การออกแบบและสร้างต้นแบบระบบจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติ

นางสาวปริญวัฒน์ บุญสิงห์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

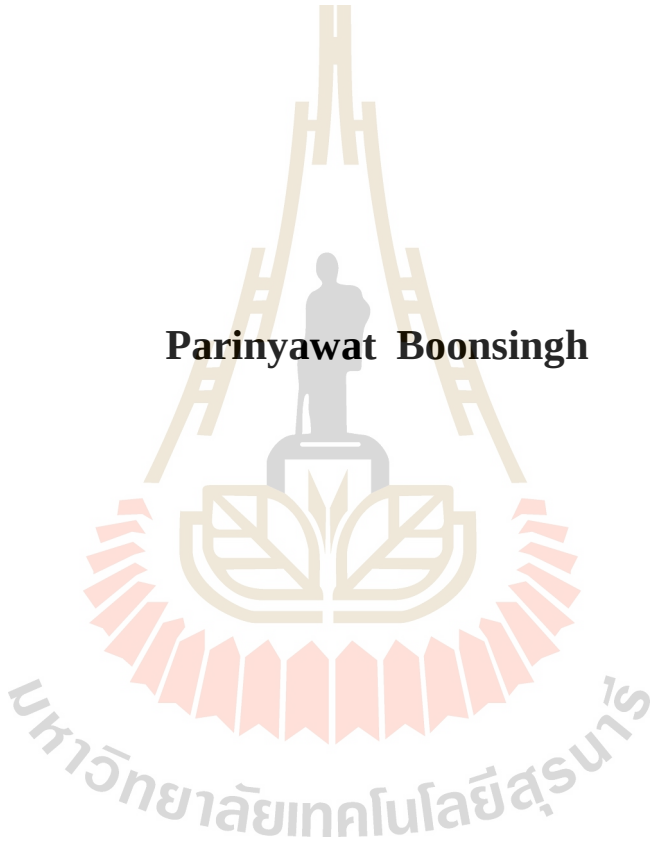
สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2559

DESIGN AND PROTOTYPING OF AN AUTOMATED STORAGES AND RETRIEVAL SYSTEM

Parinyawat Boonsingh



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Degree of Master of Engineering in Manufacturing Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2016

การออกแบบและสร้างต้นแบบระบบจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(อ. ดร.วรรณวนัช บุ่งสุด)
ประธานกรรมการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(อ. ดร.สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์))
กรรมการ

(อ. ดร.โศรฎา แข็งการ)
กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปีจำนงค์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปริญวัฒน์ บุญสิงห์ : การออกแบบและสร้างต้นแบบระบบจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติ (DESIGN AND PROTOTYPING OF AN AUTOMATED STORAGE AND ETRIEVAL SYSTEM) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์, 105 หน้า.

ปัจจุบันระบบจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติ (Automated Storage and Retrieval System, AS/RS) ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมสำหรับการจัดการคลังสินค้า เพื่อช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน และเพิ่มความแม่นยำในการจัดการคลังสินค้าคงคลัง รวมถึงการบูรณาการระหว่างเทคโนโลยีสารสนเทศในการติดตามสินค้า แต่เนื่องจากอุปกรณ์ของระบบ AS/RS มีราคาสูงมาก ทำให้มีข้อจำกัดในการฝึกอบรมการใช้งาน และการควบคุมระบบ AS/RS ให้แก่นักศึกษา ดังนั้นจุดมุ่งหมายของงานวิจัยคือการออกแบบและสร้างต้นแบบระบบจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติในระดับห้องปฏิบัติการ สำหรับฝึกอบรมระบบ AS/RS ให้แก่นักศึกษาจากเทคโนโลยีที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการระบบอัตโนมัติ โดยการนำโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของระบบ (Programmable Logic Controller, PLC) และโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ LabVIEW NI Vision นำมาพัฒนาเพื่อควบคุมกลไกของระบบ AS/RS ในรูปแบบการจัดเก็บสินค้าที่ไม่ได้กำหนดตำแหน่งตายตัว (Random Location System) และการค้นคืนสินค้าที่เข้าคลังสินค้าก่อนทำการหมุนเวียนออกไปก่อน (FIRST IN FIRST OUT, FIFO) ซึ่งระบบต้นแบบอัตโนมัติแบ่งเป็น 3 สถานี ได้แก่ 1) สถานีสแกนสินค้า 2) สถานีหยิบและวางสินค้า และ 3) สถานีถ่ายโอนสินค้า เมื่อนำสินค้าที่ต้องการจัดเก็บสแกนรหัสแท่งสินค้า สินค้าจะถูกจัดเก็บไปยังชั้นจัดเก็บหรือเมื่อต้องการค้นคืนสินค้า ด้วยการนำรหัสแท่งค้นคืนที่ระบุประเภทสินค้าเดียวกันกับสินค้าที่ต้องการค้นคืนสแกนรหัสแท่ง สินค้าจะถูกค้นคืนจากชั้นจัดเก็บไปยังผู้ใช้ ส่วนข้อมูลสินค้าจะถูกบันทึกในฐานข้อมูลคอมพิวเตอร์ และแสดงข้อมูลสินค้าผ่านแผงควบคุมเสมือนจริงนอกจากนี้ระบบต้นแบบสามารถสั่งการทำงานด้วยตนเอง โดยสามารถระบุตำแหน่งจัดเก็บและค้นคืนโดยไม่ผ่านเงื่อนไขของระบบต้นแบบ ทั้งนี้จากการออกแบบ และสร้างต้นแบบระบบ AS/RS สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของระบบให้สามารถจัดเก็บและค้นคืนสินค้าในระยะเวลาที่สั้นลง จากการควบคุมสภาพแวดล้อมในการสแกนรหัสแท่ง ซึ่งได้ค่าที่เหมาะสมในการสแกนรหัสแท่งอยู่ที่ช่วง 115 – 175 Lux ทำให้เวลาในการสแกนรหัสแท่งในการจัดเก็บและค้นคืนอยู่ที่ 2.47 และ2.50 วินาที ซึ่งเป็นการสั่งการทำงานที่ใช้เวลาน้อยกว่าการสั่งงานด้วยตนเอง และจากการ Optimization เมื่อระบบจัดเก็บหรือค้นคืนในพื้นที่ลำดับที่ 1 จะใช้เวลาเฉลี่ย 48.40 วินาที และ42.79 วินาที ใช้เวลาสูงสุดในการจัดเก็บและค้นคืนที่ 104.58 วินาที และ98.76 วินาทีในพื้นที่ลำดับที่ 8 สามารถลดเวลาในการจัดเก็บและค้นคืน คิดเป็นค่าร้อยละ 3.7 และ 1.56 ทั้งนี้จากค่าร้อยละที่ได้จะเห็นได้ว่ามีส่วน

ต่างที่น้อย เนื่องจากเป็นการเปรียบเทียบเวลาการเคลื่อนที่จัดเก็บและค้นคืนเพียงลำดับเดียวยังไม่เกิดการสะสมเส้นทางส่งผลให้ได้ค่าไม่ต่างกันมาก อย่างไรก็ตามผลที่ได้จากการทดสอบระบบต้นแบบที่มีรูปแบบการจัดการคลังสินค้ารูปแบบหนึ่ง สามารถใช้ในการประกอบการเรียนการสอนระดับห้องปฏิบัติการเพื่อให้นักศึกษามีความเข้าใจรูปแบบการจัดการคลังสินค้า และเข้าถึงเครื่องจักรอุตสาหกรรมอัตโนมัติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชา วิศวกรรมการผลิต ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ปีการศึกษา 2559 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

PARINYAWAT BOONSINGH : DESIGN AND PROTOTYPING OF AN AUTOMATED STORAGE AND RETRIEVAL SYSTEM. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. FLT. LT. KONTORN CHAMNIPRASART, Ph.D., 105 PP.

AUTOMATED STORAGE AND RETRIEVAL SYSTEM/ FIRST IN FIRST OUT

Nowadays, the Automated Storage and Retrieval System (AS/RS) is widely used in industry especially in the warehouse because of using a few labor and high accuracy in inventory management. Unfortunately, the equipment of AS/RS are very expensive even for the laboratory scale, which school cannot provide enough equipment for training students in AS/RS. This research aimed to design and prototype of controlling an automated storage and retrieval system (AS/RS). The prototype will be used for demonstrating the automation system and training students to control the system. Therefore, the school desired to design and prototyping by using technology, for example, PLC (Programmable Logic Controller) and LabVIEW NI Vision Module. In this study, LabVIEW was developed to control mechanisms of the AS/RS with in format Random Location System and FIFO (FIRST-IN-FIRST-OUT). The prototype system can be controlled by barcode scanning and manual operation at user can specify the storage system and retrieve data without the basic conditions. Consist station three i.e. Product scan station, Pick and place station and Product transfer station. To store, the system steps start by scanning the barcode on the product before storing it on a shelf. Same as to retrieval, has steps start by scanning the retrieval barcode before retrieval it from a shelf and Product data is saved to the computer database and displayed on the screen

control. In addition, the prototype system can control the movement of the system to store and retrieval product in a shorter period of time from the appropriate environmental control for barcode scanning in the range of 115 - 175 Lux. Results is the time taken to scan barcode for storage and retrieval is 2.47 and 2.50 seconds, which is less time consuming than manual operation. Optimization, when storage or retrieval in the first area takes an average of 48.40 seconds and 42.79 seconds, the maximum storage and retrieval time is 104.58 seconds and 98.76 seconds in the 8th space. Store and retrieve accounted for 3.70 and 1.56 percent. Percentage can be seen as having a small difference. Because comparing time of movement just sequence only one. However, the results of the prototype system are one kind of the warehouse management model. Can be used in laboratory teaching. To provide students with an understanding of warehouse management and access to industrial automation.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Manufacturing Engineering

Academic Year 2016

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงด้วยดี ทั้งนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลที่ได้ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง และหน่วยงานอย่างสถาบันการศึกษาที่ให้การสนับสนุนเป็นอย่างดี ดังนี้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ได้มอบเงินทุนในโครงการ ที่คณาจารณ์ได้รับทุนวิจัยจากแหล่งทุนภายนอก (OROG) ในการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา

รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ชักนำโอกาสในการศึกษา ถ่ายทอดความรู้ อบรมสั่งสอน ให้คำปรึกษาและแนวทางการแก้ปัญหาต่าง ๆ ด้วยความเมตตากรุณาเสมอมา

อาจารย์ วิชัย ศรีสุรักษ์ อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ที่เมตตาถ่ายทอดความรู้และสนับสนุนอุปกรณ์ในการทำวิจัยให้สำเร็จลุล่วงด้วยดีมาตลอด

นายอภิลักษณ์ หล่อนกลาง ที่แนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหาข้อผิดพลาดของระบบในงานวิทยานิพนธ์ รวมถึงกำลังใจ ทำให้งานเป็นไปตามข้อกำหนด

เพื่อนๆ พี่ๆ บัณฑิตศึกษาทุกท่านที่ได้ให้กำลังใจและคำแนะนำในด้านการเรียนตลอดถึงการดำเนินชีวิตในด้านต่าง ๆ

อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและอาจารย์ทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ด้วยความเมตตากรุณามาตลอด เจ้าหน้าที่ทุกระดับชั้นที่ให้คำแนะนำและ อำนวยความสะดวกในด้านงานเอกสารธุรการต่าง ๆ รวมถึงบุคลากรประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้ให้กำเนิดที่ให้การอุปการะอบรมเลี้ยงดูส่งเสริมด้านการศึกษา และด้านต่างๆ รวมถึงญาติพี่น้องทุกท่านที่คอยให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้จนประสบความสำเร็จ

ปริญวัฒน์ บุญสิงห์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... จ
สารบัญ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูป ..... ญ
บทที่
1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย 2
1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น 2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย 2
1.5 สถานที่ทำงานวิจัย 3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 กล่าวนำ 4
2.2 ปริทรรศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 4
2.2.1 คลังสินค้าและการจัดการคลังสินค้า 4
2.2.2 การจัดรูปแบบในการจัดเก็บสินค้า 5
2.2.3 แนวคิดเกี่ยวกับระบบการจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติ (Automated Storage and Retrieval System, AS/RS) 8
2.2.4 ระบบบรหัสแท่งในงานอุตสาหกรรมการผลิต 10
2.2.5 เทคโนยีในการพัฒนาระบบจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติ 11
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องรุป 13
2.3.1 ระบบการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์ 13

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.2 การจัดสภาพแวดล้อม....15
2.3.3 การดึงข้อมูลภาพ....16
2.3.4 พื้นฐานของการประมวลผลภาพและการมองเห็นของเครื่องจักร....22
2.3.5 การตรวจจับขอบ....24
2.3.6 การวัดมิติ (Dimension Measurements)....37
2.3.7 การควบคุมโปรแกรม Programmable Logic Controller (PLC)....41
2.3.8 การควบคุม Arduino....46
3 วิธีการดำเนินการวิจัย....49
3.1 กล่าวนำ....49
3.2 แนวคิดเบื้องต้นในการออกแบบ....50
3.2.1 กระบวนการจัดเก็บและค้นคืนสินค้าอัตโนมัติ....50
3.2.2 แผนผังการทำงานเครื่องจักรต้นแบบการจัดเก็บและค้นคืนสินค้าอัตโนมัติ....51
3.2.3 แผนผังการทำงานเครื่องจักรต้นแบบการจัดเก็บและค้นคืนสินค้าอัตโนมัติ....51
3.3 การออกแบบกระบวนการเคลื่อนที่ของระบบอัตโนมัติ....53
3.3.1 การออกแบบกระบวนการเคลื่อนที่ของระบบอัตโนมัติ....53
3.3.2 อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่อัตโนมัติและตัวรับรู้ตรวจจับการเคลื่อนที่....56
3.3.3 การออกแบบการควบคุมการเคลื่อนที่ของระบบอัตโนมัติ....60
3.3.4 หลักการในการจัดเก็บและค้นคืนสินค้าอัตโนมัติ....61
3.4 การออกแบบการควบคุมการทำงานผ่านแผงควบคุมเสมือนจริง....63
3.4.1 การออกแบบการควบคุมการทำงานผ่านแผงควบคุมเสมือนจริง....63
3.4.2 แผนผังการทำงานผ่านแผงควบคุมเสมือนจริง....70
3.5 การออกแบบกระบวนการตรวจสอบระบบต้นแบบอัตโนมัติ....74
3.5.1 การตรวจสอบการจัดสภาพแวดล้อมสำหรับสแกนสินค้า....74
3.5.2 การตรวจสอบการจับเวลาทำงานระบบการเคลื่อนที่อัตโนมัติ....76

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5.3 การตรวจสอบลำดับกับเวลาทำงานระบบการเคลื่อนที่อัตโนมัติ 76
4 ผลการทดลอง 77
4.1 กล่าวนำ.....77
4.2 ผลการซ่อมแซมและปรับปรุงโครงสร้างเดิมของระบบอัตโนมัติ.....77
4.3 ผลการทำงานในกระบวนการเคลื่อนที่ของระบบอัตโนมัติ.....79
4.3.1 ผลการตรวจสอบการจับเวลาทำงานระบบการเคลื่อนที่อัตโนมัติ 79
4.4 ผลการทำงานของระบบควบคุมการทำงานผ่านแผงควบคุมเสมือนจริง.....82
4.4.1 ผลการตรวจสอบการจัดสภาพแวดล้อมสำหรับสแกนสินค้า 82
4.4.2 ผลการทดสอบเวลาที่ใช้ในการสแกนสินค้า 82
4.4.3 ผลการทดสอบเวลาสั่งงานด้วยตนตนเอง.....83
4.4.4 ผลการบันทึกข้อมูลสแกนสินค้าในฐานข้อมูล.....83
4.4.5 ผลการแสดงฟังก์ชันการทำงานผ่านแผงควบคุมเสมือนจริง.....84
4.5 ผลการทำงานของระบบจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติ.....86
4.5.1 ผลการตรวจสอบลำดับการ Optimization กับเวลาทำงาน
ระบบการเคลื่อนที่อัตโนมัติ..... 87
4.6 สรุปผลการทดสอบ 88
5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ..... 90
5.1 กล่าวนำ.....90
5.2 สรุปผลการวิจัย.....90
5.3 ข้อเสนอแนะ.....91
รายการอ้างอิง.....93
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ 95
ภาคผนวก ข. รายละเอียดโปรแกรม LabVIEW สำหรับสแกนรหัสแท่ง.....101
ภาคผนวก ค. รายละเอียดโปรแกรม LabVIEW สำหรับสแกนรหัสแท่ง.....103
ประวัติผู้เขียน 105

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 ชุดบิตควบคุมการเคลื่อนที่ของการจัดเก็บ (AS) ตำแหน่ง Coordinate (1,1) จนถึง (1,7).....60
3.2 ชุดบิตควบคุมการเคลื่อนที่ของการจัดเก็บ (RS) ตำแหน่ง Coordinate (1,1) จนถึง (1,7).....61
3.3 แสดงชุดน้ำหนักตรวจสอบหลัก.....66
4.1 แสดงเวลาการทำงานในกระบวนเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ประเภท Cylindrical Robot.....79
4.2 แสดงเวลาการทำงานในกระบวนเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ประเภท Cartesian Robot.....80
4.3 แสดงเวลาการทำงานในกระบวนการเคลื่อนที่ของระบบอัตโนมัติ.....81
4.4 แสดงช่วง Lux ที่สแกนรหัสแท่งได้เหมาะสม.....82
4.5 แสดงเวลาที่ใช้ในการสแกนรหัสแท่ง.....83
4.6 แสดงเวลาสั่งงานด้วยตนตนเอง.....83
4.7 แสดงเวลาการเคลื่อนที่ของระบบจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติด้วยการสแกนสินค้า.....86
4.8 แสดงลำดับการจัดเก็บจากเงื่อนไข Optimization.....87
4.9 แสดงเวลาการจัดเก็บใน Coordinate ที่ (1,1) ถึง Coordinate ที่ (4,7).....87
4.10 แสดงเวลาการค้นคืนใน Coordinate ที่ (1,1) ถึง Coordinate ที่ (4,7).....87
4.11 แสดงลำดับและเวลาในการจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติ.....88

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 แสดงส่วนประกอบของ vision system 15
2.2 แสดงการทำงานของกล้องประเภท line scan 17
2.3 แสดงตัวรับรู้รับภาพของกล้องประเภท area scan ของกล้องถ่ายภาพ gray scale และของกล้องถ่ายภาพสี 17
2.4 การแปลงภาพแบบต่อเนื่องและการแปลงเป็นภาพเชิงตัวเลข จากวิธีการ digitization (การแปลงภาพแบบต่อเนื่อง) 18
2.5 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างภาพกับ Pixels matrix 18
2.6 ตัวอย่างการแสดงค่า Pixels matrix 19
2.7 แสดงระบบสี RGB 20
2.8 ระบบสีแบบ grayscale 21
2.9 พิกัดของระบบภาพดิจิตอล 22
2.10 แสดงการวัดระยะห่างของเขี้ยวหัวเทียน 25
2.11 แสดงการตรวจนับวัตถุโดยวิธีการตรวจจับขอบ 26
2.12 แสดงการตรวจสอบแนวการวางตัว 27
2.13 แสดงตัวอย่างการกำหนดขอบ 28
2.14 แสดงการเปลี่ยนแปลค่าพิกเซลเพื่อค้นหาขอบ 28
2.15 แสดงตัวอย่างภาพที่มีระดับความเข้มของขอบที่ต่างกัน 29
2.16 แสดงขั้วของขอบ 30
2.17 แสดงการตรวจจับขอบอย่างง่าย 31
2.18 แสดงการตรวจจับขอบขั้นสูง 33
2.19 แสดงการใช้ฟังก์ชันหาความแม่นยำระดับซับพิกเซล 34
2.20 แสดงการทำงานของฟังก์ชัน Rake 35
2.21 แสดงการทำงานของฟังก์ชัน Spoke 36
2.22 แสดงการทำงานของฟังก์ชัน Concentric Rake 36

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

2.23 แสดงการกำหนดระบบแกนและพื้นที่ค้นหาเพื่อการวัด 41
2.24 แสดงอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับ PLC เพื่อใช้ในการควบคุม 43
2.25 แสดงส่วนประกอบของ PLC 43
2.26 แสดงสัญลักษณ์บอร์ดและหน้าต่าง Software 46
2.27 แสดงรุ่นต่างๆของ Arduino 47
2.28 แสดงหน้าต่างโปรแกรม Arduino IDE และ PDE 48
3.1 แสดงสถานีสแกนสินค้า สถานีหยิบและวางสินค้า
และสถานีถ่ายโอนสินค้าตามลำดับหมายเลข 1 2 3 50
3.2 แผนผังการทำงานเครื่องจักรต้นแบบการจัดเก็บและค้นคืนสินค้าอัตโนมัติ 51
3.3 แผนผังการทำงานเครื่องจักรต้นแบบการจัดเก็บและค้นคืนสินค้าอัตโนมัติ (ต่อ) 52
3.4 แผนผังการทำงานเครื่องจักรต้นแบบการจัดเก็บและค้นคืนสินค้าอัตโนมัติ (ต่อ) 53
3.5 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ประเภท Cylindrical Robot 54
3.6 แสดง Stage การจัดเก็บสินค้าของหุ่นยนต์ประเภท Cylindrical Robot 54
3.7 แสดง Stage การค้นคืนสินค้าของหุ่นยนต์ประเภท Cylindrical Robot 55
3.8 แสดงทิศทางการเคลื่อนของหุ่นยนต์ประเภท Cartesian Robot 56
3.9 แสดง PLC Visual KV รุ่น KV-40DT 56
3.10 แสดง Arduino Uno รุ่น Atmega328 – assembled 57
3.11 แสดงมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงรุ่น RS Pro DC Geared Motor 57
3.12 แสดงกระบอกสูบทำงานแบบเชิงเส้น รุ่น SIF, SCF Series 57
3.13 แสดงมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงรุ่น RS Pro DC Geared Motor 57
3.14 แสดงกระบอกสูบทำงานแบบเชิงเส้น รุ่น SIF, SCF Series 58
3.15 แสดงกระบอกสูบทำงานในแนวหมุน SMC รุ่น MSQB10R-A93L 58
3.16 แสดงตัวรับรู้แบบใช้แสงรุ่น EE-SX672 59
3.17 สวิตช์แม่เหล็กรุ่น FESTO 59
3.18 แสดง Coordinate (x, y) ของชั้นจัดเก็บบนระนาบ X Y 62
3.19 แสดงสินค้าสำหรับจัดเก็บ 63

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.20 แสดงสินค้าสำหรับจัดเก็บ 64
3.21 กล่องค้นคืน 64
3.22 แสดงชุดรหัสแท่งของสินค้า A B และ C 65
3.23 กล้อง PRO-SERIES SIGNO รุ่นWC-208 66
3.24 แสดงชุด IMAQ Extract Single Color Plane 67
3.25 สแดงตั้งใหม่ IMAQ Create 68
3.26 แสดงตั้งใหม่ IMAQ Read Barcode 69
3.27 แสดงแผนผังกระบวนการทำงานผ่านแผงควบคุมเสมือนจริง (ต่อ) 70
3.28 แสดงแผนผังกระบวนการทำงานผ่านแผงควบคุมเสมือนจริง (ต่อ) 71
3.29 แสดงแผนผังกระบวนการทำงานผ่านแผงควบคุมเสมือนจริง (ต่อ) 72
3.30 แสดงแผนผังกระบวนการทำงานผ่านแผงควบคุมเสมือนจริง (ต่อ) 73
3.31 แสดงแผนผังกระบวนการทำงานผ่านแผงควบคุมเสมือนจริง (ต่อ) 74
3.32 แสดงตำแหน่งการวางสินค้าสำหรับสแกน 75
3.33 แสดงระยะระหว่างเลนกล้องถึงสินค้าที่เหมาะสมในการสแกน 75
4.1 แสดงระบบจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติ 77
4.2 แสดงระบบการเคลื่อนที่อัตโนมัติก่อนซ่อมแซม 78
4.3 ระบบการเคลื่อนที่อัตโนมัติหลังซ่อมแซม (ด้านหลัง) 78
4.4 ระบบการเคลื่อนที่อัตโนมัติหลังซ่อมแซม (ด้านหน้า) 79
4.5 แสดงข้อมูลที่ถูกจัดเก็บในฐานข้อมูลของหน่วยความจำคอมพิวเตอร์ 84
4.6 แสดงฟังก์ชันการทำงานผ่านหน้าจอส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ 86
ข.1 แสดงโปรแกรม LabVIEW รับภาพจากการสแกน
และจองพื้นที่ชั่วคราวสำหรับประมวลผลภาพ 102
ข.2 แสดงโปรแกรม LabVIEW ประมวลผลภาพเป็นรหัสแท่งประเภท EAN 13 102
ค.1 แสดงรายละเอียดขนาดของ JIG ที่ใช้ยึดแขนหยิบสินค้ากับ Rotary Cylinder 104

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบการจัดเก็บและค้นคืนคลังสินค้าในอดีต มีการใช้แรงงานในการจัดเก็บและค้นคืนสินค้ารวมถึงการจดบันทึกข้อมูลสินค้าที่ไม่เป็นระบบ ก่อให้เกิดต้นทุนแรงงานและค่าเสื่อมสภาพของสินค้า เนื่องจากมีการจัดเก็บไว้นานเกินไป ซึ่งปัจจุบันเมื่อระบบอัตโนมัติเข้ามามีบทบาทกับโรงงานอุตสาหกรรมมากขึ้น จึงมีความพยายามในการใช้พื้นที่และทรัพยากรในการบริหารจัดการคลังสินค้าให้น้อยที่สุด เกิดเป็นระบบจัดเก็บและค้นคืนสินค้าอัตโนมัติ (Automated Storage and Retrieval System, AS/RS) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบการผลิตโดยอาศัยคอมพิวเตอร์แบบบูรณาการ (Computer-Integrated Manufacturing, CIM) ที่จะนำไปสู่ระบบการผลิตโดยปราศจากมนุษย์ ที่ ณ เวลาปัจจุบันนี้ระบบการผลิตดังกล่าวยังไม่ได้เกิดขึ้นโดยสมบูรณ์ สำหรับในประเทศไทยยังมีการนำเข้า ระบบ AS/RS จากต่างประเทศทั้ง Hardware และ Software ที่มีราคาสูงมาก ทั้งนี้แนวคิดการนำเทคโนโลยีเหล่านี้นำมาเป็นอุปกรณ์ในการเรียนการสอนระดับห้องปฏิบัติการจึงเป็นเรื่องยาก และมีข้อจำกัดในด้านเงินลงทุนอุปกรณ์สำหรับฝึกอบรมนักศึกษา

อย่างไรก็ตามการออกแบบและสร้างต้นแบบระบบการจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติโดยการควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยโปรแกรมควบคุมตรรกะ (Programmable Logic Controller, PLC) ที่มีราคาถูก สามารถทดแทนและใช้งานได้อย่างเอนกประสงค์ รวมถึงการบันทึกจัดเก็บฐานข้อมูลคลังสินค้าและการควบคุมการทำงานของระบบ โดยการนำเทคโนโลยีทางด้านการมองเห็นของเครื่องจักร (Machine Vision) ที่มีความสามารถในการตรวจจับวัตถุต่างๆ ซึ่งมีความละเอียดและความแม่นยำในระดับสูง ถูกนำมาพัฒนาเพื่อให้เกิดระบบที่มีต้นทุนต่ำ

ทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนา และซ่อมแซมระบบอัตโนมัติที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการระบบอัตโนมัติ ด้วยการออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของระบบต้นแบบ และการบันทึกฐานข้อมูลอัตโนมัติ ซึ่งในส่วนระบบอัตโนมัติแบ่งเป็น 3 สถานี ได้แก่ 1) สถานีสแกนสินค้า 2) สถานีหยิบและวางสินค้า และ 3) สถานีโอนถ่ายสินค้า เมื่อมีคำสั่งสินค้าจะถูกจัดเก็บไปยังชั้นจัดเก็บหรือถูกค้นคืนจากชั้นจัดเก็บไปยังผู้ใช้ ส่วนข้อมูลสินค้าจากการสแกนรหัสแท่งจะถูกบันทึกในฐานข้อมูลและแสดงบนแผงควบคุมเสมือนจริงทั้งนี้ระบบใช้หลักการจัดเก็บและค้นคืน ในรูปแบบการจัดเก็บสินค้าที่ไม่ได้กำหนดตำแหน่งตายตัว (Random

Location System) และการค้นคืนสินค้าที่เข้าคลังสินค้าก่อนทำการหมุนเวียนออกไปก่อน (FIRST IN FIRST OUT, FIFO) ทั้งนี้เพื่อลดเวลาและเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเก็บและค้นคืน ดังนั้นระบบต้นแบบ AS/RS จึงมีความสำคัญและจำเป็นในการประกอบการเรียนการสอนระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อให้นักศึกษามีความเข้าใจรูปแบบการจัดการคลังสินค้า และเข้าถึงเครื่องจักรอุตสาหกรรมอัตโนมัติ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

สำหรับงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในด้านการออกแบบและสร้างต้นแบบระบบจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติระดับห้องปฏิบัติการ ดังนี้

1.2.1 เพื่อซ่อมแซมระบบจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติ

1.2.2 เพื่อออกแบบโปรแกรมพัฒนาระบบจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติ

1.2.3 เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับการเรียนการสอนด้านเครื่องจักรอุตสาหกรรมอัติโนมัติ

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้นำระบบ AS/RS เดิมที่มีส่วนประกอบของหุ่นยนต์ประเภท Cylindrical robot หุ่นยนต์ประเภท Cartesian robot และชั้นจัดเก็บ นำมาซ่อมแซมให้สามารถทำงานตามโปรแกรมที่ออกแบบไว้ ดังนั้นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าและชิ้นส่วนต่างๆที่เพิ่มเติมในระบบ เช่น PLC อุปกรณ์ตรวจรู้ กล้องบันทึกภาพ เป็นต้น เหล่านี้ล้วนเป็นอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้วภายในห้องปฏิบัติการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งในการออกแบบโปรแกรมจะ ออกแบบให้สอดคล้องกับอุปกรณ์สำคัญที่มีอยู่ เพื่อให้สามารถทำงานตามหลักการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้สินค้าที่ใช้ในการจัดเก็บบนชั้นจัดเก็บ จำลองโดยนำแผ่นพลาสติกแข็ง (Acrylic) ตามขนาดที่ผู้วิจัยกำหนด ประกอบเป็นทรงลูกบาศก์ ติดรหัสแท่งอยู่ด้านบนของสินค้าเพื่อระบุข้อมูลในการจัดเก็บของระบบนี้

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้กำหนดขอบเขตการวิจัยเพื่อให้สามารถกำหนดเป้าหมายและวิธีการในการพัฒนาระบบได้ตรงตามวัตถุประสงค์ดังนี้

1.4.1 ซ่อมแซมระบบจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติประจำห้อง Computer-Integrated Manufacturing (CIM) อาคารเครื่องมือ 5 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.4.2 ออกแบบโปรแกรม Programmable Logic Controller (PLC) เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของระบบอัตโนมัติ

1.4.3 ออกแบบโปรแกรม LabVIEW โมดูลสำหรับการมองเห็นเครื่องจักร NI Vision เพื่อควบคุมการทำงานของระบบผ่านแผงควบคุมเสมือนจริงตรวจจับรหัสแท่งและบันทึกข้อมูลสินค้า

1.4.4 ใช้หลักการจัดเก็บและค้นคืนสินค้าในรูปแบบการจัดเก็บสินค้าที่ไม่ได้กำหนดตำแหน่งตายตัว (Random Location System) และการค้นคืนสินค้าที่เข้าคลังสินค้าก่อนทำการหมุนเวียนออกไปก่อน (FIRST IN FIRST OUT, FIFO)

1.4.5 ประเภทสินค้าในการจัดเก็บและค้นคืนจำนวน 3 ประเภท ใช้ชื่อกำกับสินค้า A B และ C

1.4.6 ชั้นจัดเก็บสินค้ามีขนาด 7×4

1.5 สถานที่ทำงานวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่ทางผู้วิจัยคาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยมีดังนี้

1.6.1 ได้ศึกษาวิธีการจัดเก็บและค้นคืนสินค้าอีกรูปแบบหนึ่งเพื่อพัฒนาระบบให้มีประสิทธิภาพในการดำเนินงาน

1.6.2 ลดความผิดพลาดในการจดบันทึกข้อมูลสินค้า และลดแรงงานในการทำงานเนื่องจากเครื่องจักรทำงานอัตโนมัติ

1.6.3 ใช้เป็นเครื่องต้นแบบในการเรียนการสอนเครื่องจักรอุตสาหกรรมอัตโนมัติระดับห้องปฏิบัติการได้

บทที่ 2
ปริทรรศน์วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้กล่าวถึงงานปริทรรศน์วรรณกรรมที่ใช้เป็นแนวทางในออกแบบและสร้างต้นแบบงานวิจัย รวมถึงทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องทำให้เกิดองค์ประกอบเนื้อหาที่สมบูรณ์ของงานวิจัย ในส่วนแรกนำเสนอเนื้อหางานปริทรรศน์วรรณกรรมเกี่ยวกับคลังสินค้า การจัดการคลังสินค้า รูปแบบในการจัดเก็บสินค้า และแนวคิดเกี่ยวกับระบบการจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติที่เป็นที่มาและความสำคัญของงานวิจัย ในส่วนที่สองนำเสนอเนื้อหางานปริทรรศน์วรรณกรรมเกี่ยวกับเทคโนยีที่นำมาใช้ในการพัฒนาระบบ เพื่อประโยชน์สูงสุดการคลัง และอำนวยความสะดวกในการศึกษาสำหรับนักศึกษาในห้องปฏิบัติการอัตโนมัติ ในส่วนที่สามนำเสนอทฤษฎีด้านการมองเห็นของเครื่องจักรและการประมวลผลภาพที่ใช้ในการวิจัย ซึ่งเลือกใช้โปรแกรมประมวลผลภาพที่เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปคือโปรแกรม LabVIEW โมดูล NI Vision เป็นโมดูลพิเศษอีกโมดูลหนึ่ง ซึ่งทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีจัดทำหลักสูตรใช้ในการเรียนการสอนและการวิจัย โดยกล่าวถึงในบริบท และหลักการที่ใช้ในงานวิจัย รวมถึงเนื้อหาโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมระบบการจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติ ได้แก่ Programmable Logic Controller (PLC) Arduino และรหัสแท่ง ซึ่งในบทนี้เนื้อหาต่างๆได้อธิบายหลักการทำงานเบื้องต้น สำหรับวิธีการใช้งานในเชิงบริบทที่เกี่ยวข้องกับระบบต้นแบบ ผู้วิจัยได้อธิบายไว้ในบทถัดไป

2.2 ปริทรรศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 คลังสินค้าและการจัดการคลังสินค้า

แนวคิดเกี่ยวกับการจัดการคลังสินค้า และกระบวนการทำงานของคลังสินค้าถือได้ว่าเป็นส่วนหนึ่งของระบบโลจิสติกส์ที่สำคัญซึ่งในอดีตบทบาท และความสำคัญของคลังสินค้ามักจะถูกมองข้ามจากองค์กรธุรกิจ โดยมักจะมองการปฏิบัติงานของคลังสินค้าเป็นภาระหรือต้นทุนของบริษัท แต่ในปัจจุบันคลังสินค้าถือว่าเป็นกิจกรรมที่สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสินค้า และบริการดังนั้นองค์กรธุรกิจได้หันมาให้ความสำคัญ มีการวางกลยุทธ์ด้านคลังสินค้าเพิ่มขึ้น (ทวีศักดิ์ เทพพิทักษ์, 2552) ทั้งนี้นักวิชาการหลายท่านได้ให้ความหมายของคลังสินค้าดังนี้

อรุณ บริรักษ์ และคณะ (2547, หน้า 159) ได้ให้ความหมายการคลังสินค้า และการจัดการคลังสินค้าไว้ว่า การคลังสินค้า หมายถึงการรับทำการเก็บรักษาสินค้า และให้บริการเกี่ยวกับสินค้าเพื่อบำเหน็จเป็นการค้าปกติไม่ว่าบำเหน็จนั้นจะเป็นเงินค่าตอบแทนหรือประโยชน์อื่นใด การจัดการคลังสินค้า (Warehouse Management) เป็นการจัดการในระดับการจัดเก็บ หมายถึงการจัดส่งสินค้าให้ผู้รับเพื่อกิจกรรมการขาย เป้าหมายหลักในการบริหารการดำเนินธุรกิจในส่วนที่เกี่ยวข้องกับคลังสินค้าก็เพื่อให้เกิดการดำเนินการเป็นระบบให้คุ้มค่ากับการลงทุนการควบคุมคุณภาพของการจัดเก็บการหยิบสินค้า การป้องกันในการลดการสูญเสียจากการดำเนินงาน เพื่อให้ต้นทุนการดำเนินงานต่ำที่สุด และการใช้ประโยชน์เต็มที่จากพื้นที่

คำนาย อภิปรัชญาสกุล (2553, หน้า 122) คลังสินค้า หมายถึงพื้นที่ที่ได้วางแผนเพื่อให้เกิด ประสิทธิภาพในการใช้สอย และการเคลื่อนย้ายสินค้าและวัตถุดิบ (Planned Space for the Efficient Accommodation and Handling of Goods and Materials) โดยคลังสินค้าทำหน้าที่ในการเก็บสินค้าระหว่างกระบวนการเคลื่อนย้ายเพื่อสนับสนุนการผลิต และการกระจายสินค้า

ธนิต โสรัตน์ (2552) กล่าวไว้ว่า การจัดการคลังสินค้าเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการจัดการความสัมพันธ์ของต้นทุนที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงกับปริมาณสินค้าที่เก็บในคลังเพื่อสนองตอบความพึงพอใจของลูกค้า ที่จะส่งมอบเป็นไปตามเงื่อนไขที่ได้มีการตกลงทั้งด้านเวลา และปริมาณสินค้า ภายใต้ข้อจำกัดทั้งด้านการเงิน และระยะเวลาการขนส่งที่ไม่แน่นอน

Oran Kittithreerapronchaia และ Naragain Phumchusrib (2014) ได้ศึกษาระบบการจัดการคลังสินค้า โดยการแนะนำโปรแกรมบริหารคลังสินค้า(WMS) ในแง่ของศักยภาพในการแก้ปัญหาคลังสินค้าสำคัญสำหรับผู้ประกอบการขนาดเล็กและขนาดกลาง และนำเสนอความแตกต่างจากระบบสินค้าคงคลังแบบดั้งเดิม จากบทวิจารณ์วรรณกรรมของการดำเนินโปรแกรมบริหารคลังสินค้า(WMS) ทั่วโลก และการเข้าชมของคณะวิจัยที่คลังสินค้าชั้นนำทั่วประเทศไทย เพื่อสรุปตัวชี้วัดทางธุรกิจ และคำแนะนำแก่องค์กรไม่ว่าจะเป็นโปรแกรมบริหารคลังสินค้า(WMS) เหมาะสำหรับคลังสินค้าหรือไม่ จากผลการวิจัยพบว่าโดยภาพรวมของปัจจัยหลักในการลงทุนในระบบ โปรแกรมบริหารคลังสินค้า(WMS) ที่ผู้ประกอบการในประเทศไทยควรพิจารณาคือ ปริมาณการไหลเวียนของสินค้า และเงื่อนไขพิเศษของสินค้า เช่นความสามารถการติดตามและความสะดวกในการปรับตัวให้เข้ากับธุรกิจ

2.2.2 การจัดรูปแบบในการจัดเก็บสินค้า

การในการออกแบบรูปแบบการจัดเก็บสินค้าของระบบต้นแบบ ได้พิจารณาจากรูปแบบการจัดเก็บสินค้าที่มีความยืดหยุ่นสูง เหมาะกับคลังสินค้าทุกขนาด สามารถใช้งานพื้นที่

จัดเก็บได้อย่างเกิดประโยชน์สูงสุด โดยสามารถส่งเสริมข้อดีของรูปแบบเพิ่มเติมได้เพื่อให้การจัดเก็บสินค้ามีประสิทธิภาพและทำงานสอดประสานกับกลไกของระบบ ทั้งยังสามารถปรับปรุงข้อเสียของรูปแบบนั้นๆได้ไม่ยาก ทั้งนี้รูปแบบจากการพิจารณาดังกล่าว ผู้วิจัยเลือกใช้รูปแบบการจัดเก็บไม่ได้กำหนดตำแหน่งตายตัว (Random Location System) ซึ่งรูปแบบดังกล่าวปรากฏในหัวข้อเรื่อง Stock Location Methodology ของ James and Jerry (1998) โดยได้อธิบายรูปแบบการจัดเก็บดังกล่าว และมีการจัดแบ่งรูปแบบอื่นๆดังต่อไปนี้

- ระบบการจัดเก็บโดยไร้รูปแบบ (Informal System) เป็นรูปแบบการจัดเก็บสินค้าที่ไม่มีการบันทึกตำแหน่งการจัดเก็บเข้าไว้ในระบบ และสินค้าทุกชนิดสามารถจัดเก็บไว้ตำแหน่งใดก็ได้ในคลังสินค้า ซึ่งพนักงานที่ปฏิบัติงานในคลังสินค้านั้นจะเป็นผู้ที่รู้ตำแหน่งในการจัดเก็บรวมทั้งจำ นวนที่จัดเก็บ ซึ่งจะเห็นได้ว่ารูปแบบการจัดเก็บนี้เหมาะสำหรับคลังสินค้าที่มีขนาดเล็กมีจำนวน สินค้าน้อย และมีจำนวนตำแหน่งที่จัดเก็บน้อยเช่นกัน ซึ่งมีข้อดีคือไม่ต้องการการบำรุงรักษาอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆและมีความยืดหยุ่นสูง แต่มีข้อเสียคือยากในการหาสินค้าทำให้การค้นคืนสินค้าขึ้นอยู่กับทักษะของพนักงานคลังสินค้า และไม่มีประสิทธิภาพ

- ระบบจัดเก็บโดยกำหนดตำแหน่งตายตัว (Fixed Location System) แนวความคิดในการจัดเก็บสินค้ารูปแบบนี้เป็นแนวคิดที่มาจากทฤษฎีกล่าวคือ สินค้าทุกชนิดนั้นจะมีตำแหน่งจัดเก็บที่กำหนดไว้ตายตัวอยู่แล้ว ซึ่งการจัดเก็บรูปแบบนี้เหมาะสำหรับคลังสินค้าที่มีขนาดเล็ก มีจำนวนพนักงานที่ปฏิบัติงานไม่มาก และมีจำนวนสินค้าที่จัดเก็บน้อยด้วย โดยจากการศึกษาพบว่าแนวคิดการจัดเก็บสินค้านี้จะมีข้อจำกัดหากเกิดกรณีที่สินค้านั้นมีการสั่งซื้อเข้ามาทีละมาก ๆ จนเกินจำนวน Location ที่กำหนดไว้ของสินค้าชนิดนั้นหรือในกรณีที่สินค้าชนิดนั้นมีการสั่งซื้อเข้ามาน้อยในช่วงเวลานั้น จะทำให้เกิดพื้นที่ที่เตรียมไว้สำหรับสินค้าชนิดนั้นว่าง ซึ่งมีข้อดีคือง่ายต่อการนำไปใช้ และง่ายต่อการปฏิบัติงาน แต่มีข้อเสียคือใช้พื้นที่จัดเก็บไม่ได้ไม่เต็มที่ทำให้ต้องเสียพื้นที่จัดเก็บโดยเปล่าประโยชน์ในกรณีที่ไม่มีสินค้าอยู่ในสต๊อก และต้องใช้พื้นที่มากหลายตำแหน่งในการจัดเก็บสินค้าให้มากที่สุดทำให้ยากต่อการจดจำตำแหน่งจัดเก็บสินค้า รวมถึงยากต่อการขยายพื้นที่จัดเก็บ

- ระบบการจัดเก็บโดยจัดเรียงตามรหัสสินค้า (Part Number System) รูปแบบการจัดเก็บ โดยใช้รหัสสินค้า (Part Number) มีแนวคิดใกล้เคียงกับการจัดเก็บแบบกำหนดตำแหน่งตายตัว (Fixed Location) โดยข้อแตกต่างนั้นจะอยู่ที่การเก็บแบบใช้รหัสสินค้า นั้นจะมีลำดับการจัดเก็บ เรียงกันเช่น รหัสสินค้าหมายเลข A123 นั้นจะถูกจัดเก็บก่อนรหัสสินค้าหมายเลข B123 เป็นต้น ซึ่งการจัดเก็บแบบนี้จะเหมาะกับบริษัทที่มีความต้องการส่งเข้า และนำออกของรหัสสินค้า ที่มีจำนวนคงที่ เนื่องจากมีการกำหนดตำแหน่งการจัดเก็บไว้แล้ว มีข้อดีคือง่ายต่อการค้นหาสินค้า การ

หยิบสินค้า การนำไปใช้โดยไม่จำเป็นต้องมีการบันทึกตำแหน่งสินค้า ข้อเสียคือไม่ยืดหยุ่นทำให้ยากต่อการปรับปริมาณความต้องการสินค้า และการเพิ่มการจัดเก็บสินค้าใหม่จะมีผลกระทบต่อการจัดเก็บสินค้าเดิมทั้งหมด รวมถึงใช้พื้นที่จัดเก็บได้ไม่เต็มที่

