

การผลิตซ้ำของภาพสีน้ำจากข้อมูลสเปกตรัมด้วยเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึก



นางสาวกอบพร ทองพันเลิศกุล

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-53-1544-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

REPRODUCTION OF WATER COLOUR IMAGES FROM SPECTRAL DATA BY INKJET
PRINTERS

MISS KORPPORN THONGPHUNLERDKUL



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Imaging Technology

Department of Imaging and Printing Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-53-1544-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การผลิตซ้ำของภาพสีน้ำจากข้อมูลสเปกตรัมด้วยเครื่องพิมพ์
แบบพ่นหมึก

โดย

นางสาวกอบพร ทองพันเลิศกุล

สาขาวิชา

เทคโนโลยีทางภาพ

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ดร. ชวาล คุร์พิพัฒน์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

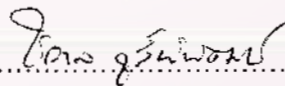
(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. อรัญ หาญสืบสาย)



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร. ชวาล คุร์พิพัฒน์)



..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. สุจิตรา สื่อประสาร)



..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. พิชญดา เกตุเมฆ)

กอบพร ทองพันเลิศกุล : การผลิตซ้ำของภาพสีน้ำจากข้อมูลสเปกตรัมด้วยเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึก. (REPRODUCTION OF WATER COLOUR IMAGES FROM SPECTRAL DATA BY INKJET PRINTERS) อ. ที่ปรึกษา: อาจารย์ ดร. ชวาล คุร์พิพัฒน์, จำนวน 136 หน้า. ISBN 974-53-1544-3.

การผลิตซ้ำของภาพจากข้อมูลสเปกตรัมถูกนำมาใช้สำหรับงานที่ต้องการความแม่นยำสูง เนื่องจากสามารถลดการเกิดปรากฏการณ์เมแทเมอริซึม (Metamerism) ได้ ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการสร้างกระบวนการการผลิตซ้ำของภาพสีน้ำจากข้อมูลสเปกตรัมด้วยเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึก โดยเครื่องพิมพ์ที่ใช้ได้รับการปรับตั้งและหาลักษณะเฉพาะ (Calibration and Characterization) ด้วยโปรแกรมจัดการสี Profilemaker pro 5.0.1 เพื่อให้สีของภาพที่ผลิตตรงตามต้นฉบับมากที่สุด ในกระบวนการทดลอง อันดับแรกจะใช้วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis: PCA) เพื่อหาจำนวนของแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม ในการบันทึกภาพ เพื่อนำไปหาค่าการสะท้อนแสงของวัตถุ จากการทดลองพบว่าการใช้แผ่นกรองแสงจำนวน 5 แผ่น สามารถให้ความแม่นยำในการหาค่าการสะท้อนแสงของชุดสร้างกระบวนการ (Training set) ได้ถึง 99% หลังจากนั้นจะใช้วิธีการจัดหมู่ (Combination) เพื่อเลือกชุดของแผ่นกรองแสงโดยพิจารณาจากค่าความแตกต่างของสีเฉลี่ย (ΔE^*_{ab}) ที่น้อยที่สุดระหว่างค่าที่ได้จากการวัดและค่าที่ได้จากการประมาณด้วยวิธี Wiener estimation ของ Training set ค่าที่ได้เท่ากับ 16.89 และชุดของแผ่นกรองแสงที่เหมาะสมคือ BPB42 BPB53 BPN50 SC64 และ SC66 จากนั้นนำชุดแผ่นกรองนั้นมาบันทึกภาพของชุดทดสอบกระบวนการ (Test set) และ ภาพศิลปะสีน้ำ เพื่อวิเคราะห์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพตามลำดับ ผลที่ได้คือ ค่า ΔE^*_{ab} ของ Test set มีค่าต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 6.88 และ 10.16 ตามลำดับ ส่วนภาพศิลปะสีน้ำ โดยข้อมูลสเปกตรัมที่ได้ในแต่ละพิกเซลจะถูกแปลงเป็นค่า XYZ และ sRGB ตามลำดับ เพื่อแสดงผลด้วยเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึก ผลที่ได้คือ ภาพที่ได้จากข้อมูลสเปกตรัมมีความเหมือนกับภาพศิลปะสีน้ำต้นฉบับมากกว่าภาพที่ได้จากกล้องดิจิทัลทั่วไปในบริเวณโทนสีผิวคนและโทนสีเหลือง โดยมีระดับความเหมือนปานกลางและเหมือนมากตามลำดับ

ภาควิชา วิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยี ลายมือชื่อนิสิต.....

ทางการพิมพ์

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางภาพ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2547

4572536523 : MAJOR IMAGING TECHNOLOGY

KEY WORD: SPECTRAL DATA, PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS, WIENER ESTIMATION

MISS KORPPORN THONGPHUNLERDKUL : REPRODUCTION OF WATER COLOUR IMAGES FROM SPECTRAL DATA BY INKJET PRINTERS. THESIS ADVISOR: CHAWAN KOOIPAT, 136 pp. ISBN 974-53-1544-3.

The image reproduction from spectral data is used for high accuracy work because this process can reduce the metamerism. The purpose of this thesis is to address the colour reproduction process of water colour image from spectral data using an inkjet printer. The printer was calibrated and characterized with a colour management software, called Profilemaker Pro 5.0.1 which provided the high accuracy colour referring to the original. In experimental process, First, we used principal component analysis to choose number of filters for capturing the original object. It was found that 5 filters were needed in order to obtain the spectral reflectance of training set with the accuracy of 99 percent. Then the combination method was used to select a set of filters by considering the minimum colour difference (ΔE^*_{ab}) between measured colour values and calculated colour values of training set from the spectral reflectance using wiener estimated method. The ΔE^*_{ab} was 16.89 and set of the filter were BPB42, BPB53, BPN50, SC64 and SC66. After that the test set and water colour images were captured using these filters and then were analyzed using quantitative and qualitative method respectively. The lowest result of ΔE^*_{ab} of test set was 6.88 and the highest was 10.16. For water colour image, the spectral reflectance of each pixel was converted to XYZ and then sRGB respectively. The result indicated that printing image from spectral data by inkjet printers were similar to original images more than conventional camera only in skin tone and yellow tone with the degree of similarity as medium and high respectively.

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

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

Academic year 2004

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อ.ดร. ชวาล คุรุพิพัฒน์ ที่แนะนำและจุดประกายหัวข้องานวิจัย รวมถึง อ.ดร. พิชญดา เกตุเมฆ และ อ.ดร.สุจิตรา สื่อประสาร ซึ่งท่านทั้งหลายที่กล่าวมานี้ได้ให้คำแนะนำแนวทางในการแก้ปัญหาและสนับสนุนการทำงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี ซึ่งไม่เป็นเพียงแต่เป็นอาจารย์ที่ให้คำปรึกษาและให้ความรู้เพียงเท่านั้น แต่ท่านยังเป็นผู้สอนให้รู้จักการคิดและสอนแนวทางในการแสวงหาความรู้ สิ่งทั้งหลายเหล่านี้เป็นสิ่งที่มีความค่ามาก ตลอดระยะเวลาที่ได้ศึกษาและทำงานวิจัยในระดับบัณฑิตศึกษาครั้งนี้

ขอขอบคุณผู้สนับสนุนงานวิจัยทุกท่าน ซึ่งได้แก่ รุ่นน้อง คณะศิลปกรรมศาสตร์ ที่ช่วยวาดรูปศิลปะสีน้ำ ขอขอบคุณ อ.กัลยา เชิดหิรัญญา คุณ ยุทธนา ลีลา และ Mr. Michelle ที่ให้คำปรึกษาในการเขียนโปรแกรม Matlab ขอขอบคุณ บริษัท Minolta ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลและสนับสนุนเครื่องมือสำหรับงานวิจัย ขอขอบคุณความร่วมมือของผู้ตอบแบบสอบถามทุกท่าน

ขอขอบคุณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เปิดโอกาสให้ข้าพเจ้าได้ศึกษาในภาควิชานี้ สุดท้ายขอขอบคุณพ่อ แม่ และครอบครัว ทองพันเลิศกุล ที่เป็นแรงใจ และแรงผลักดัน พร้อมสนับสนุนปัจจัยต่าง ๆ เพื่อบรรลุผลงานวิจัยในครั้งนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ฅ |
| สารบัญภาพ..... | ฉ |
| บทที่ 1 บทนำ | |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย | 3 |
| 1.3 ขอบเขตงานวิจัย | 3 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 3 |
| บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | |
| 2.1 แนวคิดและทฤษฎี..... | 4 |
| 2.1.1 ลักษณะและคุณสมบัติของสีน้ำ..... | 4 |
| 2.1.2 การสะท้อนแสงเชิงสเปกตรัมของวัตถุ | 5 |
| 2.1.3 เมแทเมอริซึม | 6 |
| 2.1.4 การผลิตภาพจากข้อมูลสเปกตรัม | 7 |
| 2.1.5 แผ่นกรองแสงชนิดเจลาติน (Gelatin filter)..... | 8 |
| 2.1.6 การวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก (Principal Component Analysis: PCA) | 11 |
| 2.1.7 การประมาณค่าการสะท้อนแสงด้วยวิธี Wiener estimation | 13 |
| 2.1.8 ค่าสีไตรสติมูลัส | 14 |
| 2.1.9 ระบบสี CIELAB..... | 16 |
| 2.1.10 ปริภูมิสีมาตรฐาน RGB (sRGB/Standard RGB space)..... | 17 |
| 2.1.11 โปรแกรม MATLAB | 19 |
| 2.1.12 เครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึก (Inkjet printer) | 19 |
| 2.1.13 การปรับตั้งและหาลักษณะเฉพาะของเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึก | 21 |

| | |
|---|----|
| 2.1.14 ระบบการจัดการสี | 22 |
| 2.1.15 องค์ประกอบในระบบการจัดการสี | 22 |
| 2.1.16 การวิเคราะห์สี | 25 |
| 2.1.17 รากกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square : RMS) | 27 |
| 2.1.18 เทคนิคการมองภาพ (Viewing Techniques) | 27 |
| 2.1.19 วิธีการเทียบสีเชิงคุณภาพ (Subjective method) | 28 |
| 2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 29 |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย | |
| 3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย | 31 |
| 3.1.1 วัสดุ | 31 |
| 3.1.2 อุปกรณ์ | 32 |
| 3.2 วิธีดำเนินงานวิจัย | 32 |
| 3.2.1 จัดตั้งวัสดุและอุปกรณ์สำหรับการบันทึกภาพ | 32 |
| 3.2.2 สร้างต้นฉบับที่ใช้ในการบันทึกภาพ | 33 |
| 3.2.3 หาจำนวนของแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม | 36 |
| 3.2.4 สร้างกระบวนการการผลิตภาพศิลปะสีน้ำจากข้อมูลสเปกตรัม | 38 |
| 3.2.5 ทำการปรับตั้งและหาลักษณะเฉพาะเครื่องพิมพ์ (Calibration and Characterization) | 40 |
| 3.2.7 แสดงผลของภาพศิลปะสีน้ำด้วยเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึก | 41 |
| 3.2.8 วิเคราะห์ผลการวิจัย | 42 |
| บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล | |
| 4.1 ผลการคัดเลือกแผ่นสี | 44 |
| 4.1.1 ผลการคัดเลือก Training set | 44 |
| 4.1.2 ผลการคัดเลือก Test set | 45 |
| 4.2 ค่าการส่องผ่านของแผ่นกรองแสง | 47 |
| 4.2.1 ชนิด BPB (Band Pass Board) | 47 |
| 4.2.2 ชนิด BPN (Band Pass Narrow) | 48 |
| 4.2.3 ชนิด SC (Sharp Cut) | 48 |

| | |
|--|----|
| 4.3 ผลการเลือกจำนวนของแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม..... | 48 |
| 4.4 ผลการเลือกชนิดของแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม..... | 51 |
| 4.4.1 ผลการเลือกแผ่นกรองแสงจำนวน 5 แผ่น | 51 |
| 4.4.2 เลือกแผ่นกรองแสงจำนวน 6 แผ่น | 52 |
| 4.7 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ..... | 54 |
| 4.7.1 โทนสีผิว (Skin tone) | 54 |
| 4.7.2 โทนใบไม้ (Leaf tone)..... | 55 |
| 4.7.3 โทนท้องฟ้า (Sky tone)..... | 56 |
| 4.7.4 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณของ Test set..... | 57 |
| 4.8 ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ..... | 58 |
| 4.8.1 ภาพคน..... | 59 |
| 4.8.2 ระดับความเหมือนของภาพทิวทัศน์ | 62 |
| 4.8.3 ระดับความเหมือนของภาพนามธรรม | 66 |
| 4.9 การแสดงผลด้วยเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึก | 71 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ | |
| 5.1สรุปผลการวิจัย | 73 |
| 5.1.1 การสร้างกระบวนการการผลิตซ้ำของภาพสีน้ำจากข้อมูลสเปกตรัมด้วย เครื่องพิมพ์พ่นหมึกให้ใกล้เคียงกับต้นฉบับมากที่สุด..... | 73 |
| 5.1.2 การทดสอบกระบวนการที่สร้างขึ้น..... | 73 |
| 5.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตภาพจากข้อมูลสเปกตรัมในงานวิจัย | 75 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 76 |
| 5.2.1 การสร้างแผ่นมาตรฐานสี (Training set)..... | 76 |
| 5.2.2 การเลือกใช้กล่องสีเดียวสำหรับการบันทึกภาพ..... | 76 |
| 5.2.3 จำนวนและชนิดของแผ่นกรองแสง..... | 76 |
| 5.2.4 วิธีเลือกชนิดของฟิลเตอร์ที่เหมาะสม..... | 77 |
| 5.2.5 วิธีการประมาณค่าการสะท้อนแสง | 77 |
| 5.2.6 การเกิด Metamerism..... | 78 |
| รายการอ้างอิง..... | 80 |

ภาคผนวก.....82

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....136



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|--|------|
| ตารางที่ 2.1 ΔE^*_{ab} ตามมาตรฐานระบบ CIELAB | 26 |
| ตารางที่ 2.2 แสดงค่าความผิดพลาดของรากลำดับสองเฉลี่ยกับจำนวนของแผ่นกรองแสง | 30 |
| ตารางที่ 3.1 ค่าการสะท้อนแสงของ Training set ทั้ง 176 สี ณ ความยาวคลื่นตั้งแต่ 400-700 นาโนเมตรโดยมีช่วงห่างที่ละ 10 นาโนเมตร..... | 36 |
| ตารางที่ 4.1 ค่า Eigenvalue, Proportion, Cumulative, และ PC weight ของแต่ละองค์ประกอบหลัก..... | 48 |
| ตารางที่ 4.2 ค่าความแตกต่างสีและค่ารากลำดับสองเฉลี่ยของแผ่นกรองแสงจำนวน 5 แผ่น..... | 51 |
| ตารางที่ 4.3 ค่าความแตกต่างสีและค่ารากลำดับสองเฉลี่ยของแผ่นกรองแสงจำนวน 6 แผ่น..... | 53 |
| ตารางที่ 4.4 ค่าความแตกต่างสี (ΔE_{90}) ของ Test set ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50, D65 และ A..... | 54 |
| ตารางที่ 4.5 ค่ารากลำดับสองเฉลี่ย ของ Test set | 54 |
| ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ย ΔE^*_{90} และ RMS ของ Test set ทั้ง 3 โทน..... | 57 |
| ตารางที่ 4.7 ผลการเลือกภาพที่เหมือนต้นฉบับมากกว่าระหว่างภาพที่ผลิตจาก ข้อมูลทั่วไปกับภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัม ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50, D65 และ A | 58 |
| ตารางที่ 4.8 ระดับความเหมือนของภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปและภาพที่ผลิตจาก ข้อมูลสเปกตรัม..... | 59 |

สารบัญภาพ

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 2.1 พื้นผิวของวัตถุที่เกิดการสะท้อนแสง..... | 5 |
| รูปที่ 2.2 ปรากฏการณ์ Metamerism เนื่องด้วยแหล่งกำเนิดแสง..... | 6 |
| รูปที่ 2.3 แบบจำลององค์ประกอบการบันทึกภาพจากข้อมูลสเปกตรัม..... | 7 |
| รูปที่ 2.4 ค่าการส่องผ่านของแผ่นกรองแสงชนิด ND..... | 9 |
| รูปที่ 2.5 ค่าการส่องผ่านของแผ่นกรองแสงชนิด CC..... | 9 |
| รูปที่ 2.6 ค่าการส่องผ่านของแผ่นกรองแสงชนิด BPB..... | 10 |
| รูปที่ 2.7 ค่าการส่องผ่านของแผ่นกรองแสงชนิด BPN..... | 10 |
| รูปที่ 2.8 ค่าการส่องผ่านของแผ่นกรองแสงชนิด BPN..... | 11 |
| รูปที่ 2.9 การสกัดตัวประกอบ..... | 13 |
| รูปที่ 2.10 ปริภูมิสีระบบ CIELAB..... | 17 |
| รูปที่ 2.11 การทำงานของเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ทแบบเทคโนโลยีพ่นหมึกทีละหยด (Drop-On-Demand)..... | 20 |
| รูปที่ 2.12 การทำงานของเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ทแบบเทคโนโลยีพ่นหมึกแบบต่อเนื่อง (Continuous)..... | 21 |
| รูปที่ 2.13 แผ่นสีมาตรฐาน IT8..... | 22 |
| รูปที่ 2.14 ระบบการทำงานที่ไม่มี PCS..... | 22 |
| รูปที่ 2.15 ระบบการทำงานที่มี PCS..... | 22 |
| รูปที่ 2.16 การเก็บข้อมูลและการใช้งานโพรไฟล์..... | 23 |
| รูปที่ 2.17 กระบวนการแปลงค่าสีแบบ Perceptual..... | 24 |
| รูปที่ 2.18 กระบวนการแปลงค่าสีแบบ Saturation..... | 24 |
| รูปที่ 2.19 กระบวนการแปลงค่าสีแบบ Relative colorimetric..... | 25 |
| รูปที่ 2.20 กระบวนการแปลงค่าสีแบบ Absolute colorimetric..... | 25 |
| รูปที่ 3.1 แบบจำลองการบันทึกภาพต้นฉบับ พร้อมระยะห่างของกล้องวีดีทัศน์ภาพนิ่ง และ แหล่งกำเนิดแสง F11 กับต้นฉบับ..... | 33 |
| รูปที่ 3.2 ภาพโทนต่อเนื่องที่วาดขึ้นจากสีน้ำ คือ ภาพคน ภาพทิวทัศน์ และภาพนามธรรม..... | 34 |
| รูปที่ 3.3 แผ่นสีต้นฉบับของสีน้ำที่ประกอบด้วยแผ่นสีเล็ก ๆ ขนาด 1X1 นิ้ว..... | 34 |
| รูปที่ 3.4 การเลือกฟังก์ชัน PCA ในโปรแกรม Minitab Version10..... | 37 |

| | |
|--|----|
| รูปที่ 3.5 การเลือกตัวแปรและจำนวนองค์ประกอบที่ต้องการวิเคราะห์ | 37 |
| รูปที่ 3.6 การแสดงค่าข้อมูล Eigenvalue, Proportion และ Cumulative ที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ของโปรแกรม Minitab Version 10..... | 38 |
| รูปที่ 3.7 กระบวนการเลือกชนิดของแผ่นกรองที่เหมาะสม | 39 |
| รูปที่ 3.8 แผ่นสีมาตรฐาน TC 9.18 RGB | 41 |
| รูปที่ 3.9 แผนผังการวิเคราะห์เชิงคุณภาพของกระบวนการการผลิตซ้ำจาก ข้อมูลสเปกตรัมเทียบกับต้นฉบับโดยมีภาพที่ได้จากการทั่วไปเป็นเกณฑ์ ในการเปรียบเทียบ | 43 |
| รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของค่าสีจาก Color Chart ทั้งหมดจำนวน 679 สี ในแผนภูมิ a^*b^* และ $L^*C^*_{ab}$ | 44 |
| รูปที่ 4.2 การกระจายตัวของค่าสีจาก Training set จำนวน 176 สี ในแผนภูมิ a^*b^* และ $L^*C^*_{ab}$ | 45 |
| รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของค่าสีจาก Test set โทนสีผิวจำนวน 112 สี ในแผนภูมิ a^*b^* และ $L^*C^*_{ab}$ | 45 |
| รูปที่ 4.4 การกระจายตัวของค่าสีจาก Test set โทนใบไม้จำนวน 123 สี ในแผนภูมิ a^*b^* และ $L^*C^*_{ab}$ | 46 |
| รูปที่ 4.5 การกระจายตัวของค่าสีจาก Test set โทนท้องฟ้าจำนวน 35 สี ในแผนภูมิ a^*b^* และ $L^*C^*_{ab}$ | 46 |
| รูปที่ 4.6 ค่าการส่องผ่านของแผ่นกรองแสงจำนวน 9 แผ่น ที่นำมาใช้ใน การคัดเลือกชนิดและจำนวนที่เหมาะสม | 47 |
| รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Eigenvalues ของแต่ละจำนวนองค์ประกอบหลัก | 49 |
| รูปที่ 4.8 อธิบาย 5 องค์ประกอบหลักของค่าการสะท้อนแสงของ Training set ทั้ง 176 สี..... | 50 |
| รูปที่ 4.9 Histogram ของค่า ΔE^*_{ab} ของ Training set ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11 (5 แผ่น)..... | 52 |
| รูปที่ 4.10 Histogram ค่าความแตกต่างสีของ Training set ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11 (6 แผ่น)..... | 53 |
| รูปที่ 4.11 Histogram ค่าความแตกต่างสีของ Skin tone ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50, D65 และ A (5 channel)..... | 55 |

| | |
|---|----|
| รูปที่ 4.12 Histogram ค่าความแตกต่างสีของ Leaf tone ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50, D65 และ A (5 channel)..... | 56 |
| รูปที่ 4.13 Histogram ค่าความแตกต่างสีของ Sky tone ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50, D65 และ A (5 channel)..... | 57 |
| รูปที่ 4.14 ค่าสีในแผนภูมิ xy ของเครื่องพิมพ์ Epson photo stylus 1290 และขอบเขตสี sRGB..... | 72 |



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหาหนึ่งที่พบบ่อยครั้งในกระบวนการผลิตซ้ำของภาพ (image reproduction) คือ สีที่ได้จากการผลิตซ้ำกับสีต้นฉบับมองเห็นเหมือนกันภายใต้แหล่งกำเนิดแสงหนึ่ง แต่เมื่อเปลี่ยนแหล่งกำเนิดแสงไปกลับพบว่าสีทั้งสองมีความแตกต่างกัน เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า เมแทเมอริซึม (Metamerism) ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากสีทั้งสองมีค่าการสะท้อนแสงเชิงสเปกตรัมของวัตถุ (Spectral Reflectance Characteristic of Object : $O(\lambda)$) ที่แตกต่างกัน เมื่อเปลี่ยนแหล่งกำเนิดแสง ค่าสีที่แสดงให้เห็นจึงแตกต่างกัน ดังนั้นถ้าต้องการผลิตสีให้ใกล้เคียงกับต้นฉบับมากที่สุด ค่าสีที่ผลิตควรจะเหมือนกับต้นฉบับในเชิงสเปกตรัมด้วย เพื่อให้สีที่ได้จากการผลิตกับสีของต้นฉบับเหมือนกันแม้จะเปลี่ยนแหล่งกำเนิดแสงไปก็ตาม

การผลิตซ้ำของภาพศิลปะสีน้ำมีความสำคัญในหลาย ๆ ด้าน เช่น ด้านประวัติศาสตร์ ด้านการอนุรักษ์จิตรกรรม ด้านการเผยแพร่ต่อสาธารณชน และด้านทางจิตใจ เป็นต้น การผลิตซ้ำของภาพประเภทนี้จึงจำเป็นต้องอาศัยกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพ กระบวนการบันทึกภาพโดยทั่วไปจะใช้กล้องดิจิทัลที่มีตัวรับแสง 3 สีคือ สีแดง (Red) เขียว (Green) และน้ำเงิน (Blue) ซึ่งมีลักษณะการบันทึกภาพเป็นค่าสีที่ขึ้นกับอุปกรณ์ (device dependent) ผลที่ได้จากการบันทึกจึงไม่ใช่ค่าการสะท้อนแสงเชิงสเปกตรัมของวัตถุจริง จึงเกิดปัญหาเมแทเมอริซึมได้

การผลิตซ้ำของภาพด้วยเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึก ยังคงเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายทั้งในส่วนบุคคลและส่วนสำนักงาน เนื่องจากข้อดีของเครื่องพิมพ์ระบบนี้คือ ประหยัดเวลา ต้นทุนต่ำ พื้นที่ใช้สอยน้อย สามารถแก้ไขเปลี่ยนแปลงได้ง่าย และเหมาะสำหรับการผลิตงานจำนวนน้อยหรือจำนวนตามความต้องการ

ดังนั้นเพื่อสร้างกระบวนการการผลิตซ้ำของภาพสีน้ำจากข้อมูลสเปกตรัมด้วยเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึกให้ใกล้เคียงกับต้นฉบับมากที่สุด และนำกระบวนการที่ได้ไปใช้ในการผลิตซ้ำของภาพ งานวิจัยนี้ใช้ประโยชน์จากกล้องสีเดียว (Monochromatic digital camera) ที่มี CCD 640X480 พิกเซลและแผ่นกรองแสงที่เหมาะสมในการบันทึกภาพที่เลือกจำนวนที่เหมาะสมโดย

วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal component analysis:PCA) และเลือกชนิดของแผ่นกรองแสงโดยวิธีการจัดเป็นกลุ่ม (Combination) ด้วยการตรวจสอบจากค่าความแตกต่างสี (ΔE^*_{ab}) ของแต่ละชุดของแผ่นกรองว่าชนิดของแผ่นกรองแสงชุดใดให้ค่า ΔE^*_{ab} น้อยที่สุดระหว่างค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการวัดกับค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี Wiener estimation ของกลุ่มสีที่ใช้สร้างกระบวนการ (Training set) จากนั้นทำการแปลงค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการประมาณให้อยู่ในปริภูมิสี XYZ และ sRGB เพื่อแสดงผลด้วยเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึกที่ได้ทำการปรับตั้งและหาลักษณะเฉพาะ (Calibration and Characterization) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Profilemaker pro 5.0.1 คำสั่งในการคำนวณและการแปลงค่าจะเขียนด้วยโปรแกรม MATLAB

ในงานวิจัยได้วิเคราะห์คุณภาพทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ เราทำดังนี้ คือ การวิเคราะห์เชิงปริมาณนั้นวัดจากกลุ่มสีที่ใช้ทดสอบ (Test set) 3 ชุด แบ่งเป็น 3 โทนสี คือ โทนสี ผิวน้ำ, โทนสีใบไม้ และโทนสีท้องฟ้า วัดเป็นค่าตัวเลขเชิงสถิติด้วยค่ารากกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean square:RMS) เพื่อหาความแตกต่างระหว่างค่าสเปกตรัมของต้นฉบับกับค่าสเปกตรัมที่ได้จากการประมาณ และค่าความแตกต่างสี (ΔE^*_{ab}) ของต้นฉบับกับสีที่ได้จากการคำนวณ สำหรับการวิเคราะห์เชิงคุณภาพนั้นวัดจากสเกลของแบบสอบถาม โดยวัดเป็นระดับความเหมือนระหว่างต้นฉบับภาพศิลปะสีน้ำกับภาพที่ผลิตซ้ำด้วยเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึก โดยมีภาพจากกระบวนการทั่วไปเป็นตัวเปรียบเทียบความเหมือนกับต้นฉบับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อสร้างกระบวนการการผลิตซ้ำของภาพสีน้ำจากข้อมูลสเปกตรัมด้วยเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึก โดยภาพที่ผลิตมีสีใกล้เคียงกับต้นฉบับมากที่สุด

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์คุณภาพการผลิตซ้ำของภาพสีน้ำจากข้อมูลสเปกตรัมด้วยเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึก

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ผลิตภาพศิลปะสีน้ำด้วยกระบวนการที่สร้างขึ้นจากข้อมูลสเปกตรัมและแสดงผลด้วยเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึก

1.3.2 ประมาณค่าการสะท้อนแสงของต้นฉบับด้วยวิธี Wiener estimation

1.3.3 วิเคราะห์ค่าความแตกต่างสีระหว่างภาพที่ผลิตกับภาพต้นฉบับ ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50 D65 และ A

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้กระบวนการการผลิตซ้ำของภาพสีน้ำจากข้อมูลสเปกตรัมด้วยเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึก โดยภาพที่ผลิตมีสีใกล้เคียงกับต้นฉบับมากที่สุด

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

2.1.1 ลักษณะและคุณสมบัติของสีน้ำ

สีน้ำทำให้การวาดเขียนมีคุณค่าสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ส่วนประกอบที่สำคัญ คือ เนื้อสีที่บดแล้วอย่างละเอียด (Pigment) ผสมกับการอารบิค ซึ่งสกัดมาจากต้นอะคาเซีย (Acacia tree) การขยี้สีนี้มีคุณสมบัติพิเศษ คือ ละลายน้ำง่ายและเกาะติดกระดาษแน่น ทั้งยังมีลักษณะโปร่งใสอีกด้วย สีน้ำเป็นสื่อวัสดุที่มีคุณสมบัติเด่น ๆ 4 ประการ (1) คือ

2.1.1.1 ลักษณะโปร่งใส (Transparent Quality)

เนื่องจากสีน้ำมีส่วนผสมของกาว และสีที่บดอย่างละเอียด ดังนั้น เมื่อระบายบนกระดาษสีขาวจึงมีเนื้อสีไม่หนาที่บจนเกินไป ทำให้เกิดลักษณะโปร่งใส

2.1.1.2 ลักษณะเปียกชุ่ม (Soft Quality)

เนื่องจากการระบายสีน้ำ จะต้องผสมกับน้ำและระบายให้ซึมเข้าหากันเมื่อต้องการให้สีกลมกลืนกัน ดังนั้น เมื่อระบายไปแล้วลักษณะของสีที่แห้งบนกระดาษ จะคงความเปียกชุ่มของสี ปรากฏให้เห็นอยู่เสมอ ศิลปินสีน้ำท่านใดสามารถสร้างสรรค์ความงามของสีน้ำที่คงอยู่ให้น่าดู และมีความหมายขึ้น ถือว่าเป็นลักษณะพิเศษของสีน้ำที่มีค่าควรชื่นชมเป็นอย่างยิ่ง

2.1.1.3 สีน้ำมีคุณสมบัติแห้งเร็ว

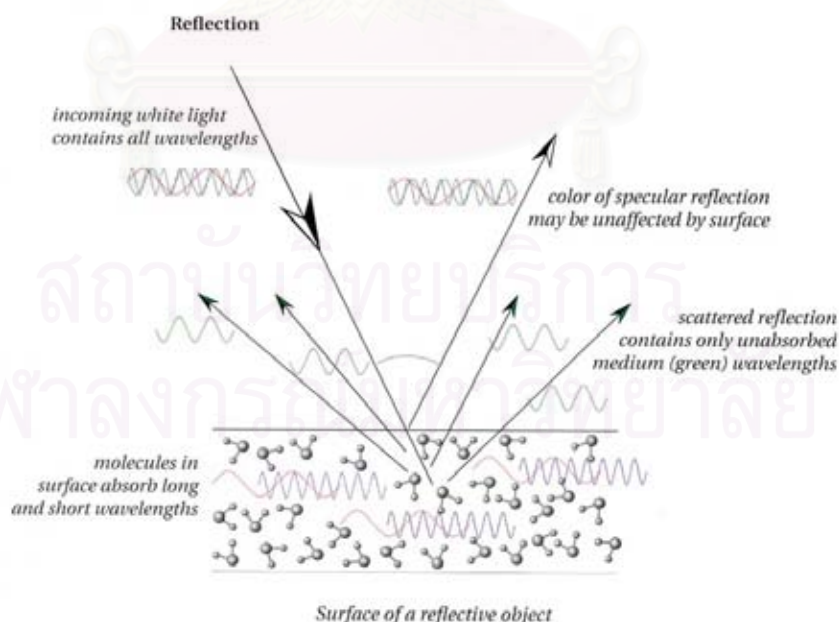
เมื่อเทียบกับสีน้ำมัน ดังนั้นจึงทำให้เกิดความเชื่อต่อผู้สนใจทั้งหลายว่าเป็นสื่อที่ระบายยาก และเหมาะสำหรับผู้ที่สามารถตัดสินใจรวดเร็วในการถ่ายทอดเท่านั้น อย่างไรก็ตามก็ตีความเชื่อดังกล่าวอาจแก้ไขได้ ด้วยการลงมือทำจริง เพราะเหตุว่า การระบายสีน้ำมีวิธีการระบายหลายวิธี และเราสามารถควบคุมคุณสมบัติแห้งเร็วนี้ได้ ด้วยการผสมกลีเซอรินลงในน้ำผสมสีก็จะช่วยให้แห้งช้าได้

2.1.1.4 สีน้ำมีคุณสมบัติรุกรานและยอมน้ำ (Advance, Recede)

ทั้งนี้เกี่ยวข้องกับสีและสารเคมีที่ผสม โดยจะต้องทดสอบว่าสีใดที่มีคุณสมบัติรุกรานสีอื่น หรือสีโดยยอมให้สีอื่นรุกราน และสีใดที่ติดกระดาษแน่นล้างน้ำไม่ออก (Stained Color) เป็นต้น

2.1.2 การสะท้อนแสงเชิงสเปกตรัมของวัตถุ

พื้นผิวของวัตถุมีความสัมพันธ์กับแสง และยังมีผลต่อสีของแสงอีกด้วย แสงเมื่อกระทบวัตถุจะเกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเล็ก ๆ ที่บริเวณพื้นผิว ระหว่างที่เกิดความสัมพันธ์ของแสงกับโมเลกุลเล็ก ๆ ที่บริเวณพื้นผิว วัตถุจะเกิดการดูดกลืนแสงในบางช่วงคลื่นและสะท้อนแสงที่เหลือกลับออกมา ดูได้จากรูปที่ 2.1 ดังนั้นค่าสเปกตรัมของแสงที่สะท้อนออกมาจะไม่เหมือนแสงที่ตกกระทบ ระดับของการสะท้อนแสงและดูดกลืนแสงเรียกว่า ค่าการสะท้อนแสงเชิงสเปกตรัม ($O(\lambda)$) (2) โดยเมื่อมีการเปลี่ยนแหล่งกำเนิดแสง ค่าการสะท้อนแสงเชิงสเปกตรัมของวัตถุจะไม่เปลี่ยนแปลง แต่การมองเห็นสีของวัตถุที่มีค่าการสะท้อนแสงเชิงสเปกตรัมเท่ากันเปลี่ยนไปเมื่อเปลี่ยนแหล่งกำเนิดแสง เนื่องจากแหล่งกำเนิดแสงมีผลต่อค่าสเปกตรัมของแสงที่สะท้อนจากวัตถุ (Reflectance of object: $R(\lambda)$)



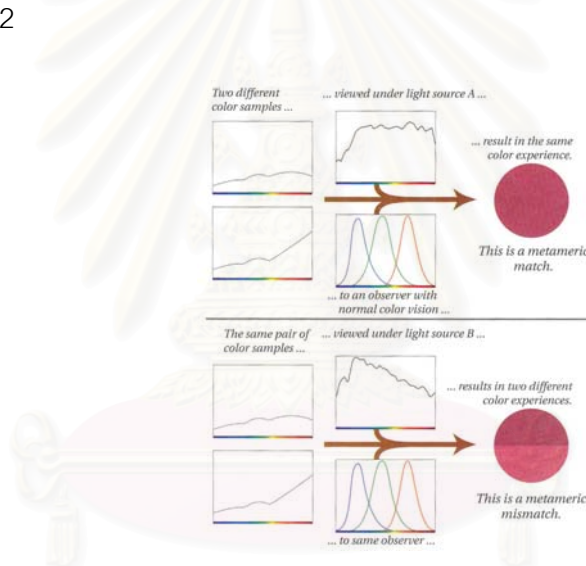
รูปที่ 2.1 พื้นผิวของวัตถุที่เกิดการสะท้อนแสง (2)

2.1.3 เมแทเมอริซึม

เมแทเมอริซึม (metamerism) เป็นปรากฏการณ์การมองเห็นและรับรู้สีของวัตถุ 2 ชิ้นหรือบริเวณใด ๆ 2 บริเวณว่ามีสีเหมือนกันภายใต้สภาวะการมองเห็นหรือเงื่อนไขหนึ่งหรือมากกว่า โดยเมื่อสภาวะการมองเห็นหรือเงื่อนไขนั้นเปลี่ยนแปลงไปก็มีผลทำให้สีของวัตถุหรือบริเวณนั้นมีสีแตกต่างกัน สามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท (3) คือ

2.1.3.1 เมแทเมอริซึมเนื่องด้วยแหล่งกำเนิดแสง

การมองเห็นสีของวัตถุ 2 ชิ้นเหมือนกันเมื่อมองภายใต้แหล่งกำเนิดแสงหนึ่ง แต่เมื่อเปลี่ยนชนิดของแหล่งกำเนิดแสงมีผลทำให้มองเห็นสีของวัตถุ 2 ชิ้นแตกต่างกัน ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ปรากฏการณ์ Metamerism เนื่องด้วยแหล่งกำเนิดแสง (2)

จากรูปที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าวัตถุ 2 ชิ้นนี้เหมือนกันภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A แต่แตกต่างกันภายใต้แหล่งกำเนิดแสง B ทั้งนี้เกิดขึ้นจากวัตถุทั้ง 2 ชิ้นมีค่าการสะท้อนแสงเชิงสเปกตรัมต่างกัน

2.1.3.2 เมแทเมอริซึมเนื่องด้วยผู้สังเกตการณ์

การที่ผู้สังเกตการณ์คนหนึ่งมองเห็นสีของวัตถุ 2 ชิ้นเหมือนกัน แต่ผู้สังเกตการณ์อีกคนหนึ่งมองเห็นสีของวัตถุ 2 ชิ้นนั้นแตกต่างกัน ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงระยะทาง และมุมมองเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากตาแต่ละคนมีความไวแสงต่อการมองเห็นสีแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น ผู้สังเกตการณ์คนใดคนหนึ่งอาจมีการมองเห็นสีผิดปกติ โดยอาจมีการ

ตาบอดสีหรือมองเห็นสีได้สีหนึ่งได้น้อยกว่าคนที่มีการมองเห็นปกติ หรือคนสูงอายุมักมีระบบการมองเห็นที่ไม่ดีเท่ากับคนที่อยู่ในวัยหนุ่มสาว เป็นต้น

2.1.3.3 เมแทเมอริซึมเนื่องด้วยระยะทาง

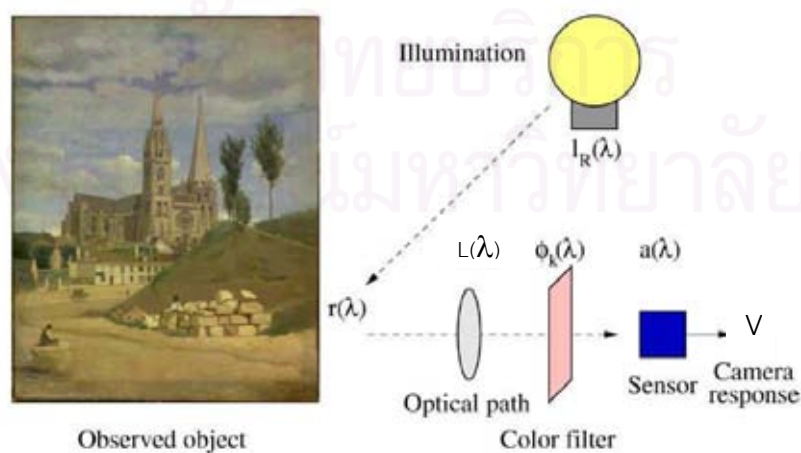
การที่ผู้สังเกตการณ์คนหนึ่งมองเห็นสีของวัตถุ 2 ชิ้นเหมือนกันเมื่อมองดูที่ระยะไกล ซึ่งทำให้มองเห็นวัตถุนั้นมีขนาดเล็กลง แต่เมื่อมองที่ระยะใกล้ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงและมุมมองเดียวกันกลับมองเห็นสีของวัตถุ 2 ชิ้นนั้นแตกต่างกัน

2.1.3.4 เมแทเมอริซึมเนื่องด้วยการมุมมอง

การที่ผู้สังเกตการณ์คนหนึ่งมองเห็นสีของวัตถุ 2 ชิ้นเหมือนกันที่มุมมองหนึ่ง แต่เมื่อเปลี่ยนมุมในการมอง ทำให้มองเห็นสีของวัตถุ 2 ชิ้นนั้นแตกต่างกัน

2.1.4 การผลิตภาพจากข้อมูลสเปกตรัม

การผลิตภาพจากข้อมูลสเปกตรัม (4) คือ การผลิตภาพในลักษณะสีที่ไม่ขึ้นกับอุปกรณ์ โดยอาศัยสเปกตรัมของแสงที่สะท้อนจากวัตถุ โดยแต่ละพิกเซลของภาพจะมีตั้งแต่สามองค์ประกอบไปจนถึงเป็นพันองค์ประกอบมารวมกันเป็นค่าการสะท้อนแสงของวัตถุ ในกระบวนการบันทึกภาพจะประกอบด้วยกล้องที่มีตัวรับแสงและแผ่นกรองแสงที่ถูกเลือกอย่างเหมาะสม หลักการนี้จึงถูกใช้ในการผลิตภาพพิมพ์ที่มีความแม่นยำของสีสูง และยังใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ ด้วย เช่น รีโมทเซนซิง (remote sensing), เครื่องสำอาง, ยา เป็นต้น



รูปที่ 2.3 แบบจำลององค์ประกอบการบันทึกภาพจากข้อมูลสเปกตรัม (4)

จากรูปที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าค่าการตอบสนองของกล้อง (V) หรือค่าพิกเซล (Pixel value) เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบวัตถุแล้วเกิดค่าสเปกตรัมของที่สะท้อนจากวัตถุ เข้าสู่ตัวรับแสง ภายในกล้องโดยผ่านเลนส์และแผ่นกรองแสง โดยสามารถอธิบายการหาค่าการตอบสนองของกล้อง (V) (5) ได้จากสมการ (1) ดังนี้

$$v = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} I_R(\lambda) r(\lambda) L(\lambda) \phi(\lambda) a(\lambda) d\lambda \quad \dots(1)$$

โดยค่า

$I(\lambda)$ = ค่าการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสง

(The spectral radiance of the illuminant)

$r(\lambda)$ = ค่าการสะท้อนแสงเชิงสเปกตรัมของวัตถุ

(The spectral reflectance of the object surface imaged in a pixel)

$L(\lambda)$ = ค่าการส่องผ่านเชิงสเปกตรัมของเลนส์

(The spectral transmittance of the optical system in front of the detector array)

$\phi(\lambda)$ = ค่าการส่องผ่านเชิงสเปกตรัมของแผ่นกรองแสง

(The spectral transmittance of an optical color filter)

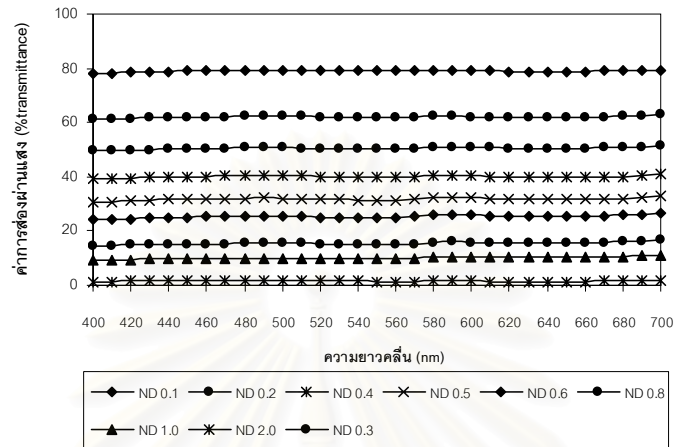
$a(\lambda)$ = ค่าความไวแสงเชิงสเปกตรัมของ CCD

(The spectral sensitivity of the CCD array)

2.1.5 แผ่นกรองแสงชนิดเจลาติน (Gelatin filter)

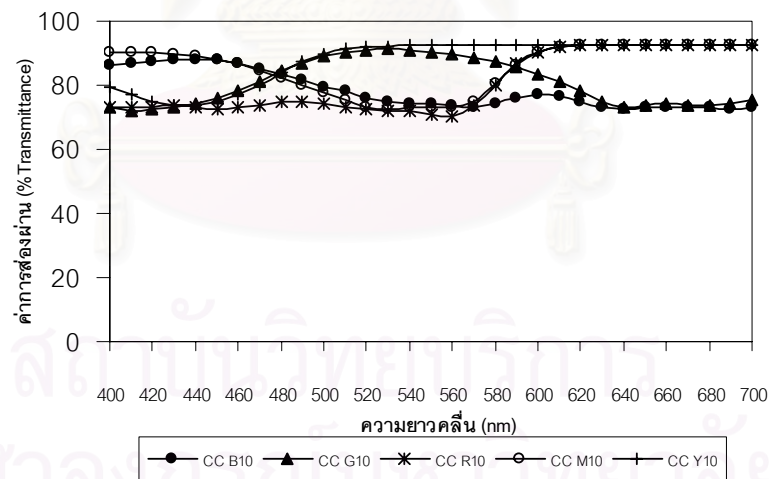
แผ่นกรองแสงชนิดเจลาติน (6) ทำขึ้นจากการผสมระหว่างสีย้อมอินทรีย์กับเจลาตินจากนั้นนำมาเคลือบบนแผ่นแก้ว หลังจากการเคลือบและแห้ง แผ่นฟิล์มเจลาตินจะถูกเอาออกจากแผ่นแก้ว แผ่นกรองแสงชนิดนี้จะมีความหลากหลายของค่าการส่องผ่านแสง สามารถปรับเปลี่ยนขนาดและรูปทรงได้ตรงตามการใช้งานที่ต้องการเหมาะสมกับการใช้งาน มีราคาสูงและมีความแม่นยำสูง โดยชนิดของแผ่นกรองแสงมีอยู่ด้วยกันหลายชนิดโดยแต่ละชนิดสามารถแบ่งตามประเภทการใช้งานได้ตามตัวอย่างข้างล่างนี้ (อ้างถึงแผ่นกรองแสงชนิด Tri-acetyl cellulose ของบริษัท Fuji)

ชนิด ND (Neutral Density) ใช้เป็นแผ่นกรองสำหรับการลดปริมาณแสงจำนวนหนึ่ง โดยจะลดทุกความยาวคลื่นในปริมาณที่เท่ากัน ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 2.4



