

ระบบตรวจจับตำหนิบนพื้นผิวโฟมยาง

FOAM RUBBER SURFACE DEFECT DETECTON SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

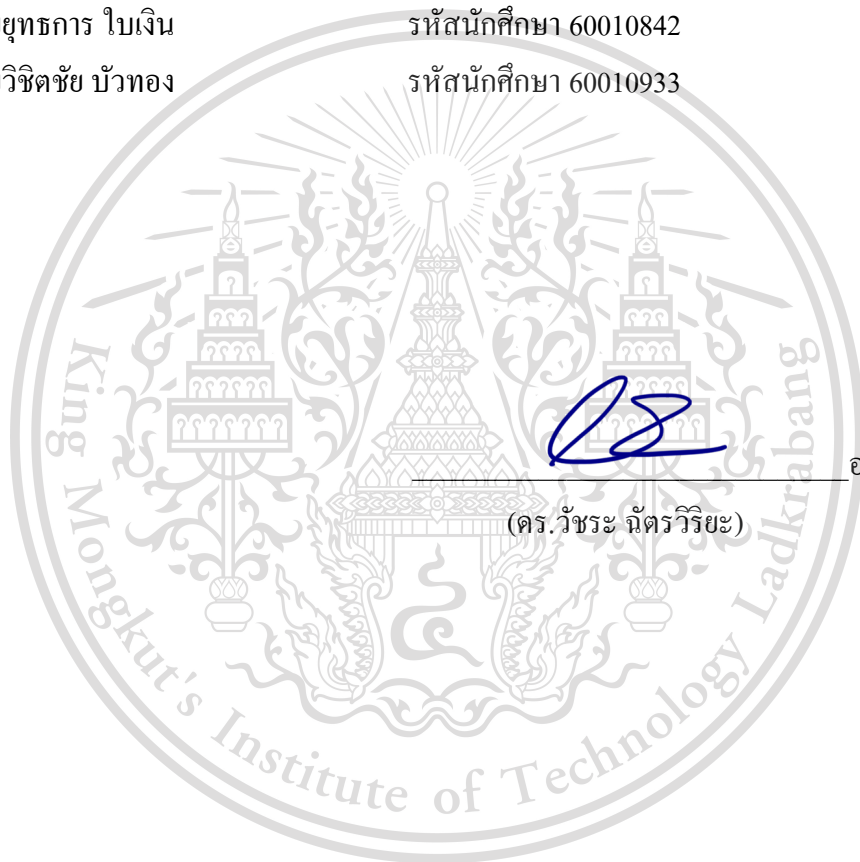
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบตรวจจับตำหนิบนพื้นผิวโฟมยาง

FOAM RUBBER SURFACE DEFECT DETECTON SYSTEM

ผู้จัดทำ

1. นางสาวรัชฎาพิชชา ไร่ประเสริฐ รหัสนักศึกษา 60010456
2. นายยุทธการ ไบเงิน รหัสนักศึกษา 60010842
3. นายวิชิตชัย บัวทอง รหัสนักศึกษา 60010933



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.วัชร ภัทรวิริยะ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ระบบตรวจจับตำแหน่งบนพื้นผิวโคมยาง

นางสาวรัชฎาพิชชา	ไร่ประเสริฐ	60010456
นายยุทธการ	ใบเงิน	60010842
นายวิจิตชัย	บัวทอง	60010933
ดร. วัชร	ฉัตรวิริยะ	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2563		

บทคัดย่อ

ปัญญานิพนธ์ฉบับนี้ เกี่ยวกับการพัฒนาระบบตรวจจับตำแหน่งบนพื้นผิวโคมยางเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการหาตำแหน่งบนพื้นผิวโคมยาง โดยใช้การตรวจสอบคุณภาพแบบอัตโนมัติ ด้วยการมองเห็น และสรุปผลรายงานแก่ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมโคมยาง เนื่องจาก การตรวจสอบคุณภาพในปัจจุบันเป็นการใช้กำลังคนในการตรวจสอบ ทำให้ประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความเหนื่อยล้าของผู้ตรวจสอบ เกณฑ์การตรวจสอบที่ไม่เท่ากันของผู้เชี่ยวชาญแต่ละคน ระบบนี้จึงจัดทำเพื่อช่วยลดความผิดพลาดที่เกิดจากหลายปัจจัยนี้

ระบบมีองค์ประกอบหลัก 3 ส่วนคือ 1) สถานีตรวจสอบคุณภาพ ทำหน้าที่เก็บภาพของชิ้นงานโคมยางด้วยกล้องและแขนกล เพื่อตรวจจับและระบุประเภทของตำหนิด้วยการประมวลผลภาพและการเรียนรู้ของเครื่อง ส่งผลการตรวจจับให้เครื่องแม่ข่าย ผ่าน โพรโตคอล MQTT 2) เครื่องแม่ข่าย ทำหน้าที่วิเคราะห์อัตราการเกิดตำหนิ และประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรอุปกรณ์ ด้วยข้อมูลที่ส่งมาจากสถานีตรวจสอบคุณภาพ และแสดงผลบนเว็บแอปพลิเคชัน 3) เว็บแอปพลิเคชัน ทำหน้าที่แสดงผลการวิเคราะห์จากเครื่องแม่ข่ายให้กับผู้ใช้งานระบบ

โดยระบบตรวจจับตำแหน่งบนพื้นผิวโคมยางนี้ช่วยเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์โคมยาง และลดค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานโคมยาง และมีแนวทางการพัฒนาต่อ คือ การเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานโคมยาง หรือพัฒนาระบบให้สามารถประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมประเภทอื่นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use Only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

FOAM RUBBER SURFACE DEFECT DETECTON SYSTEM

Ms.Thunpitcha	Raiprasert	60010456
Mr.Yutthakarn	Baingen	60010842
Mr.Wichitchai	Buathong	60010933
Dr.Watchara	Chatwiriya	Advisor

Academic Year 2020

ABSTRACT

This project is to develop a foam rubber surface defect detection system to improve the efficiency of detecting defects on foam rubber surfaces. Using automate visual inspection to checks and summarize reports to entrepreneurs in the rubber foam industry Because nowadays, quality inspection is generally the use of manpower in the inspection. The efficiency depends on many factors such as examiner fatigue. The inspection criteria are not the same for each examiner. This system is designed to help reduce the errors caused by these factors.

The system has three main components: 1) an inspection station, Acquire surface images of the foam rubber workpiece by using a camera and a robot arm. To detect and classify defect types with image processing and machine learning. Send the detection results to the server via MQTT protocol, 2) Server. Analyze defect rates and overall equipment effectiveness by using the inspection station's information. And display on web applications 3) web applications display the results of analysis from the server to the users of the system.

The system can collect the results from the inspection station. Analyze the machine performance and show results to the person in charge, and may this foam rubber surface defect detection system increase the value of the foam rubber product, and reduce costs in quality inspection of rubber foam workpieces. For further development approach is to increase the efficiency in the quality inspection of rubber foam workpieces. Or develop a system that can be applied to other types of industries.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use^{II} Only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำ คำปรึกษาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.วัชรระ ฉัตรวิริยะ ที่คอยให้คำแนะนำและความใส่ใจขณะผู้จัดทำโครงการเป็นอย่างดีมาตลอด รวมถึงสั่งสอนวิธีการทำงานอย่างเป็นขั้นตอน และคอยช่วยเหลือในการแก้ปัญหาต่างๆ ซึ่งทางคณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง และขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำงาน หากความรู้ และอำนวยความสะดวกในการทำโครงการครั้งนี้

นอกจากนี้ต้องขอขอบพระคุณ บริษัท เอ็ม แอนด์ พี เวิลด์ โพลีเมอร์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการผลิตชิ้นงาน โฟมยางสำหรับการทำงานของเล่น และตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ศึกษาปัญหาการเกิดตำหนิบนพื้นผิวโฟมยางจากกระบวนการผลิตจริงในโรงงาน และขอขอบพระคุณสาขาวิศวกรรมหุ่นยนต์และปัญญาประดิษฐ์ หลักสูตรนานาชาติ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านหุ่นยนต์แขนกลระดับอุตสาหกรรม และพื้นที่ สำหรับใช้จัดทำโครงการในส่วน of หุ่นยนต์แขนกลนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณผู้ที่ให้ความร่วมมือช่วยเหลือทุกท่านจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยให้คำแนะนำและคำปรึกษาตลอดการทำงาน ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่อบรมเลี้ยงดูคณะผู้จัดทำ ตลอดจนเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนตลอดมา

รัญพิชชา ไร่ประเสริฐ

ยุทธการ ไบเงิน

วิศิษฐ์ บัวทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use^{III} Only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ.....	VI
สารบัญตาราง	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 เป้าหมายของโครงการ.....	2
1.4 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.5 แผนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 โฟมยาง และการผลิต	3
2.2 การตรวจสอบคุณภาพอัตโนมัติด้วยการมองเห็น	6
2.3 การตรวจสอบรอยตำหนิบนพื้นผิว.....	7
2.4 ทฤษฎี และเทคโนโลยีที่ใช้พัฒนาระบบ.....	9
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
บทที่ 3 การออกแบบและการพัฒนา.....	27
3.1 ความต้องการของระบบ และรูปแบบการพัฒนา	27
3.2 การออกแบบระบบ.....	27
3.3 โครงสร้างของระบบ.....	34
บทที่ 4 แนวทางการทดสอบและการวัดประสิทธิภาพ	55
4.1 การดำเนินงาน	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use^{IV} Only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลการดำเนินงาน	56
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	82
5.1 สรุปผลการพัฒนาระบบ	82
5.2 แนวทางการพัฒนาต่อ.....	82
บรรณานุกรม	83



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use Only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
2.1 ขั้นตอนการผลิตโฟมยาง.....	4
2.2 ตัวอย่างรอยตำหนิชนิดตามด.....	5
2.3 ตัวอย่างรอยตำหนิชนิดพองลม.....	5
2.4 ตัวอย่างรอยตำหนิชนิดรอยดำ.....	6
2.5 ตัวอย่างรอยตำหนิจากการเจียร.....	6
2.6 ส่วนประกอบอย่างง่ายของระบบ AVI.....	7
2.7 กระบวนการทั่วไปในการตรวจจับตำหนิบนพื้นผิว.....	8
2.8 ภาพ ABB IC5 Compact และภาพ ABB IRB1200.....	10
2.9 ตัวอย่างหน้าต่างโปรแกรม rqt.....	11
2.10 Terminal เมื่อเปิดการทำงาน Master ด้วยคำสั่ง roscore.....	12
2.11 ภาพ rqt ที่เปิดดู Node ที่อยู่ในระบบ.....	12
2.12 ภาพ terminal ที่ใช้ tools ของ ROS ในการตรวจสอบ topic ที่เปิดอยู่.....	13
2.13 ภาพ rqt ที่เปิดดู Node กับ Topic ที่อยู่ในระบบ.....	13
2.14 ภาพ rqt ที่เปิดดู Node กับ Service ที่อยู่ในระบบ.....	14
2.15 ภาพรวมการทำงานของ MoveIt Motion Planning Framework.....	15
2.16 ตัวอย่างการทำงานของ การจับคู่กับแม่แบบเพื่อตรวจจับตำหนิ.....	16
2.17 แผนภาพระบบการวัดความคล้ายคลึงด้วย Structural Similarity Index Measure (SSIM).....	17
2.18 ตัวอย่าง GLCM แบบ 4 ทิศทาง ($0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ และ 135°) และระยะห่าง ($d=2$) การวางแนวจากพิกเซล.....	18
2.19 ตัวอย่างการจำแนกประเภทด้วย k-Nearest Neighbors (kNN) โดย $k = 1$	19
2.20 ตัวอย่างลักษณะขอบเขตการตัดสินใจจากการเลือกค่า k ที่แตกต่างกัน.....	19
2.21 การทำงานของเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพลดลงเนื่องจากเวลาที่เครื่องจักรไม่ทำงาน ความเร็ว ที่เสียไป และผลผลิตที่ไม่ผ่านมาตรฐาน (ส่วนสีแดงทั้งสามส่วนในรูป).....	20
2.22 โครงสร้างของระบบที่มีรูปแบบ broker topology.....	21
2.23 โครงสร้างของระบบที่มีรูปแบบ Three-tier client-server architecture.....	22
2.24 การทำงานระหว่าง publisher และ subscriber client โดยใช้ MQTT Broker เป็นตัวกลาง.....	23
2.25 การเปรียบเทียบระหว่างระบบ container(ซ้าย) และ Virtual Machine(ขวา).....	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
2.26 สถาปัตยกรรมของ Docker ที่ให้นำซอฟต์แวร์ที่เป็น image ทำงานภายใน container ผู้ใช้งานสามารถควบคุมการทำงานของ Docker ผ่านคำสั่งใน client	25
3.1 Use Case Diagram.....	29
3.2 Database Schema	30
3.3 ภาพ System Diagram ของระบบตรวจจับตำแหน่งบนพื้นผิวโพมยาง	35
3.4 ฟังก์ชันการทำงานระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ กับโปรแกรมในสถานีตรวจจับตำแหน่ง.....	36
3.5 กล้อง Logitech Brio	37
3.6 ภาพการออกแบบกล่องสำหรับการควบคุมกล้อง และการจัดแสง	38
3.7 ภาพผลการออกแบบโลกจำลองสำหรับการควบคุมแขนกล	38
3.8 ฟังก์ชันแสดงการทำงานของอัลกอริทึมการตรวจจับตำแหน่งบนพื้นผิวโพมยางเวอร์ชัน 0.....	39
3.9 ขั้นตอนที่ 1 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา.....	40
3.10 ขั้นตอนที่ 2 ลบพื้นหลัง.....	41
3.11 ขั้นตอนที่ 3 การซ้อนทับภาพโดยการกำหนดตำแหน่ง	41
3.12 ขั้นตอนที่ 4 ผลการสกัดวินโดว์จากการจับคู่กับแม่แบบ	42
3.13 ขั้นตอนที่ 5 การตรวจจับตำแหน่ง	43
3.14 ฟังก์ชันแสดงการทำงานของอัลกอริทึมการตรวจจับตำแหน่ง.....	44
3.15 ขั้นตอนที่ 3 การแปลงภาพสีเป็นระดับสีเทาด้วยการแยกช่องสี RGB.....	44
3.16 ขั้นตอนที่ 4 ผลการสกัดวินโดว์จากการจับคู่กับแม่แบบแต่ละช่องสี RGB	45
3.17 ขั้นตอนที่ 5 การตรวจจับตำแหน่ง	45
3.18 ฟังก์ชันแสดงการทำงานของอัลกอริทึมการตรวจจับตำแหน่ง.....	46
3.19 ขั้นตอนที่ 3 การกำหนด ROI.....	47
3.20 ขั้นตอนที่ 4 การแบ่งกลุ่มสีด้วยเคมีน	48
3.21 ขั้นตอนที่ 5 แปลงภาพสีของแต่ละกลุ่มสีเป็นภาพระดับสีเทา.....	48
3.22 ขั้นตอนที่ 7 การตรวจจับตำแหน่งจากการรวมผลลัพธ์ของทุกกลุ่มสี	49
3.23 ฟังก์ชันแสดงการทำงานของกระบวนการระบุประเภทตำแหน่ง	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ในเชิงพาณิชย์ 50 การค้า

ไม่ว่ากรณีใด 3.25 ฟังก์ชันแสดงการทำงานของกระบวนการตรวจจับตำแหน่ง และระบุประเภทตำแหน่ง

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
3.26 โครงสร้างของหัวข้อสำหรับการส่งข้อมูลจากสถานีการผลิต	52
3.27 Sequence diagram	53
4.1 ตัวอย่างชิ้นงานรหัส sku001	55
4.2 ตัวอย่างชิ้นงานรหัส sku002.....	55
4.3 ตัวอย่างชิ้นงานรหัส sku003.....	56
4.4 สถานีตรวจสอบคุณภาพขณะเตรียมเคลื่อนย้ายชิ้นงาน ไปยังตำแหน่งมาตรฐาน	57
4.5 สถานีตรวจสอบคุณภาพขณะที่กำลังทำการถ่ายภาพพื้นผิวของชิ้นงาน	57
4.6 Node graph ของการเชื่อมต่อ IRC5 compact เข้ากับคอมพิวเตอร์	58
4.7 Node graph การทำงานของ package MoveIt.....	59
4.8 Node graph การทำงานของ package MoveIt ร่วมกับ Node robot_state	59
4.9 ปลายแขนหุ่นยนต์แขนกลที่ใช้จับชิ้นงาน	60
4.10 Node ทำหน้าที่ดูแล service การถ่ายภาพชิ้นงาน	60
4.11 ตัวอย่างผลการใช้งานกล้องใน service สำหรับการถ่ายภาพ	61
4.12 Node ทำหน้าที่ดูแล service การตรวจจับตำแหน่งจุดภาพของชิ้นงาน	61
4.13 ภาพข้อมูลตัวอย่างที่ใช้ในการพัฒนาของชิ้นงานรหัส sku001	62
4.14 ภาพข้อมูลตัวอย่างที่ใช้ในการพัฒนาของชิ้นงานรหัส sku002	63
4.15 ภาพข้อมูลตัวอย่างที่ใช้ในการพัฒนาของชิ้นงานรหัส sku003	63
4.16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า Precision , Recall และ F-score เพื่อวัดความสามารถในการ ตรวจจับตำแหน่งบนพื้นผิวโพมยาง	64
4.17 ภาพตัวอย่างผลลัพธ์ของโปรแกรมตรวจจับตำแหน่งบนพื้นผิวโพมยางรหัส sku001	65
4.18 ตัวอย่างผลลัพธ์ของโปรแกรมตรวจจับตำแหน่งบนพื้นผิวโพมยางรหัส sku002	65
4.19 ตัวอย่างผลลัพธ์ของโปรแกรมตรวจจับตำแหน่งบนพื้นผิวโพมยางรหัส sku003	65
4.20 ข้อมูลตัวอย่างกำหนดชนิดพอลิเมอร์ที่ใช้ในการพัฒนาตัวจำแนก	66
4.21 ข้อมูลตัวอย่างกำหนดชนิดตามคที่ใช้ในการพัฒนาตัวจำแนก	66
4.22 ข้อมูลตัวอย่างกำหนดชนิดรอยคำที่ใช้ในการพัฒนาตัวจำแนก.....	66
4.23 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า Precision , Recall และ F-score เพื่อวัดความสามารถในการ ระบุประเภทคำหับประเภทตามคบนพื้นผิวโพมยาง.....	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยเป็นอย่างสูง และขอเชิญแจ้งข้อผิดพลาดทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า Precision , Recall และ F-score เพื่อวัดความสามารถในการระบุประเภทคำหยาบประเภทพจนมบนพื้นผิวโพมยาง.....	68
4.25 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า Precision , Recall และ F-score เพื่อวัดความสามารถในการระบุประเภทคำหยาบประเภทรอยดำบนพื้นผิวโพมยาง	69
4.26 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า Precision , Recall และ F-score โดยเฉลี่ยเพื่อวัดความสามารถในการระบุประเภทคำหยาบบนพื้นผิวโพมยาง.....	70
4.27 ตัวอย่างข้อมูลของสินค้าที่ถูกส่งจากสถานีตรวจสอบคุณภาพ ที่หัวข้อ “stations/{station-id}/item”	72
4.28 ตัวอย่างข้อมูลเซนเซอร์จำลองที่ถูกส่งจากสถานีตรวจสอบคุณภาพ ที่หัวข้อ “stations/{station-id}/item”	72
4.29 ตัวอย่างข้อมูลที่ถูกจัดเก็บที่ระบบฐานข้อมูล MongoDB ด้วยโมดูล ที่รับข้อมูลจาก MQTT Broker	73
4.30 หน้าแดชบอร์ดข้อมูลภาพรวมการผลิต	74
4.31 หน้าแสดงข้อมูลของสถานีทั้งหมด.....	74
4.32 หน้าข้อมูลลีดการผลิตของสถานี และข้อมูลภาพรวมของการผลิต	75
4.33 ส่วนของข้อมูลการทำงานของสถานี	76
4.34 ส่วนของข้อมูลคำหยาบที่เกิดขึ้น ประกอบด้วยประเภทคำหยาบ และจำนวนที่เกิดขึ้น	76
4.35 ส่วนของข้อมูลเซนเซอร์ที่ได้รับจากสถานีการผลิต	77
4.36 หน้าการจัดการลีดการผลิต และแผนการผลิต	77
4.37 modal แสดงข้อมูลแผนการผลิตสำหรับลีดสินค้านั้น	78
4.38 modal แสดงฟอร์มกรอกข้อมูลแผนการผลิต โดยเลือกสถานีการผลิต กำหนดเวลาการผลิต และเวลาที่เครื่องจักรจะไม่ทำงานเป็นหน่วยนาที	78
4.39 หน้าแสดงข้อมูลรายการ SKU ในระบบ	79
4.40 modal สำหรับการสร้าง SKU เมื่อกดปุ่ม “Create SKU”	79
4.41 modal สำหรับการแก้ไขข้อมูล SKU เมื่อกดไอคอนดินสอที่รายการ SKU ในระบบ	79
4.42 modal สำหรับการยืนยันการลบข้อมูล SKU เมื่อกดไอคอนถังขยะที่รายการ SKU ในระบบ	79
4.43 หน้าแสดงข้อมูลสถานีในระบบ	80

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.44 modal สำหรับสร้างสถานี เมื่อกดปุ่ม “Add station” ที่รายการสถานีในระบบ.....	80
4.45 modal สำหรับแก้ไขข้อมูลสถานี เมื่อกดปุ่ม “Update” ที่รายการสถานีในระบบ	80
4.46 หน้าแสดงข้อมูลผู้ใช้ในระบบ	81
4.47 modal สำหรับเพิ่มผู้ใช้ ประกอบด้วยชื่อผู้ใช้ สิทธิ์ของผู้ใช้ และรหัสผ่าน	81



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use^Xonly, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน	2
3.1 ตารางแสดงความหมายของข้อมูลในตารางคำสั่งซื้อ (Orders)	30
3.2 ตารางแสดงความหมายของข้อมูลในตารางรายการสั่งซื้อ (Requests)	31
3.3 ตารางแสดงความหมายของข้อมูลในตารางล็อตสินค้า (Materials)	31
3.4 ตารางแสดงความหมายของข้อมูลในตารางข้อมูลการใช้ล็อตสินค้าในการผลิต สินค้าใหม่	31
3.5 ตารางแสดงความหมายของข้อมูลในตาราง stock keeping unit ของสินค้า (SKU)	31
3.6 ตารางแสดงความหมายของข้อมูลในตารางข้อมูลสถานี (Stations)	32
3.7 ตารางแสดงความหมายของข้อมูลในตารางบันทึกข้อมูลที่วัดได้จากสถานี (StationEvents)	32
3.8 ตารางแสดงความหมายของข้อมูลในตารางเก็บประเภทของข้อมูลที่วัดได้จากสถานี	32
3.9 ตารางแสดงความหมายของข้อมูลในตารางเก็บข้อมูลการทำงานของสถานี	33
3.10 ตารางแสดงความหมายของข้อมูลในตารางเก็บประเภทข้อมูลการทำงานของสถานี	33
3.11 ตารางแสดงความหมายของข้อมูลในตารางเก็บข้อมูลสินค้าที่ออกมาจากสถานี (Items)	33
3.12 ตารางแสดงความหมายของข้อมูลในตารางเก็บข้อมูลตำหนิของสินค้า (Defects)	34
3.13 ตารางแสดงความหมายของข้อมูลในตารางเก็บข้อมูลประเภทของตำหนิของสินค้า	34
3.14 ตารางแสดงความหมายของข้อมูลในตารางเก็บข้อมูลของผู้ใช้ (Users)	34
3.15 ตารางแสดงข้อมูลที่ต้องส่งไปที่หัวข้อ station/ {station-id}/item	52
4.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการตรวจจับได้ถูกต้องของแต่ละอัลกอริทึม	64
4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบุตำหนิประเภทตามคได้ถูกต้องของแต่ละตัวจำแนก	67
4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบุตำหนิประเภทพองลมได้ถูกต้องของแต่ละตัวจำแนก ...	68
4.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบุตำหนิประเภทรอยตำได้ถูกต้องของแต่ละตัวจำแนก	69
4.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบุประเภทตำหนิได้ถูกต้องของแต่ละตัวจำแนกโดยเฉลี่ย.	70
4.6 แสดงประสิทธิภาพในการตรวจจับตำหนิ และระบุประเภทตำหนิบนพื้นผิวโพมยางโดยรวม .	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use^{XI} Only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

โฝมยางเป็นวัสดุที่ใช้ผลิตวัสดุอุปกรณ์ในหลายอุตสาหกรรม เช่น ในอุตสาหกรรมรถยนต์ ใช้โฝมยางทำเพดานหุ้มด้านในและเบาะนั่งของรถยนต์ ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ใช้โฝมยางทำแผ่นฉนวนกันความร้อน และวัสดุกันเสียง นอกจากนี้โฝมยางยังเป็นวัสดุอื่นๆ เช่น ท่อนลอยกลางทะเล โฝมยางกันกระแทกในกระเป๋าเดินทาง หมวกกันน็อกและของเล่นเป็นต้น จะเห็นได้ว่าโฝมยางนั้นเป็นวัสดุพื้นฐานที่สามารถพบเจอในชีวิตประจำวันและหลายอุตสาหกรรม การควบคุมคุณภาพของวัสดุโฝมยางจึงมีความสำคัญ เพราะตำหนิจากวัสดุโฝมยางอาจทำให้เกิดภัยพิบัติหรือผลผลิตที่ได้มีคุณภาพลดลง ไม่ตรงตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ และไม่เป็นที่ต้องการของผู้ใช้งาน

เนื่องจากขั้นตอนการผลิตโฝมยางมีความซับซ้อน จึงทำให้มีโอกาสที่จะเกิดรอยตำหนิได้หลายประเภท เช่น ในขั้นตอนการกวนวัตถุดิบ หากเนื้อสารไม่มีการแตกตัวที่ดีพอจะทำให้เกิดรอยที่ตัววัสดุโฝมยาง ซึ่งเกิดจากความผิดพลาดของเครื่องจักร หรือกระบวนการควบคุมการทำงานของเครื่องจักร โดยในปัจจุบันการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานโฝมยางหากตรวจสอบดีที่กำลังคนอย่างเดียวอาจมีข้อผิดพลาดจากความเหนื่อยล้า หรือความซับซ้อนของพื้นผิวโฝมยางได้

ดังนั้นปัญญาประดิษฐ์ ฉบับนี้จึงเลือกนำเทคโนโลยีต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาเป็นระบบที่สามารถตรวจสอบตำหนิบนพื้นผิวของชิ้นงานโฝมยางบนสายพานได้อัตโนมัติและสรุปผลการผลิตโฝมยางให้ผู้รับผิดชอบในการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน หรือผู้ดูแลการผลิตทราบรายงานผลการผลิต และผลสรุปประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตได้ง่ายขึ้น เพื่อใช้ในการปรับปรุงเครื่องจักร และพัฒนากระบวนการผลิตต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) เพื่อตรวจจ็บรอยตำหนิบนพื้นผิวของชิ้นงานโฝมยางบนสายพานด้วยระบบกล้อง
- 2) เพื่อหาอัตราการเกิดตำหนิ และประเภทของตำหนิบนพื้นผิวโฝมยาง
- 3) เพื่อสร้างระบบที่สามารถสนับสนุนกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมด้านการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานโฝมยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.3 เป้าหมายของโครงการ

- 1) พัฒนาระบบตรวจจับและระบุประเภทรอยตำหนิบนพื้นผิวของวัสดุประเภทโพลีเมอร์โดยใช้การตรวจจับด้วยภาพ
- 2) พัฒนาระบบให้สามารถวิเคราะห์และสรุปประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรในกระบวนการผลิต

1.4 ขอบเขตของโครงการ

- 1) ระบบตรวจจับสามารถระบุตำแหน่งและประเภทของตำหนิบนพื้นผิวโพลีเมอร์ที่เกิดจากกระบวนการผลิตโพลีเมอร์ภายในโรงงานอุตสาหกรรมโพลีเมอร์ ทั้ง 3 ประเภท ประกอบด้วย ตามด พองลม และรอยตำหนิ โดยใช้กล้องได้ถูกต้อง
- 2) คุณภาพของภาพที่ใช้มีความละเอียด 3,840×2,160 พิกเซล ที่เฟรมเรท 30 เฟรม/วินาที
- 3) ระบบนี้ถูกพัฒนา โดยมีการควบคุมตัวแปรสภาพแวดล้อมในห้องปฏิบัติการ
- 4) ชิ้นงานโพลีเมอร์อยู่บนสายพานจำลอง โดยมีความกว้างของสายพานอยู่ที่ 30 เซนติเมตร และมีความยาว 1 เมตร
- 5) ระบบสามารถตรวจสอบเฉพาะชิ้นงานที่อยู่บนสายพานจำลองได้โดยรอยตำหนิต้องมีขนาดที่สามารถมองเห็นได้จากกล้องที่ใช้งาน

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	2563					2564			
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1 วิเคราะห์ปัญหา									
2 ศึกษา ทบทวนวรรณกรรม									
3 ออกแบบระบบ									
4 พัฒนาระบบ และทดสอบ									
5 ทำเล่มรายงานฉบับสมบูรณ์									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาภายในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบ โดยจะแบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 ส่วนคือ 1) อุตสาหกรรมการผลิตโคมยางพื้นฐาน และตำหนิบนพื้นผิวโคมยาง จากขั้นตอนการผลิต 2) การตรวจสอบคุณภาพอัตโนมัติด้วยการมองเห็นเบื้องต้น 3) ขั้นตอนพื้นฐานในการตรวจสอบรอยตำหนิบนพื้นผิวที่จะนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการตรวจจ็บรอยตำหนิแบบอัตโนมัติ 4) การวัดประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรอุปกรณ์ 5) รูปแบบ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนาระบบ และ 6) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบตรวจจ็บตำหนิบนพื้นผิวโคมยาง ดังนี้

2.1 โคมยาง และการผลิต

ในหัวข้อนี้แบ่งเป็น 2 หัวข้อ ได้แก่ 1) โคมยาง และขั้นตอนการผลิต และ 2) ประเภทของตำหนิบนพื้นผิวโคมยาง มีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 โคมยาง และขั้นตอนการผลิต

ผลิตภัณฑ์โคมยางเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากยางธรรมชาติ มีลักษณะเป็นรูพรุน เหมาะที่จะนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์จำพวกเบาะนั่ง ฉนวนกันความร้อน ที่นอน หมอน เสื้อการนอน หรือของเล่นสำหรับเด็ก หลักการสำคัญของการผลิตโคมยางคือกระบวนการวัลคาไนซ์ด้วยสารเคมีและความร้อน โดยเป็นการทำให้น้ำยางเกิดฟองของอากาศ หรือของก๊าซอื่นๆ แล้วทำให้โคมยางคงรูป

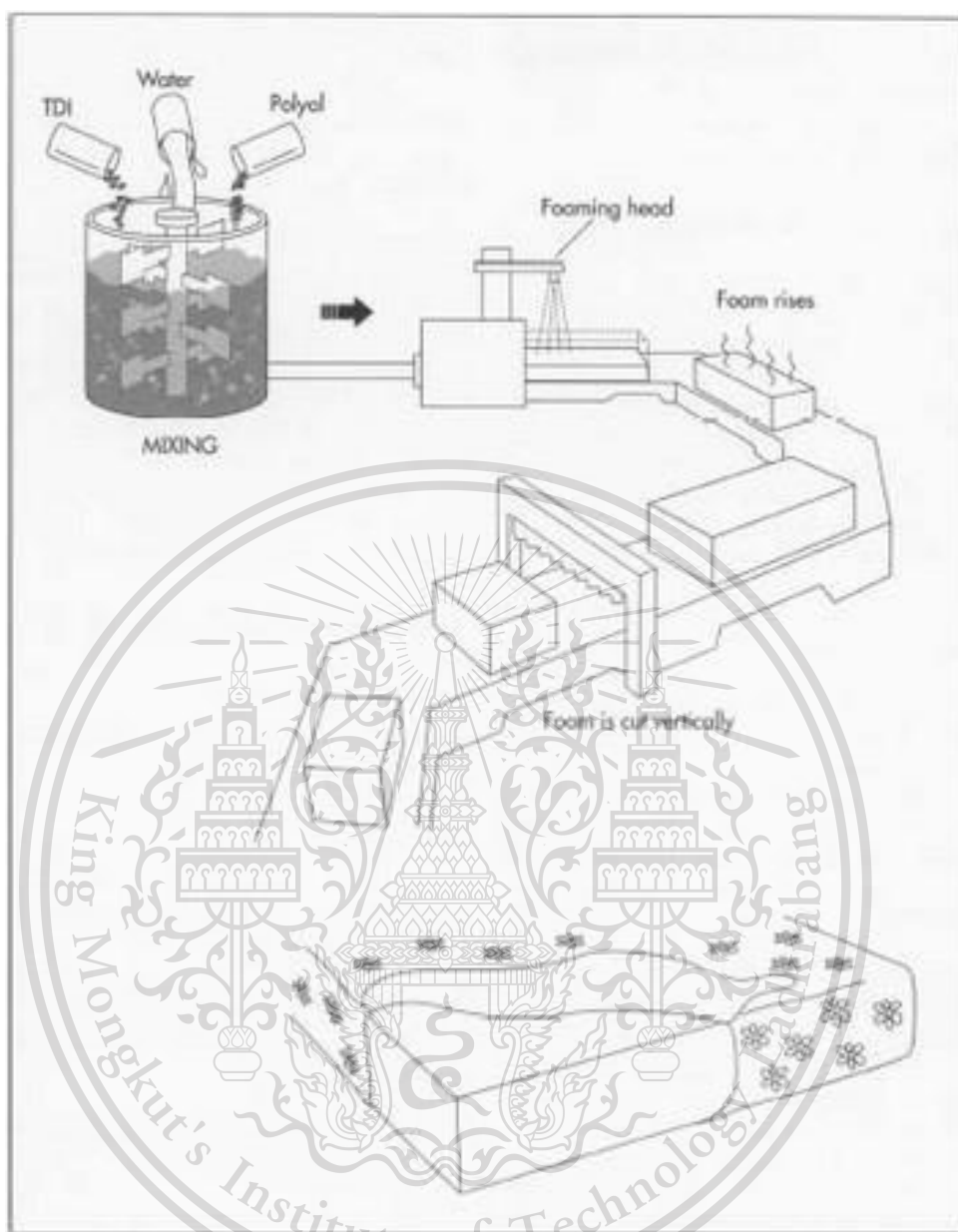
ขั้นตอนการผลิตโคมยางประกอบไปด้วย การเตรียมวัสดุ โดยสารเคมีเหลวจะถูกกล้าเลียงและถูกบรรจุลงถังขนาดใหญ่ จากนั้นสารเคมีจะถูกสูบเติมเข้าไปในถังผสมที่มีความร้อน และการผสมสาร โดยการเติมสารแบบต่อเนื่องใช้สำหรับการผลิตโคมความหนาแน่นต่ำที่มีความแข็งและยืดหยุ่น โดยสารเคมีแต่ละชนิดจะถูกวัดโดยปั๊มมิเตอร์เพื่อให้ได้ปริมาณเฉพาะ โดยจะถูกป้อนจากถังผสมลงในหัวฉีดซึ่งเป็นจุดที่มีการผสมและทำปฏิกิริยาของสารเคมี เมื่อได้ส่วนผสมที่เกิดปฏิกิริยาแล้วจะถูกฉีดลงบนพื้นผิวที่เคลื่อนที่หรืออยู่บนสายพานลำเลียง ซึ่งโคมจะก่อตัวขึ้นและคงรูปตามบล็อกโคม จากนั้นจะเป็นการตัดและการบ่ม โดยในขณะที่โคมเคลื่อนไปตามสายพานลำเลียง เมื่อถึงขั้นตอนการตัดจะถูกตัดอัตโนมัติให้เป็นชิ้นส่วนที่เล็กกลงโดยเลื่อยสายพาน จากนั้นจะถูกบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 ชั่วโมงขึ้นไป หลังจากการบ่มจะมีการตัดส่วนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าตามความหนาหรือรูปทรงที่ต้องการ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 2.1 ขั้นตอนการผลิตโฟมยาง¹

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด¹ รูปถ่ายขั้นตอนการผลิตโฟมยางจาก <http://www.madehow.com/Volume-5/Foam-Rubber.html> รังที่มีการนำไปใช้

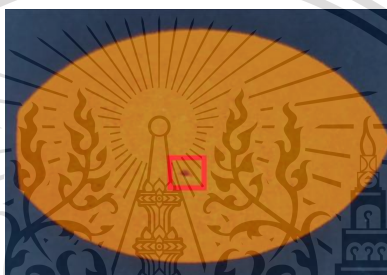
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.2 ประเภทของตำหนิบนพื้นผิวโฟมยาง

จากการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการ โรงงานผลิตโฟมยาง พบว่าประเภทตำหนิบนพื้นผิวโฟมยางที่เกิดขึ้นบ่อย และมักเป็นปัญหามีอยู่ 4 ประเภท คือ รอยตำหนิประเภทตามด รอยตำหนิประเภทพองลม รอยตำหนิประเภทรอยดำ และรอยตำหนิจากการเจียร โดยแต่ละประเภทตำหนิ จะมีลักษณะดังต่อไปนี้

- 1) รอยตำหนิประเภทตามด ตำหนิประเภทนี้เกิดขึ้นจากการมีสิ่งแปลกปลอมตกลงไปบนโฟมยางขณะที่โฟมยางกำลังก่อตัวขึ้น ทำให้เกิดเป็นรูบนผิวที่อาจมีสิ่งแปลกปลอมค้างอยู่



รูป 2.2 ตัวอย่างรอยตำหนิชนิดตามด

- 2) รอยตำหนิประเภทพองลม ตำหนิประเภทนี้เกิดจากขั้นตอนการผสมสารเคมีกับยาง หากเนื้อสารที่ผสมแล้ว มีอากาศอยู่ภายในมากเกินไป ก่อนที่ยางจะแข็งตัว หรือปฏิกิริยาเคมีหมดลง จะก่อให้เกิดเป็นรูขนาดใหญ่ที่พื้นผิว



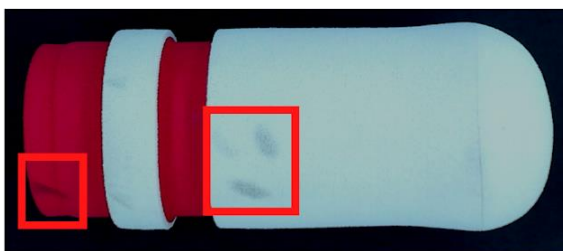
รูป 2.3 ตัวอย่างรอยตำหนิชนิดพองลม

- 3) รอยตำหนิประเภทรอยดำ รอยตำหนิประเภทนี้สามารถเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เช่น การหยิบจับชิ้นงานด้วยเครื่องมือที่สกปรก การขนส่งด้วยสายพานที่เลอะสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 2.4 ตัวอย่างรอยตำหนิชนิดรอยดำ

- 4) รอยตำหนิจากการเจียร รอยตำหนิประเภทนี้เกิดจากขั้นตอนการแปรรูปจากโพลีเมอร์ที่มีลักษณะเป็นแผ่น หรือก้อนที่เหล็ยมให้กลายเป็นชิ้นงานรูปแบบอื่น โดยอาจมีสาเหตุได้จาก 2 ปัจจัยคือ ความผิดพลาดของเครื่องมือ และความผิดพลาดจากผู้ใช้เครื่องมือเจียรชิ้นงาน



รูป 2.5 ตัวอย่างรอยตำหนิจากการเจียร

2.2 การตรวจสอบคุณภาพอัตโนมัติด้วยการมองเห็น (Automated Visual Inspection: AVI)

ในอุตสาหกรรมการผลิต ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ถือเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการผลิตสินค้า (production process) เนื่องจากส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ทั้งการผลิตสินค้าแบบขายส่ง และสินค้าเฉพาะกลุ่ม หากผลิตภัณฑ์ขาดความน่าเชื่อถือแล้วก็จะส่งผลให้มูลค่าของผลิตภัณฑ์ลดลง ดังนั้นขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพจึงเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีมูลค่าสูงสุดในการลงทุนทางด้านอุตสาหกรรมการผลิต โดยเดิมแล้วมักทำการจ้างผู้เชี่ยวชาญในผลิตภัณฑ์นั้น ให้ตรวจสอบ และทดสอบคุณภาพ ก่อนที่จะสามารถนำผลิตภัณฑ์ส่งมอบต่อไปยังผู้บริโภค

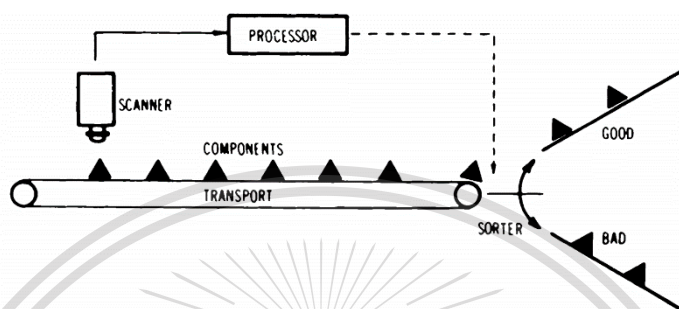
AVI ทำงานโดยใช้เครื่องจักรหรือระบบคอมพิวเตอร์ที่มีการรับภาพผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิต แล้วตรวจสอบว่ามีคุณภาพหรือไม่ โดยจากการศึกษาพบว่าระบบดังกล่าว มีประโยชน์ต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า
แม้ว่ากรณีใด ๆ ที่มีการนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ที่มีการนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ทั้งนี้มนุษย์มีปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานหลายอย่างไม่ว่าจะเป็นความเหนื่อยล้า ความหลากหลายของเกณฑ์ผลิตภัณฑ์ที่ตรวจสอบ หลดหลายของผลิตภัณฑ์ที่อาจก่อให้เกิดการมองเห็นที่ผิดพลาดด้วยสายตา หากนำระบบ AVI เข้ามาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพ จะสามารถลดปัญหาเหล่านั้นได้ นอกจากนี้ยังสามารถลดค่าใช้จ่ายระยะยาวในเรื่องของแรงงานมนุษย์ได้



รูป 2.6 ส่วนประกอบอย่างง่ายของระบบ AVI²

2.3 การตรวจสอบรอยตำหนิบนพื้นผิว (Surface Defect Detection)

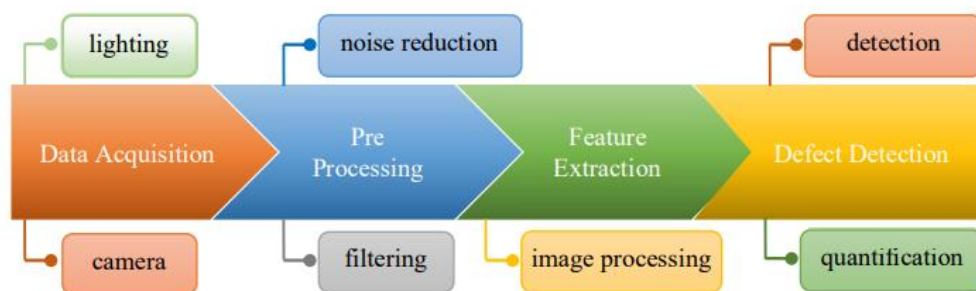
การตรวจสอบรอยตำหนิบนพื้นผิวเป็นส่วนสำคัญในการตรวจสอบคุณภาพ เพื่อป้องกันไม่ให้สินค้าที่มีตำหนิ เช่น รอยแตก รอยดำ หรือรอยขีดข่วนบนพื้นผิว ถูกส่งให้ลูกค้า การตรวจสอบคุณภาพสินค้าในปัจจุบันเป็นการตรวจโดยใช้กำลังคน จึงมีหลายปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อทัศนคติ เช่น ประสบการณ์ และแรงจูงใจของผู้ตรวจสอบ ดังนั้นการพัฒนากระบวนการตรวจสอบอัตโนมัติที่ไม่ได้รับผลกระทบจากความเหนื่อยล้า และความเครียดจึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบได้อย่างเป็นกลาง

การกระบวนการในการตรวจจับตำหนิบนพื้นผิวมีขั้นตอนแตกต่างกันตามลักษณะข้อมูลที่ใช้ ลักษณะการตรวจสอบตำหนิ วิธีที่ใช้ และผลลัพธ์ที่ต้องการ หากสรุปเป็นกระบวนการโดยทั่วไปแล้ว จะได้ดังรูป 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเอาไว้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด² รูปถ่ายขั้นตอนการผลิตโฟมยางจาก <http://www.madehow.com/Volume-5/Foam-Rubber.html> รังที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 2.7 กระบวนการทั่วไปในการตรวจจับตำหนิบนพื้นผิว

1) ขั้นตอนในการเก็บข้อมูล

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนเพื่อให้ได้ภาพสำหรับการประมวลผลเพื่อตรวจจับตำหนิบนพื้นผิว หากมีการเก็บข้อมูลภาพจากสายการผลิต จะมีการทำกระบวนการในการจัดแสงและการตั้งค่ากล้อง โดยจัดแสงเพื่อลดแสงรบกวนจากภายนอก และควบคุมให้ความสว่างคงที่ สามารถใช้กล้องทั่วไปหรือกล้องอาร์เรย์สำหรับใช้งานในอุตสาหกรรมก็ได้

2) ขั้นตอนการเตรียมข้อมูล

หลังจากได้รับภาพแล้ว ขั้นตอนถัดมาคือ การเตรียมข้อมูลภาพ ซึ่งหลักการทั่วไปเป็นการลดสัญญาณรบกวนที่อยู่ในภาพ หรือการฟิลเตอร์ส่วนที่ไม่สำคัญออกจากภาพ ทำให้ได้ภาพที่สามารถนำไปประมวลผลต่อได้ง่ายและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

3) ขั้นตอนการสกัดคุณสมบัติ

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนหลักในกระบวนการตรวจจับตำหนิบนพื้นผิว เพราะเป็นขั้นตอนที่จะทำการสกัดคุณสมบัติหรือคุณลักษณะที่อธิบายข้อมูลภาพที่ได้รับ โดยผลลัพธ์ที่ได้จะสามารถนำไปวิเคราะห์เพื่อตัดสินว่าข้อมูลภาพที่ได้นั้นตรวจพบตำหนิหรือไม่ โดยทั่วไปมักใช้การประมวลผลภาพ ในการสกัดคุณสมบัติเพื่อตรวจจับตำหนิบนพื้นผิว เช่น วิธีการทางสถิติ (Statistical), วิธีการทางโครงสร้าง (Structural) หรือวิธีการกรองข้อมูลภาพ (Filtering) เป็นต้น โดยวิธีเหล่านี้จะถูกเลือกใช้ตามลักษณะข้อมูลที่มีและรูปแบบผลลัพธ์ที่ต้องการ

4) ขั้นตอนการตรวจจับ

ขั้นตอนสุดท้ายนี้ จะนำคุณสมบัติภาพที่สกัดได้มาวิเคราะห์ และเปรียบเทียบ เพื่อระบุว่าภาพข้อมูลที่ได้รับนั้นตรวจพบตำหนิหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4 ทฤษฎี และเทคโนโลยีที่ใช้พัฒนาระบบ

2.4.1 ทฤษฎี และเทคโนโลยีที่ใช้พัฒนาสถานีตรวจสอบคุณภาพ

2.4.1.1 เทคโนโลยีแขนกล

เทคโนโลยีแขนกล หรือ Robotic Arm คือผลิตภัณฑ์ทางด้านกลไกที่ประกอบไปด้วยหลายข้อต่อที่สามารถควบคุมการเคลื่อนไหวได้ รวมไปถึงจนถึงความเร็ว พิกัด และแรงที่ใช้ โดยเทคโนโลยีแขนกลนั้นได้รับความนิยมในอุตสาหกรรมการผลิต เพราะสามารถทำงานที่มนุษย์ไม่สามารถทำได้ หรือว่าทำได้ดีกว่า เช่น ทำงานในพื้นที่ที่มนุษย์ไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น พื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูง พื้นที่ที่มีอากาศเป็นมลพิษ หรือการยกของที่มีน้ำหนักอย่างมาก ทั้งนี้เทคโนโลยีแขนกลหากทำงานได้ถูกต้องตามเงื่อนไขของระบบ แขนกลจะสามารถทำงานได้โดยมีความแม่นยำสูงในสภาพแวดล้อมต่างๆ

แขนกลที่นิยมใช้ในปัจจุบันสามารถจำแนกได้หลายประเภท ขึ้นกับความสามารถ คุณสมบัติของกลไก และการควบคุม เช่น แขนของแขนกล ข้อต่อที่สามารถควบคุมได้อย่างอิสระต่อกัน พื้นที่ที่แขนกลครอบคลุม แรงที่แขนกลสามารถรองรับความเร็ว เป็นต้น จากการที่แขนกลมีคุณสมบัติที่หลากหลาย ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในงานหลายด้าน เช่น การ Pick and Place อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บนแผ่นวงจรพิมพ์ การพิมพ์สามมิติสำหรับวัตถุขนาดใหญ่ การเรียงสินค้ารูปแบบต่างๆลงในกล่องพัสดุเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการจัดสรรกล่องที่ดีที่สุด เป็นต้น

2.4.1.2 ABB IRB1200 และ IC5 compact

แขนกลที่ผลิตโดยบริษัท ABB นิยมใช้ร่วมกับ Controller รุ่น IC5 compact มีลักษณะและโครงสร้างเป็นไปตามรูป 2.14 ภาพ ABB IC5 Compact และภาพ ABB IRB1200 โดย IRB1200 มีความสามารถที่โดดเด่นคือเป็นรุ่นที่เล็กสุดของบริษัท ABB ที่มีฟีเจอร์ SafeMove2 ช่วยให้สามารถคำนวณการเคลื่อนที่อัตโนมัติได้อย่างมีประสิทธิภาพ และปลอดภัยจากการชนสิ่งของรอบข้าง ในส่วนของการพัฒนาซอฟต์แวร์แขนกลนั้น แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ การตั้งค่า Configuration ของหุ่นยนต์ และโปรแกรม RAPID ที่คอยสั่งการหุ่นยนต์ในเรื่องของการหยิบจับสิ่งของ และการเคลื่อนที่

IRC5 compact และ IRB1200 เป็นหนึ่งในรุ่นที่ทาง ABB ได้เลือกนำมาทดลองในการพัฒนาใน package ที่ชื่อ ros-industrial เพื่อให้สามารถใช้งานร่วมกับระบบอื่นบน ROS ได้ มีไดรฟ์เวอร์ที่ทาง ABB พัฒนาช่องทางการเชื่อมต่อระหว่าง IRC5 compact กับคอมพิวเตอร์ผ่านทางสายแลน และอื่นๆ สามารถใช้งานได้จาก package ที่ชื่อว่า abb_driver บน ROS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 2.8 ภาพ ABB IC5 Compact และภาพ ABB IRB1200

2.4.1.3 Robot Operating System (ROS)

ROS³ เป็น open-source ที่ใช้ในการพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับหุ่นยนต์ มีลักษณะเด่นคือมีความยืดหยุ่นในการพัฒนาซอฟต์แวร์ในการวิเคราะห์ และควบคุมส่วนต่างๆของหุ่นยนต์ เนื่องจากใน ROS มีการรวบรวมชุดเครื่องมือ Packages สำหรับอุปกรณ์ต่อพ่วงในหุ่นยนต์ อัลกอริทึมสำหรับการใช้หุ่นยนต์ในสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น Packages การควบคุมพารามิเตอร์ และรับค่าจากกล้อง Packages ควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ เป็นต้น รวมไปถึงเฟรมเวิร์กอื่นที่พัฒนาด้วย ROS เช่น MoveIt Motion Planning Framework สำหรับจัดการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ (Manipulation), Rviz โปรแกรมสำหรับจำลองการทำงานของหุ่นยนต์, Gazebo โลกจำลองสำหรับหุ่นยนต์ที่สามารถจำลองสภาพแวดล้อมได้ เป็นต้น

โดยเดิมที ROS เป็นโครงการที่มีจุดมุ่งหมายในการพัฒนา คือ เป็นจุดศูนย์กลางสำหรับการรวบรวมกลุ่มนักพัฒนาที่เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน ให้สามารถร่วมกัน แบ่งความรู้ และผลงานวิจัย ให้ผู้ใช้อื่นสามารถนำไปพัฒนาชุดซอฟต์แวร์หุ่นยนต์ขนาดใหญ่ที่ใช้ในการพัฒนาหุ่นยนต์ได้ เช่น การทำงานร่วมกันระหว่างทีมที่ชำนาญในการทำ indoor-localization ในขณะที่อีกทีมหนึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญทางด้าน robot vision เพื่อทำให้เกิดเป็นหุ่นยนต์สำหรับตรวจตราความปลอดภัยภายในอาคาร

ROS มีคอนเซ็ปการทำงานคือ การแบ่งการทำงานของหุ่นยนต์ เป็นหลายโมดูลแต่ละโมดูลทำหน้าที่เฉพาะของตนเองและคอยสื่อสารกับโมดูลอื่น เช่น มีโมดูลกล้องที่คอยรับภาพจากหุ่นยนต์ แล้วส่งภาพให้โมดูลแผนที่ประมวลผลว่าหุ่นยนต์จะต้องเคลื่อนที่ไปทางไหน เมื่อคำนวณทิศทางการเคลื่อนที่ได้แล้ว จึงส่งผลไปที่โมดูลการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เพื่อสั่งการให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเอาไว้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

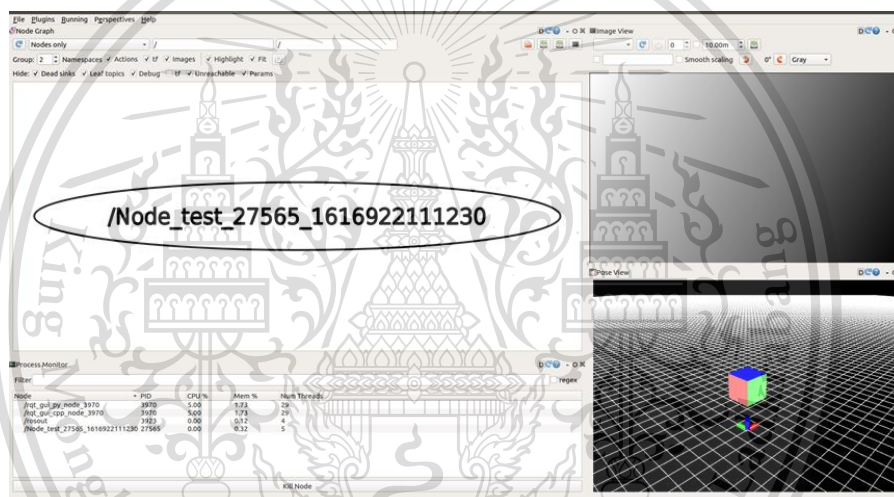
ไม่ว่ากรณีใด³ <https://www.ros.org/about-ros/> แปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ต้องการ โดยการทำงานในลักษณะนี้ ROS จะมีองค์ประกอบที่สำคัญคือ Master, Node, Message, Topic, Service และสามารถแสดงในรูปแบบของ GUI ได้โดยใช้เฟรมเวิร์คของ ROS ที่ชื่อ rqt โดยองค์ประกอบที่กล่าวมานั้นจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) rqt เป็นซอฟต์แวร์ที่พัฒนามาจากเฟรมเวิร์ก GUI ที่ชื่อว่า Qt สำหรับเป็นเครื่องมือในลักษณะของ plugin ที่ผู้ใช้สามารถเลือกแสดงผลสิ่งต่างๆ ที่เกี่ยวกับ ROS ได้ในหลายรูปแบบ และหลายหน้าจอพร้อมๆกัน เช่น หน้าแสดงผลสำหรับแสดง Node ทั้งหมดที่กำลังทำหน้าที่สื่อสารกันในระบบ หรือหน้าต่างแสดงผลสำหรับภาพที่ได้รับจาก Topic ของ Node ที่ทำหน้าที่อ่านภาพจากกล้อง เป็นต้น



รูป 2.9 ตัวอย่างหน้าต่างโปรแกรม rqt

- 2) Master เป็น process หลักของ ROS ที่บริหารจัดการงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบ เช่น การลงทะเบียนชื่อของ Node, Service, และการทำงานส่วนอื่น เพื่อให้ระบบสามารถทำงานร่วมกันในด้านการสื่อสารใน Topic ต่างๆ การเรียกใช้ Service ที่มีอยู่ในระบบได้ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

cxz@cxz-Predator-PH315-53:~$ roscore
... logging to /home/cxz/.ros/log/f97d70ac-8fa3-11eb-abf3-f8ac65fcae4a/roslaunch-cxz-Predator-PH315-53-3
901.log
Checking log directory for disk usage. This may take a while.
Press Ctrl-C to interrupt
Done checking log file disk usage. Usage is <1GB.

started roslaunch server http://cxz-Predator-PH315-53:40835/
ros_comm version 1.14.10

SUMMARY
=====

PARAMETERS
* /roscdistro: melodic
* /rosversion: 1.14.10

NODES

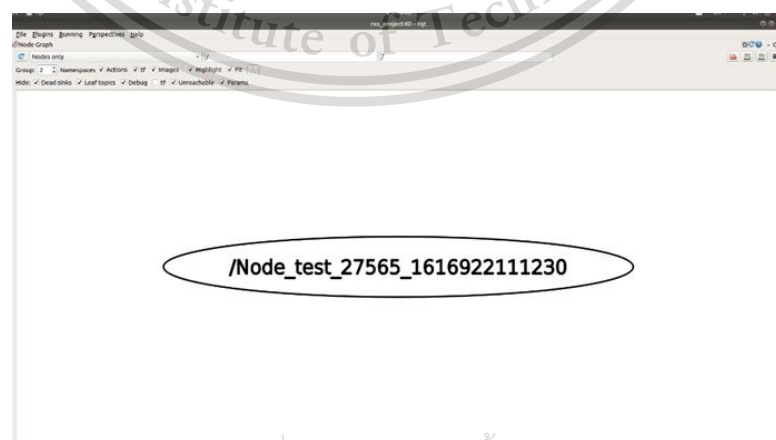
auto-starting new master
process[roscdistro]: started with pid [3912]
ROS_MASTER_URI=http://cxz-Predator-PH315-53:11311/

setting /run_id to f97d70ac-8fa3-11eb-abf3-f8ac65fcae4a
process[roscdistro-1]: started with pid [3923]
started core service [/roscdistro]

```

รูป 2.10 Terminal เมื่อเปิดการทำงาน Master ด้วยคำสั่ง roscore

- 3) Node เป็น process ที่ทำงานด้านการประมวลผลของระบบ โดย ROS ออกแบบการทำงานของ Node เป็นการทำงานแบบแยกส่วนจากกัน ในระดับ โมดูล หรือต่ำกว่า เช่น ในตัวอย่างของหุ่นยนต์ที่กล่าวไปข้างต้น สามารถแบ่ง Node ง่ายๆ ได้เป็น 4 Node ดังนี้ 1) Node สำหรับควบคุมและรับภาพจาก กล้อง 2) Node สำหรับประมวลผลตำแหน่งจากภาพ 3) Node สำหรับควบคุม การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และ 4) Node สำหรับควบคุมการทำงาน Node ก่อน หน้าทั้งหมดที่กล่าวมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูป 2.11 ภาพ rqt ที่เปิดดู Node ที่อยู่ในระบบ
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- 4) Message คือข้อความที่สื่อสารกันระหว่าง Node โดยลักษณะของข้อความอาจเป็นตัวแปรจำนวนเต็ม ตัวแปรจำนวนจริง อาร์เรย์ รวมไปถึงข้อมูลอื่นๆ ที่มีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น ข้อความที่ผู้ใช้กำหนดเองจากการรวมกันของข้อความหลายๆ ประเภท เป็นต้น

```

cxz@cxz-Predator-PH315-53:~$ rostopic info /message_topic
Type: std_msgs/String

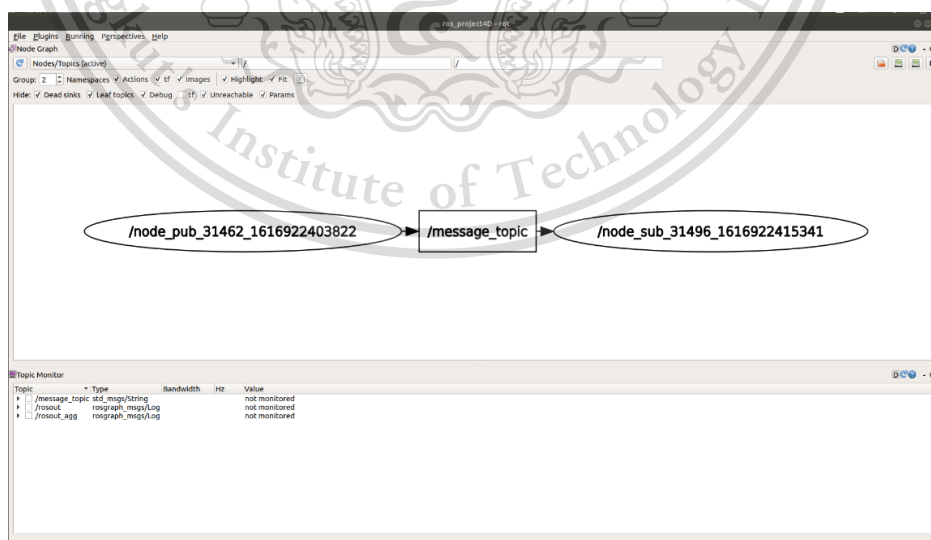
Publishers:
 * /node_pub_31657_1616922538328 (http://cxz-Predator-PH315-53:41897/)