- ระบบการจัดเก็บสินค้าตามประเภทของสินค้า (Commodity System) เป็นรูปแบบการจัดเก็บสินค้าตามประเภทของสินค้าหรือประเภทสินค้า (Product Type) โดยมีการจัดตำแหน่งการวางคล้ายกับร้านค้าปลีกหรือตามร้านค้าทั่วไปที่มีการจัดวางสินค้าในกลุ่มเดียวกันหรือประเภท เดียวกันไว้ตำแหน่งที่ใกล้กัน ซึ่งรูปแบบในการจัดเก็บสินค้าแบบนี้จัดอยู่ในแบบ Combination System ซึ่งจะช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเก็บสินค้ามีการใช้งานพื้นที่จัดเก็บมากขึ้น มีข้อดีคือสินค้าถูกแบ่งตามประเภททำให้พนักงานผู้ปฏิบัติงานเข้าได้ง่ายทำให้การหยิบสินค้าทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีความยืดหยุ่นสูง ข้อเสียคือในกรณีที่สินค้าประเภทเดียวกันมีหลายรุ่น หลายยี่ห้อ อาจทำให้หยิบสินค้าผิดรุ่น ผิดยี่ห้อได้ ทั้งนี้พนักงานจำเป็นต้องมีความรู้ในเรื่องของสินค้าแต่ละชนิดหรือแต่ละยี่ห้อที่จะหยิบและอาจมีสินค้าบางอย่างอาจยุ่งยากในการจัดประเภทสินค้า รวมถึงการใช้สอยพื้นที่จัดเก็บดีขึ้นแต่ยังไม่ดีที่สุด

- ระบบการจัดเก็บที่ไม่ได้กำหนดตำแหน่งตายตัว (Random Location System) เป็นการจัดเก็บที่ไม่ได้กำหนดตำแหน่งตายตัว ทำให้สินค้าแต่ละชนิดสามารถถูกจัดเก็บไว้ในตำแหน่งใดก็ได้ในคลังสินค้า แต่รูปแบบการจัดเก็บแบบนี้จำเป็นต้องมีระบบสารสนเทศในการจัดเก็บและติดตามข้อมูลของสินค้าว่าจัดเก็บอยู่ในตำแหน่งใดโดยต้องมีการปรับปรุงข้อมูลอยู่ตลอดเวลาด้วยซึ่งในการจัดเก็บแบบนี้จะเป็นรูปแบบที่ใช้พื้นที่จัดเก็บอย่างคุ้มค่า เพิ่มการใช้งานพื้นที่จัดเก็บและเป็นระบบที่ถือว่ามีความยืดหยุ่นสูง เหมาะกับคลังสินค้าทุกขนาด มีข้อดีคือสามารถใช้งานพื้นที่จัดเก็บได้อย่างเกิดประโยชน์สูงสุด การจัดเก็บมีความยืดหยุ่นสูง ง่ายต่อการขยายการจัดเก็บ ง่ายในการปฏิบัติงาน และระยะทางเดินหยิบสินค้าไม่ไกล ข้อเสียคือต้องมีการบันทึกข้อมูลการจัดเก็บสินค้าอย่างละเอียดและมีประสิทธิภาพและเข้มงวดในติดตามการบันทึกข้อมูลการจัดเก็บ

- ระบบการจัดเก็บแบบผสม (Combination System) เป็นรูปแบบการจัดเก็บที่ผสมผสาน หลักการของรูปแบบการจัดเก็บในข้างต้น โดยตำแหน่งในการจัดเก็บนั้นจะมีการพิจารณาจาก เงื่อนไขหรือข้อจำกัดของสินค้าชนิดนั้นๆ เช่น หากคลังสินค้านั้นมีสินค้าที่เป็นวัตถุอันตรายหรือ สารเคมีต่าง ๆ รวมอยู่กับสินค้าอาหาร จึงควรแยกการจัดเก็บสินค้าอันตราย และสินค้าเคมีดังกล่าว ให้อยู่ห่างจากสินค้าประเภทอาหาร และเครื่องดื่ม เป็นต้น ซึ่งถือเป็นรูปแบบการจัดเก็บแบบกำหนดตำแหน่งตายตัวสำหรับพื้นที่ที่เหลือในคลังสินค้านั้น เนื่องจากมีการคำนึงถึงเรื่องการใช้งานพื้นที่จัดเก็บ ดังนั้นจึงจัดใกล้ที่เหลือมีการจัดเก็บแบบไม่ได้กำหนดตำแหน่งตายตัว

(Random) ได้โดยรูปแบบการจัดเก็บแบบนี้เหมาะสำหรับคลังสินค้าทุกๆ แบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคลังสินค้าที่มีขนาดใหญ่ และสินค้าที่จัดเก็บนั้นมีความหลากหลาย ข้อดีคือการจัดเก็บมีความยืดหยุ่นสูงเพราะสามารถปรับเปลี่ยนการจัดเก็บได้ตามสภาพของคลังสินค้า และควบคุมการจัดเก็บได้เป็นอย่างดี เป็นการประสานข้อดีจากทุกระบบการจัดเก็บ ข้อเสียคืออาจทำให้ผู้ปฏิบัติงานเกิดความสับสนเนื่องจากมีระบบการจัดเก็บมากกว่า 1 วิธี และการใช้ประโยชน์จากพื้นที่จัดเก็บมีความไม่แน่นอน เปลี่ยนได้ตลอดเวลา

2.2.3 แนวคิดเกี่ยวกับระบบการจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติ (Automated Storage and Retrieval System, AS/RS)

ทิวากร แก้วศรี (2556) ระบบการจัดเก็บและเรียกคืนอัตโนมัติ (Automated Storage and Retrieval System, AS/ RS) คือการทำงานของระบบการจัดเก็บในคลังสินค้าหรือโกดังที่มีการควบคุมด้วยระบบการจัดเก็บวัสดุ การรับวัสดุ รวมทั้งการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ขนถ่าย ที่ทำงานร่วมกับโรงงาน และคลังสินค้า ซึ่งสามารถออกแบบการใช้งานให้เหมาะสมกับการทำงานลักษณะต่าง ๆได้ โดยทั่วไปแล้วปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการจัดเก็บ และเรียกใช้ของอุปกรณ์ แบบAS/ RS จะพิจารณาจากลักษณะโครงสร้างของชั้นที่ใช้จัดเก็บ ความเร็วในการเคลื่อนของอุปกรณ์ AS/ RS ทั้งในแนวดิ่งและแนวราบ โดยมีวัตถุประสงค์ของระบบการจัดเก็บสินค้าอัตโนมัติ AS/ RS

เพื่อทำหน้าที่สนับสนุนการจัดการคลังสินค้า โดยทำให้เกิดการจัดเก็บหรือนำผลิตภัณฑ์ออกมาอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดในด้านความรวดเร็ว ความถูกต้อง การลดจำนวนพนักงาน

เพื่อให้มีข้อมูล ณ เวลาปัจจุบัน (Real Time) สามารถนำไปใช้ในการรวบรวมข้อมูลเพื่อทำการคิดต้นทุน และงานด้านบัญชีภายในโรงงาน ทั้งนี้เนื่องมาจากการเก็บสินค้า และการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้ถ้าถูกติดตามในรูปแบบอุปกรณ์ทางไฟฟ้าจะช่วยให้เกิดความถูกต้องแม่นยำและรวดเร็ว สำหรับองค์ประกอบการทำงานของระบบจัดเก็บในคลังสินค้าที่มีการควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ มีหน้าที่ในการจัดเก็บวัสดุ การเบิกจ่ายวัสดุ การเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ขนถ่าย การรับเบิกสินค้าแบบ FIFO สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ลดการใช้แรงงานคน แต่ใช้เงินลงทุนจำนวนมาก โดยส่วนประกอบของ AS/ RS ประกอบด้วย ชั้นวางของ (Rack) อุปกรณ์หยิบหรือจัดเก็บผลิตภัณฑ์ (S/R Machine, Crane, หรือ Robot Arm) ระบบนำเข้า/นำออกระบบควบคุม (Control System) ทั้งนี้สามารถแบ่งประเภทของระบบ AS/RS ออกเป็นแบบต่าง ๆ ดังนี้

- Unit load AS/ RS ใช้กับระบบอัตโนมัติขนาดใหญ่ขนถ่ายวัสดุที่เป็น Pallet ภาชนะบรรจุ ถุงหรือกล่องต่าง ๆ (Package) ที่มีขนาดมาตรฐาน ทำงานที่น้ำหนักของวัสดุต่อ 1 หน่วย มีค่าตั้งแต่ 1,000 ปอนด์ขึ้นไป แต่ละช่องวิ่ง (Aisle) จะมี S/ R Machine ที่สามารถเคลื่อนที่ไปตามราง และมีระบบเลื่อนสำหรับรับหรือส่งวัสดุไปยังพื้นที่จัดเก็บ ทั้งนี้ระบบประกอบไปด้วยการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ S/ R Machine ที่จะเคลื่อนที่ไปตามรางและมีระบบเลื่อนสำหรับรับหรือส่งวัสดุ ระบบอัตโนมัติขนาดใหญ่

- Deep - Lane AS/ RS ใช้กับการจัดเก็บที่มีความหนาแน่นสูง มีปริมาณสินค้าคงคลังสูง แต่ชนิดของสินค้า (SKUs) น้อย มีการทำงานค่อนข้างคล้ายกับระบบ Unit - load แต่ใน 1 ช่องจัดเก็บมีความลึก สามารถจัดเก็บได้มากกว่า 1 หน่วย ชั้นวางมีการออกแบบให้น้ำหนักบรรทุกไหลเข้าไป (Flow - Through Designed) โดยแต่ละชั้นวางของ(Rack) ออกแบบให้ Flow - Through การจัดเก็บวัสดุทำงานด้านหนึ่ง การรับวัสดุจะทำงานอีกด้านหนึ่ง ในการออกแบบ S/ R Machine จะเข้าไปยังจุดจัดเก็บ โดยการส่งพาหนะเข้าไปในชั้นวางตามความลึกที่ต้องการ (Rack - Entry Vehicle) วางวัสดุลง และกลับมายัง S/ R Machine สามารถเก็บ สินค้า ได้ 10 หรือมากกว่า ใน Single Rack

- Miniload AS/ RS ใช้สำหรับการขนถ่ายวัสดุที่มีขนาดบรรทุกน้อย ๆ เช่น ชิ้นส่วนจะมีการบรรจุวัสดุหรือสินค้าหลายชนิดใน 1 ภาชนะบรรจุ (Container) ใช้กับ สินค้า ขนาดเล็ก ซึ่งบรรจุในถังเก็บภายในระบบจัดเก็บ มีน้ำหนักของวัสดุต่อหนึ่งภาชนะบรรจุ มีค่าต่ำ กว่า 750 ปอนด์ มีความหนาแน่นของการจัดเก็บสูง โดยทั่วไปจะติดตั้งในอาคารที่สร้างอยู่ก่อนแล้ว มีขนาดที่ความสูงไม่เกิน 30 ฟุต ลักษณะและขนาดของภาชนะบรรจุขึ้นอยู่กับการจัดเก็บในแต่ละสถานที่ที่ระบบการทำงาน S/ R Machine จะทำการเคลื่อนที่รับส่งลังหรือกล่องไปที่จุดรับส่ง ชิ้นส่วนหรือสิ่งของที่อยู่ในลังจะสามารถหยิบออกไปเพียงบางชิ้นหรือทั้งหมดก็ได้ ซึ่งในระบบ Miniload ที่จุดรับ-ส่ง มีคนงานที่ทำหน้าที่การรับและส่งวัสดุจาก S/ R Machine

- Man - On - Board AS/ RS หรือ Manaboard AS/ RS ระบบ Man On Board หรือที่เรียกว่า Man Aboard เป็นการแก้ปัญหาความต้องการการรับวัสดุแบบเจาะจงจากการจัดเก็บ ซึ่งในระบบนี้ผู้ทำงานจะควบคุมอยู่บน S/ R Machine ใช้คนในการขับเคลื่อน S/ R Machine มีการหยิบวัสดุแต่ละชิ้นจากตำแหน่งที่เก็บได้โดยตรง ความแตกต่างกับระบบ Mini load คือไม่จำเป็นต้องนำลังหรือกล่องออกมายังจุดรับ-ส่ง แล้วนำเข้าไปเก็บ แต่ผู้ทำงานสามารถหยิบสิ่งที่ต้องการออกมาจากจุดจัดเก็บได้ในทันทีซึ่งหมายถึงการเพิ่มประสิทธิภาพเวลาการทำงาน

- Automated Item Retrieval System ระบบแบบ Automated Item Retrieval มีการออกแบบให้สามารถรับวัสดุเฉพาะ โดยใช้การทำงานออกแบบชั้นวางแบบ Flow - Through ให้

การจัดเก็บวัสดุทางด้านหลัง และรับวัสดุออกทางด้านหน้าด้วยการผลักบนชั้นวางแบบ Flow - Through ให้วัสดุไหลไปบนสายพานลำเลียง โดยการจัดเก็บสามารถทำงานได้แบบ FIFO ใช้สำหรับวัสดุเป็นชิ้น ๆ หรือ สินค้า ที่มีขนาดเล็กที่เก็บในกล่อง

- Vertical lift storage systems (VL-AS/ RS) ระบบ Vertical Lift Storage Systems หรือ Vertical Lift Automated Storage/Retrieval Systems (VL-AS/ RS) แตกต่างจาก AS/ RS ทั่วๆไปตรงที่ออกแบบตามแนวขวาง ออกแบบไปในแนวดิ่งให้ระบบมีความสูงมากเพื่อรองรับกับลักษณะของสินค้า โดยทั่วไปสูงตั้งแต่ 10 เมตรขึ้นไป ซึ่งจะทำให้สามารถจัดเก็บสินค้าได้ปริมาณมาก แต่ใช้พื้นที่น้อยใช้หลักการเหมือนแบบอื่น ๆ คือ เข้าไปรับ สินค้า ตามช่องทางตรงกลาง ยกเว้นมีช่องทางในแนวตั้ง สามารถเก็บพัสดุขนาดใหญ่ได้ ระบบนี้ช่วยประหยัดพื้นที่ว่างบนพื้นโรงงาน ทั้งนี้ระบบต้นแบบเป็นระบบประเภท Unit load AS/ RS ที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากเป็นชุดต้นแบบสำหรับใช้ในการเรียนการสอนระดับห้องปฏิบัติการอัตโนมัติ ทดแทนการเรียนการสอนด้วยขนาดจริงที่มีเงินลงทุนจำนวนมากในการสร้าง ซึ่งปรากฏในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่

2.2.4 ระบบรหัสแท่งในงานอุตสาหกรรมการผลิต

ในยุคปัจจุบันนี้รหัสแท่งมีบทบาทในงานอุตสาหกรรมการผลิตมากขึ้น สามารถพบเห็นรหัสแท่งได้เกือบทุกอุตสาหกรรมรวมถึงในชีวิตประจำวัน ไม่ว่าจะเป็นร้านค้าทั่วไป โรงพยาบาล ห้างสรรพสินค้า หรือแม้กระทั่งบนสิ่งของต่าง ๆ เมื่อดูผิวเผินรหัสแท่งเหล่านี้มีลักษณะคล้ายกัน แต่ในความเป็นจริงแล้วรหัสแท่งแต่ละอันมีความแตกต่างกัน ในส่วนของอุตสาหกรรมก็มีมาตรฐานของรหัสแท่งที่แตกต่างกันออกไปเช่นกัน เพื่อการตัดสินใจเลือกใช้ระบบรหัสแท่งที่ถูกต้องเหมาะสมกับธุรกิจ การทราบถึงองค์ประกอบของรหัสแท่งทำให้ง่ายต่อการใช้งานของผู้ใช้ โดยองค์ประกอบของรหัสแท่งประกอบด้วยเส้นมืด (แถบสีดำ) และเส้นสว่าง(แถบสีขาว) วางเรียงกันเป็นแนวดิ่ง เป็นรหัสแทนตัวเลข และตัวอักษร ใช้เพื่ออำนวยความสะดวกให้เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถอ่านรหัสข้อมูลได้ง่ายขึ้น โดยใช้เครื่องรหัสแท่ง (Barcode Scanner) ซึ่งจะทำงานได้รวดเร็ว และช่วยลดความผิดพลาดในการคีย์ข้อมูลได้มาก

สำหรับความเป็นมาของรหัสแท่งเริ่มกำเนิดขึ้นเมื่อ ค.ศ. 1950 โดยประเทศสหรัฐอเมริกาได้จัดตั้งคณะกรรมการเฉพาะกิจทางด้านพาณิชย์ขึ้น สำหรับค้นคว้ารหัสมาตรฐานและสัญลักษณ์ที่สามารถช่วยกิจการด้านอุตสาหกรรม และสามารถจัดพิมพ์ระบบรหัสแท่งระบบ UPC-Uniform ขึ้นได้ในปี 1973 ต่อมาในปี 1975 กลุ่มประเทศยุโรปจัดตั้งคณะกรรมการด้านวิชาการเพื่อสร้างระบบรหัสแท่งเรียก ว่า EAN-European Article Numbering สมาคม EAN เติบโต

ครอบคลุมยุโรปและประเทศอื่นๆ (ยกเว้นอเมริกาเหนือ) และระบบรหัสแท่ง EAN เริ่มเข้ามาในประเทศไทยเมื่อปี 1987

EAN-13 (European Article Numbering international retail product code) เป็นแบบรหัสแท่งที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดในโลก โดยรหัสแท่งประเภทนี้จะมีลักษณะเฉพาะของชุดตัวเลขจำนวน 13 หลัก ซึ่งมีความหมายดังนี้ 3 หลักแรกคือ รหัสของประเทศที่กำหนดขึ้นมาเพื่อให้ผู้ผลิตได้ทำการลงทะเบียนได้ทำการผลิตจากประเทศไหน 4 หลักถัดมา คือรหัสโรงงานที่ผลิต 5 หลักถัดมาคือรหัสของสินค้า และตัวเลขในหลักสุดท้ายจะเป็นตัวเลขตรวจสอบความถูกต้องของรหัสแท่ง(Check digit) แม้ว่ารหัสแท่งแบบ EAN-13 จะได้รับการยอมรับไปทั่วโลก แต่ในสหรัฐอเมริกาและแคนนาที่เป็นต้นกำเนิดรหัสแท่งแบบ UPC-A ยังคงมีการใช้รหัสแท่งแบบเดิมจนวันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 2005 หน่วยงาน Uniform Code Council ได้ประกาศให้ใช้รหัสแท่งแบบ EAN-13 ไปพร้อมๆกับ UPC-A ที่ใช้อยู่เดิม การออกประกาศในครั้งนี้ทำให้ผู้ผลิตที่ต้องการส่งออกสินค้าไปยังสหรัฐ อเมริกา และแคนาดาต้องใช้รหัสแท่งทั้ง 2 แบบบนผลิตภัณฑ์

- เลขโดดตรวจสอบ เลขโดดตรวจสอบ (อังกฤษ: check digit) คือรูปแบบหนึ่งของการตรวจสอบด้วยส่วนซ้ำซ้อน (redundancy check) เพื่อการตรวจหาความผิดพลาด เป็นตัวเลขหนึ่งหลักหรือมากกว่าซึ่งเทียบเท่าได้กับผลรวมตรวจสอบ (checksum) ซึ่งคำนวณมาจากตัวเลขหลัก อื่นๆ ในชุดหมายเลข เลขโดดตรวจสอบนิยมใช้กับรหัสตัวเลขหรือตัวอักษรขนาดยาว เช่น เลขในบัตรประจำตัวประชาชน รหัสแท่ง บัญชีเงินฝาก บัตรเครดิต และหมายเลขของการลงทะเบียน ต่าง ๆ การตรวจสอบว่าชุดหมายเลขหนึ่งๆ ถูกต้องหรือไม่ คือการคำนวณตามสูตรที่กำหนดไว้ ถ้าเลขที่คำนวณได้ตรงกับเลขโดดตรวจสอบ แสดงว่าเป็นชุดหมายเลขที่ถูกต้องสามารถยอมรับได้ ข้อดีของเลขโดดตรวจสอบคือ สามารถป้องกันการปลอมแปลงชุดหมายเลขได้ในระดับหนึ่ง สามารถทำให้เข้ากับมาตรฐานของระบบอื่น แต่ข้อเสียคือหากสูตรที่คำนวณไม่รัดกุมหรือถูกเผยแพร่ในแหล่งสาธารณะ และตัวเลขที่ใช้แทนเลขโดดตรวจสอบก็มีจำนวนจำกัด อาจทำให้สามารถคาดเดาได้และแกะสูตรได้โดยง่าย ซึ่งหลักการการตรวจสอบเป็นของหน่วยงาน ISBN (International Standard Book Number) เป็นคู่มือฉบับแก้ไขปี 2005 นำมาใช้อย่างเป็นทางการ อธิบายวิธีการคำนวณการตรวจสอบเลข 13 หลัก เรียกการตรวจสอบนี้ว่า ISBN-13 check digit โดยใช้เลขคณิตศาสตร์ modular arithmetic ทั้งนี้จะแสดงสมการ และตัวอย่างการคำนวณในบทถัดไป

2.2.5 เทคโนยีในการพัฒนาระบบจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติ

ระบบจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติ ปัจจุบันนิยมใช้แพร่หลายในอุตสาหกรรมหลายประเภทด้วยกัน ซึ่งระบบนี้ถูกนำมาใช้ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1950 เพื่อลดการทำงานคิดเป็นค่าร้อยละ

70 ของเวลาค้นคืนสินค้าเป็นทางเลือกการคลังสินค้าแบบดั้งเดิม และยังเป็นส่วนหนึ่งของระบบการผลิตขั้นสูง และมีจำนวนที่คาดว่าจะเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว (Sagar R. et al., 2014) ซึ่งระบบนี้เป็นส่วนหนึ่งของระบบการผลิตการแบบบูรณาการคอมพิวเตอร์ (CIM) โดยปราศจากการทำงานของมนุษย์ (Vasili et al., 2008) ทั้งนี้ผู้วิจัยจะนำเสนอบทความที่มีการพัฒนาเทคโนโลยีในการจัดเก็บและค้นคืนสินค้าอัตโนมัติในช่วงสิบปีจนถึงปัจจุบัน เพื่อจะได้เห็นแนวคิดของเทคโนโลยีใหม่ๆ และไม่ล้าหลังจนเกินไป ดังนี้

Dimitrios Bargiotas, Aphrodite Ktena, Christos Manasis and Onoufrios Ladoukakis (2009) ได้ศึกษาระบบจัดเก็บและค้นคืนอัติโนมัติต้นทุนต่ำ โดยการออกแบบ และพัฒนา (AS/RS) ที่เหมาะสมสำหรับบริษัทขนาดเล็ก และขนาดกลาง ทำการวิจัยการตลาดนำมาวิเคราะห์เพื่อหาข้อกำหนดใหม่สำหรับ AS / RS ออกแบบระบบจัดเก็บและค้นคืนอัติโนมัติประเภท Mini สินค้า ควบคุมการเคลื่อนที่ของระบบด้วย PLC การควบคุมซอฟแวร์และ HMI อินเตอร์เฟซสามารถปรับแต่งตาม ERP ที่มีอยู่ ซึ่งผลที่ได้ถูกสร้างเป็นตัวต้นแบบในการเก็บรักษา โดยการทดสอบเบื้องต้นของระบบได้รับการดำเนินการกับผลลัพธ์ที่น่าพอใจ

M.M. Rashid, Banna Kasemi, Mahmudur Rahman (2011) ได้ศึกษาการออกแบบใหม่ของระบบการจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติ (AS/RS) โดยใช้ชุดคำสั่งแบบไร้สาย ซึ่งทำการออกแบบกลไกเพื่อเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์ที่มีรูปแบบการเชื่อมต่อระบบคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ มาตรฐาน IEEE 802.15.4 และรองรับความต้องการในเรื่องต้นทุนต่ำ จากผลการออกแบบพบว่าการบูรณาการความรู้ระหว่างทางกลกับไฟฟ้าและใช้โมดูลสื่อสารไร้สายที่มีพื้นฐานเรียบง่ายทำให้ประสบผลสำเร็จในการเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์ไปยังปลายทางตามที่ผู้ใช้ต้องการในระยะเวลาที่สั้นลง

Naregalkar Akshay, K. Uday Sravanth, Rahul Varanasi3 and J. Ankitha Reddy (2012) ได้ศึกษาการควบคุมอัตโนมัติแบบ Real Time ของกระบวนการทางอุตสาหกรรมด้วยการสื่อสาร PLC -LABVIEW โดยใช้ Allen Bradly PLC (Programmable Logic Control) SLC-500 เพื่อสื่อสารกับ LabVIEW ผ่านเซิร์ฟเวอร์ RS Linux OPC ผลจากการศึกษาพบว่าการเชื่อมต่อโปรแกรม LabVIEW และ PLC ในการควบคุมกระบวนการมีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่นการเก็บข้อมูลในอัตราที่เร็ว การควบคุมระยะไกล สามารถใช้ LabVIEW เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานบนระบบปฏิบัติการแบบมัลติเธรด และคอมพิวเตอร์แบบมัลติโปรเซสเซอร์

S.U. Chakole, G.H. W Aghmare (2013) ได้ศึกษาหุ่นยนต์รถยกระบบจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติ (AS/RS) เป็นการพัฒนารูปแบบแบบเฉพาะของหุ่นยนต์จัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติเพื่ออำนวยความสะดวกในการศึกษาสำหรับนักเรียนในห้องปฏิบัติการระบบการผลิตที่มีความ

ยืดหยุ่น FMS จากผลการวิจัยพบว่าหุ่นยนต์เดินตามเส้นสามารถตามเส้นได้แม่นยำในระยะสั้นๆได้ ซึ่งประกอบด้วยระบบตัวรับรู้อินฟราเรดเชื่อมต่อสำหรับการควบคุมระยะไกล มีการพัฒนาสู่ระบบการผลิตแบบบูรณาการเพื่อเกิดขึ้นใน YCCE ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลในโครงการ PG

Ashna Joy, B.Padmanabhan, A.Abinaya (2014) ได้ศึกษาเทคโนโลยีขั้นสูงของระบบการจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติ (ASRS) โดยใช้การบูรณาการ PLC ซึ่งเป็นการทำงานของกลไกร่วมกับระบบ SCADA เพื่อออกแบบแผงควบคุมระบบจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติ จากผลการวิจัยพบว่าเมื่อทดสอบระบบเต็มรูปแบบจะใช้เวลาน้อยกว่าการควบคุมด้วยตัวเอง ซึ่งระบบเต็มรูปแบบใช้เวลา 35 วินาที และการควบคุมระบบด้วยตัวเองใช้ 60 วินาทีโดยประมาณ ทั้งนี้ระบบเต็มรูปแบบจะช่วยลดความเสียหายของผลิตภัณฑ์และต้นทุนแรงงานได้

LIEW KIONG BUI (2014) ได้ศึกษาระบบการจัดเก็บและค้นคืนอัติโนมัติประเภท Mini สินค้า เป็นการพัฒนาระบบการจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติ (ASRS) ที่จัดการสินค้าที่มีน้ำหนักเบา ถ่ายโอนสินค้าที่มีน้ำหนักสูงสุดไม่เกิน 10 กิโลกรัม ซึงกลไกการทำงานเคลื่อนที่ใน 3 DOF ออกแบบกลไกโดยซอฟต์แวร์ CAD Solidworks 3D มีหน่วยประมวลผลหลักที่ใช้ในการควบคุมของระบบโดยรวมเป็นบอร์ด NI sbRIO 9632XT สามารถตรวจสอบเวลาจริงสำหรับการติดตามการเคลื่อนที่ของระบบและใช้ซอฟแวร์ LabVIEW ในการพัฒนาขั้นตอนการควบคุม และบอร์ดควบคุมเสมือนจริงสำหรับระบบ จากผลการออกแบบได้มีการพัฒนาที่ประสบความสำเร็จ และบรรลุเป้าหมายตามวัตถุประสงค์

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องรูป

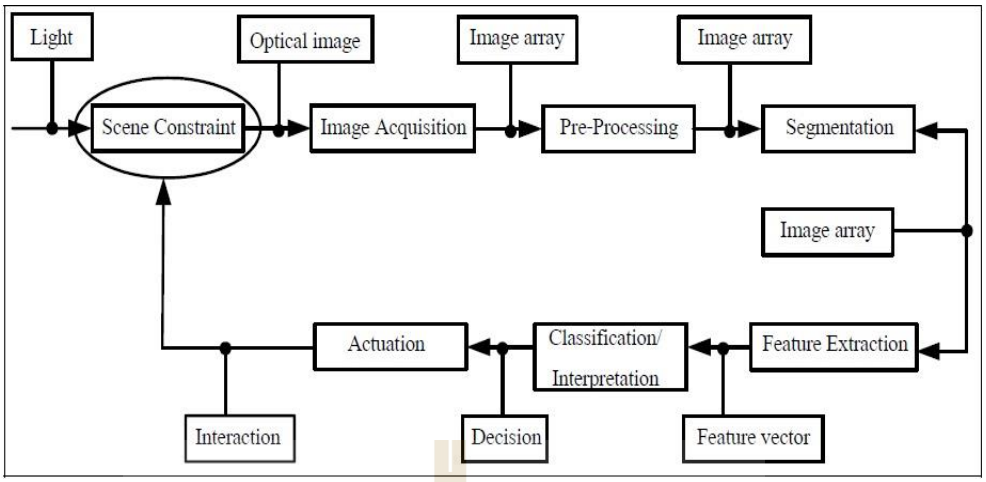
2.3.1 ระบบการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์

ระบบการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์เป็นวิธีการที่ทำให้อุปกรณ์ประมวลผลต่าง ๆ เช่นคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ประมวลสัญญาณดิจิตอล (digital signal processor, DSP) มีความสามารถในการ “รับรู้” ภาพ ซึ่งรวมทั้งการทำให้อุปกรณ์ประมวลผลนั้นๆ สามารถตัดสินใจและสั่งงานกลไกส่วนต่าง ๆ จากข้อมูลที่ได้จากภาพหรือกลุ่มของภาพนั้นๆ โดยจุดมุ่งหมายสูงสุดของระบบการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์ คือทำให้เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ประมวลผลต่างๆ มีความสามารถเทียบเท่ากับระบบการมองเห็นของมนุษย์ที่มีวิวัฒนาการต่อเนื่องกันมาหลายสิบล้านปี อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีในปัจจุบันยังคงไม่สามารถทำให้เครื่องจักรสามารถ “มองเห็นและรับรู้” ได้เทียบเท่ากับความสามารถของมนุษย์ ยกตัวอย่างเช่นผู้อ่านที่เป็นมนุษย์ที่มีสภาพร่างกายปกติจะสามารถแยกแยะสิ่งของที่ต้องการจากกองสิ่งของหลายๆอย่างได้หรือสามารถแยกแยะหน้าคนที่คุ้นเคยได้จากกลุ่มคนที่อยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีฝนตกหรือหมอกลงจัด การทำกิจกรรมดังกล่าว

นั้นผู้อ่านจะสามารถทำได้โดยแทบจะไม่ต้องใช้ความพยายามมากเท่าไรนัก ซึ่งหากต้องการให้เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ประมวลผลมีความสามารถที่จะทำกิจกรรมดังกล่าวได้นั้น นอกจากจะต้องใช้ความพยายามเป็นอย่างมากแล้ว ยังต้องใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนอีกด้วย ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างกันระหว่างการทำงานของอุปกรณ์ประมวลผล และสมองมนุษย์ ที่แม้อุปกรณ์ประมวลผลจะมีความเร็วในการประมวลผลทางคณิตศาสตร์สูงกว่าสมองของมนุษย์มาก ดังจะเห็นได้ง่าย ๆ จากการบวกเลข 20 หลักเข้าด้วยกันจะพบว่าคอมพิวเตอร์ที่มีอยู่ในปัจจุบันหรือแม้กระทั่งเครื่องคิดเลขธรรมดาทั่วไป จะสามารถทำงานดังกล่าวได้โดยใช้เวลาเพียงเศษเสี้ยววินาทีเท่านั้น ซึ่งต่างกับสมองของมนุษย์ที่เป็นหน่วยประมวลผลอย่างง่าย ๆ แต่เนื่องจากหน่วยย่อย ๆ ของสมองมนุษย์เหล่านี้มีจำนวนมากมายมหาศาลและทำงานไปพร้อม ๆ กัน (parallel processing) แทนที่จะทำงานทีละขั้นตอน(serial processing) ซึ่งเป็นวิธีการทำงานของอุปกรณ์ประมวลผลที่มีอยู่ในปัจจุบัน จึงทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของสมองมนุษย์สูงกว่าอุปกรณ์ประมวลผลที่อยู่ในปัจจุบันเป็นอย่างมาก (Kiatpanichagij, K., 2007) ดังนั้นเมื่อนำระบบตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพแบบอัตโนมัติโดยการนำเอาความรู้ระบบการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์ไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมเพื่อใช้ตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จึงมีการทำงานทีละขั้นตอน และส่วนประกอบของระบบการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์รวมถึงระบบประมวลผลด้วยภาพ ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.1 ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

- เริ่มถ่ายภาพ
- การแยกภาพ
- การดึงลักษณะเฉพาะ
- การแยกภาพเป็นหมู่
- การตรวจสอบรายละเอียด
- ควบคุมการทำงาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของ vision system

สำหรับการตรวจสอบด้วยระบบการมองเห็นคอมพิวเตอร์สามารถตรวจสอบได้หลายประเภทด้วยกัน เช่นการตรวจสอบการปนเปื้อนบนพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ การผิดเพี้ยนของสีของผลิตภัณฑ์ (discoloring) การนับจำนวนชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่อยู่บนผลิตภัณฑ์ เป็นต้น ซึ่งผลของการตรวจสอบดังกล่าวอาจจะใช้เพื่อคัดแยกงานดีออกจากงานเสีย หรือใช้เพื่อคัดเลือกเกรดของชิ้นงานก็ได้เช่นกัน และจากความต้องการจากด้านอุตสาหกรรมที่ต้องการระบบที่สามารถทำงานได้รวดเร็วมากที่สุด ทำให้การทำงานของระบบอัตโนมัติซึ่งโดยหลักแล้วก็คือ การทำงานของโปรแกรมที่อยู่ในตัวอุปกรณ์ประมวลผลจะต้องใช้เวลาที่สั้นที่สุด ดังนั้นวิธีการคำนวณต่าง ๆ จะต้องใช้เวลาให้น้อยที่สุด นอกจากนั้นความรู้ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในผู้ที่ปฏิบัติงานกับผลิตภัณฑ์นั้น ๆ มาก่อน จะต้องถูกนำมาใช้เพื่อช่วยให้ระบบสามารถตัดการคำนวณที่ไม่จำเป็นออกไปให้ได้มากที่สุด ซึ่งเป็นไปตามขั้นตอนและส่วนประกอบข้างต้น (Awcock and Thomas, 1995)

นอกจากการทำงานเป็นขั้นตอนและส่วนประกอบของระบบการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์ ยังมีตัวแปรอื่นที่ต้องควบคุมเพื่อให้การประมวลผลมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนี้

2.3.2 การจัดสภาพแวดล้อม

จุดมุ่งหมายหลักของการจัดสภาพแวดล้อม คือเพื่อลดความซับซ้อนในการประมวลผลให้มากที่สุด ทั้งนี้ก็เนื่องจากความสามารถของการมองเห็นและรับรู้ ของอุปกรณ์ประมวลผลมีอยู่อย่างจำกัด เราจึงต้องช่วยลดความยุ่งยากของการประมวลผล (Kiatpanichagij, K.,2007) ซึ่งเราสามารถทำได้หลายวิธีร่วมกันยกตัวอย่างเช่น

- การจัดการกับชิ้นงาน ชิ้นงานแต่ละชิ้นที่จะถูกป้อนให้กับระบบตรวจสอบจะต้องถูกจัดให้วางตัวในทิศทางเดียวกัน

- ระยะห่างระหว่างกล้องหรือเลนส์ถึงวัตถุ และทิศทางของกล้อง ตัวแปรเหล่านี้จะต้องถูกกำหนดไว้ตายตัว มิฉะนั้นแล้วการวัดขนาดของชิ้นส่วนต่างๆ ซึ่งจัดเป็นการตรวจสอบพื้นฐานของการตรวจสอบชิ้นงานก่อนจะทำการตรวจสอบในหัวข้ออื่นๆ ก็จะผิดเพี้ยน

- การจัดการเรื่องแสง แสงจัดเป็นองค์ประกอบที่สำคัญมาก จำเป็นจะต้องพิจารณาทั้งเรื่องการเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสง การกระเจิงของแสง และคุณสมบัติอื่น ๆ สำหรับการตรวจสอบชิ้นงาน นอกจากการจัดสภาพแวดล้อมในการทำงานให้กับระบบตรวจสอบชิ้นส่วนจากภาพแบบอัตโนมัติแล้ว งานบางประเภทอาจจะต้องมีการใช้ภาพจากกล้องหลาย ๆ ตัวเพื่อใช้ตรวจสอบชิ้นงานจากหลาย ๆ มุมมอง บางกรณีอาจจะเป็นการใช้กล้องเพียงตัวเดียว แต่ตัวกล้องสามารถเคลื่อนที่ไปตามส่วนต่าง ๆ ของชิ้นงานได้ และสำหรับบางกรณีอาจจะมีการเก็บภาพของวัตถุเดียวกันที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงหลาย ๆ แหล่งหลาย ๆ ประเภทก็เป็นได้

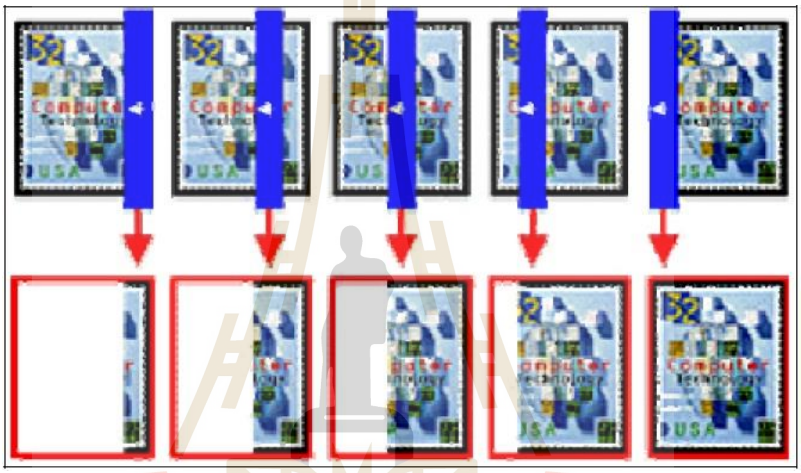
สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการจัดสภาพแวดล้อมของตำแหน่ง และการวางตัวของชิ้นงานที่จะทำการประมวณผลให้สอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ทั้งนี้รายละเอียดการกำหนดสภาพแวดล้อมให้มีความเหมาะสมกับลักษณะงานได้กล่าวถึงในบทถัดไป

2.3.3 การดึงข้อมูลภาพ

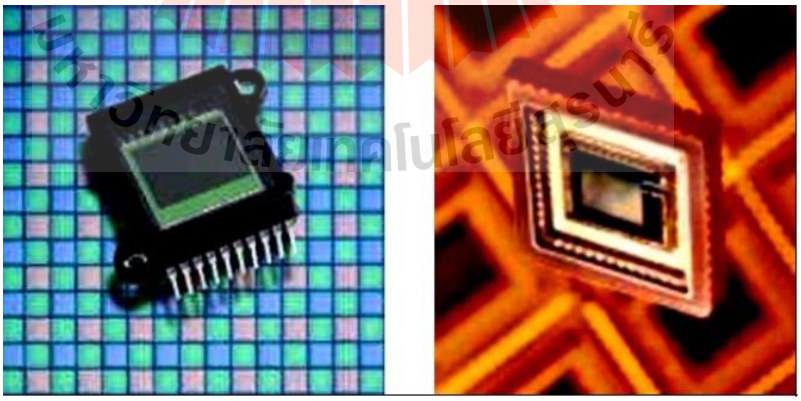
กระบวนการดึงข้อมูลภาพ คือกระบวนการที่เริ่มตั้งแต่การถ่ายภาพโดยกล้องตลอดจนถึงการดึงภาพซึ่งเป็นข้อมูลที่อยู่ในกล้องมาสู่คอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ประมวลผลเพื่อที่จะได้ประมวลผล และตัดสินใจสั่งงานจากผลที่ได้ต่อไป กระบวนการดังกล่าวมีรายละเอียดปลีกย่อยที่สำคัญดังนี้ (Kiatpanichagij, K., 2007)

- ประเภทของกล้องในปัจจุบันนั้นจะเป็นกล้องดิจิตอลโดยใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่เรียกกันว่า ตัวรับรู้รับภาพเพื่อใช้ในการรับภาพ ซึ่งจะประกอบด้วยไดโอดที่มีความไวต่อแสงเรียงตัวกันอยู่เป็นจำนวนมาก ทันทีทันใดที่แสงมีการตกกระทบไดโอดเหล่านั้น ไดโอดแต่ละตัวก็จะทำการจดจำความเข้มแสงหรือความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบไดโอดแต่ละตัวไว้โดยปริมาณประจุไฟฟ้าที่สะสมอยู่ในตัวไดโอดจะแปรผันกับแรงดันตกคร่อมตัวไดโอดนั้น จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มของแสงที่ตกกระทบ ซึ่งความเข้มแสงที่ได้จดจำไว้ในไดโอดแต่ละตัว จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปข้อมูลที่เป็นดิจิตอล และเก็บไว้ในหน่วยความจำที่อยู่ในตัวกล้อง เพื่อรอส่งให้อุปกรณ์ที่อยู่ภายนอกกล้องต่อไป กล้องสำหรับงานตรวจสอบชิ้นงาน แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ กล้องประเภท area scan และกล้องประเภท line scan ข้อแตกต่างระหว่างกล้องทั้ง 2 ประเภทนั้น คือ กล้อง

ประเภท line scan นั้นเซลล์รับภาพสำหรับรับความเข้มแสงจะเรียงตัวเป็นแถวยาว ทำให้การที่จะสามารถจับภาพได้กล้องจะต้องมีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์กับวัตถุ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.2 ข้อดีของกล้องประเภทนี้คือ จะให้ความละเอียดของภาพสูง ส่วนกล้องประเภท area scan เซลล์รับภาพจะมีการเรียงตัวกันอยู่ในพื้นที่ซึ่งเซลล์แต่ละเซลล์จะทำการแปลงค่าความเข้มแสงออกมาเป็นค่าตัวเลขในเวลาพร้อม ๆ กัน กล้องประเภทนี้สามารถนำไปใช้ได้อย่างสะดวกง่ายดาย โดยที่ไม่จำเป็นต้องออกแบบให้มีการเคลื่อนไหวสัมพัทธ์ระหว่างตัวกล้องกับชิ้นงาน จึงทำให้กล้องชนิดนี้เป็นที่นิยมใช้อย่างกว้างขวาง ตัวอย่างของตัวรับรู้รับภาพของกล้องแบบ area scan นั้นดังแสดงในรูปที่ 2.3

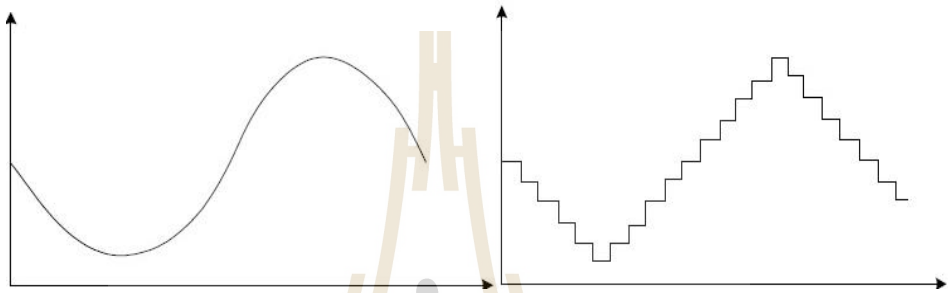


รูปที่ 2.2 แสดงการทำงานของกล้องประเภท line scan



รูปที่ 2.3 แสดงตัวรับรู้รับภาพของกล้องประเภท area scan
ของกล้องถ่ายภาพ gray scale และของกล้องถ่ายภาพสี

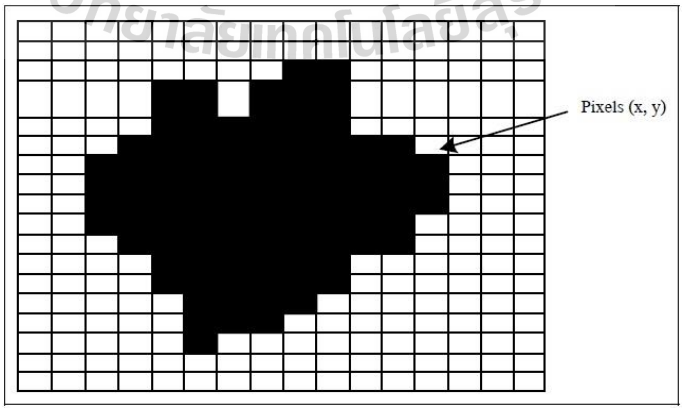
ภาพที่อุปกรณ์ประมวลผลมองเห็น ซึ่งจะประกอบด้วยเซลล์รับภาพ (pixel) จำนวนมาก เซลล์รับภาพแต่ละเซลล์จะทำหน้าที่แปลงความเข้มแสง ให้อยู่ในรูปของค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าซึ่งจะถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลด้วยตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลอีกทีหนึ่งภาพที่ได้มาจากระบบอนาล็อกนั้นยังเป็นภาพแบบต่อเนื่อง ยังไม่สามารถนำมาใช้ในการประมวลผลได้ ต้องทำการแปลงให้เป็นภาพเชิงตัวเลขเสียก่อนด้วยวิธีการ digitization ซึ่งเป็นฟังก์ชันต่อเนื่อง $f(x, y)$ เพื่อที่จะสามารถนำมาประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.4



ก) การแปลงภาพแบบต่อเนื่อง ข) การแปลงภาพเชิงตัวเลข

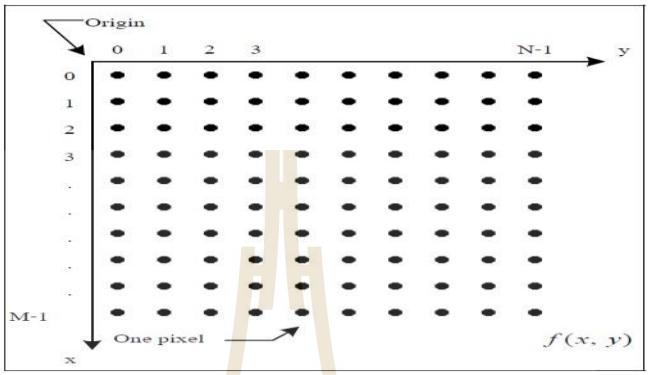
รูปที่ 2.4 การแปลงภาพแบบต่อเนื่องและการแปลง
เป็นภาพเชิงตัวเลขจากวิธีการ digitization

โดยการแทนภาพด้วยข้อมูลแบบดิจิตอล ข้อมูลภาพเป็นข้อมูลที่ถูกดัดแปลงจากภาพแบบต่อเนื่องให้อยู่ในรูปตัวเลข ด้วยวิธีการ digitization จะถูกแบ่งเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมเล็ก ๆ ที่เรียกว่า Pixels โดยแต่ละ pixels จะใช้ (x, y) ในการระบุตำแหน่ง การแสดงข้อมูลสามารถแสดงได้ในรูปของ matrix (สิทธิโชค ยอดระยับ, 2550) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างภาพและ pixels matrix



รูปที่ 2.5 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างภาพกับ pixels matrix

ค่าของ pixels ณ จุดใด ๆ จะแสดงค่าความเข้มของแสง ซึ่งมีได้หลายระดับ ถ้ามี 2 ระดับเป็นไปได้ คือ 0 กับ 1 ถ้าแยกระดับแสงออกมาจะเป็นมาสี 3 สี คือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน (ระบบสี RGB) อยู่ซ้อนกันในหนึ่ง pixel กรณีภาพนั้นเป็นภาพขาวดำขนาด 8 บิต จะมีความยาว N หรือเทียบเท่ากับ 256 คือค่า 0 ถึง 255 หมายถึงระดับความละเอียดของภาพ (Gonzales, et al. 2004)



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการแสดงค่า pixels matrix

สำหรับภาพ gray scale ที่อุปกรณ์ประมวลผลมองเห็น มีลักษณะเป็นอาร์เรย์ 2 มิติ โดยค่าแต่ละช่องของอาร์เรย์จะแทนความเข้มแสงซึ่งจะเป็นค่าที่ไม่ต่อเนื่อง (discrete value) เนื่องจากเป็นการทำงานของอุปกรณ์ดิจิตอล ซึ่งจะเป็นการสุ่มขนาดของความเข้มแสงที่ตกกระทบ (amplitude sampling) และโดยทั่วไปค่าความเข้มแสงนี้จะมีค่าระหว่าง 0-255 เท่านั้น เมื่อนำค่าใน pixels matrix f(x, y) มาแสดงในรูปของ matrix จะได้ดังสมการที่ 2.1 ซึ่งเป็นตัวอย่างภาพที่มีจำนวนแถวหรือความสูงของภาพเท่ากับ M แถว และมีจำนวนหลักหรือความกว้างของภาพเท่ากับ N หลัก

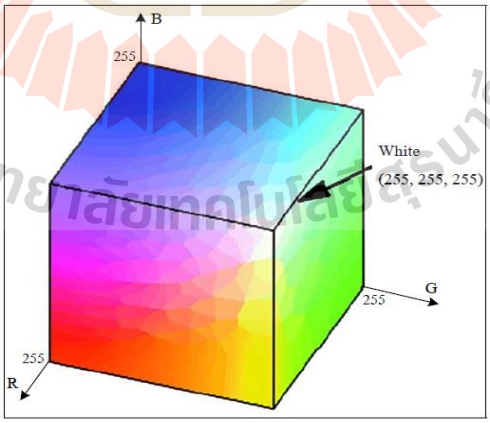
$$f(x,y) = \begin{bmatrix} (0,0) & (0,1) & . & . & (0,N-1) \\ (1,0) & (1,1) & . & . & (1,N-1) \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ (M-1,0) & (M-1,1) & . & . & (M-1,N-1) \end{bmatrix} \quad (2\text{-}1)$$

เมื่อ f (x, y) คือ ค่าความเข้มของแสงในแถว M และหลัก N ของตัวรับรู้รับภาพซึ่งเป็นค่าไม่ต่อเนื่อง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

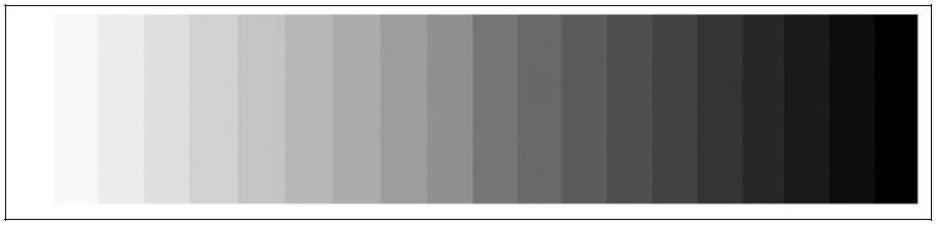
สำหรับกรณีของภาพสีนั้น ข้อมูลของภาพจะเป็นอาร์เรย์ 2 มิติ จำนวน 3 อาร์เรย์ด้วยกันและโดยทั่วไปอาร์เรย์เหล่านี้ จะเก็บค่าความเข้มของสีแดง เขียว น้ำเงิน ตามลำดับ ซึ่งแต่ละช่องอาร์เรย์เหล่านี้ก็จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 เช่นกัน ดังนั้นการแทนสีที่เกิดขึ้นจริงตามธรรมชาติของอุปกรณ์ประมวลผล จะแทนด้วยค่าความเข้มสี ณ ตำแหน่งเดียวกันของอาร์เรย์ทั้งสามมาผสมกันสำหรับในทางปฏิบัตินั้น หากพิจารณาในแง่ของโปรแกรมการส่งข้อมูลภาพจากกล้องมาสู่คอมพิวเตอร์ จะไม่ได้อยู่ในรูปอาร์เรย์ 2 มิติ แต่จะอยู่ในรูป byte stream ที่เป็นข้อมูลที่มีความต่อเนื่องเรียงกัน ดังนั้นโปรแกรมจะต้องจัดเรียงข้อมูลที่มีความต่อเนื่องกันเหล่านี้ให้อยู่ในรูปอาร์เรย์ 2 มิติเสียก่อน ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการอ้างอิงตำแหน่งของข้อมูลของกระบวนการต่อไปนั่นเอง

- ระบบสี (color model) มาตรฐานของสีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีอยู่หลายระบบด้วยกันทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับการนำไปใช้ แต่โดยทั่วไปแล้วทุกมาตรฐานจะมีแนวคิดเดียวกันคือ การแทนจุดสีด้วยจุดที่อยู่ภายในช่องว่าง 3 มิติ โดยจะมีแกนอ้างอิงสำหรับจุดสีนั้นในช่องว่างซึ่งแต่ละแกนจะมีความเป็นอิสระต่อกัน ตัวอย่างเช่น (Rafael, 1993) ในระบบ RGB จะมีแกนสีคือ แกนสีแดง เขียวและน้ำเงิน เมื่อนำแม่สีเหล่านี้มาผสมกันก็จะได้ผลลัพธ์เป็นสีอื่น ดังรูปที่ 2.7 ในระบบ HLS จะมีแกนเป็นค่าสี (hue) ความสว่าง (lightness) และความบริสุทธิ์ของสี (saturation) ตัวอย่างระบบสีที่นิยมใช้กันได้แก่ ระบบ RGB HSV (hue saturation value) และ HLS (hue lightness saturation)



รูปที่ 2.7 แสดงระบบสี RGB

ระบบสี grayscale คือระบบที่มีค่าของสีแดง สีเขียว และ สีน้ำเงินเท่ากัน ภาพจึงออกมาในโทนสีขาวดำดังแสดงในรูปที่ 2.8

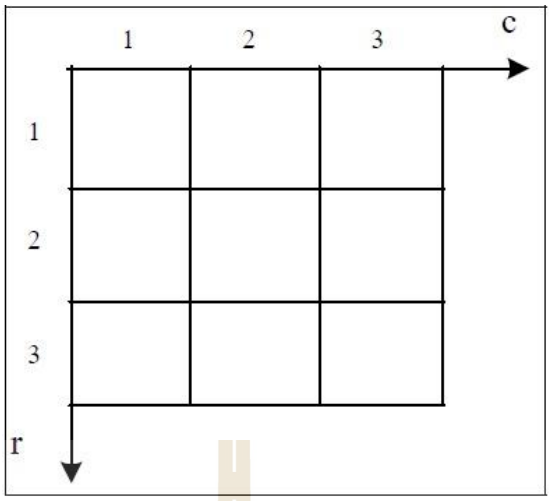


รูปที่ 2.8 ระบบสีแบบ grayscale

การแปลงระบบสี RGB เป็นระบบสี grayscale นั้นจะทำการคิดคำนวณค่าในแต่ละจุดสีโดยแทนค่า RGB ทั้งสามค่าใหม่ตามสมการที่ 2.2 เมื่อค่าของสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงินเท่ากันหมดแล้วจึงได้เป็นสีแบบ grayscale

$$0.2989 * RED + 0.5870 * GREEN + 0.1140 * BULE \quad (2\text{-}2)$$

ลักษณะ และความหมายของพิกเซลในโลกของภาพกราฟิกที่ถูกใช้ในงานคอมพิวเตอร์หน่วยพิกเซล ถือเป็นหน่วยย่อยเล็กที่สุดของรูปภาพ ซึ่งเป็นจุดเล็ก ๆ ที่รวมกันทำให้เกิดเป็นภาพ ภาพหนึ่งจะประกอบด้วยจำนวนพิกเซลหรือจุดมากมายซึ่งในแต่ละภาพที่สร้างขึ้นจะมีความหนาแน่นของจุดหรือพิกเซลเหล่านี้ที่แตกต่างกันไป ความหนาแน่นของจุดนี้เป็นตัวบอกถึงความละเอียดของภาพ โดยมีหน่วยเป็น PPI (pixel per inch) คือ จำนวนจุดต่อนิ้ว ซึ่งพิกเซลมีความสำคัญต่อการสร้างภาพของคอมพิวเตอร์มาก เพราะทุกส่วนของภาพกราฟฟิก เช่น จุด เส้น แบบลาย และสีของภาพนั้นเริ่มจากพิกเซลทั้งสิ้น เมื่อเราขยายภาพก็จะเห็นเป็นภาพจุด โดยปกติแล้วภาพที่มีความละเอียดสูงหรือคุณภาพดีควรจะมีค่าความละเอียด 300 × 300 PPI ขึ้นไป ยิ่งค่า PPI สูงขึ้นเท่าไร ภาพก็จะมีความละเอียดคมชัดมากขึ้นเท่านั้น ในทำนองเดียวกันจุดหรือพิกเซลแต่ละจุดก็จะแสดงคุณสมบัติทางสีให้แก่ภาพด้วย โดยแต่ละจุดจะเป็นตัวสร้างสีประกอบรวมกันเป็นภาพ ซึ่งอาจมีขนาดความเข้มและสีที่แตกต่างกันได้ ทำให้เกิดเป็นภาพที่มีสีสันต่าง ๆ ตัวอย่างการแสดงผลของอุปกรณ์แสดงผล (output devices) เช่น เครื่องพิมพ์แบบ dot matrix หรือแบบ laser รวมทั้งจอภาพจะเป็นการแสดงผลแบบ raster devices นั่นคือ อาศัยการรวมกันของ pixel แสดงออกมาเป็นภาพ



รูปที่ 2.9 พิกัดของระบบภาพดิจิตอล

2.3.4 พื้นฐานของการประมวลผลภาพและการมองเห็นของเครื่องจักร

การมองเห็นของเครื่องจักรอัตโนมัติมีบทบาทสำคัญในการควบคุมเครื่องจักรอัตโนมัติ โดยได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น เนื่องจากคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ตัวรับรู้ตรวจจับภาพและโปรแกรมต่าง ๆ มีราคาถูกลงและประสิทธิภาพมากขึ้น

- **ความเป็นมาของการมองเห็นของเครื่องจักร**

การมองเห็นของเครื่องจักรนั้นได้เริ่มต้นพัฒนาขึ้นในช่วงปลายยุคปี ค.ศ. 1940 Agapakis, J. E. (1998) และต้นยุคปี ค.ศ. 1950 พร้อมกับการพัฒนาและวิจัยในด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) พร้อมกับที่ทางกองทัพของประเทศสหรัฐอเมริกาเริ่มทาการวิจัยเกี่ยวกับด้านการวิเคราะห์ภาพเพื่อใช้ในการสอดแนมต่างประเทศช่วงสงครามเย็น หลังจากที่ได้พัฒนามาระยะหนึ่งแนวความคิดเหล่านี้ก็ได้รับการนามาใช้ในภาคอุตสาหกรรมในยุคปี ค.ศ.1960 ถึง 1970 โดยในช่วงเวลานี้เองที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งแมสซาจูเซส (Massachusetts Institute of Technology) ได้พัฒนาระบบการวิเคราะห์ภาพเพื่อใช้ในการควบคุมแขนหุ่นยนต์ สาหรับ การนาไปใช้ในอุตสาหกรรม จนกระทั่งในตลอดช่วงปี ค.ศ.1980 ได้มีการนาการมองเห็นของเครื่องจักรนี้ไปใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมเนื่องจากกระบวนการแก้ปัญหาของการมองเห็นของเครื่องจักรในภาพระดับสีเทาได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น การพัฒนาของหน่วยประมวลผลที่มีขนาดเล็กลงและสามารถกระทาได้บนแผ่นวงจรเพียงแผ่นเดียว อีกทั้งกล้องสาหรับอุตสาหกรรมเริ่มสามารถหาซื้อได้ทั่วไป ทาให้ระบบนี้แพร่หลายในกระบวนการผลิตมากขึ้น

ในยุคช่วงปี ค.ศ. 1990 เป็นการขยายตัวของการมองเห็นของเครื่องจักรในประเทศอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นช่วงที่คอมพิวเตอร์มีวิวัฒนาการที่ก้าวหน้ามากขึ้น ประสิทธิภาพสูงขึ้น

ในขณะที่ราคาถูกลง ซึ่งเป็นเบื้องหลังความสาเร็จของระบบนี้ และในช่วงนี้เริ่มมีชิพใน การประมวลผลภาพ (Image Processing Chips) สามารถประมวลผลภาพได้อย่างรวดเร็วปรากฏตัวขึ้นในอุตสาหกรรมมากมาย และเมื่อก้าวเข้าสู่ในช่วงปี ค.ศ. 2000 การขยายตัวของการมองเห็น ของเครื่องจักรก็ยังคงก้าวหน้าต่อไป และมีการวิจัยเพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ อย่างต่อเนื่อง และในประเทศไทยการวิจัยเพื่ออุตสาหกรรมก็ได้รับความสนใจมากโดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในการทาวิจัยและพัฒนาการมองเห็นของเครื่องจักร

- **เทคโนโลยีของการมองเห็นของเครื่องจักร**

กระบวนการวิเคราะห์ภาพ และนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์มาเป็นข้อมูลสาหรับการตัดสินใจการทางานของเครื่องจักร เป็นกระบวนการโดยรวมที่ใช้เรียกการมองเห็น ของเครื่องจักร (Machine Vision) ซึ่งแนวความคิดในการวิเคราะห์ภาพได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องมีวิธีการและเทคโนโลยีที่ใช้อยู่หลายรูปแบบมาก อย่างไรก็ตามเอกสารนี้จะนำเสนอเฉพาะเทคโนโลยีที่ใช้หรือเกี่ยวข้องโดยตรงกับงานวิจัยนี้เท่านั้น ซึ่งเทคโนโลยีที่ใช้กับการมองเห็นของเครื่องจักรที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ประกอบด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

- การตรวจจับขอบ
- การตรวจจับของพื้นที่ค้นหา 2 มิติ
- การวัดมิติ

นอกเหนือจากเทคโนโลยีการมองเห็นของเครื่องจักรและการวิเคราะห์ภาพที่ใช้ในงานวิจัยนี้แล้ว ปัจจุบันจะพบว่าได้มีความพยายามที่จะนำเทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่มีความหลากหลายเข้ามาใช้งานในภาคอุตสาหกรรมและการใช้งานทั่วไป สิ่งที่ใกล้ตัวและพบเห็นได้ในช่วงเวลานี้ก็คือการวิเคราะห์ภาพที่มีการเข้ารหัส หรือนิยมเรียกว่า 2 Dimensional Barcode ซึ่งได้เข้ามามีบทบาทสำคัญมากขึ้น อาจเป็นเพราะข้อมูลที่บรรจุอยู่ใน Barcode นั้นมีปริมาณที่มาก สามารถให้รายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ได้อย่างครบถ้วน และอีกประการหนึ่งก็คือว่ากล้องดิจิตอลมีราคาที่ถูกลงและหาได้ง่ายขึ้น จะเห็นได้จากโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่มีจำหน่ายอยู่ทั่วไปในปัจจุบันนี้จะมีกล้องดิจิตอลติดมากับเครื่องด้วยเกือบจะทุกรุ่นที่มีจำหน่าย ในหัวข้อต่อไปจะเป็นการอธิบายการทำงานของเทคโนโลยีการมองเห็นของเครื่องจักร และการวิเคราะห์ภาพในรายละเอียด โดยจะเน้นอธิบายหลักการทางานของวิธีการนั้น ตามแนวทางที่โปรแกรมสาเร็จรูป LabVIEW และ NI Vision ได้ใช้ในการสร้างโปรแกรมย่อย เพื่อการวิเคราะห์ภาพได้เขียนโปรแกรมโดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาในลักษณะเช่นนั้นขึ้นมา

2.3.5 การตรวจจับขอบ

การตรวจจับขอบเป็นการกำหนดให้โปรแกรมค้นหาขอบของวัตถุ เมื่อมีการกำหนดแนวเส้นให้การค้นหานั้นเคลื่อนที่ไปตามแนวเส้นทีละพิกเซลในภาพ ดังนั้นการที่จะใช้การตรวจจับขอบจะต้องมีการกำหนดแนวเส้นค้นหาขึ้นมาก่อน ในส่วนของการตรวจจับขอบโปรแกรมจะพิจารณาจากความไม่ต่อเนื่องของค่าความเข้มของพิกเซลที่อยู่ติดกัน ซึ่งความไม่ต่อเนื่องในที่นี้หมายถึง การเปลี่ยนแปลงความเข้มของพิกเซลอย่างรวดเร็ว ซึ่งมักจะพบได้เมื่อภาพนั้นปรากฏในลักษณะ ที่วัตถุมีระดับความเข้มของพิกเซลตัดกับพื้นหลังของวัตถุนั้น ดังนั้นการเปลี่ยนค่าความเข้ม ของพิกเซลอย่างรวดเร็วจะสามารถแยกภาพของวัตถุออกจากพื้นหลังได้

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าการที่จะตรวจจับขอบในภาพจะเริ่มจากการกำหนดพื้นที่ค้นหา (Search Region) ในภาพที่ต้องการค้นหาขึ้นมาก่อน ซึ่งกำหนดพื้นที่ค้นหานั้นสามารถทาได้ ทั้งกำหนดโดยโปรแกรม หรือผู้ใช้กำหนดเองก็ได้ และพื้นที่ค้นหาที่นิยมใช้ก็คือพื้นที่ค้นหา ที่เป็นแนวเส้นนั่นเอง จากนั้นโปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ภาพในพื้นที่ค้นหาหรือตามแนวเส้น เพื่อหาขอบของวัตถุ โดยจะพิจารณาทีละพิกเซลตามแนวเส้นที่กำหนด ซึ่งลักษณะการทำงานของโปรแกรมเพื่อค้นหาขอบนี้มีทั้งแบบให้ค้นหาขอบทั้งหมดในพื้นที่ค้นหา หรือค้นหาเฉพาะขอบแรก หรืออาจให้ค้นหาขอบแรกและขอบสุดท้ายในพื้นที่ค้นหาเท่านั้นก็ได้

การนำเทคโนโลยีการตรวจจับขอบไปใช้งาน

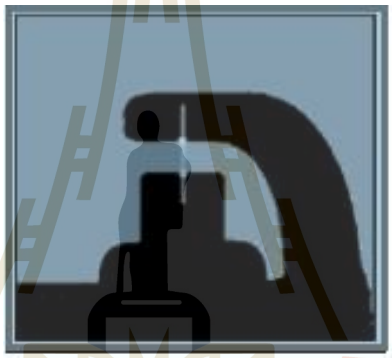
การนำการค้นหาขอบไปใช้งานนั้นมีประโยชน์ในการประยุกต์ใช้ในการมองเห็นของเครื่องจักรอยู่หลายแบบ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะเป็นตำแหน่งขอบของวัตถุในภาพ และจะบอกตำแหน่งของความไม่ต่อเนื่องในภาพด้วย อย่างไรก็ตามสาหรับการมองเห็นของเครื่องจักรในอุตสาหกรรมนิยมที่จะนำการค้นหาขอบไปประยุกต์ใช้ใน 3 แบบหลัก ๆ คือ

- การใช้เป็นมาตรวัด

การวิเคราะห์ภาพเพื่อหาขอบ และใช้เป็นมาตรวัดหรือกระบวนการที่เรียกว่า Gauging จะใช้ในกรณีที่ต้องการวัดระยะที่ต้องการตรวจสอบ เช่น เส้นผ่านศูนย์กลาง ความยาว ระยะห่าง มุมระหว่างเส้น จำนวน เพื่อการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ว่าผลิตได้ถูกต้องหรือไม่ ในกระบวนการนี้ผู้ใช้จะทำการกำหนดพารามิเตอร์ของการวัดขึ้นมาเพื่อเปรียบเทียบกับค่า ที่วิเคราะห์ได้จากภาพว่าค่าทั้งสองมีความแตกต่างกันในช่วงที่ยอมรับได้หรือไม่

การใช้เป็นมาตรวัดนิยมใช้ทั้งแบบระหว่างการทำงาน (In-Line) และแบบนำข้อมูลไปวิเคราะห์ในภายหลัง (Off-Line) โดยการใช้เป็นมาตรวัดแบบระหว่างการทำงานนี้นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในกระบวนการตรวจสอบ เช่น ตรวจสอบกระบวนการประกอบชิ้นส่วนว่าชิ้นส่วนเมื่อประกอบแล้วมี

ระยะห่างตามที่ต้องการหรือไม่ หรือตรวจสอบการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ว่าอุปกรณ์ได้จัดต่อเข้าที่ตำแหน่งที่เหมาะสมหรือไม่ เป็นต้น ส่วนการตรวจสอบแบบกระทำภายหลังนิยมใช้เพื่อสุ่มตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น ผลิตภัณฑ์จะได้รับการสุ่มมาเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติโดยใช้การบันทึกรูปภาพไว้ก่อน จากนั้นจึงใช้การวัดนี้ตรวจสอบว่ากลุ่มตัวอย่างเหล่านี้ผ่านการตรวจสอบหรือไม่ และการตรวจหาขอบเพื่อนำระยะห่างของขอบไปวิเคราะห์ เช่น การตรวจสอบว่าเขี้ยวหัวเทียนเมื่อประกอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว มีระยะห่างตรงตามข้อกำหนดทางเทคนิคหรือไม่ ซึ่งอันดับแรกจะลากเส้นเพื่อกำหนดพื้นที่ค้นหา จากนั้นจะเป็นการหาจุดและกำหนดตาแหน่งของขอบ และท้ายที่สุดจะเป็นการวัดระยะว่าจุดที่ขอบทั้งสองนั้นอยู่ ห่างกันเท่าใด ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ค่าที่ได้สามารถนำมาคำนวณว่าเขี้ยวหัวเทียนนี้มีระยะห่างตามข้อกำหนดหรือไม่นั่นเอง

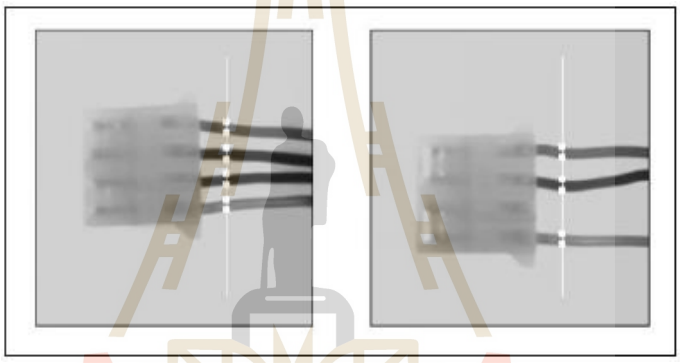


รูปที่ 2.10 แสดงการวัดระยะห่างของเขี้ยวหัวเทียน

- การตรวจจับวัตถุ (Detection)

การตรวจจับวัตถุว่ามีอยู่ในภาพหรือไม่นั้น มีความจำเป็น และใช้งานกันอย่างแพร่หลายในด้านของการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น การตรวจสอบเชื่อมต่อของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ การตรวจสอบการประกอบทางกลว่าชิ้นส่วนที่ประกอบนั้นมีอยู่ครบถ้วนหรือไม่ ดังนั้นจุดมุ่งหมายของหลักของการนำวิธีการนี้ไปใช้งานก็เพื่อตรวจสอบว่าชิ้นส่วนหรือส่วนประกอบตามข้อกำหนดนั้นมีอยู่ครบถ้วนหรือไม่ กระบวนการวิเคราะห์ก็จะเริ่มคล้ายกับวิธีที่ผ่านมาก็คือ มีการกำหนดแนวเส้นที่จะให้โปรแกรมตรวจจับขอบตามแนวเส้นนั้นจากนั้นเมื่อโปรแกรมวิเคราะห์ไปทีละพิกเซลตามแนวพื้นที่ค้นหาความแตกต่างของความเข้มของพื้นหลัง และวัตถุด้านหน้าจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มของพิกเซลอย่างทันทีทันใด หรือไม่ก็มีค่าความชันของการเปลี่ยนแปลงค่าของพิกเซลในบริเวณนั้นสูงมากเมื่อได้ขอบแรกแล้วก็ดำเนินการค้นหาขอบต่อไปตามแนวเส้นที่กำหนดให้เป็นพื้นที่ค้นหา จนกระทั่งสิ้นสุดพื้นที่ค้นหา ด้วยวิธีการ

นี้ จะสามารถช่วยในการตรวจนับจำนวนขอบที่พบตามแนวเส้นค้นหาที่กำหนด จากนั้นนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับจำนวนขอบที่ควรจะมีของวัตถุที่ประกอบอย่างสมบูรณ์ วิธีการนี้เป็นที่นิยมใช้นับวัตถุที่มีจำนวนมากวิธีหนึ่ง เพราะเนื่องจากสมการ และวิธีทางคณิตศาสตร์ที่ใช้มีความยุ่งยากหรือซับซ้อนน้อยกว่าวิธีอื่น ทำให้การประมวลผลเป็นไปได้ด้วยความรวดเร็วสำหรับตัวอย่างของการนำการตรวจจับขอบไปใช้ในการตรวจจับวัตถุ เช่น การตรวจจับและนับจำนวนสายไฟที่เดินไฟเข้าสู่ขั้วต่อไฟ โดยใช้เทคนิคการตรวจจับขอบ ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ในรูปซ้ายมือจะตรวจจับขอบตามแนวเส้น พบว่าจะได้ขอบทั้งสิ้น 8 ขอบ แสดงว่ามีสายไฟทั้งสิ้นจำนวน 4 สาย ในขณะที่รูปด้านขวามือตรวจสอบขอบพบว่ามีเพียง 6 ขอบ ซึ่งแสดงถึงจำนวนสายไฟเพียง 3 เส้น จะเห็นว่ามีสายไฟเข้าสู่ขั้วต่อไฟไม่ครบตามจำนวนที่กำหนด

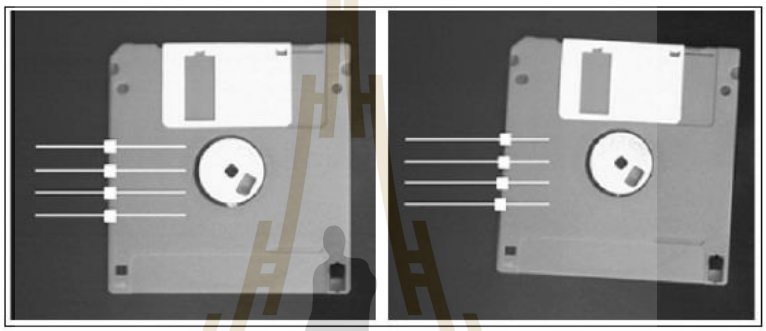


รูปที่ 2.11 แสดงการตรวจนับวัตถุโดยวิธีการตรวจจับขอบ

- การตรวจแนวการวางตัว (Alignment)

การที่วัตถุอยู่ในสายการผลิตนั้น ไม่จำเป็นที่วัตถุจะต้องอยู่ในตำแหน่ง และมีแนววางตัวที่คงที่เสมอไป อาจมีการหมุนหรือวางตัวในแนวที่แตกต่างออกไปได้ ดังนั้นการตรวจแนวการวางตัวเป็นวิธีการที่จะทราบถึงตำแหน่งและแนวการวางตัวของวัตถุนั้น การประยุกต์ใช้งานของวิธีการนี้ในอุตสาหกรรมสามารถยกตัวอย่างได้ เช่น วัตถุที่กำลังต้องการพิจารณาหรือตรวจสอบนั้นจะอยู่ที่ตำแหน่งที่แตกต่างกัน และมีการวางตัวในแนวที่แตกต่างกันออกไปในภาพที่กำลังพิจารณา การวิเคราะห์ภาพจะเริ่มจากกระบวนการค้นหาขอบเพื่อจะมองหาตำแหน่งของวัตถุในภาพก่อน โดยที่จะทำการตรวจสอบขอบในพื้นที่ ROI ที่ได้กำหนดขึ้น จากนั้นเมื่อมีการตรวจพบขอบเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ตำแหน่งและการวางตัวของชิ้นส่วนจะถูกประมวลผลโดยโปรแกรมอีกครั้งซึ่งขั้นตอนทั้งหมดจะให้ข้อมูลของตำแหน่งและแนววางตัวของวัตถุได้

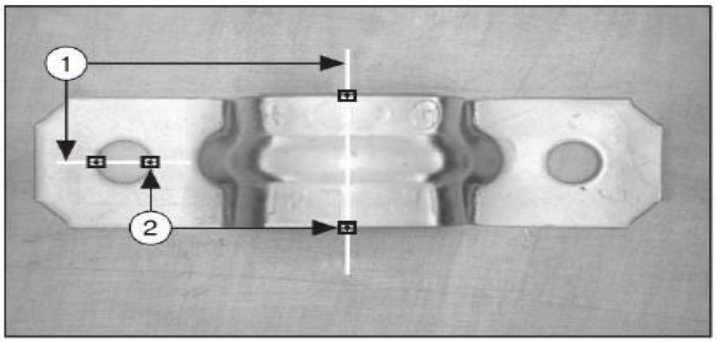
ตัวอย่างของการตรวจแนวการวางตัวของวัตถุที่เปลี่ยนไป เช่น การตรวจสอบแนวการวางตัวของแผ่นดิสก์บันทึกข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 2.12 โดยขั้นแรกจะกำหนดพื้นที่ค้นหาและแนวเส้นค้นหาก่อน จากนั้นกระบวนการตรวจสอบขอบจะค้นหา และพบขอบทางด้านซ้ายของแผ่นดิสก์ในภาพ ซึ่งแต่ละแนวเส้นค้นหาจะได้จุดขอบหนึ่งจุดเมื่อได้จานวนจุดนั้นแล้วโปรแกรมจะทำการหาเส้นตรงที่เหมาะสมที่สุดที่จะลากผ่านจุดขอบเหล่านั้น และเมื่อได้เส้นตรงและความเอียงของเส้นตรงนั้นแล้วก็จะสามารถทราบข้อมูลว่าแผ่นดิสก์นั้นมีตำแหน่งอยู่ที่ใดและมีแนวการวางตัวเป็นอย่างไร



รูปที่ 2.12 แสดงการตรวจสอบแนวการวางตัว

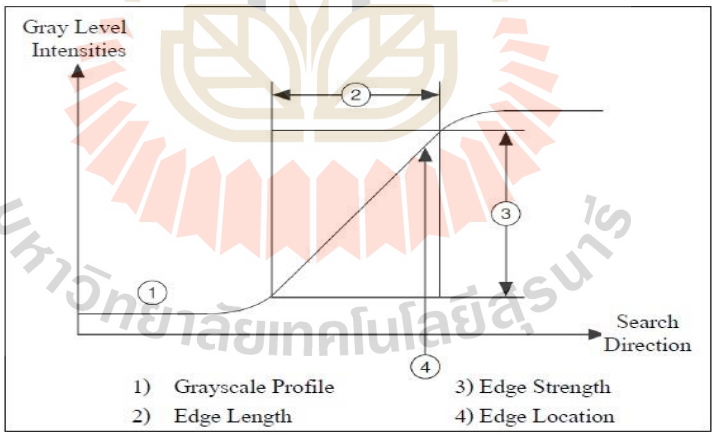
- **หลักการของการตรวจจับขอบ**

ตามที่กล่าวมาแล้วว่านิยามของขอบคือ การเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญของ ค่าระดับสีเทา (Gray Scale Value) ระหว่างพิกเซลที่อยู่ติดกันในภาพ โดยโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะใช้การทำงานเป็นแนวเส้นหรือโปรไฟล์ (Profile) 1 มิติ และเป็นการพิจารณาค่าระดับสีเทาใน แต่ละพิกเซลตามแนวเส้นหรือพื้นที่ค้นหาที่กำหนดให้ ซึ่งการกำหนดแนวเส้นค้นหานั้นสามารถกำหนดเส้นค้นหาได้หลายรูปแบบ เช่น โปรไฟล์ที่เป็นเส้นตรงเพื่อใช้เป็นแนวในการค้นหาขอบของวัตถุ ดังแสดงในรูปที่ 2.13 สำหรับการประยุกต์ใช้งานจริงนั้นผู้ใช้สามารถที่จะกำหนดโปรไฟล์เป็นเส้นตรงหรือส่วนเส้นรอบรูปของวงกลมหรือวงรี แนวเส้นขอบของสี่เหลี่ยมหรือรูปทรงเหลี่ยมหรือแม้แต่เป็นเส้นอิสระก็ได้ โดยโปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ค่าแต่ละพิกเซลตามโปรไฟล์ ที่กำหนด เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญของค่าระดับสีเทาของพิกเซลตามแนวโปรไฟล์นั้น ซึ่งการทำงานเพื่อตรวจจับขอบโปรแกรมจะต้องได้รับค่าที่จะใช้ในวิเคราะห์ว่าการเปลี่ยนแปลงตามของค่าพิกเซลตามแนวโปรไฟล์นั้นควรจะมีลักษณะเช่นไรจึงจะบ่งชี้ได้ว่าขอบของวัตถุในภาพอยู่ที่บริเวณนั้น



รูปที่ 2.13 แสดงตัวอย่างการกำหนดขอบ

คุณลักษณะของขอบตามที่ได้กล่าวแล้วว่าขอบคือการเปลี่ยนแปลงค่าของพิกเซลที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งการกำหนดขอบนั้นสามารถกระทำได้โดยพิจารณาค่าทีละพิกเซลตามแนวเส้นค้นหา วิธีการพื้นฐานที่ใช้ค้นหาขอบจะกำหนดลักษณะของขอบซึ่งเริ่มแรกค่าพิกเซลในภาพตามแนวเส้นค้นหาจะมีค่าน้อยจากนั้นก็จะเพิ่มค่าขึ้นอย่างรวดเร็วและค่าก็จะเริ่มกลับมาคงที่อีกครั้งหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.14 ซึ่งจะช่วยในการตัดสินใจของโปรแกรมว่าควรจะกำ หนดให้พิกเซลใดในภาพเป็นตำแหน่งของขอบของวัตถุ



รูปที่ 2.14 แสดงการเปลี่ยนแปลค่าพิกเซลเพื่อค้นหาขอบ

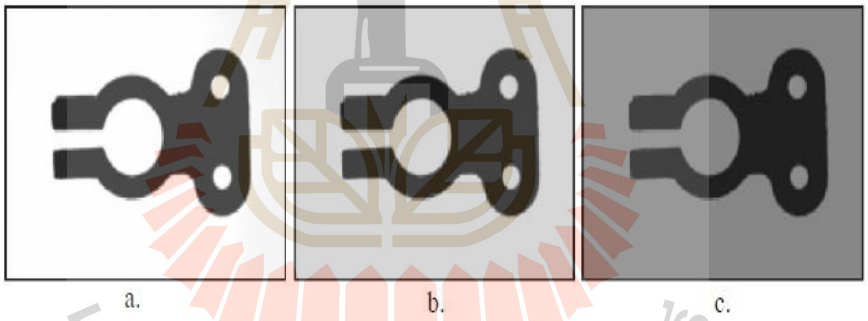
เมื่อได้ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มของพิกเซลตามแนวเส้นค้นหามาเรียบร้อยแล้ว การที่โปรแกรมจะทำการกำหนดว่าจุดใดเป็นขอบในภาพจะต้องมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ขึ้นมา ดังแสดงในรูปที่ 2.14 โดยพารามิเตอร์ที่สำคัญที่จะต้องมีการกำหนดค่าให้กับโปรแกรมมีดังนี้

- ค่าความเข้มของขอบ (Edge Strength)

ค่าความเข้มของขอบ เป็นการนิยามค่าความแตกต่างที่น้อยที่สุดของค่าระดับสีเทาระหว่างพื้นหลังและขอบของวัตถุ ค่าความเข้มของขอบนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Edge Contrast โดยถาพวัตถุเดียวกันหากถ่ายภาพในสภาวะที่ต่างกัน ภาพที่ได้อาจมีค่าความเข้มของขอบที่แตกต่างกัน สาเหตุที่ค่าความเข้มของขอบนี้เปลี่ยนแปลงไปได้ก็ด้วยเหตุผลต่าง ๆ กันดังนี้

- สภาพแสง ถ้าหากว่าแสงที่ใช้ในการจับภาพอยู่ในระดับต่ำ จะได้ว่าขอบของวัตถุในรูปจะมีระดับความเข้มต่ำ เมื่อสภาพแสงมีความแตกต่างกันการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มของขอบที่เปลี่ยนไปตามขอบของวัตถุก็จะต่างกันด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.15

- วัตถุที่มีลักษณะของระดับค่าสีเทาที่แตกต่างกัน การที่วัตถุมีที่มีคุณสมบัติหรือสีที่มีความสว่างมากอยู่ปนกับวัตถุที่มีความสว่างน้อยในภาพเดียวกัน ค่าความเข้มของขอบในวัตถุแต่ละชิ้นก็จะมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นการกำหนดค่าความเข้มของขอบที่ถูกต้องของวัตถุแต่ละชิ้นก็จะแตกต่างกันไปด้วย วัตถุที่มีสีใกล้กับพื้นหลังก็จะมีค่าความเข้มของขอบต่ำ เมื่อเทียบกับวัตถุที่มีสีที่แตกต่างกับพื้นหลังมาก



รูปที่ 2.15 แสดงตัวอย่างภาพที่มีระดับความเข้มของขอบที่ต่างกัน

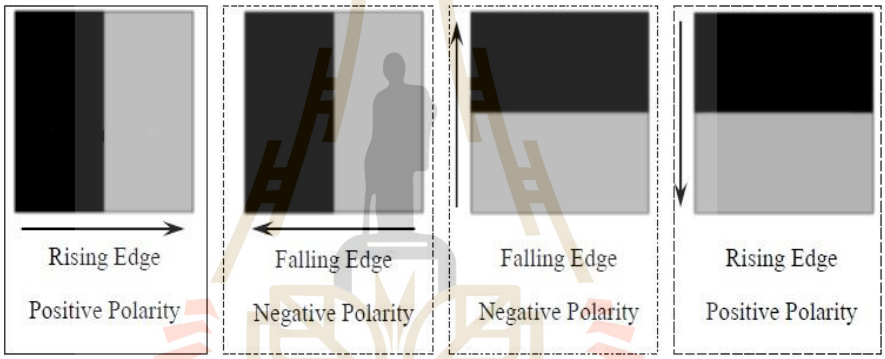
- ค่าความยาวขอบ (Edge Length)

ค่าความยาวของขอบมีนิยามคือ ระยะสูงสุดที่กำหนดค่าความแตกต่างของระดับค่าสีเทาระหว่างพื้นหลัง และขอบของวัตถุหรือขอบจะต้องเกิดขึ้นในระยะนี้ ค่าความยาวขอบเป็นคุณลักษณะที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าพิกเซลในส่วนที่อยู่ใกล้ขอบ ซึ่งระยะนี้จะช่วยให้โปรแกรมตัดสินใจว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มของพิกเซลของพื้นหลังกับขอบหรือเกิดจากการเปลี่ยนสีหรือความเข้มแสงของวัตถุหรือพื้นหลังตามปกติ กล่าวอีกอย่างหนึ่งคือค่าความยาวขอบจะกำหนดว่าค่าของความเข้มของพิกเซลจะต้องเปลี่ยนแปลงในระยะทางมากที่สุดเท่าใดเพื่อให้ได้ค่าความเข้มขอบตามที่ต้องการ ดังนั้นการกำหนดค่าความยาวขอบจะช่วยในกรณีที่ความ

แตกต่างของวัตถุและพื้นหลังมีการเปลี่ยนแปลงไป การกำหนดค่าความยาวขอบไว้มากจะช่วยตรวจจับขอบที่วัตถุและพื้นหลังว่ามีการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มพิกเซลไม่มากได้ดียิ่งขึ้น

- ขั้วของขอบ (Edge Polarity)

ขั้วของขอบเป็นการพิจารณาว่าขณะนี้ขอบที่กำลังพิจารณาเป็นขอบขาขึ้น (Rising Edge) หรือขอบขาลง (Falling Edge) โดยขอบขาขึ้นหมายถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลง ค่าระดับสีเทาเพิ่มขึ้นจากค่าน้อยไปหาค่าที่มากกว่าในระหว่างการตรวจสอบขอบอยู่นั้น ซึ่งหมายถึงการตรวจจะมีในทิศทางจากพื้นหลังที่มีค่าความเข้มต่ำขึ้นไปสู่วัตถุที่มีค่าความเข้มพิกเซลสูงกว่า ส่วนขอบขาลงหมายถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาลดลงจากมากไปหาค่าที่น้อยกว่า สำหรับวัตถุในภาพเดียวกันขั้วของขอบอาจจะแตกต่างกันได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทิศทางตามเส้นโปรไฟล์ที่กำหนดให้โปรแกรมทำการค้นหาขอบ ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แสดงขั้วของขอบ

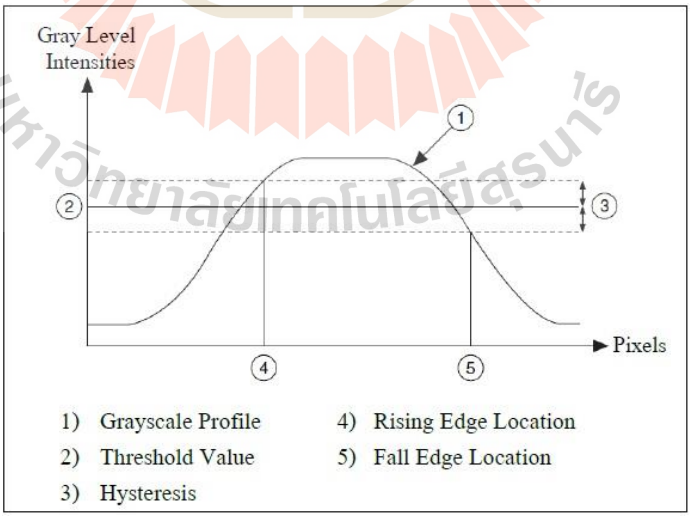
- **วิธีการตรวจจับขอบของ NI Vision**

สำหรับโมดูลของโปรแกรม NI Vision ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีสองวิธีที่ใช้ใน การตรวจจับขอบ โดยวิธีทั้งสองนี้จะคำนวณความเข้มของขอบในแต่ละพิกเซลตามโปรไฟล์ 1 มิติ ที่กำหนดขึ้น ซึ่งโปรแกรมจะบ่งชี้ว่าขอบได้เกิดขึ้นเมื่อค่าความเข้มของขอบมีค่ามากกว่าค่าความเข้มต่ำสุดที่กำหนด จากนั้นก็จะมีการตรวจหาตำแหน่งของขอบเพิ่มเติมให้ต่อไปอีกจนกระทั่งสิ้นสุดโปรไฟล์ที่กำหนดให้ดังนั้นค่าที่ผู้ใช้โปรแกรมต้องกำหนดเพื่อบ่งบอกว่าค่าความเข้มต่าสุดของความเข้มขอบมีค่าเป็นเท่าใด สำหรับโปรแกรมย่อยใน NI Vision จะเรียกค่านี้ว่า Contrast Parameter เมื่อได้กำหนดค่า Contrast Parameter เรียบร้อยแล้วโปรแกรมก็จะดำเนินการวิเคราะห์และค้นหาขอบตามแนวเส้นที่กำหนด โดยในส่วนการค้นหานั้น NI Vision มีวิธีการให้เลือกใช้สอง

แบบคือ การตรวจจับขอบอย่างง่าย และการตรวจจับขอบขั้นสูง ซึ่งรายละเอียด ของทั้งสองวิธีเป็นดังนี้

- การตรวจจับขอบอย่างง่าย

ในการตรวจจับขอบอย่างง่ายโปรแกรมจะใช้ค่าความเข้มของแต่ละพิกเซล ไปตามจุดที่โปรไฟล์ผ่านไปมาวิเคราะห์ โดยเริ่มต้นโปรแกรมจะเริ่มเก็บข้อมูลเพียงอย่างเดียวก่อน โดยเริ่มจากพิกเซลแรกบนโปรไฟล์จนถึงพิกเซลสุดท้ายที่อยู่บนโปรไฟล์นั้นในทิศทางที่กำหนด เมื่อได้ค่าทั้งหมดแล้ว จากนั้นโปรแกรมจะเริ่มหาตำแหน่งของขอบ โดยโปรแกรมจะพิจารณาว่าพบขอบขาขึ้น หากตรวจพบว่าที่จุดนั้นมีค่าความเข้มของพิกเซลมากกว่าค่า Threshold รวมกับ ค่า Hysteresis ที่ผู้ใช้กำหนด การกำหนดค่า Threshold เป็นการสั่งโปรแกรมว่าค่าความเข้ม ของพิกเซลที่ต่ำที่สุดที่จะเริ่มพิจารณาได้แล้วว่าเข้าใกล้บริเวณขอบจะมีค่าเท่าใด จุดนี้จะเป็นจุดเริ่มในการพิจารณาหาตำแหน่งขอบขาขึ้น ส่วนการกำหนดค่า Hysteresis จะมีลักษณะเหมือนการชดเชยค่า เพราะโดยปกติแล้วค่าความเข้มของขอบขาขึ้นและขอบขาลงจะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลง ที่แตกต่างกัน ดังนั้นการกำหนดค่า Hysteresis ก็เหมือนกับการชดเชยค่าความผิดพลาดที่อาจ เกิดขึ้นได้นั่นเอง สำหรับการตรวจจับขอบขาลงก็จะทำในทานองกลับกัน ซึ่งเมื่อพิกเซลใดมี ค่าความเข้มต่ากว่าค่า Threshold ของขอบ โปรแกรมก็จะใช้พิกเซลนี้เป็นจุดแรกในการพิจารณา เพื่อหาว่าขอบขาลงควรอยู่ที่ตำแหน่งใด กระบวนการหาขอบจะทำซ้า ๆ กันไปจนกระทั่งสิ้นสุดโปรไฟล์ตรวจสอบ ดังแสดงในรูปที่ 2.17

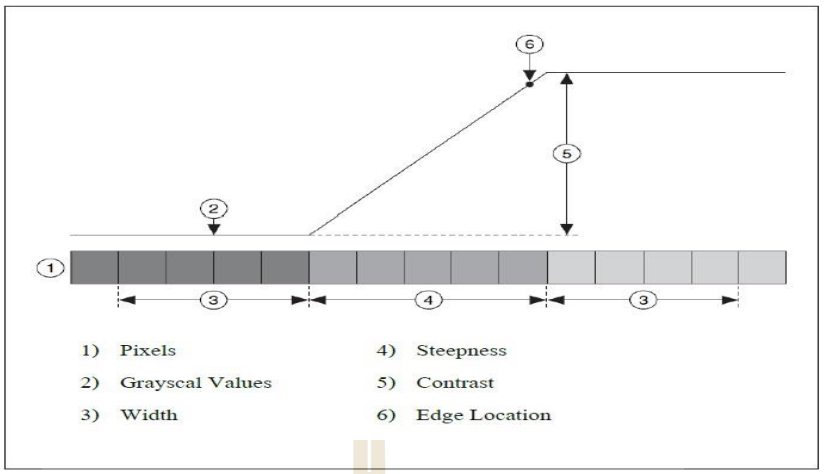


รูปที่ 2.17 แสดงการตรวจจับขอบอย่างง่าย

การตรวจจับขอบอย่างง่ายนี้มีข้อดีคือมีกระบวนการคานวณที่ไม่ยุ่งยากทำให้ตรวจสอบได้รวดเร็ว อย่างไรก็ตามวิธีการนี้เหมาะกับภาพที่มีสัญญาณรบกวน (Noise) ในภาพน้อย และภาพที่ใช้มีความแตกต่างของวัตถุ และพื้นหลังของภาพมาก จึงทำให้สามารถเห็นขอบได้อย่างชัดเจน

- การตรวจจับขอบขั้นสูง

การตรวจจับขอบในลักษณะนี้จะเริ่มจากการคำนวณหาความเข้มของแต่ละพิกเซลตามตำแหน่งที่อยู่บนโปรไฟล์ที่กำหนดจนครบก่อนจึงจะดำเนินการค้นหาขอบสิ่งที่แตกต่างจากการค้นหาขอบอย่างง่ายก็คือ โปรแกรมไม่ได้นำค่าที่ได้นี้ไปใช้โดยตรงในทันทีแต่โปรแกรมจะทำการเฉลี่ยค่าของพิกเซลที่พิจารณาอยู่กับพิกเซลที่อยู่ก่อนหน้า และที่อยู่ภายหลังบนเส้นโปรไฟล์ในการหาค่าเฉลี่ยนั้นจำนวนพิกเซลที่อยู่ก่อนหน้า และหลังจุดที่พิจารณาไม่จำเป็นต้องเท่ากันจำนวนพิกเซลหรือระยะทางที่ใช้ซึ่งอยู่หลังจุดที่กำลังพิจารณา จะกำหนดโดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ความชัน (Steepness Parameter) ซึ่งค่านี้เป็นค่าที่เกี่ยวข้องกับการคาดเดาว่าช่วงการเปลี่ยนแปลง (Transition Region) ว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของขอบตามแนวโปรไฟล์ที่กำหนดให้นั้นมีค่าเท่าใด ถ้ากำหนดค่ามากก็เสมือนคาดเดาได้ว่าข้างหน้าจะมีขอบซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงค่าอย่างช้า ๆ จึงต้องใช้พิกเซลด้านหน้าจำนวนมากมาใช้ในการพิจารณา ส่วนพิกเซลที่อยู่ก่อนหน้าจุดที่กำลังพิจารณาว่าจะนำมาหาค่าเฉลี่ยจำนวนเท่าใดนั้น จะได้จากการกำหนดพารามิเตอร์ ผู้ใช้มีความต้องการที่จะใช้พิกเซลก่อนหน้านั้นมาใช้ในการเฉลี่ยค่าที่จุดนั้นมากน้อยเพียงใด พารามิเตอร์ที่บอกจำนวนพิกเซลก่อนหน้าจุดที่กำลังพิจารณา เพื่อมาใช้ในการหาค่าเฉลี่ยที่จุดนั้นเรียกว่าพารามิเตอร์ความกว้าง (width parameter) สำหรับการกำหนดค่าพารามิเตอร์ความกว้าง ก็จะเหมือนการกำหนดขนาดของตัวกรอง (Filter) ซึ่งการกรองนี้กระทำขึ้นเพื่อลดผลกระทบของสัญญาณรบกวน (Noise) ที่อาจมีตามโปรไฟล์ที่กำหนด ถ้าหากคาดหวังว่าภาพจะมีสัญญาณรบกวนมากก็ควรจะใช้ตัวกรองที่มีความกว้างมาก หรือก็คือการกำหนดพารามิเตอร์ความกว้างให้มีค่ามาก ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ และการกำหนดรูปแบบขอบ ดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 แสดงการตรวจจับขอบขั้นสูง

เมื่อได้ค่าเฉลี่ยใหม่ของแต่ละพิกเซลแล้ว ต่อไปโปรแกรมจะทำการค้นหาขอบโดยค่าความเข้มใหม่ของแต่ละพิกเซลถูกนำมาวิเคราะห์ โดยเริ่มวิเคราะห์ตั้งแต่จุดแรกไป ซึ่งที่จุดนั้นจะนำไปคำนวณเพื่อหาค่าความเข้มของขอบ ถ้าค่าความเข้มขอบที่จุดนั้นมีค่ามากกว่าค่าที่ผู้ใช้โปรแกรมกำหนดไว้ จุดนั้นจะได้รับการบันทึกไว้ในที่นี้สมมุติให้เป็นจุด a และจะนำไปใช้ในภายหลัง จากนั้นโปรแกรมก็จะทำการประเมินผลทำนองเดียวกันในจุดต่อ ๆ ไป และทำไปเรื่อย ๆ จนค่าความเข้มของขอบมีค่าสูงสุด ซึ่งสมมุติว่าเป็นจุด b จากนั้นค่าความเข้มของขอบที่พิกเซล ถัดต่อมาจะมีค่าน้อยกว่าค่าที่จุด b นี้ โปรแกรมจะกำหนดให้จุดที่มีค่าความเข้มสูงสุดเป็นค่าเริ่มต้นขอบ ในที่นี้ก็คือกำหนดให้จุด b เป็นจุดเริ่มต้นขอบ จากนั้นค่าพารามิเตอร์ความชัน หรือ Steepness Parameter ซึ่งเป็นจำนวนพิกเซลจะนำมารวมเข้ากับตำแหน่งของจุดพิกเซล b เพื่อที่จะกำหนดจุดสิ้นสุดขอบ สมมุติว่าได้จุด c ดังนั้นจุด c จะห่างจากจุด b เท่ากับค่าพารามิเตอร์ความชัน จากนั้นโปรแกรมจะพิจารณาจากจุดเริ่มต้นขอบแล้วหาว่าจุดใดในระหว่างนั้นมีค่าความเข้มที่แตกต่างระหว่างจุดนั้นกับจุดเริ่มเป็นร้อยละ 90 ของค่าความเข้มที่แตกต่างระหว่างจุดเริ่มต้นขอบ และจุดสิ้นสุดขอบ กล่าวคือโปรแกรมจะกำหนดจุด x เป็นจุดขอบเมื่อค่าความแตกต่างของความเข้มของ x และ b มีค่าเป็น 90% ของความแตกต่างความเข้มของพิกเซล c และ b นั่นเอง

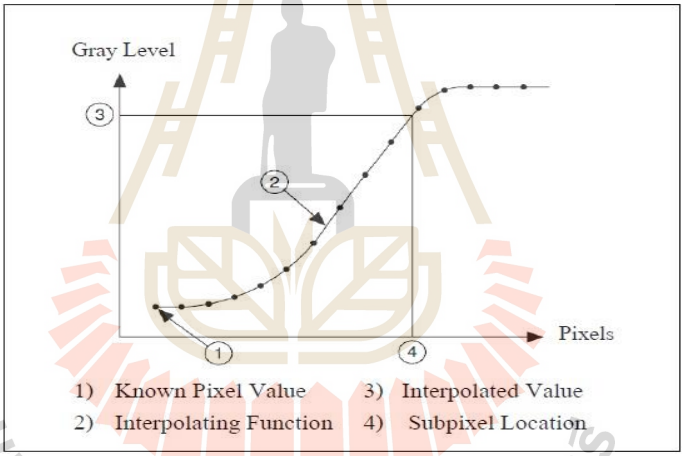
- ความแม่นยำระดับต่ำกว่าพิกเซล (Subpixel Accuracy)

ในกรณีที่ภาพที่นำมาประมวลผลนั้นมีความละเอียดสูงพอวิธีการที่กล่าวผ่านมาแล้วก็เพียงพอที่จะใช้ในการค้นหาขอบได้ อย่างไรก็ตามในสภาวการณ์บางอย่างที่ไม่สามารถ ได้ภาพที่มีความละเอียดสูงได้ ซึ่งอาจมาจากข้อจากัดหลาย ๆ ด้าน เช่น ขนาดของภาพที่ต้องการ

ตรวจสอบมีขนาดใหญ่มาก หรืองบประมาณในการจัดหากล้อง อาจจำเป็นต้องหาตำแหน่งของขอบโดยใช้ความแม่นยำระดับต่ำกว่าพิกเซล หรือระดับซับพิกเซล (Subpixel Accuracy)

การวิเคราะห์ซับพิกเซลโปรแกรมจะประมาณค่าความเข้มของพิกเซลเสมือนกับว่าภาพมีความละเอียดสูง เพื่อที่จะค้นหาตำแหน่งของขอบโดยใช้ความแม่นยาระดับซับพิกเซล โดยโปรแกรมจะทำการ Interpolate ค่าในระหว่างพิกเซลโดยใช้ฟังก์ชันที่มีลำดับสูง เช่น สมการกำลังสองหรือกำลังสามฟังก์ชันนี้จะช่วยในการตรวจสอบขอบโดยใช้ กระบวนการคำนวณให้มี ค่าพิกเซลใหม่ในระหว่างค่าพิกเซลเดิมที่มีอยู่ จากนั้นซอฟแวร์จะใช้ค่าความเข้มที่คำนวณได้เพื่อจะหาตำแหน่งของขอบต่อไป

จากรูปที่ 2.19 เป็นการแสดงวิธีการใช้ Cubic Spline Function ในการคำนวณเพื่อหาค่าซับพิกเซลโดยการใช้วิธีการนี้ ค่าที่ตำแหน่งระหว่างพิกเซลจะถูกประมาณขึ้น จากนั้นการตรวจจับตำแหน่งของจะใช้วิธีตามที่กล่าวมาแล้วเพื่อเพิ่มความละเอียดของภาพ



รูปที่ 2.19 แสดงการใช้ฟังก์ชันหาความแม่นยำระดับซับพิกเซล

ด้วยระบบบันทึกภาพ และซอฟแวร์ที่มีอยู่ในปัจจุบันนี้ ผู้ใช้สามารถประมาณตำแหน่งของภาพได้น่าเชื่อถือในระดับ 1 ใน 4 พิกเซล อย่างไรก็ตามผลของการประมาณนี้ขึ้นอยู่กับการจัดเตรียมภาพ เช่น สภาพแสงและคุณภาพของกล้อง ดังนั้นก่อนที่จะใช้การวิเคราะห์ระดับพิกเซลควรทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพแล้วทดลองวิธีปกติในการหาขอบก่อนว่าสามารถทำได้หรือไม่

- **การเพิ่มการตรวจจับของพื้นที่ค้นหา 2 มิติ**

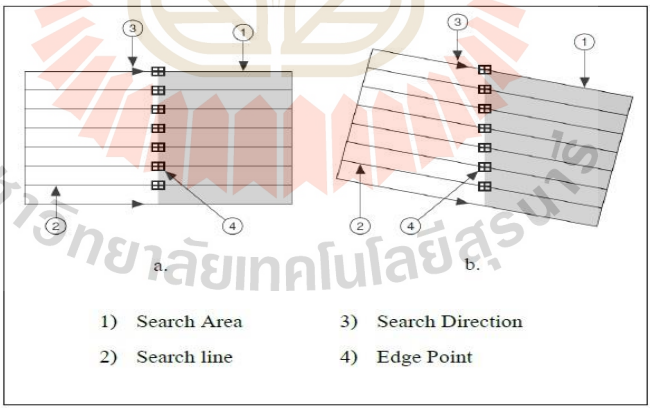
สำหรับโปรแกรมการตรวจจับของ NI Vision แม้ว่าจะออกแบบให้มีการวิเคราะห์ค่าพิกเซลไปตามเส้นโปรไฟล์ที่มีลักษณะเป็นเส้น 1 มิติ อย่างไรก็ตามเพื่อให้การใช้งานของการจับ

ขอบมีความสามารถมากยิ่งขึ้น โปรแกรม NI Vision จึงได้มีการเพิ่มความสามารถของโปรแกรมให้มีเครื่องมือที่จะสามารถเพิ่มการตรวจจับขอบออกไปเป็นพื้นที่ในสองมิติได้ โดยโปรแกรมจะมีการสร้างเครื่องมือให้ 3 ชนิดคือ

- Rake
- Spoke
- Concentric Rake

ความแตกต่างหลัก ๆ ของเครื่องมือ 3 แบบนี้ จะเป็นลักษณะการวางเส้นโปรไฟล์เพื่อกำหนดขนาดของพื้นที่ค้นหา รายละเอียดและลักษณะของวิธีค้นหาทั้ง 3 แบบ เป็นดังนี้

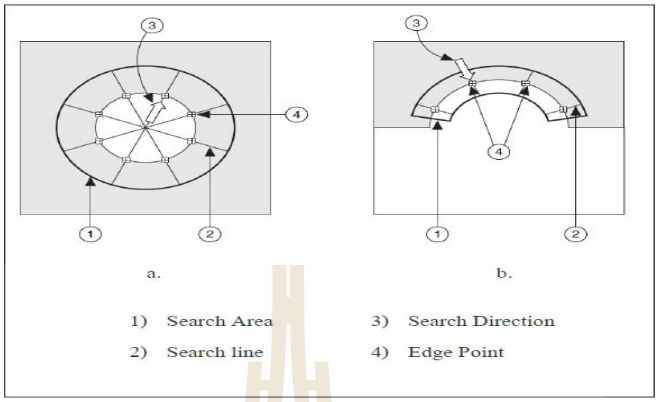
Rake การใช้ Rake จะเป็นการค้นหาโดยกำหนดพื้นที่ค้นหาเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก โดยเส้นโปรไฟล์ที่ใช้ในการค้นหาจะเป็นเส้นตรงที่ขนานกันและมีความยาวเท่ากัน ซึ่งจะทำให้พื้นที่การค้นหาเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมมุมฉากที่จะวางในมุมเอียงใด ๆ ก็ได้ตามผู้ใช้กำหนด การกำหนดจำนวนเส้นค้นหาจะควบคุมด้วยค่าที่กำหนดระยะห่างระหว่างเส้นค้นหา ส่วนทิศทางการค้นหาผู้ใช้สามารถกำหนดได้ การกำหนดให้เคลื่อนที่จากซ้ายไปขวาหรือขวาไปซ้ายจะเป็นการบอกว่าสี่เหลี่ยมนี้เอียงทำมุมเท่าใดกับแนวระดับ แต่ถ้าจะกำหนดมุมเอียงของสี่เหลี่ยมที่ทำกับแนวดิ่งก็สามารถทำได้โดยกำหนดให้ทิศทางการค้นหาให้เป็นจากบนลงล่างหรือล่างขึ้นบนก็ได้ พื้นฐานของฟังก์ชัน Rake ดังแสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 แสดงการทำงานของฟังก์ชัน Rake

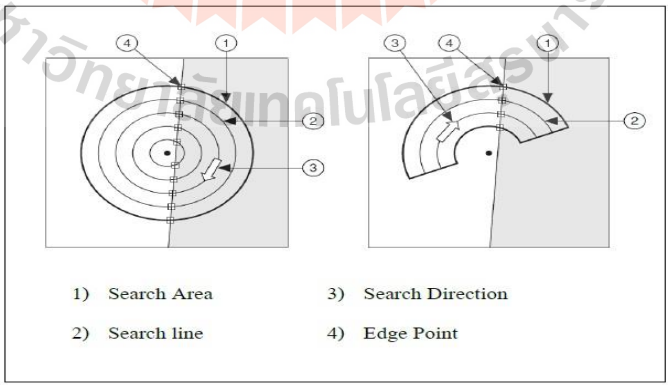
Spoke ฟังก์ชัน Spoke เป็นการกำหนดพื้นที่ค้นหาเป็นรูปวงแหวน โดยจะทำการสร้างเส้นค้นหาเป็นเส้นรัศมีของวงแหวน เริ่มจากขอบในของวงแหวนออกไปจนถึงขอบนอกของพื้นที่วงแหวน จำนวนเส้นรัศมีที่ใช้ในการค้นหาจะควบคุมได้จากการกำหนดค่ามุมระหว่างเส้นแต่

ละเส้นค้นหาแต่ละเส้น การกำหนดทิศทางการค้นหาจะทำได้ทั้งจากด้านในไปด้านนอกและด้านนอกเข้ามาด้านใน พื้นฐานของฟังก์ชัน Spoke ดังแสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 แสดงการทำงานของฟังก์ชัน Spoke

Concentric Rake ชุด Concentric Rake จะกำหนดพื้นที่ค้นหาเป็นรูปวงแหวนเช่นกัน โดยการใช้เส้นค้นหาเป็นวงกลมแทนที่จะเป็นเส้นตรงเหมือน Rake ทำให้ได้เส้นค้นหาเป็นวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางร่วมกันซ้อนกันออกไป การค้นหาขอบจะทำตามเส้นรอบวงของวงกลมที่ซ้อนกันอยู่นั่นเอง จำนวนของวงกลมที่ซ้อนกันอยู่จะควบคุมได้จากระยะห่างตามแนวรัศมีของวงกลมที่วางซ้อนกันออกไปแต่ละวง การกำหนดทิศทางการค้นหาทำได้ทั้งทิศทางตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา พื้นฐานของฟังก์ชัน Concentric Rake ดังแสดงในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 แสดงการทำงานของฟังก์ชัน Concentric Rake

การใช้วิธีการ Edge detection ที่กล่าวมาแล้วนั้นมีข้อดี คือ สามารถทราบตำแหน่งขอบเขตของวัตถุได้ง่ายและไม่ต้องการการคำนวณทางคณิตศาสตร์มากนับเทียบกับวิธีอื่นสำหรับข้อด้อยของวิธีการนี้คือ ไม่สามารถที่จะบอกรูปทรงของวัตถุได้ เพราะค่าที่ได้จากวิธีการนี้คือ ขอบและตำ แหน่งของขอบเท่านั้น หากมีความจำเป็นที่ต้องใช้รูปทรงของวัตถุเข้ามาใช้ในการคำนวณด้วยจะต้องใช้วิธีการประมวลผลภาพที่มีความยุ่งยากมากขึ้น

2.3.6 การวัดมิติ (Dimension Measurements)

ในการใช้การมองเห็นของเครื่องจักรเครื่องมือหนึ่งที่สามารถกระทำได้ ก็คือการใช้ภาพที่จับได้ด้วยคอมพิวเตอร์ทำการวัดมิติด้านต่าง ๆ ซึ่งการวัดมิตินั้นอาจจะเป็นการวัดระยะทางที่ต้องการการวัดแนวเส้นโค้ง การวัดมุม การวัดพื้นที่ การวัดเส้นในแนวที่ต้องการ หรือส่วนของวงกลมว่าอยู่ในส่วนที่ต้องการหรือไม่ หรือแม้แต่วัดจำนวนของเส้นหรือส่วนโค้ง ทั้งหมดนี้เพื่อใช้ในการตรวจสอบว่าผลิตภัณฑ์มีความสมบูรณ์และรูปทรงตลอดจนมิติต่าง ๆ ว่าเป็นไปตามที่กำหนดหรือไม่ ทั้งหมดนี้ก็เพื่อเป็นการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์นั่นเอง

ส่วนประกอบต่าง ๆ โดยเฉพาะด้านอิเล็กทรอนิกส์ มักมีขนาดเล็กและมีส่วนประกอบย่อยอยู่เป็นจำนวนมาก แต่จำเป็นที่จะต้องผลิตด้วยความถูกต้องและแม่นยำโดยการตรวจสอบความสมบูรณ์ของอุปกรณ์เหล่านี้ เช่น สวิตซ์ หรือรีเลย์ หากใช้คนในการตรวจสอบจะเป็นงานที่ต้องการความละเอียด แต่ซ้ำซากและน่าเบื่อ การมองเห็นของเครื่องจักรจากการใช้ NI Vision จะช่วยให้การทำงาน ในการตรวจสอบนี้สะดวก รวดเร็วและมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ในหัวข้อนี้จะเป็นการอธิบายการใช้โปรแกรมในส่วนของ NI Vision เพื่อใช้ในกระบวนการวัดมิติ

ในการใช้เครื่องมือสำหรับการวัดมิติ กรณีที่ต้องการวัดมิติที่มีความละเอียดอ่อนโดยการวัดมิติของชิ้นส่วนที่ปรากฏอยู่ในภาพ การวัดมิติที่มีความสำคัญและละเอียดนี้บางครั้ง เรียกการเกจ (Gauging) ซึ่งสามารถที่จะกระทำได้ทั้งแบบที่กระทำในขณะที่อยู่ในสายการผลิต และเมื่อไม่ได้อยู่ในสายการผลิต ในระหว่างที่อยู่ในสายการผลิตจะเป็นการตรวจสอบหรือการเกจ ในขณะที่กระบวนการผลิตยังดำเนินไป ผลิตภัณฑ์จะได้รับการตรวจสอบในระหว่างที่จะนำไปสู่กระบวนการประกอบหรือเข้าสู่กระบวนการผลิตต่อไป ซึ่งการตรวจสอบในแต่ละขั้นตอนการผลิตถือว่าเป็นเรื่องที่สำคัญในกระบวนการผลิตที่มีการประกอบชิ้นส่วนหลาย ๆ ส่วนอย่างต่อเนื่องและความผิดพลาดของชิ้นส่วนชิ้นหนึ่งอาจก่อให้เกิดความผิดพลาดจนยอมรับไม่ได้ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป อีกทั้งการปรับแต่งหรือแก้ไขชิ้นจะทำได้ยากและเสียเวลาในกระบวนการปรับแก้มาก

สำหรับการตรวจสอบแบบที่ผลิตภัณฑ์ไม่ได้อยู่ในสายการผลิตนิยมกระทำในกรณีที่จะทำการสุ่มตรวจความถูกต้องของผลิตภัณฑ์ ว่ามีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด อาจจะใช้ใน

การวัดระยะห่างของการดัดงอชิ้นงาน หรือระยะห่างของรอยตัดแยกเพื่อให้แน่ใจว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้ผ่านกระบวนการที่จำเป็นแล้วมีมิติที่ถูกต้องตรงตามข้อกำหนดของชิ้นงานนั้น การเกจนี้จะทำให้เราได้ข้อมูลเหล่านั้นในระยะเวลาที่สั้นและมีความน่าเชื่อถือสูงเมื่อเทียบกับการวัดด้วยสายตาของมนุษย์

- **หลักการของการวัดด้วยภาพ**

กระบวนการเกจประกอบด้วยกระบวนการหลัก ๆ จำนวน 4 กระบวนการ

- กำหนดตำแหน่งของส่วนประกอบหรือชิ้นงานในภาพ ในกระบวนการเกจจะต้องหาพื้นที่ที่จะต้องทำการตรวจวัดเสียก่อน เพราะกระบวนการวัดเป็นกระบวนการที่ต้องการความละเอียด จึงไม่สามารถจะทำการตรวจวัดภาพทั้งภาพได้ หากเป็นการหาพื้นที่ที่สนใจ (Region of Interest, ROI) ดังนั้นในการที่จะใช้วิธีการนี้ส่วนของวัตถุที่ต้องการการตรวจสอบจะต้องอยู่ในพื้นที่ ROI นี้เสมอ

โดยทั่วไปในการตรวจสอบชิ้นส่วนนั้น ชิ้นส่วนที่อยู่ในกระบวนการประกอบจะมีตำแหน่งที่หลากหลาย มีการหมุนไปจากแนวที่วางไว้หรือมีตาแหน่งที่เยื้องออกไปจากแนวที่ตั้งไว้ในตอนแรก ดังนั้น ROI ก็มีความจำเป็นที่จะต้องหมุนหรือเคลื่อนที่ออกไป ตามที่วัตถุนั้นเคลื่อนที่ไป ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการจัดวัตถุในภาพก่อน จากนั้นจึงทำการกำหนด ROI ในภาพที่ได้ แล้วจึงกำหนดระบบพิกัดใน ROI นั้น การกำหนดพิกัดเพื่อหาตาแหน่ง x, y และมุมหมุนของระบบแกนนั้น จากนั้นใช้ฟังก์ชันที่มีอยู่ในโปรแกรมทำการหาความสัมพันธ์ ของระบบแกนที่ได้กับระบบแกนอ้างอิงของรูปภาพ ซึ่งการค้นหาวัตถุและระบบแกนนี้เราอาจใช้วิธีการการตรวจจับขอบหรือการจับคู่รูปแบบก็ได้

- กำหนดรูปลักษณะสำคัญในส่วนของชิ้นงาน เพื่อที่จะสามารถตรวจวัดวัตถุได้ขั้นแรกจะเป็นการค้นหาจุดอ้างอิง หรือพื้นที่สาคัญในวัตถุนั้นก่อน เพื่อที่จะได้เป็นส่วนที่ใช้อ้างอิงในการวัดระยะหรือวัดมุมในแนวที่ต้องการ ในการวัดส่วนมากแล้วจะเป็นการวัดระยะจากจุดถึงจุดที่ตรวจจับได้บนภาพ หรือมีรูปทรง ที่เหมือนกับจุดที่ต้องการทำการตรวจจับ ส่วนประกอบของวัตถุสำคัญที่จะนำมาใช้ในการตรวจวัดนั้นจะนำมาจากวิธีการหลักสองวิธีคือ

- วิธีการหาขอบเขตของวัตถุตลอดทั้งรูปวัตถุ โดยกระบวนการค้นหาขอบ
- วิธีการกำหนดรูปทรงหรือรูปแบบของวัตถุ โดยใช้วิธีการจัดคู่รูปแบบ
- ทำการวัดในการวัดภาพในพื้นที่ที่สนใจ จะมีวิธีการวัดได้หลายวิธี ซึ่งการวัดที่พบเห็นได้ทั่วไปประกอบด้วยการวัดระยะระหว่างจุด วัดมุมระหว่างเส้นตรงสองเส้น เส้นตรงวงกลมหรือวงรีที่ตรงกับจุดที่ตรวจวัดได้มากที่สุด รวมถึงพื้นที่ตามรูปทรงเรขคณิตตามที่กำหนด เช่นตรวจสอบรูปทรงที่เป็นวงกลม วงรีหรือรูปหลายเหลี่ยม ดังนั้นสิ่งสำคัญของกระบวนการวัดนี้

จำเป็นที่จะต้องหาจุดตามขอบเขตให้ได้ก่อน จากนั้นใช้วิธีทางคณิตศาสตร์เพื่อหาเส้นหรือส่วนโค้งที่เหมาะสมที่สุดกับกลุ่มจุดนั้น จากนั้นจึงดำเนินการวัดต่อไป

- การตรวจสอบและจำแนกผลการวัดขั้นตอนสุดท้ายของการเกจจะเป็นการหาคุณภาพของของการวัดชิ้นส่วน ตามที่ได้พิจารณาจากภาพ การพิจารณาคุณภาพของชิ้นส่วนที่ทำการวัดกับรูปภาพต้นแบบนั้นสามารถกระทำได้ทั้งด้วยวิธีการเปรียบเทียบแบบสัมพัทธ์และเปรียบเทียบแบบสัมบูรณ์ ในการประยุกต์ใช้งานในหลาย ๆ ด้าน กระบวนการวัดได้กระทำบนภาพที่ได้จากการตรวจสอบแล้วนามาเปรียบเทียบกับภาพที่ได้จากลักษณะเดียวกันแต่เป็นชิ้นส่วนที่ได้มาตรฐาน หรืออาจได้จากภาพอ้างอิงมาตรฐาน ดังนั้นเนื่องจากการวัดทั้งหมดมาจากกระบวนการตรวจสอบจริง ทำให้สามารถที่จะตรวจสอบชิ้นส่วนในขณะนั้นเทียบกับภาพของชิ้นส่วนมาตรฐานได้โดยตรง การเปรียบเทียบเช่นนี้จึงเป็นการเปรียบเทียบสัมพัทธ์กับรูปแบบมาตรฐาน ส่วนในบางกรณีมิติที่ตรวจวัดได้จะต้องนำค่าที่ตรวจวัดได้มาเทียบกับค่ามาตรฐาน ดังนั้นค่าที่วัดได้จากภาพจะต้องนำมาเปลี่ยนให้เป็นค่าในมิติที่เป็นจริง เช่น ความยาวต้องมีหน่วยเป็น นิ้ว หรือ เมตร ไม่ใช่พิกเซล เป็นต้น ดังนั้นจะต้องมีการเปรียบวัดค่าก่อน จากนั้นจึงนำค่าที่เปรียบวัดและปรับเปลี่ยนให้เป็นมิติจริงแล้วนำมาตรวจสอบกับค่ามาตรฐาน การเปรียบเทียบค่าเช่นนี้จึงถือเป็นการเปรียบเทียบค่าแบบสัมบูรณ์

- **การกำหนดระบบพิกัดในการวัด**

ในการประยุกต์ใช้งานของการมองเห็นด้วยเครื่องจักรในด้านการวัดนั้น การทำการวัดจะนำออกมาจากภาพที่อยู่ในส่วนของ ROI ไม่ใช่ภาพทั้งหมด ดังนั้นวัตถุที่ต้องการวัดนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องปรากฏอยู่ใน ROI เพื่อที่เมื่อนำ ROI ไปตรวจสอบแล้ว จะได้ค่าที่ต้องการวัดอย่างถูกต้องและแม่นยำ

ในกรณีที่ตำแหน่งและการวางตัวของวัตถุที่ต้องการจะทำการวัดนั้นอยู่ในตำแหน่งและแนวเดิมตลอดเวลา การวัดจะสามารถทำได้โดยตรงทันที โดยไม่ต้องมีการกำหนดตำแหน่งของวัตถุใหม่ เพราะเราสามารถกำหนด ROI ไว้ และวัตถุที่ต้องการจะวัดจะเข้ามาบรรจุใน ROI ในทุกภาพที่เราทำการวัด

อย่างไรก็ตามในหลายกรณีวัตถุที่จะทำการตรวจวัดไม่ได้อยู่ที่ตำแหน่งคงที่หรือวางตัวในแนวคงที่เสมอไป ทำให้พื้นที่ที่จะต้องการค้นหาจะเปลี่ยนตำแหน่งไปตามภาพที่จัดได้ ซึ่งพื้นที่ค้นหาจะต้องได้รับการกำหนดพิกัดเทียบกับระบบแกนหลักของรูป โดยระบบแกนอ้างอิงจะต้องมีจุดกำเนิดอ้างอิง และแนวการวางตัวของแกนแกนหนึ่งว่าให้อยู่ในแนวใด

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการใช้ระบบพิกัดในทุกครั้งที่มีการคาดการว่าภาพที่เราจับมาจากกล้องนั้นจะไม่ได้ตำแหน่ง และการวางตัวของวัตถุที่ต้องการทำการวัดที่มีค่าไม่แน่นอนเสมอ

ไป การใช้ระบบพิกัดอาจใช้เพื่อการกำหนดระบบแกนอ้างอิงเทียบกับวัตถุที่ต้องการตรวจวัด จากนั้นจึงกำหนดพื้นที่ค้นหาเทียบกับระบบแกนอ้างอิงก็ได้เช่นกัน

สำหรับหลักการของใช้ระบบแกนจะมีหลักสาคัญดังนี้คือ ระบบแกนจะสร้างขึ้นมาทุกครั้งที่ทำการวัด และค่าที่ทำการวัดจะวัดเทียบกับระบบแกนอ้างอิง ดังนั้นระบบแกนที่สร้างขึ้นจะมีลักษณะที่เหมาะสมกับการใช้วัดวัตถุที่เราต้องการ ดังในขั้นแรกของการวัดจะต้องทำการตรวจสอบภาพและหาส่วนประกอบสำคัญในวัตถุที่จะใช้อ้างอิง และควรจะเลือกส่วนที่สำคัญของวัตถุในภาพที่คาดว่าโปรแกรมน่าจะสามารถค้นหาวัตถุได้ในทุกภาพที่ทำการถ่ายมา และไม่ควรจะเลือกส่วนในวัตถุนี้อาจเกิดความผิดพลาดจากกระบวนการผลิตได้ง่ายเพราะจะทำให้โปรแกรมไม่สามารถที่จะหาจุดอ้างอิงได้ถ้ากระบวนการผลิตนั้นผิดพลาดไป

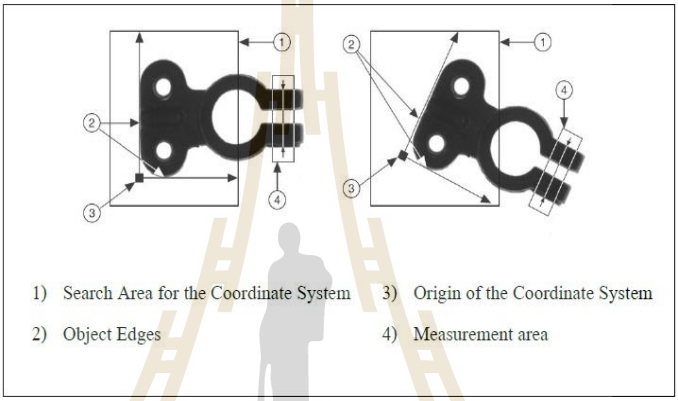
จากนั้นให้กำหนด ROI ที่มีส่วนสำคัญที่เลือกบรรจุอยู่ เพื่อให้โปรแกรมทำหน้าที่ค้นหาส่วนประกอบสำคัญ การเลือก ROI ก็เพื่อไม่ให้โปรแกรมไปค้นหาแล้วพบส่วนอื่นในภาพที่มีลักษณะคล้ายกับส่วนที่จะต้องการใช้อ้างอิง และการกำหนด ROI ให้มีขนาดเล็กลงก็จะสามารถช่วยให้การค้นหาและการทำงานของโปรแกรมสั้นลงอีกด้วย

ส่วนขั้นตอนต่อไปก็คือการทำการวัด โดยค่าที่วัดได้จะเป็นค่าที่เปรียบเทียบกับระบบแกนใหม่ที่สร้างขึ้นมา แม้ว่ารายละเอียดในการวัดในแต่ละสถานการณ์จะไม่เหมือนกัน แต่ขั้นตอนทั่ว ๆ ไปของการทำการวัดจะเป็นดังนี้

- กำหนดระบบแกนที่จะใช้
- กำหนดพื้นที่ค้นหาที่บรรจุรูปลักษณ์หลักของวัตถุในภาพ เทียบกับระบบแกนที่กำหนดขึ้น การเลือกพื้นที่ค้นหาให้แน่ใจว่าได้ครอบคลุมส่วนสำคัญทั้งหมดที่ต้องการ
- กำหนดรูปลักษณ์อ้างอิงหลักขึ้นมาในวัตถุที่ต้องการจะตรวจสอบ รูปลักษณ์นี้จะทำหน้าที่เป็นเหมือนฐานที่ใช้ในการอ้างอิงระบบแกนในภาพต้นแบบวิธีการที่จะค้นหาส่วนสำคัญเหล่านี้มีวิธีการหลักสองวิธีคือ การค้นหาขอบและการใช้วิธีการจับคู่รูปแบบ

- กำหนดพื้นที่การวัดในภาพอ้างอิงขึ้นมา
- ทำการถ่ายภาพและนำภาพที่ต้องการตรวจสอบวัตถุในภาพ
- ปรับปรุงระบบแกน โดยในกระบวนการนี้โปรแกรม NI Vision จะมองภาพรูปลักษณ์ที่สำคัญในพื้นที่ค้นหาของภาพที่จะทำการตรวจสอบ และเมื่อพบแล้วก็จะทำการสร้างระบบแกนขึ้นมาใหม่ให้สอดคล้องกับภาพที่หาพบ
- ทำการวัดภายในพื้นที่ค้นหาที่พบใหม่ในภาพที่นำมาวิเคราะห์ หรือทำการวัดโดยโปรแกรมจะทำการคำนวณความแตกต่างของระบบแกนในภาพอ้างอิงและระบบแกนในภาพที่ทำการวัดเพื่อหาความแตกต่าง ๆ และความสัมพันธ์ระหว่างทั้งสองระบบแกน

จากรูปที่ 2.23 เป็นการแสดงกระบวนการวัดระยะของโปรแกรม รวมถึงวิธีการกำหนดระบบแกนด้วย โดยรูปที่ 2.23a จะเป็นภาพต้นแบบและมีการกำหนดตำแหน่งที่สาคัญของรูป กำหนดจุดกำเนิดของระบบแกน ซึ่งคือจุด 3 ในรูป เมื่อนำโปรแกรมไปใช้งานวัตถุที่ตรวจจับมีตำแหน่งและแนววางตัวที่เปลี่ยนไป อย่างไรก็ตามการกำหนดจุดสำคัญในภาพนั้นยังอยู่ในพื้นที่ค้นหาซึ่งก็คือในกรอบสี่เหลี่ยมหมายเลข 1 ในภาพ ดังนั้นเมื่อใช้วิธีการค้นหาที่พบจุดสำคัญแล้ว โปรแกรมจะทำการวางระบบแกนใหม่และจุดอ้างอิงต่าง ๆ ใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 2.23b เพื่อจะทำการวัดระยะที่ต้องการ ซึ่งในที่นี้ระยะที่ต้องการวัดจะอยู่ในพื้นที่กรอบหมายเลข 4 นั่นเอง



รูปที่ 2.23 แสดงการกำหนดระบบแกนและพื้นที่ค้นหาเพื่อการวัด

สำหรับรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับการวัดระยะโดยใช้ภาพนั้น ในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปแกรมสำเร็จรูปและได้เลือกฟังก์ชันการทำงานจากโปรแกรมบางส่วนเท่านั้นเพื่อพิจารณาขอบเขตที่สนใจซึ่งเพื่อให้เข้าใจในส่วนของการประยุกต์ใช้งาน ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการใดบ้างทั้งหมดนี้จะกล่าวถึงในบทถัดไป

2.3.7 การควบคุมโปรแกรม Programmable Logic Controller (PLC)

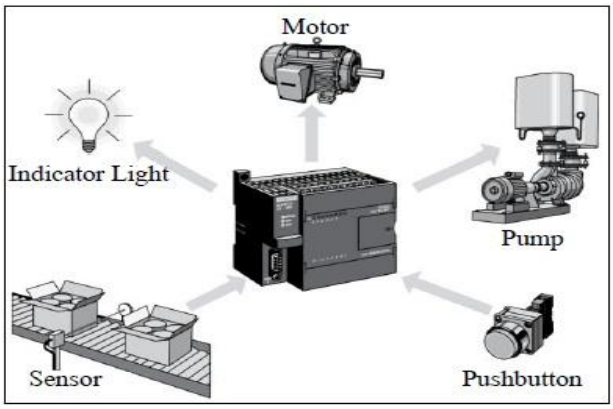
ในการควบคุมระบบการจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติ ได้นำโปรแกรม PLC ซึ่งเป็นอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ของโรบอทใช้ในการหยิบจับสินค้าไปยังชั้นจัดเก็บ ดังนั้นในหัวข้อนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงพื้นฐานการทำงานของ PLC ในเบื้องต้น

PLC (Programmable Logic Controller) หรือปัจจุบันใช้คำว่า PC (Programmable Controller) ในที่นี้จะใช้คำว่า PLC แทน PC เพื่อป้องกันความสับสนระหว่างคำว่า PC (Personal Computer) เป็นอุปกรณ์คิดค้นขึ้นมาเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรหรือระบบต่างๆแทน

วงจรรีเลย์แบบเก่า ซึ่งวงจรรีเลย์มีข้อเสียคือการเดินสายและการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขในการควบคุมมีความยุ่งยาก และเมื่อใช้งานไปนานๆ หน้าสัมผัสของรีเลย์จะเสื่อม ดังนั้นปัจจุบัน PLC จึงเข้ามาทดแทนวงจรรีเลย์ เพราะ PLC ใช้งานได้ง่ายกว่า สามารถต่อเข้ากับอุปกรณ์อินพุต/เอาท์พุต ได้โดยตรง หลังจากนั้นเพียงแต่เขียนโปรแกรมควบคุมก็สามารถใช้งานได้ทันที ถ้าต้องการจะเปลี่ยนเงื่อนไขใหม่ สามารถทำได้โดยเปลี่ยนแปลงโปรมแกรมเท่านั้น เริ่มพัฒนาครั้งแรกในช่วงปี ค.ศ. 1968 เพื่อตอบสนองความต้องการของอุตสาหกรรมยานยนต์ในประเทศสหรัฐอเมริกา และเริ่มติดตั้งเพื่อใช้งานจริงในภาคอุตสาหกรรมการผลิตในปี ค.ศ. 1969 ซึ่งในช่วงแรกนี้ตรรกะหรือ Logic ที่ใช้ยังไม่ซับซ้อนมากและจะเน้นไปที่ On-Off Control ในเวลาต่อมา PLC ก็ได้มีการพัฒนาขึ้น สามารถที่จะใช้ควบคุมอุปกรณ์ได้หลากหลายมากขึ้น สามารถที่จะส่งและรับสัญญาณที่มีค่าแรงเคลื่อนที่แตกต่างกันได้ ซึ่งทาให้ PLC ก้าวเข้าสู่ช่วงที่สามารถรับและจ่ายสัญญาณอนาลอก (Analog Input/Output) ได้ส่วนในช่วงยุคปี ค.ศ. 1980 ได้มีการกำหนดมาตรฐานสาหรับ PLC ที่รู้จักกันในชื่อManufacturing Automation Protocol (MAP) และมีการลดขนาดของ PLC ให้เล็กลง นอกเหนือจากนั้นยังได้เริ่มมีการใช้โปรแกรมช่วยในการเขียนคำสั่งบน PC ในลักษณะของสัญลักษณ์ หรือ Symbolic Programming ทำให้สามารถที่จะทำการโปรแกรมได้โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์พ่วงต่อที่เขียนชุดคำสั่งลงไปบน PLC

ในยุคปี ค.ศ. 1990s เราได้พบเห็นการนำเสนอลักษณะการทำงาน กระบวนการทำงานและฟังก์ชันใหม่ ๆ ที่ใช้งานกับ PLC ซึ่งการพัฒนาเหล่านี้เกิดจากการแข่งขันของบริษัทผู้ผลิต ที่พยายามที่จะให้อุปกรณ์ของตนเองใช้งานได้ตรงตามความต้องการของลูกค้าให้มากที่สุด แต่เพื่อให้การพัฒนา PLC ยังคงอยู่ในมาตรฐานที่ยอมรับกันได้ทั่วโลก จึงได้มีการกำหนดมาตรฐานขึ้น โดยล่าสุดได้มีการกำหนดมาตรฐาน “IEC 1131-3” ซึ่งพยายามรวมภาษาการเขียนโปรแกรม PLC ให้เป็นมาตรฐาน ซึ่งในปัจจุบันนี้ ภาษามาตรฐานของ PLC ได้แก่ Function Block Diagrams Instruction Lists C และ Structured Text ซึ่งการที่ผู้ใช้จะเลือกใช้วิธีการเขียนอย่างไรนั้นก็ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม และความถนัดของผู้ใช้เป็นสำคัญ

เนื่องจากอุปกรณ์นี้มีความทนทานทนต่อสภาพอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปได้ดี มีชุดอินพุทและเอาท์พุท บรรจุรวมเข้าอยู่กับชุดควบคุม และการเขียนชุดคาสั่งหรือภาษาที่ใช้นั้นง่ายต่อความเข้าใจ จึงเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางในแวดวงอุตสาหกรรมอัตโนมัติ โดยมีอุปกรณ์ต่างที่เชื่อมต่อกับ PLC ดังแสดงในรูปที่ 2.24



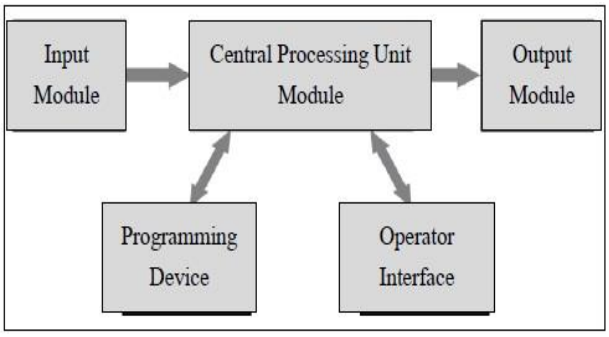
รูปที่ 2.24 แสดงอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับ PLC เพื่อใช้ในการควบคุม

- **หลักการทำงานพื้นฐานของ PLC**

ในการทำงานของ พีแอลซีจะมีส่วนประกอบอยู่หลายส่วนที่ทำงานสอดคล้องและประสานกัน สำหรับส่วนประกอบหลักของ PLC จะประกอบด้วยส่วนหรือ Module ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- โมดูลอินพุท (Input Modules)
- หน่วยประมวลผลกลาง หรือ Central Processing Unit (CPU)
- โมดูลเอาท์พุท (Output Modules)
- อุปกรณ์ใช้ในการโปรแกรม (Programming Device)

ซึ่งการเชื่อมโยงการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ นี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.25 และนอกเหนือจากส่วนประกอบหลักนี้แล้ว PLC ยังมีส่วนประกอบที่ทำหน้าที่เชื่อมโยงหรือประสานการทำงานของเครื่องร่วมกับผู้ใช้หรือ Operator Interface ร่วมอยู่ด้วย สำหรับรายละเอียดและหน้าที่หลักของส่วนประกอบต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วจะมีดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.25 แสดงส่วนประกอบของ PLC

- โมดูลอินพุท

ลักษณะและประเภทของโมดูลอินพุทนี้จะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของข้อมูลที่จะส่งให้กับ PLC ที่พบเห็นมากที่สุดจะเป็น DC voltage Digital Input หรือ Discrete Input คือจะเป็นการจ่ายไฟที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าค่าหนึ่ง อาจจะเป็น 5 หรือ 24 volt หรือไม่มีการจ่ายไฟให้ ซึ่งก็หมายความว่าเราจะได้ตรรกะของอินพุท (Logical Input) เป็นเปิด (ON) หรือปิด (OFF) จากโมดูลอินพุทนี้ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันเริ่มพบเห็น พีแอลซีที่รองรับอินพุทที่เป็นอนาลอกมากขึ้น นั่นคือสามารถที่จะตรวจจับปริมาณไฟที่เข้ามาที่ช่องสัญญาณว่ามีปริมาณเท่าใดแทนที่จะตรวจจับเพียงแต่ว่ามีหรือไม่มีไฟมาที่ช่องสัญญาณ ซึ่งจะทำให้สามารถตรวจจับอุณหภูมิ ความดัน หรือปริมาณอื่น ๆ ได้ ซึ่งทำให้ระบบการควบคุมจะสมบูรณ์และซับซ้อนมากขึ้นได้

- หน่วยประมวลผลกลาง

หน่วยประมวลผลกลางนี้ มีหน้าที่ประมวลผลที่ได้รับ โดยจะเริ่มจากการที่รับเอาข้อมูลจากโมดูลอินพุททั้งหมดเข้ามาพิจารณา จากนั้นก็จะมีการประมวลตามตรรกะที่กำหนดไว้โดยโปรแกรม จากนั้นหน่วยประมวลผลกลางนี้จะทำหน้าที่ตัดสินใจ สั่งการโมดูลเอาท์พุทให้เปิดหรือปิดส่องสัญญาณต่าง ๆ

สำหรับในหน่วยประมวลผลกลางนี้จะทำหน้าที่เหมือนคอมพิวเตอร์ทั่วไป คือจะมีหน่วยย่อย ๆ ประกอบอยู่ด้วยเช่นหน่วยความจำทั้ง ROM และ RAM นอกเหนือจากนั้นยังมีหน้าสัมผัสแบบต่าง ๆ เช่น ชุด Control Relay Special Relay Contacts และอื่น ๆ อีกมาก แต่เราจะไม่ขอกล่าวถึงในรายละเอียดในที่นี้

- โมดูลเอาท์พุท

หน้าที่หลักของส่วนโมดูลเอาท์พุทนี้ จะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณที่ได้รับในการตัดสินใจของหน่วยประมวลผลกลาง ให้กลายเป็นสัญญาณควบคุมที่จะส่งออกไปทางช่องสัญญาณของโมดูลเอาท์พุทนี้ สำหรับช่องสัญญาณนี้อาจจะเป็นช่องสัญญาณแบบดิจิตอล (Digital) คือมีเฉพาะสัญญาณเปิดหรือปิดเท่านั้น หรือจะเป็นสัญญาณแบบอนาลอกที่สามารถปรับค่าต่าง ๆ ให้เข้าหรือออกจากอุปกรณ์นี้ได้ตามความต้องการ

- อุปกรณ์ใช้ในการโปรแกรม

อุปกรณ์เขียนและแก้ไขโปรแกรม หรืออุปกรณ์ในการเขียนโปรแกรมนี้เป็นอุปกรณ์ที่มีหน้าที่ในการเขียนชุดคำสั่งที่ผู้ใช้ต้องการเข้าสู่เครื่อง PLC หรือทำหน้าที่ดึงโปรแกรมที่บรรจุอยู่ในหน่วยประมวลผลกลาง CPU ของ PLC ออกมาสู่เครื่องนี้ นอกเหนือจากนี้ในบางรุ่นยังสามารถที่จะทำหน้าที่ตรวจสอบสภาวะการทำงานของ PLC ว่าสามารถที่จะทำงานได้ตามที่ผู้เขียนโปรแกรมต้องการหรือไม่

- การประมวลผลของ PLC Processing

เมื่อมีส่วนประกอบหลายส่วนใน PLC จึงต้องมีการกำหนดกระบวนการการทำงานของ PLC เอาไว้ ขั้นตอนการทำงานของ PLC นั้นจะมีอยู่ 2โหมด (Mode) ได้แก่

Edit Mode คือโหมดที่ผู้ใช้จะทำการเขียนโปรแกรมหรือแก้ไขโปรแกรม ซึ่งในระหว่างที่อยู่ในโหมดนี้เครื่องจะไม่มีการรับข้อมูลจากอินพุทมาทำการวิเคราะห์ หรือส่งข้อมูลใดๆ ออกไปทางช่องเอาท์พุท

- Run Mode คือโหมดที่เครื่องจะทำงานตามที่ได้โปรแกรมไว้ โดยระหว่างที่อยู่ในโหมดนี้ จะไม่สามารถที่จะแก้ไขโปรแกรมได้ และสำหรับในบางผู้ผลิตจะมีโหมดการเฝ้าตรวจ (Monitor Mode) เพิ่มขึ้นมา โหมดนี้จะเป็นส่วนพิเศษเพิ่มเติมของ Run Mode โดยจะเพิ่มการแสดงผลสภาวะต่าง ๆ ของพีแอลซีในขณะนั้นให้เราทราบไปพร้อมกับการทำงานของเครื่องไปด้วย เมื่ออยู่ใน Run Mode การทำงานของ PLC เริ่มจากเปิดเครื่องมีขั้นตอนดังนี้ และมีลักษณะการทำงานของ PLC ดังแสดงในรูปที่ 2.25

- ลบคำสั่งเดิมที่โมดูลเอาท์พุท

- ดึงข้อมูลจากโมดูลอินพุทเข้ามา และประมวลสัญญาณทั้งหมดส่งให้หน่วยประมวลผลกลาง

- หน่วยประมวลผลกลางรับข้อมูลอินพุท แล้วเปรียบเทียบกับตรรกะของโปรแกรม แล้ววิเคราะห์ว่าจะต้องดำเนินการเช่นไรบ้าง จากนั้นก็จะส่งสัญญาณตามข้อกำหนดที่วิเคราะห์ให้กับโปรแกรม ส่งไปให้กับโมดูลเอาท์พุท

- โมดูลเอาท์พุทรับข้อมูลจากหน่วยประมวลผลกลางจากนั้นจะแปลงสัญญาณคำสั่งไปเป็นสัญญาณควบคุมการทำงานของชุดเอาท์พุทตามที่กำหนด

- เมื่อครบรอบการทำงานนี้จะถือว่า PLC ทำงานครบหนึ่งรอบหรือหนึ่ง Scan จากนั้นก็จะเริ่มรอบทำงานต่อไป โดยกลับเข้าไปอ่านสภาวะของอินพุทว่ามีสภาวะเป็นอย่างไร

- การกำหนดตำแหน่ง

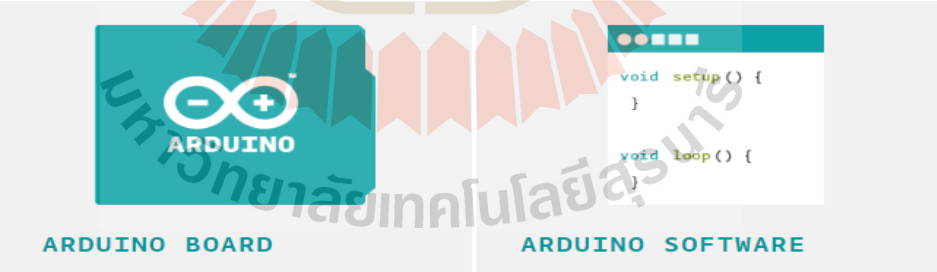
ช่องสัญญาณอินพุทหรือ เอาท์พุท แต่ละช่องจะต้องมีชื่อหรือหมายเลขกำกับเพื่อที่จะได้ทราบถึงความแตกต่าง รวมทั้งอุปกรณ์ภายในที่ประเภทรีเลย์ (Relay) ต่างๆ ที่อยู่ภายในหน่วยประมวลผลกลาง ล้วนแต่จะต้องมีหมายเลขหรือชื่อกำกับด้วยกันทั้งสิ้น ซึ่งเราจะเรียกการกำหนดตัวเลขหรือตัวอักษรนั้นว่า Addressing ซึ่งการกำหนดนี้จะมีลักษณะของการกำหนด เป็นหมายเลขหรือตัวอักษรที่แสดงถึงช่องสัญญาณ หรือแสดงช่องสัญญาณ จากนั้นจะตามด้วยหมายเลขบิตหรือหมายเลขอุปกรณ์ที่อยู่ในช่วงสัญญาณนั้น ยกตัวอย่างเช่นอาจกำหนดหมายเลขอุปกรณ์แบบอินพุท 007 ก็หมายถึงว่าเป็นช่องสัญญาณในด้านอินพุท และเป็นอุปกรณ์หมายเลข 007 ใน

ช่องสัญญาณนั้นเนื่องจากมีผู้ผลิต PLC หลายบริษัทที่ใช้อยู่ในอุตสาหกรรมในประเทศของเรา และผู้ผลิตแต่ละรายจะมีการกำหนดรายละเอียดของการกำหนดตำแหน่งนี้จะแตกต่างกันออกไป นอกเหนือจากนี้จำนวนตำแหน่งของผู้ผลิตรายเดียวกันแต่รุ่น PLC ที่แตกต่างกันออกไปก็อาจจะแตกต่างกัน หรือมีจำนวนไม่เท่ากัน ซึ่งจะไม่ขอกล่าวถึงในรายละเอียดในที่นี้

2.3.8 การควบคุม Arduino

ในการควบคุมระบบการจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติ ถึงการเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างการใช้งานผ่านหน้าอินเทอเฟซไปยังระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของโรบอท ในลักษณะเวลาจริง (Real Time) ซึ่งสามารถใช้งานร่วมกับ Software ระบบปฏิบัติการในลักษณะที่เป็นวินโดว์หรือกราฟฟิกได้นั้น Arduino เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในงานวิจัย ซึ่งมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน รวมถึงสอดคล้องกับการออกแบบ input - output port ของระบบ โดยผู้วิจัยจะกล่าวถึงพื้นฐาน Arduino ดังนี้

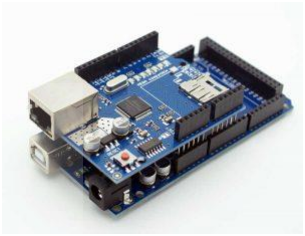
Arduino คือ แพลตฟอร์ม open-source ซึ่งมีส่วนที่เป็นทั้ง Software (Arduino Board) และ Hardware (Arduino IDE) สำหรับการสร้าง Prototype หรืออุปกรณ์ต้นแบบของโปรเจคที่เกี่ยวข้องกับอิเล็กทรอนิคส์ และEmbedded System โดย Arduino นั้นถูกออกแบบมาเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน เหมาะกับผู้เริ่มต้น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาต่อยอดได้หลากหลาย โดยมีรายละเอียดในการศึกษาเบื้องต้นดังนี้



รูปที่ 2.26 แสดงสัญลักษณ์บอร์ดและหน้าต่าง Software

Arduino Board หรือเรียกอีกอย่างว่า บอร์ด PCB (Printed Circuit Board) ที่ถูกออกแบบมาเป็นพิเศษ โดยมีชิป Microcontroller ที่สามารถโปรแกรมได้สำหรับใช้ในการควบคุมหรือรับค่าจากอุปกรณ์ต่างๆผ่านพอร์ต Input และ Output ตัวอย่างการรับค่า Input เช่น การอ่านค่าจากตัวรับรู้ การตรวจจับการกดปุ่ม หรือการรับสัญญาณ Analog ต่างๆ เป็นต้น ส่วนการสั่งงาน Output นั้น Arduino ก็สามารถทำได้ เช่น การส่ง Pulse ไปควบคุมมอร์เตอร์ หรือ การเปิด-ปิด

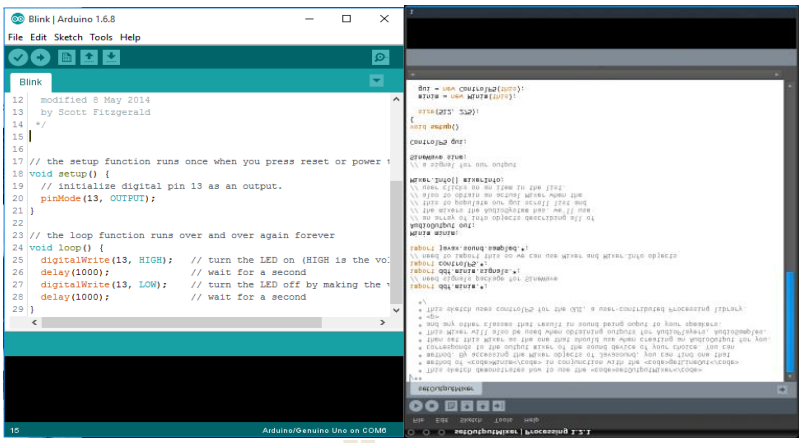
หลอดไฟ LED เป็นต้น นอกจากนี้บอร์ด Arduino ยังสามารถเชื่อมต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆจากภายนอกได้ หรือเพื่อให้ง่ายขึ้นไปอีกก็มีนักพัฒนาหลายคนได้ทำบอร์ดเสริมหรือ Arduino Shield ออกมา ซึ่งเป็นบอร์ดวงจรอิเล็กทรอนิคส์สำหรับทำงานเฉพาะอย่างที่สามารถต่อขึ้นไปเป็นชั้นๆบนบอร์ด Arduino เช่น Ethernet Shield เป็น Shield ที่มีพอร์ต Ethernet ไว้สำหรับต่อ LAN เป็นต้น



Ethernet Shield

รูปที่ 2.27 แสดงรุ่นต่างๆของ Arduino

Arduino IDE (Arduino Integrated Development Environment) คือ Software ที่ใช้สำหรับเขียนโค้ดคอมไพล์ และอัพถ่ายโอนโปรแกรมลงบอร์ด Arduino ซึ่งเป็นการบอกกับ Microcontroller ว่าผู้ใช้ต้องการจะให้มันทำงานอะไร ตัวอย่างเช่น ผู้ใช้สามารถที่จะเขียนโปรแกรมเพื่อสั่งงานให้หลอด LED เปิด-ปิด หรือกระพริบตามที่เราต้องการได้ หรือถ้าผู้ใช้ต่อปุ่ม Pushbutton เพิ่มเติม และทำการเขียนโค้ดเพิ่มอีกเล็กน้อย ผู้ใช้จะสามารถควบคุมการเปิด-ปิดไฟของหลอด LED ด้วยการกดปุ่มได้ โดยในการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุม Arduino นั้นผู้ใช้จะใช้ภาษา Arduino Programming Language ซึ่งมีรากฐานมาจากภาษา Wiring ซึ่งเป็น Open-source programming Framework สำหรับ Microcontroller นิยมใช้ในงานด้านศิลปะเกี่ยวกับ Interactive Art และการทำ Prototype ส่วน Arduino IDE นั้นก็มีต้นแบบมากจากโปรแกรม Processing Development Environment (PDE) ซึ่งเป็นที่มาของการเขียนโค้ดในรูปแบบ Sketch นั่นเอง จะเห็นได้ว่าหน้าตาคล้ายกับ Arduino IDE



รูปที่ 2.28 แสดงหน้าต่างโปรแกรม Arduino IDE และ PDE

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงที่มาและความสำคัญของแนวคิดเบื้องต้นในการออกแบบและสร้างต้นแบบระบบจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติ ในการทำงานตามหลักการของการจัดการคลังสินค้า คงคลังและสามารถติดตามสินค้าด้วยเทคโนยีสารสนเทศ โดยอธิบายรายละเอียดถึงกระบวนการเคลื่อนที่ระบบอัตโนมัติ การออกแบบการควบคุมการเคลื่อนที่ระบบอัตโนมัติ การศึกษาอุปกรณ์ควบคุมระบบเพื่อสร้างระบบต้นแบบ การออกแบบสมการจากหลักการในการจัดเก็บและค้นคืนสินค้าให้สอดคล้องกับการเคลื่อนที่อัตโนมัติ ทั้งหมดนี้เพื่อให้สามารถควบคุมผ่านแผงควบคุมเสมือนจริง สุดท้ายคือการตรวจสอบระบบต้นแบบอัตโนมัติ เพื่อตรวจสอบการจัดสภาพแวดล้อมสำหรับสแกนสินค้า และตรวจสอบการจับแวลาทำงานระบบการเคลื่อนที่อัตโนมัติ ดังจะแสดงในหัวข้อได้ดังนี้

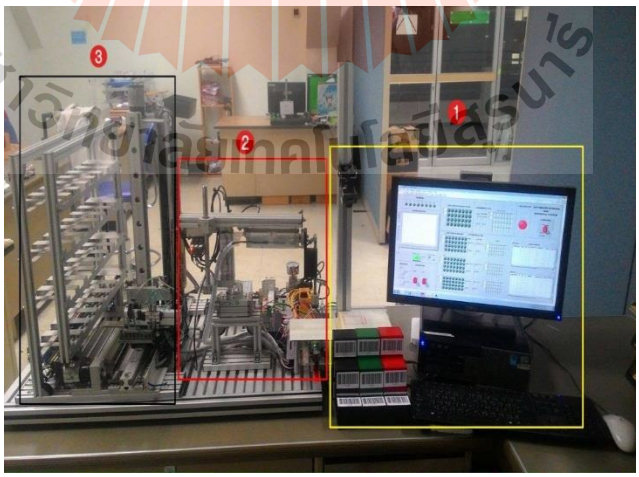
3.2 แนวคิดเบื้องต้นในการออกแบบ

จากการศึกษาการจัดการคลังสินค้าระบบอัตโนมัติที่เข้ามาทดแทนระบบการใช้แรงงานในเบื้องต้นจากการศึกษาถึงข้อดีของระบบอัตโนมัติคืออำนวยความสะดวกแก่โรงงานอุตสาหกรรม แต่มีข้อเสียของระบบคือต้นทุนสูง ทำให้ยากต่อการเข้าถึงองค์ความรู้ในการใช้อุปกรณ์ในการเรียนรู้ระบบ เป็นที่มาของการออกแบบและสร้างต้นแบบระบบอัตโนมัติ AS/RS ในรูปแบบ Miniload เพื่อการศึกษาระบบอัตโนมัติระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งได้นำกลยุทธ์การจัดเก็บสินค้า (Storage Strategy) ในคลังสินค้าที่มีความสอดคล้องกับระบบอัตโนมัติและทรัพยากรที่มีอยู่ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกศึกษาหลักการการจัดเก็บสินค้าในรูปแบบการจัดเก็บสินค้าที่ไม่ได้กำหนดตำแหน่งตายตัว (Random Location System) และรูปแบบการค้นคืนสินค้าที่เข้าคลังสินค้าก่อนให้ทำการหมุนเวียนออกไปก่อน (FIRST IN FIRST OUT, FIFO) โดยข้อมูลสินค้าอยู่ในรูปแบบรหัสแท่งบนสินค้าและมีการจัดเก็บข้อมูลสินค้าในฐานข้อมูล เป็นการบูรณาการระหว่างเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อติดตามการเคลื่อนไหวของสินค้าด้วยคอมพิวเตอร์ ควบคุมการทำงานผ่านแผงควบคุมเสมือนจริง อย่างไรก็ตามผู้วิจัยได้นำทรัพยากรสำหรับสร้างระบบต้นแบบจากห้องปฏิบัติการ Computer

Integrated Manufacturing (CIM) ศูนย์เครื่องมือ 5 ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ชำรุด นำมาซ่อมแซมและสร้างต้นแบบให้เป็นไปตามหลักการ และขอบเขตของการศึกษาในงานวิจัยนี้

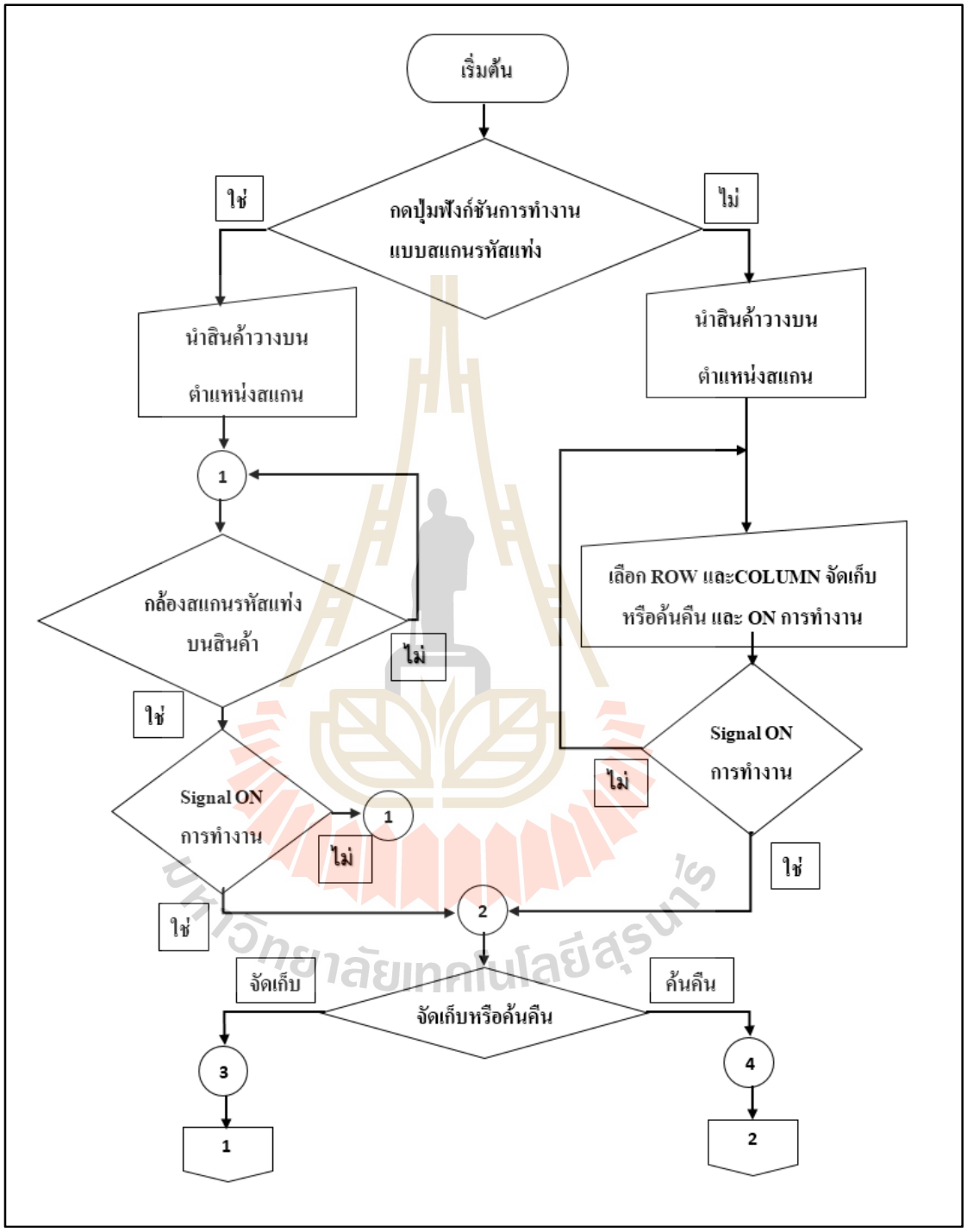
3.2.1 กระบวนการจัดเก็บและค้นคืนสินค้าอัตโนมัติ

ระบบต้นแบบนี้ประกอบด้วยสถานีการทำงานอัตโนมัติทั้งหมด 3 สถานี ได้แก่ 1) สถานีสแกนสินค้า 2) สถานีหยิบและวางสินค้า และ 3) สถานีถ่ายโอนสินค้า ดังรูปภาพที่ 3.1 เริ่มต้นกระบวนการจัดเก็บและค้นคืนจากการนำสินค้าที่ต้องการจัดเก็บ สแกนรหัสแท่งสินค้าที่ตำแหน่งสแกนในหมายเลข 1 ของสถานีสแกนสินค้า หุ่นยนต์ประเภท Cylindrical Robot ในหมายเลข 2 ของสถานีหยิบและวางสินค้า ทำการหยิบสินค้าในตำแหน่งสแกนดังรูปภาพที่ 3.33 จากสถานีสแกนสินค้า ไปวางยัง Bar Object ของหุ่นยนต์ประเภท Cartesian Robot ในหมายเลข 3 ของสถานีโอนถ่ายสินค้าเพื่อจัดเก็บสินค้าในชั้นจัดเก็บตามหลักการของระบบต้นแบบ เช่นเดียวกันเมื่อต้องการค้นคืนสินค้าที่ต้องการจากชั้นจัดเก็บ ด้วยการนำรหัสแท่งค้นคืนที่ระบุประเภทสินค้าเดียวกันกับสินค้าที่ต้องการค้นคืน สแกนรหัสแท่งที่สถานีสแกนสินค้า จากนั้นหุ่นยนต์ประเภท Cartesian Robot ที่สถานีถ่ายโอนสินค้า ทำการค้นคืนสินค้าตามหลักการของระบบต้นแบบจากชั้นจัดเก็บ โดยมีหุ่นยนต์ประเภท Cylindrical Robot ทำการหยิบสินค้าในสถานีถ่ายโอนสินค้าไปวางยังตำแหน่งสินค้าค้นคืนในหมายเลข 2 นอกจากนี้ระบบยังสามารถสั่งการทำงานด้วยตนเองผ่านแผงควบคุมเสมือนจริงและสามารถระบุตำแหน่งจัดเก็บและค้นคืนโดยไม่ผ่านหลักการของระบบต้นแบบ

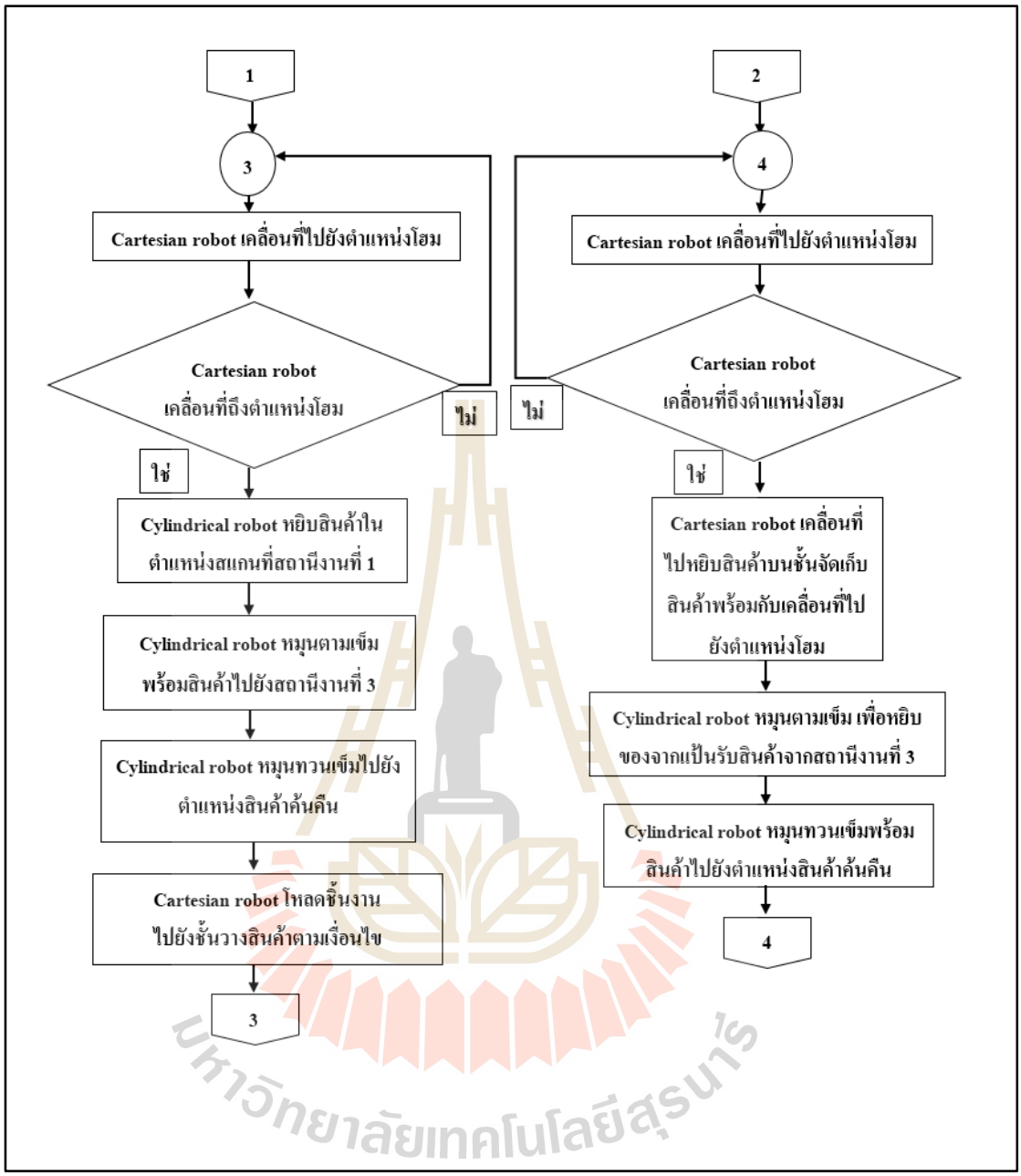


รูปที่ 3.1 แสดงสถานีสแกนสินค้า สถานีหยิบและวางสินค้า
และสถานีถ่ายโอนสินค้าตามลำดับหมายเลข 1 2 3

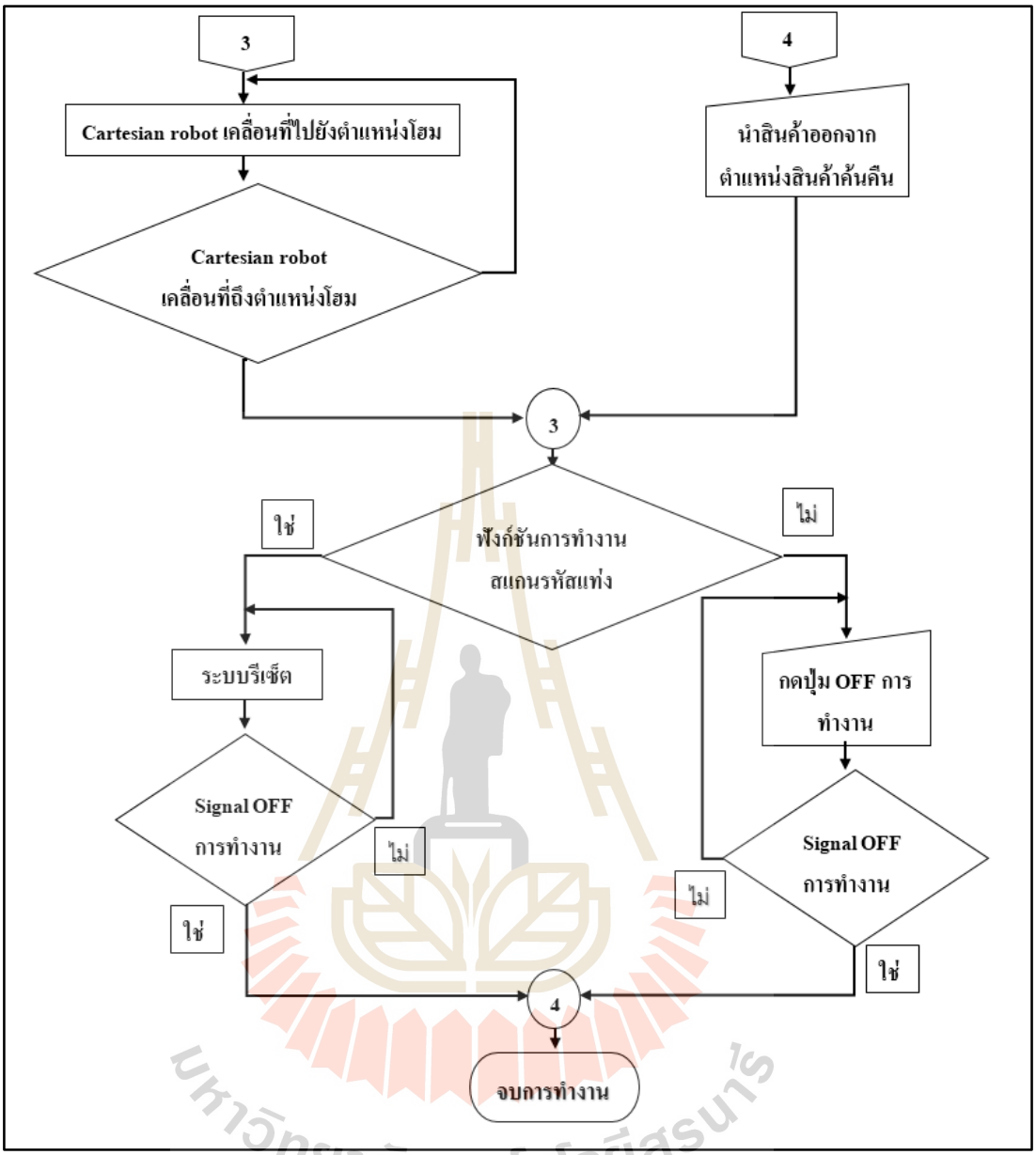
3.2.2 แผนผังการทำงานเครื่องจักรต้นแบบการจัดเก็บและค้นคืนสินค้าอัตโนมัติ



รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานเครื่องจักรต้นแบบการจัดเก็บและค้นคืนสินค้าอัตโนมัติ



รูปที่ 3.3 แผนผังการทำงานเครื่องจักรต้นแบบการจัดเก็บและค้นคืนสินค้าอัตโนมัติ (ต่อ)

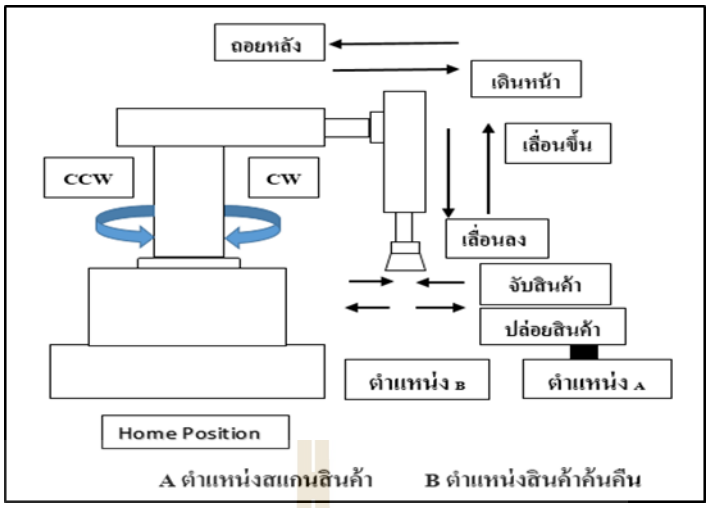


รูปที่ 3.4 แผนผังการทำงานเครื่องจักรต้นแบบการจัดเก็บและค้นคืนสินค้าอัตโนมัติ (ต่อ)

3.3 การออกแบบกระบวนการเคลื่อนที่ของระบบอัตโนมัติ

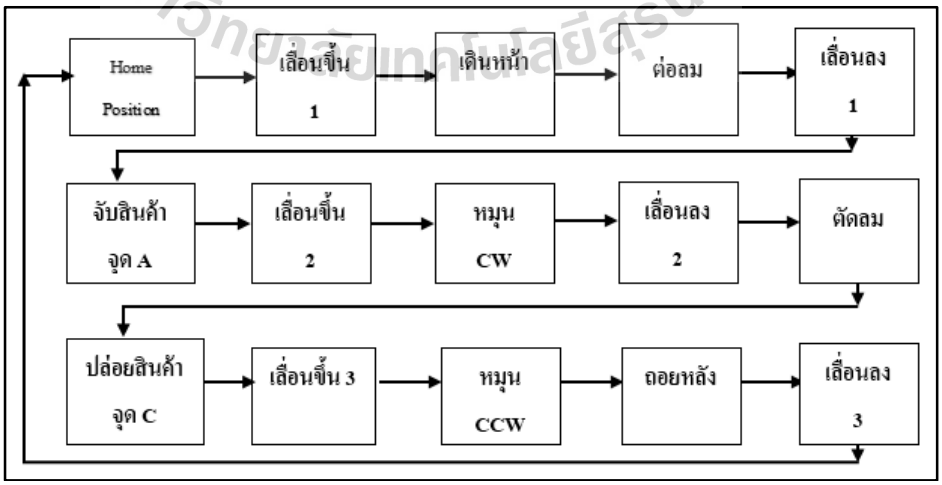
3.3.1 การออกแบบกระบวนการเคลื่อนที่ของระบบอัตโนมัติ

ในระบบนี้การเคลื่อนที่อัตโนมัติประกอบด้วยหุ่นยนต์ประเภท Cylindrical Robot มีหน้าที่ในการขนย้ายสินค้าระหว่างสถานีสแกนสินค้ากับสถานีถ่ายโอนสินค้า และหุ่นยนต์ประเภท Cartesian Robot มีหน้าที่ถ่ายโอนสินค้าชั้นจัดเก็บ ซึ่งในการออกแบบขั้นตอนการเคลื่อนที่เป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ทำงานสอดคล้องกันระหว่างสถานี ดังนี้

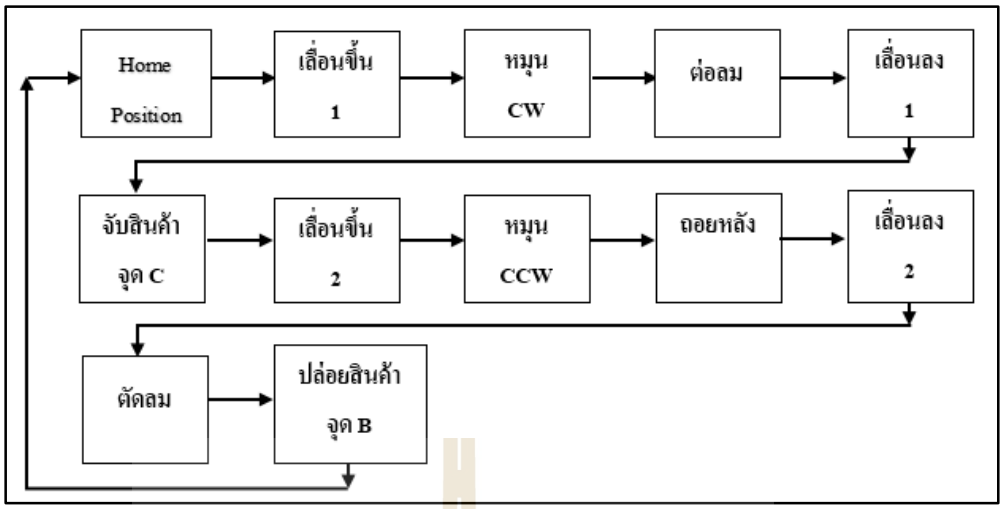


รูปที่ 3.5 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ประเภท Cylindrical Robot

จากรูปภาพที่ 3.5 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ประเภท Cylindrical Robot โดยมีประเภทของกระบอกสูบที่ทำงานในแนวหมุน 180 องศา ทำหน้าที่เป็นจุดหมุนของหุ่นยนต์ในการนำสินค้าไปหรือกลับระหว่างสถานีสแกนสินค้าและสถานีถ่ายโอนสินค้า ซึ่งในทิศทวนเข็ม(CCW) เป็นการนำสินค้าจากสถานีสแกนสินค้าในจุด A ไปยังสถานีถ่ายโอนสินค้า และทิศตามเข็ม(CW) เป็นการนำสินค้าจากสถานีถ่ายโอนสินค้ากลับมายังสถานีสแกนสินค้าในจุด B นอกจากทิศทางในจุดหมุนแล้วยังมีทิศทางที่แสดงถึงการถอยหลัง เดินหน้า เลื่อนขึ้น เลื่องลง จับสินค้า และปล่อยสินค้าของหุ่นยนต์ โดยการเคลื่อนที่ในทิศทางดังกล่าวเป็นไปตามกายภาพของหุ่นยนต์ประเภทนั้นๆ เพื่อนำสินค้าไปยังเป้าหมาย



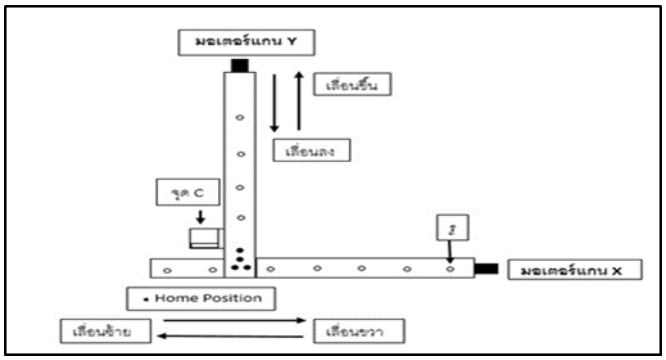
รูปที่ 3.6 แสดง Stage การจัดเก็บสินค้าของหุ่นยนต์ประเภท Cylindrical Robot



รูปภาพที่ 3.7 แสดง Stage การค้นคืนสินค้าของหุ่นยนต์ประเภท Cylindrical Robot

จากรูปภาพที่ 3.6 และรูปภาพที่ 3.7 แสดง Stage การจัดเก็บและค้นคืนสินค้าของหุ่นยนต์ประเภท Cylindrical Robot ที่มีเส้นทางของขั้นตอนการทำงานตามลูกศร โดยแต่ละขั้นตอนบอกถึงการทำงานของส่วนประกอบในหุ่นยนต์ ดังนี้

- ในตำแหน่ง Home position เป็นตำแหน่งที่หุ่นยนต์อยู่ในสถานะเริ่มต้น
- เลื่อนขึ้นและเลื่อนลง เป็นการทำงานของกระบอกสูบทำงานแบบเชิงเส้นในแกน Y โดยมี สวิตช์แม่เหล็ก (reed switch) บอกตำแหน่งเคลื่อนที่จุดสิ้นสุดของลูกสูบในกระบอกสูบ
- เดินหน้าและถอยหลัง เป็นการทำงานของกระบอกสูบทำงานแบบเชิงเส้นในแกน X โดยมีสวิตช์แม่เหล็ก (reed switch) บอกตำแหน่งเคลื่อนที่จุดสิ้นสุดของลูกสูบในกระบอกสูบ
- ต่อลม เป็นการส่งลมจากปั๊มนิวเมติกส์เข้าสู่ระบบ
- ตัดลม เป็นการตัดลมจากปั๊มนิวเมติกส์ออกจากระบบ
- จับสินค้า เมื่อลมจากปั๊มนิวเมติกส์เข้าสู่ระบบทำให้หัวสูญญากาศจับสินค้า
- หมุน เป็นขั้นตอนที่หุ่นยนต์เปลี่ยนทิศเพื่อทำงานในฝั่งตรงข้ามกับสถานะเริ่มต้น
- หมายเลข 1 2 3 แสดงถึงรอบการทำงานของขั้นตอนนั้นๆ



รูปที่ 3.8 แสดงทิศทางการเคลื่อนของหุ่นยนต์ประเภท Cartesian Robot

จากรูปภาพที่ 3.8 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ประเภท Cartesian Robot ประกอบด้วย มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) ทำหน้าที่เป็นต้นกำลังหรือตัวขับเร้าให้มีการเคลื่อนที่ไปในทิศทาง เลื่อนขึ้น เลื่อนลง เลื่อนซ้าย เลื่อนขวา และหยุดรับสินค้าจากสถานีหยิบและวางสินค้าที่จุดอ้างอิง (Home position) เพื่อนำสินค้าที่จุด C นำเข้าหรือนำออกชั้นจัดเก็บ สำหรับการเคลื่อนที่ไปยังชั้นจัดเก็บสินค้าที่ต้องการวัดระยะทาง จะใช้ตัวตรวจรู้ตำแหน่งแบบเพิ่มค่า (Incremental Position Encoder) ซึ่งเป็นการตรวจรู้ตำแหน่งแบบดิจิตอล เนื่องจากระบบเป็นการวิเคราะห์แบบดิจิตอล ทำให้ตัวตรวจรู้ชนิดนี้จะไม่ถูกจำกัดช่วงของการวัดด้วยกลไก ดังนั้นความสามารถในการวัดจะขึ้นอยู่กับซอร์ฟแวร์ที่ใช้เป็นหลัก ซึ่งในระบบนี้ใช้ PLC Visual KV รุ่น KV-40DT ในการรับสัญญาณชั่วขณะออกมาทุกครั้งที่มีการเคลื่อนที่ในแกนที่มีการเจาะรูซึ่งปรากฏทั้งในแกน X และแกน Y เพื่อให้แสงผ่านไปเป็นระยะๆ เพื่อบอกตำแหน่งทำให้สามารถทราบระยะทางเคลื่อนที่ไปยังชั้นจัดเก็บ

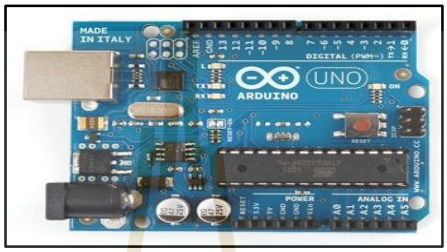
3.3.2 อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่อัตโนมัติและตัวรับรู้ตรวจจับการเคลื่อนที่

- PLC

รูปที่ 3.11 แสดง PLC Visual KV รุ่น KV-40DT

สำหรับอุปกรณ์ในการควบคุมการเคลื่อนที่ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้ PLC ของบริษัท KEYENCE THAILAND Visual KV รุ่น KV-40DT ที่มีจำนวนอินพุท 24 ช่อง และ16 ทรานซิสเตอร์ (ซิงค์) ส่งออก ใช้แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 24 และมีน้ำหนัก 280 กรัม เพื่อการควบคุมการเคลื่อนที่ของสถานีหยิบและวางสินค้าและสถานีถ่ายโอนสินค้าให้เป็นไปตามกระบวนการเคลื่อนที่ของระบบอัตโนมัติ

- Arduino



รูปที่ 3.12 แสดง Arduino Uno รุ่น Atmega328 – assembled

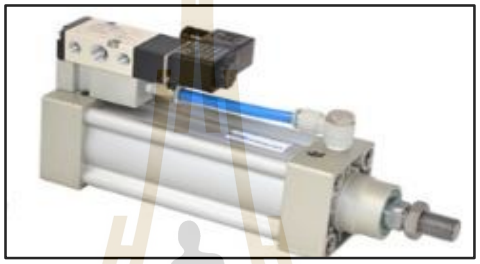
ดังรูปภาพที่ 3.12 เนื่องจาก Arduino เป็นอุปกรณ์ที่สามารถโปรแกรมได้สำหรับใช้ในการควบคุมหรือรับค่าจากอุปกรณ์ต่างๆผ่านพอร์ต Input และ Output ทำให้การนำ Arduino มาเป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณรับค่า Input จาก LabVIEW และส่งสัญญาณ Output ไปควบคุม PLC ในลักษณะเวลาจริง (Real Time) โดยเลือกใช้ Arduino Uno รุ่น Atmega328 – assembled ซึ่งสอดคล้องกับจำนวน Input และ Output ที่ใช้ในระบบ ด้วยราคาที่ไม่แพง Cross-platform Arduino IDE สามารถทำงานได้บนทุกระบบปฏิบัติการ และง่ายต่อการใช้งานจึงทำให้มีความยืดหยุ่นพอสำหรับการพัฒนาและประยุกต์ใช้งานในระดับสูง

- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)

รูปที่ 3.13 แสดงมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงรุ่น RS Pro DC Geared Motor

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในสถานีถ่ายโอนสินค้า เป็นของบริษัท RS รุ่น RS Pro DC Geared Motor ประเภทมอเตอร์ Brushed ใช้แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 24 Outputและรองรับไฟกระแสตรง 12 มี Speed ที่ 230 rpm ทำหน้าที่ในขับเคลื่อนที่สถานีถ่ายโอนสินค้าไปตามแนวแกน X และ Y เพื่อไปยังตำแหน่งที่ต้องการจัดเก็บสินค้า ทั้งนี้ในการเคลื่อนที่ที่ต้องการความแม่นยำสูง Spur Gearbox จะช่วยควบคุมการหมุน เนื่องจากมอเตอร์เกียร์ต่อกับเกียร์ทดรอบ ทำให้การลดความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ออกมา และเพิ่มแรงบิดให้เหมาะสมกับการใช้งาน

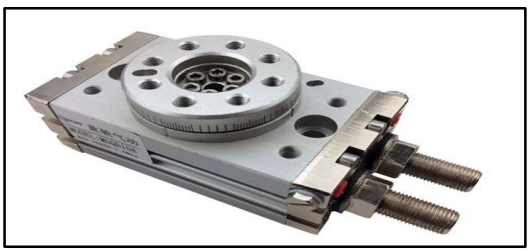
- กระบอกสูบทางานแบบเชิงเส้น Pneumatic Cylinders Slide Unit



รูปที่ 3.14 แสดงกระบอกสูบทำงานแบบเชิงเส้น รุ่น SIF, SCF Series

ในระบบนี้ผู้วิจัยได้นำกระบอกลมนิวเมติกส์มาใช้กับสถานีงาน 2 สถานีด้วยกันคือ สถานีหยิบและวางสินค้าจำนวน 2 กระบอก ทำงานในแกน X แล Y โดยที่กระบอกในแกน X จะยึดติดด้วยหัวดูดสุญญากาศด้านปลายสำหรับหยิบสินค้ารวมถึงทำหน้าที่เลื่อนไปด้านหน้า และเลื่อนถอยกลับ สำหรับกระบอกในแกน Y ทำหน้าที่เลื่อนขึ้นหรือเลื่อนลง สำหรับกระบอกลมนิวเมติกส์ในสถานีถ่ายโอนสินค้าที่ด้านปลายยึดติดกับฐานวางสินค้ามีหน้านำสินค้าเข้าชั้นจัดเก็บ ซึ่งกระบอกลมที่ใช้นั้น เป็นกระบอกสูบรุ่นมาตรฐาน (Pneumatic Standard Cylinders) รุ่น SIF, SCF Series มาพร้อมกับวาล์วติดตั้งในตัว ทำให้ไม่ต้องติดตั้งระบบวาล์วแยกเปลืองพื้นที่

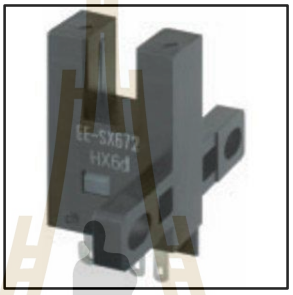
- กระบอกสูบทางานในแนวหมุน (Rotary Cylinder)



รูปที่ 3.15 แสดงกระบอกสูบทำงานในแนวหมุน SMC รุ่น MSQB10R-A93L

ในสถานีหยิบและวางสินค้า ผู้วิจัยได้เลือกกระบอกสูบของบริษัท SMC รุ่น MSQB10R-A93L เพื่อหมุนปรับทิศทางระหว่างสถานีแสกนสินค้าและสถานีถ่ายโอนสินค้า ด้วยลักษณะของกระบอกสูบประเภทนี้ที่ถูกออกแบบมาเพื่อการใช้งานในลักษณะของการทำให้เครื่องจักรนั้นเกิดการหมุนในช่วงการหมุน 0˚ - 180˚ ทำให้สามารถนำสินค้าเคลื่อนย้ายไปมาระหว่างสถานีได้

- ตัวรับรู้แบบใช้แสง (Photo Electric Sensors)



รูปภาพที่ 3.16 แสดงตัวรับรู้แบบใช้แสงรุ่น EE-SX672

ตัวรับรู้แบบใช้แสงเป็นตัวรับรู้ตรวจจับการมีหรือไม่มีของวัตถุที่ต้องการตรวจจับโดยอาศัยหลักการวัดปริมาณของความเข้มของแสงที่กระทบกับวัตถุและสะท้อนกลับมายัง Photoelectric Sensorนำมาใช้กับสถานีถ่ายโอนสินค้า สำหรับนับตำแหน่งขณะที่ระบบกำลังทำงาน ทำให้ระบบสามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่กำหนดได้

- สวิตช์แม่เหล็ก (reed switch)

รูปภาพที่ 3.17 สวิตช์แม่เหล็กรุ่น FESTO

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สำหรับระบบนี้ใช้สวิตช์แม่เหล็กในการบอกตำแหน่งเคลื่อนที่จุดสิ้นสุดของลูกสูบในกระบอกสูบ ซึ่งนำมาใช้กับกระบอกสูบทั้ง 2 สถานีงาน ควบคุมการทำงานโดยใช้แม่เหล็กติดตั้งโดยยึดสวิตช์แม่เหล็กไว้ที่ตัวกระบอกสูบที่ทำจากอลูมิเนียม และลูกสูบต้องมีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กถาวร เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่เข้าสุดอำนาจแม่เหล็กที่ตัวลูกสูบจะไปดึงดูดให้หน้าสัมผัส (Contact) ของสวิตช์แม่เหล็กต่อกัน ซึ่งปกติหน้าสัมผัสจะเป็นหน้าสัมผัสปกติเปิด เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่มาตรงกับตำแหน่งของสวิตช์แม่เหล็ก สวิตช์แม่เหล็กก็จะปิดวงจร และเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ออกไปตรงกับตำแหน่งของสวิตช์แม่เหล็กตัวนอก อำนาจแม่เหล็กของลูกสูบก็จะดึงดูดให้สวิตช์แม่เหล็กปิดวงจร

3.3.3 การออกแบบการควบคุมการเคลื่อนที่ของระบบอัตโนมัติ

การควบคุมการเคลื่อนที่อัตโนมัติในระบบนี้ ออกแบบการควบคุมด้วยแนวคิดการนำสัญญาณชั่วขณะออปติคอลตัวเข้ารหัสจากการเคลื่อนที่ของสถานีถ่ายโอนสินค้าในแนวแกน X และ Y ที่จะให้สัญญาณส่งออกเป็นบิต โดยจำนวนบิตที่ใช้ในควบคุมขึ้นอยู่กับจำนวนชั้นและคอลัมน์ในการจัดเก็บและเงื่อนไขควบคุมอื่นๆ ซึ่งจากจำนวนชั้นจัดเก็บขนาด 4 x 7 จะใช้บิตในการควบคุมจำนวน 6 บิต ทางเลือกการจัดเก็บหรือค้นคืนจำนวน 1 บิต และเปิดปิดการทำงานจำนวน 1 บิต รวมบิตที่ใช้ในการควบคุมจำนวน 8 บิต ดังนั้นเงื่อนไขในการควบคุมการเคลื่อนที่ที่สามารถเกิดขึ้นได้จะมีจำนวนทั้งหมด 256 กรณี ทั้งนี้ได้ทำการเลือกกรณีที่สามารถสอดคล้องกับการทำงานของซอร์ฟแวร์ที่ได้ทำการออกแบบ ดังจะแสดงในตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 ชุดบิตควบคุมการเคลื่อนที่ของการจัดเก็บ (AS) ตำแหน่ง Coordinate (1,1) จนถึง (1,7)

ON/OFF	AS/RS	MOVE-ROW			MOVE-COL			ROW	COL
1 BIT	1 BIT	3 BIT			3 BIT				
0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
0	0	0	0	0	0	1	0	1	2
0	0	0	0	0	0	1	1	1	3
0	0	0	0	0	1	0	0	1	4
0	0	0	0	0	1	0	1	1	5
0	0	0	0	0	1	1	0	1	6
0	0	0	0	0	1	1	1	1	7

ตารางที่ 3.2 ชุดบิตควบคุมการเคลื่อนที่ของการจัดเก็บ (RS) ตำแหน่ง Coordinate (1,1) จนถึง (1,7)

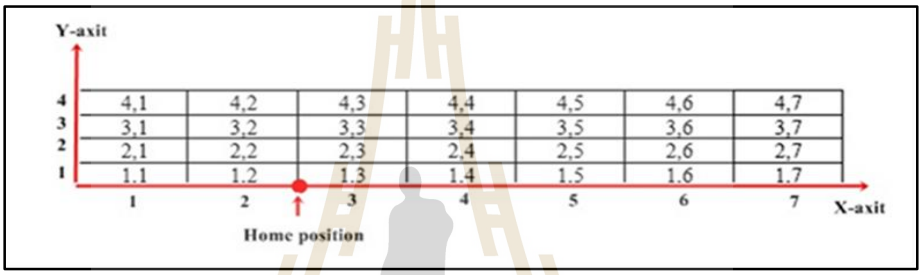
ON/OFF	AS/RS	MOVE-ROW			MOVE-COL			ROW	COL
1 BIT	1 BIT	3 BIT			3 BIT				
0	1	0	0	0	0	0	0	-	-
0	1	0	0	0	0	0	1	1	1
0	1	0	0	0	0	1	0	1	2
0	1	0	0	0	0	1	1	1	3
0	1	0	0	0	1	0	0	1	4
0	1	0	0	0	1	0	1	1	5
0	1	0	0	0	1	1	0	1	6
0	1	0	0	0	1	1	1	1	7

จากตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2 เป็นการแสดงตัวอย่างชุดบิตควบคุมการเคลื่อนที่ไปยังชั้นที่ 1 ของคอลัมน์ที่ 1 ถึง 7 ของการจัดเก็บ (AS) และการค้นคืน (RS) โดยชุดควบคุมประกอบด้วยตัวเลข 0 1 ซึ่งในการออกแบบเลือกใช้ 0 เป็นสัญญาณเปิด และ1 เป็นสัญญาณปิด ดังนั้นเมื่อนำสัญญาณดังกล่าวมาเรียงลำดับการควบคุม จะได้ชุดสัญาณสำหรับควบคุมการเคลื่อนที่และสัญญาณไฟในการแสดงสถานะ

3.3.4 หลักการในการจัดเก็บและค้นคืนสินค้าอัตโนมัติ

แนวทางในการจัดเก็บและค้นคืนสินค้าเป็นไปตามหลักการของระบบต้นแบบสำหรับหลักการจัดเก็บสินค้าในรูปแบบไม่ได้กำหนดตำแหน่งตายตัว (Random Location System) เป็นรูปแบบจัดเก็บสินค้าแต่ละชนิดสามารถถูกจัดเก็บไว้ในตำแหน่งใดก็ได้ในชั้นจัดเก็บ และเมื่อพิจารณาถึงข้อจำกัดการทำงานของหุ่นยนต์ประเภท Cartesian robot ในสถานีถ่ายโอนสินค้าที่มีการเคลื่อนที่ตามสัญญาณจากตัวเข้ารหัสที่มีข้อจำกัดของข้อมูลการเคลื่อนที่จะหายไป เมื่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าดับหรือมีการแยกสายสัญญาณออกแม้เพียงชั่วขณะเดียวหรือเมื่อมีการรบกวนของสัญญาณเกิดขึ้น ทำให้ต้องมีการปรับเทียบกับจุดอ้างอิงอยู่ตลอดเวลาเพื่อความถูกต้อง จากข้อจำกัดดังกล่าวที่เกิดขึ้นจึงออกแบบการจัดเก็บสินค้า โดยจะเลือกจัดเก็บสินค้าในชั้นจัดเก็บในตำแหน่งที่ใกล้กับจุดอ้างอิงในแกน X ของหุ่นยนต์ประเภท Cartesian robot ก่อน เนื่องจากเส้นทางการเคลื่อนที่ ต้องมีการปรับเทียบจุดอ้างอิงในแกน X ของหุ่นยนต์ประเภท Cartesian robot ทุกครั้ง เพื่อเป็นการลดเวลาในการจัดเก็บ จึงเลือกใช้การจัดเก็บในจุดที่ใกล้กับจุดอ้างอิงในแกน X ของหุ่นยนต์ประเภท

Cartesian robot มากที่สุด เพื่อให้หลักการการจัดเก็บกับการทำงานของระบบทำงานสอดประสานกัน ทั้งนี้เนื่องจากชั้นจัดเก็บของระบบเมื่อเทียบเป็น Coordinate (x, y) บนระนาบ X Y จะได้พื้นที่ Coordinate ตั้งแต่ (1,1) จนถึง (4,7) และเนื่องจากจุดอ้างอิงในแกน X ของหุ่นยนต์ประเภท Cartesian robot ในสถานีถ่ายโอนสินค้าไม่ได้อยู่ในตำแหน่ง Origin (0,0) แต่กลับมีจุดอ้างอิงในแกน X ของหุ่นยนต์ประเภท Cartesian robot อยู่ระหว่าง Coordinate (1,2) และ(1,3) ดังนั้นเมื่อทำการสร้างสมการเพื่อคำนวณหาลำดับพื้นที่ในการจัดเก็บ ทำให้ระบบจึงมีจุดอ้างอิงในการคำนวณทั้งหมด 2 จุดด้วยกัน ในการคำนวณนี้ใช้การ Optimization พื้นที่เพื่อลำดับการเคลื่อนที่การจัดเก็บ ซึ่งแสดงสมการและตัวอย่างการคำนวณได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.18 แสดง Coordinate (x, y) ของชั้นจัดเก็บบนระนาบ X Y

สมการ Optimization พื้นที่

กำหนดให้ ชั้นคือ ROW

คอลัมน์ คือ COL

Coordinate (ROW,COL) = (dx’,dy’)

dx’ = ROW

dy’ = COL

HOME left (H) = (1,2)

HOME right (H’) = (1,3)

ds = (dx + dy) +1

dx = (||dx’| – (|H|or |H’| depend on Side of the area.)|)

dy = (||dy’| – (|H| or |H’| depend on Side of the area.)|)

จากรูปภาพที่ 3.9 และการนำสมการมาคำนวณทุกพื้นที่จะได้ลำดับในการจัดเก็บดังรูปภาพที่ 3.10

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ROW	Collumn						
	1	2	3	4	5	6	7
4	5	4	4	5	6	7	8
3	4	3	3	4	5	6	7
2	3	2	2	3	4	5	6
1	2	1 (H)	1(H')	2	3	4	5

รูปที่ 3.19 แสดงลำดับในการจัดเก็บ

รูปภาพที่ 3.20 แสดงลำดับในการจัดเก็บตั้งแต่ลำดับที่ 1 ถึงลำดับที่ 8 จะเห็นได้ว่ามีลำดับเดียวกันในหลายพื้นที่จัดเก็บ ดังนั้นเพื่อให้ระบบสามารถตัดสินใจเลือกพื้นที่จัดเก็บในลำดับก่อนหรือหลังจากการเปรียบเทียบ Coordinate (x, y) โดยลำดับในการจัดเก็บก่อน พิจารณาจากลำดับเดียวกันที่ค่าของแกน x มีค่ามากกว่าให้เลือกพื้นที่นั้นในการจัดเก็บก่อน และถ้าในลำดับเดียวกันที่แกน x มีค่าเท่ากัน ให้ดูค่าที่แกน y ที่มีค่าน้อยกว่าเพื่อทำการจัดเก็บ ซึ่งเป็นเงื่อนไขรองจากการจัดเก็บตามลำดับ

3.4 การออกแบบการควบคุมการทำงานผ่านแผงควบคุมเสมือนจริง

3.4.1 การออกแบบการควบคุมการทำงานผ่านแผงควบคุมเสมือนจริง

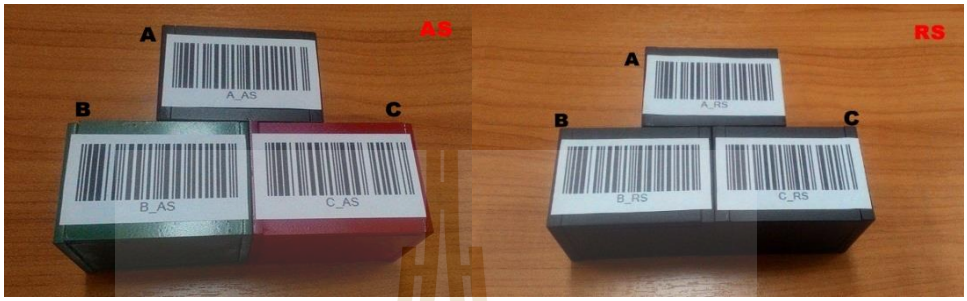
ในเบื้องต้นงานวิจัยนี้ออกแบบการควบคุมระบบการทำงานด้วยกัน 2 ชุด คือ ชุดคำสั่งสแกนรหัสแท่งบนสินค้า และชุดคำสั่งทำงานด้วยตนเอง (manual) ผ่านแผงควบคุมเสมือนจริง ซึ่งแผงควบคุมเสมือนจริงมีหน้าที่รับข้อมูลสินค้า แสดงสถานะของสินค้าและควบคุมการทำงานของระบบ โดยการใช้ซอฟแวร์ LabVIEW โมดูล NI Vision ของบริษัท National Instruments ร่วมกับ Arduino สำหรับการประมวลผลภาพที่มีความสามารถในการอ่านรหัสแท่ง สร้างสถานที่ตั้งของหน่วยความจำชั่วคราว การกำจัดของภาพ NI LabVIEW ในวิสัยทัศน์ คัดแยกระนาบเดี่ยวจากภาพสี และเชื่อมต่อสัญญาณระหว่าง LabVIEW กับระบบควบคุมการเคลื่อนที่อัตโนมัติ ทั้งนี้สามารถพิจารณาส่วนประกอบการทำงานและกระบวนการทั้ง 2 ชุดคำสั่งได้ดังนี้

- ส่วนประกอบของชุดคำสั่งสแกนสินค้า

ชุดคำสั่งสแกนสินค้า ประกอบด้วย 2 ส่วนด้วยกันคือ 1) ชุดคำสั่งในการนำเข้าสินค้าเพื่อทำการจัดเก็บ และ 2) ชุดคำสั่งนำออกสินค้าที่ต้องการค้นคืน ซึ่งมีส่วนประกอบของชุดคำสั่งสแกนสินค้าดังแสดงต่อไปนี้

- สินค้าในการจัดเก็บและค้นคืน

สำหรับงานวิจัยนี้ได้จำลองสินค้า 3 ประเภท ได้แก่ประเภท A B และC จากแผ่นพลาสติกแข็ง (Acrylic) ประกอบเป็นทรงลูกบาศก์ขนาด 4.5 x 6 x 4.5 cm เท่ากันทั้งสามประเภท โดยสินค้าจะติดรหัสแท่ง เพื่อกำกับประเภทและข้อมูลสินค้า ซึ่งแสดงรายละเอียดดังรูปภาพที่ 3.20 และรูปภาพที่ 3.21



รูปที่ 3.20 แสดงสินค้าสำหรับจัดเก็บ

รูปที่ 3.21 กล่องค้นคืน

จากรูปภาพที่ 3.21 ประกอบด้วยสินค้าจำลองสำหรับจัดเก็บ โดยมีอักษรภาษาอังกฤษกำกับประเภทของสินค้าตามด้วยเครื่องหมายวรรคตอนและอักษรย่อของการจัดเก็บ (Automated Storage, AS) รูปภาพที่ 3.22 ประกอบด้วยกล่องสำหรับค้นคืน โดยมีอักษรภาษาอังกฤษกำกับประเภทของสินค้าตามด้วยเครื่องหมายวรรคตอนและอักษรย่อของการค้นคืน (Retrieval System, RS)

- รหัสแท่งที่ใช้ในการสแกน

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้รหัสแท่งในการอ่านรหัสข้อมูล ซึ่งทำงานได้รวดเร็ว และช่วยลดความผิดพลาดในการคีย์ข้อมูลได้มากโดยไม่ต้องกดปุ่มที่แป้นพิมพ์ ทำให้รหัสแท่งมีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรม การค้าขาย และการบริการ ที่ต้องการบริหารจัดการข้อมูลจากฐานข้อมูลในคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการจัดเก็บ แสดงผล ตรวจสอบ และประมวลผลในด้านอื่นๆ สำหรับชนิดรหัสแท่งที่เลือกใช้กับระบบคือชนิด EAN 13 เป็นรหัสแท่งแบบ EAN ที่เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ขนาดเล็กที่ได้รับการยอมรับ โดยรหัสแท่งประเภทนี้จะมีลักษณะเฉพาะของชุดตัวเลขจำนวน 13 หลัก ซึ่งมีความหมายดังนี้ 3 หลักแรก คือรหัสของประเทศที่กำหนดขึ้นมาเพื่อให้ผู้ผลิตได้ทำการลงทะเบียนได้ทำการผลิตจากประเทศไหน 4 หลักถัดมา คือรหัสโรงงานที่ผลิต 5 หลักถัดมา คือรหัสของสินค้า หลักสุดท้ายเป็นตัวเลขตรวจสอบความถูกต้องของรหัสแท่ง (Check digit) ซึ่งเมื่อนำลักษณะเฉพาะนี้มาประยุกต์กับรหัสแท่งของระบบจะได้รูปแบบรหัสแท่งสำหรับระบบดังในรูปภาพที่ 3.22

รูปที่ 3.22 แสดงชุดรหัสแท่งของสินค้า A B และ C

จากรูปแบบรหัสแท่งที่ได้ จะเห็นว่าตัวเลขหลักสุดท้ายของรหัสแท่งแต่ละชุดไม่เหมือนกัน ทั้งนี้เนื่องจากในรหัสแท่งแต่ละชุดนั้นจะมีการตรวจสอบความถูกต้องจากเลขหลักสุดท้าย โดยสามารถคำนวณได้จากหลักการการตรวจสอบของหน่วยงาน ISBN (International Standard Book Number) นำมาใช้ในการอธิบายวิธีการคำนวณการตรวจสอบเลข 13 หลัก เรียกการตรวจสอบนี้ว่า ISBN-13 check digit โดยใช้เลขคณิตศาสตร์ modular arithmetic สามารถแสดงสมการและตัวอย่างการคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$(X1 + 3X2 + X3 + 3X4 + X5 + 3X6 + X7 + 3X8 + X9 + 3X10 + X11 + 3X12 + X13) \equiv 0 \pmod{10}$$ สมการที่ 1

$$r = (10 - (X1 + 3X2 + X3 + 3X4 + \ldots + X11 + 3X12 + X13) \bmod 10)$$ สมการที่ 2

โดยที่ $X13 = r; r < 10$

$0; r = 10$

จากสมการที่ 1 และ 2 คือสมการคำนวณแบบโมดูโล 10 เป็นการคำนวณของ ISBN-13 การตรวจสอบหลัก เริ่มต้นด้วยตัวเลข 12 หลักแรกของ ISBN-13 ซึ่งนอกจากการตรวจสอบหลักของตัวเองแต่ละหลักจากซ้ายไปขวาคูณสลับกันโดย 1 หรือ 3 แล้วผลิตภัณฑ์เหล่านั้นจะสรุปแบบโมดูโล 10 ที่จะให้ค่าตั้งแต่ 0 ถึง 9 หักออกจาก 10 ผลจะอยู่ตั้งแต่ 1 ถึง 10 โดยศูนย์ (0) แทนที่สิบ (10) ดังนั้นในทุกกรณีตรวจสอบผลหลักเดียวโดยมีค่าน้ำหนักสำหรับ EAN -13 ดังนี้

ตารางที่ 3.3 แสดงชุดน้ำหนักตรวจสอบหลัก

position	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
weight	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3

หมายเหตุ จากสำนักหอสมุดแห่งชาติ. (2551). ISBN เลขมาตรฐานประจำหนังสือ. พิมพ์ครั้งที่ 1.: สำนักหอสมุดแห่งชาติ

จากหลักการและสมการการคำนวณข้างต้น นอกจากทางผู้วิจัยจะได้นำมาใช้ในการสร้างชุดรหัสแท่งสำหรับระบบแล้ว ยังได้นำมาใช้ในการพิจารณาสัญญาณในการสั่งงานของระบบเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของสัญญาณที่รับเข้ามาจากการสแกน โดยใช้ซอฟท์แวร์ LabVIEW สร้างชุดคำนวณเพื่อตรวจสอบสัญญาณดังกล่าว

- กล้องสำหรับสแกนสินค้า

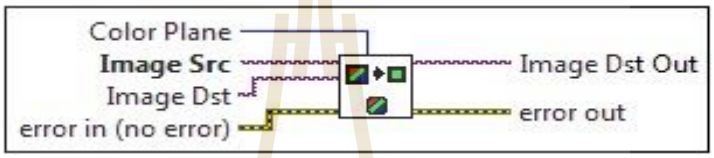
ในการสแกนสินค้าบนสินค้าที่มีรูปร่างไม่ซับซ้อน และมีการควบคุมปัจจัยภายนอกจากแสง การนำกล้อง PRO-SERIES SIGNO รุ่นWC-208 ที่มีความละเอียดถึง 16 ล้านพิกเซล ชิปหน่วยความจำ CMOS มาใช้ในงาน จึงเพียงพอเนื่องจากความละเอียดสูง มี Infrared function สำหรับการตรวจจับวัตถุที่ขวางกั้นด้วยแสงอินฟาเรด โดยใช้หลักการส่งคลื่นแสงไปกระทบกบวัตถุและตรวจจับการสะท้อนกลับของแสง สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วย Universal Serial Bus (USB) ซึ่งสะดวกในการใช้งาน

รูปที่ 3.23 กล้อง PRO-SERIES SIGNO รุ่นWC-208

- ซอฟท์แวร์ประมวลผลภาพ

ซอฟท์แวร์ LabVIEW โมดูล NI Vision ที่ใช้ในการสแกนสินค้า ซึ่งมีตั้งใหม่การทำงานที่สามารถอ่านรหัสแท่ง 1 มิติ ได้หลากหลายชนิดขึ้นอยู่กับผู้ใช้ การจองหน่วยความจำชั่วคราวขณะสแกน การคัดแยกระนาบเดี่ยวจากภาพสี เหล่านี้ทำให้การประมวลผลภาพที่เข้ามาสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น โดยมีตั้งใหม่ของซอฟท์แวร์ที่สาคัญสำหรับการประมวลผลดังนี้

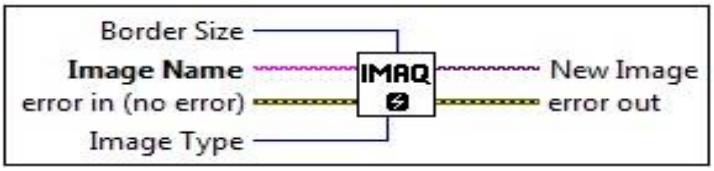
- IMAQ Extract Single Color Plane เป็นตั้งใหม่สำหรับคัดแยกระนาบเดี่ยวจากภาพสี สำหรับแยกระนาบภาพที่จะพิจารณาโดยมีสัญลักษณ์และการกำหนดค่าให้กับตั้งใหม่ดังในรูปภาพที่ 3.25



รูปที่ 3.24 แสดงชุด IMAQ Extract Single Color Plane

- Color Plane กำหนดระนาบที่จะคัดแยก โดยเลือกจากค่าต่อไปนี้
  - Red (0) คัดแยกระนาบสีแดง
  - Green (1) คัดแยกระนาบสีเขียว
  - Blue (2) คัดแยกระนาบสีฟ้า
  - Hue (3) คัดแยกระนาบในวงจรสี
  - Saturation (4) คัดแยกระนาบความอิ่มตัวของสี
  - Luminance (5) คัดแยกระนาบความสว่าง
  - Value (6) คัดแยกระนาบค่าของสี
  - Intensity (7) คัดแยกระนาบความเข้ม
- Image Src คือการอ้างอิงถึงภาพสีที่คัดแยกแล้ว
- Image Dst คือการอ้างอิงภาพปลายทาง
- Image Dst Out คือ ทางออกของภาพปลายทาง ถ้า Image Dst ถูกเชื่อมต่อแล้ว Image Dst Out เหมือนกับImage Dst ดังนั้น Image Dst Out หมายถึงภาพถูกอ้างอิงโดย Image Src

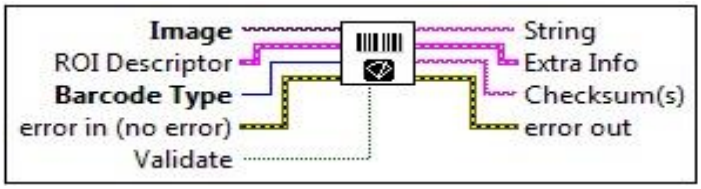
- IMAQ Create เป็นตั้งใหม่สำหรับการจองพื้นที่หน่วยความจำชั่วคราวสาหรับเก็บภาพในโปรแกรม LabVIEW โดยมีสัญลักษณ์และการกำหนดค่าให้กับตั้งใหม่ดังในรูปภาพที่ 3.26



รูปที่ 3.25 สแดงตั้งใหม่ IMAQ Create

- Border size กำหนดขนาดความกว้างของขอบรูปภาพในหน่วยพิกเซล แต่จะนำมาวิเคราะห์เฉพาะเมื่อมีการประมวลผล ไม่แสดงผลหรือเก็บข้อมูล
- Image Name กำหนดชื่อให้ตำแหน่งที่จะทำการจองเพื่อรับภาพ และในแต่ละภาพจะต้องมีชื่อไม่ซ้ำกัน หากตั้งชื่อซ้ำกันโปรแกรมจะอ่านข้อมูลสุดท้ายของภาพที่โปรแกรมทำงานแล้วส่งไปแทนที่ยังภาพที่ได้ตั้งชื่อซ้ำกันไว้
- Image Type ระบุประเภทของรูปภาพ มีทั้งหมด 7 ประเภท โดยการกำหนดค่าเป็นตัวเลข 0 - 6 ดังนี้
  - 0 ระดับสีเทา(Grayscale) ขนาด 8 บิตต่อพิกเซล
  - 1 ระดับสีเทา(Grayscale) ขนาด 16 บิตต่อพิกเซล
  - 2 ระดับสีเทา(Grayscale) ขนาด 32 บิตต่อพิกเซล
  - 3 Complex ขนาด 2 x 32 บิตต่อพิกเซล
  - 4 RGB (ระดับสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน) ขนาด 32 บิตต่อพิกเซล
  - 5 HSL (ระดับสี ความเข้มและความสว่างของสี) 32 บิตต่อพิกเซล
  - 6 RGB (ระดับสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน) ขนาด 64 บิตต่อพิกเซล

- IMAQ Read Barcode สำหรับอ่านรหัสแท่งชนิด 1D ทั่วไป รวมถึง Code 39, Code 93 Code 128 EAN 8 EAN 13 Interleaved 2 ของ 5 MSI UPCA Pharmacode และ RSS โดยมีสัญลักษณ์และการกำหนดค่าให้กับตั้งใหม่ดังในรูปภาพที่ 3.26



รูปที่ 3.26 แสดงตั้งใหม่ IMAQ Read Barcode

- Image คือภาพที่มีการอ้างอิงถึงแหล่งที่มาของภาพ
- ROI Descriptor คือตัวบ่งบอกลักษณะที่กำหนดพื้นที่ตั้งอยู่ของรหัสที่สนใจ ต้องเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีการหมุน 0 องศา ถ้าให้ ROI descriptor ยังว่างอยู่หรือไม่ได้เชื่อมต่อ ภาพทั้งหมดจะถือว่าเป็นขอบเขต
- Barcode Type คือ ชนิดของรหัสแท่งที่จะอ่าน
  - Codabar (1) อ่านรหัสแท่ง Codabar
  - Code 39 (2) อ่านรหัสแท่ง Code 39
  - Code 93 (3) อ่านรหัสแท่ง Code 93
  - Code 128 (4) อ่านรหัสแท่ง Code 128
  - EAN 8 (5) อ่านรหัสแท่ง EAN 8
  - EAN 13 (6) อ่านรหัสแท่ง EAN 13
  - Interleaved 2 ของ 5 (7) อ่านรหัสแท่ง Interleaved 2 or 5
  - MSI (8) อ่านรหัสแท่ง MSI
  - UPCA (9) อ่านรหัสแท่ง UPCA
  - Pharmacode (10) อ่านรหัสแท่ง Pharmacode
  - RSS Limited (11) อ่านรหัสแท่ง RSS Limited
- String คือรหัสแท่งที่ถูกถอดรหัสแล้ว
- Extra Info คือคลัสเตอร์ที่ส่งกลับข้อมูลเกี่ยวกับการอ่านรหัสแท่ง
- Checksum คือข้อมูลแก้ไขข้อผิดพลาด ถูกแพิ่มในข้อมูลถอดรหัสเพื่อตรวจสอบข้อมูลถอดรหัส ไม่ต้องป้อนข้อมูล ไม่กลับมาในสตริงเอาท์พุท

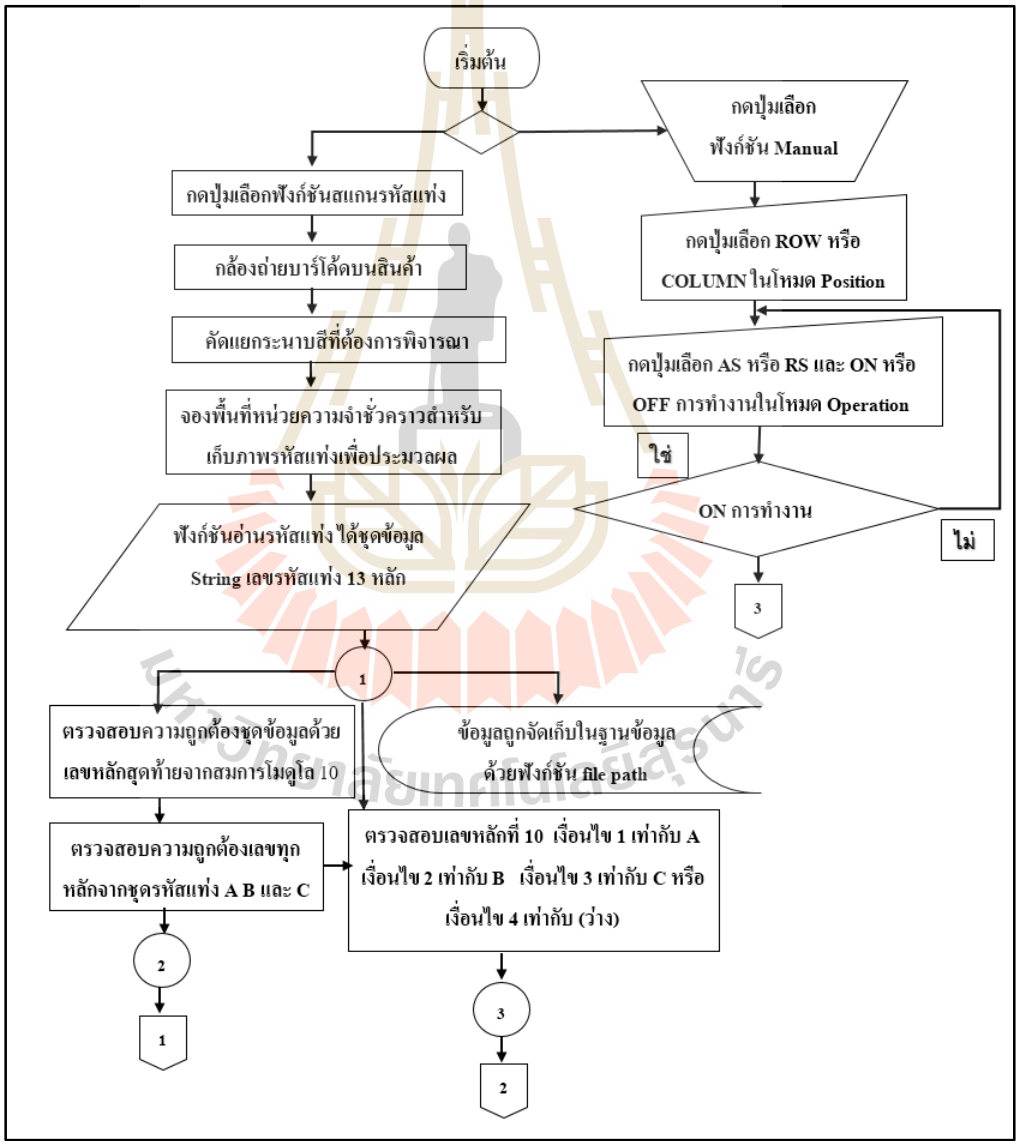
- ส่วนประกอบของชุดคำสั่งด้วยตนเอง (Manual)

ชุดคำสั่งด้วยตนเอง (Manual) ประกอบด้วย 2 ส่วนด้วยกันคือ 1) ตำแหน่งในการจัดเก็บและค้นคืน และ 2) ดำเนินการจัดเก็บและค้นคืน ซึ่งในส่วนตำแหน่งมีตัวเลือกสอดคล้องกับช่องจัดเก็บที่มีขนาด 4 x 7 โดยมีปุ่มสำหรับเลือกชั้นและปุ่มสำหรับเลือกคอลัมน์ สำหรับในส่วนของการ

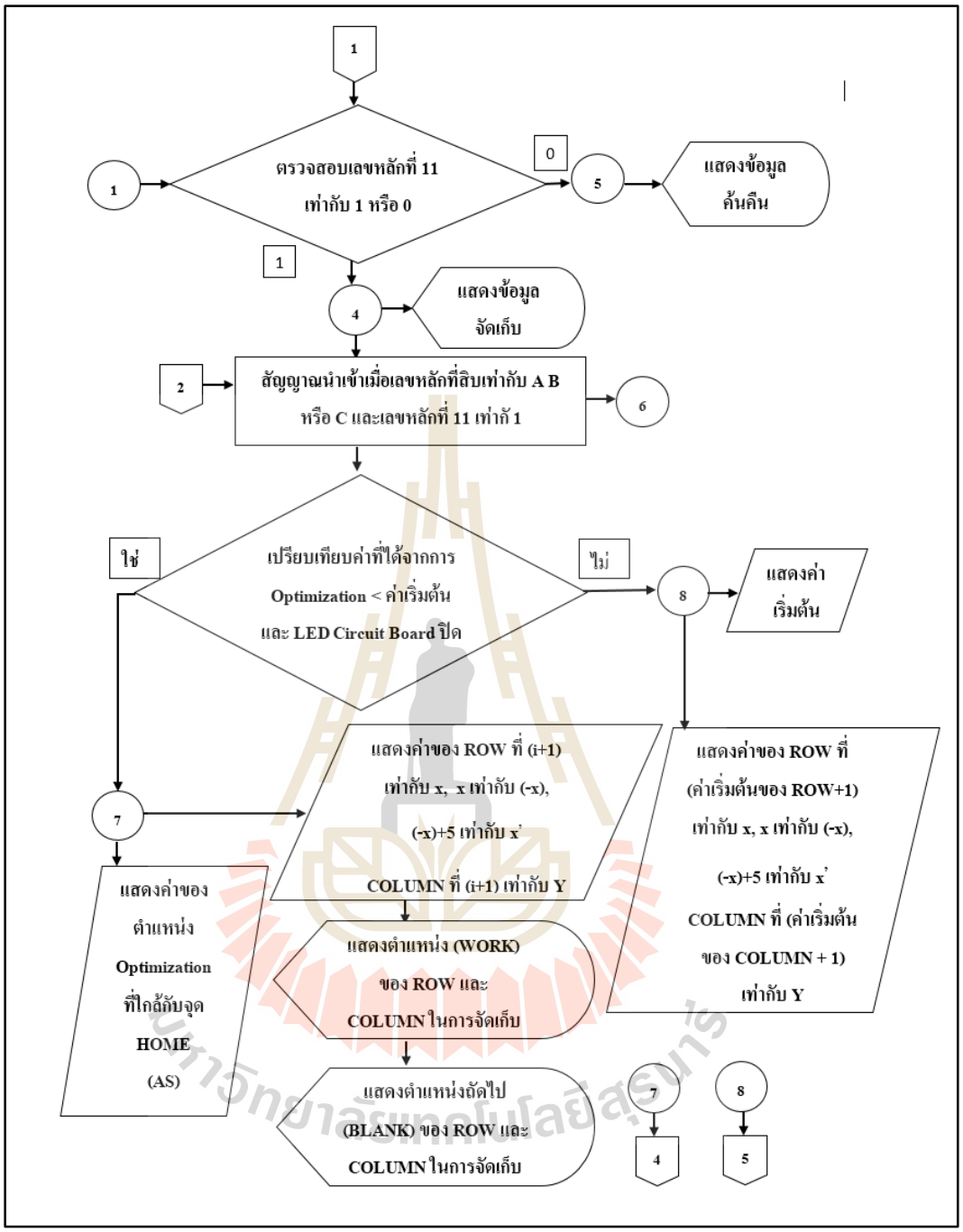
ดำเนินการมีปุ่มสำหรับเลือกจัดเก็บหรือค้นคืนสินค้า รวมถึงปุ่มเริ่มต้นการทำงาน ON และเมื่อระบบต้นแบบทำงานเสร็จ ผู้ใช้ตั้งใหม่ที่ปุ่มเริ่มต้นการทำงานจากสถานะ ON เป็น OFF เพื่อเริ่มต้นการทำงานใหม่อีกครั้ง

3.4.2 แผนผังการทำงานผ่านแผงควบคุมเสมือนจริง

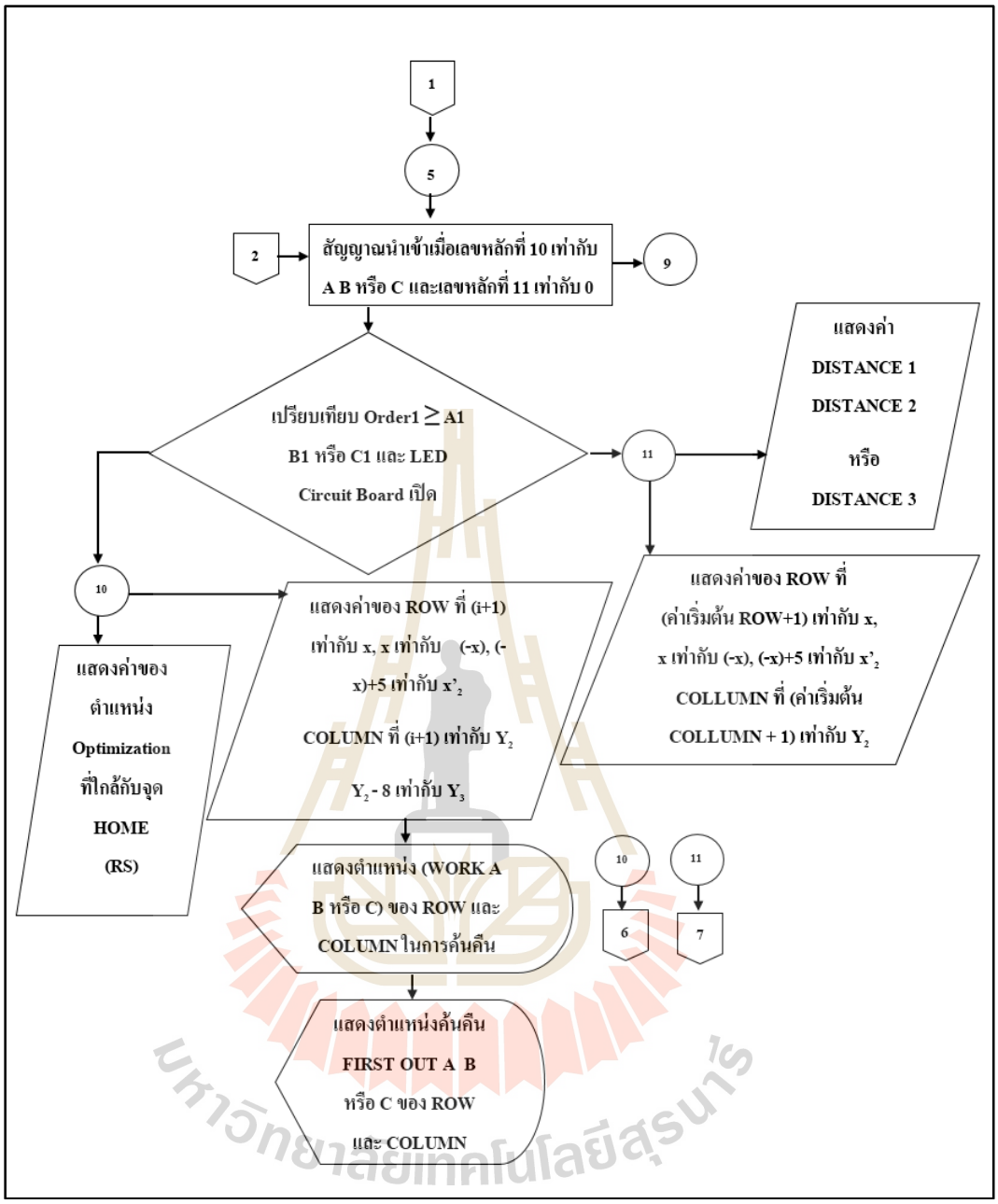
แผนผังการทำงานผ่านแผงควบคุมเสมือนจริงมีแผนผังกระบวนการทำงานดังแสดงในรูปภาพที่ 3.27



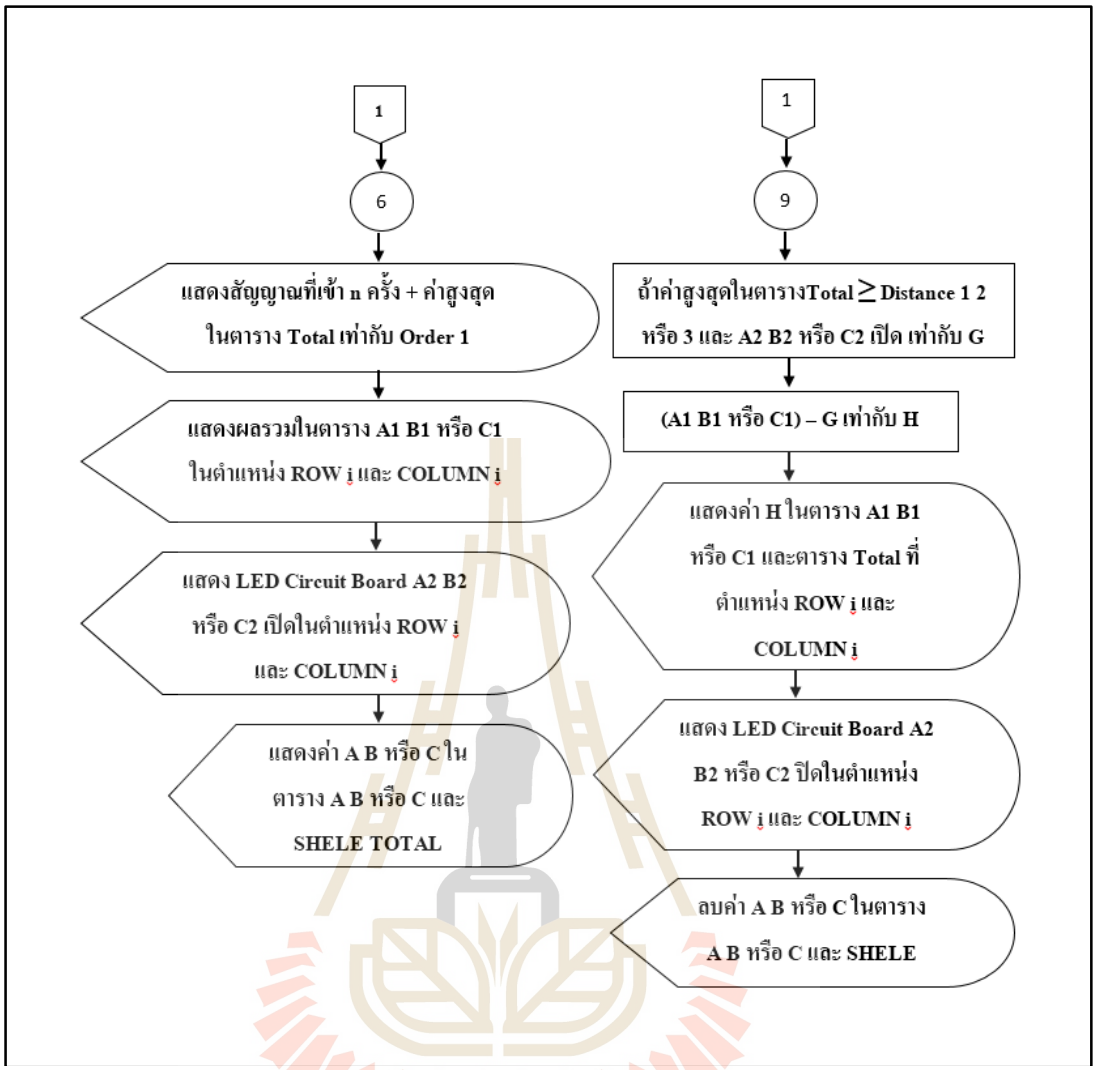
รูปที่ 3.27 แสดงแผนผังกระบวนการทำงานผ่านแผงควบคุมเสมือนจริง



รูปที่ 3.28 แสดงแผนผังกระบวนการทำงานผ่านแผงควบคุมเสมือนจริง (ต่อ)

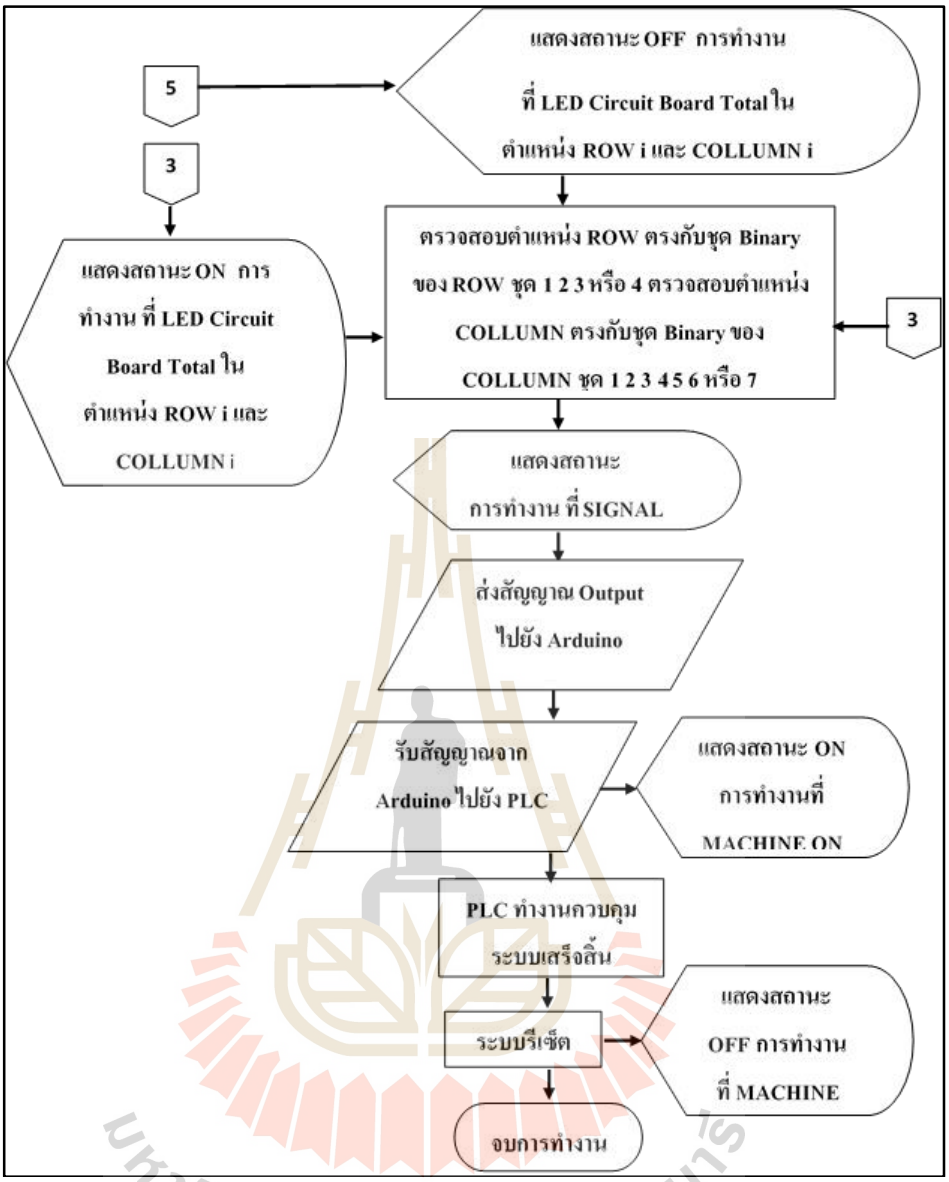


รูปที่ 3.29 แสดงแผนผังกระบวนการทำงานผ่านแผงควบคุมเสมือนจริง (ต่อ)



รูปที่ 3.30 แสดงแผนผังกระบวนการทำงานผ่านแผงควบคุมเสมือนจริง (ต่อ)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

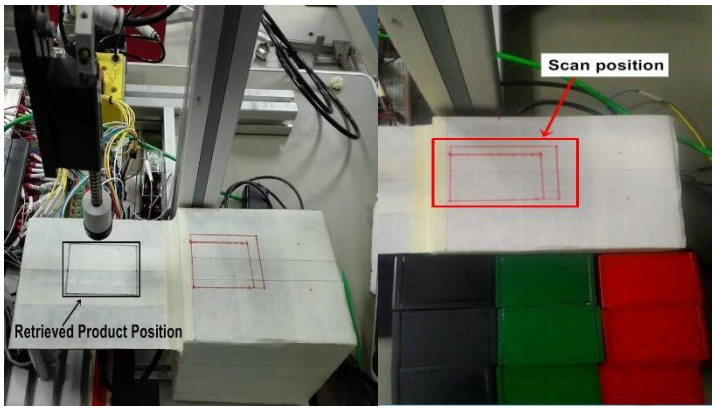


รูปที่ 3.31 แสดงแผนผังกระบวนการทำงานผ่านแผงควบคุมเสมือนจริง (ต่อ)

3.5 การออกแบบกระบวนการตรวจสอบระบบต้นแบบอัตโนมัติ

3.5.1 การตรวจสอบการจัดสภาพแวดล้อมสำหรับสแกนสินค้า

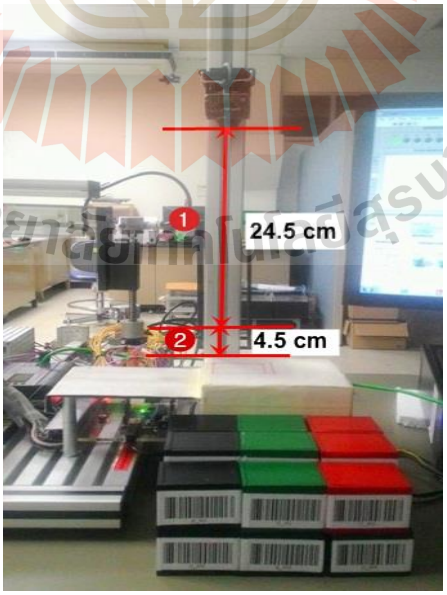
ในส่วนของการสแกนสินค้า การจัดสภาพแวดล้อม (scene constraint) ถือว่าเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อลดความซับซ้อนในการประมวลผลให้มากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถของการมองเห็นและรับรู้ของอุปกรณ์ประมวลผลมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นในการสแกนสินค้าหรือรับสินค้าจึงถูกจัดให้วางตัวในทิศทางเดียวกันโดยมีขอบเขตการวางสินค้าไว้อย่างชัดเจน มีลักษณะเป็นกรอบสีแดงและสีดำขนาดความกว้างและยาวเท่ากับขนาดของสินค้า ดังรูปภาพที่ 3.32



ก) ข)

รูปที่ 3.32 ก) แสดงตำแหน่งการวางสินค้าสำหรับสแกน
ข) แสดงตำแหน่งสินค้าค้นคืน

นอกจากแนวการวางตัวแล้วระยะห่างระหว่างกล้องหรือเลนส์ถึงวัตถุและทิศทางของกล้องได้ถูกกำหนดไว้ตายตัว เพื่อให้การวัดขนาดรหัสแท่ง ไม่ผิดเพี้ยนหรือออกนอกกรอบค่า ROI ที่กำหนด โดยควบคุมระยะโฟกัสคงที่ซึ่งเป็นระยะห่างระหว่างเลนกล้องถึงสินค้าของระบบถูกเซ็ตไว้ที่ 24.5 cm ซึ่งเป็นระยะที่มีความเหมาะสมมากที่สุด ดังรูปภาพที่ 3.33 หมายเลข 1 แสดงความสูงของเลนกล้องถึงสินค้า หมายเลข 2 แสดงความสูงของสินค้า



รูปที่ 3.33 แสดงระยะระหว่างเลนกล้องถึงสินค้าที่เหมาะสมในการสแกน

3.5.2 การตรวจสอบการจับเวลาทำงานระบบการเคลื่อนที่อัตโนมัติ

เนื่องจากการทำงานของระบบควบคุมการเคลื่อนที่อัตโนมัติ แบ่งออกเป็น 2 สถานีงาน คือสถานีหยิบและวางสินค้า และสถานีถ่ายโอนสินค้า ซึ่งเวลาการทำงานของระบบเลือกจับเวลาเป็นแบบต่อเนื่อง (Continuous Timing) เป็นการจับเวลาโดยไม่มีการหยุดนาฬิกา โดยบันทึกเวลา ณ จุดสิ้นสุดแต่ละ สถานีนั้นๆ ตรงกับเวลาในนาฬิกาค่าใด ซึ่งเวลาของแต่ละสถานีนั้น คำนวณโดยการนำค่าเวลาของสถานีปัจจุบันลบด้วยค่าเวลาของสถานีก่อนหน้า จะได้เวลาจริงของสถานีปัจจุบัน ทั้งนี้ในการจับเวลาจะแบ่งจับเวลาการเคลื่อนที่จัดเก็บและค้นคืนสินค้าจากจุดเริ่มต้นการทำงานของสถานีหยิบสินค้าสิ้นสุดที่แต่ละ Coordinate ตั้งแต่ Coordinate ที่ (1,1) จนถึง Coordinate ที่ (4,7) ซึ่งจะได้ทั้งเวลาการทำงานของแต่ละสถานี และเวลารวมการทำงานของระบบควบคุมการเคลื่อนที่อัตโนมัติ ในการเก็บข้อมูลนี้เป็นการทดสอบระยะเวลาการทำงานของแต่ละสถานีที่มีการเคลื่อนที่ไปพร้อมกับภาระหนักที่เป็นสินค้า โดยการทำงานจัดเก็บหรือค้นคืนแบบต่อเนื่องตามลำดับการ Optimization และ FIFO จนกระทั่งสินค้าเต็มหรือหมดจากชั้นจัดเก็บ ทั้งนี้ได้กำหนดหุ่นยนต์ประเภท Cartesian Robot เคลื่อนที่ปรับเทียบจุดอ้างอิงในแกน x ก่อนการเริ่มต้นการทำงานของระบบควบคุมการเคลื่อนที่อัตโนมัติ

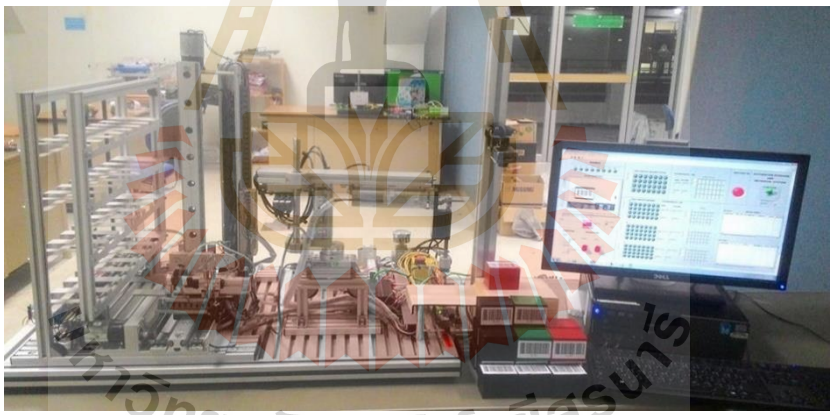
3.5.3 การตรวจสอบลำดับกับเวลาทำงานระบบการเคลื่อนที่อัตโนมัติ

จากรูปแบบการจัดเก็บสินค้าที่ไม่ได้กำหนดตำแหน่งตายตัว (Random Location System) ทำให้สินค้าแต่ละชนิดสามารถถูกจัดเก็บไว้ในพื้นที่ว่างใดก็ได้ในชั้นจัดเก็บ และเมื่อพิจารณาถึงข้อจำกัดการทำงานของหุ่นยนต์ประเภท Cartesian robot ในสถานีถ่ายโอนสินค้าที่มีการเคลื่อนที่ปรับเทียบจุดอ้างอิงเสมอ ทำให้การจัดเก็บสินค้าในพื้นที่ว่างที่ใกล้กับจุดอ้างอิงก่อนเป็นการลดเวลาในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ดังนั้นเมื่อทำการ Optimization พื้นที่ในการจัดเก็บกับจุดอ้างอิงในแกน X ของหุ่นยนต์ จะได้ลำดับในการจัดเก็บสินค้าทั้งหมด 8 ลำดับ เพื่อตรวจสอบว่าลำดับจากการ Optimization พื้นที่มีความสอดคล้องกับเวลาที่ได้จากการทดสอบระบบการเคลื่อนที่อัตโนมัติ และสามารถประเมินเวลาในการจัดเก็บสินค้าแต่ละลำดับได้ รวมถึงเวลาค้นคืนสินค้าในรูปแบบ FIFO

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะนำเสนอผลการดำเนินงานออกแบบและสร้างต้นแบบระบบจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติ ดังแสดงในรูปภาพที่ 4.1 โดยแสดงผลการควบคุมการทำงานออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) การควบคุมการเคลื่อนที่อัตโนมัติ และ 2) การควบคุมการทำงานผ่านแผงควบคุมเสมือนจริง รวมถึงแสดงผลการดำเนินงานซ่อมแซมและปรับปรุงโครงสร้างเดิมของระบบอัตโนมัติ โดยการเปรียบเทียบจากภาพก่อนและหลังซ่อมแซม ทั้งนี้มีการทดสอบผลในแต่ละส่วนให้มีความพร้อมสมบูรณ์ก่อนทำงานร่วมกัน เพื่อให้การทำงานของระบบต้นแบบราบรื่นและใช้เวลารวมในการดำเนินงานจัดเก็บและค้นคืนน้อยที่สุด

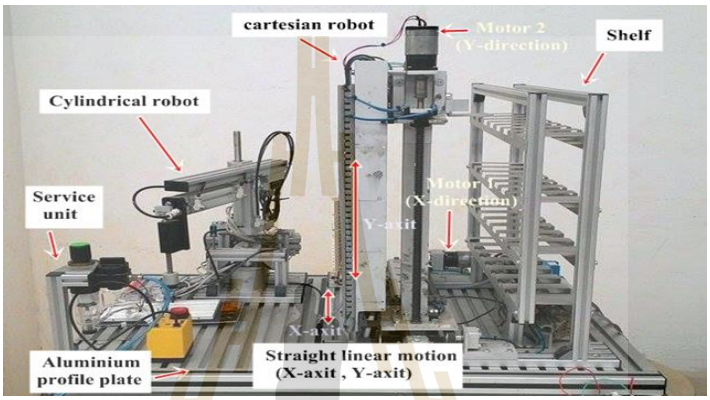


รูปที่ 4.1 แสดงระบบจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติ

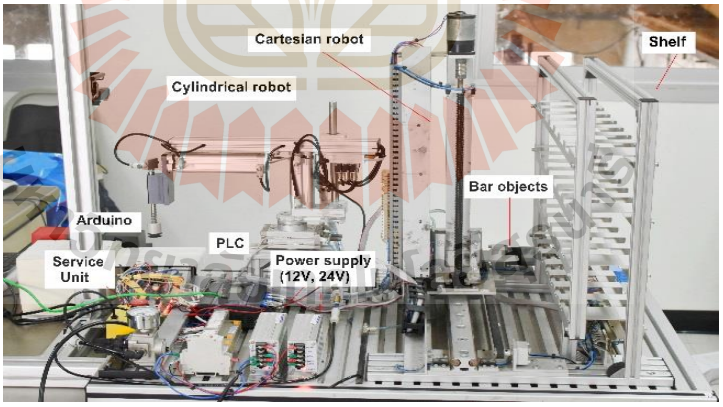
4.2 ผลการซ่อมแซมและปรับปรุงโครงสร้างเดิมของระบบอัตโนมัติ

ในการสร้างต้นแบบ ผู้วิจัยได้นำโครงสร้างของระบบเดิมในห้องปฏิบัติการ Computer Integrated Manufacturing (CIM) ศูนย์เครื่องมือ 5 ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่มีสภาพชำรุดไม่สามารถใช้งานได้ นำมาซ่อมแซม ปรับปรุง เพิ่มเติมอุปกรณ์จ่ายไฟขนาด 24 แรงดัน สำหรับควบคุมความเร็วของหุ่นยนต์ประเภท Cartesian robot อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ PLC ชุดปรับปรุงคุณภาพลม ตัวรับรู้ เปลี่ยนสายไฟเชื่อมต่อต่างๆที่เสื่อมสภาพเสี่ยงต่อการลัดวงจร

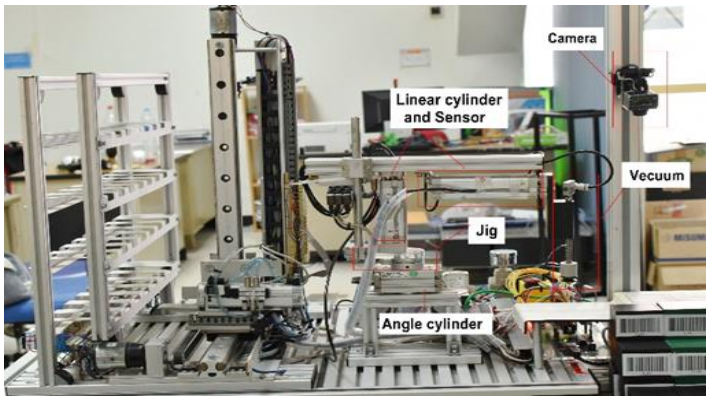
กระบอกสูบทำงานในแนวหมุน (Rotary Cylinder) สำหรับควบคุมทิศทางการหมุนของหุ่นยนต์ประเภท Cylindrical robot ออกแบบ Jig สำหรับยึดระหว่างชุดแขนจับสินค้ากับฐานแทนที่การใช้มอเตอร์ควบคุมทิศทางการหมุน และAduino Board สำหรับเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างหน้าจอส่วนต่อประสานกับผู้ใช้กับระบบการเคลื่อนที่อัตโนมัติ ทั้งนี้อุปกรณ์ทั้งหมดอยู่บนฐาน Aluminum profile plate ขนาด 800 x 550 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปภาพที่ 4.2 ระบบการเคลื่อนที่อัตโนมัติก่อนซ่อมแซม และรูปภาพที่ 4.3 และ 4.4 ระบบการเคลื่อนที่อัตโนมัติหลังซ่อมแซม



รูปที่ 4.2 แสดงระบบการเคลื่อนที่อัตโนมัติก่อนซ่อมแซม



รูปที่ 4.3 ระบบการเคลื่อนที่อัตโนมัติหลังซ่อมแซม (ด้านหลัง)



รูปที่ 4.4 ระบบการเคลื่อนที่อัตโนมัติหลังซ่อมแซม (ด้านหน้า)

4.3 ผลการทำงานในกระบวนการเคลื่อนที่ของระบบอัตโนมัติ

4.3.1 ผลการตรวจสอบการจับเวลาทำงานระบบการเคลื่อนที่อัตโนมัติ

การทำงานของกระบวนการเคลื่อนที่อัติโนมัติ ประกอบด้วยการทำงานของหุ่นยนต์ประเภท Cylindrical Robot ที่สถานีหยิบและวางสินค้า มีหน้าที่ในการขนย้ายสินค้าระหว่างสถานีสแกนสินค้ากับสถานีถ่ายโอนสินค้า และหุ่นยนต์ประเภท Cartesian Robot ที่สถานีถ่ายโอนสินค้า มีหน้าที่ถ่ายโอนสินค้าระหว่างชั้นจัดเก็บแต่ละ Coordinate กับสถานีสถานีหยิบและวางสินค้า โดยงานวิจัยนี้จะจับเวลาการทำงานของหุ่นยนต์ รวมเวลาขณะที่มีภาระหนักและไม่มีภาระหนัก เป็นการจับเวลาขนย้ายสินค้าแบบต่อเนื่อง (Continuous Timing) ด้วยการจับเวลาไม่มีการหยุดนาฬิกา ซึ่งเวลาที่ได้นี้เป็นเวลาต่อเนื่องจากสถานีก่อนหน้านี้คือ สถานีสแกนสินค้า ทั้งนี้จะจับเวลาการทำงานของหุ่นยนต์ดังกล่าวที่การทำงาน 1 รอบ ทำการจัดเก็บสินค้า 28 ชิ้น และค้นคืนสินค้า 28 ชิ้น ทุก Coordinate ตั้งแต่ Coordinate ที่ (1,1) จนถึง Coordinate ที่ (4,7) ทำการทดสอบจำนวน 2 รอบการทำงาน ได้ผลการทดลอบดังตารางที่ 4.1 ตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.1 แสดงเวลาการทำงานในกระบวนเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ประเภท Cylindrical Robot

ชุดคำสั่ง	ขั้นตอน	เวลาเฉลี่ย (วินาที)
จัดเก็บสินค้า	อยู่ในตำแหน่งเริ่มต้น หยิบสินค้าจากสถานีสแกนสินค้าไปวางยังสถานีถ่ายโอนสินค้าและกลับมายังตำแหน่งเริ่มต้น	28.34
ค้นคืนสินค้า	อยู่ในตำแหน่งเริ่มต้น หยิบสินค้าจากสถานีถ่ายโอนสินค้ามาวางยังสถานีสแกนสินค้าและกลับมายังตำแหน่งเริ่มต้น	19.81

จากผลการทดสอบจะได้เวลาการทำงานในกระบวนการเคลื่อนที่ของ หุ่นยนต์ประเภท Cylindrical Robot ในการจัดเก็บสินค้าที่เวลาเฉลี่ย 28.34 วินาทีต่อ 1 รอบ และค้นคืนสินค้าที่เวลาเฉลี่ย 19.81 วินาทีต่อ 1 รอบ

ตารางที่ 4.2 แสดงเวลาการทำงานในกระบวนเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ประเภท Cartesian Robot

ลำดับ	Coordinate	ชุดคำสั่ง		ลำดับ	Coordinate	ชุดคำสั่ง	
		จัดเก็บเวลาเฉลี่ย (วินาที)	ค้นคืนเวลาเฉลี่ย (วินาที)			จัดเก็บเวลาเฉลี่ย (วินาที)	ค้นคืนเวลาเฉลี่ย (วินาที)
1	1,1	17.39	20.47	15	3,1	49.77	52.33
2	1,2	17.19	20.11	16	3,2	49.50	52.22
3	1,3	17.99	20.86	17	3,3	50.65	53.10
4	1,4	19.99	22.79	18	3,4	51.96	54.99
5	1,5	21.68	23.90	19	3,5	54.13	56.70
6	1,6	23.35	26.66	20	3,6	56.13	58.25
7	1,7	25.44	28.54	21	3,7	58.00	60.73
8	2,1	33.15	36.16	22	4,1	65.51	68.03
9	2,2	33.30	36.13	23	4,2	65.53	67.94
10	2,3	33.81	36.53	24	4,3	66.60	68.54
11	2,4	36.28	38.55	25	4,4	67.91	70.49
12	2,5	38.15	40.36	26	4,5	70.18	72.34
13	2,6	40.11	42.74	27	4,6	71.77	74.25
14	2,7	41.88	44.42	28	4,7	73.77	76.45

จากผลการทดสอบจะได้เวลาการทำงานในกระบวนการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ประเภท Cartesian Robot ในการจัดเก็บสินค้าตั้งแต่ Coordinate ที่ (1,1) จนถึง Coordinate ที่ (4,7) ที่เวลาเฉลี่ยน้อยที่สุดอยู่ที่ Coordinate ที่ (1,2) เวลาเฉลี่ย 17.19 วินาทีต่อ 1 รอบ และการค้นคืนสินค้าที่เวลาเฉลี่ยน้อยที่สุดอยู่ที่ Coordinate ที่ (1,2) เวลาเฉลี่ย 20.11 วินาทีต่อ 1 รอบ

ตารางที่ 4.3 แสดงเวลาการทำงานในกระบวนการเคลื่อนที่ของระบบอัตโนมัติ

ลำดับ	Coordinate	คำสั่ง		ลำดับ	Coordinate	คำสั่ง	
		จัดเก็บ เวลา เฉลี่ย (วินาที)	ค้นคืน เวลา เฉลี่ย (วินาที)			จัดเก็บ เวลา เฉลี่ย (วินาที)	ค้นคืน เวลา เฉลี่ย (วินาที)
1	1,1	45.73	40.28	15	3,1	78.11	72.14
2	1,2	45.53	39.92	16	3,2	77.84	72.03
3	1,3	46.33	40.67	17	3,3	78.99	72.91
4	1,4	48.33	42.6	18	3,4	80.3	74.8
5	1,5	50.02	43.71	19	3,5	82.47	76.51
6	1,6	51.69	46.47	20	3,6	84.47	78.06
7	1,7	53.78	48.35	21	3,7	86.34	80.54
8	2,1	61.49	55.97	22	4,1	93.85	87.84
9	2,2	61.64	55.94	23	4,2	93.87	87.75
10	2,3	62.15	56.34	24	4,3	94.94	88.35
11	2,4	64.62	58.36	25	4,4	96.25	90.3
12	2,5	66.49	60.17	26	4,5	98.52	92.15
13	2,6	68.45	62.55	27	4,6	100.11	94.06
14	2,7	70.22	64.23	28	4,7	102.11	96.26

จากผลการทดสอบจะได้เวลาการทำงานในกระบวนการเคลื่อนที่ของระบบอัติโนมัติ ในการจัดเก็บสินค้าตั้งแต่ Coordinate ที่ (1,1) จนถึง Coordinate ที่ (4,7) ที่เวลาเฉลี่ยน้อยที่สุดอยู่ที่ Coordinate ที่ (1,2) เวลาเฉลี่ย 45.53 วินาที่ต่อ 1 รอบ และการค้นคืนสินค้าที่เวลาเฉลี่ยน้อยที่สุดอยู่ที่ Coordinate ที่ (1,2) เวลาเฉลี่ย 39.92 วินาที่ต่อ 1 รอบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.4 ผลการทำงานของระบบควบคุมการทำงานผ่านแผงควบคุมเสมือนจริง

เนื่องจากระบบต้นแบบควบคุมการทำงานผ่านแผงควบคุมเสมือนจริงโดยโปรแกรม LabVIEW ดังนั้นการคำนึงถึงค่าพารามิเตอร์ ส่งผลให้การประมวลและการควบคุมระบบเป็นไปอย่างราบเรียบ ในระบบนี้การทำงานของระบบควบคุมการทำงานผ่านแผงควบคุมเสมือนจริง แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ 1) การสแกนรหัสแท่งบนสินค้าโดยใช้กล้อง 2) การเก็บข้อมูลการสแกนรหัสแท่งในฐานข้อมูล และ 3) การแสดงสถานะการทำงานผ่านแผงควบคุมเสมือนจริงก่อนส่งสัญญาณเชื่อมต่อไปยังระบบควบคุมการเคลื่อนที่อัตโนมัติ

4.4.1 ผลการตรวจสอบการจัดสภาพแวดล้อมสำหรับสแกนสินค้า

สำหรับการจัดสภาพแวดล้อมที่ควบคุมได้ยาก เช่นแสงที่รบกวนการสแกนรหัสแท่ง ผู้วิจัยได้ทดสอบค่า Lux ที่เหมาะสมในการสแกนรหัสแท่ง โดยควบคุมระยะโฟกัสคงที่ซึ่งเป็นระยะห่างระหว่างเลนกล้องถึงสินค้าของระบบถูกเซ็ตไว้ที่ 24.5 cm ซึ่งเป็นระยะที่มีความเหมาะสมมากที่สุด โดยทดสอบในสภาพแวดล้อมในช่วงกลางวันมีแสงเก็บข้อมูลจำนวน 30 ค่า และในช่วงกลางคืนหมดแสงแต่มีไฟสว่างจากหลอดไฟ 1 ดวง เก็บข้อมูลจำนวน 30 ค่า ณ สถานที่ทดสอบระบบ บนตำแหน่งสแกนรหัสแท่งระดับเดียวกันกับสินค้าวางอยู่ เก็บข้อมูลทั้งหมดจำนวน 60 ค่า ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงช่วง Lux ที่สแกนรหัสแท่งได้เหมาะสม

จำนวนทดสอบ(ค่า)	ช่วง Lux ที่สแกนรหัสแท่งได้เหมาะสม (Lux)
60	115 – 175

จากผลการทดสอบหาค่า Lux ที่เหมาะสมในการสแกนรหัสแท่งจะอยู่ที่ช่วง 115 ถึง 175 Lux

4.4.2 ผลการทดสอบเวลาที่ใช้ในการสแกนสินค้า

จากตารางที่ 4.4 เมื่อทราบช่วง Lux ที่ใช้ในการสแกนรหัสแท่งที่เหมาะสมแล้ว ได้ทำการจัดสภาพแวดล้อมให้มีค่า Lux อยู่ในช่วง 115 – 175 ซึ่งจะได้ผลจากการทดสอบเวลาที่ใช้ในการสแกนรหัสแท่ง ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงเวลาที่ใช้ในการสแกนรหัสแท่ง

จำนวนทดสอบ(ครั้ง)	เวลาเฉลี่ยในการสแกนรหัสแท่งฯ(วินาที)	
60	จัดเก็บ	ค้นคืน
	2.47	2.50

จากตารางที่ 4.5 แสดงเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการสแกนรหัสแท่ง ซึ่งทดสอบเวลาตั้งแต่การนำสินค้าวางในตำแหน่งการวางสินค้าสำหรับสแกนตามแนวกรอบสีแดงที่ระบุไว้ในสถานีสแกนสินค้า และสิ้นสุดเมื่อรหัสแท่งปรากฏบนแถบ Code บนแผงควบคุมเสมือนจริง

4.4.3 ผลการทดสอบเวลาสั่งงานด้วยตนตนเอง

แผงคำสั่งด้วยตนเอง (Manual) ประกอบด้วย 2 ส่วนด้วยกันคือ 1) ตำแหน่งในการจัดเก็บและค้นคืน และ 2) ดำเนินการจัดเก็บและค้นคืน โดยมีปุ่มสำหรับเลือกชั้นและปุ่มสำหรับเลือกคอลัมล์ สำหรับในส่วนของการดำเนินการมีปุ่มสำหรับเลือกจัดเก็บหรือค้นคืนสินค้า รวมถึงปุ่มเริ่มต้นการทำงาน ON/OFF จากการทดสอบเลือกตำแหน่งและเลือกการดำเนินการด้วยตนเองจำนวนทดสอบ 60 ครั้งจะได้เวลาในการใช้ชุดคำสั่งกับแผงคำสั่งด้วยตนเอง ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงเวลาสั่งงานด้วยตนตนเอง

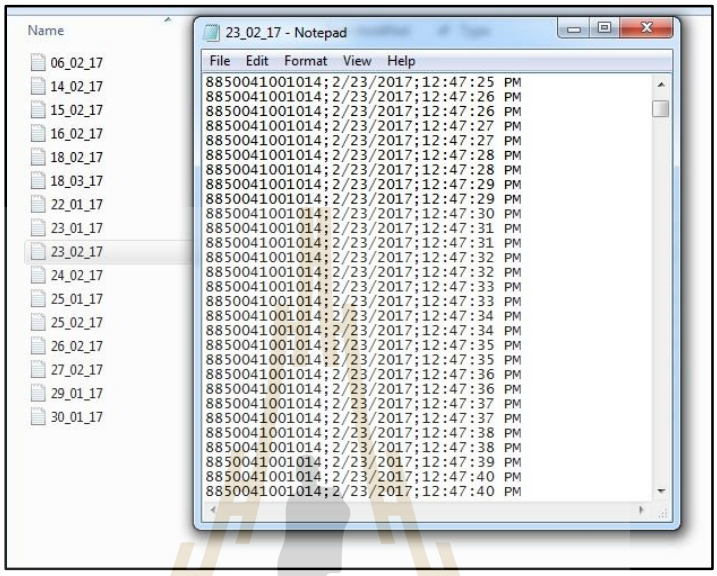
จำนวนทดสอบ(ครั้ง)	เวลาเฉลี่ยสั่งงานด้วยตนตนเอง(วินาที)	
60	จัดเก็บ	ค้นคืน
	4.38	3.18

จากตารางที่ 4.6 แสดงเวลาเฉลี่ยสั่งงานด้วยตนตนเอง ซึ่งทดสอบเวลาตั้งแต่การนำสินค้าวางในตำแหน่งการวางสินค้าสำหรับสแกนตามแนวกรอบสีแดงที่ระบุไว้ในสถานีสแกนสินค้า และสั่งงานด้วยตนเองบนแผงคำสั่งด้วยตนเอง (Manual) ของแผงควบคุมเสมือนจริง

4.4.4 ผลการบันทึกข้อมูลสแกนสินค้าในฐานข้อมูล

ในระบบต้นแบบมีการติดตามสินค้าด้วยสารสนเทศ เพื่อให้การตรวจสอบการนำสินค้านำเข้าหรือออกจ่ายจากชั้นจัดเก็บ ทำให้สะดวกรวดเร็วไม่เกิดความสับสนหรือผิดพลาดในการตรวจสอบข้อมูลปัจจุบันหรือย้อนหลัง โดยทำการบันทึกข้อมูลทุกครั้งที่มีการสแกนรหัสแท่งเข้ามาหรือข้อมูลจากการทำงานด้วยตนเอง ซึ่งในข้อมูลที่แสดงประกอบด้วยข้อมูลรหัสแท่งหรือ

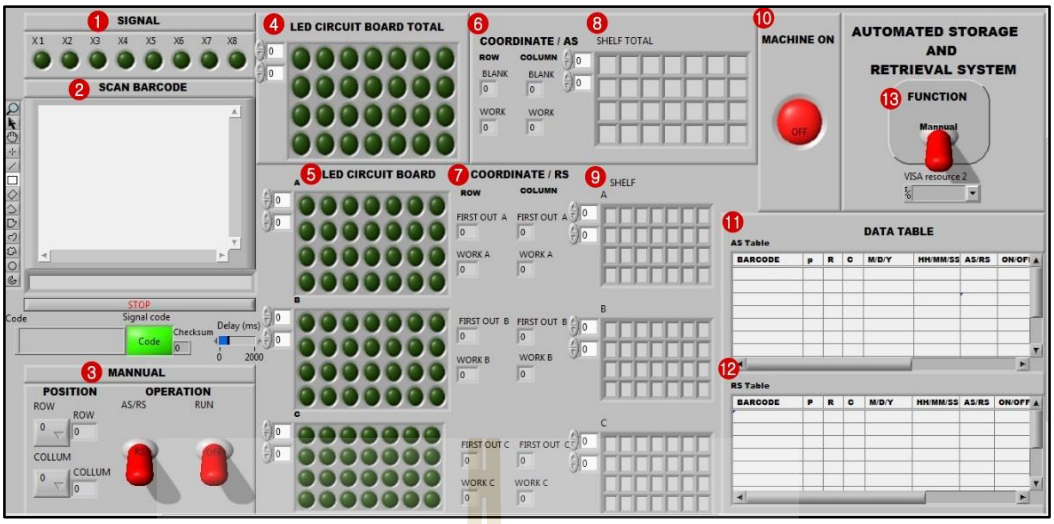
สัญลักษณ์ปรัศณีย์ที่ วันเดือนปี และเวลาในการจัดเก็บหรือค้นคืน เก็บเป็นไฟล์ข้อมูลต่อวัน หากมีการบันทึกข้อมูลในวันถัดๆไป ข้อมูลจะถูกเก็บเป็นไฟล์ของวันนั้นๆ ทำให้สะดวกในการค้นหา ดังแสดงในตัวอย่างรูปภาพที่ 4.7



รูปที่ 4.5 แสดงข้อมูลที่ถูกจัดเก็บในฐานข้อมูลของหน่วยความจำคอมพิวเตอร์

4.4.5 ผลการแสดงฟังก์ชันการทำงานผ่านแผงควบคุมเสมือนจริง

บนหน้าจอส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ของระบบ ประกอบด้วย 1) ชุดสัญญาณไฟควบคุมการเคลื่อนที่(SIGNAL) 2) หน้าจอสแกนรหัสแท่ง(SCAN BAECODE) 3) แผงควบคุมด้วยตนเอง (MANNUAL) 4) แผงไฟรวม(LED CIRCUIT BOARD TOTAL) 5) แผงไฟย่อย(LED CIRCUIT BOARD 6) ตำแหน่งจัดเก็บปัจจุบัน(COORDINATE / AS) 7) ตำแหน่งค้นคืนปัจจุบัน (COORDINATE / RS) 8) แผงระบุประเภทสินค้ารวม(SHELF TOTAL) 9)แผงระบุประเภทสินค้าย่อย (SHELF) 10) ชุดสัญญาณไฟแสดงการทำงานของเครื่องจักร(MACHINE ON) 11) ข้อมูลการจัดเก็บที่(AS Table) 12) ข้อมูลการค้นคืนที่(RS Table) 13) ทางเลือกชุดทำงานตามจุดประสงค์ของผู้ใช้ ดังแสดงในรูปภาพที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงฟังก์ชันการทำงานผ่านแผงควบคุมเสมือนจริง

จากรูปภาพที่ 4.6 แสดงชุดการทำงานผ่านแผงควบคุมเสมือนจริงการแสดงผลเมื่ออยู่ในทางเลือกชุดสั่งงานด้วยตนเอง หลังจากที่ผู้ใช้นำสินค้าวางในตำแหน่งที่ต้องการดำเนินการ ผู้ใช้สามารถเลือกตำแหน่ง ROW หรือCOLUMN จาก POSITION และเลือกการจัดเก็บหรือค้นคืนได้จาก OPERATION AS/RS ก่อน ON การทำงาน หลังจากนั้นสัญญาณไฟ SIGNAL แสดงตามเงื่อนไข หลอดไฟในแผง LED CIRCUIT BOARD TOTAL จะแสดงในตำแหน่งที่ผู้ใช้เลือก ข้อมูลจากการด้วยตนเองจะปรากฏใน DATA TABLE ระบุเป็นข้อมูลด้วยตนเอง วันเดือนปี เวลา สถานะจัดเก็บหรือค้นคืน รวมถึง MACHINE ON ทำงาน และจะ OFF การทำงานเมื่อผู้ใช้เห็นแล้วว่าระบบทำงานเสร็จ ผู้ใช้ OFF การทำงานที่ OPERATION RUN

สำหรับการแสดงผลเมื่ออยู่ในทางเลือกชุดสแกนรหัสแท่ง เมื่อผู้ใช้นำสินค้าวางในตำแหน่งสแกน สินค้าที่ถูกสแกนจะแสดงภาพบนหน้าแผงควบคุมเสมือนจริงเมื่อโปรแกรมประมวลผลเสร็จสิ้น รหัสแท่งจะปรากฏบนแถบแสดงโค้ด สัญญาณไฟ SIGNAL แสดงตามเงื่อนไข หลอดไฟในแผง LED CIRCUIT BOARD TOTAL จะแสดงตำแหน่งตามหลักการ Optimization ของโปรแกรม พร้อมทั้งแสดงตำแหน่งปัจจุบันและถัดไปในการจัดเก็บ รวมถึงแยกประเภทข้อมูลของสินค้าเพื่อทำการแสดงในแผงไฟ ARRAY (LED CIRCUIT BOARD) พร้อมทั้งแสดงตำแหน่งถัดไปในการค้นคืน และDATA TABLE ระบุเป็นข้อมูลของรหัสแท่ง ประเภทผลิตภัณฑ์ วันเดือนปี เวลา สถานะจัดเก็บหรือค้นคืน รวมถึง MACHINE ON ทำงาน และจะ OFF การทำงานอัตโนมัติเมื่อระบบทำงานเสร็จ

4.5 ผลการทำงานของระบบจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติ

จากการทดสอบเวลาการทำงานของระบบการจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติด้วยการสแกนสินค้าและสั่งงานด้วยตนเอง(Manual) เมื่อรวมเวลาการทำงานทั้ง 3 สถานี จากการเคลื่อนที่ไปแต่ละ Coordinate ตั้งแต่ Coordinate ที่ (1,1) จนถึง Coordinate ที่ (4,7) จะได้เวลาทำงานของระบบต้นแบบ ดังแสดงในตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.7 แสดงเวลาการเคลื่อนที่ของระบบจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติด้วยการสแกนสินค้า

ลำดับ	Coordinate	คำสั่ง		ลำดับ	Coordinate	คำสั่ง	
		จัดเก็บ เวลา (วินาที)	ค้นคืน เวลา (วินาที)			จัดเก็บ เวลา (วินาที)	ค้นคืน เวลา (วินาที)
1	1,1	48.2	42.78	15	3,1	80.58	74.64
2	1,2	48.00	42.42	16	3,2	80.31	74.53
3	1,3	48.80	43.17	17	3,3	81.46	75.41
4	1,4	50.80	45.1	18	3,4	82.77	77.3
5	1,5	52.49	46.21	19	3,5	84.94	79.01
6	1,6	54.16	48.97	20	3,6	86.94	80.56
7	1,7	56.25	50.85	21	3,7	88.81	83.04
8	2,1	63.96	58.47	22	4,1	96.32	90.34
9	2,2	64.11	58.44	23	4,2	96.34	90.25
10	2,3	64.62	58.84	24	4,3	97.41	90.85
11	2,4	67.09	60.86	25	4,4	98.72	92.8
12	2,5	68.96	62.67	26	4,5	100.99	94.65
13	2,6	70.92	65.05	27	4,6	102.58	96.56
14	2,7	72.69	66.73	28	4,7	104.58	98.76

4.5.1 ผลการตรวจสอบลำดับการ Optimization กับเวลาทำงานระบบการเคลื่อนที่อัตโนมัติ

เมื่อนำเวลาการจัดเก็บและค้นคืนที่ได้จากตารางที่ 4.7 แทนที่ในชั้นจัดเก็บบนระนาบ X Y เพื่อพิสูจน์ลำดับการจัดเก็บจากการ Optimization ว่ามีความสอดคล้องกับเวลาการเคลื่อนที่ระบบอัตโนมัติหรือไม่ โดยอ้างอิงตารางที่ 4.8 แสดงลำดับในการจัดเก็บ เมื่อนำเวลาการจัดนำก็บและค้นคืนแทนที่ลงในชั้นจัดเก็บบนระนาบ X Y ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.8 แสดงลำดับการจัดเก็บจากเงื่อนไข Optimization

ROW	Collumn						
	1	2	3	4	5	6	7
4	5	4	4	5	6	7	8
3	4	3	3	4	5	6	7
2	3	2	2	3	4	5	6
1	2	1	1	2	3	4	5

ตารางที่ 4.9 แสดงเวลาการจัดเก็บใน Coordinate ที่ (1,1) ถึง Coordinate ที่ (4,7)

ROW	COLUMN						
	1	2	3	4	5	6	7
4	96.32	96.34	97.41	98.72	100.99	102.58	104.58
3	80.58	80.31	81.46	82.77	84.94	86.94	88.81
2	63.96	64.11	64.62	67.09	68.96	70.92	72.69
1	48.20	48.00	48.80	50.80	52.49	54.16	56.25

ตารางที่ 4.10 แสดงเวลาการค้นคืนใน Coordinate ที่ (1,1) ถึง Coordinate ที่ (4,7)

ROW	COLUMN						
	1	2	3	4	5	6	7
4	90.34	90.25	90.85	92.80	94.65	96.56	98.76
3	74.64	74.53	75.41	77.30	79.01	80.56	83.04
2	58.47	58.44	58.84	60.86	62.67	65.05	66.73
1	42.78	42.42	43.17	45.10	46.21	48.97	50.85

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากตารางที่ 4.9 และ 4.10 เมื่อนำเวลาแต่ละลำดับมาหาค่าแฉลี่ย เพื่อพิสูจน์ลำดับการจัดเก็บจากการ Optimization พบว่าลำดับการจัดเก็บและค้นคืนจากการ Optimization สอดคล้องกับเวลาการเคลื่อนที่ของระบบต้นแบบ ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงลำดับและเวลาในการจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติ

ขั้นตอน	ลำดับ							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
จัดเก็บ (s)	48.40	56.93	69.06	80.03	81.43	86.87	95.69	104.58
ค้นคืน (s)	42.79	51.29	63.09	74.11	75.61	80.64	89.8	98.76

จากตารางที 4.11 แสดงลำดับและเวลาในการจัดเก็บและค้นคืนอัติโนมัติ ที่มีลำดับในการทำงานของระบบ ตั้งแต่ลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 8 โดยที่ลำดับที่ 1 คือลำดับที่มีตำแหน่งใกล้กับตำแหน่งอ้างอิงในแกน x ของหุ่นยนต์ประเภท Cartesian robot มากกว่าลำดับอื่นๆ และลำดับที่ 8 คือลำดับที่มีตำแหน่งที่ไกลจากตำแหน่งอ้างอิงในแกน x ของหุ่นยนต์ประเภท Cartesian robot มากที่สุด เมื่อนำเวลาที่ได้จากการเฉลี่ยแทนในแต่ละลำดับ พบว่าลำดับที่ 1 มีเวลาเฉลี่ยในการจัดเก็บและค้นคืนน้อยที่สุดที่ 48.40 วินาที และ42.79 วินาที ถัดมาคือลำดับที่ 2 ลำดับที่ 3 ลำดับที่ 4 ลำดับที่ 5 ลำดับที่ 6 ลำดับที่ 7 และลำดับที่ 8 ใช้เวลาสูงสุดในการจัดเก็บและค้นที่ 104.58 วินาที และ 98.76 วินาที ซึ่งสอดคล้องกับระยะทางการเคลื่อนที่ของระบบ

4.6 สรุปผลการทดสอบ

จากการซ่อมแซมปรับปรุงโครงสร้างเดิม สามารถทำงานได้ 100 เปอร์เซ็น ทำให้การควบคุมการทำงานในส่วนการเคลื่อนที่อัตโนมัติ เมื่อตรวจสอบการจับเวลาทำงานในการจัดเก็บและค้นคืนสินค้าตั้งแต่ Coordinate ที่ (1,1) จนถึง Coordinate ที่ (4,7) ใช้เวลาในการจัดเก็บและค้นคืนน้อยที่สุดที่ Coordinate ที่ (1,2) เวลาเฉลี่ย 45.53 วินาทีต่อ 1 รอบ และเวลาเฉลี่ย 39.92 วินาทีต่อ 1 รอบ ในส่วนการควบคุมการทำงานผ่านแผงควบคุมเสมือนจริงเมื่อตรวจสอบการจัดสภาพแวดล้อมสำหรับสแกนสินค้า สามารถหาค่า Lux ที่เหมาะสมในการสแกนรหัสแท่งอยู่ที่ช่วง 115 – 175 Lux ส่งผลให้เวลาในการสแกนรหัสแท่งในการจัดเก็บและค้นคืนอยู่ที่ 2.47 และ2.50 วินาที มีการบันทึกข้อมูลในฐานข้อมูล สามารถตรวจสอบการนำสินค้านำเข้าหรือออกจ่ายจากชั้นจัดเก็บ ทำให้สะดวกรวดเร็วไม่เกิดความสับสนหรือผิดพลาดในการตรวจสอบข้อมูลปัจจุบันหรือย้อนหลัง ผลการแสดงสถานะการทำงานผ่านหน้าจอส่วนต่อประสานกับผู้ใช้เป็นไปตามชุดคำสั่ง

และจากการตรวจสอบลำดับการ Optimization กับเวลาทำงานระบบการเคลื่อนที่อัตโนมัติ จะได้ลำดับที่ 1 มีเวลาเฉลี่ยในการจัดเก็บและค้นคืนน้อยที่สุดที่ 48.40 วินาที และ42.79 วินาที ถัดมาคือลำดับที่ 2 ลำดับที่ 3 ลำดับที่ 4 ลำดับที่ 5 ลำดับที่ 6 ลำดับที่ 7 และลำดับที่ 8 ใช้เวลาสูงสุดในการจัดเก็บและค้นคืนที่ 104.58 วินาที และ98.76 วินาที โดยลำดับที่ 1 มีระยะทางในการเคลื่อนที่และเวลาในการจัดเก็บและค้นคืนน้อยที่สุด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงบทสรุปผลการวิจัยในหัวข้อเรื่องการออกและสร้างต้นแบบระบบจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติ ที่ควบคุมการทำงานด้วยโปรมแกรม PLC และ LabVIEW modul NI vistion ในรูปแบบการจัดเก็บสินค้าที่ไม่ได้กำหนดตำแหน่งตายตัว (Random Location System) และการค้นคืนสินค้าที่เข้าคลังสินค้าก่อนทำการหมุนเวียนออกไปก่อน (FIRST IN FIRST OUT, FIFO) โดยจะกล่าวถึงผลที่ได้จากการวิจัยที่อยู่ในรูปแบบการจัดการคลังสินค้าประเภทหนึ่งสำหรับการศึกษาระดับห้องปฏิบัติอัตโนมัติรวมถึงข้อเสนอแนะ

5.2 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างต้นแบบระบบจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติในระดับห้องปฏิบัติการจากการออกแบบและสร้างต้นแบบตามหลักการจัดเก็บและค้นคืน พบว่า ระบบต้นแบบสามารถทำงานผ่านการสั่งงานด้วยตนเองและการสแกนรหัสแท่งผ่านหน้าจอส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ได้อย่างถูกต้องจากการที่ระบบสามารถนำเข้าสินค้าที่ต้องการจัดเก็บและนำออกสินค้าที่ต้องการค้นคืนจากชั้นจัดเก็บได้ ทั้งนี้นอกจากความถูกต้องในการทำงานของระบบการลดเวลาในการทำงานยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบ นอกจากหลักการที่เป็นรูปแบบในการควบคุมการจัดเก็บและค้นคืนแล้ว การออกแบบเพิ่มเติมเพื่อสนับสนุนหลักการของระบบและสามารถทำงานกับข้อจำกัดของระบบการเคลื่อนที่อัตโนมัติที่มีการปรับเทียบจุดอ้างอิงเสมอ ดังนั้นจากการจัดเก็บสินค้าที่มีรูปแบบไม่ได้กำหนดตำแหน่งตายตัวสามารถจัดเก็บสินค้นในพื้นที่ว่างใดๆ ก็ได้ในชั้นจัดเก็บ จึงทำการ Optimization พื้นที่จัดเก็บสินค้าที่จุดอ้างอิงดังกล่าว ทำให้ระบบเลือกจัดเก็บสินค้าในพื้นที่ว่างที่มีระยะใกล้กับจุดอ้างอิงก่อน ทำให้ลดเวลาในการทำงานของระบบเนื่องจากระยะทางในการเคลื่อนที่สั้นลง และการค้นคืนสินค้าด้วยหลักการ FIFO ทำให้สามารถเวียนสินค้าเข้าออกได้มากขึ้น นอกจากนี้ระบบสามารถติดตามสินค้าด้วยเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อให้เข้าถึงข้อมูลสินค้าที่เก็บรักษานั้นได้สะดวกที่สุด สามารถตรวจสอบสินค้าขาเข้าและขาออกจากแผงควบคุมเสมือนจริงและหน่วยความจำคอมพิวเตอร์สำหรับสำรองข้อมูล ทำให้ลดความผิดพลาดและไม่เกิดความสับสนของข้อมูลกับตัวสินค้า สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของ

ระบบคือปัจจัยของสภาพแวดล้อมที่ควบคุมได้ยาก ทำให้การควบคุมสภาพแวดล้อมในการสแกนรหัสแท่งได้มีการทดสอบสภาพแวดล้อมของระบบต้นแบบ ซึ่งได้ค่าที่เหมาะสมในการสแกนรหัสแท่งอยู่ที่ช่วง 115 – 175 Lux ทำให้เวลาในการสแกนรหัสแท่งในการจัดเก็บและค้นคืนอยู่ที่ 2.47 และ2.50 วินาที ซึ่งเป็นการสั่งการทำงานที่ใช้เวลาน้อยกว่าการสั่งงานด้วยตนเองที่ใช้เวลาสั่งงานจัดเก็บและค้นคืนอยู่ที่ 4.38 และ 3.18 วินาที และเมื่อการสั่งงานใช้เวลาลดลงส่งผลให้ลดเวลาการทำงานของระบบต้นแบบด้วย อย่างไรก็ตามจากการทดสอบการทำงานของระบบจะได้เวลาที่ดีที่สุดในการจัดเก็บและค้นคืนสินค้าจากการ Optimization อยู่ในพื้นที่ลำดับที่ 1 เวลาเฉลี่ย 48.40 วินาที และ42.79 วินาที ใช้เวลาสูงสุดในการจัดเก็บและค้นคืนที่ 104.58 วินาที และ98.76 วินาทีในพื้นที่ลำดับที่ 8 สามารถลดเวลาในการจัดเก็บและค้นคืน คิดเป็นค่าร้อยละ 3.7 และ 1.56 จากค่าร้อยละที่ได้จะเห็นได้ว่ามีส่วนต่างที่น้อย เนื่องจากเป็นการเปรียบเทียบเวลาการเคลื่อนที่จัดเก็บและค้นคืนเพียงลำดับเดียวยังไม่เกิดการสะสมเส้นทางส่งผลให้ได้ค่าไม่ต่างกันมาก

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 เนื่องจากสถานีโอนถ่ายสินค้าในระบบจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติใช้ตัวตรวจรู้ตำแหน่งแบบเพิ่มค่า (Incremental Position Encoder) ซึ่งเป็นการตรวจรู้ตำแหน่งแบบดิจิตอลผ่านวงจรนับ Counter ใน PLC ดังนั้นเมื่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าดับหรือมีการแยกสายสัญญาณออกแม้เพียงชั่วขณะเดียวหรือเมื่อมีการรบกวนของสัญญาณเกิดขึ้นข้อมูลของการเคลื่อนที่จะหายไป ทำให้ต้องมีการปรับเทียบกับจุดอ้างอิงอยู่ตลอดเวลาเพื่อความถูกต้อง

5.3.2 ข้อควรระวังในการใช้งานบนแผงควบคุมเสมือนจริง คือ ไม่เปลี่ยนโหมดในระหว่างที่โหมดใดโหมดหนึ่งกำลังทำงานจนกว่าสัญญาณไฟสีเขียวจาก MACHINE ON จะดับ เพื่อป้องกันการ Error ของระบบ

5.3.3 ในงานที่ต้องการความถูกต้องในการประมวลผลสูงควรเลือกใช้กล้องที่มีความละเอียดสูง ซึ่งส่งผลถึงการกำหนดค่าความเหมาะสมในการควบคุมสภาพแวดล้อมในการทำงานของระบบ แต่ราคาของกล้องก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้น ควรเลือกใช้กล้องที่มีความละเอียดที่สอดคล้องกับลักษณะของงาน เพื่อลดต้นทุนค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์และได้ผลถูกต้องตามความต้องการ

5.3.4 ในแต่ละสถานีงานสามารถโอนถ่ายสินค้าได้รอบละชิ้นต่อคำสั่งและมีเส้นทางการถ่ายโอนสินค้าตรงข้ามกัน

5.3.5 เนื่องจากระบบเป็นเครื่องต้นแบบในระดับห้องปฏิบัติการที่ทำงานตามเงื่อนไขและหลักการที่กำหนด ดังนั้นนักศึกษาสามารถเรียนรู้และนำไปประยุกต์ใช้กับหลักการจัดเก็บและค้น

คืนประเภทอื่นตามความเหมาะสมของงานและสินค้านั้น ๆ ได้ เพื่อบริหารจัดการสินค้าคงคลังให้เกิดประโยชน์สูงสุด

รายการอ้างอิง

คำนาย อภิปรัชญาสกุล. (2548). **การจัดการคลังสินค้า.**กรุงเทพฯ: โฟกัสมีเดีย แอนด์ พับลิชชิ่ง.

คำนาย อภิปรัชญาสกุล. (2550). **โลจิสติกส์และการจัดการซัพพลายเชน: กลยุทธ์เพื่อลดต้นทุนและเพิ่มกำไร** (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: โฟกัสมีเดีย แอนด์ พับลิชชิ่ง.

คำนาย อภิปรัชญาสกุล. (2553). **คลังสินค้าและศูนย์กระจายสินค้า** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: บริษัท โฟกัสมีเดีย แอนด์ พับลิชชิ่ง.

ทิวากร แก้วศรี.(2556). **ระบบจัดเก็บและเรียกคืนวัสดุอัตโนมัติ**. วันที่ค้นข้อมูล 20 มกราคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://thiwakorn29.blogspot.com/2013/03/blog-post_8684.html

ทวีศักดิ์ เทพพิทักษ์. (2552). **การจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชน.** กรุงเทพฯ: เอ็กซเปอร์เน็ท.

ธนิต โสรัตน์. (2550). **การประยุกต์ใช้การจัดการโซ่อุปทานโลจิสติกส์.** กรุงเทพฯ: ประชุมทองพริ้นติ้ง กรุ๊ป.

ธนิต โสรัตน์. (2552). **คู่มือการจัดการคลังสินค้าและการกระจายสินค้า.** กรุงเทพฯ: วี-เซิร์ฟ โลจิสติกส์.

สิทธิโชค ยอดระยับ. (2550). **การเขียนโปรแกรม Digital Image processing ด้วย Visual Basic** สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร.

อรุณ บริรักษ์และคณะ. (2547). **การจัดซื้อ.** กรุงเทพฯ: สานักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

Ashna Joy, B.Padmanabhan, A.Abinaya. **Advanced Technology of Automated Storage and Retrieval System Using PLC Integration**. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT) - Mar 2014- Volume 9 Number 9.

Awcock, G. J. and Thomas, R. (1995). **Applied image processing.** Mac Millan New Press Ltd., London.

Dimitrios Bargiotas, Aphrodite Ktena, Christos Manasis and Onoufrios Ladoukakis. **A Scalable Low-Cost Automated Storage & Retrieval System**. Systems, Signals and Image Processing, 2009. IWSSIP 2009. 16th International Conference on (IEEE) 18-20 June 2009. Pgs 1 – 4.

Gonzales, R. C., Woods, R. E., and Eddins, S. L. (2004**). Digital Image Processing using MATLAB**. Pearson Education, Inc.

James and Jerry (1998**). กลยุทธ์การจัดเก็บสินค้า (STORAGE STRATEGY) ในคลังสินค้า.**วันค้นข้อมูล 20 มกราคม 2559, เข้าถึงได้จาก https://logisticscorner.com/index.php?option=com_Content&view=article&id=333: storage-strategy-&catid=38: warehousing&Itemid=92

M.Z.A Rashid, H.N.M Shah, H.I Jaafar, M.S.M Aras and S.K.S Nordin. **Sorting and Retrieval Robotic System Controlled via Programmable Logic Controller for Library Usage**. International Journal of u-and e-Service, Science and Technology Vol.7, No.4 (2014), pp.19-30.

M.M. Rashid, Banna Kasemi, Mahmudur Rahman. 2011 4th **New Automated Storage and Retrieval System (ASRS) using wireless communications.** International Conference on Mechatronics (ICOM), 17-19 May 2011.

Oran Kittithreerapronchaia และNaragain Phumchusrib (2014).**ระบบการจัดการคลังสินค้า.**วารสารวิศวกรรมศาสตร์ (ISSN: 1906-3636) ปีที่ 5 ฉบับที่ 2

Rafael, C. G. and Richard, E. W. (1993). **Digital Image Processing**. Addison-wesley publishing company.

Sagar R. Wankhade, Prof. V.A.Kane. **A REVIEW ON AUTOMATED STORAGE & RETRAIVAL SYSTEM (ASRS).** International Journal of Research in Aeronautical and Mechanical Engineering. Vol.2 Issue.4, April 2014. Pgs: 99-110.

Vasili MR, Tang SH, Ismail N, et al. (2008) **Class-ฐาน storage assignments for mini สินค้า AS/RS with open-rack structure**. International Journal of Engineering & Technology (IJET) 5(2): 118–128.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

Boonsingh, P., Srisuruk, W., and Chamniprasart, K. (2016). Design and Prototyping of Controlling an Automated Storage and Retrieval System. South East Asian Technical University Consortium (SEATUC 2016). 22 – 24 February. SIT. Japan.

DESIGN AND PROTOTYPING OF CONTROLLING AN AUTOMATED STORAGE AND RETRIEVAL SYSTEM

Parinyawat Boonsingh[1], Wichai Srisuruk[2], Kontorn Chamniprasart[3]*

[1]School of Manufacturing Engineering, Suranaree University of Technology,

[2]School of Computer Engineering, Suranaree University of Technology,

[3]School of Mechanical Engineering, Suranaree University of Technology

E-mail: *kontorn@sut.ac.th

ABSTRACT This research aimed to design and prototype of controlling an automated storage and retrieval system (AS/RS). The prototype will be used for demonstrating the automation system and training students to control the system. Nowadays, the AS/RS is widely used in industry especially in the warehouse because of using a few labor and high accuracy in inventory management. Unfortunately, the equipment of AS/RS are very expensive even for the laboratory scale, which school cannot provide enough equipment for training students in AS/RS. Therefore, the school desired to design and prototyping by using technology, for example, PLC (Programmable Logic Controller) and LabVIEW NI Vision Module. In this study, LabVIEW was developed to control mechanisms of the AS/RS with in format the Fixed Location System, FIFO (FIRST-IN-FIRST-OUT) and barcode data record. The AS/RS system has three station consists i.e. Scanning station, Pick up station and Loading station run up automatically. The system's procedure start by scanning the bar code on the object and recording the data. After that, the pick up station will pick the object from Scanning station and move to the home position of loading station. Finally, the loading station will place the object in the shelf on the determined position. Whereas the retrieval process, the loading station will retrieval the object from shelf and move to home position. The later, Pick up station will pick the object on loading station and move to initial position. Due to path of motion in the storage and retrieval are the same path, when the storage command object is active the retrieve command must don't active. The results show that the prototype can control store and retrieval efficiently. Moreover, it can train the students by understanding the automated storage and retrieval system.

1. INTRODUCTION

Currently, the automated storage and retrieval systems are widely used in industry. The Automated storage and retrieval systems were first introduced in the 1950s to eliminate the walking that accounted for 70 % of manual retrieval time (Sagar R. et al., 2014). This system is a part of a production system using a Computer Integrated Manufacturing (CIM). The automatic storage and retrieval system (AS/RS) is automatically stores and retrieves materials from storage without worker (Vasili et al., 2008). Which is expensive and high cost. In order to an AS/RS to satisfy the needs of the domestic market, it should be low cost and using the existing software of storage of each company and should be flexible so that it is adapted to the size and the flow of the products and it can function with the minimal possible interventions in the existing system of storage (Dimitrios et al., 2009). Thus reducing the cost of warehouse management systems of an automated storage and retrieval system with motion control by Programmable Logic Controller (PLC) and data collection by machine vision. Which has ability to see and high precision. It was developed as a prototype of the AS/RS system with low cost and used in teaching. Ideal for inventory control as storage and retrieval characteristics in a small volume, the Fixed Location System and FIFO (FIRST-IN-FIRST-OUT) are used in the AS/RS system. It can identify the exact location of storage and reduce the deterioration of the product and enhancing the control and product tracking.

2. THEORY METHODOLOGY

2.1 Governing Equations

This system considers the stability of the system, which assumes control of the storage and retrieval the object at any position by PLC and checking position to reach by sensor encoder. This is shown in the figure 1. This kind of controller is a closed-loop controller or feedback controller.

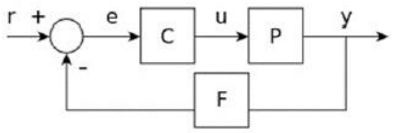


Figure 1. Closed-loop transfer function.

If assume the controller PLC is C, the position of storage and retrieval is P, and the sensor encoder is F are linear and time-invariant (i.e., elements of their transfer function C(s), P(s), and F(s) do not depend on time), the systems above can be analyzed using the Laplace transform on the variables. This gives the following relations:

$$Y(s) = P(s).U(s) \quad (1)$$
$$U(s) = C(s).E(s) \quad (2)$$
$$E(s) = R(s) - F(s).Y(s) \quad (3)$$

Equation (1), (2), (3) Solving for Y(s) in terms of R(s) gives:

$$Y(s) = \left(\frac{P(s).C(s)}{1+F(s).P(s).C(s)}\right).R(s)$$

$$Y(s) = H(s).R(s)$$

The expression H(s) is referred to the closed-loop transfer function of the system. The numerator is the forward (open-loop) gain from r to y, and the denominator is one plus the gain in the feedback loop. If $|P(s).C(s)| \geq 1$, i.e., it has a large norm with each value of s, and if $|F(s)| \approx 1$, then Y(s) is approximately equal to R(s) and the output closely tracks the reference input.

2.2 The movement of Pick up station and Loading station

The movement of Pick up station and Loading station were using an encoder to get position and move to the desired location by PLC control. The Incremental Position Encoder (IPE) used in prototype consist of disc or straight-line sheet. When the hole on a straight- line on the path of the moving mechanism will measure the distance from lighting survive periodically. The position of the motor will give signal pulse output time to time while the motor is running. The rotation angle or distance will be known. This information will be used through counter to obtain parallel information in PLC.

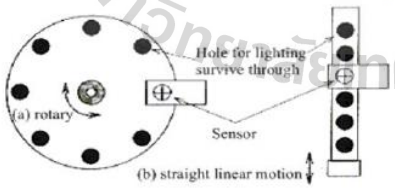


Figure 2. Optical Encoder Increment of (a) rotary and (b) a straight linear motion.

3. EXPERIMENT

The main purposed of this study is to design and prototyping of mechanisms that are able to pick object and transfer to a storage shelf. Program LABVIEW used to read barcodes and record the location for storage and retrieval purposes into the database prior to pick. For manual system if user command the system to storage the objects, the AS/RS system must successfully storage the objects and placed to a storage shelf. Whereas, the user command the system to retrieve the objects, the AS/RS system must successfully retrieve the objects and placed back to the user. In the first stage of the design is to repair the system and add devices for complete design. Figure 3 and Figure 4 show the AS/RS system in repair to before-after and additional devices in the system. In the proposed prototype compose of three workstations are Scanning station, Pick up station and Loading station. The electrical system consists of power supply, PLC, electronic modules, sensors and actuators. The scanning station consists of Camera for scan barcode on the object. For pick up station is Cylindrical robot consists of pneumatic handling device for pick up objects with Y-axis at counterclockwise motor position and move objects clockwise to unloading station at home. For loading station is Cartesian robot consists of unloading pneumatic to move object at storage shelf in with coordinate X-Y. Shelf it is the location for the unloading pneumatic to neatly arrange the object in multi-store rack. In this prototype development, there are 28 slots (4 x 7 dimensions) for storing the object. Thus Logic controller and data management system is carefully planned to ensure the system can fulfill the task given.

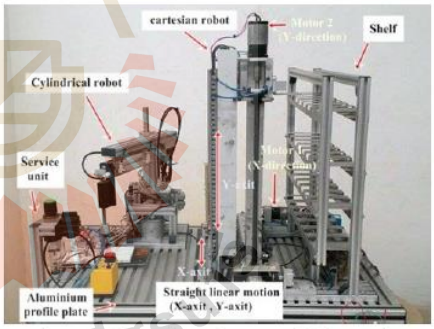


Figure 3. Shown the AS/RS system before repair.

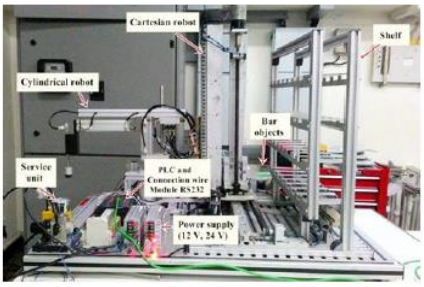


Figure 4. Shown the AS/RS system after repair.

3.1 Technical Data for each station

The AS/RS has base size 800 × 500 mm, consist of 1 handling device with Y-axis and automatic storage and retrieval system (AS/RS) comprising of each a vertical and horizontal axis with shelf unit. The camera used scan barcode has a resolution of 16 million pixel with CMOS. It can scan barcode clearly and zoom in-zoom out but must control environment of light and scanning. For pick up station has base size 200 × 200 mm, consist of sensor as 4 cylinder end switches and encoder of the motor. The actuators has 1 DC-motor 12 V and 2 motor relays connect with voltage source 24 V in the form H-Bridge. It can drive the DC- motor to rotate counterclockwise and clockwise. For PLC-requirements is 5 digital PLC-inputs and 5 digital PLC-outputs. The loading station has base size 550 × 400 × 30 mm consist of belt 680 × 50 mm, 2 barrier light sensor and 1 dark sensor. There are also 8 sensors micro switches for stopping the motors when moving up and down the vertical and horizontal axis. Which PLC-requirements in to control has is 13 digital PLC-inputs, 5 digital PLC-outputs and service unit size 3/2-way hand valve and Shelf consist of 28 slots for storing the object.

4. RESALT AND DISCUSTION

4.1 Scanning station

For scanning station will start when barcode on the object scanned by the camera and code is recorded in the database.

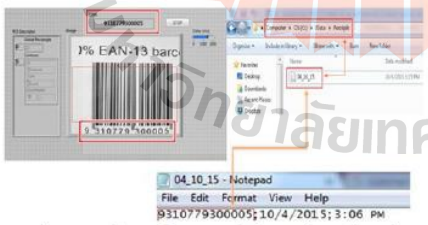


Figure 5. Shown front panel of scan barcode and database from scan barcode.

Figure 5 showed scanning barcode and data collection of the object. The record data use for selecting an object to storage and retrieval. On the front panel showed barcode Ean-13 Type as the image match code panel display. In file database will record number barcode, Day, Month, Year and Time are all referenced in the store on Shelf.

This article discusses the principles of storage and retrieval system that has been designed to operate according to the principles Fixed Location System and FIFO (FIRST-IN-FIRST-OUT). When the command for storage, the system is moving to a position of command that has already been saved. While retrieval system, by locating the storage and retrieval, according to the Figure 6.

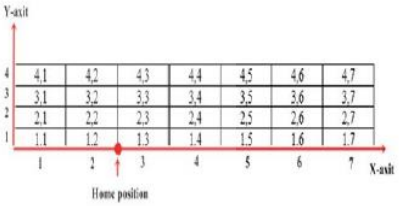


Figure 6. Coordinate for storage.

Figure 6 showed coordinate for storage of 28 slot. The Y axis showed the row number and the X axis showed the column number. Red point between the coordinate (1, 2) and (1, 3) indicates the position corresponding to the home of Loading station. When loading station move to the home position, it will match the red point on the coordinate.

4.2 The system works

In the working system, PLC used for control the movement. This is the ladder diagrams and simulation of the ladder diagram using the KV Studio Ver.4.

Figure 7. Loading station move an object to shelf, coordinate (1, 1).

For Figure 7 show loading station move an object to shelf at coordinate (1, 1). When Cartesian robot in direction X has move to home position before loading an object on shelf. Cartesian robot at direction Y has move to home position. Thus when Cartesian robot direction Y encounter with limit switch stopping motor (M2) CCW at address (015, 100) will operating and place an object on shelf.

The first thing to consider is motion control of system make a smooth transition. When loading station has storage or retrieve objects completed already moving to home every times to calibrate with reference point make for ensure accuracy. For pick up station, the movement of an object will rotate clockwise to home position of loading station, When it place objects on the bar objects, the pick up station rotate counterclockwise to initial position again. To prevent the both workstation crashes, the system has the cons, which is the power supply outage or a separate line output even for a short while or when interference occurs. For the scan barcode and data collection the object, the record data to select an object storage and retrieval on shelf. The control environment of light and scanning obtain the data collection based format designed.

CONCLUSION

This research is designed to a prototype for the training in laboratory. It has integrating both mechanical elements and electrical elements knowledge iuncluding the knowledge in warehouse management with automation. Moreover it can access the system simplily and AS/RS system can be developed in different forms and also can store and retrieval efficiently.

REFERENCES

Vasili MR, Tang SH, Ismail N, et al. (2008) Class-based storage assignments for miniload AS/RS with open-rack structure. International Journal of Engineering & Technology (IJET) 5(2): 118–128.

Dimitrios Bargiotas, Aphrodite Ktena, Christos Manasis and Onoufrios Ladoukakis. A Scalable Low-Cost Automated Storage & Retrieval System. Systems, Signals and Image Processing, 2009. IWSSIP 2009. 16th International Conference on (IEEE) 18-20 June 2009. Pgs 1 – 4.

M.Z.A Rashid, H.N.M Shah, H.I Jaafar, M.S.M Aras and S.K.S Nordin. Sorting and Retrieval Robotic System Controlled via Programmable Logic Controller for Library Usage. International Journal of u-and e-Service, Science and Technology Vol.7, No.4 (2014), pp.19-30.

M.M. Rashid, Banna Kasemi, Mahmudur Rahman. 2011 4th New Automated Storage and Retrieval System (ASRS) using wireless communications. International Conference on Mechatronics (ICOM), 17-19 May 2011.

Ashna Joy, B.Padmanabhan, A.Abinaya. Advanced Technology of Automated Storage and Retrieval System Using PLC Integration. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)- Mar 2014-Volume 9 Number 9.

Sagar R. Wankhade, Prof. V.A.Kane. A REVIEW ON AUTOMATED STORAGE & RETRAIVAL SYSTEM (ASRS). International Journal of Research in Aeronautical and Mechanical Engineering. Vol.2 Issue.4, April 2014. Pgs: 99-110.

NOMENCLATURE

- e : The error e (difference) between the reference and the output to change the inputs u to the system under control P.
- u : Input from controller.
- r : The reference value.
- y : The output of the system.

Parinyawat Boonsingh

Received the B.E. (2012) degree in Manufacturing Engineering from Suranaree University of Technology

Kontorn Chamniprasart

Received the B.S. (1980) degree in Mechanical Engineering from (First Class Homer) from Royal Thai Air Force Academy, Thailand, M.Sc. (1987) degree in Mechanical Engineering from University of Pittsburgh, and Ph.D. (1992) degree in Mechanical Engineering from University of Pittsburgh, system.

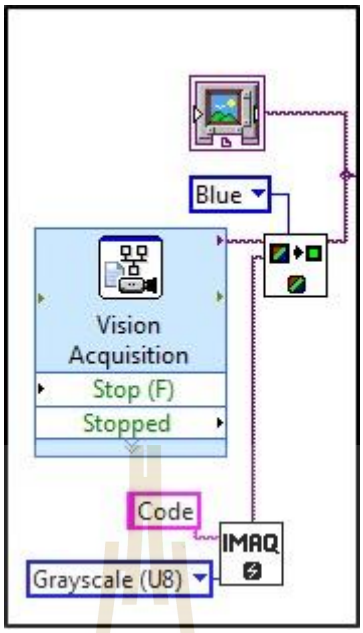
Wichai Srisuruk

Td and currently studying in M.E., degree in Mechatronics Engineering, Suranaree University of Technology. His current interests include vibration, system and control.

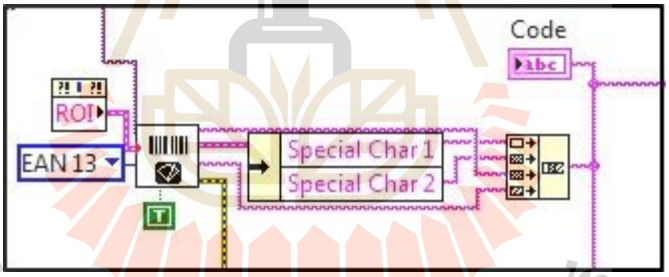
ภาคผนวก ข

รายละเอียดโปรแกรม LabVIEW สำหรับสแกนรหัสแท่ง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ ข.1 แสดงโปรแกรม LabVIEW รับภาพจากการสแกนและจองพื้นที่ชั่วคราว
สำหรับประมวลผลภาพ



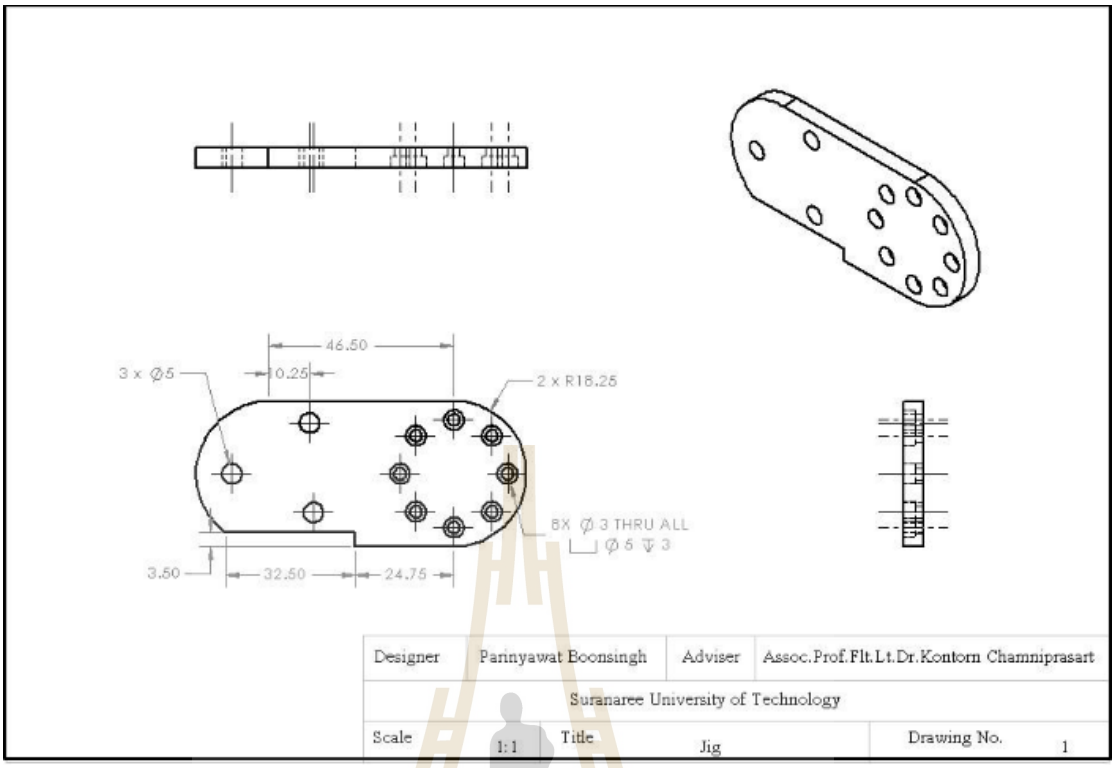
รูปที่ ข.2 แสดงโปรแกรม LabVIEW ประมวลผลภาพเป็นรหัสแท่งประเภท EAN 13

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ค

รายละเอียดของ JIG ในสถานีหยิบและวางสินค้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ ค.1 แสดงรายละเอียดขนาดของ JIG ที่ใช้ยึดแขนหยิบสินค้ากับ Rotary Cylinder

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นางสาวปริญวัฒน์ บุญสิงห์ เกิดเมื่อวันที่ 13 มกราคม 2533 เริ่มต้นการศึกษาในระดับอนุบาลที่โรงเรียนอนุบาลบัวขาว อ.พระประแดง จ.สมุทรปราการ ระดับประถมศึกษาและมัธยมต้นที่โรงเรียนบ้านสว่างโนนแดง อ.ศีขรภูมิ จ.สุรินทร์ จากนั้นศึกษาต่อในระดับมัธยมปลายที่โรงเรียนศีขรภูมิพิสัย อ.ศีขรภูมิ จ.สุรินทร์ และจบการศึกษาในปี พ.ศ. 2551 ต่อมาได้ศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษาที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตในปี พ.ศ. 2555

ปี พ.ศ. 2556 ได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา

ขณะศึกษาต่อในระดับมหาบัณฑิต ได้ประสบการณ์การเป็นผู้สอนปฏิบัติการโดยรับผิดชอบรายวิชาดังนี้

1) ปฏิบัติการวิศวกรรมการผลิต 1
2) ปฏิบัติการวิศวกรรมการผลิต 2
3) ปฏิบัติการวิศวกรรมการผลิต 3
4) ปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล 1
5) ปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล 2
6) ปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล 3
7) ปฏิบัติการวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ 1
8) ปฏิบัติการวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ 2
9) ปฏิบัติการวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ 3
10) ปฏิบัติการฟิสิกส์สำหรับวิศวกรรม 1
11) ปฏิบัติการฟิสิกส์สำหรับวิศวกรรม 2
12) ปฏิบัติการระบบอัตโนมัติอุตสาหกรรม

ผลงานวิจัย : ได้เข้าร่วมนำเสนอบทความในการประชุมสัมมนาระดับนานาชาติ SEATUC Symposium ครั้งที่ 10 จัดขึ้นระหว่างวันที่ 22 - 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ที่สถาบันเทคโนโลยี Shibaura ประเทศญี่ปุ่น ในหัวข้องานวิจัยเรื่องการออกแบบและสร้างต้นแบบระบบจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติ