

การจำแนกปลอกกระสุนปืนจากการสร้างภาพสามมิติ
ด้วยวิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอ

CARTRIDGE CLASSIFICATION BY THREE-DIMENSIONAL
SURFACE RECONSTRUCTION USING PHOTOMETRIC STEREO TECHNIQUE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2559

KMITL-2016-EN-M-060-088

การจำแนกปลอกกระสุนปืนจากการสร้างภาพสามมิติ
ด้วยวิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอ

CARTRIDGE CLASSIFICATION BY THREE-DIMENSIONAL
SURFACE RECONSTRUCTION USING PHOTOMETRIC STEREO TECHNIQUE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2559

KMITL-2016-EN-M-060-088

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CARTRIDGE CLASSIFICATION BY THREE-DIMENSIONAL
SURFACE RECONSTRUCTION USING PHOTOMETRIC STEREO TECHNIQUE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2016

KMITL-2016-EN-M-060-088

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

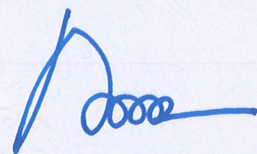
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การจำแนกปลอกกระสุนปืนจากการสร้างภาพสามมิติด้วยวิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอ
Thesis Title Cartridge Classification by Three-dimensional Surface Reconstruction using Photometric Stereo Technique
นักศึกษา นายสุรศักดิ์ คำวงศ์
รหัสประจำตัว 57601217
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ทวีพล ชื้อสัตย์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2016-EN-M-060-088

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.วิทยา	ทิพย์สุวรรณพร	
รศ.วิริยะ	กองรัตน์	
รศ.ดร.ฟูศักดิ์	ชีวิสุวิทย์	
รศ.ดร.สุพรรณ	กุลพาณิชย์	
รศ.ดร.ทวีพล	ชื้อสัตย์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพุธที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 เวลา 13.00-15.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
วันที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ. 2559
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจำแนกปลอกกระสุนปืนจากการสร้างภาพสามมิติด้วยวิธี โฟโตเมตริกสเตอริโอ
นักศึกษา	นายสุรศักดิ์ คำวงศ์
รหัสประจำตัว	57601217
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ทวีพล ชื้อสัตย์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการจำแนกปลอกกระสุนปืนและหาความลึกของรอยเข็มแทงชนวน โดยการจำแนกปลอกกระสุนปืนใช้ค่าเฉลี่ยพิกเซลที่ได้จากการวิเคราะห์รูปร่างและขนาดของรอยเข็มแทงชนวนที่อยู่บนจานท้ายของปลอกกระสุน ส่วนการหาความลึกของรอยเข็มแทงชนวนใช้การสร้างพื้นผิวสามมิติด้วยวิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอซึ่งภาพถูกถ่ายจากมุมเดียวแต่ใช้การวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างกันออกไปตามการคำนวณ การปรับปรุงคุณภาพ เช่น การกำหนดพื้นที่ของวัตถุที่ตรวจสอบ การจัดสิ่งรบกวนที่ไม่ต้องการออกจากภาพ และการประมวลผลภาพ ด้วยโปรแกรม MATLAB ตัวอย่างของปลอกกระสุนที่นำมาวิเคราะห์ประกอบด้วยปลอกกระสุนขนาด 9 มม จำนวน 80 นัด จากปืน 4 รุ่น ได้แก่ BERETTA, UZI, JERICHO 941 และ TAURUS โดยผลของการแยกประเภทปืนแต่ละรุ่นพบว่ามีความถูกต้อง 100%, 90%, 90% และ 85% ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่ามุมของเข็มแทงชนวนไม่มีผลต่อความถูกต้องในการแยกประเภท แต่ความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงนั้นมีผลเป็นอย่างมากจึงต้องกำหนดความสว่างให้คงที่ทุกครั้งที่ทำการทดลอง ชุดการทดลองประกอบด้วยกล้องและเลนส์ที่ให้ความละเอียดสูง แหล่งกำเนิดแสงที่สามารถปรับความสว่างได้ โดยงานวิจัยนี้เป็นกระบวนการตรวจสอบแบบไม่ทำลายวัตถุ สามารถลดเวลาในการประมวลผล ง่ายต่อการวิเคราะห์และมีความแม่นยำในการตรวจสอบเมื่อเทียบกับการตรวจสอบด้วยสายตาของมนุษย์และงานวิจัยต่างๆที่ผ่านมา อีกทั้งยังสามารถนำอัลกอริทึมนี้ไปใช้ในการตรวจสอบวัตถุอื่นๆที่ต้องอาศัยการวิเคราะห์ถึงรูปร่างและขนาดได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Cartridge Classification by Three-dimensional Surface Reconstruction using Photometric stereo Technique
Student	Mr.Surasak Kumvong
Student ID.	57601217
Degree	Master of Engineering
Program	Instrumentation Engineering
Year	2016
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Taweepol Suesut

ABSTRACT

This research represents method of cartridge classification and findings of the depth of firing pin impression. Cartridge is classified by mean of pixel, including analysis of shape and size of firing pin impression on cartridge case. The depth of firing pin impression is normally found by using photometric stereo, taken from the same viewpoint but under illumination from different directions, to estimate 3D surface reconstruction. Image enhancement such as specifying region of interests and removing noise in cartridge case images and image processing by Matlab. Cartridge case samples consist of a total of 80 cartridge cases in 9 mm from 4 firearms, as well as BERETTA, UZI, JERICO 941 and TAURUS . The experimental result of cartridge classification shows accuracy percentage which are 100%, 90%, 90% and 85% respectively .The angle of cartridge case has no impact to accuracy but the brightness of light source has, therefore every experiment should be fixed the brightness of light source. Experiments consists of high resolution camera and lens and adaptable-light source. This reseach is not only non-destructive detection, reduce processing time, easy to analyze, and also increase the accuracy in comparison with the manual approach and previous researches. This algorithm can be easily implemented to detect in any objects those were analyzed in terms of shape and size.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความรู้และความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ทวีพล ชื่อสัตย์ ที่ได้ให้คำแนะนำในการให้คำปรึกษาในการแก้ปัญหาหรือข้อสงสัยต่างๆ แก่ตัวข้าพเจ้าเสมอมา รวมถึงให้ความดูแลเอาใจใส่ สอบถามความก้าวหน้าอย่างสม่ำเสมอ ทำให้ข้าพเจ้าในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้อย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพมากที่สุด

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมที่ได้ให้ความรู้ รวมถึงการเอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในการทำการวิทยานิพนธ์ จนข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสร็จสิ้น

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ รวมถึงเพื่อน พี่ และน้องทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมาและให้การสนับสนุนช่วยเหลือในทุกๆด้าน ทั้งในเรื่องการทำวิทยานิพนธ์และเรื่องต่างๆ ตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดาซึ่งเป็นที่ยรักและเคารพยิ่ง ตลอดจนอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้าเสมอมา

สุรศักดิ์ คำวงศ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	3
1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ภาพแบบดิจิทัล (Digital Image)	5
2.2 การประมวลผลภาพ (Image Processing)	7
2.3 ระบบของภาพ 3 มิติ	12
2.4 ประเภทของแหล่งกำเนิดแสง	15
2.5 กล้องสำหรับการตรวจสอบวัตถุ	17
2.6 เซ็นเซอร์รับภาพ	20
2.7 พื้นผิวการสะท้อน	23
2.8 โฟโตเมตริกสเตอริโอ	24
2.9 การตรวจสอบโดยไม่ทำลาย	26
บทที่ 3 การออกแบบและขั้นตอนการทดลอง	31
3.1 ขั้นตอนการปรับปรุงภาพและประมวลผลสำหรับการแยกประเภทของปืน	31
3.2 ขั้นตอนการประมวลผลสำหรับการหาความลึกของรอยเข็มแทงขนวน	34
บทที่ 4 ผลการทดลอง	36
4.1 ผลการทดลองการแยกปืนของปืน	36
4.2 การเปลี่ยนแปลงการหมุนปลอกกระสุน	49
4.3 การหาความลึกของรอยเข็มแทงขนวน	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 วิเคราะห์ผลการทดลอง	57
5.1 การจำแนกรุ่นของปืนด้วยค่าเฉลี่ยพิทเชล	57
5.2 การหาความลึกของรอยเข็มแทงชนวน	58
บทที่ 6 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	62
6.1 สรุปผลการวิจัย	62
6.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อ	62
เอกสารอ้างอิง	63
ภาคผนวก	65
ประวัติผู้เขียน	74



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ภาพตัวอย่างของปลอกกระสุนปืนขนาด 9 มม ที่ยิงมาจากปืนยี่ห้อ BERETTA	36
4.2 ภาพตัวอย่างของปลอกกระสุนปืนขนาด 9 มม ที่ยิงมาจากปืนยี่ห้อ UZI	40
4.3 ภาพตัวอย่างของปลอกกระสุนปืนขนาด 9 มม ที่ยิงมาจากปืนยี่ห้อ Jericho 940	43
4.4 ภาพตัวอย่างของปลอกกระสุนปืนขนาด 9 มม ที่ยิงมาจากปืนยี่ห้อ Taurus	46
4.5 ภาพตัวอย่างการหมุนปลอกกระสุนปืนขนาด 9 มม จากปืนยี่ห้อ BERETTA	49
4.6 ภาพตัวอย่างการหมุนปลอกกระสุนปืนขนาด 9 มม จากปืนยี่ห้อ UZI	50
4.7 ภาพตัวอย่างการหมุนปลอกกระสุนปืนขนาด 9 มม จากปืนยี่ห้อ JERICHO 941	51
4.8 ภาพตัวอย่างการหมุนปลอกกระสุนปืนขนาด 9 มม จากปืนยี่ห้อ TAURUS	52
4.9 ภาพ normal vector และภาพแสดงควมลึกสามมิติของปืนรุ่น BERETTA	53
4.10 ภาพ normal vector ภาพแสดงควมลึกสามมิติของปืนรุ่น UZI	54
4.11 ภาพ normal vector ภาพแสดงควมลึกสามมิติของปืนรุ่น JERICHO 941	55
4.12 ภาพ normal vector ภาพแสดงควมลึกสามมิติของปืนรุ่น TAURUS	56
5.1 ช่วงค่าเฉลี่ยของปืนแต่ละรุ่น	58
5.2 ค่าเฉลี่ยควมลึกของรอยเข็มแทงขนวนในหน่วยพิทเชลและมิลลิเมตร	58
5.3 เปอร์เซนต์ควมแตกต่างระหว่างวิธี LP และค่าที่แปลงจากสมการเส้นตรง	60

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 องค์ประกอบของปโลกกระสุนปืน	1
2.1 ภาพระดับสีเทา	7
2.2 ลักษณะของฮิสโตแกรม	8
2.3 ภาพแสดงลักษณะฮิสโตแกรมของภาพ	8
2.4 ลักษณะของฮิสโตแกรมที่ผ่านการ Histogram Equalization	9
2.5 การมองภาพแบบสลับตาด้วยตาเปล่า	12
2.6 การมองภาพแบบขนานด้วยตาเปล่า	13
2.7 การแสดงภาพแบบแอนะกลิฟ	13
2.8 การแสดงภาพแบบโพลาริซ 3 มิติ	14
2.9 การแสดงภาพแบบพาราแลกซ์บาร์เรีย	14
2.10 ทิศทางการรับส่งสัญญาณแบบ Opposed mode	15
2.11 แหล่งกำเนิดแสงแบบ Backlight	15
2.12 ทิศทางการรับส่งสัญญาณแบบ Proximity mode	16
2.13 แหล่งกำเนิดแสงแบบ Ring light	16
2.14 แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome light	17
2.15 แหล่งกำเนิดแสงแบบ Directional light	17
2.16 แหล่งกำเนิดแสงแบบ Low-angle light	18
2.17 แหล่งกำเนิดแสงแบบ On-axis light	18
2.18 กล้องสำหรับการตรวจสอบวัตถุ	19
2.19 กล้องแบบ Line scan	19
2.20 กล้องแบบ Area scan	20
2.21 หลักการทำงานของเซ็นเซอร์แบบ CMOS	21
2.22 หลักการทำงานของเซ็นเซอร์แบบ CCD	22
2.23 การสะท้อนในแบบ Diffuse และ Specular	23
2.24 การสะท้อนแบบ Diffuse	23
2.25 การสะท้อนแบบ Specular	24
2.26 การวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสง	24
2.27 การตรวจสอบโดยภาพถ่ายรังสี	27
2.28 การตรวจสอบโดยคลื่นความถี่เหนือแสง	28
2.29 การตรวจสอบด้วยวิธีกระแสไหลวน	28
2.30 การตรวจสอบด้วยอนุภาคแม่เหล็ก	29
2.31 การตรวจสอบโดยใช้สารแทรกซึม	29
3.1 ระบบต้นแบบที่ใช้ในการทดลอง	31

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.2 การวางตำแหน่งของกล้องและแหล่งกำเนิดแสงในการแยกประเภทของปืน

3.3 ขั้นตอนการปรับปรุงภาพของระบบการแยกประเภทปืน

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.4 ตัวอย่างภาพขนาด 4 x 4 พิกเซล	33
3.5 การวางตำแหน่งของกล้องและแหล่งกำเนิดแสงในการหาความลึกของรอยขีดข่วน	34
3.6 ภาพ Normal vector	35
3.7 ภาพแสดงความลึกสามมิติ	35
5.1 ค่าเฉลี่ยพิกเซลของป็นแต่ละรุ่น	57
5.2 ภาพด้านข้างของปลอกกระสุนด้วย Laser Profilometry	59
5.3 วิธีการหาความลึกโดยเทคนิค LP.....	59
5.4 กราฟเส้นตรงระหว่างความลึกในหน่วยพิกเซลและมิลลิเมตร	60



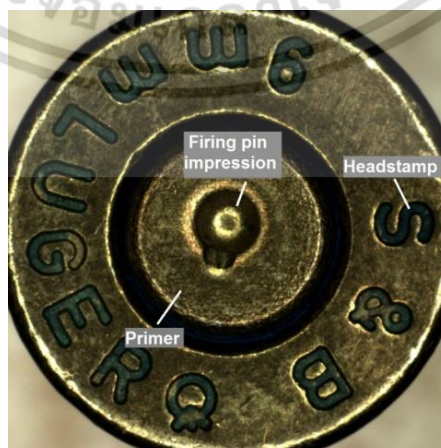
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันนี้ได้เกิดปัญหาทางด้านอาชญากรรมภายในประเทศเพิ่มขึ้นจากเดิมค่อนข้างมาก จึงทำให้กระบวนการยุติธรรมของประเทศไทยให้ความสำคัญต่อพยานหลักฐานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย สาเหตุหนึ่งอาจมาจากการที่ประเทศไทยได้เปลี่ยนจากระบบกล่าวหาจากตัวบุคคลมาสู่ระบบการพิสูจน์การกระทำผิดที่รับฟังพยานหลักฐานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์เป็นสำคัญ เนื่องจากคนร้ายที่ทำการก่อเหตุนั้นมักจะลงมือก่อเหตุในช่วงเวลาที่พลอดคนซึ่งทำให้ไม่สามารถหาพยานบุคคลมายืนยันหรือระบุตัวคนร้ายได้ จึงต้องอาศัยการสืบสวนทางนิติวิทยาศาสตร์เข้ามาช่วย ซึ่งการที่จะเอาตัวผู้กระทำผิดมาลงโทษตามกระบวนการยุติธรรมได้นั้นเป็นเรื่องที่สำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะจะต้องมีการรวบรวมพยานหลักฐานมายืนยันให้สามารถพิสูจน์ความผิดได้อย่างชัดเจนและแน่นอนที่สุด และนั่นจึงจำเป็นต้องมีการใช้หลักการของนิติวิทยาศาสตร์เข้ามาช่วย

โดยหลักนิติวิทยาศาสตร์ (Forensic Science) คือ การนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ทุกสาขามาประยุกต์ใช้เพื่อพิสูจน์หาข้อเท็จจริงในกระบวนการยุติธรรม ซึ่งสามารถสร้างความเชื่อมั่นในกระบวนการยุติธรรมได้เป็นอย่างดีเพราะหลักฐานทางวิทยาศาสตร์นั้นไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยหลักการทางนิติวิทยาศาสตร์ได้มุ่งเน้นถึงการพิสูจน์การกระทำผิดของคนร้ายโดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในทุก ๆ สาขาเข้ามาเป็นตัวช่วย อาทิเช่น การตรวจสอบสถานที่เกิดเหตุและการถ่ายรูป (Crime Scene Investigation and Forensic) การตรวจลายนิ้วมือฝ่ามือฝ่าเท้า (Fingerprint, Palmprint, Footprint) การตรวจเอกสาร (Document) เช่น ตรวจลายเซ็น ลายมือเขียน การตรวจทางเคมี (Forensic Chemistry) การตรวจทางฟิสิกส์ (Forensic Physics) การตรวจทางชีววิทยา (Biological Trace Evidence) การตรวจทางนิติเวช (Forensic Medicine) และการตรวจอาวุธปืนและกระสุนปืนของกลาง (Forensic Ballistics)



รูปที่ 1.1 องค์ประกอบของปลอกกระสุนปืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากคดีฆาตกรรมที่เกิดขึ้นโดยส่วนใหญ่ผู้ก่อเหตุมักใช้อาวุธปืนมาเป็นอาวุธในการก่อเหตุ จึงทำให้วัตถุพยานที่มักพบบ่อยๆเลยก็คือ ปลอกกระสุนปืน ซึ่งการวิเคราะห์ถึงปลอกกระสุนปืนโดยใช้หลักการทางนิติวิทยาศาสตร์นั้น สามารถทำให้จับกุมตัวผู้ลงมือได้หลายต่อหลายครั้ง โดยการตรวจสอบปลอกกระสุนที่พบในที่เกิดเหตุสามารถพิจารณาได้จากรอยเข็มแทงชนวน (Firing pin impression) ที่อยู่บนจันท้ายของปลอกกระสุน ตามรูปที่ 1.1

ซึ่งปืนแต่ละรุ่นก็จะมีรอยของเข็มแทงชนวนที่แตกต่างกันออกไป จึงทำให้สามารถตรวจสอบได้ว่าปลอกกระสุนปืนที่พบในที่เกิดเหตุ นั้นยังมาจากปืนรุ่นอะไร โดยในอดีตที่ผ่านมาได้มีการใช้มนุษย์ในการตรวจสอบหลักฐานเหล่านี้ ซึ่งเมื่อทำการตรวจสอบไปเป็นระยะเวลาหลายๆอาจทำให้เกิดอาการเมื่อยล้า เกิดความผิดพลาดและความล่าช้าในการตรวจสอบขึ้นได้ เพื่อที่จะลดปัญหาเหล่านี้ลง จึงได้มีการวิจัยที่นำเสนอวิธีการตรวจสอบปลอกกระสุนปืนขึ้นมามากมาย อาทิเช่นงานวิจัย [1] ที่นำเสนอถึงวิธีที่วิเคราะห์ถึงรอยเข็มแทงชนวนแต่ยังมีข้อจำกัดคือสามารถตรวจสอบได้เพียงรอยเข็มแทงชนวนที่มีลักษณะวงกลมเท่านั้นและยังต้องอาศัยการหมุนให้รอยเข็มแทงชนวนอยู่อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการก่อนทำการประมวลผลอีกด้วย ซึ่งต่อมา [2] ได้ทำการปรับปรุงแก้ไขงานวิจัยที่ผ่านมา โดยวิธีของเขาได้นำเสนอวิธีที่พิจารณาถึงรอยเข็มแทงชนวนได้ทุกแบบโดยไม่จำกัดเฉพาะรอยเข็มแทงชนวนที่เป็นแบบวงกลมเท่านั้น และยังมีมีการเพิ่มการใช้ค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์เพื่อขจัดปัญหาการเปลี่ยนแปลงด้านการหมุนของภาพปลอกกระสุนก่อนนำมาประมวลผลอีกด้วย จากนั้น [3] ได้เสนอวิธีที่ใช้การสร้างภาพสามมิติเพื่อแสดงพื้นผิวทั้งหมดของปลอกกระสุนปืนซึ่งแสดงถึงความลึกโดยรวมทั้งหมดโดยใช้โฟโตเมตริกสเตอริโอ ซึ่งแสดงความลึกในส่วนต่างๆของปลอกกระสุนในรูปของกราฟ Profile หรือรายละเอียดทางด้านข้าง อีกทั้งยังเอาภาพจำลองสามมิติที่ได้เป็นทำการ Template Matching ต่อไป

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีที่ใช้ทำการตรวจสอบปลอกกระสุนปืนจากรอยของเข็มแทงชนวนเพื่อจำแนกปืนแต่ละรุ่นด้วยการใช้ค่าเฉลี่ยพิกเซลของรูปภาพ โดยที่การเปลี่ยนแปลงการหมุนปลอกกระสุนปืนไม่มีผลต่อการจำแนกรุ่นของปืนแต่ละกระบอก อีกทั้งยังสามารถแสดงความลึกของรอยเข็มแทงชนวนบนจันท้ายปลอกกระสุนในลักษณะของภาพความลึกสามมิติผ่านหลักการโฟโตเมตริกสเตอริโอ โดยปืนที่นำมาทำการทดลองประกอบด้วยปืน 4 รุ่น คือ BERETTA, UZI, JERICHO 941 และ TAURUS

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งเน้นการพัฒนาและค้นคว้าวิธีการตรวจสอบรอยเข็มแทงชนวนที่เกิดบนจันท้ายของปลอกกระสุน โดยการนำภาพถ่ายที่ได้มาใช้ในการคำนวณหาลักษณะเด่นที่เป็นลักษณะเฉพาะตัวของปืนแต่ละกระบอก โดยไม่ต้องคำนึงถึงมุมของรอยเข็มแทงชนวน พร้อมทั้งแสดงเป็นภาพสามมิติด้วยหลักการโฟโตเมตริกสเตอริโอเพื่อหาความลึกของรอยเข็มแทงชนวนของปืนแต่ละรุ่นเพื่อใช้ในการจำแนกรุ่นปืนต่อไป

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. จัดเตรียมระบบประมวลผลภาพ ซึ่งประกอบด้วย กล้องถ่ายภาพดิจิทัล แหล่งกำเนิดแสง โปรแกรมMATLAB รวมถึงการควบคุมสภาพแวดล้อมอื่นๆของระบบฯ ให้คงที่ เพื่อลดการรบกวนจากปัจจัยภายนอกที่จะส่งผลต่อการบันทึกภาพ
2. ทดลองทำการเก็บค่าเฉลี่ยของพิกเซลจากบล็อกกระสุนปืน เพื่อนำมาประมวลผลในการจำแนกปืนแต่ละรุ่น พร้อมทั้งแสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเพื่อยืนยันถึงประสิทธิภาพของระบบที่ได้นำเสนอไป
3. ใช้หลักการของโฟโตเมตริกสเตอริโอในการสร้างภาพความลึก 3 มิติ เพื่อแสดงความลึกของรอยเข็มแทงขนวนบนงานท้ายบล็อกกระสุนและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของรอยเข็มแทงขนวนกับปืนแต่ละรุ่น

1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิจัย

1. ศึกษาและทบทวนการตรวจสอบวิธีการตรวจสอบบล็อกกระสุนปืน
2. ศึกษาและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบบล็อกกระสุนปืน เพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานกับงานวิจัยของตนเอง
3. ศึกษาการทำงานของหลักการโฟโตเมตริกสเตอริโอเพื่อนำมาปรับใช้ในการสร้างภาพความลึก 3 มิติ
4. จัดเตรียมระบบประมวลผลด้วยภาพถ่ายดิจิทัลทั้งในการแยกส่วนของปืนและการหาความลึกของรอยเข็มแทงขนวน
5. เก็บข้อมูลภาพของรอยเข็มแทงขนวนของปืนแต่ละกระบอกที่อยู่บนงานท้ายของบล็อกกระสุน เพื่อนำมาใช้ในการทดลองทั้งหมด
6. ทำการทดลอง เพื่อนำค่าต่างๆที่ได้รับจากระบบที่ได้ออกแบบไว้ โดยนำไปวิเคราะห์เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องและเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างทั้งในการแยกส่วนของปืนและการหาความลึกของรอยเข็มแทงขนวน
7. นำวิธี Laser scanning มาช่วยในการเทียบความแตกต่างในด้านการหาความลึกของรอยเข็มแทงขนวนกับวิธีที่ได้ออกแบบไว้
8. วิเคราะห์ผลการทดลองพร้อมทั้งสรุปผลงานวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สามารถแยกความแตกต่างของปืนแต่ละรุ่นที่นำมาทดลองได้ทั้งในแง่ของขนาดและรูปร่างของรอยเข็มแทงขนวนผ่านการหาค่าเฉลี่ยของพิกเซล โดยไม่ต้องคำนึงถึงการกำหนดมุมของรอยเข็มแทงขนวน
2. สามารถแยกความแตกต่างของปืนแต่ละรุ่น โดยสังเกตจากค่าความลึกของรอยเข็มแทงขนวนที่ทดลองผ่านหลักการโฟโตเมตริกสเตอริโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาทั้งหมดออกเป็น 6 บท โดยเนื้อหาในแต่ละบทจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ ขอบเขตของงานวิจัย ขั้นตอนการศึกษาและวิจัย ประโยชน์ที่ได้รับ และรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่นำมาใช้ในงานวิทยานิพนธ์ ได้แก่ การประมวลผลภาพแบบดิจิทัล ประเภทของแหล่งกำเนิดแสง ประเภทของกล้อง พื้นผิวการสะท้อน วิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายและโฟโตเมตริกสเตอริโอ

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบและขั้นตอนการทดลองของการแยกรุ่นของปืนและการหาความลึกของรอยเข็มแทงชนวน

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการทดลองของการจำแนกรุ่นของปืน โดยที่มุมของปลอกกระสุนไม่มีผลต่อความถูกต้อง และการหาความลึกของรอยเข็มแทงชนวนโดยใช้ภาพความลึกสามมิติ

บทที่ 5 กล่าวถึงการวิเคราะห์ผลการทดลองทั้งหมด รวมถึงการหาเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการจำแนกรุ่นของปืน และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างวิธีที่ได้ออกแบบไว้กับวิธีแบบ Laser scanning

บทที่ 6 กล่าวถึงบทสรุปของงานวิจัย ข้อเสนอแนะ และแนวทางการประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ภาพแบบดิจิทัล (Digital Image)

ในภาพๆหนึ่งที่เราได้พบเห็นกันนั้นจะประกอบด้วยจำนวนพิกเซลหลายๆจำนวนมารวมกัน ซึ่งพิกเซลเหล่านั้นก็คือจุดสี่เหลี่ยมขนาดเล็กที่ถูกนำเรียงต่อกันจนเกิดเป็นภาพๆหนึ่งขึ้น โดยมีหน่วยวัดเป็นพิกเซลต่อนิ้ว หรือ ppi โดยความละเอียดของภาพสามารถวัดได้จากจำนวนของพิกเซลต่อหนึ่งหน่วยความยาวในภาพ ซึ่งถ้าเราทำการขยายภาพให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ก็จะพบจำนวนพิกเซลขนาดเล็กๆจำนวนมาก ถ้าในภาพที่มีความละเอียดสูงขนาดของพิกเซลจะมีขนาดเล็กกว่าเมื่อเทียบกับขนาดของพิกเซลในภาพที่มีความละเอียดต่ำ ซึ่งแต่ละพิกเซลนั้นจะระบุถึงตำแหน่งที่อยู่ของภาพ โดยอยู่ในรูปของ $f(x, y)$ ซึ่งค่า $f(x, y)$ คือค่าความเข้มแสงที่ตำแหน่ง x และ y โดยถ้าค่า $f(x, y)$, x และ y เป็นค่าคงที่จะเรียกรูปภาพเหล่านั้นว่า ภาพแบบดิจิทัล ซึ่งสามารถสมการให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ตามสมการที่ 2.1

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0, N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1, N-1) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1, N-1) \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

2.1.1 ลักษณะของภาพแบบดิจิทัล

ภาพแบบดิจิทัลจะถูกแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

2.1.1.1 รูปภาพแบบ Vector

ภาพชนิดนี้จะอ้างอิงตามความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ โดยเป็นการรวมเอารูปทรงพื้นฐานต่างๆเช่น วงกลม เส้นตรง ทรงกลม ลูกบาศก์ มาผสมกันจนเกิดเป็นภาพๆหนึ่งขึ้น โดยลักษณะเด่นของรูปภาพประเภทนี้ก็คือสามารถขยายภาพเท่าใดก็ได้ โดยที่ภาพจะไม่มีอาการแตก และความละเอียดของภาพก็จะไม่เปลี่ยนแปลง โดยภาพแบบ Vector นั้น จะมีไฟล์มีขนาดของไฟล์ที่เล็กกว่าภาพแบบ Bitmap โดยไฟล์ของรูปภาพแบบ Vector คือ ไฟล์ที่มีนามสกุล .EPD, .WMF, .CDR, .AI, .CGM, .DRW, .PLT

2.1.1.2 รูปภาพแบบ Bitmap

ภาพชนิดนี้จะประกอบขึ้นด้วยจุดสีต่างๆ ที่มีจำนวนคงที่ โดยภาพชนิดนี้จะเป็นภาพที่ไม่มีการกำหนดรูปทรงที่แน่นอนเหมือนภาพแบบ vector ที่มีลักษณะของรูปทรงที่แน่นอน เมื่อทำการขยายภาพแบบ Bitmap ขึ้นพบว่า มีลักษณะเป็นตารางเล็กๆ จนดูเหมือนเป็นภาพที่แตก ซึ่งนั่นก็เป็นปัญหาอันเนื่องจากการที่ภาพแบบ Bitmap มีค่าจำนวนของพิกเซลที่คงที่นั่นเอง โดยคุณภาพของภาพในแบบ bitmap นั้นจะถูกกำหนดด้วย 2 ปัจจัย คือ ความละเอียดและความสว่างของภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยไฟล์ภาพแบบ Bitmap จะประกอบไปด้วย ไฟล์ที่มีสกุล .BMP, .PCX, .TIF, .GIF, .JPG, .MSP, .PCD เป็นต้น

- BMP (Bitmap)

เป็นไฟล์ภาพประเภทที่เก็บจุดของภาพแบบจุดต่อจุดตรงๆ โดยไฟล์ประเภทนี้สามารถเก็บรายละเอียดของภาพได้อย่างสมบูรณ์แต่มีพื้นที่ในการเก็บไฟล์ค่อนข้างมาก จึงได้มีการคิดค้นวิธีการเก็บภาพให้มีขนาดเล็กลงแต่ยังคงสามารถเก็บภาพได้เช่นเดิม ขึ้นมาหลายวิธี เช่น ไฟล์แบบ JPEG, PNG และ GIF

- JPEG (Joint Graphics Expert Group)

เป็นไฟล์ที่มีการบันทึกข้อมูลแบบสูญเสียข้อมูลและใช้การบีบอัดไฟล์ด้วยหลักการ DCT หรือ Discrete Cosine Transform โดยไฟล์ประเภทนี้จะทำการตัดรายละเอียดของภาพบางส่วน จึงทำให้มีขนาดของไฟล์ภาพเล็กกว่าแบบ Bitmap ค่อนข้างมาก โดยข้อดีของไฟล์ JPEG คือสามารถแสดงผลของภาพออกมาได้ถึง 16 ล้านสี จึงทำให้สามารถเก็บข้อมูลของภาพสีหรือภาพกราฟิกที่มีลักษณะซับซ้อนได้เป็นอย่างดี แต่ข้อเสียก็คือไฟล์ภาพที่ได้จะมีขนาดใหญ่ ซึ่งถ้าต้องการลดขนาดลงก็ต้องแลกกับการสูญเสียความละเอียดในการบีบอัดด้วยเช่นกัน

- GIF (Graphics Interchange Format)

เป็นไฟล์ที่มีการบีบอัดข้อมูลสูงแต่จะไม่มีการสูญเสียข้อมูลระหว่างการบีบอัด โดยใช้วิธีของ LZW หรือ Lempel-Ziv-Welch ในการบีบอัดไฟล์ ซึ่งไฟล์ของภาพที่ได้จะมีขนาดเล็ก แต่มีความละเอียดของภาพที่มากกว่าไฟล์แบบ JPEG ข้อดีของไฟล์ประเภทนี้นอกจากจะสูญเสียข้อมูลน้อยแล้ว มันยังสามารถนำมาสร้างเป็นภาพเคลื่อนไหวง่ายๆ ได้อีกทั้งยังสามารถทำให้เป็นลักษณะของภาพโปร่งใสได้อีกด้วย แต่มีข้อจำกัดอยู่ที่ไฟล์แบบ GIF สามารถแสดงสีได้เพียง 256 สีเท่านั้น

- PNG (Portable Network Graphics)

เป็นภาพที่เกิดจากการนำเอาคุณสมบัติของภาพ JPG และ GIF มาผสมผสานกันคือมีสีที่มากกว่า 256 สีไปจนถึง 16 ล้านสี โดย PNG นั้นจะมีการบีบไม่มีการสูญเสียข้อมูลระหว่างการบีบอัดเช่นเดียวกับไฟล์แบบ GIF รวมถึงยังสามารถทำให้โปร่งใสได้อีกด้วย แต่ข้อจำกัดของภาพประเภทนี้คือมันไม่สามารถทำให้เป็นภาพเคลื่อนไหวได้เช่นเดียวแบบไฟล์แบบ GIF ได้เนื่องจากมันไม่สามารถเก็บไฟล์ทั้งหมดไว้ในภาพเดียวได้

- TIFF (Tagged Image File Format)

เป็นการเก็บไฟล์ภาพในลักษณะเดียวกับไฟล์แบบ BMP ก็คือในแต่ละไฟล์จะมี Tagged File ภาพที่เก็บไว้ในลักษณะของ TIFF จึงมีความพิเศษกว่าการเก็บแบบอื่น ตรงที่มันสามารถแสดงผลความละเอียดของภาพได้ทุกระดับตั้งแต่ภาพขาวดำไปจนถึงภาพสี อีกทั้งยังสามารถใช้สลับไปมาระหว่างเครื่องพีซีและเครื่องแมคอินทอช มันจึงเป็นที่นิยมมากสำหรับงานสิ่งพิมพ์ต่างๆ แต่สิ่งที่ตามมาคือขนาดของภาพจะมีขนาดใหญ่มากเมื่อเทียบกับไฟล์ภาพแบบอื่นๆ

2.2 การประมวลผลภาพ (Image Processing)

โดยการประมวลผลด้วยภาพนั้นจะประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ที่สำคัญคือกระบวนการของการรับภาพ(Image acquisition) ซึ่งมันรวมไปถึงการถ่ายภาพจากกล้องไปจนถึงการนำภาพเข้ามาในระบบ โดยอาจมีการประมวลผลก่อน (preprocessing) เช่นการปรับขนาดของภาพ การลดสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการออกจากภาพ เป็นต้น การปรับปรุงภาพ (Image enhancement) คือการทำให้รายละเอียดในภาพที่ไม่ชัดเจนมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น หรือทำให้คุณลักษณะที่สำคัญเด่นชัดขึ้น การทำให้ภาพคืนสู่สภาพเดิม (Image restoration) การประมวลผลภาพสี (Color image processing) การบีบอัดข้อมูลภาพ(Image Compression) การแบ่งส่วนของภาพ (Image segmentation) และการแยกลักษณะเฉพาะของภาพ (Image Feature Extraction) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อหาข้อมูลในเชิงปริมาณ เช่น รูปร่าง ขนาด และทิศทางการเคลื่อนของวัตถุที่อยู่ในภาพ เมื่อเราได้ข้อมูลเชิงปริมาณแล้ว จะนำข้อมูลเหล่านั้นไปวิเคราะห์หรือกรอบเพื่อนำไปสร้างเป็นระบบต่อไป ซึ่งหลักการประมวลผลด้วยภาพนั้นมีประโยชน์ในงานหลายๆด้านเช่น ด้านการอุตสาหกรรม ด้านการรักษาความปลอดภัย ด้านการเงิน ด้านการจราจร ด้านการแพทย์ ด้านการทหาร เป็นต้น

โดยงานต่างๆที่ใช้หลักของการประมวลผลภาพล้วนแล้วแต่เป็นระบบที่ต้องมีการทำงานซ้ำๆ ซึ่งการใช้มนุษย์ในการทำงานอาจทำให้เกิดการอ่อนล้าเมื่อทำงานเป็นเวลานานจนก่อให้เกิดความผิดพลาดและล่าช้าในงานขึ้นได้และนี่จึงเป็นสาเหตุให้มีการใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาเป็นตัวช่วยในการวิเคราะห์นั่นเอง

2.2.1 การแปลงภาพสี RGB ให้เป็นภาพระดับสีเทา (RGB to Grayscale)

โดยในขั้นแรกนั้นภาพที่ได้รับเข้ามาในจะอยู่ของรูปแบบสี RGB ซึ่งจะประกอบด้วย ค่าของ R , G และ B จากนั้นจะทำการเปลี่ยนให้เป็นภาพระดับสีเทา (Grayscale) เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ภาพได้ง่ายและรวดเร็วยิ่งขึ้นเพราะเมื่อแปลงภาพเป็นระดับสีเทาแล้วจะทำให้แต่ละจุดของภาพจะเหลือเพียงแค่ค่าความเข้มที่มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 (0 คือระดับเข้ม 255 คือระดับสว่าง) ในกรณีของภาพแบบ 8 บิต ตามรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ภาพระดับสีเทา

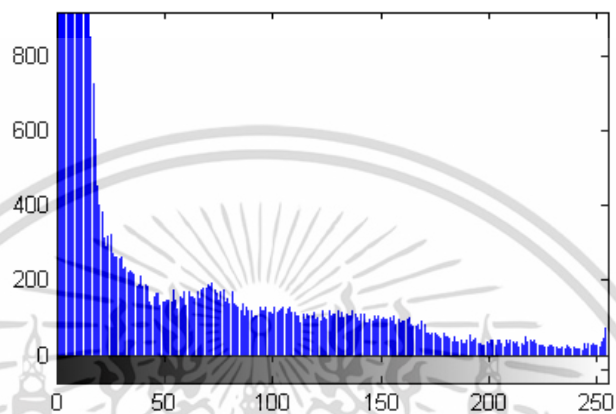
วิธีการหาค่าความสว่างของสีเทาในรูปแบบของ RGB ที่ใกล้เคียงกับสายตาของมนุษย์มากที่สุดสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2.2

$$\text{Grayscale image} = (0.299 * R) + (0.587 * G) + (0.114 * B) \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย Grayscale image แทน ค่าระดับสีเทา ณ จุดพิกเซล ที่เราต้องการหา
 R แทน ค่าสีแดง ณ จุด ที่ต้องการหา
 G แทน ค่าสีเขียว ณ จุด ที่ต้องการหา
 B แทน ค่าสีน้ำเงิน ณ จุด ที่ต้องการหา

2.2.2 Histogram Equalization



รูปที่ 2.2 ลักษณะของฮิสโตแกรม

วิธีการ Histogram Equalization มีวัตถุประสงค์คือต้องการให้ค่าความถี่ของภาพในแต่ละระดับสีเทามีค่าที่ใกล้เคียงกันมากที่สุดหรือก็คือการทำให้ข้อมูลที่ได้มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอเพื่อทำให้ภาพเกิดความคมชัดมากที่สุด ซึ่งตัวอย่างของกราฟฮิสโตแกรมแสดงตามรูปที่ 2.2 โดยสมการในการคำนวณหาจำนวนความถี่ของภาพที่เหมาะสมสามารถหาได้จากสมการที่ 2.3

$$\text{จำนวนจุดภาพที่เหมาะสม} = \text{จำนวนจุดภาพทั้งหมด} / \text{จำนวนค่าระดับสีเทา} \quad (2.3)$$

โดยในภาพที่มีความคมชัดต่ำหรือภาพที่มีลักษณะของสีที่ซีดจางนั้น ลักษณะรูปร่างของกราฟฮิสโตแกรมจะมีการกระจายของข้อมูลที่น้อย คือจะมีการกึ่งที่บริเวณใดบริเวณหนึ่งเท่านั้น ซึ่งแสดงตามรูปที่ 2.3a) ส่วนรูปภาพที่มีความมืดมากเกินไปกราฟของฮิสโตแกรมก็จะมีการรวมกันของพิกเซลกันที่บริเวณทางด้านซ้ายของกราฟเป็นส่วนมาก ในทางตรงกันข้ามกับรูปภาพที่มีความสว่างมากเกินไปลักษณะของฮิสโตแกรมก็มีการรวมกันของจำนวนพิกเซลที่บริเวณด้านขวาของกราฟมากเป็นพิเศษนั่นเอง โดยสามารถแสดงได้ตามรูปที่ 2.3b) และ 2.3c) ตามลำดับ



รูปที่ 2.3 ภาพแสดงลักษณะฮิสโตแกรมของภาพ (a) แบบคมชัดต่ำ (b) แบบมืด (c) แบบสว่าง

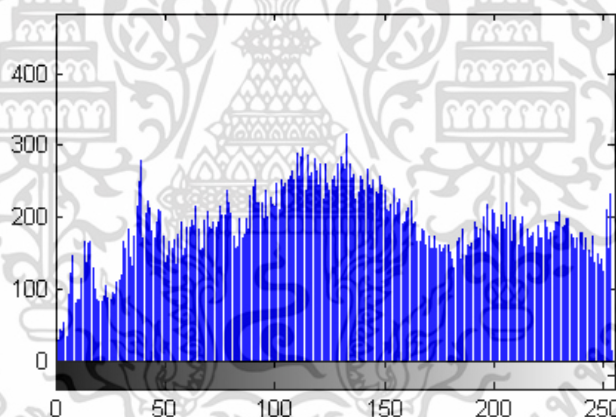
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับในด้านการคำนวณการแปลงค่าสีเทาใหม่นั้นจะเริ่มจากการเลือกระดับค่าความเข้มมากที่สุดนั่นก็คือสีดำไปยังส่วนที่มีความเข้มน้อยที่สุดซึ่งก็คือสีขาว จากนั้นทำการบันทึกค่าจำนวนของพิกเซลในแต่ละระดับสี ซึ่งจำนวนพิกเซลที่ถูกบันทึกเหล่านั้นจะถูกนำมาคำนวณหาค่า CDF(Cumulative Distribution Function) หรือค่าความถี่สะสม โดยค่าความถี่สะสมที่ได้นั้นถือว่าเป็นตัวแปรสำคัญในด้านการคำนวณหาค่าระดับสีเทาใหม่ที่จะถูกสร้างขึ้นใหม่ด้วยวิธี Histogram Equalization โดยสามารถหาได้จากสมการที่ 2.4

$$\text{Histeq}(v) = \left(\frac{\text{cdf}(v) - \text{cdf}_{\min}}{(M \times N) - \text{cdf}_{\min}} \times (L - 1) \right) \quad (2.4)$$

โดยที่ Histeq คือระดับสีเทาที่สร้างขึ้นใหม่, cdf คือค่าความถี่สะสม ณ ตำแหน่งค่าระดับสีเทาที่เราต้องการหา, cdf_{\min} คือค่าความถี่สะสม ณ ระดับความเข้มแสงที่เข้มที่สุด, v คือตำแหน่งของความเข้มแสงที่ต้องการหา, L คือ ค่าระดับสีเทา ซึ่งสำหรับในภาพแบบ 8 บิตจะมีค่าเป็น 256 , M และ N คือ จำนวนแถวและคอลัมน์

ซึ่งภาพที่ผ่านการทำ Histogram Equalization แล้วกราฟของฮิสโตแกรมก็จะมีลักษณะตามรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะของฮิสโตแกรมที่ผ่านการ Histogram Equalization

2.2.3 การสร้างภาพไบนารี (Binarization)

การสร้างภาพไบนารีนั้นสามารถใช้เทคนิคการทำเทรชโฮล โดยจะพิจารณาถึงจุดสีขาวหรือสีดำ ซึ่งทำได้โดยการเปรียบเทียบค่าระหว่างพิกเซลของภาพเริ่มต้นเทียบกับค่าเทรชโฮล (Threshold Value) โดยการกำหนดค่าเทรชโฮลนั้นสามารถกำหนดได้สองแบบคือการกำหนดเองจากตัวผู้ใช้งานโดยกำหนดจากค่าที่อยู่ระหว่างความเข้มแสงที่ต่ำที่สุดและสูงที่สุด และการหาค่าเทรชโฮลจากค่ากลางหรือค่าเฉลี่ยของข้อมูล โดยเทคนิคการใช้ค่าเทรชโฮลนี้นิยมนำมาใช้กันในกรณีที่ข้อมูลภาพนั้นมีลักษณะที่ต่างกันระหว่างวัตถุที่สนใจ (Object) กับพื้นหลัง (Background) โดยค่าพิกเซลของภาพที่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าเทรชโฮลจะถูกเปลี่ยนเป็น 0 หรือจุดสีดำ และพิกเซลของภาพที่มีค่ามากกว่าค่าเทรชโฮลก็จะถูกเปลี่ยนเป็น 1 หรือจุดสีขาว ซึ่งสามารถเขียนได้ตามสมการ

ที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$O = \begin{cases} 0, & \text{If } I < T \\ 2^B - 1, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (2.5)$$

เมื่อ O คือค่าความเข้มแสงของภาพขาออกที่ตำแหน่งเดียวกัน
 B คือจำนวนบิตของระบบภาพ
 I คือค่าความเข้มแสงของพิกเซล ณ ตำแหน่งที่กำลังพิจารณา
 T คือค่าเทรชโฮล

สำหรับในการกำหนดค่าขีดแบ่งหรือค่าเทรชโฮลในงานวิจัยฉบับนี้นั้นเลือกใช้วิธีการแบ่งของ Otsu ที่มีกำหนดค่าเทรชโฮลแบบที่ใช้ค่าเทรชโฮลเดียวกันตลอดทั้งภาพหรือแบบ Global Thresholding โดยใช้ค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มฮิสโตแกรม 2 กลุ่มคือ Object และ Background โดยเลือกจากค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มที่มีค่ามากที่สุด ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 2.6

$$\sigma_B^2 = \omega_0 \omega_1 (\mu_0 - \mu_1)^2 \quad (2.6)$$

ซึ่งขั้นตอนในการคำนวณหาค่าเทรชโฮลในแบบของ Otsu นั้นเริ่มต้นจากการหาค่าความน่าจะเป็นของค่าของพิกเซลทั้งหมดของกลุ่ม 2 กลุ่มได้จากสมการที่ 2.7

$$\omega_0 = \sum_{i=1}^K P_i, \quad \omega_1 = \sum_{i=K+1}^L P_i \quad (2.7)$$

โดยค่า K คือค่าเทรชโฮลที่นำมาทดลองคำนวณในการหาค่าเทรชโฮลที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งโดยปกติแล้วถ้าภาพเป็นแบบ 8 บิต ก็จะมีค่า L หรือค่าของระดับพิกเซลอยู่ที่ 0 - 255 สำหรับในการหาค่าความน่าจะเป็นของค่าของพิกเซลในแต่ละระดับความเข้มจะต้องผ่านวิธีการ Normalization ให้มีค่าตั้งแต่ 0 - 1 โดยสามารถหาได้จาก

$$P_i = \frac{n_i}{N} \quad (2.8)$$

โดยค่า n_i คือจำนวนของพิกเซลในแต่ละระดับความเข้ม และ N คือ ผลรวมของค่าพิกเซลทั้งหมดของระดับความเข้มทั้งหมด

หลังจากที่ได้ค่าความน่าจะเป็นของทั้งสองกลุ่มแล้ว ก็นำค่าเหล่านั้นมาหาค่าเฉลี่ยของกลุ่มทั้ง 2 กลุ่ม ได้ตามสมการด้านล่าง

$$\mu_0 = \sum_{i=1}^K i p_i / \omega_0, \quad \mu_1 = \sum_{i=K+1}^L i p_i / \omega_1 \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้ค่าของจำนวนพิกเซลทั้งหมดและค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 กลุ่มแล้ว ก็นำค่าที่ได้ไปแทนในสมการที่ 2.6 เพื่อหาความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม 2 กลุ่ม ที่มีค่ามากที่สุดและนั่นก็คือค่าเทรชโฮลที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถนำไปใช้นั่นเอง

2.2.4 การแบ่งส่วนของรูปภาพ (Image segmentation)

เป็นวิธีการแบ่งส่วนใดส่วนหนึ่งของภาพที่เราสนใจออกมาจากภาพที่เราต้องการ โดยส่วนใหญ่แล้วมักจะทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพ (Image Enhancement) ก่อน โดยการแบ่งส่วนภาพจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ point, line, and edge based segmentation method และ region based segmentation method โดยที่

- point, line, and edge based segmentation method

เป็นการตรวจจับอยู่สามแบบคือ ตรวจจับจุด ตรวจจับเส้น และตรวจจับขอบภาพ โดยไม่ต่อเนื่องของภาพบริเวณจุด, เส้น และขอบของวัตถุที่ต่างชนิดกันมาเป็นตัวแบ่ง ซึ่งมี 3 ขั้นตอน คือ ทำการกรองภาพ เพื่อกรองข้อมูลและขจัดสัญญาณรบกวน จากนั้นทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพ เพื่อปรับปรุงคุณภาพข้อมูลและเน้นส่วนของวัตถุนภาพที่เราสนใจ และสุดท้ายทำการตรวจจับเพื่อสร้างขอบเขตของข้อมูลภาพที่เราสนใจ

- region based segmentation method

เป็นการแบ่งส่วนภาพโดยใช้ค่าเทรชโฮล ซึ่งการเลือกใช้ค่าเทรชโฮลเพื่อแปลงภาพระดับสีเทาให้เป็นภาพแบบไบนารีนั้น ได้ถูกพูดถึงเอาไว้ในหัวข้อของการสร้างภาพแบบไบนารี โดยวิธีนี้เป็นที่นิยมอย่างมากในการนำมาใช้เพื่อการตรวจสอบถึงวัตถุที่สนใจเพราะสามารถทำได้ง่ายและสะดวกรวดเร็ว เนื่องจากการที่จะนำวิธีการนี้มาใช้ในการตรวจสอบนั้น ต้องมีการกำหนดแสงให้มีความสม่ำเสมออยู่ตลอด นั่นจึงทำให้ค่าความเข้มของแสงที่ตกกระทบต่อวัตถุที่เราสนใจกับพื้นหลังมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดนั่นเอง โดยวิธีการใช้ค่าเทรชโฮลในการแบ่งจะมีด้วยกัน 2 แบบ คือ

- Global Thresholding คือการเลือกใช้ค่าเทรชโฮลเดียวทั้งภาพ
- Local Thresholding คือการแบ่งภาพออกเป็นส่วนๆ โดยแต่ละภาพที่ถูกแบ่งนั้นจะมีค่า Threshold เป็นของตัวเอง

2.2.5 การแยกลักษณะเฉพาะของภาพ (Image Feature Extraction)

เป็นวิธีการการแยกเอาข้อมูลที่สำคัญที่สุดหรือลักษณะเด่นของภาพออกมา โดยลักษณะเฉพาะที่ใช้ในการแยกหรือดึงลักษณะเด่นเหล่านั้นประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักๆคือ

- สี (Color)

เป็นลักษณะเฉพาะของภาพที่อธิบายถึงลักษณะเฉพาะของสี โดยการแยกลักษณะเฉพาะในแบบนี้ที่ถูกนำมาใช้บ่อยๆเนื่องจากสีเป็นสิ่งที่สามารถมองเห็นได้ง่ายและเป็นสิ่งแรกที่สามารถสังเกตเห็นได้จากการมองภาพ อีกทั้งมันยังเป็นสิ่งที่สามารถทำได้ง่ายและมีความแน่นอนในระดับหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รูปร่าง (Shape)

เป็นลักษณะเฉพาะของรูปภาพที่อธิบายถึงรูปร่างและขนาดของวัตถุ จึงทำให้สามารถแยกวัตถุเหล่านั้นออกจากพื้นหลังได้ รวมถึงในกรณีที่ในรูปภาพมีวัตถุหลายชนิดที่มีรูปร่างและขนาดต่างก็ก็สามารถแยกคุณลักษณะเหล่านั้นออกจากกันได้อีกด้วย

- พื้นผิว (Texture)

เป็นลักษณะเฉพาะที่ใช้อธิบายความหยาบความละเอียดหรือความซับซ้อนของวัตถุ ภายในภาพซึ่งแต่ละภาพอาจจะประกอบด้วยวัตถุที่มีลักษณะพื้นผิวที่แตกต่างออกไปการวิเคราะห์พื้นผิวจะช่วยให้สามารถแยกแยะความแตกต่างของวัตถุได้ดียิ่งขึ้น

2.3 ระบบของภาพ 3 มิติ

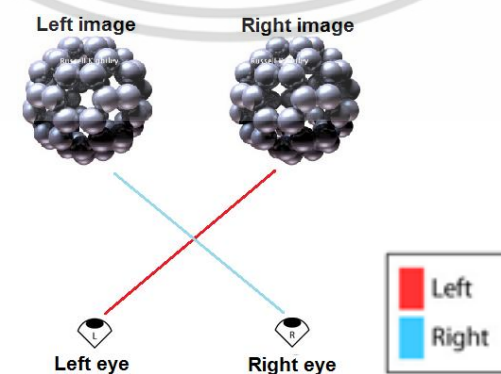
เทคนิคของการแสดงภาพ 3 มิติ จะเป็นการนำภาพ 2 มิติมาแสดงผล โดยมีเทคนิคการแสดงภาพที่ทำให้ตาข้างขวาและซ้ายมองเห็นภาพของวัตถุเดียวกันแต่อยู่ในมุมมองที่ต่างกัน ซึ่งทำให้สมองตีความเป็นภาพที่มีความลึก ตัวอย่างเทคนิคการแสดงภาพ 3 มิติ มีดังต่อไปนี้

2.3.1 การแสดงภาพคู่ (Stereo Pairs)

เป็นวิธีที่นำภาพ 2 ภาพ ที่ถ่ายโดยใช้เทคนิค 3 มิติมาวางคู่กัน ซึ่งสามารถมองเห็นเป็นภาพ 3 มิติได้ โดยมีเทคนิคในการมองหลายแบบคือ

- การมองแบบสลับตาด้วยตาเปล่า (Cross-Eye View)

เป็นการวางภาพซ้ายไว้ด้านขวาและวางภาพขวาไว้ด้านซ้าย โดยจะใช้ตาซ้ายดูภาพด้านขวา และใช้ตาขวาดูภาพด้านซ้าย ซึ่งเมื่อเริ่มดูภาพแล้วภาพทั้งสองจะค่อยๆ เคลื่อนเข้าหากันจนเกิดการรวมกันจนเกิดเป็นภาพ 3 มิติขึ้น โดยวิธีนี้ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือในการช่วยมอง แต่มีข้อเสียก็คือเมื่อมีการจ้องภาพเป็นเวลานานๆจนตาเกิดการล้าได้ จนทำให้เกิดอาการปวดศีรษะได้ โดยแสดงลักษณะการมองตามรูปที่ 2.5

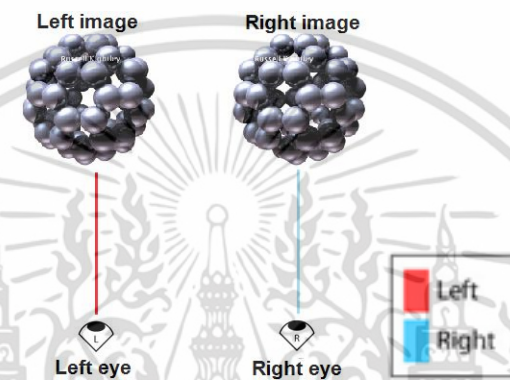


รูปที่ 2.5 การมองภาพแบบสลับตาด้วยตาเปล่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การมองแบบขนานด้วยตาเปล่า (Parallel View)

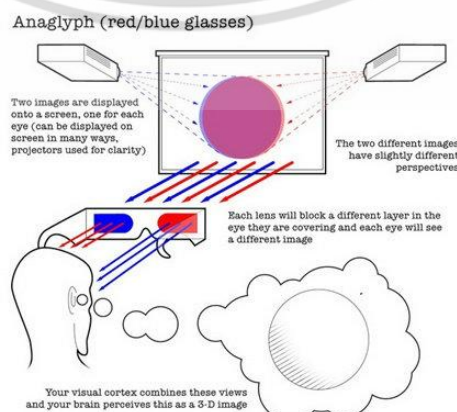
เป็นการดูภาพในลักษณะปกติ โดยภาพด้านซ้ายจะอยู่ทางซ้ายและดูด้วยตาซ้าย ส่วนภาพด้านขวาจะอยู่ทางขวาและดูด้วยตาขวาตามรูปที่ 2.6 โดยวิธีนี้สามารถดูด้วยตาเปล่าได้ แต่มีเทคนิคการดูที่ค่อนข้างซับซ้อน โดยเริ่มจากการขยับดวงตาเข้าไปจ้องภาพใกล้ๆ จากนั้นให้เลื่อนศรีษะออกจากภาพช้าๆ โดยทำการมองภาพตลอด โดยให้คิดว่าจุดโฟกัสของภาพอยู่ด้านหลังของภาพ จนเมื่อเริ่มเห็นภาพซ้อน 3 ภาพให้พยายามจ้องมองไปที่ภาพที่อยู่ตรงกลางรจนสายตาปรับได้จะเริ่มเห็นเป็นภาพ สามมิติขึ้น จึงได้มีการนำเครื่องมือในการช่วยมองเข้ามาช่วย ซึ่งก็คือ Stereo Scope นั่นเอง



รูปที่ 2.6 การมองภาพแบบขนานด้วยตาเปล่า

2.3.2 การแสดงภาพแบบแอนะกลีฟ (Anaglyph)

เป็นการฉายภาพสำหรับตาซ้ายและตาขวาที่มีโทนสีที่แตกต่างกันลงบนฉากรับภาพเดียวกัน โดยต้องใช้แว่นตาในการดูซึ่งโทนสีที่ใช้นั้นจะใช้เป็นสีแดงข้างหนึ่งและอีกข้างหนึ่งเป็นสีน้ำเงิน แสดงลักษณะการมองตามรูปที่ 2.7 โดยการแสดงภาพแบบแอนะกลีฟนั้นมักถูกนำมาใช้งานอยู่บ่อยๆ ไม่ว่าจะเป็นใน วงการวิดีโอเกมส์ วงการภาพยนตร์ วงการออกแบบ รวมถึงวงการอวกาศก็เช่นกัน เหตุผลก็มาจากที่ตัวมันนั้นใช้ต้นทุนในการผลิตค่อนข้างต่ำ ทั้งต้นทุนในการผลิตตัวภาพเอง และต้นทุนในการผลิตแว่นที่ใช้ด้วย แต่ข้อเสียของภาพแบบนี้ก็มีเช่นกันก็คือสีของภาพจะเพี้ยน ทำให้ภาพที่ได้ไม่ค่อยสมจริงเท่าที่ควรจึงทำให้ดูหลอกลตา

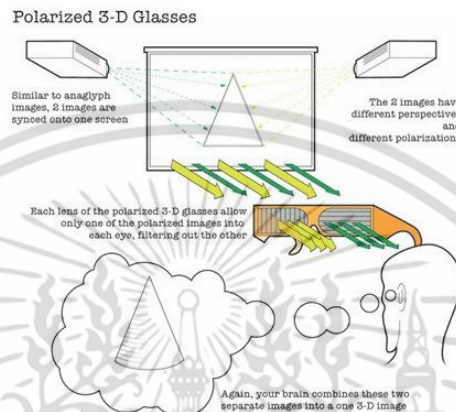


รูปที่ 2.7 การแสดงภาพแบบแอนะกลีฟ [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับที่รวิรงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การแสดงภาพแบบโพลาไรซ์ 3 มิติ (Polarized 3-D)

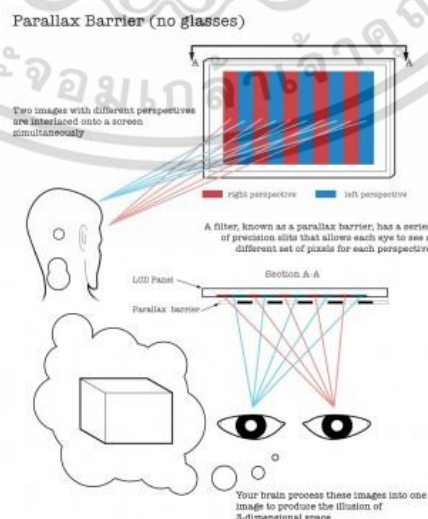
เป็นวิธีที่มีการทำงานคล้ายกับการแสดงภาพแบบแอนะกลิฟ แต่ภาพที่ฉายออกมานั้นจะเป็นภาพที่ผ่านฟิลเตอร์ Polarize ที่แตกต่างกัน ซึ่งภาพที่ได้ก็จะเหลื่อมกัน หากไม่ได้มองผ่านแว่น โดยแว่นที่ใช้จะต่างกับแบบแอนะกลิฟตรงที่แว่นข้างหนึ่งจะกรองคลื่นแสงเฉพาะแนวอน ส่วนอีกข้างหนึ่งจะกรองเฉพาะแนวตั้งเท่านั้น ซึ่งจะทำให้ตาแต่ละข้างมองเห็นภาพที่ไม่เหมือนกัน เมื่อสมองรวมภาพจากตาข้างซ้ายและขวาก็จะมองเห็นเป็นภาพ 3 มิติขึ้น แสดงลักษณะการมองตามรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การแสดงภาพแบบโพลาไรซ์ 3 มิติ [15]

2.3.4 การแสดงภาพแบบพาราแลกซ์บาร์เรีย (Paralax Barrier)

เป็นอีกหนึ่งวิธีที่ไม่จำเป็นต้องใช้แว่นตาในการช่วยมอง ซึ่งวิธีนี้จะแบ่งภาพที่มีมุมมองต่างกันออกเป็นแท่งแล้วนำไปวางสลับกัน โดยมีชั้นกรองพิเศษ ที่เรียกว่า พาราแลกซ์บาร์เรีย ในการแบ่งภาพให้ตาแต่ละข้างที่มองผ่านชั้นกรองนี้เห็นภาพที่แตกต่างกัน แล้วสมองจะรวมภาพจากตาซ้ายและตาขวาที่มีมุมมองต่างกันนี้ให้เป็นภาพเดียวกัน ทำให้เรามองเห็นเป็นภาพ 3 มิติ แสดงลักษณะการมองตามรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การแสดงภาพแบบพาราแลกซ์บาร์เรีย[15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ประเภทของแหล่งกำเนิดแสง

แหล่งกำเนิดแสงเป็นส่วนประกอบสำคัญในระบบของการตรวจจับภาพ ซึ่งความสว่างที่ออกมา นั้นมีผลเป็นอย่างมากต่อตัวกล้องที่ใช้จับภาพ โดยหลักการทำงานของมันก็คือเมื่อให้แสงสว่างจาก แหล่งกำเนิดแสงแสงจะเดินทางไปยังตัววัตถุ จากนั้นเมื่อแสงตกกระทบกับวัตถุก็จะมีการสะท้อน กลับคืนมา ซึ่งความคมชัดของภาพที่เกิดขึ้นนั้นจะขึ้นอยู่กับรูปร่าง องค์ประกอบพื้นผิว สี ความขุ่น ทึบ และ เงา รวมไปถึงการสะท้อนของชิ้นงานของวัตถุที่ทำการตรวจสอบ โดยแหล่งกำเนิดแสง สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักๆเลยก็คือแบบ Opposed mode และ Proximity mode

2.4.1 แหล่งกำเนิดแสงแบบ Opposed mode

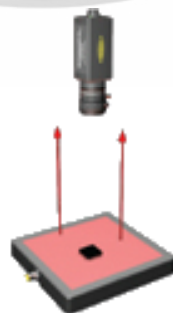
เป็นระยะการรับสัญญาณจากตัวส่งถึงตัวรับสัญญาณ ซึ่งตัวรับสัญญาณและตัวส่งสัญญาณ จะแยกออกจากกัน โดยการติดตั้งมักทำการติดตั้งให้อยู่ฝั่งตรงข้ามกันและจะเริ่มทำงานก็ต่อเมื่อมีวัตถุ มาขวางทางเดินแสงของสัญญาณ แสดงตามรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ทิศทางการรับส่งสัญญาณแบบ Opposed mode [10]

คุณสมบัติเด่นสำหรับแหล่งกำเนิดแสงประเภทนี้ก็คือ มีความน่าเชื่อถือมากที่สุดในการณีที่ ตรวจจับวัตถุที่ทึบแสง สามารถจับภาพได้ในระยะไกลเนื่องจากมีค่า Excess gain ที่สูง สามารถที่ได้ ได้เป็นอย่างดีแม้อยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เอื้ออำนวย เช่น ในที่ๆมีฝุ่น ควัน เป็นต้น และสุดท้าย สามารถทำงานได้ในกรณีที่มีการติดตั้งที่ผิดแนวไป ตัวอย่างของแหล่งกำเนิดแสงประเภทนี้ก็คือ Backlight

- Backlight



Backlight

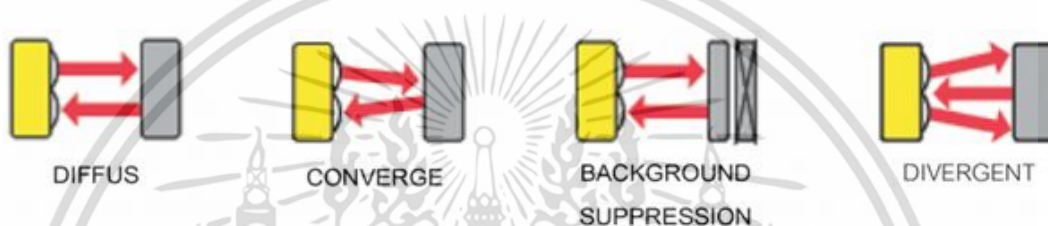
รูปที่ 2.11 แหล่งกำเนิดแสงแบบ Backlight [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มแสงต่ำ โดยจะติดตั้งไว้ด้านหลังของวัตถุเพื่อทำให้เกิดเงาของวัตถุขึ้น เพื่อนำมาใช้ในกระบวนการผลต่อไป ซึ่งแสดงตามรูปที่ 2.11 โดยข้อดีของแหล่งกำเนิดแสงแบบนี้ก็คือนำมาเห็นรูปทรงและขนาดของวัตถุได้ชัดเจน แต่ข้อเสียก็คือจะไม่สามารถเห็นพื้นผิวของชิ้นงานได้เลย ส่วนใหญ่นิยมนำไปใช้งานในด้านการตรวจสอบขนาดและรูปร่างของวัตถุหรือตรวจสอบรอยแตก ร้าวหรือรอยร้าวของวัตถุ

2.4.2 แหล่งกำเนิดแสงแบบ Proximity mode

เป็นระยะจากตัวเซ็นเซอร์ไปยังวัตถุที่สนใจ โดยตัวรับและตัวส่งสัญญาณอยู่ภายในเซ็นเซอร์ตัวเดียวกัน จะทำงานก็ต่อเมื่อแสงสัญญาณที่ปล่อยออกมาสะท้อนไปยังวัตถุที่ต้องการตรวจจับและทำการส่งสัญญาณกลับมายังตัวรับสัญญาณ แสดงตามรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ทิศทางการรับส่งสัญญาณแบบ Proximity mode [10]

คุณสมบัติเด่นสำหรับแหล่งกำเนิดแสงประเภทนี้ก็คือสะดวกนำมาใช้ในพื้นที่ที่มีการจำกัด มีประสิทธิภาพที่ดีแม้วัตถุจะโปร่งแสงและอยู่ในระยะปิด มีความน่าเชื่อถือในการตรวจจับวัตถุที่มีผิวมันหรือผิวขรุขระ ใช้ตรวจสอบตำแหน่งได้อย่างถูกต้อง สามารถตรวจสอบเครื่องหมายหรือวัตถุขนาดเล็กได้ ตรวจสอบขอบของวัตถุได้ สามารถตรวจสอบวัตถุที่มีการสะท้อนของแสงต่ำได้ มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน สามารถใช้งานในระยะไกลได้ เป็นต้น ตัวอย่างของแหล่งกำเนิดแสงประเภทนี้ก็คือ

- Ring light



Ring light

รูปที่ 2.13 แหล่งกำเนิดแสงแบบ Ring light [9]

เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ให้แสงสว่างในพื้นที่ขนาดจำกัด โดยตรงกลางจะมีรูเพื่อใช้สำหรับติดกับกล้องที่ใช้สำหรับจับภาพ แสดงตามรูปที่ 2.13 ซึ่งข้อดีสำหรับแหล่งกำเนิดแสงประเภทนี้ก็คือสามารถให้แสงสว่างกับวัตถุมีขนาดเล็กได้ โดยแสงจะอยู่ตรงกลางของวัตถุที่สนใจ อีกทั้งยังช่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถคัดลอกหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัยได้

ลดเงาบนภาพในส่วนที่เกินออกมา ส่วนข้อเสียก็คือเมื่อวัตถุมีขนาดใหญ่อาจให้แสงสว่างได้ไม่ทั่วในด้านมุมมอง และเกิดแสงสะท้อนสูงทำให้ภาพที่ออกมาอาจเห็นแสงสะท้อนของแหล่งกำเนิดแสงเป็นรูปทรงกลม โดยส่วนใหญ่นิยมนำไปใช้ในการตรวจสอบฉลาก ตรวจสอบการซ้อนกันของวัตถุ เป็นต้น

- Dome light



Dome light

รูปที่ 2.14 แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome light [9]

เป็นแหล่งกำเนิดแสงแบบโดมที่ให้แสงสว่างแบบรอบทิศทางและโดมนี้จะช่วยลดการเกิดแสงจ้าและเงาได้เป็นอย่างดี แสดงตามรูปที่ 2.14 ซึ่งข้อดีของแหล่งกำเนิดแสงแบบนี้ก็คือ นอกจากจะช่วยลดแสงจ้าและเงาได้อย่างดีแล้ว มันยังช่วยให้แสงสว่างที่ออกมามีความนุ่มนวลอีกด้วย ส่วนข้อเสียก็คือใช้พื้นที่ในการให้แสงสว่างมากขึ้นกว่าเดิมถึง 3 เท่า ส่วนใหญ่นิยมนำมาใช้ในงานในวัตถุโปร่งใส เช่นในขวดหรือแก้วใสๆ ต่างๆ เป็นต้น

- Directional light



Directional light

รูปที่ 2.15 แหล่งกำเนิดแสงแบบ Directional light [9]

เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มของแสงสูงทำให้เกิดแสงจ้า จนทำให้เห็นเงาและพื้นผิวของวัตถุได้ชัดเจนขึ้น แสดงตามรูปที่ 2.15 โดยข้อดีของแหล่งกำเนิดแสงประเภทนี้ก็คือแสงสว่างที่ออกมาจะสร้างเงาเพื่อการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงในเชิงลึก สามารถกำหนดพื้นที่ที่ต้องการตรวจสอบได้ และสามารถตรวจสอบในพื้นที่ที่มีการสะท้อนได้ด้วย ส่วนข้อเสียก็คือมีแสงสะท้อนที่สูงรวมถึงมีแสงสะท้อนที่ไม่ต้องการเกิดขึ้นด้วย ส่วนใหญ่นิยมนำใช้ในการตรวจสอบรอยหยัก รอยบุบในท่อโลหะตรวจสอบการพิมพ์บนพื้นผิวสะท้อนหรือพื้นผิวลักษณะแบบ Lambertian

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Low-angle light



Low-angle light

รูปที่ 2.16 แหล่งกำเนิดแสงแบบ Low-angle light [9]

เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีมุมต่ำเพื่อช่วยเพิ่มความคมชัดของคุณลักษณะพื้นผิว และจะยิ่งเพิ่มความคมชัดมากยิ่งขึ้นเมื่อติดตั้งในแนวฉากและให้มุมเอียงของแหล่งกำเนิดแสงเพียงเล็กน้อย แสดงตามรูป 2.16 ข้อดีของแหล่งกำเนิดแสงประเภทนี้ก็คือตรวจสอบความผิดปกติของพื้นผิวจุดเด่นและตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวของชิ้นงานที่นูนขึ้นมา ส่วนข้อเสียก็คือต้องกำหนดให้แหล่งกำเนิดแสงอยู่ใกล้กับวัตถุมากๆ จนบางที่อาจทำให้เกิดความร้อนและแสงเงาขึ้นได้ ส่วนใหญ่นิยมนำมาใช้ด้านการตรวจสอบตำหนิบนพื้นผิวเช่นฝุ่น รอยบุบหรือรอยขีดข่วนเป็นต้น ตรวจสอบลวดลายที่มีลักษณะนูนเช่นลาย PCB บนแผงวงจร เป็นต้น

- On-axis light



On-axis light

รูปที่ 2.17 แหล่งกำเนิดแสงแบบ On-axis light [9]

เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่จะช่วยลดในการสะท้อนของพื้นผิวในวัตถุ แสดงตามรูป 2.17 ข้อดีของแหล่งกำเนิดแสงประเภทนี้ก็คือสามารถใช้ได้ดีในวัตถุที่มีการสะท้อน อีกทั้งยังให้แสงสว่างที่มากกว่าแหล่งกำเนิดแสงแบบ Ring light อีกด้วย ส่วนข้อเสียคือตัวของแหล่งกำเนิดแสงประเภทนี้ก็คือมันต้องอยู่ใกล้กับวัตถุและต้องมีขนาดใหญ่กว่าวัตถุที่นำมาตรวจสอบ อีกทั้งแสงที่ได้ยังออกมาแค่เพียง 1 ใน 4 ของแสงที่ต้องออกมาทั้งหมด ส่วนใหญ่นิยมใช้งานในการตรวจสอบบนวัสดุที่ใสเช่นแก้ว ขวดใสๆต่างๆ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 กล้องสำหรับการตรวจสอบวัตถุ

บางครั้งในการใช้สายตาของมนุษย์เพียงอย่างเดียวในการตรวจสอบถึงความผิดพลาดของวัตถุ เช่นการตรวจรอยแตกร้าวรวมถึงรอยตำหนิบนวัตถุ การตรวจสอบถึงขนาด รูปร่าง หรือสี ของวัตถุที่ ผิดเพี้ยนไปจากวัตถุส่วนใหญ่ รวมถึงสิ่งปนเปื้อนต่างๆบนชิ้นงาน เป็นต้น เป็นเวลานานๆ อาจทำให้เกิดความเมื่อยล้า จนสามารถสร้างความผิดพลาดในการตรวจสอบขึ้นได้ จึงได้มีการนำกล้องเข้ามา เพื่อช่วยเพื่อแก้ไขในส่วนของความผิดพลาดนี้ รวมถึงยังเพิ่มความเชื่อมั่นในการตรวจสอบว่าจะไม่มีการ ผิดพลาดเมื่อมีการตรวจสอบเป็นเวลานานๆ ซึ่งกล้องที่นำมาใช้สำหรับถึงตรวจสอบความผิดพลาดจะ แบ่งออกเป็น 2 แบบหลักๆเลยก็คือ กล้องแบบ Line scan และกล้องแบบ Area scan ซึ่งแสดงตาม รูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 กล้องสำหรับการตรวจสอบวัตถุ [14]

2.5.1 กล้องแบบ Line scan



รูปที่ 2.19 กล้องแบบ Line scan [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของกล้องประเภทนี้จะทำงานก็ต่อเมื่อความเร็วของตัวกล้องและวัตถุมีความสัมพันธ์กัน จึงต้องมีการใช้ระบบสายพานเข้ามาช่วย โดยกล้องประเภทนี้เซ็นเซอร์รับภาพจะมีลักษณะที่เรียงตัวกันเป็นแนวยาว ซึ่งก็จะมีการแปลงค่าความเข้มแสงออกมาในลักษณะตามแนวยาวด้วยเช่นกัน ลักษณะการทำงานของกล้องประเภทนี้จะแสดงตามรูปที่ 2.19 ซึ่งจุดเด่นของกล้องประเภทนี้ก็คือมีความละเอียดและคมชัดของภาพที่สูง รวมถึงมีความเร็วในการจับภาพที่ดีเมื่อเทียบกับกล้องแบบ Area scan

2.5.2 กล้องแบบ Area scan



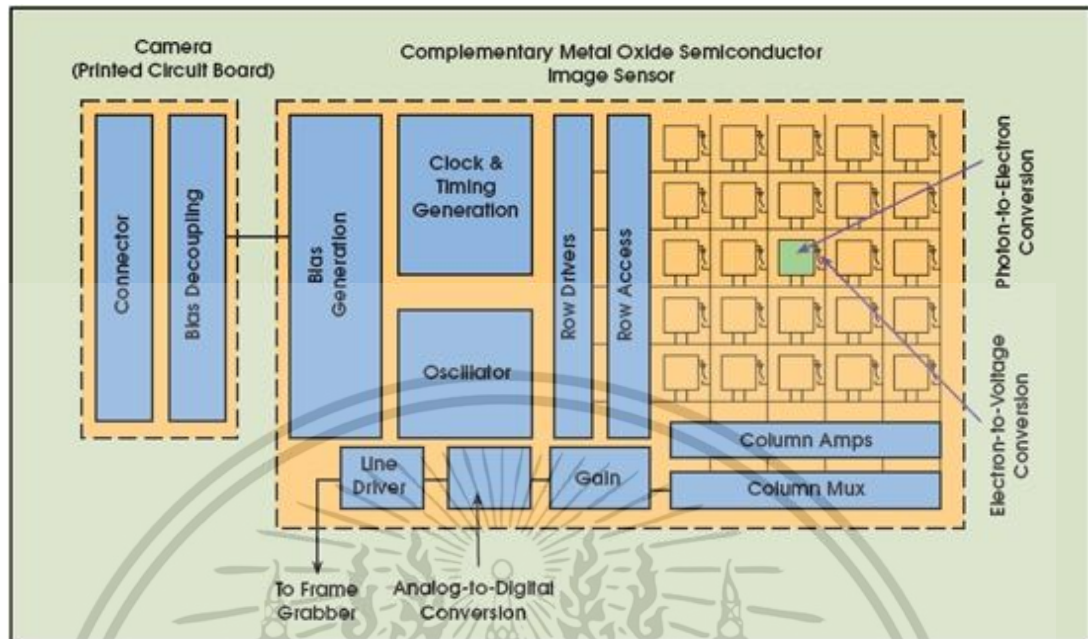
การทำงานของกล้องประเภทนี้จะทำงานคล้ายกับกล้องดิจิทัลทั่วไป โดยการจับภาพทีละภาพ โดยไม่คำนึงความเร็วของตัวกล้องกับความเร็วของตัววัตถุว่าต้องสัมพันธ์กันหรือไม่ ซึ่งเซ็นเซอร์ของกล้องประเภทนี้จะมีการเรียงตัวกันโดยส่วนใหญ่แล้วเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยลักษณะการทำงานของกล้องประเภทนี้จะแสดงตามรูปที่ 2.20 การแปลงค่าที่ออกมาจึงมีลักษณะของการแปลงค่าความเข้มแสงที่ออกมาในเวลาเดียวกัน โดยจุดเด่นของกล้องประเภทนี้คือมีการใช้งานที่สะดวก แต่ข้อเสียก็คือความละเอียดและคมชัด รวมถึงความเร็วในการจับภาพนั้นช้ากว่าเมื่อเทียบกับกล้องแบบ Line scan

2.6 เซ็นเซอร์รับภาพ

สิ่งที่สำคัญที่สุดที่มีอยู่ในกล้องดิจิทัลทุกตัว ที่ทำให้สามารถถ่ายรูปออกมาได้อย่างคมชัดและเก็บรายละเอียดของภาพได้มากที่สุดก็คือ เซ็นเซอร์รับภาพ โดยหน้าที่ของเซ็นเซอร์รับภาพก็คือเมื่อมีการรับแสงจากแหล่งกำเนิดแสงมา จะทำการเปลี่ยนค่าแสงเหล่านั้นให้เป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งสามารถแบ่งเซ็นเซอร์รับภาพได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆคือ แบบ CMOS และแบบ CCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)



รูปที่ 2.21 หลักการทำงานของเซ็นเซอร์แบบ CMOS [12]

CMOS เป็นเซ็นเซอร์ที่มีวงจรร้อยๆที่สามารถเปลี่ยนค่าแสงในแต่ละพิกเซลที่เข้ามาเป็นสัญญาณดิจิทัลได้ในทันทีเลย โดยไม่ต้องทำการแปลงเป็นสัญญาณอนาล็อกก่อน ซึ่งหลักการทำงานของเซ็นเซอร์ประเภทนี้นั้นจะแสดงตามรูปที่ 2.21 โดยเซ็นเซอร์รับแสงแบบ CMOS ดัดแปลงมาจาก WAFER หรือ FAB ที่ใช้ในการผลิตหน่วยความจำและ CPU ของเครื่องคอมพิวเตอร์ อีกทั้งยังใช้กระบวนการเดียวกับการผลิต CMOS ของคอมพิวเตอร์ จึงทำให้สามารถผลิตได้ในปริมาณมาก และยังใช้ต้นทุนต่ำกว่าเซ็นเซอร์รับภาพแบบ CCD โดยเซ็นเซอร์รับภาพแบบ CMOS แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

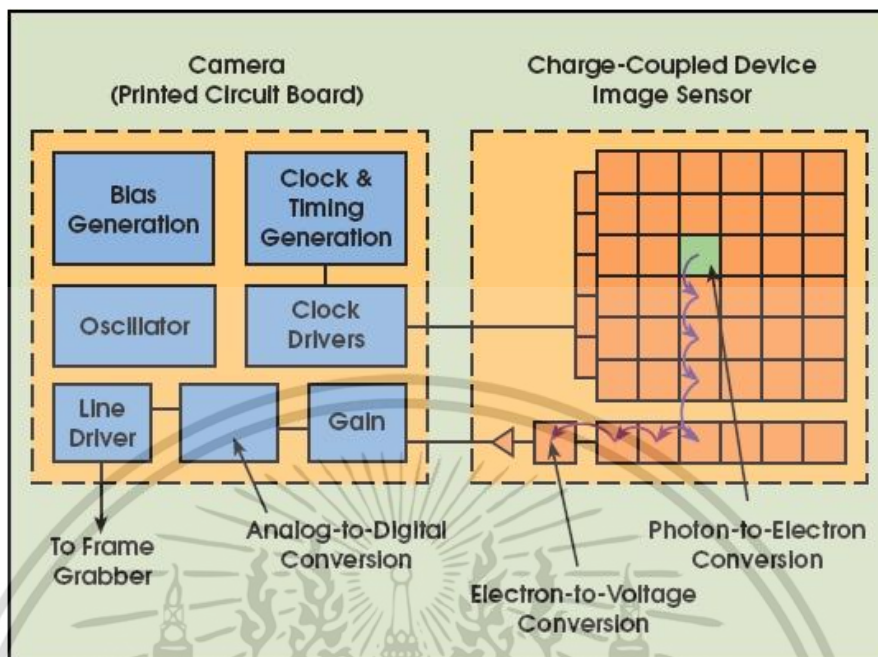
1) Passive Pixel Sensors

เมื่อ Photosite ได้รับแสงและเกิดกระแสไฟฟ้า สัญญาณไฟฟ้าจะถูกส่งออกไปนอก CMOS เพื่อทำการขยายสัญญาณและแปลงเป็นค่าดิจิทัล ปัญหาที่พบคือคือภาพมีสัญญาณรบกวนสูง ต้องอาศัยการประมวลผลจากภายนอกเพื่อลดสัญญาณรบกวน

2) Active Pixel Sensor

จะมีวงจรรายในเพื่อกำหนดระดับสัญญาณรบกวนและลบสัญญาณรบกวนออกไป คุณภาพเทียบเท่าเซ็นเซอร์รับแสงแบบ CCD

2.6.2 CCD (Charge Coupled Device)



รูปที่ 2.22 หลักการทำงานของเซ็นเซอร์แบบ CCD [12]

CCD เป็นเซ็นเซอร์ที่ทำงานโดยส่วนที่เป็นเซ็นเซอร์จะทำหน้าที่รับแสงในแต่ละพิกเซลและเปลี่ยนค่าแสงของพิกเซลนั้นๆให้เป็นสัญญาณอนาล็อก จากนั้นจะทำการส่งเข้าสู่วงจรเปลี่ยนค่าอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่ โดยหลักการทำงานของเซ็นเซอร์ประเภทนี้จะแสดงตามรูปที่ 2.22 ซึ่งการที่ตัวรับแสงอยู่แยกจากวงจรแปลงสัญญาณจึงทำให้สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นน้อยกว่าในแบบ CMOS ที่ตัวรับแสงอยู่รวมกันกับวงจรแปลงสัญญาณ โดยภายในเซ็นเซอร์รับภาพแบบ CCD จะมี Photosite ขนาดเล็กไว้ทำหน้าที่เป็นตัวรับแสง เมื่อแสงตกลงมาจะเกิดอิเล็กตรอนที่ผิวหน้า ซึ่งอิเล็กตรอนเหล่านั้นจะถูกดึงไปที่ขาออกของสัญญาณ จากนั้นส่งไปขยายสัญญาณที่วงจรขยายสัญญาณ และสุดท้ายส่งข้อมูลไปยังวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเพื่อแปลงข้อมูลสัญญาณอนาล็อกให้เป็นข้อมูลสัญญาณดิจิทัล การอ่านสัญญาณไฟฟ้าของ CCD จะอ่านทีละแถว โดยเริ่มจากแถวที่ใกล้กับขาออกของสัญญาณก่อน เมื่ออ่านค่าเสร็จจะมีการลบข้อมูลของแถวนั้นแล้วอ่านของแถวลำดับต่อไป โดยอิเล็กตรอนจะกระโดดข้ามมาที่แถวเพื่อเข้าสู่แถวของขาออกของสัญญาณ

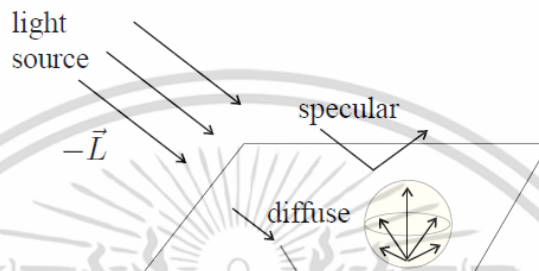
โดยถ้าเทียบคุณสมบัติต่างๆระหว่างเซ็นเซอร์รับภาพแบบ CMOS และ CCD พบว่าในด้านคุณภาพของการรับแสงและความละเอียดของภาพที่ได้นั้น เซ็นเซอร์รับภาพแบบ CCD จะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า เนื่องจากตัวรับแสงของ CCD จะมีหน้าที่รับแสงอย่างเดี่ยวต่างกับในแบบ CMOS ที่ในตัวเซ็นเซอร์จะมีวงจรแปลงสัญญาณรวมอยู่ด้วย จึงทำให้ตัวรับแสงของ CCD มีขนาดใหญ่กว่าแบบ CMOS ในขนาดของเซ็นเซอร์รับแสงที่เท่าๆกัน แต่เซ็นเซอร์รับภาพแบบ CMOS จะมีความเร็วในการตอบสนองที่เร็วกว่าเนื่องจากมีวงจรแปลงสัญญาณในตัวของมันเองเลย ไม่ต้องส่งไปยังวงจรย่อยต่างๆเพื่อแปลงสัญญาณเหมือนกับแบบ CCD รวมถึงการใช้พลังงานที่ในแบบ CMOS มีการใช้พลังงานที่น้อยกว่าแบบ CCD ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าในแง่คุณภาพของภาพที่ออกมา CCD จะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพที่สูงกว่า แต่ถ้าในแง่ของความเร็วและการใช้พลังงานแบบ CMOS จะมีประสิทธิภาพที่มากกว่านั่นเอง

2.7 พื้นผิวการสะท้อน

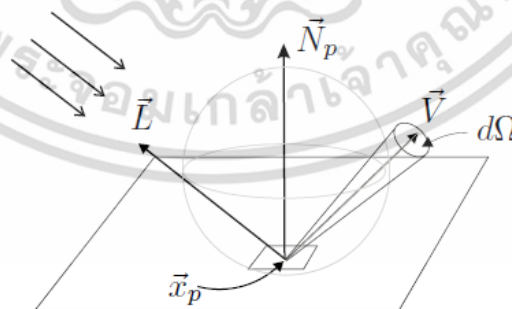
พื้นผิวแต่ละแบบจะมีสมบัติการสะท้อนที่ต่างกันไป โดยจะแบ่งเป็นสองแบบหลักๆ คือแบบ Diffuse หรือ Lambertian และแบบ Specular ตามรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 การสะท้อนในแบบ Diffuse และ Specular

2.7.1 พื้นผิวการสะท้อนแบบ Lambertian

พื้นผิวที่สะท้อนแบบ Lambertian จะเป็นลักษณะของพื้นผิวที่ไม่เรียบจึงทำให้สะท้อนแสงออกไปในทุกทิศทางจนสว่างไปทั่วทุกมุมมอง แสดงตามรูปที่ 2.24 โดยพื้นผิวแบบ Lambertian มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าพื้นผิวการสะท้อนแบบกระจาย โดยการสะท้อนในพื้นผิวชนิดนี้จะไม่ขึ้นอยู่กับมุมมอง คือไม่ว่าจะมองจากทิศทางใดก็ให้ความสว่างที่เท่ากันในทุกมุมมอง

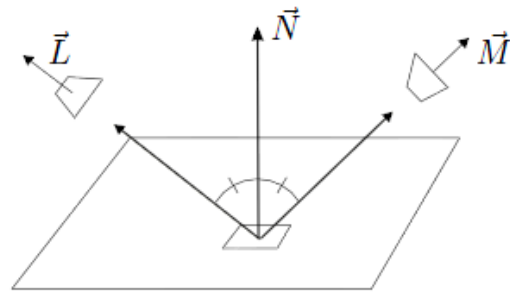


รูปที่ 2.24 การสะท้อนแบบ Diffuse

2.7.2 แบบจำลองการสะท้อนแบบ Specular

การสะท้อนแบบ Specular จะมีลักษณะภายนอกของพื้นผิวที่เรียบ โดยมีลักษณะสะท้อนแบบกระจก โดยมุมสะท้อนที่เกิดขึ้นจะเท่ากับมุมตกกระทบ ตามรูปที่ 2.25 สำหรับในพื้นผิวแบบนี้ถ้าทิศทางของแสงไม่เหมือนเดิมกล้องจะไม่สามารถเห็นถึงแสงที่ตกกระทบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อคุณได้เห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 การสะท้อนแบบ Specular

2.8 โฟโตเมตริกสเตอริโอ

โฟโตเมตริกสเตอริโอเป็นวิธีที่ใช้สำหรับประมาณค่าการแสดงผลพื้นผิวแบบเฉพาะที่ด้วยการใช้รูปภาพหลายๆภาพที่มีลักษณะพื้นผิวเดียวกันโดยจะถูกจับภาพจากมุมเดียวกันแต่ใช้การวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างกันออกไป ตามรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 การวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสง

ซึ่งการวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าการวัดค่าของพื้นผิวที่เราต้องการจะสร้าง จึงทำให้ค่าความเข้มแสงในแต่ละภาพมีค่าที่ไม่เท่ากัน โดยค่าความเข้มแสงสามารถหาได้จาก

$$I_i(x, y) = \rho(L_i \cdot n) \quad (2.10)$$

โดยที่ $I_i(x, y)$ คือความเข้มแสงของรูปภาพที่จุด (x, y)

$L_i = [L_{ix}, L_{iy}, L_{iz}]^T$ คือเวกเตอร์ของแหล่งกำเนิดแสงบนระนาบ x, y และ z

i = ลำดับของภาพ

ρ คืออัตราการสะท้อนของพื้นผิวหรือ surface albedo

$n = [n_x, n_y, n_z]$ คือเวกเตอร์แนวฉาก หรือ normal vector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการคำนวณหาค่าเวกเตอร์แนวฉากจะแสดงการคำนวณตามสมการ (2.11)

$$\mathbf{n} = \frac{(\mathbf{p}, \mathbf{q}, -1)^T}{\sqrt{p^2 + q^2 + 1}} = \left(\frac{-p}{\sqrt{p^2 + q^2 + 1}}, \frac{-q}{\sqrt{p^2 + q^2 + 1}}, \frac{1}{\sqrt{p^2 + q^2 + 1}} \right)^T \quad (2.11)$$

สำหรับในรูปที่ 2.26 มีแหล่งกำเนิดแสงทั้งหมด 3 ตัว ซึ่งก็คือเวกเตอร์ของแหล่งกำเนิดแสง L_1 , L_2 และ L_3 โดยสมการ (2.10) สามารถนำมาเขียนให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \rho \begin{bmatrix} L_{1x} & L_{1y} & L_{1z} \\ L_{2x} & L_{2y} & L_{2z} \\ L_{3x} & L_{3y} & L_{3z} \end{bmatrix} \mathbf{n} \quad (2.12)$$

จากสมการที่ (2.12) สามารถหาอัตราการสะท้อนกลับและเวกเตอร์แนวฉากได้จาก

$$\mathbf{M} = \mathbf{L}^{-1} \cdot \mathbf{I} = \rho \cdot \mathbf{n} \quad (2.13)$$

โดย $\mathbf{M} = [m_1, m_2, m_3]^T$ คือเมทริกซ์สลับเปลี่ยนของ \mathbf{M}

ซึ่งองค์ประกอบการสะท้อนของพื้นผิวหรือ Surface orientation สามารถหาได้จาก

$$\mathbf{p} = -\frac{m_1}{m_3}, \mathbf{q} = -\frac{m_2}{m_3} \quad (2.14)$$

เมื่อได้ค่า \mathbf{p} และ \mathbf{q} จากสมการที่ (2.14) แล้วนำค่าที่ได้ไปแทนในสมการ (2.11) ก็จะทำให้ได้ค่าของ \mathbf{n} หรือ normal vector และสุดท้ายสามารถหาค่าของอัตราการสะท้อนของพื้นผิวหรือ surface albedo ได้จากความยาวของเวกเตอร์ \mathbf{M}

$$\rho = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2} \quad (2.15)$$

แต่ในวิธีข้างต้นไม่สามารถใช้ได้ในกรณีที่มีแหล่งกำเนิดแสงมากกว่า 3 ตัว จึงได้มีอีกวิธีหนึ่งมาช่วยในการคำนวณก็คือการประมาณค่าการหาอัตราการสะท้อนของพื้นผิวหรือ surface albedo และเวกเตอร์แนวฉากหรือ normal vector อย่างง่าย โดยนำสมการที่ (2.13) มาใช้ร่วมด้วย โดยสำหรับในกรณีแหล่งกำเนิดแสง 3 ตัว กำหนดให้อัตราการสะท้อนของพื้นผิวเป็นตามสมการที่ (2.16)

$$\rho = \|\mathbf{M}\| \quad (2.16)$$

และเวกเตอร์แนวฉากสามารถหาได้ตามสมการที่ (2.17)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$n = \frac{1}{\rho} M \quad (2.17)$$

สำหรับในกรณีที่มีแหล่งกำเนิดแสงมากกว่า 3 ตัว ถ้าเขียนในรูปของเมทริกซ์จะได้เป็น

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \rho \begin{bmatrix} L_{1x} & L_{1y} & L_{1z} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ L_{nx} & L_{ny} & L_{nz} \end{bmatrix} n \quad (2.18)$$

จากสมการที่ 2.18 สามารถลดรูปได้เป็น

$$I = LM \quad (2.19)$$

ตามที่ได้กล่าวไปว่าถ้าในกรณีที่ใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบมากกว่า 3 ตัว เมทริกซ์ของแหล่งกำเนิดแสงที่ออกมาจะไม่ใช่เมทริกซ์แบบจัตุรัส จึงทำให้ไม่สามารถแปลงเป็นเมทริกซ์แบบผกผันได้ ดังนั้นจึงมีการใช้เทคนิค Least square มาเพื่อเป็นตัวช่วยในการแปลงและการคำนวณหาค่าอัตราการสะท้อนของพื้นผิวและเวกเตอร์แนวฉากตามสมการ (2.20)

$$L^T I = L^T L M \quad (2.20)$$

ซึ่งทำให้ได้ผลตาม

$$M = (L^T L)^{-1} (L^T I) \quad (2.21)$$

สุดท้ายเมื่อได้ค่าจากสมการที่ (2.21) ก็นำไปแทนในสมการที่ (2.16) และ (2.17) ก็จะทำให้ทราบถึงค่าของอัตราการสะท้อนของพื้นผิวและเวกเตอร์แนวฉากตามลำดับ

2.9 การตรวจสอบโดยไม่ทำลาย

การตรวจสอบโดยไม่ทำลายคือวิธีที่ใช้ค้นหารอยบกพร่องหรือความผิดปกติใดๆ ที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน หรือสามารถเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่าความไม่ต่อเนื่อง (Discontinuity) การทดสอบแบบนี้จะไม่ส่งผลกระทบต่อหรือสร้างความเสียหายแก่ชิ้นงานที่นำได้ตรวจสอบ โดยการตรวจสอบโดยไม่ทำลายที่ทำได้สะดวก รวดเร็วและประหยัดที่สุดเลยก็คือ

2.9.1 การตรวจสอบโดยใช้สายตา (Visual testing)

เป็นวิธีการทดสอบที่ใช้สายตาในการมอง อาจใช้อุปกรณ์ในการช่วยมอง เช่น แว่นขยาย โดยการทดสอบด้วยวิธีนี้ต้องอาศัยความรู้และความชำนาญของผู้ตรวจสอบในการวิเคราะห์ว่าสิ่งที่เห็นนั้นถือว่าเป็นความบกพร่องหรือความไม่ต่อเนื่องของชิ้นงานหรือไม่ ซึ่งการทดสอบโดยใช้สายตาสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลักๆ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) การทดสอบโดยตรง

โดยวิธีนี้ผู้ทดสอบต้องผ่านการตรวจสอบสายตา ซึ่งต้องผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่อ้างอิง โดยการตรวจสอบสายตาของผู้ตรวจสอบต้องอยู่ห่างจากวัตถุไม่เกิน 24 นิ้ว และทำมุมไม่ต่ำกว่า 30 องศาเมื่อเทียบกับพื้นผิวของชิ้นงาน

2) การทดสอบโดยอ้อม

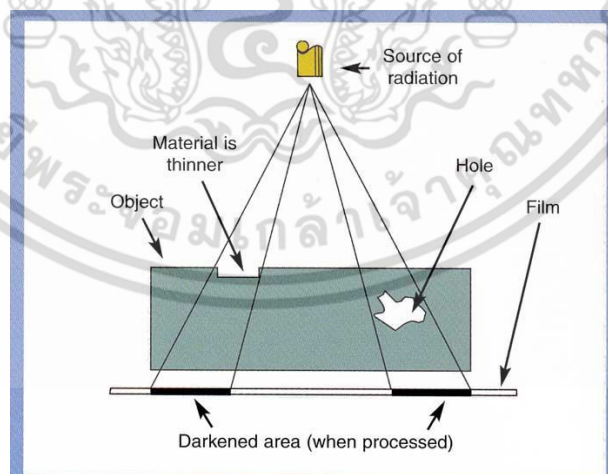
ในบางครั้งการตรวจสอบไม่สามารถใช้เพียงสายตาจริงๆเพียงอย่างเดียวได้จึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ในการช่วยมองเห็น เช่น กล้องแบบต่างๆ หรือกระจกเงา เป็นต้น ที่มีความเหมาะสมในการช่วยมองโดยตรง

3) การทดสอบโดยใช้แสงสว่าง

เป็นการทดสอบโดยการมองโดยตรง แต่มีการใช้แสงสว่างเข้ามาในการช่วยมอง โดยแสงสว่างที่ใช้ขึ้นนั้นต้องมีความเข้มแสงสม่ำเสมอและตรงตามมาตรฐานของชิ้นงานแต่ละชนิด และต้องมีการควบคุมให้แสงสว่างที่ออกมาสะท้อนเข้าตาจนเกิดความผิดปกติได้

ดังนั้นถ้าหากสามารถตัดสินผลของการตรวจสอบได้โดยใช้เพียงการตรวจสอบโดยใช้สายตาเพียงอย่างเดียว ก็ไม่จำเป็นที่จะต้องใช้การตรวจสอบโดยวิธีอื่นอีกเข้ามาช่วยอีก แต่ถ้ารอบบกพร่องหรือความไม่ต่อเนื่องไม่สามารถมองเห็นและตรวจสอบได้ด้วยตาเปล่า จึงได้มีการพัฒนาวิธีการตรวจสอบโดยไม่ทำลายวิธีต่างๆ ขึ้นมาเพื่อช่วยให้สามารถตรวจสอบความไม่ต่อเนื่องเหล่านั้นได้ ซึ่งประกอบด้วย

2.9.2 การตรวจสอบโดยวิธีภาพถ่ายรังสี (Radiographic testing)

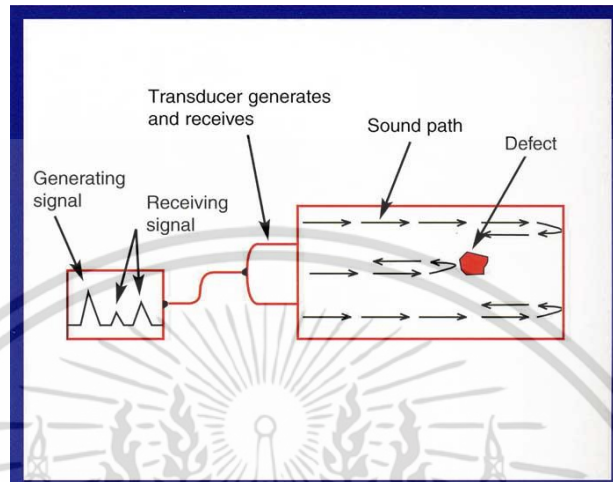


รูปที่ 2.27 การตรวจสอบโดยภาพถ่ายรังสี [13]

เป็นวิธีการทดสอบที่ใช้การปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงผ่านไปยังวัตถุที่สนใจ ซึ่งวัตถุเหล่านั้นล้วนทำมาจากวัสดุที่ต่างชนิดกันทำให้มีความหนาแน่นมีค่าไม่เท่ากัน การดูดซับพลังงานก็ไม่เท่ากันเช่นกัน โดยหลักการทำงานของภาพถ่ายด้วยรังสีก็คือจะดูปฏิกิริยาการรับแสงผ่านเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพถ่ายที่ออกมา โดยในบริเวณที่มีโพรงมากที่สุดที่ออกมาจะมีสีคล้ำกว่าบริเวณอื่น ส่วนใหญ่นิยมใช้ตรวจสอบในงานที่เกี่ยวข้องกับท่อ และการเชื่อม

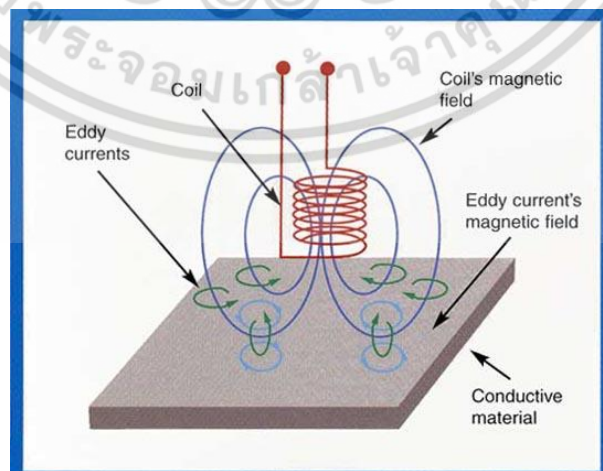
2.9.3 การตรวจสอบโดยคลื่นความถี่เหนือแสง (Ultrasonic testing)



รูปที่ 2.28 การตรวจสอบโดยคลื่นความถี่เหนือแสง [13]

เป็นวิธีการทดสอบที่ใช้คลื่นความถี่สูงที่มนุษย์ไม่สามารถได้ยิน โดยที่เสียงนั้นสามารถเดินทางเร็วกว่าในของแข็ง เนื่องจากมีโมเลกุลที่อยู่ชิดกันมากกว่า หลักการทำงานของ การทดสอบแบบนี้คือคลื่นเสียงความถี่สูงจะถูกสร้างออกจากหัวทดสอบ โดยคลื่นเสียงจะผ่านไปยังชิ้นงานโดยผ่านสารช่วยสัมผัส เมื่อคลื่นความถี่พบกับสิ่งกีดขวางก็จะมี การส่งสัญญาณกลับมาจึงทำให้สามารถตรวจสอบความไม่ต่อเนื่องของวัตถุได้ ส่วนใหญ่นิยมนำมาใช้งานในการตรวจสอบรอยตำหนิ และวัดหาขนาดความหนา เช่นในพวงงานโลหะต่างๆ

2.9.4 การตรวจสอบด้วยวิธีกระแสไหลวน (Eddy current testing)

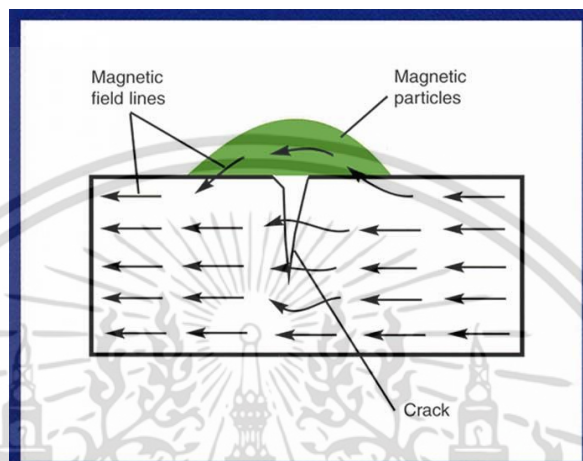


รูปที่ 2.29 การตรวจสอบด้วยวิธีกระแสไหลวน [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นวิธีการทดสอบที่อาศัยการเหนี่ยวนำของแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เกิดกระแสไหลวนบนชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบ โดยจะสังเกตจากค่า Impedance ผ่านหัวทดสอบที่เปลี่ยนแปลงไป โดยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากรอยที่ไม่ต่อเนื่องบนพื้นผิวของวัตถุ ซึ่งการตรวจสอบแบบนี้จะทำให้บนวัตถุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าได้เท่านั้น ส่วนมากจะใช้กับงานท่อขนาดเล็ก

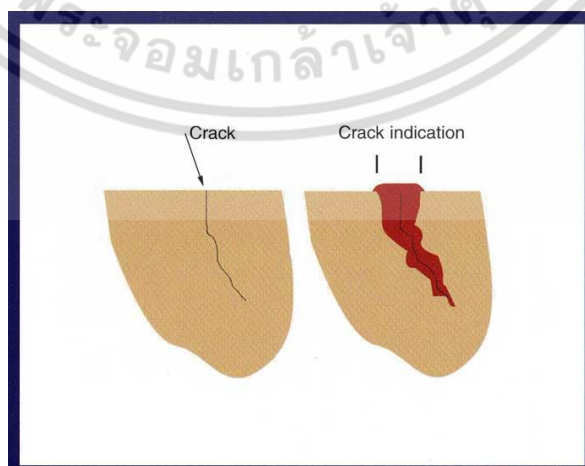
2.9.5 การตรวจสอบด้วยอนุภาคแม่เหล็ก (Magnetic particle testing)



รูปที่ 2.30 การตรวจสอบด้วยอนุภาคแม่เหล็ก [13]

เป็นวิธีการทดสอบที่ใช้การเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก โดยเริ่มแรกจากการโรยผงเหล็กย้อมสี จากนั้นนำอุปกรณ์สร้างสนามแม่เหล็กเคลือบให้ทั่วชิ้นงาน หากชิ้นงานมีรอยแตกหรือเกิดชั้นผงเหล็กจะเกาะตามบริเวณรอยแตกหรือ ร้าว เพราะว่าผงเหล็กไม่สามารถก้าวข้ามผ่านแนวแม่เหล็กได้นั่นเอง ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ในการตรวจสอบชิ้นงานประเภทเหล็ก และเหล็กกล้าที่มีคุณสมบัติของความเป็นแม่เหล็ก เช่น งานท่อ งานโครงสร้างโลหะต่างๆ เป็นต้น

2.9.6 การตรวจสอบโดยใช้สารแทรกซึม (Liquid penetrant testing)



รูปที่ 2.31 การตรวจสอบโดยใช้สารแทรกซึม [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

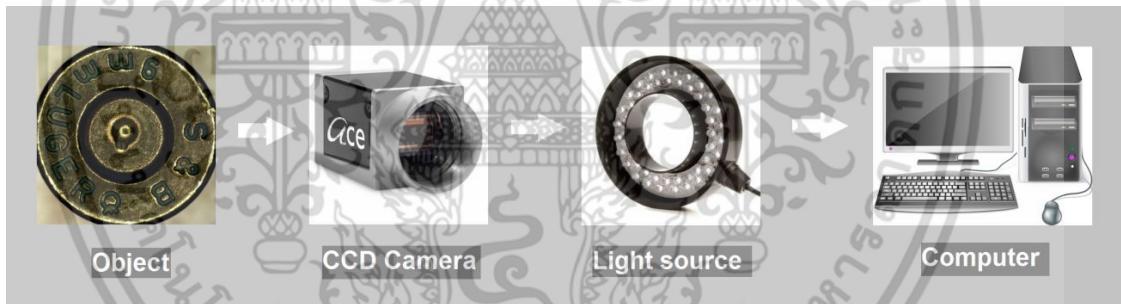
เป็นวิธีการตรวจสอบโดยใช้การทาสารแทรกซึมบนชิ้นงาน โดยใช้หลักการของปฏิกิริยาการแทรกซึมตามธรรมชาติซึ่งสารเหล่านั้นจะแทรกซึมไปยังรอยร้าวหรือรูเล็กๆได้ดี จากนั้นจะใช้สารเคมีหรือน้ำยาที่มีปฏิกิริยาล้างกระดาษไขมันทาไปในบริเวณที่ต้องการทดสอบ เพื่อดูถึงรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้น ถ้าหากมีรอยแตกร้าวอยู่บนชิ้นงานจะปรากฏเป็นเส้นหรือแนวที่มีสารย้อมสีอยู่อย่างเห็นได้ชัด โดยวัตถุที่นำมาตรวจสอบต้องเป็นวัสดุที่ผิวหน้าเปิดและวัสดุต้องไม่เป็นรูพรุน เช่น แก้ว พลาสติก เซรามิก โลหะ อโลหะ เป็นต้น วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้ตรวจสอบกับวัสดุ ที่ไม่มีคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็ก ตัวอย่างงานที่ใช้วิธีการนี้ ได้แก่ งานท่อ งานโครงสร้างโลหะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 การออกแบบและขั้นตอนการทดลอง

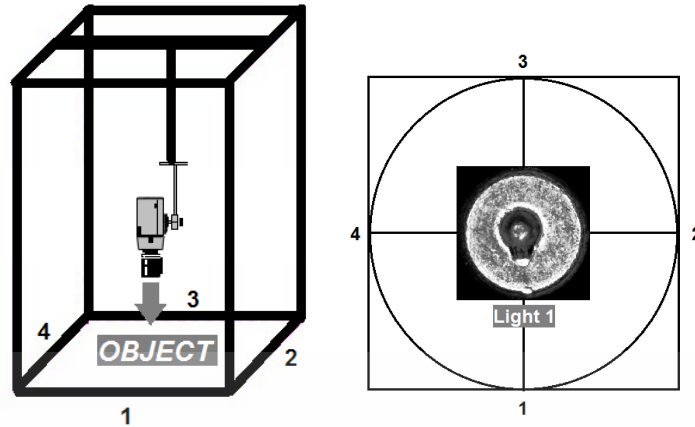
ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการศึกษาวิจัยและขั้นตอนการออกแบบการจำแนกประเภทของปืน ด้วยค่าเฉลี่ยพิกเซลภาพและการหาความลึกด้วยทฤษฎีโฟโตเมตริกสเตอริโอ ผ่านโปรแกรม MATLAB โดยระบบต้นแบบที่ใช้ทดลองจะประกอบด้วยกล้องซีซีดี พร้อมเลนส์ที่ให้ความละเอียดที่สูงขึ้น, แหล่งกำเนิดแสงแบบวงแหวนที่สามารถปรับความสว่างได้และคอมพิวเตอร์เพื่อใช้สำหรับการปรับปรุงภาพและการประมวลผล ซึ่งระบบต้นแบบนั้นจะถูกนำไปใช้ทั้งในการแยกประเภทของปืนโดยใช้ค่าเฉลี่ยพิกเซลของรูปภาพและระบบที่ใช้หาความลึกด้วยการสร้างภาพ 3 มิติผ่านทฤษฎีโฟโตเมตริกสเตอริโอ โดยความแตกต่างสำหรับระบบทั้งสองเลยก็คือจำนวนของแหล่งกำเนิดแสงและขั้นตอนในการปรับปรุงภาพและประมวลผลซึ่งการแยกประเภทของปืนนั้นจะใช้แหล่งกำเนิดแสงเพียงแค่ 1 ตัว ในขณะที่การหาความลึกของรอยเข็มแทงขนวนจะใช้แหล่งกำเนิดแสงทั้งหมดถึง 5 ตัว แต่มีการกำหนดตำแหน่งของกล้องและระยะห่างระหว่างเลนส์กับปลอกกระสุนให้มีตำแหน่งเท่าเดิมตลอดทั้งการทดลอง จากนั้นรูปภาพที่ได้ก็จะถูกส่งเข้าไปในคอมพิวเตอร์เพื่อนำไปปรับปรุงภาพและประมวลผลตามโปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้ต่อไป โดยรายละเอียดของขั้นตอนการปรับปรุงภาพและประมวลผลจะถูกกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 3.1 ระบบต้นแบบที่ใช้ในการทดลอง

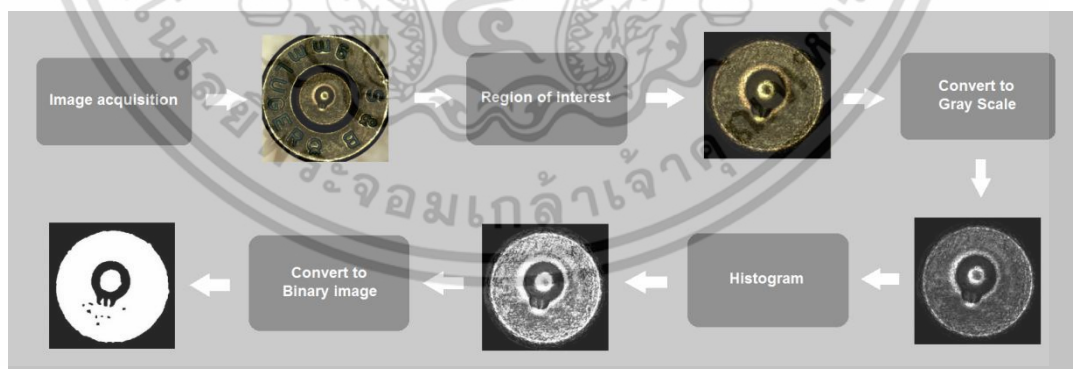
3.1 ขั้นตอนการปรับปรุงภาพและประมวลผลสำหรับการแยกประเภทของปืน

สำหรับการแยกประเภทของปืนนี้ระบบต้นแบบที่ใช้จะประกอบด้วยกล้องซีซีดีจำนวน 1 ตัว และแหล่งกำเนิดแสงแบบวงแหวนอีกจำนวน 1 ตัว ตามที่ได้เคยกล่าวไป ซึ่งการวางตำแหน่งของกล้องและแหล่งกำเนิดแสงนั้นจะแสดงตามรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การวางตำแหน่งของกล้องและแหล่งกำเนิดแสงในการแยกประเภทของปืน

จากนั้นจะทำการจับภาพของจานท้ายปลอกกระสุนปืน ให้มีความคมชัดมากที่สุด เพื่อแสดงรายละเอียดทั้งหมดของรอยเข็มชนวน เนื่องจากมันมีขนาดเล็กมาก โดยตำแหน่งการวางกล้อง จากนั้นก็จะนำข้อมูลภาพที่ได้ไปทำการการปรับปรุงภาพและประมวลผลต่อตามโปรแกรมที่ได้ ออกแบบไว้ ซึ่งขั้นตอนการปรับปรุงและประมวลผลที่ได้ออกแบบไว้ก็คือเมื่อมีการรับภาพเข้าสู่ตัว โปรแกรมขั้นตอนแรกที่เกิดขึ้นเลยก็คือจะมีการกำหนดพื้นที่ของวัตถุที่เราสนใจ ซึ่งก็คือบริเวณ Primer หรือ แก๊ปจานท้ายของปลอกกระสุน จากนั้นจะนำภาพที่ได้ทำการกำหนดพื้นที่ที่สนใจที่เป็น ภาพสีมาแปลงเป็นภาพในระดับสีเทาที่มีความแตกต่างของระดับสีเทา 256 ระดับ จากนั้นก็ทำการ ปรับค่าฮิสโตแกรมให้เหมาะสมเพื่อให้ภาพมีความสว่างและความคมชัดที่เท่ากัน ด้วยวิธี Histogram Equalization ซึ่งกล่าวไปแล้วในบทก่อนหน้า สุดท้ายก็ทำการแปลงภาพที่ได้ปรับปรุงให้กลายเป็น ภาพสีขาวดำ เพื่อง่ายต่อการนำไปหาค่าเฉลี่ยของพิกเซลต่อไป โดยขั้นตอนการปรับปรุงและ ประมวลผลภาพจะแสดงตามรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการปรับปรุงภาพของระบบการแยกประเภทปืน

สำหรับในส่วนของการหาค่าเฉลี่ยของรูปภาพนั้นจะมาจาก การนำภาพขาวดำที่ได้จากขั้นตอน การประมวลผลด้านบนซึ่งค่าของภาพขาวดำจะมีค่าอยู่เพียงแค่สองค่าเท่านั้นคือ 0 และ 1 จากนั้นจึง นำมาวิเคราะห์ต่อโดยการหาค่าเฉลี่ยในแนวหลัก (Column) และแนวแถว (Row) ของรูปภาพ โดยใน รูปที่ 3.4 จะแสดงถึงตัวอย่างรูปภาพที่มีขนาด 4×4 พิกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C11	C21	C31	C41
R11	R12	R13	R14
C12	C22	C32	C42
R21	R22	R23	R24
C13	C23	C33	C43
R31	R32	R33	R34
C14	C24	C34	C44
R41	R42	R43	R44

รูปที่ 3.4 ตัวอย่างภาพขนาด 4 x 4 พิกเซล

โดยค่าเฉลี่ยในแนวหลักและแนวหลัก สามารถหาได้จาก

$$C_1 = C_{11} + C_{12} + C_{13} + C_{14} \quad (3.1)$$

$$C_2 = C_{21} + C_{22} + C_{23} + C_{24} \quad (3.2)$$

$$C_3 = C_{31} + C_{32} + C_{33} + C_{34} \quad (3.3)$$

$$C_4 = C_{41} + C_{42} + C_{43} + C_{44} \quad (3.4)$$

$$R_1 = R_{11} + R_{12} + R_{13} + R_{14} \quad (3.5)$$

$$R_2 = R_{21} + R_{22} + R_{23} + R_{24} \quad (3.6)$$

$$R_3 = R_{31} + R_{32} + R_{33} + R_{34} \quad (3.7)$$

$$R_4 = R_{41} + R_{42} + R_{43} + R_{44} \quad (3.8)$$

โดย C_i คือค่าเฉลี่ยในแนวหลักทั้งหมด

R_j คือค่าเฉลี่ยในแนวแถวทั้งหมด

เมื่อนำสมการที่ 3.1 – 3.4 มาบวกกันแล้วหารด้วยจำนวนของพิกเซลในแนวหลักทั้งหมด โดยในรูปนี้ก็คือ 4 ก็จะได้ค่าเฉลี่ยของแนวหลัก ตามสมการที่ 3.9

$$C_{av} = \frac{(C_1 + C_2 + C_3 + C_4)}{N_c} \quad (3.9)$$

โดย N_c คือ จำนวนของพิกเซลในแนวหลักทั้งหมด

และเมื่อนำสมการ 3.5 – 3.8 มาบวกกันแล้วหารด้วยจำนวนของพิกเซลในแนวแถวทั้งหมด ก็จะได้เป็นค่าเฉลี่ยของแนวแถว ตามสมการที่ 3.10

$$R_{av} = \frac{(R_1 + R_2 + R_3 + R_4)}{N_r} \quad (3.10)$$

โดย N_r คือ จำนวนของพิกเซลในแนวแถวทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

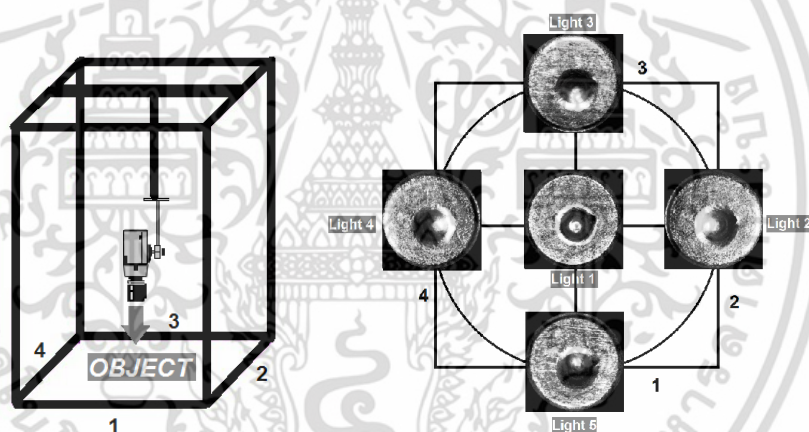
สุดท้ายก็จะสามารถหาค่าเฉลี่ยพิกเซลของรูปภาพ ได้จากสมการที่ (3.11)

$$\text{Average} = (C_{av} + R_{av}) / 2 \quad (3.11)$$

ซึ่งเมื่อได้ค่าเฉลี่ยของรูปภาพมาแล้วก็จะทำการการจัดกลุ่มประเภทของปืนตามค่าเฉลี่ยที่ได้ โดยจะแบ่งปืนออกเป็นทั้งหมด 4 รุ่นตามที่ได้ทำการทดลองคือ BERETTA, UZI, JERICHO 941 และ TAURUS โดยปืนแต่ละรุ่นก็จะมีช่วงของค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันไป ซึ่งมันจะถูกอธิบายถึงในบทถัดไป

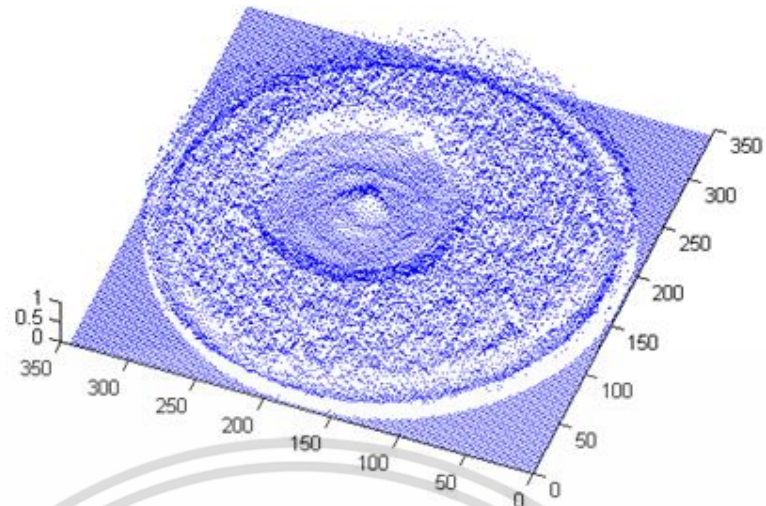
3.2 ขั้นตอนการประมวลผลสำหรับการหาความลึกของรอยเข็มแทงขนวน

สำหรับการหาความลึกของรอยเข็มแทงขนวนนั้นระบบต้นแบบที่ใช้จะประกอบด้วยกล้องซีซีดีจำนวน 1 ตัว และแหล่งกำเนิดแสงอีกจำนวน 5 ตัว โดยเมื่อทำการถ่ายภาพก็จะได้ภาพจำนวนห้าภาพที่มีตำแหน่งการวางแหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งการวางตำแหน่งของกล้องและแหล่งกำเนิดแสงจะเป็นไปตามรูปที่ 3.5

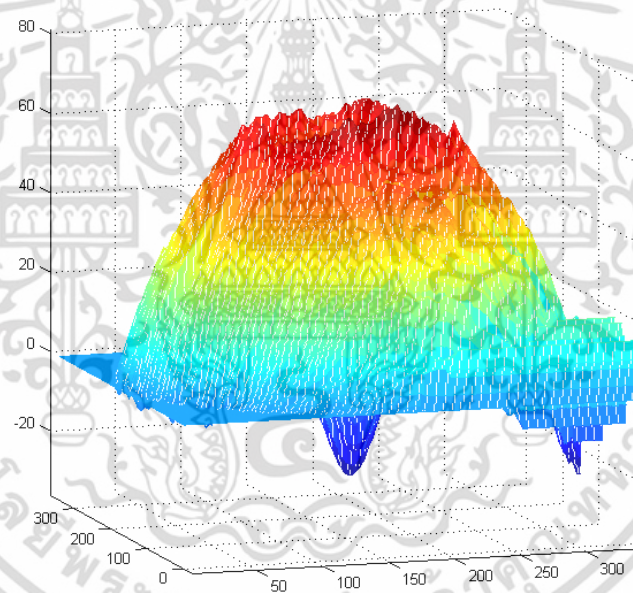


รูปที่ 3.5 การวางตำแหน่งของกล้องและแหล่งกำเนิดแสงในการหาความลึกของรอยเข็มแทงขนวน

หลังจากทำการบันทึกภาพทั้ง 5 ภาพเรียบร้อยแล้ว ก็จะนำภาพที่ได้ไปทำการปรับปรุงตามโปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งก็คล้ายกับขั้นตอนของการแยกประเภทปืนโดยใช้ค่าเฉลี่ยของพิกเซล แต่ในการหาความลึกของรอยเข็มแทงขนวนนั้นจะมีการแปลงจากภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา จากนั้นก็จะนำภาพไปปรับค่าฮิสโตแกรมเพื่อให้ภาพมีความสว่างที่เท่ากัน โดยใช้หลักการ Histogram Equalization ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีที่ทำให้ภาพมีการกระจายที่สม่ำเสมอโดยการกำหนดให้จำนวนพิกเซลในแต่ละระดับสีเทามีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด จากนั้นจึงนำภาพทั้ง 5 ภาพที่ผ่านการปรับปรุงแล้วนั้นไปทำการประมาณค่าสามมิติด้วยทฤษฎีโพลิเมตริกสเตอริโอที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.8 โดยเมื่อทำตามโค้ดที่ได้ออกแบบไว้จะทำให้ได้ภาพของ normal vector หรือเวกเตอร์แนวฉากและภาพความลึกสามมิติที่จะแสดงความลึกของรอยเข็มแทงขนวนของปืนแต่ละรุ่น โดยภาพของ normal vector และ ภาพความลึกสามมิติจะแสดงตามรูปที่ 3.5 และ 3.6 ตามลำดับ



รูปที่ 3.6 ภาพ Normal vector



รูปที่ 3.7 ภาพแสดงความไม่สมมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะเป็นการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองในการแยกประเภทของปืน พร้อมทั้งทดลองการเปลี่ยนแปลงด้านการหมุนปลอกกระสุนไปคร่าวละ 45 องศา และการหาความลึกของรอยเข็มแทงชนวน จากระบบต้นแบบที่ได้กล่าวถึงไปในบทก่อนหน้า

4.1 ผลการทดลองการแยกประเภทของปืน

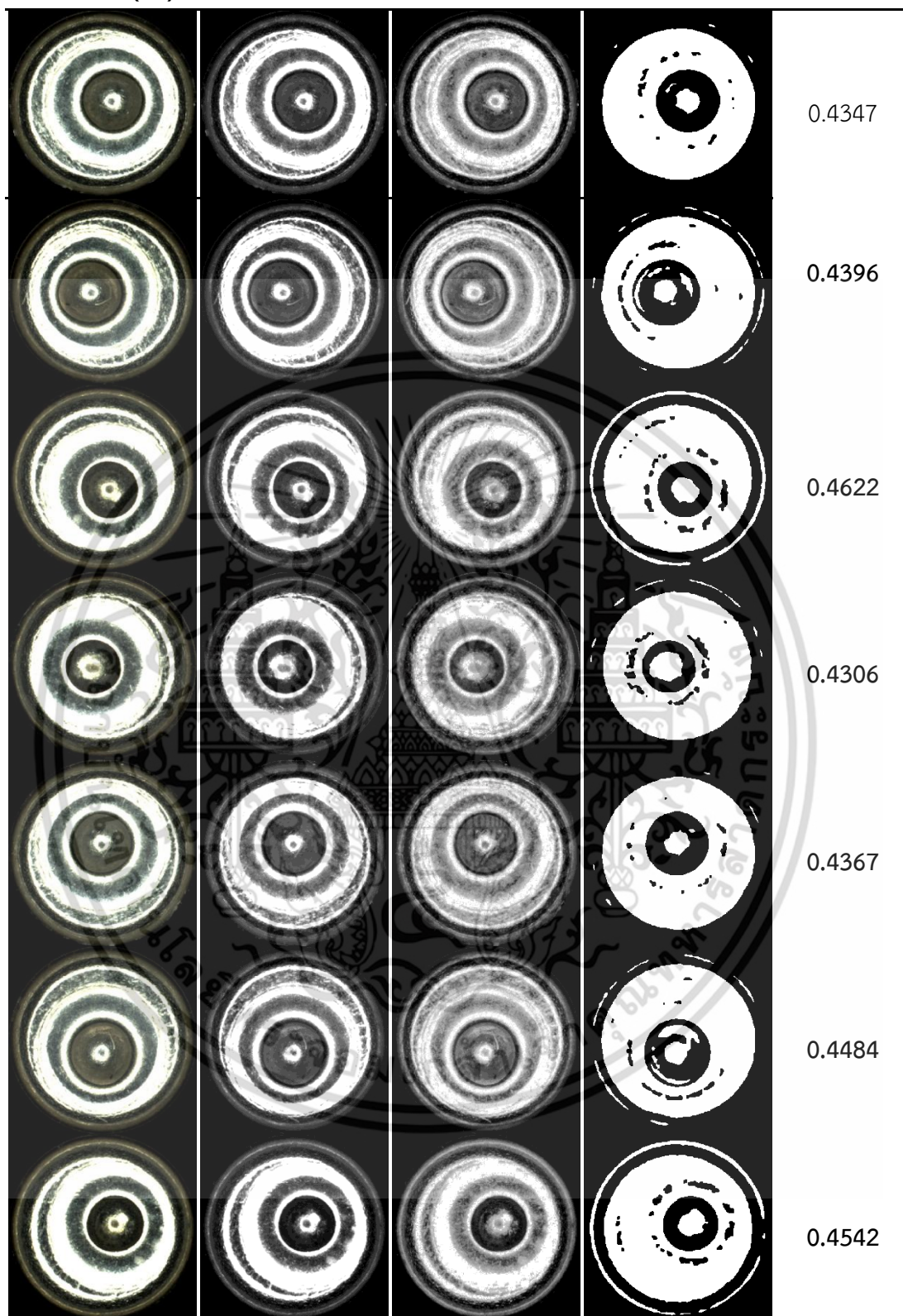
ในขั้นตอนการจำแนกรุ่นของปืนนั้นปลอกกระสุนที่ถูกนำมาตรวจสอบประกอบไปด้วยปลอกกระสุนขนาด 9 มม จำนวน 80 นัด จากปืนทั้ง 4 รุ่น ได้แก่ BERETTA, UZI, JERICHO 941 และ TAURUS โดยผลของการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 4.1 – 4.4

ตารางที่ 4.1 ภาพตัวอย่างของปลอกกระสุนปืนขนาด 9 มม ที่ยิงมาจากปืนยี่ห้อ BERETTA

ภาพสี	ภาพระดับสีเทา	ภาพฮิสโตแกรม	ภาพขาวดำ	ค่าเฉลี่ยรูปภาพ
				0.4401
				0.4407
				0.4625
				0.4145

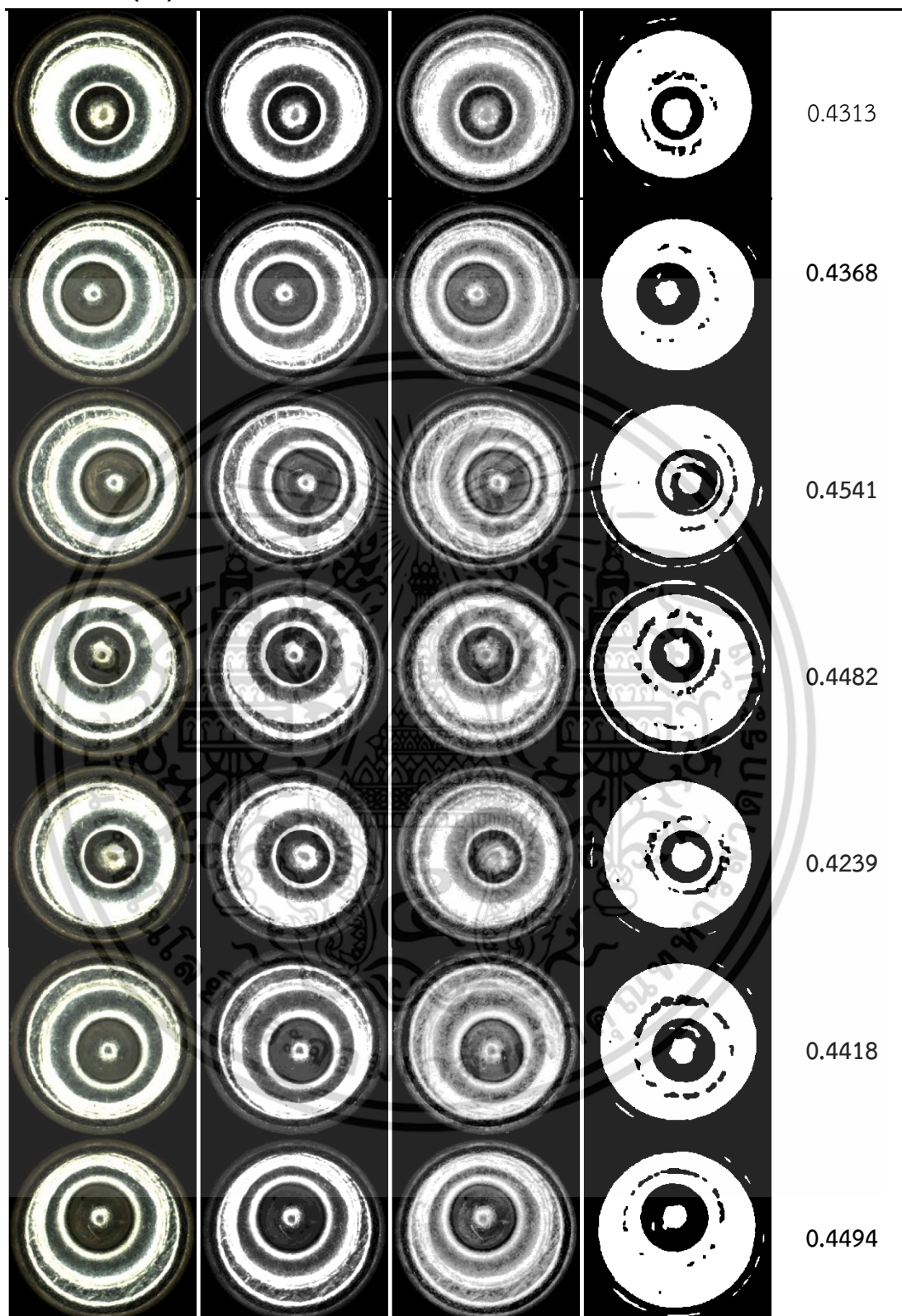
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)



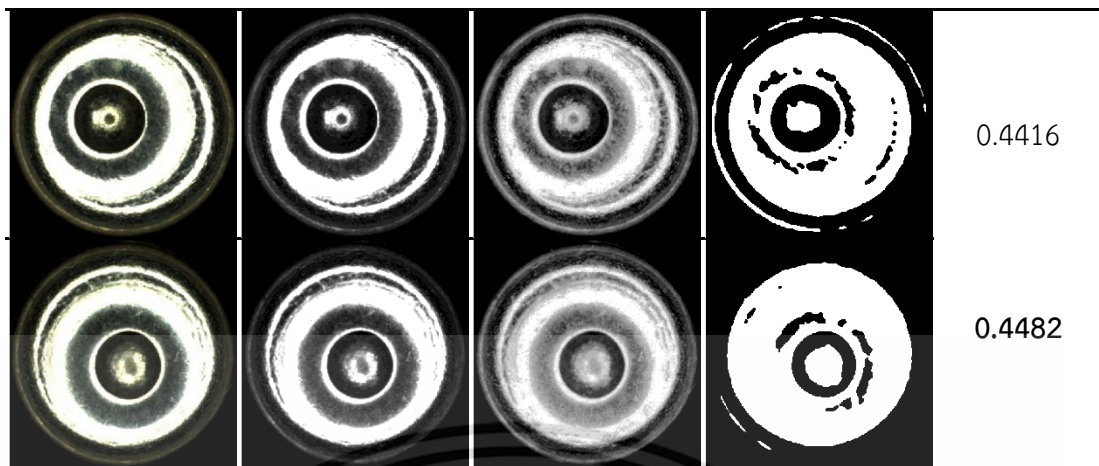
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)



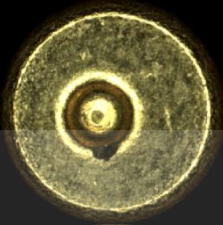
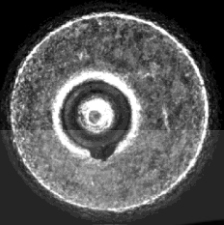
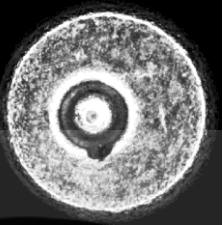

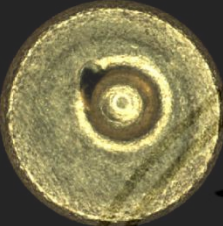
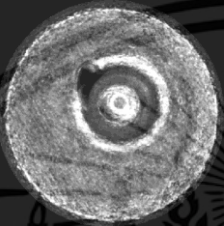
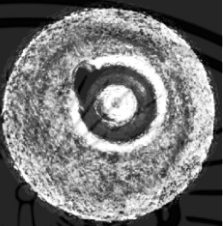

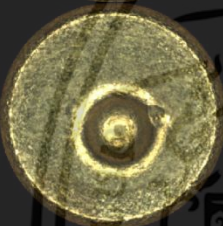
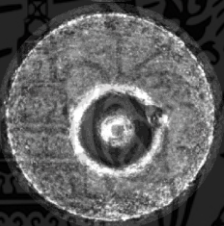
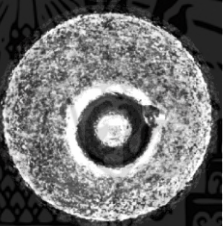

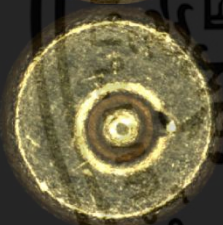
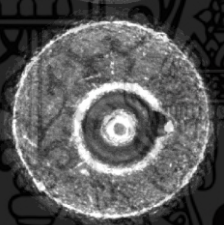
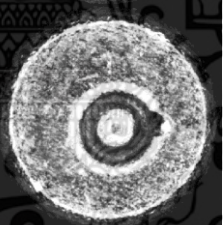

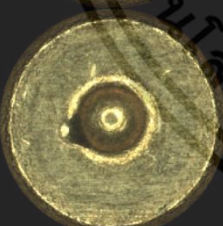
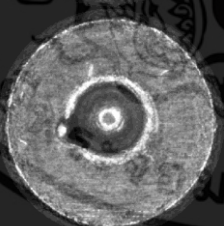
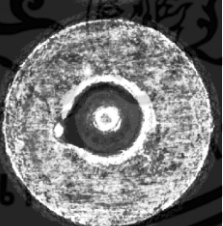

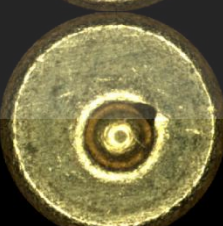
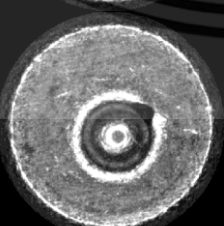
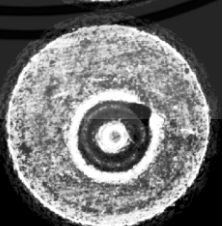
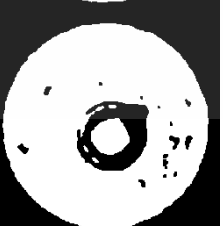
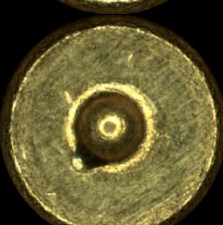
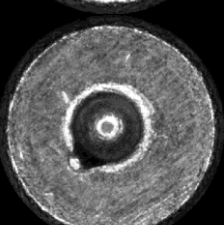
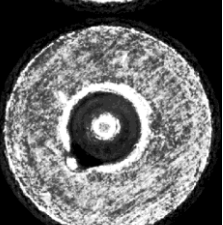
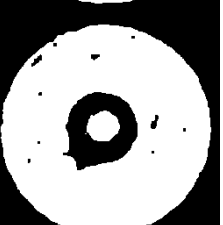
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)



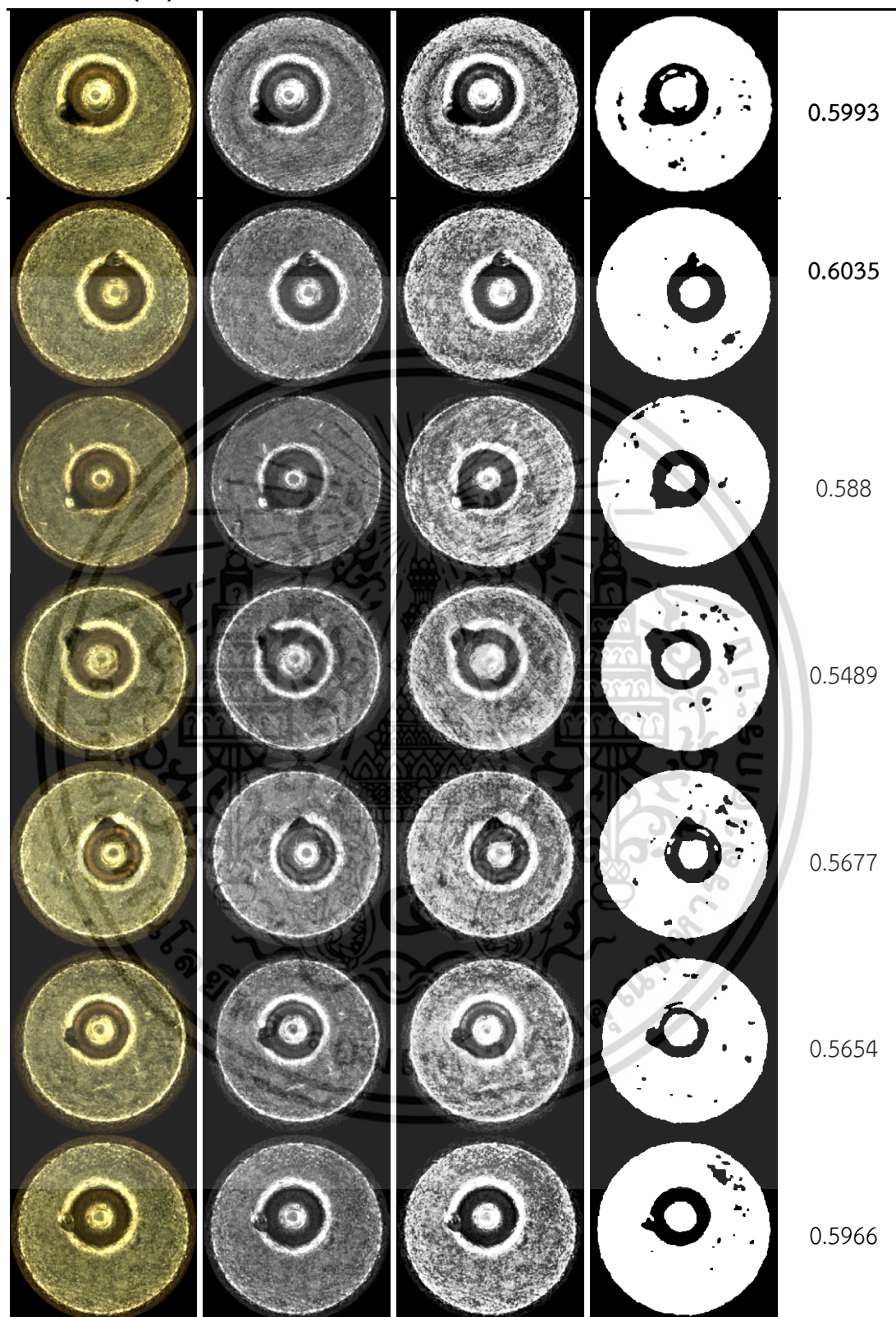
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ภาพตัวอย่างของปลอกกระสุนปืนขนาด 9 มม ที่ยิงมาจากปืนยี่ห้อ UZI

ภาพสี	ภาพระดับสีเทา	ภาพฮิสโตแกรม	ภาพขาวดำ	ค่าเฉลี่ยรูปภาพ
				0.5672
				0.5972
				0.6038
				0.564
				0.5915
				0.5731
				\
				0.5905

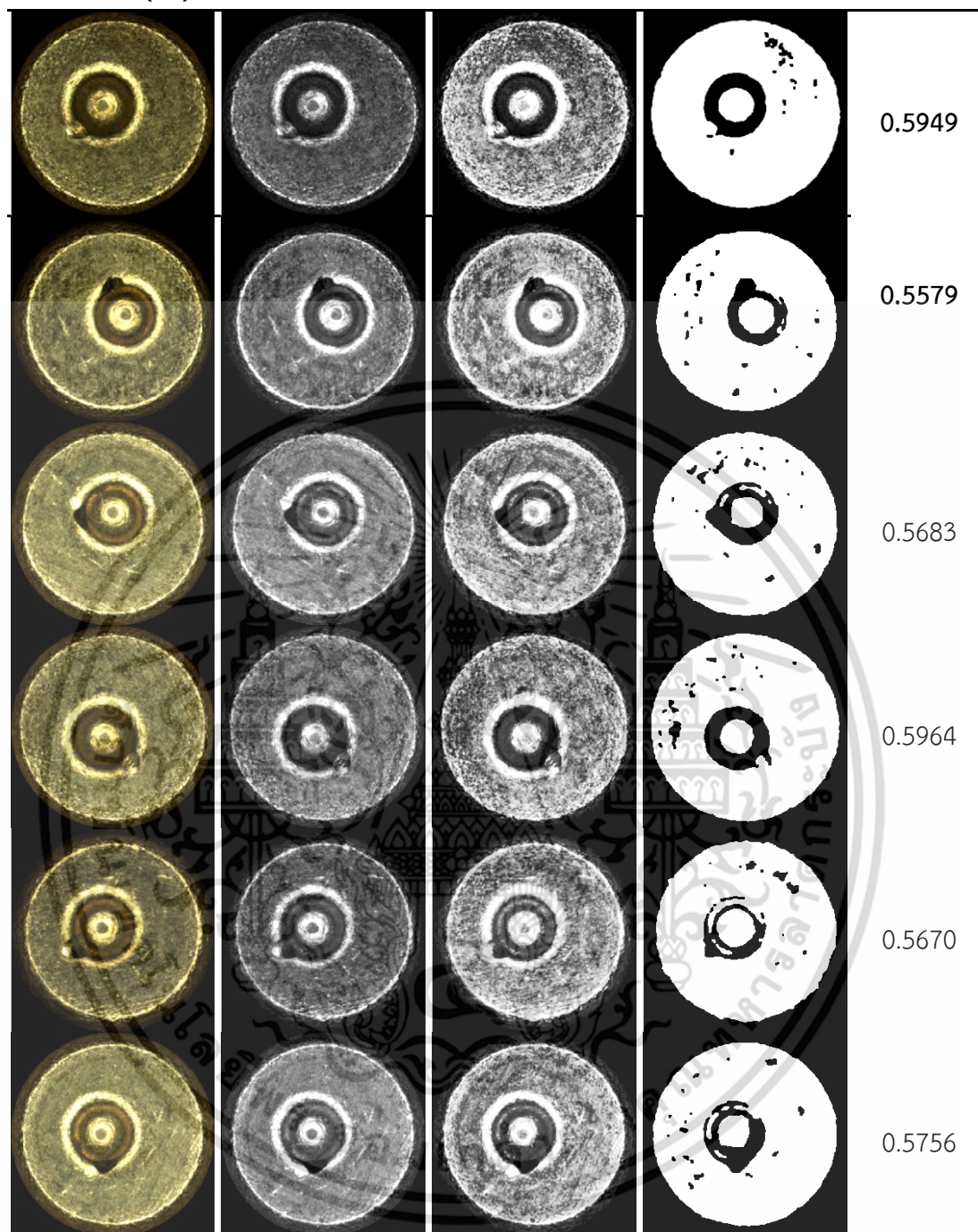
เอกสารนี้เป็นเอกสารราชการสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่แบบฉบับราชการนี้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)



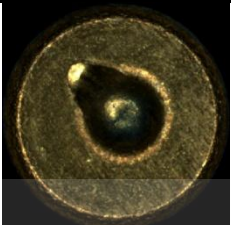
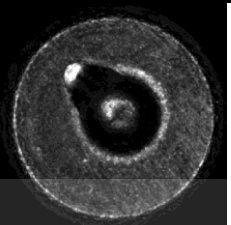
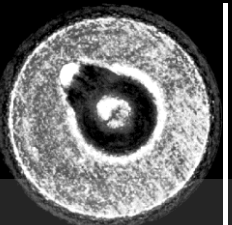

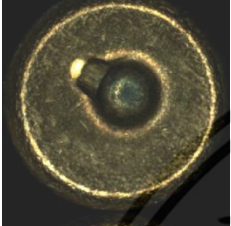
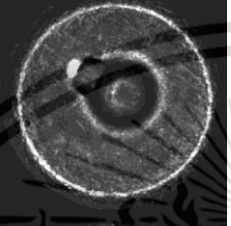
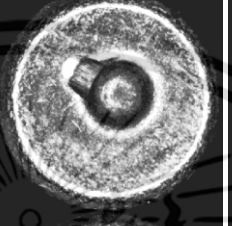


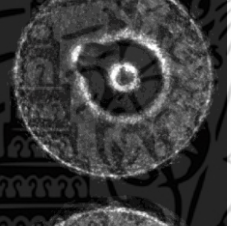
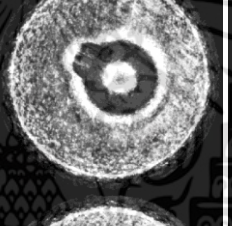

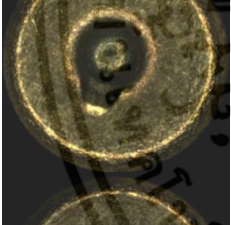
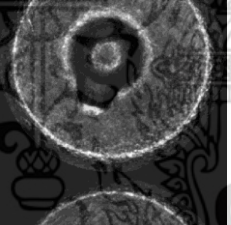
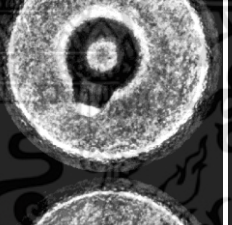

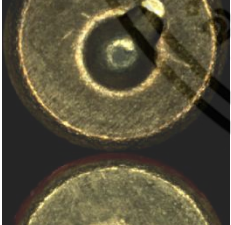
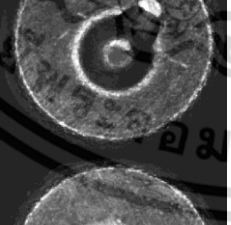
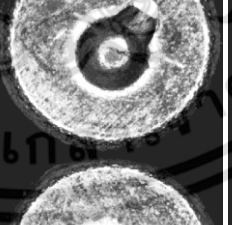

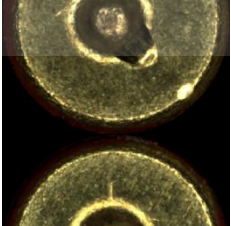
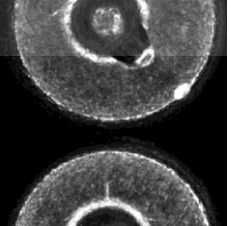
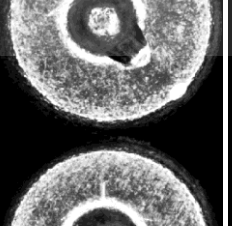





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)



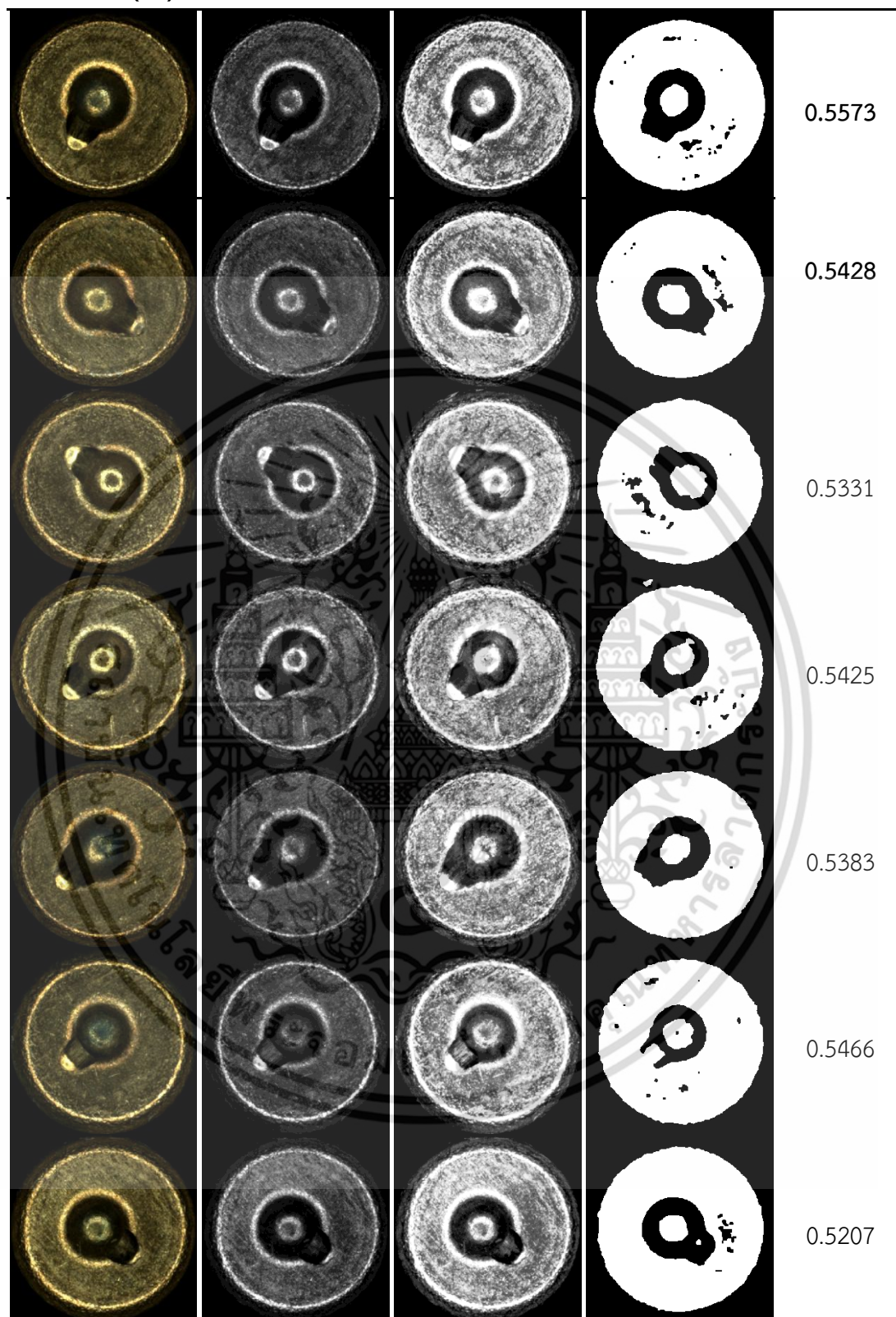
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ภาพตัวอย่างของปลอกกระสุนปืนขนาด 9 มม ที่ยิงมาจากปืนยี่ห้อ Jericho 940

ภาพสี	ภาพระดับสีเทา	ภาพฮิสโตแกรม	ภาพขาวดำ	ค่าเฉลี่ย รูปภาพ
				0.5376
				0.5417
				0.5529
				0.5410
				0.5393
				0.5568
				0.5494

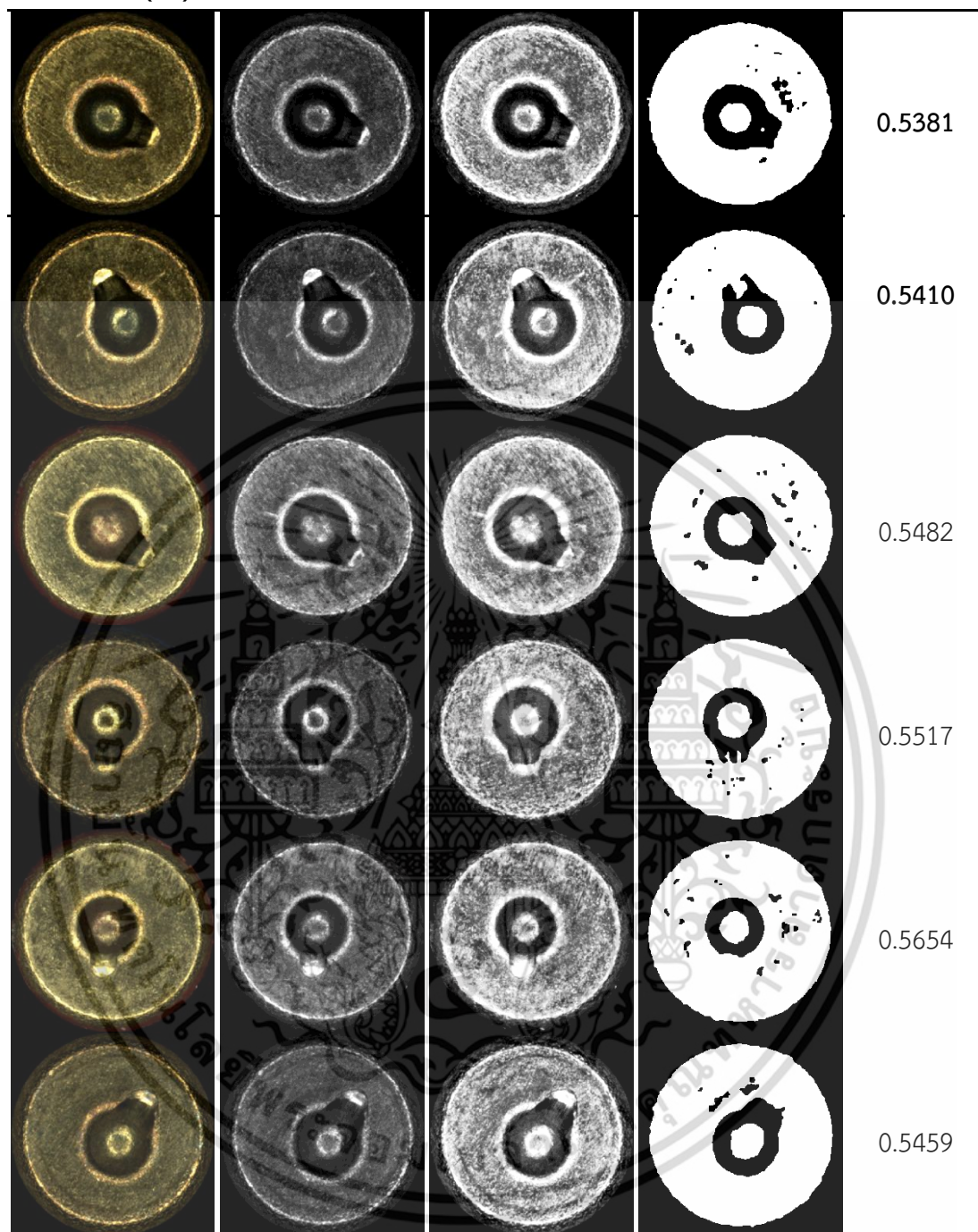
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)



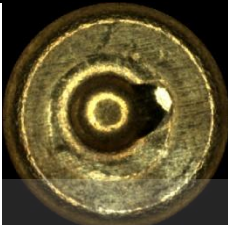
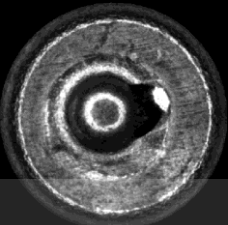
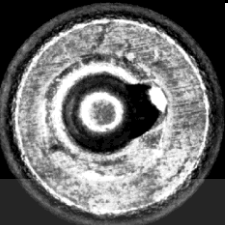

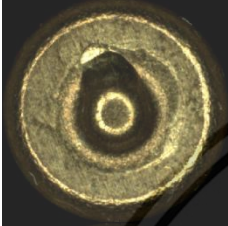
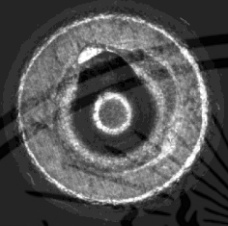
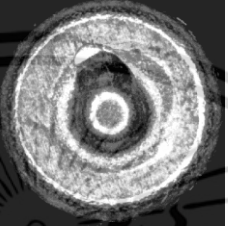


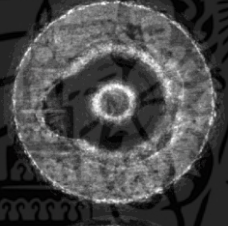
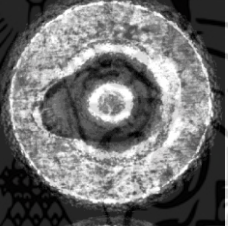

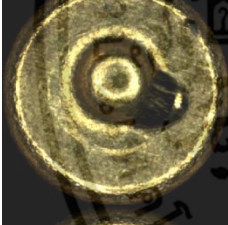
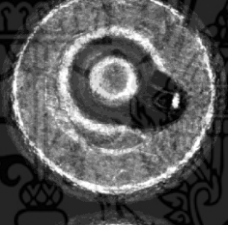
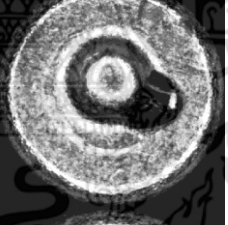

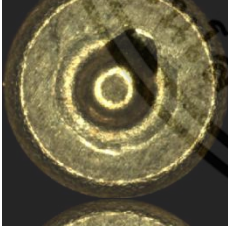
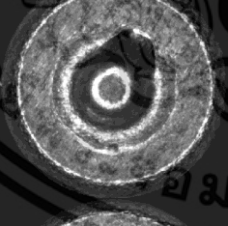
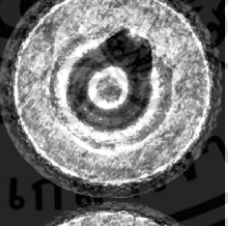

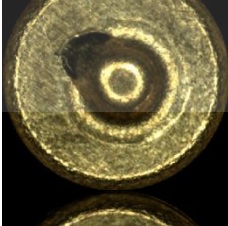
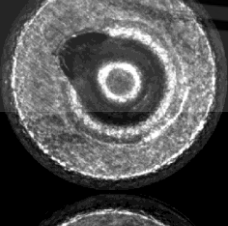
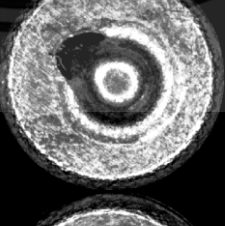
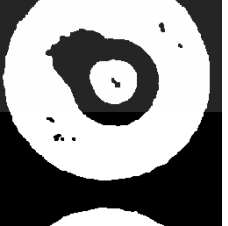

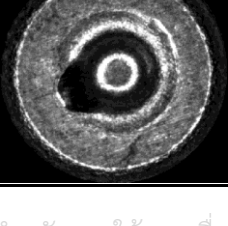

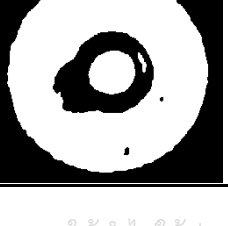
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)



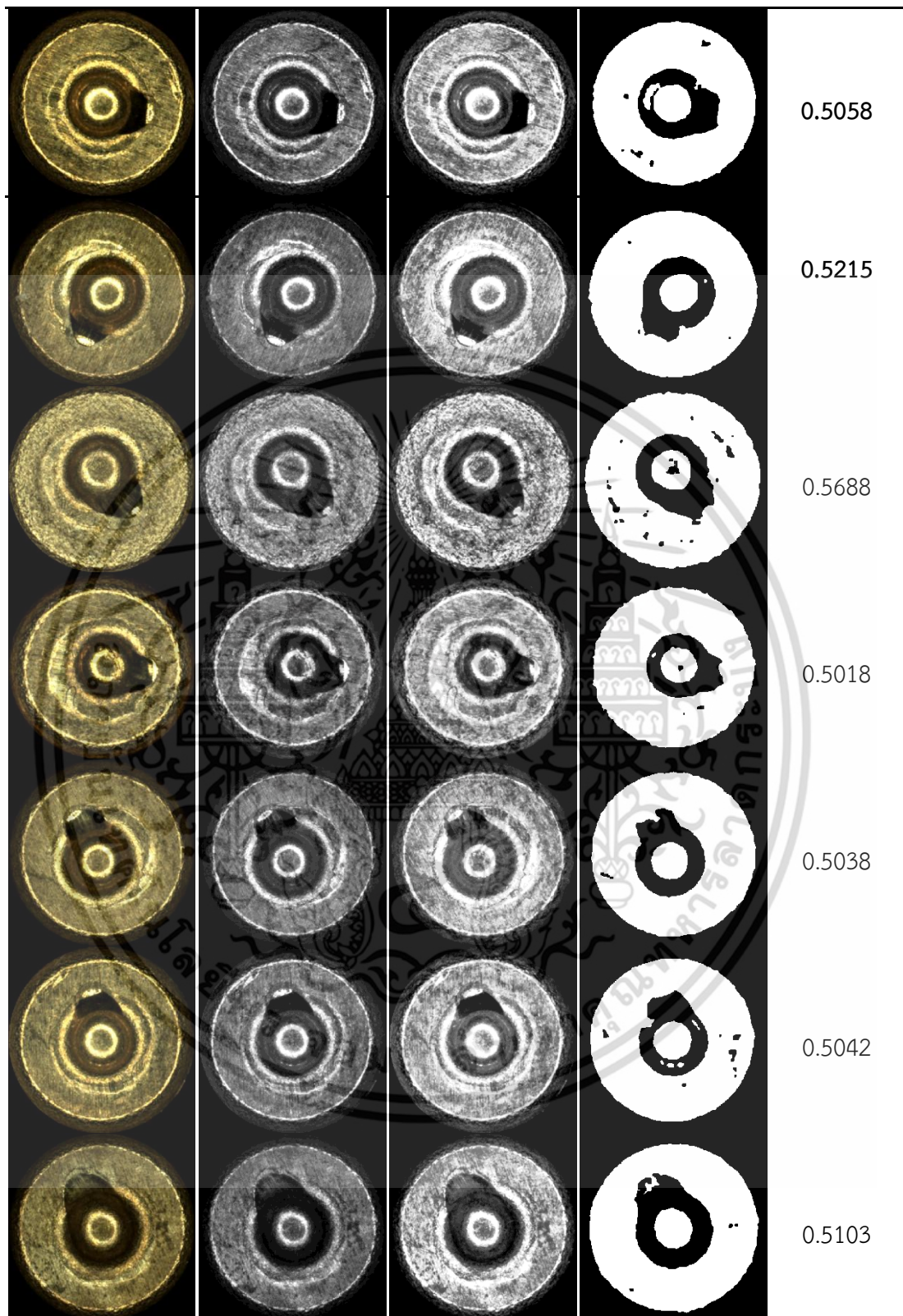
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ภาพตัวอย่างของปลอกกระสุนปืนขนาด 9 มม ที่ยิงมาจากปืนยี่ห้อ Taurus

ภาพสี	ภาพระดับสีเทา	ภาพฮิสโตแกรม	ภาพขาวดำ	ค่าเฉลี่ย รูปภาพ
				0.5033
				0.4811
				0.5119
				0.5247
				0.5113
				0.5248
				0.5113

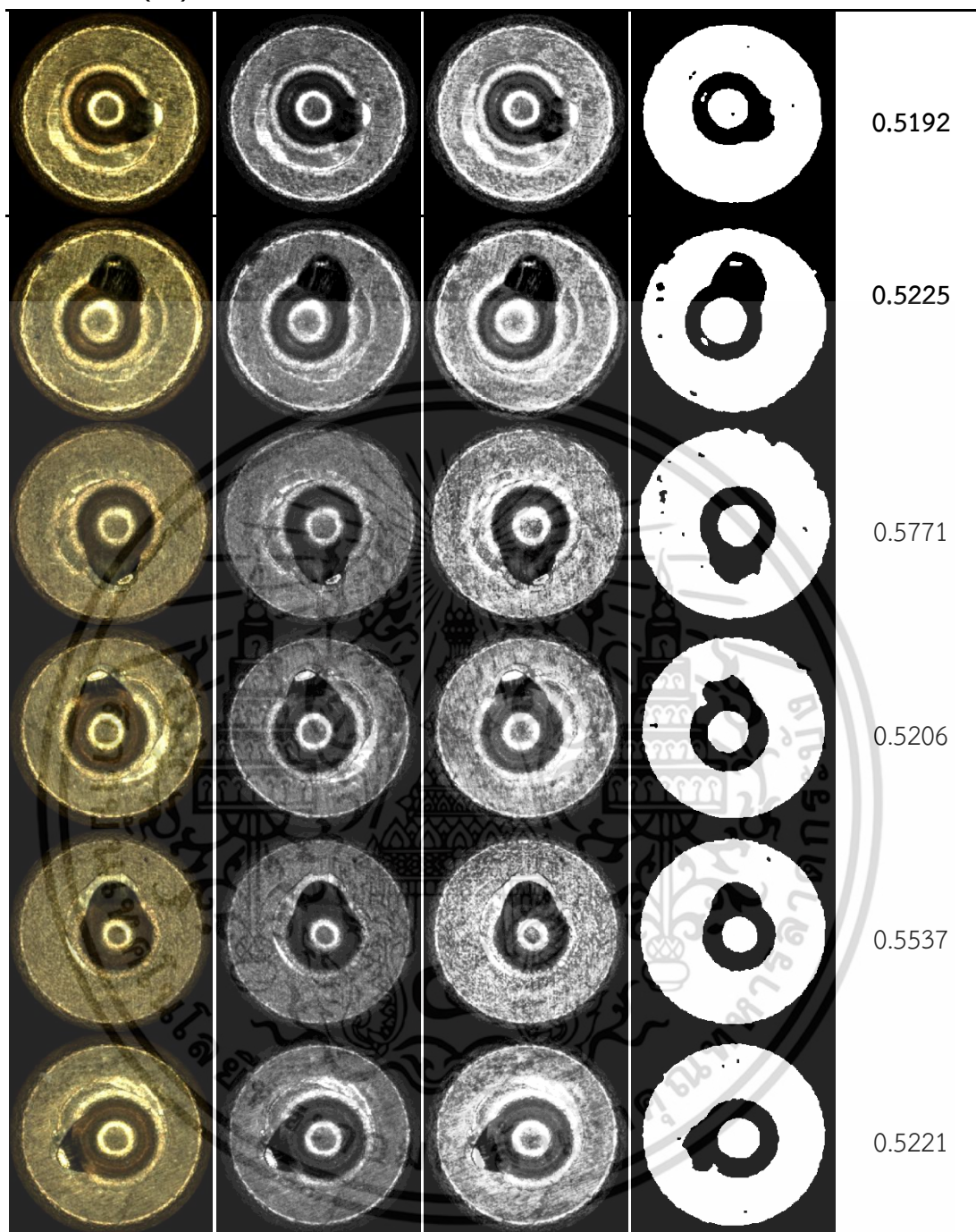
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)



















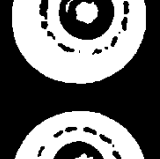
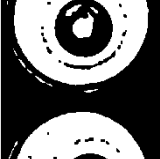






เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การเปลี่ยนแปลงการหมุนปลอกกระสุน

























ในหัวข้อนี้จะแสดงผลการทดลองในการเปลี่ยนแปลงการหมุนของปลอกกระสุนปืนไปครั้งละ 45 องศา โดยปลอกกระสุนที่นำมาทดลองก็คือปลอกกระสุนขนาด 9 มม จำนวน 4 นัด จากปืนทั้ง 4 รุ่น คือ BERETTA, UZI, JERICHO 941 และ TAURUS ซึ่งตัวอย่างรูปภาพของปลอกกระสุนที่นำมาทดลองแสดงตามตารางที่ 4.5 – 4.8

ตารางที่ 4.5 ภาพตัวอย่างการหมุนปลอกกระสุนปืนขนาด 9 มม จากปืนยี่ห้อ BERETTA

ปลอกกระสุน มุม	1		2		3	
	ภาพ	ค่าเฉลี่ย	ภาพ	ค่าเฉลี่ย	ภาพ	ค่าเฉลี่ย
0		0.4433		0.4604		0.4657
45		0.4398		0.4566		0.4566
90		0.4381		0.4494		0.4650
135		0.4424		0.4441		0.4427
180		0.4418		0.4430		0.4486
225		0.4368		0.4500		0.4416
270		0.4412		0.4505		0.4558
315		0.4427		0.4502		0.4484

























เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ภาพตัวอย่างการหมุนปลอกกระสุนปืนขนาด 9 มม จากปืนยี่ห้อ UZI

ปลอกกระสุน	1		2		3	
	ภาพ	ค่าเฉลี่ย	ภาพ	ค่าเฉลี่ย	ภาพ	ค่าเฉลี่ย
มุม						
0		0.5670		0.5885		0.5759
45		0.5726		0.5922		0.5801
90		0.5684		0.5921		0.5801
135		0.5661		0.5887		0.5690
180		0.5656		0.5918		0.5693
225		0.5670		0.5880		0.5769
270		0.5660		0.5915		0.5772
315		0.5667		0.5880		0.5751

























เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ภาพตัวอย่างการหมุนปลอกกระสุนปืนขนาด 9 มม จากปืนยี่ห้อ JERICO 941

ปลอกกระสุน	1		2		3	
	ภาพ	ค่าเฉลี่ย	ภาพ	ค่าเฉลี่ย	ภาพ	ค่าเฉลี่ย
มุม						
0		0.5384		0.5578		0.5432
45		0.5373		0.5566		0.5470
90		0.5376		0.5549		0.5478
135		0.5369		0.5508		0.5427
180		0.5386		0.5506		0.5420
225		0.5390		0.5553		0.5420
270		0.5388		0.5566		0.5416
315		0.5378		0.5570		0.5437

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ภาพตัวอย่างการหมุนปลอกกระสุนปืนขนาด 9 มม จากปืนยี่ห้อ TAURUS

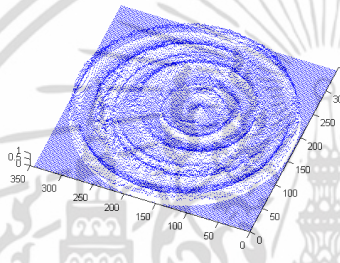
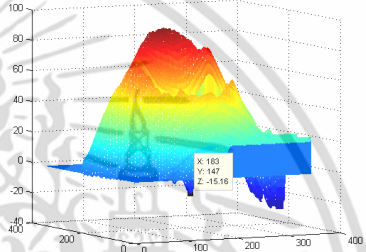
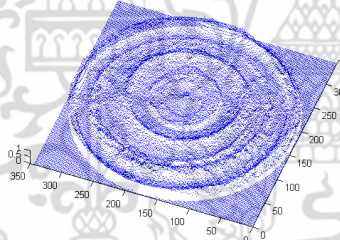
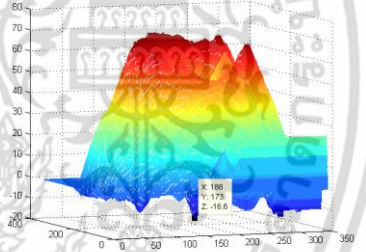
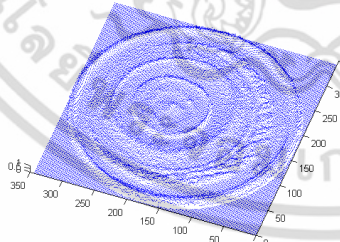
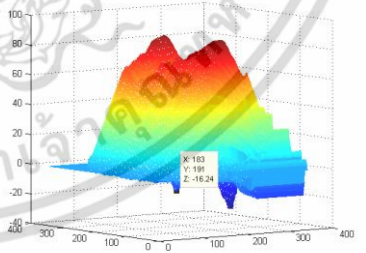
ปลอกกระสุน	1		2		3	
	ภาพ	ค่าเฉลี่ย	ภาพ	ค่าเฉลี่ย	ภาพ	ค่าเฉลี่ย
มุม						
0		0.4872		0.5169		0.5218
45		0.4858		0.5171		0.5226
90		0.4866		0.5141		0.5225
135		0.4861		0.5116		0.5231
180		0.4877		0.5127		0.5265
225		0.4881		0.5187		0.5270
270		0.4874		0.5198		0.5275
315		0.4838		0.5149		0.5199

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การหาความลึกของรอยขีดข่วน

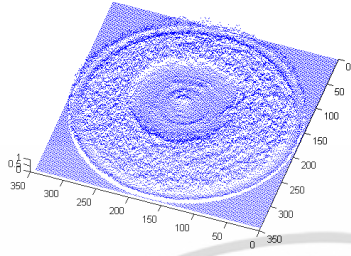
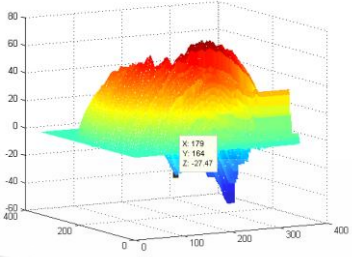
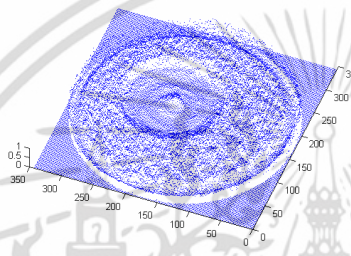
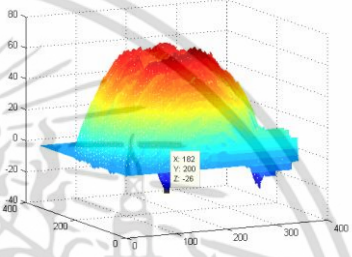
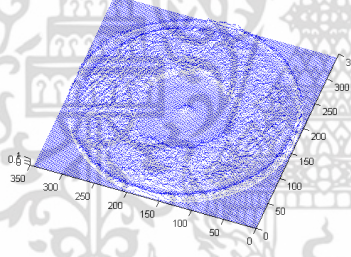
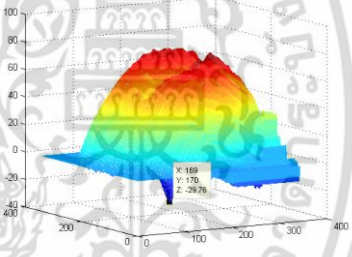
สำหรับในขั้นตอนของการหาความลึกปลอกกระสุนที่นำมาทดลองประกอบด้วยกระสุน 9 มม จำนวน 12 นัด จากปืน 4 รุ่นคือ BERETTA, UZI, JERICHO 941 และ TAURUS การหาความลึกของรอยขีดข่วนสามารถหาได้จากการสร้างภาพภาพความลึกของภาพสามมิติ เมื่อเทียบกับ แกน z โดยแสดงตามตารางที่ 4.9 – 4.12

ตารางที่ 4.9 ภาพ normal vector และภาพแสดงความลึกสามมิติของปืนรุ่น BERETTA

แสดง	ภาพ Normal vector	ภาพความลึกสามมิติ	ความลึก (PIXEL)
จำนวน			
1			-15.16
2			-16.6
3			-16.24

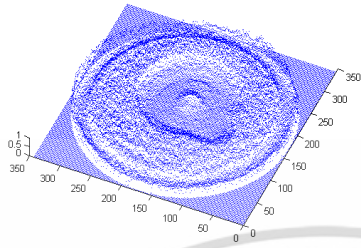
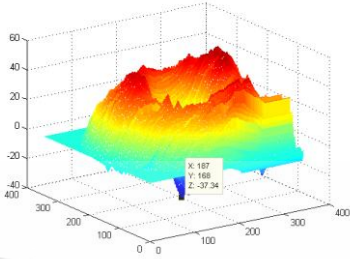
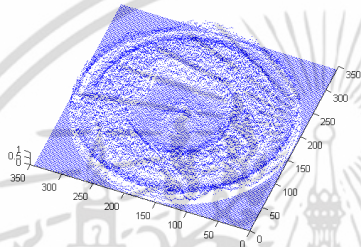
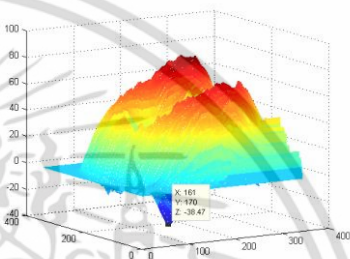
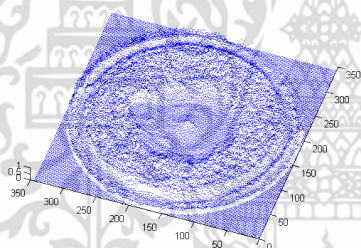
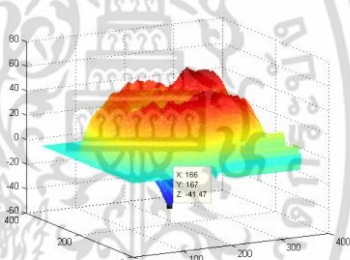
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ภาพ normal vector ภาพแสดงความลึกสามมิติของปืนรุ่น UZI

แสดง	ภาพ Normal vector	ภาพความลึกสามมิติ	ความลึก (PIXEL)
จำนวน			
1			-27.47
2			-26
3			-29.76

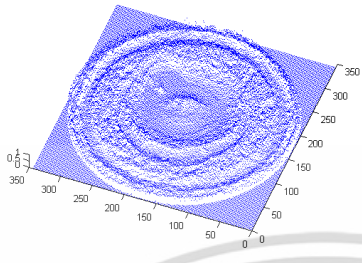
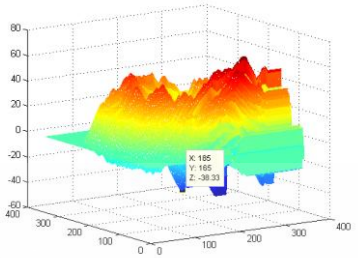
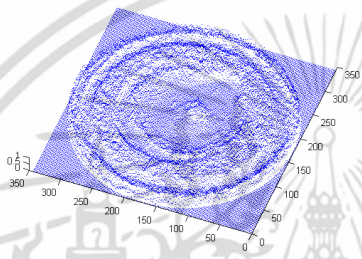
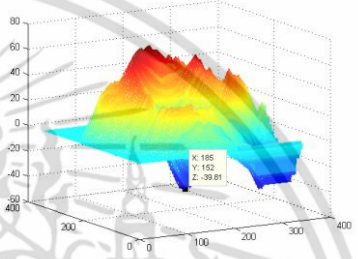
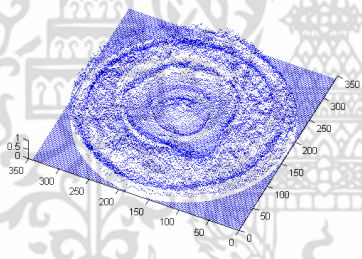
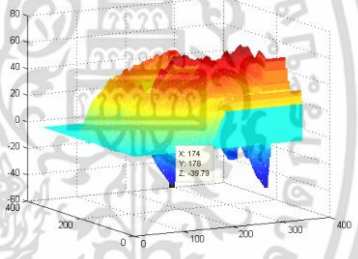
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ภาพ normal vector ภาพแสดงความลึกสามมิติของปืนรุ่น JERICHO 941

แสดง	ภาพ Normal vector	ภาพความลึกสามมิติ	ความลึก (PIXEL)
จำนวน			
1			-37.34
2			-38.47
3			-41.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ภาพ normal vector ภาพแสดงความลึกสามมิติของปืนรุ่น TAURUS

แสดง	ภาพ Normal vector	ภาพความลึกสามมิติ	ความลึก (PIXEL)
จำนวน			
1			-38.33
2			-39.81
3			-39.79

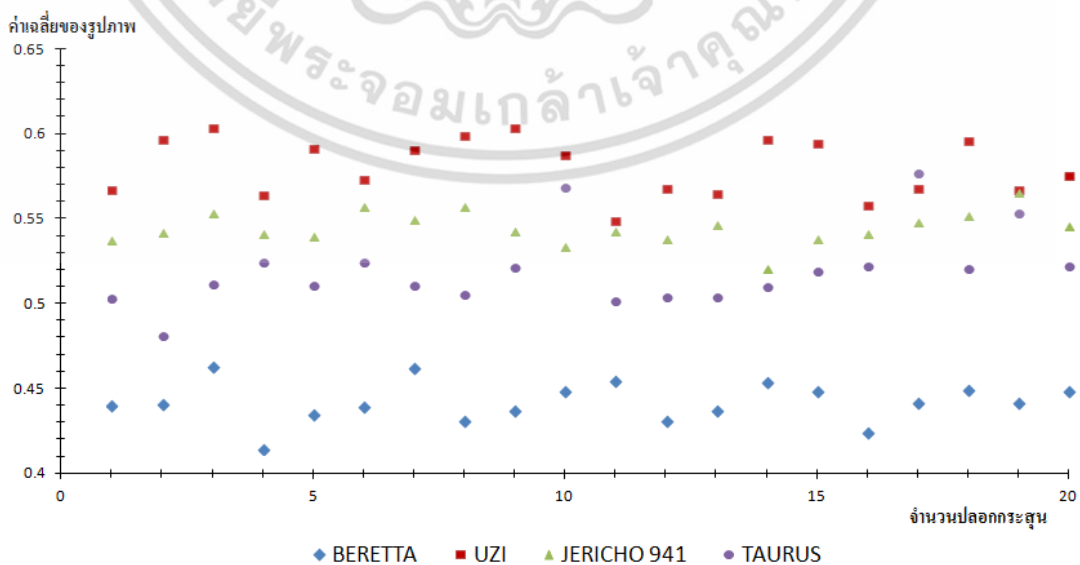
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1 การจำแนกรุ่นของปืนด้วยค่าเฉลี่ยฟิกเชล

จากการทดลองที่ผ่านมาพบว่ามีในด้านของการจำแนกรุ่นของปืน ซึ่งประกอบด้วย BERETTA, UZI, JERICHO 941 และ TAURUS นั้นพบว่าปืนทั้ง 4 รุ่นนี้มีค่าความถูกต้องในการจำแนกที่ไม่เท่ากัน โดยปลอกกระสุนจากปืนรุ่น UZI และ JERICHO 941 มีความผิดพลาดรุ่นละ 2 นัดจากทั้งหมด 20 นัด ปลอกกระสุนจากปืนรุ่น TAURUS มีความผิดพลาด 3 นัด จากทั้งหมด 20 นัด และปลอกกระสุนจากปืนรุ่น BERETTA ไม่มีความผิดพลาดในการจำแนกรุ่นเลย ซึ่งเมื่อนำมาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องก็จะได้เป็น 100%, 90%, 90% และ 85% โดยเรียงจาก BERETTA, UZI, JERICHO 941 และ TAURUS ตามลำดับ

สำหรับความผิดพลาดในการจำแนกรุ่นของปืนนั้นเกิดจากการที่ปลอกกระสุนบางรุ่นมีขนาดและรูปร่างที่คล้ายคลึงกันมากเช่นในปลอกกระสุนปืนจากรุ่น JERICHO 941 และ TAURUS ที่ในบางช่วงก็มีค่าเฉลี่ยในบางนัดที่ซ้ำกัน แต่ก็ยังถือว่าเป็นส่วนน้อย อีกทั้งความผิดพลาดอีกอย่างที่เกิดขึ้นมานั้นเกิดจากการที่กล้องที่มีความคมชัดสูง ทำให้เห็นรายละเอียดในรูปชัดเจนมากยิ่งขึ้น จึงยิ่งทำให้เกิดสัญญาณรบกวนในภาพได้ง่ายขึ้น อาทิเช่น รอยตำหนิต่างๆที่อาจเกิดมาจากการเก็บรักษา หรือสภาพแวดล้อมที่พบกระสุนที่ในบางครั้งอาจทำให้เกิดรอยบนปลอกกระสุนได้ หรือไม่ว่าจะเป็นความไม่เท่ากันของพื้นผิวบนปลอกกระสุน ซึ่งถือว่าเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความผิดพลาดด้วยกันทั้งสิ้น โดยทางตัวผู้จัดทำเองได้ทำการลดสัญญาณรบกวนบางส่วนแล้ว แต่ก็ยังไม่สามารถจัดออกได้ทั้งหมด เพราะการทำเช่นนั้นมากเกินไปอาจทำให้รบกวนรายละเอียดทางด้านคุณลักษณะสำคัญของรอยเข็มแทงชนวนบางส่วนของภาพไปด้วย โดยเมื่อนำค่าเฉลี่ยของปืนแต่ละรุ่นมาพล็อตเป็นกราฟเพื่อทำการหาช่วงของค่าเฉลี่ยในการจำแนกปืนแต่ละรุ่น เป็นไปตามรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ค่าเฉลี่ยฟิกเชลของปืนแต่ละรุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบุคคลที่ประสงค์จะขอใช้ข้อมูลนี้ มิใช่ข้อมูลให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจากรูปที่ 5.1 สามารถนำข้อมูลจากกราฟเพื่อหาช่วงของค่าเฉลี่ยในการจำแนกปืนแต่ละรุ่นได้ตามตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ช่วงค่าเฉลี่ยของปืนแต่ละรุ่น

	BERETTA	UZI	JERICO 941	TAURUS
ช่วงของค่าเฉลี่ย	0.41 – 0.47	0.561 – 0.61	0.531 – 0.56	0.48 – 0.53

ด้านการหมุนปลอกกระสุนตามตารางที่ 4.5 – 4.8 พบว่าไม่มีผลต่อการจำแนกรุ่นของปืน แต่สิ่งที่มีผลต่อการจำแนกรุ่นที่เห็นได้อย่างชัดเจนจากการทดลองเลยก็คือความสว่างที่ใช้ โดยถ้ายิ่งให้ความสว่างที่มากก็จะยิ่งทำให้ค่าเฉลี่ยของภาพสูงขึ้น เนื่องจากการทดลองนั้นได้นำภาพไปนารีมาใช้ในการหาค่าเฉลี่ย โดยจะแบ่งภาพไปนารีจากค่าเทรซโฮลที่กำหนดไว้ ซึ่งการที่ให้แสงสว่างกับปลอกกระสุนมากยิ่งขึ้นก็จะยิ่งทำให้ค่าพิกเซลของรูปภาพนั้นสูงขึ้นด้วย โดยตอนแรกจากที่ในบางส่วนของภาพมีค่าที่ต่ำกว่าค่าเทรซโฮลจึงทำให้ภาพที่ออกมาเป็นจุดสีดำ โดยที่มีค่าเป็น 0 ก็จะทำให้ค่าของพิกเซลสูงขึ้นจนบางครั้งอาจทำให้มีค่ามากกว่าค่าเทรซโฮลจนทำให้ภาพเป็นจุดสีขาว ที่มีค่าเป็น 1 แทนซึ่งเมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของรูปภาพแล้วจึงทำให้ค่าเฉลี่ยมีค่าที่เพิ่มมากขึ้น นั่นจึงทำให้ในการจำแนกรุ่นของปืนจึงต้องมีการกำหนดให้มีระยะและความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงให้เท่ากันตลอดทั้งการทดลองนั่นเอง โดยช่วงของค่าเฉลี่ยที่ใช้ในการจำแนกปืนแต่ละรุ่น แสดงตามตารางที่ 5.1

5.2 การหาความลึกของรอยเข็มแทงชนวน

ส่วนในด้านของการหาความลึกของรอยเข็มแทงชนวนนั้นได้นำปลอกกระสุน 12 นัด จากปืนทั้งหมด 4 รุ่น ซึ่งประกอบด้วย BERETTA, UZI, JERICO 941 และ TAURUS มาทำการทดลองโดยค่าเฉลี่ยที่ได้ในหน่วยพิกเซลจากหลักการของโพโตเมตรีสเตอริโอที่ได้จากตารางที่ 4.9 - 4.12 และในหน่วยมิลลิเมตรที่ทำการวัดด้วยวิธี Laser Profilometry แสดงตามตารางที่ 5.2

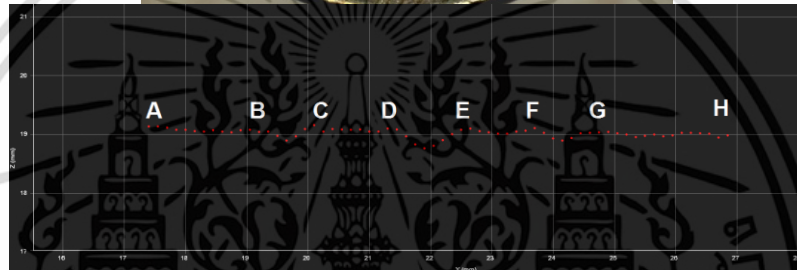
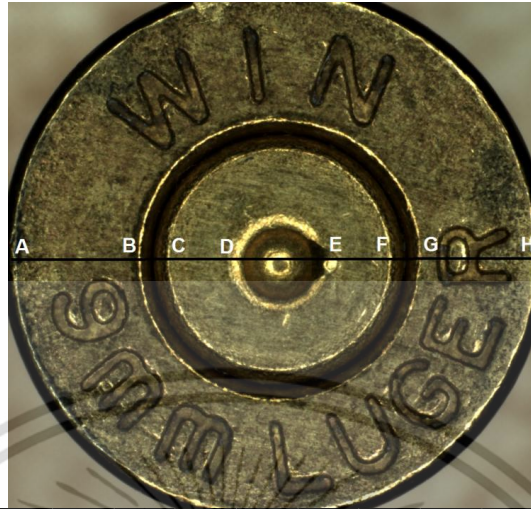
ตารางที่ 5.2 ค่าเฉลี่ยความลึกของรอยเข็มแทงชนวนในหน่วยพิกเซลและมิลลิเมตร

รุ่น	BERETTA		UZI		JERICO 941		TAURUS	
	พิกเซล	มม	พิกเซล	มม	พิกเซล	มม	พิกเซล	มม
ค่าเฉลี่ย	16	0.20	29.55	0.30	39.1	0.36	40	0.37

เนื่องจากรอยเข็มแทงชนวนบนปลอกกระสุนนั้นมีขนาดเล็กมากจนไม่สามารถใช้เวอร์เนียร์แบบปกติมาช่วยตรวจสอบความลึกได้ จึงทำให้ต้องใช้วิธีแบบ Laser Profilometry มาเป็นตัวสอบเทียบด้านความลึกในหน่วยมิลลิเมตรแทน โดยสามารถเทียบได้จากการสร้างกราฟ Profile ระหว่าง

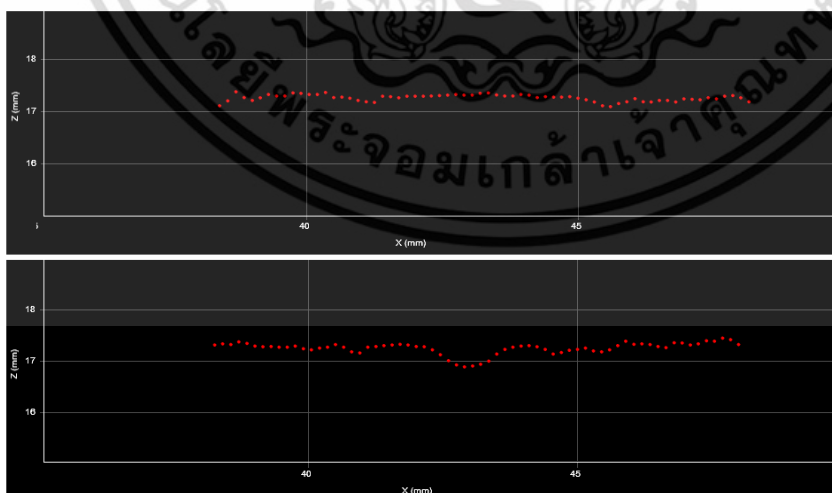
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระนาบแกน x และ z เพื่อดูความลึกในระนาบข้างของปลอกกระสุน โดยดูที่ตำแหน่ง D - E ตามรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 ภาพด้านข้างของปลอกกระสุนด้วย Laser Profilometry

ซึ่งหลักการวัดความลึกของปลอกกระสุนด้วยวิธีแบบ Laser Profilometry แบบที่แม่นยำที่สุดนั้นสามารถหาได้จากการเทียบระหว่างปลอกกระสุนที่ยังไม่ถูกยิงกับปลอกกระสุนที่ถูกยิงมาแล้ว โดยสังเกตความลึกได้จากค่าความเปลี่ยนแปลงของรอยเข็มแทงขนวนที่เกิดขึ้นบนกราฟ ตามรูปที่ 5.3



Unfired Cartridge

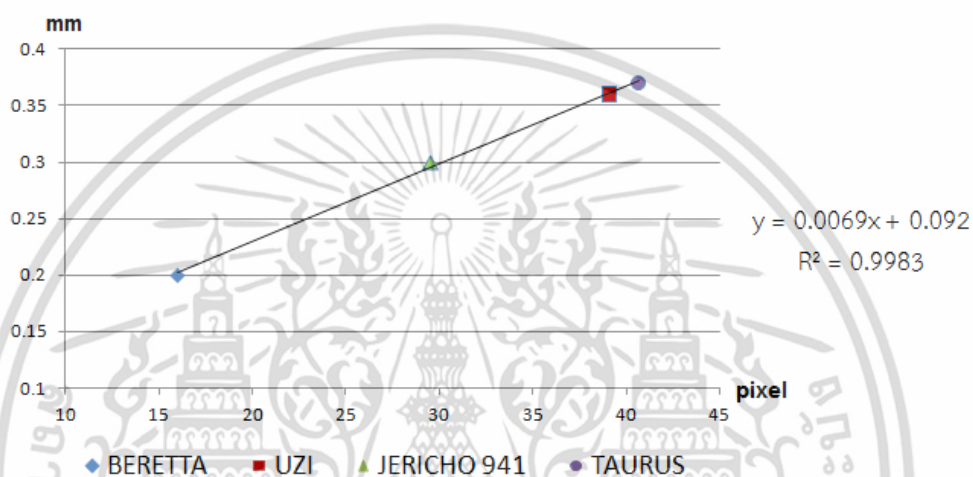
Fired Cartridge

รูปที่ 5.3 วิธีการหาความลึกโดยเทคนิค LP

โดยมีงานวิจัยมากมายที่ใช้เทคนิค LP มาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ไม่ว่าจะเป็นงานวิจัยของเอกสารนี้ [17] ที่ทำการการตรวจสอบเศษหินเพื่อดูว่าเศษหินที่นำมาตรวจสอบนั้นเป็นหินประเภทไหน ต่อมาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัย [18] เลือกใช้วิธี LP มาเป็นตัวเทียบกับวิธีแบบ SEM เพื่อดูถึงลักษณะของเส้นใยในผิวไม้ แต่ ละแบบ หรือจะเป็นงานวิจัยของ [19] ที่ใช้วิธีแบบ LP มาช่วยในการตรวจสอบลักษณะของรอยเส้นที่มีลักษณะไขว้กันเพื่อดูถึงองค์ประกอบโดยรวมไม่ว่าจะเป็นความลึกหรือความนูน เป็นต้น

เมื่อได้ค่าความลึกของรอยเข็มแทงขนวนในปืนแต่ละรุ่นในหน่วยมิลลิเมตรแล้ว ก็จะทำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าความลึกในหน่วยพิกเซลที่ได้จากระบบที่เราได้ออกแบบไว้ ด้วยการสร้างสมการเส้นตรง ซึ่งการสร้างสมการเส้นตรงนั้นสามารถทำได้โดยการสร้างกราฟเส้นตรงที่กำหนดให้แกน x เป็นค่าของความลึกในหน่วยพิกเซลและแกน y เป็นค่าของความลึกในหน่วยมิลลิเมตรด้วยโปรแกรม Excel ตามรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.4 กราฟเส้นตรงระหว่างความลึกในหน่วยพิกเซลและมิลลิเมตร

โดยจากสร้างกราฟเส้นตรงทำให้ได้สมการเส้นตรงที่มีค่า $y = 0.0069x + 0.092$ โดยการแปลงค่าความลึกในหน่วยพิกเซลให้อยู่ในหน่วยมิลลิเมตรพร้อมทั้งเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างสองวิธีตามตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างวิธี LP และค่าที่แปลงจากสมการเส้นตรง

ข้อมูล	BERETTA	UZI	JERICOH 941	TAURUS
ค่าจาก Laser scanning	0.2 mm	0.296 mm	0.36 mm	0.37 mm
ค่าจากสมการเส้นตรง	0.202 mm	0.3 mm	0.362 mm	0.372 mm
% ความแตกต่าง	0.995	1.34	0.554	0.539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะสังเกตได้ว่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปืนรุ่น BERETTA และ UZI นั้นมีค่ามากกว่าปืนอีก 2 รุ่นที่เหลือถึง 2 เท่า โดยสาเหตุนี้เกิดจากการที่ความลึกของรอยเข็มแทงชนวนที่น้อยมากๆ ถึงแม้ว่าวิธีในแบบ Laser Profilometry สามารถตรวจสอบที่ความลึกได้ถึง 0.05 มิลลิเมตร แต่มันสามารถให้ผลด้านความลึกที่ดีกว่าในขนาดที่มากกว่า 0.3 มิลลิเมตรเป็นต้นไป รวมถึงการที่เราอาจเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสงที่ไม่เหมาะสมจนทำให้เกิดเงาสะทอนขึ้นบนรูปภาพจนเป็นสาเหตุให้เกิดความคลาดเคลื่อนในด้านการวัดได้เช่นกัน

โดยข้อดีของวิธีการหาความลึกของรอยเข็มแทงชนวนด้วยวิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอ นั้นเมื่อเทียบกับวิธีการหาค่าเฉลี่ยของพิกเซลก็ไม่ต้องคำนึงถึงรูปร่างและขนาดของรอยเข็มแทงชนวนที่ซ้ำกันเพราะในแง่ของความลึกนั้นรูปร่างและขนาดไม่เป็นผลในด้านการวัดความลึก รวมถึงรอยตำหนิต่างๆที่เกิดบนจนท้ายของปลอกกระสุนที่อาจจะมาจากการเก็บรักษาที่ไม่ดี คราบต่างๆที่เกิดขึ้น จากสภาวะที่พบเจอปลอกกระสุน เช่น คราบฝุ่น คราบดิน โคลน เป็นต้น และอีกหนึ่งข้อเลยก็คือความไม่เท่ากันของพื้นผิวที่มีปัญหาในด้านการสะท้อนในกรณีที่มีลักษณะนูนเด่นชัดขึ้นมาจากวัตถุรอบข้าง จนทำให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นจนทำให้เกิดความผิดพลาดได้ แต่ในแง่ของการหาความลึกนั้นพบว่าไม่มีผลต่อการจำแนก

บทที่ 6

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้ได้เสนอวิธีการที่ใช้จำแนกรุ่นของปืนพร้อมทั้งหารอยลึกลับของเข็มแทงชนวน ซึ่งสำหรับการจำแนกรุ่นของปืนได้ความแม่นยำที่สูงและไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงมุมในการวางปลอกกระสุน เนื่องจากมุมไม่มีผลต่อการจำแนกรุ่นแต่ต้องมีการรักษาระยะและความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงให้คงที่ตลอดทั้งการทดลอง แต่ในด้านของความคล้ายกันของทั้งขนาดและรูปร่างของรอยเข็มแทงชนวน รอยตำหนิต่างๆ หรือความไม่เท่ากันของพื้นผิวที่ชัดเจนพบว่ามีผลทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้ โดยวิธีการที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับจำแนกคุณลักษณะที่สำคัญทางด้านขนาดและรูปร่างของวัตถุประเภทอื่นๆที่มีขนาดใหญ่กว่าเดิมต่อไปได้

สำหรับในด้านการหาความลึกของรอยเข็มแทงชนวนตามวิธีการที่ได้นำเสนอไปนั้นเมื่อนำมาเทียบกับวิธีวัดความลึกแบบ Laser Profilometry พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างสองวิธีที่น้อยมาก โดยความผิดพลาดที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งมาจากการที่รอยเข็มแทงชนวนมีขนาดเล็กมากๆ จึงยากแก่การประมาณค่า ซึ่งวิธีที่นำเสนอขึ้นจัดเป็นวิธีการวัดแบบไม่ทำลายวัตถุ อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการหาความลึกของวัตถุประเภทอื่นๆที่มีขนาดและรูปร่างที่ใหญ่กว่าปลอกกระสุนปืน รวมถึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในพื้นผิวทุกชนิดไม่เว้นแม้กระทั่งพื้นผิวที่มีการสะท้อนและมันยังใช้อุปกรณ์ทั่วไปที่สามารถหาซื้อได้ง่าย จึงทำให้ลดต้นทุนในด้านการผลิตได้มากเมื่อเทียบกับวิธีแบบ Laser Scanning ที่มีต้นทุนการผลิตที่สูงมาก

6.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อ

จากการวิจัยที่ผ่านมาตัวผู้จัดทำได้ทำการเก็บภาพจากปลอกกระสุนจากปืนแต่ละรุ่น รุ่นละแค่เพียง 1 กระบอก ซึ่งอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการแบ่งช่วงค่าเฉลี่ยของพิกเซลที่ใช้ในการจำแนกรุ่นของปืน ซึ่งถ้าต้องการเพิ่มความแม่นยำในจุดนี้สามารถทำได้โดยการเก็บข้อมูลจากปืนหลายๆกระบอกในรุ่นเดียวกัน เพื่อให้ได้ข้อมูลที่หลากหลายมากขึ้น เช่นเดียวกันกับในด้านการหาความลึกของรอยเข็มแทงชนวนที่บางครั้งปืนแต่ละกระบอกอาจมีการเสื่อมเข็มแทงชนวน ซึ่งอาจมาจากอายุการใช้งานที่ต่างกันจึงเป็นสาเหตุให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น วิธีแก้ก็คือการเก็บข้อมูลจากปืนในรุ่นเดียวกับเป็นจำนวนหลายๆกระบอก เช่นเดียวกันกับวิธีการจำแนกด้วยค่าเฉลี่ยของพิกเซล อีกทั้งยังพบปัญหาในเรื่องการขจัดสัญญาณรบกวนที่อยู่ในภาพที่ไม่สามารถขจัดออกไปได้ทั้งหมด ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าความผิดพลาดเหล่านั้นอาจเกิดจากการเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสงที่ไม่ดีพอต่อการทดลองจึงทำให้เกิดการสะท้อนของพื้นผิววัตถุมากเกินไป ดังนั้นวิธีการที่จะลดปัญหาในส่วนนี้ก็คือการเปลี่ยนการใช้ประเภทของแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการวิจัยจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Ring light มาเป็นแหล่งกำเนิดแสงแบบ On-axis light เพราะแหล่งกำเนิดแสงประเภทนี้ช่วยลดการสะท้อนในพื้นผิวของวัตถุ อีกทั้งยังให้ความสว่างที่มากกว่าแหล่งกำเนิดแสงประเภท Ring Light อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Le-pingXin, Jie Zhou and GangRong, “A Cartridge Identification System for Firearm Authentication”, Signal Processing Proceedings, 2000. WCCC-ICSP 2000. 5th International Conference on , 2000
- [2] P. Thumwarin, C. Prasit, P. boonbumroong, T.Matsuura, “Firearm identification based on FIR system characterizing rotation invariant feature of cartridge case image”, Image and Vision Computing New Zealand, 2008. IVCNZ 2008. 23rd International Conference, 2008
- [3] Ufuk Sakarya, Uğur Murat Leloglu and Erol Tunali, “Three-dimensional surface reconstruction for cartridge cases using photometric stereo”, Forensic Science International 175, 2008
- [4] Dongguang Li, “A New Approach for Firearm Identification with Hierarchical Neural Networks Based on Cartridge Case Images”, Cognitive Informatics, 2006. ICCI 2006. ICCI 2006. 5th IEEE International Conference on , 2006
- [5] R.J. Woodham, “Photometric methods for determining surface orientation from multiple images”, Opt. Eng. 19 (1) (1980) January/February
- [6] P.Thumwarin, C.Prasit and T.Matsuura, “Firearm identification based on rotation invariant feature of cartridge case”, SICE Annual Conference, 2008
- [7] Jiahua Wu, “Rotation Invariant Classification of 3D Surface Texture Using Photometric Stereo”, Heriot-Watt University, 2003.
- [8] Li Zhang. “Computer Vision: Photometric Stereo” [Online]. Available : <http://pages.cs.wisc.edu/~lizhang/courses/cs766-2008f/syllabus/10-09-shading/shading.pdf>
- [9] Krittin. “วิธีง่ายๆในการเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสง” [Online]. Available : <http://www.engineerfriend.com/2011/articles/automation/vision-choosing>
- [10] บริษัท คอมโพแม็กซ์ จำกัด. “Basics of Photoelectric Sensing” [Online]. Available : <http://www.compomax.co.th/product/basics-of-photoelectric-sensing/>
- [11] Edmund. “Camera Types and Interfaces for Machine Vision Applications”[Online].Available:<http://www.edmundoptics.com/resources/application-notes/imaging/camera-types-and-interfaces-for-machine-vision-applications/>
- [12] MCOT. “เซ็นเซอร์รับภาพ แบบ CCD และ CMOS” [Online]. Available : http://dtv.mcot.net/mcot_one.php?dateone=1244772701
- [13] NDT Education. “NDT Method Summary” [Online] . Available : <https://www.nde-ed.org/GeneralResources/MethodSummary/MethodSummary.htm>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[14] Teledyne DALSA. “Understanding Line Scan Applications” [Online]. Available : http://www.visiononline.org/vision-resources-details.cfm/vision-resources/Understanding-Line-Scan-Applications/content_id/5338

[15] Kiattisak Anoochitarom. “3D Technology” [Online]. Available : <http://www.macbaszii.com/2011/12/3d-technology.html>

[16] Manohar Kuse. “Photometric Stereo” [Online]. Available : <https://kusemanohar.wordpress.com/2014/05/10/photometric-stereo/>

[17] W. James Stemp, “A review of quantification of lithic use-wear using laser profilometry: a method based on metrology and fractal analysis”, **Journal of Archaeological Science**, Volume 48, August 2014, Pages 15–25

[18] Gary Chinga-Carrasco, Per Olav Johnsen, Karin yaas, “Structural quantification of wood fibre surfaces—Morphological effects of pulping and enzymatic treatment” **Micron**, Volume 41, Issue 6, August 2010, Pages 648–659

[19] Giuseppe Schirripa Spagnolo, “Potentiality of 3D laser profilometry to determine the sequence of homogenous crossing lines on questioned documents”, **Forensic Science International**, Volume 164, Issues 2–3, 20 December 2006, Pages 102–109



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำแนกปลอกกระสุนปืนจากการสร้างภาพสามมิติด้วยวิธี โฟโตเมตริกสเตอริโอ

Cartridge classification by three-dimensional surface reconstruction using photometric stereo technique

นายสุรศักดิ์ คำวงศ์¹ และ รศ.ดร.ทวีพล ชื้อสัตย์^{1*}

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
*Email: surasak_kunvong@hotmail.com, 0849735800, *Email: taweepol.suesut@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการจำแนกปลอกกระสุนปืนและหาความลึกของรอยเข็มแทงชนวน โดยการจำแนกปลอกกระสุนปืนใช้ค่าเฉลี่ยพิกเซลที่ได้จากการวิเคราะห์รูปร่างและขนาดของรอยเข็มแทงชนวนที่อยู่บนจันท้ายของปลอกกระสุน ส่วนการหาความลึกของรอยเข็มแทงชนวนใช้การสร้างพื้นผิวสามมิติด้วยวิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอซึ่งภาพถูกถ่ายจากมุมเดียวแต่ใช้การวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างกันออกไปตามการคำนวณ การปรับปรุงคุณภาพ เช่น การกำหนดพื้นที่ของวัตถุที่ตรวจสอบ การขจัดสิ่งรบกวนที่ไม่ต้องการออกจากภาพ และการประมวลผลภาพ ด้วยโปรแกรม MATLAB ตัวอย่างของปลอกกระสุนที่นำมาวิเคราะห์ประกอบด้วยปลอกกระสุนขนาด 9 มม จำนวน 80 นัด จากปืน 4 รุ่น ได้แก่ BERETTA, UZI, JERICHO 941 และ TAURUS โดยผลของการจำแนกรุ่นปืนพบว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง 100%, 90%, 90% และ 85% ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่ามุมของเข็มแทงชนวนไม่มีผลต่อความถูกต้องในการแยกแยะความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงนั้นมีผลเป็นอย่างมากจึงต้องกำหนดความสว่างให้คงที่ทุกครั้งตลอดการทดลอง ชุดการทดลองประกอบด้วยกล้องและเลนส์ที่ให้ความละเอียดสูง แหล่งกำเนิดแสงที่สามารถปรับความสว่างได้โดยงานวิจัยนี้เป็นกระบวนการตรวจสอบแบบไม่ทำลายวัตถุ สามารถลดเวลาในการประมวลผล ง่ายต่อการวิเคราะห์และมีความแม่นยำในการตรวจสอบเมื่อเทียบกับการตรวจสอบด้วยสายตาของมนุษย์และงานวิจัยต่างๆที่ผ่านมา อีกทั้งยังสามารถนำอัลกอริทึมนี้ไปใช้ในการตรวจสอบวัตถุอื่นๆที่ต้องอาศัยการวิเคราะห์ถึงรูปร่างและขนาดได้อีกด้วย

คำหลัก: การจำแนกปลอกกระสุนปืน, โฟโตเมตริกสเตอริโอ และ การสร้างพื้นผิวสามมิติ

Abstract

This research represents method of cartridge classification and findings of the depth of firing pin impression. Cartridge is classified by mean of pixel, including analysis of shape and size of firing pin impression on cartridge case. The depth of firing pin impression is normally found by using photometric stereo, taken from the same viewpoint but under illumination from different directions, to estimate 3D surface reconstruction. Image enhancement includes specifying region of interest and removing noise in cartridge case images and then image processing by Matlab. Cartridge case samples consist of a total of 80 cartridge cases in 9 mm from 4 firearms, as well as BERETTA, UZI, JERICHO 941 and TAURUS . The experimental result of cartridge classification shows accuracy percentage which are 100%, 90%, 90% and 85% respectively .The angle of cartridge case has no impact to accuracy but the brightness of light source has, therefore every experiment should be fixed the brightness of light source. Experiment consist of high resolution camera and lens and adaptable-light source. This research is not only non-destructive detection, reduce processing time, easy to analyze, and also

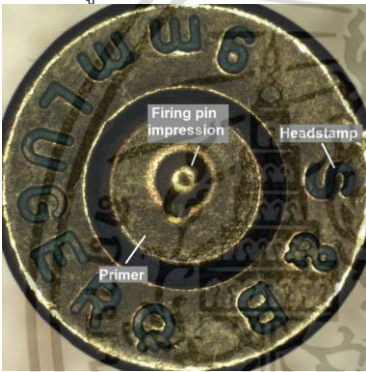
ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

increase the accuracy in comparison with the manual approach and previous researches. This algorithm can be easily implemented to detect in any objects those were analyzed in terms of shape and size.

Keywords: Cartridge classification, Photometric stereo and Three-dimensional surface reconstruction

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้ได้เกิดปัญหาทางด้านอาชญากรรมภายในประเทศเพิ่มมากขึ้นจากเดิม โดยส่วนมากของคดีอาชญากรรมผู้ก่อเหตุมักใช้อาวุธปืนมาเป็นอาวุธในการก่อเหตุ จึงทำให้วัตถุพยานที่มักพบในที่เกิดเหตุคือปลอกกระสุนปืน ซึ่งการวิเคราะห์ถึงปลอกกระสุนปืนนั้นสามารถตรวจสอบได้จากรอยเข็มแทงขนวน (Firing pin impression) ตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 องค์ประกอบของปลอกกระสุนปืน

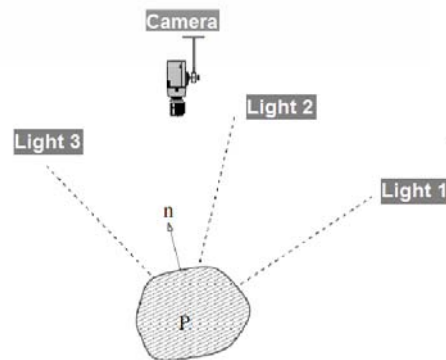
โดยปืนแต่ละรุ่นมีรอยของเข็มแทงขนวนที่ต่างกันออกไป จึงทำให้สามารถตรวจสอบได้ว่าปลอกกระสุนปืนที่พบในที่เกิดเหตุนั้นยังมาจากปืนรุ่นอะไร โดยในอดีตที่ผ่านมาได้มีการใช้มนุษย์ในการตรวจสอบหลักฐานเหล่านี้เพียงอย่างเดียว ซึ่งเมื่อทำการตรวจสอบไปเป็นระยะเวลานานๆอาจทำให้เกิดอาการเมื่อยล้า เกิดความผิดพลาดและความล่าช้าในการตรวจสอบขึ้นได้ เพื่อที่จะลดปัญหาเหล่านี้ลงจึงได้มีงานวิจัยที่นำเสนอวิธีการตรวจสอบปลอกกระสุนปืนขึ้นมามากมาย อาทิเช่นงานวิจัย [1] ที่นำเสนอถึงวิธีที่วิเคราะห์ถึงรอยเข็มแทงขนวนแต่ยังมีข้อจำกัดคือสามารถตรวจสอบได้เพียงรอยเข็มแทงขนวนที่มีลักษณะวงกลมเท่านั้นและยังต้องการการหมุนให้รอยเข็มแทงขนวนอยู่ภายในตำแหน่งที่ต้องการก่อนทำการประมวลผลอีกด้วย ซึ่งต่อมา [2] ได้ทำการปรับปรุงแก้ไขงานวิจัยที่ผ่านมา โดยวิธีของเขาได้นำเสนอวิธีที่พิจารณาถึงรอยเข็มแทงขนวนได้ทุกแบบโดยไม่จำกัดเฉพาะรอยเข็มแทงขนวนที่เป็นแบบวงกลมเท่านั้น และยังมีการเพิ่มการใช้ค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์เพื่อขจัดปัญหาการ

เปลี่ยนแปลงด้านการหมุนของภาพปลอกกระสุนก่อนนำมาประมวลผลอีกด้วย จากนั้น [3] ได้เสนอวิธีที่ใช้การสร้างภาพสามมิติเพื่อแสดงพื้นผิวทั้งหมดของปลอกกระสุนปืนซึ่งแสดงถึงความลึกโดยรวมทั้งหมดโดยด้วยโฟโตเมตริกสเตอริโอ ซึ่งแสดงความลึกในส่วนต่างๆของปลอกกระสุนปืนในรูปของกราฟ Profile หรือรายละเอียดทางด้านข้าง

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการที่ใช้ทำการตรวจสอบปลอกกระสุนปืนจากรอยของเข็มแทงขนวนเพื่อจำแนกปืนแต่ละรุ่นด้วยการใช้ค่าเฉลี่ยพิทเชลของรูปภาพ โดยที่การเปลี่ยนแปลงการหมุนปลอกกระสุนปืนไม่มีผลต่อการจำแนกรุ่นของปืนแต่ละกระบอก อีกทั้งยังสามารถแสดงความลึกของรอยเข็มแทงขนวนบนจานท้ายปลอกกระสุนในลักษณะของภาพความลึกสามมิติผ่านหลักการโฟโตเมตริกสเตอริโอ โดยปืนที่นำมาทำการทดลองประกอบด้วยปืน 4 รุ่น คือ BERETTA, UZI, JERICHO 941 และ TAURUS

2. โฟโตเมตริกสเตอริโอ

โฟโตเมตริกสเตอริโอเป็นวิธีที่ใช้สำหรับประมาณค่าการแสดงพื้นผิวแบบเฉพาะที่ด้วยการใช้รูปภาพหลายๆภาพที่มีลักษณะพื้นผิวเดียวกันโดยจะถูกจับภาพจากมุมเดียวกันแต่ใช้การวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างกันออกไป แสดงตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 การวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสง

เป็นการนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตให้เผยแพร่เป็นการค้า
เมื่อก่อนนี้... ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งการที่ใช้การวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงที่ต่างกันนั้น ทำให้ค่าความเข้มแสงของรูปภาพในแต่ละรูปมีค่าที่ไม่เท่ากัน โดยค่าความเข้มแสงสามารถหาได้จาก

$$I_i(x,y) = \rho(L_i \cdot n) \quad (1)$$

โดย $I_i(x,y)$ คือความเข้มแสงของรูปภาพที่จุด (x,y) L คือเวกเตอร์ของแหล่งกำเนิดแสงบนระนาบ x,y และ z ρ คืออัตราการสะท้อนของพื้นผิวหรือ surface albedo และ n คือเวกเตอร์แนวฉาก หรือ normal vector

สำหรับในรูปที่ 2 มีแหล่งกำเนิดแสงทั้งหมด 3 ตัว ซึ่งก็คือเวกเตอร์ของแหล่งกำเนิดแสง L_1, L_2 และ L_3 โดยสมการที่ (1) สามารถนำมาเขียนให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \rho \begin{bmatrix} L_{1x} & L_{1y} & L_{1z} \\ L_{2x} & L_{2y} & L_{2z} \\ L_{3x} & L_{3y} & L_{3z} \end{bmatrix} n \quad (2)$$

จากสมการที่ (2) สามารถหาอัตราการสะท้อนกลับและเวกเตอร์แนวฉากได้จาก

$$M = L^{-1} \cdot I = \rho \cdot n \quad (3)$$

โดย $M = [m_1, m_2, m_3]^T$ เป็นสมการที่อยู่ในรูปของเมทริกซ์สลับเปลี่ยน

ซึ่งองค์ประกอบการสะท้อนของพื้นผิวหรือ Surface orientation สามารถหาได้จาก

$$p = -\frac{m_1}{m_3}, q = -\frac{m_2}{m_3} \quad (4)$$

เมื่อได้ค่า p และ q จากสมการที่ (4) แล้วนำค่าที่ได้ไปแทนในสมการ (5)

$$n = \frac{(p, q, -1)^T}{\sqrt{p^2 + q^2 + 1}} \quad (5)$$

ก็จะทำให้ได้ค่าของ n หรือ normal vector และสุดท้ายสามารถหาค่าของอัตราการสะท้อนของพื้นผิวหรือ surface albedo ได้จากสมการที่ (1) โดยนำค่าของ n และ $I_i(x,y)$ มาใส่ในสมการที่ (1) ก็จะได้ออกมาค่าของ ρ ซึ่งก็คือค่าของ surface albedo ที่ต้องการนั่นเอง

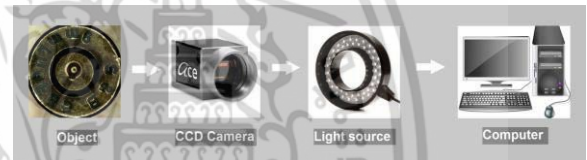
surface albedo ได้จากความยาวของเวกเตอร์ M ตามสมการที่ (6)

$$\rho = \sqrt{m_1 + m_2 + m_3} \quad (6)$$

3. ขั้นตอนการทดลอง

3.1 ชุดการทดลอง

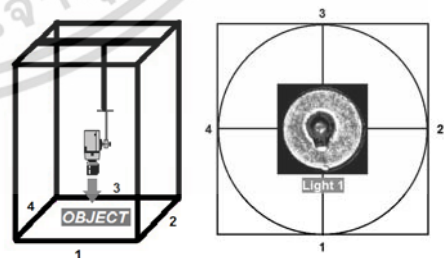
ชุดการทดลองที่ใช้ประกอบด้วยวัตถุตัวอย่าง กล้องซีซีดีพร้อมเลนส์ที่ให้ความละเอียดสูง แหล่งกำเนิดแสงแบบวงแหวนที่สามารถปรับความสว่างได้และคอมพิวเตอร์เพื่อใช้สำหรับการปรับปรุงภาพและการประมวลผล โดยระบบต้นแบบที่ใช้จะถูกนำไปใช้ทั้งในการจำแนกรุ่นของปืนโดยใช้ค่าเฉลี่ยพิกเซลของรูปภาพและการหาความลึกด้วยการสร้างภาพความลึกสามมิติโดยโฟโตเมตริกสเตอริโอ



รูปที่ 3 ชุดการทดลอง

3.2 การจำแนกรุ่นของปืนด้วยค่าเฉลี่ยรูปภาพ

สำหรับการจำแนกรุ่นของปืนนั้นชุดการทดลองที่ใช้ประกอบด้วยกล้องซีซีดีจำนวน 1 ตัวและแหล่งกำเนิดแสงแบบวงแหวนอีกจำนวน 1 ตัว การวางตำแหน่งของกล้องและแหล่งกำเนิดแสงนั้นจะแสดงตามรูปที่ 4



รูปที่ 4 การวางตำแหน่งของกล้องและแหล่งกำเนิดแสงสำหรับการจำแนกรุ่นของปืน

ในส่วนของขั้นตอนการปรับปรุงภาพและประมวลผลนั้นจะเริ่มจากการถ่ายภาพให้มีความคมชัดที่สุด จากนั้นนำภาพเข้าสู่ระบบที่ออกแบบไว้ โดยจะประกอบด้วยการกำหนดพื้นที่ของวัตถุที่เราสนใจ ซึ่งก็คือภาพบริเวณ

แก้ปัญหของพลอกกระสุนหรือ Primer จากนั้นนำภาพที่ได้มาแปลงให้เป็นภาพระดับสีเทาที่มีความแตกต่างของระดับสีเทา 256 ระดับ จากนั้นก็ทำการปรับค่าฮิสโตแกรมให้เหมาะสมเพื่อให้ภาพมีความสว่างและความคมชัดที่เท่ากันเนื่องจากพลอกกระสุนแต่ละพลอกจะมีสีที่ไม่เหมือนกันจึงทำให้การแปลงภาพในระดับสีเทาแค่เพียงอย่างเดียวไม่สามารถลดปัญหาตรงจุดนี้ได้ จึงมีการนำหลักการ Histogram equalization มาใช้ในการแปลงซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีที่ทำให้ภาพมีข้อมูลที่กระจายกันสม่ำเสมอและทำให้ค่าความเข้มแสงของพิกเซลในภาพมีค่าใกล้เคียงกัน โดยการใ้ค่าความถี่สะสมในแต่ละระดับสีเทามาเป็นตัวช่วยการแปลงค่า นอกจากนั้นยังพบว่า การปรับค่าฮิสโตแกรมนั้นเป็นการช่วยเน้นให้เห็นรูปร่างและขนาดของรอยเข็มแทงชนวนได้มากขึ้น จึงทำให้ง่ายต่อการนำไปวิเคราะห์ต่อไป จากนั้นนำภาพไปแปลงเป็นภาพแบบไบนารี โดยหลักการแปลงภาพให้เป็นภาพไบนารีนั้นสามารถทำได้โดยการกำหนดค่าเทรช โดยค่าพิกเซลของภาพที่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าเทรชโหดจะถูกเปลี่ยนเป็น 0 หรือจุดสีดำ และพิกเซลของภาพที่มีค่ามากกว่าค่าเทรชโหดก็ถูกเปลี่ยนเป็น 1 หรือจุดสีขาว ซึ่งหลักในการเลือกค่าเทรชโหนดนั้นมาจากการเลือกใช้วิธีของ Otsu ที่มีการเลือกการใช้ค่าเทรชโหดแบบอัตโนมัติ และใช้ค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม 2 กลุ่ม มาเป็นตัวช่วยในการกำหนดค่าเทรชโหด โดยจะใช้ค่าเทรชโหนดค่าเดียวตลอดทั้งภาพ ซึ่งเมื่อได้ภาพแบบไบนารีมาแล้วก็จะนำภาพไปหาค่าเฉลี่ยของพิกเซลต่อไป

3.2.1 ค่าเฉลี่ยของรูปภาพ

การหาค่าเฉลี่ยของรูปภาพนั้นสามารถหาได้จากการนำค่าของแต่ละพิกเซลทั้งในแนวหลักและแนวแถวมาหาค่าเฉลี่ย จากนั้นนำค่าเฉลี่ยของทั้งแนวแถวและแนวหลักมารวมกันเพื่อหาค่าเฉลี่ยอีกครั้ง ก็จะทำให้ได้ค่าเฉลี่ยรวมของรูปภาพ โดยเหตุผลที่เลือกนำภาพแบบไบนารีมาวิเคราะห์นั้นก็เพราะว่าในการจำแนกรุ่นของปืนนั้นจะพิจารณาเพียงแค่ขนาดและรูปร่างของรอยเข็มแทงชนวน ไม่คำนึงถึงพื้นผิวหรือสีของพลอกกระสุนปืน ซึ่งการเลือกใช้ภาพแบบไบนารีนั้นเหมาะสมที่สุดแล้ว เพราะง่ายต่อการสังเกตรวมถึงมีสัญญาณรบกวนในภาพที่น้อยกว่าภาพในระดับสีเทาอีกด้วย

C11	C21	C31	C41
R11	R12	R13	R14
C12	C22	C32	C42
R21	R22	R23	R24
C13	C23	C33	C43
R31	R32	R33	R34
C14	C24	C34	C44
R41	R42	R43	R44

รูปที่ 5 รูปภาพขนาด 4 x 4 พิกเซล

จากรูปที่ 5 ค่าเฉลี่ยในแนวหลักและแนวหลักทั้งหมด สามารถหาได้จาก

$$C_1 = C_{11} + C_{12} + C_{13} + C_{14} \quad (7)$$

$$C_2 = C_{21} + C_{22} + C_{23} + C_{24} \quad (8)$$

$$C_3 = C_{31} + C_{32} + C_{33} + C_{34} \quad (9)$$

$$C_4 = C_{41} + C_{42} + C_{43} + C_{44} \quad (10)$$

$$R_1 = R_{11} + R_{12} + R_{13} + R_{14} \quad (11)$$

$$R_2 = R_{21} + R_{22} + R_{23} + R_{24} \quad (12)$$

$$R_3 = R_{31} + R_{32} + R_{33} + R_{34} \quad (13)$$

$$R_4 = R_{41} + R_{42} + R_{43} + R_{44} \quad (14)$$

โดย C_i คือค่าเฉลี่ยในแนวหลักทั้งหมด และ R_j คือค่าเฉลี่ยในแนวแถวทั้งหมด

เมื่อนำสมการที่ (7) – (10) และ (11) – (14) มาบวกกันแล้วหารด้วยจำนวนของพิกเซลในแนวหลักและแนวแถวทั้งหมด โดยจากรูปนี้ก็คือ 4 ก็จะได้ค่าเฉลี่ยของแนวหลักและแนวหลัก ตามสมการที่ (15) และ (16)

$$C_{av} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 / N_c \quad (15)$$

$$R_{av} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 / N_r \quad (16)$$

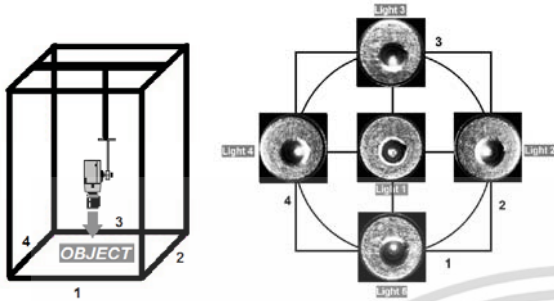
ซึ่ง N_c และ N_r คือจำนวนพิกเซลในแนวหลักและแนวแถวทั้งหมด จากนั้นนำค่าที่ได้จากสมการด้านบนไปแทนในสมการที่ (17) ก็จะทำให้ได้ค่าเฉลี่ยของรูปภาพ

$$Average = (C_{av} + R_{av}) / 2 \quad (17)$$

3.3 การหาความลึกของรอยเข็มแทงชนวน

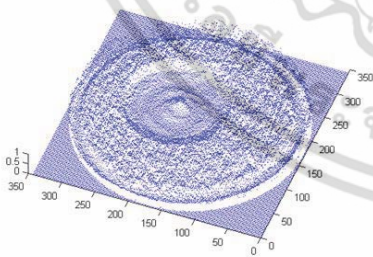
สำหรับการหาความลึกของรอยเข็มแทงชนวนนั้นชุดการทดลองที่ใช้ประกอบด้วยกล้องซีซีดีจำนวน 1 ตัว และแหล่งกำเนิดแสงอีกจำนวน 5 ตัว โดยเมื่อทำการถ่ายภาพ

ก็จะได้ภาพจำนวน 5 ภาพที่มีตำแหน่งการวาง
แหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างกันออกไป ตามรูปที่ 6

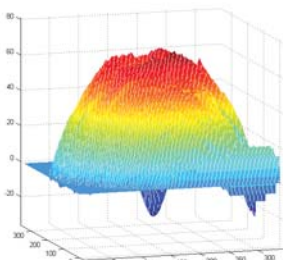


รูปที่ 6 การวางตำแหน่งของและแหล่งกำเนิดแสงสำหรับการหาความลึกของรอยขีดข่วน

หลังจากทำการบันทึกภาพทั้ง 5 ภาพแล้ว นำภาพที่ได้ไปทำการปรับปรุงตามโปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งก็คล้ายกับขั้นตอนของการจำแนกรุ่นปืน แต่ในการหาความลึกของรอยขีดข่วนนั้นจะมีแค่การแปลงจากภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา จากนั้นก็จะนำภาพไปทำการปรับค่าฮิสโตแกรมเพื่อให้ภาพมีความสว่างและความคมชัดที่ใกล้เคียงกัน โดยใช้หลักการ Histogram equalization จากนั้นจึงนำภาพทั้งหมดไปผ่านการประมาณค่าการสร้างภาพความลึกสามมิติด้วยทฤษฎีโฟโตเมตริกสเตอริโอ ซึ่งจะทำให้ได้ภาพของ normal vector และภาพแสดงความลึกสามมิติ ตามรูปที่ 7 และ 8



รูปที่ 7 ภาพ Normal vector

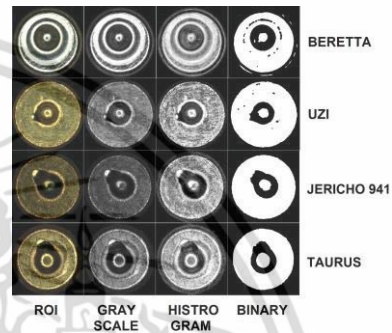


รูปที่ 8 ภาพแสดงความลึกสามมิติ

4. ผลการทดลอง

4.1 การจำแนกรุ่นของปืนจากค่าเฉลี่ยของรูปภาพ

ในขั้นตอนการจำแนกรุ่นของปืนนั้นปลอกกระสุนที่ถูกนำมาตรวจสอบนั้นประกอบไปด้วยปลอกกระสุนขนาด 9 มม จำนวน 80 นัด จากปืนทั้ง 4 รุ่น ได้แก่ BERETTA, UZI, JERICO 941 และ TAURUS โดยตัวอย่างรูปภาพปลอกกระสุนของปืนแต่ละรุ่นที่นำมาทดลองแสดงตามรูปที่ 9 และผลของการทดลองที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1



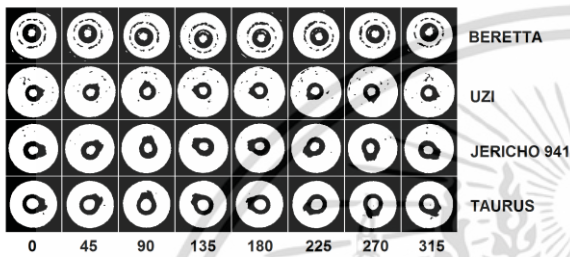
รูปที่ 9 ตัวอย่างภาพปลอกกระสุนปืนแต่ละรุ่น

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยของปืนแต่ละรุ่น

รุ่น \ จำนวน	BERETTA	UZI	JERICO 941	TAURUS
1	0.4401	0.5672	0.5376	0.5033
2	0.4407	0.5972	0.5417	0.4811
3	0.4625	0.6038	0.5529	0.5119
4	0.4145	0.564	0.5410	0.5247
5	0.4347	0.5915	0.5393	0.5113
6	0.4396	0.5731	0.5568	0.5248
7	0.4622	0.5905	0.5494	0.5113
8	0.4306	0.5993	0.5573	0.5058
9	0.4367	0.6035	0.5428	0.5215
10	0.4484	0.588	0.5331	0.5688
11	0.4542	0.5489	0.5425	0.5018
12	0.4313	0.5677	0.5383	0.5038
13	0.4368	0.5654	0.5466	0.5042
14	0.4541	0.5966	0.5207	0.5103
15	0.4482	0.5949	0.5381	0.5192
16	0.4239	0.5579	0.5410	0.5225
17	0.4418	0.5683	0.5482	0.5771
18	0.4494	0.5964	0.5517	0.5206
19	0.4416	0.5670	0.5654	0.5537
20	0.4482	0.5756	0.5459	0.5221

4.2 การเปลี่ยนแปลงการหมุนปลอกกระสุน

ในหัวข้อนี้จะแสดงผลการทดลองในการเปลี่ยนแปลงการหมุนของปลอกกระสุนปืนไปครั้งละ 45 องศา โดยปลอกกระสุนที่นำมาทดลองก็คือปลอกกระสุนขนาด 9 มม จำนวน 4 นัด จากปืนทั้ง 4 รุ่นคือ BERETTA, UZI, JERICO 941 และ TAURUS ซึ่งตัวอย่างรูปภาพของปลอกกระสุนที่นำมาทดลองแสดงตามรูปที่ 10 และผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 2



รูปที่ 10 ตัวอย่างภาพปลอกกระสุนปืนแต่ละรุ่นที่ทำการหมุนครั้งละ 45 องศา

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยของการหมุนปลอกกระสุนครั้งละ 45 องศา

ค่าเฉลี่ยมุม	BERETTA	UZI	JERICO 941	TAURUS
0	0.4433	0.5670	0.5384	0.4872
45	0.4398	0.5726	0.5373	0.4858
90	0.4381	0.5684	0.5376	0.4866
135	0.4424	0.5661	0.5369	0.4861
180	0.4418	0.5656	0.5386	0.4877
225	0.4368	0.5670	0.5390	0.4881
270	0.4412	0.5660	0.5388	0.4874
315	0.4427	0.5667	0.5378	0.4838

4.3 การหาความลึกของรอยเข็มแทงขนวน

สำหรับในขั้นตอนของการหาความลึกของรอยเข็มแทงขนวนปลอกกระสุนที่นำมาทดลองประกอบด้วยปลอกกระสุนขนาด 9 มม จำนวน 12 นัด จากปืน 4 รุ่นคือ BERETTA, UZI, JERICO 941 และ TAURUS โดยแบ่งออกเป็นปืนรุ่นละ 3 นัด ซึ่งการหาความลึกของรอยเข็มแทงขนวนนั้นสามารถหาได้จากการสร้างภาพภาพความลึกของภาพสามมิติ เมื่อเทียบกับแกน z โดยแสดงตามตารางที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลนี้ไปเผยแพร่หรือใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

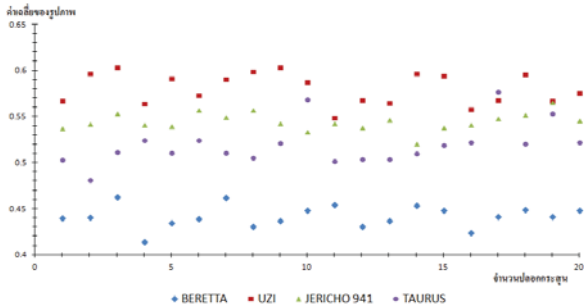
ตารางที่ 3 ภาพความลึกสามมิติและค่าความลึกของปลอกกระสุนปืนแต่ละรุ่น

ข้อมูลรุ่น	ตัวอย่างภาพความลึกสามมิติ	ความลึก (PIXEL)
BERETTA		-15.16 -16.60 -16.24
UZI		-26 -27.47 -29.76
JERICO 941		-41.47 -37.34 -38.47
TAURUS		-39.79 -38.33 -39.81

5. วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองที่ผ่านมามีการจำแนกรุ่นของปืน ซึ่งประกอบด้วย BERETTA, UZI, JERICO 941 และ TAURUS นั้นพบว่าปืนทั้ง 4 รุ่นนั้นมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง 100%, 90%, 90% และ 85% ตามลำดับ

สำหรับความผิดพลาดนั้นเกิดจากการที่ปลอกกระสุนบางรุ่นมีขนาดและรูปร่างที่คล้ายคลึงกันมากเช่นในปลอกกระสุนปืนจากรุ่น JERICO 941 และ TAURUS อีกทั้งยังมาจากการที่กล้องมีความคมชัดสูง ทำให้เห็นรายละเอียดในรูปชัดเจนมากยิ่งขึ้น จึงยิ่งทำให้เกิดสัญญาณรบกวนในภาพได้ง่ายขึ้น ซึ่งทางตัวผู้จัดทำเองได้ทำการลดสัญญาณรบกวนบางส่วนแล้ว แต่ก็ยังไม่สามารถขจัดออกได้ทั้งหมด เพราะนั้นอาจทำให้รายละเอียดทางด้านคุณลักษณะสำคัญของรอยเข็มแทงขนวนบางส่วนหายไปด้วย ซึ่งเมื่อนำค่าเฉลี่ยของปืนแต่ละรุ่นมาพล็อตเป็นกราฟเพื่อทำการหาช่วงของค่าเฉลี่ยในการจำแนกปืนแต่ละรุ่น แสดงตามรูปที่ 11



รูปที่ 11 กราฟแสดงช่วงของค่าเฉลี่ยในปืนแต่ละรุ่น

โดยจากรูปที่ 11 สามารถนำข้อมูลจากกราฟมาแบ่งช่วงเพื่อหาช่วงของค่าเฉลี่ยในการจำแนกปืนแต่ละรุ่นได้ตามตารางที่ 4

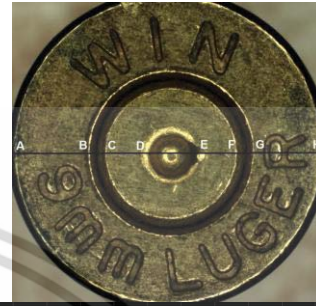
ตารางที่ 4 ช่วงค่าเฉลี่ยของปืนแต่ละรุ่น

	BERETTA	UZI	JERICO 941	TAURUS
ช่วง	0.41 –	0.561 –	0.531 –	0.471 –
ค่าเฉลี่ย	0.47	0.61	0.56	0.53

ด้านการหมุนปลอกกระสุนพบว่าไม่มีผลต่อการจำแนกรุ่นของปืน แต่สิ่งที่มีผลต่อการจำแนกรุ่นที่เห็นได้อย่างชัดเจนเลยก็คือความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ โดยถ้ายิ่งให้ความสว่างที่มากก็จะยิ่งทำให้ค่าเฉลี่ยของภาพสูงขึ้น เนื่องจากการทดลองนั้นได้นำภาพไปนารีมาใช้ในการหาค่าเฉลี่ย โดยจะแบ่งค่าของภาพไปนารีจากค่าเทรซโฮลที่กำหนดไว้ ซึ่งการที่ให้แสงสว่างกับปลอกกระสุนเพิ่มมากขึ้นยิ่งทำให้ค่าพิกเซลของรูปภาพนั้นสูงขึ้นด้วย โดยตอนแรกจากที่ค่าของพิกเซลบางจุดในภาพอาจมีค่าที่ต่ำกว่าค่าเทรซโฮลจึงทำให้ภาพออกมาเป็นจุดสีดำ หรือค่าเป็น 0 ก็จะทำให้ค่าของพิกเซลของภาพสูงขึ้นจนบางครั้งอาจทำให้มีค่าที่มากกว่าค่าเทรซโฮลจนทำให้จุดของพิกเซลกลายเป็นจุดสีขาว หรือค่าเป็น 1 แทนซึ่งเมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของรูปภาพแล้วจึงทำให้ค่าเฉลี่ยมีค่าเพิ่มมากขึ้นนั่นเอง นั่นจึงเป็นเหตุให้การจำแนกรุ่นของปืนต้องมีการกำหนดให้มีระยะและความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงให้เท่ากันตลอดทั้งการทดลองนั่นเอง

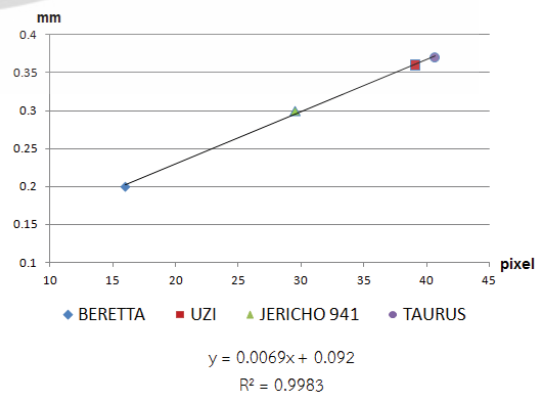
ส่วนในด้านของการหาความลึกของรอยเข็มแทงชนวนนั้นได้นำปลอกกระสุน 12 นัด จากปืนทั้งหมด 4 รุ่น มาทำการทดลอง เนื่องจากรอยเข็มแทงชนวนบนปลอกกระสุนนั้นมีขนาดเล็กมากจนไม่สามารถใช้เวอร์เนียร์แบบปกติมาช่วยตรวจสอบความลึกได้ จึงทำให้ต้องไม่ว้ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ Laser scanning มาเป็นตัวสอบเทียบด้านความลึกในหน่วยมิลลิเมตรแทน จากการสร้างกราฟ Profile ระหว่างระนาบแกน x และ z เพื่อดูความลึกในปลอกกระสุน ตามรูปที่ 12



รูปที่ 12 ภาพ Profile ของปลอกกระสุนด้วย Laser scanning

โดยค่าเฉลี่ยที่ได้ในหน่วยพิกเซลจากหลักการของโฟโตเมตริกสเตอริโอมีค่า 16, 29.55, 39.1 และ 40.65 และในหน่วยมิลลิเมตรจาก Laser 3D Scanning มีค่า 0.2, 0.3, 0.36 และ 0.37 โดยเรียงจากปืนรุ่น BERETTA, UZI, JERICO และ TAURUS ตามลำดับ ซึ่งการแปลงค่าเฉลี่ยในหน่วยพิกเซลให้อยู่ในหน่วยของมิลลิเมตรสามารถทำการแปลงได้โดยใช้สมการเส้นตรง ซึ่งการหาสมการเส้นตรงสามารถหาได้จากการสร้างกราฟเส้นตรง โดยกำหนดให้แกน x เป็นค่าความลึกในหน่วยพิกเซลและแกน y เป็นค่าความลึกในหน่วยมิลลิเมตรด้วยโปรแกรม Excel ตามรูปที่ 13



รูปที่ 13 กราฟเส้นตรงระหว่างความลึกในหน่วยพิกเซลและมิลลิเมตร

จากรูปที่ 13 ได้สมการเส้นตรงตามสมการที่ (18)

$$y = 0.0069x + 0.092 \quad (18)$$

จากนั้นทำการแปลงค่าเฉลี่ยจากหน่วยพิทเซลให้กลายเป็นมิลลิเมตร พร้อมทั้งหาค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของทั้งสองวิธีการ โดยแสดงไว้ในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เปอร์เซนต์ความแตกต่างระหว่างวิธี laser scanning และ ค่าที่แปลงจากสมการเส้นตรง

รุ่น ข้อมูล	BERETTA	UZI	JERICH0 941	TAURUS
ค่าจาก Laser scanning	0.2 mm	0.296 mm	0.36 mm	0.37 mm
ค่าจาก สมการ เส้นตรง	0.202 mm	0.3 mm	0.362 mm	0.372 mm
% ความ แตกต่าง	0.995 %	1.34%	0.554 %	0.539 %

6. สรุป

งานวิจัยฉบับนี้ได้เสนอวิธีการที่ใช้จำแนกรุ่นของปืน พร้อมทั้งหารอยลึกของเข็มแทงชนวน ซึ่งสำหรับการจำแนกรุ่นของปืนได้ความแม่นยำที่สูงและไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงมุมในการวางปลอกกระสุน เนื่องจากมุมไม่มีผลต่อการจำแนกรุ่นแต่ต้องมีการรักษาระยะและความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงให้คงที่ตลอดทั้งการทดลอง โดยวิธีการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการจำแนกคุณลักษณะที่สำคัญทางด้านขนาดและรูปร่างของวัตถุประเภทอื่นๆต่อไปได้

สำหรับในด้านการหาความลึกของรอยเข็มแทงชนวนตามวิธีการที่ได้นำเสนอไปนั้นเมื่อนำมาเทียบกับวิธีวัดความลึกแบบ Laser Scanning พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างสองวิธีที่น้อยมาก โดยความผิดพลาดที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งมาจากการที่รอยเข็มแทงชนวนมีขนาดเล็กมากๆ จึงยากแก่การประมาณค่า ซึ่งวิธีที่นำเสนอ นั้นจัดเป็นวิธีการวัดแบบไม่ทำลายวัตถุ อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการหาความลึกของวัตถุประเภทอื่นๆที่มีขนาดและรูปร่างที่ใหญ่กว่าปลอกกระสุนปืน รวมถึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในพื้นผิวทุกชนิดไม่เว้นแม้กระทั่ง

ทั้งพื้นผิวที่มีการสะท้อนและมันยังใช้อุปกรณ์ทั่วไปที่สามารถหาซื้อได้ง่าย จึงทำให้ลดต้นทุนในด้านการผลิตได้มากเมื่อเทียบกับวิธีแบบ Laser Scanning ที่มีต้นทุนการผลิตที่สูงมาก

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Le-pingXin, Jie Zhou and GangRong. (2000). A Cartridge Identification System for Firearm Authentication, paper presented in Signal Processing Proceedings. WCCC-ICSP 2000, Beijing, China.
- [2] P. Thumwarin, C. Prasit, P. boonbumroong, T.Matsuura. (2000). Firearm identification based on FIR system characterizing rotation invariant feature of cartridge case image, paper presented in Image and Vision Computing New Zealand, Bangkok, Thailand.
- [3] Ufuk Sakarya, Ugur Murat Leloglu and Erol Tunalı. (2008). Three-dimensional surface reconstruction for cartridge cases using photometric stereo, paper presented in Forensic Science International 175, Ankara, Turkey.
- [4] Dongguang Li. (2006). A New Approach for Firearm Identification with Hierarchical Neural Networks Based on Cartridge Case Images, paper presented in Cognitive Informatics. ICCI 2006, Perth, Western Australia.
- [5] R.J. Woodham. (1980). Photometric methods for determining surface orientation from multiple images, Opt. Eng. 19(1) January/February.
- [6] P.Thumwarin, C.Prasit and T.Matsuura. (2008). Firearm identification based on rotation invariant feature of cartridge case, paper presented in SICE Annual Conference, Tokyo, Japan.

ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายสุรศักดิ์ คำวงศ์
 วัน เดือน ปีเกิด 24 เมษายน 2535 ที่สมุทรปราการ
 ที่อยู่ 606/44 หมู่บ้านบางพลีพัฒนา ถ.เทพารักษ์
 ต.บางเสาธง อ.สมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ 10540
 โทร.084-9735800

ประวัติการศึกษา 2556 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ความชำนาญเฉพาะด้าน 1.) การสร้างภาพสามมิติด้วยวิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอ
 2.) หลักการประมวลผลด้วยภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้