



การเพิ่มความคมชัดของภาพถ่ายลายนิ้วมือแฝงด้วยหลักการ
สะท้อนแบบสเปกกูลาโพลาริเซชันและการประมวลผลภาพดิจิทัล

นางสาวสุทัสนา อ้อสถิตย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

พ.ศ. 2555

การเพิ่มความคมชัดของภาพถ่ายลายนิ้วมือแฝงด้วย
หลักการสะท้อนแบบสเปกกูลาโพลาริเซชันและการประมวลผลภาพดิจิทัล

นางสาวสุัทศนา อ้อสถิตย์ วท.บ. (ฟิสิกส์)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2555

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการวิทยานิพนธ์
(ผศ.ดร.รัชภาคย์ จิตต์อารี)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผศ.ดร.มยุรี หาญสุกานุกรณ์)

..... กรรมการ
(ดร.อัฐพล กลั่นบุญชัย)

..... กรรมการ
(ดร.สิทธิรินทร์ อยู่คง)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเพิ่มความคมชัดของภาพถ่ายลายนิ้วมือแฝงด้วยหลักการสะท้อนแบบสเปกกูลาโพลาริเซชันและการประมวลผลภาพดิจิทัล
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	นางสาวสุัทสนา อัสสติดิษฐ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดร. มยุรี หาญสุภาณุสรณ์
หลักสูตร	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์
ภาควิชา	ฟิสิกส์
คณะ	วิทยาศาสตร์
พ.ศ.	2555

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ทำการศึกษาและออกแบบวิธีการทางแสงแบบไม่สัมผัสเพื่อถ่ายภาพลายนิ้วมือ โดยอาศัยหลักการสะท้อนแบบสเปกกูลาโพลาริเซชันในการเพิ่มความเปรียบต่าง (contrast) ของลายนิ้วมือแฝง ชุดอุปกรณ์ได้ถูกจัดขึ้นด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยแสงตกกระทบบนพื้นผิวเรียบด้วยมุมตกกระทบที่แตกต่างกัน ลายนิ้วมือถูกจำลองลงบนพื้นผิวที่ไม่มีการดูดซึมและไม่มีรูพรุนของกระดาษอัดรูปและใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลที่มีฟิลเตอร์โพลาริซ์แบบวงกลม (circular polarizing filter) บันทึกภาพถ่ายลายนิ้วมือ โดยมีมุมในการบันทึกภาพของกล้องถ่ายภาพเท่ากับมุมตกกระทบของแสงจากแหล่งกำเนิดแสง ภาพถ่ายลายนิ้วมือที่ได้จะถูกวิเคราะห์และแปลงไปเป็นภาพระดับเทาโดยโปรแกรม MATLAB และใช้โปรแกรม Gelquest ในการสร้างกราฟการกระจายความเข้มแสงที่ตำแหน่งต่างๆ ของภาพระดับเทา ผลจากกราฟการกระจายความเข้มแสงแสดงให้เห็นว่า ความเปรียบต่างของภาพระดับเทาของภาพถ่ายลายนิ้วมือที่ใช้ฟิลเตอร์โพลาริซ์แบบวงกลมและมีมุมตกกระทบของแสงเข้าใกล้มุมบรีวสเตอร์ประมาณ 50-60 องศา สามารถเพิ่มความเปรียบต่างได้ถึง 6 เท่า เทียบกับภาพถ่ายต้นฉบับ นอกจากนั้น มีการศึกษาผลของสีพื้นผิว แหล่งกำเนิดแสงและการแผ่รังสีของหลอดไฟต่อความเปรียบต่างของภาพถ่ายลายนิ้วมือ จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าพื้นผิวที่มีสีเข้มมากกว่าจะมีค่าความเปรียบต่างมากกว่าพื้นผิวที่มีสีอ่อนกว่าและค่าความเปรียบต่างจะมีค่าเหมาะสมที่สุดเมื่อใช้แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีค่าการแผ่รังสีเท่ากับ 0.210 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

คำสำคัญ : การประมวลผลภาพ / การสะท้อนแบบสเปกกูลา / ความเปรียบต่าง/โพลาริเซชัน / ลายนิ้วมือแฝง

Thesis Title	Contrast Enhancement of Latent Fingerprint Image Based on Polarized Specular Reflection and Digital Image Processing
Thesis Credits	12
Candidate	Miss Sutassana Orsathit
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Mayuree Hansupanusorn
Program	Master of Science
Field of Study	Physics
Department	Physics
Faculty	Science
B.E.	2555

Abstract

The propose of this work is to study and design the non-contact optical method to captured fingerprint image using polarized specular reflection for increasing the contrast of latent fingerprint. The experimental setup was constructed with a fluorescent lamp. The light is incident onto the smooth surface at different angles. Latent fingerprint was deposited on non-absorbing and non-porous photo papers. The fingerprint was imaged by a digital camera with a circular polarizing (CPL) filter while the viewing angle of the camera was equal to the incident angle of the light source. The recorded fingerprint image was then analyzed and transformed to the gray scale images by MATLAB program. The GELQUEST program was used to create the intensity profile along the position on the gray scale image. Results from the intensity profile showed that the contrast of gray scale fingerprint image collected with CPL filter and the incident angle near Brewster angle of 50-60 degree was increased by 6 times than that of conventional image. In addition, the effects of paper color, light source and irradiance of light source on the contrast of the fingerprint images were also studied. The results showed that the darker the paper surface, the higher the image contrast. The optimum contrast was obtained from the daylight fluorescent lamp with an irradiance of $0.210 \mu\text{W}/\text{cm}^2$.

Keywords: Contrast / Image Processing / Latent Fingerprint / Polarization / Specular Reflection

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความเมตตาช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลายท่าน บุคคลท่านแรกข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.มยุรี หาญสุกานุกรณ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้การสนับสนุนในการทำงานวิจัยในสิ่งที่ข้าพเจ้าสนใจและอยากจะทำให้ ความรู้ คำแนะนำ ข้อคิดเห็น กำลังใจ ประสบการณ์ที่ดีต่างๆ ของการทำงานวิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.รัชภักย์ จิตต์อารี ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้ความรู้และประสบการณ์ต่างๆ ทางด้านนิติวิทยาศาสตร์เชิงฟิสิกส์ ขอบพระคุณจริงๆ ค่ะ ที่ทำให้ข้าพเจ้าได้รู้ว่า ข้าพเจ้าสนใจและชอบทางด้านใด นำไปสู่แรงบันดาลใจในการทำงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วีรพล จิรจิต ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้ให้คำแนะนำด้านการประมวลผลภาพเบื้องต้น

ขอขอบพระคุณ ผศ.สุกฤษณ์ อ่างแก้ว ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดต่างๆ ตลอดจนแนวทางในการทำงานวิจัยและการนำเสนอ ซึ่งเป็นประสบการณ์และข้อแนะนำที่ดีต่อตัวข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่มอบทุนอุดหนุนการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2555 แก่ข้าพเจ้าในการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ซึ่งเป็นสถาบันที่ให้ความรู้และได้มอบทุนเพชรพระจอมเกล้า เพื่อเป็นทุนในการศึกษาครั้งนี้แก่ข้าพเจ้า

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดาที่ให้การอุปการะเลี้ยงดู ให้การศึกษา และคอยสนับสนุนทางด้านการเรียนมาโดยตลอด และขอขอบคุณเพื่อนๆ ของข้าพเจ้าที่คอยถามไถ่และให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา ขอบพระคุณทุกๆ ท่านอย่างซาบซึ้ง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	๗
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	๘
กิตติกรรมประกาศ	๙
สารบัญ	๑๐
รายการตาราง	๑๑
รายการรูปประกอบ	๑๒
รายการสัญลักษณ์	๑๓
ประมวลศัพท์และคำย่อ	๑๔

บทที่

1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	9
1.3 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	9
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	9
2. ทฤษฎี	10
2.1 ลายนิ้วมือ	10
2.2 การสะท้อน	12
2.3 โพลาริเซชันของแสง	13
2.4 กล้องถ่ายภาพและฟิลเตอร์	17
2.5 ฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม	22
2.6 การปรับปรุงภาพ : ภาพระดับเทาและความเปรียบต่าง	24
3. การดำเนินการวิจัย	26
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	26
3.2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	27
3.3.1 ออกแบบวิธีถ่ายภาพลายนิ้วมือแฝง	27
3.3.2 กำหนดตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการศึกษาการถ่ายภาพลายนิ้วมือแฝง	29
3.3.3 การประมวลผลภาพถ่ายดิจิทัล	33
3.3.4 วิเคราะห์ข้อมูลกราฟการกระจายความเข้มแสงที่ตำแหน่งพิกเซลต่างๆ	35
4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	36
4.1 การเลือกตำแหน่งของภาพเพื่อใช้ในการประมวลผลภาพ	37
4.2 การแปลงภาพต้นฉบับไปเป็นภาพระดับเทา	39
4.3 ผลของมุมตกกระทบที่แตกต่างกันภายใต้กำลังแสงเท่ากัน 30, 45, 75 องศา	40
4.4 ผลของการมีและไม่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมภายใต้แสงขาว	42
4.5 ผลของมุมตกกระทบที่ใกล้เคียงกับมุมบรีวสเตอร์	46
4.6 ผลของสีพื้นแตกต่างกันภายใต้แสงขาว	50
4.7 ผลของแสงขาวภายใต้กำลังแสงต่างกัน	54
4.8 ผลของสีของแสงที่ตกกระทบแตกต่างกัน	56
5. สรุปผลการทดลอง	63
5.1 สรุปผลการทดลอง	63
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนางานวิจัย	64
เอกสารอ้างอิง	65
ภาคผนวก	68
ก การศึกษาคุณสมบัติของฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม	68
ข การสะท้อนของแสงบนพื้นผิวที่มีรอยนิ้วมือและไม่มีรอยนิ้วมือ	73
ค เอกสารการตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการระดับชาติ	77
ประวัติผู้วิจัย	85

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
3.1 แสดงค่าหลัก 3 สีของสีพื้นกระดาษอัดรูป	28
3.2 แสดงลำดับและความหมายของคำสั่ง เพื่อใช้แปลงภาพต้นฉบับเป็นภาพระดับเทา	33
4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเปรียบต่างที่เงื่อนไขต่างๆ และการขยายความเปรียบต่าง	46
4.2 แสดงค่าความเปรียบต่างที่ตำแหน่งหนึ่งที่มุมตกกระทบแตกต่างกัน	49
4.3 แสดงค่าความเปรียบต่างเฉลี่ยโดยรวมของทั้งภาพที่มุมตกกระทบแตกต่างกัน	50
4.4 แสดงค่าความเปรียบต่างที่ตำแหน่งหนึ่งของภาพเมื่อสีพื้นแตกต่างกัน	54

รายการรูปประกอบ

รูป	หน้า
1.1 แสดงภาพถ่ายคราบเลือดบนผ้าสีดำภายใต้ชนิดของแสงที่ตกกระทบแตกต่างกัน	2
1.2 แสดงภาพถ่ายเอกสารที่ถูกไฟไหม้ภายใต้ชนิดของแสงที่ตกกระทบแตกต่างกัน	3
1.3 แสดงภาพลายนิ้วมือแฝงบนแก้วเมื่อปิดด้วยผงฝุ่นเหล็ก FMP 01 ที่ย้อมด้วยสารเรืองแสง Nile blue A perchlorate ภายใต้แสงเลเซอร์สีแดง	4
1.4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งในแนวตั้งกับค่าความเข้มที่จุดนั้น (i) ภาพถ่ายด้วยวิธีการปกติ (ii) ภาพถ่ายจากผลต่างของโพลาริเซชัน	5
1.5 แสดงภาพถ่ายเปรียบเทียบลายนิ้วมือแฝงที่มุมตกกระทบแตกต่างกัน	7
2.1 แสดงส่วนประกอบและภาพถ่ายของรอยนิ้วมือ	10
2.2 แสดงการสะท้อนของแสงบนพื้นผิวที่เรียบและไม่เรียบ	12
2.3 แสดงการสะท้อนของแสงกรณีทั่วไป เมื่อให้แสงไม่โพลาริซ์ตกกระทบลงบนพื้นผิวของวัตถุ	14
2.4 แสดงการสะท้อนของแสง เมื่อให้แสงไม่โพลาริซ์ตกกระทบลงบนพื้นผิวของวัตถุ เมื่อมุมตกกระทบเท่ากับมุมบรีวสเตอร์	15
2.5 แสดงการสะท้อนของแสงโพลาริซ์ทั้งในแนวนอนและในแนวตั้งจากกับระนาบตกกระทบที่มุมตกกระทบ 0 ถึง 90 องศา เมื่อ $n_1 < n_2$	17
2.6 แสดงประเภทของกล้องดิจิทัล	18
2.7 ฟิลเตอร์โพลาริซ์แบบวงกลม	19
2.8 แสดงส่วนประกอบของกล้อง DSLR	20
2.9 แสดงผลของโพลาริเซชันในกล้อง DSLR	21
2.10 แสดงองค์ประกอบและหลักการของฟิลเตอร์โพลาริซ์แบบวงกลม	22
2.11 แสดงการแยกของแสงโพลาริซ์ในผลึกแกนเดียว	23
3.1 แสดงการจัดชุดอุปกรณ์พื้นฐานเพื่อถ่ายภาพลายนิ้วมือแฝง	27
3.2 แสดงการจัดระยะห่างจากพื้นผิวกระดาษอัดรูปไปยังหลอดไฟและกล้องถ่ายภาพ	29
3.3 ขั้นตอนในการแสดงผลในรูปกราฟการกระจายความเข้มที่ตำแหน่งพิกเซลต่างๆ	34
3.4 แสดงการคำนวณหาค่าความเปรียบต่างที่ตำแหน่งใดๆ ของภาพ	35
4.1 ผลการออกแบบการถ่ายภาพลายนิ้วมือแฝงและประมวลผลภาพ	36
4.2 การเลือกตำแหน่งของภาพเพื่อใช้ในการประมวลผลภาพ	37

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.3 แสดงกราฟการกระจายความเข้มที่แต่ละตำแหน่งในแต่ละแนวที่เลือก	38
4.4 แสดงการแปลงภาพจากภาพต้นฉบับไปเป็นภาพระดับเทา	39
4.5 แสดงกราฟการกระจายความเข้มที่แต่ละตำแหน่งของภาพต้นฉบับ (บน) และภาพระดับเทา (ล่าง)	39
4.6 แสดงภาพระดับเทาและกราฟการกระจายความเข้มที่ตำแหน่งต่างๆ ขณะที่ไม่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม ที่มุมตกกระทบต่างกัน	41
4.7 แสดงภาพระดับเทาและกราฟการกระจายความเข้มที่ตำแหน่งต่างๆ ขณะที่ไม่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม ที่มุมตกกระทบ 30 และ 45 องศา	43
4.8 อัตราส่วนความเปรียบต่างขณะที่มีเทียบกับไม่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมที่มุมตกกระทบ 30 และ 45 องศา	45
4.9 แสดงภาพระดับเทาและกราฟการกระจายความเข้มที่แต่ละตำแหน่ง ที่มุมตกกระทบแตกต่างกันขณะที่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม	48
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเปรียบต่างกับลำดับตำแหน่งที่มุมตกกระทบ 45, 50, 55 และ 60 องศา	49
4.11 แสดงภาพถ่ายต้นฉบับ เมื่อสีพื้นแตกต่างกันภายใต้แสงขาวที่มุมตกกระทบ 45 องศา และมีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม	51
4.12 แสดงภาพระดับเทาและกราฟการกระจายความเข้มที่ตำแหน่งเดียวกัน เมื่อสีพื้นแตกต่างกัน ภายใต้แสงขาวที่มุมตกกระทบ 45 องศา และมีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม	52
4.13 แสดงภาพระดับเทาและกราฟการกระจายความเข้มที่แต่ละตำแหน่ง เมื่อความเข้มของแสงขาวที่หน้าพื้นผิวต่างกันที่มุมตกกระทบ 45 องศา และมีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม	55
4.14 แสดงภาพถ่ายต้นฉบับและภาพระดับเทา ภายใต้แสงขาวที่มุมตกกระทบ 45 องศาและมีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม	56
4.15 แสดงภาพถ่ายต้นฉบับและภาพระดับเทาของกระดาษอัดรูปสีดำ เมื่อสีของแสงที่ตกกระทบแตกต่างกันที่มุมตกกระทบ 45 องศา และมีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม	58
4.16 แสดงกราฟการกระจายความเข้มของกระดาษอัดรูปสีดำ เมื่อสีของแสงที่ตกกระทบแตกต่างกันที่มุมตกกระทบ 45 องศา และมีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม	59

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.17 แสดงภาพถ่ายต้นฉบับและภาพระดับเทาของกระดาษอัดรูปสีขาว เมื่อสีของแสงที่ตกกระทบแตกต่างกันที่มุมตกกระทบ 45 องศา และมีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม	61
ก.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มของภาพเมื่อหมุนฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมบริเวณหน้ากล้องครั้งละ 30 องศาตามลำดับ	70
ก.2 แสดงการจัดชุดอุปกรณ์การศึกษาคุณสมบัติของฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม	71
ก.3 แสดงการทำสัญลักษณ์บอกแนวแกนของโพลาไรเซอร์เชิงเส้นของฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม	71
ก.4 แสดงกราฟความเข้มของแสงที่วัดได้ในรูปของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มุมระหว่างโพลาไรเซอร์เชิงเส้นและอนาไลเซอร์ -90 ถึง 90 องศา ขณะมีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมกั้นกลาง	72
ข.1 แสดงการจัดอุปกรณ์เพื่อตรวจสอบการสะท้อนของแสงบนพื้นผิวที่มีรอยนิ้วมือและไม่มีรอยนิ้วมือ	74
ข.2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มแสงและมุมตกกระทบของบริเวณพื้นผิวที่มีรอยนิ้วมือและไม่มีรอยนิ้วมือ	75

รายการสัญลักษณ์

E	=	สนามไฟฟ้า
E_0	=	แอมพลิจูดของสนามไฟฟ้า
E_{0i}	=	แอมพลิจูดของสนามไฟฟ้าที่ตกกระทบ
E_{0r}	=	แอมพลิจูดของสนามไฟฟ้าที่สะท้อน
E_{0t}	=	แอมพลิจูดของสนามไฟฟ้าที่ส่งผ่าน
E_x	=	แอมพลิจูดของสนามไฟฟ้าในแนวแกน x
E_y	=	แอมพลิจูดของสนามไฟฟ้าในแนวแกน y
I	=	ความเข้มของแสงโพลาไรซ์
$I_{\max}$	=	ความเข้มของภาพที่ตำแหน่งสูงสุด
$I_{\min}$	=	ความเข้มของภาพที่ตำแหน่งต่ำสุด
n_i	=	ค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่แสงตกกระทบ
n_t	=	ค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่แสงทะลุผ่าน
P	=	แสงโพลาไรซ์
$R_{\parallel}$	=	ค่าการสะท้อนในแนวตั้งขนานกับระนาบตกกระทบ
$R_{\perp}$	=	ค่าการสะท้อนในแนวตั้งฉากกับระนาบตกกระทบ
$r_{\parallel}$	=	ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนในแนวขนานกับระนาบตกกระทบ
$r_{\perp}$	=	ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนในแนวตั้งฉากกับระนาบตกกระทบ
t	=	เวลา
$t_{\parallel}$	=	ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านในแนวตั้งขนานกับระนาบตกกระทบ
$t_{\perp}$	=	ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านในแนวตั้งฉากกับระนาบตกกระทบ
θ_B	=	มุมบริวสเตอร์
θ_i	=	มุมตกกระทบ
θ_p	=	มุมบริวสเตอร์
θ_r	=	มุมสะท้อน
θ_t	=	มุมหักเห
ϕ	=	มุมระหว่างแสงโพลาไรซ์กับแกนทัศนของผลึก
ω	=	ความถี่เชิงมุม

ประมวลศัพท์และคำย่อ

a.u.	=	arbitrary unit
C	=	contrast
CPL	=	ฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

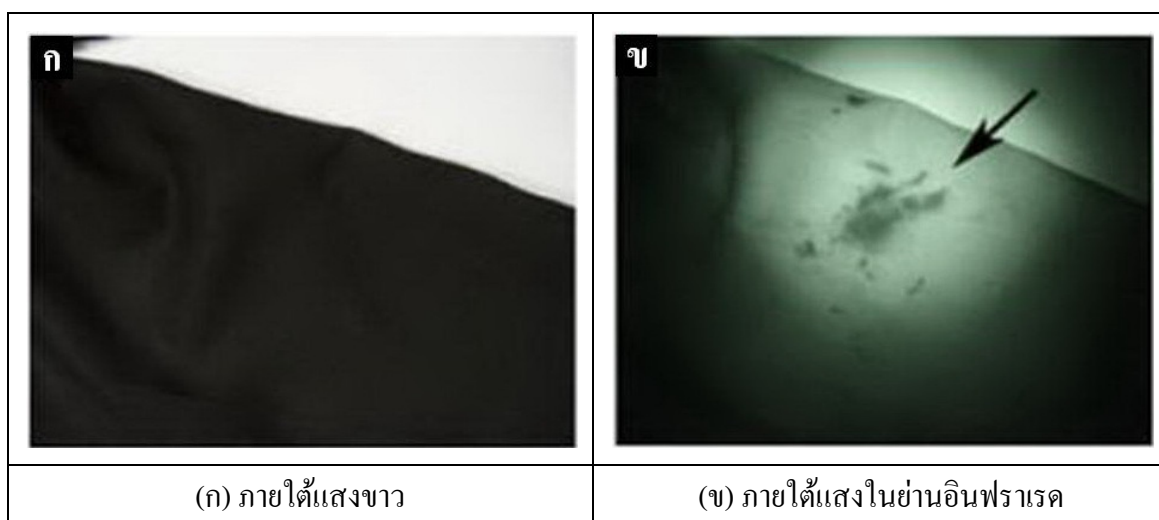
ร่างกายของมนุษย์เรานั้น ส่วนใหญ่จะถูกปกคลุมด้วยขนบางๆ แต่ก็มีส่วนที่ปราศจากขน ซึ่งมีลักษณะเป็นลายเส้นผิวหนัง เรียงแถวปรากฏเป็นรูปแบบต่างๆ ขึ้น เมื่อทำการขยายลายเส้นเหล่านี้จะพบแนวรูเหงื่อ (pore) นอกจากนี้ลายเส้นผิวหนังยังรวมไปถึง ลายเส้นบนฝ่ามือ (palmprint) ลายนิ้วมือ (fingerprint) และลายฝ่าเท้า (footprint) ในแต่ละบุคคลจะมีลักษณะเฉพาะของลายเส้นผิวหนังที่แตกต่างกันออกไป แม้กระทั่งฝาแฝดที่เกิดจากไข่ใบเดียวกัน (identical twins) ก็ไม่มีทางเป็นไปได้ที่จะมีลายเส้นผิวหนังที่เหมือนกัน ดังนั้นจึงมีการนำลายเส้นผิวหนังโดยเฉพาะลายนิ้วมือไปใช้ในงานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ เพื่อใช้ในการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ตัวบุคคล โดยทั่วไปของเหลวหรือสิ่งที่สะสมอยู่บนฝ่ามือมนุษย์นั้น สามารถถ่ายเทไปยังพื้นผิวต่างๆ ได้ เมื่อฝ่ามือเกิดการสัมผัสหรือกดลงบนพื้นผิวของวัตถุใดๆ ทำให้เกิดร่องรอยของสิ่งที่สะสมอยู่ สิ่งสะสมเหล่านั้นค่อนข้างยากที่จะมองเห็นอย่างชัดเจน โดยรอยลายนิ้วมือที่สามารถพบได้ในทางนิติวิทยาศาสตร์มีทั้งที่สามารถมองเห็นได้ทันที และไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าหรือที่เรียกว่า ลายนิ้วมือแฝง (latent fingerprint) มีการศึกษาวิธีต่างๆ ในการทำให้ลายนิ้วมือแฝงปรากฏขึ้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยอีกหลายประการไม่ว่าจะเป็น ชนิดของพื้นผิว ลักษณะของพื้นผิว ระยะเวลาในการเกิด ดังนั้นหลังจากมีการวางแผนในการตรวจหาลายนิ้วมือแฝงแล้ว จะต้องมีการทำให้ลายนิ้วมือแฝงปรากฏขึ้น เช่น การใช้ผงฝุ่นปิด (dusting) การใช้สารเคมีละลาย (immersion) การใช้ไอระเหย (fuming) ซึ่งจะต้องอาศัยความระมัดระวังเพื่อไม่ให้รอยลายนิ้วมือแฝงเหล่านั้นเกิดความเสียหายหรือถูกทำลายไป เพราะร่องรอยเหล่านี้มีค่ามาก ไม่สามารถหามาทดแทนใหม่ได้และวิธีการใช้ไอระเหย เช่น ไอโอดีน (iodine) อาจเกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติการเนื่องจากไอของไอโอดีนมีฤทธิ์กัดกร่อนและเป็นพิษ และเมื่อลายนิ้วมือแฝงปรากฏขึ้นจนเราสามารถมองเห็นลายนิ้วมือแฝงได้แล้ว จะต้องมีการถ่ายภาพลายนิ้วมือแฝงรวบรวมเก็บไว้เพื่อเป็นการยืนยันข้อเท็จจริงบริเวณที่พบลายนิ้วมือแฝง และภาพที่ถ่ายได้จะต้องมีความชัดเจนและสามารถมองเห็นรายละเอียดของลายนิ้วมือได้

แต่เนื่องจากวิธีการที่ใช้ในการเก็บลายนิ้วมือแฝงที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นเป็นกระบวนการที่เกิดการสัมผัสลงไปที่ลายนิ้วมือเหล่านั้นโดยตรง อาจจะส่งผลกระทบหรือเกิดความเสียหายต่อบริเวณข้างเคียงที่อาจจะมียาวัตถุพิษอื่นๆ อยู่บางวิธีการถึงแม้จะไม่เกิดการสัมผัสลงไปที่ลายนิ้วมือโดยตรง อาจจะมี

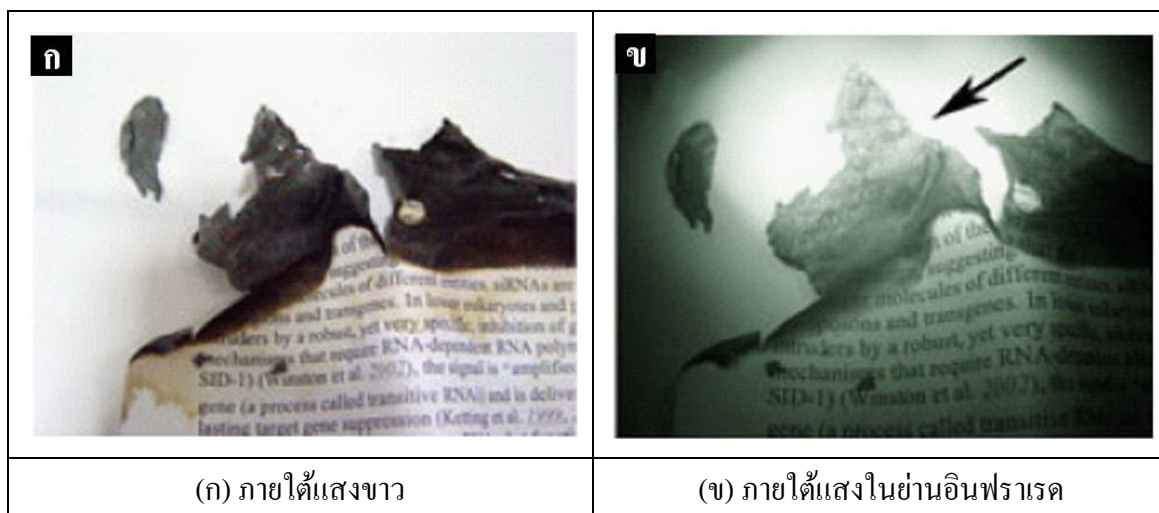
ข้อจำกัดบางอย่างที่ไม่สามารถทำได้ในที่เกิดเหตุ รวมถึงค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูง จึงนำไปสู่การศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ โดยจะทำการศึกษาถึงการเก็บลายนิ้วมือแฝงของวัสดุที่มีพื้นผิวเรียบ ไม่ดูดซึม ซึ่งปกติทั่วไปสามารถทำการตรวจเก็บลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวเหล่านี้ได้ด้วยผงฝุ่นเคมีหรือสารเคมีบางชนิด และทำการออกแบบกระบวนการเก็บลายนิ้วมือแฝงที่จะนำไปใช้ในการแก้ไขปัญหาในส่วนนี้ต่อไป

บททวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในการตรวจหาหลักฐานที่แอบแฝงอยู่ในที่เกิดเหตุนั้นเป็นกระบวนการที่ค่อนข้างท้าทาย กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่มีระเบียบแบบแผน จึงถูกนำมาใช้ในการตรวจหาหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ เพื่อป้องกันการสูญหายและเก็บหลักฐานที่สำคัญเหล่านี้ Lin และคณะ (2007) [1] ได้มีการใช้แสงในย่านอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นระหว่าง 760 – 1500 นาโนเมตร ในการตรวจหาวัตถุพยานแฝงหรือวัตถุพยานที่เราไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าภายใต้แสงขาว เช่น คราบเลือดบนเสื้อผ้าสีดำ คราบน้ำหมึกบนเสื้อผ้าสีดำ คราบเขม่าดินปืนที่ระยะการยิงที่แตกต่างกัน ตัวหนังสือบนกระดาษที่ถูกไฟไหม้ โดยทำการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัลในโหมดการถ่ายภาพย่านอินฟราเรดผ่านฟิลเตอร์เพื่อกันแสงย่านที่ตาสามารถมองเห็นได้ ไม่ให้ผ่านออกมายังกล้องดิจิทัล วิธีการนี้ง่ายและมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถเพิ่มโอกาสในการตรวจหาวัตถุพยานแฝงจากในที่เกิดเหตุและในห้องปฏิบัติการ และเป็นกระบวนการที่ไม่เกิดการสัมผัสบริเวณพื้นผิว ได้ภาพที่ชัดเจน แต่มีข้อจำกัด คือ พื้นหลังหรือวัสดุเหล่านั้นต้องไม่มีการดูดกลืนแสงในย่านอินฟราเรด ดังตัวอย่างรูปที่ 1.1 และ 1.2



รูปที่ 1.1 แสดงภาพถ่ายคราบเลือดบนผ้าสีดำภายใต้ชนิดของแสงที่ตกกระทบแตกต่างกัน [1]



รูปที่ 1.2 แสดงภาพถ่ายเอกสารที่ถูกไฟไหม้ภายใต้ชนิดของแสงที่ตกกระทบแตกต่างกัน [1]

จากรูปที่ 1.1 และ 1.2 ที่แสดงการหาคราบเลือดบนผ้าสีดำและตัวหนังสือจากกระดาษที่ถูกไฟไหม้ เมื่อให้แสงขาวตกกระทบและทำการถ่ายภาพไม่สามารถเห็นรอยเหล่านี้ได้ แต่จะสามารถมองเห็นรอยเหล่านี้ได้ภายใต้แสงในย่านอินฟราเรด

นอกจากนี้ยังมีการตรวจหาลายนิ้วมือแฝงโดยอาศัยสมบัติการเรืองแสง (luminescence) ทั้งฟอสฟอเรสเซนซ์ (phosphorescence) และ ฟลูออเรสเซนซ์ (fluorescence) โดย Menzel (1979) [2] ได้มีการใช้ Argon-ion laser ในการตรวจหาลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวที่มีการเรืองแสงแบบฟลูออเรสเซนซ์ เมื่อรอยนิ้วมือเหล่านั้นผ่านกระบวนการจัดการ (treat) โดยการปิดผงฝุ่นของสารฟอสฟอเรสเซนซ์แล้ว จะทำให้เวลาในการเรืองแสงของลายนิ้วมือและพื้นผิวแตกต่างกัน เมื่อให้แสงเลเซอร์ตกกระทบลงบนพื้นผิวที่มีลายนิ้วมือแฝง ถ้ามีการปิดแหล่งกำเนิดแสงลงทันทีทันใด ความเข้มของการเรืองแสงอยู่ของพื้นผิวดังที่มียอยนิ้วมือแฝงอยู่จะลดลง การเรืองแสงแต่ละประเภทจะมีช่วงเวลาในการเรืองแสงที่แตกต่างกัน ถ้าช่วงเวลากการเรืองแสงอยู่ระหว่าง 0.00001 วินาทีหรือน้อยกว่าจะเกิดการเรืองแสงแบบฟลูออเรสเซนซ์ แต่ถ้าช่วงเวลาในการเรืองแสงอยู่ระหว่าง 0.0001 วินาทีหรือมากกว่า จะเรียกการเรืองแสงแบบนี้ว่าการเรืองแสงแบบฟอสฟอเรสเซนซ์ จะเห็นได้ว่าที่บริเวณพื้นหลังจะมีการดูดกลืนพลังงานและปล่อยแสงออกมาทันที แต่บริเวณที่มีลายนิ้วมือแฝงอยู่จะดูดกลืนพลังงานไว้ชั่วขณะหนึ่งก่อนที่จะปล่อยแสงออกมา โดยกระบวนการฟอสฟอเรสเซนซ์สามารถตัดผลของการเรืองแสงของพื้นหลังที่มีลายนิ้วมือแฝงอยู่ออกได้ ทำให้เราสามารถเก็บภาพลายนิ้วมือแฝงเหล่านั้นที่เวลาต่างกันตามคุณสมบัติของการเรืองแสงแต่ละชนิด นอกจากนี้ Menzel และ Fox (1980) [3] ได้มีการใช้เลเซอร์ความยาวคลื่นต่างๆ ในการตรวจหาลายนิ้วมือแฝงเมื่อมีการปิดด้วยผงฝุ่นฟลูออเรสเซนซ์ โดยทำการ

ละลายผงฟู้นสีข้อมเรืองแสงด้วยเมทานอลและเติมผงฟู้นแม่เหล็กลงไป ทำการระเหยสารละลายที่ได้ สีข้อมเรืองแสงจะไปเกาะติดกับอนุภาคของผงฟู้นแม่เหล็ก โดยสีข้อมของสารเรืองแสงขึ้นอยู่กับ แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้และสีของพื้นผิว เมื่อให้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบบนพื้นผิว แสงที่ สะท้อนออกมาในย่านอินฟราเรดทำให้เราสามารถมองเห็นและเก็บภาพลายนิ้วมือแฝงนั้นได้ เมื่อมอง ผ่านฟิลเตอร์ที่เหมาะสม เช่น เมื่อมีการใช้สารเรืองแสง Nile blue A perchlorate กับผงฟู้นแม่เหล็ก ปิด ลงบนพื้นผิวตัวอย่างเช่นแก้วที่มีรอยนิ้วมือแฝงอยู่ และให้แสงเลเซอร์สีแดงตกกระทบบนพื้นผิวจะ เกิดการเรืองแสงดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 แสดงภาพลายนิ้วมือแฝงบนแก้วเมื่อปิดด้วยผงฟู้นแม่เหล็ก FMP 01 ที่ข้อมด้วยสารเรืองแสง Nile blue A perchlorate ภายใตแสงเลเซอร์สีแดง [3]

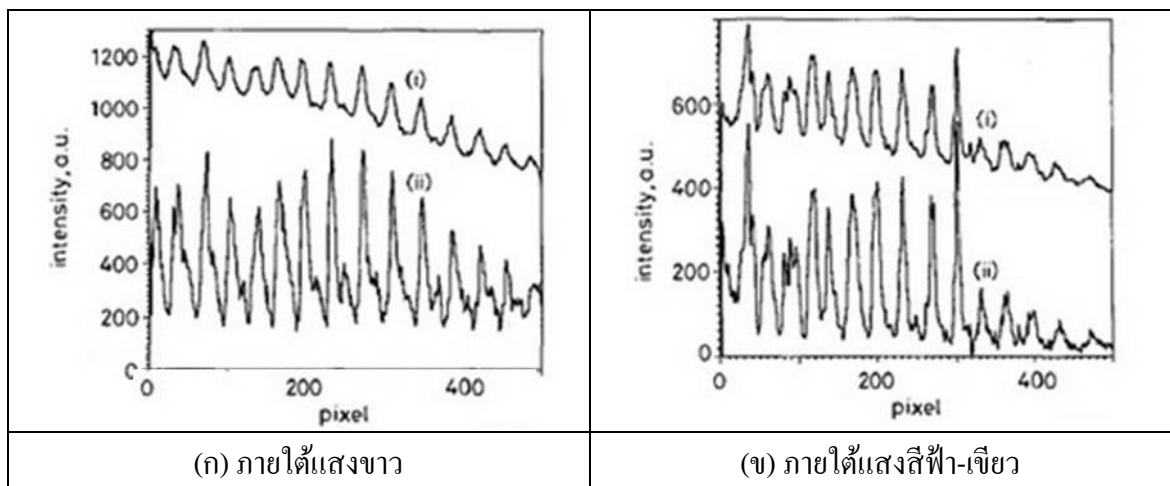
แต่ในที่เกิดเหตุ นั้น เราไม่สามารถส่งหลักฐานทั้งหมดกลับไปยังห้องปฏิบัติการได้ ถ้าหากเราสามารถ เก็บภาพลายนิ้วมือแฝงหรือวัตถุพยานแฝงต่างๆ ในที่เกิดเหตุได้เลย ย่อมเป็นการประหยัดเวลาและยัง ลดความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในขณะที่ทำการจัดเก็บหรือขนย้ายวัตถุพยานออกมาจากที่เกิดเหตุ ภายหลังต่อมา Mustafa Cem (2002) [4] ได้มีการใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต ในการเก็บภาพลายนิ้วมือ แฝงบนพื้นผิวที่มีความเรียบและไม่มีความพรุน โดยการใช้ RUVIS (reflected ultraviolet imaging system) ซึ่งเป็นเครื่องมือขนาดพกพาและให้กำเนิดแสงในย่านอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่นสั้น (short wave ultraviolet) เมื่อให้แสงตกกระทบบนพื้นผิว แสงที่สะท้อนออกมาจะผ่านไปยังฟิลเตอร์ที่ยอม ให้แสงผ่านเฉพาะในย่านที่มีความยาวคลื่นสูงกว่า และทำการถ่ายภาพที่ได้ จะเห็นได้ว่าวิธีนี้เป็น กระบวนการเก็บภาพลายนิ้วมือแฝงที่ไม่เกิดความเสียหายต่อบริเวณพื้นผิวหรือทำลายหลักฐานอื่นๆ ที่ อยู่ข้างเคียงบริเวณที่มีรอยนิ้วมือแฝงอยู่ เพราะไม่เกิดการสัมผัสของวัสดุหรือสารเคมีใดๆ บนรอยนิ้ว

มือแฟงนั้น ซึ่งเป็นกระบวนการเริ่มต้นในการค้นหาลายนิ้วมือแฟงบนพื้นผิวใดๆ ก่อนจะนำไปสู่กระบวนการทางเคมี แต่เครื่องมือนี้เพียงอย่างเดียวอาจจะไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอกับพื้นผิวที่มีรูพรุน แต่มีความเป็นไปได้เมื่อผ่านการจัดการ พื้นผิวเหล่านั้นด้วยไอระเหยของสารไซยาโนอะคริเลท (cyanoacrylate vapor) นอกจากนี้ควรที่จะมีเครื่องมือที่สามารถช่วยป้องกันอันตรายแสงอัลตราไวโอเล็ตต่อผู้ปฏิบัติการ

นอกจากนี้ Demos และ Alfano (1997) [5] ยังได้ทำการพัฒนาการถ่ายภาพทางแสงของลายนิ้วมือโดยอาศัยกระบวนการถ่ายภาพผลต่างของโพลาไรเซชัน (polarization difference imaging) ภายใต้งานแสดงผลกระทบที่เป็นแสงโพลาไรซ์ในเครื่องสแกนลายนิ้วมือโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงขาว จากนั้นทำการประมวลผลภาพดิจิทัล ด้วยวิธีการนี้จะทำให้ได้ภาพของลายนิ้วมือที่สมบูรณ์ชัดเจน โดยให้แสงผ่านโพลาไรเซอร์ (polarizer) ไปยังนิ้วมือ และทำการถ่ายภาพด้วยกล้องที่มีอนาลิเซอร์ (analyzer) อยู่หน้ากล้องทำมุม 30 องศาจากแนวที่แสงตกกระทบและคำนวณหาค่าความเปรียบต่าง (contrast) ของภาพที่ได้ โดยเราสามารถเปรียบเทียบความเปรียบต่างของภาพจากการคำนวณสมการด้านล่าง

$$\text{Contrast} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (1.1)$$

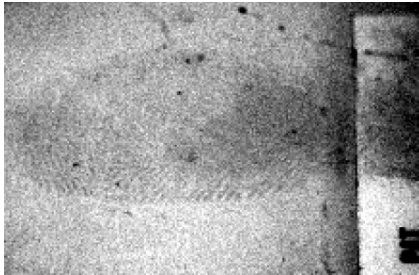
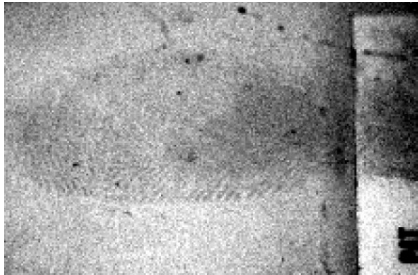
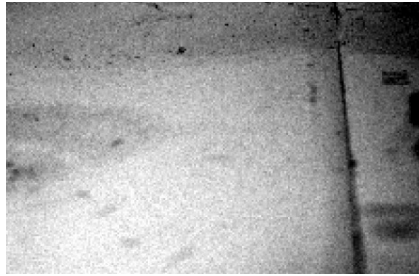
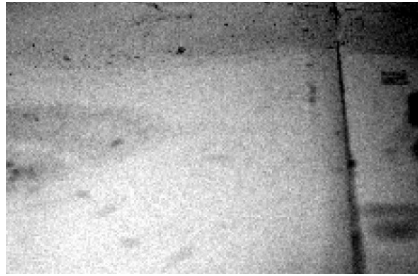
นอกจากนี้ยังทำการเปรียบเทียบเมื่อใช้แสงสีฟ้า-เขียว พบว่าจะได้ภาพที่มีความเปรียบต่างมากกว่าแสงขาว เมื่อเปรียบเทียบจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งต่างๆ ของพิกเซล (pixel) ตามแนวตั้งกับค่าความเข้มของภาพดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งในแนวตั้งกับค่าความเข้มที่จุดนั้น (i) ภาพถ่ายด้วยวิธีการปกติ (ii) ภาพถ่ายจากผลต่างของโพลาไรเซชัน [5]

จากรูปที่ 1.4 สามารถหาค่าความเปรียบต่างจากภาพถ่ายผลต่างโพลาไรเซชันเมื่อใช้แหล่งกำเนิดแสงขาวและแสงสีฟ้า-เขียวได้เท่ากับ 0.65 และ 0.83 ตามลำดับ และจะเห็นได้ว่าการถ่ายภาพผลต่างของโพลาไรเซชันจะได้ภาพที่มีความเปรียบต่างมากกว่าการถ่ายภาพด้วยวิธีทั่วไป

ภายหลังต่อมา Shih-Schon Lin และคณะ (2006) [6] ได้ทำการศึกษาวิธีการเก็บภาพถ่ายลายนิ้วมือแฝงโดยอาศัยหลักการของโพลาไรเซชันและการสะท้อนแบบสเปกคูลา (specular reflection) โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงขาว เช่น หลอดไฟจากโคมไฟโต๊ะ ซึ่งมีราคาถูกและสามารถหาได้ง่ายในที่เกิดเหตุ และได้ศึกษาผลของแสงไฟที่ล้อมรอบอยู่และมุมตกกระทบที่แตกต่างกัน เพื่อให้ได้ภาพถ่ายของลายนิ้วมือแฝงที่สมบูรณ์และชัดเจนมากที่สุด พบว่า เมื่อมีการจัดอุปกรณ์และให้แสงขาวตกกระทบลงบนพื้นผิวที่มีรอยนิ้วมือแฝงอยู่ ที่มุมตกกระทบของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงเท่ากับมุมสะท้อนไปยังกล้อง ตามหลักการสะท้อนแบบสเปกคูลา ณ ที่มุมตกกระทบเท่ากับมุมบรีวสเตอร์ (Brewster's angle) ผลรวมของมุมตกกระทบกับมุมหักเหเมื่อเทียบกับเส้นปกติจะมีค่าเป็น 90 องศา เมื่อนำผลนี้ไปแทนในสมการของ Fresnel จะได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนในแนวนอนจะมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นรังสีที่สะท้อนออกมาจะเหลือเฉพาะเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าในแนวตั้งฉากกับระนาบตกกระทบเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่ในทางปฏิบัติเราไม่สามารถทราบค่ามุมบรีวสเตอร์ ของพื้นผิวทุกชนิดที่แน่นอนได้ แต่โดยทั่วไปแล้วมุมบรีวสเตอร์ ของพื้นผิวใดๆ มีค่าอยู่ที่ประมาณ 45-60 องศา แสดงให้เห็นว่าเราสามารถทำได้แค่เพียงปรับมุมให้มีความใกล้เคียงกับมุมบรีวสเตอร์มากที่สุด ทำให้แสงที่สะท้อนออกมามีความเป็นโพลาไรซ์เพียงบางส่วนเท่านั้น (partially polarized light) หรือมีความเป็นโพลาไรซ์ที่ค่อนข้างสูง จึงได้มีการใส่โพลาไรเซอร์ไว้หน้ากล้อง เพื่อตัดระนาบโพลาไรซ์บางส่วน of แสงที่สะท้อนออกไป ทำให้ได้ภาพที่ชัดเจนมากขึ้น และไม่เกิดความเสียหายหรือทำลายหลักฐานอื่นๆ บริเวณพื้นผิว ดังรูปที่ 1.5 ซึ่งเป็นภาพถ่ายลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวดวอย่าง

วิธีการสะท้อนแบบสเปกคูลา	วิธีโพลาไรเซชัน
	
(ก) 30 องศา	
	
(ข) 45 องศา	
	
(ค) 75 องศา	

รูปที่ 1.5 แสดงภาพถ่ายเปรียบเทียบลายนิ้วมือแฝงที่มุมตกกระทบแตกต่างกัน [6]

จากรูปที่ 1.5 แสดงให้เห็นว่าที่มุมตกกระทบ 45 องศา จะได้ภาพถ่ายลายนิ้วมือแฝงที่มีความชัดเจนมากที่สุดทั้งวิธีการสะท้อนแบบสเปกคูลาและเมื่ออาศัยคุณสมบัติโพลาไรเซชันร่วมด้วย ส่วนของลักษณะภาพถ่ายที่ได้จะเป็นแบบ negative mark เนื่องจากบริเวณพื้นผิวที่ไม่มีรอยนิ้วมือแฝงจะมีการสะท้อนแบบสเปกคูลา แต่บริเวณพื้นผิวที่มีรอยนิ้วมือแฝงจะเกิดการสะท้อนแบบกระจาย (diffuse reflection) จึงเกิดความสว่างของบริเวณพื้นผิวที่เด่นชัด นอกจากการศึกษาผลของแสงไฟที่ล้อมรอบอยู่และมุมตกกระทบที่แตกต่างกันแล้ว ผู้วิจัยไม่ได้กล่าวถึงปัจจัยอื่นๆ

ในส่วนของการประมวลผลภาพดิจิทัล คุณ วีรพล จิรจิตและคณะ (2552) [7] ได้มีการเขียนคำสั่งสำหรับวิเคราะห์ภาพด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อสร้างเกณฑ์มาตรฐานในการทดสอบเวลาการแห้ง

ของสีน้ำมัน แทนการอ่านด้วยสายตา สามารถใช้วิเคราะห์ภาพถ่ายได้อย่างละเอียด โดยทำการประมวลผลภาพระดับเทา (gray scale image) และทำการแปลงภาพจากสีเทาเป็นสีขาวและดำนำไปใช้ในการประมวลผลภาพขาวดำ โดยแสดงผลการประมวลผลภาพระดับเทาในรูปของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับของความสว่างพิกเซลในแกนตั้งกับตำแหน่งของพิกเซลตามความยาวในแกนนอนและการประมวลผลภาพขาวดำในแต่ละตำแหน่งพิกเซลของภาพ โดยเริ่มขั้นตอนการวิเคราะห์จากการใช้กราฟฮิสโตแกรม (histogram) ที่แสดงความสว่างและมีดโดยรวมของทั้งภาพมาช่วยวิเคราะห์เพื่อแบ่งแยกภาพตามความเข้มได้

ในการเก็บภาพถ่ายลายนิ้วมือแฝงด้วยวิธีทางแสงนั้น สามารถแก้ปัญหาเรื่องการเกิดความเสียหายบนพื้นผิวที่มีรอยนิ้วมือแฝงได้ ซึ่งในการเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสงขาวยังเป็นการเลือกใช้เครื่องมือที่สามารถหาได้ง่าย ลดความยุ่งยากและมีราคาถูกเมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ สามารถทำได้ทันทีในที่เกิดเหตุ อีกทั้งยังสามารถแก้ปัญหาเรื่องการเก็บหลักฐานจำนวนมาก โดยทำการเก็บหลักฐานในรูปแบบของภาพถ่ายดิจิทัลแทน ในการศึกษาถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเก็บภาพถ่ายลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวดูอย่างที่มีความเรียบและไม่มีรูพรุนนั้น นอกจากการเปรียบเทียบความคมชัดของภาพถ่ายด้วยสายตาแล้ว ถ้าสามารถนำการประมวลผลภาพทางดิจิทัลมาช่วยในการพิจารณาเงื่อนไขที่เหมาะสมในแต่ละปัจจัยที่ทำการศึกษาของภาพถ่ายลายนิ้วมือแฝงได้แล้วด้วยนั้น จะนำไปสู่วิธีการในการเก็บภาพถ่ายลายนิ้วมือแฝงที่เหมาะสมในแต่ละสภาพแวดล้อม ด้วยวิธีการที่สะดวก ง่ายและไม่ยุ่งยากซับซ้อน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อออกแบบกระบวนการถ่ายภาพลายนิ้วมือแฝงโดยหลักการโพลาริเซชันและการสะท้อนแบบสเปกคูลาให้ได้ภาพถ่ายลายนิ้วมือแฝงอย่างสมบูรณ์ ชัดเจนและไม่เกิดการสัมผัสบริเวณพื้นผิว
2. เพื่อศึกษาถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายภาพลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวตัวอย่างที่มีความเรียบและไม่มีความพรุน
3. วิเคราะห์และประมวลผลภาพถ่ายลายนิ้วมือแฝงเพื่อแยกความชัดเจนของภาพถ่ายลายนิ้วมือแฝงที่แต่ละตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

1.3 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. สามารถหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่อการเก็บภาพถ่ายลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวตัวอย่างที่มีความเรียบและไม่มีความพรุนได้
2. ได้เทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายลายนิ้วมือแฝงแบบใหม่ที่ได้มาตรฐาน ทำให้ได้ทางเลือกใหม่ในการเก็บภาพถ่ายลายนิ้วมือแฝง

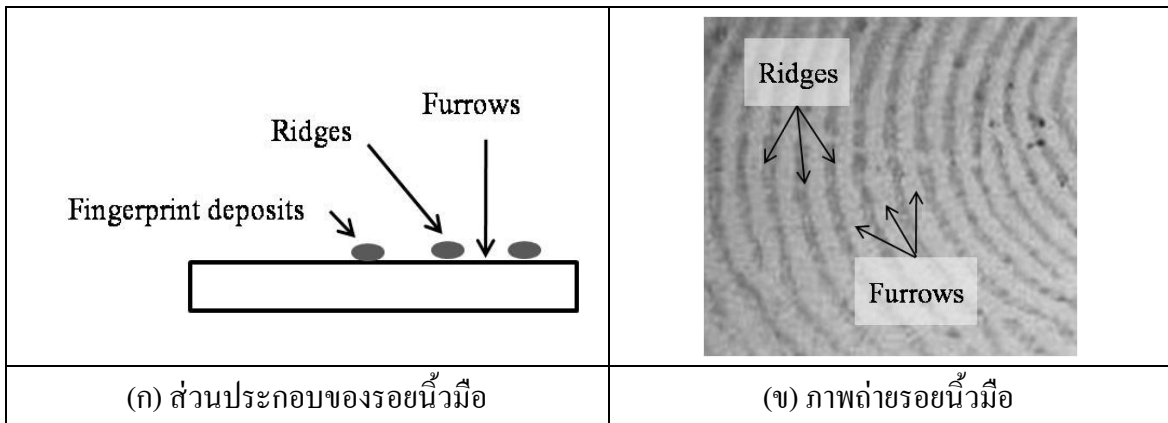
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ออกแบบกระบวนการเก็บภาพถ่ายลายนิ้วมือแฝงให้ได้ภาพถ่ายลายนิ้วมือแฝงที่สมบูรณ์ ชัดเจน
2. ศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเก็บภาพถ่ายลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวตัวอย่างที่มีความเรียบและไม่มีความพรุน ดังต่อไปนี้
 - มุมตกกระทบที่แตกต่างกัน
 - การมีและไม่มีฟิลเตอร์โพลาริเซชันแบบวงกลมภายใต้แสงขาว
 - สีพื้นแตกต่างกัน ภายใต้แสงขาว
 - แสงขาวภายใต้กำลังแสงต่างกัน
 - สีของแหล่งกำเนิดแสงที่ตกกระทบแตกต่างกัน
3. วิเคราะห์และประมวลผลภาพถ่ายตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับลายนิ้วมือแฝง
4. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสว่างของพิกเซลบนแกน y กับตำแหน่งของพิกเซลตามความยาวบนแกน x เพื่อเปรียบเทียบบริเวณพื้นผิวที่มีรอยนิ้วมือและไม่มีรอยนิ้วมือในแต่ละกรณี

บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 ลายนิ้วมือ [8, 9]

ลายนิ้วมือ คือ ร่องรอยที่เกิดจากการกดทับของนิ้วมือลงบนพื้นผิวใดๆ ทั้งที่ได้มาโดยเจตนาและไม่เจตนา ประกอบด้วยร่อง (furrows) และสัน (ridges) บริเวณสันจะมีรูเหงื่อเล็กๆ ทำให้เหงื่อไหลซึมและเกิดความชื้น เมื่อหยิบจับหรือสัมผัสลงบนวัตถุ บริเวณสันที่ชุ่มชื้นไปด้วยเหงื่อจะถูกกดลงบนพื้นผิววัตถุ ทำให้เกิดรอยนิ้วมือบนพื้นผิวของวัตถุขึ้น และเมื่อถ่ายภาพลายนิ้วมือ ภาพถ่ายที่ได้จะมีลักษณะเป็นแถบสีอ่อนและสีเข้มสลับกัน ซึ่งเกิดจากร่องและสันของลายนิ้วมือ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบและภาพถ่ายของรอยนิ้วมือ

ในทางนิติวิทยาศาสตร์ ลายนิ้วมือมีความสำคัญค่อนข้างมาก เนื่องจากลายนิ้วมือมีความเป็นสากลและมีความเป็นเอกลักษณ์สามารถใช้ในการพิสูจน์บุคคลได้ ไม่มีหนทางใดๆ ที่จะทำให้ลายนิ้วมือนั้นเปลี่ยนแปลงรูปไปได้ มีเพียงการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากการยืดขยายของผิวหนังเมื่อร่างกายมีการเจริญเติบโต รอยแผล รอยขีดขีดเพียงเท่านั้น อีกทั้งยังสามารถพบได้ง่าย ลักษณะการปรากฏของลายนิ้วมือมีอยู่ 3 ลักษณะ

1. Latent fingerprints หรือลายนิ้วมือแฝง คือ ลายนิ้วมือบนพื้นผิววัตถุใดๆ ที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า หรือมองเห็นได้ค่อนข้างยากภายใต้การมองเห็นของมนุษย์ รอยนี้เกิดขึ้นจากสารที่ไม่มีสี แต่อย่างไรก็ดีรอยแฝงเหล่านั้นสามารถทำให้ปรากฏขึ้นมาได้

2. Visible fingerprints คือ ลายนิ้วมือที่ปรากฏบนพื้นผิววัตถุ ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เกิดจากการที่นิ้วมือ ที่เปื้อนสารหรือสิ่งอื่นๆ เช่น เลือด ผื่นละออง สี หมึก แล้วไปสัมผัสลงบนสิ่งของ ปรากฏเป็นรอยภาพมองเห็นเป็นภาพลักษณะ 2 มิติ

3. Plastic fingerprints คือ ลายนิ้วมือที่ปรากฏบนพื้นผิวที่มีความเหนียว สามารถมองเห็นได้ในลักษณะ 3 มิติ ร่องรอยจะปรากฏอยู่ชัดเจน เช่น ลายนิ้วมือที่เกิดขึ้นบนดินน้ำมันหรือคราบกาว ลายนิ้วมือที่ปรากฏบนพื้นผิวที่มีความเหนียวหรือลายนิ้วมือที่สามารถมองเห็นได้ จะมีการเก็บลายนิ้วมือโดยการถ่ายภาพ แล้วใช้เทปกาวลอกเก็บออกมาโดยตรง แต่ในส่วนของลายนิ้วมือแผ่นนั้นจะปรากฏอยู่ในที่เกิดเหตุมากกว่าอย่างอื่น เหตุผลเนื่องมาจาก ยิ่งคนเรามีความตื่นเต้นหรือมีเหงื่อมากขึ้นเท่าไร ก็มักจะยิ่งทิ้งลายนิ้วมือแฝงไว้มากกว่าปกติ ในทางนิติวิทยาศาสตร์ หลังจากมีการวางแผนการตรวจหาลายนิ้วมือแฝงแล้ว จะต้องมียุทธวิธีที่จะทำให้รอยนิ้วมือแฝงเหล่านั้นปรากฏขึ้นหรือมองเห็นแล้วจึงทำการเก็บหรือถ่ายภาพต่อไป ขึ้นอยู่กับชนิดของพื้นผิวที่มีรอยนิ้วมือแฝงปรากฏอยู่ด้วยวิธีการกระทำอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้

1. การใช้ผงฝุ่นปิด (dusting) เป็นการนำเอาสารที่เป็นของแข็งที่ทำเป็นฝุ่นมาใช้ประโยชน์ในการทำให้ภาพรอยนิ้วมือแฝงเหล่านั้นปรากฏขึ้นให้เห็นได้ ในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้ผงฝุ่นสีดำเป็นหลัก โดยใช้แปรงและผงฝุ่นและปิดแปรงลงไปบนพื้นผิวที่สงสัยว่าน่าจะมีรอยนิ้วมือแฝงอยู่ ผงฝุ่นเหล่านั้นจะลงไปติดกับคราบเหงื่อ ก่อนที่จะทำการถอด (lifting) ลายนิ้วมือแฝงนั้นออกมาด้วยสกอตเทป อาจจะดูเป็นวิธีการง่าย แต่แท้ที่จริงแล้ว การใช้ผงฝุ่นปิดเป็นวิธีการที่จะต้องอาศัยความประณีตค่อนข้างมาก

2. การใช้สารเคมีละลาย (immersion) เป็นการนำเอาสารที่เป็นของเหลวมาใช้ประโยชน์ มีการนำสารเคมีหลายชนิดมาใช้ แต่ที่นิยมใช้มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ น้ำยาเกลือไนเตรท (silver nitrate) จะปรากฏเป็นลายเส้นของลายนิ้วมือสีดำและน้ำยานินไฮดริน (ninhydrin) จะปรากฏเป็นลายเส้นของลายนิ้วมือสีม่วงปนน้ำเงิน เนื่องมาจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างน้ำยาเคมีกับส่วนประกอบของเหงื่อในรอยนิ้วมือแฝง น้ำยาเหล่านี้จะมีผลมากเมื่อใช้ในการตรวจหาลายนิ้วมือแฝงจากกระดาษ แต่วิธีการนี้จะยากกว่าการใช้ผงฝุ่นปิดและจะต้องทำในห้องปฏิบัติการ อีกทั้งยังทำให้เอกสารที่นำมาทำการตรวจหาลายนิ้วมือแฝงนั้นเกิดความเสียหาย

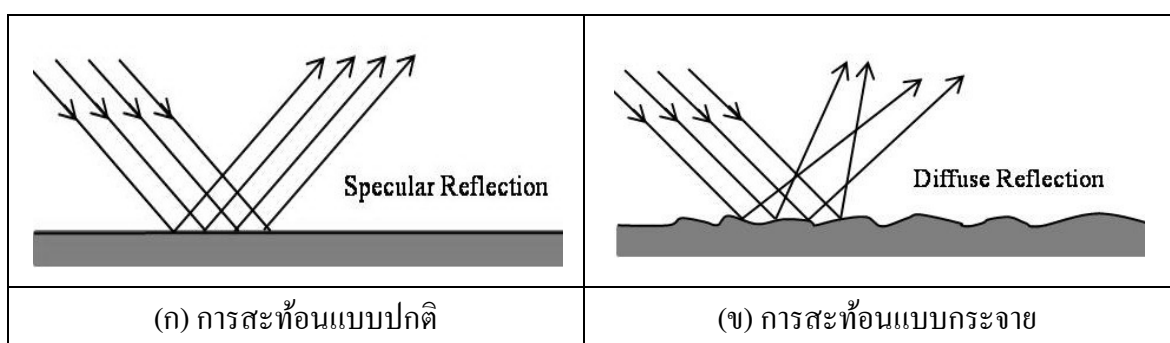
3. การใช้ไอระเหย (fuming) หรือการใช้วิธีการรมควัน เป็นการอาศัยคุณสมบัติการระเหิดเป็นแก๊สของสารเคมี เช่น ไอระเหยของไอโอดีน (Iodine fuming) และไอระเหยของไซยาโนอะคริเลต (cyanoacrylate vapor) ข้อควรระวังที่จะต้องพิจารณาถึงคืออันตรายจากสารเคมีเหล่านี้

ซึ่งวิธีการทั้งหมดนี้เป็นวิธีการที่เกิดการสัมผัสลงไปบริเวณที่มีรอยนิ้วมือแฝงโดยตรง จะต้องมีความระมัดระวังเพื่อไม่ให้ลายนิ้วมือแฝงเหล่านั้นเกิดความเสียหาย เพราะร่องรอยเหล่านี้มีค่ามาก ไม่สามารถหาทดแทนใหม่ได้และสารเคมีอาจเกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติการ เมื่อลายนิ้วมือแฝงปรากฏขึ้นจนเราสามารถมองเห็นลายนิ้วมือแฝงได้แล้ว จะต้องมีการถ่ายภาพไว้ด้วย เพื่อเป็นการยืนยันข้อเท็จจริงบริเวณที่พบลายนิ้วมือแฝง และภาพที่ถ่ายจะต้องมีความชัดเจน

2.2 การสะท้อน [10]

การสะท้อนของแสงในระนาบที่มีรังสีตกกระทบและรังสีสะท้อนอยู่ตั้งฉากกับพื้นผิวสะท้อน รังสีสะท้อนจะทำมุมตกกระทบเท่ากับมุมรังสีสะท้อนกับแนวตั้งฉากนี้ บนพื้นผิวทั่วไปการสะท้อนของแสงมีอยู่ 2 ลักษณะคือ

1. การสะท้อนแบบสเปกคูลา (specular reflection) คือ การสะท้อนที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวเรียบ โดยมีมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อนและแนวรังสีตกกระทบจะอยู่ในระนาบเดียวกันกับรังสีสะท้อน
2. การสะท้อนแบบกระจาย (diffuse reflection) คือ การสะท้อนที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวที่ขรุขระ ไม่เรียบ มีทิศทางการสะท้อนในทุกทิศทาง และเมื่อพิจารณาบริเวณพื้นผิวเล็กๆ จะประกอบด้วยพื้นผิวเรียบจำนวนมาก ที่จุดนี้มุมตกกระทบยังคงเท่ากับมุมสะท้อนเสมอ โดยทั่วไปแสงที่สะท้อนแบบสเปกคูลาจะมีค่ามากกว่าการสะท้อนแบบกระจายเสมอ ซึ่งเป็นไปตามกฎการสะท้อน ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงการสะท้อนของแสงบนพื้นผิวที่เรียบและไม่เรียบ

ในที่นี้การสะท้อนของแสงบนพื้นผิวที่มีรอยนิ้วมือ จะเกิดการสะท้อนทั้ง 2 ลักษณะ โดยบริเวณพื้นผิวที่ไม่มีรอยนิ้วมือจะเกิดการสะท้อนแบบสเปกคูลา แต่ในบริเวณพื้นผิวที่มีรอยนิ้วมือจะเกิดการสะท้อนแบบกระจายในทุกทิศทาง แต่ก็มีการสะท้อนแบบกระจายบางส่วน ที่มีแนวรังสีการสะท้อนที่ขนานกับแนวรังสีการสะท้อนจากพื้นผิว โดยทั่วไปแล้วปริมาณแสงที่สะท้อนออกจากพื้นผิวบริเวณที่ไม่มีรอยนิ้วมือจะมากกว่าบริเวณที่มีรอยนิ้วมือ ทำให้บริเวณพื้นผิวที่ไม่มีรอยนิ้วมือมีความสว่างมากกว่า

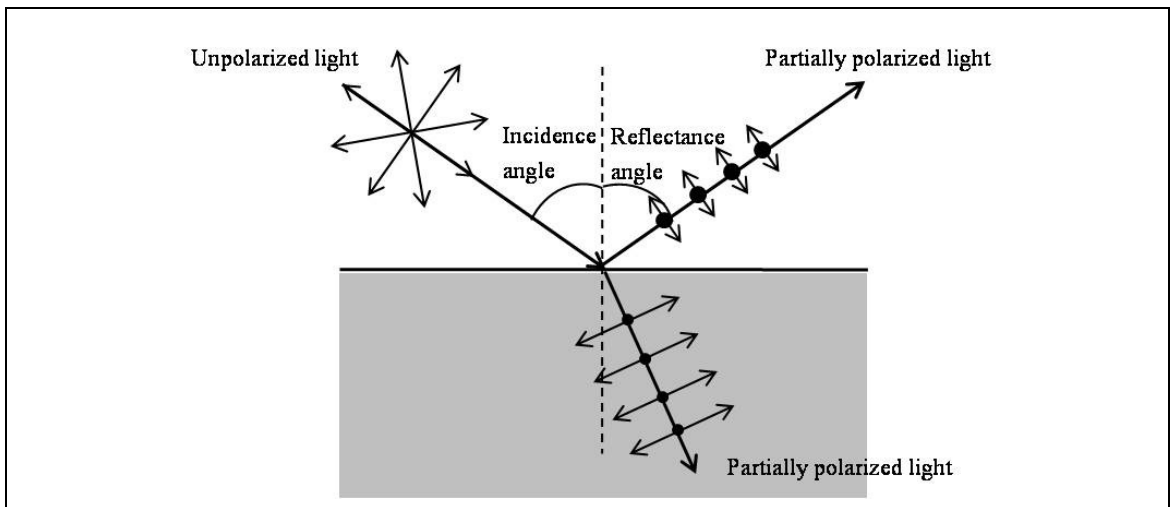
2.3 โพลาริเซชันของแสง [10]

ในคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก แต่เลือกเฉพาะเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าเป็นตัวแทนในการอธิบาย เมื่อเวกเตอร์สนามไฟฟ้ามีทิศทางการสั่นในทิศทางเดียว เรียกทิศทางของสนามไฟฟ้านั้นว่า ทิศโพลาริเซชันของคลื่น ในกรณีที่มีการสั่นของสนามไฟฟ้าในหลายๆ ทิศทางจะเรียกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นว่า คลื่นแบบไม่โพลาริซ์ (unpolarized wave) แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งและโพลาริเซชันของแสงมีหลายชนิด ถ้าสนามไฟฟ้ามีการสั่นในทิศทางเดียวตลอดเวลา แสงจะมีโพลาริซ์เชิงเส้น (linear polarization) แต่ถ้าสนามไฟฟ้าไม่ได้มีการสั่นอยู่ในแนวตั้งหรือแนวนอนแนวใดแนวหนึ่ง เราสามารถแยกพิจารณาเป็น 2 แขนงที่ตั้งฉากกันได้ ถ้าคลื่นทั้งสองแกนมีจุดเริ่มต้นและขนาดของสนามไฟฟ้าแตกต่างกัน จะทำให้แสงเหล่านั้นไม่เป็นแสงโพลาริซ์เชิงเส้นอีกต่อไปแล้ว เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่เข้าหาเรา เราจะเห็นว่าทิศทางการสั่นของสนามไฟฟ้ายังมีการหมุนเปลี่ยนแบบทวนเข็มนาฬิกาหรือตามเข็มนาฬิกาแบบใดแบบหนึ่งตลอดเวลา และมีคาบการหมุนกลับมาซ้ำทิศทางเดิมเท่ากับคาบความยาวคลื่นของแสง แต่จะเป็นแสงโพลาริซ์แบบวงกลม (circularly polarization) ก็ต่อเมื่อเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าทั้งสองที่ตั้งฉากกันมีขนาดของแอมพลิจูดเท่ากันและมีเฟสต่างกันทุกๆ 90 องศา นอกเหนือจากนี้จะเป็นแสงโพลาริซ์แบบวงรี (elliptically polarization) แทน คือขนาดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าอาจจะเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ และเฟสจะต้องต่างกันไม่เท่ากับ 0 หรือ 90 องศา

ในกรณีที่แสงไม่โพลาริซ์สามารถทำให้เป็นแสงโพลาริซ์ได้ด้วยกระบวนการต่อไปนี้

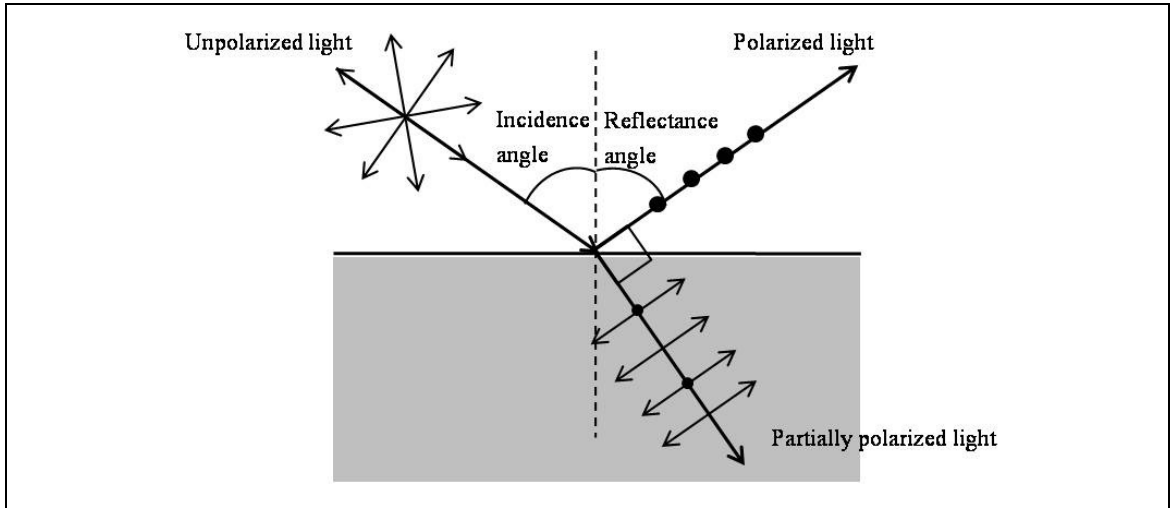
- การเลือกดูดกลืน (selective absorbtion)
- การสะท้อน (reflection)
- การหักเหซ้อน (double reflection)
- การกระเจิง (scattering)

ในที่นี้จะกล่าวถึงการเกิดโพลาไรเซชันโดยการสะท้อนของแสงเพียงอย่างเดียวเท่านั้น เมื่อให้แสงไม่โพลาไรซ์ซึ่งมีองค์ประกอบของสนามไฟฟ้า 2 แนว ทั้งโพลาไรเซชันในแนวตั้งฉากและในแนวนานกับระนาบตกกระทบ (plane of incidence) ตกกระทบลงบนพื้นผิวของตัวกลาง การสะท้อนของแสงที่ออกมา จะมีองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปซึ่งขึ้นกับมุมของแสงที่ตกกระทบลงบนพื้นผิวของตัวกลางเทียบกับเส้นปกติ โดยแสงที่สะท้อนออกมาและแสงทะลุผ่านไปยังอีกตัวกลางหนึ่งจะมีระนาบโพลาไรซ์เพียงบางส่วนเท่านั้น ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงการสะท้อนของแสงกรณีทั่วไป เมื่อให้แสงไม่โพลาไรซ์ตกกระทบลงบนพื้นผิวของวัตถุ

และเมื่อแสงตกกระทบที่มุมตกกระทบเท่ากับมุมบรูสเตอร์ $\theta_i = \theta_B$ แสงที่สะท้อนออกมาจะเหลือเฉพาะในส่วนของโพลาไรเซชันในแนวตั้งฉากกับระนาบตกกระทบเพียงเท่านั้น โดยมีมุมระหว่างรังสีสะท้อนและรังสีหักเหทำมุมตั้งฉากกัน $\theta_i + \theta_t = 90^\circ$ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงการสะท้อนของแสง เมื่อให้แสงไม่โพลาไรซ์ตกกระทบลงบนพื้นผิวของวัตถุ เมื่อมุมตกกระทบเท่ากับมุมบรีวสเตอร์

โดยการหักเหของแสงที่พื้นผิวระหว่างตัวกลางทั้งสองที่มีค่าดัชนีหักเหแสง n_i และ n_t สามารถใช้กฎของสเนลล์ (Snell's law) เพื่อหาขนาดของมุมบรีวสเตอร์ (Brewster's angle) θ_B ได้ดังนี้

$$n_i \sin \theta_i = n_t \sin \theta_t \quad (2.1)$$

เมื่อ θ_i และ θ_t คือ มุมตกกระทบและมุมหักเหของแสงเทียบกับเส้นปกติ ตามลำดับ

จาก $\theta_i + \theta_t = 90^\circ$ จะได้ว่า

$$n_i \sin \theta_B = n_t \cos \theta_B \quad (2.2)$$

$$\tan \theta_B = \frac{n_t}{n_i} \quad (2.3)$$

เรียกสมการด้านบนว่า Brewster's law และเมื่อพิจารณาจากแอมพลิจูดของสนามไฟฟ้า สามารถหาอัตราส่วนแอมพลิจูดของสนามไฟฟ้าในแนวตั้งฉากและขนานกับระนาบตกกระทบที่สะท้อนและหักเหออกจากบริเวณรอยต่อของพื้นผิวดั้วกลางได้อีกเก็ทริก ได้เป็น 4 สมการด้านล่าง

$$r_{\perp} = \left(\frac{E_{0r}}{E_{0i}} \right)_{\perp} = \frac{n_i \cos \theta_i - n_t \cos \theta_t}{n_i \cos \theta_i + n_t \cos \theta_t} \quad (2.4)$$

$$t_{\perp} = \left(\frac{E_{0t}}{E_{0i}} \right)_{\perp} = \frac{2n_i \cos \theta_i}{n_i \cos \theta_i + n_t \cos \theta_t} \quad (2.5)$$

$$r_{\parallel} = \left(\frac{E_{0r}}{E_{0i}} \right)_{\parallel} = \frac{n_t \cos \theta_i - n_i \cos \theta_t}{n_i \cos \theta_t + n_t \cos \theta_i} \quad (2.6)$$

$$t_{\parallel} = \left(\frac{E_{0t}}{E_{0i}} \right)_{\parallel} = \frac{2n_i \cos \theta_i}{n_i \cos \theta_t + n_t \cos \theta_i} \quad (2.7)$$

เมื่อ $r_{\perp}$ และ $r_{\parallel}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนในแนวตั้งฉากและขนานกับระนาบตกกระทบ

$t_{\perp}$ และ $t_{\parallel}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านในแนวตั้งฉากและขนานกับระนาบตกกระทบ

E_{0i} , E_{0r} และ E_{0t} คือ แอมพลิจูดของสนามไฟฟ้าที่ตกกระทบ สะท้อนและส่งผ่านตามลำดับ

เรียกสมการทั้ง 4 สมการนี้ว่าสมการของเฟรสเนล (Fresnel Equation) และสามารถเขียนสมการใหม่โดยอาศัยกฎของสเนลล์ได้เป็น

$$r_{\perp} = - \frac{\sin(\theta_i - \theta_t)}{\sin(\theta_i + \theta_t)} \quad (2.8)$$

$$t_{\perp} = + \frac{2 \sin \theta_t \cos \theta_i}{\sin(\theta_i + \theta_t)} \quad (2.9)$$

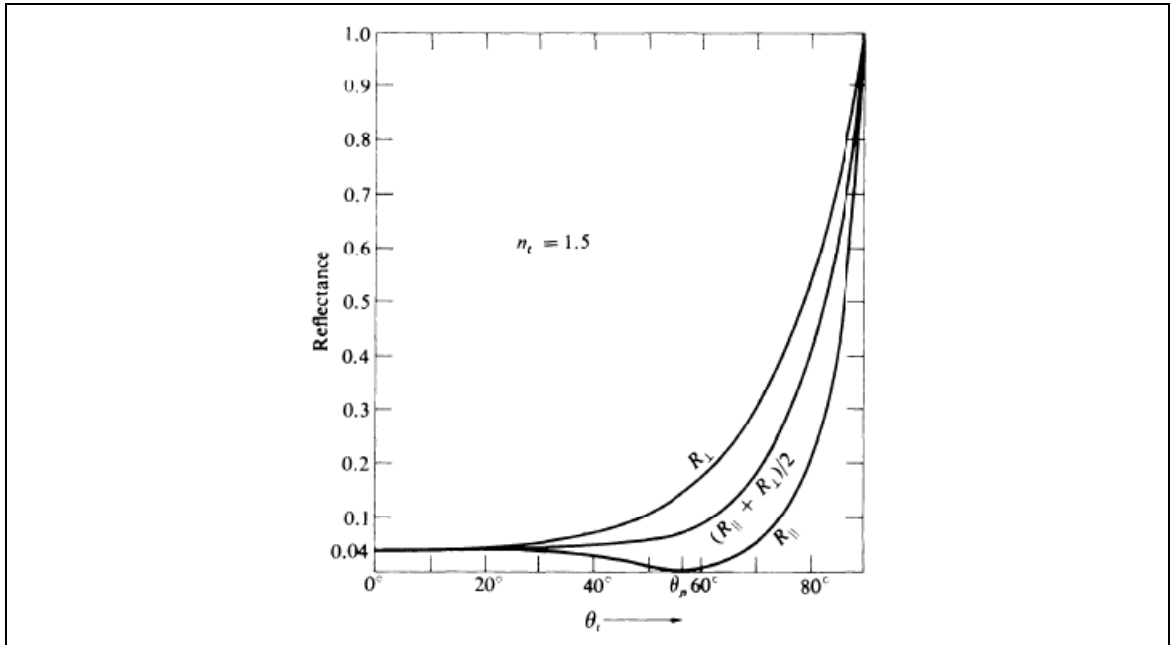
$$r_{\parallel} = + \frac{\tan(\theta_i - \theta_t)}{\tan(\theta_i + \theta_t)} \quad (2.10)$$

$$t_{\parallel} = + \frac{2 \sin \theta_t \cos \theta_i}{\sin(\theta_i + \theta_t) \cos(\theta_i - \theta_t)} \quad (2.11)$$

ซึ่งในส่วนนี้จะสนใจเฉพาะในส่วนของการสะท้อน โดยเมื่อยกกำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (reflection coefficient) จะเท่ากับค่าการสะท้อน (reflectance)

$$R_{\perp} = r_{\perp}^2, \quad R_{\parallel} = r_{\parallel}^2 \quad (2.12)$$

สามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนและมุมตกกระทบได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงการสะท้อนของแสงโพลาไรซ์ทั้งในแนวนอนและในแนวตั้งฉากกับระนาบตกกระทบที่มุมตกกระทบ 0 ถึง 90 องศา เมื่อ $n_i < n_t$ [10]

จากภาพเมื่อค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่ 1 เท่ากับ 1 และค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่ 2 เท่ากับ 1.5 ที่มุม $\theta_i = \theta_p$ ค่าการสะท้อนในแนวนอนจะเท่ากับ 0 ดังนั้นแสงที่สะท้อนออกจากรอยต่อของพื้นผิวตัวกลางจะเหลือเฉพาะสนามไฟฟ้าในแนวตั้งฉากเพียงเท่านั้น ทำให้แสงที่สะท้อนออกมาเป็นแสงโพลาไรซ์ เรียกมุม θ_p ว่ามุมโพลาไรซ์

2.4 กล้องถ่ายภาพและฟิลเตอร์ [11, 12, 13, 14, 15, 16]

กล้องถ่ายภาพดิจิทัลมีหลายประเภท แต่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันมีด้วยกันทั้งหมด 4 ประเภทดังนี้

1. **กล้องคอมแพค (compact)** เป็นกล้องขนาดเล็ก พกพาสะดวก เหมาะสำหรับการใช้งานทั่วไป มีโหมดการใช้งานสำเร็จรูป ง่ายต่อการใช้งาน
2. **กล้อง DSLR (Digital Single Lens Reflex)** หรือกล้องสะท้อนภาพเลนส์เดี่ยวแบบดิจิทัล เป็นกล้องขนาดใหญ่สามารถถอดเปลี่ยนเลนส์ได้ตามที่ต้องการ มีหลักการทำงานเหมือนกล้องสะท้อนภาพเลนส์เดี่ยวแบบฟิล์ม แตกต่างกันที่ใช้แผ่นการ์ดเป็นตัวรับและบันทึกข้อมูล กล้องประเภทนี้มีราคาสูงกว่ากล้องคอมแพค
3. **กล้อง DSLR-Like** เป็นกล้องที่มีลักษณะเหมือนกล้อง DSLR แต่ไม่สามารถเปลี่ยนเลนส์ได้

4. กล้อง **Mirrorless** เป็นกล้องลักษณะเดียวกับกล้อง DSLR ต่างกันตรงที่ไม่มีเลนส์สะท้อนเท่านั้น มีขนาดประมาณกล้องคอมแพคแต่คุณภาพภาพประมาณกล้อง DSLR แสดงดังรูปที่ 2.6

	
(ก) กล้องคอมแพค	(ข) กล้อง DSLR
	
(ค) กล้อง DSLR-Like	(ง) กล้อง Mirrorless

รูปที่ 2.6 แสดงประเภทของกล้องดิจิทัล [12]

ในการถ่ายภาพฟิลเตอร์ (filter) เป็นอุปกรณ์อีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจประกอบเข้ากับกล้องถ่ายรูป ใช้ติดตั้งไว้ที่หน้าเลนส์ปกติของกล้องถ่ายรูป ในการเพิ่มขอบเขตของการทำงานของกล้องให้ถ่ายภาพได้ดียิ่งขึ้น โดยทั่วไปฟิลเตอร์ทำมาจากวัสดุโปร่งใส มีสีและรูปทรงแตกต่างกันออกไป แบ่งได้เป็น 3 ลักษณะคือ แบบแผ่นแก้วกลมโลหะ แบบแผ่นเจลาติน (gelatin) สีเคลือบผิวน้ำแบบแผ่นแก้วหรือพลาสติกรูปสี่เหลี่ยม ฟิลเตอร์ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป เป็นแบบแผ่นแก้วกลมขอบโลหะ มีหลากหลายขนาดขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของกระบอกเลนส์ และมีหลากหลายชนิด แต่ในกล้องดิจิทัลฟิลเตอร์ที่นิยมใช้กันมีประมาณ 5 ชนิด

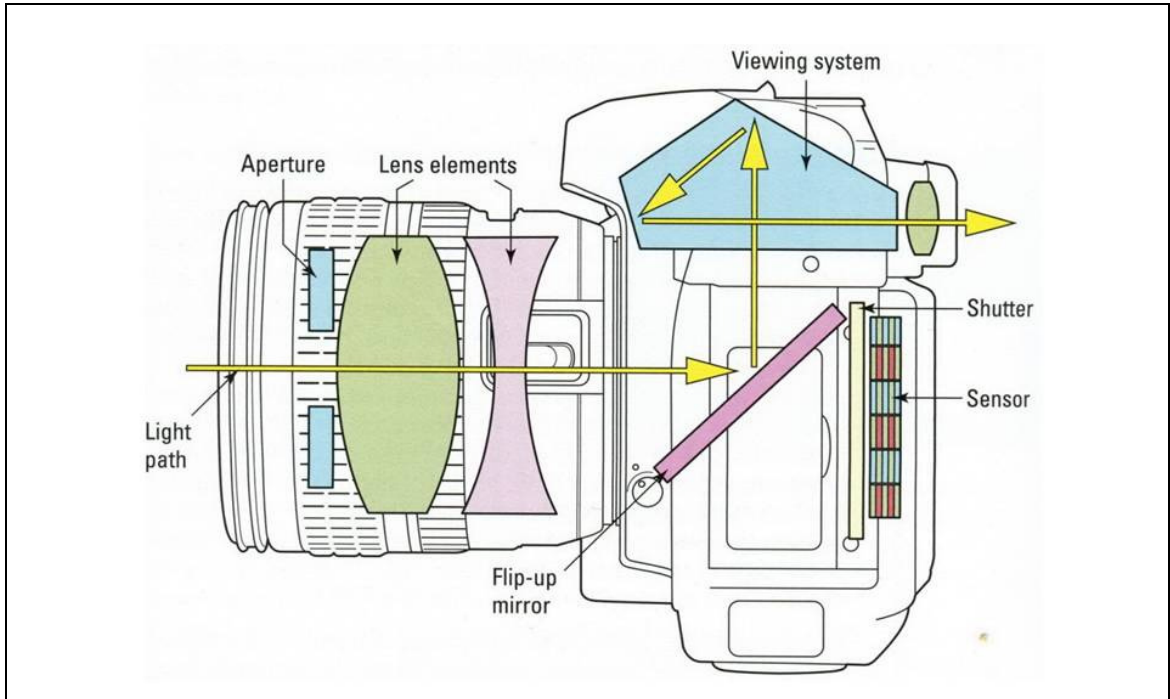
1. ฟิลเตอร์ยูวี (UV filter) ทำหน้าที่ตัดรังสีอัลตราไวโอเลต
2. ฟิลเตอร์โพลาไรซ์ PL (polarizing filter) หรือ ฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม CPL (circular polarizing filter) ใช้สำหรับลดเงาและแสงสะท้อน ในกล้องออโตโฟกัสจะต้องใช้ฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม เพราะจะทำให้ตัววัดแสงในตัวกล้องทำงานได้อย่างถูกต้อง

3. **ฟิลเตอร์กราดูเอท (graduated neutral density filter)** ใช้สำหรับลดแสงและข้อมสีบางส่วนให้ท้องฟ้าในภาพ
 4. **ฟิลเตอร์ลดแสงหรือทอนแสง (neutral density filter)** ใช้สำหรับลดแสงที่ผ่านเข้ามาในเลนส์
 5. **ฟิลเตอร์โคลสอัพ (close up filter)** เป็นฟิลเตอร์ที่ใช้สำหรับการขยายภาพ เอาไว้ช่วยในการถ่ายภาพระยะโฟกัสใกล้ๆ
- นอกจากนี้ยังมีฟิลเตอร์แบบต่างๆ ตามชนิดการใช้งานอีกมากมาย



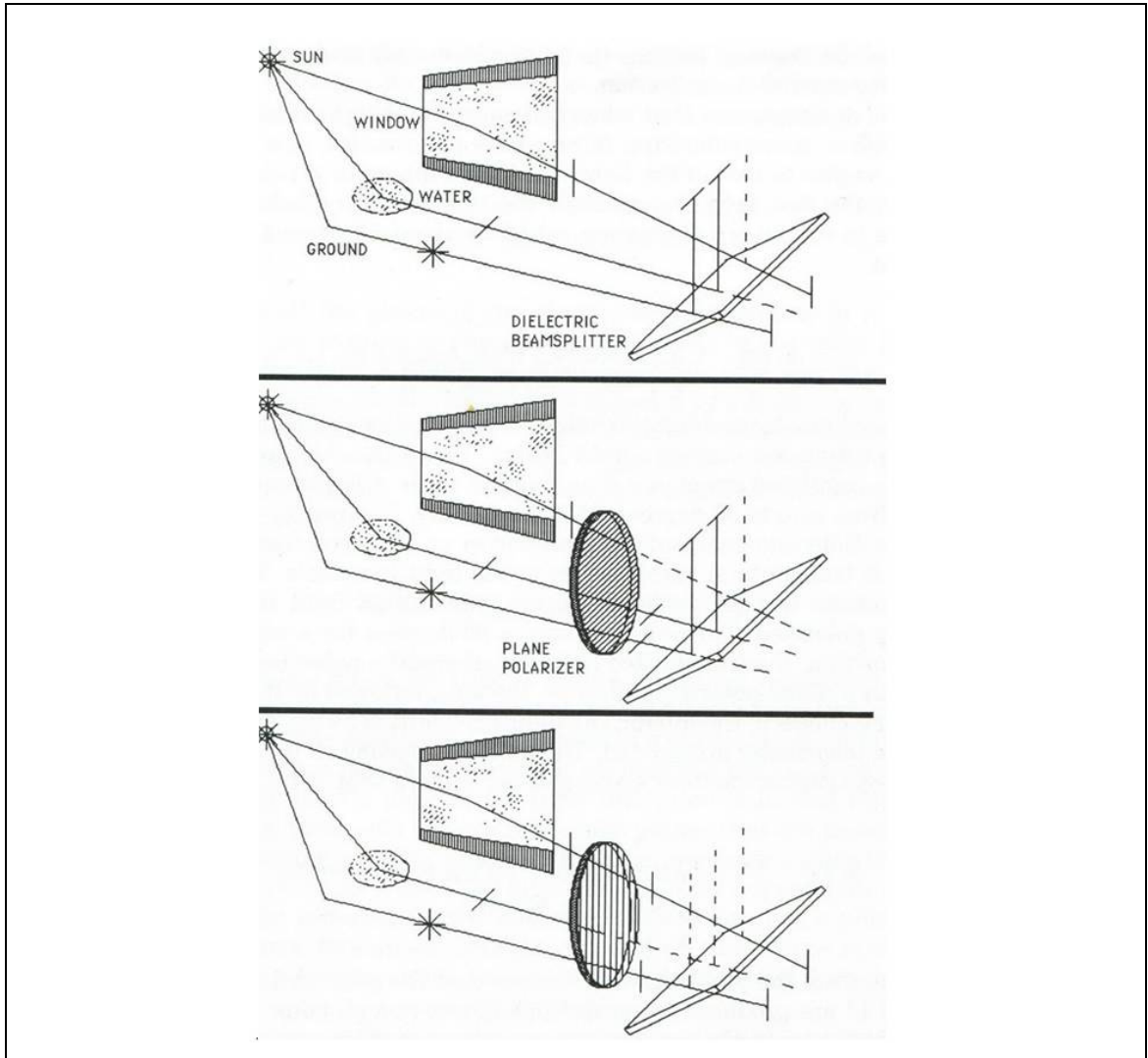
รูปที่ 2.7 ฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม [13]

ในกล้องสะท้อนภาพเลนส์เดี่ยวแบบดิจิทัล หรือกล้อง DSLR ปัจจุบันจะมีการโฟกัสภาพทั้งหมด 2 วิธี คือ การโฟกัสอัตโนมัติ (auto focus, AF) และการโฟกัสเองด้วยมือ (manual focus, MF) หลักในการทำงานของกล้อง DSLR เริ่มจากเมื่อเราเล็งภาพไปยังวัตถุที่เราต้องการถ่ายภาพ แสงที่สะท้อนจากวัตถุจะผ่านเข้าสู่เลนส์ แล้วสะท้อนกับกระจกหลักในกล้องเข้ามาสู่ปริซึมที่อยู่ในช่องมองภาพและสะท้อนเข้าสู่ตาเรา ดังรูปที่ 2.8 จังหวะที่กดชัตเตอร์เพื่อบันทึกภาพนั้น กระจกที่สะท้อนภาพจะดีดขึ้นมาปิดที่ด้านล่างของปริซึม ทำให้เราไม่สามารถมองเห็นภาพ และม่านชัตเตอร์จะเปิด ทำให้แสงจากเลนส์ตกลงสู่เซนเซอร์รับภาพ เมื่อเซนเซอร์ได้รับแสงก็จะเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัลแล้วส่งข้อมูลไปประมวลผลเป็นภาพอีกที เมื่อชัตเตอร์เปิดรับแสงตามเวลาที่กำหนด และบันทึกภาพเสร็จสมบูรณ์ ม่านชัตเตอร์จะปิด กระจกสะท้อนภาพจะกลับสู่ตำแหน่งเดิมทำให้เราสามารถมองเห็นภาพได้เหมือนเดิม กระจกหลักในกล้อง DSLR ปัจจุบันสามารถส่งผ่านแสงบางส่วนได้ทำหน้าที่เช่นเดียวกับตัวแยกแสง (beamsplitter) โดยสนามไฟฟ้าของแสงจะแยกออกเป็นสองทิศทาง ทิศทางหนึ่งไปยังช่องมองภาพดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ส่วนอีกทิศทางหนึ่งไปยังระบบโฟกัสอัตโนมัติ



รูปที่ 2.8 แสดงส่วนประกอบของกล้อง DSLR [15]

ในการถ่ายภาพท้องฟ้า กระจก ผิวน้ำ หรือพื้นผิวไดอิเล็กทริก จะมีการสะท้อนของแสงที่เป็นโพลาไรซ์เกิดขึ้น จึงมีการใช้ฟิลเตอร์โพลาไรซ์เชิงเส้นเพื่อลดแสงสะท้อน โดยการหมุนฟิลเตอร์ให้มีระนาบตั้งฉากกับระนาบของแสงโพลาไรซ์ที่สะท้อนออกมา ทำให้ภาพที่ได้ออกมานั้นมีความสดใสและความอึมครึมของภาพมากขึ้น แต่ในระบบโฟกัสอัตโนมัติจะเกิดปัญหาของการสะท้อนแสงภายในกล้องถ่ายภาพ ตามผลของโพลาไรเซชันของกระจกหลัก เมื่อใช้ฟิลเตอร์โพลาไรซ์เชิงเส้น (linear polarizer) ดังรูปที่ 2.9 ซึ่งขึ้นอยู่กับแกนของฟิลเตอร์โพลาไรซ์เชิงเส้นและกล้องถ่ายภาพ

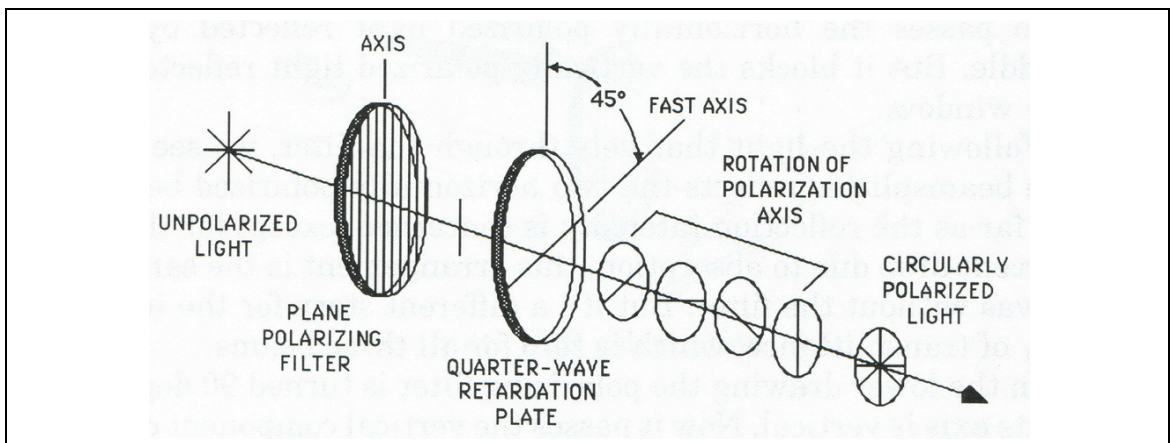


รูปที่ 2.9 แสดงผลของโพลาไรเซชันในกล้อง DSLR [16]

สมมุติให้แสงที่สะท้อนจากกระจกและผิวน้ำเป็นแสงโพลาไรซ์โดยสมบูรณ์ แสงที่สะท้อนจากพื้นดินจะเป็นแสงไม่โพลาไรซ์ตามแสงจากดวงอาทิตย์ เมื่อแสงเกิดการสะท้อนไปยังกระจกหลักในกล้อง แสงที่สะท้อนจากพื้นดินจะสะท้อนและส่งผ่านแบบปกติไม่มีการสูญเสีย แต่แสงที่สะท้อนจากผิวน้ำจะสะท้อนจากกระจกรับภาพปกติแต่จะไม่มีแสงส่งผ่านไปยังเซนเซอร์ และแสงที่สะท้อนจากกระจกจะมีการส่งผ่านแต่ไม่มีการสะท้อนไปยังช่องมองภาพ ทำให้เราเห็นกระจกมีสีดำ ในการถ่ายภาพเมื่อกระจกหลักยกตัวขึ้น โพลาไรเซชันของแสงจะไม่มีผลต่อการบันทึกภาพ ทำให้ภาพที่เราเห็นจากช่องมองภาพในตอนแรกไม่เหมือนกับภาพที่ถูกบันทึก เช่นเดียวกับในแต่ละกรณีที่แสดงในภาพเมื่อมีฟิลเตอร์โพลาไรซ์เชิงเส้นหน้ากล้อง เราสามารถแก้ปัญหานี้ได้โดยใช้ฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม (circular polarizing filter)

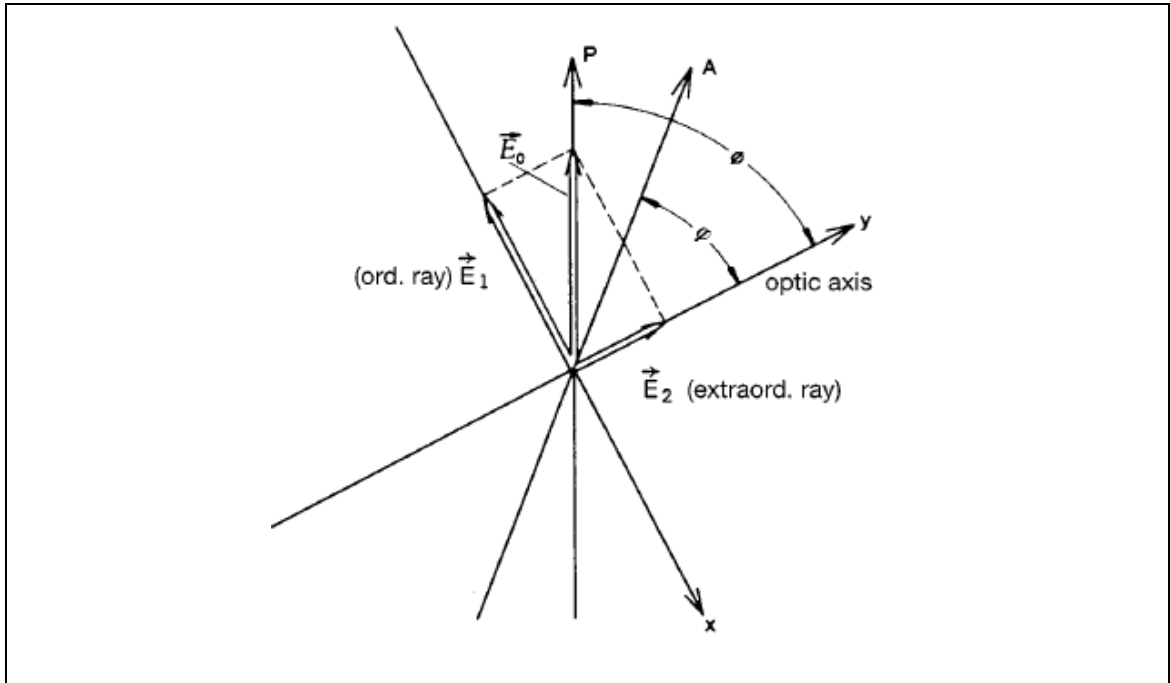
2.5 ฟิเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม [16, 17]

ฟิเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม คือ ชิ้นส่วนที่ประกอบด้วยฟิเตอร์โพลาไรซ์เชิงเส้นและแผ่นเลี้ยวคลื่น (quarter-wave plate) ประกบติดกันโดยมุมของแกนทัศน (optic axis) ของอุปกรณ์ทั้ง 2 ชิ้น ทำมุมต่อกัน 45 องศา เมื่อแสงไม่โพลาไรซ์ผ่านฟิเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม แสงที่ผ่านออกมาจะกลายเป็นแสงโพลาไรซ์แบบวงกลม ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงองค์ประกอบและหลักการของฟิเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม [16]

ในผลึกแกนเดี่ยวหรือผลึกที่มีแกนทัศนอยู่เพียงแกนเดียว โครงสร้างของอะตอมภายในผลึกจะสมมาตรรอบทิศทาง ถ้าตัดผลึกนี้ให้แนวแกนทัศนตั้งฉากกับผิวด้านหน้าและด้านหลังของผลึก เมื่อให้แสงโพลาไรซ์ตกกระทบตั้งฉากกับแผ่นผลึก จะไม่เกิดการเลื่อนเฟสของคลื่น o-wave (ordinary wave) และ e-wave (extraordinary wave) ซึ่งคลื่น o-wave จะมีการแผ่หน้าคลื่นเป็นวงกลม ส่วนคลื่น e-wave จะมีการแผ่หน้าคลื่นเป็นวงรี และสนามไฟฟ้าของ o-wave และ e-wave จะตั้งฉากและขนานกับแกนทัศน ตามลำดับ แต่ถ้าตัดผลึกให้มีแนวแกนทัศนอยู่ในระนาบของทั้งผิวด้านหน้าและด้านหลัง เมื่อให้แสงโพลาไรซ์ตกตั้งฉากกับแผ่นผลึก ถ้าสนามไฟฟ้าในระนาบนี้มีองค์ประกอบในแนวขนานและตั้งฉากกับแกนทัศน คลื่นระนาบทั้งสองแนวจะเคลื่อนที่แยกจากกัน ด้วยความเร็วที่ไม่เท่ากัน เมื่อคลื่นระนาบเคลื่อนที่หลุดพ้นจากแผ่นผลึกจะทำให้มีเฟสต่างกันขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นผลึก ในกรณีของแผ่นเลี้ยวคลื่นจะทำให้ o-wave และ e-wave มีเฟสต่างกัน 90 องศาถ้าให้แสงโพลาไรซ์ P ตกกระทบผลึกทำมุม ϕ กับแกนทัศนของผลึก ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงการแยกของแสงโพลาไรซ์ในผลึกแกนเดี่ยว [17]

แอมพลิจูดของสนามไฟฟ้า o-wave และ e-wave ที่เวลา t มีค่าเท่ากับ

$$E_x = E_0 \sin \phi \sin \omega t \quad (2.13)$$

$$E_y = E_0 \cos \phi \sin \omega t \quad (2.14)$$

ตามลำดับ ถ้า $\phi = 0^\circ$ หรือ $\phi = 90^\circ$ จะได้แสงโพลาไรซ์ในแนวแกน y และ แกน x ตามลำดับ โดยมีขนาดของสนามไฟฟ้าเท่ากับ $E = E_0$ และความเข้มของแสงโพลาไรซ์ที่ได้เท่ากับ

$$I = (E_0)^2 \quad (2.15)$$

แต่สำหรับกรณีของฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมจะมีค่า $\phi = 45^\circ$ จะทำให้แสงโพลาไรซ์เป็นแบบวงกลม โดยมีขนาดของสนามไฟฟ้าที่หมุนเป็นวงกลมเท่ากับ $E = \frac{E_0}{\sqrt{2}}$ นั่นคือความเข้มของแสงโพลาไรซ์แบบวงกลมมีค่าเท่ากับ

$$I = \frac{(E_0)^2}{2} \quad (2.16)$$

2.6 การปรับปรุงภาพ : ภาพระดับเทาและความเปรียบต่าง [18, 19, 20]

การปรับปรุงภาพ (image enhancement) เป็นกระบวนการในการแปลงข้อมูลตัวเลขของภาพ เพื่อที่จะสร้างภาพที่เน้นรายละเอียดตามที่ต้องการ จะได้ภาพที่มีคุณภาพมากขึ้นและได้ภาพที่ชัดเจนในสายตามนุษย์ โดยมีจุดประสงค์หลักคือ การได้ภาพใหม่ที่เหมาะสมตามการประยุกต์ใช้มากกว่าภาพต้นฉบับ ในภาพแต่ละภาพ จะถูกแบ่งเป็นพื้นที่เล็กๆ เรียกว่า พิกเซล (pixel) ในแต่ละพิกเซลจะมีค่าสีเป็นตัวเลขจำนวนเต็ม ซึ่งสามารถแสดงถึงค่าความสว่างหรือความมืดที่จุดนี้ได้ และจำนวนค่าสีที่เป็นไปได้ในแต่ละพิกเซลจะขึ้นอยู่กับขนาดในการเก็บข้อมูลของภาพ

โดยทั่วไปภาพที่เราถ่ายได้จากกล้องดิจิทัลจะอยู่ในโหมดสี (color mode) RGB แต่ในบางครั้งโหมดสีเทา (grayscale) ก็อาจมีความจำเป็นต้องใช้ โดยทั้งสองโหมดนี้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. **โหมด RGB** เป็นโหมดที่สอดคล้องกับโมเดลสี RGB มีแนวคิดมาจากการผสมแสงสีหลัก 3 สี คือ แดง (red) น้ำเงิน (blue) และเขียว (green) ภาพในโหมดนี้จึงประกอบด้วยแชนแนลของสีหลัก 3 สีซึ่งจะทำให้เกิดสีต่างๆ เป็นจำนวนมาก ขึ้นกับสัดส่วนความเข้มของแต่ละสีหลักแต่ละสีในแต่ละระบบที่ได้กำหนดไว้ เช่น ในภาพที่เก็บข้อมูลแบบ 8 บิตต่อแชนแนลต่อพิกเซล ค่าของสีหลักแต่ละสีที่เป็นไปได้จะมีค่าได้ตั้งแต่ 0-255

2. **โหมด Grayscale** ภาพในโหมดนี้ จะมีลักษณะเช่นเดียวกับการถ่ายภาพขาวดำ สามารถแสดงเฉดสีเทาได้ทั้งหมด 256 ระดับ ไล่ตั้งแต่ ดำ เทาแก่ เทาอ่อน ไล่ไปจนถึงสีขาว โดยมีค่าของสีตั้งแต่ 0-255 สำหรับในภาพที่มีการเก็บข้อมูลแบบ 8 บิตต่อพิกเซล

นั่นคือ ในการเก็บข้อมูลแบบ 8 บิตต่อแชนแนลนั้น ภาพสีนั้นต้องการ 24 บิตต่อพิกเซลในการแสดงค่าสีมากกว่าถึง 16 ล้านเฉดสีที่เป็นไปได้ เทียบกับภาพระดับสีเทา (gray scale image) ต้องการ 8 บิตต่อพิกเซล ในการแสดงค่าระดับสีเทาที่เป็นไปได้ 256 เฉดสี ในภาพระดับเทา 64 หรือ 256 ระดับเทา สีที่ปรากฏจะเกินกว่าที่สายตามนุษย์จะสามารถแยกแยะรายละเอียดได้ ในการเพิ่มระดับสีเทาสามารถเพิ่มคุณภาพของภาพได้ และภาพระดับเทายังลดปริมาณพื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูลเมื่อเทียบกับภาพสี เป้าหมายในการปรับปรุงภาพคือ การเพิ่มคุณภาพและการปรากฏของภาพ หนึ่งในวิธีการการปรับปรุงภาพคือ การแปลงไปเป็นภาพระดับเทา (gray-scale transformation) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนค่าความสว่างของแต่ละพิกเซล เพื่อเพิ่มความเปรียบต่าง (contrast) ของภาพ โดยความเปรียบต่าง คือ คุณสมบัติภายใต้การรับรู้ของมนุษย์ สามารถประมาณนิยามของค่าความเปรียบต่างได้คือ

$$\text{Contrast} = \frac{(A - B)}{(A + B)} \quad (2.17)$$

โดยที่ A และ B คือ ค่าเฉลี่ยระดับสีเทาของสองบริเวณ ยิ่งภาพที่มีความเปรียบต่างของสองบริเวณมากเท่าใด ภาพนั้นจะมีการปรับปรุงมากขึ้นเท่านั้น

บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย

ในส่วนของการขั้นตอนการดำเนินงาน จะกล่าวถึงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้ในการแสดงความเปรียบเทียบของภาพ ตลอดจนขั้นตอนการดำเนินงาน เริ่มต้นจากการออกแบบกระบวนการเก็บภาพลายนิ้วมือแฝง การศึกษาปัจจัยต่างๆ ในการเก็บภาพลายนิ้วมือแฝง การวิเคราะห์และประมวลผลภาพถ่ายดิจิทัล สุดท้ายแสดงผลความเปรียบเทียบในลักษณะกราฟความเข้มของภาพที่แต่ละตำแหน่ง

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- กระดาษอัดรูป (Photographic printing paper), Fujicolor รุ่น Crystal Archive paper
- ฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม (circular polarizing filter), Hoya รุ่น Slim frame
- หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ 26 วัตต์ (compact fluorescent light blub), Bioblub รุ่น Dimmer-D26
- หลอดไฟไส้เงิน แดง เหลือง เขียว 5 วัตต์, Nationine
- กล้องถ่ายรูปดิจิทัล Digital single-lens reflex camera), Nikon รุ่น D3000
- เครื่องออปติคัลเพาเวอร์มิเตอร์ (optical power meter), Newport รุ่น Model 1830-C)
- กระดาษไขเขียนแบบ (semitransparent paper)
- ขาดึงกล้อง
- ฮีเลียม-นีออนเลเซอร์ (He-Ne laser)
- อุปกรณ์หรี่ไฟ (dimmer switch)
- โคมไฟ
- แผ่นพลาสติก
- Optical Breadboard

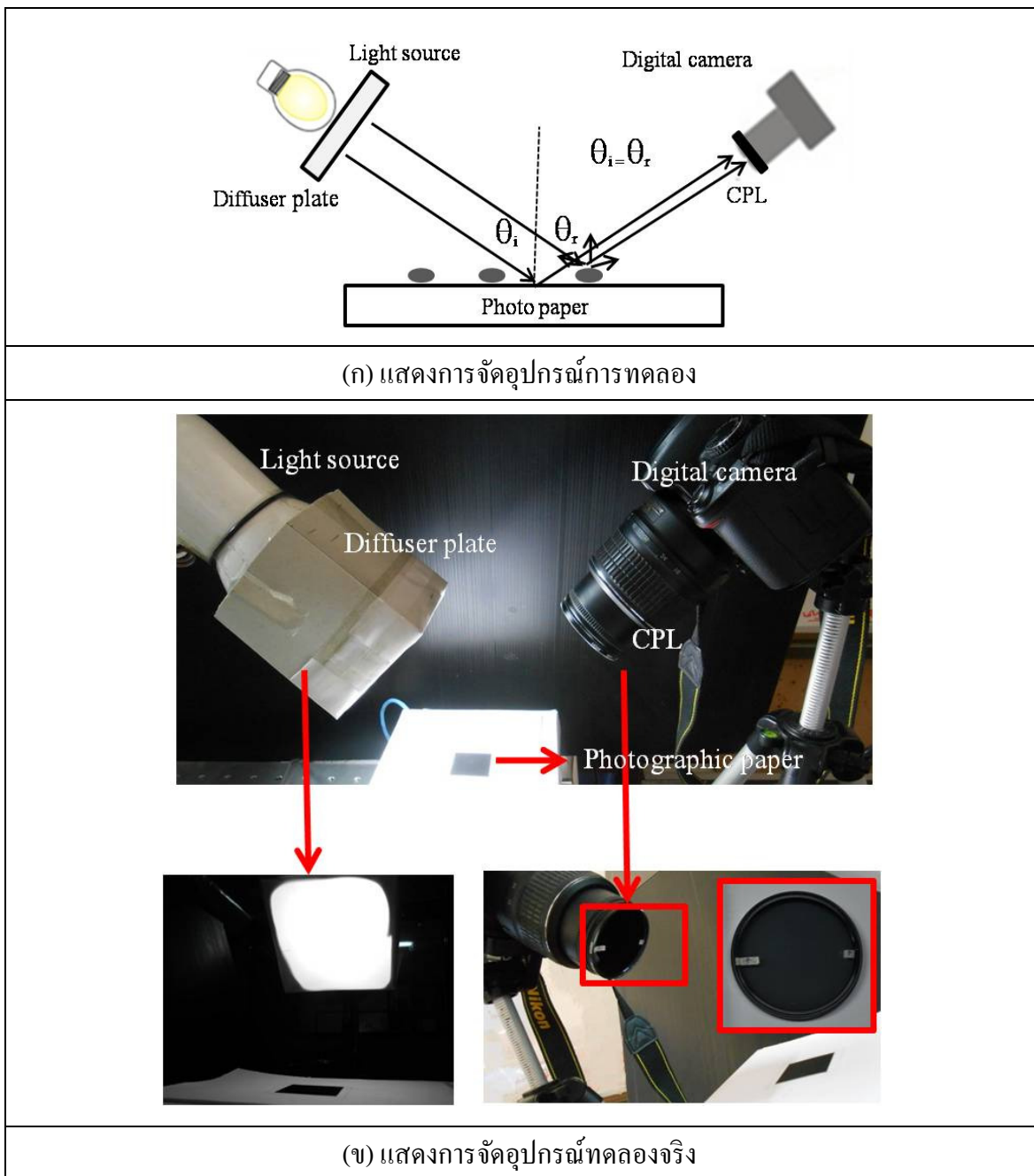
3.2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

- MATLAB Version R2010a
- GelQuest Version 3.0.7 (ดาวน์โหลดที่ <http://www.sequentix.de/gelquest>)

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.3.1 ออกแบบวิธีถ่ายภาพลายนิ้วมือแฝง

ในการจัดอุปกรณ์การถ่ายภาพลายนิ้วมือแฝงแบบไม่สัมผัส โดยอาศัยหลักการสะท้อนแบบสเปกคูลา และมีโพลาไรเซชันเป็นหลักการพื้นฐาน สิ่งที่ต้องคำนึงถึง คือ มุมที่ตกกระทบจะต้องเท่ากับมุมสะท้อน ดังนั้นจึงต้องมีการออกแบบและจัดชุดอุปกรณ์การทดลองพื้นฐานให้สามารถปรับมุมได้



รูปที่ 3.1 แสดงการจัดชุดอุปกรณ์พื้นฐานเพื่อถ่ายภาพลายนิ้วมือแฝง

จากรูปที่ 3.1 ให้แสงขาวจากหลอดไฟฟ้าคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงผ่าน diffuser plate หรือแผ่นตัดเงา ในการทดลองนี้ใช้กระดาษไขเขียนแบบหุ้มกล่องสี่เหลี่ยมสวมทับปิดด้านหน้าหลอดไฟ เพื่อตัดเงาของหลอดไฟที่จะตกกระทบลงบนบริเวณพื้นผิวที่มีรอยนิ้วมือแฝงอยู่ และใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลที่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมวางด้านหน้ากล้องในการถ่ายภาพและจัดเก็บไฟล์ข้อมูลดิจิทัลสำหรับการประมวลผลภาพต่อไป ปรับมุมตกกระทบและมุมสะท้อนที่ทำการศึกษาค้นคว้าที่ต้องการด้วยแผ่นพลาสติกที่ตัดเป็นรูปสามเหลี่ยมมุมฉากที่มุมขนาดต่างๆ เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์และประมวลผลภาพถ่ายตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับลายนิ้วมือแฝงต่อไป ตัวอย่างลายนิ้วมือแฝงที่ใช้ในการศึกษาจะใช้ลายนิ้วมือจากนิ้วชี้ด้านขวา จำลองรอยนิ้วมือแฝงลงบนพื้นผิวตัวอย่างขนาด 3×3 เซนติเมตร ในที่นี้ใช้กระดาษอัดรูปชนิดมันที่มีคุณสมบัติสะท้อนภาพได้ดีกว่าชนิดด้านและลายนิ้วมือสามารถคงสภาพอยู่ได้ตลอดเวลาที่ทำการถ่ายภาพ เห็นรอยนิ้วมือชัดเจนไม่มีการซีบหายไปของสารบนรอยนิ้วมือ และสามารถทราบถึงคุณสมบัติของกระดาษอัดรูปยี่ห้อที่เลือกใช้ และสามารถกำหนดค่าสีได้ โดยก่อนที่จะทำการจำลองรอยนิ้วมือนั้นจะทำการล้างมือให้สะอาดก่อน จากนั้นกดนิ้วมือลงบนกระดาษอัดรูป เลือกรอยนิ้วมือที่มีการสะสมของสารบนรอยนิ้วมือที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยพิจารณาจากลักษณะของเส้นรอยนิ้วมือที่ไม่หนาเกินไปและไม่บางเกินไปมาใช้ในการทดลอง ทำการถ่ายภาพลายนิ้วมือภายในวันเดียวกันและเก็บกระดาษอัดรูปที่ใช้ในการทดลองในถุงพลาสติกที่ปราศจากฝุ่น ในส่วนของการปรับสีพื้นกระดาษอัดรูปได้ทำการกำหนดค่าที่แน่นอนจากคอมพิวเตอร์ในโหมด RGB โดยกำหนดค่าของสีหลัก 3 สี คือ แดง เขียว น้ำเงิน ให้มีค่าดังตารางที่ 3.1

หมายเหตุ ในส่วนของการใช้ฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมหน้ากล้องถ่ายภาพดิจิทัล ได้ทำการศึกษาคู่สมบัติของฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมในภาคผนวก ก

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าหลัก 3 สีของสีพื้นกระดาษอัดรูป

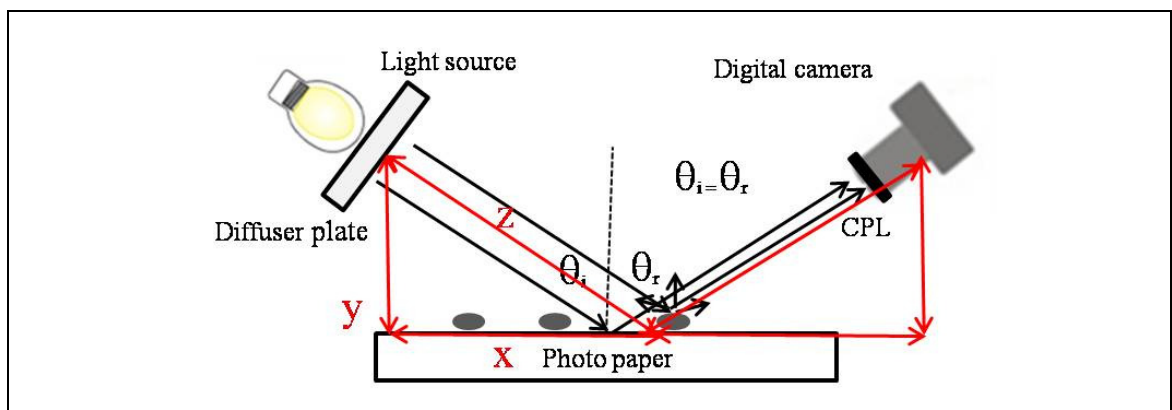
Color	Level of RGB (Red Green Blue)		
Black	0	0	0
White	255	255	255
Red	255	0	0
Green	0	255	0
Blue	0	0	255

3.3.2 กำหนดตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการศึกษาการถ่ายภาพลายนิ้วมือแฝง

ตัวแปรที่จะทำการศึกษามี 5 ตัวแปร ได้แก่

- มุมตกกระทบที่แตกต่างกัน
- การมีและไม่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมภายใต้แสงขาว
- สีพื้นแตกต่างกัน ภายใต้แสงขาว
- แสงขาวภายใต้กำลังแสงต่างกัน
- สีของแหล่งกำเนิดแสงที่ตกกระทบแตกต่างกัน

ตัวแปรที่ 1 มุมตกกระทบที่แตกต่างกัน 30, 45, 75 องศา จัดชุดอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.2 โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงขาวจากหลอดไฟฟลูออโรสเคินส์ที่มีความเข้มแสงเท่ากัน โดยวัดกำลังแสงบริเวณตรงกลางด้านหน้าแผ่นตัดเงาด้วยเครื่องออปติคัลเพาเวอร์มิเตอร์ ในที่นี้ใช้ความเข้มแสงขนาด 0.500 ไมโครวัตต์ ทำมุมตกกระทบ 30, 45, 75 องศาจากเส้นปกติที่ตั้งฉากกับพื้นผิว ห่างจากพื้นผิวกระดาษอัดรูปสีดำที่มีรอยนิ้วมือแฝงระยะทางตามแนวแกน z อยู่ประมาณ 20 เซนติเมตรวัดจากบริเวณขอบด้านหน้าของหลอดไฟ ติดตั้งกล้องถ่ายรูปด้านตรงข้ามทำมุมเท่ากับมุมตกกระทบที่ระยะห่างจากพื้นผิวกระดาษอัดรูปไปยังขอบด้านบนของกระบอกเลนส์ระยะทางตามแนวแกน z อยู่ประมาณ 20 เซนติเมตรเช่นเดียวกัน ปรับมุมตกกระทบและมุมสะท้อนด้วยแผ่นพลาสติกที่วางตัวในแนวแกน z ขนานกับหลอดไฟและกระบอกเลนส์ ในการศึกษาตัวแปรที่ 1 บริเวณด้านหน้ากล้องจะไม่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม



รูปที่ 3.2 แสดงการจัดระยะห่างจากพื้นผิวกระดาษอัดรูปไปยังหลอดไฟและกล้องถ่ายภาพ

ตัวแปรที่ 2 การมีและไม่มีฟิลเตอร์โพลารไรซ์แบบวงกลมภายใต้แสงขาว จัดชุดอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.2 เช่นเดียวกัน โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงขาวจากหลอดไฟฟ้าคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ที่มีความเข้มแสงเท่ากัน โดยวัดกำลังแสงบริเวณตรงกลางด้านหน้าแผ่นตัดเงาด้วยเครื่องออปติคัลเพาเวอร์มิเตอร์ ในที่นี้ใช้ความเข้มแสงขนาด 0.500 ไมโครวัตต์ ทำมุมตกกระทบ 45 องศาจากเส้นปกติที่ตั้งฉากกับพื้นผิว ห่างจากพื้นผิวกระดาษอัดรูปสีดำที่มีรอยนิ้วมือแผ่ระยะทางตามแนวแกน z อยู่ประมาณ 20 เซนติเมตรวัดจากบริเวณขอบด้านหน้าของหลอดไฟ ติดตั้งกล้องถ่ายรูปด้านตรงข้ามทำมุมเท่ากับมุมตกกระทบที่ระยะห่างจากพื้นผิวกระดาษอัดรูปไปยังขอบด้านบนของกระบอกเลนส์ระยะทางตามแนวแกน z อยู่ประมาณ 20 เซนติเมตรเช่นเดียวกัน ปรับมุมตกกระทบและมุมสะท้อนด้วยแผ่นพลาสติกสามเหลี่ยมมุมฉากที่วางตัวในแนวแกน z ขนานกับหลอดไฟและกระบอกเลนส์ ทำการถ่ายภาพทั้งขณะที่มีและไม่มีฟิลเตอร์โพลารไรซ์แบบวงกลมติดอยู่บริเวณด้านหน้ากล้อง ปรับให้แนวแกนเชิงเส้นของฟิลเตอร์โพลารไรซ์แบบวงกลมวางตัวในแนวขนานกับระนาบของพื้นผิวกระดาษอัดรูปตลอดที่มีการใช้ฟิลเตอร์โพลารไรซ์แบบวงกลม

ตัวแปรที่ 3 สีพื้นแตกต่างกันภายใต้แสงขาว ในที่นี้จะใช้สีพื้นของกระดาษอัดรูปทั้งหมด 5 สี คือ สีดำ สีขาว สีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน จัดชุดอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.2 เช่นเดียวกัน โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงขาวจากหลอดไฟฟ้าคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ผ่านแผ่นตัดเงาด้านหน้า ในที่นี้ใช้กำลังแสงขนาด 0.300 ไมโครวัตต์ เมื่อวัดกำลังแสงบริเวณด้านหน้าพื้นผิวของกระดาษอัดรูปด้วยเครื่องออปติคัลเพาเวอร์มิเตอร์ ทำมุมตกกระทบ 45 องศาจากเส้นปกติที่ตั้งฉากกับพื้นผิว ห่างจากพื้นผิวกระดาษอัดรูปที่มีรอยนิ้วมือแผ่ระยะทางตามแนวแกน z อยู่ประมาณ 20 เซนติเมตรวัดจากบริเวณขอบด้านหน้าของหลอดไฟ ติดตั้งกล้องถ่ายรูปด้านตรงข้ามทำมุมเท่ากับมุมตกกระทบที่ระยะห่างจากพื้นผิวกระดาษอัดรูปไปยังขอบด้านบนของกระบอกเลนส์ระยะทางตามแนวแกน z อยู่ประมาณ 20 เซนติเมตรเช่นเดียวกัน ปรับมุมตกกระทบและมุมสะท้อนด้วยแผ่นพลาสติกสามเหลี่ยมมุมฉากที่วางตัวในแนวแกน z ขนานกับหลอดไฟและกระบอกเลนส์ ทำการถ่ายภาพขณะที่มีฟิลเตอร์โพลารไรซ์แบบวงกลมติดอยู่บริเวณด้านหน้ากล้อง ปรับให้แนวแกนเชิงเส้นของฟิลเตอร์โพลารไรซ์แบบวงกลมวางตัวในแนวขนานกับระนาบของพื้นผิวกระดาษอัดรูปตลอดที่มีการใช้ฟิลเตอร์โพลารไรซ์แบบวงกลม

ตัวแปรที่ 4 แสงขาวภายใต้กำลังแสงต่างกัน จัดชุดอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.2 เช่นเดียวกัน โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงขาวจากหลอดไฟฟ้าคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ผ่านแผ่นตัดเงาด้านหน้า ทำมุมตกกระทบ 45 องศาจากเส้นปกติที่ตั้งฉากกับพื้นผิว ห่างจากพื้นผิวกระดานอัดรูปสีดำที่มีรอยนิ้วมือแฝงระยะทางตามแนวแกน z อยู่ประมาณ 20 เซนติเมตรวัดจากบริเวณขอบด้านหน้าของหลอดไฟ วัดกำลังแสงบริเวณด้านหน้าพื้นผิวของกระดานอัดรูปด้วยเครื่องออปติคัลเพาเวอร์มิเตอร์ ได้กำลังแสงต่ำสุดและสูงสุดได้เท่ากับ 0.114 และ 0.500 ไมโครวัตต์ ติดตั้งกล้องถ่ายภาพด้านตรงข้ามทำมุมเท่ากับมุมตกกระทบที่ระยะห่างจากพื้นผิวกระดานอัดรูปไปยังขอบด้านบนของกระบอกเลนส์ระยะทางตามแนวแกน z อยู่ประมาณ 20 เซนติเมตรเช่นเดียวกัน ปรับมุมตกกระทบและมุมสะท้อนด้วยแผ่นพลาสติกสามเหลี่ยมมุมฉากที่วางตัวในแนวแกน z ขนานกับหลอดไฟและกระบอกเลนส์ ทำการถ่ายภาพขณะที่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมติดอยู่บริเวณด้านหน้ากล้อง ปรับให้แนวแกนเชิงเส้นของฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมวางตัวในแนวขนานกับระนาบของพื้นผิวกระดานอัดรูปตลอดที่มีการใช้ฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม จากนั้นใช้อุปกรณ์หรีไฟในการปรับค่ากำลังแสงที่ตกกระทบบนพื้นผิวกระดานอัดรูปเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.100 ไมโครวัตต์และทำการถ่ายภาพ จะได้ภาพถ่ายลายนิ้วมือแฝงที่มีกำลังแสงบริเวณด้านหน้าพื้นผิวของกระดานอัดรูปที่แตกต่างกันจำนวน 3 ค่า คือ 0.210, 0.310, 0.410 ไมโครวัตต์

ตัวแปรที่ 5 สีของแหล่งกำเนิดแสงที่ตกกระทบบแตกต่างกัน ในส่วนนี้เราจะทำการเปลี่ยนสีของแหล่งกำเนิดแสงจากอุปกรณ์ที่สามารถหาได้ง่ายนั่นคือ หลอดไฟสีต่างๆ ได้แก่หลอดไฟสีน้ำเงิน แดง เหลือง เขียว ที่กำลังแสงสูงสุดของหลอดไฟแต่ละสี จัดชุดอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.2 เช่นเดียวกัน ทำมุมตกกระทบ 45 องศาจากเส้นปกติที่ตั้งฉากกับพื้นผิว ห่างจากพื้นผิวกระดานอัดรูปสีดำและสีขาวที่มีรอยนิ้วมือแฝงระยะทางตามแนวแกน z อยู่ประมาณ 20 เซนติเมตรวัดจากบริเวณขอบด้านหน้าของหลอดไฟ วัดกำลังแสงบริเวณด้านหน้าพื้นผิวของกระดานอัดรูปด้วยเครื่องออปติคัลเพาเวอร์มิเตอร์ของแสงสีน้ำเงิน แดง เหลือง เขียวสูงสุดได้เท่ากับ 2.740, 2.750, 3.870, 2.660 ไมโครวัตต์ตามลำดับ ติดตั้งกล้องถ่ายภาพด้านตรงข้ามทำมุมเท่ากับมุมตกกระทบที่ระยะห่างจากพื้นผิวกระดานอัดรูปไปยังขอบด้านบนของกระบอกเลนส์ระยะทางตามแนวแกน z อยู่ประมาณ 20 เซนติเมตรเช่นเดียวกัน ปรับมุมตกกระทบและมุมสะท้อนด้วยแผ่นพลาสติกสามเหลี่ยมมุมฉากที่วางตัวในแนวแกน z ขนานกับหลอดไฟและกระบอกเลนส์ ทำการถ่ายภาพขณะที่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมติดอยู่บริเวณด้านหน้ากล้อง ปรับให้แนวแกนเชิงเส้นของฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมวางตัวในแนวขนานกับ

ระนาบของพื้นผิวกระดาษัธรูปตลอดที่มีการใช้ฟิเลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม จะได้ภาพถ่าย
ลายนิ้วมือแฝงที่มีสีของแสงที่ตกกระทบแตกต่างกัน

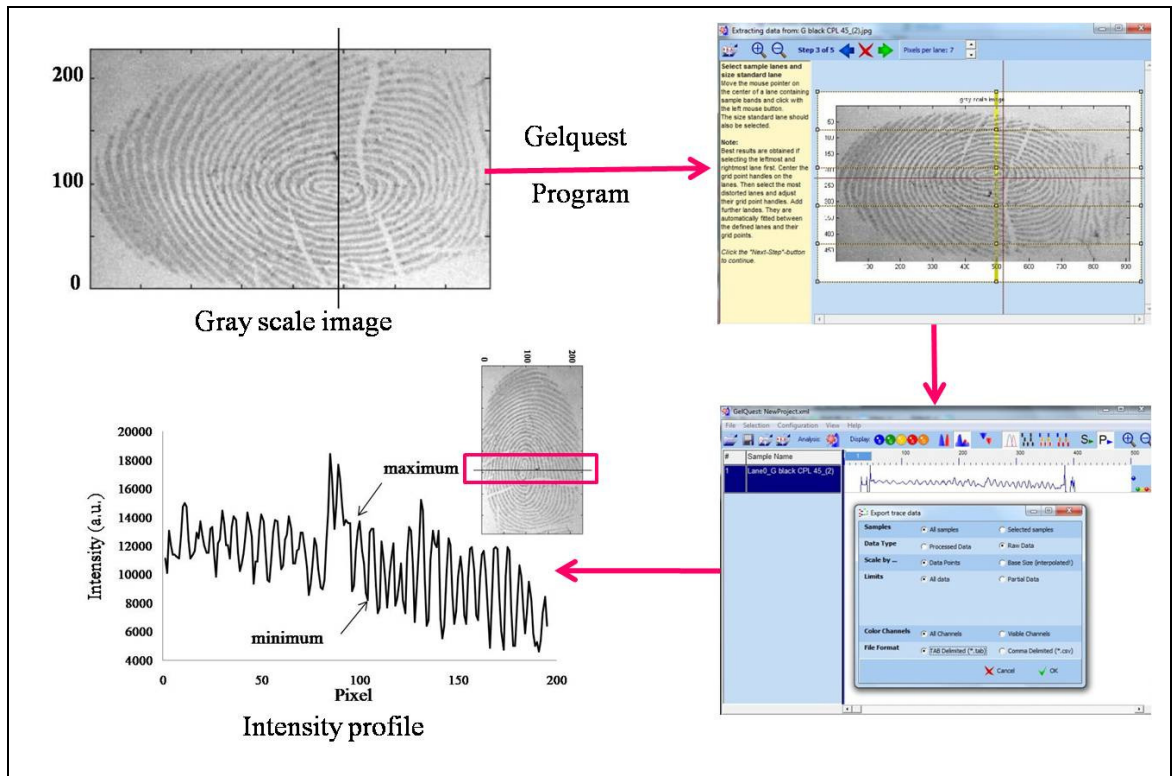
3.3.3 การประมวลผลภาพถ่ายดิจิทัล

ขั้นตอนในการประมวลผลภาพถ่ายดิจิทัลนั้น เมื่อได้ภาพถ่ายลายนิ้วมือมาแล้วทำการตัดภาพครอบคลุมเฉพาะบริเวณที่มีลายนิ้วมือทั้งหมด ในเบื้องต้นจะทำการสังเกตด้วยสายตาว่าภาพถ่ายดิจิทัลที่ได้จากการเปลี่ยนตัวแปรที่ทำการศึกษาต่างๆ มีความสมบูรณ์และชัดเจนของลายนิ้วมือมากน้อยเพียงใด จากนั้นจะใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อทำการปรับปรุงภาพ (improvement) โดยการแปลงภาพจากภาพต้นฉบับ (original image) ที่ไม่ได้ทำการปรับค่าหรือแต่งภาพใดๆ ไปเป็นภาพระดับเทา (gray scale image) โดยคงอัตราส่วนความกว้างต่อความยาวคงที่ และเขียนโปรแกรมด้วยคำสั่งแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงลำดับและความหมายของคำสั่ง เพื่อใช้แปลงภาพต้นฉบับเป็นภาพระดับเทา

คำสั่ง	ความหมาย
<code>.%read input image</code>	อ่านไฟล์ภาพที่ต้องการแปลงไปเป็นภาพระดับเทา
<code>I=imread('white no (3).jpg');</code>	
<code>%convert color image to gray scale image</code>	แปลงไฟล์ภาพไปเป็นภาพระดับเทา
<code>I2=rgb2gray(I);</code>	
<code>%show image</code>	แสดงภาพต้นฉบับและภาพระดับเทา
<code>figure,imagesc(I)</code>	
<code>figure,imagesc(I2),colormap gray</code>	

ในขั้นตอนนี้ใช้โปรแกรม GelQuest ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถดาวน์โหลดจากอินเทอร์เน็ต มาใช้ในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มแสง (แกน y) ของแต่ละตำแหน่ง (แกน x) เพื่อแสดงความคมชัดของภาพระดับเทาที่ได้ โดยให้โปรแกรมอ่านไฟล์ภาพระดับเทา จากนั้นทำการเลือกแนวของภาพที่ต้องการและนำข้อมูลที่ได้นำมาแสดงความสัมพันธ์ในลักษณะกราฟ (intensity profile) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ความเปรียบต่างของภาพถ่ายลายนิ้วมือแฝงในเชิงปริมาณ แสดงดังรูปที่ 3.3



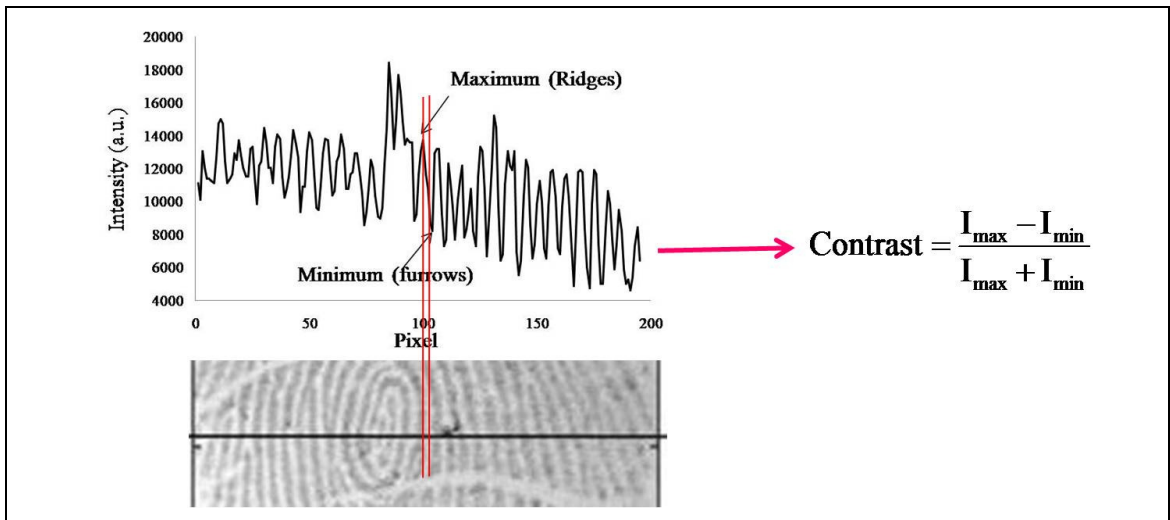
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนในการแสดงผลในรูปกราฟการกระจายความเข้มที่ตำแหน่งพิกเซลต่างๆ

3.3.4 วิเคราะห์ข้อมูลกราฟการกระจายความเข้มแสงที่ตำแหน่งพิกเซลต่างๆ

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มแสง (แกน y) ของแต่ละตำแหน่ง (แกน x) สามารถแสดงความแตกต่างที่ทุกตำแหน่งได้ดังสมการที่ 3.1

$$\text{Contrast} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (3.1)$$

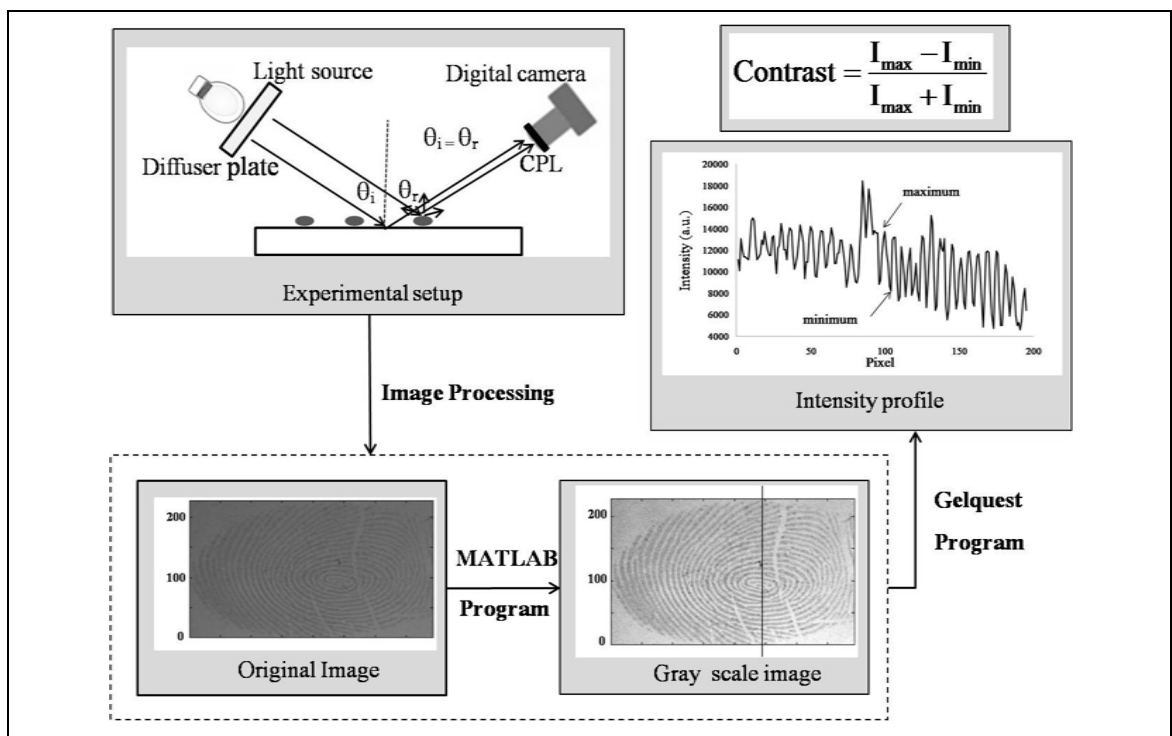
โดยกราฟแสดงความเข้มที่แต่ละตำแหน่งของรอยนิ้วมือรอยเดียวกันจะมีความคล้ายคลึงกัน สามารถสังเกตได้ว่าตำแหน่งใดคือตำแหน่งเดียวกัน จากนั้นคำนวณหาค่าความแตกต่างที่ตำแหน่งใดๆ ของภาพจากตำแหน่งสูงสุดและต่ำสุดที่อยู่ติดกันกันดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงการคำนวณหาค่าความแตกต่างที่ตำแหน่งใดๆ ของภาพ

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

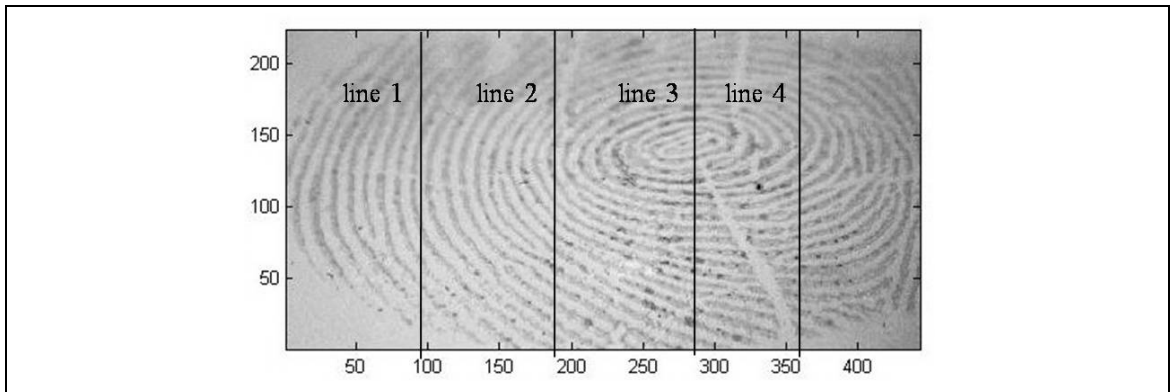
ขั้นตอนในการวิเคราะห์ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1 หลังจากได้ภาพถ่ายลายนิ้วมือมาแล้ว จะทำการแปลงภาพจากภาพต้นฉบับไปเป็นภาพระดับเทาด้วยโปรแกรม MATLAB และเลือกบริเวณภาพถ่ายเพื่อนำไปแปลงข้อมูลภาพถ่ายลายนิ้วมือแฟงเป็นข้อมูลกราฟการกระจายความเข้มที่แต่ละตำแหน่งด้วยโปรแกรม Gelquest และวิเคราะห์ค่าความเปรียบต่างด้วยเกณฑ์ที่กำหนดขึ้น ขั้นตอนนี้สามารถวิเคราะห์ผลของภาพในลักษณะความคมชัดได้ในเชิงปริมาณ



รูปที่ 4.1 ผลการออกแบบการถ่ายภาพลายนิ้วมือแฟงและประมวลผลภาพ

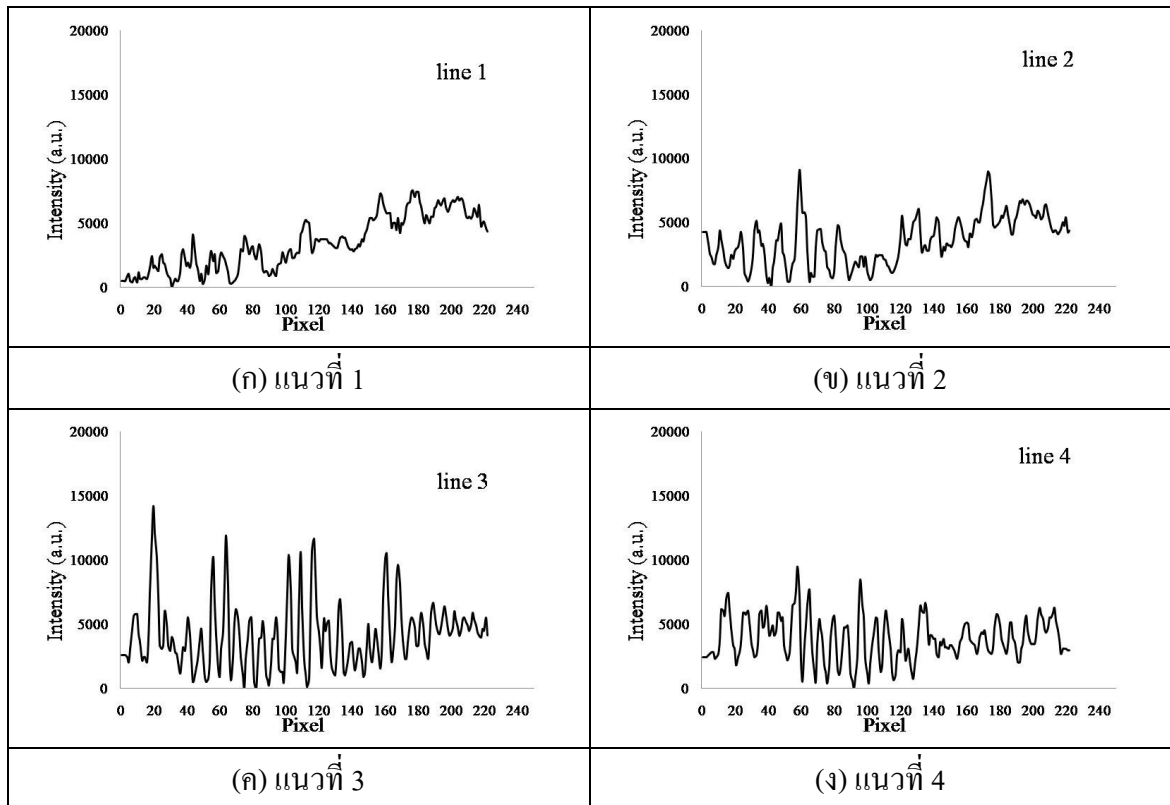
4.1 การเลือกตำแหน่งของภาพเพื่อใช้ในการประมวลผลภาพ

การเปรียบเทียบผลการทดลองในแต่ละตัวแปรที่ทำการศึกษจะต้องเลือกตำแหน่งภาพถ่ายลายนิ้วมือเพื่อใช้โปรแกรมประมวลผลที่ตำแหน่งเดียวกัน เมื่อสังเกตภาพถ่ายลายนิ้วมือจากรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การเลือกตำแหน่งของภาพเพื่อใช้ในการประมวลผลภาพ

พบว่าลายนิ้วมือมีลักษณะเป็นมีลักษณะซ้อนกันเป็นวงหลายชั้น จึงจะต้องมีการเลือกแนวที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้ในการแสดงกราฟการกระจายความเข้มที่แต่ละตำแหน่งในการเปรียบเทียบที่แต่ละตัวแปรที่ทำการศึกษา จากรูปแนวที่ 3 เป็นบริเวณที่มีการกดน้ำหนักของนิ้วมือลงบนพื้นผิวมากที่สุด แนวที่ 1 และแนวที่ 4 เป็นบริเวณส่วนปลายและส่วนท้ายของนิ้วมือ ซึ่งจะมีการกดน้ำหนักลงบนบริเวณนี้น้อยกว่า ส่วนในแนวที่ 2 ซึ่งเป็นบริเวณกึ่งกลางระหว่างแนวที่ 1 และแนวที่ 3 ที่มีการกดน้ำหนักแตกต่างกัน แสดงกราฟการกระจายความเข้มที่แต่ละตำแหน่งในแต่ละแนวดังรูปที่ 4.3



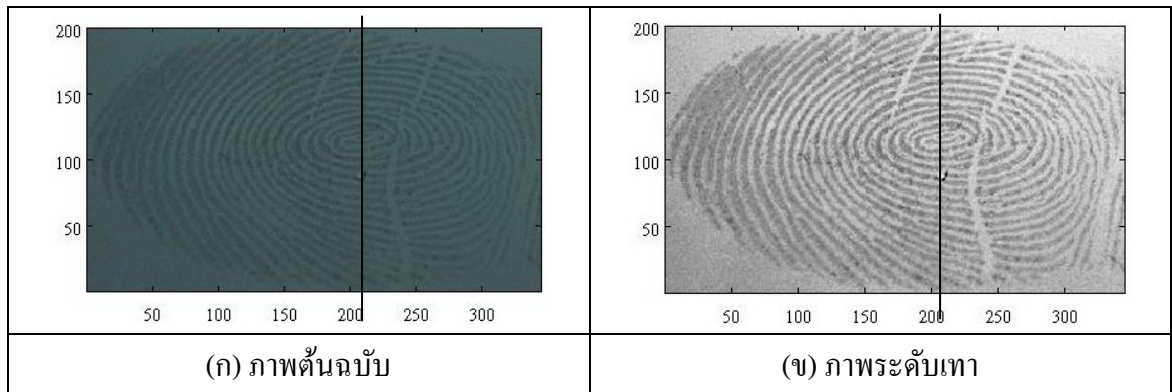
รูปที่ 4.3 แสดงกราฟการกระจายความเข้มที่แต่ละตำแหน่งในแต่ละแนวที่เลือก

จากรูปที่ 4.3 พบว่ากราฟการกระจายความเข้มบริเวณที่มีค่าความเข้มสูงสุดแต่ละตำแหน่งจะตรงกับภาพรอยนิ้วมือที่เกิดจากสันของลายนิ้วมือซึ่งมีสีเข้ม แต่ในบริเวณที่ไม่มีรอยนิ้วมือจะมีสีอ่อนกว่าตรงกับกราฟการกระจายความเข้มบริเวณที่มีค่าความเข้มต่ำสุด ในแนวที่ผ่านบริเวณตรงกลางของภาพถ่ายลายนิ้วมือ ที่มีลักษณะเป็นแบบก้นหอย ซึ่งตรงกับแนวที่ 3 สามารถแสดงความแตกต่างของความเข้มของภาพถ่ายลายนิ้วมือในบริเวณพื้นผิวที่มีและไม่มีรอยนิ้วมือได้มากที่สุด เมื่อเทียบกับอีก 3 แนวที่เหลือ ดังนั้นจึงเลือกแสดงกราฟการกระจายความเข้มที่แต่ละตำแหน่งในแนวที่ผ่านบริเวณตรงกลางของภาพถ่ายลายนิ้วมือ (แนวที่ 3) ที่ทำการตัดภาพมาตลอดผลการทดลองทั้งหมด เพื่อความสะดวกในการเลือกตำแหน่งของลายนิ้วมือที่จะทำการเปรียบเทียบค่าความเปรียบต่างที่แต่ละตัวแปรที่ทำการศึกษา และคำนวณหาความเปรียบต่างที่ตำแหน่งใดๆ ของภาพจากสมการที่ 4.1

$$\text{Contrast} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (4.1)$$

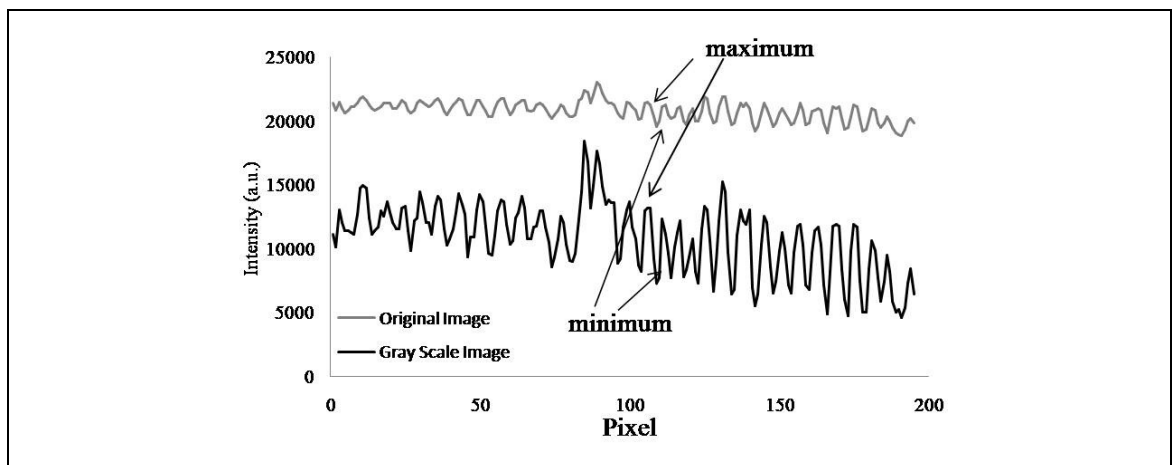
4.2 การแปลงภาพต้นฉบับไปเป็นภาพระดับเทา

เมื่อทำการแปลงภาพถ่ายจากภาพต้นฉบับไปเป็นภาพระดับเทา ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงการแปลงภาพจากภาพต้นฉบับไปเป็นภาพระดับเทา

จากภาพถ่ายรูปที่ 4.4 พบว่าภาพระดับเทาจะมีความแตกต่างของความเข้มระหว่างพื้นผิวที่มีและไม่มีรอยนิ้วมือแฝงมากกว่าภาพต้นฉบับทั้งที่ความเข้มของภาพระดับเทาน้อยกว่าภาพต้นฉบับ เมื่อแปลงภาพถ่ายเป็นข้อมูลการกระจายความเข้มของภาพที่ตำแหน่งต่างๆ ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงกราฟการกระจายความเข้มที่แต่ละตำแหน่งของภาพต้นฉบับ (บน) และภาพระดับเทา (ล่าง)

จากกราฟการกระจายความเข้มดังรูปที่ 4.5 พบว่าความแตกต่างระหว่างความเข้มสูงสุดและความเข้มต่ำสุดของภาพระดับเทาจะมากกว่าภาพต้นฉบับทุกตำแหน่งทั้งภาพ เมื่อสุ่มที่ตำแหน่งหนึ่งซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกันสามารถหาค่าความเปรียบต่างของภาพต้นฉบับและภาพระดับเทาได้เท่ากับ 0.037

และ 0.214 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า การแปลงภาพไปเป็นภาพระดับเทาสามารถเพิ่มความเปรียบต่างของภาพได้มาก ทำให้ภาพถ่ายลายนิ้วมือแฝงที่ได้มีความคมชัดเพิ่มมากขึ้น แต่ในกรณีที่ความแตกต่างระหว่างความเข้มสูงสุดและความเข้มต่ำสุดของตำแหน่งที่ต้องการเปรียบเทียบมีค่าเท่ากันแต่ระดับความเข้มโดยรวมของทั้งภาพมีค่าแตกต่างกัน ภาพที่มีระดับความเข้มของภาพน้อยกว่าจะมีค่าความเปรียบต่างมากกว่าภาพที่มีระดับความเข้มของภาพมากกว่า อาจเป็นผลอันเนื่องมาจากการเปรียบเทียบความเข้มของภาพที่ตำแหน่งสูงสุดและตำแหน่งต่ำสุด โดยภาพที่มีความเข้มมากอาจจะแยกแยะความแตกต่างระหว่างความเข้มของภาพที่ตำแหน่งสูงสุดและตำแหน่งต่ำสุดได้ชัดเจนน้อยกว่าเนื่องจากสีของภาพอยู่ในโทนสีเทาเช่นเดียวกัน เมื่อเทียบกับภาพที่มีความเข้มน้อยกว่าซึ่งมีสีของภาพอยู่ในโทนที่แตกต่างกัน (สีขาวไปจนถึงโทนสีเทา) นอกจากนั้น สามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การขยายความเปรียบต่าง (Contrast Enhancement) เทียบกับภาพต้นฉบับ เพื่อแสดงให้เห็นว่าภาพระดับเทามีความเปรียบต่างเพิ่มขึ้นเท่าใดจากภาพต้นฉบับได้จากสมการที่ 4.2

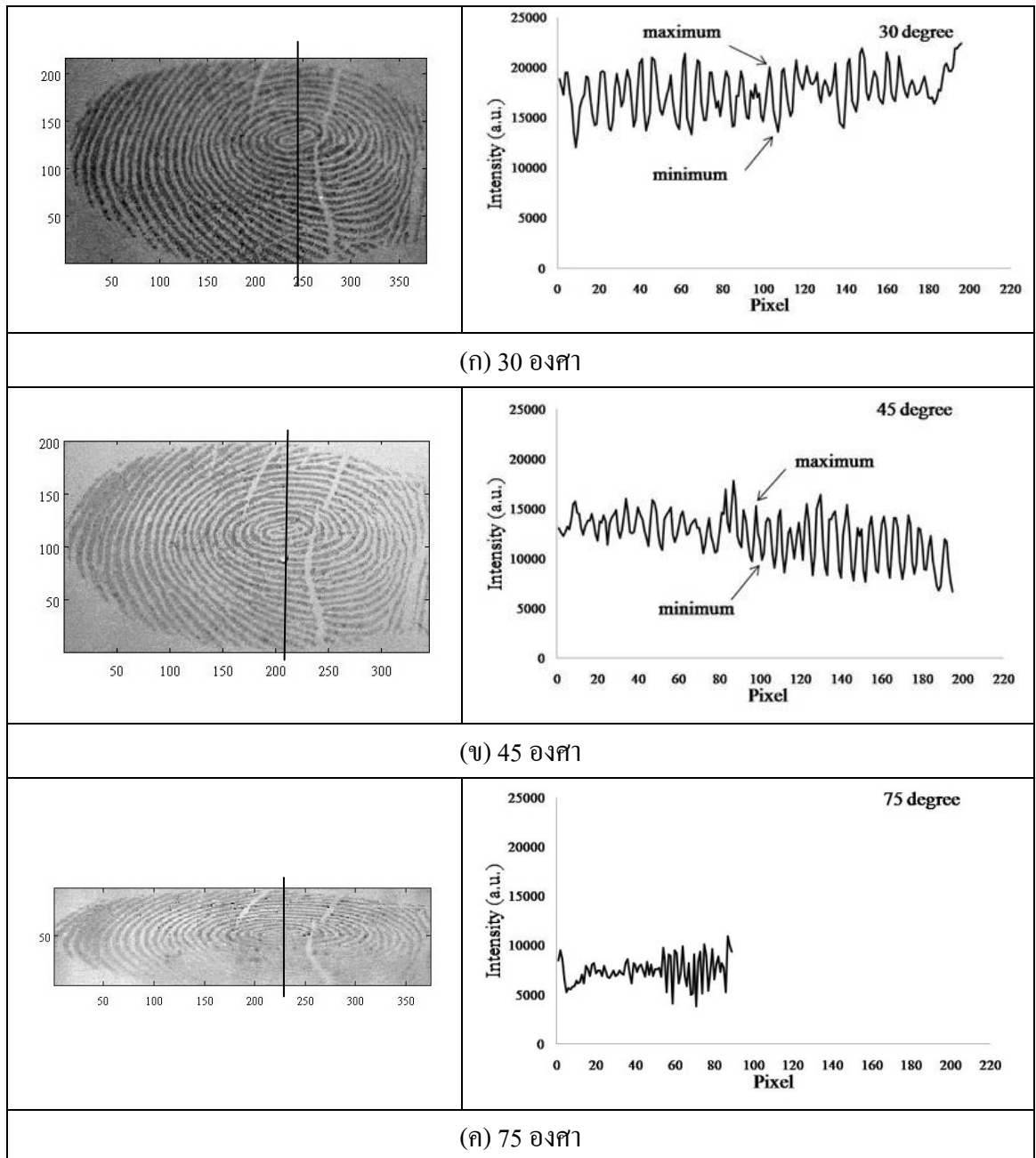
$$\text{Contrast Enhancement (\%)} = \frac{C_{\text{gray}}}{C_{\text{original}}} \times 100\% \quad (4.2)$$

จากสมการการหาเปอร์เซ็นต์ขยายความเปรียบต่าง พบว่าการแปลงจากภาพต้นฉบับเป็นภาพระดับเทาสามารถขยายความเปรียบต่างได้มากถึง 5.78 เท่า คิดเป็น 578% ต่อจากนี้ไปจะใช้ภาพระดับเทาในการประมวลผลภาพต่อไป โดยในแต่ละตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ ผลของมุมตกกระทบที่แตกต่างกัน ผลของฟิลเตอร์โพลาริซ์แบบวงกลม ผลของความเข้มแสงที่แตกต่างกัน ผลของสีของแหล่งกำเนิดแสงที่ตกกระทบ จะใช้รายนี้นี้มื่อรอยเดียวกันในแต่ละตัวแปร ยกเว้นในการศึกษาผลของสีพื้นที่แตกต่างกัน รอยนิ้วมือนั้นจะเป็นคนละรอยกัน เนื่องจากจะต้องทำการเปลี่ยนสีของพื้นผิวของกระดาศอัครูป แต่ในการศึกษาแต่ละตัวแปรจะทำการจำลองรอยนิ้วมือและทำการถ่ายภาพภายในวันเดียวกัน

4.3 ผลของมุมตกกระทบที่แตกต่างกันภายใต้กำลังแสงเท่ากับ 30, 45, 75 องศา

เมื่อให้แสงขาวจากหลอดไฟฟ้าคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ที่มีความเข้มแสงเท่ากัน วัดกำลังแสงบริเวณตรงกลางด้านหน้าแผ่นตัดเงาด้วยเครื่องออปติคัลเพาเวอร์มิเตอร์ได้กำลังแสงขนาด 0.500 ไมโครวัตต์ ทำมุมตกกระทบ 30, 45, 75 องศาจากเส้นปกติที่ตั้งฉากกับพื้นผิว โดยให้มีระยะห่างระหว่างด้านหน้าหลอดไฟกับพื้นผิวกระดาศอัครูปสีดำที่มีรายนี้นี้มื่อแฝงระยะทาง 20 เซนติเมตร ติดตั้งกล้องถ่ายรูป

ด้านตรงข้ามทำมุมเท่ากับมุมตกกระทบ บริเวณด้านหน้ากล้องไม่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม จากรูปที่ 4.6 แสดงภาพระดับเทาและกราฟการกระจายความเข้มของภาพที่แต่ละตำแหน่งและคำนวณหาค่าความเปรียบต่างที่ตำแหน่งใดๆ ของภาพที่มุมตกกระทบ 30, 45, 75 องศาตามลำดับ

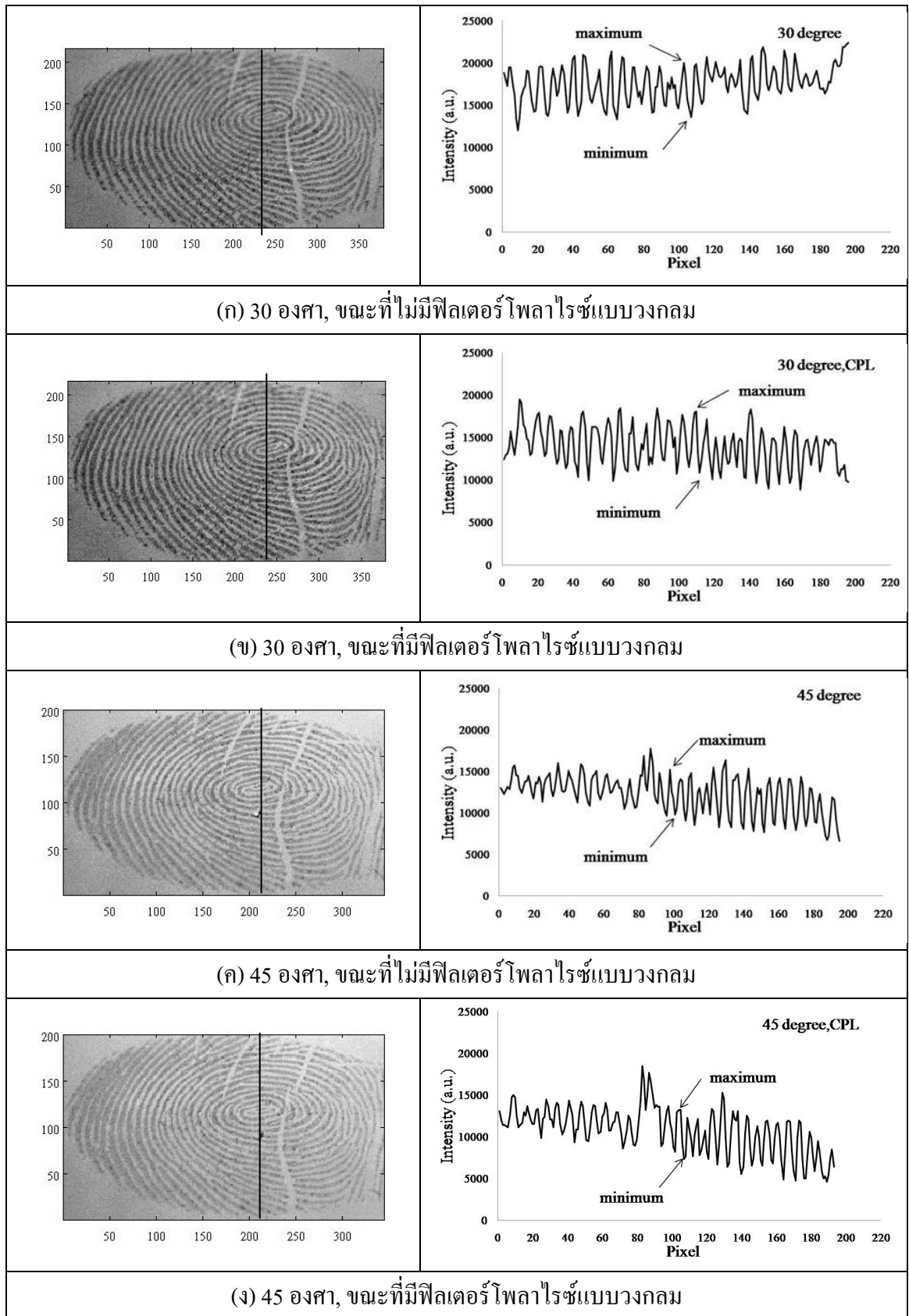


รูปที่ 4.6 แสดงภาพระดับเทาและกราฟการกระจายความเข้มที่ตำแหน่งต่างๆ ขณะที่ไม่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม ที่มุมตกกระทบต่างกัน

จากรูปที่ 4.6 พบว่าที่มุมตกกระทบ 30 และ 45 องศา ภาพถ่ายลายนิ้วมือแฝงที่ได้มีความสมบูรณ์และความชัดเจนของภาพมากกว่าที่มุม 75 องศา ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากที่มุมตกกระทบ 75 องศา มีการสูญเสียรายละเอียดบางส่วนของลายนิ้วมือไป เนื่องจากมุมมองในการมองที่เกือบจะขนานกับพื้นผิว (grazing angle) มุม 75 องศาจึงไม่เหมาะสำหรับการถ่ายภาพ

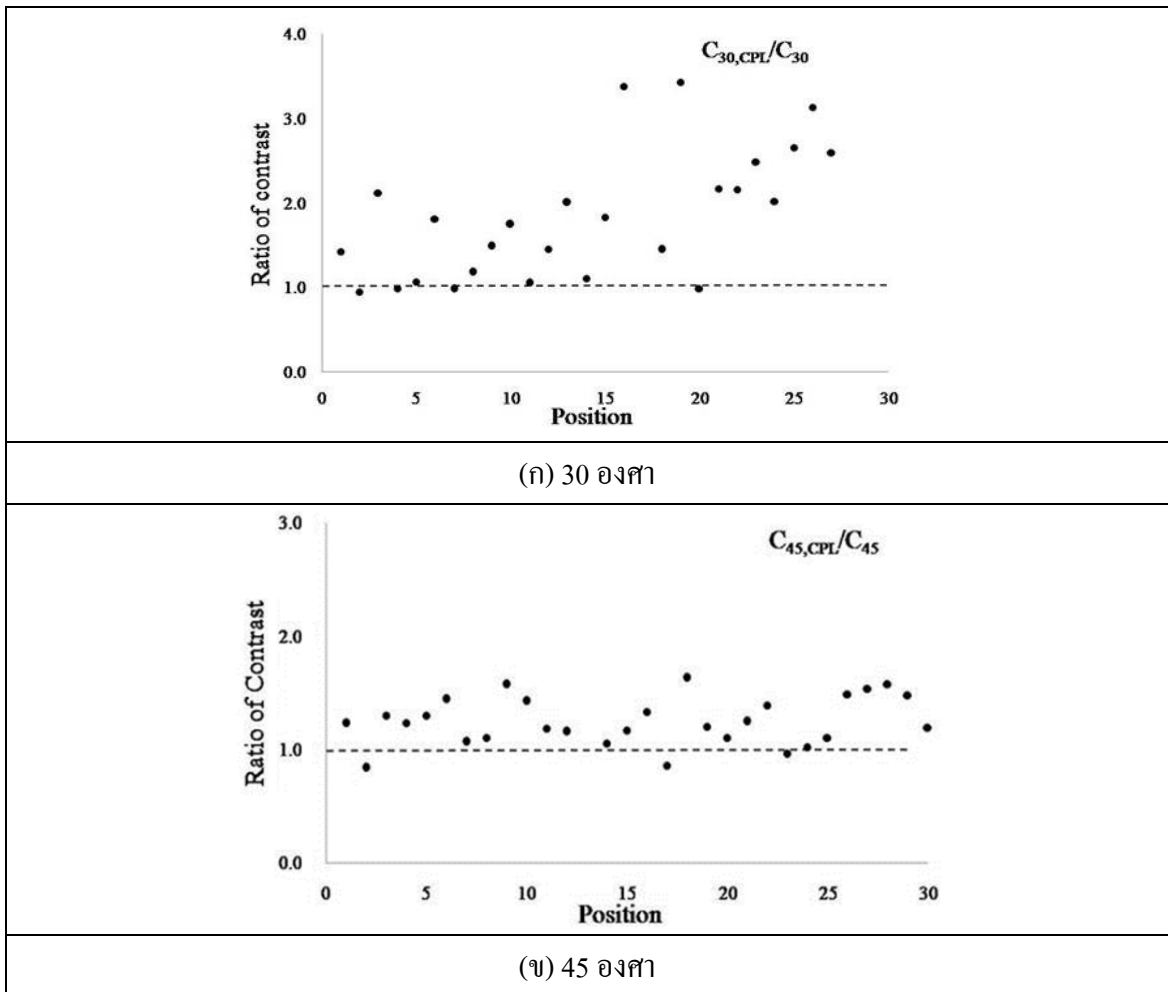
4.4 ผลของการมีและไม่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมภายใต้แสงขาว

เมื่อให้แสงขาวจากหลอดไฟฟ้าคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ที่มีความเข้มแสงเท่ากัน วัดกำลังแสงบริเวณตรงกลางด้านหน้าแผ่นตัดเงาด้วยเครื่องออปติคัลเพาเวอร์มิเตอร์ได้กำลังแสงขนาด 0.500 ไมโครวัตต์ จากผลของมุมตกกระทบที่แตกต่างกันภายใต้ความเข้มแสงเท่ากัน 30, 45, 75 องศาในตอนที่แล้ว เมื่อทำการเปรียบเทียบผลของการมีและไม่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมบริเวณด้านหน้ากล้อง จึงเลือกทดลองที่มุมตกกระทบ 30 และ 45 องศาเท่านั้น บนพื้นผิวกระดาษอัดรูปสีดำ จากรูปที่ 4.7 แสดงภาพระดับเทาและกราฟการกระจายความเข้มของภาพที่แต่ละตำแหน่งและคำนวณหาค่าความเปรียบต่างที่ตำแหน่งหนึ่งของภาพ เปรียบเทียบที่มุมตกกระทบ 30 และ 45 องศาขณะมีและไม่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมตามลำดับ



รูปที่ 4.7 แสดงภาพระดับเทาและกราฟการกระจายความเข้มที่ตำแหน่งต่างๆ ขณะที่ไม่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม ที่มุมตกกระทบ 30 และ 45 องศา

จากรูปที่ 4.7 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบภาพระดับเทาด้วยตาเปล่าไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบจากกราฟการกระจายความเข้มทั้งแนวนอนพบว่า ขณะที่ฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมจะมีค่าความเปรียบต่างเพิ่มมากขึ้นกว่าเมื่อไม่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม โดยคำนวณค่าความเปรียบต่างที่ตำแหน่งเดียวกันที่มุมตกกระทบ 30 องศาขณะที่ไม่มีและมีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมได้เท่ากับ 0.191 และ 0.215 ตามลำดับ และคำนวณหาค่าความเปรียบต่างที่ตำแหน่งเดียวกันที่มุมตกกระทบ 45 องศาขณะที่ไม่มีและมีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมได้เท่ากับ 0.214 และ 0.248 ตามลำดับ จะเห็นว่าขณะที่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมจะเพิ่มความเปรียบต่างมากกว่าขณะที่ไม่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมทั้งที่มุมตกกระทบ 30 และ 45 องศา เมื่อทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนความเปรียบต่าง (ratio of contrast) ของรอยนิ้วมือที่มุมตกกระทบค่าเดียวกัน ขณะที่ฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมและไม่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมแต่ละตำแหน่งที่ถัดกันไป 30 ตำแหน่งตลอดทั้งแนวและนำมาแสดงผลเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเปรียบต่างเทียบกับลำดับตำแหน่ง ทำมุมตกกระทบ 30 และ 45 องศา ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 อัตราส่วนความเปรียบต่างขณะที่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมเทียบกับขณะที่ไม่
มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม ที่ทุกๆ ลำดับตำแหน่งจะมีการขยายค่าความเปรียบต่างมากกว่า 1
เท่าทั้งมุมตกกระทบ 30 และ 45 องศา แสดงให้เห็นว่าฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม สามารถขยาย

ความเปรียบต่างของภาพลายนิ้วมือแฝงได้มากถึง 1 ถึง 3 เท่า (100-300%) และเปรียบเทียบค่าความ
เปรียบต่างที่มุมตกกระทบ 30 และ 45 องศา ของภาพระดับเทา ได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเปรียบต่างที่เงื่อนไขต่างๆ และการขยายความเปรียบต่าง

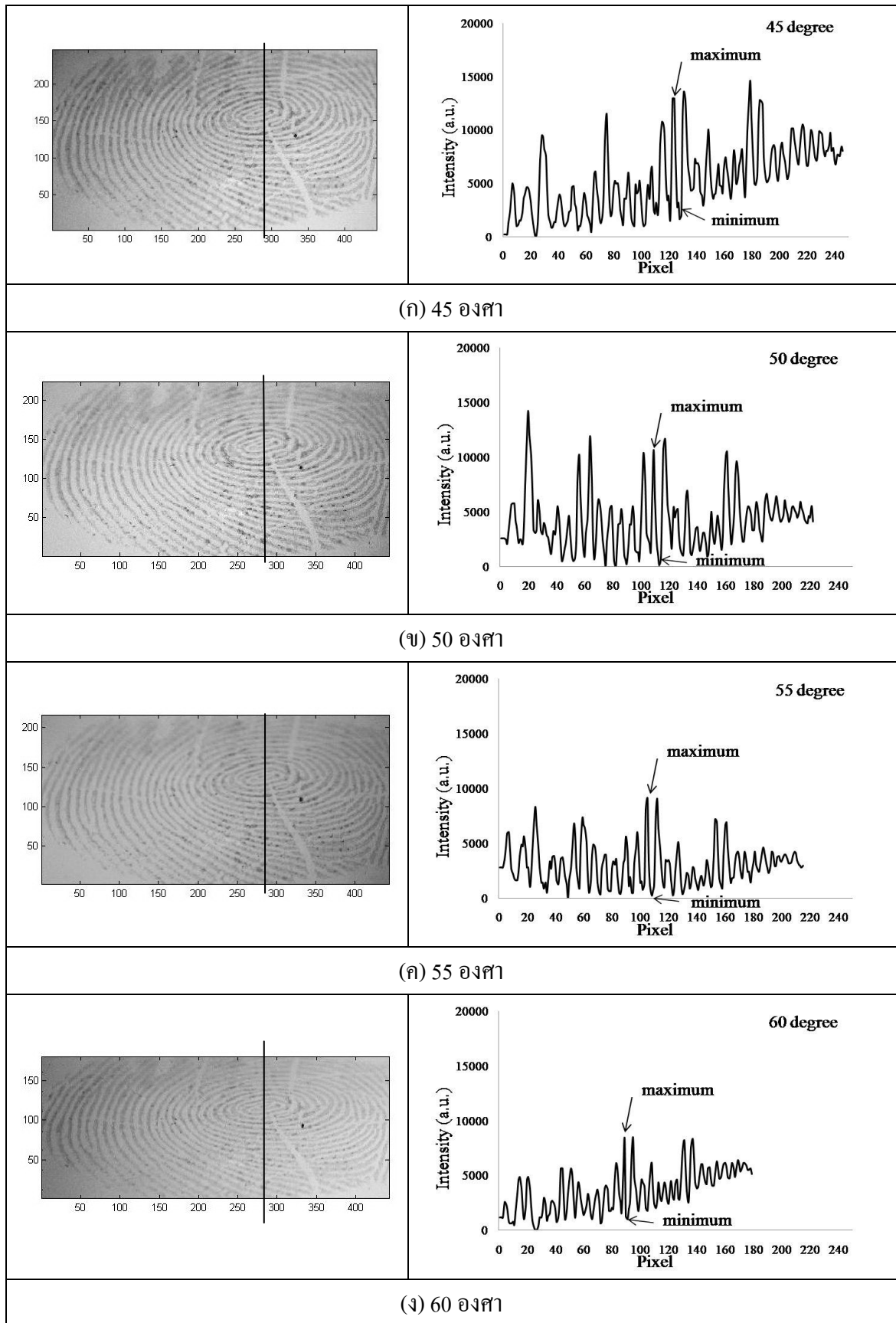
Type	Contrast	Contrast Enhancement
original, 45°	0.037	100%
gray, 30°	0.191	-
gray, 45°	0.214	578%
gray, 30°, CPL	0.215	-
gray, 45°, CPL	0.248	670%

พบว่า การขยายความเปรียบต่างคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ขณะที่ไม่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมที่มุมตกกระทบ 45 องศา มีค่ามากถึง 578% และ 681% ตามลำดับเมื่อเทียบกับภาพต้นฉบับ โดยการแปลงภาพจากภาพต้นฉบับไปเป็นภาพระดับเทา มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การขยายความเปรียบต่างมากที่สุด (จาก 100% เป็น 578%) และเปอร์เซ็นต์การขยายความเปรียบต่างขณะที่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมจะเพิ่มขึ้นมากกว่าขณะที่ไม่มี แต่เปอร์เซ็นต์มีความแตกต่างกันไม่มากนัก (จาก 578% เป็น 670%) เมื่อเทียบกับการแปลงภาพต้นฉบับไปเป็นภาพระดับเทา ดังนั้นในการศึกษาตัวแปรถัดไป จะจัดชุดอุปกรณ์ที่มุมตกกระทบ 45 องศา และใช้ฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม และแสดงกราฟการกระจายความเข้มของภาพระดับเทาเพียงเท่านั้น

4.5 ผลของมุมตกกระทบที่ใกล้เคียงกับมุมบรีวสเตอร์

จากผลการทดลองในแต่ละปัจจัยการศึกษาในตอนต้น ที่มุมตกกระทบ 30, 45, 75 องศา พบว่าภาพถ่ายลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษอัดรูป จะมีค่าความเปรียบต่างมากที่สุด เมื่อมุมตกกระทบและมุมสะท้อนของแสงเท่ากับ 45 องศา บนพื้นผิวกระดาษอัดรูปสีดำ และมีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมบริเวณหน้ากล้อง แต่เนื่องจากการศึกษาในผนวก ข ที่ศึกษาถึงการสะท้อนของแสงบนกระดาษรูปถ่ายพบว่า ที่มุมตกกระทบระหว่าง 50-60 องศา เปอร์เซ็นต์แสงที่สะท้อนในแนวนานกับระนาบตกกระทบมีค่าใกล้เคียงศูนย์ทั้งการสะท้อนที่มาจากกระจกสไลด์ใสและกระดาษอัดรูป แสดงให้เห็นว่ามุมบรีวสเตอร์ ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 50-60 องศา โดยกระดาษอัดรูปทั่วไปผิวหน้าจะเคลือบด้วยโพลีเอสเตอร์หรือโพลีทีน ซึ่งมีค่าดัชนีหักเหที่ความยาวคลื่น 580 นาโนเมตรเท่ากับ 1.5028 [21] คำนวณหาค่ามุมบรีวสเตอร์ได้เท่ากับ 56.35 องศา อาจมีความคลาดเคลื่อนบ้างเล็กน้อยเนื่องจาก

ข้อจำกัดของอุปกรณ์ในขณะที่ทำการวัดค่าความเข้มแสง ซึ่งผลการทดลองในส่วนถัดไปจะพิจารณาที่ มุมตกกระทบ 45-60 องศา โดยทำการปรับมุมเพิ่มขึ้นครั้งละ 5 องศา โดยให้แสงขาวจากหลอดไฟฟ้า คอมแพคฟลูออเรสเซนต์ที่มีความเข้มแสงเท่ากัน โดยวัดกำลังแสงบริเวณตรงกลางด้านหน้าแผ่นตัด เงามด้วยเครื่องออปติคัลเพาเวอร์มิเตอร์ได้กำลังแสงขนาด 0.500 ไมโครวัตต์ตกกระทบลงบนพื้นผิว กระดาษอัดรูปสีดำ ทำการถ่ายภาพขณะที่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมติดอยู่บริเวณด้านหน้ากล้อง ปรับให้แนวแกนเชิงเส้นของฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมวางตัวในแนวนอนกับระนาบของพื้นผิว กระดาษอัดรูปตลอดที่มีการใช้ฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม สามารถแสดงภาพระดับเทาและกราฟ การกระจายความเข้มของภาพที่แต่ละตำแหน่งได้ดังรูปที่ 4.9



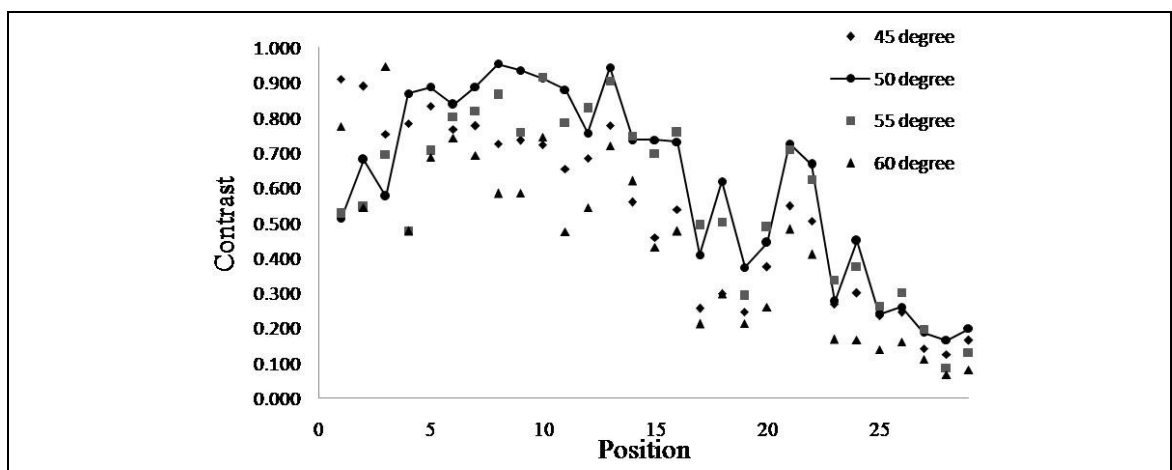
รูปที่ 4.9 แสดงภาพระดับเทาและกราฟการกระจายความเข้มที่แต่ละตำแหน่ง ที่มุมตกกระทบ
แตกต่างกันขณะที่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม

จากรูปที่ 4.9 พบว่ากราฟกระจายความเข้มที่แต่ละตำแหน่งจะมีลักษณะการกระจายข้อมูลใกล้เคียงกัน เนื่องจากเป็นรอยนิ้วมือรอยเดียวกัน แต่แตกต่างกันที่ขนาดความเข้มของภาพ สามารถคำนวณหาค่าความเปรียบต่างเปรียบเทียบที่ตำแหน่งเดียวกันได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความเปรียบต่างที่ตำแหน่งหนึ่งมุมตกกระทบแตกต่างกัน

Incidence angle (degree)	Contrast (1 position only)
45	0.778
50	0.944
55	0.905
60	0.721

และจากตารางที่ 4.2 พบว่าที่มุมตกกระทบ 50 องศาจะมีค่าความเปรียบต่างที่ตำแหน่งหนึ่งของภาพมากที่สุด และที่มุมตกกระทบ 55 องศาจะมีค่าความเปรียบต่างรองลงมา แต่ที่มุมตกกระทบ 45 และ 60 องศาจะมีค่าความเปรียบต่างน้อยกว่าที่มุม 50 องศาอย่างชัดเจน และเมื่อทำการเปรียบเทียบความเปรียบต่างแต่ละตำแหน่งที่ถัดกันไปทั้งหมด 29 ตำแหน่งตลอดทั้งแนวจากกราฟการกระจายความเข้มและนำมาแสดงผลเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเปรียบต่างกับลำดับตำแหน่งแสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเปรียบต่างกับลำดับตำแหน่งที่มุมตกกระทบ 45, 50, 55 และ 60 องศา

จากรูปที่ 4.10 พบว่าค่าความเปรียบต่างที่แต่ละตำแหน่งมีการกระจายแตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาค่าความเปรียบต่างโดยรวมของทั้งภาพแล้วจะเห็นว่า ความเปรียบต่างที่มุมตกกระทบ 50 องศาจะมีค่ามากกว่าที่มุมตกกระทบทั้ง 45, 55 และ 60 องศา แต่ที่มุมตกกระทบ 55 มีบางตำแหน่งที่มีค่าความเปรียบต่างมากกว่าที่มุม 50 องศา แต่เมื่อเปรียบเทียบจำนวนตำแหน่งที่มากกว่าทั้งหมด ที่มุมตกกระทบ 50 องศาจะมีจำนวนตำแหน่งมากกว่าคิดเป็น 60 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนจุดทั้งหมด และเมื่อคำนวณหาค่าความเปรียบต่างเฉลี่ยโดยรวมของทั้งภาพสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความเปรียบต่างเฉลี่ย โดยรวมของทั้งภาพที่มุมตกกระทบแตกต่างกัน

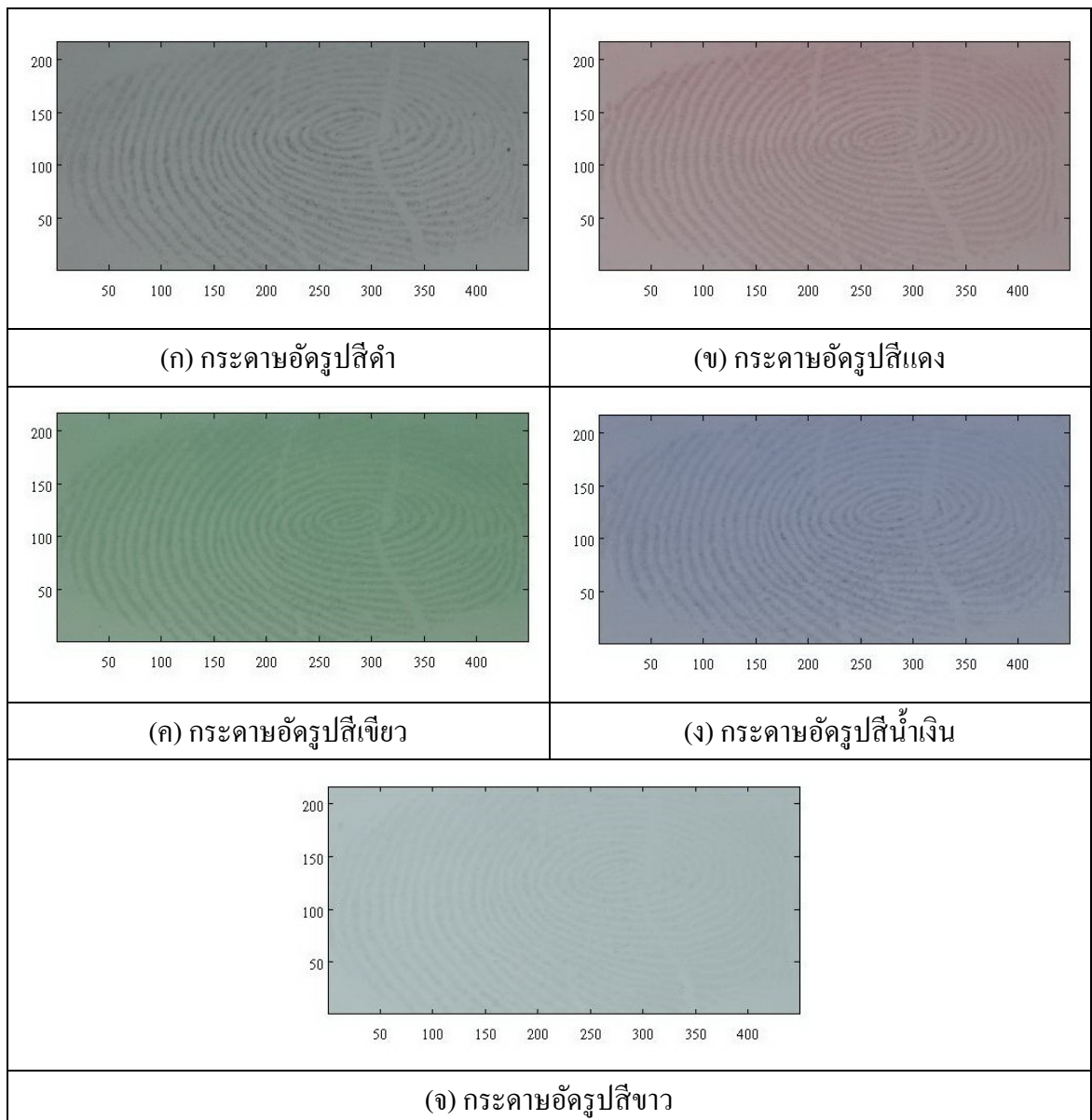
Incidence angle (degree)	Contrast (29 positions)
45	0.540
50	0.616
55	0.574
60	0.442

จากตารางที่ 4.3 พบว่าค่าความเปรียบต่างเฉลี่ยโดยรวมของทั้งภาพมีค่าสอดคล้องกับตารางที่ 4.2 ที่ทำการเปรียบเทียบเฉพาะที่ตำแหน่งหนึ่งของภาพเท่านั้น โดยมุมตกกระทบ 50 และ 60 องศาจะมีค่าความเปรียบต่างมากที่สุดและน้อยที่สุดตามลำดับ เพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบค่าความเปรียบต่างในแต่ละตัวแปรที่ทำการศึกษา จะทำการเปรียบเทียบโดยเลือกตำแหน่งที่เห็นชัดเจนที่ตำแหน่งเดียวกันเพียงตำแหน่งเดียวเท่านั้นตลอดการศึกษาทั้งหมด จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อแสงตกกระทบที่มุมตกกระทบใกล้เคียงกับมุมบรีวสเตอร์ แสงที่สะท้อนออกมาจากบริเวณพื้นผิวที่ไม่มีรอยนิ้วมือ จะมีความเป็นโพลาไรซ์ค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับบริเวณที่มีรอยนิ้วมือ ส่งผลต่อความเข้มของแสงที่สะท้อนออกมาทำให้เกิดความแตกต่างของค่าเปรียบต่างที่ตำแหน่งเดียวกันชัดเจนมากกว่าที่มุมตกกระทบเท่ากับมุมบรีวสเตอร์ซึ่งมีค่าประมาณ 50-60 องศา

4.6 ผลของสีพื้นแตกต่างกันภายใต้แสงขาว

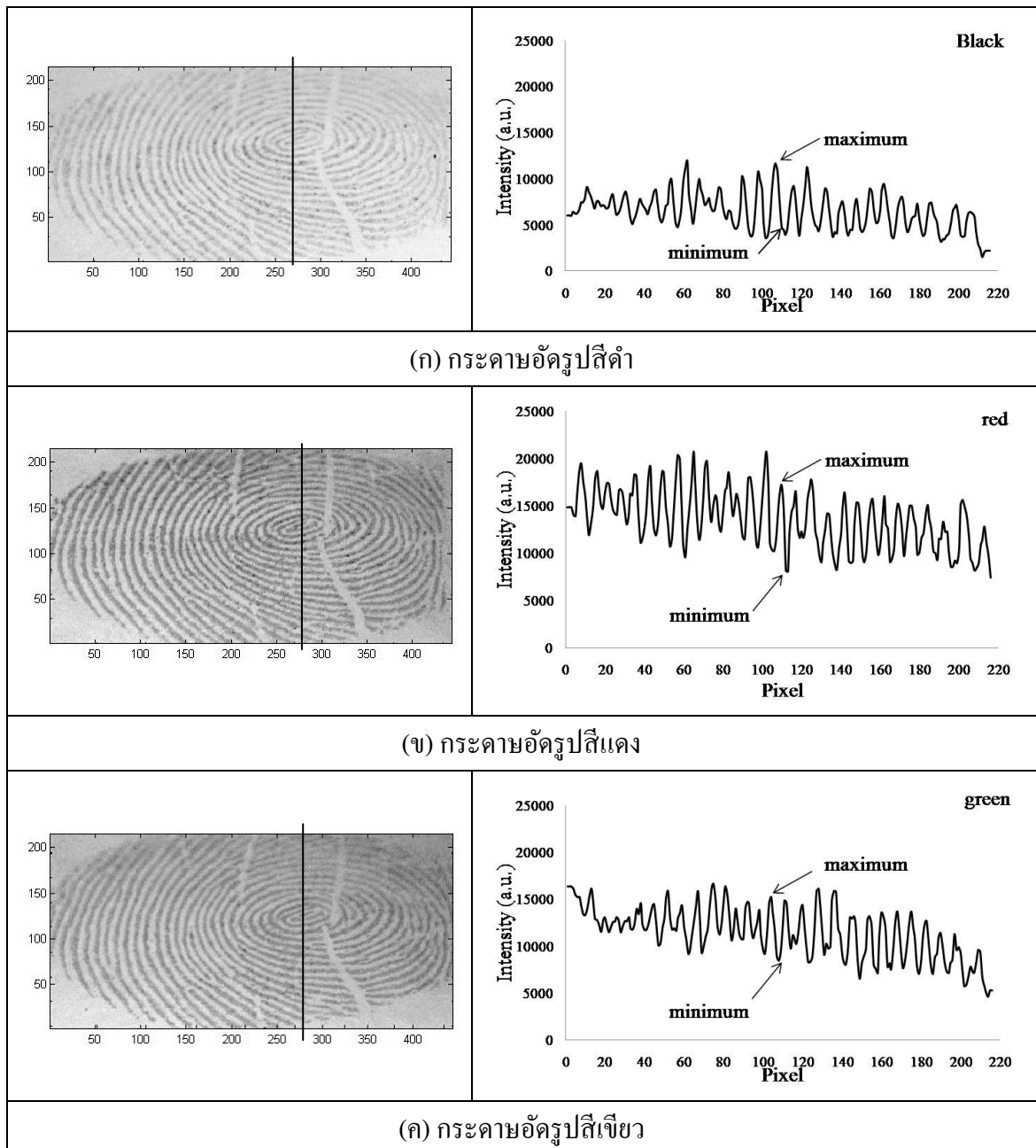
ในที่นี้จะใช้สีพื้นของกระดาษอัดรูปทั้งหมด 5 สี คือ สีดำ สีแดง สีเขียว สีน้ำเงินและสีขาว ในการศึกษาถึงผลของสีพื้นแตกต่างกัน โดยใช้หลอดไฟฟ้าคอมแพคฟลูออเรสเซนต์เป็นแหล่งกำเนิดแสงขาวผ่านแผ่นตัดเงาด้านหน้า ในที่นี้ใช้กำลังแสงขนาด 0.300 ไมโครวัตต์ เมื่อวัดกำลังแสงบริเวณ

ด้านหน้าพื้นผิวของกระดาษอัดรูปด้วยเครื่องอัดฟิล์มเพาเวอร์มิเตอร์ ทำมุมตกกระทบ 45 องศา ทำการถ่ายภาพขณะที่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมติดอยู่บริเวณด้านหน้ากล้อง ปรับให้แนวแกนเชิงเส้นของฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมวางตัวในแนวนอนกับระนาบของพื้นผิวกระดาษอัดรูปตลอดที่มีการใช้ฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม ดังรูปที่ 4.11 แสดงภาพต้นฉบับที่มีสีพื้นเป็นสีดำ สีแดง สีเขียว สีน้ำเงินและสีขาว ที่มุมตกกระทบ 45 องศาและขณะที่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม

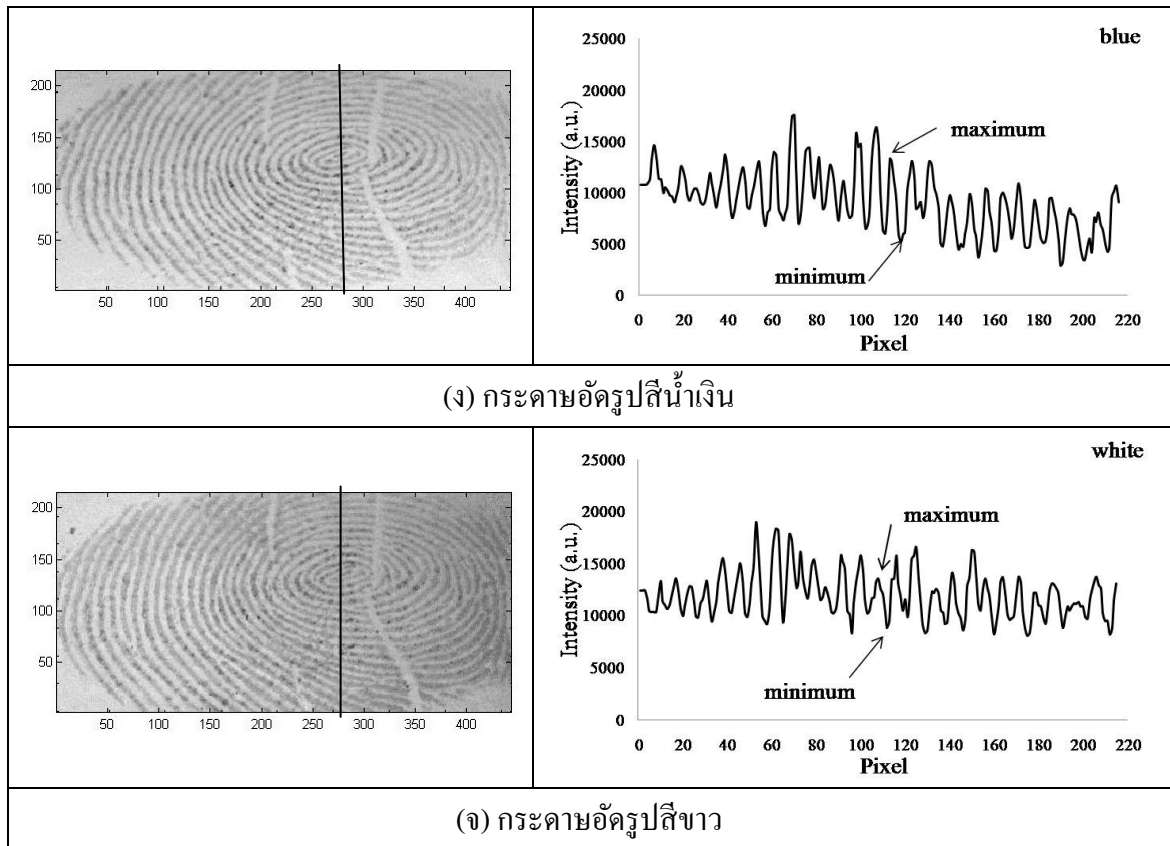


รูปที่ 4.11 แสดงภาพถ่ายต้นฉบับ เมื่อสีพื้นแตกต่างกันภายใต้แสงขาวที่มุมตกกระทบ 45 องศา และมีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม

จากรูปที่ 4.11 สีของภาพต้นฉบับจะมีความแตกต่างกันตามสีพื้น แสดงภาพระดับเทาและกราฟการกระจายความเข้มของภาพที่แต่ละตำแหน่งและคำนวณหาค่าความเปรียบต่างที่ตำแหน่งหนึ่งของภาพที่มุมตกกระทบ 45 องศา ขณะที่มิฟิเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมตามลำดับ ของสีพื้นสีดำ สีแดง สีเขียว สีน้ำเงินและสีขาว ได้ดังรูปที่ 4.12 ตามลำดับ



รูปที่ 4.12 แสดงภาพระดับเทาและกราฟการกระจายความเข้มที่ตำแหน่งเดียวกัน เมื่อสีพื้นแตกต่างกัน ภายใต้แสงขาวที่มุมตกกระทบ 45 องศา และมีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม



รูปที่ 4.12 (ต่อ) แสดงภาพระดับเทาและกราฟการกระจายความเข้มที่ตำแหน่งเดียวกัน เมื่อสีพื้นแตกต่างกันภายใต้แสงขาวที่มุมตกกระทบ 45 องศา และมีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม

จากรูปที่ 4.12 พบว่าการศึกษาถึงผลของสีพื้นแตกต่างกัน ระดับความเข้มของภาพเมื่อพิจารณาจากกราฟการกระจายความเข้มมีความแตกต่างกันและอาจจะมีค่าแตกต่างกันของข้อมูลการกระจายความเข้มบ้างเนื่องจากไม่ใช่รอยนิ้วมือรอยเดียวกันหรือบนกระดาษอัดรูปแผ่นเดียวกัน ดังนั้นในการคำนวณหาค่าความเปรียบต่างที่ตำแหน่งหนึ่งของภาพ อาจจะไม่เป็นตำแหน่งเดียวกันแต่อยู่บริเวณตรงกลางของแนวที่เลือกศึกษา สามารถคำนวณหาค่าความเปรียบต่างของสีพื้นแต่ละสีได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความเปรียบต่างที่ตำแหน่งหนึ่งของภาพเมื่อสีพื้นแตกต่างกัน

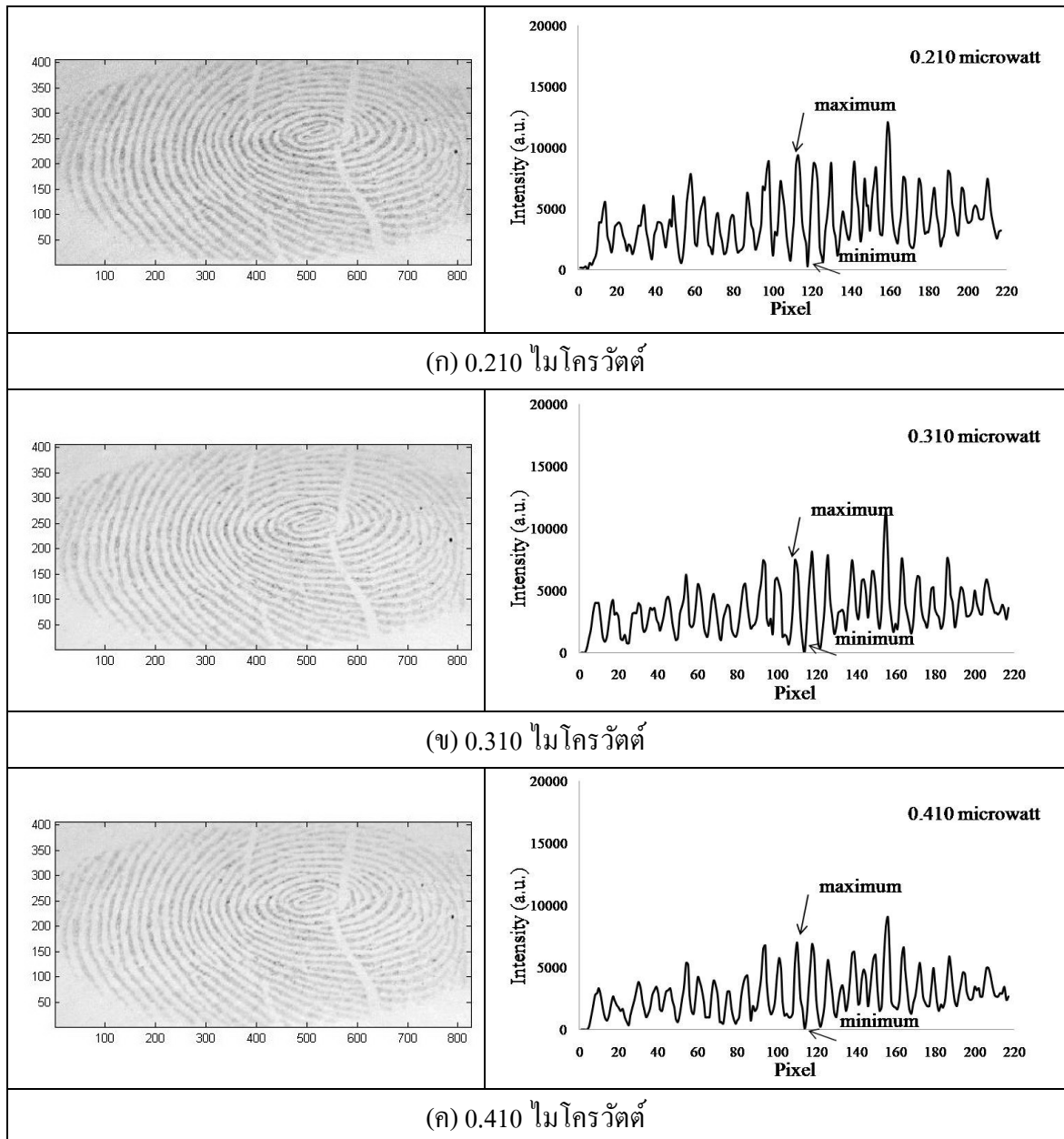
Color surface	Contrast
Black	0.496
Blue	0.436
Red	0.380
Green	0.258
White	0.235

จากตารางที่ 4.4 พบว่าพื้นผิวสีดำมีค่าความเปรียบต่างที่ตำแหน่งหนึ่งของภาพมากที่สุด รองลงมาคือสีน้ำเงิน สีแดง สีเขียว และสีขาวตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าพื้นผิวที่มีโทนสีเข้มจะมีความเปรียบต่างที่ตำแหน่งหนึ่งของภาพมากกว่าพื้นผิวที่มีโทนสีอ่อน เป็นผลเนื่องมาจากสีของคราบเหงื่อและคราบไขมันที่ปรากฏบนรอยนิ้วมือมีสีอ่อนและค่อนข้างขุ่น เมื่อปรากฏอยู่บนพื้นผิวที่มีสีใกล้เคียง ทำให้มีการดูดกลืนแสงและการสะท้อนแสงออกมาใกล้เคียงกันทั้งบริเวณที่มีและไม่มีรอยนิ้วมือ แสดงให้เห็นว่าผลของสีพื้นผิวที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อค่าความเปรียบต่างของภาพถ่ายลายนิ้วมือ

4.7 ผลของแสงขาวภายใต้กำลังแสงต่างกัน

ในการศึกษาถึงผลของแสงขาว โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดไฟฟ้าคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ผ่านแผ่นตัดเงาด้านหน้า ทำมุมตกกระทบ 45 องศา วัดกำลังแสงบริเวณด้านหน้าพื้นผิวกระดาษอัดรูปด้วยเครื่องออปติคัลเพาเวอร์มิเตอร์ ในที่นี้ใช้กระดาษอัดรูปสีดำ ได้กำลังแสงต่ำสุดและสูงสุดได้เท่ากับ 0.114 และ 0.500 ไมโครวัตต์ ทำการถ่ายภาพขณะที่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมติดอยู่บริเวณด้านหน้ากล้อง ปรับให้แนวแกนเชิงเส้นของฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมวางตัวในแนวขนานกับระนาบของพื้นผิวกระดาษอัดรูปตลอดที่ใช้ฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม ในขณะที่ปิดแสงขาวจากหลอดไฟที่ตกกระทบลงบนพื้นกระดาษอัดรูปสีดำที่มีรอยนิ้วมือแฝงอยู่ วัดกำลังแสงที่หน้าพื้นผิวได้เท่ากับ 0.114 ไมโครวัตต์ จะมองไม่เห็นภาพถ่ายลายนิ้วมือ จากนั้นใช้อุปกรณ์หรีไฟในการปรับค่าความเข้มแสงที่ตกกระทบลงบนพื้นผิวกระดาษอัดรูปเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.100 ไมโครวัตต์และทำการถ่ายภาพ จะได้ภาพถ่ายลายนิ้วมือแฝงที่มีกำลังแสงบริเวณด้านหน้าพื้นผิวของกระดาษอัดรูปที่แตกต่างกัน

กันจำนวน 3 ค่า คือ 0.210, 0.310, 0.410 ไมโครวัตต์ จากรูปที่ 4.13 แสดงภาพระดับเทาและกราฟการกระจายความเข้มของภาพที่แต่ละตำแหน่งและคำนวณหาค่าความเปรียบต่างเปรียบเทียบที่ตำแหน่งเดียวกันที่มุมตกกระทบ 45 องศาขณะมีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม ขณะที่กำลังแสงต่างกัน



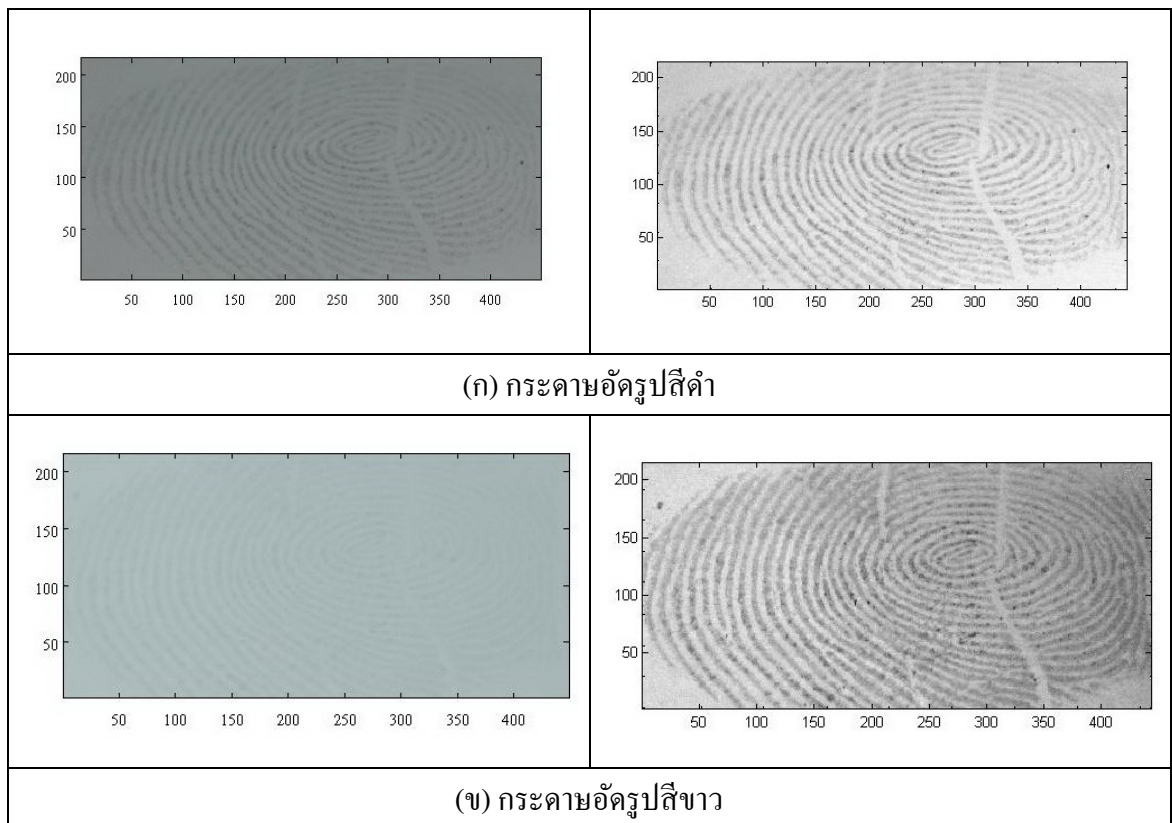
รูปที่ 4.13 แสดงภาพระดับเทาและกราฟการกระจายความเข้มที่แต่ละตำแหน่ง เมื่อความเข้มของแสงขาวที่หน้าพื้นผิวต่างกันที่มุมตกกระทบ 45 องศา และมีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม

จากรูปที่ 4.13 พบว่าความเปรียบต่างที่ตำแหน่งเดียวกันของภาพที่วัดกำลังแสงที่หน้าพื้นผิวได้เท่ากับ 0.210 และ 0.310 ไมโครวัตต์มีค่าเฉลี่ยเท่ากัน คือ 0.954 แต่ค่าความเปรียบต่างที่กำลังแสงที่หน้าพื้นผิว

0.410 ไมโครวัตต์มีค่าเฉลี่ยลดลงเท่ากับ 0.882 แสดงว่าการให้แสงที่มีความเข้มแสงมากขึ้น จะทำให้ภาพถ่ายที่ได้มีความสว่างมาก หากมีการเพิ่มความเข้มแสงมากขึ้นอีกอาจจะไม่สามารถสังเกตเห็นลายนิ้วมือจากภาพที่ถ่ายได้ แสดงให้เห็นว่า ความเข้มแสงมีผลต่อการถ่ายภาพพื้นผิวที่มีรอยนิ้วมือ

4.8 ผลของสีของแสงที่ตกกระทบแตกต่างกัน

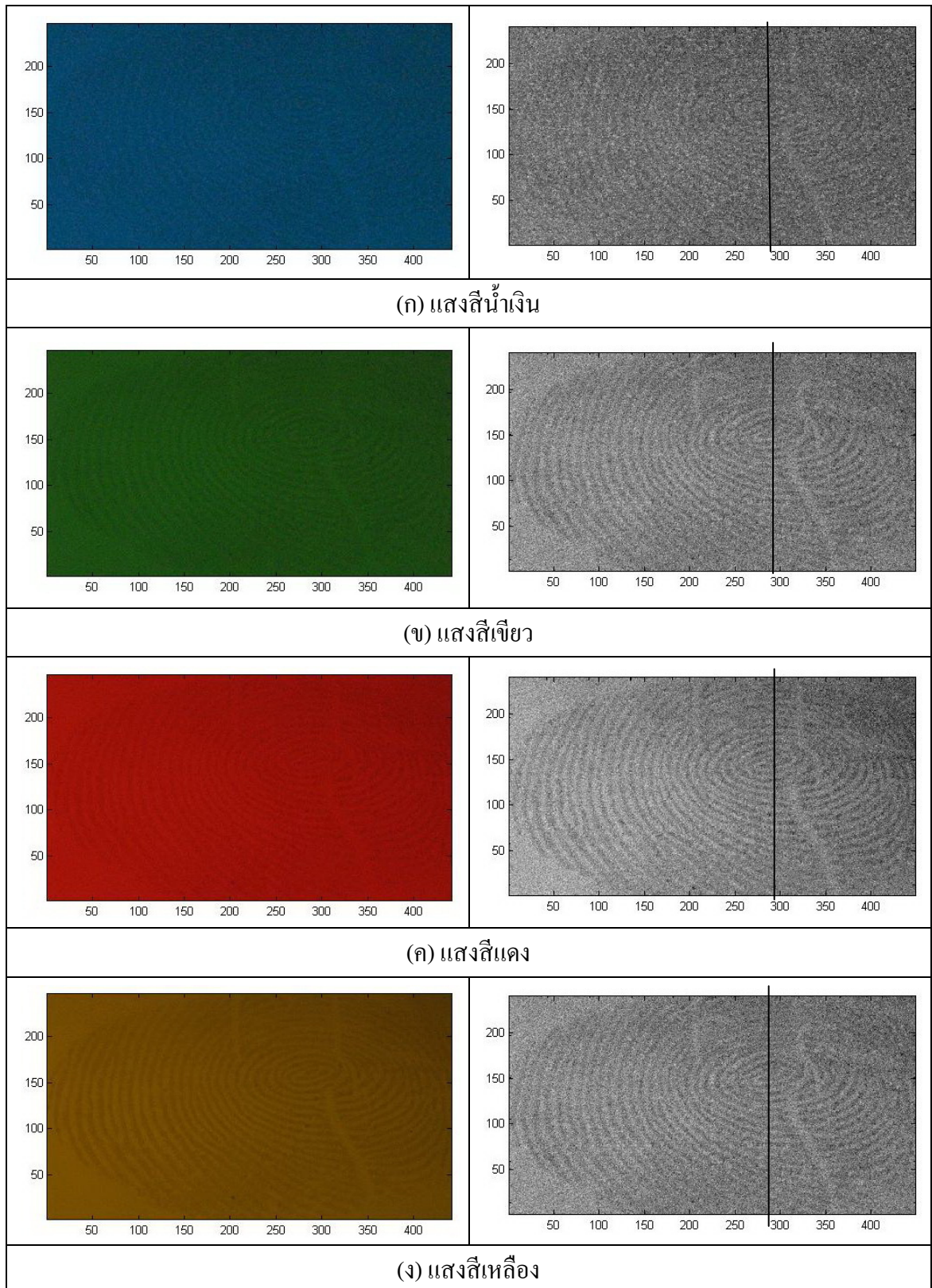
จากผลการทดลองก่อนหน้านี้ในการถ่ายภาพลายนิ้วมือจะใช้แสงสีขาวเป็นแหล่งกำเนิดแสง สามารถแสดงภาพต้นฉบับและภาพระดับเทาบนพื้นกระดาษอัดรูปสีดำและสีขาวได้ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แสดงภาพถ่ายต้นฉบับและภาพระดับเทา ภายใต้แสงขาวที่มุมตกกระทบ 45 องศา และมีฟیلเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม

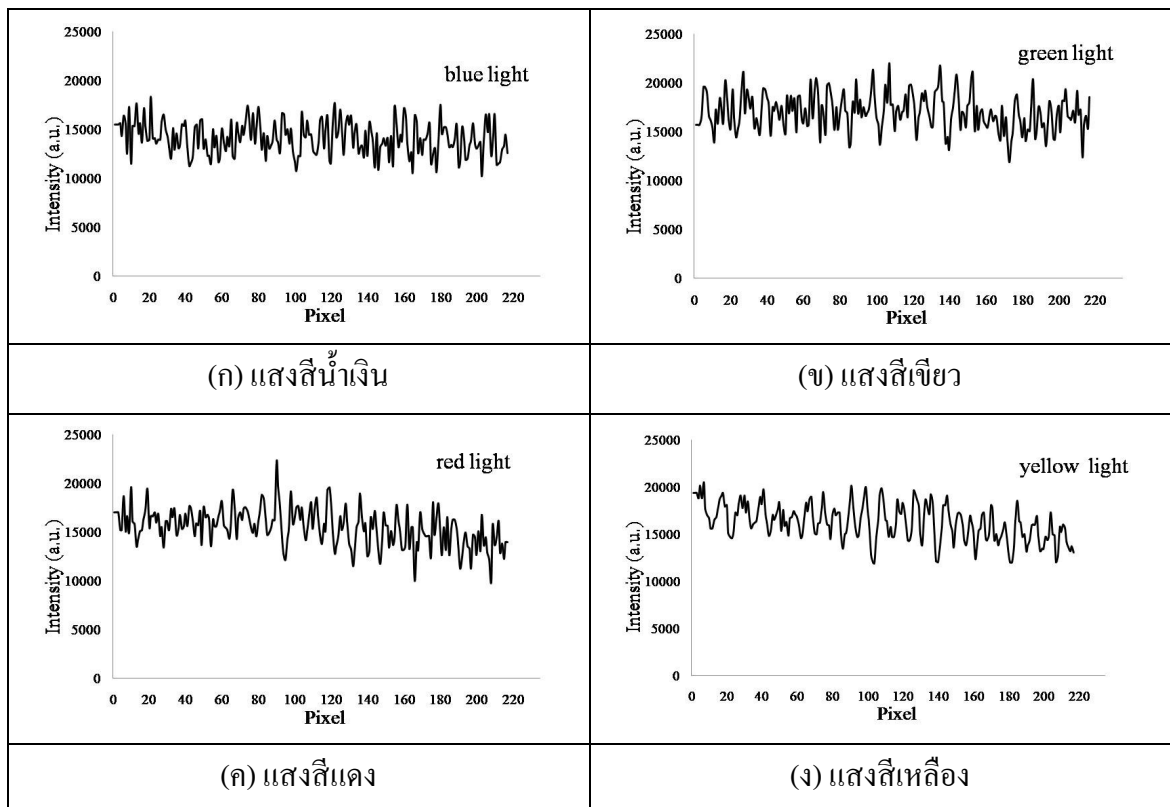
จากรูปที่ 4.14 จะสังเกตเห็นว่าภาพต้นฉบับและภาพระดับเทาสามารถแสดงลายเส้นนิ้วมือได้อย่างชัดเจน แต่ในส่วนนี้เราจะทำการเปลี่ยนสีของแหล่งกำเนิดแสงจากอุปกรณ์ที่สามารถหาได้ง่ายนั่นคือหลอดไฟสีต่างๆ ได้แก่หลอดไฟสีน้ำเงิน สีเขียว สีแดง สีเหลือง ที่กำลังแสงสูงสุดของหลอดไฟแต่ละสี ทำมุมตกกระทบ 45 องศา วัดกำลังแสงบริเวณด้านหน้าพื้นผิวของกระดาษอัดรูปด้วยเครื่องออปติ

คัลเพาเวอร์มิเตอร์ของแสงสีน้ำเงิน สีเขียว สีแดง สีเหลืองสูงสุดได้เท่ากับ 2.740, 2.660, 2.750, 3.870 ไมโครวัตต์ตามลำดับ ในที่นี้ใช้กระดาษอัดรูปสีดำและสีขาว แต่ไม่ได้มีการปรับความเข้มแสงที่ตกกระทบหน้าพื้นผิวให้มีค่าเท่ากันโดยการเปลี่ยนระยะระหว่างหลอดไฟไปยังพื้นผิว แต่เปลี่ยนเฉพาะหลอดไฟที่ให้กำเนิดแสงต่างกัน เนื่องจากการควบคุมให้ได้กำลังแสงตามที่ต้องการค่อนข้างยาก เพราะเป็นหลอดไฟคนละหลอดและค่ากำลังแสงมีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อย อีกทั้งยังต้องการที่จะควบคุมระยะห่างระหว่างหลอดไฟไปยังพื้นผิว และไม่ต้องการให้อุปกรณ์มีการขยับไปจากตำแหน่งเดิม เพราะประยุกต์ใช้เครื่องมือที่มีอยู่ทั่วไป ทำการถ่ายภาพขณะที่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมติดอยู่บริเวณด้านหน้ากล้อง ปรับให้แนวแกนเชิงเส้นของฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมวางตัวในแนวขนานกับระนาบของพื้นผิวกระดาษอัดรูปตลอดการใช้ฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมจะได้ภาพถ่ายลายนิ้วมือแฝงที่มีสีของแสงที่ตกกระทบแตกต่างกัน สามารถแสดงภาพต้นฉบับและภาพระดับเทาของแสงสีน้ำเงิน สีเขียว สีแดง สีเหลืองตามลำดับ ที่มุมตกกระทบ 45 องศา ขณะที่ฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมบนกระดาษอัดรูปสีดำได้ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 แสดงภาพถ่ายดันฉบับและภาพระดับเทาของกระดาดรูปสี่ดำ เมื่อสีของแสงที่ตกกระทบแตกต่างกันที่มุมตกกระทบ 45 องศา และมีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม

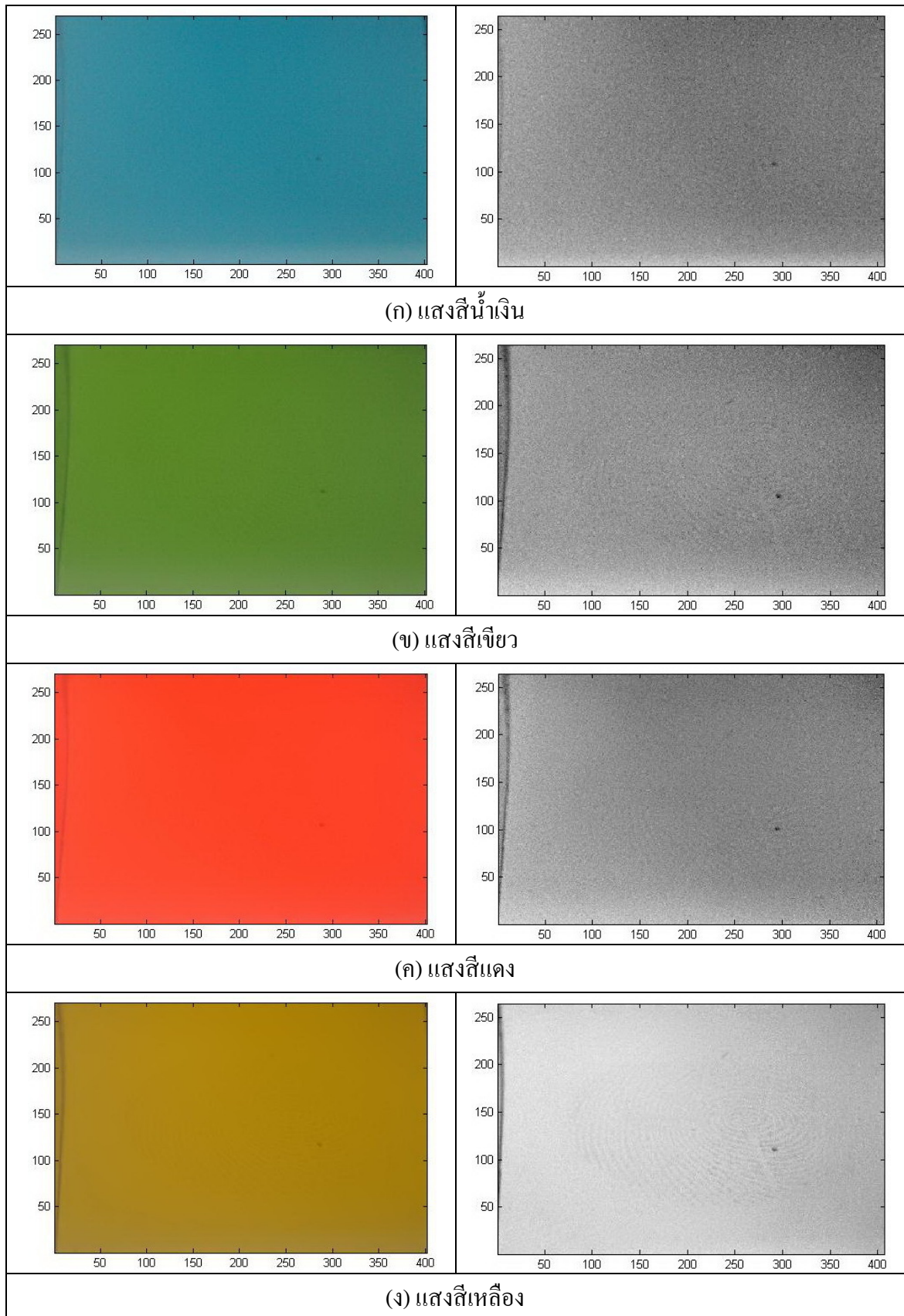
จากรูปที่ 4.15 พบว่าภาพถ่ายต้นฉบับสามารถมองเห็นลายนิ้วมือได้แต่ไม่ค่อยชัดเจนมากนักบนพื้นผิวของกระดาษอัดรูปสีดำ แต่เมื่อทำการแปลงไปเป็นภาพระดับเทา ทุกๆ สีของแสงที่ตกกระทบสามารถมองเห็นลายนิ้วมือได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น พอที่จะสามารถแยกแยะลายเส้นได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับภาพถ่ายต้นฉบับและภาพระดับเทาภายใต้แหล่งกำเนิดแสงขาว จะเห็นว่าภายใต้แหล่งกำเนิดแสงขาว ภาพถ่ายต้นฉบับและภาพระดับเทาสามารถแสดงลายเส้นนิ้วมือได้ชัดเจนมากกว่าแสงสีต่างๆ ดังรูปที่ 4.14 ก่อนหน้า และสามารถแสดงกราฟการกระจายความเข้มเมื่อสีของแสงที่ตกกระทบแตกต่างกันได้ ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 แสดงกราฟการกระจายความเข้มของกระดาษอัดรูปสีดำ เมื่อสีของแสงที่ตกกระทบแตกต่างกัน ที่มุมตกกระทบ 45 องศา และมีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม

จากรูปที่ 4.16 กราฟกระจายความเข้มของแต่ละตำแหน่งของแสงสีน้ำเงิน สีเขียวและสีแดง มีความแตกต่างระหว่างความเข้มสูงสุดและความเข้มต่ำสุดค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่ความแตกต่างระหว่างความเข้มสูงสุดและความเข้มต่ำสุดของแสงสีเหลืองจะมีค่ามากกว่า แต่ไม่สามารถคำนวณหาความเปรียบต่างที่ตำแหน่งใดๆ ของภาพได้ ทำนองเดียวกันเมื่อให้สีของแสงที่ตกกระทบเช่นเดียวกันตกกระทบลงบนกระดาษอัดรูปสีขาวที่มีรอยนิ้วมืออยู่ สามารถแสดงภาพต้นฉบับและภาพระดับเทาของ

แสงสีน้ำเงิน สีเขียว สีแดง สีเหลืองตามลำดับ ที่มุมตกกระทบ 45 องศา ขณะที่มิฟเตอร์โพลาไรซ์
แบบวงกลมได้ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 แสดงภาพถ่ายต้นฉบับและภาพระดับเทาของกระดาศอค์รูปสี่ขาว เมื่อสีของแสงที่ตกกระทบแตกต่างกันที่มุมตกกระทบ 45 องศา และมีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม

จากรูปที่ 4.17 พบว่าภาพถ่ายต้นฉบับแทบจะไม่สามารถมองเห็นลายนิ้วมือได้เลย ทำให้ไม่สามารถที่จะตัดภาพเฉพาะบริเวณที่มีรอยนิ้วมืออยู่ได้ จึงทำการตัดภาพให้ครอบคลุมพื้นที่ที่มีรอยนิ้วมืออยู่แทน แต่เมื่อแปลงไปเป็นภาพระดับเทา ภาพระดับเทาของแสงตกกระทบบสีเหลือง สีแดง สามารถมองเห็นได้ว่าบริเวณใดที่มีรอยนิ้วมืออยู่ โดยภาพระดับเทาของแสงตกกระทบบสีเหลืองมีความสว่างของภาพมากที่สุด แต่ทุกสีของแสงที่ตกกระทบบไม่สามารถแยกแยะลายเส้นได้อย่างชัดเจน ทำให้ไม่สามารถหาค่าความเปรียบต่างที่ตำแหน่งใดๆ ของภาพได้ แสดงให้เห็นว่าสีของแสงที่ตกกระทบบและสีของพื้นผิวมีผลต่อภาพถ่ายที่ได้ เนื่องจากการดูดกลืนแสงและการสะท้อนแสงที่แตกต่างกัน จากการวิเคราะห์ผลการทดลองก่อนหน้านี้ทั้งหมดทำให้สามารถสรุปเกี่ยวกับสีของแสงที่ตกกระทบบได้ว่า สีของแสงที่ตกกระทบบที่สามารถถ่ายภาพลายนิ้วมือได้ชัดเจนที่สุดคือ แสงสีขาว และผลการทดลองในส่วนนี้ยังสอดคล้องกับผลการทดลองที่ผ่านมาในการศึกษาผลของสีพื้นที่แตกต่างกันภายใต้แสงขาว ที่ว่าพื้นผิวที่มีความเข้มมากกว่าจะสามารถถ่ายภาพลายนิ้วมือได้ชัดเจนมากกว่า

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาและออกแบบการถ่ายภาพลายนิ้วมือแฝง ด้วยวิธีการทางแสงโดยอาศัยหลักการสะท้อนแบบสเปกคูลาและโพลาไรเซชันในการจัดชุดอุปกรณ์การถ่ายภาพ จะต้องใช้แหล่งกำเนิดแสงและจัดมุมตกกระทบที่เหมาะสมเพื่อทำการถ่ายภาพลายนิ้วมือแฝงให้ได้ภาพที่มีความสมบูรณ์และชัดเจนของภาพมากที่สุด และในการประมวลผลภาพถ่ายดิจิทัลยังสามารถเพิ่มคุณภาพของภาพได้มากขึ้น เมื่อพิจารณาจากความเปรียบต่างของภาพสามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

- การแปลงภาพถ่ายดิจิทัลจากภาพต้นฉบับไปเป็นภาพระดับเทา ทำให้ความเข้มของภาพถ่ายลดลง แต่สามารถเพิ่มความแตกต่างของความเข้มของบริเวณที่มีและไม่มีรอยนิ้วมือหรือความเปรียบต่างของภาพได้มากขึ้น
- มุมตกกระทบของแสงไปยังพื้นผิวที่มีรอยนิ้วมือ ที่มุมตกกระทบใกล้เคียงกับมุมบรีวสเตอร์ แสงที่สะท้อนออกมาจากพื้นผิวจะมีความเป็นโพลาไรซ์ค่อนข้างสูง ทำให้ภาพถ่ายลายนิ้วมือมีความคมชัดและความเปรียบต่างมากที่สุด
- การถ่ายภาพลายนิ้วมือโดยมีฟิลเตอร์โพลาไรซ์บริเวณด้านหน้ากล้องจะทำให้แสงที่ผ่านเข้าสู่กล้องเป็นแสงโพลาไรซ์และช่วยลดปริมาณแสงที่เข้าสู่กล้อง แต่สามารถเพิ่มความเปรียบต่างของภาพถ่ายลายนิ้วมือได้
- ภาพถ่ายลายนิ้วมือแสงบนพื้นผิวที่มีโทนสีเข้ม จะมีความคมชัดและความเปรียบต่างของภาพถ่ายมากกว่าพื้นผิวที่มีโทนสีอ่อน
- แหล่งกำเนิดแสงชนิดเดียวกัน (แสงขาว) การให้แสงที่มีความเข้มหรือความสว่างมากไป ทำให้ภาพถ่ายลายนิ้วมือมีความคมชัดลดลงและความเปรียบต่างมีค่าลดลงหรืออาจจะไม่สามารถถ่ายภาพลายนิ้วมือได้
- แหล่งกำเนิดแสงสีต่างกันที่มีความเข้มหรือความสว่างใกล้เคียงกันทำให้ภาพถ่ายลายนิ้วมือของแสงที่มีสีค่อนข้างสว่างและอ่อนจะสามารถสังเกตเห็นลายนิ้วมือได้ดีกว่าแสงที่มีสีเข้มและแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมต่อการถ่ายภาพลายนิ้วมือมากที่สุด คือ แหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนางานวิจัย

ข้อเสนอแนะ

- การจัดชุดอุปกรณ์การถ่ายภาพลายนิ้วมือแฝงที่มีมาตรฐานมากยิ่งขึ้น สามารถเปลี่ยนมุมตกกระทบของแสงให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด
- ในการศึกษาตัวแปรที่รอยนิ้วมือแต่ละตัวแปรไม่ใช่รอยนิ้วมือรอยเดียวกัน เช่น การศึกษาถึงสีพื้นที่แตกต่างกัน จะต้องมีการควบคุมคุณภาพของรอยนิ้วมือ ควรมีการศึกษาแรงกดของนิ้วมือ ถ้าแรงกดมีค่าแตกต่างกันลักษณะของลายเส้นที่เกิดขึ้นจะมีความแตกต่างกันอย่างไร และส่งผลต่อกราฟการกระจายความเข้มของภาพในแต่ละตำแหน่งอย่างไร เพื่อให้ได้ลักษณะการปรากฏของรอยนิ้วมือที่เหมาะสมต่อการนำไปศึกษาที่แต่ละตัวแปรที่เกี่ยวข้อง อาจจะมีการปรับสภาพของสารไดอิเล็กทริกบนนิ้วมือให้เท่ากันด้วยการทาน้ำมัน โลชั่นหรือซีฟี่ง้นับกระดาศ (fingertip moistener)
- การศึกษาสีของแสงที่ตกกระทบที่แตกต่างกัน ควรศึกษาเพิ่มเติมโดยให้ความเข้มแสงที่ตกกระทบหน้าพื้นผิวตัวอย่างมีค่าเท่ากัน และทำการถ่ายภาพรอยนิ้วมือบนพื้นผิวสีต่างๆ กันเพิ่มมากขึ้น ทั้งสีพื้นผิวที่ตรงและไม่ตรงกับสีของแสงที่ตกกระทบ
- ทำการศึกษาลักษณะและการเปลี่ยนแปลงรอยนิ้วมือ เมื่อมีการวางไว้ในสภาพแวดล้อมปกติบนพื้นผิวต่างๆ ในระยะเวลาหนึ่งซึ่งอาจจะมีคราบฝุ่นมาเกาะเพิ่มมากขึ้น

แนวทางในการพัฒนา

- ศึกษาภาพถ่ายรอยนิ้วมือบนพื้นผิวที่มีการเปลี่ยนแปลงของรอยนิ้วมือเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไปที่ระยะเวลาต่างๆ ว่าลักษณะของภาพถ่ายและกราฟการกระจายความเข้มของภาพมีความแตกต่างกันอย่างไร
- ทำการถ่ายภาพลายนิ้วมือบนพื้นผิวของวัสดุอื่นๆ เพิ่มมากขึ้น เพื่อดูผลของตัวแปรต่างๆ ที่ได้ทำการศึกษาผ่านมา
- ศึกษาความโค้งของพื้นผิวที่มีรอยนิ้วมือ ที่รัศมีความโค้งมากที่สุดเท่าใดที่จะสามารถถ่ายภาพลายนิ้วมือแฝงได้และมีผลมากน้อยต่อความถูกต้องอย่างไร
- ศึกษาวิธีการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความแปรปรวนของทั้งภาพได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง
- ศึกษาการวิเคราะห์เชิงปริมาณที่ได้เพื่อนำไปเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับรอยนิ้วมือต้องสงสัย (identify)

เอกสารอ้างอิง

1. Lin, A.C.Y., Hsieh, H.M., Tsai, L.C., Linacre, A. and Lee, J.C.I., 2007, "Forensic Applications of Infrared Imaging for the Detection and Recording of Latent Evidence", **Journal of Forensic Sciences**, Vol. 52, No. 5, pp. 1,148-1,150.
2. Menzel, E.R., 1979, "Laser Detection of Latent Fingerprints-Treatment with Phosphorescers", **Journal of Forensic Sciences**, Vol. 24, No. 3, pp. 582-585.
3. Menzel, E.R. and Fox, K.E., 1980, "Laser Detection of Latent Fingerprints: Preparation of Fluorescent Dusting Powders and the Feasibility of a Portable System", **Journal of Forensic Sciences**, Vol. 25, No. 1, pp. 150-153.
4. Cem, M., 2002, **Utilization of Ultraviolet Light for Detection and Enhancement of Latent Prints** [Online], Available : http://www.forensicscience.pl/pfs/51_cubuk.pdf [2011, September 5].
5. Demos, S.G., and Alfano, R.R., 1997, "Optical Fingerprinting using Polarization Contrast Improvement", **Electronics Letters**, Vol. 33, No. 7, pp. 582-584.
6. Lin, S., Yenelyanov, K.M., Pugh, E.N. and Engheta, N., 2006, "Polarization and Specular-Reflection-Based, Non-contact Latent Fingerprint Imaging and Lifting", **Journal of the Optical Society of America A**, Vol. 23, No. 9, pp. 2,137-2,153.
7. มยุรี กิตติเดชาชาญ, ทศวัฒน์ คัมภีระพันธุ์, เดิมพงศ์ พงษ์ประดิษฐ์ และวีรพล จิรจิต, 2552, "การอ่านค่าระยะเวลาแห้งของสีน้ำมันโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล", **การประชุมวิชาการโครงการอุตสาหกรรมและวิจัยสำหรับนักศึกษาปริญญาตรี ระดับชาติ, ครั้งที่ 1, 27-29 มีนาคม 2552, กรุงเทพฯ**, หน้า 195-199.
8. Jackson, A.R.W. and Jackson, J.M., 2004, **Forensic Science**, Pearson Education Limited, Harlow, pp. 80-94.

9. ไพพิศร์นิวัติ ภักดีกุล, 2537, **ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับหลักการสืบสวนและการพิสูจน์หลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์**, คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่, หน้า 91-105.
10. Hecht, E., 2002, **Optics**, 4th ed., Addison Wesley, San Francisco, pp. 117, 120.
11. ปีมรุ้ง, 2554, **ชนิดของกล้องดิจิตอลและข้อควรรู้** [Online], Available :
<http://www.bloggang.com/mainblog.php?id=peakroong&month=31-01-2011&group=67&gblog=3> [2013, March 4].
12. วัชรพงศ์ ทิพย์มณเฑียร, 2555, **ประเภทของกล้องถ่ายรูป** [Online], Available :
<http://www.dekmaha.com/ประเภทของกล้องถ่ายรูป> [2013, March 4].
13. Photohang, 2555, **แนะนำฟิลเตอร์ filter พื้นฐานที่ควรมี** [Online], Available :
<http://www.photohang.com/แนะนำ-ฟิลเตอร์-filter-พื้นฐานที่ควรมี> [2013, March 4].
14. ตะวัน พันธุ์แก้ว, 2554, **คู่มือถ่ายภาพด้วยกล้อง DSLR ฉบับสมบูรณ์**, โปรวิชั่น, กรุงเทพฯ, หน้า 13.
15. Busch, D.D., 2009, **Digital SLR Cameras & Photography for Dummies**, 3rd ed., Wiley Publishing, New Jersey, p. 36.
16. Goldberg, N., 1992, **Camera Technology: the Dark Side of the Lens**, Academic Press, Boston, pp. 140-147.
17. PHYWE, n.d., **Polarization by Quarterwave Plate** [Online], Available :
<http://w3.ualg.pt/~rguerra/FEII/quarterwave.pdf> [2012, May 24].
18. Green, W.B., 1993, **Introduction to Electronic Document Management Systems**, Academic Press, Boston, p. 156.

19. Galbiati, L.J., 1990, **Machine Vision and Digital Image Processing Fundamentals**, Prentice Hall, New Jersey, pp. 58-60.
20. Chaira, T. and Ray, A.K., 2010, **Fuzzy Image Processing and Applications with MATLAB**, CRC Press, Boca Raton, pp. 45-47.
21. Filmetrics, 2012, **Refractive Index of Polyethylene, PE** [Online], Available :
<http://www.filmetrics.com/refractive-index-database/Polyethylene/PE-Polyethene> [2013, May 1].

ภาคผนวก ก

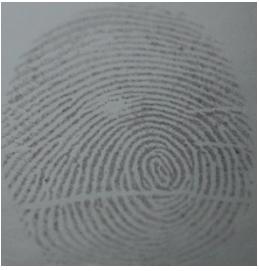
การศึกษาคูณสมบัติของฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม

การศึกษาคุณสมบัติของฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม

ในส่วนของการใช้ฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมหน้ากล้องถ่ายภาพดิจิทัลนั้น ได้มีการศึกษาคุณสมบัติของตัวฟิลเตอร์ดังนี้

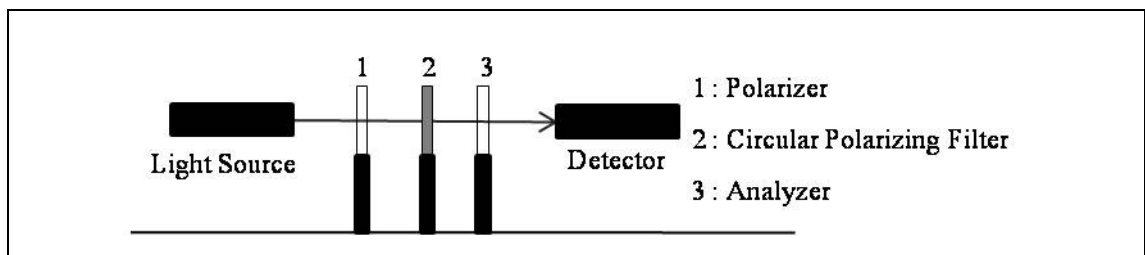
- ถ่ายภาพลายนิ้วมือเมื่อหมุนฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมครั้งละ 30 องศาจากแนวที่ถูกกำหนดไว้ เพื่อดูคุณสมบัติการตัดแสงของฟิลเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงไป
- หาแกนโพลาไรเซอร์เชิงเส้นและทำสัญลักษณ์บอกไว้
- ทดสอบฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม เมื่อให้แสงโพลาไรซ์เชิงเส้นผ่านฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม และวัดค่าความเข้มของแสงที่มุมของอานาไลเซอร์ค่าต่างๆ จากชุดทดลองในห้องปฏิบัติการทัศนศาสตร์ เรื่อง Polarization by Quarterwave Plates [17] นอกจากนั้นทำการวัดค่าความเข้มแสงที่สะท้อนที่ออกมาจากพื้นผิวที่มีรอยนิ้วมือและไม่มีรอยนิ้วมือบนกระจกสไลด์ ในระนาบโพลาไรซ์ของสนามไฟฟ้าขนานกับระนาบตกกระทบ เพื่อดูความแตกต่างของการสะท้อนของแสงของพื้นผิวที่มีลายนิ้วมือ

1. ถ่ายภาพลายนิ้วมือเมื่อหมุนฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม บริเวณหน้ากล้องครั้งละ 30 องศา จากแนวที่กำหนดไว้เพื่อดูคุณสมบัติการตัดแสงของฟิลเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงไป จากรูป ผ.1 ความเข้มของภาพถ่ายมีการเปลี่ยนแปลงไป แสดงให้เห็นว่าฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมสามารถตัดแสงที่สะท้อนออกจากพื้นผิวใดๆ ที่เข้าสู่กล้องดิจิทัลบางส่วนออกไปได้ และเมื่อหมุนฟิลเตอร์ไปจนครบ 180 องศา ความเข้มของภาพถ่ายที่ได้เมื่อหมุนไปอีก 180 องศา มีความเข้มเช่นเดียวกับในตอนแรก

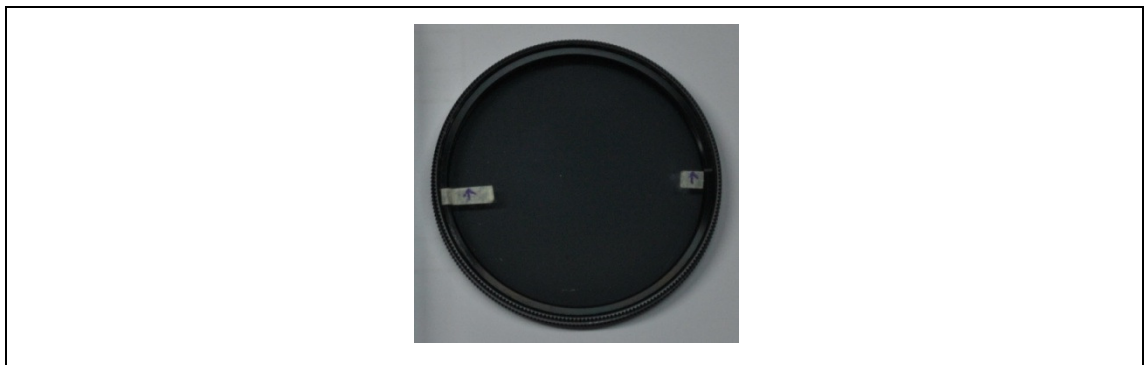
			
(1) 30 องศา	(2) 60 องศา	(3) 90 องศา	(4) 120 องศา
			
(5) 150 องศา	(6) 180 องศา	(7) 210 องศา	(8) 240 องศา
			
(9) 270 องศา	(10) 300 องศา	(11) 330 องศา	(12) 360 องศา

รูปที่ ก.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มของภาพเมื่อหมุนฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมบริเวณหน้ากล้องครั้งละ 30 องศาตามลำดับ

2. หาแกนโพลาไรเซอร์เชิงเส้นและทำสัญลักษณ์บอกไว้ เมื่อพิจารณาถึงโครงสร้างของฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม พบว่าประกอบด้วยชิ้นส่วนสองชิ้นส่วนประกอบกัน คือ โพลาไรเซอร์เชิงเส้นวางทำมุม 45 องศา กับแกนทัศน (optic axis) ของแผ่นเลี้ยวคลื่น (quarter-wave plate) โดยเมื่อทำการถ่ายภาพ แสงจะสะท้อนจากวัตถุและผ่านโพลาไรเซอร์เชิงเส้นก่อนเสมอ จึงจัดชุดอุปกรณ์ดังรูป ผ.2 โดยให้แสงผ่านโพลาไรเซอร์ ไปยังฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม ผ่านไปยังอนาไลเซอร์ที่มีแกนโพลาไรซ์เชิงเส้นขนานกับโพลาไรเซอร์ เข้าสู่ตัวรับแสงที่แสดงค่าของความเข้มแสงออกมาเป็นความต่างศักย์ไฟฟ้า จากนั้นหมุนฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม จนกว่าไม่มีแสงผ่านเข้าสู่ตัวรับแสงหรือมีค่าน้อยที่สุด เมื่อทดลองปรับจะได้ค่าความต่างศักย์ที่น้อยที่สุดเท่ากับ 0.1 โวลต์ ที่จุดนี้แสดงให้เห็นว่าแกนของโพลาไรเซอร์และแกนของโพลาไรเซอร์เชิงเส้นของฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมตั้งฉากกัน ทำสัญลักษณ์บอกแนวแกนไว้ที่ฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมดังรูป ผ.3

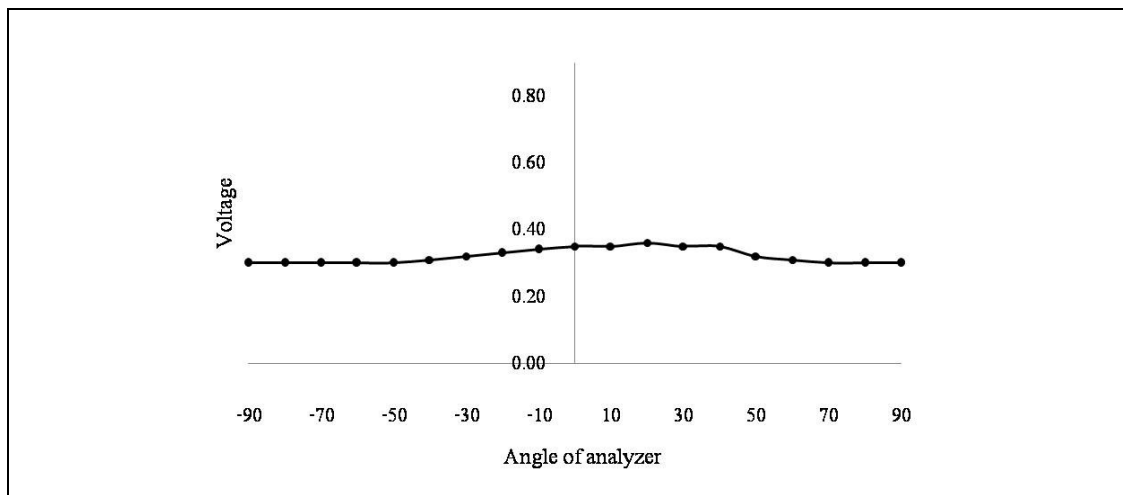


รูปที่ ก.2 แสดงการจัดชุดอุปกรณ์การศึกษาคูณสมบัติของฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม



รูปที่ ก.3 แสดงการทำสัญลักษณ์บอกแนวแกนของโพลาไรเซอร์เชิงเส้นของฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม

3. ทดสอบฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม เมื่อให้แสงโพลาไรซ์เชิงเส้นผ่านฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม และวัดค่าความเข้มของแสงที่มุมของอนาไลเซอร์ค่าต่างๆ จากชุดการทดลอง Polarization by Quarterwave Plates จากข้อที่ 2 ก่อนหน้า เมื่อหมุนโพลาไรเซอร์ไปอีก 90 องศา แกนโพลาไรเซอร์เชิงเส้นของโพลาไรเซอร์และฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมจะขนานกัน และเมื่อแสงผ่านจากโพลาไรเซอร์ไปฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม แสงที่ออกมาจะมีโพลาไรซ์แบบวงกลม วัดค่าความเข้มแสงออกมาเป็นความต่างศักย์ที่อนาไลเซอร์ทำมุมระหว่าง -90 ถึง 90 องศา แสดงผลดังรูปที่ ผ.4 พบว่ากราฟที่ได้สามารถแสดงถึงคุณสมบัติของแสงโพลาไรซ์แบบวงกลมจริง เนื่องจากแสงโพลาไรซ์แบบวงกลมเมื่อทำการวัดค่าความเข้มแสงที่อนาไลเซอร์ทำมุมค่าใด จะมีค่าเท่ากัน เนื่องจากความสมมาตรของแสงโพลาไรซ์แบบวงกลม



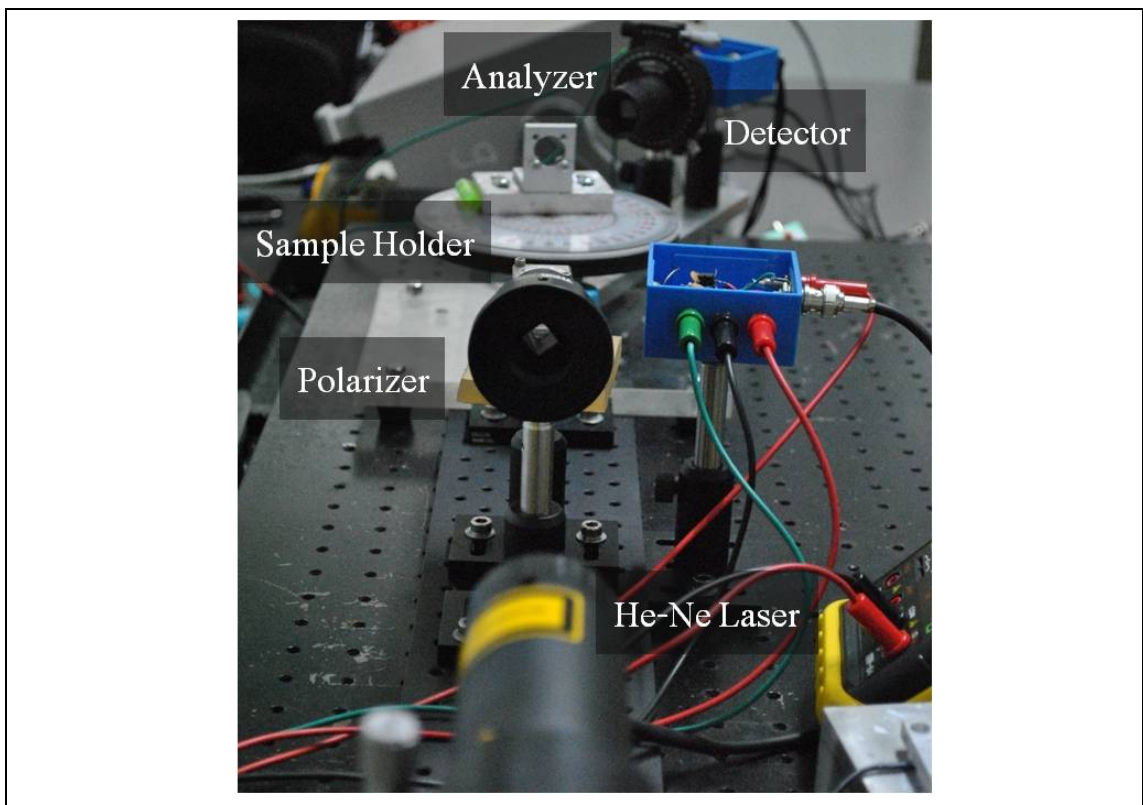
รูปที่ ก.4 แสดงกราฟความเข้มของแสงที่วัดได้ในรูปของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มุมระหว่างโพลาไรเซอร์เชิงเส้นและอนาไลเซอร์ -90 ถึง 90 องศา ขณะมีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมคั่นกลาง

ภาคผนวก ข

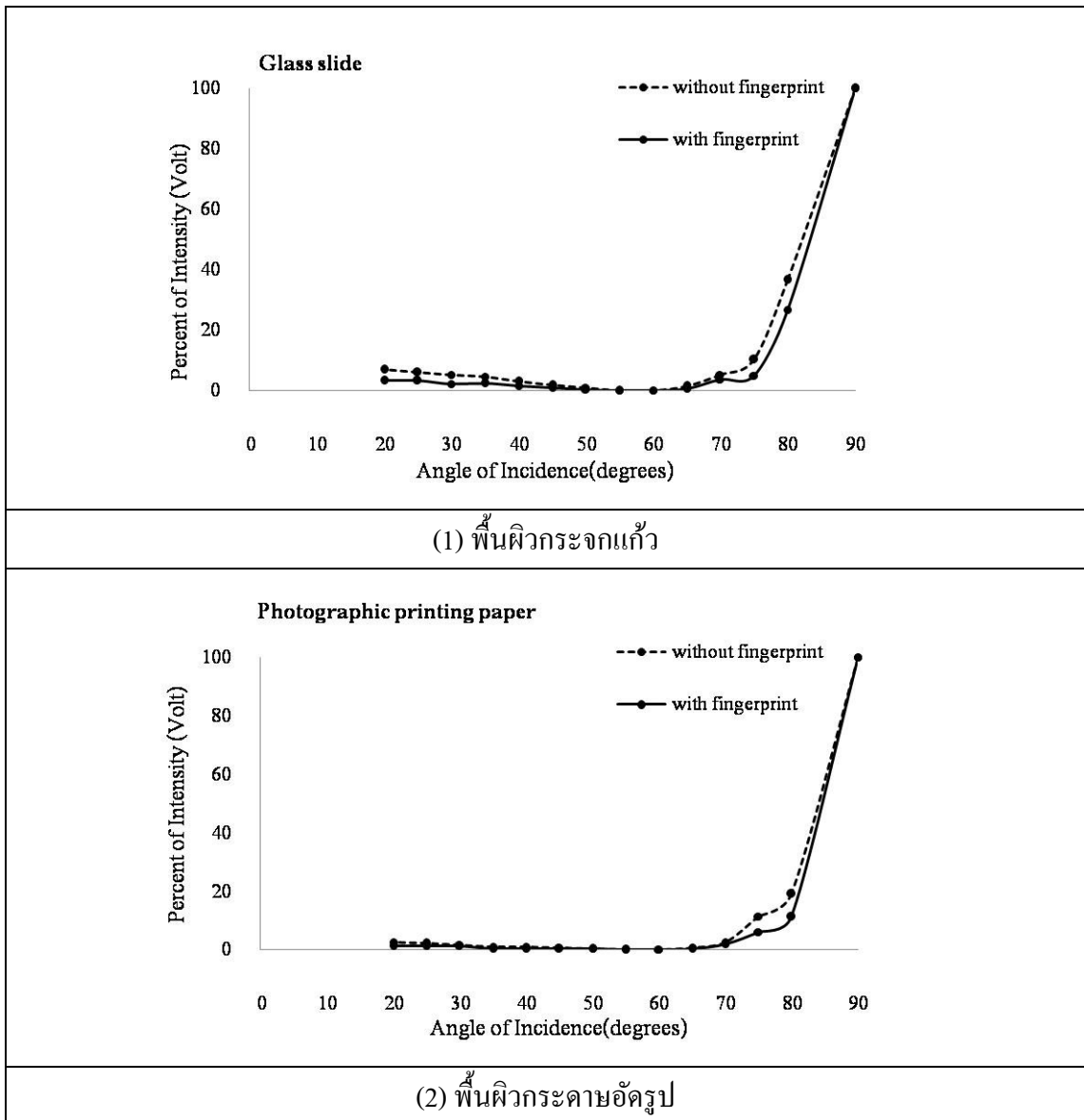
การสะท้อนของแสงบนพื้นผิวที่มีรอยนิ้วมือและไม่มีรอยนิ้วมือ

การสะท้อนของแสงบนพื้นผิวที่มีรอยนิ้วมือและไม่มีรอยนิ้วมือ

เมื่อแสงตกกระทบบนพื้นผิวที่ไม่เรียบจะเกิดการสะท้อนของแสงแบบกระจาย (diffuse reflection) แต่ในพื้นผิวที่เรียบจะเกิดการสะท้อนแบบปกติ (specular reflection) ในการเปรียบเทียบการสะท้อนของแสงบนพื้นผิวที่มีรอยนิ้วมือและไม่มีรอยนิ้วมือ มีการจัดอุปกรณ์ดังรูป ผ.5 โดยให้แสงฮีเลียม-นีออนเลเซอร์ผ่านโพลาไรเซอร์ตกกระทบบนพื้นผิวตัวอย่างและสะท้อนออกไปยังตัวรับแสงที่มีอนาไลเซอร์อยู่ด้านหน้า ในที่นี้จะตั้งให้แกนเชิงเส้นของโพลาไรเซอร์และอนาไลเซอร์วางตัวในแนวที่ขนานกับระนาบตกกระทบบนเพื่อวัดค่าความเข้มแสงในระนาบโพลาไรซ์ของสนามไฟฟ้าขนานกับระนาบตกกระทบบน วัดค่าความเข้มแสงที่สะท้อนออกมาจากพื้นผิวที่มีรอยนิ้วมือและไม่มีรอยนิ้วมือบนพื้นผิวกระจกแก้วและกระดาษอัดรูปรวมทั้งหมด 4 ตัวอย่าง เพื่อดูความแตกต่างของการสะท้อนของแสงบนพื้นผิวและแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มแสง ดังรูป ผ.6



รูปที่ ข.1 แสดงการจัดอุปกรณ์เพื่อดูการสะท้อนของแสงบนพื้นผิวที่มีรอยนิ้วมือและไม่มีรอยนิ้วมือ



รูปที่ ข.2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มแสงและมุมตกกระทบของบริเวณพื้นผิวที่มีรอยนิ้วมือและไม่มีรอยนิ้วมือ

บริเวณพื้นผิวที่มีรอยนิ้วมือจะมีเปอร์เซ็นต์ความเข้มแสงที่สะท้อนลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับพื้นผิวที่ไม่มีรอยนิ้วมือ และเมื่อใช้ฉากรับแสงที่สะท้อนออกมาจากพื้นผิวที่มีลายนิ้วมือ จะพบว่าการกระเจิงของแสงมากกว่าขณะที่ไม่มีลายนิ้วมือ แสดงให้เห็นว่า พื้นผิวที่มีรอยนิ้วมือจะเกิดการสะท้อนแบบกระจาย แต่การสะท้อนของแสงยังคงเป็นไปตามหลักการสะท้อนของเฟรสเนล นอกจากนั้นที่มุมตกกระทบระหว่าง 50-60 องศา เปอร์เซ็นต์แสงที่สะท้อนในแนวขนานกับระนาบตกกระทบมีค่าใกล้เคียงศูนย์ทั้งการสะท้อนที่มาจากพื้นผิวกระจกแก้วและกระดาษอัดรูป แสดงให้เห็นว่ามุมบริวสเตอร์ น่าจะ

มีค่าอยู่ที่ประมาณ 50-60 องศา แต่ในการเปลี่ยนมุมที่ตกกระทบ อาจมีความคลาดเคลื่อนบ้างเล็กน้อย
เนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ในขณะที่ทำการวัดค่าความเข้มแสง

ภาคผนวก ค

เอกสารการตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการระดับชาติ

Proceedings of the 38th Congress on Science and Technology of Thailand



CONTRAST ENHANCEMENT OF LATENT FINGERPRINT IMAGE BASED ON POLARIZED SPECULAR REFLECTION

Sutassana Orsathit, Mayuree Hansupanusorn*

Department of Physics, Faculty of Science, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140, Thailand

e-mail: mayuree.kit@kmutt.ac.th

Abstract: The non-contact optical method to captured fingerprint images using polarized specular reflection for increasing the contrast of latent fingerprint was presented. The experimental setup was constructed with conventional white light bulb directed with different incident angles onto the smooth surface. Latent fingerprint was deposited on non-absorbing and non-porous photo paper. Image of the fingerprint was collected by digital camera with circular polarizing (CPL) filter in front of lens. Conventional digital fingerprint images were recorded by digital camera, analyzed, and transformed to the gray scale images by MATLAB program. Results from the digitized intensity profile across vertical lines on the gray scale image showed that the contrast of fingerprint image collected with CPL filter was 100-350% higher than that without CPL filter. The best contrast was obtained when using CPL filter and the incident/reflection angle of about 45 degree.

Introduction: In forensic science, finger marks or fingerprints are widely used for identifying person. The ridges of the skin tend to leave a dielectric residue on a surface touched by a finger (shown in Fig.1). The residue area and non-residue area come from ridges and furrows respectively. There are two types of fingerprints distinguishable by their formation process. The first is an exemplar fingerprint which is obtained by human finger directly. The other is latent fingerprints which is obtained from crime scene very difficult to see under ordinary viewing conditions and has lower quality than the exemplar ones. Most of the techniques used to discover the latent fingerprint will destroy the sample surface. Such techniques bring the examined object into contact with applying powder or cyanoacrylate fuming. Therefore, the non-invasive optical method to imaging the latent fingerprint has been developed. The optical method can collect and store digital images from the crime scene without the need of applying powder and controlled darkroom operation. Demos and Alfano [1] found that the use of linear polarized-light illumination in the optical scanner was able to give the scanned fingerprint images with higher quality and contrast and the enhanced contrast can be clearly observed through the intensity profile. Lin, et al [2] showed that images of the latent fingerprint at a crime scene can be obtained digitally using camera equipped with linearly polarized light in a specular reflection configuration. In this work, we presented the latent fingerprint image collecting system using circular polarizing (CPL) light source and the specular reflection condition, and coupled with the image transformation into the gray scale type prior to contrast analyzing. The effect of having CPL filter and changing specular reflection angle on the quality and contrast of the fingerprint image was studied.

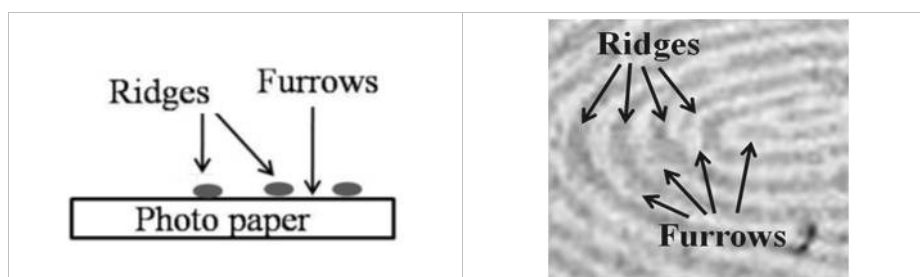


Figure 1. Diagram and photo of the fingerprint deposit.

Methodology: The experiment setup for latent fingerprint image collecting system was arranged as shown in Fig.2. The experiment was setup under regular room light. A white light source (compact fluorescent bulb) equipped with a diffuser plate was illuminated onto a photo paper containing latent fingerprint pattern. The incident angle of light source was oriented at 30, 45 and 75 degree, equals to the viewing (reflection) angle of the camera. A CPL filter was mounted in front of the camera for taking a completely polarized light. The obtained conventional digital image files (as shown in Fig.3a) were transformed into the gray scale image files (as shown in Fig.3b) using the MATLAB program. The “Gelquest” program (free software used for analysis of the contrast of DNA fingerprints) was used to create the intensity profile along a selected vertical line (as shown in Fig.3c) on the gray scale image. The contrast (C) values were calculated from the values of consecutive maximum ($I_{\max}$) and minimum ($I_{\min}$) values along the intensity profile [1] using the relation:

$$C = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (1)$$

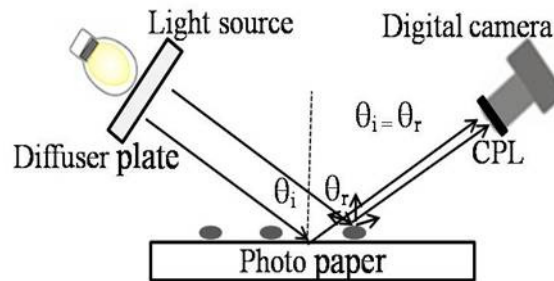


Figure 2. Schematic diagram of the experimental setup.

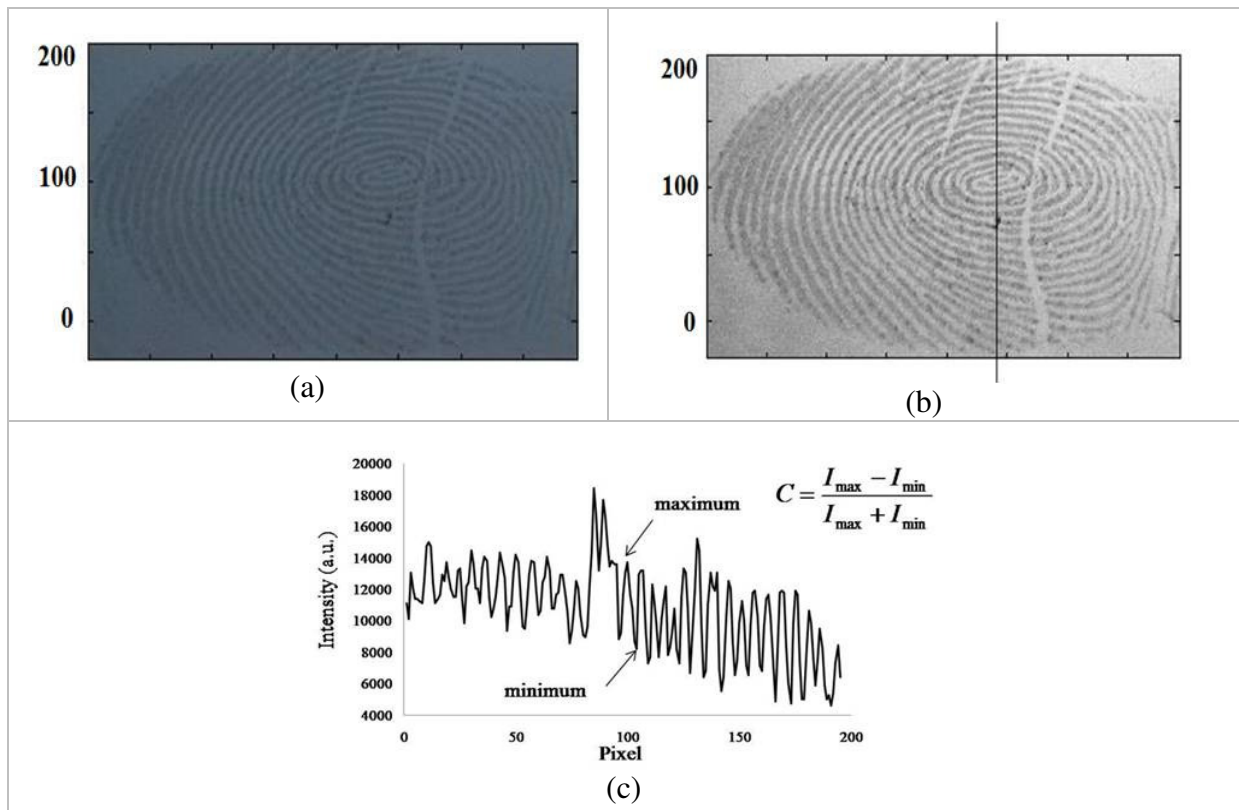


Figure 3. (a) Original fingerprint image, (b) gray scale image, and (c) the intensity profile along the vertical line shown in (b).

Results, Discussion and Conclusion:

Transformation of the original image into the gray scale image

The original image of latent fingerprint deposited on the photo paper (Fig.3a) was not clear. It was difficult to distinguish the non-residue area (furrows) and residue area (ridges) by naked eyes. After transforming the digital original image into the gray scale image, the overall reflected intensity was lower but the peak height between the minimum and maximum was widening (as shown in Fig.4). This indicated that the gray scale image of latent fingerprint had lower brightness but significantly improved contrast.

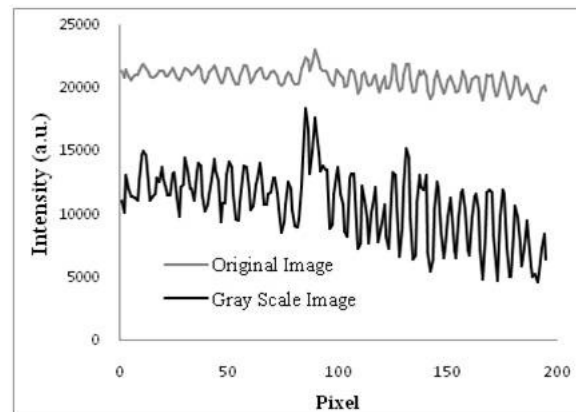


Figure 4. Intensity profiles of the original image and gray scale image.

Effect of the incident angles

The image of latent fingerprint on photo paper was captured at three different incident angles (30, 45 and 75 degree) without using CPL filter. The results of the images and their corresponding intensity profiles are shown in Fig.5. It was found that clear and complete images were obtained at 30 and 45 degree. The image obtained at 75 degree (Fig.5c) was blurred and the part of fingerprint pattern was lost. This was probably due to low surface reflection as the incident beam is near grazing angle which yields low surface details, and also some contribution of non-reflected light source that may directly enter the detector which causes high brightness and the blurred image. Considering at the center area of the image, the contrast of the image at incident angle of 30 and 45 degree was 0.191 and 0.214, respectively, while that at 75 degree was only about 0.06-0.10.

Effect of the circular polarizing filter

The effect of adding circular polarized light on the image contrast was shown in Fig.6. The intensity profiles for both at 45 and 30 degree incident light clearly indicated that the images obtained with CPL filter gave less reflected signal (less brightness) but higher contrast (larger difference between the maximum and minimum for consecutive peak in the profile). The calculated contrast values at the center position of the image (at about 100th pixel) at incident angle of 45 degree with CPL filter, $C_{45,CPL} = 0.252$ vs. that without CPL filter, $C_{45} = 0.214$, and the contrast at 30 degree with CPL filter, $C_{30,CPL} = 0.248$ vs. that without CPL filter, $C_{30} = 0.191$.

To quantify the degree of contrast enhancement, the contrast ratios for incident angle of 45 and 30 degree ($C_{30,CPL}/C_{30}$ and $C_{45,CPL}/C_{45}$) at various pixels along the vertical line were plot (as shown in Fig.7). The results showed that CPL filter can enhances the image contrast (having the contrast ratio > 1) in any position along the vertical line. Enhancement of 150-300% and 150-200 % was obtained at the incident angle of 30 and 45 degree, respectively.

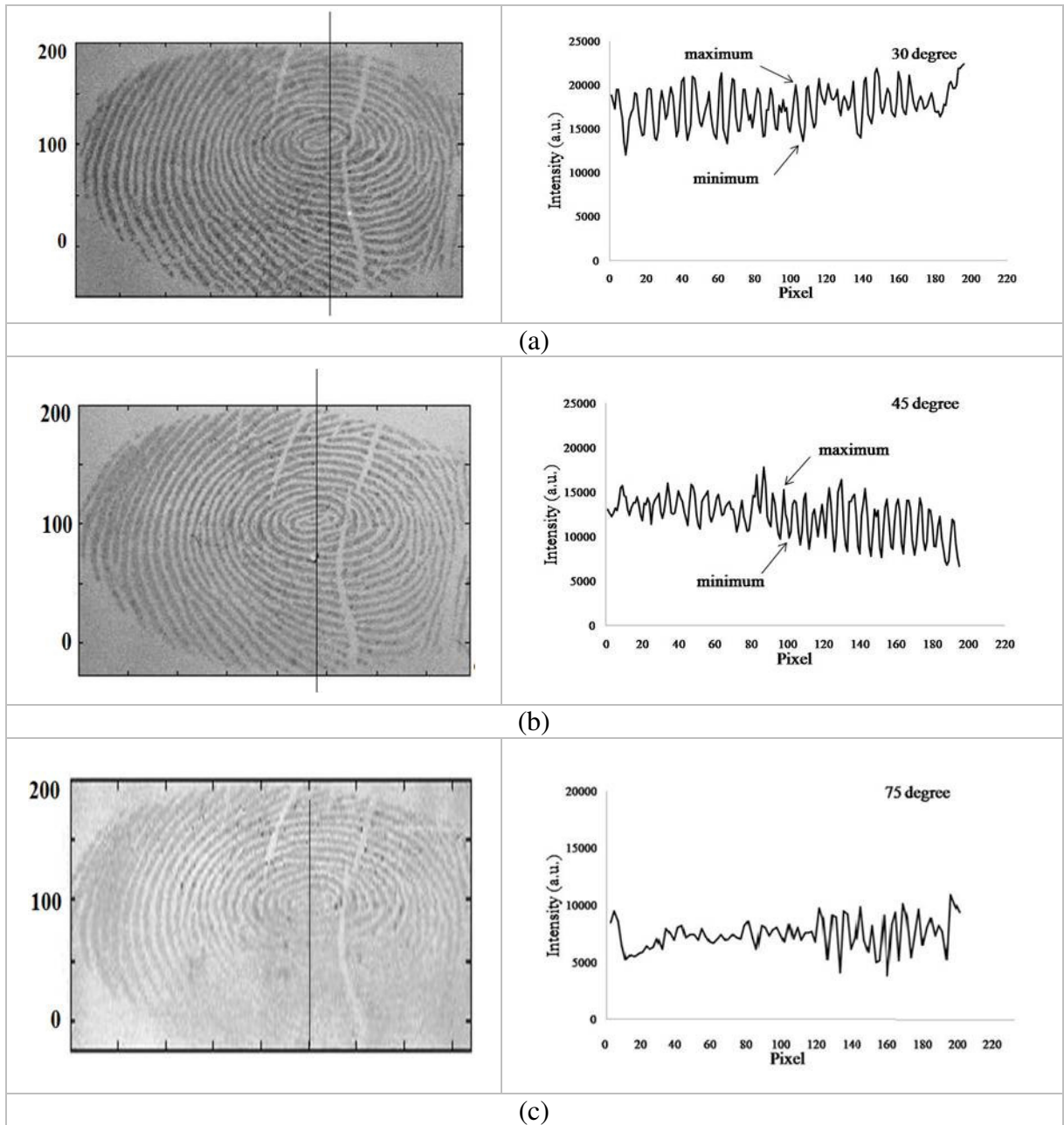


Figure 5. Gray scale fingerprint images and their corresponding intensity profiles without CPL at different incident angle: (a) 30, (b) 45 and (c) 75 degree.

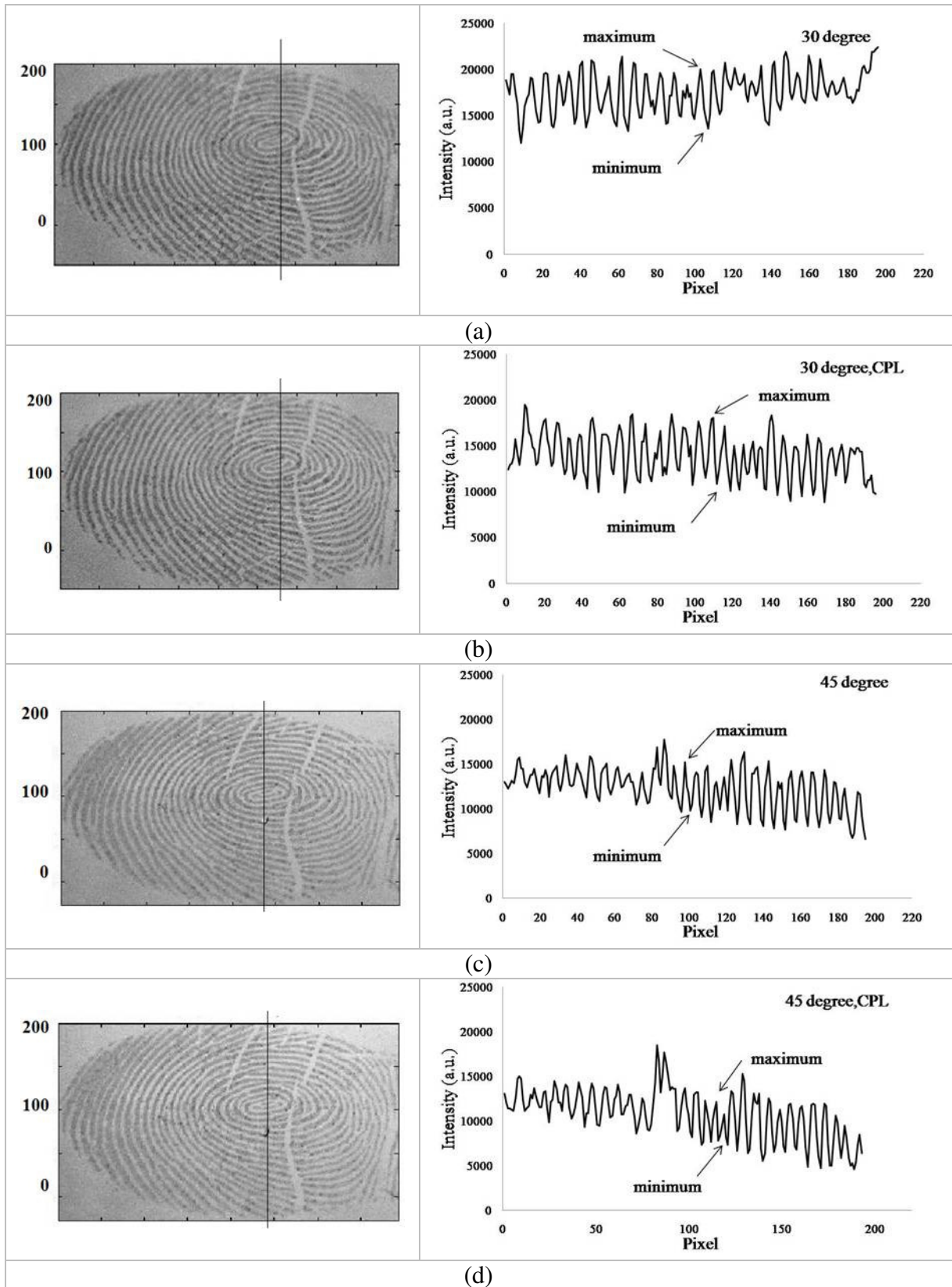


Figure 6. Gray scale images and their corresponding intensity profiles at incident angles of 30 and 45 degree: (a, c) without CPL filter and (b, d) with CPL filter.

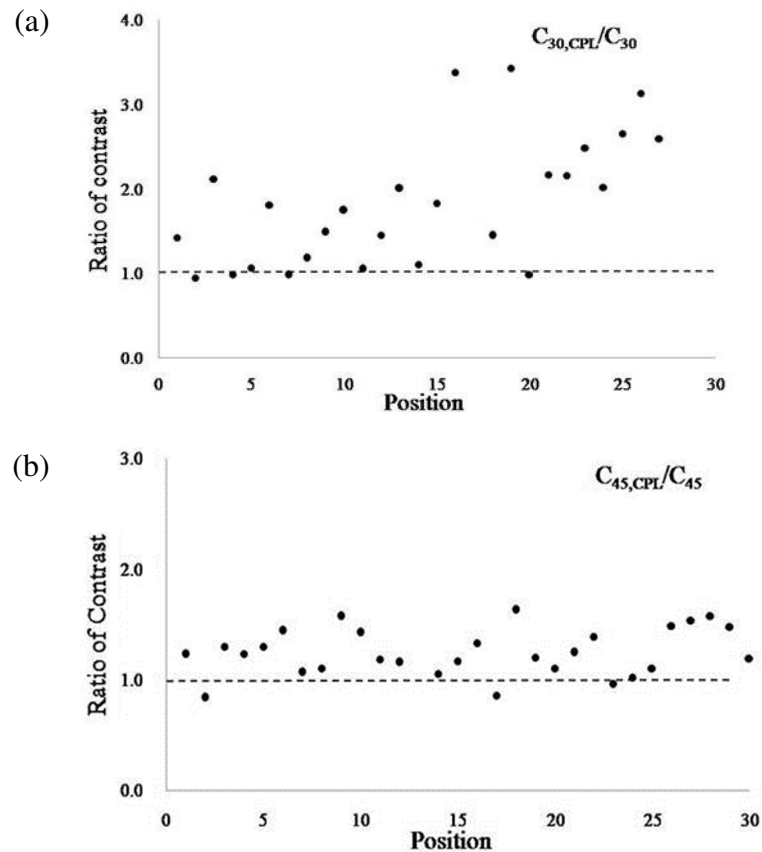


Figure 7. Ratio of contrast $C_{30,CPL}/C_{30}$ and $C_{45,CPL}/C_{45}$ obtained from the image with incident angles of (a) 30 degree and (b) 45 degree.

Summary

The latent fingerprint images were digitally collected using circular polarizing light in the specular reflection condition. It was found that clear and complete fingerprint images were obtained at incident angle of 30 and 45 degree while image obtained at 75 degree was blurred and the part of fingerprint pattern was lost. Adding CPL filter yields image with higher contrast (100-350% enhancement) and the best contrast was obtained when using CPL filter and the incident/reflection angle of about 45 degree.

References:

1. Demos SG, Alfano R. Electronics Letters: 1997; 33: 582-584.
2. Lin S, Yemelyanov K, Pugh E, Engheta N. Journal of the Optical Society of America A: 2006; 23: 2137-2153.

Acknowledgement:

This work was partially supported by the Graduate Financial Support from the faculty of Science, KMUTT.

Keywords:

Latent fingerprint, polarized light, specular reflection, gray scale image.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล

นางสาวสุทัสนา อ้อสถิตย์

วัน เดือน ปีเกิด

5 พฤศจิกายน 2530

ประวัติการศึกษา

ระดับมัธยมศึกษา

มัธยมศึกษาตอนปลาย

โรงเรียนสตรีวัดอัมพรสวรรค์ พ.ศ. 2548

ระดับปริญญาตรี

วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

มหาวิทยาลัยมหิดล พ.ศ. 2552

ระดับปริญญาโท

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2555

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

Sutassana Orasathit and Mayuree Hansupanusorn, 2012,

“Contrast Enhancement of Latent Fingerprint image Based on

Polarized Specular Reflection”, **The Congress on Science and**

Technology of Thailand (STT 38), October 17-19, Chiang Mai,

Thailand.