

การสร้างภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลด้วยเทคนิคการสะท้อนของ
ลำแสงเลเซอร์

THE MEDIA SURFACE IMAGE CONSTRUCTION WITH TECHNIQUE OF
REFLECTING OF LASER BEAM



T123707



พ.
๓๕๕๓
๒๕๕๕

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...123707
วัน, เดือน, ปี 23 ๗๕ 2555

b. 1๒๓๔๕๖๗
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูล
วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2555

KMITL-2012-DS-M-001-01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE MEDIA SURFACE IMAGE CONSTRUCTION WITH TECHNIQUE
OF REFLECTING OF LASER BEAM



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN DATA STORAGE TECHNOLOGY
COLLEGE OF DATA STORAGE TECHNOLOGY INNOVATIONS
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในห้องสมุดเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2012

COLLEGE OF DATA STORAGE INNOVATIONS

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การสร้างภาพพื้นผิวแผ่นเก็บข้อมูลด้วยเทคนิคการสะท้อนของลำแสงเลเซอร์
Thesis Title The media surface image construction with technique of reflecting of laser beam
นักศึกษา นายสรารุช แซ่ตั้ง
รหัสประจำตัว 52690302
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา เทคโนโลยีการบันทึกข้อมูล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2012-DS-M-001-01

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพดล มณีรัตน์	
รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน	
รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์	
ดร.ปานวิทย์ ชูระนติ	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูลศักดิ์ โกษียาภรณ์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 11 ตุลาคม 2555 เวลา 14.00 – 16.00 น.
สถานที่สอบ อาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล รับรองแล้ว


(รองศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ รัตนยานนท์)
คณบดี วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล
วันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2555

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสร้างภาพพื้นผิวแผ่นเก็บข้อมูลด้วยเทคนิคการสะท้อนของลำแสงเลเซอร์
นักศึกษา	นายสรารุช แซ่ตั้ง
รหัสนักศึกษา	52690302
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีการบันทึกข้อมูล
พ.ศ.	2555
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน

บทคัดย่อ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอ เทคนิคการสร้างภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลด้วยการยิงลำแสงเลเซอร์เพื่อไปสแกนแผ่นเก็บข้อมูล ซึ่งใช้หลักการสะท้อนและกระเจิงของแสงโดยใช้เลเซอร์เซ็นเซอร์ในการตรวจจับความเข้มของลำแสงเลเซอร์ที่สะท้อนกลับมา และทำการบันทึกข้อมูลที่ได้เป็นไฟล์เก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นจึงนำไฟล์ดังกล่าวมาสร้างเป็นภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูล เพื่อใช้ในการแสดงรูปร่างของรอยขีดข่วนที่เกิดขึ้นบนแผ่นเก็บข้อมูล และนำภาพที่ได้ไปประมวลผลภาพด้วยวิธีโอเคนเฟส ทำการค้นคืนภาพที่ใกล้เคียงกับฐานข้อมูลด้วยวิธีหาระยะห่างแบบยุคลิเดียน หาค่าความเหมือนของภาพด้วยวิธีสหสัมพันธ์ไขว้ปรับปรกติ ภาพที่ได้จากการค้นคืนจะมีการวิเคราะห์สาเหตุของรอยขีดข่วนต่างๆ ไว้แล้ว เพื่อเป็นข้อมูลในการวินิจฉัยหาสาเหตุของความเสียหายที่เกิดขึ้นบนแผ่นเก็บข้อมูลแผ่นนั้นๆ ต่อไป ซึ่งพบว่าเครื่องสามารถตรวจจับรอยขีดข่วนที่เกิดขึ้นได้ในระดับไมโครเมตร

Thesis Title	The media surface image construction with technique of reflecting of laser beam
Student	Mr. Sarawut Saetung
Student ID.	52690302
Degree	Master of Engineering
Program	Data Storage Technology
Year	2012
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Paramote Wardkein

ABSTRACT

This thesis presents a technique of image construction for the media surface by using reflecting laser beam. The intensity of the reflected and scattered laser beam from media will be detected, and stored as a data file in a computer. After that the stored data will be taken to construct the image of media surface in order to demonstrate the shape of the scratches that occurred on the media surface. In addition, the obtained image is employed in the process of the eigenfaces technique. This technique will retrieve the relevant images from the image database based on euclidean distance criterion where the similarity between the inspected image and the retrieved image is identified by normalized cross-correlation. The retrieved image and the obtained information can be used to diagnosis the cause of the damage on the media surface. It found that the machine is capable of detecting a micrometer-dimension-scratch.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี โดยการประสิทธิ์วิชาจาก รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ รศ.ดร.จิรัสตา โกษิยาวรณ ชำพเจ้ารัฐศึกษาซึ่งในความอนุเคราะห์จากอาจารย์ทั้งสองท่านและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณเพื่อนพี่น้อง ในสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำ ให้ความอบอุ่นที่ดีต่อกันเสมอมา

สุดท้ายนี้ชำพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของชำพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกๆ เรื่อง ทำให้ชำพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ชำพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สรารุธ แซ่ตั้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.5 โครงประกอบของวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 กล่าวนำ.....	4
2.2 ส่วนประกอบต่างๆของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และการทำงานเบื้องต้น.....	4
2.2.1 เกี่ยวกับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	4
2.2.2 การอ่าน-เขียนข้อมูล.....	8
2.2.3 แผ่นเก็บข้อมูล.....	8
2.2.3.1 กระบวนการในการผลิตแผ่นเก็บข้อมูล.....	10
2.2.3.2 โครงสร้างของแผ่นเก็บข้อมูล.....	10
2.3 คุณสมบัติของแสง.....	12
2.3.1 การเดินทางเป็นเส้นตรง.....	13
2.3.2 การหักเหของแสง.....	13
2.3.3 การสะท้อน.....	14
2.3.4 การกระจาย.....	14
2.4 เลเซอร์.....	15
2.4.1 ชนิดของลำแสงเลเซอร์.....	16
2.5 การประมวลผลภาพด้วยวิธีไอเกนเฟส.....	17
2.5.1 ขั้นตอนเรียนรู้.....	17
2.5.2 ขั้นตอนรู้จำ.....	19
2.6 การหาค่าสหสัมพันธ์ไขว้ปรับปรกติ.....	20
2.7 การตรวจหารอยขีดข่วนบนแผ่นเก็บข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบและขั้นตอนการทดลอง	26
3.1 การออกแบบระบบขับเคลื่อน	26
3.2 การออกแบบระบบควบคุม	28
3.3 การออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์	31
3.3.1 การรับข้อมูล	31
3.3.2 การสร้างภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูล	32
3.3.3 การประมวลผลภาพด้วยวิธีไอเคนเฟส	33
3.4 การเก็บข้อมูลพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูล	34
3.4.1 การเตรียมแผ่นเก็บข้อมูล	37
3.4.2 ศึกษาผลกระทบจากการรบกวนของแสงภายนอก	38
3.4.3 ศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนทิศทางในการยิงลำแสงเลเซอร์	39
3.4.4 ศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนระยะห่างของเลเซอร์เซ็นเซอร์ กับแผ่นเก็บข้อมูล	39
3.5 การวัดขนาดของรอยขีดข่วน	40
บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง	41
4.1 ศึกษาผลกระทบจากการรบกวนของแสงภายนอก	41
4.2 ศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนทิศทางในการยิงลำแสงเลเซอร์	42
4.3 ศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนระยะห่างของเลเซอร์เซ็นเซอร์กับแผ่นเก็บข้อมูล	44
4.4 ภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมเปรียบเทียบกับภาพจริง ของแผ่นเก็บข้อมูล	46
4.5 การประมวลผลภาพด้วยวิธีไอเคนเฟส	49
4.5.1 การค้นคืนภาพ	51
4.5.2 การค้นคืนภาพเมื่อภาพมีความบกพร่อง	55
4.5.3 การค้นคืนภาพเมื่อภาพมีความบกพร่องและมีการเลื่อนตำแหน่ง	56
4.5.4 การทดสอบความถูกต้องในการทำงานของโปรแกรม	58
4.6 ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้	58
4.7 การวัดขนาดของรอยขีดข่วน	60
4.8 ภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลที่ได้รับจากภาคอุตสาหกรรม	62
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	65
บรรณานุกรม	67
ภาคผนวก	68
ภาคผนวก ก. ระบบขับเคลื่อนที่ทำการออกแบบ	68
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่	78
ประวัติผู้เขียน	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงระยะห่างแบบยุคลิดของภาพที่ 1-6 กับแต่ละภาพในคลังข้อมูลภาพ.....	52
4.2 แสดงระยะห่างแบบยุคลิดของภาพที่ 7-12 กับแต่ละภาพในคลังข้อมูลภาพ.....	52
4.3 แสดงระยะห่างแบบยุคลิดของภาพที่ 13-18 กับแต่ละภาพในคลังข้อมูลภาพ	53
4.4 แสดงระยะห่างแบบยุคลิดของภาพที่นำมาทดสอบกับแต่ละภาพในคลังข้อมูลภาพ	54
4.5 แสดงระยะห่างแบบยุคลิดของภาพที่นำมาทดสอบกับแต่ละภาพในคลังข้อมูลภาพ	56
4.6 แสดงระยะห่างแบบยุคลิดของภาพที่นำมาทดสอบกับแต่ละภาพในคลังข้อมูลภาพ	57
4.7 ทดสอบการค้นคืนภาพด้วยวิธีไอเคนเฟสเพื่อดูความถูกต้องในการทำงานของโปรแกรม.....	58



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างภายในของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	4
2.2 แผ่นวงจรสัญญาณไฟฟ้า (ก) ด้านหน้า (ข)ด้านหลัง	5
2.3 สปินเดิลมอเตอร์ที่ใช้ในฮาร์ดดิสก์ (ก) ภาพด้านบน (ข) ภาพด้านล่าง.....	6
2.4 แผ่นเก็บข้อมูล.....	6
2.5 หัวอ่าน-เขียนสัญญาณแม่เหล็ก.....	7
2.6 ส่วนที่ทำหน้าที่ในการเลื่อนหัวเขียน-อ่านสัญญาณ (ก) วอยซ์คอยล์มอเตอร์ (ข) แม่เหล็กนีโอไดเนียม.....	7
2.7 กรองอากาศที่ใช้ในฮาร์ดดิสก์	8
2.8 เฮดสแตกแอสเซมบลี	8
2.9 การอ่าน-เขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์.....	9
2.10 ลักษณะพื้นผิวของอลูมิเนียมอัลลอยด์เทียบกับพื้นผิวของแก้ว.....	9
2.11 กระบวนการต่างๆในการผลิตแผ่นเก็บข้อมูล	10
2.12 โครงสร้างของแผ่นเก็บข้อมูลที่มีการบันทึกข้อมูลตามแนววนอน (ก) ชั้นของสารต่างๆ ของแผ่นเก็บข้อมูลที่มีการบันทึกข้อมูลตามแนววนอน (ข) ลักษณะการบันทึกข้อมูล ตามแนววนอน	11
2.13 โครงสร้างของแผ่นเก็บข้อมูลที่มีการบันทึกข้อมูลตามแนวตั้ง (ก) ชั้นสารต่างๆ ของแผ่นเก็บข้อมูลที่มีการบันทึกข้อมูลตามแนวตั้ง (ข) ลักษณะการบันทึกข้อมูล ตามแนวตั้ง.....	12
2.14 แสดงตัวอย่างการทดลองในเรื่องแสงเดินทางเป็นเส้นตรง (ก) จะเรียงแผ่นกระดาษ A,B และ C ที่เจาะรูตรงกลางให้ตรงกัน (ข) จะเรียงแผ่นกระดาษ C ให้เอียงจาก A และ B.....	13
2.15 การหักเหของแสงเมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหไม่เท่ากัน.....	13
2.16 การสะท้อนของแสง (ก) การสะท้อนแบบปรกติ (ข) การสะท้อนแบบกระจาย.....	14
2.17 กฎการสะท้อนของแสง.....	14
2.18 การกระจายของแสงขาว	15
2.19 โครงสร้างของรูบีเลเซอร์.....	15
2.20 แบบจำลองพลังงานที่มี 3 สถานะ	16
2.21 การแปลงจากภาพมาเป็นเวกเตอร์	17
2.22 ตัวอย่างภาพไอเกนเฟส	19
2.23 ตัวอย่างเวกเตอร์ค่าน้ำหนักพื้นฐานของแต่ละภาพและการตัดสินใจเลือกภาพ ที่ใกล้เคียงที่สุดจากคลังข้อมูลโดยการหาค่า ϵ_i ที่น้อยที่สุด.....	20
2.24 ตัวอย่างเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจหารอยขีดข่วนบนแผ่นเก็บข้อมูล (ก) กล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบสแกน (ข) กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม	22
2.25 Optical system for detecting surface defect.....	22
2.26 Defect inspection system and method for recording media	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่.....	หน้า
2.27 Infrared cameras to observe the magnetic media scratches	24
2.28 Defect inspection method of magnetic disk.....	24
2.29 Hard disk media scratch detection by laser scanning.....	25
3.1 ภาพรวมของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	26
3.2 ระบบขับเคลื่อนที่ออกแบบ (ก) มุมมองด้านบน และ (ข) มุมมองด้านหน้า.....	27
3.3 บล็อกไดอะแกรมของส่วนควบคุม.....	28
3.4 โพล์ชาร์ตการทำงานของ MC1	29
3.5 กราฟแสดงความเร็วเชิงมุมที่ใช้ในการแสกนที่ตำแหน่งต่างๆบนแผ่นเก็บข้อมูล.....	30
3.6 โพล์ชาร์ตการทำงานของ MC2	30
3.7 การสแกนเพื่อเก็บข้อมูล.....	31
3.8 โพล์ชาร์ตการทำงานในส่วนการรับข้อมูล.....	32
3.9 โพล์ชาร์ตการสร้างภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูล	33
3.10 โพล์ชาร์ตขั้นตอนการเรียนรู้.....	34
3.11 โพล์ชาร์ตขั้นตอนการรู้จำ	35
3.12 การติดตั้งอุปกรณ์ของชุดทดลอง (ก) มุมมองด้านบน และ (ข) มุมมองด้านหน้า.....	36
3.13 การติดตั้งกระดาศเพื่อใช้ลดความเข้มลำแสงเลเซอร์ (ก) เลเซอร์เซ็นเซอร์ก่อนได้รับการบังลำแสงด้วยกระดาศ และ (ข) เลเซอร์เซ็นเซอร์หลังได้รับการบังลำแสงด้วยกระดาศ.....	37
3.14 ความเข้มลำแสงเลเซอร์ (ก) ก่อนบังลำแสงด้วยกระดาศ และ (ข) หลังบังลำแสงด้วยกระดาศ	7
3.15 ตัวอย่างรอยขีดข่วนบนแผ่นเก็บข้อมูล	38
3.16 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ให้แสงสว่าง.....	38
3.17 การปรับเลเซอร์เซ็นเซอร์.....	39
3.18 การปรับระยะห่างระหว่างเลเซอร์เซ็นเซอร์กับแผ่นเก็บข้อมูล	39
3.19 กล้องจุลทรรศน์แบบดิจิทัล (ก) มุมมองด้านข้าง, (ข) มุมมองด้านหน้า และ (ค) ตัวอย่างการวัดขนาดรอยขีดข่วนบนแผ่นเก็บข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม.....	40
4.1 เปรียบเทียบภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูล (ก) เมื่อทำการเก็บข้อมูลภายในห้องมืด (ข) เมื่อทำการเก็บข้อมูลพร้อมกับเปิดอุปกรณ์ให้แสงสว่าง	42
4.2 เปรียบเทียบภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลเมื่อปรับเลเซอร์ไป (ก) 0 องศา (ข) 30 องศา.....	43
4.3 เปรียบเทียบภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลเมื่อปรับเลเซอร์ไป (ก) 0 องศา (ข) 60 องศา.....	43
4.4 เปรียบเทียบภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลเมื่อปรับเลเซอร์ไป (ก) 0 องศา (ข) 90 องศา.....	43
4.5 เปรียบเทียบภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลเมื่อปรับเลเซอร์ไป (ก) 0 องศา (ข) 180 องศา	44
4.6 เปรียบเทียบภาพแผ่นเก็บข้อมูลที่ได้เมื่อเลเซอร์เซ็นเซอร์ห่างจากแผ่นเก็บข้อมูล (ก) 7 เซนติเมตร (ข) 3 เซนติเมตร.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่.....	หน้า
4.7 เปรียบเทียบภาพแผ่นเก็บข้อมูลที่ได้เมื่อเลเซอร์เซ็นเซอร์ห่างจากแผ่นเก็บข้อมูล (ก) 7 เซ็นติเมตร (ข) 5 เซ็นติเมตร	45
4.8 เปรียบเทียบภาพแผ่นเก็บข้อมูลที่ได้เมื่อเลเซอร์เซ็นเซอร์ห่างจากแผ่นเก็บข้อมูล (ก) 7 เซ็นติเมตร (ข) 9 เซ็นติเมตร	45
4.9 เปรียบเทียบภาพแผ่นเก็บข้อมูลที่ได้เมื่อเลเซอร์เซ็นเซอร์ห่างจากแผ่นเก็บข้อมูล (ก) 7 เซ็นติเมตร (ข) 11 เซ็นติเมตร	46
4.10 เปรียบเทียบภาพพื้นผิวแผ่นเก็บข้อมูล (ก) ภาพของแผ่นเก็บข้อมูลที่ถ่ายจากกล้องดิจิทัล (ข) ภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม.....	48
4.11 ตัวอย่างภาพต้นแบบที่ใช้เป็นคลังข้อมูลภาพ.....	51
4.12 ผลการค้นคืนภาพโดย (ก) ภาพที่นำมาทดสอบ (ข)ภาพที่ได้จากการค้นคืน.....	54
4.13 ผลการค้นคืนภาพที่มีความบกพร่องโดย (ก) ภาพที่นำมาทดสอบ (ข) ภาพที่ได้ จากการค้นคืน.....	55
4.14 ผลการค้นคืนภาพเมื่อภาพมีความบกพร่องและมีการเลื่อนตำแหน่ง (ก) ภาพที่นำมา ทดสอบ (ข) ภาพที่ได้จากการค้นคืน.....	57
4.15 การค้นคืนภาพโดยภาพที่นำมาทดสอบเป็นภาพเดียวกันกับภาพในคลังข้อมูลภาพ	59
4.16 การค้นคืนภาพโดยภาพที่นำมาทดสอบเป็นภาพเดียวกันกับภาพในคลังข้อมูลภาพ แต่มีความบกพร่องของรอยขีดข่วน	59
4.17 การค้นคืนภาพโดยภาพที่นำมาทดสอบเป็นภาพเดียวกันกับภาพในคลังข้อมูลภาพแต่ มีความบกพร่องของรอยขีดข่วนและมีการเลื่อนตำแหน่ง.....	60
4.18 ตัวอย่างการวัดขนาดของรอยขีดข่วน (ก) ภาพแผ่นเก็บข้อมูลที่นำมาวัดขนาด รอยขีดข่วน (ข)ขนาดของรอยขีดข่วนที่วัดได้.....	61
4.19 ตัวอย่างการวัดขนาดของรอยขีดข่วน (ก) ภาพแผ่นเก็บข้อมูลที่นำมาวัดขนาด รอยขีดข่วน (ข)ขนาดของรอยขีดข่วนที่วัดได้.....	62
4.20 เปรียบเทียบภาพพื้นผิวแผ่นเก็บข้อมูล (ก) ภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลที่ได้จาก โปรแกรมโดยทำการเก็บข้อมูลพื้นผิวที่ระยะ 7 เซ็นติเมตร (ข) ภาพจริงของแผ่นเก็บข้อมูล ที่ถ่ายจากกล้องดิจิทัล	64

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากความต้องการในการจัดเก็บข้อมูลดิจิทัลในปัจจุบันมีมากขึ้น ดังนั้นอุตสาหกรรมที่ผลิตอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลจึงมีการพัฒนาขึ้นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เพราะว่าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลที่มีความจุสูงและราคาต่อหน่วยความจุถูกที่สุด ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะมีชิ้นส่วนเป็นจำนวนมากเช่น แผ่นวงจรสัญญาณ (Printed circuit board), สปินเดิลมอเตอร์ (Spindle motor), หัวเขียน-อ่านสัญญาณแม่เหล็ก (Head) และแผ่นเก็บข้อมูล (Platter) เป็นต้น ซึ่งหากชิ้นส่วนใดชิ้นส่วนหนึ่งไม่ได้มาตรฐานหรือมีความเสียหายเกิดขึ้นจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพโดยรวมของระบบให้มีความต่ำลง จึงควรจะต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นส่วนต่างๆเหล่านั้นก่อนที่จะนำไปสู่กระบวนการประกอบเป็นชิ้นงานที่สมบูรณ์ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะให้ความสำคัญในการศึกษาเกี่ยวกับชิ้นส่วนที่มีหน้าที่ในการบันทึกข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ที่เรียกว่าแผ่นเก็บข้อมูล โดยมุ่งเน้นไปที่การสร้างภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการดูลักษณะรูปร่างของรอยขีดข่วนที่เกิดบนแผ่นเก็บข้อมูล ที่ผ่านมามีวิธีในการหารอยขีดข่วนบนแผ่นเก็บข้อมูลนั้นมีด้วยกันหลายวิธี เช่น SEM (Scanning electron microscope) ที่ใช้ลำแสงอิเล็กตรอน ส่องกราดไปยังพื้นผิวของตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบ เพื่อให้ได้ลักษณะของพื้นผิวปรากฏเป็นภาพขยายที่สามารถมองเห็นได้[1], Optical system for detecting surface defect ที่ใช้หลักการสะท้อนกลับของลำแสงเลเซอร์ในการตรวจหารอยขีดข่วนบนแผ่นเก็บข้อมูล[2], Defect inspection method of magnetic disk ที่ใช้การดูค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับส่วนยึด-หดที่หัวอ่าน-เขียน ที่ทำหน้าที่รักษาระยะห่างระหว่างแผ่นเก็บข้อมูลกับหัวอ่าน-เขียนให้มีความคงที่ โดยพิจารณาว่ามีค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้มากหรือน้อยกว่าค่าปกติในปริมาณมากๆ นั้นหมายความว่าในบริเวณนั้นจะมีรอยขีดข่วนหรือมีความผิดปกติเกิดขึ้นที่แผ่นเก็บข้อมูล[3] และ Infrared cameras to observe the magnetic media scratches ที่ใช้กล้องอินฟราเรดในการตรวจหาความร้อนที่เปลี่ยนแปลงบนแผ่นเก็บข้อมูลหลังจากป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับแผ่นเก็บข้อมูล เพราะในบริเวณที่มีรอยขีดข่วนจะมีความร้อนมากกว่าในบริเวณอื่นๆ เนื่องจากในบริเวณที่มีรอยขีดข่วนจะมีความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้ามากกว่าในบริเวณที่ไม่มีรอยขีดข่วน[4] เป็นต้น ซึ่งเทคนิคเหล่านี้สามารถวิเคราะห์พื้นผิวได้ละเอียดสูงมาก แต่มีข้อเสียที่ราคาอุปกรณ์ที่สูงรวมทั้งต้องมีผู้เชี่ยวชาญในการควบคุมเครื่อง จึงเป็นการยากที่จะนำมาตรวจสอบแผ่นเก็บข้อมูลทุกแผ่น ส่วนการใช้วิธีการถ่ายภาพพื้นผิวด้วยกล้องดิจิทัลนั้นมีข้อดีที่การทำงานที่ค่อนข้างรวดเร็ว แต่มีข้อเสียที่ภาพที่ถ่ายได้นั้นเกิดข้อผิดพลาดขึ้นได้ง่าย อันเนื่องมาจากแผ่นเก็บข้อมูลสามารถสะท้อนแสงได้ดี ทำให้เห็นรอยขีดข่วนได้ไม่ชัดเจนหรืออาจไม่เห็นรอยขีดข่วนนั้นๆเลย และการวิเคราะห์ภาพถ่ายของรอยขีดข่วนที่เกิดขึ้นจำเป็นต้องให้ผู้เชี่ยวชาญมาวิเคราะห์ซึ่งอาจมีค่าใช้จ่ายสูง หรือการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับรอยขีดข่วนที่ได้เคยมีการวินิจฉัยมาแล้วก็จะทำให้เสียเวลาในการวินิจฉัยค่อนข้างมากเนื่องจากต้องเสียเวลาในการค้นข้อมูลจำนวนมากเพื่อนำมาเปรียบเทียบ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการสร้างภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลด้วยเทคนิคการสะท้อนของลำแสงเลเซอร์ เพื่อให้สามารถเห็นรูปร่างของรอยขีดข่วนต่างๆที่เกิดขึ้นบนแผ่นเก็บข้อมูล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และนำภาพพื้นผิวที่สร้างขึ้นนั้นมาประมวลผลภาพด้วยวิธีโอเคนเฟส เพื่อใช้ในการค้นข้อมูลภาพที่คล้ายกันจากคลังข้อมูลภาพ โดยการประมวลผลภาพด้วยวิธีโอเคนเฟสนี้มีข้อดีที่ทำงานได้รวดเร็ว และการค้นหาจากภาพมีข้อดีกว่าการค้นหาจากตัวอักษรมาก เนื่องจากภาพรอยขีดข่วนบางภาพยากที่จะอธิบายออกมาเป็นตัวอักษร

1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อสร้างภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูล โดยอาศัยการสะท้อนและการกระเจิงของลำแสงเลเซอร์

1.2.2 เพื่อเป็นแนวทางในการตรวจหารอยขีดข่วนบนแผ่นเก็บข้อมูลให้กับภาคอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

- เพื่อแสดงรูปร่างของรอยขีดข่วนที่เกิดขึ้นบนแผ่นเก็บข้อมูลบนคอมพิวเตอร์
- เพื่อช่วยให้การวินิจฉัยหาสาเหตุของรอยขีดข่วนทำได้ง่ายขึ้นและรวดเร็วขึ้น

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้เทคนิคการสะท้อนของลำแสงเลเซอร์ในการสร้างภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูล เนื่องจากแสงเลเซอร์มีคุณลักษณะที่โดดเด่นกว่าแสงอื่นๆทั่วไปคือ มีความยาวคลื่นคงที่ค่าเดียว มีทิศทางของลำแสงที่แน่นอน มีความเข้มหรือจำนวนโฟตอนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่สูง อีกทั้งแสงเลเซอร์ยังคงคุณสมบัติต่างๆของแสง เช่น คุณสมบัติการสะท้อนของแสงและคุณสมบัติการกระเจิงของแสง เป็นต้น โดยจะได้ทำการเก็บข้อมูลการสะท้อนของลำแสงเลเซอร์นี้เป็นไฟล์ไว้ในคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะได้ว่าที่พื้นผิวปกติของแผ่นเก็บข้อมูลสามารถสะท้อนลำแสงเลเซอร์ได้ดีทำให้ได้ค่าความเข้มของลำแสงเลเซอร์ที่สะท้อนกลับมีค่าสูง แต่ในตำแหน่งที่เกิดรอยขีดข่วนจะได้ความเข้มของลำแสงเลเซอร์ที่สะท้อนกลับมีค่าน้อยเนื่องจากเกิดการกระเจิงของแสง จึงใช้ข้อมูลที่ได้มานี้ในการสร้างเป็นภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูล เพื่อที่จะนำภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลที่ได้สร้างขึ้นนั้นมาใช้ในกระบวนการประมวลผลภาพด้วยวิธีโอเคนเฟส (Eigenface)[5-9] และทำการค้นคืนภาพที่ใกล้เคียงกับคลังข้อมูลภาพที่ได้เตรียมไว้แล้วด้วยวิธีหาระยะห่างแบบยูคลิดีเนียน (Euclidean Distance) หาค่าความเหมือนของภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลที่ได้สร้างขึ้นกับภาพที่ได้จากการค้นคืนจากคลังข้อมูลภาพด้วยวิธีสหสัมพันธ์ไขว้ปรับปกติ (Normalized Cross-Correlation) โดยลักษณะสำคัญของระบบนี้คือการนำเอาหลักการและเทคนิคการค้นคืนภาพโดยใช้เนื้อหาจากตัวอย่างภาพไม่จำเป็นต้องป้อนค่าค้นที่เป็นข้อความเหมือนระบบสืบค้นทั่วไป เพื่อทำการเลือกภาพจากคลังข้อมูลที่ลักษณะใกล้เคียงที่สุดออกมาแสดง รวมถึงข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เช่น ผลของการวินิจฉัยของภาพที่นำมาแสดง เป็นต้น

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 ทำการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูล ซึ่งประกอบไปด้วย

- สปินเดิลมอเตอร์ที่ทำหน้าที่หมุนแผ่นเก็บข้อมูล
- มอเตอร์ฐานที่ทำหน้าที่เลื่อนแผ่นเก็บข้อมูลในแนวระนาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุปกรณ์ระบบขับเคลื่อน เช่น บอลสกรู, ลิเนียร์, คับปลิ้ง เป็นต้น
- เลเซอร์เซ็นเซอร์ ที่ใช้สำหรับ ส่งและรับลำแสงเลเซอร์
- ส่วนควบคุม ที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ และ ติดต่อกับ

คอมพิวเตอร์

1.4.2 สร้างภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 นิ้ว ด้วยโปรแกรม MATLAB

1.4.3 ศึกษาผลกระทบจากการรบกวนของแสงภายนอก

1.4.4 ศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนทิศทางในการยิงลำแสงเลเซอร์

1.4.5 ศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนระยะห่างของเลเซอร์เซ็นเซอร์กับแผ่นเก็บข้อมูล

1.4.6 เปรียบเทียบภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลกับภาพจริงของแผ่นเก็บข้อมูล

1.4.7 ทำการค้นคืนภาพที่ได้กับภาพในคลังข้อมูลภาพด้วยวิธีไอเกนเฟส

1.4.8 สร้างส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้

1.4.9 ทำการวัดขนาดรอยขีดข่วนบนแผ่นเก็บข้อมูล

1.5 โครงประกอบของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการการวิจัย ขอบเขตการวิจัย และโครงประกอบของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วย บทนำ ส่วนประกอบต่างๆของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และการทำงานเบื้องต้น คุณสมบัติของแสง เลเซอร์ การประมวลผลภาพด้วยวิธีไอเกนเฟส การหาค่าสหสัมพันธ์ไขว้ปรับปรกติ และการตรวจหารอยขีดข่วนบนแผ่นเก็บข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบและขั้นตอนการทดลอง ซึ่งประกอบไปด้วย การออกแบบระบบขับเคลื่อน การออกแบบระบบควบคุม การออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ การเก็บข้อมูลพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูล และการวัดขนาดของรอยขีดข่วน

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งประกอบไปด้วย การศึกษาผลกระทบจากการรบกวนของแสงภายนอก การศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนทิศทางในการยิงลำแสงเลเซอร์ การศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนระยะห่างของเลเซอร์เซ็นเซอร์กับแผ่นเก็บข้อมูล ภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมเทียบกับภาพจริงของแผ่นเก็บข้อมูล การประมวลผลภาพด้วยวิธีไอเกนเฟส ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ และการวัดขนาดของรอยขีดข่วน

บทที่ 5 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

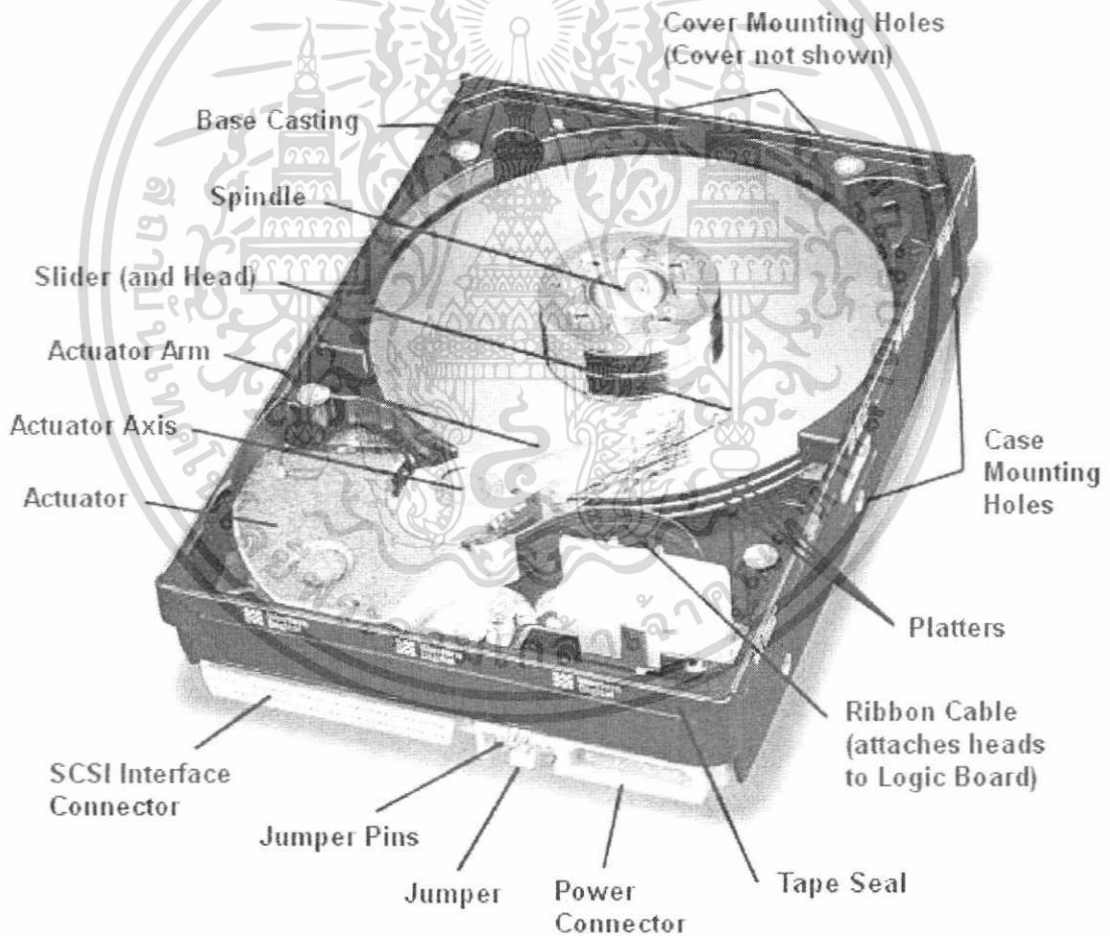
2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะอธิบายถึงส่วนประกอบต่างๆของฮาร์ดดิสก์ เลเซอร์ การประมวลผลภาพด้วยวิธีไอเคนเฟส และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2 ส่วนประกอบต่างๆของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และการทำงานเบื้องต้น

2.2.1 เกี่ยวกับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์คือ อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลโดยสามารถเก็บข้อมูลได้อย่างถาวรไม่จำเป็นต้องมีไฟฟ้ามานหล่อเลี้ยงตลอดเวลา ดังมีโครงสร้างภายในดังรูปที่ 2.1



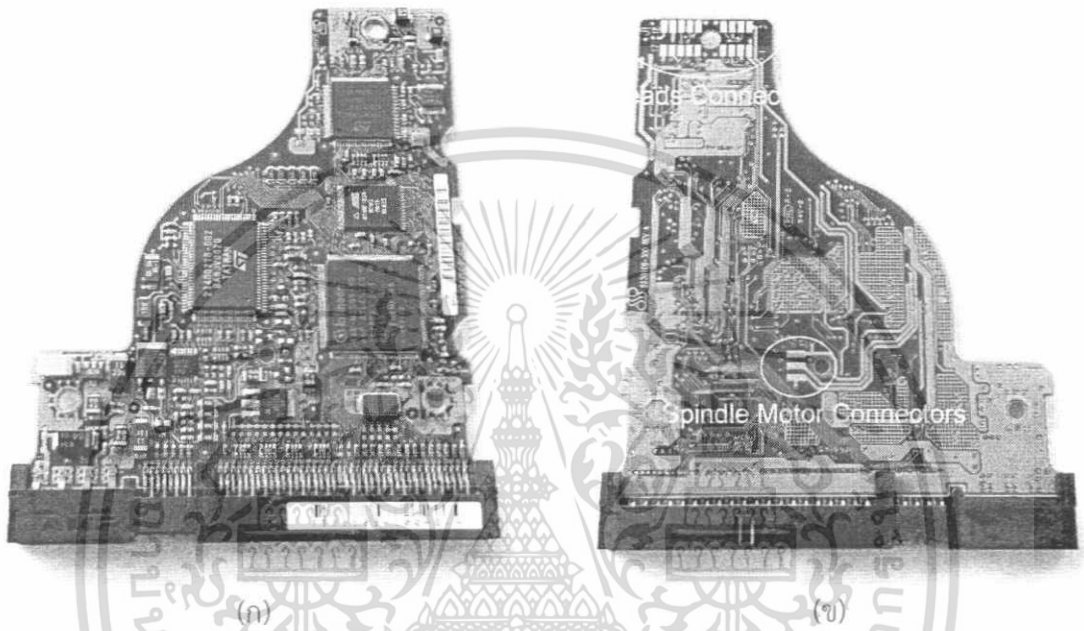
รูปที่ 2.1 โครงสร้างภายในของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

(ที่มา : <http://hustlerhoney20.blogspot.com/>)

ดังแสดงตัวอย่างส่วนประกอบ และหน้าที่การทำงานในส่วนต่างๆของฮาร์ดดิสก์ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แผ่นวงจรสัญญาณไฟฟ้า (Printed circuit board) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานส่วนต่างๆของฮาร์ดดิสก์โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) ทำหน้าที่ในการประมวลผล เช่น ควบคุมการหมุนของวอร์ชคอยล์มอเตอร์, การแปลงสัญญาณอนาล็อกที่ได้จากหัวอ่านไปเป็นสัญญาณดิจิทัล, การเปลี่ยนจากสัญญาณดิจิทัลไปเป็นสัญญาณอนาล็อกเมื่อทำการเขียนข้อมูล, ควบคุมการหมุนของสปินเดิลมอเตอร์และทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ เป็นต้น ดังแสดงแผ่นวงจรสัญญาณไฟฟ้าในรูปที่ 2.2

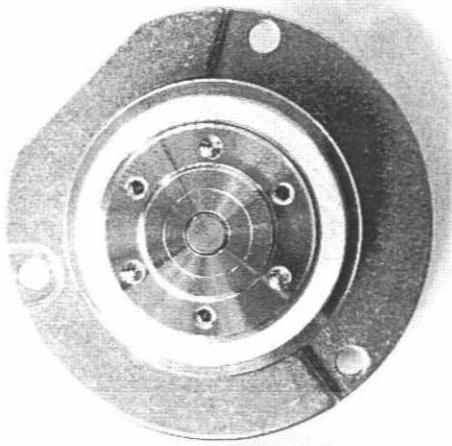


รูปที่ 2.2 แผ่นวงจรสัญญาณไฟฟ้า

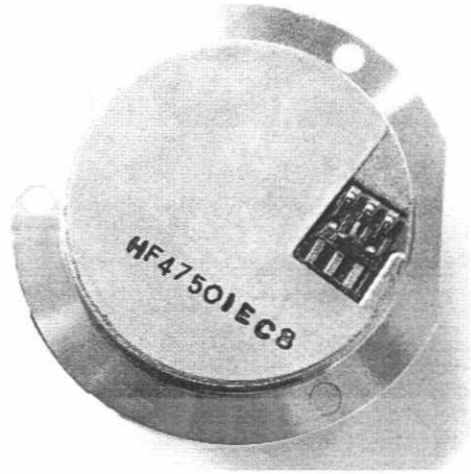
(ก) ด้านหน้า

(ข) ด้านหลัง

2. สปินเดิลมอเตอร์ (Spindle motor) เป็นมอเตอร์ที่มีความเร็วรอบสูงทำหน้าที่หมุนแผ่นเก็บข้อมูลให้มีความเร็วรอบตามที่กำหนด โดยความเร็วในการหมุนนี้จะมีผลต่อความเร็วในการเข้าถึงข้อมูล (Access Time) และความเร็วในการอ่าน-เขียนข้อมูล โดยถ้าสปินเดิลมอเตอร์มีความเร็วสูงขึ้น เวลาที่ใช้ในการเข้าถึงข้อมูลก็จะน้อยลง ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.3



(ก)



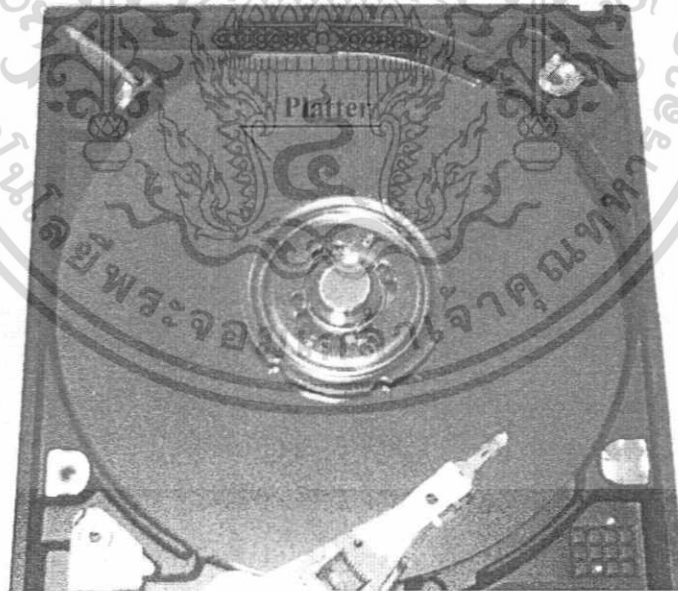
(ข)

รูปที่ 2.3 สปินเดิลมอเตอร์ที่ใช้ในฮาร์ดดิสก์

(ก) ภาพด้านบน

(ข) ภาพด้านล่าง

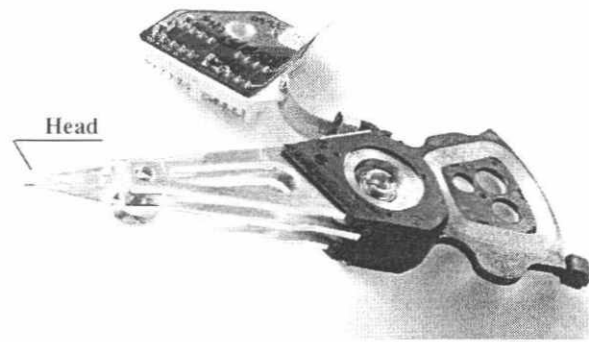
3. แผ่นเก็บข้อมูล (Platter) เป็นแผ่นจานรูปวงกลมที่วัสดุทำจากอลูมิเนียมหรือแก้ว เคลือบด้วยสารแม่เหล็กทำหน้าที่เก็บข้อมูล โดยเก็บข้อมูลในรูปทิศทางของสนามแม่เหล็ก โดยแผ่นเก็บข้อมูลถูกยึดอยู่บนสปินเดิลมอเตอร์ด้วยแคลมป์ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แผ่นเก็บข้อมูล

4. หัวเขียน-อ่านสัญญาณแม่เหล็ก(Head) ทำหน้าที่เขียนและอ่านสัญญาณแม่เหล็กจากแผ่นเก็บข้อมูล โดยปรกติจำนวนหัวเขียน-อ่านสัญญาณแม่เหล็ก จะมีจำนวนเท่ากับจำนวนหน้าของแผ่นเก็บข้อมูล เช่น ถ้ามีจำนวนแผ่นเก็บข้อมูลอยู่ 2 แผ่นก็จะมีหัวเขียน-อ่านสัญญาณแม่เหล็กอยู่ 4 หัว เป็นต้น ดังแสดงตัวอย่างหัวเขียน-อ่านสัญญาณแม่เหล็กในรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 หัวเขียน-อ่านสัญญาณแม่เหล็ก

5. วอยซ์คอยล์มอเตอร์ (Voice coil motor) ทำหน้าที่ในการเลื่อนหัวเขียน-อ่านสัญญาณแม่เหล็ก ให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการจะอ่านหรือเขียนข้อมูล วอยซ์คอยล์มอเตอร์จะมีแม่เหล็กถาวรครอบอยู่ ที่นิยมใช้จะเป็นแม่เหล็กนีโอดีเมียม (Neodymium magnet) เพราะเป็นแม่เหล็กแรงสูง สามารถดูดเหล็กที่มีน้ำหนักมากกว่าตัวมันเองได้กว่า 1,000 เท่า การควบคุมทิศทางการหมุนของวอยซ์คอยล์มอเตอร์ทำโดยควบคุมทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขดลวด ดังแสดงวอยซ์คอยล์มอเตอร์และแม่เหล็กนีโอดีเมียม ในรูปที่ 2.6



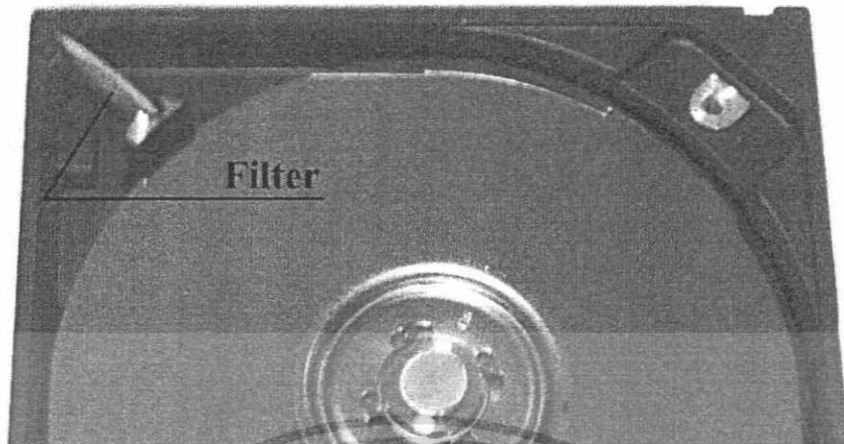
รูปที่ 2.6 ส่วนที่ทำหน้าที่ในการเลื่อนหัวเขียน-อ่านสัญญาณ

(ก) วอยซ์คอยล์มอเตอร์

(ข) แม่เหล็กนีโอดีเมียม

6. กรองอากาศ (Filter) เนื่องจากฮาร์ดดิสก์เป็นอุปกรณ์ที่มีกลไกที่มีความละเอียดสูงมาก และในระหว่างการทำงานอาจจะมีน้ำมันหรือผงเหล็กที่มีขนาดเล็กมากๆ หลุดออกมาจากชิ้นส่วนภายในได้ ดังนั้นจึงมีกรองอากาศ ทำหน้าที่กรองฝุ่นผงต่างๆ เหล่านี้ ออก โดยการหมุนเวียนของอากาศภายในฮาร์ดดิสก์จะเกิดจากการหมุนของแผ่นมีเดียมันเอง ดังแสดงในรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 กรองอากาศที่ใช้ในฮาร์ดดิสก์

7. เฮดสแตคแอสเซมบลี (Head Stack Assembly : HSA) จะประกอบไปด้วย ลูกปืน (Bearing) ที่มีความละเอียดสูงอยู่ที่จุดหมุนทำให้หมุนได้อย่างราบรื่น ส่วนที่ยื่นออกไปจากจุดหมุนไปยังเฮดกิมบอลแอสเซมบลี (Head Gimbal Assembly : HGA) จะเรียกว่าแขน (Arm) และจะมีสายนำสัญญาณ (Ribbon Cable) เป็นชุดของสายไฟ ที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างหัวเขียน-อ่านสัญญาณแม่เหล็กกับแผ่นวงจรสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 2.8

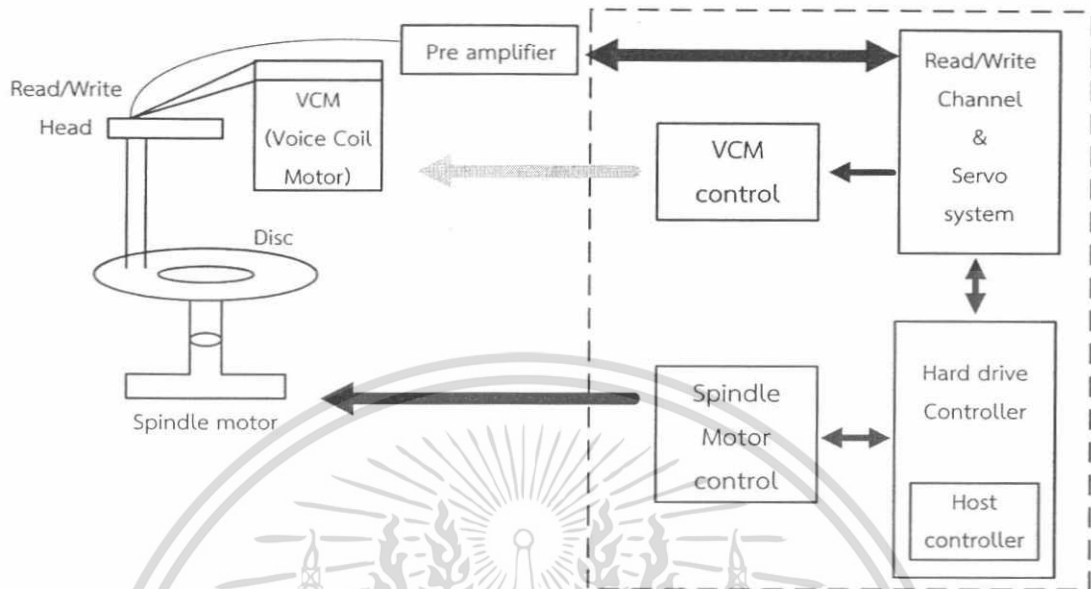


รูปที่ 2.8 เฮดสแตคแอสเซมบลี

2.2.2 การอ่าน-เขียนข้อมูล

คอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณของตำแหน่งที่ต้องการอ่านหรือเขียน ไปยังแผ่นวงจรสัญญาณไฟฟ้าของฮาร์ดดิสก์ แผ่นวงจรสัญญาณไฟฟ้าจะส่งให้สปินเดิลมอเตอร์หมุน และควบคุมตำแหน่งหัวอ่านหรือเขียนข้อมูลด้วยการควบคุมการหมุนของวอยซ์คอยล์-มอเตอร์ให้เลื่อนไปยังตำแหน่งที่ต้องการ โดยในการเขียนข้อมูล หัวเขียน (Write Head) จะเขียนข้อมูลด้วยวิธีสร้างเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นที่หัวเขียน ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กจะเป็นไปตามข้อมูลที่ต้องการเขียน ซึ่งเส้นแรงแม่เหล็กที่หัวเขียนนี้จะไปเปลี่ยนทิศทางของสนามแม่เหล็กบนแผ่นเก็บข้อมูลให้มีทิศทางเป็นไปตามเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

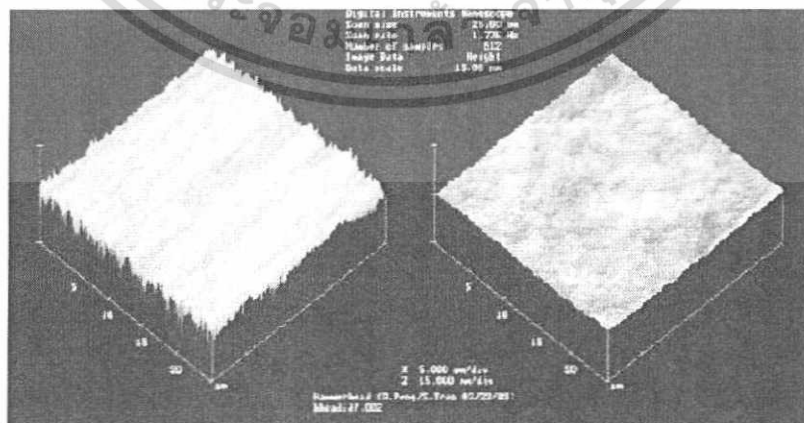
ทิศทางของสนามแม่เหล็กที่หัวเขียน ส่วนหัวอ่าน (Read Head) ก็จะทำหน้าที่อ่านข้อมูลโดยใช้การตรวจจับสนามของสนามแม่เหล็กบนแผ่นเก็บข้อมูล ดังแสดงการทำงานดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การอ่าน-เขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์

2.2.3 แผ่นเก็บข้อมูล

แผ่นเก็บข้อมูลคือ แผ่นฟิล์มของวัสดุที่มีคุณสมบัติแม่เหล็ก ซึ่งอยู่บนฐานรอง(Substrate) ที่เป็นแผ่นวงกลมทำจากวัสดุที่มีคุณสมบัติคือ แข็งแรง ง่ายต่อการนำมาใช้งาน น้ำหนักเบา ราคาถูก เป็นต้น แผ่นฐานรองที่นิยมใช้ด้วยกัน 2 ชนิดคือ อลูมิเนียมอัลลอยด์ และ แก้ว ซึ่งแก้วมีคุณสมบัติที่ดีกว่าในหลายๆด้านเช่น มีพื้นผิวที่เรียบกว่า มีความสามารถในการคงรูปร่างมากกว่าที่น้ำหนักเท่ากัน มีการขยายตัวน้อยกว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ก็มีข้อด้อยคือ แรกหักได้ง่ายกว่า ในรูปที่ 2.10 จะแสดงลักษณะพื้นผิวของอลูมิเนียมอัลลอยด์เทียบกับพื้นผิวของแก้ว



Aluminum alloy platter

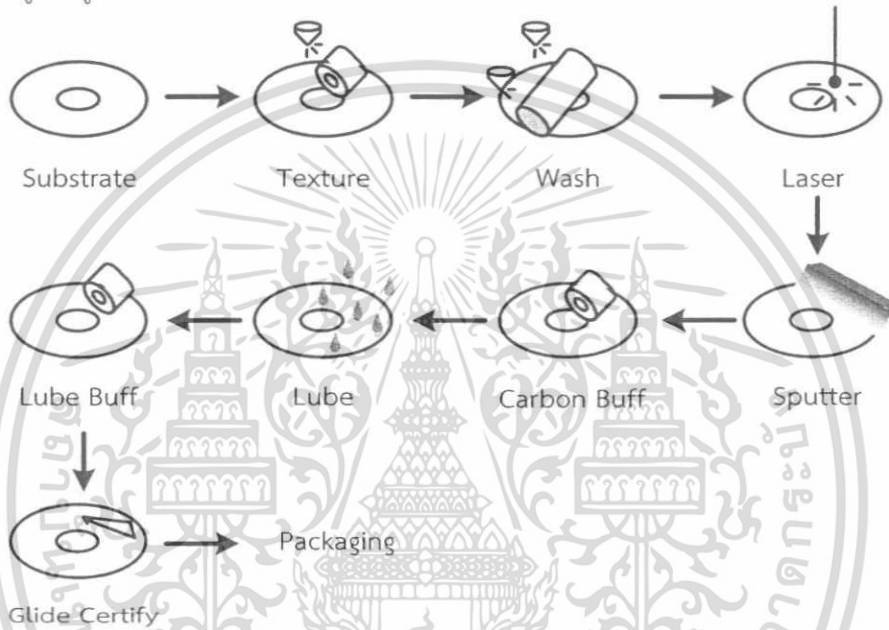
Glass platter

รูปที่ 2.10 ลักษณะพื้นผิวของอลูมิเนียมอัลลอยด์เทียบกับพื้นผิวของแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.1 กระบวนการในการผลิตแผ่นเก็บข้อมูล

ในการผลิตแผ่นเก็บข้อมูลนั้นจะมีกระบวนการมากมายเช่น การเตรียมผิว (Texture), ทำความสะอาด (Wash), ยิงเลเซอร์ (Laser) ในส่วนที่จะนำหัวอ่าน-เขียนมาจอต ทำให้มีพื้นผิวขรุขระเพื่อลดการเสียดสีกันระหว่างหัวอ่าน-เขียนกับแผ่นเก็บข้อมูล, สเปคเตอร์ (Sputter) เป็นขั้นตอนในการปลูกชั้นของสารต่างๆ เช่น ชั้นสารแข็ง, ชั้นผสานทางแม่เหล็ก และ ชั้นบันทึกข้อมูล เป็นต้น จากนั้นเคลือบด้วยชั้นคาร์บอน (Carbon) และ ชั้นสารหล่อลื่น (Lube) ตามลำดับ เพื่อทำหน้าที่ป้องกันชั้นข้อมูลไม่ให้เกิดความเสียหายจากการเสียดสีและกระแทกกันของหัวอ่าน-เขียนกับแผ่นเก็บข้อมูล และทำการทดสอบแผ่นที่ทำเสร็จแล้วก่อนที่จะนำไปบรรจุ ดังแสดงกระบวนการในการผลิตแผ่นเก็บข้อมูลในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 กระบวนการต่างๆในการผลิตแผ่นเก็บข้อมูล

2.2.3.2 โครงสร้างของแผ่นเก็บข้อมูล

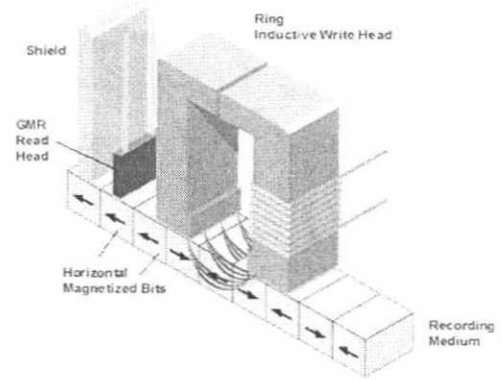
โครงสร้างของแผ่นเก็บข้อมูลสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆตามลักษณะการบันทึกข้อมูล ได้แก่แผ่นเก็บข้อมูลที่มีการบันทึกข้อมูลตามแนวนอน (Longitudinal Recording) และ แผ่นเก็บข้อมูลที่มีการบันทึกข้อมูลตามแนวตั้ง (Perpendicular Recording)

1. โครงสร้างของแผ่นเก็บข้อมูลที่มีการบันทึกข้อมูลตามแนวนอน

แผ่นเก็บข้อมูลที่มีการบันทึกข้อมูลตามแนวนอนนั้น สภาพความเป็นแม่เหล็กของแผ่นเก็บข้อมูลจะขนานกับระนาบของแผ่นบันทึกข้อมูล ดังแสดงชั้นสารต่างๆของแผ่นเก็บข้อมูล และลักษณะการบันทึกข้อมูลตามแนวนอน ในรูปที่ 2.12 (ก) และ (ข) ตามลำดับ โดยการบันทึกข้อมูลตามแนวนอนนั้นทิศทางของสนามแม่เหล็กที่พุ่งออกจากหัวเขียน และ ทิศทางของสนามแม่เหล็กภายในแผ่นเก็บข้อมูล จะอยู่ในแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lubricant
Carbon Overcoat
Recording Layer
Magnetic Orientation Layer
Hardness Layer
Substrate



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.12 โครงสร้างของแผ่นเก็บข้อมูลที่มีการบันทึกข้อมูลตามแนวอน

- (ก) ชั้นของสารต่างๆของแผ่นเก็บข้อมูลที่มีการบันทึกข้อมูลตามแนวอน
- (ข) ลักษณะการบันทึกข้อมูลตามแนวอน

ชั้นของสารต่างๆมีหน้าที่ดังต่อไปนี้

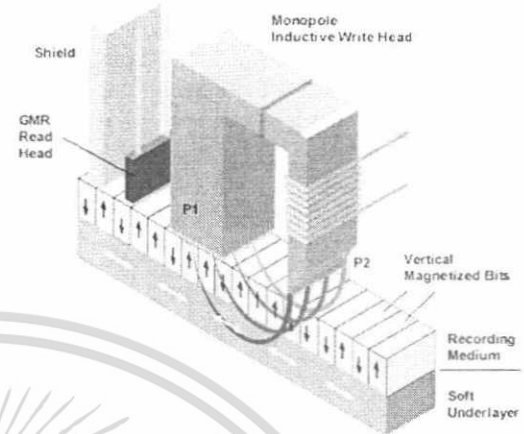
- ชั้นสารหล่อลื่น (Lubricant) ทำหน้าที่ลดแรงเสียดทานระหว่างแผ่นเก็บข้อมูลกับหัวอ่าน-เขียนในระหว่างที่มีการเสียดสี
- ชั้นคาร์บอน (Carbon Overcoat) ทำหน้าที่ป้องกันชั้นข้อมูลไม่ให้เสียหายเนื่องจากการเสียดสีของหัวอ่าน-เขียน
- ชั้นบันทึกข้อมูล (Recording Layer) เป็นชั้นของสารแม่เหล็กจำพวกเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic) สารที่นิยมใช้ได้แก่ โคบอล-โครเมียม-แทนทาลัม (CoCrTa) และ โคบอล-แพลตตินัม-โครเมียม (CoCrPt)
- ชั้นผลสวนทางแม่เหล็ก (Magnetic Orientation Layer) เคลือบด้วยสารโครเมียม (Chromium) ช่วยทำให้สารแม่เหล็กชั้นข้อมูลมีการเรียงตัวของอะตอมไปทางเดียวกันเพื่อให้เกิดแมกเนตไอเซชันในแนวเดียวกับ Easy Axis
- ชั้นสารแข็ง (Hardness Layer) เคลือบด้วยนิกเกิล-ฟอสฟอรัส(Ni-P) ทำหน้าที่ช่วยให้พื้นผิวมีความแข็งแรงพอที่ไคร่องรับโครงสร้างของชั้นแม่เหล็กได้
- ชั้นฐานรอง (Substrate) เป็นชั้นที่สร้างจากอลูมิเนียมหรือแก้ว

2. โครงสร้างของแผ่นเก็บข้อมูลที่มีการบันทึกข้อมูลตามแนวตั้ง

แผ่นเก็บข้อมูลที่มีการบันทึกข้อมูลตามแนวตั้งนั้น ถูกพัฒนาเพื่อให้เก็บข้อมูลได้มากขึ้น และมีเสถียรภาพของข้อมูลมากขึ้น สภาพความเป็นแม่เหล็กของแผ่นเก็บข้อมูลจะตั้งฉากกับระนาบของแผ่นเก็บข้อมูล ดังแสดงชั้นสารต่างๆของแผ่นเก็บข้อมูลที่มีการบันทึกข้อมูลตามแนวตั้ง และลักษณะการบันทึกข้อมูลตามแนวตั้ง ในรูปที่ 2.6 (ก) และ (ข) ตามลำดับ การบันทึกข้อมูลตามแนวตั้งนั้นทิศทางของสนามแม่เหล็กที่พุ่งออกจากหัวเขียน และทิศทางของสนามแม่เหล็กภายในแผ่นเก็บข้อมูลจะอยู่ในแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lubricant
Carbon Overcoat
Recording Layer
Interlayer
Seed layer
Soft Under layer
Soft Under layer Interlayer
Soft Under layer
Adhesive Layer
Substrate



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.13 โครงสร้างของแผ่นเก็บข้อมูลที่มีการบันทึกข้อมูลตามแนวตั้ง

(ก) ชั้นสารต่างๆของแผ่นเก็บข้อมูลที่มีการบันทึกข้อมูลตามแนวตั้ง

(ข) ลักษณะการบันทึกข้อมูลตามแนวตั้ง

โดยชั้นของสารต่างๆที่ใช้ในแผ่นเก็บข้อมูลแบบแนวตั้งนั้นโดยส่วนใหญ่จะเหมือนกับชั้นของสารที่ใช้ในแผ่นเก็บข้อมูลแบบแนวนอน เช่น ชั้นสารหล่อลื่น, ชั้นคาร์บอน, ชั้นข้อมูล และชั้นฐานรอง แต่ได้มีการเพิ่มชั้นสารดังต่อไปนี้เข้าไปด้วย เช่น

- ชั้นสารภายใน (Interlayer) ซึ่งจะช่วยในการจัดโครงสร้างทางอะตอมของชั้นเก็บข้อมูลให้เหมาะสมในการเขียนข้อมูล
- ชั้นเพิ่มความแข็งแรง (Seed Layer) ส่วนมากจะเป็นสารรูเทนเนียม (Ru) ซึ่งจะช่วยยึดโครงสร้างที่อยู่ระหว่างชั้นนี้ให้แข็งแรงมากยิ่งขึ้น
- ชั้นสารภายในระหว่างชั้นแบบอ่อน (Soft Under Layer Interlayer) จะเป็นชั้นสารที่อยู่ระหว่างชั้นแบบอ่อน (Soft Under Layer) ทำให้ชั้นแบบอ่อนทั้งสองเกิดการ คัปปลิง (Coupling) ซึ่งส่งผลให้มีความเสถียรภาพของสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น
- ชั้นสารเกาะติด (Adhesive Layer) จะช่วยยึดโครงสร้างให้แข็งแรงมากขึ้น

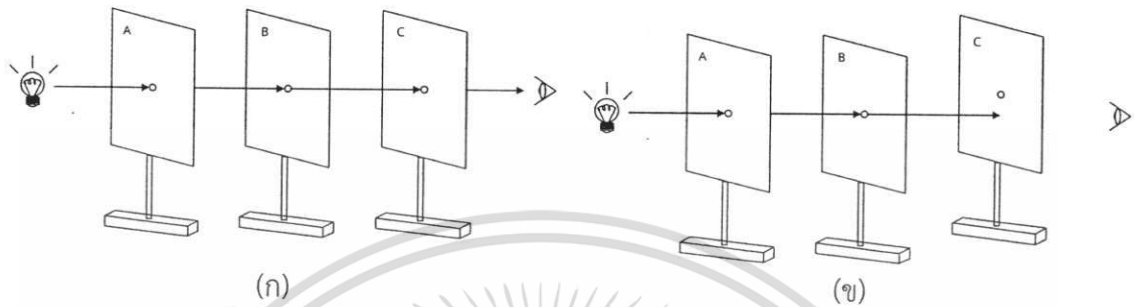
2.3 คุณสมบัติของแสง

แสงมีคุณสมบัติที่สำคัญ 4 อย่างได้แก่ การเดินทางเป็นเส้นตรง (Rectilinear propagation), การหักเหของแสง (Refraction), การสะท้อน (Reflection) และ การกระจาย (Dispersion)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 การเดินทางเป็นเส้นตรง

แสงจะเดินทางเป็นเส้นตรงในตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงเท่ากัน ดังแสดงตัวอย่าง การทดลองในเรื่องแสงเดินทางเป็นเส้นตรงในรูปที่ 2.14 โดยที่ในรูป (ก) จะเรียงแผ่นกระดาษ A, B และ C ที่เจาะรูตรงกลางให้ตรงกัน ซึ่งจะทำให้เห็นแสงได้ และในรูป (ข) จะเรียงแผ่นกระดาษ C ให้เยื้องจาก A และ B ทำให้ไม่สามารถมองเห็นแสงได้



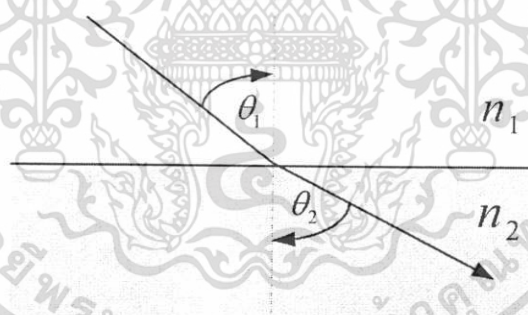
รูปที่ 2.14 แสดงตัวอย่างการทดลองในเรื่องแสงเดินทางเป็นเส้นตรง

(ก) จะเรียงแผ่นกระดาษ A, B และ C ที่เจาะรูตรงกลางให้ตรงกัน

(ข) จะเรียงแผ่นกระดาษ C ให้เยื้องจาก A และ B

2.3.2 การหักเหของแสง

จะเกิดขึ้นเมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหไม่เท่ากัน โดยลำแสงที่ตกกระทบ จะต้องไม่ทำมุมฉากกับรอยต่อระหว่างตัวกลางทั้งสอง ดังแสดงในรูป 2.15



รูปที่ 2.15 การหักเหของแสงเมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหไม่เท่ากัน

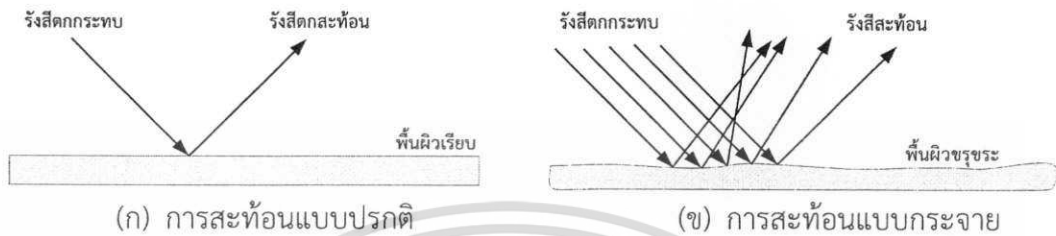
จากกฎของสเนล (Snell's law) จะได้ว่า

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (2.1)$$

เมื่อ $n = \frac{c}{v}$ คือดัชนีหักเหของแสง, c คือความเร็วของแสงในอากาศ, v คือความเร็วของแสงในตัวกลาง

2.3.3 การสะท้อน

การสะท้อนของแสงสามารถแบ่งออกได้ 2 ลักษณะคือ การสะท้อนแบบปรกติ (Regular reflection) ที่จะเกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบกับวัตถุที่มีผิวเรียบมันวาว ดังรูปที่ 2.16(ก) และ การสะท้อนแบบกระจาย (Diffuse reflection) ที่จะเกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบกับวัตถุที่มีผิวขรุขระ ดังรูปที่ 2.16(ข)

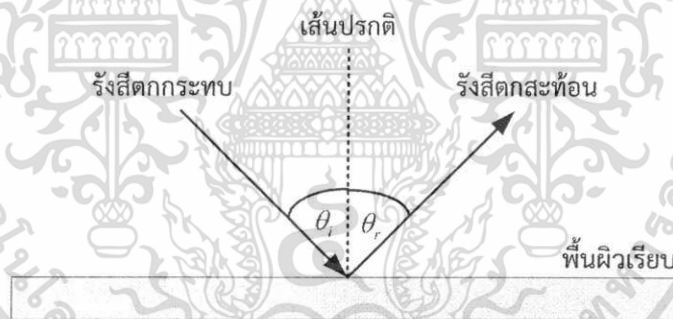


รูปที่ 2.16 การสะท้อนของแสง

(ก) การสะท้อนแบบปรกติ

(ข) การสะท้อนแบบกระจาย

และการสะท้อนของแสงไม่ว่าจะเป็นรูปแบบใดก็ตามจะต้องเป็นไปตามกฎการสะท้อนของแสง โดยมุมตกกระทบจะต้องเท่ากับมุมสะท้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 กฎการสะท้อนของแสง

จากรูปที่ 2.17 จะได้

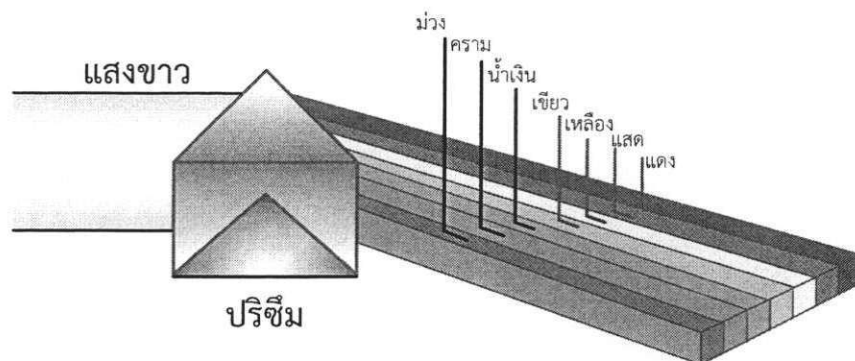
$$\theta_i = \theta_r \quad (2.2)$$

โดยที่ θ_i คือมุมตกกระทบ และ θ_r คือมุมสะท้อน

2.3.4 การกระจาย

แสงในธรรมชาติจะประกอบไปด้วยความยาวคลื่นหลายๆความยาวคลื่นผสมกัน (Polychromatic) ดังแสดงในรูปที่ 2.18 จะเห็นได้ว่าแสงสีขาวสามารถแยกออกเป็นแสงสีต่างๆกันได้ 6 สี โดยใช้แท่งแก้วปริซึม ซึ่งกระบวนการที่ทำให้เกิดจากแยกแสงออกมานี้เรียกว่า การกระจายนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 การกระจายของแสงขาว

2.4 เลเซอร์ (Light amplification by stimulated emission of radiation : Laser)

แสงเลเซอร์มีความพิเศษกว่าลำแสงธรรมดาทั่วไป เนื่องจากแสงของเลเซอร์จะเป็นแสงที่มีความยาวคลื่นเดียว, มีเฟสเดียวกัน, มีทิศทางที่แน่นอน มีการเบี่ยงเบนน้อย และมีจำนวนโฟตอนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่สูง ซึ่งต่างจากแสงอื่นๆทั่วไปที่ประกอบไปด้วยหลายความถี่รวมกัน เช่น แสงสีขาวจากดวงอาทิตย์จะประกอบไปด้วยหลายความถี่มารวมกันและมีลักษณะแพร่กระจายไปทุกทิศทุกทาง แต่แสงเลเซอร์ยังคงคุณสมบัติต่างๆของแสง

ทฤษฎีของแสงเลเซอร์ได้ถูกเผยแพร่เมื่อปี ค.ศ. 1957 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกัน 2 คนคือ ชาว์ลส์ ทาวเนส (Charles Townes) และอาร์เธอร์ ชอว์ลอร์ว (Arthur Schawlow) เป็นผู้คิดค้น จนถึง ค.ศ. 1960 จึงได้ถูกสร้างขึ้นเป็นครั้งแรกโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกันคือ ทีโอดอร์ ไมแมน (Theodore Maiman) โดยใช้แสงธรรมดาส่งกระทบเป็นจังหวะไปกระทบแท่งทับทิมสังเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 2.19

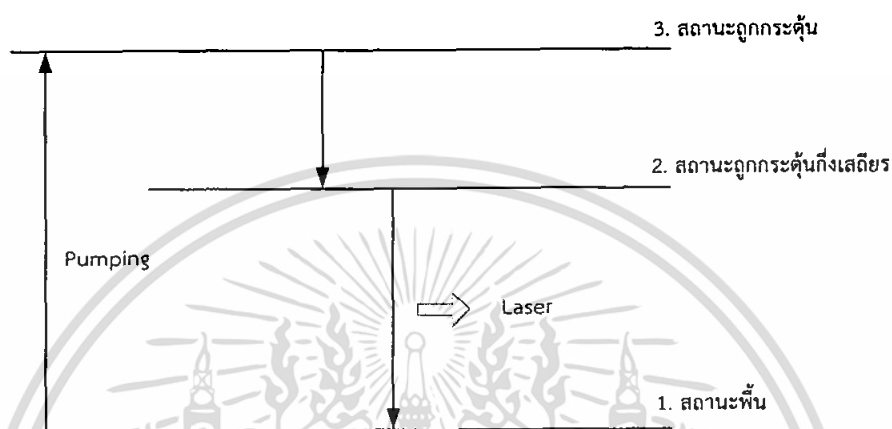


รูปที่ 2.19 โครงสร้างของรูบี้เลเซอร์

(ที่มา : http://www.etoutlet.com/laser_fea.asp)

หลักการการทำงานของเลเซอร์สามารถอธิบายได้โดยใช้แบบจำลองพลังงานที่มี 3 สถานะ (Three Level Model) คือ เมื่อเลเซอร์ทำงานอิเล็กตรอนในอะตอมจากสถานะพื้น (1) ถูกกระตุ้นโดยพลังงานภายนอก เช่น แสง หรือ ไฟฟ้า ให้มีพลังงานสูงขึ้น ไปยังสถานะที่ถูกกระตุ้นที่ไม่เสถียร (3) และเมื่ออิเล็กตรอนไปอยู่ที่สถานะ (3) ชั่วขณะมันจะปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสงธรรมดาที่ไม่ใช่แสงอาพันธ์ อิเล็กตรอนจะสูญเสียพลังงานและตกลงมาอยู่ที่สถานะที่ถูกกระตุ้นกึ่งเสถียร (2) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่ออิเล็กตรอนเปลี่ยนจากสถานะ (2) กลับมาจากสถานะพื้น (1) มันจะปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปแบบแสง และแสงดังกล่าวจะสะท้อนกับกระจกกลับไปกลับมา ทำให้อะตอมตัวอื่นที่อยู่ ในสถานะ (2) ปลดปล่อยพลังงานออกมาเป็นแสง เสริมลำแสงเดิมที่ไปกระตุ้น กลายเป็นลำแสงในทิศ เดียวกันที่มีความเข้มสูง และเป็นแสงที่มีความถี่เดียว มีเฟสตรงกัน คือแสงเลเซอร์นั่นเอง ดังแสดง แบบจำลองพลังงานที่มี 3 สถานะ ในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 แบบจำลองพลังงานที่มี 3 สถานะ

2.4.1 ชนิดของลำแสงเลเซอร์

ไม่เพียงแต่หัตถ์ที่มันเท่านั้นที่สามารถนำมาสร้างแสงเลเซอร์ได้ ยังมีสารชนิดอื่นๆอีกหลายอย่าง ทั้งของเหลว, ก๊าซ, สารกึ่งตัวนำ ที่นำมาใช้สร้างแสงเลเซอร์ได้ ทำให้ได้แสงเลเซอร์ที่มีความถี่และสี แตกต่างกันไป

- ก๊าซเลเซอร์ (gas laser) โดยทั่วไปก๊าซเลเซอร์จะถูกกระตุ้นให้เกิดการสร้างแสงเลเซอร์ โดยกระแสไฟฟ้า ก๊าซมีหลายแบบและต้องเป็นก๊าซเฉื่อย เช่น ฮีเลียม-นีออน เรียกว่า ฮีเลียม-นีออนเลเซอร์ (Helium-Neon laser) เป็นเลเซอร์กำลังงานต่ำที่มีลำแสงสีแดง
- ลีควิดเลเซอร์ (liquid laser) เป็นเลเซอร์ที่สร้างจากของเหลว เช่น สีย้อมซึ่งเรียกว่า ไดเลเซอร์ (dye laser) ซึ่งจะมีสีตามสีที่ย้อมนั้น การสร้างเลเซอร์แบบนี้จะเกิดจากการที่สีย้อมได้รับการกระตุ้นจากการกระทบของแสงธรรมดาที่มีความเข้มสูงมากหรือจากเลเซอร์ ข้อดีของไดเลเซอร์คือ สามารถสร้างเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกันได้ ความยาวคลื่นที่เกิดขึ้นเนื่องจากในของเหลวนั้นมีอิเล็กตรอนที่ได้รับการกระตุ้นแล้วจะทำให้เกิดแสงที่มีแถบกว้าง เลเซอร์มีปริซึมเพื่อไขแยกแสงนี้ออกเป็นความยาวคลื่นที่แคบลง ดังนั้นลำแสงจึงสามารถถูกปรับเลือกให้มีค่าความยาวคลื่นต่างๆได้
- เซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์ (semiconductor laser) เป็นแหล่งกำเนิดเลเซอร์ที่มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบาที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ (semiconductor) เช่น แกลเลียม อาร์เซไนด์, แกลเลียมอาร์เซไนด์ฟอสไฟด์ หรือ อลูมิเนียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ นำมาได้ปให้เป็นสารกึ่งตัวนำชนิด P และ N แล้วนำมาประกบกันเป็นไดโอดเรียกว่า เลเซอร์ไดโอดซึ่งสามารถสร้างลำแสงเลเซอร์ได้เมื่อถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การประมวลผลภาพด้วยวิธีไอเกนเฟส

การประมวลผลภาพด้วยวิธีไอเกนเฟส[5-9] เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ได้รับคามนิยมมาก เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อนแต่ให้ผลการรู้จำที่ดี อาศัยการวิเคราะห์หองค์ประกอบหลัก(Principal Component Analysis : PCA) เพื่อลดมิติของภาพจาก 2 มิติ เป็น 1 มิติ ทำให้ง่ายต่อการประมวลผล การทำงานจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนเรียนรู้ (Training phase) และ ขั้นตอนรู้จำ (Working phase) โดยในกระบวนการเรียนรู้จำเป็นจะต้องมีภาพต้นแบบที่ให้ระบบเก็บและเรียนรู้ไว้ก่อน เพื่อนำมาใช้ในการเปรียบเทียบภาพที่นำมาทดสอบกับภาพต้นแบบ ในกระบวนการรู้จำในภายหลัง

2.5.1 ขั้นตอนเรียนรู้

อินพุทของขั้นตอนนี้คือ ชุดของข้อมูลภาพที่ได้เตรียมไว้แล้ว ส่วนเอาต์พุทของขั้นตอนนี้คือการแทนชุดข้อมูลภาพอินพุตดังกล่าวไปอยู่ในรูปปริภูมิย่อย (sub space) โดยภาพต้นแบบทั้งหมด M ภาพ แต่ละภาพมีขนาดเท่ากันคือ $w \times h$ พิกเซล ภาพต้นแบบแต่ละภาพจะถูกแปลงให้เป็นเมตริกซ์ได้เป็นเมตริกซ์ของแต่ละภาพคือ X_1, X_2, \dots, X_M หลังจากนั้นเมตริกซ์ของแต่ละภาพจะถูกแปลงไปเป็นเวกเตอร์ x_1, x_2, \dots, x_M จะได้ x_M เป็นคอลัมน์เวกเตอร์ขนาด $(w \times h) \times 1$ พิกเซล โดยทำการแปลงจากแต่ละแถวแนวนอนมาเป็นแถวแนวตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.21

$$X_i = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1N} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{N1} & x_{N2} & \dots & x_{NN} \end{bmatrix}_{w \times h} \rightarrow \begin{bmatrix} x_{11} \\ \vdots \\ x_{1N} \\ \vdots \\ x_{N1} \\ \vdots \\ x_{NN} \end{bmatrix}_{(w \times h) \times 1} = x_i$$

รูปที่ 2.21 การแปลงจากภาพมาเป็นเวกเตอร์

จากนั้นทำการหาเวกเตอร์ค่าเฉลี่ย (*mean*) ของภาพตามสมการ

$$m = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M x_i \quad (2.3)$$

นำแต่ละเวกเตอร์ภาพมาลบด้วยค่าเฉลี่ยจะได้

$$\bar{x}_i = x_i - m \quad (2.4)$$

แล้วทำการหาค่าเมตริกซ์ของความแปรปรวนร่วม (Covariance matrix : C) ด้วยสมการ

$$C = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \bar{x}_i \bar{x}_i^T = AA^T \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย $A = [\tilde{x}_1 \tilde{x}_2 \dots \tilde{x}_M]$ ซึ่งเป็นเมตริกซ์ขนาด $(w \times h) \times M$ เมื่อทำการจัดสมการใหม่จะได้

$$AA^T \mathbf{v}_i = \lambda_i \mathbf{v}_i \quad (2.6)$$

โดยที่ \mathbf{v}_i, λ_i เป็นไอเกนเวกเตอร์และไอเกนแวลลิวของ AA^T แต่เนื่องจาก AA^T มีขนาดใหญ่มาก โดยจะมีขนาดเมตริกซ์เป็น $(w \times h) \times (w \times h)$ ทำให้การคำนวณทำได้ยากและใช้เวลานาน จึงทำการพิจารณา $A^T A$ ที่มีขนาดเมตริกซ์เป็น $M \times M$ โดยให้ \mathbf{u}_i เป็นไอเกนเวกเตอร์และ η_i เป็นไอเกนแวลลิวของ $A^T A$ จะได้

$$A^T A \mathbf{u}_i = \eta_i \mathbf{u}_i \quad (2.7)$$

จากนั้นทำการคูณด้วย A ทั้งสองข้างของสมการจะได้

$$AA^T A \mathbf{u}_i = \eta_i A \mathbf{u}_i \quad (2.8)$$

จากคุณสมบัติของเมตริกซ์ จะได้ว่าไอเกนแวลลิวของ AA^T จะเท่ากับไอเกนแวลลิวของ $A^T A$ จากสมการที่ (2.5) และ (2.6) จะได้ $\lambda_i = \eta_i$ และจากสมการที่ (2.5) และ (2.7) จะได้ความสัมพันธ์ของไอเกนเวกเตอร์คือ $\mathbf{v}_i = A \mathbf{u}_i$ และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักจะได้ว่าไอเกนเวกเตอร์ที่มีค่าสมนัยกับไอเกนแวลลิวที่มีค่าสูงๆ จะเป็นการดึงข้อมูลที่มีความถี่ต่ำ (ส่วนที่สำคัญของภาพ) ก่อนข้างมีความเสถียรภาพในการนำกลับมาสร้างเป็นภาพอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งจะเรียกภาพที่สร้างใหม่นี้ว่า ภาพไอเกนเฟส ดังแสดงในรูปที่ 2.22 ส่วนไอเกนเวกเตอร์ที่สมนัยกับค่าไอเกนต่ำๆ จะเป็นการดึงข้อมูลที่มีความถี่สูง (ส่วนที่ซ้ำๆกันของภาพ) จากนั้นจะทำการลดขนาดของเมตริกซ์ \mathbf{u}_i ได้โดยการตัดคอลัมน์ที่มีค่าไอเกนแวลลิวในคอลัมน์นั้นๆ น้อยกว่าหรือเท่ากับศูนย์เพราะเป็นส่วนไม่สำคัญของภาพนั่นเอง ซึ่งจะเหลือ $\hat{\mathbf{u}}_i$ ทั้งหมด K คอลัมน์ ดังสมการ

$$\hat{\mathbf{u}}_i = \mathbf{u}_i ; \eta_i > 0 \quad (2.9)$$

และจะได้ไอเกนเฟสคือ

$$\hat{\mathbf{v}}_i = A \hat{\mathbf{u}}_i \quad (2.10)$$

ทำการหาไอเกนเวกเตอร์ปรับปรกติ (Normalized Eigenvector) จะได้ $\|\hat{\mathbf{v}}_i\| = 1$

แต่ละเวกเตอร์ของภาพต้นแบบสามารถแทนได้ด้วยสมการ

$$\hat{\mathbf{x}}_i = \sum_{j=1}^K \omega_i(j) \hat{\mathbf{v}}_j \quad (2.11)$$

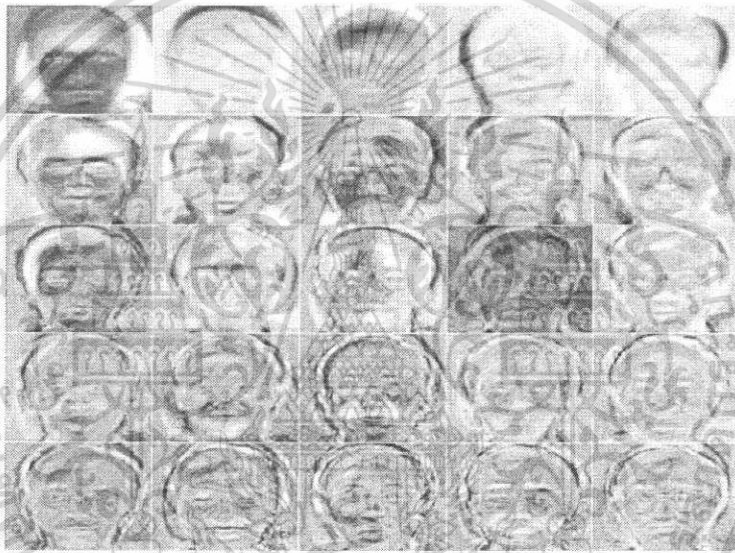
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $\omega_i(j)$ จะเป็นค่าน้ำหนักพื้นฐานของแต่ละภาพ เมื่อจัดรูปสมการใหม่จะได้

$$\omega_i(j) = \hat{\mathbf{v}}_j^T \hat{\mathbf{x}}_i \quad (2.12)$$

โดยที่ $i = 1, 2, \dots, M$ จะได้เวกเตอร์ค่าน้ำหนักพื้นฐานของภาพต้นแบบ \mathbf{x}_i คือ

$$\boldsymbol{\omega}_i = \begin{bmatrix} \omega_i(1) \\ \omega_i(2) \\ \vdots \\ \omega_i(K) \end{bmatrix} \quad (2.13)$$



รูปที่ 2.22 ตัวอย่างภาพไอเกนเฟส

(ที่มา : <http://www.cs.princeton.edu/~cdecore/eigenfaces/>)

2.5.2 ขั้นตอนรู้จำ

ทำโดยนำภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลที่ต้องการทดสอบมาทำให้เป็นเวกเตอร์ ซึ่งจะได้เวกเตอร์ \mathbf{x}_{test} และมาลบด้วยค่าเฉลี่ยของชุดภาพต้นแบบจะได้

$$\bar{\mathbf{x}}_{test} = \mathbf{x}_{test} - \mathbf{m} \quad (2.14)$$

จากนั้น คำนวณหาค่าน้ำหนักพื้นฐานด้วยสมการ

$$\omega_{test}(i) = \hat{\mathbf{v}}_i^T \bar{\mathbf{x}}_{test} \quad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

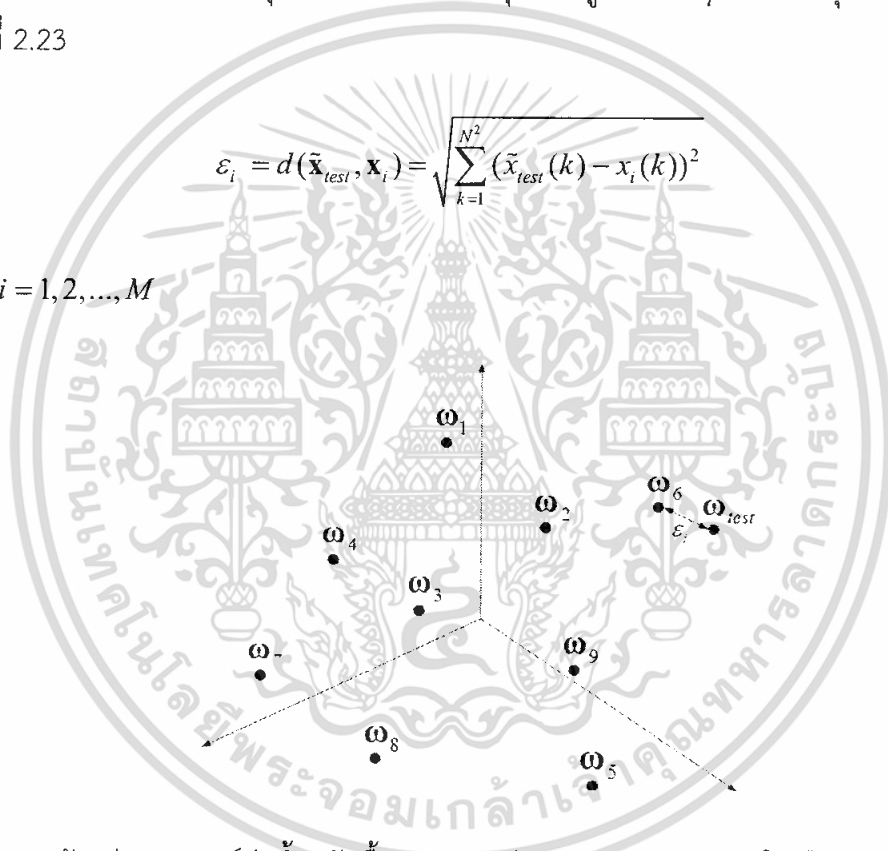
โดย $i = 1, 2, \dots, K$ จะได้เวกเตอร์ค่าน้ำหนักพื้นฐานของภาพที่ต้องการหาคือ

$$\omega_{test} = \begin{bmatrix} \omega_{test}(1) \\ \omega_{test}(2) \\ \vdots \\ \omega_{test}(K) \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

จากนั้นทำการหาระยะห่างแบบยูคลิดีเนียน (Euclidean Distance) ระหว่างภาพที่ต้องการหา กับภาพต้นแบบแต่ละภาพจนครบทุกภาพ ดังสมการที่ 15 และทำการตัดสินใจว่าภาพที่นำมาทดสอบ เหมือนกับภาพใดในกลุ่มภาพต้นแบบมากที่สุด โดยดูจากค่า ε_i ที่น้อยที่สุดดังแสดงตัวอย่าง ในรูปที่ 2.23

$$\varepsilon_i = d(\bar{x}_{test}, x_i) = \sqrt{\sum_{k=1}^{N^2} (\bar{x}_{test}(k) - x_i(k))^2} \quad (2.17)$$

โดยที่ $i = 1, 2, \dots, M$



รูปที่ 2.23 ตัวอย่างเวกเตอร์ค่าน้ำหนักพื้นฐานของแต่ละภาพและการตัดสินใจเลือกภาพที่ใกล้เคียงที่สุดจากคลังข้อมูลโดยการหาค่า ε_i ที่น้อยที่สุด

2.6 การหาค่าสหสัมพันธ์ไขว้ปรับปรกติ (Normalize Cross-Correlation)

เมื่อได้ภาพต้นแบบที่ใกล้เคียงกับภาพที่ต้องการทดสอบมากที่สุดแล้วจะทำการหาค่าความเหมือนกันของภาพที่ต้องการหา กับภาพต้นแบบที่เลือกมาจากคลังข้อมูลภาพด้วยวิธีการหาสหสัมพันธ์ไขว้ปรับปรกติ ดังสมการ

$$NCC(X_{test}, X_k) = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [X_{test}(i, j) - \bar{X}_{test}] [X_k(i, j) - \bar{X}_k]}{\sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [X_{test}(i, j) - \bar{X}_{test}]^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [X_k(i, j) - \bar{X}_k]^2}} \quad (2.18)$$

$X_{test}(i, j)$ และ $X_k(i, j)$ คือค่าความสว่างของพิกเซลที่ (i, j) ในภาพ X_{test} และ X_k ตามลำดับ โดยที่ X_{test} คือภาพที่นำมาทดสอบ และ X_k คือภาพต้นแบบ และ $\bar{X}_{test}, \bar{X}_k$ คือค่าเฉลี่ยของความสว่างของพิกเซลในเวกเตอร์ภาพ X_{test} และ X_k ตามลำดับ สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$\bar{X}_{test} = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N X_{test}(i, j) \quad (2.19)$$

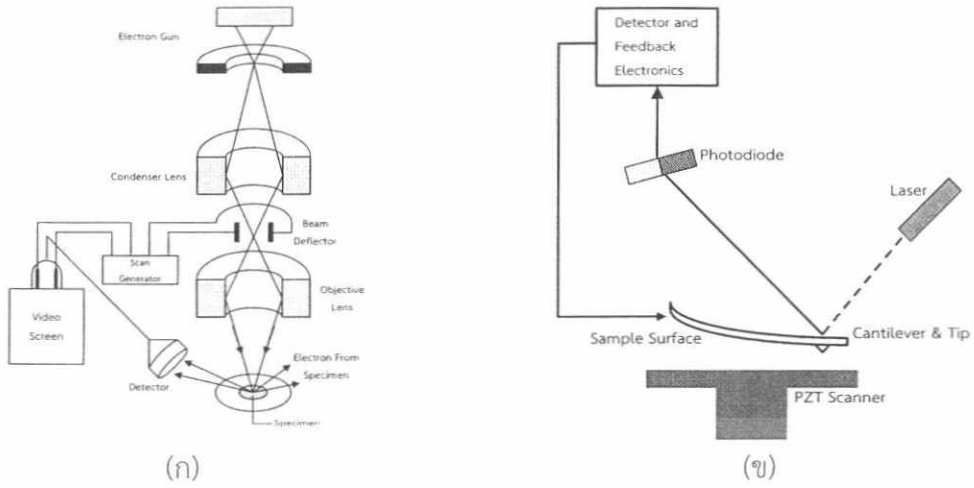
$$\bar{X}_k = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N X_k(i, j) \quad (2.20)$$

ค่าที่ได้ของ NCC จะอยู่ในช่วง -1 ถึง 1 ถ้าค่า NCC ยังมีค่าเข้าใกล้ 1 มากเท่าไรก็จะหมายความว่าภาพทั้งสองที่นำมาเปรียบเทียบกันมีความคล้ายกันมากขึ้นเท่านั้น

2.7 การตรวจหารอยขีดข่วนบนแผ่นเก็บข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ที่ผ่านมามีเครื่องมือต่างๆมากมายในการหารอยขีดข่วนที่เกิดขึ้นบนแผ่นเก็บข้อมูล เช่น กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning electron microscopy) หรือ SEM [1] จะอาศัยลำแสงอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจากการให้ความร้อนที่ขั้วแคโทด ยิ่งไปยังพื้นผิวของวัตถุ เมื่อลำแสงอิเล็กตรอนไปกระตุ้นให้วัตถุเกิดพลังงานมากขึ้น วัตถุจะคายพลังงานออกมาในลักษณะของอิเล็กตรอนแบบกระเจิงกลับ (Back scatter electron) , รังสีเอ็กซ์ (X-ray) หรือ อิเล็กตรอนแบบทุติยภูมิ (Secondary electron) เป็นต้น โดยจะมีตัวอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับอิเล็กตรอนเหล่านี้ (Electron detectors) เพื่อเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า และส่งไปแสดงผลทางจอภาพ เพื่อแสดงลักษณะของพื้นผิวปรากฏเป็นภาพขยายที่สามารถมองเห็นได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.24(ก) และกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic Force Microscope) หรือ AFM เป็นกล้องจุลทรรศน์ชนิดหัวอ่านส่องกราดชนิดหนึ่ง AFM มีหลักการการทำงานโดยการใช้หัวอ่านซึ่งเป็นเข็มขนาดเล็กประมาณ 10 นาโนเมตร เป็นตัววัดแรงดึงดูดหรือแรงผลักรที่เกิดขึ้นระหว่างหัวเข็มกับพื้นผิวที่ต้องการวิเคราะห์เพื่อสร้างเป็นภาพ โดยเมื่อกดหัวอ่านลงบนพื้นผิวที่จะตรวจวัด จะเกิดแรงที่กระทำต่อก้าน (cantilever) ของหัวอ่าน จะทำให้หัวอ่านเอียงด้วยมุมต่างๆ กันตามสภาพความสูงต่ำของพื้นผิวซึ่งจะสามารถตรวจวัดได้จากมุมสะท้อนของลำแสงเลเซอร์ที่ยิงลงไปยังก้านของหัวอ่าน จากนั้นคอมพิวเตอร์ก็จะแปลงสัญญาณออกมาเป็นภาพของพื้นผิวที่ต้องการตรวจสอบได้ โดย AFM [1] มีความสามารถพิเศษคือสามารถใช้ได้กับพื้นผิวที่หลากหลายทั้งที่เป็นฉนวนและพื้นผิวที่นำไฟฟ้าได้ และมีระดับความสูงต่ำ (roughness) ไม่เกิน 4 ไมโครเมตร และขนาดภาพสแกนใหญ่ที่สุดไม่เกิน 100 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.24(ข) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

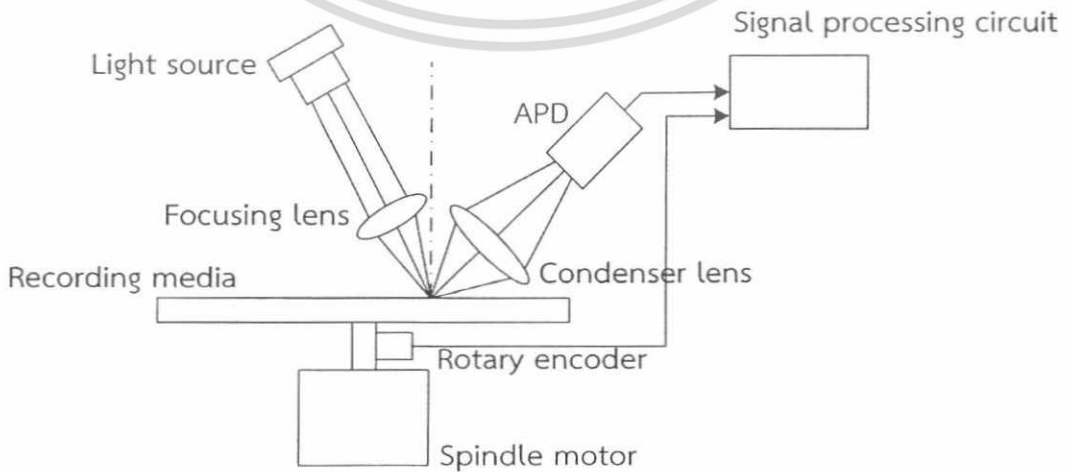


รูปที่ 2.24 ตัวอย่างเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจหารอยขีดข่วนบนแผ่นเก็บข้อมูล

- (ก) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน
- (ข) กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม

นอกเหนือจากเครื่องมือต่างๆเหล่านั้นแล้วยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหารอยขีดข่วนบนแผ่นเก็บข้อมูลอีกหลายงานวิจัย ซึ่งแต่ละงานวิจัยก็ใช้วิธีการที่ต่างกันไป เช่น

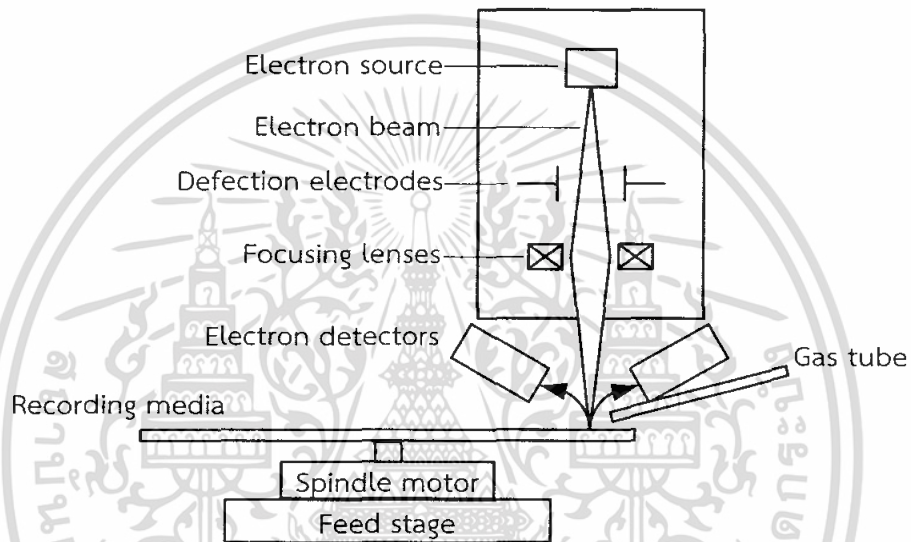
ในปี ค.ศ. 2001 ได้นำเสนองานวิจัยเรื่อง Optical system for detecting surface defect [2] ที่ใช้หลักการสะท้อนของแสง โดยมีการทำงานคือแสงเลเซอร์จะถูกส่งผ่านไปยังเลนส์ ซึ่งเลนส์นี้จะมีหน้าที่โฟกัสลำแสงเลเซอร์ ไปยังผิวของแผ่นเก็บข้อมูลที่กำลังหมุน แล้วลำแสงเลเซอร์นี้จะสะท้อนกลับไปยังเลนส์อีกตัวหนึ่งที่ทำหน้าที่รับแสง และโฟกัสลำแสงที่ได้รับนี้ไปยังตัวรับแสง (Avalanche photodiodes : APD) ทำซ้ำเช่นนี้จนกระทั่งเก็บข้อมูลครบทั้งแผ่น โดยข้อมูลที่ได้จะเป็นค่าความเข้มของลำแสงเลเซอร์ที่ตำแหน่งต่างๆบนแผ่นเก็บข้อมูล ซึ่งจะนำมาใช้ในการประมวลผล โดยในบริเวณที่มีค่าความเข้มของลำแสงเลเซอร์สูงนั้น จะเป็นบริเวณที่ไม่มีรอยขีดข่วนเนื่องจากแสงเลเซอร์สามารถสะท้อนได้ดี ส่วนในบริเวณที่มีความเข้มของลำแสงเลเซอร์ต่ำนั้น จะเป็นบริเวณที่มีรอยขีดข่วน หรือ มีความไม่สมบูรณ์อย่างใดอย่างหนึ่งของแผ่นเก็บข้อมูล เนื่องจากเกิดการกระเจิงหรือหักเหของลำแสงเลเซอร์ในบริเวณดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 Optical system for detecting surface defect

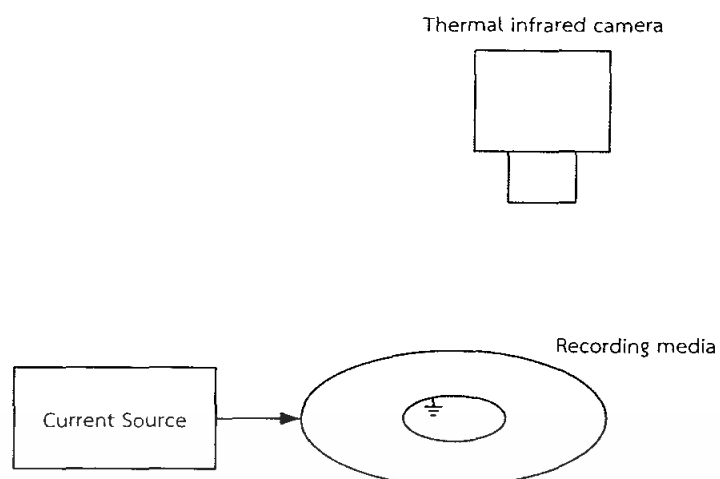
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่อเผยแพร่เห็นใบใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี ค.ศ. 2007 ได้มีการนำเสนองานวิจัยเรื่อง Defect inspection system and method for recording media [10] ซึ่งวิธีนี้จะใช้ลำแสงอิเล็กตรอนยิงไปที่แผ่นเก็บข้อมูลที่กำลังหมุนอยู่ จึงทำให้อิเล็กตรอนแบบทุติยภูมิหลุดออกจากแผ่นเก็บข้อมูล ซึ่งอิเล็กตรอนที่หลุดออกมานั้นจะถูกตรวจจับโดยตัวตรวจจับอิเล็กตรอน จะพบว่าในบริเวณที่ไม่มีรอยขีดข่วนนั้น ค่าอิเล็กตรอนที่ได้รับที่ตัวตรวจจับอิเล็กตรอนนั้นจะมีค่าเท่ากัน แต่ในทางกลับกันในตำแหน่งที่มีรอยขีดข่วนบนแผ่นเก็บข้อมูลจะทำให้ ค่าอิเล็กตรอนที่ได้รับมีค่าไม่เท่ากัน จึงทำให้ทราบได้ว่ามีรอยขีดข่วนที่ตำแหน่งใดบนแผ่นเก็บข้อมูล เพื่อนำค่าตำแหน่งไปประมวลผลเป็นภาพต่อไป นอกจากนี้ยังมีการปล่อยก๊าซลงไปทำปฏิกิริยากับอิเล็กตรอนในตำแหน่งที่มีรอยขีดข่วนเพื่อเป็นการบ่งชี้ตำแหน่งที่มีรอยขีดข่วนด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.26



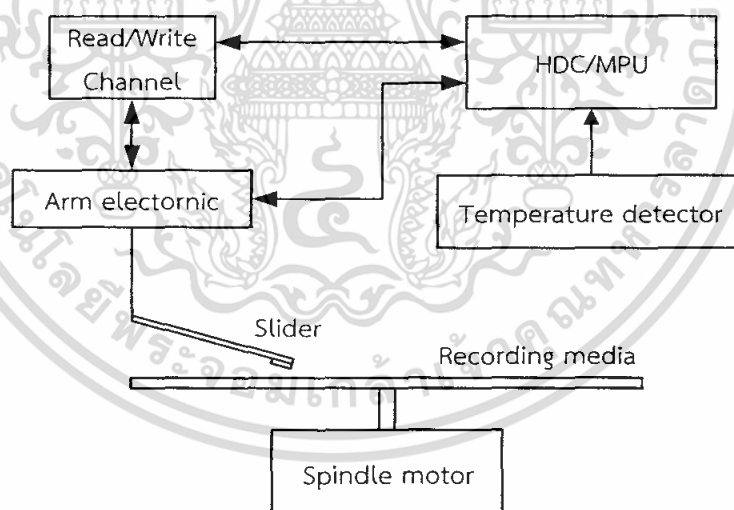
รูปที่ 2.26 Defect inspection system and method for recording media

ในปี ค.ศ. 2008 ได้มีการนำเสนองานวิจัยเรื่อง Infrared cameras to observe the magnetic media scratches [4] ที่ใช้วิธีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแผ่นเก็บข้อมูล และใช้กล้องตรวจจับความร้อนในการตรวจหาความร้อนที่เกิดขึ้น เนื่องจากในบริเวณที่มีรอยขีดข่วนจะมีความร้อนมากกว่าในบริเวณอื่นๆ เพราะในบริเวณที่มีรอยขีดข่วนจะมีความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้ามากกว่าในบริเวณที่ไม่มีรอยขีดข่วน ทำให้สามารถแยกได้ว่าในบริเวณใดมีรอยขีดข่วนหรือไม่จากความร้อนที่เกิดขึ้นบนแผ่นเก็บข้อมูลได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 Infrared cameras to observe the magnetic media scratches

ในปี ค.ศ. 2009 ได้มีการนำเสนองานวิจัยเรื่อง Defect inspection method of magnetic disk [3] ที่ใช้การดูค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับส่วนยึด-หดที่หัวอ่าน/เขียน ซึ่งส่วนยึด-หดนี้จะหน้าที่รักษาระยะห่างระหว่างแผ่นเก็บข้อมูลกับหัวอ่าน/เขียนให้มีค่าคงที่ โดยจะพิจารณาว่าถ้าค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับส่วนยึด-หด มีค่ามากหรือน้อยกว่าค่าปกติในปริมาณมากๆ นั้นจะหมายความว่าในบริเวณนั้นๆ มีรอยขีดข่วนหรือมีความผิดปกติเกิดขึ้นที่แผ่นเก็บข้อมูลนั่นเอง ดังแสดงในรูปที่ 2.28

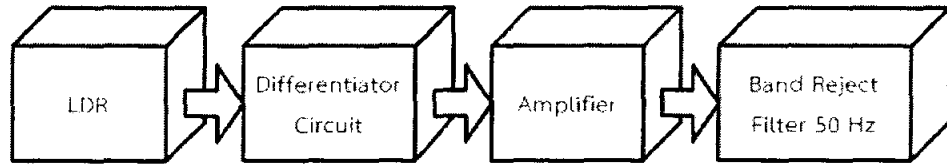


รูปที่ 2.28 Defect inspection method of magnetic disk

และ ในปี ค.ศ. 2010 ได้มีการนำเสนองานวิจัยเรื่อง Hard disk media scratch detection by laser scanning [11] ที่นำเสนอการหารอยขีดข่วน ซึ่งจะใช้หลักการสะท้อนของลำแสงเลเซอร์เช่นกันแต่ใช้ตัวต้านทานไวแสง (LDR) ในการรับลำแสงเลเซอร์ที่สะท้อนออกจากแผ่นเก็บข้อมูล และนำค่าสัญญาณที่ได้ไปผ่านวงจรดิฟเฟอเรนติเอเตอร์ (Differentiator Circuit) ที่จะให้สัญญาณขาออกเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานไวแสง และนำสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ได้ไปผ่านวงจรขยายสัญญาณ และวงจรกำจัดสัญญาณรบกวน 50Hz ดังแสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานในรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 Hard disk media scratch detection by laser scanning

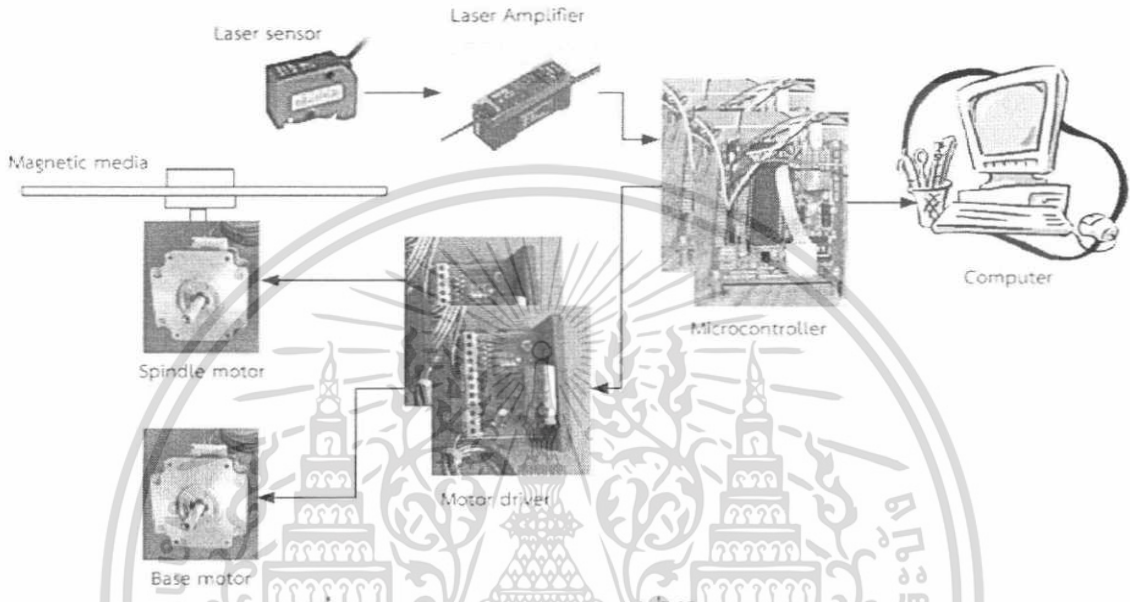


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและขั้นตอนการทดลอง

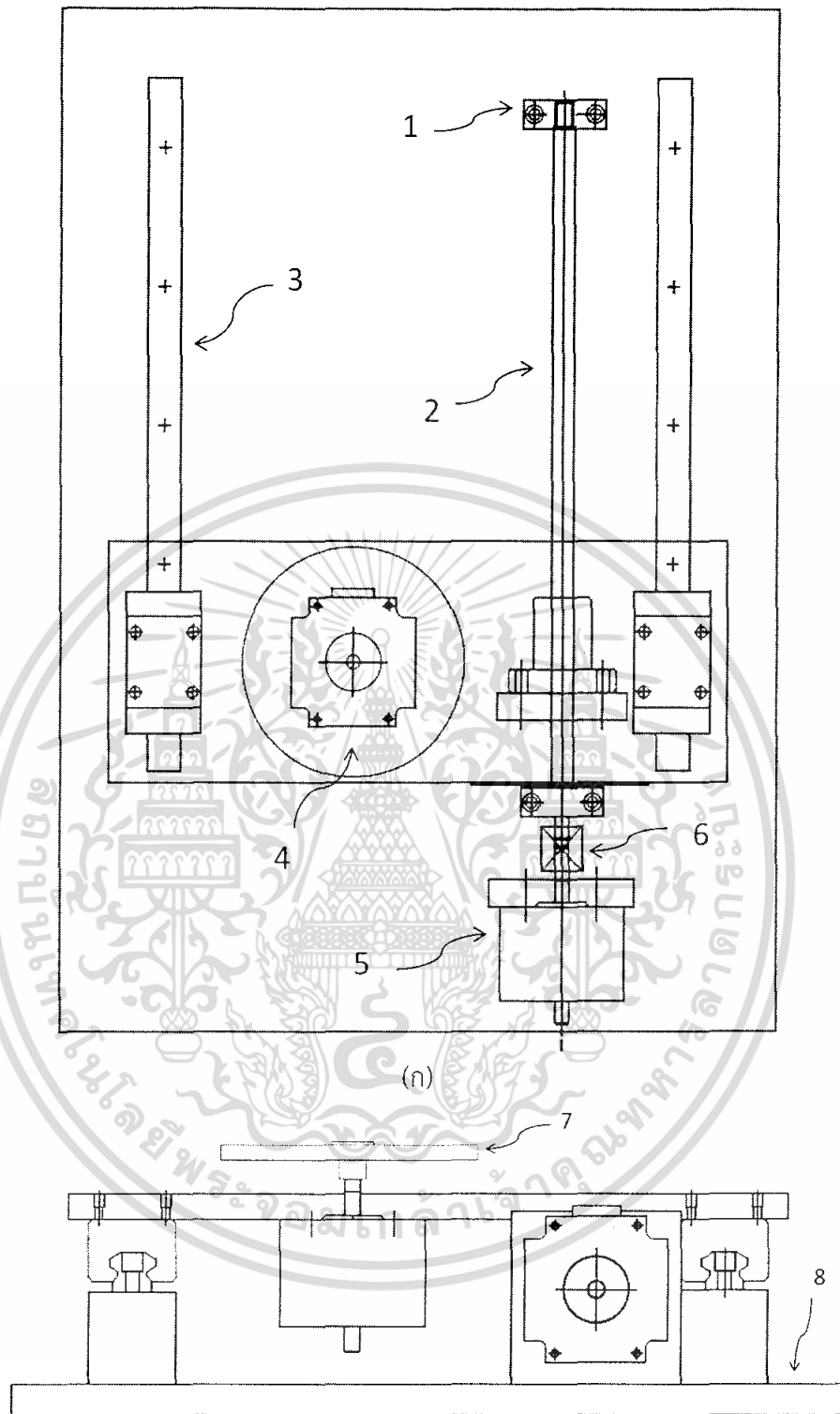
ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้มีการออกแบบระบบขับเคลื่อนเพื่อใช้ในการสแกนพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ ดังแสดงภาพรวมของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ภาพรวมของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1 การออกแบบระบบขับเคลื่อน

ในการสร้างภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูล จำเป็นจะต้องมีการสแกนแผ่นเก็บข้อมูลทั้งแผ่น ดังนั้นระบบขับเคลื่อนที่ออกแบบจึงมี 2 แกน คือ แกนหมุนที่ใช้สำหรับหมุนแผ่นเก็บข้อมูล และแกนที่ใช้สำหรับเลื่อนแผ่นเก็บข้อมูลในแนวระนาบ เพื่อให้ได้กระบวนการในการสแกนแผ่นเก็บข้อมูลทั้งแผ่น ดังได้แสดงส่วนประกอบบางส่วนจากระบบขับเคลื่อนในรูปที่ 3.2 และแสดงระบบขับเคลื่อนที่ทำการออกแบบทั้งหมดในภาคผนวก ก



(ข)

รูปที่ 3.2 ระบบขับเคลื่อนที่ออกแบบ

(ก) มุมมองด้านบน

(ข) มุมมองด้านหน้า

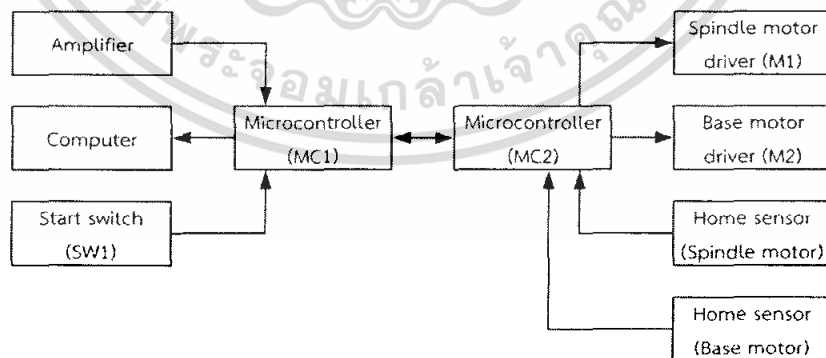
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบที่ใช้ในระบบขับเคลื่อนมีดังนี้

1. ตลับลูกปืน (Bearing) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้รองรับการหมุนของเพลา ทำหน้าที่ลดแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัส เพื่อลดปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการขับเคลื่อน
2. บอลสกรู (Ball screw) เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนการเคลื่อนที่ในแนวแกนหมุน ให้เป็นการเคลื่อนที่ในเชิงเส้น มีความแม่นยำสูง
3. ลิเนียร์ (Linear Motion) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รองรับน้ำหนักแกนที่เลื่อนในแนวระนาบ ทำหน้าที่ลดแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของฐานและส่วนเคลื่อนที่
4. สปินเดิลมอเตอร์ (Spindle Motor) เป็นสเต็ปป์มอเตอร์ที่มีหน้าที่ในการหมุนแผ่นเก็บข้อมูลด้วยความเร็วรอบตามที่กำหนด
5. มอเตอร์ฐาน (Base Motor) เป็นสเต็ปป์มอเตอร์ที่มีหน้าที่ในการเลื่อนแกนในแนวระนาบ ด้วยระยะทางที่กำหนด
6. คัปปลิง (Coupling) ทำหน้าที่ยึดเพลาของมอเตอร์และเพลาของบอลสกรูเข้าด้วยกัน มีลักษณะการส่งถ่ายแรงบิดที่มีการเยื้องศูนย์ของเพลา (Shaft Misalignment) เพื่อส่งถ่ายแรงบิดจากมอเตอร์ไปยังบอลสกรู
7. ฐานสำหรับวางแผ่นเก็บข้อมูลที่จะทำการสแกน
8. ฐานที่รองรับอุปกรณ์ขับเคลื่อนทั้งหมด

3.2 การออกแบบระบบควบคุม

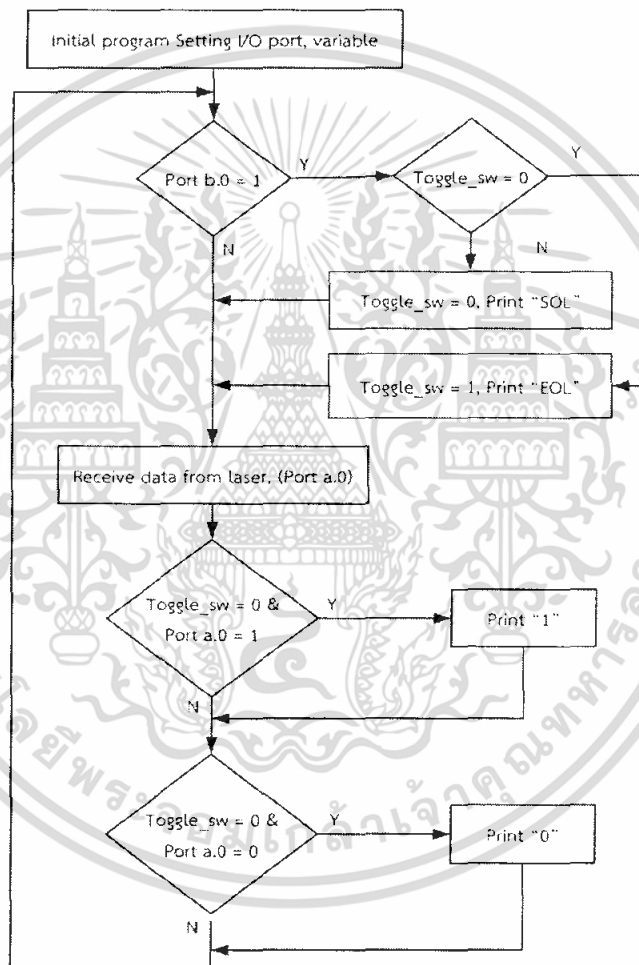
ระบบควบคุมจะมี 2 หน้าที่ด้วยกันคือ ควบคุมการหมุนของมอเตอร์ทั้ง 2 แกน และรับสัญญาณจากแอมพลิไฟเออร์ของเลเซอร์เซ็นเซอร์ เพื่อทำการประมวลผลและส่งสัญญาณที่ประมวลผลแล้วไปเก็บเป็นไฟล์ในคอมพิวเตอร์โดยผ่านทางพอร์ตอนุกรมที่ความเร็ว 115,200 บิตต่อวินาที ระบบควบคุมจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 2 ตัว คือ MC1 และ MC2 ซึ่งทั้ง 2 ตัวเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 18F452 และใช้คริสตัลความถี่ 20 MHz ดังแสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมของส่วนควบคุม

หลักการการทำงานคือ แสงเลเซอร์จะถูกปล่อยออกจากเลเซอร์เซ็นเซอร์ไปยังแผ่นเก็บข้อมูล ที่ถูกยึดอยู่บนฐานที่อยู่บนสปินเดิลมอเตอร์ (M1) จากนั้นแสงจะสะท้อนกลับไปยังตัวรับแสงเลเซอร์ สัญญาณดังกล่าวจะถูกประมวลผลที่ แอมพลิไฟเออร์ของชุดเลเซอร์เซ็นเซอร์ โดยใช้โหมดตรวจจับเอกสาร ความเปลี่ยนแปลงของแสงเข้มแสง (Intensity mode) นี้ สัญญาณที่ออกจากแอมพลิไฟเออร์จะมีไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

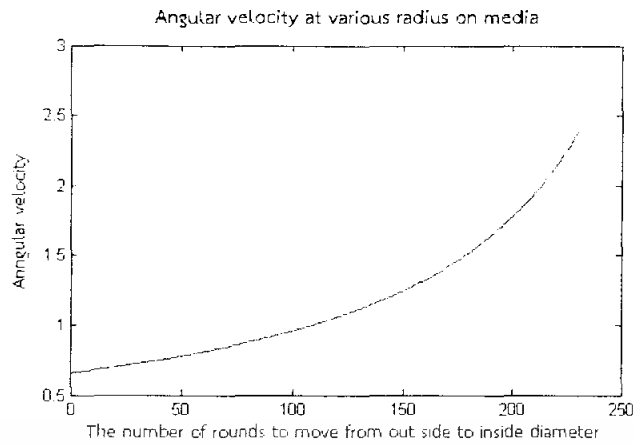
ลักษณะเป็นสัญญาณ ON หรือ OFF โดยเราจะตั้งค่าให้มีเอาต์พุตมีค่าสัญญาณเป็น OFF เมื่อความเข้มของแสงที่ได้รับมีค่าน้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ของความเข้มของแสงที่ได้รับปกติ ซึ่งสัญญาณดังกล่าวนี้จะถูกส่งไปยัง MC1 โดยถ้าสัญญาณที่ส่งออกไปเป็น OFF แสดงว่าในตำแหน่งนั้นมีรอยขีดข่วน ในทางกลับกัน ถ้าสัญญาณที่ส่งออกไปเป็น ON แสดงว่าในบริเวณนั้นๆไม่มีรอยขีดข่วน จากนั้น MC1 จะเปลี่ยนสัญญาณ OFF ให้เป็นค่า “1” และเปลี่ยนสัญญาณ ON ให้เป็นค่า “0” เพื่อส่งค่านี้ไปเก็บเป็นข้อมูลไว้ในคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ทอนุกรม และในแต่ละรอบของการหมุนของสปินเดิลมอเตอร์ สัญญาณที่ออกจาก MC1 จะส่งเฮดเดอร์ (Header) เป็น “SOL” (Start Of Line) ตามด้วยข้อมูลที่ต้องการส่งและสิ้นสุดการส่งข้อมูลด้วย “EOL” (End Of Line) ดังแสดงโพล์ชาร์ตการทำงานในรูปที่ 3.4



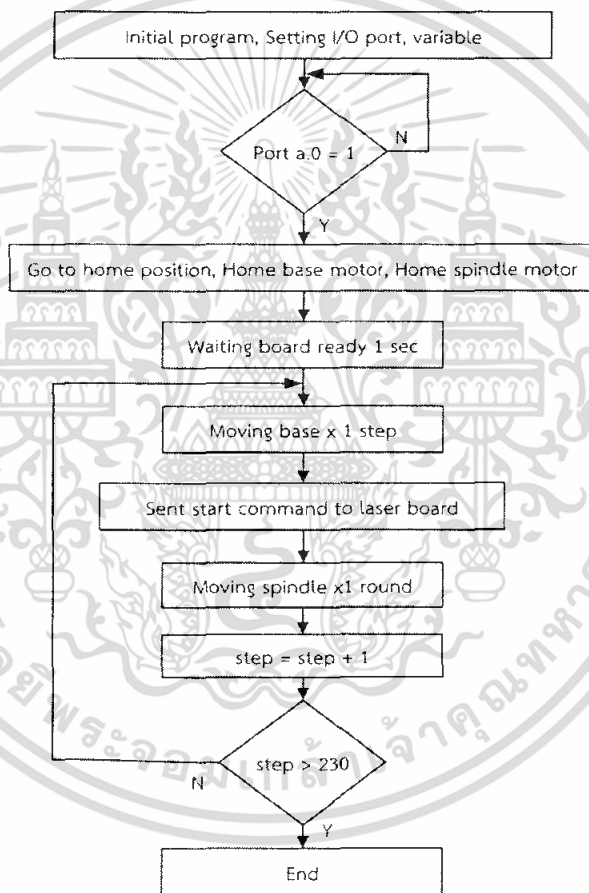
รูปที่ 3.4 โพล์ชาร์ตการทำงานของ MC1

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการสแกนทั้งหมด 230 วงรอบต่อแผ่นเก็บข้อมูล 1 แผ่น และทำการหมุนแผ่นเก็บข้อมูลด้วยความเร็วเชิงมุม 0.6576 เรเดียนต่อวินาทีที่วงนอกสุด และเพิ่มความเร็วขึ้นทุกๆ รอบของการสแกน ซึ่งจะได้ความเร็วเชิงมุมที่วงในสุดคือ 2.375 เรเดียนต่อวินาที ดังแสดงกราฟความเร็วเชิงมุมที่ใช้ในการสแกนแผ่นเก็บข้อมูลในรูปที่ 3.5 และเมื่อสแกนครบแต่ละวงรอบแล้วจะทำการเลื่อนแกนในแนวราบเป็นระยะทาง 150 ไมครอน ดังแสดงโพล์ชาร์ตการทำงานของ MC2 ดังรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

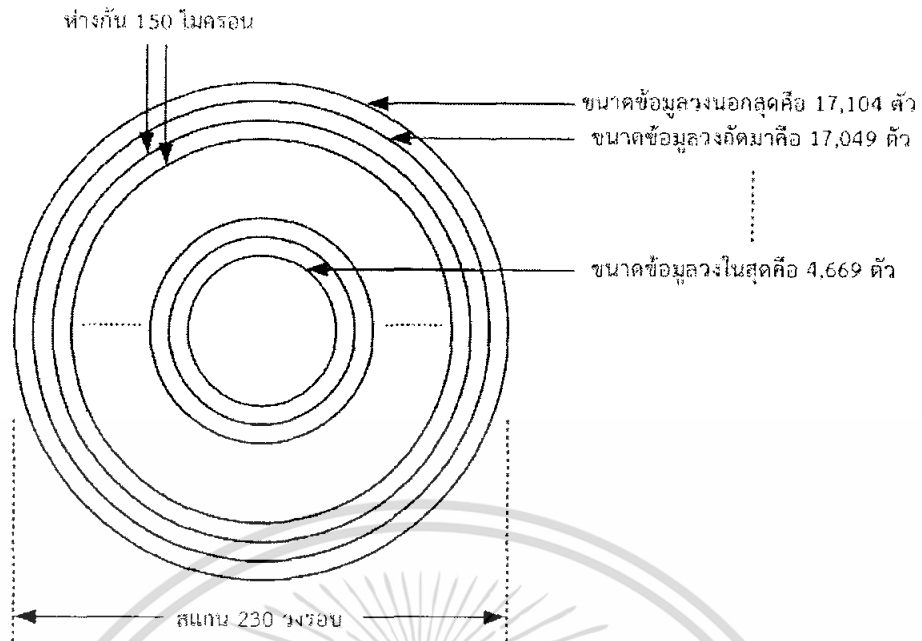


รูปที่ 3.5 กราฟแสดงความเร็วเชิงมุมที่ใช้ในการสแกนที่ตำแหน่งต่างๆบนแผ่นเก็บข้อมูล



รูปที่ 3.6 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของ MC2

คอมพิวเตอร์จะรับข้อมูลการสแกนแผ่นเก็บข้อมูลมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ MC1 ผ่านทางพอร์ตอนุกรม ซึ่งข้อมูลที่คอมพิวเตอร์ได้รับที่วงรอบนอกสุดจะได้จำนวนข้อมูลจำนวนมากที่สุดคือ 17,104 ตัว และที่รอบถัดมาได้จำนวนข้อมูลทั้งสิ้น 17,049 ตัว และจำนวนข้อมูลจะลดลงเรื่อยๆ และจำนวนข้อมูลที่วงในสุดคือ 4,669 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 3.7

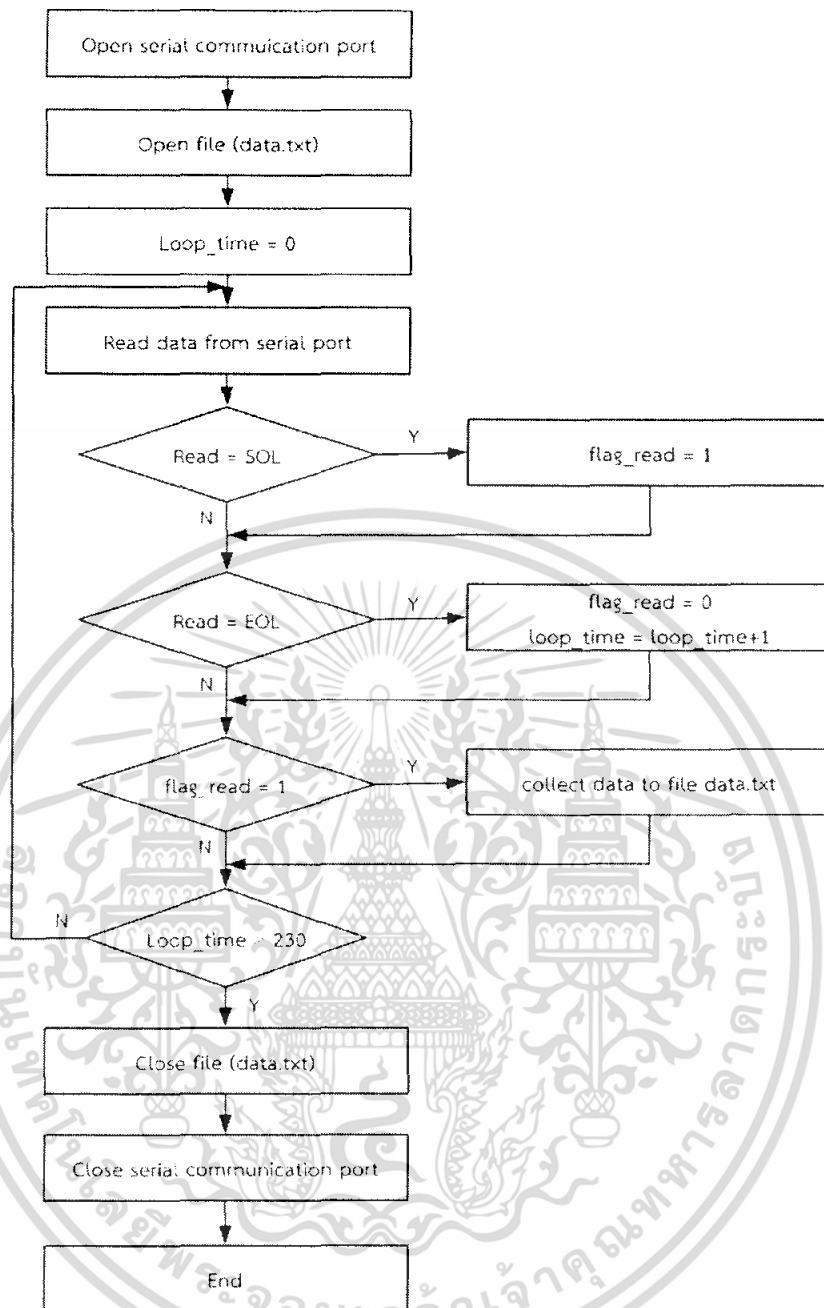


รูปที่ 3.7 การสแกนเพื่อเก็บข้อมูล

3.3 การออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์

3.3.1 การรับข้อมูล

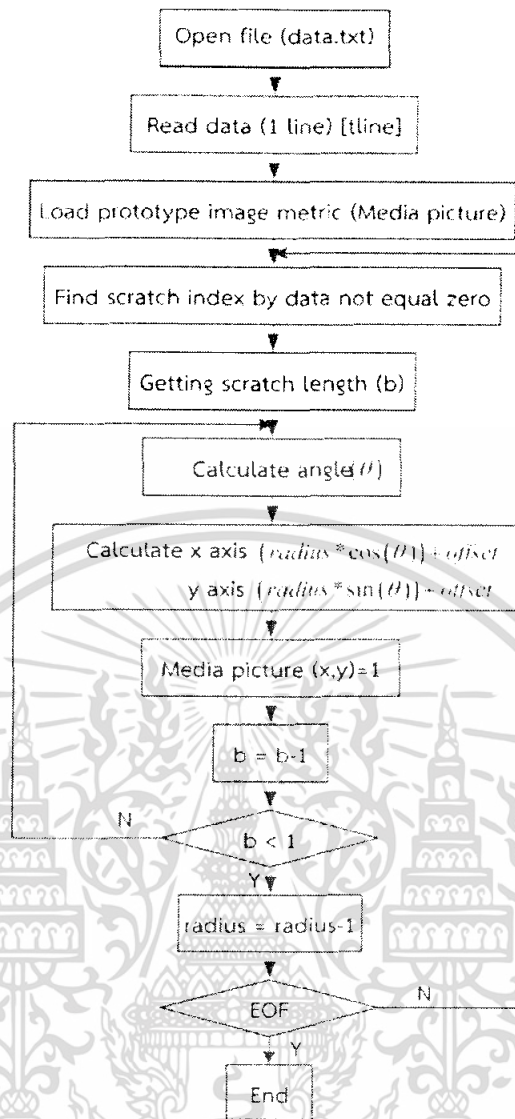
คอมพิวเตอร์จะทำหน้าที่รับข้อมูลที่มาจาก MC1 ผ่านทางพอร์ตอนุกรมที่ความเร็ว 115,200 บิตต่อวินาที โดยโปรแกรมจะทำการตรวจจับหาสัญลักษณ์ "SOL" จากนั้นจะนำข้อมูลที่มาหลังจากสัญลักษณ์ SOL มาเก็บไว้ในไฟล์ที่ชื่อว่า data.txt และจะสิ้นสุดการรับข้อมูลในแถวนั้นๆเมื่อพบสัญลักษณ์ EOL และขึ้นบรรทัดใหม่ จากนั้นทำการรอรับสัญลักษณ์ "SOL" และข้อมูลต่อไป ทำซ้ำเช่นนี้ไปจนครบ 230 ครั้ง ดังได้แสดงโฟลว์ชาร์ตการทำงานในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 โฟลว์ชาร์ตการทำงานในส่วนการรับข้อมูล

3.3.2 การสร้างภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูล

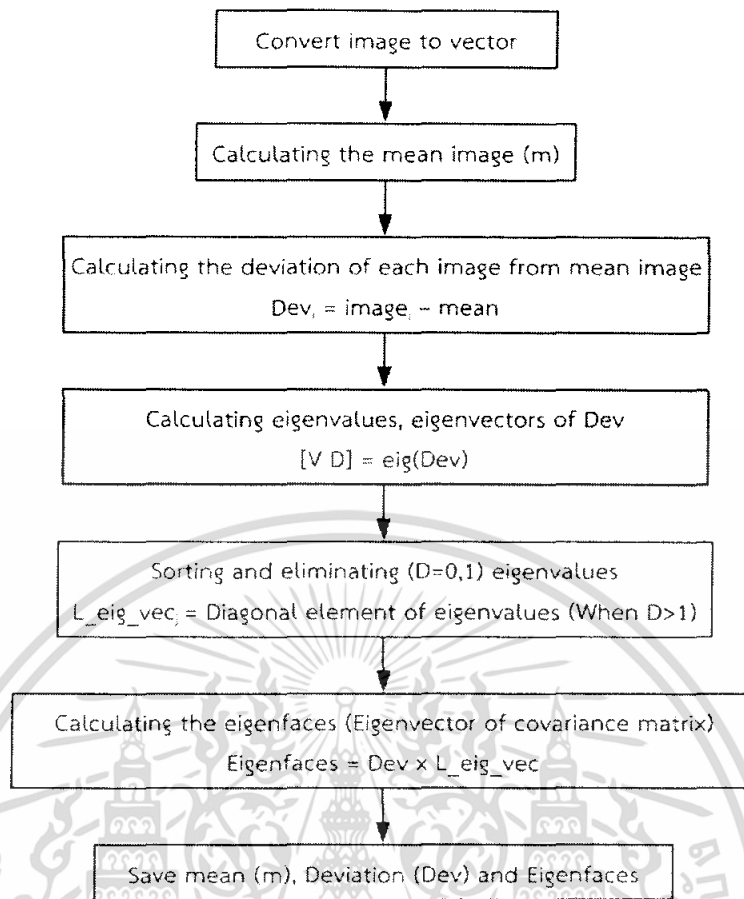
หลังจากที่รับข้อมูลการสแกนแผ่นเก็บข้อมูลครบทั้งแผ่นแล้ว โปรแกรมจะทำการอ่านข้อมูลในแต่ละแถวที่อยู่ในไฟล์ data.txt เพื่อค้นหาตำแหน่งที่มีค่าเป็น 1 ในแต่ละแถว และนำมาคำนวณว่าค่าตำแหน่งที่ได้จากแต่ละแถวข้อมูลนั้น จะอยู่ที่ตำแหน่งใดบนเมตริกซ์ของภาพแผ่นเก็บข้อมูลต้นแบบที่ได้เตรียมไว้ เพื่อแทนค่าในเมตริกซ์ของภาพแผ่นเก็บข้อมูลต้นแบบให้มีค่าเป็น 1 ทำซ้ำเช่นนี้จนกระทั่งครบทุกแถวของข้อมูลที่อยู่ในไฟล์ data.txt ก็จะได้เมตริกซ์ของภาพพื้นผิวแผ่นเก็บข้อมูลที่ได้จากการสแกน จากนั้นทำการแปลงจากเมตริกซ์ให้เป็นภาพ ก็จะได้ภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลแสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ดังแสดงโฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรมในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 โพลาร์ชาร์ตการสร้างภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูล

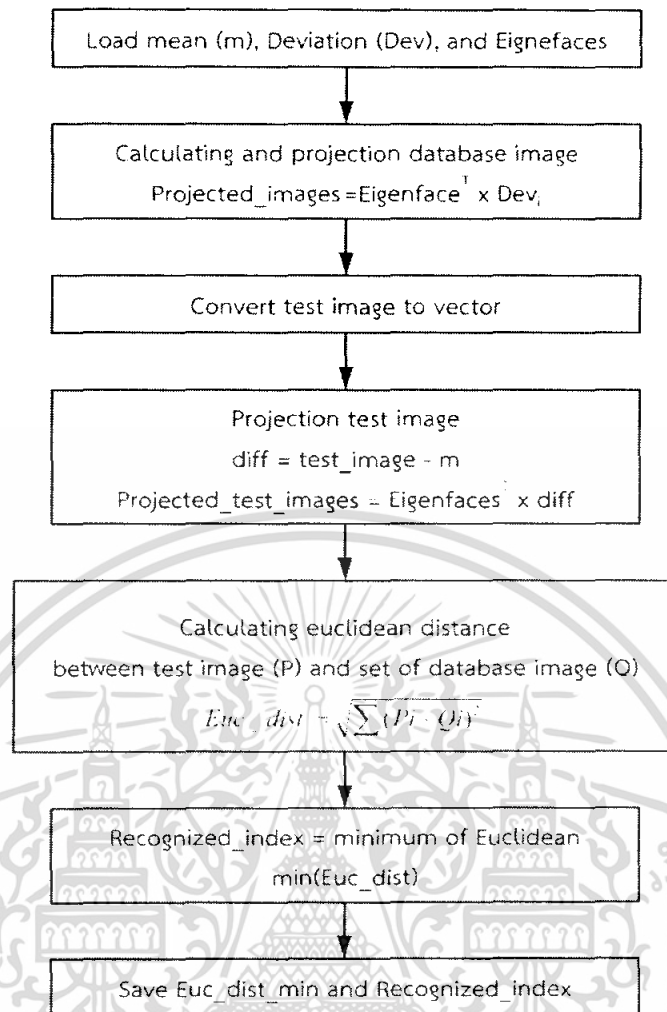
3.3.3 การประมวลผลภาพด้วยวิธีโอเจนเฟส

การประมวลผลด้วยวิธีโอเจนเฟส จะมีกระบวนการในการลดมิติของภาพก่อนนำมาประมวลผล ช่วยให้สามารถประมวลผลได้รวดเร็วขึ้น โดยจะแบ่งการทำงานเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการเรียนรู้ และ ขั้นตอนการรู้จำ ดังแสดงโพลาร์ชาร์ตขั้นตอนการเรียนรู้ในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 โพลาร์ชาร์ตขั้นตอนการเรียนรู้

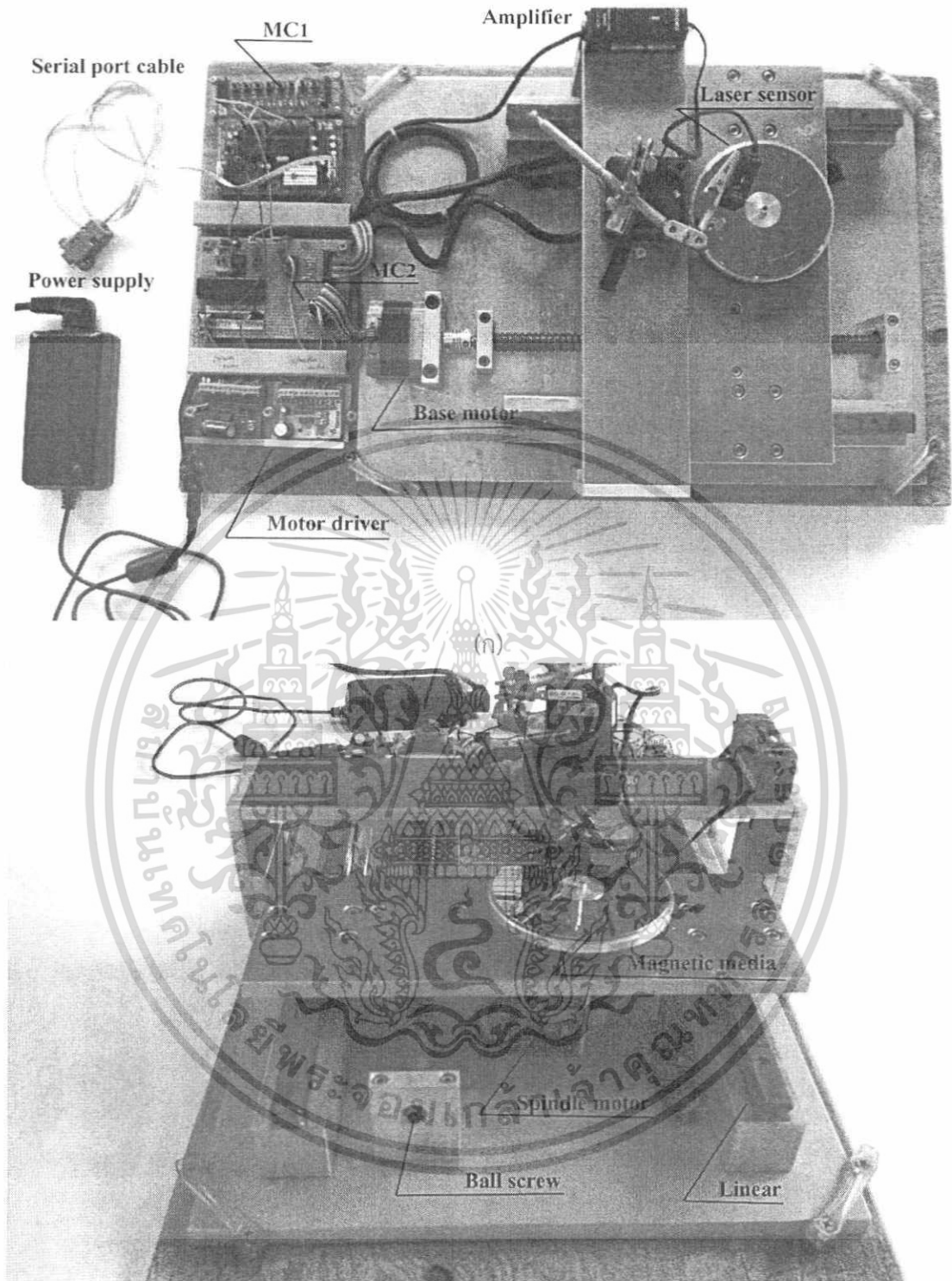
ส่วนขั้นตอนการเรียนรู้จะใช้วิธีการหาระยะทางแบบยุคลิด (Euclidean Distance) ที่เป็นการหาระยะทางของระหว่างภาพที่ต้องการหาคู่กับกลุ่มภาพต้นแบบ และทำการตัดสินใจว่าภาพที่ต้องการหาตรงกับภาพใดในกลุ่มภาพต้นแบบนั้น จะดูจากระยะห่างที่น้อยที่สุด ดังแสดงโพลาร์ชาร์ตขั้นตอนการเรียนรู้ในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 โฟลว์ชาร์ตขั้นตอนการรู้จำ

3.4 การเก็บข้อมูลพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูล

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้อุปกรณ์ที่ใช้อย่างและรับลำแสงเลเซอร์ เป็นเลเซอร์เซ็นเซอร์ (Laser sensor) ยี่ห้อคีย์เอ็นซ์ (Keyence) รุ่น LV-H37 ที่ให้ลำแสงสีแดง ความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร มีขนาดลำแสง (Spot size) ขนาด 50 ไมครอน ที่ระยะห่างจากตัวเลเซอร์เซ็นเซอร์ 70 มิลลิเมตร โดยใช้ร่วมกับแอมป์ริไฟเลอร์ (Amplifier) รุ่น LV-21A ตั้งค่าโหมดที่ใช้งานเป็นการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสง (Intensity mode) ดังแสดงการติดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.12



(ข)

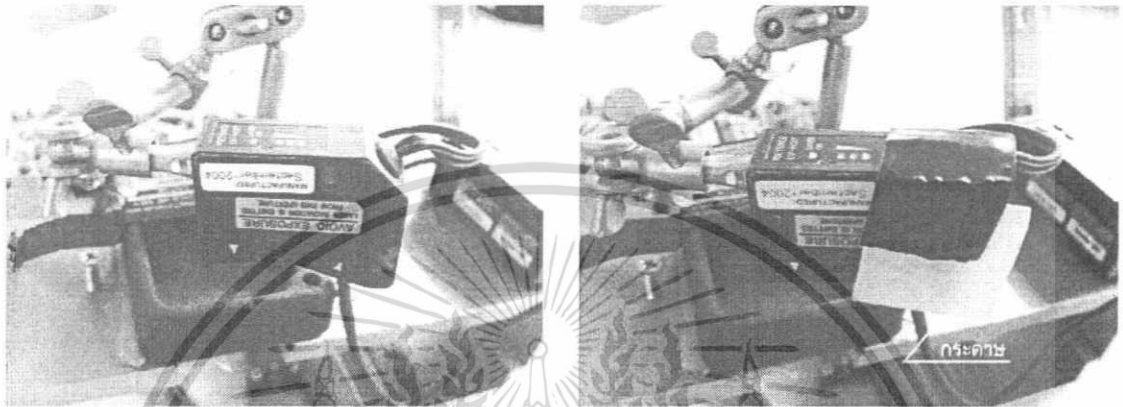
รูปที่ 3.12 การติดตั้งอุปกรณ์ของชุดทดลอง

(ก) ภาพด้านบน

(ข) ภาพด้านหน้า

เนื่องจากเลเซอร์เซ็นเซอร์มีความไวในการรับสัญญาณแสงที่สะท้อนกลับมาสูงมาก อีกทั้งแผ่นเก็บข้อมูลสามารถสะท้อนแสงได้ดีเนื่องจากมีความมันวาวสูง ทำให้เกิดการอ้อมตัวส่งผลให้การเอกซเรย์เป็นเอกซเรย์ทรวงวงวนสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอบสนองต่อความเข้มแสงที่เปลี่ยนไปนั้นทำได้ไม่ดี จึงจำเป็นต้องมีการลดความเข้มแสงเลเซอร์ที่ด้านรับสัญญาณแสงเลเซอร์ลง เพื่อให้เลเซอร์เซ็นเซอร์สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงเลเซอร์ได้ดี โดยการใช้กระดาษสีขาว ความหนา 70 แกรม ในการบังลำแสงเลเซอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.13 และในรูปที่ 3.14 จะแสดงความเข้มของลำแสงเลเซอร์ทั้งก่อนและหลังการบังด้วยกระดาษ ซึ่งหลังจากบังเลเซอร์เซ็นเซอร์ด้วยกระดาษสีขาวแล้วทำให้ความเข้มแสงที่เลเซอร์เซ็นเซอร์ได้รับลดลงประมาณ 75.54 เปอร์เซ็นต์



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.13 การติดตั้งกระดาษเพื่อใช้ลดความเข้มลำแสงเลเซอร์

(ก) เลเซอร์เซ็นเซอร์ก่อนได้รับการบังลำแสงด้วยกระดาษ

(ข) เลเซอร์เซ็นเซอร์หลังได้รับการบังลำแสงด้วยกระดาษ



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.14 ความเข้มลำแสงเลเซอร์

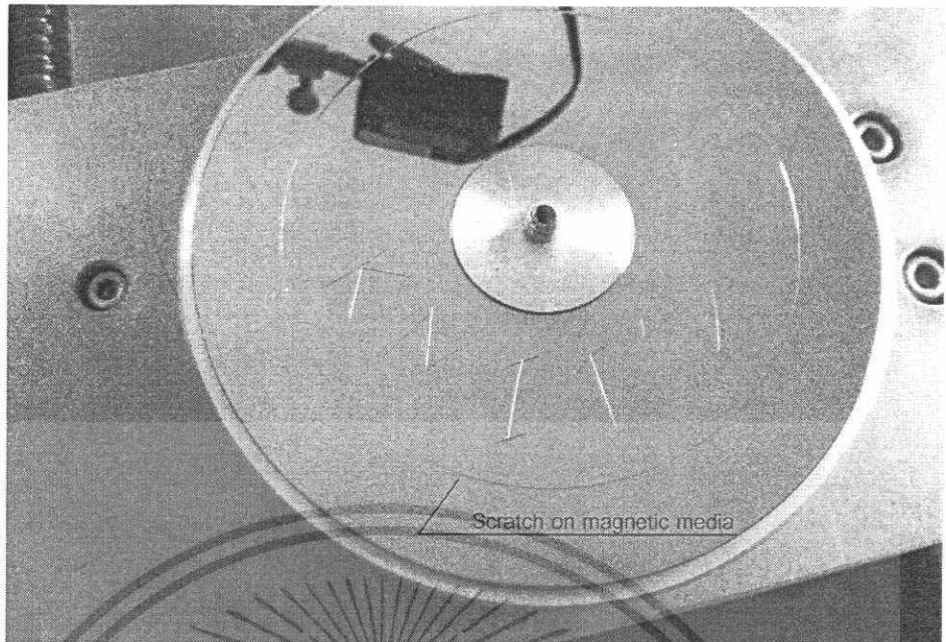
(ก) ก่อนบังลำแสงด้วยกระดาษ

(ข) หลังบังลำแสงด้วยกระดาษ

3.4.1 การเตรียมแผ่นเก็บข้อมูล

ในขั้นตอนนี้ จะทำการสร้างรูปร่างของรอยขีดข่วนบนแผ่นเก็บข้อมูลโดยใช้เหล็กปลายแหลมทำให้เกิดรอยบนแผ่นเก็บข้อมูลเป็นรูปแบบที่ต้องการ ก่อนนำไปใช้ในการสแกนเพื่อสร้างเป็นภาพพื้นผิวต่อไป ดังแสดงรูปที่ 3.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 ตัวอย่างรอยขีดข่วนบนแผ่นเก็บข้อมูล

3.4.2 ศึกษาผลกระทบจากการรบกวนของแสงภายนอก

จะทำการติดตั้งอุปกรณ์ให้แสงสว่างเพื่อทดสอบว่าแสงจากภายนอกมีผลต่อการทำงานของเครื่องหรือไม่ ดังแสดงการติดตั้งอุปกรณ์ให้แสงสว่างดังรูปที่ 3.16

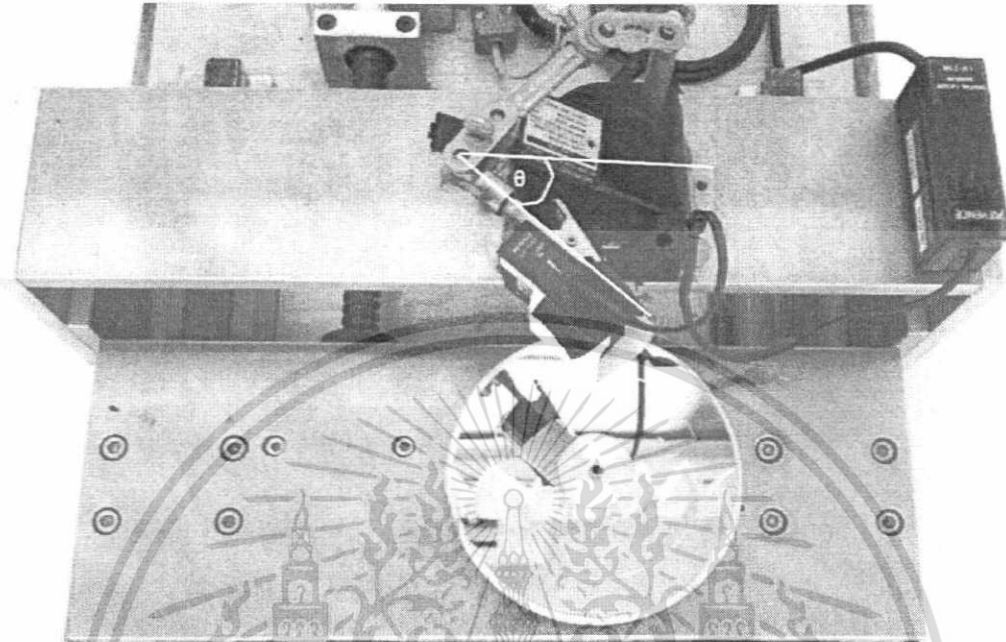


รูปที่ 3.16 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ให้แสงสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 ศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนทิศทางในการยิงลำแสงเลเซอร์

ทำการปรับเลเซอร์เซ็นเซอร์ไป 30, 60, 90 และ 180 องศาตามลำดับโดยเทียบผลที่ได้กับที่ 0 องศา ดังแสดงทิศทางของการปรับเลเซอร์เซ็นเซอร์ในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 การปรับเลเซอร์เซ็นเซอร์

3.4.4 ศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนระยะห่างของเลเซอร์เซ็นเซอร์กับแผ่นเก็บข้อมูล

เพื่อศึกษาว่าระยะห่างของเลเซอร์เซ็นเซอร์กับแผ่นเก็บข้อมูลมีผลต่อภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลหรือไม่นั้น โดยทำการปรับระยะห่างระหว่างเลเซอร์เซ็นเซอร์กับแผ่นเก็บข้อมูล (D) เป็น 3, 5, 9 และ 11 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.18



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 3.18 การปรับระยะห่างระหว่างเลเซอร์เซ็นเซอร์กับแผ่นเก็บข้อมูล โยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การวัดขนาดของรอยขีดข่วน

ทำการวัดขนาดของรอยขีดข่วนที่เกิดขึ้นด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบดิจิทัล ซึ่งมีอัตราขยายที่สามารถปรับได้ในช่วง 25-200 เท่า และสามารถวัดขนาดของรอยขีดข่วนได้ด้วยโปรแกรมที่ให้มากับกล้องจุลทรรศน์ ดังแสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 กล้องจุลทรรศน์แบบดิจิทัล

(ก) มุมมองด้านข้าง

(ข) มุมมองด้านหน้า

(ค) ตัวอย่างการวัดขนาดรอยขีดข่วนบนแผ่นเก็บข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

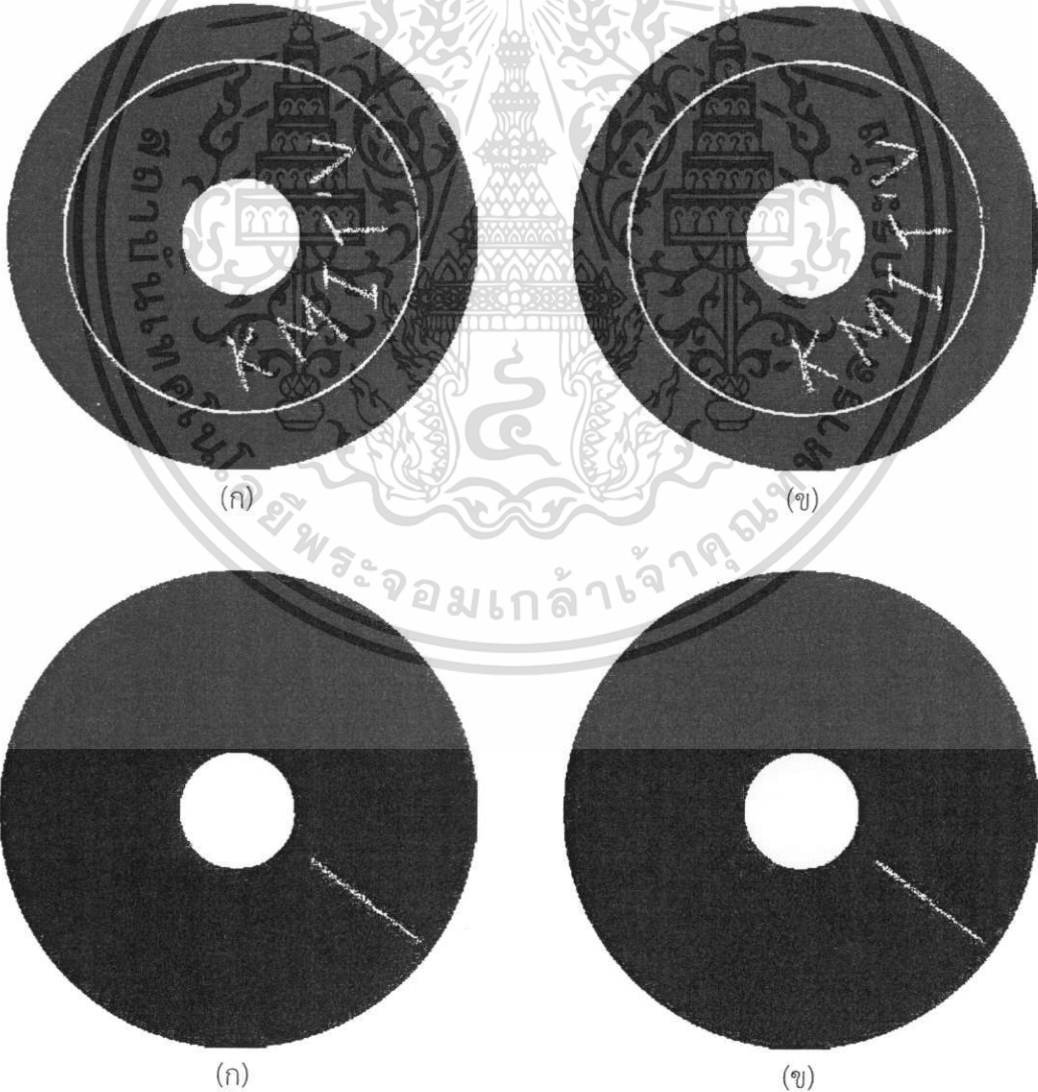
บทที่ 4

ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการสร้างภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลโดยอาศัยการสะท้อนของลำแสงเลเซอร์และประมวลผลภาพแผ่นเก็บข้อมูลที่ได้ด้วยวิธีไอเกนเฟส ด้วยโปรแกรม MATLAB และศึกษาถึงผลกระทบต่างๆที่อาจเกี่ยวข้องกับการทดลอง เช่น การรบกวนของแสงภายนอก การเปลี่ยนทิศทางในการยิงลำแสงเลเซอร์ และการเปลี่ยนระยะห่างระหว่างเลเซอร์เซ็นเซอร์กับแผ่นเก็บข้อมูล เป็นต้น

4.1 ศึกษาผลกระทบจากการรบกวนของแสงภายนอก

ทำการติดตั้งอุปกรณ์ให้แสงสว่างเพื่อทดสอบว่าแสงจากภายนอกมีผลต่อการทำงานของเครื่องหรือไม่ โดยจะทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากการเก็บข้อมูลภายในห้องมืด กับการเก็บข้อมูลโดยมีอุปกรณ์ให้แสงสว่าง ดังแสดงตัวอย่างผลการทดลองที่ได้ดังรูปที่ 4.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลเมื่อ

(ก) ทำการเก็บข้อมูลภายในห้องมืด

(ข) ทำการเก็บข้อมูลพร้อมกับเปิดอุปกรณ์ให้แสงสว่าง

ผลการทดลองสรุปได้ว่า แสงจากอุปกรณ์ให้แสงสว่างไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของเลเซอร์เซ็นเซอร์ ตรงตามคุณสมบัติของเลเซอร์เซ็นเซอร์ที่ว่า สามารถทนต่อการรบกวนของแสงภายนอกได้ โดยทนต่อแสงหลอดไฟได้สูงสุด 10,000 ลูเมน และทนต่อแสงอาทิตย์ได้สูงสุด 20,000 ลูเมน

4.2 ศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนทิศทางในการยิงลำแสงเลเซอร์

ทำการปรับเลเซอร์เซ็นเซอร์ไป 30, 60, 90 และ 180 องศาตามลำดับโดยเทียบผลที่ได้กับที่ 0 องศา ซึ่งจะได้ผลการทดลองที่ได้ในรูปที่ 4.2 ถึง 4.5 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลเมื่อหมุนเลเซอร์เซ็นเซอร์ไป

(ก) 0 องศา

(ข) 30 องศา



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลเมื่อหมุนเลเซอร์เซ็นเซอร์ไป

(ก) 0 องศา

(ข) 60 องศา



(ก)



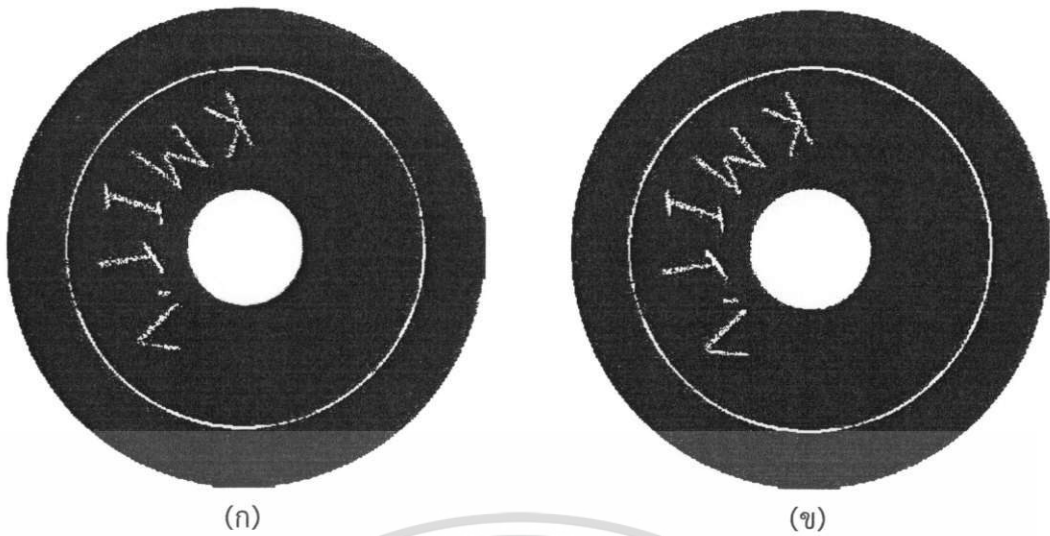
(ข)

รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลเมื่อหมุนเลเซอร์เซ็นเซอร์ไป

(ก) 0 องศา

(ข) 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลเมื่อหมุนเลเซอร์เซ็นเซอร์ไป

(ก) 0 องศา

(ข) 180 องศา

ผลการทดลอง สรุปได้ว่าการหมุนเลเซอร์เซ็นเซอร์นั้นส่งผลต่อการทำงานเพียงเล็กน้อย ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจาก ลักษณะของรอยขีดข่วนที่สะท้อนแสงได้ดีหรือไม่ดีในบางมุมนั่นเอง แต่โดยรวมแล้วถือว่าส่งผลกับภาพพื้นผิวของรอยขีดข่วนที่ได้ไม่มากนัก

4.3 ศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนระยะห่างของเลเซอร์เซ็นเซอร์กับแผ่นเก็บข้อมูล

เพื่อศึกษาว่าระยะห่างที่เปลี่ยนไปของเลเซอร์เซ็นเซอร์กับแผ่นเก็บข้อมูลมีผลต่อภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลหรือไม่นั้น โดยทำการปรับระยะห่างเป็น 3, 5, 9 และ 11 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 ถึง 4.9 ซึ่งจะเปรียบเทียบกับภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลที่ระยะห่าง 7 เซนติเมตร

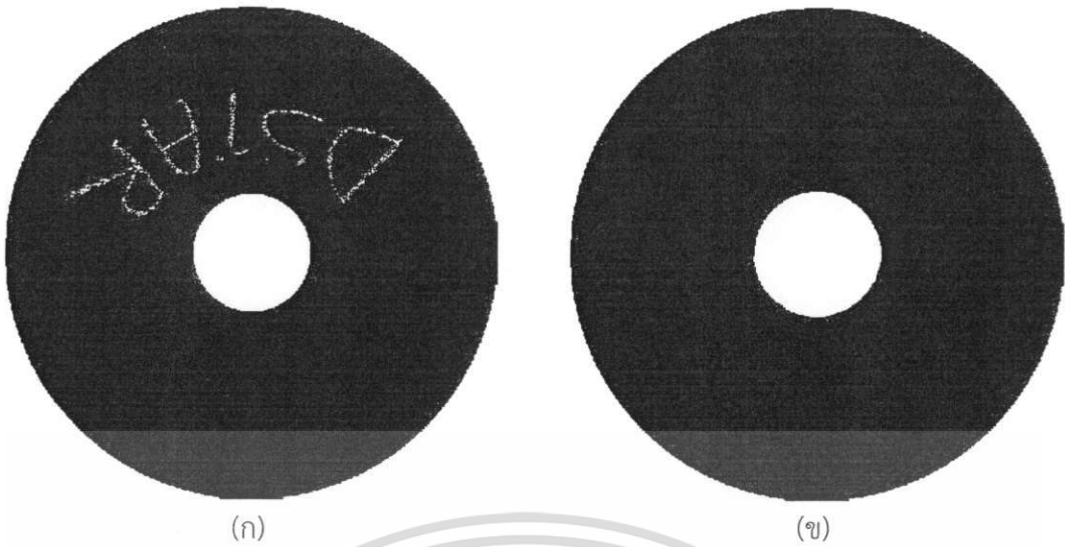


รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบภาพแผ่นเก็บข้อมูลที่ได้เมื่อเลเซอร์เซ็นเซอร์ห่างจากแผ่นเก็บข้อมูล

(ก) 7 เซนติเมตร

(ข) 3 เซนติเมตร

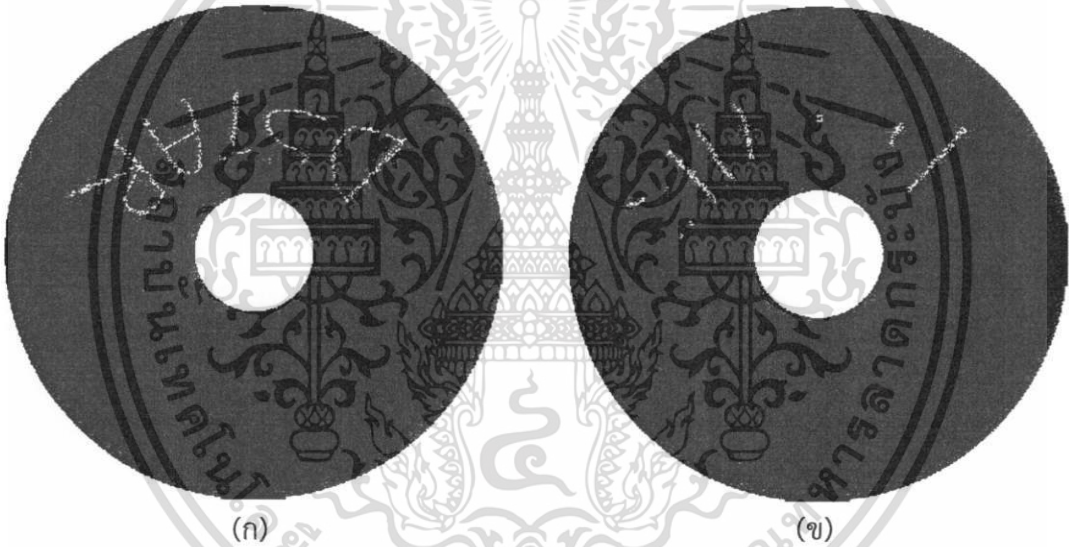
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบภาพแผ่นเก็บข้อมูลที่ได้เมื่อเลเซอร์เซ็นเซอร์ห่างจากแผ่นเก็บข้อมูล

(ก) 7 เซ็นติเมตร

(ข) 5 เซ็นติเมตร

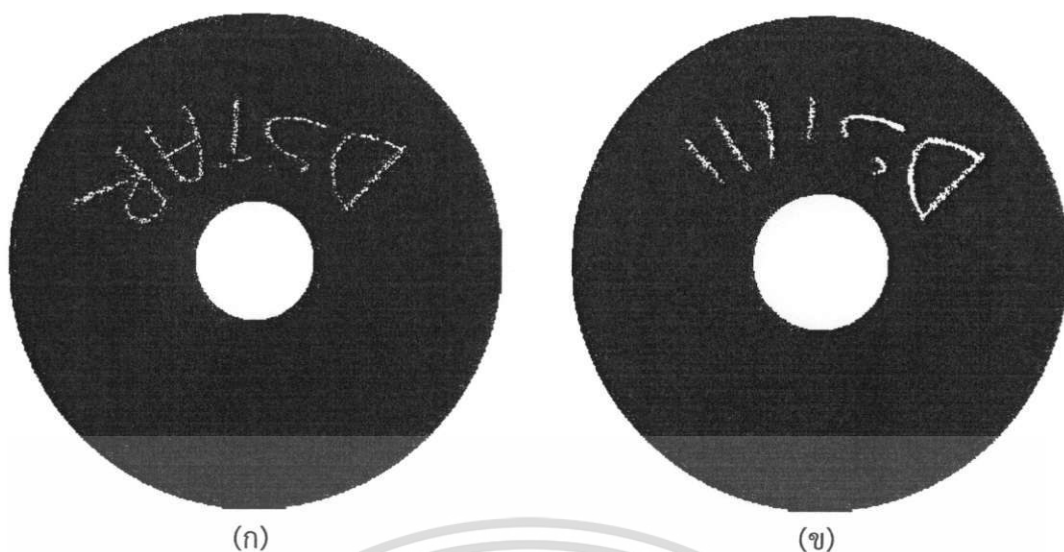


รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบภาพแผ่นเก็บข้อมูลที่ได้เมื่อเลเซอร์เซ็นเซอร์ห่างจากแผ่นเก็บข้อมูล

(ก) 7 เซ็นติเมตร

(ข) 9 เซ็นติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบภาพแผ่นเก็บข้อมูลที่ได้เมื่อเลเซอร์เซ็นเซอร์ห่างจากแผ่นเก็บข้อมูล

(ก) 7 เซ็นติเมตร

(ข) 11 เซ็นติเมตร

ผลการทดลอง เนื่องจากระยะโฟกัสของเลเซอร์เซ็นเซอร์ที่ใช้คือ 7 เซ็นติเมตร ในการเลือนเลเซอร์เซ็นเซอร์ให้ไกลกว่าระยะโฟกัส จะทำให้ขนาดของลำแสงเลเซอร์ที่ตกกระทบกับแผ่นเก็บข้อมูลมีขนาดใหญ่ขึ้นโดยจะมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ด้านยาวจะขนานไปตามแนวรัศมีของแผ่นเก็บข้อมูล และด้วยระยะห่างที่ไกลกว่าระยะโฟกัสทำให้ แสงเลเซอร์ที่สะท้อนจากแผ่นเก็บข้อมูลจะไปรวมเป็นจุดของลำแสงอยู่ที่เซ็นเซอร์ อีกทั้งเกิดการกระเจิงของลำแสงเลเซอร์ในบริเวณที่มีรอยขีดข่วนน้อยลง เนื่องจากขนาดของลำแสงที่ตกกระทบแผ่นเก็บข้อมูลมีขนาดใหญ่ ทำให้แสงที่สะท้อนกลับไปยังเลเซอร์เซ็นเซอร์มีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และ 4.7 และการเลือนเซ็นเซอร์ให้ไกลกว่าระยะโฟกัสนั้น จะทำให้ขนาดของลำแสงเลเซอร์ที่ตกกระทบกับแผ่นเก็บข้อมูลมีขนาดใหญ่ขึ้นเช่นกัน และลำแสงเลเซอร์ที่ตกกระทบแผ่นเก็บข้อมูลมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ด้านยาวจะขนานไปตามแนวรัศมีของแผ่นเก็บข้อมูล ลำแสงเลเซอร์ที่สะท้อนกลับไปยังเลเซอร์เซ็นเซอร์มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า รอยขีดข่วนที่มีลักษณะตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นเก็บข้อมูล จะทำให้แสงที่สะท้อนกลับมามีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด ในทางกลับกันเมื่อรอยขีดข่วนมีลักษณะไปตามแนวรัศมี ค่าความเข้มของแสงที่สะท้อนกลับมานี้มีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย อันเนื่องมาจากขนาดของลำแสงเลเซอร์ที่มีขนาดใหญ่ทำให้ลำแสงส่วนใหญ่ยังคงสะท้อนกลับมาได้ตั้นเอง ดังแสดงในรูปที่ 4.8 และ 4.9

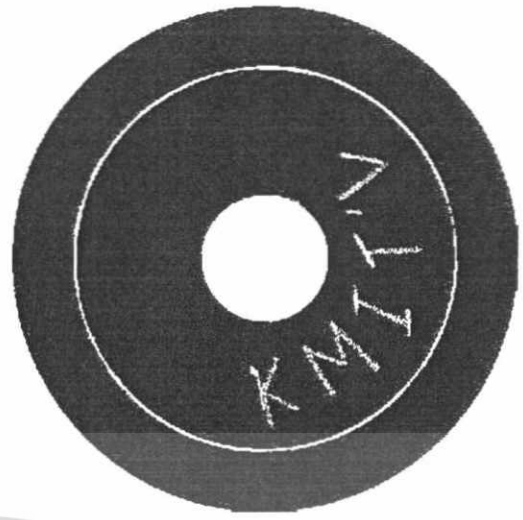
4.4 ภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมเทียบกับภาพจริงของแผ่นเก็บข้อมูล

เพื่อทำการเปรียบเทียบภาพจริงของแผ่นเก็บข้อมูลที่ได้จากการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล และภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม MATLAB ดังแสดงในรูปที่ 4.10 โดยภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูล จะได้จากการเก็บข้อมูลที่เลเซอร์เซ็นเซอร์ห่างจากแผ่นเก็บข้อมูลเป็นระยะทาง 7 เซ็นติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



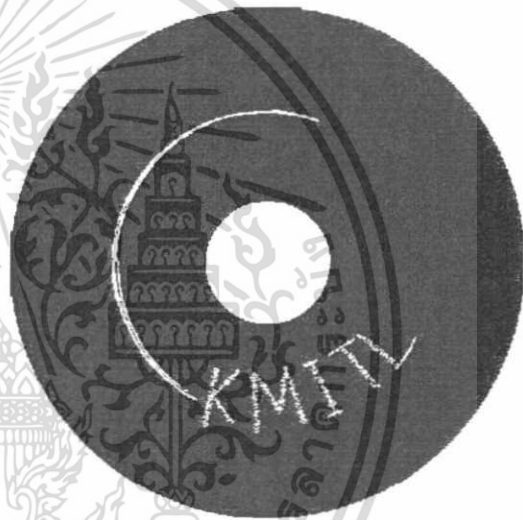
(ก)



(ข)



(ก)



(ข)

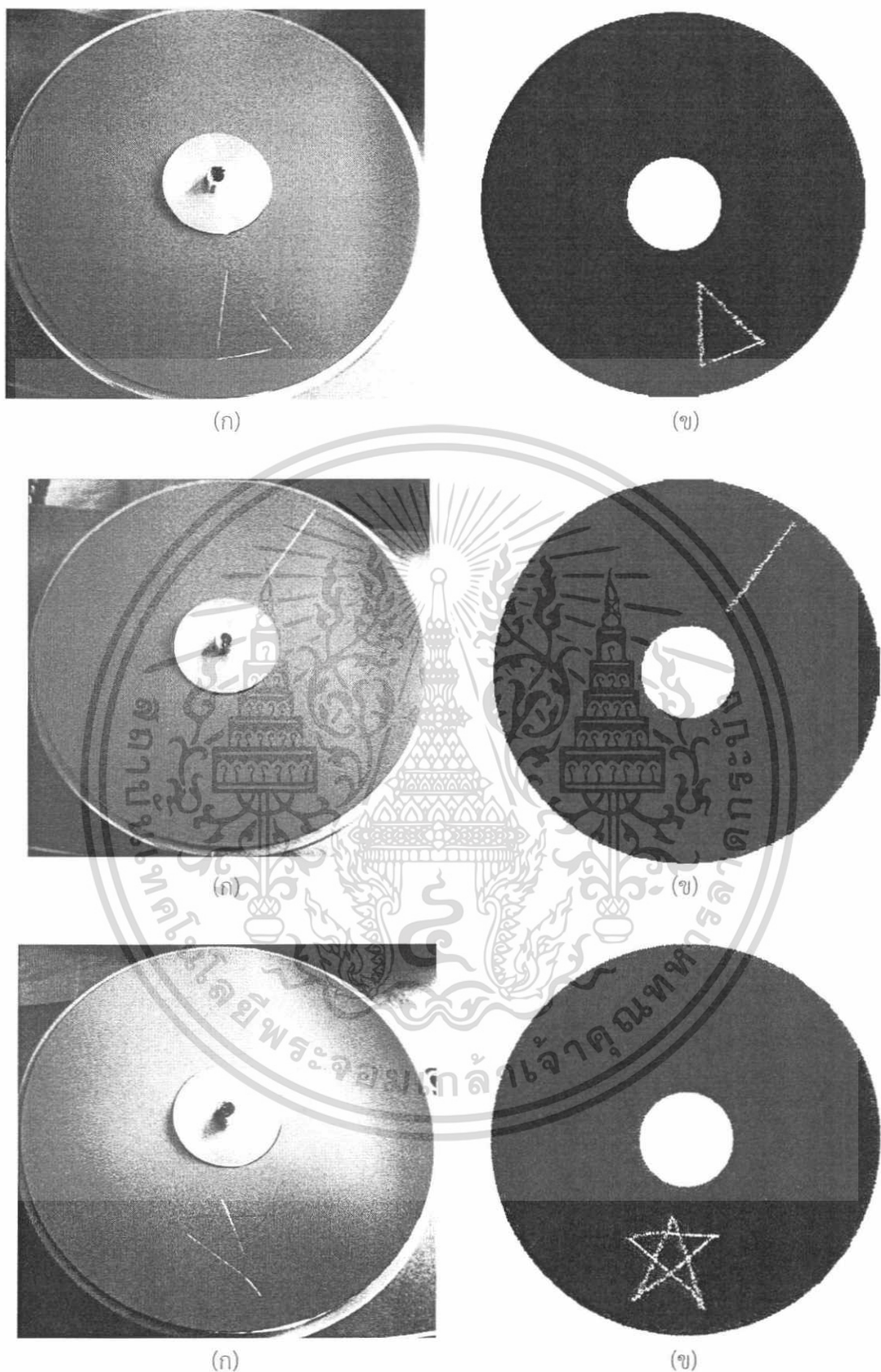


(ก)



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบภาพพื้นผิวแผ่นเก็บข้อมูล

(ก) ภาพของแผ่นเก็บข้อมูลที่ถ่ายจากกล้องดิจิทัล

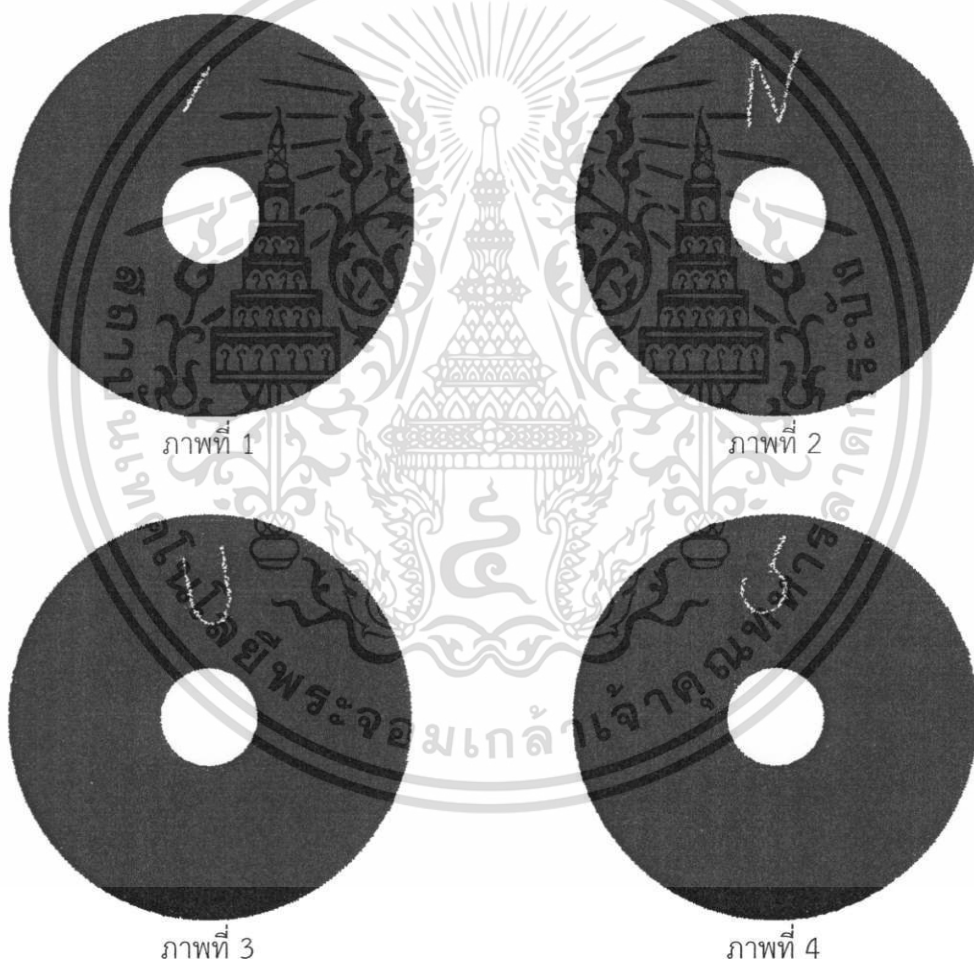
(ข) ภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมโดยทำการเก็บข้อมูลพื้นผิวที่ระยะ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง ในการถ่ายภาพแผ่นเก็บข้อมูลด้วยกล้องดิจิทัลที่มีข้อจำกัดด้วยกันหลายประการอันเนื่องมาจากแผ่นเก็บข้อมูลมีความมันวาวสูง สามารถสะท้อนแสงได้ดี ทำให้ไม่สามารถถ่ายภาพแผ่นเก็บข้อมูลจากแนวตรงได้เนื่องจากจะเกิดการสะท้อนมาก เห็นรอยขีดข่วนไม่ชัด หรืออาจมองไม่เห็นเลย เป็นต้น การใช้การสะท้อนของลำแสงเลเซอร์ในการเก็บข้อมูลพื้นผิวแล้วนำมาสร้างเป็นภาพดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.10 แล้วนั้น จะเห็นได้ว่าสามารถสร้างภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลที่มีลักษณะรอยขีดข่วนรอยเหมือนกับรอยขีดข่วนที่เกิดขึ้นจริงบนแผ่นเก็บข้อมูลได้

4.5 การประมวลผลภาพด้วยวิธีโอเคนเฟส

ในการประมวลผลภาพด้วยวิธีโอเคนเฟส จำเป็นจะต้องมีภาพต้นแบบเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ ดังแสดงตัวอย่างภาพของคลังข้อมูลภาพที่ใช้ในการทดลองจำนวน 18 ภาพ และทุกภาพมีขนาดเท่ากันคือ 200x200 พิกเซล ดังแสดงในรูปที่ 4.11



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5



ภาพที่ 6



ภาพที่ 7



ภาพที่ 8



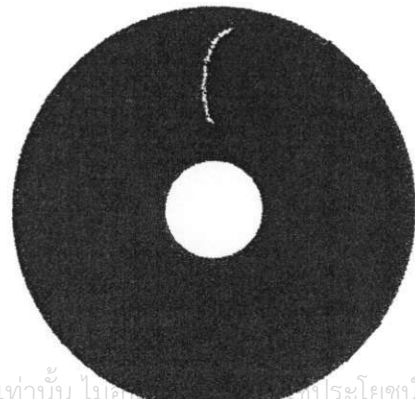
ภาพที่ 9



ภาพที่ 10

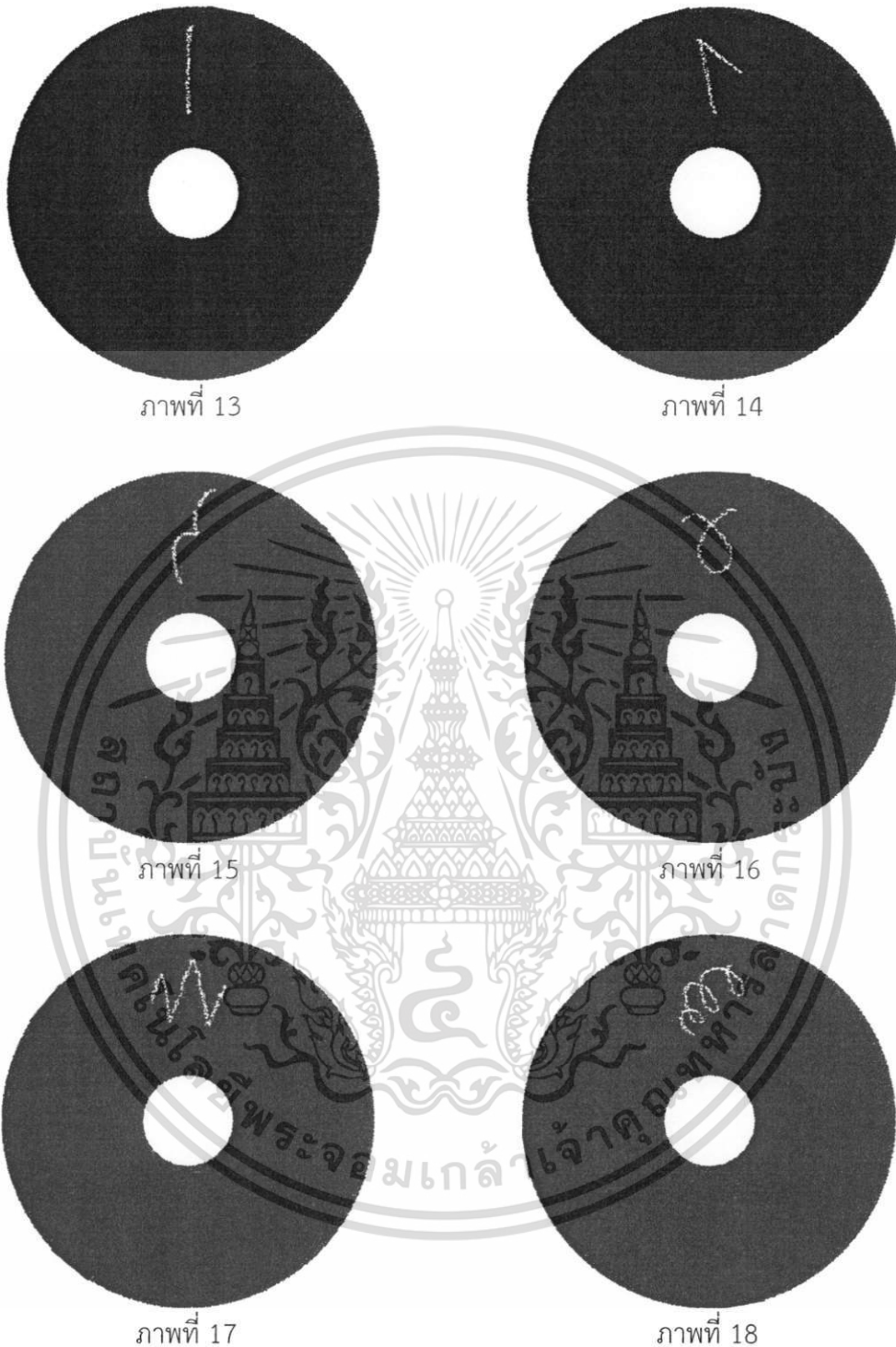


ภาพที่ 11



ภาพที่ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ย... ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมี... ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ตัวอย่างภาพต้นแบบที่ใช้เป็นคลังข้อมูลภาพ

4.5.1 การค้นคืนภาพ

การค้นคืนภาพจะใช้วิธีหาระยะห่างแบบยุคลิดเพื่อใช้ในการตัดสินใจว่าภาพที่นำมาทดสอบมีความคล้ายกับภาพใดในกลุ่มภาพต้นแบบมากที่สุด โดยดูจากระยะทางแบบยุคลิดที่น้อยที่สุด ดังได้แสดงระยะห่างแบบยุคลิดของแต่ละภาพในคลังข้อมูลภาพในตารางที่ 4.1-4.3 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงระยะห่างแบบยุคลิดของภาพที่ 1-6 กับแต่ภาพที่ในคลังข้อมูลภาพ

ภาพที่	ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ภาพที่ 4	ภาพที่ 5	ภาพที่ 6
ภาพที่ 1	0	10.63	1.01	6.79	3.24	2.71
ภาพที่ 2	10.63	0	21.86	11.00	12.03	11.62
ภาพที่ 3	10.184	21.86	0	4.09	6.40	10.23
ภาพที่ 4	6.79	11.00	4.09	0	4.76	7.47
ภาพที่ 5	3.24	12.03	6.40	4.76	0	1.92
ภาพที่ 6	2.71	11.62	10.23	7.47	1.92	0
ภาพที่ 7	5.73	11.60	22.36	16.40	7.35	3.69
ภาพที่ 8	13.41	35.62	7.74	14.07	9.06	10.33
ภาพที่ 9	3.77	10.18	4.42	2.36	2.32	3.56
ภาพที่ 10	8.06	8.20	7.69	2.56	6.62	9.12
ภาพที่ 11	6.73	2.14	17.48	8.26	8.03	7.37
ภาพที่ 12	9.63	5.24	28.66	17.39	12.57	9.06
ภาพที่ 13	8.38	9.71	28.47	19.63	10.98	6.52
ภาพที่ 14	9.18	15.53	28.93	22.47	10.98	6.05
ภาพที่ 15	8.84	21.88	25.32	22.61	9.78	5.46
ภาพที่ 16	8.41	27.39	14.85	17.23	6.43	4.73
ภาพที่ 17	8.66	27.21	5.18	9.67	5.15	6.71
ภาพที่ 18	9.33	19.32	1.77	3.31	5.78	9.62

ตารางที่ 4.2 แสดงระยะห่างแบบยุคลิดของภาพที่ 7-12 กับแต่ภาพที่ในคลังข้อมูลภาพ

ภาพที่	ภาพที่ 7	ภาพที่ 8	ภาพที่ 9	ภาพที่ 10	ภาพที่ 11	ภาพที่ 12
ภาพที่ 1	5.73	13.41	3.77	8.06	6.73	9.63
ภาพที่ 2	11.60	35.62	10.18	8.20	2.14	5.24
ภาพที่ 3	22.36	7.74	4.42	7.69	17.48	28.66
ภาพที่ 4	16.40	14.07	2.36	2.56	8.26	17.39
ภาพที่ 5	7.35	9.06	2.32	6.62	8.03	12.57
ภาพที่ 6	3.69	10.33	3.56	9.12	7.37	9.06
ภาพที่ 7	0	21.90	10.18	16.51	7.62	4.62
ภาพที่ 8	21.90	0	11.06	20.33	28.93	35.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงระยะห่างแบบยุคลิดของภาพที่ 7-12 กับแต่ภาพที่ในคลังข้อมูลภาพ (ต่อ)

ภาพที่	ภาพที่ 7	ภาพที่ 8	ภาพที่ 9	ภาพที่ 10	ภาพที่ 11	ภาพที่ 12
ภาพที่ 9	10.18	11.06	0	3.68	6.82	13.21
ภาพที่ 10	16.51	20.33	3.68	0	6.18	15.05
ภาพที่ 11	7.62	28.93	6.82	6.18	0	3.54
ภาพที่ 12	4.62	35.69	13.21	15.05	3.54	0
ภาพที่ 13	1.67	29.94	13.54	18.50	6.63	2.05
ภาพที่ 14	1.45	25.52	15.08	22.58	11.25	5.66
ภาพที่ 15	2.88	18.15	14.72	24.56	16.31	11.69
ภาพที่ 16	8.70	6.40	11.02	21.73	21.02	21.15
ภาพที่ 17	16.35	2.35	6.65	14.33	21.25	27.57
ภาพที่ 18	21.31	8.63	3.84	6.19	15.74	26.54

ตารางที่ 4.3 แสดงระยะห่างแบบยุคลิดของภาพที่ 13-18 กับแต่ภาพที่ในคลังข้อมูลภาพ

ภาพที่	ภาพที่ 13	ภาพที่ 14	ภาพที่ 15	ภาพที่ 16	ภาพที่ 17	ภาพที่ 18
ภาพที่ 1	8.38	9.18	8.84	8.41	8.66	9.33
ภาพที่ 2	9.71	15.53	21.88	27.39	27.21	19.32
ภาพที่ 3	28.47	28.93	25.32	14.85	5.189	1.77
ภาพที่ 4	19.63	22.47	22.61	17.23	9.67	3.31
ภาพที่ 5	10.98	10.98	9.78	6.43	5.15	5.78
ภาพที่ 6	6.52	6.05	5.46	4.73	6.71	9.62
ภาพที่ 7	1.67	1.45	2.88	8.70	16.35	21.31
ภาพที่ 8	29.94	25.52	18.15	6.40	2.35	8.63
ภาพที่ 9	13.54	15.08	14.72	11.02	6.65	3.84
ภาพที่ 10	18.50	22.58	24.56	21.73	14.33	6.19
ภาพที่ 11	6.63	11.25	16.31	21.02	21.25	15.74
ภาพที่ 12	2.05	5.66	11.69	21.15	27.57	26.54
ภาพที่ 13	0	1.69	5.68	14.29	23.43	26.91
ภาพที่ 14	1.69	0	2.44	9.65	20.38	27.74
ภาพที่ 15	5.68	2.44	0	4.59	14.35	24.90
ภาพที่ 16	14.29	9.65	4.59	0	5.16	15.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงระยะห่างแบบยุคลิดของภาพที่ 13-18 กับแต่ภาพที่ในคลังข้อมูลภาพ (ต่อ)

ภาพที่ ระยะห่าง $\times 100$	ภาพที่ 13	ภาพที่ 14	ภาพที่ 15	ภาพที่ 16	ภาพที่ 17	ภาพที่ 18
ภาพที่ 17	23.43	20.38	14.35	5.16	0	5.84
ภาพที่ 18	26.91	27.74	24.90	15.31	5.84	0

ในรูปที่ 4.12 (ก) จะแสดงภาพที่นำมาทดสอบ และ (ข) จะแสดงภาพที่ได้จากการค้นคืน ส่วนในตารางที่ 1 จะแสดงระยะห่างแบบยุคลิดของภาพที่นำมาทดสอบกับแต่ละภาพในคลังข้อมูลภาพ



รูปที่ 4.12 ผลการค้นคืนภาพโดย
(ก) ภาพที่นำมาทดสอบ
(ข) ภาพที่ได้จากการค้นคืน

ตารางที่ 4.4 แสดงระยะห่างแบบยุคลิดของภาพที่นำมาทดสอบกับแต่ละภาพในคลังข้อมูลภาพ

ภาพในคลังข้อมูลภาพ	ระยะห่างแบบยุคลิด
ภาพที่ 1	6.7960 e+13
ภาพที่ 2	1.1002 e+14
ภาพที่ 3	4.0997 e+13
ภาพที่ 4	0
ภาพที่ 5	4.7664 e+13
ภาพที่ 6	7.4731 e+13
ภาพที่ 7	1.6402 e+14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

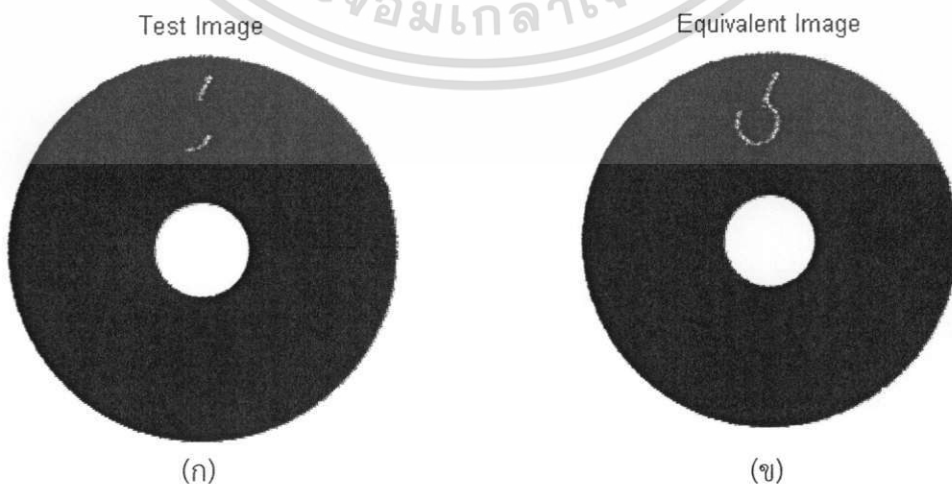
ตารางที่ 4.4 แสดงระยะห่างแบบยุคลิดของภาพที่นำมาทดสอบกับแต่ละภาพในคลังข้อมูลภาพ(ต่อ)

ภาพในคลังข้อมูลภาพ	ระยะห่างแบบยุคลิด
ภาพที่ 8	1.4077 e+14
ภาพที่ 9	2.3604 e+13
ภาพที่ 10	2.5664 e+13
ภาพที่ 11	8.2608 e+13
ภาพที่ 12	1.7394 e+14
ภาพที่ 13	1.9638 e+14
ภาพที่ 14	2.2479 e+14
ภาพที่ 15	2.2620 e+14
ภาพที่ 16	1.7234 e+14
ภาพที่ 17	9.6702 e+13
ภาพที่ 18	3.3108 e+13

ผลการทดลอง ในการทดลองนี้ภาพที่นำมาทดสอบจะเป็นภาพเดียวกับภาพในคลังข้อมูลภาพที่ 4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการค้นคืนภาพทำได้ถูกต้อง และเมื่อมาพิจารณาที่ระยะห่างแบบยุคลิดระหว่างภาพที่นำมาทดสอบกับภาพต้นแบบดังแสดงในตารางที่ 4.1 จะพบว่า ค่าระยะห่างที่น้อยที่สุดคือ ภาพที่ 4 ซึ่งมีค่าเป็นศูนย์ อันเนื่องมาจากภาพที่นำมาทดสอบเป็นส่วนหนึ่งของภาพต้นแบบในคลังข้อมูลภาพนั่นเอง

4.5.2 การค้นคืนภาพเมื่อภาพมีความบกพร่อง

ทดสอบการค้นคืนภาพเมื่อภาพรอยขีดข่วนมีความบกพร่อง เพื่อแสดงภาพในคลังข้อมูลภาพที่ใกล้เคียงที่สุดของภาพที่บกพร่องนั้น ดังแสดงภาพที่นำมาทดสอบและภาพที่ได้จากการค้นคืน ในรูปที่ 4.13 ส่วนในตารางที่ 2 แสดงระยะห่างแบบยุคลิดของภาพที่นำมาทดสอบกับแต่ละภาพในคลังข้อมูลภาพ



รูปที่ 4.13 ผลการค้นคืนภาพเมื่อภาพมีความบกพร่องโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในหน่วยงานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลง (ก) ภาพที่นำมาทดสอบ (ข) ภาพที่ได้จากการค้นคืนของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

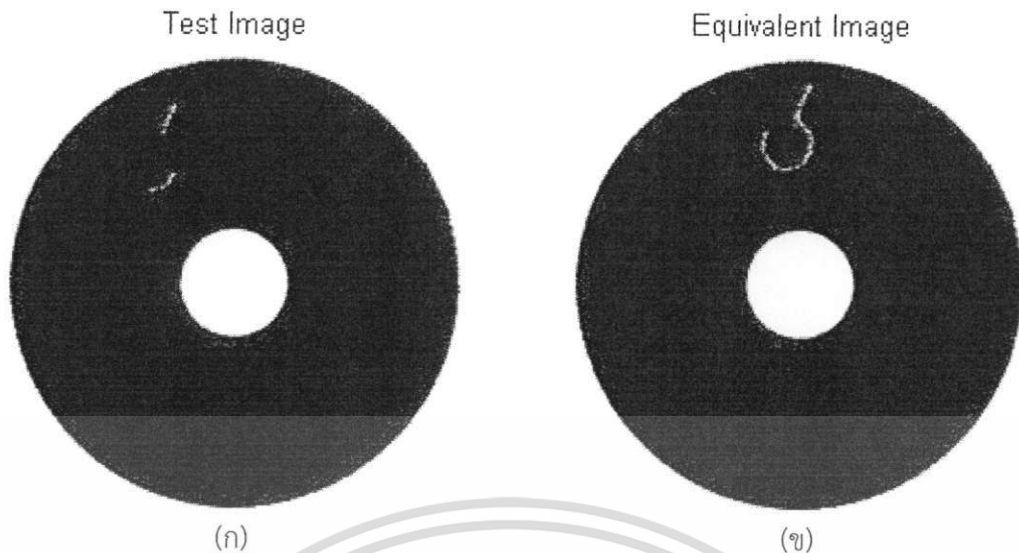
ตารางที่ 4.5 แสดงระยะห่างแบบยุคลิดของภาพที่นำมาทดสอบกับแต่ละภาพในคลังข้อมูลภาพ

ภาพในคลังข้อมูลภาพ	ระยะห่างแบบยุคลิด
ภาพที่ 1	5.8534 e+13
ภาพที่ 2	1.0188 e+14
ภาพที่ 3	3.5849 e+13
ภาพที่ 4	1.2743 e+12
ภาพที่ 5	3.8903 e+13
ภาพที่ 6	6.3996 e+13
ภาพที่ 7	1.4902 e+14
ภาพที่ 8	1.3376 e+14
ภาพที่ 9	1.5957 e+13
ภาพที่ 10	2.1095 e+13
ภาพที่ 11	7.3375 e+13
ภาพที่ 12	1.6072 e+14
ภาพที่ 13	1.8104 e+14
ภาพที่ 14	2.0811 e+14
ภาพที่ 15	2.0989 e+14
ภาพที่ 16	1.5975 e+14
ภาพที่ 17	8.7842 e+14
ภาพที่ 18	2.8780 e+13

ผลการทดลอง ภาพที่ใช้ในการทดลองนั้นเป็นภาพที่ 4 ในคลังข้อมูลภาพ แล้วนำมาลบบางส่วนของรอยขีดข่วนออก โดยไม่มีการย้ายตำแหน่งของรอยขีดข่วน ซึ่งจากค่าที่ได้ในตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่า ค่าระยะห่างแบบยุคลิดน้อยที่สุดก็ยังคงเป็นภาพที่ 4 แสดงให้เห็นว่าโปรแกรมยังสามารถทำงานได้ดีแม้ว่าเกิดความบกพร่องบางประการในภาพที่นำมาทดสอบ

4.5.3 การค้นคืนภาพเมื่อภาพมีความบกพร่องและมีการเลื่อนตำแหน่ง

ทดสอบการค้นคืนภาพเมื่อภาพรอยขีดข่วนมีความบกพร่องและมีการเลื่อนตำแหน่งกับภาพในคลังข้อมูลภาพ เพื่อแสดงภาพที่น่าจะเป็นของภาพที่บกพร่องและเลื่อนตำแหน่งนั้น ซึ่งจะได้อธิบายแสดง ภาพที่นำมาทดสอบและภาพที่ได้จากการค้นคืน ในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ผลการคั่นคืนภาพเมื่อภาพมีความบกพร่องและมีการเลื่อนตำแหน่งโดย

(ก) ภาพที่นำมาทดสอบ

(ข) ภาพที่ได้จากการคั่นคืน

ตารางที่ 4.6 แสดงระยะห่างแบบยุคลิดของภาพที่นำมาทดสอบกับแต่ละภาพในคลังข้อมูลภาพ

ภาพในคลังข้อมูลภาพ	ระยะห่างแบบยุคลิด
ภาพที่ 1	5.3914 e+13
ภาพที่ 2	9.9442 e+13
ภาพที่ 3	3.3558 e+13
ภาพที่ 4	2.8984 e+12
ภาพที่ 5	3.4699 e+13
ภาพที่ 6	5.9475 e+13
ภาพที่ 7	1.4291 e+14
ภาพที่ 8	1.2949 e+14
ภาพที่ 9	1.2916 e+13
ภาพที่ 10	1.9850 e+13
ภาพที่ 11	7.0435 e+13
ภาพที่ 12	1.5752 e+14
ภาพที่ 13	1.7542 e+14
ภาพที่ 14	2.0151 e+14
ภาพที่ 15	2.0254 e+14
ภาพที่ 16	1.5317 e+14
ภาพที่ 17	8.3872 e+13
ภาพที่ 18	2.6764 e+13

ผลการทดลอง ภาพที่ใช้ในการทดลองนั้นเป็นภาพที่ 4 ในคลังข้อมูลภาพ แล้วนำมาลบ
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรวิจัยงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
 บางส่วนของรอยขีดข่วนออก และมีการย้ายตำแหน่งของรอยขีดข่วนอีกด้วย ซึ่งจากค่าที่ได้ในตาราง
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่า ค่าระยะห่างแบบยุคลิดน้อยที่สุดก็ยังคงเป็นภาพที่ 4 หมายความว่าโปรแกรมยังสามารถทำงานได้ดีแม้ว่าเกิดความบกพร่องและมีการเลื่อนตำแหน่งของรอยขีดข่วนในภาพที่นำมาทดสอบ

4.5.4 การทดสอบความถูกต้องในการทำงานของโปรแกรม

เพื่อทดสอบ ความความถูกต้องของการประมวลผลภาพได้ด้วยวิธีโอเคนเฟสที่สร้างขึ้น จึงทำการทดสอบซ้ำๆ เพื่อหาความผิดพลาดของระบบ โดยจะได้ทำการทดสอบกับภาพพื้นผิวของรอยขีดข่วนที่มีความบกพร่อง ดังแสดงในรูปที่ 4.13 และได้แสดงค่าที่ได้จากการทดสอบ ในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ทดสอบการค้นคืนภาพด้วยวิธีโอเคนเฟสเพื่อดูความถูกต้องในการทำงานของโปรแกรม

ครั้งที่ทดสอบ	ความเหมือนกันของภาพ (% Matching)	ภาพในคลังข้อมูลภาพที่ค้นคืน	ระยะห่างแบบยุคลิด
1	99.7455	ภาพที่ 4	1.2743 e+12
2	99.7455	ภาพที่ 4	1.2743 e+12
3	99.7455	ภาพที่ 4	1.2743 e+12
4	99.7455	ภาพที่ 4	1.2743 e+12
5	99.7455	ภาพที่ 4	1.2743 e+12
6	99.7455	ภาพที่ 4	1.2743 e+12
7	99.7455	ภาพที่ 4	1.2743 e+12
8	99.7455	ภาพที่ 4	1.2743 e+12
9	99.7455	ภาพที่ 4	1.2743 e+12
10	99.7455	ภาพที่ 4	1.2743 e+12

จากตารางจะสรุปได้ว่าโปรแกรมสามารถทำงานได้ถูกต้อง โดยโปรแกรมสามารถค้นคืนภาพได้ตรงกันทุกครั้งในการทดสอบจำนวน 10 ครั้ง

4.6 ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (Graphical User Interface, GUI)

เพื่อให้สะดวกต่อการนำไปใช้งานและการจัดเรียงข้อมูลที่ต้องการแสดงผลมีความเป็นระเบียบมากขึ้น จึงนำส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ มาใช้ในส่วนการแสดงผล ดังแสดงส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ในรูปที่ 4.15-4.17 ซึ่งจะแสดงค่าต่างๆที่ได้จากการประมวลผล เช่น ภาพที่นำมาทดสอบ(Test Image), ภาพที่ได้จากการค้นคืนภาพ(Equivalent Image), ภาพนำมาทดสอบใกล้เคียงกับภาพใดในคลังข้อมูลภาพมากที่สุด(Matching with) และ เปอร์เซ็นความเหมือนกันของภาพที่นำมาทดสอบกับภาพที่ได้จากการค้นคืนภาพ(%Matching) เป็นต้น

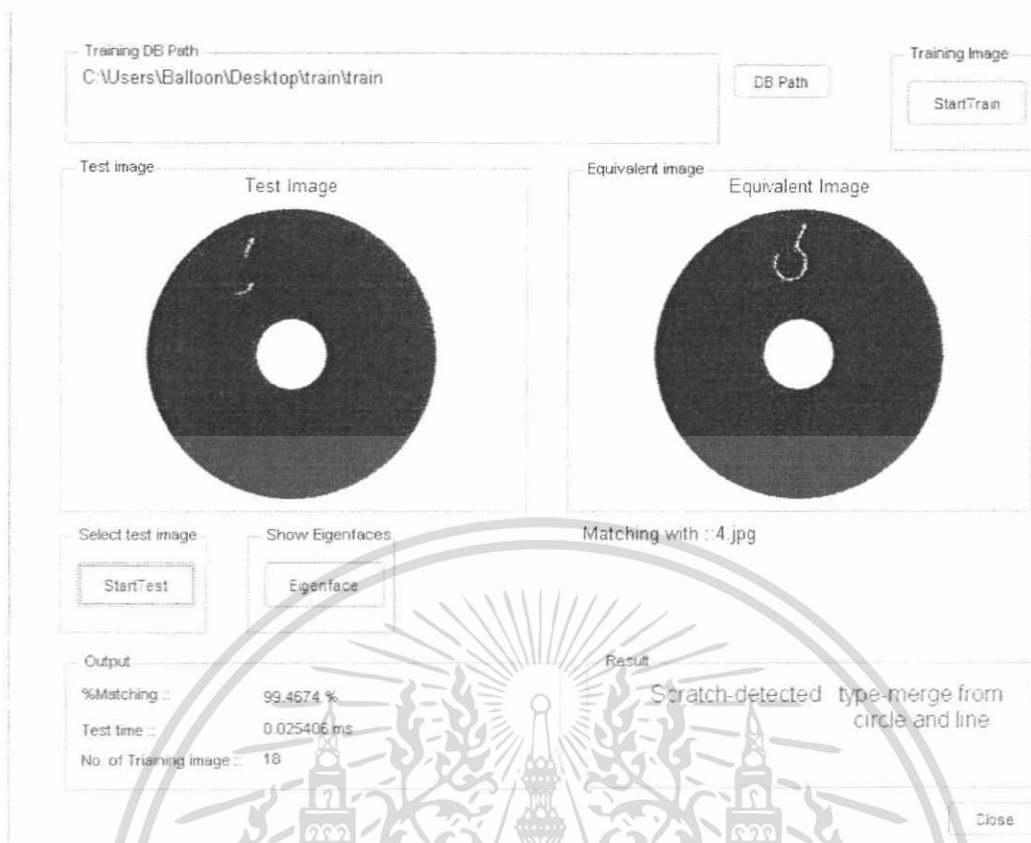


รูปที่ 4.15 การค้นคืนภาพโดยภาพที่นำมาทดสอบเป็นภาพเดียวกันกับภาพในคลังข้อมูลภาพ



รูปที่ 4.16 การค้นคืนภาพโดยภาพที่นำมาทดสอบเป็นภาพเดียวกันกับภาพในคลังข้อมูลภาพแต่มี

ความบกพร่องของรอยขีดข่วน
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่แต่งขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 การค้นคืนภาพโดยภาพที่นำมาทดสอบเป็นภาพเดียวกันกับภาพในคลังข้อมูลภาพแต่มีความบกพร่องของรอยขีดข่วนและมีการเลื่อนตัวหนังสือ

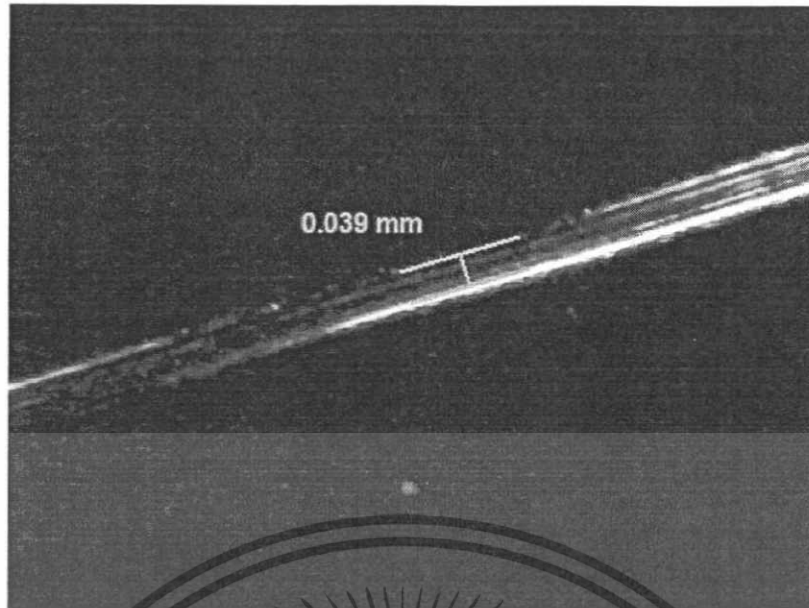
4.7 การวัดขนาดของรอยขีดข่วน

การวัดขนาดของรอยขีดข่วนในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบดิจิทัลที่อัตราขยายประมาณ 200 เท่า ดังแสดงการวัดขนาดของรอยขีดข่วนบนแผ่นเก็บข้อมูลที่ตำแหน่งต่างๆ ในรูปที่ 4.18-4.19



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

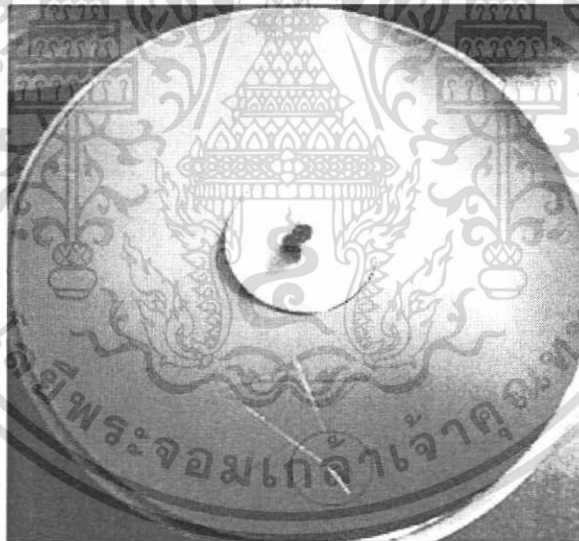


(ข)

รูปที่ 4.18 ตัวอย่างการวัดขนาดของรอยขีดข่วนโดย

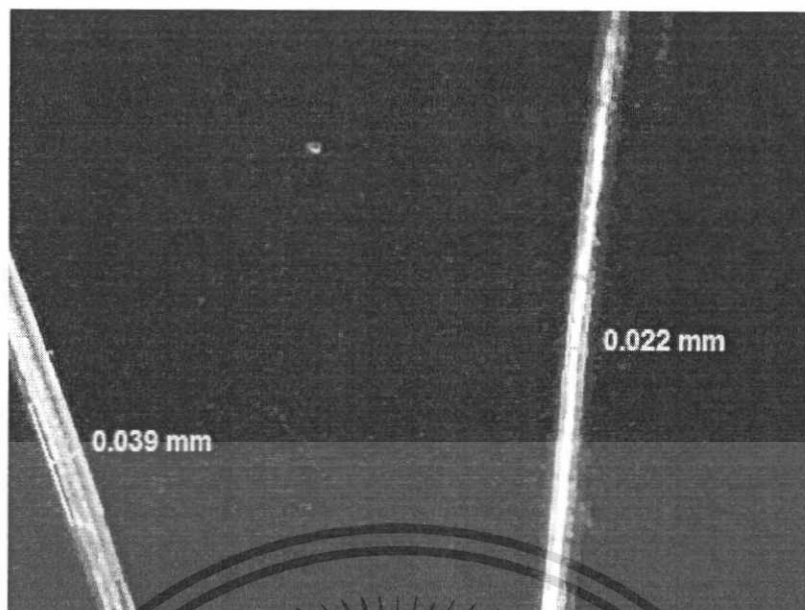
(ก) ภาพแผ่นเก็บข้อมูลที่นำมาวัดขนาดรอยขีดข่วน

(ข) ขนาดของรอยขีดข่วนที่วัดได้



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 4.19 ตัวอย่างการวัดขนาดของรอยขีดข่วนโดย

(ก) ภาพแผ่นเก็บข้อมูลที่นำมาวัดขนาดรอยขีดข่วน

(ข) ขนาดของรอยขีดข่วนที่วัดได้

จากการทดลองจะเห็นว่า ขนาดเล็กที่สุดที่เครื่องต้นแบบสามารถตรวจจับได้มีขนาดประมาณ 18 ไมโครเมตร

4.8 ภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลที่ได้รับจากภาคอุตสาหกรรม

แผ่นเก็บข้อมูลที่มีรอยขีดข่วนที่ได้จากภาคอุตสาหกรรมจะมีการระบุตำแหน่งที่เกิดรอยขีดข่วนด้วยปากกาเมจิก ดังแสดงตัวอย่างภาพจริงของแผ่นเก็บข้อมูลที่ถ่ายด้วยกล้องดิจิทัลกับภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลที่ได้จากการสแกนในรูปที่ 4.20



(ก)

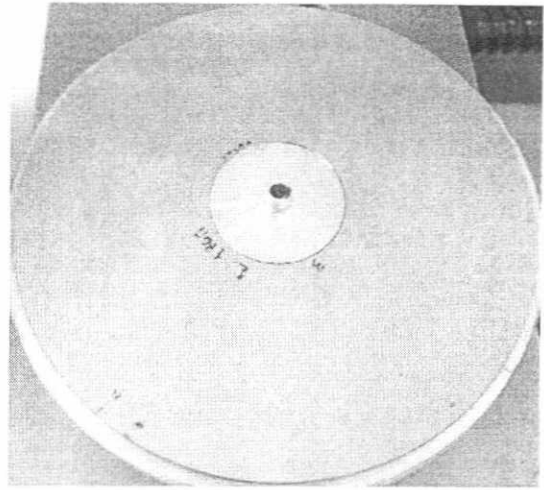


(ข)

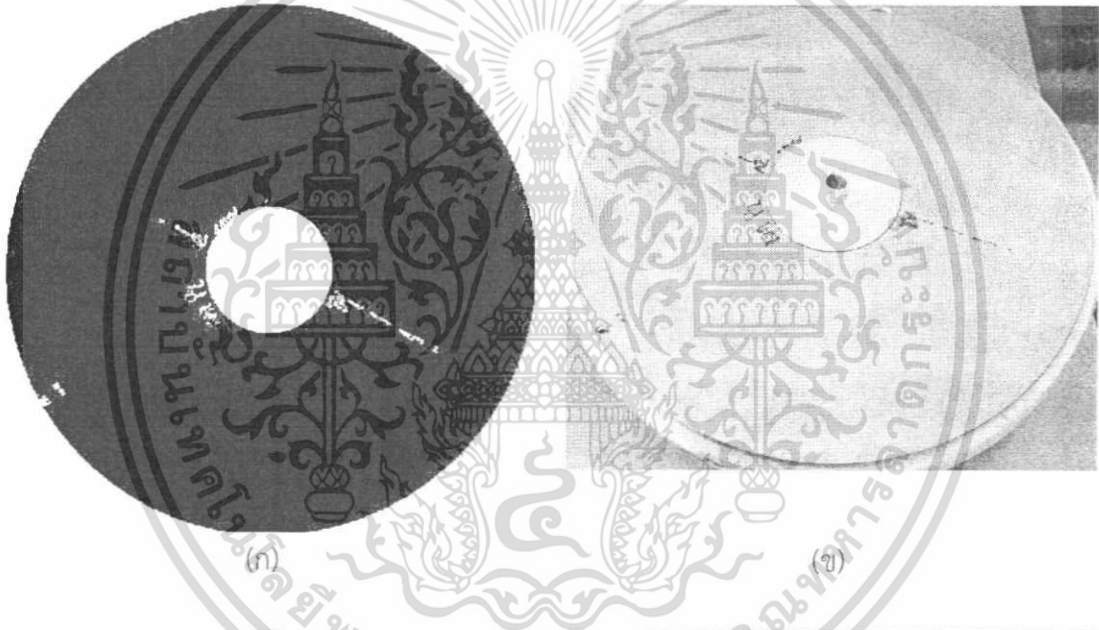
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



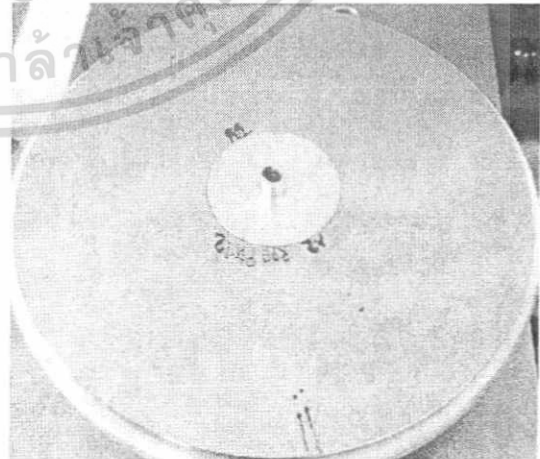
(ก)



(ข)

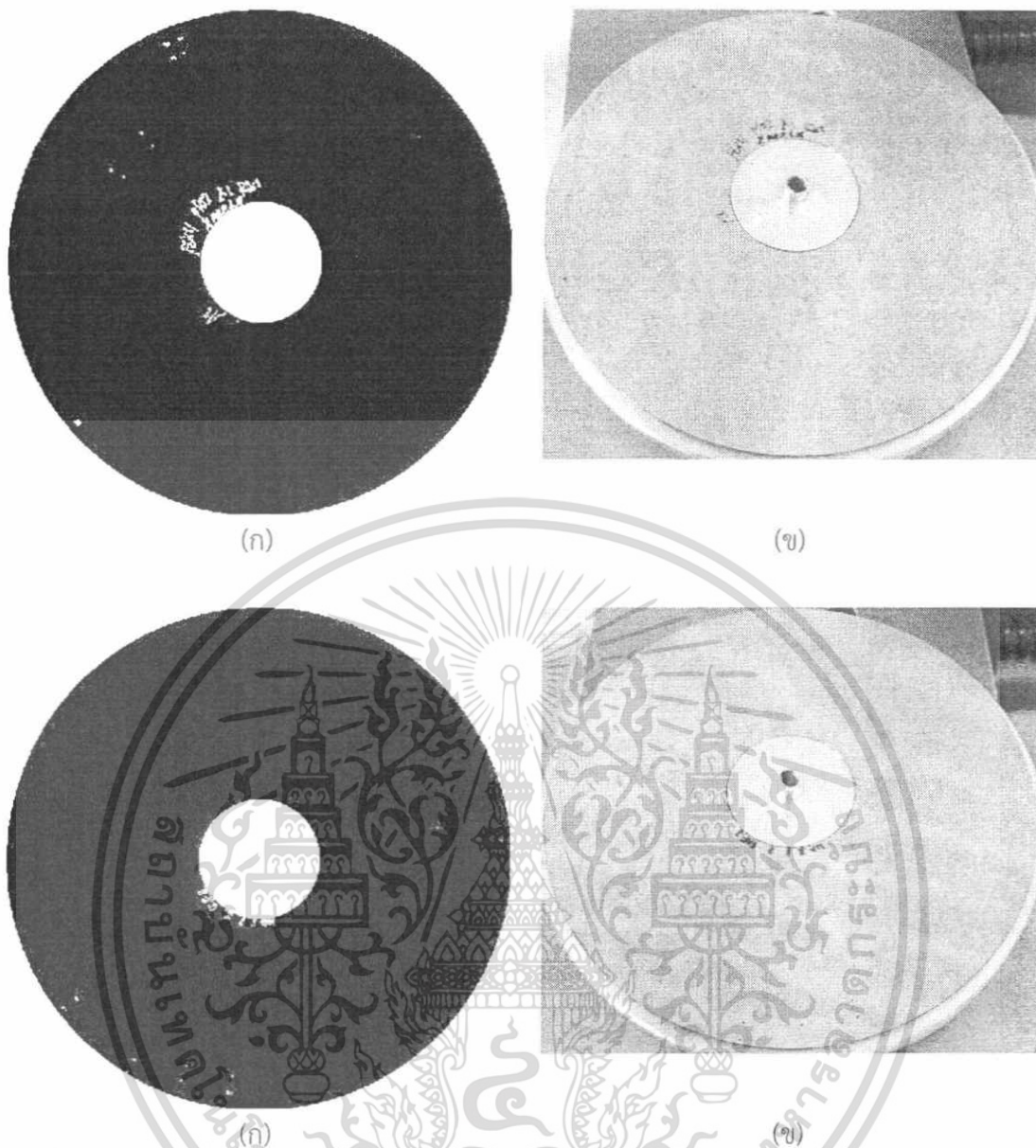


(ก)



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบภาพพื้นผิวแผ่นเก็บข้อมูล
 (ก) ภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมโดยทำการเก็บข้อมูลพื้นผิวที่ระยะ 7 เซนติเมตร
 (ข) ภาพจริงของแผ่นเก็บข้อมูลที่ถ่ายจากกล้องดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการสร้างภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูล เพื่อใช้ในการแสดงรูปร่างของรอยขีดข่วนที่เกิดขึ้นบนแผ่นเก็บข้อมูล โดยใช้หลักการสะท้อนและการกระเจิงของแสง โดยทำการเก็บข้อมูลและนำมาสร้างเป็นภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งจากการทดลองสามารถสรุปผลการทำงานของเครื่องได้ว่า การรบกวนของแสงภายนอกและการเปลี่ยนทิศทางในการยิงลำแสงเลเซอร์นั้นมีผลต่อการทำงานของเครื่องน้อยมาก แต่การเปลี่ยนระยะห่างของเลเซอร์เซ็นเซอร์กับแผ่นเก็บข้อมูลนั้นมีผลต่อการทำงานของเครื่องเป็นอย่างมาก เนื่องจากระยะโฟกัสของเลเซอร์เซ็นเซอร์นั้นอยู่ที่ 7 เซนติเมตร ในการเลื่อนให้ใกล้หรือไกลกว่าระยะโฟกัสนั้นทำให้ลำแสงเลเซอร์ที่ตกกระทบกับแผ่นเก็บข้อมูลมีขนาดใหญ่ขึ้นมีผลให้เครื่องทำงานได้แย่ง การเปรียบเทียบภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลที่มีรอยขีดข่วนที่ได้สร้างขึ้นกับภาพจริงของแผ่นเก็บข้อมูลที่ถ่ายด้วยกล้องดิจิทัล เพื่อเป็นการยืนยันว่าภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลที่สร้างขึ้นนั้นถูกต้อง การประมวลผลภาพด้วยวิธีโอเคนเพลสเพื่อค้นคืนภาพที่คล้ายกันจากคลังข้อมูลภาพ เพื่อช่วยให้การวินิจฉัยหาสาเหตุของรอยขีดข่วนที่เกิดขึ้น ทำได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น ซึ่งการประมวลผลด้วยวิธีโอเคนเพลสมีข้อดีที่สามารถทำงานได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นวิธีการที่มีการลดมิติและดึงคุณสมบัติสำคัญจากภาพ แต่การประมวลผลภาพด้วยวิธีนี้ก็ยังมีข้อจำกัดอยู่ที่ ภาพที่นำมาประมวลผลจะต้องมีขนาดเท่ากันทุกภาพ และในการค้นคืนภาพ ด้วยการหาระยะห่างยูคลิเดียน มีข้อควรระวังคือ ค่าที่คำนวณได้จะไม่สนใจความสัมพันธ์กัน อาจมีบางภาพที่ไม่เกี่ยวข้องกัน แต่มีความสัมพันธ์กันสูงได้ จึงได้เพิ่มความน่าเชื่อถือของการประมวลผลภาพที่ได้โดยการหาสหสัมพันธ์ไขว้ปรับปกติ โดยยังค่าที่ได้เข้าใกล้ 100 เปอร์เซ็นต์มากเท่าใด นั้นหมายความว่าภาพที่นำมาทดสอบกับภาพในคลังข้อมูลภาพนั้นมีความเหมือนกันมากเท่านั้น และจากการทดลองด้วยภาพที่เตรียมไว้จำนวน 30 ภาพ พบว่าโปรแกรมยังสามารถทำงานได้ดีไม่พบข้อผิดพลาดแต่อย่างใด การจากทดลองจะได้ว่าขนาดรอยขีดข่วนเล็กที่สุดที่เครื่องนี้ยังสามารถทำงานได้ดีมีค่าประมาณ 18 ไมโครเมตร โดยทำการวัดขนาดของรอยขีดข่วนด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบดิจิทัล

5.1 ข้อเสนอแนะ

5.1.1 ทดลองเปลี่ยนมอเตอร์ที่ใช้เป็นแบบอื่น ๆ ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อเพิ่มความเร็วในการหมุนและการเลื่อนแกน

5.1.2 ทดลองเปลี่ยนเลเซอร์เซ็นเซอร์ที่ให้เอาท์พุทเป็นอนาล็อกแทนแบบดิจิทัล เพื่อให้ได้รายละเอียดที่มากขึ้น เช่น ความลึกของรอยขีดข่วน เป็นต้น

5.1.3 ทดลองเปลี่ยนวิธีการสแกนพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูล โดยอาจสแกนเป็นรูปกันหอยเพื่อลดเวลาที่ใช้ในการหยุดเพื่อเลื่อนแกน เป็นต้น

5.2 ข้อบกพร่องและข้อจำกัด

5.2.1 รอยขีดข่วนเล็กที่สุดที่สามารถตรวจจับได้มียังอยู่ในระดับไมโครเมตร ซึ่งถือว่ายังมีขนาดเล็กอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 การค้นคืนภาพด้วยวิธีโอเคนเฟสจะทำงานได้ไม่ดี เมื่อมีการหมุนของภาพรอยขีดข่วน

5.3 แนวการพัฒนางานวิจัย (Future work)

5.3.1 ใช้การแปลงโคไซน์ไม่ต่อเนื่อง(Discrete cosine transform) ในการแก้ปัญหาการหมุนของภาพรอยขีดข่วนที่เกิดขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- W. Johannes , B. Christian , E. Heinz-Ludwig , E. Dirk, H. Johanna, R. Hologer , S. Christoph, W. Michael and W. Andreas : “Applied surface analysis in magnetic storage technology”, Applied surface Science 2001, Page(s) : 167-180.
- T. Ishiguro, H. Nakajima : "Optical system for detecting surface defects, a disk tester and a disk method", United States Patent, US 6330059 B1, 11 Dec 2001.
- Y. Uji, F. Harako, M. Shimada, R.Miura : "Defect inspection method of magnetic disk, device therefore, and magnetic disk drive device", United States Patent, US 7636217 B2, 22 Dec 2009.
- Y.Todtong, N. Suwannata, P.Rakpongsiri, D. Sompongse and A. Siritaratiwat : “Observation of scratch on magnetic media by using thermal infrared camera”, APMRC 2009.
- M. Turk and A. Pentland : “Eigenfaces for recognition”, Journal of cognitive neuroscience, 1991, vol.3, No.1, Page(s) : 71-86.
- M. Turk and A. Pentland : “Face recognition using eigenfaces”, Proc. IEEE Conf. on computer vision and pattern recognition, 1991, Page(s) : 586-591.
- A. Pentland, B. Moghaddom, T. Starner : “View-based and modular eigenfaces for face recognition”, Proc. of IEEE Conf. on computer vision and pattern recognition (CVPR'94), 1994.
- P. Belhumeur, J. Hespanha and D. Kriegman : “Eigenfaces vs. fisherfaces: recognition using class specific linear projection”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, Page(s) : 711-720.
- W. Zhao, R. Chellappa, P.J. Phillips and A. Rosenfeld : “Face recognition”, A literature survey, ACM Computing surveys, 2003, Page(s) : 399-458.
- S. Tomokazu, K. Teruo and T. Yoshi : "Defect inspection system and method for recording media", US 2007/0057666 A1, United State Patent 2007.
- P. Panpho, W. Panpaisarn , J. Koseeyaporn and P. Wardkein, “Hard disk media scratch detection by laser scanning”, DST-con 2010, July 30- August1, 2010.

ภาคผนวก



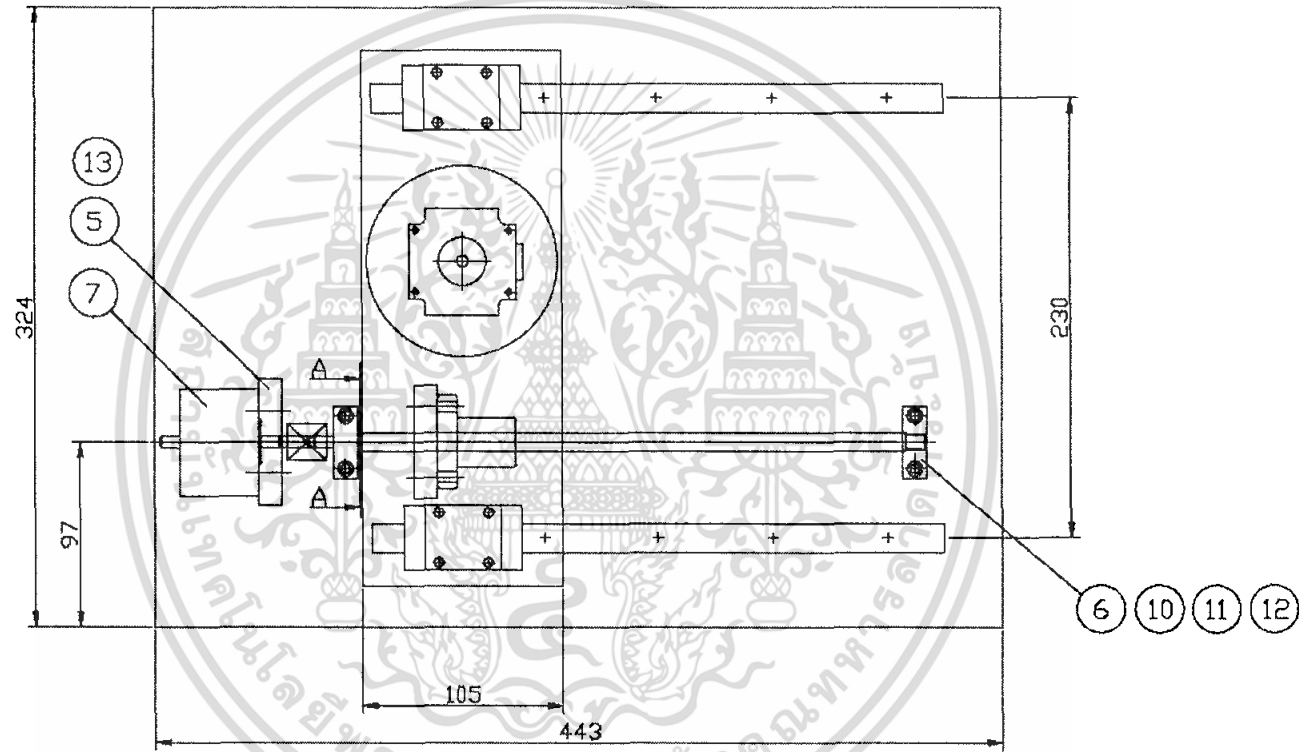
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

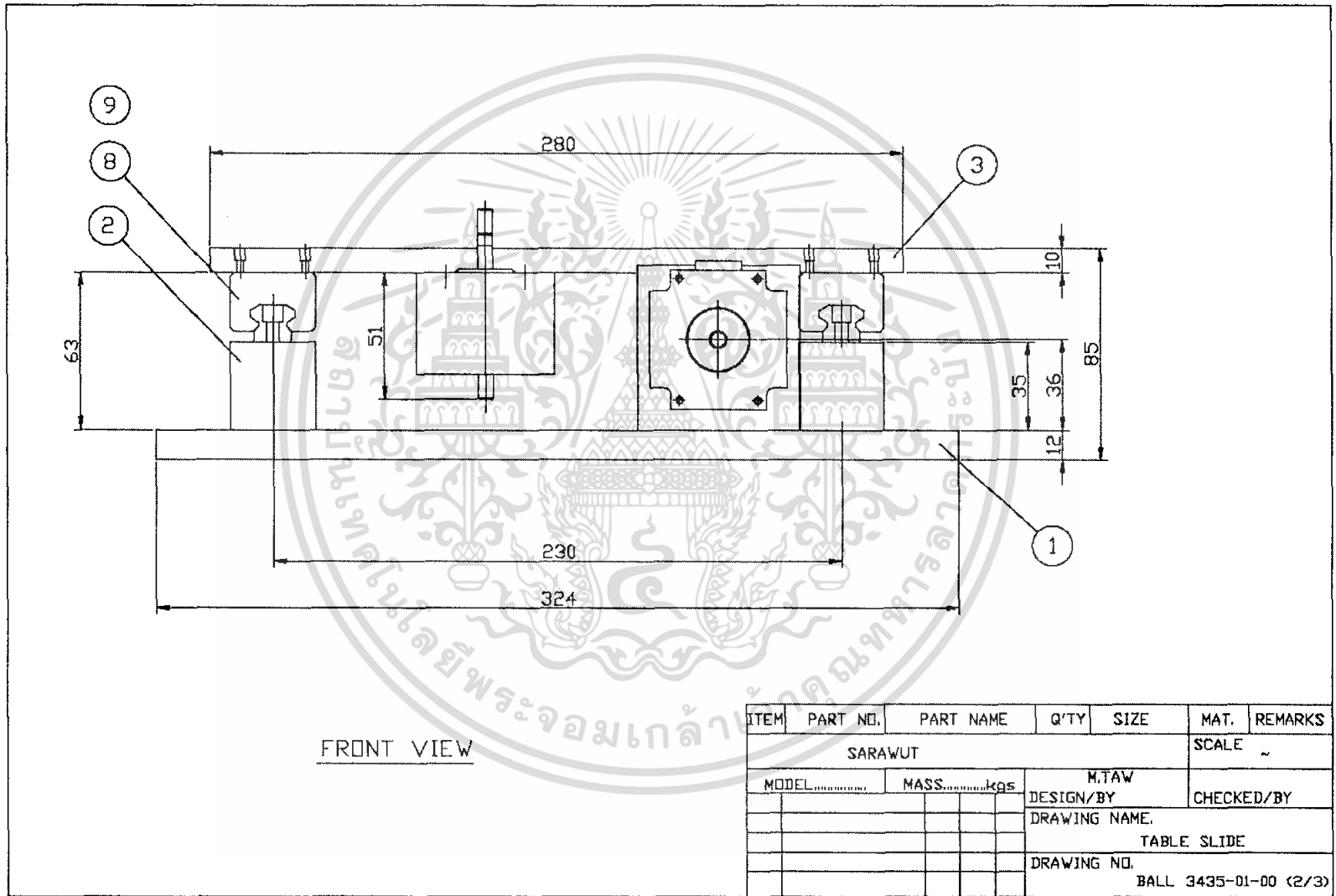
ระบบขับเคลื่อนที่ทำการออกแบบ

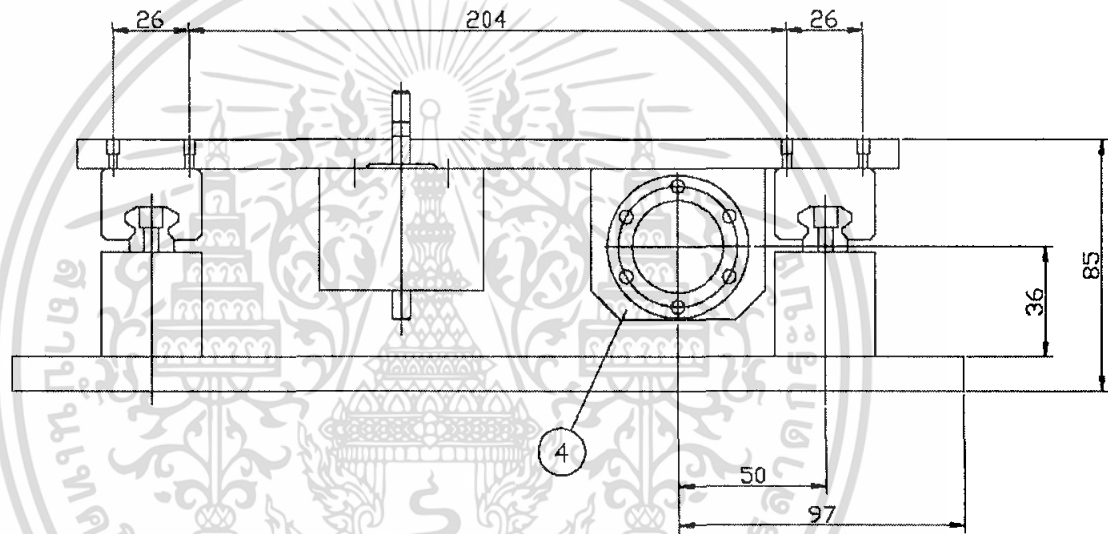
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



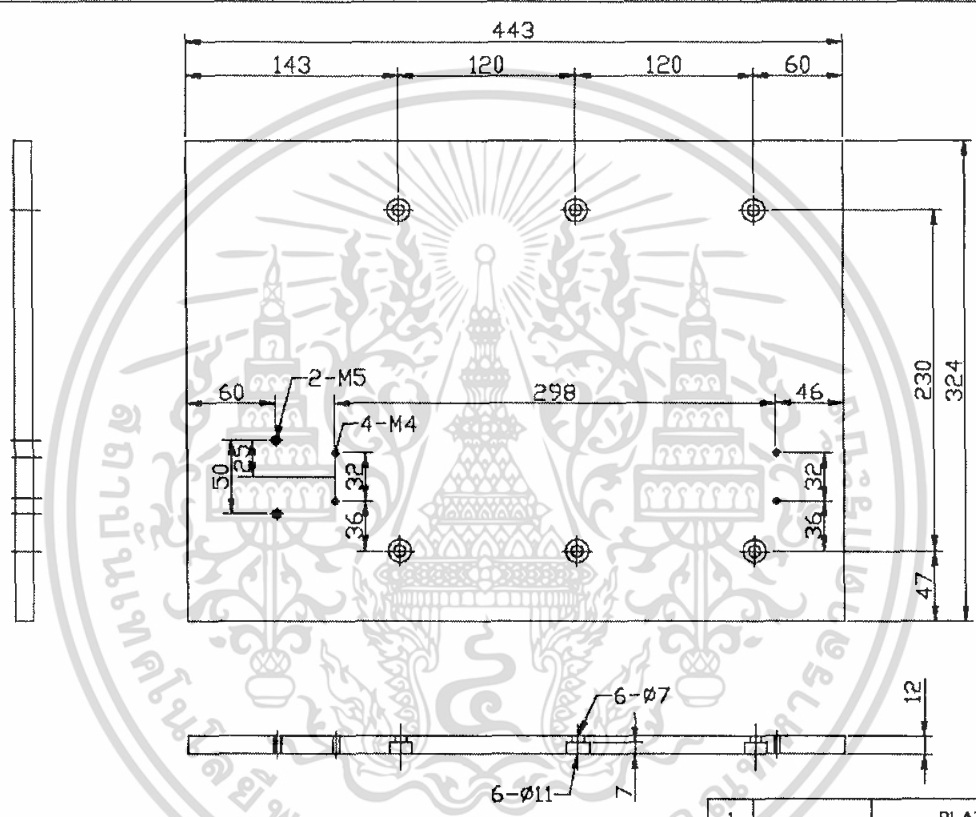
TOP VIEW

ITEM	PART NO.	PART NAME	Q'TY	SIZE	MAT.	REMARKS
SARAWUT					SCALE	
MODEL	MASS		M.TAW		DESIGN/BY	
					CHECKED/BY	
					DRAWING NAME.	
					TABLE SLIDE	
					DRAWING NO.	
					BALL 3435-01-00 (1/3)	

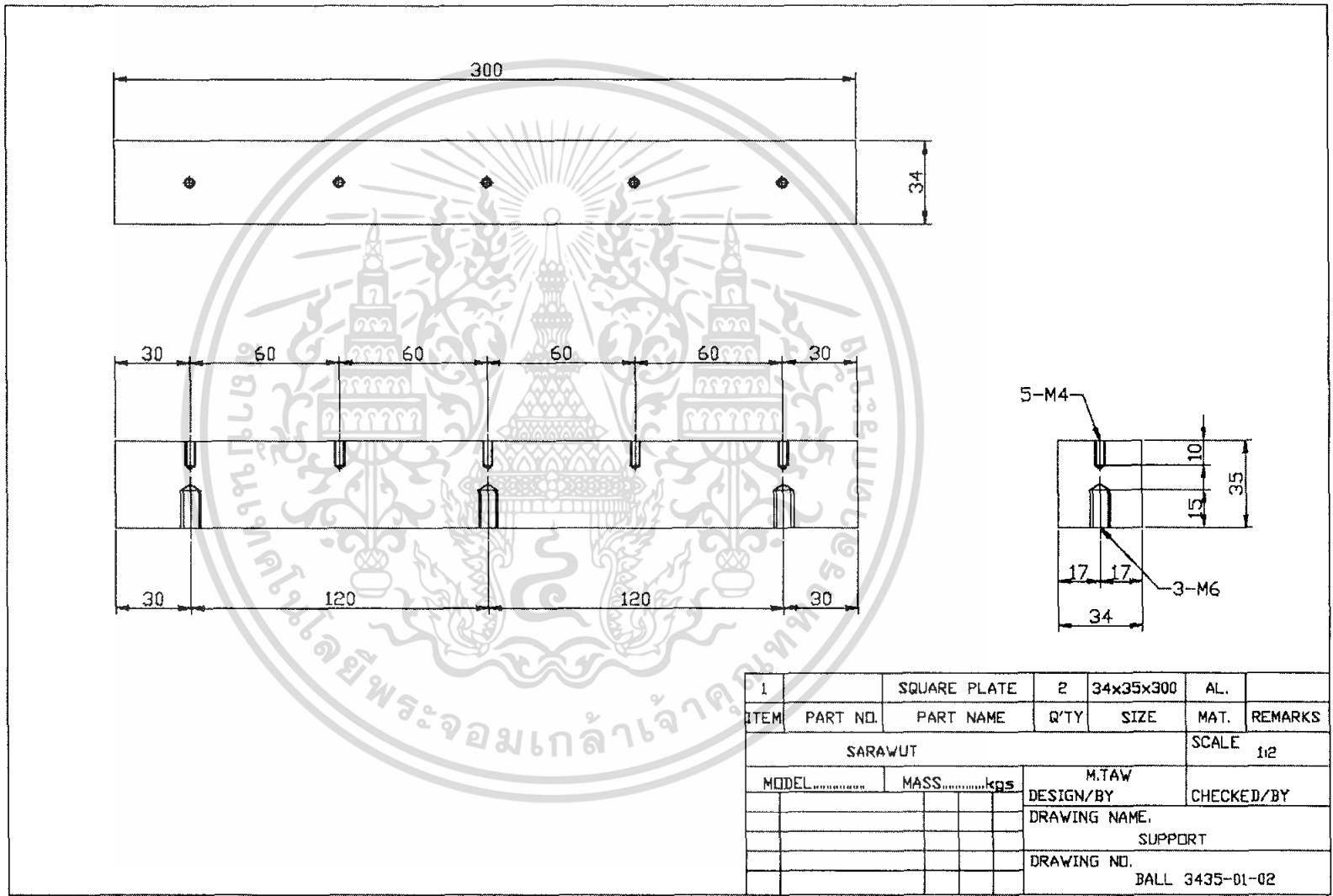




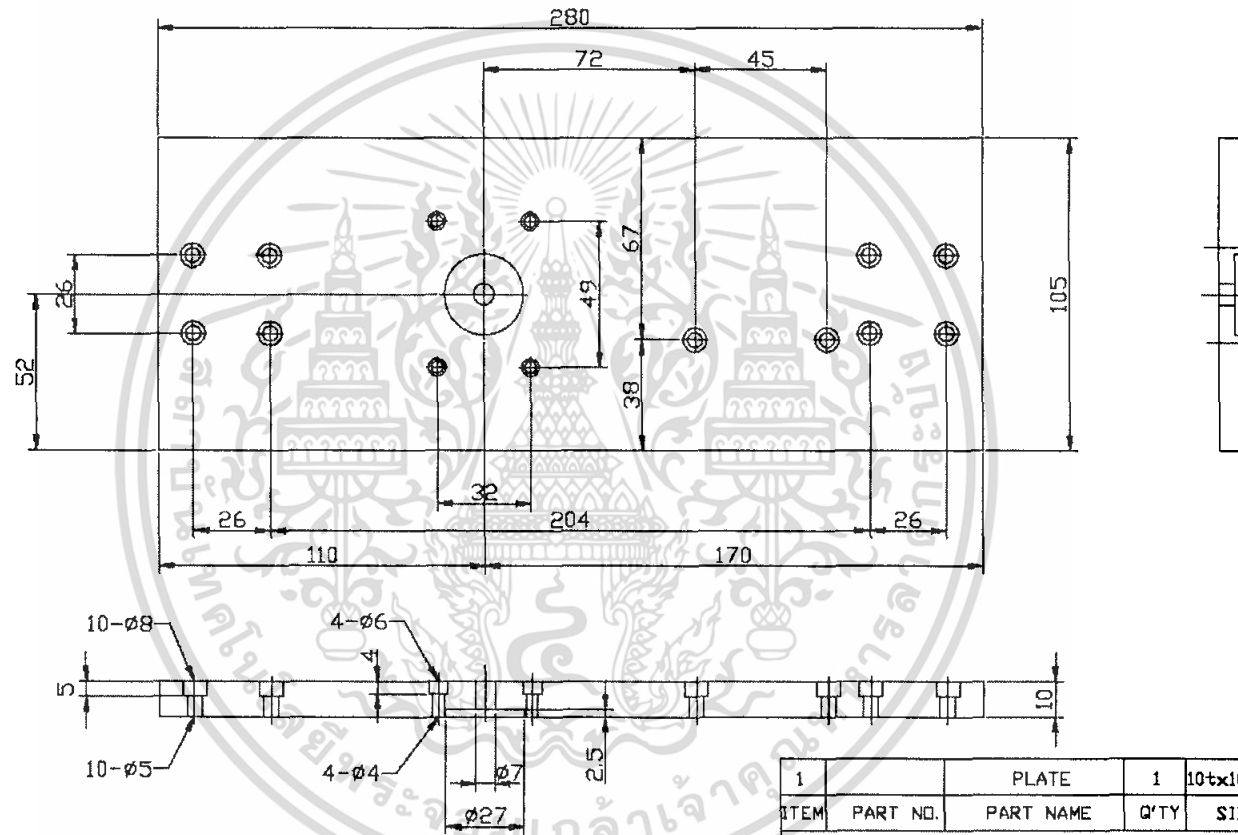
ITEM	PART NO.	PART NAME	Q'TY	SIZE	MAT.	REMARKS
SARAWUT						SCALE ~
MODEL.....	MASS.....kgs	M.TAW		DESIGN/BY	CHECKED/BY	
		DRAWING NAME.		TABLE SLIDE		
		DRAWING NO.		BALL 3435-01-00 (3/3)		



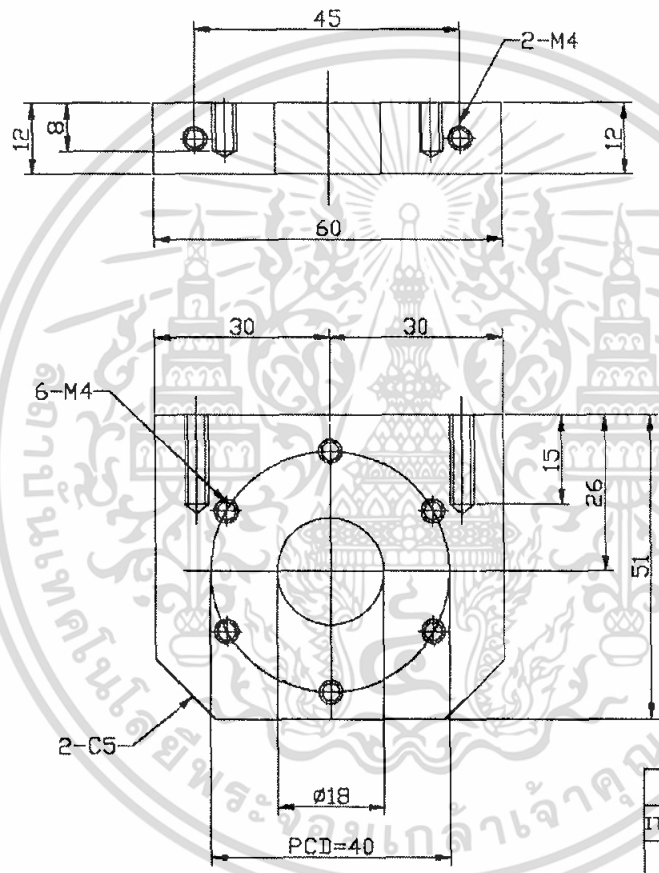
1		PLATE	1	12x324x443	AL.	
ITEM	PART NO.	PART NAME	Q'TY	SIZE	MAT.	REMARKS
SARAWUT					SCALE ~	
MODEL	MASS		M.TAW		DESIGN/BY	
			DRAWING NAME.		CHECKED/BY	
					BASE	
					DRAWING NO.	
					BALL 3435-01-01	



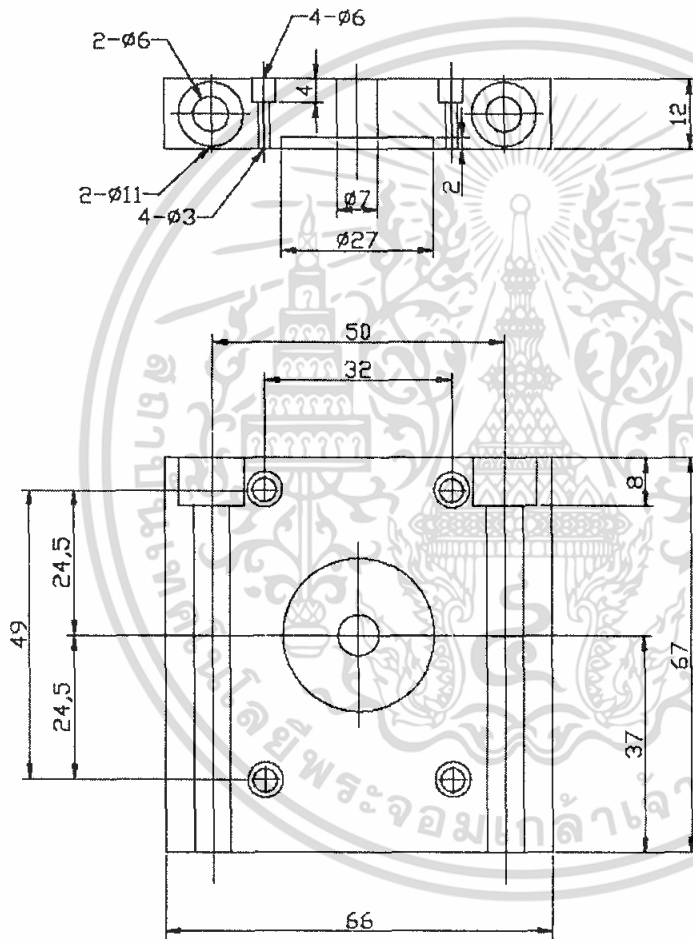
1		SQUARE PLATE	2	34x35x300	AL.	
ITEM	PART NO.	PART NAME	Q'TY	SIZE	MAT.	REMARKS
SARAWUT					SCALE 1:2	
MODEL	MASS		M.TAW		DESIGN/BY	
	kgs		DESIGN/BY		CHECKED/BY	
			DRAWING NAME.		SUPPORT	
			DRAWING NO.		BALL 3435-01-02	



1		PLATE	1	10tx105x280	AL.	
ITEM	PART NO.	PART NAME	Q'TY	SIZE	MAT.	REMARKS
SARAWUT						SCALE ~
MODEL.....		MASS.....KGS		M.TAW		
DESIGN/BY					CHECKED/BY	
DRAWING NAME.						
TABLE PLATE						
DRAWING NO.						
BALL 3435-01-03						

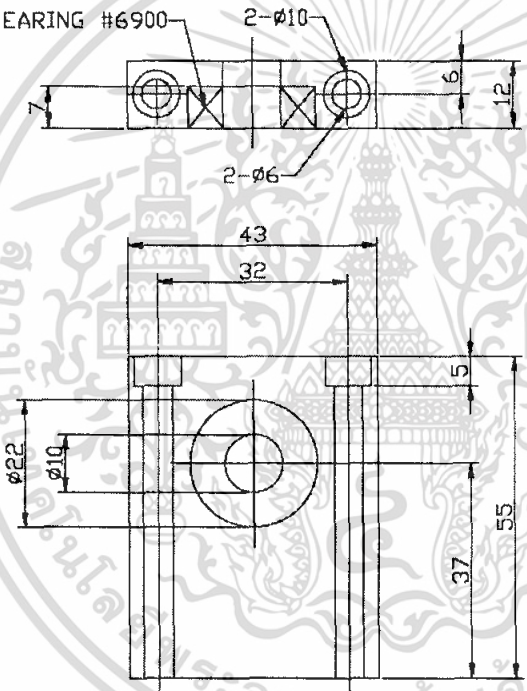


1		PLATE	1	12tx51x60	AL.	
ITEM	PART NO.	PART NAME	Q'TY	SIZE	MAT.	REMARKS
SARAWUT					SCALE 1:1	
MODEL.....		MASS.....kgs		M.TAW		
					DESIGN/ BY	
					DRAWING NAME.	
					BRACKET	
					DRAWING NO.	
					BALL 3435-01-04	



ITEM	PART NO.	PART NAME	Q'TY	SIZE	MAT.	REMARKS
1		PLATE	1	12x66x67	AL.	
SARAWUT					SCALE 1:1	
MODEL.....	MASS.....kgs		M.TAW		CHECKED/BY	
			DESIGN/BY		BRKT.MOTOR	
			DRAWING NAME.		DRAWING NO.	
			DRAWING NO.		BALL 3435-01-05	

BALL BEARING #6900



1		PLATE	2	12x43x55	AL	REMARKS
ITEM	PART NO.	PART NAME	Q'TY	SIZE	MAT.	REMARKS
SARAWUT					SCALE	1:1
MODEL.....		MASS.....kgs		M.TAW		CHECKED/BY
				DESIGN/BY		DRAWING NAME.
						SUPPORT BALL SCREW
				DRAWING NO.		BALL 3435-01-06



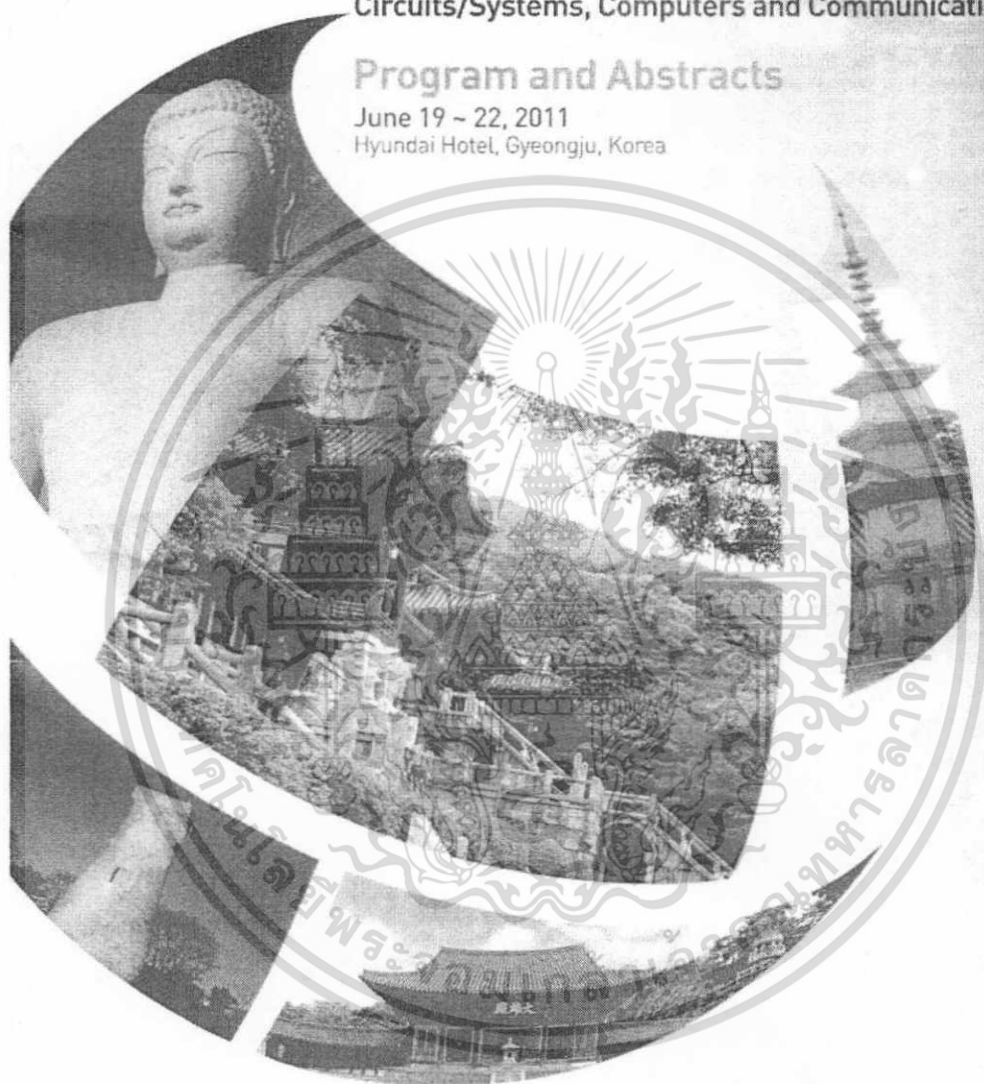
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ITC-CSCC 2011

The 26th International Technical Conference on
Circuits/Systems, Computers and Communications

Program and Abstracts

June 19 ~ 22, 2011
Hyundai Hotel, Gyeongju, Korea



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. A Design of User Hearing Circumstance-based Audio Recommendation Service

Jong-Jin Jung, Seok-Pil Lee (Korea Electronics Technology Institute, Korea)

In this study, "intelligent real-sound presentation technology" that support high quality and realistic audio and the "core technologies" that are composing of this will be introduced. For recommending music based on user's circumstance, user emotion, user's activity, user's hearing environment and other information is defined and utilized. User input their own circumstance information by user interface device, and user get the recommendation lists based on circumstance information. Human emotion is simply categorized into 12 cases of feelings for utilizing recommendation, and 3 factor of circumstance (temperature, humidity, luminance) is used, at last 3 information (user's activity, tune zone, weather) is used. In the end, based on these all information, user can get a recommendation music list that user are likeable hearing under user's circumstance.

4. Developing Learning Materials for the Embedded System Architecture of the Software Design

Ryosuke Hiwatashi, Yoshihiro Yasutake, Koichiro Tanaka (Kyushu Sangyo University, Japan)

This time, we added lectures to control the hardware with software design. This wants to let students understand difference between hardware control methods and software control methods. To achieve the goal, we incorporated lectures to learn the software control methods. The hardware control requires primarily a schematic, Karnaugh diagram, truth table and state diagram. The software control requires primarily wiring diagrams, flowcharts and programs. We prepare a single theme which would be designed both hardware and software control methods. I think so students can understand and compare the differences between the control methods. This time we have created teaching materials actually, we lecture and make a valuation.

5. Valid Japanese Syllabaries for User Authentication in Keystroke Dynamics

Yuta Shiomi, Yuji Kinpara, Yoshihiro Kaneko (Gifu University, Japan)

Keystroke dynamics-based user authentication is recognized as one of potentially valid biometrics. For this research, we asked 51 subjects of university student to input predefined text in order to get keystroke data, from which we take two consecutive keystrokes, termed digraph. In that text, 31 digraphs appear more than once, with which have already achieved authentication error rate EER less than 1%. In this paper, even if we restrict 8 digraphs on Japanese syllabaries, we can achieve EER results around 8%, which are not bad comparing with other well-known measures using 31 digraphs all. This restricted number of digraph based result is expected to password enhancement.

6. Cross-diagonal, Bit-parallel Implementation of Levenshtein Edit Distance

Hiroyuki Funaya, Kazushi Ikeda (Nara Institute of Science and Technology, Japan)

A cross-diagonal, bit-parallel implementation of Levenshtein edit distance is proposed. The algorithm runs theoretically in $O(\max(n,m))$ under an idealized condition, where n and m are the lengths of the query sequences, and practically in $O(mnc/p)$ where c is the cost for parallelization and p is the number of processors. The parallelization cost is so large compared to its benefit that the algorithm is only suitable for larger number of query sets, which is shown by an experiment.

7. A Block-based Two Bit Transform Using Second Derivatives for Anti-shaking

Sangwoo Ahn, Jongwha Chong (Hanyang University, Korea)

In this paper, a block-based two bit transform using second derivatives which is used for anti-shaking is proposed. Low computational complexity and accurate motion estimation are demanded to anti-shaking for mobile phone. Therefore two stages which consist of the predicted motion vector (PMV), the two-bit transform using second derivatives (2BT-SD) are performed stage-by-stage. The two stages are early terminated up to result of stage. So the trade-off between computational complexity and accuracy is mediated by the early termination which is determined by characteristics of frames. To evaluate the proposed algorithm, peak signal-to-noise ratio of reconstructed frames and current frames is measured. And the proportions of each stage are used to evaluate computational complexity.

8. The Media Surface Image Construction with Technique of Reflecting of Laser Beam

S. Saetung (College of Data Storage Technology Innovations, Thailand), P. Wardkein, J. Koseeyaporn (King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand)

This article presents the image of scratch on media construction by emitting the laser beam toward the media mounted on motor. The motor rotates and moves the media in order to obtain the complete scanning on the whole media surface. The reflected laser beam is detected by differentiation method that detects the intensity of the laser beam. This data was saved and brought to construct media surface to display the shape of the scratches on media for analyzing the causes of the scratches.

9. An Efficient LED Lighting Control Algorithm to Reduce Power Consumption

Chi-Gook In, Chi-Ho Lim (Semyung University, Korea)

In this paper, we propose an efficient LED lighting control algorithm. Such algorithm reduces power consumption and increases LED life-cycle and heat efficiency of LED lighting module. This paper proposed that algorithm is creating pattern by using a magic square on the LED Matrix. Such pattern can rotate and invert performs techniques cross

The Media Surface Image Construction with Technique of Reflecting of Laser Beam

S. Saetung¹, P. Wardkein² and J. Koseeyaporn²

¹Data Storage Technology, College of Data Storage Technology Innovations,

²Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering,

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,

Ladkrabang, Bangkok, Thailand 10520

E-mail : s2690302@kmitl.ac.th

Abstract

This article presents the image of scratch on media construction by emitting the laser beam toward the media mounted on motor. The motor rotates and moves the media in order to obtain the complete scanning on the whole media surface. The reflected laser beam is detected by differentiation method that detects the intensity of the laser beam. This data was saved and brought to construct media surface to display the shape of the scratches on media for analyzing the causes of the scratches.

Keywords: scratch, media, laser, image construction

1. Introduction

Hard disk drive consists of several parts; one of them is the media where the data is stored. The magnetic media is composed of multiple layers such as substrate, NiP layer, magnetic layer and carbon overcoat layer, which have the ability to reflect light. According to the theory of light reflection, the light reflects well on the polished and smooth surface. On the other hand, the light reflected from the less shiny or uneven surface creates less intensity of the light reflection. The less intensity of the light reflection is caused by the scattering of the light. According to these principles, the scratch media image construction by using optical laser reflection scanning techniques is proposed. In the past, there were many techniques used to detect scratches on the magnetic media, such as scanning electron microscopy (SEM), atomic force microscopy (AFM), optical system and defective inspection method and infrared cameras, [1-6] etc. But these techniques required complicated equipments, the price was too high and the resolution was excessive.

Recently, the technique to detect scratch on media by using reflection of the laser beam was proposed in [7]. This technique provided only a primary detection of the scratch on media however size of the scratch had not yet been defined. In addition, the scanning process to cover the whole surface of media must be accomplished in manual. In this paper, the proposed work has been developed from [7]. An addition motor is combined for whole surface scanning purpose. Moreover, the received signal which is the optical laser intensity is transmitted to be stored in computer. The stored data is finally retrieved to generate the image of scratches on media

2. Principles and Theories.

The characteristic of the laser is different from other lights; it has higher intensity, more certain direction, less divergence. It generates a single frequency which is convenient for calculation and procession. It also retains all the common characteristic of the light such as the reflection, the refraction, etc. According to the light reflection theory, the reflection of the light on the smooth and glossy surface has higher intensity than the reflection on the rough surface. As shown in Figure 1(a), the intensity of the light from the smooth, glossy surface is almost the same as the intensity of the original one. This is because each particle of the beam is reflected in the same direction. On the other hand, as shown in Figure 1(b), the intensity of the light reflected from the rough surface is reduced since the particles of the beam are reflected in the different directions depending on the texture of the surface. This is also known as a "diffuse reflection".

Another law of the light reflection is that, if the reflecting surface is smooth and transparent, then the angle of the incidence will be equal to the angle of the reflection (see (1) and Figure 2.) In addition, the ray of the incidence, the ray of the reflection, and the normal

line must be in the same plane. The angle of the incidence is the angle between the incidence ray and the normal line. Similarly, the angle of the reflected ray is the angle between the reflected ray and the normal line.

$$\Theta_i = \Theta_r \quad (1)$$

In the proposed work, the system can be depicted in Figure 3. The optical laser emitted the beam toward the rotating media, and another set of motor controlled the forward and backward movement in the media scanning process. The reflected optical laser beam was received by the receiver. In the scratched area, the optical laser intensity was down because of the scattering of light. In this work, this signal was sent to the control part, and then to the computer for further process. The device was consisted of four main parts; the motor for rotating the media (M1), the motor for moving the media forward and backward (M2), optical laser systems to detect scratches, control parts and computer.

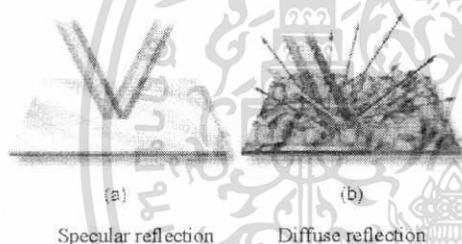


Figure 1. Illustration of light reflection

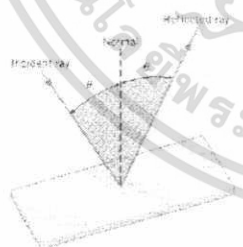


Figure 2. Diagram of specular reflection

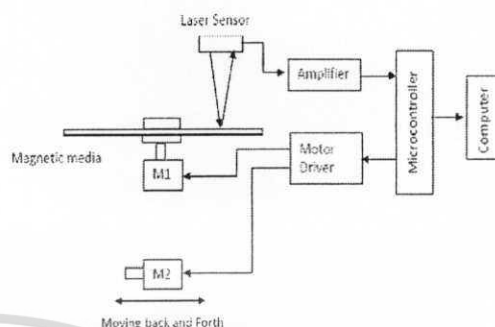


Figure 3. Block diagram of the proposed system

3. Experiment Setup

In this work, the laser sensor brand “Keyence” model LV-H37, amplifier model LV-21A are employed where some parts of their technical data are shown in Table I and II. The magnetic media are 3.5-inch and maximum rotating speed is about 1.57 rad/s which is driven by stepping motor is installed. The scratch on media is made where the size of the scratch is about 60.73 μm , measured by the smart scope. The distance of the installed laser head is about 70 mm from the media.

Table I. Specific technical data for LV-H37

Power	3.0 mW max (FDA)
Wavelength	650 nm (Visible red laser)
Beam spot shape	Approx. $\varnothing 50 \mu\text{m}$ (distance 70 mm)

Table II. Specific technical data for LV-21A

Response time	Fine 80 μs
Detection modes	Differentiation mode
Control output	NPN open-collector, max. 100 mA

4. System Description

Figure 4 shows the block diagram of media scratch detector where Figure 5 and 6 show the flow charts of the microcontrollers MC1 and MC2. Both controllers are the microcontroller no. 18F452 with 20 MHz crystal. The working principle of the laser beam is that, the laser head will emit the laser beam toward the media, and the reflected laser beam will be received by the laser receiver. This signal will be processed by the

amplifier of the laser sensor set in the differential mode to detect the changes of the light intensity in real time.

The output signal from the amplifier is in the form of ON and OFF signal, and this signal will be sent to MC1. If the received signal is ON, it means that there is a scratch on a certain position on the media. Contrarily, if the received signal is OFF, it means that there is no scratch on a certain position. After that the MC1 will transform the OFF signal to "0" and the ON signal to "1" and will send this data to be stored in the computer via the serial port. In this study, the data was collected 330 cycles. The MC2 is used to control the base motor (M2) and the spindle motor (M1) to control both the speed and the position. Figure 7, shows the execution of the MATLAB program used to receive the data from MC1. The data will be stored as the data.txt file in the computer via the serial port. By using the received signal, the header in MC1 will inform the computer when to start and when to stop collecting the data. MC1 will send the computer the header Start Of Line "SOL" and End Of Line "EOL" to start and to stop collecting the data, respectively. The process will be repeated for 330 cycles. For Figure 8, the operation of the MATLAB program used for generating an image of scratches on the media is given. The stored data will be read row by row in order to search for a "1" which indicates the location of the scratches in each row.

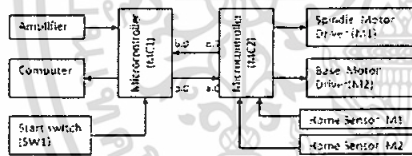


Figure 4. Block diagram of control part.

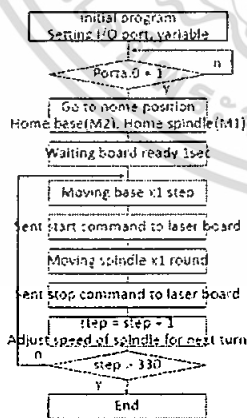


Figure 5. Flow chart diagram of MC1

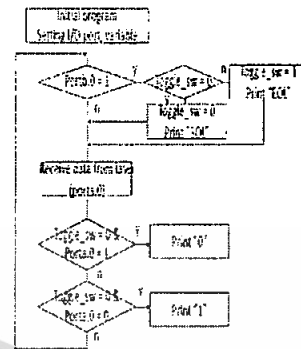


Figure 6. Flow chart diagram of MC2

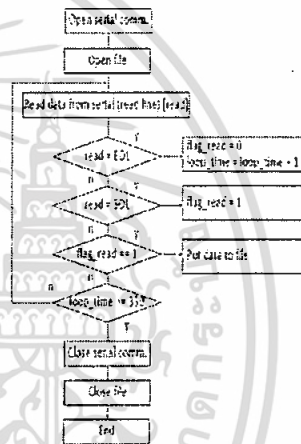


Figure 7. Flow chart for receiving data from MC1.

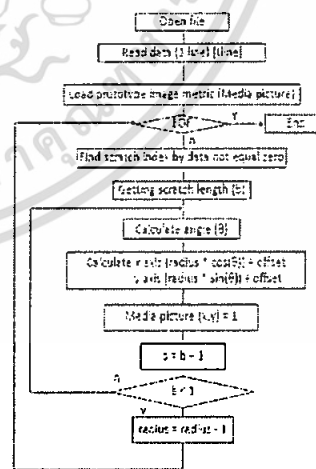


Figure 8. Flow chart for converting data to image

5. Result and Discussion

From experimental setup and system description given in the previous sections, the obtained image is illustrated in Figure 9. It is found that shape and size of the scratches shown on the image are the same as made on the real media as depicted in Figure 10. This image can be used to make decision that whether or not the media is suitable to be assembled to a hard disk. In addition, the cause of scratches on the media can be further analyzed by using this image. The result of the proposed work can be applied in hard disk drive manufacturing.



Figure 9. Image of scratches on magnetic media obtained from the proposed system

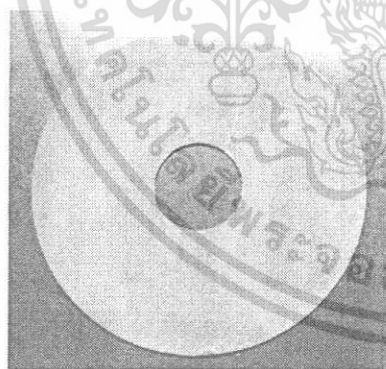


Figure 10. Real media with scratches used in experiment.

6. Conclusion

In the past, in order to collect the shape of the scratches that occur on a media must use highly sophisticated equipment as well as the resolution more

than necessary. Therefore, it may not be suitable for monitoring the media before assembly. Moreover, due to nature of the surface of media (smooth and glossy), it is difficult to take image of scratches. In this paper, the system for generating an image of scratches on a media is proposed. With smooth and glossy properties of a media, the scratches are detected by using laser beam. By performing row by row scanning on the media, the reflected intensity signal is stored as data in the computer. The stored data representing different intensity of reflected light is employed to create the image of the scratches on the media. With this image, it is useful in the hard disk assembling process. Also, the cause of scratches can be further investigated from the image. In future work, smallest size of the scratches that can be detected by this system will be studied. The procedure for automatic making decision whether the media can or cannot be assembled to a hard disk will also be given.

Acknowledgement

This work is financially supported by College of Data Storage Technology Innovations (DSTAR), Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), and the National Electronics and Computer Technology (NECTEC) under the National Sciences and Technology Development Agency (NSTDA), Grant No. HDD-01-53-01M. Authors would like to thank Hitachi Global Storage Technologies for facility provision.

References

- [1] T. Hirose, H. Teranishi, M. Ohsawa, A. Ueda, O. Ishiwata, "In-Plane Anisotropy in Thin-film Media Analyzed by Grazing Incidence X-ray Diffraction", *IEEE Trans. Magn.*, Vol. 33, pp. 2971-2973, 1997.
- [2] C. M. Mate, B. K. Yen, D. C. Miller, M. F. Toney, M. Scarpulla, and I. E. Frommer, "New Methodologies for Measuring Film Thickness, Coverage, and Topography", *IEEE Trans. Magn.*, vol. 36, No.1, pp. 110-114, 2000.
- [3] T. Ishiguro, H. Nakajima, "Optical system for detecting surface defects: a disk tester and a disk method", *United States Patent*, US 6330059 B1, December 2001.
- [4] T. Kasai, C. Dowell and A. Somanchi, "Application of laser assisted defect detection system for chemical mechanical planarization (CMP) slurry development in rigid disk polishing", *Sci Technol*, Vol. 18, pp. 1582-1590, 2007.
- [5] Y. Uji, H. Kanagawa, S. Kanagawa, M. Kanagawa "Defect inspection method of magnetic disk, device therefore, and magnetic disk drive device", *United States Patent*, US 0072692 A1, March 2008.
- [6] Y. Todtong, N. Suwannata, P. Rakpongsiri, D. Sompongse and A. Siritatitwat, "Observation of scratch on magnetic media by using thermal infrared camera", *APAIRC*, 2009.
- [7] P. Panpho, W. Panpaisarn, J. Koseeyaporn, P. Wardkein "Hard Disk Media Scratch Detection by Laser Scanning", *DST-con 2010*, July 30- August1, 2010.



วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
 วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 1518 ถนนพิบูลสงคราม เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
 โทร 0-2913-2500-24 ต่อ 6522 E-mail : JIT.journal@gmail.com

ที่ ววท. 069 /55

วันที่ 28 พฤษภาคม 2555

เรื่อง ตอบรับการตีพิมพ์บทความในวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

เรียน อาจารย์สรารุจ แซ่ตั้ง และคณะ

ตามที่อาจารย์ และคณะได้เสนอบทความเรื่อง การสร้างภาพพื้นผิวแม่นยำเก็บข้อมูลด้วยเทคนิคการสะท้อนของลำแสงเลเซอร์ เลขที่บทความ 1-002-55 เพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม กองบรรณาธิการวารสารวิชาการได้พิจารณารับบทความดังกล่าว และเตรียมจัดพิมพ์ลงในวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปีที่ 8 ฉบับที่ 3 กันยายน - ธันวาคม 2555 ในระหว่างที่เตรียมจัดพิมพ์รูปเล่มอาจารย์สามารถอ้างอิงบทความดังกล่าวของอาจารย์ได้ โดยใช้ระบบออนไลน์ของทางวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และสามารถดาวน์โหลดบทความได้ในเว็บไซต์ <http://j.cit.kmutnb.ac.th>

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วลัยรัตน์ จันทร์วงศ์)
 บรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างภาพพื้นผิวแผ่นเก็บข้อมูลด้วยเทคนิคการสะท้อนของลำแสงเลเซอร์

สราวุธ แซ่ตั้ง¹ ปราโมทย์ วาดเขียน² และ จีรสุตา โกษิยาวรณ²

บทคัดย่อ

ในบทความนี้จะนำเสนอ เทคนิคการสร้างภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลด้วยการยิงลำแสงเลเซอร์เพื่อไปสแกนแผ่นเก็บข้อมูล ซึ่งใช้หลักการสะท้อนและกระเจิงของแสง โดยใช้เลเซอร์เช่น เซอร์ในการตรวจจับความเข้มของลำแสงเลเซอร์ที่สะท้อนกลับมาและทำการบันทึกข้อมูลที่ได้เป็นไฟล์เก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นจะนำไฟล์ดังกล่าวมาสร้างเป็นภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูล เพื่อใช้ในการแสดงรูปร่างของรอยขีดข่วนที่เกิดขึ้นบนแผ่นเก็บข้อมูล และนำภาพที่ได้ไปประมวลผลภาพด้วยวิธีไอเกนเฟส (Eigenface) ทำการค้นคืนภาพที่ใกล้เคียงกับฐานข้อมูลด้วยวิธีหาระยะห่างแบบยูคลิดีียน (Euclidean Distance) หาค่าความเหมือนของภาพด้วยวิธีสหสัมพันธ์ไขว้ปรับปรกติ (Normalized Cross-Correlation) ภาพที่ได้จากการค้นคืนจะมีการวิเคราะห์สาเหตุของรอยขีดข่วนต่างๆ ไว้แล้ว เพื่อเป็นข้อมูลในการวินิจฉัยหาสาเหตุของความเสียหายที่เกิดขึ้นบนแผ่นเก็บข้อมูลแผ่นนั้นๆต่อไป

คำสำคัญ: รอยขีดข่วน, แผ่นเก็บข้อมูล, เลเซอร์, การประมวลผลภาพ

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศบัณฑิตวิทยาลัย, วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

² สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

* ผู้ติดต่อ, อีเมล: s2690302@kmitl.ac.th

The media surface image construction with technique of reflecting of laser beam**Sarawut Saetung^{1*} Paramote Wardkein² and Jeerasuda Koseyaporn²****Abstract**

This article presents a technique of image construction for the media surface by using reflecting laser beam. The intensity of the reflected and scattered laser beam from media will be detected, and stored as a data file in a computer. After that the stored data will be taken to construct the image of media surface in order to demonstrate the shape of the scratches that occurred on the media surface. In addition, the obtained image is employed in the process of the eigenfaces technique. This technique will retrieve the relevant images from the image database based on euclidean distance criterion where the similarity between the inspected image and the retrieved image is identified by normalized cross-correlation. The retrieved image and the obtained information can be used to diagnosis the cause of the damage on the media surface.

Keywords: scratch, media, laser, surface image

¹ Data Storage Technology, College of Data Storage Technology Innovations, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.

² Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.

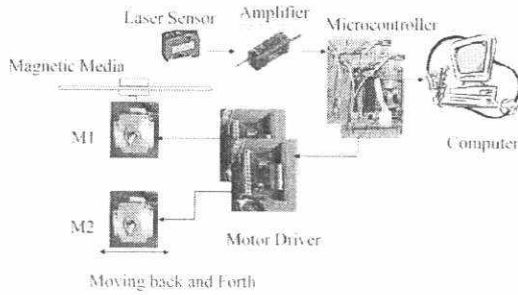
* Corresponding author. E-mail: s2690502@kmitl.ac.th.

1. บทนำ

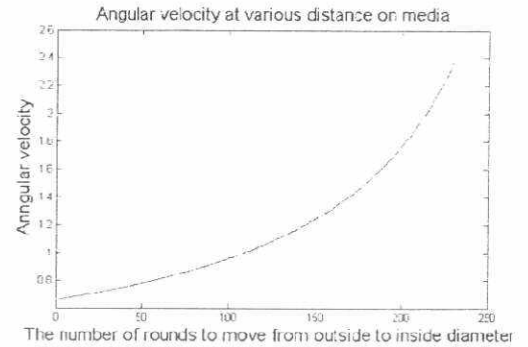
ฮาร์ดดิสก์นั้นมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่หลายส่วน เช่น ตัวควบคุมการเคลื่อนไหว (Actuator), มอเตอร์สปินเดิล (Spindle motor), หัวอ่าน-เขียน (Slider) และแผ่นเก็บข้อมูล (Platters) โดยที่แผ่นเก็บข้อมูลจะประกอบไปด้วยชั้นต่างๆ ด้วยกันหลายชั้น เช่น Substrate, Adhesion layer, Soft Underlayer, CoPtCr-Oxide และ Overcoat layer เป็นต้น [1] และพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลจะมีความเรียบสูงมาก อีกทั้งยังมีความมันวาวสะท้อนแสงได้ดี [2] จากหลักการสะท้อนของแสงจึงได้ว่า แสงจะสะท้อนได้ดีที่พื้นผิวที่มีความมันวาวและเรียบ ทำให้ได้ค่าความเข้มของแสงที่สะท้อนมีค่ามาก ในทางกลับกันแสงที่สะท้อนจากพื้นผิวที่มีความมันวาวน้อย หรือพื้นผิวที่ขรุขระ จะทำให้ได้ค่าความเข้มของแสงที่สะท้อนกลับมามีค่าน้อยเนื่องจากการกระเจิงของแสง ด้วยหลักการที่ได้กล่าวมานี้ จึงเป็นที่มาของการสร้างภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลโดยใช้หลักการสะท้อนของลำแสงเลเซอร์ ซึ่งที่ผ่านมา มีวิธีการต่างๆมากมายที่ใช้ในการสร้างภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูล เช่น Scanning electron microscopy (SEM) ที่ใช้ลำแสงอิเล็กตรอน ส่องกราดไปยังผิวของตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบเพื่อให้ได้ลักษณะพื้นผิวปรากฏเป็นภาพขยายที่สามารถมองเห็นได้ [3] , Atomic force microscopy (AFM) เป็นเครื่องมือที่จะใช้วัสดุปลายแหลมที่มีความถี่ระดับนาโนเมตร ลากไปบนพื้นผิวที่ต้องการตรวจหารอยขีดข่วนของพื้นผิวนั้น [3], Optical system for detecting surface defect ใช้การยิงและสะท้อนกลับของลำแสงเลเซอร์ในการตรวจหารอยขีดข่วนบนแผ่นเก็บข้อมูล [4], Defect inspection method of magnetic disk ที่ใช้การดูค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับส่วนยึดหัวอ่าน-เขียนที่ทำหน้าที่รักษาระยะห่างระหว่างแผ่นกับหัวอ่าน-เขียนให้มีค่าคงที่ โดยจะพิจารณาว่าถ้ามีค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้มากหรือน้อยกว่าค่าปกติในปริมาณมากๆ นั้นหมายความว่าในบริเวณนั้นๆ มีรอยขีดข่วนหรือมีความผิดปกติที่แผ่นเก็บข้อมูล [5] และ Infrared cameras to observe the magnetic media scratches ที่ใช้กล้องอินฟราเรดในการตรวจหาความร้อนที่เปลี่ยนแปลงที่แผ่นเก็บข้อมูล หลังจากป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับแผ่นเก็บข้อมูล เพราะใน

บริเวณที่มีรอยขีดข่วนจะมีความร้อนมากกว่าในบริเวณอื่นๆ เนื่องจากในบริเวณที่มีรอยขีดข่วนจะมีความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้ามากกว่าในบริเวณที่ไม่มีรอยขีดข่วน ทำให้สามารถแยกได้ว่าในบริเวณใดมีรอยขีดข่วนหรือไม่ [6] เป็นต้น แต่เทคนิคต่างๆเหล่านี้ใช้อุปกรณ์ที่มีความซับซ้อนมาก, มีราคาสูง และความละเอียดของภาพรอยขีดข่วนที่ได้สูงเกินความจำเป็น อีกทั้งยังต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ภาพของรอยขีดข่วนที่ได้ ซึ่งเป็นการยากและเสียเวลาในการค้นหาข้อมูลเพื่อนำมาเปรียบเทียบประกอบการวินิจฉัย

ดังนั้นในบทความนี้จึงได้นำเสนอวิธีการสร้างภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลด้วยเทคนิคการสะท้อนของแสงเลเซอร์ซึ่งเป็นการพัฒนาต่อมาจากการตรวจับรอยขีดข่วนบนแผ่นเก็บข้อมูลโดยการสแกนด้วยเลเซอร์ [7] ในบทความนี้จะเป็นการสร้างภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลและประมวลผลภาพที่ได้เพื่อใช้ในการวินิจฉัยความเสียหายที่เกิดขึ้นบนแผ่นเก็บข้อมูลโดยอาศัยหลักการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของภาพที่ได้ (Principal Component Analysis : PCA) [8,9] และนำไปเปรียบเทียบกับภาพที่มีในฐานข้อมูล (Image Recognition) เพื่อใช้ในการจับแนกประเภทและสาเหตุของความเสียหายที่เกิดขึ้นบนแผ่นเก็บข้อมูล ตัวเครื่องมีหลักการทำงานดังนี้คือ ลำแสงเลเซอร์จะถูกยิงไปยังแผ่นเก็บข้อมูลที่หมุนอยู่บนมอเตอร์ และจะมีมอเตอร์อีกชุดทำหน้าที่เลื่อนแผ่นเพื่อให้ได้กระบวนการในการสแกนแผ่นเก็บข้อมูลทั้งแผ่น จากนั้นลำแสงเลเซอร์จะถูกจับด้วยตัวรับสัญญาณเลเซอร์ โดยที่ในบริเวณที่เกิดรอยขีดข่วนจะเกิดการกระเจิงของแสงทำให้ความเข้มของลำแสงเลเซอร์ลดลง ซึ่งสัญญาณที่ได้จากเลเซอร์เช่นเซอร์คิงกล่าวนี้ จะถูกส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลและส่งข้อมูลที่ได้ไปเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์เพื่อทำการสร้างภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลต่อไป ตัวเครื่องประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วนคือ ระบบแกนขับเคลื่อน, เลเซอร์เซ็นเซอร์, ไมโครคอนโทรลเลอร์และคอมพิวเตอร์แสดงผลในรูปแบบที่ 1



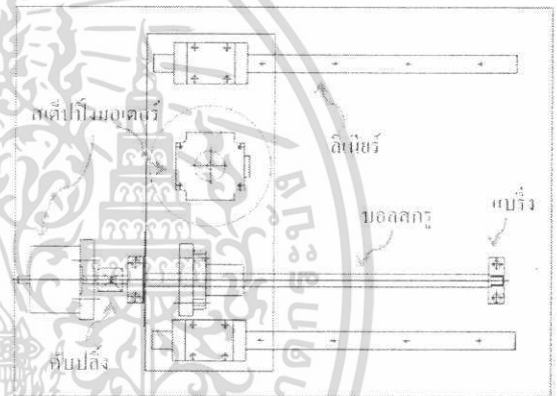
รูปที่ 1 ส่วนต่างๆของระบบที่นำเสนองาน



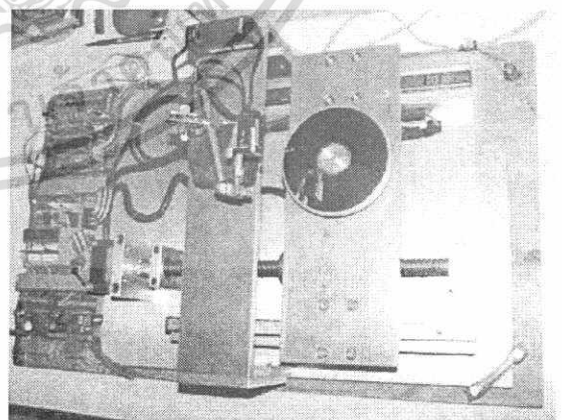
รูปที่ 2 กราฟแสดงความเร็วเชิงมุมที่ใช้ในการแสดงที่ตำแหน่งต่างๆบนแผ่นเก็บข้อมูลของเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้น

2. วิธีการทดลอง

ในบทความนี้ได้เลือกใช้เลเซอร์เซ็นเซอร์ยี่ห้อ Keyence รุ่น LV-H37 ที่ให้ลำแสงสีแดงที่มีความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร และมีขนาดลำแสง (Beam spot) ที่เล็กที่สุดคือ 50 ไมครอน ที่ระยะห่างจากหัวยิงเลเซอร์ 70 มิลลิเมตร โดยใช้ร่วมกับแอมพลิฟายเออร์ (Amplifier) ยี่ห้อ Keyence รุ่น LV-21A โดยตั้งค่าโหมดที่ใช้งานเป็น โหมดการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสง (Intensity mode) ในการทดลองนี้ใช้แผ่นเก็บข้อมูลขนาด 3.5 นิ้ว ยี่ห้อซีเกท (Seagate) รุ่น Barracuda ความจุ 80 GB แผ่นเก็บข้อมูลจะถูกสร้างรอยขีดข่วนเป็นรูปร่างต่างๆ เมื่อวัดขนาดรอยขีดข่วนด้วยเครื่องสาร์ท-สโคป (Smart Scope) จะได้ขนาดโดยเฉลี่ยของรอยขีดข่วนประมาณ 60.73 ไมครอน และจะทำการหมุนแผ่นด้วยความเร็วเชิงมุม 0.6576 เรเดียนต่อวินาที ที่วงนอกสุด และความเร็วจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆทุกๆรอบของการหมุน ซึ่งจะมีความเร็วเชิงมุมที่วงในสุดคือ 2.375 เรเดียนต่อวินาที ดังแสดงกราฟความเร็วเชิงมุมที่ใช้ในการแสดงบนแผ่นเก็บข้อมูลดังรูปที่ 2. ระบบขับเคลื่อนที่ใช้ในการเก็บข้อมูล แสดงในรูปที่ 3 ซึ่งประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆ เช่น สเต็ปมอเตอร์ , บอลสกรู และ ลิเนียร์ ส่วนในรูปที่ 4 แสดงเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้น



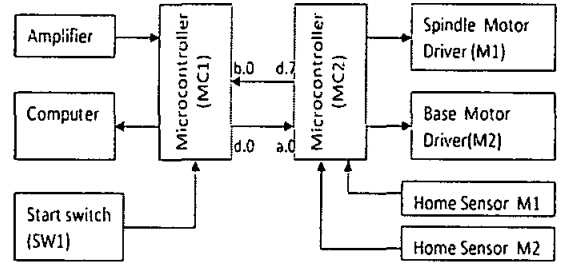
รูปที่ 3 ระบบขับเคลื่อนที่ออกแบบ



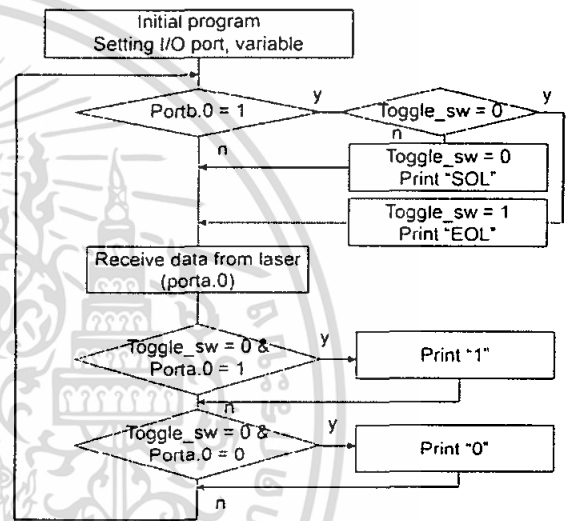
รูปที่ 4 เครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนควบคุมจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สองตัว คือ MC1 และ MC2 ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 18F452 และใช้คริสตัลความถี่ 20 MHz ดังแสดงด้วยบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 5, มีหลักการทำงานดังนี้คือ แสงเลเซอร์จะถูกปล่อยออกจากเลเซอร์เซ็นเซอร์ไปยังแผ่นเก็บข้อมูล ที่ถูกยึดอยู่บนฐานที่อยู่บนมอเตอร์ที่ทำหน้าที่หมุน (Spindle Motor, M1) จากนั้นแสงจะสะท้อนกลับไปยังตัวรับแสงเลเซอร์ซึ่งสัญญาณดังกล่าวจะถูกประมวลผลที่แอมพลิไฟเออร์ของชุดเลเซอร์เซ็นเซอร์ โดยใช้โหมดตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสง (Intensity mode) สัญญาณที่ออกจากแอมพลิไฟเออร์จะมีลักษณะเป็นสัญญาณ ON และ OFF โดยจะทำการตั้งค่าให้วีเอตต์พุตเป็น OFF เมื่อความเข้มของแสงที่ได้รับมีค่าต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ของความเข้มของแสงที่ได้รับปกติ และสัญญาณดังกล่าวนี้จะถูกส่งไปยัง MC1 ถ้าสัญญาณที่ส่งออกไปเป็น OFF แสดงว่าในตำแหน่งนั้นๆ มีรอยขีดข่วน ในทางกลับกันถ้าสัญญาณที่ส่งออกไปเป็น ON แสดงว่าในบริเวณนั้นๆ ไม่มีรอยขีดข่วน จากนั้น MC1 จะเปลี่ยนสัญญาณ OFF ให้เป็นค่า "1" และเปลี่ยนสัญญาณ ON ให้เป็นค่า "0" เพื่อส่งค่านี้ไปเก็บเป็นข้อมูลไว้ในคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม ในแต่ละรอบของการหมุนของมอเตอร์ M1 สัญญาณที่ออกจาก MC1 จะส่งเฮดเดอร์ (Header) เป็น "SOL" (Start Of Line) ตามด้วยข้อมูลที่ต้องการส่งและสิ้นสุดการส่งข้อมูลด้วย "EOL" (End Of Line) ดังแสดงโฟลว์ชาร์ตการทำงานในรูปที่ 6, โดยในบทความนี้จะทำการสนทนทั้งหมด 230 วนรอบ และสแกนด้วยความเร็วคงที่ประมาณ 98.175 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยเมื่อสแกนครบแต่ละวงรอบแล้วจะทำการเลื่อนแกนเป็นระยะทาง 150 ไมครอน ดังแสดงโฟลว์ชาร์ตการทำงานของ MC2 ในรูปที่ 7

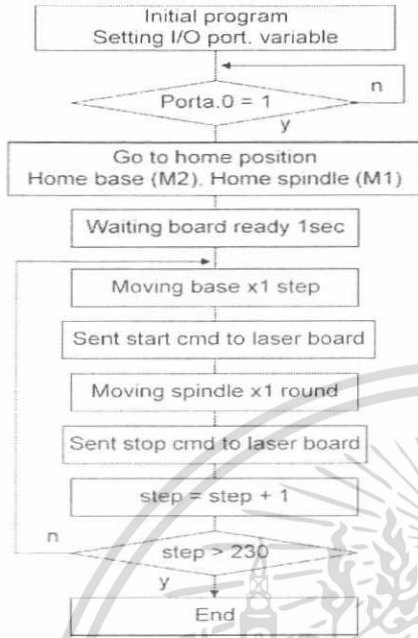


รูปที่ 5 บล็อกไดอะแกรมของส่วนควบคุม



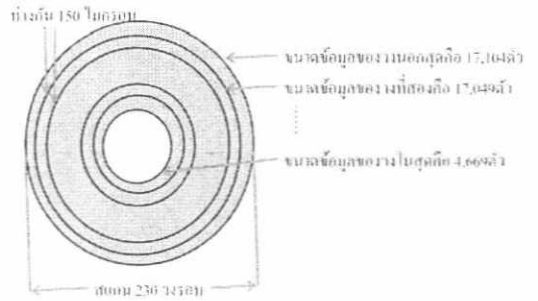
รูปที่ 6 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของ MC1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

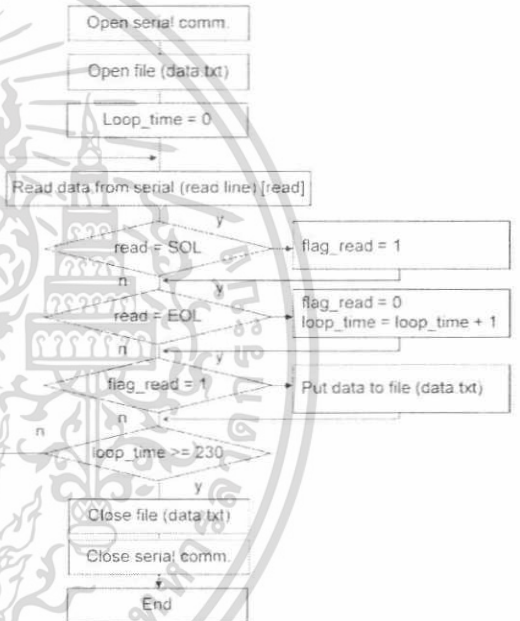


รูปที่ 7 โปรแกรมการทำงานของ MC2

จะได้ว่าข้อมูลที่คอมพิวเตอร์ได้รับที่วงรอบนอกสุดจะได้จำนวนข้อมูลจำนวนมากที่สุดคือ 17,104 ตัว และที่รอบถัดมาได้จำนวนข้อมูลทั้งสิ้น 17,049 ตัว และจำนวนข้อมูลจะลดลงเรื่อยๆ และจำนวนข้อมูลที่วงในสุดคือ 4,669 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 8, คอมพิวเตอร์จะรับข้อมูลที่มาจาก MC1 ผ่านทางพอร์ตอนุกรมที่ความเร็ว 115,200 บิตต่อวินาที โปรแกรมจะทำการตรวจจับหาสัญลักษณ์ "SOL" จากนั้นจะนำข้อมูลที่มาหลังจากสัญลักษณ์ SOL มาเก็บไว้ในไฟล์ที่ชื่อว่า data.txt และจะสิ้นสุดการรับข้อมูลในเวลานั้นๆ เมื่อพบสัญลักษณ์ EOL จากนั้นขึ้นบรรทัดใหม่เพื่อรอรับข้อมูลต่อไปจนกระทั่งครบทั้ง 230 ครั้ง ดังแสดงด้วยโปรแกรมการทำงานของ MC2 ในรูปที่ 9, หลังจากที่ทำกรสแกนแผ่นเก็บข้อมูลครบทั้งแผ่นแล้วจะทำการอ่านข้อมูลในแต่ละแถวที่อยู่ในไฟล์ data.txt เพื่อนำไปสร้างเป็นภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูล ดังแสดงโปรแกรมในรูปที่ 10

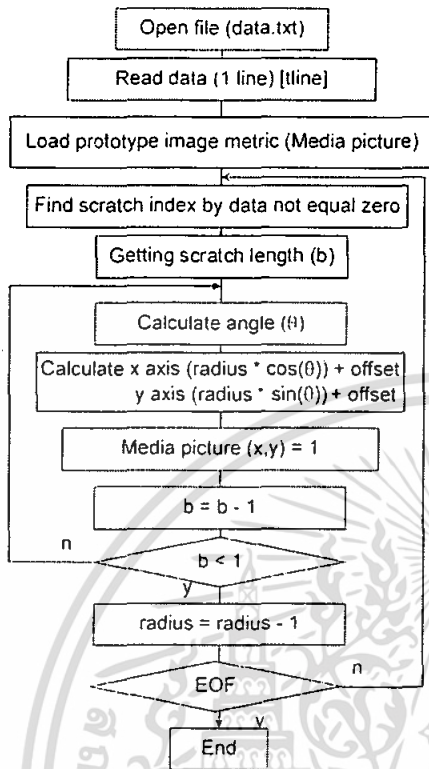


รูปที่ 8 การสแกนเพื่อเก็บข้อมูล



รูปที่ 9 โปรแกรมในส่วนการรับข้อมูลที่คอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 10 โฟลว์ชาร์ตในส่วนการแปลงข้อมูลจาก data.txt ไปเป็นภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูล

ภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลจะถูกสร้างมาจากเมตริกซ์ Media picture ที่มีกรใช้ข้อมูลรอยขีดข่วนเสร็จแล้ว จากนั้นนำไฟล์ภาพที่ได้มาประมวลผลภาพ โดยใช้หลักการไอเกนเฟส (Eigenfaces) [10-14] ที่จะใช้วิธีการลดมิติของภาพเพื่อให้ง่ายต่อการประมวลผล ซึ่งจะมีอยู่ด้วยกัน 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนเรียนรู้ และ ขั้นตอนรู้จำ

ขั้นตอนเรียนรู้

จะนำรูปตัวอย่างทั้งหมดจำนวน M ภาพ ขนาด $N \times N$ พิกเซล (X_1, X_2, \dots, X_M) ไปแปลงเป็นเวกเตอร์ $\underline{x}_1, \underline{x}_2, \dots, \underline{x}_M$ (โดยที่ \underline{x}_m เป็นคอลัมน์เวกเตอร์ขนาด $N^2 \times 1$ พิกเซล) โดยทำการแปลงจากแต่ละแถวแนวนอนมาเป็นแถวแนวตั้ง ซึ่งจะทำการทุกภาพ ดังแสดงในรูปที่ 11

$$X_i = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1N} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{M1} & x_{M2} & \dots & x_{MN} \end{bmatrix}_{N \times N} \rightarrow \begin{bmatrix} x_{11} \\ \vdots \\ x_{1N} \\ \vdots \\ x_{M1} \\ \vdots \\ x_{MN} \end{bmatrix}_{N^2 \times 1} = \underline{x}_i$$

รูปที่ 11 การแปลงภาพมาเป็นเวกเตอร์

จากนั้นทำการหาเวกเตอร์ค่าเฉลี่ย (\underline{m}) ของภาพตามสมการ

$$\underline{m} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \underline{x}_i \tag{1}$$

นำแต่ละเวกเตอร์ภาพมาลบด้วยค่าเฉลี่ยจะได้

$$\underline{\tilde{x}}_i = \underline{x}_i - \underline{m} \tag{2}$$

แล้วทำการหาค่าเมตริกซ์ของความแปรปรวนร่วม (Covariance matrix : C) ด้วยสมการ

$$C = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \underline{\tilde{x}}_i \underline{\tilde{x}}_i^T = A A^T \tag{3}$$

C เป็นเมตริกซ์ขนาด $N^2 \times N^2$, M คือจำนวนของเวกเตอร์ภาพเรียนรู้ และ $A = [\underline{\tilde{x}}_1 \underline{\tilde{x}}_2 \dots \underline{\tilde{x}}_M]$ เป็นเมตริกซ์ขนาด $N^2 \times M$ ซึ่งเมื่อการจัดสมการใหม่จะได้

$$A A^T \underline{v}_i = \lambda_i \underline{v}_i \tag{4}$$

โดย \underline{v}_i และ λ_i เป็นไอเกนเวกเตอร์ (Eigenvector) และไอเกนแวลู (Eigenvalue) ของ C ตามลำดับ แต่การคำนวณเมตริกซ์ $A A^T$ ที่มีขนาด $N^2 \times N^2$ นั้นทำได้ยาก เนื่องจากมีขนาดใหญ่มาก จึงพิจารณา $A^T A$ ที่มีขนาดเมตริกซ์เป็น

$M \times M$ โดยที่ \underline{u}_i เป็นไอเกนเวกเตอร์และ η_i เป็นไอเกน
แวลลิว

โดยที่ $i = 1, 2, \dots, M$ ซึ่งเวกเตอร์ค่าน้ำหนักพื้นฐานของภาพ
ต้นแบบ \underline{x} คือ

$$A^T A \underline{u} = \eta \underline{u} \tag{5}$$

$$\underline{\omega}_i = \begin{bmatrix} \omega_i(1) \\ \omega_i(2) \\ \vdots \\ \omega_i(K) \end{bmatrix} \tag{11}$$

จากนั้นทำการคูณด้วย A ทั้งสองข้างของสมการจะได้

$$A A^T A \underline{u} = \eta A \underline{u} \tag{6}$$

จากคุณสมบัติของเมทริกซ์ จะได้ว่าไอเกนแวลลิวของ $A A^T$
จะเท่ากับกับไอเกนแวลลิวของ $A^T A$, ($\lambda_i = \eta_i$) และจาก
สมการที่ (4) และ (6) จะได้ความสัมพันธ์ของไอเกนเวกเตอร์
คือ $\underline{v}_i = A \underline{u}_i$ ลักษณะของเมทริกซ์ \underline{u}_i ได้โดยการตัด
คอลัมน์ที่มีค่าไอเกนแวลลิวในคอลัมน์นั้นๆ น้อยกว่าหรือ
เท่ากับศูนย์ออก เนื่องจากค่าไอเกนแวลลิวที่น้อย จะแสดงถึง
ส่วนที่ไม่ใช่องค์ประกอบหลักของภาพนั่นเอง ซึ่งจะเหลือ \underline{u}_i
ทั้งหมด K คอลัมน์ ดังสมการ

$$\underline{u}_i = \underline{u} \quad \eta_i > 0 \tag{7}$$

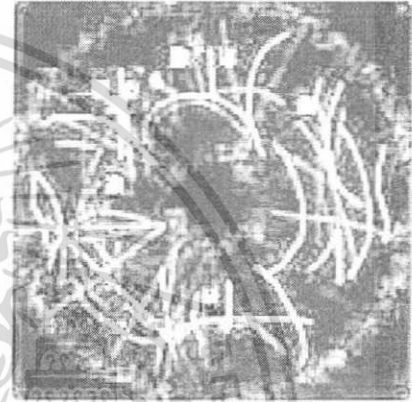
และจะได้ไอเกนเฟสคือ

$$\underline{v}_i = A \underline{u}_i \tag{8}$$

ดังแสดงตัวอย่างไอเกนเฟสของภาพต้นแบบในรูปที่ 12,
จากนั้นทำการหาไอเกนเวกเตอร์ปรับปรกติ (Normalized
Eigenvector) จะได้ $\|\underline{v}_i\| = 1$ และหาค่าน้ำหนักพื้นฐานเพื่อ
แทนภาพต้นแบบแต่ละภาพตามสมการ

$$\underline{\hat{x}} = \sum_{j=1}^K \omega_j(j) \underline{v}_j \tag{9}$$

$$\omega_j(j) = \underline{v}_j^T \underline{\hat{x}} \tag{10}$$



รูปที่ 12 ตัวอย่าง ไอเกนเฟสของภาพต้นแบบ

ขั้นตอนวิธี

ทำให้นำภาพพื้นผิวของแผนเก็บข้อมูลที่ต้องการทดสอบ
มาทำให้เป็นเวกเตอร์ ซึ่งจะได้เวกเตอร์ \underline{x}_{test} และมาลบด้วย
ค่าเฉลี่ยของชุดภาพต้นแบบจะได้

$$\underline{\tilde{x}}_{test} = \underline{x}_{test} - \underline{m} \tag{12}$$

จากนั้น คำนวณหาค่าน้ำหนักด้วยสมการ

$$\omega_{test}(i) = \underline{v}_i^T \underline{\tilde{x}}_{test} \tag{13}$$

โดย $i = 1, 2, \dots, k$ จะได้เวกเตอร์ค่าน้ำหนักพื้นฐานของ
ภาพที่ต้องการหาคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\omega_{test} = \begin{bmatrix} \omega_{test}(1) \\ \omega_{test}(2) \\ \vdots \\ \omega_{test}(K) \end{bmatrix} \quad (14)$$

จากนั้นทำการหาระยะห่างแบบยูคลิเดียน (Euclidean Distance) ระหว่างภาพที่ต้องการหา กับกลุ่มภาพต้นแบบ

$$\varepsilon_i = d(\bar{x}_{test}, x_i) = \sqrt{\sum_{k=1}^{N^2} (\bar{x}_{test}(k) - x_i(k))^2} \quad (15)$$

โดย $i=1,2,\dots,M$ และทำการตัดสินใจว่าภาพที่ต้องการทดสอบกับภาพใดในกลุ่มภาพต้นแบบ ในคลังข้อมูลภาพมากที่สุดโดยดูจากค่า ε_i ที่น้อยที่สุดเพื่อใช้ในการเลือกภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลออกมาที่หน้าจอกอมพิวเตอร์ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 13



รูปที่ 13 ตัวอย่างเวกเตอร์ค่านี้หน้าพื้นฐานของแต่ละภาพ และการตัดสินใจเลือกภาพที่ใกล้เคียงที่สุดจากคลังข้อมูลโดยการหาค่า ε_i ที่น้อยที่สุด

ความเหมือนกันของภาพ

เมื่อได้ภาพต้นแบบที่ใกล้เคียงกับภาพที่ต้องการทดสอบมากที่สุดแล้ว จะทำการหาค่าความเหมือนกันของภาพที่ต้องการหา กับภาพต้นแบบที่เลือกมาจากคลังข้อมูลด้วย

วิธีการหาสหสัมพันธ์ไขว้ปรับปรกติ (Normalized Cross-Correlation) ดังสมการ

$$NCC(X_{test}, X_k) = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [X_{test}(i,j) - \bar{X}_{test}] [X_k(i,j) - \bar{X}_k]}{\sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [X_{test}(i,j) - \bar{X}_{test}]^2} \sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [X_k(i,j) - \bar{X}_k]^2}} \quad (14)$$

$X_{test}(i,j)$ และ $X_k(i,j)$ คือค่าความสว่างของพิกเซลที่ (i,j) ในภาพ X_{test} และ X_k ตามลำดับโดยที่ X_{test} คือภาพที่นำมาทดสอบ และ X_k คือภาพต้นแบบ และ $\bar{X}_{test}, \bar{X}_k$ คือค่าเฉลี่ยของความสว่างของพิกเซลในเวกเตอร์ภาพ X_{test} และ X_k ตามลำดับ สามารถคำนวณได้ดังสมการ

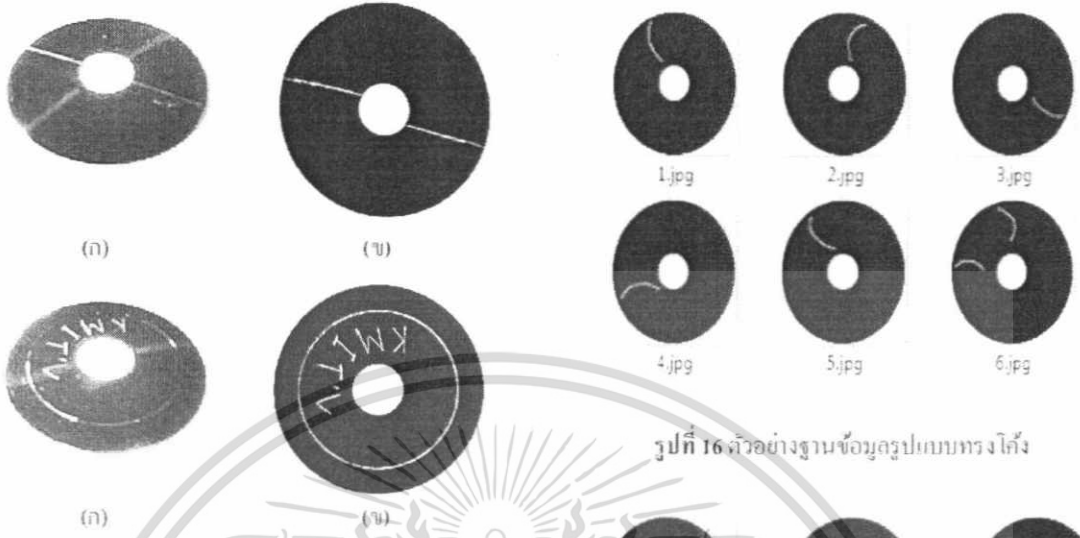
$$\bar{X}_{test} = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{test}(i,j) \quad (15)$$

$$\bar{X}_k = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_k(i,j) \quad (16)$$

ค่าที่ได้ของ NCC จะอยู่ในช่วง -1 ถึง 1 ถ้าค่า NCC มีค่าเข้าใกล้ 1 จะหมายความว่าภาพทั้งสองที่นำมาเปรียบเทียบกันมีความคล้ายกันมากขึ้นเท่านั้น

3. ผลการทดลอง

ในบทความนี้จะทำการสร้างภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลด้วยเทคนิคการสะท้อนของลำแสงเลเซอร์ มนเก็บเป็นไฟล์ data.txt ไว้ในคอมพิวเตอร์จากนั้นจึงนำไฟล์ดังกล่าวมาสร้างเป็นภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูล ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 15



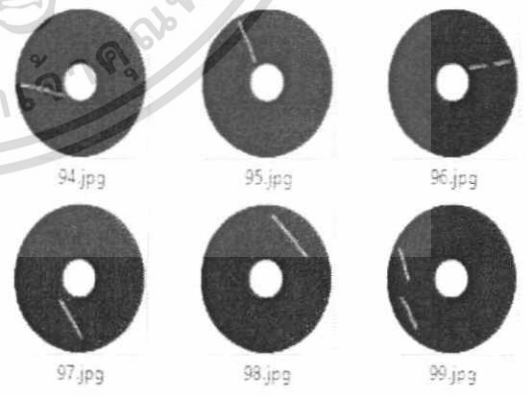
รูปที่ 16 ตัวอย่างฐานข้อมูลรูปแบบทรงโค้ง



รูปที่ 15 ตัวอย่างรอยขีดข่วนบนแผ่นเก็บข้อมูลโดยแสงภาพจริงของแผ่น. (ข) ภาพที่บันทึกที่สร้างขึ้น

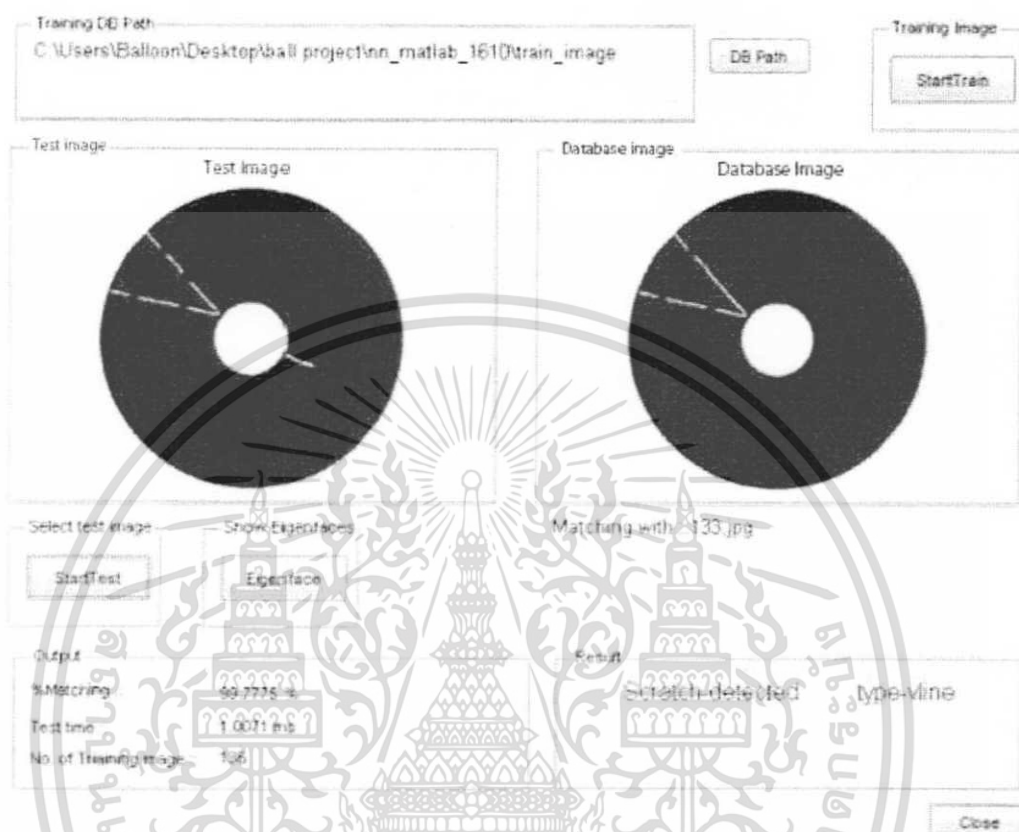
นำรูปที่ได้ไปประมวลผลภาพแล้วใช้โปรแกรมประมวลผลภาพระหว่างยุคสมัยตามวิธีการที่ได้กล่าวมาแล้วทำให้ทราบภาพที่นำมาประมวลผลนั้นมีความคล้ายคลึงกับภาพใดในฐานข้อมูลมากที่สุด ในการทดลองนี้ใช้ฐานข้อมูลทั้งหมด 136 ภาพ แบ่งตามรูปแบบของรอยขีดข่วนออกเป็น 8 กลุ่มของภาพ คือ ทรงโค้ง, เส้นผ่านศูนย์กลาง, กัดกัน, จุด, KMITL, เส้นตรง, คีวีวี และไม่มีรอยขีดข่วน แต่ละภาพที่ใช้มีความละเอียดเท่ากันคือ 200 x 200 พิกเซล ตัวอย่างภาพบางส่วนของฐานข้อมูลแสดงในรูปที่ 16-18 ในการวัดความเหมือนกันของภาพที่นำมาประมวลผลกับภาพในฐานข้อมูล จะใช้วิธีหาค่าสหสัมพันธ์ไขว้ปรับปรกติ ดังผลรวมผลลัพธ์ของโปรแกรมในรูปที่ 19 และจากการทดลองด้วยภาพที่เตรียมไว้จำนวน 30 ภาพพบว่าโปรแกรมสามารถทำงานได้ดี ยังไม่พบข้อผิดพลาดอย่างใด

รูปที่ 17 ตัวอย่างฐานข้อมูลรูปกัดกัน



รูปที่ 18 ตัวอย่างฐานข้อมูลรูปเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 19 ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมรู้จัก

4. สรุป

บทความนี้ได้ศึกษาและออกแบบซอฟต์แวร์โดยมีเป้าหมายในการสร้างภาพพื้นผิวของนมผงเก็บข้อมูล เพื่อนำมาประมวลผลด้วยวิธีโฮเคนเฟส ที่เป็นการลดมิติและดึงคุณลักษณะสำคัญจากภาพ และมีข้อจำกัดคือ ภาพที่นำมาประมวลผลจะต้องมีขนาดเท่ากับภาพในฐานข้อมูล การเปรียบเทียบคุณลักษณะสำคัญเพื่อการค้นคืนภาพจากฐานข้อมูลจะทำโดยการหาระยะห่างยูคลิเดียน แต่การวัดระยะห่างด้วยวิธีนี้มีข้อควรระวังคือ ค่าที่คำนวณได้ไม่สนใจความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน อาจมีบางภาพที่ไม่เกี่ยวข้องกันแต่มีความสัมพันธ์กันสูงได้ ผลการสืบค้นที่ได้มีความน่าเชื่อถือ

ไม่น้อยเพียงใดนั้นสามารถดูได้จากค่าเปอร์เซ็นต์ของความเหมือนที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีสหสัมพันธ์ไขว้ปรับปรกติ ซึ่งจะได้ว่ายิ่งค่าที่ได้เข้าใกล้ 100 เปอร์เซ็นต์มากเท่าใด แสดงว่าภาพที่นำมาทดสอบนั้นมีความเหมือนกับภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลมากเท่านั้น แต่การที่จะให้ผลการสืบค้นมีความถูกต้องมากเท่านั้น จำเป็นจะต้องมีภาพพื้นผิวของนมผงเก็บข้อมูลที่มียุติขุ่นแบบต่างๆอยู่ในฐานข้อมูลในปริมาณมากตามไปด้วย ซึ่งในอนาคตจะได้ทำการเพิ่มเติมฐานข้อมูลให้มากขึ้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล (DSTAR), สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (KMITL), ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (เนคเทค) ภายใต้ทุนหมายเลข HDD - 01 - 53 - 01M และผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัท ฮิตาชิ โกลบอล สโตเรจ เทคโนโลยีส์ ประเทศไทย จำกัด สำหรับการจัดหาสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ สำหรับงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] C. M. Mate, B. K. Yen, D. C. Miller, M. F. Toney, M. Scarpulla, and I. E. Frommer, "New methodologies for measuring film thickness, coverage and topography", *IEEE Trans. Magn.*, 36, 2000, pp. 110-114.
- [2] T. Kasai, C. Dowell and A. Somanchi, "Application of laser assisted defect detection system for chemical mechanical planrization (CMP) slurry development in rigid disk polishing", *Sci. Technol.*, 18, 2007, pp. 1582-1590.
- [3] W. Johannes , B. Christian , E. Heinz-Ludwig , E. Dirk, H. Johanna, R. Hologer , S. Christoph, W. Michael and W. Andreas, "Applied surface analysis in magnetic storage technology", *Applied surface Science* 2001, pp. 167-180.
- [4] T. Ishiguro and H. Nakajima, "Optical system for detecting surface defects, a disk tester and a disk method", United States Patent, US 6330059 B1, 11 Dec 2001.
- [5] Y. Uji, F. Harako, M. Shimada and R. Miura, "Defect inspection method of magnetic disk, device therefore, and magnetic disk drive device", United States Patent, US 7636217 B2, 22 Dec 2009.
- [6] Y. Todtong, N. Suwannata, P. Rakpongsiri, D. Sompongse and A. Siritatiwar, "Observation of scratch on magnetic media by using thermal infrared camera", *APMRC* 2009.
- [7] P. Panpho, W. Panpaisarn , J. Koseeyaporn, P. Wardkein, "Hard disk media scratch detection by laser scanning", *DST-con 2010*, July 30- August 1, 2010.
- [8] D. Valentin, H. Abdi, B. Edelman and A. J. O'Toole, "Principal component and neural network analyses of face images: what can be generalized in gender classification ?", *Journal of mathematical psychology*, 42, December 1997.
- [9] P. J.B. Hancock, V. Bruce and A. M. Burton, "Testing principal component representations for faces", *proceedings of 4th neural computation and psychology workshop*, 1997.
- [10] M. Turk and A. Pentland, "Eigenfaces for recognition", *Journal of cognitive neuroscience*, 3, 1991, pp.71-86.
- [11] M. Turk and A. Pentland, "Face recognition using eigenfaces", *Proc. IEEE Conf. on computer vision and pattern recognition*, 1991, pp. 586-591.
- [12] A. Pentland, B. Moghaddom, T. Stamer, "View-based and modular eigenfaces for face recognition", *Proc. of IEEE Conf. on computer vision and pattern recognition (CVPR'94)*, 1994.
- [13] P. Belhumeur, J. Hespanha, D. Kriegman, "Eigenfaces vs. fisherfaces: recognition using class specific linear projection", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1997, pp. 711-720.
- [14] W. Zhao, R. Chellappa, P.J. Phillips and A. Rosenfeld, "Face recognition". A literature survey, *ACM Computing surveys*, 2003, pp. 399-458.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายสรารุร แซ่ตั้ง
วัน เดือน ปีเกิด	4 มกราคม 2522 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	119/98 หมู่บ้านศุภาลัยวิวิท หมู่ 8 ตำบล บางกระสอ อำเภอ เมืองนนทบุรี จังหวัด นนทบุรี 11000 โทร.0-863-634-228
ประวัติการศึกษา	2545 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้