

การตรวจสอบความปกติของฐานรอมฮาร์ดดิสก์
ในกระบวนการผลิตด้วยวิธีประมวลภาพ

AUTOMATIC VISUAL INSPECTION OF
HARDDISK BASE IN MANUFACTURING PROCESS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2551

KMITL-2006-EN-M-090-073

การตรวจสอบความปกติของฐานรอมฮาร์ดดิสก์

ในกระบวนการผลิตด้วยวิธีประมวลผลภาพ

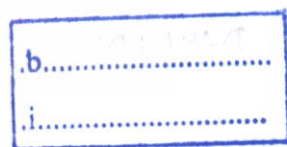
**AUTOMATIC VISUAL INSPECTION OF
HARDDISK BASE IN MANUFACTURING PROCESS**



พิเชฐ คุณากรวงศ์

PICHATE KUNAKORNVONG

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....82756
วัน,เดือน,ปี. 22 ก.ค. 2551



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
พ.ศ. 2551

KMITL-2008-EN-M-030-073

**AUTOMATIC VISUAL INSPECTION OF
HARDDISK BASE IN MANUFACTURING PROCESS**



**A THESIS SUMMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INFORMATION TECHNOLOGY ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการสื่อสารเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาตด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
2008

KMITL-2008-EN-M-030-073



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
COPYRIGHT 2008
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตรวจสอบความผิดปกติของฐานร่องฮาร์ดดิสก์ในกระบวนการผลิตด้วยวิธีประมวลผลภาพ
นักศึกษา	นายพิเชฐ คุณากรวงศ์
รหัสนักศึกษา	48061013
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
พ.ศ.	2551
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ปิติเชต สุวัณษา

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาวิธีการตรวจสอบคุณภาพด้วยระบบอัตโนมัติในส่วน of ฐานร่องฮาร์ดดิสก์ด้วยวิธีการประมวลผลภาพเพื่อทดแทนระบบการตรวจสอบแบบเก่าที่ใช้ผู้เชี่ยวชาญซึ่งอาจเกิดความผิดพลาด หรือความไม่เที่ยงตรง จากความเบื่อหน่าย เมื่อยล้าของมนุษย์ การตรวจสอบด้วยระบบอัตโนมัติช่วยลดอันตรายที่จะเกิดขึ้นแก่มนุษย์ เนื่องจากในกระบวนการตรวจสอบบางกระบวนการจะต้องใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต(UV) ซึ่งเป็นอันตรายต่อสายตามนุษย์

วิธีการในการตรวจสอบแบบอัตโนมัตินี้จะใช้วิธีการวิเคราะห์สเปกตรัมของพื้นผิวหนึ่งหน่วยร่วมกับเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ (Co-occurrence Matrix) ในการตรวจสอบพื้นผิวของฐานร่องฮาร์ดดิสก์ว่ามีรอยขีดข่วน(scratch) หรือไม่ ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบนำร่อง(pilot study) สามารถตรวจสอบรอยขีดข่วนและแยกแยะได้มากกว่า 80 % นอกจากนี้ยังสามารถใช้วิธีการที่นำเสนอตรวจสอบตำหนิ(defect) อื่น ๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการจากการทดสอบนำร่องที่นำเสนอนี้ได้

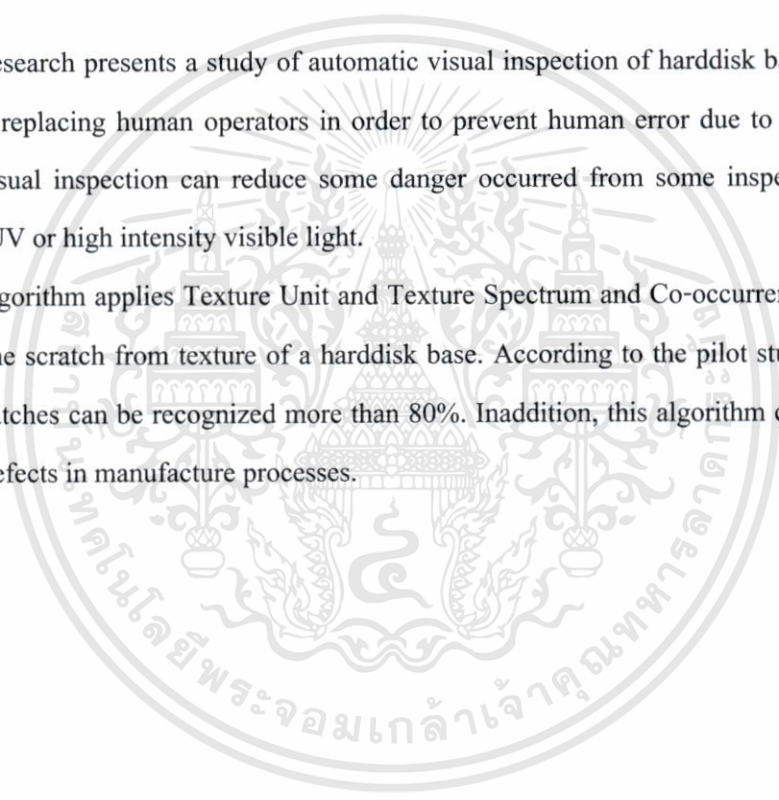
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Automatic Visual Inspection of Harddisk Base in Manufacturing Process
Student	Pichate Kunakornvong
Student ID.	48061013
Degree	Master of Engineering
Program	Information Engineering
Year	2008
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Pitikhate Sooraksa

ABSTRACT

This research presents a study of automatic visual inspection of harddisk bases by image processing for replacing human operators in order to prevent human error due to heavy fatigue loads. Auto visual inspection can reduce some danger occurred from some inspection process such as using UV or high intensity visible light.

The algorithm applies Texture Unit and Texture Spectrum and Co-occurrence matrix for extraction of the scratch from texture of a harddisk base. According to the pilot study, the result shows that scratches can be recognized more than 80%. In addition, this algorithm can be used to inspect other defects in manufacture processes.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งได้รับความเมตตาจาก รศ. ดร. ปิติเขต สุรักษา ที่กรุณาให้คำชี้แนะและเป็นที่ปรึกษาแก่ผู้วิจัย ด้วยดีตลอดมา อีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบคุณ คุณเอช.ศ มนต์เสรีนุสรณ์ ที่กรุณาเอื้อเฟื้อและสนับสนุนทุนในการศึกษาและให้คำปรึกษาที่ดียิ่งในการศึกษาต่อ

ขอขอบคุณ บริษัทเคเค อีเลคทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่กรุณาเอื้อเฟื้อและสนับสนุนทางด้านทุนและข้อมูลต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอขอบคุณ คณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ พร้อมกันนี้ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจมาตลอด

และสุดท้ายที่จะลืมเสียไม่ได้คือ กราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ อันเป็นที่รักยิ่ง ที่คอยอบรมเลี้ยงดูตั้งแต่เด็กจนสำเร็จในสิ่งที่มุ่งหวังไว้ ฉะนั้นคุณงามความดีใด ๆ ก็ตามที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอบอบแด่ทุก ๆ ท่านที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

พิเชฐ คุณาภกรวงศ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ขั้นตอนของงานวิจัย.....	3
1.5 สมมุติฐานเบื้องต้น.....	4
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	10
3.1 ส่วนประกอบของฐานรองรับฮาร์ดดิสก์.....	10
3.2 ความบิดเบี้ยวของภาพ.....	12
3.3 การปรับปรุงฮิสโทแกรม.....	13
3.4 พื้นผิวหนึ่งหน่วยและสเปกตรัมของพื้นผิวหนึ่งหน่วย.....	15
3.4.1 พื้นผิวหนึ่งหน่วย.....	15
3.4.2 ลำดับของพื้นผิวนาหนึ่งหน่วย.....	15
3.4.3 สเปกตรัมของพื้นผิว.....	16
3.5 เมตริกซ์ร่วมสัมพัทธ์.....	19
3.6 สมการคุณลักษณะเด่น.....	22
3.7 กฎของระบบผู้เชี่ยวชาญ.....	23
3.7.1 โครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญ.....	24
3.7.2 ตัวอย่างกฎของระบบผู้เชี่ยวชาญ.....	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.7.3 เครื่องมืออนุมาณ	25
3.7.4 วิธีการออกแบบ	25
3.7.4.1 การออกแบบย้อนหลัง	25
3.7.4.2 การออกแบบไปข้างหน้า	26
บทที่ 4 การออกแบบระบบการมอง	28
4.1 เงื่อนไขของระบบ	28
4.2 การเลือกใช้งานอุปกรณ์สำหรับระบบทัศนจักร	28
4.2.1 กล้องและเลนส์	29
4.2.2 แหล่งกำเนิดแสง	30
4.3 โครงสร้างการประมวลผล	33
4.3.1 การประมวลผลเบื้องต้น	33
4.3.1.1 การตัดขอบภาพและการปรับขนาดภาพ	33
4.3.1.2 การปรับปรุงฮิสโทแกรม	34
4.3.2 การค้นหาตำแหน่งที่มีดำหนิ	34
4.3.2.1 พื้นผิวหนึ่งหน่วยและสเปกตรัมของพื้นผิวหนึ่งหน่วย	34
4.3.2.2 การแบ่งพื้นที่การประมวลผล	35
4.3.3 การประมวลผลเพื่อแยกประเภทของดำหนิ	35
4.3.3.1 การแปลงเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์	35
4.3.3.2 สมการคุณลักษณะเด่น	36
4.3.4 กฎพื้นฐานและระบบผู้เชี่ยวชาญ	40
บทที่ 5 ผลการทดลอง	44
5.1 การหาตำแหน่งที่บกพร่องโดยสเปกตรัมของพื้นผิวหนึ่งหน่วย	45
5.2 การพิจารณารูปแบบของข้อบกพร่องโดยเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	66
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	66
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	67
 บรรณานุกรม.....	 68
 ภาคผนวก ก.....	 71
ภาคผนวก ข.....	77
ภาคผนวก ค.....	88
ภาคผนวก ง.....	99
ภาคผนวก จ.....	102
 ประวัติผู้เขียน.....	 108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5.1 ผลการตรวจสอบหาความบกพร่องโดยการพิจารณาสเปกตรัมของพื้นผิวหนึ่งหน่วย.....	50
5.2 ความผิดพลาดในการตรวจสอบความบกพร่องของข้อมูลภาพฐานรณรงค์ศักร์ชุดที่ 2 จากสมการคุณลักษณะเด่นแต่ละสมการ.....	62
5.3 ความผิดพลาดในการตรวจสอบความบกพร่องของข้อมูลภาพฐานรณรงค์ศักร์ชุดที่ 3 จากสมการคุณลักษณะเด่นแต่ละสมการ.....	62
5.4 ความผิดพลาดในการตรวจสอบความบกพร่องของข้อมูลภาพฐานรณรงค์ศักร์ชุดที่ 4 จากสมการคุณลักษณะเด่นแต่ละสมการ.....	63
5.5 ความผิดพลาดในการตรวจสอบรอยขีดข่วนของข้อมูลภาพฐานรณรงค์ศักร์ชุดที่ 2 ด้วยกลุ่มสมการคุณลักษณะเด่น.....	64
5.6 ความผิดพลาดในการตรวจสอบรอยขีดข่วนของข้อมูลภาพฐานรณรงค์ศักร์ชุดที่ 3 ด้วยกลุ่มสมการคุณลักษณะเด่น.....	64
5.7 ความผิดพลาดในการตรวจสอบรอยขีดข่วนของข้อมูลภาพฐานรณรงค์ศักร์ชุดที่ 4 ด้วยกลุ่มสมการคุณลักษณะเด่น.....	64
5.8 ความผิดพลาดในการตรวจสอบรอยไข่มุนของข้อมูลภาพฐานรณรงค์ศักร์ชุดที่ 4 ด้วยกลุ่มสมการคุณลักษณะเด่น.....	65
5.9 ความผิดพลาดในการตรวจสอบรอยปากกาของข้อมูลภาพฐานรณรงค์ศักร์ชุดที่ 4 ด้วยกลุ่มสมการคุณลักษณะเด่น.....	65
5.10 ความผิดพลาดในการตรวจสอบความบกพร่องของข้อมูลภาพฐานรณรงค์ศักร์ชุดที่ 4 แบ่งตามรูปแบบของคำหิด้วยวิธีการที่นำเสนอ.....	65
ก.1 คุณสมบัติของกล้องดิจิตอล และอนาล็อก.....	72
ก.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของตัวรับภาพแบบดิจิตอล และอนาล็อก.....	72
ก.3 คุณสมบัติของกล้องระดับสีเทาและกล้องสี.....	73
ก.4 คุณสมบัติของตัวรับภาพแต่ละประเภท.....	74
ข.1 ข้อดีและข้อเสียของแหล่งกำเนิดแสงแบบต่าง ๆ.....	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 รูปแบบการจัดวางอุปกรณ์สำหรับการตรวจสอบวงจรไฟฟ้าสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศญี่ปุ่น	5
2.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการแยกแยะด้วยวิธีการต่าง ๆ สำหรับเซรามิคตัวอย่าง	9
3.1 พื้นที่ฮับ	10
3.2 พื้นที่มอเตอร์ของฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้วส่วนภายใน	11
3.3 ความบิดเบือนแบบถ่วงน้ำหนัก	12
3.4 ตัวอย่างการคำนวณฮิสโทแกรม	14
3.5 คำนวณน้ำหนักสำหรับการแปลงพื้นผิวขนาดหนึ่งหน่วยในการแสดงเครื่องหมายของพื้นผิวขนาดหนึ่งหน่วย	16
3.6 ตัวอย่างการแปลงพื้นผิวขนาดหนึ่งหน่วยและค่าเฉพาะของรูปแบบที่ได้	16
3.7 ภาพพื้นผิวตัวอย่างและสเปกตรัมของภาพพื้นผิว	17
3.8 ลักษณะการเกิดสเปกตรัมของพื้นผิวหนึ่งหน่วย (ค่า $T=1$)	18
3.9 การจัดรูปแบบการคำนวณของพิกเซลในภาพ	19
3.10 ตัวอย่างสำหรับเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์โดยการคำนวณด้วยวิธีการของ Haralick(1979)	20
3.11 ตัวอย่างการคำนวณเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ $C(i, j, 1, 0^\circ)$ สำหรับครึ่งด้านบน	20
3.12 ตัวอย่างของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ที่ได้จากส่วนย่อยของภาพตัวอย่าง	21
3.13 โครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญ	24
3.14 การออกแบบย้อนหลัง	26
3.15 การออกแบบไปข้างหน้า	26
4.1 ระบบที่สนใจที่ได้ออกแบบ	28
4.2ก แหล่งกำเนิดแสงที่ได้พัฒนาขึ้นรูปแบบที่ 1 (ไม่สามารถใช้งานได้ดีเนื่องจากรูปแบบการจัดเรียงไดโอดเปล่งแสงไม่เหมาะสมและไม่สมมาตร)	31
4.2ข ภาพที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงแบบที่ 1	31
4.3ก แหล่งกำเนิดแสงที่ได้พัฒนาขึ้นรูปแบบที่ 2 (ไม่สามารถใช้งานได้ดีเนื่องจากคุณภาพของไดโอดเปล่งแสง)	31
4.3ข ภาพที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงแบบที่ 2	31
4.4ก แหล่งกำเนิดแสงที่ได้พัฒนาขึ้นรูปแบบที่ 3 (ไม่สามารถใช้งานได้ดีเนื่องจากคุณภาพของไดโอดเปล่งแสง)	31

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4ข ภาพที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงแบบที่ 3 (ส่วนเงาคำเป็นผลจากไดโอดเปล่งแสงให้ความสว่างต่ำ).....	31
4.5ก โครงสร้างแหล่งกำเนิดแสงแบบวงแหวนองศาต่ำขนาด 170 มิลลิเมตร.....	32
4.5ข ตัวอย่างของแหล่งกำเนิดแสงแบบวงแหวนองศาต่ำขนาด 170 มิลลิเมตร.....	32
4.5ค ภาพที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงแบบวงแหวนองศาต่ำขนาด 170 มิลลิเมตร.....	32
4.6 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางความสว่างและการกระจายแสงของแหล่งกำเนิดแสงแบบวงแหวนองศาต่ำขนาด 132 มิลลิเมตร.....	32
4.7 โครงสร้างของระบบการประมวลผล.....	33
4.8 การปรับขนาดก่อนการประมวลผล.....	34
4.9 การค้นหาตำแหน่งที่เกิดตำหนิด้วยวิธีการพิจารณาพื้นผิวแบบหนึ่งหน่วยและสเปคตรัมของพื้นผิว.....	35
4.10 ผลของสมการแสดงคุณลักษณะเฉพาะที่ได้จากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ $C(i, j: 1, 0^*)$ ของรอยขีดข่วนบนฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่ระดับสีเทา 255 ระดับ ขนาดหน้าต่างส่วนย่อย 40×40 พิกเซล.....	38
4.11 ผลของสมการแสดงคุณลักษณะเอนโทรปีที่ได้จากทิศทางของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธที่ระยะห่าง $d = 1$ กับรอยขีดข่วนในทิศทางต่าง ๆ ของรอยขีดข่วนบนฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่ระดับสีเทา 255 ระดับ ขนาดหน้าต่างส่วนย่อย 40×40 พิกเซล.....	39
4.12 ตัวอย่างการทดสอบกฎสำหรับการตรวจสอบรอยขีดข่วน.....	40
4.13 ตัวอย่างการทดสอบกฎสำหรับการตรวจสอบรอยปากกา.....	41
4.14 ตัวอย่างการทดสอบกฎสำหรับการตรวจสอบรอยไข่ม้น.....	42
4.15 การทำงานในส่วนของผู้เชี่ยวชาญ.....	43
5.1 ขั้นตอนการหาตำแหน่งที่บกพร่องโดยสเปคตรัมของพื้นผิวหนึ่งหน่วย.....	45
5.2 ตัวอย่างการคำนวณลำดับของพื้นผิวหนึ่งหน่วยของภาพที่ไม่มีตำหนิ.....	46
5.3 ตัวอย่างการคำนวณลำดับของพื้นผิวหนึ่งหน่วยของภาพที่มีรอยขีดข่วน.....	47
5.4 ตัวอย่างการคำนวณลำดับของพื้นผิวหนึ่งหน่วยของภาพที่มีรอยไข่ม้น.....	47
5.5 ตัวอย่างการคำนวณลำดับของพื้นผิวหนึ่งหน่วยของภาพที่มีรอยปากกา.....	48
5.6 ตัวอย่างภาพพื้นผิวและสเปคตรัมของพื้นผิวที่ไม่มีตำหนิ.....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.7 ตัวอย่างของภาพพื้นผิว และสเปกตรัมของพื้นผิวที่มีรอยขีดข่วน	49
5.8 ตัวอย่างภาพพื้นผิวและสเปกตรัมของพื้นผิวที่มีรอยไขมัน	49
5.9 ตัวอย่างภาพพื้นผิวและสเปกตรัมของพื้นผิวที่มีรอยปากกา	50
5.10 ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์และสมการคุณลักษณะเด่น	52
5.11 ภาพตัวอย่างฐานรอนฮาร์ดดิคส์ที่ใช้ในงานวิจัย	53
5.12 ตัวอย่างการคำนวณเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์จากส่วนย่อยของฐานรอนฮาร์ดดิคส์ ของรูปที่ 5.11x ในทิศทางต่าง ๆ ที่ระยะห่าง 1	53
5.13 เมตริกซ์ตัวอย่างสำหรับตัวอย่างการคำนวณค่าคุณลักษณะเด่น	55
5.14 ตัวอย่างการเลือกค่าขีดแบ่งจากข้อมูลทดสอบ	58
5.15 ค่าของสมการคุณลักษณะเด่นจากข้อมูลภาพชุดที่ 2 ในลักษณะของกราฟ	59
ก.1 ขนาดของตัวรับภาพโดยทั่ว ๆ ไป	74
ก.2 ลักษณะการรับภาพของเลนส์	75
ข.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของแหล่งกำเนิดแสงแบบต่าง ๆ	77
ข.2 ตัวอย่างแหล่งกำเนิดแสงแบบ direct light	79
ข.3 ตัวอย่างแหล่งกำเนิดแสงแบบ Indirect light	80
ข.4 ตัวอย่างแหล่งกำเนิดแสงแบบ Convergent-beam light	80
ข.5 ตัวอย่างแหล่งกำเนิดแสงแบบ Collimated light	81
ข.6 ตัวอย่างแหล่งกำเนิดแสงแบบพิเศษ	81
ข.7 เทคนิคการส่องสว่าง	82
ข.8 ลักษณะของมุมตัน	82
ข.9 การกระจายแสงของวัตถุจากแหล่งกำเนิดแสงเสมือนจุด	83
ข.10 การส่องสว่างสำหรับวัตถุเงาวาวด้วยแหล่งกำเนิดแสงแบบกระจายแสง	84
ข.11 การเปรียบเทียบลักษณะการตกกระทบของแสงของเทคนิคทั้งสอง	84
ข.12 รูปแบบการเกิดพื้นที่มืด	85
ข.13 รูปแบบการส่องสว่างจากด้านหลัง	86
ข.14 สีและแสง	87
ข.15 การใช้งานโพลาริเซชัน	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศที่มีสัดส่วนการผลิตฮาร์ดดิสก์(harddisk) และชิ้นส่วนรวมเป็นอันดับ 1 ของโลก มีการส่งออกมากกว่า สี่แสนล้านบาท (ข้อมูลจากศูนย์เทคโนโลยีและอิเล็กทรอนิกส์แห่งชาติ: NECTEC ปีพ.ศ. 2550) อย่างไรก็ตามการพัฒนาความสามารถในการผลิตในอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไต้หวันไม่ได้จำกัดอยู่แต่เพียงในประเทศไทยเท่านั้น ประเทศเพื่อนบ้านและประเทศพัฒนาใหม่ในเอเชียต่างล้วนพัฒนาเทคโนโลยีใหม่และโครงสร้างการผลิตเพื่อรองรับการผลิตฮาร์ดดิสก์ไต้หวันที่มีขนาดเล็กลง มีความจุเพิ่มมากขึ้น มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น ดังนั้นการพัฒนาคุณภาพและการพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพของกระบวนการการผลิตฮาร์ดดิสก์จึงเป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับประเทศไทยอย่างยิ่ง ส่วนประกอบหนึ่งที่จะต้องตรวจสอบก็คือฐานรองฮาร์ดดิสก์ซึ่งมีองค์ประกอบสำคัญคือส่วนของสปินเดิล(spindle)และสปินเดิลมอเตอร์(spindle motor) เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการรองรับและขับเคลื่อนส่วนของจานบันทึกข้อมูลหรือ แพลตเตอร์(platter)

โดยที่แพลตเตอร์จะยึดติดอยู่กับฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่สปินเดิลและจะหมุนไปในขณะที่ทำการอ่านหรือเขียนข้อมูลซึ่งโดยปกติจะหมุนที่ความเร็ว 5400 รอบต่อนาที หรือ 7200 รอบต่อนาทีด้วยสปินเดิลมอเตอร์ ซึ่งในการอ่านหรือเขียนข้อมูลนี้จะกระทำโดยหัวอ่าน/เขียน(read/write head) ที่ติดอยู่บนแขนแอคทีวเอเตอร์(actuator arm) โดยที่ขนาดของหัวอ่านจะมีขนาดเล็กลงเมื่อความจุเพิ่มสูงขึ้น และในขณะที่หัวอ่าน/เขียนทำงานนั้นหัวอ่าน/เขียนจะลอยอยู่เหนือแพลตเตอร์เพียง 0.5 ไมครอนเท่านั้น ด้วยเหตุนี้เองการผลิตฮาร์ดดิสก์ที่มีความจุสูงตัวแปรสำคัญตัวหนึ่งก็คือ ความสมบูรณ์ของฐานรอง หรือ เบส(base) ซึ่งความผิดพลาดเพียงเล็กน้อยเพียงระดับไมครอนในขั้นตอนการผลิตนั้นจะส่งผลให้ความจุที่ได้ลดลงหรืออาจทำให้เกิดความเสียหายขึ้นได้ในขณะใช้งาน ไม่ว่าความผิดพลาดนั้นจะเป็นฝุ่นผงที่ติดอยู่บนพื้นผิว (การผลิตจะต้องอยู่ในห้องปลอดฝุ่นเท่านั้น) รอยบุบวมจากการชุบสี หรือแม้กระทั่งรอยข่วนขนาดเล็กตั้งแต่ระดับไมครอนจนถึงระดับมิลลิเมตรซึ่งสามารถยอมรับได้หากเกิดกับพื้นที่บางส่วนของเบสเช่นพื้นผิวทั่วไป แต่จะยอมรับไม่ได้แม้กระทั่งระดับไมครอนหากเกิดในส่วนสำคัญเช่นส่วนของแฟรงฮับ(flang hub)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเหตุผลข้างต้นนี้ทำให้การตรวจสอบคุณภาพของการผลิตและรับรองคุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้นมีความสำคัญอย่างยิ่ง หนึ่งในขั้นตอนของการตรวจสอบคุณภาพคือการตรวจสอบความเรียบร้อยของสภาพรอบนอกโดยรูปแบบการตรวจสอบในขั้นตอนนี้โดยทั่ว ๆ ไปแล้วใช้การตรวจสอบโดยการมองด้วยตา ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวนมากในขั้นตอนการตรวจสอบนี้ อย่างไรก็ตามถึงแม้จะเป็นการตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญก็ยังมีความผิดพลาดได้เนื่องจากข้อจำกัดของการทำงานโดยมนุษย์ ซึ่งก็คือความเหนื่อยล้า เนื่องจากการตรวจสอบต้องมองผ่านกล้องที่มีกำลังขยายตั้งแต่ 3 ถึง 10 เท่าเพื่อตรวจสอบตำหนิที่เกิดขึ้นในระดับไมครอนย่อมก่อให้เกิด ความเบื่อหน่ายในการทำงานที่ซ้ำ ๆ อีกทั้งยังอาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้ปฏิบัติงานเนื่องจากการตรวจสอบรอยกาวบางประเภทที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตฐานรองฮาร์ดดิสก์นั้นจะสามารถตรวจพบได้ภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ตเท่านั้นซึ่งนั่นเป็นข้อแตกต่างโดยสิ้นเชิงกับการทำงานโดยเครื่องจักรหรือคอมพิวเตอร์เพราะเครื่องจักรจะทำงานได้ดีและแม่นยำเมื่อทำงานที่ซ้ำรูปแบบเดิม ดังนั้นระบบการควบคุมคุณภาพแบบอัตโนมัติจึงเป็นหนทางหนึ่งที่จะนำมาใช้แก้ปัญหาในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์

การพัฒนาใช้งานระบบการมองหรือทัศนจักรในสายการผลิตเพื่อตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ทางอุตสาหกรรมนั้น มีการพัฒนาใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่นในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องเซรามิก[1,2] อุตสาหกรรมการผลิตแผงวงจรรวม[3,4] อุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์[5,6] ซึ่งระบบการมองเห็นนี้ไม่ได้ถูกจำกัดใช้งานเพียงแต่ในทางวิศวกรรมเท่านั้นเนื่องจากในปัจจุบันวงการแพทย์ก็ได้มีการนำเอาเทคโนโลยีนี้ไปใช้งานแล้วเช่นในการวิเคราะห์ภาพถ่ายอวัยวะภายใน[14] ภาพถ่ายสมอง[15] การแยกแยะเม็ดเลือด[16] เป็นต้น

จากปัญหาในการควบคุมคุณภาพในภาคอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ที่ได้กล่าวมาในข้างต้นจึงเป็นที่มาในการศึกษาและพัฒนาระบบการตรวจสอบความผิดพลาดอันเนื่องมาจากการผลิตซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการผลิตและลดอันตรายที่จะเกิดขึ้นแก่มนุษย์ โดยจะได้กล่าวถึงส่วนประกอบที่สำคัญของฐานรองฮาร์ดดิสก์และทฤษฎีต่าง ๆ ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยในบทถัดไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาวิธีการตรวจสอบคุณภาพการผลิตฐานรองฮาร์ดดิสก์ด้วยการประมวลผลภาพ
- 2) เพื่อพัฒนาระบบทัศนจักรแบบอัตโนมัติในงานอุตสาหกรรม(automatic visual machine)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ออกแบบระบบทัศนจักรที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของฐานรอกฮาร์ดดิสก์
- 2) ระบบที่ออกแบบสามารถตรวจสอบรอยขีดข่วนได้ตามมาตรฐานและเงื่อนไขที่ทางโรงงานกำหนดได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80
 - 2.1) รอยขีดข่วนที่จะต้องตรวจสอบพบคือรอยขีดข่วนที่มีขนาดตั้งแต่ 1 มิลลิเมตรขึ้นไป และเกิดในพื้นที่ดิสก์ (disk area)
 - 2.2) หากตรวจสอบพบรอยขีดข่วนที่มีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร และเกิดในพื้นที่ดิสก์ จะไม่สนใจ
 - 2.3) คำหนึ่อื่นที่อาจตรวจพบจะแยกแยะออกรอยขีดข่วนและจะมีมาตรฐานการตรวจสอบที่แตกต่างกันออกไปในการปฏิเสธ (reject) ชิ้นงาน
- 3) พัฒนาค้นแบบสำหรับการตรวจสอบรอยขีดข่วนที่เกิดขึ้นระหว่างขั้นตอนการผลิตฐานรอกฮาร์ดดิสก์

1.4 ขั้นตอนของงานวิจัย

- 1) ค้นหาเอกสารและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
- 2) ศึกษาเอกสารและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
- 3) ออกแบบระบบทัศนจักร และเตรียมอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
- 4) ทดสอบวิธีคิด (algorithm) และสร้างโปรแกรมประยุกต์
- 5) ออกแบบเครื่องต้นแบบ (รูปแบบการทำงานเป็นรูปแบบกึ่งอัตโนมัติ)
- 6) สร้างเครื่องต้นแบบ
- 7) ทดสอบระบบที่ได้ออกแบบด้วยการทดลองใช้งานจริงในโรงงานอุตสาหกรรม
- 8) ปรับปรุงแก้ไขระบบเพื่อให้ได้ผลที่ดียิ่งขึ้น
- 9) สรุปผลและเรียบเรียงวิทยานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 สมมุติฐานเบื้องต้น

- 1) ระบบทัศนจักรที่ออกแบบจะต้องสามารถตรวจสอบรอยขีดข่วนที่เกิดขึ้นตามข้อกำหนดของโรงงานอุตสาหกรรมได้
- 2) เครื่องต้นแบบจะต้องมีความคลาดเคลื่อนน้อยมาก
- 3) ระบบแสงที่ใช้จะต้องไม่ก่อให้เกิดแสงสะท้อนกลับที่จะก่อให้เกิดการรบกวนต่อระบบการมองเห็น
- 4) กล้องที่ใช้จะต้องสามารถตอบสนองต่อแสง และมีความละเอียดที่สูงพอในการตรวจสอบรอยขีดข่วนตามข้อกำหนดของโรงงานอุตสาหกรรม
- 5) เลนส์จะต้องมีมุมในการรับภาพ(Field of View หรือ FOV)ที่กว้างพอและมีความบิดเบือนของภาพน้อยมาก
- 6) วิธีการตรวจสอบโดยใช้พื้นผิวหนึ่งหน่วยและแบบเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์สามารถตรวจสอบรอยขีดข่วนได้

สมมุติฐานดังกล่าวเป็นข้อตกลงของงานวิจัยนี้ ในกรณีที่อุปกรณ์ที่ใช้ไม่เป็นไปตามข้อตกลงดังกล่าวข้างต้นนี้ ผู้วิจัยต้องทำการปรับพารามิเตอร์หรือจัดหาค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้เป็นไปตามสมมุติฐานทั้ง 6 ข้อ เพื่อที่จะสามารถทำการทดลองอย่างมีประสิทธิภาพและสอดคล้องกับที่วิธีที่ได้เสนอแนะไว้ในวิทยานิพนธ์นี้

สำหรับในบทที่ 2 จะได้กล่าวถึงงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องและเป็นแนวทางในการพัฒนางานวิจัยนี้ จากนั้นในบทที่ 3 จะได้กล่าวถึงทฤษฎีต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นลำดับขั้นตอน ซึ่งจะประกอบด้วยองค์ประกอบของฐานรองฮาร์ดดิสก์ การปรับปรุงคุณภาพของภาพก่อนการวิเคราะห์ การวิเคราะห์พื้นผิวหนึ่งหน่วยและสเปกตรัมของพื้นผิวหนึ่งหน่วย การวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ สมการคุณลักษณะเด่น และกฎของผู้เชี่ยวชาญ

เนื่องจากในงานวิจัยนี้เป็นการนำเอาทฤษฎีต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมดังนั้นในบทที่ 4 จะได้กล่าวถึงการออกแบบระบบทัศนจักรโดยระบบทัศนจักรนี้จะประกอบด้วย การออกแบบเครื่องจักร การออกแบบระบบการมองเห็น และการออกแบบโครงสร้างการประมวลผลโดยได้นำเอาทฤษฎีที่ได้กล่าวในบทที่ 3 มาประยุกต์ใช้งาน จากนั้นในบทที่ 5 จะกล่าวถึงผลการทดลองซึ่งได้จากระบบที่ทำการออกแบบ ซึ่งจะพบว่าระบบที่ได้ทำการออกแบบนั้นสามารถตรวจสอบรอยขีดข่วนอันเป็นจุดมุ่งหมายสำคัญของงานวิจัยนี้ได้มากกว่า 80 % และจะได้สรุปผลการวิจัยนี้ในบทที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

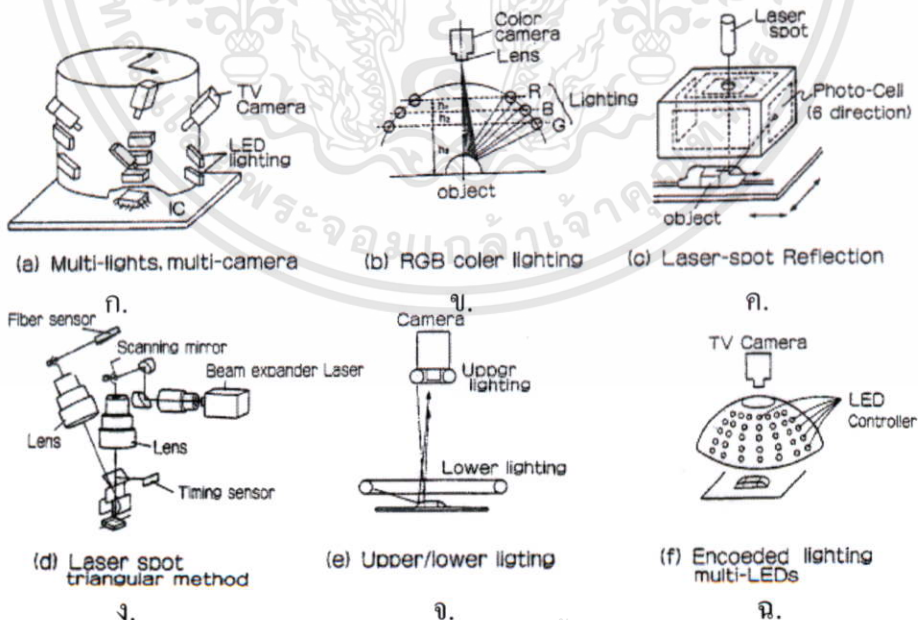
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากการวิจัยนี้เป็นระบบทัศนจักรที่ใช้ในการหารอยตำหนิของฐานรองฮาร์ดดิสก์อันเกิดจากกระบวนการผลิตซึ่งมีขนาดเล็ก เมื่อเทียบกับภาพที่ได้จากกล้องแล้วจะเห็นว่าลักษณะของภาพที่ทำการวิเคราะห์นั้นเป็นลักษณะของพื้นผิวโลหะดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำเอาวิธีการในการวิเคราะห์พื้นผิวในสองลักษณะมาประยุกต์ใช้งานซึ่งจะได้กล่าวถึงในรายละเอียดของวิธีการในบทถัดไป โดยในบทนี้จะแนะนำถึงงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้

ในช่วงปี ค.ศ. 1990 ได้มีกลุ่มนักวิจัยพยายามนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาการควบคุมคุณภาพด้วยทัศนจักรในโรงงานอุตสาหกรรมดังตัวอย่างต่อไปนี้

ในปี ค.ศ.1990 Hata ได้นำเสนอรูปแบบการใช้งานระบบทัศนจักรสำหรับอุตสาหกรรมผลิตแผงวงจรไฟฟ้าในประเทศญี่ปุ่น[4] โดยระบบที่นำเสนอนี้จะทำการตรวจสอบหาความผิดพลาดของการวางอุปกรณ์ไม่ตรงตำแหน่งโดยได้นำเสนอวิธีการจัดวางอุปกรณ์เพื่อใช้งานถึง 6 รูปแบบ เช่น รูปแบบ ก. multi-light multi-camera ข. RGB color lighting ค. Laser-spot reflection ง. Laser spot triangular method จ. Upper/lower lighting ฉ. Encoded lighting multi-LEDs ดังแสดงในรูปที่

2.1



รูปที่ 2.1 รูปแบบการจัดวางอุปกรณ์สำหรับการตรวจสอบวงจรไฟฟ้าสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศญี่ปุ่น (ก. Multi-light multi-camera ข. RGB color lighting ค. Laser-spot reflection ง. Laser spot triangular method จ. Upper/lower lighting ฉ. Encoded lighting multi LEDs)[4]

ในปี ค.ศ.1990 He และ Wang ได้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์ภาพพื้นผิววัสดุประเภทต่าง ๆ [7] ด้วยวิธีการวิเคราะห์พื้นผิวหนึ่งหน่วยและสเปกตรัมของพื้นผิวนั้น โดยทำการวิเคราะห์ภาพจากฐานข้อมูล Brodatz ซึ่งฐานข้อมูลภาพนี้เป็นฐานข้อมูลที่รวบรวมภาพพื้นผิวในรูปแบบต่าง ๆ ไว้ เช่นภาพพื้นผิวของหิน เปลือกไม้ ทราย ฯลฯ โดย He และ Wang ได้ทำการเลือกวิเคราะห์ภาพพื้นผิวจำนวน 4 ตัวอย่าง ซึ่งผลของการแยกแยะภาพพื้นผิวรูปแบบต่าง ๆ ออกจากกันในภาพรวมแยกแยะได้ 97.5 %

ในปี ค.ศ.1992 Patel และ Stonham ได้นำเสนอวิธีการจัดกลุ่มและการแบ่งแยกภาพพื้นผิวด้วยวิธีการ Rank-order clustering [8] โดยทำการพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับสีเทาบนพื้นผิวในทิศทางต่าง ๆ จากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับตารางเวกเตอร์ลำดับที่สร้างไว้ซึ่งจำนวนเวกเตอร์ลำดับที่ได้จะมีจำนวนเท่ากับ $n!$ โดยที่ n คือขนาดของเวกเตอร์ที่พิจารณาโดยทำการวิเคราะห์ภาพจากฐานข้อมูล Brodatz 10 ชุด ซึ่งวิธีการนี้สามารถจัดกลุ่มและแยกแยะกลุ่มภาพได้มากกว่า 98 %

ในปี ค.ศ.1992 Alapuranen และ Westman ได้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์พื้นผิวของไม้ด้วยวิธีการ Hierarchical Vector Connected Components (HVCC)[9] วิธีการนี้จะทำการสร้างเวกเตอร์ของสีแบบ RGB และใช้ผลต่างของเวกเตอร์ดังกล่าวร่วมกับเมตริกซ์ยูคลิด และทำการตัดสินใจแยกแยะด้วย kNN classifier สำหรับการแยกแยะได้ทำการแบ่งกลุ่มของพื้นผิวไม้ออกเป็น 12 กลุ่ม คือ Clear Wood, Sound Knot, Rotten Knot, Color Stroke, Blue Strain, Rot, Ingrown Bark, Pitch Pocket, Grain, Split, Mineral Stroke และ Defects caused by Insects ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบเบื้องต้นมีความแม่นยำในการแยกแยะถึง 85-90% โดยขึ้นกับคำนิยามแต่ละประเภท

ในปี ค.ศ.1993 Desoli และคณะได้นำเสนอระบบ ทศนจักรสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก [2] โดยได้นำเสนอวิธีการ 3 วิธีเพื่อตรวจสอบคำนิยามในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้

1. Rank Order Filters โดยจัดเรียงค่าระดับสีเทา (องค์ประกอบค่าสี หรือค่าความสว่างในกรณีที่ เป็นภาพสี) แล้วนำไปคูณกับฟิลเตอร์ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มของค่าสัมประสิทธิ์แบบตัวต่อตัว ซึ่งคุณสมบัติที่ถูกแบ่งแยกออกมาโดย Rank Order Filters นี้จะมีประโยชน์อย่างมากสำหรับการระบุคุณสมบัติทางกายภาพของคำนิยามที่มีลักษณะเป็นขอบอย่างชัดเจน

2. Top Hat Transform วิธีการนี้จะช่วยแสดงคุณสมบัติของรายละเอียดที่มีอยู่ในภาพซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการระบุถึงคำนิยามขนาดเล็กมาก ๆ วิธีการนี้ประกอบด้วยการรวมกันของตัวกระทำมากที่สุดและน้อยที่สุด (max and min operators) และความแตกต่างระหว่างภาพ โดยขั้นตอนการคำนวณนั้นสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ใน [2] และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การหาระยะห่างระหว่างฮิสโทแกรมของ Local Moving Block และต้นแบบฮิสโทแกรม (histogram prototype) ซึ่งคำนวณจากฟังก์ชันลำดับ (rank function)

ในปี ค.ศ.1994 Hepplewhite และ Stoneham ได้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์และแยกแยะคำหนีออกจากภาพพื้นผิวโดยวิธีการวิเคราะห์แบบจัดลำดับ(rank order)[10] วิธีการนี้จะพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับสีเทาของภาพพื้นผิวในแนวต่าง ๆ โดยทำการสร้างตารางเปรียบเทียบแบบ Rank Coding เพื่อใช้ในการสร้างเวกเตอร์ของการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาของพื้นผิว

ในปี ค.ศ.1996 Hepplewhite และคณะได้ทำการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์และแยกแยะคำหนีออกจากพื้นผิวที่ได้นำเสนอโดยทำการสร้างตารางเปรียบเทียบแบบ SRank Coding [6] ซึ่งวิธีการแบบ SRank Coding นั้นจะสามารถวิเคราะห์ผลได้เร็วกว่าแบบ Rank Coding ถึง 2.5 เท่า ผลของวิธีการทั้งสองได้นำเสนอโดยการทดสอบด้วยภาพจากฐานข้อมูล Brodatz โดยผลการทดลองนั้นแบ่งออกเป็น 4 ส่วนตามขนาดของหน้าต่างที่พิจารณาโดยที่ขนาดหน้าต่างต่าง 48×48 และ 64×64 พิกเซลจะให้ผลที่ดีที่สุดคือ 99.52% สำหรับ Rank Coding และ 100% สำหรับ SRank Coding

ในปี ค.ศ.1996 Tobias และคณะ ได้นำเสนอวิธีการตรวจสอบความสมบูรณ์ของแผ่นเซรามิก[11] ด้วยวิธีการปรับปรุงคุณสมบัติของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์โดยปรับปรุงจำนวนของเวกเตอร์ที่ใช้อธิบายความแตกต่างของสถิติที่ได้จากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ และวิธีการกำหนดเวกเตอร์ของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์โดยก่อนหน้าที่จะทำการปรับปรุงได้ความหมายของภาพโดยแบ่งเป็น

1. ภาพจริงที่ได้จากกล้อง เป็นภาพที่มีการรบกวนจากระบบการถ่ายภาพเนื่องจากการรบกวนของแสงซึ่งจะทำให้ภาพที่ได้เกิดการกระจายตัวของค่าสีในแต่ละพิกเซล
2. ภาพของแผ่นเซรามิกที่ดี เนื่องจากไม่มีผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์แบบจึงกำหนดคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ดีโดยอ้างอิงตามเงื่อนไขของการควบคุมคุณภาพ

และได้นำเสนอผลโดยแบ่งเป็นผลที่ได้จากการตรวจสอบด้วยวิธีการแบบฟิชเชอร์(Fisher's method) โดยใช้สมการเวกเตอร์ของการแยกแยะที่ (2.1)

$$C(n) = \mu_n + \alpha \sigma_n \quad (2.1)$$

$$\text{เมื่อ } \mu_n = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M p_m(n), \sigma_n = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^M (p_m(n) - \mu_n)^2}{M-1}}, n=0,1,\dots,Ng-1 \text{ โดยค่า } n \text{ คือจำนวน}$$

เวกเตอร์ของการแยกแยะ และ M คือชนิดของเซรามิก

วิธีการนี้จะสามารถตรวจสอบเซรามิกที่มีลวดลายได้อย่างถูกต้องโดยประมาณ 75% และเซรามิกที่ไม่มีลวดลายได้ 69.8% สำหรับวิธีการที่นำเสนอเมื่อกำหนดฟังก์ชันในการตัดสินใจด้วยค่าคงที่สำหรับเวกเตอร์ของการแยกแยะตามสมการที่ 2-1 $\alpha = 2$ จะสามารถตรวจสอบได้ประมาณ 93.9% โดยมีความผิดพลาดในการตรวจสอบโดยประมาณ 6.1% และเมื่อกำหนดฟังก์ชันในการ

ตัดสินใจด้วยค่า $\alpha = 3$ จะสามารถตรวจสอบได้ประมาณ 93.9% โดยมีความผิดพลาดในการตรวจสอบโดยประมาณ 4.53%

ในปี ค.ศ.1999 Karkanis, Galousi และ Maroulis ได้นำเสนอการแยกแยะภาพถ่ายอวัยวะภายใน (Endoscopic image) ด้วยสเปกตรัมของพื้นผิว[14] โดยกำหนดค่าพื้นผิวหนึ่งหน่วยและลำดับของพื้นผิวหนึ่งหน่วยด้วยสมการ (2.2) และ (2.3) ตามลำดับ

$$E_i = \begin{cases} 0 & \text{if } V_i \leq (V_0 - \Delta) \\ 1 & \text{if } (V_0 - \Delta) < V_i \leq (V_0 + \Delta) \\ 2 & \text{if } V_i > (V_0 + \Delta) \end{cases} \quad (2.2)$$

$$N_{TU} = \sum_{i=1}^8 E_i \times 3^{i-1} \quad (2.3)$$

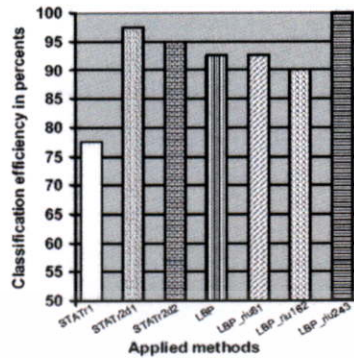
จากนั้นหาความสัมพันธ์ของฟังก์ชันตัดสินใจ 5 ค่าคือ Long Run Emphasis, Short Run Emphasis, Gray Level Nonuniformity, Run Length Nonuniformity และ Run Percentage ซึ่งผลที่ได้นั้นวิธีการนี้สามารถให้ผลการตรวจสอบที่มีความแม่นยำสูง

ในปี ค.ศ.2002 Onishi และคณะได้นำเสนอวิธีการตรวจสอบรูปแบบตำหนิบนแผงวงจรด้วยวิธีการเปรียบเทียบแบบขนานโดยไม่ใช้การจับวางแบบละเอียด[3] ซึ่งวิธีการที่ใช้เรียกว่า PCSR-G(Parallel Comparison with Staggered Reference for Grayscale Image) โดยพัฒนาจากวิธีการเดิมที่เรียกว่า PCSR-B(B = Binary) โดยวิธีการที่นำเสนอนี้อาจมีความแม่นยำสูงถึง 80% และความผิดพลาดต่ำกว่า 30% อย่างไรก็ตามหากทำการปรับค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมที่สุดโดยมนุษย์จะทำให้มีความแม่นยำสูงถึง 95% และความผิดพลาดน้อยกว่า 5%

ในปี ค.ศ.2003 Bonilha และคณะได้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์ภาพพื้นผิวของการสแกน MRI ที่สมองในส่วน Hippocampal Sclerosis [15] โดยได้วิเคราะห์หาความผิดปกติของสมองจากตัวอย่างจำนวน 78 ตัวอย่างด้วยโปรแกรม MAZDA การวิเคราะห์ภาพสมองในส่วนนี้มีความสำคัญต่อการรักษาเป็นอย่างยิ่งเนื่องจากเป็นส่วนที่ละเอียดอ่อน โดยผลที่ได้จะสามารถแยกแยะ Contralateral Hippocampi ออกจาก Hippocampi แบบปกติซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการวิเคราะห์ลักษณะโรคได้ อย่างไรก็ตามวิธีการนี้จะไม่สามารถแยกแยะได้เมื่อเทียบกับในลักษณะจุดต่อจุด

ในปี ค.ศ.2005 Novak และ Hocenski ได้นำเสนอวิธีการตรวจสอบตำหนิบนพื้นผิวเซรามิก [1] ด้วยตัวกระทำรูปแบบเฉพาะส่วนไบนารี(Local Binary Pattern, LBP) วิธีการนี้จะทำการพิจารณาค่าพิกเซลรอบข้างพิกเซลที่สนใจที่รัศมีต่าง ๆ ผลลัพธ์ของการพิจารณานี้จะทำให้ทราบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงของพิกเซลที่สนใจกับพิกเซลรอบข้างหรือไม่หากเกิดการเปลี่ยนแปลงก็จะทำให้สามารถตรวจพบตำหนิได้โดยง่าย สำหรับตัวอย่างเซรามิกที่นำมาพิจารณานั้นจะมีตำหนิที่มีขนาด

เล็กน้อยเมื่อเทียบกับขนาดของเซรามิกและผลที่ได้เมื่อเทียบกับวิธีการแบบดั้งเดิมนั้นพบว่าวิธีการนี้ให้ผลการตรวจสอบที่ดีกว่าดังได้แสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการแยกแยะด้วยวิธีการต่าง ๆ สำหรับเซรามิกตัวอย่าง[1]

ในปี ค.ศ.2006 Tomczak และ Mosorov ได้นำเสนอวิธีการตรวจสอบกำหนดนิบภาพพื้นผิวด้วยระบบทศนจักร[12]โดยใช้วิธีการคำนวณค่า Singular Value Decomposition(SVD) จากภาพพื้นผิวที่ถูกแบ่งออกเป็น 289 ส่วนที่ไม่ซ้อนทับกันจากนั้นใช้การแบ่งแยกแบบ Fuzzy C-Means(FCM) ในการจัดกลุ่มพื้นที่ออกเป็นสองกลุ่มและตัดสินกลุ่มของพื้นที่ด้วยระยะห่างแบบยูคลิดผลของการตรวจสอบสามารถตรวจสอบกำหนดนิบพื้นผิวต่าง ๆ และระบุตำแหน่งในการแยกกลุ่มของกำหนดนิบออกจากพื้นผิวปกติได้เมื่อใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

ในปี ค.ศ.2006 Wooten ได้นำเสนอการออกแบบโปรแกรมสำหรับทดสอบอุปกรณ์โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะเรียนรู้ถึงขีดจำกัดและสมรรถนะของโปรแกรมและอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบทศนจักร[13] โดยในบทความนี้ได้แนะนำถึงวิธีการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ สำหรับการเลือกใช้งานอุปกรณ์ในระบบทศนจักรเพื่อการเลือกอุปกรณ์อย่างถูกต้อง และนำเสนอถึงกลวิธีการออกแบบโปรแกรมเพื่อทำการตรวจสอบชิ้นงานด้วยระบบดังกล่าว

ในปี ค.ศ.2006 Barcelo, Montseny และ Sobrevilla ได้นำเสนอการกำหนดลักษณะของเม็ดเลือดด้วยพื้นผิวหนึ่งหน่วยและสเปกตรัมของพื้นผิวหนึ่งหน่วยแบบคลุมเครือ (Fuzzy Texture Unit and Fuzzy Texture Spectrum) [16] โดยปรับปรุงจากงานของ He และ Wang ซึ่งทำในปีค.ศ. 1990 [7] เพื่อทำการแยกแยะรูปแบบของเม็ดเลือดแดงและเม็ดเลือดขาวผลของวิธีการทำให้รายละเอียดของสเปกตรัมที่ดีกว่าวิธีการแบบดั้งเดิม อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ทำให้มีความซับซ้อนเพิ่มขึ้นอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยที่ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า สำหรับในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะได้นำเสนอการทดลองวิจัยและผลของการทดลองในการไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและตัวอย่างอ้างอิงใดๆของเอกสารทศนจักรนี้ไปใช้วิเคราะห์ภาพฐานร่องฮาร์ดดิสก์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพพื้นผิวโลหะเพื่อหาตำแหน่งหรือข้อบกพร่องในการผลิตฐานร่องฮาร์ดดิสก์ ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้นจะเห็นได้ว่ายังไม่มีผู้ใดศึกษาในหัวข้อนี้โดยจะนำเสนอขั้นตอนการทดลองวิจัยและผลในบทถัดไป

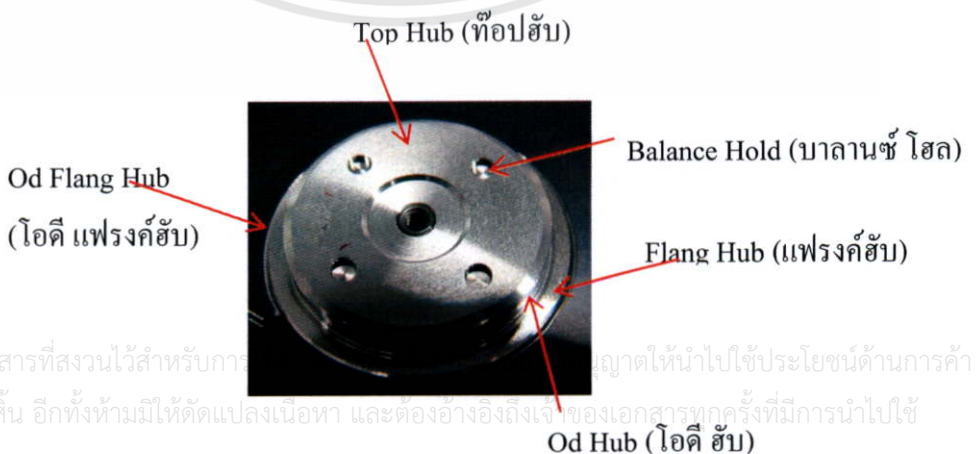
บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

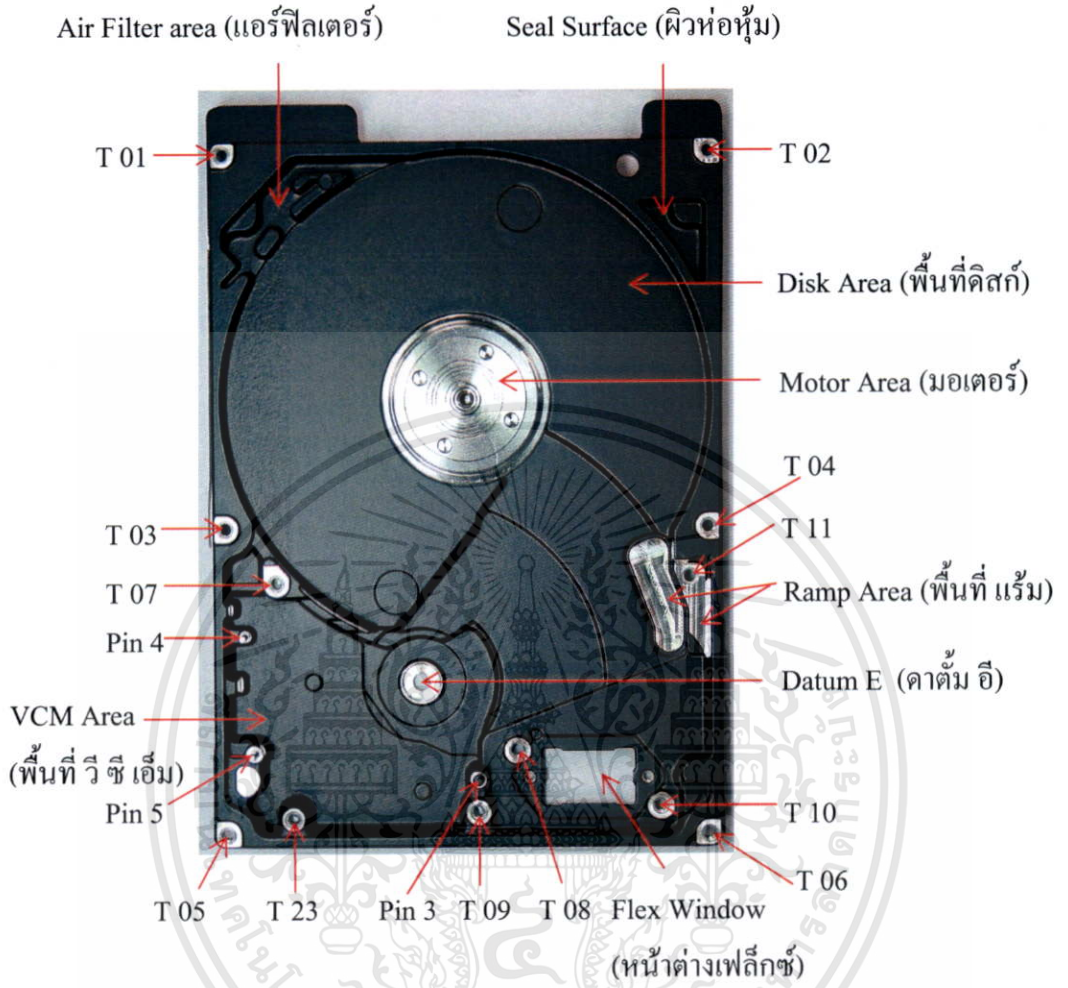
เนื่องจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการออกแบบและสร้างวิธีการประมวลผลภาพของระบบทัศนจักรที่ใช้ในการตรวจสอบหาตำหนิบนฐานรองฮาร์ดดิสก์ด้วยการวิเคราะห์พื้นผิวของโลหะ ดังนั้นในบทนี้จะได้นำเสนอส่วนประกอบของฐานรองฮาร์ดดิสก์ และการประมวลผลภาพซึ่งประกอบด้วยการประมวลผลเบื้องต้น และเทคนิคในการตรวจสอบหารอยขีดข่วนด้วยวิธีการวิเคราะห์พื้นผิวโลหะจากนั้นนำผลที่ได้จากการประมวลผลมาทำการแยกแยะรูปแบบของตำหนิด้วยระบบผู้เชี่ยวชาญ

3.1 ส่วนประกอบของฐานรองฮาร์ดดิสก์

ส่วนประกอบของฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่จะทำการวิเคราะห์มีส่วนประกอบที่สำคัญคือส่วนของฮับ (Hub) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งมีรายละเอียดปลีกย่อยต่าง ๆ ดังนี้ ส่วนผิวด้านบนเรียกว่า ท็อปฮับ (Top Hub) ซึ่งในส่วนนี้จะมีส่วนที่เรียกว่า บาลานซ์โฮล (Balance Hold) ซึ่งเป็นหลุม 4 หลุมใช้ในการควบคุมสมดุลในการหมุน ส่วนขอบที่ต่อจากผิวบนเรียกว่า โอดี แฟรงก์ฮับ (OD Flang Hub) ซึ่งส่วนนี้จะช่วยลดความคมของขอบลงโดยเป็นส่วนที่มีความชันเพื่อเชื่อมต่อกับขอบข้างที่เรียกว่า แฟรงก์ฮับ (Flang Hub) ในส่วนของฮับนี้มีความสำคัญอย่างมากในการผลิตฮาร์ดดิสก์จึงจะต้องตรวจสอบให้มีความสมบูรณ์สูงสุดก่อนที่จะนำไปประกอบร่วมกับส่วนจานแม่เหล็กบันทึกข้อมูลและส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งที่เรากำลังพิจารณาให้มีความสมบูรณ์อย่างมากเช่นกันก็คือส่วนของฐานรอง ซึ่งเป็นส่วนที่รองรับจานแม่เหล็กบันทึกข้อมูล(แพลตเตอร์: platter) ทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 พื้นที่ฮับ (Hub Area) [16]



รูปที่ 3.2 พื้นที่มอเตอร์ของฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้ว ส่วนภายใน
(Inside Area Motor of 2.5 inch harddisk) [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

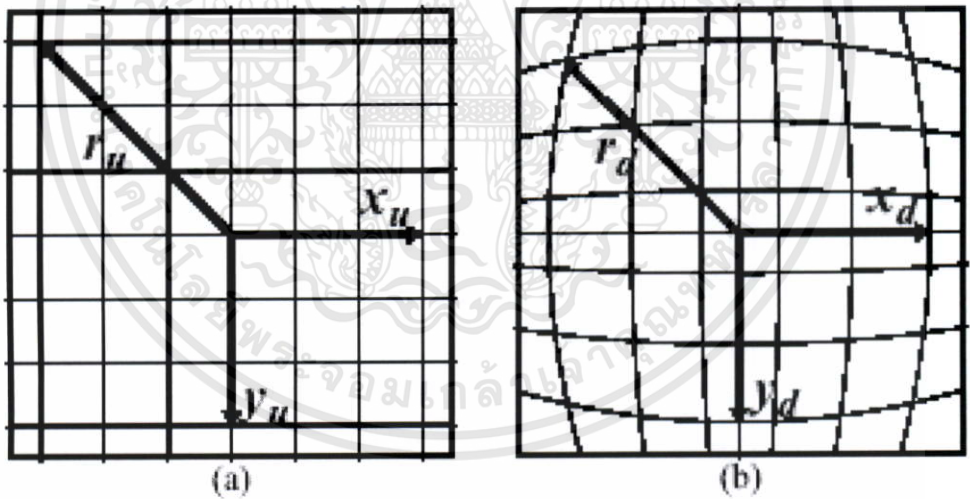
3.2 ความบิดเบือนภาพ (Barrel distortion)

ความบิดเบือนภาพเกิดขึ้นจากการลดลงของกำลังขยายของเลนส์ ด้วยเหตุที่ว่าค่าระยะห่างของแกนกับจุดบนภาพตามแนวรัศมีของจุดกึ่งกลางภาพเปลี่ยนไปจากเดิม ทำให้เกิดลักษณะของภาพที่เปลี่ยนแปลงไปในรูปแบบของถังน้ำมัน (Barrel) โดยสมการของความบิดเบือนแบบถังน้ำมัน [17] สามารถบรรยายได้ดังสมการที่ (3.1) และ (3.2)

$$r_u = r_d (c + k r_d^2) \quad (3.1)$$

$$r_u = \sqrt{x_u^2 + y_u^2} \quad (3.2)$$

โดยที่ r_u และ r_d เป็นระยะห่างจุดที่สังเกตกับจุดศูนย์กลางของความบิดเบือน (ปรกติแล้วจะเป็นกึ่งกลางภาพ) ของภาพที่ไม่บิดเบือนและภาพที่บิดเบือนตามลำดับ ดังเช่นแสดงในรูปที่ 3.3 ค่า k คือตัวแปรของความบิดเบือน และค่า c คือตัวแปรของอัตราขยาย ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของเลนส์ สมการ (3.1) และ (3.2) ใช้ในการปรับแก้ไขความบิดเบือนในวิทยานิพนธ์นี้โดยใช้ค่า $c = 0.85$ และ $k = 0.0000001$



รูปที่ 3.3 ความบิดเบือนแบบถังน้ำมัน [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การปรับปรุงฮิสโทแกรม (Histogram Equalization) [18]

การปรับปรุงฮิสโทแกรมนั้นทำการกำหนดขนาดของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ (Co-occurrence matrix) เนื่องจากขนาดของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธนั้นขึ้นกับค่าระดับสีเทาในภาพเริ่มต้น และหากกำหนดค่าพารามิเตอร์ของการปรับปรุงฮิสโทแกรมได้อย่างเหมาะสมจะช่วยให้เวลาในการคำนวณเมตริกซ์ร่วมสัมพันธลดลงและมีมาตรฐานมากขึ้น ทั้งยังช่วยลดความผิดพลาดอันเกิดจากสภาพแวดล้อมของการเก็บภาพต้นแบบก่อนนำมาทำการคำนวณได้อีกด้วย โดยวิธีการปรับปรุงฮิสโทแกรมสามารถทำได้ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. หาค่าผลรวมของจำนวนในฮิสโทแกรม
2. กำหนดค่ามาตรฐานด้วยการหารค่าระดับสีเทาแต่ละค่าด้วยค่าที่ได้จากขั้นตอนที่ 1
3. นำค่าที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 คูณด้วยค่าระดับสีเทาที่มากที่สุดในภาพเริ่มต้นและประมาณเป็นค่าจำนวนเต็มทีใกล้เคียงที่สุด
4. แทนที่ค่าระดับสีเทาเริ่มต้นด้วยค่าที่ได้จากขั้นตอนที่ 3

โดยได้แสดงตัวอย่างการคำนวณการแปลงฮิสโทแกรมในรูปที่ 3.4

ภาพตัวอย่าง (ระดับสีเทาที่ 1-8)

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

ขั้นตอนที่ 1 : หาค่าผลรวมของจำนวนในฮิสโทแกรม

ค่าระดับสีเทา	จำนวนของจุด (ค่าของฮิสโทแกรม)	ผลรวมค่าฮิสโทแกรม
1	5	5
2	3	8
3	1	9
4	1	10
5	5	15
6	1	16
7	2	18
8	2	20

ขั้นตอนที่ 2 : กำหนดค่ามาตรฐานด้วยการหารค่าระดับสีเทาแต่ละค่าด้วยค่าที่ได้จากขั้นตอนที่ 1

$\frac{5}{20}; \frac{8}{20}; \frac{9}{20}; \frac{10}{20}; \frac{15}{20}; \frac{16}{20}; \frac{18}{20}; \frac{20}{20}$

ขั้นตอนที่ 3 : นำค่าที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 คูณด้วยค่าระดับสีเทาที่มากที่สุดในภาพเริ่มต้นและ
ประมาณเป็นค่าจำนวนเต็มที่ได้ใกล้ที่สุด

$(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) \longrightarrow (2, 3, 4, 4, 6, 6, 7, 8)$

ขั้นตอนที่ 4 : แทนที่ค่าระดับสีเทาเริ่มต้นด้วยค่าที่ได้จากขั้นตอนที่ 3

2	2	6	6	8
3	4	6	7	2
4	6	7	2	3
8	6	2	3	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการคำนวณฮิสโทแกรม

3.4 พื้นผิวหนึ่งหน่วยและสเปกตรัมของพื้นผิว (Texture Unit Texture Spectrum)

3.4.1 พื้นผิวหนึ่งหน่วย (Texture Unit : TU)

ภาพในรูปแบบดิจิทัลอนันต์แต่ละพิกเซลของภาพจะมีพิกเซลล้อมรอบ 8 พิกเซลเมื่อต้องการพิจารณาองค์ประกอบย่อยโดยทำการตัดภาพออกเป็นส่วนย่อย ๆ ขนาด 3×3 พิกเซลเพื่อทำการพิจารณาโดยแทนพิกเซลทั้ง 9 ด้วย $V = \{v_0, v_1, \dots, v_8\}$ โดยที่ v_0 แทนค่าความเข้มของพิกเซลกลางของภาพย่อยและ $v_i, \{i=1, 2, \dots, 8\}$ เป็นค่าความเข้มของพิกเซลที่ล้อมรอบ และแทนค่าหนึ่งหน่วยของพื้นผิวด้วยเซตที่ประกอบด้วยองค์ประกอบทั้ง 8 ด้วย $TU = \{E_1, E_2, \dots, E_8\}$ เมื่อ $E_i, (i=1, 2, \dots, 8)$ กำหนดโดยสมการ (3.3)

$$E_i = \begin{cases} 0 & \text{if } v_i - v_0 < -T \\ 1 & \text{if } -T \leq v_i - v_0 \leq T \\ 2 & \text{if } T < v_i - v_0 \end{cases} \quad (3.3)$$

เมื่อ $i = (1, 2, \dots, 8)$ และ T คือค่าขีดแบ่งสำหรับการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงในพื้นผิวหนึ่งหน่วย(โดยใน[7,19] กำหนด $T = 0$) จากสมการค่าที่เป็นไปได้ของแต่ละองค์ประกอบ (E_i) มีเพียง 3 ค่าหรือ มีรูปแบบที่เป็นไปได้ของเมตริกซ์ย่อยทั้งหมดเป็น 3^8 หรือ 6,561 รูปแบบ

3.4.2 ลำดับของพื้นผิวขนาดหนึ่งหน่วย (Texture Unit Number : N_{TU})

การกำหนดลำดับหรือการสร้างเครื่องหมาย (label) ให้กับพื้นผิวขนาดหนึ่งหน่วยนั้นไม่ได้มีวิธีการเพียงวิธีเดียว โดยในงานวิจัยนี้เลือกรูปแบบของพื้นผิว 6,561 รูปแบบจากหัวข้อข้างต้นซึ่งการกำหนดลำดับให้พื้นผิวขนาดหนึ่งหน่วยจะกำหนดตามสมการที่ (3.4) [7,19]

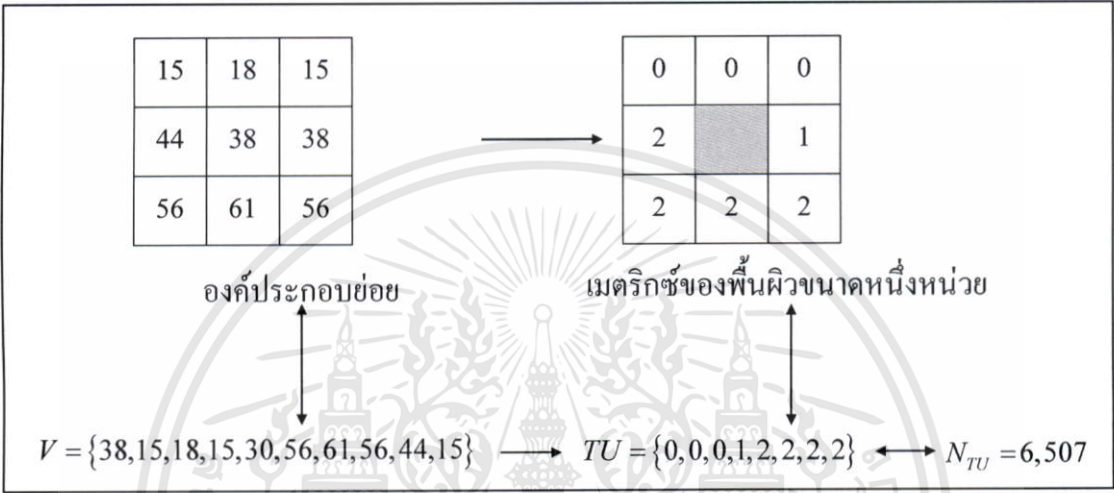
$$N_{TU} = \sum_{i=1}^8 E_i \cdot 3^{i-1} \quad (3.4)$$

เมื่อ N_{TU} แสดงค่าเฉพาะรูปแบบของพื้นผิวขนาดหนึ่งหน่วยและ E_i คือ องค์ประกอบที่ i^{th} ของเซตของพื้นผิวขนาดหนึ่งหน่วย $TU = \{E_1, E_2, \dots, E_8\}$ ด้วยเหตุนี้องค์ประกอบทั้ง 8 จะมีลำดับทวิคูณที่แตกต่างกันโดยกำหนด $i=1$ ที่มุมบนซ้ายของพื้นผิวหนึ่งหน่วยและเปลี่ยนแปลงค่า i ตามเข็มนาฬิกาดังแสดงในรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6 แสดงตัวอย่างของการแปลงพื้นผิวขนาดหนึ่งหน่วยและลำดับของการแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3^0	3^1	3^2
3^7		3^3
3^6	3^5	3^4

รูปที่ 3.5 คำนำน้หนักสำหรับการแปลงพื้นผิวขนาดหนึ่งหน่วยในการแสดงเครื่องหมายของพื้นผิวขนาดหนึ่งหน่วย



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการแปลงพื้นผิวขนาดหนึ่งหน่วยและค่าลำดับของรูปแบบที่ได้

3.4.3 สเปกตรัมของพื้นผิว (Texture Spectrum : TS)

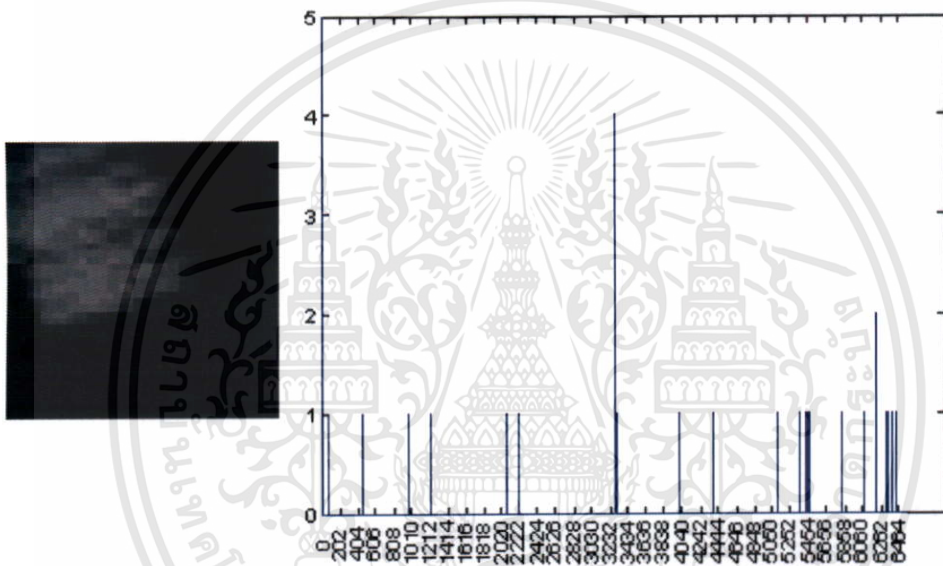
จากหัวข้อที่ 3.4.2 ได้กำหนดสมาชิกของเซตของพื้นผิวขนาดหนึ่งหน่วยจำนวน 6,561 รูปแบบซึ่งอธิบายถึงลักษณะพื้นผิวเฉพาะส่วนที่ได้จากค่าพิกเซลแต่ละพิกเซล นั่นก็คือความสัมพันธ์ระหว่างพิกเซลกลางกับพิกเซลรอบข้าง ดังนั้นค่าสถิติของความถี่ของการเกิดขึ้นในทุก ๆ พื้นผิวขนาดหนึ่งหน่วยไปจนถึงพื้นที่ขนาดใหญ่ของภาพจะแสดงรายละเอียดของพื้นผิว โดยสเปกตรัมของพื้นผิวแสดงความถี่ของการกระจายของพื้นผิวหนึ่งหน่วย[19]

โดยปกติภาพพื้นผิวจะประกอบด้วยองค์ประกอบสองส่วนคือ องค์ประกอบของพื้นผิว และ องค์ประกอบของสิ่งรบกวน(noise) หรือพื้นหลัง เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบพื้นผิวกับพื้นหลังมีสัดส่วนที่สูงกว่าจะทำให้ผลที่ได้ดีกว่าการแบ่งแยกโดยสายตามนุษย์ ในสเปกตรัมของพื้นผิวนั้นการเพิ่มขึ้นของปริมาณองค์ประกอบพื้นผิวของภาพจะมีผลต่อแนวโน้มของรูปแบบการกระจาย

โดยเฉพาะอย่างยิ่งการกระจายของค่าสูงสุด(peaks) ยิ่งไปกว่านั้นพื้นผิวที่แตกต่างกันจะประกอบด้วยพื้นผิวขนาดหนึ่งหน่วยที่เฉพาะเจาะจงที่มีการกระจายที่แตกต่างกันในสเปกตรัมของพื้นผิวนั้น ๆ จากเหตุผลข้างต้นพื้นผิวของภาพจึงสามารถแยกแยะได้ด้วยสเปกตรัมของพื้นผิว

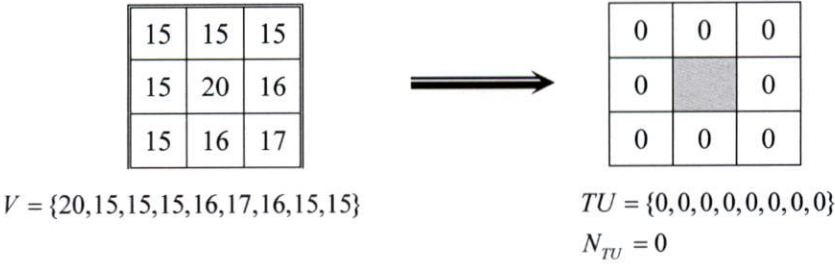
เราอาจกล่าวได้ว่าพื้นผิวเฉพาะส่วนสำหรับจุดที่อ้างถึงและจุดรอบข้างจะแสดงคุณสมบัติ ซึ่งสอดคล้องกับพื้นผิวนาหนึ่งหน่วย แม้ว่าลักษณะเฉพาะของพื้นผิวสำหรับภาพพื้นผิวที่เหมือนกันแสดงโดยการคำนวณสเปกตรัมของพื้นผิวนั้น ๆ ด้วยขนาดของหน้าต่างที่เหมาะสม โดยที่ขนาดของหน้าต่างที่ใช้จะขึ้นกับลักษณะพื้นฐานของภาพพื้นผิว

รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะของสเปกตรัมของภาพพื้นผิวตัวอย่างที่มีรอยขีดข่วนโดยรูป ก. คือตัวอย่างของพื้นผิวที่มีรอยขีดข่วน และ ข. คือสเปกตรัมของพื้นผิวหนึ่งหน่วยที่ได้จากรูป ก. ซึ่งจะพบว่าสเปกตรัมของพื้นผิวหนึ่งหน่วยมีการกระจายตัวสูงในบริเวณฝั่งซ้ายของค่าสเปกตรัมมาตรฐาน ทำให้ทราบว่าภาพส่วนย่อยนี้มีสิ่งแปลกปลอมเกิดขึ้น เนื่องจากหากภาพย่อยมีพื้นผิวที่เรียบเสมอกัน สเปกตรัมจะไม่เกิดการกระจายตัว

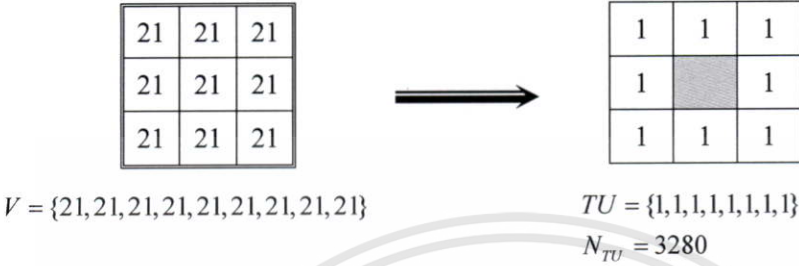


รูปที่ 3.7 ภาพพื้นผิวตัวอย่างและสเปกตรัมของภาพพื้นผิว (ก. ส่วนของฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่มีรอยขีดข่วนขนาด 40*40 pixel และ ข. สเปกตรัมของพื้นผิวแบบหนึ่งหน่วยของรูป ก.

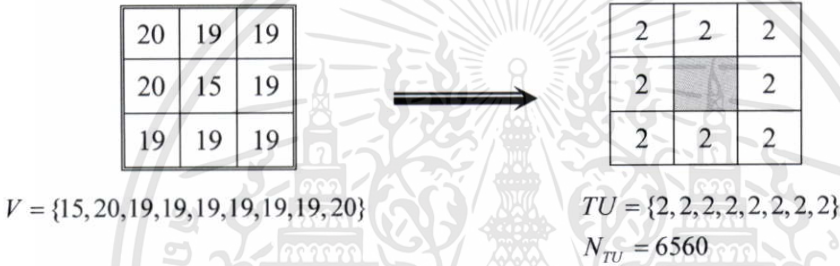
จากรูปที่ 3.7 สามารถอธิบายการกระจายตัวของสเปกตรัมของพื้นผิวหนึ่งหน่วยจากค่าลำดับของพื้นผิวหนึ่งหน่วยอย่างง่ายได้ดังนี้ ค่าลำดับพื้นผิวหนึ่งหน่วยที่เป็นเอกพจน์นั้นเกิดเมื่อพื้นผิวหนึ่งหน่วยนั้นมีความต่อเนื่องกันของพื้นผิวกล่าวถึงความเข้มแสงของพิกเซลรอบข้างกับพิกเซลกลางของพื้นผิวหนึ่งหน่วยนั้นมีความแตกต่างกันไม่เกินค่าขีดแบ่ง T ค่าลำดับของพื้นผิวหนึ่งหน่วยที่มีค่ามากกว่าค่าเอกพจน์นั้นเกิดเมื่อความเข้มแสงพิกเซลรอบข้างใด ๆ ตั้งแต่หนึ่งพิกเซลมีความแตกต่างกับพิกเซลกลางมากกว่าค่าขีดแบ่ง T และค่าลำดับของพื้นผิวหนึ่งหน่วยที่มีค่าน้อยกว่าค่าเอกพจน์จะเกิดเมื่อความเข้มแสงของพิกเซลรอบข้างใด ๆ มีความแตกต่างกับพิกเซลกลางน้อยกว่าค่าขีดแบ่ง T ดังแสดงในรูปที่ 3.8



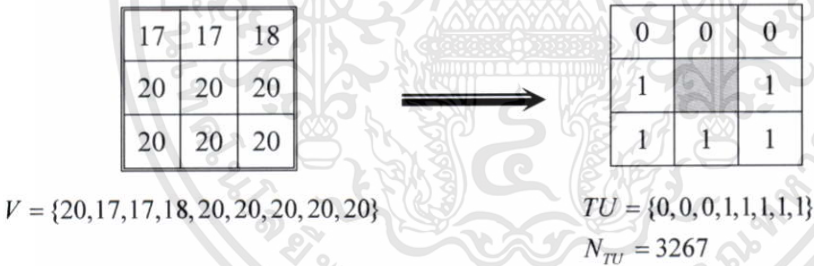
ก.



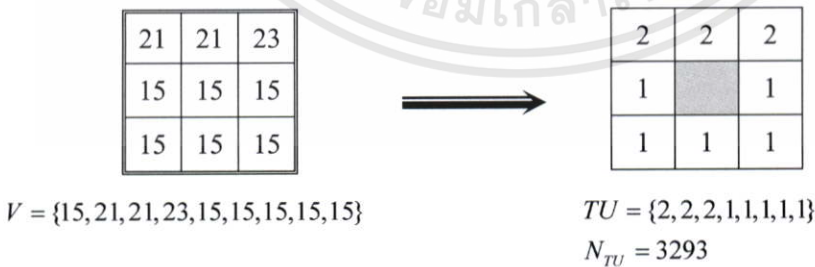
ข.



ค.



ง.



จ.

รูปที่ 3.8 ลักษณะการเกิดสเปกตรัมของพื้นผิวหนึ่งหน่วย (ค่า $T = 1$) (ก. ภาพพื้นผิวหนึ่งหน่วยเกิดจุดสว่างบริเวณกลาง ข. ภาพพื้นผิวหนึ่งหน่วยมีความเรียบเสมอกัน ค. ภาพพื้นผิวหนึ่งหน่วยเกิดจุดมืดบริเวณกลาง ง. ภาพพื้นผิวหนึ่งหน่วยเกิดตำหนิมืดบริเวณด้านบน จ. ภาพพื้นผิวหนึ่งหน่วยเกิดตำหนิสว่างบริเวณด้านบน)

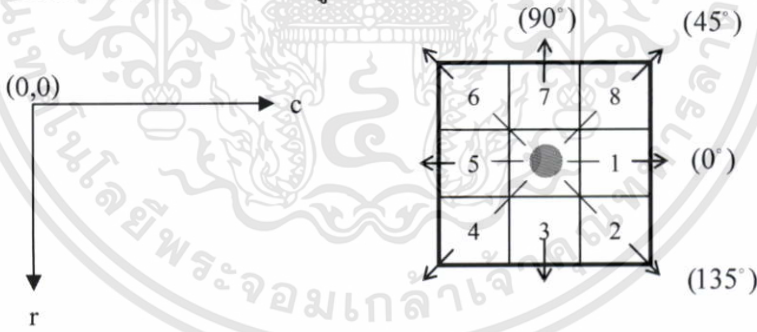
3.5 เมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ (Co-occurrence Matrix)

เมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ $C(i, j; d, \theta)$ เป็นเมตริกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ถึงความถี่ขององค์ประกอบพื้นผิวที่ติดกันสององค์ประกอบที่แบ่งแยกโดยระยะห่าง d ที่มีทิศทางเป็น θ ที่มีอยู่ในรูปภาพซึ่งเป็นจุดที่อยู่ ณ ตำแหน่ง i และ j สำหรับกรณีของระดับสีเทา (Gray level) การเกิดขึ้นในองค์ประกอบพื้นผิวคือจุดและคุณสมบัติเป็นระดับสีเทา สำหรับความสัมพันธ์ของทิศทางที่ 0° จะเป็น $C(i, j; d, 0^\circ)$ ค่าเฉลี่ยในความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนจากซ้ายไปขวาของระดับสีเทาที่ i ไปยังระดับสีเทาที่ j ณ ระยะห่าง d

โดยสามารถแสดงเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์นี้ได้จากสมการ (3.5) [20]

$$\begin{aligned}
 C(i, j; d, 0^\circ) &= \#\{((r, c), (r', c')) \in (L_r \times L_c) \times (L_r \times L_c) \\
 &\quad | r' - r = d, c' - c = 0, I(r, c) = i, I(r', c') = j\} \\
 C(i, j; d, 45^\circ) &= \#\{((r, c), (r', c')) \in (L_r \times L_c) \times (L_r \times L_c) \\
 &\quad (r' - r = d, c' - c = d) \quad \text{or} \quad (r' - r = -d, c' - c = -d) \\
 &\quad I(r, c) = i, I(r', c') = j\} \\
 C(i, j; d, 90^\circ) &= \#\{((r, c), (r', c')) \in (L_r \times L_c) \times (L_r \times L_c) \\
 &\quad r' - r = 0, |c' - c| = d, I(r, c) = i, I(r', c') = j\} \\
 C(i, j; d, 135^\circ) &= \#\{((r, c), (r', c')) \in (L_r \times L_c) \times (L_r \times L_c) \\
 &\quad (r' - r = d, c' - c = -d) \quad \text{or} \quad (r' - r = -d, c' - c = d) \\
 &\quad I(r, c) = i, I(r', c') = j\}
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

และแสดงทิศทางของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การจัดรูปแบบการคำนวณของพิกเซลในภาพ [20]

ผลที่ได้จะเป็นเมตริกซ์จัตุรัสและระยะห่างที่ใช้ในสมการที่ 3.5 สามารถแสดงได้โดยสมการที่ 3.6

$$d((r, c), (r', c')) = \max\{|r - r'|, |c - c'|\} \tag{3.6}$$

รูปที่ 3.10 ได้แสดงตัวอย่างการคำนวณเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์อย่างง่ายโดยยกตัวอย่างเมตริกซ์ขนาด 4×4 ซึ่งมีสมาชิกเป็นค่าระดับสีเทาดังแต่ 0 ถึง 3 รูปที่ 3.11 แสดงตัวอย่างของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ขนาด 4×5 ที่มีสมาชิกเป็นค่าระดับสีเทาดังแต่ 1-8 รูปที่ 3.12 แสดงตัวอย่างของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์จากส่วนย่อยของภาพฐานรณรงค์ที่ใช้งานวิจัย

0	0	1	1
0	0	1	1
0	2	2	2
2	2	3	3

(ก)

		Gray Level			
		0	1	2	3
Gray Level	0	#(0,0)	#(0,1)	#(0,2)	#(0,3)
	1	#(1,0)	#(1,1)	#(1,2)	#(1,3)
	2	#(2,0)	#(2,1)	#(2,2)	#(2,3)
	3	#(3,0)	#(3,1)	#(3,2)	#(3,3)

(ข)

$$C(i, j; 1, 0^\circ) = \begin{pmatrix} 4 & 2 & 1 & 0 \\ 2 & 4 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 6 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 2 \end{pmatrix}$$

(ค)

$$C(i, j; 1, 45^\circ) = \begin{pmatrix} 4 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & 2 & 4 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

(ง)

$$C(i, j; 1, 90^\circ) = \begin{pmatrix} 6 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 4 & 2 & 0 \\ 2 & 2 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 2 & 0 \end{pmatrix}$$

(จ)

$$C(i, j; 1, 135^\circ) = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 3 & 0 \\ 1 & 2 & 1 & 0 \\ 3 & 1 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 2 & 0 \end{pmatrix}$$

(ฉ)

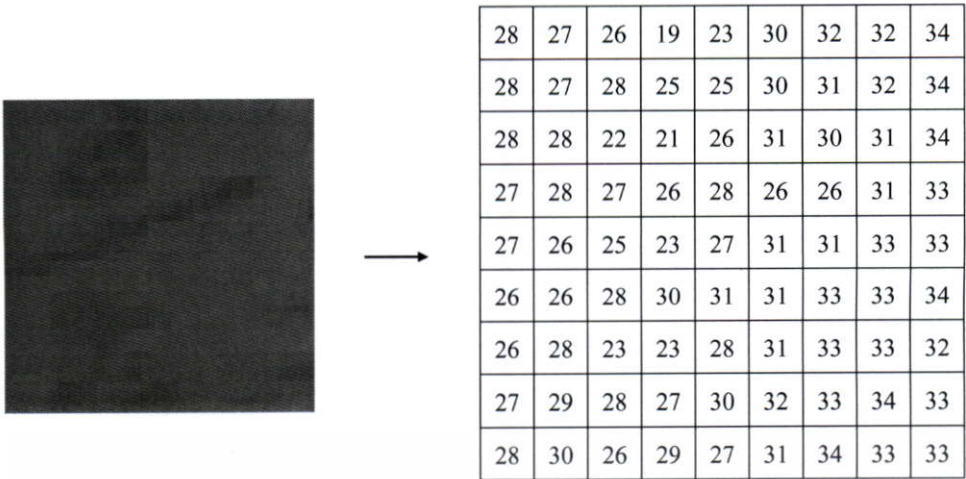
รูปที่ 3.10 ตัวอย่างสำหรับเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์โดยการคำนวณด้วยวิธีการของ Haralick (1979) [20]

(ก) ตัวอย่างของเมตริกซ์ ขนาด 4*4 ที่มีระดับสีเทาตั้งแต่ 0-3 (ข) รูปแบบมาตรฐานของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ $C(i, j; d, \theta)$ สำหรับระดับสีเทาที่ 0-3 ณ จุด ที่ $\#(i, j)$ คือจำนวนจุดของระดับสีเทาที่ i และ j มีความสัมพันธ์กัน (ค) $(d, \theta) = (1, 0^\circ)$ (ง) $(d, \theta) = (1, 45^\circ)$ (จ) $(d, \theta) = (1, 90^\circ)$ (ฉ) $(d, \theta) = (1, 135^\circ)$

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	2	0	0	1	0	0	0
2	0	0	1	0	1	0	0	0
3	0	0	0	0	1	0	0	0
4	0	0	0	0	1	0	0	0
5	1	0	0	0	0	1	2	0
6	0	0	0	0	0	0	0	2
7	2	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	1	0	0	0

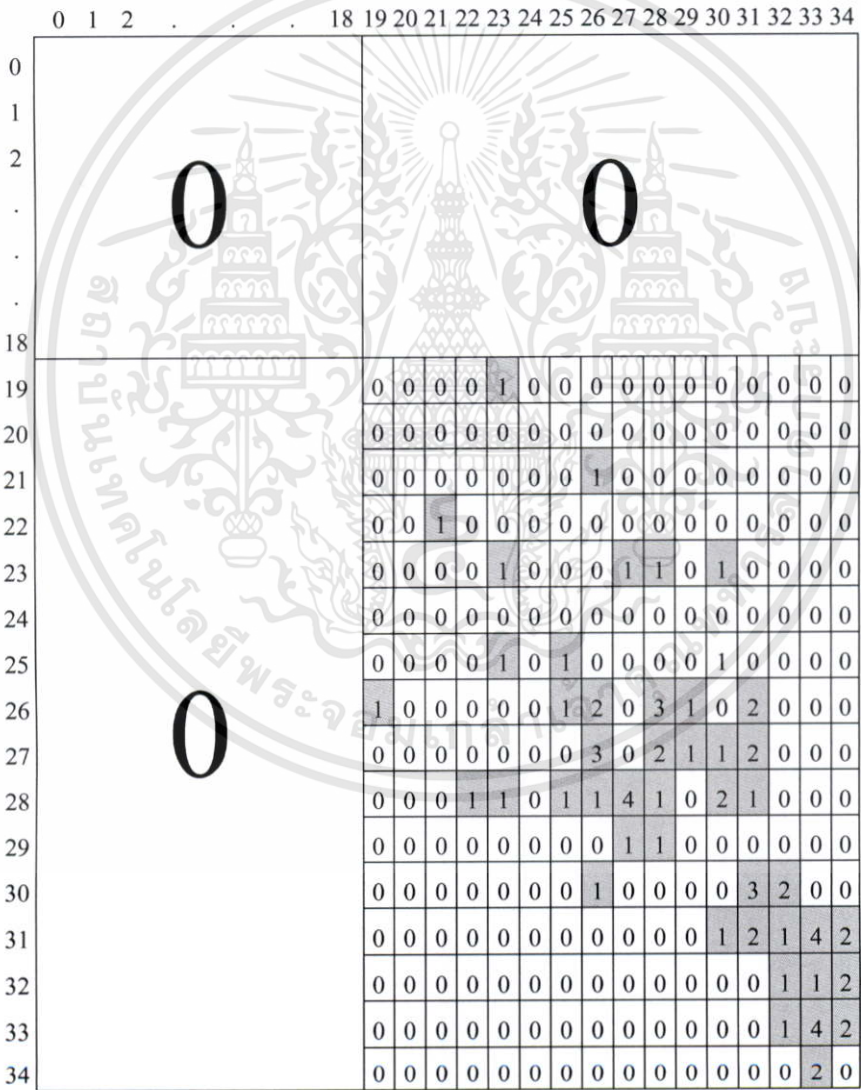
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งก่อนนำไปใช้

รูปที่ 3.11 ตัวอย่างการคำนวณเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ $C(i, j; 1, 0^\circ)$ สำหรับครึ่งด้านบนของเมตริกซ์ขนาด 4*5 ที่ประกอบด้วยค่าระดับสีเทาตั้งแต่ 1-8 [21]



ก.

ข.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.12 ตัวอย่างของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธที่ได้จากส่วนย่อยของภาพตัวอย่าง

(ก. ภาพส่วนย่อย ตัวอย่าง ข. เมตริกซ์ค่าระดับสีเทาที่ได้จากภาพส่วนย่อยตัวอย่าง

ค. เมตริกซ์ร่วม สัมพันธที่ได้จากภาพส่วนย่อยตัวอย่าง

3.6 สมการแสดงคุณลักษณะเด่น

สมการแสดงคุณลักษณะเด่นเป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าคุณลักษณะเด่นในรูปแบบต่าง ๆ โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้สมการแสดงคุณลักษณะเด่น 6 สมการดังสมการที่ (3.7) – (3.12) จากสมการคุณลักษณะเด่นที่ได้ศึกษาทั้งสิ้น 20 สมการดังแสดงในภาคผนวก ง ในการแยกแยะคุณลักษณะเด่นของคำหิ่นที่เกิดขึ้นโดยสมการที่ (3.7) เอนโทรปี(entropy)เป็นการวัดการกระจายขององค์ประกอบของเมตริกซ์ซึ่งหมายถึงการกระจายขององค์ประกอบพื้นผิว โดยหากพื้นผิวมีการกระจายตัวสูง (หยาบมาก) ค่าเอนโทรปีจะมีแนวโน้มที่สูงขึ้น ค่าความเฉื่อยหรือความเข้มแสง (inertia) ในสมการที่ (3.8) แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงโดยเมื่อมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงในภาพเกิดขึ้นมาก (ค่าของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์กระจายตัวออกจากเส้นทแยงมุมหลัก) ค่าความเฉื่อยจะมีค่าสูง สมการที่ (3.9) คือสมการสหสัมพันธ์(correlation)ซึ่งแสดงถึงความซับซ้อนของภาพพื้นผิวหากภาพพื้นผิวมีความซับซ้อนมากนั้นหมายถึงค่าสหสัมพันธ์จะมีค่าสูงตามไปด้วย

ค่าสหสัมพันธ์แบบ Haralick(Haralick's correlation) ในสมการที่ (3.10) เป็นค่าที่วัดความเกี่ยวเนื่องกันของค่าระดับสีเทาของภาพพื้นผิวระหว่างจุดที่พิจารณาสองจุด ค่าเอนโทรปีของผลต่าง (difference entropy) ในสมการที่ (3.11) เป็นการแสดงการแจกแจงจากองค์ประกอบของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์โดยการรวมค่าความเป็นไปได้เมื่อ $|i - j|$ เป็นค่าคงที่ และสมการที่ (3.12) ความแปรปรวนของผลต่าง(difference variance) แสดงความแปรปรวนของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์

$$\text{Entropy :} \quad - \sum_{i=1}^{Ng} \sum_{j=1}^{Ng} C(i, j) \log C(i, j) \quad (3.7)$$

$$\text{Inertia (Contrast) :} \quad \sum_{i=1}^{Ng} \sum_{j=1}^{Ng} (i - j)^2 C(i, j) \quad (3.8)$$

$$\text{Correlation :} \quad \sum_{i=1}^{Ng} \sum_{j=1}^{Ng} \frac{(i - \mu_i)(j - \mu_j) \cdot C(i, j)}{\sigma_i \sigma_j} \quad (3.9)$$

$$\text{Haralick's Correlation :} \quad \sum_{i=1}^{Ng} \sum_{j=1}^{Ng} \frac{(i \cdot j) C(i, j) - \mu_x \mu_y}{\sigma_x \sigma_y} \quad (3.10)$$

$$\text{Difference Entropy :} \quad - \sum_{i=2}^{2Ng} C_{x-y}(i) \log \{C_{x-y}(i)\} \quad (3.11)$$

$$\text{Difference Variance :} \quad \text{Variance of } C_{x-y} \quad (3.12)$$

โดยที่ :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 $C(i, j)$ คือ ค่าของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ ณ ตำแหน่งที่ (i, j) ในเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ C
 ไม่จำกัดทั้งด้านซ้ายและด้านขวา ไม่ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 Ng คือ ค่าระดับสีเทาสูงสุดที่ได้จากภาพพื้นผิว

$$C_{x-y}(k) = \sum_{i=1}^{Ng} \sum_{\substack{j=1 \\ |i-j|=k}}^{Ng} C(i, j) \quad k = 0, 1, \dots, Ng - 1$$

μ_x, μ_y คือ ค่ากลางของผลรวมของแต่ละแถวและคอลัมน์ตามลำดับ

σ_x, σ_y คือ ค่าผลรวมส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละแถวและคอลัมน์ตามลำดับ

$$\mu_i = \sum_{j=1}^M i \sum_{j=1}^N C(i, j)$$

$$\mu_j = \sum_{i=1}^N j \sum_{i=1}^M C(i, j)$$

$$\sigma_i = \sum_{j=1}^M (i - \mu_i)^2 \sum_{j=1}^N C(i, j)$$

$$\sigma_j = \sum_{i=1}^N (j - \mu_j)^2 \sum_{i=1}^M C(i, j)$$

โดยสาเหตุที่ต้องใช้สมการคุณลักษณะมากกว่า 1 สมการในการพิจารณาเนื่องจากสมการคุณลักษณะแต่ละสมการนั้นมีความเหมาะสมกับคำหันทที่แตกต่างกัน ซึ่งจะพบว่าหากเราเลือกใช้สมการแสดงคุณลักษณะเพียงสมการใดสมการหนึ่งจะไม่สามารถตรวจพบความผิดพลาดได้ หรืออาจตรวจพบแต่ไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นประเภทใด

จากคุณสมบัติของเมตริกซ์ร่วมสัมพัทธ์นั้นจากภาพ 1 ภาพเราจะสามารถสร้างเมตริกซ์ร่วมสัมพัทธ์ได้ 4 เมตริกซ์ตามทิศทางที่พิจารณาซึ่งจะมีประโยชน์ในการตรวจสอบคำหันทต่าง ๆ เพราะว่าการเกิดคำหันทนั้นเป็นแบบไม่เฉพาะเจาะจง (random) ทิศทาง ดังนั้นการนำเอาคุณสมบัติการพิจารณาทิศทางของเมตริกซ์ร่วมสัมพัทธ์มาช่วยในการพิจารณาจะช่วยให้การตรวจสอบได้ผลดียิ่งขึ้น ดังจะได้แสดงผลในบทที่ 5 ต่อไป

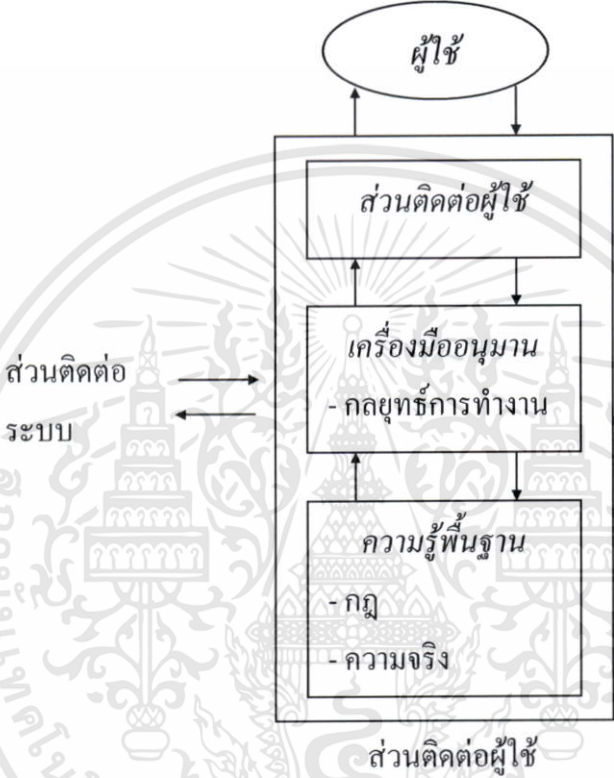
3.7 กฎของระบบผู้เชี่ยวชาญ (Rules-based Expert Systems)

ระบบที่ทดลองสร้างขึ้นนี้เป็นระบบที่ทำการวิเคราะห์บนฐานเวลาจริง (real time) โดยจะอาศัยการวิเคราะห์จากค่าคุณลักษณะที่ได้จากการคำนวณ การออกแบบระบบจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบ 5 ส่วน คือ โครงสร้างพื้นฐานความรู้ (knowledge base) ที่ป้อนให้ระบบเพื่อจัดทำรูปแบบและกฎสำหรับการตัดสินใจ ความจริง (facts) คือสิ่งที่เกิดขึ้นจริงในขณะที่ระบบทำงาน กฎ (rules) คือความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่เกิดขึ้นจริง เครื่องมือพัฒนา (inference engine) และส่วนติดต่อผู้ใช้ (Interface)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.1 โครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญ

ระบบผู้เชี่ยวชาญเป็นระบบที่ออกแบบโดยผู้เชี่ยวชาญในการทำงานนั้น ๆ โดยออกแบบระบบตามเงื่อนไขของการที่ต้องการ ซึ่งการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญนั้นจะมีส่วนติดต่อผู้ใช้งาน เงื่อนไขหรือกลยุทธ์ในการทำงาน และความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวกับงานนั้น โดยประกอบด้วยกฎ และความจริง ดังแสดงโครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 โครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญ[22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.2 ตัวอย่างกฎของระบบผู้เชี่ยวชาญ

การออกแบบกฎนี้จะขึ้นกับความคิดของผู้ออกแบบ บนพื้นฐานของความต้องการจากระบบ

Rules

IF Euclid_Entropy > Threshold

AND Euclid_Correlation > Threshold

THEN Scratch is detected

Facts

Euclid_Entropy AND Euclid_Correlation > Threshold

Conclusion

- ~ Scratch is detected.
- ~ Error Message shows on the monitor.
- ~ The Harddisk base return to fix the problem.

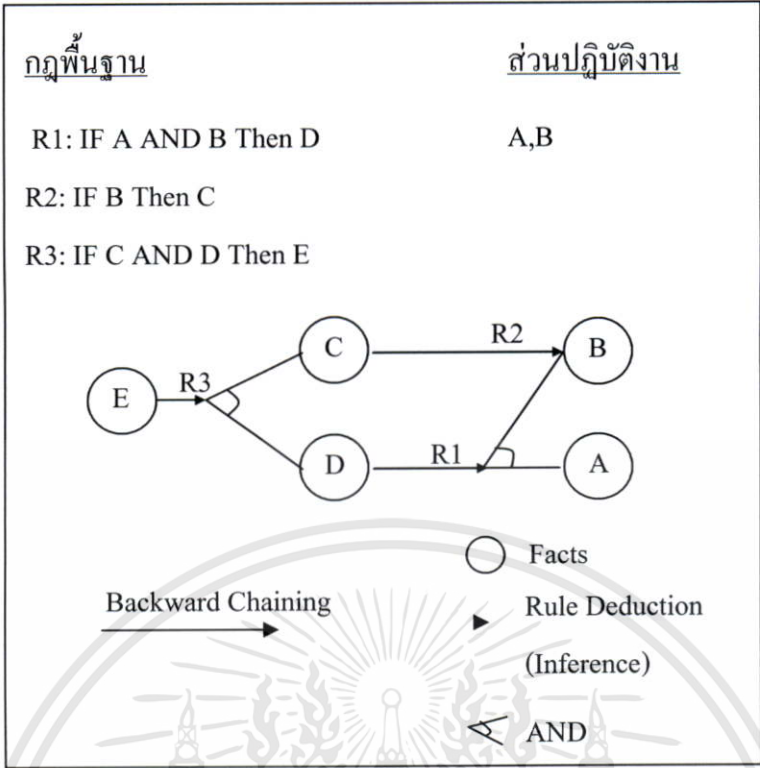
3.7.3 เครื่องมืออนุมาน (Inference Engine)

- (1) เลือกกฎที่จะนำมาใช้เปรียบเทียบ : เปรียบเทียบความตรงกัน
- (2) ตัวเลือก
- (3) การดำเนินการ

3.7.4 วิธีการออกแบบ

3.7.4.1 การออกแบบย้อนหลัง (ออกแบบตามผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้น)

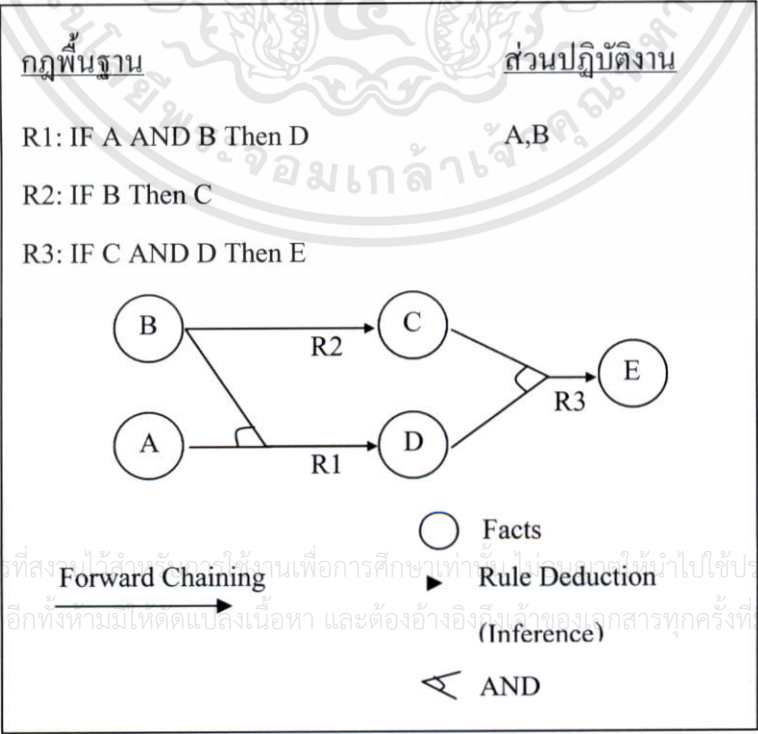
เครื่องมืออนุมานจะทำงานจากผลลัพธ์เพื่อพิสูจน์ว่าข้อมูลที่ได้รับเข้ามาเป็นจริงตามผลสรุปแสดงวิธีคิดนี้ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 การออกแบบย้อนหลัง[22]

3.7.4.2 การออกแบบไปข้างหน้า(ออกแบบตามข้อมูลที่ได้รับ)

เครื่องมืออนุมานจะเริ่มทำงานจากเงื่อนไขเริ่มต้นของส่วนปฏิบัติงานไปหาผลสรุปสุดท้ายดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 การออกแบบไปข้างหน้า[22]

ในบทถัดไปจะได้กล่าวถึงกระบวนการออกแบบระบบทัศนจักร โดยอ้างอิงตามเงื่อนไขการตรวจสอบของผู้ผลิต ตั้งแต่การเลือกใช้งานอุปกรณ์ที่สำคัญต่าง ๆ เช่น กล้อง และแหล่งกำเนิดแสง รวมไปถึงการออกแบบระบบโครงสร้างของการประมวลผลภาพซึ่งได้นำเอาทฤษฎีต่าง ๆ ที่ได้กล่าวในบทที่ 3 นี้ไปใช้งานเพื่อค้นหา และตรวจสอบคำหยาบอื่นอาจเกิดขึ้นได้ในกระบวนการผลิตฐานรองฮาร์ดดิสก์ซึ่งมีองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ได้แสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งองค์ประกอบต่าง ๆ ของฐานรองฮาร์ดดิสก์นั้นก็มีความสำคัญและเงื่อนไขของการตรวจสอบที่แตกต่างกันไปตามเงื่อนไขของผู้ผลิต อย่างไรก็ตามวิธีการต่าง ๆ ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้มีจุดมุ่งหมายหลักสำคัญในการตรวจสอบฐานรองฮาร์ดดิสก์ในส่วนของพื้นที่ดิสก์เป็นสำคัญ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบระบบทัศนจักร

บทนี้กล่าวถึงวิธีการเลือกใช้งานอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องและทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 มาใช้งานจริงโดยมุ่งเน้นวิธีการคิด (algorithm) เพื่อนำไปใช้ในบทที่ 6 สำหรับการทดลองและทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการที่ได้ออกแบบ

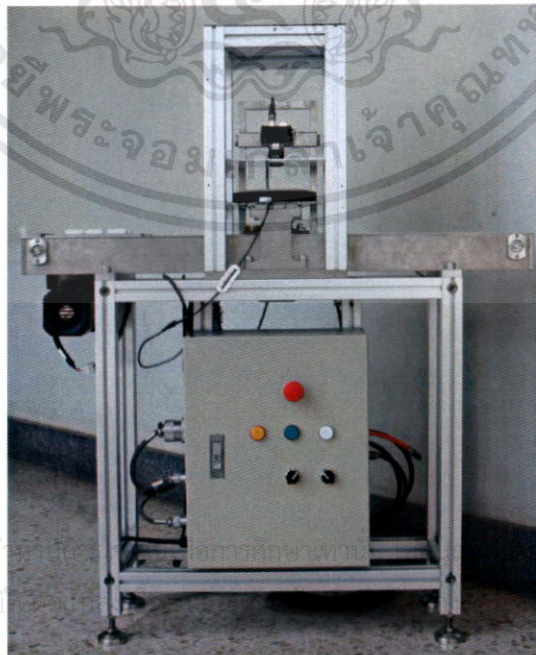
4.1 เงื่อนไขของเกณฑ์การออกแบบระบบ

ระบบที่ออกแบบนี้มีข้อกำหนดดังนี้

- 1) พื้นที่ในการตรวจสอบจำกัดเฉพาะพื้นที่ดิสก์ (Disk area) เท่านั้น
- 2) รอยขีดข่วนที่ตรวจสอบได้มีขนาดตั้งแต่ 1 มิลลิเมตรขึ้นไป เนื่องจากในพื้นที่ดิสก์รอยขีดข่วนที่มีขนาดไม่ถึง 1 มิลลิเมตรจะไม่สนใจ

4.2 การเลือกใช้งานอุปกรณ์สำหรับระบบทัศนจักร

ระบบทัศนจักร โดยทั่วไปจะประกอบด้วยกล้อง เลนส์ แหล่งกำเนิดแสง ระบบสายพานรางเลื่อน ชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบและระบบประมวลผล ดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยในบทนี้จะกล่าวถึงหัวใจสำคัญของระบบกล่าวคือ กล้อง เลนส์ และแหล่งกำเนิดแสง



รูปที่ 4.1 ระบบทัศนจักรที่ได้ออกแบบ[33]

4.2.1 กล้อง และเลนส์

กล้องและเลนส์ถือเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในระบบทัศนจักรและจะต้องเลือกใช้งานให้เหมาะสมที่สุดเนื่องจากหากเลือกใช้งานกล้องและเลนส์ไม่เหมาะสมแล้วก็จะเกิดปัญหาจากการรับภาพได้เช่น กล้องไม่สามารถรับภาพวัตถุได้ตลอดทั้งชิ้นงาน หรือภาพที่ได้มีความบิดเบือนสูง ซึ่งการเลือกใช้กล้องจะต้องทำการคำนวณค่าความละเอียดต่ำสุดของกล้อง (minimum sensor resolution) และคำนวณความยาวโฟกัสของเลนส์ ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (4.1) – (4.2) [13] ตามลำดับ

$$\text{Minimum Sensor Resolution} = \left(\frac{FOV}{MR} \right) \times 2 \quad (4.1)$$

$$\text{Focal Length} = \left(\frac{\text{SensorSize} \times WD}{FOV + \text{SensorSize}} \right) \quad (4.2)$$

เมื่อ FOV คือ ขนาดของชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบโดยอ้างอิงจากด้านที่ยาวที่สุด
 MR คือ ขนาดของวัตถุที่เล็กที่สุดที่ต้องการตรวจสอบ (ในที่นี้คือขนาดของ
 ด้านที่เล็กที่สุดที่ต้องการตรวจสอบ)
 WD คือ ระยะทำงานของกล้องวัดจากหน้าเลนส์ถึงผิวชิ้นงาน
 Sensor Size คือ ขนาดของตัวรับภาพโดยอ้างอิงจากด้านยาว

จากสมการ (4.1) และ (4.2) สามารถคำนวณขนาดของตัวรับภาพของกล้องและระยะโฟกัสของเลนส์โดยมีพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามข้อกำหนดของงานวิจัยดังนี้

- ชิ้นงานคือฐานรองฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้ว มีขนาด 100×70 มิลลิเมตร
- ระยะทำงานของกล้องจากรางเลื่อนที่ได้ออกแบบ 150 มิลลิเมตร
- ขนาดของด้านที่เล็กที่สุดที่ต้องการตรวจสอบคือ 1 มิลลิเมตร

$$\begin{aligned} \text{Minimum Sensor Resolution(Hor.)} &= \left(\frac{100 \times 2}{1} \right) \\ &= 200 \quad \text{pixel} \end{aligned} \quad (4.3)$$

$$\begin{aligned} \text{Minimum Sensor Resolution(Ver.)} &= \left(\frac{70 \times 2}{1} \right) \\ &= 140 \quad \text{pixel} \end{aligned} \quad (4.4)$$

จากสมการที่ (4.3) และ (4.4) จะพบว่าจะต้องเลือกกล้องที่มีขนาดความละเอียดของตัวรับภาพมากกว่า 200×140 พิกเซล ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้กล้องที่มีขนาดความละเอียดของตัวรับภาพที่ 780×580 พิกเซลและขนาดของตัวรับภาพเป็น 1/2 นิ้ว (6.47×4.81 มิลลิเมตร)

$$\begin{aligned}\text{Focal Length} &= \frac{6.47 \times 150}{100 + 6.47} \\ &= 9.115 \quad \text{mm. or} \\ \text{Focal Length} &= \frac{4.81 \times 150}{70 + 4.81} \\ &= 9.644 \quad \text{mm.}\end{aligned}$$

(4.5)

จากสมการที่ (4.5) พบว่าต้องใช้งานเลนส์ที่มีระยะโฟกัสไม่เกิน 10 มิลลิเมตรจึงเลือกใช้งานเลนส์ที่ระยะโฟกัส 6 มิลลิเมตร ขนาดหน้าเลนส์ 1/2 นิ้ว

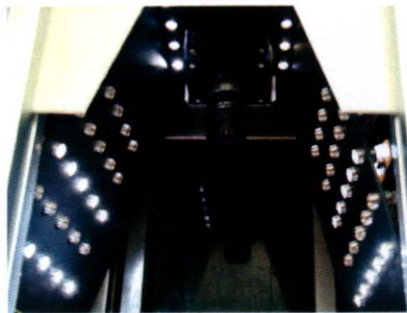
สำหรับรายละเอียดอื่น ๆ ในการเลือกใช้งานกล้องและเลนส์สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ในภาคผนวก ก

4.2.2 แหล่งกำเนิดแสง

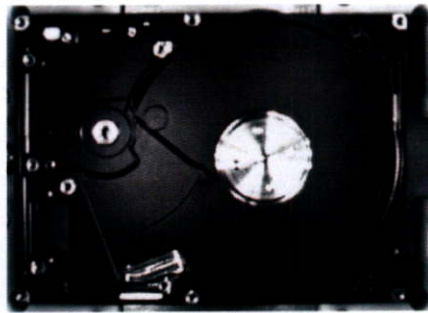
แหล่งกำเนิดแสงเป็นอีกองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญต่อระบบทัศนจักรเนื่องจากแหล่งกำเนิดแสงเป็นตัวแปรที่จะทำให้กล้องสามารถจับภาพได้หรือไม่ได้ หากเลือกใช้งานแหล่งกำเนิดแสงไม่เหมาะสมก็จะทำให้กล้องไม่สามารถจับภาพที่สมบูรณ์ได้ เช่นเกิดแสงสะท้อนเกิดเงาบนภาพ ซึ่งการพัฒนาแหล่งกำเนิดแสงนี้เป็นองค์ความรู้ที่ถูกครอบคลุมด้วยสิทธิบัตร ผู้วิจัยได้ทำการทดลองพัฒนาแหล่งกำเนิดแสงเพื่อทดลองใช้งาน 3 รุ่น ซึ่งในรุ่นแรกที่ได้พัฒนายังไม่ถูกครอบคลุมด้วยสิทธิบัตร ดังแสดงในรูปที่ 4.2 4.3 และ 4.4 อย่างไรก็ตามแหล่งกำเนิดแสงทั้งสามรุ่นที่ได้ทำการพัฒนายังไม่เหมาะสมต่อรูปแบบของงานเนื่องจากก่อให้เกิดการสะท้อนของแสงทำให้ภาพที่ได้ไม่สามารถนำมาตรวจสอบได้ โดยสาเหตุหลักมีสองประการคือ รูปแบบและการจัดวางไดโอดเปล่งแสงของแหล่งกำเนิดแสงไม่เหมาะสมและคุณภาพของไดโอดเปล่งแสงที่ใช้งานนั้นไม่ดีพอ กล่าวคือไดโอดเปล่งแสงแต่ละตัวที่ใช้งานมีความเข้มแสงที่ระดับแรงดันเดียวกันไม่เท่ากันทำให้แสงที่ได้ไม่สม่ำเสมอ

จากปัญหาที่ได้กล่าวมาข้างต้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบวงแหวนองศาต่ำ (Low-angle ring lights) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 170 มิลลิเมตร โดยได้แสดงรูปแบบของแหล่งกำเนิดแสงนี้ดังรูปที่ 4.5 และ แสดงคุณสมบัติดังรูปที่ 4.6

สำหรับรายละเอียดและวิธีการในการเลือกใช้งานแหล่งกำเนิดแสงแบบต่าง ๆ สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ในภาคผนวก ข



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.2 (ก) แหล่งกำเนิดแสงที่ได้พัฒนาขึ้นรูปแบบที่ 1 (ไม่สามารถใช้งานได้ดีเนื่องจากรูปแบบการจัดเรียงไดโอดเปล่งแสงไม่เหมาะสมและไม่สมมาตร) (ข) ภาพที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงแบบที่ 1



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.3 (ก) แหล่งกำเนิดแสงที่ได้พัฒนาขึ้นรูปแบบที่ 2 (ไม่สามารถใช้งานได้ดีเนื่องจากคุณภาพของไดโอดเปล่งแสง) (ข) ภาพที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงแบบที่ 2



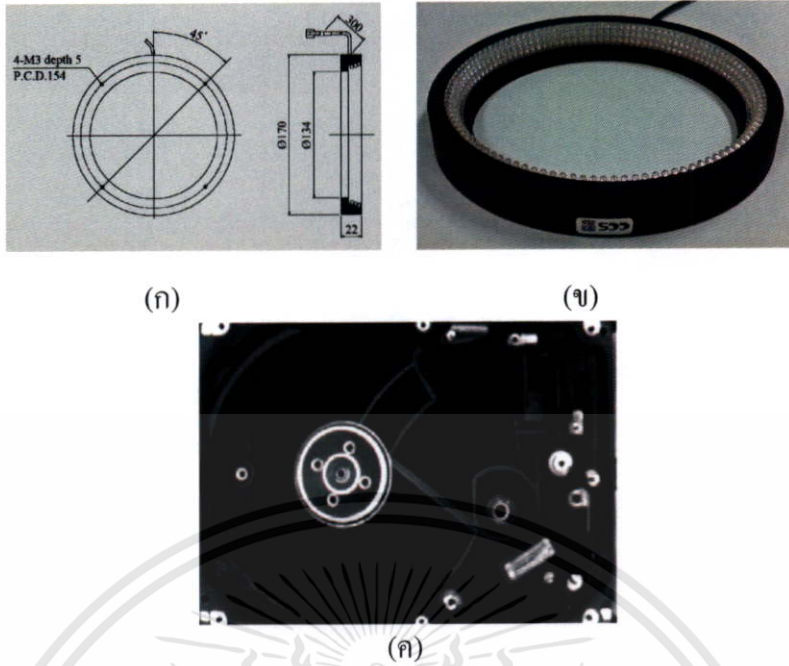
(ก)



(ข)

รูปที่ 4.4 (ก) แหล่งกำเนิดแสงที่ได้พัฒนาขึ้นรูปแบบที่ 3 (ไม่สามารถใช้งานได้ดีเนื่องจากคุณภาพของไดโอดเปล่งแสง) (ข) ภาพที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงแบบที่ 3 (ส่วนเงาคำเป็นผลจาก

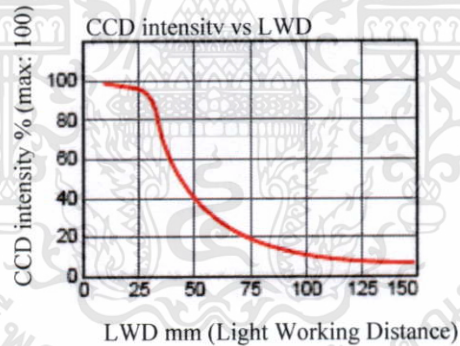
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไดโอดเปล่งแสงให้แสงสว่างค่า)
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



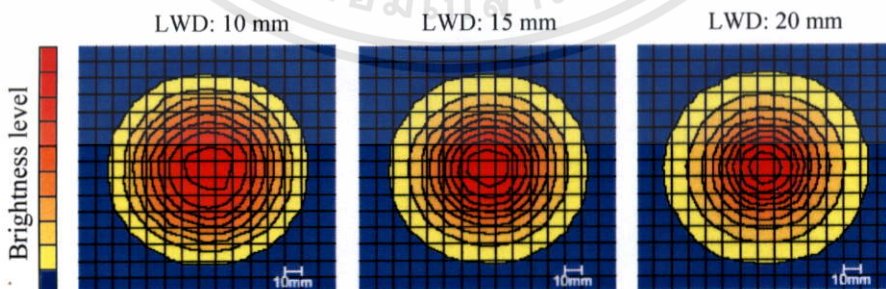
รูปที่ 4.5 (ก) โครงสร้างแหล่งกำเนิดแสงแบบวงแหวนของขนาด 170 มิลลิเมตร [23]

(ข) ตัวอย่างของแหล่งกำเนิดแสงแบบวงแหวนของขนาด 170 มิลลิเมตร

(ค) ภาพที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงแบบวงแหวนของขนาด 170 มิลลิเมตร



(ก)



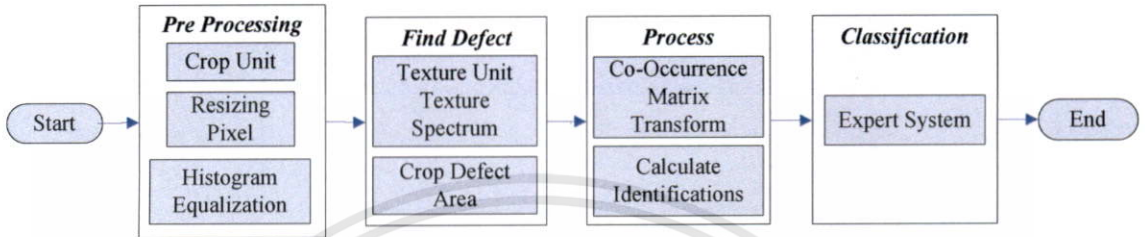
(ข)

รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางความสว่างและการกระจายแสงของแหล่งกำเนิดแสงแบบวงแหวนของขนาด 132 มิลลิเมตร

(ก. ความไวต่อแสงของตัวรับภาพเทียบกับระยะทางของแหล่งกำเนิดแสง ข. อัตราการกระจายความเข้มแสง[23])

4.3 โครงสร้างการประมวลผล

หัวข้อนี้กล่าวถึงการนำทฤษฎีการวิเคราะห์พื้นผิวสำหรับการตรวจสอบตำหนิขนาดเล็กบนภาพฐานรอนส์การ์ดิสก์ที่ได้แนะนำในบทที่ 3 มาใช้งาน โดยระบบที่ได้ออกแบบแสดงในรูปที่ 4.7 โดยได้ทำการทดลองและพัฒนาโปรแกรมด้วยโครงสร้างการทำงานแบบ .net (dot net framework)



รูปที่ 4.7 โครงสร้างของระบบการประมวลผล

4.3.1 การประมวลผลเบื้องต้น

4.3.1.1 การตัดขอบภาพและ ปรับขนาดภาพ

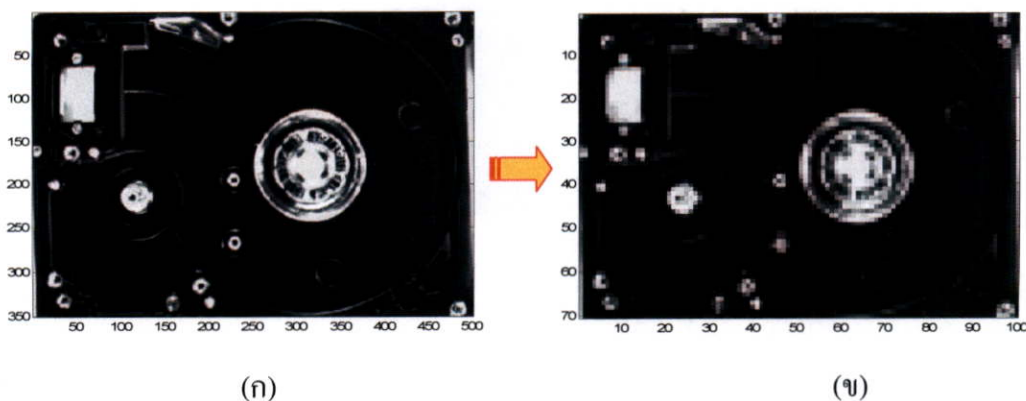
เนื่องจากกล้องและเลนส์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีคุณลักษณะไม่ตรงกับค่าที่คำนวณได้จึงทำให้ภาพที่ได้ไม่ตรงกับความต้องการของระบบกล่าวคือขอบเขตการรับภาพของเลนส์มีขนาดกว้างกว่าขนาดของวัตถุจริงดังนั้นก่อนที่จะทำการประมวลผลใด ๆ จึงจำเป็นต้องตัดส่วนเกินของภาพออกเสียก่อน และเพื่อให้่ายในการตรวจสอบหาตำแหน่งของตำหนิตามข้อตกลงของงานวิจัย (ขนาดตั้งแต่ 1 มิลลิเมตร) จึงทำการปรับขนาดของภาพโดยให้ 1 พิกเซลมีขนาดเท่ากับ 1 มิลลิเมตรบนชิ้นงานจริงดังสมการที่ (4.6)

$$\bar{g}(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^v \sum_{j=1}^h g(i, j)}{v \cdot h} \quad (4.6)$$

เมื่อ $g(i, j)$ คือค่าระดับสีเทาของภาพต้นแบบ $\bar{g}(x, y)$ คือค่าระดับสีเทาใหม่ของจุดที่ถูกปรับขนาด v และ h คือจำนวนพิกเซลต่อ 1 มิลลิเมตรของชิ้นงานจริงซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (4.7) และ สมการที่ (4.8) และแสดงผลของการปรับขนาดของภาพดังรูปที่ 4.7

$$h = \frac{\text{no. of pixel in horizontal}}{\text{width of HDD base}} \quad (4.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ (4.8)



รูปที่ 4.8 การปรับขนาดก่อนการประมวลผล

(ก. ภาพต้นแบบ ข. ภาพที่ถูกปรับขนาด 1 พิกเซลต่อ 1 มิลลิเมตร)

4.3.1.2 การปรับปรุงฮิสโทแกรม

เพื่อให้การคำนวณในขั้นต่อไปสามารถกำหนดพารามิเตอร์ได้ง่ายและมีมาตรฐานเดียวกัน จึงต้องกำหนดมาตรฐานของจุดสีของภาพทุกภาพให้มีมาตรฐานเดียวกันโดยเลือกใช้การปรับปรุงฮิสโทแกรมดังได้นำเสนอวิธีการในหัวข้อที่ 3.3

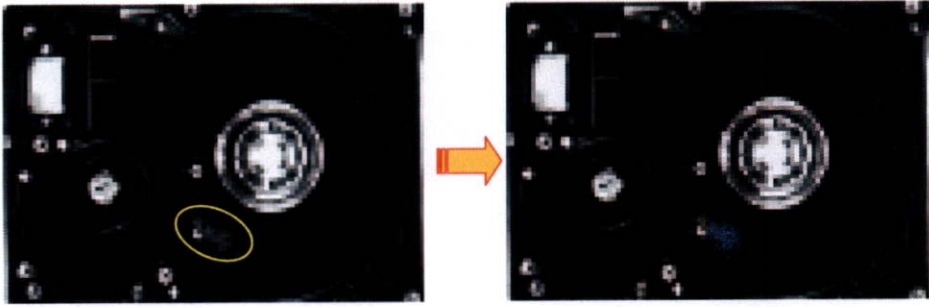
4.3.2 การค้นหาตำแหน่งที่มีตำหนิ

4.3.2.1 พื้นผิวหนึ่งหน่วยและสเปกตรัมของพื้นผิวหนึ่งหน่วย

ในระบบทัศนจักรสำหรับอุตสาหกรรมความเร็วในการตรวจสอบความผิดพลาดจากการผลิตถือเป็นสิ่งสำคัญ ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มความเร็วการพิจารณาเพื่อค้นหาตำแหน่งที่มีตำหนิเกิดขึ้นจึงเป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งหากตรวจสอบไม่พบตำแหน่งของตำหนิบนภาพระบบก็จะทำให้ไม่เสียเวลาในการประมวลผลในส่วนถัดไป โดยในการตรวจสอบภาพพื้นผิว [18,24] นั้นเป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่าการประมวลผลด้วยเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ตลอดทั้งภาพใช้เวลาในการประมวลผลนาน[6]

สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้การค้นหาตำแหน่งที่มีตำหนิด้วยวิธีการแบบพื้นผิวหนึ่งหน่วยและสเปกตรัมของพื้นผิวหนึ่งหน่วยเนื่องจากเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อนง่ายในการประยุกต์ใช้งานและมีความรวดเร็วในการค้นหาตำแหน่งที่มีตำหนิ ซึ่งได้นำเสนอในหัวข้อที่ 3.4 หากระบบตรวจพบตำหนิก็จะทำการแจ้งเตือนว่าฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่พิจารณาอยู่ไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพ โดยตัวอย่างของการค้นหาตำแหน่งที่มีตำหนิด้วยวิธีการดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 4.8 โดยในรูปซ้ายมือแสดงรูปต้นแบบซึ่งจะพบว่าบริเวณที่วงคือตำแหน่งที่มีรอยขีดข่วน และรูปขวามือเป็นเอกสารเป็นเอกสารที่ส่งงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การแสดงผลการตรวจพบด้วยโปรแกรม

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อผู้อื่น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 การค้นหาตำแหน่งที่เกิดตำหนิด้วยการพิจารณาพื้นผิวแบบหนึ่งหน่วยและสเปกตรัมของพื้นผิว

4.3.2.2 การแบ่งพื้นที่การประมวลผล

หลังจากที่พบตำหนิแล้วจะทำการแบ่งพื้นที่ในการตรวจสอบตำหนิว่าเป็นประเภทใด โดยเมื่อระบบค้นพบตำแหน่งที่เกิดตำหนิแล้วจะตรวจสอบว่าบริเวณใกล้เคียงนั้นมีตำหนิที่ต่อเนื่องกันหรือไม่และจะทำการตัดส่วนของภาพโดยพยายามให้ตำหนิอยู่ ณ บริเวณกึ่งกลางส่วนย่อยนั้น สำหรับพื้นที่ในการประมวลผลของระบบนั้นจากการทดลองและสังเกตเบื้องต้นพบว่าขนาดของพื้นที่ที่จะทำการประมวลผลด้วยเมตริกซ์ร่วมสัมพัทธ์จะต้องมีขนาดไม่เกินกว่า 20 เท่าของตำหนิที่จะเกิดขึ้นหรือขนาดของตำหนิจะต้องไม่น้อยกว่า 5% เมื่อเทียบกับพื้นที่ทั้งหมด โดยอ้างอิงจากขนาดของตำหนิที่ต้องการตรวจสอบ กล่าวคือตำหนิขนาดเล็กที่สุดที่ต้องการตรวจสอบจะมีขนาด 1 มิลลิเมตรดังนั้นขนาดของพื้นที่ย่อยที่จะประมวลผลจะต้องไม่เกิน 2 ตารางเซนติเมตร

4.3.3 การประมวลผลเพื่อแยกประเภทของตำหนิ

หลังจากที่ระบบได้ทำการแจ้งเตือนการไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพเพื่อให้ทราบว่ามีตำหนินั้นเป็นรอยขีดข่วน คราบไขมันหรือรอยปากกาผู้วิจัย ได้นำเอาคุณสมบัติของเมตริกซ์ร่วมสัมพัทธ์ และสมการแสดงคุณลักษณะเด่นมาทำการพิจารณาประเภทของตำหนิดังจะได้กล่าวต่อจากนี้

4.3.3.1 การแปลงเมตริกซ์ร่วมสัมพัทธ์

การพิจารณาคุณสมบัติของพื้นผิวในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้เมตริกซ์ร่วมสัมพัทธ์ที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 3.5 ซึ่งจะช่วยให้ทราบความสัมพันธ์เบื้องต้นของพื้นผิวที่กำลังพิจารณาว่ามีความต่อเนื่องกันของพื้นผิวหรือมีความหยาบมากน้อยเพียงไร โดยเมตริกซ์ร่วมสัมพัทธ์จะถูกใช้ในการคำนวณหาคุณลักษณะเฉพาะของภาพต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3.2 สมการคุณลักษณะเด่น

หัวข้อนี้เป็นการนำเอาคุณสมบัติของสมการคุณลักษณะเด่นที่ได้แสดงในหัวข้อที่ 3.6 มาใช้ในการแบ่งแยกคำหิประเภทต่าง ๆ ออกจากกัน โดยสมการคุณลักษณะเด่นแต่ละสมการจะมีผลต่อคำหิแต่ละรูปแบบที่แตกต่างกันเนื่องมาจากรูปแบบของคำหิโดยจะสังเกตเห็นได้จากตัวอย่างของภาพฐานรอนส์คิสต์ใน ภาคผนวก ค. ดังนี้

- รอยขีดข่วน เป็นรอยที่เป็นลักษณะเส้นอาจจะมากกว่า 1 เส้นในหนึ่งกลุ่ม และมีความยาวที่แตกต่างกัน
- คราบไขมัน เป็นรอยที่มีลักษณะของความเป็นกลุ่มสูงจะไม่เป็นเส้นเด่นชัด และมีความเข้มแสงที่ใกล้เคียงกับพื้นหลัง
- รอยปากกา เป็นรอยที่มีความสว่างของรอยที่แตกต่างจากรอยขีดข่วนและมีลักษณะเส้นที่ใหญ่กว่าซึ่งจะต่อเนื่องกันเป็นกลุ่ม

จากเหตุผลข้างต้นและการสังเกตผลจากค่าเอกลักษณ์ต่าง ๆ จึงสามารถจัดกลุ่มสมการคุณลักษณะเด่นเพื่อใช้ในการแยกแยะคำหิแต่ละประเภทออกจากกัน ดังนี้

- สมการเอนโทรปี และสมการสหสัมพันธ์(Correlation) จะใช้ร่วมกันในการแยกกลุ่มของภาพที่เกิดรอยขีดข่วนออกจากกลุ่มของภาพที่สมบูรณ์
- สมการเอนโทรปีของผลต่าง(Difference Entropy) และสมการ ความเฉื่อย(Inertia) จะใช้ร่วมกันในการแยกกลุ่มของภาพที่มีคราบไขมันออกจากกลุ่มของภาพที่สมบูรณ์
- สมการความแปรปรวนของผลต่าง(Difference Variance) และสมการสหสัมพันธ์ของ Haralick (Haralick's Correlation) จะใช้ร่วมกันในการแยกกลุ่มของภาพที่มีรอยปากกาออกจากกลุ่มของภาพที่สมบูรณ์

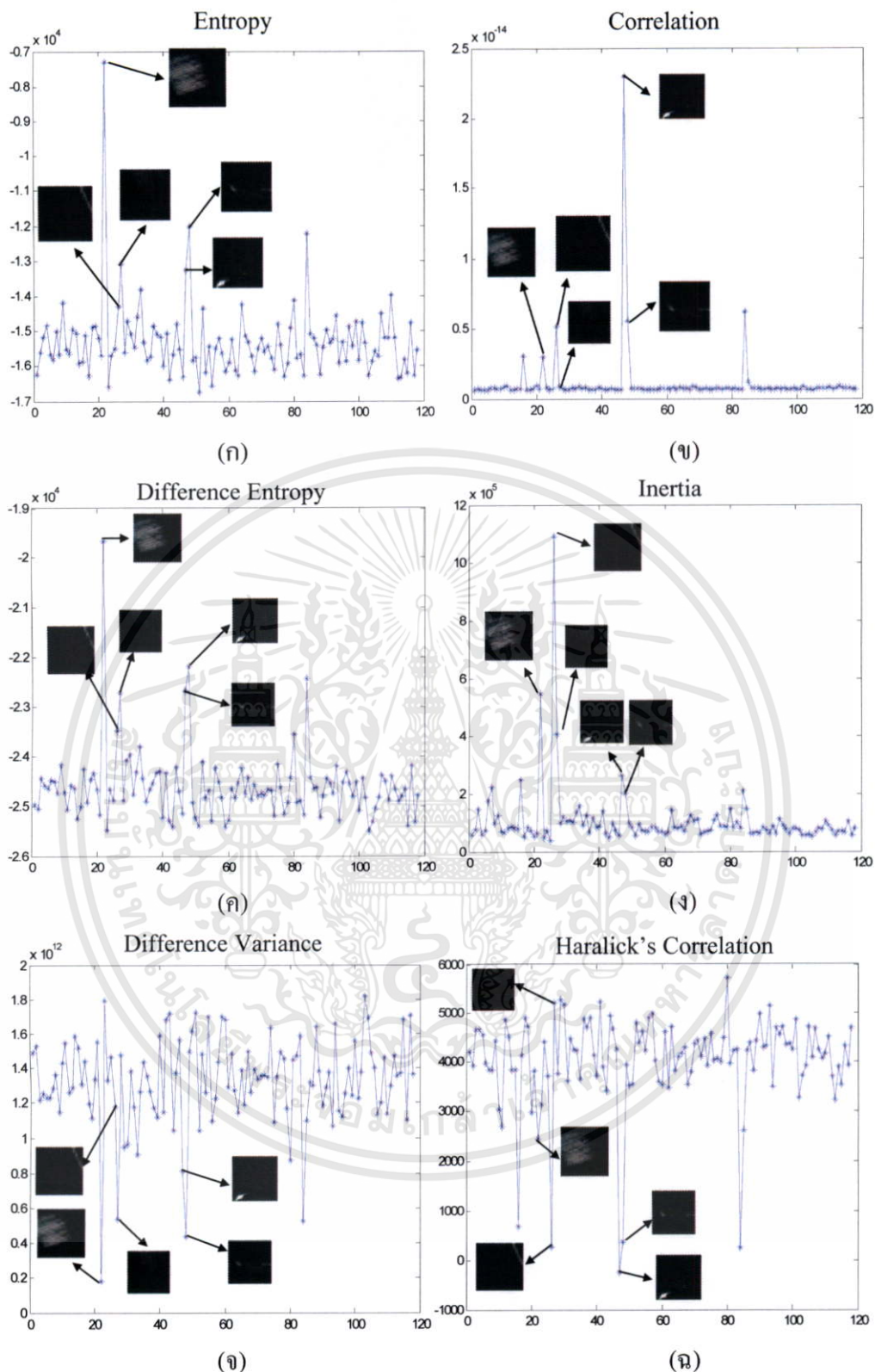
ในรูปที่ 4.10 แสดงตัวอย่างผลของสมการคุณลักษณะเด่นที่ได้จากส่วนย่อยเดียวกันของภาพฐานรอนส์คิสต์จำนวน 118 ตัวโดยมีฐานรอนส์คิสต์จำนวน 5 ตัวที่มีคำหิ ณ บริเวณส่วนย่อยนั้น ซึ่งผลที่ได้จากสมการเอนโทรปีแสดงดังรูป 4.10ก จะเห็นว่าค่าเอนโทรปีของภาพฐานรอนส์คิสต์ภาพที่ 22 จะมีค่าสูงเนื่องจากมีรอยขีดข่วนขนาดใหญ่ทำให้ภาพมีการกระจายตัวสูง และค่าเอนโทรปีของภาพฐานรอนส์คิสต์ภาพที่ 26, 27, 47 และ 48 มีค่าไม่สูงมากนักเนื่องจากรอยขีดข่วนมีขนาดเล็ก ผลที่ได้จากสมการสหสัมพันธ์แสดงดังรูปที่ 4.10ข จะพบว่าค่าสหสัมพันธ์ของภาพฐานรอนส์คิสต์รูปที่ 47 มีค่าสูงเนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างจุดสีในภาพตัวอย่างนี้มีความซับซ้อนสูงกว่าภาพตัวอย่างที่มีรอยขีดข่วนอีก 4 ภาพอย่างไรก็ตามจะพบว่าหากไม่พิจารณาโดยสิ้นเชิงทั้งหมดก็เกิดแปลกประหลาด และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ตัวอย่างที่พิจารณาที่มีรอยขีดข่วนจะทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างจุดสีในภาพมีความซับซ้อนสูงกว่าภาพที่ไม่มีรอยขีดข่วน สำหรับค่าคุณลักษณะเด่นที่ได้จากสมการผลต่างเอนโทรปี ความเฉื่อย ความ

แตกต่างของการกระจายและสหสัมพันธ์แบบ Haralick นั้นจะพบว่าไม่เหมาะสมต่อรูปแบบของ รอยขีดข่วน ถึงแม้ว่าจากรูปที่ 4.10ข และ 4.10ค จะแสดงให้เห็นว่าสมการความแตกต่างของเอนโทรปีและสมการความเฉื่อยนั้นจะมีแนวโน้มที่ดีในการแยกแยะแต่คุณลักษณะเด่นนี้เหมาะสมกับ คำนิยามประเภทอื่นมากกว่า ซึ่งรูปที่ 4.10จ และ 4.10ฉ ที่ได้จากการคำนวณได้สมการความแตกต่างของการกระจายและสหสัมพันธ์แบบ Haralick จะแสดงให้เห็นถึงความไม่แน่นอนของค่าคุณลักษณะเด่นที่ได้จากรอยขีดข่วน

รูปที่ 4.11 แสดงผลจากทิศทางของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ที่มีต่อรอยขีดข่วน โดยแกนตั้งของกราฟแสดงค่าคุณลักษณะเด่นและแกนนอนแสดงลำดับที่ของภาพฐานรณรงค์ติสก์ตัวอย่างและจะได้สรุปผลของการแยกแยะในบทที่ 6 ต่อไป

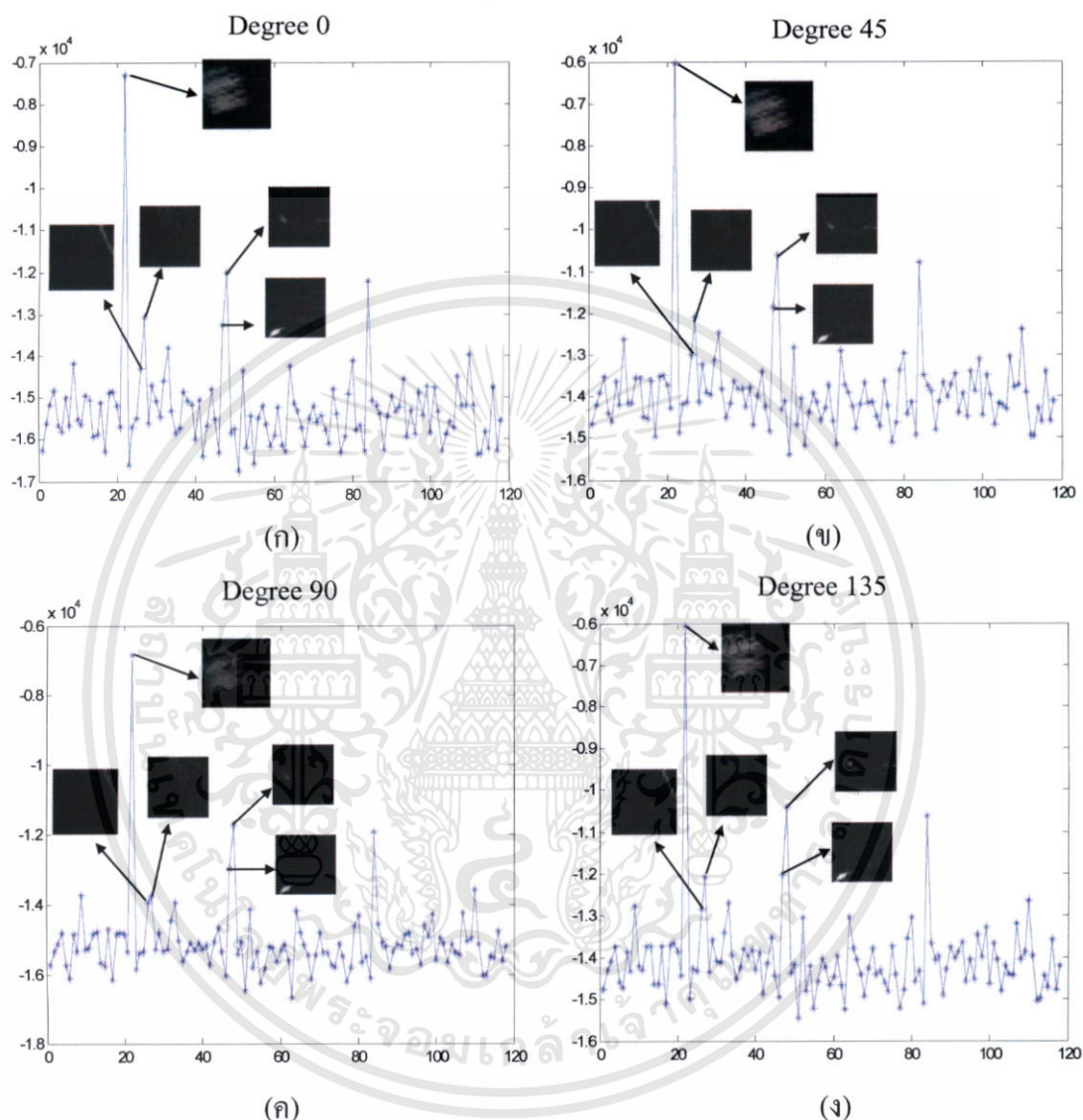


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ผลของสมการแสดงคุณลักษณะเฉพาะที่ได้จากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ $C(i, j; 1, 0^\circ)$ ของเอกสารนี้เป็นเอกสารร้อยชည်ช่วงนับบนฐานร่องฮาร์ดดิสก์ที่ระดับสีเทา 255 ระดับ ขนาดหน้าต่างส่วนย่อยไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น คือ 40×40 พิกเซล

(ก. Entropy ข. Correlation ค. Difference Entropy ง. Inertia จ. Difference Variance ฉ. Haralick's Correlation)



รูปที่ 4.11 ผลของสมการแสดงคุณลักษณะเอนโทรปีที่ได้จากทิศทางของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ที่ระยะห่าง $d = 1$ กับรอยขีดข่วนในทิศทางต่าง ๆ ของรอยขีดข่วนบนฐานรอนฮาร์ดดิสก์ที่ระดับสีเทา 255 ระดับ ขนาดหน้าต่างส่วนย่อย 40×40 พิกเซล(ก. ผลที่ทิศทางที่ 0 องศา ข. ผลที่ทิศทางที่ 45 องศา ค. ผลที่ทิศทางที่ 90 องศา และ ง. ผลที่ทิศทางที่ 135 องศา)

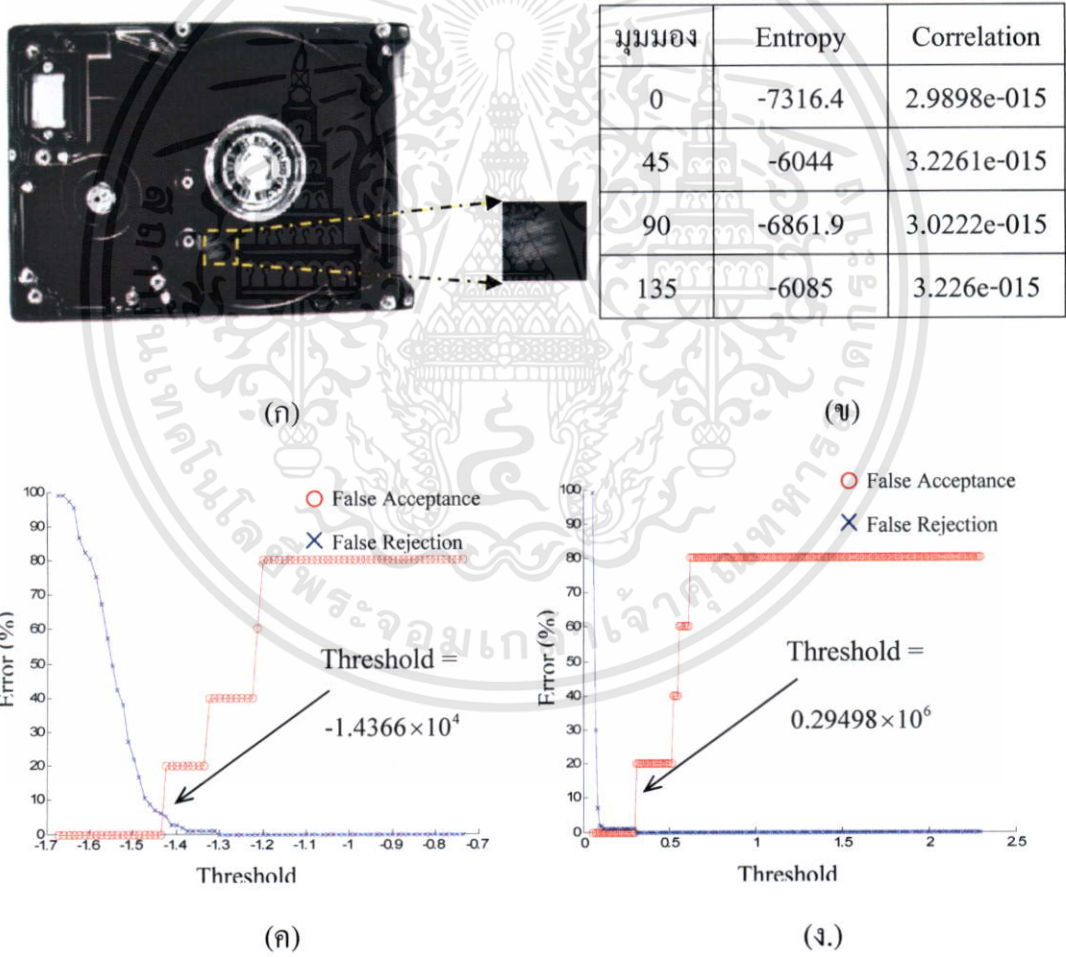
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 กฎพื้นฐานและระบบผู้เชี่ยวชาญ

กฎการทำงานนี้ออกแบบบนพื้นฐานเงื่อนไขและข้อกำหนดของงานวิจัย ร่วมกับการทดลองและสังเกตจากตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้ กฎที่ออกแบบเป็นดังต่อไปนี้ ในรูปที่ 4.12 – 4.14 แสดงตัวอย่างการทดสอบกฎสำหรับการตรวจสอบรอยขีดข่วน รอยปากกา และคราบไขมันตามลำดับ

Rules 1:

IF Euclid_Entropy > Threshold
AND Euclid_Correlation > Threshold
THEN SCRATCH Appear
END

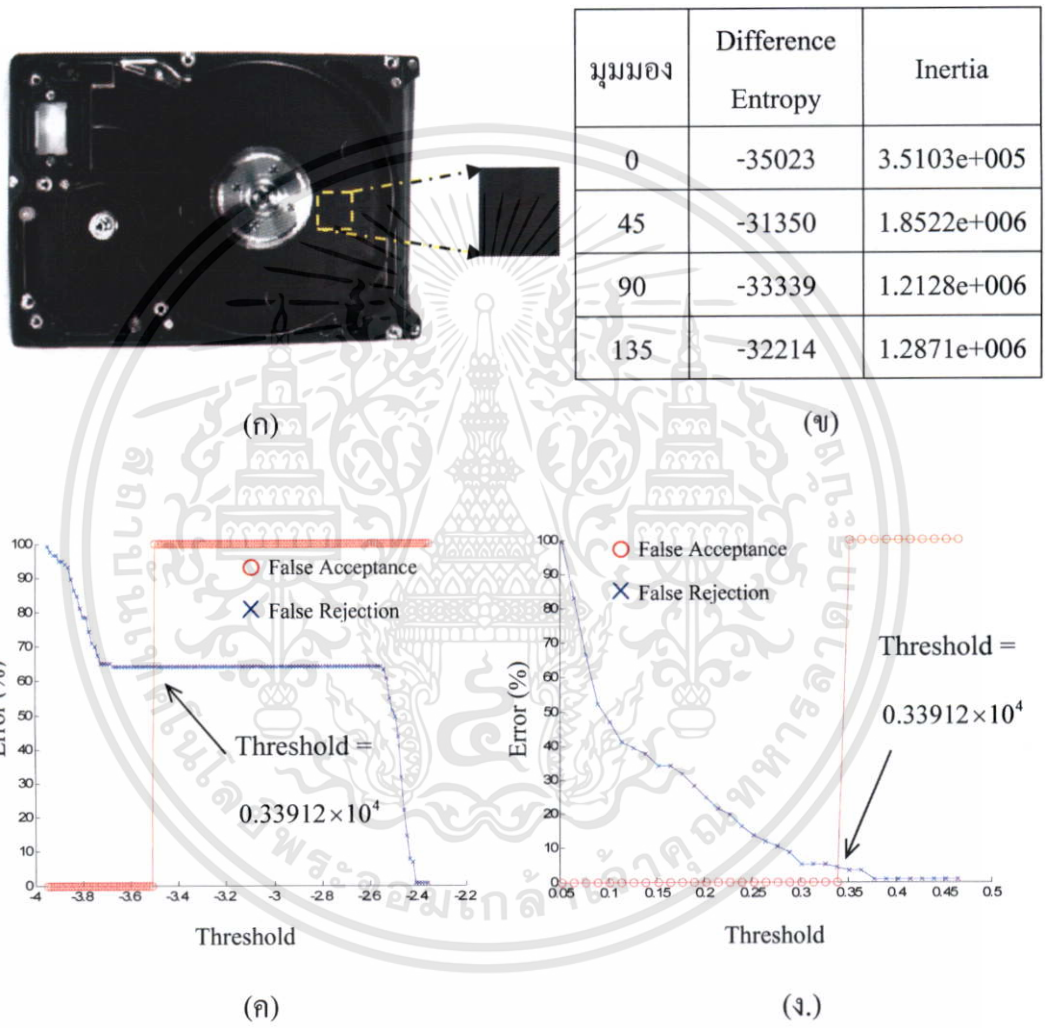


รูปที่ 4.12 ตัวอย่างการทดสอบกฎสำหรับการตรวจสอบรอยขีดข่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่สามารถให้ซ้ำไปให้ประโยชน์ด้วยการดัดแปลงแก้ไขหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
(ก. ภาพตัวอย่าง ข. ค่าคุณลักษณะเด่นของภาพตัวอย่าง ค. ค่าขีดแบ่งสำหรับคุณลักษณะไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งยังให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
เด่นเอนโทรปี และ ง. ค่าขีดแบ่งสำหรับคุณลักษณะเด่นสหสัมพันธ์)

Rules 2:

IF Euclid_Difference Entropy > Threshold
AND Euclid_Inertia > Threshold
THEN MARK Appear
END



รูปที่ 4.13 ตัวอย่างการทดสอบกฎสำหรับการตรวจสอบรอยปากกา

(ก. ภาพตัวอย่าง ข. ค่าคุณลักษณะเด่นของภาพตัวอย่าง ค. ค่าขีดแบ่งสำหรับคุณลักษณะเด่นผลต่างเอนโทรปี ง. ค่าขีดแบ่งสำหรับคุณลักษณะเด่นความเฉื่อย)

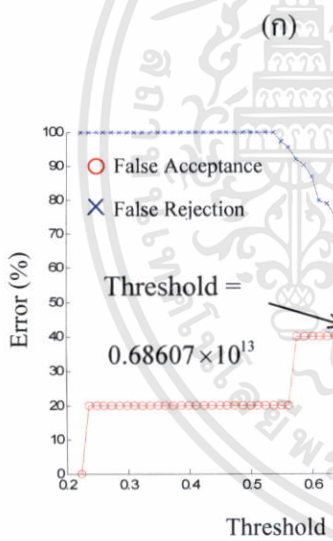
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rules 3:

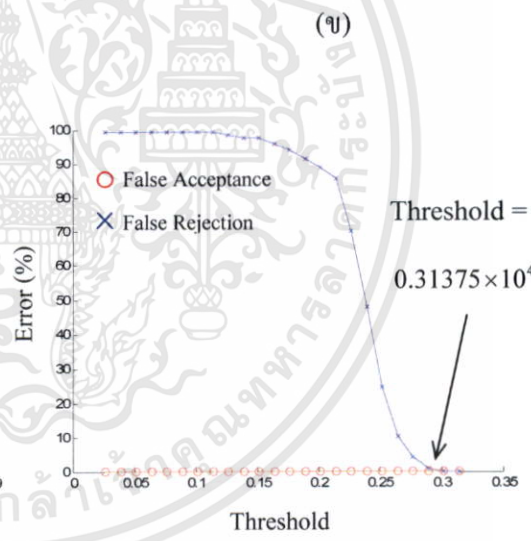
IF Euclid_Difference Variance > Threshold
AND Euclid_Haralick's Correlation > Threshold
THEN OIL Appear
END



มุมมอง	Difference Variance	Haralick's Correlation
0	3210.6	2.2357e+012
45	4561.8	1.019e+012
90	3556.3	1.799e+012
135	4628.3	9.6276e+011



(ก)



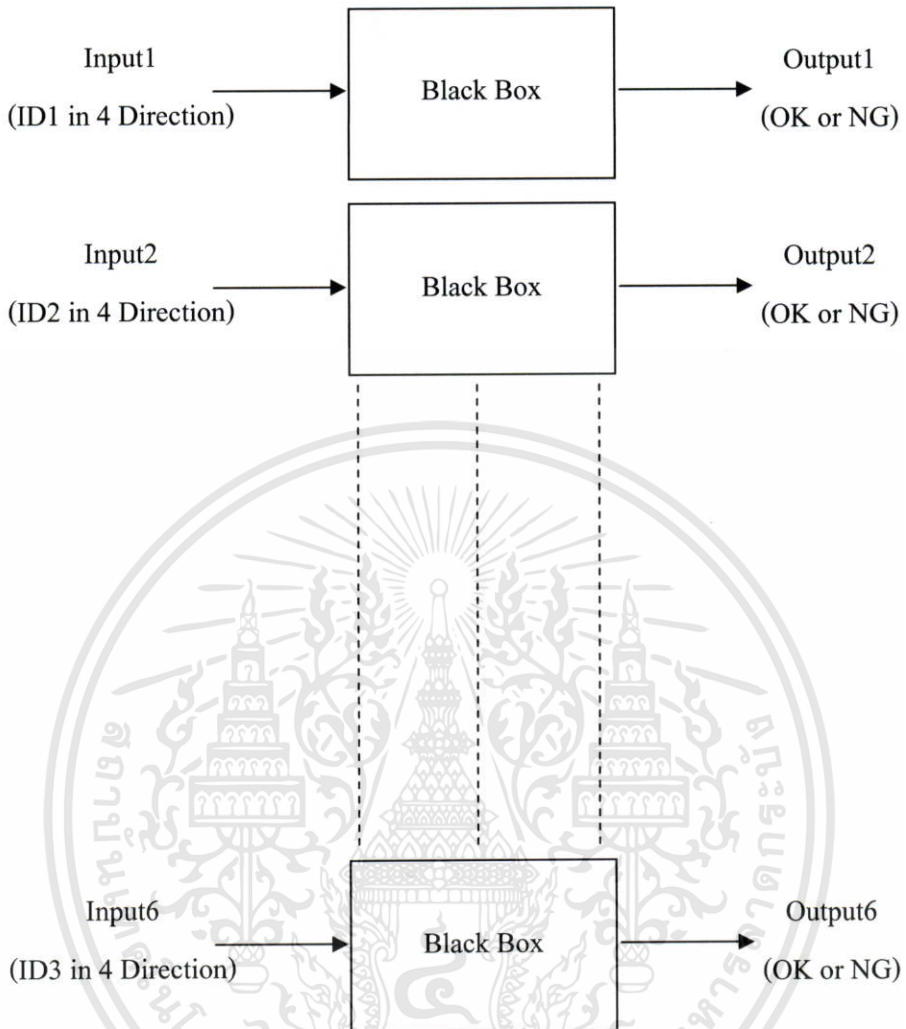
(ข.)

รูปที่ 4.14 ตัวอย่างการทดสอบกฎสำหรับการตรวจสอบคราบไขมัน

(ก. ภาพตัวอย่าง ข. ค่าคุณลักษณะเด่นของภาพตัวอย่าง ค. ค่าขีดแบ่งสำหรับคุณลักษณะเด่นผลต่าง ความแปรปรวน ง. ค่าขีดแบ่งสำหรับคุณลักษณะเด่นสหสัมพันธ์แบบ Haralick)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภาพแสดงการทำงานในส่วนของผู้เชี่ยวชาญ



รูปที่ 4.15 การทำงานในส่วนของผู้เชี่ยวชาญ

การออกแบบระบบทัศนจักรที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้นได้พบปัญหาหลายประการ อย่างไรก็ตามผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าและทดลองแก้ไขปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดลอง ดังเช่น การออกแบบปรับปรุงแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการส่องสว่างเพื่อเก็บภาพตัวอย่างได้ทำการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงถึง 3 ครั้งจึงพบว่าไม่สามารถสร้างขึ้นเองได้ในเวลาอันจำกัด และปรับปรุงวิธีคิดโดยการนำเอาคุณสมบัติของพื้นผิวหนึ่งหน่วย และเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์มาใช้งานร่วมกันเพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ดียิ่งขึ้น ดังจะได้กล่าวถึงรายละเอียดของการทดลองและผลของเอกสารเป็นเอกสารผลงานวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การทดลองในบทที่ 5

เมื่อการแก้ไขปัญหานี้ยังไม่สามารถแก้ไขได้ทั้งหมดจึงจำเป็นต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองที่ได้ทำการทดลองโดยวิธีการที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 3 โดยแบ่งผลการทดลองออกเป็นสองส่วนคือ

1. การหาตำแหน่งที่บกพร่องด้วยวิธีการพิจารณาสเปกตรัมของพื้นผิวหนึ่งหน่วย
2. การพิจารณาารูปแบบของข้อบกพร่องโดยวิธีการเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ ร่วมกับระบบผู้เชี่ยวชาญ

ผลการทดลองนี้อ้างอิงจากข้อมูลภาพตัวอย่าง 4 ชุดซึ่งได้จากแหล่งกำเนิดแสงทั้ง 4 รูปแบบที่ได้นำเสนอในบทที่ 3 โดยข้อมูลชุดที่ 1 ทำการเก็บตัวอย่างจากห้องวิจัยและข้อมูลชุดที่ 2-4 ทำการเก็บตัวอย่างห้องปลอดฝุ่นในโรงงานอุตสาหกรรมดังนี้

ภาพตัวอย่างชุดที่ 1 ได้จากแหล่งกำเนิดแสงแบบที่ 1 ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4.2 จำนวนทั้งสิ้น 300 ภาพแบ่งเป็นภาพที่ได้จากฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่มีคำหนิจำนวน 200 ภาพจากฐานรองฮาร์ดดิสก์จริง 10 ตัว และภาพที่ได้จากฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่สมบูรณ์ 100 ภาพจากฐานรองฮาร์ดดิสก์จริง 5 ตัว

ภาพตัวอย่างชุดที่ 2 ได้จากแหล่งกำเนิดแสงแบบที่ 2 ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4.3 จำนวนทั้งสิ้น 122 ภาพแบ่งเป็นภาพฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่มีคำหนิจำนวน 118 ภาพจากฐานรองฮาร์ดดิสก์จริง 118 ตัวซึ่งมีคำหนิรวมทั้งสิ้น 236 แห่ง และภาพฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่สมบูรณ์จำนวน 4 ภาพจากฐานรองฮาร์ดดิสก์จริง 4 ตัว

ภาพตัวอย่างชุดที่ 3 ได้จากแหล่งกำเนิดแสงแบบที่ 3 ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4.4 จำนวนทั้งสิ้น 122 ภาพแบ่งเป็นภาพฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่มีคำหนิจำนวน 118 ภาพจากฐานรองฮาร์ดดิสก์จริง 118 ตัวซึ่งมีคำหนิรวมทั้งสิ้น 236 แห่ง และภาพฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่สมบูรณ์จำนวน 4 ภาพจากฐานรองฮาร์ดดิสก์จริง 4 ตัว

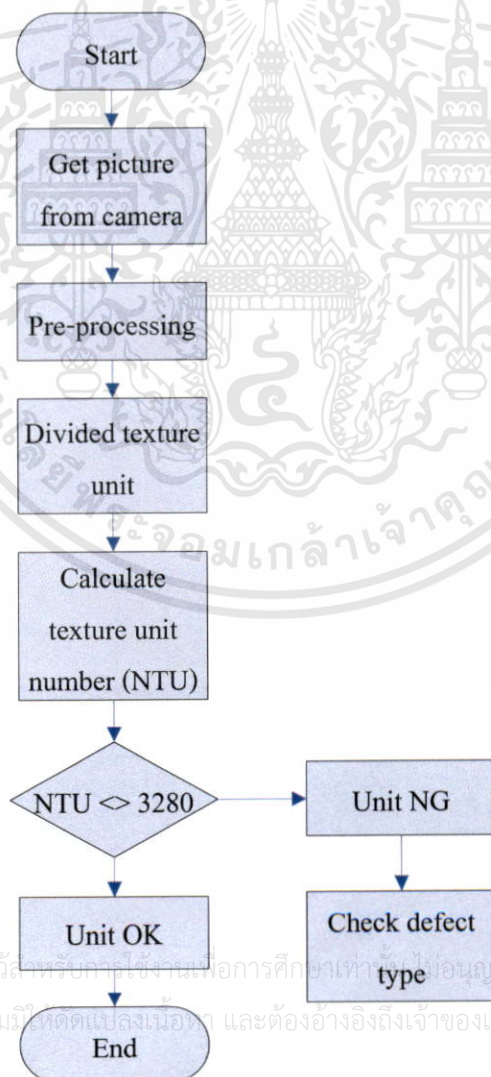
ภาพตัวอย่างชุดที่ 4 ได้จากแหล่งกำเนิดแสงแบบที่ 4 ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4.5 จำนวนทั้งสิ้น 74 ภาพแบ่งเป็นภาพฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่มีคำหนิจำนวน 24 ภาพจากฐานรองฮาร์ดดิสก์จริง 8 ตัว ร่วมกับภาพที่ทำการจำลองลักษณะของคำหนิด้วยโปรแกรมจำนวน 200 คำหนิ และภาพฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่สมบูรณ์ 50 ภาพจากฐานรองฮาร์ดดิสก์จริง 10 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 การหาตำแหน่งที่บกพร่องโดยสเปกตรัมของพื้นผิวหนึ่งหน่วย

ในการค้นหาตำแหน่งที่บกพร่องโดยวิธีการหาสเปกตรัมของพื้นผิวหนึ่งหน่วยนั้นจะทำการพิจารณาจากคุณสมบัติของสเปกตรัมที่คำนวณได้จากพื้นผิวหนึ่งหน่วยใด ๆ ซึ่งวิธีการนี้จะทำให้ทราบว่าภาพที่พิจารณานั้นมีตำหนิหรือไม่

ขั้นตอนจะเริ่มจากการรับภาพจากกล้องและทำการประมวลผลเบื้องต้นเช่นการตัดขอบภาพ การปรับขนาดภาพ การปรับปรุงฮิสโทแกรม จากนั้นจะทำการแบ่งภาพออกเป็นหน้าต่างย่อย ๆ ที่เรียกว่าพื้นผิวขนาดหนึ่งหน่วย(Texture Unit) โดยมีขนาดหน้าต่างเป็น 9 พิกเซล และทำการคำนวณลำดับของพื้นผิวขนาดหนึ่งหน่วยโดยสมการที่ (3.3) หากลำดับของพื้นผิวขนาดหนึ่งหน่วยที่ได้มีค่าไม่เท่ากับ 3280 ซึ่งเป็นลำดับของพื้นผิวที่เรียบเสมอกันแล้วก็จะนำไปทำการพิจารณารูปแบบของตำหนิในลำดับถัดไป ดังแสดงขั้นตอนการค้นหาตำแหน่งที่บกพร่องโดยสเปกตรัมของพื้นผิวหนึ่งหน่วยในรูปที่ 5.1

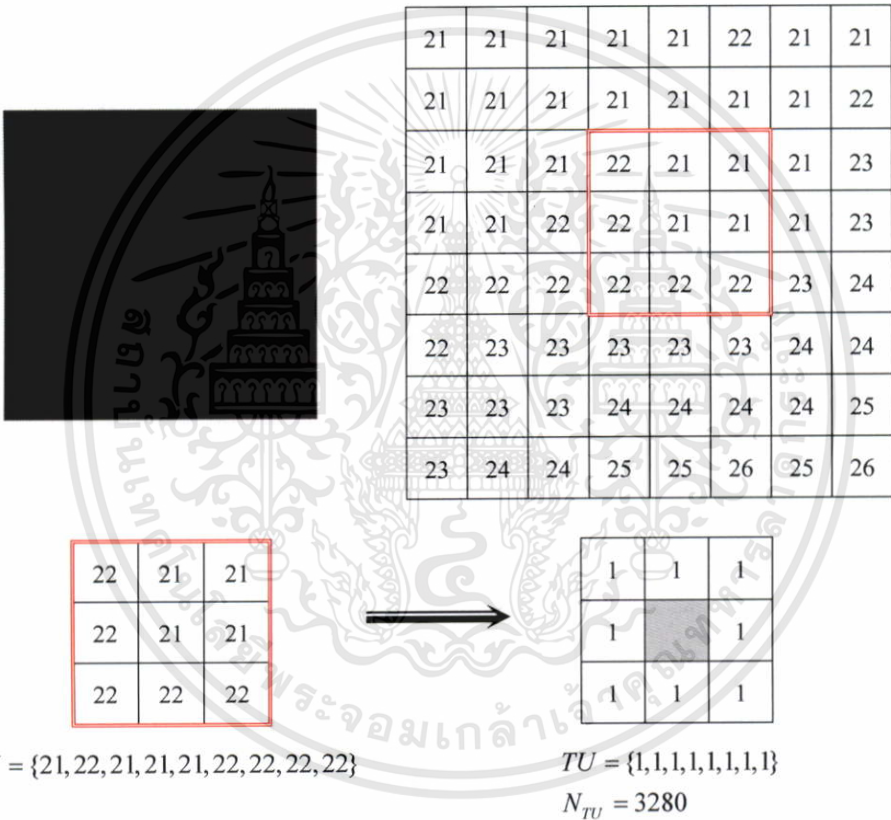


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีติดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.1 ขั้นตอนการค้นหาตำแหน่งที่บกพร่องโดยสเปกตรัมของพื้นผิวหนึ่งหน่วย

รูปที่ 5.2 แสดงตัวอย่างภาพพื้นผิวและการคำนวณลำดับของพื้นผิวหนึ่งหน่วยจากภาพตัวอย่างซึ่งไม่มีรอยดำหนิ รูปที่ 5.3 ถึง 5.5 แสดงตัวอย่างของภาพพื้นผิวและการคำนวณลำดับของพื้นผิวหนึ่งหน่วยจากภาพตัวอย่างที่มีรอยขีดข่วน รอยไขมัน และรอยปากกา ตามลำดับ

รูปที่ 5.6 ถึง 5.9 แสดงตัวอย่างภาพพื้นผิวและสเปกตรัมของพื้นผิวหนึ่งหน่วยที่ได้จากภาพพื้นผิวตัวอย่างโดยรูปที่ 5.6 เป็นภาพพื้นผิวตัวอย่างและสเปกตรัมของพื้นผิวหนึ่งหน่วยที่ได้จากภาพซึ่งไม่มีรอยดำหนิ รูปที่ 5.7 ถึง 5.9 เป็นภาพพื้นผิวตัวอย่างและสเปกตรัมของพื้นผิวหนึ่งหน่วยที่ได้จากภาพที่มีรอยขีดข่วน รอยไขมัน และรอยปากกา ตามลำดับ



รูปที่ 5.2 ตัวอย่างการคำนวณลำดับของพื้นผิวหนึ่งหน่วยของภาพที่ไม่มีดำหนิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



159	163	140	112	54	50	50	50
190	221	240	206	12	50	54	54
256	244	213	159	12	54	54	54
175	221	229	209	14	78	58	58
128	229	248	194	12	66	62	62
78	120	85	70	70	66	66	66
62	62	62	66	66	66	66	66
62	62	62	62	66	66	66	66

194	128	66
70	70	66
66	66	66



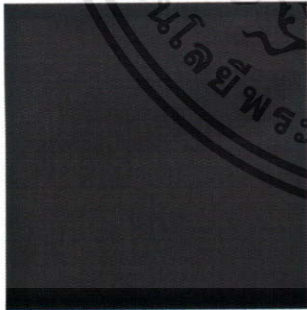
2	2	1
1		1
1	1	1

$V = \{70, 194, 128, 66, 66, 66, 66, 66, 70\}$

$TU = \{2, 2, 1, 1, 1, 1, 1, 1\}$

$N_{TU} = 3284$

รูปที่ 5.3 ตัวอย่างการคำนวณลำดับของพื้นผิวหนึ่งหน่วยของภาพที่มีรอยขีดข่วน



235	214	214	235	245	245	245	224
255	245	245	255	255	245	235	235
245	224	214	214	204	184	163	204
214	194	173	173	163	173	204	245
204	194	184	194	214	224	224	224
194	204	204	204	204	214	204	204
184	194	194	194	194	194	194	194
184	194	194	194	194	194	194	184

214	214	204
173	173	163
184	194	214



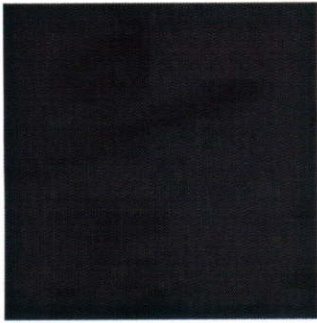
2	2	2
1		1
2	2	2

$V = \{173, 214, 214, 204, 163, 214, 194, 184, 173\}$

$TU = \{2, 2, 2, 1, 2, 2, 2, 1\}$

$N_{TU} = 4346$

รูปที่ 5.4 ตัวอย่างการคำนวณลำดับของพื้นผิวหนึ่งหน่วยของภาพที่มีรอยไขมัน



200	208	200	176	224	232	240	256
200	192	160	168	232	240	240	248
208	192	184	208	208	184	208	248
200	200	184	184	216	232	240	248
184	200	216	232	232	240	248	256
200	184	176	200	232	248	248	240
208	208	192	224	232	248	256	256
216	200	208	200	224	248	248	232

184	176	200
208	192	224
200	208	200



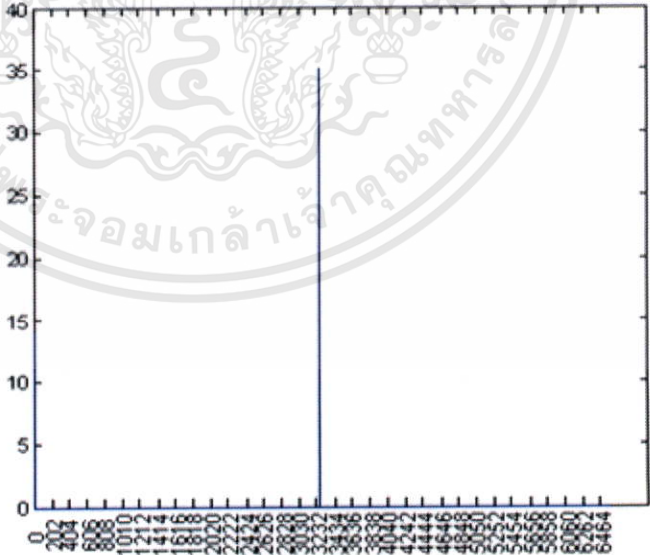
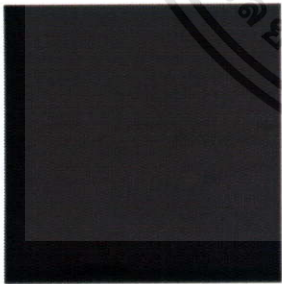
1	0	1
2		1
2	1	2

$V = \{192, 184, 176, 200, 224, 200, 208, 200, 208\}$

$TU = \{1, 0, 1, 2, 1, 2, 1, 2\}$

$N_{TV} = 5734$

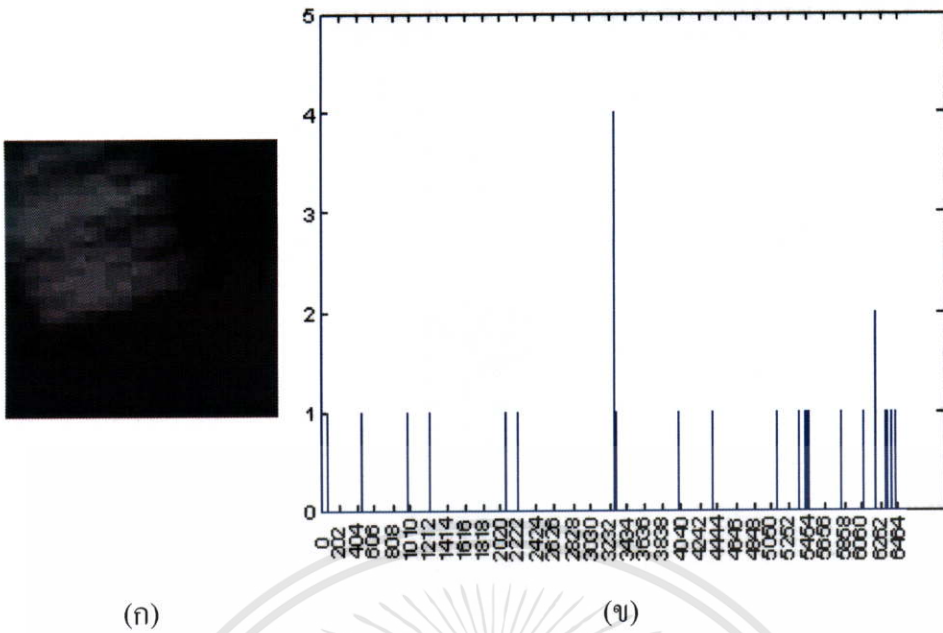
รูปที่ 5.5 ตัวอย่างการคำนวณลำดับของพื้นผิวหนึ่งหน่วยของภาพที่มีรอยปากกา



(ก)

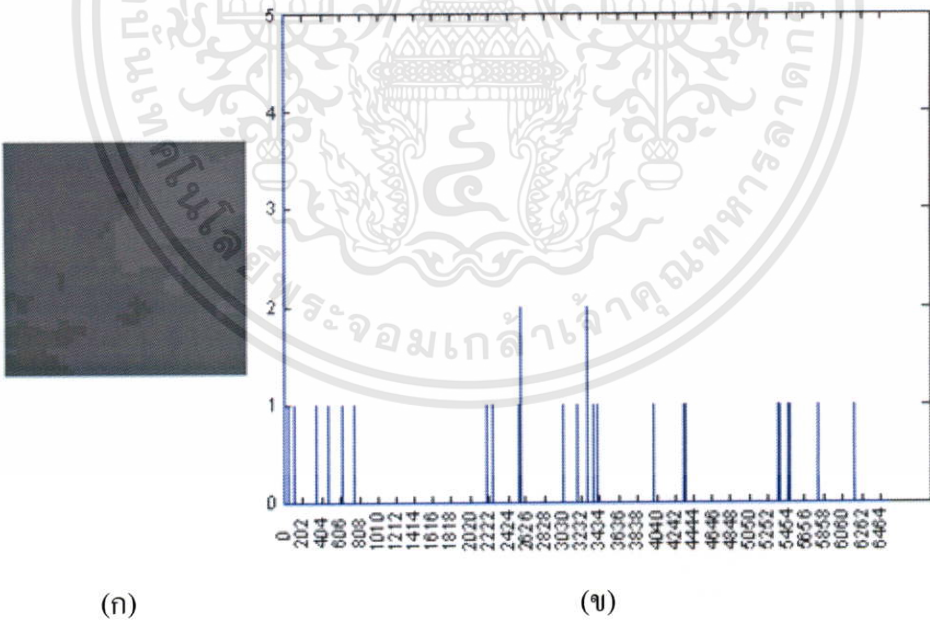
(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 5.6 ตัวอย่างภาพพื้นผิวและสเปกตรัมของพื้นผิวที่ไม่มีตำหนิ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
(ก. ส่วนของฐานรอนฮาร์ดดิस्कที่ไม่มีตำหนิขนาด 40*40 พิกเซล และ
ข. สเปกตรัมของพื้นที่หนึ่งหน่วยของรูปซ้าย)



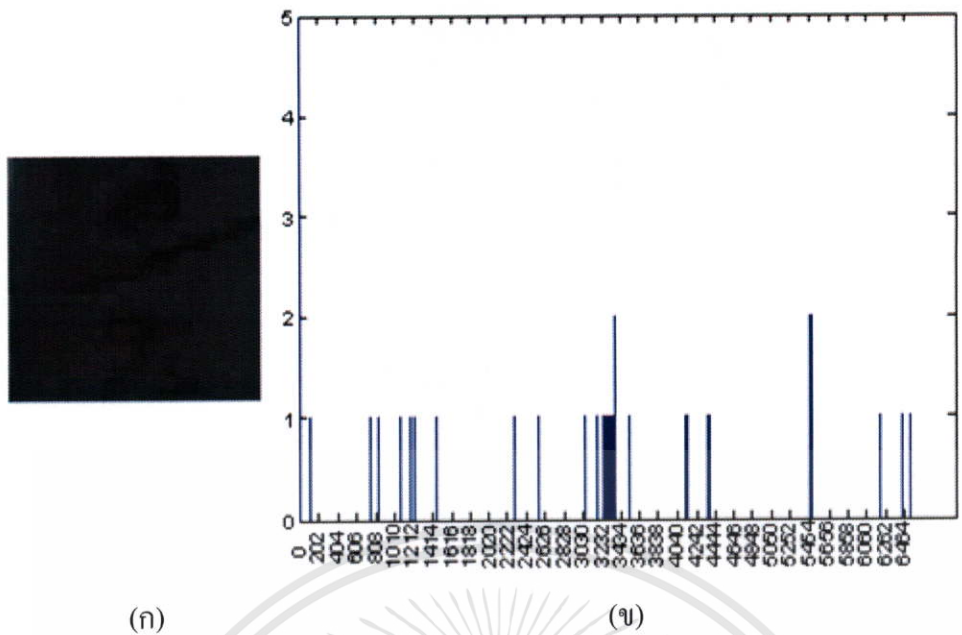
รูปที่ 5.7 ตัวอย่างของภาพพื้นผิว และสเปกตรัมของพื้นผิวที่มีรอยขีดข่วน

(ก. ส่วนของฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่มีรอยขีดข่วนขนาด 40*40 พิกเซล และ
ข. สเปกตรัมของพื้นที่หนึ่งหน่วยของรูปซ้าย)



รูปที่ 5.8 ตัวอย่างภาพพื้นผิวและสเปกตรัมของพื้นผิวที่มีรอยไขมัน

(ก. ส่วนของฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่มีรอยไขมันขนาด 40*40 พิกเซล และ
เอกสารนี้เป็นเอกสารทสวทศไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ข. สเปกตรัมของพื้นที่หนึ่งหน่วยของรูปซ้าย)
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุแต่เปลี่ยนเนื้อหา และตออยู่ ย้องถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 ตัวอย่างภาพพื้นผิวและสเปกตรัมของพื้นผิวที่มีรอยปากกา
(ก. ส่วนของฐานรอสาร์ดคิสก์ที่ไม่มีกำหนดขนาด 40*40 พิกเซล และ
ข. สเปกตรัมของพื้นที่หนึ่งหน่วยของรูปซ้าย)

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการตรวจสอบหาตำแหน่งด้วยสเปกตรัมของพื้นผิวหนึ่งหน่วยซึ่งได้แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 5.6-5.9 ในบริเวณพื้นที่คิสก์(A1)และบริเวณอื่น ๆ (A2) โดยแสดงในลักษณะของความผิดพลาดในการตรวจสอบ 2 รูปแบบแบ่งเป็น

- 1. ความผิดพลาดอันเนื่องมาจากมีตำแหน่งแล้วตรวจไม่พบตำแหน่ง
- 2. ความผิดพลาดอันเนื่องจากไม่มีตำแหน่งแล้วตรวจพบตำแหน่ง

ตารางที่ 5.1 ผลการตรวจสอบหาความบกพร่องโดยการพิจารณาสเปกตรัมของพื้นผิวหนึ่งหน่วย

	จำนวนตำแหน่งที่มีอยู่จริง	ความผิดพลาดของการตรวจสอบ			
		รูปแบบที่ 1		รูปแบบที่ 2	
		A1	A2	A1	A2
ข้อมูลชุดที่ 1	200	83	117	139	339
ข้อมูลชุดที่ 2	236	25	48	113	167
ข้อมูลชุดที่ 3	236	27	81	121	239
ข้อมูลชุดที่ 4	224	0	62	0	0

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินส่วนราชการใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 5.1 จะพบว่าข้อมูลชุดที่ 1 นั้นไม่เหมาะสมและไม่สามารถนำไปประมวลผลต่อได้เนื่องจากแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการเก็บภาพตัวอย่างนั้นก่อให้เกิดการสะท้อนของแสงอย่างมากทำให้ไม่สามารถมองเห็นถึงตำหนิได้ และในข้อมูลชุดที่ 2 นั้นสามารถพบตำหนิในส่วนที่กำหนดในขอบเขตของวิทยานิพนธ์นี้ได้ ถึงกระนั้นก็ตามตำหนิในส่วนที่นอกเหนือจากขอบเขตของวิทยานิพนธ์นี้เช่นในส่วนของฮับซึ่งเป็นส่วนที่มีความวาวแสงนั้นก็ยังไม่สามารถตรวจพบได้ เนื่องจากการสะท้อนกลับของแสง อีกทั้งยังมีส่วนที่เป็นจุดอับแสงก็ไม่สามารถตรวจสอบได้เช่นกันและในข้อมูลชุดที่ 3 นั้นแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการเก็บข้อมูลก่อให้เกิดเงามืดของแสงในส่วนพื้นที่ดิสก์ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของวิทยานิพนธ์นี้จึงทำให้ไม่สามารถตรวจสอบพบตำหนิได้ทั้งหมด

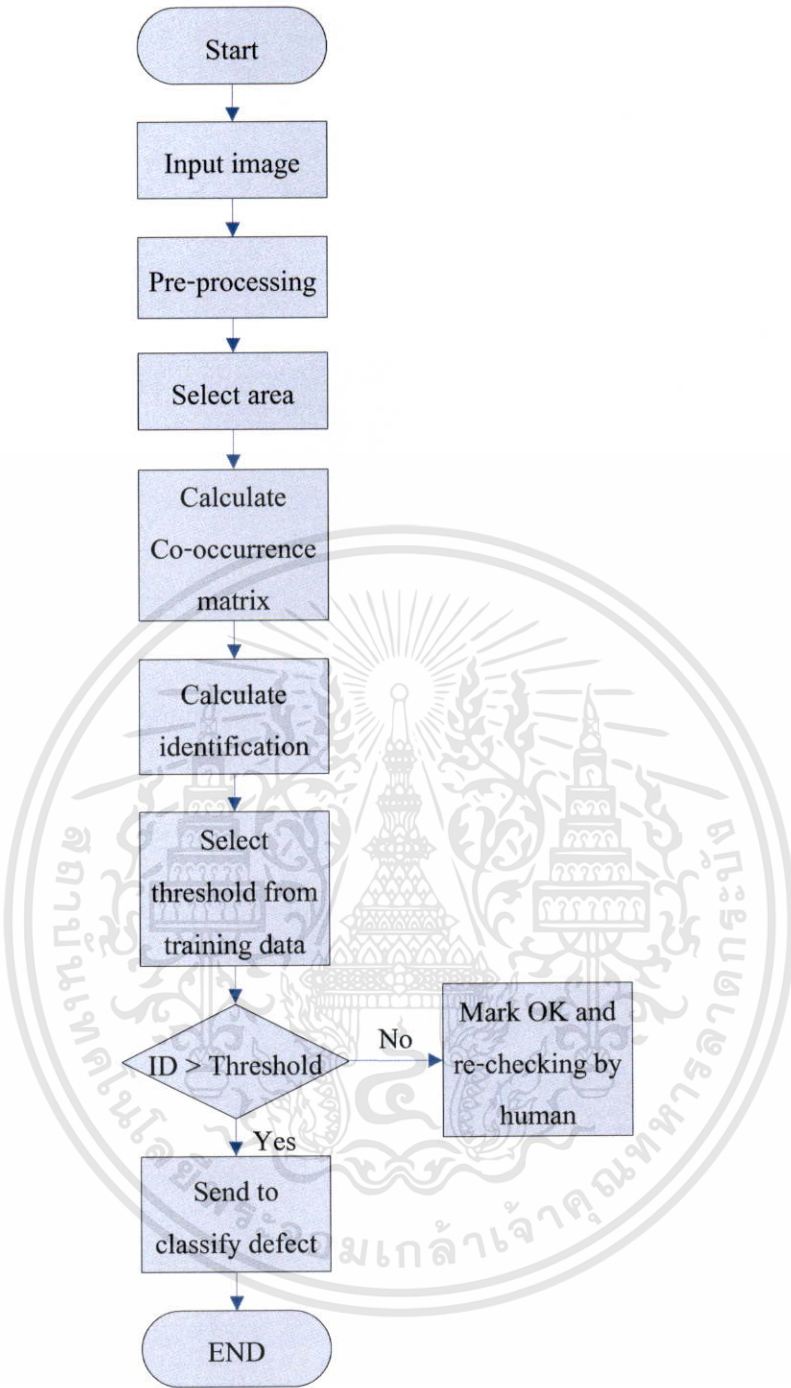
ในส่วนถัดไปจะแสดงผลของการพิจารณารูปแบบตำหนิซึ่งจะอ้างอิงถึงส่วนของตำหนิที่สามารถตรวจพบได้ในขั้นตอนนี้นี้เท่านั้น

5.2 การพิจารณารูปแบบของข้อบกพร่องโดยวิธีการเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์

รูปแบบของตำหนิที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตนั้นมีหลากหลายรูปแบบหากสามารถตรวจสอบรูปแบบของตำหนิได้ก็จะเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงแก้ไขชิ้นงาน รวมไปถึงวิเคราะห์หาสาเหตุเพื่อแก้ไขปรับปรุงกระบวนการที่อาจจะก่อให้เกิดตำหนิขึ้นขึ้น ในงานวิจัยนี้ได้นำเอาคุณสมบัติของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ร่วมกับสมการแสดงคุณลักษณะเด่นมาใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะของตำหนิที่เกิดขึ้นเนื่องจากตำหนิแต่ละประเภทนั้นมีคุณสมบัติของพื้นผิวที่แตกต่างกันดังได้กล่าวในบทที่ 3 และ 4

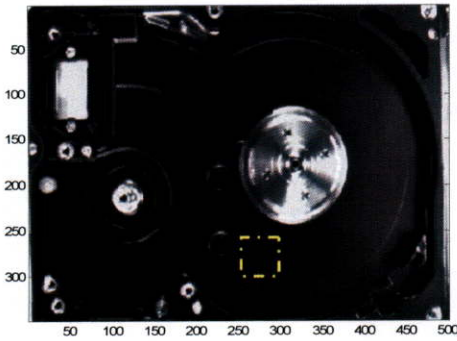
ในขั้นต้นจะทำการทดลองเพื่อทดสอบคุณสมบัติของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์และเลือกใช้งานสมการคุณลักษณะซึ่งมีอยู่หลากหลาย ดังได้กล่าวในบทที่ 2 และภาคผนวก ง. โดยการทดสอบเบื้องต้นจะทำการคัดส่วนของภาพฐานร่องฮาร์ดดิสก์จากการสังเกตตำหนิที่เกิดขึ้นจริงจากนั้นทำการคำนวณเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ และค่าคุณลักษณะเด่นจากนั้นทำการเลือกค่าขีดแบ่งจากข้อมูลทดสอบโดยเลือกค่าขีดแบ่งที่ทำให้มีความผิดพลาดในการตรวจสอบต่ำที่สุด

รูปที่ 5.10 แสดงขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์และสมการคุณลักษณะเด่น รูปที่ 5.11ก แสดงภาพตัวอย่างของฐานร่องฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ในงานวิจัย รูปที่ 5.11ข แสดงภาพตัวอย่างของฐานร่องฮาร์ดดิสก์ที่ได้หลังจากการประมวลผลเบื้องต้นโดยการตัดฉากพื้นหลัง แก้ไขความบิดเบือน และปรับขนาดภาพ รูปที่ 5.12 แสดงตัวอย่างการคำนวณเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์จากภาพส่วนย่อยของฐานร่องฮาร์ดดิสก์ในทิศทางต่าง ๆ ของรูปที่ 5.11ข โดยแสดงรูปแบบอย่างย่อซึ่งตัดการแสดงผลส่วนของเมตริกซ์ที่มีค่าเป็น 0 ออกจากเมตริกซ์ตัวอย่าง(ค่าของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ที่ (0,0) ถึง (19,19) ทุกตำแหน่งมีค่าเป็น 0)

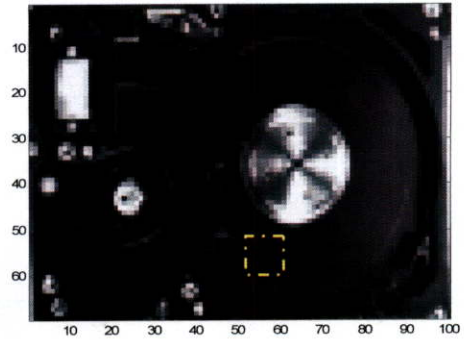


รูปที่ 5.10 ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์และสมการคุณลักษณะเด่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



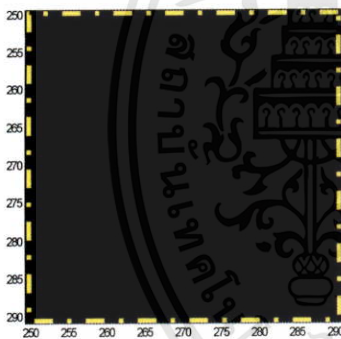
(ก)



(ข)

รูปที่ 5.11 ภาพตัวอย่างฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ในงานวิจัย

(ก. ภาพตัวอย่างที่ได้จากกล้อง ข. ภาพตัวอย่างหลังจากการประมวลผลเบื้องต้น)



ก.

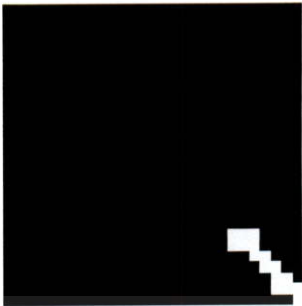
21	21	21	21	21	22	21	21	21
21	21	21	21	21	21	21	22	22
21	21	21	22	21	21	21	23	23
21	21	22	22	21	21	21	23	23
22	22	22	22	22	22	23	24	24
22	23	23	23	23	23	24	24	25
23	23	23	24	24	24	24	25	26
23	24	24	25	25	26	25	26	27
24	24	24	25	26	26	26	27	27

ข.

รูปที่ 5.12 ตัวอย่างการคำนวณเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์จากส่วนย่อยของฐานรองฮาร์ดดิสก์ของ รูปที่ 5.11 ข ในทิศทางต่าง ๆ ที่ระยะห่าง 1

(ก. ภาพส่วนย่อยตัวอย่าง ข. ค่าระดับสีเทาที่ได้หลังจากทำการปรับขนาดพิกเซล ค. เมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ของภาพตัวอย่างที่ทิศทาง 0° ง. รูปแบบทางกราฟฟิคของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ทิศทาง 0° ที่ได้จากภาพตัวอย่าง จ. เมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ของภาพตัวอย่างที่ทิศทาง 45° ฉ. รูปแบบทางกราฟฟิคของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ทิศทาง 45° ที่ได้จากภาพตัวอย่าง ช. เมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ของภาพตัวอย่างที่ทิศทาง 90° ซ. รูปแบบทางกราฟฟิคของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ทิศทาง 90° ที่ได้จากภาพตัวอย่าง ฅ. เมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ของภาพตัวอย่างที่ทิศทาง 135° ฉ. รูปแบบทางกราฟฟิคของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ทิศทาง 135° ที่ได้จากภาพตัวอย่าง)

$\begin{smallmatrix} x \\ y \end{smallmatrix}$	20	21	22	23	24	25	26	27
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	19	4	2	0	0	0	0
22	0	3	7	2	0	0	0	0
23	0	0	0	8	4	0	0	0
24	0	0	0	0	8	4	0	0
25	0	0	0	0	0	1	4	0
26	0	0	0	0	0	1	2	2
27	0	0	0	0	0	0	0	1



ก.

ง.

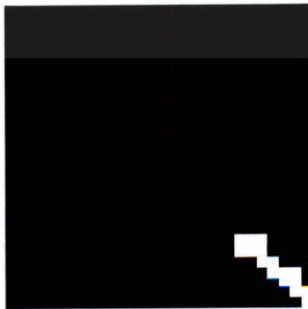
$\begin{smallmatrix} x \\ y \end{smallmatrix}$	20	21	22	23	24	25	26	27
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	13	8	3	1	0	0	0
22	0	2	2	7	1	0	0	0
23	0	0	0	2	9	1	0	0
24	0	0	0	0	1	5	3	0
25	0	0	0	0	0	0	2	2
26	0	0	0	0	0	0	1	1
27	0	0	0	0	0	0	0	0



ข.

ฉ.

$\begin{smallmatrix} x \\ y \end{smallmatrix}$	20	21	22	23	24	25	26	27
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	17	8	1	0	0	0	0
22	0	1	4	8	0	0	0	0
23	0	0	0	5	9	0	0	0
24	0	0	0	0	4	5	1	0
25	0	0	0	0	0	1	4	0
26	0	0	0	0	0	0	1	2
27	0	0	0	0	0	0	0	0



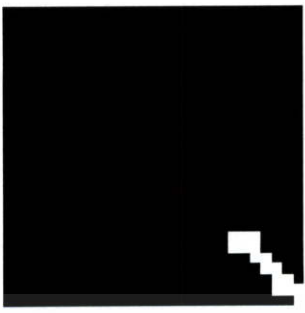
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน 1 เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช.

ซ.

รูปที่ 5.12 (ต่อ)

$\begin{smallmatrix} x \\ y \end{smallmatrix}$	20	21	22	23	24	25	26	27
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	15	2	1	0	0	0	0
22	0	7	4	0	0	0	0	0
23	0	0	5	7	0	0	0	0
24	0	0	0	4	7	1	0	0
25	0	0	0	0	2	3	0	0
26	0	0	0	0	1	1	3	0
27	0	0	0	0	0	0	0	1



ญ.

ฎ.

รูปที่ 5.12 (ต่อ)

สำหรับการคำนวณคุณลักษณะเด่นจากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.7) ถึงสมการที่ (3.12) โดยได้แสดงตัวอย่างการคำนวณค่าเอนโทรปีและความเฉื่อยจากเมตริกซ์ตัวอย่างในรูปที่ 5.13 ดังตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 2

	20	21	22	23	24	25	26	27
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	19	4	2	0	0	0	0
22	0	3	7	2	0	0	0	0
23	0	0	0	8	4	0	0	0
24	0	0	0	0	8	4	0	0
25	0	0	0	0	0	1	4	0
26	0	0	0	0	0	1	2	2
27	0	0	0	0	0	0	0	1

รูปที่ 5.13 เมตริกซ์ตัวอย่างสำหรับการคำนวณค่าคุณลักษณะเด่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 1 การคำนวณค่าคุณลักษณะจากสมการเอนโทรปี

$$Entropy = - \sum_{i=1}^{27} \sum_{j=1}^{27} C(i, j) \log C(i, j) \quad (6.1)$$

จากเมตริกซ์ตัวอย่างจะพบว่าที่ $i = 1$ ถึง 20 และ $j = 1$ ถึง 20 ค่าของเมตริกซ์มีค่าเป็น 0 จะได้ $0 \cdot \log(0)$ ซึ่งหาค่า $\log(0)$ ไม่ได้ และทุก ๆ ค่าของเมตริกซ์ที่เป็น 0 ก็จะเป็นเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงต้องทำการประมาณค่าให้เป็น 0.01 เพื่อให้ไม่เกิดนัยสำคัญในการคำนวณจะได้ $0.01 \cdot \log(0.01) = -0.0461$ และ

$C(21,21) = 19$	จะได้	$19 \cdot \log(19) = 55.9443$
$C(21,22) = 3$	จะได้	$3 \cdot \log(3) = 3.2958$
$C(22,21) = 4$	จะได้	$4 \cdot \log(4) = 5.5452$
$C(22,22) = 7$	จะได้	$7 \cdot \log(7) = 13.6214$
$C(23,21) = 2$	จะได้	$2 \cdot \log(2) = 1.3863$
$C(23,22) = 2$	จะได้	$2 \cdot \log(2) = 1.3863$
$C(23,23) = 8$	จะได้	$8 \cdot \log(8) = 16.6355$
$C(24,23) = 4$	จะได้	$4 \cdot \log(4) = 5.5452$
$C(24,24) = 8$	จะได้	$8 \cdot \log(8) = 16.6355$
$C(25,24) = 4$	จะได้	$4 \cdot \log(4) = 5.5452$
$C(25,25) = 1$	จะได้	$1 \cdot \log(1) = 0$
$C(25,26) = 1$	จะได้	$1 \cdot \log(1) = 0$
$C(26,25) = 4$	จะได้	$4 \cdot \log(4) = 5.5452$
$C(26,26) = 2$	จะได้	$2 \cdot \log(2) = 1.3863$
$C(27,26) = 2$	จะได้	$2 \cdot \log(2) = 1.3863$
$C(27,27) = 1$	จะได้	$1 \cdot \log(1) = 0$

ดังนั้นจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 Entropy = & - \left[\begin{aligned}
 & (-0.0461) + (-0.0461) + (-0.0461) + (-0.0461) + (-0.0461) + (-0.0461) + \\
 & (-0.0461) + (-0.0461) + (-0.0461) + (55.9443) + (3.2958) + (-0.0461) + \\
 & (-0.0461) + (-0.0461) + (-0.0461) + (-0.0461) + (-0.0461) + (5.5452) + \\
 & (13.6214) + (-0.0461) + (-0.0461) + (-0.0461) + (-0.0461) + (-0.0461) + \\
 & (-0.0461) + (1.3863) + (1.3863) + (16.6355) + (-0.0461) + (-0.0461) + \\
 & (-0.0461) + (-0.0461) + (-0.0461) + (-0.0461) + (-0.0461) + (5.5452) + \\
 & (16.6355) + (-0.0461) + (-0.0461) + (-0.0461) + (-0.0461) + (-0.0461) + \\
 & (-0.0461) + (-0.0461) + (5.5452) + (0) + (0) + (-0.0461) + (-0.0461) + \\
 & (-0.0461) + (5.5452) + (0) + (0) + (-0.0461) + (-0.0461) + (-0.0461) + \\
 & (-0.0461) + (-0.0461) + (-0.0461) + (-0.0461) + (-0.0461) + (5.5452) + \\
 & (1.3863) + (-0.0461) + (-0.0461) + (-0.0461) + (-0.0461) + (-0.0461) + \\
 & (-0.0461) + (-0.0461) + (1.3863) + (0)
 \end{aligned} \right] \\
 = & -131.6480
 \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 2 การคำนวณค่าคุณลักษณะจากสมการความเฉื่อย

$$Inertia = \sum_{i=1}^{Ng} \sum_{j=1}^{Ng} (i-j)^2 C(i, j) \quad (6.2)$$

จากสมการจะพบว่าที่ตำแหน่งเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ที่มีค่าเท่ากับ 0 จะทำให้ค่าผลคูณ $(i-j)^2 C(i, j)$ มีค่าเป็น 0 และจะได้ค่า ณ ตำแหน่งอื่นๆ และผลรวมดังนี้

$$C(21,21) = 19 \quad \text{จะได้} \quad (21-21)^2 \cdot 19 = 0$$

$$C(21,22) = 3 \quad \text{จะได้} \quad (21-22)^2 \cdot 3 = 3$$

$$C(22,21) = 4 \quad \text{จะได้} \quad (22-21)^2 \cdot 4 = 4$$

$$C(22,22) = 7 \quad \text{จะได้} \quad (22-22)^2 \cdot 7 = 0$$

$$C(23,21) = 2 \quad \text{จะได้} \quad (23-21)^2 \cdot 2 = 8$$

$$C(23,22) = 2 \quad \text{จะได้} \quad (23-22)^2 \cdot 2 = 2$$

$$C(23,23) = 8 \quad \text{จะได้} \quad (23-23)^2 \cdot 8 = 0$$

$$C(24,23) = 4 \quad \text{จะได้} \quad (24-23)^2 \cdot 4 = 4$$

$$C(24,24) = 8 \quad \text{จะได้} \quad (24-24)^2 \cdot 8 = 0$$

$$C(25,24) = 4 \quad \text{จะได้} \quad (25-24)^2 \cdot 4 = 4$$

$$C(25,25) = 1 \quad \text{จะได้} \quad (25-25)^2 \cdot 1 = 0$$

$$C(25,26) = 1 \quad \text{จะได้} \quad (25-26)^2 \cdot 1 = 1$$

$$C(26,25) = 4 \quad \text{จะได้} \quad (26-25)^2 \cdot 4 = 4$$

$$C(26,26) = 2 \quad \text{จะได้} \quad (26-26)^2 \cdot 2 = 0$$

$$C(27,26) = 2 \quad \text{จะได้} \quad (27-26)^2 \cdot 2 = 2$$

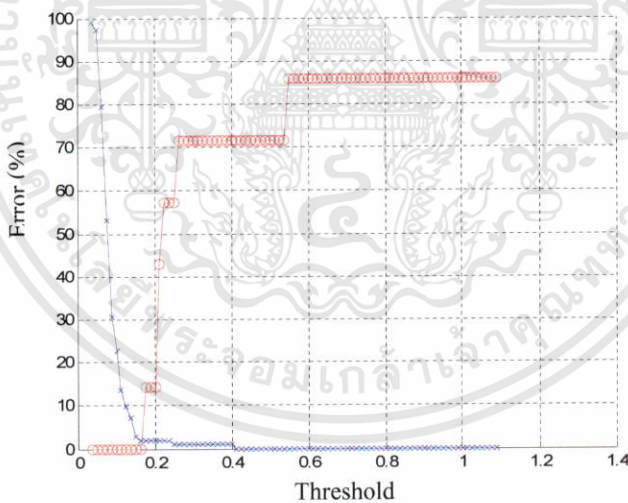
$$C(27,27) = 1 \quad \text{จะได้} \quad (27-27)^2 \cdot 1 = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ จะทำให้ขาดความถูกต้องของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned}
 & 0+0+0+0+0+0+0+0+0+ \\
 & 0+0+4+8+0+0+0+0+0+ \\
 & 0+3+0+2+4+0+0+0+0+ \\
 & 0+0+0+0+0+4+0+0+0+ \\
 \text{Inertia} &= 0+0+0+0+0+0+4+0+0+ \\
 & 0+0+0+0+0+0+1+0+0+ \\
 & 0+0+0+0+0+0+0+2+0+ \\
 & 0+0+0+0+0+0+0+0+0+ \\
 & = 32
 \end{aligned}$$

หลังจากที่ได้ค่าคุณลักษณะเด่นแล้วจะทำการเลือกค่าขีดแบ่งสำหรับการตัดสินใจโดยอ้างอิงการเรียนรู้จากข้อมูลทดสอบซึ่งการเลือกนั้นค่าขีดแบ่งนั้นเลือกจากค่าขีดแบ่งที่ทำให้ความผิดพลาดในสองกรณีคือ คือความผิดพลาดที่เกิดจากฐานรอกฮาร์ดคิสต์จริงมีตำหนิแต่ระบบระบุว่าไม่มีตำหนิ และความผิดพลาดที่เกิดจากฐานรอกฮาร์ดคิสต์จริงไม่มีตำหนิแต่ระบบระบุว่า มีตำหนิ ค่าเท่ากันดังแสดงในรูปที่ 5.14 โดยที่ค่าขีดแบ่งที่เลือกใช้คือจุดที่กราฟตัดกัน

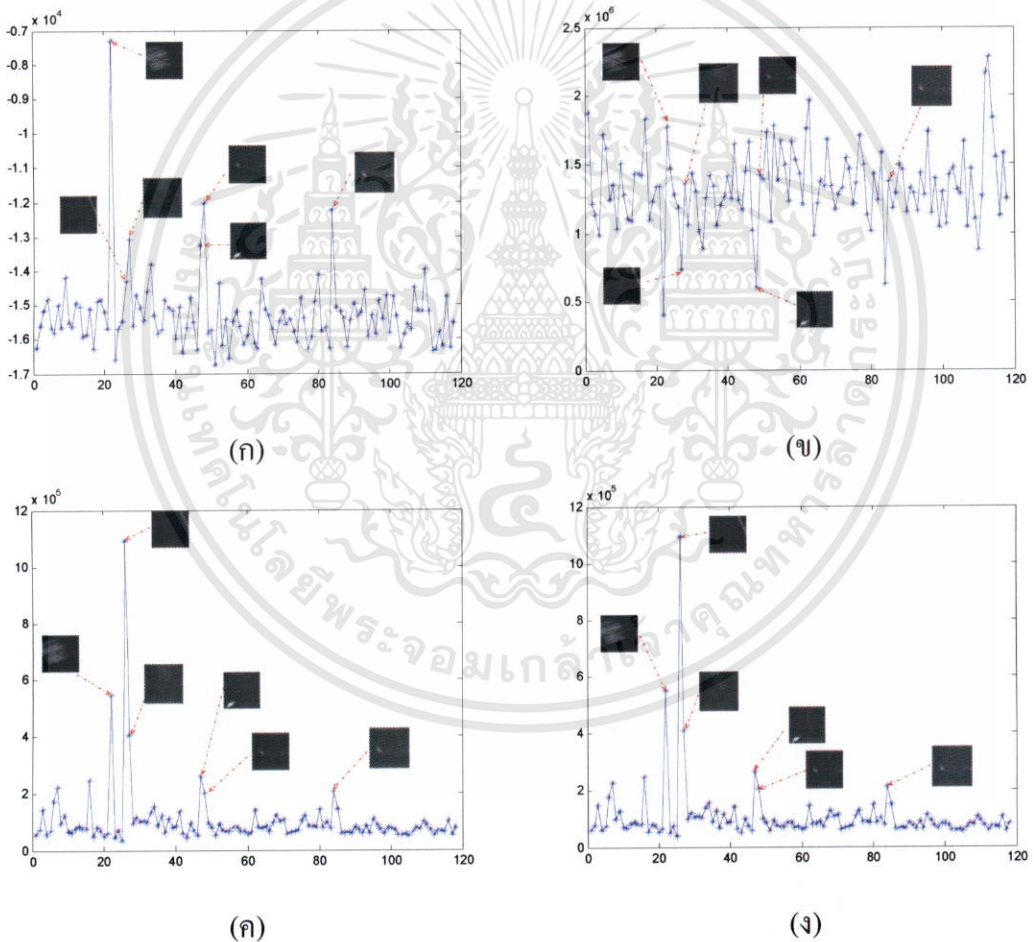


รูปที่ 5.14 ตัวอย่างการเลือกค่าขีดแบ่งจากข้อมูลทดสอบ (ค่าคุณลักษณะความถี่ของรอยขีดข่วน และค่าขีดแบ่งที่เลือกคือค่า ณ ตำแหน่งที่กราฟตัดกัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

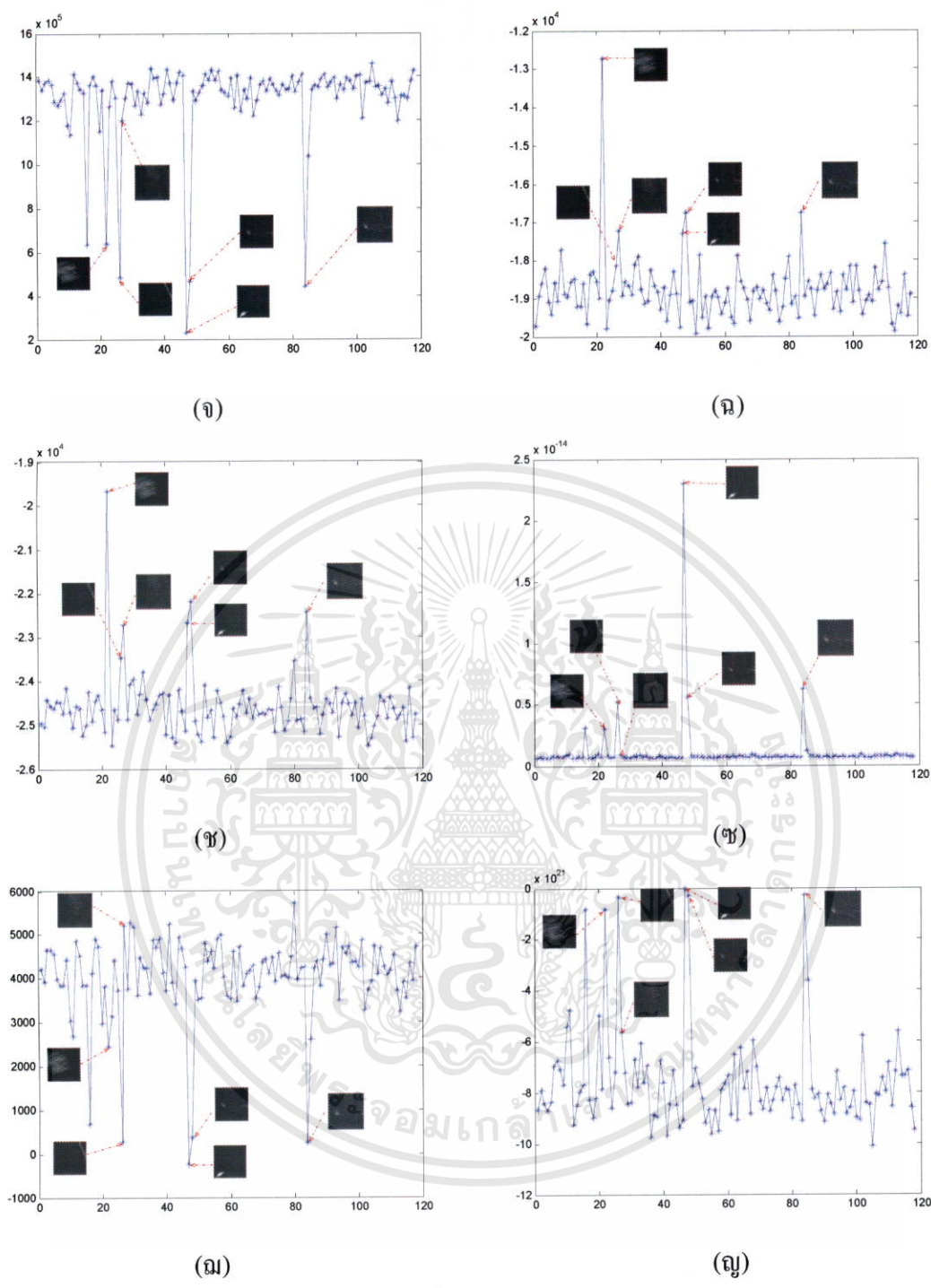
ตารางที่ 5.2 ถึงตารางที่ 5.4 แสดงความผิดพลาดในการตรวจสอบความบกพร่องของฐานร่องฮาร์ดดิสก์จากสมการคุณลักษณะเด่นแต่ละสมการในบทที่ 2 โดยได้สรุปจากข้อมูลภาพฐานร่องฮาร์ดดิสก์ชุดที่ 2 ถึง 4 (เนื่องจากข้อมูลชุดที่ 1 นั้นไม่สามารถตรวจสอบพบตำหนิได้จึงไม่ทำการพิจารณาต่อ) โดยพิจารณาเฉพาะส่วนที่สามารถตรวจพบจาก 5.1 ตามลำดับ และผลที่แสดงนั้นได้จากค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดที่ได้จากข้อมูลภาพที่ใช้ในงานวิจัยนี้

สำหรับการเลือกใช้สมการคุณลักษณะเด่นทั้ง 6 สมการในบทที่ 2 นั้นได้จากการสังเกตความเป็นไปได้จากการทดสอบจากข้อมูลภาพที่มีอยู่และได้แสดงแนวโน้มความเป็นไปได้ในการเลือกใช้งานจากค่าของสมการคุณลักษณะเด่นในลักษณะของกราฟในรูปที่ 5.15 เพื่อยืนยันการเลือกใช้งานสมการคุณลักษณะเด่น



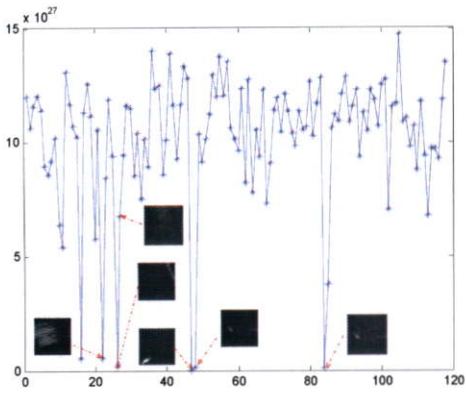
รูปที่ 5.15 ค่าของสมการคุณลักษณะเด่นจากข้อมูลภาพชุดที่ 2 ในลักษณะของกราฟ

(ก. ค่าเอนโทรปี ข. ค่าพลังงาน ค. ค่าความเฉื่อย ง. IDM จ. ค่าเฉลี่ยของผลรวม
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ
 ฉ. ค่าเอนโทรปีของผลรวม ช. ค่าเอนโทรปีของผลต่าง ซ. ค่าสหสัมพันธ์
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 ฌ. ค่าสหสัมพันธ์ของ Haralick ญ. ค่าความเข้มแสงของกลุ่มย่อย ฎ. ค่าคุณสมบัติเด่น
 ของกลุ่มย่อย ฏ. ค่าความแปรปรวนของผลรวม ฐ. ค่าความแปรปรวนของผลต่าง)

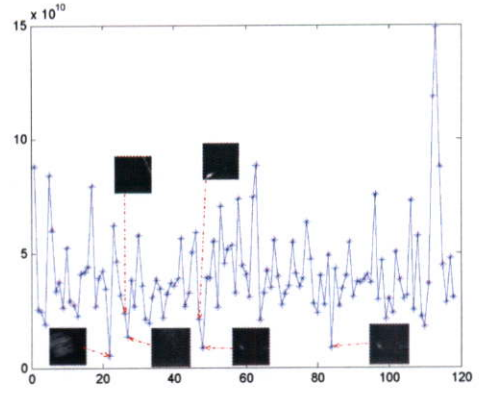


รูปที่ 5.15 (ต่อ)

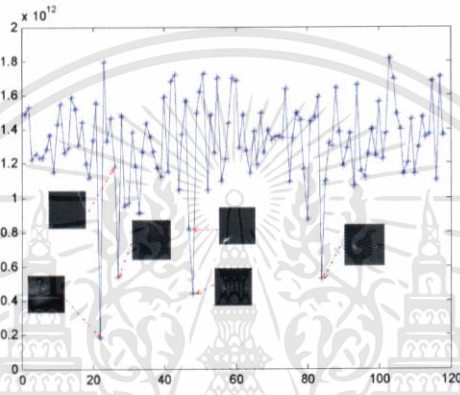
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 5.15 (ต่อ)

จากรูปที่ 5.15 จะพบว่าความเป็นไปได้ในการใช้งานคุณลักษณะเด่นค่าเอนโทรปี ค่าสหสัมพันธ์ ค่าเอนโทรปีของผลต่าง ค่าความเฉื่อย ค่าความแปรปรวนของผลต่าง และค่าสหสัมพันธ์ของ Haralick นั้นมีความเป็นไปได้ในการระบุวัตถุรอยขีดข่วน และคำอื่น ๆ ขึ้นในภาพที่ตรวจสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 ความผิดพลาดในการตรวจสอบความบกพร่องของข้อมูลภาพฐานรอนฮาร์ดดิสก์
ชุดที่ 2 จากสมการคุณลักษณะเด่นแต่ละสมการ

สมการคุณลักษณะเด่น	ความผิดพลาดในการตรวจสอบ (%)							
	0°		45°		90°		135°	
	I	II	I	II	I	II	I	II
Entropy	7.69	33.18	7.69	31.83	7.69	30.49	7.69	31.39
Inertia	0	23.76	7.69	12.56	15.38	14.80	15.38	9.86
Correlation	7.69	5.38	7.69	5.38	7.69	5.38	7.69	5.38
Haralick's Correlation	0	100	4.76	100	0	100	0	100
Difference Entropy	7.69	9.86	7.69	16.14	7.69	18.39	7.69	17.04
Difference Variance	0	99.55	0	100	38.46	52.91	0	99.55

ตารางที่ 5.3 ความผิดพลาดในการตรวจสอบความบกพร่องของข้อมูลภาพฐานรอนฮาร์ดดิสก์
ชุดที่ 3 จากสมการคุณลักษณะเด่นแต่ละสมการ

สมการคุณลักษณะเด่น	ความผิดพลาดในการตรวจสอบ (%)							
	0°		45°		90°		135°	
	I	II	I	II	I	II	I	II
Entropy	10	32.3	10	32.74	10	33.63	10	32.74
Inertia	20	9.73	10	13.27	10	20.35	10	23.45
Correlation	40	1.77	40	2.21	40	1.77	40	2.21
Haralick's Correlation	20	65.49	0	99.58	20	65.04	20	62.83
Difference Entropy	0	34.96	10	17.26	0	23.89	0	27.88
Difference Variance	0	98.67	20	79.65	0	99.35	20	80.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 ความผิดพลาดในการตรวจสอบความบกพร่องของข้อมูลภาพฐานรอนฮาร์ดดิสก์
ชุดที่ 4 จากสมการคุณลักษณะเด่นแต่ละสมการ

สมการคุณลักษณะเด่น	ความผิดพลาดในการตรวจสอบ (%)							
	0°		45°		90°		135°	
	I	II	I	II	I	II	I	II
Entropy	0	0	0	0	0	0	0	0
Inertia	0	0	0	0	0	0	0	0
Correlation	0	0	0	0	0	0	0	0
Haralick's Correlation	0	0	0	0	0	0	0	0
Difference Entropy	0	0	0	0	0	0	0	0
Difference Variance	0	0	0	0	0	0	0	0

อย่างไรก็ตามจากตารางที่ 5.2 ถึงตารางที่ 5.4 จะพบว่าการตรวจสอบหาความบกพร่องโดย
การใช้งานสมการคุณลักษณะเด่นเพียงสมการเดียวนั้นยังให้ผลได้ไม่ดีพอ ผู้วิจัยจึงได้ทดลองจัด
กลุ่มสมการคุณลักษณะเด่นเพื่อให้สามารถตรวจสอบได้ดียิ่งขึ้น โดยที่

กลุ่มที่ 1 คือ สมการเอนโทรปีและ สมการสหสัมพันธ์

กลุ่มที่ 2 คือ สมการเอนโทรปีของผลต่าง และสมการความเฉื่อย

กลุ่มที่ 3 คือ สมการความแปรปรวนของผลต่าง และ สมการสหสัมพันธ์แบบ Haralick

การเลือกใช้งานสมการคุณลักษณะเด่นและการเลือกกลุ่มสมการในงานวิจัยนี้อ้างอิงจาก
การสังเกตผลการทดลองจากการใช้งานสมการทั้งสิ้น 14 สมการซึ่งได้แสดงในภาคผนวก ง.

ตารางที่ 5.5 ถึงตารางที่ 5.7 แสดงความผิดพลาดในการตรวจสอบรอยขีดข่วนจากข้อมูลชุด
ที่ 2 ถึง 4 ในส่วนเดียวกับตารางที่ 5.2 ถึง 5.4 ตามลำดับด้วยการใช้งานกลุ่มสมการคุณลักษณะเด่น
โดยที่ ความผิดพลาดในรูปแบบที่ 1 คือความผิดพลาดที่เกิดจากฐานรอนฮาร์ดดิสก์จริงมีตำหนิแต่
ระบบระบุว่าไม่มีตำหนิ และความผิดพลาดในรูปแบบที่ 2 คือความผิดพลาดที่เกิดจากฐานรอน
ฮาร์ดดิสก์จริงไม่มีตำหนิแต่ระบบระบุว่ามืตำหนิ ตารางที่ 5.8 ถึง 5.9 แสดงความผิดพลาดในการ
ตรวจสอบรอยไขมันและรอยปากกาจากข้อมูลชุดที่ 4 และตารางที่ 5.10 แสดงผลการแยกแยะ
รูปแบบตำหนิด้วยวิธีการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 ความผิดพลาดในการตรวจสอบรอยขีดข่วนของข้อมูลภาพฐานรองฮาร์ดดิสก์ชุดที่ 2 ด้วยกลุ่มสมการคุณลักษณะเด่น

สมการคุณลักษณะเด่น	ความผิดพลาดในการตรวจสอบ (%)							
	0°		45°		90°		135°	
	I	II	I	II	I	II	I	II
กลุ่มที่ 1	7.69	14.35	15.38	8.97	23.08	9.42	23.08	7.17
กลุ่มที่ 2	23.08	5.38	23.08	5.38	23.08	5.38	23.08	5.38
กลุ่มที่ 3	15.38	9.87	15.38	16.14	53.85	18.39	15.38	17.04

ตารางที่ 5.6 ความผิดพลาดในการตรวจสอบรอยขีดข่วนของข้อมูลภาพฐานรองฮาร์ดดิสก์ชุดที่ 3 ด้วยกลุ่มสมการคุณลักษณะเด่น

สมการคุณลักษณะเด่น	ความผิดพลาดในการตรวจสอบ (%)							
	0°		45°		90°		135°	
	I	II	I	II	I	II	I	II
กลุ่มที่ 1	20	5.31	10	11.95	10	11.06	10	11.06
กลุ่มที่ 2	70	1.33	50	1.77	60	1.33	60	1.77
กลุ่มที่ 3	10	33.63	30	3.54	10	21.24	30	10.18

ตารางที่ 5.7 ความผิดพลาดในการตรวจสอบรอยขีดข่วนของข้อมูลภาพฐานรองฮาร์ดดิสก์ชุดที่ 4 ด้วยกลุ่มสมการคุณลักษณะเด่น

สมการคุณลักษณะเด่น	ความผิดพลาดในการตรวจสอบ (%)							
	0°		45°		90°		135°	
	I	II	I	II	I	II	I	II
กลุ่มที่ 1	0	0	0	0	0	0	0	0
กลุ่มที่ 2	0	0	0	0	0	0	0	0
กลุ่มที่ 3	0	0	0	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.8 ความผิดพลาดในการตรวจสอบรอยไขมันของข้อมูลภาพฐานรองฮาร์ดดิสก์
ชุดที่ 4 ด้วยกลุ่มสมการคุณลักษณะเด่น

สมการคุณลักษณะเด่น	ความผิดพลาดในการตรวจสอบ (%)							
	0°		45°		90°		135°	
	I	II	I	II	I	II	I	II
กลุ่มที่ 1	0	0	0	0	0	0	0	0
กลุ่มที่ 2	0	0	0	0	0	0	0	0
กลุ่มที่ 3	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 5.9 ความผิดพลาดในการตรวจสอบรอยปากกาของข้อมูลภาพฐานรองฮาร์ดดิสก์
ชุดที่ 4 ด้วยกลุ่มสมการคุณลักษณะเด่น

สมการคุณลักษณะเด่น	ความผิดพลาดในการตรวจสอบ (%)							
	0°		45°		90°		135°	
	I	II	I	II	I	II	I	II
กลุ่มที่ 1	0	0	0	0	0	0	0	0
กลุ่มที่ 2	0	0	0	0	0	0	0	0
กลุ่มที่ 3	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 5.10 ความผิดพลาดในการตรวจสอบความบกพร่องของข้อมูลภาพฐานรองฮาร์ดดิสก์
ชุดที่ 4 แบ่งตามรูปแบบของตำหนิด้วยวิธีการที่นำเสนอ

รูปแบบตำหนิ	ความผิดพลาดในการตรวจสอบ	
	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2
รอยขีดข่วน	0	0
รอยไขมัน	0	0
รอยปากกา	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ก่อนการตีพิมพ์และเผยแพร่สู่สาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาต
ผลการทดลองที่ได้นำเสนอในบทที่ 5 นี้ทำให้ทราบถึงปัญหาต่าง ๆ และปัจจัยที่สำคัญ
ไม่ถูกต้องโดยทั้งนี้ สิ่งที่ยังมีให้อธิบายและข้อสงสัยเกี่ยวกับข้อสรุปที่ได้จากการทดลอง
สำหรับระบบที่สนใจจึงจะได้นำเสนอข้อสรุปของงานวิจัยและข้อเสนอแนะต่าง ๆ ในบทถัดไป

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและพัฒนากระบวนการทัศนจำแนกเพื่อตรวจสอบคุณภาพของฐานร่องฮาร์ดดิสก์ในกระบวนการผลิต โดยได้นำเอาคุณสมบัติของการวิเคราะห์พื้นผิวหนึ่งหน่วยและสเปกตรัมของพื้นผิวหนึ่งหน่วย ร่วมกับเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ และระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อทำการวิเคราะห์พื้นผิวของฐานร่องฮาร์ดดิสก์

6.1 สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองนี้อ้างอิงจากข้อจำกัดของระบบดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 1 โดยสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

ผลการตรวจสอบด้วยการวิเคราะห์พื้นผิวหนึ่งหน่วยและสเปกตรัมของพื้นผิวหนึ่งหน่วยนั้นสามารถช่วยให้ระบบทำงานได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น โดยผู้วิจัยได้นำเอาคุณสมบัติของพื้นผิวหนึ่งหน่วยมาใช้ในการค้นหาตำแหน่งที่มีตำหนิที่แน่นอนจากผลการทดลองพบว่าวิธีการแบบพื้นผิวหนึ่งหน่วยนั้นสามารถตรวจพบตำแหน่งที่มีตำหนิได้มากกว่า 80 % ในบริเวณพื้นที่ดิสก์สำหรับข้อมูลตัวอย่างที่ใช้งาน โดยใช้เวลาในการตรวจสอบไม่เกิน 1 วินาทีต่อการตรวจสอบภาพฐานร่องฮาร์ดดิสก์ 1 ภาพ (โดยเฉลี่ยจากการวัดโดยโปรแกรม MATLAB ที่ 0.05 วินาทีต่อภาพ) ซึ่งให้ผลการตรวจสอบที่รวดเร็วกว่าการวิเคราะห์พื้นผิวโดยวิธีการเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ที่ใช้เวลาในการตรวจสอบในแต่ละภาพมากกว่า 10 วินาที (โดยเฉลี่ยจากการวัดโดยโปรแกรม MATLAB ที่ 20 วินาทีต่อภาพ) อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์เมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ก็มีคุณสมบัติอื่นที่เป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์

หลังจากที่ได้ผลการตรวจสอบหาตำแหน่งของตำหนิโดยวิธีวิเคราะห์พื้นผิวหนึ่งหน่วยแล้วจะได้ทำการตรวจสอบชนิดของตำหนิที่เกิดขึ้นโดยใช้คุณสมบัติการวิเคราะห์พื้นผิวของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ร่วมกับสมการคุณลักษณะดังได้กล่าวในบทที่ 3 4 และ 5 ซึ่งสามารถแยกแยะรูปแบบของตำหนิได้อย่างถูกต้องโดยประมาณ 60 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับผลวิเคราะห์คำหับประเภทรอยขีดข่วนนั้นจะให้ผลที่ดีในส่วนพื้นที่ดิสก์เท่านั้นในบริเวณอื่น ๆ ยังให้ผลได้ไม่ดีเท่าที่ควรจึงทำให้ผลของการตรวจสอบไม่ดีเท่าที่ควร และคำหับประเภทอื่น ที่ได้กล่าวอ้างถึงในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังมีจำนวนน้อยเนื่องจากเป็นคำหับที่ได้จากสายการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมจริง

ผู้วิจัยพบว่าปัญหาหนึ่งที่ทำให้ผลการตรวจสอบมีความแม่นยำลดลงคือเรื่องของแหล่งกำเนิดแสงเนื่องจากฐานรอกฮาร์ดดิสก์นั้นมีขอบที่ตุงขึ้นในหลาย ๆ ส่วน จึงทำให้แสงบางส่วนถูกบดบังก่อให้เกิดเงาในบางบริเวณซึ่งอาจมีคำหับดังกล่าวนี้จึงควรมีการพัฒนาแหล่งกำเนิดแสงเพื่อใช้สำหรับระบบนี้ และหมายรวมถึงในระบบทัศนจักรอื่น ๆ เนื่องจากผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทจะมีรูปร่างและคุณสมบัติต่าง ๆ กันไป อีกทั้งแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในงานวิจัยนี้นั้นมีราคาที่สูงมากเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เพื่อลดค่าใช้จ่ายสำหรับการสร้างระบบทัศนจักรเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมของไทยจึงควรที่จะวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์ต่าง ๆ ขึ้นเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบในอนาคต

สำหรับในส่วนของการประมวลผลนั้นผู้วิจัยพบว่าการแก้ไขปัญหานี้เนื่องจากอุปกรณ์ด้วยโปรแกรมนี้ยังให้ผลได้ไม่ดีเท่าที่ควรทั้งนี้เนื่องจากการแก้ไขการลดทอนเนื่องจากเลนส์นั้นทำให้คุณภาพของภาพที่ได้ลดลงอีกทั้งยังทำให้รายละเอียดบางอย่างสูญหายไปทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นโดยในระหว่างการศึกษาและทดลองผู้วิจัยได้พบว่าการแก้ไขการลดทอนของภาพเนื่องจากเลนส์นั้นสามารถแก้ไขได้โดยการเปลี่ยนชนิดของเลนส์รับภาพซึ่งการแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์ด้วยการเปลี่ยนอุปกรณ์นั้นจะให้ผลที่ดีกว่าการแก้ไขทางโปรแกรม โดยเลนส์ที่แนะนำคือเลนส์ชนิดเทเลเซนทริกซ์เลนส์ อย่างไรก็ตามเลนส์ชนิดนี้มีราคาที่สูงมาก โดยได้แนะนำคุณสมบัติของเลนส์ประเภทต่าง ๆ ไว้ในภาคผนวก ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Novak, I. and Hocenski, Z., "Texture feature extraction for a visual inspection of ceramic tiles", **IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE'05)**, vol.3, Jun. 2005, pp.1279-1284.
- [2] Desoli, G.S. et.al. "A system for automated visual inspection of ceramic tiles", **IEEE Proceedings of the International Conference on Industrial Electronics, Control, and Instrumentation (IECON'93)**, vol.3, Nov. 1993, pp.1871-1876.
- [3] Onishi, H. et.al. "A pattern defect inspection method by parallel grayscale image comparison without precise image alignment", **IEEE 28th Annual Conference of the Industrial Electronics Society (IECON '02)**, vol.3, Nov. 2002, pp.2208-2213.
- [4] Seiji, H., "Vision systems for PCB manufacturing in Japan", **IEEE 16th Annual Conference of Industrial Electronics Society (IECON '90)**, vol.1, Nov. 1990, pp.792-797.
- [5] Hepplewhite, L. and Stonham, T.J., "Magnetic disk inspection using texture recognition", **IEE Colloquium on Texture Classification: Theory and Applications**, Oct. 1994, pp.8/1-8/4.
- [6] Hepplewhite, L. et.al., "Automated visual inspection of magnetic disk media", **IEEE Proceedings of the 3rd International Conference on Electronics, Circuits, and Systems (ICECS '96)**, vol.2, Oct. 1996, pp.732-735.
- [7] He, D.C. and Wang, L. "Texture unit, texture spectrum, and texture analysis", **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, vol.28, No.4, Jul. 1990, pp.509-512.
- [8] Patel, D. and Stonham, T.J., "Texture image classification and segmentation using rank-order clustering", **IEEE Proceedings of 11th IAPR International Conference on Pattern Recognition**, vol.3, Aug.-Sep. 1992, pp.92-95.
- [9] Alapuranen, P. and Westman, T., "Automatic visual inspection of wood surface", **IEEE Proceedings of 11th IAPR International Conference on Pattern Recognition**, vol.1, Aug.-Sep. 1992, pp.371-374.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังไม่มีเหตุผลเชิงนโยบายที่ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] Hepplewhite, L. and Stonham, T.J., "Surface inspection using texture recognition", **IEEE Proceedings of the 12th IAPR International Conference on Pattern Recognition**, vol.1, Oct. 1994, pp.589-591.
- [11] Tobias, O.J. et.al., "Automatic visual inspection using the Co-occurrence approach", **IEEE Proceedings of the 38th Midwest Symposium on Circuits and Systems**, vol.1, Aug. 1995, pp.154-157.
- [12] Tomczak, L. and Mosorov, V., "Singular value decomposition for texture defect detection in visual inspection systems", **Proceedings of the 2nd International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design**, May 2006, pp.131-133.
- [13] Wooten, A. "Integrating visual inspection capabilities into an automatic test equipment software environment", **IEEE Systems Readiness Technology Conference**, Sep. 2006, pp.486-495.
- [14] Karkanis, S.A. et.al., "Classification of endoscopic images based on texture spectrum", **Proceeding of Workshop on Machine Learning in Medical Applications (ACAI'99)**, Jul. 1999, pp.63-69
- [15] Bonilha, L. et.al., "Texture analysis of hippocampal sclerosis" **Epilepsia**, vol.44, issue12, Dec. 2003, pp.1546-1550.
- [16] Manual training data V.M.I. 10x Final Nidec Corporation (Internal Report).
- [17] Bailey, D.G., "A new approach to lens distortion correction", **Proceedings Image and Vision Computing New Zealand**, Nov. 2002, pp.59-64.
- [18] Utanon, W., **Texture Classification using Co-occurrence matrix based Feature and Multi-Scale representation**, The Degree of Master of Science, Mahidol University, 2003.
- [19] Barcelo, A. et.al., "Fuzzy texture unit and fuzzy texture spectrum for texture characterization", **Fuzzy sets and Systems**, vol.158, 2007, pp.239-252.
- [20] Aksoy S., **Textural Features for Content-Based Image Database Retrieval**, The degree of Master of Science in Electrical Engineering, University of Washington, 1998.
- [21] Image Processing Toolbox For Use with MATLAB®, Oct. 2004, The Mathworks.
- [22] Petrovic S., "Basic Architecture of an Expert System" [Online]. Available from : www.cs.nott.ac.uk/~sxp/ES3/index.html, Retrieved date : Jan. 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [23] CCS Inc., Technical Documents Drawings [Online]. Available from : <http://www.ccs-inc.co.jp/cgi-bin/hp.cgi?menu=102-102-01-05e>, Retrieved date : Jun. 2007.
- [24] Haralick, R.M., “Statistical and structural approaches to texture”, **Proceedings of the IEEE**, vol.67, May 1979, pp.786-804.
- [25] Edmund Optics Inc., Technical Documents Support [Online]. Available from : <http://www.edmundoptics.com/techSupport/DisplayArticle.cfm?articleid=311>, Retrieved date : Jun. 2007.
- [26] Edmund Optics Inc., Technical Documents Support [Online]. Available from : <http://www.edmundoptics.com/techSupport/DisplayArticle.cfm?articleid=239>, Retrieved date : Jun. 2007.
- [27] Edmund Optics Inc., Technical Documents Support [Online]. Available from : <http://www.edmundoptics.com/techSupport/DisplayArticle.cfm?articleid=263>, Retrieved date : Jun. 2007.
- [28] CCS Inc., PDF Catalogue [Online]. Available from : <http://www.ccs-inc.co.jp/cgi-bin/pamphlet.cgi?lang=e>, Retrieved date : Jun. 2007.
- [29] Melles Griot, Machine Vision Guide [Online]. Available from : http://www.mellesgriot.com/pdf/CatalogX/X_14_16-19.pdf, Retrieved date : Jun. 2007.
- [30] Firstsight Vision Ltd., Machine Vision Illumination Techniques [Online]. Available from : <http://server.firstsightvision.co.uk/download/Firstsight%20Vision/techpdf/Illuminationtech.pdf>, Retrieved date : Jun. 2007.
- [31] Firstsight Vision Ltd., A Guide to Illumination Techniques [Online]. Available from : <http://www.firstsightvision.co.uk/illumination.html>, Retrieved date : Jun. 2007.
- [32] Edmund Optics Inc., Technical Documents Support [Online]. Available from : <http://www.edmundoptics.com/techSupport/DisplayArticle.cfm?articleid=291>, Retrieved date : Jun. 2007.
- [33] First Year Report, “Auto Inspection Machine IQC Auto Inspection Machine เอกสารนี้เป็น (VMI)(KMITL)”, Jul. 2006, (Internal Report). ท่านนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

กล้องและเลนส์ (Camera and lens)

ก.1 กล้อง

กล้องเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เป็นตัวตรวจจับหรือเป็นเซ็นเซอร์ของระบบตรวจสอบแบบอัตโนมัติที่ใช้ระบบการมองเห็นในการตรวจสอบโดยเราจะทำการวิเคราะห์ภาพที่ได้จากกล้องซึ่งในส่วนของกล้องที่ใช้ในระบบตรวจสอบแบบอัตโนมัตินั้นสามารถแบ่งตามคุณสมบัติได้หลายรูปแบบ โดยหากแยกแยะตามคุณสมบัติของสัญญาณจะสามารถแบ่งออกได้เป็นได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. กล้องที่ส่งสัญญาณภาพเป็นสัญญาณแบบต่อเนื่องหรือกล้องอนาล็อก (Analog Camera)
2. กล้องที่ส่งสัญญาณภาพเป็นสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องหรือกล้องดิจิทัล (Digital Camera)

กล้องอนาล็อกนั้นจะส่งสัญญาณแบบต่อเนื่องในรูปแบบฐานเวลาจริง ความถี่และกำลังของสัญญาณนั้นจะขึ้นกับระดับสัญญาณที่ได้จากกล้อง ซึ่งเป็นรูปแบบของสัญญาณที่ใช้งานได้ง่ายกับการเข้ารหัสทั่วไปเช่นระบบสัญญาณแบบ PAL หรือ NTSC อย่างไรก็ตามสัญญาณแบบอนาล็อกนั้นมีข้อจำกัดในเรื่องของความละเอียดของภาพ ความเร็วเฟรม อีกทั้งยังไวต่อการรบกวนของสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ รวมถึงมีข้อจำกัดในเรื่องของความยาวของสายส่งข้อมูลซึ่งขึ้นกับรูปแบบของคอนเน็คเตอร์ที่เลือกใช้งาน ในทางกลับกันกล้องดิจิทัลนั้นจะทำการส่งข้อมูลในรูปแบบฐานสอง (“0” และ “1” เท่านั้น) เมื่อทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติกับกล้องอนาล็อกแล้วกล้องดิจิทัลจะมีข้อได้เปรียบคือ มีความละเอียดของภาพที่สูงกว่า มีความเร็วเฟรมที่มากกว่า และมีการรบกวนของสัญญาณน้อยกว่า อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบในด้านของราคาแล้วกล้องดิจิทัลนั้นมีราคาที่สูงกว่ากล้องอนาล็อกมากข้อเสียที่สำคัญของกล้องก็คือเรื่องของสายส่งสัญญาณที่สั้นมากเมื่อเทียบกับกล้องอนาล็อก ตารางที่ ก.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างกล้องแบบดิจิทัลและอนาล็อก

ตารางที่ ก.1 คุณสมบัติของกล้องดิจิทัล และอนาล็อก[25]

Digital	Analog
▪ ตัวรับภาพมีให้เลือกหลายรูปแบบทั้งความเร็วสูง หรือความละเอียดสูง ▪ ต้องการคอมพิวเตอร์ในการแสดงผล ▪ ต้องใช้การ์ดรับภาพหากใช้สายสัญญาณเป็นแบบ Camera Link ▪ ผลที่ได้เป็นแบบ Progressive Scan ▪ มีการสูญหายของสัญญาณน้อยมากระหว่างการประมวลผล	▪ ขนาดเล็ก โดยปกติความละเอียดต่ำ ▪ ความเร็วโดยปกติ 30 ภาพต่อวินาที ▪ ต้องการการ์ดรับภาพและคอมพิวเตอร์สำหรับการประมวลผลเชิงดิจิทัล ▪ ไวต่อสัญญาณรบกวน และการเชื่อมต่อซึ่งก่อให้เกิดการสูญหายของสัญญาณ ▪ สัญญาณที่ได้โดยทั่วไปเป็นแบบอินเทอร์เลข ▪ รูปแบบสัญญาณเป็นแบบ NTSC / EIA

ตัวรับภาพของกล้องทั้งสองแบบดิจิทัลและอนาล็อกชนิดนั้นโดยทั่วไปมี 2 รูปแบบคือ

1.

CCD (Charge Coupled Device)
2.

CMOS (Complimentary Metal Oxide Semiconductor)

โดยได้เปรียบเทียบ คุณสมบัติของตัวรับภาพของกล้องทั้งสองชนิดได้แสดงดังตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของตัวรับภาพแบบดิจิทัลและอนาล็อก

	CCD	CMOS
รูปแบบจุดสัญญาณ	กลุ่มอิเล็กตรอน(Electron Packet)	ระดับแรงดัน
สัญญาณจากตัวรับภาพ	อนาล็อก	ดิจิทัล
อัตราส่วนของพื้นที่ทั้งหมดต่อพื้นที่ที่มองเห็น (Fill Factor)	สูง	ปานกลาง
การตอบสนอง	ปานกลาง	ปานกลาง – สูง
ระดับสัญญาณรบกวน	ต่ำ	ปานกลาง – สูง
ช่วงพลวัต (Dynamic Range)	สูง	ปานกลาง
ความมีรูปแบบ	สูง	ต่ำ
ความละเอียด	ต่ำ – สูง	ต่ำ – สูง
ความเร็ว	ปานกลาง – สูง	สูง
อัตราการใช้พลังงาน	ต่ำ	ปานกลาง – สูง
ความซับซ้อน	ต่ำ	ปานกลาง
ราคา	ปานกลาง	ปานกลาง

และหากแบ่งแยกชนิดของกล้องตามรูปแบบของภาพที่ได้จากกล้องก็จะสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

- 1. กล้องที่ให้ภาพเป็นภาพสี (Color camera)
- 2. กล้องที่ให้ภาพเป็นภาพระดับสีเทา (Monochrome camera)

โดยคุณสมบัติของกล้องทั้งสองประเภทแสดงในตารางที่ ก.3

ตารางที่ ก.3 คุณสมบัติของกล้องระดับสีเทาและกล้องสี

Monochrome camera	Color Camera	
	Color with single chip	Color with 3 chips
• ตัวรับภาพเชิงเดี่ยวให้ภาพระดับสีเทา • ให้ความละเอียดที่สูงกว่ากล้องแบบสีที่ใช้ตัวรับภาพเชิงเดี่ยว • อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงทำให้มีความคมชัดสูง • ความไวแสงสูง • เหมาะสำหรับงานประยุกต์ที่เกี่ยวกับการวัดขนาด	• ใช้ตัวกรองแสงสีระดับ RGB • ราคาถูก • ความละเอียดต่ำ (ต้องการจำนวนจุดมากสำหรับการแยกแยะสี) • ใช้สายสัญญาณที่เป็นมาตรฐานทำให้ง่ายในการรวมเข้ากับระบบ ใดๆ	• ใช้ปริซึมในการแยกแสงขาวออกเป็น 3 สีเพื่อส่งให้ตัวรับภาพแต่ละสี • ราคาสูง • ความละเอียดของสีสูง • ความไวต่ำ • มีเลนส์ให้เลือกใช้งานน้อย

และหากแบ่งแยกตามลักษณะการทำงานของตัวรับภาพจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 4ประเภทคือ

- 1. แบบสแกนเชิงเส้น (Line scan camera)
- 2. แบบสแกนตามลำดับ (Progressive scan camera)
- 3. แบบสแกนพื้นที่ (Area scan camera)
- 4. แบบสแกนสลับ (Interlaced scan camera)

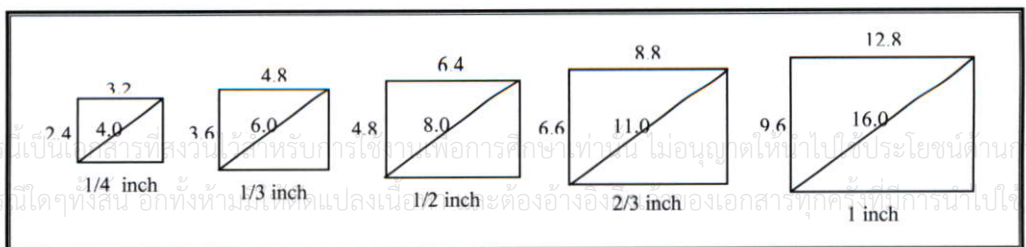
คุณสมบัติของตัวรับภาพแต่ละประเภทแสดงได้ดังตารางที่ ก.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 คุณสมบัติของตัวรับภาพแต่ละประเภท[25]

Line scan	Progressive scan
■ ตัวรับภาพเป็นแบบเชิงเส้น ■ ตัวรับภาพมีขนาดใหญ่ ■ เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความเร็วสูง ■ รูปแบบการรับภาพเป็นการรับภาพทีละแถวของภาพ ■ เหมาะสมกับงานชิ้นงานที่มีความกว้างมาก ■ เหมาะสมกับงานที่วัตถุมีการเคลื่อนที่ ■ ใช้แหล่งกำเนิดแสงอย่างง่าย	■ รับภาพเป็นลำดับ (1,2,3,4...) ■ การบันทึกภาพจะเปิดหน้ากล้องเพียงครั้งเดียวต่อภาพ ■ เหมาะกับงานที่ต้องการความเร็วสูงมาก ■ ราคาแพง
Area scan	Interlaced scan
■ ตัวรับภาพมีขนาดมาตรฐานที่ 4:3 (H:V) ■ ตัวรับภาพมีขนาดใหญ่ ■ ใช้ได้กับงานที่ต้องการความเร็วสูง ■ ความเร็วซีตเตอร์สูง ■ ราคาถูกกว่าแบบ line scan ■ ประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ ■ ง่ายต่อการติดตั้ง	■ ตัวรับภาพแบ่งออกเป็นสองส่วน (คู่และคี่) ■ ประมวลผลภาพแถวคี่ก่อนแถวคู่ ■ ภาพที่สมบูรณ์เกิดจากการรวมกันของภาพแถวคู่และแถวคี่ ■ เหมาะกับงานที่ไม่ต้องการความเร็วมากนัก ■ ดังนั้นหากใช้กับงานที่ต้องการความเร็วสูง จะเกิดการเบลอของภาพ

ตัวรับภาพของกล้องโดยทั่ว ๆ ไป (ซึ่งหมายถึงกล้องแบบ Progressive scan) ตัวรับภาพของกล้องจะมีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างเป็น 4:3 และมีขนาดต่าง ๆ กันดังแสดงในรูปที่ ก.1 ซึ่งการเลือกใช้งานจะต้องเลือกให้เหมาะสมกับงานเนื่องจากความเข้มแสงจะเกิดการลดทอนลงที่ขอบภาพโดยผลกระทบจะแปรผันตามขนาดของตัวรับภาพ



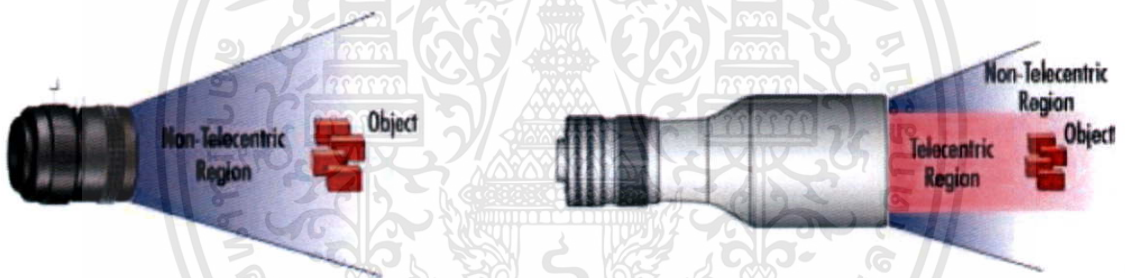
รูปที่ ก.1 ขนาดของตัวรับภาพโดยทั่ว ๆ ไป

ก.2 เลนส์

เลนส์ เป็นอีกหนึ่งอุปกรณ์ที่สำคัญสำหรับระบบการมองเห็นสำหรับการเลือกใช้เลนส์นั้น จะมียอประกอบที่ขึ้นกับขนาดของตัวรับภาพของกล้อง, ระยะระหว่างกล้องกับชิ้นงาน, ความละเอียดของชิ้นงาน (resolution), พื้นที่ของวัตถุที่ต้องการ (Field of View, FOV) และระยะความแตกต่างของผิวเนื้องาน (Depth of Field, DOF) ซึ่งเลนส์ที่มีใช้งานในปัจจุบันมี 2 ประเภทหลัก คือ เลนส์แบบดั้งเดิม และเลนส์แบบเทเลเซนทริก (Telecentric lens)

ความแตกต่างของเลนส์สองประเภทนี้คือ เลนส์แบบเทเลเซนทริกนั้นจะไม่ก่อให้เกิดความบิดเบือนเนื่องจากความโค้งของเลนส์ ซึ่งเป็นปัญหาของเลนส์แบบดั้งเดิม ข้อเสียของเลนส์แบบเทเลเซนทริกคือมีราคาที่สูงมาก

รูปที่ ก.2 แสดงลักษณะของการรับภาพด้วยเลนส์ทั้งสองประเภทโดยรูปทางซ้ายเป็นรูปแบบการรับภาพจากเลนส์แบบดั้งเดิม และรูปทางด้านขวาเป็นรูปแบบการรับภาพของเลนส์แบบเทเลเซนทริก



รูปที่ ก.2 ลักษณะการรับภาพของเลนส์ (รูปซ้าย เลนส์แบบดั้งเดิม และรูปขวาเลนส์แบบเทเลเซนทริก) [26]

การคำนวณองค์ประกอบต่าง ๆ ในการเลือกใช้กล้องและเลนส์นั้นสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ ก.1 – ก.11 [27]

ความเร็วชัตเตอร์ (Frame Rate)

$$\text{Frame Rate} \geq \text{Inspection part frequency} \quad (\text{ก.1})$$

ความละเอียดของกล้องที่ต้องการ

$$\text{Camera res.}(\mu\text{m}) = \frac{1000}{\text{camera res.}(lp/mm)} \quad (\text{ก.2})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามนำเอกสารนี้ไปลงนิตยสารหรือเอกสารใดๆที่มีการนำไปใช้

กล้องอนาล็อก

$$\text{Horiz. Camera res. (lp/mm)} = \frac{\text{Horiz. TV line} \times 1.333}{2 \times \text{Sensor Size (Horiz)}} \quad (\text{ก.3})$$

$$\text{Vertical. Camera res. (lp/mm)} = \frac{\text{Vertical. TV line}}{2 \times \text{Sensor Size (Vertical)}} \quad (\text{ก.4})$$

กล้องดิจิทัล

$$\text{Camera res. (lp/mm)} = \frac{\# \text{ Pixel}}{2 \times \text{Sensor Size}} \quad (\text{ก.5})$$

$$\text{Camera res. (}\mu\text{m)} = 2 \times \text{Pixel Size (}\mu\text{m)} \quad (\text{ก.6})$$

กำลังขยาย

$$\text{PMAG} = \frac{\text{Sensor Size (Horiz.)}}{\text{Field of View (Horiz)}} \quad (\text{ก.7})$$

$$\text{System Mag.} = \text{PMAG} \times \frac{\text{Monitor Size (diag.)}}{\text{Sensor Size (diag.)}} \quad (\text{ก.8})$$

ความละเอียดของระบบที่ได้

$$\text{System res. (}\mu\text{m)} = \frac{\text{Camera res. (}\mu\text{m)}}{\text{PMAG}} \quad (\text{ก.9})$$

$$\text{System res. (lp/mm)} = \text{PMAG} \times \text{Camera res. (lp/mm)} \quad (\text{ก.10})$$

ความยาวโฟกัสของเลนส์

$$\text{focus length} = \frac{\text{Sensor Size (Horiz)} \times \text{Working Distance}}{\text{Sensor Size (Horiz)} + \text{Field of View}} \quad (\text{ก.11})$$

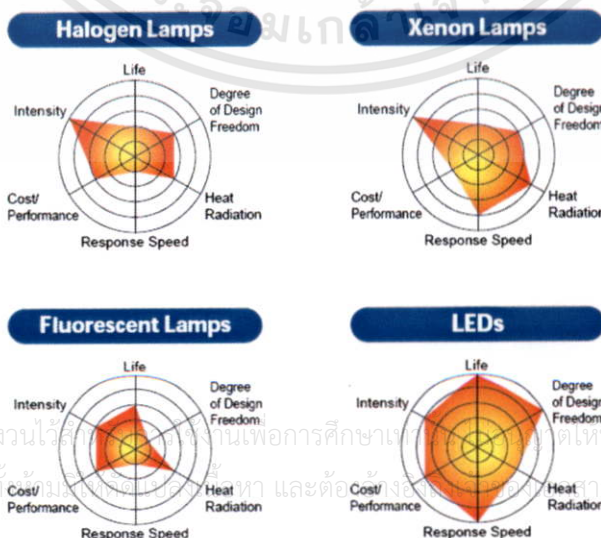
โดยที่ res. หมายถึง resolution, Mag. หมายถึง Magnification, Diag. หมายถึง Diagonal, PMAG หมายถึง Primary Magnification, Horiz หมายถึง Horizontal.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งกำเนิดแสง (Light source)

ในการตรวจสอบแบบอัตโนมัติด้วยระบบการมองเห็น (visual inspection) สิ่งสำคัญสิ่งหนึ่งที่จะละเอียดเสียมิได้นอกจากกล้องและเลนส์ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรับภาพแล้วก็คือ แหล่งกำเนิดแสง ที่ใช้เพื่อให้สามารถมองเห็นชิ้นงานได้ทั่วทั้งชิ้นงาน ซึ่งหากเลือกแหล่งกำเนิดแสงไม่เหมาะสมแล้วก็จะทำให้ไม่สามารถมองเห็นชิ้นงานได้ตลอดทั้งชิ้นงาน เนื่องจากอาจเกิดจุดอับแสงหรือเกิดการสะท้อนกลับของแสงจากส่วนของชิ้นงานที่เป็นเนื้อโลหะ กระฉก และอื่น ๆ ซึ่งก่อให้เกิดการสะท้อนกลับของแสง ซึ่งแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในระบบการมองเห็นนั้นหากแยกประเภทตามลักษณะการใช้งานก็อาจจะแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ แหล่งกำเนิดแสงสำหรับระบบทัศนจักร แหล่งกำเนิดแสงสำหรับกล้องจุลทรรศน์ และแหล่งกำเนิดแสงสำหรับการตรวจสอบทางการแพทย์ แต่หากเราแบ่งประเภทโดยลักษณะการกำเนิดแสงก็อาจจะแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท คือ กำเนิดแสงโดยหลอดฮาโลเจน (Halogen lamp), กำเนิดแสงโดยหลอดซีนอน (Xenon lamp), กำเนิดแสงโดยหลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent lamp), กำเนิดแสงโดยไดโอดเปล่งแสง (LED) การเปรียบเทียบคุณสมบัติของแหล่งกำเนิดแสงทั้ง 4 ประเภทไว้ในรูปที่ (ข.1) จะเห็นได้ว่าแหล่งกำเนิดแสงแบบ LED นั้นมีคุณสมบัติที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดแสงแบบอื่น ๆ แม้ว่าค่าความเข้มแสงที่ได้จาก LED นั้นจะต่ำกว่า Halogen lamp และ Xenon lamp ก็ตาม แต่อายุการใช้งานยาวนานกว่ามาก อีกทั้งการกระจายของแสงยังดีกว่ามาก การตอบสนองต่อการขับแสงก็รวดเร็ว ในส่วนของอุณหภูมินั้นก็อยู่ในระดับใกล้เคียงกับแหล่งจ่ายประเภทอื่น ๆ

สำหรับข้อดีและข้อเสียของแหล่งกำเนิดแสงแต่ละรูปแบบนั้น ได้แสดงในตารางที่ ข.1



รูปที่ ข.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของแหล่งกำเนิดแสงแบบต่าง ๆ

ตารางที่ ข.1 ข้อดีและข้อเสียของแหล่งกำเนิดแสงแบบต่าง ๆ [29]

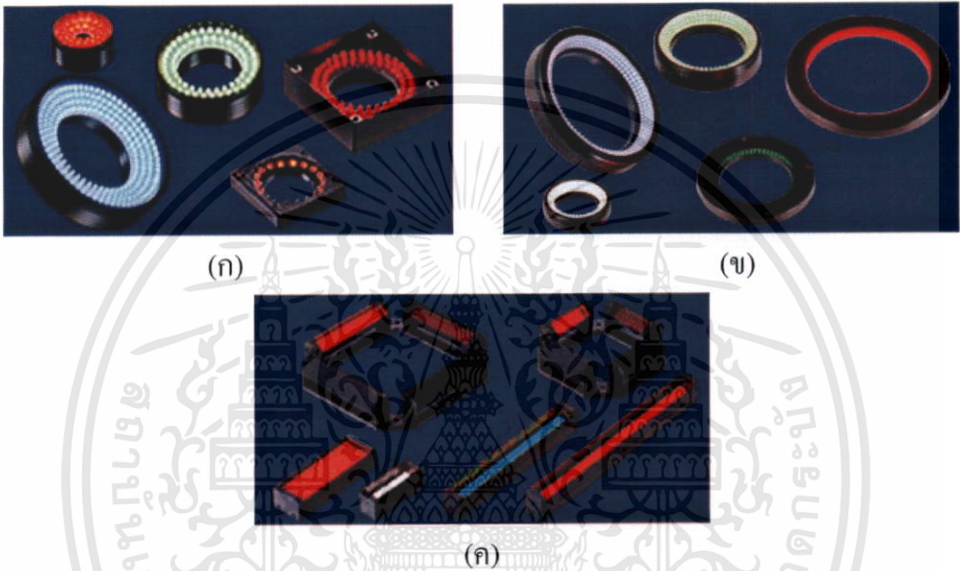
ชนิดของแหล่งกำเนิดแสง	ข้อได้เปรียบ	ข้อเสียเปรียบ
ไดโอดเปล่งแสง (LED) Array of light-emitting diodes	▪ สามารถปรับแต่งรูปแบบได้โดยการจัดวาง ▪ แสงเชิงเดี่ยวสามารถใช้ในงานประยุกต์บางประเภทได้ดี ▪ สามารถปรับกำลังและความเร็วในการกระพริบได้	▪ งานบางรูปแบบจะมองเห็นได้ยากด้วยแหล่งกำเนิดแสงแบบสีเดียว ▪ จำนวนLEDที่ต้องใช้ขึ้นกับชิ้นงานหากชิ้นงานมีขนาดใหญ่ก็จะต้องใช้LEDจำนวนมาก
การส่องสว่างโดยสายไฟเบอร์ (Fiber-Optic Illuminators) Incandescent lamp in housing; light carried by optical fiber bundle to application	▪ สายไฟเบอร์สามารถปรับแต่งรูปร่างได้มาก ▪ อุณหภูมิและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ขึ้นกับรูปแบบของงาน ▪ ง่ายในการเปลี่ยนหลอดกำเนิดแสง	▪ ห ล อ ด ท ้ ง ส เ ต น มีประสิทธิภาพต่ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งแสงสีฟ้า
ฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent) High-frequency tube or ring lamp	▪ การกระจายของแสงสูง ▪ มีช่วงสเปกตรัมของแสงที่กว้างมาก ▪ ประสิทธิภาพในการส่องสว่างสูง ▪ อายุการใช้งานมาก	▪ การปรับแต่งมีช่วงที่จำกัด ▪ การควบคุมความเข้มแสงไม่สามารถทำได้ในบางชนิดของแหล่งกำเนิดแสงนี้
หลอดไฟแบบปรับความถี่ได้ (Strobe) Xenon arc strobe lamp, with either direct or fiber bundle light delivery	▪ เหมาะสำหรับการจับภาพวัตถุที่เคลื่อนที่เร็ว ▪ ความเข้มแสงสูง	▪ ต้องการความแม่นยำระหว่างช่วงเวลาส่องสว่างกับช่วงเวลาถ่ายภาพ ▪ ต้องการอุปกรณ์ป้องกันสำหรับผู้ใช้งานซึ่งทำงานอยู่ใกล้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.1 แหล่งกำเนิดแสงที่สร้างจากไดโอดเปล่งแสงที่ใช้ในระบบทัศนจักร

ข.1.1 แหล่งกำเนิดแสงแบบส่องสว่างโดยตรง (Direct light)

แหล่งกำเนิดแสงแบบนี้จะเหมาะสมกับงาน ลักษณะการจัดเรียงตัวในรูปแบบต่าง ๆ ดังได้แสดงในรูปที่ (ข.2) ในรูปที่ (ข.2ก) เป็นรูปแบบวงแหวนที่มุมต่าง ๆ กัน (ring light), รูปที่ (ข.2ข) เป็นรูปแบบวงที่มุมต่ำ (low-angle ring light) และ รูปที่ (ข.2ค) เป็นรูปแบบการจัดเรียงแบบเป็นแท่งตรง (bar light)



รูปที่ ข.2 ตัวอย่างแหล่งกำเนิดแสงแบบ direct light

(ก) Ring light, (ข) Low-angle ring light และ (ค) Bar light [28]

~ แหล่งกำเนิดแสงแบบส่องสว่างโดยผ่านแผ่นกระจายแสง (Indirect light) ซึ่งมีลักษณะการจัดเรียงตัวในรูปแบบต่าง ๆ ดังได้แสดงในรูปที่ (ข.3) ในรูปที่ (ข.3ก) เป็นรูปแบบวงแหวนแบบแผ่นราบหรือในรูปแบบของเสาต่าง ๆ (flat-ring light), รูปที่ (ข.3ข) เป็นรูปแบบวงแหวนลักษณะองศาต่ำ (low-angle ring light), รูปที่ (ข.3ค) เป็นรูปแบบโดม(dome light), รูปที่ (ข.3ง) เป็นรูปแบบแนวราบ (flat light), รูปที่ (ข.3จ) เป็นรูปแบบสะท้อนผ่านกระจกสะท้อน(coaxial light), รูปที่ (ข.3ฉ) เป็นรูปแบบที่วางตัวแบบเป็นแถว (line light)

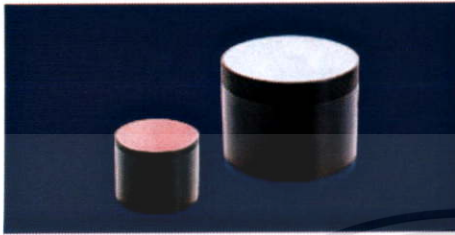
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



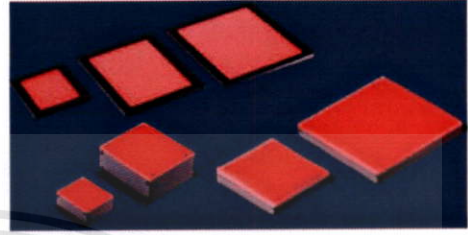
(ก)



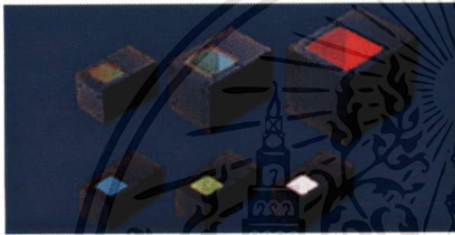
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ ข.3 ตัวอย่างแหล่งกำเนิดแสงแบบ Indirect light [28]

(ก) Flat-ring light (ข) Low-angle ring light (ค) Dome light (ง) Flat light
(จ) Coaxial light (ฉ) Line light

~ แหล่งกำเนิดแสงแบบแผ่ลำแสงเข้าบรรจบกัน (Convergent-beam light) ลักษณะของแสงจะแผ่ลำแสงเข้ามาบรรจบกันเป็นแนวเส้นตรง แสดงตัวอย่างของแหล่งกำเนิดแสงนี้ดังรูปที่ (ข.4)



รูปที่ ข.4 ตัวอย่างแหล่งกำเนิดแสงแบบ Convergent-beam light [28]

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นการฝ่าฝืนนโยบายด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ~ แหล่งกำเนิดแสงแบบขนาน (Collimated light) แหล่งกำเนิดแสงแบบนี้จะให้แสงที่เป็นลักษณะแสงขนานซึ่งตัวอย่างของแหล่งกำเนิดแสงแบบนี้แสดงในรูปที่ (ข.5)



รูปที่ ข.5 ตัวอย่างแหล่งกำเนิดแสงแบบ Collimated light [28]

- ~ แหล่งกำเนิดแสงแบบพิเศษ (Special light) ซึ่งมีลักษณะต่าง ๆ แบ่งเป็น รูปที่(ข.6ก) ลักษณะสปอตไลท์ความเข้มแสงสูง (high-luminosity spotlight) รูปที่(ข.6ข) ลักษณะแบบไมโครไฟเบอร์ (micro fiber-head) และรูปที่(ข.6ค) แบบสปอตไลท์(spot light)



(ก)



(ข)



(ค)

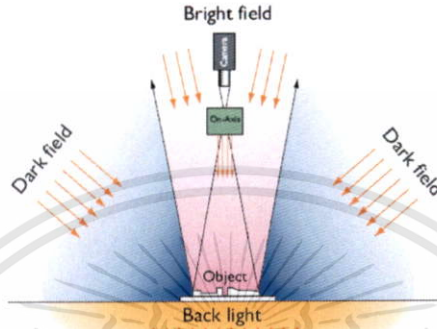
รูปที่ ข.6 ตัวอย่างแหล่งกำเนิดแสงแบบพิเศษ [28]

(ก) high-luminosity spotlight (ข) micro fiber-light (ค) spot light

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2 เทคนิคในการใช้งานแหล่งกำเนิดแสง (Lighting Techniques)

การใช้งานแหล่งกำเนิดแสงนั้นมีรายละเอียดในการเลือกใช้งานเพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับงานที่ใช้ ในส่วนนี้จะขอกล่าวถึงรูปแบบการใช้งานและเทคนิคต่าง ๆ ในการใช้งานแหล่งกำเนิดแสงจากรูปที่ ข.7 เป็นการแสดงถึงเทคนิคการใช้งานแหล่งกำเนิดแสงซึ่งจะได้กล่าวถึงในรายละเอียดของเทคนิคทั้ง 3 รูปแบบต่อไป



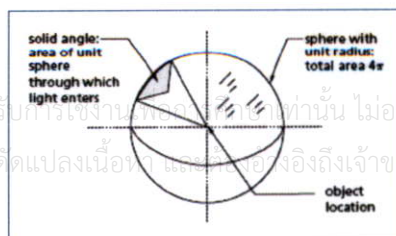
รูปที่ ข.7 เทคนิคการส่องสว่าง [30]

ก่อนที่จะได้กล่าวถึงเทคนิคการใช้งานทั้ง 3 รูปแบบ รูปที่ ข.7 อธิบายรูปแบบของแหล่งกำเนิดแสงชนิดหลัก ๆ 2 ประเภทเสียก่อน ซึ่งคือ แหล่งกำเนิดแสงแบบเสมือนจุด (Point-like lighting) และ แหล่งกำเนิดแสงแบบแผ่กระจายแสง (Diffuse light)

ข.2.1 เทคนิคการส่องสว่าง

ข.2.1.1 การส่องสว่างแบบมุมตัน (Lighting Solid angle)

รูปแบบการส่องสว่างแบบมุมตัน คือการกำหนดพื้นที่ของการส่องสว่างบนทรงกลมขนาดหนึ่งหน่วยซึ่งกำหนดศูนย์กลางของวัตถุ ดังแสดงในรูปที่ ข.8 โดยหากกำหนดมุมของวงกลมในหน่วยเรเดียน ซึ่งวงกลมหนึ่งวงกำหนดโดย 2π เรเดียนแล้ว มุมตันนี้จะกำหนดโดย สเตอริเดียน โดยที่ 4π สเตอริเดียนคือหนึ่งทรงกลม และการส่องสว่างด้วยมุมที่น้อยมากจะเรียกว่า การส่องสว่างแบบเสมือนจุด (point-like lighting) และการส่องสว่างจากมุมที่กว้างจะเรียกว่า การส่องสว่างแบบกระจายแสง (diffuse)



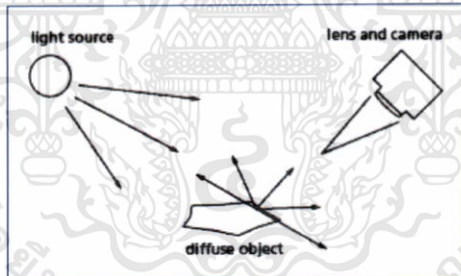
รูปที่ ข.8 ลักษณะของมุมตัน [29]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2.1.2 การส่องสว่างเสมือนจุด (Point like Lighting)

การส่องสว่างแบบนี้มีลักษณะในการส่องสว่างแบบโดยตรงกล่าวคือส่องสว่างไปยังวัตถุที่ต้องการโดยตรง แหล่งกำเนิดแสงเสมือนจุดนั้นสามารถสร้างได้โดยง่ายเนื่องจากแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้มีขนาดเล็กและสามารถกำหนดระยะความห่างจากวัตถุที่ต้องการส่องสว่างได้โดยง่าย โดยที่หลอดไส้ปกติ ไฟเบอร์ออปติก แหล่งกำเนิดแสงแบบวงแหวน และไดโอดเปล่งแสง สามารถใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงแบบเสมือนจุดได้ โดยเฉพาะแหล่งกำเนิดแสงที่ส่งผ่านสายไฟเบอร์ออปติกนั้นสามารถกำหนดทิศทางได้ ดังนั้นแสงแบบนี้จะสามารถส่องสว่างไปยังวัตถุได้โดยตรงซึ่งจะให้ประสิทธิภาพที่สูงมาก

แหล่งกำเนิดแสงเสมือนจุดจะให้ความเข้มแสงและประสิทธิภาพที่สูง โดยแหล่งกำเนิดแสงแบบนี้จะทำให้ขอบภาพคมชัดมากขึ้น ก่อให้เกิดเงา และเน้นคุณสมบัติเด่นต่าง ๆ ของพื้นผิว เนื่องจากขนาดเล็กของมันทำให้แหล่งกำเนิดแสงแบบนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ง่ายกว่า แหล่งกำเนิดแสงแบบกระจายแสง เงาและคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกันจะเป็นประโยชน์ในงานประยุกต์บางอย่างที่ไม่สนใจส่วนอื่น ๆ เมื่อแหล่งกำเนิดแสงนี้กับวัตถุที่สะท้อนแสงจะก่อให้เกิดการสะท้อนอย่างมากซึ่งจะเป็นเหตุให้ภาพที่ได้ในกล้องวิดีโออิมเมจเกนไป ในขณะที่ส่วนของวัตถุที่อยู่ห่างจากแสงมากกว่าจะมีรูปที่ ข.9 แสดงการกระจายของแสงจากวัตถุเมื่อแสงตกกระทบ



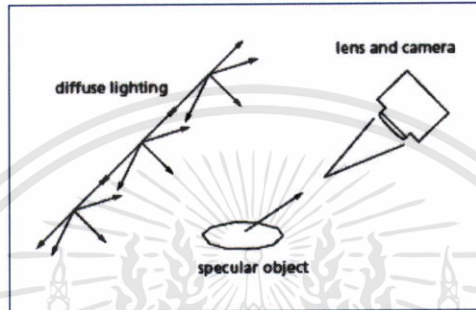
รูปที่ ข.9 การกระจายแสงของวัตถุจากแหล่งกำเนิดแสงเสมือนจุด [29]

ข.2.1.3 แหล่งกำเนิดแสงแบบกระจายแสง (Diffuse Lighting)

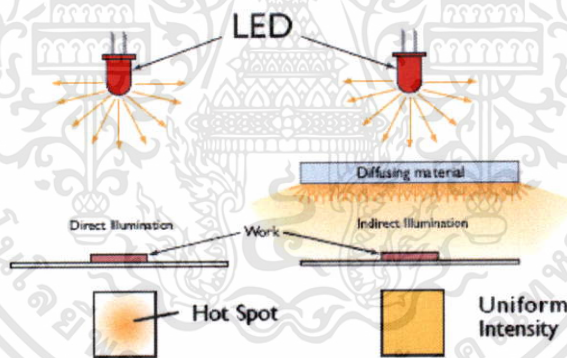
โดยนัยแล้วการที่จะให้เกิดแสงประเภทนี้กับวัตถุจะต้องใช้แผ่นกระจายแสงครอบวัตถุไว้โดยรอบ หลอดฟลูออเรสเซนต์(ทั้งรุ่นตรงและรุ่นวงแหวน) ส่องสว่างในลักษณะแบบกระจายแสงเช่นกัน อุปกรณ์ช่วยกระจายแสง (โดยมากเป็นแผ่นพลาสติกเรียบ) ที่นำมาวางอยู่ด้านหน้าแหล่งกำเนิดแสงแบบจุดจะช่วยให้การกระจายตัวของแสงดีขึ้น แหล่งกำเนิดแสงแบบนี้จะช่วยภาพที่ได้ไม่มีแสงสะท้อน พื้นผิววัตถุจะถูกลดความสำคัญลง และจะไม่ไวต่อมุมของผิวบนองค์ประกอบต่าง ๆ แหล่งกำเนิดแสงแบบกระจายแสงนี้จะสร้างขึ้นใช้งานได้ยากเพราะแสงที่ส่องสว่างจะต้องกระจายครอบคลุมวัตถุทั้งหมด เช่น หากต้องการตรวจสอบลายพิมพ์อักษรบนแผ่นฟอยล์จะต้องใช้งานแหล่งกำเนิดแสงแบบมุมกว้างขนาด 2π สเตเรเดียนซึ่งแสงแบบนี้จะสร้างให้ใช้

งานได้ผลดีได้ยาก เนื่องจากผลของเลนส์ กล้อง และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่อยู่รอบแหล่งกำเนิดแสง บางครั้งแหล่งกำเนิดแสงนี้อาจก่อให้เกิดขอบที่ไม่คมชัดขึ้นได้ ในภาพซึ่งในความเป็นจริงแล้ว แหล่งกำเนิดแสงแบบนี้มีความซับซ้อนมากกว่าแหล่งกำเนิดแสงเสมือนจุด

รูปที่ ข.11 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะแสงตกกระทบของการส่องสว่างทั้งสองชนิด ข้างต้นจากรูปจะพบว่าการตกกระทบของแสงโดยเทคนิคส่องสว่างแบบโดยตรงนั้นแสงที่ตกกระทบที่วัตถุจะมีลักษณะเป็นจุดเข้มแตกต่างกับเทคนิคการส่องสว่างแบบกระจายที่จะให้แสงที่ความเข้มเท่ากันเป็นพื้นที่กว้าง



รูปที่ ข.10 การส่องสว่างสำหรับวัตถุเงาวาวด้วยแหล่งกำเนิดแสงแบบกระจายแสง [29]



รูปที่ ข.11 การเปรียบเทียบลักษณะการตกกระทบของแสงของเทคนิคทั้งสอง [30]

(ซ้ายการส่องสว่างแบบโดยตรง ขวการส่องสว่างแบบกระจายแสง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

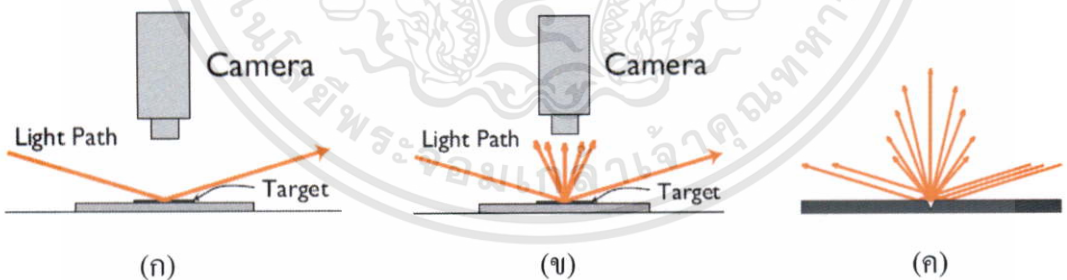
ข.2.2 รูปแบบแสงและผลกระทบ

ข.2.2.1 พื้นที่สว่าง (Bright Field)

การส่องสว่างแบบนี้จะอนุมานว่าแสงตกกระทบในลักษณะตั้งฉากกับผิวของวัตถุ(ดังเช่นในภาพที่ 14.16) วัตถุทั้งชิ้นจะได้รับแสงสว่างสูงด้วยรูปแบบการแสดงผลแบบระดับสีเทา (gray level) แสงสว่างในห้องปกตินั้นจะเรียกได้ว่าเป็นรูปแบบการส่องสว่างแบบ bright-field การส่องสว่างแบบนี้เป็นรูปแบบพื้นฐานของการส่องสว่างในระบบการมองเห็นของเครื่องจักรทั่ว ๆ ไป กรณีตัวอย่างที่สำคัญของการส่องสว่างแบบนี้คือรูปแบบส่องสว่างแบบโคแอกเซียล(Coaxial) วัตถุจะได้รับแสงโดยตรงจากทิศทางที่สังเกตทำให้เทคนิคนี้จะต้องการอุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกรังสีของแสง (beam splitter) ไม่ว่าจะเป็นประกอบรวมหรือวางไว้หน้าเลนส์ก็ตาม โดยที่รูปแบบการส่องสว่างแบบ Coaxial นี้จะถูกใช้ในการตรวจสอบวัตถุที่เรียบ พื้นผิวเฉพาะอย่าง เพื่อตรวจสอบมิติความลึก และเพื่อกำจัดเงาที่อาจจะเกิดขึ้นจากความลึกนั่นเอง

ข.2.2.2 พื้นที่มีด (Dark Field)

หากวัตถุได้รับแสงจากจุดที่ขนานกันกับผิวของวัตถุ พื้นผิวและส่วนอื่น ๆ ที่มุมสูงจะสว่าง ในขณะที่วัตถุเกือบทั้งหมดจะมีด ตัวอย่างของแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้เทคนิคนี้คือ แหล่งกำเนิดแสงแบบมุมต่ำ(low-angle) ซึ่งเทคนิคนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากในการตรวจสอบพื้นผิวที่มีรอยขีดข่วน (scratch), การเปื้อน (contamination) และรูปแบบอื่น ๆ ที่ก่อให้เกิดขอบขนาดเล็ก ดังแสดงลักษณะของพื้นที่มีดในรูปที่ ข.11



รูปที่ ข.12 รูปแบบการเกิดพื้นที่มีด [30]

(ก. การสะท้อนแสงจากพื้นผิวเรียบ ข. การสะท้อนจากพื้นผิวที่มีรอยบุบวมหรือยุบ ค. เส้นทางการสะท้อนของแสงที่เป็นไปได้ทั้งหมด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2.2.3 การส่องสว่างจากด้านหลัง (Backlight)

การส่องสว่างจากด้านหลังสามารถใช้แหล่งกำเนิดแสงได้ทั้งแบบเสมือนจุดหรือแบบกระจายแสง โดยแหล่งกำเนิดแสงแบบเสมือนจุดจะฉายทะลุไปอย่างขนานกับเส้นผ่านศูนย์กลางเลนส์ การส่องสว่างแบบนี้จะใช้กับรูปแบบที่แตกต่างกันสองรูปแบบ คือ การตรวจสอบวัตถุที่โปร่งแสงและ วัตถุที่เกิดเงามีค (silhouette opaque) ตัวอย่างเช่น กระดาษแผ่น ขวดแก้ว เป็นต้น แหล่งกำเนิดแสงแบบเสมือนจุดที่ไม่มีแกนร่วมกับเลนส์จะเน้นข้อบกพร่องของผิวงาน (รอยขีดข่วน, ร่องลึก) เช่นเดียวกับข้อบกพร่องที่เกิดภายในเนื้องาน (ฟองอากาศ, เศษวัตถุอื่น ๆ ที่ผสมในเนื้อชิ้นงาน) ตัวอย่างการใช้งานดังแสดงในรูปที่ ข.12

การส่องสว่างแบบนี้เป็นรูปแบบพื้นฐานที่ใช้งานได้ง่ายสำหรับชิ้นส่วนที่เกิดเงา เพราะภาพที่ได้จะเป็นภาพสองมิติแบบไบนารี (binary) เท่านั้น การส่องสว่างแบบนี้มักถูกนำไปใช้กับวัตถุที่ยืดหยุ่น(flexible) เพื่อกำหนดการหมุนของชิ้นงานก่อนจะให้แขนกลอัตโนมัตินำไปประกอบ



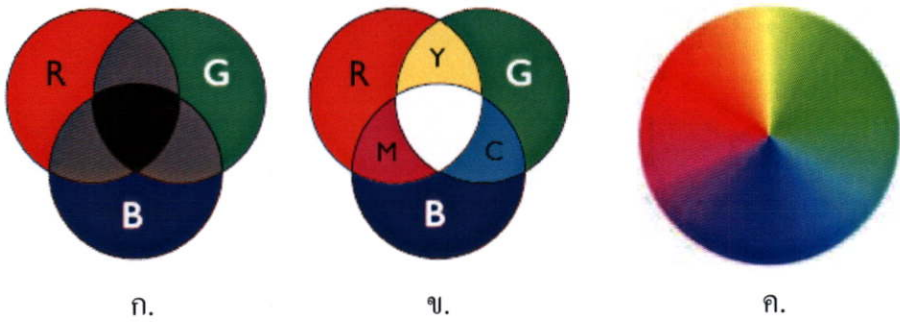
รูปที่ ข.13 รูปแบบการส่องสว่างจากด้านหลัง [30]

(ก. ลักษณะการจัดวางอุปกรณ์ ข. ตัวอย่างชิ้นงาน ค. ผลที่ได้จากการส่องสว่างจากด้านหลัง)

ข.2.3 การส่องสว่างและสี (Illuminator and Color)

การประยุกต์ใช้ระบบการมองเห็นโดยมากแล้วจะใช้งานแสงแบบไม่ฟิลาเตอร์(รับแสงจริงที่ตามนุษย์มองเห็น ในปัจจุบันมีฟิลาเตอร์ที่สามารถกรองแสงเฉพาะสีได้) อย่างไรก็ตามในบางกรณีการใช้งานแบบระดับสีเทาจะช่วยให้ผลที่ดีกว่า การใช้งานแสงที่มีสเปกตรัมแคบจะช่วยลดผลกระทบจากการเบี่ยงเบนของแสงในเลนส์ และช่วยเพิ่มความละเอียดคมชัดได้อีกด้วย แต่การกรองเฉพาะย่านความถี่แสงบางย่านนั้นก็ลดผลรวมของการส่องสว่าง รูปที่ ข.13 แสดงวงสี สีที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าได้ การผสมสี และสีที่ได้จากการผสมแสง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลเบื้องเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.14 สีและแสง [30]

(ก. การผสมสี ข. การผสมแสง ค. วงสีแบบ RGB/CMY)

ข.2.4 โพลาริเซชัน (POLARIZATION)

เทคนิคของโพลาริเซชัน (Polarize) นำมาใช้เพื่อลดผลการสะท้อนของสเปกตรัมของแสงจากผิวชิ้นงาน โดยหลักการวางโพลาริเซชันจะวางที่ด้านหน้าของแหล่งกำเนิดแสง บางครั้งจะเรียกโพลาริเซชันว่า อนุไลเซอร์ (analyzer). เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของการแบ่งโพลาริเซชันจะตั้งฉากกับขั้วโพลาริเซชันแรกที่ถูกวางอยู่บนเลนส์ สเปกตรัมของแสงที่สะท้อนออกจากวัตถุจะอยู่ในทิศทางของโพลาริเซชันและจะถูกขจัดออกโดยอนุไลเซอร์ ส่วนแสงที่กระเจิงอย่างไร้ระเบียบออกจากวัตถุจะสามารถผ่าน อนุไลเซอร์ได้



รูปที่ ข.15 การใช้งานโพลาริเซชัน [32]

(ก. ภาพที่ได้จากแสงทั่วไป ข. ลักษณะการวางโพลาริเซชัน ค. ภาพที่ได้จากเทคนิคโพลาริเซชัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

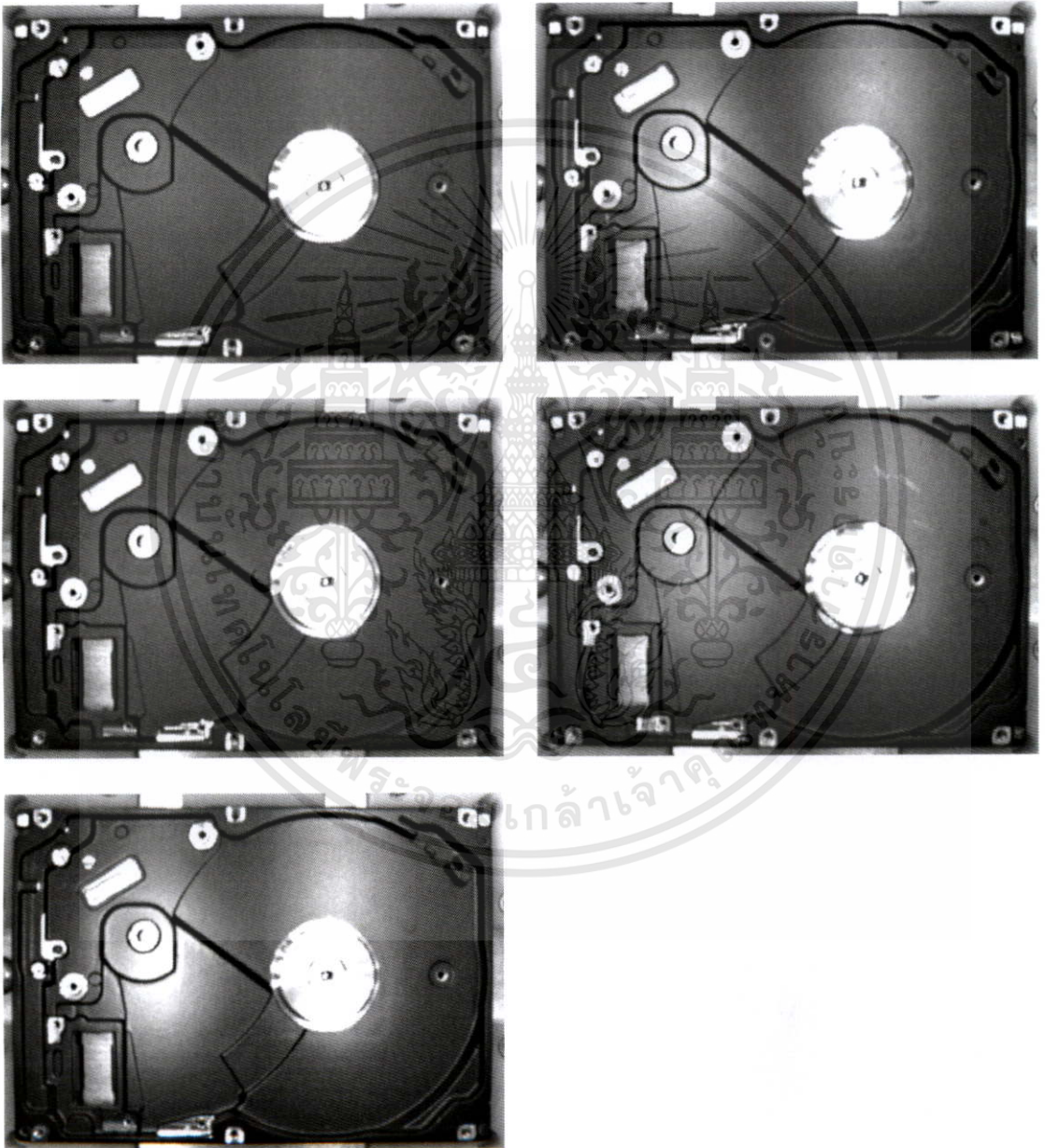
ภาคผนวก ค

ภาพตัวอย่างฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ในงานวิจัย

ข้อมูลชุดที่ 1 ภาพที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงแบบที่ 1

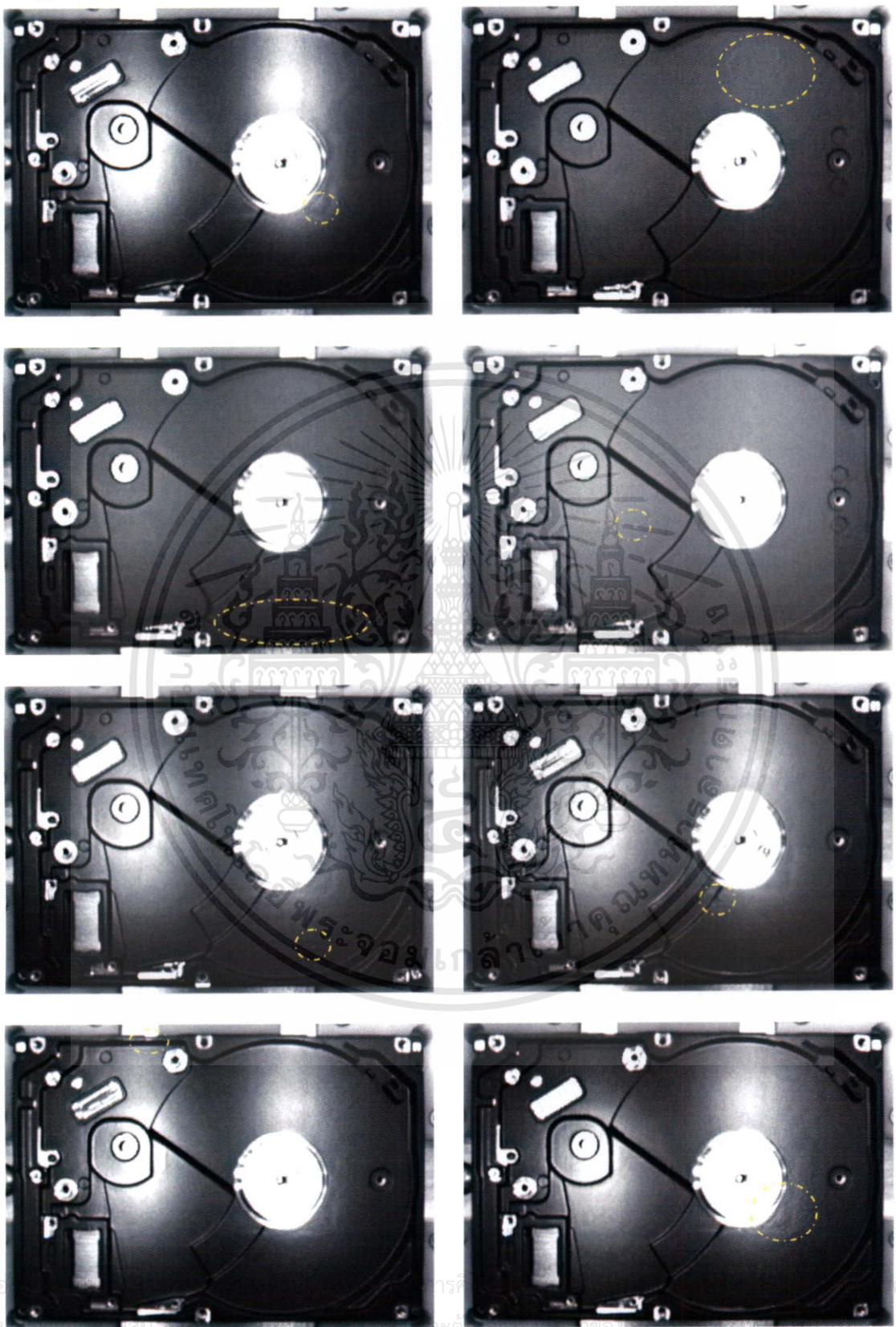
(ขนาดความละเอียดที่ 425*302)

1.1.ฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่สมบูรณ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.ฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่มีตำหนิ



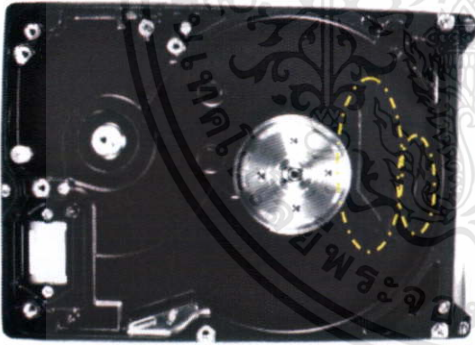
ข้อมูลชุดที่ 2 ภาพที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงแบบที่ 2

2.1.ฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่สมบูรณ์

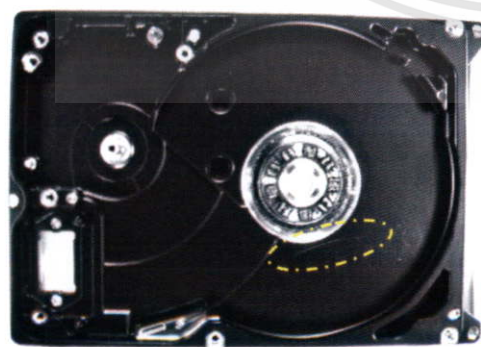
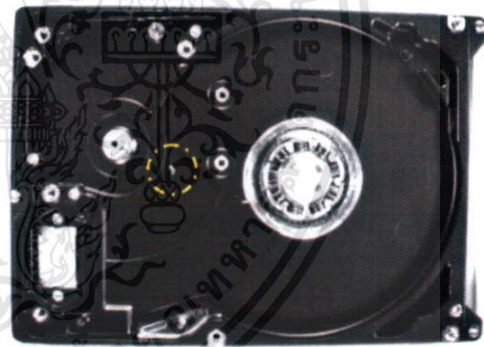
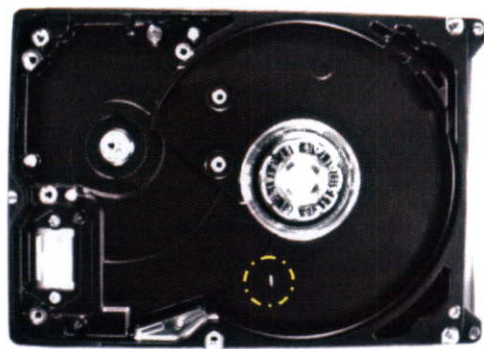
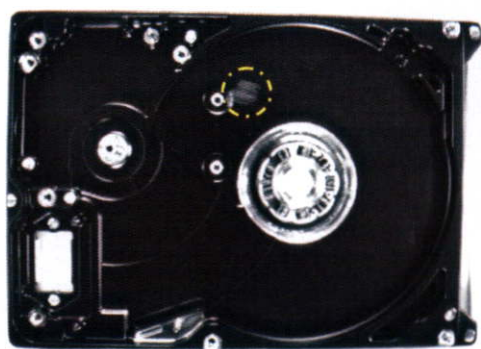


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.ฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่มีตำหนิ



เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อการศึกษานานาชาติ การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

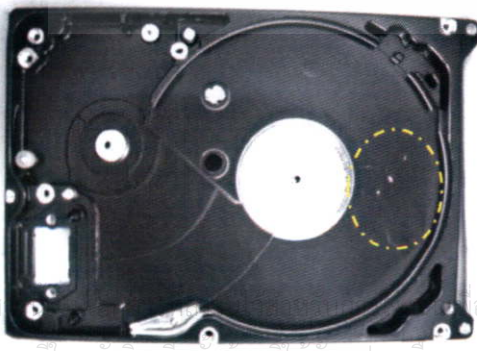
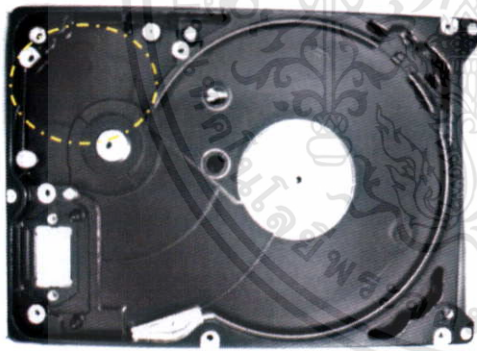
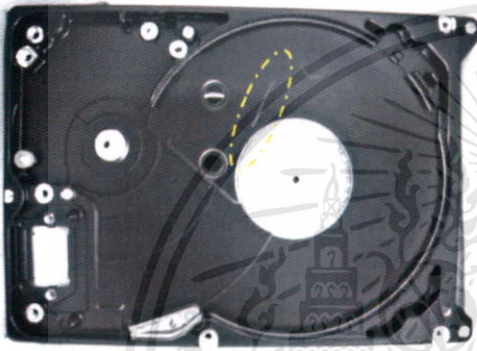
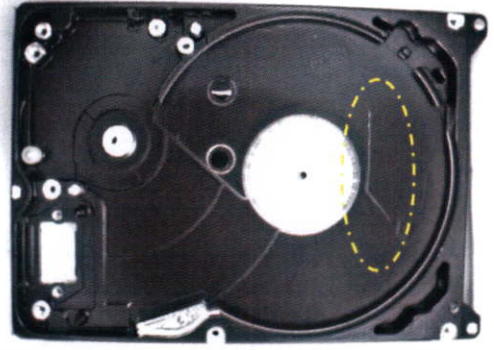
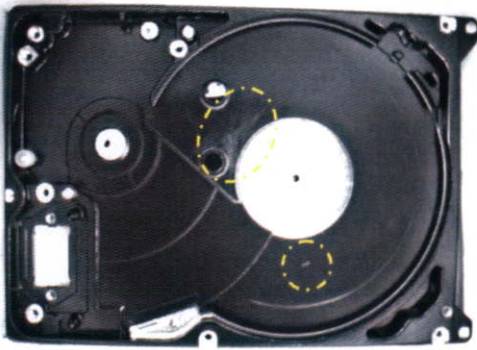
ข้อมูลชุดที่ 3 ภาพที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงแบบที่ 3

3.1.ฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่สมบูรณ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.ฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่มีตำหนิ



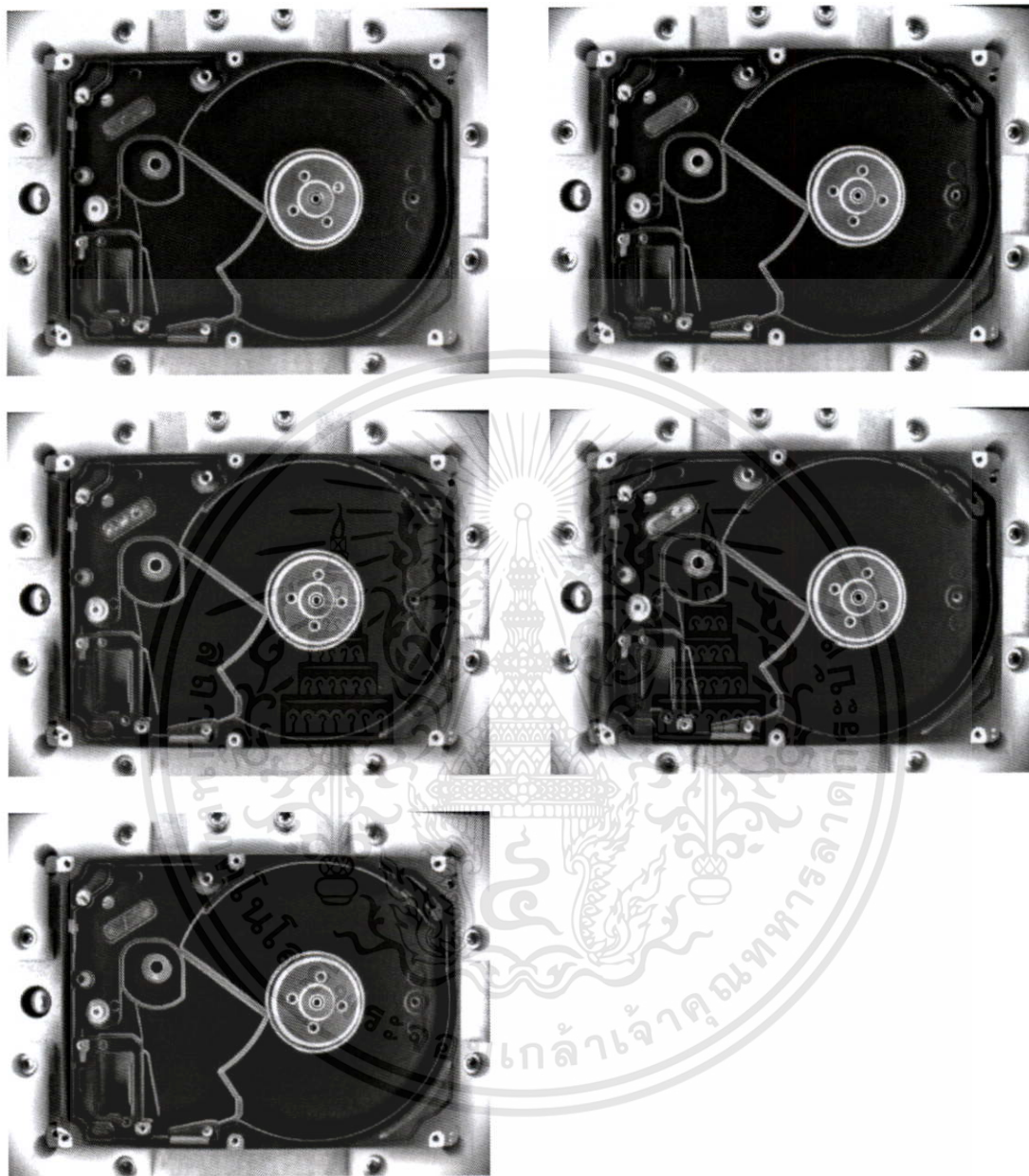
เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย และต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

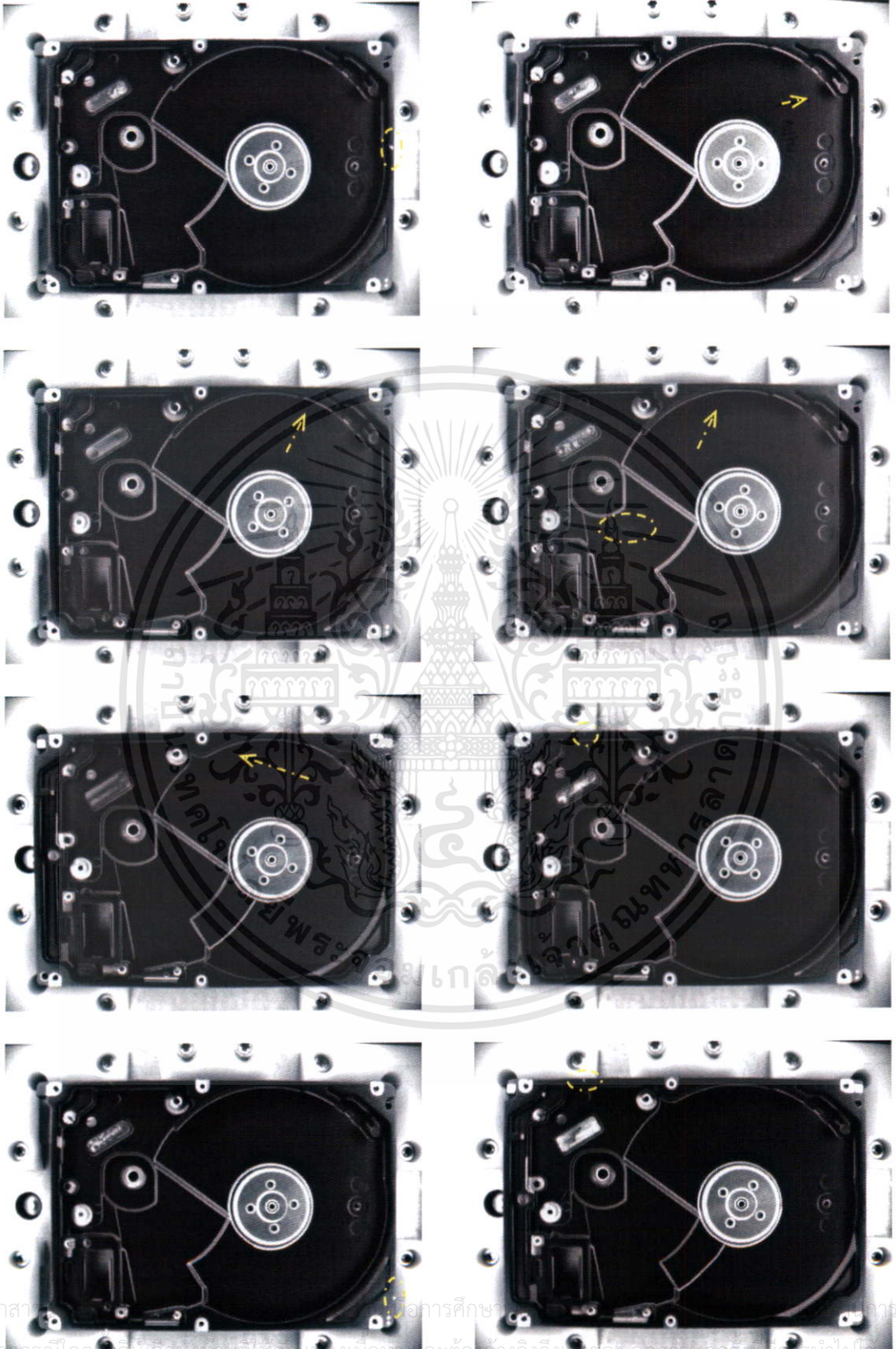
ข้อมูลชุดที่ 4 ภาพที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงแบบที่ 4

4.1.ฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่สมบูรณ์



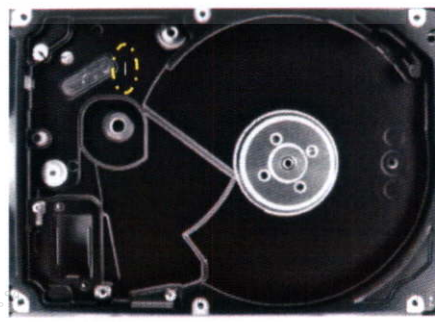
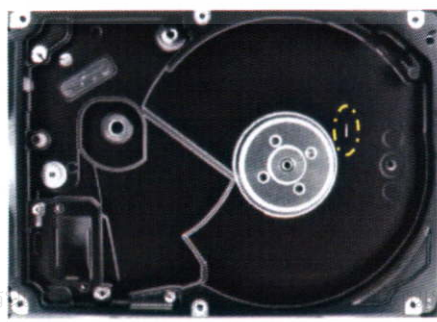
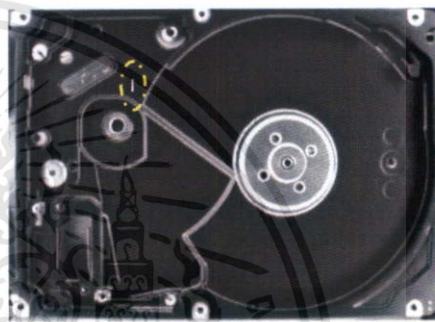
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.ฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่มีตำหนิ



เอกสารนี้เป็นเอกสารการเรียนรู้และการค้า
 ไม่ควรเผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.ฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่ทำการจำลองตำแหน่งด้วยโปรแกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อการศึกษาและเพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

สมการคุณลักษณะเฉพาะอื่นๆ

Entropy :
$$-\sum_{i=1}^{Ng} \sum_{j=1}^{Ng} C(i, j) \log C(i, j) \quad (ง.1)$$

Energy :
$$\sum_{i=1}^{Ng} \sum_{j=1}^{Ng} C(i, j)^2 \quad (ง.2)$$

Inertia (Contrast) :
$$\sum_{i=1}^{Ng} \sum_{j=1}^{Ng} (i - j)^2 C(i, j) \quad (ง.3)$$

Inverse Difference Moment :
$$\sum_{i=1}^{Ng} \sum_{j=1}^{Ng} \frac{1}{1 + (i - j)^2} C(i, j) \quad (ง.4)$$

Sum Average :
$$\sum_{i=2}^{2Ng} i \cdot C_{x+y}(i) \quad (ง.5)$$

Sum Entropy :
$$-\sum_{i=2}^{2Ng} C_{x+y}(i) \log \{C_{x+y}(i)\} \quad (ง.6)$$

Difference Entropy :
$$-\sum_{i=2}^{2Ng} C_{x-y}(i) \log \{C_{x-y}(i)\} \quad (ง.7)$$

Correlation :
$$\sum_{i=1}^{Ng} \sum_{j=1}^{Ng} \frac{(i - \mu_i)(j - \mu_j) \cdot C(i, j)}{\sigma_i \sigma_j} \quad (ง.8)$$

Haralick's Correlation :
$$\sum_{i=1}^{Ng} \sum_{j=1}^{Ng} \frac{(i \cdot j) C(i, j) - \mu_x \mu_y}{\sigma_x \sigma_y} \quad (ง.9)$$

Cluster Shade :
$$\sum_{i=1}^{Ng} \sum_{j=1}^{Ng} ((i - \mu_i) + (j - \mu_j))^3 C(i, j) \quad (ง.10)$$

Cluster Prominence :
$$\sum_{i=1}^{Ng} \sum_{j=1}^{Ng} ((i - \mu_i) + (j - \mu_j))^4 C(i, j) \quad (ง.11)$$

Sum Variance :
$$\sum_{i=2}^{2Ng} \left(i - \left(\sum_{i=2}^{2Ng} i \cdot C_{x+y}(i) \right) \right)^2 C_{x+y}(i) \quad \text{หรือ}$$

$$\sum_{i=2}^{2Ng} \left(i + \sum_{j=2}^{2Ng} C_{x+y}(j) \log(C_{x+y}(j)) \right)^2 C_{x+y}(i) \quad (ง.12)$$

Difference Variance : Variance of C_{x-y}
$$\sum_{i=2}^{2Ng} \left(i - \left(\sum_{i=2}^{2Ng} i \cdot C_{x-y}(i) \right) \right)^2 C_{x-y}(i) \quad (ง.13)$$

Sum of Square :
$$\sum_{i=1}^{Ng} \sum_{j=1}^{Ng} (i - \mu)^2 C(i, j) \quad (ง.14)$$

Information measure of Correlation :
$$\frac{HXY - HXY1}{\max\{HX, HY\}} \quad (ง.15)$$

เมื่อ HX และ HY คือค่าเอนโทรปีของ C_x และ C_y และ

$$HXY = -\sum_{i=1}^{Ng} \sum_{j=1}^{Ng} C(i, j) \log(C(i, j)) \quad (3.16)$$

$$HXY1 = -\sum_{i=1}^{Ng} \sum_{j=1}^{Ng} C(i, j) \log\{C_x(i)C_y(j)\} \quad (3.17)$$

$$HXY2 = -\sum_{i=1}^{Ng} \sum_{j=1}^{Ng} C_x(i)C_y(j) \log\{C_x(i)C_y(j)\} \quad (3.18)$$

Another Information measure of Correlation :

$$\sqrt{1 - e^{[-2.0(HXY2 - HXY)]}} \quad (3.19)$$

Maximal Correlation Coefficient :

$$\sqrt{\text{Second largest eigenvalue of } Q} \quad (3.20)$$

เมื่อ $Q(i, j) = \sum_k \frac{C(i, k) \cdot C(j, k)}{C_x(i)C_y(k)}$

การกำหนดสัญลักษณ์

$C(i, j)$ คือ สมาชิกตัวที่ $(i, j)th$ ในเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ C

Ng คือ ค่าระดับสีเทาที่สูงที่สุดในภาพที่พิจารณา

μ คือ ค่ากลางของฟังก์ชันความหนาแน่น $C(i, j)$

$$\mu_i = \sum_{i=1}^M i \sum_{j=1}^N C(i, j)$$

$$\mu_j = \sum_{j=1}^N j \sum_{i=1}^M C(i, j)$$

$C_x(i)$ คือ สมาชิกตัวที่ $(i, j)th$ ในเมตริกซ์ความน่าจะเป็นตามขอบที่กำหนดโดยผลรวมของแถว

ใด ๆ ของ $C(i, j)$ โดย $C_x(i) = \sum_{j=1}^{Ng} C(i, j)$

$$C_y(j) = \sum_{i=1}^{Ng} C(i, j)$$

$$C_{x+y}(k) = \sum_{i=1}^{Ng} \sum_{j=1}^{Ng} C(i, j) \quad k = 2, 3, \dots, 2Ng$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_{x-y}(k) = \sum_{i=1}^{Ng} \sum_{j=1}^{Ng} C(i, j) \quad k = 0, 1, \dots, Ng - 1$$

$$\sigma_i = \sum_{l=1}^M (i - \mu_l)^2 \sum_{j=1}^N C(i, j)$$

$$\sigma_j = \sum_{j=1}^N (j - \mu_j)^2 \sum_{i=1}^M C(i, j)$$

μ_x, μ_y คือ ค่ากลางของผลรวมทางแถวและหลักตามลำดับ

σ_x, σ_y คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลรวมตามแถวและหลักตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] Pitak Thumwarin, Pichate Kunakornvong and Pitikhate Sooraksa, “Visual Inspection for Scratch detection on Hard disk base”, **30th Electrical Engineering Conference(EECON30)**, vol.2, Oct 25-26, 2007, pp. 809-812.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



The EECON-30 Conference Joins the Eightieth Birthday Anniversary

Celebration of His Majesty the King Bhumibol Adulyadej

th 30 Electrical Engineering Conference

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 30

หนังสือรวมบทความที่น่าสนใจในการประชุม เล่ม 2

- การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)
- อิเล็กทรอนิกส์ (EL)
- ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)
- ระบบควบคุมและการวัดคุม (CT)
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)

Volume II

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
KING MONGKUT'S UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THONBURI

โดย

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุมและเครื่องมือวัด ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ณ โรงแรมเฟลิกซ์ ริเวอร์แคว รีสอร์ท กาญจนบุรี

25 - 26 ตุลาคม 2550



FACULTY OF ENGINEERING
KMUTT
EECON - 30



บริษัท กิจการ จำกัด (มหาชน)
TOT PUBLIC COMPANY LIMITED

Visual Inspection for Scratch Detection on Hard disk base

Pitak Thumwarin, Pichate Kunakornvong and Pitikhate Sooraksa
Faculty of Engineering and Research Center for Communication and Information Technology
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok 10520, Thailand
E-mail: ktpitak@kmitl.ac.th

Abstract

We present a method to detect the scratch on hard disk base based on frequency characteristics of their image. The frequency characteristics of the based hard disk image can be described by expanding the gray levels of the row pixel image of the hard disk base into Fourier series. The obtained Fourier coefficient is used as an important feature for the scratch detection. Finally, the scratch can be detected by calculating the standard deviation of the Fourier coefficients. The experimental results are given to show the effectiveness of the proposed method.

Keywords: scratch detection, hard disk, Fourier series, standard deviation.

1. Introduction

In the recently hard disk industrial, a quality control is become the one of crucial issue especially the visual inspection of the hard disk base to detect the scratch, dent, stain and so on. The visual examination is popular method for the inspection because of its simplicity. However, it usually takes time for operation and there are occasions for the examiners to make some mistakes by visual examination. In order to detect the above typical surface irregularities effectively, an automatic system for visual inspection is required. The work[1][2] proposed a method for an automatic visual inspection of the hard disk base using the rank coding. It is not easy to determine the suitable rank coding.

We propose a visual inspection method for the scratch detection on hard disk base based on frequency characteristics of their image. First, the gray levels of the row pixel images are expanded into Fourier series to reduce the fluctuation of the surface on the hard disk base image. The obtained Fourier coefficient is used as an important feature for the scratch detection. Finally, the scratch can be detected by calculating the variance of the Fourier coefficients.

2. Representation of hard disk base image.

The hard disk base image consists of 520×370 pixels with 256 gray levels collected by using our machine. The machine consists of digital camera with the similar light condition and position. Therefore, the variations in size and light can be reduced.

After that the image is divided into small windows. Fig.1 shows the scratch on the divided window of hard disk base image.

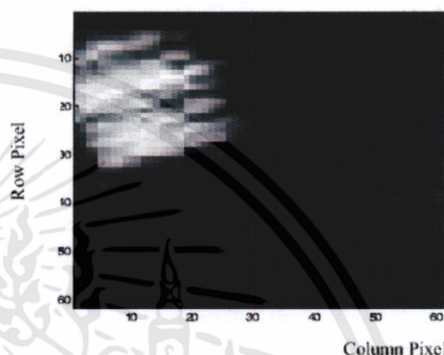


Figure 1. The enlarge image of the scratch on base hard disk.

Then the hard disk image is represented by 2D continuous function in Cartesian coordinates as

$$f(x, y) = \sum_{n=0}^Q \sum_{m=0}^Q f(n, m) \phi(x-n, y-m) \quad (1)$$

where

$$\phi(x, y) = \frac{\sin \pi x}{\pi x} \cdot \frac{\sin \pi y}{\pi y} \quad (2)$$

Q is an integer related to the window size. $f(n, m)$ is a gray level at a pixel (n, m) on the divided window.

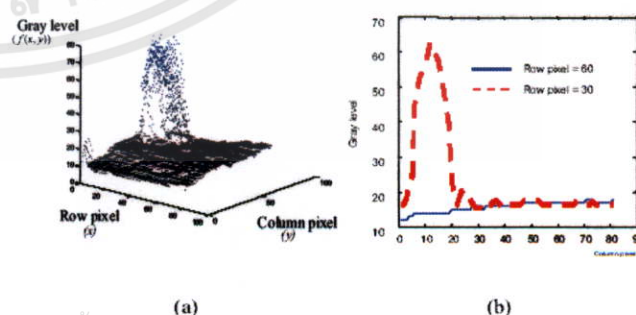


Figure 2 Gray level obtained from a row pixel.

Fig.2(a) shows the plot of gray level obtained from the image in Fig.1. The x and y axis represent the horizontal(row pixel) and vertical(column pixel) position of the pixel's image, respectively and the z axis represents the gray level(0-255) of the pixel's image. Fig.2(b) shows the plot of gray level obtained from a row pixel corresponding to the scratch position(row pixel = 30). It can be seen from Fig.2(a)(b) that the value of gray level at the scratch positions are higher than that at other positions. Fig.3 (a) (c) show the image of the divided window obtained from the non-defect area of the hard disk image. Fig.3(b)(d) show the plot of gray level obtained from the image in Fig.3(a)(c). It can be seen that the gray levels in Fig.3(b)(d) are quite different and unstable even they were obtained from the non-defect area. They are considered as a fluctuation of the enamel coating on the based hard disk. In order to reduce such a fluctuation, it is assumed here that the gray levels for each row pixel are even periodic function. Then they are expanded into cosine Fourier series as

$$f_x(y) = \frac{1}{2}a_0^{(x)} + \sum_{n=1}^N (a_n^{(x)} \cos n\omega_0 y), \quad (3)$$

where $\omega_0 = 2\pi/T$ and $f_x(y) = f(x, y)$ is the gray level of the row pixel image x . Then the Fourier coefficients a_0, a_n can be calculated by

$$\begin{aligned} a_0^{(x)} &= \frac{4}{T} \int_0^{T/2} f_x(y) dy, \\ a_n^{(x)} &= \frac{4}{T} \int_0^{T/2} f_x(y) \cos(n\omega_0 y) dy, \end{aligned} \quad (4)$$

Fig.4(a) shows the plots of the gray level for row pixel = 30 which corresponds to the scratch position, (b) shows the plots of their Fourier coefficients (c), (d) and (e) shows the plot of their Fourier approximations using $N = 30, 20$ and 10 , respectively. Fig.5 shows the plot of mean square error in Fourier approximation of the gray level in row pixel image obtained from Fig.4(a). It can be seen in Fig.5 that when the number of Fourier coefficients is more than thirty, the error of the Fourier approximations are close to zero. Using the obtained Fourier coefficients the approximations of the image can be calculated and shown in Fig.6. Moreover, using the Fourier approximations the problem of light reflection effect can be reduced. The effectiveness was shown in [3].

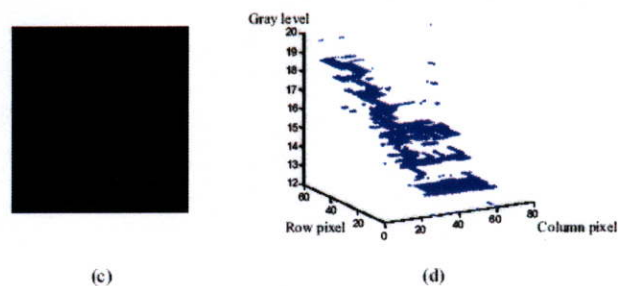
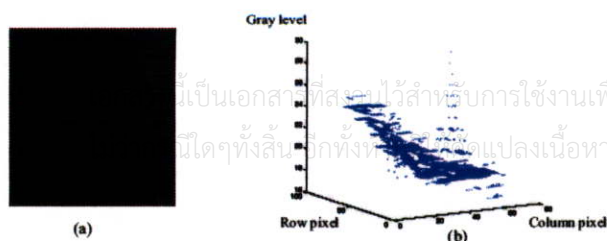


Figure 3 (a)(c) the non-defect area of the hard disk image (b)(d) Gray level obtained from image in (a)(c).

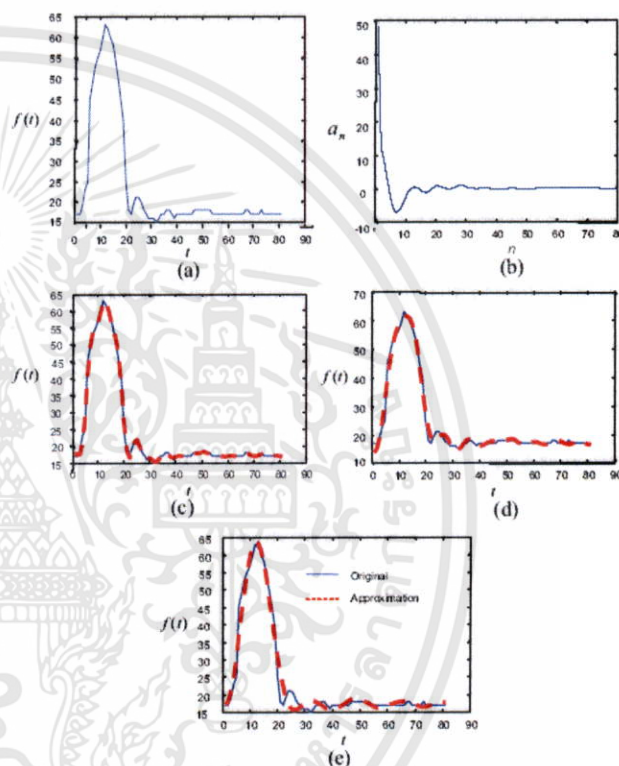


Figure 4. (a) Plots of the value of gray level for row pixel = 30 (b) Fourier coefficients, (c) Fourier approximation using $N=30$, (d) Fourier approximation using $N=20$, (e) Fourier approximation using $N=10$

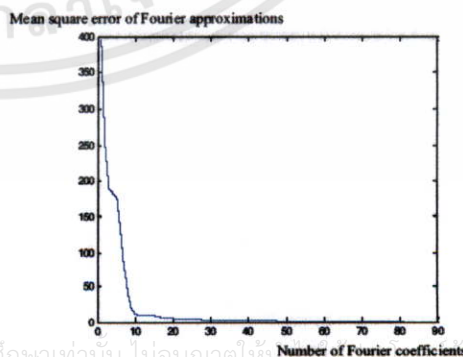


Figure 5. Mean square error in Fourier approximation of gray level in row pixel image obtain from Fig.4(a)

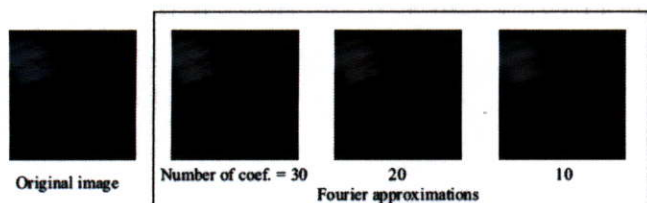


Figure 6. Image after Fourier approximation

Fig.7(a), (b) and (c) shows the image obtained from the divided windows of non-defect area of the hard disk image, the plot of their gray level and the plot of their Fourier coefficients of row pixel image, respectively. It can be seen from Fig.7(b) that the gray level has some variation even the image obtained from the non-defect area and the Fourier coefficients in Fig.7(c) has less variation than the gray level in Fig.7(b). Fig.8(a), (b) and (c) shows the image obtained from the divided windows of the scratch area, the plot of their gray level and the plot of their Fourier coefficients of row pixel image, respectively. It can be seen that the variation of the Fourier coefficients obtained from Fig.7(c) (non-defect area) is less than that in the Fig.8(c) (scratch area). Therefore, it is considered that the variation of the obtained Fourier coefficients can be used as the parameter for the scratch detection on the based hard disk.

4. Scratch detection algorithm.

In this section, the Fourier coefficients of the row pixel obtained from the based hard disk image is used to detect the scratch on the based hard disk. The detection algorithms are given bellows:

1. Divide the hard disk image into a small windows and represent the gray level in the row pixel image x of the divided image as

$$f_x(y) = f(x, y) = \sum_{n=0}^Q \sum_{m=0}^Q f(n, m) \phi(x-n, y-m)$$

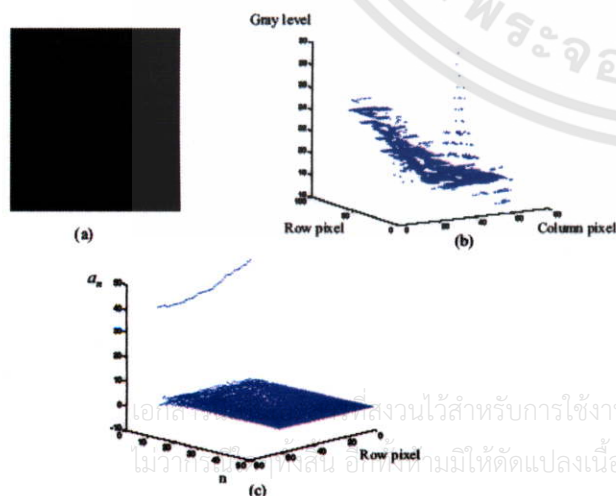


Figure 7. (a)The divided window of the non-defect area, (b)Te plot of gray level of the image in(a), (c)The plot of Fourier coefficients of the gray level in row pixel image in(b).

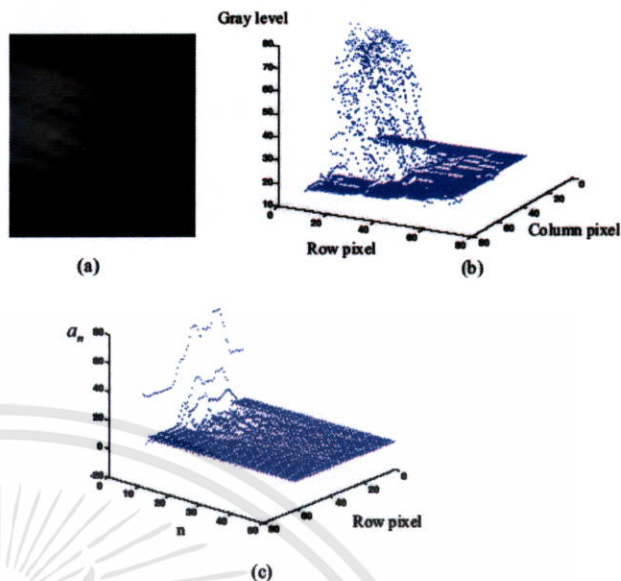


Figure 8. (a)The divided window of the scratch area on based hard disk's image, (b)Te plot of gray level of the image in(a), (c)The plot of Fourier coefficients of the gray level in row pixel image in(b).

where

$$\phi(x, y) = \frac{\sin \pi x}{\pi x} \cdot \frac{\sin \pi y}{\pi y}$$

2. Compute Fourier coefficients $a_n^{(x)}$ of the gray level in row pixel image x as

$$a_0^{(x)} = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} f_x(y) dy,$$

$$a_n^{(x)} = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} f_x(y) \cos(n\omega_0 y) dy,$$

3. Calculate the standard deviation of the Fourier coefficients $a_n^{(x)}$ as

$$s = \sum_{n=0}^{\tilde{N}} \sqrt{\sum_{x=1}^M (a_n^{(x)} - \bar{a}_n)^2}, \quad \tilde{N} < N,$$

$$\bar{a}_n = \frac{1}{M} \sum_{x=1}^M a_n^{(x)},$$

where, S is a summation of the standard deviation of Fourier coefficients obtained from the divided window of the hard disk image, N is total number of column pixel, M is total number of row pixel.

4. The based hard disk is detected as

Non-defect if $S < \eta$
defect otherwise,

where η is predetermined threshold value determined by using training data.

5. Experimental results

The experiments were performed on the database consisting of 119 images of the based hard disk. Some images used in the experiments have scratch and stain. Examples of some defect hard disk images (scratch and stain) and non-defect hard disk images used in the experiment shown in Fig.9. Fig.10 shows the plot of the standard deviation obtained from the non-defect area (Scratch, dust and stain) of hard disk images. The number of Fourier coefficients used in the experiment is 30 ($\tilde{N} = 30$). It can be seen from Fig.10 that not only the scratch on the hard disk base but also dust and stain can be detected by using the proposed method.

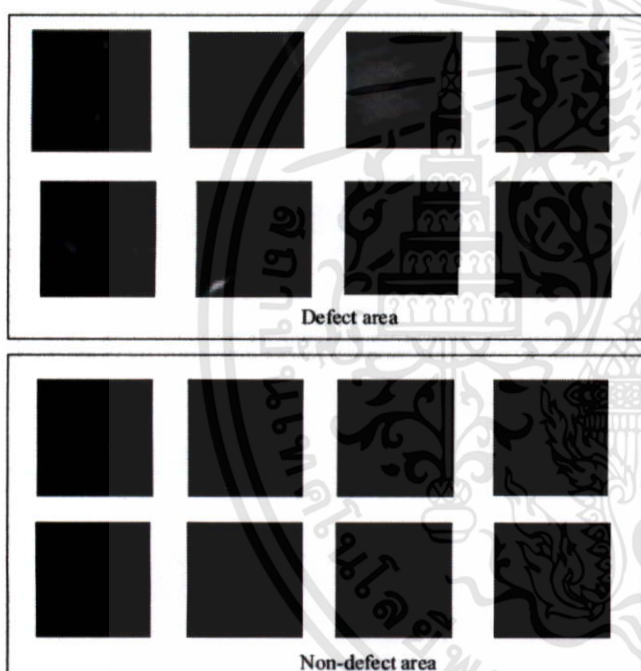


Figure 9. Examples of some defect hard disk images (scratch and stain) and non-defect hard disk images used in the experiments.

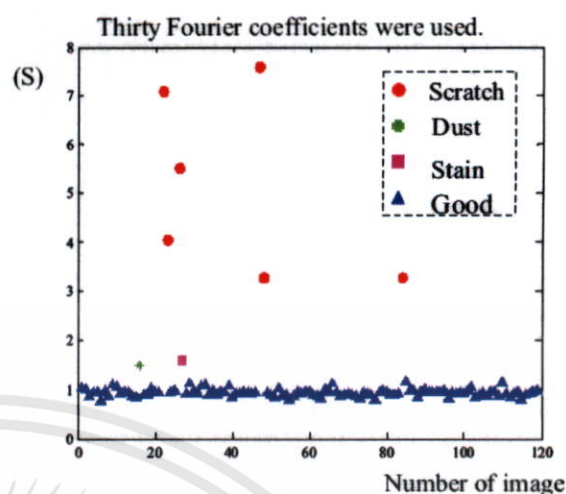


Figure 10. The plot of standard deviation obtained from non-defect and defect area of hard disk image.

Acknowledgement

This paper is supported in part by NIDEC corp. (Thailand) under Grant 2006 NIDEC-KMITL.

References

- [1] Hepplewhite L. and Stonham T.J., "Surface inspection using texture recognition" Pattern Recognition, 1994.
- [2] Hepplewhite L., Stonham T.J. and Glover R.J., "Automated visual inspection of magnetic disk media" Electronics, Circuits, and Systems, 1996.
- [3] Thumwarin P., Malila S., Janthawong P. and Pibulweij W., "A Robust Coin Recognition Method with Rotation Invariance", International Conference on Communications, Circuits and Systems Proceedings, 25-28 June 2006.

6. Conclusion

We proposed a method for scratch detection on base hard disk. First, the fluctuation of the surface on the hard disk image was reduced by expanding the gray level of the row pixel image into Fourier series. The obtained Fourier coefficients were used as an importance for scratch detection. Finally, the scratch was detected by calculating the variance of the Fourier coefficients. The experimental results shown that not only the scratch on the hard disk base but also dust and stain can be detected by using the proposed method.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายพิเชฐ คุณากรวงศ์
วัน เดือน ปีเกิด	30 กันยายน 2526 ที่กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	984/35 ถนนพระรามที่ 6 (อุรุพงษ์ตัดใหม่) แขวงถนนเพชรบุรี เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2540	มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนสามเสนวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร
พ.ศ. 2543	มัธยมศึกษาตอนปลาย สายวิทยาศาสตร์ โรงเรียนสามเสนวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร
พ.ศ. 2547	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) ระบบหุ่นยนต์ 2.) ระบบการมองเห็นภาพ (Vision Systems)
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ. 2548- ปัจจุบัน	วิศวกรโครงการวิจัย Auto Inspection Machine, IQC auto inspection machine (VMI) (KMITL)
ผลงานวิจัย	
	[1] Thumwarin P., Kunakornvong P. and Sooraksa P., “Visual Inspection for Scratch Detection on Hard disk base”, 30 th Electrical Engineering Conference(EECON30), vol.2, Kanchanaburi, Oct 25-26, 2007, pp. 809-812.
	[2] Thumwarin P., Kunakornvong P., Sooraksa P. and Poorahong B., “Hand Verification Based on Co-Occurrence Matrix”, The 1 st Joint International Conference on Information Communication Technology (JICT 2007), Laos, Dec. 2007, pp.
รางวัลเกียรติคุณ	
พ.ศ. 2546	รางวัลชนะเลิศ Honda Econo Power Contest 6 th 2003, รุ่น125 cc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้