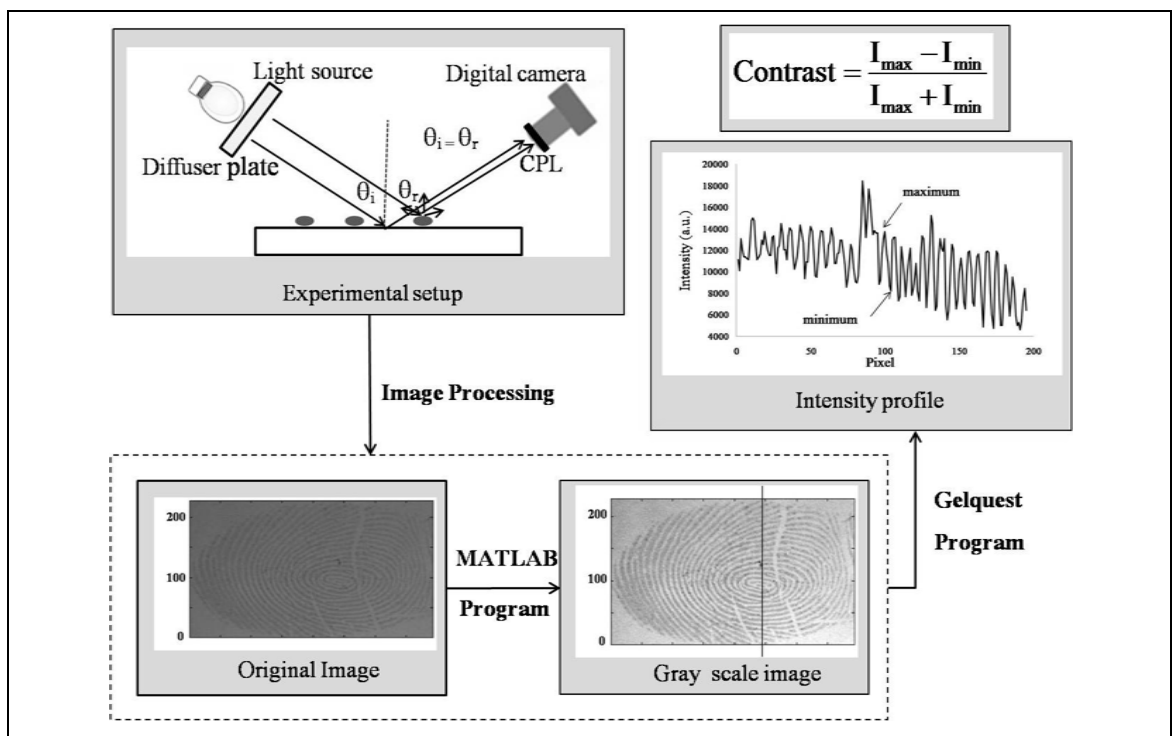


บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

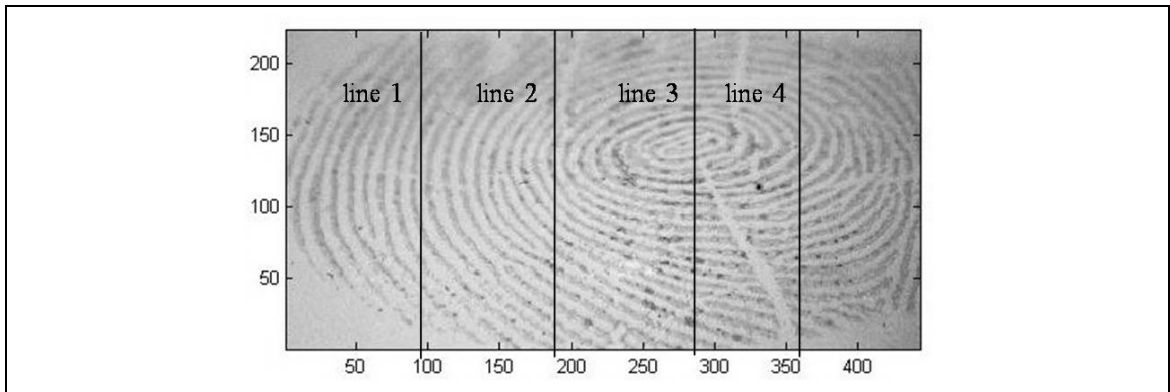
ขั้นตอนในการวิเคราะห์ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1 หลังจากได้ภาพถ่ายลายนิ้วมือมาแล้ว จะทำการแปลงภาพจากภาพต้นฉบับไปเป็นภาพระดับเทาด้วยโปรแกรม MATLAB และเลือกบริเวณภาพถ่ายเพื่อนำไปแปลงข้อมูลภาพถ่ายลายนิ้วมือแฟงเป็นข้อมูลกราฟการกระจายความเข้มที่แต่ละตำแหน่งด้วยโปรแกรม Gelquest และวิเคราะห์ค่าความเปรียบต่างด้วยเกณฑ์ที่กำหนดขึ้น ขั้นตอนนี้สามารถวิเคราะห์ผลของภาพในลักษณะความคมชัดได้ในเชิงปริมาณ



รูปที่ 4.1 ผลการออกแบบการถ่ายภาพลายนิ้วมือแฟงและประมวลผลภาพ

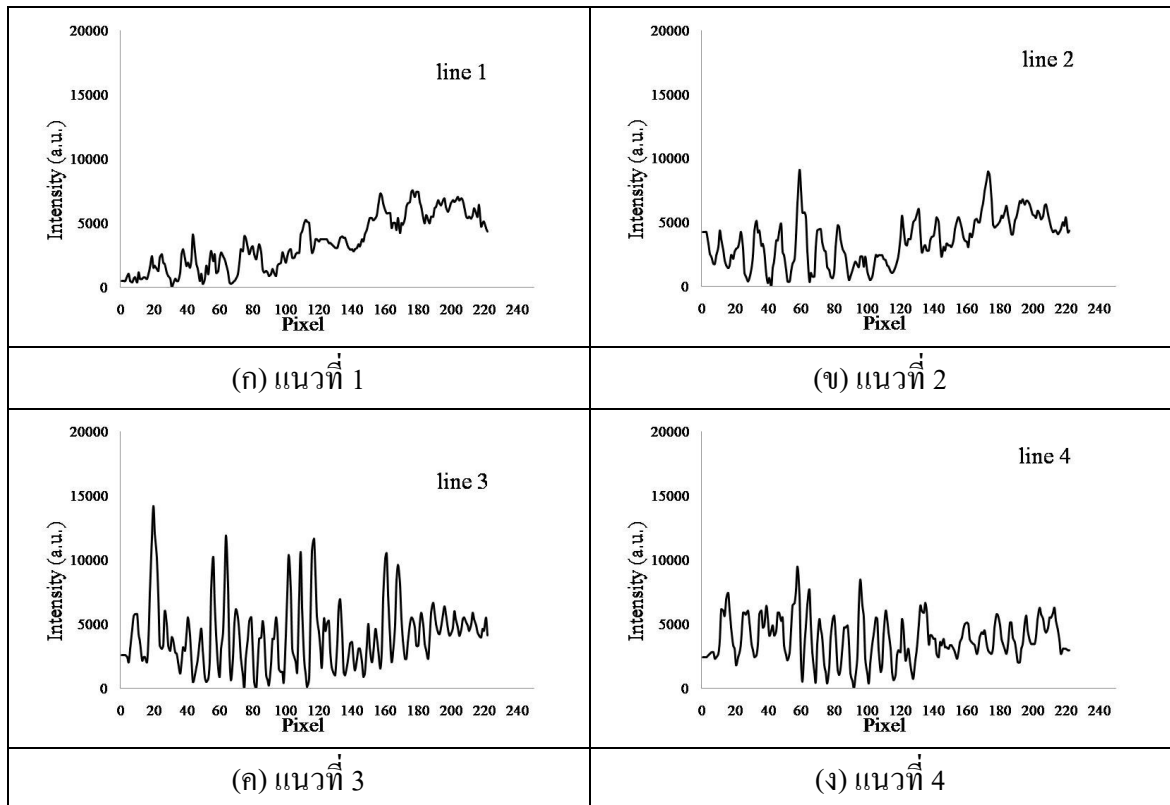
4.1 การเลือกตำแหน่งของภาพเพื่อใช้ในการประมวลผลภาพ

การเปรียบเทียบผลการทดลองในแต่ละตัวแปรที่ทำการศึกษจะต้องเลือกตำแหน่งภาพถ่ายลายนิ้วมือเพื่อใช้โปรแกรมประมวลผลที่ตำแหน่งเดียวกัน เมื่อสังเกตภาพถ่ายลายนิ้วมือจากรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การเลือกตำแหน่งของภาพเพื่อใช้ในการประมวลผลภาพ

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



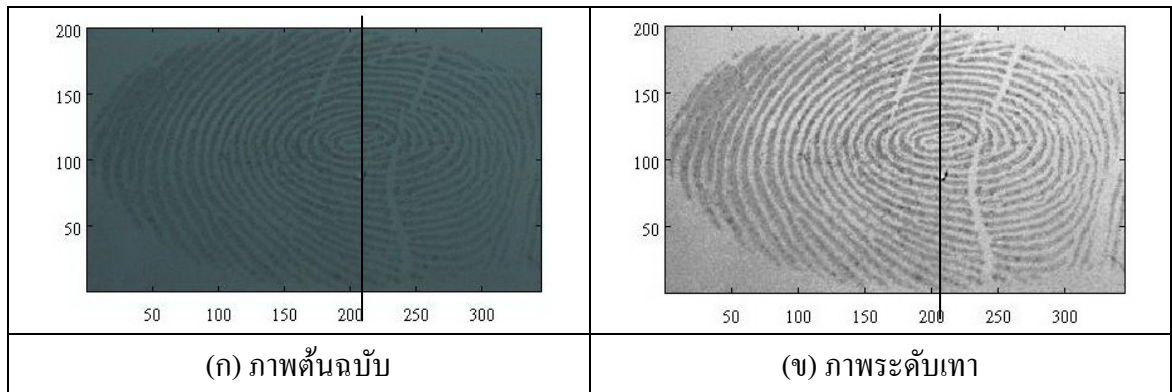
รูปที่ 4.3 แสดงกราฟการกระจายความเข้มที่แต่ละตำแหน่งในแต่ละแนวที่เลือก

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

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

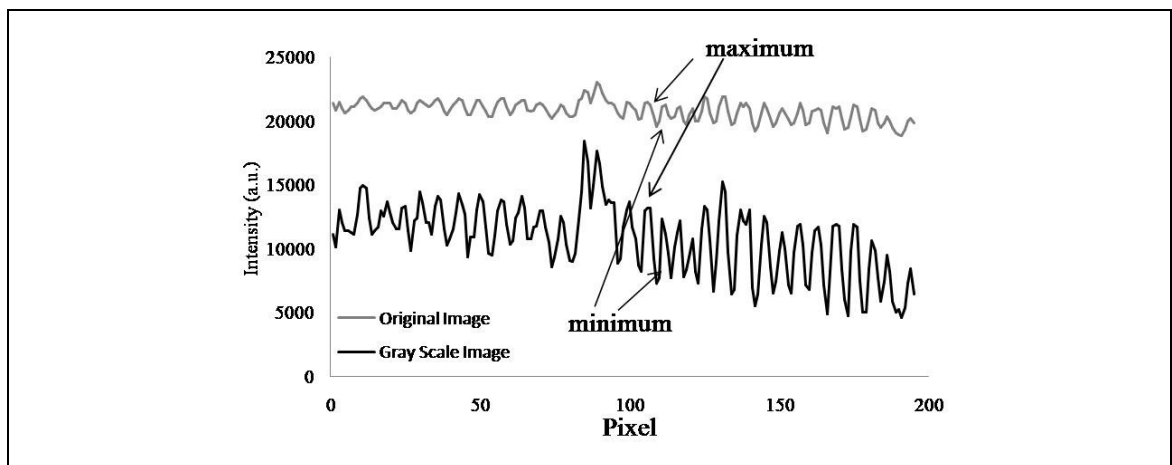
4.2 การแปลงภาพต้นฉบับไปเป็นภาพระดับเทา

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

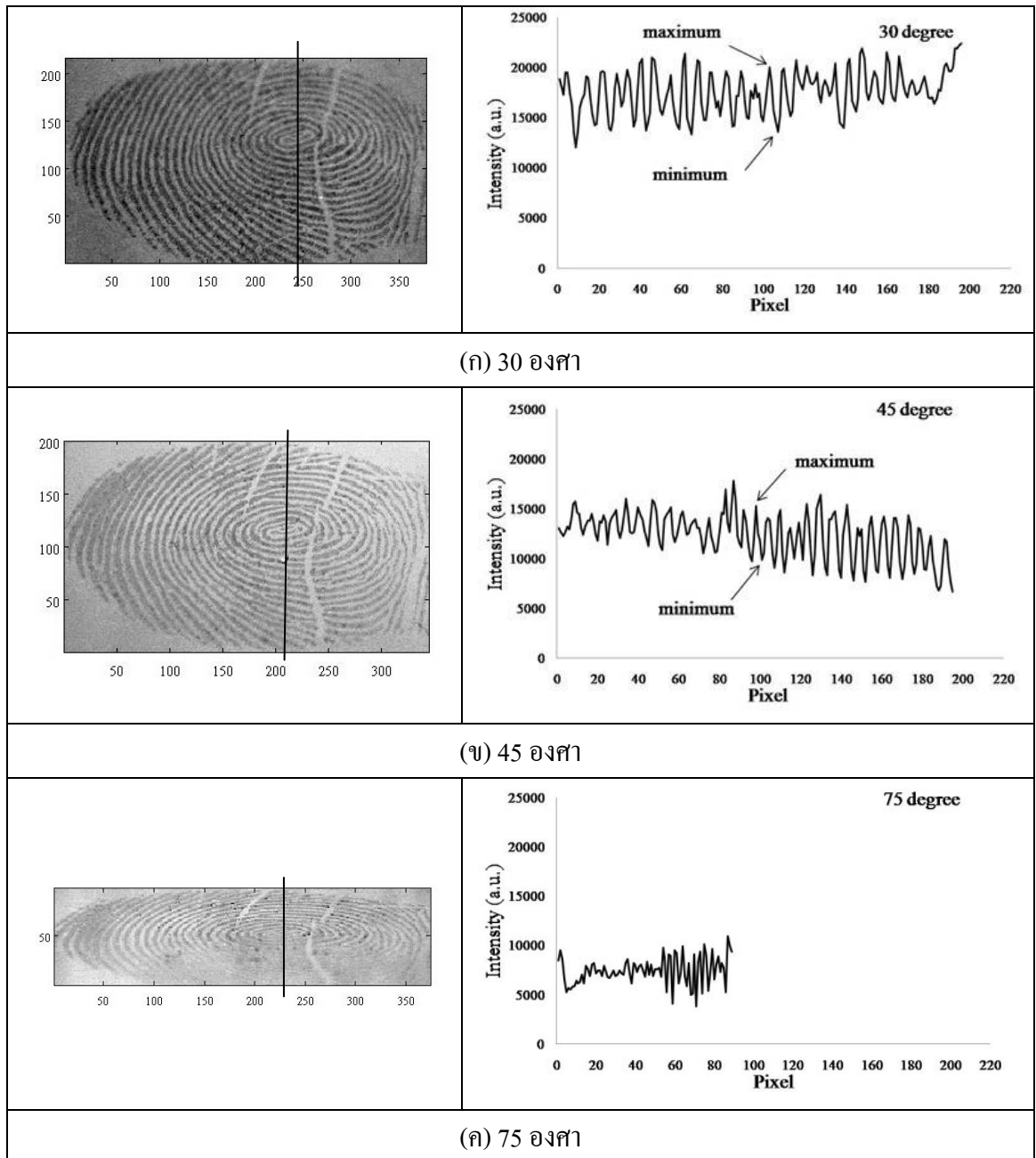
$$\text{Contrast Enhancement (\%)} = \frac{C_{\text{gray}}}{C_{\text{original}}} \times 100\% \quad (4.2)$$

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

4.3 ผลของมุมตกกระทบที่แตกต่างกันภายใต้กำลังแสงเท่ากับ 30, 45, 75 องศา

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

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

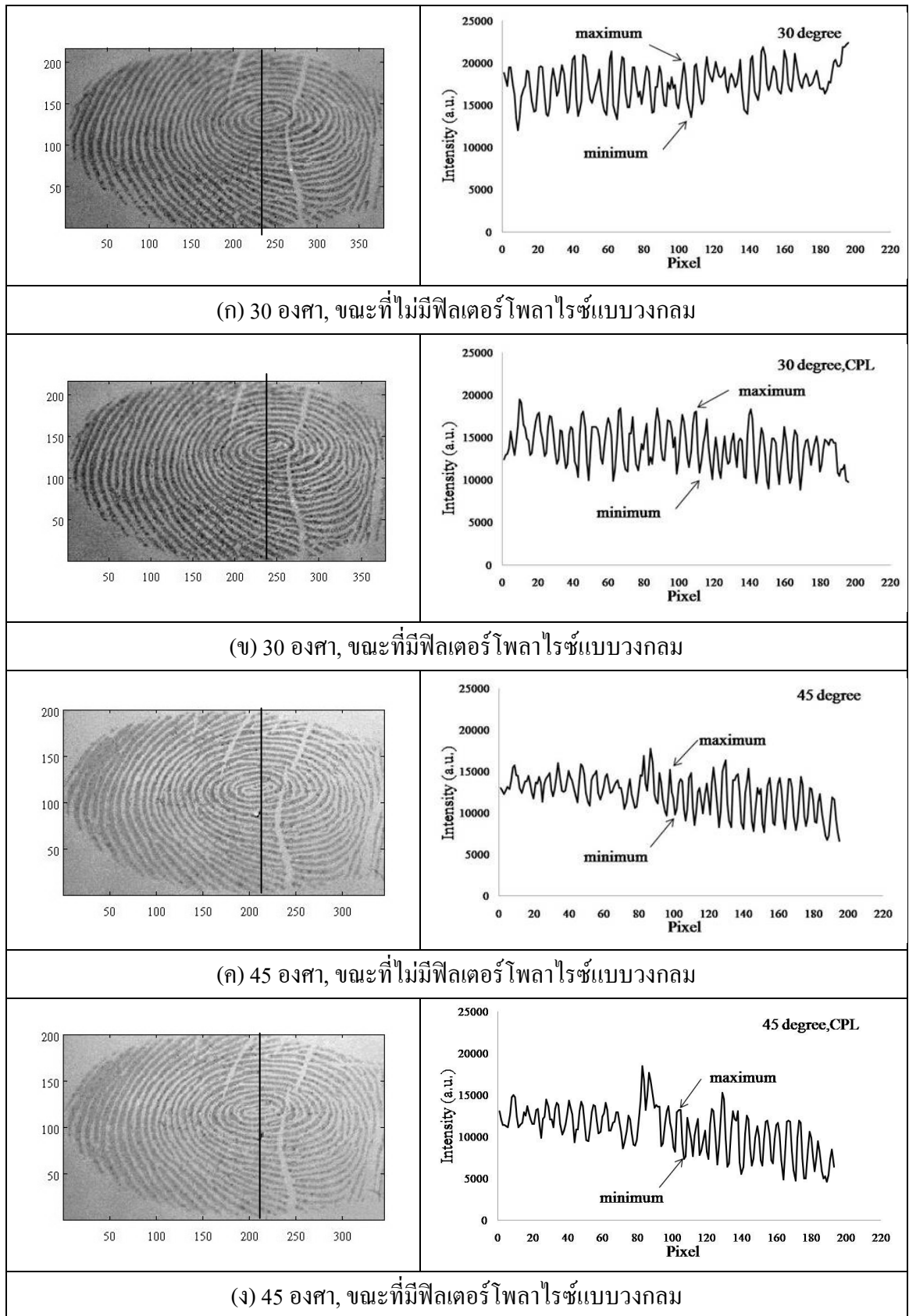


รูปที่ 4.6 แสดงภาพระดับเทาและกราฟการกระจายความเข้มที่ตำแหน่งต่างๆ ขณะที่ไม่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม ที่มุมตกกระทบต่างกัน

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

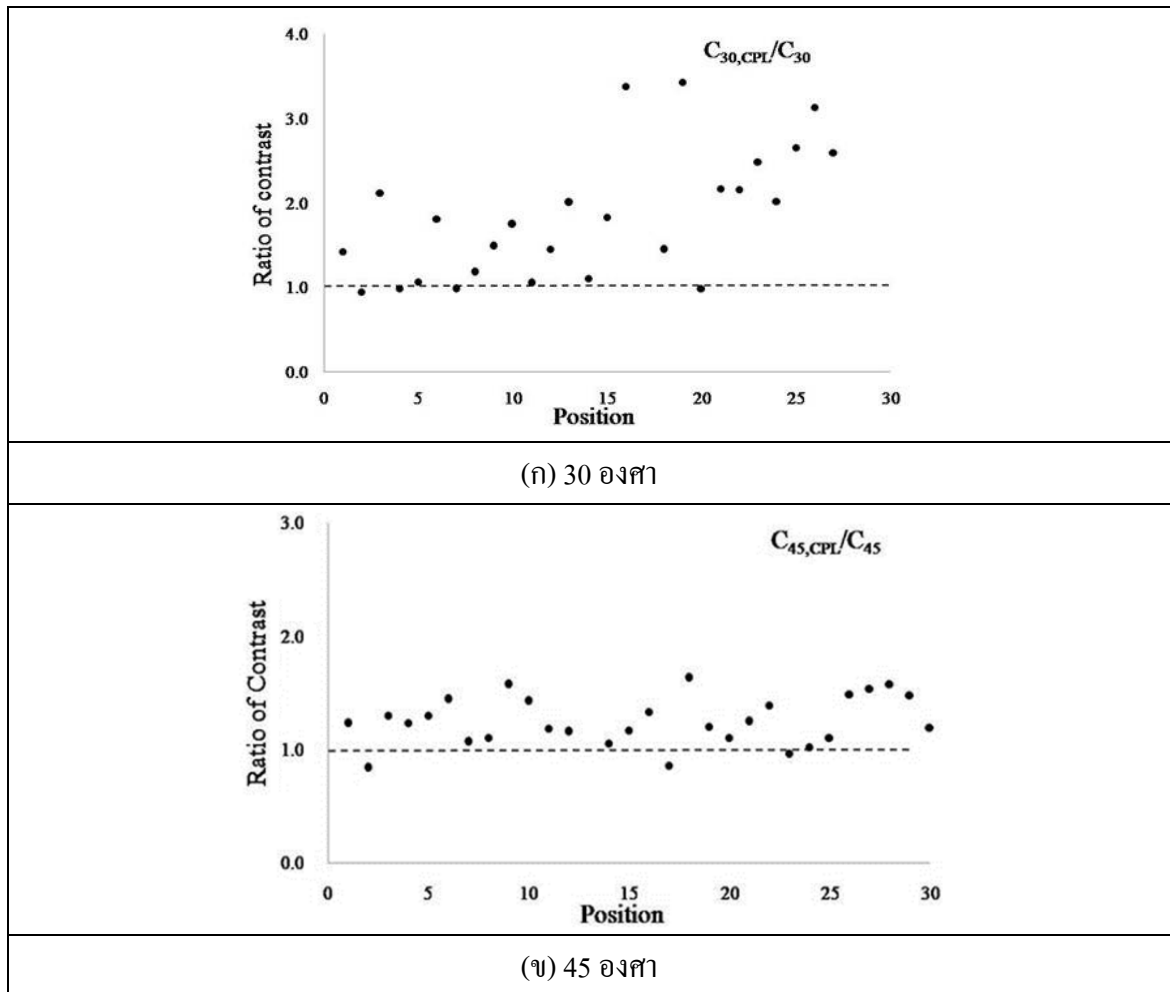
4.4 ผลของการมีและไม่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมภายใต้แสงขาว

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 ขณะที่ฟิลเตอร์โพลาริซ์แบบวงกลมจะมีค่าความเปรียบต่างเพิ่มมากขึ้นกว่าเมื่อไม่มีฟิลเตอร์โพลาริซ์แบบวงกลม โดยคำนวณค่าความเปรียบต่างที่ตำแหน่งเดียวกันที่มุมตกกระทบ 30 องศาขณะที่ไม่มีและมีฟิลเตอร์โพลาริซ์แบบวงกลมได้เท่ากับ 0.191 และ 0.215 ตามลำดับ และคำนวณหาค่าความเปรียบต่างที่ตำแหน่งเดียวกันที่มุมตกกระทบ 45 องศาขณะที่ไม่มีและมีฟิลเตอร์โพลาริซ์แบบวงกลมได้เท่ากับ 0.214 และ 0.248 ตามลำดับ จะเห็นว่าขณะที่มีฟิลเตอร์โพลาริซ์แบบวงกลมจะเพิ่มความเปรียบต่างมากกว่าขณะที่ไม่มีฟิลเตอร์โพลาริซ์แบบวงกลมทั้งที่มุมตกกระทบ 30 และ 45 องศา เมื่อทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนความเปรียบต่าง (ratio of contrast) ของรอยนิ้วมือที่มุมตกกระทบค่าเดียวกัน ขณะที่ฟิลเตอร์โพลาริซ์แบบวงกลมและไม่มีฟิลเตอร์โพลาริซ์แบบวงกลมแต่ละตำแหน่งที่ถัดกันไป 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

จากรูปที่ 4.8 พบว่าอัตราส่วนความเปรียบต่างขณะที่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมเทียบกับขณะที่ไม่
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

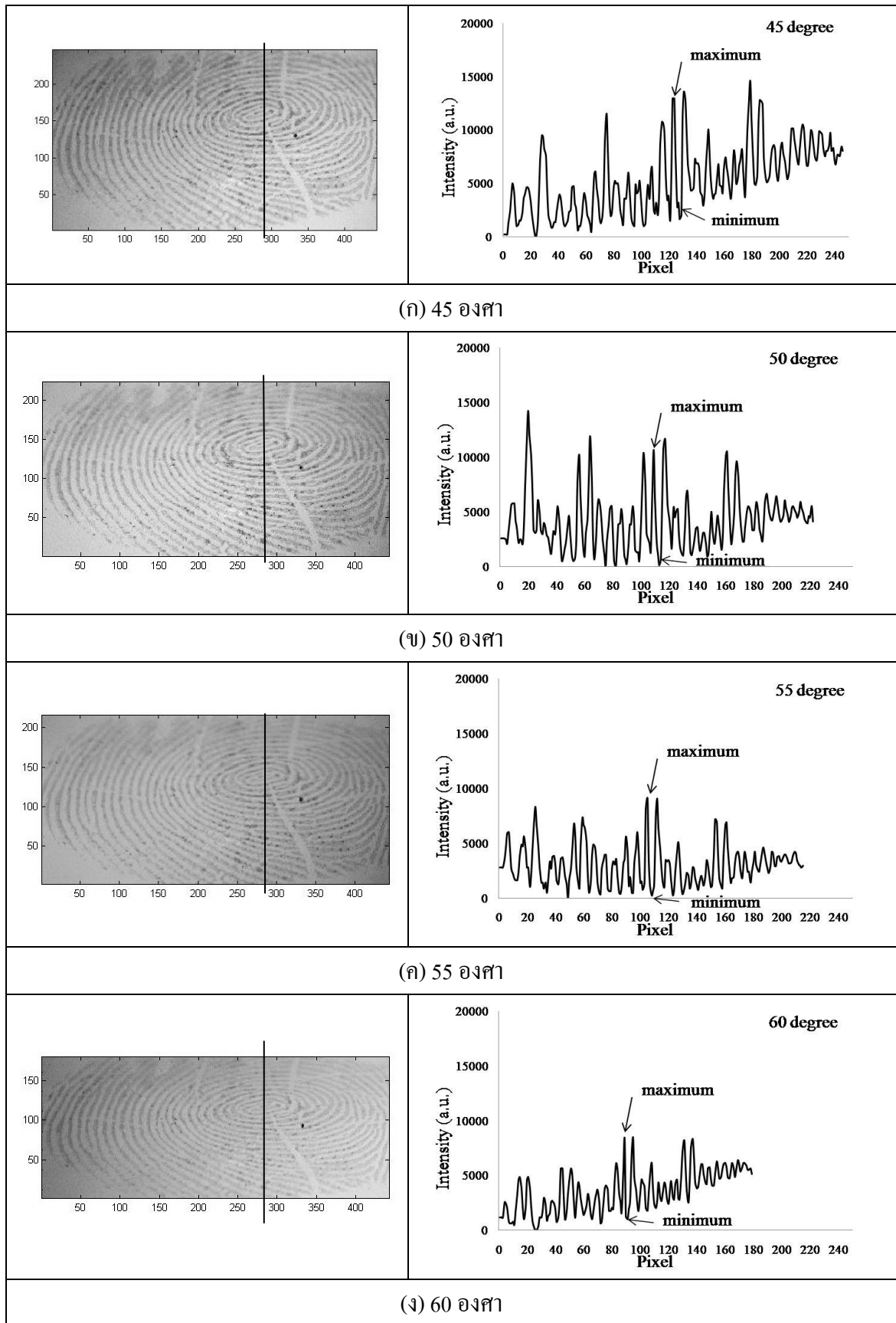
Type	Contrast	Contrast Enhancement
original, 45°	0.037	100%
gray, 30°	0.191	-
gray, 45°	0.214	578%
gray, 30°, CPL	0.215	-
gray, 45°, CPL	0.248	670%

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 เปอร์เซ็นต์แสงที่สะท้อนในแนวนอนกับระนาบตกกระทบมีค่าใกล้เคียงศูนย์ทั้งการสะท้อนที่มาจากกระจกสไลด์ใสและกระดาษอัดรูป 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 กระดาษอครูปสีดำ ทำการถ่ายภาพขณะที่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมติดอยู่บริเวณด้านหน้ากล้อง ปรับให้แนวแกนเชิงเส้นของฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมวางตัวในแนวนอนกับระนาบของพื้นผิว กระดาษอครูปตลอดที่มีการใช้ฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม สามารถแสดงภาพระดับเทาและกราฟ การกระจายความเข้มของภาพที่แต่ละตำแหน่งได้ดังรูปที่ 4.9



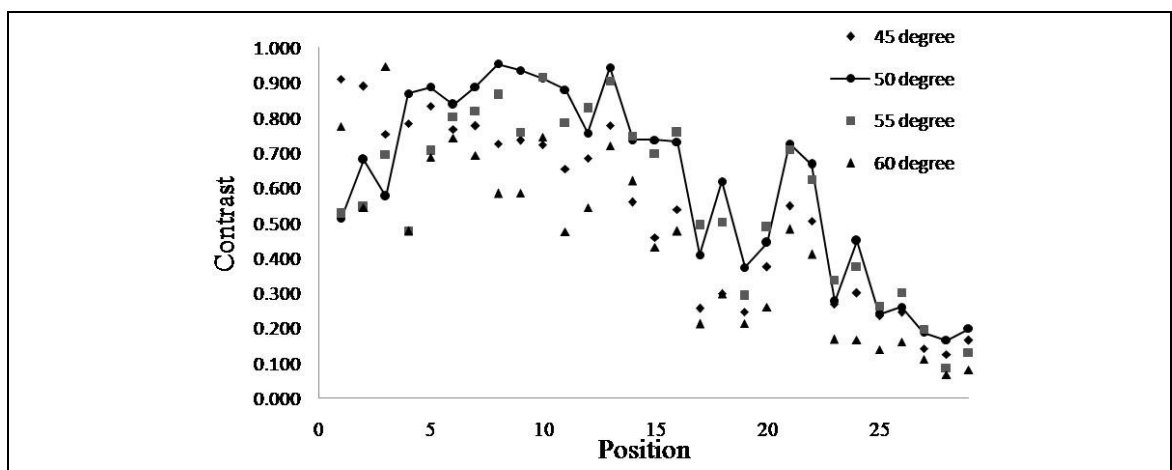
รูปที่ 4.9 แสดงภาพระดับเทาและกราฟการกระจายความเข้มที่แต่ละตำแหน่ง ที่มุมตกกระทบ
แตกต่างกันขณะที่มีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม

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

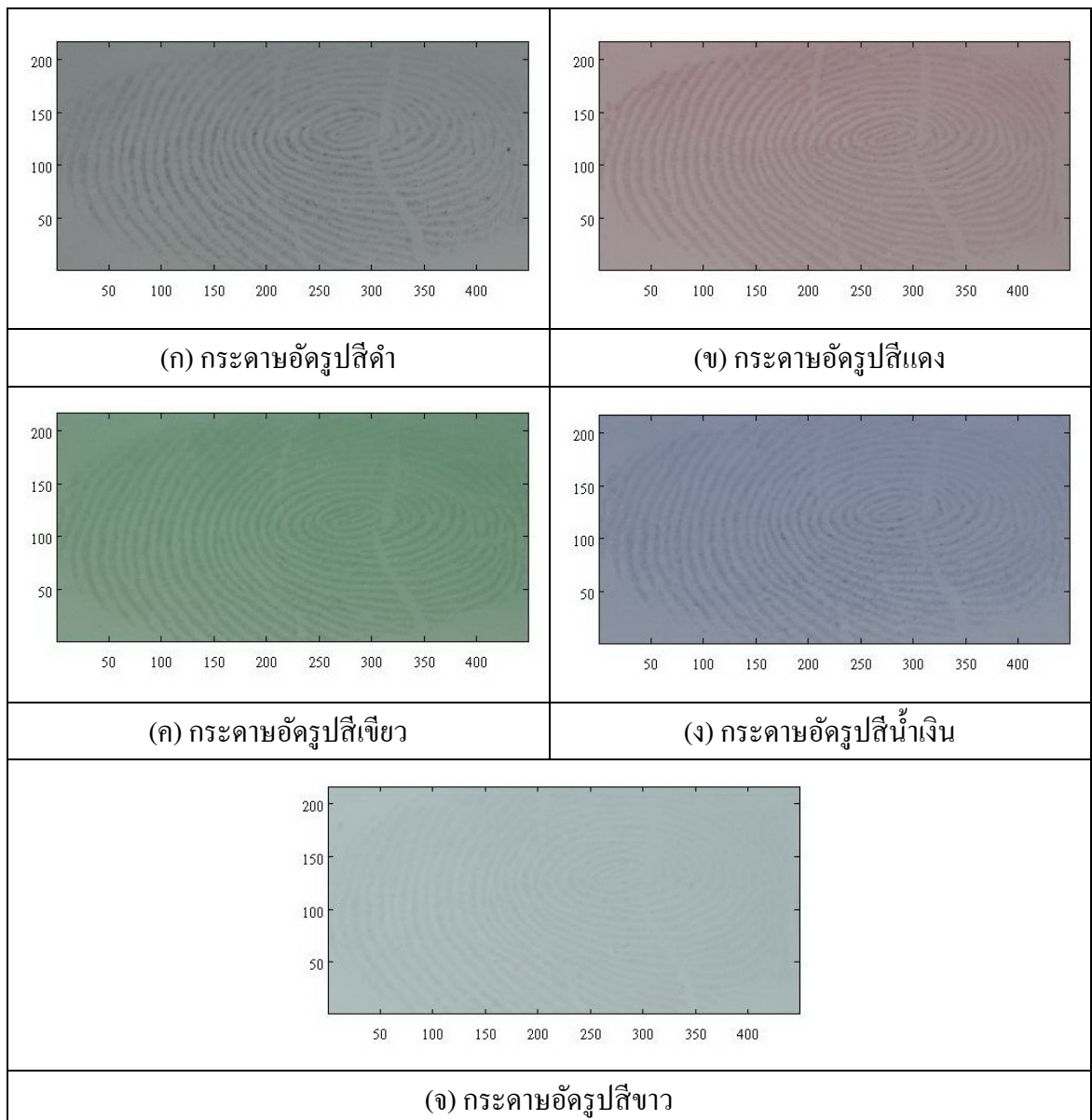
Incidence angle (degree)	Contrast (29 positions)
45	0.540
50	0.616
55	0.574
60	0.442

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

4.6 ผลของสีพื้นแตกต่างกันภายใต้แสงขาว

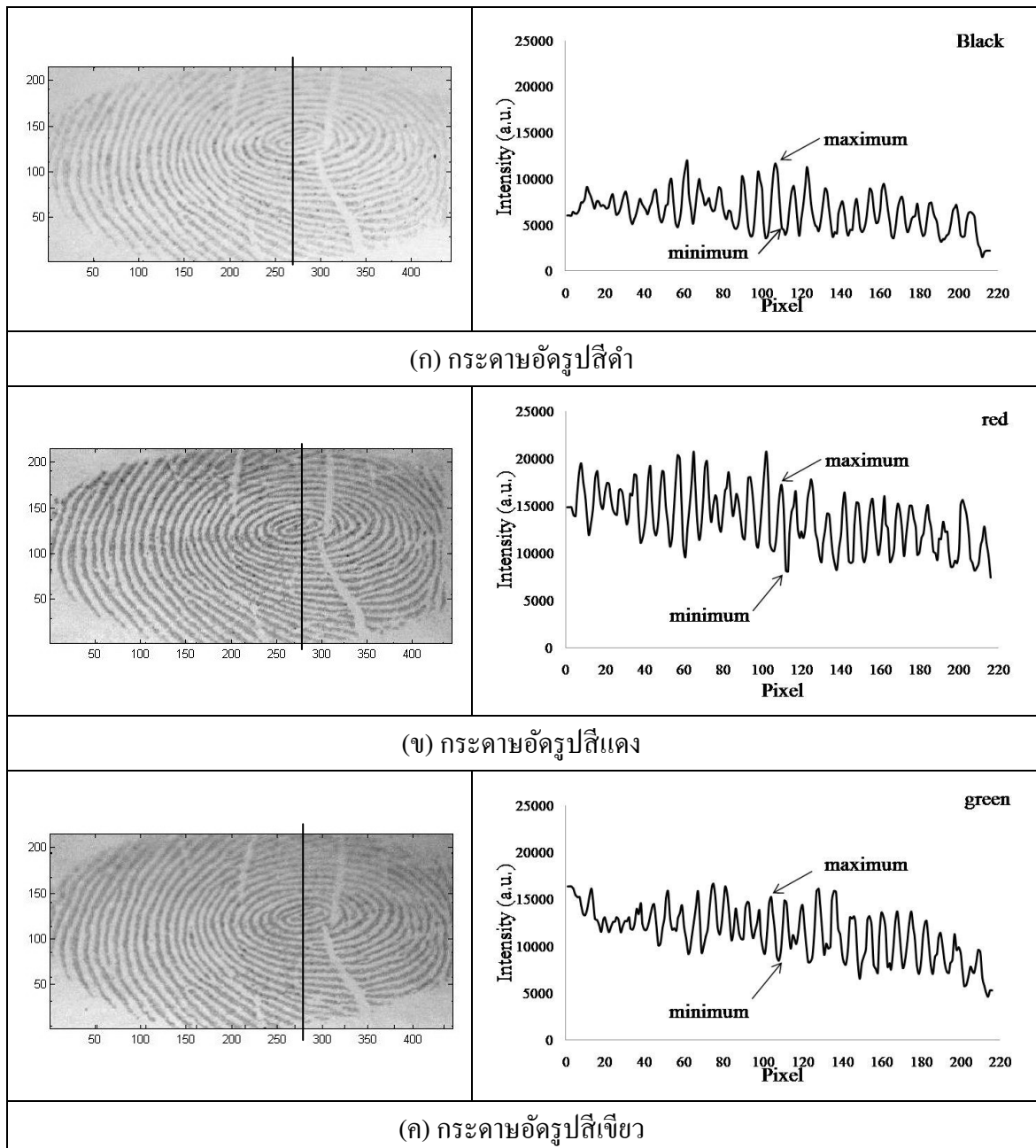
ในที่นี้จะใช้สีพื้นของกระดาษอัดรูปทั้งหมด 5 สี คือ สีดำ สีแดง สีเขียว สีน้ำเงินและสีขาว ในการศึกษาถึงผลของสีพื้นแตกต่างกัน โดยใช้หลอดไฟฟ้าคอมแพคฟลูออเรสเซนต์เป็นแหล่งกำเนิดแสงขาวผ่านแผ่นตัดเงาด้านหน้า ในที่นี้ใช้กำลังแสงขนาด 0.300 ไมโครวัตต์ เมื่อวัดกำลังแสงบริเวณ

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

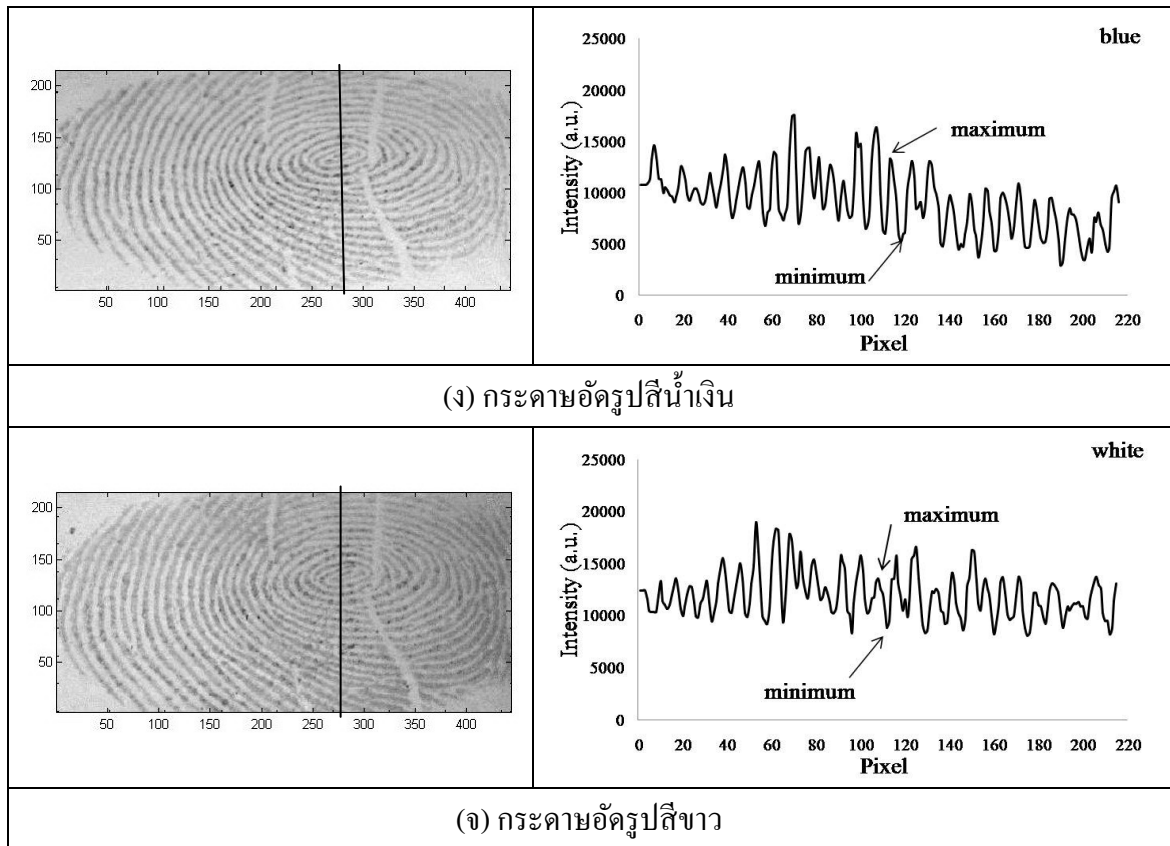


รูปที่ 4.11 แสดงภาพถ่ายต้นฉบับ เมื่อสีพื้นแตกต่างกันภายใต้แสงขาวที่มุมตกกระทบ 45 องศา และมีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม

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 ระดับความเข้มของภาพเมื่อพิจารณาจากกราฟการกระจายความเข้มมีความแตกต่างกันและอาจจะมีค่าความแตกต่างของข้อมูลการกระจายความเข้มบ้างเนื่องจากไม่ใช่รอยนิ้วมือรอยเดียวกันหรือบนกระดาษอัดรูปแผ่นเดียวกัน ดังนั้นในการคำนวณหาค่าความเปรียบต่างที่ตำแหน่งหนึ่งของภาพ อาจจะไม่เป็นตำแหน่งเดียวกันแต่อยู่บริเวณตรงกลางของแนวที่เลือกศึกษา สามารถคำนวณหาค่าความเปรียบต่างของสีพื้นแต่ละสีได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความเปรียบต่างที่ตำแหน่งหนึ่งของภาพเมื่อสีพื้นแตกต่างกัน

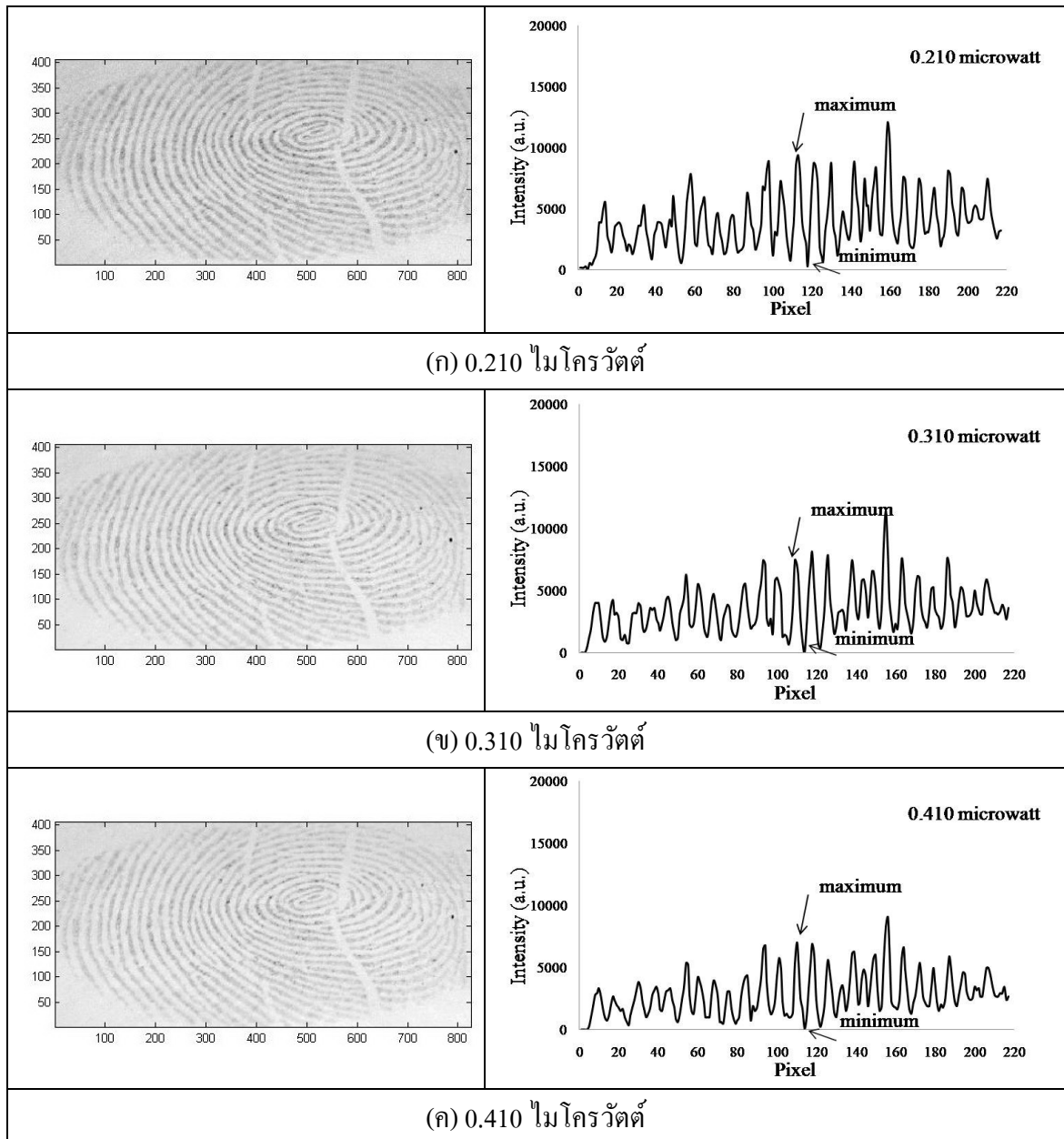
Color surface	Contrast
Black	0.496
Blue	0.436
Red	0.380
Green	0.258
White	0.235

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 ปรับให้แนวแกนเชิงเส้นของฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลมวางตัวในแนวขนานกับระนาบของพื้นผิวกระดาษอัดรูปตลอดที่มีการใช้ฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม ในขณะที่ปิดแสงขาวจากหลอดไฟที่ตกกระทบลงบนพื้นกระดาษอัดรูปสีดำที่มีรอยนิ้วมือแฝงอยู่ วัดกำลังแสงที่หน้าพื้นผิวได้เท่ากับ 0.114 ไมโครวัตต์ จะมองไม่เห็นภาพถ่ายลายนิ้วมือ จากนั้นใช้อุปกรณ์หรี่ไฟในการปรับค่าความเข้มแสงที่ตกกระทบลงบนพื้นผิวกระดาษอัดรูปเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.100 ไมโครวัตต์และทำการถ่ายภาพ จะได้ภาพถ่ายลายนิ้วมือแฝงที่มีกำลังแสงบริเวณด้านหน้าพื้นผิวของกระดาษอัดรูปที่แตกต่างกัน

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



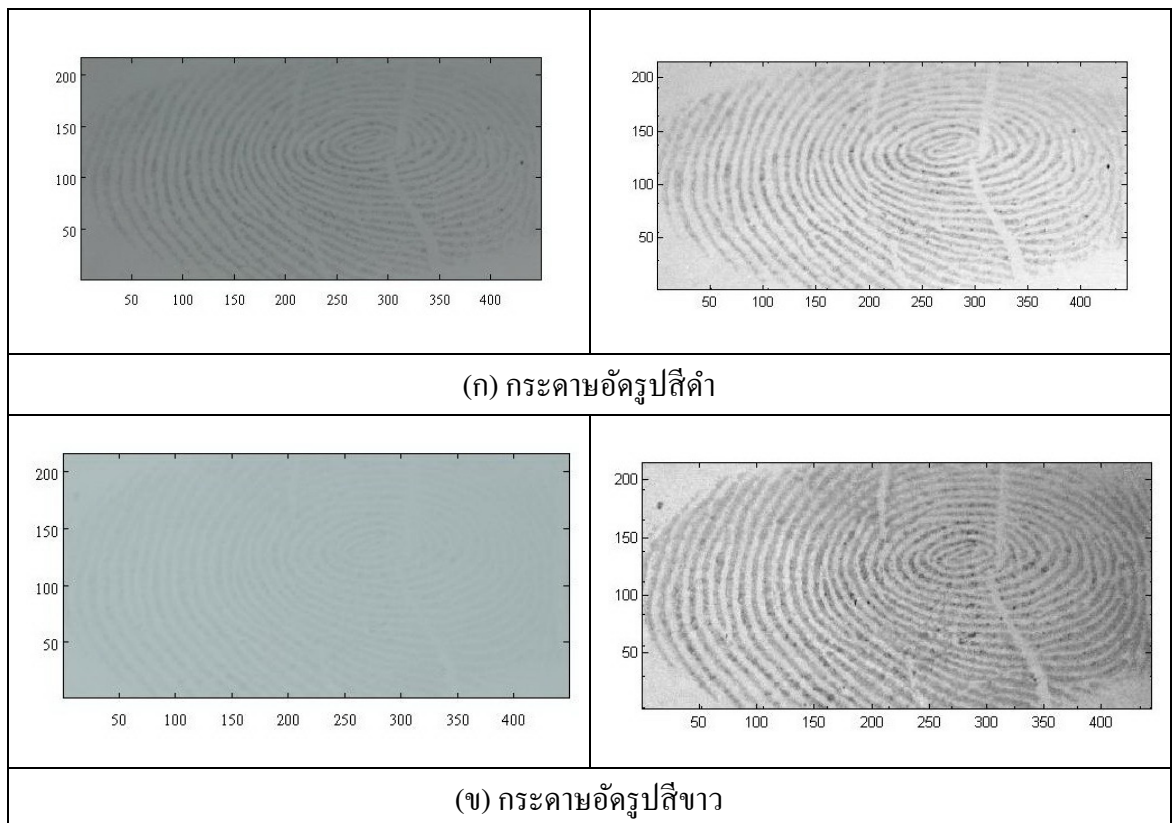
รูปที่ 4.13 แสดงภาพระดับเทาและกราฟการกระจายความเข้มที่แต่ละตำแหน่ง เมื่อความเข้มของแสงขาวที่หน้าพื้นผิวต่างกันที่มุมตกกระทบ 45 องศา และมีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม

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

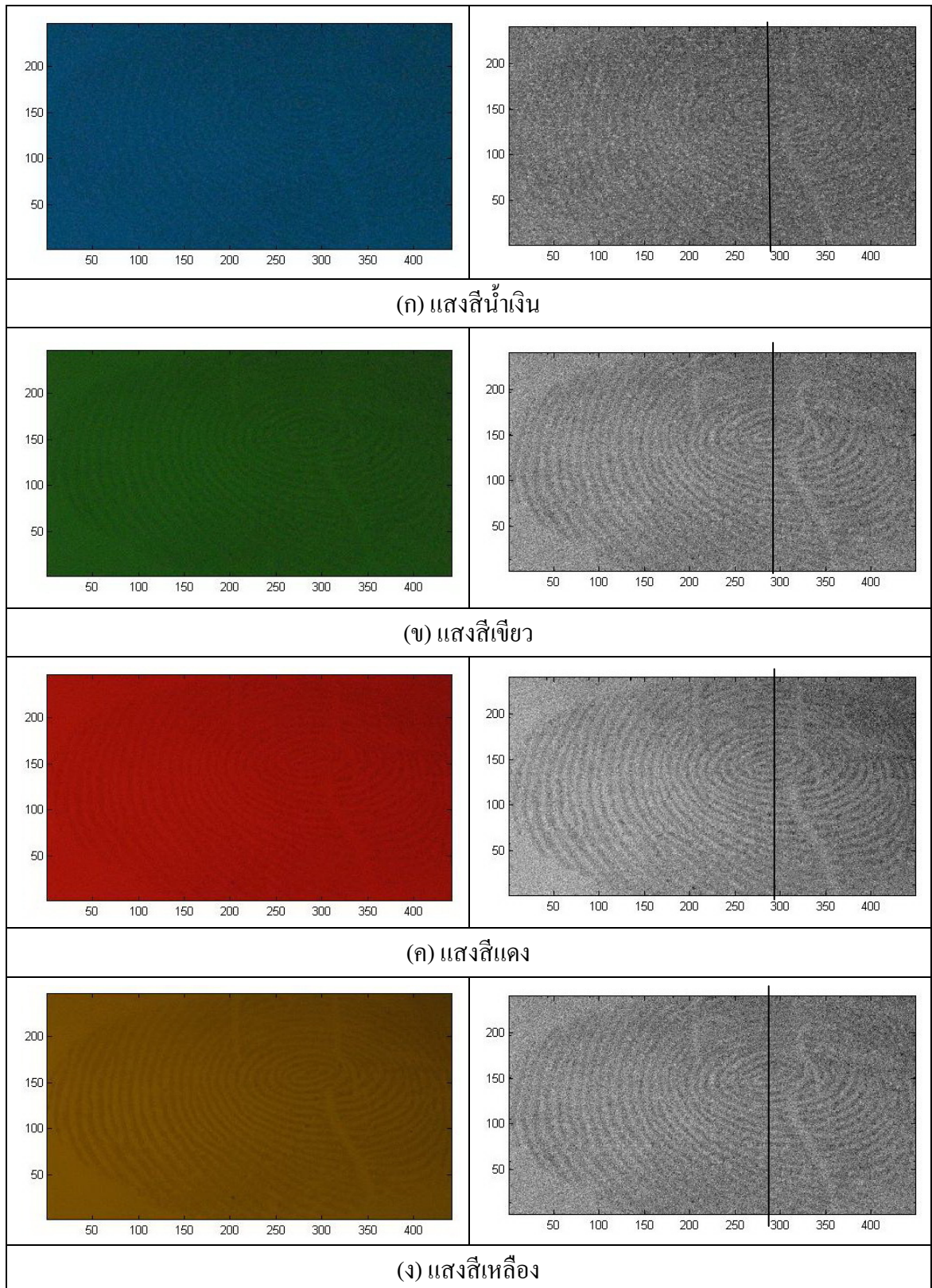
จากผลการทดลองก่อนหน้านี้ในการถ่ายภาพลายนิ้วมือจะใช้แสงสีขาวเป็นแหล่งกำเนิดแสง สามารถแสดงภาพต้นฉบับและภาพระดับเทาบนพื้นกระดาษอัดรูปสีดำและสีขาวได้ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แสดงภาพถ่ายต้นฉบับและภาพระดับเทา ภายใต้แสงขาวที่มุมตกกระทบ 45 องศา และมีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม

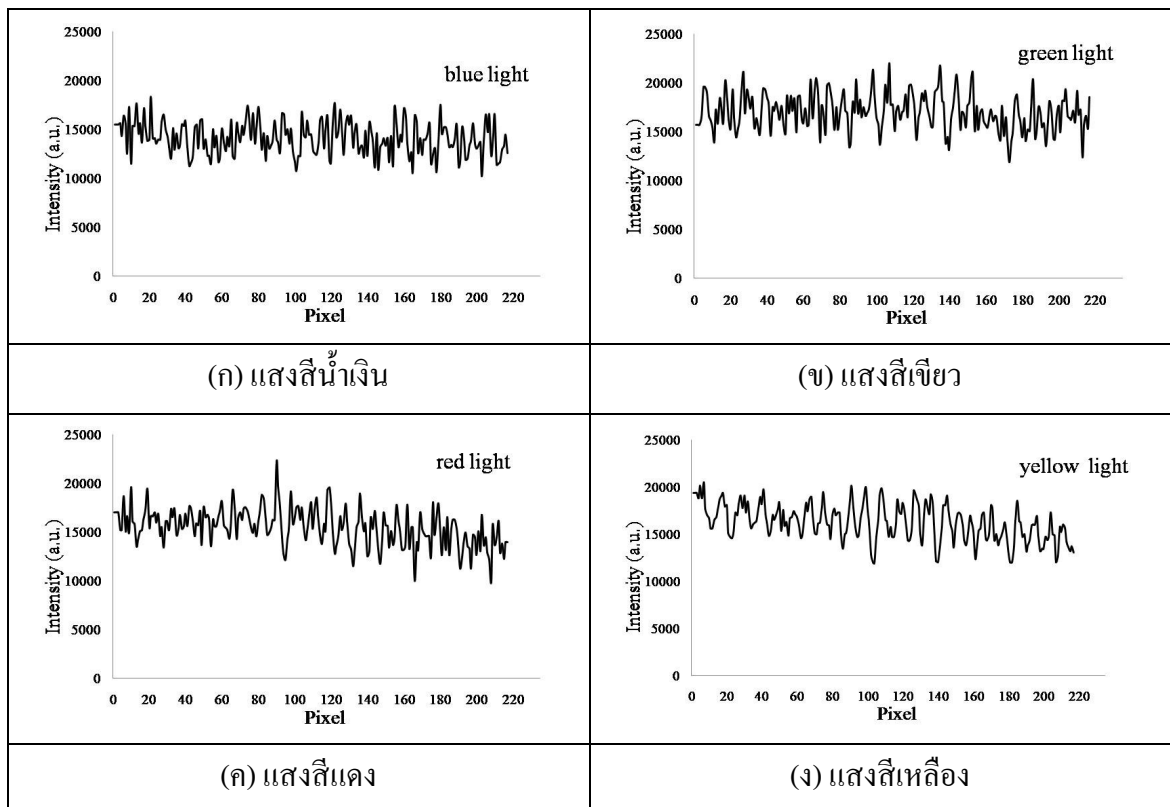
จากรูปที่ 4.14 จะสังเกตเห็นว่าภาพต้นฉบับและภาพระดับเทาสามารถแสดงลายเส้นนิ้วมือได้อย่างชัดเจน แต่ในส่วนนี้เราจะทำการเปลี่ยนสีของแหล่งกำเนิดแสงจากอุปกรณ์ที่สามารถหาได้ง่ายนั่นคือหลอดไฟสีต่างๆ ได้แก่หลอดไฟสีน้ำเงิน สีเขียว สีแดง สีเหลือง ที่กำลังแสงสูงสุดของหลอดไฟแต่ละสี ทำมุมตกกระทบ 45 องศา วัดกำลังแสงบริเวณด้านหน้าพื้นผิวของกระดาษอัดรูปด้วยเครื่องออปติ

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 แสดงภาพถ่ายต้นฉบับและภาพระดับเทาของกระดาดรูปสี่ดำ เมื่อสีของแสงที่ตกกระทบแตกต่างกันที่มุมตกกระทบ 45 องศา และมีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม

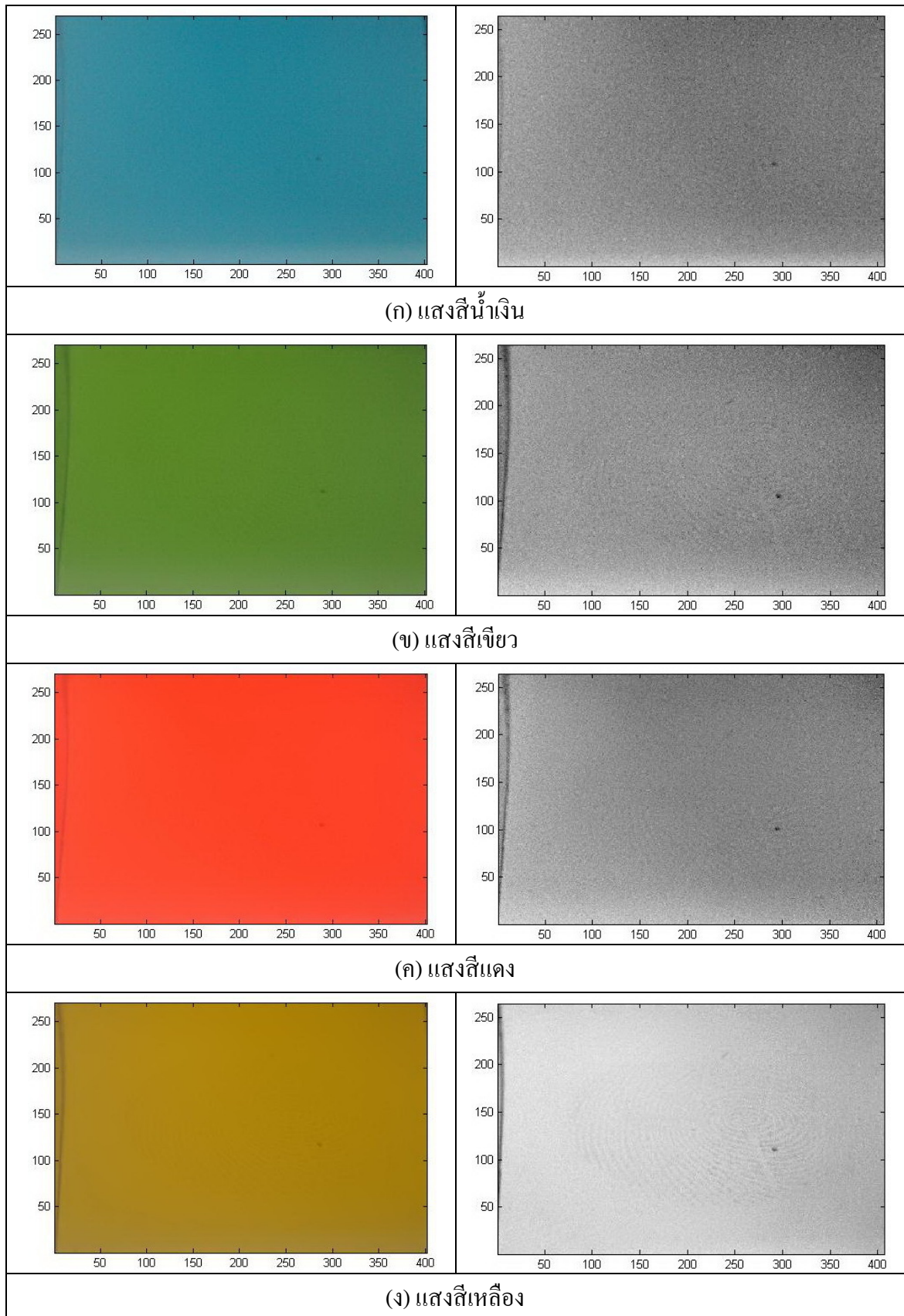
จากรูปที่ 4.15 พบว่าภาพถ่ายต้นฉบับสามารถมองเห็นลายนิ้วมือได้แต่ไม่ค่อยชัดเจนมากนักบนพื้นผิวของกระดาษอัดรูปสีดำ แต่เมื่อทำการแปลงไปเป็นภาพระดับเทา ทุกๆ สีของแสงที่ตกกระทบสามารถมองเห็นลายนิ้วมือได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น พอที่จะสามารถแยกแยะลายเส้นได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับภาพถ่ายต้นฉบับและภาพระดับเทาภายใต้แหล่งกำเนิดแสงขาว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



รูปที่ 4.16 แสดงกราฟการกระจายความเข้มของกระดาษอัดรูปสีดำ เมื่อสีของแสงที่ตกกระทบแตกต่างกัน ที่มุมตกกระทบ 45 องศา และมีฟิลเตอร์โพลาไรซ์แบบวงกลม

จากรูปที่ 4.16 กราฟการกระจายความเข้มของแต่ละตำแหน่งของแสงสีน้ำเงิน สีเขียวและสีแดง มีความแตกต่างระหว่างความเข้มสูงสุดและความเข้มต่ำสุดค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่ความแตกต่างระหว่างความเข้มสูงสุดและความเข้มต่ำสุดของแสงสีเหลืองจะมีค่ามากกว่า แต่ไม่สามารถคำนวณหาความเปรียบต่างที่ตำแหน่งใดๆ ของภาพได้ ทำนองเดียวกันเมื่อให้สีของแสงที่ตกกระทบเช่นเดียวกันตกกระทบลงบนกระดาษอัดรูปสีขาวที่มีรอยนิ้วมืออยู่ สามารถแสดงภาพต้นฉบับและภาพระดับเทาของ

แสงสีน้ำเงิน สีเขียว สีแดง สีเหลืองตามลำดับ ที่มุมตกกระทบ 45 องศา ขณะที่มิฟเตอร์โพลาไรซ์
แบบวงกลมได้ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 แสดงภาพถ่ายต้นฉบับและภาพระดับเทาของกระดาศอค์รูปสีขาว 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