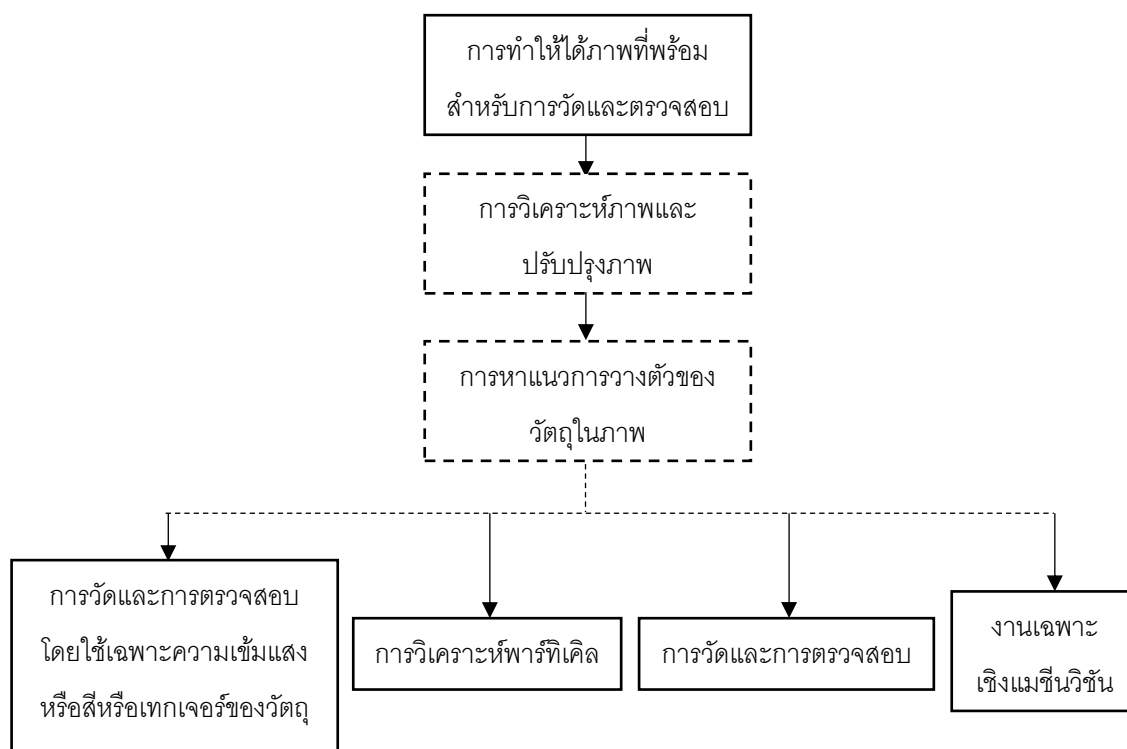
การประมวลผลภาพแบบ Vector ได้แก่ภาพที่มีนามสกุล .AI, .DRW, .CDR, .EPS, .PS ซึ่งโปรแกรมที่ใช้ในการวาดภาพ เช่น Illustrator, CorelDraw และ ภาพ .WMF ซึ่งเป็นภาพคลิปอาร์ตในโปรแกรม Microsoft word และภาพ .DWG ในโปรแกรมการออกแบบ AutoCAD เป็นต้น [18]



ภาพประกอบ 2.51 ตัวอย่างการเปรียบเทียบของการประมวลผลแบบ Vector และการประมวลผลแบบ Bitmap [18]

2.7 แมชชีนวิชัน (Machine vision)

Machine vision เป็นวิธีการที่ทำให้อุปกรณ์ประมวลผลต่างๆ เช่น คอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ประมวลสัญญาณดิจิทัล (Digital signal processor, DSP) มีความสามารถในการรับรู้ภาพ ซึ่งรวมทั้งการทำให้อุปกรณ์ประมวลผลเหล่านั้น สามารถตัดสินใจและสั่งงานกลไกส่วนต่างๆ ได้จากข้อมูลที่ได้จากภาพหรือกลุ่มของภาพนั้นๆ จุดมุ่งหมายสูงสุดของ Machine vision คือ ทำให้เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ประมวลผลต่างๆ [1] ตัวอย่างภาพประกอบ 2.52 แสดงไดอะแกรมขั้นตอนทั่วไปในการประมวลผลของระบบแมชชีนวิชัน



ภาพประกอบ 2.52 ตัวอย่างไดอะแกรมแสดงขั้นตอนทั่วไปในการประมวลผลของระบบแมชชีนวิชัน

[19]

ระบบแมชชีนวิชัน (Machine vision) เป็นระบบที่นิยมใช้งานในภาคอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากสามารถนำระบบนี้มาใช้แทนการตรวจสอบสินค้าด้วยสายตาคน ซึ่งสายตาคคนมีข้อจำกัดในเรื่องความเร็วและความถูกต้อง ดังนั้นแมชชีนวิชันจึงเป็นเครื่องมือควบคุมคุณภาพที่มีความน่าเชื่อถือและคุ้มค่าต่อการลงทุนของภาคอุตสาหกรรม ซึ่งความสามารถของระบบแมชชีนวิชันจะมีประโยชน์กับการทำงานเพื่อตรวจสอบวัตถุหรือสิ่งของที่เราสงสัย ซึ่งทำได้หลายวิธี ได้แก่ การวัดมิติของชิ้นงาน วัดค่าสี ค่าความสว่าง ตรวจสอบชิ้นส่วนว่ามีหรือไม่มี นับจำนวน หาตำแหน่ง ความ

เสียงของชิ้นส่วน อ่านบาร์โค้ด อ่านตัวอักษร และการทำงานร่วมกับกล้องจริง และส่งการผ่านฮาร์ดแวร์ให้สร้างสัญญาณ Pass หรือ Fail วัตถุทดลองแต่ละชิ้น

2.7.1 ส่วนประกอบของระบบแมชชีนวิชั่น

2.7.1.1 แสงสว่าง (Lighting) เป็นสิ่งจำเป็นที่ทำให้กล้องสามารถเห็นสิ่งที่ต้องการเห็นอย่างชัดเจน ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้หลอด LED เพราะแสงจะมีความเสถียรและไม่กระพริบ ซึ่งจะทำให้ซอฟต์แวร์สามารถประมวลผลได้ถูกต้องและแม่นยำขึ้น โดยในแต่ละงานเทคนิคในการใช้แสงจะแตกต่างกันออกไปตามลักษณะงาน เช่น สีของแสง (Color) รูปร่างของแสง (Shape) เป็นต้น อีกทั้งลักษณะการฉายแสงก็มีผลต่อการมองเห็นวัตถุ ได้แก่ Font Light, Back Light, Dome Light, Angle Light เป็นต้น

2.7.1.2 เลนส์ (Lens) มีผลต่อความละเอียดของภาพที่ถ่าย เนื่องจากเลนส์แต่ละอันจะมีค่าที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถแบ่งได้คือ

1. เลนส์แบบค่า Focal length คงที่ เช่น 8mm., 12mm., 16mm., 25mm., 35mm., 50mm. เป็นต้น
2. เลนส์แบบปรับค่า Focal length ได้ เช่น เลนส์ซูม ต่างๆ เป็นต้น

2.7.1.3 กล้อง (Camera) นิยมใช้กล้องแบบดิจิทัล ซึ่งการใช้งานกับระบบแมชชีนวิชั่นจะใช้กับการถ่ายภาพแบบพื้นที่ (Area scan) เป็นหลัก โดยกล้องจะมีการเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์หลายแบบให้เลือกใช้ [2] ซึ่งในปัจจุบันการเชื่อมต่อของกล้องในตลาดที่นิยมใช้ในภาคอุตสาหกรรม ได้แก่ GigE (Gigabit ethernet), Camera link, Firewire, USB2.0 และ USB3.0 โดยแต่ละการเชื่อมต่อเหล่านี้มีข้อดี ข้อเสียและสถานการณ์การใช้งานในอุดมคติที่แตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น GigE ทำงานได้ดีกับสายเคเบิลยาวในขณะที่ Camera link เป็นตัวเลือกที่ดีเมื่อต้องการแบนด์วิดท์ปริมาณมาก

Firewire และ USB2.0 เป็นเทคโนโลยีเก่าที่มีข้อจำกัดทางเทคนิคที่สำคัญ เนื่องจากจำนวนของส่วนประกอบที่เข้ากันได้กับเทคโนโลยีเริ่มลดน้อยลง ซึ่ง USB2.0 นั้นได้ผ่านการใช้ USB3.0 แล้ว อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้งานขึ้นอยู่กับความต้องการของแอปพลิเคชัน โดยทั่วไปสามารถเลือกระหว่าง Camera link, GigE หรือ USB3.0 เพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ดีที่สุดในการส่งข้อมูลภาพอย่างรวดเร็ว ปลอดภัยและเชื่อถือได้จากกล้องสู่คอมพิวเตอร์

USB3.0 รวมคุณสมบัติที่เป็นบวกของการเชื่อมต่อแบบต่างๆ โดยให้แบนด์วิดท์ปริมาณมากเพื่อปิดช่องว่างระหว่าง GigE และ Camera link นอกเหนือจากนี้ยังมีความเข้ากันได้

แบบพลาตฟอร์มนด์เพลย์โพลด์ CPU ต่ำและมาตรฐานอุตสาหกรรม USB3 Vision ที่เชื่อถือได้ USB3.0 ให้การถ่ายโอนข้อมูลที่เชื่อถือได้สูงระหว่างโฮสต์และอุปกรณ์และหน่วยความจำในตัว (บัฟเฟอร์) เพื่อความเร็วสูงสุดในการใช้งานอุตสาหกรรม แต่ USB3.0 เป็นการเชื่อมต่อที่ค่อนข้างใหม่และยังไม่ได้เจาะตลาดวิชันซิลิคอนที่ลึกเท่ากับตลาดผู้บริโภค GigE Vision จึงยังเป็นหนึ่งในการเชื่อมต่อที่สำคัญและมีความน่าเชื่อถือสูงสุดสำหรับเทคโนโลยีการมองเห็น สำหรับการประมวลผลภาพในภาคอุตสาหกรรม โดยผ่านมาตรฐาน GigE Vision ซึ่งใช้อย่างเป็นทางการในกลางปี 2549 จุดเด่นของกล้อง GigE คืออัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูล (100 MB/S) ความยาวสูงสุดของสายเคเบิลยาวได้สูงสุดถึง 100 ม. มีการเชื่อมต่อมาตรฐานสำหรับฮาร์ดแวร์หรือคอมพิวเตอร์เกือบทุกชนิด โครงสร้างพื้นฐานง่ายสำหรับการใช้งานกับกล้องหลายตัว ตัวเลือกของโซลูชันหนึ่งสายสามารถจ่ายไฟให้กับกล้องผ่านสายเคเบิลข้อมูล (PoE-Power over ethernet) GigE Vision เป็นมาตรฐานระดับสูง และสามารถใช้ประโยชน์จากโครงสร้างพื้นฐาน Ethernet ที่มีอยู่รวมเข้ากับแอปพลิเคชันประมวลผลภาพ (ไลบรารี) ได้อย่างง่ายดาย ปัจจัยเหล่านี้ทำให้ Gigabit ethernet เป็นการเชื่อมต่อดิจิทัลที่สามารถนำไปใช้ได้ในระบบสากล [20]

2.7.1.4 Frame grabber คือ การ์ดที่ออกแบบมาเพื่อรองรับการเชื่อมต่อกับกล้อง โดยเฉพาะ โดยมีทั้งสำหรับกล้อง Camera link, USB3 และ GigE เป็นต้น

2.7.1.5 การ์ดรับข้อมูลเข้าและข้อมูลออก (I/O card) จะเป็นการใช้งานการ์ด DAQ หรือการ์ดสำหรับสื่อสารกับอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งในการใช้งานจริง อาจต้องมีการอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ (Sensor) รวมถึงการส่งงานรีเลย์หรือมอเตอร์ตามผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลภาพ [2]

2.7.1.6 ซอฟต์แวร์ (Software) ได้แก่ NI Vision ซึ่งเป็นไลบรารีด้านแมชชีนวิชันของบริษัท National Instruments ไลบรารีหนึ่งที่มีความนิยมใช้งานกันอย่างแพร่หลาย โดย NI Vision เป็นไลบรารีที่ใช้สร้างซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพที่มีจุดเด่น คือ ใช้งานง่าย มีเครื่องมือหลากหลายที่ช่วยให้การใช้งานโลจิกง่ายขึ้น และความสามารถในการใช้งานร่วมกับ LabVIEW™ โดยตรง ซึ่งทำให้สามารถติดต่อใช้งานกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ของ National Instruments (NI) ได้อย่างกลมกลืน นอกจากนี้ NI Vision เป็นไลบรารีด้านแมชชีนวิชันโดยตรง NI Vision จึงมีฟังก์ชันที่เอื้ออำนวยต่อการสร้างระบบแมชชีนวิชัน เช่น ฟังก์ชันการติดต่อกับอุปกรณ์รับภาพมาตรฐานของระบบแมชชีนวิชันได้หลากหลายชนิด หลายตัวพร้อมกันและหลายรูปแบบอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ NI Vision ยังเป็นไลบรารีที่สามารถใช้ร่วมกับภาษาโปรแกรมได้หลายภาษา เช่น LabVIEW, C, C++, C#.NET และ Visual Basic.NET อีกด้วย

ผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ด้านระบบวิชันของ National Instruments ประกอบด้วย

1) ชุดซอฟต์แวร์ไตรเวอร์ Vision acquisition software (VAS) สำหรับติดต่อกับระบบกล้องและการดักจับภาพ ซึ่งประกอบด้วยไตรเวอร์ NI-IMAQ สำหรับติดต่อกับการ์ดเชื่อมต่อกล้องมาตรฐานและ NI-IMAQ I/O สำหรับติดต่อกับระบบวิชันกะทัดรัด (Compact vision system) หรือติดต่อกับการ์ดเชื่อมต่อ IEEE 1394 ที่สามารถปรับตั้งอินพุตเอาต์พุตได้

2) ชุดซอฟต์แวร์ Vision development module (VDM) ซึ่งประกอบด้วยไลบรารี NI Vision และ NI Vision assistant ซึ่งเป็นเครื่องมืออินเตอร์แอ็กทีฟในการใช้งานฟังก์ชันในไลบรารีรวมทั้งสร้างระเบียบวิธีต้นแบบด้านแมชชีนวิชัน

3) Vision builder for automated inspection (VBAI) ซึ่งเป็นเครื่องมืออินเตอร์แอ็กทีฟในการสร้างระบบอัตโนมัติสำหรับการประยุกต์ใช้งานแมชชีนวิชัน โดยใช้ฟังก์ชันในไลบรารี NI Vision [2]

2.8 การถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิตอล

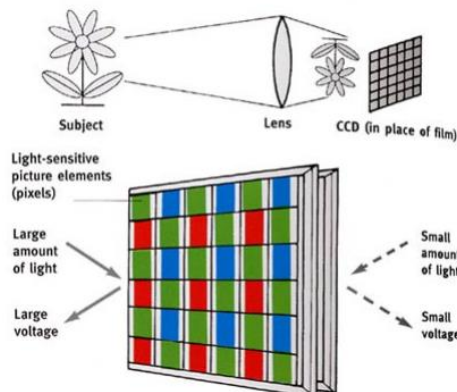
กล้องดิจิตอลมีส่วนประกอบหลักๆ คือ เลนส์ และตัวรับภาพ ซึ่งเลนส์ของกล้องดิจิตอลทำหน้าที่เป็นตาของกล้อง ทำด้วยแก้วเลนส์ มีรูรับแสงปรับขนาดใหญ่เล็กได้เพื่อควบคุมปริมาณของแสงมีตัวรับภาพเรียกว่า Image sensor

2.8.1 ตัวรับภาพ (Image sensor)

ตัวรับภาพของกล้องดิจิตอลที่นิยมใช้กันทั่วไปคือ CCD (Charge coupled device) บน element หรือ พิกเซลจำนวนมากเป็นแสนๆ ล้านๆ พิกเซลที่วางเรียงกันอยู่อย่างเป็นระเบียบบนชิพ CCD เพื่อทำหน้าที่รับแสง โดยที่ความละเอียดของภาพจะขึ้นอยู่กับจำนวนของพิกเซลบนภาพ กล่าวคือ จำนวนพิกเซลที่มากจะสามารถถ่ายทอดรายละเอียดของภาพได้มากกว่าจำนวนพิกเซลที่น้อย ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 2.53

พูน ปณ จิต ชีเว

CHARGE COUPLED DEVICE (CCD)



ภาพประกอบ 2.53 ตัวรับภาพ CCD [21]

เมื่อขยายได้ระดับหนึ่งจะสามารถเห็นตารางพิกเซลแสดงสีต่างๆ เรียงกันอยู่อย่างเป็นระเบียบ (ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 2.54) การเรียงต่อกันมีลักษณะเป็นแบบแผนตามแนวที่กำหนด ภาพประเภทนี้จึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ภาพบิตแมป (Bit map image)



ภาพประกอบ 2.54 ภาพถ่ายดิจิทัลแบบปกติและภาพที่ถูกขยาย [21]

2.8.2 ความละเอียดในการบันทึก (Image resolution)

กล้องดิจิทัลจะบอกค่า Resolution หรือค่าความละเอียดสูงสุดที่กล้องสามารถบันทึกได้เป็นหน่วยของพิกเซล เช่น 640×480 พิกเซล หรือ 1280×960 พิกเซล บางครั้งเรียกเป็นหน่วยรวมเช่น 1 ล้านพิกเซล หรือ 2 ล้านพิกเซล เป็นต้น ซึ่งค่าความละเอียดที่บอกเป็นหน่วยรวมดังกล่าวคือการเรียกตามผลคูณของพิกเซลในแนวตั้งคูณกับแนวนอน (1280×960 เท่ากับ 1,228,800 พิกเซล) กล้องส่วนมากจะบอกค่า Resolution มากกว่าหนึ่งค่า ซึ่งจะเรียงจากค่าที่มากที่สุดไปหาค่าน้อยที่สุด ค่ามากที่สุดที่ระบุไว้คือ ค่าความละเอียดสูงสุดที่กล้องนั้นๆสามารถบันทึกได้ ส่วนค่าที่

น้อยลงมาเกิดจากการ Down sampling ของหน่วยประมวลผลภาพเพื่อให้ข้อมูลภาบน้อยลง เนื่องจากข้อมูลที่มีมากเกิดความจำเป็นในการใช้งานจะทำให้สิ้นเปลืองพื้นที่หน่วยเก็บข้อมูลและเสียเวลาในการประมวลผล อย่างไรก็ตามกล้องที่มีความละเอียดสูง เมื่อมีการ Down sampling ก็ยังจะเก็บข้อมูลได้ละเอียดกว่า เพราะมีข้อมูลที่จะนำมาคำนวณมากกว่ากล้องที่มีค่าความละเอียดต่ำ เช่น กล้องระดับ 2 ล้านพิกเซล จะสามารถบันทึกภาพที่ Resolution 640 x 480 ได้คมชัดกว่ากล้องในระดับ 1 ล้านพิกเซล หรือต่ำกว่าที่บันทึกภาพด้วย Resolution เดียวกัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับระบบการทำงานของกล้องประเภทนั้นๆ ด้วย ตัวอย่างการ Down sampling แสดงในภาพประกอบ 2.55 [21]



ภาพประกอบ 2.55 การ Down sampling จะไม่ทำให้ภาพสูญเสียความคมชัด แต่จะให้ประโยชน์ในด้านขนาดไฟล์ภาพ [21]

2.9 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.9.1 คอนทราสต์ (Contrast)

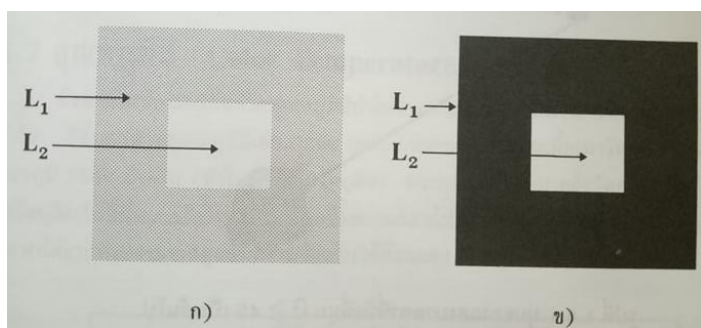
คอนทราสต์ หมายถึง ความส่องสว่างของวัตถุที่ต้องการมอเทียบกับความส่องสว่างรอบข้างคอนทราสต์มากก็มองเห็นวัตถุได้ง่ายขึ้น ตัวอย่างเช่น วัตถุสีขาวบนพื้นสีดำจะมองเห็นได้ง่ายกว่าวัตถุสีดำบนพื้นสีดำ คอนทราสต์มากทำให้เห็นวัตถุได้ง่าย ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 2.56

คอนทราสต์กำหนดได้ด้วยอัตราส่วนของความแตกต่างของลูมินนซ์ระหว่างวัตถุ และลูมินนซ์สภาพแวดล้อมดังสมการ (2.6)

$$\text{คอนทราสต์} = (L_2 - L_1) / L_1 \quad (2.6)$$

L_1 คือ ลูมินนซ์ของสภาพแวดล้อม

L_2 คือ ลูมินนซ์ของวัตถุ



ภาพประกอบ 2.56 ลูมิแนนซ์ของวัตถุเมื่อเทียบกับสภาพแวดล้อม [22]

ก) ลูมิแนนซ์ของวัตถุและสภาพรอบข้างใกล้เคียงทำให้มองเห็นได้ยาก

ข) ลูมิแนนซ์ของวัตถุและสภาพรอบข้างต่างกันทำให้เห็นวัตถุได้ง่าย [22]

2.9.2 การแปลงภาพระดับเทา (Grayscale Image) ดังแสดงข้อมูลเบื้องต้นในข้อ 2.5.2

เพื่อลดปริมาณข้อมูลในการประมวลผล ขั้นตอนแรกคือการปรับภาพจากภาพสีจริง (True Color) ให้เหลือเพียงภาพที่มีระดับสีเพียง 8 ระดับ ตั้งแต่ขาวจนถึงดำ นำค่าสี RGB มาเข้าสู่สมการ (2.7) เพื่อคำนวณหาค่าสีเทา และนำค่าที่ได้ไปแทนที่จุดเดิมของภาพ

$$G' = 0.3R + 0.59G + 0.11B \quad (2.7)$$

เมื่อ G' หมายถึงค่าระดับสีเทา ส่วน RGB คือค่าระดับของสี แดง เขียว และน้ำเงิน ตามลำดับ [23]

2.9.3 การหาขอบภาพ (Edge detection)

การหาขอบภาพ (Edge detection) เป็นการหาเส้นรอบวัตถุที่อยู่ในภาพ ซึ่งขอบภาพเกิดจากความแตกต่างของความเข้มแสงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง หากมีความต่างมากขอบภาพก็จะเห็นชัดขึ้น การหาขอบภาพมีอยู่หลายวิธี ยกตัวอย่าง เช่น วิธีแบบพรีวิท ไวเบล แคนนี่ โดยมีหลักการดังต่อไปนี้

2.9.3.1 วิธีการหาขอบภาพแบบพรีวิท (Prewitt edge detection) เป็นวิธีการหาขอบภาพโดยใช้เทคนิคเมตริกฟิลเตอร์ขนาด 3×3 แบบสองฟิลเตอร์โดยฟิลเตอร์แรกจะหาค่าความแตกต่างในแนวแกน X และฟิลเตอร์ที่สองจะหาค่าความแตกต่างในแนวแกน Y ดังสมการ (2.8 – 2.9)

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

$$G_y = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

2.9.3.2 วิธีการหาขอบภาพแบบโซเบล (Sobel edge detection) เป็นการหาขอบภาพที่เหมือนกับการหาขอบภาพแบบพรีวิท แต่ค่าในฟิลเตอร์ของโซเบลจะมีค่าที่แตกต่างกับวิธีการหาขอบภาพแบบพรีวิท แสดงดังสมการที่ (2.10 – 2.11)

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

$$G_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

2.9.3.3 วิธีการหาขอบภาพแบบแคนนี่ (Canny edge detection) เป็นวิธีการหาขอบภาพที่สามารถจำกัดสิ่งรบกวน โดยใช้ฟิลเตอร์แบบเกาสเซียน (Gaussian filter) ภาพที่กรองได้แสดงความสัมพันธ์ ดังสมการ (2.12)

$$F_{i,j} = I(i,j) * G(i,j;\sigma) \quad (2.12)$$

โดยที่ $F_{i,j}$ คือ ภาพหลังการกรอง

$I(i,j)$ คือภาพที่ต้องการหาขอบ

$G(i,j;\sigma)$ คือ ฟิลเตอร์เกาสเซียน

σ คือ ค่าการเบี่ยงเบน

โดยมีสมการที่ (2.13 – 2.14) เป็นสมการจัดสัญญาณรบกวน ซึ่งแสดงดังนี้

$$G_x = \{ P_{i,j+1} - P_{i,j} + P_{i+1,j+1} - P_{i+1,j} \} / 2 \quad (2.13)$$

$$G_y = \{ P_{i,j} - P_{i+1,j} + P_{i+1,j+1} - P_{i,j+1} \} / 2 \quad (2.14)$$

เมื่อ G_x คือ ค่าความแตกต่างแกนแนวนอน

G_y คือ ค่าความแตกต่างแกนแนวตั้ง

$P_{i,j}$ คือ ค่าความเข้มแสงของจุดภาพ

การหาขนาดและทิศทางของวิธีการหาขอบภาพแบบพรีวิท โซเบล และแคนนี่ แสดงดังสมการ (2.15 - 2.16)

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (2.15)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{G_x}{G_y} \right) \quad (2.16)$$

โดย G คือ ขนาดของเวกเตอร์ และ θ คือ ทิศทางของเวกเตอร์ [24], [25]

2.9.4 ทฤษฎีการหาความผิดพลาด

2.9.4.1 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic mean) คือค่าของผลรวมของค่าสังเกตของข้อมูลทั้งหมด หารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด เรียกสั้นๆ ว่าค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยเลขคณิตเหมาะสำหรับนำมาเป็นค่ากลางของข้อมูลเมื่อข้อมูลนั้นไม่มีค่าใดค่าหนึ่งสูงหรือต่ำผิดปกติ [41] โดยมีสูตรค่าเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่าง (Sample mean) ที่ตามสมการ (2.17)

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2.17)$$

โดยที่ n คือ จำนวนตัวอย่างทั้งหมด

x_i คือ ข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง

2.9.4.2 การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน โดยให้ α เป็นค่าจริง (Exact value) ที่ได้จากวิธีเชิงวิเคราะห์ ถ้าประมาณค่าจริง α ด้วย β เรียกผลต่างระหว่างค่าจริงและค่าประมาณว่า ค่าคลาดเคลื่อน (Error) ดังสมการ 2.18

$$\text{Error} = \alpha - \beta \quad (2.18)$$

ขนาดหรือค่าสัมบูรณ์ของค่าความคลาดเคลื่อนจะเรียกว่า ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Absolute error) ดังสมการ 2.19

$$\text{Absolute error} = |\alpha - \beta| \quad (2.19)$$

โดยเรียกสัดส่วนระหว่างค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ต่อขนาดของค่าจริงว่า ค่าคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative error) ดังสมการ 2.20

$$\text{Relative error} = \frac{|\alpha - \beta|}{|\alpha|} \quad (2.20)$$

ค่าคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ บ่งชี้ถึงความแม่นยำ (Accuracy) ในการประมาณเมื่อเทียบกับขนาดของค่าจริง ดังนั้นหากต้องการเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนหรือค่าความแม่นยำของจำนวนที่มีขนาดแตกต่างกันจึงมักใช้ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ ซึ่งในบทความนี้ผู้วิจัยได้แสดงการวิเคราะห์

ข้อมูลด้วยค่าความแม่นยำ เนื่องจากเป็นปริมาณที่บ่งชี้ว่าค่าประมาณใกล้เคียงกับค่าจริงมากเพียงใด [42]

2.10 กฎหมายที่เกี่ยวข้อง

2.10.1 ความเข้มแสงสว่าง (Illuminance) สามารถอ้างอิงได้จากกฎกระทรวง กำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549 โดยมีมาตรฐานดังแสดงในตาราง 2.1 ตาราง 2.2 และตาราง 2.3 ตามลำดับ

ตาราง 2.1 มาตรฐานค่าความเข้มแสงสว่าง [26]

ประเภท	ประเภทของพื้นที่	ค่าความเข้มแสงสว่าง มากกว่า (Lux)
พื้นที่ทั่วไปของอาคาร	ทางเข้าห้องโถง หรือห้องพักรอ	200
	ทางเดินในพื้นที่สัญจรหนาแน่น	50
	บันได	50
	พื้นที่ทั่วไป	300
	ห้องคอมพิวเตอร์	400
	ห้องประชุม	300
	ห้องสุขา	100
โรงน้ำตา	พื้นที่ทั่วไป	200
โรงพิมพ์	ห้องเครื่องจักร	400
	บริเวณกระบวนการผลิตทั่วไป	400
	บริเวณกระบวนการผลิตทั่วไป	200
โรงงานผลิตเหล็ก	บริเวณบ่อชุบและเตาอบ	100
	บริเวณกระบวนการนำเหล็กเข้าอบ	200
	บริเวณการรีดเย็น รีดร้อน	300
โรงงานเครื่องปั้นดินเผา	บริเวณกระบวนการบด การคัดแยก และ ห้องเผา	200

ตาราง 2.1 มาตรฐานค่าความเข้มแสงสว่าง (ต่อ) [26]

ประเภท	ประเภทของพื้นที่	ค่าความเข้มแสงสว่าง มากกว่า (Lux)
	บริเวณกระบวนการป้อนชิ้นรูป การอัด การ ทำความสะอาดและการตกแต่ง	300

ตาราง 2.2 เปรียบเทียบความเข้มแสงสว่างในอาคารตามมาตรฐาน CIE, IES, BS (International Standard) [26]

พื้นที่ต่างๆ	CIE	IES	BS
ห้องประชุม	300-500-750	200-300-500	750W
ห้องเขียนแบบ	500-750-1000	500-750-1000	750W
ห้องทำงานทั่วไป	300-500-750	200-300-500	500W
ห้องคอมพิวเตอร์	300-500-750	200-300-500	500W
ห้องสมุด	300-500-750	200-300-500	500W
ร้านค้าในอาคารพาณิชย์	500-750	500-750-1000	500W
เคานเตอร์	200-300-500	200-300-500	200W
ห้องเก็บของ	100-150-200	100-150-200	150S
ห้องล็อบบี้หรือบริเวณต้อนรับ	100-150-200	100-150-200	150S
ห้องน้ำ	100-150-200	100-150-200	150S
ทางเดิน	50-100-150	100-150-200	100S
บันได	100-150-200	100-150-200	150F
ลิฟท์	100-150-200	100-150-200	150F

ตาราง 2.3 เปรียบเทียบความเข้มแสงสว่างในโรงงานตามมาตรฐาน CIE, IES, BS (International Standard) [26]

พื้นที่ต่างๆ	CIE	IES	BS
งานทั่วไป	150-200-300	200-300-500	200
งานหยาบ	200-300-500	500-750-1000	300
งานละเอียดปานกลาง	300-500-750	1000-1500-2000	500
งานละเอียด	500-750-1000	2000-3000-5000	750

ตาราง 2.3 เปรียบเทียบความเข้มแสงสว่างในโรงงานตามมาตรฐาน CIE, IES, BS (International Standard) (ต่อ) [26]

พื้นที่ต่างๆ	CIE	IES	BS
งานละเอียดมาก	1000-1500-2000	5000-7500-10000	1000

หมายเหตุ มาตรฐานของ BS ตัวเลข คือ ค่าความเข้มแสงสว่าง ตัวหนังสือ คือ ตำแหน่งของความเข้มแสงสว่าง (W = Working Plane , S = Switch , F = Floor) [12]

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นางสาวจิตติมา วระกุล [3] เสนองานเกี่ยวกับการพัฒนาเครื่องตรวจสอบเชิงมองเห็นแบบอัตโนมัติสำหรับกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยการสร้างกลไกการจับยึดฮาร์ดดิสก์และใช้ซอฟต์แวร์ NI Vision builder automated inspection ในการประมวลผลภาพ ซึ่งเป็นการนำเสนอเทคโนโลยีที่ใช้กับการมองเห็นของเครื่องจักร 3 วิธี คือ การตรวจจับขอบ (Edge detection) การจับคู่รูปแบบ (Pattern matching) และการเปรียบเทียบต้นแบบ (Golden template comparison) นอกจากนี้ยังได้นำเทคโนโลยีการวิเคราะห์ภาพที่มีการเข้ารหัส (2 Dimensional Barcode) มาใช้ในการประมวลผลภาพ ซึ่งเป็นการตรวจสอบด้านที่ยากที่สุดของฮาร์ดดิสก์ที่เป็นส่วนของฉลากกำกับของฮาร์ดดิสก์ พบว่าสามารถประมวลผลได้ในเวลาจำกัด