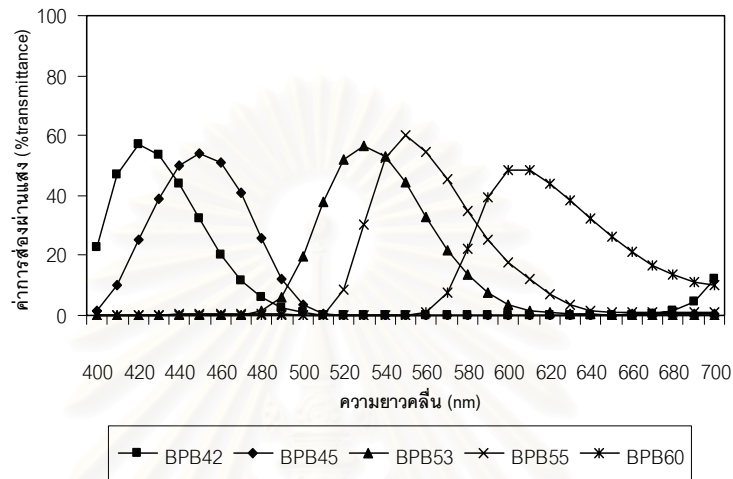
รูปที่ 2.4 ค่าการส่องผ่านของแผ่นกรองแสงชนิด ND

ชนิด CC (Color Corrector) ใช้เป็นแผ่นกรองสำหรับการแก้ไข โดยการเพิ่มหรือลดปริมาณแสงในแต่ละความยาวคลื่นที่ต้องการ ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 2.5



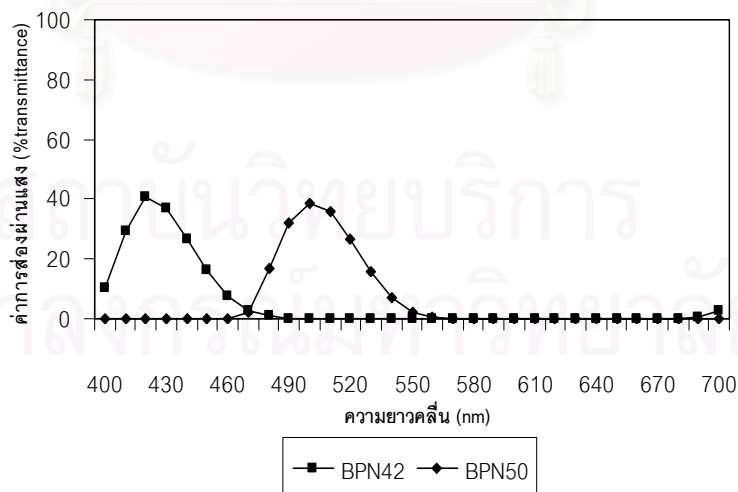
รูปที่ 2.5 ค่าการส่องผ่านของแผ่นกรองแสงชนิด CC

ชนิด BPB (Band Pass Broad) เป็นการเรียกชนิดของแผ่นกรองแสง ตามลักษณะการสะท้อนและดูดกลืนแสงที่มีช่วงกว้างโดยมีความกว้างของความยาวคลื่นประมาณ 1 ใน 3 ของความยาวคลื่นในช่วงที่ตามองเห็นทั้งหมด ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 2.6



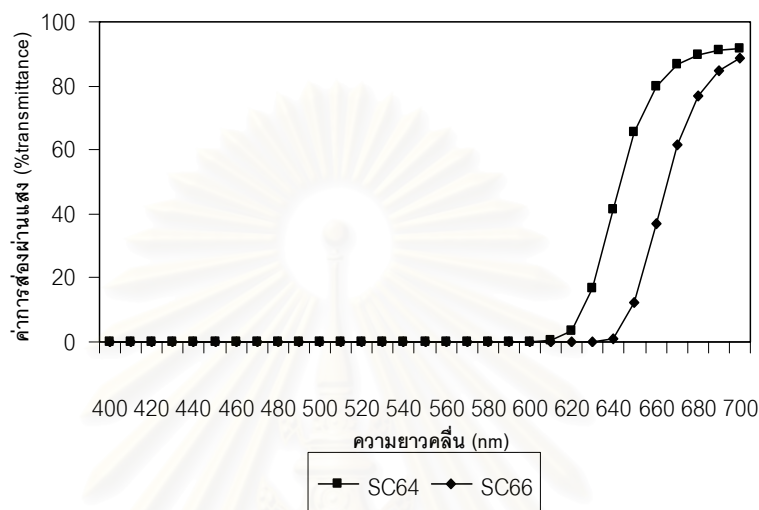
รูปที่ 2.6 ค่าการส่องผ่านของแผ่นกรองแสงชนิด BPB

ชนิด BPN (Band Pass Narrow) เป็นการเรียกชนิดของแผ่นกรองแสง ตามลักษณะการสะท้อนและดูดกลืนแสงที่มีลักษณะเป็นช่วงแคบโดยมีความกว้างของช่วงความยาวคลื่นประมาณ 1 ใน 4 ของช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็นทั้งหมด ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ค่าการส่องผ่านของแผ่นกรองแสงชนิด BPN

ชนิด SC (Sharp Cut) เป็นการเรียกชนิดของแผ่นกรองแสง ตามลักษณะการสะท้อนและดูดกลืนแสงที่มีลักษณะ คือ จะยอมให้แสงบางช่วงคลื่นออกไปและกั้นไม่ให้แสงบางช่วงคลื่นออกไป ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ค่าการส่องผ่านของแผ่นกรองแสงชนิด BPN

2.1.6 การวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก (Principal Component Analysis: PCA)

การวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก (Principal Component Analysis: PCA) (7) เป็นวิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์ โดยใช้การเปลี่ยนรูปข้อมูลที่มีความซับซ้อนไปเป็นข้อมูลชุดใหม่ที่มี ความซับซ้อนน้อยกว่า ซึ่งจะทำให้มองเห็นรายละเอียดของข้อมูลที่มีความสำคัญที่สุดได้ชัดเจน ทำให้สามารถบ่งชี้รูปแบบหรือโครงสร้างในข้อมูลได้โดยดูจากความสัมพันธ์ระหว่างตัวอย่าง และความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ทำการศึกษา

PCA มีแนวคิดคล้ายคลึงกับวิธีการอื่น ๆ เช่น Correspondence analysis, singular value decomposition, การวิเคราะห์ไอเกนเวกเตอร์ (eigenvector analysis) และการวิเคราะห์ตัวประกอบ (factor analysis) วิธีการนี้ใช้หลักจากการสร้างชุดตัวแปรชุดใหม่ (หรือสกัดตัวประกอบ) ที่เรียกว่า Principal Component (PCs) ซึ่งตัวแปรชุดใหม่นี้จะไม่มีความสัมพันธ์กันเลย หรืออธิบายง่าย ๆ คือ ในการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลักนั้นยึดหลักการที่ว่า การที่ตัวแปรหรือข้อมูลต่าง ๆ มีความสัมพันธ์กันก็เพราะตัวแปรต่าง ๆ เหล่านั้นมีตัวประกอบร่วมกัน สังเกตได้จากการจับกลุ่มของตัวแปรหรือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ซึ่งมีความสัมพันธ์สูง

เป็นกลุ่ม ๆ การที่เป็นเช่นนี้เพราะตัวแปรเหล่านั้นมีตัวประกอบร่วมกัน ดังนั้นแทนที่จะใช้ตัวแปรจำนวนมาก ก็สามารถใช้ตัวประกอบร่วมแทนตัวประกอบเหล่านี้ได้ เป็นการลดจำนวนข้อมูลให้น้อยลง

คะแนน (Score) s_{ip} คือ ผลรวมของผลคูณระหว่างค่าของตัวแปรของตัวอย่าง i กับค่า PCs ซึ่งจะกล่าวได้ว่า Score มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับข้อมูลตัวแปร ดังจะเห็นได้จากสมการที่ (2)

$$s_{ip} = \sum v_{jp} * x_{ij} \quad \dots(2)$$

จากสมการที่ (2) v_{jp} คือ ค่าถ่วงน้ำหนัก (loading หรือ weights) ของตัวแปร j ใน PCs และ x_{ij} คือ ค่าในลำดับที่ i ของตัวแปรเริ่มต้น j ในเมทริกซ์สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (3) คือ

$$S = X * V \quad \dots(3)$$

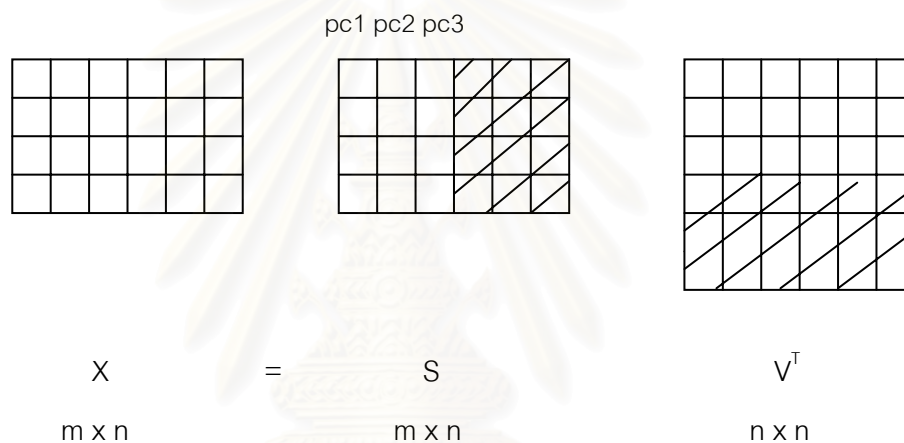
โดยที่ S , X และ V เป็นเมทริกซ์ของ Score, เมทริกซ์ของตัวแปรเริ่มต้น และเมทริกซ์ของค่าถ่วงน้ำหนักตามลำดับ สมการสามารถจัดใหม่ได้ดังสมการที่ (4) คือ

$$X = S * V^T \quad \dots(4)$$

ในทางปฏิบัติมีความหมายว่าเมทริกซ์ X เป็นผลผลิตของ 2 เมทริกซ์ เมทริกซ์แรกเป็น เมทริกซ์ของตัวอย่าง (S) และเมทริกซ์ที่มีข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปร (V) V^T คือ เมทริกซ์ V ที่ถูกทรานสโพส โดยการสลับแถวเป็นหลัก การคำนวณเมทริกซ์ใหม่คือการสกัดตัวประกอบ (PCs) โดยทำอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ตัวประกอบชุดแรก (PC1) ตัวประกอบชุดที่สอง (PC2) ไปตามลำดับจนถึง PCs โดยในแต่ละ PCs จะอธิบายความแปรปรวนที่ PC ก่อนหน้านั้นยังไม่ได้อธิบายให้มากที่สุด เช่น PC1 อธิบายความแปรปรวนของชุดข้อมูลเริ่มต้นได้มากที่สุด PC2 จะอธิบายความแปรปรวนมากที่สุดของข้อมูลที่สกัดตัวประกอบไปแล้วครั้งหนึ่ง การสกัดตัวประกอบสามารถแสดงในรูปที่ 2.9 เมทริกซ์ S เป็นเมทริกซ์ Score ของ m ตัวอย่างบน n ตัวประกอบหลัก โดยแถวแสดงตัวอย่างแต่ละตัว หลักแสดงตัวประกอบ ส่วนเมทริกซ์ V^T ประกอบด้วย loading (หลัก) ของตัวแปรเริ่มต้น n บน n ตัวแปรแฝง (แถว) การเก็บตัวประกอบสำคัญไว้ 2-3 ตัวแรกในกรณีนี้ใช้ PC1-PC3 จะสามารถตัดข้อมูลไม่เกี่ยวข้องออกไป ดังแสดงในรูปที่ 2.9 (ส่วนที่เป็นเส้นทแยงมุมในเมทริกซ์)

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

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



รูปที่ 2. 9 การสกัดตัวประกอบ

2.1.7 การประมาณค่าการสะท้อนแสงด้วยวิธี Wiener estimation

Wiener Estimation (8) เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการประมาณค่าการสะท้อนแสงเชิงสเปกตรัมของวัตถุ (O_{est}) ซึ่งสามารถประมาณได้จากสมการ (5)

$$O_{est} = GV \quad \dots(5)$$

โดยที่

V คือ เวกเตอร์ของการตอบสนองของกล้อง (V_i)

G คือ เมทริกซ์ที่ทำให้ค่า square error (\mathcal{E}) ระหว่างค่าการสะท้อนแสงเชิงสเปกตรัมของต้นฉบับกับค่าการสะท้อนแสงเชิงสเปกตรัมที่ได้จากการประมาณมีค่าน้อยที่สุด ตามสมการ (6)

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \langle (\mathbf{O}_{\text{real}} - \mathbf{O}_{\text{est}})^t (\mathbf{O}_{\text{real}} - \mathbf{O}_{\text{est}}) \rangle \quad \dots(6)$$

โดยที่

\mathbf{O}_{real} คือ ค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการวัด

\mathbf{O}_{est} คือ ค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการประมาณ

ดังนั้น \mathbf{G} ได้ตามสมการ (7) ดังนี้

$$\mathbf{G} = \mathbf{R}_{\text{ov}} \cdot \mathbf{R}_{\text{vw}}^{-1} \quad \dots(7)$$

โดยที่

ค่า \mathbf{R}_{ov} และ \mathbf{R}_{vw} คือ เมทริกซ์สัมพันธ์ ตามสมการ (8) และ (9) ตามลำดับ

$$\mathbf{R}_{\text{ov}} = \langle \mathbf{O}_{\text{real}} \mathbf{V}^t \rangle \quad \dots(8)$$

$$\mathbf{R}_{\text{vw}} = \langle \mathbf{W}^t \rangle \quad \dots(9)$$

โดยค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการประมาณ (\mathbf{O}_{est}) ควรจะใกล้เคียงกับค่าการสะท้อนของวัตถุ (\mathbf{O}_{real}) มากที่สุดจึงจะได้ผลดี

2.1.8 ค่าสีไตรสติมูลัส

ระบบการวัดสีซีไออีเป็นการหาตัวเลขแทนองค์ประกอบสำคัญทั้งสามองค์ประกอบในกระบวนการรับรู้สีของมนุษย์ จึงได้กำหนดมาตรฐานขององค์ประกอบต่าง ๆ (3) ดังนี้

2.1.8.1 ค่าการกระจายพลังงานแสงของแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐานซีไออี ซีไออีได้กำหนดแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน (CIE Standard illuminants) ออกเป็นประเภทต่าง ๆ ดังนี้

2.1.8.1.1 แหล่งกำเนิดแสง A เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีอุณหภูมิสีเทียบเคียง 2856 เคลวิน

2.1.8.1.2 แหล่งกำเนิดแสง B เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีอุณหภูมิสีเทียบเคียง 4874 เคลวิน

2.1.8.1.3 แหล่งกำเนิดแสง C เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีอุณหภูมิสีเทียบเคียง 6774 เคลวิน

2.1.8.1.4 แหล่งกำเนิดแสงกลางวัน หรือแหล่งกำเนิดแสง D แบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ แหล่งกำเนิดแสงที่มีอุณหภูมิสีเทียบเคียง 5,000 5,500 6,500 และ 7,500 เคลวิน และแทนด้วยสัญลักษณ์ D50 D55 D65 และ D75 ตามลำดับ

2.1.8.1.5 แหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ หรือแหล่งกำเนิดแสง F เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีอุณหภูมิสีเทียบเคียง ตั้งแต่ 2,940 ถึง 6,500 เคลวิน

2.1.8.2 ความไวต่อแสงสีของผู้สังเกตการณ์มาตรฐาน ค่าตัวเลขซึ่งแทนหรือสัมพันธ์กับความไวต่อแสงสีของมนุษย์ เป็นค่าที่ได้จากการให้ผู้สังเกตการณ์มาตรฐานกลุ่มหนึ่งที่มีการมองเห็นสีปกติทำการทดลองเทียบปรับสี (Color matching experiment)

2.1.8.3 การสะท้อนของวัตถุสี เป็นค่าการสะท้อนแสงของวัตถุสีที่วัดได้จากเครื่องมือวัดสีที่เรียกว่าสเปกโตรโฟโตมิเตอร์หรือคัลเลอร์มิเตอร์

2.1.8.4 การคำนวณค่าไตรสติมูลัส ค่าสีไตรสติมูลัส (Tristimulus values) หรือ ค่าตัวกระตุ้นทั้งสาม ซึ่งเป็นค่าสีในระบบการวัดสีซีไออี คำนวณหาค่าไตรสติมูลัสได้ดังสมการ (10), (11), (12) และ (13) ตามลำดับต่อไปนี้

$$X = k \int_{400}^{700} S(\lambda) R(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \quad \dots(10)$$

$$Y = k \int_{400}^{700} S(\lambda) R(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \quad \dots(11)$$

$$Z = k \int_{400}^{700} S(\lambda) R(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \quad \dots(12)$$

$$k = \frac{100}{\int_{400}^{700} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda} \quad \dots(13)$$

โดยที่ X Y และ Z คือ ค่าไตรสติมูลต์ของสี

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

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

\bar{x} \bar{y} \bar{z} คือ พังก์ชันการเทียบปรับสีของผู้สังเกตการณ์มาตรฐานซีไออีที 2 องศา

k คือ ค่าคงที่ เพื่อปรับให้ค่าไตรสติมูลต์ Y ของสีของวัตถุใด ๆ ที่มีค่าเท่ากับค่าไตรสติมูลต์ของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงให้มีค่าสูงสุดเท่ากับ 100 ดูได้จากสมการ (13)

$d\lambda$ คือ ช่วงความยาวคลื่น

ถ้าสี 2 สีใด ๆ มีค่าไตรสติมูลต์ $X_1 = X_2$ $Y_1 = Y_2$ และ $Z_1 = Z_2$ แล้ว สี 2 สีนั้นจะเหมือนกันเมื่อมองดูภายใต้แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐานที่กำหนด แม้ว่ากราฟการสะท้อนแสงของสองสีนั้นจะแตกต่างกันก็ตาม

2.1.9 ระบบสี CIELAB

ระบบสี CIELAB (9) 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 $-a^*$ หมายถึงอยู่ในทิศของสีเขียว และ $+b^*$ หมายถึงอยู่ในทิศของสีเหลือง $-b^*$ หมายถึง อยู่ในทิศของสีน้ำเงิน ส่วนพื้นที่ตรงกลางจะไม่สามารถแยกสีได้ (achromatic)

ค่าของ L^* , a^* และ b^* สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (14), (15) และ (16) ดังนี้

$$L^* = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16 \quad \dots(14)$$

$$a^* = 500 [(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}] \quad \dots(15)$$

$$b^* = 200 [(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}] \quad \dots(16)$$

โดยที่

X, Y, Z : ค่าไตรสติมูลต์ XYZ สำหรับมาตรฐานการมองเห็นที่ 2° ของตัวอย่าง

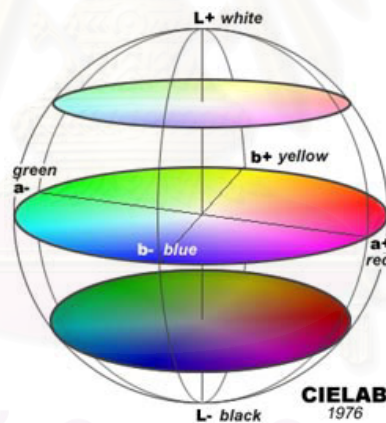
X_n, Y_n, Z_n : ค่าไตรสติมูลต์ XYZ สำหรับมาตรฐานการมองเห็นที่ 2° ของวัตถุที่มีการสะท้อนแสง
กระเจิงอย่างสมบูรณ์

หากค่า $X/X_n, Y/Y_n$ หรือ Z/Z_n น้อยกว่า 0.008856 สูตรข้างบนจะถูกเปลี่ยนมาเป็นสูตรข้างล่างนี้
คือ

$$(X/X_n)^{1/3} \text{ ถูกแทนโดย } 7.787(X/X_n) + (16/116) \quad \dots(17)$$

$$(Y/Y_n)^{1/3} \text{ ถูกแทนโดย } 7.787(Y/Y_n) + (16/116) \quad \dots(18)$$

$$(Z/Z_n)^{1/3} \text{ ถูกแทนโดย } 7.787(Z/Z_n) + (16/116) \quad \dots(19)$$



รูปที่ 2.10 ปริภูมิสีระบบ CIELAB

2.1.10 ปริภูมิสีมาตรฐาน RGB (sRGB/Standard RGB space)

เป็นโหมดสีที่เกิดจากการร่วมมือของ 2 สถาบันคือ HP และ Microsoft ในปี 1996 โดยจะ
นิยมนำไปใช้ในการกำหนดขอบเขตสีของอุปกรณ์ในหลาย ๆ อุปกรณ์ เช่น จอภาพ เครื่อง
สแกนเนอร์ จอโทรทัศน์ กล้องถ่ายรูป หรือแม้แต่ในระบบพิมพ์บางระบบ เป็นต้น การที่จะทำให้
อุปกรณ์ที่ใช้พื้นฐานสีในโหมดของ sRGB แล้วแปลงค่าเป็น CMYK หรือ RGB เพื่อใช้พิมพ์ภาพ
หรือแสดงภาพนั้นก็ต้องมีความถูกต้องแม่นยำ ควรใช้ระบบจัดการสีในการควบคุมและเชื่อมต่อ
ข้อมูล

การแปลงค่าจากปริภูมิสี XYZ เป็นปริภูมิสี sRGB (10)

1. การแปลงค่าสี XYZ เป็นสัญญาณ sRGB สามารถแปลงแบบสมการเชิงเส้นโดยการ
ใช้สมการ(20) ดังนี้

$$\begin{bmatrix} R_{sRGB} \\ G_{sRGB} \\ B_{sRGB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.2410 & -1.5374 & -0.4986 \\ -0.9692 & 1.8760 & 0.0416 \\ 0.0556 & -0.2040 & 1.0570 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad \dots(20)$$

ในกระบวนการแปลงสัญญาณ ค่า sRGB ที่แสดงค่าเป็นลบหรือมากกว่า 1 จะถูกจำกัด
อยู่ในช่วงค่าตั้งแต่ 0-1 เท่านั้น เนื่องจากระดับความเข้มแสง (luminance dynamic range) และ
ขอบเขตสี (Color gamut)

2. จากนั้นทำการแปลงค่าเป็นสัญญาณสีที่ไม่เป็นแบบสมการเชิงเส้นตามสมการต่อไปนี้
ถ้า

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

ให้คำนวณค่า R'_{sRGB} , G'_{sRGB} และ B'_{sRGB} ได้ตามสมการที่ (21), (22) และ (23)

$$R'_{sRGB} = 12.92 \times R_{sRGB} \quad \dots(21)$$

$$G'_{sRGB} = 12.92 \times G_{sRGB} \quad \dots(22)$$

$$B'_{sRGB} = 12.92 \times B_{sRGB} \quad \dots(23)$$

แต่ถ้า

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

ให้คำนวณค่า R'_{sRGB} , G'_{sRGB} และ B'_{sRGB} ได้ตามสมการที่ (24), (25) และ (26)

$$R'_{sRGB} = 1.055 \times R_{sRGB}^{(1.0/2.4)} - 0.055 \quad \dots(24)$$

$$G'_{sRGB} = 1.055 \times G_{sRGB}^{(1.0/2.4)} - 0.055 \quad \dots(25)$$

$$B'_{sRGB} = 1.055 \times B_{sRGB}^{(1.0/2.4)} - 0.055 \quad \dots(26)$$

3. ทำการแปลงค่า R'_{sRGB} , G'_{sRGB} และ B'_{sRGB} กลับมาให้อยู่ในค่าพิกเซล (Pixel Value)

ตามสมการที่ (27), (28) และ (29)

โดยที่ WDC คือ ค่าพิกเซลที่จุดขาวสุด

KDC คือ ค่าพิกเซลที่จุดดำสุด

$$R_{\text{out}} = \left((WDC - KDC) \times R'_{,RGB} \right) + KDC \quad \dots(27)$$

$$G_{\text{out}} = \left((WDC - KDC) \times G'_{,RGB} \right) + KDC \quad \dots(28)$$

$$B_{\text{out}} = \left((WDC - KDC) \times B'_{,RGB} \right) + KDC \quad \dots(29)$$

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

2.1.11 โปรแกรม MATLAB

MATLAB (11) เป็นโปรแกรมที่ใช้ภาษาคอมพิวเตอร์ขั้นสูง (High-level Language) สำหรับการคำนวณทางเทคนิคที่ประกอบด้วยการคำนวณเชิงตัวเลข กราฟิกที่ซับซ้อน และการจำลองแบบเพื่อให้มองเห็นภาพพจน์ได้ง่ายและชัดเจน ชื่อของ MATLAB ย่อมาจาก matrix laboratory เพื่อใช้สำหรับการคำนวณทาง matrix หรือเป็น matrix software ดังนั้นโปรแกรมนี้จึงเป็นเครื่องมือสำหรับงานวิจัย พัฒนาและวิเคราะห์

โปรแกรม MATLAB มีกล่องเครื่องมือที่ใช้ในการหาคำตอบเรียกว่า Toolbox โดยจะมีแต่ละสาขา เช่น การประมวลผลสัญญาณ (signal processing toolbox), การประมวลผลภาพ (image processing toolbox) ระบบควบคุม (control system toolbox), โครงข่ายประสาท (neural network toolbox), เวฟเลท (wavelet toolbox), การติดต่อสื่อสาร (communication toolbox) สถิติ (statistics toolbox) และอื่น ๆ อีกมากมาย ภายใน Toolbox แต่ละสาขาจะมีฟังก์ชันต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาในสาขานั้น ๆ ในการเลือกประยุกต์ใช้งาน

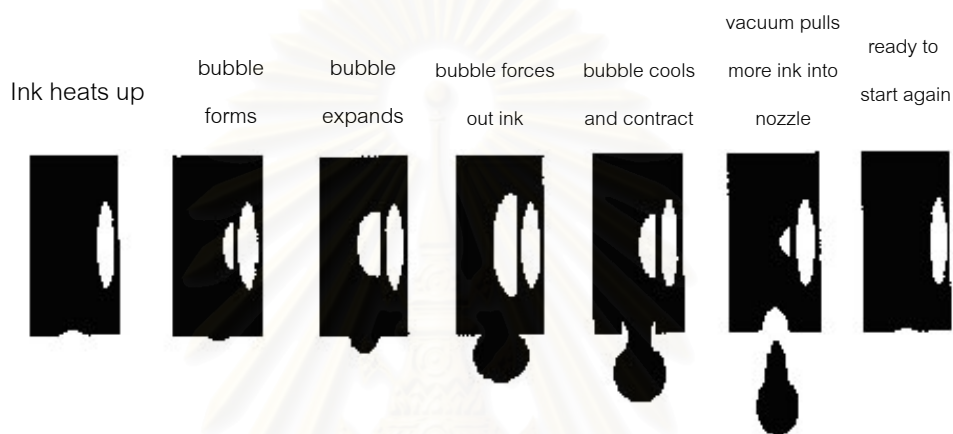
2.1.12 เครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึก (Inkjet printer)

เครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะของการพ่นหมึก (12) ดังนี้

2.1.11.1 พ่นหมึกทีละหยด (Drop-on-demand หรือ DOD inkjet)

โครงสร้างของเทคโนโลยี DOD จะเห็นส่วนตอนปลายของหัวพ่นหมึก (Nozzle) ที่ยังบรรจุหมึกค้างอยู่ภายในไม่สามารถพ่นออกมาได้ โดยทั่วไปจะมีขนาดระหว่าง 10-

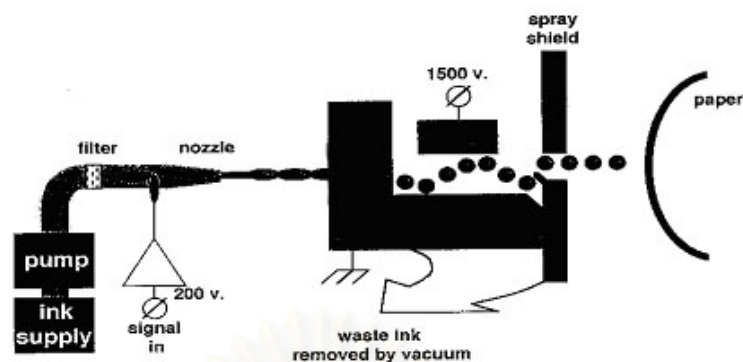
100 ไมครอน ในขณะที่ผนังอีกด้านหนึ่งยังมีแผ่นฟิล์มบาง ๆ เคลือบกับสารไวความร้อน (Heating element) อยู่ แผ่นฟิล์มนี้จะถูกเชื่อมต่อกับลวดนำไฟฟ้าเพื่อรับสัญญาณไฟฟ้า สัญญาณนี้จะถูกส่งก็ต่อเมื่อต้องการพ่นหมึกออก โดยสารไวความร้อนจะถ่ายโอนความร้อนผ่านไปแผ่นฟิล์ม ทำให้เกิดการขยายตัวไปดันหมึกและหดตัวในเวลาต่อมาให้หมึกถูกพ่นออกมาทางหัวพ่นหมึก เป็นหยดหมึก (Droplets) ดังรูปที่ 2.11 เทคโนโลยีนี้อาจรู้จักกันอีกชื่อหนึ่งว่า บับเบิลเจ็ต (Bubble jet)



รูปที่ 2.11 การทำงานของเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ตแบบเทคโนโลยีพ่นหมึกทีละหยด (Drop-On-Demand)

2.1.12.2 เทคโนโลยีเครื่องพิมพ์พ่นหมึกแบบต่อเนื่อง

หมึกจะถูกปั๊มจากถังหมึกให้ไปผ่านส่วนหัวพิมพ์ของเครื่อง ซึ่งเป็นช่องว่าง มีฝาปิดทุกด้าน ผนังด้านหน้าจะมีหัวพ่นหมึก (Nozzle) ในขณะที่อีกด้านหนึ่งจะถูกผนึกด้วยแผ่นผลึกปิเอโซ (Piezo crystal) ผลึกนี้เมื่อได้รับสัญญาณไฟฟ้าจะสั่นให้คลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic) ซึ่งจะไปรบกวนสายหมึกที่ถูกพ่นออกมาจากหัวพ่นหมึกให้ขาดออกจากกัน กลายเป็นหยดหมึกกลมขนาดเล็ก (Droplets) ตามลักษณะคลื่นผลึกปิเอโซที่ปล่อยออกมา หยดหมึกเหล่านี้จะถูกพ่นออกมาต่อเนื่องตลอดเวลาที่เครื่องพิมพ์ทำงาน ขั้นตอนต่อไป หยดหมึกแต่ละหยดจะได้รับการชาร์จประจุ ซึ่งค่าประจุนี้สามารถควบคุมได้ ขึ้นอยู่กับผู้ปฏิบัติงาน จากนั้นหยดหมึกจะวิ่งต่อไปยังสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อเบี่ยงเบนไปเกาะติดที่กระดาษพิมพ์ มุมการเบี่ยงเบนจะขึ้นอยู่กับค่าประจุที่ป้อนให้กับหยดหมึก ภาพหยดหมึกเหล่านี้จะเรียงตัวกันเป็นอักขระ ตัวเลขหรือภาพตามต้องการ ส่วนหยดหมึกที่ไม่มีประจุจะไม่มีอาการเบี่ยงเบน แต่จะวิ่งตรงผ่านไปที่ท่อเก็บหมึก (Gutter) และหมุนเวียนนำกลับไปใช้ใหม่ได้ดังรูปที่ 2.12



Components for a single nozzle Hertz continuous ink jet printhead

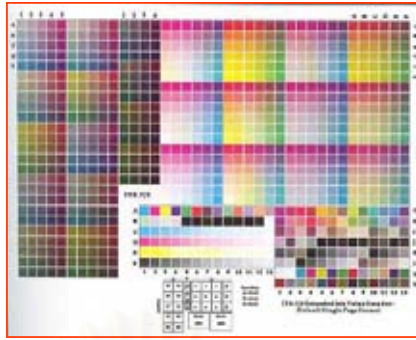
รูปที่ 2.12 การทำงานของเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ทแบบเทคโนโลยีพ่นหมึกแบบต่อเนื่อง (Continuous)

2.1.13 การปรับตั้งและหาลักษณะเฉพาะของเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึก

การปรับตั้งมาตรฐานของการพิมพ์ (2) คือ ทำให้อุปกรณ์นั้นแสดงค่าสีคงที่เหมือนกันทุกครั้งที่ใช้งาน โดยจะต้องทำการกำหนดสภาวะในการพิมพ์ก่อนการส่งพิมพ์ เช่น กำหนดความเร็ว (speed) ความละเอียด (resolution) และชนิดของกระดาษ (type of paper) เป็นต้น

การหาลักษณะเฉพาะของเครื่องพิมพ์ คือ หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีที่ขึ้นกับอุปกรณ์กับค่าสีที่ไม่ขึ้นกับอุปกรณ์ เพื่อนำไปใช้กำหนดสัญญาณสีที่ส่งไปแสดงผลยังเครื่องพิมพ์ให้ผลิตสีได้ตรงกับความต้องการ โดยสามารถทำได้ดังนี้ คือ

1. พิมพ์แผ่นมาตรฐานสี IT 8 ลงบนกระดาษ ด้วยเครื่องพิมพ์ที่ถูกกำหนดสภาวะในการพิมพ์เรียบร้อยแล้ว
2. นำแผ่นพิมพ์ที่ได้มาวัดค่าสีด้วยเครื่อง Spectrolino
3. สร้าง Printer Profile ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีนำเข้ากับค่าสีที่แสดงผลด้วยเครื่องพิมพ์



รูปที่ 2.13 แผ่นสีมาตรฐาน IT8

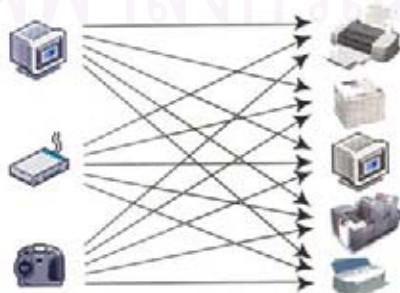
2.1.14 ระบบการจัดการสี

ระบบการจัดการสี (2) คือ ระบบที่ทำการปรับเทียบอุปกรณ์ทุกอย่างในระบบให้สื่อสารข้อมูลของสีและแสดงผลออกมาได้ตรงกัน รวมทั้งสามารถผลิตสีที่สามารถทำนายได้และมีประสิทธิภาพคงที่ หรือการทำให้สีของสีที่ผลิตได้ใกล้เคียงกับต้นฉบับ โดยหลักการทำงานของระบบการจัดการสีคือทำการเก็บข้อมูลการทำงานของระบบในรูปแบบไฟล์ที่ทำหน้าที่เก็บค่าข้อมูลของแต่ละอุปกรณ์ว่ามีขอบเขตสีอย่างไรและทำการเปลี่ยนแปลงค่าสีไปตามการทำงาน เพื่อให้มีค่าสีที่ผลิตได้ตรงกับความต้องการด้วยการแปรค่าสีตามกระบวนการต่าง ๆ

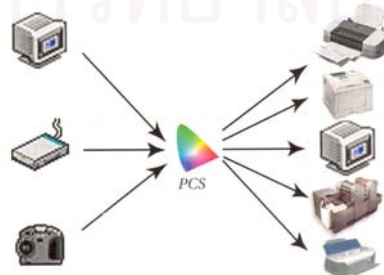
2.1.15 องค์ประกอบในระบบการจัดการสี

ระบบการจัดการสีประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 4 อย่างในการทำงาน (2) ดังนี้

2.1.15.1 Profile connection space (PCS) ทำหน้าที่เชื่อมค่าสีที่ขึ้นกับอุปกรณ์นำเข้าและส่งออกเข้าด้วยกัน โดยจะเชื่อมด้วยค่า CIE XYZ หรือ CIE LAB ซึ่งเป็นค่าสีที่ไม่ขึ้นกับอุปกรณ์ โดยที่จะทำให้อุปกรณ์ส่งออก (output) แสดงสีได้เหมือนกับที่นำเข้า (input) และการที่ PCS จะทำได้สำเร็จนั้นจะต้องอาศัย Color Management Module (CMM)



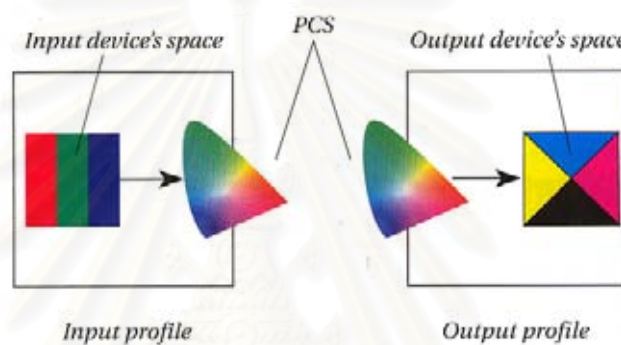
รูปที่ 2.14 ระบบการทำงานที่ไม่มี PCS



รูปที่ 2.15 ระบบการทำงานที่มี PCS

2.1.15.2 Color management module (CMM) เป็นกลไกการทำงานของซอฟต์แวร์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนค่าขอบเขตสีของต้นฉบับไปสู่ PCS และจาก PCS ไปสู่ค่าสีของอุปกรณ์ปลายทาง

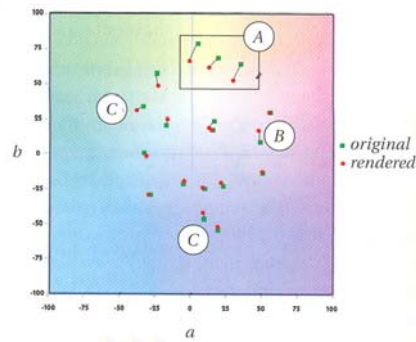
2.1.15.3 Profiles คือส่วนที่เก็บข้อมูลของค่าสี PCS และวิธีที่ CMM ทำงานโดยข้อมูลที่ถูกเก็บไว้จะทำงานได้ต้องมี PCS และ CMM โดยไฟล์จะเก็บข้อมูลค่าสีไว้ในรูปแบบย่อแต่เวลาใช้งานนั้น CMM จะทำการประมาณค่าช่วง (Interpolation) เพื่อให้ได้ขอบเขตสีที่สามารถแสดงผ่านอุปกรณ์ส่งออกได้



รูปที่ 2.16 การเก็บข้อมูลและการใช้งานไฟล์

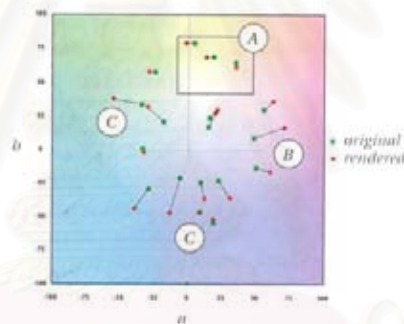
2.1.15.4 Rendering intent เมื่อ CMM ทำหน้าที่เปลี่ยนค่าสีของอุปกรณ์นำเข้าแล้วพบว่าค่าสีที่ได้อยู่นอกขอบเขตสีที่อุปกรณ์ส่งออกสามารถแสดงได้จึงต้องมีการแปลงค่าสีให้มาอยู่ในขอบเขตที่สามารถผลิตได้ โดยกระบวนการแปลงค่าสีโดยทั่วไปมี 4 แบบ คือ

2.1.15.4.1 Perceptual วิธีนี้เป็นวิธีที่รักษาน้ำหนักสีของภาพไว้ โดยทำการเปลี่ยนสีทั้งหมดในขอบเขตของแหล่งต้นทาง (source) ในสัดส่วนที่เท่า ๆ กันไปยังขอบเขตของอุปกรณ์ที่จะส่งออกข้อมูลสี จากรูปที่ 2.17 ส่วนที่อยู่บริเวณ A คือส่วนที่อยู่นอกขอบเขตสีจะมีการปรับเข้ามาให้อยู่ในขอบเขตสีที่อุปกรณ์ส่งออกสามารถผลิตสีนั้นได้ ส่วนที่บริเวณ B และ C คือส่วนที่อยู่ในขอบเขตสีซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงโดยวิธี Perceptual



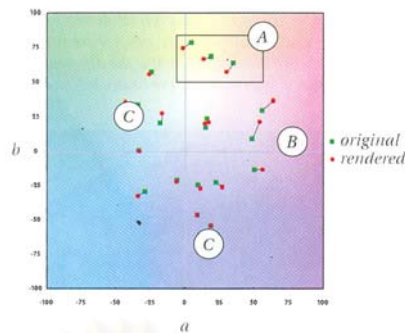
รูปที่ 2.17 กระบวนการแปลงค่าสีแบบ Perceptual

2.1.15.4.2 Saturation วิธีนี้เป็นวิธีการผลิตสีที่ดีที่สุดเท่าที่จะทำได้ของอุปกรณ์ที่จะส่งออกข้อมูลสี จากรูปที่ 2.18 บริเวณ A คือส่วนที่อยู่นอกขอบเขตสีซึ่งจะถูกปรับให้เข้ามาอยู่ในขอบของขอบเขตสี บริเวณ B และ C คือส่วนที่อยู่ในขอบเขตสีซึ่งวิธีนี้จะทำการปรับให้ไปอยู่ที่ขอบของขอบเขตสีทำให้สีที่ได้สดที่สุด



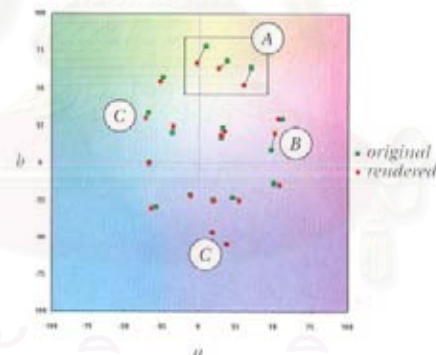
รูปที่ 2.18 กระบวนการแปลงค่าสีแบบ Saturation

2.1.15.4.3 Relative colorimetric วิธีนี้เป็นวิธีการรักษาน้ำหนักสีของภาพโดยจะเปลี่ยนเฉพาะสีที่อยู่นอกขอบเขต ด้วยการปรับ white point และพยายามที่จะแสดงสีในขอบเขตเท่าที่ทำได้ให้ตรงกับอุปกรณ์ส่งออก จากรูปที่ 2.19 บริเวณ A คือส่วนที่อยู่นอกขอบเขตสีซึ่งจะถูกปรับให้เข้ามาอยู่ในขอบของขอบเขตสีอุปกรณ์ส่งออกด้วยวิธี Relative colorimetric บริเวณ B และ C ซึ่งส่วนที่ได้อยู่ในขอบเขตสีแต่ถูกปรับในสัดส่วนที่เท่า ๆ กันโดยวิธี Perceptual เพื่อรักษาน้ำหนักสีของภาพที่อยู่ภายในขอบเขตสี



รูปที่ 2.19 กระบวนการแปลงค่าสีแบบ Relative colorimetric

2.1.15.4.4 Absolute colorimetric วิธีการแปลงค่าสีวิธีนี้เป็นวิธีการรักษาน้ำหนักสีของภาพโดยจะเปลี่ยนเฉพาะสีที่อยู่นอกขอบเขต และพยายามที่จะแสดงสีในขอบเขตเท่าที่ทำได้โดยส่วนที่อยู่นอกขอบเขตจะถูกเปลี่ยนมาอยู่ที่ขอบของขอบเขตสีของอุปกรณ์ส่งออก จากรูปที่ 2.20 บริเวณ A คือส่วนที่อยู่นอกขอบเขตสีซึ่งจะถูกปรับให้มาอยู่ที่ขอบของขอบเขตสีของอุปกรณ์ส่งออก โดยพยายามให้สีที่แสดงตรงกับน้ำหนักสีของภาพเท่าที่ทำได้ บริเวณ B และ C คือส่วนที่อยู่ในขอบเขตสีแต่ถูกปรับในสัดส่วนที่เท่า ๆ กันโดยวิธี perceptual เพื่อรักษาโทนภาพที่อยู่ภายในขอบเขตสี



รูปที่ 2.20 กระบวนการแปลงค่าสีแบบ Absolute colorimetric

2.1.16 การวิเคราะห์สี

การวิเคราะห์สี โดยทั่วไปมีหลักการพิจารณาดังนี้

2.1.16.1 การพิจารณาว่าตัวอย่างกับมาตรฐานแตกต่างกันหรือไม่ ซึ่งอาจจะอยู่ในลักษณะที่เป็นค่าที่ได้จากการอ่านเครื่องมือวัด หรือการแสดงความคิดต่อสีที่เห็น

2.1.16.2 การอธิบายความแตกต่างของสี โดยหลังจากที่ประเมินแล้วว่าค่าสีมีความแตกต่างกัน จะต้องมีการวิเคราะห์หรืออธิบายความแตกต่างของสีนั้นให้สามารถสื่อให้ทุก

คนรู้ตรงกันว่าแตกต่างจริง วิธีหนึ่งที่ใช้ในการอธิบายความแตกต่างของสีในระบบการวัดสีของซีไอเอคือ การคำนวณความแตกต่างของสี 2 สีใด ๆ ในแผนภูมิ CIELAB ดังสมการที่ (30)

$$\Delta E^*_{ab} = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2} \quad \dots(30)$$

เมื่อ ΔE^*_{ab} คือ ค่าความแตกต่างของสีในปริภูมิระบบสี CIELAB

ΔL^* คือ ค่าความแตกต่างของความสว่างของสีในปริภูมิระบบสี CIELAB

Δa^* คือ ค่าความแตกต่างของสีแดงและสีเขียวในปริภูมิระบบสี CIELAB

Δb^* คือ ค่าความแตกต่างของสีเหลืองและสีน้ำเงินในปริภูมิระบบสี CIELAB

โดยค่า ΔE^*_{ab} ที่คำนวณได้จากสมการจะนำมาใช้เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของค่าความแตกต่างสีจากตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ΔE^*_{ab} ตามมาตรฐานระบบ CIELAB

| ΔE^*_{ab} | ความแตกต่าง |
|-------------------|--|
| <0.2 | สังเกตเห็นไม่เห็นความแตกต่าง |
| 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 | แตกต่างกันโดยสิ้นเชิง |

หมายเหตุ ค่าความแตกต่างของสีในตารางคือความแตกต่างสีภายใต้แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐานที่มีการควบคุมคงที่ และเปรียบเทียบสีของภาพบนวัสดุใช้พิมพ์เดียวกัน ซึ่งค่าความแตกต่างสีที่สังเกตเห็นได้อาจจะแตกต่างออกไปจากตารางถ้ามีการเปรียบเทียบภาพที่อยู่ต่างสภาวะกัน

2.1.16.3 การพิจารณาว่าจะยอมรับความแตกต่างของสีนั้น ๆ หรือไม่ ในทางปฏิบัติคือการจำกัดค่า ΔE^*_{ab} นั้นเอง ซึ่งในการจำกัดค่าความแตกต่างนี้ก็ขึ้นกับลักษณะหรือจุดประสงค์ของการนำสีนั้นไปใช้งานและความต้องการของลูกค้า โดยงานที่มีมาตรฐานสูงจะมีการจำกัดให้ค่า ΔE^*_{ab} มีค่าน้อยมาก

หมายเหตุ ความแตกต่างของสี ΔE^*_{ab} ในปริภูมิสี $L^*a^*b^*$ จะแสดงถึงระดับความแตกต่างของสีเท่านั้น ไม่ได้บอกหรือกำหนดทิศทางไว้

