

ศึกษาและพัฒนาสคริปต์แมทแลบสำหรับตรวจสอบรอยและ
พื้นผิวที่เสียหายจากการขัด
STUDY AND DEVELOP MATLAB SCRIPT FOR LAPPING
SCRATCH/SURFACE DAMAGE INSPECTION



โครงการสหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2560
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY AND DEVELOP MATLAB SCRIPT FOR LAPPING
SCRATCH/SURFACE DAMAGE INSPECTION



A COOPERATIVE EDUCATION PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL
FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ACADEMIC YEAR 2017
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อสหกิจศึกษา ศึกษาและพัฒนาสคริปต์แมทแลบสำหรับตรวจสอบรอยและพื้นผิวเสียหาย
จากการขัด
Study and Develop MATLAB Script for Lapping Scratch/Surface
Damage Inspection

ชื่อนักศึกษา นางสาวปิยรักษ์ วรรณะ รหัสนักศึกษา 57050998

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา 2560

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. พิชานันท์ ธีเศรษฐ์โสภณ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
โครงการสหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์)
ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ. สาทราย เล็กชะอุ่ม ประธานกรรมการ	
ดร. วิฑูรย์ ยินดีสุข กรรมการ	
นายธีระศักดิ์ สงวนมานะศักดิ์ กรรมการ	
ดร. พิชานันท์ ธีเศรษฐ์โสภณ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	
นายธีระวุฒิ วิบูลย์จันทร์ กรรมการและพนักงานที่ปรึกษา	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์ มอนูญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อสหกิจศึกษา	ศึกษาและพัฒนาสคริปต์แมทแลบสำหรับตรวจสอบรอยและพื้นผิวเสียหายจากการขัด	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวปิยรักษ์ วรรณะ	รหัสนักศึกษา 57050998
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)	
ภาควิชา	ฟิสิกส์	
คณะ	วิทยาศาสตร์	
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)	
ปีการศึกษา	2560	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. พิชชานันท์ อีเศรษฐ์โสภณ	

บทคัดย่อ

โครงการสหกิจฉบับนี้นำเสนอผลการศึกษาและพัฒนาการตรวจสอบหารอยและพื้นผิวที่เสียหายจากกระบวนการขัดโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ และการดึงคุณลักษณะสำคัญจากภาพในส่วนของรอยและพื้นที่ผิวเสียหายบนสไลเดอร์ฮาร์ดดิสก์ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนาผิวหน้าของสไลเดอร์ที่ผ่านกระบวนการขัดผิว เพื่อหาและกำหนดสาเหตุความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นบนสไลเดอร์ โดยวิเคราะห์ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM) ผ่านกระบวนการประมวลผลภาพในโปรแกรม MATLAB โดยอาศัยหลักการแปลงฮัฟ (Hough Transform) เพื่อตรวจสอบเส้นตรงและวงกลม ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญของรอยและพื้นผิวเสียหายบนสไลเดอร์ และผลที่ได้จะถูกนำไปใช้เป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนาฮาร์ดดิสก์ต่อไป

คำสำคัญ : การประมวลผลภาพ การแปลงฮัฟ รอยและพื้นที่ผิวเสียหาย สไลเดอร์ ฮาร์ดดิสก์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Study and Develop MATLAB Script for Lapping Scratch /Surface Damage Inspection
Students	Miss Piyarak Wanna Student ID 57050998
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)
Department	Physics
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2017
Advisor	Dr. Pichanan Teesetsopon

Abstract

This cooperative project describes the results of the study and development of scratch/surface damage inspection method by using image processing and feature extraction techniques. The images of hard disk slider surface were taken by a scanning electron microscopy (SEM). Major scratches were extracted through an image processing algorithm to inspect scratch/surface damage by basing on MATLAB to find and classify the potential root cause of the scratch/surface damage on them which is a part of lapping process development. Hough transform was used to inspection the lines and circles which were the identities of the scratch/surface damage on the slider. And the results will be used as a part of hard disk development.

Keywords : Image processing, Hough transform, Scratch/surface damage, Slider, Hard disk.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการสหกิจศึกษาฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความกรุณาและความเมตตาของพี่เลี้ยงผู้ที่ดูแล คุณธีระวุฒิ วิบูลย์จันทร์ ขอขอบพระคุณสำหรับความกรุณารับเป็นที่ปรึกษาตั้งแต่เริ่มโครงการสหกิจศึกษา รวมทั้งได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับหัวข้อโครงการ และแนวทางในการเขียนโครงการ และขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ดร. พิษานันท์ ธีเศรษฐ์โสภณ ที่กรุณารับฟังคำปรึกษา และดูแลอย่างใกล้ชิดเกี่ยวกับแนวคิดในการทำโครงการพิเศษฉบับนี้ ตรวจสอบแก้ไขความเรียบร้อย ให้ข้อคิดแนะนำรูปแบบการเขียนโครงการ ตลอดจนคำแนะนำทางวิชาการที่ดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณ บริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์รับเข้าปฏิบัติสหกิจศึกษา

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ฝ่ายบุคคล ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวก รวมทั้งให้คำแนะนำในการปฏิบัติสหกิจศึกษา

ขอขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ให้ได้รับการศึกษา ตลอดจนคอยเลี้ยงดูและอบรมสั่งสอนและเป็นกำลังใจสำคัญเป็นแรงผลักดันในการปฏิบัติโครงการสหกิจศึกษาให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมถึงเพื่อน ๆ และบุคคลอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึง ผู้จัดทำโครงการสหกิจศึกษาขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ปิยรัช วรรณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขต	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ระยะเวลาดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 กระบวนการขีดผิว	4
2.1.1 ผลกระทบที่มีต่อกระบวนการขีด	4
2.2 โปรแกรม MATLAB	5
2.2.1 การสร้างแอปพลิเคชันหรือฟังก์ชันเฉพาะงานโดยเขียนโปรแกรม m-file	5
2.2.2 ระบบการทำงานของ MATLAB	6
2.3 การประมวลผลภาพ	7
2.3.1 รูปภาพดิจิทัล	8
2.3.2 ประเภทของภาพ	8
2.3.3 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	10
2.3.4 การวิเคราะห์พื้นผิวตามแนวทางสถิติ	11
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 การวิเคราะห์ลักษณะรอยและพื้นผิวเสียที่เกิดขึ้น	20
3.1.1 รูปแบบรอยที่มีสาเหตุจากการหลุดออกจากแผ่นขีดของอนุภาคสารขีด	20
3.1.2 รูปแบบรอยที่มีสาเหตุจากการปฏิบัติงาน	20
3.1.3 รูปแบบรอยที่มีสาเหตุจากอนุภาคสารขีดขนาดใหญ่ตามแนวทิศทางขีด	21
3.2 ขั้นตอนการเขียนสคริปต์โปรแกรม MATLAB	21
3.2.1 Input Image	22
3.2.2 Preprocessing Image	23
3.2.3 Sobel Edge Detection	24
3.2.4 Hough Transform	25
3.2.5 Marker Detection	26
3.2.6 Display Image	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ที่ 3.2.4.6

สารบัญ (ต่อ)

3.3	การคัดแยก รอยและพื้นผิวเสียหายรูปแบบ Lose Particle	27
3.4	การคัดแยก รอยและพื้นผิวเสียหายรูปแบบ Handling	27
3.5	การคัดแยก รอยและพื้นผิวเสียหายรูปแบบ Lapping Mark	29
บทที่ 4	ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	
4.1	รอยและพื้นผิวเสียหายที่เกิดขึ้นบนตัวอย่าง	31
4.2	การทดสอบความสามารถของสคริปต์โปรแกรม MATLAB	33
4.2.1	การตรวจหารอยและพื้นผิวเสียหายของชิ้นงานทั้งหมด 36 ภาพ	33
4.3	วิเคราะห์ผลการทดลอง	35
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัย	
5.1	สรุปผลการวิจัย	37
5.2	ข้อเสนอแนะ	37

เอกสารอ้างอิง
ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1. ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย	2
2.1 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ ρ และ θ	18
3.1 ฟังก์ชันใน Toolbox โปรแกรม MATLAB ที่ถูกเรียกใช้ของขั้นตอน Input Image	22
3.2 ฟังก์ชันใน Toolbox โปรแกรม MATLAB ที่ถูกเรียกใช้ของขั้นตอน Preprocessing Image	24
3.3 ฟังก์ชันใน Toolbox โปรแกรม MATLAB ที่ถูกเรียกใช้ของขั้นตอน Sobel Edge Detection	24
3.4 ฟังก์ชันใน Toolbox โปรแกรม MATLAB ที่ถูกเรียกใช้ของขั้นตอน Hough Transformation	26
3.5 ฟังก์ชันใน Toolbox โปรแกรม MATLAB ที่ถูกเรียกใช้ของขั้นตอน Marker Detection	26
3.6 ฟังก์ชันใน Toolbox โปรแกรม MATLAB ที่ถูกเรียกใช้ของขั้นตอน Display Image	27
4.1 ผลการทดลองการวิเคราะห์ภาพ SEM ของตัวอย่างด้วยสายตามนุษย์	31
4.2 ผลการทดลองการวิเคราะห์ภาพ SEM ของตัวอย่างด้วยสคริปต์ MATLAB	33
4.3 ผลการทดลองตรวจหารอยและพื้นผิวเสียรูปแบบ Lose Particle	35
4.4 ผลการทดลองตรวจหารอยและพื้นผิวเสียรูปแบบ Handling	35
4.5 ผลการทดลองตรวจหารอยและพื้นผิวเสียรูปแบบ Lapping Mark	35
4.6 ผลการวิเคราะห์ภาพที่มีการวิเคราะห์ผิดพลาดหรือภาพที่สคริปต์ไม่สามารถตรวจสอบได้ จำนวนภาพทั้งหมด 36 ภาพ	36
5.1 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของสคริปต์	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 (ก) ฮาร์ดดิสก์ (ข) สไลเดอร์ (ค) สไลเดอร์จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	1
2.1 แผนผังกระบวนการขีด	3
2.2 อุปกรณ์ในการขีดชิ้นงาน	4
2.3 ไอคอนของโปรแกรม MATLAB	5
2.4 การแปลงภาพแอนะล็อกเป็นภาพดิจิทัล	7
2.5 (ก) ภาพแบบบิตแมป (ข) ภาพแบบเวกเตอร์	8
2.6 ค่าระดับเทาในแต่ละพิกเซล	9
2.7 ค่าสีในแต่ละพิกเซลของภาพสี	9
2.8 ค่าไบนารีในแต่ละพิกเซล	10
2.9 ส่วนประกอบ SEM	11
2.10 (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพที่ผ่านตัวกรองคามัธยฐาน	12
2.11 ตัวอย่าง Sobel Operator	12
2.12 (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพหลังการหาขอบภาพด้วย Sobel Operator	13
2.13 การแบ่งค่าเทรสโฮลด์	13
2.14 (ก) ภาพอินพุตระดับเทา (ข) ภาพเอาต์พุตเทคนิคการทำขีดแบ่งโดยกำหนดให้ค่าเทรสโฮลด์เท่า 3	14
2.15 (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพที่ผ่านการกำจัดวัตถุขนาดเล็กออก	14
2.16 (ก) จุดของเส้นตรงใน Image Space (ข) จำนวนเส้นตรงใน Hough Space	15
2.17 การแปลง Image Space ไปเป็น Hough Space	15
2.18 ความสัมพันธ์ระหว่างของเวกเตอร์ ρ กับจุดของเส้นตรง	16
2.19 การหาเส้นตรงของภาพสองมิติโดยใช้ Hough Transform	17
2.20 ตัวอย่างการทำ Hough Transform	18
2.21 การแปลงค่าของ Hough Space เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจุดในเส้นตรง	19
3.1 ภาพตัวอย่างรอยที่มีสาเหตุมาจากการหลุดออกจากแผ่นขีดของอนุภาคสารขีด	20
3.2 ภาพตัวอย่างรอยที่มีสาเหตุมาจากการปฏิบัติงาน	21
3.3 ภาพตัวอย่างรอยที่มีสาเหตุมาจากอนุภาคสารขีดขนาดใหญ่	21
3.4 แผนผังขั้นตอนการทำงานของสคริปต์โปรแกรม MATLAB เพื่อการตรวจสอบรอยและพื้นผิวเสีย	22
3.5 แผนผังขั้นตอนการทำงานของสคริปต์โปรแกรม MATLAB ในส่วนของขั้นตอน Preprocessing Image	23
3.6 ภาพขั้นตอนการหาขอบภาพ Sobel	25
3.7 ภาพเอาต์พุตที่ผ่านการประมวลผลภาพด้วย Hough Circle Transform	27
3.8 Hough Space ของรอยรูปแบบ Handling	28
3.9 เส้นตรงที่ถูกโหวตด้วยวิธี Thresholding ของ Hough Space ของรอยรูปแบบ Handling	28
3.10 Hough Space ของรอยรูปแบบ Handling และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการใช้	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ 3.10 Hough Space ของรอยรูปแบบ Handling และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

3.11 Hough Space ของรอยรูปแบบ Lapping Mark	29
3.12 เส้นตรงที่ถูกทวิตด้วยวิธี Thresholding ของ Hough Space รอยรูปแบบ Lapping Mark	29
3.13 ภาพเอาต์พุตที่ผ่านการประมวลผลด้วย Hough Line Transform รอยรูปแบบ Lapping Mark	30
4.1 จำนวนภาพที่โปรแกรมทำให้เกิดความผิดพลาดของรอยแต่ละรูปแบบ	36



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

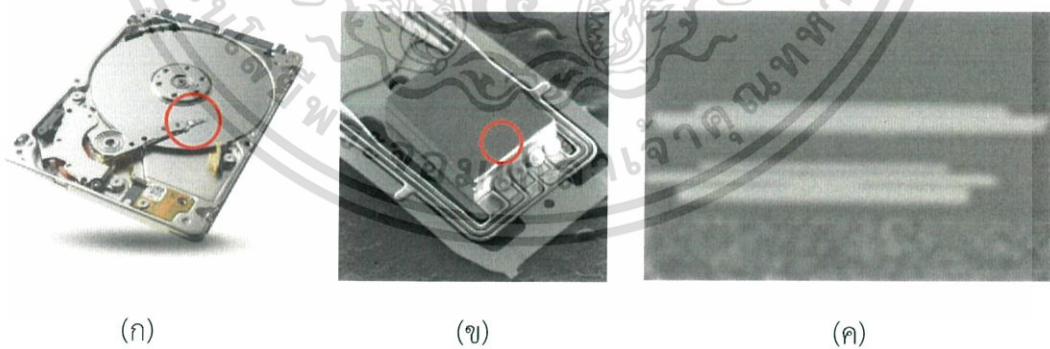
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ฮาร์ดดิสก์ (Hard Disk) เป็นอุปกรณ์สำคัญในคอมพิวเตอร์ ซึ่งเปรียบเสมือนคลังเก็บข้อมูลขนาดใหญ่ของเครื่องคอมพิวเตอร์ เพราะฉะนั้นจึงต้องมีความจุที่ค่อนข้างสูง ภายในฮาร์ดดิสก์ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนหลัก คือ แผ่นจานแม่เหล็กกลมหรือแผ่นดิสก์ (Platter) หัวอ่านเขียนหรือสไลเดอร์ (Slider) และวงจรควบคุมส่วนต่าง ๆ ซึ่งหัวอ่านเขียนถูกจัดวางบนแผ่นดิสก์ในลักษณะที่ลอยตัวอย่างมีระยะห่างคงที่ในระดับนาโนเมตร ทำหน้าที่อ่านและเขียนข้อมูลโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก จึงไม่มีการสัมผัสกับแผ่นดิสก์ หากเกิดการสัมผัสจะส่งผลให้สไลเดอร์ได้รับความเสียหาย และฮาร์ดดิสก์ไม่สามารถใช้งานได้ การพัฒนาคุณภาพสไลเดอร์เป็นสิ่งสำคัญในการพัฒนาอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ในปัจจุบันและต่อเนื่องไปในอนาคต

กระบวนการขัดผิว (Lapping Process) เป็นหนึ่งในกระบวนการการพัฒนาสไลเดอร์ ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญที่ส่งผลต่อสไลเดอร์โดยตรง ซึ่งวัสดุและอุปกรณ์ที่สำคัญในการขัดนั้นประกอบด้วยแผ่นขัด (Lapping Plate) สารขัด (Abrasive) สารหล่อลื่น (Lubricant) เครื่องขัด และยังต้องอาศัยแรงงานมนุษย์ในการควบคุมเครื่องมือด้วย โดยกระบวนการขัดสไลเดอร์ให้ได้ลักษณะ ความหนาหรือรูปร่างที่ต้องการนั้น ส่งผลให้เกิดปัญหาที่ตามมาคือ รอยและพื้นผิวเสียหาย (Scratch) บนชิ้นงาน ปัญหานี้อาจเป็นผลมาจากทางกลหรือทางเคมีนั้นขึ้นอยู่กับกระบวนการและวิธีการปฏิบัติงาน เนื่องจากสไลเดอร์นั้นมีขนาดเล็กมาก จึงจำเป็นต้องอย่างยิ่งที่ต้องมีการตรวจสอบคุณภาพอย่างละเอียดและมีความแม่นยำสูงเพื่อที่จะแก้ปัญหาได้อย่างตรงจุดและรวดเร็ว ตัวอย่างลักษณะของฮาร์ดดิสก์ สไลเดอร์ และภาพพื้นผิวของชิ้นงานเป็นดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แสดงภาพ (ก) ฮาร์ดดิสก์ (ข) สไลเดอร์ (ค) สไลเดอร์จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน[1]

ด้วยเหตุดังกล่าวข้างต้นจึงนำมาซึ่งแนวคิดในการศึกษาและพัฒนาวิธีการตรวจสอบรอยและพื้นผิวเสียหายด้วยโปรแกรม MATLAB และอาศัยเทคนิคและเทคโนโลยีด้านการประมวลผลภาพ มาใช้ในการแก้ปัญหา โดยได้รับการสนับสนุนการทำโครงการสหกิจศึกษาจากบริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีการตรวจสอบรอยและพื้นผิวเสียที่เกิดขึ้นจากการขัดของผิวสไลเดอร์ ด้วยภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope: SEM)
- 2) เพื่อศึกษาและเขียนสคริปต์โปรแกรม MATLAB สำหรับการตรวจสอบรอยและพื้นผิวเสียที่เกิดขึ้นจากการขัดของผิวสไลเดอร์ โดยอาศัยหลักการประมวลผลภาพ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ออกแบบและพัฒนาวิธีการตรวจสอบรอยและพื้นผิวเสียที่เกิดจากกระบวนการขัดของผิวสไลเดอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB โดยอาศัยหลักการประมวลผลภาพ จากภาพที่ได้จาก SEM กำลังขยาย 15000 เท่า
- 2) เขียนโปรแกรม MATLAB ในรูปแบบสคริปต์ให้ทำงานตามวิธีการที่คิดค้นหรือพัฒนาขึ้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เข้าใจการทำงานของโปรแกรม MATLAB มากขึ้น
- 2) เข้าใจหลักการและทฤษฎีการประมวลผลภาพ
- 3) ลดเวลาในการวิเคราะห์รอยและพื้นผิวเสียบนสไลเดอร์

1.5 ระยะเวลาดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ 1.1 แสดงระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย

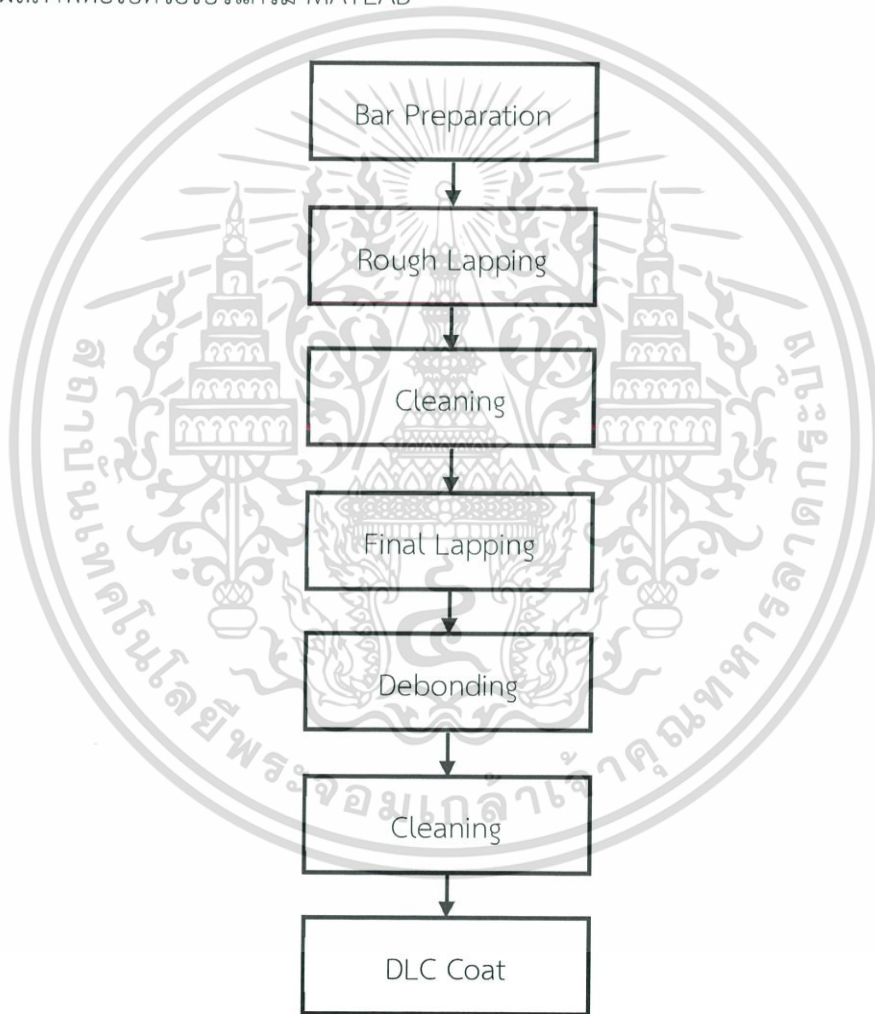
รายละเอียด	ม.ค. 2018	ก.พ. 2018	มี.ค. 2018	เม.ย. 2018
1. ค้นคว้าข้อมูล	←→			
2. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง		←→		
3. วางแผนการดำเนินงาน		←→		
4. ดำเนินงานและวิเคราะห์ผล			←→	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หัวอ่านเขียนหรือสไลเดอร์จำเป็นต้องผ่านกระบวนการขัด (Lapping process) แสดงดังรูปที่ 2.1 เพื่อให้ชิ้นงานได้ลักษณะ ความหนา หรือรูปร่างที่ต้องการ เนื่องจากบริเวณหัวอ่านและเขียนฮาร์ดดิสก์มีขนาดเล็กและซับซ้อนมาก ในกระบวนการขัดผิวจึงต้องเป็นไปอย่างละเอียดอ่อน แต่ปัญหาที่สำคัญที่ตามมาจากการขัดคือ รอยและพื้นผิวเสียหายที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน เพื่อตรวจสอบและวิเคราะห์ ปัญหาของรอยและพื้นผิวเสียหายของชิ้นงานจึงต้องอาศัยการถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope: SEM) แล้วนำภาพที่ได้ไปวิเคราะห์ทางด้านการประมวลผลภาพต่อไปด้วยโปรแกรม MATLAB

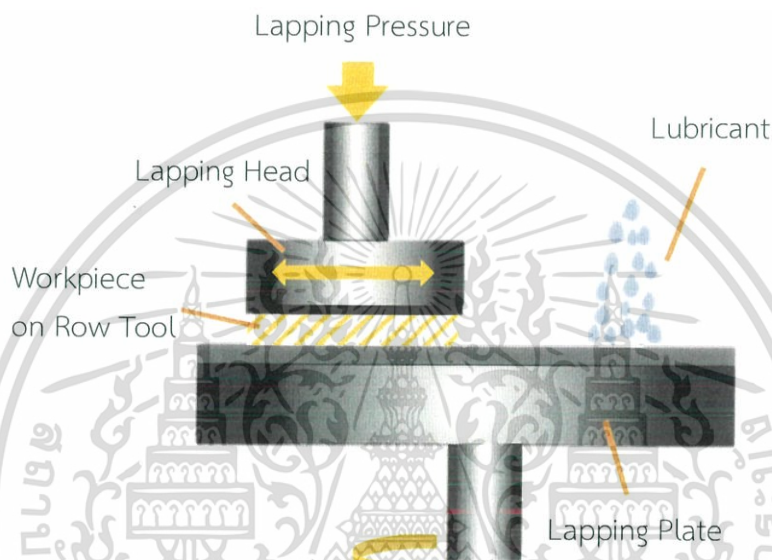


รูปที่ 2.1 แสดงแผนผังกระบวนการขัด (Lapping Process)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 กระบวนการขัดผิว (Lapping Process)

การขัด คือ การเกิดการไถลด้วยความเสียดทานของสารขัดกับผิวของชิ้นงาน ซึ่งการขัดสามารถใช้กับการขึ้นรูป ปรับปรุงพื้นผิวของของแข็งได้ทุกชนิด ในการขัดผิวสามารถแยกประเภทด้วยกรรมวิธีและกระบวนการ รวมทั้งความหยาบผิวของชิ้นงานที่ผ่านการขัด โดยการขัดแบบหยาบ (Rough Lapping) เป็นการขัดผิวโดยที่ชิ้นงานนั้นมีความหยาบมาก จึงต้องใช้สารขัดที่มีขนาดใหญ่ และแผ่นขัด (Lapping Plate) ที่มีความแข็งสูง แต่ในการขัดละเอียด (Final Lapping) นั้นต้องใช้สารขัดที่มีขนาดเล็ก และแผ่นขัดที่มีความแข็งต่ำ



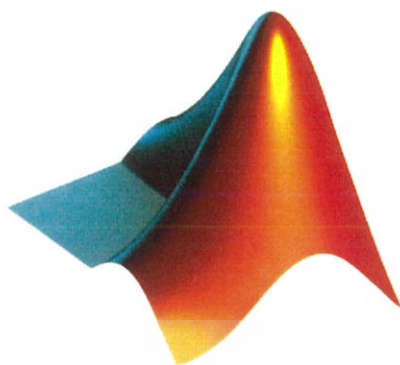
รูปที่ 2.2 แสดงอุปกรณ์ในการขัดชิ้นงาน[2]

2.1.1 ผลกระทบที่มีต่อกระบวนการขัด

การเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่าง ๆ ในกระบวนการขัดผิว เช่น สารละลายที่ใช้ ชนิดของวัสดุของแผ่นขัด และชิ้นงานที่ทำการขัดผิว นั้นล้วนส่งผลกระทบต่ออัตราการขัดผิว ความหยาบผิว และระยะเวลาในการขัดอย่างชัดเจน ในการขัดผิวนั้นอัตราการสึกหรอของชิ้นงาน (Material Remove Rate: MRR) จะมีความเปลี่ยนแปลงเมื่อตัวแปรต่าง ๆ ในการขัดผิวนั้นเปลี่ยนแปลง เช่น ความเร็วในการขัดผิว (Lapping Speed) แรงดันในการขัดผิว (Lapping Pressure) เวลาในการขัดผิว (Lapping Time) ชนิดสารหล่อลื่น (Lubricant) รวมทั้งขนาดและชนิดของสารขัด (Abrasive) ที่เลือกใช้ โดยสิ่งเหล่านี้ส่งผลให้เกิดความเสียหายและรอยบนผิวชิ้นงานทั้งสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 โปรแกรม MATLAB



รูปที่ 2.3 แสดงไอคอนของโปรแกรม MATLAB

MATLAB เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ระดับสูงที่ใช้สำหรับคำนวณเชิงตัวเลข (Numerical Computing) แสดงผลกราฟิกและเขียนแอปพลิเคชัน ทำให้สามารถคำนวณผลลัพธ์ พัฒนาอัลกอริทึม สร้างแบบจำลอง และแอปพลิเคชันได้ง่ายและรวดเร็วมากภายในตัว MATLAB ประกอบด้วย ภาษาคอมพิวเตอร์ ทูลบ็อกซ์ (Toolbox : กลุ่มฟังก์ชันสำเร็จรูปในแต่ละสาขาวิชา) และฟังก์ชัน พื้นฐานจำนวนมาก ทำให้การวิเคราะห์ทำได้หลากหลายวิธี พร้อมกับคำตอบที่รวดเร็วกว่าโปรแกรม ตารางคำนวณ (Spreadsheet) หรือภาษาคอมพิวเตอร์สมัยก่อน เช่น C, C++, Fortran, Java และ อื่น ๆ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายสาขา ทั้งการประมวลผลสัญญาณ (Signal Processing) การสื่อสาร (Communication) การประมวลผลภาพและวิดีโอ (Image and Video Processing) ระบบควบคุม (Control System) การวัดและควบคุม (Instruments and Control) การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ (Economic) การคำนวณทางชีววิทยา (Biology) และอื่นๆ มี นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรหลายล้านคนทั้งในแวดวงการศึกษาและอุตสาหกรรมที่ใช้ MATLAB ในการคำนวณเชิงตัวเลข[3]

2.2.1 การสร้างแอปพลิเคชันหรือฟังก์ชันเฉพาะงานโดยเขียนโปรแกรม m-file

การเขียนฟังก์ชันเพิ่มเติมให้กับ MATLAB ต้องเขียนด้วยภาษา MATLAB เพราะรองรับ การเขียนไฟล์นามสกุล m-file แอปพลิเคชันหรือฟังก์ชันบน MATLAB แบ่งออกได้ 2 แบบคือ ฟังก์ชัน และ สคริปต์ โดยฟังก์ชันเป็นไฟล์ชนิด m-file ที่ต้องป้อนตัวแปรอินพุตหรือรับค่าจากเอาต์พุตในการทำงาน นั่นคือส่วนใหญ่ฟังก์ชันใน MATLAB ถูกเรียกเพื่อการคำนวณเท่านั้น เช่น Det() เป็นฟังก์ชัน สำเร็จรูปใน MATLAB สำหรับคำนวณค่าดีเทอร์มิแนนต์ (Determinant) ของเมทริกซ์ (Matrix) เมื่อ เรียกใช้เราต้องใส่ค่าตัวแปรเมทริกซ์ที่ต้องการคำนวณไว้ในวงเล็บ ส่วนคำตอบจะกำหนดตัวแปรเพื่อ รับค่าหรือไม่ก็ได้ เพราะ MATLAB กำหนดตัวแปร Ans เพื่อรับคำตอบบน Command Windows โดยอัตโนมัติส่วนสคริปต์เป็นไฟล์ชนิด m-file ที่รวมคำสั่งหรือฟังก์ชันต่าง ๆ เข้าไว้ด้วยกัน เพื่อทำงาน อย่างใดอย่างหนึ่งโดยเฉพาะ สะดวกในการทำซ้ำเพียงแค่เรียกชื่อสคริปต์บน Command Windows คำสั่งในสคริปต์ก็จะทำงาน ส่วนใหญ่มักเป็นแอปพลิเคชันไว้ใช้งานแบบส่วนตัว เช่น สคริปต์พล็อตรูป

เอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่ออยู่ใต้เห็นไปใช้ประโยชน์ตามการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ระบบการทำงานของ MATLAB

ในการทำงานของ MATLAB เพื่อให้การทำงานเป็นไปตามจุดมุ่งหมาย MATLAB ได้แบ่งส่วนการทำงานของโปรแกรมออกเป็นส่วนหลักที่สำคัญ 5 ส่วน ซึ่งแต่ละส่วนจะมีหน้าที่ควบคุมการทำงานแบบหนึ่ง ๆ และประสานการทำงานระหว่างส่วนต่าง ๆ ไปพร้อมกันด้วย สำหรับรายละเอียดในการทำงานของส่วนต่าง ๆ มีดังนี้[4]

1) Development Environment

ในส่วนนี้จะเป็นชุดเครื่องมือที่ช่วยให้สามารถที่จะใช้ฟังก์ชันและไฟล์ต่าง ๆ โดยเครื่องมือหลายตัวในนี้จะมีลักษณะเป็น Graphic User Interface (GUI) ซึ่งรวมถึง MATLAB Desktop และ Command Windows, Command History และ Browsers สำหรับเพื่อใช้ดู Help, Workspace, Files และ Search Path ซึ่งทั้งหมดนี้จะได้กล่าวถึงในรายละเอียดต่อไป

2) The MATLAB Mathematical Function Library

ในส่วนนี้จะเป็นที่รวบรวมส่วนของโปรแกรมที่ได้รวบรวมเป็นไฟล์ย่อย ๆ ไว้ ไฟล์แต่ละไฟล์จะเป็นไฟล์ที่เขียนขึ้นมาเพื่อใช้กำหนดลักษณะในการคำนวณหรืออัลกอริทึมแบบต่าง ๆ นับจากฟังก์ชันง่าย ๆ เช่น การบวก ฟังก์ชันตรีโกณมิติพื้นฐาน เช่น ไซน์ โคไซน์ ไปจนถึงฟังก์ชันที่มีความซับซ้อน มีขั้นตอนในการคำนวณมากมาย เช่น การหาอินเวอร์สของเมทริกซ์ การหา Eigenvalues และ Eigenvector หรือ Fast Fourier Transforms เป็นต้น

3) The MATLAB Language

ส่วนนี้จะเป็นภาษาระดับสูงที่ใช้ตัวแปรเป็นเมทริกซ์หรืออาร์เรย์ (Array) ซึ่งมีคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของโปรแกรม การทำงานของฟังก์ชัน การกำหนดโครงสร้างของตัวแปรแบบต่าง ๆ กำหนดอินพุตและเอาต์พุตของโปรแกรม ซึ่งทั้งหมดนี้จะช่วยทำให้ในการเขียนโปรแกรม MATLAB แต่ละโปรแกรมจะเป็นโปรแกรมที่มีขนาดเล็กกว่าเมื่อเทียบกับโปรแกรมที่ใช้เพื่อวัตถุประสงค์เดียวกันแต่ผู้ใช้ต้องเขียนฟังก์ชันการทำงานทุกขั้นตอน

4) Handle Graphics

ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ใช้แสดงกราฟิกส์และรูปภาพต่าง ๆ รวมถึงคำสั่งระดับสูงที่ใช้ในการแสดงผลในสองและสามมิติ การจัดรูปแบบในลักษณะการประมวลผลภาพ การทำภาพเคลื่อนไหว นอกจากนี้ในส่วนนี้ยังได้รวมเอาภาษาในระดับต่ำไว้เพื่อให้สามารถปรับแก้รูปภาพต่าง ๆ ให้เป็นไปตามที่ต้องการได้มากที่สุดรวมถึงการสร้าง GUI ภายใต้การทำงานของ MATLAB ด้วย

5) The MATLAB Application Program Interface (API)

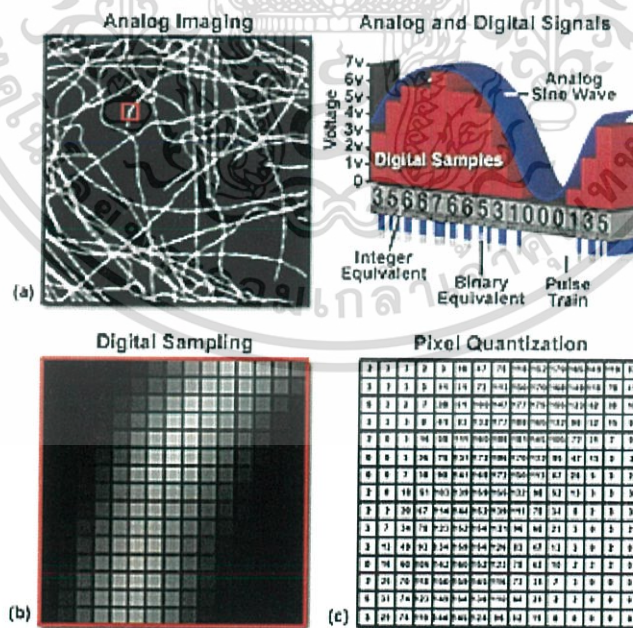
ส่วนนี้จะเป็น Library ที่ให้สามารถที่จะเขียนโปรแกรมขึ้นในภาษา C หรือ Fortran แล้วมีการเชื่อมโยงการทำงานเข้ากับ MATLAB ซึ่งในส่วนนี้ยังได้รวมถึงการเขียนโปรแกรมขึ้นมาแล้วเรียกฟังก์ชันของ MATLAB ไปใช้งาน (Dynamic Linking) ซึ่งจะทำให้ MATLAB มีหน้าที่เหมือนเครื่องจักร ในการคำนวณรวมถึงสามารถที่จะเขียนหรืออ่าน MAT-File ได้ด้วย MATLAB จะสร้าง GUI ซึ่ง GUI คือการติดต่อกับผู้ใช้โดยใช้ภาพสัญลักษณ์ เป็นการออกแบบส่วนของโปรแกรม

ไม่ว่าการณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมพิวเตอร์ให้มีการโต้ตอบกับผู้ใช้ โดยการใช้อีคอนรูปภาพ และสัญลักษณ์อื่น ๆ เพื่อแทนลักษณะต่าง ๆ ของโปรแกรม แทนที่ผู้ใช้จะพิมพ์คำสั่งต่าง ๆ ในการทำงาน ช่วยทำให้ผู้ใช้งานสามารถทำงานได้ง่ายและรวดเร็วขึ้นไม่จำเป็นต้องจดจำคำสั่งต่าง ๆ ของโปรแกรมมากนัก ถือเป็นวิธีการให้ความสะดวกแก่ผู้ใช้คอมพิวเตอร์ ให้ติดต่อสื่อสารกับระบบโดยผ่านทางภาพ เช่น ใช้เมาส์กดเลือกไอคอนแทนการพิมพ์ คำสั่งดังแต่ก่อน โดยเฉพาะในบางโปรแกรมที่มีคำสั่งมาก ๆ เช่น โปรแกรม Autocad ที่ใช้ในการวาดแบบซึ่งจะมีคำสั่งต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างรูปมากมาย ผู้ใช้สามารถใช้เมาส์เลือกคำสั่งที่ต้องการจะวาดจากไอคอนที่ปรากฏในโปรแกรมและใช้งานได้เลย โดยไม่ต้องพิมพ์คำสั่งต่าง ๆ ทางแป้นพิมพ์ ช่วยทำให้เกิดความรวดเร็วในการทำงานและไม่ต้องเสียเวลาในการเรียนรู้และจดจำคำสั่งที่ต้องการมากนัก เพียงดูจากไอคอนที่ปรากฏในโปรแกรมก็สามารถใช้งานได้ทันที ตัวอย่างโปรแกรมที่ช่วยออกแบบโปรแกรมที่ใช้ GUI เช่น Microsoft Visual Basic เป็นต้น

2.3 การประมวลผลภาพ (Image Processing)

การประมวลผลภาพดิจิทัลเป็นการแปลงข้อมูลรูปที่เป็นสัญญาณแอนะล็อกให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.4 เพื่อนำไปใช้ในการประมวลผลผ่านทางคอมพิวเตอร์ และยังสามารถนำมาใช้ในการลดปัญหาของภาพ เช่น การหาขอบภาพ การลดสัญญาณรบกวนภายในภาพ เป็นต้น ในการแปลงภาพให้เป็นสัญญาณดิจิทัลนั้น ระบบจะนำรูปที่รับเข้ามาไปคำนวณโดยกระบวนการ Sampling และ Quantization และส่งข้อมูลออกมาในรูปแบบดิจิทัล คอมพิวเตอร์จะเก็บข้อมูลภาพลงหน่วยความจำโดยการจองหน่วยความจำภายในเครื่องในรูปแบบของอาร์เรย์โดยค่าในแต่ละช่องของ อาร์เรย์แสดงถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของรูปที่จุดพิกเซล (Pixel) นั้น ๆ และตำแหน่งของช่องอาร์เรย์ก็เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของจุดพิกเซลภายในภาพด้วยเช่นกัน



รูปที่ 2.4 แสดงการแปลงภาพแอนะล็อกเป็นภาพดิจิทัล[5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 รูปภาพดิจิทัล (Digital Image)

1) ภาพแบบบิตแมป (Bitmap Image)

ภาพแบบบิตแมป หรือ ภาพแบบแรสเตอร์ (Raster) เป็นภาพที่ประกอบด้วยจุดขนาดเล็ก ๆ จำนวนมาก (Pixels) ที่ต่อเรียงกันจนเป็นภาพ ๆ หนึ่ง เพื่อเป็นการแสดงให้เห็นภาพที่ชัดเจนยิ่งขึ้น ลักษณะของภาพชนิดนี้ให้นึกถึงการสร้างภาพบนตารางสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ เราจะใช้สีแต้มลงในช่องสี่เหลี่ยมแต่ละช่องจนกลายเป็นภาพที่สมบูรณ์ขนาดใหญ่ เนื่องจากตารางนี้มีขนาดเล็กมาก ๆ ดังนั้นดวงตาของมนุษย์ไม่สามารถมองเห็นและแยกแยะรายละเอียดย่อย ๆ นั้นได้แต่เมื่อลองขยายภาพดูจะเห็นเป็นรูปตาราง ยิ่งขยายใหญ่เท่าไร ตารางสี่เหลี่ยมก็ยังมีขนาดใหญ่ขึ้นจนอาจมองภาพนั้นไม่ออกกว่าเป็นภาพอะไร โดยทั่ว ๆ ไปภาพบิตแมปเป็นภาพประเภทที่นิยมใช้กันมากในภาพถ่ายหรือภาพวาด เนื่องจากสามารถไล่โทนสีและแสงเงาได้เหมือนจริงที่สุด

2) ภาพแบบเวกเตอร์ (Vector Image)

ภาพประเภทนี้ไม่ว่าจะขยายภาพใหญ่แค่ไหน ก็ยังคงรายละเอียดและความคมชัดไว้ได้เช่นเดิมโดยไม่ผิดเพี้ยน เนื่องจากภาพแบบเวกเตอร์นั้นประกอบไปด้วยเส้นตรง เส้นโค้งและรูปทรงต่าง ๆ ภาพที่ได้จะสร้างขึ้นจากคำสั่งที่บอกลักษณะของภาพในรูปแบบทางเรขาคณิตด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนั้นโปรแกรมที่ต้องการเปิดรูปภาพจะต้องนำสมการต่าง ๆ ที่บันทึกเอาไว้มาคำนวณและสร้างรูปทรงของภาพขึ้นมาใหม่ จุดเด่นคือไม่ว่าจะขยายภาพใหญ่แค่ไหนคอมพิวเตอร์ก็จะคำนวณค่าต่าง ๆ ให้ใหม่ทุกครั้งทำให้ภาพที่เกิดขึ้นมีความชัด ซึ่งเหมาะกับงานที่แม่นยำและต้องการความละเอียดสูง เช่น การสร้างภาพโลโก้ การสร้างภาพสามมิติ การสร้างแบบร่างทางวิศวกรรม



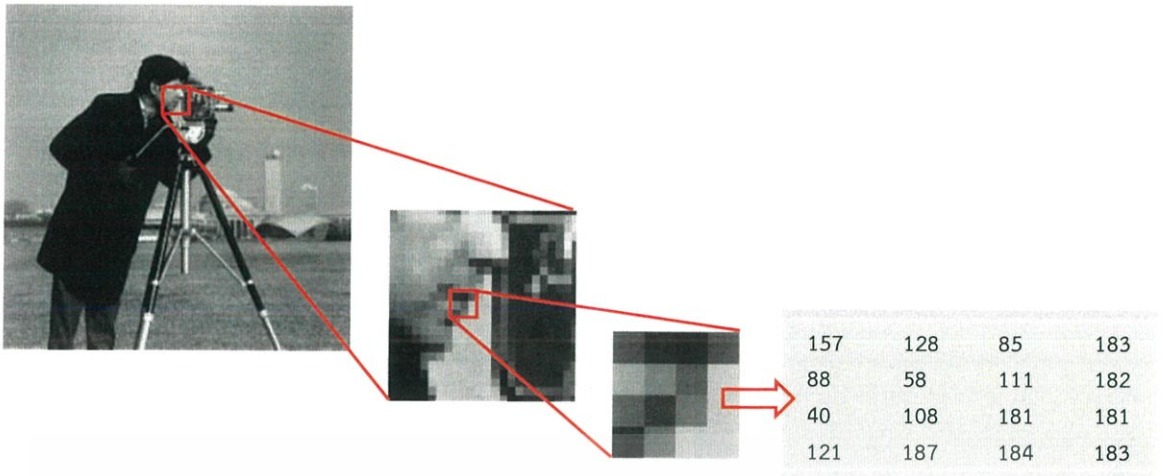
รูปที่ 2.5 แสดงภาพ (ก) แบบบิตแมป (ข) แบบเวกเตอร์[6]

2.3.2 ประเภทของภาพ

1) ภาพระดับสีเทา (Grayscale Image)

ลักษณะของภาพชนิดนี้ในแต่ละพิกเซล จะมีค่าความเข้มของแสงในแต่ละระดับที่แตกต่างกันไปตั้งแต่สีขาวไปยังสีดำ เราสามารถกำหนดระดับความเข้มของแสงนั้นได้โดยใช้ค่าระดับเทา (Grayscale หรือ Gray Level) ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.6 โดยปกติทั่ว ๆ ไป ภาพระดับสีเทามีความละเอียด (Resolution) เท่ากับ 8 บิต ที่ระดับสีทั้งหมด 256 ระดับ ซึ่งภาพมีค่าระดับความเข้มแสงของดำเท่ากับ 0 ส่วนค่าระดับความเข้มแสงของสีขาวมีค่าเท่ากับ 255

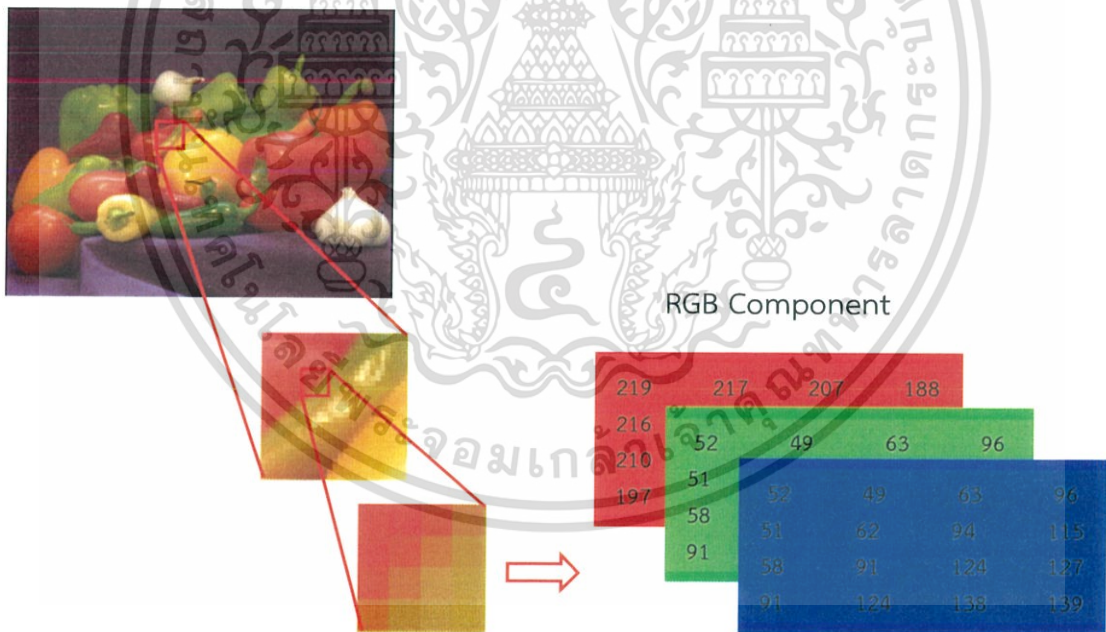
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงการระดับเทาในแต่ละพิกเซล[7]

2) ภาพสี (Color Image)

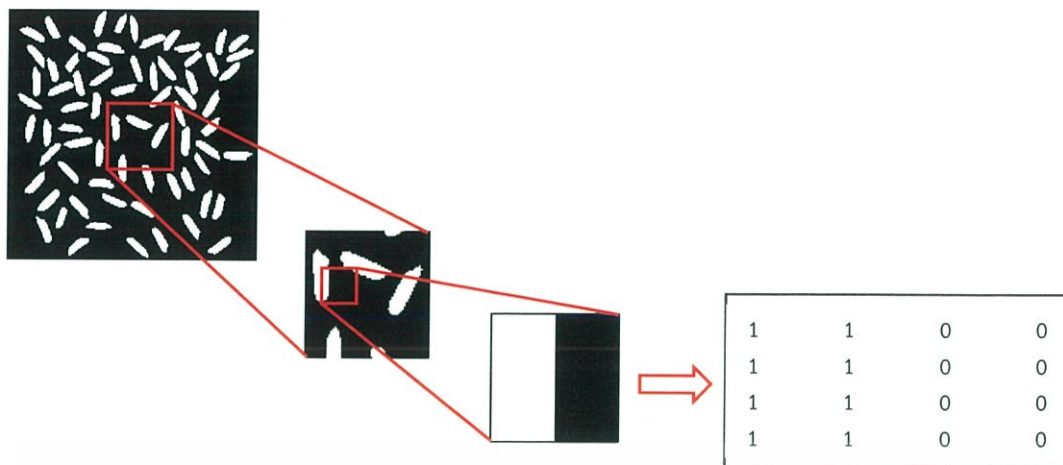
ภาพชนิดนี้ แต่ละพิกเซลของภาพจะเก็บการระดับความเข้มของแต่ละแถบแสงของแม่สีหลัก 3 สีซ้อนกัน ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.7 คือ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) สีน้ำเงิน (Blue) ซึ่งในแต่ละพิกเซลนั้น ๆ ก็จะมีค่าสีของแต่ละพิกเซลตามลำดับความเข้มในแต่ละแถบแสงนั้น



รูปที่ 2.7 แสดงค่าสีในแต่ละพิกเซลของภาพสี[8]

3) ภาพขาวดำ (Binary Image)

ลักษณะของภาพขาวดำคือ ในแต่ละพิกเซลจะแสดงด้วยค่าแบบไบนารี (Binary) คือมี 1 บิต ซึ่งประกอบไปด้วยค่า 1 และ 0 ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.8 โดยที่ 1 หมายถึงจุดภาพสีขาว และ 0 หมายถึงจุดภาพสีดำ ภาพประเภทนี้เหมาะสำหรับภาพที่เกี่ยวกับตัวอักษร ภาพลายนิ้วมือ เป็นต้น[9] ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



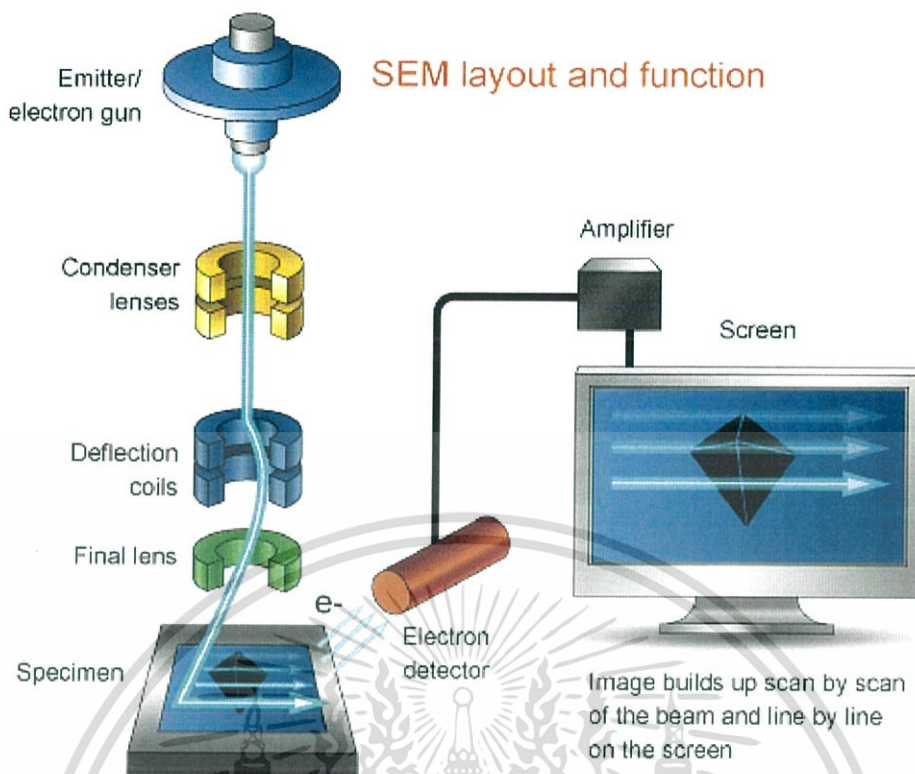
รูปที่ 2.8 แสดงค่าไบนารีในแต่ละพิกเซล[10]

2.3.3 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 10 นาโนเมตร การเตรียมตัวอย่างเพื่อที่จะดูด้วยเครื่อง SEM นี้ไม่จำเป็นที่ตัวอย่างจะต้องมีขนาดบางมากนัก เพราะไม่ได้ตรวจวัดจากการที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ทะลุผ่านตัวอย่าง การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ ดังนั้นเครื่อง SEM จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์ หน้าตัดของโลหะและวัสดุ เป็นต้น

เครื่อง SEM จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (Condenser Lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective Lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electron) ขึ้น ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์ และถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไป และสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ได้เลย[11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดงส่วนประกอบของ SEM[12]

ไฟล์ภาพที่ได้จากเครื่อง SEM รูปแบบแฟ้มภาพพร้อมป้ายระบุ หรือ ทิฟฟ์ (Tagged Image File Format: TIFF) เป็นไฟล์ภาพที่มีการจัดเก็บแบบบิตแมป ใช้ในงานโปรแกรมสิ่งพิมพ์ เช่น Pagemaker Photoshop เป็นต้น เป็นรูปแบบบิตแมป ที่ใช้อย่างกว้างขวาง ถูกพัฒนาขึ้น โดยการร่วมมือ Aldus Corporation กับ ไมโครซอฟท์ เป็นรูปแบบที่สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ รูปแบบ TIFF เป็นรูปแบบไฟล์แบบบิตแมปที่ค่อนข้างแข็งแกร่ง มันสามารถทำบางสิ่งที่รูปแบบอื่นไม่สามารถทำได้ นอกจากนั้นข้อดีคือ สามารถเปลี่ยนไปมาระหว่างคอมพิวเตอร์ในระบบปฏิบัติการ Windows กับ Mac OS ได้ เนื่องจากสนับสนุนทั้งสองระบบ แต่เนื่องจากลักษณะการจัดเก็บภาพ ไม่มีการบีบอัดข้อมูลเลย จึงทำให้ขนาดของภาพค่อนข้างใหญ่เมื่อเทียบกับรูปแบบการจัดเก็บภาพในลักษณะอื่น

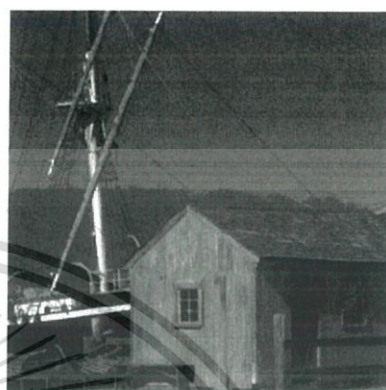
2.3.4 การวิเคราะห์พื้นผิวตามแนวทางสถิติ

การวิเคราะห์พื้นผิวตามแนวทางสถิติสามารถทำได้ด้วยการพิจารณาลักษณะของพื้นผิววัตถุ เช่น ความราบเรียบ หยาบ ขรุขระ ลวดลาย ฯลฯ ได้โดยตรง โดยมีวัตถุประสงค์ของการตรวจจับจุดบกพร่องเพื่อแยกภาพตรวจสอบไปเป็นบริเวณที่แสดงพฤติกรรมทางสถิติที่ชัดเจน ข้อสมมติฐาน คือ ค่าสถิติของบริเวณที่ไม่มีจุดบกพร่องจะคงที่และบริเวณเหล่านี้จะไปคาบเกี่ยวกับส่วนที่เป็นจุดบกพร่องในภาพตรวจสอบ วิธีการตรวจจับจุดบกพร่องตามแนวทางสถิติดังกล่าวประกอบไปด้วยเทคนิคต่าง ๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) การปรับภาพให้เรียบโดยตัวกรองค่ามัธยฐาน (Median Filter)

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำ Median Filter คือ การแทนที่ค่าในพิกเซลทั้งหมดที่หน้าต่างครอบอยู่ด้วยค่ามัธยฐาน จากรูปที่ 2.10 (ก) ประมวลผลภาพด้วย Median Filter จะทำได้โดยเรียงค่าจากมากไปหาน้อย นั่นคือ 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 12 และ 46 ดังนั้นค่ามัธยฐานมีค่าเท่ากับ 7 โดยภาพที่ผ่าน Median Filter เป็นดังรูปที่ 2.10 (ข)



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.10 แสดง (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพที่ผ่านตัวกรองค่ามัธยฐาน[13]

2) การหาขอบภาพโดยวิธีโซเบล (Sobel Edge Detection)

เนื่องจากขอบภาพนั้นสามารถนำไปใช้ในการแยกแยะระหว่างวัตถุหรือข้อมูลในภาพ กับส่วนพื้นหลังของภาพ (Background) หรือการนำไปใช้ในการระบุหรือแยกแยะวัตถุที่อยู่ในภาพ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าขอบภาพ คือ ส่วนที่เกิดจากความไม่ต่อเนื่องของค่าระดับความเข้มเทาของพิกเซลที่อยู่ติดกันกล่าวคือ ค่าระดับความเข้มเทาของพิกเซลที่อยู่ติดกันมีค่าแตกต่างกันมาก

การหาขอบภาพโดยวิธีโซเบลเป็นการหาขอบภาพโดยใช้เทมเพลตขนาด 3x3 สองเทมเพลต โดยเทมเพลตแรกจะใช้หาค่าความแตกต่างในแนวนอน (X_{diff}) และค่าความแตกต่างในแนวตั้ง (Y_{diff})

$$X_{diff} = \begin{matrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{matrix} \quad Y_{diff} = \begin{matrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{matrix}$$

รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่าง Sobel Operator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

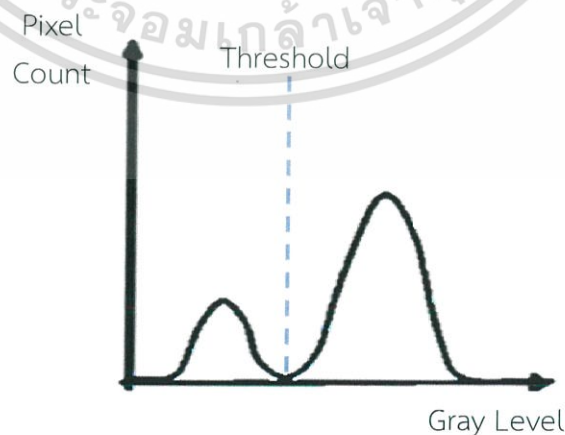


(ข)

รูปที่ 2.12 แสดง (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพหลังการหาขอบภาพด้วย Sobel Operator

3) เทคนิคการทำขีดแบ่ง (Thresholding Techniques)

เทคนิคนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแยกวัตถุหรือองค์ประกอบต่าง ๆ ออกจากภาพอินพุต โดยดูจากความเข้มของพิกเซลเป็นหลัก ข้อดีของของวิธีการนี้คือมีขั้นตอนในการทำงานที่ง่ายไม่ซับซ้อนทำงานได้รวดเร็ว แต่ข้อเสียคือไม่สามารถใช้กับภาพที่มีสัญญาณรบกวนมาก หรือภาพที่มีความสว่างไม่สม่ำเสมอ โดยพิจารณาว่าจุดภาพใดควรเป็นจุดขาวหรือจุดดำ ซึ่งทำได้โดยการเปรียบเทียบระหว่างจุดภาพเริ่มต้นกับค่าคงที่ค่าหนึ่ง เรียกว่า ค่าขีดแบ่งหรือค่าเทรชโฮลด์ ซึ่งเป็นค่าความเข้มแสงค่าหนึ่งที่ใช้แยกแยะประเภทของจุดภาพ เทคนิคนี้ใช้กันมากในกรณีที่ข้อมูลภาพมีลักษณะแตกต่างกันระหว่างวัตถุและพื้นหลัง ในขั้นตอนนี้ทำการตัดพื้นหลังออกจากพื้นหน้าโดยใช้ค่าเทรชโฮลด์ที่มีระดับความเข้มอยู่ระหว่างกลุ่มทั้งสองของฮิสโตแกรม (Histogram) ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ซึ่งค่าค่าเทรชโฮลด์ที่ได้จะอยู่ระหว่าง 0-255 เท่านั้น ค่าเทรชโฮลด์จะถูกนำไปเพื่อเปรียบเทียบค่าของแต่ละพิกเซล หากค่า $f(x, y)$ น้อยกว่าหรือเท่ากับค่าเทรชโฮลด์ จุดพิกเซลนั้นจะถูกปรับให้เป็นสีดำหรือส่วนของพื้นหลัง และหากค่า $f(x, y)$ มากกว่าค่าเทรชโฮลด์ จุดพิกเซลนั้นจะถูกปรับให้เป็นสีขาวหรือส่วนของวัตถุสามารถเขียนแทนด้วยสมการที่ 2.1 และตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 2.14 โดยกำหนดให้ค่าเทรชโฮลด์เท่ากับ 3



รูปที่ 2.13 แสดงการแบ่งค่าเทรชโฮลด์ของภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ประโยชน์ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & f(x, y) > T \\ 0, & f(x, y) \leq T \end{cases} \quad (2.1)$$

โดยที่ T แทนเป็นค่าเทรชโฮลด์

0	5	7
1	2	9
1	7	10

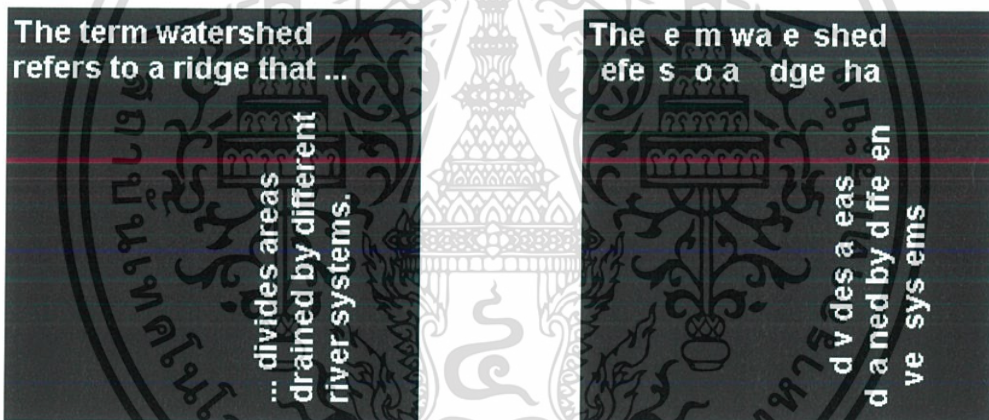
(ก)

0	1	1
0	0	1
0	1	1

(ข)

รูปที่ 2.14 แสดง (ก) ภาพอินพุตระดับเทา (ข) แสดงภาพภาพเอาต์พุตเทคนิคการทำขีดแบ่ง โดยกำหนดให้ค่าเทรชโฮลด์เท่ากับ 3

4) การกำจัดวัตถุขนาดเล็กออกจากภาพ



(ก)

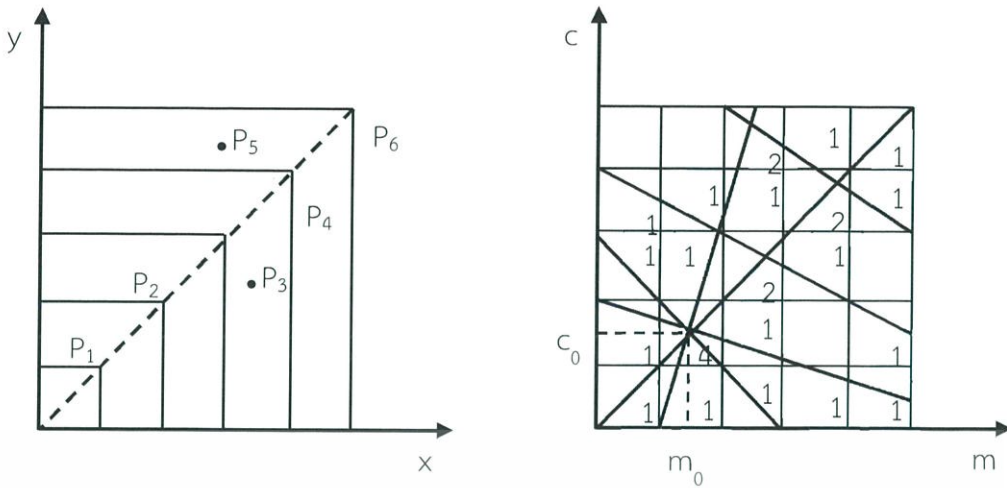
(ข)

รูปที่ 2.15 แสดง (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพที่ผ่านการกำจัดวัตถุขนาดเล็กออก[14]

5) การค้นหาเส้นตรงด้วย Hough Transform (HT)[15]

Hough Transform คือการค้นหาเส้นตรงและวงกลมจากจุดต่าง ๆ โดยแต่ละจุดจะโหวตว่าจุดนั้น ๆ อยู่บนเส้นใดบ้าง เมื่อทุกจุดโหวตแล้ว สมการที่ถูกโหวตมากที่สุดจะเป็นเส้นที่ผ่านจุดดังกล่าว เมื่อพิจารณาเส้นตรง $y_0 = mx_0 + c$ เส้นตรงที่ผ่านจุด (x, y) มีค่าพารามิเตอร์คองที่ (m, c) ซึ่งค่า $c_0 = y - m_0 x$ ดังนั้น จุดหนึ่ง ๆ จะโหวตให้กับสมการเส้นตรงที่มีพารามิเตอร์ต่าง ๆ กันได้หลายสมการ เมื่อจุดทุกจุดได้โหวตไว้เรียบร้อยแล้ว สมการเส้นตรงที่ถูกโหวตมากที่สุดจะเป็นเส้นที่ผ่านจุดที่กำหนดให้มากที่สุด

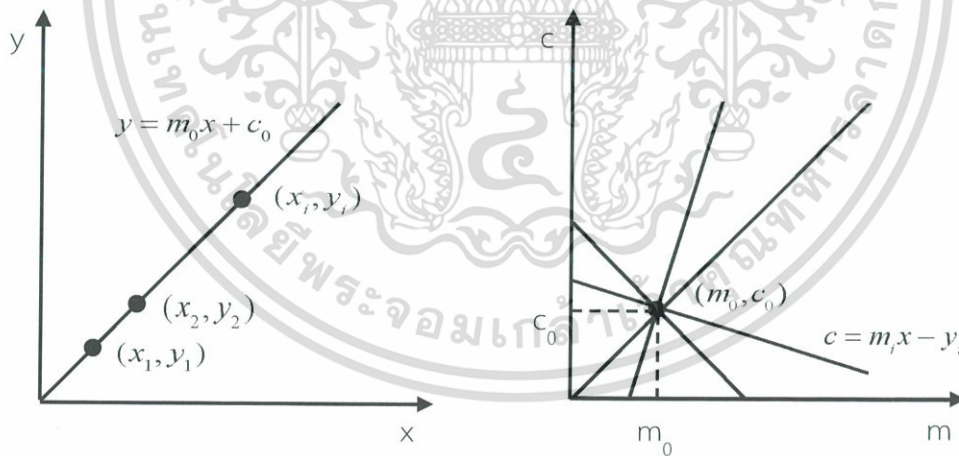
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) จุดของเส้นตรงใน Image Space (ข) จำนวนเส้นตรงใน Hough Space

รูปที่ 2.16 แสดงการนับจำนวนเส้นตรงของการแปลง Hough Transform

การแปลง Image Space ไปเป็น Hough Space จากสมการเส้นตรง $y = mx + c$ เมื่อจุด (x_i, y_i) ดังแสดงในรูปที่ 2.17 (ก) ค่าความชันและจุดตัดแกน y ของสมการเป็นค่าคงที่ (m_0, c_0) หรือเรียกว่าส่วนของ Parameter Space ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงจาก Image Space ไปเป็น Hough Space สมการของการเปลี่ยนแปลงคือที่จุด (m_0, c_0) จะเท่ากับ $c_i = y_i - m_0 x_i$ ดังที่แสดงในรูปที่ 2.17 (ข)

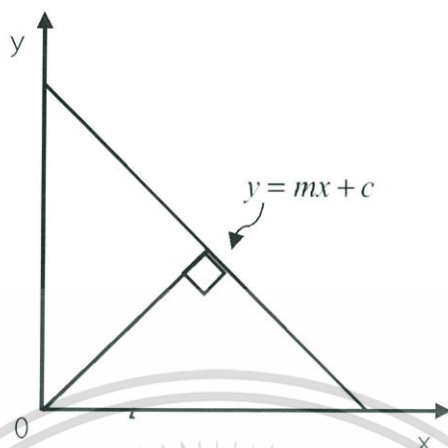


(ก) Image Space (ข) Hough Space

รูปที่ 2.17 แสดงการแปลง Image Space ไปเป็น Hough Space

จากรูปที่ 2.17 (ก) มีจำนวนของจุดทั้งสามจุดที่เส้นตรงที่มีค่าความชันและจุดตัดแกน y ที่ตำแหน่ง (m_0, c_0) ดังนั้นเมื่อพิจารณาในรูปแบบ Hough Space ที่จุด (m_0, c_0) ก็จะมีเส้นตรงที่เกิดขึ้นจากสมการเส้นตรงได้ทั้งหมดสามสมการที่ลากผ่านจุดดังกล่าว ดังนั้นเมื่อกำหนดจุดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บนระนาบของ Image Space และทำการแปลงเป็นระนาบ Hough Space หรือเรียกว่า Hough Transform ดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของเวกเตอร์ ρ กับจุดของเส้นตรง

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงรูปแบบคือ ที่จุด (ρ, θ) บน Parameter Space จะเป็นจุดที่อยู่บนสมการเส้นตรงที่ลากผ่านจุด (x, y) เมื่อพิจารณาค่าของเวกเตอร์ ρ ที่ตั้งฉากกับจุดดังกล่าวและทำมุมกับแกน x เท่ากับมุม θ ดังนั้นการแปลงรูปจาก Image Space ไปเป็น Parameter Space สามารถหาค่าของเวกเตอร์ ρ ได้จากสมการ (2.2)

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (2.2)$$

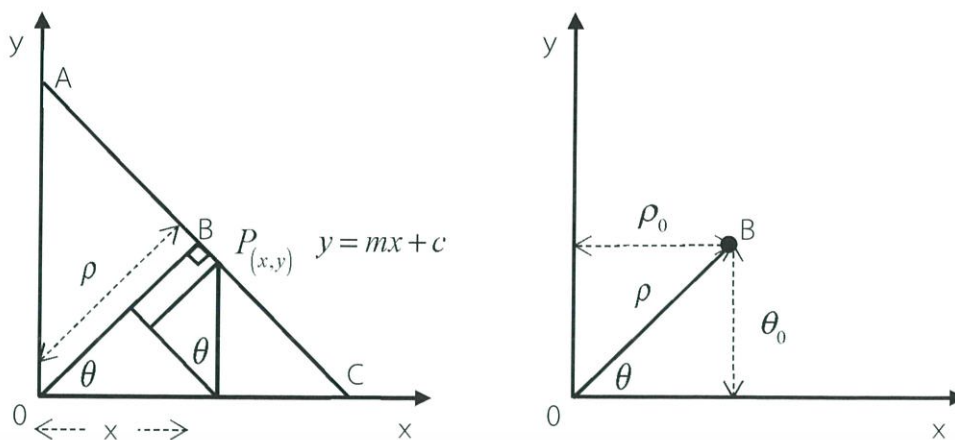
เมื่อกำหนดให้ ρ คือ ระยะที่วัดจากจุดกำเนิดไปตั้งฉากกับเส้นตรง
 θ คือ ค่าของมุมระหว่างเวกเตอร์ ρ กับแกน x

หลักการของ Hough Transform เพื่อการค้นหาค่าประกอบของภาพสองมิติที่มีส่วนเส้นตรงปรากฏในภาพนั้น เป็นการหาเส้นตรงของภาพจากฟังก์ชันของสมการที่ 2.3

$$f(x, y, \rho_0, \theta_0) = x \cos \theta_0 + y \sin \theta_0 \quad (2.3)$$

และกำหนดให้จุดของภาพสองมิติมีค่าเท่ากับ (ρ_0, θ_0) เมื่อ ρ_0 คือระยะที่วัดจากจุดกำเนิดไปตั้งฉากกับเส้นตรงและจุด θ_0 เป็นค่าของมุมระยะเวกเตอร์ ρ กับแกน x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) Image Space

(ข) Hough Space

รูปที่ 2.19 แสดงการทำเส้นตรงของภาพสองมิติโดยใช้ Hough Transform

วิธีการ Hough Transform คือการหาค่า จากสมการที่ 2.4

$$\rho = \sqrt{x_0^2 + y_0^2} \left(\frac{x_0}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2}} \cos \theta + \frac{y_0}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2}} \sin \theta \right) \quad (2.4)$$

กำหนดให้ $r_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$ และ $\alpha_0 = \tan^{-1} \left(\frac{y_0}{x_0} \right)$ และเมื่อแทนค่าของสมการที่ 2.4 จะได้ค่าของ ρ ตามสมการที่ 2.5

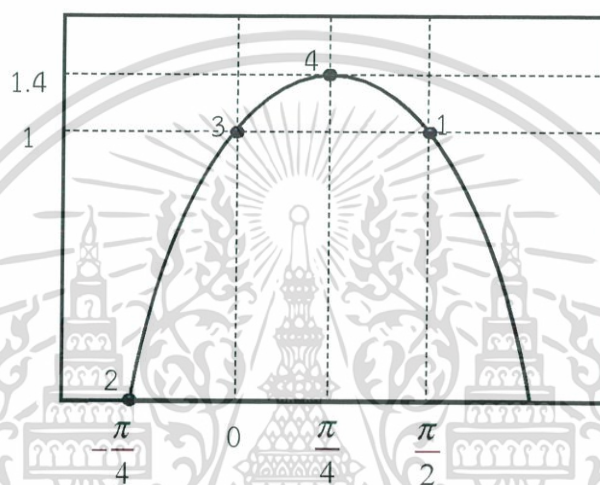
$$\rho = r_0 (\cos \alpha_0 \cos \theta + \sin \alpha_0 \sin \theta) = r_0 \cos(\alpha_0 - \theta) \quad (2.5)$$

การแปลง Hough Transform พบว่า $\rho = x \cos \theta + y \sin \theta$ ของจุด (x_0, y_0) ใน Image Space เป็นการแปลงรูปแบบไปเป็นเส้นโค้งรูปไซน์ (Sinusoidal Curve) ใน Hough Space ทิศทางทวนเข็มนาฬิกาและจุด (x_0, y_0) ของรูปเส้นโค้งรูปไซน์นี้แสดงให้เห็นแทนเส้นตรงที่ลากผ่านจุด (x_0, y_0) ใน Image Space เมื่อลองแทนค่า และ ตามตารางที่ 2.1 ดังนั้นผลที่ได้เป็นการทำ Hough Transform ระหว่างค่าของเส้นตรงใน Image Space ไปสู่ค่าของจุดใน Hough Space ของรูปที่ 2.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ ρ และ θ เมื่อแทนค่าในสมการที่ 2.3

	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4
θ	$\frac{\pi}{2} = 1.57$	$-\frac{\pi}{4} = -0.785$	0	$\frac{\pi}{4} = 0.785$
ρ	1	0	1	1.414

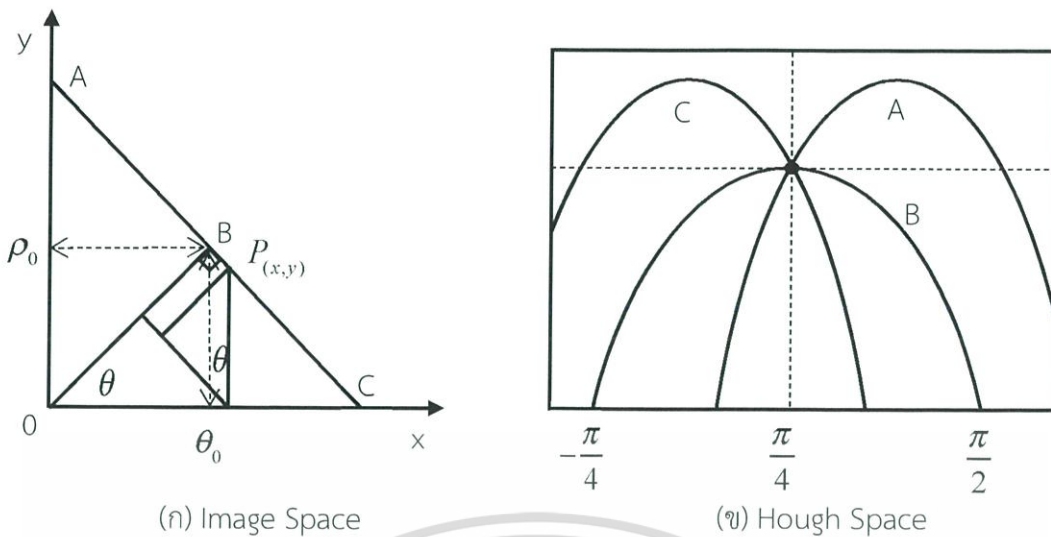


รูปที่ 2.20 แสดงตัวอย่างการทำ Hough Transform

เมื่อทั้ง 4 จุดมีที่เกิดขึ้นใน Hough Transform ค่าของจุด 2 3 4 และ 1 ในรูปที่ 2.21 (ข) จะมีค่าตรงกันในแต่ละเส้นของในรูปที่ 2.21 (ก) Image Space ลักษณะของรูปแบบการแปลงกลับของ Hough Transform ค่าของจุดใน Parameter Space สามารถอธิบายได้ด้วยด้วยการแปลงกลับของการแปลงรูปแบบจาก Spatial Domain ไปสู่การแทนค่าของเส้นตรง และอธิบายได้ด้วยโดยสมการที่ 2.6

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta - \rho_0 = 0 \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 แสดงการแปลงค่าของ Hough Space เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจุดในเส้นตรง

จากรูปที่ 2.21 ตัวอย่างของ 3 จุดของตำแหน่ง $A(0,2)$ $B(1,1)$ และ $C(2,0)$ ของทุกจุดบนเส้นตรง จุดดังกล่าวนี้เป็นจุดที่ตรงใน Hough Space ในความเป็นจริงแล้วจุดเป็นคำตอบหนึ่งของสมการเส้นตรงเส้นที่สองและสามและมีค่าสอดคล้องกับเส้นโค้งที่รวมอยู่ในจุดของค่าเวกเตอร์ ρ เท่ากับ 1.414 และค่าของมุม θ เท่ากับ 0.79 เมื่อนำค่าของ (ρ, θ) แทนค่าในสมการที่ 2.2 ได้ ดังนี้

$$1.414 = x \cos(0.79) + y \sin(0.79) \tag{2.7}$$

ดังนั้นค่าของ $x + y = 2$

เมื่อเราทำ Hough Transform แล้วจุดที่ $P(x, y)$ ที่ปรากฏอยู่ในภาพจะมีเส้นตรงจำนวนมากมายี่ลากผ่านได้ดังนั้นวิธีการของ Hough Transform คือการนับค่าว่าจุด $P(x, y)$ ดังกล่าวมีจำนวนเส้นของเส้นตรงลากผ่านจุดนี้จำนวนเท่าไร และถ้าพิจารณาใน Hough Space ก็จะมีมองเห็นเป็นจุดที่มีค่าของเส้นโค้งรูปไซน์ตัดผ่าน แสดงว่าจุดนั้นคือจุดเด่นของเส้นตรงที่ผ่านจุด $P(x, y)$ มีค่ามากที่สุด จุดดังกล่าวมีค่าระยะห่างจากจุดกำเนิดมากที่สุดก็ต่อเมื่อเวกเตอร์ ρ ตั้งฉากกับเส้นตรงที่ผ่านจุด $P(x, y)$ ดังกล่าวนั่นเอง[16]

6) การค้นหาวงกลมด้วย Circle Hough Transform (CHT)[17]

ในการค้นหาวงกลมจะใช้วิธีหรือหลักการเดียวกันกับการค้นหาเส้นตรง แต่ในกรณีการค้นหาวงกลมด้วย Hough Circle Transform จะใช้สมการ [2]

$$(x - C_x)^2 + (y - C_y)^2 = r^2 \tag{2.8}$$

โดยที่ C_x, C_y คือ จุดศูนย์กลางของวงกลมในแนวแกน x และ y
 r คือ รัศมีของวงกลม
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

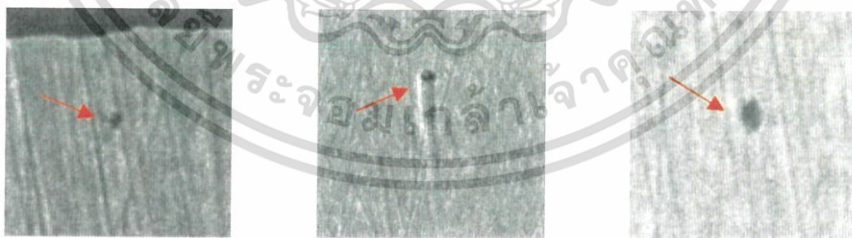
วัตถุประสงค์ในการศึกษาวิจัยในบทนี้ เป็นการวิเคราะห์ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการขัดของหัวอ่านเขียนหรือสไลเดอร์ ซึ่งในการขัดชิ้นงานแต่ละครั้งนั้นมีการขัดจำนวนหลายชิ้นงาน ปัญหาที่มักเกิดขึ้นอย่างหนึ่งก็คือการเกิดรอยและพื้นผิวเสียบนชิ้นงาน โดยบริเวณที่เกิดรอยและพื้นผิวเสียอาจส่งผลให้ชิ้นงานนั้นเสียหายได้ และสาเหตุที่ทำให้เกิดรอยและพื้นผิวเสียนั้นมาจากหลายปัจจัย แต่ถ้าหากรอยและพื้นผิวเสียนั้นมีจำนวนน้อยจะถือว่าไม่เกิดความเสียหายบนชิ้นงาน ในทางกลับกันหากรอยและพื้นผิวเสียนั้นมีจำนวนมาก เราสามารถนำเทคนิคและเทคโนโลยีด้านการประมวลผลภาพมาใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะรอยและพื้นผิวเสียที่เกิดขึ้นแล้วนำสู่การเขียนสคริปต์ในโปรแกรม MATLAB ทำให้สามารถหาสาเหตุและแก้ปัญหาได้อย่างรวดเร็วและมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

3.1 การวิเคราะห์ลักษณะรอยและพื้นผิวเสียที่เกิดขึ้น

จากการศึกษารูปแบบของรอยและพื้นผิวเสียที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานโดยพิจารณาจากกระบวนการขัดผิวชิ้นงาน และลักษณะของรอยที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน พบว่ามีรูปแบบของรอยที่อาจส่งผลให้ชิ้นงานเกิดความเสียหายสามกลุ่มใหญ่ ดังนี้

3.1.1 รูปแบบรอยที่มีสาเหตุจากการหลุดออกจากแผ่นขัดของอนุภาคสารขัด (Lose Particle)

รอยที่เกิดขึ้นในรูปแบบนี้เกิดจากการที่อนุภาคสารขัดที่ถูกขารวจไว้บนแผ่นขัดหลุดออกมาในระหว่างกระบวนการขัดผิว อนุภาคสารขัดนั้นถูกกดเข้าด้วยแผ่นขัดและลากไกลไปบนชิ้นงานในช่วงเวลาสั้น ๆ จึงกำหนดให้รอยรูปแบบนี้มีลักษณะเป็นรูกลมลึก

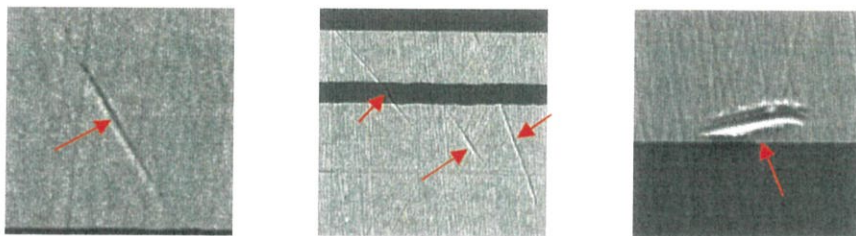


รูปที่ 3.1 แสดงภาพตัวอย่างรอยที่มีสาเหตุจากการหลุดออกจากแผ่นขัดของอนุภาคสารขัด

3.1.2 รูปแบบรอยที่มีสาเหตุจากการปฏิบัติงาน (Handling)

รอยที่เกิดขึ้นในรูปแบบนี้มีลักษณะเป็นร่องลึก กว้าง ยาว ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งเป็นผลจากเกิดจากการที่ผู้ปฏิบัติงานทำชิ้นงานตก กระแทก หรือหยิบจับชิ้นงานผิดวิธี

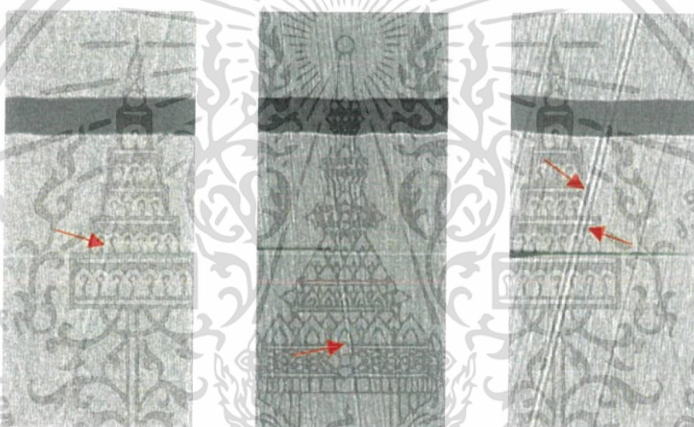
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงภาพตัวอย่างรอยที่มีสาเหตุจากการปฏิบัติงาน

3.1.3 รูปแบบรอยที่มีสาเหตุจากอนุภาคสารขัดขนาดใหญ่ตามแนวทิศทางขัด (Lapping Mark)

ลักษณะของรอยรูปแบบนี้เป็นรอยที่มีทิศทางเดียวกับทิศทางการขัด มีลักษณะเป็นเส้นตรงตลอดยาวพาดผ่านชิ้นงาน และค่อนข้างกว้างเมื่อเทียบกับรอยในรูปแบบเดียวกัน เนื่องจากเกิดจากอนุภาคสารขัดที่มีขนาดใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 3.3



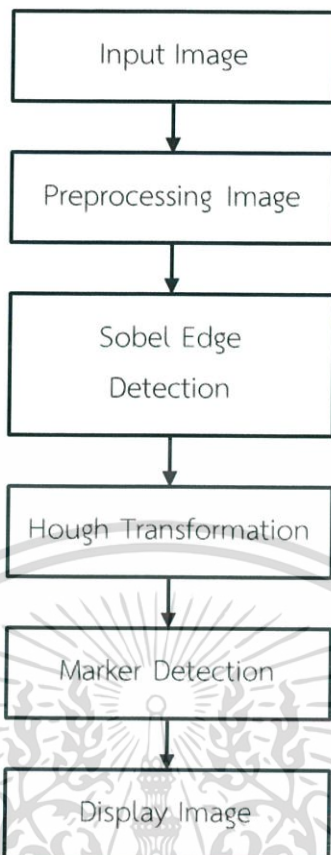
รูปที่ 3.3 แสดงภาพตัวอย่างรอยที่มีสาเหตุจากอนุภาคสารขัดขนาดใหญ่

3.2 ขั้นตอนการเขียนสคริปต์โปรแกรม MATLAB

เนื่องจากโปรแกรม MATLAB เป็นโปรแกรมที่ง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน และยังมีฟังก์ชันพิเศษสำหรับผู้ใช้งานในด้านต่าง ๆ รวมไปถึงด้านการประมวลผลภาพ โดยฟังก์ชันต่าง ๆ นั้นถูกรวบรวมไว้ในกล่องฟังก์ชันที่เรียกว่า Toolbox ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงหยิบนำฟังก์ชันต่าง ๆ ที่อยู่ใน Toolbox ของโปรแกรม MATLAB มาใช้

ขั้นตอนการเขียนสคริปต์โปรแกรม MATLAB แสดงดังรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงแผนผังขั้นตอนการทำงานของสคริปต์โปรแกรม MATLAB เพื่อการตรวจสอบรอยและพื้นผิวเสีย

จากแผนผังขั้นตอนการทำงานข้างต้น ในรูปที่ 3.4 สามารถอธิบายแต่ละขั้นตอนและฟังก์ชันใน Toolbox ที่ถูกเรียกใช้ ได้ดังนี้

3.2.1 Input Image

Input Image คือการอ่านหรือการนำเข้าภาพโดยฟังก์ชันใน Toolbox ที่ถูกเรียกใช้แสดงดังตารางที่ 3.1

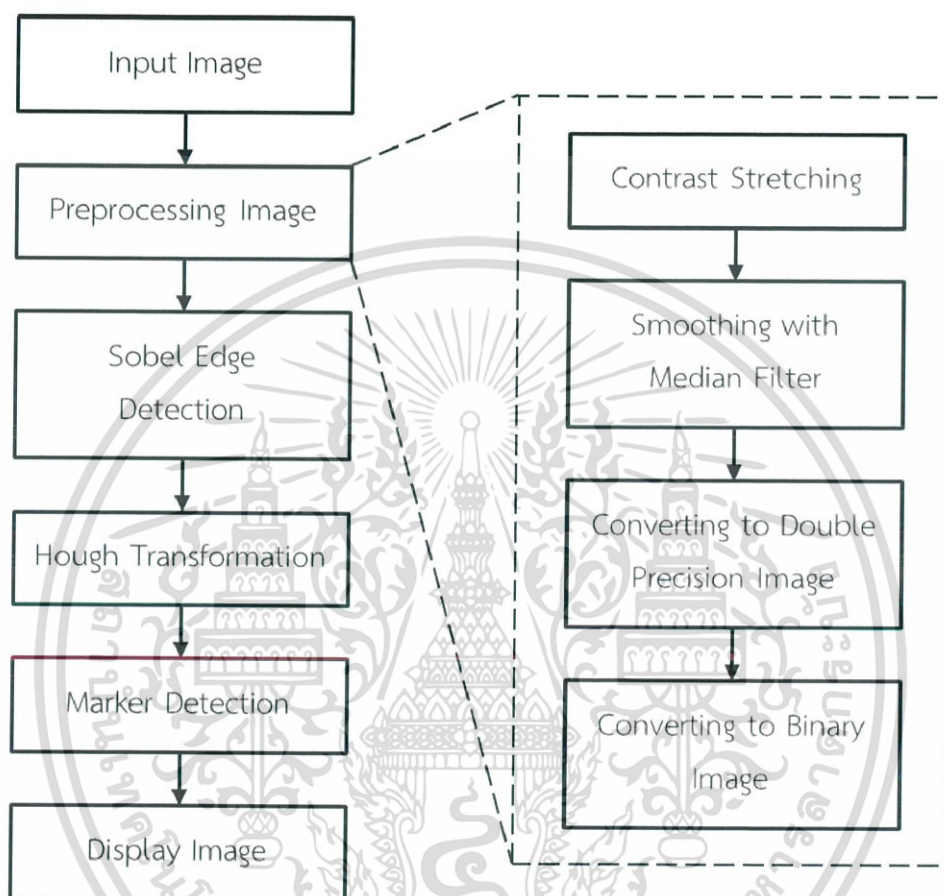
ตารางที่ 3.1 ฟังก์ชันใน Toolbox โปรแกรม MATLAB ที่ถูกเรียกใช้ของขั้นตอน Input Image

กระบวนการ	คำสั่ง	รูปแบบคำสั่ง
Input Image	imread	$A = \text{imread}(\text{filename})$ $A = \text{imread}(\text{filename}, \text{fmt})$ $A = \text{imread}(_, \text{idx})$ $A = \text{imread}(_, \text{Name}, \text{Value})$ $[A, \text{map}] = \text{imread}(_)$ $[A, \text{map}, \text{transparency}] = \text{imread}(_)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 Preprocessing Image

หลังจากการนำภาพเข้าแล้ว Preprocessing เป็นกระบวนการที่ต้องทำและจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อให้ภาพที่จะนำไปประมวลผลต่อมีความผิดพลาดน้อยที่สุด และกำจัดวัตถุที่ไม่ต้องการออกจากภาพ ซึ่ง Preprocessing Image ในงานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงภาพก่อนการหาขอบภาพด้วยวิธี Sobel Edge Detection โดยขั้นตอนมีดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงแผนผังขั้นตอนการทำงานของสคริปต์โปรแกรม MATLAB ในส่วนของขั้นตอน Preprocessing Image

จากแผนผังขั้นตอนการทำงาน ดังรูปที่ 3.5 สามารถอธิบายฟังก์ชันใน Toolbox โปรแกรม MATLAB ได้ดังตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ฟังก์ชันใน Toolbox โปรแกรม MATLAB ที่ถูกเรียกใช้ของขั้นตอน Preprocessing Image

กระบวนการ	คำสั่ง	รูปแบบคำสั่ง
Contrast Stretching	imadjust	J = imadjust(I) J = imadjust(I,[low_in high_in],[low_out high_out]) J = imadjust(I,[low_in high_in],[low_out high_out],gamma)
Smoothing with Median Filter	medfilt2	B = medfilt2(A) B = medfilt2(A,[m n]) B = medfilt2(__,padopt)
Converting to Double Precision Image	im2double	I2 = im2double(I) I2 = im2double(I,'indexed')
Converting to Binary Image	imbinarize	BW = imbinarize(I) BW = imbinarize(I,method) BW = imbinarize(I,T) BW = imbinarize(I,'adaptive',Name,Value) J = imbinarize(V,___)

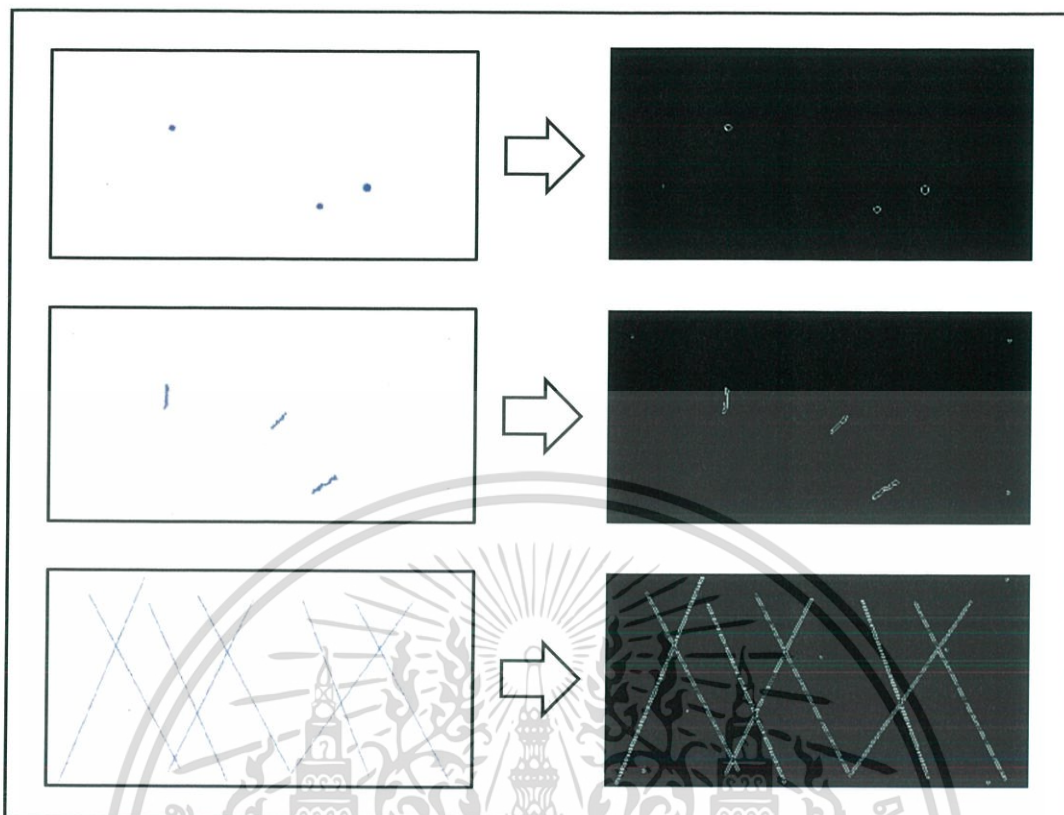
3.2.3 Sobel Edge Detection

การหาขอบภาพโดยใช้ Sobel Edge Detection เพื่อแยกแยะวัตถุที่อยู่ในภาพ โดย Toolbox ที่ใช้มีดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ฟังก์ชันใน Toolbox โปรแกรม MATLAB ที่ถูกเรียกใช้ของขั้นตอน Sobel Edge Detection

กระบวนการ	คำสั่ง	รูปแบบคำสั่ง
Sobel Edge Detection	edge	BW = edge(I,sobel) BW = edge(I,sobel,threshold) BW = edge(I,sobel,threshold,direction) BW = edge(__,'nothinning') BW = edge(I,sobel,threshold,sigma) BW = edge(I,sobel,threshold,h)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่เฉพาะคือของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถมีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงภาพเมื่อผ่านขั้นตอนการหาขอบภาพ Sobel

เมื่อได้รูปภาพที่ผ่านการหาขอบภาพด้วย Sobel แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการนำภาพที่ได้เข้าสู่กระบวนการ Hough Transform โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการ Hough Transform (HT) ในการตรวจสอบรอยและพื้นผิวเสียรูปแบบ Handling และ Lapping Mark และเลือกใช้ Circle Hough Transform (CHT) ในการตรวจสอบรอยและพื้นผิวเสียรูปแบบ Lose Particle ดังรูปที่ 3.6

3.2.4 Hough Transformation

เนื่องจาก Hough Transform เป็นวิธีที่ดีที่สุดในการตรวจสอบหา หรือรู้จำเส้นตรงวงกลมในภาพได้ ดังนั้นจึงถูกเลือกใช้ในการหารอยบนภาพ โดย Toolbox ที่ใช้แสดงดังตารางที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ฟังก์ชันใน Toolbox โปรแกรม MATLAB ที่ถูกเรียกใช้ของขั้นตอน Hough Transformation

กระบวนการ	คำสั่ง	รูปแบบคำสั่ง
Hough Transformation	hough	[H,theta,rho] = hough(BW) [H,theta,rho] = hough(BW,Name,Value,...)
	houghpeaks	peaks = houghpeaks(H,numpeaks) peaks = houghpeaks(__,Name,Value,...)
	imfindcircles	centers = imfindcircles(A,radius) [centers,radii] = imfindcircles(A,radiusRange)

3.2.5 Marker Detection

หลังจากผ่านการประมวลผลภาพด้วย Hough Transform แล้ว จากนั้นคือการสร้างเส้นตรงและวงกลมขึ้นใหม่โดยสร้างบนภาพอินพุต เพื่อเป็นการมาร์คลักษณะรอยในแต่ละรูปแบบ

ตารางที่ 3.5 ฟังก์ชันใน Toolbox โปรแกรม MATLAB ที่ถูกเรียกใช้ของขั้นตอน Marker Detection

กระบวนการ	คำสั่ง	รูปแบบคำสั่ง
Marker Detection	houghlines	lines = houghlines(BW,theta,rho,peaks) lines = houghlines(__,Name,Value,...)
	viscircles	viscircles(centers,radii)

3.2.6 Display Image

การแสดงผลภาพเอาต์พุตเป็นขั้นตอนถูกสร้างขึ้นมา เพื่อแสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยใช้คำสั่งดังตารางที่ 3.6 ก่อนจะทำการบันทึกรูปภาพในขั้นตอนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 ฟังก์ชันใน Toolbox โปรแกรม MATLAB ที่ถูกเรียกใช้ของขั้นตอน Display Image

กระบวนการ	คำสั่ง	รูปแบบคำสั่ง
Display Image	imshow	imshow(I) imshow(I,[low high]) imshow(I,[]) imshow(RGB) imshow(BW) imshow(X,map) imshow(filename) imshow(__,Name,Value)

3.3 การคัดแยกรอยและพื้นผิวเสียรูปแบบ Lose Particle

เนื่องจากรอยและพื้นผิวเสียรูปแบบนี้มีลักษณะเป็นวงกลมเล็ก จึงได้อาศัย Hough Circle Transform เพื่อตรวจจับเส้นโค้งหรือวงกลมในภาพ

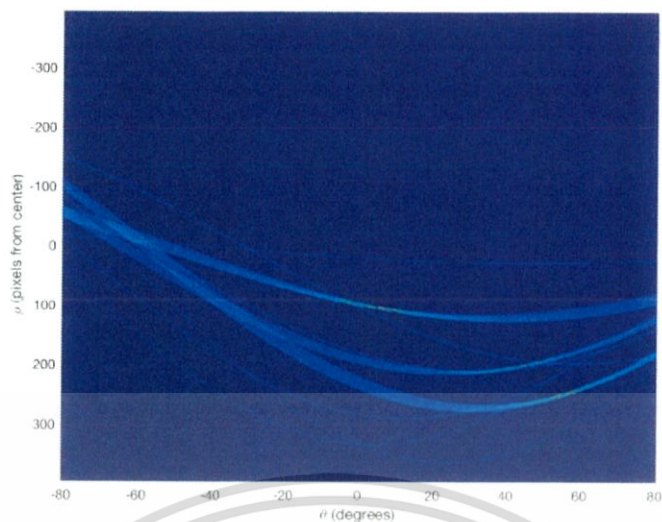


รูปที่ 3.7 แสดงภาพเอาต์พุตที่ผ่านการประมวลผลด้วย Hough Circle Transform

3.4 การคัดแยกรอยและพื้นผิวเสียรูปแบบ Handling

เริ่มจากการปรับปรุงภาพให้ดีขึ้น แล้วทำการหาขอบภาพด้วย Sobel Magnitude จากนั้นคัดแยกรอยและพื้นผิวเสียของรูปแบบนี้ได้อาศัย Hough Line Transform ในการตรวจหาเส้นตรง โดย Hough Line Transform จะค้นหาเส้นตรงโดยการโหวตจุดแต่ละจุด เนื่องจากรอยและพื้นผิวเสียรูปแบบนี้ส่วนใหญ่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นจึงต้องนำพื้นที่ที่ใกล้เคียงบริเวณเส้นตรงที่ถูกโหวตเข้าไปคำนวณด้วย แล้วจึงกำหนดให้เส้นตรงที่ต้องการแสดงผลบนจอภาพ ให้เส้นตรงที่สั้นที่สุดมีความยาวเท่ากับ 10 พิกเซลที่ติดกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงภาพ Hough Space ของรอยรูปแบบ Handling



รูปที่ 3.9 แสดงเส้นตรงที่ถูกโหวตด้วยวิธี Thresholding ของ Hough Space ของรอยรูปแบบ Handling



รูปที่ 3.10 แสดงภาพเอ็ดจ์ที่ผ่านการประมวลผลด้วย Hough Line Transform ของรอยรูปแบบ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

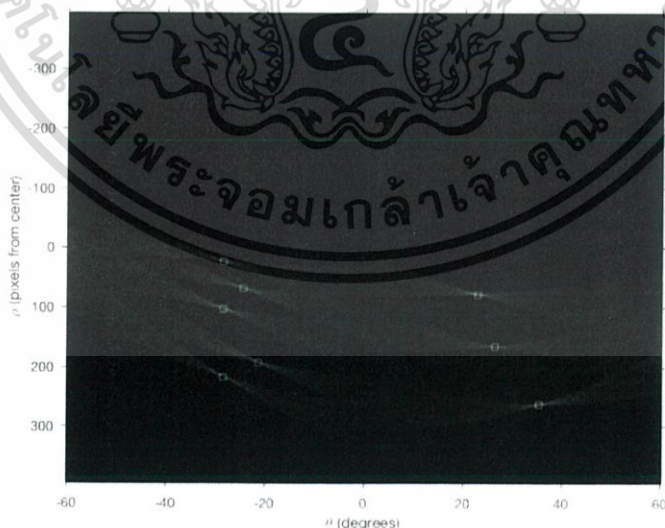
3.5 การคัดแยกรอยและพื้นผิวเสียรูปแบบ Lapping Mark

การตรวจสอบรอยและพื้นผิวเสียที่เป็นผลมาจาก Lapping Mark โดยเทคนิคการประมวลผลภาพที่เลือกใช้คือ Hough Transform ซึ่งเป็นวิธีการค้นหาเส้นตรงในภาพได้เป็นอย่างดี

เริ่มจากการปรับปรุงภาพให้ดีขึ้น แล้วทำการหาขอบภาพด้วยวิธี Sobel แล้วจึงใช้หลักการ Hough Transform ในการค้นหาเส้นตรง โดย Hough Transform จะค้นหาเส้นตรงโดยการโหวตจุดแต่ละจุด ว่าจุดนั้นอยู่บนเส้นตรงใดบ้าง เมื่อทุกจุดโหวตแล้ว สมการที่ถูกโหวตมากที่สุดจะเป็นเส้นที่ผ่านจุดดังกล่าว พิจารณาเส้นตรงโดยการเปลี่ยนจากรูปแบบ Image Space ไปสู่ Hough Space

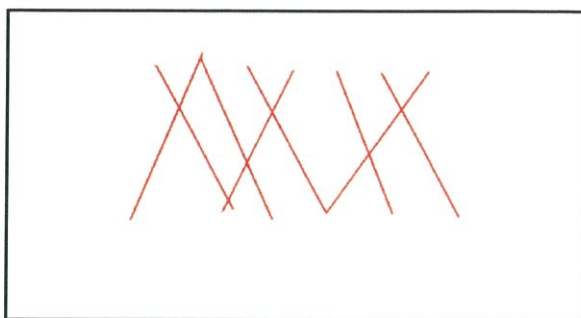


รูปที่ 3.11 แสดงภาพ Hough Space ของรอยรูปแบบ Lapping Mark



รูปที่ 3.12 แสดงเส้นตรงที่ถูกโหวตด้วยวิธี Thresholding ของ Hough Space รอยรูปแบบ Lapping Mark

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 ภาพเอ็ดจ์ฟุตที่ผ่านการประมวลผลด้วย Hough Line Transform รอยรูปแบบ Lapping Mark



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ในการออกแบบสคริปต์โปรแกรม MATLAB เพื่อตรวจสอบหารอยและพื้นผิวเสีย เพื่อให้ทราบว่าสคริปต์ที่ถูกเขียนขึ้นสามารถใช้งานได้จริง ตามที่วัตถุประสงค์และขอบเขตที่ต้องการหรือไม่ จึงต้องมีการทดสอบ โดยการเปรียบเทียบกับ การตรวจสอบด้วยสายตามนุษย์ อีกทั้งยังทดสอบเพื่อให้รู้ถึงปัญหาอื่น ๆ ที่จำเป็นต้องแก้ไข เพื่อให้สคริปต์มีประสิทธิภาพมากที่สุด

เนื่องจากภาพ SEM ที่ใช้ในการทดลองทั้งหมดเป็นภาพที่เป็นความลับของทางบริษัท จึงไม่สามารถนำเสนอข้อมูลภาพได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอข้อมูลในรูปแบบตาราง ของรอยและพื้นผิวเสียหายที่พบเจอในแต่ละภาพที่ใช้ทดลอง แทนการนำเสนอข้อมูลภาพ

4.1 รอยและพื้นผิวเสียที่เกิดขึ้นบนตัวอย่าง

วัตถุประสงค์เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับกระบวนการที่พัฒนาขึ้นโดยการเขียนสคริปต์ของโปรแกรม MATLAB โดยผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1 ซึ่งเป็นการตรวจสอบรอยด้วยสายตามนุษย์ ทั้งหมด 36 ภาพตัวอย่าง

สัญลักษณ์ P1 – P36 แทนภาพตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องหมาย ✓ แทนการแยกแยะรูปแบบรอยที่พบในแต่ละภาพโดยใช้สายตามนุษย์

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการวิเคราะห์ภาพ SEM ของตัวอย่างด้วยสายตามนุษย์

ลำดับ	ประเภท รอย	Lose Particle	Handling	Lapping Mark
P1			✓	✓
P2			✓	✓
P3		✓	✓	✓
P4				✓
P5			✓	
P6		✓	✓	✓
P7		✓	✓	✓
P8		✓	✓	✓
P9			✓	✓
P10				✓
P11			✓	✓
P12		✓	✓	✓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการวิเคราะห์ภาพ SEM ของตัวอย่างด้วยสายตามนุษย์ (ต่อ)

P13			✓
P14		✓	✓
P15			
P16	✓	✓	✓
P17			✓
P18		✓	
P19		✓	✓
P20	✓		✓
P21		✓	✓
P22		✓	
P23	✓	✓	✓
P24		✓	✓
P25			✓
P26			
P27		✓	✓
P28		✓	✓
P29			
P30		✓	✓
P31	✓	✓	
P32		✓	✓
P33		✓	✓
P34		✓	✓
P35		✓	✓
P36	✓	✓	✓

ในการวิเคราะห์ภาพด้วยสายตามนุษย์ โดยเฉลี่ยใช้เวลาในการวิเคราะห์ภาพ 180 วินาที/
ภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบความสามารถของสคริปต์โปรแกรม MATLAB

4.2.1 การตรวจหารอยและพื้นผิวเสียของชิ้นงานทั้งหมด 36 ภาพ วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบความสามารถกระบวนการตรวจหารอยและพื้นผิวเสีย รูปแบบ Lose Particle, Handling และ Lapping Mark ของสคริปต์โปรแกรม MATLAB ที่เขียนขึ้น โดยเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ภาพด้วยสายตามนุษย์ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 1) เครื่องคอมพิวเตอร์ ระบบ macOS Intel Core i5 processor Turbo Boost up to 3.5GHz
- 2) โปรแกรม MATLAB R2016b
- 3) สคริปต์โปรแกรม MATLAB ที่เขียนขึ้น
- 4) ภาพตัวอย่างที่นำมาทดสอบทั้งหมด 36 ภาพ

ขั้นตอนการทดลอง

- 1) นำภาพตัวอย่างไปทดสอบกับสคริปต์โปรแกรม MATLAB ที่เขียนขึ้น
- 2) บันทึกผลการทดลอง
- 3) วิเคราะห์ผลการทดลอง

สัญลักษณ์ P1 – P36 แทนภาพตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องหมาย ✓ แทนการแยกแยะรูปแบบรอยที่พบในแต่ละภาพโดยใช้สายตามนุษย์

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการวิเคราะห์ภาพ SEM ของตัวอย่างด้วยสคริปต์ MATLAB

ประเภท รอย	Lose Particle	Handling	Lapping Mark
ลำดับ P1	✓	✓	✓
P2	✓	✓	✓
P3	✓	✓	✓
P4		✓	✓
P5		✓	
P6	✓	✓	✓
P7	✓	✓	✓
P8	✓	✓	✓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการวิเคราะห์ภาพ SEM ของตัวอย่างด้วยสคริปต์ MATLAB (ต่อ)

P9	✓	✓	✓
P10	✓		✓
P11		✓	✓
P12	✓	✓	✓
P13	✓		
P14	✓	✓	✓
P15			
P16	✓	✓	✓
P17	✓	✓	✓
P18		✓	
P19		✓	
P20		✓	✓
P21	✓	✓	✓
P22			
P23	✓	✓	✓
P24	✓	✓	✓
P25	✓	✓	✓
P26			
P27		✓	✓
P28	✓	✓	✓
P29			
P30	✓	✓	
P31	✓	✓	
P32	✓	✓	✓
P33	✓	✓	✓
P34	✓	✓	✓
P35	✓	✓	✓
P36	✓	✓	✓

ในการวิเคราะห์ภาพด้วยสคริปต์โปรแกรม MATLAB ใช้เวลาในการตรวจหารอยและพื้นผิวเสีย
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 โดยเฉลี่ย 35 วินาที/ภาพ
 ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดสอบสคริปต์โปรแกรม MATLAB โดยการเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ภาพด้วยสายตามนุษย์ พบว่ามีความแตกต่างจากการวิเคราะห์ภาพด้วยสายตามนุษย์ดังแสดงในช่องสี่เหลี่ยมของตารางที่ 4.2 ซึ่งหมายถึงภาพที่มีการวิเคราะห์ผิดพลาด

- 1) รอยและพื้นผิวเสียรูปแบบ Lose Particle

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองตรวจหารอยและพื้นผิวเสียรูปแบบ Lose Particle

จำนวนตัวอย่างชิ้นงาน	ภาพที่วิเคราะห์ผิดพลาด	
	จำนวนภาพ	เปอร์เซ็นต์
36	24	66.67%

- 2) รอยและพื้นผิวเสียรูปแบบ Handling

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองตรวจหารอยและพื้นผิวเสียรูปแบบ Handling

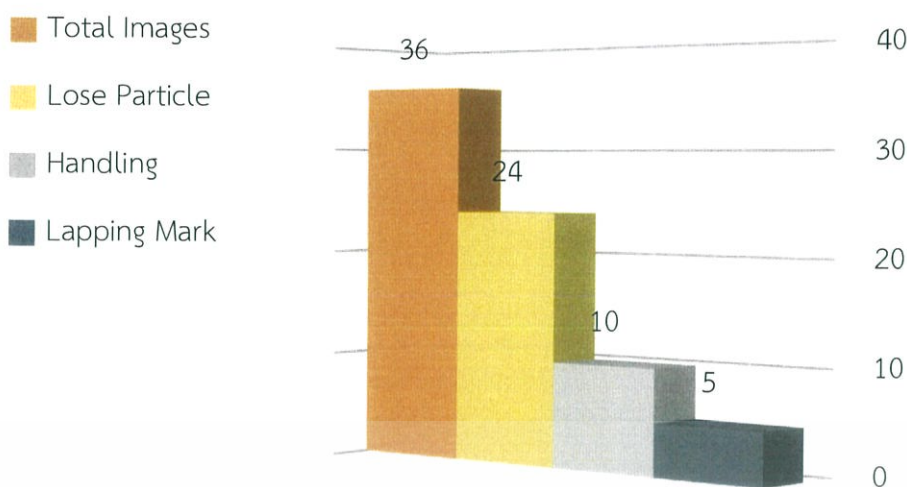
จำนวนตัวอย่างชิ้นงาน	ภาพที่วิเคราะห์ผิดพลาด	
	จำนวนภาพ	เปอร์เซ็นต์
36	10	27.78%

- 3) รอยและพื้นผิวเสียรูปแบบ Lapping Scratch

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองตรวจหารอยและพื้นผิวเสียรูปแบบ Lapping Scratch

จำนวนตัวอย่างชิ้นงาน	ภาพที่วิเคราะห์ผิดพลาด	
	จำนวนภาพ	เปอร์เซ็นต์
36	5	13.89%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดงจำนวนภาพที่โปรแกรมทำให้เกิดความผิดพลาดของรอยแต่ละรูปแบบ

เมื่อนำภาพที่มีการวิเคราะห์ผิดพลาด จากจำนวนภาพที่แสดงดังตารางที่ 4.3 4.4 และ 4.5 ไปวิเคราะห์หาสาเหตุความผิดพลาด สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ภาพที่มีการวิเคราะห์ผิดพลาดหรือภาพที่สกริปต์ไม่สามารถตรวจสอบได้จากจำนวนภาพทั้งหมด 36 ภาพ

สาเหตุของความผิดพลาด	รูปแบบ					
	Lose Particle		Handling		Lapping Mark	
	จำนวนภาพ	เปอร์เซ็นต์	จำนวนภาพ	เปอร์เซ็นต์	จำนวนภาพ	เปอร์เซ็นต์
เกินจำนวนรอย	19	52.78%	5	13.89%	0	0
ไม่ถูกตรวจสอบ	2	5.56%	4	11.11%	5	13.89%
ผิดตำแหน่งรอย	3	8.33%	1	2.78%	0	0
จำนวนภาพที่วิเคราะห์ผิดพลาด	24	66.67%	10	27.78%	5	13.89%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและขอเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบสคริปต์ที่เขียนขึ้น โดยประมวลผลผ่านโปรแกรม MATLAB และใช้ภาพทั้งหมด 36 ในการทดลอง พบว่าภาพที่ตรวจสอบแล้วมีความผิดพลาดเกิดขึ้นของรอยรูปแบบ Lose Particle มีจำนวน 24 ภาพ Handling มีจำนวน 10 ภาพ และ Lapping Mark มีจำนวน 5 ภาพ และจากการวิเคราะห์ผลการทดสอบแล้วพบว่า สามารถคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ดังตารางที่ 5.1 และภาพที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเหล่านี้เป็นภาพที่มีลักษณะ มีความเบลอสุง รอยตื้น รอยนูน และสิ่งปนเปื้อนบนชิ้นงาน (Contaminate) เช่น ผุ่น เศษผง ละออง เป็นต้น และความผิดพลาดนั้นยังเกิดจากสคริปต์ไม่สามารถตรวจสอบรอยรูปแบบ Lose Particle ที่มีขนาดเล็กเกินไปได้ และสคริปต์นี้ยังสามารถลดเวลาในการวิเคราะห์รอยและพื้นผิวเสียลงไปได้ราว 5 เท่าของเวลาเดิม

ตารางที่ 5.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของสคริปต์

การตรวจสอบรอยของสคริปต์	Lose Particle	Handling	Lapping Mark	รวม
เกินจำนวนรอย	52.78%	13.89%	0	
ไม่ถูกตรวจสอบ	5.56%	11.11%	13.89%	36.11%
ผิดพลาดแห่งรอย	8.33%	2.78%	0	
ถูกต้อง 100%	33.33%	72.22%	86.11%	63.88%

5.2 ขอเสนอแนะ

1) เนื่องจากโครงงานสหกิจศึกษาขึ้นอยู่กับความดูแลของแผนกพัฒนาสไลเดอร์ บริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด บริษัทผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ เหตุเพราะเป็นความลับของทางบริษัทจึงไม่สามารถนำภาพตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองมาเปิดเผยต่อสาธารณะได้

2) เพื่อการทดลองการเปรียบเทียบ จึงกำหนดให้การวิเคราะห์ภาพด้วยสายตามนุษย์เป็นจุดอ้างอิง โดยให้ความถูกต้องของการวิเคราะห์มีค่าเป็น 100% แต่ในความเป็นจริงการวิเคราะห์ภาพด้วยสายตามนุษย์ ต้องมองในระยะใกล้ ๆ มาก และเป็นเวลานาน ทำให้กล้ามเนื้อตาต้องทำงานอย่างหนักเหนื่อย และเกร็งตัวต่อเนื่องเป็นเวลานาน หรือบ่อยขึ้น การกระทบริบตาก็ลดน้อยลง เป็นระยะเวลานาน อาจส่งผลให้เกิดอาการล้าทางสายตา และทำให้การวิเคราะห์ภาพอาจผิดพลาด จึงไม่สามารถกำหนดให้การวิเคราะห์ภาพด้วยสายตามนุษย์มีความถูกต้อง 100% อย่างแน่นอนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Sitio Links. 2017. **External hard drive recovery to rescue your data in instance.** [Online]. Available : <https://www.sitiolinks.com/wp-content/uploads/2017/12/disk3a.png>
- [2] Su Jianxiu , Chen Xiqu, Du Jiayi and Kang Renke. 2010. “Material removal rate in chemical-mechanical polishing of wafers based on particle trajectories*”. *Journal of Semiconductors*. 31(5).
- [3] Phakinee A. 2013. **Matlab for Thai people.** [Online]. Available: <http://mat-abthai.blogspot.com/2013/04/matlab.html>.
- [4] นางสาวสายสุดา นันตะเหล็ก, นางสาวลีลาวดี สุนันตะ. 2557. “การประยุกต์ MATLAB GUI สำหรับวิเคราะห์สัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้า.” ปรึญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.
- [5] Michael W. Davidson. 2018. **Understanding the Digital Image.** [Online]. Available : https://www.zeiss.com/microscopy/int/solutions/reference/basic-microscopy/understanding-the-digital-image.html#inpagetabs_ffc8-0
- [6] Yug. 2006. **Bitmap VS SVG.svg.** [Online]. Available : https://en.wikipedia.org/wiki/File:Bitmap_VS_SVG.svg
- [7] Amine Laghrib, Abdelilah Hakim, Said Raghay, and Mohammed El-Rhabi. 2015. **Robust multi-frame super-resolution with non-parametric deformations using diffusion registration.** [Online]. Available : https://www.researchgate.net/profile/Abdelilah_Hakim/publication/282716754/figure/fig1/AS:288758710321152@1445856849343/The-original-image-of-Camera-man.png
- [8] MathWorks. 2018. **rgb2gray.** [Online]. Available : https://www.mathworks.com/help/examples/matlab/win64/ConvertRGBImageToGrayscaleImageExample_01.png
- [9] ผศ.ดร.สมเกียรติ อุดมธรรษากุล. 2550. การประมวลผลภาพเบื้องต้น. 1. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วน จำกัด วิ.เจ.พรินต์ติ้ง
- [10] Steve Eddins. 2008. **False-color visualization of binary image object sets.** [Online]. Available : https://blogs.mathworks.com/images/steve/2008/binary_indexed_vis_01.png
- [11] Arthur Konze. 2004. **Electron Microscope (กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้อิเล็กตรอน).** [Online]. Available : http://www.electron.rmutphysics.com/science-news/index.php?option=com_content&task=view&id=122&Itemid=0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รวบรวมขึ้นจากแหล่งข้อมูลสาธารณะที่เผยแพร่โดยไม่ขอค่าลิขสิทธิ์ใดๆ
ไม่ว่าการณีใด: <http://www.ammrf.org.au/myscope/images/sem/layout-and-function.png> มาไปใช้

- [13] Abder-Rahman Ali. 2017. **median-filter**. [Online]. Available : <https://github.com/abderhasan/median-filter>
- [14] MathWorks. 2018. **bwareaopen**. [Online]. Available : https://www.mathworks.com/help/examples/images/win64/RemoveObjectsInImageContainingFewerThan50PixelsExample_01.png
- [15] Ballard, D.H., 1981. "Generalizing the hough transform to detect arbitrary shapes". *Pattern Recogn.* 13, 111–122.
- [16] นายวิโรจน์ อองอาจ 2549. "การประมวลผลภาพวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยพอลิเมอร์จากการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าบัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [17] Eduardo A. Murillo-Bracamontes et al. 2012. "Implementation of Hough transform for fruit image segmentation". *Procedia Engineering.* 35 : 230 – 239.



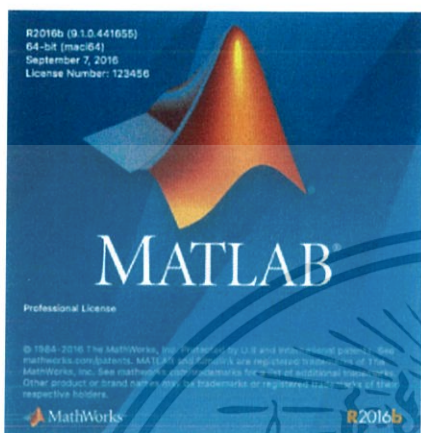
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

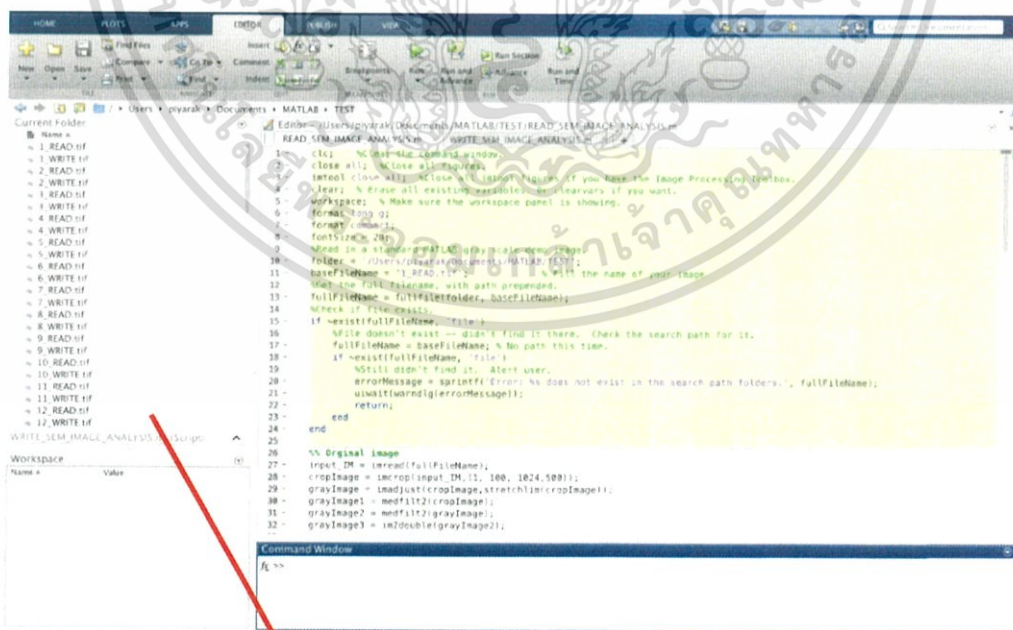
Instructions of MATLAB scripts for SEM image analysis.

- First of all, you must bring your SEM images which you need to inspect put into “SEM_IM_ANALYSIS” folder
- then open MATLAB



c) open m file which you want to use. (“WRITE_SEM_IMAGE_ANALYSIS.m” for inspection of WRITE HEAD and “READ_SEM_IMAGE_ANALYSIS.m” for inspection of READ HEAD)

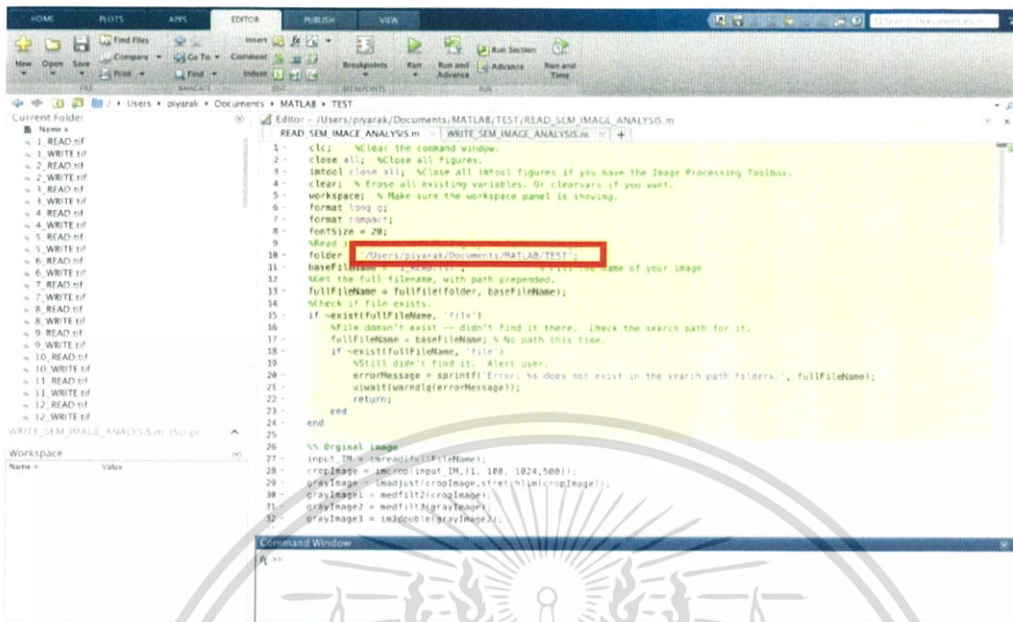
d) then your screen will be shown as :



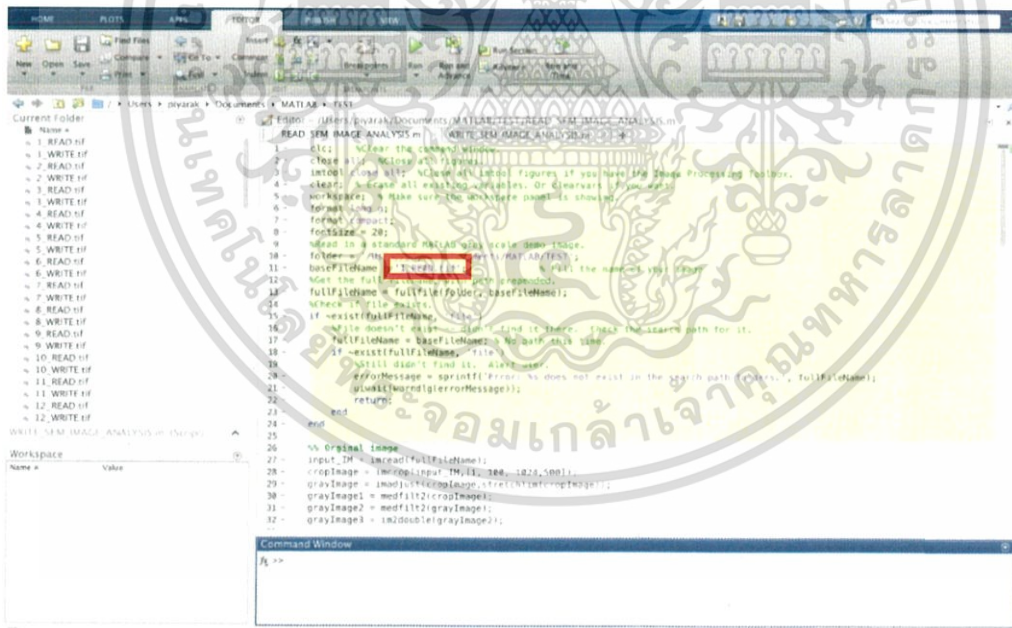
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้กันแต่ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

These are the name of images which were put into “SEM_IM_ANALYSIS” folder.

e) before RUN the script you must change the folder's address :

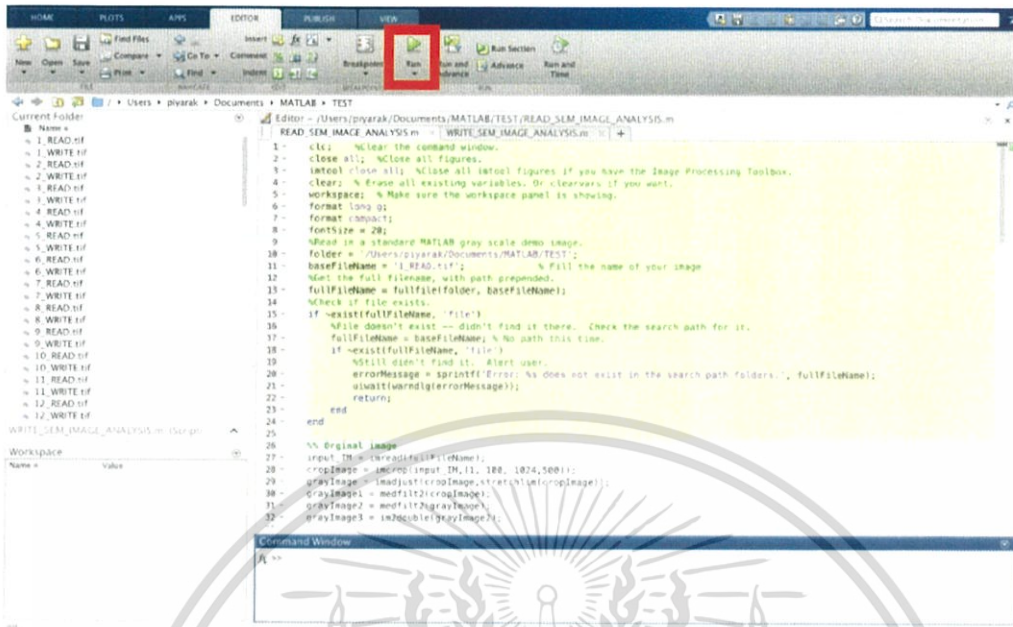


f) and change the name of your image which you want to inspect :



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

g) then RUN by click RUN button in the toolbar :

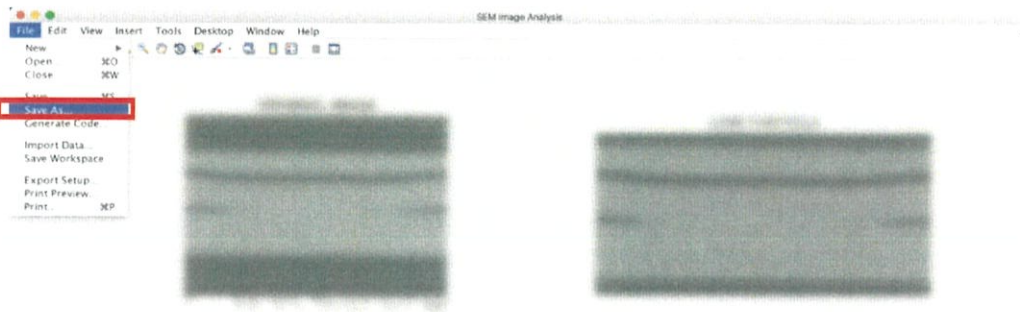


h) and output image will be shown :

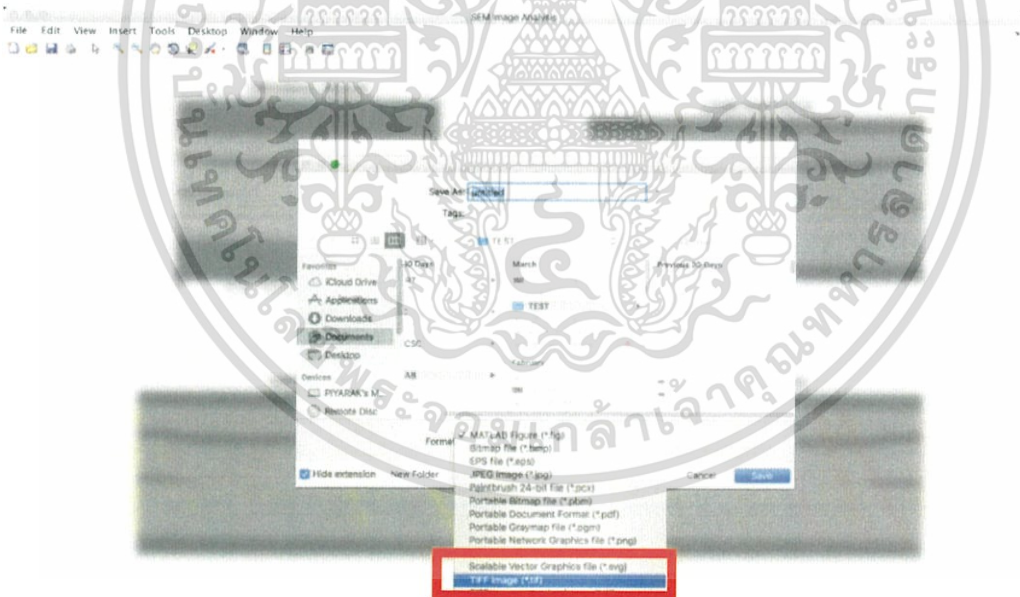


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

i) to save output image



j) to get high-quality image >>> recommend a TIFF file format.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้