Subscribers:
 * /node_sub_31666_1616922538659 (http://cxz-Predator-PH315-53:45073/)

```

รูป 2.12 ภาพ terminal ที่ใช้ tools ของ ROS ในการตรวจสอบ topic ที่เปิดอยู่

- 5) Topic เป็นช่องทางการส่ง Message ระหว่างหลาย Node มีลักษณะเป็นการสื่อสารทางเดียว และมีระบบการส่งข้อมูลแบบ publish / subscribe และ Node ที่ส่งข้อมูลจะเรียกว่า publisher โดยการระบุชื่อ Topic และประเภทของ Message เพื่อให้ฝั่งผู้รับสามารถรับข้อมูลได้อย่างถูกต้อง และ Node ที่ต้องการรับข้อมูลจะเรียกว่า subscriber ทั้งนี้ในแต่ละ Node อาจมีการรับและส่งข้อมูลพร้อมกัน ไปยังหลาย Topic เนื่องจากการสื่อสารระหว่าง Node ด้วย Topic จะมีลักษณะเป็นแบบ Many-to-Many



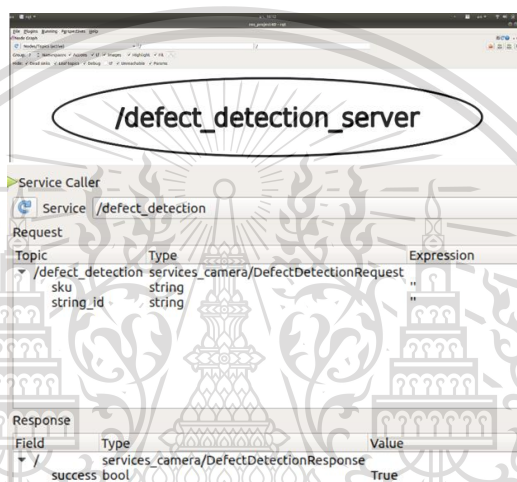
รูป 2.13 ภาพ rqt ที่เปิดดู Node กับ Topic ที่อยู่ในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- 6) Service คือการสื่อสารรูปแบบหนึ่งใน ROS ที่มีลักษณะแตกต่างจาก Topic เนื่องจากในบางครั้งการสื่อสารแบบ Topic มีความยืดหยุ่นสูง ทำให้บริหารจัดการข้อมูลได้ยาก จึงได้มีการพัฒนาการสื่อสารแบบ Request/Reply เพื่อให้ใช้งานทดแทนการสื่อสารแบบก่อนหน้า โดยสร้างข้อความประเภทหนึ่งสำหรับการ Request เพื่อส่งข้อมูลบางอย่างให้ Service ได้ทำการประมวลผล และส่งข้อความ Reply อีกประเภทหนึ่งกลับไปยัง Node ที่ได้ทำการเรียกใช้ Service นี้



รูป 2.14 ภาพ rqt ที่เปิดดู Node กับ Service ที่อยู่ในระบบ

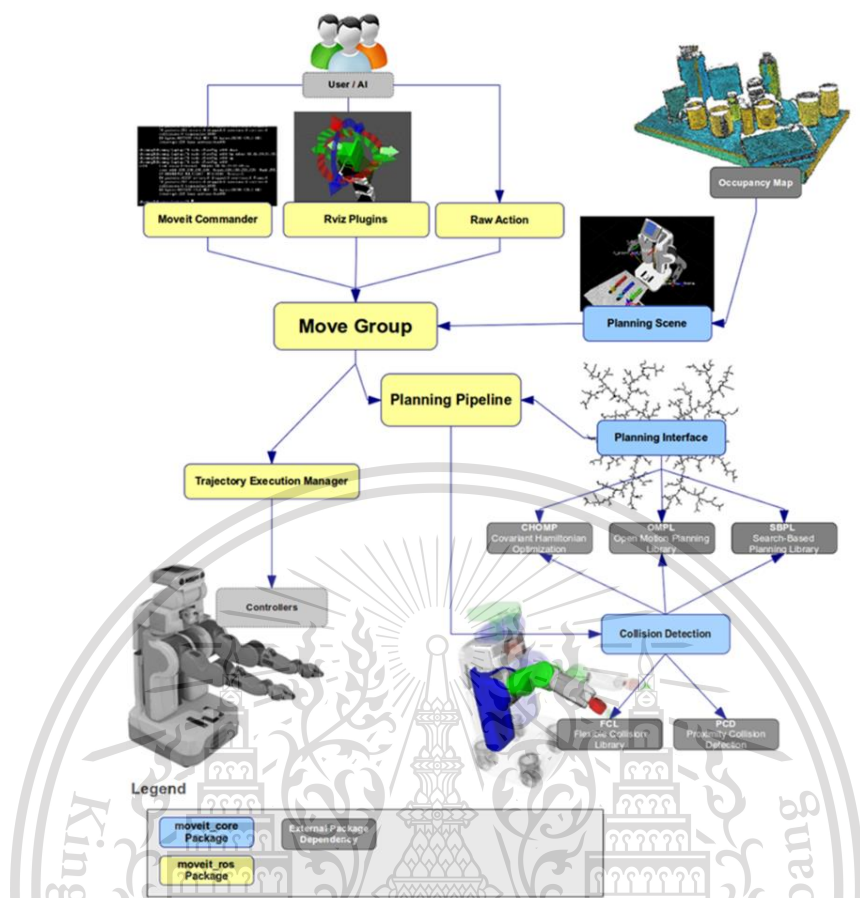
2.4.1.4 MoveIt Motion Planning Framework (MoveIt)

MoveIt คือเฟรมเวิร์กที่พัฒนาอยู่บน ROS นิยมใช้ในการควบคุมและจัดการการทำงานของหุ่นยนต์ (Manipulation) เนื่องจากมีความโดดเด่นทางด้านการคำนวณเส้นทาง การป้องกัน และหลบหลีกอุปสรรครอบตัวหุ่นยนต์ มีลักษณะการทำงานเป็นไปตามรูปที่ 2.15 ภาพรวมการทำงานของ MoveIt Motion Planning Framework โดยการประมวลผลหลักจะเกิดขึ้นที่ Node ที่ชื่อว่า Move Group มีข้อมูลนำเข้าที่สนใจจาก 2 ฝั่งคือ User หรือ โปรแกรมอื่นเช่น AI ที่ใช้ในการตัดสินใจ และ Occupy Map หรือลักษณะทางกายภาพในสภาพแวดล้อมที่หุ่นยนต์สามารถรับรู้ได้ด้วยอุปกรณ์ต่างๆ เช่น กล้อง RGBD หรือ Lidar เป็นต้น แล้วส่งต่อไปที่ Planning Pipeline ประมวลผลตามอัลกอริทึมต่างๆ เพื่อหลีกเลี่ยงการชน และหาเส้นทางที่ดีที่สุดในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ แล้วจึงส่งข้อมูลกลับไปให้ Move Group เพื่อให้ส่งงานไปไปที่ Trajectory Execution Manager สำหรับส่งไปยัง Topic ที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในโลกจริงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 2.15 ภาพรวมการทำงานของ MoveIt Motion Planning Framework ⁴

2.4.2 ทฤษฎี และเทคโนโลยีที่ใช้พัฒนาการตรวจจับ และระบุประเภทตำหนิ

การพัฒนาการตรวจจับ และระบุประเภทตำหนิบนพื้นผิวโพลียเอทิลีน สามารถใช้เทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อตรวจจับตำหนิจากภาพ และระบุประเภทตำหนิด้วยตัวจำแนกจากการเรียนรู้ของเครื่อง โดยมีรายละเอียดทางทฤษฎีดังนี้

2.4.2.1 การประมวลผลภาพ (Image processing)

การประมวลผลภาพเป็นการคำนวณและประมวลผลภาพทางคอมพิวเตอร์ เพื่อให้สามารถสกัดข้อมูลที่ต้องการ โดยสามารถจำแนกออกมาได้หลายประเภทตามวัตถุประสงค์ในการใช้งาน สำหรับโครงการนี้นำเทคโนโลยีการประมวลผลภาพมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลภาพเพื่อตรวจจับตำหนิจากภาพที่ได้รับ โดยจากการศึกษางานวิจัยพบว่ามีการใช้เทคนิคการจับคู่กับแม่แบบเพื่อตรวจจับตำหนิ โดยมีรายละเอียดดังนี้

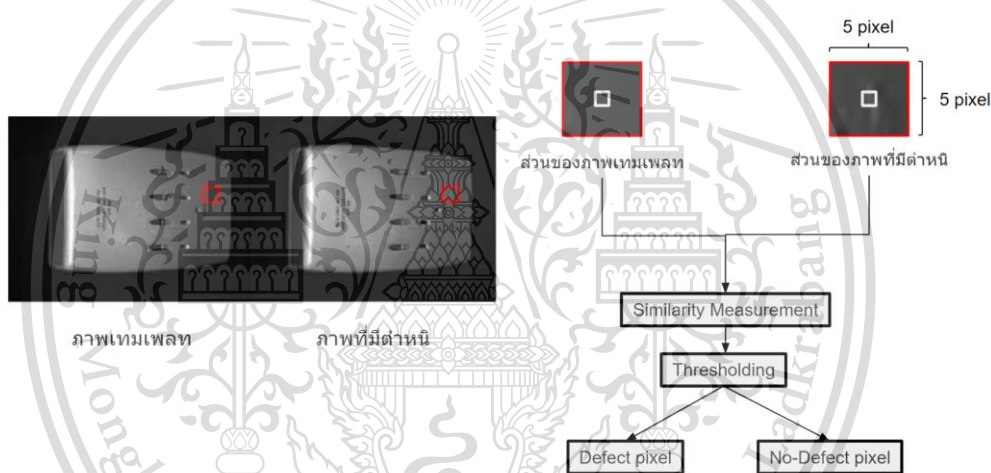
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ⁴ ภาพจาก <https://moveit.ros.org/documentation/concepts/> อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4.2.2 การจับคู่กับแม่แบบ (Template Matching)

การจับคู่กับแม่แบบเป็นเทคนิคในการประมวลผลภาพเพื่อตรวจสอบส่วนที่เหมือนหรือแตกต่างกันระหว่างภาพกับแม่แบบ กระบวนการในการจับคู่กับแม่แบบเป็นการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกัน (similarity) ระดับพิกเซลต่อพิกเซล วิธีนี้จึงมีประสิทธิภาพกับภาพที่มีความเอียงต่างกันไม่มาก โดยหลักการการทำงานทั่วไปจะมีลักษณะแบบไล่เปรียบเทียบแม่แบบไปตามตำแหน่งของภาพจนครบ สำหรับโครงการนี้ลักษณะการทำงานเป็นการไล่เปรียบเทียบระหว่างภาพกับแม่แบบ ณ ตำแหน่งเดียวกัน เพื่อเปรียบเทียบความเหมือนหรือแตกต่างกันที่ตำแหน่งนั้นๆ โดยหากมีความแตกต่างกันมากเกินระดับที่ตั้งไว้ ก็จะถูกพิจารณาให้เป็นตำหนิ ทำการเปรียบเทียบจนครบทั้งภาพ ดังรูปตัวอย่างการทำงาน



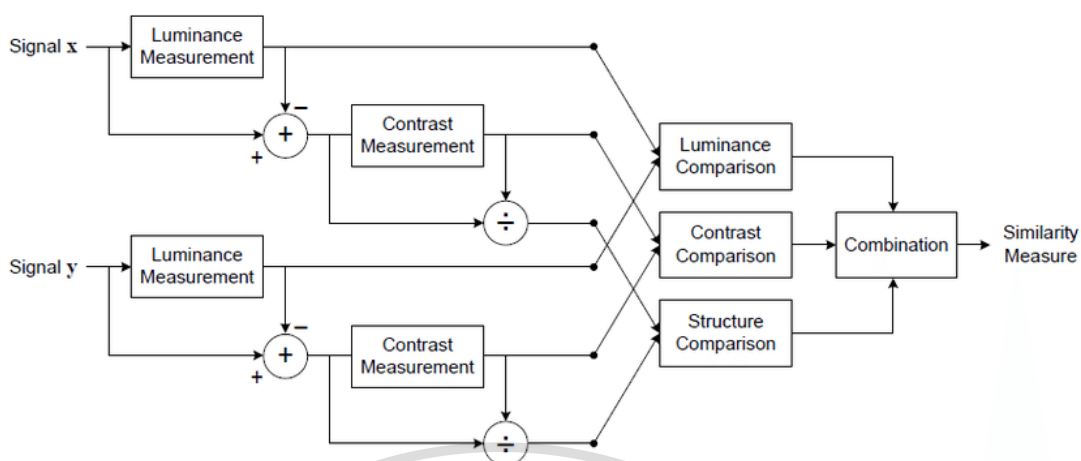
รูป 2.16 ตัวอย่างการทำงานของ การจับคู่กับแม่แบบเพื่อตรวจจับตำหนิ

โดยโครงการนี้ใช้วิธีวัดความคล้ายคลึงด้วย Structural Similarity Index Measure (SSIM) เป็นวิธีวัดความคล้ายคลึงกันจากการเปลี่ยนแปลงในหลายองค์ประกอบของข้อมูลจากโครงสร้างภาพ โดยมีแผนภาพระบบการวัดค่าดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 2.17 แผนภาพระบบการวัดความคล้ายคลึงด้วย Structural Similarity Index Measure (SSIM)⁵

การเปรียบเทียบพิกเซลของภาพ x และ y ที่ตำแหน่งเดียวกัน สามารถคำนวณจากพิกเซลรอบข้างภายในหน้าต่างขนาด $N \times N$ แสดงสมการดังนี้

$$SSIM = \frac{(2 \times \bar{x} \times \bar{y} + C1)(2 \times \sigma_{xy} + C2)}{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C2)(\bar{x}^2 + \bar{y}^2 + C1)}$$

โดย \bar{x} และ \bar{y} คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลพิกเซลในหน้าต่างพิกเซลของ x และ y σ_x^2 และ σ_y^2 คือ ค่าความแปรปรวน (Variance) ของข้อมูลพิกเซลในหน้าต่างพิกเซลของ x และ y σ_{xy} คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Covariance) ของข้อมูลพิกเซลในหน้าต่างพิกเซลของ x และ y $C1$ และ $C2$ เป็นค่าคงที่

2.4.3 การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning)

ในการพัฒนาตัวจำแนกเพื่อใช้ระบุประเภทคำหยาบที่ตรวจจับได้นั้น จำเป็นที่จะต้องมีความสัมพันธ์ที่บ่งบอกคุณลักษณะของภาพคำหยาบที่ได้รับ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการฝึกตัวจำแนก โดยโครงงานนี้จะมีการใช้การสกัดคุณสมบัติพื้นผิวด้วยเมตริกซ์ระดับเทา และ k-Nearest Neighbors classifier ในการพัฒนากระบวนการระบุประเภทคำหยาบ มีรายละเอียดดังนี้

⁵ แผนภาพระบบการวัดความคล้ายคลึงด้วย Structural Similarity Index Measure (SSIM) จาก

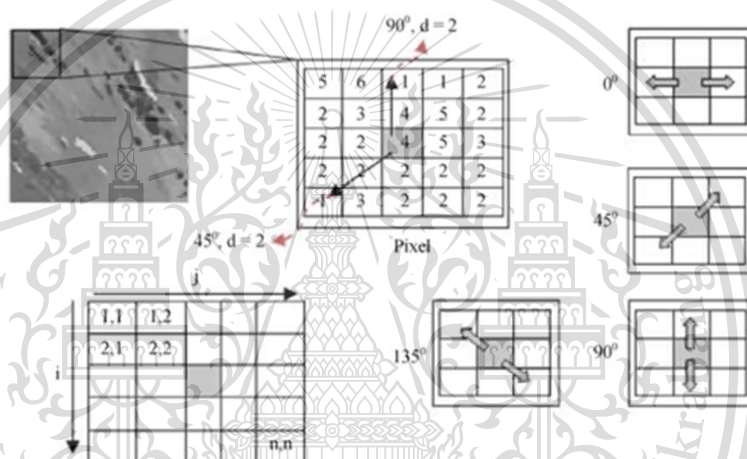
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเอาไว้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

[https://www.researchgate.net/figure/Diagram-of-Structural-Similarity-Index-SSIM-measurement-](https://www.researchgate.net/figure/Diagram-of-Structural-Similarity-Index-SSIM-measurement-system_fig1_303517356)

ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม กรุณาให้ติดต่อผู้ถือลิขสิทธิ์ให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.1 การสกัดคุณสมบัติพื้นผิวด้วยเมทริกซ์ระดับเทา (Gray-level co-occurrence matrix : GLCM)

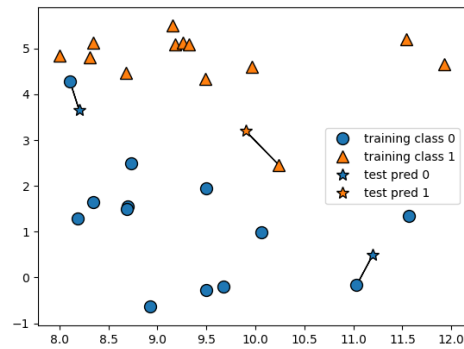
การสกัดคุณสมบัติพื้นผิวด้วยเมทริกซ์ระดับเทา เป็นหนึ่งในวิธีระบุคุณสมบัติของพื้นผิววัตถุที่ใช้อย่างแพร่หลาย ซึ่งเป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้วัดความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของค่าพิกเซลระดับสีเทาที่อยู่ติดกัน โดยฟังก์ชัน GLCM จะวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวภายในภาพจากการสร้างเมทริกซ์แสดงความถี่ในการเกิดคู่พิกเซลที่อยู่ใกล้เคียงกันในภาพ โดยจะนับทั้งหมด 4 ทิศทาง ได้แก่ แนวตั้ง (90°), แนวนอน (0°) และแนวทแยงทั้งสองด้าน (45° และ 135°) ซึ่งมีค่าระดับสีเทา และมีความสัมพันธ์เชิงพื้นที่เฉพาะ



รูป 2.18 ตัวอย่าง GLCM แบบ 4 ทิศทาง ($0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ และ 135°) และระยะห่าง ($d=2$)
การวางแนวจากพิกเซล

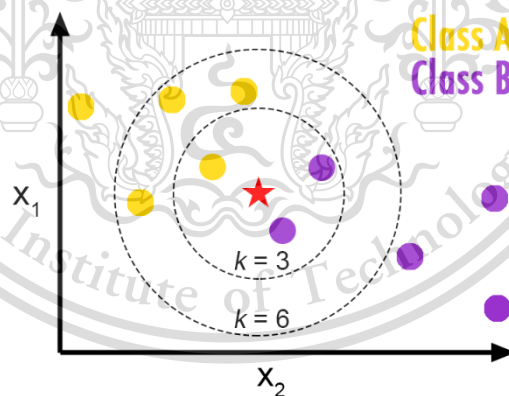
2.4.3.2 k-Nearest Neighbors (kNN) classifier

เป็นหนึ่งในตัวจำแนกแบบมีผู้สอน (Supervised Classifiers) และเป็นอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบนอนพารามेटริก (Non-Parametric) ซึ่งจะคาดการณ์ผลลัพธ์การจำแนกจากการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด (Nearest Neighbors) k ตัวจากข้อมูลที่ใช้ในการฝึกกับข้อมูลชุดใหม่ที่ต้องการจำแนก จากนั้นจะคาดการณ์ประเภทของข้อมูลใหม่จากประเภทส่วนใหญ่ของข้อมูลเพื่อนบ้าน k ตัวนั้น ๆ ดังรูป 2.19



รูป 2.19 ตัวอย่างการจำแนกประเภทด้วย k-Nearest Neighbors (kNN) โดย $k = 1$

หนึ่งในปัจจัยหลักที่ส่งผลกับประสิทธิภาพของตัวจำแนกแบบ k-Nearest Neighbors นั้น คือ ฟังก์ชันความคล้ายคลึง ที่ใช้ในการหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง ซึ่งวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดคือ การหาระยะห่างยูคลิดีเนียน (Euclidean Distance) อีกหนึ่งปัจจัยหลักคือค่า k เนื่องจากส่งผลต่อความยืดหยุ่นและขอบเขตในการตัดสินใจของตัวจำแนก โดยสิ่งเหล่านี้จะแปรผันตรงกับค่า k ที่เติบโตขึ้น ดังภาพ จากการศึกษาพบว่าค่า k ที่มากขึ้นสามารถลดข้อผิดพลาดลงได้ แต่ก็ส่งผลให้การแบ่งขอบเขตที่ชัดเจนของข้อมูลแต่ละประเภทลดลง ดังนั้นจึงต้องเลือกค่า k ให้เหมาะสมกับชุดข้อมูลมากที่สุด



รูป 2.20 ตัวอย่างลักษณะขอบเขตการตัดสินใจจากการเลือกค่า k ที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

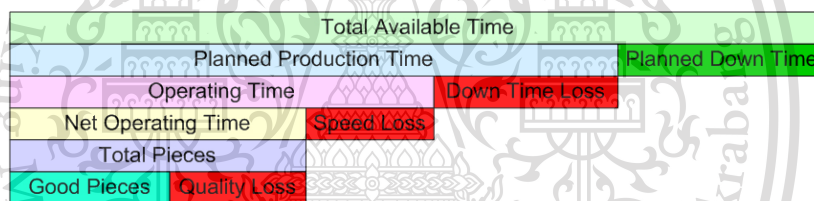
2.4.4 ทฤษฎี และเทคโนโลยีที่ใช้พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับการแสดงผล

2.4.4.1 ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร (Machine Efficiency)

ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญมากในกระบวนการผลิตของภาคอุตสาหกรรม ถ้าเครื่องจักรมีประสิทธิภาพการทำงานสูง ผลิตที่ได้ก็จะมีคุณภาพและปริมาณตามเป้าหมายที่กำหนด แต่ถ้าเครื่องจักรมีประสิทธิภาพต่ำ ผลิตที่ได้ก็อาจจะเกิดปัญหา ซึ่งส่งผลให้เกิดความเสียหายได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการตรวจวัดประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรอยู่เสมอ

ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร คือความสามารถของเครื่องจักรในการทำงาน โดยเทียบการทำงานจริง กับมาตรฐานที่กำหนดไว้ ถูกนำมาใช้ควบคู่กับอัตราการใช้กำลังการผลิตเพื่อประเมินว่าระบบการผลิตสามารถผลิตสินค้าได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

ในปัจจุบันมีวิธีการวัดประสิทธิภาพของเครื่องจักรหลายวิธี เช่น Manufacturing Performance Index(MPI) และ Overall Equipment Effectiveness (OEE) เป็นต้น



รูป 2.21 การทำงานของเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพลดลงเนื่องจากเวลาที่เครื่องจักรไม่ทำงาน ความเร็วที่เสียไป และผลผลิตที่ไม่ผ่านมาตรฐาน (ส่วนสีแดงทั้งสามส่วนในรูป)

2.4.4.2 ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรอุปกรณ์ (Overall Equipment Effectiveness)

ประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรอุปกรณ์เป็นตัวชี้วัดในการวัดประสิทธิภาพของเครื่องจักร และบ่งบอกถึงสาเหตุของความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต เป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้ในการวัดสมรรถนะของการผลิตเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต

OEE ถูกนำมาใช้เพื่อวัดความสูญเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งประกอบด้วยความสูญเสียในการเดินเครื่อง เนื่องจากอุปกรณ์เสียหาย และการปรับการทำงาน of เครื่องจักร ความสูญเสียด้านประสิทธิภาพ เนื่องจากเครื่องจักรถูกขัดจังหวะระหว่างการทำงาน และความเร็วการทำงาน of เครื่องจักรที่ลดลง (จากสเปคเครื่อง) และความสูญเสียด้านคุณภาพ เนื่องจากเครื่องจักรทำงานผิดพลาด โดยความสูญเสียทั้งหมดจะสามารถนำมาคำนวณตามสมการ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

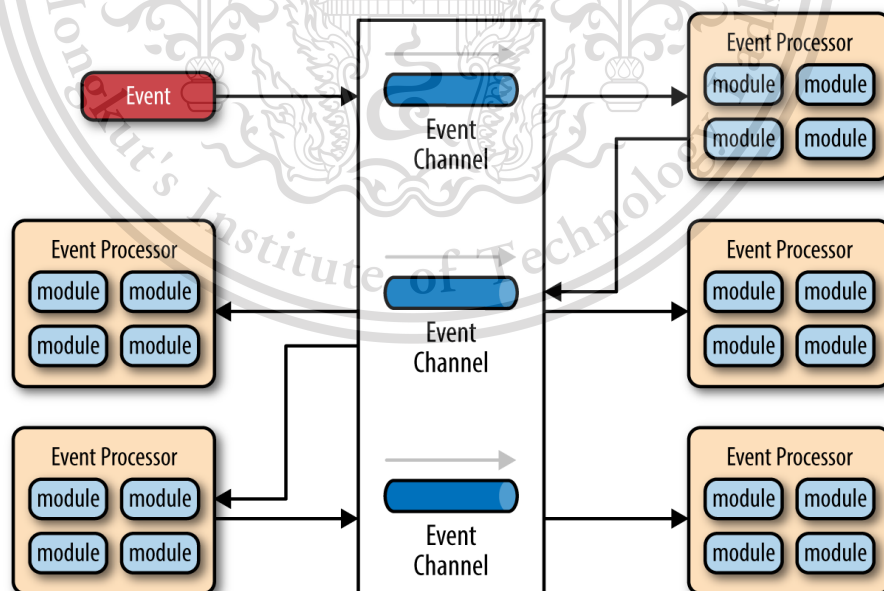
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$OEE = \text{อัตราเดินเครื่อง} \times \text{ประสิทธิภาพเดินเครื่อง} \times \text{อัตราคุณภาพ}$$

โดยอัตราเดินเครื่องแสดงถึงความพร้อมของเครื่องจักรในช่วงเวลาหนึ่ง ประสิทธิภาพเดินเครื่องแสดงถึงความเร็วการผลิตของเครื่องจักรในช่วงเวลาหนึ่ง และอัตราคุณภาพแสดงถึงคุณภาพการทำงานของเครื่องจักร

2.4.4.3 สถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์ที่นำมาใช้ในการพัฒนา

- 1) Broker Topology เป็นรูปแบบหนึ่งของ event-driven architecture ที่ใช้ข้อความในการส่งข้อมูลระหว่างส่วนต่างๆ ของระบบผ่านตัวกลาง เหมาะสำหรับระบบที่มีการส่งข้อมูลที่ไม่ซับซ้อน มีส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ broker และ event processor โดย Broker ทำหน้าที่ในการรับข้อมูลจากแอปพลิเคชัน หรืออุปกรณ์ภายนอกที่ส่งข้อมูลเข้ามา ส่วน Event Processor ทำหน้าที่รับข้อมูลจาก broker เพื่อไปใช้ในการทำงานต่อไปใน โครงงานนี้เลือกเป็นรูปแบบของสถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์นี้ เพราะระบบที่พัฒนาต้องมีความยืดหยุ่นในการขยายระบบ และส่วนต่างๆ ในระบบสามารถทำงานแยกกันได้



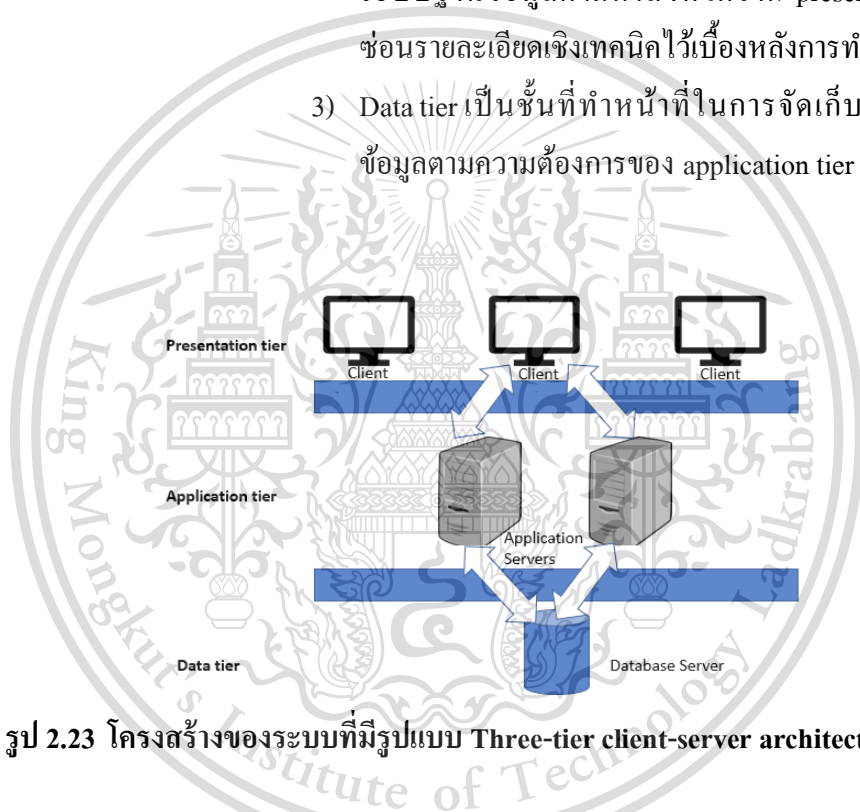
รูป 2.22 โครงสร้างของระบบที่มีรูปแบบ broker topology

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- 2) Three-tier client-server architecture เป็นรูปแบบหนึ่งของสถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์แบบชั้น โดยชั้นต่างๆที่จะถูกซ้อนขึ้นไปเรื่อยๆ และถูกแยกหน้าที่ในการทำงานอย่างชัดเจน มักถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบเว็บแอปพลิเคชัน Three-tier client-server architecture มีประกอบสามส่วน ดังนี้
- 1) Presentation tier เป็นชั้นที่มีหน้าที่ในการจัดการส่วนติดต่อผู้ใช้ และการแสดงผลข้อมูล
 - 2) Application tier เป็นชั้นที่ทำหน้าที่ในการจัดการข้อมูลในระบบฐานข้อมูลตามคำสั่งที่ได้จาก presentation tier โดยซ่อนรายละเอียดเชิงเทคนิคไว้เบื้องหลังการทำงาน
 - 3) Data tier เป็นชั้นที่ทำหน้าที่ในการจัดเก็บข้อมูล และส่งข้อมูลตามความต้องการของ application tier



รูป 2.23 โครงสร้างของระบบที่มีรูปแบบ Three-tier client-server architecture

2.4.4.4 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนา

- 1) Message Queue Telemetry Transport (MQTT)

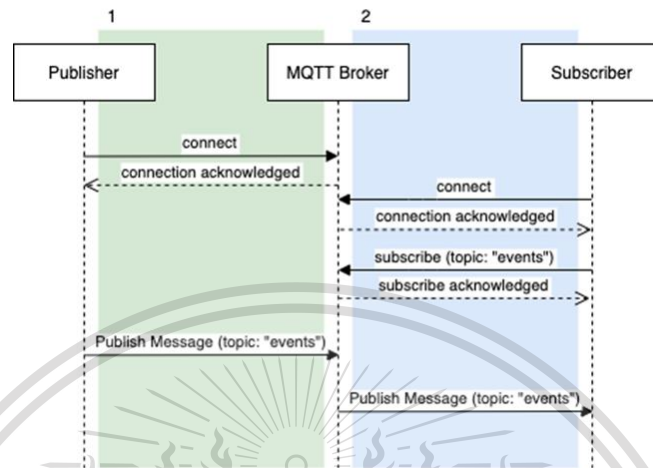
โปรโตคอลการสื่อสารสำหรับระบบที่ถูกติดตั้งในสภาพแวดล้อมที่จำกัด เช่น การสื่อสารระหว่างเครื่องจักร (Machine-to-machine communication) และ Internet of Things ทำงานบน TCP/IP โดยทำงานในลักษณะ broker topology ระบบที่นำ MQTT มาใช้จะสามารถขยายระบบได้ง่าย และทำให้ส่วนประกอบต่างๆในระบบสามารถแยกกันทำงานได้ ในปัจจุบัน มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเชิงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนูเฐาตเห็นาเบเซบระเอชช่นด้นการค้ำ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ซอฟต์แวร์ MQTT Broker หลากหลาย เช่น Eclipse Mosquitto และ RabbitMQ และเครื่องมือที่ช่วยในการพัฒนาระบบที่ใช้ MQTT เช่น MQTT Explorer



รูป 2.24 การทำงานระหว่าง publisher และ subscriber client โดยใช้ MQTT Broker เป็นตัวกลาง

การทำงานระหว่าง publisher และ subscriber จะเป็นตามรูป 2.10 ดังนี้

- 1) Publisher ทำการเชื่อมต่อกับ MQTT Broker และส่งข้อมูลไปยัง MQTT Broker ที่หัวข้อที่ได้ตั้งค่าไว้
- 2) Subscriber ทำการเชื่อมต่อกับ MQTT Broker ติดตามที่หัวข้อที่ต้องการ (จากรูป 2.10 คือหัวข้อ “events”) และรับข้อมูลเมื่อมีข้อความถูกส่งมาที่หัวข้อที่ subscriber ได้ติดตามไว้ที่ MQTT Broker

2) MongoDB

ระบบฐานข้อมูลแบบ non-relational ถูกออกแบบให้เหมาะกับการจัดเก็บข้อมูลที่มีข้อมูลเข้าจำนวนมาก และสามารถขยายระบบฐานข้อมูลแบบกระจายได้ง่าย มีจุดเด่นในด้านประสิทธิภาพในการ query และการรองรับการทำงานที่เป็นลักษณะสำคัญใน relational database เช่น ACID transaction (ในรูปแบบ multi-document ACID transaction) มีเครื่องมือสำหรับช่วยพัฒนาการทำงานที่ต้องใช้ MongoDB เช่น Mongo Compass และข้อเสนอแนะในการใช้งานฐานข้อมูล และออกแบบโมเดลข้อมูลสำหรับ MongoDB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3) Nest.js

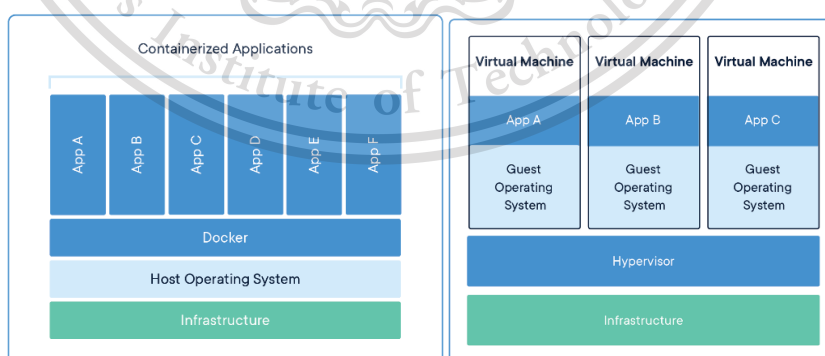
Server-side framework สำหรับการพัฒนา API และ microservices โดยใช้ภาษา Typescript Framework ถูกออกแบบให้รองรับการใช้ Object-Oriented Programming เพื่อให้แอปพลิเคชันที่พัฒนานั้นสอดคล้องกับการออกแบบซอฟต์แวร์ ปรับปรุงและขยายการทำงานได้ง่าย มีคู่มือแนะนำการพัฒนาในระบบในกรณีที่ต้องเชื่อมต่อกับระบบฐานข้อมูลต่างๆ หรือต้องรองรับกับการเชื่อมต่อด้วยโปรโตคอลต่างๆด้วย

4) Next.js

Web framework สำหรับการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันที่ต่อยอดจาก React โดยแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน และเพิ่มการทำงานเพื่อเพิ่มความสะดวกในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน เช่น client-side routing, pre-rendering, code splitting และ hot-reload เป็นต้น

5) Docker

ซอฟต์แวร์แพลตฟอร์มสำหรับการพัฒนา และติดตั้งซอฟต์แวร์ โดยซอฟต์แวร์ที่ทำงานจะถูกนำเข้าไปในสภาพแวดล้อมจำลองที่มีทรัพยากรที่ซอฟต์แวร์นั้นต้องการ เรียกว่า container สามารถนำมาใช้ในการติดตั้งซอฟต์แวร์ที่นำไปให้ใช้งานจริง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการพัฒนาระบบ Continuous Integration และ Continuous Delivery (CI/CD) ได้ด้วย

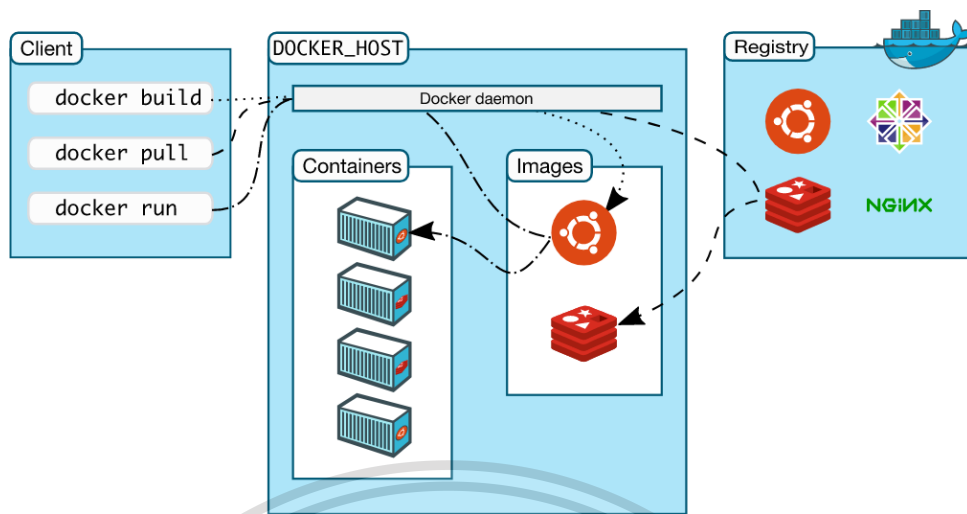


รูป 2.25 การเปรียบเทียบระหว่างระบบ container(ซ้าย) และ Virtual Machine(ขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 2.26 สถาปัตยกรรมของ Docker ที่ให้หน้าซอฟต์แวร์ที่เป็น image ทำงานภายใน container ผู้ใช้งานสามารถควบคุมการทำงานของ Docker ผ่านคำสั่งใน client

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 Visual-Based Defect Detection and Classification Approaches for Industrial Applications

การรวบรวมงานวิจัยนี้จัดทำขึ้นในปี 2020 โดย Tamás Czimmermann และคณะ เป็นบทความปริทัศน์เกี่ยวกับการตรวจจับตำหนิอัตโนมัติจากภาพ ซึ่งใช้กับวัสดุต่างๆ เช่น โลหะ เซรามิก และสิ่งทอ โดยจะกล่าวถึงประเภทของตำหนิโดยทั่วไป อธิบายเทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อเข้าใจลักษณะของวัตถุภายในภาพ การตรวจจับตำหนิบนพื้นผิวด้วยวิธีการทางสถิติ ทางโครงสร้าง และวิธีอื่นๆ รวบรวมผลรายงานวิธีการในการตรวจจับและระบุประเภทตำหนิด้วยการจำแนกแบบมีผู้สอนและไม่มีผู้สอน และวิธีการเรียนรู้เชิงลึก

โดยโครงการนี้ได้แนวทางในการเลือกลักษณะของเทคนิคการประมวลผลภาพการสกัดคุณสมบัติ และเทคโนโลยีการเรียนรู้ด้วยเครื่องบางส่วน มาประยุกต์ใช้กับการตรวจจับตำหนิบนพื้นผิวโพรมาย เช่น ในเรื่องการสกัดคุณสมบัติได้นำ GLCM Texture Feature มาใช้ ในเรื่องการวิเคราะห์สีบนพื้นผิวได้นำ Color clustering มาใช้ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5.2 Surface defect detection of 3D objects using robot vision

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นในปี 2011 โดย Ya-Hui Tsai และคณะ เพื่อพัฒนาระบบการมองเห็นของหุ่นยนต์ (robot vision system) สำหรับการตรวจจับตำหนิบนพื้นผิววัตถุ 3 มิติ โดยมุ่งเน้นไปที่ตำหนิเชิงคุณภาพ เช่นรอยเปื้อน และรอยขีดข่วน โดยงานวิจัยนี้มีการใช้ภาพของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ เม้าส์ โทรศัพท์เคลื่อนที่ และอื่นๆ เริ่มการทำงานด้วยการจัดการกับเงาสะท้อนที่อาจเกิดขึ้นจากค่าองศาของมุมมอง จากนั้นจึงทำการลงทะเบียนภาพ (image registration) ด้วยกระบวนการเลือก marker อัตโนมัติ แล้วทำ Template matching เพื่อตรวจจับตำหนิบนภาพที่ทำการกรองเงาสะท้อนออกแล้ว จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบที่ถูกพัฒนาสามารถรับมือกับเงาสะท้อนบนพื้นผิว และสามารถระบุตำหนิขนาดเล็กบนพื้นผิวต่างค่าองศาของมุมมองได้อย่างมีประสิทธิภาพ

โดยโครงการนี้ได้นำหลักการการตรวจจับตำหนิโดยใช้ Template matching มาอ้างอิง เนื่องจากเป็นการตรวจจับตำหนิบนพื้นผิวชิ้นงาน 3 มิติ เช่นเดียวกับโครงการนี้

2.5.3 Statistical classification of raw textile defects

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นในปี 2004 โดย V. Murino, M. Bicego และ I.A. Rossi เป็นงานวิจัยการจำแนกประเภทของรอยตำหนิที่เกิดขึ้นในการผลิตสิ่งทอ โดยใช้คุณสมบัติ (feature) ต่างๆ ที่สกัดจากฮิสโตแกรมระดับสีเทา (gray level histogram), รูปทรง (shape) และ co-occurrence matrices ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จะถูกจำแนกประเภทโดยใช้เฟรมเวิร์ก Support Vector Machine (SVM) แบบหลายคลาส (multiclass classification) ซึ่งให้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องแม่นยำ

โครงการนี้ได้นำหลักการสกัดคุณสมบัติ และลักษณะของเทคโนโลยีการแยกแยะประเภทรอยตำหนิของงานวิจัยดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ เพราะลักษณะของตำหนิในโครงการนี้มีความคล้ายคลึงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

การออกแบบและการพัฒนา

3.1 ความต้องการของระบบ และรูปแบบการพัฒนา

ระบบตรวจจับตำแหน่งพื้นผิวโคมยางนี้ มีความต้องการของระบบอยู่บนพื้นฐานของการตรวจสอบพื้นผิววัตถุชิ้นงานโคมยางของเล่นที่มีอยู่ 3 รูปลักษณะ และตำหนิ 3 ประเภท นอกจากนี้ ยังมีข้อจำกัดเพิ่มเติมในเรื่องของการพัฒนาระบบในห้องปฏิบัติการ ทำให้ความต้องการของระบบพื้นฐานสามารถแบ่งเป็นองค์ประกอบหลัก 3 ส่วนคือ

- 1) สถานีตรวจสอบคุณภาพ เก็บภาพของชิ้นงานโคมยางด้วยกล้อง Logitech Brio และแขนกล IRB 1200 เพื่อทำการตรวจจับและระบุประเภทของตำหนิด้วยการประมวลผลภาพ และการเรียนรู้ของเครื่อง โดยผลลัพธ์ที่ได้ประกอบไปด้วยตำแหน่งของตำหนิบนภาพ และประเภทของตำหนิ จากนั้นส่งผลการประมวลผลให้เครื่องแม่ข่าย ผ่านโปรโตคอล MQTT
- 2) เครื่องแม่ข่ายโดยใช้บริการของ DigitalOcean รับค่าต่างๆ จากสถานีตรวจสอบคุณภาพ เพื่อวิเคราะห์อัตราการเกิดตำหนิ และประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรอุปกรณ์ จากนั้นจึงแสดงผลบนเว็บแอปพลิเคชัน
- 3) เว็บแอปพลิเคชัน ทำหน้าที่แสดงผลการวิเคราะห์จากเครื่องแม่ข่ายให้กับผู้ใช้งานระบบ

3.2 การออกแบบระบบ

3.2.1 ขั้นตอนการดำเนินงานของระบบ

ขั้นตอนพื้นฐานของการเริ่มต้นดำเนินงานคือ เริ่มจากการกำหนดปัญหา ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษากับผู้เชี่ยวชาญ ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง แล้วจึงเริ่มต้นทำการออกแบบระบบสำหรับทำทดสอบว่าสามารถแก้ปัญหานี้ได้

เบื้องต้นทางผู้จัดทำได้ปัญหาของระบบนี้มาจากการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการด้านโคมยางโดยตรง ขอความอนุเคราะห์เข้าศึกษาขั้นตอนการผลิตโคมยางจากบริษัท เอ็ม แอนด์ พี เวิลด์ โพลีเมอร์ จำกัด และได้ทำการปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษากับผู้เชี่ยวชาญทางด้านการตรวจสอบคุณภาพอัตโนมัติด้วยการมองเห็น แล้วจึงได้โครงสร้างระบบตามที่กล่าวถึงในเนื้อหาต่อจากนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.2 Use case diagram

ในส่วนของการออกแบบ use case diagram ซึ่งถูกใช้อ้างอิงในการพัฒนาระบบตรวจจับตำแหน่งบนพื้นผิวโพมยาง โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.2.2.1 ประเภทของผู้ใช้งานระบบ

ในการพัฒนาระบบตรวจจับตำแหน่งบนพื้นผิวโพมยาง จะแบ่งกลุ่มของผู้ใช้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

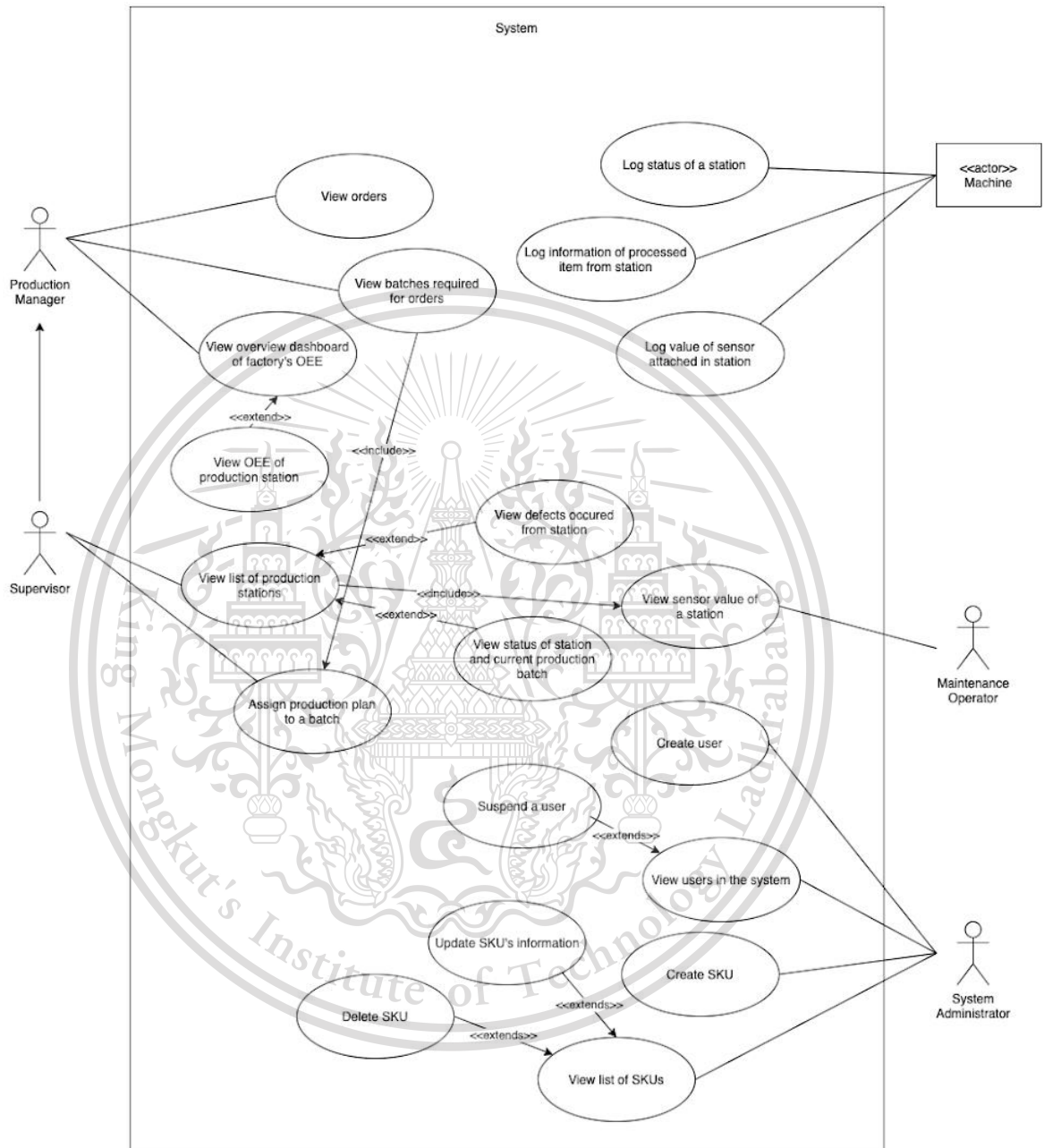
- 1) ผู้จัดการฝ่ายผลิต (Production Manager)
มีหน้าที่ดูแลภาพรวมของการผลิต สามารถดูข้อมูลภาพรวมของการผลิต เช่น OEE ปริมาณสินค้าที่ผลิต เวลาที่ใช้ในการผลิต ของเสียที่เกิดจากการผลิต สามารถดูข้อมูลออร์เดอร์สินค้าที่ต้องผลิต และข้อมูลล็อตสินค้า
- 2) หัวหน้าทีมการผลิต (Supervisor)
มีหน้าที่ดูแล และวางแผนการผลิตให้กับผู้จัดการฝ่ายผลิต สามารถวางแผนการผลิตสินค้า และดูข้อมูลสถานะของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง
- 3) ช่างซ่อมบำรุง (Maintenance Operator)
มีหน้าที่ซ่อมบำรุงเครื่องจักรที่เสียหาย โดยสามารถดูสถานะ และข้อมูลเชิงเทคนิคของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง
- 4) ผู้ดูแลระบบ (System Administrator)
มีหน้าที่ดูแลระบบ บริหารจัดการผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องกับระบบ เช่น การสร้างผู้ใช้งาน และระงับการใช้งานของผู้ใช้งาน และจัดการข้อมูลหลักของระบบ เช่น SKU ของสินค้า และข้อมูลของสถานีการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.2.2 Use case diagram ของระบบ



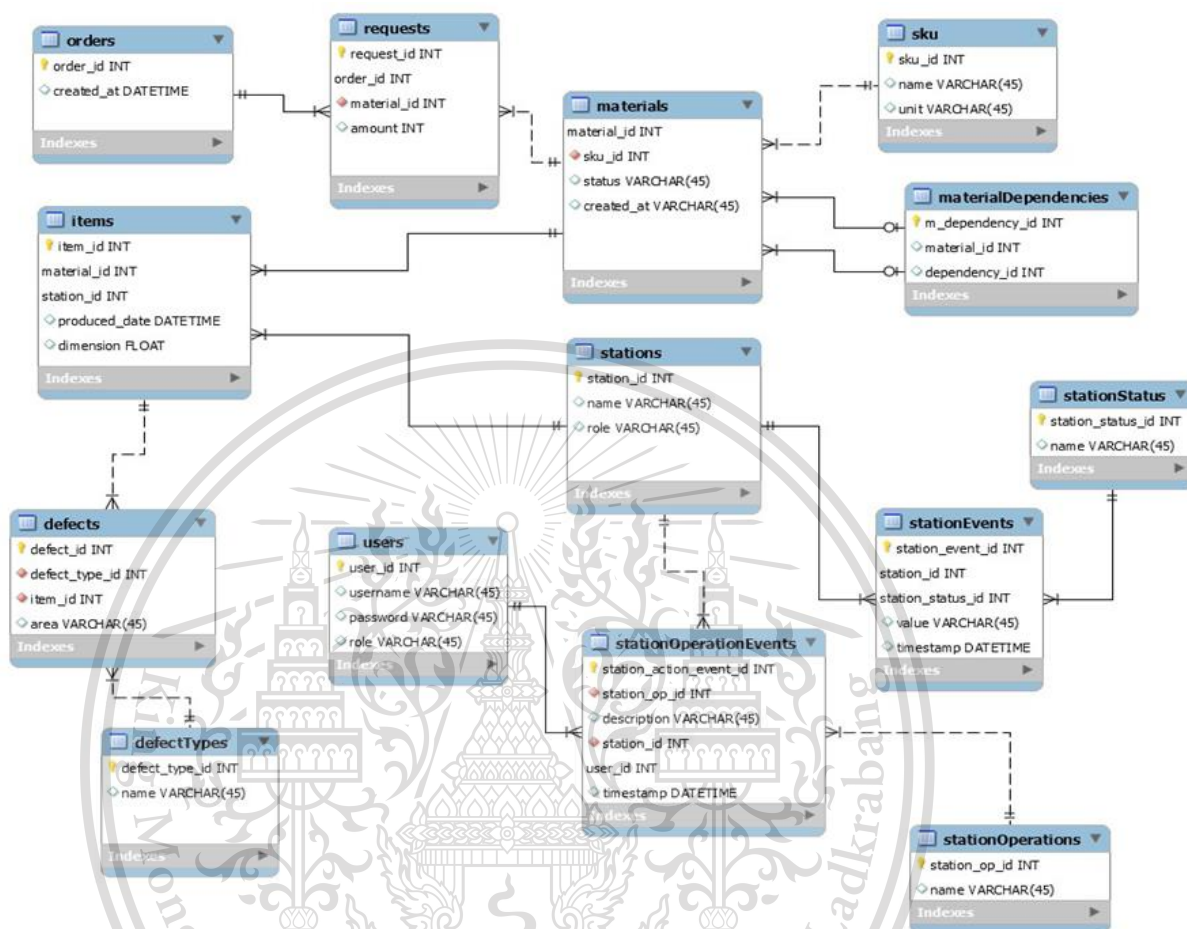
รูป 3.1 Use Case Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.3 Database schema



รูป 3.2 Database Schema

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงความหมายของข้อมูลในตารางคำสั่งซื้อ (Orders)

Attribute	Type	Note	Description
order_id	INT	PK	
created_at	DATETIME		บอกวันที่สร้าง order

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงความหมายของข้อมูลในตารางรายการสั่งซื้อ (Requests)

Attribute	Type	Note	Description
request_id	INT	PK	
order_id	INT	FK	ระบุว่ารายการมาจาก order ใด
material_id	INT	FK	ระบุว่ารายการนั้นต้องการล็อตสินค้าใด
amount	INT		จำนวนสินค้าที่ต้องการใน request นั้น

ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงความหมายของข้อมูลในตารางล็อตสินค้า (Materials)

Attribute	Type	Note	Description
material_id	INT	PK	
sku_id	VARCHAR	FK	Sku_id ของล็อตสินค้านั้น
status	VARCHAR		บอกสถานะว่าล็อตสินค้านั้นเป็นวัตถุดิบ อยู่ในระหว่างการผลิต หรือเป็นผลิตภัณฑ์
created_at	Date		บอกวันที่สร้างล็อตสินค้านั้น

ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงความหมายของข้อมูลในตารางข้อมูลการใช้ล็อตสินค้าในการผลิต
ล็อตสินค้าใหม่ (MaterialDependencies)

Attribute	Type	Note	Description
m_dependency_id	INT	PK	
material_id	INT	FK	ล็อตสินค้าที่จะผลิต
dependency_id	INT	FK	ล็อตสินค้าที่เป็นวัตถุดิบ

ตารางที่ 3.5 ตารางแสดงความหมายของข้อมูลในตาราง stock keeping unit ของสินค้า (SKU)

Attribute	Type	Note	Description
sku_id	INT	PK	
name	VARCHAR		ชื่อสินค้า
unit	VARCHAR		หน่วยของสินค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ใช้ทางเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3.6 ตารางแสดงความหมายของข้อมูลในตารางข้อมูลสถานี (Stations)

Attribute	Type	Note	Description
station_id	INT	PK	
name	VARCHAR		ชื่อสถานี
role	VARCHAR		หน้าที่ของสถานี

ตารางที่ 3.7 ตารางแสดงความหมายของข้อมูลในตารางบันทึกข้อมูลที่วัดได้จากสถานี (StationEvents)

Attribute	Type	Note	Description
station_event_id	INT	PK	
status_id	INT	FK	ข้อมูลที่วัดจากสถานีนั้น
station_id	INT	FK	สถานีที่วัดค่า
value	Float		ค่าที่วัดได้จากสถานี
timestamp	Date		ช่วงเวลาที่วัดค่าจากสถานี

ตารางที่ 3.8 ตารางแสดงความหมายของข้อมูลในตารางเก็บประเภทของข้อมูลที่วัดได้จากสถานี (StationStatus)

Attribute	Type	Note	Description
station_status_id	INT	PK	
name	VARCHAR		คำอธิบายของสถานะนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3.9 ตารางแสดงความหมายของข้อมูลในตารางเก็บข้อมูลการทำงานของสถานี
(StationOperationEvents)

Attribute	Type	Note	Description
station_action_event_id	INT	PK	
station_op_id	INT	FK	ประเภทการทำงานของสถานี เช่น เริ่มทำงาน ซ่อมแซม ปิดเครื่อง
station_id	INT	FK	สถานีที่ส่งการทำงาน
user_id	INT	FK	ผู้ส่งการทำงาน
description	TEXT		คำอธิบายประกอบการทำงานของสถานี
timestamp	Date		ช่วงเวลาที่วัดค่าจากสถานี

ตารางที่ 3.10 ตารางแสดงความหมายของข้อมูลในตารางเก็บประเภทข้อมูลการทำงานของสถานี
(StationOperations)

Attribute	Type	Note	Description
station_op_id	INT	PK	
name	VARCHAR		คำอธิบายของสถานะการทำงานนั้น

ตารางที่ 3.11 ตารางแสดงความหมายของข้อมูลในตารางเก็บข้อมูลสินค้าที่ออกมาจากสถานี
(Items)

Attribute	Type	Note	Description
item_id	INT	PK	
material_id	INT	FK	บอกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตมานั้นอยู่ใน material lot ใด
station_id	INT	FK	บอกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตนั้นมาจากสถานีใด
produced_date	Date		บอกวันที่ผลิต
dimension			บอกขนาดที่วัดได้ของ item นั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3.12 ตารางแสดงความหมายของข้อมูลในตารางเก็บข้อมูลตำหนิของสินค้า (Defects)

Attribute	Type	Note	Description
defect_id	INT	PK	
item_id	INT		บอกผลิตภัณฑ์ที่พบตำหนิ
defect_type_id	INT		บอกประเภทของตำหนิที่พบ
area			บอกขนาดของตำหนิที่พบ

ตารางที่ 3.13 ตารางแสดงความหมายของข้อมูลในตารางเก็บข้อมูลประเภทของตำหนิของสินค้า (DefectTypes)

Attribute	Type	Note	Description
defect_type_id	INT	PK	
name	VARCHAR		ชื่อของตำหนิ

ตารางที่ 3.14 ตารางแสดงความหมายของข้อมูลในตารางเก็บข้อมูลของผู้ใช้ (Users)

Attribute	Type	Note	Description
user_id	INT	PK	
username	VARCHAR		ชื่อของผู้ใช้งาน
password	VARCHAR		รหัสผ่านของผู้ใช้งาน
role	VARCHAR		ตำแหน่งของผู้ใช้งาน เช่น ผู้ควบคุมเครื่องจักร ผู้จัดการการผลิต

3.3 โครงสร้างของระบบ

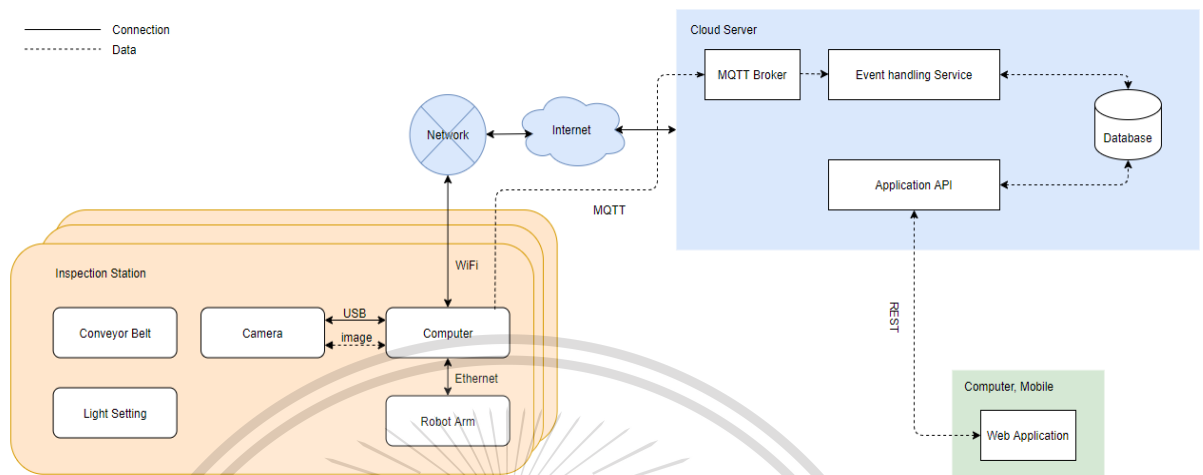
โครงสร้างของระบบนี้จะสามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ 1) สถานีตรวจสอบคุณภาพ โดยอาจมีหลายสถานีในหนึ่งโรงงาน 2) ระบบเซิร์ฟเวอร์ และฐานข้อมูล เป็นสถานที่จัดเก็บ และวิเคราะห์ข้อมูลจากสถานีตรวจสอบคุณภาพที่อาจมาจากหลายโรงงาน และ 3) เว็บแอปพลิเคชัน สำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องกับการผลิต และเครื่องจักรที่ใช้ โดยจะแสดงข้อมูลตามความเหมาะสมกับหน้าที่ของผู้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสาร โดยแต่ละส่วนที่กล่าวมาจะมีส่วนประกอบตามที่หัวข้อ System Diagram กล่าวถึง และมีการค้าไม่ว่ากรณีใดรายละเอียดย ตามหัวข้ออื่นที่จะกล่าวถึงในบทนี้ ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.1 System Diagram



รูป 3.3 ภาพ System Diagram ของระบบตรวจจับตำหนิบนพื้นผิวโพลียเมท

โครงสร้างของระบบประกอบด้วย 3 ส่วน ดังภาพ

- 1) สถานีตรวจสอบคุณภาพ ประกอบด้วยการทำงาน 2 ส่วนดังต่อไปนี้ ส่วนการควบคุมสภาพแวดล้อมได้แก่ สายพานการผลิต กับการควบคุมแสง และส่วนการตรวจสอบคุณภาพได้แก่ กล้องสำหรับการเก็บภาพวัตถุชิ้นงาน คอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผล และแขนกลเพื่อหมุนวัตถุชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบ
- 2) ระบบเซิร์ฟเวอร์ และฐานข้อมูล ประกอบด้วย MQTT broker ที่รับข้อมูลจากสถานีต่างๆ โมดูลสำหรับจัดเก็บข้อมูลที่ได้จาก MQTT broker ไปยังระบบฐานข้อมูล และ API สำหรับการดึงข้อมูลในระบบฐานข้อมูล MongoDB
- 3) เว็บไซต์พลิเคชันสำหรับดูภาพรวมของสถานี ปริมาณการผลิต เวลาเดินเครื่อง ข้อผิดพลาดทางเครื่องจักร และตำหนิที่พบจากผลิตภัณฑ์ที่ออกมา

3.3.2 การออกแบบสถานีตรวจสอบคุณภาพ (Inspection station)

สถานีตรวจสอบคุณภาพ หรือ Inspection Station มีการทำงานที่ประกอบไปด้วย 3 อุปกรณ์ คือ กล้อง คอมพิวเตอร์ และแขนกล โดยสามารถแบ่งโปรแกรมที่ทำการพัฒนาจะมี 3 ส่วนคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1) Defect Detection Program

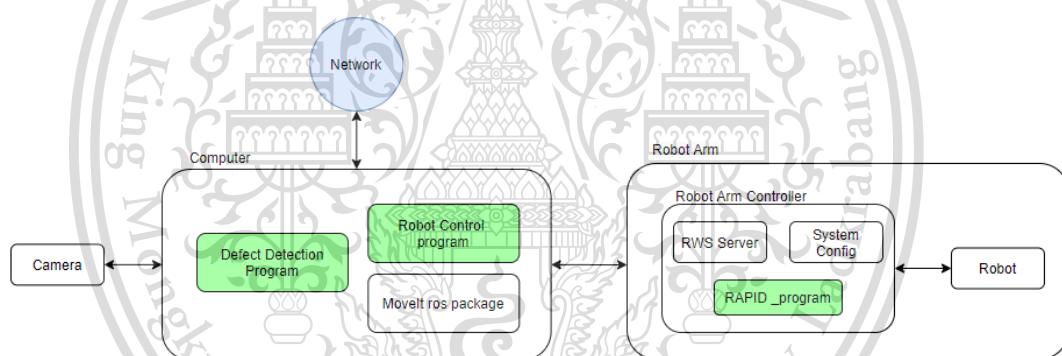
เป็นโปรแกรมที่พัฒนาเพื่อเชื่อมต่อกล้องเข้าสู่ระบบ สำหรับเก็บภาพชิ้นงาน โฟมยาง นำไปประมวลผลเพื่อตรวจสอบว่ามีตำหนิบนพื้นผิวหรือไม่ โดยกล้องกับคอมพิวเตอร์สื่อสารกันด้วยสาย USB

2) Robot Control Program

เป็นโปรแกรมที่พัฒนาเพื่อควบคุมแขนกลสำหรับขยับ และหยิบจับชิ้นงาน โฟมยางจากสายพานการผลิต ให้กล้องสามารถตรวจจับตำหนิได้ครบทุกด้านของชิ้นงาน พัฒนาด้วย package ที่ชื่อว่า MoveIt

3) RAPID program

เป็นโปรแกรมที่พัฒนาด้วย RobotStudio เพื่อทำหน้าที่คอยแปลความหมายของคำสั่งที่ได้จาก Robot Control Program และสื่อสารกับแขนกลโดยตรง โดยโปรแกรมนี้อาจใช้ใน Robot Arm Controller



รูป 3.4 ผังการทำงานระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ กับโปรแกรมในสถานีตรวจจับตำหนิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.2.1 การเก็บภาพชิ้นงานจากสายพานจำลอง

ลำดับการเก็บภาพชิ้นงานจากสายพานจำลอง จะมีขั้นตอนโดยง่ายอยู่ 3 ขั้นตอน คือ 1) รับรู้ว่ามีชิ้นงานเข้ามาในสายพาน หรือบริเวณที่สนใจ เพื่อส่งข้อมูลของชิ้นงานให้คอมพิวเตอร์ประมวลผล ในการทำขั้นตอนต่อไป 2) ทำการเคลื่อนย้ายชิ้นงานจากตำแหน่งบนสายพาน ไปยังตำแหน่งมาตรฐาน เพื่อเตรียมทำการเก็บภาพ หรือข้อมูลอื่นตามที่ต้องการใช้ ตรวจสอบคุณภาพและ 3) เก็บภาพรอบด้านของชิ้นงานโคมยางเพื่อทำการตรวจสอบคุณภาพ

ในโครงการนี้ จะสามารถแบ่งอุปกรณ์ที่อยู่ในสถานีตรวจสอบคุณภาพได้ออกเป็น 2 ส่วนคือ 1) กล้อง และการจัดแสง และ 2) การควบคุมแขนกล โดยจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การควบคุมกล้อง และการจัดแสง

สำหรับการทดลองเก็บภาพพื้นผิวชิ้นงานโคมยางจะมีอยู่ 2 สิ่งที่ต้องควบคุม คือ การตั้งค่ากล้อง และการจัดแสง ในโครงการนี้ เลือกใช้กล้อง Logitech Brio เนื่องจากเป็นกล้องที่สามารถถ่ายภาพขนาด 3840×2160 พิกเซล และเลือกใช้ LED strip แสงสีขาวเป็นแหล่งกำเนิดแสง นำไปประกอบในโครงสร้าง ที่ออกแบบเป็นกล้องขนาดประมาณ 50 50 50 เซนติเมตร เนื่องจากมีขนาดเหมาะสมกับความยาวสูงสุดของตัวอย่างชิ้นงานโคมยาง คือ 30 ซม. โดยจะมีโครงสร้างเป็นดังรูป 3.6

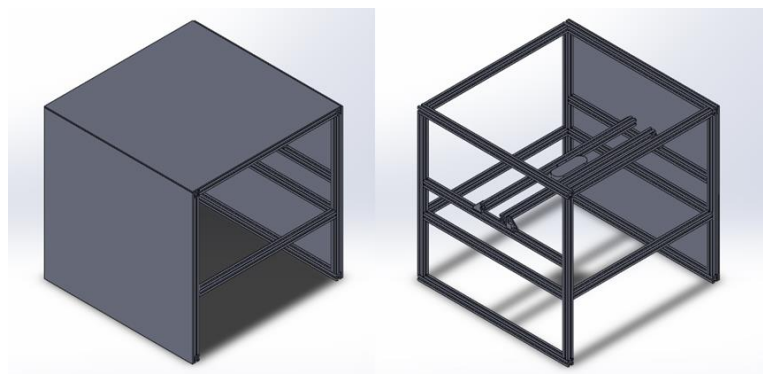


รูป 3.5 กล้อง Logitech Brio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

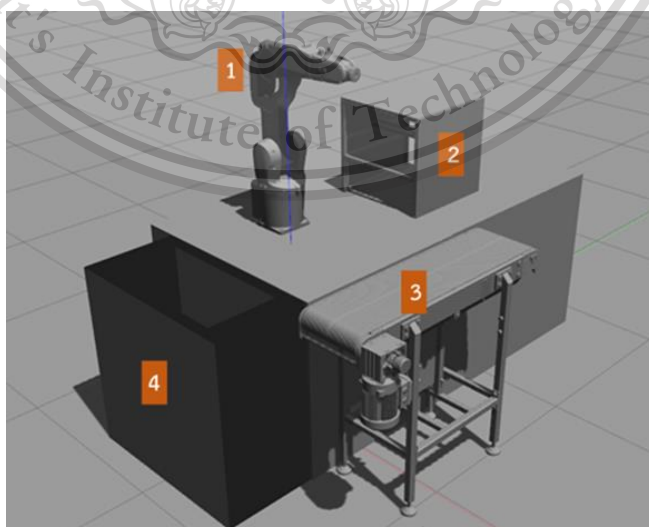


รูป 3.6 ภาพการออกแบบกล่องสำหรับการควบคุมกล้อง และการจัดแสง

2) การควบคุมแขนกล

สำหรับการควบคุมแขนกลเพื่อหยิบชิ้นงานโฟมยาง โครงการนี้ได้มีการใช้ MoveIt เป็นเฟรมเวิร์คสำหรับการควบคุมหุ่นยนต์ ซึ่งจำเป็นต้องสร้างโลกจำลองของหุ่นยนต์ เพื่อให้สามารถคำนวณเส้นทางในการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ก่อน โดยจะมีลักษณะและหมายเลขเป็นไปตามรูปที่ 3.7 โดยจะมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้

- 2.1) แขนกล IRB1200
- 2.2) กล่องสำหรับการควบคุมกล้อง และการจัดแสง
- 2.3) สายพานจำลอง
- 2.4) กล่องสำหรับคัดแยกชิ้นงานที่มีตำหนิ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูป 3.7 ภาพผลการออกแบบโลกจำลองสำหรับการควบคุมแขนกล
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

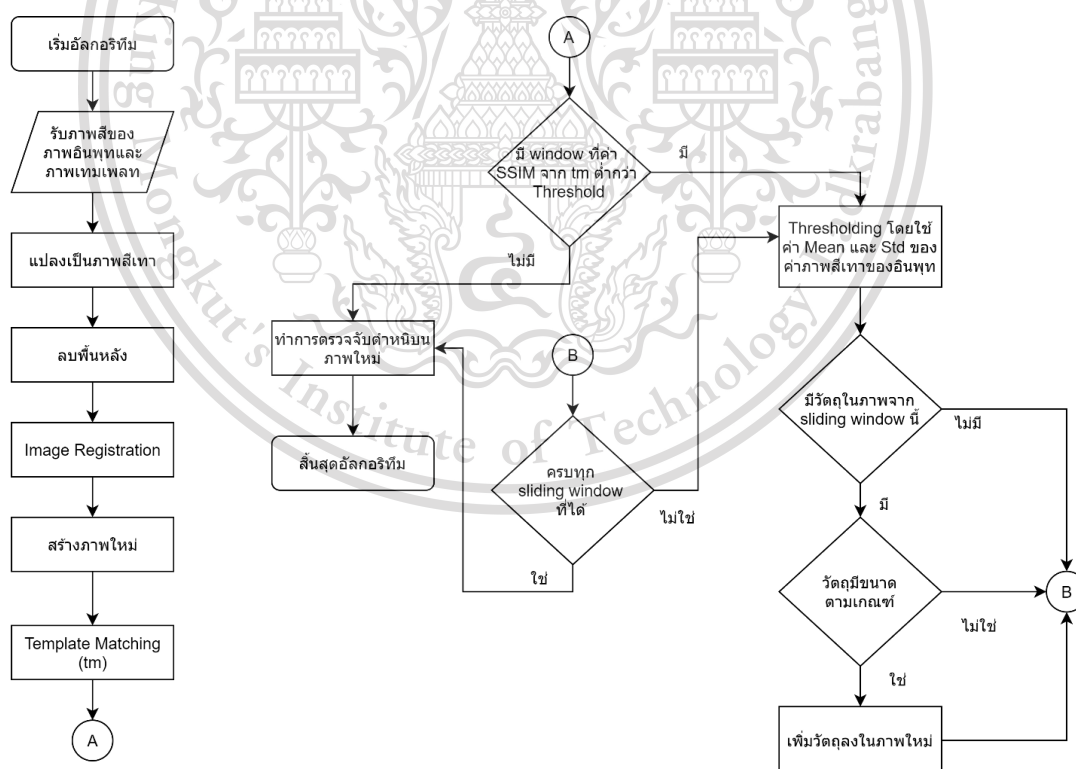
3.3.2.2 กระบวนการตรวจจับตำหนิ และระบุประเภทตำหนิบนพื้นผิวโพลีเมยาง

3.3.3.2.1 การพัฒนาอัลกอริทึมตรวจจับตำหนิบนพื้นผิวโพลีเมยาง

กระบวนการนี้เป็นกระบวนการตรวจจับตำหนิบนพื้นผิวโพลีเมยาง และเป็นกระบวนการในการเตรียมคุณสมบัติของภาพตำหนิที่ตรวจจับได้ เพื่อเป็นอินพุทให้กับกระบวนการระบุประเภทของตำหนิต่อไป โดยอัลกอริทึมที่ใช้พัฒนาระบบตรวจจับนี้จะนำความรู้ที่ได้จากการศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยต่างๆ ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 มาประยุกต์ใช้เช่น การจับคู่แม่แบบ (Template Matching) โดยมีการปรับปรุงประสิทธิภาพของอัลกอริทึม ดังจะกล่าวต่อไปนี้

1) อัลกอริทึมการตรวจจับตำหนิบนพื้นผิวโพลีเมยางเวอร์ชัน 0

อัลกอริทึมนี้เป็นอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นเองจากการศึกษาทฤษฎีเบื้องต้น เพื่อตรวจจับตำหนิบนพื้นผิวโพลีเมยาง ซึ่งเป็นเวอร์ชัน 0 โดยใช้วิธีการจับคู่แม่แบบพื้นฐานด้วยฟังก์ชันความคล้ายคลึงแบบ Structural Similarity Index Measure (SSIM) ซึ่งพบได้ทั่วไป มีหลักการทำงานดังนี้



รูป 3.8 ผังงานแสดงการทำงานของอัลกอริทึมการตรวจจับตำหนิบนพื้นผิวโพลีเมยางเวอร์ชัน 0

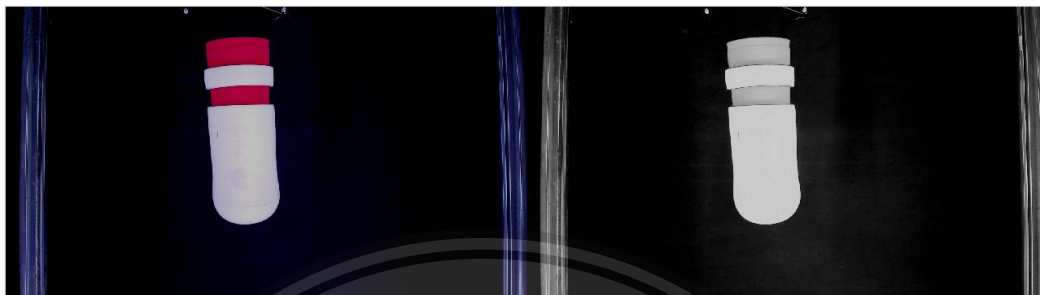
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

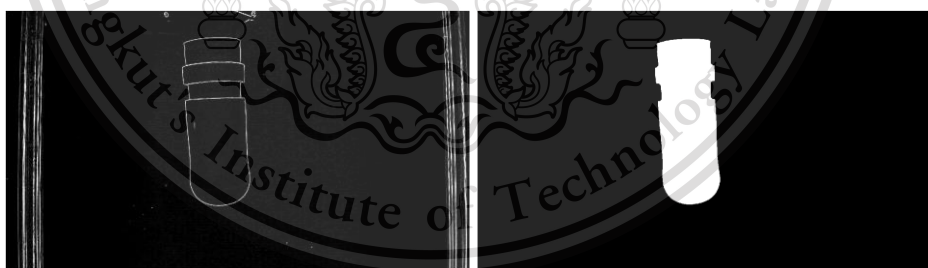
จากผังการทำงาน อัลกอริทึมจะมีการทำงาน 5 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

1.1) แปลงภาพสีที่ได้รับเป็นภาพระดับสีเทา ทั้งภาพอินพุตและแม่แบบ



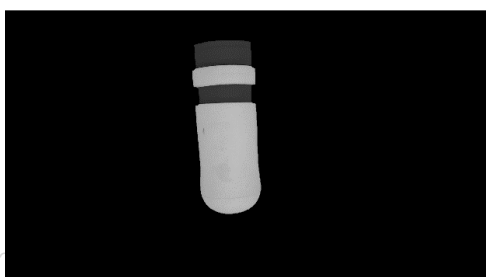
รูป 3.9 ขั้นตอนที่ 1.1 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา

1.2) สร้างภาพ Binary Mask โดยใช้เทคนิคการหาขอบภาพ (Edge Detection) และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของภาพ (Morphological Image Processing) เพื่อหาส่วนที่เป็นชิ้นงานและกำจัดส่วนที่ไม่ใช่ชิ้นงาน จากนั้นใช้ ภาพ Binary Mask ในการลบพื้นหลังออกจากภาพระดับสีเทาของทั้งภาพอินพุตและแม่แบบ ดังรูป



a)

b)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับก... คให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ) อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูป 3.10 ขั้นตอนที่ 1.2 ลบพื้นหลัง

- ภาพจากการหาขอบภาพ
- ภาพ Binary Mask
- ภาพที่ถูกลบพื้นหลังด้วยภาพ Binary Mask

1.3) การซ้อนทับภาพโดยการกำหนดตำแหน่ง (Image Registration) แบบการแปลงเชิงเส้น (Linear Transformation) ในการเคลื่อนและหมุนภาพให้ตรงกับแม่แบบ เพื่อใช้สำหรับขั้นตอนการจับคู่กับแม่แบบ



a) b)

รูป 3.11 ขั้นตอนที่ 1.3 การซ้อนทับภาพโดยการกำหนดตำแหน่ง

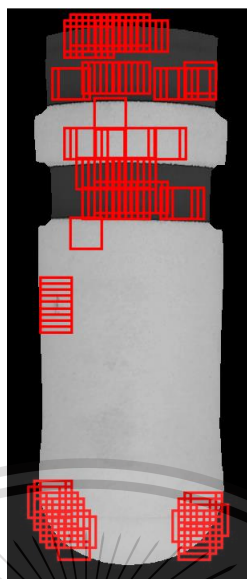
- ภาพอินพุทหลังการทำ Image Registration
- ภาพแม่แบบ

1.4) การจับคู่กับแม่แบบ เพื่อหาตำแหน่งที่แตกต่างกันบนภาพและแม่แบบ โดยใช้วิธีการสไลดิงวินโดว์ (sliding window) แล้วคำนวณค่าความคล้ายคลึงในแต่ละวินโดว์ เพื่อสกัดเฉพาะบริเวณที่คาดว่าเป็นคำหนี จากการเปรียบเทียบค่า Threshold ที่คำนวณจากการกระจายตัวของค่าความคล้ายคลึงที่ได้ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



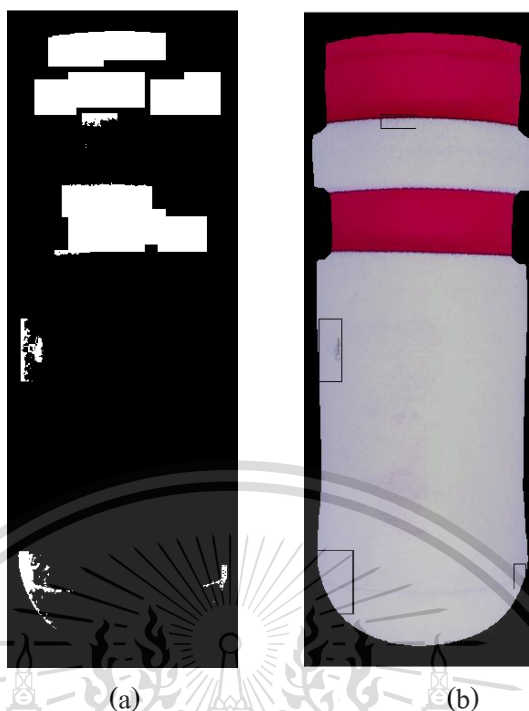
รูป 3.12 ขั้นตอนที่ 1.4 ผลการสกัดวินโดว์จากการจับคู่กับแม่แบบ

1.5) แปลงบริเวณที่สกัดได้เป็นขาวดำ ด้วยค่า Threshold ที่คำนวณจากการกระจายตัวของค่าพิกเซลในภาพ จากนั้นทำการตรวจจับคำหาญ โดยพิจารณาจากวัตถุที่ปรากฏอยู่ในภาพ กับเงื่อนไขในการกรองวัตถุว่าเป็นคำหาญหรือไม่ เนื่องจากโพมยางมีลักษณะพื้นผิวและรูปทรงที่ซับซ้อน จึงต้องมีเงื่อนไขเพื่อตรวจจับคำหาญได้ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 3.13 ขั้นตอนที่ 1.5 การตรวจจับตำหนิ

- a) วัตถุที่ตรวจจับได้จากการจับคู่แม่แบบ
- b) ภาพการตรวจจับตำหนิ

จะพบว่าอัลกอริทึมนี้ไม่สามารถตรวจจับตำหนิบนพื้นผิวโคมยางได้ถูกต้องแม่นยำ เนื่องจากมีบริเวณที่ไม่ใช่ตำหนิถูกตรวจว่าเป็นตำหนิจำนวนมาก เพราะชิ้นงานมีส่วนที่มีสีแตกต่างกัน อีกทั้งพื้นผิวชิ้นงานยังมีความซับซ้อน เช่น รูที่พบบนพื้นผิวชิ้นงานโคมยางซึ่งไม่ใช่ตำหนิ แต่มีลักษณะเป็นเงาทำให้ถูกตรวจจับว่าเป็นตำหนิ และตำหนิที่อยู่ในบริเวณสีที่เข้มกว่าส่วนอื่นก็จะถูกกรองออกด้วยเงื่อนไข ทำให้ตรวจจับไม่พบ วิธีการนี้จึงไม่สามารถตรวจจับตำหนิได้อย่างแม่นยำ

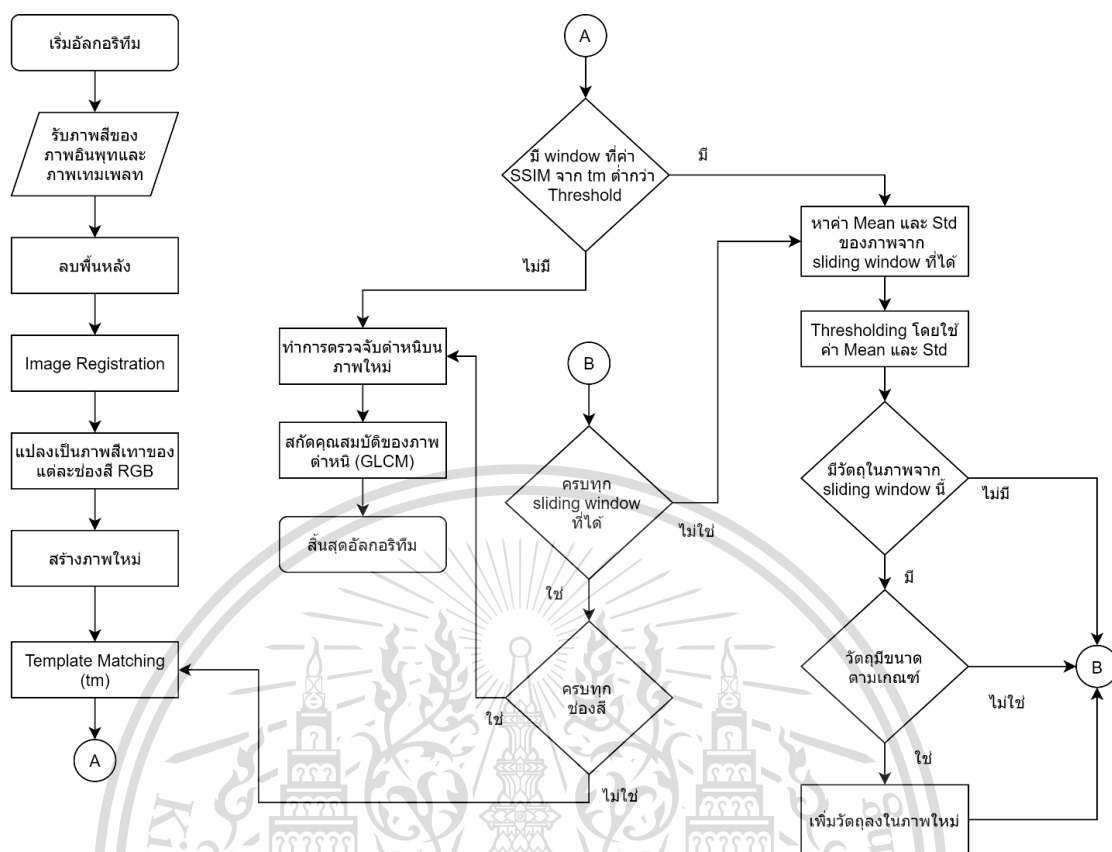
2) อัลกอริทึมการตรวจจับตำหนิบนพื้นผิวโคมยางเวอร์ชัน 1

อัลกอริทึมนี้เป็นอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นเอง เพื่อตรวจจับตำหนิ และสกัดคุณสมบัตินี้เพื่อใช้ในการจำแนกประเภทตำหนิ ซึ่งเป็นเวอร์ชัน 1 พัฒนาการศึกษาความสามารถและข้อจำกัดของอัลกอริทึมที่ได้พัฒนาไว้ ประกอบด้วยขั้นตอนหลักเดิม และเพิ่มการวิเคราะห์สีของพื้นผิว และการสกัดคุณสมบัตินี้ของภาพตำหนิด้วยเมทริกซ์ระดับเทา (GLCM) โดยมีหลักการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 3.14 ผังงานแสดงการทำงานของอัลกอริทึมตรวจจับตำแหน่งวีธีขั้น 1

จากผังการทำงาน อัลกอริทึมจะมีการทำงาน 6 ขั้นตอน ดังนี้

- 2.1) การลบพื้นหลัง มีลักษณะการทำงานเหมือนเดิม
- 2.2) การทำ Image Registration มีลักษณะการทำงานเหมือนเดิม
- 2.3) แปลงภาพสีเป็นสีเทา โดยแยกแต่ละช่องสีออกจากกัน ได้ดังรูป



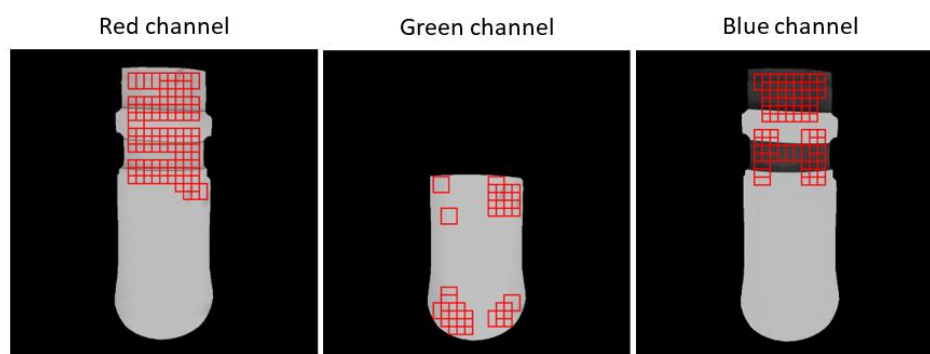
รูป 3.15 ขั้นตอนที่ 2.3 การแปลงภาพสีเป็นระดับสีเทาด้วยการแยกช่องสี RGB

2.4) การจับคู่กับแม่แบบ เพื่อหาตำแหน่งที่แตกต่างกันบนภาพและ

แม่แบบ โดยมีการทำงานเหมือนเดิม แต่การเป็นประมวลผลซ้ำให้ครบทุกช่องสี

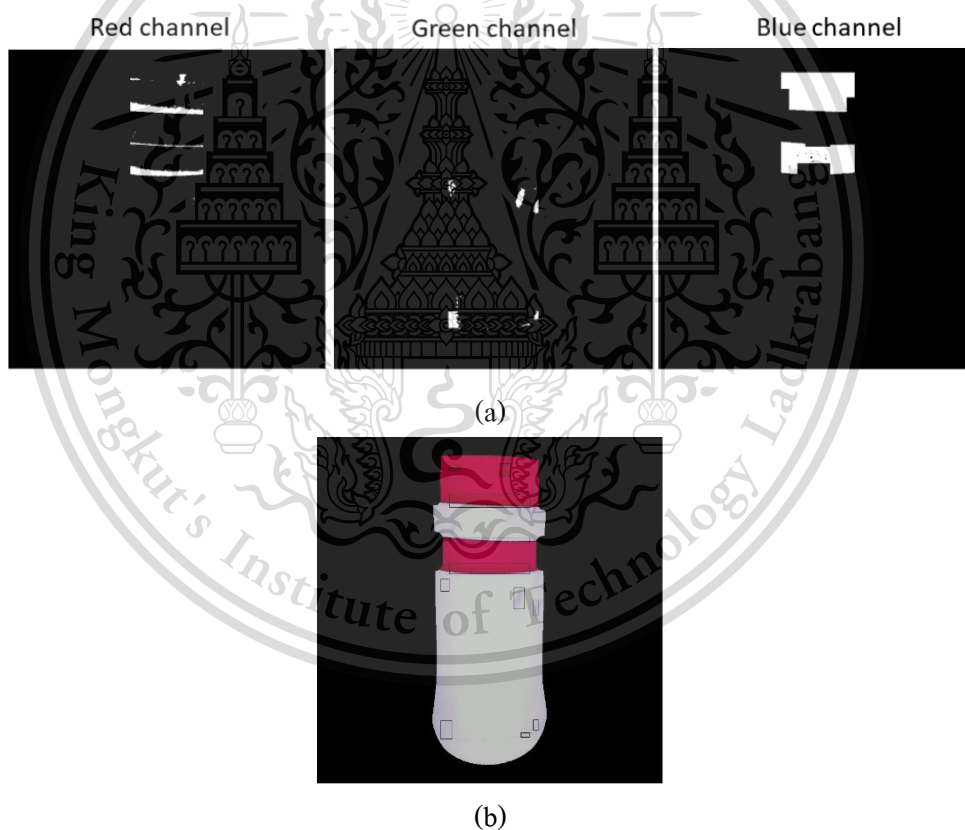
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 3.16 ขั้นตอนที่ 2.4 ผลการสกัดวินโดว์จากการจับคู่กับแม่แบบแต่ละช่องสี RGB

2.5) การตรวจจับตำหนิมีการทำงานเหมือนเดิม เพียงแต่นำผลลัพธ์ที่ได้จากทั้ง 3 ช่องสีมารวมกัน



รูป 3.17 ขั้นตอนที่ 2.5 การตรวจจับตำหนิ

a) วัตถุที่ตรวจจับได้จากการจับคู่แม่แบบ

b) ภาพการตรวจจับตำหนิจากการรวมผลลัพธ์ของทุกช่องสี

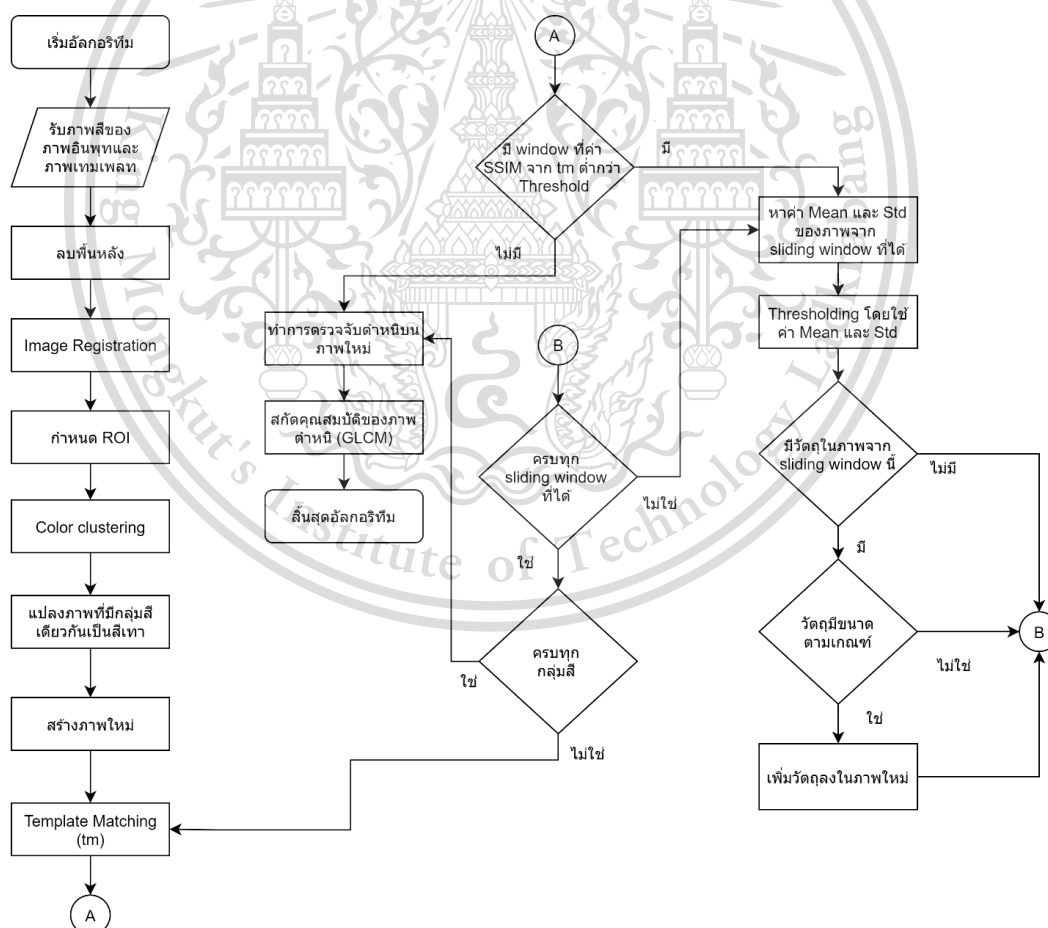
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3) อัลกอริทึมการตรวจจับตำหนิบนพื้นผิวโพลีเมอร์ของเวอร์ชัน 2

อัลกอริทึมนี้เป็นอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นเอง เพื่อตรวจจับตำหนิ และสกัดคุณสมบัติเพื่อใช้ในการจำแนกประเภทตำหนิ ซึ่งเป็นเวอร์ชัน 2 ที่พัฒนาขึ้นจากการปรับปรุงเวอร์ชัน 1 โดยมีขั้นตอนดั้งเดิม แต่มีการปรับปรุงการวิเคราะห์สีของพื้นผิวด้วยการแบ่งกลุ่มสีด้วยเคมีน (Color clustering using k-means) แทน เนื่องจากการแบ่งการประมวลผลตามช่องสี RGB นั้น แม้จะสามารถตรวจจับตำหนิในบริเวณสีเข้มได้บ้างในบางช่องสี แต่ยังมีปัญหาการกำหนดค่า Threshold ในช่องสีอื่นๆ และได้รับผลกระทบจากเงาที่เกิดขึ้นทางด้านข้างของชิ้นงานอยู่ เวอร์ชันนี้จึงมีการปรับปรุงเพื่อให้อัลกอริทึมสามารถลดผลกระทบจากปัญหาเหล่านี้ได้ และตรวจจับตำหนิบนพื้นผิวได้มากขึ้น มีหลักการทำงานดังนี้



รูป 3.18 ผังงานแสดงการทำงานของอัลกอริทึมตรวจจับตำหนิเวอร์ชัน 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากผังการทำงาน อัลกอริทึมจะมีการทำงาน 8 ขั้นตอน ดังนี้

- 3.1) การลบพื้นหลัง มีลักษณะการทำงานเหมือนเดิม
- 3.2) การทำ Image Registration มีลักษณะการทำงานเหมือนเดิม
- 3.3) การกำหนดบริเวณที่สนใจ (Region of Interest) จาก bounding box ของชิ้นงาน โดยกำหนด ROI เป็นบริเวณกลางชิ้นงานด้วยความกว้าง 40% ของความกว้างชิ้นงาน เพื่อลดผลกระทบจากเงาด้านข้างของชิ้นงาน ดังรูป



รูป 3.19 ขั้นตอนที่ 3.3 การกำหนด ROI

a) ภาพชิ้นงานเต็ม

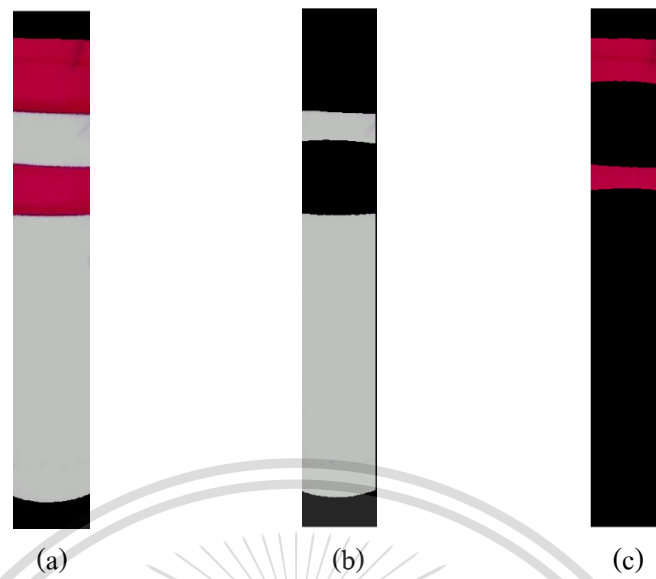
b) ภาพ ROI ความกว้าง 40% ของความกว้างชิ้นงาน

- 3.4) การแบ่งกลุ่มสีด้วยเคมีน (Color clustering using k-means) เป็นการแบ่งกลุ่มสี เพื่อแบ่งส่วนที่มีสีเดียวกัน ไปประมวลผลการจับคู่แม่แบบในขั้นตอนถัดไป ซึ่งทำให้การคำนวณค่าความคล้ายคลึงไม่ได้รับผลกระทบจากความต่างของสี ทำให้การจับคู่แม่แบบมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

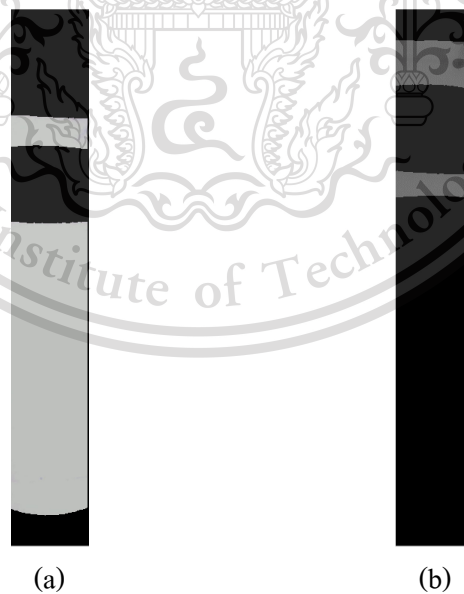
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 3.20 ขั้นตอนที่ 3.4 การแบ่งกลุ่มสีด้วยเคมีน

- a) ภาพ ROI
- b) ภาพ ROI กลุ่มสีที่ 1
- c) ภาพ ROI กลุ่มสีที่ 2

3.5) แปลงภาพสีของแต่ละกลุ่มสีเป็นสีเทา



รูป 3.21 ขั้นตอนที่ 3.5 แปลงภาพสีของแต่ละกลุ่มสีเป็นภาพระดับสีเทา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และด้อยค่าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.6)–3.8) มีลักษณะการทำงานเหมือนขั้นตอนที่ 2.4)–2.6) ตามลำดับ ในการจับคู่กับแม่แบบ การตรวจจับตำหนิและการสกัดคุณสมบัติของภาพตำหนิ



รูป 3.22 ขั้นตอนที่ 3.7 การตรวจจับตำหนิจากการรวมผลลัพธ์ของทุกกลุ่มสี

จากการพัฒนาอัลกอริทึมตรวจจับตำหนิสามารถสรุปผลได้ดังนี้ อัลกอริทึมตรวจจับตำหนิบนพื้นผิวโพลียเอทิลีนในเวอร์ชัน 0 ผู้พัฒนาได้นำวิธีการจากงานวิจัยมาทดลองใช้นั้นก็คือการจับคู่แม่แบบ ซึ่งวิธีการนี้ยังไม่สามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เนื่องจากชิ้นงานที่ใช้ในการพัฒนามีความแตกต่างกัน โดยเฉพาะโพลียเอทิลีนที่มีความซับซ้อนมีลักษณะพื้นผิวแบบสุ่ม และความหลากหลายของสีรูปทรง จึงพัฒนาต่อโดยนำเทคนิคการวิเคราะห์สีมาช่วยในการพัฒนา ในเวอร์ชัน 1 ได้ใช้วิธีการประมวลผลแบบแยกช่องสี ซึ่งยังคงได้รับผลกระทบอยู่บ้างจากความหลากหลายของสีบนชิ้นงาน และเงาที่พบบนชิ้นงาน จึงได้ทำการปรับปรุงเพื่อให้ได้รับผลกระทบจากปัญหาเหล่านี้ลดลงจนเป็นอัลกอริทึมเวอร์ชัน 2

อัลกอริทึมที่พัฒนานี้ได้นำเทคนิคการหาขอบภาพ และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของภาพมาใช้ ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการแปลงภาพขาวดำเพื่อลบพื้นหลังและวัตถุอื่นๆออกจากภาพได้ดี

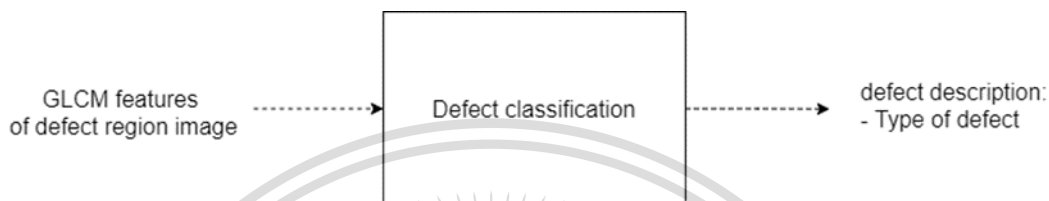
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

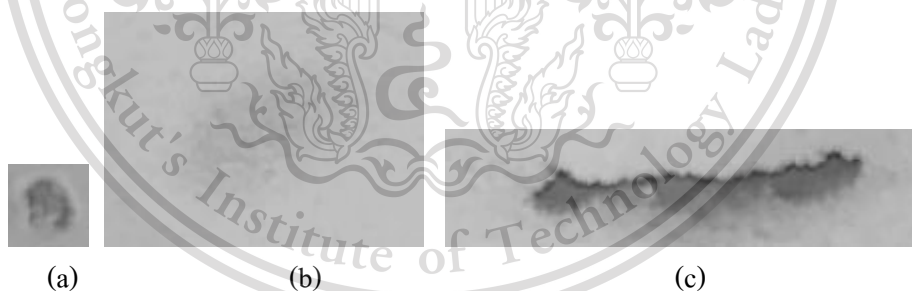
มากขึ้น และนำเทคนิคการประมวลผลภาพโดยการจับคู่แม่แบบร่วมกับการวิเคราะห์สี โดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มสีด้วยเคมินมาใช้เพื่อสกัดบริเวณที่คาดว่าเป็นตำหนิ ทำให้สามารถตรวจจับตำหนิบนพื้นผิวชิ้นงานในบริเวณที่มีสีต่างกัน และบริเวณที่พื้นผิวมีความซับซ้อนได้ดีมากขึ้น

3.3.3.2.2 การพัฒนาตัวจำแนกประเภทตำหนิบนพื้นผิวโพลียเมยาง



รูป 3.23 ผลงานแสดงการทำงานของกระบวนการระบุประเภทตำหนิ

กระบวนการนี้เป็นกระบวนการในการระบุประเภทของตำหนิที่ตรวจจับได้จากกระบวนการก่อนหน้า โดยจะทดลองใช้ตัวจำแนกประเภท k-Nearest Neighbors (kNN) classifier, Decision Tree และ Support Vector Machines (SVMs) สำหรับแยกประเภทตำหนิ 3 ประเภท คือ ตามด (Pinhole), ฟองลม (Air bubble) และรอยดำ (Stain) ดังภาพ



รูป 3.24 ตัวอย่างภาพตำหนิ

- รอยดำชนิดประเภทตามด
- รอยดำชนิดประเภทฟองลม
- รอยดำชนิดประเภทรอยดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

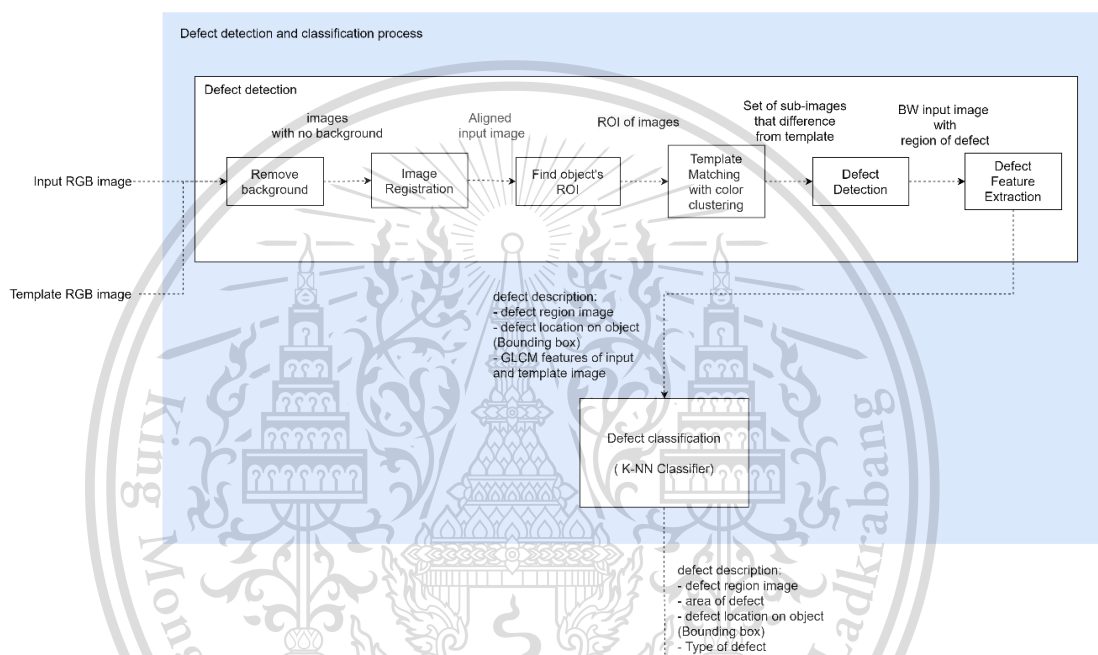
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.3.2.3 การพัฒนากระบวนการตรวจจับตำหนิ และระบุประเภทตำหนิบนพื้นผิว

โพลีมาย

กระบวนการนี้เป็นกระบวนการตรวจจับตำหนิ และระบุประเภทตำหนิบนพื้นผิวโพลีมาย ที่พัฒนาขึ้นโดยการประยุกต์ใช้หลักการในการตรวจจับ และระบุประเภทตำหนิจากบทความวิจัย [1][3] และการพัฒนาอัลกอริทึมและการทดลองดังที่กล่าวไปแล้ว สรุปหลักการทำงานโดยรวมดังผังงานต่อไปนี้



รูป 3.25 ผังแสดงการทำงานโดยรวมของกระบวนการตรวจจับตำหนิ และระบุประเภทตำหนิ

3.3.3 Cloud Server

3.3.3.1 โครงสร้างของ MQTT Topic สำหรับการรับ และส่งข้อมูลจากเครื่องจักร

ข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างสถานีการผลิต และระบบเซิร์ฟเวอร์เป็นรูปแบบ JSON โดยมี service สำหรับรับข้อมูลที่ได้ แปลงเป็น Object เพื่อเก็บเข้าระบบฐานข้อมูล มีการแบ่งหัวข้อเพื่อใช้งานด้านต่างๆดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- 1) `stations/{station-id}/item` ใช้สำหรับเก็บสินค้าที่ออกมาจากสถานี ข้อมูลที่เก็บเป็นดังตารางนี้

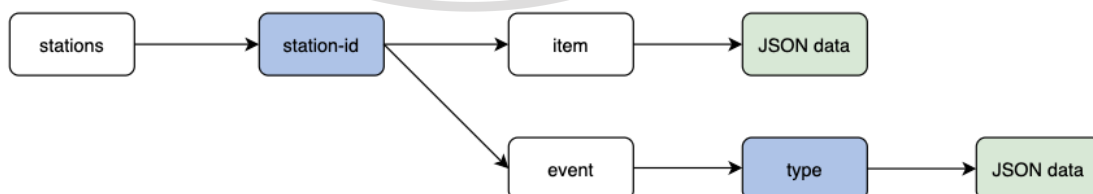
ตารางที่ 3.15 ตารางแสดงข้อมูลที่ต้องส่งไปที่หัวข้อ `station/{station-id}/item`

Attribute	Type	Description
<code>station_id</code>	string	Id ของสถานีการผลิต
<code>material_id</code>	string	Id ของล็อตสินค้า
<code>defects</code>	Array of objects	ข้อมูลตำหนิที่พบบนสินค้าประกอบด้วยประเภทพื้นที่ ตำแหน่งแกน x และ y ของตำหนิในภาพ ความกว้าง และความสูงของรูป

- 2) `stations/{station-id}/status/{type}` ใช้สำหรับเก็บข้อมูลค่าที่วัดได้จากสถานี ข้อมูลที่เก็บเป็นดังตารางนี้

ตาราง 3.16 ตารางแสดงข้อมูลที่ต้องส่งไปที่หัวข้อ `station/{station-id}/item`

Attribute	Type	Description
<code>station_id</code>	string	Id ของสถานีตรวจวัดคุณภาพ
<code>material_id</code>	string	Id ของล็อตสินค้า
<code>status</code>	object	ข้อมูลสถานะของสถานีการผลิต ประกอบด้วยประเภท และค่าของสถานีการผลิต



รูป 3.26 โครงสร้างของหัวข้อสำหรับการส่งข้อมูลจากสถานีการผลิต

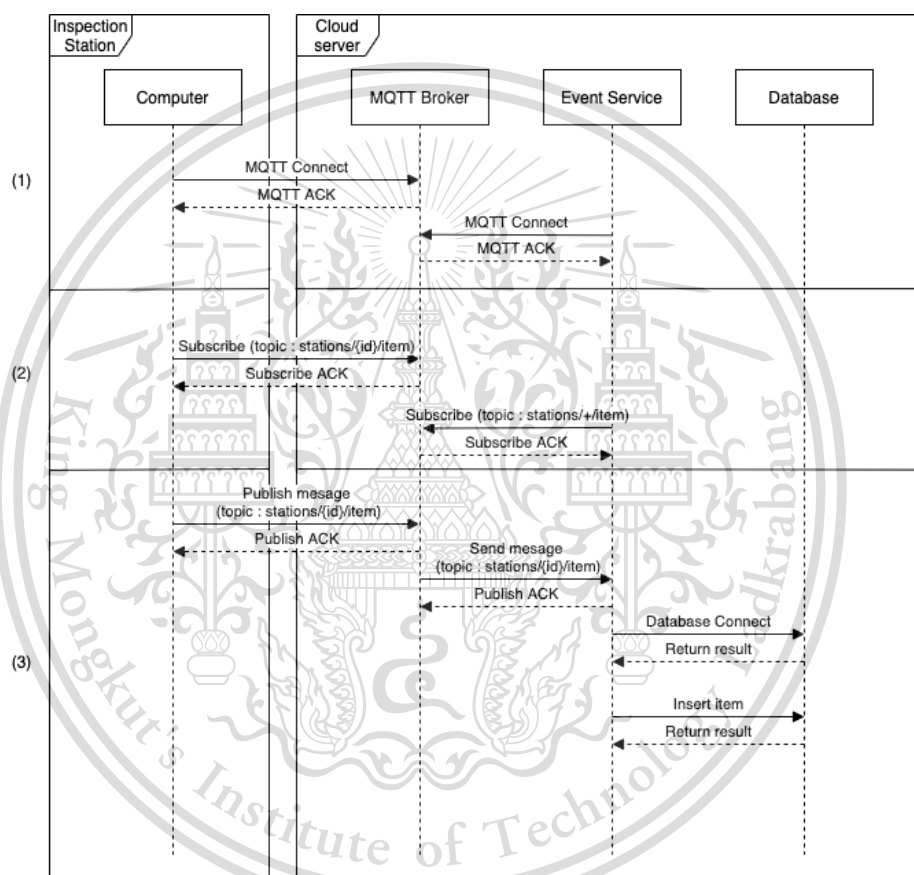
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.3.2 Sequence diagram ของการรับข้อมูลจากสถานีตรวจสอบคุณภาพไปยังฐานข้อมูล

Sequence diagram การจัดเก็บข้อมูลที่ถูกส่งจากสถานีตรวจวัดคุณภาพยังระบบฐานข้อมูล โดย sequence diagram นี้จะถูกใช้ในการพัฒนาส่วนของการส่งข้อมูลสินค้า สถานะของเครื่องจักร และค่าของเซนเซอร์ที่ถูกติดตั้งกับเครื่องจักรในสถานีการผลิต ดังรูป



รูป 3.27 Sequence diagram

จากรูปภาพด้านบนแบ่งออกเป็น 3 เหตุการณ์ ดังนี้

1) MQTT Open connection

Event service ที่ฝั่ง cloud server และสถานีตรวจสอบคุณภาพเปิดการเชื่อมต่อ กับ MQTT Broker

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2) Subscribe

Event service ที่ฝั่ง cloud server ทำการ subscribe ในหัวข้อ “stations/+/item” เพื่อรับข้อมูลจากสถานีตรวจสอบคุณภาพ ส่วนสถานีตรวจสอบคุณภาพจะทำการ subscribe ในหัวข้อ “stations/{id}/item” เพื่อรับข้อมูลที่สถานีตรวจสอบคุณภาพได้ publish ไป

3) Publish

เมื่อสถานีตรวจสอบคุณภาพได้ผลการตรวจสอบคุณภาพของสินค้าเสร็จสิ้น จะ publish ข้อมูลในหัวข้อ “stations/{id}/item” เมื่อ MQTT Broker ได้รับความข้อมูลจะส่งต่อไปให้กับ Event service เพื่อจัดเก็บข้อมูลเข้าระบบฐานข้อมูล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

แนวทางการทดสอบและการวัดประสิทธิภาพ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการดำเนินงานและผลของการดำเนินงานโดยรวมของระบบ และผลการพัฒนาในส่วนต่างๆ ประกอบไปด้วยส่วน Inspection station และ Defect detection and classification process ส่วน Cloud server และส่วนเว็บแอปพลิเคชัน ตามแผนงานและการออกแบบที่ได้จัดทำไว้ มีรายละเอียดดังนี้

4.1 การดำเนินงาน

ปัจจุบันได้ทำการเก็บข้อมูลภาพชิ้นงาน โฟมยางจากสถานีตรวจสอบคุณภาพจำลองด้วยกล้อง Logitech Brio และทำการพัฒนาระบบตรวจจับตำแหน่งพื้นผิวโฟมยาง ด้วยโปรแกรม MATLAB R2019a ให้ทำการประมวลผลเพื่อตรวจจับตำแหน่งและระบุประเภทตำแหน่งบนเครื่องคอมพิวเตอร์ จากนั้นส่งข้อมูลที่ได้ออกจากการประมวลผลขึ้นสู่ server โดยผ่าน โปรโตคอล MQTT เพื่อจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล MongoDB และแสดงผลบนหน้าเว็บแอปพลิเคชัน

โดยชิ้นงาน โฟมยางที่ใช้ในการดำเนินงานมี 3 รูปแบบ โดยแต่ละแบบมีรายละเอียดดังนี้

- 1) รหัส sku001



รูป 4.1 ตัวอย่างชิ้นงานรหัส sku001

- 2) รหัส sku002



รูป 4.2 ตัวอย่างชิ้นงานรหัส sku002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแต่งเสียงเนื้อหา และต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3) รหัส sku003



รูป 4.3 ตัวอย่างชิ้นงานรหัส sku003

4.2 ผลการดำเนินงาน

4.2.1 ผลการทำงานของระบบ

ผลการทำงานโดยรวม ระบบสามารถเคลื่อนย้ายชิ้นงานไปยังตำแหน่งมาตรฐานเพื่อทำการถ่ายภาพชิ้นงานรอบด้านแบบที่ได้ทำการจัดแสงไว้ สามารถตรวจจับตำหนิ และคัดแยกประเภทของตำหนิได้ แล้วจึงส่งผลให้เครื่องแม่ข่ายทำการวิเคราะห์ แล้วจึงแสดงผลผ่านเว็บแอปพลิเคชันได้

4.2.2 ผลการพัฒนา สถานีตรวจสอบคุณภาพ และ กระบวนการตรวจจับตำหนิและระบุประเภทตำหนิ

ผลการพัฒนาสถานีตรวจสอบคุณภาพ จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ผลการพัฒนาสถานีตรวจสอบคุณภาพ ผลการพัฒนาการควบคุมแขนกล และผลการตรวจจับตำหนิ และระบุประเภทตำหนิบนพื้นผิวชิ้นงานโพมยาง โดยจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

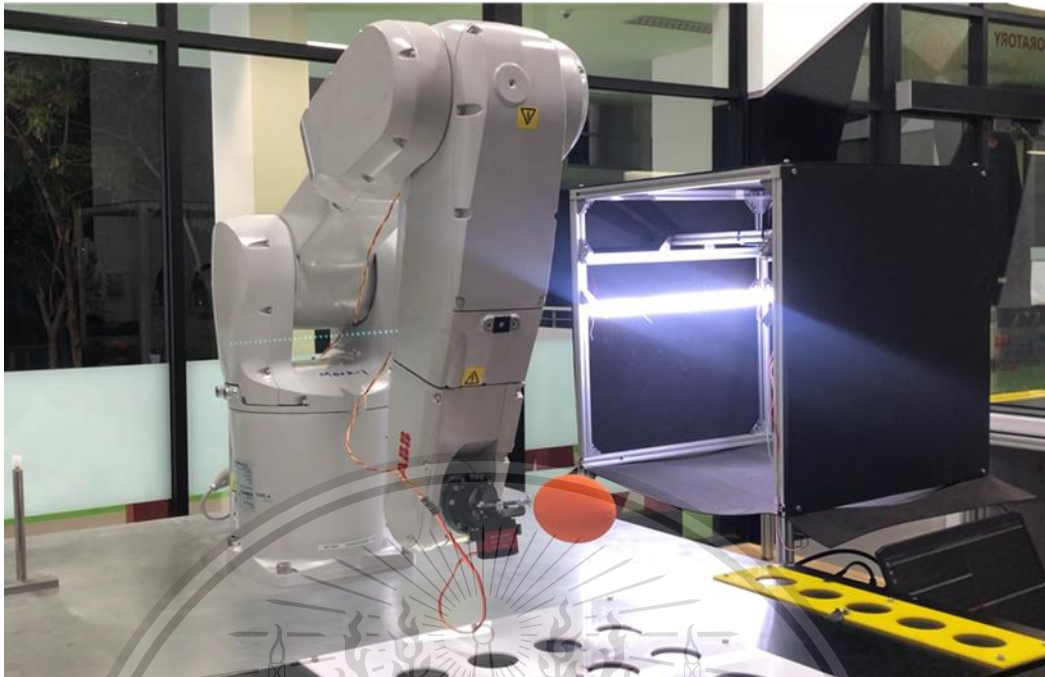
4.2.2.1 ผลการพัฒนาสถานีตรวจสอบคุณภาพ

ผลการพัฒนาสถานีตรวจสอบคุณภาพเป็นไปตามรูป ซึ่งสามารถใช้งานแขนกลร่วมกับกล้องสำหรับการควบคุมกล้อง และการจัดแสงได้ ตามรูป โดยมีระยะจากจุดกึ่งกลางของฐานหุ่นยนต์แขนกลห่างจากจุดถ่ายภาพ 90 ซม. ซึ่งเป็นระยะที่เหมาะสมสำหรับสถานีตรวจสอบคุณภาพนี้ มีผลลัพธ์การถ่ายภาพตาม รูปที่ 4.15 ภาพข้อมูลตัวอย่างที่ใช้ในการพัฒนาของชิ้นงานรหัส sku003

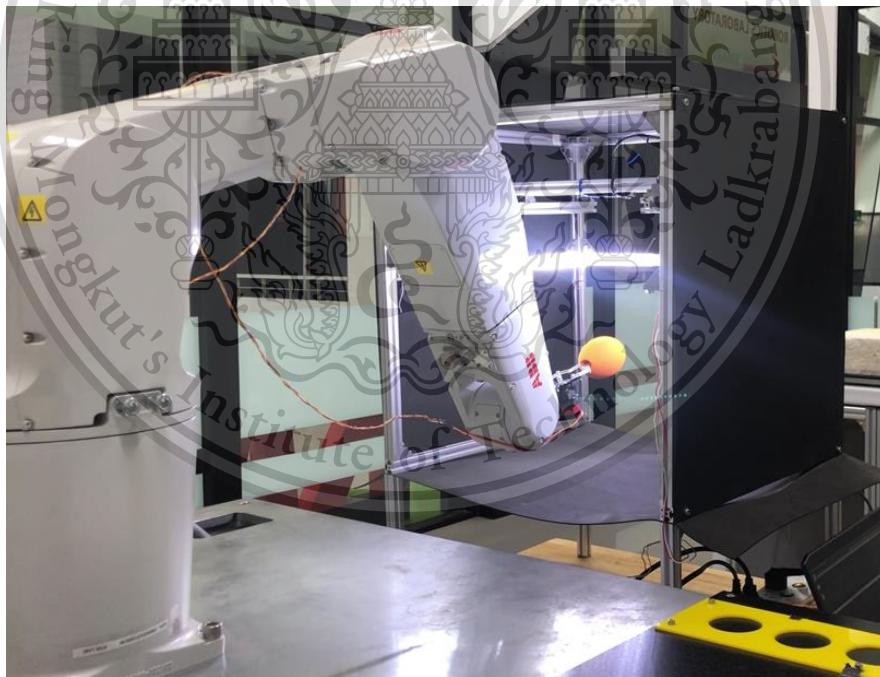
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 4.4 สถานีตรวจสอบคุณภาพขณะเตรียมเคลื่อนย้ายชิ้นงานไปยังตำแหน่งมาตรฐาน



รูป 4.5 สถานีตรวจสอบคุณภาพขณะที่กำลังทำการถ่ายภาพพื้นผิวของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

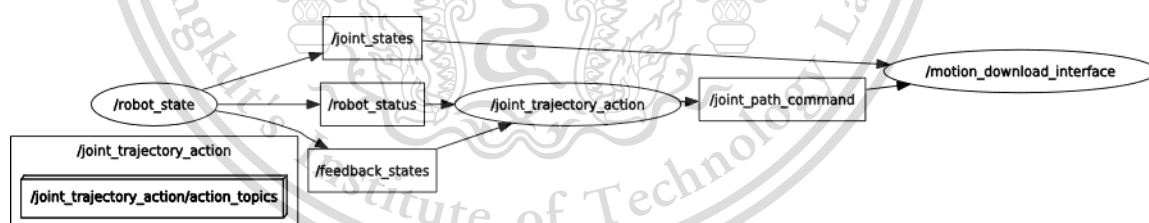
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.2.2 ผลการพัฒนาการควบคุมแขนกล

สามารถแบ่งการพัฒนาได้เป็น 5 ส่วน คือ 1) การเชื่อมต่อ IRC5 compact เข้ากับ คอมพิวเตอร์ 2) การเชื่อมต่อ MoveIt เข้ากับ IRC5 compact 3) การพัฒนา Service สำหรับควบคุม ปลายแขนกลด้วย ROS serial 4) การพัฒนา Service สำหรับการถ่ายภาพด้วย Logitech Brio และ 5) การพัฒนา service สำหรับการตรวจตำแหน่ง และคัดแยกประเภทตำแหน่งและส่งต่อผลลัพธ์ไปที่เครื่อง แม่น้ำ โดยจะมีรายละเอียดตามหัวข้อดังต่อไปนี้

1) การเชื่อมต่อ IRC5 compact เข้ากับคอมพิวเตอร์

การเชื่อมต่อระหว่าง IRC5 compact กับคอมพิวเตอร์ทำเพื่อให้ คอมพิวเตอร์สามารถรับรู้ตำแหน่ง และสั่งการเคลื่อนไหวให้แก่หุ่นยนต์ได้ โดยใช้สาย LAN ในเชื่อมต่อระหว่างกัน การทำงานที่มีจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ บน IRC5 compact พัฒนาและคอมไพล์โปรแกรมด้วย RobotStudio ตามที่ package abb_driver ได้กล่าวไว้ และอีกส่วนหนึ่งคือบนคอมพิวเตอร์ จะมี package ของ ROS ที่ชื่อว่า abb_driver สำหรับเป็นตัวกลางในการรับส่งข้อมูลผ่านสาย LAN ร่วมกับ package ที่ชื่อว่า abb_experiment เพื่อกำหนดคุณสมบัติเฉพาะของ หุ่นยนต์ IRB1200 เช่น ขนาดของหุ่นยนต์ คุณสมบัติของแต่ละแกน เป็นต้น โดยผลการเชื่อมต่อ คือ สามารถเชื่อมต่อระหว่างกัน โขว์ฟังก์ชันของ หุ่นยนต์ได้ครบในทุกแกนแบบเรียลไทม์ ตามรูป 4.6



รูป 4.6 Node graph ของการเชื่อมต่อ IRC5 compact เข้ากับคอมพิวเตอร์

2) การเชื่อมต่อ MoveIt เข้ากับ IRC5 compact

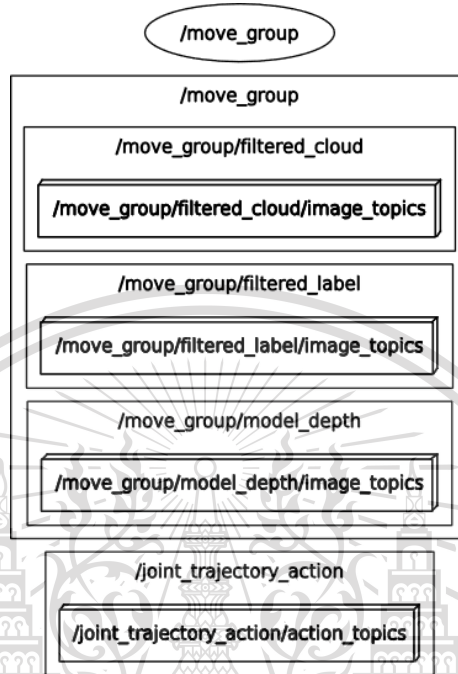
การเชื่อมต่อ MoveIt เข้ากับ IRC5 compact ทำเพื่อให้คอมพิวเตอร์ สามารถคำนวณ และสั่งการการเคลื่อนไหว IRB1200 ได้ โดยจะเชื่อมต่อกัน ผ่าน ROS Node ที่ชื่อว่า move_group และ robot_state

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

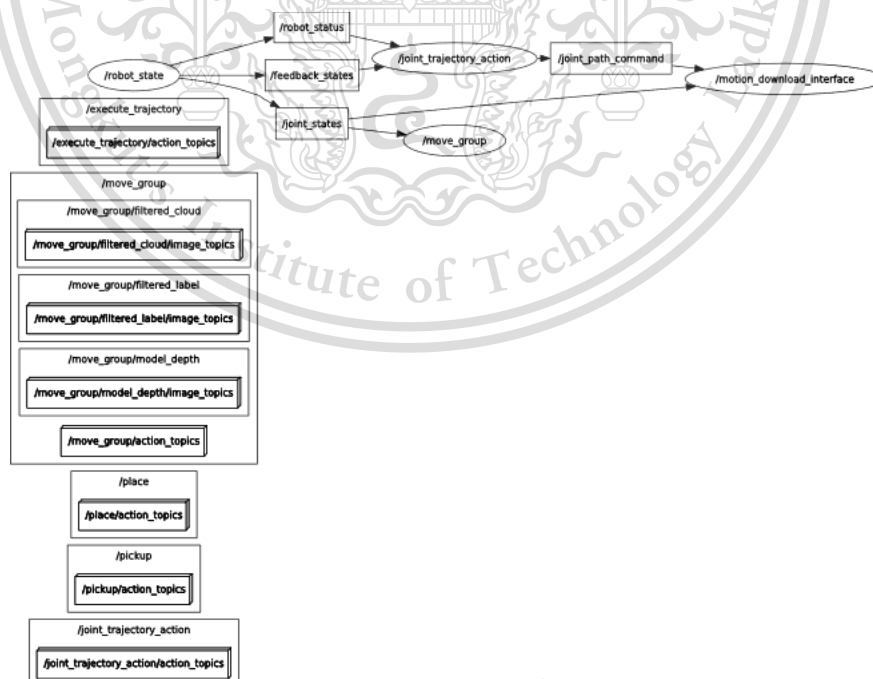
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โดยผลการเชื่อมต่อ คือ สามารถสั่งการเคลื่อนไหวตามพิกัดด้วย Rviz ผ่าน Node move_group ของ MoveIt ได้ ตามรูป 4.7



รูป 4.7 Node graph การทำงานของ package MoveIt



รูป 4.8 Node graph การทำงานของ package MoveIt ร่วมกับ Node robot_state

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3) การพัฒนา Service สำหรับควบคุมปลายแขนกลด้วย ROS serial

ทำเพื่อให้แขนกลสามารถจับชิ้นงานเคลื่อนย้ายไปตำแหน่งต่างๆ ได้โดยชิ้นงานไม่หลุดออกจากหุ่นยนต์แขนกล โดยใช้ package ros_serial ติดต่อกับ Arduino Uno สั่งการ Servo ให้จับตัวชิ้นงานไว้ โดยปลายแขนกลจะมีลักษณะดังรูป 4.9



รูป 4.9 ปลายแขนหุ่นยนต์แขนกลที่ใช้จับชิ้นงาน

ผลการพัฒนาคือ สามารถปลายแขนหุ่นยนต์สามารถจับชิ้นงานไว้ได้ และสั่งการผ่าน ROS service ผ่าน package ros_serial ได้

4) การพัฒนา Service สำหรับการถ่ายภาพด้วย Logitech Brio

การพัฒนา Service สำหรับถ่ายภาพ ทำเพื่อให้สามารถสั่งการเก็บภาพ ณ เวลาใดๆก็ได้ที่กล้องเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านสาย USB อยู่ โดยใช้ ROS Node และ ROS Service ร่วมกับ Library OpenCV สำหรับการเข้าถึงกล้อง และตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของกล้อง มีตัวอย่าง Node จากระบบ ตามรูป 4.10

`/capture_camera_31877_1616424290645`

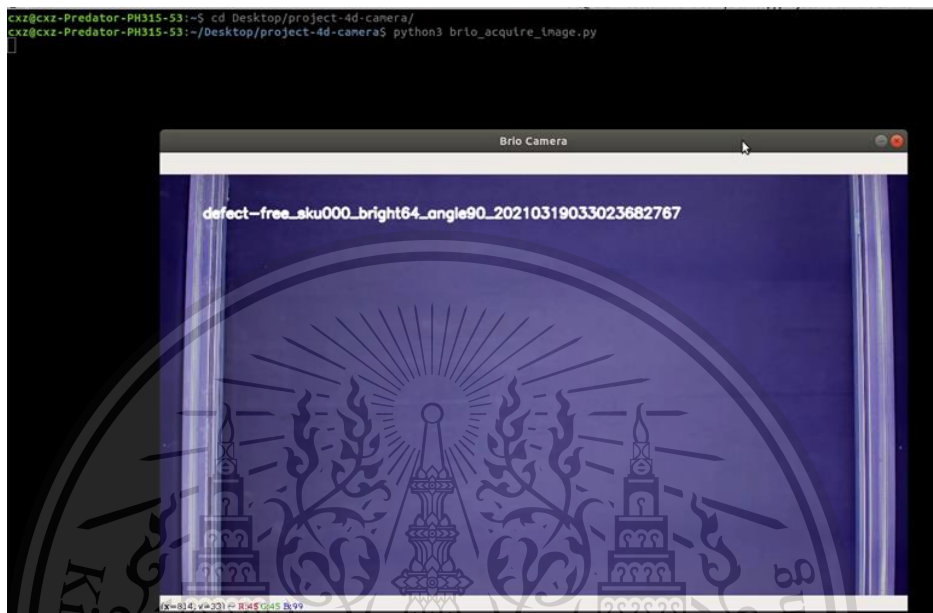
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่และเผยแพร่ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้จัดทำเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 4.10 Node ทำหน้าที่ดูแล service การถ่ายภาพชิ้นงาน

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผลการพัฒนาคือ สามารถสร้าง Service สำหรับการเชื่อมต่อกับกล้อง ได้ โดยใช้ข้อมูลใน Request 2 อย่างคือ ชื่อไฟล์ กับตำแหน่งที่ต้องการจะเก็บไฟล์ภาพ มีตัวอย่างภาพจากกล้อง ตามรูป 4.11



รูป 4.11 ตัวอย่างผลการใช้งานกล้องใน service สำหรับการถ่ายภาพ

- 5) การพัฒนา Service สำหรับการตรวจตำหนิ และคัดแยกประเภทตำหนิและส่งต่อผลลัพธ์ไปที่เครื่องแม่ข่าย

การพัฒนา Service สำหรับตรวจจับตำหนิ ทำเพื่อตรวจจับตำหนิ และคัดแยกประเภทของตำหนิ ด้วยชุดภาพของชิ้นงานที่ได้จากการใช้ Service ในข้อ

- 4) ที่ควบคุมการถ่ายภาพ ร่วมกับการทำงานในข้อ 2) ใช้ MoveIt ควบคุมการเคลื่อน ไหวของแขนกลโดยจะได้ข้อมูลนำเข้าเป็นชุดภาพที่ถ่ายรอบรอบด้านตัวชิ้นงาน มีตัวอย่าง Node จากระบบ ตามรูป 4.12

`/defect_detection_server`

รูป 4.12 Node ทำหน้าที่ดูแล service การตรวจจับตำหนิจากชุดภาพของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

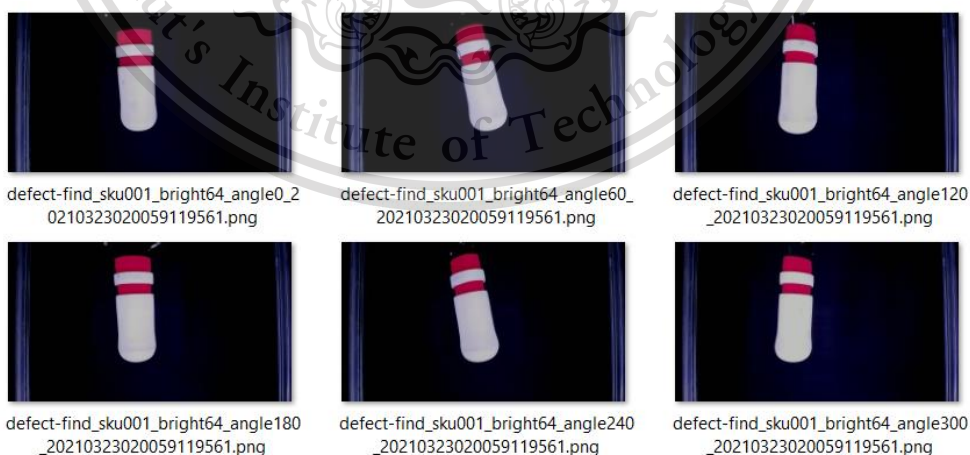
ผลการพัฒนาคือ สามารถสร้าง Service สำหรับรับประเภท และที่อยู่ของชุดภาพได้ ประมวลผลเพื่อตรวจจับตำหนิ คัดแยกประเภทของตำหนิ ส่งผลต่อไปให้เครื่องแม่ข่ายทำการวิเคราะห์ และแสดงผลบนหน้าเว็บแอปพลิเคชันได้

4.2.2.3 ผลการตรวจจับตำหนิ และระบุประเภทตำหนิบนพื้นผิวชิ้นงานโฟมยาง

4.2.2.3.1 ผลการตรวจจับตำหนิบนพื้นผิวชิ้นงานโฟมยาง

ในการวัดผลประสิทธิภาพของอัลกอริทึมตรวจจับตำหนิบนพื้นผิวโฟมยาง โดยใช้ภาพที่ได้รับจากสถานีตรวจสอบคุณภาพ ซึ่งมีการควบคุมสภาพแวดล้อมของแสง และใช้แขนกลในการหมุนชิ้นงานเพื่อเก็บพื้นผิวให้ครบทุกด้าน มีขั้นตอนการวัดผลประสิทธิภาพดังนี้

- 1) เตรียมข้อมูลภาพที่ใช้ในการพัฒนาทั้งหมด 450 ภาพ
- 2) ประมวลผลแต่ละภาพด้วยอัลกอริทึมที่ต้องการวัดผลประสิทธิภาพ
- 3) เปรียบเทียบผลลัพธ์จากการทำงานของระบบกับกราวด์ทรูธ
- 4) เก็บข้อมูลจากการเปรียบเทียบ เพื่อสร้างเมทริกซ์คอนฟิวชัน (Confusion matrix)
- 5) คำนวณค่าความแม่นยำ (Precision) ค่าความถูกต้อง (Recall) และค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิกระหว่างค่าความแม่นยำและค่าความถูกต้อง (F-score) เพื่อวัดความสามารถของอัลกอริทึมตรวจจับตำหนิบนพื้นผิวโฟมยาง

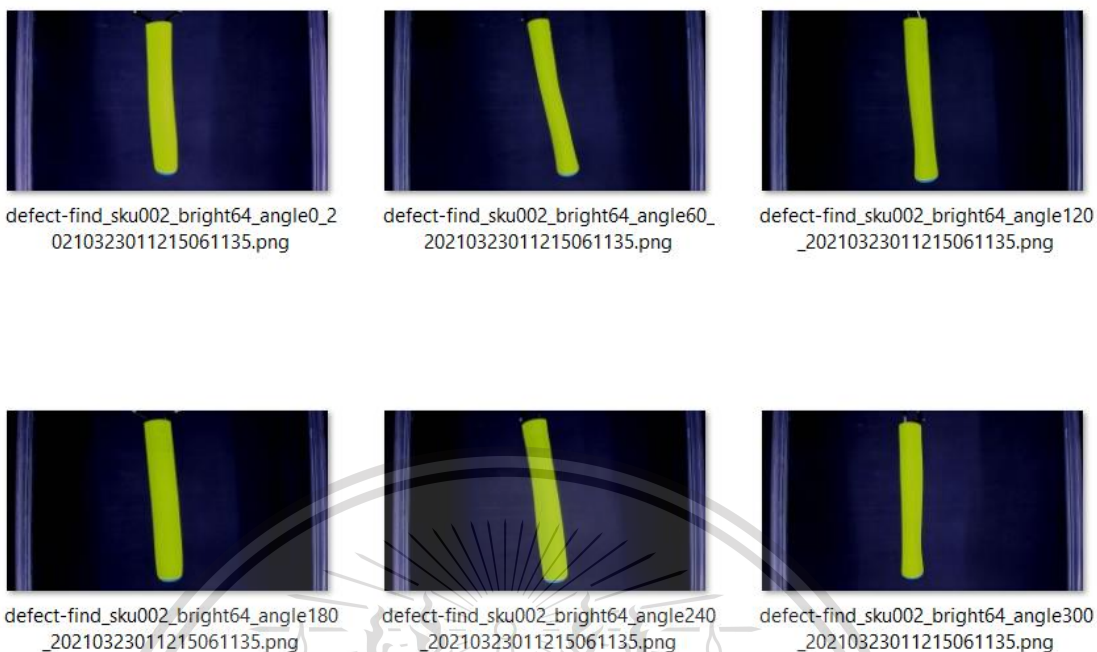


รูป 4.13 ภาพข้อมูลตัวอย่างที่ใช้ในการพัฒนาของชิ้นงานรหัส sku001

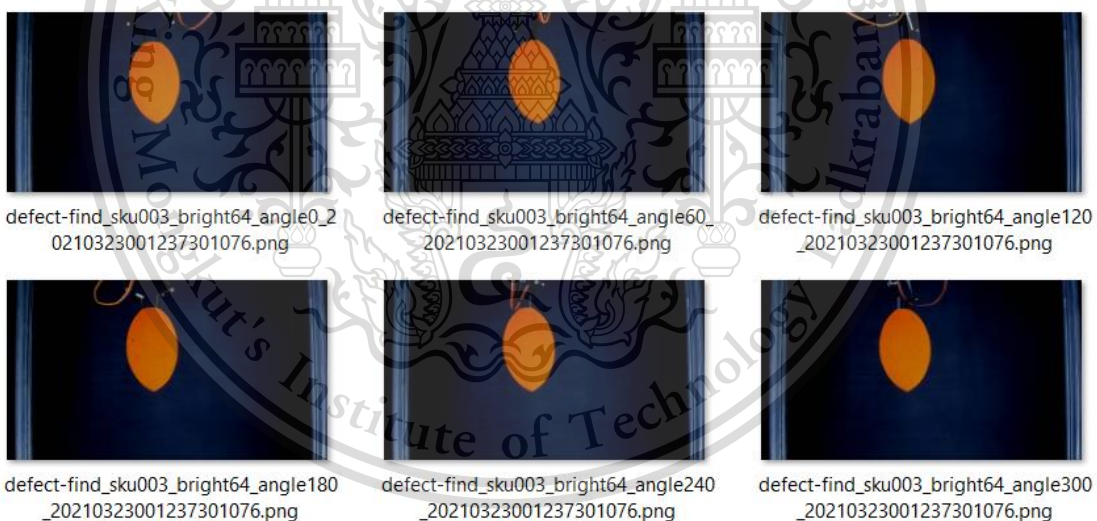
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 4.14 ภาพข้อมูลตัวอย่างที่ใช้ในการพัฒนาของชิ้นงานรหัส sku002



รูป 4.15 ภาพข้อมูลตัวอย่างที่ใช้ในการพัฒนาของชิ้นงานรหัส sku003

จากการวัดผลประสิทธิภาพของอัลกอริทึมตรวจจับตำหนิบนพื้นผิวโคมยางทั้ง 3 เวอร์ชัน สามารถแสดงตารางการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับตำหนิบนพื้นผิวโคมยางได้ดังนี้

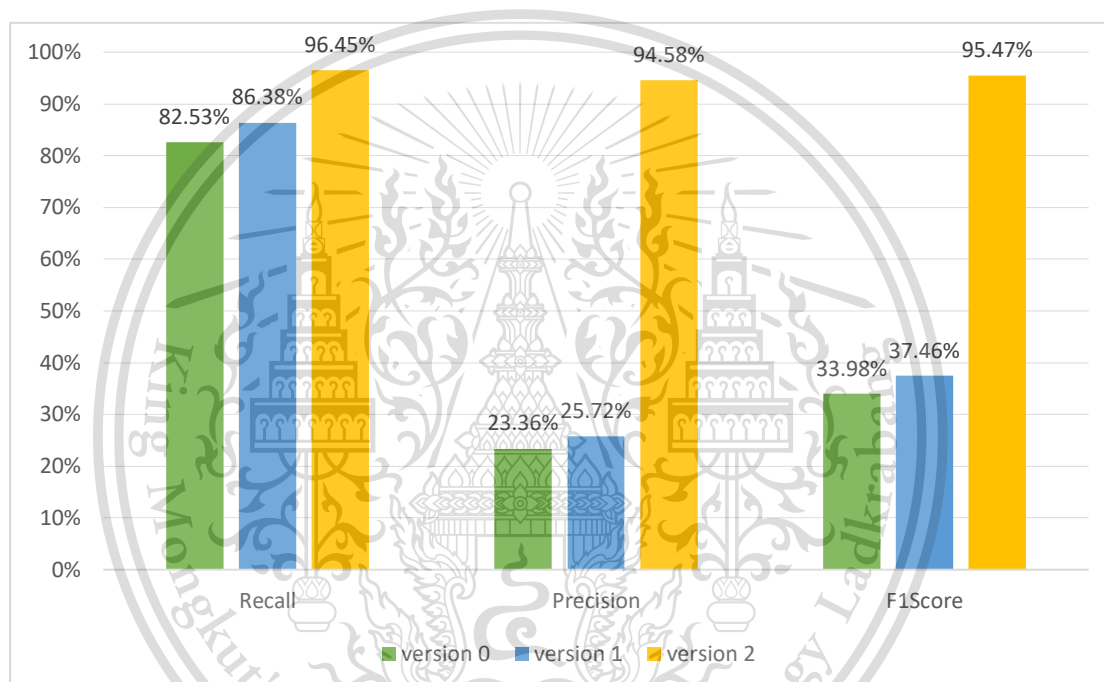
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการตรวจจับได้ถูกต้องของแต่ละอัลกอริทึม

อัลกอริทึมที่	Recall	Precision	F-score
1. อัลกอริทึมการตรวจจับตำแหน่งบนพื้นผิวโพมยางเวอร์ชัน 0	82.53%	23.36%	33.98%
2. อัลกอริทึมการตรวจจับตำแหน่งบนพื้นผิวโพมยางเวอร์ชัน 1	86.38%	25.72%	37.46%
3. อัลกอริทึมการตรวจจับตำแหน่งบนพื้นผิวโพมยางเวอร์ชัน 2	96.45%	94.58%	95.47%



รูป 4.16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า Precision , Recall และ F-score เพื่อวัดความสามารถในการตรวจจับตำแหน่งบนพื้นผิวโพมยาง

ตัวอย่างผลลัพธ์ของโปรแกรมตรวจจับตำแหน่งบนพื้นผิวโพมยาง โดยผู้พัฒนาได้พัฒนาโปรแกรมสำหรับรับข้อมูลเป็นภาพ และประมวลผล เพื่อระบุตำแหน่งของคำหยาและคุณสมบัติของภาพตำแหน่งบนพื้นผิวโพมยางที่ตรวจจับได้ ด้วยโปรแกรม MATLAB R2019a ได้ผลลัพธ์ดังรูปต่อไปนี้ โดยสีเหลี่ยมสีดำคือตำแหน่งของคำหยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

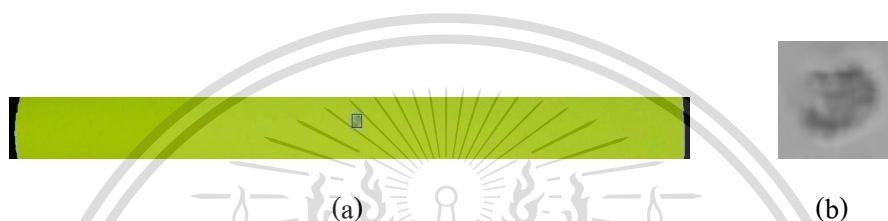
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



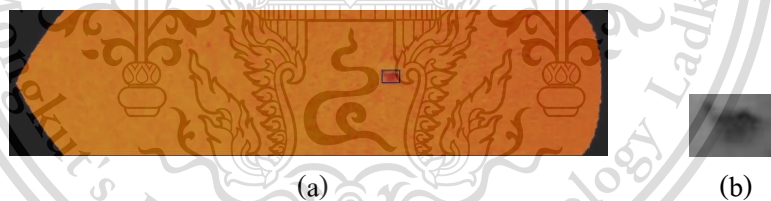
รูป 4.17 ภาพตัวอย่างผลลัพธ์ของโปรแกรมตรวจจับตำแหน่งบนพื้นผิวโคมยางรหัส sku001

- ภาพแสดงตำแหน่งของตำหนิ
- ภาพ ROI สีเทา



รูป 4.18 ตัวอย่างผลลัพธ์ของโปรแกรมตรวจจับตำแหน่งบนพื้นผิวโคมยางรหัส sku002

- ภาพแสดงตำแหน่งของตำหนิ
- ภาพ ROI สีเทา



รูป 4.19 ตัวอย่างผลลัพธ์ของโปรแกรมตรวจจับตำแหน่งบนพื้นผิวโคมยางรหัส sku003

- ภาพแสดงตำแหน่งของตำหนิ
- ภาพ ROI สีเทา

4.2.2.3.2 ผลการระบุประเภทตำหนิบนพื้นผิวชิ้นงานโคมยาง

ในการวัดผลประสิทธิภาพของตัวจำแนกประเภทตำหนิบนพื้นผิวโคมยาง โดยใช้ภาพที่ได้รับจากกระบวนการตรวจจับตำหนิ มีขั้นตอนการดำเนินงานและวัดผล

ประสิทธิภาพดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- 1) เตรียมข้อมูลภาพคำหันทันที่ได้จากระบบการตรวจจับคำหันทันทั้งหมด 450 ภาพ โดยแบ่งเป็นคำหันทันประเภทละ 150 ภาพ
- 2) แบ่งข้อมูลภาพออกเป็นข้อมูลสำหรับการฝึกและข้อมูลสำหรับการทดสอบ ออกเป็นอัตราส่วน 70:30
- 3) ทำการฝึกตัวจำแนกทั้ง 3 ประเภท ด้วยข้อมูลที่แบ่งไว้
- 4) ทดสอบตัวจำแนกด้วยข้อมูลทดสอบ
- 5) คำนวณค่าความแม่นยำ (Precision) ค่าความถูกต้อง (Recall) และค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิกระหว่างค่าความแม่นยำและค่าความถูกต้อง (F-score) จาก Confusion matrix เพื่อวัดความสามารถของอัลกอริทึมตรวจจับคำหันทันบนพื้นผิวโพมยาง



รูป 4.20 ข้อมูลตัวอย่างคำหันทันชนิดพองลมที่ใช้ในการพัฒนาตัวจำแนก



รูป 4.21 ข้อมูลตัวอย่างคำหันทันชนิดตามดที่ใช้ในการพัฒนาตัวจำแนก



รูป 4.22 ข้อมูลตัวอย่างคำหันทันชนิดรอยดำที่ใช้ในการพัฒนาตัวจำแนก

จากการวัดผลประสิทธิภาพของตัวจำแนกคำหันทันบนพื้นผิวโพมยางทั้ง 3 ประเภท สามารถแสดงตารางการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวจำแนกคำหันทันบนพื้นผิวโพมยางได้ ดังนี้

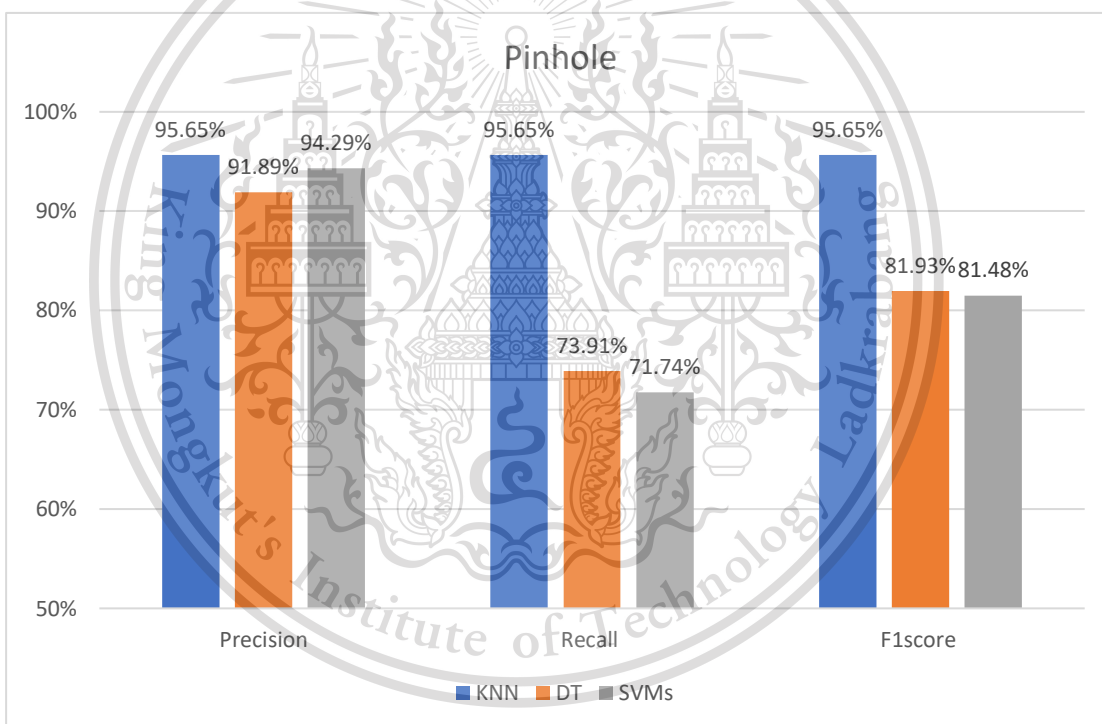
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบุตำหนิประเภทตามคได้ถูกต้องของแต่ละตัวจำแนก

ตำหนิประเภทตามค			
ตัวจำแนก	Recall	Precision	F-score
1. k-Nearest Neighbors classifier	95.65%	95.65%	95.65%
2. Decision Tree classifier	73.91%	91.89%	81.93%
3. Support vector machines (SVMs)	71.74%	94.29%	81.48%



รูป 4.23 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า Precision , Recall และ F-score เพื่อวัดความสามารถในการระบุประเภทตำหนิประเภทตามคบนพื้นผิวโฟมยาง

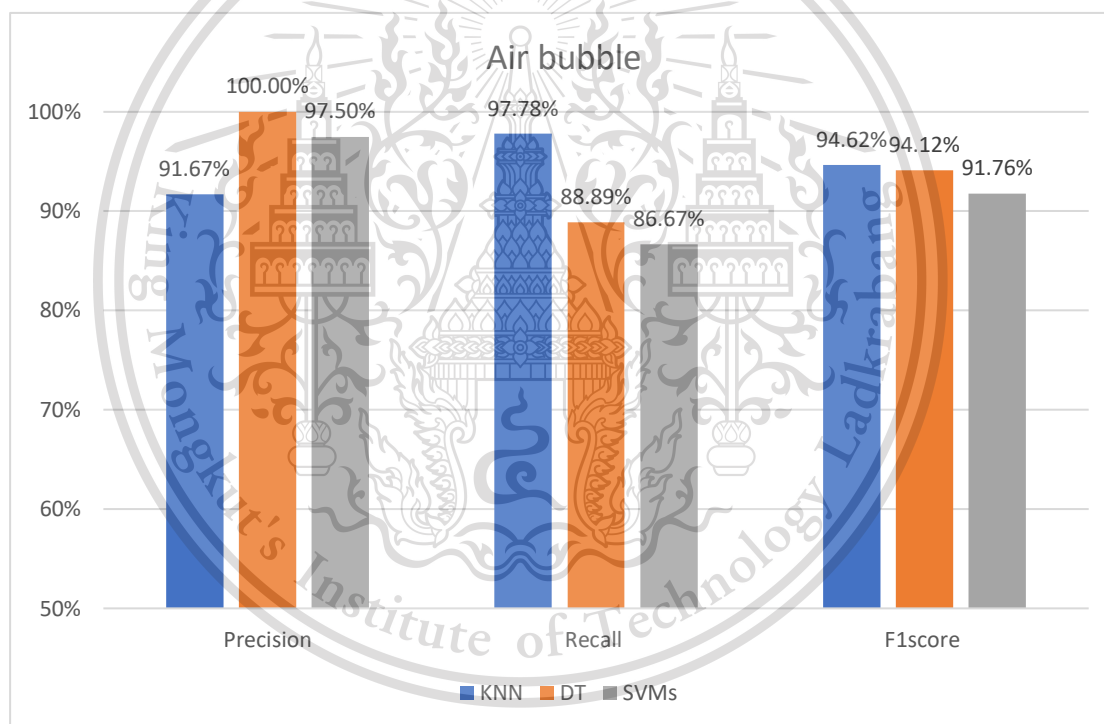
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบุตำหนิประเภทพองลมได้ถูกต้องของแต่ละตัวจำแนก

ตำหนิประเภทพองลม			
ตัวจำแนก	Recall	Precision	F-score
1. k-Nearest Neighbors classifier	97.78%	91.67%	94.62%
2. Decision Tree classifier	88.89%	100.00%	94.12%
3. Support vector machines (SVMs)	86.67%	97.50%	91.76%



รูป 4.24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า Precision , Recall และ F-score เพื่อวัดความสามารถในการระบุประเภทตำหนิประเภทพองลมบนพื้นผิวโฟมยาง

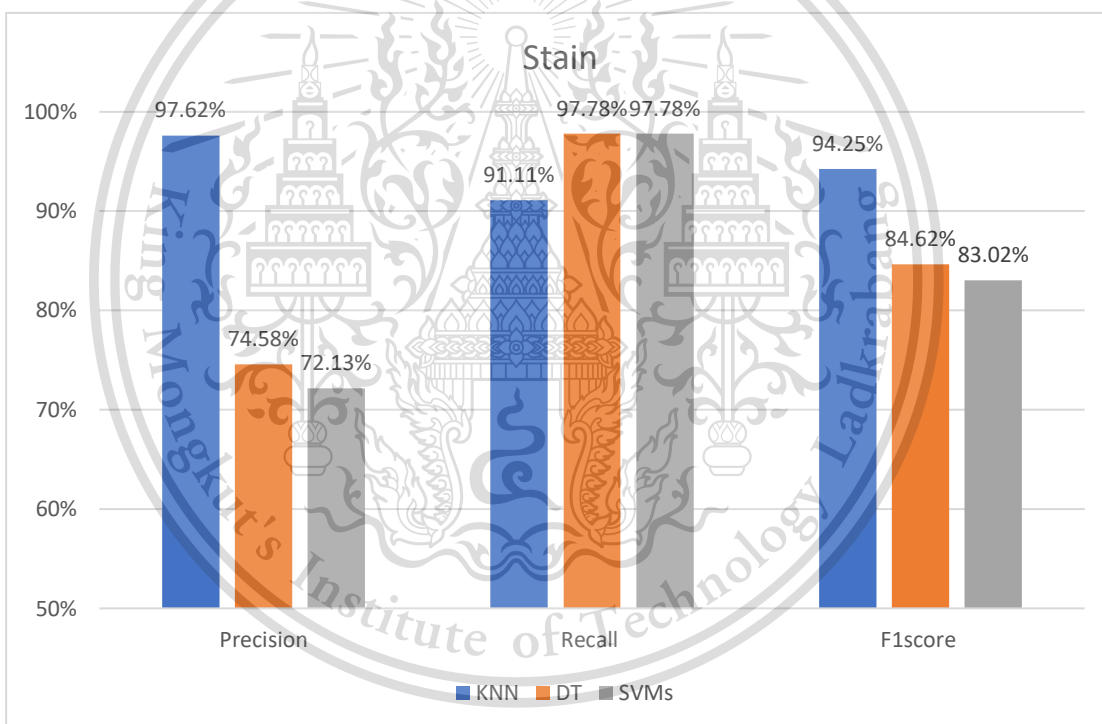
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบุตำหนิประเภทรอยดำได้ถูกต้องของแต่ละตัวจำแนก

ตำหนิประเภทรอยดำ			
ตัวจำแนกที่	Recall	Precision	F-score
1. k-Nearest Neighbors classifier	91.11%	97.62%	94.25%
2. Decision Tree classifier	97.78%	74.58%	84.62%
3. Support vector machines (SVMs)	97.78%	72.13%	83.02%



รูป 4.25 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า Precision , Recall และ F-score เพื่อวัดความสามารถในการระบุประเภทตำหนิประเภทรอยดำบนพื้นผิวโพลียเมยาง

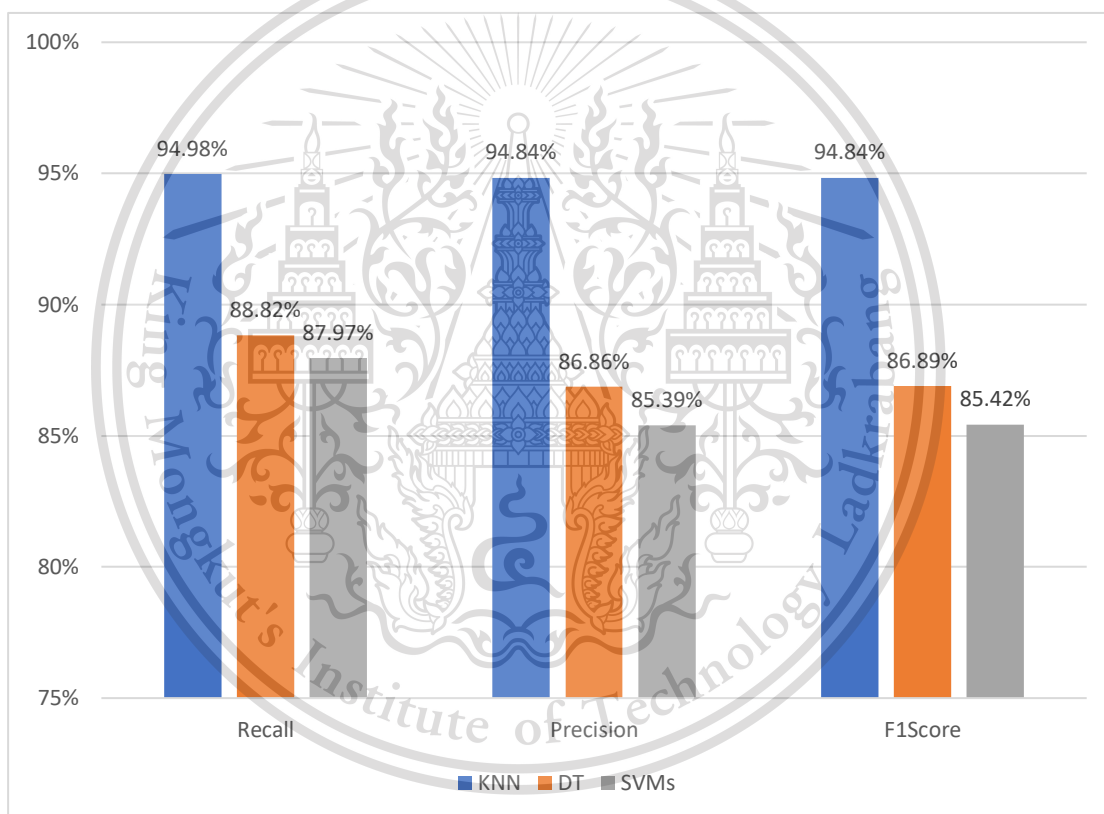
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบุประเภทคำหยาบได้ถูกต้องของแต่ละตัวจำแนกโดยเฉลี่ย

ตัวจำแนกที่	Recall	Precision	F-score
1. k-Nearest Neighbors classifier	94.98%	94.84%	94.84%
2. Decision Tree classifier	88.82%	86.86%	86.89%
3. Support vector machines (SVMs)	87.97%	85.39%	85.42%



รูป 4.26 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า Precision , Recall และ F-score โดยเฉลี่ยเพื่อวัดความสามารถในการระบุประเภทคำหยาบบนพื้นผิวโพมยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.2.3.3 ผลการพัฒนากระบวนการตรวจจับคำหยาบ และระบุประเภทคำหยาบบนพื้นผิวชิ้นงานโพลียเอทิลีน

จากการดำเนินงานและวัดผลประสิทธิภาพอัลกอริทึมสรุปได้ว่า อัลกอริทึมการตรวจจับคำหยาบบนพื้นผิวโพลียเอทิลีนเวอร์ชัน 2 มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยค่า Precision คือ 94.58% ค่า Recall คือ 96.45% และค่า F-score คือ 95.47% และจากตัวจำแนกที่ได้ทดลองสรุปได้ว่าตัวจำแนกที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ k-Nearest Neighbors classifier ผู้พัฒนาจึงเลือกใช้อัลกอริทึมการตรวจจับคำหยาบบนพื้นผิวโพลียเอทิลีนเวอร์ชัน 2 และ k-Nearest Neighbors classifier ในการพัฒนากระบวนการตรวจจับคำหยาบ และระบุประเภทคำหยาบบนพื้นผิวชิ้นงานโพลียเอทิลีนของโครงการนี้ โดยมีผลการวัดประสิทธิภาพการทำงานดังนี้

ตารางที่ 4.6 แสดงประสิทธิภาพในการตรวจจับคำหยาบ และระบุประเภทคำหยาบบนพื้นผิวโพลียเอทิลีน โดยรวม



การตรวจจับคำหยาบและระบุประเภทคำหยาบบนพื้นผิวชิ้นงานโพลียเอทิลีน	Precision	Recall	F-score
อัลกอริทึมการตรวจจับคำหยาบบนพื้นผิวโพลียเอทิลีนเวอร์ชัน 2 และระบุประเภทคำหยาบด้วย k-Nearest Neighbors classifier	80.01%	65.98%	73.93%

สาเหตุที่อัลกอริทึมการตรวจจับคำหยาบบนพื้นผิวโพลียเอทิลีนเวอร์ชัน 2 มีประสิทธิภาพมากที่สุด เป็นเพราะในการพัฒนาได้นำวิธีการและเทคนิคจากการศึกษา และการวิเคราะห์ข้อจำกัดของอัลกอริทึมที่ได้พัฒนาไว้ มาช่วยในการพัฒนา โดยเมื่อทำการทดสอบอัลกอริทึมที่ได้พัฒนาไว้กับข้อมูลภาพชิ้นงานจากสถานีตรวจสอบคุณภาพแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้จากอัลกอริทึมการตรวจจับคำหยาบบนพื้นผิวโพลียเอทิลีนเวอร์ชัน 0 ได้ผลลัพธ์ที่ค่อนข้างแย่ จึงตรวจสอบเพื่อวิเคราะห์ปัญหาและข้อจำกัดที่เกิดขึ้น จากนั้นจึงปรับปรุงอัลกอริทึมซึ่งสุดท้ายก็พัฒนาได้เป็นอัลกอริทึมการตรวจจับคำหยาบบนพื้นผิวโพลียเอทิลีนเวอร์ชัน 2 ที่ให้ผลลัพธ์เป็นที่ดีมากขึ้น


4.2.3 ผลการพัฒนาส่วนระบบคลาวด์เซิร์ฟเวอร์


4.2.3.1 การส่งข้อมูลจากสถานีตรวจสอบคุณภาพไปยังระบบฐานข้อมูล MongoDB โดยผ่านโปรโตคอล MQTT

จัดทำโดยพัฒนา service ที่เป็น subscriber ด้วย Nest.js เพื่อรับข้อความที่เข้ามาใน topic ที่ได้ออกแบบไว้ ข้อความที่ได้รับจะถูกเพิ่มเข้าไปในระบบฐานข้อมูล MongoDB และทดสอบการจัดเก็บข้อมูล โดยสร้างสถานีจำลองเพื่อส่งข้อความไปยัง RabbitMQ

Topic   ^

stations / 603f7b7f952b3f04cd2f8cbc / item

Value  ^

<>  QoS: 0
07/03/2021
19:41:02

```
{
  "station_id": "603f7b7f952b3f04cd2f8cbc"
  "material_id": "603f7cde952b3f04cd2f8cc0"
  "defects": [
    {
      "type": "air-bloated",
      "area": 0.905538910920189,
      "x": 1.7160462665669796,
      "y": 5.7510909961365915,
      "width": 7.194842104297281,
      "height": 1.1515059622036228
    }
  ]
}
```

รูป 4.27 ตัวอย่างข้อมูลของสินค้าที่ถูกส่งจากสถานีตรวจสอบคุณภาพ
ที่หัวข้อ “stations/{station-id}/item”

Topic   ^

stations / 603f7b7f952b3f04cd2f8cbc / event /
power-consumption

Value  ^

<>  QoS: 0
11/03/2021 15:00:08

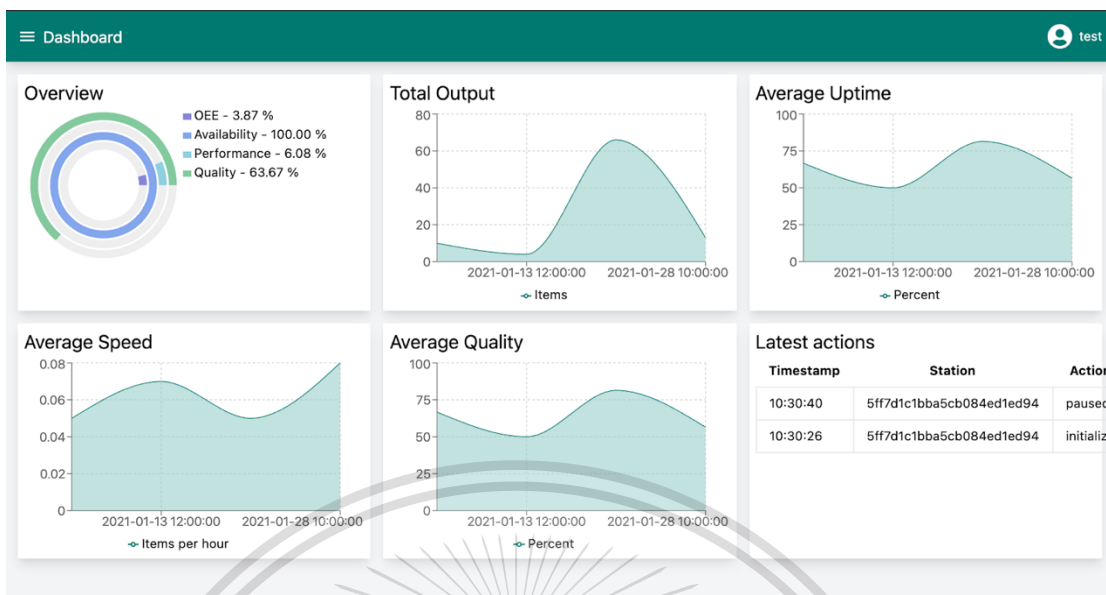
```
{
  "station_id": "603f7b7f952b3f04cd2f8cbc",
  "status": {
    "type": "power-consumption",
    "value": 69.83562407138211
  },
  "timestamp": "2021-03-11T08:00:08.785Z"
}
```

รูป 4.28 ตัวอย่างข้อมูลเซนเซอร์จำลองที่ถูกส่งจากสถานีตรวจสอบคุณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

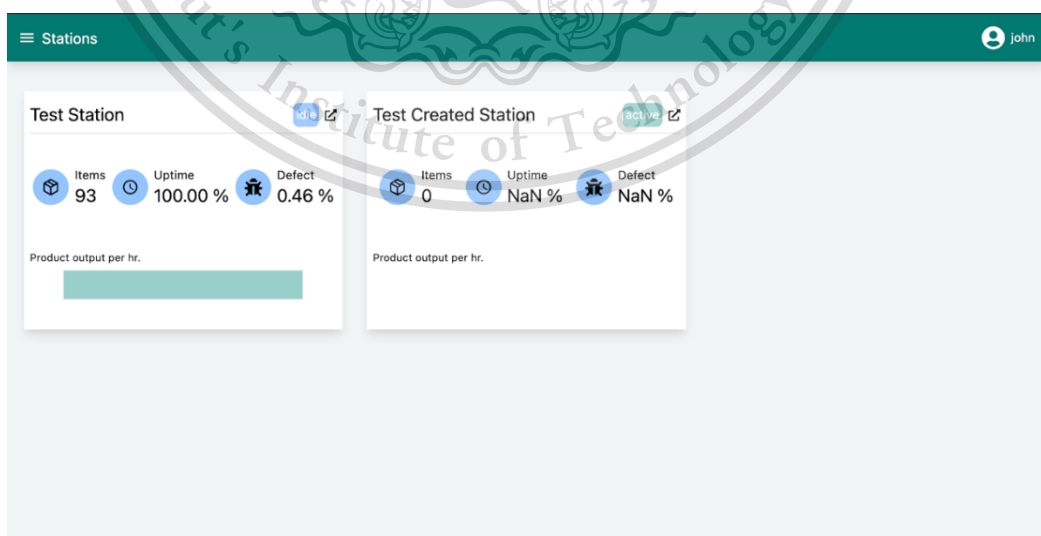
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 4.30 หน้าแดชบอร์ดข้อมูลภาพรวมการผลิต

4.2.4.2 การดูข้อมูลภาพรวมการผลิต

หน้าข้อมูลสถานีทั้งหมดสำหรับผู้จัดการการผลิต และหัวหน้าทีมฝ่ายผลิต ผู้ใช้สามารถดูข้อมูลภาพรวมของแต่ละสถานีได้ แต่ละสถานีจะมีข้อมูลสถานะปัจจุบันของสถานี จำนวนสินค้าที่ออกจากสถานีการผลิต เปอร์เซ็นต์ Uptime ของสถานี เปอร์เซ็นต์ของสินค้าที่มีตำหนิที่เกิดขึ้นกับสถานี และกราฟแสดงจำนวนสินค้าที่ออกจากสายการผลิต ผู้ใช้สามารถกดที่ปุ่ม มุมบนขวามือของการ์ดข้อมูลสถานีเพื่อเข้าไปดูรายละเอียดของสถานีได้



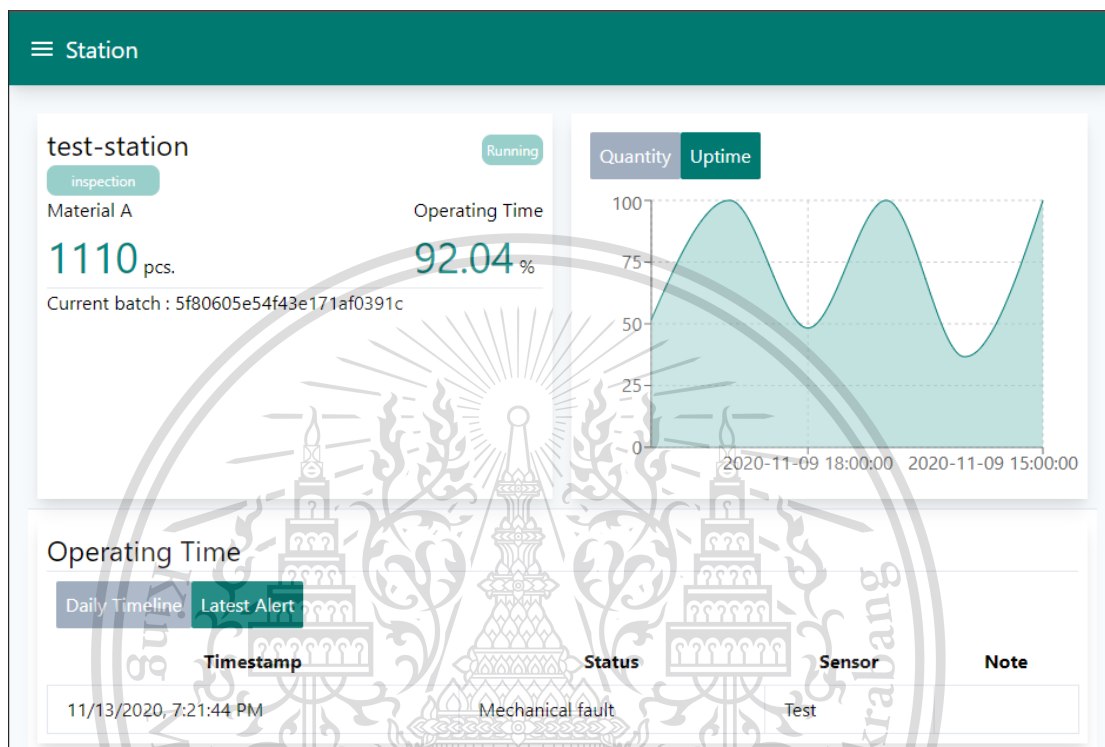
รูป 4.31 หน้าแสดงข้อมูลของสถานีทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และห้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หน้าข้อมูลของสถานี ประกอบด้วย ข้อมูลเบื้องต้นจากสถานีในหน้าก่อนหน้าคือ ตของสินค้าที่ผลิตในปัจจุบัน บันทึกการดำเนินงานของสถานี รายการตำหนิที่เกิดขึ้น บันทึกสินค้าที่มีตำหนิ และค่าจากเซนเซอร์ที่วัดได้จากสถานี



รูป 4.32 หน้าข้อมูลต่อการผลิตของสถานี และข้อมูลภาพรวมของการผลิต

ในส่วนแถบข้อมูลละเอียดในแต่ละด้านจะมีเลือกแสดงได้สามส่วน ดังนี้

- 1) Operation ซึ่งแสดงข้อมูลการทำงานของสถานีในช่วงเวลาต่างๆ
- 2) Defects ซึ่งแสดงข้อมูลของตำหนิของสินค้าที่ผลิตออกมาจากสถานี
- 3) Diagnostic ซึ่งแสดงข้อมูลของเซนเซอร์ที่วัดค่าที่เกิดจากสถานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



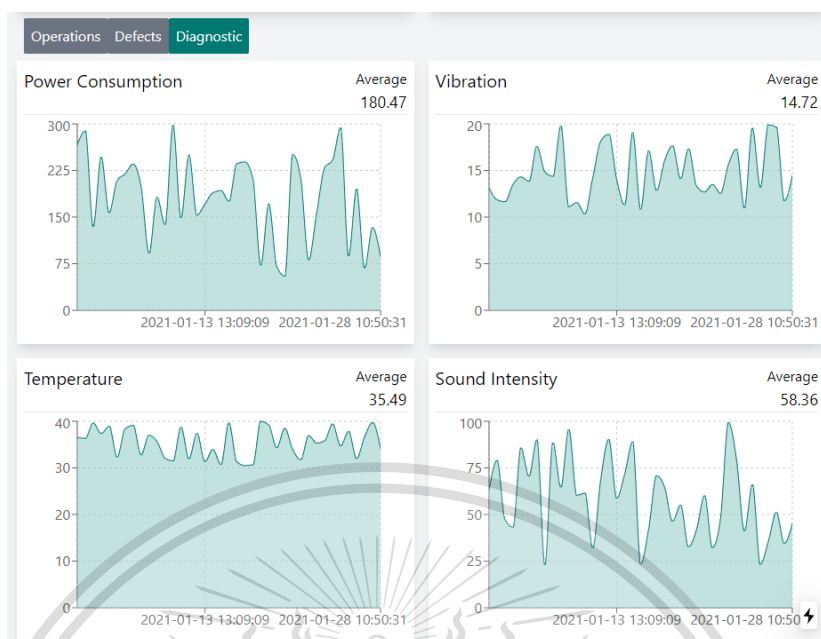
รูป 4.33 ส่วนของข้อมูลการทำงานของสถานี

รูป 4.34 ส่วนของข้อมูลตำหนิที่เกิดขึ้น ประกอบด้วยประเภทตำหนิ และจำนวนที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เห็นเอกสารนี้เห็นสมควรจะขอใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 4.35 ส่วนของข้อมูลเซนเซอร์ที่ได้รับจากสถานีการผลิต

4.2.4.3 การจัดการล็อตการผลิต และแผนการผลิต

หน้าแสดงรายการล็อตสินค้าสำหรับผู้จัดการผลิต และหัวหน้าทีมฝ่ายผลิต สามารถดูแผนการผลิตโดยกดปุ่ม “View plan” และหัวหน้าทีมฝ่ายผลิตสามารถเพิ่มแผนการผลิตโดยกดปุ่ม “Add plan”

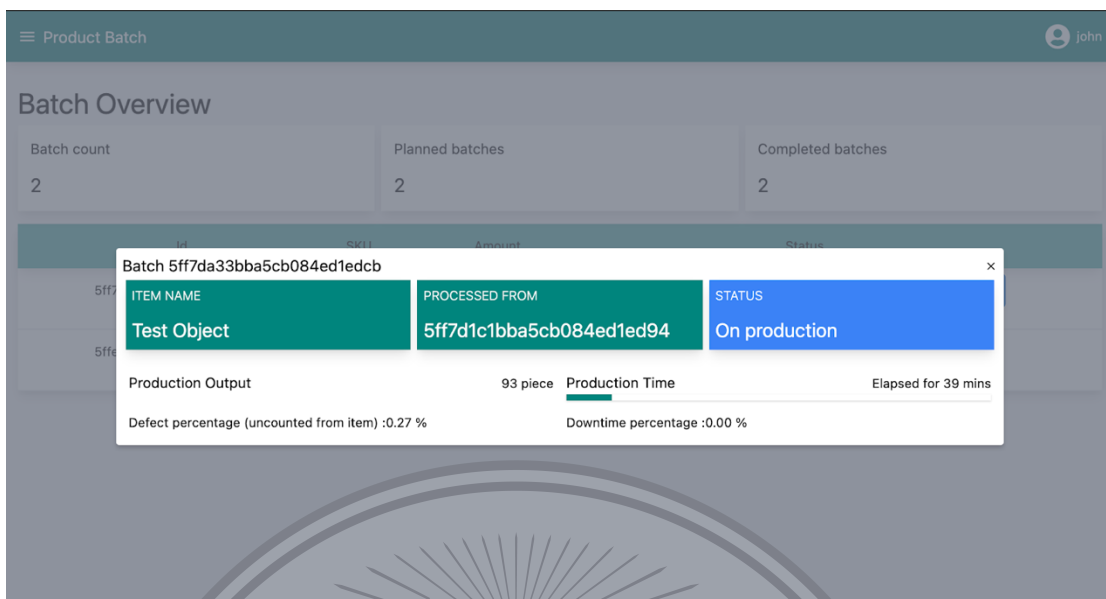
Batch Overview			
Batch count	Planned batches	Completed batches	
2	2	2	
Id	SKU	Amount	Status
5ff7da33bba5cb084ed1edcb	Test Object	93 piece (no dependent order)	On production View plan
5ffe612db58cc70dd8ad7d3b	Test Object	0 piece 100 required	Unplanned Add plan

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูป 4.36 หน้าการจัดการล็อตการผลิต และแผนการผลิต นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 4.37 modal แสดงข้อมูลแผนการผลิตสำหรับล็อตสินค้านี้



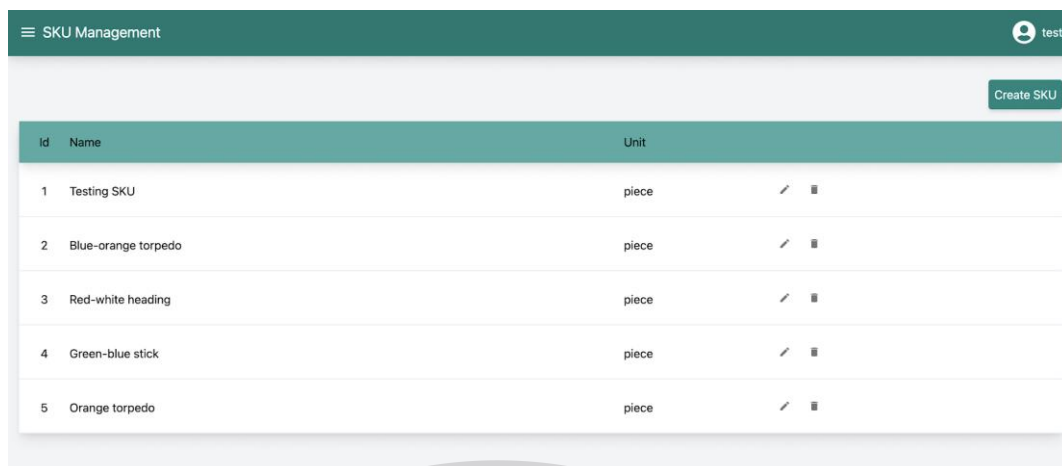
รูป 4.38 modal แสดงฟอร์มกรอกข้อมูลแผนการผลิต โดยเลือกสถานีการผลิต กำหนดเวลาการผลิต และเวลาที่เครื่องจักรจะไม่ทำงานเป็นหน่วยนาที

4.2.4.4 การจัดการข้อมูล Stock Keeping Unit (SKU)

ผู้ดูแลระบบสามารถเห็นข้อมูลของ SKU ผ่านหน้านี้ และสามารถกดที่ปุ่ม “Create SKU” เพื่อสร้าง SKU ใหม่ ในส่วนข้อมูลของ SKU สามารถแก้ไขข้อมูลโดยกดที่ไอคอนดินสอ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า และลบ SKU โดยกดไอคอนถังขยะ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

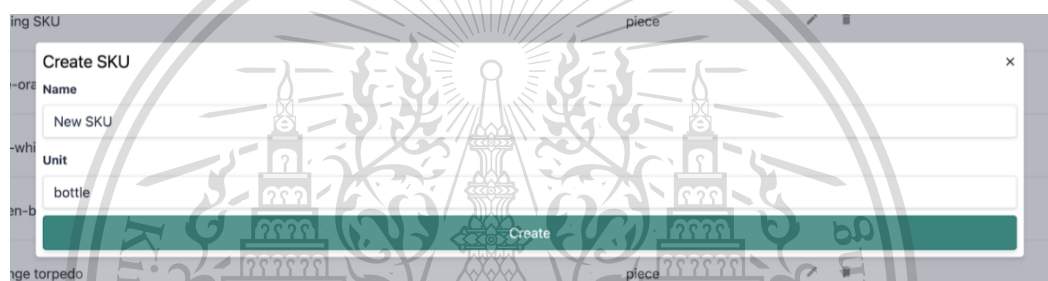
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



The screenshot shows a web interface titled "SKU Management" with a user profile "test" in the top right. A "Create SKU" button is in the top right corner. Below is a table with the following data:

Id	Name	Unit		
1	Testing SKU	piece		
2	Blue-orange torpedo	piece		
3	Red-white heading	piece		
4	Green-blue stick	piece		
5	Orange torpedo	piece		

รูป 4.39 หน้าแสดงข้อมูลรายการ SKU ในระบบ

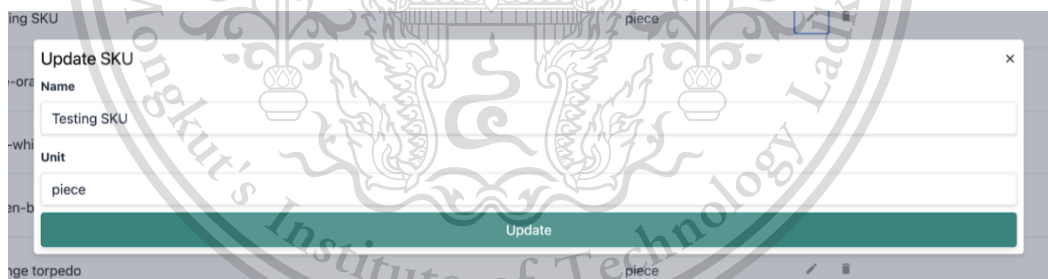


The screenshot shows a "Create SKU" modal form with the following fields:

- Name: New SKU
- Unit: bottle

A "Create" button is at the bottom of the modal.

รูป 4.40 modal สำหรับการสร้าง SKU เมื่อกดปุ่ม “Create SKU”



The screenshot shows an "Update SKU" modal form with the following fields:

- Name: Testing SKU
- Unit: piece

An "Update" button is at the bottom of the modal.

รูป 4.41 modal สำหรับการแก้ไขข้อมูล SKU เมื่อคลิกไอคอนดินสอที่รายการ SKU ในระบบ



The screenshot shows a "Delete SKU?" modal form with the following text:

Delete SKU?
Confirm delete this SKU?

Buttons: Confirm, Cancel

เอกสารนี้เป็นรูป 4.42 modal สำหรับการยืนยันการลบข้อมูล SKU เมื่อคลิกไอคอนถังขยะที่รายการ SKU ในระบบ การค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.4.5 การจัดการข้อมูลสถานีการผลิต

หน้าจัดการข้อมูลสถานีสำหรับผู้ดูแลระบบ โดยผู้ดูแลระบบจะสามารถเห็นข้อมูลของสถานีการผลิต ประกอบด้วยชื่อ หน้าที่ของสถานี สามารถเพิ่มข้อมูลสถานีที่ติดตั้งใหม่โดยกดปุ่ม “Add station” และแก้ไขข้อมูลของสถานีโดยกดปุ่ม “Update”

No	Name	Role
1	Test Station	Test Product
2	Test Created Station	test

รูป 4.43 หน้าแสดงข้อมูลสถานีในระบบ

รูป 4.44 modal สำหรับสร้างสถานี เมื่อกดปุ่ม “Add station” ที่รายการสถานีในระบบ

รูป 4.45 modal สำหรับแก้ไขข้อมูลสถานี เมื่อกดปุ่ม “Update” ที่รายการสถานีในระบบ

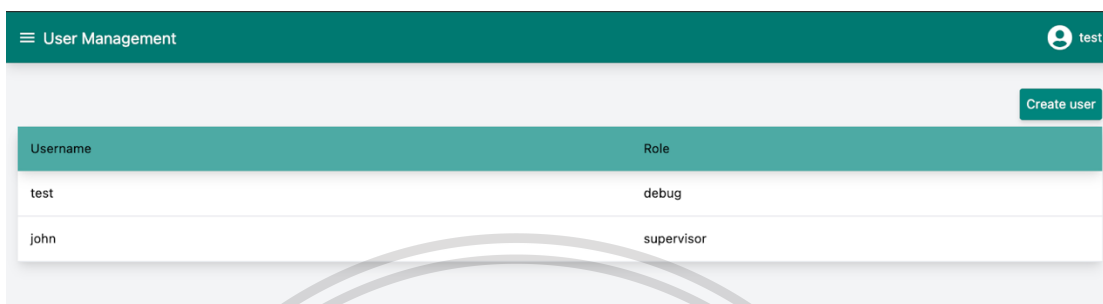
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

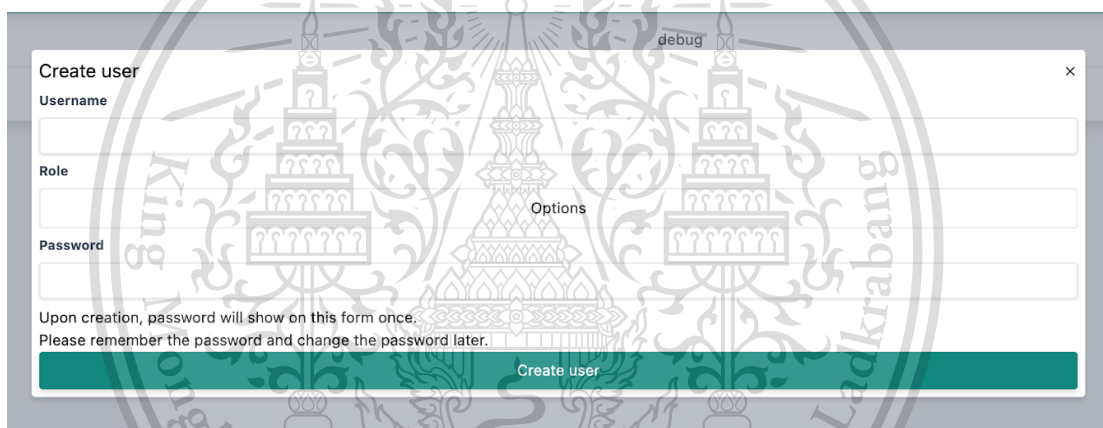
4.2.4.6 การจัดการข้อมูลผู้ใช้

ผู้ดูแลระบบสามารถเห็นรายชื่อผู้ใช้ทั้งหมด ประกอบด้วย username สิทธิ์ของผู้ใช้ สามารถสร้างผู้ใช้ใหม่ได้โดยกดปุ่ม “Create user”



Username	Role
test	debug
john	supervisor

รูป 4.46 หน้าแสดงข้อมูลผู้ใช้ในระบบ



debug

Create user

Username

Role

Password

Options

Upon creation, password will show on this form once.
Please remember the password and change the password later.

Create user

รูป 4.47 modal สำหรับเพิ่มผู้ใช้ ประกอบด้วยชื่อผู้ใช้ สิทธิ์ของผู้ใช้ และรหัสผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลสรุปภาพรวมของการพัฒนาระบบตรวจจับตำแหน่งบนพื้นผิวโพลีเมอร์ โดยส่วนแรกจะกล่าวถึงการสรุปผลการพัฒนาระบบและประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ส่วนที่สองจะกล่าวถึงอุปสรรคและปัญหาที่พบ และส่วนที่สามจะกล่าวถึงแนวทางการพัฒนาต่อ

5.1 สรุปผลการพัฒนาระบบ

ในภาคการศึกษาที่ 1 และ 2 กิจกรรมที่ดำเนินการเสร็จแล้วในการพัฒนาระบบตรวจจับตำแหน่งบนพื้นผิวโพลีเมอร์ ประกอบด้วย การทบทวน และงานวิจัยที่ผ่านมา การวิเคราะห์ความต้องการของระบบ การออกแบบระบบ และการพัฒนา และทดสอบระบบ

โดยระบบตรวจจับตำแหน่งบนพื้นผิวโพลีเมอร์ที่พัฒนา สามารถเก็บภาพของชิ้นงานจากสถานีตรวจสอบคุณภาพจำลอง เพื่อตรวจจับตำแหน่งด้วยการประมวลผลภาพ และระบุประเภทตำแหน่งด้วยเทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่อง จากนั้นส่งข้อมูลไปยังระบบฐานข้อมูล MongoDB ผ่าน MQTT Broker และแสดงผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพไปยังผู้ใช้งานของระบบผ่านเว็บแอปพลิเคชัน

5.2 แนวทางการพัฒนาต่อ

แนวทางในการพัฒนาระบบตรวจจับตำแหน่งบนพื้นผิวโพลีเมอร์ต่อจากโครงการนี้ คือ

- 1) พัฒนาการเก็บข้อมูลภาพวัตถุชิ้นงานบนสายพานด้วยกล้องให้ใกล้เคียงการใช้งานจริงมากขึ้น โดยการเพิ่มการทำงานของสายพาน และแขนกล
- 2) ในส่วนของระบบเว็บแอปพลิเคชันติดตามประสิทธิภาพการผลิตสามารถเพิ่มการทำงานที่ละเอียดขึ้น เช่น ระบบการจัดตารางการผลิต การกำหนดผู้ปฏิบัติงานของสถานีการผลิต การสร้างประเภทสิทธิ์ของผู้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

Ya-Hui Tsai, D. Tsai, W. Li, W. Chiu and Ming-Chin Lin. 2011. **Surface defect detection of 3D objects using robot vision.** Mechanical Industry Research Laboratories, Industrial Technology Research Institute, Taiwan, Republic of China, and Department of Industrial Engineering and Management, Yuan-Ze University, Taiwan, Republic of China.

V. Murino, M. Bicego and I.A. Rossi. 2004. **Statistical classification of raw textile defects.** Dipartimento di Informatica, Università di Verona, Italy.

Roland T Chin, Charles A. Harlow 1982. **Automated Visual Inspection: A Survey.** Hong Kong Baptist University

MongoDB, Inc. 2020. **RDBMS to MongoDB Migration Guide.** MongoDB, Inc.

Turgut Ozseven and Ebubekir Yasar. 2019. **Theoretical Investigations and Applied Studies in Engineering.** Istanbul : Ekin Publishing House.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.