Abahan Sarkar [4] และคณะได้นำเสนอการตรวจสอบความผิดพลาดในถุงบรรจุบุหรี่ โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพในแพลตฟอร์มของ LabVIEW โดยทำการทดลองทั้งแบบออนไลน์และแบบออฟไลน์ เพื่อนับจำนวนบุหรี่ในแพ็คเกจแบบเปิดและตรวจสอบข้อบกพร่องของบาร์โค้ดในการทดสอบ 55 ชุด พบว่าสามารถตรวจสอบตรวจนับจำนวนบุหรี่และบาร์โค้ดได้แต่ยังมีข้อบกพร่องอยู่ในบางส่วน

Ajay Pal Singh Chauhan และ Sharat Chandra Bhardwaj [5] ได้กล่าวถึงการตรวจหาข้อบกพร่องของ PCB เปล่าโดยวิธีการลบภาพโดยใช้ Machine vision ซึ่งสามารถตรวจจับพื้นที่ที่ชำรุดได้ ที่สำคัญคือการตรวจจับข้อบกพร่องบนแผงวงจรพิมพ์ ข้อบกพร่องโดยทั่วไปที่สามารถตรวจพบได้คือการแกะสลัก (เปิด) หลุมอื่นๆและข้อบกพร่องของ PCB จะถูกดึงออกมาในแง่ของพารามิเตอร์ต่างๆ

Ayan Chaki และคณะ [27] กล่าวถึงการศึกษาเปรียบเทียบด้านฮาร์ดแวร์ของ Machine vision โดยเฉพาะในเซ็นเซอร์กล้องสองตัว ได้แก่ อุปกรณ์ชาร์จแบบคู่ขนาด (CCD) และซีเอ็มคอนดัก

เตอร์ Complementary metal-oxide (CMOS) และเทคโนโลยีแสงที่ใช้และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งจากการศึกษาเห็นได้ชัดว่าในระหว่างกล้อง Machine vision CCD ยังคงมีส่วนแบ่งมากกว่า (CMOS) (ร้อยละ 63) แต่อาจมีการเปลี่ยนแปลงในอนาคตอันใกล้จากแนวโน้มของ CMOS ที่ทำให้ส่วนแบ่งการตลาดของ CCDs ลดลงเพราะการเลือกขึ้นอยู่กับชนิดของแอปพลิเคชันและสภาพแวดล้อมเป้าหมาย ในส่วนของชนิดหลอดไฟที่เลือกใช้จะเห็นได้ชัดว่าหลอดไฟ LED เป็นแหล่งที่ต้องการมากที่สุดเนื่องจากอายุการใช้งานยาวนานขึ้นและต้นทุนที่ต่ำลง

I.Zafar และคณะ [6] อธิบายถึงระบบการตรวจจับและถอดรหัสแบบสองมิติ (2D) ที่ปกคลุมด้วยแผ่นโพลีเอทิลีน ซึ่งทำให้เกิดการสะท้อนบนภาพที่ถ่ายแล้ว พวกเขาได้ทำการออกแบบการติดตั้งของฮาร์ดแวร์แบบออปติคัลที่รวมเข้าด้วยวิสัยทัศน์ของเครื่องและอัลกอริธึมเพื่อตอบสนองการสะท้อนและการส่องสว่างได้อย่างสมบูรณ์ โดยใช้ซอฟต์แวร์ Cognex VisionPro ในการวิเคราะห์ผล ซึ่งการทดลองในสภาพแวดล้อมอุตสาหกรรมของฮาร์ดแวร์และอัลกอริธึมประมวลผลภาพแบบไม่จำกัดจำนวนเพื่อตรวจจับและถอดรหัสสัญลักษณ์บาร์โค้ด 2D ในแบบเรียลไทม์สามารถอ่านบาร์โค้ดภายใต้การหมุน เปลี่ยนแปลงของความส่องสว่าง การบิดเบือน การเบลอ และการสะท้อนของภาพ โดยพบว่า ระบบมีความถูกต้องประมาณ 98%

Mehrube Mehrubeoglu และคณะ [28] ได้เสนอวิธีการติดตามตาแบบเรียลไทม์โดยใช้กล้องสมาร์ต LabVIEW (NI Vision) และเครื่องมือซอฟต์แวร์วิช่วไลเซชันเพื่อสร้างการตรวจจับตาและอัลกอริธึมการติดตาม โดยจะทดลองภายใต้เงื่อนไขของมุมที่ต่างกันของใบหน้า ความเร็วของการเคลื่อนที่ของหัวและการปิดบังของตาโดยการใส่แว่น ซึ่งพวกเขาพบว่า ความแม่นยำในการติดตามดวงตาจะลดลงเมื่ออัตราเฟรมที่เพิ่มขึ้น

Ninghui Wang [7] ได้นำเสนอวิธีใหม่ในการวัดความเข้มข้นของฝุ่นแบบเรียลไทม์ โดยใช้ Vision builder automated inspection (VBAI) เป็นซอฟต์แวร์ในการประมวลผลภาพ ซึ่งเป็นวิธีการวัดแบบใหม่ที่ไม่มีการสัมผัสที่ใช้ในระบบควบคุมเตาอาร์คพลาสมาที่มีอุณหภูมิสูง โดยผลที่ได้จากการคำนวณความเข้มข้นของฝุ่นของภาพถ่ายจากสถานที่ถลุงจริงพบว่าวิธีการใหม่นี้เป็นไปได้และมีประสิทธิภาพ

N.J. Hepworth และคณะ [29] ได้กล่าวถึงการประยุกต์ใช้ Computer Vision เพื่อหาการกระจายขนาดฟองในเบียร์ โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับอัตราการไหลของเบียร์ที่หลากหลาย เทคนิคนี้ได้รับการออกแบบมาให้ง่ายต่อการใช้งานและพกพาได้สะดวก เทคนิคนี้ช่วยในการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางและความเร็วของฟองเบียร์ ข้อมูลจากการทดลองได้รับการวิเคราะห์เพื่อทำนายอัตราการเกิด การเจริญเติบโตและการเคลื่อนที่ของฟองเบียร์ในสภาวะการทดลองที่หลากหลาย

Orazio Gallo และคณะ [30] ได้นำเสนออัลกอริทึมใหม่สำหรับการถอดรหัสบาร์โค้ด (การแปลและการอ่าน) ที่สามารถจัดการกับภาพที่เบลอและสิ่งที่ทำให้ภาพมีความละเอียดต่ำ พวกเขา

แสดงการอ่านรหัสบาร์โค้ด 1D ด้วยโทรศัพท์มือถือโดยใช้แทมเพลตที่เสียรูปแบบหรือไม่เป็นรูปเป็นร่างโดยแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีขึ้นในส่วนของการซอฟต์แวร์และอัลกอริทึมที่ทันสมัยที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับภาพที่ท้าทายที่สุด

Patrick M. Mehla. และคณะ [31] ได้พัฒนาเทคนิคการถ่ายภาพแบบ Hyperspectral สำหรับการตรวจหาข้อบกพร่องและการปนเปื้อนของผิวแอปเปิ้ล เพื่อรองรับการค้นหาระบบตรวจจับที่รวดเร็วขึ้นโดยอาศัยเทคนิคการถ่ายภาพหลายรูปแบบทำให้สามารถวิเคราะห์สเปกตรัมและภาพได้ดี และมีความละเอียดที่สูงขึ้นที่จะส่งผลให้การประมวลผลภาพมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

Razali Tomari และคณะ [8] ได้เสนอขั้นตอนการนับและการจำแนกเม็ดเลือดแดง (RBC) โดยอัตโนมัติด้วยเครื่องมือการตรวจสอบอัตโนมัติของ National Instrument (NI) Vision Builder Automated Inspection (AI) เพื่อเร่งการใช้เวลาในการวิเคราะห์ RBC และลดศักยภาพของ RBC ที่ระบุอย่างไม่ต้อง เนื่องจากความวินิจฉัยโรคเม็ดเลือดแดงเป็นขั้นตอนที่สำคัญมากในการตรวจหาโรคที่เกี่ยวข้องกับเลือดเช่น โรคมาลาเรียและโรคโลหิตจางก่อนที่จะดำเนินการรักษาที่เหมาะสม วิธีการแบบเดิมดำเนินการโดยนักอายุรเวชด้วยการนับและจัดกลุ่มเซลล์ที่มองด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง กระบวนการดังกล่าวเป็นเรื่องที่ซับซ้อนและจำเป็นต้องใช้ทักษะอย่างสูงและมีประสิทธิภาพด้านพยาธิวิทยาในการวิเคราะห์รูปร่างของเซลล์เม็ดเลือดแดง โดยระบบการนับและจำแนก RBC โดยอัตโนมัตินี้จะเริ่มต้นจากภาพของ RBC ซึ่งต้องผ่านขั้นตอนการประมวลผลภาพก่อน จากนั้นจะดำเนินการต่อด้วยการนับ RBC โดยใช้พื้นที่อนุภาคและวิธีการคำนวณฟังก์ชันตัวเลข A และได้แสดงให้เห็นว่าการใช้พื้นที่ของอนุภาคฟังก์ชันแต่ละ RBC เดียวสามารถระบุได้ แต่สำหรับ RBC ที่ซ้อนทับกันต้องมีวิธีการเพิ่มเติมเพื่อให้สามารถระบุ ซึ่งวิธีการที่เสนอได้รับการทดสอบในภาพเซลล์เม็ดเลือดและพบว่า ผลการจำแนก RBC วิธีการเสนอโดยรวมมีความถูกต้องเฉลี่ย 86.076% ความแม่นยำเฉลี่ยโดยเฉลี่ย 64.820% และ 63.881% ของการเรียกคืนเฉลี่ย ซึ่งหมายความว่า ส่วนใหญ่ของคลาสข้อบกพร่องถูกระบุอย่างถูกต้องโดยมีอัตราความผิดพลาดที่ยอมรับได้ ในความเป็นจริงการจัดหมวดหมู่จะมุ่งเน้นเฉพาะการระบุ RBC ปกติและที่ผิดปกติจะถูกระบุตามฟังก์ชันการลบ ดังนั้นจำนวนของ RBC ที่ผิดปกติขึ้นอยู่กับความถูกต้องของการตรวจ RBC แบบปกติ ถ้าช่วงสูงสุดของปัจจัยการวนเวียนของ Heywood เปลี่ยนแปลงจาก 1,026 เป็น 1,030 RBC ปกติบางประเภทจะสามารถจำแนกได้ แต่จำนวนของความผิดปกติที่ผิดปกติตามปกติจะสูงขึ้น

R. Diaz และคณะ [9] ได้เสนอการเปรียบเทียบ 3 อัลกอริทึม คือ Mahalanobis algorithm, PLS discriminant และ Neural network ในการจำแนกประเภทของมะกอกโดยใช้ Computer vision เป็นการจำแนกประเภทมะกอกในสี่ประเภทที่มีคุณภาพ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า Neural network สามารถจำแนกประเภทมะกอกได้อย่างถูกต้องกว่า 90% และ Mahalanobis สามารถจำแนกประเภทมะกอกได้ถูกต้องมากกว่า 70%

Abahan Sarkar และคณะ [32] นำเสนอเทคนิคสำหรับการระบุป้ายฉลากที่พิมพ์ลงบนสินค้าอุปโภคบริโภคที่กำลังเคลื่อนไหวด้วยความเร็ว โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพบนแพลตฟอร์ม LabVIEW ซึ่งจะใช้กล้องสมาร์ต 1744 จับภาพบนแพ็คเกจของบุหรี (FMCG) ที่เคลื่อนที่บนสายพานการลำเลียงและประมวลผล โดยไม่รบกวนสายการผลิตที่มีความเร็วสูง ทั้งนี้เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ข้างต้น โดยได้ทำการทดสอบบนกล่องบรรจุบุหรี 150 ชุด ซึ่งเป็นของแบรนด์ที่แตกต่างกันห้าแบรนด์ ผลการทดลองพบว่า มีความถูกต้อง 95.45%

WEI-CHIEN WANG และคณะ [33] ได้พัฒนาระบบตรวจสอบด้วยแสงอัตโนมัติ (AOI) บนพื้นฐานของวิชันซิสเต็มเพื่อตรวจสอบบนแผงวงจรพิมพ์ (PCB) ซึ่งได้ทำการรวมฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ในส่วนของฮาร์ดแวร์ได้รวมคอมพิวเตอร์ ระบบกำหนดตำแหน่งแบบสามแกน อุปกรณ์ให้แสงสว่างและกล้องพร้อมอุปกรณ์ที่ชาร์จ ในส่วนของซอฟต์แวร์ใช้การลงทะเบียนภาพ การแบ่งส่วนภาพ การกำหนดหมายเลขการเจาะ ความคมชัดการเจาะ และการแสดงข้อบกพร่องเพื่อให้ได้ระบบนี้ โดยสามารถประเมินคุณลักษณะหลายประการ อาทิเช่น หลุมที่หายไป หลุมที่อยู่ไม่ถูกต้องตามตำแหน่ง และหลุมที่มากเกินไปเทียบเท่ากันผลลัพธ์ ซึ่งสามารถแสดงเป็นแผนภูมิแท่งและพล็อตเป้าหมาย จอแสดงผลช่วยให้ผู้ใช้สามารถวิเคราะห์สาเหตุของข้อผิดพลาดและแก้ไขปัญหาได้ทันที นอกจากนี้ระบบ AOI นี้มีประโยชน์สำหรับการตรวจสอบหลุมจำนวนมากและค้นหาข้อบกพร่องบน PCB โดยใช้ความละเอียดภาพ 0.1 มม. และตั้งมาตรฐานการตรวจจับตามเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มม. ของวงกลมเพื่อให้สามารถวิเคราะห์คุณภาพของรูได้ภายใน 10 วินาที

Ming Chang และคณะ [34] พัฒนาแพลตฟอร์มการตรวจสอบด้วยแสงที่รวมการประมวลผลภาพแบบขนานกับโมดูล opto-mechanical ความละเอียดสูงได้สำหรับการตรวจสอบข้อบกพร่องของกระจกหน้าจอสัมผัส ซึ่งจะทำการถ่ายภาพในที่มืดโดยใช้กล้อง CCD 12288 พิกเซลที่มีความละเอียด 3.5 μm ต่อพิกเซลและอัตราสาย 12 kHz คุณสมบัติที่สำคัญของพื้นผิวแก้วถูกวิเคราะห์โดยการประมวลผลภาพคู่ขนานบนแพลตฟอร์ม CPU และ GPU แบบรวม การตรวจสอบข้อบกพร่องของกระจกหน้าจอสัมผัสซึ่งให้ข้อมูลภาพ 386 ล้านพิกเซลต่อตัวอย่าง โดยจะเสร็จสมบูรณ์ในเวลาประมาณ 5 วินาที หลังจากการตรวจสอบพบว่า อัตราการตรวจจับรอยขีดข่วนบนพื้นผิวสูงบนกระจกหน้าจอสัมผัสที่สามารถตรวจจับได้โดยมีขนาดข้อบกพร่องขั้นต่ำประมาณ 10 μm และการใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบกำหนดเองช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการกระจายบนพื้นผิวอย่างมีนัยสำคัญดังนั้นจึงช่วยเพิ่มความคมชัดในภาพที่ได้และประสิทธิภาพโดยรวมของระบบตรวจสอบ

Slim Abdelhedi และคณะ [35] เปรียบเทียบการพัฒนาและประสิทธิภาพของสองวิธีสำหรับระบบการตรวจสอบด้วยวิชันซิสเต็มแบบออนไลน์สำหรับสายพานลำเลียงความเร็วสูง วิธีแรกที่พัฒนาขึ้นคืออัลกอริธึมการประมวลผลภาพด้วยเทคนิค Thresholding และวิธีที่สองใช้การตรวจจับ

ขอบ ซึ่งได้ทำการออกแบบอัลกอริธึมการตรวจจับข้อบกพร่องเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ คือ การดึงคุณสมบัติที่แม่นยำและความสามารถแบบออนไลน์ทั้งการพิจารณาถึงความหนาและเวลาประมวลผลต่ำ มีการรายงานการใช้งานออนไลน์เพื่อตรวจสอบข้อผิดพลาดโดยใช้เทคนิคการสื่อสารใหม่ ด้วยกล้อง GigE Vision และเครือข่าย Gigabit ethernet ในอุตสาหกรรม พวกเขาได้อธิบายขั้นตอนที่แตกต่างกันสำหรับการวัดขนาดของระบบวิชันซิสเต็ม (GigE Vision) ใช้เพื่อเชื่อมต่อกล้องกับคอมพิวเตอร์ภายในสายการผลิต การประมวลผลภาพ การตรวจจับข้อผิดพลาดและการสร้างสัญญาณเตือนจะทำงานเวิร์กสเตชันทั่วไป การใช้เงื่อนไขการถ่ายภาพที่กำหนดไว้อย่างดี อนุญาตให้ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพแบบง่ายบนแพลตฟอร์มของ MATLAB สำหรับการตรวจจับฝาปิดและการตรวจสอบระดับของเหลวด้วยความแม่นยำเพียงพอ จึงมีความเหมาะสมสำหรับการตรวจสอบการผลิตแบบเรียลไทม์ภายในห่วงโซ่อุปทาน

อมฤต นามบุตรดี และเกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์ [36] นำเสนอเครื่องมือสำหรับการถอดรหัสบาร์โค้ดสองมิติมาตรฐาน ECC200 ที่มีขนาด 14×14 ไมครอน บนผลิตภัณฑ์พลาสติกใส โดยที่เครื่องมือนี้ถูกออกแบบให้ติดตามและถอดรหัสบาร์โค้ดสองมิติบนผลิตภัณฑ์ที่มีขนาด ความหนา และทำจากวัสดุที่แตกต่างกันได้อย่างถูกต้อง เพื่อให้การถอดรหัสบาร์โค้ดสองมิติได้อย่างถูกต้องและทำงานได้รวดเร็ว นั้น องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่องมือที่ออกแบบจะมาจากแหล่งกำเนิดแสง กล้อง เลนส์ และโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้น ผลการทดสอบกับผลิตภัณฑ์พลาสติก พบว่า เครื่องมือที่ออกแบบสามารถถอดรหัสบาร์โค้ดสองมิติได้ถูกต้อง 100% เมื่อเทียบกับเครื่องจักรที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และยังมีราคาถูกกว่าเครื่องจักรที่ใช้อยู่ปัจจุบันถึง 70%

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยเรื่อง การตรวจสอบบาร์โค้ดโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพนี้ มีขั้นตอนเริ่มจากการศึกษารูปแบบการทำงานของระบบปัจจุบันที่ใช้ในโรงงานว่ามีความบกพร่องอย่างไรบ้าง จากนั้นวิเคราะห์ปัญหาว่าเกิดจากสาเหตุใดบ้าง แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์มาสู่การศึกษาและออกแบบชุดทดลองเพื่อลดปัญหานั้น ในส่วนของปัญหา บทวิเคราะห์ได้นำเสนอในบทที่ 1 และ บทที่ 2 แล้ว ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบชุดทดลองจากข้อมูลที่รวบรวมได้ ทั้งนี้ชุดทดลองจะสามารถทำงานได้ดียังคงขึ้นอยู่กับขั้นตอนการออกแบบนี้เป็นสำคัญ ซึ่งได้แก่ รูปแบบโครงสร้าง การเลือกใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสม โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การออกแบบและโครงสร้าง

ภาพประกอบ 3.1 แสดงลักษณะของสถานีบรรจุภัณฑ์ (Packing) ซึ่งในสถานีนี้จะประกอบด้วยอุปกรณ์หลักๆ 7 อย่าง ดังนี้

1) เครื่องคอมพิวเตอร์ (PC) ทำหน้าที่รับข้อมูลจากสแกนเนอร์ที่พนักงานทำการสแกนและติดต่อสื่อสารกับฐานข้อมูล เพื่อการประมวลผลข้อมูลจากรหัสบาร์โค้ดที่สแกนผ่านโปรแกรมการใช้งานที่มีหน้าที่การใช้งานสำหรับการสแกนแบบเป็นลำดับ ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 3.1 (หมายเลข 1)

2) เครื่องพิมพ์สติ๊กเกอร์ (Label printer) ใช้พิมพ์สติ๊กเกอร์สำหรับติดข้างกล่องบรรจุภัณฑ์หลัก (Master pack) หลังจากที่ทำกรสแกนบาร์โค้ดทั้งหมดเข้าสู่ระบบตามลำดับเรียบร้อยแล้ว ระบบจะทำการพิมพ์สติ๊กเกอร์สำหรับติดข้างกล่องบรรจุภัณฑ์หลัก (Master pack) ผ่านเครื่องพิมพ์สติ๊กเกอร์โดยอัตโนมัติ ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 3.1 (หมายเลข 2)

3) สแกนเนอร์ ทำหน้าที่สแกนบาร์โค้ดของกล่องโทรศัพท์ที่อยู่ภายในกล่องบรรจุภัณฑ์หลัก (Master pack) ทั้งหมดตามลำดับ โดยใช้พนักงานในการควบคุม ซึ่งจะมีการสแกน 2 รอบเพื่อให้แน่ใจว่าผลิตภัณฑ์มีการจัดวางที่ถูกต้อง ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 3.1 (หมายเลข 3)

4) กล่องบรรจุภัณฑ์หลัก (Master pack) ใช้สำหรับบรรจุกล่องโทรศัพท์ ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 3.1 (หมายเลข 4)

5) กล่องโทรศัพท์ (Mobile phone box) ใช้สำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 3.1 (หมายเลข 5)

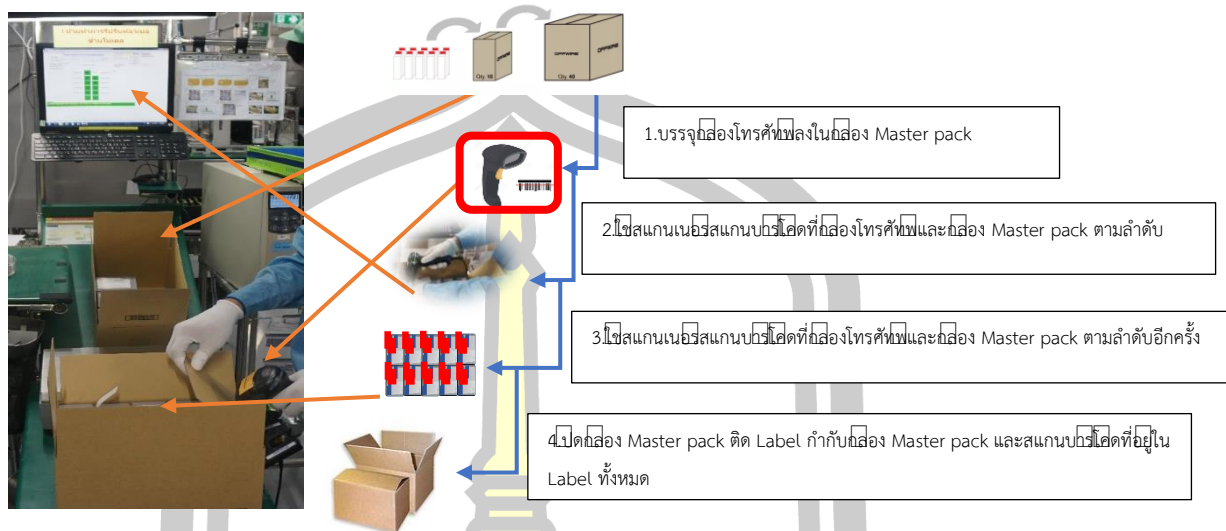
6) เครื่องชั่งน้ำหนัก (Scale) ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักกล่องบรรจุภัณฑ์หลัก (Master pack) เพื่อให้แน่ใจว่าผลิตภัณฑ์หรืออุปกรณ์ภายในกล่อง เช่น สายชาร์จ หูฟัง ฯลฯ ถูกใส่ไปครบถ้วน ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 3.1 (หมายเลข 6)

7) อุปกรณ์ยก (Lifting tape) ใช้สำหรับเป็นตัวช่วยในการยกหรือหยิบกล่องโทรศัพท์ออกจากกล่องบรรจุภัณฑ์หลัก (Master pack) ทั้งนี้เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับลูกค้า โดยอุปกรณ์นี้จะมีอยู่เฉพาะกล่องโทรศัพท์ลำดับสุดท้ายของกล่องบรรจุภัณฑ์หลัก (Master pack) ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 3.1 (หมายเลข 7)



ภาพประกอบ 3.1 ภาพแสดงลักษณะของสถานีบรรจุภัณฑ์ (Packing)

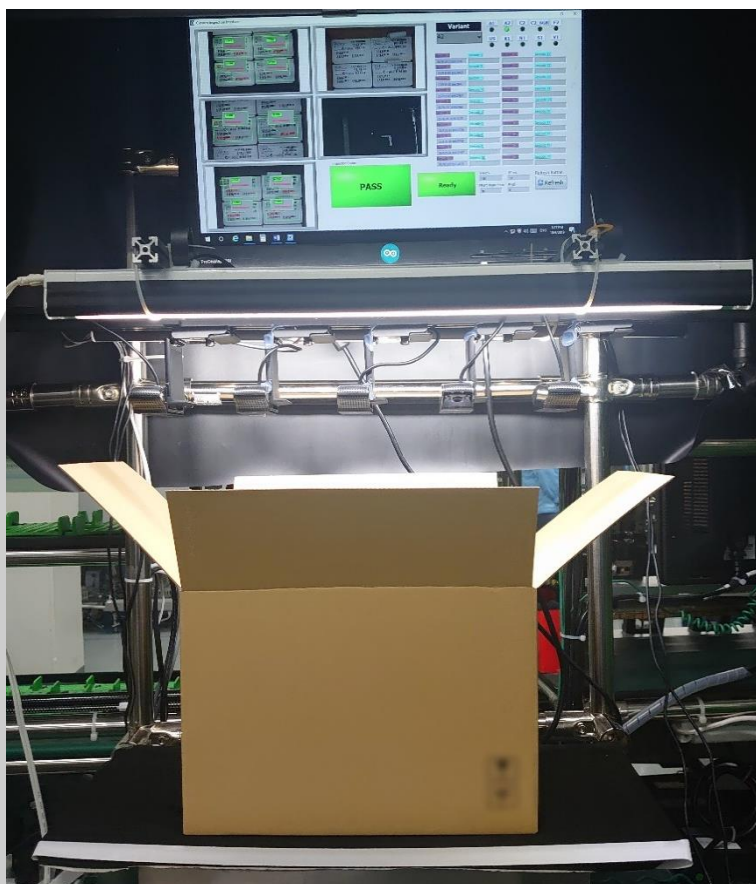
ภาพประกอบ 3.2 แสดงขั้นตอนการทำงานของพนักงานสำหรับกล่องบรรจุภัณฑ์หลัก (Master pack) 1 กล่อง โดยจะแสดงขั้นตอนการทำงานหลักๆของพนักงานและเน้นการใช้สแกนเนอร์สแกนบาร์โค้ดเป็นลำดับ ซึ่งหลักการทำงานของพนักงานตลอดจนการทำงานภายในสถานีบรรจุภัณฑ์นั้นมีดังที่ได้กล่าวมาในบทที่ 1



ภาพประกอบ 3.2 แสดงขั้นตอนการทำงานหลักๆของสถานีบรรจุภัณฑ์ (Packing)

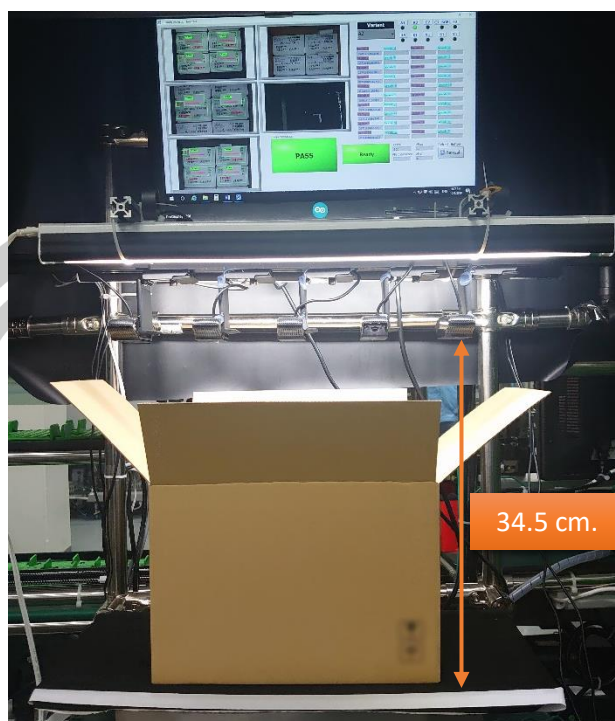
โครงสร้างชุดทดลองที่ได้ออกแบบ เป็นการนำเอาระบบการประมวลผลภาพดิจิทัลมา ร่วมกับตรวจสอบบาร์โค้ดด้วยการถ่ายภาพและประมวลผลภาพเพื่อตรวจสอบบาร์โค้ดจากซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพ เข้ามาใช้กับระบบการทำงานในสถานีบรรจุภัณฑ์ (Packing) ในโรงงานอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่งในเขตจังหวัดปทุมธานี ซึ่งจะได้ชุดทดลองภาพรวมที่ประกอบไปด้วยอุปกรณ์เบื้องต้นในภาพประกอบ 3.1 แต่จะแตกต่างกันตรงที่ชุดทดลองนี้ไม่มีสแกนเนอร์ แต่มีกล้องถ่ายภาพและระบบประมวลผลภาพเข้ามาแทน โดยลักษณะอุปกรณ์แสดงในภาพประกอบ 3.3 ภาพประกอบ 3.4 และภาพประกอบ 3.5

พหุ ประถมศึกษา ชีวะ



ภาพประกอบ 3.3 ภาพแสดงลักษณะเบื้องต้นของชุดทดลองที่ออกแบบ





ภาพประกอบ 3.4 ระยะห่างระหว่างกล่องกับฐานวาง Master pack



ภาพประกอบ 3.5 ระยะห่างระหว่าง HD Pro Webcam C920 แต่ละตัว
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนี้เนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)

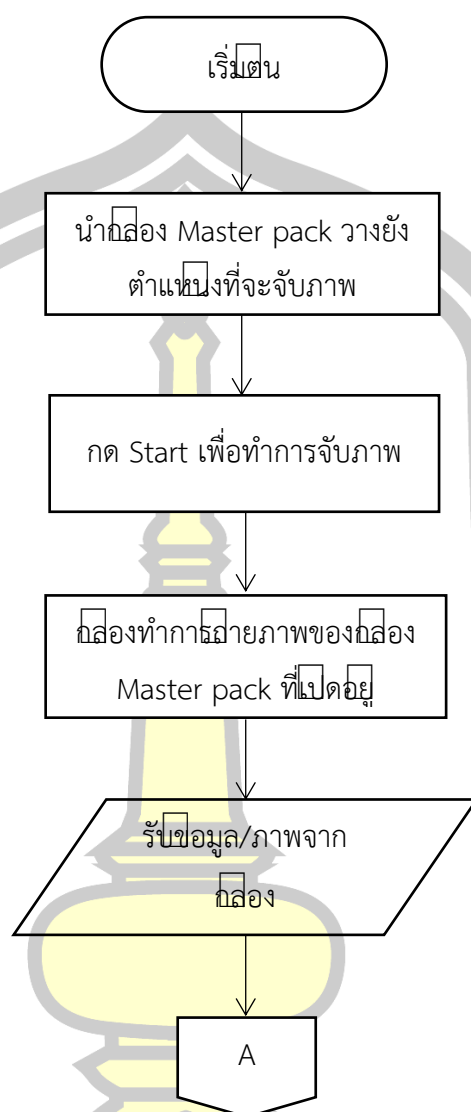
3.1.1 ขั้นตอนการทำงานเบื้องต้น

การออกแบบการทำงานของระบบเป็นการรวมการทำงานบางส่วนจากระบบเดิม โดยการนำระบบการประมวลผลภาพดิจิทัลเข้ามาแทนในส่วนของการสแกนบาร์โค้ดภายในกล่องบรรจุภัณฑ์ ซึ่งออกแบบแผนผังการทำงานของระบบไว้ดังแสดงในภาพประกอบ 3.6 โดยมีขั้นตอนการทำงาน ดังต่อไปนี้

- 1) นำกล่องบรรจุภัณฑ์หลัก (Master pack) ที่เปิดอยู่วางลงในตำแหน่งที่จะทำการจับภาพหรือวางบนฐานรองรับ (Fixture)
- 2) กดปุ่ม Start เพื่อให้กล้องทำการถ่ายภาพของกล่องบรรจุภัณฑ์หลัก (Master pack)
- 3) ซอฟต์แวร์ NI Vision builder AI ทำการรับข้อมูลหรือรับภาพที่ถ่ายจากกล้องเพื่อนำมาประมวลผล
- 4) โปรแกรม VBAI ทำการประมวลผลภาพ ปรับปรุงคุณภาพของภาพ และตรวจสอบหรือถอดรหัสบาร์โค้ด
- 5) โปรแกรมแสดงสถานะของการตรวจสอบหรือถอดรหัสบาร์โค้ด โดยถ้าโปรแกรมสามารถถอดรหัสบาร์โค้ดได้จะแสดงสถานะ Pass แต่ถ้าโปรแกรมไม่สามารถถอดรหัสบาร์โค้ดได้จะแสดงสถานะ Fail
- 6) โปรแกรมจะส่งข้อมูลบาร์โค้ดไปยังระบบฐานข้อมูลของโรงงาน
- 7) นำกล่องบรรจุภัณฑ์หลัก (Master pack) ออกจากตำแหน่งที่จับภาพหรือออกจากฐานรองรับ (Fixture) และปิดกล่อง

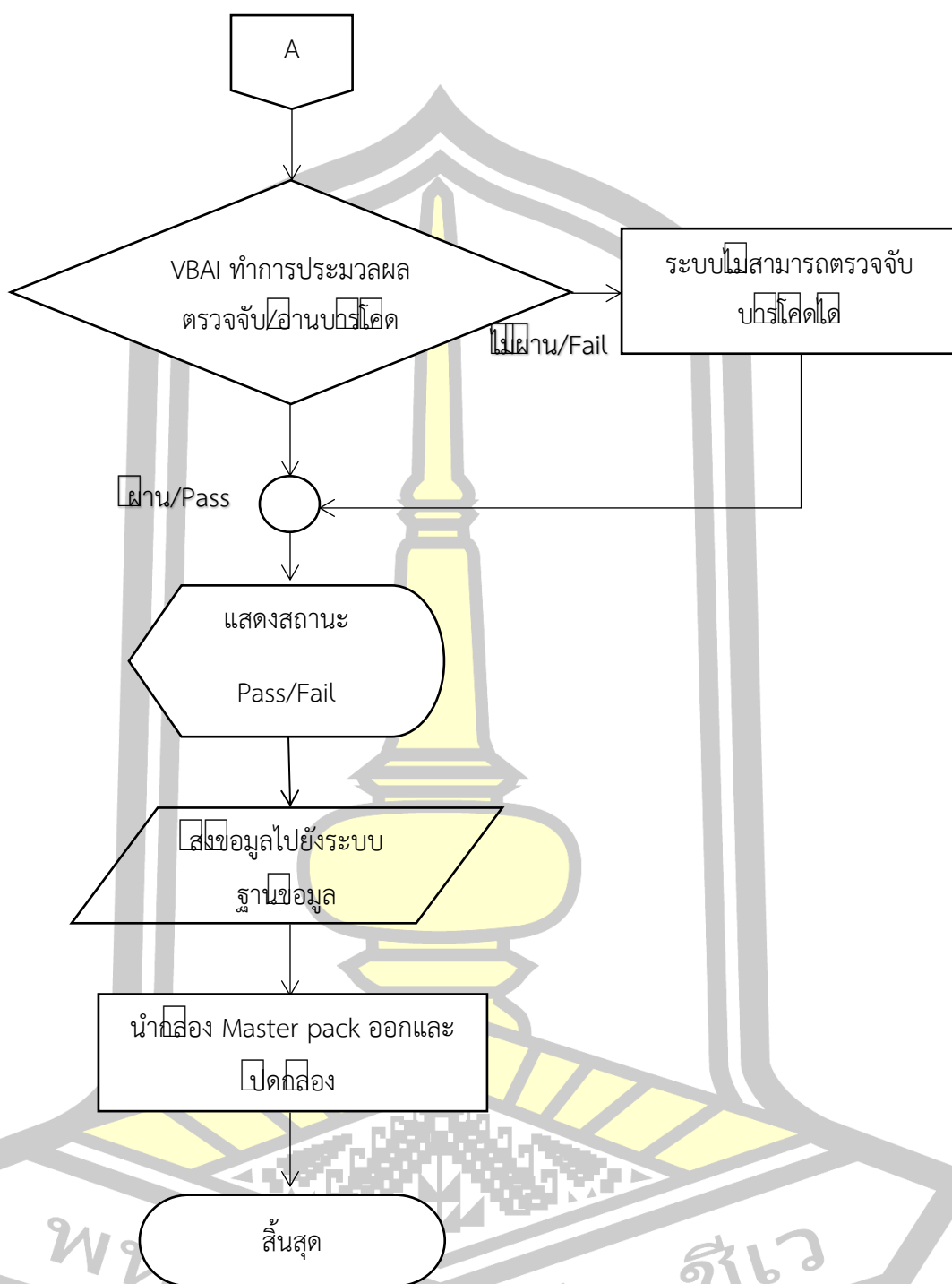
หลังจากพนักงานปิดกล่องบรรจุภัณฑ์หลัก (Master pack) พนักงานทำงานตามระบบเดิม กล่าวคือ เครื่องพิมพ์สติ๊กเกอร์จะพิมพ์สติ๊กเกอร์ออกมา พนักงานตรวจสอบ ตีตสติ๊กเกอร์ และนำกล่องบรรจุภัณฑ์หลักจัดวางตาม Pallet

พหุ ประทีป ชีวะ



ภาพประกอบ 3.6 การออกแบบแผนผังการทำงานของระบบ

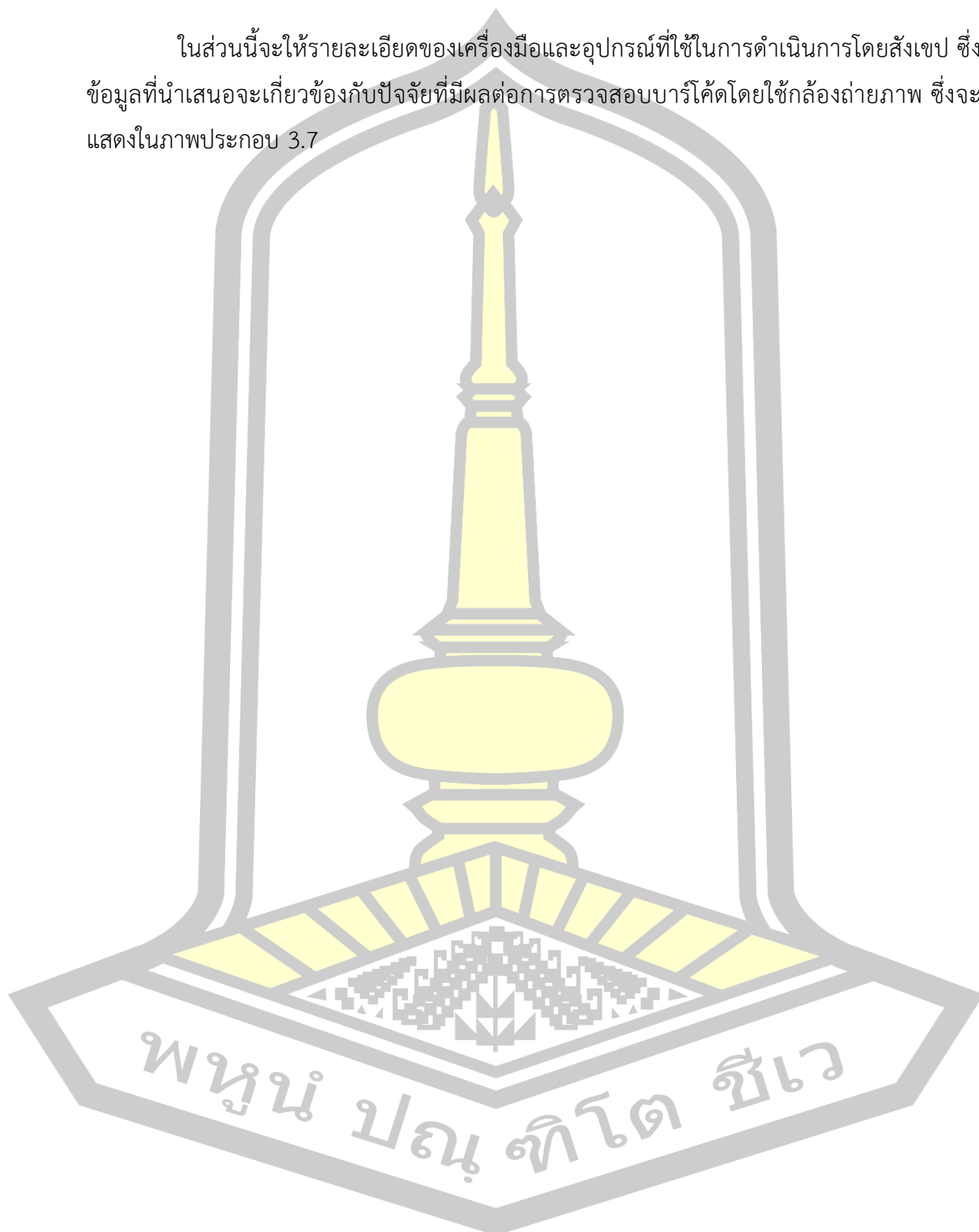
พหุบัน ปณ สิโต ชีเว

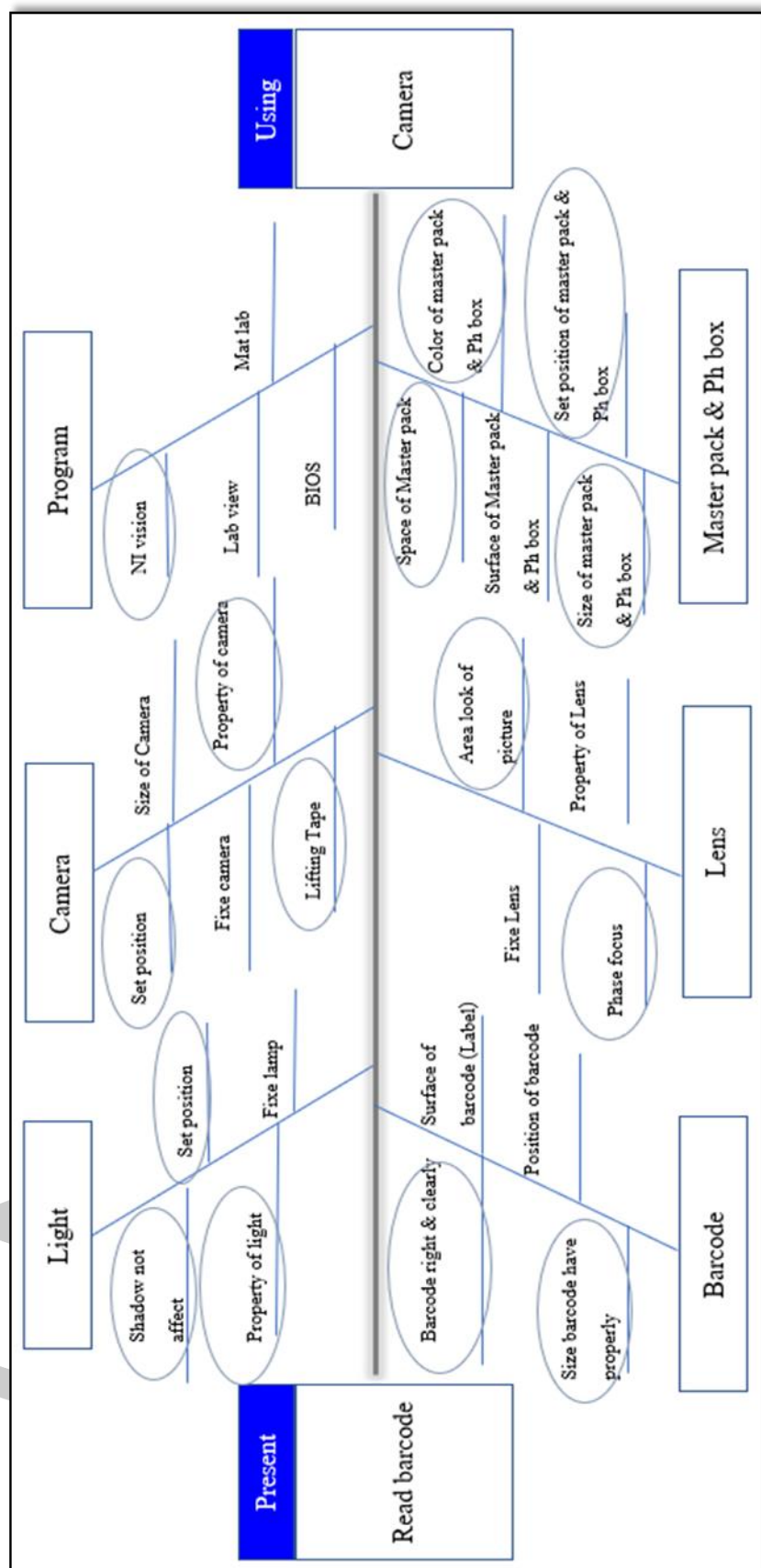


ภาพประกอบ 3.6 การออกแบบแผนผังการทำงานของระบบ (ต่อ)

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการ

ในส่วนนี้จะให้รายละเอียดของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการโดยสังเขป ซึ่งข้อมูลที่น่าสนใจจะเกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีผลต่อการตรวจสอบบาร์โค้ดโดยใช้กล้องถ่ายภาพ ซึ่งจะแสดงในภาพประกอบ 3.7





ภาพประกอบ 3.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการตรวจสอบบาร์โค้ดโดยใช้กล้องถ่ายภาพ

จากภาพประกอบ 3.7 จะเห็นได้ว่าการตรวจสอบบาร์โค้ดโดยใช้กล้องถ่ายภาพนั้น สามารถแบ่งการออกแบบได้เป็น 2 ส่วนหลักๆ ได้แก่ ส่วนของฮาร์ดแวร์และส่วนของซอฟต์แวร์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 ฮาร์ดแวร์

3.2.1.1 โค้ด 128 (Code 128) ดังตัวอย่างแสดงในภาพประกอบ 3.8 เนื่องจากโค้ด 39 เก็บข้อมูลที่เป็นตัวอักษรได้ค่อนข้างจำกัด ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาโค้ด 128 ขึ้นมาใช้งาน และเหมาะสมกับฉลากสินค้าที่มีพื้นที่จำกัด เพราะรหัสแท่งแบบโค้ด 128 นี้จะกะทัดรัดและดูแน่นกว่าโค้ด 39 โดยทั่วไป โค้ด 128 นิยมใช้ในอุตสาหกรรม การจัดส่งสินค้าซึ่งมีปัญหาด้านการพิมพ์ฉลาก อีกทั้งเป็นโค้ดหนึ่งในโค้ดหลายประเภทที่ทางโรงงานใช้ในการส่วนของการบรรจุภัณฑ์



ภาพประกอบ 3.8 โค้ด 128 (Code 128) [13]

3.2.1.2 EAN-13 เนื่องจากการใช้โค้ด EAN-8 ดังที่ได้กล่าวมาในข้อที่ 2.2.1 ของบทที่ 2 จะใช้ไปถึงผู้ผลิตและผลิตภัณฑ์ และเมื่อมีการใช้มากขึ้นในหลายประเทศทำให้จำนวนของตัวเลขที่นำมาใช้ซึ่งมีจำนวนจำกัดทำให้ไม่เพียงพอกับผู้ใช้งานจึงใช้บาร์โค้ดแบบ EAN-13 แทน อย่างไรก็ตาม โรงงานอิเล็กทรอนิกส์แห่งนี้เป็นหนึ่งในหลายบริษัทที่ใช้โค้ดประเภทนี้ในการบ่งชี้ผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างบาร์โค้ดประเภทนี้แสดงในภาพประกอบ 3.9



ภาพประกอบ 3.9 บาร์โค้ด EAN-13 [13]

3.2.1.3 Data matrix บาร์โค้ด 2 มิติแบบนี้ ส่วนใหญ่ใช้ในงานที่มีพื้นที่จำกัดและต้องการบาร์โค้ดขนาดเล็ก ดังที่กล่าวมาในบทที่ 2 ในข้อที่ 2.2.5.4 ซึ่งเป็นโค้ดอีกหนึ่งประเภทที่ โรงงานอิเล็กทรอนิกส์แห่งนี้เลือกใช้ในการบ่งชี้ผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 3.10 [13]



ภาพประกอบ 3.10 Data Matrix [13]

3.2.1.4 Logitech C922 Webcam เนื่องจากโรงงานอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่งในเขต จังหวัดปทุมธานีมีการนำ Webcam มาประยุกต์ใช้งานในส่วนของการผลิตเพราะใช้งานง่าย และมี ราคาถูก ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะใช้กับงานที่ไม่ต้องการความละเอียดมากนัก เช่น การตรวจสอบความ ถูกต้องของฉลากสินค้าขนาดใหญ่ โดยที่ลักษณะการใช้งานจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของ Webcam รุ่น นั้นๆ อย่างไรก็ตาม ราคาที่ถูกพร้อมทั้งคุณสมบัติที่ใช้งานง่ายทำให้บริษัทมี Webcam อยู่ 2 รุ่น คือ Logitech HD Webcam C270 (ดังแสดงตัวอย่างในภาพประกอบ 3.11) ที่ให้ความละเอียดของภาพ (Resolution) 1280 x 720 พิกเซล และ Logitech C922 Webcam (ดังแสดงตัวอย่างใน ภาพประกอบ 3.12) ที่ให้ความละเอียดของภาพ (Resolution) 1920 x 1080 พิกเซล



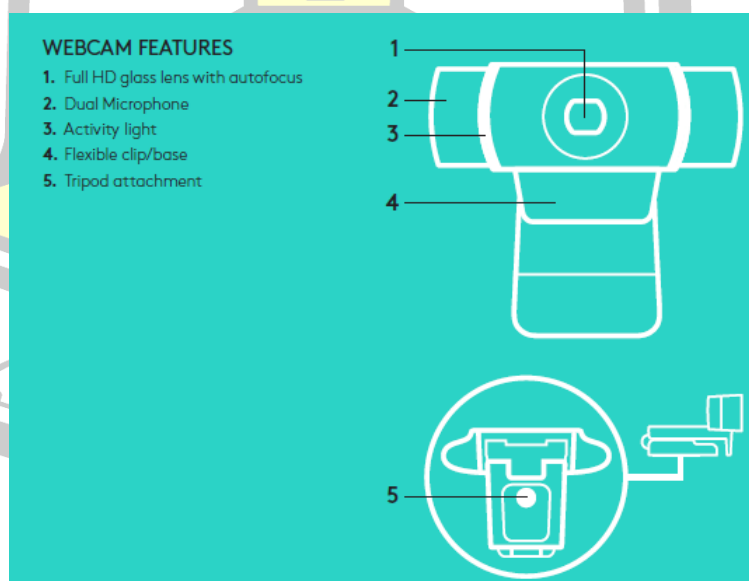
ภาพประกอบ 3.11 Logitech HD Webcam C270 [37]

พหุ ประ โย ชี เว



ภาพประกอบ 3.12 Logitech C922 Webcam [38]

เนื่องจากการอ่านบาร์โค้ดจากกล่องบรรจุภัณฑ์หลัก (Master pack) นั้นกล่องที่ใช้ถ่ายภาพต้องมีความละเอียดค่อนข้างสูงและด้วยขนาดของกล่องที่มีทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่นั้นจึงจำเป็นต้องใช้ระยะโฟกัสที่แตกต่างกัน ผู้วิจัยได้เลือกใช้ Logitech C922 Webcam เพราะให้ความละเอียดที่สูงกว่ารุ่น Logitech HD Webcam C270 (คุณสมบัติของ Logitech C922 Webcam ดังแสดงในภาคผนวก ก) อย่างไรก็ตาม ด้วยการสนับสนุนจากทางโรงงานอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่งในเขตจังหวัดปทุมธานี ผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้ Logitech C922 Webcam จำนวน 5 ชุด มีลักษณะพื้นฐานทางกายภาพดังแสดงในภาพประกอบ 3.13



ภาพประกอบ 3.13 ส่วนประกอบของ Logitech C922 Webcam [39]

3.2.1.5 สติกเกอร์กึ่งมันกึ่งด้าน เป็นเนื้อสติกเกอร์ที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากมีราคาค่อนข้างถูก ใช้ได้ในงานหลากหลายทั่วไป เช่น การติดราคาและรายละเอียดสินค้า ซึ่งมีการขายเปลี่ยนผู้ซื้อบ่อย โดยจะต้องเป็นงานที่ไม่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นหรือความร้อนเกินอุณหภูมิปกติ ไม่ป้องกันการขีดขีด หมึกมีโอกาสหลุดร่อนตามระยะเวลาการใช้งาน หรือสติกเกอร์สามารถฉีกขาดได้ มีความมันเงาเล็กน้อย โดยนิยมใช้กันมากที่สุดกับหมึกพิมพ์รีบบอนเนื้อ Wax เนื่องจากมีราคาถูกที่สุดเช่นกัน เพื่อลดต้นทุนสินค้าให้ต่ำที่สุด ภาพประกอบ 3.14 แสดงสติกเกอร์ตัวอย่างที่ติดอยู่บนกล่องโทรศัพท์จำนวน 10 กล่อง [4]



ภาพประกอบ 3.14 สติกเกอร์ตัวอย่างที่ติดอยู่บนกล่องโทรศัพท์จำนวน 10 กล่อง

3.2.2 ซอฟต์แวร์การประมวลผลภาพ

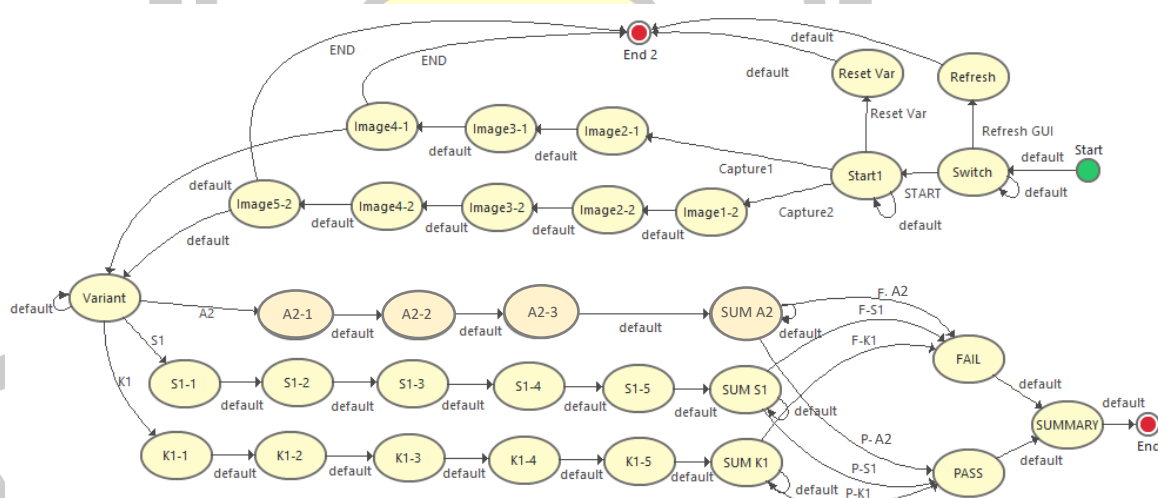
หลังจากการถ่ายภาพจำเป็นต้องนำภาพมาประมวลผลโดยใช้ซอฟต์แวร์เพื่อการปรับปรุงคุณภาพของภาพและการถอดรหัสบาร์โค้ดจากภาพ ซึ่งในปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมได้มีการนำซอฟต์แวร์ที่หลากหลายมาใช้ในการประมวลผลภาพ (รายละเอียดดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2)

ผู้วิจัยได้เข้ารับการฝึกประสบการณ์ทำงานที่โรงงานอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่งในเขตจังหวัดปทุมธานี โดยภายในโรงงานได้มีการนำโปรแกรม NI Vision builder automated inspection (VBAI) เข้ามาประยุกต์ใช้ในส่วนของการตรวจสอบการผลิตที่มีหลากหลายรูปแบบและหลากหลายขั้นตอน ซึ่งโปรแกรมนี้นี้เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่แยกออกมาเพื่อการใช้งานโดยเฉพาะ และนิยมใช้งานอย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆ ทั้งนี้เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตและควบคุมคุณภาพของสินค้าให้ได้มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้โปรแกรมสำเร็จรูปนี้ยังใช้งานได้ง่ายมีหลากหลายฟังก์ชันการใช้งาน และสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ สามารถทำการถอดรหัสบาร์โค้ดจากภาพได้เป็นอย่างดี ดังนั้นซอฟต์แวร์การประมวลผลภาพที่เลือกใช้คือ NI Vision

builder automated inspection (VBAI) ที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมบางประการดังที่ได้กล่าวมาเบื้องต้น อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ต้องดำเนินการภายในส่วนการผลิตของโรงงานอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่งในเขตจังหวัดปทุมธานี ด้วยความปลอดภัยทางด้านข้อมูลของโรงงานจึงเป็นเรื่องยากที่จะนำซอฟต์แวร์หรือข้อมูลต่างๆเข้าออกภายในโรงงาน โปรแกรม NI Vision builder automated inspection (VBAI) จึงเป็นโปรแกรมที่เหมาะสมในการประมวลผลภาพเพื่อถอดรหัสหรืออ่านบาร์โค้ดในการตรวจสอบคุณภาพของสินค้าในส่วนของการ Packing ก่อนส่งออกสู่ตลาด โดยมีรายละเอียดการออกแบบต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.2.2.1 โปรแกรม NI Vision builder automated inspection (VBAI)

การใช้งานโปรแกรม NI Vision builder automated inspection (VBAI) ที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานในงานวิจัยนี้ (รายละเอียดดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2) ในที่นี้จะแสดง “ตัวอย่าง” การจำลองการถอดรหัสบาร์โค้ด ซึ่งมีลักษณะการทำงานของโปรแกรมหาดังแผนผังที่แสดงในภาพประกอบ 3.15 และมีเส้นเชื่อมโยงจากขั้นตอนหนึ่งไปยังอีกขั้นตอนหนึ่ง โดยในแต่ละเส้นจะมีการกำหนดเงื่อนไขของการทำงานที่แตกต่างกัน และในบางขั้นตอนจะมีเส้นกลาง (Default) เพื่อให้โปรแกรมตรวจสอบสถานะการทำงานที่ขั้นตอนนั้นๆ ก่อนไปยังขั้นตอนต่อไป โดยโปรแกรมจะทำงานตามลำดับและวนซ้ำไปเรื่อยๆ จนกว่าจะสั่งหยุดการทำงานหรือจบกระบวนการทำงาน



ภาพประกอบ 3.15 แผนผังการทำงานของโปรแกรม NI Vision builder automated inspection (VBAI)

จากแผนผังโปรแกรมในภาพประกอบ 3.15 ภายในของแต่ละขั้นตอนจะประกอบด้วยฟังก์ชันต่างๆที่เกี่ยวข้องหรือประกอบสำหรับการถอดรหัสบาร์โค้ดในขั้นตอนนั้นๆ ซึ่งประกอบด้วยฟังก์ชันหลักๆ 4 ฟังก์ชัน ดังต่อไปนี้

1) Acquire image (1394, GigE, or USB) เป็นฟังก์ชันสำหรับการได้มาหรือการรับภาพจากกล้อง IEEE 1394, Gigabit ethernet หรือ USB ที่เลือก สัญลักษณ์ของฟังก์ชันแสดงในภาพประกอบ 3.16



ภาพประกอบ 3.16 สัญลักษณ์ของฟังก์ชัน Acquire Image

2) ฟังก์ชันการถอดรหัสบาร์โค้ด 1 มิติ (Reads 1D Barcode) เป็นฟังก์ชันสำหรับการอ่านบาร์โค้ดภายใน ROI ที่ผู้ใช้กำหนด ซึ่งเราสามารถกำหนดประเภทของบาร์โค้ดได้จากอินพุต Barcode Type สัญลักษณ์ของฟังก์ชันแสดงในภาพประกอบ 3.17



ภาพประกอบ 3.17 สัญลักษณ์ของฟังก์ชัน Reads 1D Barcode

2.1) บาร์โค้ดแบบ 1 มิติ ฟังก์ชันการถอดรหัสบาร์โค้ด (Barcode decoding functions) ของ NI Vision รองรับชนิดของบาร์โค้ดได้หลายแบบ โดยแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

- บาร์โค้ดที่บาร์กับช่องว่างมีความกว้าง 2 ขนาดแตกต่างกัน เช่น Code 25, Code 39, Codabar, MSI และ Pharmacode
- บาร์โค้ดที่บาร์กับช่องว่างมีความกว้างมากกว่า 2 ขนาดแตกต่างกัน เช่น Code 93, Code 128, EAN 8, EAN 13, UPC A และ GS1 Data bar limited

ฟังก์ชันการถอดรหัสบาร์โค้ดนี้ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ

1. ขั้นตอนการเรียนรู้ (Learning phase) ซึ่งผู้ใช้ต้องกำหนด ROI ที่ครอบคลุมตัวบาร์โค้ดในภาพ
2. ขั้นตอนการรู้จำ (Recognition phase) ซึ่งอัลกอริทึมจะถอดรหัสบาร์โค้ดออกมา

2.2) ข้อจำกัดของฟังก์ชันการถอดรหัสบาร์โค้ด

การใช้งานฟังก์ชันการถอดรหัสบาร์โค้ดมีปัจจัยหลักที่ต้องพิจารณา คือ ภาพที่ต้องการอ่านต้องมีความละเอียดพิกเซลที่ครอบคลุมบาร์ที่เล็กที่สุดหรือช่องว่างที่เล็กที่สุดอย่างน้อย 3 พิกเซล และไม่มีการสะท้อนแสงที่ภาพบาร์โค้ด (Specularity) นอกจากนี้หากมีปัจจัยต่อไปนี้เกิดขึ้น อาจทำให้การถอดรหัสบาร์โค้ดมีความผิดพลาด ปัจจัยเหล่านี้มีค่าที่ยอมรับได้ที่ขึ้นอยู่กับประเภทของบาร์โค้ด ดังนี้

2.2.1) ระดับความสว่างเฉลี่ย (Light drift) ของภาพพื้นหลังของบาร์โค้ด ภายใน ROI ทั้งในแนวนอนและในแนวตั้งมีการเปลี่ยนแปลงที่สูง โดยมีความแตกต่างของค่าความเข้มพิกเซลเฉลี่ยของพื้นหลังตามแนวนอน - ล่าง และซ้าย - ขวา (กรณีของภาพ 8 บิต)

- มากกว่า 120 สำหรับบาร์โค้ดที่บาร์กับช่องว่างมีความกว้าง 2 ขนาดแตกต่างกัน

- มากกว่า 100 สำหรับบาร์โค้ดที่บาร์กับช่องว่างมีความกว้างมากกว่า 2 ขนาดแตกต่างกัน

2.2.2) ภาพบาร์โค้ดมีความคมชัด (Contrast) ที่ต่ำระหว่างพื้นหลังและส่วนของบาร์โค้ด ภายใน ROI โดยมีความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยพิกเซลในบริเวณของพื้นหลังและในบริเวณของบาร์โค้ด (กรณีของภาพ 8 บิต)

- ต่ำกว่า 80 สำหรับบาร์โค้ดที่บาร์กับช่องว่างมีความกว้าง 2 ขนาดแตกต่างกัน

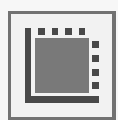
- ต่ำกว่า 100 สำหรับบาร์โค้ดที่บาร์กับช่องว่างมีความกว้างมากกว่า 2 ขนาดแตกต่างกัน

2.2.3) ภาพที่ระบบรับภาพมีความเข้มแสงมากเกินไป (Overexposed) ซึ่งทำให้ความเข้มพิกเซลเฉลี่ยที่อยู่ในบาร์ที่แคบกับในบาร์ที่กว้างมีความแตกต่างกันมาก ความแตกต่างนี้ส่งผลให้การถอดรหัสผิดพลาด ถ้ามันมีค่าเกินกว่า 115 สำหรับบาร์โค้ดที่บาร์กับช่องว่างมี

ความกว้าง 2 ขนาดแตกต่างกัน และเกินกว่า 100 สำหรับบาร์โค้ดที่บาร์กับช่องว่างมีความกว้างมากกว่า 2 ขนาดแตกต่างกัน (ในกรณีภาพ 8 บิต)

2.2.4) ภาพบาร์โค้ดมีระดับสัญญาณรบกวนสูง โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของค่าพิกเซลของพื้นหลัง ภายใน ROI มีค่าเกินกว่า 57 สำหรับบาร์โค้ดที่บาร์กับช่องว่างมีความกว้าง 2 ขนาดแตกต่างกัน และเกินกว่า 27 สำหรับบาร์โค้ดที่บาร์กับช่องว่างมีความกว้างมากกว่า 2 ขนาดแตกต่างกัน (สำหรับกรณีของภาพ 8 บิต)

3) ฟังก์ชันการถอดรหัสบาร์โค้ด 2 มิติ (Reads 2D Barcode) มีลักษณะสัญญาณลักษณะดังภาพประกอบ 3.18



ภาพประกอบ 3.18 สัญญาณลักษณะของฟังก์ชัน Reads 2D Barcode

โค้ดชนิดเมทริกซ์ (Matrix codes) ใช้การเข้ารหัสข้อมูลโดยอาศัยตำแหน่งเซลล์ของสี่เหลี่ยม หกเหลี่ยม หรือวงกลมภายในเมทริกซ์ ในขณะที่การเข้ารหัสบาร์โค้ดแบบหลายแถวมีรูปแบบเป็นบาร์โค้ดหลายแถวซ้อนกันอยู่

ฟังก์ชันการถอดรหัสบาร์โค้ด 2 มิติได้หลายประเภท ได้แก่ โค้ดดาต้าเมทริกซ์ (Data matrix) โค้ด PDF417, QR Code และ Micro QR Code โดยขั้นตอนการทำงานของฟังก์ชันการถอดรหัสบาร์โค้ด 2 มิติ ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ

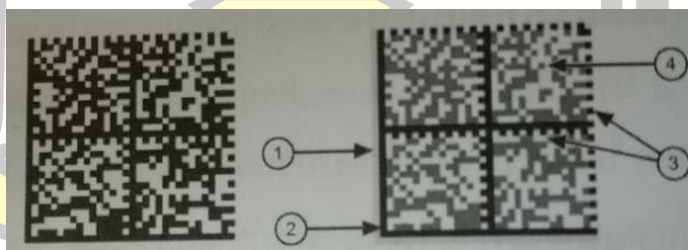
1. ขั้นตอนการระบุตำแหน่งอย่างหยาบ (Coarse locating phase) เป็นขั้นตอนที่ผู้ใช้งานระบุ ROI ในภาพซึ่งช่วยให้อัลกอริทึมสามารถระบุบริเวณที่มีโค้ด 2 มิติอยู่ได้ง่ายขึ้น (ถ้าผู้ใช้งานไม่ระบุ ROI อัลกอริทึมจะถือว่าทั้งภาพ คือ ROI) ขั้นตอนนี้ใช้เพิ่มประสิทธิภาพของขั้นตอนถัดไปเนื่องจากบริเวณขอบเขตการค้นหา (Search region) มีขนาดลดลง

2. ขั้นตอนการระบุตำแหน่งและถอดรหัส (Locating and decoding phase) เป็นขั้นตอนที่อัลกอริทึมจะค้นหาและถอดรหัสบาร์โค้ด 2 มิติ 1 หรือหลายตัวภายใน ROI

3.1) การถอดรหัสโค้ดดาต้าเมทริกซ์

โค้ดดาต้าเมทริกซ์เป็นโค้ดเมทริกซ์ที่สร้างขึ้นบนกริดสี่เหลี่ยม (Rectangular grid) โดยแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ โค้ดดาต้าเมทริกซ์ ECC 200 และกลุ่มโค้ด ECC 000 ถึง ECC 140 (ได้แก่ ECC 000, ECC 050, ECC080, ECC100 และ ECC 140) โดยโค้ด ECC 200 มักถูกใช้งานทั่วไปอย่างแพร่หลาย ในขณะที่โค้ดอื่นมักถูกใช้ในงานที่ต้องควบคุมเป็นการภายในที่ไม่ต้องการให้ระบบทั่วไปอ่านข้อมูลได้ สำหรับ ECC 200 สามารถเก็บข้อมูลตัวเลขและตัวอักษรได้มากที่สุดประมาณ 2000 ตัวอักษร บริเวณขอบนอกสุดของเมทริกซ์จะมี Finder pattern รูปตัว L ที่คลุมอยู่ 2 ด้าน (สำหรับการหาขนาด กำหนดแนวการวางตัว และการประมาณความบิดเบี้ยวภาพ) และมี Timing pattern หรือ Clock pattern เป็นจุดขาวสลับดำสำหรับ 2 ด้านที่เหลือ (สำหรับการนับจำนวนของแถวและคอลัมน์) ส่วนภายในแต่ละเซลล์ของเมทริกซ์จะประกอบไปด้วย เซลล์ข้อมูลเดี่ยว (Single data cell) หรือมอดูล (Module) ซึ่งเซลล์สามารถเป็นรูปสี่เหลี่ยมหรือวงกลมก็ได้

ในการระบุตำแหน่งและถอดรหัสโค้ดดาต้าเมทริกซ์ด้วย NI Vision นั้น ขนาดของเซลล์ที่เล็กที่สุดต้องมีขนาดอย่างต่ำ 2.5 พิกเซล และมี Quiet zone ยังมีขนาดใหญ่ ก็จะทำให้เพิ่มโอกาสที่อัลกอริทึมจะสามารถระบุตำแหน่งของโค้ดดาต้าเมทริกซ์ได้ดีขึ้น (ค่าตัวอักษรสัญลักษณ์แต่ละตัวที่มีการเข้ารหัสด้วยชุดของเซลล์ข้อมูลจะถูกเรียกว่า Code word) ภาพประกอบ 3.19 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของโค้ดดาต้าเมทริกซ์ จากภาพ เป็นโค้ด ECC 200 ขนาดใหญ่จึงมีเส้นแนวตั้งและแนวนอนเรียกว่า (Alignment pattern) แบ่งส่วนประกอบของข้อมูลออกเป็น 4 ส่วน



ภาพประกอบ 3.19 ส่วนประกอบต่างๆของโค้ดดาต้าเมทริกซ์ โดยที่ส่วนที่ 1, 2, 3 และ 4 คือ Quiet zone, Finder pattern, Clock pattern และเซลล์ข้อมูลเดี่ยว ตามลำดับ [19]

สำหรับการตรวจสอบและแก้ความผิดพลาด (Error checking and correction, ECC) ของโค้ดดาต้าเมทริกซ์ จะใช้วิธีหนึ่งใน 2 วิธีที่จะกล่าวถึงนี้ สำหรับโค้ดดาต้าเมทริกซ์ที่ใช้ ECC 000 ถึง ECC 140 จะใช้วิธีการแก้ความผิดพลาดแบบคอนโวลูชัน (Convolution error correction) และใช้วิธีการบีบอัดข้อมูลที่มีประสิทธิภาพน้อยซึ่งมักใช้ในการเข้ารหัสที่เป็นซิป

เซตของอักขระ ASCII เท่านั้น ส่วนกรณีของโค้ดดาต้าเมทริกซ์ที่ใช้ ECC 200 จะใช้อัลกอริทึมการแก้ความผิดพลาดแบบรีดโซโลมอน (Reed-solomon error correction) และใช้วิธีการบีบอัดข้อมูลที่มีประสิทธิภาพมากกว่า อีกทั้ง ECC 200 ยังยอมให้มีการสร้างโค้ดดาต้าเมทริกซ์ที่เชื่อมต่อกันได้จากโค้ดหลายตัว ซึ่งทำให้เราสามารถเข้ารหัสข้อมูลได้จำนวนมากขึ้น

การถอดรหัสโค้ดดาต้าเมทริกซ์มีปัจจัยที่ต้องคำนึงซึ่งอาจส่งผลต่อการค้นหาและการถอดรหัสดังนี้

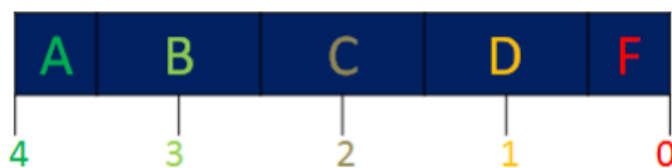
- ความละเอียดที่น้อยเกินไปของภาพ
 - การเปลี่ยนแปลงที่สูงเกินไปของระดับความสว่างเฉลี่ย (Light intensity drift)
 - ความคมชัดที่น้อยเกินไปของพิกเซลข้อมูล
 - ระดับของสัญญาณรบกวนที่สูงเกินไปและความเบลอของภาพโค้ด
 - ความไม่คงเส้นคงวาของการพิมพ์หรือการสร้างโค้ดดาต้าเมทริกซ์
- เช่น การเกิดการเหลื่อมแถวหรือคอลัมน์ของเซลล์ข้อมูลในโค้ด ขนาดที่ไม่สม่ำเสมอของเซลล์ข้อมูลหรือขอบของเซลล์ข้อมูล
- Quiet zone ที่เล็กเกินไป หรือมีสัญญาณรบกวนมากเกินไปในโค้ด

PDF417

3.1.1) การวิเคราะห์และแบ่งชั้นคุณภาพของโค้ดดาต้าเมทริกซ์

NI Vision สนับสนุนมาตรฐานการแบ่งชั้นคุณภาพของโค้ดดาต้าเมทริกซ์ (Data matrix verification metrics) ดังต่อไปนี้ คือ ISO 16022, ISO 15415 และ AIM DPM

ISO 16022 NI Vision สามารถประเมินคุณภาพของโค้ดดาต้าเมทริกซ์โดยพิจารณาว่าโค้ดเข้ากันได้ดีแค่ไหนในด้านต่างๆ กับข้อกำหนดเกณฑ์การประเมินคุณภาพการพิมพ์โค้ดมาตรฐาน ISO 16022 โดยการแบ่งชั้นคุณภาพจะคืนค่าเกรดใดเกรดหนึ่งจาก A (4), B (3), C (2), D (1) หรือ F (0) (ดังแสดงในภาพประกอบ 3.20) ออกมา โดยที่ A แสดงว่า โค้ดนั้นผ่านเกณฑ์มาตรฐานด้านนั้นได้ดีที่สุด และ F แสดงว่าโค้ดนั้นผ่านเกณฑ์มาตรฐานด้านนั้นได้น้อยที่สุดหรือมีคุณภาพด้านนั้นต่ำที่สุดนั่นเอง

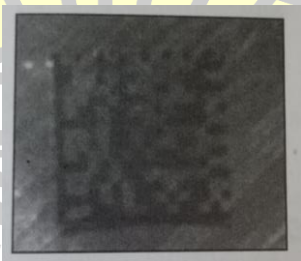


ภาพประกอบ 3.20 การเทียบเกรดสัญลักษณ์โดยรวมแบบตัวอักษรและตัวเลข [40]

โค้ดดาต้าเมทริกซ์จะถูกประเมินคุณภาพตามมาตรฐาน ISO 16022 ในด้านต่างๆ ดังนี้

- ค่าการถอดรหัสข้อมูล (Decode) เป็นการประเมินว่าส่วนต่างๆ บนโค้ดดาต้าเมทริกซ์มีความถูกต้องพอที่จะอ่านออกมาได้เมื่อภาพโค้ดผ่านการเก็บภาพมาอย่างเหมาะสม โดยโค้ดจะถูกกำหนดให้เป็นเกรด A ถึง F (หรือ 4 ถึง 0 ในมาตรฐาน) ขึ้นอยู่กับผลการถอดรหัสว่าสำเร็จหรือไม่ ซึ่งในการถอดรหัสนี้จะรวมทั้งขั้นตอนการหาตำแหน่งและกำหนดบริเวณที่ครอบคลุมโค้ดในภาพ (โดยใช้วิธีการสร้างแมปกริด (Grid map) ของจุดศูนย์กลางของเซลล์ข้อมูล) และขั้นตอนการแก้ความผิดพลาด (Error correction)

- ค่าความคมชัดของสัญลักษณ์ (Symbol contrast) เป็นเกณฑ์การประเมินค่าความแตกต่างระหว่างค่าความเข้มพิกเซลในเซลล์ข้อมูลที่สว่างและในเซลล์ข้อมูลที่มีมืด โดยค่าความคมชัดของสัญลักษณ์ที่ต่ำมักเกิดจากหมึกพิมพ์ไม่เพียงพอ การเคลือบมันบนโค้ด หรือการให้แสงที่ไม่ถูกต้องทิศทาง ตัวอย่างภาพโค้ดดาต้าเมทริกซ์ที่มีค่าความคมชัดของสัญลักษณ์เป็นเกรด F แสดงดังภาพประกอบ 3.21



ภาพประกอบ 3.21 โค้ดดาต้าเมทริกซ์ที่มีค่าความคมชัดของสัญลักษณ์เป็นเกรด F [19]

- Print growth หรือ Lost เป็นการประเมินความสัมพันธ์ของขนาดของเซลล์ข้อมูลที่สว่างและในเซลล์ข้อมูลที่มีมืดที่ถูกสร้างมาเมื่อเทียบกับขนาดเซลล์ข้อมูลที่ควร

จะเป็น Print growth ที่ได้เกรดไม่ดีมักเกิดจากการกำหนดขนาดของจุดพิมพ์ไม่เหมาะสม อุณหภูมิของหัวพิมพ์ไม่เหมาะสม หรือการดูดซับหมึกที่ไม่ดีของพื้นผิวที่พิมพ์ ภาพประกอบ 3.22 แสดงโค้ดดาต้าเมทริกซ์ที่มีค่า Print growth เท่ากับ 0.79 ซึ่งถูกจัดให้เป็นเกรด C

ภาพประกอบ 3.22 โค้ดดาต้าเมทริกซ์ที่มีค่า Print growth เท่ากับ 0.79 ซึ่งถูกจัดให้เป็นเกรด C [19]

- ความไม่คงตัวเชิงแกน ความไม่คงตัวเชิงแกน (Axial nonuniformity) เป็นการประเมินความคงตัวของสเกลแกนตั้งและแกนนอน โดยวัดการเว้นระยะระหว่างจุดศูนย์กลางเซลล์ในแต่ละแกนเพื่อทดสอบว่าเซลล์ในโค้ดมีขนาดคงที่หรือไม่ ซึ่งถ้ามีขนาดไม่คงที่ (มักเกิดจากมุมมองของกล้องกับโค้ดผิดปกติ หรือไม่ตั้งฉากกัน) จะทำให้การถอดรหัสผิดพลาดได้ ความไม่คงตัวเชิงแกนที่ได้เกรดไม่ดีมักเกิดจากความเร็วสัมพัทธ์ที่ไม่เท่ากันของหัวพิมพ์ขณะพิมพ์ หรือความผิดพลาดของซอฟต์แวร์ควบคุมการพิมพ์ ภาพประกอบ 3.23 แสดงตัวอย่างของโค้ดดาต้าเมทริกซ์ที่มีความไม่คงตัวเชิงแกนเป็นเกรด F ซึ่งเราจะเห็นความไม่คงตัวของระยะห่างระหว่างเซลล์ข้อมูลในโค้ด

ภาพประกอบ 3.23 ตัวอย่างของโค้ดดาต้าเมทริกซ์ที่มีความไม่คงตัวเชิงแกนเป็นเกรด F [19]

- ค่าปริมาณการไม่ใช้การแก้ความผิดพลาด (Unused error correction, UEC) เป็นการประเมินเปอร์เซ็นต์ความเสียหายของพื้นที่หรือจุดในโค้ดว่ามีอย่างน้อยเพียงใด ซึ่งค่านี้จะวัดเทียบกับเปอร์เซ็นต์ความเสียหายที่ยอมรับได้มากที่สุดของโค้ดการแก้ความผิดพลาดชนิดที่ถูกใช้ในการเข้ารหัส ค่าปริมาณการไม่ใช้การแก้ความผิดพลาดที่ได้เกรดไม่ดีมักเกิดจากจุดบกพร่องหรือรอยขีดข่วนบนโค้ด หรืออาจเกิดจาก Print growth ที่มากเกินไป ภาพประกอบ 3.24 แสดงตัวอย่างโค้ดดาต้าเมทริกซ์ที่มีเกรดปริมาณการไม่ใช้การแก้ความผิดพลาดเป็นเกรด F



ภาพประกอบ 3.24 ตัวอย่างโค้ดดาต้าเมทริกซ์ที่มีเกรดปริมาณการไม่ใช้การแก้ความผิดพลาดเป็นเกรด F [19]

- เกรดโดยรวม (Overall grade symbol) คือเกรดที่ต่ำที่สุดที่ได้จากการประเมินคุณภาพแต่ละด้าน

ISO 15415 มาตรฐานนี้เป็นส่วนเพิ่มเติมของมาตรฐาน ISO 16022 มีส่วนประกอบดังต่อไปนี้

- Modulation คือ ตัววัดความสม่ำเสมอของการกระจายตัวของแสงสะท้อนในบริเวณเซลล์ข้อมูลที่สว่างและมีดในโค้ดดาต้าเมทริกซ์ ค่า Modulation ที่ต่ำจะมีความน่าจะเป็นมากที่อัลกอริทึมจะระบุเซลล์สีดำและสีขาวผิดพลาด สาเหตุที่ส่งผลโดยตรงต่อพารามิเตอร์นี้คือ Print growth การหายไปของเซลล์ ดำหนึ การแปรผันของค่าการสะท้อนแสงพื้นผิว (ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 3.25) หรือการพิมพ์บางส่วนของโค้ดไม่ติด ภาพประกอบ 3.26 แสดงภาพตัวอย่างโค้ดดาต้าเมทริกซ์ที่มีเกรด Modulation เป็นเกรด F

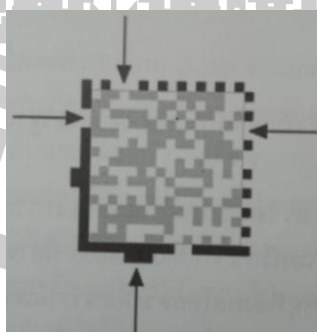


ภาพประกอบ 3.25 โค้ดดำด้าเมทริกซ์ที่มีการแปรผันของค่าการสะท้อนแสงพื้นผิว [19]



ภาพประกอบ 3.26 ภาพตัวอย่างโค้ดดำด้าเมทริกซ์ที่มีเกรต Modulation เป็นเกรต F [19]

- ความเสียหายของแพตเทิร์นคงที่ (Fixed pattern damage) หรือ FPD เป็นการประเมินความเสียหายของ Finder pattern, Quiet zone, Clock pattern และส่วนบริเวณที่ควรจะเป็นแท่งยาว (Solid area) ความเสียหายของแพตเทิร์นเหล่านี้ อาจเกิดจากหัวพิมพ์ไม่เหมาะสม ตัวควบคุมความร้อนทำงานผิดพลาด หรือจากความเสียหายของโค้ดโดยตรง ภาพประกอบ 3.27 แสดงตัวอย่างความเสียหายต่างๆ ที่เกิดกับแพตเทิร์นคงที่ และภาพประกอบ 3.28 แสดงตัวอย่างภาพโค้ดที่มีค่าความเสียหายที่เกิดกับแพตเทิร์นคงที่ซึ่งถูกพิจารณาเป็นเกรต F และมีเกรต Modulation เป็นเกรต C

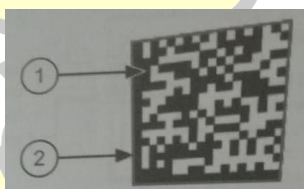


ภาพประกอบ 3.27 ตัวอย่างความเสียหายต่างๆ ที่เกิดกับแพตเทิร์นคงที่ [19]



ภาพประกอบ 3.28 ตัวอย่างภาพโค้ดที่มีค่าความเสียหายที่เกิดกับแพตเทิร์นคงที่ซึ่งถูกพิจารณาเป็นเกรด F และมีเกรด Modulation เป็นเกรด C [19]

- ความไม่คงตัวเชิงกริด (Grid nonuniformity) เป็นการวัดความเบี่ยงเบนที่ใหญ่ที่สุดของจุดกึ่งกลางของกริดจากตำแหน่งที่ควรจะเป็น เกรดที่ต่ำของความไม่คงตัวเชิงกริดจากตำแหน่งที่ควรจะเป็น เกรดที่ต่ำของความไม่คงตัวเชิงกริดมักเกิดจากความเร็วที่ไม่คงที่ของการสร้างโค้ด 2 มิติ หรือการวางหัวพิมพ์ไม่ตั้งฉากกับพื้นผิวที่จะพิมพ์ ภาพประกอบ 3.29 แสดงตัวอย่างความไม่คงตัวเชิงกริดเมื่อเปรียบเทียบโค้ดที่ทดสอบจริงกับขอบของตำแหน่งกริดที่ควรจะเป็น และภาพประกอบ 3.30 แสดงตัวอย่างภาพโค้ดที่มีความไม่คงตัวเชิงกริดเป็นเกรด F [19]



ภาพประกอบ 3.29 ตัวอย่างความไม่คงตัวเชิงกริด โดยที่ 1 คือ โค้ดที่กำลังทดสอบ และ 2 คือ ขอบของตำแหน่งกริดที่ควรจะเป็น [19]



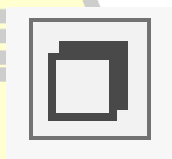
ภาพประกอบ 3.30 ตัวอย่างภาพโค้ดที่มีความไม่คงตัวเชิงกริดเป็นเกรด F [19]

- ปริมาณแสงสะท้อนน้อยที่สุด (Minimum reflectance) คือเกณฑ์การประเมินปริมาณแสงสะท้อนที่น้อยที่สุดที่ต้องการในภาพโค้ด 2 มิติที่กำลังตรวจสอบเทียบกับภาพแผ่นสอบเทียบมาตรฐานสำหรับโค้ด 2 มิติ (2D code standard calibration card)

- ความคมชัดของเซลล์ (Cell contrast) เป็นตัวประเมินคุณภาพโค้ด 2 มิติที่คล้ายกับตัวประเมินค่าความคมชัดของสัญลักษณ์ในมาตรฐาน ISO 15415 โดยมีความแตกต่างที่รายละเอียดการคำนวณ

- Cell modulation เป็นตัวประเมินคุณภาพของโค้ด 2 มิติที่คล้ายกับตัวประเมิน Modulation ในมาตรฐาน ISO 15415 โดยแตกต่างที่รายละเอียดการคำนวณ [19]

4) Custom Overlay เป็นฟังก์ชันวางหรือซ้อนข้อมูลสำหรับการแสดงผล โดยให้กำหนดเอง ยกตัวอย่าง เช่น การแสดงข้อมูลบาร์โค้ดที่ระบบอ่านได้ขึ้นมาในหน้าจอแสดงผลภาพ (ตัวอย่างลักษณะการแสดงผลในภาพประกอบ 3.33) ซึ่งสัญลักษณ์ของฟังก์ชันมีลักษณะดังภาพประกอบ 3.31

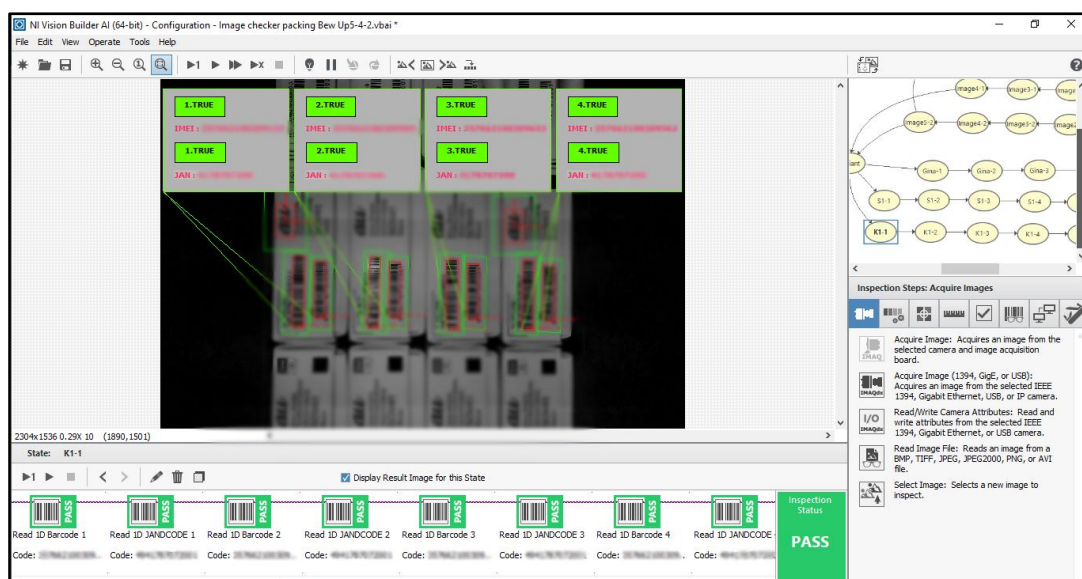


ภาพประกอบ 3.31 สัญลักษณ์ของฟังก์ชัน Custom Overlay

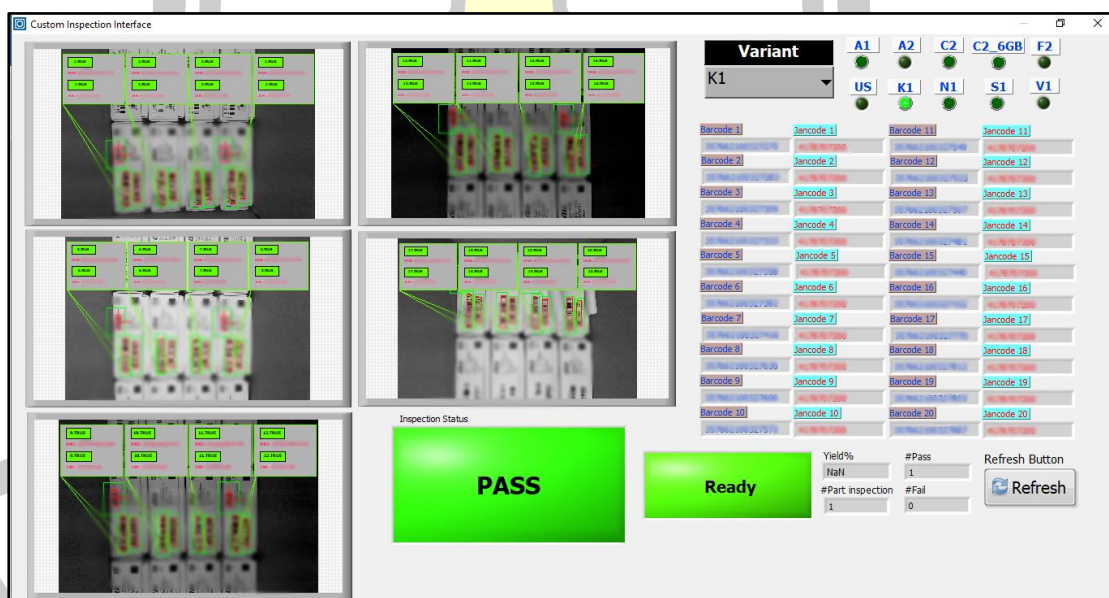
5) Custom Inspection Interface สัญลักษณ์ของฟังก์ชันแสดงดังภาพประกอบ 3.32 เป็นฟังก์ชันสำหรับการสร้างหน้าต่างอินเทอร์เน็ต หรือหน้าต่างสำหรับการใช้งาน ตัวอย่างหน้าต่างการใช้งานที่ถูกสร้างขึ้นแสดงดังภาพประกอบ 3.34 โดยมีส่วนประกอบดังแสดงในภาพประกอบ 3.35



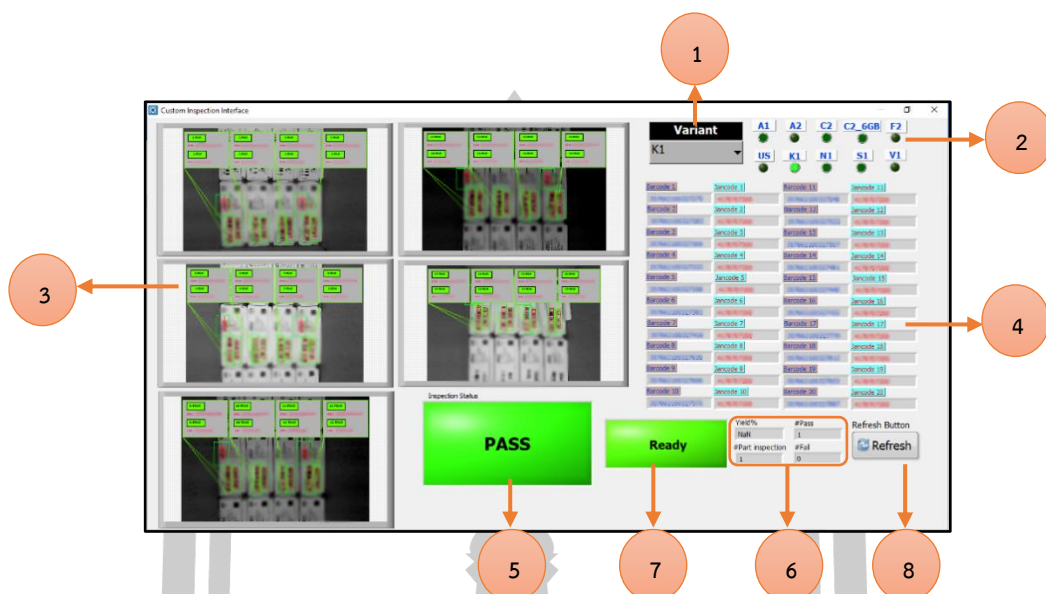
ภาพประกอบ 3.32 สัญลักษณ์ของฟังก์ชัน Custom Inspection Interface



ภาพประกอบ 3.33 การออกแบบซอฟต์แวร์เบื้องต้น
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนี้เนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



ภาพประกอบ 3.34 การออกแบบหน้าแสดงผลหรือหน้าต่างการใช้งาน
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนี้เนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



ภาพประกอบ 3.35 ส่วนประกอบของหน้าแสดงผลหรือนำต่างการใช้งาน
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)

จากภาพประกอบ 3.35 แสดงส่วนประกอบของหน้าต่างการใช้งาน โดยมี
ส่วนประกอบเรียงตามหมายเลขดังต่อไปนี้

1. เป็นช่องสำหรับให้ผู้ใช้ทำการเลือกกลุ่ม (Variant) ที่ต้องการอ่านบาร์โค้ด
2. เป็นไฟแสดงสถานะของกลุ่มตัวอย่างที่ทำการเลือกในข้อที่ 1
3. เป็นหน้าจอแสดงผลของภาพที่ทำการอ่านบาร์โค้ดของกล่องทั้ง 5 ชุด
4. เป็นช่องแสดงผลบาร์โค้ดที่อ่านจากภาพออกมาได้
5. ไฟแสดงสถานะของผลการอ่านบาร์โค้ดของระบบทั้งหมดต่อ 1 กล่อง
บรรจุภัณฑ์หลัก (Master pack) โดยจะแสดงสถานะ Pass (สีเขียว) เมื่อระบบสามารถอ่านบาร์โค้ด
ได้ทั้งหมด และแสดงสถานะ Fail (สีแดง) เมื่อระบบไม่สามารถอ่านบาร์โค้ดได้
6. เป็นช่องแสดงผลสำหรับจำนวนของกล่องบรรจุภัณฑ์ที่มีสถานะ Pass,
Fail, จำนวนกล่องบรรจุภัณฑ์หลัก (Master pack) ที่อ่านในระบบทั้งหมด และค่าอัตราส่วนของ
สถานะ Pass โดยคิดเป็นร้อยละ สำหรับกล่องบรรจุภัณฑ์ทั้งหมด
7. สถานะการทำงานของโปรแกรม โดยจะแสดงผล 2 สถานะ คือ Ready (สี
เขียว) ซึ่งแสดงมีระบบพร้อมสำหรับการทำงานและจะแสดงต่อเนื่องจนกว่าระบบจะเริ่มทำงาน อีก
หนึ่งสถานะ คือ สถานะ Processing (สีเหลือง) ซึ่งจะแสดงเมื่อระบบกำลังทำงานและจะแสดง
ต่อเนื่องจนกว่าระบบจะทำงานเสร็จสิ้น

8. เป็นปุ่มสำหรับกดล้างข้อมูล โดยจะล้างข้อมูลทุกอย่างในหน้าต่างการใช้ งาน ยกเว้นหน้าแสดงผลภาพ (ในข้อ 3)

3.3 การออกแบบการทดลอง

ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองการถอดรหัสบาร์โค้ดของโปรแกรม NI Vision builder automated inspection (VBAI) เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ (ที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1) จึงจะ ทดสอบความสามารถในการถอดรหัสบาร์โค้ดว่ามีความถูกต้องแม่นยำมากน้อยเพียงใดและสามารถ ถอดรหัสบาร์โค้ดได้ครบถ้วนหรือไม่ โดยมีอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องและวิธีการทดลองดังนี้

3.3.1 ใช้ชุดกล่องบรรจุภัณฑ์หลัก (Master pack) พร้อมอุปกรณ์ภายในกล่องบรรจุ ภัณฑ์หลัก (Master pack) ที่มีกล่องโทรศัพท์ภายใน 10 กล่อง (ขนาด 19 x 29 x 19 ซม.) และ 20 กล่อง (ขนาด 15 x 47 x 19 ซม.)

3.3.2 ใช้นาฬิกาเพื่อจับเวลาการถอดรหัสบาร์โค้ดของโปรแกรมต่อกล่องบรรจุภัณฑ์ หลัก (Master pack) 1 กล่อง

3.3.3 ทำการทดลองแบบเดิมกับ 3 กลุ่มตัวอย่าง โดยจะทดลองกลุ่มตัวอย่างละ 500 กล่องโทรศัพท์ เพื่อหาค่าเฉลี่ยของข้อมูล

3.3.3.1 กลุ่มตัวอย่างที่ 1 คือ Master pack ที่มีกล่องโทรศัพท์ภายใน 10 กล่อง (ใช้ บาร์โค้ดประเภทโค้ด 128 จำนวน 10 บาร์โค้ด)

3.3.3.2 กลุ่มตัวอย่างที่ 2 คือ Master pack ที่มีกล่องโทรศัพท์ภายใน 20 กล่อง โดยจะมีการอ่านบาร์โค้ดทั้งหมด 40 บาร์โค้ด (ใช้บาร์โค้ดประเภทโค้ด 128 และโค้ด EAN-13)

3.3.3.3 กลุ่มตัวอย่างที่ 3 คือ Master pack ที่มีกล่องโทรศัพท์ภายใน 20 กล่อง โดยจะมีการอ่านบาร์โค้ดทั้งหมด 40 บาร์โค้ด (ใช้ Data matrix และโค้ด EAN-13)

3.3.4 ตรวจสอบสถานะการทำงานของโปรแกรม (Pass/Fail) เพื่อหาค่าความแม่นยำ (Accuracy) ของโปรแกรม

3.3.5 เปรียบเทียบเวลาการทำงาน (การถอดรหัสบาร์โค้ด) จากระบบเดิม (การถอดรหัส บาร์โค้ดโดยใช้สแกนเนอร์) และระบบการถอดรหัสบาร์โค้ดโดยใช้การประมวลผลภาพ โดยการใช้ หลักการทางสถิติที่เหมาะสม

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปราย

จากการสำรวจข้อมูลความผิดพลาดและเวลาที่ใช้ในการสแกนบาร์โค้ดโดยใช้สแกนเนอร์ของสถานับรรจุภัณฑ์ อีกทั้งผู้วิจัยได้ทำการทดลองการอ่านบาร์โค้ดโดยใช้การประมวลผลภาพ (ตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ในบทที่ 3) ซึ่งจะได้แสดงผลการสำรวจข้อมูล ผลการทดลอง รวมถึงการวิเคราะห์ผลการทดลอง ดังต่อไปนี้

4.1 สํารวจของข้อมูลการสแกนบาร์โค้ดโดยใช้สแกนเนอร์ของสถานับรรจุภัณฑ์

4.1.1 ความถูกต้องของการสแกนบาร์โค้ด

ตาราง 4.1 ตัวอย่างข้อมูลการสแกนบาร์โค้ดผิดของกลุ่มตัวอย่างที่ 1

กลุ่มตัวอย่างที่ 1					
กล่องบรรจุ ภัณฑ์หลักที่.	จำนวนกล่อง โทรศัพท์	จำนวนการ สแกนผิด	กล่องบรรจุ ภัณฑ์หลักที่.	จำนวน กล่องโทรศัพท์	จำนวนการ สแกนผิด
1	10	2	26	10	0
2	10	0	27	10	0
3	10	4	28	10	0
4	10	0	29	10	0
5	10	0	30	10	0
6	10	0	31	10	0
7	10	0	32	10	0
8	10	0	33	10	0
9	10	0	34	10	0
10	10	7	35	10	0
11	10	0	36	10	0
12	10	3	37	10	4

ตาราง 4.1 ตัวอย่างข้อมูลการสแกนบาร์โค้ดผิดของกลุ่มตัวอย่างที่ 1 (ต่อ)

กลุ่มตัวอย่างที่ 1					
กล่องบรรจุ ภัณฑ์หลักที่.	จำนวนกล่อง โทรศัพท์	จำนวนการ สแกนผิด	กล่องบรรจุ ภัณฑ์หลักที่.	จำนวน กล่องโทรศัพท์	จำนวนการ สแกนผิด
13	10	3	38	10	0
14	10	3	39	10	0
15	10	0	40	10	0
16	10	0	41	10	3
17	10	3	42	10	0
18	10	0	43	10	0
19	10	0	44	10	0
20	10	0	45	10	0
21	10	0	46	10	0
22	10	0	47	10	3
23	10	0	48	10	0
24	10	0	49	10	0
25	10	0	50	10	0
จำนวนกล่องโทรศัพท์ทั้งหมด				500	
จำนวนการสแกนผิดทั้งหมด				35	

ตาราง 4.2 ตัวอย่างข้อมูลการสแกนบาร์โค้ดผิดของกลุ่มตัวอย่างที่ 2

กลุ่มตัวอย่างที่ 2			
กล่องบรรจุ ภัณฑ์หลักที่.	จำนวนกล่อง โทรศัพท์	จำนวน การสแกน	จำนวนการ สแกนผิด
1	20	40	1
2	20	40	3
3	20	40	4
4	20	40	1
5	20	40	6
6	20	40	9

ตาราง 4.2 ตัวอย่างข้อมูลการสแกนบาร์โค้ดผิดของกลุ่มตัวอย่างที่ 2 (ต่อ)

กลุ่มตัวอย่างที่ 2			
กล่องบรรจุ ภัณฑ์หลักที่.	จำนวนกล่อง โทรศัพท์	จำนวน การสแกน	จำนวนการ สแกนผิด
7	20	40	2
8	20	40	6
9	20	40	10
10	20	40	9
11	20	40	6
12	20	40	4
13	20	40	12
14	20	40	3
15	20	40	0
16	20	40	0
17	20	40	6
18	20	40	0
19	20	40	8
20	20	40	1
21	20	40	7
22	20	40	6
23	20	40	1
24	20	40	4
25	20	40	4
ผลรวม	500	1000	113

ตาราง 4.3 ตัวอย่างข้อมูลการสแกนบาร์โค้ดผิดของกลุ่มตัวอย่างที่ 3

กลุ่มตัวอย่างที่ 3			
กล่องบรรจุ ภัณฑ์หลักที่.	จำนวนกล่อง โทรศัพท์	จำนวน การสแกน	จำนวนการ สแกนผิด
1	20	40	1
2	20	40	0
3	20	40	2
4	20	40	0
5	20	40	0
6	20	40	0
7	20	40	0
8	20	40	0
9	20	40	1
10	20	40	0
11	20	40	0
12	20	40	0
13	20	40	2
14	20	40	0
15	20	40	3
16	20	40	7
17	20	40	0
18	20	40	9
19	20	40	0
20	20	40	1
21	20	40	0
22	20	40	2
23	20	40	0
24	20	40	3
25	20	40	2
ผลรวม	500	1000	33

4.1.2. เวลาที่ใช้ในการอ่านบาร์โค้ด (Tack time)

ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจข้อมูลโดยการจับเวลาในส่วนของการใช้สแกนเนอร์สแกนบาร์โค้ดของ Master Pack ในสถานีบรรจุภัณฑ์ โดยทำการจับเวลาของ Master pack 3 กลุ่มตัวอย่าง คือ กลุ่มตัวอย่างที่ 1 จำนวน 50 Master pack กลุ่มตัวอย่างที่ 2 จำนวน 25 Master pack และ กลุ่มตัวอย่างที่ 3 จำนวน 25 Master pack ซึ่งทำให้ได้ข้อมูลเวลาที่ใช้ในการอ่านบาร์โค้ด (Tack time) ของแต่ละกลุ่มตัวอย่างดังตาราง 4.4 และตาราง 4.5

ตาราง 4.4 Tack time ของกลุ่มตัวอย่างที่ 1

กลุ่มตัวอย่างที่ 1			
กล่องบรรจุ ภัณฑ์หลักที่.	เวลาที่ใช้ในการสแกน บาร์โค้ด (วินาที)	กล่องบรรจุ ภัณฑ์หลักที่.	เวลาที่ใช้ในการสแกน บาร์โค้ด (วินาที)
1	15.85	26	21.21
2	17.00	27	19.57
3	14.41	28	19.80
4	17.09	29	18.63
5	15.99	30	20.06
6	17.00	31	15.75
7	16.74	32	11.60
8	16.00	33	12.00
9	14.11	34	12.00
10	27.67	35	10.70
11	21.88	36	22.55
12	11.99	37	23.63
13	11.75	38	27.08
14	19.12	39	20.23
15	16.38	40	19.32
16	18.72	41	21.98
17	20.42	42	22.70
18	21.55	43	24.45
19	19.95	44	26.47

ตาราง 4.4 Tack time ของกลุ่มตัวอย่างที่ 1 (ต่อ)

กลุ่มตัวอย่างที่ 1			
กล่องบรรจุ ภัณฑ์หลักที่.	เวลาที่ใช้ในการสแกน บาร์โค้ด (วินาที)	กล่องบรรจุ ภัณฑ์หลักที่.	เวลาที่ใช้ในการสแกน บาร์โค้ด (วินาที)
19	19.95	44	26.47
20	19.62	45	23.00
21	19.98	46	23.80
22	15.75	47	21.18
23	18.51	48	20.39
24	22.30	49	23.43
25	19.17	50	21.06
เวลาเฉลี่ย	19.03 วินาที		

ตาราง 4.5 Tack time ของกลุ่มตัวอย่างที่ 2 และ 3

กลุ่มตัวอย่างที่ 2		กลุ่มตัวอย่างที่ 3	
กล่องบรรจุ ภัณฑ์หลักที่.	เวลาที่ใช้ในการสแกน บาร์โค้ด (วินาที)	กล่องบรรจุ ภัณฑ์หลักที่.	เวลาที่ใช้ในการสแกน บาร์โค้ด (วินาที)
1	48.54	1	67.88
2	50.52	2	67.73
3	52.41	3	63.75
4	51.88	4	77.20
5	62.65	5	107.52
6	59.01	6	83.76
7	57.11	7	62.16
8	49.86	8	86.95
9	47.00	9	71.94
10	48.57	10	60.14
11	61.09	11	59.55
12	51.55	12	65.84

ตาราง 4.5 Tack time ของกลุ่มตัวอย่างที่ 2 และ 3 (ต่อ)

กลุ่มตัวอย่างที่ 2		กลุ่มตัวอย่างที่ 3	
กล่องบรรจุ ภัณฑ์หลักที่.	เวลาที่ใช้ในการสแกน บาร์โค้ด (วินาที)	กล่องบรรจุ ภัณฑ์หลักที่.	เวลาที่ใช้ในการสแกน บาร์โค้ด (วินาที)
13	55.43	13	69.93
14	47.86	14	57.10
15	57.00	15	94.72
16	49.99	16	75.76
17	56.71	17	94.20
18	51.28	18	88.10
19	48.99	19	59.88
20	63.76	20	63.06
21	59.83	21	61.09
22	60.98	22	62.30
23	58.99	23	56.82
24	62.11	24	62.22
25	56.87	25	60.84
เวลาเฉลี่ย	54.80	เวลาเฉลี่ย	71.22

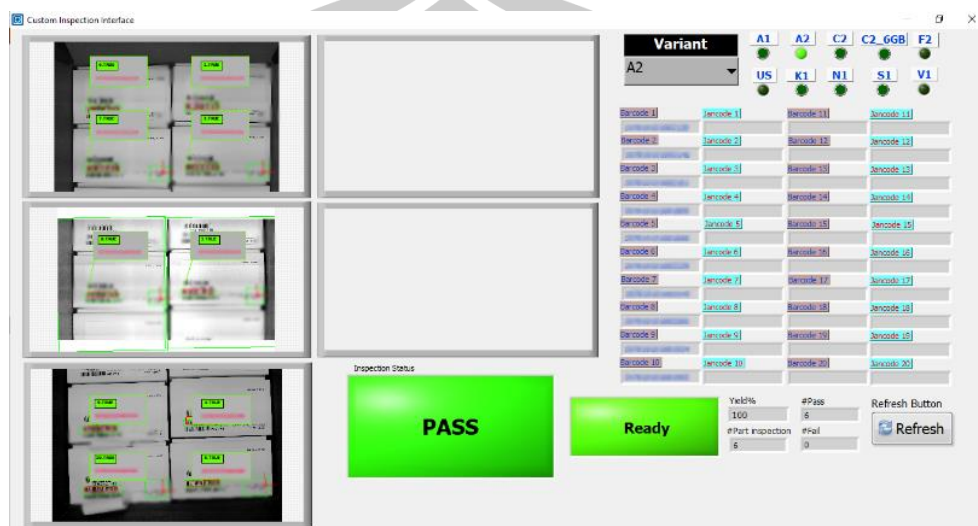
4.2 ผลการทดลอง

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองการอ่านบาร์โค้ดโดยใช้การประมวลผลภาพ (ตามการออกแบบการทดลองในบทที่ 3) ได้ผลการทดลองของ 3 กลุ่มตัวอย่างดังต่อไปนี้

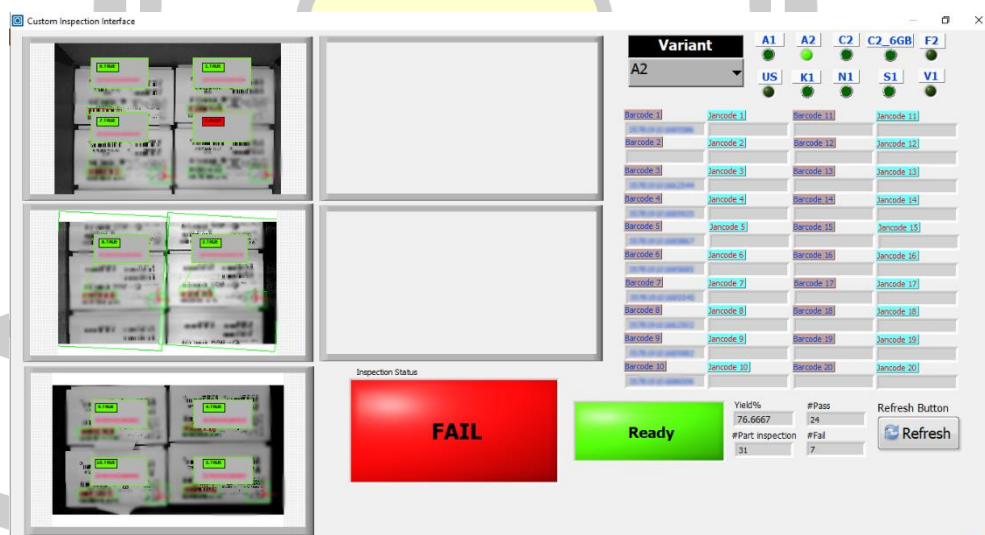
4.2.1 ผลการทดลองของกลุ่มตัวอย่างที่ 1

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองการอ่านบาร์โค้ดโดยใช้การประมวลผลภาพกับกลุ่มตัวอย่างที่ 1 จำนวน 50 Master pack ซึ่งมีกล่องโทรศัพท์ภายในจำนวน 10 กล่อง โดยมีตัวอย่างการทดลองแสดงในภาพประกอบ 4.1 และภาพประกอบ 4.2 ส่วนตัวอย่างทั้งหมดแสดงในภาคผนวก ก ผลการ

ทดลอง ค่าความแม่นยำ (Accuracy) และค่าเวลา Tack time แสดงในตาราง 4.6 และตาราง 4.7 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 4.1 ตัวอย่างการทดลองอ่านบาร์โค้ดโดยใช้การประมวลผลภาพในกรณีที่ Pass (ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



ภาพประกอบ 4.2 ตัวอย่างการทดลองอ่านบาร์โค้ดโดยใช้การประมวลผลภาพในกรณีที่ Fail (ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)

ตาราง 4.6 ผลการทดลองกลุ่มตัวอย่างที่ 1

กลุ่มตัวอย่างที่ 1			
ลำดับ บาร์โค้ด	สถานะ Pass (50 ครั้ง)	ค่าคะแนน (1000 คะแนน)	เกรด บาร์โค้ด
1	47	1000	3.33
2	47	1000	3.34
3	44	993.03	2.86
4	48	995.36	3.34
5	49	1000	3.42
6	50	1000	3.77
7	50	1000	3.73
8	50	997.91	3.31
9	49	1000	3.63
10	49	1000	3.65
ค่าเฉลี่ย	48.30	998.63	3.44

หมายเหตุ ค่าคะแนน คือค่าคะแนนสำหรับการอ่านบาร์โค้ด และ เกรดบาร์โค้ด คือ ระดับการประเมินมาตรฐานของการพิมพ์บาร์โค้ด (AIM, ANSI, CEN, ISO)

ค่าคะแนน (Score) ดังแสดงในตาราง 4.6 ตาราง 4.8 และตาราง 4.10 เป็นค่าคะแนนเฉลี่ยจากการทดลองอ่านบาร์โค้ดแต่ละกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งบาร์โค้ด 128 ที่มีค่าคะแนนสูงสุดอยู่ที่ 1000 (ใช้อ่านในกลุ่มตัวอย่างที่ 1, 2 และมีบาร์โค้ด EAN 13 ที่มีค่าคะแนนสูงสุดอยู่ที่ 854.20 (ใช้อ่านในกลุ่มตัวอย่างที่ 2, 3

ระดับการประเมินมาตรฐานของการพิมพ์บาร์โค้ด โดยวัดจากการอ่านบาร์โค้ดและจะแสดงระดับการประเมินนี้เป็นระบบการให้เกรด (Grading) ซึ่งการประเมินการให้เกรดในระบบนี้มีการประเมินพารามิเตอร์ 9 ประการ คือ Edge determination grade, Minimum reflectance grade, Minimum edge contrast grade, Symbol contrast grade, Modulation grade, Defects grade, Decode grade, Decodability grade และ Quiet zone (ดังที่ได้อธิบายไว้ในข้อที่

2.4.4) ซึ่งสามารถเทียบเกรดโดยเฉลี่ยของเกรดทั้งหมดในการทดลองอ่านบาร์โค้ดในกลุ่ม Master pack ได้ตามภาพประกอบ 4.3

Alphabetic grade	Numeric grade (average)
A	3.5 to 4.0
B	2.5 to just less than 3.5
C	1.5 to just less than 2.5
D	0.5 to just less than 1.5
F	Less than 0.5

ภาพประกอบ 4.3 ตารางการเทียบเท่ากันของเกรดตัวอักษรและตัวเลขที่ได้จากการเฉลี่ยแล้ว [16]

ตาราง 4.7 Tack time ของการอ่านบาร์โค้ดโดยใช้การประมวลผลภาพกลุ่มตัวอย่างที่ 1

กลุ่มตัวอย่างที่ 1			
กล่องบรรจุ ภัณฑ์หลักที่.	เวลาที่ใช้ในการสแกน บาร์โค้ด (วินาที)	กล่องบรรจุ ภัณฑ์หลักที่.	เวลาที่ใช้ในการสแกน บาร์โค้ด (วินาที)
1	6.55	26	6.27
2	6.67	27	6.58
3	6.7	28	6.31
4	6.68	29	6.58
5	6.68	30	6.34
6	6.54	31	6.34
7	6.78	32	6.66
8	6.6	33	6.67
9	6.59	34	6.5
10	6.42	35	6.36
11	6.62	36	6.17
12	6.55	37	5.93
13	6.51	38	6.34
14	6.49	39	6.35
15	6.34	40	6.16
16	6.3	41	6.36

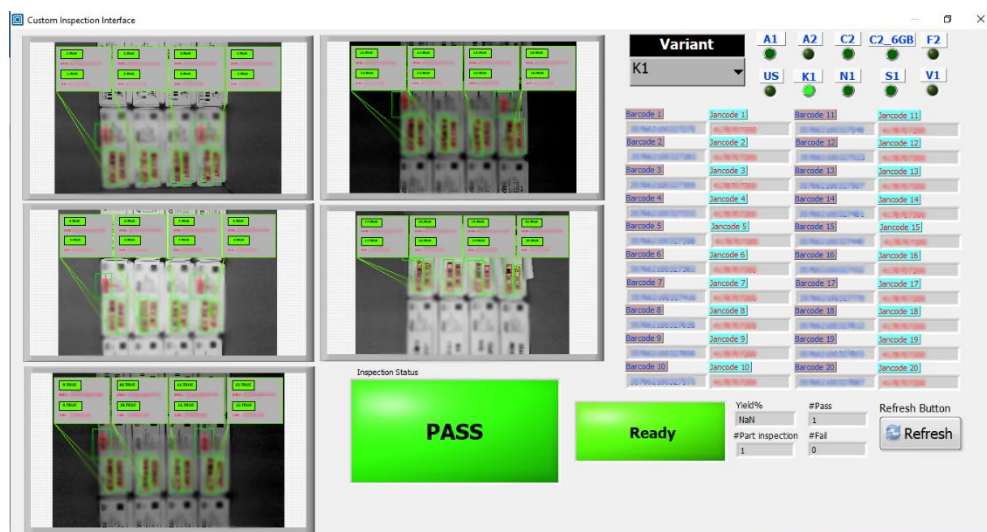
ตาราง 4.7 Tack time ของการอ่านบาร์โค้ดโดยใช้การประมวลผลภาพกลุ่มตัวอย่างที่ 1 (ต่อ)

กลุ่มตัวอย่างที่ 1			
กล่องบรรจุ ภัณฑ์หลักที่.	เวลาที่ใช้ในการสแกน บาร์โค้ด (วินาที)	กล่องบรรจุ ภัณฑ์หลักที่.	เวลาที่ใช้ในการสแกน บาร์โค้ด (วินาที)
17	6.29	42	6.3
18	6.69	43	6.16
19	6.23	44	6.36
20	6.44	45	6.38
21	6.54	46	6.48
22	5.58	47	6.37
23	6.13	48	6.32
24	6.41	49	6.13
25	6.51	50	6.27
เวลาเฉลี่ย	6.41 วินาที		

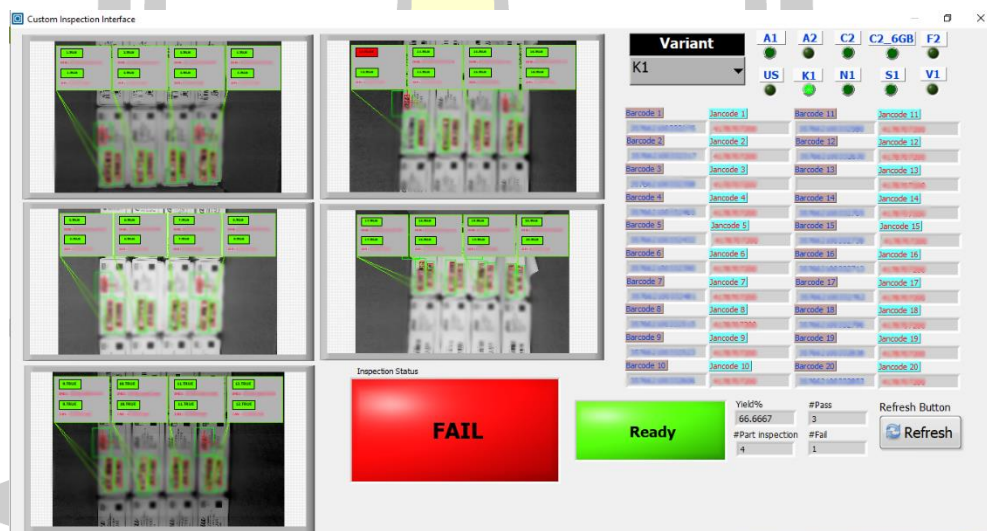
4.2.2 ผลการทดลองของกลุ่มตัวอย่างที่ 2

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองการอ่านบาร์โค้ดโดยใช้การประมวลผลภาพกับกลุ่มตัวอย่างที่ 2 จำนวน 25 Master pack ซึ่งมีกล่องโทรศัพท์ภายในจำนวน 20 กล่อง โดยมีตัวอย่างการทดลอง โดยมีตัวอย่างการทดลองแสดงในภาพประกอบ 4.4 และภาพประกอบ 4.5 ส่วนตัวอย่างทั้งหมดแสดงในภาคผนวก ค ผลการทดลอง ค่าความแม่นยำ (Accuracy) และค่าเวลา Tack time แสดงในตาราง 4.8 และตาราง 4.9 ตามลำดับ

พหุ ประสิทธิภาพ



ภาพประกอบ 4.4 ตัวอย่างการทดลองอ่านบาร์โค้ดโดยใช้การประมวลผลภาพในกรณี Pass (ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



ภาพประกอบ 4.5 ตัวอย่างการทดลองอ่านบาร์โค้ดโดยใช้การประมวลผลภาพในกรณี Fail (ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)

ตาราง 4.8 ผลการทดลองกลุ่มตัวอย่างที่ 2

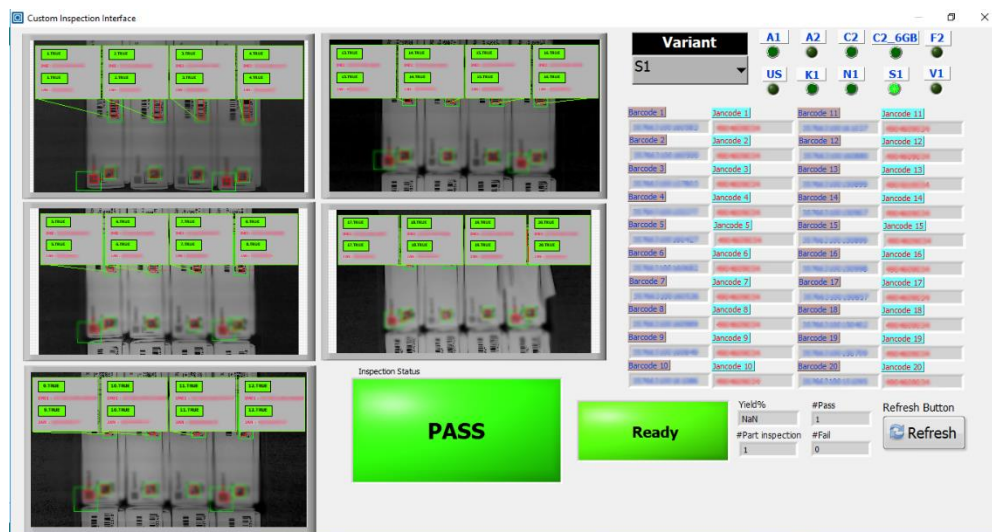
กลุ่มตัวอย่างที่ 2							
ลำดับ บาร์โค้ด 128	สถานะ Pass (25 ครั้ง)	ค่าคะแนน (1000 คะแนน)	เกรด บาร์โค้ด	ลำดับ บาร์โค้ด EAN-13	สถานะ Pass (25 ครั้ง)	ค่าคะแนน (848.12 คะแนน)	เกรด บาร์โค้ด
1	25	1000	3.06	1	25	848.12	2.98
2	25	1000	2.95	2	25	848.12	2.98
3	25	1000	3.07	3	25	848.12	2.96
4	25	1000	3.06	4	25	848.12	2.93
5	25	1000	2.80	5	25	848.12	2.93
6	25	995.82	2.84	6	25	848.12	2.93
7	25	1000	2.96	7	25	848.12	2.93
8	25	1000	2.96	8	25	848.12	2.93
9	25	1000	2.96	9	25	847.39	2.93
10	25	1000	2.68	10	25	847.40	2.86
11	24	1000	2.62	11	25	848.12	2.87
12	25	1000	2.95	12	25	848.12	2.94
13	24	1000	2.97	13	25	848.12	2.94
14	23	1000	2.94	14	25	848.12	2.94
15	25	1000	2.94	15	25	848.12	2.94
16	25	1000	2.94	16	25	848.12	2.94
17	25	1000	3.01	17	25	848.12	2.91
18	25	1000	2.83	18	25	848.12	2.82
19	25	1000	2.66	19	25	848.12	2.81
20	25	1000	2.99	20	25	848.12	2.88
ค่าเฉลี่ย	24.8	999.8	2.91	ค่าเฉลี่ย	25	848.1	2.92

ตาราง 4.9 Tack time ของการอ่านบาร์โค้ดโดยใช้การประมวลผลภาพกลุ่มตัวอย่างที่ 2

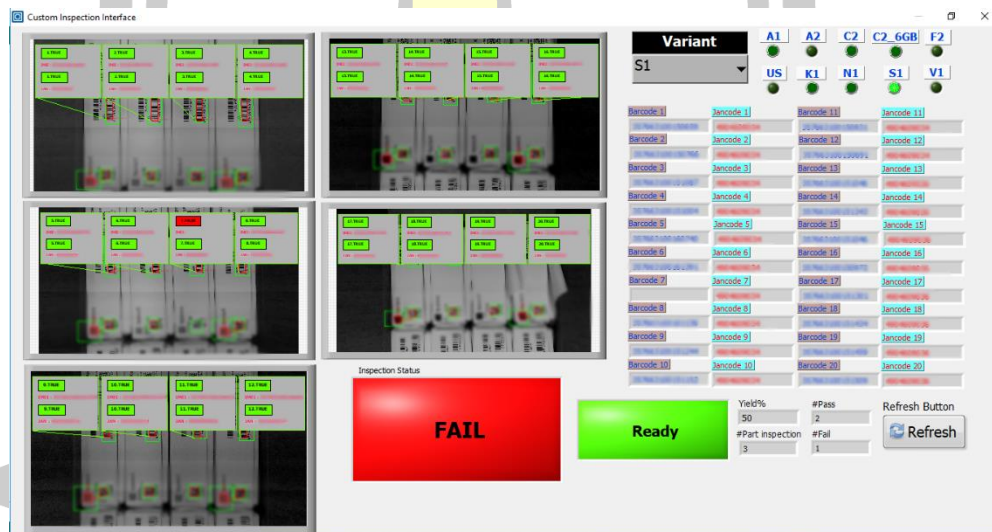
กลุ่มตัวอย่างที่ 2			
กล่องบรรจุ ภัณฑ์หลักที่.	เวลาที่ใช้ในการสแกน บาร์โค้ด (วินาที)	กล่องบรรจุ ภัณฑ์หลักที่.	เวลาที่ใช้ในการสแกน บาร์โค้ด (วินาที)
1	13.02	14	13.01
2	12.87	15	13.2
3	12.81	16	13.11
4	12.93	17	12.99
5	13.26	18	13.21
6	12.88	19	12.87
7	13.37	20	12.62
8	13.07	21	12.85
9	12.98	22	13.04
10	12.83	23	12.65
11	12.73	24	12.65
12	12.85	25	12.77
13	12.88		
ค่าเฉลี่ย	12.94 วินาที		

4.2.3 ผลการทดลองของกลุ่มตัวอย่างที่ 3

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองการอ่านบาร์โค้ดโดยใช้การประมวลผลภาพกับกลุ่มตัวอย่างที่ 3 จำนวน 25 Master pack ซึ่งมีกล่องโทรศัพท์ภายในจำนวน 20 กล่อง โดยมีตัวอย่างการทดลอง โดยมีตัวอย่างการทดลองแสดงในภาพประกอบ 4.6 และภาพประกอบ 4.7 ส่วนตัวอย่างทั้งหมดแสดงในภาคผนวก ง ผลการทดลอง ค่าความแม่นยำ (Accuracy) และค่าเวลา Tack time แสดงในตาราง 4.10 และตาราง 4.11



ภาพประกอบ 4.6 ตัวอย่างการทดลองอ่านบาร์โค้ดโดยใช้การประมวลผลภาพในกรณีที่ Pass (ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



ภาพประกอบ 4.7 ตัวอย่างการทดลองอ่านบาร์โค้ดโดยใช้การประมวลผลภาพในกรณีที่ Fail (ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)

ตาราง 4.10 ผลการทดลองกลุ่มตัวอย่างที่ 3

กลุ่มตัวอย่างที่ 3					
ลำดับ Data Matrix	สถานะ Pass (25 ครั้ง)	ลำดับบาร์โค้ด EAN-13	สถานะ Pass (25 ครั้ง)	ค่าคะแนน (854.20 คะแนน)	เกรด บาร์โค้ด
1	25	1	25	848.12	3.20
2	23	2	25	848.12	3.20
3	24	3	25	848.12	3.19
4	25	4	25	848.12	3.19
5	24	5	25	848.12	3.18
6	25	6	25	848.12	3.19
7	25	7	25	848.12	3.17
8	25	8	25	848.12	3.14
9	24	9	25	848.12	3.11
10	25	10	25	848.12	2.94
11	24	11	25	848.12	3.04
12	24	12	25	848.12	3.14
13	24	13	25	854.20	3.16
14	25	14	25	848.12	3.17
15	24	15	25	854.20	3.17
16	23	16	25	848.12	3.15
17	25	17	25	848.12	3.10
18	24	18	25	846.68	3.06
19	24	19	25	848.12	3.06
20	25	20	25	848.12	3.06
ค่าเฉลี่ย	24.35	ค่าเฉลี่ย	25	848.66	3.20

ตาราง 4.11 Tack time ของการอ่านบาร์โค้ดโดยใช้การประมวลผลภาพกลุ่มตัวอย่างที่ 3

กลุ่มตัวอย่างที่ 3			
กล่องบรรจุ ภัณฑ์หลักที่.	เวลาที่ใช้ในการสแกน บาร์โค้ด (วินาที)	กล่องบรรจุ ภัณฑ์หลักที่.	เวลาที่ใช้ในการสแกน บาร์โค้ด (วินาที)
1	11.84	14	11.46
2	11.51	15	11.54
3	11.72	16	11.58
4	11.66	17	11.71
5	11.56	18	11.65
6	12.06	19	11.75
7	11.51	20	11.58
8	11.5	21	11.32
9	11.54	22	11.11
10	11.72	23	11.51
11	11.56	24	11.63
12	11.67	25	11.45
13	11.66		
ค่าเฉลี่ย	11.59 วินาที		

4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากข้อมูลการสำรวจเวลาและความผิดพลาดที่พนักงานใช้สแกนเนอร์สแกนบาร์โค้ดของ Master pack (ดังข้อที่ 4.1) ข้อมูลเวลาและความถูกต้องของการทดลองการอ่านบาร์โค้ดโดยใช้การประมวลผลภาพของทั้ง 3 กลุ่มตัวอย่าง โดยจะแยกการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน คือ ความถูกต้องของการอ่านบาร์โค้ด และ Tack time หรือเวลาที่ใช้ในการอ่านบาร์โค้ดของการอ่านบาร์โค้ดโดยใช้สแกนเนอร์และการอ่านบาร์โดยใช้การประมวลผลภาพ

4.3.1 ความถูกต้องของการอ่านบาร์โค้ด

จากการสำรวจข้อมูลความถูกต้องซึ่งได้ผลดังตาราง 4.1 ตาราง 4.2 และตาราง 4.3 สามารถคำนวณหาความผิดพลาดโดยใช้สมการที่ 2.20 พบว่า กลุ่มตัวอย่างที่ 1 มีการสแกนบาร์โค้ดผิดพลาดโดยเฉลี่ยร้อยละ 7.00 ดังนั้นมีความแม่นยำโดยเฉลี่ยร้อยละ 93 กลุ่มตัวอย่างที่ 2 มีการสแกนบาร์โค้ดผิดพลาดโดยเฉลี่ยร้อยละ 11.30 ดังนั้นมีความแม่นยำโดยเฉลี่ยร้อยละ 88.70 และกลุ่มตัวอย่างที่ 3 มีการสแกนบาร์โค้ดผิดพลาดโดยเฉลี่ยร้อยละ 3.3 ดังนั้นมีความแม่นยำโดยเฉลี่ยร้อยละ 96.70 โดยมีความแม่นยำเฉลี่ยทั้ง 3 กลุ่มตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 94.04 ซึ่งจากการทดลองการอ่านบาร์โค้ดโดยการประมวลผลภาพของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มตัวอย่าง ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น กลุ่มตัวอย่างที่ 1 มีการอ่านบาร์โค้ดผิดพลาดโดยเฉลี่ยร้อยละ 3.40 ดังนั้นมีความแม่นยำโดยเฉลี่ยร้อยละ 96.6 กลุ่มตัวอย่างที่ 2 มีการอ่านบาร์โค้ดผิดพลาดโดยเฉลี่ยร้อยละ 0.40 ดังนั้นมีความแม่นยำโดยเฉลี่ยร้อยละ 99.60 และกลุ่มตัวอย่างที่ 3 มีการอ่านบาร์โค้ดผิดพลาดโดยเฉลี่ยร้อยละ 1.30 ดังนั้นมีความแม่นยำโดยเฉลี่ยร้อยละ 98.70 ซึ่งเมื่อนำความแม่นยำโดยเฉลี่ยของทั้ง 3 กลุ่มตัวอย่งนี้มาวิเคราะห์โดยรวมแล้วจะได้ความแม่นยำของระบบการอ่านบาร์โค้ดโดยใช้การประมวลผลภาพเป็นร้อยละ 98.64

4.3.2 Tack time หรือเวลาที่ใช้ในการอ่านบาร์โค้ด

จากการสำรวจโดยทำการจับเวลาที่พนักงานใช้สแกนเนอร์สแกนบาร์โค้ดบนกล่อง Master pack และการจับเวลาของการทดลองอ่านบาร์โดยการประมวลผลภาพ จากกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มตัวอย่าง พบว่า พนักงานใช้เวลาสแกนบาร์โค้ดในกลุ่มตัวอย่างที่ 1 ในกลุ่มตัวอย่างที่ 2 และในกลุ่มตัวอย่างที่ 3 โดยเฉลี่ย 19.03, 54.80 และ 71.22 วินาที ตามลำดับ ซึ่งในส่วนของการอ่านบาร์โค้ดโดยการประมวลผลภาพใช้เวลาในการอ่านบาร์โค้ดจากกลุ่มตัวอย่าง โดยเฉลี่ย 6.41, 12.94 และ 11.59 วินาที ตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ

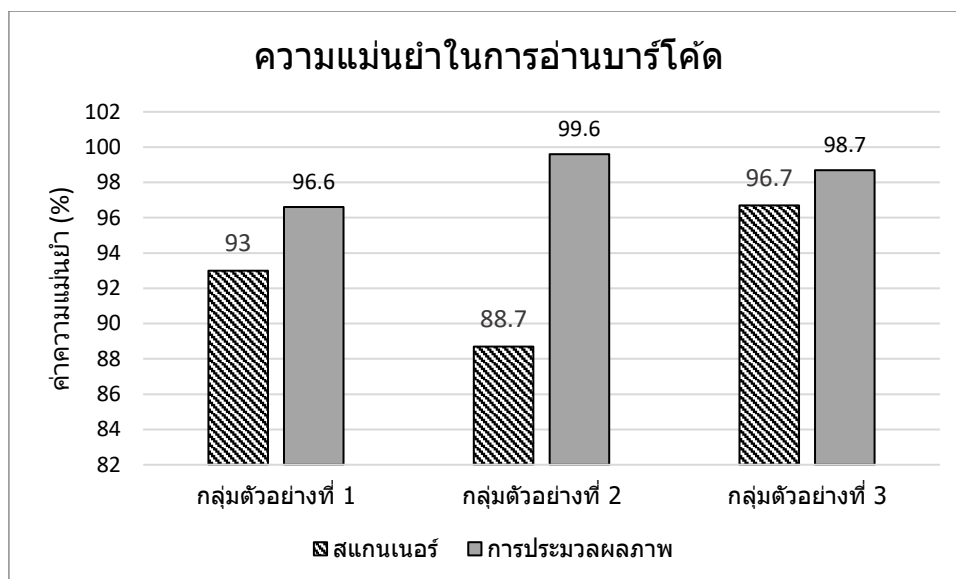
5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ข้อมูลในข้อที่ 4.3 สามารถสรุปผลโดยแยกจะการสรุปข้อมูลออกเป็น 2 บทสรุป เพื่อให้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์ (ที่ได้กล่าวมาในบทที่ 1) คือ การลดความผิดพลาด และการลดเวลา (Tack time) ในการสแกนบาร์โค้ดบนกล่อง Master pack

5.1.1 การลดความผิดพลาดของการสแกนบาร์โค้ดบนกล่อง Master pack

ค่าความแม่นยำ (Accuracy) โดยเฉลี่ยจากการสแกนบาร์โค้ดของพนักงานเท่ากับ ร้อยละ 94.04 ในขณะที่ค่าความแม่นยำของการอ่านบาร์โค้ดโดยการประมวลผลภาพ (ดังที่ได้วิเคราะห์ผลในข้อที่ 4.3.1) เท่ากับร้อยละ 98.64 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ระบบการอ่านบาร์โค้ดโดยใช้การประมวลผลภาพมีความแม่นยำมากกว่าการให้พนักงานสแกนบาร์โค้ดโดยใช้สแกนเนอร์ ซึ่งมีค่าความแม่นยำมากกว่าการสแกนบาร์โค้ดของพนักงานคิดเป็นร้อยละ 4.60 ดังนั้นสามารถลดความผิดพลาดในการสแกนบาร์โค้ดของพนักงานโดยใช้สแกนเนอร์ได้ โดยภาพประกอบ 5.1 แสดงกราฟการเปรียบเทียบความแม่นยำของระบบการอ่านบาร์โค้ดโดยการประมวลผลภาพกับระบบเดิมของทั้ง 3 กลุ่มตัวอย่าง

พูน ปณ จิต ชีเว

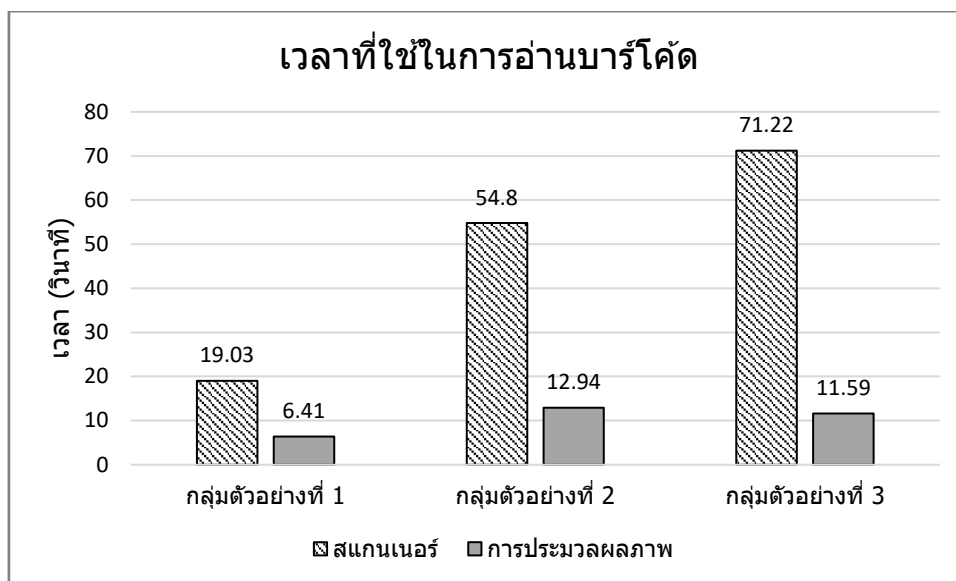


ภาพประกอบ 5.1 กราฟการเปรียบเทียบความแม่นยำของระบบการอ่านบาร์โค้ดโดยการประมวลผลภาพกับระบบเดิมของทั้ง 3 กลุ่มตัวอย่าง

5.1.2 การลดเวลาที่ใช้ในการอ่านบาร์โค้ด (Tack time) ในการสแกนบาร์โค้ดบนกล่อง Master pack

จากการวิเคราะห์ผลในการสำรวจเวลาที่ใช้ในการสแกนบาร์โค้ดของพนักงานและเวลาที่ใช้ในการอ่านบาร์โค้ดโดยการประมวลผลภาพ (ในข้อที่ 4.3.2) ได้ผลดังภาพประกอบ 5.2

พูน ปณ จิต ชีเว



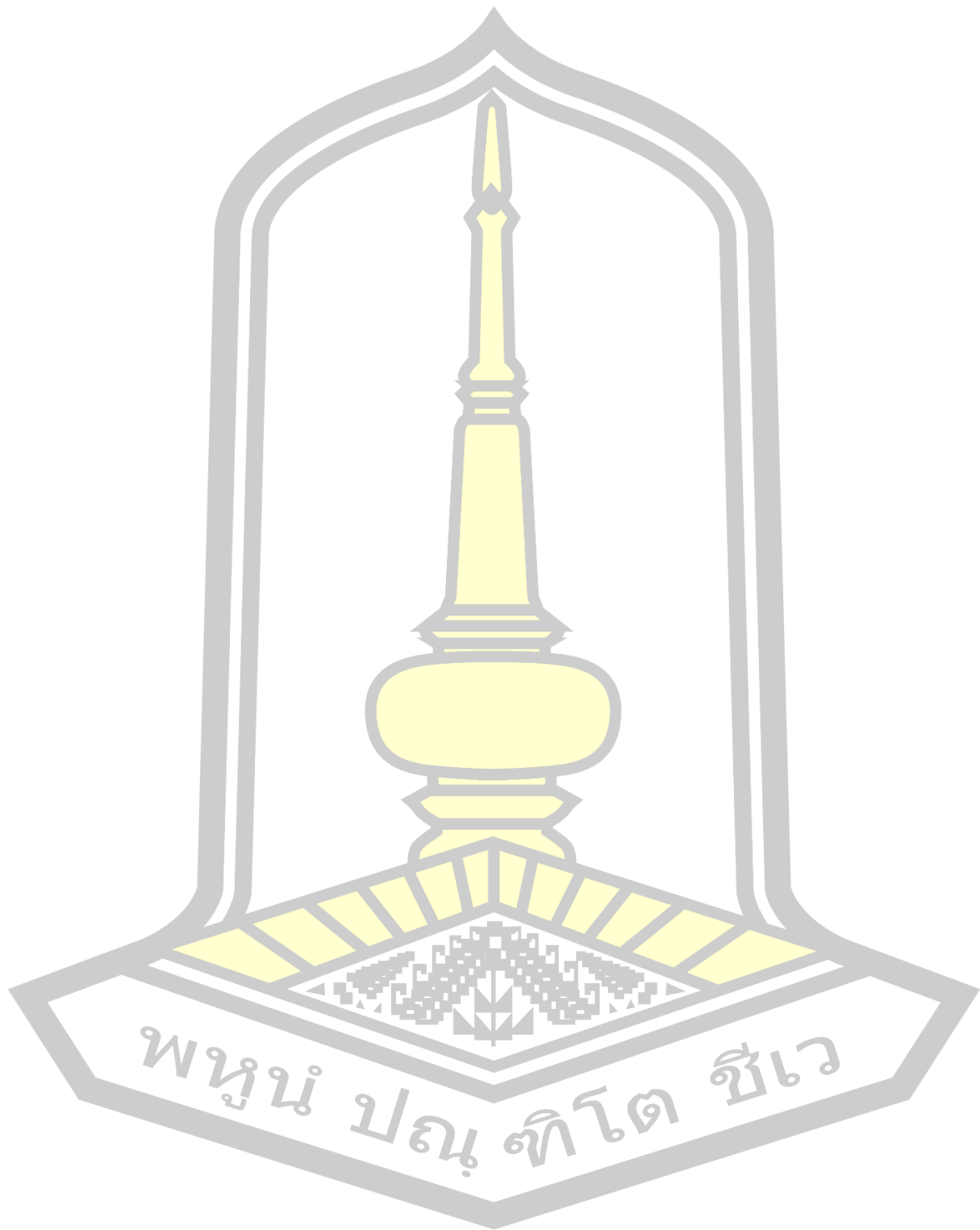
ภาพประกอบ 5.2 กราฟสรุปผลข้อมูลเวลาที่ใช้ในการอ่านบาร์โค้ด (Tack time) โดยเฉลี่ยของ 3 กลุ่มตัวอย่าง

จากภาพประกอบ 5.2 สามารถเปรียบเทียบและสรุปผลได้ว่าการสแกนบาร์โค้ดโดยการประมวลผลภาพใช้เวลาน้อยกว่าการสแกนบาร์โค้ดระบบเดิม โดยใช้พนักงาน ดังนั้นระบบการสแกนบาร์โค้ดโดยการประมวลผลภาพนี้จึงสามารถลดเวลาในการสแกนบาร์โค้ดได้จริงตามวัตถุประสงค์ที่ได้กล่าวมาข้างต้น โดยลดลงเหลือ 6.41 – 12.94 วินาที จากเดิม 19.03 – 71.22 วินาที หรือลดระยะเวลาลงคิดเป็นประมาณ 3 – 6 เท่าของระบบเดิม

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากความแม่นยำในการอ่านบาร์โค้ดโดยการประมวลผลภาพขึ้นอยู่กับปัจจัยหลากหลายอย่าง (ดังภาพประกอบ 3.7) ทั้งในด้านของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ การเลือกใช้กล้องถ่ายภาพที่มีคุณภาพดีขึ้น การปรับปรุงภาพให้มีคุณภาพดีขึ้น การติดตั้งแสงสว่างที่เหมาะสม การวาง Master pack ให้ตรงตำแหน่ง หรือแม้กระทั่งการเลือกใช้ซอฟต์แวร์ ก็อาจส่งผลให้ระบบการอ่านบาร์โค้ดโดยการประมวลผลภาพมีความแม่นยำสูงขึ้นได้อีก

บรรณานุกรม



บรรณานุกรม

- [1] Geocities., “บทที่ 1 introduction to Machine Vision,” 2014. [Online]. Available: http://www.geocities.ws/k_kirkpong/chapter01.pdf. [Accessed: 15-Nov-2018].
- [2] ภาณุวัฒน์ เมฆ, “การใช้งานแมชชีนวิชันสำหรับการตรวจสอบแบบอัตโนมัติ,” 2015. [Online]. Available: <http://www.erp.mju.ac.th>. [Accessed: 18-Nov-2018].
- [3] จิตติมา วระกุล, “การพัฒนาเครื่องตรวจสอบเชิงมองเห็นแบบอัตโนมัติสำหรับกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์,” วิทยานิพนธ์ วศ.ม (เครื่องกล), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2553.
- [4] A. Sarkar., “Fault identification on Cigarette Packs-An Image Processing Approach,” in *Annual IEEE India Conference (INDICON)*, 2014.
- [5] A. P. S. Chauhan., “Detection of Bare PCB Defects by Image Subtraction Method using Machine Vision,” *Proc. World Congr. Eng. 2011*, 2011.
- [6] I.Zafar., “Real Time Multiple Two Dimensional Barcode Reader,” in *5th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, 2010.
- [7] Y. Fu and N. Wang, “Measurement of dust concentration based on VBAI,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 418, no. 1, 2013.
- [8] R. Tomari., “DTomari., R. (2015). Development of Rad Blood Call Analysis System Using NI Vision Builder AI. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. evelopment of Rad Blood Call Analysis System Using NI Vision Builder AI,” *ARPN J. Eng. Appl. Sci.*, 2015.
- [9] R. Diaz, L. Gil, C. Serrano, M. Blasco, E. Moltó, and J. Blasco, “Comparison of three algorithms in the classification of table olives by means of computer vision,” *J. Food Eng.*, vol. 61, no. 1 SPEC., pp. 101–107, 2004.
- [10] สี่มา พันธุ์พิชิต, *การพิมพ์บาร์โค้ด(ดีไซน์แบบลอจิสติกส์)*, กรุงเทพฯ: วงศ์สว่างการพิมพ์, 2548.
- [11] พรศิลป์ พงษ์วิวงศ์, “การพิมพ์รหัสบาร์โค้ดบนสติ๊กเกอร์สำหรับติดบนครุภัณฑ์,” *วารสารวิทยบริการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์*, ปีที่ 19, ฉบับที่ 1, 2551.

- [12] คำนาย อภิปรัชญาสกุล, *คู่มือออกแบบและติดตั้งระบบบาร์โค้ดในโลจิสติกส์และการจัดการซัพพลายเชน*, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: นักรพ การพิมพ์, 2547.
- [13] Mira, “ประเภทของบาร์โค้ด,” 2016. [Online]. Available: <http://www.barcode2.miracomputers.com>. [Accessed: 20-Oct-2018].
- [14] บริษัท เอส ที เจ อิลีกทริก วอลูชั่น จำกัด, “ความรู้เกี่ยวกับสติ๊กเกอร์บาร์โค้ด Barcode Sticker of Label.” [Online]. Available: <http://www.stj1972.com>. [Accessed: 20-Nov-2018].
- [15] Sanchai.07., “หลักการงานสแกนเนอร์และบาร์โค้ด,” 2018. [Online]. Available: <http://6031280007.blogspot.com/2017/08/blog-post.html>. [Accessed: 10-Nov-2018].
- [16] Association for Automatic Identification and Mobility, “The Layman’s Guide to ANSI, CEN, and ISO Bar Code Print Quality Documents,” *Quality*. pp. 1–23, 2002.
- [17] Nextsoftwares., “ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการประมวลผลภาพดิจิทัล,” 2014. [Online]. Available: <http://nextsoftwares.wordpress.com>. [Accessed: 10-Nov-2018].
- [18] Softengthai., “การประมวลผลภาพคอมพิวเตอร์กราฟิก,” 2012. [Online]. Available: <http://lprsofteng.blogspot.com/2012/04/blog-post.html>. [Accessed: 15-Nov-2018].
- [19] ปกรณ์ แก้วตระกูลพงษ์, *การประยุกต์อัลกอริทึมแมชีนวิชันโดยใช้ NI Vision*, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2559.
- [20] G. Vision, “STC-SCA503POE,” 1944. .
- [21] พิเชษฐ เพียรเจริญ, “การถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล,” *วารสารวิทยบริการ*, ปีที่ 13, ฉบับที่ 3, หน้า 38–48, กันยายน-ธันวาคม, 2545.
- [22] ชำนาญ ห่อเกียรติ, *เทคนิคการส่องสว่าง*, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540.
- [23] อนุชา ตุงคัษฐาน และ กัสมา ลีวัน, “การตรวจจับและจดจำโมเดลรถยนต์ด้วยข้อมูลเชิงจุดภาพ (การแปลงภาพระดับเทา),” *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม*, ปีที่ 19,

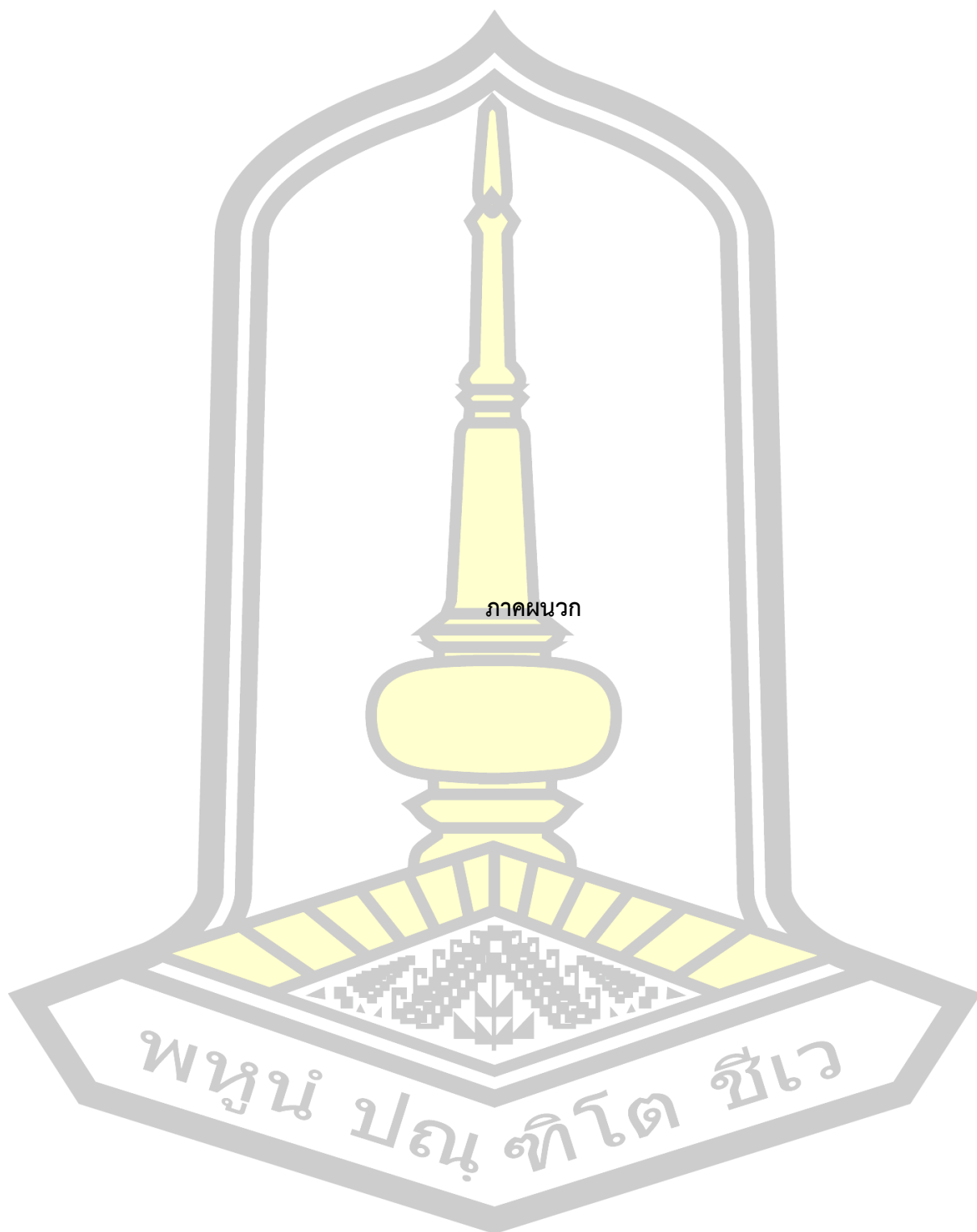
ฉบับที่ 1, หน้า 90–102, มกราคม-มิถุนายน, 2561.

- [24] วชิราภรณ์ เพมิพูนสินทรัพย์ และ ยุติ ฉัตรวรานนท์, “การประมวลผลภาพด้วยวิธีการหาขอบภาพแบบฟัซซี่ลอจิกสำหรับการระบุระดับน้ำ,” *วารสารวิชาการปทุมวัน*, ปีที่ 8, ฉบับที่ 22, หน้า 25–36, พฤษภาคม-สิงหาคม, 2561.
- [25] J. A. M. Saif, M. H. Hammad, and I. A. A. Alqubati, “Gradient Based Image Edge Detection,” *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 8, no. 3, pp. 153–156, 2016.
- [26] คู่มือฝึกอบรมการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน, “บทที่ 3 ระบบไฟฟ้าและแสงสว่าง,” 2017. [Online]. Available: <http://energyauditorthai.com/wp/content/uploads/2017/01/04>. [Accessed: 11-Apr-2019].
- [27] A. Chaki, M. Prashant, and P. Sen, “A comprehensive market analysis on camera and illumination sensors for image processing and Machine Vision applications,” *Proc. - 2010 Int. Conf. Comput. Intell. Commun. Networks, CICN 2010*, no. Ccd, pp. 382–385, 2010.
- [28] M. Mehrubeoglu, L. M. Pham, H. T. Le, R. Muddu, and D. Ryu, “Real-time eye tracking using a smart camera,” *Proc. - Appl. Imag. Pattern Recognit. Work.*, pp. 1–7, 2011.
- [29] N. J. Hepworth, J. R. M. Hammond, and J. Varley, “Novel application of computer vision to determine bubble size distributions in beer,” *J. Food Eng.*, vol. 61, no. 1 SPEC., pp. 119–124, 2004.
- [30] O. Gallo and R. Manduchi, “Reading 1D barcodes with mobile phones using deformable templates,” *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 33, no. 9, pp. 1834–1843, 2011.
- [31] P. M. Mehl, Y. R. Chen, M. S. Kim, and D. E. Chan, “Development of hyperspectral imaging technique for the detection of apple surface defects and contaminations,” *J. Food Eng.*, vol. 61, no. 1 SPEC., pp. 67–81, 2004.
- [32] A. Sarkar, S. Chakraborty, and B. K. Roy, “Image processing based product label quality control on FMCG products,” *2015 Int. Conf. Energy, Power Environ.*

Towar. Sustain. Growth, ICEPE 2015, pp. 1–5, 2016.

- [33] W. C. Wang, S. L. Chen, L. B. Chen, and W. J. Chang, “A Machine Vision Based Automatic Optical Inspection System for Measuring Drilling Quality of Printed Circuit Boards,” *IEEE Access*, vol. 5, pp. 10817–10833, 2017.
- [34] M. Chang, B. C. Chen, J. L. Gabayno, and M. F. Chen, “Development of an optical inspection platform for surface defect detection in touch panel glass,” *Int. J. Optomechatronics*, vol. 10, no. 2, pp. 63–72, 2016.
- [35] S. Abdelhedi, K. Taouil, and B. Hadjkacem, “Design of Automatic Vision-based Inspection System for Monitoring in an Olive Oil Bottling Line,” *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 51, no. 21, pp. 39–46, 2012.
- [36] อมฤต นามบุตรดี, “อุปกรณ์ถอดรหัสบาร์โค้ดแบบสองมิติสำหรับผลิตภัณฑ์พลาสติกใส,” *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 31*, หน้า 1113-1116, ตุลาคม, 2551.
- [37] Logitech, “HD Webcam C270 Specification,” 2016.
- [38] Logitech, “C922 PRO,” 2016.
- [39] Logitech, “C922 PRO STREAM WEBCAM Setup Guide .,” 2016.
- [40] A. Gormley, D. Muller, F. Sharkey, and M. Frey, “GS1 2D Barcode Verification Process Implementation Guideline.” pp. 1–40, 2015.
- [41] D. Jaibun, “Measures of Central Value,” pp. 17–28, 2011.
- [42] พรทรัพย์ พรสวัสดิ์, *การวิเคราะห์เชิงตัวเลข*, พิมพ์ครั้งที่ 1, จังหวัดนครปฐม: มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์, 2556.

พหุบัณฑิต ชีเว



ภาคผนวก

พหุบัน ปณ จิต ชีเว

ภาคผนวก ก

แสดงข้อมูลจำเพาะของกล้อง Logitech C922 Webcam

พหุบัน ปณ จักโต ชีเว



C922 PRO

Stream webcam



DESIGNED FOR SERIOUS STREAMERS.

Designed for serious streamers, the Logitech® C922 Pro Stream Webcam lets you stream and record vibrant, true-to-life HD 1080p video that captures the most exciting details at 30fps. H.264—an advanced compression technology that demands less network bandwidth—makes sure your uploads are fast and smooth. Use the customisable background replacement to integrate live images while broadcasting on Twitch and YouTube. The video automatically adjusts to low light and two omnidirectional mics capture stereo audio from every angle. The tabletop tripod comes with a swivel mount and extends to 18.5 cm so that you can adjust C922 to the most flattering angle.

WHAT'S IN THE BOX

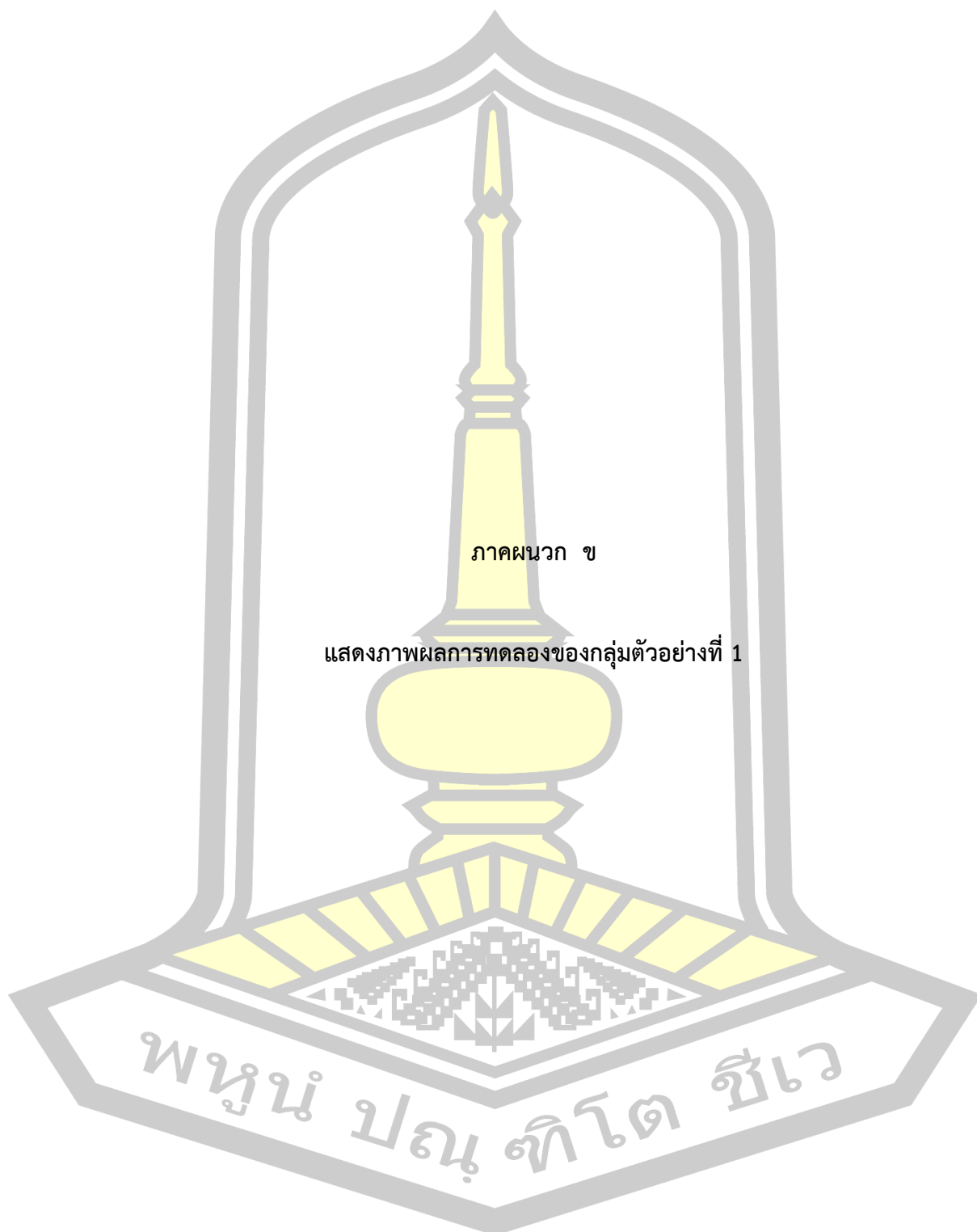
- Pro Webcam for streaming
- Tripod
- User documentation
- 2-year manufacturer's guarantee and full product support

FEATURES

- Full HD 1080p at 30fps/720p at 60fps streaming
- Customisable background replacement
- Automatic low-light correction
- Two omnidirectional mics
- Fully adjustable tabletop tripod

ศูนย์ ปณู ทีโอที ขะ

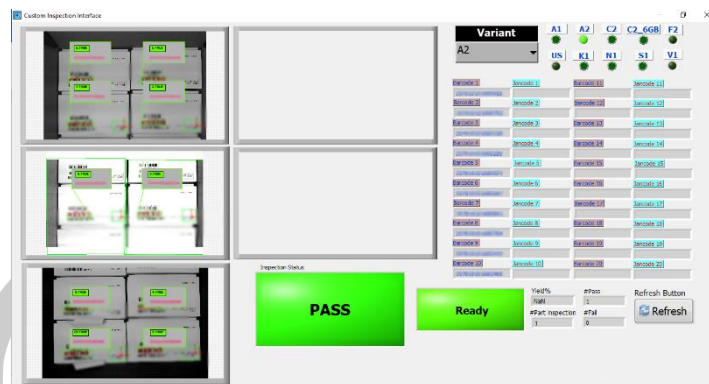
Performance	
Maximum video resolution *	1920 x 1080 pixels
Full HD *	✓
Maximum frame rate *	60 fps
Resolution at capture speed	1280x720@60fps,1920x1080@30fps
Supported video modes	720p,1080p
Video formats supported	H.264
Photo feature	✓
Automatic light correction	✓
Design	
Built-in microphone *	✓
Interface *	USB
Product colour *	Black
Mounting type *	Clip/Stand
Built-in flash *	✗
Number of microphones	2
Cable length	1.8 m
Software	
Windows operating systems supported	Windows 10,Windows 10 Education,Windows 10 Education x64,Windows 10 Enterprise,Windows 10 Enterprise x64,Windows 10 Home,Windows 10 Home x64,Windows 10 Pro,Windows 10 Pro x64,Windows 7 Enterprise,Windows 7 Enterprise x64,Windows 7 Home Basic,Windows 7 Home Basic x64,Windows 7 Home Premium,Windows 7 Home Premium x64,Windows 7 Professional,Windows 7 Professional x64,Windows 7 Starter,Windows 7 Starter x64,Windows 7 Ultimate,Windows 7 Ultimate x64,Windows 8,Windows 8 Enterprise,Windows 8 Enterprise x64,Windows 8 Pro,Windows 8 Pro x64,Windows 8 x64
Mac operating systems supported	Mac OS X 10.10 Yosemite,Mac OS X 10.11 El Capitan,Mac OS X 10.12 Sierra,Mac OS X 10.9 Mavericks



ภาคผนวก ข

แสดงภาพผลการทดลองของกลุ่มตัวอย่างที่ 1

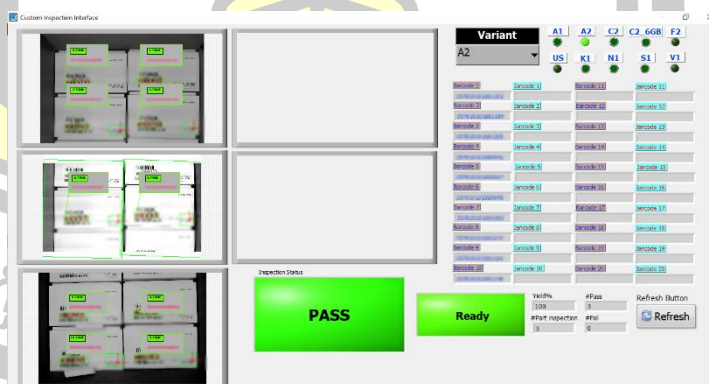
พหุบัน ปณฺ ฌิโต ชีเว



การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 1
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 2
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 3
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กลุ่มที่ 7
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กลุ่มที่ 8
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กลุ่มที่ 9
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



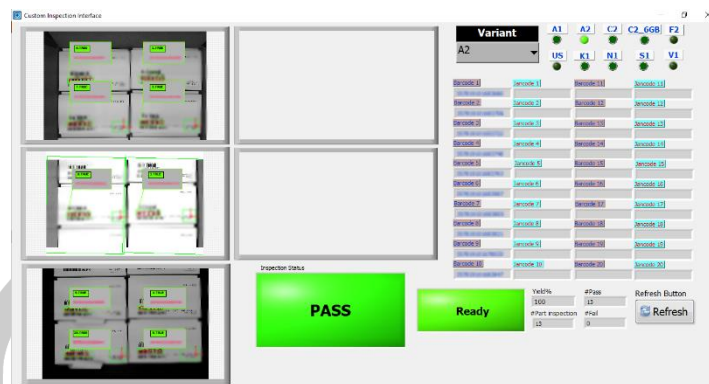
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 10
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



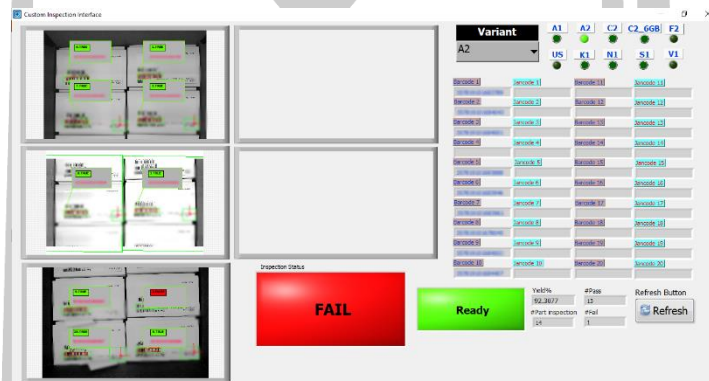
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 11
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



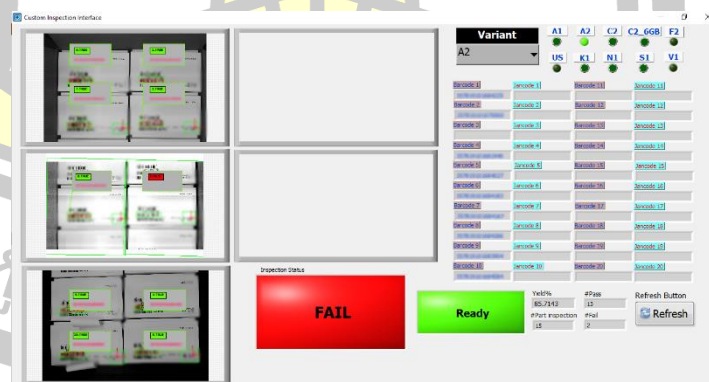
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 12
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



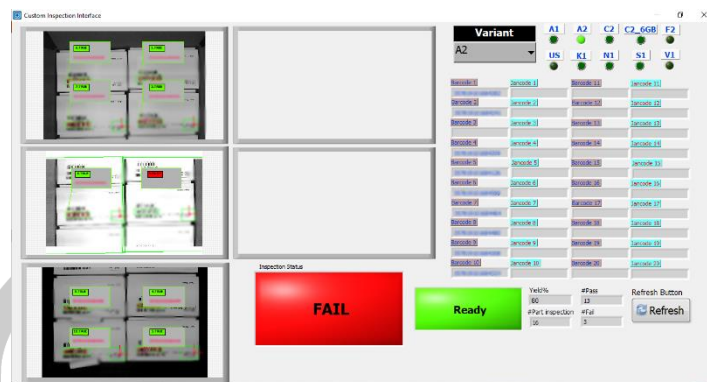
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 13
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 14
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 15
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



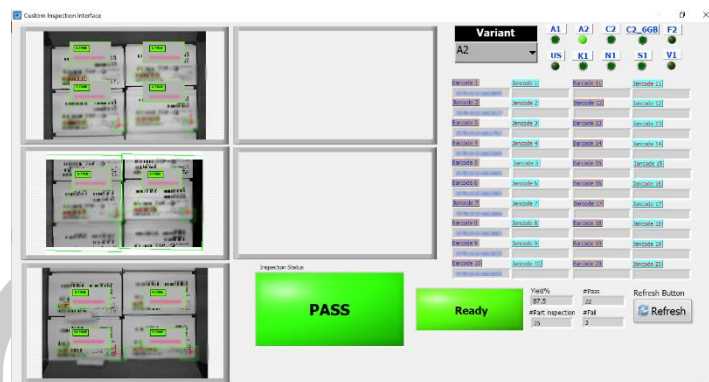
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 16
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



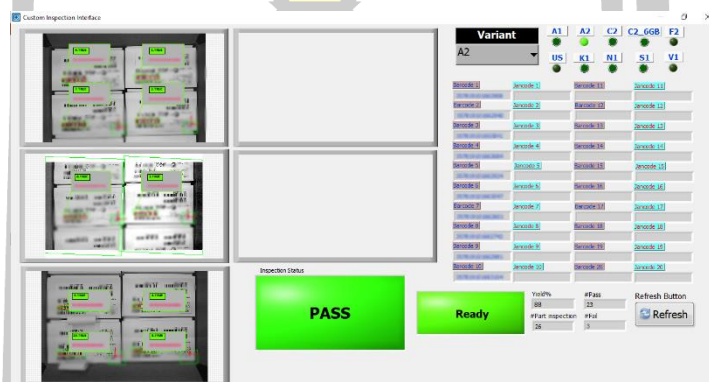
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 17
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



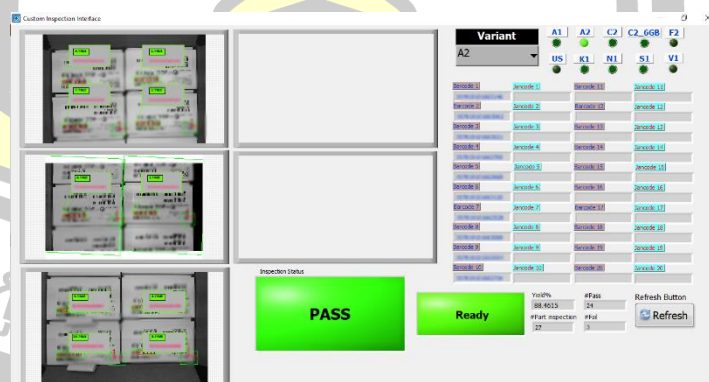
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 18
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



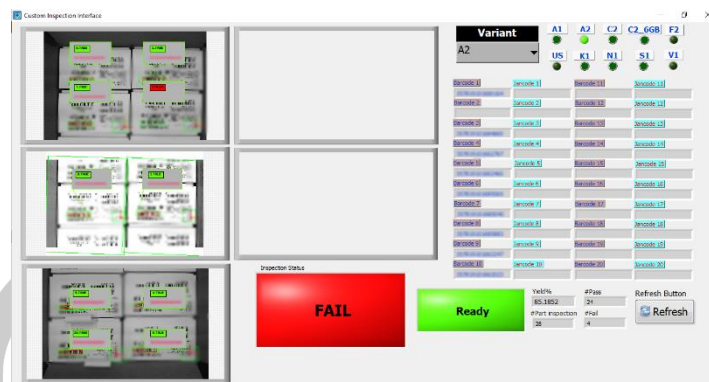
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 25
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



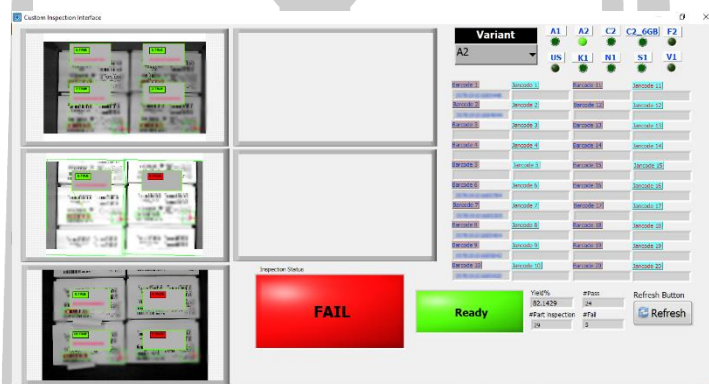
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 26
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



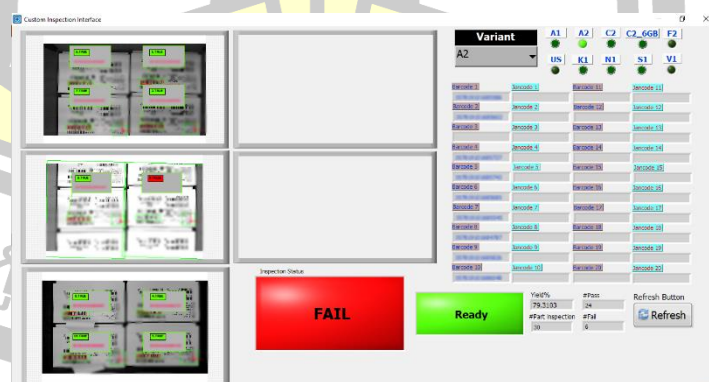
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 27
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



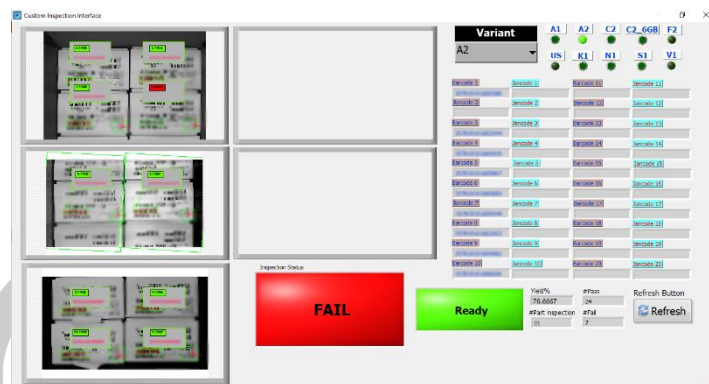
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 28
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



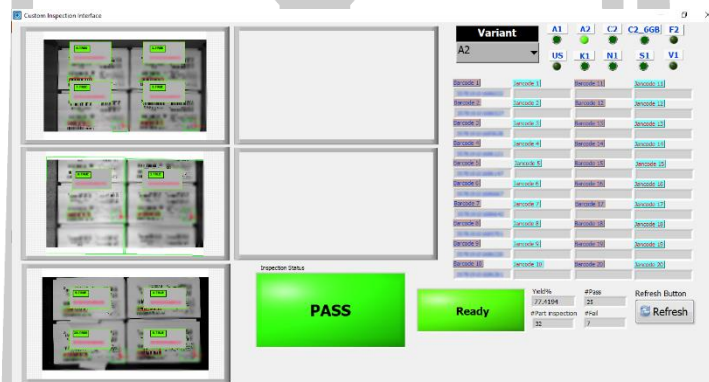
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 29
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



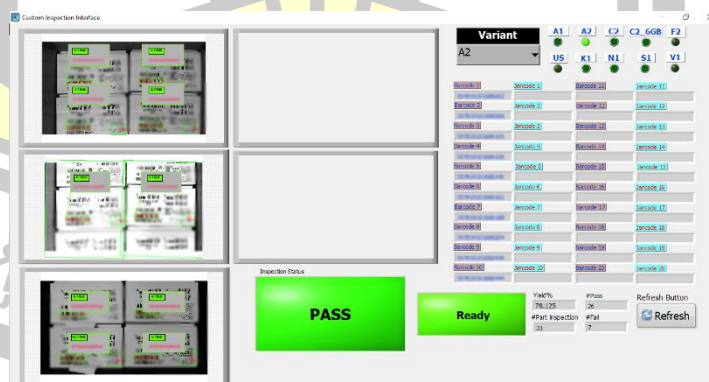
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 30
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



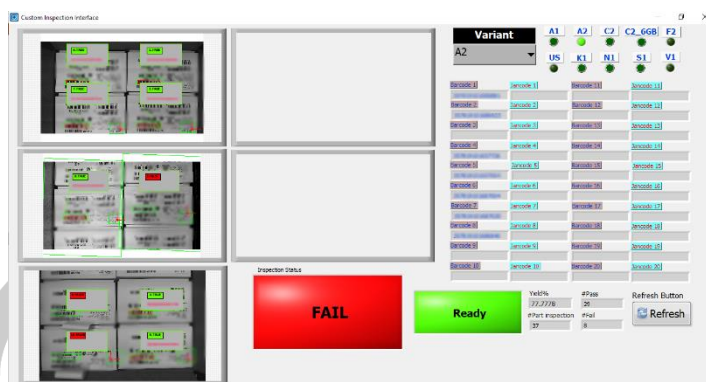
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 31
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



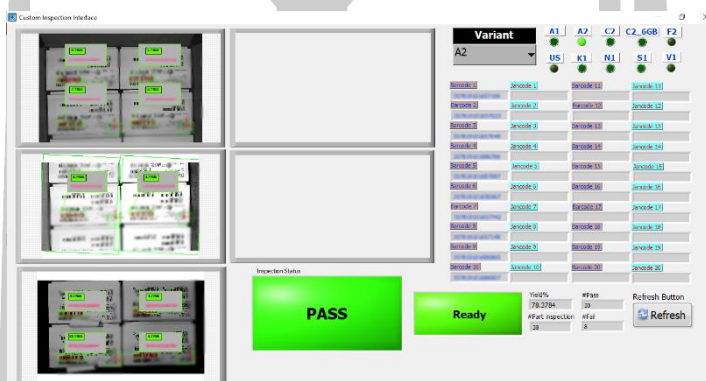
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 32
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



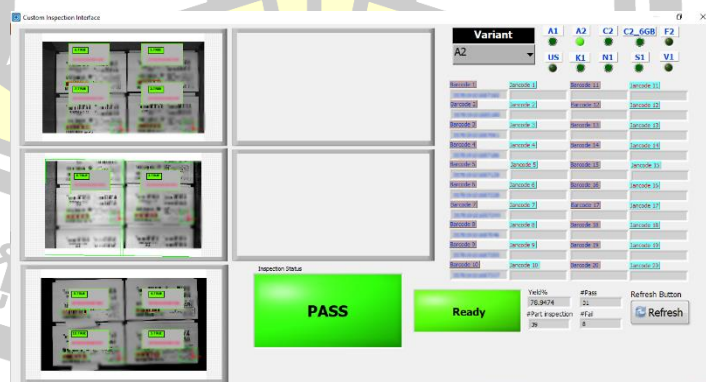
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 33
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



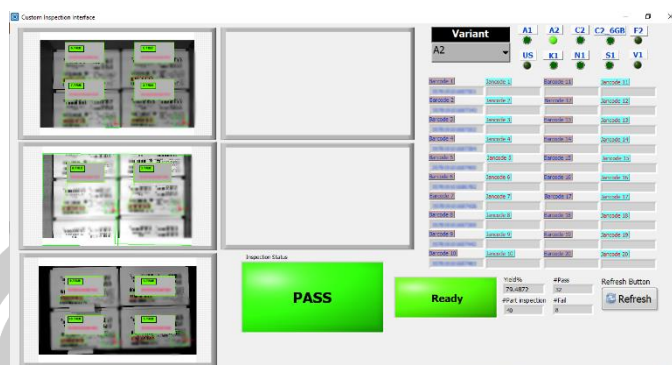
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 37
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



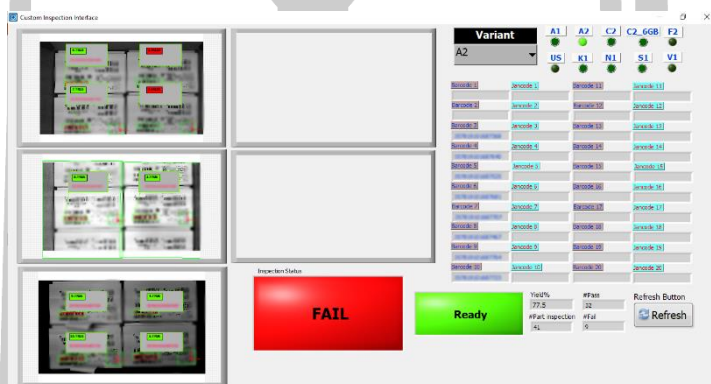
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 38
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



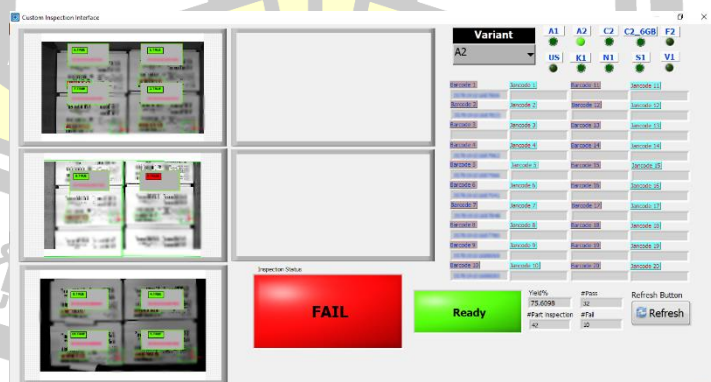
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 39
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



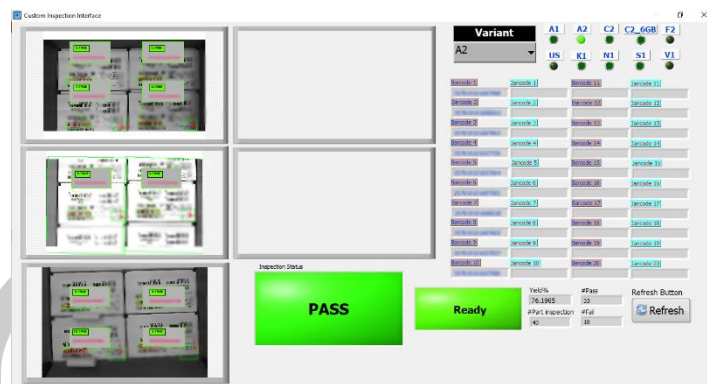
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 40
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 41
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



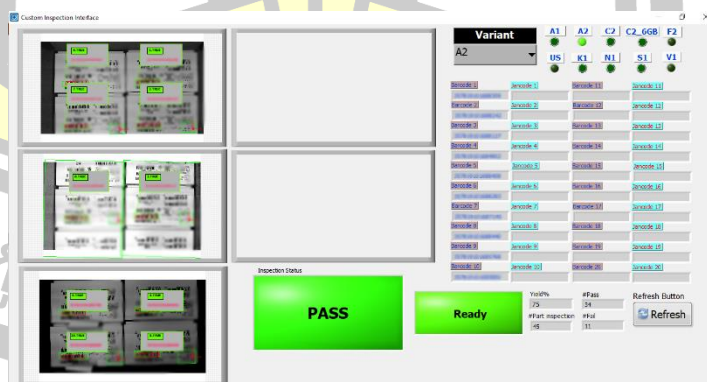
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 42
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



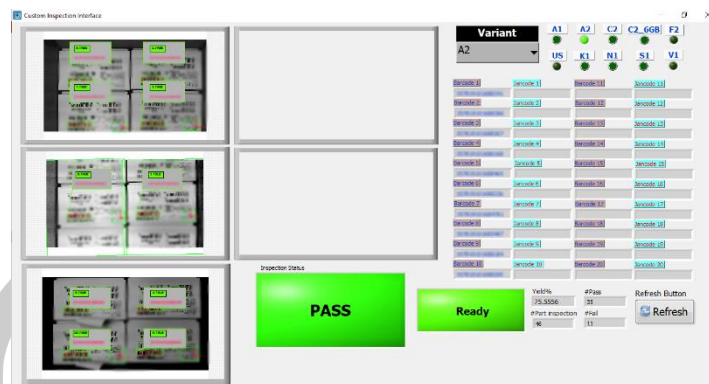
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 43
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



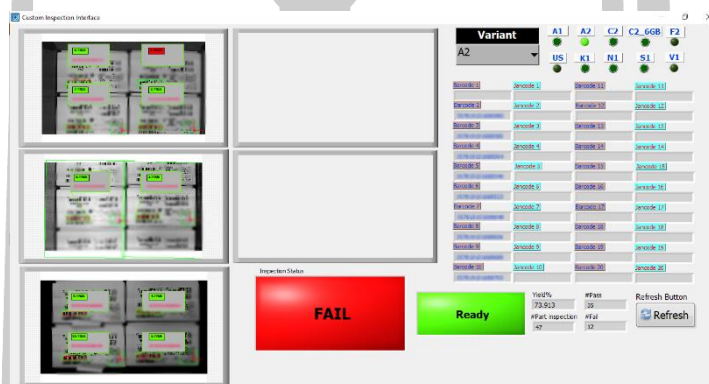
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 44
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



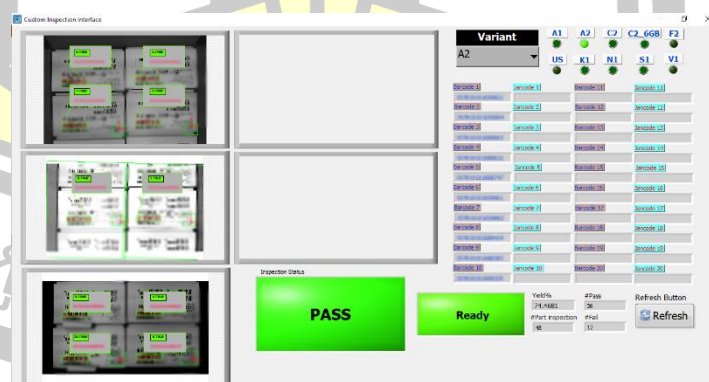
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 45
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



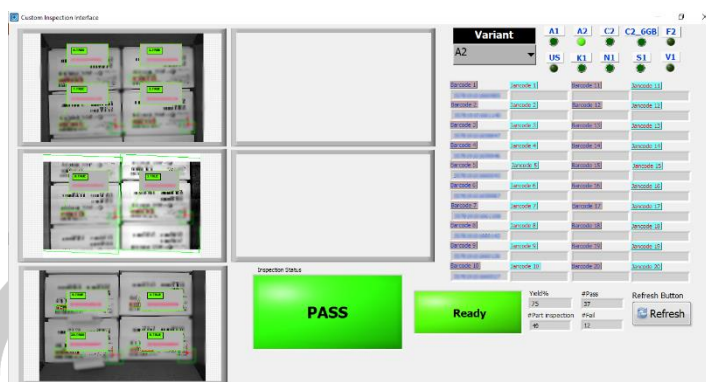
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 46
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 47
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 48
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)

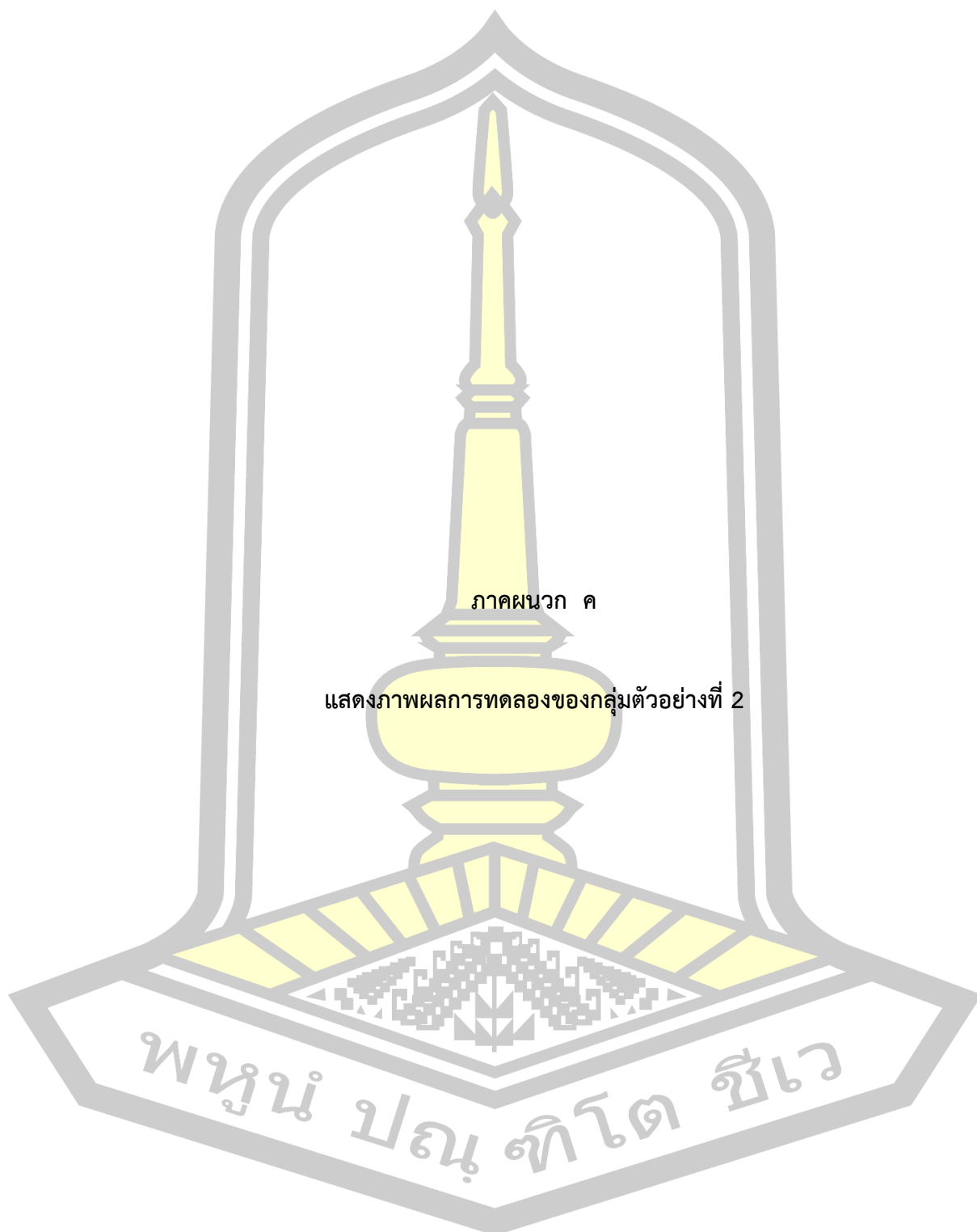


การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 49
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 50
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)

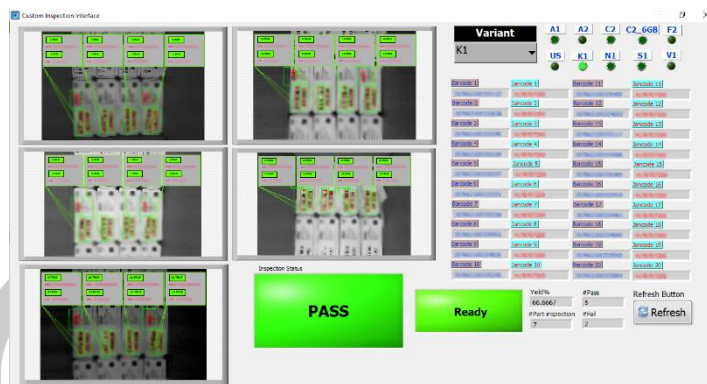
พูน ปณ ทิโต ชีเว



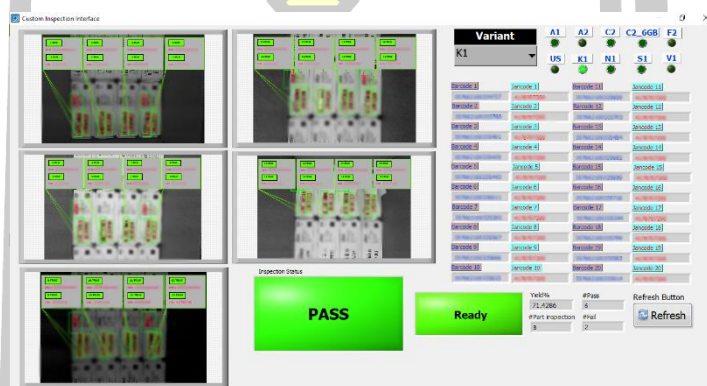
ภาคผนวก ค

แสดงภาพผลการทดลองของกลุ่มตัวอย่างที่ 2

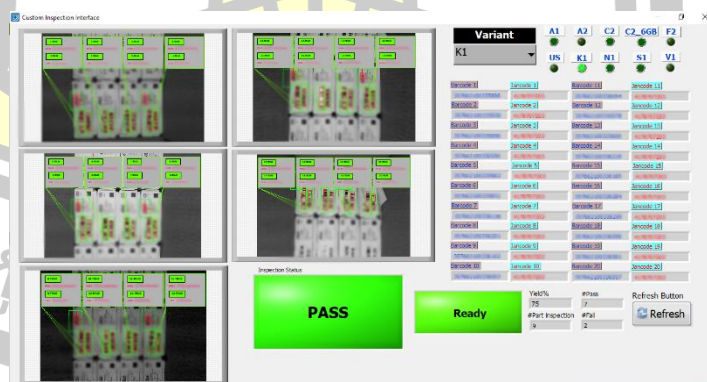
พหุบัน ปณ จักโต ชีเว



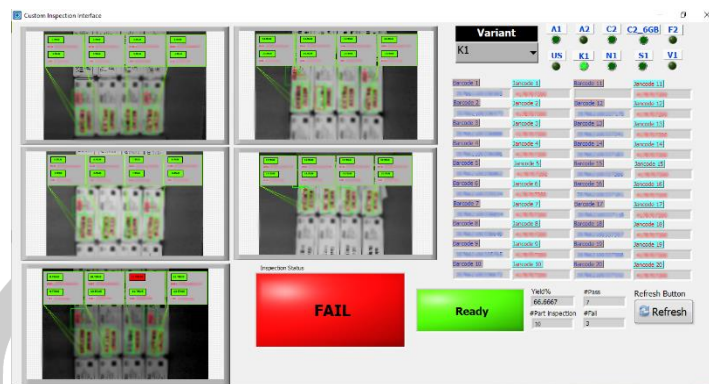
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 7
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



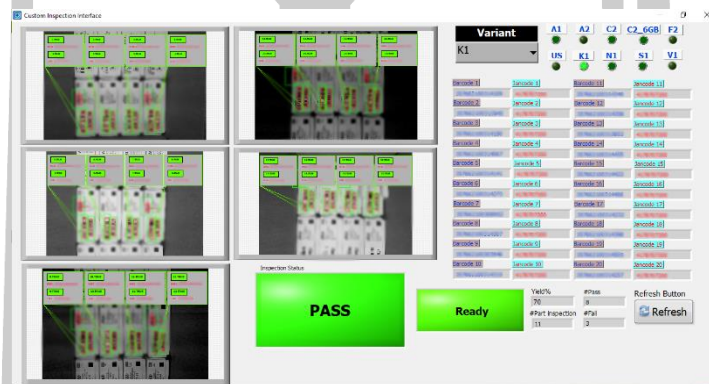
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 8
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



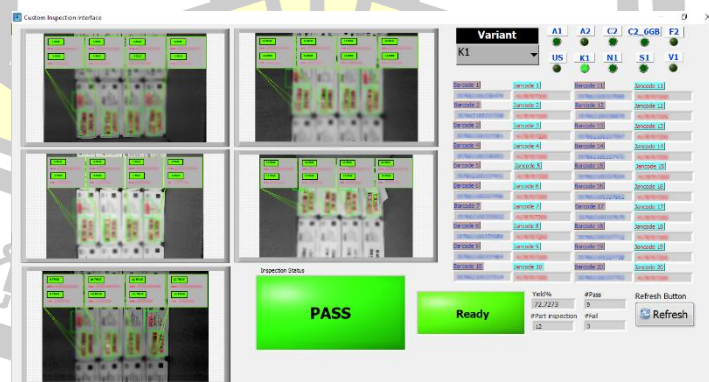
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 9
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



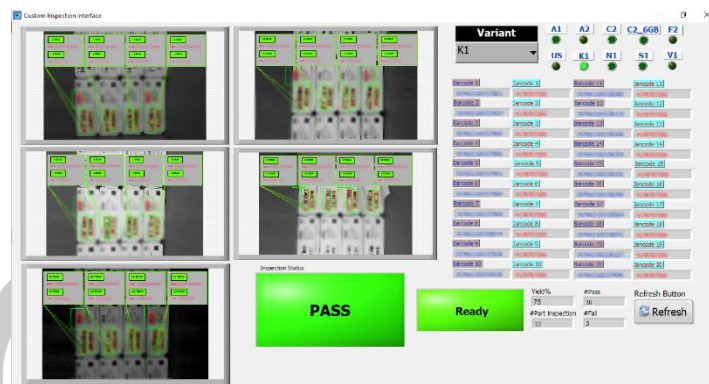
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 10
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



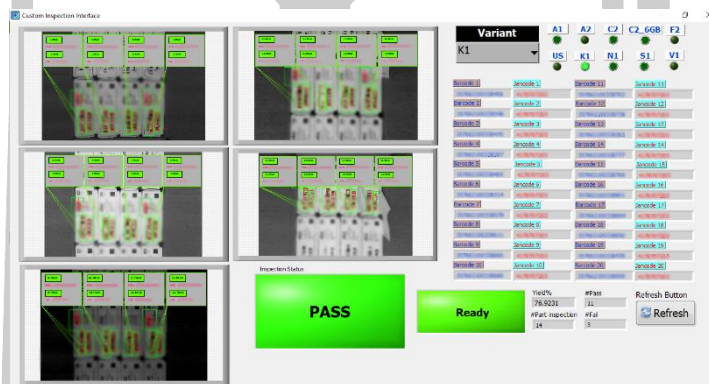
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 11
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



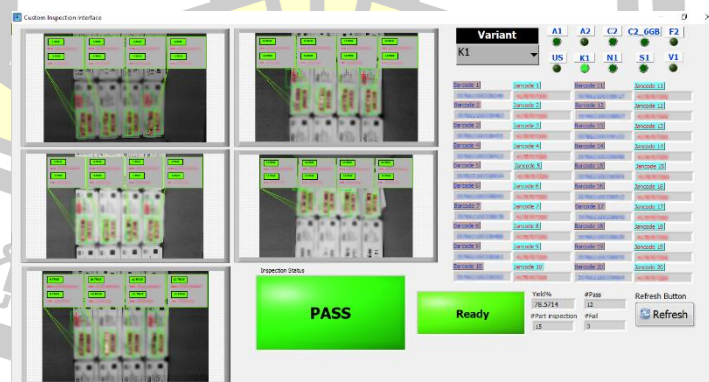
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 12
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



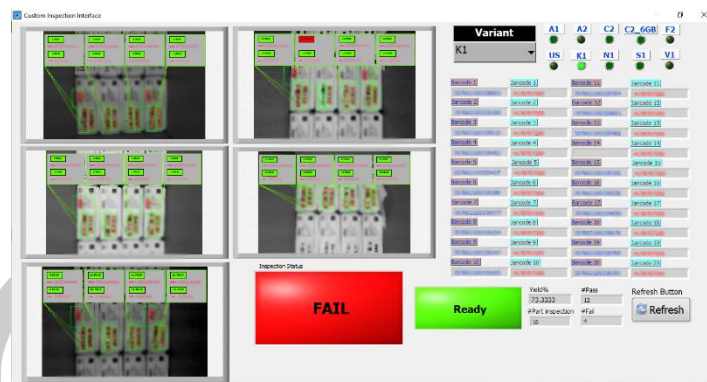
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 13
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



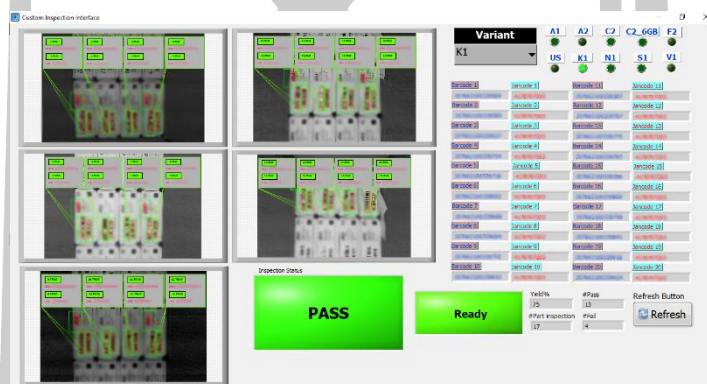
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 14
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



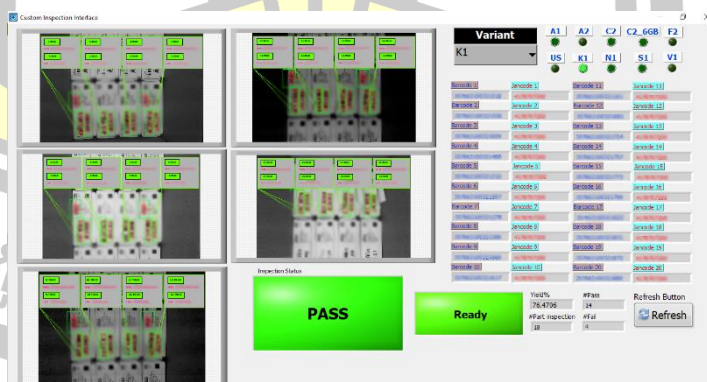
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 15
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



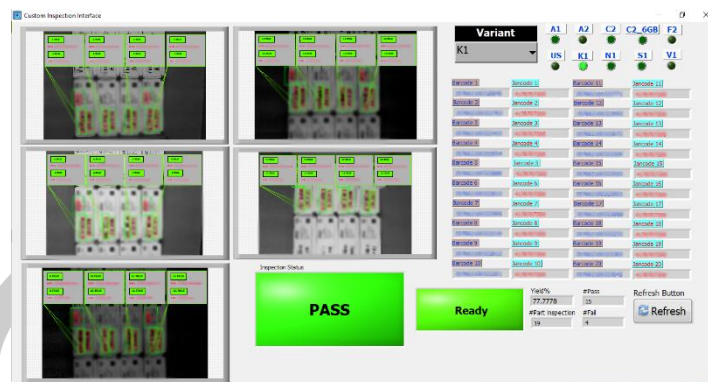
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 16
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



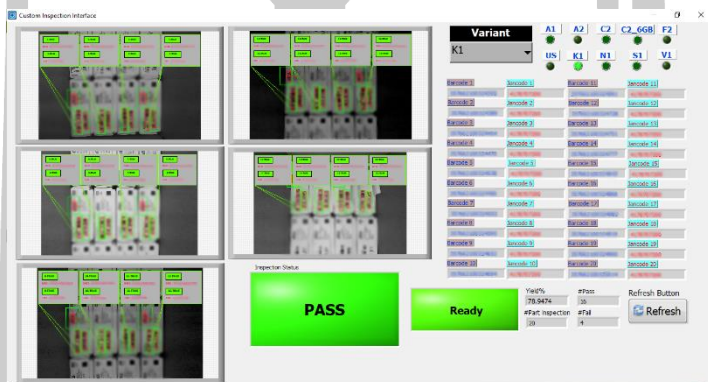
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 17
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



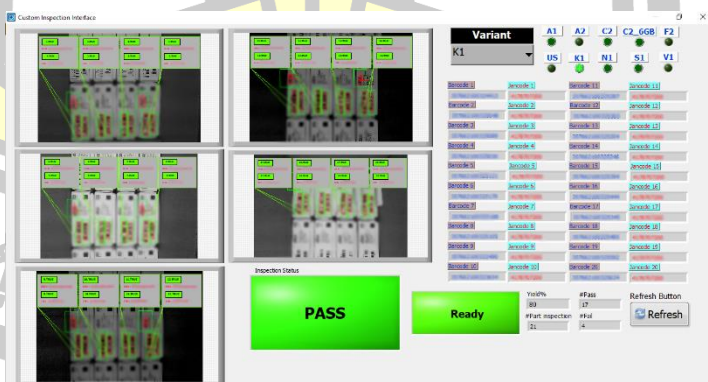
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 18
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



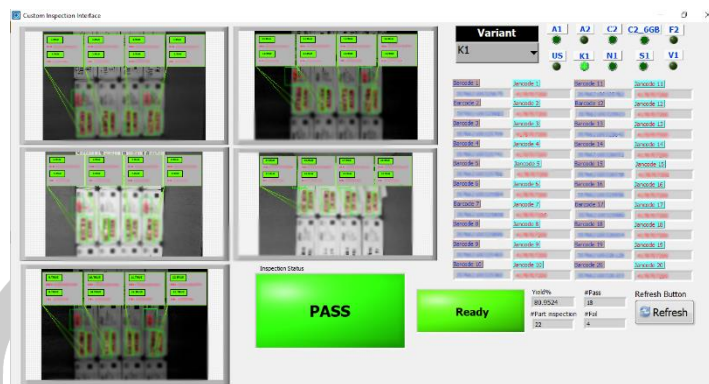
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 19
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



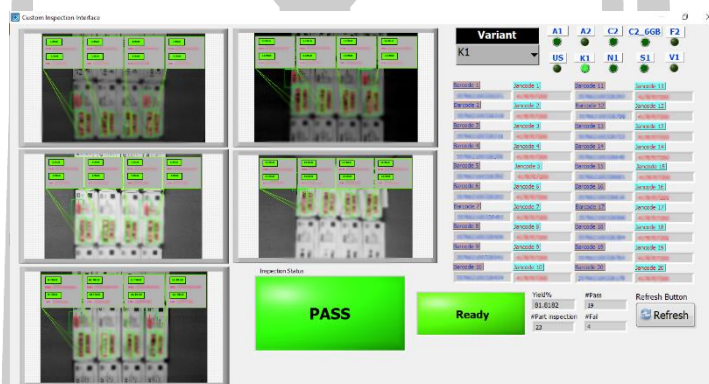
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 20
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



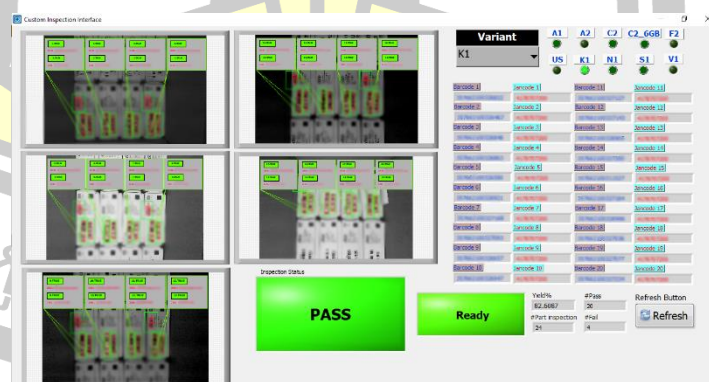
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 21
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



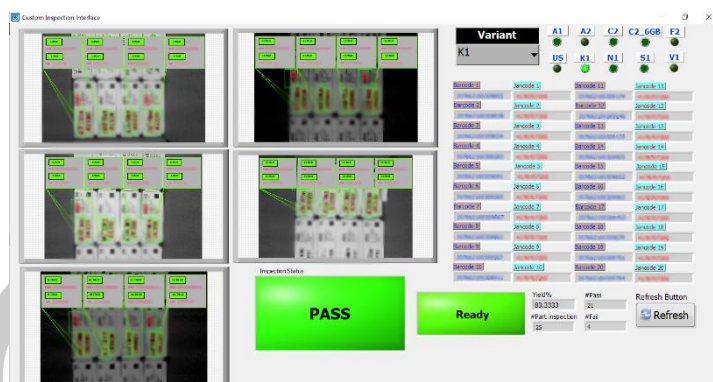
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 22
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 23
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)

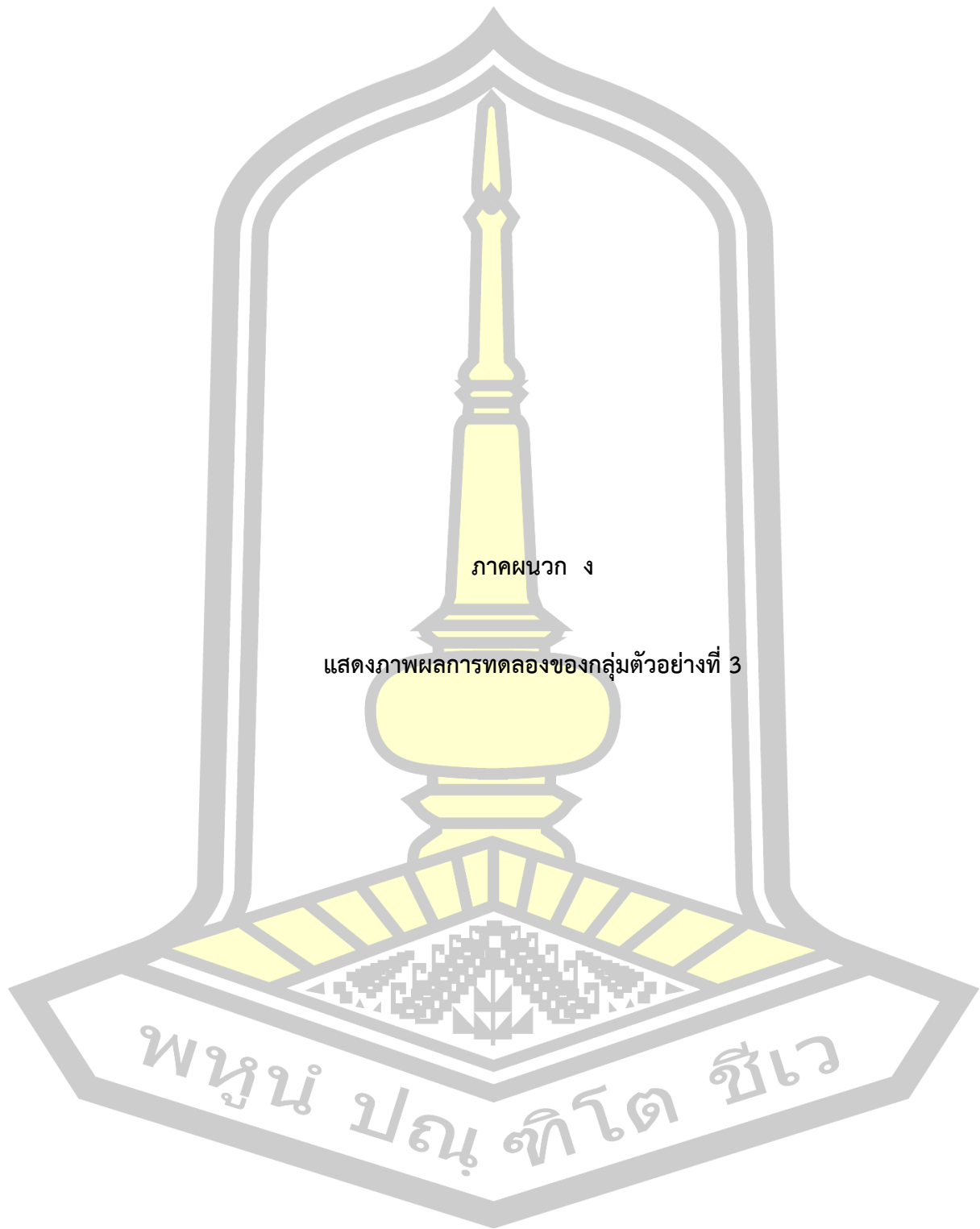


การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 24
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 25
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)

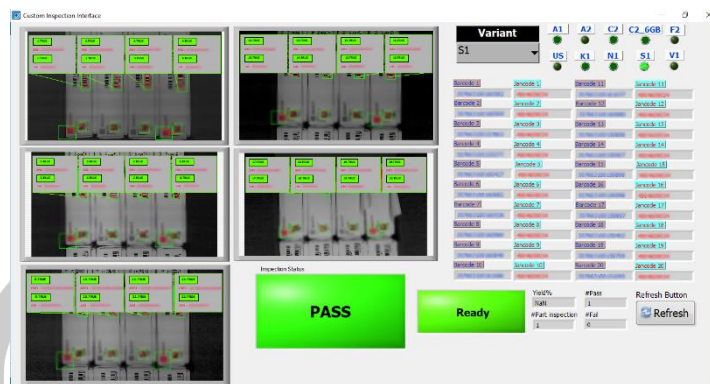




ภาคผนวก ง

แสดงผลการทดลองของกลุ่มตัวอย่างที่ 3

พูน ปณ ภิโต ชีเว



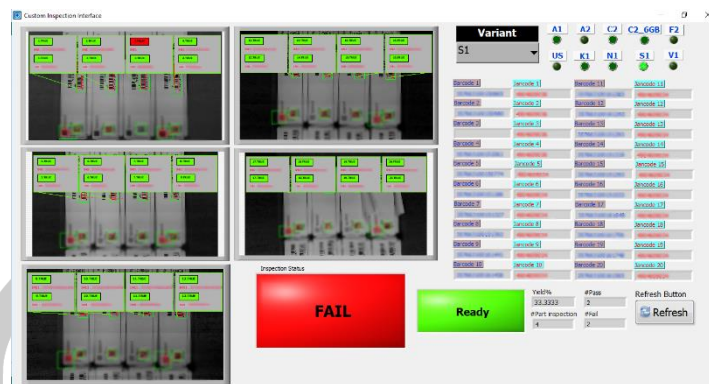
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 1
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



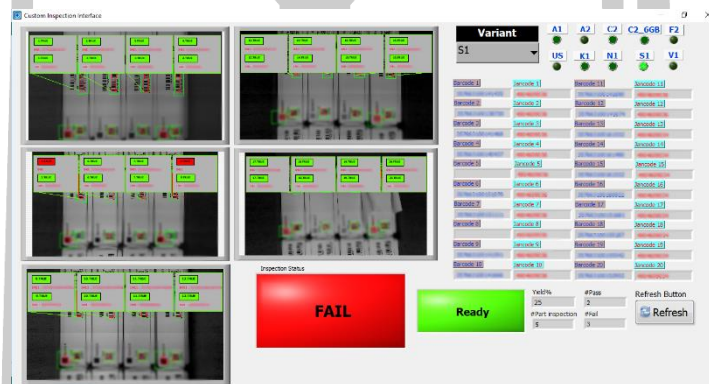
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 2
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 3
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 4
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



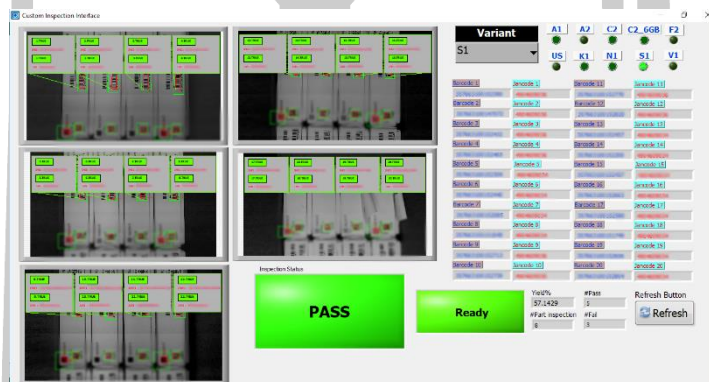
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 5
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



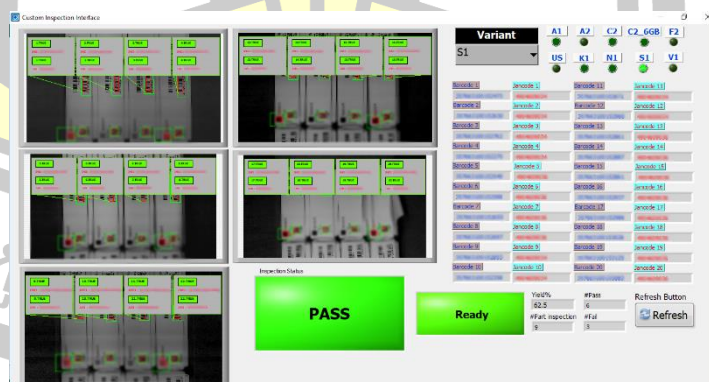
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 6
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



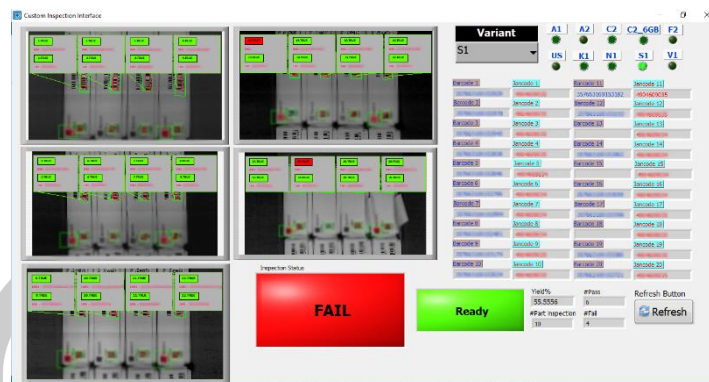
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล้องที่ 7
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



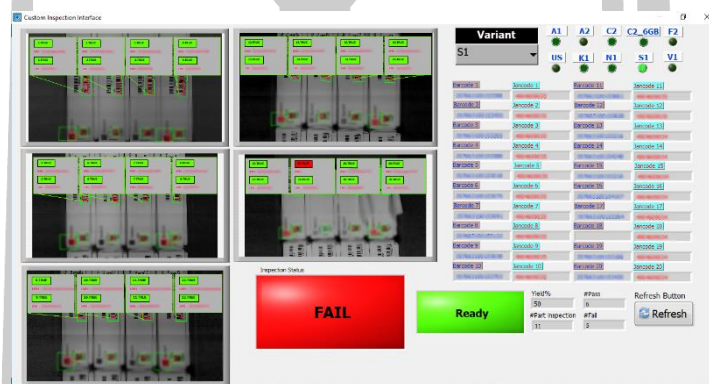
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล้องที่ 8
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล้องที่ 9
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 10
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



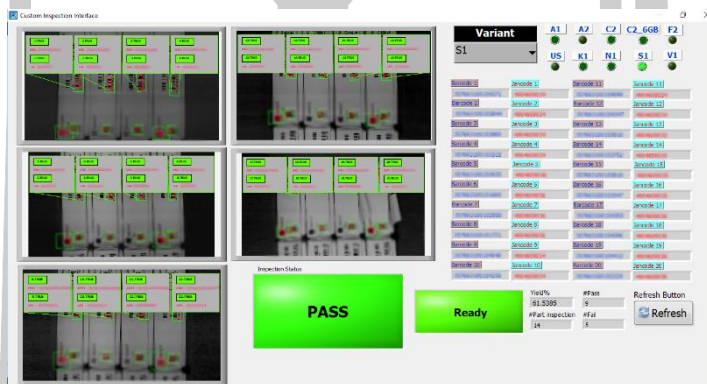
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 11
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 12
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



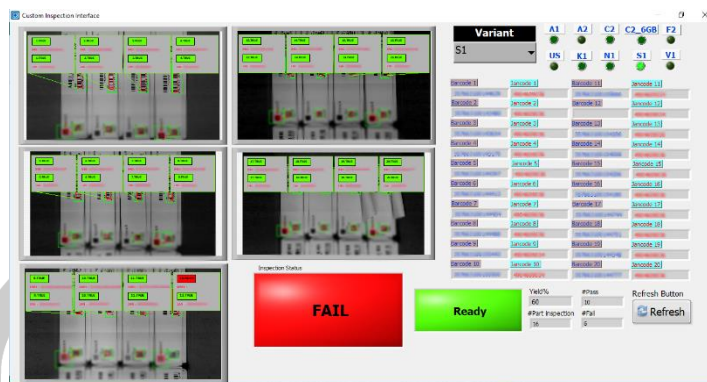
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 13
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



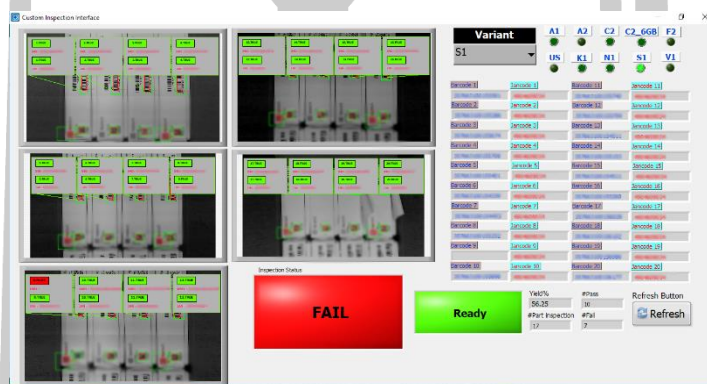
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 14
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



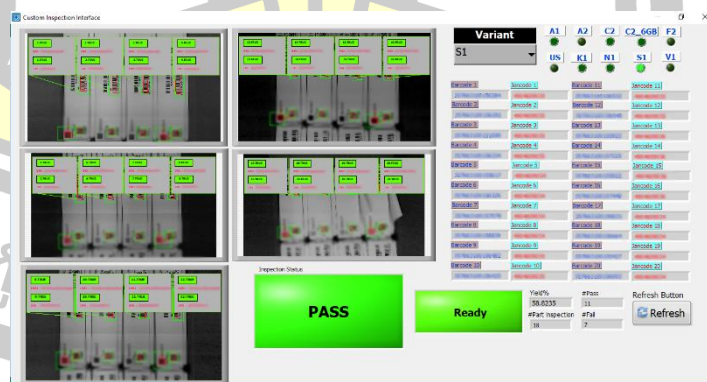
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 15
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 16
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



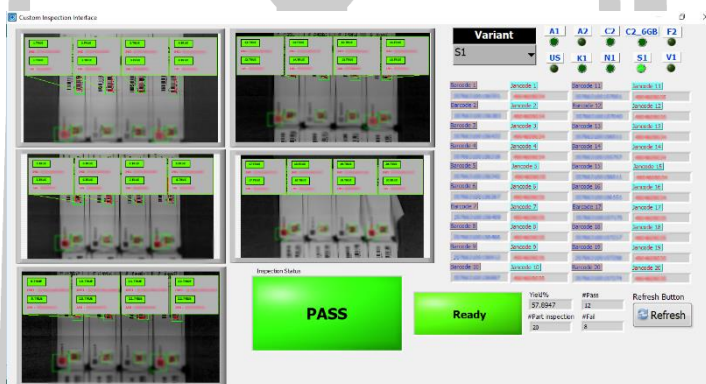
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 17
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



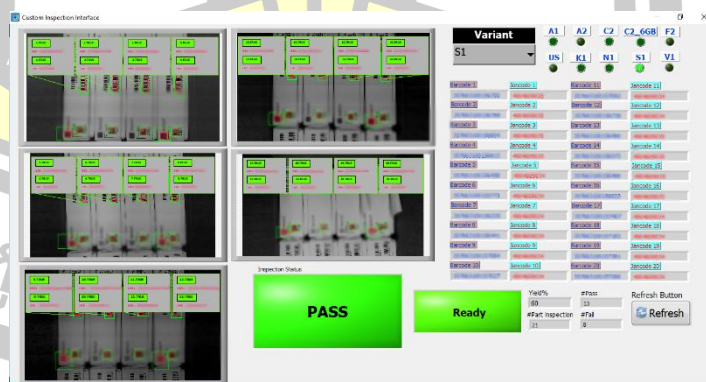
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 18
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 19
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



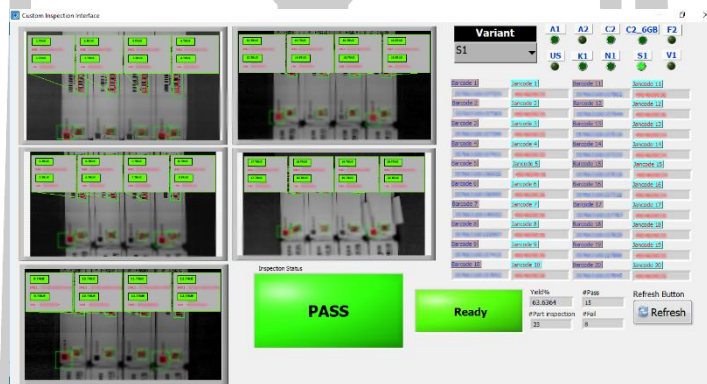
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 20
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



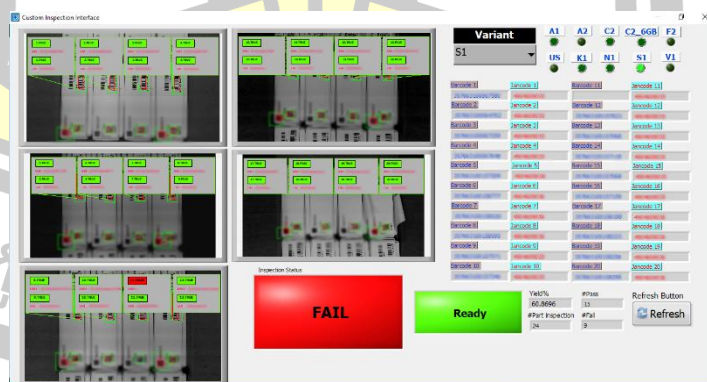
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 21
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนเนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



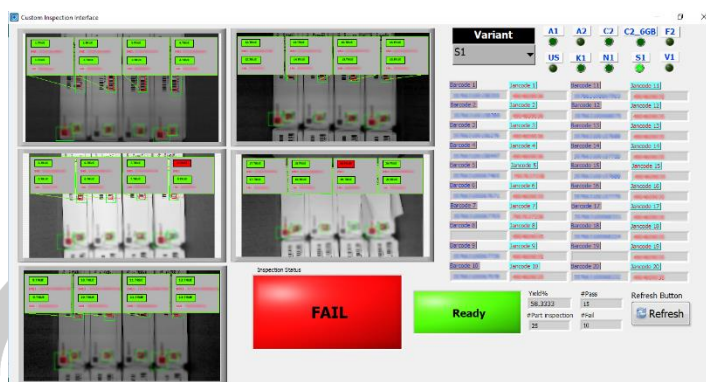
การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 22
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 23
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 24
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



การทดลองอ่านบาร์โค้ดใน Master pack กล่องที่ 25
(ภาพนี้มีการปรับแต่งเบลอนื่องจากเป็นความลับทางการค้า)



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวผกามาศ มิ่งขวัญ
วันเกิด	วันที่ 5 กรกฎาคม 2538
สถานที่เกิด	ตำบลโซ่ อำเภอสหัสขันธ์ จังหวัดบึงกาฬ
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 251 หมู่ 15 บ้านทรายทอง ตำบลโซ่ อำเภอสหัสขันธ์ จังหวัดบึงกาฬ รหัสไปรษณีย์ 38170
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	Mentor Staff
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท สมาร์ท (2015) เซอร์วิสเชส จำกัด อาคารวังเด็ก 1A ห้อง 2B เลขที่ 21 ซอยยาสูบ1 ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงจอมพล เขตจตุจักร จังหวัด กรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10900
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2554 ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนนาดีพิทยาคม ตำบลนาดี อำเภอู่แก้ว จังหวัดหนองคาย พ.ศ. 2557 ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนนาดีพิทยาคม ตำบลนาดี อำเภอู่แก้ว จังหวัดหนองคาย พ.ศ. 2561 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ. 2563 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ทุนวิจัย	ทุนการศึกษาจากโครงการ WiL (Work-integrated Learning) โดย สำนักงานนโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรมแห่งชาติ (สอวช.) กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ร่วมกับ ภาคอุตสาหกรรม

พูน ปณ สิโต ชีเว