2.1.17 รากกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square : RMS)

รากกำลังสองเฉลี่ย (14) เป็นวิธีในการหาค่าความแตกต่างระหว่างค่าการสะท้อนแสงจากต้นฉบับกับค่าการสะท้อนแสงจากการประมาณ โดยสามารถคำนวณค่าได้ดังสมการ (31)

$$RMS = \sqrt{\frac{(R_{400} - \bar{R}_{400})^2 + (R_{410} - \bar{R}_{410})^2 + \dots + (R_{700} - \bar{R}_{700})^2}{\text{จำนวนข้อมูลทั้งหมด}}} \quad \dots(31)$$

โดยที่

R = ค่าการสะท้อนแสง ณ ความยาวคลื่นใด ๆ ที่ได้จากการประมาณ

\bar{R} = ค่าการสะท้อนแสง ณ ความยาวคลื่นใด ๆ ที่ได้จากการวัด

2.1.18 เทคนิคการมองภาพ (Viewing Techniques)

เทคนิคการมองภาพวิธีที่ใช้ในการเปรียบเทียบภาพ มีอยู่ 5 เทคนิค (15) ที่สามารถใช้ในการเปรียบเทียบภาพได้ทั้งแบบ hardcopy และ softcopy ซึ่งในแต่ละเทคนิคนั้นมีหลักการดังนี้

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

2.1.18.5 successive-ganzfeld-haploscopic viewing (SCH) : ลักษณะการมองเหมือนกับ simultaneous-haploscopic viewing แต่ต่างกันตรงที่ผู้สังเกตการณ์ไม่ได้มองภาพต้นฉบับและภาพที่ผลิตได้ในเวลาเดียวกัน โดยในขณะที่ตาข้างหนึ่งมองภาพ ตาอีกข้างจะใช้แผ่นกรองแสงแบบกระเจิงแสงปิดไว้

2.1.19 วิธีการเทียบสีเชิงคุณภาพ (Subjective method)

วิธีการเทียบสีเป็นการเทียบสีโดยใช้สายตาเป็นตัวตัดสินว่าสี 2 สีมีความเหมือนกันมากน้อยเพียงใด โดยแบ่งเป็น 3 วิธี (16) ได้แก่

2.1.19.1 Pair comparison : ผู้สังเกตการณ์เทียบสีตัวอย่าง 2 สีเป็นคู่ ๆ โดยสีตัวอย่างแต่ละสีจะถูกเทียบกันเป็นคู่จนครบทุกสี ซึ่งต้องทำการเลือกสีตัวอย่างที่เหมือนกับสีต้นฉบับมากที่สุด

2.1.19.2 Category judgment : ผู้สังเกตการณ์เทียบสีระหว่างสีต้นฉบับกับสีตัวอย่างเป็นคู่ ๆ โดยใช้ตัวเลขแบ่งระดับชั้นความเหมือน เช่น มี 5 ระดับ โดยที่ 1 หมายถึงเหมือนน้อยที่สุด, 2 หมายถึงเหมือนน้อย, 3 หมายถึงเหมือนปานกลาง, 4 หมายถึงเหมือนมาก และ 5 หมายถึงเหมือนมากที่สุด

2.1.19.3 Method of Adjustment : ผู้สังเกตการณ์ทำการปรับสีตัวอย่างให้ได้สีเหมือนกับสีต้นฉบับ

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การผลิตภาพที่มีความแม่นยำสูงจำเป็นที่จะต้องอาศัยกระบวนการที่มีประสิทธิภาพ ในงานวิจัยของ MacDonald และ คณะ (17) กล่าวว่ากระบวนการผลิตภาพระบบดิจิทัล สีที่เกิดขึ้นมีทั้งสีที่ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ (device-dependent) และสีที่ไม่ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ (device-independent) มีผลทำให้ภาพที่ผลิตกับต้นฉบับมีสีไม่ตรงกัน หรืออาจเกิดปรากฏการณ์ Metamerism เพื่อลดปัญหาดังกล่าว การผลิตภาพเชิงสเปกตรัมจึงเกิดขึ้น เนื่องจากค่าสเปกตรัมมีคุณสมบัติไม่เปลี่ยนแปลงหรือคงที่ของวัตถุ ทำให้สีที่ได้จากการผลิตมีความถูกต้องและตรงกับต้นฉบับมากขึ้น แม้ว่าจะเปลี่ยนแหล่งกำเนิดแสงในการมองไป

การผลิตภาพเชิงสเปกตรัมโดย Miyake และ Yokoyama (18) ได้ทำระบบการจัดการสีรูปแบบใหม่ให้พัฒนาสำหรับการบันทึกและการผลิตภาพสีคุณภาพสูง ระบบที่สร้างขึ้นประกอบไปด้วย กล้องที่มีความแม่นยำสูง คอมพิวเตอร์ประมวลผล และ จอแสดงผล โดยกล้องที่ใช้เป็นกล้องคุณภาพสูง 2 ตัว ซึ่งได้แก่ กล้องยี่ห้อ Fotex รุ่น F-10 [2048X2048 พิกเซล, 12 บิต/channel] และยี่ห้อ Kodak รุ่น DCS420m [1536X1024 พิกเซล, 8 บิต/channel] ที่ถูกบังหน้าเลนส์ด้วยวงล้อของแผ่นกรองแสงหลังจากการบันทึก ค่าการตอบสนองของกล้อง (pixel value) ที่ได้ในแต่ละแผ่นกรองแสงจะถูกรวมเข้าด้วยกัน เพื่อใช้สำหรับการประมาณค่าการสะท้อนแสง การเลือกแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม วิธี PCA ถูกนำมาใช้ โดยวิเคราะห์จากค่าการสะท้อนแสงในแต่ละแผ่นสี (Color patch) ของสีน้ำมัน โดยดูจากจำนวนองค์ประกอบหลักและสัดส่วนค่าความถี่สะสมขององค์ประกอบหลักที่เหมาะสม ผลที่ได้คือ จำนวนแผ่นกรองแสง 5 แผ่น เนื่องจากที่ 5 องค์ประกอบหลัก สามารถประมาณค่าการสะท้อนแสงของสีน้ำมันได้ถึง 99% โดยใช้วิธี Wiener estimation ได้ค่าความแตกต่างสี (ΔE^*_{ab}) เฉลี่ยเท่ากับ 1.16 ชนิดของแผ่นกรองแสงคือ SP-1, SP-7, SP-15, SC-60 และ SC-68

จำนวนของแผ่นกรองแสงมีผลต่อความถูกต้องของสีที่ได้จากการผลิตเชิงสเปกตรัม กล่าวโดย Hardeberg และคณะ (4) ในงานวิจัยพบว่า จำนวนแผ่นกรองแสงมีผลต่อการประมาณค่าการสะท้อนแสง โดยเมื่อจำนวนแผ่นกรองแสงที่ใช้ในการผลิตภาพเพิ่มมากขึ้น ค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการประมาณโดยใช้วิธี pseudo inverse จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าการสะท้อนแสงของต้นฉบับมากขึ้นด้วย พิจารณาจากค่าความผิดพลาดของรากกำลังเฉลี่ย (Root Mean Square error :RMS error) ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าความผิดพลาดของรากกำลังสองเฉลี่ยกับจำนวนของแผ่นกรองแสง

| Number of filters | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| (Mean RMS error)/10 ⁻² | 3.57 | 2.39 | 1.78 | 1.32 | 1.11 | 0.87 | 0.57 | 0.56 | 0.36 | 0.3 |
| (Max RMS error)/10 ⁻³ | 8.79 | 6.77 | 5.38 | 4.93 | 6.16 | 3.23 | 1.74 | 1.84 | 1.22 | 1.05 |

ต้นฉบับและการวิเคราะห์ผล พบว่า ต้นฉบับที่ใช้ในการบันทึกจะมี 2 ลักษณะด้วยกัน ซึ่งได้แก่ ต้นฉบับที่เป็นแผ่นสี (Color patch) ที่ใช้สำหรับการสร้างและการทดสอบกระบวนการ และภาพโทนต่อเนื่อง (Continues tone) ใช้สำหรับการพิจารณาระดับความเหมือนกับต้นฉบับ เห็นได้จากงานวิจัยของ Imai และคณะ (19) ค่ารากกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square: RMS) และค่าความแตกต่างสีด้วยการพิจารณาด้วย Metamerism index ถูกนำมาใช้ตัดสินค่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นของค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการประมาณกับค่าการสะท้อนแสงของวัตถุ ในงานวิจัยของ Li และ คณะ (14)

การแปลงค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากกระบวนการผลิตเชิงสเปกตรัม เพื่อแสดงไปยังอุปกรณ์แสดงผล Stokes และคณะ (10) ได้แสดงสมการการแปลงค่าไตรสติมูลัส (XYZ) ไปเป็นค่าสี sRGB โดยสีขาวอ้างอิงภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65 การแปลงค่าสีแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การแปลงแบบสมการเชิงเส้นและไม่เป็นแบบสมการเชิงเส้น โดยขอบเขตสี sRGB จะครอบคลุมในทุกอุปกรณ์แสดงสีโดยส่วนใหญ่

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 วัสดุ

3.1.1.1 กระดาษบ็อกกิ้งฟอ์ด 190 แกรม

3.1.1.2 สีน้ำของศิลปินประดิษฐ์จำนวน 35 สี

3.1.1.3 กระดาษแข็งสีเทา

3.1.1.4 กระดาษกาวสองหน้า

3.1.1.5 เครื่องปาดหมึก แบบวายบาร์

3.1.1.6 แผ่นกรองแสงของ Fuji จำนวน 9 แผ่น มี 3 ชนิด ดังนี้

3.1.1.6.1 ชนิด BPB (Band pass board) เบอร์ 42, 45, 50, 53 และ 55

3.1.1.6.2 ชนิด BPN (Band pass narrow) เบอร์ 42 และ 50

3.1.1.6.3 ชนิด SC (Sharp cut) เบอร์ 64 และ 66

3.1.1.7 กระดาษชนิด Artist paper ของ JQ

3.1.1.8 ภาพศิลปะสีน้ำ จำนวน 3 ภาพ ได้แก่

3.1.1.8.1 ภาพคน

3.1.1.8.2 ภาพทิวทัศน์

3.1.1.8.3 ภาพนามธรรม

3.1.2 อุปกรณ์

3.1.2.1 กล้องวิดีโอทัศนภาพนิ่ง ของ Sanyo ที่มีลักษณะการบันทึกแบบ กล้องสีเดี่ยว (Achromatic camera) [ความละเอียด 640X480 พิกเซล] ซึ่งประกอบด้วยความ ยาวโฟกัสของเลนส์เท่ากับ 12 mm. รูรับแสง(focus number) เท่ากับ 2.0

3.1.2.2 กล้องดิจิทัล ของ Olympus รุ่น C 5064

3.1.2.3 เครื่องวัดความเข้มแสง (Luxmeter) ของ Minolta จำนวน 1 เครื่อง

3.1.2.4 แหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ : Three narrow band cool white (F11)

3.1.2.5 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ของ Grating Mecbeth รุ่น Spectrolino

3.1.2.6 เครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึก ของ Epson Styles Photo 1290

3.1.2.7 ตู้แสงมาตรฐานแหล่งกำเนิดแสง D50, D65 และ A

3.1.2.8 โปรแกรม Minitab version 10

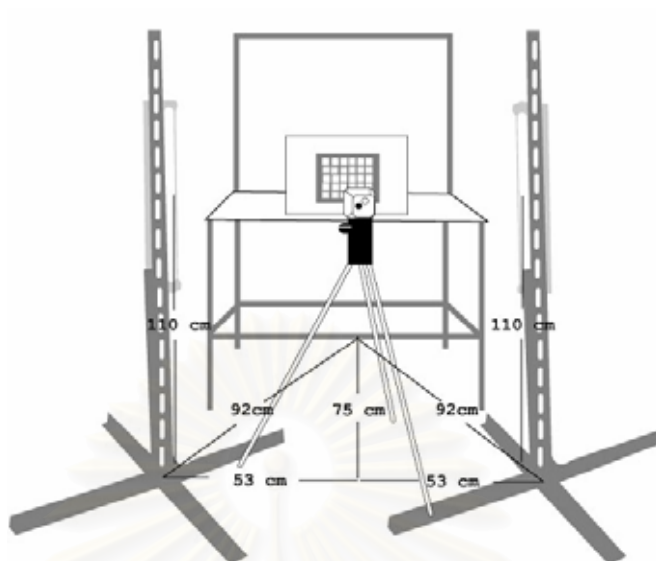
3.1.2.9 โปรแกรม MATLAB version 6.5

3.1.2.10 โปรแกรมจัดการสี Profile maker Pro 5.0.1

3.1.2.11 โปรแกรม Photoshop version 7

3.2 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.2.1 จัดตั้งวัสดุและอุปกรณ์สำหรับการบันทึกภาพ



รูปที่ 3.1 แบบจำลองการบันทึกภาพต้นฉบับ พร้อมระยะห่างของกล้องวิดีโอทัศนภาพนิ่ง และแหล่งกำเนิดแสง F11 กับต้นฉบับ

จากรูปที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าระยะห่างของวัสดุและอุปกรณ์ หาได้ดังต่อไปนี้

3.2.1.1 ขนาดและระยะห่างของภาพต้นฉบับกับกล้อง

ขนาดและระยะของต้นฉบับกับกล้องที่ใช้ในการบันทึกภาพ จะต้องเหมาะสม คือ ต้นฉบับต้องอยู่ในกรอบภาพ และสอดคล้องกับระยะห่างของกล้อง ที่ทำให้ภาพที่ได้จากการบันทึกไม่เกิดการบิดเบี้ยว (ทดสอบด้วยภาพลายเส้นตาราง)

3.2.1.2 ระยะห่างระหว่างภาพต้นฉบับกับแหล่งกำเนิดแสง

หาโดยการทดสอบด้วย แผ่นสีมาตรฐาน Gratag Macbeth ที่ได้ระดับความสว่างตั้งแต่ระดับขาวสุดถึงดำสุด โดยให้ภาพที่บันทึกมีค่าฟิกเชลอยู่ระหว่าง 0-250 เพื่อกำหนดไม่ให้แสงมีปริมาณที่มากเกินไป (over)

3.2.2 สร้างต้นฉบับที่ใช้ในการบันทึกภาพ

ต้นฉบับที่ใช้ในการบันทึกภาพจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

3.2.2.1 ภาพโทนต่อเนื่อง (Continuous tone)

นั่นคือ ภาพศิลปะสีน้ำที่วาดขึ้นจากสีน้ำจำนวน 35 สี โดยวาดจำนวน 3

ภาพ แบ่งตามลักษณะดังนี้

3.2.2.1.1 ภาพคน

ภาพคน ที่ต้องการแสดงถึงท่วงท่า, ความมีชีวิตชีวา และการแสดง สัดส่วนที่เหมือนจริง

3.2.2.1.2 ภาพทิวทัศน์

ภาพทิวทัศน์ ซึ่งเป็นภาพที่มีลักษณะแสดงถึงบรรยากาศโดยรอบไม่ว่าจะ เป็นภาพทางธรรมชาติ หรือ สิ่งก่อสร้าง ก็ตาม

3.2.2.1.3 ภาพนามธรรม

ภาพนามธรรม เป็นภาพที่มีลักษณะหลักเสียงผลงานที่เหมือนจริง โดยใช้ องค์ประกอบพื้นฐานของศิลปะ เพื่อสื่อแทนความรู้สึก



ภาพคน



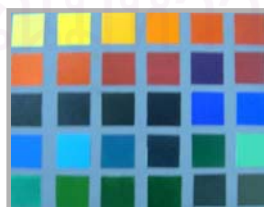
ภาพทิวทัศน์



ภาพนามธรรม

รูปที่ 3. 2 ภาพโทนต่อเนื่องที่วาดขึ้นจากสีน้ำ คือ ภาพคน ภาพทิวทัศน์ และภาพนามธรรม

3.2.2.2 แผ่นสี (Color Chart) ของสีน้ำ



รูปที่ 3. 3 แผ่นสีต้นฉบับของสีน้ำที่ประกอบด้วยแผ่นสีเล็ก ๆ ขนาด 1X1 นิ้ว

แผ่นสีขนาดมาตรฐานที่ประกอบไปด้วย แผ่นสี (color patch) เล็ก ๆ เรียงบนกระดาษสีเทา แผ่นสีที่สร้างขึ้นเกิดจากผสมสีน้ำในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยสีที่ผสมถูกเทียบจากภาพต้นฉบับที่วัดขึ้นทั้ง 3 ภาพ จากนั้นนำสีที่ได้มาปาดบนกระดาษบ็อกกิ่งฟอร์ด 190 แกรม ด้วยเครื่องปาดหมึกแบบวายบาร์ เมื่อแผ่นสีทั้งหมดแห้งจะถูกวัดค่าสีด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) กำหนดมุมมองที่ 2 องศา (แหล่งกำเนิดแสง: D_{65} ($45^\circ/0^\circ$)) ค่าที่วัดได้แก่ ค่าการสะท้อนแสง, ค่า $L^*C^*_{ab}h^*$, ค่า $L^*a^*b^*$ และค่า XYZ โดยแผ่นสีที่สร้างขึ้น สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้ คือ

3.2.2.2.1 แผ่นสีที่ใช้สำหรับการสร้างกระบวนการ (Training set)

แผ่นสีที่ต้องการจะถูกคัดเลือกจากแผ่นสี (color patch) ของสีน้ำทั้งหมดที่สร้างขึ้นจำนวน 679 สี โดยพิจารณาจากค่าความสว่าง (L^*) และค่าความอิ่มตัวของสี (C^*_{ab}) ให้กลุ่มสีที่ถูกคัดเลือกครอบคลุมขอบเขตการผลิตสีของสีน้ำให้มากที่สุด โดยค่าความสว่าง (L^*) เริ่มเลือกตั้งแต่ค่า L^* ที่น้อยที่สุดและเลือกห่างกันไปที่ละ 2 หน่วย จนถึงค่าความสว่างที่มากที่สุด จากนั้นจึงพิจารณาที่ค่าความอิ่มตัว (C^*_{ab}) ของค่าความสว่างนั้น ๆ โดยเริ่มเลือกตั้งแต่ค่า (C^*_{ab}) ที่น้อยที่สุดและเลือกห่างกันเท่ากับหรือมากกว่า 5 หน่วยขึ้นไป จนถึงค่าความอิ่มตัวที่มากที่สุด

3.2.2.2.2 แผ่นสีที่ใช้สำหรับการทดสอบ (Test set)

แผ่นสีนี้จะใช้สำหรับการทดสอบกระบวนการที่สร้างขึ้น โดยจะคัดเลือกจากแผ่นสี (Colour patch) เช่นกัน พิจารณาแบ่งเป็น 3 โทนสี คือ

3.2.2.2.2.1 โทนสีผิว (Skin tone)

เป็นโทนสีผิวของคนที่ได้จากการเทียบสีบริเวณสีผิวคน ของภาพ
ศิลปะสีน้ำ

3.2.2.2.2.2 โทนใบไม้ (Leaf tone)

เป็นโทนของสีใบไม้ที่ได้จากการเทียบสีบริเวณใบไม้ ของภาพ
ศิลปะสีน้ำ

3.2.2.2.3 โทนท้องฟ้า (Sky tone)

เป็นโทนของสีท้องฟ้าที่ได้จากการเทียบสีบริเวณท้องฟ้า ของ
ภาพศิลป์สีน้ำ

3.2.3 หาจำนวนของแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม

โดยนำค่าการสะท้อนของ Training set มาทำการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal component analysis :PCA) โดยใช้ฟังก์ชันการทำงานใน Program Minitab Version10 โดยกำหนดตัวแปร (Variable) ที่ใช้คือ ค่าการสะท้อนแสงของ Training set ตั้งแต่ 400-700 นาโนเมตร โดยมีระยะห่างช่วงละ 10 นาโนเมตร และกำหนดตัวสังเกต (Observer) คือจำนวนสีทั้ง 176 สี ดังนี้ คือ

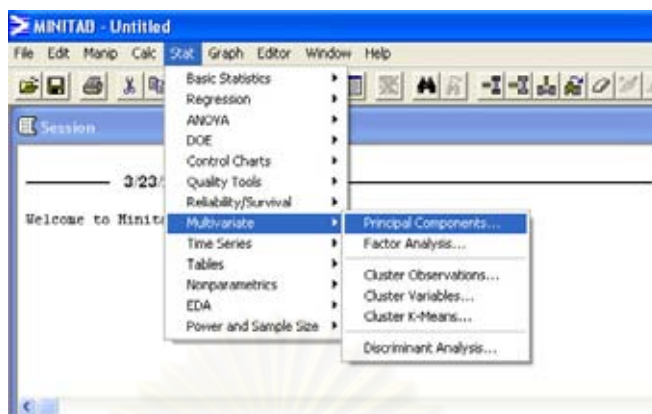
ตารางที่ 3.1 ค่าการสะท้อนแสงของ Training set ทั้ง 176 สี ณ ความยาวคลื่นตั้งแต่ 400-700 นาโนเมตรโดยมีช่วงห่างทีละ 10 นาโนเมตร

| Observation (176 value) | Variable (400-700,31 value) | | | | | | |
|----------------------------|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|------|--------|
| | 400 | 410 | 420 | 430 | 440 | .... | 700 |
| 1 | 0.0373 | 0.0385 | 0.0387 | 0.0393 | 0.0393 | .... | 0.8713 |
| 2 | 0.0486 | 0.0507 | 0.0522 | 0.0534 | 0.0538 | .... | 0.8909 |
| 3 | 0.0336 | 0.034 | 0.0338 | 0.0336 | 0.0323 | .... | 0.8685 |
| 4 | 0.0297 | 0.0301 | 0.0299 | 0.0302 | 0.0301 | .... | 0.7885 |
| 5 | 0.0256 | 0.0253 | 0.0252 | 0.0257 | 0.0268 | .... | 0.8561 |
| 6 | 0.0424 | 0.0422 | 0.0417 | 0.0421 | 0.0429 | .... | 0.8594 |
| 7 | 0.0355 | 0.0349 | 0.0346 | 0.0351 | 0.0361 | .... | 0.8701 |
| 8 | 0.0245 | 0.0238 | 0.0237 | 0.0243 | 0.0252 | .... | 0.8464 |
| 9 | 0.0421 | 0.0423 | 0.0416 | 0.0414 | 0.0409 | .... | 0.8543 |
| 10 | 0.0765 | 0.0778 | 0.0728 | 0.0647 | 0.0568 | .... | 0.7736 |
| 11 | 0.0696 | 0.0709 | 0.0675 | 0.0621 | 0.0548 | .... | 0.7366 |
| 12 | 0.0695 | 0.0816 | 0.0968 | 0.1013 | 0.0868 | .... | 0.2266 |
| 13 | 0.043 | 0.0445 | 0.0465 | 0.0491 | 0.0501 | .... | 0.2161 |
| 14 | 0.0393 | 0.0387 | 0.0377 | 0.037 | 0.0363 | .... | 0.0349 |
| 15 | 0.0326 | 0.0323 | 0.0314 | 0.0308 | 0.0303 | .... | 0.0284 |
| . | . | . | . | . | . | | . |
| 176 | 0.813 | 0.8339 | 0.8441 | 0.8537 | 0.8605 | .... | 0.8958 |

3.2.3.1 การเลือกฟังก์ชัน PCA

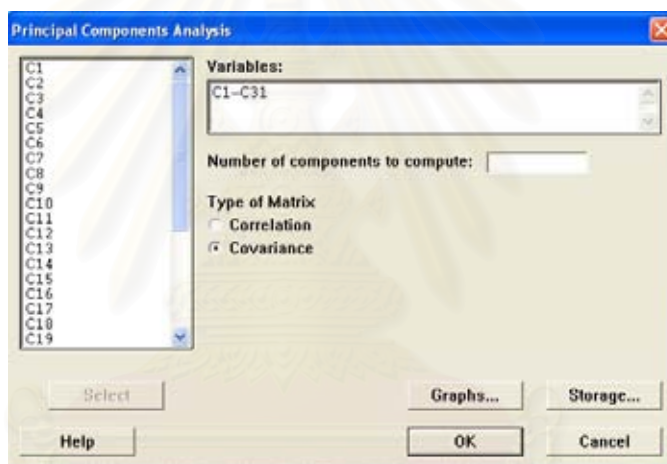
เลือก Stat จากนั้นเลือก Multivariate และเลือก Principal components.. ดูวิธีได้จากรูป

3.4



รูปที่ 3.4 การเลือกฟังก์ชัน PCA ในโปรแกรม Minitab Version10

3.2.3.2 กำหนดรูปแบบการคำนวณ ดูได้จากรูปที่ 3.5 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.5 การเลือกตัวแปรและจำนวนองค์ประกอบที่ต้องการวิเคราะห์

3.2.3.2.1 กำหนดตัวแปร (Variable) คือ ค่าการสะท้อนในแต่ละความยาวคลื่นตั้งแต่ 400-700 นาโนเมตร ที่ทุก ๆ 10 นาโนเมตร (C1-C31) ของ Training set ทั้ง 176 สี

3.2.3.2.2 ประเภทของเมทริกซ์ (Matrix Type) เลือกแบบ Covariance กดปุ่ม OK เพื่อให้โปรแกรมคำนวณค่าที่ใช้ในการพิจารณาแผ่นกรองแสงนั่นก็คือ ค่าความถี่สะสม (Cumulative) ของค่าความสัมพันธ์ (Proportion) ซึ่งคำนวณจากค่าตัวประกอบหลัก (PC weight) และค่าเจาะจง (Eigen value) ที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยวิธี PCA

Principal Component Analysis: C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11, C12,---C31

| Covariance Matrix | | | | | | |
|----------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Eigenanalysis of the | | | | | | |
| Eigenvalue | 19.695 | 7.393 | 2.904 | 0.530 | 0.217 | 0.113 |
| Proportion | 0.635 | 0.238 | 0.094 | 0.017 | 0.007 | 0.004 |
| Cumulative | 0.635 | 0.874 | 0.968 | 0.985 | 0.992 | 0.995 |
| Eigenvalue | 0.071 | 0.035 | 0.015 | 0.011 | 0.007 | 0.004 |
| Proportion | 0.002 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Cumulative | 0.998 | 0.999 | 0.999 | 0.999 | 1.000 | 1.000 |

รูปที่ 3.6 การแสดงค่าข้อมูล Eigenvalue, Proportion และ Cumulative ที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ของโปรแกรม Minitab Version 10

3.2.3.4 เลือกจำนวนแผ่นกรองแสงที่น้อยที่สุดที่สามารถเป็นตัวแทนของค่าการสะท้อนแสงของ Training set ทั้งหมด โดยพิจารณาจากค่าความถี่สะสม (Cumulative) ที่เข้าใกล้ 1

3.2.4 สร้างกระบวนการการผลิตภาพศิลปะสีน้ำจากข้อมูลสเปกตรัม

3.2.4.1 นำภาพต้นฉบับ (ภาพศิลปะสีน้ำ, Training set และ Test set) มาทำการบันทึกภาพ โดยมีแผ่นกรองแสงมาบังหน้าเลนส์ที่ละแผ่นจำนวน 9 แผ่น ภายใต้แหล่งกำเนิด F11

3.2.4.2 คำนวณหาค่าเฉลี่ยพิกเซลของสีแต่ละสีที่ได้จากการบันทึกภาพในแต่ละแผ่นกรองแสง ของ Training set ทั้ง 176 สี กำหนดขนาดพื้นที่เท่ากับ 20 X 20 พิกเซล เนื่องจากเป็นขนาดที่เพียงพอสำหรับการคำนวณค่าเฉลี่ยที่ได้จากพิกเซลจำนวน 400 พิกเซล

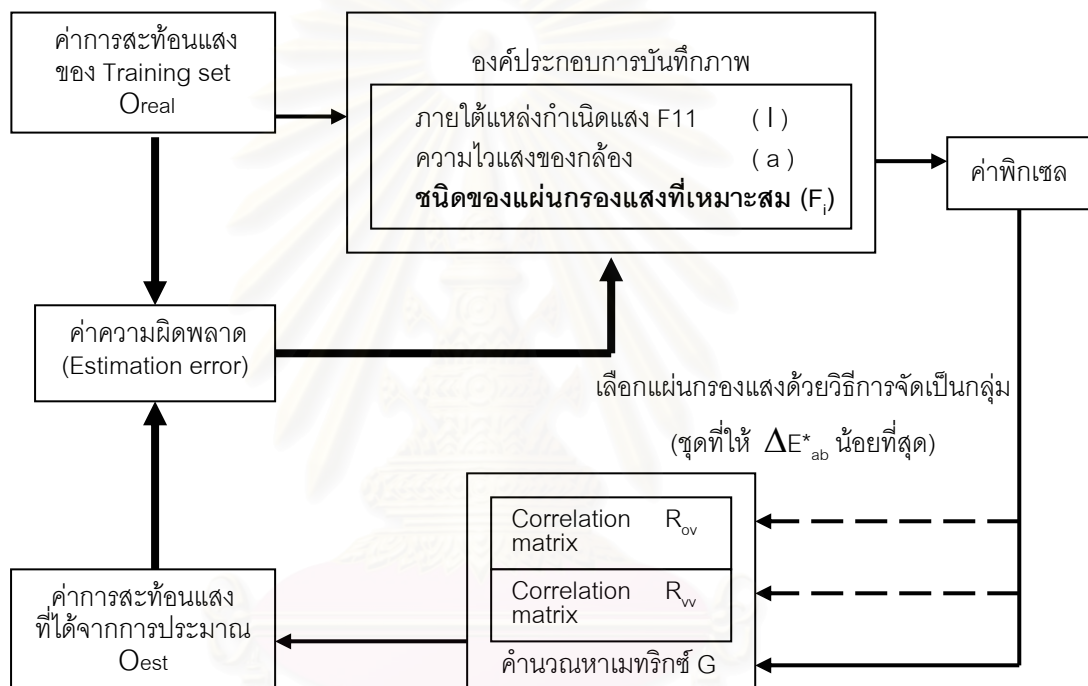
3.2.4.3 คำนวณหาค่าการสะท้อนแสง (O_{est}) ด้วยวิธี Wiener estimation จากค่าการสะท้อนที่ได้จากการวัด (O_{real}) และค่าเฉลี่ยพิกเซลที่ได้จากการบันทึกภาพของ Training set ในแต่ละแผ่นกรองแสง

3.2.4.4 เลือกชนิดของแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม โดยใช้วิธีการจัดเป็นกลุ่ม (Combination) ของแผ่นกรองแสงจำนวน 9 แผ่นเลือก X แผ่น (จำนวนแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม) ว่าแผ่นกรองแสงชุดใดจะให้ค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างสี ΔE^*_{ab} น้อยที่สุดระหว่างค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการวัดและค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการประมาณด้วยวิธี Wiener estimation จากนั้นทำการแปลงจากค่าการสะท้อนแสงไปเป็นค่า XYZ และ $L^*a^*b^*$ เพื่อคำนวณค่า

ความแตกต่างสี่

3.2.4.5 คำนวณหาค่าเมทริกซ์ G ในสมการ Wiener เพื่อใช้สำหรับการคำนวณหาค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการประมาณ (O_{est}) ของภาพศิลปะปัสต้า และ Test set

โดยขั้นตอนในการคำนวณหาชนิดของแผ่นกรองแสงที่เหมาะสมสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 กระบวนการเลือกชนิดของแผ่นกรองที่เหมาะสม

จากรูปที่ 3.7 จะเห็นว่าค่าพิกเซลของภาพจะได้จากการบันทึกต้นฉบับ Training set โดยมีองค์ประกอบในการบันทึกภาพ คือ แหล่งกำเนิดแสง F11, ความไวแสงของกล้อง และค่าการส่องผ่านของแผ่นกรองแสง จากนั้นค่าพิกเซลและค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการวัดจะถูกประมาณค่าการสะท้อนแสงด้วยวิธี Wiener estimation แล้วพิจารณาค่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นว่าแผ่นกรองแสงที่จัดเป็นกลุ่ม (Combination) นั้นมีแผ่นกรองแสงชุดใดให้ค่าความแตกต่างที่น้อยที่สุด และเป็นชุดที่เหมาะสมที่สุด เมื่อเลือกได้แล้วจึงทำการหาเมทริกซ์ G โดยการแปลงค่าย้อนกลับจากสมการของ Wiener

3.2.5 ทำการปรับตั้งและหาลักษณะเฉพาะเครื่องพิมพ์ (Calibration and Characterization)

เครื่องแบบพ่นหมึกสามารถทำการปรับตั้งเครื่อง โดยการกำหนดสภาวะในการพิมพ์ให้คงที่ทุกครั้งที่ทำกรใช้งาน สามารถทำได้ดังนี้ คือ

3.2.5.1 กำหนดสภาวะในการพิมพ์ (Property) ดังตารางที่ 3.1 ด้วยสมบัติหลักดังต่อไปนี้

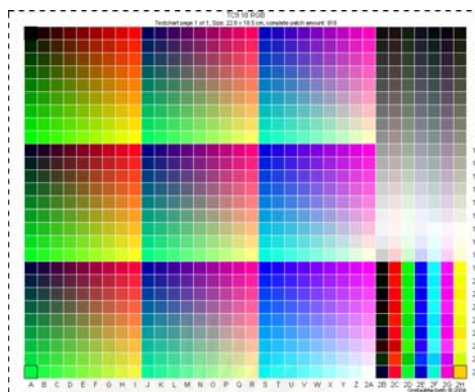
3.2.5.1.1 ชนิดของกระดาษ (Type of paper) คือ กระดาษ Photo paper หรือ Quality photo paper เป็นต้น

3.2.5.1.2 ความละเอียด (Resolution) ที่ใช้พิมพ์มีตั้งแต่ 340 dpi, 720 dpi และ 1440 dpi เป็นต้น

ตารางที่ 3.1 : การกำหนดสภาวะงานพิมพ์ที่ใช้กับแผ่นมาตรฐานสี TC 9 RGB

| แผ่นที่ | ประเภทสื่อ(Media Type) | | ความละเอียด | |
|---------|------------------------|---------------------|-------------|----------|
| | photo paper | Quality photo paper | 740 dpi | 1440 dpi |
| 1 | ● | | ● | |
| 2 | ● | | | ● |
| 3 | | ● | ● | |
| 4 | | ● | | ● |

3.2.5.2 ทำการพิมพ์แผ่นมาตรฐาน TC 9.18 RGB (ดังรูปที่ 3.2) เพื่อเลือกว่าสภาวะในการพิมพ์ที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากค่าสี ระดับการไล่โทนสี และการเกิดเม็ดสกปรกบนม ว่าสภาวะใดเหมาะสำหรับการพิมพ์บนกระดาษชนิด Artist paper ของ JQ มากที่สุด



รูปที่ 3.8 แผ่นสีมาตรฐาน TC 9.18 RGB

3.2.5.3 เมื่อเลือกสภาวะพิมพ์ที่เหมาะสมแล้ว นำสีพิมพ์ของแผ่นมาตรฐาน TC 9.18 RGB นั้นไปสร้าง Profile ด้วยโปรแกรม Profilemaker pro 5.0.1 ทำดังนี้คือ

3.2.5.3.1 วางแผ่นกระดาษที่พิมพ์ลงบนเครื่อง Spectrolino ที่ทำการ Calibrate เรียบร้อยแล้ว จากนั้นทำการวัดค่าสีของแผ่นพิมพ์

3.2.5.3.2 สร้างความสัมพันธ์ของสีที่ผลิตได้จากเครื่องพิมพ์และสีที่ได้จากข้อมูลนำเข้า โดยใช้ฟังก์ชันการคำนวณโพรไฟล์ จากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณอัตโนมัติ และเก็บข้อมูลในรูปแบบ ICC profile

3.2.7 แสดงผลของภาพศิลปะสีน้ำด้วยเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึก

3.2.7.1 นำภาพศิลปะสีน้ำทั้ง 3 ภาพ แบ่งออกเป็น 2 ชุดคือ

3.2.7.1.1 ภาพที่ผ่านกระบวนการที่สร้างขึ้นเพื่อคำนวณหาค่าการสะท้อนแสง มาทำการแปลงค่าการสะท้อนแสงไปเป็นค่าไตรสติมิคัล (XYZ) และแปลงจากค่าไตรสติมิคัล (XYZ) ไปเป็นค่า sRGB เพื่อแสดงผลด้วยเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึก

3.2.7.1.2 ภาพที่ได้จากกระบวนการทั่วไป คือ ภาพที่บันทึกด้วยกล้องดิจิทัล ของ Olympus รุ่น C5060

3.2.7.2 ปรับขนาดของภาพเพื่อให้สีพิมพ์ที่ได้เท่ากับต้นฉบับด้วยโปรแกรม Photoshop ด้วยวิธีการปรับแบบ Bicubic โดยปรับความละเอียดที่ได้จากการบันทึก [640 X480 pixel] ไปเป็นขนาดที่ใช้สำหรับการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึกคือ ความละเอียด 300 dpi, ขนาดภาพ (Document size) เท่ากับขนาดต้นฉบับ

3.2.7.3 พิมพ์ภาพศิลปะสีน้ำด้วยเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึก ผ่านโพรไฟล์ที่สร้างขึ้นโดยกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในการพิมพ์บนกระดาษ Artist paper

3.2.8 วิเคราะห์ผลการวิจัย

การวิเคราะห์ผลของกระบวนการการผลิตซ้ำของภาพสีน้ำจากข้อมูลสเปกตรัมด้วยเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

3.2.8.1 วิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative analysis)

วัดได้จาก Test set ที่ผ่านกระบวนการที่สร้างขึ้นจากข้อมูลสเปกตรัมภายใต้แหล่งกำเนิดแสงในการมอง D50, D65 และ A โดยวิเคราะห์จากค่าต่าง ๆ ดังนี้

3.2.8.1.1 ค่ารากกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square:RMS) ของค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการวัดกับค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการประมาณด้วยวิธี Wiener estimation

3.2.8.1.2 ค่าความแตกต่างของสี ($\Delta E_{a^*b^*}$) ของต้นฉบับกับค่าสีที่ได้จากกระบวนการที่สร้างขึ้นจากข้อมูลสเปกตรัม

3.2.8.2 วิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative analysis)

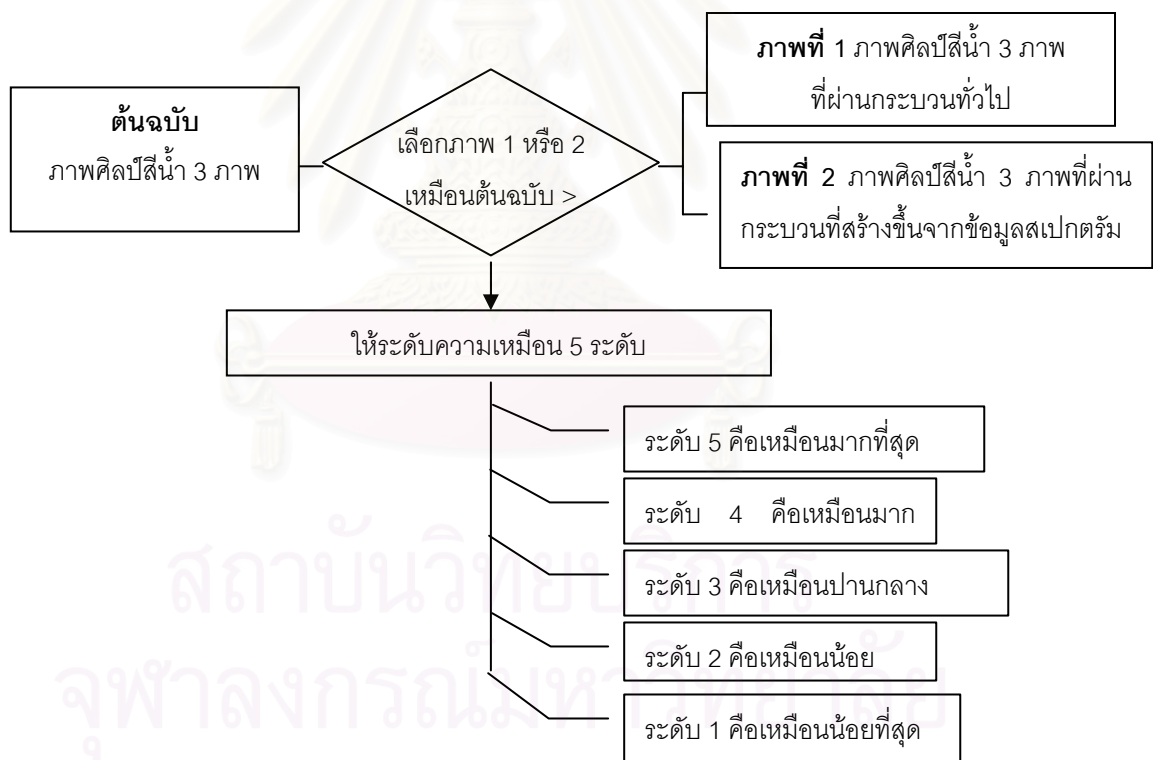
วัดได้จากภาพศิลปะสีน้ำที่ได้ผ่านกระบวนการที่สร้างขึ้น และแสดงผลด้วยเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึก โดยมีภาพที่ได้จากการกระบวนการทั่วไปที่ใช้กล้องดิจิทัล Olympus รุ่น C5060 เป็นการเปรียบเทียบความเหมือนกับต้นฉบับภาพสีน้ำ ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50, D65 และ A โดยเลือกภาพโดยกลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าสีจากกระบวนการใดมีความเหมือนกับต้นฉบับมากที่สุด โดยใช้เทคนิคการมองแบบ Simultaneous-Binocular Viewing (SMB) โดยผู้สังเกตการณ์มองต้นฉบับกับภาพที่ผลิตในเวลาเดียวกัน และวิธีเทียบแบบ Category judgment โดยผู้สังเกตการณ์เทียบสีระหว่างสีของต้นฉบับกับสีที่ผลิต โดยใช้ตัวเลขแบ่งระดับความเหมือน มี 5 ระดับ โดยที่ 1 หมายถึง เหมือนน้อยที่สุด, 2 หมายถึง เหมือนน้อย, 3 หมายถึง เหมือนปานกลาง, 4 หมายถึง เหมือนมาก และ 5 หมายถึง เหมือนมากที่สุด โดยพิจารณาในแต่ละบริเวณของภาพศิลปะสีน้ำต้นฉบับ สามารถอธิบายได้ดังนี้ คือ

3.2.8.2.1 ภาพคนพิจารณาเปรียบเทียบความเหมือนกับต้นฉบับในบริเวณโทนสีผิว และสีโดยรวมของภาพ

3.2.8.2.2 ภาพทิวทัศน์พิจารณาเปรียบเทียบความเหมือนกับต้นฉบับในบริเวณโทนท้องฟ้า, โทนทะเล และสีโดยรวมของภาพ

3.2.8.2.3 ภาพนามธรรมพิจารณาเปรียบเทียบความเหมือนกับต้นฉบับในบริเวณโทนสีแดง, โทนสีเขียว, โทนสีน้ำเงิน, โทนสีเหลือง และสีโดยรวมของภาพ

เมื่อเลือกภาพที่คิดว่าเหมือนกับต้นฉบับมากกว่าเรียบร้อยแล้ว จะแบ่งแยกระดับในการพิจารณาความเหมือนเป็น 5 ระดับ คือ เหมือนมากที่สุด, เหมือนมาก, เหมือนปานกลาง, เหมือนน้อย และเหมือนน้อยที่สุด



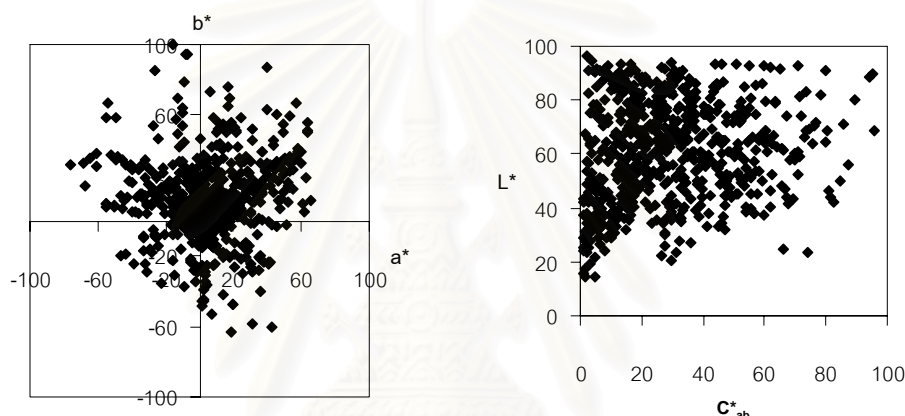
รูปที่ 3.9 แผนผังการวิเคราะห์เชิงคุณภาพของกระบวนการการผลิตซ้ำจากข้อมูลสเปกตรัม เทียบกับต้นฉบับ โดยมีภาพที่ได้จากการทั่วไปเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการคัดเลือกแผ่นสี

ผลการคัดเลือกแผ่นสีเพื่อใช้สำหรับการสร้างและการทดสอบกระบวนการกระบวนการการผลิตภาพสีน้ำจากข้อมูลสเปกตรัม โดยคัดเลือกจากแผ่นสีทั้งหมด (Color Chart) จำนวน 679 สี ซึ่งมีการกระจายตัวครอบคลุมสีของภาพสีน้ำต้นฉบับ ดังรูปที่ 4.1



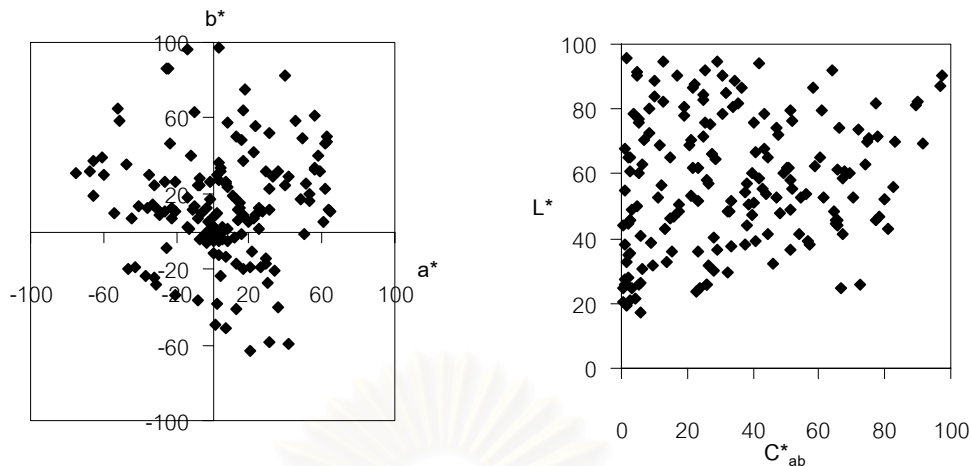
รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของค่าสีจาก Color Chart ทั้งหมดจำนวน 679 สีในแผนภูมิ a^*b^* และ $L^*C^*_{ab}$

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าค่าสีในแผนภูมิ a^*b^* มีการกระจายตัวดีในทุกโทนสี ยกเว้นโทนสีเขียวที่มีการกระจายตัวน้อยในแนวแกน $-a^*$ ส่วนในแผนภูมิ $L^*C^*_{ab}$ ค่าความสว่าง (L^*) อยู่ในช่วง 20–100 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่าความสว่างในทุกช่วงยกเว้นโทนมืด ($L^*=0-20$) และค่าความอิ่มตัวของสี (C^*_{ab}) จะอยู่ในช่วง 0–100 ซึ่งแปรตามค่าสีในแผนภูมิ a^*b^*

จากแผ่นสีที่สร้างขึ้นทั้งหมด ถูกคัดเลือกโดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

4.1.1 ผลการคัดเลือก Training set

Training set ซึ่งเป็นตัวแทนสีที่ใช้สำหรับการสร้างกระบวนการจะถูกคัดเลือกตามวิธีที่กล่าวไว้ใน 3.2.2.1.1 ผลการคัดเลือกได้จำนวนแผ่นสีทั้งหมดเท่ากับ 176 สี มีการกระจายตัวในแผนภูมิ a^*b^* และ $L^*C^*_{ab}$ ดังรูปที่ 4.2



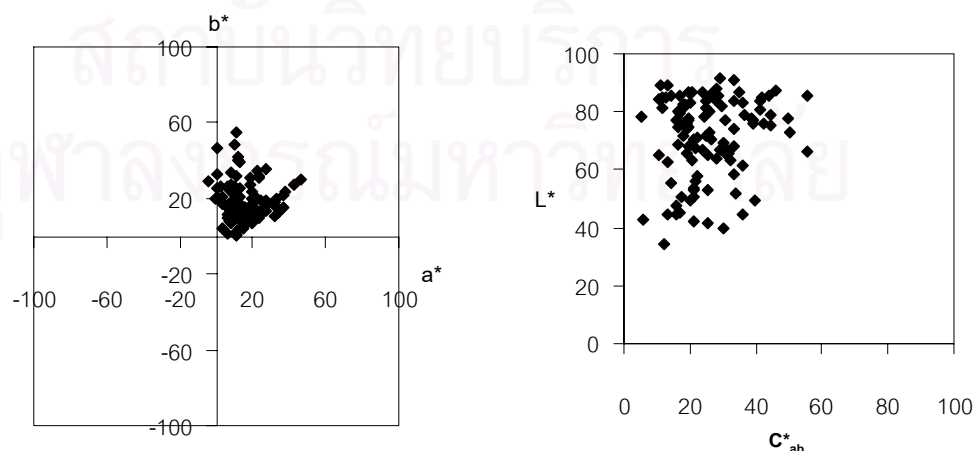
รูปที่ 4.2 การกระจายตัวของค่าสีจาก Training set จำนวน 176 สี ในแผนภูมิ a^*b^* และ $L^*C^*_{ab}$

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า Training set ที่ใช้มีค่าสีในแผนภูมิ a^*b^* และ $L^*C^*_{ab}$ ในลักษณะเดียวกับ Color Chart คือ ค่าสีในแผนภูมิ a^*b^* มีการกระจายตัวดีในทุกโทนสี ยกเว้น โทนสีเขียวที่มีการกระจายตัวน้อยในแนวแกน $-a$ ส่วนในแผนภูมิ $L^*C^*_{ab}$ ค่าความสว่าง (L^*) อยู่ใน ช่วง 20–100 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่าความสว่างในทุกช่วงยกเว้นโทนมืด ($L^*=0-20$) และค่าความอิ่มตัวของสี (C^*_{ab}) จะอยู่ในช่วง 0–100 แต่แตกต่างกัน คือ ความหนาแน่นของค่าสีมีน้อยลง

4.1.2 ผลการคัดเลือก Test set

Test set ที่ใช้ในการทดสอบกระบวนการจะถูกคัดเลือกตามวิธีที่กล่าวไว้ใน 3.2.2.1.2 ผลการคัดเลือกแบ่งตามโทนสีที่ใช้ออกเป็น 3 โทนดังนี้

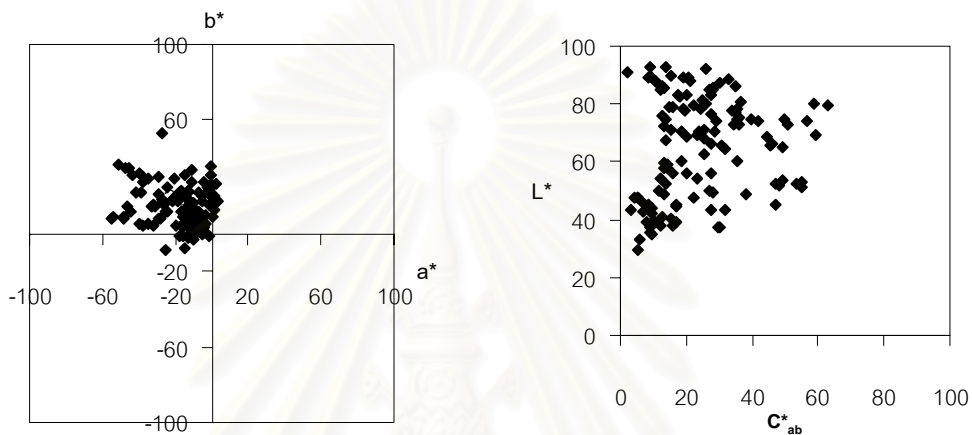
4.1.2.1 โทนสีผิวคน (Skin tone) มีจำนวน 112 สี มีการกระจายตัวในแผนภูมิ a^*b^* และ $L^*C^*_{ab}$ ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของค่าสีจาก Test set โทนสีผิวจำนวน 112 สี ในแผนภูมิ a^*b^* และ $L^*C^*_{ab}$

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าค่าสีในแผนภูมิ a^*b^* มีการกระจายตัวดีในโทนสีที่คัดเลือกกระจายตัวอยู่ในโทนสีแดง (+a) และโทนสีเหลือง (+b) ส่วนในแผนภูมิ $L^*C^*_{ab}$ ค่าความสว่าง (L^*) อยู่ในช่วง 30–90 และค่าความอิ่มตัวของสี (C^*_{ab}) จะอยู่ในช่วง 0–60

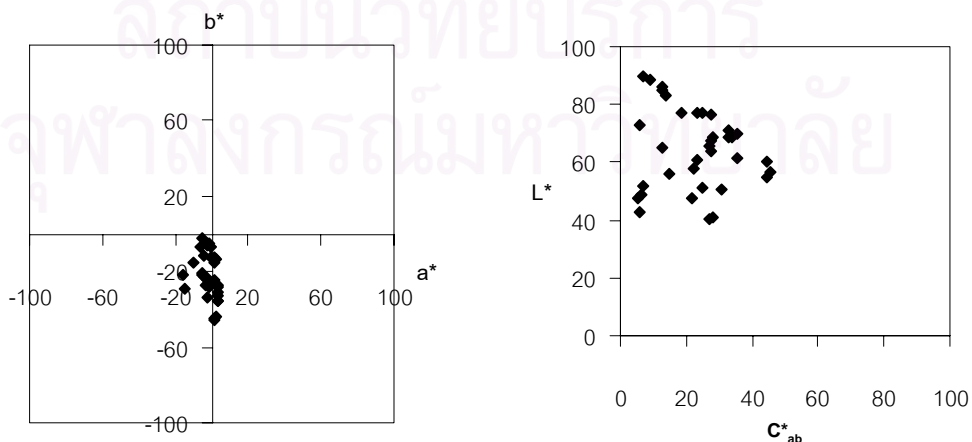
4.1.2.2 โทนสีใบไม้ (Leaf tone) มีจำนวน 123 สี มีการกระจายตัวในแผนภูมิ a^*b^* และ $L^*C^*_{ab}$ ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การกระจายตัวของค่าสีจาก Test set โทนใบไม้จำนวน 123 สี ในแผนภูมิ a^*b^* และ $L^*C^*_{ab}$

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าค่าสีในแผนภูมิ a^*b^* มีการกระจายตัวดีในโทนสีที่คัดเลือกกระจายตัวอยู่ในโทนสีเขียว (-a) และโทนสีเหลือง (+b) ส่วนในแผนภูมิ $L^*C^*_{ab}$ ค่าความสว่าง (L^*) อยู่ในช่วง 30–90 และค่าความอิ่มตัวของสี (C^*_{ab}) จะอยู่ในช่วง 0–70

4.1.2.3 โทนสีท้องฟ้า (Sky tone) มีจำนวน 35 สี มีการกระจายตัวในแผนภูมิ a^*b^* และ $L^*C^*_{ab}$ ดังรูปที่ 4.5

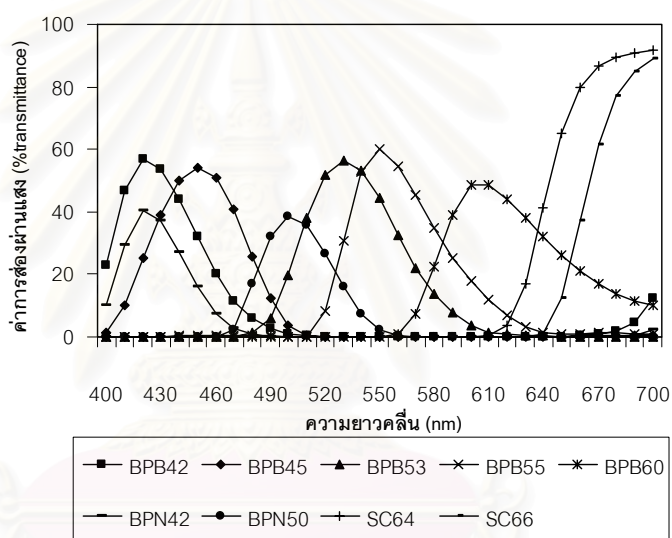


รูปที่ 4.5 การกระจายตัวของค่าสีจาก Test set โทนท้องฟ้าจำนวน 35 สี ในแผนภูมิ a^*b^* และ $L^*C^*_{ab}$

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าค่าสีในแผนภูมิ a^*b^* มีการกระจายตัวดีในโทนสีที่คัดเลือกกระจายตัวอยู่ในโทนสีน้ำเงิน (-b) ส่วนในแผนภูมิ $L^*C^*_{ab}$ ค่าความสว่าง (L^*) อยู่ในช่วง 30–90 และค่าความอิ่มตัวของสี (C^*_{ab}) จะอยู่ในช่วง 0–50

4.2 ค่าการส่องผ่านของแผ่นกรองแสง

ค่าการส่องผ่านของแผ่นกรองแสงจำนวน 9 แผ่น ที่นำมาใช้ในการคัดเลือกชนิดและจำนวนของแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม ที่วัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์สามารถดูค่าการส่องผ่านได้จากรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ค่าการส่องผ่านของแผ่นกรองแสงจำนวน 9 แผ่น ที่นำมาใช้ในการคัดเลือกชนิดและจำนวนที่เหมาะสม

จากรูปที่ 4.6 สามารถอธิบายลักษณะของความยาวคลื่นตามชนิดของแผ่นกรองแสงได้ 3 ชนิดดังนี้

4.2.1 ชนิด BPB (Band Pass Board)

BPB (Band Pass Board) จำนวน 5 แผ่น ได้แก่ BPB42, BPB45, BPB53, BPB55 และ BPB60 ซึ่งมีลักษณะคือ ยอมให้แสงส่องผ่านเป็นช่วงกว้างประมาณ 1 ใน 3 ของช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็นทั้งหมด โดยการเรียกชื่อจะเรียกตามตำแหน่ง ณ ความยาวคลื่นที่ให้ค่าการส่องผ่านสูงสุด เช่น BPB42 จะมีค่าการส่องผ่านสูงสุดที่ 420 nm

4.2.2 ชนิด BPN (Band Pass Narrow)

BPN (Band pass narrow) จำนวน 2 แผ่นได้แก่ BPN42 และ BPN50 ซึ่งมีลักษณะคือ ยอมให้แสงส่องผ่านเป็นช่วงแคบประมาณ 1 ใน 4 ของช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็นทั้งหมด โดยการเรียกชื่อจะเรียกตามตำแหน่ง ณ ความยาวคลื่นที่ให้ค่าการส่องผ่านสูงสุด เช่น BPN42 จะมีค่าการส่องผ่านสูงสุดที่ 420 nm

4.2.3 ชนิด SC (Sharp Cut)

SC (Sharp cut) จำนวน 2 แผ่นได้แก่ SC64 และ SC66 ซึ่งมีลักษณะคือ ยอมให้แสงส่องผ่านตั้งแต่ความยาวคลื่นที่กำหนดเท่านั้น โดยการเรียกชื่อจะเรียกตามตำแหน่ง ณ ความยาวคลื่นที่ให้ค่าการส่องผ่าน 50% เช่น SC64 จะมีค่าการส่องผ่าน 50% ที่ 640 nm

4.3 ผลการเลือกจำนวนของแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก(Principal Component Analysis: PCA) แบบ Covariance Matrix คำนวณโดยใช้โปรแกรม Minitab เพื่อหาจำนวนองค์ประกอบหลักที่เหมาะสมคือ สามารถเป็นตัวแทนค่าการสะท้อนแสงของ Training set ทั้ง 176 สีได้ โดยกำหนดตัวแปร (Variable) ที่ใช้คือ ค่าการสะท้อนแสงของ Training set ตั้งแต่ 400-700 นาโนเมตร โดยมีระยะห่างช่วงละ 10 นาโนเมตร และกำหนดตัวสังเกต (Observer) คือจำนวนสีทั้ง 176 สี ได้ผลดังตารางที่ 4.1

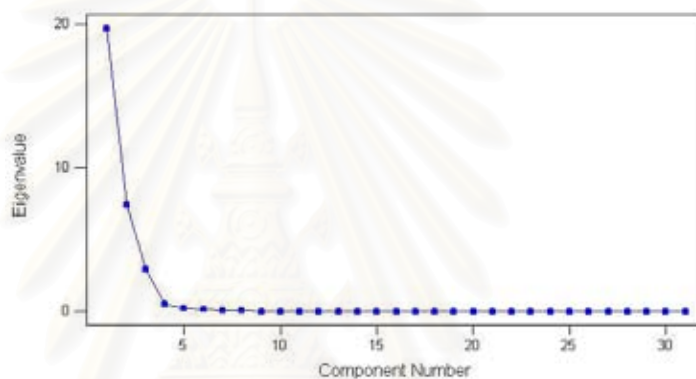
ตารางที่ 4.1 ค่า Eigenvalue, Proportion, Cumulative, และ PC weight ของแต่ละองค์ประกอบหลัก

| | การวิเคราะห์จำนวนองค์ประกอบของ Covariance Matrix | | | | | | | | | | | |
|-------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 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 |

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าในองค์ประกอบแรก PC1 จะมีค่า Eigenvalue และค่า Proportion สูงสุด คือ 1.353 และ 0.669 ทั้งนี้เนื่องจากที่ PC1 คือองค์ประกอบแรกที่สามารถเป็นตัวแทนของค่าการสะท้อนแสงทั้งหมดได้มากที่สุด โดยแสดงได้ถึง 67% ของค่าการสะท้อนแสงทั้งหมด จากนั้นที่ PC ต่อไปจะเก็บค่าความแปรปรวนของข้อมูลที่เหลือจาก PC แรก โดยที่ PC2 จะแสดงค่าการสะท้อนแสงที่เหลืออีก 22% ทำให้การแสดงค่าการสะท้อนแสงทั้งหมดเท่ากับ 89% จากนั้นที่ PC3 จะแสดงค่าการสะท้อนแสงที่เหลืออีก 8% ทำให้การแสดงค่าการสะท้อนแสง

ทั้งหมดเท่ากับ 97% นั่นก็คือค่าความถี่สะสม(Cumulative) นั่นเอง

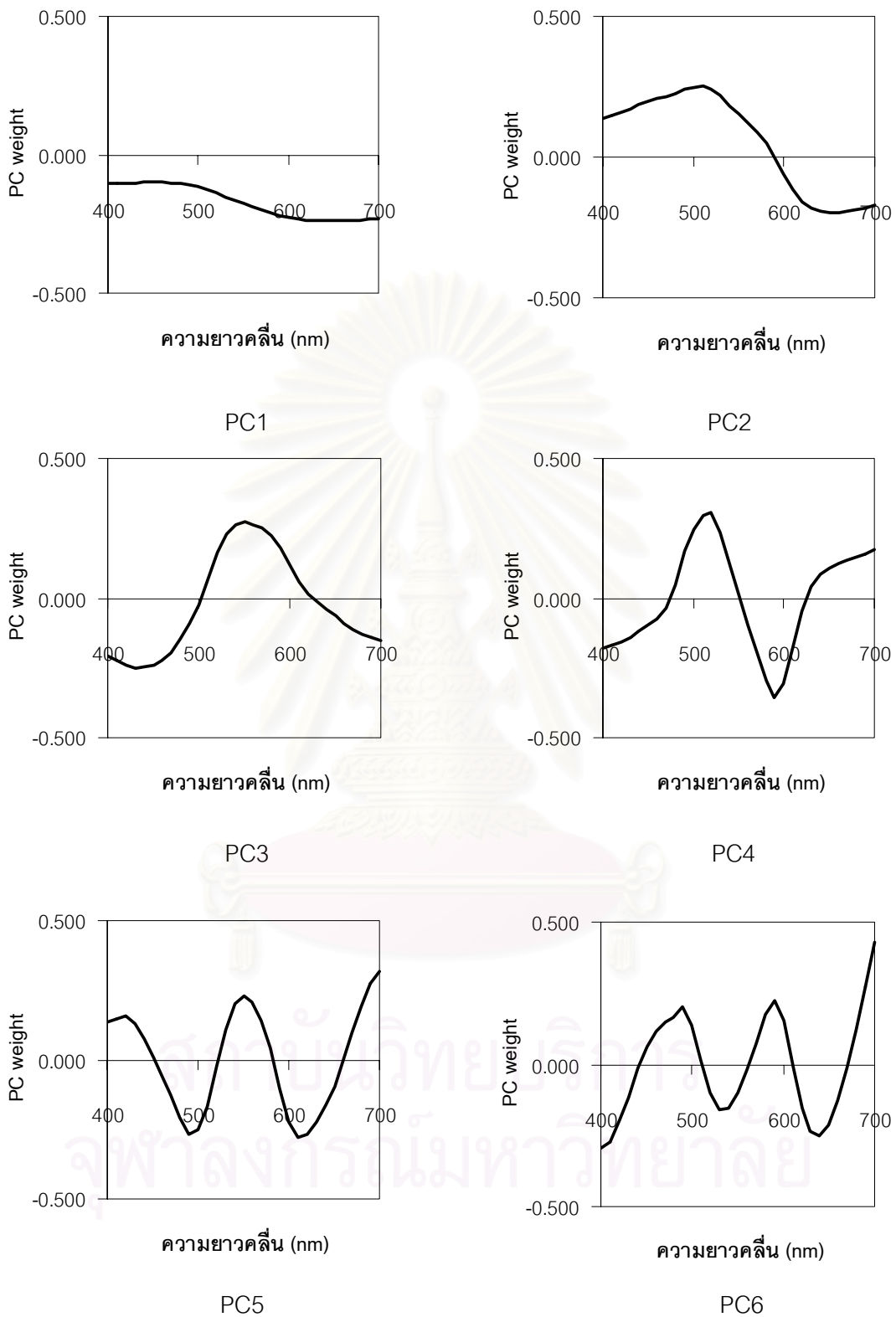
ในการวิเคราะห์องค์ประกอบสามารถเลือกจำนวนองค์ประกอบที่สามารถแสดงค่าได้มากกว่า 90 % ขึ้นไป ในที่นี้คือตั้งแต่ PC3 ขึ้นไป ในงานวิจัยเราต้องการผลิตภาพให้ใกล้เคียงกับต้นฉบับมากที่สุดเราจึงพิจารณาค่า Cumulative ที่เข้าใกล้ 1 จำนวนองค์ประกอบที่เหมาะสมจึงพิจารณาที่ 6 องค์ประกอบ ซึ่งเป็นตัวแทนค่าการสะท้อนแสงได้ 100% แต่เมื่อพิจารณาถึงค่า Proportion มีเพียง 0.3%เท่านั้น ดังนั้นที่ 5 องค์ประกอบยังคงได้รับการพิจารณาเนื่องจากสามารถเป็นตัวแทนของค่าการสะท้อนแสงได้ถึง 99%



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Eigenvalues ของแต่ละจำนวนองค์ประกอบหลัก

จากรูปที่ 4.7 จะเห็นว่าค่า Eigenvalue มีค่าสูงสุดที่ PC1 และลดลงอย่างรวดเร็วในองค์ประกอบต่อ ๆ มาโดยมีลักษณะการเหมือนการหักข้อศอกที่ PC4 ในการพิจารณาสามารถเลือกองค์ประกอบหลังจากจุดหัก นั่นคือ PC5 เพราะหลังจากจุดนั้นแล้ว การอธิบายค่าการสะท้อนแสงที่เหลือในองค์ประกอบต่อไปจะน้อยลงเสมือนกับว่าไม่มีการอธิบายเพิ่มขึ้นอีกแล้ว

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการสะท้อนของ PC1-PC6

การอธิบายของข้อมูลของค่าการสะท้อนแสงของแผ่นสีทั้ง 176 สีในแต่ละ

องค์ประกอบหลัก ดังรูปที่ 4.8 จะเห็นว่าองค์ประกอบที่ 1 จะมีลักษณะกราฟระหว่างค่าองค์ประกอบร่วมกับตำแหน่งค่าความยาวคลื่น มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดคือ สามารถเป็นตัวแทนของค่าการสะท้อนได้มากที่สุด ความแปรปรวนมากที่สุด จากนั้นที่องค์ประกอบต่อ ๆ มา จะมีความค่าแปรปรวนที่ลดน้อยลง คือจะอธิบายค่าการสะท้อนแสงที่เหลือจากองค์ประกอบแรกไปเรื่อย ๆ ลักษณะกราฟจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเพิ่มขึ้นเรื่อยตามจำนวนองค์ประกอบที่เพิ่มมากขึ้น โดย PC2 มีจุดตัดแกน x 1 ครั้ง และ PC3 มีจุดตัดแกน x 2 ครั้ง เพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ จนกระทั่ง PC6 มีจุดตัดแกน x 5 ครั้ง ดังนั้นในการพิจารณาจำนวนแผ่นกรองแสงที่เหมาะสมที่สามารถเป็นตัวแทนค่าการสะท้อนแสงทั้งหมดคือแผ่นกรองแสงจำนวน 5 และ 6 แผ่น

4.4 ผลการเลือกชนิดของแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม

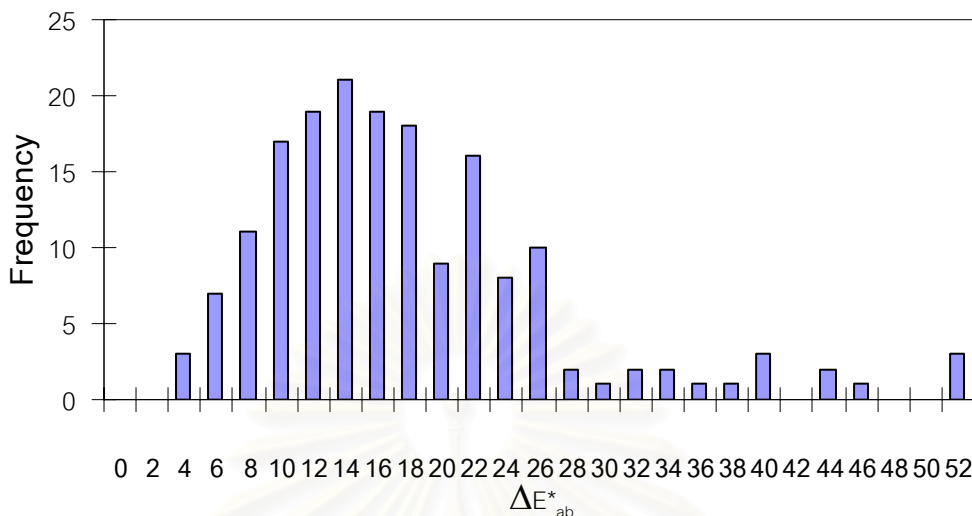
ชนิดของแผ่นกรองแสงที่เหมาะสม เลือกโดยวิธีการจัดเป็นกลุ่ม (Combination) ของแผ่นกรองแสง ว่าชนิดของแผ่นกรองแสงชุดใดสามารถให้ค่าความแตกต่างสีเฉลี่ยของ Training set น้อยที่สุด โดยคำนวณจากค่าสะท้อนแสงที่ได้จากการวัดและค่าพิกเซลในแต่ละแผ่นกรองแสงที่ได้จากการบันทึก จากนั้นนำมาประมาณค่าการสะท้อนแสงด้วยวิธี Wiener estimation ผลของการเลือกชุดของแผ่นกรองแสงเป็นดังนี้ คือ

4.4.1 ผลการเลือกแผ่นกรองแสงจำนวน 5 แผ่น

เลือกแผ่นกรองแสงจำนวน 5 แผ่น จากจำนวนทั้งหมด 9 แผ่น สามารถจัดเป็นชุดได้ 126 ชุด โดยชุดที่เลือกนั้นคือ ชุดที่ 55 ได้แก่ BPB42, BPB53, BPB50, SC64 และ SC66 ซึ่งมีค่าความแตกต่างสีเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 16.89 และ รากกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 0.09 โดยมีมัธยฐาน (Median), ค่าเฉลี่ย (Mean), ค่าสูงสุด (Maximum), ค่าต่ำสุด (Minimum) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation: sd) ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11 ดังตารางที่ 4.2 และการกระจายตัวของค่า ΔE^*_{ab} ได้ดังรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.2 ค่าความแตกต่างสีและค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของแผ่นกรองแสงจำนวน 5 แผ่น

| 5 channel | F11 | |
|--------------------|-------------------|------|
| | ΔE^*_{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 ของค่า ΔE^*_{ab} ของ Training set ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11 (5 แฉ่น)

จากรูปที่ 4.9 พบว่าค่าความถี่ของค่าความแตกต่างสีระหว่างค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการวัดกับค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการประมาณด้วยวิธี Wiener estimation ของ Training set มีค่าน้อยสุดเท่ากับ 2.28 ค่ามากที่สุดเท่ากับ 51.44 และมีความถี่มากที่สุดอยู่ในช่วง 12-14 ซึ่งลักษณะการกระจายตัวแบบไม่ปกติ เนื่องจากค่าสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันมาก จึงพิจารณาที่ค่า Mean และค่า Median มีค่าเท่ากับ 16.89 และ 15.18 ตามลำดับซึ่งจะเห็นว่าไม่แตกต่างกันมาก ดังนั้นค่าที่เหมาะสมกับการพิจารณาจึงเป็นค่า Mean ซึ่งมีค่าเท่ากับ 16.89 ซึ่งมีค่าสูงและแสดงความแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง

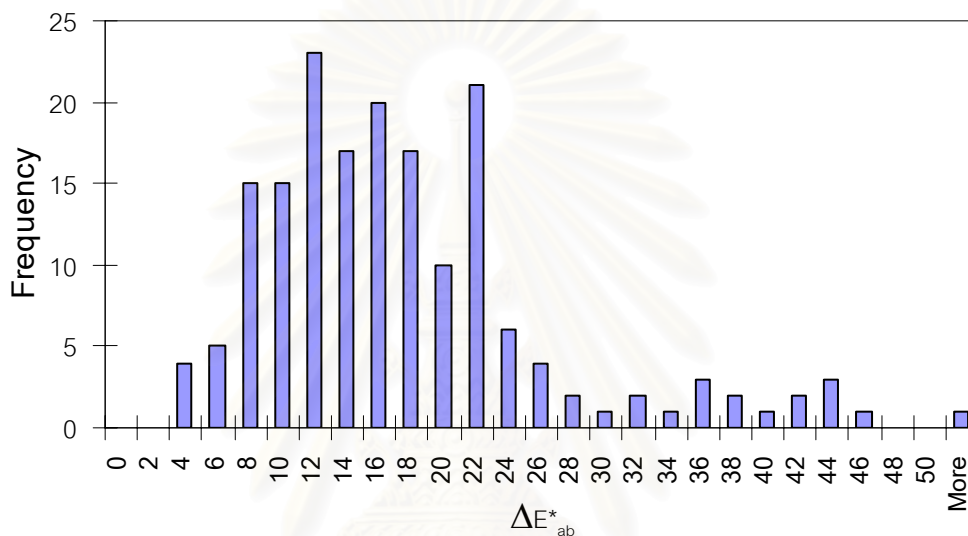
ดังนั้นจึงควรเพิ่มจำนวนแผ่นกรองแสงที่ใช้ในการสร้างกระบวนการ เพื่อทดสอบว่าการเพิ่มแผ่นกรองแสงจะมีผลทำให้ค่า ΔE^*_{ab} ลดลงหรือไม่ โดยจำนวนที่พิจารณาคือ จำนวนแผ่นกรองแสงที่ 6 แฉ่น

4.4.2 เลือกแผ่นกรองแสงจำนวน 6 แฉ่น

เลือกแผ่นกรองแสงจำนวน 6 แฉ่น จากจำนวนทั้งหมด 9 แฉ่น สามารถจัดเป็นชุดได้ 84 ชุด โดยชุดที่เลือกนั้นคือ ชุดที่ 54 คือ BPB42, BPB55, BPB60, BPN50, SC64 และ SC66 โดยมีค่าความแตกต่างสีเฉลี่ยเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 16.63 และ รากกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 0.09 โดยมีค่า Median, Mean, Maximum, Minimum, Standard deviation (sd) ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11 ดังตารางที่ 4.3 และการกระจายตัวของค่า ΔE^*_{ab} ได้ดังรูปที่ 4.10

ตารางที่ 4.3 ค่าความแตกต่างสีและค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของแผ่นกรองแสงจำนวน 6 แผ่น

| 6 channel | F11 | |
|--------------------|-------------------|-------|
| | ΔE^*_{ab} | RMS |
| Median | 15.00 | 0.08 |
| Mean | 16.63 | 0.09 |
| Minimum | 3.36 | 0.017 |
| Maximum | 51.35 | 0.308 |
| Standard deviation | 9.07 | 0.049 |



รูปที่ 4.10 Histogram ค่าความแตกต่างสีของ Training set ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11 (6 แผ่น)

จากรูปที่ 4.10 พบว่าค่าความถี่ของค่าความแตกต่างสีระหว่างค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการวัดกับค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการประมาณด้วยวิธี Wiener estimation ของ Training set มีค่าน้อยสุดเท่ากับ 3.36 ค่ามากที่สุดเท่ากับ 51.35 และมีความถี่มากที่สุดในช่วง 10-12 ซึ่งลักษณะการกระจายตัวแบบไม่ปกติ เนื่องจากค่าสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันมาก จึงพิจารณาที่ค่า Mean และค่า Median มีค่าเท่ากับ 16.63 และ 15.00 ตามลำดับซึ่งจะเห็นว่าไม่แตกต่างกันมาก ดังนั้นค่าที่เหมาะสมกับการพิจารณาจึงเป็นค่า Mean ซึ่งมีค่าเท่ากับ 16.63 ซึ่งมีค่าสูงและแสดงความแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง เช่นเดียวกับการใช้แผ่นกรองแสงจำนวน 5 แผ่น

การเลือกจำนวนแผ่นกรองแสงเหมาะสมระหว่างจำนวนแผ่นกรองแสง 5 แผ่นกับ 6 แผ่นพบว่ามีค่า ΔE^*_{ab} เฉลี่ย และ ค่า RMS ใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาค่า Minimum พบว่าที่จำนวน 5 แผ่นมีค่าต่ำกว่า ดังนั้นจำนวนแผ่นกรองที่เหมาะสมจึงได้เท่ากับ 5 แผ่น คือ BPB42, BPB53, BPB50, SC64 และ SC66 เนื่องจากเป็นจำนวนและชนิดที่ให้ค่า ΔE^*_{ab} ต่ำที่สุด โดยมีค่าไม่แตกต่างจากการใช้แผ่นกรองแสงจำนวน 6 แผ่น

4.7 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ

การวิเคราะห์เชิงปริมาณวัดได้จาก Test set ซึ่งมีทั้งหมด 3 โทน โดยเมื่อสร้างกระบวนการการประมาณค่าการสะท้อนแสงแล้ว ผลจากการนำ Test set มาทดสอบกระบวนการในของแต่ละโทนภายใต้แหล่งกำเนิดแสง มาอธิบายได้ดังตารางที่ 4.4 และ 4.5 ดังนี้

ตารางที่ 4.4 ค่าความแตกต่างสี (ΔE_{ab}) ของ Test set ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50, D65 และ A

| Light source | Skin tone | | | Leaf tone | | | Sky tone | | |
|--------------------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|----------|-------|-------|
| | D50 | D65 | A | D50 | D65 | A | D50 | D65 | A |
| Median | 8.58 | 8.44 | 8.55 | 9.33 | 8.90 | 8.72 | 6.22 | 6.89 | 6.21 |
| Mean | 8.74 | 8.88 | 8.68 | 10.15 | 10.16 | 9.10 | 6.88 | 7.02 | 7.03 |
| Minimum | 2.51 | 2.41 | 2.16 | 2.39 | 2.07 | 1.88 | 3.11 | 3.01 | 2.50 |
| Maximum | 32.54 | 31.40 | 33.36 | 35.02 | 40.29 | 24.12 | 13.24 | 14.24 | 13.30 |
| Standard deviation | 4.40 | 4.49 | 4.41 | 5.89 | 6.41 | 4.76 | 2.78 | 2.72 | 3.20 |

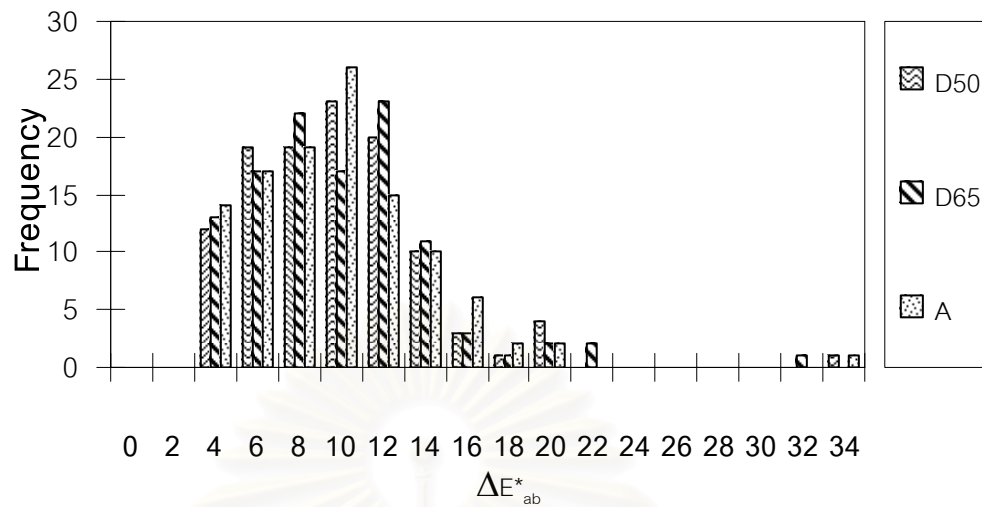
ตารางที่ 4.5 ค่ารากกำลังสองเฉลี่ย ของ Test set

| rms | Test set | | |
|--------------------|-----------|-----------|----------|
| | Skin tone | Leaf tone | Sky tone |
| Median | 0.06 | 0.06 | 0.05 |
| Mean | 0.07 | 0.06 | 0.05 |
| Minimum | 0.02 | 0.01 | 0.01 |
| Maximum | 0.15 | 0.17 | 0.11 |
| Standard deviation | 0.03 | 0.03 | 0.02 |

จากตารางที่ 4.4 และ 4.5 สามารถอธิบายได้ดังนี้ คือ

4.7.1 โทนสีผิว (Skin tone)

โทนสีผิวพบว่าค่า ΔE_{ab}^* มีค่า median, ค่า Mean และค่า sd มีค่าใกล้เคียงกัน ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50, D65 และ A โดยค่า median มีค่าเท่ากับ 8.58, 8.44 และ 8.55 ตามลำดับ ค่า Mean มีค่าเท่ากับ 8.74, 8.88 และ 8.68 ตามลำดับ และค่า sd มีค่าเท่ากับ 4.40 4.49 และ 4.41 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาว่าค่า RMS พบว่า ค่า median และ Mean ใกล้เคียงกันมาก คือ 0.06 และ 0.07



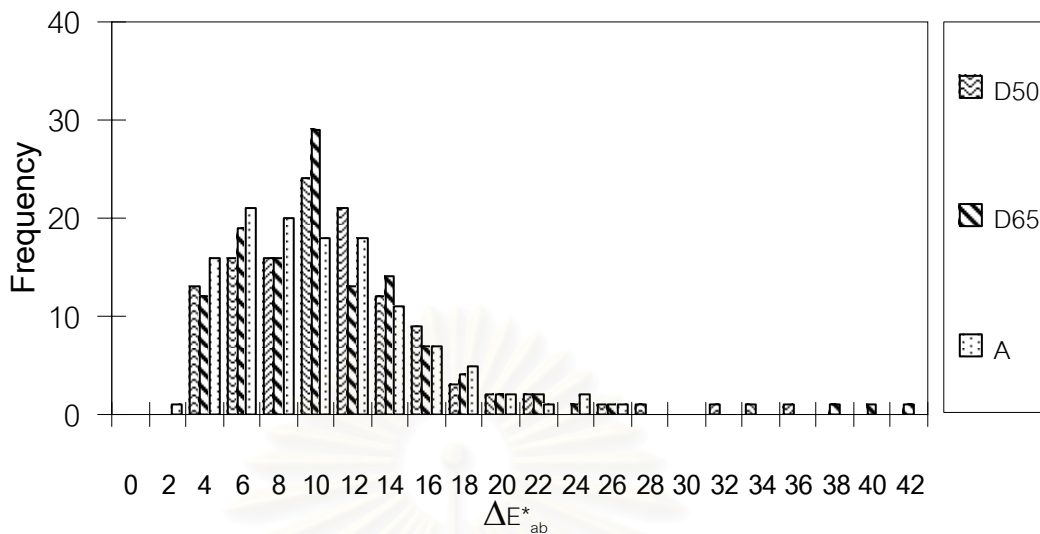
รูปที่ 4.11 Histogram ค่าความแตกต่างสีของ Skin tone ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50, D65 และ A (5 channel)

จากรูปที่ 4.11 พบว่าภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50 และ A มีความถี่สูงสุดอยู่ในช่วง 8-10 ส่วน D65 มีความถี่สูงสุดอยู่ในช่วง 10-12 ซึ่งการกระจายตัวของค่า ΔE^*_{ab} จะใกล้เคียงกันใน 3 แหล่งกำเนิดแสง คือการกระจายตัวเหมือนกันอยู่ในช่วง 2-22 และมี ΔE^*_{ab} สูงสุดอยู่ในช่วง 30-32 ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65 และสูงสุดในช่วง 32-34 ใน D50 และ A ซึ่งมีเพียงสีเดียวเท่านั้น

จากผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณของ Test set โทนสีผิว จะเห็นได้ว่าภายใต้แหล่งกำเนิดแสงทั้ง 3 แหล่งมีค่าความแตกต่างสีเฉลี่ยที่สังเกตเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนมากใกล้เคียงกัน

4.7.2 โทนใบไม้ (Leaf tone)

โทนใบไม้พบว่าค่า ΔE^*_{ab} มีค่า median ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50 จะมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ D65 และ A มีค่าเท่ากับ 9.33 8.90 และ 8.72 ตามลำดับ โดยค่า Mean ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50 จะใกล้เคียงมากกับ D65 คือ 10.15 และ 10.16 ส่วน A จะต่ำกว่าเล็กน้อยมีค่าเท่ากับ 9.10 และค่า sd ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65 จะมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ D50 และ A มีค่าเท่ากับ 6.41, 5.89 และ 4.76 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่า RMS พบว่า ค่า median และ Mean เท่ากัน คือ 0.06



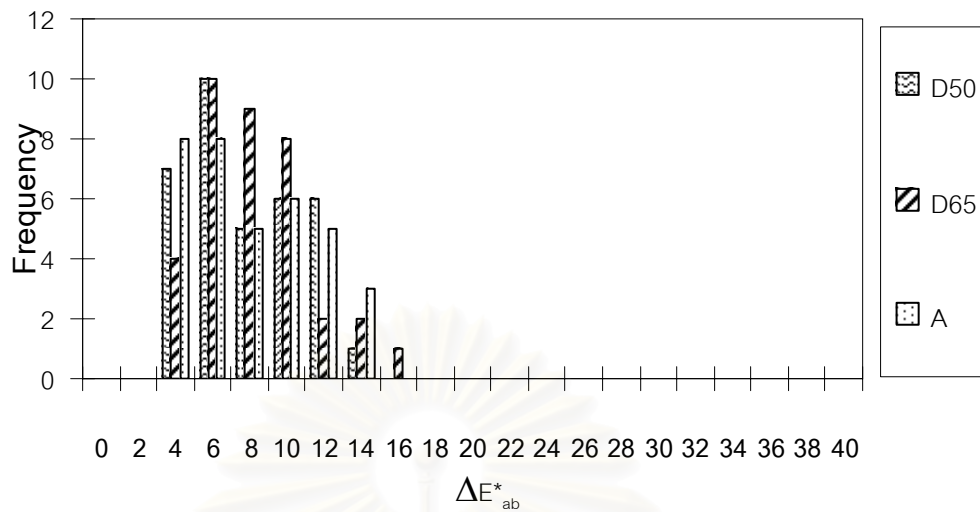
รูปที่ 4.12 Histogram ค่าความแตกต่างสีของ Leaf tone ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50, D65 และ A (5 channel)

จากรูปที่ 4.12 พบว่าภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50 และ D65 มีความถี่สูงสุดอยู่ในช่วง 8-10 ส่วน A มีความถี่สูงสุดอยู่ในช่วง 4-6 ซึ่งการกระจายตัวของค่า ΔE^*_{ab} จะใกล้เคียงกันใน 3 แหล่งกำเนิดแสง คือการกระจายตัวเหมือนกันอยู่ในช่วง 2-22 และมี ΔE^*_{ab} สูงสุดอยู่ในช่วง 36-38 ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50 และสูงสุดช่วง 40-42 ใน D65 และสูงสุดช่วง 26-28 ใน A ซึ่งมีเพียงสีเดียวเท่านั้น

จากผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณของ Test set โทนใบไม้ จะเห็นได้ว่าภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50 และ D65 มีค่าความแตกต่างสีเฉลี่ยที่สังเกตเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนมากใกล้เคียงกัน ส่วน A จะมีค่าความแตกต่างสีเฉลี่ยที่ต่ำกว่าเพียงเล็กน้อย

4.7.3 โทนท้องฟ้า (Sky tone)

โทนท้องฟ้าพบว่าค่า ΔE^*_{ab} มีค่า median, ค่า Mean และค่า sd มีค่าใกล้เคียงกันภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50, D65 และ A โดยค่า median มีค่าเท่ากับ 6.22, 6.89 และ 6.21 ตามลำดับ ค่า Mean มีค่าเท่ากับ 6.88, 7.02 และ 7.03 ตามลำดับ และค่า sd มีค่าเท่ากับ 2.78, 2.72 และ 3.20 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่า RMS พบว่า ค่า median และ Mean เท่ากันคือ 0.05



รูปที่ 4.13 Histogram ค่าความแตกต่างสีของ Sky tone ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50, D65 และ A (5 channel)

จากรูปที่ 4.13 พบว่าภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50, D65 และ A มีความถี่สูงสุดอยู่ในช่วง 4-6 เหมือนกัน ซึ่งการกระจายตัวของค่า ΔE^*_{ab} จะใกล้เคียงกันใน 3 แหล่งกำเนิดแสง คือการกระจายตัวเหมือนกันอยู่ในช่วง 2-16

จากผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณของ Test set โทนท้องฟ้า จะเห็นได้ว่าภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50, D65 และ A มีค่าความแตกต่างสีเฉลี่ยที่สังเกตเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนมากใกล้เคียงกัน

4.7.4 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณของ Test set

จากผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณ สามารถนำค่าเฉลี่ยของ ΔE^*_{ab} และ RMS มาเปรียบเทียบกัน เนื่องจากการแจกแจงของข้อมูลมีลักษณะสมมาตรหรือใกล้เคียงกับสมมาตร ในกรณีนี้ค่าเฉลี่ยจะเป็นตัวแทนที่ดีที่สุดและเหมาะสมที่สุดของข้อมูลของ Test set ทั้ง 3 โทน

โดย Test set ทั้ง 3 โทนจะมีค่าเฉลี่ยของ ΔE^*_{ab} และ RMS ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ย ΔE^*_{ab} และ RMS ของ Test set ทั้ง 3 โทน

| Test set | Mean ΔE^*_{ab} | | | Mean RMS |
|-----------|------------------------|-------|------|----------|
| | D50 | D65 | A | |
| Skin tone | 8.74 | 8.88 | 8.68 | 0.07 |
| Leaf tone | 10.15 | 10.16 | 9.10 | 0.06 |
| Sky tone | 6.88 | 7.02 | 7.03 | 0.05 |

จากตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าโทนท้องฟ้าให้ค่าเฉลี่ยของ ΔE^*_{ab} และ RMS ต่ำสุด รองลงมาคือโทนสีผิว และโทนใบไม้มีค่าสูงสุด ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50, D65 และ A ทั้งนี้ เนื่องมาจากค่า C^*_{ab} ของโทนใบไม้สูงกว่าในโทนอื่น คือ อยู่ในช่วง 0-70 ตามที่กล่าวไว้ใน 4.1.2.2 จะเห็นได้ว่า กระบวนการที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ให้ผลไม่ดีกับสีที่มีค่าความอิ่มตัวสูง ในขณะที่ให้ผลดีกว่าในโทนท้องฟ้า ที่มีค่า C^*_{ab} ต่ำกว่า คือ อยู่ในช่วง 0-50

4.8 ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ

ให้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 20 คน ทำการเปรียบเทียบภาพที่ผลิตด้วยเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึกระหว่างภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปกับภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัม โดยพิจารณาว่าภาพใดมีความเหมือนกับต้นฉบับมากกว่า ซึ่งพิจารณาความเหมือนของสีในบริเวณที่กำหนด จากนั้นให้ระดับความเหมือนของบริเวณที่เลือก โดยระดับความเหมือนกล่าวไว้ในข้อ 3.2.8.2.3

ผลการเลือกภาพของกลุ่มตัวอย่างและระดับความเหมือนที่ให้ ระหว่างภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปกับภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมในบริเวณที่กำหนด ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50, D65 และ A แสดงได้ดังตารางที่ 4.7 และ 4.8

ตารางที่ 4.7 ผลการเลือกภาพที่เหมือนต้นฉบับมากกว่าระหว่างภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไป กับ ภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัม ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50, D65 และ A

| ลำดับ | บริเวณ | จำนวนคน: D50 | | | | จำนวนคน: D65 | | | | จำนวนคน: A | | | |
|-------|---------------------|--------------|-----|---------------|-----|--------------|-----|---------------|-----|--------------|-----|---------------|-----|
| | | General data | | Spectral data | | General data | | Spectral data | | General data | | Spectral data | |
| | | คน | (%) | คน | (%) | คน | (%) | คน | (%) | คน | (%) | คน | (%) |
| | ภาพคน | | | | | | | | | | | | |
| 1 | สีผิว | 3 | 15 | 17 | 85 | 3 | 15 | 17 | 85 | 15 | 75 | 5 | 25 |
| 2 | สีโดยรวมของภาพ | 11 | 55 | 9 | 45 | 9 | 45 | 11 | 55 | 16 | 80 | 4 | 20 |
| | ภาพทิวทัศน์ | | | | | | | | | | | | |
| 1 | ท้องฟ้า | 18 | 90 | 2 | 10 | 20 | 100 | 0 | 0 | 20 | 100 | 0 | 0 |
| 2 | ทะเล | 20 | 100 | 0 | 0 | 20 | 100 | 0 | 0 | 20 | 100 | 0 | 0 |
| 3 | สีโดยรวมของภาพ | 20 | 100 | 0 | 0 | 20 | 100 | 0 | 0 | 20 | 100 | 0 | 0 |
| | ภาพจินตนาการ | | | | | | | | | | | | |
| 1 | โทนแดง | 20 | 100 | 0 | 0 | 20 | 100 | 0 | 0 | 20 | 100 | 0 | 0 |
| 2 | โทนเขียว | 20 | 100 | 0 | 0 | 20 | 100 | 0 | 0 | 20 | 100 | 0 | 0 |
| 3 | โทนน้ำเงิน | 20 | 100 | 0 | 0 | 20 | 100 | 0 | 0 | 20 | 100 | 0 | 0 |
| 4 | โทนเหลือง | 9 | 45 | 11 | 55 | 10 | 50 | 10 | 50 | 11 | 55 | 9 | 45 |
| 5 | สีโดยรวมของภาพ | 20 | 100 | 0 | 0 | 20 | 100 | 0 | 0 | 20 | 100 | 0 | 0 |

ตารางที่ 4.8 ระดับความเหมือนของภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปและภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัม

| ลำดับ | บริเวณ | D50 | | | | | D65 | | | | | A | | | | |
|----------------|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | Mode | Mean | Min | Max | sd | Mode | Mean | Min | Max | sd | Mode | Mean | Min | Max | sd |
| | ภาพคน | | | | | | | | | | | | | | | |
| General data1 | สีผิว | N/A | 2.33 | 1.00 | 4.00 | 1.53 | 3.00 | 2.33 | 1.00 | 3.00 | 1.15 | N/A | 3.20 | 2.00 | 4.00 | 0.77 |
| General data2 | สีโดยรวมของภาพ | 4.00 | 3.27 | 2.00 | 4.00 | 0.65 | 3.00 | 3.22 | 2.00 | 4.00 | 0.83 | 3.00 | 3.19 | 2.00 | 5.00 | 0.83 |
| Spectral data1 | สีผิว | 3.00 | 2.94 | 2.00 | 4.00 | 0.66 | 3.00 | 2.94 | 2.00 | 4.00 | 0.75 | 3.00 | 3.00 | 2.00 | 4.00 | 1.00 |
| Spectral data2 | สีโดยรวมของภาพ | 3.00 | 2.78 | 2.00 | 4.00 | 0.67 | 3.00 | 2.73 | 2.00 | 4.00 | 0.65 | N/A | 3.25 | 2.00 | 5.00 | 1.26 |
| | ภาพทิวทัศน์ | | | | | | | | | | | | | | | |
| General data1 | ท้องฟ้า | 3.00 | 3.33 | 2.00 | 4.00 | 0.59 | 4.00 | 3.45 | 1.00 | 4.00 | 0.76 | 3.00 | 3.05 | 2.00 | 4.00 | 0.69 |
| General data2 | ทะเล | N/A | 3.65 | 3.00 | 5.00 | 0.67 | 4.00 | 3.90 | 3.00 | 5.00 | 0.72 | 4.00 | 3.85 | 2.00 | 5.00 | 0.75 |
| General data3 | สีโดยรวมของภาพ | 4.00 | 3.80 | 3.00 | 5.00 | 0.62 | 4.00 | 3.75 | 3.00 | 5.00 | 0.55 | 4.00 | 3.80 | 2.00 | 5.00 | 0.83 |
| Spectral data1 | ท้องฟ้า | N/A | 3.50 | 3.00 | 4.00 | 0.71 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Spectral data2 | ทะเล | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Spectral data3 | สีโดยรวมของภาพ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | ภาพจับตากร | | | | | | | | | | | | | | | |
| General data1 | โทนแดง | 4.00 | 3.55 | 2.00 | 5.00 | 0.69 | 4.00 | 3.80 | 1.00 | 5.00 | 0.95 | 3.00 | 3.45 | 1.00 | 5.00 | 1.00 |
| General data2 | โทนเขียว | 4.00 | 4.00 | 2.00 | 5.00 | 0.79 | N/A | 4.20 | 3.00 | 5.00 | 0.77 | 4.00 | 4.10 | 3.00 | 5.00 | 0.55 |
| General data3 | โทนน้ำเงิน | 3.00 | 3.70 | 2.00 | 5.00 | 0.99 | 4.00 | 4.05 | 3.00 | 5.00 | 0.76 | 3.00 | 3.80 | 2.00 | 5.00 | 0.83 |
| General data4 | โทนเหลือง | 4.00 | 3.89 | 3.00 | 5.00 | 0.78 | 5.00 | 4.10 | 2.00 | 5.00 | 1.10 | 4.00 | 4.18 | 3.00 | 5.00 | 0.75 |
| General data5 | สีโดยรวมของภาพ | 4.00 | 3.30 | 2.00 | 4.00 | 0.57 | 4.00 | 3.35 | 2.00 | 4.00 | 0.59 | 4.00 | 3.40 | 2.00 | 4.00 | 0.60 |
| Spectral data1 | โทนแดง | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Spectral data2 | โทนเขียว | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Spectral data3 | โทนน้ำเงิน | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Spectral data4 | โทนเหลือง | 4.00 | 3.73 | 2.00 | 5.00 | 0.90 | 3.00 | 3.60 | 3.00 | 5.00 | 0.70 | 4.00 | 3.56 | 2.00 | 5.00 | 0.88 |
| Spectral data5 | สีโดยรวมของภาพ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

จากตารางที่ 4.7 และ 4.8 สามารถแสดงผลการเลือกโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ และแสดงระดับความเหมือนโดยใช้ค่าฐานนิยม (Mode), ค่าเฉลี่ย (Mean), ค่าสูงสุด (Maximum), ค่าต่ำสุด (Minimum) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation:sd) ผลที่ได้เป็นดังนี้

4.8.1 ภาพคน

4.8.1.1 บริเวณสีผิวคน

4.8.1.1.1 บริเวณสีผิวภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50

กลุ่มตัวอย่างคิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัมดีกว่าคิดเป็น 85 % ของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด กลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีจากกระบวนการทั่วไปในบริเวณโทนสีผิว มีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดเท่ากันที่ระดับ 4, 2 และ 1 จึงไม่มีค่าฐานนิยม ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนจึงเท่ากับ 2.33 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 1 และสูงสุดเท่ากับ 4 ส่วนกลุ่ม

ตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสี่เชิงสเปกตรัมมีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 3 ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 2.94 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 2 และสูงสุดเท่ากับ 4 จากผลดังกล่าวจะเห็นว่า ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนของภาพจากข้อมูลมีมากกว่า และมีค่า sd ต่ำกว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไป ดังนั้นกลุ่มตัวอย่างจึงเลือกภาพจากข้อมูลสเปกตรัมมากกว่า

4.8.1.1.2 บริเวณสีผิวภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65

กลุ่มตัวอย่างคิดว่าความถูกต้องของสี่เชิงสเปกตรัมดีกว่าคิดเป็น 85 % ของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด กลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสี่จากกระบวนการทั่วไปในบริเวณโทนสีผิว มีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 3 ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 2.33 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 1 และสูงสุดเท่ากับ 3 ส่วนกลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสี่เชิงสเปกตรัม มีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 3 ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 2.94 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 2 และสูงสุดเท่ากับ 4 จากผลดังกล่าวจะเห็นว่าทั้ง 2 ภาพมีค่าฐานนิยมเท่ากัน แต่ภาพจากข้อมูลสเปกตรัมมีค่าเฉลี่ยมากกว่าและมีค่าเบี่ยงเบนต่ำกว่า ดังนั้นกลุ่มตัวอย่างจึงเลือกภาพจากข้อมูลสเปกตรัมมากกว่า

4.8.1.1.3 บริเวณสีผิวภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A

จากตารางที่ 4.3 พบกลุ่มตัวอย่างคิดว่าความถูกต้องของสี่เชิงสเปกตรัมดีกว่าคิดเป็น 25 % ของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด กลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสี่จากกระบวนการทั่วไปในบริเวณโทนสีผิว มีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 4 และ 3 จึงไม่มีค่าฐานนิยมค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 3.20 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 2 และสูงสุดเท่ากับ 4 ส่วนกลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสี่เชิงสเปกตรัม มีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 3 คิดเป็น ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 3.00 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 2 และสูงสุดเท่ากับ 4 จากผลดังกล่าวจะเห็นว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีช่วงระดับความเหมือนเท่ากับภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัม แต่มีค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนมากกว่าทำให้กลุ่มตัวอย่างเลือกภาพจากข้อมูลทั่วไปมากกว่า

4.8.1.1.4 ผลการผลิตภาพบริเวณสีผิวคนจากข้อมูลสเปกตรัม

จากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพบริเวณสีผิว พบว่า กลุ่มตัวอย่างคิดว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมมีความเหมือนกับต้นฉบับมากกว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปภายใต้

แหล่งกำเนิดแสง D55 และ D65 แต่ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A กลุ่มตัวอย่างกลับคิดว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีความเหมือนกับต้นฉบับมากกว่า และเหมือนในระดับความเหมือนปานกลางเท่ากัน แสดงว่า ภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปให้สีมีความเหมือนกับต้นฉบับได้ดีภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A และจากการวิเคราะห์เชิงปริมาณ เมื่อพิจารณาค่า ΔE^*_{ab} ของ Test set ในโทนสีผิว จะเห็นว่า มีค่าเฉลี่ยสูงถึง 8.88 และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 2.16 ซึ่งมีผลให้บริเวณสีผิวอาจมีค่า ΔE^*_{ab} ต่ำในบริเวณพื้นที่ส่วนใหญ่ ทำให้ภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมมีค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนกับต้นฉบับในระดับความเหมือนปานกลาง

4.8.1.2 สีโดยรวมของภาพ

4.8.1.2.1 สีโดยรวมของภาพคนภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50

กลุ่มตัวอย่างคิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัมดีกว่าคิดเป็น 45 % ของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด กลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีจากกระบวนการทั่วไปในบริเวณสีโดยรวมของภาพ มีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 4 ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 3.22 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 2 และสูงสุดเท่ากับ 4 และกลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัมมีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 3 ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 2.73 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 2 และสูงสุดเท่ากับ 4 จากผลดังกล่าวจะเห็นว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีช่วงระดับความเหมือนเท่ากันกับภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัม แต่มีค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนมากกว่าในระดับที่ใกล้เคียงกัน ทำให้ผลการเลือกระหว่างทั้ง 2 ภาพ ใกล้เคียงกัน

4.8.1.2.2 สีโดยรวมของภาพคนภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65

กลุ่มตัวอย่างคิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัมดีกว่าคิดเป็น 55 % ของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด กลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีจากกระบวนการทั่วไปในบริเวณสีโดยรวมของภาพ มีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 3 ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 3.22 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 2 และสูงสุดเท่ากับ 4 และกลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัม มีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 3 ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 2.73 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 2 และสูงสุดเท่ากับ 4 จากผลดังกล่าวจะเห็นว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีช่วงระดับความเหมือนเท่ากันกับภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัม แต่มีค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนมากกว่าในระดับที่ใกล้เคียงกัน ทำให้ผลการเลือกระหว่างทั้ง 2 ภาพ ใกล้เคียงกัน

4.8.1.2.3 สีโดยรวมของภาพคนภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A

จากตารางที่ 4.3 พบกลุ่มตัวอย่างคิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัมดีกว่าคิดเป็น 20 %ของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด กลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีจากกระบวนการทั่วไปในบริเวณสีโดยรวมของภาพ มีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 3 ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 3.19 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 2 และสูงสุดเท่ากับ 5 และกลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัม มีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 2 และ 4 จึงไม่มีค่านิยามค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 3.25 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 2 และสูงสุดเท่ากับ 5 จากผลดังกล่าวจะเห็นว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีช่วงระดับความเหมือนเท่ากับภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัม และมีค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนในระดับที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาถึงค่า sd ภาพที่จากกระบวนการทั่วไปจะมีค่าต่ำกว่า แสดงว่าผู้เลือกภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปให้ระดับความเหมือนใกล้เคียงกันมากกว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัม ทำให้ผลการเลือกภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีถึง 80%

4.8.1.2.4 ผลการผลิตสีโดยรวมของภาพคนจากข้อมูลสเปกตรัม

จากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพสีโดยรวมของภาพคนพบว่า ภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมมีค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนกับต้นฉบับในระดับความเหมือนปานกลางเท่ากันภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50 D65 และ A โดยกลุ่มตัวอย่างคิดว่ามีความเหมือนกับต้นฉบับพอ ๆ กันระหว่างภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมกับภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไป ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50 และ D65 แต่ภายใต้ A ภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปเหมือนมากกว่า แสดงว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปให้สีมีความเหมือนกับต้นฉบับได้ดีภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A

4.8.2 ระดับความเหมือนของภาพทิวทัศน์

4.8.2.1 บริเวณท้องฟ้า

4.8.2.1.1 บริเวณท้องฟ้าภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50

กลุ่มตัวอย่างคิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัมดีกว่าคิดเป็น 10 %ของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด กลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีจากกระบวนการทั่วไปในบริเวณท้องฟ้า มีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 3 ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 3.33 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 2 และสูงสุดเท่ากับ 4 ส่วนกลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัมมี

ระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 3 และ 4 จึงไม่มีค่าฐานนิยม ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 3.50 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 3 และสูงสุดเท่ากับ 4 จากผลดังกล่าวจะเห็นว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมมีค่าเฉลี่ยความเหมือนมากกว่า แต่มีค่า sd สูงกว่า ทำให้ผลการเลือกภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีถึง 90%

4.8.2.1.2 บริเวณท้องฟ้าภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65

กลุ่มตัวอย่างไม่คิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัมดีกว่าเลย โดยกลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีจากกระบวนการทั่วไปในบริเวณท้องฟ้ามีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 4 ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 3.45 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 1 และสูงสุดเท่ากับ 4 ซึ่งแสดงว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีความเหมือนกับต้นฉบับในระดับที่เหมือนปานกลาง แสดงว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมในบริเวณท้องฟ้าอาจเหมือนกับต้นฉบับในระดับความเหมือนน้อยถึงน้อยที่สุด

4.8.2.1.3 บริเวณท้องฟ้าภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A

กลุ่มตัวอย่างไม่คิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัมดีกว่าเลย โดยกลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีจากกระบวนการทั่วไปในบริเวณท้องฟ้ามีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 3 ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 3.05 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 2 และสูงสุดเท่ากับ 4 จากผลดังกล่าวภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีความเหมือนกับต้นฉบับในระดับที่เหมือนปานกลาง แต่ภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมไม่มีผู้เลือกเลย แสดงว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมในบริเวณท้องฟ้าอาจเหมือนกับต้นฉบับในระดับความเหมือนน้อยถึงน้อยที่สุด

4.8.2.1.4 ผลการผลิตสีบริเวณท้องฟ้าจากข้อมูลสเปกตรัม

จากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพบริเวณท้องฟ้าพบว่า ภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมมีความเหมือนกับต้นฉบับในระดับความเหมือนปานกลางถึงเหมือนมากอยู่เพียง 10% ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50 เท่านั้น ที่เหลือภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีความเหมือนมากกว่าทั้งหมด ในระดับความเหมือนปานกลาง แสดงว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมในบริเวณท้องฟ้าอาจเหมือนกับต้นฉบับในระดับความเหมือนน้อยถึงน้อยที่สุดนั่นเอง และจากการวิเคราะห์เชิงปริมาณ เมื่อพิจารณาค่า ΔE^*_{ab} ของ Test set ในโทนท้องฟ้า จะเห็นว่ามีค่าเฉลี่ยสูงถึง 7.03 และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 2.50 ดังนั้นบริเวณท้องฟ้าของภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัม อาจมีค่า ΔE^*_{ab} สูง

ในบริเวณพื้นที่ส่วนใหญ่ ทำให้มีความเหมือนกับต้นฉบับน้อยกว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไป

4.8.2.2 บริเวณทะเล

4.8.2.2.1 บริเวณทะเลภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50

กลุ่มตัวอย่างไม่คิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัมดีกว่าเลย โดยกลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีจากกระบวนการทั่วไปในบริเวณทะเลมีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 3 และ 4 จึงไม่มีค่าฐานนิยม ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 3.65 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 3 และสูงสุดเท่ากับ 5 ซึ่งแสดงว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีความเหมือนกับต้นฉบับในระดับที่เหมือนมาก อย่างไรก็ตามภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมไม่ถูกพิจารณาเพราะอาจมีความเหมือนในระดับปานกลางถึงน้อยที่สุด

4.8.2.2.2 บริเวณทะเลภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65

กลุ่มตัวอย่างไม่คิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัมดีกว่าเลย โดยกลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีจากกระบวนการทั่วไปในบริเวณทะเลมีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 4 ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 3.90 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 1 และสูงสุดเท่ากับ 4 ซึ่งแสดงว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีความเหมือนกับต้นฉบับในระดับที่เหมือนมาก อย่างไรก็ตามภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมไม่ถูกพิจารณาเพราะอาจมีความเหมือนในระดับปานกลางถึงน้อยที่สุด

4.8.2.2.3 บริเวณทะเลภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A

กลุ่มตัวอย่างไม่คิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัมดีกว่าเลย โดยกลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีจากกระบวนการทั่วไปในบริเวณทะเลมีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 4 ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 3.85 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 2 และสูงสุดเท่ากับ 5 ซึ่งแสดงว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีความเหมือนกับต้นฉบับในระดับที่เหมือนมาก อย่างไรก็ตามภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมไม่ถูกพิจารณาเพราะอาจมีความเหมือนในระดับปานกลางถึงน้อยที่สุด

4.8.2.2.4 ผลการผลิตสีบริเวณทะเลจากข้อมูลสเปกตรัม

จากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพพบว่า ภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีความ

เหมือนกับต้นฉบับทุกแหล่งกำเนิดแสงในระดับความเหมือนมาก ซึ่งแสดงว่า ภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมอาจมีความเหมือนในระดับปานกลางถึงน้อยที่สุด

4.8.2.3 สีโดยรวมของภาพทิวทัศน์

4.8.2.3.1 สีโดยรวมของภาพทิวทัศน์ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50

กลุ่มตัวอย่างไม่คิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัมดีกว่าเลย โดยกลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีจากกระบวนการทั่วไปในบริเวณสีโดยรวมของภาพมีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 4 ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 3.65 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 3 และสูงสุดเท่ากับ 5 ซึ่งแสดงว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีความเหมือนกับต้นฉบับในระดับที่เหมือนมาก อย่างไรก็ตามภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมไม่ถูกพิจารณาเพราะอาจมีความเหมือนในระดับปานกลางถึงน้อยที่สุด

4.8.2.3.2 สีโดยรวมของภาพทิวทัศน์ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65

กลุ่มตัวอย่างไม่คิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัมดีกว่าเลย โดยกลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีจากกระบวนการทั่วไปในบริเวณสีโดยรวมของภาพมีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 4 ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 3.90 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 3 และสูงสุดเท่ากับ 5 ซึ่งแสดงว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีความเหมือนกับต้นฉบับในระดับที่เหมือนมาก อย่างไรก็ตามภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมไม่ถูกพิจารณาเพราะอาจมีความเหมือนในระดับปานกลางถึงน้อยที่สุด

4.8.2.3.3 สีโดยรวมของภาพทิวทัศน์ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A

กลุ่มตัวอย่างไม่คิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัมดีกว่าเลย โดยกลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีจากกระบวนการทั่วไปในบริเวณสีโดยรวมของภาพ มีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 4 ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 3.85 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 2 และสูงสุดเท่ากับ 5 ซึ่งแสดงว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีความเหมือนกับต้นฉบับในระดับที่เหมือนมาก อย่างไรก็ตามภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมไม่ถูกพิจารณาเพราะอาจมีความเหมือนในระดับปานกลางถึงน้อยที่สุด

4.8.2.3.4 ผลการผลิตสีโดยรวมของภาพทิวทัศน์จากข้อมูลสเปกตรัม

จากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพพบว่า ภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีความเหมือนกับต้นฉบับทุกแหล่งกำเนิดแสงในระดับความเหมือนมาก ซึ่งแสดงว่า ภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมอาจมีความเหมือนในระดับปานกลางถึงน้อยที่สุด

4.8.3 ระดับความเหมือนของภาพนามธรรม

4.8.3.1 โทนสีแดง

4.8.3.1.1 โทนสีแดงภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50

กลุ่มตัวอย่างไม่คิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัมดีกว่าเลย โดยกลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีจากกระบวนการทั่วไปในบริเวณโทนสีแดง มีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 4 ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 3.55 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 2 และสูงสุดเท่ากับ 5 ซึ่งแสดงว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีความเหมือนกับต้นฉบับในระดับที่เหมือนปานกลางถึงเหมือนมาก อย่างไรก็ตามภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมไม่ถูกพิจารณาเพราะอาจมีความเหมือนในระดับปานกลางถึงน้อยที่สุด

4.8.3.1.2 โทนสีแดงภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65

กลุ่มตัวอย่างไม่คิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัมดีกว่าเลย โดยกลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีจากกระบวนการทั่วไปในบริเวณโทนสีแดง มีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 4 ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 3.80 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 1 และสูงสุดเท่ากับ 5 ซึ่งแสดงว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีความเหมือนกับต้นฉบับในระดับที่เหมือนมาก อย่างไรก็ตามภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมไม่ถูกพิจารณาเพราะอาจมีความเหมือนในระดับปานกลางถึงน้อยที่สุด

4.8.3.1.3 โทนสีแดงภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A

กลุ่มตัวอย่างไม่คิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัมดีกว่าเลย โดยกลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีจากกระบวนการทั่วไปในบริเวณโทนสีแดงมีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 3 ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 3.45 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 1 และสูงสุดเท่ากับ 5 ซึ่งแสดงว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีความเหมือนกับต้นฉบับในระดับที่เหมือนปานกลางถึงเหมือนมาก อย่างไรก็ตามภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมไม่ถูกพิจารณา

เพราะอาจมีความเหมือนในระดับปานกลางถึงน้อยที่สุด

4.8.3.1.4 ผลการผลัดโทนสีแดงจากข้อมูลสเปกตรัม

จากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพพบว่า ภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีความเหมือนกับต้นฉบับทุกแหล่งกำเนิดแสงในระดับความเหมือนมาก ซึ่งแสดงว่า ภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมอาจมีความเหมือนในระดับปานกลางถึงน้อยที่สุด

4.8.3.2 โทนสีเขียว

4.8.3.2.1 โทนสีเขียวภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50

กลุ่มตัวอย่างไม่คิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัมดีกว่าเลย โดยกลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีจากกระบวนการทั่วไปในบริเวณโทนสีเขียวมีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 4 ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 4.00 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 2 และสูงสุดเท่ากับ 5 ซึ่งแสดงว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีความเหมือนกับต้นฉบับในระดับที่เหมือนมาก อย่างไรก็ตามภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมไม่ถูกพิจารณาเพราะอาจมีความเหมือนในระดับปานกลางถึงน้อยที่สุด

4.8.3.2.2 โทนสีเขียวภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65

กลุ่มตัวอย่างไม่คิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัมดีกว่าเลย โดยกลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีจากกระบวนการทั่วไปในบริเวณโทนสีเขียวมีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 4 และ 5 จึงไม่มีค่าฐานนิยม ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 4.20 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 3 และสูงสุดเท่ากับ 5 ซึ่งแสดงว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีความเหมือนกับต้นฉบับในระดับที่เหมือนมาก อย่างไรก็ตามภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมไม่ถูกพิจารณาเพราะอาจมีความเหมือนในระดับปานกลางถึงน้อยที่สุด

4.8.3.2.3 โทนสีเขียวภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A

กลุ่มตัวอย่างไม่คิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัมดีกว่าเลย โดยกลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีจากกระบวนการทั่วไปในบริเวณโทนสีเขียวมีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 4 ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 4.10 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 3 และสูงสุดเท่ากับ 5 ซึ่งแสดงว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีความเหมือนกับต้นฉบับในระดับที่

เหมือนมาก อย่างไรก็ตามภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมไม่ถูกพิจารณาเพราะอาจมีความเหมือนในระดับปานกลางถึงน้อยที่สุด

4.8.3.2.4 ผลการผลิตโทนสีเขียวจากข้อมูลสเปกตรัม

จากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพพบว่า ภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีความเหมือนกับต้นฉบับทุกแหล่งกำเนิดแสงในระดับความเหมือนมาก ซึ่งแสดงว่า ภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมอาจมีความเหมือนในระดับปานกลางถึงน้อยที่สุด

4.8.3.3 โทนสีน้ำเงิน

4.8.3.3.1 โทนสีน้ำเงินภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50

กลุ่มตัวอย่างไม่คิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัมดีกว่าเลย กลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีจากกระบวนการทั่วไปในบริเวณโทนสีน้ำเงินมีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 3 ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 3.70 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 2 และสูงสุดเท่ากับ 5 ซึ่งแสดงว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีความเหมือนกับต้นฉบับในระดับที่เหมือนมาก อย่างไรก็ตามภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมไม่ถูกพิจารณาเพราะอาจมีความเหมือนในระดับปานกลางถึงน้อยที่สุด

4.8.3.3.2 โทนสีน้ำเงินภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65

กลุ่มตัวอย่างไม่คิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัมดีกว่าเลย โดยกลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีจากกระบวนการทั่วไปในบริเวณโทนสีน้ำเงินมีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 4 ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 4.05 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 3 และสูงสุดเท่ากับ 5 ซึ่งแสดงว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีความเหมือนกับต้นฉบับในระดับที่เหมือนมาก อย่างไรก็ตามภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมไม่ถูกพิจารณาเพราะอาจมีความเหมือนในระดับปานกลางถึงน้อยที่สุด

4.8.3.3.3 โทนสีน้ำเงินภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A

กลุ่มตัวอย่างไม่คิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัมดีกว่าเลย โดยกลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีจากกระบวนการทั่วไปในบริเวณโทนสีน้ำเงินมีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 3 ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 3.80 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 2

และสูงสุดเท่ากับ 5 ซึ่งแสดงว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีความเหมือนกับต้นฉบับในระดับที่เหมือนมาก อย่างไรก็ตามภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมไม่ถูกพิจารณาเพราะอาจมีความเหมือนในระดับปานกลางถึงน้อยที่สุด

4.8.3.3.4 ผลการผลิตโทนสีน้ำเงินจากข้อมูลสเปกตรัม

จากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพพบว่า ภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีความเหมือนกับต้นฉบับทุกแหล่งกำเนิดแสงในระดับความเหมือนมาก ซึ่งแสดงว่า ภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมอาจมีความเหมือนในระดับปานกลางถึงน้อยที่สุด

4.8.3.4 โทนสีเหลือง

4.8.3.4.1 โทนสีเหลืองภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50

กลุ่มตัวอย่างคิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัมดีกว่าคิดเป็น 55 % ของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด กลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีจากกระบวนการทั่วไปในบริเวณโทนสีเหลือง มีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 4 ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 3.89 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 3 และสูงสุดเท่ากับ 5 และกลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัมในบริเวณโทนสีเหลือง มีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 4 ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 3.73 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 2 และสูงสุดเท่ากับ 5 จากผลดังกล่าวจะเห็นว่าทั้ง 2 ภาพมีค่าฐานนิยมเท่ากันและค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ดังนั้นกลุ่มตัวอย่างจึงเลือกทั้ง 2 ภาพใกล้เคียงกัน

4.8.3.4.2 โทนสีเหลืองภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65

กลุ่มตัวอย่างคิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัมดีกว่าคิดเป็น 50 % ของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด กลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีจากกระบวนการทั่วไปในบริเวณโทนสีเหลือง มีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 5 ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 4.10 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 2 และสูงสุดเท่ากับ 5 และกลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัมในบริเวณโทนสีเหลือง มีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 3 ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 3.60 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 3 และสูงสุดเท่ากับ 5 จากผลดังกล่าวค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนของภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีค่ามากกว่า แต่มีค่า sd สูงกว่าคือระดับความเหมือนที่ให้ความเบี่ยงเบนมากกว่า ผลที่ได้ก็คือกลุ่มตัวอย่างเลือกทั้ง 2 ภาพเท่า ๆ กัน

4.8.3.4.3 โทนสีเหลืองภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A

กลุ่มตัวอย่างคิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัมดีกว่าคิดเป็น 45 % ของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด กลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีจากกระบวนการทั่วไปในบริเวณ โทนสีเหลือง มีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 4 ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 3.89 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 3 และสูงสุดเท่ากับ 5 และกลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัมในบริเวณโทนสีเหลือง มีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 4 ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 3.56 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 2 และสูงสุดเท่ากับ 5 จากผลดังกล่าวจะเห็นว่าทั้ง 2 ภาพมีค่าฐานนิยมเท่ากัน ดังนั้นกลุ่มตัวอย่างจึงเลือกทั้ง 2 ภาพใกล้เคียงกัน แต่เลือกภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมากกว่าเพราะมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าเล็กน้อย

4.8.3.1.4 ผลการผลิตโทนสีเหลืองจากข้อมูลสเปกตรัม

จากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพพบว่า ภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมกับ ภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีความเหมือนกับต้นฉบับพอ ๆ กันทุกแหล่งกำเนิดแสงในระดับความเหมือนมาก

4.8.3.5 สีโดยรวมของภาพนามธรรม

4.8.3.5.1 สีโดยรวมของภาพนามธรรมภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50

กลุ่มตัวอย่างไม่คิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัมดีกว่าเลย โดยกลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีจากกระบวนการทั่วไปในบริเวณสีโดยรวมของภาพ มีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 4 ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 3.30 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 2 และสูงสุดเท่ากับ 4 ซึ่งแสดงว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีความเหมือนกับต้นฉบับในระดับที่เหมือนปานกลาง อย่างไรก็ตามภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมไม่ถูกพิจารณาเพราะอาจมีความเหมือนในระดับน้อยถึงน้อยที่สุด

4.8.3.5.2 สีโดยรวมของภาพนามธรรมภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50

กลุ่มตัวอย่างไม่คิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัมดีกว่าเลย โดยกลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีจากกระบวนการทั่วไปในบริเวณสีโดยรวมของภาพ มีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 4 ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 3.35 ค่าต่ำสุดเท่ากับ

2 และสูงสุดเท่ากับ 4 ซึ่งแสดงว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีความเหมือนกับต้นฉบับในระดับที่เหมือนปานกลาง อย่างไรก็ตามภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมไม่ถูกพิจารณาเพราะอาจมีความเหมือนในระดับน้อยถึงน้อยที่สุด

4.8.3.5.3 สีโดยรวมของภาพนามธรรมภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A

กลุ่มตัวอย่างไม่คิดว่าความถูกต้องของสีเชิงสเปกตรัมดีกว่าเลย โดยกลุ่มตัวอย่างที่คิดว่าความถูกต้องของสีจากกระบวนการทั่วไปในบริเวณสีโดยรวมของภาพ มีระดับความเหมือนที่เลือกมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 4 ค่าเฉลี่ยระดับความเหมือนเท่ากับ 3.40 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 2 และสูงสุดเท่ากับ 4 ซึ่งแสดงว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีความเหมือนกับต้นฉบับในระดับที่เหมือนปานกลาง อย่างไรก็ตามภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมไม่ถูกพิจารณาเพราะอาจมีความเหมือนในระดับน้อยถึงน้อยที่สุด

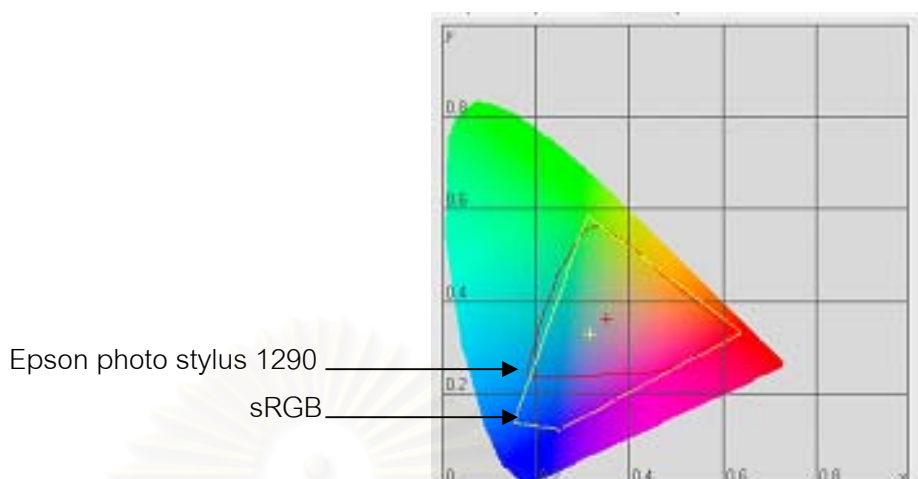
4.8.3.5.4 ผลการผลิตสีโดยรวมของภาพนามธรรมจากข้อมูลสเปกตรัม

จากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพพบว่า ภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีความเหมือนกับต้นฉบับทุกแหล่งกำเนิดแสงในระดับความเหมือนปานกลาง ซึ่งแสดงว่า ภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมอาจมีความเหมือนในระดับน้อยถึงน้อยที่สุด

4.9 การแสดงผลด้วยเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึก

การกำหนดสภาวะในการพิมพ์ที่เหมาะสม เมื่อทดสอบด้วยแผ่นมาตรฐาน TC 9.18 RGB พบว่า ความละเอียดที่เหมาะสมสำหรับการพิมพ์รูปภาพบนกระดาษ Artist paper ด้วยเครื่องพิมพ์ Epson photo stylus 1290 คือ 740 dpi ทั้งนี้เนื่องจากเป็นความละเอียดที่ทำให้เกิดการผลิตโทนสีของภาพได้ดี และเกิดเม็ดสีกรีนบวมน้อย เมื่อเทียบกับความละเอียด 1440 dpi

การแสดงผลศิลปะสีน้ำบนกระดาษ Artist paper ด้วยเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึก โดยภาพที่ใช้มีปริภูมิสีเป็น sRGB นั้น การแสดงค่าสีของสิ่งพิมพ์ที่ผลิตสามารถอธิบายได้จากขอบเขตการแสดงผลค่าสีในแผนภูมิ xy ของเครื่องพิมพ์ Epson photo stylus 1290 และขอบเขตสี sRGB ดังรูปที่ 4.14 ดังนี้



รูปที่ 4.14 ค่าสีในแผนภูมิ xy ของเครื่องพิมพ์ Epson photo stylus 1290 และขอบเขตสี sRGB

จากรูปที่ 4.14 จะเห็นว่าขอบเขตสีของเครื่องพิมพ์บนกระดาษ Artist paper ที่ความละเอียด 740 dpi สามารถผลิตสีที่อยู่ในขอบเขตสีของ sRGB ได้เกือบทุกโทนสี ยกเว้นสีโทนน้ำเงินและโทนม่วงที่ไม่สามารถผลิตได้ ดังนั้นในการแสดงผลด้วยเครื่องพิมพ์ Epson photo stylus 1290 ยังไม่สามารถแสดงค่าสีได้ตรงตามข้อมูลสี sRGB ทั้งหมด จึงอาจมีผลให้การผลิตสีในโทนน้ำเงินและโทนม่วงไม่ตรงตามต้นฉบับได้

การจัดการสีสามารถแก้ไขการเชื่อมโยงข้อมูลสีระหว่างค่าสีนำเข้ากับค่าสีของอุปกรณ์แสดงผลได้ โดยใช้การแปลงค่าสีแบบ Perceptual Rendering intent ซึ่งวิธีนี้จะทำให้สีของภาพศิลปะสีน้ำที่แสดงผลด้วยเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึก สามารถรักษาระดับโทนสี (Tone reproduction) ของภาพไว้ โดยให้ภาพที่ผลิตมีความใกล้เคียงกับต้นฉบับมากที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การสร้างกระบวนการการผลิตซ้ำของภาพสีน้ำจากข้อมูลสเปกตรัมด้วยเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึกให้ใกล้เคียงกับต้นฉบับมากที่สุด

จากผลการดำเนินงานวิจัย พบว่าจำนวนแผ่นกรองแสงที่เหมาะสมสำหรับการบันทึกภาพสีน้ำ คือจำนวน 5 แผ่นซึ่งหาจากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ว่า 5 องค์ประกอบนั้น สามารถเป็นตัวแทนค่าการสะท้อนแสงของ Training set ทั้ง 176 สีได้ถึง 99 % และชนิดของแผ่นกรองแสงที่หาได้จากวิธีการจัดกลุ่ม (Combination) จากแผ่นกรองแสงทั้งหมด 9 แผ่นเลือก 5 แผ่น คือ BPB42, BPB53, BPN50, SC64 และ SC66 โดยให้ค่าความแตกต่างสีเฉลี่ยของ Training set ต่ำที่สุดคือเท่ากับ 16.89 และ รากกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 0.09 ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11

การแสดงผลภาพสีน้ำด้วยเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึก ค่าพิกเซลของภาพที่ได้จากการบันทึกผ่านแผ่นกรองแสงทั้ง 5 แผ่นถูกใช้ในการประมาณค่าการสะท้อนแสง (O_{est}) ด้วยวิธี Wiener estimation หลังจากนั้นค่า O_{est} จะถูกแปลงเป็นค่า XYZ และ sRGB ตามลำดับ เพื่อแสดงผลด้วยเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึกที่ได้รับการปรับตั้งและหาลักษณะเฉพาะ (Calibration and Characterization) ด้วยโปรแกรมจัดการสี Profilemaker pro 5.0.1 แล้ว

5.1.2 การทดสอบกระบวนการที่สร้างขึ้น สามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

5.1.2.1 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ

การวิเคราะห์เชิงปริมาณของกระบวนการที่สร้างจากข้อมูลสเปกตรัมหาได้จากค่า ΔE^*_{ab} ระหว่างค่าสีที่ได้จากการวัดกับค่าสีที่ได้จากการประมาณของ Test set ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50, D65 และ A ได้ผลดังนี้คือ โทนสีผิวมีค่า ΔE^*_{ab} เฉลี่ยเท่ากับ 8.74 8.88 และ 8.68 ตามลำดับ ส่วนโทนใบไม้มีค่า ΔE^*_{ab} เฉลี่ยเท่ากับ 10.15 10.16 และ 9.10 ตามลำดับ และโทนท้องฟ้ามีค่า ΔE^*_{ab} เฉลี่ยเท่ากับ 6.88 7.02 และ 7.03 ตามลำดับ ดังนั้นโทนสีที่ให้ค่าความแตกต่างสีเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ โทนท้องฟ้า รองลงมาคือโทนสีผิว และสุดท้ายคือ โทนใบไม้ โดยมีค่า

ความแตกต่างสีเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 6.88 และสูงสุดเท่ากับ 10.16 ซึ่งแสดงให้เห็นความแตกต่างสีได้อย่างชัดเจนมาก ดังนั้นการผลิตสีในโทนใบไม้ โทนสีผิว และโทนท้องฟ้าจากข้อมูลสเปกตรัมของงานวิจัยนี้จึงมีสีที่แตกต่างจากต้นฉบับมาก

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงค่า ΔE^*_{ab} ต่ำสุดของ Test set ทั้ง 3 โทน จะเห็นว่า โทนสีผิวมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 2.16 ส่วนโทนใบไม้มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 2.50 และโทนท้องฟ้ามีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.88 ซึ่งสังเกตไม่เห็นความแตกต่างสีเลย ดังนั้นการผลิตสีของทั้ง 3 โทนอาจเหมือนกับต้นฉบับมาก ถ้าบริเวณส่วนใหญ่ของภาพมีค่า ΔE^*_{ab} ต่ำ

5.1.2.2 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ

การวิเคราะห์เชิงคุณภาพของกระบวนการที่สร้างจากข้อมูลสเปกตรัมหาได้จากการเปรียบเทียบความเหมือนกับต้นฉบับภาพสีน้ำภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50 D65 และ A ระหว่างภาพที่ผลิตจากการข้อมูลสเปกตรัมกับภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปที่แสดงผลด้วยเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึก ว่าภาพใดเหมือนต้นฉบับภาพสีน้ำมากกว่า สามารถสรุปผลได้ดังนี้

ภาพคนเปรียบเทียบความเหมือนในบริเวณสีผิว และสีโดยรวมของภาพ พบว่า บริเวณสีผิวของภาพที่ผลิตจากการข้อมูลสเปกตรัมเหมือนกับต้นฉบับมากกว่าภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50 และ D65 ส่วนสีโดยรวมของภาพที่ผลิตจากการข้อมูลสเปกตรัมเหมือนกับต้นฉบับพอ ๆ กับภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D50 และ D65 แต่กลับเหมือนกับต้นฉบับน้อยกว่าภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A ในทั้งสองบริเวณ โดยมีระดับความเหมือนปานกลางเท่ากันทุกแหล่งกำเนิดแสง ถึงแม้ว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปจะเหมือนกับต้นฉบับมากกว่าภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A แต่มีระดับความเหมือนเท่ากัน คือ เหมือนปานกลาง

ภาพทิวทัศน์เปรียบเทียบความเหมือนในบริเวณท้องฟ้า ทะเลและสีโดยรวมของภาพ พบว่า เฉพาะบริเวณท้องฟ้าเท่านั้นที่มีกลุ่มตัวอย่างคิดว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมเหมือนมากกว่าแต่เพียง 10% ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65 เท่านั้น ส่วนบริเวณที่เหลือกลุ่มตัวอย่างคิดว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีความเหมือนมากกว่าในระดับเหมือนมาก ซึ่งแสดงว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมอาจมีความเหมือนกับต้นฉบับในระดับเหมือนปานกลางถึงเหมือนน้อยที่สุดได้

ภาพนามธรรมเปรียบเทียบความเหมือนในบริเวณโทนสีแดง โทนสีเขียว

โทนสีเหลือง โทนสีน้ำเงิน และสีโดยรวมของภาพ พบว่า เฉพาะบริเวณโทนสีเหลืองเท่านั้นที่กลุ่มตัวอย่างคิดว่าภาพที่ได้จากข้อมูลสเปกตรัมกับภาพที่ได้จากข้อมูลทั่วไปมีความเหมือนกับต้นฉบับพอ ๆ กัน ส่วนบริเวณที่เลือกกลุ่มตัวอย่างคิดว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลทั่วไปมีความเหมือนมากกว่าในระดับเหมือนมาก ซึ่งแสดงว่าภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัมอาจมีความเหมือนกับต้นฉบับในระดับเหมือนปานกลางถึงเหมือนน้อยที่สุดได้

ดังนั้นการผลิตซ้ำของภาพสีน้ำจากข้อมูลสเปกตรัมด้วยเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึกจะให้ความเหมือนกับต้นฉบับมากกว่าภาพที่ได้จากข้อมูลทั่วไปในบริเวณสีผิวคน และโทนสีเหลือง ซึ่งมีระดับความเหมือนปานกลาง และเหมือนมากตามลำดับ

5.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตภาพจากข้อมูลสเปกตรัมในงานวิจัย

การผลิตภาพเชิงสเปกตรัมในงานวิจัยไม่สามารถผลิตได้ตรงตามต้นฉบับในทุกค่าสีของต้นฉบับทั้งนี้อาจเกิดจาก ปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

5.1.3.1 จำนวนและชนิดของแผ่นกรองแสง

แผ่นกรองที่นำมาใช้ในการคัดเลือก มีจำนวนจำกัดที่ 9 แผ่น ถ้ามีการเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ได้จำนวนและชนิดของแผ่นกรองแสง ที่สามารถประมาณค่าการสะท้อนได้แม่นยำมากขึ้น

5.1.3.2 คุณภาพของกล้องสีเดี่ยวที่ใช้ในการบันทึก

มีลักษณะและคุณภาพไม่เหมาะสมกับการบันทึกภาพคุณภาพสูง ดังนี้ คือ

5.1.3.2.1 กล้องที่ใช้ในการบันทึกกล้องวีดีทัศน์ภาพนิ่ง

กล้องวีดีทัศน์ภาพนิ่งมีความไวต่อสัญญาณแสงต่ำกว่า CCD ที่ใช้ในกล้องถ่ายภาพดิจิทัล ดังนั้นกล้องวีดีทัศน์ภาพนิ่งจะแบ่งการจับสัญญาณภาพออกเป็น 2 ระยะ คือ ระยะแรกใช้แถบ CCD ในแถวคู่ในการรับสัญญาณภาพก่อน จากนั้น CCD ในแถวคี่จึงจะรับสัญญาณภาพอีกครั้ง ทำให้ค่าการตอบสนองของกล้องไม่คงที่

5.1.3.2.2 กระบวนการผลิตภาพของกล้อง (image processing) ไม่

สมบรูณ์พอ คือ ภาพที่ได้มีอัตราส่วนไม่ตรงตามต้นฉบับ

5.1.3.2.3 การที่กล้องเป็นระบบ auto exposure ทำให้สัญญาณภาพมีการเปลี่ยนแปลงตามสีของวัตถุ จึงทำให้ค่า Camera response ที่ได้ไม่คงที่

5.1.3.2.4 สัญญาณรบกวนภาพ (noise) เกิดขึ้นมาก ทั้งนี้มีอยู่หลายสาเหตุด้วยกัน (20) เช่น แสงไม่พอ (dark current noise) การอ่านสัญญาณภาพไม่ดี (read noise) เป็นต้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การสร้างแผ่นมาตรฐานสี (Training set)

การสร้างแผ่นมาตรฐานสี (Training set) เพื่อใช้ในการสร้างกระบวนการ

5.2.1.1 ควรเริ่มสร้างจากสีที่ใช้ในการผลิตก่อนเพื่อหาขอบเขตของสีที่ผลิตได้

5.2.1.2 เพิ่มจำนวนแผ่นมาตรฐานสีที่ผลิต ด้วยการผสมกันระหว่างแม่สี สำหรับการกระจายที่ดีในแผนภูมิ $L^*C^*_ab$ และ a^*b^*

คัดเลือกแผ่นมาตรฐานสี จากการกระจายตัวที่สม่ำเสมอในแต่ละค่าสี โดยจำนวนที่ใช้อาจอยู่ตั้งแต่ 12-200 สี ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแม่นยำที่ต้องการ คือยิ่งต้องการความแม่นยำสูงจำนวนแผ่นมาตรฐานสีที่ใช้ในการสร้างกระบวนการก็จำเป็นที่จะมากตามด้วย

5.2.2 การเลือกใช้กล้องสีเดียวสำหรับการบันทึกภาพ

ควรมีความละเอียดสูงกว่า 1 Megapixel และมีระบบ cooling เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่จะเกิดขึ้น ทำให้ค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากประมาณมีความแม่นยำมากขึ้น และมีระบบการควบคุมการถ่ายภาพแบบ Manual

5.2.3 จำนวนและชนิดของแผ่นกรองแสง

จำนวนและชนิดของแผ่นกรองแสงควรมีมากพอสำหรับการคัดเลือกชนิดของแผ่นกรองแสงที่เลือกใช้ ถ้ามีหลากหลายอาจสามารถทดสอบได้ผลการประมาณค่าการสะท้อนแสงได้

ดียิ่งขึ้น สามารถยกตัวอย่างชนิดของแผ่นกรองได้ดังนี้ ชนิด Band pass Board [BPB-42,45,50,53,55,60,BPN-53] ชนิด Sharp Cut [SC-58,60,64,66,68] หรือชนิด Separation [SP-1,2,3,5,6,7,9,10,11,15,17,19] เป็นต้น

5.2.4 วิธีเลือกชนิดของฟิลเตอร์ที่เหมาะสม

สามารถทำได้หลายวิธีทั้งขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและคุณภาพในการผลิตที่ต้องการ วิธีที่สามารถนำไปใช้ในการเลือกได้แก่

5.2.4.1 วิธีการจัดเป็นกลุ่ม (Combination)

การหาค่าประกอบชุดของฟิลเตอร์ที่ดีที่สุดในการทำนายค่าการสะท้อน แต่ข้อเสียสำหรับวิธีนี้ก็คือ จำเป็นที่จะต้องบันทึกภาพจากฟิลเตอร์ทั้งหมดก่อน ที่จะทำการเลือกชุดของฟิลเตอร์

5.2.4.2 วิธี Gaussian

เหมาะสำหรับการเลือกฟิลเตอร์จำนวนมากกว่า 15 ขึ้นไป (ทั้งนี้อาจพิจารณาจากประสิทธิภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้งาน) โดยมาทำการเลือกจากค่าการส่องผ่านของแผ่นกรองในช่วงคลื่นที่เหมาะสมกับการบันทึกภาพ

5.2.5 วิธีการประมาณค่าการสะท้อนแสง

สามารถเลือกได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับความเหมาะสม ได้แก่

5.2.5.1 วิธี Wiener estimation

5.2.5.2 วิธี Principal component analysis

5.2.5.3 วิธี Pseudo inverse

5.2.5.4 วิธี Regression

5.2.5.4 การใช้ Smoothness Constraint Condition

5.2.6 การเกิด Metamerism

การผลิตภาพเชิงสเปกตรัม โดยการมุ่งเน้นในกระบวนการบันทึกภาพเพียงอย่างเดียว ยังไม่สามารถการเกิดปรากฏการณ์ Metamerism ได้ทั้งหมด คือยังคงเกิดสีไม่เหมือนกันในบางแหล่งกำเนิดแสง ดังนั้น ถ้าต้องการให้เกิดปรากฏการณ์นี้น้อยที่สุด จำเป็นจะต้องแสดงผลเชิงสเปกตรัมบนอุปกรณ์แสดงผลด้วย เพื่อให้ภาพที่ได้ตรงตามต้นฉบับมากที่สุด อย่างไรก็ตามได้ การผลิตยังคงไม่สามารถผลิตได้ตามตรงที่ต้องการทุกประการ เพราะไม่สามารถผลิตหมึกหรือสีของอุปกรณ์แสดงผลได้ครอบคลุมค่าการสะท้อนแสง เพียงแต่ไม่ให้เกิดมากที่สุด เมื่อแหล่งกำเนิดแสงเปลี่ยนไปเท่านั้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. อารี สุทธิพันธ์. การระบายสีน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ภาพพิมพ์, 2526.
2. Frazer, B.; Murphy, C.; and Bunting, F. Real World Color Management. CA: Peachpit Press, 2003.
3. จันทนา ทองประยูร. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการพิมพ์. หน่วยที่5-11. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช, 2539.
4. Hardeberg, J. Y.; Schmitt, F.; Brettel, H.; Crettez, J.; and Maitre, H. Multispectral image acquisition and simulation of illuminant changes. In MacDonald, L. W.; and Luo, M. R.(eds.), Color Imaging Vision and Technology, pp.145-161. New York: John Wiley & Sons, 1999.
5. Schmitt, F.; Brettel, H. and Hardeberg, J. Y. Multispectral imaging development at ENST. International Symposium on Multispectral Imaging and Color Reproduction for Digital Archives, 1 (October 1999): 50-57.
6. Wyszecki, G.; and Stiles, W. Color Science: Concept and method, quantitative data and formulae. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 2000.
7. Jackson, J.E. A user's guide to principal components. New York: John Wiley & Sons, 1994.
8. Miyake, Y. and Yokoyama, Y. Obtaining and reproduction of accurate color images based on human perception. Proc. SPIE 3300 (1998): 190-197.
9. อรัญ หาดูสีบสาย. ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีการพิมพ์. กรุงเทพมหานคร : เจ.ฟิล์มโปรเซส, 2541.
10. 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].
11. มนต์ สังวรศิลป์ และวรวรัตน์ ภัทรอมรกุล. คู่มือการใช้ MATLABฉบับสมบูรณ์. นนทบุรี: สำนักพิมพ์อินโฟเพรส, 2543.

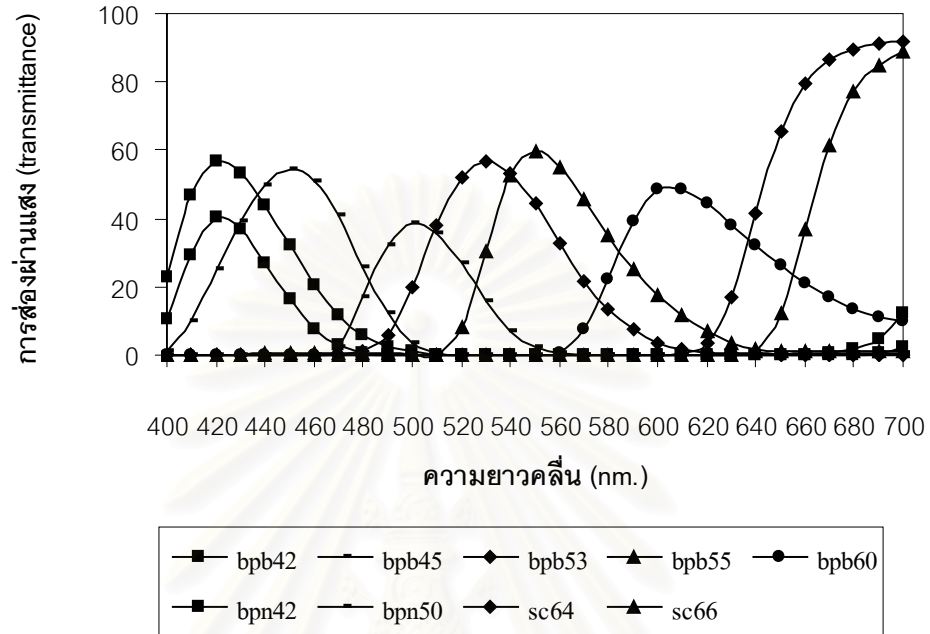
12. นิพัทธ์ เพ็ญสุขใจ, การวัดและวิเคราะห์คุณภาพเอ็มทีเอฟ (MTF) ของกระดาดชิงก์เจ็ด;
Senior Project ระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยี
ทางการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, เอกสารโรเนียวเย็บเล่ม,
หน้า 4-5, 2546.
13. กุณทีนี สุวรรณกิจ, วีระศักดิ์ ธาราษานิต, และ วรพจน์ วชิระโหวทาน, การจัดการสีในระบบ
Desktop Publishing; Senior Project ระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทาง
ภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
เอกสารโรเนียวเย็บเล่ม, หน้า 20-23, 53-57, 2537.
14. Li, C.; and Luo, M. R. The estimation of spectral reflectances using the smoothness
constraint condition. The 9th Color Imaging Conference: Color Science and
Engineering 9 (November 2001): 62-67.
15. Braun, K., Fairchild, M., and Alessi, P. Viewing techniques for cross-media image
comparisons. Color Research and Application 21 (1996): 6-17.
16. Engeldrum, P. G. Psychometric scaling. Winchester, MA: Imcotek press, 2000.
17. MacDonald, L. W.; Westland, S. and Shaw, J. Colour image reproduction: Spectral
vs Spatial. International Symposium on Multispectral Imaging and Color
Reproduction for Digital Archives 1 (October 1999): 81-91.
18. Yokoyama, Y.; Tsumura, N.; Haneishi, H.; Miyake, Y.; Hayashi, J. and Saito, M. A
new color management system base on human perception and its application to
recording and reproduction of art paintings. Color Science, Systems and
Application (1997): 169-172.
19. Imai, F.; Rosen, M.; Wyble, D.; Berns, R., and Tzeng, D. Spectral reproduction from
Scene to hardcopy I: Input and Output [Online]. 2003. Available from:
<http://www.cis.rit.edu/mcsl/research/PDFs/Report2.pdf> [2003, July 20].
20. Haneishi, H.; Hasegawa, T.; Hosoi, A.; Yokoyama, Y.; Tsumura, N.; and Miyake, Y.
System design for accurately estimating spectral reflectance of art paintings
[Online]. 2003. Available from: [http://www.mi.tj.chibau.jp/~tsumura/Tsumura/
papers/AO00_haneishi..htm](http://www.mi.tj.chibau.jp/~tsumura/Tsumura/papers/AO00_haneishi..htm) [2004, April 1].



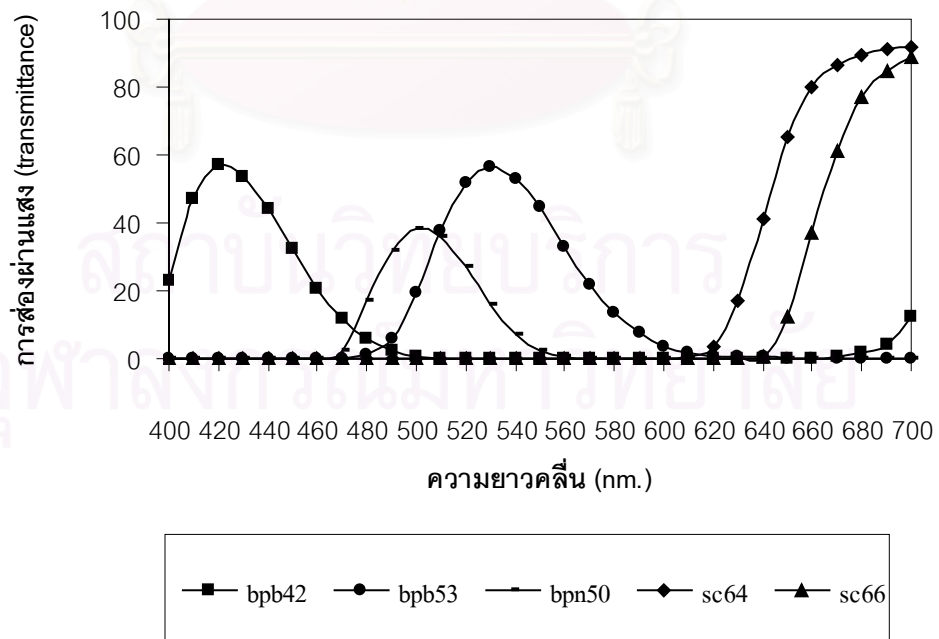
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

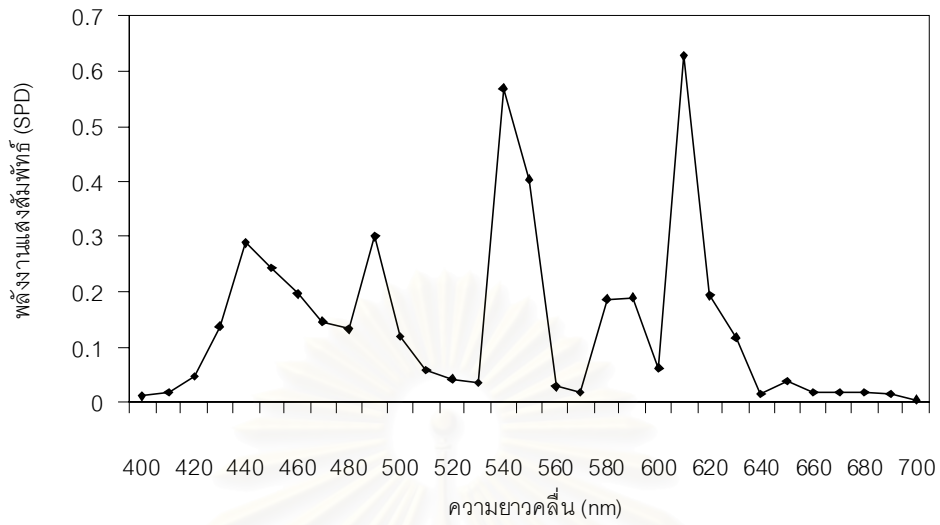
ข้อมูลนำเข้า



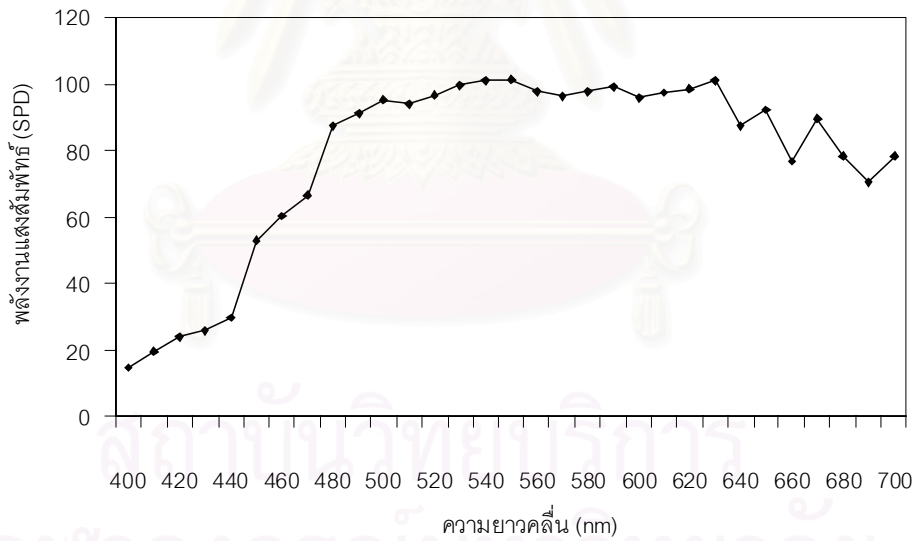
รูปที่ ก-1 กราฟการส่องผ่านแสงของแผ่นกรองแสง 9 แผ่นที่นำมาวิเคราะห์เลือก



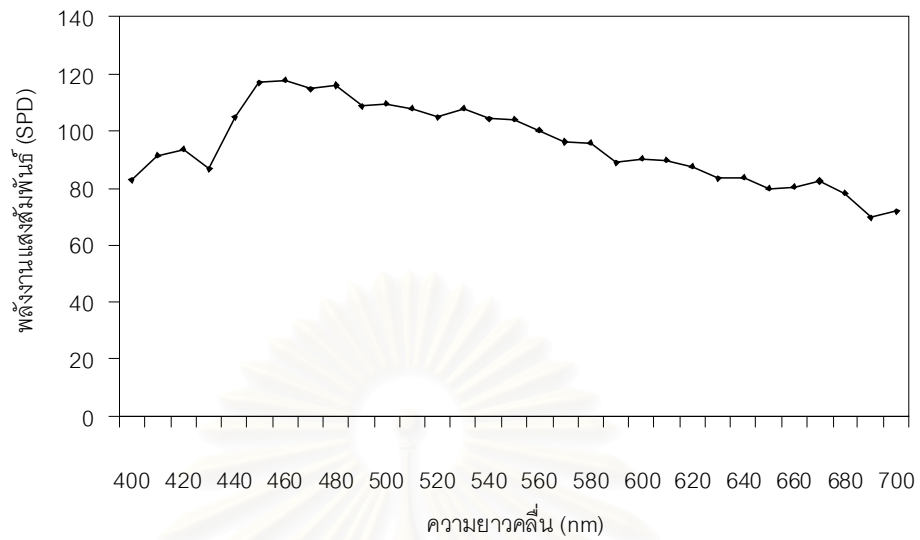
รูปที่ ก-2 กราฟการส่องผ่านแสงของแผ่นกรองแสง 5 แผ่นที่เหมาะสม



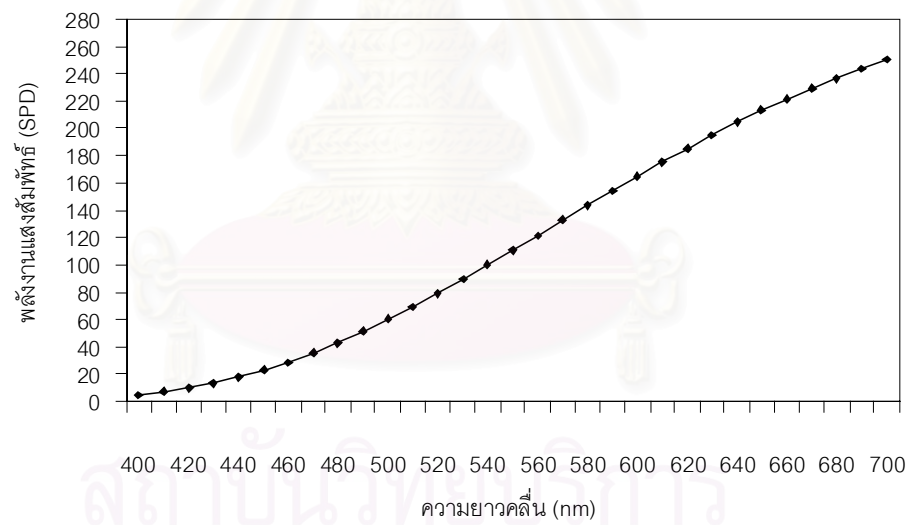
รูปที่ ก-3 กราฟการกระจายตัวสัมพัทธ์ของแหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ (F11)



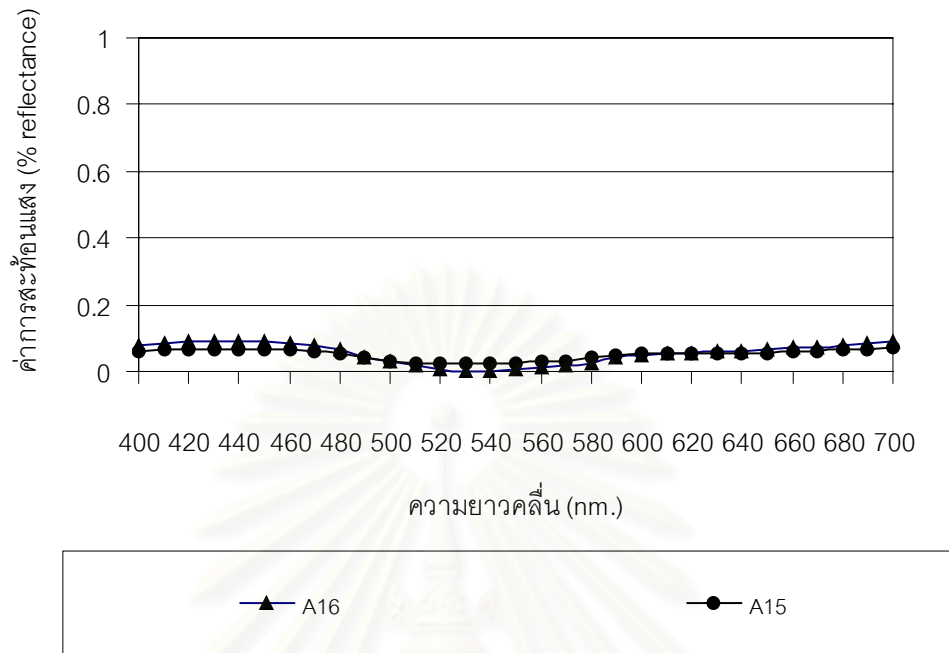
รูปที่ ก-4 กราฟการกระจายตัวสัมพัทธ์ของแหล่งกำเนิดแสง D₅₀



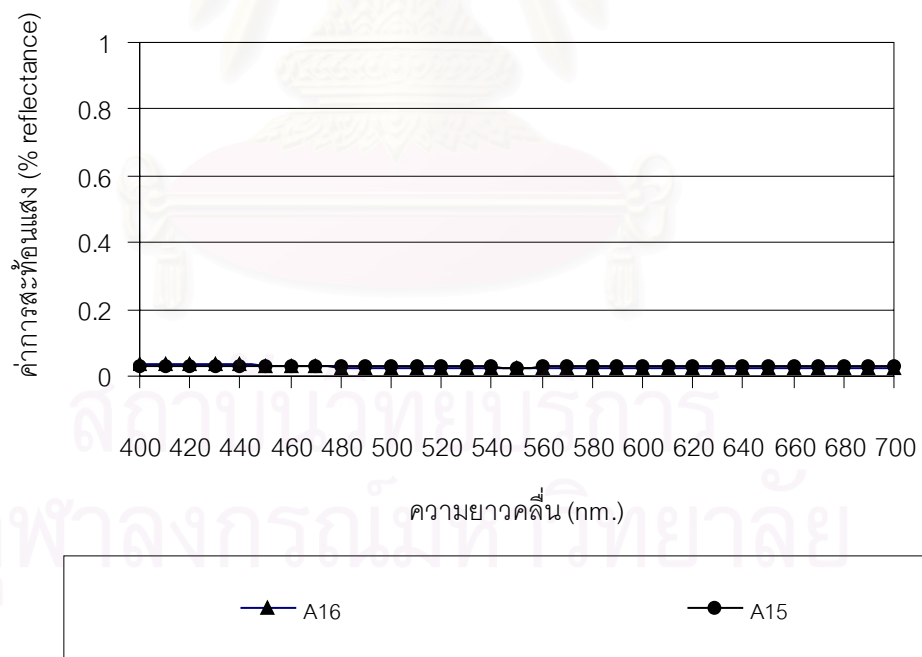
รูปที่ ก-5 กราฟการกระจายตัวสัมพัทธ์ของแหล่งกำเนิดแสง D₆₅



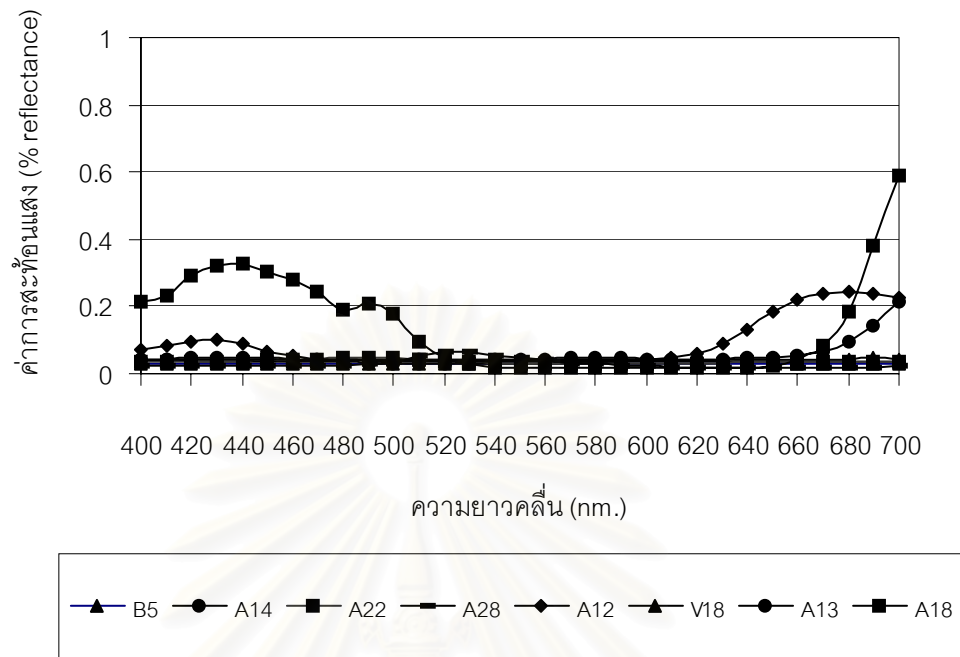
รูปที่ ก-6 กราฟการกระจายตัวสัมพัทธ์ของแหล่งกำเนิดแสง A



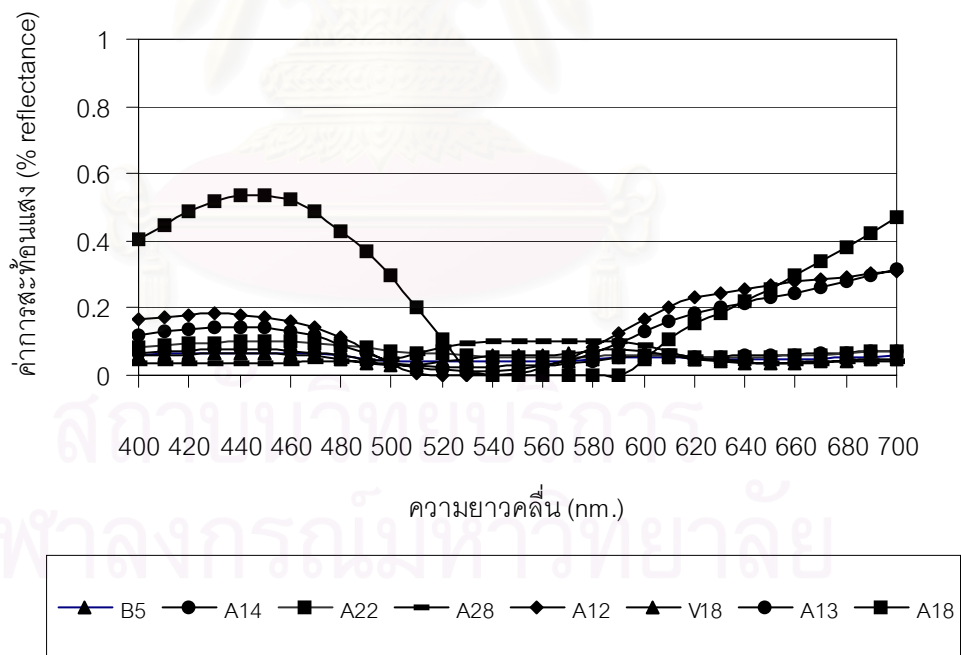
รูปที่ ก-7 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการวัด ที่มีค่า L^* 15.01-20.00



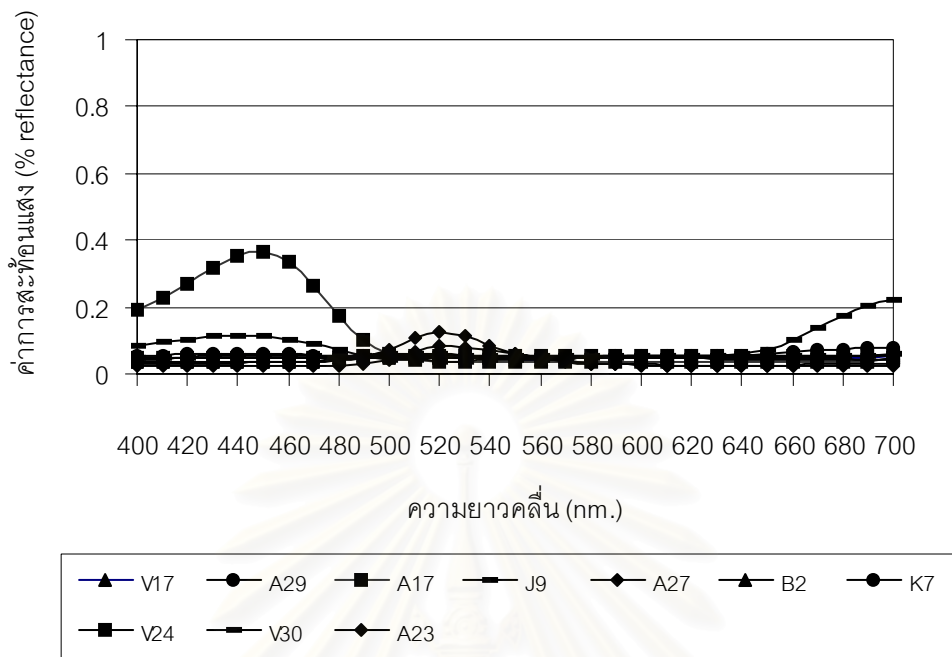
รูปที่ ก-8 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า L^* 15.01-20.00



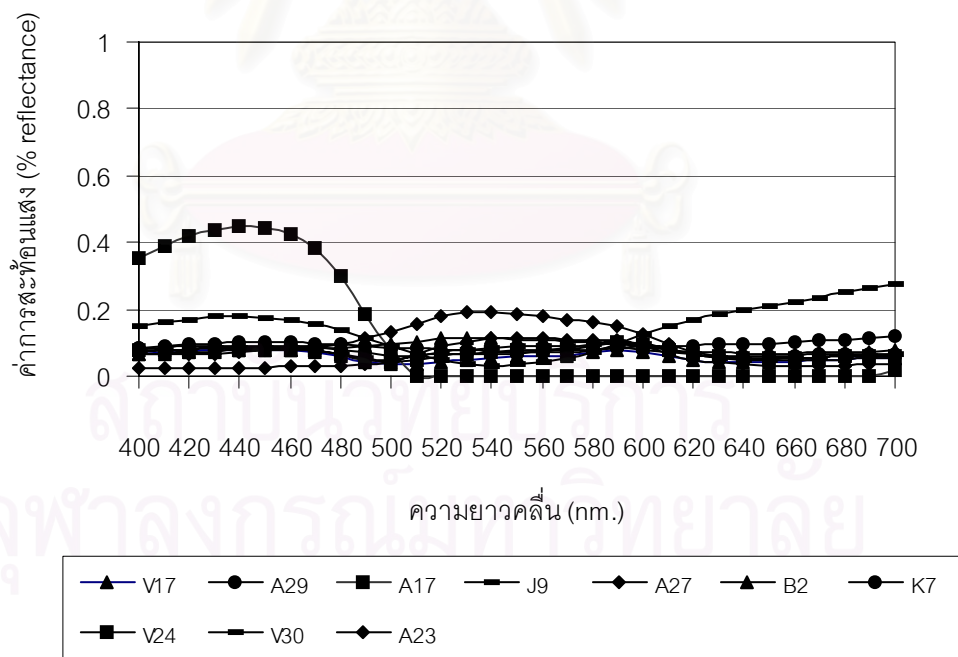
รูปที่ ก-9 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการวัด ที่มีค่า L^* 20.01-25.00



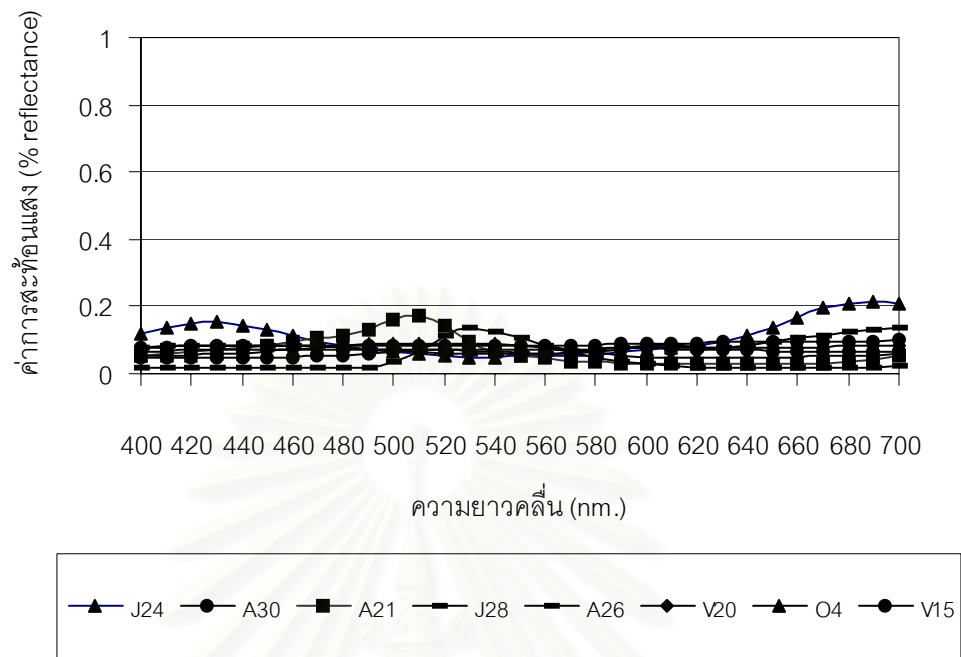
รูปที่ ก-10 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า L^* 20.01-25.00



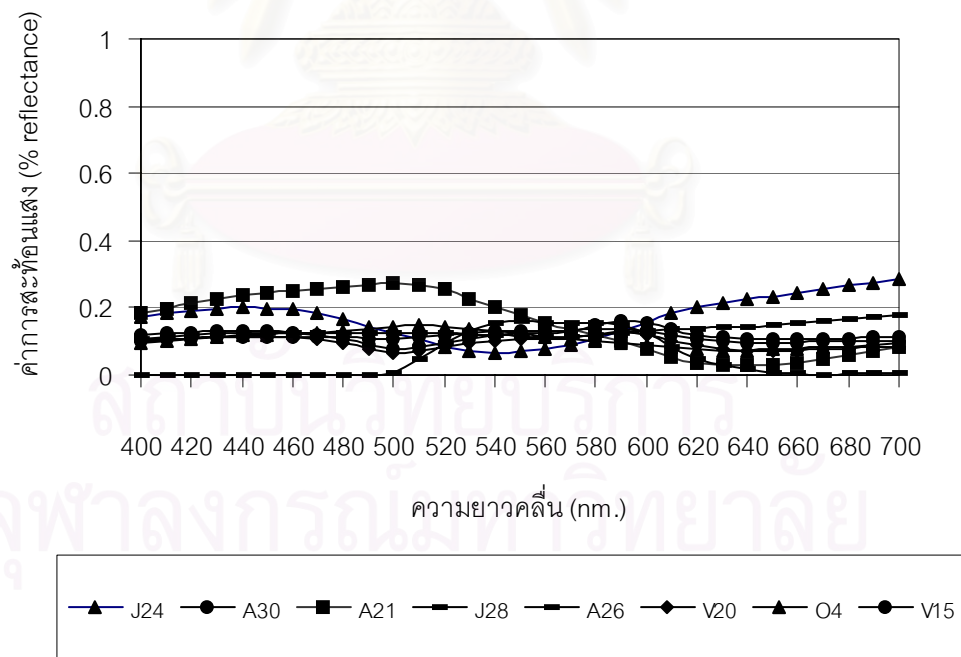
รูปที่ ก-11 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการวัด ที่มีค่า L^* 25.01-30.00



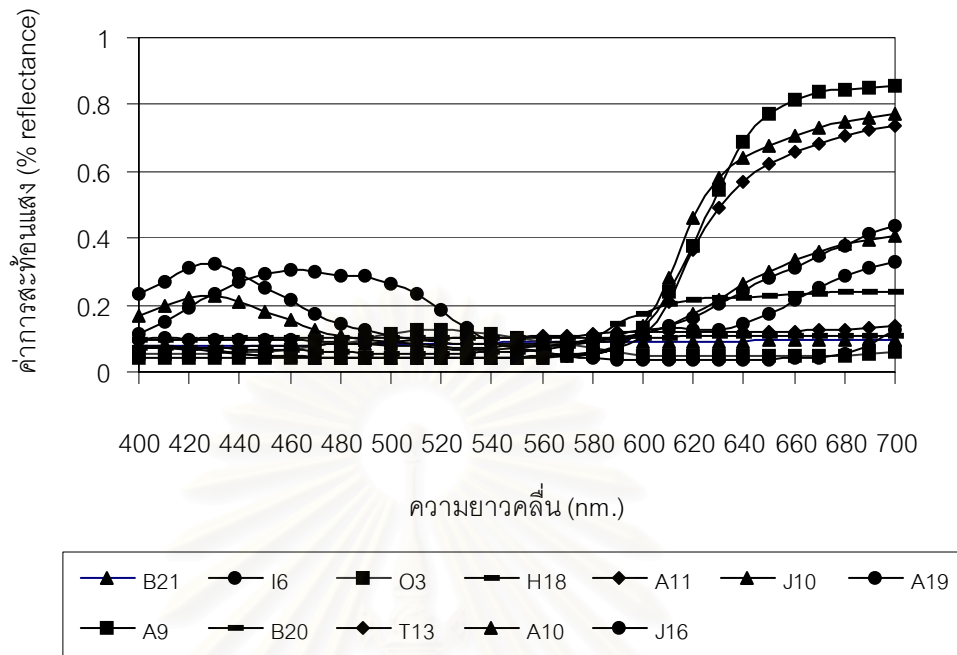
รูปที่ ก-12 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า L^* 25.01-30.00



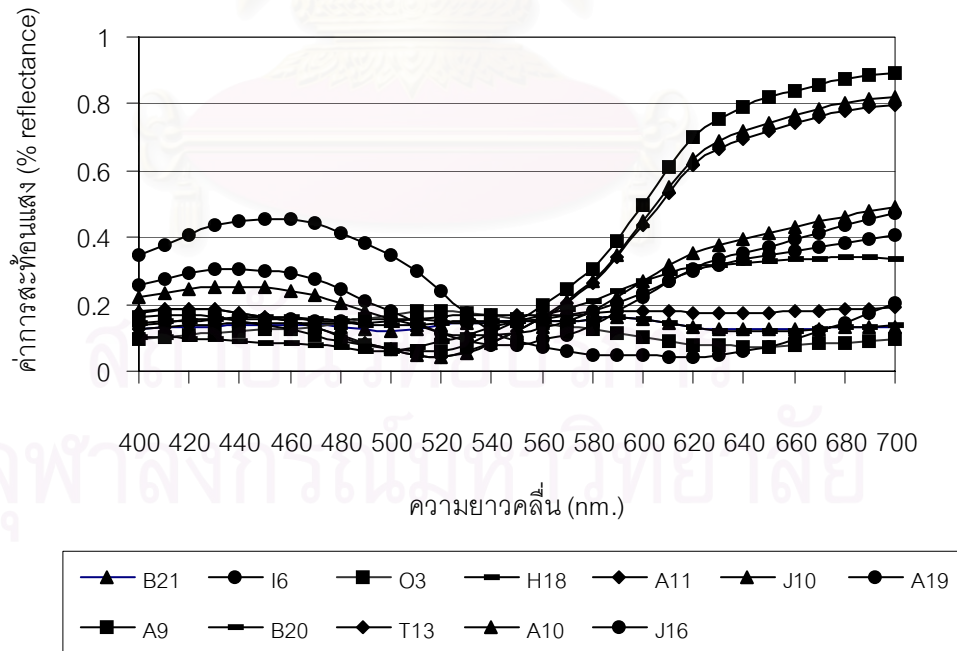
รูปที่ ก-13 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า L^* 25.01-30.00



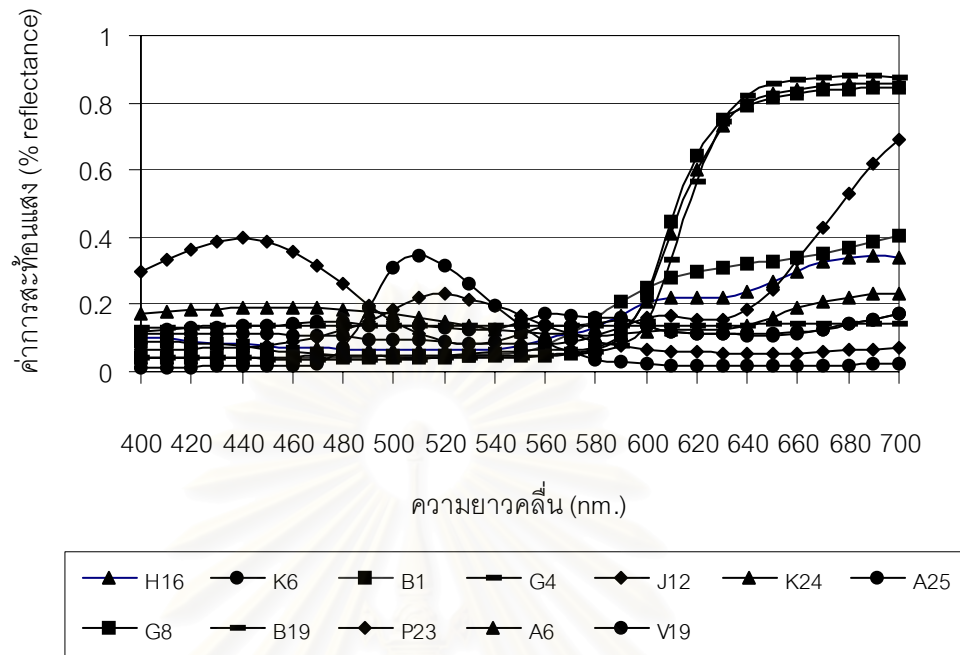
รูปที่ ก-14 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการวัด ที่มีค่า L^* 30.01-35.00



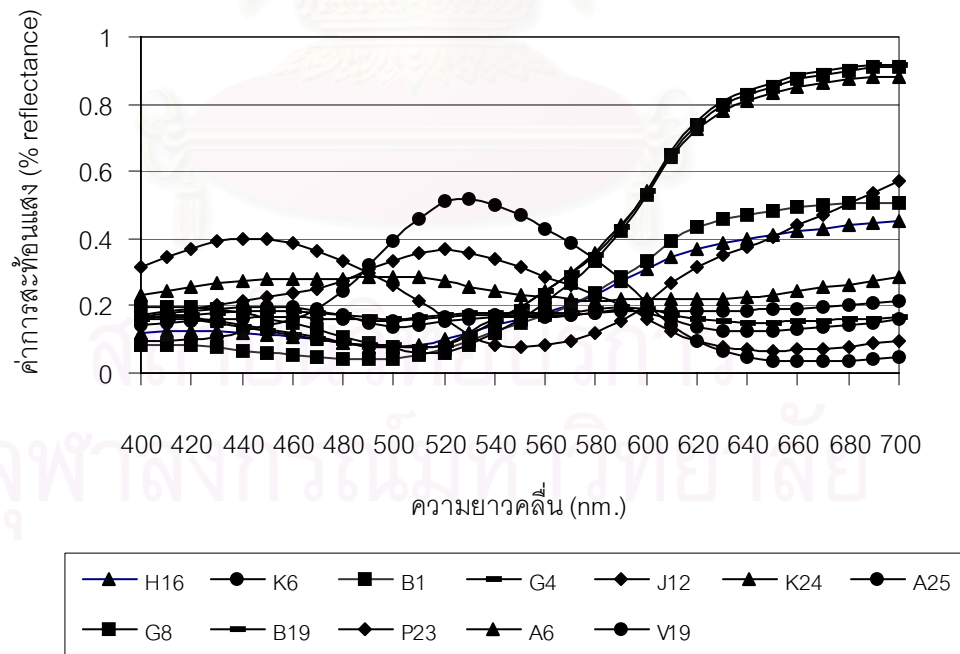
รูปที่ ก-15 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า L^* 30.01-35.00



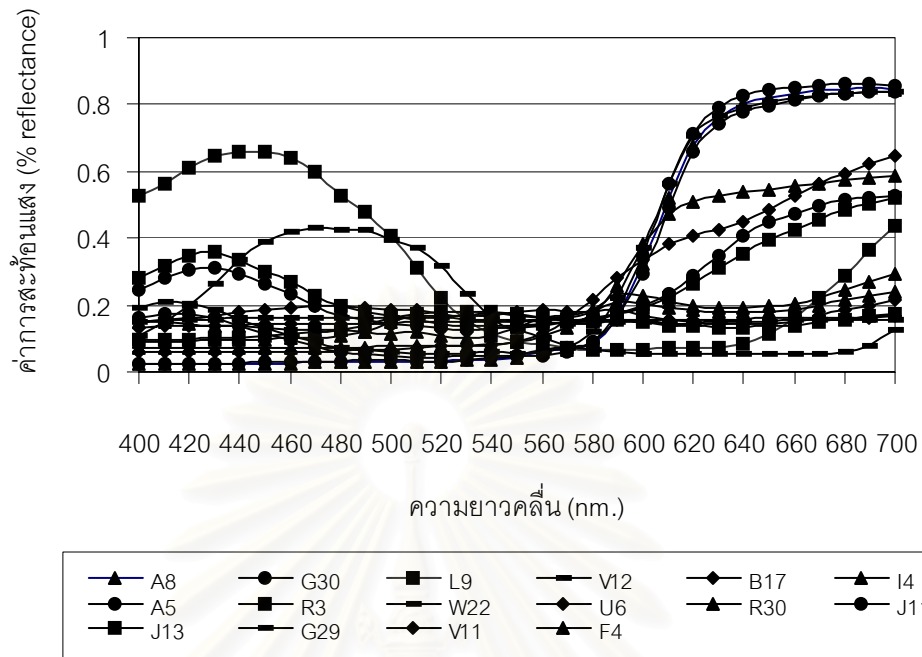
รูปที่ ก-16 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการวัด ที่มีค่า L^* 35.01-40.00



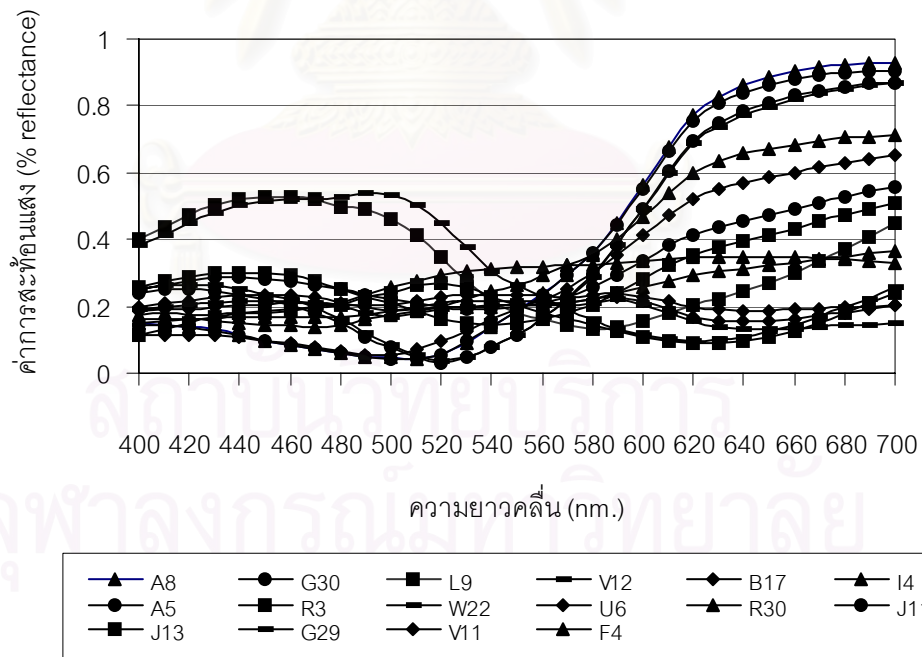
รูปที่ ก-17 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า L* 35.01-40.00



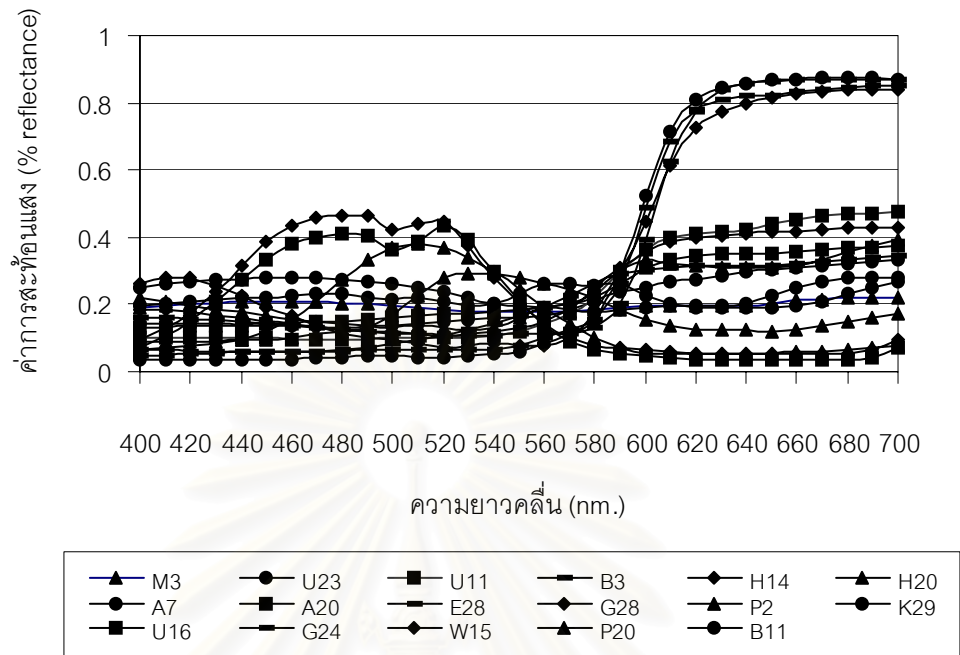
รูปที่ ก-18 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า L* 40.01-45.00



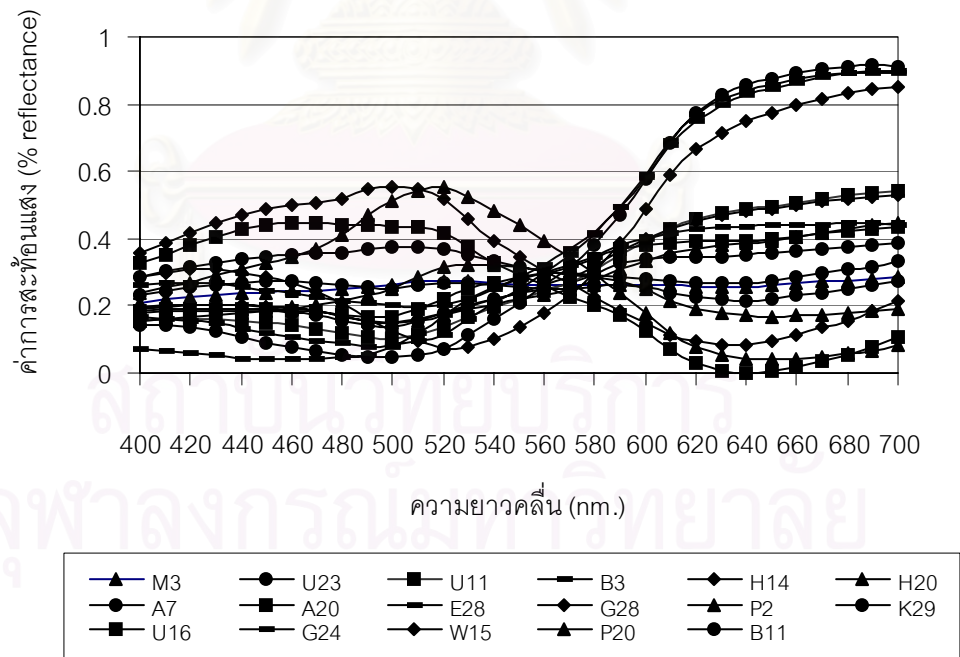
รูปที่ ก-19 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการวัด ที่มีค่า L^* 45.01-50.00



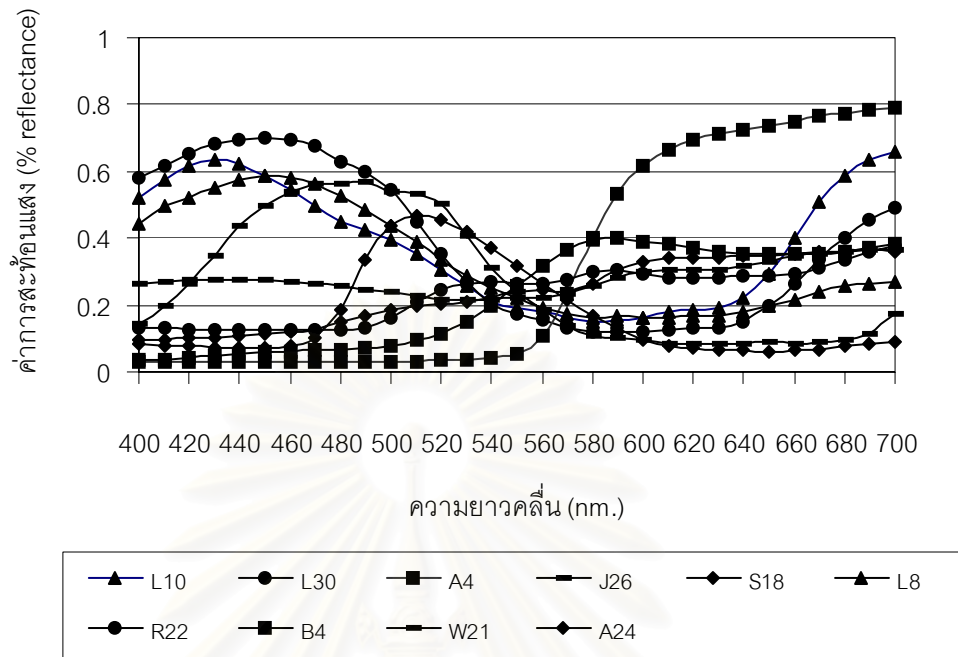
รูปที่ ก-20 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า L^* 45.01-50.00



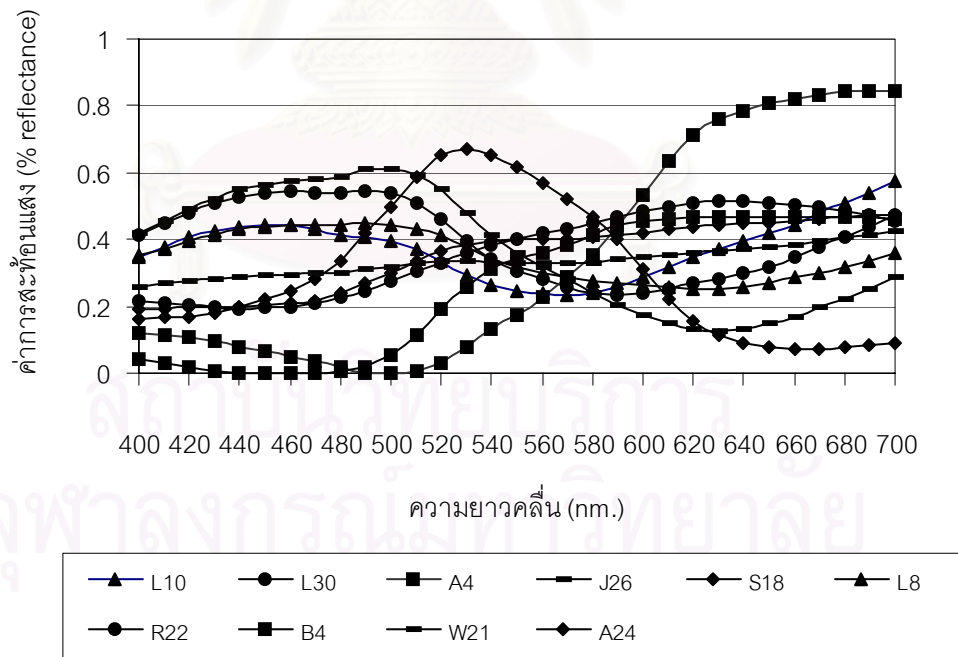
รูปที่ ก-21 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการวัด ที่มีค่า L^* 50.01-55.00



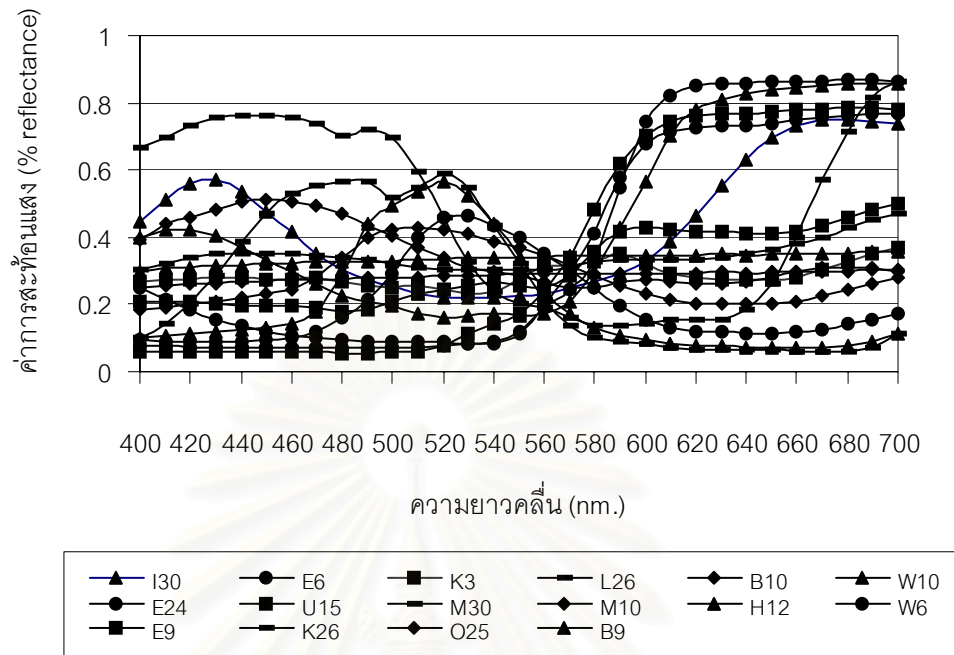
รูปที่ ก-21 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า L^* 50.01-55.00



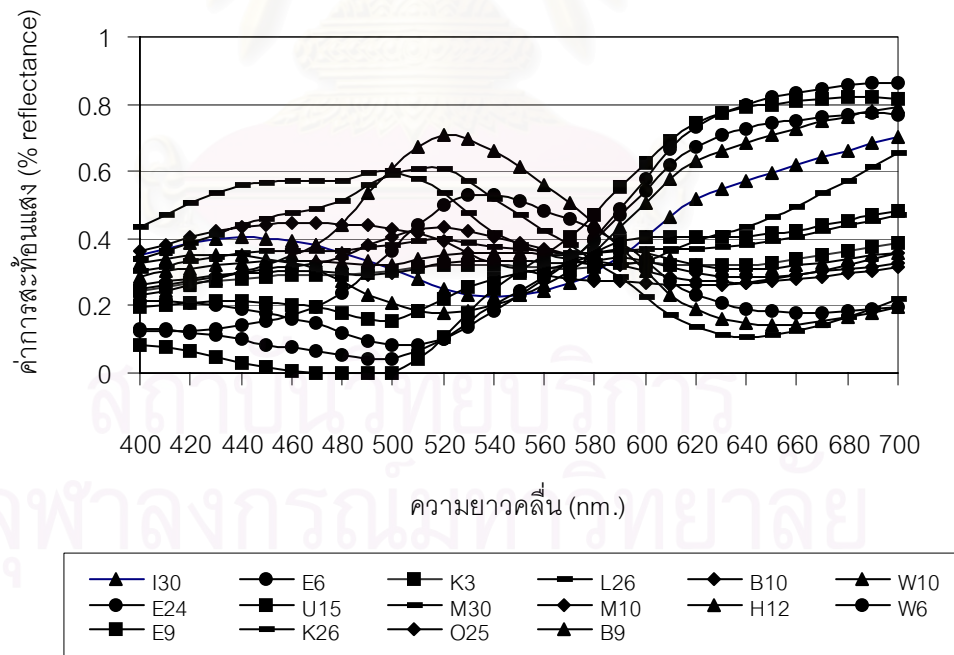
รูปที่ ก-22 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการวัด ที่มีค่า L^* 55.01-60.00



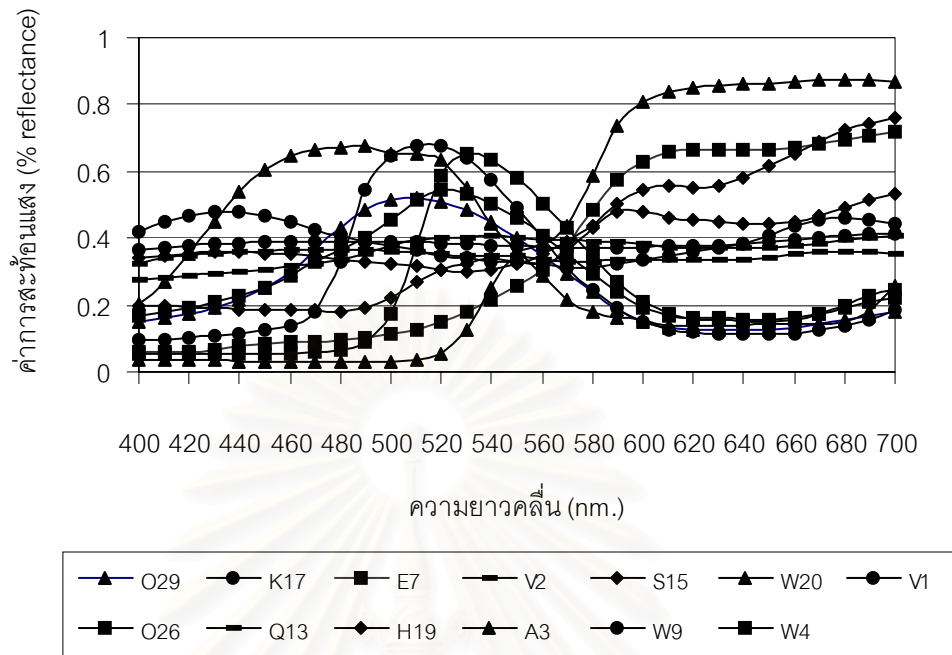
รูปที่ ก-23 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า L^* 55.01-60.00



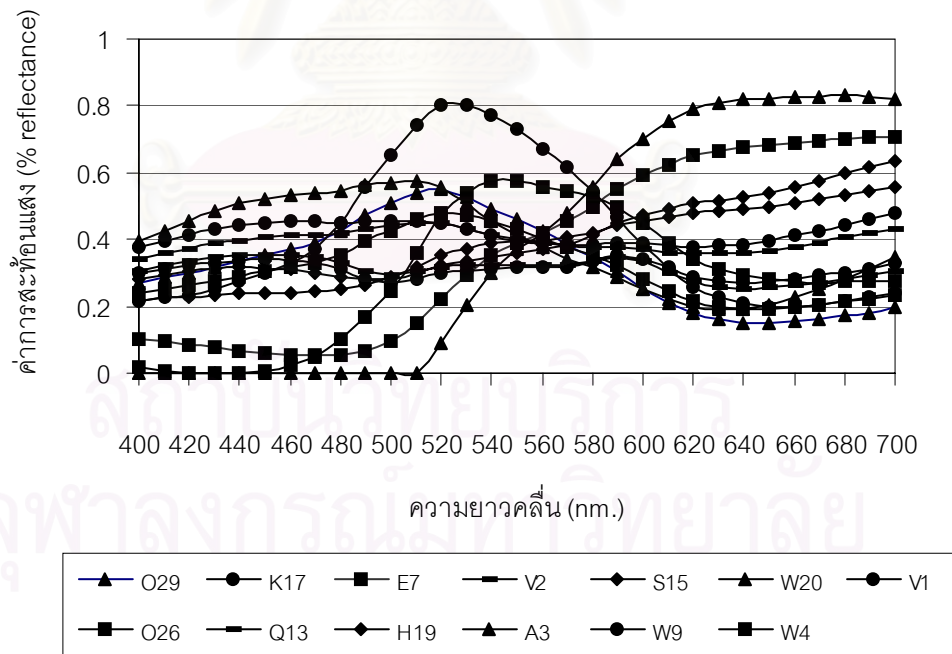
รูปที่ ก-24 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการวัด ที่มีค่า L^* 60.01-65.00



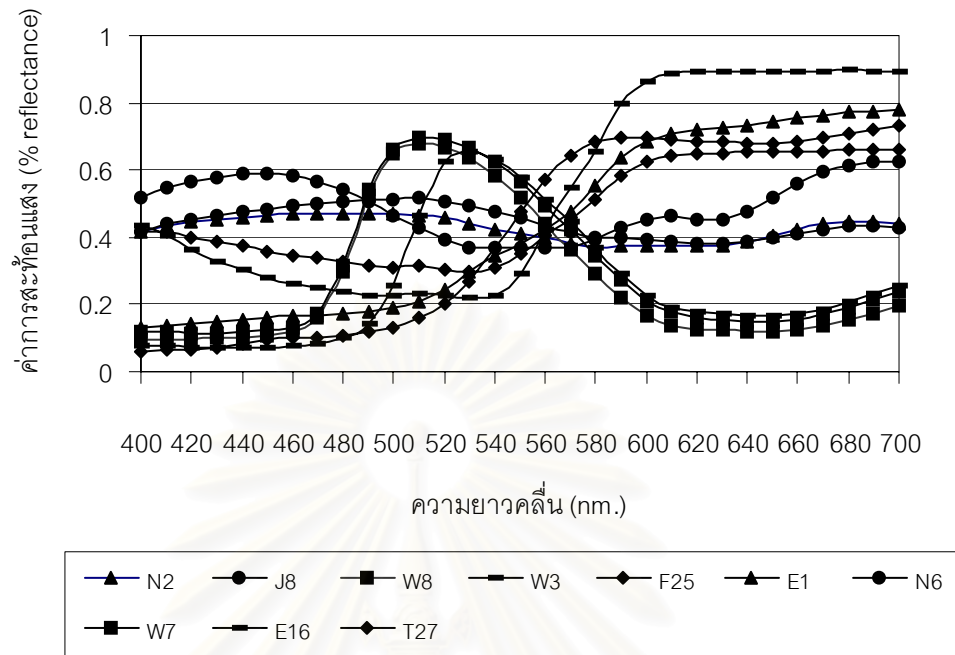
รูปที่ ก-25 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า L^* 60.01-65.00



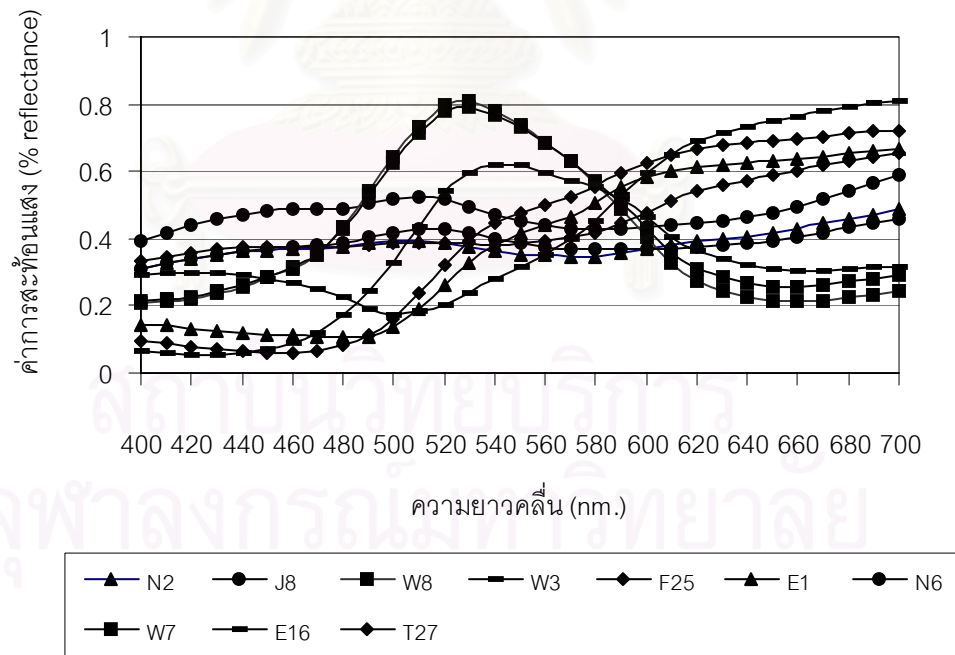
รูปที่ ก-26: กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการวัด ที่มีค่า L* 65.01-70.00



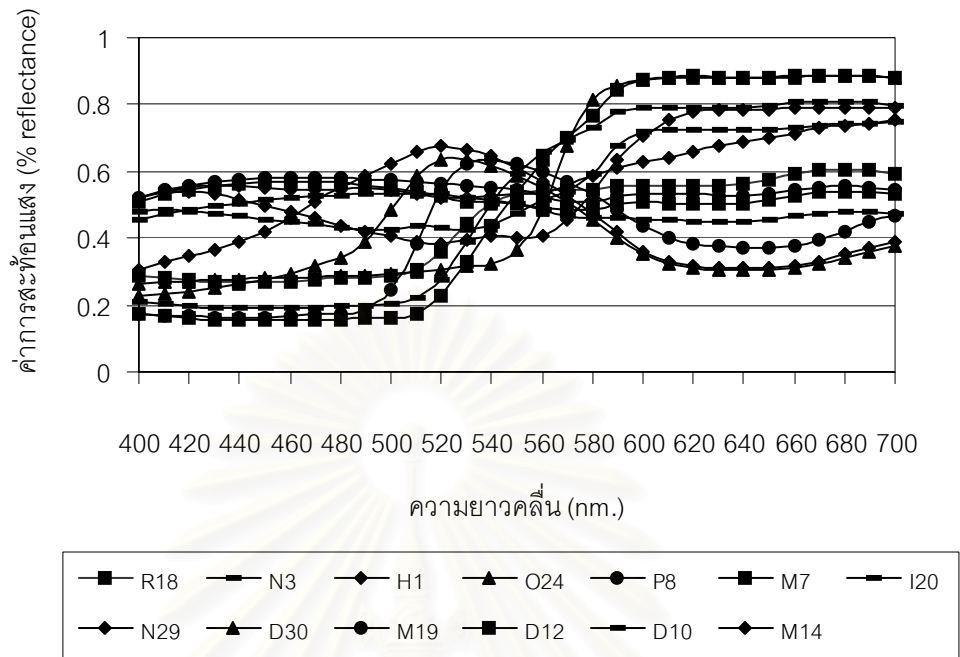
รูปที่ ก-27: กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า L* 65.01-70.00



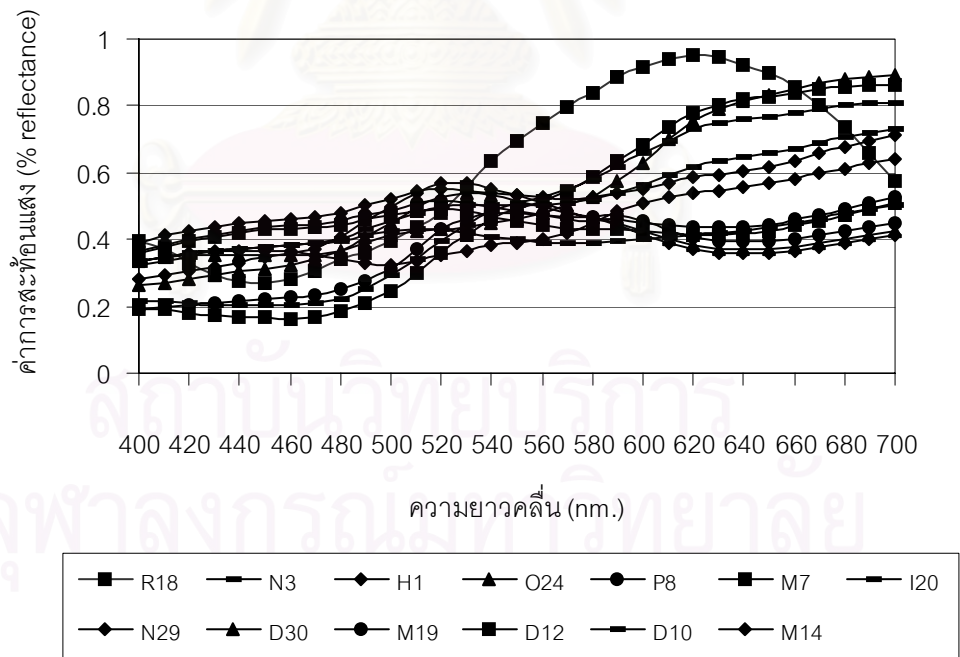
รูปที่ ก-28 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการวัด ที่มีค่า L^* 70.01-75.00



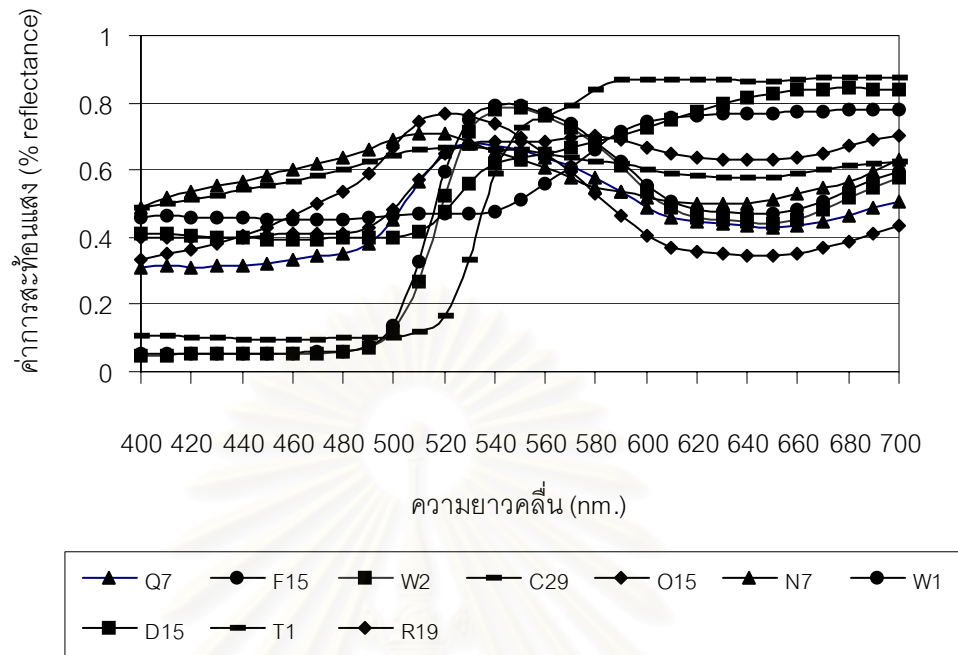
รูปที่ ก-29 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า L^* 70.01-75.00



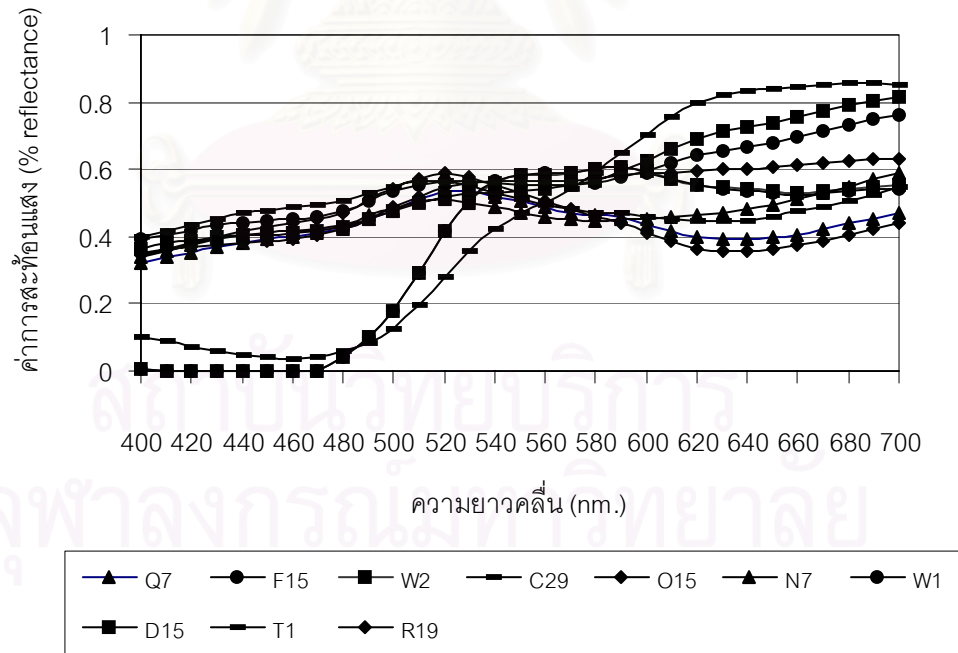
รูปที่ ก-30 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการวัด ที่มีค่า L^* 75.01-80.00



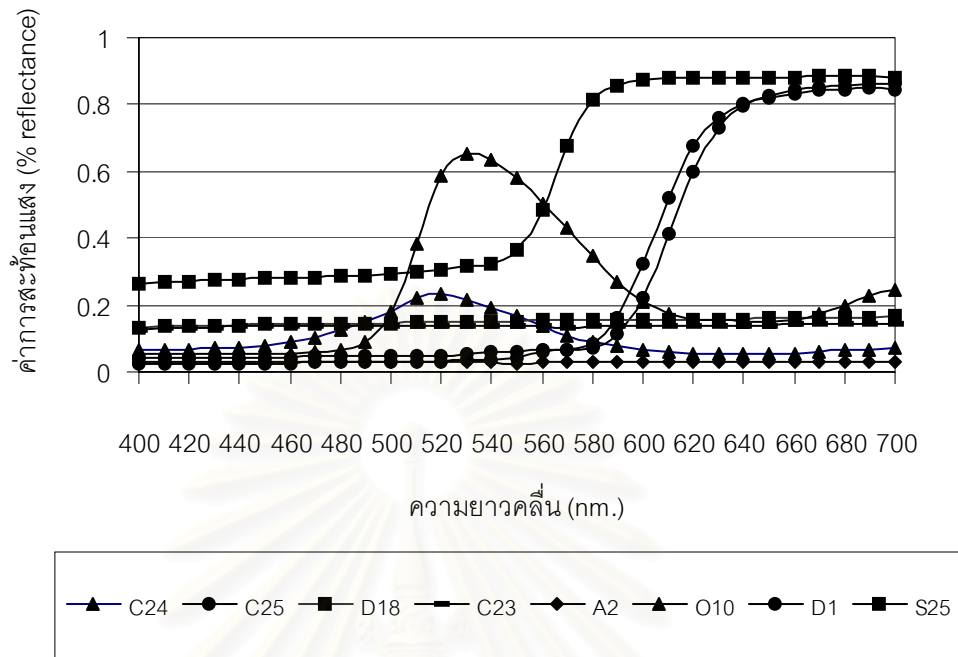
รูปที่ ก-31 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า L^* 75.01-80.00



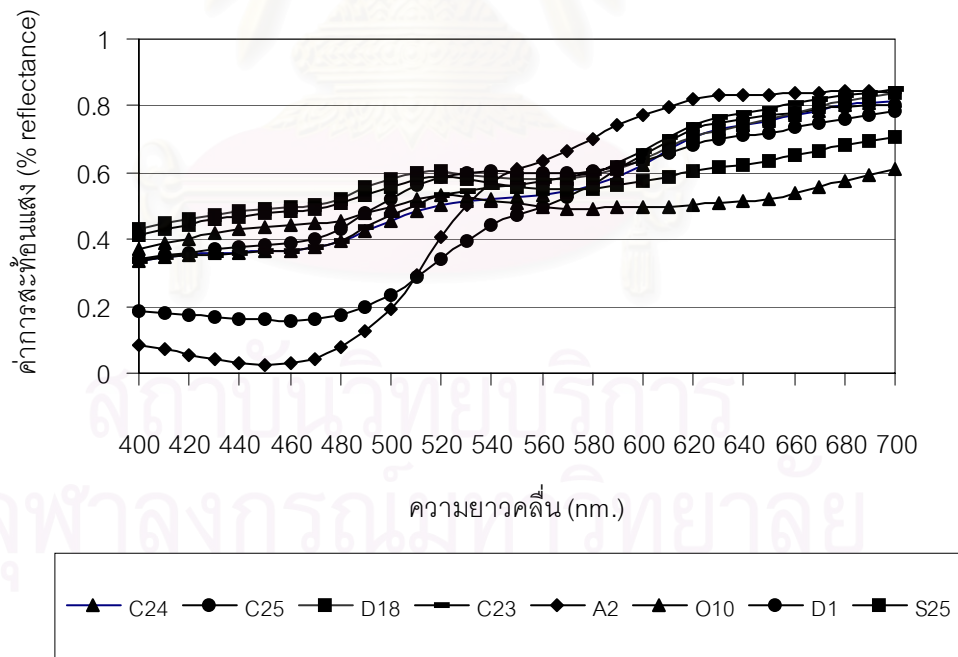
รูปที่ ก-32: กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการวัด ที่มีค่า L^* 80.01-85.00



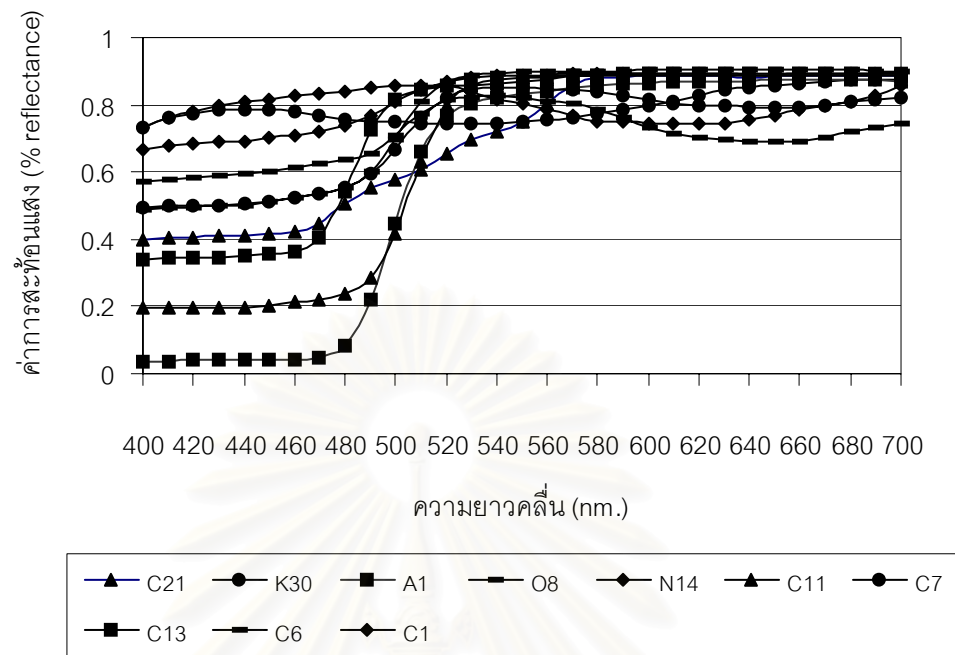
รูปที่ ก-33: กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า L^* 80.01-85.00



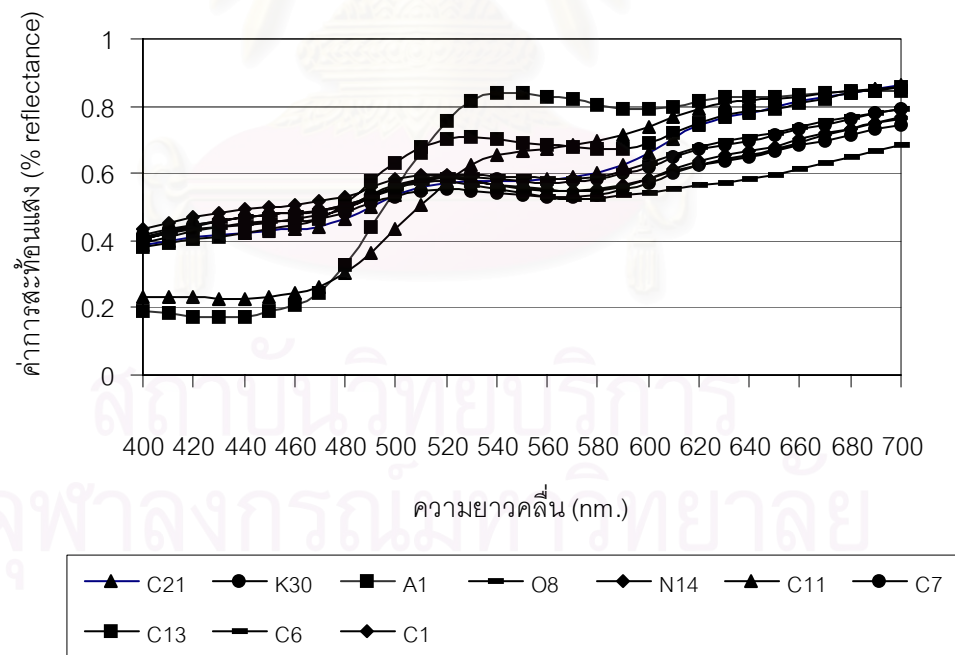
รูปที่ ก-34: กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการวัด ที่มีค่า L^* 85.01-90.00



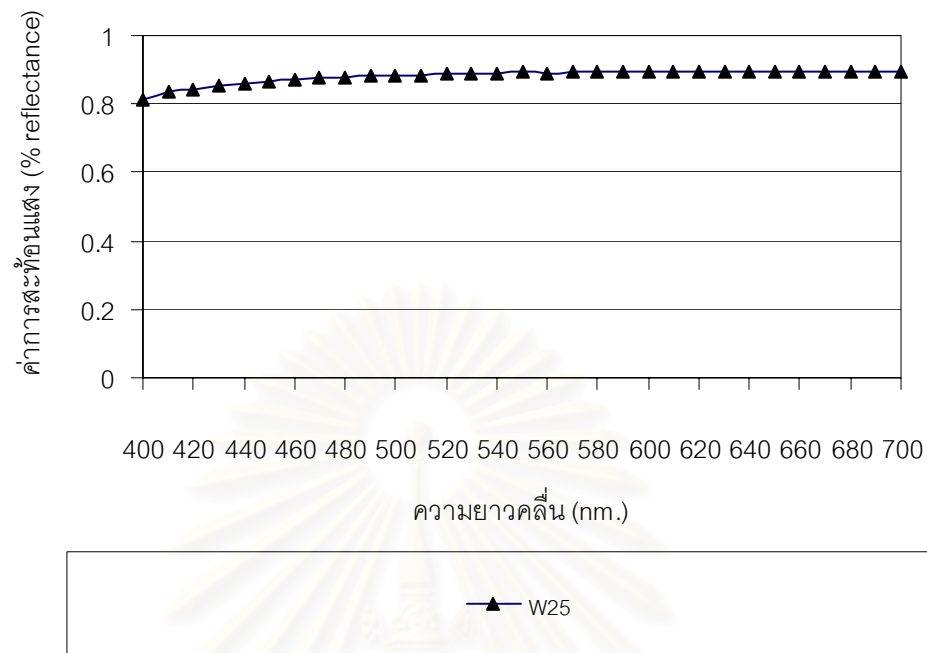
รูปที่ ก-35: กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า L^* 85.01-90.00



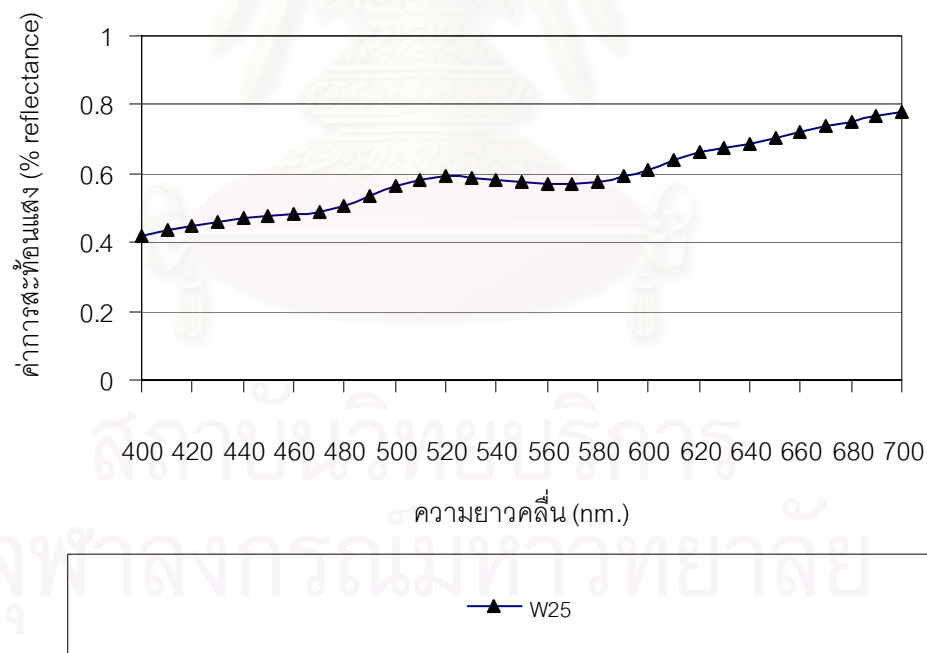
รูปที่ ก-36 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการวัด ที่มีค่า L^* 9.01-95.00



รูปที่ ก-37 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการคำนวณ ที่มีค่า L^* 90.01-95.00



รูปที่ ก-38 กราฟการสะท้อนแสงของ Training set ที่ได้จากการวัด ที่มีค่า L^* 95.01-100.00



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

ภาคผนวก ข
ข้อมูลการทำ PCA

ตารางที่ ข-1 แสดงค่า Eigenvalue, Proportion, Cumulative และ PC weight ของแต่ละองค์ประกอบ

| | การวิเคราะห์จำนวนองค์ประกอบของ Covariance Matrix | | | | | | | | | | | |
|-------------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 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 |
| Variable | Coefficients | | | | | | | | | | | |
| 400 | -0.104 | 0.135 | -0.206 | -0.177 | 0.136 | -0.296 | -0.351 | -0.068 | 0.116 | 0.050 | 0.454 | 0.068 |
| 410 | -0.104 | 0.146 | -0.226 | -0.170 | 0.147 | -0.274 | -0.273 | -0.038 | 0.056 | 0.045 | 0.148 | 0.059 |
| 420 | -0.103 | 0.158 | -0.242 | -0.156 | 0.156 | -0.200 | -0.170 | 0.011 | 0.015 | -0.034 | -0.162 | 0.047 |
| 430 | -0.102 | 0.172 | -0.251 | -0.139 | 0.132 | -0.114 | -0.032 | 0.062 | -0.035 | -0.084 | -0.342 | 0.006 |
| 440 | -0.100 | 0.186 | -0.249 | -0.119 | 0.073 | -0.016 | 0.128 | 0.110 | -0.068 | -0.094 | -0.341 | -0.054 |
| 450 | -0.100 | 0.197 | -0.238 | -0.097 | 0.006 | 0.062 | 0.264 | 0.125 | -0.091 | -0.060 | -0.188 | -0.114 |
| 460 | -0.100 | 0.207 | -0.222 | -0.072 | -0.054 | 0.116 | 0.342 | 0.114 | -0.083 | -0.026 | 0.071 | -0.118 |
| 470 | -0.101 | 0.215 | -0.195 | -0.035 | -0.122 | 0.151 | 0.338 | 0.029 | -0.023 | 0.050 | 0.373 | -0.054 |
| 480 | -0.103 | 0.226 | -0.148 | 0.047 | -0.208 | 0.165 | 0.187 | -0.164 | 0.083 | 0.178 | 0.317 | 0.164 |
| 490 | -0.106 | 0.241 | -0.092 | 0.167 | -0.271 | 0.203 | -0.102 | -0.317 | 0.231 | 0.112 | -0.104 | 0.280 |
| 500 | -0.114 | 0.248 | -0.022 | 0.245 | -0.252 | 0.138 | -0.322 | -0.273 | 0.115 | -0.063 | -0.249 | -0.088 |
| 510 | -0.125 | 0.252 | 0.071 | 0.297 | -0.167 | 0.013 | -0.291 | 0.057 | -0.205 | -0.165 | -0.030 | -0.333 |
| 520 | -0.137 | 0.244 | 0.164 | 0.305 | -0.026 | -0.099 | -0.107 | 0.361 | -0.319 | -0.090 | 0.173 | -0.049 |
| 530 | -0.152 | 0.217 | 0.229 | 0.237 | 0.110 | -0.157 | 0.063 | 0.323 | -0.084 | 0.101 | 0.076 | 0.274 |
| 540 | -0.166 | 0.184 | 0.265 | 0.126 | 0.199 | -0.157 | 0.166 | 0.080 | 0.227 | 0.222 | -0.145 | 0.260 |
| 550 | -0.177 | 0.155 | 0.273 | 0.014 | 0.230 | -0.103 | 0.183 | -0.132 | 0.309 | 0.137 | -0.147 | -0.067 |
| 560 | -0.187 | 0.122 | 0.263 | -0.094 | 0.205 | -0.018 | 0.121 | -0.245 | 0.162 | -0.078 | 0.052 | -0.335 |
| 570 | -0.198 | 0.087 | 0.250 | -0.198 | 0.144 | 0.075 | 0.035 | -0.266 | -0.104 | -0.264 | 0.145 | -0.232 |
| 580 | -0.208 | 0.048 | 0.225 | -0.295 | 0.042 | 0.176 | -0.046 | -0.172 | -0.294 | -0.204 | 0.031 | 0.163 |
| 590 | -0.218 | -0.001 | 0.181 | -0.354 | -0.100 | 0.223 | -0.145 | 0.046 | -0.250 | 0.081 | -0.043 | 0.318 |
| 600 | -0.225 | -0.058 | 0.121 | -0.309 | -0.226 | 0.153 | -0.154 | 0.254 | 0.017 | 0.279 | -0.104 | 0.018 |
| 610 | -0.231 | -0.115 | 0.060 | -0.181 | -0.280 | -0.007 | -0.080 | 0.294 | 0.274 | 0.157 | -0.046 | -0.257 |
| 620 | -0.235 | -0.157 | 0.014 | -0.048 | -0.268 | -0.155 | 0.028 | 0.165 | 0.291 | -0.133 | 0.064 | -0.178 |
| 630 | -0.236 | -0.181 | -0.016 | 0.041 | -0.223 | -0.234 | 0.108 | 0.003 | 0.132 | -0.294 | 0.076 | 0.054 |
| 640 | -0.236 | -0.192 | -0.041 | 0.088 | -0.164 | -0.250 | 0.138 | -0.114 | -0.053 | -0.252 | -0.007 | 0.202 |
| 650 | -0.236 | -0.196 | -0.066 | 0.110 | -0.095 | -0.212 | 0.124 | -0.172 | -0.181 | -0.067 | -0.091 | 0.171 |
| 660 | -0.236 | -0.196 | -0.091 | 0.123 | -0.007 | -0.129 | 0.075 | -0.177 | -0.234 | 0.176 | -0.098 | 0.010 |
| 670 | -0.236 | -0.191 | -0.113 | 0.134 | 0.095 | -0.013 | 0.006 | -0.134 | -0.212 | 0.350 | -0.030 | -0.159 |
| 680 | -0.235 | -0.186 | -0.129 | 0.145 | 0.191 | 0.121 | -0.062 | -0.052 | -0.110 | 0.321 | 0.058 | -0.202 |
| 690 | -0.233 | -0.179 | -0.141 | 0.158 | 0.273 | 0.272 | -0.105 | 0.069 | 0.077 | 0.033 | 0.090 | -0.053 |
| 700 | -0.230 | -0.169 | -0.149 | 0.175 | 0.317 | 0.430 | -0.092 | 0.212 | 0.270 | -0.392 | 0.028 | 0.223 |

ภาคผนวก ค

ข้อมูลจากการทำวิธี Wiener estimation

ตารางที่ ค-1 ค่าเฉลี่ย ΔE^*_{ab} ที่ได้จากวิธีการจัดเป็น (Combination) จากจำนวนแผ่นกรองทั้งหมด 9 แผ่นทำการเลือก 5 แผ่น จัดได้ทั้งหมด 126 ลำดับชุด ดังนี้ โดยหมายเลข 1-9 คือ แผ่นกรองแสงชนิด BPB42, BPB45, BPB50, BPB53, BPB60, BPN45, BPN50, SC64 และ SC66 ตามลำดับ

| ลำดับ | ชื่อกยของแผ่นกรองแสง | | | | | mean($\Delta E^*_{a'b'}$) | | ลำดับ | ชื่อกยของแผ่นกรองแสง | | | | | 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 |

การคำนวณหาชุดของแผ่นกรองแสงที่ให้ค่าความแตกต่างสีเฉลี่ย ΔE_{ab} น้อยที่สุดโดยใช้โปรแกรม Matlab

```

V=xlsread('d:\eiang\pixel\pixel_176');          %%% ดึงค่าพิกเซลทั้ง 176 สีที่บันทึกผ่าน
                                                %%% แผ่นกรองแสงทั้ง 9 แผ่นจาก excel
nk=nchoosek([1:9],5);                            %%% จัดลำดับชุดของแผ่นกรองแสงด้วยวิธี
                                                %%% Combination จาก 9 แผ่น เลือก 5 แผ่น
TR=xlsread('d:\eiang\R\R_176');                %%% ดึงค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการวัด
                                                %%% ของ Training set ทั้ง 176 สี
R=TR';                                           %%% Transpose ค่าการสะท้อนแสง
Wx=xlsread('d:\wiegth\F11_x_cal');              %%% ค่า Weight_x ของแหล่งกำเนิดแสง
                                                %%% F11
Wy=xlsread('d:\wiegth\F11_y_cal');              %%% ค่า Weight_y ของแหล่งกำเนิดแสง
                                                %%% F11
Wz=xlsread('d:\wiegth\F11_z_cal');              %%% ค่า Weight_z ของแหล่งกำเนิดแสง
                                                %%% F11

for i=1:176;
Re_Wx(i,:)=Wx';                                %%% เพิ่มขนาดเมทริกซ์ Wx เป็น 176 หลัก
Re_Wy(i,:)=Wy';                                %%% เพิ่มขนาดเมทริกซ์ Wy เป็น 176 หลัก
Re_Wz(i,:)=Wz';                                %%% เพิ่มขนาดเมทริกซ์ Wz เป็น 176 หลัก
end
k=100./sum(Re_Wy');                             %%% คำนวณค่า k เพื่อไปใช้ในสมการ
                                                %%% XYZ
x_R=k.*sum(R.*Re_Wx');                          %%% ค่า X ที่คำนวณจากค่าการสะท้อน
                                                %%% แสงที่ได้จากการวัด ( $O_{real}$ )
y_R=k.*sum(R.*Re_Wy');                          %%% ค่า Y ที่คำนวณจากค่าการสะท้อน
                                                %%% แสงที่ได้จากการวัด ( $O_{real}$ )
z_R=k.*sum(R.*Re_Wz');                          %%% ค่า Z ที่คำนวณจากค่าการสะท้อน
                                                %%% แสงที่ได้จากการวัด ( $O_{real}$ )

for j=[1:126]                                    %%% ลำดับชุดในการหาค่า  $\Delta E_{ab}$ 

```

```

v=V(:,nk(j,:));
O=((R*v)*(pinv(v*v)))*v';
a=(O(:,<0);
O(a)=0;
Oes(:,j)=O(:,j);
x_O(j,:)=k.*sum(Oes(:,j).*Re_Wx');
y_O(j,:)=k.*sum(Oes(:,j).*Re_Wy');
z_O(j,:)=k.*sum(Oes(:,j).*Re_Wz');

end
for j=1:126
XYZ(:,j)=[x_O(:,j),y_O(:,j),z_O(:,j)];
W=xlsread('d:\eiang\xyz\Wxyz_F11');
A=size(XYZ(:,j));
amount=A(1);
fX(:,j)=zeros(amount,1);
fY(:,j)=zeros(amount,1);

```

%%% แสดงค่าพิกเซลของแผ่นกรอง
 แสงทั้ง 126 ชุด
 %%% คำนวณค่าการสะท้อนแสงที่ได้จาก
 การประมาณ (O_{est}) ด้วยวิธี Wiener
 estimation
 %%% ค้นหาตำแหน่งที่มีค่าน้อยกว่า 0
 %%% ทำตัวแปร a ให้เป็น 0
 %%% O_{est} ทั้งหมด 126 ชุด
 %%% ค่า X ที่คำนวณจาก O_{est} ทั้งหมด 126
 ชุด
 %%% ค่า Y ที่คำนวณจาก O_{est} ทั้งหมด 126
 ชุด
 %%% ค่า Z ที่คำนวณจาก O_{est} ทั้งหมด 126
 ชุด
 %%% ชุดของแผ่นกรองแสง 126 ชุด
 %%% เมทริกซ์ของค่า XYZ ที่ได้จาก O_{est} ทั้ง
 126 ชุด ขนาด [176*3*126]
 %%% ค่า White point ของแหล่งกำเนิดแสง
 F11
 %%% เมทริกซ์ A เท่ากับขนาดของ X
 %%% ค่าของเมทริกซ์ A ในหลักที่ 1 มีค่า
 เท่ากับ 176
 %%% สร้างเมทริกซ์เพื่อเก็บค่า fX สำหรับ
 176 สีในแต่ละลำดับ และเป็นมีค่าเป็น 0 ใน
 ทุก ๆ ตำแหน่ง
 %%% สร้างเมทริกซ์เพื่อเก็บค่า fY สำหรับ
 176 สีในแต่ละลำดับและมีค่าเป็น 0 ในทุก ๆ
 ตำแหน่ง

```

fZ(:,j)=zeros(amount,1);
for i=1:amount
if XYZ(i,1,j)/W(1) > 0.008856
fX(i,j)=(XYZ(i,1,j)./W(1))^(1/3);
else
fX(i,j)=7.787.*(XYZ(i,1,j)./W(1))+16./116;
end
if XYZ(i,2,j)/W(2) > 0.008856
fY(i,j)=(XYZ(i,2,j)./W(2))^(1/3);
else
fY(i,j)=7.787.*(XYZ(i,2,j)./W(2))+16./116;
end
if XYZ(i,3,j)/W(3) > 0.008856
fZ(i,j)=(X(i,3,j)./W(3))^(1/3);
else
fZ(i,j)=7.787.*(X(i,3,j)./W(3))+16./116;

```

%%% สร้างเมทริกซ์เพื่อเก็บค่า fZ
 สำหรับ 176 สีในแต่ละลำดับและมีค่าเป็น 0
 ในทุก ๆ ตำแหน่ง
 %%% เงื่อนไขการกระทำในแต่ละ i ตั้งแต่ 1-
 176
 %%% ถ้า XYZ ในหลักที่ 1 (ค่า X) ในแต่ละ
 ตำแหน่งของ i(176) และ j(126) >
 0.008856 ทำตามเงื่อนไขด้านล่าง
 %%% คือ หารด้วยค่า Weight ของ
 แหล่งกำเนิดแสงในหลักที่ 1 ค่า Wx แล้วยก
 กำลัง 1/3
 %%% ถ้าไม่ทำตามเงื่อนไขด้านล่างนี้
 %%% ถ้า XYZ ในหลักที่ 2 (ค่า Y) ในแต่ละ
 ตำแหน่งของ i(176) และ j(126) >
 0.008856 ทำตามเงื่อนไขด้านล่าง
 %%% คือ หารด้วยค่า Weight ของ
 แหล่งกำเนิดแสงในหลักที่ 2 ค่า Wy แล้วยก
 กำลัง 1/3
 %%% ถ้าไม่ ทำตามเงื่อนไขด้านล่างนี้
 %%% ถ้า XYZ ในหลักที่ 3 (ค่า Z) ในแต่ละ
 ตำแหน่งของ i(176) และ j(126) >
 0.008856 ทำตามเงื่อนไขด้านล่าง
 %%% คือ หารด้วยค่า Weight ของ
 แหล่งกำเนิดแสงในหลักที่ 3 ค่า Wz แล้วยก
 กำลัง 1/3
 %%% ถ้าไม่ ทำตามเงื่อนไขด้านล่าง


```
for j=1:126
```

```
A(j,:)=j,Mean_dE(j)];
```

```
%%% นำมาเรียงลำดับตัวเลขในหลักที่ 1  
เป็น 1-126 ลำดับ
```

```
end
```

```
B=sortrows(A,2);
```

```
%%% เรียงลำดับชุดของแผ่นกรองแสงที่ให้  
ค่าเฉลี่ย  $\Delta E_{a,b}$  ของ Training set ต่ำสุด  
เพื่อหาชุดของแผ่นกรองแสงที่ดีที่สุด
```



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


```

A_rms(j,:)=j X(j)];
                                %%% นำมาเรียงลำดับตัวเลขในหลักที่
                                1 เป็น 1-126 ลำดับ

end
                                %%% เรียงจากค่าน้อยไปมากในหลักที่ 2
A=sortrows(A_rms,2);          %%% หา RMS ของแผ่นกรองแสงชุดที่ 55
L=N(:,55);                    %%% ที่ให้ค่า  $\Delta E_{ab}$  ของ Training set ต่ำสุด

```



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การแสดงผลในแต่ละฟังก์ชันของภาพ

```

[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);

```

%%% เป็นการดึงภาพที่บันทึกด้วยแผ่น
 กรองแสงที่เหมาะสมจำนวน 5 แผ่น โดย
 เลือกเก็บเฉพาะค่าฟังก์ชัน Chanel R เท่านั้น

```

B(:,1)=p1;
B(:,2)= p2;
B(:,3)= p3;
B(:,4)= p4;
B(:,5)= p5;

```

%%% ทำขนาดเมทริกซ์จาก 2 มิติ เป็น 3 มิติ คือ จากขนาด 480X640X1 ไปเป็นขนาด 480X640X5

```

Oest=xlsread('g:\O\O176_55_5ch');
Oest=Oest';
v=xlsread('g:\pixel\v5');
v=v';
G=Oest./v;%31*5

```

%%% หาเมทริกซ์ G จากสมการ Wiener estimation จากค่า O_{est} ชุดที่ 55

```

for i = 1:480
for j = 1:640
for k = 1:5
y(k,1) = B(i,j,k);

```

%%% ขนาดแถวของภาพ
%%% ขนาดหลักของภาพ
%%% จำนวนแผ่นกรองแสงที่เลือก
%%% ได้ค่าพิกเซลที่ได้ของแผ่นกรองแสงในแต่ละจุดของภาพ

```

OO = G*y;

```

%%% นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าการสะท้อนแสงจากเมทริกซ์ G และเก็บไว้ในตัวแปร OO

```

for z = 1:31;
O(i,j,z) = OO(z);

```

%%% นำค่าการสะท้อนในแต่ละจุดของภาพมาเรียงในรูปแบบของ O ที่มีขนาด 640X480X31

```

end
clear y*
%%% กำจัดตัวแปร y
end
end

```

```

Wx = xlsread('g:\wiegth\F11');
Wy = xlsread('g:\wiegth\F11');
Wz = xlsread('g:\wiegth\F11');          %%% ดึงค่า Weight ของแหล่งกำเนิดแสง
                                        F11

for ii=1:480;
for jj=1:640;
Re= O(ii,jj,:);          %%% ค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการ
                          คำนวณในแต่ละตำแหน่งของภาพ (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 สำหรับ
                          การแปลงค่าเป็น XYZ

Ry = Wy.*R';            %%% คำนวณหาค่า Ry เก็บไว้ สำหรับ
                          การแปลงค่าเป็น XYZ

Rz = Wz.*R';            %%% คำนวณหาค่า Ry เก็บไว้ สำหรับ
                          การแปลงค่าเป็น XYZ

x(ii,jj) = k.*(sum(Rx)); %%% คำนวณหาค่า X ในแต่ละพิกเซลของ
                          ภาพ

y(ii,jj) = k.*(sum(Ry)); %%% คำนวณหาค่า Y ในแต่ละพิกเซลของ
                          ภาพ

z(ii,jj) = k.*(sum(Rz)); %%% คำนวณหาค่า Z ในแต่ละพิกเซลของ
                          ภาพ

end
end

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

```

```

Re_y=reshape(y,307200,1);          %%% ปรับค่าแถวและหลักจากขนาด
                                   640X480 เป็น 307200X1
Re_z=reshape(z,307200,1);          %%% ปรับค่าแถวและหลักจากขนาด
                                   640X480 เป็น 307200X1
image=[Re_x,Re_y,Re_z];            %%% ข้อมูลสำหรับการแปลงค่า XYZ ไป
                                   เป็น sRGB
image1=(image/100);                %%% ปรับสเกลเป็น ให้เป็น 0-1
transform2 = [ 3.2410  -1.5374  -0.4986; %%% เมทริกซ์สำหรับแปลงสมการเชิงเส้น
              -0.9692  1.8760   0.0416;
              0.0556  -0.2040  1.0570 ];
image2 = transform2 * image1;
zero=(image2<0);                    %%% ค้นหาตำแหน่งที่มีค่าน้อยกว่า 0 และ
                                   เก็บในตัวแปร zero
image2(zero)=0;                     %%% ทำตัวแปร zero ให้เป็น 0
one=(image2>1);                      %%% ค้นหาตำแหน่งที่มีค่ามากกว่า 1 และ
                                   เก็บในตัวแปร one
image2(one)=1;                       %%% ทำตัวแปร one ให้เป็น 1
index = 1 / 2.4;
image3 = image2;
ii=find(image2(1,:)>0.00304);        %%% ค้นหาตำแหน่งที่มีค่ามากกว่า
                                   0.00304 ในแถวที่ 1 ของimage2
jj=find(image2(2,:)>0.00304);        %%% ค้นหาตำแหน่งที่มีค่ามากกว่า
                                   0.00304 ในแถวที่ 2 ของimage2
kk=find(image2(3,:)>0.00304);        %%% ค้นหาตำแหน่งที่มีค่ามากกว่า
                                   0.00304 ในแถวที่ 3 ของimage2
image3(1,ii) = 1.055 *                %%% นำตำแหน่งที่อยู่ในเงื่อนไขในแถวที่
(image2(1,ii).^index) - 0.055;        1 มาเข้าสมการ
image3(2,jj) = 1.055 *                %%% นำตำแหน่งที่อยู่ในเงื่อนไขในแถวที่
(image2(2,jj).^index) - 0.055;        2 มาเข้าสมการ
image3(3,kk) = 1.055 *                %%% นำตำแหน่งที่อยู่ในเงื่อนไขในแถวที่
(image2(3,kk).^index) - 0.055;        3 มาเข้าสมการ

```



```

ii=find(image2(1,:)<=0.00304);
jj=find(image2(2,:)<=0.00304);
kk=find(image2(3,:)<=0.00304);
image3(1,ii) = 12.92 * image2(1,ii);
image3(2,jj) = 12.92 * image2(2,jj);
image3(3,kk) = 12.92 * image2(3,kk);
image4=255*image3;
out = image4;
r=image4(1,:);
g=image4(2,:);
b=image4(3,:);
rr=reshape(r,480,640);
gg=reshape(g,480,640);
bb=reshape(b,480,640);
X(:, :, 1)=rr;
X(:, :, 2)=gg;
X(:, :, 3)=bb;
X=uint8(X);
figure,imshow(X);

```

%%% ค้นหาตำแหน่งที่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.00304 ในแถวที่ 1 ของ image2
 %%% ค้นหาตำแหน่งที่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.00304 ในแถวที่ 2 ของ image2
 %%% ค้นหาตำแหน่งที่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.00304 ในแถวที่ 3 ของ image2
 %%% นำตำแหน่งที่อยู่ในเงื่อนไขแถวที่ 1 มาเข้าสมการ
 %%% นำตำแหน่งที่อยู่ในเงื่อนไขแถวที่ 2 มาเข้าสมการ
 %%% นำตำแหน่งที่อยู่ในเงื่อนไขแถวที่ 3 มาเข้าสมการ
 %%% ปรับสเกลอยู่ในรูปแบบของภาพดิจิทัล 8 bit (0-255)
 %%% เก็บค่า r ที่ได้จาก image 4 ใน Channel 1 (R)
 %%% เก็บค่า g ที่ได้จาก image 4 ใน Channel 2 (G)
 %%% เก็บค่า b ที่ได้จาก image 4 ใน Channel 3 (B)
 %%% ปรับขนาดภาพเป็น 480X640
 %%% เก็บค่า rr, gg และ bb ในตัวแปร X โดยแยกในแต่ละ Channel
 %%% รวมทุก Channel เป็นตัวแปร X
 %%% แสดงภาพจากข้อมูลสี sRGB

| | | | | |
|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| 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 |

| สีที่ | ΔE^*_{ab} | สีที่ | ΔE^*_{ab} | สีที่ | ΔE^*_{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) ΔE^*_{ab} ของ Training set แต่ละสี ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11 โดยใช้แผ่นกรองแสง 5 แผ่นที่ได้จากการวิเคราะห์เลือก

| สีที่ | ΔE^*_{ab} | สีที่ | ΔE^*_{ab} | สีที่ | ΔE^*_{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 ΔE^*_{ab} ของ Training set แต่ละสี ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11 โดยใช้แผ่น กรองแสง 6 แผ่น

| สีที่ | ΔE^*_{ab} | สีที่ | ΔE^*_{ab} | สีที่ | ΔE^*_{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) ΔE_{ab}^* ของ Training set แต่ละสี ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11 โดยใช้แผ่นกรองแสง 6 แผ่น

| สีที่ | ΔE_{ab}^* | สีที่ | ΔE_{ab}^* | สีที่ | ΔE_{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 | | |

| 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 โดยใช้แผ่นกรองแสง 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 แผ่น

| 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 โดยใช้แผ่นกรองแสง 6 แผ่น

| 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 | | |

การวิเคราะห์ผลของภาพ

ตารางที่ ง-1 การวิเคราะห์ภาพเชิงปริมาณของ Test set โทนสีผิวแต่ละสี ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D_{50}

D_{65} และ A โดยใช้ค่า ΔE^*_{ab}

| ลำดับ | ค่าความแตกต่างสี(dE) | | | ลำดับ | ค่าความแตกต่างสี(dE) | | |
|-------|----------------------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|
| | D50 | D65 | A | | D50 | D65 | A |
| 1 | 19.15 | 21.34 | 15.77 | 57 | 5.68 | 5.15 | 6.04 |
| 2 | 18.84 | 20.05 | 16.53 | 58 | 3.74 | 3.59 | 3.45 |
| 3 | 8.89 | 9.76 | 6.90 | 59 | 9.11 | 8.37 | 9.41 |
| 4 | 17.57 | 18.90 | 17.26 | 60 | 14.48 | 13.52 | 14.01 |
| 5 | 6.76 | 6.17 | 7.01 | 61 | 3.88 | 4.77 | 3.50 |
| 6 | 4.56 | 4.82 | 4.80 | 62 | 13.20 | 12.88 | 13.84 |
| 7 | 9.96 | 10.29 | 10.20 | 63 | 32.54 | 31.40 | 33.36 |
| 8 | 6.00 | 5.20 | 6.48 | 64 | 14.66 | 13.23 | 15.81 |
| 9 | 4.86 | 4.63 | 5.22 | 65 | 12.90 | 11.69 | 14.02 |
| 10 | 6.20 | 5.48 | 6.62 | 66 | 10.71 | 9.73 | 12.07 |
| 11 | 10.44 | 10.85 | 9.60 | 67 | 11.03 | 10.44 | 12.15 |
| 12 | 10.47 | 10.90 | 10.34 | 68 | 7.19 | 7.99 | 6.90 |
| 13 | 7.95 | 8.48 | 8.04 | 69 | 8.82 | 9.76 | 8.74 |
| 14 | 9.14 | 10.40 | 8.57 | 70 | 11.17 | 11.99 | 11.26 |
| 15 | 9.90 | 10.39 | 9.46 | 71 | 12.37 | 13.23 | 12.48 |
| 16 | 5.56 | 6.34 | 4.84 | 72 | 12.93 | 14.08 | 13.06 |
| 17 | 9.55 | 9.93 | 9.68 | 73 | 14.00 | 14.85 | 14.34 |
| 18 | 4.75 | 4.83 | 4.60 | 74 | 10.61 | 11.40 | 10.53 |
| 19 | 6.19 | 6.24 | 6.21 | 75 | 10.04 | 11.47 | 8.98 |
| 20 | 7.98 | 7.88 | 8.39 | 76 | 10.27 | 11.81 | 9.65 |
| 21 | 7.95 | 8.06 | 8.24 | 77 | 11.02 | 12.62 | 10.29 |
| 22 | 3.09 | 3.37 | 2.94 | 78 | 11.54 | 12.79 | 11.42 |
| 23 | 4.41 | 4.67 | 4.38 | 79 | 11.55 | 11.66 | 11.84 |
| 24 | 6.65 | 6.34 | 6.89 | 80 | 6.57 | 7.33 | 6.27 |
| 25 | 11.45 | 11.23 | 11.78 | 81 | 8.88 | 8.79 | 9.67 |
| 26 | 8.68 | 8.40 | 8.99 | 82 | 4.85 | 4.42 | 5.41 |
| 27 | 9.19 | 9.13 | 9.35 | 83 | 13.83 | 13.26 | 14.58 |
| 28 | 8.38 | 8.50 | 8.20 | 84 | 11.82 | 12.34 | 11.74 |
| 29 | 12.16 | 11.29 | 12.06 | 85 | 18.47 | 18.29 | 18.52 |
| 30 | 10.06 | 10.09 | 9.84 | 86 | 4.26 | 4.98 | 3.57 |
| 31 | 8.86 | 8.81 | 8.68 | 87 | 4.11 | 4.49 | 4.22 |
| 32 | 9.80 | 10.14 | 9.25 | 88 | 3.08 | 3.36 | 3.13 |
| 33 | 11.66 | 12.01 | 11.20 | 89 | 5.67 | 6.52 | 5.34 |
| 34 | 12.61 | 13.49 | 12.64 | 90 | 10.05 | 10.24 | 10.00 |
| 35 | 11.58 | 11.99 | 10.73 | 91 | 8.85 | 9.92 | 8.83 |
| 36 | 3.95 | 3.54 | 3.78 | 92 | 4.56 | 4.51 | 4.16 |
| 37 | 4.00 | 3.30 | 4.30 | 93 | 8.56 | 8.63 | 7.95 |
| 38 | 2.94 | 2.81 | 2.78 | 94 | 5.14 | 6.44 | 4.95 |
| 39 | 2.80 | 2.80 | 3.06 | 95 | 7.35 | 7.83 | 7.54 |
| 40 | 3.26 | 3.66 | 2.24 | 96 | 6.24 | 6.37 | 6.36 |
| 41 | 7.36 | 7.53 | 7.20 | 97 | 6.04 | 6.26 | 5.82 |
| 42 | 18.15 | 17.91 | 18.54 | 98 | 6.16 | 6.27 | 6.20 |
| 43 | 3.68 | 3.07 | 4.11 | 99 | 12.23 | 12.15 | 12.33 |
| 44 | 8.95 | 9.26 | 8.51 | 100 | 12.91 | 14.38 | 12.27 |
| 45 | 10.52 | 10.65 | 10.39 | 101 | 9.45 | 10.30 | 9.48 |
| 46 | 8.41 | 8.19 | 7.94 | 102 | 10.78 | 10.73 | 10.90 |
| 47 | 4.03 | 3.80 | 3.82 | 103 | 10.98 | 10.90 | 11.15 |
| 48 | 3.31 | 3.00 | 3.08 | 104 | 6.98 | 6.75 | 6.93 |
| 49 | 8.12 | 6.89 | 8.52 | 105 | 4.84 | 4.39 | 4.94 |
| 50 | 8.60 | 7.22 | 8.99 | 106 | 12.01 | 11.75 | 12.32 |
| 51 | 2.61 | 2.80 | 2.16 | 107 | 5.82 | 5.71 | 5.64 |
| 52 | 7.35 | 7.53 | 7.65 | 108 | 4.30 | 4.84 | 4.43 |
| 53 | 4.28 | 4.75 | 3.45 | 109 | 2.51 | 2.41 | 2.70 |
| 54 | 4.97 | 4.50 | 5.26 | 110 | 8.36 | 7.96 | 8.89 |
| 55 | 6.78 | 7.19 | 6.72 | 111 | 8.27 | 7.75 | 8.73 |
| 56 | 6.86 | 6.24 | 6.83 | 112 | 9.07 | 8.78 | 9.32 |

แสง D_{50} D_{65} และ A โดยใช้ค่า ΔE^*_{ab}

| ลำดับ | ค่าความแตกต่างสี(dE) | | | ลำดับ | ค่าความแตกต่างสี(dE) | | |
|-------|----------------------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|
| | D50 | D65 | A | | D50 | D65 | A |
| 1 | 11.37 | 9.99 | 10.72 | 63 | 3.81 | 3.78 | 4.18 |
| 2 | 10.01 | 9.67 | 7.20 | 64 | 6.16 | 6.65 | 5.57 |
| 3 | 9.24 | 9.29 | 9.04 | 65 | 11.61 | 13.12 | 9.30 |
| 4 | 18.28 | 16.69 | 24.12 | 66 | 12.84 | 14.69 | 12.17 |
| 5 | 15.93 | 15.84 | 21.15 | 67 | 13.76 | 13.54 | 12.47 |
| 6 | 10.06 | 11.71 | 5.31 | 68 | 3.56 | 3.40 | 4.28 |
| 7 | 6.61 | 7.57 | 4.17 | 69 | 3.60 | 4.34 | 2.84 |
| 8 | 6.43 | 7.34 | 3.17 | 70 | 10.84 | 9.33 | 9.71 |
| 9 | 5.03 | 4.85 | 4.97 | 71 | 8.50 | 7.36 | 8.34 |
| 10 | 6.44 | 6.52 | 4.15 | 72 | 3.79 | 3.20 | 2.75 |
| 11 | 9.33 | 8.58 | 6.59 | 73 | 3.27 | 2.59 | 3.23 |
| 12 | 9.08 | 8.58 | 11.55 | 74 | 4.99 | 5.24 | 3.39 |
| 13 | 8.77 | 8.76 | 10.97 | 75 | 2.98 | 2.43 | 3.28 |
| 14 | 7.68 | 7.87 | 6.93 | 76 | 8.49 | 8.49 | 8.13 |
| 15 | 8.67 | 8.26 | 6.36 | 77 | 6.48 | 6.36 | 5.80 |
| 16 | 10.84 | 9.86 | 7.70 | 78 | 9.44 | 9.13 | 8.73 |
| 17 | 12.89 | 11.14 | 9.79 | 79 | 11.24 | 11.02 | 10.84 |
| 18 | 13.22 | 11.70 | 8.98 | 80 | 10.61 | 10.48 | 10.33 |
| 19 | 5.18 | 4.26 | 5.40 | 81 | 7.39 | 7.59 | 6.88 |
| 20 | 8.20 | 7.99 | 11.27 | 82 | 6.47 | 6.35 | 6.63 |
| 21 | 8.78 | 8.83 | 11.06 | 83 | 8.68 | 8.65 | 8.95 |
| 22 | 7.32 | 7.07 | 9.76 | 84 | 9.56 | 9.60 | 10.42 |
| 23 | 5.28 | 5.30 | 7.15 | 85 | 12.63 | 12.60 | 13.78 |
| 24 | 8.31 | 8.36 | 9.34 | 86 | 10.16 | 10.25 | 10.61 |
| 25 | 3.57 | 3.59 | 4.20 | 87 | 10.68 | 10.76 | 11.30 |
| 26 | 4.91 | 5.92 | 4.48 | 88 | 6.45 | 6.63 | 7.16 |
| 27 | 11.72 | 13.74 | 10.76 | 89 | 9.22 | 9.48 | 10.19 |
| 28 | 9.48 | 9.28 | 8.72 | 90 | 11.95 | 11.99 | 13.49 |
| 29 | 9.82 | 9.02 | 8.70 | 91 | 8.83 | 8.90 | 10.36 |
| 30 | 9.55 | 8.55 | 7.87 | 92 | 10.25 | 10.26 | 11.50 |
| 31 | 6.25 | 5.64 | 6.06 | 93 | 11.16 | 11.18 | 13.20 |
| 32 | 4.15 | 4.04 | 3.72 | 94 | 8.62 | 8.44 | 7.50 |
| 33 | 3.88 | 3.82 | 3.69 | 95 | 25.60 | 23.33 | 22.23 |
| 34 | 10.42 | 11.73 | 9.72 | 96 | 27.17 | 25.66 | 22.15 |
| 35 | 5.28 | 5.68 | 5.23 | 97 | 17.37 | 16.61 | 15.30 |
| 36 | 4.19 | 3.74 | 4.88 | 98 | 14.61 | 14.32 | 12.57 |
| 37 | 8.23 | 7.04 | 6.61 | 99 | 9.45 | 8.95 | 7.18 |
| 38 | 4.73 | 4.52 | 2.18 | 100 | 4.53 | 4.28 | 3.81 |
| 39 | 6.60 | 7.04 | 7.25 | 101 | 4.89 | 4.60 | 3.41 |
| 40 | 11.80 | 13.21 | 14.01 | 102 | 5.05 | 4.83 | 3.98 |
| 41 | 15.02 | 12.95 | 19.05 | 103 | 10.03 | 8.84 | 7.95 |
| 42 | 14.90 | 12.70 | 17.91 | 104 | 15.14 | 13.49 | 11.45 |
| 43 | 10.71 | 10.43 | 11.75 | 105 | 5.06 | 4.49 | 2.91 |
| 44 | 12.34 | 12.05 | 12.58 | 106 | 9.78 | 8.84 | 6.59 |
| 45 | 20.84 | 20.93 | 17.22 | 107 | 10.49 | 9.56 | 7.06 |
| 46 | 35.02 | 40.29 | 14.81 | 108 | 5.80 | 5.66 | 5.17 |
| 47 | 6.36 | 5.44 | 5.69 | 109 | 5.65 | 5.65 | 5.98 |
| 48 | 2.39 | 2.07 | 1.88 | 110 | 15.36 | 14.35 | 9.57 |
| 49 | 3.62 | 3.32 | 3.23 | 111 | 15.10 | 14.70 | 10.06 |
| 50 | 15.52 | 19.48 | 11.86 | 112 | 18.17 | 16.01 | 14.75 |
| 51 | 16.88 | 21.24 | 12.21 | 113 | 5.54 | 5.41 | 5.01 |
| 52 | 3.71 | 3.51 | 4.14 | 114 | 10.37 | 10.24 | 9.58 |
| 53 | 12.32 | 13.21 | 7.43 | 115 | 10.15 | 9.96 | 9.13 |
| 54 | 7.48 | 7.54 | 6.28 | 116 | 20.10 | 19.45 | 17.20 |
| 55 | 7.33 | 6.39 | 5.23 | 117 | 9.08 | 9.18 | 9.39 |
| 56 | 7.49 | 8.84 | 4.30 | 118 | 12.34 | 13.07 | 13.13 |
| 57 | 31.95 | 38.04 | 15.75 | 119 | 13.06 | 13.58 | 14.69 |
| 58 | 33.93 | 37.58 | 18.02 | 120 | 13.50 | 14.27 | 14.59 |
| 59 | 13.47 | 13.21 | 13.31 | 121 | 12.36 | 13.34 | 12.25 |
| 60 | 3.44 | 4.29 | 3.70 | 122 | 14.60 | 14.41 | 17.51 |
| 61 | 8.87 | 8.86 | 5.02 | 123 | 16.39 | 17.05 | 17.40 |
| 62 | 2.62 | 2.73 | 3.51 | | | | |

| ลำดับ | ค่าความแตกต่างสี(dE) | | | ลำดับ | ค่าความแตกต่างสี(dE) | | |
|-------|----------------------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|
| | D50 | D65 | A | | D50 | D65 | A |
| 1 | 8.89 | 9.47 | 9.49 | 18 | 4.51 | 5.35 | 3.77 |
| 2 | 9.49 | 9.23 | 9.94 | 19 | 5.52 | 6.89 | 4.71 |
| 3 | 10.01 | 9.92 | 10.39 | 20 | 5.77 | 4.54 | 5.82 |
| 4 | 8.29 | 8.44 | 8.48 | 21 | 5.04 | 4.15 | 4.94 |
| 5 | 7.32 | 7.45 | 7.12 | 22 | 10.15 | 8.82 | 11.77 |
| 6 | 6.32 | 6.51 | 5.97 | 23 | 10.02 | 8.43 | 11.28 |
| 7 | 6.22 | 6.22 | 6.80 | 24 | 11.47 | 10.19 | 12.58 |
| 8 | 7.77 | 7.63 | 8.18 | 25 | 9.73 | 8.81 | 10.69 |
| 9 | 4.15 | 3.87 | 4.36 | 26 | 3.97 | 4.95 | 3.27 |
| 10 | 3.55 | 3.01 | 3.48 | 27 | 5.43 | 5.99 | 5.34 |
| 11 | 5.80 | 5.78 | 6.21 | 28 | 8.71 | 9.37 | 9.47 |
| 12 | 8.17 | 7.82 | 8.83 | 29 | 13.24 | 14.24 | 13.30 |
| 13 | 11.07 | 10.15 | 12.09 | 30 | 5.58 | 4.94 | 6.00 |
| 14 | 6.32 | 7.37 | 6.30 | 31 | 3.23 | 4.05 | 2.50 |
| 15 | 5.05 | 6.17 | 4.82 | 32 | 3.11 | 3.71 | 2.83 |
| 16 | 3.54 | 4.02 | 3.68 | 33 | 3.62 | 4.40 | 3.04 |
| 17 | 5.87 | 7.38 | 4.71 | 34 | 3.26 | 3.36 | 3.51 |
| | | | | 35 | 10.76 | 13.11 | 10.28 |

| ลำดับ | RMS | ลำดับ | RMS | ลำดับ | RMS |
|-------|------|-------|------|-------|------|
| 1 | 0.13 | 39 | 0.03 | 77 | 0.05 |
| 2 | 0.15 | 40 | 0.04 | 78 | 0.06 |
| 3 | 0.07 | 41 | 0.05 | 79 | 0.15 |
| 4 | 0.15 | 42 | 0.14 | 80 | 0.08 |
| 5 | 0.03 | 43 | 0.04 | 81 | 0.07 |
| 6 | 0.04 | 44 | 0.08 | 82 | 0.05 |
| 7 | 0.05 | 45 | 0.08 | 83 | 0.10 |
| 8 | 0.07 | 46 | 0.10 | 84 | 0.08 |
| 9 | 0.08 | 47 | 0.04 | 85 | 0.13 |
| 10 | 0.08 | 48 | 0.03 | 86 | 0.03 |
| 11 | 0.06 | 49 | 0.07 | 87 | 0.07 |
| 12 | 0.06 | 50 | 0.06 | 88 | 0.03 |
| 13 | 0.05 | 51 | 0.04 | 89 | 0.03 |
| 14 | 0.05 | 52 | 0.04 | 90 | 0.06 |
| 15 | 0.06 | 53 | 0.05 | 91 | 0.05 |
| 16 | 0.03 | 54 | 0.02 | 92 | 0.05 |
| 17 | 0.05 | 55 | 0.03 | 93 | 0.08 |
| 18 | 0.03 | 56 | 0.05 | 94 | 0.05 |
| 19 | 0.08 | 57 | 0.05 | 95 | 0.06 |
| 20 | 0.07 | 58 | 0.04 | 96 | 0.06 |
| 21 | 0.05 | 59 | 0.08 | 97 | 0.08 |
| 22 | 0.03 | 60 | 0.09 | 98 | 0.07 |
| 23 | 0.04 | 61 | 0.02 | 99 | 0.11 |
| 24 | 0.04 | 62 | 0.06 | 100 | 0.07 |
| 25 | 0.13 | 63 | 0.07 | 101 | 0.05 |
| 26 | 0.13 | 64 | 0.08 | 102 | 0.12 |
| 27 | 0.12 | 65 | 0.08 | 103 | 0.11 |
| 28 | 0.11 | 66 | 0.09 | 104 | 0.03 |
| 29 | 0.06 | 67 | 0.09 | 105 | 0.02 |
| 30 | 0.08 | 68 | 0.06 | 106 | 0.06 |
| 31 | 0.10 | 69 | 0.07 | 107 | 0.04 |
| 32 | 0.08 | 70 | 0.09 | 108 | 0.03 |
| 33 | 0.09 | 71 | 0.15 | 109 | 0.02 |
| 34 | 0.08 | 72 | 0.13 | 110 | 0.05 |
| 35 | 0.09 | 73 | 0.13 | 111 | 0.06 |
| 36 | 0.04 | 74 | 0.06 | 112 | 0.07 |
| 37 | 0.04 | 75 | 0.05 | | |
| 38 | 0.02 | 76 | 0.05 | | |

ตารางที่ ง-5 การวิเคราะห์ภาพเชิงปริมาณของ Test set โทนโบไม้แต่ละสี ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D_{50} D_{65} และ A โดยใช้ค่า RMS Error

| ลำดับ | RMS | ลำดับ | RMS | ลำดับ | RMS |
|-------|------|-------|------|-------|------|
| 1 | 0.06 | 42 | 0.07 | 83 | 0.06 |
| 2 | 0.07 | 43 | 0.03 | 84 | 0.06 |
| 3 | 0.05 | 44 | 0.04 | 85 | 0.09 |
| 4 | 0.10 | 45 | 0.10 | 86 | 0.05 |
| 5 | 0.08 | 46 | 0.07 | 87 | 0.05 |
| 6 | 0.11 | 47 | 0.02 | 88 | 0.04 |
| 7 | 0.09 | 48 | 0.01 | 89 | 0.04 |
| 8 | 0.07 | 49 | 0.02 | 90 | 0.07 |
| 9 | 0.03 | 50 | 0.07 | 91 | 0.04 |
| 10 | 0.05 | 51 | 0.07 | 92 | 0.06 |
| 11 | 0.12 | 52 | 0.03 | 93 | 0.05 |
| 12 | 0.09 | 53 | 0.04 | 94 | 0.04 |
| 13 | 0.09 | 54 | 0.03 | 95 | 0.10 |
| 14 | 0.04 | 55 | 0.03 | 96 | 0.17 |
| 15 | 0.12 | 56 | 0.05 | 97 | 0.09 |
| 16 | 0.11 | 57 | 0.06 | 98 | 0.08 |
| 17 | 0.07 | 58 | 0.05 | 99 | 0.15 |
| 18 | 0.10 | 59 | 0.05 | 100 | 0.06 |
| 19 | 0.01 | 60 | 0.03 | 101 | 0.07 |
| 20 | 0.04 | 61 | 0.06 | 102 | 0.07 |
| 21 | 0.05 | 62 | 0.03 | 103 | 0.08 |
| 22 | 0.04 | 63 | 0.03 | 104 | 0.13 |
| 23 | 0.09 | 64 | 0.02 | 105 | 0.04 |
| 24 | 0.09 | 65 | 0.02 | 106 | 0.08 |
| 25 | 0.03 | 66 | 0.11 | 107 | 0.09 |
| 26 | 0.06 | 67 | 0.08 | 108 | 0.06 |
| 27 | 0.10 | 68 | 0.03 | 109 | 0.07 |
| 28 | 0.09 | 69 | 0.02 | 110 | 0.12 |
| 29 | 0.09 | 70 | 0.05 | 111 | 0.13 |
| 30 | 0.08 | 71 | 0.04 | 112 | 0.12 |
| 31 | 0.04 | 72 | 0.02 | 113 | 0.06 |
| 32 | 0.04 | 73 | 0.02 | 114 | 0.11 |
| 33 | 0.04 | 74 | 0.02 | 115 | 0.09 |
| 34 | 0.09 | 75 | 0.02 | 116 | 0.14 |
| 35 | 0.05 | 76 | 0.07 | 117 | 0.04 |
| 36 | 0.02 | 77 | 0.06 | 118 | 0.04 |
| 37 | 0.04 | 78 | 0.08 | 119 | 0.07 |
| 38 | 0.03 | 79 | 0.08 | 120 | 0.07 |
| 39 | 0.02 | 80 | 0.09 | 121 | 0.05 |
| 40 | 0.04 | 81 | 0.05 | 122 | 0.06 |
| 41 | 0.05 | 82 | 0.06 | 123 | 0.05 |

ตารางที่ ง-6 การวิเคราะห์ภาพเชิงปริมาณของ Test set โทนท้องฟ้าแต่ละสี ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D_{50} D_{65} และ A โดยใช้ค่า RMS Error

| ลำดับ | RMS | ลำดับ | RMS | ลำดับ | RMS |
|-------|------|-------|------|-------|------|
| 1 | 0.04 | 14 | 0.05 | 27 | 0.03 |
| 2 | 0.09 | 15 | 0.03 | 28 | 0.05 |
| 3 | 0.07 | 16 | 0.03 | 29 | 0.11 |
| 4 | 0.07 | 17 | 0.05 | 30 | 0.04 |
| 5 | 0.06 | 18 | 0.04 | 31 | 0.01 |
| 6 | 0.05 | 19 | 0.05 | 32 | 0.01 |
| 7 | 0.05 | 20 | 0.04 | 33 | 0.02 |
| 8 | 0.09 | 21 | 0.05 | 34 | 0.01 |
| 9 | 0.05 | 22 | 0.07 | 35 | 0.06 |
| 10 | 0.03 | 23 | 0.07 | | |
| 11 | 0.03 | 24 | 0.08 | | |
| 12 | 0.06 | 25 | 0.06 | | |
| 13 | 0.07 | 26 | 0.03 | | |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

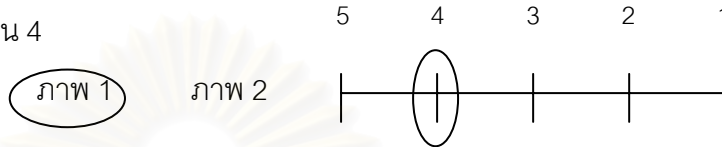
แบบสอบถาม

การเปรียบเทียบการผลิตซ้ำของภาพศิลปะสีน้ำ ที่มุ่งเน้นความเหมือนของสีเท่านั้น ไม่รวมรายละเอียดและความคมชัดของภาพ โดยทำการเลือกว่าภาพ 1 หรือ ภาพ 2 มีความเหมือนกับต้นฉบับมากกว่า และให้ระดับคะแนนความเหมือนโดยทำเครื่องหมาย

O

ตัวอย่าง

เลือกภาพ 1 ที่ระดับความเหมือน 4



หมายเหตุ ระดับคะแนน

5 คือ เหมือนมากที่สุด

4 คือ เหมือนมาก

3 คือ เหมือนปานกลาง

2 คือ เหมือนน้อย

1 คือ เหมือนน้อยที่สุด

1) ภาพคน

ระดับคะแนน

บริเวณพื้นที่

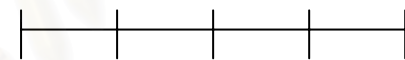
◆ สีผิวคน

ภาพ 1 ภาพ 2



◆ สีโดยรวมของภาพ

ภาพ 1 ภาพ 2

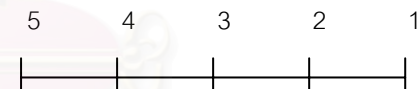


2) ภาพทิวทัศน์

บริเวณพื้นที่

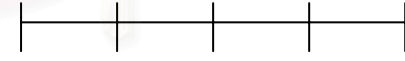
◆ ท้องฟ้า

ภาพ 1 ภาพ 2



◆ ทะเล

ภาพ 1 ภาพ 2



◆ สีโดยรวมของภาพ

ภาพ 1 ภาพ 2



3) ภาพนามธรรม

บริเวณพื้นที่

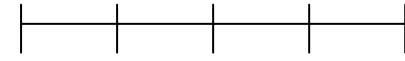
◆ สีแดง

ภาพ 1 ภาพ 2



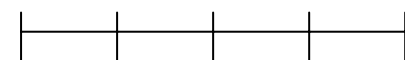
◆ สีเขียว

ภาพ 1 ภาพ 2



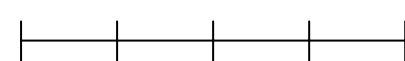
◆ สีน้ำเงิน

ภาพ 1 ภาพ 2



◆ สีเหลือง

ภาพ 1 ภาพ 2



◆ สีโดยรวมของภาพ

ภาพ 1 ภาพ 2



นางสาวกอบพร ทองพันเลิศกุล เกิดเมื่อวันที่ 25 เดือน กันยายน พ.ศ. 2521 กรุงเทพฯ จบการศึกษาระดับปริญญาตรีที่มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรีในปีพ.ศ. 2542 คณะวิทยาศาสตร์ สาขาเทคโนโลยีการพิมพ์ ประสบการณ์ทำงานในตำแหน่งหัวหน้าแผนกพัฒนาระบบ เป็นเวลา 2 ปีที่บริษัท ศรีบุญอุตสาหกรรมการพิมพ์ (1988) ปัจจุบันสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย