

การผลิตซ้ำของภาพสีน้ำจากข้อมูลสเปกตรัมบนแอลซีดี



นางสาวอรอนงค์ ใจสิทธิากุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์  
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-53-1543-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

REPRODUCTION OF WATER COLOUR IMAGES FROM SPECTRAL DATA ON LCD



MISS ONANONG JAISITTHAKUL

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science in Imaging Technology  
Department of Photographic Science and Printing Technology

Faculty of Science  
Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-53-1543-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การผลิตซ้ำของภาพสีน้ำจากข้อมูลสเปกตรัมบนแอลซีดี

โดย

นางสาวอรอนงค์ ใจสีทากุล

สาขาวิชา

เทคโนโลยีทางภาพ

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ดร. สุจิตรา สือประสาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. อรัญ หาญสืบสาย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ ดร. สุจิตรา สือประสาร)

..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. ชวาล คุร์พิพัฒน์)

..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. พิชญดา เกตุเมฆ)

สถาบันนวัตกรรมการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อรอนงค์ ใจสิทธิกุล : การผลิตซ้ำของภาพสีน้ำจากข้อมูลสเปกตรัมบนแอลซีดี.  
(REPRODUCTION OF WATER COLOUR IMAGES FROM SPECTRAL DATA ON  
LCD) อ.ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร. สุจิตรา สื่อประสาร จำนวนหน้า 139 หน้า ISBN 974-  
53-1543-5.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างกระบวนการการผลิตซ้ำของภาพสีน้ำจากข้อมูลสเปกตรัมบนแอลซีดี เพื่อให้ได้ภาพที่มีสีใกล้เคียงกับภาพสีน้ำต้นฉบับมากที่สุด โดยกระบวนการเริ่มจากใช้กล้องวีดีโอดิจิทัลสีเดียวที่มีความละเอียด 640x480 พิกเซล บันทึกภาพสีน้ำต้นฉบับ ผ่านแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม 5 แผ่น ได้แก่ BPB42, BPB53, BPN50, SC64 และ SC66 โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก (PCA) ในการหาจำนวนแผ่น กรองแสงที่เหมาะสม และเลือกชนิดของแผ่นกรองแสงที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของความแตกต่างสี ( $\Delta E^*_{ab}$ ) ที่น้อยที่สุดของชุดตัวอย่างสีที่ใช้ในการสร้างกระบวนการ (training set) จากนั้นข้อมูลสเปกตรัมของภาพจะถูกประมาณค่าการสะท้อนแสงด้วยวิธี Wiener estimation แล้วจึงแปลงข้อมูลสเปกตรัมไปเป็นค่า XYZ และ sRGB ตามลำดับ และก่อนการแสดงภาพที่ผลิตได้บนแอลซีดี ข้อมูลสีจะถูกแปลงเป็น RGB โดยผ่านโปรแกรมการจัดการสี เพื่อให้แอลซีดีผลิตภาพสีที่มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น สุดท้ายจึงทำการวิเคราะห์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ โดยในการวิเคราะห์เชิงปริมาณของชุดตัวอย่างสีที่ใช้ในการทดสอบความถูกต้องของกระบวนการที่สร้างขึ้น (test set) พบว่า ค่า  $\Delta E^*_{ab}$  ของโทนสีผิว โทนใบไม้ และโทนท้องฟ้า มีค่าเท่ากับ 8.74, 10.15 และ 6.88 ตามลำดับ ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  และมีค่าเท่ากับ 8.88, 10.16 และ 7.02 ตามลำดับ ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{65}$  ส่วนในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ พบว่า ภาพที่ผลิตได้จากข้อมูลสเปกตรัมบนแอลซีดีมีความเหมือนกับภาพสีน้ำต้นฉบับในบริเวณที่เป็นโทนสีผิว ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  ที่ระดับความเหมือนปานกลาง และในบริเวณโทนสีเหลือง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  และ  $D_{65}$  ที่ระดับความเหมือนมาก

## สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ ลายมือชื่อนิติ.....  
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางภาพ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ปีการศึกษา 2547

# # 4572579523 : MAJOR IMAGING TECHNOLOGY

KEY WORD: COLOUR REPRODUCTION / SPECTRAL DATA / WIENER ESTIMATION / PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS

ONANONG JAISITTHAKUL : REPRODUCTION OF WATER COLOUR IMAGES FROM SPECTRAL DATA ON LCD. THESIS ADVISOR : SUCHITRA SUEEPRASAN, 139 pp. ISBN 974-53-1543-5.

This study investigated the accuracy of a process of colour reproduction of water colour images based on spectral data, whereby the reproduction images were presented on LCD. In the process, a mono-chromatic digital video camera with 640x480 pixels was used to capture the original water colour images through 5 optimized filters: BPB42, BPB53, BPN50, SC64 and SC66. Principal component analysis (PCA) was employed to determine the optimum number of filters. The types of filters to be used were determined by the minimum colour difference ( $\Delta E^*_{ab}$ ) between the original and reproduction of the training set reproduced through different types of filters. Spectral data of the images were estimated using Wiener estimation method, then converted to XYZ values and sRGB values, respectively. Before displaying the reproduction images, the colour information was transformed to RGB data using colour management software, so that the LCD would produce the accurate colour images. Finally, the originals were compared quantitatively and subjectively to the reproductions under  $D_{50}$  and  $D_{65}$ . From the result of quantitative analysis, it was found that the average  $\Delta E^*_{ab}$  of skin tone, leave tone and sky tone were 8.74, 10.15 and 6.88, respectively, under  $D_{50}$  and were 8.88, 10.16 and 7.02, respectively, under  $D_{65}$ . In the case of subjective analysis, the reproduction images displayed on the LCD were similar to the original water colour images only for skin tone under  $D_{50}$  with medium level and yellow tone under  $D_{50}$  and  $D_{65}$  with high level.

Department Imaging and Printing technology      Student's signature.....

Field of study Imaging technology                      Advisor's signature.....

Academic year 2004

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจาก อาจารย์ ดร. สุจิตรา สื่อประสาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและความรู้ที่มีคุณค่าที่นอกเหนือจากตำราเรียน ให้คำปรึกษาและข้อคิดที่ดีในทุก ๆ เรื่อง ตลอดจนแนะนำแนวทางในการแก้ปัญหาและให้ความกรุณาตรวจและแก้ไขเนื้อหางานวิจัย รวมทั้งอาจารย์ ดร. ชวาล คุรุพิพัฒน์ และอาจารย์ ดร. พิชญดา เกตุเมฆ ที่กรุณาให้คำแนะนำและคำปรึกษาในงานวิจัย รวมถึงให้ความช่วยเหลือในการติดต่อกับอาจารย์และหน่วยงานต่าง ๆ ที่ให้ความอนุเคราะห์อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยศิลปากรที่ได้ความอนุเคราะห์สื่อน้ำ เพื่อใช้ในการระบายรูป นื่อง ๆ คณะศิลปกรรมศาสตร์ ที่ช่วยระบายรูปสื่อน้ำ บริษัท มินอลต้า จำกัด ที่ให้ความเอื้อเฟื้อเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เพื่อวัดค่าการส่องผ่านของแผ่นกรองแสง Dr. Michelle Pozzi และคุณยุทธนา ลีลา รุ่นพี่ ป.โท ที่ให้คำแนะนำในการเขียนโปรแกรม MATLAB

ขอขอบคุณน้อง ๆ ป.ตรี เพื่อน ๆ และพี่ป.โท ที่เสียสละเวลามาช่วยตอบแบบสอบถามในการวิเคราะห์ภาพ เจ้าหน้าที่ธุรการที่ช่วยเหลือในด้านงานเอกสารที่ใช้ในการติดต่อกับหน่วยงานต่าง ๆ ภายในมหาวิทยาลัย เพื่อน ๆ ป.โททุกคนที่คอยให้กำลังใจซึ่งกันและกัน และสุดท้ายที่สำคัญยิ่ง ขอขอบพระคุณคุณพ่อ-คุณแม่ พี่สาว-น้องสาว ที่คอยให้กำลังใจเสมอมา และให้โอกาสทางการศึกษาที่ดีตลอดมาจนถึง ณ. วันนี้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญภาพ.....	ฌ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....	4
2.1.1 สีนํ้า.....	4
2.1.1.1 ส่วนประกอบที่สำคัญ.....	4
2.1.1.2 ลักษณะและสมบัติของสินํ้า.....	4
2.1.1.2.1 ลักษณะโปร่งใส.....	5
2.1.1.2.2 ลักษณะเปียกชุ่ม.....	5
2.1.1.2.3 สมบัติแห้งตัว.....	5
2.1.1.2.4 สมบัติรุกรานและยอมรับ.....	5
2.1.2 แอลซีดี.....	6
2.1.2.1 ประเภทของจอภาพ.....	6
2.1.2.1.1 จอภาพชนิดแอกทีฟ.....	6
2.1.2.1.2 จอภาพชนิดแพสซีฟ.....	6
2.1.2.2 ประเภทของผลึกเหลวของแอลซีดี.....	7
2.1.2.2.1 เนมาติก.....	7

	หน้า
2.1.2.2.2 สเมกติก.....	7
2.1.2.2.3 คอเรสเทอริก.....	7
2.1.2.3 หลักการทำงานของแอลซีดี.....	7
2.1.2.4 ทฤษฎีการผสมสีแบบบวก.....	9
2.1.3 องค์ประกอบในการบันทึกภาพของกล้อง.....	9
2.1.4 แผ่นกรองแสง.....	10
2.1.4.1 สมบัติของแผ่นกรองแสง.....	10
2.1.4.2 หลักการส่องผ่านแสง.....	10
2.1.4.3 ประเภทของแผ่นกรองแสง .....	11
2.1.4.3.1 แผ่นกรองแสงประเภท Band Pass Board.....	11
2.1.4.3.2 แผ่นกรองแสงประเภท Band Pass Narrow.....	11
2.1.4.3.3 แผ่นกรองแสงประเภท Sharp Cut.....	11
2.1.5 เลนส์.....	13
2.1.5.1 หน้าที่ของเลนส์.....	13
2.1.5.2 สมบัติเฉพาะของเลนส์.....	14
2.1.5.2.1 ความยาวโฟกัสของเลนส์.....	14
2.1.5.2.2 ความไวของเลนส์.....	14
2.1.6 องค์ประกอบในการรับรู้อสี.....	15
2.1.6.1 แหล่งกำเนิดแสง.....	15
2.1.6.1.1 การกระจายพลังงานแสงของสเปกตรัม.....	15
2.1.6.1.2 คุณภูมิสี.....	16
2.1.6.1.3 การแปรเปลี่ยนสี.....	16
2.1.6.2 วัตถุมีสี.....	16
2.1.6.3 ตา.....	16
2.1.7 เมแทเมอริซึม.....	17
2.1.7.1 เมแทเมอริซึมเนื่องด้วยแหล่งกำเนิดแสง.....	17
2.1.7.2 เมแทเมอริซึมเนื่องด้วยผู้สังเกตการณ์.....	17
2.1.7.3 เมแทเมอริซึมเนื่องด้วยระยะทาง.....	17





	หน้า
2.1.16 ค่าความแตกต่างสี.....	30
2.1.16.1 การคำนวณหาค่าความแตกต่างสีรวม.....	30
2.1.16.2 การคำนวณหาค่าความแตกต่างสีสั้น.....	30
2.1.16.3 การวิเคราะห์สี.....	31
2.1.17 รากกำลังสองเฉลี่ย.....	32
2.1.18 วิธีการมองเปรียบเทียบภาพ.....	32
2.1.18.1 Memory viewing.....	32
2.1.18.2 Successive-binocular viewing (SCB) .....	32
2.1.18.3 Simultaneous-binocular viewing (SMB) .....	32
2.1.18.4 Simultaneous-haploscopic viewing (SMH).....	33
2.1.18.5 Successive-ganzfeld-haploscopic viewing (SCH).....	33
2.1.19 การวิเคราะห์คุณภาพ.....	33
2.1.19.1 Pair comparision.....	33
2.1.19.2 Category judgement.....	33
2.19.3 Method of judgement.....	34
2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	35
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	35
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	35
3.1.1 วัสดุ.....	35
3.1.2 อุปกรณ์.....	36
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	36
3.2.1 การเตรียมต้นฉบับ.....	37
3.2.1.1 การเลือกขนาดของภาพสีน้ำที่เหมาะสม.....	37
3.2.1.2 การเตรียมภาพสีน้ำ.....	38
3.2.1.3 การสร้าง Colour chart.....	39
3.2.1.4 การเลือกชุดตัวอย่างสี.....	39
3.2.2 การสร้างกระบวนการผลิตภาพ.....	39
3.2.2.1 การหาจำนวนแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม.....	40

	หน้า
3.2.2.2 การหาชนิดของแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม.....	42
3.2.2.3 การวิเคราะห์ความถูกต้องของกระบวนการ.....	43
3.2.3 การผลิตภาพบนแอลซีดี.....	44
3.2.3.1 การเตรียมอุปกรณ์.....	45
3.2.3.2 การผลิตภาพจากข้อมูลสเปกตรัม.....	46
3.2.3.3 การผลิตภาพจากการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล.....	46
3.2.4 การวิเคราะห์คุณภาพของภาพ.....	48
บทที่ 4 ผลการทดลอง และอภิปรายผล.....	48
4.1 ผลของการเลือก Training set.....	49
4.2 ผลของการเลือก Test set.....	51
4.3 ผลของการวิเคราะห์เลือกแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม.....	51
4.3.1 ผลของการวิเคราะห์เลือกจำนวนแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม.....	54
4.3.2 ผลของการวิเคราะห์เลือกชนิดแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม.....	57
4.4 ผลของการวิเคราะห์เชิงปริมาณของ Test set 3 โทน.....	57
4.4.1 โทนสีผิว.....	58
4.4.2 โทนใบไม้.....	60
4.4.3 โทนท้องฟ้า.....	61
4.4.4 การเปรียบเทียบระหว่างโทนสีผิว โทนใบไม้ และโทนท้องฟ้า.....	62
4.5 ผลของการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ.....	62
4.5.1 เปอร์เซ็นต์การเลือกภาพของผู้ทดสอบ ระหว่างภาพสเปกตรัม กับภาพดิจิทัล.....	62
4.5.1.1 ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง $D_{50}$ .....	64
4.5.1.2 ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง $D_{65}$ .....	66
4.5.2 คะแนนของภาพ ระหว่างภาพสเปกตรัมกับภาพดิจิทัล.....	67
4.5.2.1 คะแนนของภาพคน ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง $D_{50}$ และ $D_{65}$ .....	69
4.5.2.2 คะแนนของภาพทิวทัศน์ ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง $D_{50}$ และ $D_{65}$ .....	71
4.5.2.3 คะแนนของภาพนามธรรม ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง $D_{50}$ และ $D_{65}$ .....	76
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	76

	หน้า
5.1 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	76
5.1.1 การวิเคราะห์เลือกแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม.....	76
5.1.2 การวิเคราะห์เชิงปริมาณของ Test set 3 โทน.....	76
5.1.2.1 โทนสีผิว.....	76
5.1.2.2 โทนใบไม้.....	76
5.1.2.3 โทนท้องฟ้า.....	77
5.1.3 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพของภาพที่ผลิตได้บนแอลซีดี.....	77
5.1.3.1 ภาพคน.....	77
5.1.3.2 ภาพทิวทัศน์.....	77
5.1.3.3 ภาพนามธรรม.....	77
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	78
รายการอ้างอิง.....	79
ภาคผนวก.....	81
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	139

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 $\Delta E^*_{ab}$ ตามมาตรฐานระบบ CIELAB.....	31
ตารางที่ 3.1 สถานะในการปรับตั้งแอลซีดี.....	44
ตารางที่ 3.2 เปอร์เซ็นต์ RGB ในการปรับ Contrast.....	44
ตารางที่ 4.1 ค่า Eigenvalue, Proportion และ Cumulative ของแต่ละส่วนประกอบหลัก (PC) ที่ได้จากการทำ PCA.....	51
ตารางที่ 4.2 ค่า $\Delta E^*_{ab}$ และ RMS ของแผ่นกรองแสงจำนวน 5 แผ่น.....	54
ตารางที่ 4.3 ค่า $\Delta E^*_{ab}$ และ RMS ของแผ่นกรองแสงจำนวน 6 แผ่น.....	56
ตารางที่ 4.4 ค่า $\Delta E^*_{ab}$ และ RMS ของ Test set โทนสีผิว.....	57
ตารางที่ 4.5 ค่า $\Delta E^*_{ab}$ และ RMS ของ Test set โทนสีใบไม้.....	59
ตารางที่ 4.6 ค่า $\Delta E^*_{ab}$ และ RMS ของ Test set โทนท้องฟ้า.....	60
ตารางที่ 4.7 ค่า $\Delta E^*_{ab}$ และ RMS ของ Test set ทั้ง 3 โทน.....	62
ตารางที่ 4.8 เปอร์เซ็นต์ผู้ที่เลือกภาพสเปกตรัมกับภาพดิจิทัลของภาพคน เมื่อทดสอบภายใต้แหล่งกำเนิดแสง $D_{50}$ .....	63
ตารางที่ 4.9 เปอร์เซ็นต์ผู้ที่เลือกภาพสเปกตรัมกับภาพดิจิทัลของภาพทิวทัศน์ เมื่อทดสอบภายใต้แหล่งกำเนิดแสง $D_{50}$ .....	63
ตารางที่ 4.10 เปอร์เซ็นต์ผู้ที่เลือกภาพสเปกตรัมกับภาพดิจิทัลของภาพนามธรรม เมื่อทดสอบภายใต้แหล่งกำเนิดแสง $D_{50}$ .....	64
ตารางที่ 4.11 เปอร์เซ็นต์ผู้ที่เลือกภาพสเปกตรัมกับภาพดิจิทัลของภาพคน เมื่อทดสอบภายใต้แหล่งกำเนิดแสง $D_{65}$ .....	65
ตารางที่ 4.12 เปอร์เซ็นต์ผู้ที่เลือกภาพสเปกตรัมกับภาพดิจิทัลของภาพทิวทัศน์ เมื่อทดสอบภายใต้แหล่งกำเนิดแสง $D_{65}$ .....	65
ตารางที่ 4.13 เปอร์เซ็นต์ผู้ที่เลือกภาพสเปกตรัมกับภาพดิจิทัลของภาพนามธรรม เมื่อทดสอบภายใต้แหล่งกำเนิดแสง $D_{65}$ .....	66

	หน้า
ตารางที่ 4.14 คะแนนภาพคนของภาพสเปกตรัมและภาพดิจิทัล .....	
ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง $D_{50}$ .....	67
ตารางที่ 4.15 คะแนนภาพคนของภาพสเปกตรัมและภาพดิจิทัล	
ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง $D_{65}$ .....	68
ตารางที่ 4.16 คะแนนภาพทิวทัศน์ของภาพสเปกตรัมและภาพดิจิทัล	
ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง $D_{50}$ .....	69
ตารางที่ 4.17 คะแนนภาพทิวทัศน์ของภาพสเปกตรัมและภาพดิจิทัล	
ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง $D_{65}$ .....	70
ตารางที่ 4.18 คะแนนภาพนามธรรมของภาพสเปกตรัมและภาพดิจิทัล	
ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง $D_{50}$ .....	72
ตารางที่ 4.19 คะแนนภาพนามธรรมของภาพสเปกตรัมและภาพดิจิทัล	
ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง $D_{65}$ .....	73

## สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 การทำงานของแอลซีดี.....	8
รูปที่ 2.2 องค์ประกอบในการบันทึกภาพ.....	9
รูปที่ 2.3 หลักการส่องผ่านของแผ่นกรองแสง.....	11
รูปที่ 2.4 การส่องแผ่นแสงของแผ่นกรองแสงชนิด BPB.....	12
รูปที่ 2.5 การส่องแผ่นแสงของแผ่นกรองแสงชนิด BPN.....	12
รูปที่ 2.6 การส่องแผ่นแสงของแผ่นกรองแสงชนิด SC.....	13
รูปที่ 2.7 การสกัดตัวประกอบ.....	20
รูปที่ 3.1 ภาพสีน้ำต้นฉบับ.....	38
รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของ Colour chart.....	48
รูปที่ 4.2 การกระจายตัวของ Training set.....	48
รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของ Test set โทนสีผิว.....	49
รูปที่ 4.4 การกระจายตัวของ Test set โทนใบไม้.....	50
รูปที่ 4.5 การกระจายตัวของ Test set โทนท้องฟ้า.....	50
รูปที่ 4.6 ความถี่สะสมของแต่ละส่วนประกอบหลัก.....	52
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Eigenvalue ของแต่ละส่วนประกอบหลัก.....	52
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการสะท้อนแสงของ PC1-PC5.....	53
รูปที่ 4.9 Histogram ของ $\Delta E^*_{ab}$ ที่ใช้แผ่นกรองแสง 5 แผ่นที่เหมาะสม.....	55
รูปที่ 4.10 Histogram ของ $\Delta E^*_{ab}$ ที่ใช้แผ่นกรองแสง 6 แผ่นที่เหมาะสม.....	56
รูปที่ 4.11 Histogram ของ $\Delta E^*_{ab}$ ของโทนสีผิว เปรียบเทียบที่ $D_{50}$ และ $D_{65}$ .....	58
รูปที่ 4.12 Histogram ของ $\Delta E^*_{ab}$ ของโทนใบไม้ เปรียบเทียบที่ $D_{50}$ และ $D_{65}$ .....	59
รูปที่ 4.13 Histogram ของ $\Delta E^*_{ab}$ ของโทนท้องฟ้า เปรียบเทียบที่ $D_{50}$ และ $D_{65}$ .....	61

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีของอุปกรณ์แสดงผลต่าง ๆ มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งแอลซีดีซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในภาคแสดงผล เช่น คอมพิวเตอร์ประเภทแล็ปท็อป โทรศัพท์มือถือ กล้องดิจิทัล เครื่องมือวัดและทดสอบในระบบดิจิทัล และเครื่องคิดเลข เป็นต้น สาเหตุที่เทคโนโลยีของแอลซีดีเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้นเป็นเพราะในขณะที่ใช้งานแอลซีดีต้องการกระแสไฟฟ้าน้อย คิดเป็นไมโครวัตต์หรือมิลลิวัตต์ มีขนาดเล็ก ประหยัดพื้นที่ สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก และสามารถชมภาพต่าง ๆ ผ่านแอลซีดีได้โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการพิมพ์หรือสื่อสิ่งพิมพ์อื่น ๆ แต่อย่างไรก็ดีปัญหาที่พบบ่อยในการใช้แอลซีดีเป็นอุปกรณ์แสดงผลในงานกระบวนการผลิตภาพ คือ ภาพที่แสดงบนแอลซีดีจะมีสีแตกต่างจากภาพต้นฉบับ หรือภาพที่แสดงบนสื่ออื่น ๆ อาทิเช่น ภาพพิมพ์ ภาพบนจอซีอาร์ที เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตภาพมีขอบเขตการผลิตสีที่ต่างกัน อันเป็นผลมาจากกลไกการผลิตสีที่แตกต่างกัน ตลอดจนการมีแหล่งกำเนิดแสงที่ต่างกัน ดังนั้นสีที่ผลิตได้จึงเป็นสีที่ขึ้นกับอุปกรณ์ซึ่งเรียกว่า device dependent colours จึงต้องมีการพัฒนาระบบการจัดการสีเพื่อให้สีที่ผลิตได้ไม่ขึ้นกับอุปกรณ์ซึ่งเรียกว่า device independent colours ซึ่งค่าสีที่ไม่ขึ้นกับอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบการจัดการสีในปัจจุบัน คือ ค่า XYZ ซึ่งเป็นค่าที่ขึ้นกับแหล่งกำเนิดแสง ดังนั้นเมื่อเปลี่ยนแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการผลิตภาพ ค่า XYZ นี้ก็จะเปลี่ยนไปด้วย เมื่อทำการผลิตภาพโดยใช้ ข้อมูล XYZ ภาพที่ได้จึงต้องแสดงภายใต้แหล่งกำเนิดแสงที่กำหนดไว้เท่านั้น จึงจะได้ภาพที่มีสีตรงตามต้องการ เมื่อเปลี่ยนแหล่งกำเนิดแสงไปก็ต้องผ่านกระบวนการผลิตภาพใหม่ เพื่อให้ได้ค่า XYZ ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงนั้น ๆ มิฉะนั้นอาจเกิดปรากฏการณ์เมแทเมอร์ซีม คือ การที่มนุษย์มองเห็นสี 2 สีเหมือนกันภายใต้แหล่งกำเนิดแสงหนึ่ง แต่ต่างกันภายใต้แหล่งกำเนิดแสงอื่น ปรากฏการณ์นี้เป็นผลมาจากการที่สี 2 สีนั้นมีค่าการสะท้อนแสง (Spectral reflectance) ที่ต่างกัน ถ้าสามารถผลิตสีที่มีค่าการสะท้อนแสงที่เหมือนกันได้ สี 2 สีนั้นก็เหมือนกันภายใต้ทุกสภาวะการมองเห็น

งานวิจัยนี้จึงศึกษากระบวนการการผลิตภาพจากข้อมูลการสะท้อนแสงหรือข้อมูลสเปกตรัมของภาพต้นฉบับ และทำการแสดงผลภาพทางแอลซีดี เนื่องจากงานวิจัยในอดีต [1, 2] ใช้ภาพสีน้ำมันเป็นภาพต้นฉบับ และทำการวิเคราะห์ผลเชิงปริมาณเท่านั้น งานวิจัยนี้จึงเลือกภาพสีน้ำเป็นภาพต้นฉบับ และทำการวิเคราะห์ทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพของภาพที่ผลิตได้ เพื่อตรวจสอบ



ประสิทธิภาพของกระบวนการการผลิตภาพจากข้อมูลการสะท้อนแสง โดยในกระบวนการผลิตภาพ เริ่มจากการบันทึกภาพผ่านกล้องวิดีโอดิจิทัล จากนั้นทำการประมาณค่าการสะท้อนแสงโดยวิธี Wiener Estimation แล้วจึงแปลงค่าข้อมูลเป็น XYZ และ sRGB ตามลำดับ เพื่อการแสดงผลภาพ บนแอลซีดี การวิเคราะห์เชิงปริมาณพิจารณาจากค่าความแตกต่างสี ( $\Delta E^*_{ab}$ ) ระหว่างตัวอย่างสีของ ภาพต้นฉบับและที่ได้จากการประมาณ ส่วนการวิเคราะห์เชิงคุณภาพพิจารณาจากความเหมือนหรือ ความแตกต่างของภาพต้นฉบับและภาพที่ผลิตได้ เทียบกับภาพที่ถ่ายด้วยกล้องดิจิทัลโดยไม่ผ่าน กระบวนการ เมื่อเปรียบเทียบภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  และ  $D_{65}$

งานวิจัยนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์อย่างยิ่งในด้านการสื่อสารบนจอภาพที่เข้าใจตรงกัน สามารถนำกระบวนการการผลิตซ้ำจากข้อมูลสเปกตรัมไปประยุกต์ใช้กับงานอื่น ๆ เช่น ธุรกิจการค้า การโฆษณา การท่องเที่ยว และงานแสดงภาพศิลป์ เป็นต้น เพราะลูกค้าสามารถมองเห็นสีของ สินค้าบนแอลซีดีได้เหมือนกับสินค้าจริง อันเป็นการช่วยลดปัญหาการร้องเรียนสินค้าที่ไม่เหมือนกับ โฆษณา ทำให้บริษัทนั้นได้รับความเชื่อถือในการสั่งซื้อสินค้าจากลูกค้า ช่วย ประชาสัมพันธ์ สถานที่ท่องเที่ยว ซึ่งเป็นการดึงดูดความสนใจแก่นักท่องเที่ยว หรือทำให้ผู้ชมสามารถชมความงาม ของภาพศิลป์ผ่านแอลซีดีได้เหมือนกับภาพศิลป์ต้นฉบับ อันเป็นการเผยแพร่ความงามของภาพศิลป์ ให้แก่ผู้ชมโดยไม่ต้องเดินทางไปชมถึงสถานที่นั้น ๆ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างกระบวนการการผลิตซ้ำของภาพสีน้ำจากข้อมูลสเปกตรัมบนแอลซีดีให้ได้ภาพ ที่มีสีใกล้เคียงกับต้นฉบับมากที่สุด
2. เพื่อวิเคราะห์คุณภาพการผลิตซ้ำของภาพสีน้ำจากข้อมูลสเปกตรัมบนแอลซีดี

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างกระบวนการการผลิตซ้ำของภาพสีน้ำจากข้อมูลสเปกตรัมบนแอลซีดี ให้ใกล้เคียงกับต้นฉบับมากที่สุด แล้ววิเคราะห์คุณภาพการผลิตซ้ำบนแอลซีดีด้วยการวิเคราะห์เชิง คุณภาพและเชิงปริมาณ โดยมีขอบเขตของการวิจัยดังนี้

1. หาจำนวนและชนิดของแผ่นกรองแสงที่เหมาะสมในการบันทึกภาพต้นฉบับสีน้ำ
2. ประมาณค่าการสะท้อนแสงของภาพต้นฉบับสีน้ำ โดยวิธี Wiener Estimation

3. ผลิตซ้ำภาพต้นฉบับสีน้ำบนแอลซีดี

4. เปรียบเทียบภาพต้นฉบับและภาพที่ผลิตได้ ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  และ  $D_{65}$

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้กระบวนการการผลิตซ้ำของภาพสีน้ำจากข้อมูลสเปกตรัมบนแอลซีดีที่ใกล้เคียงกับต้นฉบับมากที่สุด



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 แนวคิดและทฤษฎี

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างกระบวนการการผลิตซ้ำของภาพสีน้ำจากข้อมูลสเปกตรัมบน แอลซีดี ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทราบทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อให้เกิดความเข้าใจในงานวิจัย ทฤษฎีประกอบด้วย สี น้ำเพื่อให้ทราบลักษณะและสมบัติของสีน้ำ หลักการทำงานของแอลซีดี องค์ประกอบในการบันทึกภาพของกล้อง ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับแผ่นกรองแสงและเลนส์ที่ใช้ในงานวิจัย องค์ประกอบในการรับรู้สีที่มีผลให้เกิดเมแทเมอริซึม การวิเคราะห์ส่วนประกอบหลักซึ่งเป็นวิธีที่ใช้วิเคราะห์เลือกชนิดของแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการบันทึกภาพ การประมาณค่าการสะท้อนแสงด้วยวิธี Wiener estimation จุดเด่นที่สำคัญของโปรแกรม MATLAB ที่ใช้เป็นเครื่องมือในการคำนวณ หลักการจัดการสีซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้สีที่ผลิตได้ไม่ขึ้นกับอุปกรณ์ การปรับตั้งมาตรฐานแอลซีดี เพื่อให้แอลซีดีแสดงผลได้อย่างเที่ยงตรงเหมือนกันทุก ๆ ครั้ง วิธีการคำนวณค่าสีไตรสตีมูลัส เพื่อนำค่าที่ได้ไปเป็น  $L^*a^*b^*$  และแปลงเป็นปริภูมิสี sRGB ตามลำดับ เมื่อได้ภาพแล้วจึงทำการวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยการหาค่าความแตกต่างสี และรากกำลังสองเฉลี่ย สุดท้ายจึงทำการวิเคราะห์เชิงคุณภาพโดยให้ผู้ทดสอบเปรียบเทียบภาพ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทราบวิธีที่ใช้ในการมองเปรียบเทียบภาพ

##### 2.1.1 สีน้ำ

###### 2.1.1.1 ส่วนประกอบที่สำคัญ

สีน้ำมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ เนื้อที่บดแล้วอย่างละเอียด (pigment) ผสมกับกาวอารบิค ซึ่งสกัดมาจากต้นอะคาเซีย (Acacia tree) กาวชนิดนี้มีคุณสมบัติพิเศษ คือ ละลายน้ำง่าย และเกาะติดกระดาษแน่น ทั้งยังมีลักษณะโปร่งใสอีกด้วย ดังนั้นจึงนิยมผสมเนื้อสีกับกาว อารบิคนี้สำหรับในกรณีที่ต้องการใช้กาวอื่นแทนก็สามารถใช้น้ำผึ้งหรือกลีเซอริน ซึ่งละลายน้ำได้ดี ดังนั้นสีน้ำจึงประกอบด้วย เนื้อสี กาว และกลีเซอริน ตามปริมาณที่ได้ทดลองค้นคว้ากัน

###### 2.1.1.2 ลักษณะและสมบัติของสีน้ำ

ลักษณะเฉพาะที่เด่นของสีน้ำก็คือ ความโปร่งใส (Transparent) เวลาระบายควรใช้พู่กันแตะสีละลายกับน้ำระบายบนกระดาษขาว พยายามระบายไปครั้งเดียว ไม่ควรระบายสีต่าง ๆ ซ้ำหรือทับกันหลายหน เพราะจะทำให้สีหม่นขาดคุณสมบัติโปร่งใส และควรรักษาให้พู่กันสะอาดอยู่

เสมอเมื่อต้องการเปลี่ยนสีใหม่ อุปกรณ์ที่จำเป็นของสีน้ำมีน้อยจึงสะดวกต่อการติดตัวไปเขียนภาพ ทิวทัศน์กลางแจ้ง และสีน้ำหาซื้อได้สะดวก มีทั้งที่บรรจุในหลอดและเป็นตลับ มีสีต่าง ๆ ให้เลือกมาก สีน้ำมีสมบัติสำคัญ 4 ประการ [3] คือ

#### 2.1.1.2.1 ลักษณะโปร่งใส (Transparent quality)

เนื่องจากสีน้ำมีส่วนผสมของกาวและสีที่บดอย่างละเอียด นิยมระบายบนกระดาษขาวซึ่งมีลักษณะผิวของกระดาษต่าง ๆ กัน ดังนั้นเมื่อระบายบนกระดาษสีขาวจึงมีเนื้อสีไม่หนาที่บจนเกินไป ทำให้เกิดลักษณะโปร่งใส และการระบายสีน้ำจะต้องระบายไปที่เดียว ไม่ระบายซ้ำกัน เพราะจะทำให้สีข้ำหรือหม่นได้และควรระบายจากสีอ่อนไปหาสีแก่ ในบางกรณีอาจจะระบายจากสีแก่ไปหาสีอ่อนก็ได้ ทั้งนี้ต้องคอยระวังอย่าให้น้ำที่ใช้ผสมสีชุ่มหรือคล้ำ เพราะจะทำให้สีหม่นหรือทึบได้

#### 2.1.1.2.2 ลักษณะเปียกชุ่ม (Soft quality)

เนื่องจากในการระบายสีน้ำจะต้องผสมกับน้ำ และระบายให้ซึมเข้าหากันเมื่อต้องการให้สีกลมกลืนกัน ดังนั้นเมื่อระบายไปแล้วลักษณะของสีที่แห้งบนกระดาษจะคงความเปียกชุ่มของสีปรากฏให้เห็นอยู่เสมอ และในบางกรณีที่ใช้สีน้ำระบายมากเกินไปแล้วปล่อยให้สีแห้งไปเองก็จะเกิดคราบของสีปรากฏให้เห็น ซึ่งถือเป็นลักษณะพิเศษที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ยิ่งศิลปินสีน้ำท่านใดสามารถสร้างสรรค์ให้คราบนี้น่าดูและมีความหมายขึ้น ถือว่าเป็นลักษณะพิเศษของสีน้ำที่มีค่าควรชื่นชมเป็นอย่างยิ่ง

#### 2.1.1.2.3 สมบัติแห้งเร็ว

สีน้ำมีคุณสมบัติแห้งเร็วเมื่อเทียบกับสีน้ำมัน ดังนั้นจึงทำให้เกิดความเชื่อต่อผู้สนใจทั้งหลายว่าเป็นสีที่ระบายยาก และเหมาะสำหรับผู้ที่สามารถตัดสินใจรวดเร็วในการถ่ายทอดเท่านั้น อย่างไรก็ตามเชื่อดังกล่าวนั้นอาจแก้ไขได้ด้วยการลงมือทำจริง เพราะเหตุว่าการระบายสีน้ำมีวิธีการหลายวิธี และเราสามารถควบคุมคุณสมบัติแห้งเร็วนี้ได้ ด้วยการผสมกลีเซอรินลงในน้ำผสมสีก็จะช่วยให้แห้งช้าได้

#### 2.1.1.2.4 สมบัติรุกรานและยอมรืบ (Advance, Recede)

ทั้งนี้เกี่ยวข้องกับสีและสารเคมีที่ผสม ซึ่งผู้สนใจจะต้องสอบถามด้วยตนเองว่าสีใดที่มีคุณสมบัติรุกรานสีอื่น หรือสีโดยยอมให้สีอื่นรุกราน และสีใดที่ติดกระดาษแน่นลางน้ำไม่ออก

ลักษณะและคุณสมบัติของสีน้ำโดยสรุปทั้ง 4 ประการนี้ ช่วยให้ผู้สนใจสีน้ำทั้งหลายรู้ว่าสีน้ำมีขีดจำกัดในการนำไปใช้ เป็นสื่อได้มากน้อยเพียงใด และถึงอย่างไรก็ดีแม้ว่าสี

น้ำมีขีดจำกัดในลักษณะและคุณสมบัติในตัวเอง สื่อน้ำก็ยังเป็นสื่อที่มีประโยชน์และมีคุณค่าต่างกับสื่อวัสดุประเภทอื่น ๆ เช่น คุณค่าของความเรียบง่าย และคุณค่าด้านความรู้สึกรวมของบรรยากาศ เป็นต้น

### 2.1.2 แอลซีดี

จอภาพหรือหน่วยแสดงผล เป็นอุปกรณ์ทางออปโตอิเล็กทรอนิกส์ (Optoelectronics) ชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่แสดงข้อมูลที่เป็นภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว ตัวอักษร สัญลักษณ์ กล่าวคือเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณข้อมูลชนิดไฟฟ้า (electrical signal) ให้เป็นสัญญาณข้อมูลชนิดแสง (light signal) ที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ด้วยตา โดยทั่วไปจอภาพจะแสดงผล สัญญาณข้อมูลชนิดแสงให้เห็นเป็นรูปร่างแบบ 2 มิติ ซึ่งอาจแสดงผลแบบดิจิทัล กราฟิก หรือตัวอักษร และชนิดพิเศษบางชนิด เช่น ฮอโลกราฟี สามารถแสดงผลให้เห็นเป็นรูปร่างแบบ 3 มิติ

#### 2.1.2.1 ประเภทของจอภาพ

จอภาพ แบ่งออก 2 ประเภทตามลักษณะความสามารถในการเปล่งแสง คือ

2.1.2.1.1 จอภาพชนิดแอคทีฟ หรือจอภาพชนิดเปล่งแสงได้ด้วยตัวเอง (active หรือ emissive display) เช่น หลอดแคโทด (cathode ray tube: CRT) ไดโอดเปล่งแสง (light emitting diode: LED) อิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ (electroluminescence: EL) เป็นต้น

2.1.2.1.2 จอภาพชนิดพาสซีฟ หรือจอภาพชนิดเปล่งแสงด้วยตัวเองไม่ได้ (passive หรือ non-emissive display) เช่น จอภาพชนิดผลึกเหลว (liquid crystal display: LCD) จอภาพชนิดอิเล็กโทรเคมีคัล (electro-chemical display: ECD) เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้จอภาพชนิดผลึกเหลวหรือที่เรียกว่า แอลซีดี (LCD) ซึ่งย่อมาจาก Liquid Crystal Display ซึ่งจอภาพแบบนี้มีวัสดุหลัก คือ ผลึกเหลวซึ่งเป็นสสารที่มีสมบัติกั้นระหว่างของแข็งและของเหลว โดยปกติแล้วผลึกเหลวจะอยู่ในสถานะของเหลว แต่เมื่อมีแสงผ่านมาจะเกิดการจัดเรียงโมเลกุลใหม่ ผลึกเหลวจะมีสมบัติเป็นของแข็งแทน ส่วนที่แสงผ่านไปเรียบร้อยแล้วก็จะกลับมามีคุณสมบัติเป็นของเหลวเหมือนเดิม

### 2.1.2.2 ประเภทของผลึกเหลวของแอลซีดี

ผลึกเหลว แบ่งตามความแตกต่างของโครงสร้างได้ 3 ชนิด [4] ได้แก่

2.1.2.2.1 เนมาติก (Nematic) : เป็นชนิดที่นิยมใช้มากที่สุด ลักษณะคือแกนยาวของโมเลกุลของผลึกเหลววางตัวขนานกันทุกตัว แต่ตำแหน่งของแต่ละตัวไม่เป็นระเบียบ

2.1.2.2.2 สเมกติก (Smectic) : มีลักษณะคือแกนยาวของโมเลกุลของผลึกเหลววางตัวขนานกันทุกตัวและจับตัวแบ่งเป็นชั้น ๆ โดยที่แกนยาวของผลึกเหลวในแต่ละชั้นตั้งฉากกับระนาบชั้น

2.1.2.2.3 คอเลสเทอริก (Cholesteric) : มีลักษณะคือโมเลกุลของผลึกเหลวมีการจับตัวแบ่งเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นมีระยะห่างเท่า ๆ กัน โดยที่แกนยาวของผลึกเหลวในแต่ละชั้นทุกตัวชี้ทิศทางเดียวกันและชี้ในแนวระนาบชั้น ทิศทางการชี้ของผลึกเหลวค่อย ๆ เปลี่ยนทิศทางจากชั้นหนึ่งไปสู่ชั้นหนึ่งโดยค่อย ๆ เปลี่ยนทิศในลักษณะเป็นเกลียว

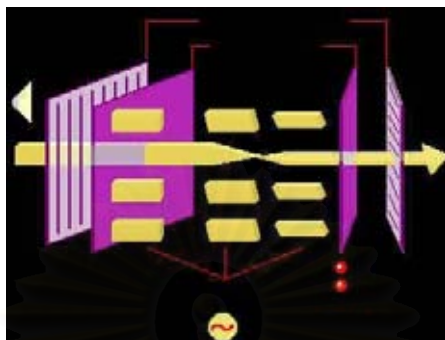
### 2.1.2.3 หลักการทำงานของแอลซีดี

หลักการทำงานของแอลซีดีนั้นจะทำงานโดยการให้แสงขาว (White light) ผ่านแอคทีฟฟิลเตอร์ (Active Filter) คือ แม่สีแสง (สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน) นั้นได้มาจากการกรองแสงขาวนั่นเอง โดยส่วนใหญ่แล้วผลึกเหลวนั้นจะเป็นสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลเป็นลักษณะคล้ายกับแท่งไม้ยาว ๆ ซึ่งโดยธรรมชาติแล้วจะมีการจัดเรียงขนานกันไปเรื่อย ๆ ทำการควบคุมการจัดเรียงของโมเลกุลเหล่านี้ด้วยการปล่อยให้ผลึกเหลวนั้นไหลไปตามพื้นผิวที่เป็นร่อง ๆ ซึ่งถ้าพื้นผิวที่เป็นร่อง ๆ นี้แต่ละร่องขนานกันอยู่ โมเลกุลก็จะมี การจัดเรียงแบบขนานกันไปด้วย

หลักการแรกของแอลซีดี คือ การประกบผลึกเหลวที่อยู่บนพื้นผิวที่เป็นร่องๆสองฝั่งเข้าด้วยกัน โดยแต่ละฝั่งนั้นร่องจะทำมุม 90 องศาซึ่งกันและกัน ถ้าโมเลกุลที่พื้นผิวหนึ่งมีการจัดเรียงจากเหนือไปได้ โมเลกุลที่อยู่อีกพื้นผิวหนึ่งก็จะมี การจัดเรียงจากตะวันออกไปตะวันตก แสงที่ผ่านเข้ามา ก็จะมาตามการจัดเรียงของโมเลกุล ดังนั้นเมื่อโมเลกุลมีการจัดเรียงตัดกัน 90 องศา เมื่อแสงผ่านโมเลกุลของผลึกเหลว แสงก็จะบิดเกลียว 90 องศาเช่นกัน อย่างไรก็ตามการค้นพบว่าถ้ามีการจ่ายแรงดันไฟฟ้าไปยังผลึกเหลว ผลึกเหลวก็จะมี การจัดเรียงตัวใหม่เป็นแบบตั้งตรง ซึ่งทำให้แสงสามารถผ่านไปได้อย่างไม่มีการบิดเกลียวใด ๆ

หลักการที่สองนั้นอยู่ที่คุณสมบัติแผ่นโพลารไรซ์ คลื่นแสงจะมีการหักเหไปในมุมต่าง ๆ ไม่แน่นอน แผ่นโพลารไรซ์จะเป็นเส้นขนานชุดหนึ่งที่ทำหน้าที่เหมือนเป็นตาข่ายในการปิด

กันแสงเอาไว้ โดยให้ผ่านเฉพาะแสงที่ทำมุมออกมาขนานกับเส้นของแผ่นโพลารอยซ์นี้เท่านั้น [5] ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การทำงานของแอลซีดี

แอลซีดีที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นแบบ Thin Film Transistor (TFT) ที่เป็นเทคโนโลยีล่าสุด มีวงจรแบบ Active matrix ซึ่งจะมีทรานซิสเตอร์ชนิดฟิล์มบางของอะมอร์ฟัสซิลิคอนที่สามารถสร้างให้เป็นจุดเล็ก ๆ เฉพาะตำแหน่งได้ง่าย โดยทรานซิสเตอร์แต่ละตัวจะแทนแต่ละสี (แดง เขียว น้ำเงิน) ผลที่ได้ก็คือมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของภาพที่เร็วขึ้นและมีความคมชัดขึ้น ผลึกเหลวที่แทนแต่ละพิกเซลนั้นถูกจัดวางอยู่ในลักษณะที่เรียกว่าสภาวะปกติ (ไม่มีแรงดันไฟฟ้าถูกจ่ายมาให้) แสงก็จะเข้ามาทางแผ่นโพลารอยซ์อย่างไม่ตรงทิศทาง ซึ่งผลที่ได้รับคือแสงจะถูกกันเอาไว้จนหมด แต่ถ้าเมื่อใดก็ตามที่มีการจ่ายแรงดันไฟฟ้ามาให้ด้วย แสงก็จะบิดเกลียวไปเรื่อย ๆ จนถึง 90 องศา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายมาให้ซึ่งจะทำให้แสงผ่านมาได้มากขึ้น ทรานซิสเตอร์จะทำหน้าที่คอยควบคุมมุมมองของภาพการบิดเกลียวของแสงและความเข้มของสีแดง เขียว และน้ำเงินของแต่ละพิกเซล

ข้อดีของแอลซีดี ได้แก่

1. ใช้กำลังไฟฟ้าน้อย (หน่วยเป็นไมโครวัตต์ / ตารางเซนติเมตร)
2. ใช้แรงดันไฟฟ้าต่ำ (หน่วย 1-10 V) ทำให้สามารถขับเคลื่อนด้วยวงจร IC ได้โดยตรง และวงจรก็มีขนาดกะทัดรัด
3. มีขนาดเล็ก ลักษณะบาง แบน และเบา จึงประหยัดพื้นที่ และสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก
4. เนื่องจากเป็นจอภาพชนิดรับแสง ดังนั้นจึงเห็นภาพชัดแม้อยู่ในที่สว่าง
5. เนื่องจากใช้งานแบบส่องผ่านและขยายแสงได้ จึงสามารถผลิตเป็นจอแบบ โปรเจกเตอร์ (projector) ได้

#### 2.1.2.4 การผสมสีแบบบวก (Additive Colour Mixing)

แอลซีดีใช้หลักการผสมสีแบบบวก โดยแสงที่ใช้เป็นแม่สีปฐมภูมิ (additive primaries) ได้แก่ แสงสีน้ำเงิน แสงสีเขียว และแสงสีแดง มาผสมกันเพื่อให้ได้แสงสีใหม่ขึ้นมา [4] ในการผสมสี หากใช้แม่สีปฐมภูมิที่มีความเข้มแสงเท่ากันมาผสมกันจะทำให้ได้แสงสีต่าง ๆ ดังนี้

แสงสีน้ำเงิน (B) + แสงสีเขียว (G)  $\longrightarrow$  แสงสีน้ำเงินเขียว (C)

แสงสีน้ำเงิน (B) + แสงสีแดง (R)  $\longrightarrow$  แสงสีม่วงแดง (G)

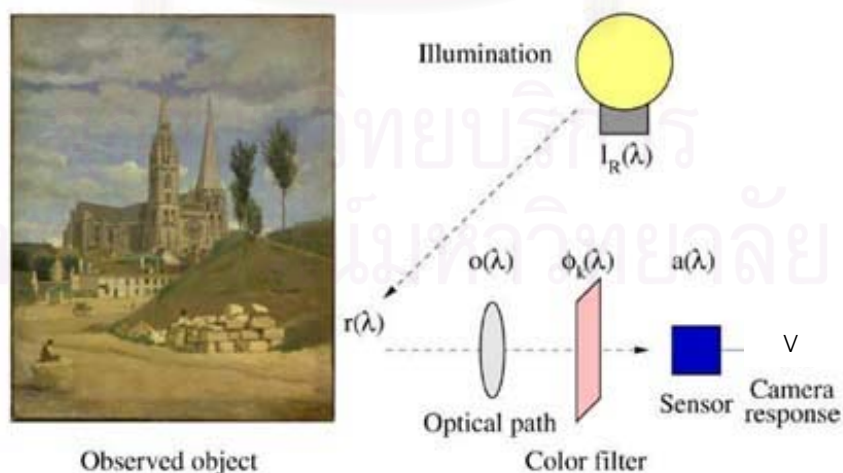
แสงสีแดง (R) + แสงสีเขียว (G)  $\longrightarrow$  แสงสีเหลือง (Y)

แสงสีแดง (R) + แสงสีเขียว (G) + แสงสีน้ำเงิน (B)  $\longrightarrow$  แสงสีขาว (W)

หากเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงแม่สีให้แตกต่างกันจะทำให้เกิดแสงสีอื่น ๆ ขึ้นได้ ตัวอย่างการผสมสีแบบบวกที่พบได้ในชีวิตประจำวัน คือ สีของจอโทรทัศน์ และจอคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

#### 2.1.3 องค์ประกอบในการบันทึกภาพของกล้อง

องค์ประกอบในการบันทึกภาพของกล้อง ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสง ( $I(\lambda)$ ) การสะท้อนแสงของวัตถุ ( $r(\lambda)$ ) การส่องผ่านแสงของเลนส์ ( $o(\lambda)$ ) การส่องผ่านแสงของแผ่นกรองแสง ( $\phi(\lambda)$ ) และความไวแสงของซีซีดี ( $a(\lambda)$ ) [1] แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 องค์ประกอบในการบันทึกภาพ



จากรูปที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าในการบันทึกภาพจะได้ค่าการตอบสนองของกล้อง ที่เรียกว่า Pixel value (V) ซึ่งเป็นค่าระดับความสว่างของภาพที่มีค่าตั้งแต่ 0-255 โดย V ได้จากการที่แสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบลงบนวัตถุ แล้ววัตถุนั้นสะท้อนแสงมายังกล้อง แสงจะส่องผ่านเลนส์และแผ่นกรองแสง จากนั้นจึงผ่านไปยังซีดีดีของกล้อง

ดังนั้นสามารถหาค่า V ได้จากสมการ (2.1)

$$V = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} I_r(\lambda) r(\lambda) \alpha(\lambda) \phi(\lambda) a(\lambda) d\lambda \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

#### 2.1.4 แผ่นกรองแสง

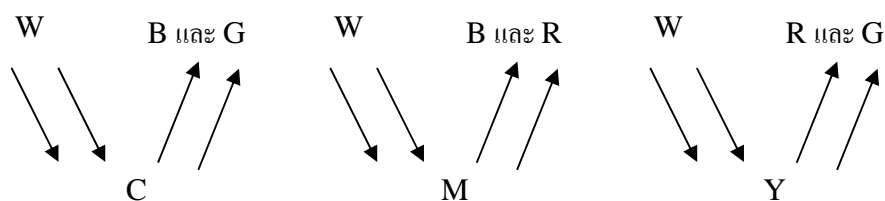
แผ่นกรองแสงที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นแผ่นเจลาตินเคลือบสีทั้ง 2 ด้าน ใช้สวมทับหน้าเลนส์ของกล้องถ่ายภาพเพื่อช่วยเพิ่มหรือลดสีบางสีด้วยการอาศัยคุณสมบัติของการส่องผ่านแสงและการดูดกลืนแสง

##### 2.1.4.1 สมบัติของแผ่นกรองแสง

แสงที่เรามองเห็นเป็นสีขาวนั้นเกิดจากการรวมตัวของสีต่าง ๆ ซึ่งมีความถี่ของคลื่นระหว่าง 400 – 700 นาโนเมตร คือ สีน้ำเงิน เขียว และแดง แต่การที่เรามองเห็นวัตถุในแสงสีขาวเป็นสีต่าง ๆ มากมายนั้นเป็นเพราะวัตถุนั้นสะท้อนแสงหรือส่องผ่านแสงนั้นมายังตาเรา และกันหรือดูดกลืนแสงบางสีไว้ เช่น เราเห็นเสื้อเป็นสีแดงในแสงสีขาว เพราะเสื้อสะท้อนแสงสีแดงซึ่งเป็นส่วนประกอบของแสงสีขาวเป็นส่วนใหญ่ และดูดกลืนแสงสีอื่น ๆ ไว้ ส่วนวัตถุโปร่งแสง เช่น แก้วสีน้ำเงินวางไว้ในแสงสีขาว เราจะเห็นเป็นสีน้ำเงินเพราะแก้วยอมให้แสงสีน้ำเงินส่องผ่านและดูดกลืนสีอื่น ๆ ไว้ [6]

##### 2.1.4.2 หลักการส่องผ่านแสง

แผ่นกรองแสงใช้หลักการเลือกดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 1/3 ของสเปกตรัมแสงขาว และส่องผ่านแสงที่เหลือประมาณ 2/3 ของช่วงความยาวคลื่นของสเปกตรัมของแสงขาว โดยหากแสงสีขาวส่องผ่านแผ่นกรองแสงสีน้ำเงินเขียว จะดูดกลืนแสงสีแดงไว้ และส่องผ่านแสงสีน้ำเงินและแสงสีเขียว แผ่นกรองแสงสีม่วงแดง จะดูดกลืนแสงสีเขียวไว้ และส่องผ่านแสงสีน้ำเงินและแสงสีแดง ส่วนแผ่นกรองแสงสีเหลือง จะดูดกลืนแสงสีน้ำเงินไว้ และส่องผ่านแสงสีแดงและแสงสีเขียว ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 หลักการส่องผ่านของแผ่นกรองแสง

จากคุณสมบัติดังกล่าวสรุปได้ว่าแผ่นกรองแสงสีใดก็ตามจะปล่อยให้แสงสีของตัวเองหรือแสงบางสีที่มีส่วนผสมของสีตัวเองผ่านไป ส่วนแสงสีอื่น ๆ จะถูกกั้นไว้ไม่ให้ผ่าน ซึ่งโดยทั่วไปแผ่นกรองแสงจะส่องผ่านสีที่มีวรรณะในหมู่เดียวกันแต่จะกั้นหรือดูดกลืนแสงสีตรงกัน ดังนั้นเมื่อเราต้องการถ่ายภาพให้สีบางสีสว่างหรือเข้ม หรือแก้ไขสีของแสงที่ปรากฏในภาพให้มีสีเหมือนกับตาเราเห็น ก็สามารถทำได้ด้วยการเลือกใช้แผ่นกรองสีที่ถูกต้องหรือเหมาะสมสวมทับหน้าเลนส์

#### 2.1.4.3 ประเภทของแผ่นกรองแสง

แผ่นกรองแสงที่ใช้ในงานวิจัยนี้ แบ่งเป็น 3 ประเภท มีจำนวน 9 แผ่น คือ

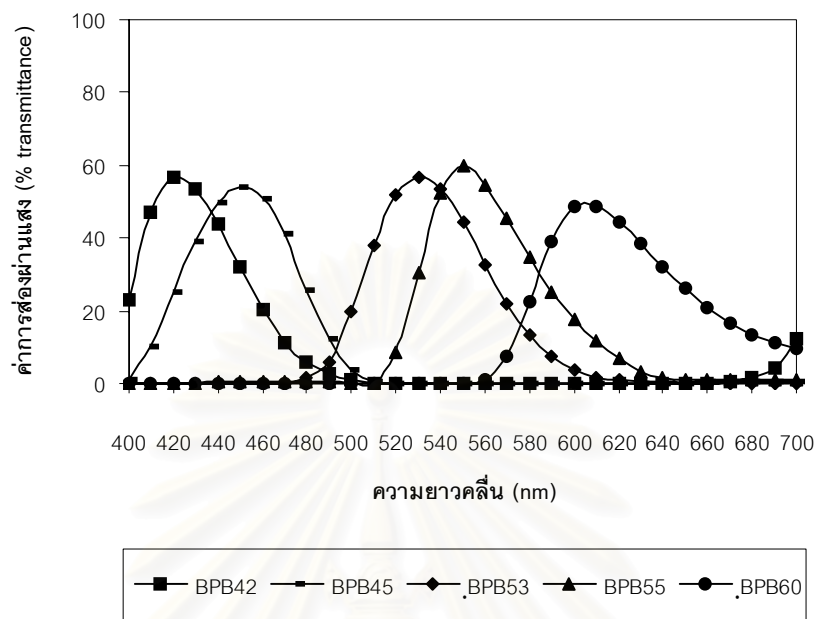
2.1.4.3.1 แผ่นกรองแสงประเภท Band Pass Broad (BPB) : 42 45 53 55 และ 60 ซึ่งแผ่นกรองแสงประเภท BPB มีลักษณะการสะท้อนและดูดกลืนแสงเป็นช่วงกว้าง โดยมีความยาวคลื่นกว้างเป็น  $\frac{1}{3}$  ของช่วงความยาวคลื่นทั้งหมด

2.1.4.3.2 แผ่นกรองแสงประเภท Band Pass Narrow (BPN) : 42 และ 50 ซึ่งแผ่นกรองแสงประเภท BPN มีลักษณะการสะท้อนและดูดกลืนแสงเป็นช่วงแคบ โดยมีความยาวคลื่นกว้างเป็น  $\frac{1}{4}$  ของช่วงความยาวคลื่นทั้งหมด

2.1.4.3.3 แผ่นกรองแสงประเภท Sharp Cut (SC) : 64 และ 66 ซึ่งแผ่นกรองแสงประเภท SC มีลักษณะการสะท้อนและดูดกลืนแสงที่ยอมให้แสงบางช่วงคลื่นออกไปและกั้นไม่ให้แสงบางช่วงคลื่นออกไป [7]

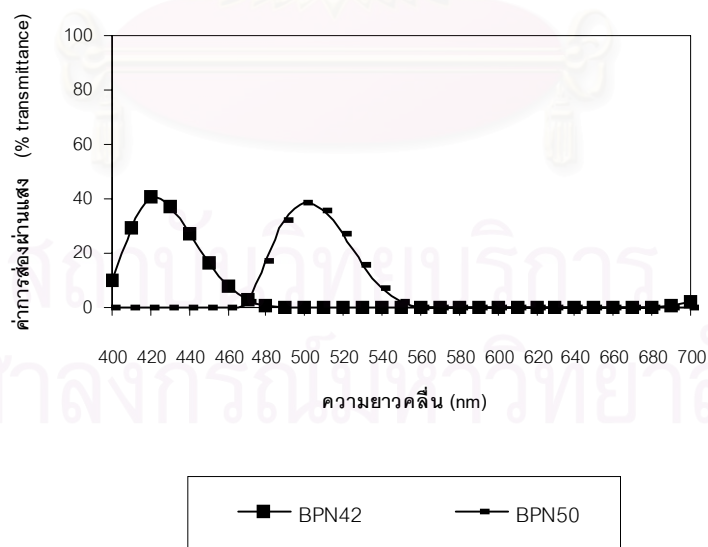
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่องผ่านของแสงกับช่วงความยาวคลื่น ตั้งแต่ 400-700 นาโนเมตร (ทุก ๆ 10 นาโนเมตร) ของแผ่นกรองแสงทั้ง 3 ประเภท เป็นดังรูปที่ 2.4, 2.5 และ

2.6



รูปที่ 2.4 การส่องผ่านแสงของแผ่นกรองแสงชนิด BPB

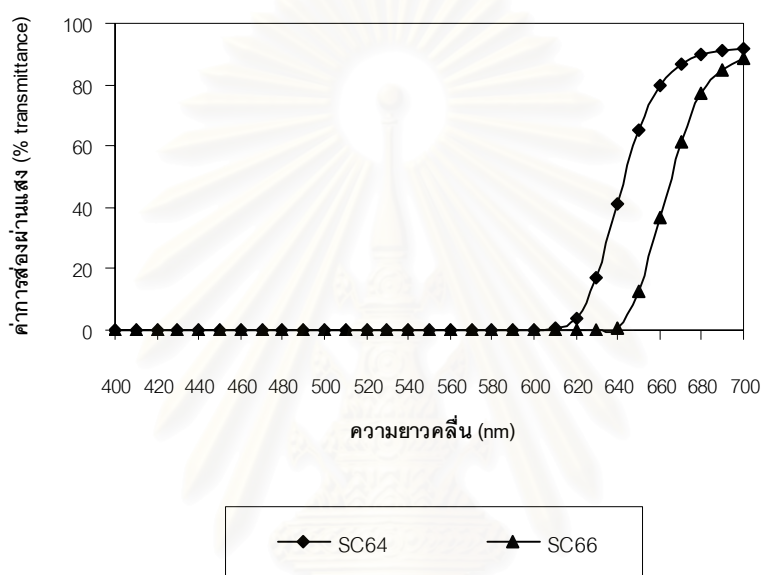
จากรูปที่ 2.4 จะเห็นได้จากแผ่นกรองแสงชนิด BPB มีค่าการส่องผ่านของแสงสูงสุดในช่วงความยาวคลื่นตามเบอร์แผ่นกรองแสงนั้นๆ คือ BPB 42, 45, 53, 55 และ 60 มีค่าการส่องผ่านของแสงสูงสุดที่ 420 nm, 450 nm, 530 nm 550 nm และ 600 nm ตามลำดับ



รูปที่ 2.5 การส่องผ่านแสงของแผ่นกรองแสงชนิด BPN

จากรูปที่ 2.5 จะเห็นได้จากแผ่นกรองแสงชนิด BPN มีค่าการส่องผ่านของแสงสูงสุดในช่วงความยาวคลื่นตามเบอร์แผ่นกรองแสงนั้นๆ คือ BPN 42 และ BPN 50 มีค่าการส่องผ่านของแสงสูงสุดที่ 420 nm และ 500 nm ตามลำดับ

ความแตกต่างของแผ่นกรองแสงชนิด BPB และ BPN คือ BPB จะมีช่วงความกว้างของความยาวคลื่นมากกว่า BPN



รูปที่ 2.6 การส่องผ่านแสงของแผ่นกรองแสงชนิด SC

จากรูปที่ 2.6 จะเห็นได้จากแผ่นกรองแสงชนิด SC มีค่าที่ 50% ของการส่องผ่านแสงอยู่ที่ช่วงความยาวคลื่น (nm) ตามเบอร์แผ่นกรองแสงนั้นๆ คือ SC 64 และ SC 66 มีค่าที่ 50% ของการส่องผ่านแสงอยู่ที่ 640 nm และ 660 nm ตามลำดับ

## 2.1.5 เลนส์

### 2.1.5.1 หน้าที่ของเลนส์

เลนส์ทำหน้าที่สำคัญ 2 ประการ คือ

- 2.1.5.1.1 ทำให้แสงผ่านรูรับแสงไปบันทึกบนซีซีดีได้จำนวนมากพอเหมาะ
- 2.1.5.1.2 ทำหน้าที่หักเหและปรับความชัดของแสงที่จะบันทึกบนซีซีดี

### 2.1.5.2 คุณสมบัติเฉพาะของเลนส์

เลนส์มีคุณสมบัติเฉพาะ 2 ประการ คือ

#### 2.1.5.2.1 ความยาวโฟกัสของเลนส์ (Focal Length)

ความยาวโฟกัสของเลนส์จะมีผลทำให้เกิดภาพแตกต่างกัน ความยาวโฟกัสของเลนส์ หมายถึง ระยะทางจากเลนส์ที่สร้างภาพกับซีซีดี ซึ่งหน่วยวัดมาตรฐานที่ใช้ คือ มิลลิเมตรและใช้ตัวอักษรย่อว่า F เช่น F 2.8 mm., F 50 mm. เป็นต้น

#### 2.1.5.2.2 ความไวของเลนส์ (lens speed)

ความไวของเลนส์ คือ ความสามารถของเลนส์ที่ยอมให้แสงผ่านได้มากที่สุด ถ้าเลนส์มีค่า f-stop เป็น f 1.4 หมายความว่าขนาดรูรับแสงของเลนส์ที่เปิดให้แสงเข้าไปได้กว้างสุดเป็น 1.4 และเลนส์มีค่า f-stop เป็น f 2 หมายความว่าขนาดรูรับแสงของเลนส์ที่เปิดให้แสงเข้าไปได้กว้างสุดคือ 2 ซึ่งแคบกว่าเลนส์ f 1.4 และปริมาณแสงเข้าได้น้อยกว่า ดังนั้นเลนส์ที่มีความสามารถในการเปิดรูรับแสงกว้างสุดได้ใหญ่กว่าจะไวแสงมากกว่าเลนส์ที่มีขนาดรูรับแสงกว้างสุดแคบ [6]

การกำหนดค่าขนาดความกว้าง-แคบของรูรับแสงที่เรียกว่า f-number หรือ f-stop คือเป็นอัตราส่วนระหว่างความยาวโฟกัสของเลนส์ (focus length) กับเส้นผ่าศูนย์กลางของรูรับแสงของเลนส์ (diameter) เมื่อนำความยาวโฟกัสของเลนส์หารกับเส้นผ่าศูนย์กลางของรูรับแสงของเลนส์ ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นขนาดรับรูแสงที่ใหญ่ที่สุดของเลนส์นั้น

$$\text{ขนาดของรูรับแสง} = \frac{\text{ความยาวโฟกัสของเลนส์}}{\text{เส้นผ่าศูนย์กลางของรูรับแสงของเลนส์}}$$

$$\text{f-number} = \frac{F}{d}$$

ค่าตัวเลข f-number ที่เป็นมาตรฐานสากล ได้แก่ f 1 1.4 2 2.8 4 5.6 8 11 16 22 32 45 64 โดยค่าตัวเลขมาก ปริมาณแสงจะเข้าได้น้อย ค่าตัวเลขน้อยปริมาณแสงจะเข้าได้มาก โดยที่ค่าตัวเลขที่เพิ่มขึ้น 1 สตอป (1 stop) จะให้แสงเข้าน้อยลงประมาณครึ่งหนึ่ง และค่าตัวเลขที่ลดลง 1 สตอป จะให้แสงเข้าได้มากขึ้นประมาณ 2 เท่าเสมอ เนื่องจากเส้นผ่าศูนย์กลางของรูรับแสงเปลี่ยนไป

เลนส์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีความยาวโฟกัส เท่ากับ 12 มม. เส้นผ่าศูนย์กลางของรูรับแสง เท่ากับ 6 มม. ดังนั้น f-number เท่ากับ 2.0 สาเหตุที่เลือกเลนส์ที่มีความยาวโฟกัสนี้ เนื่องจากสามารถปรับความชัดของวัตถุที่อยู่ใกล้กล้องถ่ายภาพได้มากกว่าเลนส์ที่มีความยาวโฟกัสยาว และเมื่อปรับความ

ชัดได้ไกลกว่า ขนาดของภาพที่ได้ก็จะใหญ่กว่า โดยที่สามารถบันทึกขนาดภาพได้หมด และภาพเกิดการบิดเบี้ยว (distortion) น้อยที่สุด

### 2.1.6 องค์ประกอบในการรับรู้สี

ในกระบวนการมองเห็นและรับรู้สีของวัตถุใดๆของมนุษย์ จำเป็นต้องมีองค์ประกอบสำคัญ 3 องค์ประกอบ คือ แหล่งกำเนิดแสง วัตถุมีสี และตา โดยสีของวัตถุที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้นั้น เป็นผลมาจากการที่มีแสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบวัตถุมีสี และวัตถุมีสีนั้นได้เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางสเปกตรัมของแสงที่ตกกระทบก่อนที่จะปล่อยให้แสงผ่านเข้าสู่ตา ซึ่งจะรื้อให้เซลล์รับแสงและเซลล์ประสาทตาต่าง ๆ ภายในลูกตาทำงานและผลิตสัญญาณส่งต่อไปยังสมอง เพื่อแปลสัญญาณและทำให้เกิดการรับรู้สีขึ้นได้ [8] ซึ่งองค์ประกอบสำคัญ 3 องค์ประกอบ ได้แก่

#### 2.1.6.1 แหล่งกำเนิดแสง

แหล่งกำเนิดแสงแต่ละประเภทที่มีสมบัติของแสงแตกต่างกัน สมบัติเหล่านั้นนอกจากจะมีผลทำให้สีของแสงที่มนุษย์เรามองเห็นและรับรู้ได้แตกต่างกันแล้ว ยังมีผลทำให้สีของวัตถุที่แสงนั้นตกกระทบมีการเปลี่ยนแปลงและแตกต่างกันด้วย สมบัติของแสงมีดังนี้

##### 2.1.6.1.1 การกระจายพลังงานแสงของสเปกตรัม (Spectral Power Distribution : SPD)

แหล่งกำเนิดแสงมีการกระจายพลังงานในแต่ละความยาวคลื่นแตกต่างกัน เช่น แหล่งกำเนิดแสง A  $D_{50}$  และ  $D_{65}$  โดยแหล่งกำเนิดแสง A เป็นแสงที่มีค่าพลังงานแสงเพิ่มขึ้นตามความยาวคลื่นแสงที่มากขึ้น และมีค่าพลังงานแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร จึงมีสีออกไปทางสีแดงอมเหลือง ส่วนแหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  และ  $D_{65}$  เป็นแสงที่มีค่าพลังงานในความยาวคลื่นสั้นสูงกว่าแสงจากแหล่งกำเนิดแสง A ดังนั้นจึงมีแสงสีน้ำเงินมากกว่า โดย  $D_{65}$  มีค่าพลังงานในช่วงความยาวคลื่นของแสงสีน้ำเงินสูงกว่า  $D_{50}$  แต่มีค่าพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นของแสงสีแดงต่ำกว่าแสง  $D_{50}$  จึงทำให้แสง  $D_{65}$  มีสีอมสีน้ำเงินมากกว่าแสง  $D_{50}$  โดยปกติค่าพลังงานแสงที่ใช้เป็นค่าสัมพัทธ์ซึ่งได้จากการเปรียบเทียบกับค่าพลังงานต่าง ๆ กับค่าพลังงานที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร เพราะเป็นแสงที่ตามนุษย์มีความไวแสงมากที่สุด

#### 2.1.6.1.2 อุณหภูมิสี (Colour Temperature)

อุณหภูมิสี หมายถึง อุณหภูมิในหน่วยเคลวินที่เมื่อวัตถุดำ (black body) ได้รับความร้อนที่อุณหภูมินั้นแล้วเปล่งแสงที่มีสีแตกต่างกันออกมา อุณหภูมิสีของแสงเป็นตัวเลขเพียงค่าเดียว ในขณะที่ค่า SPD เป็นตัวเลขที่แตกต่างกันตามความยาวคลื่น

#### 2.1.6.1.3 การแปรเปลี่ยนสี (Colour Rendering)

แปรเปลี่ยนสีเป็นสมบัติของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงใด ๆ ที่ทำให้สีของวัตถุมีการแปรเปลี่ยนไปเมื่อมองดูภายใต้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน หรือแหล่งกำเนิดแสงอ้างอิงใดๆ ในการระบุสมบัติการแปรเปลี่ยนสีของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงใดๆ สามารถทำได้โดยใช้ค่าดัชนีการแปรเปลี่ยนสี (colour rendering index) ซึ่งเป็นค่าตัวเลขที่คำนวณโดยใช้ค่าสี CIE ของแผ่นสีมันเซลล์ภายใต้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐานและแหล่งกำเนิดต่าง ๆ ทั้งนี้ค่าดัชนีการแปรเปลี่ยนสีมีค่าสูงสุดได้เท่ากับ 100 แสงจากแหล่งกำเนิดใดๆก็ตามที่มีค่าดัชนีการแปรเปลี่ยนสีเท่ากับ 100 หมายความว่าแสงนั้นไม่ทำให้สีของวัตถุแปรเปลี่ยนไปจากสีของวัตถุเดียวกันที่มองภายใต้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน แต่ถ้าแสงจากแหล่งกำเนิดใดก็ตามมีค่าดัชนีการแปรเปลี่ยนสีต่ำกว่า 100 มาก ๆ ก็ยิ่งทำให้สีที่ปรากฏของวัตถุมีความแตกต่างไปจากสีของวัตถุที่มองภายใต้แสงมาตรฐานมากขึ้นเท่านั้น

#### 2.1.6.2 วัตถุสี

วัตถุสีได้เนื่องจากมีองค์ประกอบ คือ สารให้สี (colourants) ที่มีสมบัติในการเลือกดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นของแสงที่ตกกระทบ แล้วเลือกส่องผ่านหรือสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่นอื่น ๆ ที่เหลือของแสงตกกระทบออกมา

#### 2.1.6.3 ตา

ลูกตาทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ตัวรับแสง (sensor) และสมองทำหน้าที่ประมวลผลสัญญาณที่ส่งมาจากลูกตาให้เกิดการรับรู้สี โดยเมื่อแสงจากวัตถุตกกระทบบนจอตา เซลล์รับแสงรูปแท่งและรูปกรวยจะเกิดการตอบสนองต่อแสงและทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณให้เป็นสัญญาณประสาทก่อนที่จะส่งต่อไปยังสมองเพื่อแปลสัญญาณให้เกิดการมองเห็นและรับรู้สีต่างๆของวัตถุ

### 2.1.7 เมแทเมอริซึม

เมแทเมอริซึม (metamerism) เป็นปรากฏการณ์การมองเห็นและรับรู้สีของวัตถุ 2 ชิ้น หรือบริเวณใดๆ 2 บริเวณว่ามีสีเหมือนกันภายใต้สภาวะการมองเห็นหรือเงื่อนไขหนึ่งหรือมากกว่า โดยเมื่อสภาวะการมองเห็นหรือเงื่อนไขนั้นเปลี่ยนแปลงไปก็จะมีผลทำให้สีของวัตถุหรือบริเวณนั้นมีสีแตกต่างกัน [8] สามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ

#### 2.1.7.1 เมแทเมอริซึมเนื่องด้วยแหล่งกำเนิดแสง

การมองเห็นสีของวัตถุ 2 ชิ้นเหมือนกันเมื่อมองภายใต้แหล่งกำเนิดแสงหนึ่ง แต่เมื่อเปลี่ยนชนิดของแหล่งกำเนิดแสงมีผลทำให้มองเห็นสีของวัตถุ 2 ชิ้นแตกต่างกัน

#### 2.1.7.2 เมแทเมอริซึมเนื่องด้วยผู้สังเกตการณ์

การที่ผู้สังเกตการณ์คนหนึ่งมองเห็นสีของวัตถุ 2 ชิ้นเหมือนกัน แต่ผู้สังเกตการณ์อีกคนหนึ่งมองเห็นสีของวัตถุ 2 ชิ้นนั้นแตกต่างกัน ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง ระยะเวลา และมุมมองเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากตาแต่ละคนมีความไวแสงต่อการมองเห็นสีแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น ผู้สังเกตการณ์คนใดคนหนึ่งอาจมีการมองเห็นสีผิดปกติ โดยอาจมีการตาบอดสีหรือมองเห็นสีใดสีหนึ่งได้น้อยกว่าคนที่มีการมองเห็นปกติ หรือคนสูงอายุมักมีระบบการมองเห็นที่ไม่ดีเท่ากับคนที่อยู่ในวัยหนุ่มสาว เป็นต้น

#### 2.1.7.3 เมแทเมอริซึมเนื่องด้วยระยะเวลา

การที่ผู้สังเกตการณ์คนหนึ่งมองเห็นสีของวัตถุ 2 ชิ้นเหมือนกันเมื่อมองดูที่ระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งทำให้มองเห็นวัตถุชิ้นนั้นมีขนาดเล็กกลง แต่เมื่อมองที่ระยะเวลาใกล้ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงและมุมมองเดียวกันกลับมองเห็นสีของวัตถุ 2 ชิ้นนั้นแตกต่างกัน

#### 2.1.7.4 เมแทเมอริซึมเนื่องด้วยมุมมอง

การที่ผู้สังเกตการณ์คนหนึ่งมองเห็นสีของวัตถุ 2 ชิ้นเหมือนกันที่มุมมองหนึ่ง แต่เมื่อเปลี่ยนมุมในการมอง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงและระยะเวลาเดียวกัน ทำให้มองเห็นสีของวัตถุ 2 ชิ้นนั้นแตกต่างกัน เมแทเมอริซึมประเภทนี้นอกจากจะเกิดจากตัวของสารให้สีเองแล้ว ยังเกิดขึ้นจากลักษณะผิวของวัตถุด้วย เช่น วัตถุมีความมันวาวที่แตกต่างกัน ทำให้เมื่อเปลี่ยนมุมมองส่งผลให้การ



สะท้อนแสงที่ผิวของวัตถุแตกต่างกัน ทำให้การสะท้อนแสงรวมที่ได้จากการสะท้อนแสงของสารให้สี และการสะท้อนแสงที่ผิวมีความแตกต่างกัน ผู้สังเกตการณ์จึงมองเห็นสีต่างกัน

งานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบภาพระหว่างภาพสีน้ำต้นฉบับกับภาพที่ผลิตได้บนแอลซีดี โดยใช้แหล่งกำเนิดแสง 2 แหล่ง คือ  $D_{65}$  และ  $D_{50}$  เนื่องจากต้องการสร้างกระบวนการการผลิตซ้ำของภาพสีน้ำจากข้อมูลสเปกตรัมบนแอลซีดีให้ใกล้เคียงกับต้นฉบับมากที่สุด โดยไม่เกิด เมแทเมอร์ซีม เนื่องจากด้วยแหล่งกำเนิดแสงเปลี่ยนไป

### 2.1.8 Wiener Estimation

ในงานวิจัยนี้ใช้ Wiener Estimation ในการประมาณค่าการสะท้อนแสงเชิงสเปกตรัมของวัตถุ ( $O_{est}$ ) ซึ่ง Wiener Estimation เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการประมาณค่าการสะท้อนแสงเชิงสเปกตรัมของวัตถุ [2] และเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุด [9] ซึ่งสามารถประมาณได้จากสมการ (2.2)

$$O_{est} = GV \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

โดยที่

V คือ เวกเตอร์ของการตอบสนองของกล้อง ( $V_i$ )

G คือ เมทริกซ์ที่ทำให้ค่า square error ( $\mathcal{E}$ ) ระหว่างค่าการสะท้อนแสงของต้นฉบับ (R) กับค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการประมาณ ( $O_{est}$ ) มีค่าน้อยที่สุด ดังสมการ (2.3)

$$\mathcal{E} = \langle (R - O_{est})^t (R - O_{est}) \rangle \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

โดยที่  $\langle \rangle$  คือ ค่าเฉลี่ยทั้งหมด

ดังนั้น G ได้จากสมการ (2.4)

$$G = R_{RV} \cdot R_{VV}^{-1} \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

โดยที่  $R_{ov}$  และ  $R_{vv}$  คือ เมทริกซ์สหสัมพันธ์ ดังสมการ (2.5) และ (2.6)

$$R_{ov} = (RV^t) \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

$$R_{vv} = (VV^t) \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

### 2.1.9 การวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก

การวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก (Principal Component Analysis: PCA) เป็นวิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์ โดยใช้การเปลี่ยนรูปข้อมูลที่มีความซับซ้อนไปเป็นข้อมูลชุดใหม่ที่มีความซับซ้อนน้อยกว่า ซึ่งจะทำให้มองเห็นรายละเอียดของข้อมูลที่มีความสำคัญที่สุดได้ชัดเจน

ทำให้สามารถบ่งชี้รูปแบบหรือโครงสร้างในข้อมูลได้โดยดูจากความสัมพันธ์ระหว่างตัวอย่าง และความสัมพัทธ์ระหว่างตัวแปรที่ทำการศึกษา

PCA มีแนวคิดคล้ายคลึงกับวิธีการอื่น ๆ เช่น Correspondence analysis, singular value decomposition, การวิเคราะห์ไอเกนเวกเตอร์ (eigenvector analysis) และการวิเคราะห์ตัวประกอบ (factor analysis) วิธีการนี้ใช้หลักการสร้างชุดตัวแปรชุดใหม่ (หรือสกัดตัวประกอบ) ที่เรียกว่า Principle Component (PCs) ซึ่งตัวแปรชุดใหม่นี้จะไม่มีความสัมพันธ์กันเลย หรืออธิบายง่าย ๆ คือ ในการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลักนั้นยึดหลักการที่ว่า การที่ตัวแปรหรือ ข้อมูลต่าง ๆ มีความสัมพันธ์กันก็เพราะตัวแปรต่าง ๆ เหล่านี้มีตัวประกอบร่วมกัน สังเกตได้จากการจับกลุ่มของตัวแปรหรือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ซึ่งมีความสัมพันธ์สูงเป็นกลุ่ม ๆ การที่เป็นเช่นนี้เพราะตัวแปรเหล่านั้นมีตัวประกอบร่วมกัน ดังนั้นแทนที่จะใช้ตัวแปรจำนวนมาก ก็สามารถใช้ตัวประกอบร่วมแทนตัวประกอบเหล่านี้ได้ เป็นการลดจำนวนข้อมูลให้น้อยลง

คะแนน (score)  $s_{ip}$  คือ ผลรวมของผลคูณระหว่างค่าของตัวแปรของตัวอย่าง  $i$  กับค่า PCp ดังสมการที่ (2.7) ซึ่งจะกล่าวได้ว่า score มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับข้อมูลตัวแปร

$$s_{ip} = \sum v_{jp} \bullet x_{ij} \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

จากสมการ  $v_{jp}$  คือ ค่าถ่วงน้ำหนัก (loading หรือ weights) ของตัวแปร  $j$  ใน PCp และ  $x_{ij}$  คือ ค่าในลำดับที่  $i$  ของตัวแปรเริ่มต้น  $j$  ในเมทริกซ์สามารถเขียนได้ดังสมการ (2.8)

$$S = X \bullet V \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

โดยที่  $S$ ,  $X$  และ  $V$  เป็นเมทริกซ์ของ score, เมทริกซ์ของตัวแปรเริ่มต้น และเมทริกซ์ของค่าถ่วงน้ำหนักตามลำดับ สมการสามารถจัดใหม่ได้ดังสมการที่ (2.9)

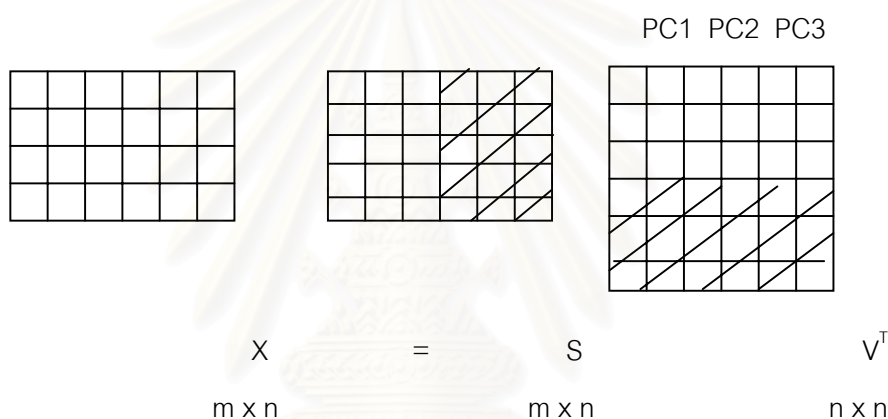
$$X = S \bullet V^T \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

ในทางปฏิบัติมีความหมายว่าเมทริกซ์  $X$  เป็นผลผลิตของ 2 เมทริกซ์ เมทริกซ์แรกเป็น เมทริกซ์ของตัวอย่าง ( $S$ ) และเมทริกซ์ที่มีข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปร ( $V$ )  $V^T$  คือ เมทริกซ์  $V$  ที่ถูก ทรานสโพส โดยการสลับแถวเป็นหลัก การคำนวณเมทริกซ์ใหม่คือการสกัดตัวประกอบ (PCs) โดยทำอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ตัวประกอบชุดแรก (PC1) ตัวประกอบชุดที่สอง (PC2) ไปตามลำดับจนถึง PCs โดยในแต่ละ PCs จะอธิบายความแปรปรวนที่ PC ก่อนหน้านั้นยังไม่ได้อธิบายให้มากที่สุด เช่น PC1 อธิบายความแปรปรวนของชุดข้อมูลเริ่มต้นได้มากที่สุด PC2 จะอธิบายความแปรปรวนมากที่สุดของข้อมูลที่สกัดตัวประกอบไปแล้วครั้งหนึ่ง การสกัดตัวประกอบสามารถแสดงในรูปที่ 2.7 เมทริกซ์  $S$  เป็นเมทริกซ์ score ของ  $m$  ตัวอย่างบน  $n$  ตัวประกอบหลัก โดยแถวแสดงตัวอย่างแต่ละตัว หลัก

แสดงตัวประกอบ ส่วนเมทริกซ์  $V^T$  ประกอบด้วย loading (หลัก) ของตัวแปรเริ่มต้น  $n$  บน  $n$  ตัวแปรแฝง (แถว) การเก็บตัวประกอบสำคัญไว้ 2-3 ตัวแรกในกรณีนี้ใช้ PC1-PC3 จะสามารถตัดข้อมูลไม่เกี่ยวข้องออกไป ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (ส่วนที่เป็นเส้นทแยงมุมใน เมทริกซ์)

การใช้ PCA ส่วนใหญ่ใช้การแสดงผลให้เห็นกราฟ score และ loading ในระบบแกนพิกัดของ PCs 2-3 ตัวแรก การทำเช่นนี้จะช่วยให้รูปแบบของข้อมูลเห็นได้ง่ายขึ้น และสามารถแสดงความเหมือนและความแตกต่างระหว่างตัวอย่างแต่ละตัว และความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรได้

อาจเรียก PCs ว่าเป็นตัวประกอบร่วมที่สกัดมากจากข้อมูลเริ่มต้น โดย PCs มีความสัมพันธ์แบบผลรวมเชิงเส้นกับตัวประกอบร่วม ในบางครั้งเป็นไปได้ที่จะกำหนดความหมายให้กับค่าตัวประกอบหลัก (PCs) 2-3 ตัวแรก



รูปที่ 2.7 การสกัดตัวประกอบ

#### 2.1.10 โปรแกรม MATLAB

ในการทำวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม MATLAB ในการเขียนคำสั่งเพื่อคำนวณเชิงตัวเลขและประมวลผลภาพ เนื่องจาก MATLAB เป็นโปรแกรมที่ใช้งานง่าย ประมวลผลรวดเร็ว และมีฟังก์ชันการใช้งานต่าง ๆ ให้เลือกมากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งโปรแกรม MATLAB สามารถแก้ปัญหาเกี่ยวกับข้อมูลที่เป็นตัวแปรค่าต่าง ๆ ซึ่งอาจเป็นเวกเตอร์หรือเมทริกซ์ได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ข้อมูลส่วนใหญ่จัดเรียงในรูปแถวลำดับที่เรียกว่าอาร์เรย์ (array) โดยมีทั้งข้อมูลที่เป็นอาร์เรย์ 1 มิติ หรือที่เรียกว่าเวกเตอร์ และอาร์เรย์ 2 มิติ หรือที่เรียกว่า เมทริกซ์ ดังนั้นจึงเลือกใช้โปรแกรม MATLAB เป็นเครื่องมือสำหรับใช้ในการทำวิจัยนี้

MATLAB ย่อมาจาก matrix laboratory เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ขั้นสูง สำหรับการคำนวณทางเทคนิคที่ประกอบด้วยการคำนวณเชิงตัวเลข กราฟฟิกที่ซับซ้อน และการจำลองแบบเพื่อให้มองเห็นภาพพจน์ได้ง่ายและชัดเจน [11]

### 2.1.10.1 ลักษณะเด่นของโปรแกรม MATLAB

ลักษณะเด่นที่ง่ายต่อการใช้งานโปรแกรม MATLAB มีดังนี้

2.1.10.1.1 มีฟังก์ชันคณิตศาสตร์ให้เลือกใช้ในการคำนวณมากมาย  
ตลอดจนเราสามารถสร้างฟังก์ชันขึ้นมา

2.1.10.1.2 Algorithm ไม่ยุ่งยาก สามารถแก้ไขปัญหาทางด้าน  
คณิตศาสตร์ที่มีความซับซ้อนได้ง่ายและรวดเร็วกว่าโปรแกรมภาษาอื่น ๆ เช่น C, Fortran  
และ Basic เป็นต้น

2.1.10.1.3 มีโครงสร้างแบบจำลอง (Simulink) ซึ่งเป็น package ที่เรา  
นำไปสร้างบล็อกไดอะแกรมเพื่อใช้ทดสอบและประเมินผลระบบ Dynamic ต่าง ๆ ก่อน  
นำไปใช้งานจริง

2.1.10.1.4 สามารถวิเคราะห์และตรวจสอบข้อมูลได้ง่ายและรวดเร็ว

2.1.10.1.5 นำไปใช้งานทางด้านกราฟิกได้เป็นอย่างดี ทั้งในด้านการ  
แสดงภาพตั้งแต่ 2 มิติ รวมทั้งภาพ 3 มิติในรูปแบบพื้นผิวและระดับสูงต่ำ ตลอดจนสามารถ  
นำภาพมาต่อกัน และเก็บไว้เพื่อที่จะสร้างเป็นภาพเคลื่อนไหวได้อีกด้วย

2.1.10.1.6 ทำการประมวลผลร่วมกับโปรแกรมอื่นได้

นอกจากลักษณะเด่นทั้ง 6 ข้อที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้ว โปรแกรม MATLAB ยังมี  
เครื่องมือที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์และทดสอบระบบโดยการจำลองขึ้นมา ซึ่งก็คือ Simulink  
ซึ่งเป็นระบบ interactive สำหรับการจำลองและวิเคราะห์ระบบไดนามิกต่าง ๆ ที่เป็นระบบเชิง  
เส้น และระบบไม่เชิงเส้นได้

### 2.1.10.2 โครงสร้างของ MATLAB

โครงสร้างของ MATLAB ประกอบด้วย 5 ส่วน คือ

#### 2.1.10.2.1 ภาษาโปรแกรม MATLAB

MATLAB เป็นโปรแกรมภาษาชั้นสูง ทำให้การเขียนโปรแกรมไม่ยุ่งยากเมื่อ  
เทียบกับการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาอื่น ๆ เช่น C, Fortran, Basic เป็นต้น

#### 2.1.10.2.2 การจัดการในการทำงาน

MATLAB จะมีกลุ่มของเครื่องมือที่เป็นประโยชน์สำหรับการทำงานของผู้ใช้  
โปรแกรม นั่นคือ การจัดการตัวแปรใน workspace การนำข้อมูลหรือการผ่านค่าตัวแปรเข้า-  
ออก และกลุ่มของเครื่องมือต่าง ๆ นี้ก็จะใช้สำหรับพัฒนา จัดการ และตรวจสอบความ  
ผิดพลาดของโปรแกรม (debugging) ที่ได้เขียนขึ้น

### 2.1.10.2.3 ฟังก์ชันในการคำนวณทางคณิตศาสตร์

MATLAB จะมี library ทั่วไปที่ใช้ในการคำนวณอย่างกว้าง เช่น sine, cosine และพีชคณิตเชิงซ้อน โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นฟังก์ชันหรือ library เพิ่มเติมขึ้นจาก library ที่ใช้กันโดยทั่วไป เช่น การแยกตัวประกอบและส่วนประกอบของเมทริกซ์ด้วยวิธีต่าง ๆ การหาความน่าจะเป็น และการแก้ปัญหาระบบสมการเชิงเส้น ทำให้โปรแกรม MATLAB มีฟังก์ชันสำหรับการใช้งานมากและครอบคลุมการคำนวณในสาขาวิชาต่าง ๆ

### 2.1.10.2.4 ระบบกราฟิก

ระบบกราฟิกของ MATLAB จะประกอบด้วยคำสั่งขั้นสูงสำหรับการพล็อตกราฟ โดยมีพื้นฐานอยู่บนแนวคิดที่ว่าทุก ๆ สิ่งบนหน้าตาต่างรูปภาพของโปรแกรม MATLAB จะเป็นวัตถุซึ่งเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว นอกจากนี้ยังมีฟังก์ชันที่ใช้สำหรับการแสดงภาพ 2 มิติ 3 มิติ และการสร้างภาพเคลื่อนไหว

### 2.1.10.2.5 การเชื่อมต่อโปรแกรมการทำงานอื่น

จะใช้สนับสนุนการติดต่อจำภายนอก คือเป็น library ที่เขียนด้วยโปรแกรมภาษา C และ Fortran ที่มีการเชื่อมต่อกับโปรแกรม MATLAB ด้วยไฟล์ที่เป็น mex ฟังก์ชัน

## 2.1.11 การจัดการสี

การจัดการสีเป็นกระบวนการหนึ่งที่จะช่วยให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการทำให้สีของภาพที่ผลิตใกล้เคียงกับต้นฉบับได้ (colour matching) ซึ่งมี 3 ลักษณะ คือ

- รักษาฮิว (hue preservation)
- รักษาแกรเดชั่น (gradation preservation)
- ควบคุมความแตกต่างของสีให้น้อยที่สุด (minimum colour difference)

### 2.1.11.1 หลักการของการจัดการสี

หลักการของการจัดการสี แบ่งออกเป็น 2 แนวทาง [12] ดังนี้

#### 2.1.11.1.1 การแปลง (Conversion)

เป็นการแปลงข้อมูลสีที่นำเข้า RGB หรือ CMYK ของภาพต้นฉบับให้เป็นข้อมูลใหม่ R'G'B' หรือ C'M'Y'K' ส่งไปยังอุปกรณ์ส่งออก จุดประสงค์ คือ ให้สามารถผลิตสีของภาพให้ใกล้เคียงกับต้นฉบับมากที่สุด โดยจะนำวิธีการทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วย เช่น เมทริกซ์ หรือ Look-Up Table (LUT) เป็นต้น

### 2.1.11.1.2 การสร้างโปรไฟล์ (Profile)

การสร้างโปรไฟล์ของอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อทำหน้าที่เป็นฟังก์ชันแปลงข้อมูลระหว่างข้อมูลสีของอุปกรณ์ซึ่งเป็นสีที่ขึ้นกับอุปกรณ์ (RGB, CMYK) ให้เป็นค่าสีในระบบมาตรฐานที่ไม่ขึ้นกับอุปกรณ์ (CIE L\*a\*b\*, XYZ) ซึ่งต้องการพื้นฐานความรู้ทางด้านคณิตศาสตร์ขั้นสูงเข้ามาช่วย จึงมีการใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูปทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการจัดการสี

ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมในการจัดการสี คือ ProfileMaker 5.0 เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่ให้ความแม่นยำสูง และใช้งานง่าย

### 2.1.11.2 ProfileMaker

เป็นโปรแกรมที่สามารถสร้างโปรไฟล์ของอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้โดยไม่จำกัด มีลักษณะเฉพาะ คือ ทำงานเชื่อมต่อกับเครื่องวัดสีได้โดยตรง และโปรไฟล์ที่สร้างขึ้นมาสามารถบันทึกเก็บไว้สำหรับใช้ในงานต่อไปได้ ข้อดีของการสร้างโปรไฟล์เอง คือ สามารถเลือกใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ และโปรไฟล์ที่สร้างไว้ก็สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลาตามสภาพอุปกรณ์ที่ใช้ ทำให้การเปลี่ยนแปลงข้อมูลสีมีความถูกต้องและมีคุณภาพสม่ำเสมอ

### 2.1.11.3 ขั้นตอนการจัดการสี

ขั้นตอนการจัดการสี มีดังนี้

2.1.11.3.1 การสร้างโปรไฟล์สีของอุปกรณ์นำเข้าและส่งออก (Device profiles) ในฟอร์แมตมาตรฐาน ICC (International Colour Consortium) เช่น โปรไฟล์ของสแกนเนอร์ จอภาพ และเครื่องพิมพ์ เป็นต้น

2.1.11.3.2 การแปลงข้อมูล (Colour transformation) หมายถึง การแปลงข้อมูลสีจากปริภูมิสีหนึ่งไปยังอีกปริภูมิหนึ่งผ่านโปรไฟล์ ICC เรียกว่าวิธีการนี้ว่า Colour Matching Method (CMM) ซึ่งต้องการซอฟต์แวร์พิเศษช่วยเชื่อมข้อมูลและทำการคำนวณแปลงข้อมูลดังกล่าว เช่น ColourSync ของบริษัท Adobe ที่ใช้กันทั่วไปในคอมพิวเตอร์แมคอินทอช หรือซอฟต์แวร์อิสระ เช่น ProfileMaker ตัวอย่างการแปลงข้อมูล ได้แก่

RGB (จากสแกนเนอร์)	↔	CIE L*a*b* / XYZ
RGB (บนจอภาพ)	↔	CIE L*a*b* / XYZ
MYK (จากเครื่องพิมพ์)	↔	CIE L*a*b* / XYZ

CIE  $L^*a^*b^*$  / XYZ นี้มีความสำคัญมากในระบบการจัดการสี เนื่องจากเป็นค่าอิสระที่ไม่ขึ้นอยู่กับการรับรู้ใดๆ จึงเหมาะที่จะทำการแก้ไขข้อมูลดังกล่าวในการแก้ไขได้ เรียกสถานะข้อมูลสีของ CIE  $L^*a^*b^*$  / XYZ นี้ว่า Profile Connection Space (PCS)

2.1.11.3.3 การปรับแก้สี (gamut mapping หรือ rendering intent) เป็นขั้นตอนที่ต่อจากการแปลงข้อมูลไปเป็น PCS โดยทำการแก้ไขแปลงข้อมูลสีที่ได้ให้เป็นข้อมูลใหม่ตามความต้องการผ่าน LUT หรือแมทริกซ์ โดยจะพิจารณาแยกเป็นส่วนๆ ดังนี้ ความสว่าง ( $L^*$ ) โครมา ( $C^*_{ab}$ ) และสีส้ม ( $h$ ) ซึ่งค่า  $L^*a^*b^*$  จะถูกแปลงไปเป็นค่า  $L^*C^*h'$  ก่อน แล้วจึงทำการเทียบสี  $L^*C^*h$  ของภาพต้นฉบับกับค่า  $L^*C^*h'$  ที่ต้องการเป็นผลลัพธ์ออกมา

ในทางปฏิบัติของการปรับแก้สีนั้นได้กำหนดวิธีการแก้ไขออกเป็นหลายแบบขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์สีของต้นฉบับกับสีของอุปกรณ์ส่งออกที่สามารถผลิตได้ โดยแบ่ง 3 ประเภทคือ

#### 1) Perceptual

วิธีนี้เป็นวิธีที่รักษาน้ำหนักสีของภาพไว้ โดยทำการเปลี่ยนสีทั้งหมดในขอบเขตของแหล่งต้นทาง (source) ในสัดส่วนที่เท่า ๆ กันไปยังขอบเขตของอุปกรณ์ที่จะส่งออกข้อมูลสี

#### 2) Saturation

วิธีนี้เป็นวิธีการผลิตสีสดที่สุดเท่าที่จะทำได้ของอุปกรณ์ที่จะส่งออกข้อมูลสี โดยส่วนที่อยู่นอกขอบเขตสีจะถูกปรับให้เข้ามาอยู่ในขอบของขอบเขตสี ซึ่งวิธีนี้จะทำการปรับให้ไปอยู่ที่ขอบของขอบเขตสีทำให้สีที่ได้สดที่สุด

#### 3) Relative colorimetric

วิธีนี้เป็นวิธีการรักษาน้ำหนักสีของภาพ โดยจะเปลี่ยนเฉพาะสีที่อยู่นอกขอบเขตด้วยการปรับ white point และพยายามที่จะแสดงสีในขอบเขตเท่าที่ทำได้ให้ตรงกับอุปกรณ์ส่งออก ซึ่งส่วนที่ได้อยู่ในขอบเขตสีจะถูกปรับในสัดส่วนที่เท่า ๆ กัน เพื่อรักษาน้ำหนักสีของภาพที่อยู่ในภายในขอบเขตสี

#### 4) Absolute colorimetric

วิธีนี้เป็นวิธีการรักษาน้ำหนักสีของภาพ โดยจะเปลี่ยนเฉพาะสีที่อยู่นอกขอบเขตและพยายามที่จะแสดงสีในขอบเขตเท่าที่ทำได้ โดยส่วนที่อยู่นอกขอบเขตจะถูกเปลี่ยนมาอยู่ที่ขอบของขอบเขตสีของอุปกรณ์ส่งออกในสัดส่วนที่เท่า ๆ กัน เพื่อรักษาโทนภาพที่อยู่ในขอบเขตสี

2.1.11.3.4 การส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ส่งออก (output data) หลังจากทำการปรับแก้สีได้ข้อมูลสีใหม่ ( $L^*a^*b^*$  เป็น  $L^*a'b'$ ) แล้ว ข้อมูลสีดังกล่าวจะต้องถูกแปลงไปเป็น CMYK หรือ RGB ผ่านโพรไฟล์ของอุปกรณ์ส่งออกนั้นๆก่อนส่งข้อมูลออก โดยคาดว่าผลลัพธ์ของสีที่ปรากฏออกมาจะตรงตามความต้องการที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนปรับแก้สี

#### 2.1.12 การปรับตั้งมาตรฐาน

การปรับตั้งมาตรฐาน (Calibration) หมายถึง กระบวนการจัดการอุปกรณ์เพื่อให้แสดงข้อมูลได้อย่างเที่ยงตรงเหมือนกันทุกครั้ง [13] ดังนั้นการปรับตั้งมาตรฐานจอภาพจึงมีความสำคัญมาก หากไม่ทำการปรับตั้งให้ถูกต้อง ผลก็คือการแสดงผลของจอภาพจะมีความคลาดเคลื่อน ภาพที่แสดงบนจอภาพแต่ละจอจะมีสีแตกต่างกัน และไม่ถูกต้องตามความเป็นจริง ทำให้การทำงานขาดประสิทธิภาพ จอภาพที่ได้รับการปรับตั้งมาตรฐานอย่างเหมาะสมจะสามารถแสดงภาพได้เหมือนกับภาพต้นฉบับมากที่สุด ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานได้ดียิ่งขึ้น ในการปรับตั้งมาตรฐานและการหาลักษณะเฉพาะของแอลซีดีในงานวิจัยนี้ ใช้โปรแกรมเฉพาะ คือ ProfileMaker pro 5.0 ซึ่งทำได้สะดวก รวดเร็ว และมีความคลาดเคลื่อนน้อย

##### 2.1.12.1 หลักการการปรับตั้งมาตรฐานจอภาพ มีดังนี้

2.12.1.1 เลือก white point ที่ต้องการ

2.12.1.2 เลือกค่า Gamma ที่เหมาะสม

2.12.1.3 ปรับ Contrast ให้เหมาะสม

2.12.1.4 ปรับ Brightness ให้เหมาะสม

#### 2.1.13 ปริภูมิสีมาตรฐาน sRGB

เป็นปริภูมิสีที่เกิดจากการร่วมมือของ 2 สถาบันคือ HP และ Microsoft ในปี 1996 โดยจะนิยมนำไปใช้ในการกำหนดขอบเขตสีของอุปกรณ์ในหลาย ๆ อุปกรณ์ เช่น จอภาพ เครื่องสแกนเนอร์ จอโทรทัศน์ กล้องถ่ายรูป หรือแม้แต่ในระบบพิมพ์บางระบบ เป็นต้น เนื่องจากเป็นขอบเขตสีที่ครอบคลุมทุกอุปกรณ์ ถ้าเป็นในส่วนของจอภาพสีอาร์ทีนั้น ขอบเขตสีที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับความแม่นยำของสารฟอสเฟอร์ที่ถูกใช้ในการปล่อยลำแสงเพื่อนำไปใช้ในการแสดงภาพสีบนจอภาพโดยทั่วไป หรือถ้าเป็นในส่วนของกล้องถ่ายรูปดิจิทัลนั้น ขอบเขตสีที่ใช้จะเป็นในส่วนของแผ่นกรองแสงที่ใช้ในการกรองแสงของวัตถุ เพื่อที่จะนำไปใช้ในการบันทึกข้อมูลลงบนซีดีดีของกล้องถ่ายรูปดิจิทัล โดย



มาตรฐานที่ใช้กันจะเป็นของ The International Electrotechnica Commission (IEC) ภายใต้ IEC 61966-2-1 [14] ดังนั้นในการที่จะทำให้อุปกรณ์ที่ใช้พื้นฐานสีในปริภูมิของ sRGB แปลงค่าเป็น CMYK หรือ RGB เพื่อใช้พิมพ์ภาพหรือแสดงภาพนั้นให้มีความถูกต้องแม่นยำ เราก็จำเป็นต้องมีระบบจัดการสีที่ดีเพื่อให้สามารถทำงานร่วมกันได้เป็นอย่างดี

ในงานวิจัยนี้ใช้โหมดสีมาตรฐาน sRGB ในการแปลงค่าเป็น XYZ เป็น RGB แสดงภาพบน แอลซีดี เนื่องจากเป็นขอบเขตสีที่กว้างและครอบคลุมแอลซีดี

### 2.1.13.1 การแปลงค่าจากปริภูมิสี XYZ เป็นปริภูมิสี sRGB

1. การแปลงค่าสี XYZ เป็นสัญญาณ sRGB สามารถแปลงแบบสมการเชิงเส้นโดยการใช้สมการ(2.8) ดังนี้

$$\begin{bmatrix} R_{,RGB} \\ G_{,RGB} \\ B_{,RGB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.2410 & -1.5374 & -0.4986 \\ -0.9692 & 1.8760 & 0.0416 \\ 0.0556 & -0.2040 & 1.0570 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

ในกระบวนการแปลงสัญญาณ ค่า sRGB ที่แสดงค่าเป็นลบหรือมากกว่า 1 จะถูกจำกัดอยู่ในช่วงค่าตั้งแต่ 0-1 เท่านั้น เนื่องจากระดับความเข้มแสง (luminance dynamic range) และขอบเขตสี(Color gamut)

2. จากนั้นทำการแปลงค่าเป็นสัญญาณสีที่ไม่เป็นแบบสมการเชิงเส้นตามสมการต่อไปนี้

ถ้า

$$R_{,RGB}, G_{,RGB}, B_{,RGB} \leq 0.00304$$

ให้

$$R'_{,RGB} = 12.92 \times R_{,RGB}$$

$$G'_{,RGB} = 12.92 \times G_{,RGB}$$

$$B'_{,RGB} = 12.92 \times B_{,RGB}$$

แต่ถ้า

$$R_{,RGB}, G_{,RGB}, B_{,RGB} > 0.00304$$

ให้

$$R'_{,RGB} = 1.055 \times R_{,RGB}^{(1.0/2.4)} - 0.055$$

$$G'_{,RGB} = 1.055 \times G_{,RGB}^{(1.0/2.4)} - 0.055$$

$$B'_{,RGB} = 1.055 \times B_{,RGB}^{(1.0/2.4)} - 0.055$$

3. ทำการแปลงกลับมาให้อยู่ในค่าตัวเลขดิจิทัล

โดยที่ WDC คือ ค่าดิจิทัลที่จุดขาวสุด

KDC คือ ค่าดิจิทัลที่จุดดำสุด

$$\begin{aligned} R_{\text{out}} &= ((WDC - KDC) \times R'_{,RGB}) + KDC \\ G_{\text{out}} &= ((WDC - KDC) \times G'_{,RGB}) + KDC \\ B_{\text{out}} &= ((WDC - KDC) \times B'_{,RGB}) + KDC \end{aligned}$$

เช่น ค่า WDC เป็น 255 และ KDC เป็น 0 ของ 24 บิต (8 บิต / Channel) เป็นต้น

#### 2.1.14 ค่าสีไตรสติมูลต์

ในระบบการวัดสี CIE เป็นการหาตัวเลขแทนองค์ประกอบสำคัญทั้ง 3 องค์ประกอบในกระบวนการรับรู้สีของมนุษย์ [8] ทั้งนี้เพื่อให้เป็นสากลและเป็นมาตรฐานที่ยอมรับกันทั่วไป CIE จึงได้กำหนดมาตรฐานขององค์ประกอบทั้ง 3 องค์ประกอบ

##### 2.1.14.1 มาตรฐานขององค์ประกอบ

มีองค์ประกอบ 3 องค์ประกอบ คือ

2.1.14.1.1 ค่าการกระจายพลังงานแสงของแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน CIE

CIE ได้กำหนดแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน (CIE Standard illuminants) ออกเป็นประเภทต่าง ๆ ดังนี้

- 1) แหล่งกำเนิดแสง A : เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีอุณหภูมิสีเทียบเคียง 2856 เคลวิน
- 2) แหล่งกำเนิดแสง B : เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีอุณหภูมิสีเทียบเคียง 4874 เคลวิน
- 3) แหล่งกำเนิดแสง C : เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีอุณหภูมิสีเทียบเคียง 6774 เคลวิน
- 4) แหล่งกำเนิดแสงกลางวัน หรือแหล่งกำเนิดแสง D  
แบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ
  - 4.1) แหล่งกำเนิดแสงที่มีอุณหภูมิสีเทียบเคียง 5,000 ( $D_{50}$ )
  - 4.2) แหล่งกำเนิดแสงที่มีอุณหภูมิสีเทียบเคียง 5,500 ( $D_{55}$ )

4.3) แหล่งกำเนิดแสงที่มีอุณหภูมิสีเทียบเคียง 6,500 ( $D_{65}$ )

4.4) แหล่งกำเนิดแสงที่มีอุณหภูมิสีเทียบเคียง 7,500 ( $D_{75}$ )

4.5) แหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ หรือแหล่งกำเนิดแสง F :

เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีอุณหภูมิสีเทียบเคียง ตั้งแต่ 2,940 ถึง 6,500 เคลวิน

2.1.14.1.2 ความไวต่อแสงสีของผู้สังเกตการณ์มาตรฐาน

ค่าตัวเลข ซึ่งแทนหรือสัมพันธ์กับความไวแสงของมนุษย์ เรียกว่า ฟังก์ชันการเทียบปรับสี (Colour matching function) ซึ่ง CIE ได้กำหนดค่าความไวแสงของผู้สังเกตการณ์เป็น 2 มุมการมอง คือ ที่มุมการมอง 2 องศา ในปี ค.ศ. 1931 ( $2^\circ$  1931 CIE Standard observer) แทนด้วยสัญลักษณ์  $\bar{x}$   $\bar{y}$   $\bar{z}$  และที่ 10 องศา ในปี ค.ศ. 1964 ( $10^\circ$  1964 CIE Standard observer) แทนด้วยสัญลักษณ์  $\bar{x}_{10}$   $\bar{y}_{10}$   $\bar{z}_{10}$  ในงานวิจัยนี้ใช้ฟังก์ชันการเทียบปรับสีที่มุมการมอง 2 องศา

2.1.14.1.3 การสะท้อนการวัดลูมิเนส

เป็นค่าการสะท้อนแสงของวัตถุสีที่วัดได้จากเครื่องมือวัดสีที่เรียกว่าสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

2.1.14.2 การคำนวณค่าไตรสติมูลัส

ค่าสีไตรสติมูลัส (Tristimulus values) หรือ ค่าตัวกระตุ้นทั้งสาม ซึ่งเป็นค่าสีในระบบการวัดสี CIE คำนวณได้โดยใช้สมการความสัมพันธ์ดังสมการ (2.10) (2.11) (2.12) และ (2.13) ตามลำดับ

$$X = k \int_{400}^{700} S(\lambda) R(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

$$Y = k \int_{400}^{700} S(\lambda) R(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

$$Z = k \int_{400}^{700} S(\lambda) R(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

$$Z = k \int_{400}^{700} S(\lambda) R(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \quad \dots\dots\dots(2.13)$$

$$k = \frac{100}{\int_{400}^{700} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda}$$

โดยที่

$XYZ$  คือ ค่าไตรสติมูลัส

$S(\lambda)$  คือ ค่าการกระจายพลังงานในทุก ๆ ความยาวคลื่นใด ๆ

$R(\lambda)$  คือ ค่าการสะท้อนแสงสัมพัทธ์ในทุก ๆ ความยาวคลื่นใด ๆ

$\bar{x} \bar{y} \bar{z}$  คือ ฟังก์ชันการเทียบปรับสีของผู้สังเกตการณ์ มาตรฐาน CIE ที่ 2 องศา

$k$  คือ ค่าคงที่ เพื่อปรับให้ค่าไตรสติมูลัส  $Y$  ของสีของวัตถุใด ๆ ที่มีค่าเท่ากับค่าไตรสติมูลัส  $Y$  ของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงให้มีค่าสูงสุดเท่ากับ 100 ดังสมการ (2.13)

$d\lambda$  คือ ช่วงความยาวคลื่น

ถ้าสี 2 สีใด ๆ มีค่าไตรสติมูลัส  $X_1 = X_2$   $Y_1 = Y_2$  และ  $Z_1 = Z_2$  แล้ว สี 2 สีนั้นจะเหมือนกันเมื่อมองดูภายใต้แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐานที่กำหนด แม้ว่ากราฟการสะท้อนแสงของ 2 สีนั้นจะแตกต่างกันก็ตาม

#### 2.1.15 ระบบสี CIELAB

ระบบสี CIELAB คือระบบสีที่เป็นมาตรฐานสากลที่ถูกกำหนดขึ้นโดย CIE ในปี 1976 โดยใช้ปริภูมิสี  $L^*a^*b^*$  แสดงขอบเขตสีที่ให้ระยะสเกลที่มีความสม่ำเสมอ ระบบสีประเภทนี้ประกอบด้วยตัวแปร 3 ค่า คือ ค่า  $L^*$  จะหมายถึง ความสว่าง ส่วนค่า  $a^*$  และ  $b^*$  จะเป็นค่าสัมประสิทธิ์สี โดยที่  $+a^*$  หมายถึง อยู่ในทิศของสีแดง  $-a^*$  หมายถึง อยู่ในทิศของสีเขียว และ  $+b^*$  หมายถึง อยู่ในทิศของสีเหลือง  $-b^*$  หมายถึง อยู่ในทิศของสีน้ำเงิน ส่วนพื้นที่ตรงกลางจะไม่สามารถแยกสีได้ (achromatic) [15]

ค่าของ  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  สามารถคำนวณได้จากสูตร (2.14) (2.15) (2.16) ดังนี้

$$L^* = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16 \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

$$a^* = 500 [(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}] \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

$$b^* = 200 [(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}] \quad \dots\dots\dots (2.16)$$

โดยที่

$XYZ$  คือ ค่าไตรสติมูลัสของตัวอย่าง สำหรับมาตรฐานการมองที่  $2^\circ$  หรือมาตรฐานการมองที่  $10^\circ$

$X_n, Y_n, Z_n$  คือ ค่าไตรสติมูลัสของวัตถุที่มีการสะท้อนแสงกระเจิงอย่างสมบูรณ์ สำหรับมาตรฐานการมองที่  $2^\circ$  หรือมาตรฐานการมองที่  $10^\circ$

หากค่า  $X / X_n, Y / Y_n$  หรือ  $Z / Z_n$  น้อยกว่า 0.008856 สูตรข้างบนจะถูกลดเป็นสูตร (2.17) (2.18) และ (2.19)

$$(X / X_n)^{1/3} \text{ ถูกแทนโดย } 7.787 (X / X_n) + (16 / 116) \dots\dots\dots (2.17)$$

$$(Y / Y_n)^{1/3} \text{ ถูกแทนโดย } 7.787 (Y / Y_n) + (16 / 116) \dots\dots\dots (2.18)$$

$$(Z / Z_n)^{1/3} \text{ ถูกแทนโดย } 7.787 (Z / Z_n) + (16 / 116) \dots\dots\dots (2.19)$$

### 2.1.16 ค่าความแตกต่างสี

การหาค่าความแตกต่าง ( $\Delta E^*_{ab}$ ) ระหว่างสี 2 สีใดๆ เพื่อนำค่าความแตกต่างในการคำนวณได้ไปใช้เป็นเกณฑ์ในการผลิตสี โดยในการผลิตสีที่ต้องการผลิตสีเพื่อให้สีใกล้เคียงกับสีมาตรฐานสามารถนำค่า CIE ของสีมาตรฐานและของสีที่ผลิตได้มาเปรียบเทียบและคำนวณเป็นตัวเลข

ในระบบการวัดสี CIE ค่าความแตกต่างของสี 2 สีใด ๆ สามารถคำนวณได้โดยใช้ค่าพิกัดสี CIE  $L^*a^*b^*$  ของสี 2 สีนั้นมาคำนวณ [8] โดยใช้สมการ (2.20) และ (2.21)

#### 2.1.16.1 การคำนวณหาค่าความแตกต่างสีรวม

$$\Delta E^*_{ab} = [(L^*_1 - L^*_2)^2 + (a^*_1 - a^*_2)^2 + (b^*_1 - b^*_2)^2]^{1/2}$$

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \dots\dots\dots(2.20)$$

#### 2.1.16.2 การคำนวณหาค่าความแตกต่างสีสัน

$$\Delta H^*_{ab} = [(\Delta E^*_{ab})^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*_{ab})^2]^{1/2} \dots\dots\dots(2.21)$$

โดยที่

$\Delta E^*_{ab}$  คือ ความแตกต่างสีรวมระหว่างสี 2 สีใดๆ

$L^*_1 a^*_1 b^*_1$  คือ ค่าสีพิกัด CIE  $L^*a^*b^*$  ของสีที่หนึ่ง

$L^*_2 a^*_2 b^*_2$  คือ ค่าสีพิกัด CIE  $L^*a^*b^*$  ของสีที่สอง

$\Delta L^* \Delta a^* \Delta b^*$  คือ ค่าความแตกต่างระหว่างพิกัดของสีทั้งสอง

$\Delta H^*_{ab}$  คือ ค่าความแตกต่างของสีสันระหว่างสี 2 สีใดๆ

$\Delta C^*_{ab}$  คือ ค่าความแตกต่างของค่าความเข้มตัวสีสัมพัทธ์ของสี 2 สีใดๆ

### 2.1.16.3 การวิเคราะห์สี

การวิเคราะห์สีที่ทั่ว ๆ ไป มีรูปแบบพื้นฐานที่สำคัญ 2 ส่วนคือ การตรวจสอบ (Examination) และการประเมิน (Assessment) เพื่อใช้ในการตัดสินใจว่าตัวอย่างนั้นจะเหมือนกับสีมาตรฐานหรือไม่ [16] โดยแบ่งการทำงานได้ 3 ส่วนคือ

ส่วนที่ 1 การพิจารณาว่าตัวอย่างกับมาตรฐานแตกต่างกันหรือไม่ ซึ่งอาจจะอยู่ในลักษณะที่เป็นค่าที่ได้จากการอ่านเครื่องมือวัด หรือการแสดงความคิดเห็นต่อสีที่เห็น

ส่วนที่ 2 การอธิบายความแตกต่างของสี โดยหลังจากที่ประเมินแล้วว่าค่าสีมีความแตกต่างกันจะต้องมีการวิเคราะห์อธิบายความแตกต่างของสีนั้นให้สามารถสื่อให้ทุกคนรู้ตรงกันว่าแตกต่างจริง วิธีหนึ่งที่ใช้ในการอธิบายความแตกต่างของสีในระบบการวัดสีของ CIE คือการคำนวณ  $\Delta E^*_{ab}$  โดย  $\Delta E^*_{ab}$  ที่คำนวณได้จะนำมาใช้เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของค่าความแตกต่างสีจากตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1  $\Delta E^*_{ab}$  ตามมาตรฐานระบบ CIELAB

$\Delta E^*_{ab}$	ความแตกต่าง
< 0.2	สังเกตเห็นความแตกต่าง
0.2 - 0.5	สังเกตเห็นความแตกต่างได้น้อยมาก
0.5 - 1.5	สังเกตเห็นความแตกต่างได้น้อย
1.5 - 3.0	สังเกตเห็นความแตกต่างได้ปานกลาง
3.0 - 6.0	สังเกตเห็นความแตกต่างได้อย่างชัด
6.0 - 12.0	สังเกตเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนมาก
> 12.0	สังเกตเห็นความแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง

### 2.1.17 รากกำลังสองเฉลี่ย (Root mean square : RMS)

เป็นวิธีในการหาค่าความแตกต่างระหว่างค่าการสะท้อนแสงของต้นฉบับที่ได้จากการวัดกับค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการประมาณ [17] ดังสมการ (2.22)

$$\sqrt{\frac{(R_{400} - \bar{R}_{400})^2 + (R_{410} - \bar{R}_{410})^2 + \dots + (R_{700} - \bar{R}_{700})^2}{\text{จำนวนข้อมูลทั้งหมด}}} \quad (2.22)$$

โดยที่

$R$  = ค่าการสะท้อนแสง ณ ความยาวคลื่นใด ๆ ที่ได้จากการประมาณ

$\bar{R}$  = ค่าการสะท้อนแสง ณ ความยาวคลื่นใด ๆ ที่ได้จากการวัด

#### 2.1.18 วิธีการมองเปรียบเทียบภาพ

วิธีที่ใช้ในการเปรียบเทียบภาพ มีอยู่ 5 วิธี ซึ่งสามารถใช้เปรียบเทียบภาพได้ทั้ง hardcopy และ softcopy [18] ได้แก่

##### 2.1.18.1 Memory viewing

เป็นการมองภาพต้นฉบับและภาพที่ผลิตได้แยกจากกัน โดยผู้สังเกตการณ์จะมองและจำภาพต้นฉบับไว้ก่อน แล้วจึงค่อยมองภาพที่ผลิตได้ ซึ่งในระหว่างการเปรียบเทียบภาพนั้นผู้สังเกตการณ์จะตัดสินใจภาพที่ผลิตได้โดยไม่สามารถกลับไปมองภาพต้นฉบับได้อีก เทคนิคนี้เป็นวิธีที่เป็นธรรมชาติ และใช้กับลักษณะงานภาพถ่ายและภาพกราฟิก เวลาที่ใช้ในการทดลองค่อนข้างนาน

##### 2.1.18.2 Successive-binocular viewing (SCB)

ลักษณะการมองเหมือนกับ memory viewing แต่ต่างกันตรงที่ผู้สังเกตการณ์สามารถกลับไปมองภาพต้นฉบับได้อีกไม่จำกัดครั้ง

##### 2.1.18.3 Simultaneous-binocular viewing (SMB)

ผู้สังเกตการณ์มองภาพต้นฉบับและภาพที่ผลิตได้ในเวลาเดียวกัน เทคนิคนี้เป็นวิธีที่เป็นธรรมชาติ และใช้กับลักษณะงานพิมพ์แบบตั้งโต๊ะ เวลาที่ใช้ในการทดลองสั้น

##### 2.1.18.4 Simultaneous-haploscopic viewing (SMH)

ผู้สังเกตการณ์มองภาพต้นฉบับด้วยตาข้างหนึ่งและมองภาพที่ผลิตได้ด้วยตาอีกข้างหนึ่งในเวลาเดียวกัน เทคนิคนี้เป็นวิธีที่ไม่เป็นธรรมชาติ เวลาที่ใช้ในการทดลองสั้น

### 2.18.5 Successive-ganzfeld-haploscopic viewing (SCH)

ลักษณะการมองเหมือนกับ simultaneous-haploscopic viewing แต่ต่างกันตรงที่ผู้สังเกตการณ์ไม่ได้มองภาพต้นฉบับและภาพที่ผลิตได้ในเวลาเดียวกัน โดยในขณะที่ตาข้างหนึ่งมองภาพ ตาอีกข้างจะใช้แผ่นกรองแสงแบบกระเจิงแสงปิดไว้

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธี simultaneous-binocular viewing (SMB) เนื่องจากเป็นวิธีที่เป็นธรรมชาติ และเวลาที่ใช้ในการทดลองสั้น

#### 2.1.19 การวิเคราะห์คุณภาพ

การวิเคราะห์คุณภาพ (Subjective method) เป็นการวิเคราะห์โดยใช้การเทียบสีด้วยสายตาเป็นตัวตัดสินว่าสี 2 สีมีความเหมือนกันมากน้อยเพียงใด โดยแบ่งเป็น 3 วิธี [19] ได้แก่

##### 2.1.19.1 Pair comparison

ผู้สังเกตการณ์เทียบสีตัวอย่าง 2 สีเป็นคู่ ๆ โดยสีตัวอย่างแต่ละสีจะถูกเทียบกันเป็นคู่จนครบทุกสี ซึ่งต้องทำการเลือกสีตัวอย่างที่เหมือนกับสีต้นฉบับมากที่สุด

##### 2.1.19.2 Category judgement

ผู้สังเกตการณ์เทียบสีระหว่างสีต้นฉบับกับสีตัวอย่างเป็นคู่ๆ โดยใช้ตัวเลขแบ่งระดับชั้นความเหมือน เช่น มี 3 ระดับ โดยที่ 1 หมายถึง เหมือนมาก, 2 หมายถึง เหมือน และ 3 หมายถึง ไม่เหมือน

##### 2.1.19.3 Method of adjustment

ผู้สังเกตการณ์ทำการปรับสีตัวอย่างให้ได้สีเหมือนกับสีต้นฉบับ

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้การวิเคราะห์แบบ Category judgement โดยมีเกณฑ์ตัวเลขแบ่งระดับคะแนนความเหมือน 5 ระดับ คือ 1 คือ เหมือนน้อยที่สุด 2 คือ เหมือนน้อย 3 คือ เหมือนปานกลาง 4 คือ เหมือนมาก และ 5 คือ เหมือนมากที่สุด



## 2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Schmitt และคณะ [1] ได้ศึกษาถึงจำนวนการใช้แผ่นกรองแสงในกล้องดิจิทัลที่มีผลต่อคุณภาพของภาพที่ได้ โดยเลือกใช้แผ่นกรองแสงจำนวนตั้งแต่ 3–12 แผ่นที่ไวแสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400-750 nm แหล่งกำเนิดแสง  $D_{65}$  และใช้กล้องดิจิทัล : Eikonix CCD camera ในการบันทึกภาพ และวัดการสะท้อนแสงของภาพ Colour Chart ของสีน้ำมัน 64 สี ผลการศึกษาพบว่าค่าความแตกต่างระหว่างค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการวัดกับค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการประมาณ (RMS) ลดลง เมื่อใช้จำนวนแผ่นกรองแสงมากขึ้น ดังนั้นภาพที่ได้จึงมีค่าสีที่ใกล้เคียงกับต้นฉบับมากขึ้น

Miyake และ Yokoyama [2] ได้ศึกษาถึงการพัฒนากระบวนการผลิตภาพสีให้มีความถูกต้องและแม่นยำสูง โดยใช้กล้องดิจิทัล (2048 x 2048 พิกเซล) บันทึกภาพ Colour chart ของสีน้ำมัน 147 สี โดยใช้หลัก PCA ในการวิเคราะห์หาจำนวนและชนิดแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม ซึ่งได้แผ่นกรองแสงที่เหมาะสม คือ 5 แผ่น และใช้วิธี Wiener estimation ในการประมาณค่าการสะท้อนแสง จากนั้นนำค่าการสะท้อนแสงที่ได้ผ่านระบบการจัดการสีที่มีการชดเชยในกระบวนการมองเห็นเมื่อแหล่งกำเนิดแสงเปลี่ยนไป ผลการทดลองพบว่ามีความ  $\Delta E^*_{ab}$  ระหว่างค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการวัดกับค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการประมาณ เท่ากับ 1.16

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

##### 3.1.1 วัสดุ

1. แม่สีสีน้ำ จำนวน 35 สี ของศิลปินกรประดิษฐ์
2. กระดาษบ็อกกิ้งฟอรัค 190 แกรม
3. กระดาษสีเทา ขนาด 6 x 8 นิ้ว
4. แผ่นกรองแสงชนิด Triacetyl cellulose ของ Fuji ขนาด 7.5 x 7.5 ซม.

จำนวน 9 แผ่น ได้แก่

- |           |           |
|-----------|-----------|
| 1) BPB 42 | 6) BPN 42 |
| 2) BPB 45 | 7) BPN 50 |
| 3) BPB 53 | 8) SC 64  |
| 4) BPB 55 | 9) SC 66  |
| 5) BPB 60 |           |

##### 3.1.2 อุปกรณ์

1. เครื่องปาดหมึก แบบวาย บาร์
2. กล้องวิดีโอดิจิทัลของ SANYO : B/W CCD CAMERA
  - ความละเอียดสูงสุด 640 x 480 พิกเซล
  - เลนส์ 12 mm., f = 2.0
3. กล้องดิจิทัลของ Olympus รุ่น C5064
  - ความละเอียดสูงสุด 640 x 480 พิกเซล
4. สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ของ Gretag Macbeth รุ่น Spectrolino
5. Chroma meter ของ Minalta รุ่น CL-200
6. แอลซีดีของ EIZO รุ่น L767 ขนาด 19 นิ้ว
  - ความละเอียดสูงสุด 1280 x 1024 พิกเซล, Contrast ratio: 500 : 1
  - 32 bits (R, G, B และ Alpha intent อย่างละ 8 bits)
7. แหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ : Three narrow band cool white (F11)
8. ตู้แสงมาตรฐานของ QC. Lighting Systems รุ่น Highlight 2000 : D<sub>50</sub> และ D<sub>65</sub>

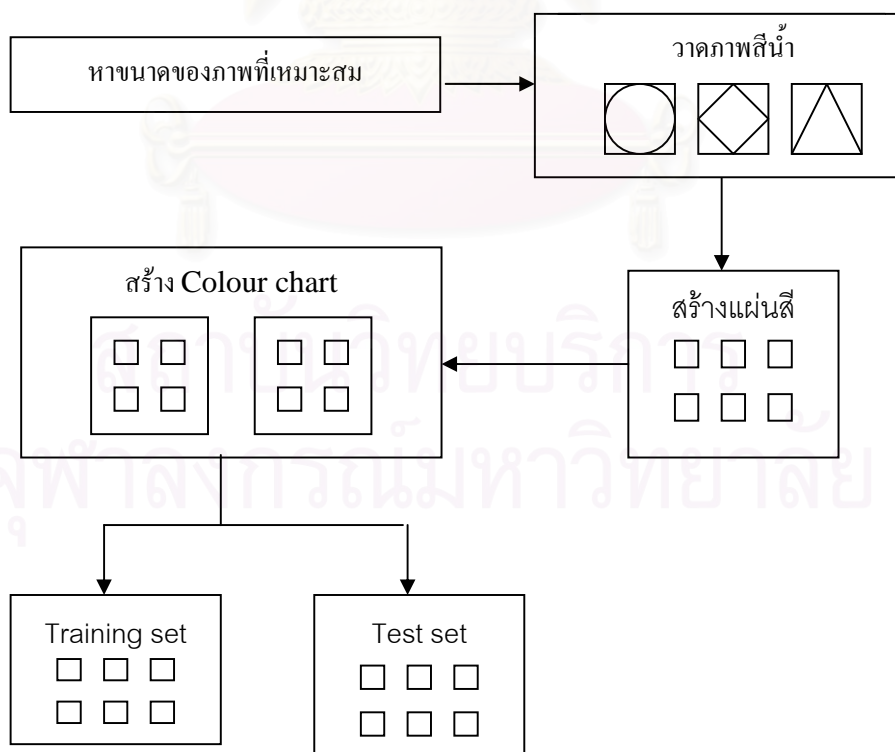
9. โปรแกรม Minitab version 13.0
10. โปรแกรม MATLAB version 6.5
11. โปรแกรม ProfileMaker pro 5.0

### 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยเพื่อผลิตภาพสีบนแอลซีดีให้เหมือนกับภาพสีน้ำต้นฉบับ โดยการใช้ข้อมูล ค่าการสะท้อนแสงเชิงสเปกตรัมนี้ สามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอนหลัก ๆ คือ 1. ขั้นตอนการเตรียมต้นฉบับ 2. ขั้นตอนการสร้างกระบวนการผลิตภาพ 3. ขั้นตอนการผลิตภาพ และ 4. ขั้นตอนการวิเคราะห์คุณภาพของภาพ โดยในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

#### 3.2.1 การเตรียมต้นฉบับ

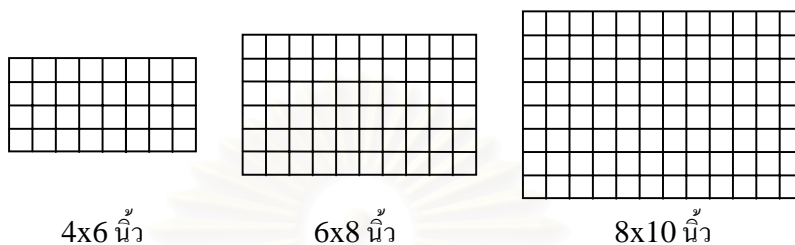
แผนผังที่ 3.1 แสดงลำดับขั้นตอนการเตรียมภาพต้นฉบับในงานวิจัยนี้ โดยเริ่มจากการหาขนาดของภาพที่เหมาะสม จากนั้นจึงทำการวาดภาพสีน้ำ การสร้างแผ่นสีเพื่อเป็นตัวแทนของภาพ และประกอบกันสร้างเป็น Colour chart จากนั้นทำการคัดเลือกชุดตัวอย่างสีเพื่อใช้ในการสร้างกระบวนการการประมาณค่า (เรียกว่า Training set) และชุดตัวอย่างสีเพื่อใช้ทดสอบความถูกต้องของกระบวนการที่สร้างขึ้น (เรียกว่า Test set) ซึ่งรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนมีดังนี้



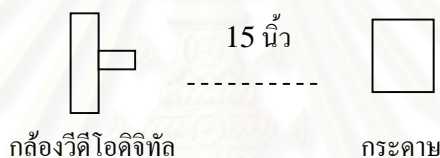
แผนผังที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมต้นฉบับ

### 3.2.1.1 การเลือกขนาดของภาพสีน้ำที่เหมาะสม

1. นำกระดาษ 3 ขนาด ได้แก่ 4x6 นิ้ว 6x8 นิ้ว และ 8x10 นิ้ว มาตีเส้นเป็นตาราง เพื่อใช้สังเกตว่าขนาดใดไม่เกิดการโค้งบิดเบี้ยว เมื่อผ่านการบันทึกภาพ



2. ใช้กล้องวีดีโอดิจิทัลบันทึกขนาดกระดาษทั้ง 3 ขนาด โดยมีระยะห่างระหว่างกล้องดิจิทัลกับกระดาษ ประมาณ 15 นิ้ว ซึ่งเป็นระยะที่สามารถบันทึกขนาดกระดาษได้เต็มเฟรม



3. จัดภาพให้อยู่ในเฟรมของกล้องดิจิทัลวีดีโอ
4. เกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกขนาดกระดาษที่เหมาะสม คือ ภาพที่บันทึกได้นั้นดูแล้วมีความคมชัด และเส้นตารางในกระดาษไม่เกิดการโค้งบิดเบี้ยว
5. ผลของขนาดกระดาษที่เหมาะสม คือ 6 x 8 นิ้ว

### 3.2.1.2 การเตรียมภาพสีน้ำ

1. กำหนดภาพ 3 แบบ คือ ภาพคน ภาพทิวทัศน์ และภาพนามธรรม โดยภาพคนมุ่งเน้นโทนสีผิว ภาพทิวทัศน์มุ่งเน้นโทนสีท้องฟ้า ทะเล และภาพนามธรรมมุ่งเน้นความหลากหลายของสีสันทัน ได้แก่ สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน และสีเหลือง

2. ทำการระบายภาพสีน้ำทั้ง 3 ภาพบนกระดาษบ็อกกิ้งฟอรัลด์ 190 แกรม ขนาด 6 x 8 นิ้ว โดยใช้แม่สีสีน้ำครบทั้ง 35 สี

3. ภาพต้นฉบับที่ใช้ในการทดลอง และชื่อเรียกกำกับภาพแสดงไว้ดังรูปที่ 3.1



ภาพคน



ภาพทิวทัศน์



ภาพนามธรรม

### 3.2.1.3 การสร้าง Colour chart

1. ผสมแม่สีสีน้ำให้ครอบคลุมสีของภาพสีน้ำทั้ง 3 ภาพ โดยใช้แม่สีสีน้ำครบทั้ง 35 สี และทำการเทียบสีด้วยสายตา
2. ปาดสีน้ำที่ผสมแล้วด้วยเครื่องปาดหมึกแบบ วาย บาร์ ที่ความหนา 15 ไมครอน บนกระดาษบ็อกกิ้งฟอร์ด 190 แกรม ขนาด 3 x 5 นิ้ว แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง
3. ปาดแม่สีสีน้ำ 35 สีโดยไม่ต้องผสมกับสีอื่น ด้วยวิธีการเดียวกันกับที่ใช้ในข้อ 2
4. นำแผ่นสีที่ได้จากการปาดสีน้ำในข้อ 2 และ 3 รวม 679 แผ่นสี มาตัดให้มีขนาด 1x1 นิ้ว โดยเลือกบริเวณที่สีมีความสม่ำเสมอ
5. สร้าง Colour chart โดยติดแผ่นสีขนาด 1x1 นิ้ว แต่ละสีบนกระดาษสีเทา ขนาด 6 x 8 นิ้ว โดยจัดเรียงไว้ใน Colour chart 1 แผ่น มีแผ่นสี 30 แผ่น แบ่งเป็น 5 แถว แถวละ 6 แผ่นสี โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกแผ่นสีให้อยู่ใน Colour chart เดียวกัน แบ่งเป็น 2 เกณฑ์ คือ
  - 1) แผ่นสีของแม่สีสีน้ำ 35 สี ให้เรียงกันตามรหัสสีตั้งแต่ 001 - 035
  - 2) แผ่นสีที่นอกเหนือจากแม่สีเลือกเฉดสีที่ใกล้เคียงกัน จากการเทียบสีด้วยสายตา
6. Colour Chart ที่ได้มีทั้งหมด 23 แผ่น โดยใช้รหัส A - W

### 3.2.1.4 การเลือกชุดตัวอย่างสี

1. วัดค่าสี  $L^*$   $a^*$   $b^*$  และ  $C^*_{ab}$  ของ Colour chart ด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{65}$  ที่มุมการมองมาตรฐาน 2 องศา
2. เลือก Training set จาก Colour chart เพื่อใช้เป็นตัวแทนสีที่ครอบคลุมสีของภาพสีน้ำทั้ง 3 ภาพ โดยพิจารณาจากค่าความสว่าง ( $L^*$ ) เริ่มเลือกตั้งแต่ค่า  $L^*$  ที่น้อยที่สุดและเลือกห่างกันไปที่ละ 2 หน่วย จนถึงค่า  $L^*$  ที่มากที่สุด จากนั้นจึงพิจารณาที่ค่าความอิ่มตัว ( $C^*_{ab}$ ) ที่ค่า  $L^*$  นั้น ๆ โดยเริ่มเลือกตั้งแต่ค่า  $C^*_{ab}$  ที่น้อยที่สุดและเลือกห่างกันเท่ากับหรือมากกว่า 5 หน่วยขึ้นไป จนถึงค่า  $C^*_{ab}$  มากที่สุด
3. เลือก Test set เพื่อใช้ทดสอบความถูกต้องของกระบวนการที่สร้างขึ้น โดยนำ Colour chart มาแบ่งออกเป็น 3 โทน ได้แก่ โทนสีผิว โทนใบไม้ และโทนท้องฟ้า จาก การเทียบสีกับภาพสีน้ำต้นฉบับด้วยสายตา

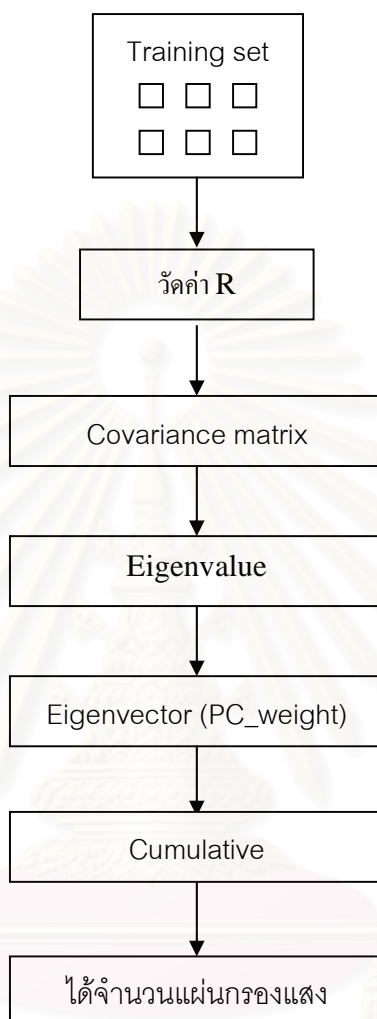
### 3.2.2 การสร้างกระบวนการผลิตภาพ

ในขั้นตอนนี้ เริ่มจากการหาจำนวนแผ่นกรองแสงที่เหมาะสมในการบันทึกภาพ จากนั้นจึงทำการเลือกชนิดของแผ่นกรองแสงที่เหมาะสมจากจำนวนแผ่นกรองแสงที่มีอยู่ 9 แผ่น เพื่อให้ได้การประมาณค่าการสะท้อนแสงที่ดีที่สุด โดยทำการทดสอบความถูกต้องของการประมาณค่าด้วย Test set ซึ่งในขั้นตอนนี้การเลือกชนิดของแผ่นกรองแสงที่เหมาะสมและการทดสอบความถูกต้องของกระบวนการจะใช้ MATLAB ในการคำนวณ โดยแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

#### 3.2.2.1 การหาจำนวนแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม

1. นำสเปกโตรโฟโตมิเตอร์วัดค่าการสะท้อนแสง (R) ของ Training set ตั้งแต่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ทุก ๆ 10 นาโนเมตร
2. ทำการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก (PCA) โดยใช้โปรแกรม Minitab แบบวิธี Covariance Method โดยหา Covariance matrix และค่า Eigenvalue เพื่อหาค่า Eigenvector (PC\_weight) และความถี่สะสม (Cumulative)
3. เลือก PC ที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากค่าความถี่สะสมที่เข้าใกล้ 1 มากที่สุด ซึ่ง PC นั้นจะต้องเป็นจำนวนส่วนประกอบหลักที่น้อยที่สุดที่สามารถเป็นตัวแทนค่าการสะท้อนแสงของข้อมูลทั้งหมดได้ดี
4. PC ที่เลือก คือ จำนวนแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม

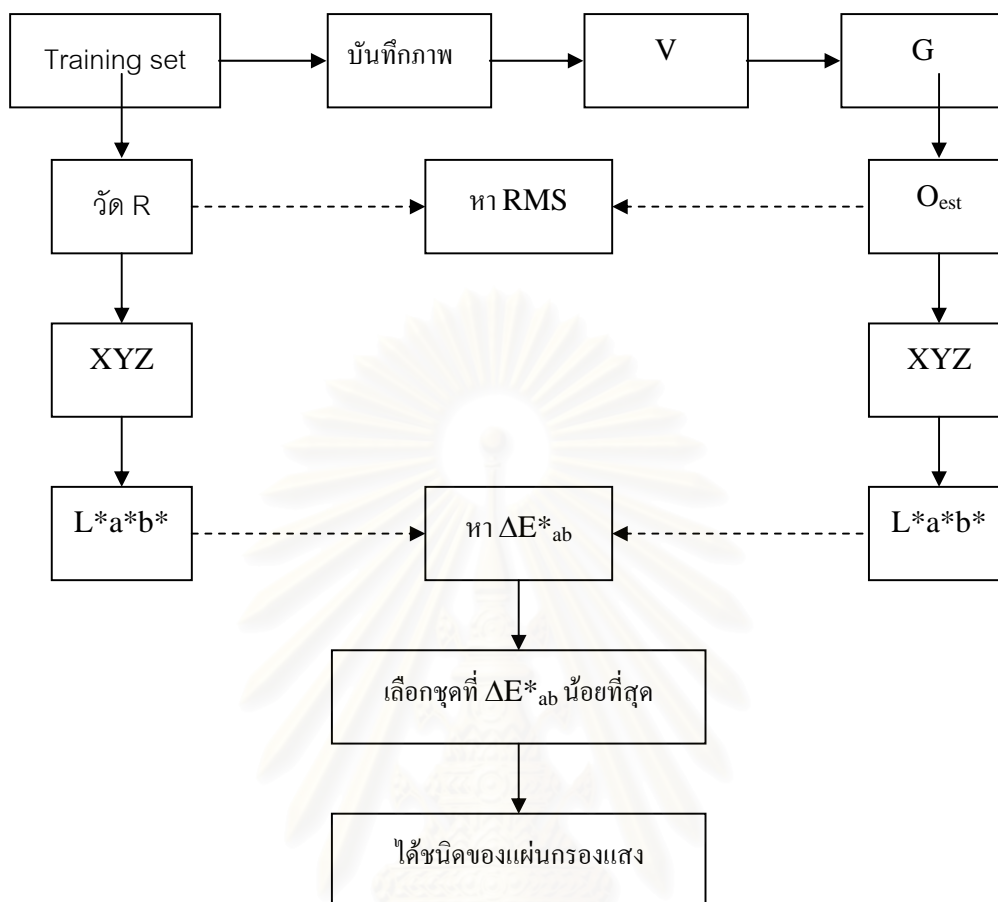
ในขั้นตอนการหาจำนวนแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม แสดงได้ดังแผนผังที่ 3.2



แผนผังที่ 3.2 การหาจำนวนแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม

### 3.2.2.2 การหาชนิดของแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม

แผนผังที่ 3.3 แสดงขั้นตอนการหาชนิดของแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม ซึ่งเมื่อได้จำนวนแผ่นกรองแสงที่เหมาะสมจากขั้นตอนที่ 3.2.2.1 แล้ว จะทำการหาชนิดแผ่นกรองแสงโดยใช้วิธีการสลับลำดับชุดจากจำนวนทั้งหมด 9 แผ่น แล้วพิจารณาเลือกชุดที่ให้ค่าเฉลี่ย  $\Delta E^*_{ab}$  และ RMS น้อยที่สุด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



แผนผังที่ 3.3 การหาชนิดแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม

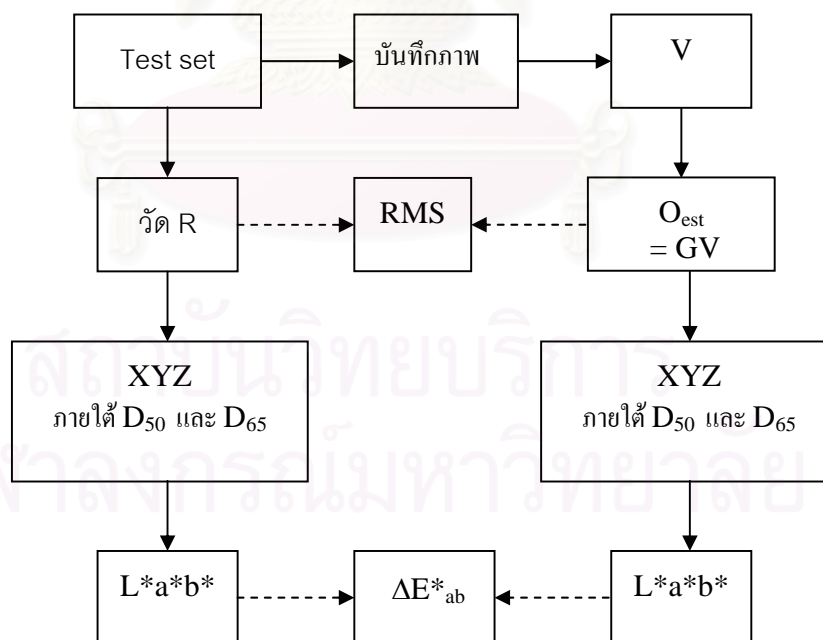
1. นำสเปกโทรโฟโตมิเตอร์วัดค่าการสะท้อนแสง (R) ของ Training set ตั้งแต่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ทุก ๆ 10 นาโนเมตร
2. บันทึก Training set ด้วยกล้องดิจิทัลวีดีโอ ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ (F11) โดยกั้นด้วยแผ่นกรองแสงที่ละแผ่น จำนวน 9 แผ่น
3. หาค่าเฉลี่ย pixel value (V) ของแต่ละแผ่นสีที่ผ่านแผ่นกรองแสงแต่ละแผ่น โดยเฉลี่ยจากพื้นที่ตรงกลางแผ่นสีขนาด 20 x 20 พิกเซล
4. นำค่า R และค่าเฉลี่ย V ไปคำนวณหา G ซึ่ง  $G = \langle RV^t \rangle \cdot \langle VV^t \rangle^{-1}$  และประมาณค่าการสะท้อนแสง ( $O_{est}$ ) ด้วยวิธี Wiener estimation ซึ่ง  $O_{est} = G \cdot V$  โดยในการคำนวณจะนำค่าเฉลี่ย V มาสลับลำดับชุด คือ จำนวนชุดที่เป็นไปได้ทั้งหมดจากการเลือกแผ่นกรองแสง x แผ่นจาก 9 แผ่น ซึ่งจะได้ทั้งหมดได้  $9! \frac{x!}{x!(9-x)!}$  ชุด (x คือ จำนวนแผ่นกรองแสงที่เหมาะสมที่ได้จาก 3.2.2.1)



5. นำค่า  $O_{est}$  ที่ได้ทุกลำดับชุดมาแปลงเป็นค่า XYZ โดยใช้สมการไตรสติมูลต์ ที่มุมการมองมาตรฐาน 2 องศา
6. แปลงค่า XYZ ทุกลำดับชุดเป็นค่า  $L^*a^*b^*$
7. นำค่า R มาแปลงเป็นค่า XYZ โดยใช้สมการไตรสติมูลต์
8. แปลงค่า XYZ เป็นค่า  $L^*a^*b^*$
9. หาค่าเฉลี่ย  $\Delta E^*_{ab}$  ระหว่าง  $L^*a^*b^*$  ที่ได้จาก  $O_{est}$  (ข้อ6) กับ  $L^*a^*b^*$  ที่ได้จาก R (ข้อ8)
10. พิจารณาเลือกชุดของแผ่นกรองแสงที่ให้ค่าเฉลี่ย  $\Delta E^*_{ab}$  น้อยที่สุด จะทำให้ได้ ชนิดของแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม และในขั้นตอนนี้ก็จะได้ G เพื่อใช้ในการผลิตภาพบน แอลซีดี
11. นำค่า R และ  $O_{est}$  ที่ได้มาหาค่า RMS

### 3.2.2.3 การวิเคราะห์ความถูกต้องของกระบวนการ

ในส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์เชิงปริมาณของความถูกต้องของกระบวนการที่สร้างขึ้น โดยใช้ Test set 3 โทน ได้แก่ โทนสีผิว โทนใบไม้ และโทนท้องฟ้า ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  และ  $D_{65}$  ซึ่งพิจารณาจากค่าเฉลี่ย  $\Delta E^*_{ab}$  และ RMS แสดงได้ดังแผนผังที่ 3.4 โดยมีวิธีการดังนี้



แผนผังที่ 3.4 การวิเคราะห์ความถูกต้องของกระบวนการ

1. นำสเปกโทรโฟโตมิเตอร์วัดค่าการสะท้อนแสง (R) ของ Test set ทั้ง 3 โทน ตั้งแต่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ทุก ๆ 10 นาโนเมตร
2. บันทึก Test set ทั้ง 3 โทนด้วยกล้องดิจิทัลวีดีโอ ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง ฟลูออเรสเซนต์ (F11) โดยกันด้วยจำนวนและชนิดของแผ่นกรองแสงที่ได้จากขั้นตอนที่ 3.2.2.1 และ 3.2.2.2
3. หาค่าเฉลี่ย pixel value (V) โดยเฉลี่ยจากพื้นที่ตรงกลางแผ่นสีขนาด 20 x 20 พิกเซล
4. นำค่าเฉลี่ย V มาหา  $O_{est}$  ด้วยวิธี Wiener estimation โดยใช้ G ที่ได้จาก ขั้นตอน 3.2.2.2
5. นำค่า  $O_{est}$  ที่ได้แปลงเป็นค่า XYZ โดยใช้สมการไตรสติมูลัส ซึ่งคำนวณ ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  และ  $D_{65}$  ที่มุมการมองมาตรฐาน 2 องศา
6. แปลงค่า XYZ เป็นค่า  $L^*a^*b^*$
7. นำค่า R มาแปลงเป็นค่า XYZ โดยใช้สมการไตรสติมูลัส ซึ่งคำนวณภายใต้ แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  และ  $D_{65}$  ที่มุมการมองมาตรฐาน 2 องศา
8. แปลงค่า XYZ เป็นค่า  $L^*a^*b^*$
9. หาค่าเฉลี่ย  $\Delta E^*_{ab}$  ระหว่าง  $L^*a^*b^*$  ที่ได้จาก  $O_{est}$  (ข้อ6) กับ  $L^*a^*b^*$  ที่ได้จาก R (ข้อ8)
10. นำค่า R และ  $O_{est}$  ที่ได้มาหาค่า RMS

### 3.2.3 การผลิตภาพบนแอลซีดี

ในขั้นตอนนี้เริ่มจากการเตรียมอุปกรณ์ โดยทำการปรับตั้งมาตรฐานแอลซีดี (Calibration) เพื่อให้แสดงข้อมูลได้อย่างเที่ยงตรงเหมือนกันทุก ๆ ครั้ง จากนั้นทำการผลิตภาพจากข้อมูลสเปกตรัม บนแอลซีดี และผลิตภาพจากการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัลบนแอลซีดี โดยมีทั้งหมด 3 ภาพ คือ ภาพคน ภาพทิวทัศน์ และภาพนามธรรม ซึ่งในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

### 3.2.3.1 การเตรียมอุปกรณ์

ในขั้นตอนนี้การเตรียมแอลซีดีให้พร้อมที่จะแสดงภาพ ทำได้โดยการปรับตั้งมาตรฐานแอลซีดี โดยใช้โปรแกรม ProfileMaker pro 5.0 ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. เลือกสถานะ : โดยทำการเลือก White point ที่ต้องการ ซึ่งใช้ 2 แหล่งกำเนิดแสง คือ  $D_{50}$  และ  $D_{65}$  และเลือก Gamma ให้เหมาะสมกับประเภทของเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้เครื่อง PC และโปรแกรมจะแสดงค่าความส่องสว่าง (Luminance) ของแอลซีดี ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สถานะในการปรับตั้งแอลซีดี

การปรับ	แหล่งกำเนิดแสง	
	$D_{50}$	$D_{65}$
White Point	5000 เคลวิน	6500 เคลวิน
Gamma	2.2	2.2
Luminance	146.3 Cd/m <sup>2</sup>	166.9 Cd/m <sup>2</sup>

2. ปรับ Contrast : ปรับค่าความเปรียบต่างให้ตรงกับ indicator ของโปรแกรม โดยโปรแกรมจะปรับค่าความเปรียบต่างให้โดยอัตโนมัติ ซึ่งเปอร์เซ็นต์การแสดงสีของ RGB เป็นดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 เปอร์เซนต์ RGB ในการปรับ Contrast

สี	แหล่งกำเนิดแสง	
	$D_{50}$	$D_{65}$
R	100 %	100 %
G	87%	94%
B	72%	92%

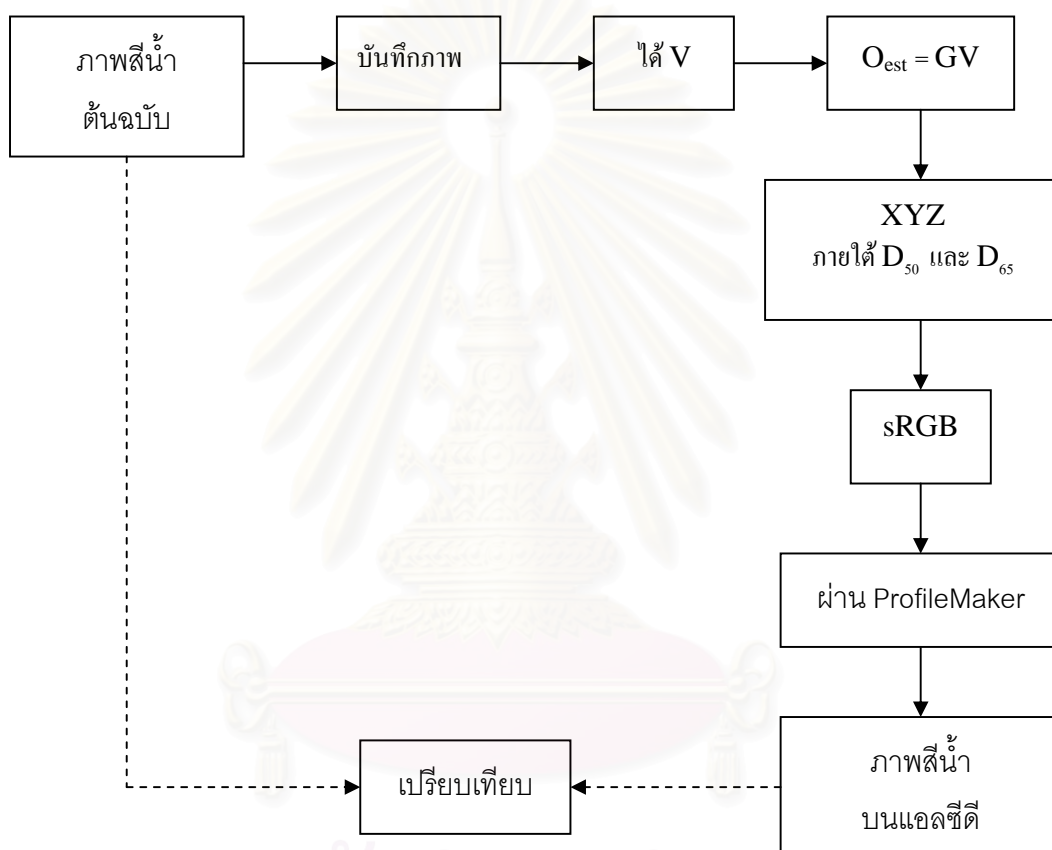
3. ปรับ Brightness : ปรับค่าความสว่างให้ตรงกับ indicator ของโปรแกรม ซึ่งความสว่างที่เหมาะสมของ  $D_{50}$  เท่ากับ 68% และ  $D_{65}$  เท่ากับ 69%

4. วัด Colour chart : เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ทำการวัดค่าสีของตัวอย่างสีจำนวน 99 สีบนแอลซีดีโดยอัตโนมัติ

5. สร้างไฟล์แอลซีดี : เพื่อนำไปใช้กับการจัดการสีของภาพสีน้ำ 3 ภาพ ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  และ  $D_{65}$

### 3.2.3.2 การผลิตภาพจากข้อมูลสเปกตรัม

ในขั้นตอนการผลิตภาพจากข้อมูลสเปกตรัม จะแสดงภาพคน ภาพทิวทัศน์ และภาพนามธรรมบนแอลซีดี ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  และ  $D_{65}$  โดยผ่านโพรไฟล์การจัดการสี คือ ProfileMaker pro 5.0 แสดงได้ดังแผนผังที่ 3.5 ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้



แผนผังที่ 3.5 การผลิตภาพจากข้อมูลสเปกตรัม

- บันทึกภาพสีน้ำต้นฉบับทั้ง 3 ภาพด้วยกล้องดิจิทัลวีดีโอ ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ (F11) โดยกั้นด้วยจำนวนและชนิดของแผ่นกรองแสงที่ได้จากขั้นตอนที่ 3.2.2.1 และ 3.2.2.2
- นำค่า pixel value (V) ที่ได้จากบันทึกด้วยกล้องดิจิทัล มาหาค่า  $O_{est}$  ด้วยวิธี Wiener Estimation โดยใช้ G ที่ได้จากขั้นตอน 3.2.2.2

3. นำค่า  $O_{est}$  ที่ได้แปลงเป็นค่า XYZ จากสมการไตรสตีมูลัส ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  และ  $D_{65}$  โดยใช้ค่า SPD ของ  $D_{50}$  และ  $D_{65}$  ตามลำดับ ที่มุมการมองมาตรฐาน 2 องศา จะทำให้ภาพจากข้อมูลสเปกตรัมในขั้นตอนสุดท้ายแตกต่างกัน

4. แปลงค่า XYZ เป็น sRGB และแสดงภาพสีน้ำ

5. นำภาพสีน้ำที่ได้ทั้ง 3 ภาพผ่านโปรแกรมการจัดการสี : ProfileMaker pro 5.0 2 โปรแกรม คือ ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  และ  $D_{65}$  บนแอลซีดีที่ได้ทำการทำการปรับตั้งมาตรฐานไว้แล้ว โดยในแต่ละภาพจะผ่านทั้ง 2 โปรแกรม

6. จะได้ภาพสีน้ำทั้ง 3 ภาพจากข้อมูลสเปกตรัมบนแอลซีดี

### 3.2.3.3 การผลิตภาพจากการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล

1. ใช้กล้องดิจิทัลถ่ายภาพสีน้ำทั้ง 3 รูป

2. นำภาพสีน้ำที่ได้ทั้ง 3 ภาพผ่านโปรแกรมการจัดการสี : ProfileMaker pro 5.0 2 โปรแกรม คือ ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  และ  $D_{65}$  บนแอลซีดีที่ได้ทำการทำการปรับตั้งมาตรฐานไว้แล้ว โดยในแต่ละภาพจะผ่านทั้ง 2 โปรแกรม

3. จะได้ภาพสีน้ำทั้ง 3 ภาพจากการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล

### 3.2.4 การวิเคราะห์คุณภาพของภาพ

ในขั้นตอนการวิเคราะห์คุณภาพของภาพนี้เป็นการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ โดยให้ผู้ทดสอบ 20 คนทำการเปรียบเทียบระหว่างภาพที่ผลิตได้จากข้อมูลสเปกตรัมที่ผ่านโปรแกรมการจัดการสีกับภาพที่ได้จากการถ่ายด้วยกล้องดิจิทัลที่ผ่านโปรแกรมการจัดการสีเช่นกัน โดยพิจารณาว่าภาพใดเหมือนกับภาพต้นฉบับที่อยู่ในตู้แสงมาตรฐานมากที่สุด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. การมองเปรียบเทียบภาพทำในห้องที่มีดสนิท

2. ตู้แสงมาตรฐานตั้งอยู่ด้านซ้ายมือ และแอลซีดีอยู่ด้านขวามือของผู้ทดสอบ โดยตำแหน่งภาพอยู่ในระนาบเดียวกัน

3. ภาพสีน้ำที่แสดงบนแอลซีดีทั้งภาพจากข้อมูลสเปกตรัมและภาพที่ถ่ายด้วยกล้องดิจิทัลจะมีขอบภาพสีขาวโดยรอบ กว้าง 0.5 cm. และแสดงอยู่บนพื้นหลังสีเทา

4. นำเสนอภาพในแต่ละประเภท (ภาพคน ภาพทิวทัศน์ และภาพนามธรรม) ระหว่างภาพจากข้อมูลสเปกตรัมและภาพที่ถ่ายด้วยกล้องดิจิทัลทีละภาพ ในตำแหน่งเดียวกันกลางจอภาพ

5. ผู้ทดสอบนั่งเปรียบเทียบภาพในตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างตู้แสงมาตรฐาน และ แอลซีดี โดยมีระยะห่าง 36 นิ้ว

6. ผู้ทดสอบมองภาพด้วยวิธี Simultaneous-binocular viewing โดยภาพสีน้ำต้นฉบับที่แสดงในตู้แสงมาตรฐาน แสดงภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  เปรียบเทียบกับภาพบน แอลซีดี ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงเดียวกัน ซึ่งในแต่ละภาพจะพิจารณาแยกแต่ละบริเวณ ดังนี้

1) ภาพคน พิจารณา 2 บริเวณ คือ

1.1) สีผิว

1.2) สีโดยรวมของภาพ

2) ภาพทิวทัศน์ พิจารณา 3 บริเวณ คือ

2.1) ท้องฟ้า

2.2) ทะเล

2.3) สีโดยรวมของภาพ

3) ภาพนามธรรม พิจารณา 5 บริเวณ คือ

3.1) สีแดง

3.2) สีเขียว

3.3) สีน้ำเงิน

3.4) สีเหลือง

3.5) สีโดยรวมของภาพ

7. ให้คะแนนความเหมือนของภาพลงในแบบสอบถาม โดยมีเกณฑ์ระดับคะแนนความเหมือนตั้งแต่ 1 – 5 โดยที่

ระดับคะแนน 1 หมายถึง เหมือนน้อยที่สุด

ระดับคะแนน 2 หมายถึง เหมือนน้อย

ระดับคะแนน 3 หมายถึง เหมือนปานกลาง

ระดับคะแนน 4 หมายถึง เหมือนมาก

ระดับคะแนน 5 หมายถึง เหมือนมากที่สุด

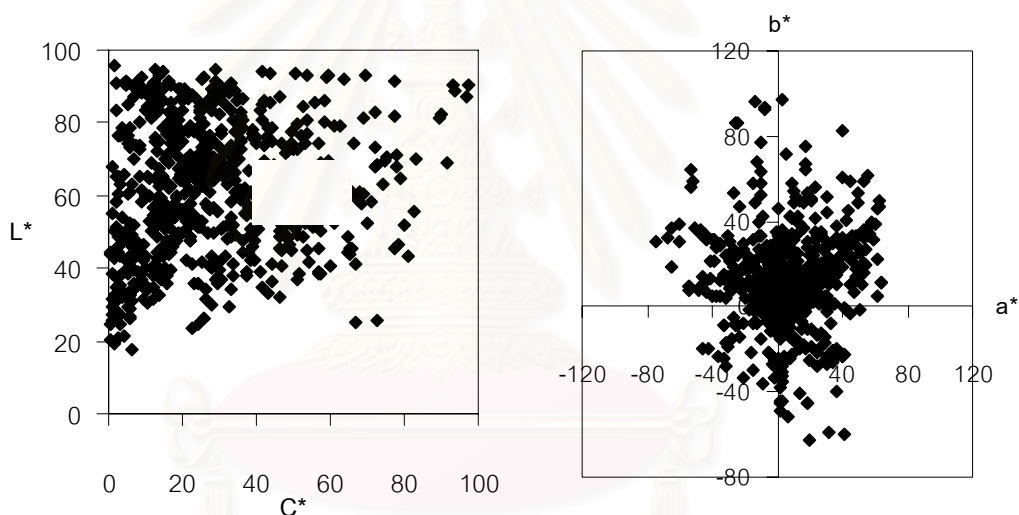
(ตัวอย่างแบบสอบถามแสดงไว้ในภาคผนวก ง)

## บทที่ 4

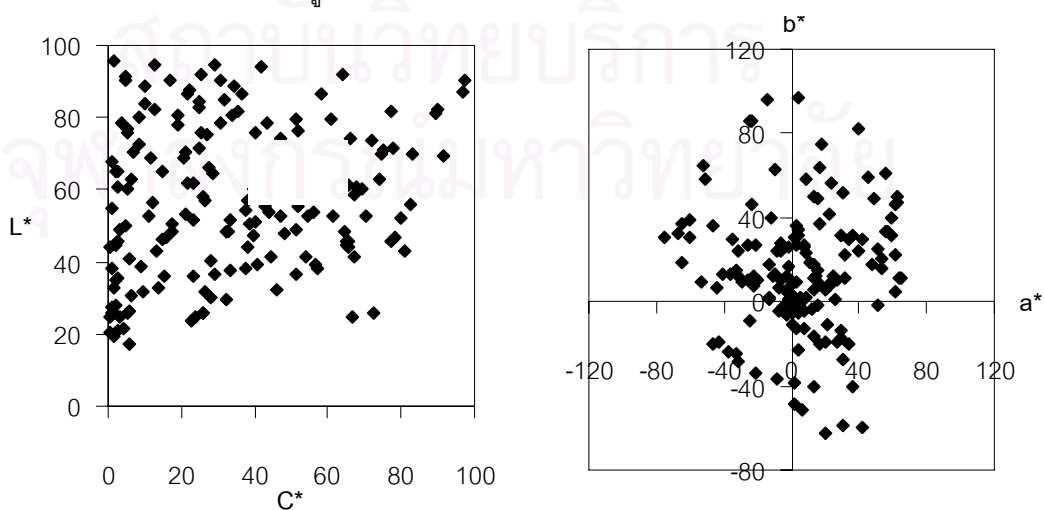
### ผลการทดลองและอภิปรายผล

#### 4.1 ผลของการเลือก Training set

จาก Colour chart ที่สร้างขึ้นให้ครอบคลุมสีของภาพสีน้ำต้นฉบับซึ่งได้ทั้งหมด 679 สีนั้นเป็นจำนวนมากเกินไปสำหรับการนำไปใช้สร้างกระบวนการการผลิตภาพ ดังนั้นจึงได้ทำการเลือก Training set จาก Colour chart ขึ้นมาเพื่อใช้เป็นตัวแทนสีของภาพสีน้ำ โดยใช้  $L^* C^*_{ab}$  เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกตามที่กล่าวไว้ใน 3.2.1.4 ได้ Training set จำนวน 176 สี ซึ่ง Colour chart และ Training set มีการกระจายตัวของ  $L^* C^*_{ab}$  และ  $a^* b^*$  ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของ Colour chart

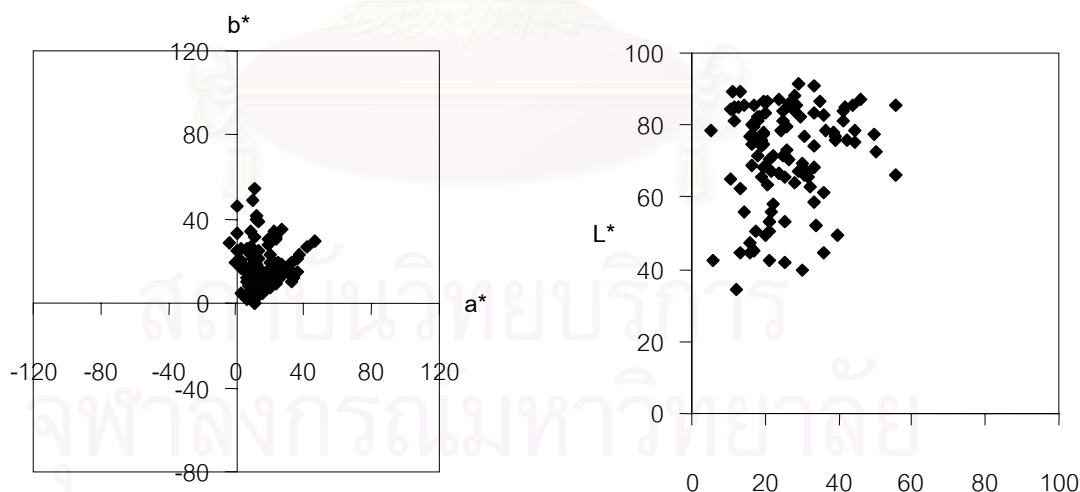


รูปที่ 4.2 การกระจายตัวของ Training set

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 จะเห็นได้ว่า  $L^*$   $C^*_{ab}$  และ  $a^*$   $b^*$  ของ Training set มีการกระจายตัวค่อนข้างสม่ำเสมอและครอบคลุม  $L^*$   $C^*_{ab}$  และ  $a^*$   $b^*$  ของ Colour chart โดยที่  $L^*$  มีค่าครอบคลุมตั้งแต่ 15-100 และ  $C^*_{ab}$  มีค่าครอบคลุมตั้งแต่ 0-100 ซึ่งจากรูปที่ 4.2 การกระจายตัวของ Training set ที่ได้คัดเลือกนั้น  $L^*$  มีค่าครอบคลุมตั้งแต่ 15-100 และ  $C^*_{ab}$  มีค่าครอบคลุมตั้งแต่ 0-100 เช่นเดียวกัน รวมถึงช่วงและลักษณะการกระจายตัวของค่า  $a^*$   $b^*$  ของ Training set และ Colour chart ดังนั้น Training set ที่ได้จึงเป็นตัวแทนของสีในภาพสีน้ำต้นฉบับที่ดี เพื่อใช้ในการสร้างกระบวนการการผลิตซ้ำของภาพสีน้ำจากข้อมูลสเปกตรัมบนแอลซีดี

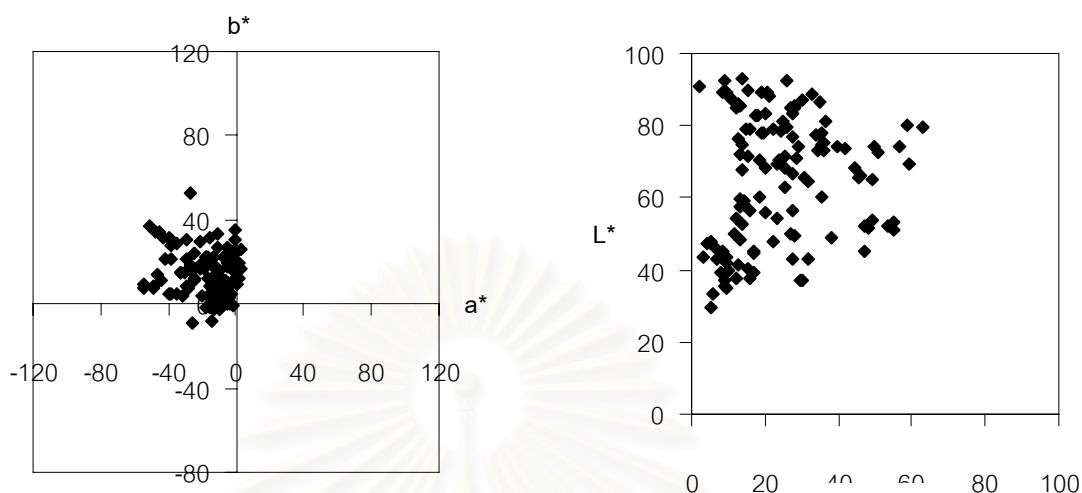
#### 4.2 ผลของการเลือก Test set

เมื่อได้เลือก Training set จำนวน 176 สี เพื่อเป็นตัวแทนของสีในภาพสีน้ำต้นฉบับ ในการสร้างกระบวนการการผลิตภาพแล้ว จะต้องทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการการผลิตซ้ำของภาพสีน้ำจากข้อมูลสเปกตรัมที่ได้สร้างขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีชุดข้อมูลสีที่ต่างไปจาก Training set เพื่อใช้ในการทดสอบ จึงได้ทำการเลือก Test set จาก Colour chart โดยทำการแบ่งสีออกเป็น 3 โทน ได้แก่ โทนสีผิว จำนวน 112 สี โทนใบไม้ จำนวน 123 สี และ โทนท้องฟ้า จำนวน 35 สี โดยเทียบสีกับภาพสีน้ำต้นฉบับด้วยสายตา Test set ทั้ง 3 โทนที่ได้มีการกระจายตัวของ  $L^*$   $C^*_{ab}$  และ  $a^*$   $b^*$  ดังรูปที่ 4.3, 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ

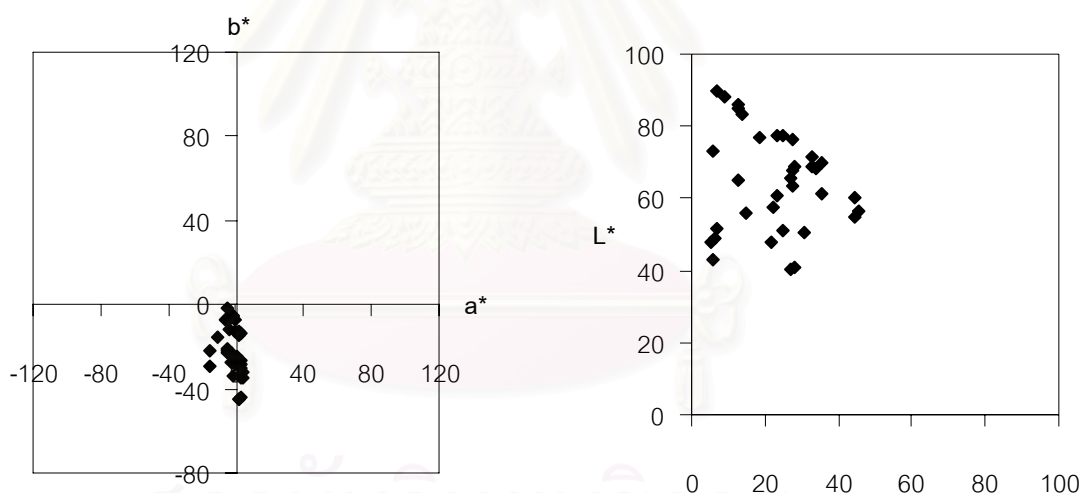


รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของ Test set โทนสีผิว





รูปที่ 4.4 การกระจายตัวของ Test set โทนใบไม้



รูปที่ 4.5 การกระจายตัวของ Test set โทนท้องฟ้า

จากรูปที่ 4.3, 4.4 และ 4.5 จะเห็นได้ว่า Test set ทั้ง 3 โทน มีการกระจายตัวของค่า  $a^*$   $b^*$  อยู่ในบริเวณใดบริเวณหนึ่งเกาะกลุ่มกัน โดยโทนสีผิวมีค่า  $a^*$   $b^*$  อยู่ในขอบเขตสีแดงและเหลือง โทนใบไม้มีค่า  $a^*$   $b^*$  อยู่ในขอบเขตสีเขียวและเหลือง และโทนท้องฟ้ามีค่า  $a^*$   $b^*$  อยู่ในขอบเขตสีน้ำเงินและเขียว ส่วนการกระจายตัวของ  $L^*$  ของทั้ง 3 โทน ครอบคลุมในช่วงใกล้เคียงกัน คือ  $L^*$  ครอบคลุมอยู่ในช่วง

ประมาณ 30-100 ในขณะที่ช่วงการกระจายตัวของค่า  $C^*_{ab}$  ของทั้ง 3 โทนนั้น มีความแตกต่างกันพอประมาณ โดยโทนสีผิวมีค่า  $C^*_{ab}$  ครอบคลุมอยู่ในช่วง 0-60 โทนใบไม้มีค่า  $C^*_{ab}$  ครอบคลุมตั้งแต่ 0-70 และโทนท้องฟ้ามีค่า  $C^*_{ab}$  ครอบคลุมอยู่ในช่วง 0-50 แสดงให้เห็นว่า โทนใบไม้มีสีจำนวนหนึ่งที่มีความอิ่มตัวสีสูงกว่าโทนสีผิวและโทนท้องฟ้า ในขณะที่สีทั้งหมดในโทนท้องฟ้ามีความอิ่มตัวสีไม่มากนัก เนื่องจากสีทั้งหมดใน Test set เป็นสีที่ผสมอยู่ในภาพสีน้ำต้นฉบับ Test set ทั้ง 3 โทนนีจึงเป็นตัวแทนที่ดีในการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการการผลิตซ้ำของภาพสีน้ำจากข้อมูลเปกตรัมบนแอลซีดี โดยใช้ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ

### 4.3 ผลของการวิเคราะห์เลือกแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม

#### 4.3.1 ผลของการวิเคราะห์เลือกจำนวนแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม

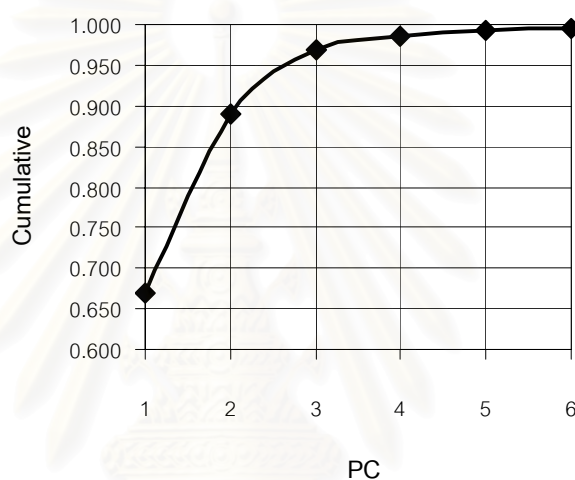
ในการวิเคราะห์เลือกจำนวนแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก (PCA) แบบ Covariance Method มีจุดประสงค์เพื่อต้องการลดจำนวนแผ่นกรองแสงที่ใช้ในการบันทึกภาพให้มีจำนวนน้อยที่สุด แต่ยังคงบันทึกข้อมูลของภาพได้ครบถ้วน ซึ่งจำนวนแผ่นกรองแสงที่ได้จะครอบคลุมการสะท้อนแสงของภาพสีน้ำทั้งหมด ได้ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่า Eigenvalue, Proportion, Cumulative ของแต่ละส่วนประกอบหลัก (PC) ที่ได้จากการทำ PCA

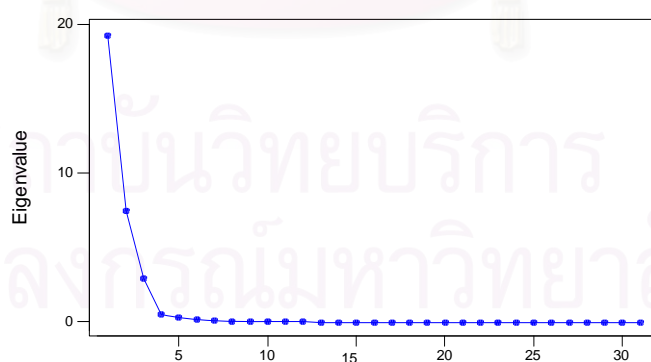
ค่าข้อมูล	การวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก											
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11	PC12
Eigenvalue	1.353	0.447	0.160	0.033	0.014	0.006	0.005	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000
Proportion	0.669	0.221	0.079	0.016	0.007	0.003	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
Cumulative	0.669	0.890	0.970	0.986	0.993	0.995	0.998	0.999	0.999	0.999	1.000	1.000

จากการคำนวณพบว่าจำนวนส่วนประกอบหลัก (PC) มีตั้งแต่ PC1-PC31 โดยที่ PC1 หมายถึง จำนวนแผ่นกรองแสง 1 แผ่น ดังนั้น PCใด ๆ หมายถึง แผ่นกรองแสงเท่ากับจำนวนนั้น จากตารางที่ 4.1 นำเสนอที่ PC1-PC12 เนื่องจากเป็น PC หลักที่ใช้ในการวิเคราะห์เลือกจำนวนแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม โดยพิจารณาที่ค่าความถี่สะสม (Cumulative) ของค่าการสะท้อนแสงของ Training set พบว่า เมื่อ PC เพิ่มขึ้น ค่า Cumulative จะเข้าใกล้ 1 ดังรูปที่ 4.6 ที่สังเกตได้ว่าค่า Cumulative เริ่มเข้าใกล้ 1 ตั้งแต่ PC5 เป็นต้นไป แสดงว่า ตั้งแต่ 5 ส่วนประกอบเป็นต้นไปสามารถเป็นตัวแทนการสะท้อนแสงทั้งหมดได้ ซึ่งในตารางที่ 4.1 นี้ พบว่า ส่วนประกอบที่ 5 (PC5) มีค่า

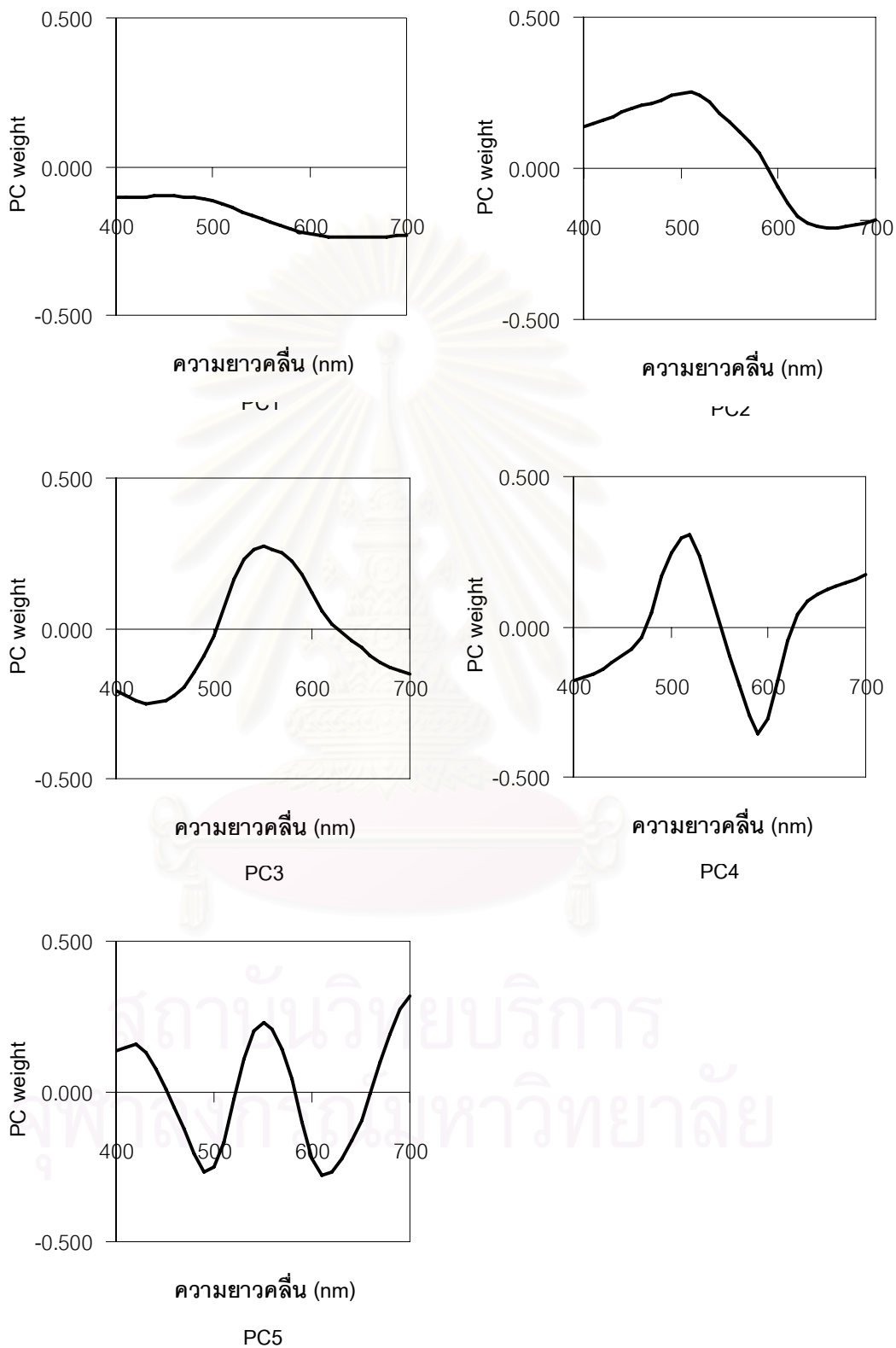
Cumulative เท่ากับ 0.993 และส่วนประกอบที่ 6 (PC6) มีค่า Cumulative เท่ากับ 0.995 จะเห็นได้ว่าทั้ง 2 ส่วนประกอบนี้ต่างก็มีค่า Cumulative เข้าใกล้ 1 ซึ่งทั้ง PC5 และ PC6 มีค่า Cumulative แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เพื่อให้การพิจารณาเลือกจำนวนแผ่นกรองแสงมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้นจึงพิจารณารูปที่ 4.7 ควบคู่กันไป จะเห็นได้ว่าเมื่อจำนวน PC เพิ่มขึ้น ค่า Eigenvalue จะเริ่มลดลง โดยกราฟเริ่มมีการหักมุมโดยมีรูปร่างเหมือนข้อศอกที่ PC4 และหลังจากนั้นค่า Eigenvalue จะเริ่มคงที่ ซึ่งหมายความว่า PC ตัวถัดไป คือ PC5 นั้นสามารถเป็นตัวแทนค่าการสะท้อนแสงของภาพสีนี้ได้



รูปที่ 4.6 ความถี่สะสมของแต่ละส่วนประกอบหลัก



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Eigenvalues ของแต่ละส่วนประกอบหลัก



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการสะท้อนแสงของ PC1-PC5

จากรูปที่ 4.8 เป็นความสัมพันธ์ของการสะท้อนแสงแต่ละส่วนประกอบหลักในแต่ละช่วงความยาวคลื่น พบว่า เมื่อ จำนวน PC มากขึ้น เส้นโค้งของกราฟจะมากขึ้น ไม่ราบเรียบเหมือนจำนวน PC น้อย ๆ ซึ่งการที่มีเส้นโค้งมากขึ้น หมายถึง ครอบคลุมการสะท้อนแสงมากขึ้น

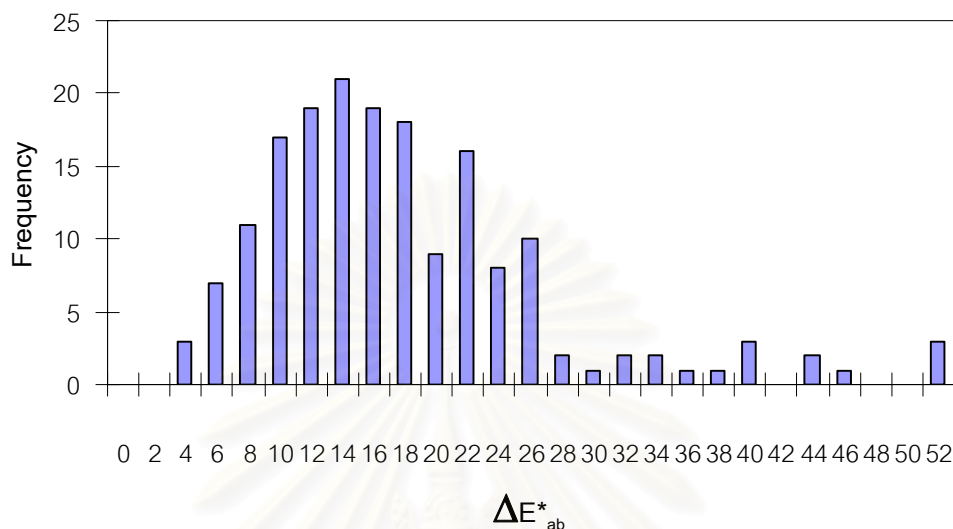
ดังนั้นจึงเลือกจำนวนแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากค่า Cumulative และ Eigenvalue ได้แผ่นกรองแสงที่เหมาะสม คือ จำนวน 5 แผ่น เนื่องจากเป็นจำนวนส่วนตัวประกอบหลักที่น้อยที่สุดที่มีค่า Cumulative เข้าใกล้ 1 และ Eigenvalue เริ่มคงที่ แผ่นกรองแสงจำนวน 5 แผ่นนี้จึงครอบคลุมการสะท้อนแสงของภาพสีน้ำทั้งหมดได้ดี

#### 4.3.2 ผลของการวิเคราะห์เลือกชนิดแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม

ในการวิเคราะห์เลือกจำนวนแผ่นกรองแสงจากจำนวนทั้งหมด 9 แผ่น ให้เหลือเพียง 5 แผ่น ได้ทำการคัดเลือกโดยใช้วิธีการสลัดลำดับชุด ซึ่งได้ทั้งหมด 126 ลำดับชุด โดยใช้หลักพิจารณาเลือกจากลำดับชุดที่ให้ค่าเฉลี่ย  $\Delta E^*_{ab}$  และ RMS ระหว่างภาพต้นฉบับและภาพที่ผลิตผ่านการบันทึกด้วยแผ่นกรองแสงด้วยลำดับชุดดังกล่าวที่น้อยที่สุด พบว่า ชนิดของแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม 5 แผ่น ประกอบด้วย BPB42, BPB53, BPN50, SC64 และ SC66 จะให้ค่าเฉลี่ย  $\Delta E^*_{ab}$  เท่ากับ 16.89 และ RMS เท่ากับ 0.09 โดยมีค่ามัธยฐาน (Median), ค่าเฉลี่ย (Mean), ค่าสูงสุด (Maximum), ค่าต่ำสุด (Minimum) และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation: sd) ดังตารางที่ 4.2 และผลการทดลองสามารถแสดงความถี่ของ  $\Delta E^*_{ab}$  ได้ดังรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.2 ค่า  $\Delta E^*_{ab}$  และ RMS ของแผ่นกรองแสงจำนวน 5 แผ่น

แผ่นกรองแสง 5 แผ่น	$\Delta E^*_{ab}$	RMS
Median	15.18	0.08
Mean	16.89	0.09
Minimum	2.28	0.02
Maximum	51.44	0.31
Standard deviation	9.28	0.05



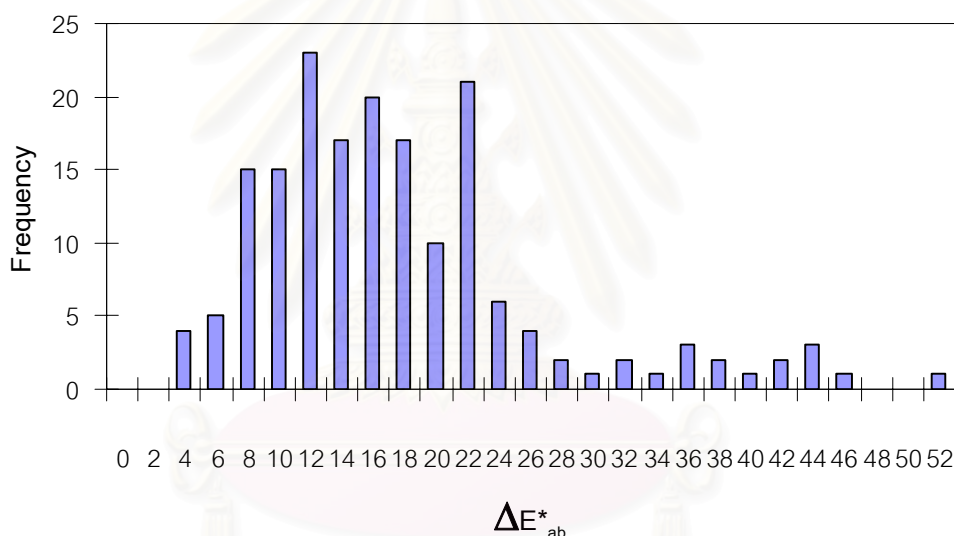
รูปที่ 4.9 Histogram ของ  $\Delta E^*_{ab}$  ที่ใช้แผ่นกรองแสง 5 แผ่นที่เหมาะสม

จากรูปที่ 4.9 พบว่า  $\Delta E^*_{ab}$  ที่ใช้แผ่นกรองแสงจำนวน 5 แผ่น ซึ่งประกอบด้วย BPB42, BPB53, BPN50, SC64 และ SC66 นี้ มีค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดต่างกันมาก คือ อยู่ในช่วง 2-52 และลักษณะการกระจายตัวของ  $\Delta E^*_{ab}$  มีการกระจายแบบไม่เป็นปกติ ดังนั้นการใช้ค่า mean เป็นตัวแทนของชุดข้อมูลในการพิจารณานั้นอาจให้ผลคลาดเคลื่อนจากที่ต้องการได้ จึงพิจารณาจากทั้งค่า median และ ค่า mean ซึ่งมีค่าเท่ากับ 15.18 และ 16.89 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าทั้ง 2 ค่าเป็นค่าที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจะใช้ค่าใดในการพิจารณาก็ให้ผลไม่ต่างกัน การทดลองนี้พิจารณาจากค่า mean ที่เท่ากับ 16.89 เป็นหลัก ซึ่งค่าที่ได้นี้ยังถือว่าเป็นค่าที่ค่อนข้างสูง

เพื่อเพิ่มความมั่นใจว่าจำนวนแผ่นกรองแสง 5 แผ่นเป็นจำนวนที่เหมาะสม จึงได้ทำการทดลองเพิ่ม โดยเพิ่มจำนวนแผ่นกรองแสงเป็น 6 แผ่น เพื่อตรวจสอบว่าเมื่อแผ่นกรองแสงเพิ่มขึ้น ค่า  $\Delta E^*_{ab}$  จะลดลงหรือไม่ โดยใช้วิธีสลับลำดับชุดเช่นเดิม ซึ่งได้ทั้งหมด 86 ลำดับชุด เมื่อพิจารณาเลือกลำดับชุดที่ให้ค่าเฉลี่ย  $\Delta E^*_{ab}$  และ RMS น้อยที่สุด พบว่า ชนิดของแผ่นกรองแสง 6 แผ่นที่เหมาะสม ประกอบด้วย BPB42, BPB55, BPB60, BPN50, SC64 และ SC66 โดยมีค่าเฉลี่ย  $\Delta E^*_{ab}$  เท่ากับ 16.63 และ RMS เท่ากับ 0.09 โดยมีค่า Median, Mean, Minimum, Maximum และ Standard deviation (sd) ดังตารางที่ 4.3 และผลการทดลองสามารถแสดงความถี่ของ  $\Delta E^*_{ab}$  ได้ดังรูปที่ 4.10

ตารางที่ 4.3 ค่า  $\Delta E^*_{ab}$  และ RMS ของแผ่นกรองแสงจำนวน 6 แผ่น

แผ่นกรองแสง 6 แผ่น	$\Delta E^*_{ab}$	RMS
Median	15.00	0.08
Mean	16.63	0.09
Minimum	3.36	0.02
Maximum	51.35	0.31
Standard deviation	9.07	0.05



#### 4.10 Histogram ของ $\Delta E^*_{ab}$ ที่ใช้แผ่นกรองแสง 6 แผ่นที่เหมาะสม

จากรูปที่ 4.10 พบว่า  $\Delta E^*_{ab}$  ที่ใช้แผ่นกรองแสง 6 แผ่น ซึ่งประกอบด้วย BPB42, BPB55, BPB60, BPN50, SC64 และ SC66 นี้ มีค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดต่างกันมาก คือ อยู่ในช่วง 3-52 และลักษณะการกระจายตัวของ  $\Delta E^*_{ab}$  มีการกระจายแบบไม่ปกติเช่นเดียวกับแผ่นกรองแสง 5 แผ่น จึงพิจารณาจากค่า median และ ค่า mean โดยมีค่าเท่ากับ 15.00 และ 16.63 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกัน จึงพิจารณาจากค่า mean ที่เท่ากับ 16.63 เป็นหลัก ซึ่งค่าที่ได้นี้ยังถือว่าเป็นค่าที่ค่อนข้างสูงเช่นเดียวกับเมื่อใช้แผ่นกรองแสง 5 แผ่น

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแผ่นกรองแสง 5 แผ่น และ 6 แผ่น พบว่า มีค่า median และ mean ของ  $\Delta E^*_{ab}$  ใกล้เคียงกันมาก ในขณะที่ค่า RMS มีค่าเท่ากัน ช่วงของการกระจายตัวของค่า  $\Delta E^*_{ab}$  ที่ได้จากการทดลองด้วยแผ่นกรองแสง 5 แผ่น และ 6 แผ่น ก็มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แผ่นกรองแสง 5 แผ่น ซึ่งประกอบด้วย BPB42, BPB53, BPN50, SC64 และ SC66 เพื่อใช้ในการบันทึกภาพ เนื่องจากเป็นจำนวนและชนิดที่ให้ค่าเฉลี่ย  $\Delta E^*_{ab}$  และ RMS น้อยที่สุด โดยไม่ทำให้ผลการทดลองแตกต่างไปจากการใช้แผ่นกรองแสง 6 แผ่น

#### 4.4 ผลของการวิเคราะห์เชิงปริมาณของ Test set 3 โทน

เมื่อทำการวิเคราะห์เชิงปริมาณของ Test set 3 โทน ได้แก่ โทนสีผิว โทนใบไม้ และโทนท้องฟ้า โดยดูจากค่า  $\Delta E^*_{ab}$  และ RMS ได้ผลดังนี้

##### 4.4.1 โทนสีผิว

จากการวิเคราะห์เชิงปริมาณของ Test set โทนสีผิว ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  และ  $D_{65}$  โดยดูจากค่า  $\Delta E^*_{ab}$  และ RMS ได้ผลดังตารางที่ 4.4

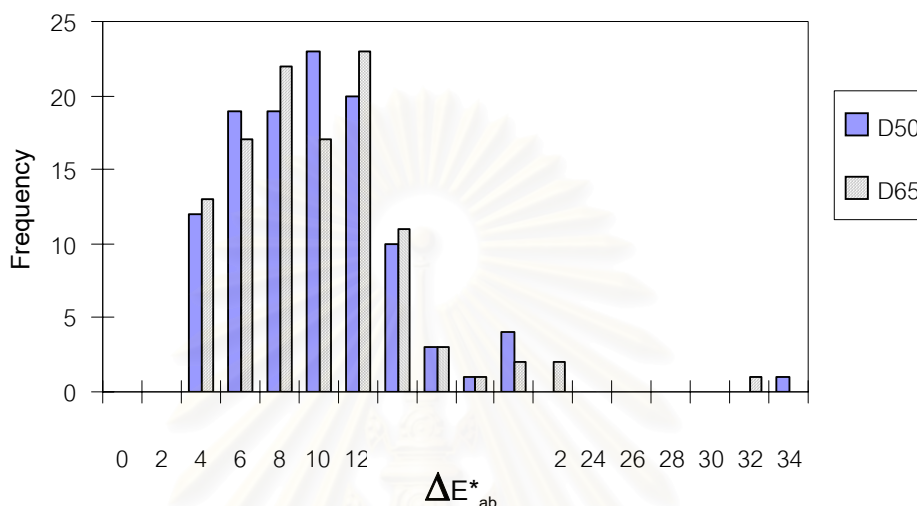
ตารางที่ 4.4 ค่า  $\Delta E^*_{ab}$  และ RMS ของ Test set โทนสีผิว

โทนสีผิว	$\Delta E^*_{ab}$		RMS
	$D_{50}$	$D_{65}$	
Median	8.58	8.44	0.06
Mean	8.74	8.88	0.07
Minimum	2.51	2.41	0.02
Maximum	32.54	31.40	0.15
Standard deviation	4.40	4.49	0.03

จากตารางที่ 4.4 พบว่าค่า  $\Delta E^*_{ab}$  ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  มีค่า median และค่า mean เท่ากับ 8.58 และ 8.74 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่า  $\Delta E^*_{ab}$  ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{65}$  ซึ่งมีค่า median และค่า mean เท่ากับ 8.44 และ 8.88 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาที่ sd พบว่า ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  มีค่าใกล้เคียงกับ  $D_{65}$  ส่วน RMS ก็มีค่า median และ mean ใกล้เคียงกันมากคือ เท่ากับ 0.06 และ 0.08 ตามลำดับ



จากตารางที่ 4.4 ผลการทดลองสามารถแสดงความถี่ของ  $\Delta E^*_{ab}$  ของโทนสีผิว เปรียบเทียบกันภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D<sub>50</sub> และ D<sub>65</sub> ได้ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 Histogram ของ  $\Delta E^*_{ab}$  ของโทนสีผิว เปรียบเทียบที่ D<sub>50</sub> และ D<sub>65</sub>

จากรูปที่ 4.11 พบว่า ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D<sub>50</sub> มีความถี่มากที่สุดอยู่ในช่วง 8-10 ส่วน D<sub>65</sub> มีความถี่มากที่สุดอยู่ในช่วง 10-12 ซึ่งการกระจายตัวของทั้ง 2 แหล่งกำเนิดแสง ใกล้เคียงกัน โดยเห็นได้ชัดว่ามี  $\Delta E^*_{ab}$  อยู่ในช่วง 2-22 เหมือนกัน และ  $\Delta E^*_{ab}$  เท่ากับ 22 เป็นต้นไปมีค่าสูงสุดเท่ากับ 33 และ 32 ตามลำดับเพียงอย่างละ 1 สีเท่านั้นเช่นเดียวกัน

จากข้อมูลดังกล่าวจึงให้ผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณของ Test set โทนสีผิวได้ว่า ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D<sub>50</sub> จะมีความแตกต่างสีในระดับที่ค่อนข้างสูงใกล้เคียงกับ D<sub>65</sub>

#### 4.4.2 โทนใบไม้

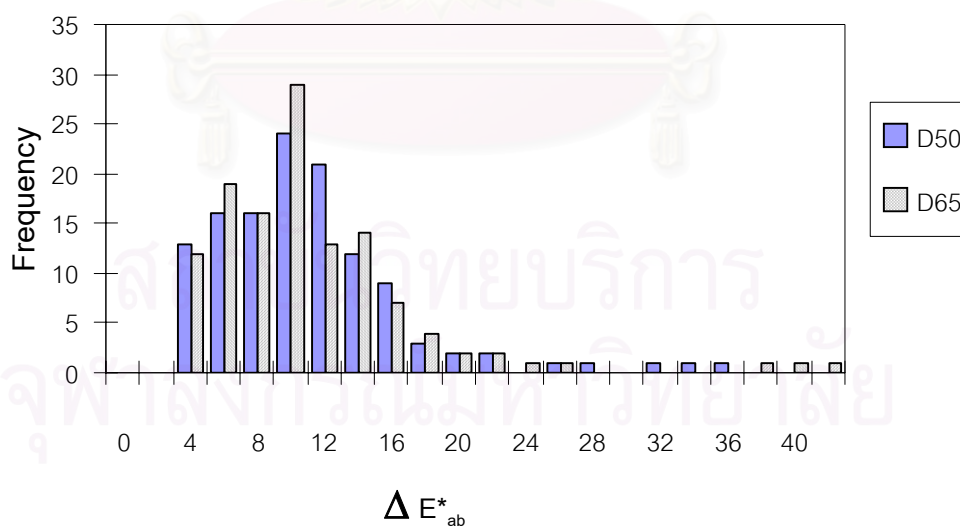
จากการวิเคราะห์เชิงปริมาณของ Test set โทนใบไม้ ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D<sub>50</sub> และ D<sub>65</sub> โดยดูจากค่า  $\Delta E^*_{ab}$  และ RMS ได้ผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่า  $\Delta E^*_{ab}$  และ RMS ของ Test set โทนโบไม้

โทนโบไม้	$\Delta E^*_{ab}$		RMS
	D <sub>50</sub>	D <sub>65</sub>	
Median	9.33	8.90	0.06
Mean	10.15	10.16	0.06
Minimum	2.39	2.07	0.01
Maximum	35.02	40.29	0.17
Standard deviation	5.89	6.41	0.03

จากตารางที่ 4.5 พบว่าค่า  $\Delta E^*_{ab}$  ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D<sub>50</sub> มีค่า median และค่า mean เท่ากับ 9.33 และ 10.15 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่า  $\Delta E^*_{ab}$  ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D<sub>65</sub> ซึ่งมีค่า median และค่า mean เท่ากับ 8.90 และ 10.16 ตามลำดับ และ เมื่อพิจารณาที่ sd พบว่า ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D<sub>50</sub> มีค่าต่ำกว่า D<sub>65</sub> เล็กน้อย ส่วน RMS ก็มีค่า median และ mean เท่ากัน คือ 0.06

จากตารางที่ 4.5 ผลการทดลองสามารถแสดงความถี่ของ  $\Delta E^*_{ab}$  ของโทนโบไม้เปรียบเทียบกันภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D<sub>50</sub> และ D<sub>65</sub> ได้ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 Histogram ของ  $\Delta E^*_{ab}$  ของโทนโบไม้ เปรียบเทียบที่ D<sub>50</sub> และ

จากรูปที่ 4.12 พบว่า ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  และ  $D_{65}$  มีความถี่มากที่สุดอยู่ในช่วงเดียวกัน คือ 8-10 ซึ่งการกระจายตัวของทั้ง 2 แหล่งกำเนิดแสงใกล้เคียงกัน โดยเห็นได้ชัดว่ามี  $\Delta E^*_{ab}$  อยู่ในช่วง 2-22 เหมือนกัน และ  $\Delta E^*_{ab}$  ตั้งแต่ 22 เป็นต้นไปมีเป็นช่วง ๆ ใกล้เคียงกัน ช่วงละ 1 สีเท่านั้น โดยภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  มีช่วง  $\Delta E^*_{ab}$  ต่ำกว่า  $D_{65}$  เพียงเล็กน้อย

จากข้อมูลดังกล่าวจึงให้ผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณของ Test set โทนใบไม้ได้ว่า ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  จะมีความแตกต่างสีในระดับที่ค่อนข้างสูงเช่นเดียวกับ  $D_{65}$  แต่น้อยกว่า  $D_{65}$  เพียงเล็กน้อย

#### 4.4.3 โทนท้องฟ้า

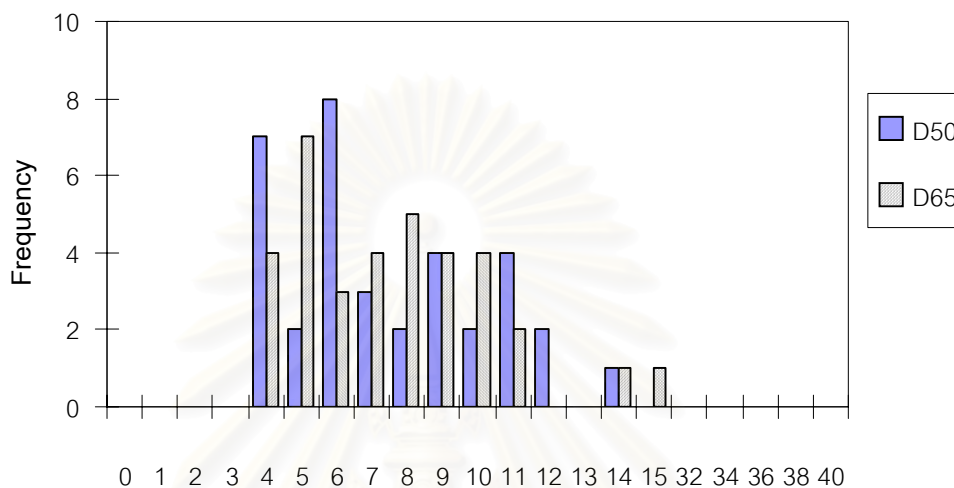
จากการวิเคราะห์เชิงปริมาณของ Test set โทนท้องฟ้า ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  และ  $D_{65}$  โดยดูจากค่า  $\Delta E^*_{ab}$  และ RMS ได้ผลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่า  $\Delta E^*_{ab}$  และ RMS ของ Test set โทนท้องฟ้า

โทนท้องฟ้า	$\Delta E^*_{ab}$		RMS
	$D_{50}$	$D_{65}$	
Median	6.22	6.89	0.05
Mean	6.88	7.02	0.05
Minimum	3.11	3.01	0.01
Maximum	13.24	14.24	0.11
Standard deviation	2.78	2.72	0.02

จากตารางที่ 4.6 พบว่าค่า  $\Delta E^*_{ab}$  ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  มีค่า median และค่า mean เท่ากับ 6.22 และ 6.88 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่า  $\Delta E^*_{ab}$  ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{65}$  ซึ่งมีค่า median และค่า mean เท่ากับ 6.89 และ 7.02 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาที่ sd พบว่า ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  มีค่าใกล้เคียงกับ  $D_{65}$  ส่วน RMS ก็มีค่า median และ mean เท่ากัน คือ 0.05

จากตารางที่ 4.6 ผลการทดลองสามารถแสดงความถี่ของ  $\Delta E^*_{ab}$  ของโทนท้องฟ้าเปรียบเทียบกับภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D<sub>50</sub> และ D<sub>65</sub> ได้ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 Histogram ของ  $\Delta E^*_{ab}$  ของโทนท้องฟ้า เปรียบเทียบที่ D<sub>50</sub> และ D<sub>65</sub>

จากรูปที่ 4.13 พบว่า ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D<sub>50</sub> และ D<sub>65</sub> มีความถี่มากที่สุดอยู่ในช่วงเดียวกัน คือ 5-6 ซึ่งการกระจายตัวของทั้ง 2 แหล่งกำเนิดแสงใกล้เคียงกัน โดยเห็นได้ชัดว่ามี  $\Delta E^*_{ab}$  อยู่ในช่วง 3-15 เหมือนกัน

จากข้อมูลดังกล่าวจึงให้ผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณของ Test set โทนท้องฟ้าได้ว่า ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D<sub>50</sub> จะมีความแตกต่างสีในระดับที่ค่อนข้างสูงใกล้เคียงกับ D<sub>65</sub>

#### 4.4.4 การเปรียบเทียบระหว่างโตนสีผิว โทนใบไม้ และโทนท้องฟ้า

จากผลของการวิเคราะห์เชิงปริมาณของ Test set แต่ละโทนที่ได้ใน 4.41 4.42 และ 4.43 สามารถนำค่าเฉลี่ย  $\Delta E^*_{ab}$  และ ค่าเฉลี่ย RMS ของ Test set ทั้ง 3 โทนมาเปรียบเทียบกันดังตาราง ที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่า  $\Delta E^*_{ab}$  และ RMS ของ Test set ทั้ง 3 โทน

โทน	Mean $\Delta E^*_{ab}$		Mean RMS
	D <sub>50</sub>	D <sub>65</sub>	
โทนสีผิว	8.74	8.88	0.07
โทนใบไม้	10.15	10.16	0.06
โทนท้องฟ้า	6.88	7.02	0.05

จากตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าโทนท้องฟ้ามีค่าเฉลี่ย  $\Delta E^*_{ab}$  และค่าเฉลี่ย RMS ต่ำที่สุด รองลงมา คือ โทนสีผิว และโทนใบไม้มีค่าเฉลี่ย  $\Delta E^*_{ab}$  และ ค่าเฉลี่ย RMS มากที่สุด ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D<sub>50</sub> และ D<sub>65</sub> เนื่องมาจากค่า C\*<sub>ab</sub> ของโทนใบไม้มีสีจำนวนหนึ่งที่มีความอิ่มตัวสีสูงกว่าโทนสีผิวและโทนท้องฟ้า คือ อยู่ในช่วง 0-70 ตามที่กล่าวไว้ใน 4.2 ซึ่งให้เห็นว่า วิธีการประมาณค่าการสะท้อนแสงของงานวิจัยนี้ให้ผลไม่ดัดนักกับสีที่มีความอิ่มตัวสีสูง ในขณะที่โทนท้องฟ้ามีการประมาณค่าการสะท้อนแสงให้ผลดีที่สุด เนื่องจากมีความอิ่มตัวสีต่ำที่สุด คือ อยู่ในช่วง 0-50

#### 4.5 ผลของการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ

##### 4.5.1 เปอร์เซ็นต์การเลือกภาพของผู้ทดสอบ ระหว่างภาพสเปกตรัมกับภาพดิจิทัล

ให้ผู้ทดสอบ 20 คน ทำการเปรียบเทียบภาพบนแอลซีดีระหว่างกับภาพดิจิทัลกับภาพที่ผลิตได้ซึ่งเป็นภาพจากข้อมูลสเปกตรัม โดยจะเรียกภาพที่ได้นี้ว่าภาพสเปกตรัม ซึ่งมีทั้งหมด 3 ภาพ ได้แก่ ภาพคน ภาพทิวทัศน์ และภาพนามธรรม โดยแยกพิจารณาแต่ละบริเวณของภาพว่าในแต่ละบริเวณนั้น ๆ ภาพใดมีความเหมือนกับต้นฉบับมากที่สุด ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D<sub>50</sub> และ D<sub>65</sub> การทดสอบได้ผลดังนี้

##### 4.5.1.1 ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D<sub>50</sub>

ผลของผู้ที่เลือกภาพสเปกตรัมกับภาพดิจิทัลของภาพคน ภาพทิวทัศน์ และภาพนามธรรม ในแต่ละบริเวณของภาพ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D<sub>50</sub> แสดงดังตารางที่ 4.8 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 เปอร์เซนต์ผู้เลือกภาพสเปกตรัมกับภาพดิจิทัลของภาพคน เมื่อทดสอบภายใต้ แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$

ภาพ	ภาพคน			
	สีผิว		สีโดยรวมของภาพ	
ประเภทของภาพ	Spectral	Digital	Spectral	Digital
เปอร์เซนต์ผู้เลือก (%)	40%	60%	10%	90%

จากตารางที่ 4.8 พบว่า ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  ผู้ทดสอบส่วนใหญ่เห็นว่า ภาพดิจิทัลมีความเหมือนกับภาพต้นฉบับมากกว่าภาพสเปกตรัม ทั้งบริเวณสีผิวและสีโดยรวมของภาพ โดยในบริเวณสีผิว มีผู้เลือกภาพดิจิทัลและภาพสเปกตรัม โดยคิดเป็น 60% และ 40% ตามลำดับ ส่วนบริเวณสีโดยรวมของภาพ มีผู้เลือกภาพดิจิทัลและภาพสเปกตรัม คิดเป็น 90% และ 10% ตามลำดับ โดยสังเกตได้ว่าสีผิวของภาพสเปกตรัมมีจำนวนผู้เลือกใกล้เคียงกับภาพดิจิทัล ซึ่งหมายความว่าสีผิวของภาพสเปกตรัมก็มีความใกล้เคียงกับต้นฉบับเช่นกัน แต่สีโดยรวมของภาพมีความแตกต่างจากต้นฉบับอย่างเห็นได้ชัด

ตารางที่ 4.9 เปอร์เซนต์ผู้เลือกภาพสเปกตรัมกับภาพดิจิทัลของภาพทิวทัศน์ เมื่อทดสอบภายใต้ แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$

ภาพ	ภาพทิวทัศน์					
	ท้องฟ้า		ทะเล		สีโดยรวมของภาพ	
ประเภทของภาพ	Spectral	Digital	Spectral	Digital	Spectral	Digital
เปอร์เซนต์ผู้เลือก (%)	0%	100%	0%	100%	0%	100%

จากตารางที่ 4.9 พบว่า ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  ผู้ทดสอบทุกคนเห็นว่าภาพดิจิทัลทั้งในบริเวณท้องฟ้า ทะเล และสีโดยรวมของภาพมีความเหมือนกับภาพต้นฉบับมากกว่าภาพสเปกตรัม โดยคิดเป็น 100% แสดงว่าภาพสเปกตรัมทุก ๆ บริเวณภาพ มีความแตกต่างจากภาพต้นฉบับอย่างเห็นได้ชัด

ตารางที่ 4.10 เปอร์เซ็นต์ผู้เลือกภาพสเปกตรัมกับภาพดิจิทัลของภาพนามธรรม เมื่อทดสอบภายใต้ แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$

ภาพ	ภาพนามธรรม									
	สีแดง		สีเขียว		สีน้ำเงิน		สีเหลือง		สีโดยรวม	
ประเภทภาพ	Spectral	Digital	Spectral	Digital	Spectral	Digital	Spectral	Digital	Spectral	Digital
เปอร์เซ็นต์ผู้เลือก (%)	10%	90%	30%	70%	0%	100%	75%	25%	20%	80%

จากตารางที่ 4.10 พบว่า ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  ผู้ทดสอบส่วนใหญ่เห็นว่าภาพดิจิทัลมีความเหมือนกับภาพต้นฉบับมากกว่าภาพสเปกตรัมในบริเวณสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน และสีโดยรวมของภาพ โดยบริเวณสีแดง คิดเป็น 90% และ 10% ตามลำดับ บริเวณสีเขียว คิดเป็น 70% และ 30% ตามลำดับ บริเวณสีน้ำเงิน ผู้ทดสอบทุกคนเห็นว่าภาพดิจิทัลเหมือนกว่า คิดเป็น 100% และบริเวณสีโดยรวมของภาพ คิดเป็น 80% และ 20% ตามลำดับ ยกเว้นบริเวณสีเหลืองเท่านั้น ที่ผู้ทดสอบส่วนใหญ่เห็นว่าภาพสเปกตรัมมีความเหมือนกับภาพต้นฉบับมากกว่าภาพดิจิทัล โดยคิดเป็น 75% และ 25% ตามลำดับ

ดังนั้น ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  บริเวณสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน และสีโดยรวมของภาพ ภาพดิจิทัลจะมีความเหมือนกับต้นฉบับมากกว่า โดยบริเวณที่เหมือนมากที่สุด คือ สีน้ำเงิน รองลงมา คือ สีแดง สีโดยรวมของภาพ และสีเขียว ตามลำดับ ส่วนบริเวณสีเหลือง ภาพสเปกตรัมจะมีความเหมือนกับต้นฉบับมากกว่าภาพดิจิทัลมาก

#### 4.5.1.2 ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง $D_{65}$

ผลของผู้ที่เลือกภาพสเปกตรัมกับภาพดิจิทัลของภาพคน ภาพทิวทัศน์ และภาพนามธรรม ในแต่ละบริเวณของภาพ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{65}$  แสดงดังตารางที่ 4.11 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.11 เปอร์เซนต์ผู้ที่เลือกภาพสเปกตรัมกับภาพดิจิทัลของภาพคน เมื่อทดสอบภายใต้ แหล่งกำเนิดแสง  $D_{65}$

ภาพ	ภาพคน			
	สีผิว		สีโดยรวมของภาพ	
ประเภทของภาพ	Spectral	Digital	Spectral	Digital
เปอร์เซนต์ผู้เลือก (%)	10%	90%	15%	85%

จากตารางที่ 4.11 พบว่า ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{65}$  ผู้ทดสอบส่วนใหญ่เห็นว่า ภาพดิจิทัลมีความเหมือนกับภาพต้นฉบับมากกว่าภาพสเปกตรัม ทั้งบริเวณสีผิวและสีโดยรวมของภาพ โดยในบริเวณสีผิว มีผู้เลือกภาพดิจิทัลและภาพสเปกตรัม โดยคิดเป็น 90% และ 10% ตามลำดับ ส่วนบริเวณสีโดยรวมของภาพ มีผู้เลือกภาพดิจิทัลและภาพสเปกตรัม คิดเป็น 85% และ 15% ตามลำดับ โดยสังเกตได้ว่าสีผิวและสีโดยรวมของภาพสเปกตรัม มีความแตกต่างจากต้นฉบับอย่างเห็นได้ชัด

ตารางที่ 4.12 เปอร์เซนต์ผู้ที่เลือกภาพสเปกตรัมกับภาพดิจิทัลของภาพทิวทัศน์ เมื่อทดสอบภายใต้ แหล่งกำเนิดแสง  $D_{65}$

ภาพ	ภาพทิวทัศน์					
	ท้องฟ้า		ทะเล		สีโดยรวมของภาพ	
ประเภทของภาพ	Spectral	Digital	Spectral	Digital	Spectral	Digital
เปอร์เซนต์ผู้เลือก (%)	0%	100%	0%	100%	0%	100%

จากตารางที่ 4.12 พบว่า ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{65}$  ผู้ทดสอบทุกคนเห็นว่าภาพดิจิทัลทั้งในบริเวณท้องฟ้า ทะเล และสีโดยรวมของภาพ มีความเหมือนกับภาพต้นฉบับมากกว่าภาพสเปกตรัม คิดเป็น 100% โดยไม่มีผู้ใดเลือกภาพสเปกตรัมเลย แสดงว่าภาพสเปกตรัมทุก ๆ บริเวณภาพ มีความแตกต่างจากภาพต้นฉบับอย่างเห็นได้ชัด



ตารางที่ 4.13 เปอร์เซ็นต์ผู้เลือกภาพสเปกตรัมกับภาพดิจิทัลของภาพนามธรรม เมื่อทดสอบภายใต้ แหล่งกำเนิดแสง  $D_{65}$

ภาพ	ภาพนามธรรม									
	สีแดง		สีเขียว		สีน้ำเงิน		สีเหลือง		สีโดยรวม	
ประเภทภาพ	Spectral	Digital	Spectral	Digital	Spectral	Digital	Spectral	Digital	Spectral	Digital
เปอร์เซ็นต์ผู้เลือก (%)	0%	100%	10%	90%	10%	90%	75%	25%	0%	100%

จากตารางที่ 4.13 พบว่า ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{65}$  ผู้ทดสอบส่วนใหญ่เห็นว่า ภาพดิจิทัลมีความเหมือนกับภาพต้นฉบับมากกว่าภาพสเปกตรัมในบริเวณสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน และสีโดยรวมของภาพ โดยบริเวณสีแดง ผู้ทดสอบเลือกภาพดิจิทัลทุกคน คิดเป็น 100% บริเวณสีเขียว คิดเป็น 90% และ 10% ตามลำดับ บริเวณสีน้ำเงิน คิดเป็น 90% และ 10% ตามลำดับ และบริเวณสีโดยรวมของภาพ ผู้ทดสอบเลือกภาพดิจิทัลทุกคน คิดเป็น 100% ยกเว้นบริเวณสีเหลืองเท่านั้น ที่ผู้ทดสอบส่วนใหญ่เห็นว่าภาพสเปกตรัมมีความเหมือนกับภาพต้นฉบับมากกว่าภาพดิจิทัล โดยคิดเป็น 75% และ 25% ตามลำดับ

ดังนั้น ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{65}$  บริเวณสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน และสีโดยรวมของภาพ ภาพดิจิทัลจะมีความเหมือนกับต้นฉบับมากกว่า โดยบริเวณที่เหมือนมากที่สุด คือ สีแดง และสีโดยรวมของภาพ รองลงมา คือ สีเขียวและสีน้ำเงิน ส่วนบริเวณสีเหลือง ภาพสเปกตรัมจะมีความเหมือนกับต้นฉบับมากกว่าภาพดิจิทัลอยู่มาก

#### 4.5.2 คะแนนของภาพ ระหว่างภาพสเปกตรัมกับภาพดิจิทัล

ผู้ทดสอบแต่ละคน จะพิจารณาเลือกระหว่างภาพสเปกตรัมกับภาพดิจิทัลว่าภาพใดมีความเหมือนกับภาพต้นฉบับมากที่สุด โดยแยกพิจารณาแต่ละบริเวณของภาพ ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  และ  $D_{65}$  แล้วให้คะแนนที่มีเกณฑ์ตั้งแต่ 1-5 ซึ่ง 1 หมายถึง เหมือนน้อยที่สุด 2 หมายถึง เหมือนน้อย 3 หมายถึง เหมือนปานกลาง 4 หมายถึง เหมือนมาก และ 5 หมายถึง เหมือนมากที่สุด ผลการให้คะแนนมีดังนี้

#### 4.5.2.1 ผลการให้คะแนนของภาพคน ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง $D_{50}$ และ $D_{65}$

ผลการให้คะแนนของภาพคน ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  และ  $D_{65}$  แสดงได้ดังตารางที่ 4.14 และ 4.15

ตารางที่ 4.14 คะแนนภาพคนของภาพสเปกตรัมและภาพดิจิทัล ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$

ภาพคน	สีผิว		สีโดยรวมของภาพ	
	Spectral	Digital	Spectral	Digital
Mode	3	3	N/A	4
Mean	3.00	3.50	3.50	3.44
Minimum	2	2	3	2
Maximum	4	5	4	4
Standard deviation	0.76	0.90	0.50	0.62

จากตารางที่ 4.14 พบว่า บริเวณสีผิวของภาพสเปกตรัม มีคะแนนฐานนิยม เท่ากับ 3 ซึ่งเท่ากับกับภาพดิจิทัล แต่มีคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 3.00 ซึ่งน้อยกว่าภาพดิจิทัล ที่มีคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 3.50 เนื่องจากสีผิวของภาพดิจิทัลมีคะแนนอยู่ในช่วงที่กว้าง คือ 2-5 ทำให้มีผลต่อค่าเฉลี่ยที่ได้มากกว่าภาพสเปกตรัมที่มีคะแนนอยู่ในช่วงที่แคบกว่า คือ 2-4 แต่พบว่าภาพดิจิทัลมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมากกว่าภาพสเปกตรัม ดังนั้นในบริเวณสีผิวภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  ของภาพสเปกตรัมจึงมีความใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับเช่นเดียวกับภาพดิจิทัล

ส่วนบริเวณสีโดยรวมของภาพสเปกตรัม ไม่มีคะแนนฐานนิยมเนื่องจากมีผู้เลือกเพียง 2 คนเท่านั้น โดยให้คะแนน 3 และ 4 จึงมีคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 3.50 ในขณะที่ภาพดิจิทัล มีคะแนนฐานนิยม เท่ากับ 4 และมีคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 3.44 ซึ่งใกล้เคียงกับภาพสเปกตรัม อีกทั้งยังมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานใกล้เคียงกัน แต่มีผู้เลือกภาพดิจิทัลมากกว่ากับภาพสเปกตรัม ดังนั้นในบริเวณสีโดยรวมของภาพภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  ของภาพดิจิทัลจึงมีความเหมือนกับภาพต้นฉบับมากกว่าภาพสเปกตรัม

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลคะแนนภาพคน ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  ให้ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพได้ว่า ภาพสเปกตรัมและภาพดิจิทัลมีความเหมือนกับภาพต้นฉบับในบริเวณสี

ผิวพอ ๆ กัน ที่ความเหมือนระดับปานกลาง ส่วนสีโดยรวมของภาพนั้น ภาพดิจิทัลมีความเหมือนกับภาพต้นฉบับมากกว่า ที่ความเหมือนระดับปานกลาง

ตารางที่ 4.15 คะแนนภาพคนของภาพสเปกตรัมและภาพดิจิทัล ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{65}$

ภาพคน	สีผิว		สีโดยรวมของภาพ	
	Spectral	Digital	Spectral	Digital
Mode	N/A	4	3	4
Mean	2.50	3.39	3.00	3.53
Minimum	2	2	3	2
Maximum	3	4	3	5
Standard deviation	0.50	0.70	0.00	0.80

จากตารางที่ 4.15 พบว่า บริเวณสีผิวของภาพสเปกตรัม ไม่มีคะแนนฐานนิยม เนื่องจากมีผู้เลือกเพียง 2 คนเท่านั้น โดยให้คะแนน 2 และ 3 จึงมีคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 2.50 ซึ่งน้อยกว่าภาพดิจิทัล ที่มีคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 3.39 และมีคะแนนฐานนิยม เท่ากับ 4 ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของทั้ง 2 ภาพมีค่าต่างกัน ซึ่งภาพดิจิทัลมีผู้เลือกมากกว่า จึงทำให้มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงกว่า ดังนั้นในบริเวณสีผิวภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{65}$  ของภาพดิจิทัลจึงมีความเหมือนกับภาพต้นฉบับมากกว่าภาพสเปกตรัม

ส่วนบริเวณสีโดยรวมของภาพสเปกตรัม มีคะแนนฐานนิยมและคะแนนเฉลี่ยเท่ากัน คือ 3 ในขณะที่ภาพดิจิทัล มีคะแนนฐานนิยม เท่ากับ 4 และมีคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 3.53 ซึ่งมากกว่าภาพสเปกตรัม แต่ภาพสเปกตรัมไม่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เนื่องจากจากมีผู้เลือกเพียง 3 คนเท่านั้น โดยให้คะแนน 3 เหมือนกันทุกคน ในขณะที่มีผู้เลือกภาพดิจิทัลมากกว่า อยู่ในช่วงคะแนนที่กว้าง คือ 2-5 จึงทำให้มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลของภาพดิจิทัลจะเห็นได้ว่าคะแนนฐานนิยมและค่าเฉลี่ยสอดคล้องกัน คือ เท่ากับ 4 ดังนั้นในบริเวณสีโดยรวมของภาพภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{65}$  ของภาพดิจิทัลจึงมีความเหมือนกับภาพต้นฉบับมากกว่าภาพสเปกตรัม

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลคะแนนภาพคน ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{65}$  ให้ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพได้ว่า ภาพดิจิทัลมีความเหมือนกับภาพต้นฉบับมากกว่าภาพสเปกตรัม โดยในบริเวณสีผิวมีความเหมือนระดับปานกลาง ส่วนสีโดยรวมของภาพนั้นมีความเหมือนมาก

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลคะแนนของภาพคน ระหว่างภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  และ  $D_{65}$  ให้ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพได้ว่า ภาพดิจิทัลมีความเหมือนกับต้นฉบับมากกว่าภาพสเปกตรัม ทั้งบริเวณสีผิวและสีโดยรวมของภาพ ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงทั้ง 2 แหล่ง แต่ในขณะเดียวกัน ภาพสเปกตรัมก็มีความเหมือนกับภาพต้นฉบับในบริเวณสีผิวเช่นกัน ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  เท่านั้น

ผลการวิเคราะห์ของภาพสเปกตรัมที่เป็นภาพคนโทนสีผิวในเชิงคุณภาพ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ Test set โทนสีผิวในเชิงปริมาณแล้วพบว่าให้ผลที่ไม่สอดคล้องกัน โดยในเชิงคุณภาพ ภาพที่ผลิตได้จากข้อมูลสเปกตรัมมีความเหมือนใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  ในขณะที่ในเชิงปริมาณกลับมีค่า  $\Delta E^*_{ab}$  ค่อนข้างสูง อาจเป็นเพราะสีผิวที่เห็นในภาพเป็นสีที่มีค่า  $\Delta E^*_{ab}$  ต่ำที่สุด และสีนั้นเป็นพื้นที่ส่วนใหญ่ของสีผิว จึงทำให้มีสีที่ใกล้เคียงกับต้นฉบับ

#### 4.5.2.2 ผลการให้คะแนนของภาพทิวทัศน์ ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง $D_{50}$ และ $D_{65}$

ผลการให้คะแนนของภาพทิวทัศน์ ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  และ  $D_{65}$  แสดงได้ดังตารางที่ 4.16 และ 4.17

ตารางที่ 4.16 คะแนนภาพทิวทัศน์ของภาพสเปกตรัมและภาพดิจิทัล ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$

ภาพทิวทัศน์	ท้องฟ้า		ทะเล		สีโดยรวมของภาพ	
	Spectral	Digital	Spectral	Digital	Spectral	Digital
Mode	-	4	-	3	-	4
Mean	-	3.65	-	3.60	-	4.05
Minimum	-	2	-	2	-	2
Maximum	-	5	-	5	-	5
Standard deviation	-	0.67	-	0.82	-	0.69

จากตารางที่ 4.16 พบว่า ไม่มีคะแนนของภาพสเปกตรัมทุก ๆ บริเวณภาพ เนื่องจากตารางที่ 4.8 พบว่าไม่มีผู้เลือกเลย ส่วนของภาพดิจิทัลนั้น บริเวณท้องฟ้า มีคะแนนฐาน

นิยม เท่ากับ 4 และมีคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 3.65 บริเวณทะเล มีคะแนนฐานนิยม เท่ากับ 3 และมีคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 3.65 และบริเวณสีโดยรวมของภาพ มีคะแนนฐานนิยม เท่ากับ 4 และคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 4.05 สังเกตได้ว่าทั้ง 3 บริเวณของภาพดิจิทัล มีคะแนนมัธยฐานและค่าเฉลี่ยที่สอดคล้องกันคืออยู่ในระดับ 4 โดยคะแนนอยู่ในช่วง 2-5 เช่นเดียวกัน และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานใกล้เคียงกัน

แสดงว่าภาพดิจิทัลมีความเหมือนกับภาพต้นฉบับมากทั้ง 3 บริเวณใกล้เคียงกัน โดยมีระดับความเหมือนเท่ากัน คือ เหมือนมาก

ทั้งนี้สามารถสังเกตได้ด้วยสายตาว่าสาเหตุที่ไม่มีผู้เลือกภาพสเปกตรัมเลยนั้น เป็นเพราะว่าสีทั้ง 3 บริเวณแตกต่างจากต้นฉบับอย่างเห็นได้ชัด เช่น บริเวณท้องฟ้า ภาพต้นฉบับเป็นสีฟ้าเขียว แต่ภาพสเปกตรัมมีสีค่อนข้างออกไปทางสีฟ้าเพียงสีเดียว หรือบริเวณทะเล ภาพต้นฉบับเป็นสีน้ำเงินเข้ม แต่ภาพสเปกตรัมเป็นสีม่วงอ่อน

ตารางที่ 4.17 คะแนนภาพทวิทัศน์ของภาพสเปกตรัมและภาพดิจิทัล ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D<sub>65</sub>

ภาพทวิทัศน์	ท้องฟ้า		ทะเล		สีโดยรวมของภาพ	
	Spectral	Digital	Spectral	Digital	Spectral	Digital
Mode	-	4	-	4	-	4
Mean	-	3.60	-	3.90	-	4.15
Minimum	-	2	-	3	-	4
Maximum	-	4	-	5	-	5
Standard deviation	-	0.68	-	0.79	-	0.37

จากตารางที่ 4.17 พบว่า ไม่มีคะแนนของภาพสเปกตรัมทุก ๆ บริเวณภาพ เนื่องจากตารางที่ 4.11 พบว่าไม่มีผู้เลือกเลย ส่วนของภาพดิจิทัลนั้น บริเวณท้องฟ้า มีคะแนนฐานนิยม เท่ากับ 4 และมีคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 3.60 บริเวณทะเล มีคะแนนฐานนิยม เท่ากับ 4 และมีคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 3.90 และบริเวณสีโดยรวมของภาพ มีคะแนนฐานนิยม เท่ากับ 4 และคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 4.15 สังเกตได้ว่าทั้ง 3 บริเวณของภาพดิจิทัล มีคะแนนมัธยฐานและค่าเฉลี่ยที่สอดคล้องกัน คือ อยู่ในระดับ 4 แต่แตกต่างกันในค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยบริเวณท้องฟ้ามีคะแนนอยู่ในช่วงที่ค่อนข้างกว้าง คือ 2-4 ทำให้มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมากกว่า และบริเวณทะเลมี

คะแนนอยู่ในช่วงค่อนข้างกว้างเช่นเดียวกับบริเวณท้องฟ้า คือ 3-5 จึงทำให้มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานใกล้เคียงกัน ส่วนสีโดยรวมของภาพมีคะแนนอยู่ในช่วงที่แคบ คือ 4-5 ทำให้มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุด ดังนั้นภาพดิจิทัลจึงมีความเหมือนกับภาพต้นฉบับมากทั้ง 3 บริเวณ โดยสีโดยรวมของภาพมีความเหมือนมากที่สุด รองลงมา คือ บริเวณทะเล และท้องฟ้า ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 3 บริเวณมีระดับความเหมือนเท่ากัน คือ เหมือนมาก

ทั้งนี้สามารถสังเกตได้ด้วยสายตาว่าสาเหตุที่ไม่มีผู้เลือกภาพสเปกตรัมเลยนั้น เนื่องจากมีลักษณะเดียวกันกับภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{65}$  คือ สีทั้ง 3 บริเวณแตกต่างจากต้นฉบับอย่างเห็นได้ชัด เช่น บริเวณท้องฟ้า ภาพต้นฉบับเป็นสีฟ้าเขียว แต่ภาพสเปกตรัมมีสีค่อนข้างออกไปทางสีฟ้าเพียงสีเดียว หรือบริเวณทะเล ภาพต้นฉบับเป็นสีน้ำเงินเข้ม แต่ภาพสเปกตรัมเป็นสีม่วงอ่อน

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลคะแนนของภาพทิวทัศน์ ระหว่างภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  และ  $D_{65}$  ให้ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพที่สอดคล้องกันทั้ง 2 แหล่งกำเนิดแสง คือ ภาพดิจิทัลมีความเหมือนกับต้นฉบับมากกว่าภาพสเปกตรัม ทั้งบริเวณท้องฟ้า ทะเล และสีโดยรวมของภาพ และเหมือนกว่าภาพสเปกตรัมอย่างเห็นได้ชัด

ผลการวิเคราะห์ของภาพสเปกตรัมที่เป็นภาพทิวทัศน์ท้องฟ้าในเชิงคุณภาพ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ Test set ท้องฟ้าในเชิงปริมาณแล้วพบว่า ให้ผลที่ไม่สอดคล้องกัน โดยในเชิงคุณภาพ ภาพที่ผลิตได้จากข้อมูลสเปกตรัมไม่มีผู้ทดสอบคนใดเลือกเลย ซึ่งให้เห็นว่าภาพที่ได้มีความแตกต่างจากต้นฉบับอย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่ในเชิงปริมาณกลับมีค่า  $\Delta E^*_{ab}$  ต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับโทนสีผิวและโทนใบไม้ อาจเป็นเพราะสีท้องฟ้าที่เห็นในภาพเป็นสีที่มีค่า  $\Delta E^*_{ab}$  มากที่สุด และสีนั้นเป็นพื้นที่ส่วนใหญ่ของท้องฟ้า จึงทำให้มีสีที่แตกต่างจากต้นฉบับมาก

#### 4.5.2.3 ผลการให้คะแนนของภาพนามธรรม ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง $D_{50}$ และ $D_{65}$

ผลการให้คะแนนของภาพนามธรรม ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  และ  $D_{65}$  แสดงได้ดังตารางที่ 4.18 และ 4.19

ตารางที่ 4.18 คะแนนภาพนามธรรมของภาพสเปกตรัมและภาพดิจิทัล ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D<sub>50</sub>

ภาพ นามธรรม	สีแดง		สีเขียว		สีน้ำเงิน		สีเหลือง		สีโดยรวม	
	Spectral	Digital	Spectral	Digital	Spectral	Digital	Spectral	Digital	Spectral	Digital
Mode	N / A	3	3	3	-	3	4	4	2	3
M e a n	3.50	2.94	3.33	3.21	-	3.20	3.60	3.75	2.75	3.38
Minimum	3	2	3	2	-	2	3	3	2	2
Maximum	4	5	4	4	-	4	4	4	4	5
Standard deviation	0.50	0.87	0.52	0.58	-	0.70	0.51	0.50	0.96	0.72

จากตารางที่ 4.18 พบว่า บริเวณสีแดงของภาพสเปกตรัม ไม่มีคะแนนฐานนิยม เนื่องจากมีผู้เลือกเพียง 2 คนเท่านั้น โดยให้คะแนน 3 และ 4 จึงทำให้มีคะแนนอยู่ในช่วงที่แคบกว่าภาพดิจิทัล และมีคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 3.50 ซึ่งมากกว่าภาพดิจิทัล ที่มีคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 2.94 และมีฐานนิยม เท่ากับ 3 ซึ่งทั้ง 2 ค่ามีความสอดคล้องกัน แต่เนื่องจากมีผู้เลือกภาพดิจิทัลมากกว่า ดังตารางที่ 4.10 จึงทำให้มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมากกว่าภาพสเปกตรัม ดังนั้นภาพดิจิทัลในบริเวณสีแดงจึงมีความเหมือนกับภาพต้นฉบับมากกว่า ส่วนบริเวณสีเขียวของภาพสเปกตรัม มีคะแนนฐานนิยม เท่ากับ 3 เท่ากันกับภาพดิจิทัล และมีคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 3.33 ซึ่งใกล้เคียงกับภาพดิจิทัล ที่มีคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 3.21 และยังมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานใกล้เคียงกันอีกด้วย จึงพิจารณาที่จำนวนผู้เลือกภาพเป็นหลัก ดังตารางที่ 4.10 ซึ่งพบว่า มีผู้เลือกภาพดิจิทัลมากกว่า ดังนั้นภาพดิจิทัลในบริเวณเขียวจึงมีความเหมือนกับภาพต้นฉบับมากกว่าภาพสเปกตรัม ส่วนบริเวณสีน้ำเงินของภาพสเปกตรัมไม่มีคะแนน เนื่องจากไม่มีผู้เลือกเลย ดังตารางที่ 4.10 ในขณะที่ภาพดิจิทัล มีคะแนนฐานนิยม เท่ากับ 3 และมีคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 3.20 ซึ่งทั้ง 2 ค่ามีความสอดคล้องกัน ดังนั้นภาพดิจิทัลในบริเวณสีน้ำเงินจึงมีความเหมือนกับภาพต้นฉบับมากกว่าอย่างเห็นได้ชัด

ส่วนบริเวณสีเหลืองของภาพสเปกตรัม มีคะแนนฐานนิยม เท่ากับ 4 เท่ากันกับภาพดิจิทัล และมีคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 3.60 ซึ่งน้อยกว่าภาพดิจิทัลเพียงเล็กน้อย ที่มีคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 3.75 แต่เนื่องจากมีคะแนนอยู่ในช่วงเดียวกัน คือ 3-4 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ใกล้เคียงกันมาก ประกอบกับเปอร์เซ็นต์ผู้เลือกสีเหลืองของภาพสเปกตรัมมากกว่าถึง 75% ดังตารางที่ 4.10 ดังนั้นภาพสเปกตรัมบริเวณสีเหลืองจึงมีความเหมือนกับภาพต้นฉบับมากกว่า และส่วนบริเวณสี

โดยรวมของภาพของภาพสเปกตรัม มีคะแนนฐานนิยม เท่ากับ 2 มีคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 2.75 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมากกว่า ในขณะที่ภาพดิจิทัล มีคะแนนฐานนิยมมากกว่า คือ เท่ากับ 3 และมีคะแนนเฉลี่ยมากกว่า คือเท่ากับ 3.38 ดังนั้นภาพดิจิทัลในบริเวณสีโดยรวมของภาพจึงมีความเหมือนกับภาพต้นฉบับมากกว่า

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลคะแนนภาพนามธรรม ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  ให้ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพได้ว่า ภาพดิจิทัลมีความเหมือนกับภาพต้นฉบับมากกว่าภาพสเปกตรัม ในบริเวณสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน และสีโดยรวมของภาพ โดยมีระดับความเหมือนเท่ากัน คือ เหมือนปานกลาง แต่ภาพสเปกตรัมจะมีความเหมือนกับภาพต้นฉบับมากกว่าภาพดิจิทัล ในบริเวณสีเหลือง โดยมีระดับความเหมือน คือ เหมือนมาก

ตารางที่ 4.19 คะแนนภาพนามธรรมของภาพสเปกตรัมและภาพดิจิทัล ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{65}$

ภาพนามธรรม	สีแดง		สีเขียว		สีน้ำเงิน		สีเหลือง		สีโดยรวม	
	Spectral	Digital	Spectral	Digital	Spectral	Digital	Spectral	Digital	Spectral	Digital
Mode	-	3	N/A	3	3	4	3	4	-	3
Mean	-	3.50	2.50	3.72	3.00	3.50	3.60	4.20	-	3.40
Minimum	-	2	2	3	3	2	3	4	-	2
Maximum	-	5	3	5	3	5	5	5	-	4
Standard deviation	-	0.83	0.50	0.75	0.00	0.79	0.74	0.45	-	0.60

จากตารางที่ 4.19 พบว่า บริเวณสีแดงของภาพสเปกตรัมไม่มีคะแนน เนื่องจากไม่มีผู้เลือกเลย ดังตารางที่ 4.12 ในขณะที่ภาพดิจิทัล มีคะแนนฐานนิยม เท่ากับ 3 และมีคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 3.50 ซึ่งเป็นค่าที่สอดคล้องกัน ดังนั้นภาพดิจิทัลในบริเวณสีแดงจึงมีความเหมือนกับภาพต้นฉบับมากกว่าอย่างเห็นได้ชัด บริเวณสีเขียวของภาพสเปกตรัม ไม่มีคะแนนฐานนิยม เนื่องจากมีผู้เลือกเพียง 2 คนเท่านั้น โดยให้คะแนน 2 และ 3 จึงทำให้มีคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 2.50 และมีคะแนนอยู่ในช่วงที่แคบกว่าภาพดิจิทัล ในขณะที่ภาพดิจิทัล มีคะแนนฐานนิยม เท่ากับ 3 และมีคะแนนเฉลี่ยมากกว่า คือ เท่ากับ 3.72 แต่ก็มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมากกว่าเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากมีจำนวนผู้เลือกภาพดิจิทัลมากกว่า ดังนั้นภาพดิจิทัลในบริเวณสีเขียวจึงมีความเหมือนกับภาพต้นฉบับมากกว่าภาพสเปกตรัม ส่วนบริเวณสีน้ำเงินของภาพสเปกตรัม มีคะแนนฐานนิยม เท่ากับ 3 และมี



คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 3.00 โดยมีผู้เลือก 2 คนให้คะแนน 3 เท่ากัน จึงไม่มีช่วงคะแนน และทำให้ไม่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในขณะที่ภาพดิจิทัล มีคะแนนฐานนิยมมากกว่า คือ เท่ากับ 4 และมีคะแนนเฉลี่ยมากกว่า คือ เท่ากับ 3.50 ดังนั้นภาพดิจิทัลในบริเวณสีน้ำเงินจึงมีความเหมือนกับภาพต้นฉบับมากกว่า

ส่วนบริเวณสีเหลืองของภาพสเปกตรัม มีคะแนนฐานนิยม เท่ากับ 3 และมีคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 3.60 ในขณะที่ภาพดิจิทัล มีคะแนนฐานนิยม เท่ากับ 4 และมีคะแนนเฉลี่ยมากกว่า คือ เท่ากับ 4.20 แต่เปอร์เซ็นต์ผู้เลือกสีเหลืองของภาพสเปกตรัมมากกว่าถึง 75% ดังตารางที่ 4.13 ดังนั้นภาพสเปกตรัมบริเวณสีเหลืองจึงมีความเหมือนกับภาพต้นฉบับมากกว่า และส่วนบริเวณสีโดยรวมของภาพของภาพสเปกตรัมไม่มีคะแนน เนื่องจากไม่มีผู้เลือกเลย ดังตารางที่ 4.13 ในขณะที่ภาพ ดิจิทัล มีคะแนนฐานนิยม เท่ากับ 3 และมีคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 3.40 ซึ่งเป็นค่าที่สอดคล้องกัน ดังนั้นภาพดิจิทัลบริเวณสีเหลืองจึงมีความเหมือนกับภาพต้นฉบับมากกว่า

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลคะแนนภาพนามธรรม ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{65}$  ให้ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพได้ว่า ภาพดิจิทัลมีความเหมือนกับภาพต้นฉบับมากกว่าภาพสเปกตรัม ในบริเวณสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน และสีโดยรวมของภาพ โดยในบริเวณสีแดง สีน้ำเงิน และสีโดยรวมของภาพ มีระดับความเหมือนเท่ากัน คือ เหมือนปานกลาง ส่วนบริเวณเขียว มีระดับความเหมือนมาก แต่ภาพสเปกตรัมจะมีความเหมือนกับภาพต้นฉบับมากกว่าภาพดิจิทัล ในบริเวณสีเหลือง โดย มีระดับความเหมือน คือ เหมือนมาก

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลคะแนนของภาพนามธรรม ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  และ  $D_{65}$  ให้ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพที่สอดคล้องกันทั้ง 2 แหล่งกำเนิดแสง คือ ภาพดิจิทัลมีความเหมือนกับต้นฉบับมากกว่าภาพสเปกตรัม ทั้งในบริเวณสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน และสีโดยรวมของภาพ ยกเว้นบริเวณสีเหลืองเท่านั้นที่ภาพสเปกตรัมจะมีความเหมือนกับต้นฉบับมากกว่าภาพดิจิทัล ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงทั้ง 2 แหล่ง

ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ พบว่า มีค่า  $\Delta E^*_{ab}$  ค่อนข้างสูง และเชิงคุณภาพ พบว่า ภาพที่ผลิตได้จากข้อมูลสเปกตรัมบนแอลซีดี มีความเหมือนกับต้นฉบับเฉพาะบริเวณที่เป็นสีผิว และสีเหลืองเท่านั้น นอกนั้นไม่ว่าจะบริเวณท้องฟ้า ทะเล สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ภาพดิจิทัลจะเหมือนกับต้นฉบับมากกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก

1. กล้อง : เนื่องจากกล้องที่ใช้มีข้อจำกัดด้านรายละเอียด ที่มีขนาด 640 x 480 พิกเซล ซึ่งเป็นรายละเอียดที่ค่อนข้างต่ำ และเป็นกล้องดิจิทัลวีดีโอที่มีเวลาในการบันทึกภาพ 99 frame/second ซึ่งจะเก็บสัญญาณภาพตลอดการบันทึก ทำให้มีสัญญาณภาพไม่คงที่ โดยได้ทำการทดลองถ่ายภาพเดียวกันในเวลาใกล้เคียงกัน พบว่าได้ค่า Pixel value (V) ไม่เท่ากัน เนื่องจากมีสัญญาณรบกวน (noise) มาก ปัจจัยเหล่านี้ทำให้ได้ค่า V ที่ไม่คงที่ มีผลให้เมื่อทำการประมาณค่า  $O_{est}$  และแปลงเป็นค่า XYZ และ RGB ตามลำดับ เพื่อแสดงภาพบนแอลซีดีแล้วได้ภาพที่ไม่ใกล้เคียงกับต้นฉบับ

2. แผ่นกรองแสง : ชนิดของแผ่นกรองแสงที่ใช้ในการคัดเลือกมีจำนวนน้อยไปไม่หลากหลาย ทำให้แผ่นกรองแสงที่เลือก 5 แผ่น ซึ่งประกอบด้วย BPB42, BPB53, BPN50, SC64 และ SC66 อาจยังไม่ครอบคลุมการสะท้อนแสงของสีน้ำ

3. สีน้ำ : เนื่องจากสีน้ำมีลักษณะโปร่งแสง ดังนั้นค่าการสะท้อนแสงที่ได้จึงเป็นค่าที่รวมพื้นหลังของกระดาษด้วย

4. กระดาษบ็อกกิ้งฟอร์ด : กระดาษบ็อกกิ้งฟอร์ดที่ใช้ในการระบายรูปเป็นกระดาษที่มีพื้นผิวไม่เรียบ จึงมีผลต่อค่าการสะท้อนแสงของสีน้ำ

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัย เพื่อสร้างกระบวนการการผลิตซ้ำของภาพสีน้ำจากข้อมูลสเปกตรัมบนแอลซีดีให้ใกล้เคียงกับต้นฉบับมากที่สุด แล้วทำการวิเคราะห์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ โดยได้ทำการวิเคราะห์เลือกจำนวนและชนิดของแผ่นกรองแสงที่เหมาะสมก่อนเพื่อนำไปบันทึกภาพ จากนั้นจึงทำการประมาณค่า  $O_{est}$  และแปลงเป็นค่า XYZ และ RGB ตามลำดับ แล้วแสดงภาพบนแอลซีดีซึ่งทำการวิเคราะห์เชิงปริมาณจาก Test set 3 โทน ได้แก่ โทนสีผิว โทนใบไม้ และโทนท้องฟ้า และวิเคราะห์เชิงคุณภาพจากภาพ 3 ภาพ ได้แก่ ภาพคน ภาพทิวทัศน์ และภาพนามธรรม สรุปได้ดังนี้

##### 5.1.1 การวิเคราะห์เลือกแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม

การวิเคราะห์เลือกแผ่นกรองแสงที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการบันทึกภาพ โดยใช้วิธี PCA ในการเลือกจำนวนแผ่นที่เหมาะสม และพิจารณาที่ค่า  $\Delta E^*_{ab}$  และ RMS ที่น้อยที่สุด ส่วนในการเลือกชนิดแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม โดยพิจารณาที่ค่า  $\Delta E^*_{ab}$  และ RMS ที่น้อยที่สุดเช่นเดียวกัน พบว่า แผ่นกรองแสงจำนวน 5 แผ่น ซึ่งประกอบด้วย BPB42, BPB53, BPN50, SC64 และ SC66 เหมาะสมที่สุด โดยมีค่า  $\Delta E^*_{ab}$  เท่ากับ 16.89 และ RMS เท่ากับ 0.09

##### 5.1.2 การวิเคราะห์เชิงปริมาณของ Test set 3 โทน

###### 5.1.2.1 โทนสีผิว

จากการหาค่า  $\Delta E^*_{ab}$  ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง 2 แหล่ง คือ  $D_{50}$  และ  $D_{65}$  พบว่ามีค่า  $\Delta E^*_{ab}$  เท่ากับ 8.74 และ 8.88 ตามลำดับ เป็นค่าที่ค่อนข้างสูงใกล้เคียงกัน ซึ่งค่า  $\Delta E^*_{ab}$  ที่อยู่ในช่วง 6.0 – 12.0 จะสังเกตเห็นความแตกต่างสีได้อย่างชัดเจนมาก ดังนั้นโทนสีผิวนี้จึงมีสีที่แตกต่างจากต้นฉบับมาก

###### 5.1.2.2 โทนใบไม้

จากการหาค่า  $\Delta E^*_{ab}$  ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง 2 แหล่ง คือ  $D_{50}$  และ  $D_{65}$  พบว่ามีค่า  $\Delta E^*_{ab}$  เท่ากับ 10.15 และ 10.16 ตามลำดับ เป็นค่าที่ค่อนข้างสูงใกล้เคียงกัน ซึ่งจะสังเกตเห็นความแตกต่างสีได้อย่างชัดเจนมาก ดังนั้นโทนใบไม้จึงมีสีที่แตกต่างจากต้นฉบับมาก

### 5.1.2.3 โทนท้องฟ้า

จากการหาค่า  $\Delta E^*_{ab}$  ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง 2 แหล่ง คือ  $D_{50}$  และ  $D_{65}$  พบว่า มีค่า  $\Delta E^*_{ab}$  เท่ากับ 6.88 และ 7.02 ตามลำดับ เป็นค่าที่ค่อนข้างสูงใกล้เคียงกัน ซึ่งจะสังเกตเห็นความแตกต่างสีได้อย่างชัดเจนมาก ดังนั้นโทนท้องฟ้านี้จึงมีสีที่แตกต่างจากต้นฉบับมาก

เมื่อเปรียบเทียบค่า  $\Delta E^*_{ab}$  ของ Test set ทั้ง 3 โทน พบว่า โทนท้องฟ้า มีค่า  $\Delta E^*_{ab}$  ต่ำที่สุด รองลงมา คือ โทนสีผิว และ โทนใบไม้ มีค่า  $\Delta E^*_{ab}$  สูงที่สุด แต่โดยรวมแล้วถือว่ามีค่าที่ค่อนข้างสูง ดังนั้น Test set ทั้ง 3 โทนนี้จึงมีสีที่แตกต่างจากต้นฉบับมาก

## 5.1.3 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพของภาพที่ผลิตได้บนแอลซีดี

### 5.1.3.1 ภาพคน

ผู้ทดสอบส่วนใหญ่เลือกภาพดิจิทัลมากกว่าภาพสเปกตรัม ทั้งภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  และ  $D_{65}$  โดยพบว่า มีความเหมือนกับภาพต้นฉบับทั้งบริเวณสีผิว และสีโดยรวมของภาพ และถึงแม้ว่าภาพสเปกตรัมจะมีผู้เลือกน้อยกว่าก็ตาม แต่ถ้าพิจารณาเปรียบเทียบที่บริเวณสีผิวพบว่า ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  มีความเหมือนเกือบใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับ ซึ่งพบว่ามีผู้เลือกภาพดิจิทัลมากกว่าภาพสเปกตรัมอยู่ไม่มากนัก คิดเป็น 60% และ 40% ตามลำดับ

### 5.1.3.2 ภาพวิวทัศน์

ผู้ทดสอบทุกคนเลือกภาพดิจิทัล ทั้งภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  และ  $D_{65}$  โดยพบว่ามีความเหมือนทั้งบริเวณท้องฟ้า ทะเล และสีโดยรวมของภาพ ซึ่งภาพสเปกตรัมไม่เหมือนกับภาพต้นฉบับทั้ง 3 บริเวณอย่างเห็นได้ชัด

### 5.1.3.3 ภาพนามธรรม

แบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

1. ในบริเวณที่เป็นสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน และสีโดยรวมของภาพ ผู้ทดสอบส่วนใหญ่เลือกภาพดิจิทัลมากกว่าภาพสเปกตรัม ทั้งภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  และ  $D_{65}$

2. ในบริเวณที่เป็นสีเหลือง ผู้ทดสอบส่วนใหญ่เลือกภาพสเปกตรัมมากกว่าภาพดิจิทัล ทั้งภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  และ  $D_{65}$  โดยคิดเป็น 75% เท่ากัน

เมื่อเปรียบเทียบภาพสีน้ำทั้ง 3 ภาพแล้ว พบว่า ภาพทิวทัศน์ที่เป็นภาพดิจิทัล มีความเหมือนกับภาพต้นฉบับมากที่สุด รองลงมา คือ ภาพคนที่เป็นภาพดิจิทัล แต่ในขณะเดียวกันบริเวณสีผิวภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  ภาพสเปกตรัมมีความเหมือนใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับเหมือนกัน และสุดท้าย คือ ภาพนามธรรมที่เป็นภาพดิจิทัล มีความเหมือนกับภาพต้นฉบับในบริเวณที่เป็นสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน และสีโดยรวมของภาพ ยกเว้นบริเวณสีเหลือง ภาพสเปกตรัมจะมีความเหมือนกับต้นฉบับมากกว่า

ดังนั้นภาพที่ได้จากกระบวนการการผลิตซ้ำของภาพสีน้ำจากข้อมูลสเปกตรัมบนแอลซีดี ที่ได้ทำการวิจัยนี้ เมื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพสรุปได้ว่า มีความเหมือนกับต้นฉบับในบริเวณที่เป็นโทนสีผิว และสีเหลืองเท่านั้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรเลือกใช้กล่องดิจิทัลที่มีคุณภาพสูง คือ มีความละเอียด สูงกว่า 1 เมกกะ พิกเซลในการบันทึกภาพ และมีระบบ cooling เพื่อลดสัญญาณรบกวน จะส่งผลให้อัตราส่วนสัญญาณภาพ / สัญญาณรบกวน (signal / noise ratio) ดี รวมถึงควรมีระบบการควบคุมการถ่ายภาพแบบ Manual เช่น สามารถกำหนด shutter speed ได้

5.2.2 ควรเพิ่มชนิดของแผ่นกรองแสงที่ใช้ในการคัดเลือกให้มากขึ้น อาจทำให้ครอบคลุมการสะท้อนแสงของสีน้ำได้มากขึ้น

5.2.3 Training set ควรมีจำนวนมากกว่า 176 สี และคัดเลือกให้การกระจายของ  $L^*$ ,  $c^*_{ab}$  และ  $a^* b^*$  ให้สม่ำเสมอ อาจเป็นตัวแทนสีที่ดีกว่างานวิจัยนี้

5.2.4 ควรเพิ่มวิธีการประมาณการค่าการสะท้อนแสง เช่น วิธี Polynomial regression หรือ Lookup table (LUT) เปรียบเทียบกับวิธี Wiener estimation เพื่อตรวจสอบว่าแต่ละวิธีสามารถประมาณการค่าการสะท้อนแสงได้แตกต่างกันหรือไม่ และวิธีใดให้ผลดีที่สุด

5.2.5 ควรปรับตั้งและหาลักษณะเฉพาะของแอลซีดี (Calibration and characterization) เอง เพื่อให้แอลซีดีแสดงผลได้ดียิ่งขึ้น

## รายการอ้างอิง

1. Schmitt, F.; Brettel, H.; and Hardeberg, J. Multispectral imaging development at ENST. International Symposium on Multispectral Imaging and Color Reproduction for Digital Archives, pp. 50-57. Chiba, 1999.
2. Miyake, Y., and Yokoyama, Y. Obtaining and reproduction of accurate color images based on human perception. Proc. SPIE 3300 (1998): 190-197.
3. อารี สุทธิพันธ์. การระบายสีน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ภาพพิมพ์, 2526.
4. ศุภิต เครื่องงาม. สิ่งประดิษฐ์ฮอปโตอิเล็กทรอนิกส์: ฟิสิกส์ เทคโนโลยี และการใช้งาน. เล่ม 1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
5. ยุทธ อัครมาส. แอลซีดีทำงานอย่างไร [Online]. 2546. แหล่งที่มา: <http://www.sripruetta.ac.th> [18 ก.พ.2546]
6. ลัดดา ศุขปริดี. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับภาพนิ่งและภาพยนตร์. หน่วยที่ 1-5. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช, 2532.
7. Wyszecki, G., and Stiles, W. Color Science: Concept and method, quantitative data and formulae. 2<sup>nd</sup> ed. New York: John Wiley & Sons, 2000.
8. จันทนา ทองประยูร. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการพิมพ์. หน่วยที่ 5-10. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช, 2539.
9. Haneishi, H.; Hasegawa, T.; Hosoi, A.; Yokoyama, Y.; Tsumura, N.; and Miyake, Y. System design for accurately estimating spectral reflectance of art paintings. [Online]. 2004. Available from: [http://www.mi.tj.chiba-u.jp/~tsumura/Tsumura/papers/AO00\\_haneishi\\_manu..pdf](http://www.mi.tj.chiba-u.jp/~tsumura/Tsumura/papers/AO00_haneishi_manu..pdf) [2004, September 9]
10. Jackson, J.E. A user's guide to principal components. New York: John Wiley & Sons, 1994.
11. มนัส สังวรศิลป์ และวรรรัตน์ ภัทรอมรกุล. คู่มือการใช้ MATLAB ฉบับสมบูรณ์. นนทบุรี: สำนักพิมพ์อินโฟเพรส, 2543.
12. อรัญ หาญสืบสาย. ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีการพิมพ์. กรุงเทพมหานคร: เจ พิล์มโปรดักส์, 2541.

13. Kwak, Y., and MacDonald L. Characterisation of a desktop LCD projector. Displays 21 (2000): 179-194.
14. Stokes, M.; Anderson, M.; Chandrasekar, S.; and Motta, R. A standard default color space for the internet: sRGB [Online]. 2004. Available from: <http://www.w3.org/graphics/color/sRGB.html> [2004, December 23]
15. Rigg, B. Colour Physics for Industry. 2<sup>nd</sup> ed. New York: John Wiley & Sons, 1997.
16. กุณทีนี สุวรรณกิจ, วีรศักดิ์ ธาราศานิต, และ วรพจน์ วชิระไวทาน. การจัดการสีในระบบ Desktop Publishing. Senior Project ระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
17. Li, C., and Luo, M. R. The estimation of spectral reflectances using the smoothness constraint condition. IS&T/STD Ninth Color Imaging Conference (2001): 64.
18. Braun, K.; Fairchild, M.; and Alessi, P. Viewing techniques for cross-media image comparisons. Color Research and Application 21 (1996): 6-17.
19. Engeldrum, T. G. Psychometric scaling. Winchester, MA: Imcotek press, 2000.



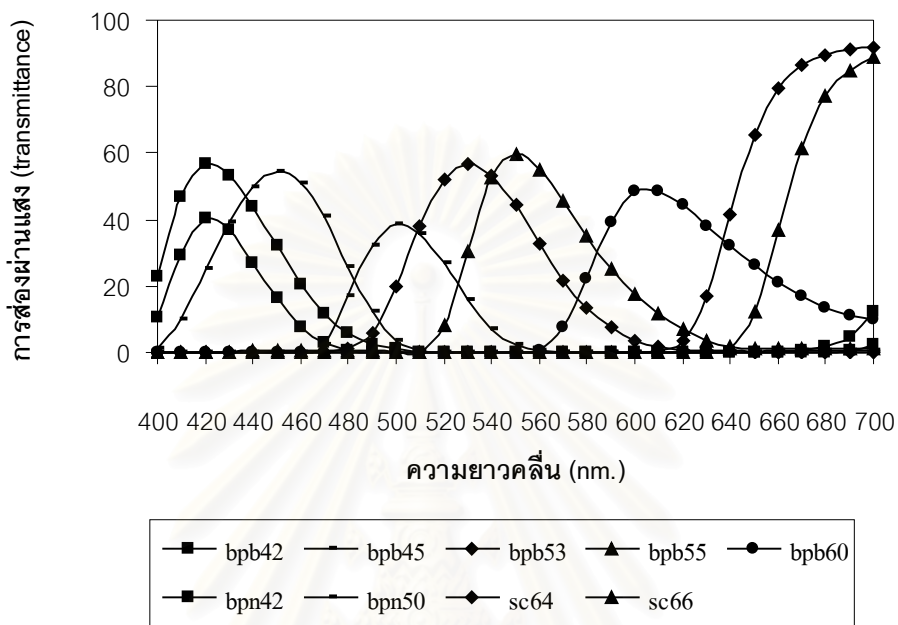
ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

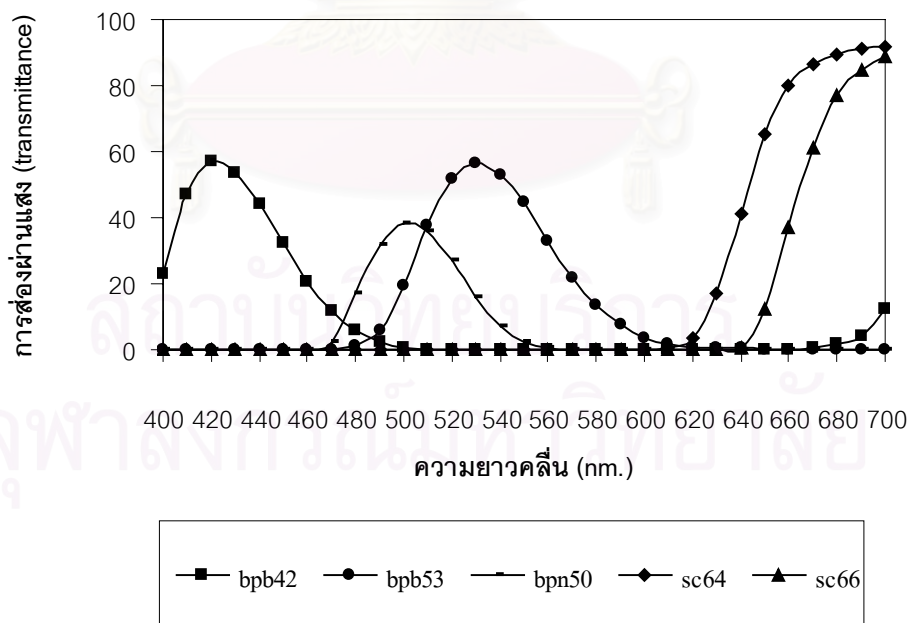


ภาคผนวก ก

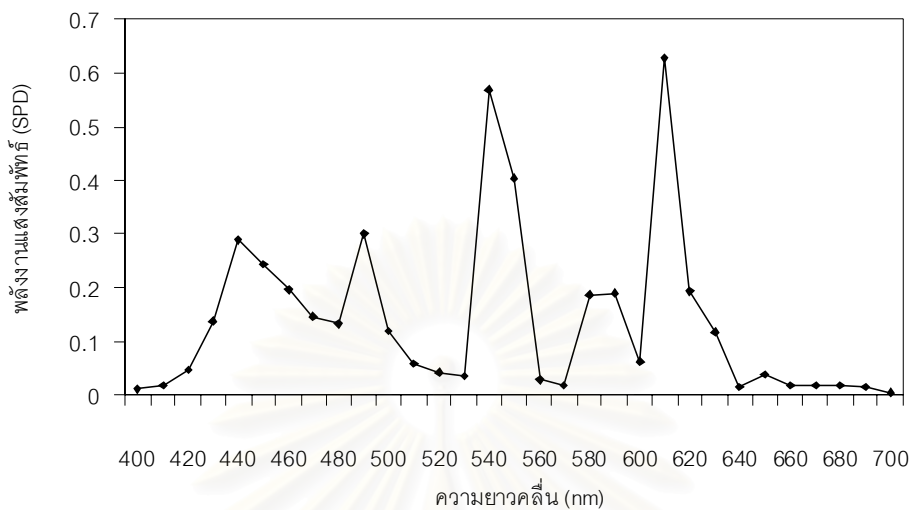
ข้อมูลนำเข้า



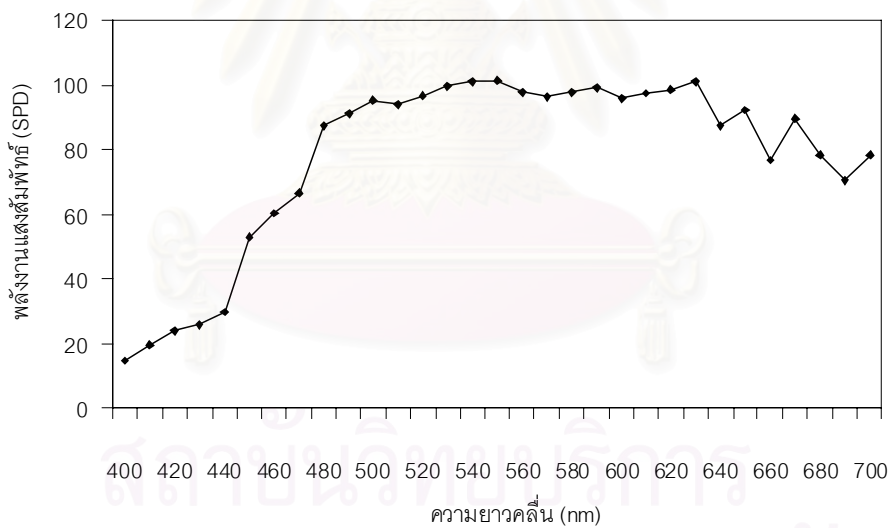
รูปที่ ก-1 กราฟการส่องผ่านแสงของแผ่นกรองแสง 9 แผ่นที่นำมาวิเคราะห์เลือก



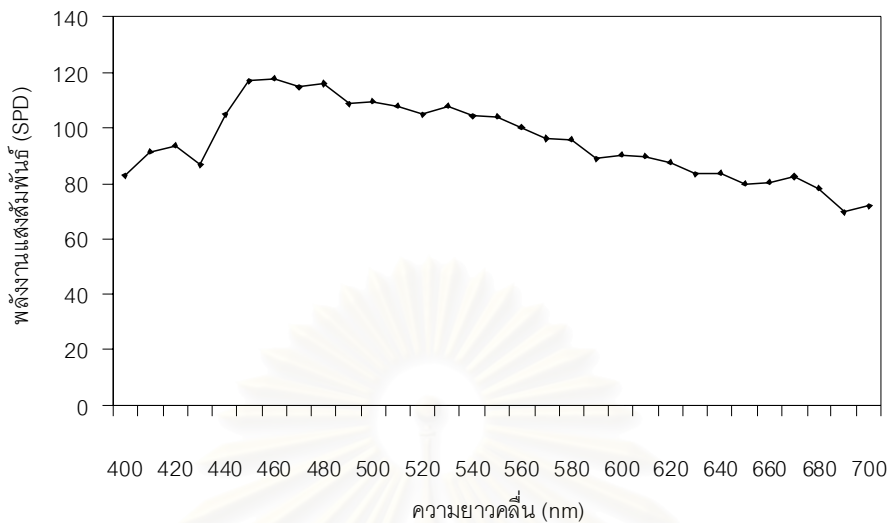
รูปที่ ก-2 กราฟการส่องผ่านแสงของแผ่นกรองแสง 5 แผ่นที่เหมาะสม



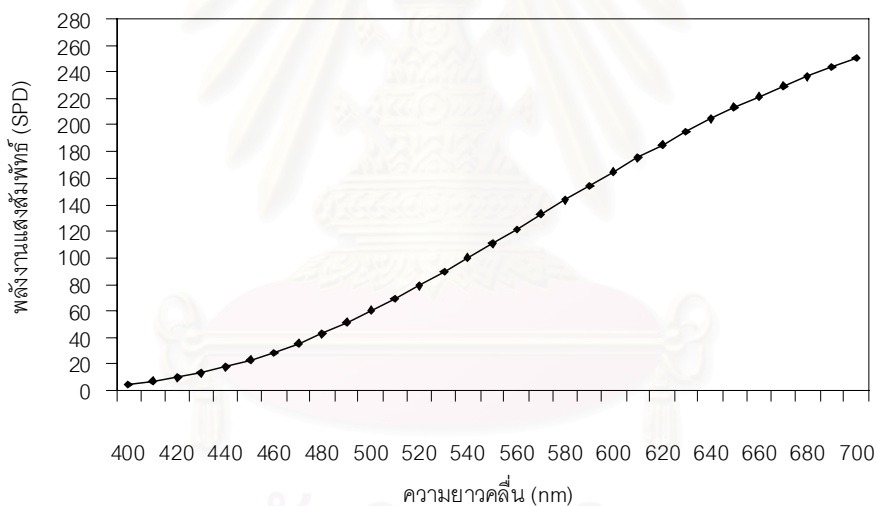
รูปที่ ก-3 กราฟการกระจายตัวสัมพัทธ์ของแหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ (F11)



รูปที่ ก-4 กราฟการกระจายตัวสัมพัทธ์ของแหล่งกำเนิดแสง D<sub>50</sub>

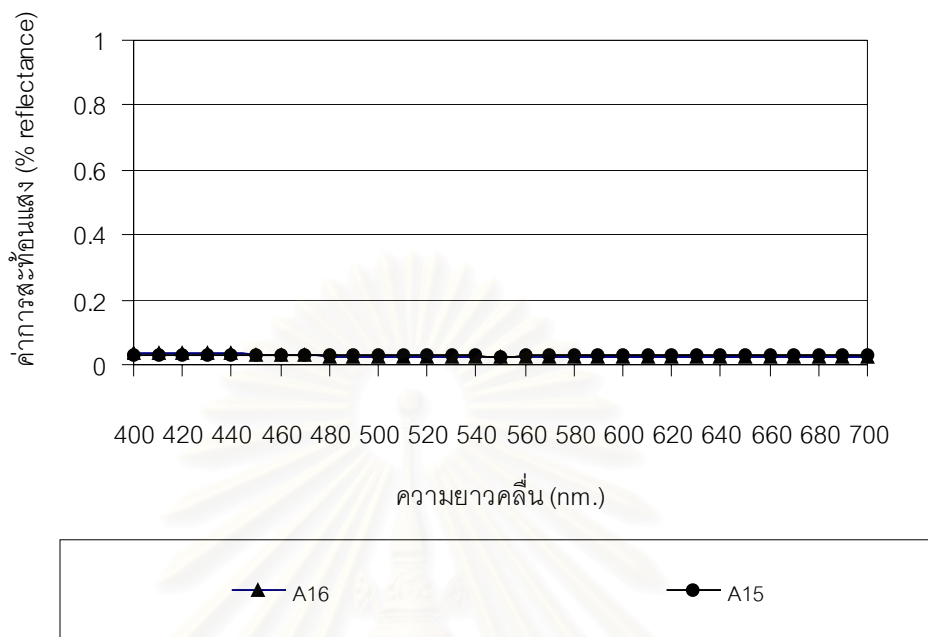


รูปที่ ก-5 กราฟการกระจายตัวสัมพัทธ์ของแหล่งกำเนิดแสง D<sub>65</sub>

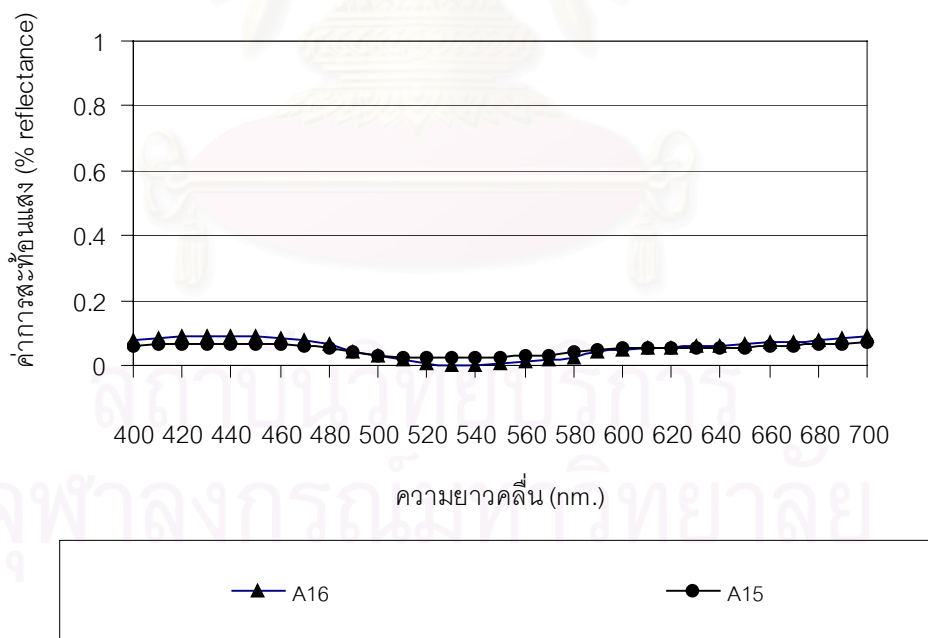


รูปที่ ก-6 กราฟการกระจายตัวสัมพัทธ์ของแหล่งกำเนิดแสง A

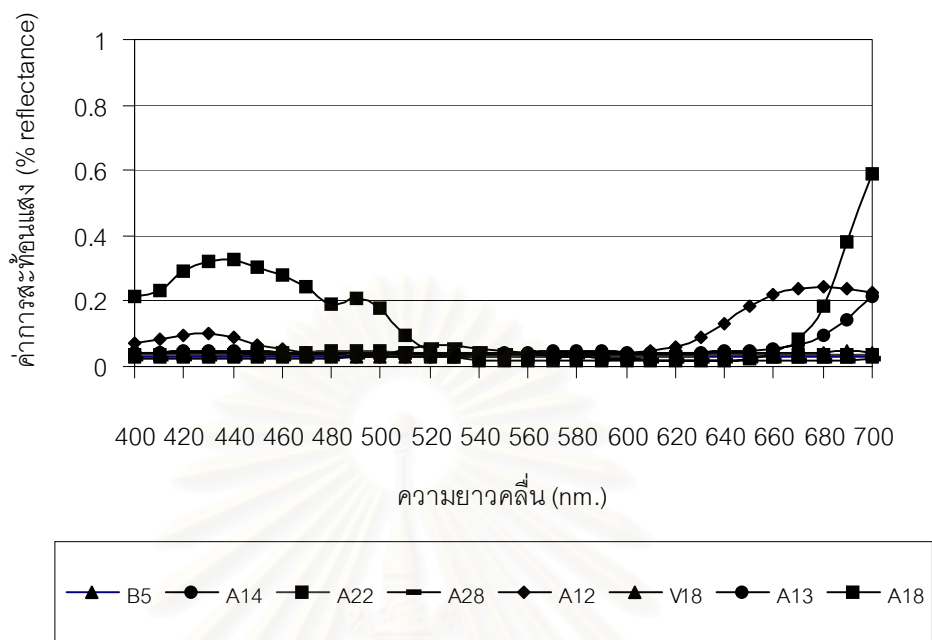
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



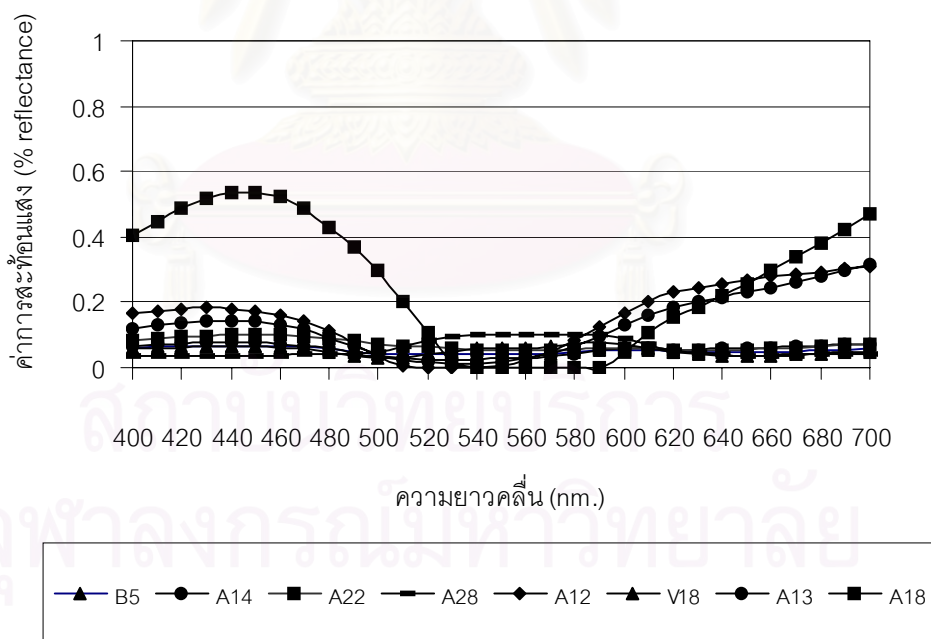
รูปที่ ก-7 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการวัด ที่มีค่า  $L^*$  15.01-20.00



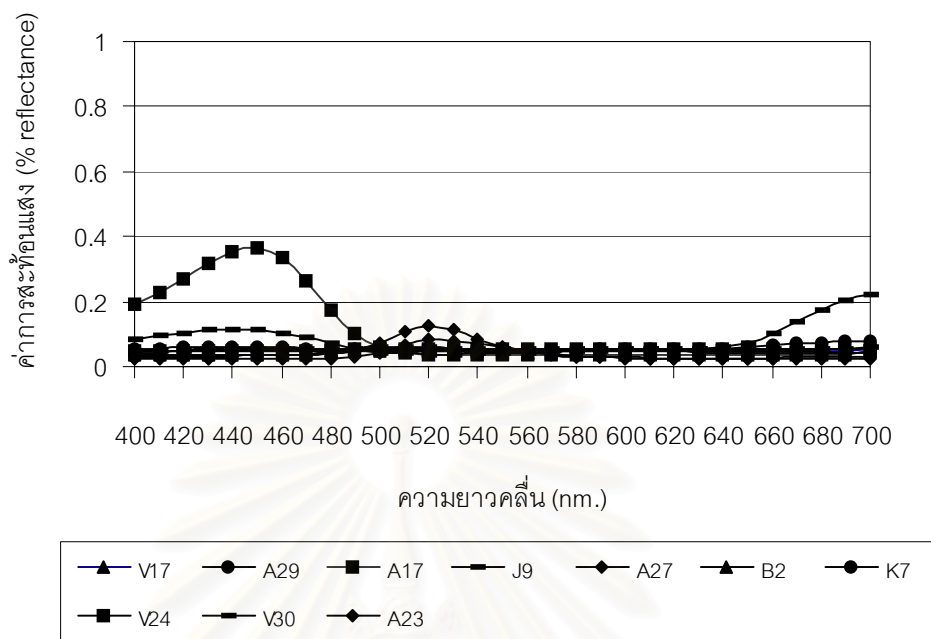
รูปที่ ก-8 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า  $L^*$  15.01-20.00



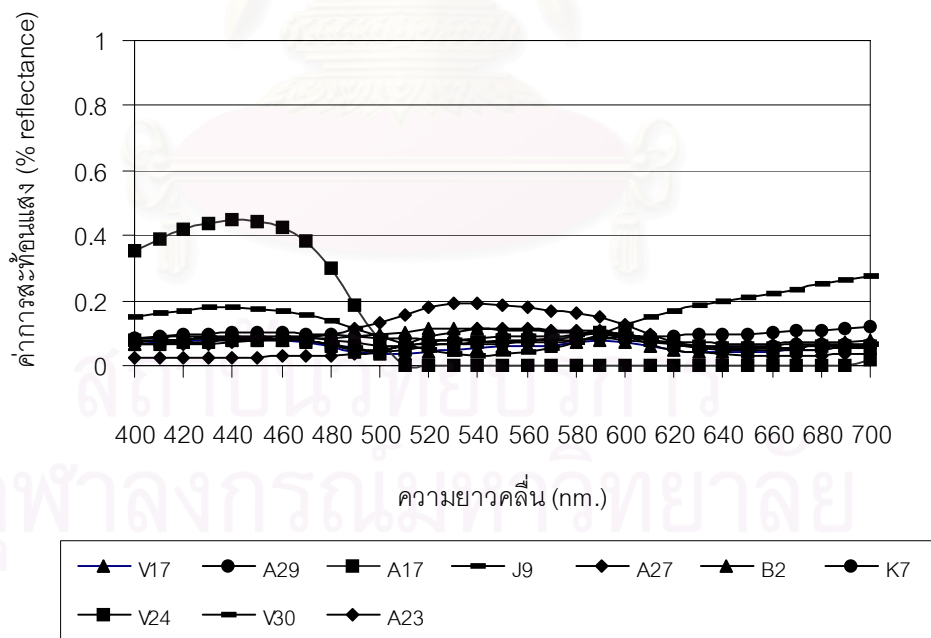
รูปที่ ก-9 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการวัด ที่มีค่า L\* 20.01-25.00



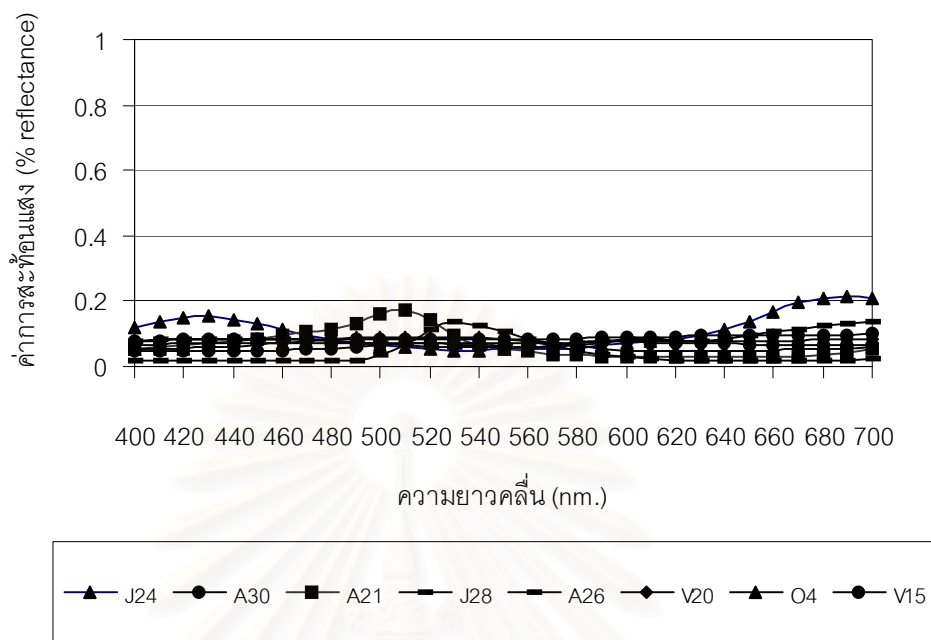
รูปที่ ก-10 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า L\* 20.01-25.00



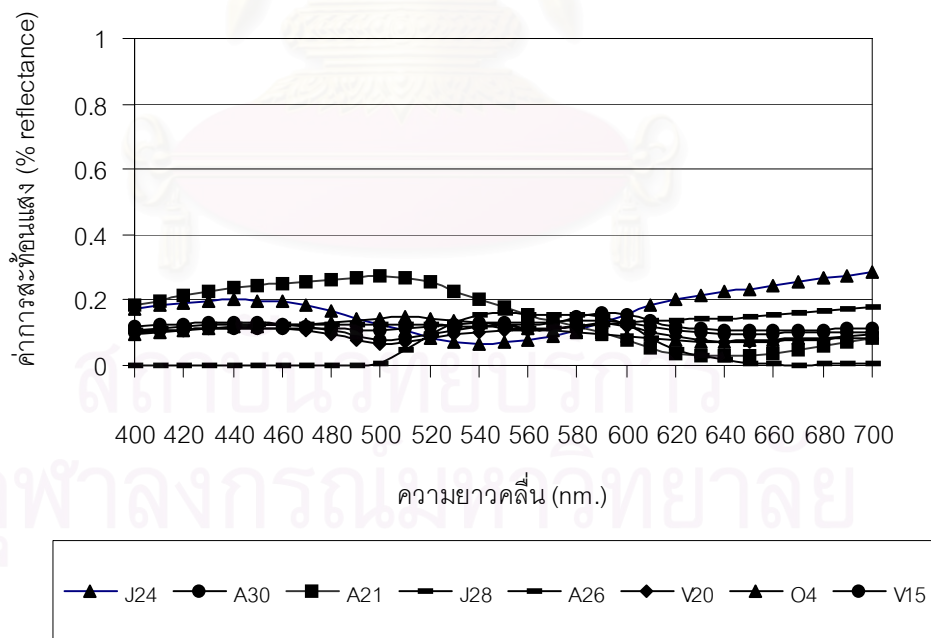
รูปที่ ก-11 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการวัด ที่มีค่า  $L^*$  25.01-30.00



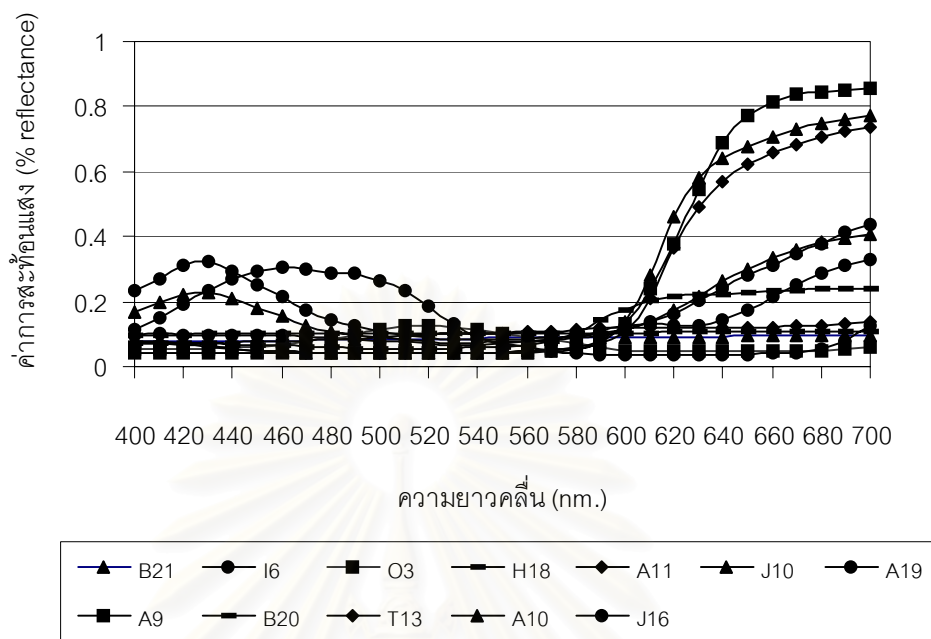
รูปที่ ก-12 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า  $L^*$  25.01-30.00



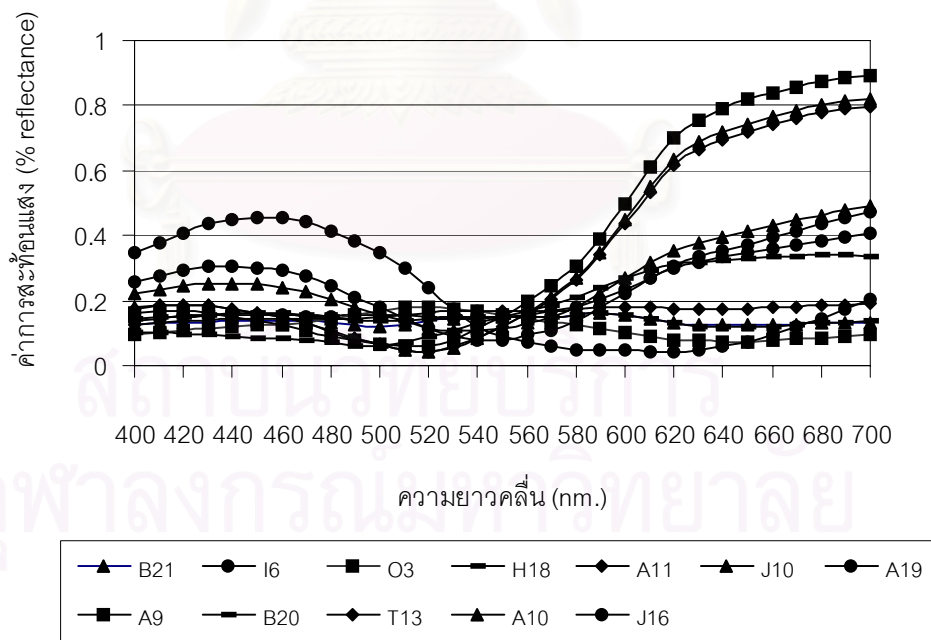
รูปที่ ก-13 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการวัด ที่มีค่า  $L^*$  30.01-35.00



รูปที่ ก-14 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า  $L^*$  30.01-35.00

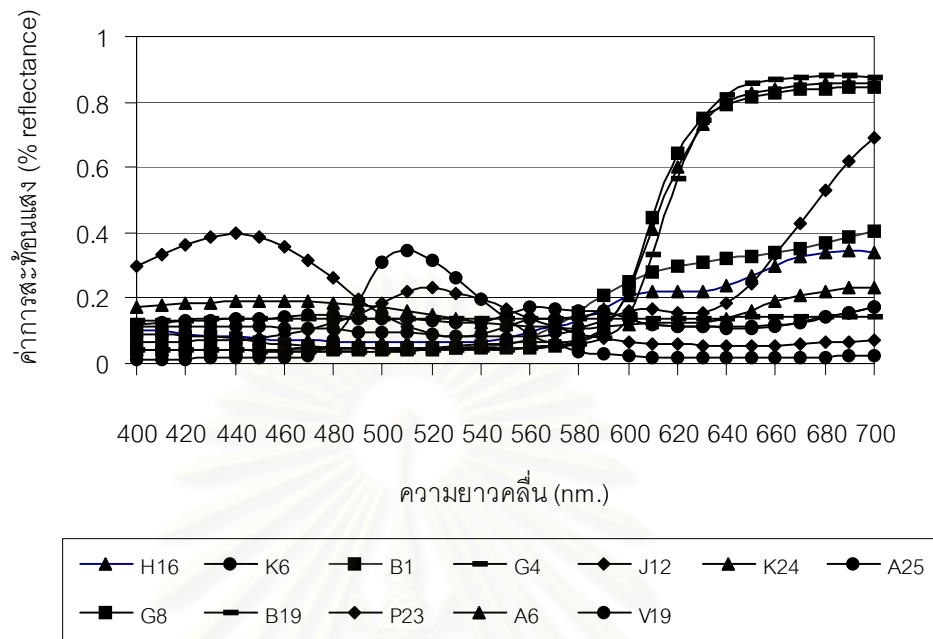


รูปที่ 15 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการวัด ที่มีค่า  $L^*$  35.01-40.00

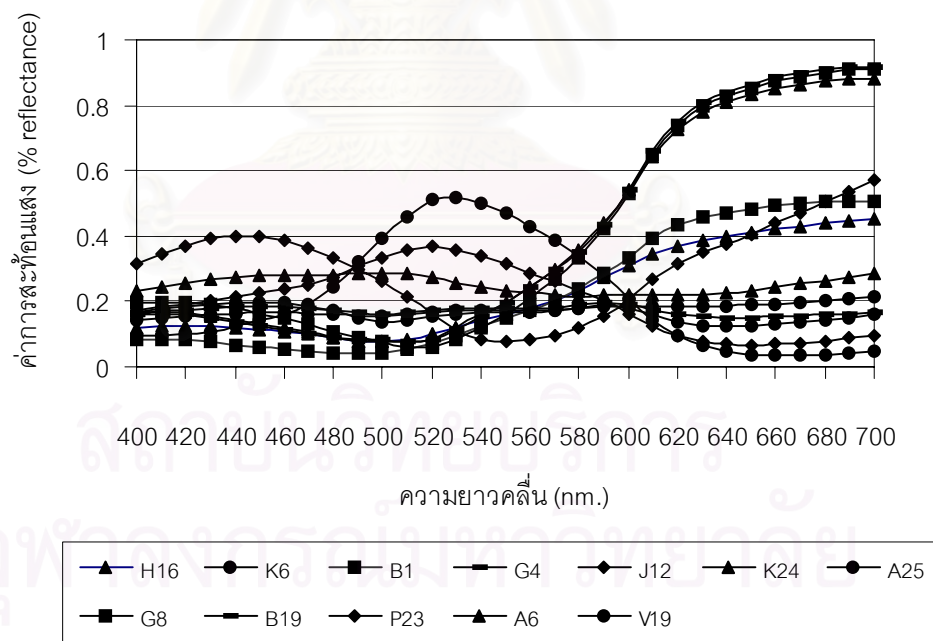


รูปที่ 16 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า  $L^*$  35.01-40.00

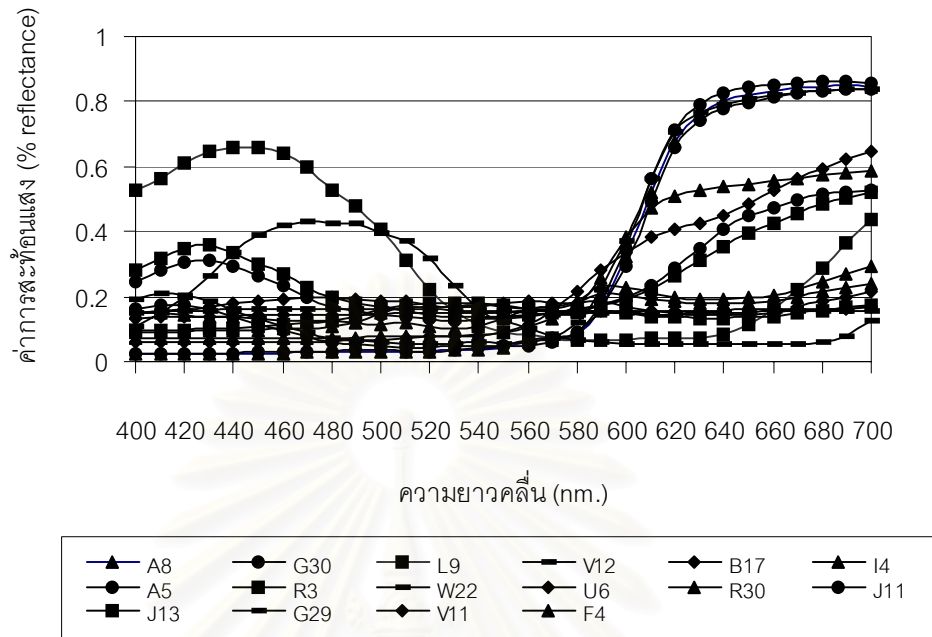




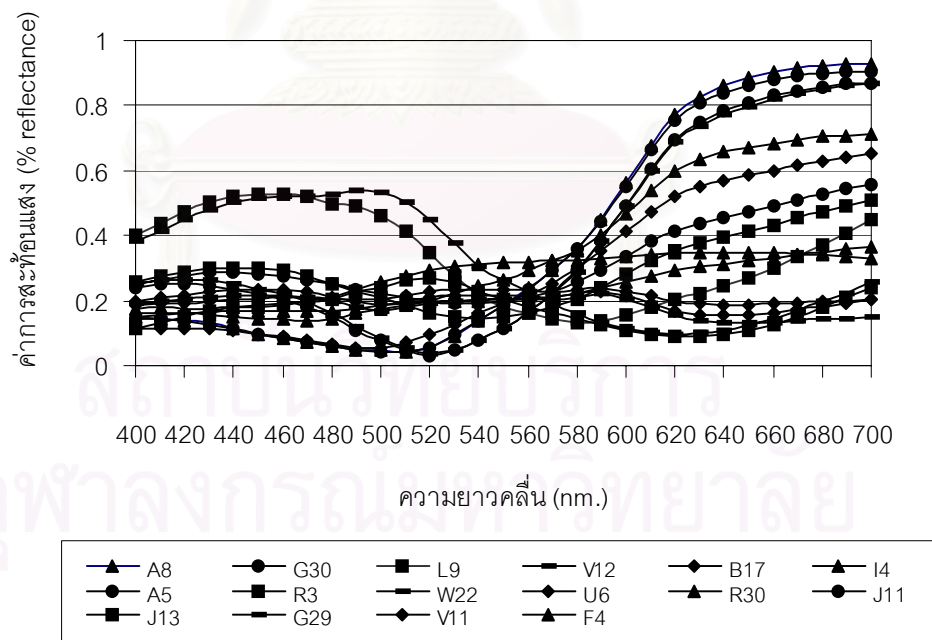
รูปที่ ก-17 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการวัด ที่มีค่า  $L^*$  40.01-45.00



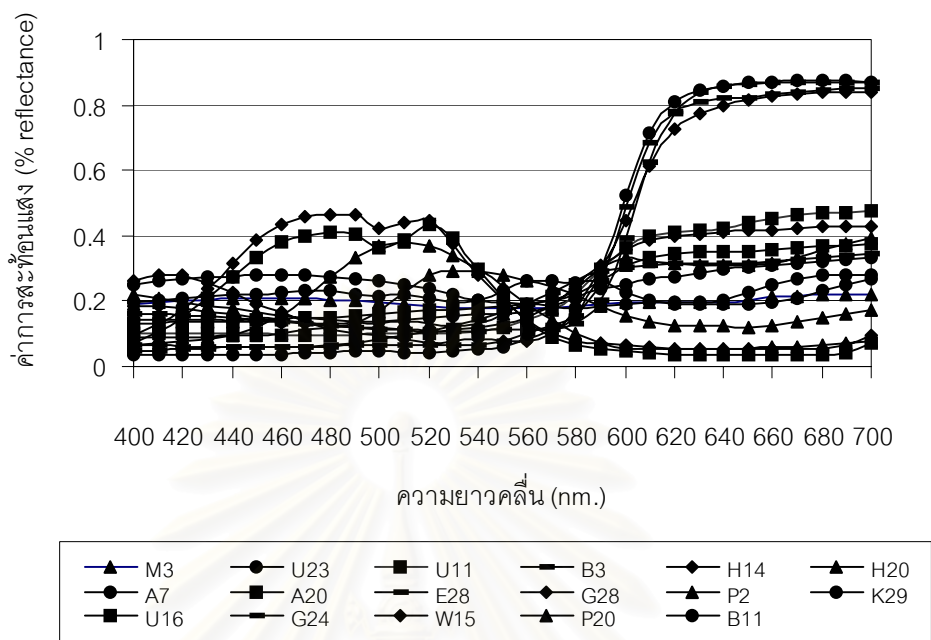
รูปที่ ก-18 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า  $L^*$  40.01-45.00



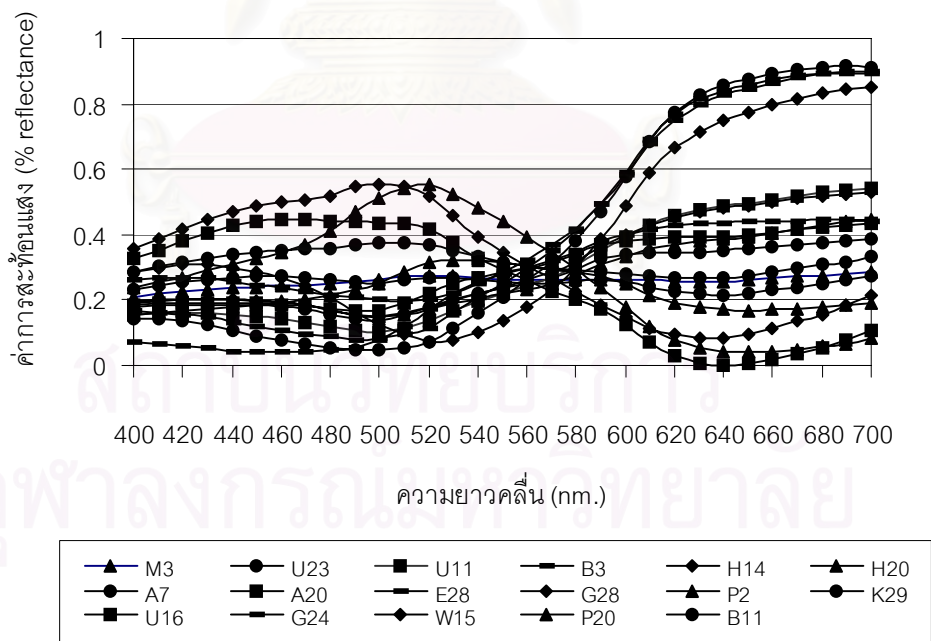
รูปที่ ก-19 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการวัด ที่มีค่า  $L^*$  45.01-50.00



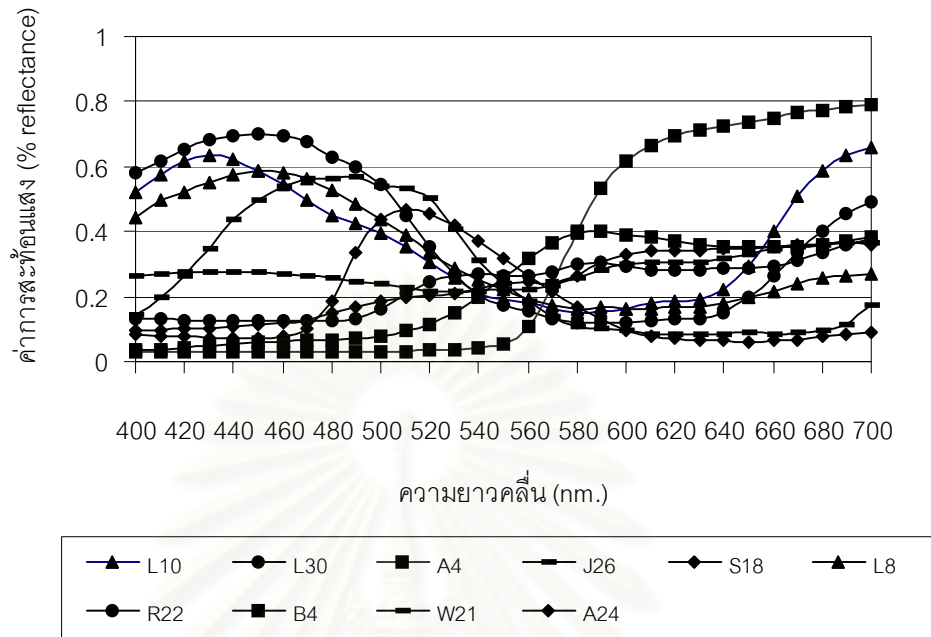
รูปที่ ก-20 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า  $L^*$  45.01-50.00



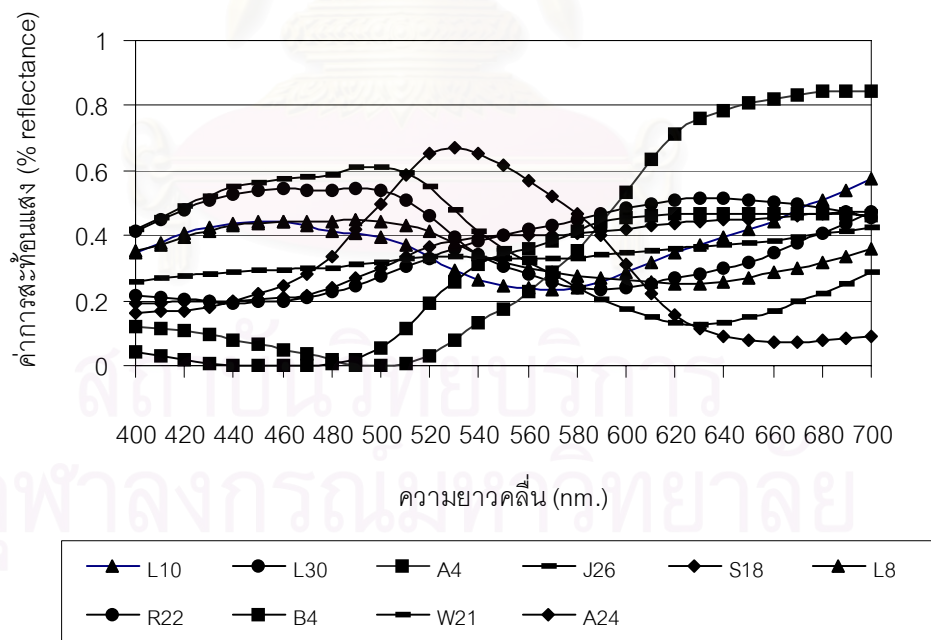
รูปที่ ก-21 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการวัด ที่มีค่า  $L^*$  50.01-55.00



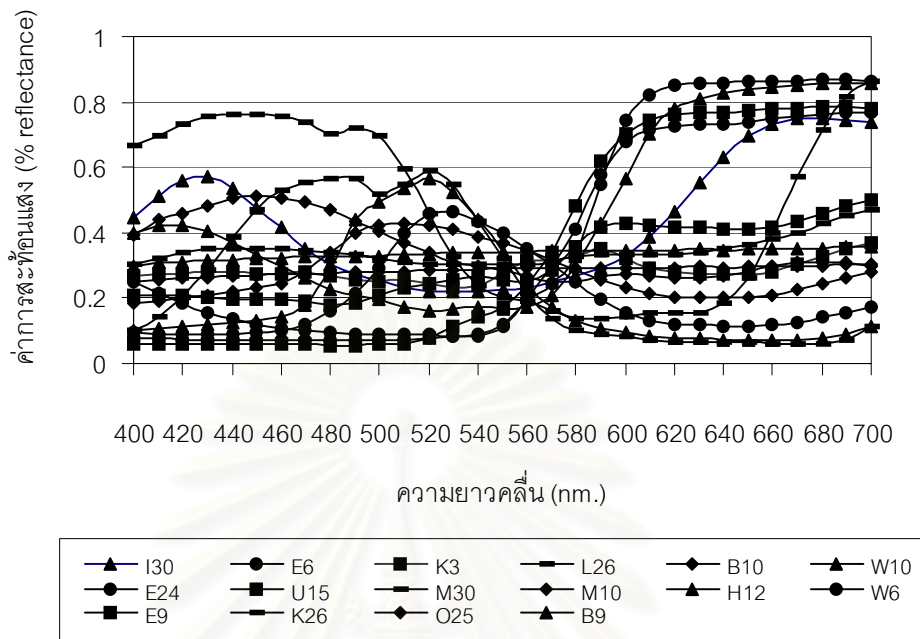
รูปที่ ก-22 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า  $L^*$  50.01-55.00



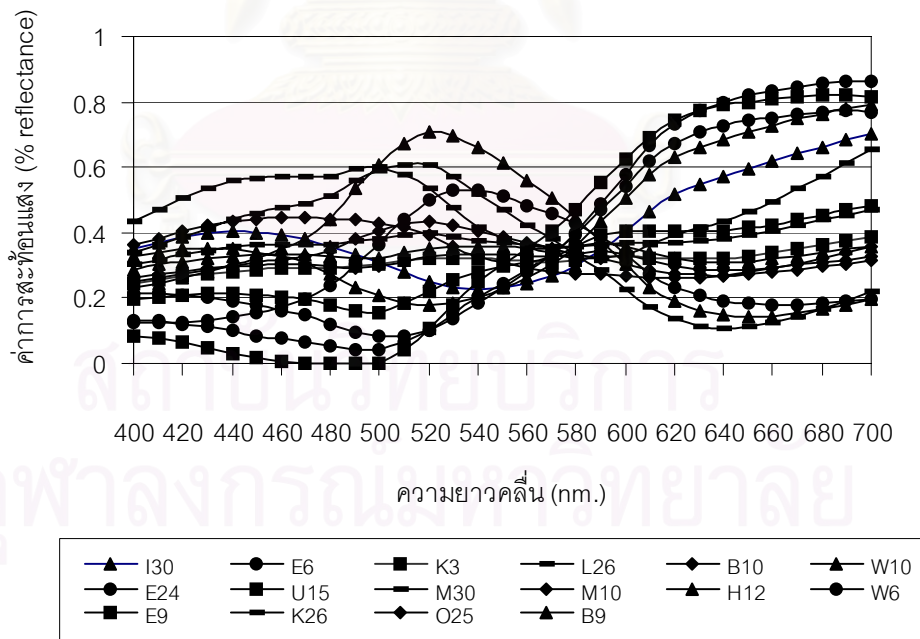
รูปที่ ก-23 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการวัด ที่มีค่า  $L^*$  55.01-60.00



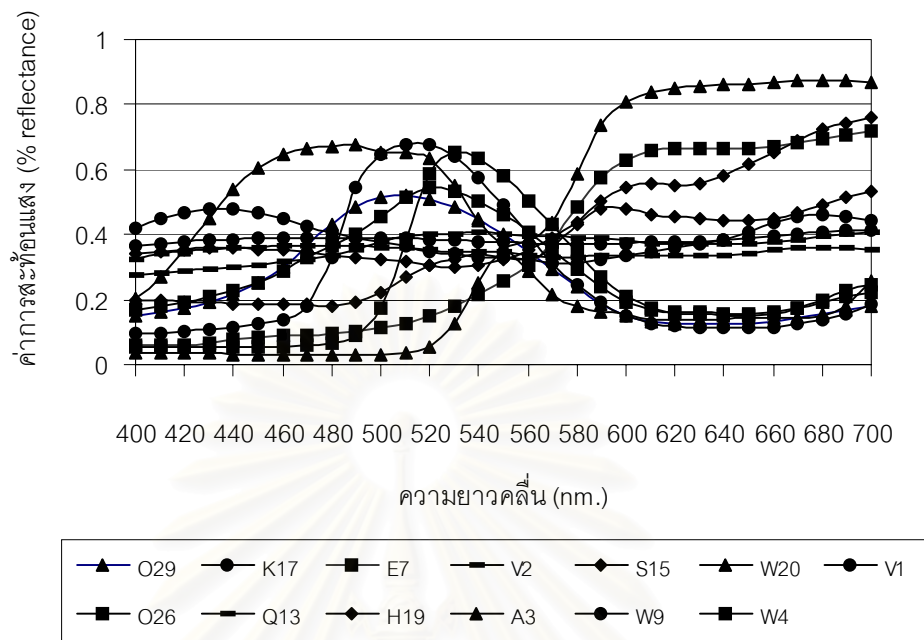
รูปที่ ก-24 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า  $L^*$  55.01-60.00



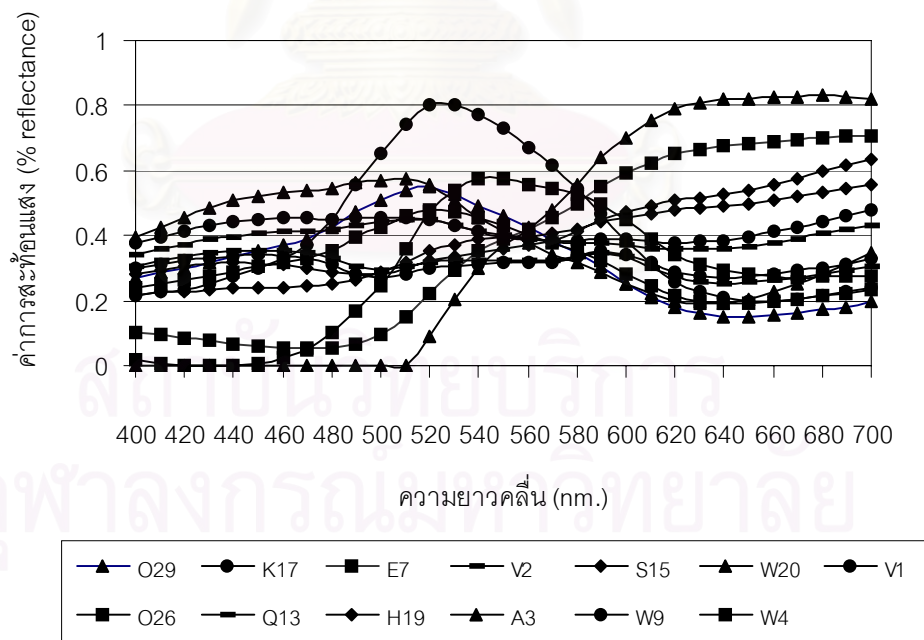
รูปที่ ก-25 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการวัด ที่มีค่า  $L^*$  60.01-65.00



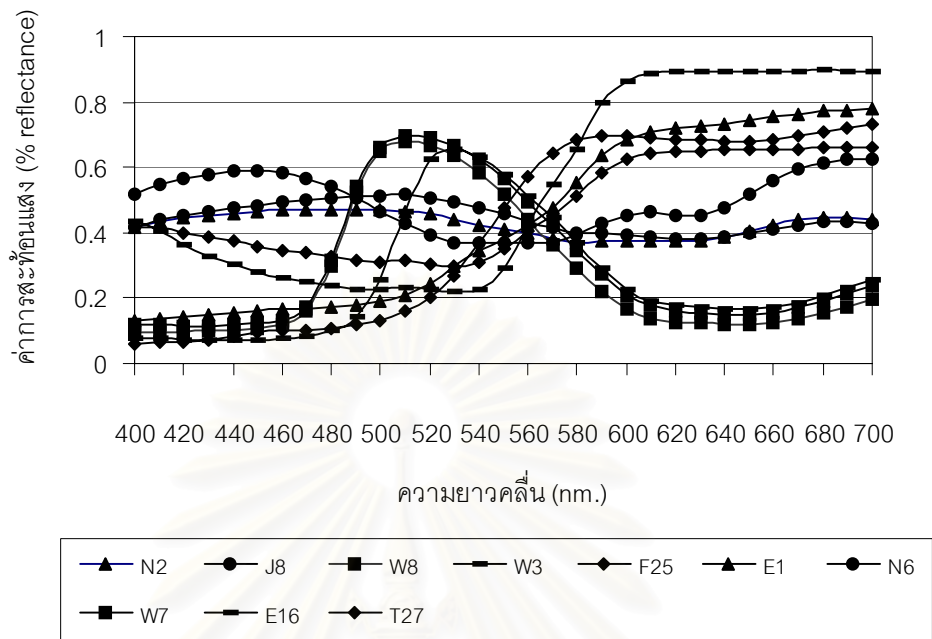
รูปที่ ก-26 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า  $L^*$  60.01-65.00



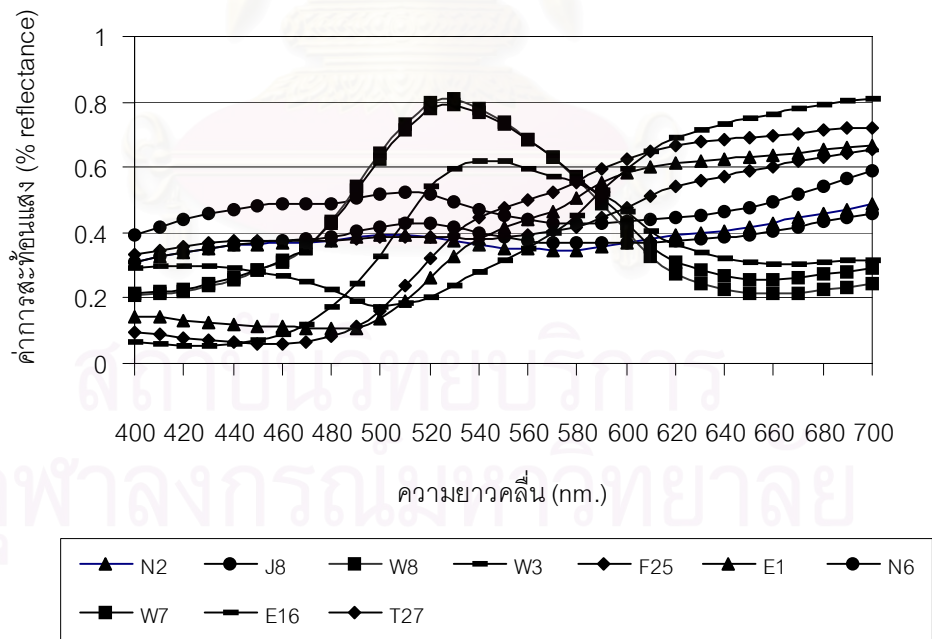
รูปที่ ก-27 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการวัด ที่มีค่า  $L^*$  65.01-70.00



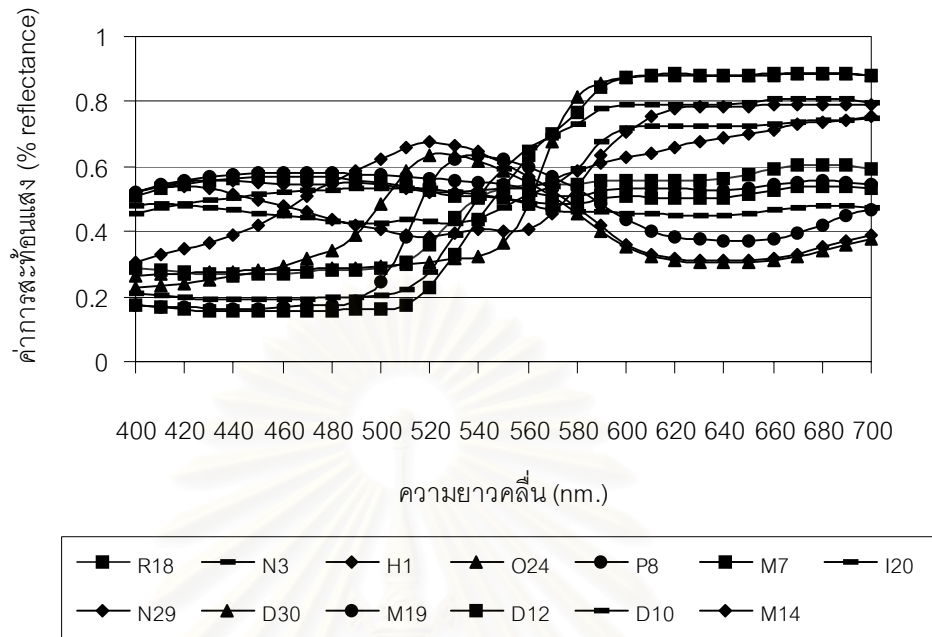
รูปที่ ก-28 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า  $L^*$  65.01-70.00



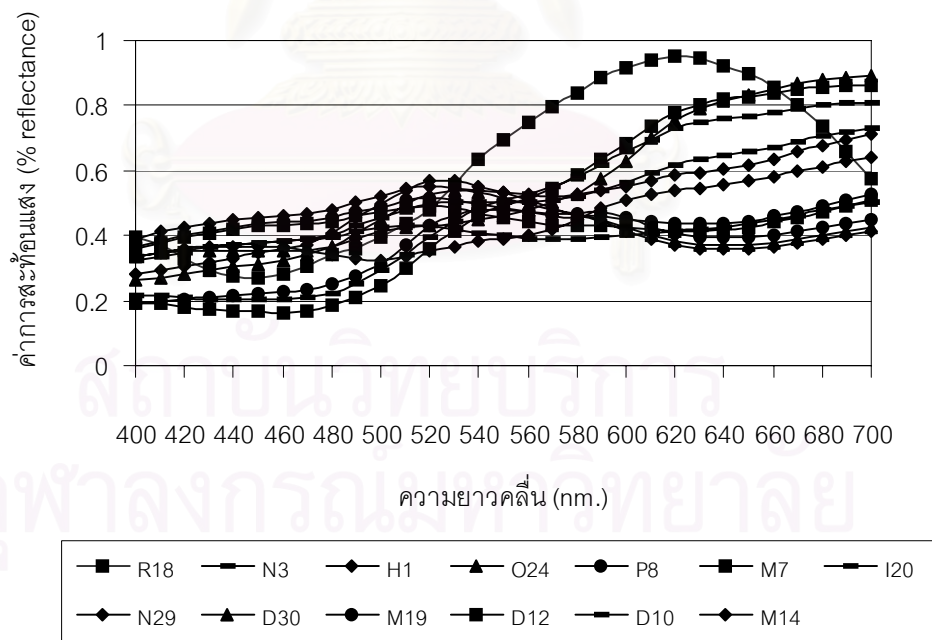
รูปที่ ก-29 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการวัด ที่มีค่า  $L^*$  70.01-75.00



รูปที่ ก-30 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า  $L^*$  70.01-75.00

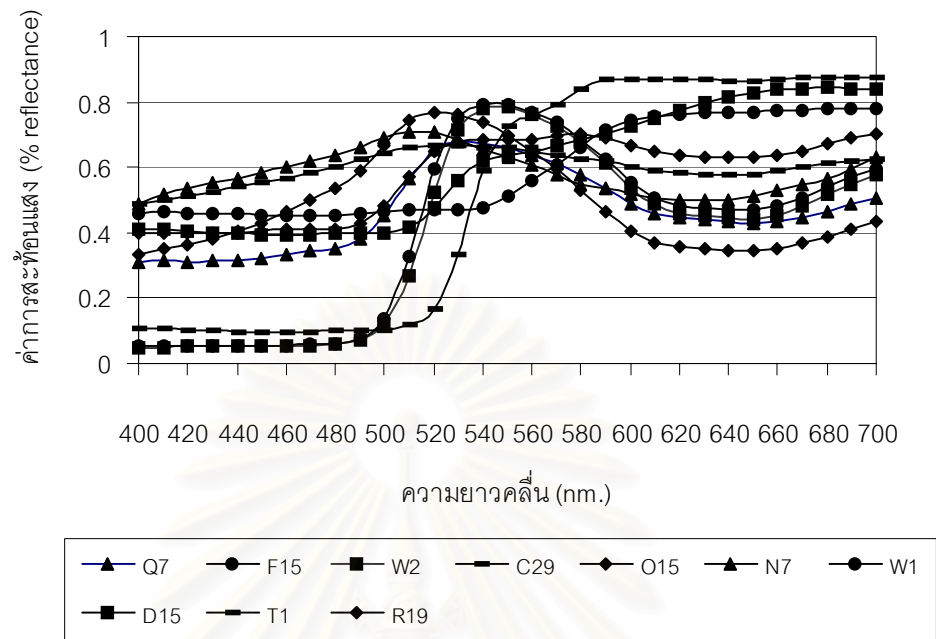


รูปที่ ก-31 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการวัด ที่มีค่า  $L^*$  75.01-80.00

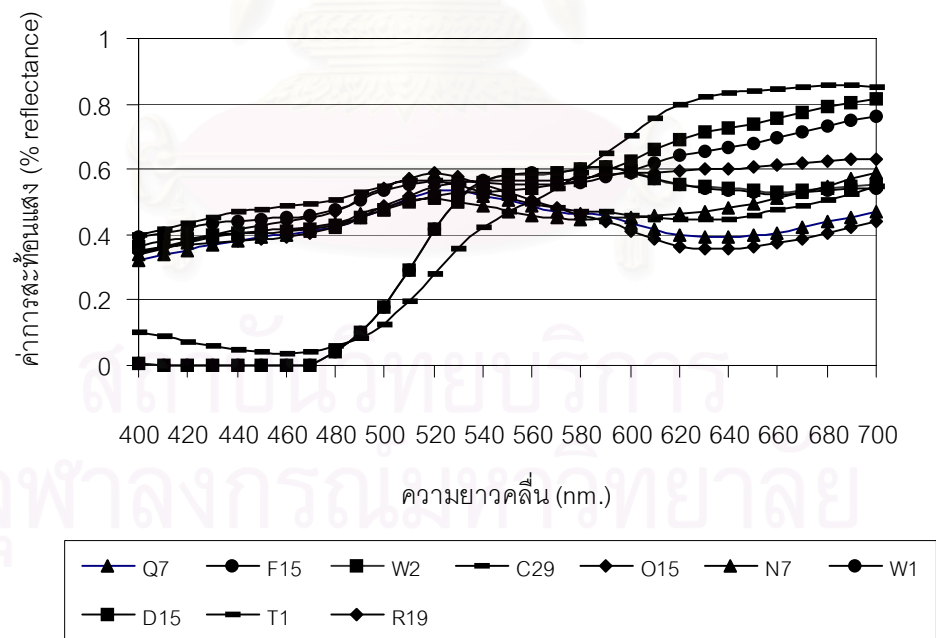


รูปที่ ก-32 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า  $L^*$  75.01-80.00

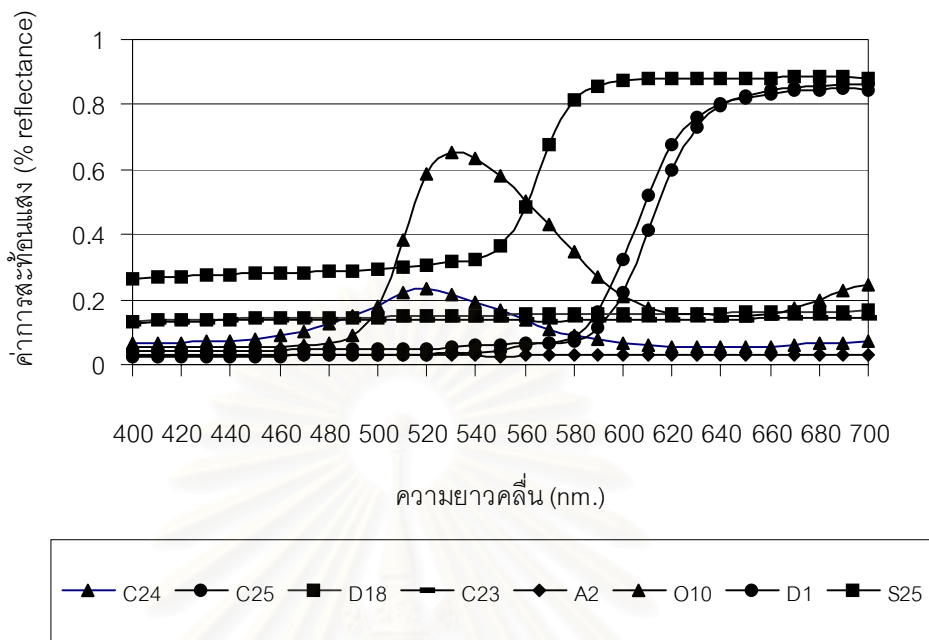




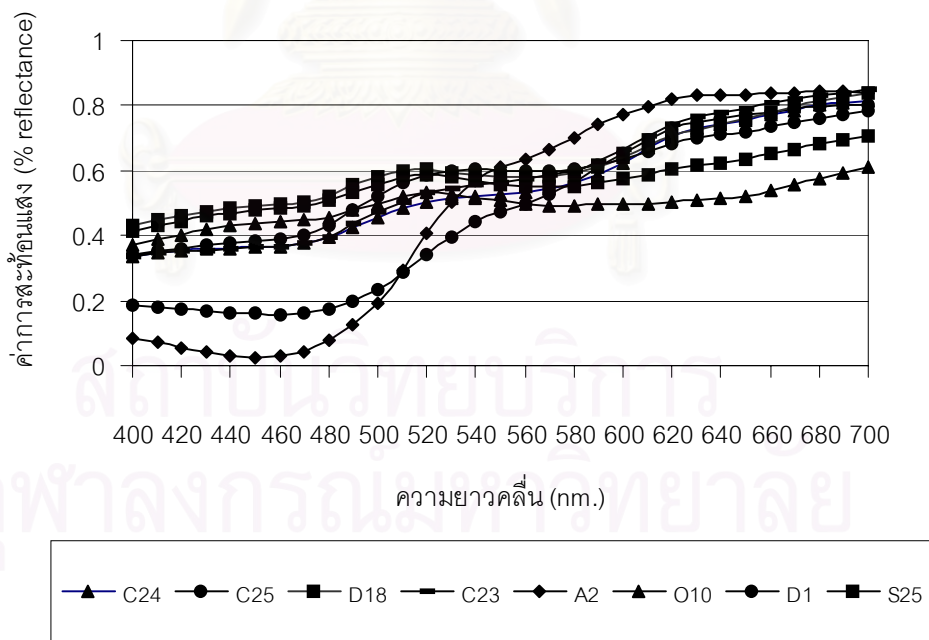
รูปที่ ก-33 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการวัด ที่มีค่า  $L^*$  80.01-85.00



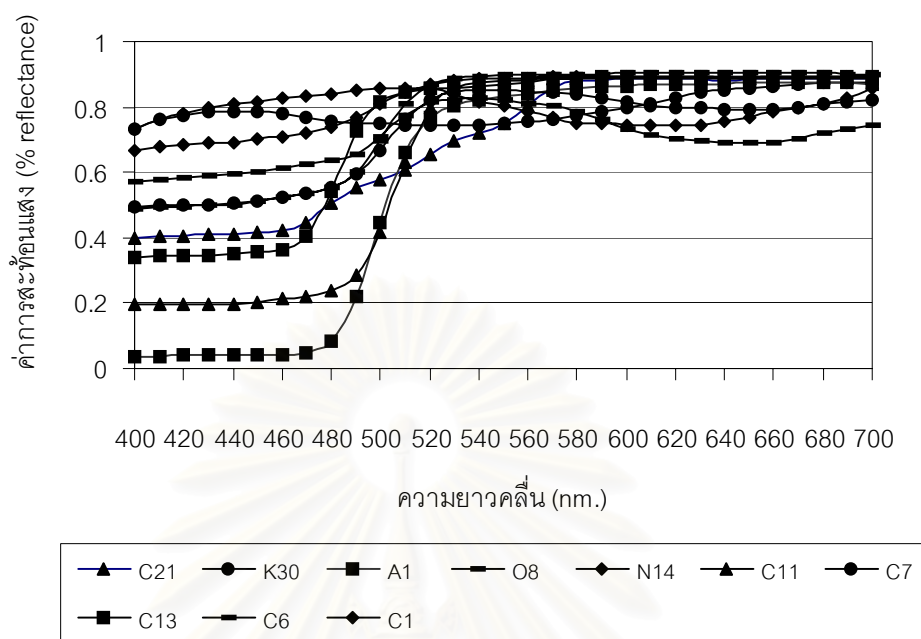
รูปที่ ก-34 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า  $L^*$  80.01-85.00



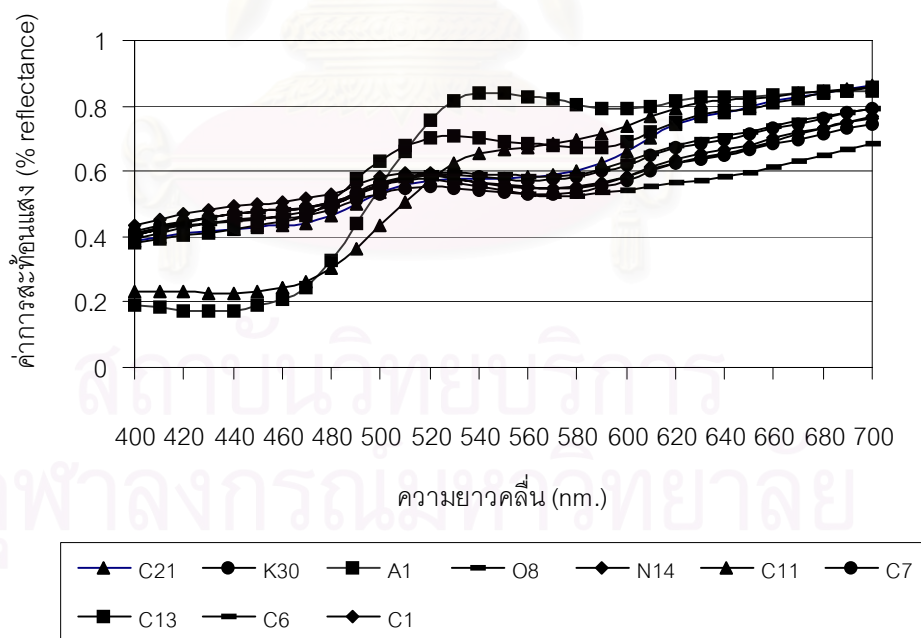
รูปที่ ก-35 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการวัด ที่มีค่า  $L^*$  85.01-90.00



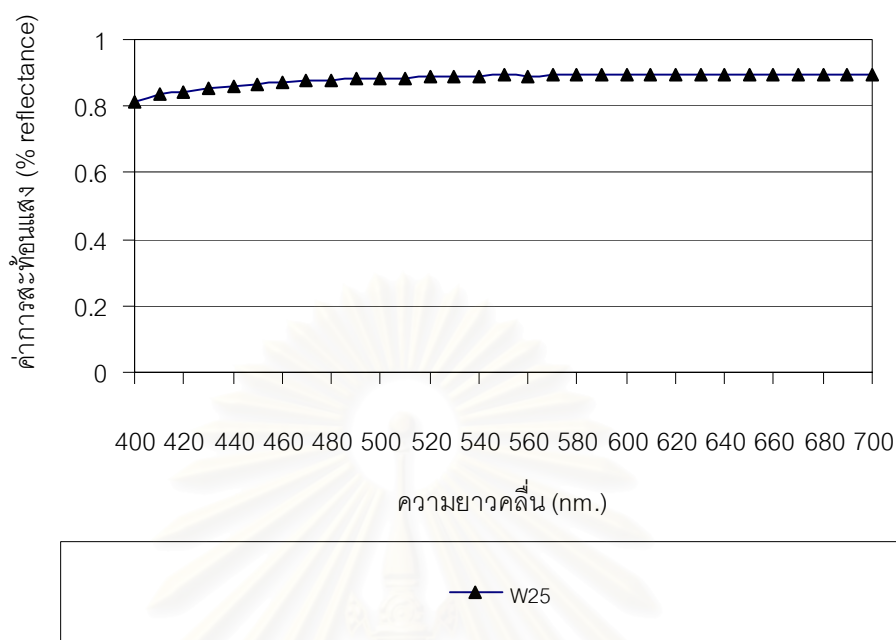
รูปที่ ก-36 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า  $L^*$  85.01-90.00



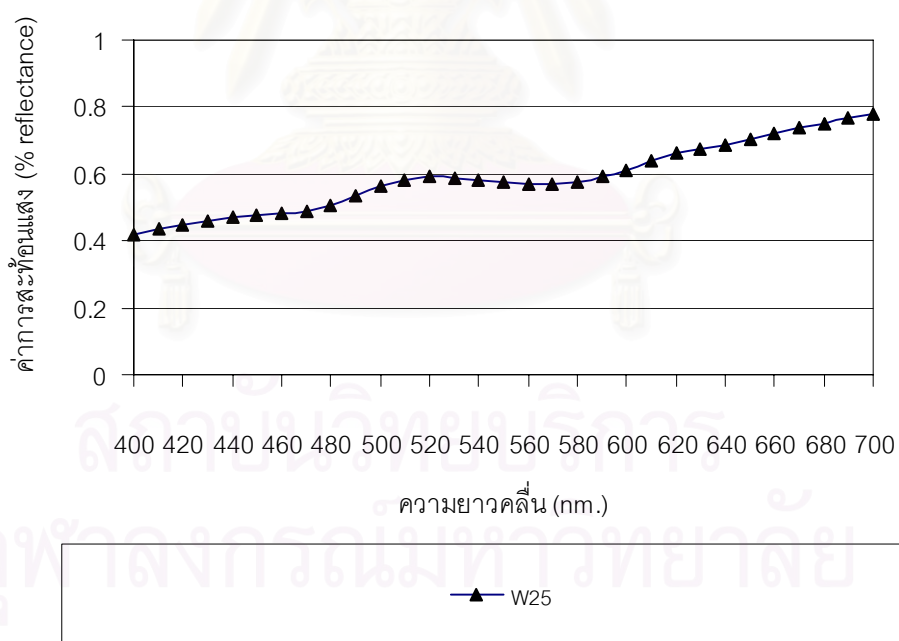
รูปที่ ก-37 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการวัด ที่มีค่า  $L^*$  9.01-95.00



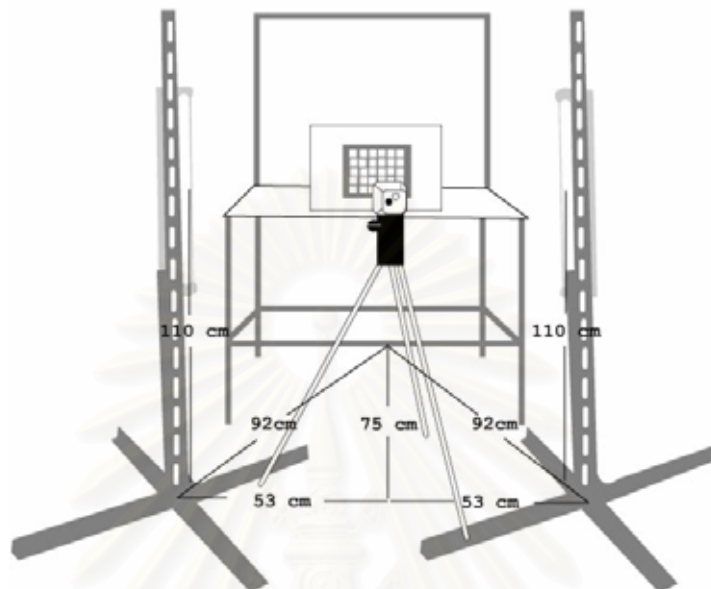
รูปที่ ก-38 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า  $L^*$  90.01-95.00



รูปที่ ก-39 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการวัด ที่มีค่า  $L^*$  95.01-100.00



รูปที่ ก-40 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า  $L^*$  95.01-100.00



รูปที่ ก-41 ระยะในการบันทึกภาพ

- ระยะห่างระหว่างภาพกับกล้องวิดีโอดิจิทัล = 75 ซม.
- ระยะห่างระหว่างภาพกับแหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ (F11) = 92 ซม.
- ระยะห่างระหว่างกล้องดิจิทัลวิดีโอกับแหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ (F11) = 53 ซม.
- ความสูงจากพื้นถึงกึ่งกลางอุปกรณ์ (ภาพ กล้องดิจิทัลวิดีโอ และแหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ (F11)) = 110 ซม.
- ความส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ (F11) = 440 ลักซ์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ภาคผนวก ข**  
ข้อมูลการทำ PCA

ตารางที่ ข-1 ค่า Eigenvalue, Proportion, Cumulative และ PC\_weight ของแต่ละองค์ประกอบ

	การวิเคราะห์จำนวนองค์ประกอบของ Covariance Matrix					
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Eigenvalue	1.353	0.447	0.160	0.033	0.014	0.006
Proportion	0.669	0.221	0.079	0.016	0.007	0.003
Cumulative	0.669	0.890	0.970	0.986	0.993	0.995
Variable	PC_weight					
400	-0.104	0.135	-0.206	-0.177	0.136	-0.296
410	-0.104	0.146	-0.226	-0.170	0.147	-0.274
420	-0.103	0.158	-0.242	-0.156	0.156	-0.200
430	-0.102	0.172	-0.251	-0.139	0.132	-0.114
440	-0.100	0.186	-0.249	-0.119	0.073	-0.016
450	-0.100	0.197	-0.238	-0.097	0.006	0.062
460	-0.100	0.207	-0.222	-0.072	-0.054	0.116
470	-0.101	0.215	-0.195	-0.035	-0.122	0.151
480	-0.103	0.226	-0.148	0.047	-0.208	0.165
490	-0.106	0.241	-0.092	0.167	-0.271	0.203
500	-0.114	0.248	-0.022	0.245	-0.252	0.138
510	-0.125	0.252	0.071	0.297	-0.167	0.013
520	-0.137	0.244	0.164	0.305	-0.026	-0.099
530	-0.152	0.217	0.229	0.237	0.110	-0.157
540	-0.166	0.184	0.265	0.126	0.199	-0.157
550	-0.177	0.155	0.273	0.014	0.230	-0.103
560	-0.187	0.122	0.263	-0.094	0.205	-0.018
570	-0.198	0.087	0.250	-0.198	0.144	0.075
580	-0.208	0.048	0.225	-0.295	0.042	0.176
590	-0.218	-0.001	0.181	-0.354	-0.100	0.223
600	-0.225	-0.058	0.121	-0.309	-0.226	0.153
610	-0.231	-0.115	0.060	-0.181	-0.280	-0.007
620	-0.235	-0.157	0.014	-0.048	-0.268	-0.155
630	-0.236	-0.181	-0.016	0.041	-0.223	-0.234
640	-0.236	-0.192	-0.041	0.088	-0.164	-0.250
650	-0.236	-0.196	-0.066	0.110	-0.095	-0.212
660	-0.236	-0.196	-0.091	0.123	-0.007	-0.129
670	-0.236	-0.191	-0.113	0.134	0.095	-0.013
680	-0.235	-0.186	-0.129	0.145	0.191	0.121
690	-0.233	-0.179	-0.141	0.158	0.273	0.272
700	-0.230	-0.169	-0.149	0.175	0.317	0.430

## ภาคผนวก ค

ข้อมูลจากการทำวิธี Wiener estimation

ตารางที่ ค-1 ค่าเฉลี่ย  $\Delta E^*_{ab}$  ที่ได้ในแต่ละลำดับชุด ซึ่งมีทั้งหมด 126 ลำดับชุด

ลำดับ	ลำดับของแผ่นกรองแรง					mean( $\Delta E^*_{a'b'}$ )		ลำดับ	ลำดับของแผ่นกรองแรง					mean( $\Delta E^*_{a'b'}$ )
	แผ่น 1	แผ่น 2	แผ่น 3	แผ่น 4	แผ่น 5				แผ่น 1	แผ่น 2	แผ่น 3	แผ่น 4	แผ่น 5	
1	1	2	3	4	5	18.96		64	1	4	6	8	9	20.18
2	1	2	3	4	6	20.00		65	1	4	7	8	9	16.95
3	1	2	3	4	7	19.61		66	1	5	6	7	8	18.58
4	1	2	3	4	8	17.33		67	1	5	6	7	9	18.92
5	1	2	3	4	9	17.93		68	1	5	6	8	9	28.10
6	1	2	3	5	6	19.44		69	1	5	7	8	9	19.16
7	1	2	3	5	7	18.93		70	1	6	7	8	9	18.50
8	1	2	3	5	8	17.40		71	2	3	4	5	6	19.90
9	1	2	3	5	9	17.97		72	2	3	4	5	7	19.01
10	1	2	3	6	7	20.54		73	2	3	4	5	8	18.18
11	1	2	3	6	8	18.49		74	2	3	4	5	9	18.67
12	1	2	3	6	9	19.28		75	2	3	4	6	7	20.27
13	1	2	3	7	8	17.46		76	2	3	4	6	8	18.61
14	1	2	3	7	9	18.62		77	2	3	4	6	9	19.29
15	1	2	3	8	9	17.94		78	2	3	4	7	8	17.73
16	1	2	4	5	6	19.73		79	2	3	4	7	9	18.25
17	1	2	4	5	7	18.71		80	2	3	4	8	9	17.78
18	1	2	4	5	8	17.61		81	2	3	5	6	7	19.42
19	1	2	4	5	9	18.19		82	2	3	5	6	8	18.27
20	1	2	4	6	7	20.17		83	2	3	5	6	9	19.05
21	1	2	4	6	8	19.05		84	2	3	5	7	8	17.52
22	1	2	4	6	9	19.72		85	2	3	5	7	9	18.07
23	1	2	4	7	8	17.17		86	2	3	5	8	9	17.64
24	1	2	4	7	9	18.16		87	2	3	6	7	8	17.89
25	1	2	4	8	9	18.66		88	2	3	6	7	9	18.66
26	1	2	5	6	7	19.84		89	2	3	6	8	9	19.22
27	1	2	5	6	8	22.63		90	2	3	7	8	9	17.44
28	1	2	5	6	9	22.89		91	2	4	5	6	7	19.35
29	1	2	5	7	8	19.30		92	2	4	5	6	8	18.63
30	1	2	5	7	9	19.64		93	2	4	5	6	9	19.30
31	1	2	5	8	9	23.10		94	2	4	5	7	8	17.45
32	1	2	6	7	8	19.73		95	2	4	5	7	9	18.03
33	1	2	6	7	9	20.50		96	2	4	5	8	9	18.01
34	1	2	6	8	9	25.09		97	2	4	6	7	8	18.07
35	1	2	7	8	9	19.97		98	2	4	6	7	9	18.75
36	1	3	4	5	6	19.62		99	2	4	6	8	9	20.67
37	1	3	4	5	7	18.83		100	2	4	7	8	9	17.70
38	1	3	4	5	8	17.70		101	2	5	6	7	8	18.78
39	1	3	4	5	9	18.26		102	2	5	6	7	9	19.31
40	1	3	4	6	7	20.04		103	2	5	6	8	9	27.30
41	1	3	4	6	8	17.83		104	2	5	7	8	9	19.70
42	1	3	4	6	9	18.60		105	2	6	7	8	9	18.44
43	1	3	4	7	8	17.18		106	3	4	5	6	7	20.30
44	1	3	4	7	9	17.76		107	3	4	5	6	8	20.54
45	1	3	4	8	9	17.28		108	3	4	5	6	9	21.11
46	1	3	5	6	7	19.21		109	3	4	5	7	8	25.63
47	1	3	5	6	8	17.80		110	3	4	5	7	9	25.93
48	1	3	5	6	9	18.50		111	3	4	5	8	9	25.44
49	1	3	5	7	8	17.10		112	3	4	6	7	8	19.87
50	1	3	5	7	9	17.66		113	3	4	6	7	9	20.26
51	1	3	5	8	9	17.19		114	3	4	6	8	9	20.25
52	1	3	6	7	8	17.38		115	3	4	7	8	9	26.30
53	1	3	6	7	9	18.21		116	3	5	6	7	8	19.99
54	1	3	6	8	9	18.53		117	3	5	6	7	9	20.42
55	1	3	7	8	9	16.89		118	3	5	6	8	9	20.13
56	1	4	5	6	7	19.16		119	3	5	7	8	9	26.10
57	1	4	5	6	8	18.07		120	3	6	7	8	9	19.46
58	1	4	5	6	9	18.77		121	4	5	6	7	8	19.66
59	1	4	5	7	8	16.97		122	4	5	6	7	9	20.16
60	1	4	5	7	9	17.57		123	4	5	6	8	9	20.11
61	1	4	5	8	9	17.52		124	4	5	7	8	9	25.43
62	1	4	6	7	8	17.49		125	4	6	7	8	9	19.39
63	1	4	6	7	9	18.22		126	5	6	7	8	9	19.74

โดยที่ แผ่นที่ 1 คือ BPB42      แผ่นที่ 2 คือ PBP45      แผ่นที่ 3 คือ BPB50  
 แผ่นที่ 4 คือ BPB53      แผ่นที่ 5 คือ PBP60      แผ่นที่ 6 คือ BPN45  
 แผ่นที่ 7 คือ PBN50      แผ่นที่ 8 คือ SC64      แผ่นที่ 9 คือ SC66

การคำนวณหาลำดับชุดของแผ่นกรองแสงที่ให้ค่า  $\Delta E^*$  น้อยที่สุด โดยเขียนด้วยโปรแกรม MATLAB

```
V=xlsread('d:\eiang\pixel\pixel_176');      %%% ดึงค่าพิกเซลทั้ง 176 สีที่บันทึกผ่าน
                                           แผ่นกรองแสงทั้ง 9 แผ่นจาก excel
nk=nchoosek([1:9],5);      %%% สลับลำดับชุดในการเลือกแผ่นกรองแสงจาก 9 แผ่นเลือกเพียง
                           5 แผ่น
TR=xlsread('d:\eiang\R\R_176');      %%% ดึงค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการวัดของ Training
                                           Set 176 สี
R=TR';      %%% Transpose R
Wx=xlsread('d:\eiang\wieght\D50_x_cal');      %%% ค่า Weight ของแหล่งกำเนิดแสง D50
Wy=xlsread('d:\eiang\wieght\D50_y_cal');      %%% ค่า Weight ของแหล่งกำเนิดแสง D50
Wz=xlsread('d:\eiang\wieght\D50_z_cal');      %%% ค่า Weight ของแหล่งกำเนิดแสง D50
for i=1:176;
Re_Wx(i,:)=Wx';      %%% ปรับให้เป็นขนาดเมทริกซ์ของ Wx ให้เป็น 176 หลัก
Re_Wy(i,:)=Wy';      %%% ปรับให้เป็นขนาดเมทริกซ์ของ Wy ให้เป็น 176 หลัก
Re_Wz(i,:)=Wz';      %%% ปรับให้เป็นขนาดเมทริกซ์ของ Wz ให้เป็น 176 หลัก
end
k=100./sum(Re_Wy');      %%% คำนวณค่า k เพื่อไปใช้ในสมการ XYZ
x_R=k.*sum(R.*Re_Wx');      %%% ค่า X ที่คำนวณจากค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการวัด
y_R=k.*sum(R.*Re_Wy');      %%% ค่า Y ที่คำนวณจากค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการวัด
z_R=k.*sum(R.*Re_Wz');      %%% ค่า Z ที่คำนวณจากค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการวัด
x_R=x_R';Transpose
y_R=y_R';Transpose
z_R=z_R';Transpose
```



```

for j=[1:126]          %%% ลำดับชุดในการหาค่า  $\Delta E^*_{ab}$ 
    v=V(:,nk(j,:));    %%% แสดงค่าพิกเซลของ 176 สีในแต่ละลำดับของ 126 ลำดับ
    O=((R*v)*(pinv(v'*v))*v';    %%% ประมาณค่าการสะท้อนแสง
    a=(O(:,<0);        %%% ค้นหาตำแหน่งที่มีค่าน้อยกว่า 0
    O(a)=0;           %%% ทำตัวแปร a ให้เป็น 0
    Oes(:,j)=O(:,j);    %%%  $O_{est}$  ทั้งหมด 126 ลำดับชุด
    x_O(j,:)=k.*sum(Oes(:,j).*Re_Wx'); %%% ค่า X ที่คำนวณจาก  $O_{est}$  126 ลำดับชุด
    y_O(j,:)=k.*sum(Oes(:,j).*Re_Wy'); %%% ค่า Y ที่คำนวณจาก  $O_{est}$  126 ลำดับชุด
    z_O(j,:)=k.*sum(Oes(:,j).*Re_Wz'); %%% ค่า Z ที่คำนวณจาก  $O_{est}$  126 ลำดับชุด
end

x_O=x_O';
y_O=y_O';
z_O=z_O';

for j=1:126          %%% 126 ลำดับชุดของแผ่นกรองแสง
    X(:,j)=[x_O(:,j),y_O(:,j),z_O(:,j)]; %%% เมทริกซ์ของค่า XYZ ที่ได้จาก  $O_{est}$  ทั้ง 126
                                                ลำดับชุด ขนาด (176*3*126)
    W=xlsread('d:\eiang\xyz\Wxyz_A_cal'); %%% ค่า White point ของแหล่งกำเนิดแสง
    A=size(X(:,j)); %%% A เท่ากับขนาดของ X
    amount=A(1); %%% ค่าของเมทริกซ์ A ในหลักที่ 1 มีค่าเท่ากับ 176
    fX(:,j)=zeros(amount,1); %%% สร้างเมทริกซ์เพื่อเก็บค่า fX สำหรับ 176 สีในแต่ละลำดับ
                                                และเป็นมีค่าเป็น 0 ในทุก ๆ ตำแหน่ง
    fY(:,j)=zeros(amount,1); %%% สร้างเมทริกซ์เพื่อเก็บค่า fY สำหรับ 176 สีในแต่ละลำดับ
                                                และมีค่าเป็น 0 ในทุก ๆ ตำแหน่ง
    fZ(:,j)=zeros(amount,1); %%% สร้างเมทริกซ์เพื่อเก็บค่า fZ สำหรับ 176 สีในแต่ละลำดับ
                                                และมีค่าเป็น 0 ในทุก ๆ ตำแหน่ง
    for i=1:amount %%% เงื่อนไขการกระทำในแต่ละ i ตั้งแต่ 1-176
        if XYZ(i,1,j)/W(1) > 0.008856 %%% ถ้า XYZ ในหลักที่ 1 (ค่า X) ในแต่ละตำแหน่ง
                                                    ของ i (176) และ j (126) > 0.008856 ทำตาม

```

```

                                เงื่อนไขด้านล่าง
    fX(i,j)=(XYZ(i,1,j).W(1))^(1/3);   %%% คือ หารด้วยค่า Weight ของแหล่งกำเนิดแสงใน
                                        หลักที่ 1 ค่า Wx แล้วยกกำลัง 1/3
else                                     %%% ถ้าไม่ ทำตามเงื่อนไขด้านล่าง
    fX(i,j)=7.787.*(XYZ(i,1,j).W(1))+16./116;
end

if XYZ(i,2,j)/W(2) > 0.008856 %%% ถ้า XYZ ในหลักที่ 2 (ค่า Y) ในแต่ละตำแหน่งของ i
                                (176) และ j (126) > 0.008856 ทำตามเงื่อนไข
                                ด้านล่าง
    fY(i,j)=(XYZ(i,2,j).W(2))^(1/3);   %%% คือ หารด้วยค่า Weight ของแหล่งกำเนิดแสงใน
                                        หลักที่ 2 ค่า Wy แล้วยกกำลัง 1/3
else %%% ถ้าไม่ ทำตามเงื่อนไขด้านล่าง
    fY(i,j)=7.787.*(XYZ(i,2,j).W(2))+16./116;
end

if XYZ(i,3,j)/W(3) > 0.008856 %%% ถ้า XYZ ในหลักที่ 3 (ค่า Z) ในแต่ละตำแหน่งของ i
                                (176) และ j (126) > 0.008856 ทำตามเงื่อนไข
                                ด้านล่าง
    fZ(i,j)=(XYZ(i,3,j).W(3))^(1/3); %%% คือ หารด้วยค่า Weight ของแหล่งกำเนิดแสงใน
                                        หลักที่3 ค่า Wz แล้วยกกำลัง 1/3
else %%% ถ้าไม่ ทำตามเงื่อนไขด้านล่าง
    fZ(i,j)=7.787.*(X(i,3,j).W(3))+16./116;
end
end

L_O(i,j)=116.*fY(i,j)-16;           %%% คำนวณค่า L* ที่ได้จากค่า Oest
a_O(i,j)=500.*(fX(i,j)-fY(i,j));   %%% คำนวณค่า a* ที่ได้จากค่า Oest
b_O(i,j)=200.*(fY(i,j)-fZ(i,j));   %%% คำนวณค่า b* ที่ได้จากค่า Oest
end

```



การหา RMS ของ Training set ในแต่ละลำดับชุดของแผ่นกรองแสง

```

V=xlsread('d:\eiang\pixel\pixel176');    %%% ดึงค่าพิกเซลทั้ง 176 สีจากการบันทึกด้วย
                                           %%% แผ่นกรองแสงทั้ง 9 แผ่นจาก excel
nk=nchoosek([1:9],5);                    %%% สลับลำดับชุดในการเลือกแผ่นจากกรองจาก
                                           %%% 9 แผ่นเลือกเพียง 5 แผ่น

TR=xlsread('d:\eiang\R\R176');    %%% ดึงค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการวัดของ Training
                                           %%% set
R=TR';                                  %%% Transpose ค่า R เพื่อให้สำหรับการคูณในสมการ

for j=[1:126]                            %%% ผลจากการสลับลำดับชุด (9 เลือก 5) ได้ 126 ลำดับ
    v=V(:,nk(j,:));                      %%% แสดงค่าพิกเซลของ 176 สีในแต่ละลำดับชุด
    O=((R*v)*(pinv(v*v))*v)';            %%% คำนวณหาค่าการสะท้อนของ 176 สีในแต่ละลำดับชุด
    a=(O(:,.)<0);                         %%% ค้นหาตำแหน่งที่มีค่าน้อยกว่า 0
    O(a)=0;                               %%% ทำตัวแปร a ให้เป็น 0
    Oes(:,j)=O(:,.);                     %%% คำนวณหาค่าการสะท้อนของ 176 สีทั้ง 126 ลำดับชุด
    e=(R-O);                             %%% หาความแตกต่างระหว่างค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการ
                                           %%% วัดกับค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการคำนวณ

    for i=[1:176]
        N(i,j)=norm(e(:,i))/sqrt(31);    %%% หาค่า RMS ในแต่ละสี
    end
    X=(mean(N));                          %%% หาค่าเฉลี่ยในของ RMS ในแต่ละลำดับชุด
    A_rms(j,:)=j X(j);                    %%% ใส่ตัวเลข 1-126 ในหลักที่ 1
end
A=sortrows(A_rms,2);                      %%% เรียงจากค่าน้อยไปมากในหลักที่ 2

L=N(:,55);                               %%% ลำดับที่ RMS น้อยที่สุดคือ ลำดับที่ 55
for i=[1:176]

```

```

H(i,:)= [i L(i)];          %%% เรียงลำดับใน 176 สี
End
M=sortrows(H,2);          %%% เรียงค่าจากน้อยไปมาก

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

การแสดงผลข้อมูลในแต่ละพิกเซลของภาพ เพื่อแสดงภาพบนแอลซีดี

```

[filename, pathname]=uigetfile('*. *','Anyfile');filename =[pathname filename];
img1=imread(filename);
[imp1,map1]=imread(filename);
E=double(img1);
p1=E(:,1);
[filename, pathname]=uigetfile('*. *','Anyfile');filename =[pathname filename];
img1=imread(filename);
[imp1,map1]=imread(filename);
E=double(img1);
p2=E(:,1);
[filename, pathname]=uigetfile('*. *','Anyfile');filename =[pathname filename];
img1=imread(filename);
[imp1,map1]=imread(filename);
E=double(img1);
p3=E(:,1);
[filename, pathname]=uigetfile('*. *','Anyfile');filename =[pathname filename];
img1=imread(filename);
[imp1,map1]=imread(filename);
E=double(img1);
p4=E(:,1);
[filename, pathname]=uigetfile('*. *','Anyfile');filename =[pathname filename];
img1=imread(filename);

```

```

[imp1,map1]=imread(filename);
E=double(img1);

p5=E(:,1);      %%% เป็นการดึงแฟ้มภาพที่เลือกบันทึกด้วยแผ่นกรองแสงทั้ง 5 แผ่น โดย
                %%% เลือกเก็บค่าพิกเซลที่ channel R (เป็นภาพขาวดำ R=G=B)

B(:,1)=p1;
B(:,2)= p2;
B(:,3)= p3;
B(:,4)= p4;
B(:,5)= p5;      %%% ทำจาก 2 มิติ เป็น 3 มิติ คือ จากแต่ละ Channel ที่มีขนาด
                %%% 480X640X1 ไปเป็น 5 channel คือ มีขนาด 480X640X5

Oest=xlsread('g:\O\O176_55_5ch');
Oest=Oest';
v=xlsread('g:\pixel\5');
v=v';
G=Oest./v;%31*5 %%% หาเมทริกซ์ G จากความสัมพันธ์ของสมการ Wiener estimation

for i = 1:480 ขนาดแถวของภาพ
    for j = 1:640 ขนาดหลักของภาพ
        for k = 1:5 จำนวน Channel
            y(k,1) = B(i,j,k); %%% ได้ค่าพิกเซล (5 channel) ในแต่ละจุดของภาพ
            OO = G*y; %%% นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าการสะท้อนแสงจากเมทริกซ์ G
                    %%% และเก็บไว้ในตัวแปร OO
            for z = 1:31;
                O(i,j,z) = OO(z); %%% นำค่าการสะท้อนในแต่ละจุดของภาพมาเรียงในรูปแบบ
                    %%% ของ O ที่มีขนาด 640X480X31
            end
        end
    end
end

```

```

end
clear y*          %%% กำจัดตัวแปร y
end
end

Wx = xlsread('g:\wiegth\FLR_x');
Wy = xlsread('g:\wiegth\FLR_y');
Wz = xlsread('g:\wiegth\FLR_z');      %%% ดึงค่าข้อมูลจากแฟ้ม excel

for ii=1:480;
for jj=1:640;
Re= O(ii,jj,:);      %%% ค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการคำนวณในแต่ละตำแหน่งของ
                    ภาพ (i,j)
a=(Re(:, :, :)<0);    %%% เลือกค่าที่น้อยกว่า 0 ในตัวแปร Re
Re(a)=0;             %%% ทำค่าเหล่านั้นให้เป็น 0
R = Re (1,1:31);     %%% ปรับขนาดของเมทริกซ์ที่ได้เป็น (1X31)
k=100./sum(Wy);      %%% คำนวณหาค่า k เพื่อใช้ในการหาค่า XYZ
Rx = Wx.*R';         %%% คำนวณหาค่า Rx เก็บไว้ สำหรับการแปลงค่าเป็น XYZ
Ry = Wy.*R';         %%% คำนวณหาค่า Ry เก็บไว้ สำหรับการแปลงค่าเป็น XYZ
Rz = Wz.*R';         %%% คำนวณหาค่า Rz เก็บไว้ สำหรับการแปลงค่าเป็น XYZ

x(ii,jj) = k.*(sum(Rx));      %%% คำนวณหาค่า X ในแต่ละพิกเซลของภาพ
y(ii,jj) = k.*(sum(Ry));      %%% คำนวณหาค่า Y ในแต่ละพิกเซลของภาพ
z(ii,jj) = k.*(sum(Rz));      %%% คำนวณหาค่า Z ในแต่ละพิกเซลของภาพ
end
end

Re_x=reshape(x,307200,1); %%% ปรับค่าแถวและหลักจากขนาด 640X480 เป็น 307200X1

```







ตารางที่ ค-2 G ที่ได้จากวิธี Wiener estimation

0.001173	-1.44E-03	0.001616	0.001425	-0.00148
0.001308	-1.56E-03	0.001708	0.001124	-0.00114
0.001417	-0.00167	0.001814	0.000665	-0.0006
0.001487	-0.00175	0.001945	0.000268	-0.00017
0.001488	-0.00181	2.12E-03	-1.60E-05	9.90E-05
0.001414	-0.00184	2.30E-03	-0.00013	0.000165
0.001285	-1.87E-03	0.002512	-0.00013	0.000118
0.001022	-1.90E-03	0.002831	4.73E-05	-0.00012
0.000468	-0.00195	0.003439	0.000318	-0.00039
-0.00027	-0.00207	0.004314	0.000397	-0.00033
-0.00096	-0.00196	0.004867	0.000632	-0.00047
-0.00156	-0.00146	0.005014	0.000725	-0.00052
-0.002	-0.0007	0.004688	0.000842	-0.00061
-0.00226	-5.21E-05	0.004121	1.47E-03	-0.00123
-0.00232	0.000411	0.003505	0.002188	-0.0019
-0.00227	0.000636	0.00302	0.002797	-0.00244
-0.00214	0.000713	0.00259	0.003425	-0.00296
-0.002	0.000799	0.002133	0.004045	-0.00342
-0.00177	0.00097	0.001522	0.004552	-0.00375
-0.0015	0.001048	0.000902	0.005199	-0.00409
-0.00132	0.000764	0.000585	0.005948	-0.00432
-0.00124	0.000287	0.000505	0.006726	-0.00446
-0.00121	-0.00013	0.000523	0.007265	-0.00445
-0.00119	-0.00039	5.53E-04	0.007477	-0.0043
-0.00114	-0.00056	0.000569	0.007462	-0.00404
-0.00107	-0.0007	0.000595	0.0073	-0.00367
-0.00101	-0.00081	0.000641	0.006993	-0.00315
-0.00095	-0.00088	0.000693	0.006509	-0.00244
-0.00091	-0.00092	0.000738	0.005915	-0.0016
-0.00084	-0.00096	0.000779	0.005208	-0.00066
-0.00075	-0.001	0.000837	0.004419	0.000338

ตารางที่ ค-3  $\Delta E^*_{ab}$  ของ Training set แต่ละสี ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11 โดยใช้แผ่นกรองแสง 5 แผ่นที่ได้จากการวิเคราะห์เลือก

สีที่	$\Delta E^*_{ab}$	สีที่	$\Delta E^*_{ab}$	สีที่	$\Delta E^*_{ab}$
1	38.924	31	11.376	61	23.761
2	13.598	32	10.424	62	34.896
3	32.312	33	9.3475	63	14.797
4	17.016	34	16.787	64	19.495
5	22.541	35	20.361	65	25.65
6	20.078	36	19.655	66	24.558
7	23.551	37	16.858	67	13.494
8	22.080	38	11.563	68	13.648
9	21.286	39	16.202	69	24.099
10	16.612	40	12.096	70	18.611
11	19.283	41	18.142	71	24.503
12	44.797	42	25.706	72	11.452
13	50.795	43	17.660	73	12.522
14	21.63	44	17.204	74	12.878
15	21.793	45	23.026	75	17.141
16	43.501	46	12.051	76	14.589
17	51.439	47	16.832	77	15.794
18	33.360	48	21.424	78	14.522
19	17.382	49	9.926	79	20.337
20	9.340	50	13.347	80	10.75
21	19.067	51	14.662	81	8.304
22	13.960	52	7.480	82	10.341
23	21.675	53	14.875	83	15.898
24	19.166	54	9.383	84	15.881
25	28.616	55	9.393	85	11.892
26	39.434	56	9.913	86	22.545
27	21.448	57	9.145	87	24.136
28	17.624	58	12.459	88	15.335
29	10.090	59	12.660	89	15.379
30	12.200	60	3.776	90	9.2624

ตารางที่ ค-3 (ต่อ)  $\Delta E^*_{ab}$  ของ Training set แต่ละสี ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11 โดยใช้แผ่นกรองแสง 5 แผ่นที่ได้จากการวิเคราะห์เลือก

สีที่	$\Delta E^*_{ab}$	สีที่	$\Delta E^*_{ab}$	สีที่	$\Delta E^*_{ab}$
91	8.7339	121	10.424	151	8.1674
92	12.872	122	9.3475	152	4.9365
93	13.499	123	16.787	153	2.2833
94	16.848	124	20.361	154	4.404
95	11.747	125	19.655	155	5.7385
96	6.9191	126	16.858	156	7.5739
97	8.7469	127	11.563	157	6.5514
98	8.3369	128	16.202	158	4.7199
99	13.143	129	12.096	159	7.1425
100	16.35	130	18.142	160	6.3849
101	9.506	131	25.706	161	6.2916
102	15.024	132	17.66	162	6.9711
103	15.113	133	17.204	163	24.534
104	31.071	134	23.026	164	24.741
105	37.772	135	12.051	165	21.607
106	26.904	136	16.832	166	30.375
107	43.936	137	21.424	167	14.743
108	39.035	138	9.9263	168	20.577
109	12.574	139	13.347	169	20.864
110	10.882	140	14.662	170	20.701
111	11.475	141	7.48	171	20.634
112	10.77	142	14.875	172	12.869
113	10.119	143	9.3827	173	13.743
114	18.794	144	9.3928	174	11.469
115	7.8087	145	9.9128	175	16.497
116	8.1086	146	9.1448	176	16.888
117	7.9873	147	12.459		
118	11.387	148	12.66		
119	15.876	149	3.7762		
120	11.376	150	11.479		

ตารางที่ ค-4  $\Delta E^*_{ab}$  ของ Training set แต่ละสี ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11 โดยใช้แผ่นกรองแสง 6 แผ่นที่ได้ทำการวิเคราะห์เพิ่ม

สีที่	$\Delta E^*_{ab}$		สีที่	$\Delta E^*_{ab}$		สีที่	$\Delta E^*_{ab}$
1	41.663		31	9.189		61	25.617
2	23.047		32	13.230		62	43.422
3	35.609		33	17.169		63	14.639
4	15.045		34	41.801		64	19.781
5	21.521		35	12.554		65	27.012
6	19.143		36	3.4668		66	24.379
7	21.992		37	3.415		67	13.863
8	20.725		38	4.988		68	13.893
9	21.167		39	8.376		69	24.667
10	16.963		40	6.117		70	18.276
11	19.636		41	7.819		71	23.118
12	39.801		42	8.906		72	11.118
13	43.139		43	16.619		73	11.907
14	20.304		44	21.942		74	12.291
15	18.206		45	22.300		75	16.534
16	35.168		46	22.781		76	14.839
17	51.345		47	20.277		77	15.221
18	32.618		48	16.732		78	15.691
19	17.967		49	15.914		79	17.915
20	11.310		50	14.209		80	11.158
21	19.641		51	21.951		81	8.991
22	13.81		52	13.191		82	11.403
23	21.153		53	14.743		83	17.343
24	20.195		54	8.3995		84	16.101
25	29.290		55	10.807		85	13.870
26	45.255		56	7.901		86	21.824
27	21.289		57	11.285		87	20.949
28	18.303		58	20.205		88	15.739
29	10.655		59	14.437		89	15.050
30	12.672		60	21.804		90	10.256

ตารางที่ ค-4 (ต่อ)  $\Delta E^*_{ab}$  ของ Training set แต่ละสี ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11 โดยใช้แผ่นกรองแสง 6 แผ่นที่ได้ทำการวิเคราะห์เพิ่ม

สีที่	$\Delta E^*_{ab}$	สีที่	$\Delta E^*_{ab}$	สีที่	$\Delta E^*_{ab}$
91	8.929	121	9.738	151	7.267
92	12.714	122	8.568	152	5.954
93	13.510	123	17.123	153	3.360
94	15.532	124	21.549	154	4.733
95	11.876	125	18.697	155	5.705
96	6.025	126	16.318	156	7.993
97	7.9814	127	11.165	157	6.027
98	8.164	128	14.957	158	5.687
99	11.417	129	11.211	159	6.364
100	15.328	130	17.141	160	6.453
101	8.159	131	31.200	161	6.856
102	13.676	132	17.645	162	7.591
103	15.594	133	16.636	163	19.812
104	30.649	134	25.603	164	20.280
105	36.838	135	14.668	165	22.598
106	27.537	136	16.728	166	34.462
107	42.608	137	21.228	167	15.048
108	37.906	138	11.135	168	19.538
109	11.920	139	13.369	169	20.096
110	10.757	140	14.199	170	20.095
111	11.375	141	7.7849	171	20.537
112	10.718	142	14.343	172	13.241
113	9.185	143	9.635	173	12.879
114	23.074	144	10.059	174	10.977
115	7.838	145	10.072	175	15.210
116	8.647	146	13.853	176	17.112
117	7.973	147	9.683		
118	11.560	148	10.573		
119	16.153	149	3.363		
120	12.057	150	9.247		

ตารางที่ ค-5 RMS ของ Training set แต่ละสี ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11 โดยใช้แผ่นกรองแสง 5 แผ่นที่ได้จากการวิเคราะห์เลือก

สีที่	RMS	สีที่	RMS	สีที่	RMS
1	0.105	31	0.090	61	0.053
2	0.106	32	0.042	62	0.055
3	0.049	33	0.084	63	0.126
4	0.063	34	0.075	64	0.068
5	0.111	35	0.023	65	0.106
6	0.136	36	0.018	66	0.120
7	0.091	37	0.029	67	0.077
8	0.125	38	0.037	68	0.072
9	0.159	39	0.061	69	0.156
10	0.128	40	0.036	70	0.128
11	0.142	41	0.043	71	0.129
12	0.086	42	0.051	72	0.063
13	0.106	43	0.248	73	0.077
14	0.026	44	0.199	74	0.094
15	0.026	45	0.186	75	0.152
16	0.039	46	0.121	76	0.080
17	0.075	47	0.132	77	0.069
18	0.163	48	0.127	78	0.089
19	0.110	49	0.094	79	0.075
20	0.108	50	0.092	80	0.064
21	0.105	51	0.161	81	0.050
22	0.037	52	0.116	82	0.073
23	0.070	53	0.133	83	0.102
24	0.168	54	0.076	84	0.082
25	0.172	55	0.091	85	0.079
26	0.044	56	0.071	86	0.080
27	0.034	57	0.103	87	0.073
28	0.036	58	0.122	88	0.093
29	0.030	59	0.074	89	0.070
30	0.054	60	0.057	90	0.085

ตารางที่ ค-5 (ต่อ) RMS ของ Training set แต่ละสี ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11 โดยใช้  
กรองแสง 5 แผ่นที่ได้จากการวิเคราะห์เลือก

สีที่	RMS	สีที่	RMS	สีที่	RMS
91	0.046	121	0.048	151	0.056
92	0.073	122	0.043	152	0.080
93	0.070	123	0.175	153	0.048
94	0.066	124	0.153	154	0.035
95	0.049	125	0.086	155	0.041
96	0.041	126	0.059	156	0.037
97	0.059	127	0.055	157	0.017
98	0.036	128	0.050	158	0.016
99	0.053	129	0.073	159	0.033
100	0.092	130	0.149	160	0.029
101	0.042	131	0.071	161	0.023
102	0.085	132	0.066	162	0.025
103	0.213	133	0.116	163	0.099
104	0.098	134	0.080	164	0.095
105	0.108	135	0.053	165	0.114
106	0.117	136	0.055	166	0.112
107	0.182	137	0.211	167	0.094
108	0.123	138	0.068	168	0.140
109	0.063	139	0.144	169	0.161
110	0.096	140	0.127	170	0.166
111	0.038	141	0.048	171	0.178
112	0.074	142	0.117	172	0.129
113	0.100	143	0.155	173	0.100
114	0.125	144	0.113	174	0.119
115	0.067	145	0.061	175	0.138
116	0.095	146	0.058	176	0.305
117	0.076	147	0.070		
118	0.136	148	0.058		
119	0.244	149	0.022		
120	0.076	150	0.064		



ตารางที่ ค-6 RMS ของ Training set แต่ละสี ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11 โดยใช้แผ่นกรองแสง 6 แผ่นที่ได้ทำการวิเคราะห์เพิ่ม

สีที่	RMS	สีที่	RMS	สีที่	RMS
1	0.113	31	0.080	61	0.059
2	0.104	32	0.041	62	0.059
3	0.044	33	0.076	63	0.117
4	0.059	34	0.069	64	0.068
5	0.102	35	0.023	65	0.109
6	0.132	36	0.020	66	0.115
7	0.084	37	0.030	67	0.078
8	0.114	38	0.038	68	0.072
9	0.160	39	0.061	69	0.156
10	0.127	40	0.037	70	0.125
11	0.144	41	0.043	71	0.125
12	0.092	42	0.049	72	0.060
13	0.110	43	0.249	73	0.072
14	0.028	44	0.196	74	0.090
15	0.026	45	0.185	75	0.148
16	0.038	46	0.117	76	0.081
17	0.067	47	0.133	77	0.069
18	0.165	48	0.126	78	0.092
19	0.121	49	0.090	79	0.075
20	0.115	50	0.088	80	0.061
21	0.115	51	0.152	81	0.052
22	0.038	52	0.106	82	0.071
23	0.078	53	0.131	83	0.103
24	0.177	54	0.066	84	0.085
25	0.180	55	0.084	85	0.082
26	0.058	56	0.063	86	0.079
27	0.041	57	0.101	87	0.073
28	0.043	58	0.122	88	0.095
29	0.033	59	0.061	89	0.070
30	0.058	60	0.056	90	0.083

ตารางที่ ค-6 (ต่อ) RMS ของ Training set แต่ละสี ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11 โดยใช้  
แผ่นกรองแสง 6 แผ่นที่ได้ทำการวิเคราะห์เพิ่ม

สีที่	RMS	สีที่	RMS	สีที่	RMS
91	0.047	121	0.047	151	0.059
92	0.073	122	0.041	152	0.077
93	0.069	123	0.178	153	0.046
94	0.062	124	0.158	154	0.037
95	0.048	125	0.088	155	0.043
96	0.039	126	0.058	156	0.039
97	0.057	127	0.052	157	0.018
98	0.035	128	0.050	158	0.017
99	0.049	129	0.071	159	0.032
100	0.092	130	0.145	160	0.030
101	0.038	131	0.086	161	0.024
102	0.084	132	0.064	162	0.026
103	0.215	133	0.113	163	0.105
104	0.096	134	0.091	164	0.103
105	0.107	135	0.060	165	0.119
106	0.118	136	0.053	166	0.122
107	0.176	137	0.216	167	0.096
108	0.119	138	0.072	168	0.135
109	0.059	139	0.146	169	0.157
110	0.101	140	0.126	170	0.163
111	0.038	141	0.048	171	0.177
112	0.076	142	0.116	172	0.129
113	0.102	143	0.159	173	0.099
114	0.133	144	0.120	174	0.120
115	0.068	145	0.061	175	0.142
116	0.099	146	0.054	176	0.308
117	0.077	147	0.066		
118	0.139	148	0.056		
119	0.247	149	0.020		
120	0.081	150	0.065		

## ภาคผนวก ง

## การวิเคราะห์ผลของภาพ

ตารางที่ ง-1  $\Delta E^*_{ab}$  ของ Test set โทนสีผิวแต่ละสี ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  และ  $D_{65}$

สีที่	$\Delta E^*_{ab}$		สีที่	$\Delta E^*_{ab}$	
	$D_{50}$	$D_{65}$		$D_{50}$	$D_{65}$
1	19.15	21.34	31	8.86	8.81
2	18.84	20.05	32	9.80	10.14
3	8.89	9.76	33	11.66	12.01
4	17.57	18.90	34	12.61	13.49
5	6.76	6.17	35	11.58	11.99
6	4.56	4.82	36	3.95	3.54
7	9.96	10.29	37	4.00	3.30
8	6.00	5.20	38	2.94	2.81
9	4.86	4.63	39	2.80	2.80
10	6.20	5.48	40	3.26	3.66
11	10.44	10.85	41	7.36	7.53
12	10.47	10.90	42	18.15	17.91
13	7.95	8.48	43	3.68	3.07
14	9.14	10.40	44	8.95	9.26
15	9.90	10.39	45	10.52	10.65
16	5.56	6.34	46	8.41	8.19
17	9.55	9.93	47	4.03	3.80
18	4.75	4.83	48	3.31	3.00
19	6.19	6.24	49	8.12	6.89
20	7.98	7.88	50	8.60	7.22
21	7.95	8.06	51	2.61	2.80
22	3.09	3.37	52	7.35	7.53
23	4.41	4.67	53	4.28	4.75
24	6.65	6.34	54	4.97	4.50
25	11.45	11.23	55	6.78	7.19
26	8.68	8.40	56	6.86	6.24
27	9.19	9.13	57	5.68	5.15
28	8.38	8.50	58	3.74	3.59
29	12.16	11.29	59	9.11	8.37
30	10.06	10.09	60	14.48	13.52

ตารางที่ ง-1 (ต่อ)  $\Delta E^*_{ab}$  ของ Test set โทนสีผิวแต่ละสี ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  และ  $D_{65}$

สีที่	$\Delta E^*_{ab}$		สีที่	$\Delta E^*_{ab}$	
	$D_{50}$	$D_{65}$		$D_{50}$	$D_{65}$
61	3.88	4.77	90	10.05	10.24
62	13.20	12.88	91	8.85	9.92
63	32.54	31.40	92	4.56	4.51
64	14.66	13.23	93	8.56	8.63
65	12.90	11.69	94	5.14	6.44
66	10.71	9.73	95	7.35	7.83
67	11.03	10.44	96	6.24	6.37
68	7.19	7.99	97	6.04	6.26
69	8.82	9.76	98	6.16	6.27
70	11.17	11.99	99	12.23	12.15
71	12.37	13.23	100	12.91	14.38
72	12.93	14.08	101	9.45	10.30
73	14.00	14.85	102	10.78	10.73
74	10.61	11.40	103	10.98	10.90
75	10.04	11.47	104	6.98	6.75
76	10.27	11.81	105	4.84	4.39
77	11.02	12.62	106	12.01	11.75
78	11.54	12.79	107	5.82	5.71
79	11.55	11.66	108	4.30	4.84
80	6.57	7.33	109	2.51	2.41
81	8.88	8.79	110	8.36	7.96
82	4.85	4.42	111	8.27	7.75
83	13.83	13.26	112	9.07	8.78
84	11.82	12.34			
85	18.47	18.29			
86	4.26	4.98			
87	4.11	4.49			
88	3.08	3.36			
89	5.67	6.52			

ตารางที่ ง-2  $\Delta E^*_{ab}$  ของ Test set โทนไปไม้แต่ละสี ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  และ  $D_{65}$

สีที่	$\Delta E^*_{ab}$		สีที่	$\Delta E^*_{ab}$	
	$D_{50}$	$D_{65}$		$D_{50}$	$D_{65}$
1	11.37	9.99	31	6.25	4.04
2	10.01	9.67	32	4.15	3.82
3	9.24	9.29	33	3.88	11.73
4	18.28	16.69	34	10.42	5.68
5	15.93	15.84	35	5.28	3.74
6	10.06	11.71	36	4.19	7.04
7	6.61	7.57	37	8.23	4.52
8	6.43	7.34	38	4.73	7.04
9	5.03	4.85	39	6.60	13.21
10	6.44	6.52	40	11.80	12.95
11	9.33	8.58	41	15.02	12.70
12	9.08	8.58	42	14.90	10.43
13	8.77	8.76	43	10.71	12.05
14	7.68	7.87	44	12.34	20.93
15	8.67	8.26	45	20.84	40.29
16	10.84	9.86	46	35.02	5.44
17	12.89	11.14	47	6.36	2.07
18	13.22	11.70	48	2.39	3.32
19	5.18	4.26	49	3.62	19.48
20	8.20	7.99	50	15.52	21.24
21	8.78	8.83	51	16.88	3.51
22	7.32	7.07	52	3.71	13.21
23	5.28	5.30	53	12.32	7.54
24	8.31	8.36	54	7.48	6.39
25	3.57	3.59	55	7.33	8.84
26	4.91	5.92	56	7.49	38.04
27	11.72	13.74	57	31.95	37.58
28	9.48	9.28	58	33.93	13.21
29	9.82	9.02	59	13.47	4.29
30	9.55	8.55	60	3.44	5.64

ตารางที่ ง-2 (ต่อ)  $\Delta E^*_{ab}$  ของ Test set โทนไปไม้แต่ละสี ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  และ  $D_{65}$

สีที่	$\Delta E^*_{ab}$		สีที่	$\Delta E^*_{ab}$	
	$D_{50}$	$D_{65}$		$D_{50}$	$D_{65}$
61	8.87	8.86	93	11.16	11.18
62	2.62	2.73	94	8.62	8.44
63	3.81	3.78	95	25.50	23.33
64	6.16	6.65	96	27.17	25.66
65	11.61	13.12	97	17.37	16.61
66	12.84	14.69	98	14.61	14.32
67	13.76	13.54	99	9.45	8.95
68	3.56	3.40	100	4.53	4.28
69	3.60	4.34	101	4.89	4.60
70	10.84	9.33	102	5.05	4.83
71	8.50	7.36	103	10.03	8.84
72	3.79	3.20	104	15.14	13.49
73	3.27	2.59	105	5.06	4.49
74	4.99	5.24	106	9.78	8.84
75	2.98	2.43	107	10.49	9.56
76	8.49	8.49	108	5.80	5.66
77	6.48	6.36	109	5.65	5.65
78	9.44	9.13	110	15.36	14.35
79	11.24	11.02	111	15.10	14.70
80	10.61	10.48	112	18.17	16.01
81	7.39	7.59	113	5.54	5.41
82	6.47	6.35	114	10.37	10.24
83	8.68	8.65	115	10.15	9.96
84	9.56	9.60	116	20.10	19.45
85	12.63	12.60	117	9.08	9.18
86	10.16	10.25	118	12.34	13.07
87	10.68	10.76	119	13.06	13.58
88	6.45	6.63	120	13.50	14.27
89	9.22	9.48	121	12.36	13.34
90	11.95	11.99	122	14.60	14.41
91	8.83	8.90	123	16.39	17.05
92	10.25	10.26			

ตารางที่ ง-3  $\Delta E^*_{ab}$  ของ Test set โทนท้องฟ้าแต่ละสี ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D<sub>50</sub> และ D<sub>65</sub>

สีที่	$\Delta E^*_{ab}$		สีที่	$\Delta E^*_{ab}$	
	D <sub>50</sub>	D <sub>65</sub>		D <sub>50</sub>	D <sub>65</sub>
1	8.89	9.47	31	3.23	4.05
2	9.49	9.23	32	3.11	3.71
3	10.01	9.92	33	3.62	4.40
4	8.29	8.44	34	3.26	3.36
5	7.32	7.45	35	10.76	13.11
7	6.22	6.22			
8	7.77	7.63			
9	4.15	3.87			
10	3.55	3.01			
11	5.80	5.78			
12	8.17	7.82			
13	11.07	10.15			
14	6.32	7.37			
15	5.05	6.17			
16	3.54	4.02			
17	5.87	7.38			
18	4.51	5.35			
19	5.52	6.89			
20	5.77	4.54			
21	5.04	4.15			
22	10.15	8.82			
23	10.02	8.43			
24	11.47	10.19			
25	9.73	8.81			
26	3.97	4.95			
27	5.43	5.99			
28	8.71	9.37			
29	13.24	14.24			
30	5.58	4.94			

ตารางที่ ง-4 RMS ของ Test set โทนนีผิวแต่ละสี

สีที่	RMS	สีที่	RMS	สีที่	RMS
1	0.134	36	0.037	71	0.150
2	0.146	37	0.036	72	0.129
3	0.071	38	0.021	73	0.133
4	0.150	39	0.031	74	0.062
5	0.034	40	0.036	75	0.052
6	0.039	41	0.051	76	0.050
7	0.055	42	0.141	77	0.049
8	0.075	43	0.042	78	0.062
9	0.078	44	0.081	79	0.152
10	0.080	45	0.083	80	0.078
11	0.059	46	0.095	81	0.075
12	0.062	47	0.039	82	0.047
13	0.047	48	0.033	83	0.105
14	0.052	49	0.074	84	0.081
15	0.060	50	0.063	85	0.134
16	0.031	51	0.042	86	0.030
17	0.048	52	0.039	87	0.066
18	0.034	53	0.054	88	0.026
19	0.082	54	0.022	89	0.034
20	0.073	55	0.026	90	0.061
21	0.053	56	0.047	91	0.050
22	0.034	57	0.046	92	0.054
23	0.038	58	0.043	93	0.078
24	0.042	59	0.080	94	0.046
25	0.133	60	0.087	95	0.056
26	0.128	61	0.017	96	0.061
27	0.116	62	0.056	97	0.076
28	0.114	63	0.069	98	0.068
29	0.063	64	0.077	99	0.106
30	0.077	65	0.078	100	0.066
31	0.097	66	0.088	101	0.049
32	0.077	67	0.088	102	0.117
33	0.086	68	0.057	103	0.110
34	0.076	69	0.069	104	0.026
35	0.085	70	0.087	105	0.025



ตารางที่ ง-4 (ต่อ) RMS ของ Test set โทนสี่ผิวแต่ละสี

สีที่	RMS	สีที่	RMS	สีที่	RMS
106	0.065	109	0.024	111	0.055
107	0.039	110	0.052	112	0.072
108	0.026				

ตารางที่ ง-5 RMS ของ Test set โทนใบไม้แต่ละสี

สีที่	RMS	สีที่	RMS	สีที่	RMS
1	0.062	27	0.100	53	0.044
2	0.068	28	0.086	54	0.030
3	0.051	29	0.087	55	0.033
4	0.097	30	0.079	56	0.051
5	0.079	31	0.038	57	0.060
6	0.114	32	0.044	58	0.049
7	0.094	33	0.035	59	0.054
8	0.070	34	0.093	60	0.032
9	0.031	35	0.045	61	0.060
10	0.054	36	0.025	62	0.028
11	0.119	37	0.045	63	0.031
12	0.091	38	0.033	64	0.016
13	0.088	39	0.023	65	0.022
14	0.043	40	0.038	66	0.111
15	0.117	41	0.049	67	0.075
16	0.112	42	0.068	68	0.025
17	0.074	43	0.028	69	0.018
18	0.096	44	0.043	70	0.049
19	0.011	45	0.104	71	0.044
20	0.045	46	0.071	72	0.020
21	0.048	47	0.024	73	0.018
22	0.038	48	0.012	74	0.024
23	0.095	49	0.023	75	0.020
24	0.086	50	0.075	76	0.067
25	0.035	51	0.072	77	0.061
26	0.064	52	0.032	78	0.081

ตารางที่ ง-5 (ต่อ) RMS ของ Test set โทนไปไม้แต่ละสี

สีที่	RMS	สีที่	RMS	สีที่	RMS
79	0.084	94	0.036	109	0.069
80	0.095	95	0.104	110	0.124
81	0.049	96	0.172	111	0.127
82	0.055	97	0.087	112	0.117
83	0.060	98	0.082	113	0.064
84	0.055	99	0.147	114	0.111
85	0.091	100	0.060	115	0.089
86	0.051	101	0.070	116	0.145
87	0.049	102	0.074	117	0.037
88	0.039	103	0.078	118	0.044
89	0.043	104	0.127	119	0.071
90	0.075	105	0.041	120	0.067
91	0.043	106	0.077	121	0.046
92	0.056	107	0.086	122	0.056
93	0.053	108	0.064	123	0.054

ตารางที่ ง-6 RMS ของ Test set โทนทองฟ้าแต่ละสี

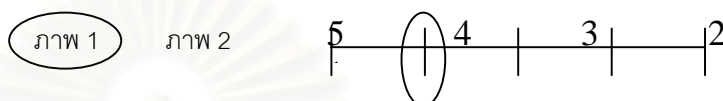
สีที่	RMS	สีที่	RMS	สีที่	RMS
1	0.037	13	0.074	25	0.059
2	0.085	14	0.048	26	0.028
3	0.072	15	0.034	27	0.031
4	0.069	16	0.026	28	0.048
5	0.064	17	0.047	29	0.108
6	0.054	18	0.039	30	0.036
7	0.051	19	0.050	31	0.010
8	0.085	20	0.040	32	0.012
9	0.054	21	0.050	33	0.016
10	0.026	22	0.072	34	0.013
11	0.032	23	0.074	35	0.059
12	0.056	24	0.083		

รูปที่ ง-1 แบบสอบถามที่ใช้ในวิเคราะห์ภาพเชิงคุณภาพของภาพคน ภาพทิวทัศน์ และภาพนามธรรม ภายใต้ แหล่งกำเนิดแสง  $D_{50}$  และ  $D_{65}$

### แบบสอบถาม

การเปรียบเทียบการผลิตซ้ำของภาพศิลปะสีน้ำ ที่มุ่งเน้นความเหมือนของสีเท่านั้น ไม่รวมรายละเอียดและความคมชัดของภาพ โดยทำการเลือกภาพบนแอลซีดีว่าภาพ 1 หรือ ภาพ 2 มีความเหมือนกับต้นฉบับมากกว่า และให้ระดับคะแนนความเหมือนโดยทำเครื่องหมาย O

ตัวอย่าง : เลือกภาพ 1 ที่ระดับความเหมือน : เหมือนมาก



หมายเหตุ ระดับคะแนน

5 คือ เหมือนมากที่สุด      4 คือ เหมือนมาก      3 คือ เหมือนปานกลาง  
2 คือ เหมือนน้อย      1 คือ เหมือนน้อยที่สุด

\*\*\*\*\*

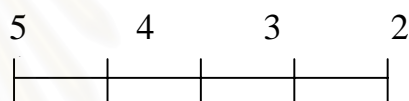
#### 1) ภาพคน

ระดับคะแนน

บริเวณพื้นที่

◆ สีผิวคน

ภาพ 1      ภาพ 2



◆ สีโดยรวมของภาพ

ภาพ 1      ภาพ 2

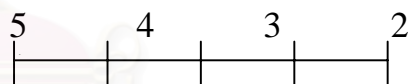


#### 2) ภาพทิวทัศน์

บริเวณพื้นที่

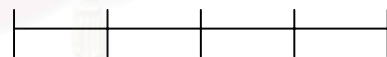
◆ ท้องฟ้า

ภาพ 1      ภาพ 2



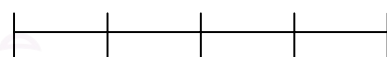
◆ ทะเล

ภาพ 1      ภาพ 2



◆ สีโดยรวมของภาพ

ภาพ 1      ภาพ 2



#### 3) ภาพนามธรรม

บริเวณพื้นที่

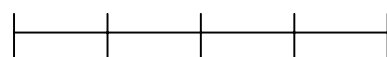
◆ สีแดง

ภาพ 1      ภาพ 2



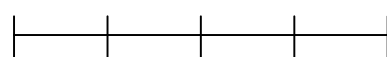
◆ สีเขียว

ภาพ 1      ภาพ 2



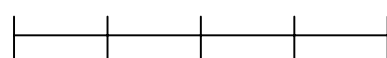
◆ สีน้ำเงิน

ภาพ 1      ภาพ 2



◆ สีเหลือง

ภาพ 1      ภาพ 2



ตารางที่ 7- 7 คะแนนภาพคนของภาพสเปกตรัมและภาพดิจิทัล ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D<sub>50</sub>

คนที่	ผิว		สีโดยรวม	
	Spectral	Digital	Spectral	Digital
1	3		3	
2	2		4	
3	4			2
4	3			3
5	2			3
6	3			3
7	4			3
8	3			3
9		3		3
10		3		3
11		2		3
12		4		4
13		3		4
14		3		4
15		4		4
16		3		4
17		5		4
18		4		4
19		3		4
20		5		4
mode	3	3	#N/A	4
mean	3.00	3.50	3.50	3.44
min	2	2	3	2
max	4	5	4	4
sd.	0.76	0.90	0.50	0.62

ตารางที่ 8-8 คะแนนภาพคนของภาพสเปกตรัมและภาพดิจิทัล ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D<sub>65</sub>

คนที่	ผิว		สีโดยรวม	
	Spectral	Digital	Spectral	Digital
1	2		3	
2	3		3	
3		3	3	
4		4		3
5		3		2
6		2		3
7		3		4
8		4		2
9		2		4
10		4		3
11		3		3
12		4		4
13		4		4
14		4		5
15		3		4
16		3		3
17		4		4
18		4		4
19		3		4
20		4		4
mode	#N/A	4	3	4
mean	2.5	3.39	3	3.53
min	2	2	3	2
max	3	4	3	5
sd.	0.50	0.70	0.00	0.80

ตารางที่ ง-9 คะแนนภาพวิทัศน์ของภาพสเปกตรัมและภาพดิจิทัล ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D<sub>50</sub>

คนที่	ท้องฟ้า		ทะเล		สีโดยรวม	
	Spectral	Digital	Spectral	Digital	Spectral	Digital
1		3		2		2
2		3		3		4
3		4		4		4
4		3		3		4
5		3		3		4
6		4		4		4
7		4		3		4
8		3		4		4
9		4		5		4
10		4		3		4
11		2		3		3
12		4		5		5
13		4		4		4
14		4		4		5
15		3		3		4
16		5		4		4
17		4		4		5
18		4		5		5
19		4		3		4
20		4		3		4
mode	-	4	-	3	-	4
mean	-	3.65	-	3.60	-	4.05
min	-	2	-	2	-	2
max	-	5	-	5	-	5
sd.	-	0.67	-	0.82	-	0.69

ตารางที่ ง-10 คะแนนภาพทิวทัศน์ของภาพสเปกตรัมและภาพดิจิทัล ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงD<sub>65</sub>

คนที่	ท้องฟ้า		ทะเล		สีโดยรวม	
	Spectral	Digital	Spectral	Digital	Spectral	Digital
1		4		3		4
2		4		4		4
3		3		4		4
4		4		4		4
5		3		4		4
6		4		5		4
7		3		3		4
8		2		4		4
9		4		5		4
10		2		3		4
11		4		3		4
12		4		4		4
13		4		5		5
14		4		3		5
15		4		3		4
16		4		5		4
17		4		5		5
18		4		4		4
19		3		3		4
20		4		4		4
mode	-	4	-	4	-	4
mean	-	3.60	-	3.90	-	4.15
min	-	2	-	3	-	4
max	-	4	-	5	-	5
sd.	-	0.68	-	0.79	-	0.37

ตารางที่ 11-11 คะแนนภาพนามธรรมของภาพสเปกตรัมและภาพดิจิทัล ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงD<sub>50</sub>

คนที่	สีแดง		สีเขียว		สีน้ำเงิน		สีเหลือง		สีโดยรวม	
	Spectral	Digital	Spectral	Digital	Spectra l	Digital	Spectral	Digital	Spectral	Digital
1	3		3			2	3		2	
2	4		3			2	4		2	
3		2	3			4	3		3	
4		3	3			3	3		4	
5		2	4			2	4			3
6		2	4			4	4			3
7		2		3		3	3			3
8		4		3		3	3			4
9		4		3		3	3			3
10		2		2		3	4			3
11		3		4		3	4			3
12		2		3		3	4			2
13		3		3		4	4			4
14		4		3		4	4			4
15		3		4		3	4			4
16		3		3		3		4		3
17		3		4		4		4		5
18		5		4		4		4		3
19		3		3		4		3		3
20		3		3		3		3		4
mode	#N/A	3	3	3	-	3	4	4	2	3
mean	3.50	2.94	3.33	3.21	-	3.20	3.60	3.75	2.75	3.38
min	3	2	3	2	-	2	3	3	2	2
max	4	5	4	4	-	4	4	4	4	5
sd.	0.50	0.87	0.52	0.58	-	0.70	0.51	0.50	0.96	0.72



ตารางที่ 12-12 คะแนนภาพนามธรรมของภาพสเปกตรัมและภาพดิจิทัล ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงD<sub>65</sub>

คนที่	สีแดง		สีเขียว		สีน้ำเงิน		สีเหลือง		สีโดยรวม	
	Spectral	Digital	Spectral	Digital	Spectral	Digital	Spectral	Digital	Spectral	Digital
1		4	3		3		3			3
2		4	2		3		4			2
3		3		5		4	3			3
4		3		3		3	3			3
5		3		3		3	3			3
6		5		5		5	4			3
7		4		4		4	4			4
8		3		3		4	4			4
9		3		3		3	3			3
10		3		4		3	3			3
11		2		3		3	3			3
12		3		3		4	5			4
13		5		4		4	3			4
14		3		4		4	5			4
15		3		3		3	4			4
16		4		4		2	5			3
17		5		4		4	4			4
18		3		4		4	4			3
19		4		5		4	4			4
20		3		3		2	4			4
mode	-	3	#N/A	3	3	4	3	4	-	3
mean	-	3.50	2.50	3.72	3.00	3.50	3.60	4.20	-	3.40
min	-	2	2	3	3	2	3	4	-	2
max	-	5	3	5	3	5	5	5	-	4
sd.	-	0.83	0.50	0.75	0.00	0.79	0.74	0.45	-	0.60

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวอรอนงค์ ใจสีทธากุล เกิดเมื่อวันที่ 3 มกราคม พ.ศ. 2521 ที่ กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต จากภาควิชาเทคโนโลยี การพิมพ์ คณะ วิศวกรรมศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ใน ปีการศึกษา 2542 และเข้าทำงานที่บริษัท ศรีทอง เนมเพลท จำกัด ในปี พ.ศ. 2543-2545 ในตำแหน่งเจ้าหน้าที่ วางแผนการผลิต และเจ้าหน้าที่การตลาด หลังจากนั้นได้เข้า ศึกษาต่อระดับวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย