การระบุสารสีด้วยเทคนิคทางภาพเชิงมัลติสเปกตรัมโดยใช้แอลอีดีความยาวคลื่นแคบ

น.ส.สุรีย์พร คำแพง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพ ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IDENTIFICATION OF PIGMENTS BY MULTI SPECTRAL IMAGING TECHNIQUE USING NARROW-BAND LEDs

Miss Sureeporn Khampaeng

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

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 2020

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การระบุสารสีด้วยเทคนิคทางภาพเชิงมัลติสเปกตรัมโดยใช้แอลอีดีความยาวคลื่นแคบ
โดย	น.ส.สุรีย์พร คำแพง
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญดา เกตุเมฆ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวาล คูร์พิพัฒน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญดา เกตุเมฆ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิตรา สื่อประสาร)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.กรรณิการ์ สุธีรัตนาภิรมย์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สุรีย์พร คำแพง : การระบุสารสีด้วยเทคนิคทางภาพเชิงมัลติสเปกตรัมโดยใช้แอลอีดีความยาวคลื่นแคบ. (IDENTIFICATION OF PIGMENTS BY MULTI SPECTRAL IMAGING TECHNIQUE USING NARROW-BAND LEDs) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.พิชญดา เกตุเมฆ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการระบุสารสีด้วยเทคนิคทางภาพถ่ายที่ใช้รังสียูวีและแสงขาว โดยแบ่งแสงขาวออกเป็นแสงที่มีความยาวคลื่นแคบ 13 ช่องสัญญาณ และช่องสัญญาณแสงขาวโทนอุ่นกับโทนเย็นอีก 2 ช่องสัญญาณ ถ่ายผ่านแผ่นกรองแสงที่ให้แสงขาว รังสียูวี และรังสีอินฟราเรดผ่าน งานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคนี้มาประยุกต์กับสารสีของเครเมอร์จำนวน 356 สารสี โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการสร้างฐานข้อมูลจากภาพถ่ายสารสีภายใต้แอลอีดีจำนวน 15 ช่องสัญญาณผ่านแผ่นกรองแสงที่ให้แสงขาว รังสียูวี และรังสีอินฟราเรดผ่าน สารสีทั้ง 356 สารสี ถูกแบ่งออกเป็น 7 กลุ่มจากการปรากฏสีภายใต้แสงขาว ได้แก่ ม่วง น้ำเงิน เขียว เหลือง ส้ม แดง และกลุ่มสุดท้ายรวมขาว เทา ดำ และน้ำตาลไว้ด้วยกัน จากนั้นจัดทำแผนผังเพื่อระบุสารสีโดยสังเกตการปรากฏสีภายใต้แอลอีดีจำนวน 15 ช่องสัญญาณลดหลั่นกันจากแสงขาวโทนอุ่น แสงขาวโทนเย็น แสงสีที่ความยาวคลื่นสั้นและสิ้นสุดที่ความยาวคลื่นยาว ส่วนที่สองเป็นการประยุกต์วิธีที่ทำขึ้นในส่วนแรกเข้ากับสีทดสอบโดยอ้างอิงผลกับฐานข้อมูลที่สร้างขึ้นและยืนยันผลกับเทคนิคสเปกตรัมค่าการสะท้อนแสงและสเปกตรัมรามานสเปกโทรสโกปี ผลในส่วนแรกพบว่าสารสีที่อยู่ทุกกลุ่มสีสามารถถูกแยกออกเป็นกลุ่มที่เล็กลง และสารสีบางชนิดสามารถระบุได้โดยตรง เช่น สีม่วงสามารถระบุสารสี Fluorescent violet pigment, Han purple, Studio pink pigment, Alizarine Violet และ Hostaperm pink ได้โดยตรงโดยไม่มีสารสีอื่นอยู่ในกลุ่มทั้งนี้พบว่าสารสีชื่อเดียวกันต่างเพียงความเข้มถูกแยกออกจากกันด้วยลำดับของช่องสัญญาณที่ต่างกัน สาเหตุอาจมาจากการสะท้อนแสงของกระดาษฐานไปยังเซนเซอร์ของกล้องไม่เท่ากันเนื่องจากความโปร่งแสงต่างกัน ผลการทดลองในส่วนที่สองพบว่าการนำวิธีข้างต้นมาระบุสารสีทดสอบ 4 สารสี สามารถระบุสีเขียว Chrome oxide สีแดง Cinnabar สีน้ำตาล Red ochre ได้ ซึ่งได้ยืนยันผลความถูกต้องของผลด้วยวิธีสเปกตรัมการสะท้อนแสงและรามานสเปกโทรสโกปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางภาพ ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2563 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

6270112023 : MAJOR IMAGING TECHNOLOGY
KEYWORD: Technical Photography, Multispectral, Narrow-band LEDs, Pigment identification
Sureeporn Khampaeng : IDENTIFICATION OF PIGMENTS BY MULTI SPECTRAL IMAGING TECHNIQUE USING NARROW-BAND LEDs. Advisor: Assoc. Prof. PICHAYADA KATEMAKE, Ph.D.

This research aimed to propose a method of pigment identification using images of pigment taken under 13 narrow-band LEDs, cool white and warm white LEDs through visible, UV and IR filters. The research was divided into two parts. Firstly, a database of 356 Kremer pigments was built by taking photo of the pigments using a Canon camera, without UV and IR blocks, under 13 narrow-band LEDs, cool white and warm white LEDs through visible, UV and IR filters. These 356 pigments were classified into seven groups based on theirs color appearance under white light. Subsequently, seven pigment classification diagrams were built for seven group of pigments. Secondly, the pigment classification diagrams were applied to four pigment samples and the results were confirmed with their spectral reflectance and Raman spectrum. For instance, the purple pigment group, Fluorescent pigment violet could be identified by the narrow-band LED of 403 nm that it appeared brown under it whereas others pigment appeared green under 403 nm. The results from the first part showed that all pigment groups could be classified into many small groups. Some of them could be identified directly without other pigments in the same group. The results from the second part showed that four pigment samples in the test could be identified as Chrome oxide green, Cinnabar red and Red ochre. The identification was confirmed, using spectral reflectance and Raman spectrum technics that they were correctly identified.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study:	Imaging Technology	Student's Signature .....
Academic Year:	2020	Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดีเพราะได้รับความกรุณาให้คำปรึกษา ชี้แนะและให้ความช่วยเหลือด้านต่าง ๆ อย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร. พิชญดา เกตุเมฆ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณด้วยความเคารพอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวาล คูร์พิพัฒน์ ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุจิตรา สื่อประสาร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กรรณิการ์ สุธีรัตนาภิรมย์ กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอก ที่ช่วยให้ขอเสนอแนะ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พร้อมพงศ์ เพียรพินิจธรรม ที่ช่วยให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือ และขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์ ที่ช่วยให้แนวทางในการวิเคราะห์ผลทางเคมี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกในการทำงาน ขอขอบคุณนายปกรณ์สิทธิ์ พ่วงโต และนางสาวเดือนเต็มดวง เดชสุภา นิสิตระดับบัณฑิตศึกษาที่ให้ความช่วยเหลือเสมอมา สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณครอบครัวที่ให้กำลังใจและช่วยสนับสนุนจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุรีย์พร คำแพง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง
กิตติกรรมประกาศ ..... จ
สารบัญ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญภาพ ..... ฎ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงาน 2
1.3 ขอบเขตการศึกษา 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 แสง 3
2.1.1 หลอดไฟฮาโลเจน 3
2.1.2 หลอดไฟแอลอีดี 4
2.2 เทคนิคการถ่ายภาพมัลติสเปกตรัม (multispectral imaging technique, MSI) 5
2.3 การถ่ายภาพเชิงเทคนิค (Technical Photography) 6
2.3.1 การถ่ายภาพแสงที่มองเห็นได้ (visible photography, VIS) 6
2.3.2 การถ่ายภาพการวาวแสงรังสียูวี (ultraviolet fluorescence photography, UVF) .. 6
2.3.3 การถ่ายภาพการสะท้อนรังสียูวี (ultraviolet reflected photography, UVR) 7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3.4 การถ่ายภาพการวาวแสงรังสีอินฟราเรด (infrared fluorescence photography, IRF) 7
2.3.5 การถ่ายภาพการสะท้อนรังสีอินฟราเรด (infrared reflected photography, IR) 7
2.3.6 ภาพจากการผสมอินฟราเรดสีเทียม (infrared false colour, IRFC) 7
2.3.7 การถ่ายภาพการส่องผ่านรังสีอินฟราเรด (infrared transmittance photography, IRT) 7
2.3.8 การถ่ายภาพด้วยแสงเฉียง (raking light photography, RAK) 8
2.3 สีและการมองเห็นสี 8
2.3.1 แสง 8
2.3.2 วัตถุ 8
2.3.2.1 การสะท้อนแสง 8
2.3.2.2 การดูดกลืนแสง 8
2.3.2.3 การเรืองแสง 9
2.3.3 ระบบการมองเห็นของมนุษย์ 9
2.4 ระบบสี CIE L*a*b 10
2.5 ระบบสี CIEL*c*h 11
2.6 สารสี 12
2.6.1 สารสีอนินทรีย์ (Inorganic Pigments) 12
2.6.2 สารสีอินทรีย์ (Organic Pigments) 12
2.6.3 สารสีสีขาว (White Pigment) 13
2.6.4 สารสีสีดำ 13
2.6.5 สารสีสีน้ำเงิน 13
2.6.6 สารสีสีเขียว 14
2.6.7 สารสีสีเหลืองและสีส้ม 15

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.6.8 สารสีสีแดง 15
2.6.9 สารสีสีน้ำตาล 16
2.7 รามานสเปกโทรสโกปี (Raman spectroscopy) 16
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 17
บทที่ 3 การทดลอง 20
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ 20
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 22
3.3 โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง 23
3.4 วิธีการทดลอง 23
3.4.1 การสร้างฐานข้อมูลสารสีด้วยเทคนิคทางภาพเชิงมัลติสเปกตรัมโดยใช้แอลอีดีความยาวคลื่นแคบและประมวลผลข้อมูลผ่านซอฟต์แวร์กล้อง 24
3.4.1.1 การวัดสเปกตรัมของแสงจากแอลอีดีสำหรับถ่ายภาพสารสี 24
3.4.1.2 การตั้งค่ากล้องถ่ายภาพสำหรับถ่ายภาพสารสี 25
3.4.1.3 การถ่ายภาพสารสี 26
3.4.1.4 ประมวลผลข้อมูลภาพผ่านซอฟต์แวร์กล้อง 27
3.4.1.4.1 การปรับชดเชยความสว่างและสมดุลสีขาว 27
3.4.1.4.2 การตัดภาพโดยเลือกตำแหน่งและขนาด หรือครอปภาพ 28
3.4.1.4.3 การต่อภาพ 28
3.4.2 การสร้างแผนผังแสดงการจำแนกประเภทและลักษณะของสารสี 28
3.4.3 การเตรียมตัวอย่างสีทดสอบ 29
3.4.4 การถ่ายภาพตัวอย่างสีทดสอบและประมวลผลข้อมูลผ่านซอฟต์แวร์กล้อง 29
3.4.5 การระบุสารสีของตัวอย่างสีทดสอบเทียบกับฐานข้อมูลตามแผนผังที่สร้างขึ้น 30
3.4.6 การเทียบผลเพื่อยืนยันผลด้วยเทคนิคอื่น 30
3.4.6.1 สเปกตรัมการสะท้อนแสง (spectral reflectance) 30

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.4.6.2 เทคนิครามานสเปกโตรสโกปี (Raman spectroscopy) 30
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล 31
4.1 สเปกตรัมของแอลอีดีสำหรับถ่ายภาพสารสี 31
4.2 ภาพถ่ายสารสีเครเมอร์ 32
4.3 การประมวลผลข้อมูลภาพผ่านซอฟต์แวร์กล้อง 33
4.3.1 ผลการปรับสมดุลขาว 33
4.3.2 ผลการปรับชดเชยความสว่าง 34
4.4 แผนผังแสดงการจำแนกประเภทและลักษณะของสารสีเครเมอร์ 34
4.4.1 แผนผังสารสีสีม่วง 34
4.4.2 แผนผังสารสีสีน้ำเงิน 37
4.4.3 แผนผังสารสีสีเขียว 42
4.4.4 แผนผังสารสีสีเหลือง 46
4.4.5 แผนผังสารสีสีส้ม 52
4.4.6 แผนผังสารสีสีแดง 56
4.4.7 แผนผังสารสีสีขาว เทา ดำ น้ำตาล 61
4.5 การเลือกแผนผังเพื่อระบุสารสีของตัวอย่างสีทดสอบ 66
4.6 ผลการระบุสารสีของตัวอย่างสีทดสอบกับฐานข้อมูลที่สร้างขึ้น 66
4.6.1 ตัวอย่างสีเขียว 66
4.6.2 ตัวอย่างสีเหลือง 68
4.6.3 ตัวอย่างสีแดง 70
4.6.4 ตัวอย่างสีน้ำตาล 71
4.7 ผลการยืนยันผลด้วยเทคนิคอื่น 73
4.7.1 ตัวอย่างทดสอบสีเขียว 73
4.7.1.1 การยืนยันผลด้วยสเปกตรัมการสะท้อนแสง 73

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.7.1.2 การยืนยันผลด้วยเทคนิครามานสเปกโตรสโกปี..... 74
4.7.2 ตัวอย่างทดสอบสีเหลือง 74
4.7.2.1 การยืนยันผลด้วยสเปกตรัมการสะท้อนแสง..... 74
4.7.3 ตัวอย่างทดสอบสีแดง 76
4.7.3.1 การยืนยันผลด้วยสเปกตรัมการสะท้อนแสง..... 76
4.7.3.2 การยืนยันผลด้วยเทคนิครามานสเปกโตรสโกปี..... 76
4.7.4 ตัวอย่างทดสอบสีน้ำตาล 77
4.7.4.1 การยืนยันผลด้วยสเปกตรัมการสะท้อนแสง..... 77
4.7.4.2 การยืนยันผลด้วยเทคนิครามานสเปกโตรสโกปี..... 78
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 80
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 80
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 81
ภาคผนวก ก ภาพถ่ายสารสีของเครเมอร์ภายใต้แอลอีดี 15 ช่องสัญญาณผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน..... 82
ภาคผนวก ข ภาพถ่ายสารสีของเครเมอร์ภายใต้แอลอีดี 15 ช่องสัญญาณผ่านฟิลเตอร์ที่ให้รังสียูวีผ่าน..... 97
ภาคผนวก ค ภาพถ่ายสารสีของเครเมอร์ภายใต้แอลอีดี 15 ช่องสัญญาณผ่านฟิลเตอร์ที่ให้รังสีอินฟราเรดผ่าน..... 114
บรรณานุกรม..... 130
ประวัติผู้เขียน..... 132

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 จุดยอดสูงสุดของคลื่นหรือพีคและความสว่างสูงสุดของแอลอีดีในแต่ละช่องสัญญาณ . 24
ตารางที่ 3.2 ค่าความเร็วชัตเตอร์ในแต่ละฟิลเตอร์และแอลอีดี 26
ตารางที่ 3.3 ค่าชดเชยความสว่างของภาพถ่ายในแต่ละฟิลเตอร์ 28
ตารางที่ 4.1 สารสีสีม่วง 34
ตารางที่ 4.2 สารสีสีน้ำเงิน 37
ตารางที่ 4.3 สารสีสีเขียว 42
ตารางที่ 4.4 สารสีสีเหลือง 46
ตารางที่ 4.5 สารสีสีส้ม 52
ตารางที่ 4.6 สารสีสีแดง 56
ตารางที่ 4.7 สารสีสีขาว เทา ดำ น้ำตาล 61
ตารางที่ 4.8 สีที่ปรากฏในช่องสัญญาณที่ 1 ของแผนผังสารสี 66

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 3
ภาพที่ 2.2 หลอดไฟฮาโลเจน 4
ภาพที่ 2.3 สเปกตรัมของหลอดไฟฮาโลเจน 4
ภาพที่ 2.4 แอลอีดี 5
ภาพที่ 2.5 ภาพถ่ายมัลติสเปกตรัม 5
ภาพที่ 2.6 พลังงานช่วงความยาวคลื่นที่กล้องบันทึกได้สำหรับการถ่ายภาพเชิงเทคนิคแต่ละเทคนิค . 6
ภาพที่ 2.7 หลักการเกิดฟลูออเรสเซนต์หรือการวาวแสง 9
ภาพที่ 2.8 การมองเห็นสีของมนุษย์ [6] 10
ภาพที่ 2.9 ระบบสี CIE L*a*b 11
ภาพที่ 2.10 ระบบสี CIE L*c*h [7] 11
ภาพที่ 2.11 หลักการเกิดการกระเจิงแสงเทคนิครามานสเปกโทรสโกปี [15] 17
ภาพที่ 3.1 โคมไฟแอลอีดี LEDCube I14 21
ภาพที่ 3.2 โคมไฟรังสียูวี 21
ภาพที่ 3.3 เครื่องวัด Illuminance Spectrophotometer CL-500A 22
ภาพที่ 3.4 เครื่องรามานไมโครสโคป 23
ภาพที่ 3.5 เครื่องวัด USB4000 Fiber Optic Spectrometer 23
ภาพที่ 3.6 ตำแหน่งการตั้งค่าการถ่ายภาพ 27
ภาพที่ 3.7 ตัวอย่างสารสีทดสอบ 29
ภาพที่ 4.1 สเปกตรัมของแอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-14 31
ภาพที่ 4.2 สเปกตรัมของแอลอีดีช่องสัญญาณที่ 15 32
ภาพที่ 4.3 ภาพถ่ายสารสีเครเมอร์ blue colors แผ่นที่ 1 ภายใต้แอลอีดีความยาวคลื่นแคบ 15 ช่องสัญญาณผ่านฟิลเตอร์ชนิดที่ให้แสงขาวผ่าน (ก), ฟิลเตอร์ชนิดที่ให้รังสียูวีผ่าน (ข), ฟิลเตอร์ชนิดที่ให้รังสีอินฟราเรดผ่าน (ค) 33

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 4.4 ภาพถ่ายสารสีเครเมอร์ blue colors แผ่นที่ 1 ภายใต้แอลอีดีความยาวคลื่นแคบ 15 ช่องสัญญาณผ่านฟิลเตอร์ชนิดที่ให้รังสียูวี (ก), ฟิลเตอร์ชนิดที่ให้รังสีอินฟราเรดผ่าน (ข)..... 33

ภาพที่ 4.5 แผนผังสารสีสีม่วง..... 36

ภาพที่ 4.6 แผนผังสารสีสีน้ำเงิน..... 41

ภาพที่ 4.7 แผนผังสารสีสีเขียว..... 45

ภาพที่ 4.8 แผนผังสารสีสีเหลือง..... 51

ภาพที่ 4.9 แผนผังสารสีส้ม..... 55

ภาพที่ 4.10 แผนผังสารสีแดง..... 60

ภาพที่ 4.11 แผนผังสารสีสีขาว เทา ดำ และ น้ำตาล..... 65

ภาพที่ 4.12 ภาพถ่ายตัวอย่างสีทดสอบสีเขียวภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน..... 67

ภาพที่ 4.13 ภาพถ่ายสารสี Cobalt Green ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน..... 67

ภาพที่ 4.14 ภาพถ่ายสารสี Chrome Oxide Green ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน..... 67

ภาพที่ 4.15 ภาพถ่ายตัวอย่างสีทดสอบสีเหลืองภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน..... 68

ภาพที่ 4.16 ภาพถ่ายสารสี Natural Sienna Monte Amiata ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน..... 68

ภาพที่ 4.17 ภาพถ่ายสารสี French Ochre JOLES ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน..... 68

ภาพที่ 4.18 ภาพถ่ายสารสี French Ochre JCLES ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน..... 69

ภาพที่ 4.19 ภาพถ่ายสารสี French Ochre SOFODOR ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน..... 69

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 4.20 ภาพถ่ายสารสี Iron Oxide Yellow 920, medium ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน 69

ภาพที่ 4.21 ภาพถ่ายสารสี Iron Oxide Yellow 415, greenish ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน 69

ภาพที่ 4.22 ภาพถ่ายสารสี Iron Oxide Yellow 940, dark ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน 69

ภาพที่ 4.23 ภาพถ่ายสารสี Raw Sienna brownish ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน 69

ภาพที่ 4.24 ภาพถ่ายตัวอย่างสีทดสอบสีแดงภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน 70

ภาพที่ 4.25 ภาพถ่ายสารสี Natural Cinnabar ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน 70

ภาพที่ 4.26 ภาพถ่ายสารสี Cinnabar fine ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน 70

ภาพที่ 4.27 ภาพถ่ายสารสี CPT Red ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน 71

ภาพที่ 4.28 ภาพถ่ายสารสี Purple Red ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน 71

ภาพที่ 4.29 ภาพถ่ายตัวอย่างสีทดสอบสีน้ำตาลภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน 71

ภาพที่ 4.30 ภาพถ่ายสารสี Red Ochre from Andalusia ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน 72

ภาพที่ 4.31 ภาพถ่ายสารสี Burgundy Red Ochre Deep ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน 72

ภาพที่ 4.32 ภาพถ่ายสารสี Terra Ercolano ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน 72

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 4.33 ภาพถ่ายสารสี Vermilion ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน 72

ภาพที่ 4.34 สเปกตรัมการสะท้อนแสงของตัวอย่างสีทดสอบสีเขียว (เส้นกราฟสีเขียวอ่อน) กับสารสีของเครเมอร์ที่คาดว่าเป็นตัวเดียวกัน 73

ภาพที่ 4.35 สเปกตรัมรามานของสารสี Chrome oxide green ของเครเมอร์ (บน) และ ตัวอย่างทดสอบสีเขียว (ล่าง) 74

ภาพที่ 4.36 สเปกตรัมการสะท้อนแสงของตัวอย่างสีทดสอบสีเหลือง (สีเหลือง) กับสารสีของเครเมอร์ที่คาดว่าเป็นตัวเดียวกัน 75

ภาพที่ 4.37 สเปกตรัมการสะท้อนแสงของตัวอย่างสีทดสอบสีแดง (สีแดง) กับสารสีของเครเมอร์ที่คาดว่าเป็นตัวเดียวกัน 76

ภาพที่ 4.38 สเปกตรัมรามานของตัวอย่างสีทดสอบสีแดง (เขียว) สารสี Cinnabar (น้ำเงิน) และสารสี Natural Cinnabar (แดง) 77

ภาพที่ 4.39 สเปกตรัมการสะท้อนแสงของตัวอย่างสีทดสอบสีน้ำตาล (สีน้ำตาล) กับสารสีของเครเมอร์ที่คาดว่าเป็นตัวเดียวกัน 78

ภาพที่ 4.40 สเปกตรัมการสะท้อนแสงของตัวอย่างสีทดสอบสีน้ำตาล (สีน้ำตาล) กับสารสีของเครเมอร์ที่คาดว่าเป็นตัวเดียวกัน 79

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ

งานศิลปะประเภทจิตรกรรมในทุกยุคสมัยมีการใช้สารสีเป็นองค์ประกอบ เพื่อสรรค์สร้างผลงานให้มีลักษณะที่โดดเด่นและมีเอกลักษณ์เฉพาะตัวสำหรับผู้สร้างหรือจิตรกร เมื่อเวลาผ่านไปงานศิลปะชิ้นนั้นจะกลายเป็นสิ่งที่มีคุณค่าทางวัฒนธรรมของสังคม ซึ่งสิ่งที่ตามมาคือภาพวาดหรือจิตรกรรมมีการเสื่อมสภาพลงตามกาลเวลา โดยปัจจุบันงานศิลปะในอดีตบางส่วนได้รับการอนุรักษ์ซ่อมแซมเพื่อรักษางานศิลปะให้อยู่ในสภาพที่ดีที่สุด ซึ่งในการอนุรักษ์ซ่อมแซมนั้นนักอนุรักษ์ไม่ทราบชนิดของสารสีที่จิตรกรใช้ในการวาดภาพ การอนุรักษ์ซ่อมแซมในปัจจุบันจึงเป็นการใช้สีที่มีสมบัติหรือสีคล้ายสีเดิมมากที่สุดมาซ่อมแซมงานศิลปะหรือใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เช่น การใช้เทคนิครามานสเปกโตรสโกปี เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ หรือสเปกตรัมการสะท้อนแสงของสารสีมาวิเคราะห์องค์ประกอบของสารสี เพื่อหาชนิดของสารสีบนภาพและซ่อมแซมงานศิลปะด้วยสีที่ใช้สารสีชนิดเดียวกัน หากไม่สามารถใช้สารสีเดิมซ่อมแซมงานศิลปะได้ กระบวนการทางวิทยาศาสตร์สามารถวิเคราะห์หาสารสีที่มีสมบัติใกล้เคียงกับสารสีเดิมเพื่อนำมาซ่อมแซมงานศิลปะให้กลับสู่สภาพเดิม ซึ่งการใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ข้างต้นมาวิเคราะห์สารสีบนงานศิลปะ สามารถแสดงถึงองค์ประกอบทางเคมีของสารสีได้เท่านั้น และต้องใช้ข้อมูลของสารสีชนิดนั้นจากฐานข้อมูลในแต่ละเทคนิคเพื่อยืนยันชนิดสารสีที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่ตรงกันกับฐานข้อมูลจึงสามารถสรุปได้ว่าสารสีชนิดชั้นคือสารสีใด อีกวิธีหนึ่งที่นักอนุรักษ์นำมาใช้ในการวิเคราะห์งานศิลปะก่อนการอนุรักษ์ซ่อมแซมคือเทคนิคทางภาพถ่ายแบบมัลติสเปกตรัม ซึ่งมีการใช้แหล่งแสงที่มีพลังงานครอบคลุมช่วงความยาวคลื่นกว้างประกอบกับฟิลเตอร์ที่กรองให้พลังงานช่วงที่สนใจผ่านได้ เพื่อดูสีที่ปรากฏของสารสีบนงานศิลปะและแยกประเภทเพื่อระบุสารสีนั้นจากภาพถ่าย

งานวิจัยนี้จึงเสนอวิธีในการวิเคราะห์ชนิดของสารสีด้วยเทคนิคการถ่ายภาพ โดยใช้การถ่ายภาพแบบมัลติสเปกตรัม ซึ่งใช้แอลอีดีที่มีความยาวคลื่นแคบที่แตกต่างกันมาเป็นแหล่งแสงในการศึกษาลักษณะของสารสีจากภาพที่ปรากฏภายใต้แหล่งแสงนั้น โดยทดลองกับสารสีของเครเมอร์ (Kremer) ที่เคลือบบนกระดาษการ์ด ทั้งนี้จะใช้ภาพถ่ายของสารสีมาวิเคราะห์หาลักษณะและประเภทของสารสี และสร้างแผนผังจำแนกสารสีตามลักษณะของสีที่ปรากฏ และเพื่อยืนยันการจำแนกสารสีด้วยแผนผังจึงทดสอบระบุสารสีกับตัวอย่างสีที่สร้างขึ้นจากแผนผังที่สร้างขึ้นและทดสอบร่วมกับเทคนิครามานสเปกโตรสโกปีและสเปกตรัมการสะท้อนแสง

1.2 วัตถุประสงค์ของงาน

เพื่อระบุประเภทและลักษณะสีที่ปรากฏจากภาพถ่ายของสารสีเครเมอร์ด้วยเทคนิคทางภาพเชิงมัลติสเปกตรัมโดยใช้แอลอีดีความยาวคลื่นแคบ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาสีจากภาพถ่ายที่ปรากฏเห็นของสารสีเดี่ยวเครเมอร์จำนวน 356 สารสีจากแคตาลอกตัวอย่างของเครเมอร์ จำนวน 9 เล่มที่มีชื่อเขียนตามแคตาลอกดังนี้

- Red colors
- Green colors
- Blue colors
- Yellow colors
- Organic pigments
- Earth colors
- Cadmium pigments
- Iron oxide and translucent pigments
- Pigments of our product

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

แผนผังสำหรับจำแนกสารสีเครเมอร์จำนวน 356 สารสีด้วยเทคนิคทางภาพเชิงสเปกตรัมโดยใช้แอลอีดีความยาวคลื่นแคบ

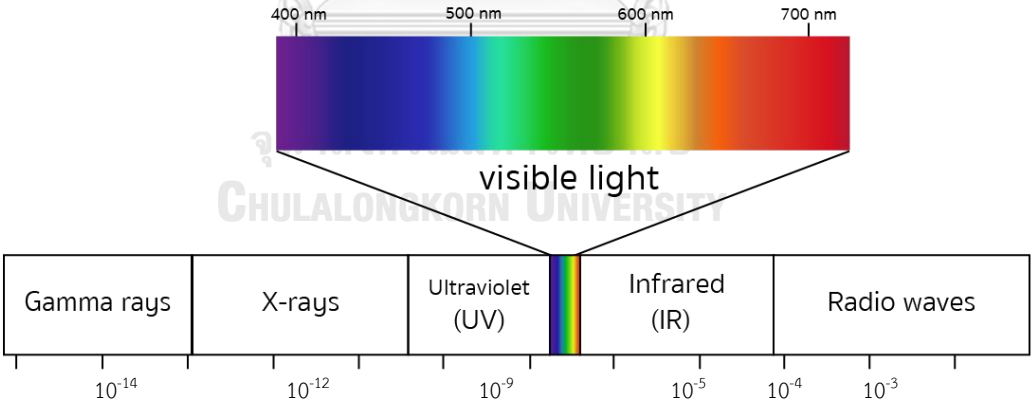
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์นี้มีทั้งหมดห้าบทโดยบทที่สองประกอบด้วยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและอธิบายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้ดำเนินการมาก่อนหน้านี้ บทที่สามอธิบายถึงวัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัย บทที่สี่แสดงผลการทดลองและอภิปรายผล บทที่ห้าสรุปผลการทดลองและงานวิจัยในอนาคตที่สามารถทำต่อเนื่องได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แสง

แสงหรือโฟตอนเป็นอนุภาคและส่วนหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 400-700 นาโนเมตรหรือที่เรียกว่า แสงที่มองเห็นได้ (visible light) ดังภาพที่ 2.1 โดยความยาวคลื่นช่วง 400-440 นาโนเมตร มนุษย์เราสามารถรับรู้เห็นเป็นสีม่วงและเมื่อเพิ่มความยาวคลื่นสีที่ปรากฏจะเปลี่ยนไปเป็น สีน้ำเงิน สีเขียว สีเหลือง สีส้ม และสีแดงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตรตามลำดับ ซึ่งแสงมีอยู่ 2 ประเภทคือแสงตามธรรมชาติ เช่นแสงจากดวงอาทิตย์ ที่มีสเปกตรัมหรือพลังงานครอบคลุมทุกความยาวคลื่น โดยสเปกตรัมของแหล่งแสงส่งผลต่อการปรากฏของสีสันของวัตถุต่าง ๆ โดยเฉพาะกับแหล่งแสงธรรมชาติที่ไม่สามารถควบคุมได้จึงส่งผลให้สีของวัตถุที่เรามองเห็นเปลี่ยนไปตามแสง ณ ขณะนั้น ปัญหาข้างต้นนี้จึงทำให้เกิดการคิดค้นแสงประดิษฐ์ขึ้นซึ่งสามารถควบคุมสเปกตรัมของแหล่งแสงและให้พลังงานที่สม่ำเสมอได้ ทำให้สีของวัตถุที่เรามองเห็นคงที่และไม่เปลี่ยนแปลง เช่น แสงจากหลอดไฟฮาโลเจนและแสงจากหลอดไฟแอลอีดี เป็นต้น



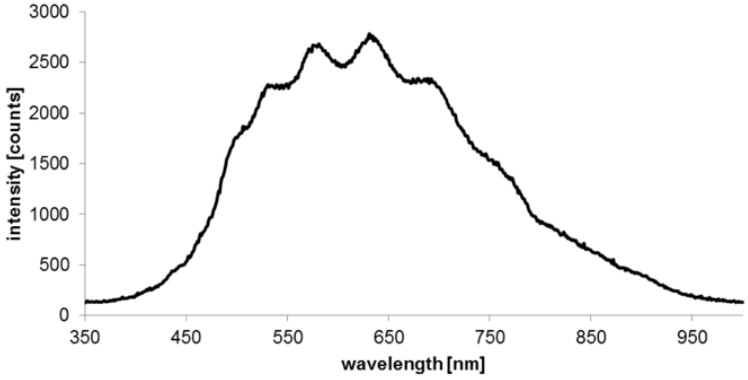
ภาพที่ 2.1 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2.1.1 หลอดไฟฮาโลเจน

หลอดไฟฮาโลเจนเป็นหลอดไฟที่มีหลักการเกิดแสงจากการเผาไหม้โดยให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไส้หลอดที่เป็นทังสเตนจนเกิดการเผาไหม้และมีความร้อนจนเปล่งแสงออกมา โดยมีการบรรจุแก๊สเฉื่อยจำพวกฮาโลเจน ได้แก่ ไอโอดีน คลอรีน โบรมีนและฟลูออรีนในหลอดแก้วที่

ทำจากควอทซ์ โดยสารข้างต้นมีสมบัติในการป้องกันการระเหิดของไส้หลอด และทำงานที่อุณหภูมิสูงประมาณ 3000 - 4000 เคลวินเพื่อช่วยยืดอายุของหลอดให้นานขึ้นเนื่องจากขณะใช้งานหลอดจะมีความร้อนสูง แสงจากหลอดไฟฮาโลเจนให้พลังงานที่ต่อเนื่องและครอบคลุมช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ช่วงแสงที่มองเห็นได้จนถึงช่วงของรังสีอินฟราเรด ดังภาพที่ 2.3 จึงทำให้หลอดไฟถูกนำมาใช้กับงานที่ต้องการแสงที่คงที่และสีที่ถูกต้อง เช่น ใช้ถ่ายภาพ หรือ ใช้ในห้องผ่าตัด เป็นต้น

ภาพที่ 2.2 หลอดไฟฮาโลเจน



ภาพที่ 2.3 สเปกตรัมของหลอดไฟฮาโลเจน

2.1.2 หลอดไฟแอลอีดี

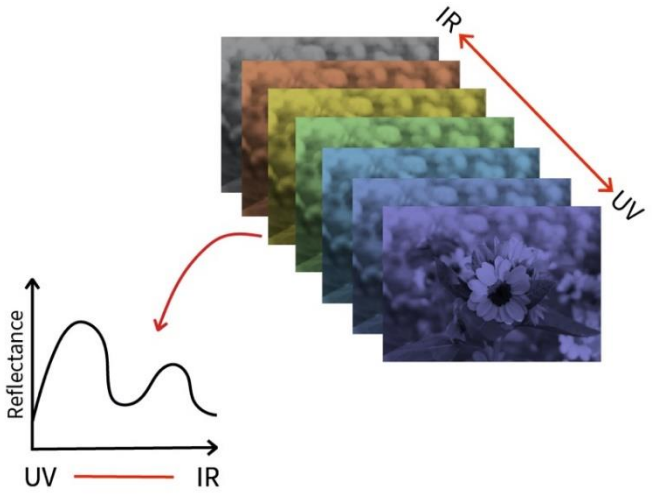
แอลอีดีหรือไดโอดเปล่งแสงเป็นสารกึ่งตัวนำที่สามารถเปล่งแสงหรือให้พลังงานในช่วงความยาวคลื่นที่แคบเมื่อได้รับการกระตุ้นจากกระแสไฟฟ้า โดยสีของแอลอีดีจะขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุที่ใช้ทำสารกึ่งตัวนำ เมื่อถูกกระตุ้นจะเปล่งพลังงานออกมาในช่วงความยาวคลื่นที่เฉพาะเจาะจงขององค์ประกอบสารกึ่งตัวนำนั้น ปัจจุบันนิยมนำแอลอีดีมาใช้งานกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องใช้แสงสว่าง เช่น จอภาพหรือไฟรถยนต์ เป็นต้น เนื่องจากแอลอีดีสามารถควบคุมพลังงานช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการใช้ได้ ราคาถูก หาซื้อได้ง่าย และความร้อนของหลอดขณะใช้งานต่ำ

ภาพที่ 2.4 แอลอีดี

2.2 เทคนิคการถ่ายภาพมัลติสเปกตรัม (multispectral imaging technique, MSI)

ภาพถ่ายมัลติสเปกตรัมเป็นการเก็บบันทึกข้อมูลภาพของสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นที่เฉพาะเจาะจงหลายความยาวคลื่น ด้วยวิธีการให้พลังงานในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการจะบันทึกข้อมูลกับวัตถุที่ต้องการถ่ายภาพหรือใช้ฟิลเตอร์ที่ยอมให้พลังงานช่วงที่ต้องการผ่านมากรองและใช้กล้องถ่ายภาพที่สามารถบันทึกข้อมูลช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ ได้ตั้งแต่รังสียูวี แสงที่มองเห็นได้ไปจนถึงช่วงความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรดมาบันทึกข้อมูลในช่วงความยาวคลื่นนั้น ๆ โดยการถ่ายภาพมัลติสเปกตรัมสามารถบันทึกข้อมูลในส่วนที่ตามนุษย์ไม่สามารถมองเห็นได้ เทคนิคนี้ทำให้เห็นถึงรายละเอียดของภาพเพิ่มมากขึ้นและถูกนำมาใช้ประโยชน์สำหรับวิเคราะห์ในงานวิจัยหลายด้าน เช่น การสำรวจพืชพรรณโดยภาพถ่ายหรือการนำเทคนิคการถ่ายภาพมัลติสเปกตรัมมาถ่ายภาพเอกสารและภาพวาดที่สำคัญทางประวัติศาสตร์เพื่อการเก็บรักษาและการอนุรักษ์ เป็นต้น [1] ซึ่งในการถ่ายภาพในงานศิลปะมีเทคนิคที่ได้นำหลักการการถ่ายภาพแบบมัลติสเปกตรัมมาปรับใช้จนเกิดเป็นเทคนิคใหม่ที่เรียกว่า การถ่ายภาพเชิงเทคนิค หรือ Technical Photography

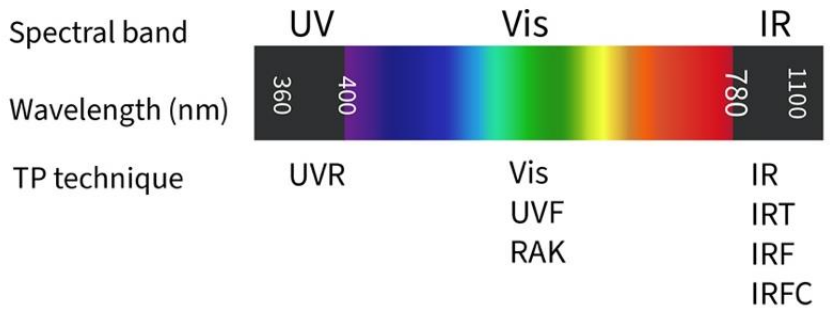
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.5 ภาพถ่ายมัลติสเปกตรัม

2.3 การถ่ายภาพเชิงเทคนิค (Technical Photography)

การถ่ายภาพเชิงเทคนิคเป็นการถ่ายภาพมัลติสเปกตรัมประเภทหนึ่งที่นักอนุรักษ์นิยมใช้สำหรับการระบุชนิดสารสี สารยึด หรือการซ่อมแซมงานศิลปะ ซึ่งการถ่ายภาพเชิงเทคนิคเป็นการใช้อุปกรณ์หลายชนิดประกอบกันเพื่อบันทึกภาพสำหรับแต่ละเทคนิคย่อยในการถ่ายภาพเชิงเทคนิค ได้แก่ กล้องที่ถูกดัดแปลงให้สามารถบันทึกข้อมูลแบบเต็มสเปกตรัม แหล่งแสงที่มีพลังงานครอบคลุมในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ และฟิลเตอรที่ให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงความยาวคลื่นของรังสียูวี ช่วงความยาวคลื่นของแสงที่มองเห็นได้ และช่วงความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรดผ่าน โดยภาพถ่ายในแต่ละเทคนิคย่อยจะมีการสะท้อนพลังงานในช่วงความยาวคลื่นที่ต่างกันเข้าสู่กล้องถ่ายภาพที่ใช้ร่วมกับฟิลเตอร์ชนิดต่าง ๆ ดังภาพที่ 2.6 เพื่อดูลักษณะของสารสีแต่ละตัวที่ปรากฏต่างกันในแต่ละเทคนิคย่อย ซึ่งภาพถ่ายในทุกเทคนิคย่อยจะถูกปรับสมดุลสีขาวด้วยแผ่นเทียบมาตรฐานก่อนการวิเคราะห์และระบุสาสี โดยเทคนิคย่อยของการถ่ายภาพเชิงเทคนิคมีทั้งหมด 8 เทคนิคได้แก่



ภาพที่ 2.6 พลังงานช่วงความยาวคลื่นที่กล้องบันทึกได้สำหรับการถ่ายภาพเชิงเทคนิคแต่ละเทคนิค

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3.1 การถ่ายภาพแสงที่มองเห็นได้ (visible photography, VIS)

การถ่ายภาพแสงที่มองเห็นได้หรือการถ่ายภาพสีปกติเป็นการใช้กล้องถ่ายภาพทั่วไปที่มีเซนเซอร์การตอบสนองต่อความยาวคลื่นในช่วงของแสงที่มองเห็นได้โดยเก็บข้อมูลภาพไว้เป็นค่าสี 3 ค่าจากช่องสัญญาณแดง เขียว และน้ำเงิน หรือในเทคนิคนี้จะใช้กล้องถ่ายภาพที่สามารถบันทึกภาพได้แบบเต็มสเปกตรัมร่วมกับฟิลเตอร์ที่ยอมให้แสงที่มองเห็นได้ผ่าน (Vis) มาบันทึกภาพโดยให้พลังงานช่วงที่ครอบคลุมช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวกับวัตถุหรือภาพวาดที่ต้องการถ่ายภาพ

2.3.2 การถ่ายภาพการวาวแสงรังสียูวี (ultraviolet fluorescence photography, UVF)

เทคนิคนี้เป็นการถ่ายภาพที่ใช้กล้องถ่ายภาพที่สามารถบันทึกภาพได้แบบเต็มสเปกตรัมร่วมกับฟิลเตอร์ที่ยอมให้แสงที่มองเห็นได้ผ่าน (Vis) มาบันทึกภาพโดยให้พลังงานในช่วงความยาวคลื่นของรังสียูวีแก่วัตถุหรือภาพที่ต้องการถ่ายภาพ โดยเทคนิคใช้สำหรับการวิเคราะห์สารสี

หรือสารยึดที่มีความสามารถดูดกลืนรังสียูวีและวาวแสงในช่วงของแสงที่สามารถมองเห็นได้ เช่น การวิเคราะห์และประเมินสารสีหรือสารเคลือบบนงานศิลปะก่อนการอนุรักษ์ซ่อมแซม เป็นต้น

2.3.3 การถ่ายภาพการสะท้อนรังสียูวี (ultraviolet reflected photography, UVR)

การถ่ายภาพการสะท้อนรังสียูวีเป็นการให้พลังงานในช่วงความยาวคลื่นของรังสียูวีแก่วัตถุหรือสารสีเพื่อดูการสะท้อนรังสียูวีเมื่อถูกกระตุ้นด้วยรังสียูวี โดยบันทึกภาพด้วยกล้องแบบเต็มสเปกตรัมที่ใช้ร่วมกับฟิลเตอร์ที่ยอมให้รังสียูวีผ่าน (UV) ในเทคนิคนี้ก็สามารถนำมาใช้วิเคราะห์และระบุสารสีบนงานศิลปะที่มีสมบัติการสะท้อนรังสียูวีได้เช่นกัน

2.3.4 การถ่ายภาพการวาวแสงรังสีอินฟราเรด (infrared fluorescence photography, IRF)

เทคนิคนี้เป็นการถ่ายภาพที่ใช้กล้องถ่ายภาพที่สามารถบันทึกภาพได้แบบเต็มสเปกตรัมร่วมกับฟิลเตอร์ที่ยอมให้รังสีอินฟราเรด (IR) มาบันทึกภาพ โดยหรือให้แสงที่มองเห็นได้แก่วัตถุหรือภาพที่ต้องการถ่ายภาพเพื่อกระตุ้นสารสีที่มีสมบัติการวาวแสงในช่วงของรังสีอินฟราเรดให้เกิดการวาวแสง

2.3.5 การถ่ายภาพการสะท้อนรังสีอินฟราเรด (infrared reflected photography, IR)

การถ่ายภาพการสะท้อนรังสีอินฟราเรดเป็นการให้พลังงานในช่วงความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรด เช่น หลอดไฟฮาโลเจนแก่วัตถุหรือสารสีเพื่อดูการสะท้อนรังสีอินฟราเรดเมื่อถูกกระตุ้นด้วยรังสีอินฟราเรด และบันทึกภาพด้วยกล้องแบบเต็มสเปกตรัมที่ใช้ร่วมกับฟิลเตอร์ที่ยอมให้รังสีอินฟราเรดผ่าน (IR)

2.3.6 ภาพจากการผสมอินฟราเรดสีเทียม (infrared false colour, IRFC)

ภาพจากการผสมอินฟราเรดสีเทียมเกิดจากการนำข้อมูลของภาพการสะท้อนรังสีอินฟราเรดในช่องสัญญาณของสีแดงมาแทนที่ข้อมูลในช่องสัญญาณแดงของภาพสีปกติ จากนั้นนำข้อมูลในช่องสัญญาณแดงของภาพสีปกติมาแทนที่ข้อมูลช่องสัญญาณสีเขียวของภาพสีปกติ และนำข้อมูลช่องสัญญาณสีเขียวของภาพสีปกติแทนที่ข้อมูลช่องสัญญาณสีน้ำเงินของภาพสีปกติ โดยในเทคนิคนี้สามารถใช้วิเคราะห์บริเวณที่มีความแตกต่างกันมากระหว่างภาพสีปกติและภาพการสะท้อนรังสีอินฟราเรด

2.3.7 การถ่ายภาพการส่องผ่านรังสีอินฟราเรด (infrared transmittance photography, IRT)

การถ่ายภาพการส่องผ่านรังสีอินฟราเรดเป็นเทคนิคที่ใช้แหล่งแสงที่มีพลังงานช่วงความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรดมาฉายทางด้านหลังวัสดุฐานของภาพวาด ซึ่งวัสดุฐานที่ใช้กับเทคนิคนี้จะใช้ผ้าใบหรือวัสดุฐานที่มีความโปร่งแสง เช่น กระดาษเพื่อป้องกันการกระเจิงแสงของตัววัสดุฐาน

จากนั้นใช้กล้องที่สามารถเก็บข้อมูลแบบเต็มสเปกตรัมที่ใช้ร่วมกับฟิลเตอร์ที่ยอมให้รังสีอินฟราเรดผ่านมาบันทึกภาพด้านหน้าของภาพวาดหรือฝั่งตรงข้ามแหล่งแสง โดยสารสีบางชนิดมีความโปร่งแสงทำให้รังสีอินฟราเรดที่สามารถทะลุผ่านได้ทำให้สามารถมองเห็นสิ่งที่อยู่ใต้ชั้นสีได้ นักวิเคราะห์จึงนิยมนำเทคนิคนี้มาใช้ดูรอยร่างดินสอของจิตรกรที่วาดภาพได้ [2]

2.3.8 การถ่ายภาพด้วยแสงเฉียง (raking light photography, RAK)

การถ่ายภาพด้วยแสงเฉียงใช้หลักการเหมือนการถ่ายภาพแสงที่มองเห็นได้หรือการถ่ายภาพสีปกติ แต่ให้แหล่งแสงจากด้านข้างของวัตถุหรือภาพวาด โดยเทคนิคนี้ทำให้สามารถมองเห็นลักษณะของพื้นผิวของวัสดุฐาน เพื่อใช้วิเคราะห์ร่องรอยการเสื่อมสภาพหรือความไม่สม่ำเสมอกันของชั้นสี [3]

2.3 สีและการมองเห็นสี

ในการมองสีของวัตถุต่าง ๆ ได้นั้นจะต้องขึ้นกับปัจจัยหลักสามอย่างคือ

2.3.1 แสง

แสงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการมองเห็นสีเนื่องจากแสงเป็นพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานในช่วงความยาวคลื่นที่สามารถมองเห็นได้

2.3.2 วัตถุ

วัตถุเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการมองเห็นสี โดยเมื่อแสงตกกระทบวัตถุที่มีสีทำให้แสงเกิดปฏิสัมพันธ์กับวัตถุนั้นในรูปแบบต่าง ๆ [4] จึงทำให้มนุษย์สามารถเห็นวัตถุนั้นเป็นสีต่าง ๆ ได้ เช่น

2.3.2.1 การสะท้อนแสง

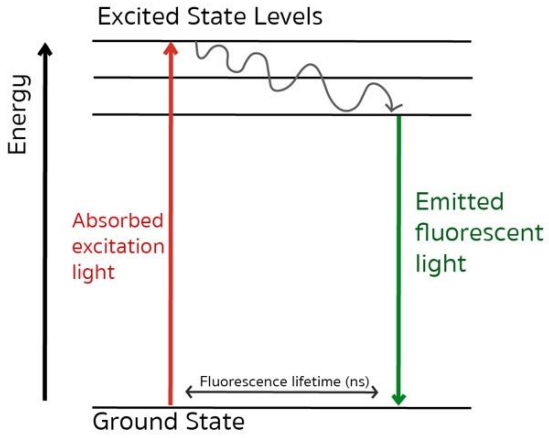
การสะท้องแสงของวัตถุเกิดจากแสงหรือโฟตอนที่ความถี่ต่าง ๆ เคลื่อนที่มาตกกระทบลงที่พื้นผิวของวัตถุจากนั้นพลังงานจะถูกสะท้อนออกมาโดยปล่อยแสงหรือโฟตอนที่มีพลังงานในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับสมบัติและลักษณะของพื้นผิวของวัตถุนั้น

2.3.2.2 การดูดกลืนแสง

การดูดกลืนแสงเกิดขึ้นเมื่อแสงหรือโฟตอนที่เป็นอนุภาคของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงความยาวคลื่นหนึ่งที่แหล่งแสงเปล่งออกมาตกกระทบและถ่ายเทพลังงานให้กับโมเลกุลของวัตถุนั้น ซึ่งอิเล็กตรอนจะสั่นที่ความถี่เดียวกัน จากนั้นอิเล็กตรอนโมเลกุลของวัตถุนั้นและแสงหรือโฟตอนจะเกิดการสั่นพ้องอยู่ภายในจึงทำให้แสงหรือโฟตอนไม่เดินทางออกมาจากตัวโมเลกุลของวัตถุนั้นจึงทำให้วัตถุนั้นเกิดการดูดกลืนพลังงานที่ได้รับไว้

2.3.2.3 การเรืองแสง

การเรืองแสงของวัตถุมีหลายรูปแบบโดยในงานวิจัยนี้จะเน้นไปยังการเรืองแสงที่เกิดจากการถูกกระตุ้นด้วยแสงหรือโฟตอนหรือที่เรียกว่า Photoluminescence ในรูปแบบของฟลูออเรสเซนซ์หรือเรียกว่า การวาวแสง [5]



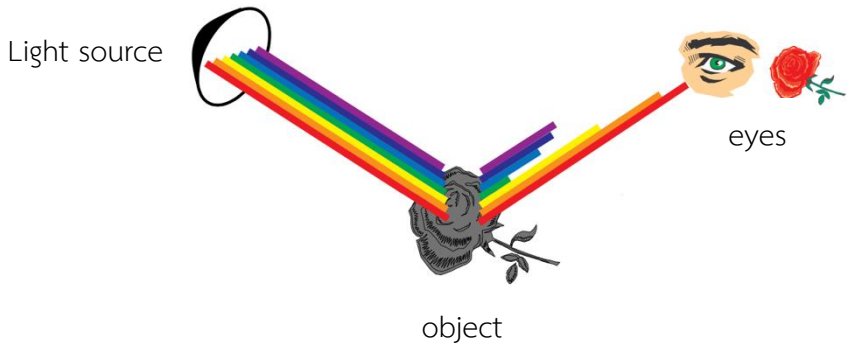
ภาพที่ 2.7 หลักการเกิดฟลูออเรสเซนต์หรือการวาวแสง

โดยมีหลักการคืออะตอมของวัตถุจะถูกกระตุ้นด้วยโฟตอน เมื่อมีการดูดกลืนโฟตอนที่สถานะพื้น (Ground state) อิเล็กตรอนของวัตถุจะถูกกระตุ้นให้ขึ้นไปอยู่ที่สถานะกระตุ้น (Excited State) จากนั้นอิเล็กตรอนที่สถานะกระตุ้นจะคายพลังงานออกมาในรูปแบบของแสงในความยาวคลื่นช่วงที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ เพื่อกลับลงสู่สถานะพื้น [6]

2.3.3 ระบบการมองเห็นของมนุษย์

ดวงตาของมนุษย์เป็นองค์ประกอบที่สำคัญสำหรับการมองเห็นสี โดยเมื่อแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ของวัตถุเกิดการสะท้อนหรือเรืองแสงเข้าสู่ดวงตา มนุษย์จะรับรู้สีได้จากในดวงตาของมนุษย์มีเซลล์รูปกรวยที่สามารถตอบสนองต่อแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ได้และมีการส่งสัญญาณไปยังสมองเพื่อประมวลผลในการมองเห็นแสงและสี ทำให้เรารับรู้สีของวัตถุนั้นว่าเป็นสีอะไร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 2.8 การมองเห็นสีของมนุษย์ [6]

2.4 ระบบสี CIE L*a*b

ระบบสี CIE L*a*b หรือ CIELAB ถูกคิดค้นขึ้นในปี ค.ศ. 1976 โดย CIE (Commission International Del'Eclairage) โดยระบบสี CIELAB เป็นปริภูมิสีที่มีสเกลสม่ำเสมอ (Uniform scale color space) และค่าสีที่ได้สอดคล้องกับที่ตามนุษย์มองเห็นมากขึ้น และถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย สำหรับการวัดค่าสีโดยค่าสีที่ได้เกิดจากการคำนวณค่าในช่วงความยาวคลื่นที่ตาของมนุษย์สามารถรับรู้ได้ [6] ซึ่งมีทั้งหมด 3 องค์ประกอบคือ

1) ค่าการกระจายพลังงานของแหล่งกำเนิดแสง (Spectral power distribution)

2) ค่าการสะท้อนแสงของวัตถุภายใต้แหล่งกำเนิดแสง (Spectral reflectance)

3) ฟังก์ชันความไวแสงของเซลล์รูปกรวยในตาของมนุษย์ (Color-matching functions)

ได้เป็นค่าไตรสติมูลัส XYZ (Tristimulus value) และนำไปแปลงค่าสีในระบบสี CIELAB ดังสมการที่ 2.1-2.3

$$L^* = 116 \times (X/Xn)^{1/3} - 16 \qquad \text{(สมการที่ 2.1)}$$

$$a^* = 500 \times [(X/Xn)^{1/3} - (Y/Yn)^{1/3}] \qquad \text{(สมการที่ 2.2)}$$

$$b^* = 200 \times [(Y/Yn)^{1/3} - (Z/Zn)^{1/3}] \qquad \text{(สมการที่ 2.3)}$$

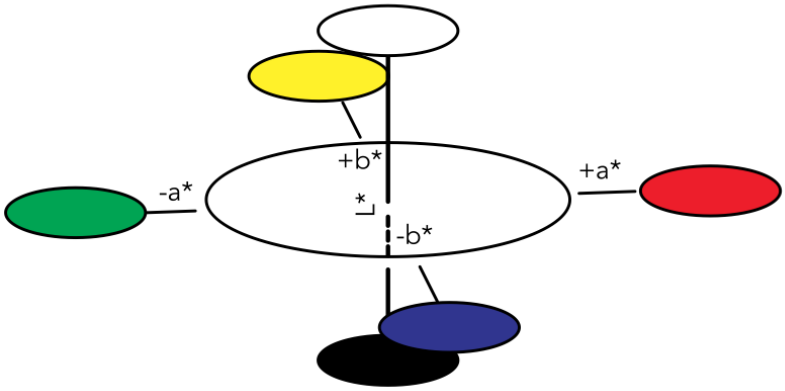
โดย L* คือ ค่าความสว่าง

a* คือ ค่าความเป็นสีแดง/เขียว

b* คือ ค่าความเป็นสีน้ำเงิน/เหลือง

ดังแสดงในภาพที่ 2.9

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



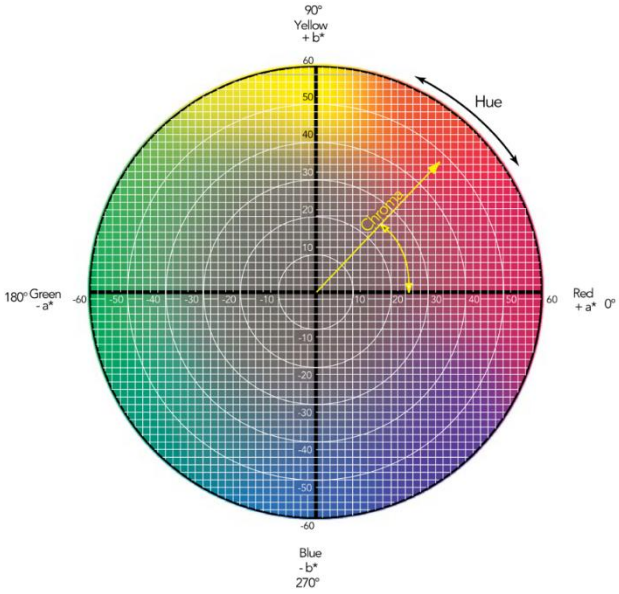
ภาพที่ 2.9 ระบบสี CIE L*a*b

2.5 ระบบสี CIEL*c*h

ระบบสี CIE L*C*h เกิดจากคำนวณมาจากค่าของระบบสี CIEL*a*b* ดังสมการที่ 2.4 และ 2.5โดยค่า L* (lightness) คือความสว่างมีค่าอยู่ระหว่าง 0-100 ค่า c* (chroma) คือค่าความอิ่มตัวสี และค่า h (hue) มุมของสีสันและทำมุมกับแกน +a โดย 0 องศาคือสีแดงหรือ 90 องศาคือสีเหลือง [6]

$$c^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \qquad \text{(สมการที่ 2.4)}$$

$$h = \arctan \frac{b^*}{a^*} \qquad \text{(สมการที่ 2.5)}$$



ภาพที่ 2.10 ระบบสี CIE L*c*h *[7]*

2.6 สารสี

สารสีเป็นอนุภาคที่เป็นของแข็งไม่มีสี มีสีหรือเรืองแสง และไม่ละลายในตัวกลางโดยสารสีจะกระจายตัวอยู่ในตัวกลางซึ่งไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของสารสี เพื่อนำไปใช้สำหรับปกปิดผิววัสดุ เช่น ผสมสารสีกับสารยึดในงานศิลปะ สารสีในการผลิตหมึกพิมพ์ สารสีในการผลิตพลาสติกหรือวัสดุโพลีเมอร์ต่าง ๆ โดยสารสีแต่ละตัวจะมีลักษณะการดูดกลืนแสงและ/หรือการกระเจิงแสงที่ช่วงความยาวคลื่นเฉพาะเจาะจง ซึ่งสามารถจำแนกได้จากแหล่งกำเนิด สมบัติทางแสงและองค์ประกอบทางเคมีของสารสีนั้น การจำแนกประเภทของสารสีจากองค์ประกอบทางเคมีเป็นวิธีที่สะดวกโดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ สารสีอนินทรีย์และสารสีอินทรีย์ [8] โดยสารสีทั้ง 2 กลุ่มนี้สามารถแบ่งประเภทได้อีกจากสีที่ปรากฏเห็นได้ 8 กลุ่มได้แก่ กลุ่มสีม่วง กลุ่มสีน้ำเงิน กลุ่มสีเขียว กลุ่มสีเหลือง กลุ่มสีส้ม กลุ่มสีแดง กลุ่มสีน้ำตาล และ กลุ่มของสารสีขาวและดำ

2.6.1 สารสีอนินทรีย์ (Inorganic Pigments)

สารสีอนินทรีย์เป็นสารสีที่ไม่มีองค์ประกอบของสายโซ่และวงแหวนของคาร์บอนแต่ประกอบด้วยแร่ธาตุ ซึ่งมักจะเป็นโลหะหรือเกลือของโลหะ โดยองค์ประกอบของสารสีอนินทรีย์มักจะมีลักษณะที่ทึบแสงและกระจายตัวในของเหลวได้ยากกว่าสารสีอินทรีย์ สารสีอนินทรีย์ถูกนำมาใช้เป็นอย่างมากในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับสีเนื่องจากมีความคงทนต่อแสงและราคาถูก แต่ก็มีข้อจำกัดในเรื่องของความสว่างน้อย โทนสีที่ไม่สด และสารสีบางตัวอาจจะเป็นพิษได้ เช่น สารสีที่มีองค์ประกอบของตะกั่ว

สารสีอนินทรีย์สามารถแบ่งออกได้ 4 ชนิดคือ

1) ชนิดที่เป็นสารสีจากธรรมชาติหรือที่เรียกกว่า earth pigments เกิดจากการนำหินหรือดินต่าง ๆ มาบดได้แก่กลุ่มสารสี green earth สารสีดินเหลือง (ochres) สารสีดินเผาสีน้ำตาล (sienna) สารสีดินสีน้ำตาลไหม้ (umbers) เป็นต้น

2) สารสีจากแร่ธาตุหรือที่เรียกว่า mineral pigments

3) สารสีอนินทรีสังเคราะห์ ซึ่งเป็นสารสีตะกอนที่เกิดจากการตกตะกอนจากปฏิกิริยาเคมีของสารเคมี 2 ชนิด เช่น กลุ่มสารสีไททาเนียมไดออกไซด์ (titanium dioxide) อัลตรามารีน (ultramarine) และ ซิงก์ออกไซด์ (zinc oxide) เป็นต้น

4) สารสีโลหะ (metallic pigments) คือสารสีที่เกิดจากโลหะที่ถูกบดให้ละเอียด

2.6.2 สารสีอินทรีย์ (Organic Pigments)

สารสีอินทรีย์เป็นสารสีที่มีองค์ประกอบเป็นสายโซ่และวงแหวนของคาร์บอน บางตัวมีองค์ประกอบที่เป็นอนินทรีย์เพื่อความเสถียรของสารสี ซึ่งการกำหนดสว่าเป็นสารสีอินทรีย์คือมีสายโซ่คาร์บอนที่แข็งแรงเป็นหลักจึงทำให้สารสีอินทรีย์มีความเสถียรสูง สารสีอินทรีย์ส่วนใหญ่ได้มาจากสัตว์ พืช หรือการสังเคราะห์ทางเคมีอินทรีย์ โดยดั้งเดิมสารสีอินทรีย์ทำมาจากพืชและสัตว์ป่า แต่สาร

สีอินทรีย์ในปัจจุบันถูกทำขึ้นมาจากการสังเคราะห์ทางเคมีอินทรีย์ซึ่งได้มาจากอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (aromatic hydrocarbon) รวมถึงน้ำมัน ถ่านหิน และปิโตรเคมีอื่น ๆ สารสีอินทรีย์ส่วนใหญ่มีลักษณะโปร่งใสแม้จะมีโทนสีที่สดและสว่างก็ตาม และนิยมนำสารสีอินทรีย์มาใช้ในงานศิลปะ เนื่องจากมีราคาสูงในการผลิตและสารอินทรีย์ส่วนใหญ่มีความคงทนต่อแสงต่ำ [7]

สารสีอินทรีย์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดคือ

1) pigment dyestuffs เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่มีหมู่ฟังก์ชันแนลที่สามารถเกิดเกลือได้ เช่น สารประกอบกลุ่มอะโซ (Azo) ที่มีสี

2) Toner pigments หรือ toners เป็นสารสีที่เกิดการตกตะกอนด้วยเกลือโลหะหรือกรดจากสีย้อมที่เป็นสารละลายกรดหรือด่าง ส่วนที่เป็นเกลือของโลหะได้แก่ เกลือของตะกั่วและเกลือของแคลเซียม เป็นต้น และส่วนที่เป็นกรดได้แก่ กรดฟอสฟอโมลิบดิก (phosphomolybdic acid) และกรด กรดแทนนิก (tannic acid) เป็นต้น

3) Lake pigments หรือ lakes เป็นสารสีอนินทรีย์ที่เกิดการตกตะกอนลงบนตัววัสดุฐานจากสารละลายสีย้อมและเมื่อเกิดการเกาะบนตัววัสดุฐานแล้วทำให้ไม่สามารถละลายน้ำได้ ส่วนใหญ่นิยมใช้เป็นอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (AlO_2) เป็นต้น

2.6.3 สารสีสีขาว (White Pigment)

สารสีสีขาวเป็นสารสีกลุ่มอนินทรีย์ที่มีสมบัติทางแสงคือมีการสะท้อนและกระเจิงแสงสูง โดยนิยมนำสารสีสีขาวมาใช้ปกปิดพื้นผิววัสดุฐานที่ต้องการความทึบแสง หรือนำสารสีสีขาวมาผสมกับสารสีอื่นเพื่อให้สีมีความสดน้อยลง สารสีสีขาวมีหลายชนิดซึ่งที่นิยมใช้ได้แก่ ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ซิงก์ออกไซ (ZnO) ซิงก์ซัลไฟด์ (ZnS) ลิโทโพน ($ZnS + BaSo_4$) สีขาวตะกั่ว (white lead)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.6.4 สารสีสีดำ

สารสีสีดำเป็นสารสีประเภทอนินทรีย์ส่วนใหญ่ได้จากการเผาไหม้ ได้แก่ การเผาแก๊สธรรมชาติของสารสีกลุ่มคาร์บอนแบล็ก (carbon Black) การเผาน้ำมันของสารสีแลมพ์แบล็ก (lampblack) โดยน้ำมันที่ใช้กันได้แก่ น้ำมันเชื้อเพลิงปิโตรเลียมและน้ำมันที่เป็นผลพลอยได้จากการกลั่นถ่านหิน ซึ่งสารสีได้มาจากการเก็บเขม่าสีดำที่เกิดขึ้นในการเผาไหม้และสุดท้ายสารสีสีดำที่ได้มาจากการทำคาร์บอไนเซชัน (carbonization) จากกระดูกได้เป็นสารสีสีดำที่เรียกว่า โบนแบล็ก (boneblack)

2.6.5 สารสีสีน้ำเงิน

สารสีสีน้ำเงินเกิดได้จากแร่ธาตุในธรรมชาติ และจากการสังเคราะห์ได้แก่

1) ไอร์ออนบลู (Iron Blue)

เป็นสารสีที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างไอร์ออน (II) ซัลเฟต ($FeSO_4$) กับโซเดียมเฟอโรไซยาไนด์ ($Na_4Fe(CN)_6$) เป็นสารประกอบ ferri-ferrocyanide ไอร์ออนบลูมีสีน้ำเงินอ่อนไปจนถึงน้ำเงินเข้มจากการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยา มีชื่อทางการค้าหลายชื่อได้แก่ สารสี Prussian Blue สารสี Chinese Blue และสารสี Berlin Blue เป็นต้น

2) อัลตรามารีน (Ultramarine)

เป็นสารสีสีน้ำเงินโปร่งแสงเกิดมาจากแร่ที่ชื่อว่าลาพิส ลาซูลี (lapis laZuli) มีสูตรทางเคมีคือ $Na_7Al_6Si_6O_{24}S_3$ หรือได้มาจากการบดกำมะถัน ไซนาเคลย์ โซเดียมซัลเฟต และตัวรีดิวซ์เข้าด้วยกันและเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส จะได้สารสีที่มีสีเขียวจากนั้นนำมาผสมกำมะถันแล้วเผาต่อจะได้สารสีที่มีสีต่างกันตั้งแต่สีเขียว น้ำเงินหรือสีแดง สารสีอัลตรามารีนที่มีกำมะถันในโครงสร้างอาจมีสีน้ำเงินหรือสีเขียว หากแทนที่กำมะถันด้วยซีลีเนียม (Selenium) ในโครงสร้างจะได้สารสีสีแดงเรียกว่า blood red ultramarine แต่ถ้าหากแทนที่กำมะถันด้วยเทลลูเรียม (Tellurium) ซึ่งอัลตรามารีนราคาถูกและมีสมบัติทนแสงและด่างได้ดีแต่ไม่ทนกรด

3) โคบอลต์บลู (Cobalt Blue)

เป็นสารสีที่มีองค์ประกอบของโคบอลท์บลูอะลูมิเนต ($CoO.Al_2O_3$) เกิดจากการสังเคราะห์ได้จากหลายวิธี สารสีโคบอลต์บลูมีดัชนีหักเหต่ำจึงมีลักษณะโปร่งแสงและมีสมบัติในการทนต่อความร้อนและแสงได้ดี

2.6.6 สารสีสีเขียว

สารสีสีเขียวเกิดได้จากการผสมกันของสารสีสองสีหรือเกิดได้จากการสังเคราะห์ได้แก่

1) โครเมียม (III) ออกไซด์ (Chrome oxide)

สารสีโครเมียม (III) ออกไซด์เป็นสารสีที่จัดอยู่ในกลุ่มสารสีอนินทรีย์ เกิดจากการสังเคราะห์จากแร่ธาตุเอสโคไลต์ (Eskolaite) สูตรทางเคมีคือ Cr_2O_3 มีผลึกคล้ายสีเขียวนิยมนำสารสีโครเมียม (III) ออกไซด์มาใช้อย่างแพร่หลายเนื่องจากมีสมบัติไม่ละลายในน้ำ กรด และด่าง ทนแสงและความร้อนสูงและให้ความทึบแสงกับวัสดุฐานได้ดี [9]

2) โครมกรีน (Chrome Green)

เป็นสารสีที่เกิดจากการผสมระหว่างโครมเยลโลว์และไอร์ออนบลู มีความทับแสงสูงทนต่อแสงได้ดีและจะเปลี่ยนสีเป็นอมสีน้ำเงินมากขึ้นได้จากกรดอ่อน ๆ และหากเป็นด่างจะทำให้ไอร์ออนบลูเปลี่ยนเป็นเหล็กออกไซด์ซึ่งทำให้เปลี่ยนสีจากสีน้ำเงินเป็นสีน้ำตาล

2.6.7 สารสีสีเหลืองและสีส้ม

สารสีสีเหลืองและสีส้มมีหลายประเภทโดยเกิดได้จากธรรมชาติหรือเกิดจากการสังเคราะห์จากปฏิกิริยาเคมี เช่น

1) เหล็กออกไซด์เหลือง (Iron Oxide Yellow)

เป็นแร่ธาตุที่เกิดจากธรรมชาติหรือสามารถสังเคราะห์ได้มีสีเหลือง โดยเหล็กออกไซด์เหลืองจากธรรมชาติได้จาก แร่ลิโมไนต์ (limonite) ที่มีองค์ประกอบของ โกไทป์ (goethite) และ เหล็กออกไซด์ไฮดรอกไซด์ (iron oxide hydroxide) ในปริมาณมาก [10] ส่วนเหล็กออกไซด์เหลืองจากการสังเคราะห์คือตะกอนของเหล็ก (II) ซัลเฟต ($FeSO_4 . 7H_2O$) ในน้ำคือ α-FeO (OH) ที่มีสีเหลือง สีเหลืองปนส้ม และสีส้ม ซึ่งในสมัยก่อนมีการนำมาใช้กับสิ่งทอ และสารสีที่รู้จักกันดีคือสารสีกลุ่ม Yellow Ochre หรือที่รู้จักกันในชื่อสารสีจากดินเหลือง

2) โครมเยนโลว์ (Chrome Yellow)

เป็นแร่ธาตุที่เกิดจากธรรมชาติมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นตะกั่วโครเมต ($PbCrO_4$) หรือ ตะกั่วโครเมตซัลเฟต ($PbCrO_4.xPbSO_4$) มีสีเหลืองอ่อนไปจนถึงสีเขียวใบไม้ สารสีโครมเยนโลว์สามารถทนแสงสูงมีดัชนีหักเหสูงจึงมีความทึบแสงสูง และเนื่องจากสารสีมีองค์ประกอบเป็นตะกั่วสารสีนี้จึงต้องมีการคำนึงการใช้งานสารสีนี้เนื่องจากอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายได้

3) แคดเมียมเยลโลว์ และแคดเมียมออเรนจ์ (Cadmium Yellow and Cadmium Orange)

เป็นสารสีที่มีองค์ประกอบของแคดเมียมซัลไฟด์ (Cadmium sulfide, CdS) เป็นส่วนมากส่วนแคดเมียมออเรนจ์ประกอบด้วย แคดเมียมซัลไฟด์ (Cadmium sulfide, CdS) กับแคดเมียมเซเลไนน์ (Cadmium selenide, โดยมีอัตราส่วนของแคดเมียมเซเลไนน์น้อยกว่าสารสีแคดเมียมเรด [11]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.6.8 สารสีสีแดง

สารสีสีแดงเกิดได้จากหลายวิธีไม่ว่าจะเป็นจากธรรมชาติจากแร่ธาตุ เกิดจากการเผาโลหะได้แก่

1) เหล็กออกไซด์แดง (Red Iron Oxide)

เหล็กออกไซด์แดงเป็นสารสีที่ได้จากแร่ฮีมาไตท์ (haematite) ที่มีองค์ประกอบทางเคมีคือ α-Fe_2O_3 โดยมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันออกไปตามแหล่งที่พบหรือตามขนาดของเม็ดสี เช่น สารสีเหล็กออกไซด์แดงที่พบที่อ่าวเปอร์เซียมีสีแดงที่สดและเข้มมากจะเรียกว่า สารสี Persian red oxide หรือสารสีเหล็กออกไซด์แดงหากนำไปบดให้มีขนาดเล็กหรือให้ความร้อน รู้จักกันในชื่อกลุ่มสารสีดินสีแดง Red Ochre ซึ่งสารสีเหล็กออกไซด์แดงสามารถสังเคราะห์ได้จากการเผาผลึกของไอร์ออน (II) ซัลเฟต ($FeSO_4.7H_2O$) ที่อุณหภูมิสูงได้อีกด้วย

2) เวเนเทียนเรด (Vanatian Red)

เป็นสารสีสีแดงในกลุ่มของดินที่มีสี (ochre) ที่มีองค์ประกอบของไอร์ออน (III) ออกไซด์ Fe_2O_3 และแคลเซียมซัลเฟต $CaSO_4$ ซึ่งเป็นสารสีที่มีส่วนประกอบของเหล็กออกไซด์เช่นเดียวกัน โดยสารสีเวเวเทียนนิยมนำมาใช้ตั้งแต่ก่อนยุคประวัติศาสตร์ในการวาดภาพของศิลปิน เพราะมีสีที่สดและเข้ากันได้ดีกับสารยึดต่าง ๆ [12]

3) ตะกั่วแดง (Red Lead)

เป็นสารสีสีแดงอมส้มมี $2PbO.PbO_2$ เป็นองค์ประกอบสารสีตะกั่วแดงได้มาจากการเผาของตะกั่วในอากาศที่อุณหภูมิ 400-500 องศาเซลเซียส

4) แคดเมียมเรด (Cadmium Red)

เป็นสารสีที่มีองค์ประกอบของแคดเมียมซัลไฟด์ (Cadmium sulfide, CdS) กับแคดเมียมเซเลไนน์ (Cadmium selenide,CdSe)

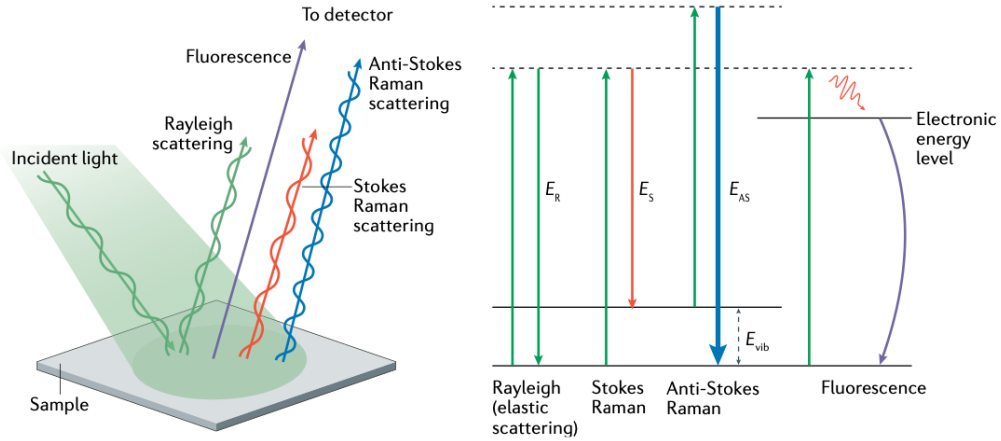
2.6.9 สารสีสีน้ำตาล

สารสีสีน้ำตาลเป็นสารสีที่เกิดจากการเผาแร่ลิโมไนต์ มีสีน้ำตาลที่ไม่สด มีเหล็กออกไซด์เป็นองค์ประกอบ โดยโครงสร้างของสารสีสีน้ำตาลตามแหล่งที่ค้นพบจะมีปริมาณของเหล็กออกไซด์ที่แตกต่างกันออกไป [13]

2.7 รามานสเปกโทรสโกปี (Raman spectroscopy)

รามานสเปกโทรสโกปี (Raman spectroscopy) เป็นเทคนิคที่นิยมนำมาใช้สำหรับวิเคราะห์ลักษณะของสารให้สีและวัสดุฐานของงานศิลปะ เช่น จิตรกรรมฝาผนัง ภาพวาด และวัสดุตกแต่ง จำพวก กระจก ไม้ เซรามิก และโลหะ หรือนำมาใช้สำหรับการวิเคราะห์อัตลักษณ์ของตัวบุคคล เช่น ลายเซ็น เป็นต้น การวิเคราะห์ด้วยรามานสเปกโทรสโกปีใช้หลักการวัดการกระเจิงแสงของสารหรือวัตถุที่ต้องการวิเคราะห์ โดยเกิดจากการยิงพลังงานแสงหรือเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นสูงเข้าชนโมเลกุลของสารหรือวัตถุ โดยเลเซอร์ที่นิยมใช้สำหรับวัดสารอินทรียีและอินทรีย์หรือองค์ประกอบทางเคมีคือเลเซอร์ที่ความยาวคลื่น 532 และ 785 นาโนเมตร [14] โดยเลเซอร์ที่เข้าชนโมเลกุลในวัตถุถูกกระตุ้นแล้วเกิดการกระเจิงแสง โดยเกิดได้ 2 แบบคือ ในการเข้าชนโมเลกุลของพลังงานซึ่งพลังงานส่วนใหญ่หลังชนจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือความยาวคลื่นไม่เปลี่ยนแปลงและเป็นการชนแบบยืดหยุ่นทำให้เกิดการกระเจิงแสง การกระเจิงแสงรูปแบบนี้จึงเรียกว่า การกระเจิงแสงแบบเรย์ลี (Rayleigh scatter) และส่วนของพลังงานที่มีการเปลี่ยนแปลงหลังชนหรือเกิดการกระเจิงแสงที่ความยาวคลื่นอื่น ๆ การกระเจิงแสงรูปแบบนี้จะเกิดเป็นส่วนน้อยเพียง 1 ใน 10^7 ของแสงหรือพลังงานที่ตกกระทบวัตถุ ซึ่งเป็นการชนแบบไม่ยืดหยุ่น การกระเจิงแสงรูปแบบนี้จึงเรียกว่า การกระเจิงแสงแบบรามาน (Raman scatter) การกระเจิงแสงรูปแบบนี้อาจให้พลังงานมากขึ้นหรือน้อยลงได้ โดย

หากโมเลกุลของสารหรือวัตถุดูดกลืนพลังงานแล้วถูกกระตุ้นจากสถานะพื้น Ground States) ให้ขึ้นไปยังสถานะเสมือน (Virtual States) และคายพลังงานออกมาน้อยกว่าพลังงานที่ดูดกลืนไป จะเป็นการกระเจิงแสงแบบสโตคส์ (Stokes scattering) ส่วนหากโมเลกุลมีพลังงานสูงกว่าสถานะพื้นและมีการดูดกลืนพลังงานขึ้นไปยังสถานะเสมือน (Virtual States) และคายพลังงานออกมามากว่าพลังงานที่ดูดกลืนเข้าไปจะเป็นการกระเจิงแสงแบบแอนติสโตคส์ (Anti-Stokes scattering) ซึ่งสารหรือวัตถุต่าง ๆ เมื่อได้รับพลังงานดังกล่างจะเกิดการกระเจิงแสงที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 2.11 หลักการเกิดการกระเจิงแสงเทคนิครามานสเปกโทรสโกปี [15]

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Colantonio และคณะ [16] ทดสอบการใช้งานระบบภาพมัลติสเปกตรัมแบบใหม่ที่เรียกว่า “Hypercolorimetric multispectral imaging” กับภาพวาดสีน้ำมันบนโลหะทองแดงในศตวรรษที่ 17 เพื่อช่วยในการฟื้นฟูงานศิลปะ ซึ่งเป็นระบบที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับงาน มีความรวดเร็วและเป็นเทคนิคที่ใช้ในการหาสาเหตุการเปลี่ยนแปลงของงานศิลปะได้ถูกต้องแม่นยำ อีกทั้งยังสามารถวัดสเปกตรัมค่าการสะท้อนแสงซ้ำ ๆ ได้ในช่วงความยาวคลื่น 300 - 1000 นาโนเมตร โดยให้ภาพสีขาวดำที่มีช่วงความยาวคลื่นแคบ 7 ความยาวคลื่นและที่มีความละเอียดสูงถึง 36 ล้านพิกเซล ซึ่งภาพที่ได้มาสามารถแปลงเป็นการวัดรังสี (radiometric) และ การวัดค่าสี (colorimetric measurements) ที่ประกอบด้วยภาพสีขาวดำ 7 ภาพในแต่ละสเปกตรัมค่าการสะท้อนแสง และภาพสี 1 ภาพ โดยภาพทั้งหมดจะใช้การเทียบมาตรฐานสำหรับการประมวลผลเพิ่มเติมผ่านซอฟต์แวร์เฉพาะที่แสดงถึงฟังก์ชันต่าง ๆ ในงานวิจัยนี้เสนอฟังก์ชันที่ใช้ ได้แก่ การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA), การรวมกลุ่มของสเปกตรัม (spectral clustering), การจัดผังสเปกตรัม (spectral mapping), การเพิ่มความเปรียบต่างในหลายช่วงคลื่น (multiband contrast enhancement) และการตรวจหาขอบวัตถุ (edge detection) การรวมภาพถ่ายสเปกตรัมที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ หลังการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เทียบมาตรฐานแล้วทำให้สามารถสกัดองค์ประกอบที่เป็นข้อมูลเกี่ยวกับสภาพการอนุรักษ์ของภาพวาดสีน้ำมันบนโลหะทองแดงทั้ง 2 ภาพได้ และสามารถเห็นถึงรายละเอียดที่สำคัญเพิ่มเติมได้เมื่อเทียบกับข้อมูลที่ได้มาจากภาพถ่ายในแต่ละสเปกตรัม ในระหว่างขั้นตอนการทำความสะอาดของภาพวาด การวิเคราะห์ลักษณะการถ่ายภาพให้ผลการเปรียบเทียบและระบุพื้นที่ที่มีความแตกต่างบนพื้นผิวเพื่อให้ได้ลักษณะของภาพบริเวณที่เกิดการเสื่อมสภาพบนชั้นของภาพวาด ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ดีในการตัดสินใจเลือกใช้สำหรับนักอนุรักษ์

Cosentino [17] บอกถึงระบบการถ่ายภาพเชิงเทคนิคแบบมัลติสเปกตรัมสเปกตรัม (Technical Photography) ที่ใช้ต้นทุนต่ำสำหรับการระบุสารสีบนงานศิลปะ โดยเปรียบเทียบค่าการสะท้อนแสงในแต่ละความยาวคลื่นด้วยกล้องดิจิทัลที่ดัดแปลงเพื่อบันทึกภาพแบบเต็มสเปกตรัมโดยเอาแผ่นกรองแสงช่วงอินฟราเรดออกทำให้การช่วงความยาวคลื่นการตอบสนองของกล้องกว้างตั้งแต่ 360 - 1100 นาโนเมตรกับกล้องสำหรับถ่ายภาพมัลติสเปกตรัมทั่วไป (spectroCam) และมีชุดแผ่นกรองทั้งหมด 12 แผ่นซึ่งครอบคลุมความยาวคลื่นช่วง 400 - 805 นาโนเมตร โดยระบบจะใช้การสะท้อนแสงของสารสีและเก็บข้อมูลในรูปแบบไฟล์ดิบ (RAW files) ซึ่งทดลองจากสารสีทางประวัติศาสตร์จำนวน 54 สีและเทียบผลกับสเปกตรัมการสะท้อนแสงจากฐานข้อมูลการสะท้อนแสงในแต่ละความยาวคลื่นด้วยใยแก้วนำแสง (FORS) ซึ่งกล้องดิจิทัลที่นำมาดัดแปลงสามารถนำข้อมูลมาสร้างระบบการถ่ายภาพที่ให้ข้อมูลค่าการสะท้อนแสงเพื่อนำมาใช้สำหรับการระบุสารสีเบื้องต้นได้ และเมื่อเปรียบเทียบผลระหว่างสองกล้องพบว่ากล้องมัลติสเปกตรัมทั่วไป (spectroCam) มีการตอบสนองเป็นเส้นตรงมากกว่าในแต่ละความยาวคลื่นและให้ผลที่แม่นยำมากกว่ากล้องดิจิทัลที่นำมาดัดแปลง นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อการระบุสารสีเช่น ปริมาณ ความหนาระหว่างสารสีกับสารยึด หรือเครื่องมือที่ใช้ในการวัด เป็นต้น จึงควรมีการพัฒนาและศึกษาการระบุสารสีด้วยเทคนิคนี้ต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Cosentino [3] ได้เสนอวิธีการวิเคราะห์สารสีที่ผสมอยู่ในกัมอารบิกที่ใช้มากกับสีน้ำบนงานศิลปะในรูปแบบผังงาน 8 รูปแบบจากการใช้เทคนิคทางภาพถ่ายแบบมัลติสเปกตรัม (Technical Photography) ได้แก่ การถ่ายภาพภายใต้แสงขาว (Vis), การถ่ายภาพภายใต้แสงขาวและรังสียูวี (UVR), การถ่ายภาพภายใต้รังสียูวี (UVF), การถ่ายภาพภายใต้รังสีอินฟราเรด (IR), การถ่ายภาพภายใต้แสงขาวโดยใช้แสงจากแอลอีดี กรองด้วยแผ่นกรองแสงที่ยอมให้รังสีอินฟราเรดผ่านเข้าสู่เซนเซอร์เท่านั้น (IRF) และ ภาพการผสมสีเท็จอินฟราเรด (IRFC) โดยใช้การถ่ายภาพเชิงเทคนิคหรือการถ่ายภาพแบบมัลติสเปกตรัมที่มีช่วงความยาวคลื่น 360 - 1700 นาโนเมตร และใช้กล้องที่มีการดัดแปลงสำหรับภาพถ่ายรังสีอัลตราไวโอเลต แสงขาวและ รังสีอินฟราเรด ซึ่งวิธีนี้จะให้ผลดีที่สุดกับสารสีที่บริสุทธิ์หรืองานที่มีการลงสีเพียงชั้นเดียว ทำให้สามารถระบุสารสีได้และ แยกให้เห็นลักษณะเฉพาะของสารสีจำนวน 54 สารสีด้วยการใช้วิธีที่แตกต่างกันออกไปตามรูปแบบของผังงานที่

นำเสนอ ซึ่งเป็นวิธีเบื้องต้นสำหรับการระบุสารสีด้วยวิธีมัลติสเปกตรัม แต่เทคนิคนี้อาจไม่สามารถเห็นถึงลักษณะพิเศษของภาพวาดได้ตามผังงานทั้ง 8 รูปแบบ ซึ่งควรมีการเปรียบเทียบกับเทคนิคการถ่ายภาพสเปกตรัมอื่นหรือใช้ประกอบกันเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีมากยิ่งขึ้น

Shrestha และ Hardeberg [18] เสนอระบบการถ่ายภาพที่ใช้กล้องถ่ายภาพทั่วไปกับแอลอีดี 3 ชนิดที่ต่างกันมารวมกัน 2 หรือ 3 แบบเพื่อที่จะได้ภาพมัลติสเปกตรัมของ 6 หรือ 9 ช่องสัญญาณ การรวมกันของแอลอีดีที่ให้ผลที่ดีที่สุดโดยเลือกเพื่อมาประมาณค่าการสะท้อนแสงและสีที่ถูกต้องแม่นยำ ซึ่งเป็นระบบที่รวดเร็วและง่ายต่อการรับรู้ ระบบนี้มีประโยชน์ในการประยุกต์ใช้ในการถ่ายภาพมัลติสเปกตรัมทั่วไป โดยสามารถประเมินได้ทั้งภาพธรรมชาติและภาพวาด ผลจากการทดลองแบบจำลองมีแนวโน้มที่มีความเป็นไปได้ที่ระบบนี้จะเป็นวิธีการที่ใช้ได้จริงและเหมาะสำหรับการถ่ายภาพแบบมัลติสเปกตรัม

Toque และคณะ [19] นำภาพถ่ายมัลติสเปกตรัมมาวิเคราะห์สารสีบนภาพวาด โดยการถ่ายภาพโดยใช้ระบบการสแกนภาพด้วยความละเอียดสูงที่ใช้กล้องขาวดำแบบไลน์สแกนที่มีเซนเซอร์ CCD โดยภาพจะถูกนำมาสร้างสเปกตรัมของการสะท้อนแสงด้วยโมเดลสมการเส้นตรงที่แสดงถึงการตอบสนองของกล้อง และการตอบสนองของวัตถุ ซึ่งการตอบสนองของเซนเซอร์จะถูกกรองโดยใช้ Akaika Information Crierion (AIC) เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนที่ส่งผลกระทบต่อข้อมูล สารสีบนภาพวาดจะถูกระบุโดยค่าการสะท้อนแสงที่สร้างขึ้นใหม่โดยใช้วิธี Savitzky-Golay เพื่อปรับปรุงการจับคู่สีให้ดียิ่งขึ้นเปรียบเทียบกับค่าจากฐานข้อมูลสารสีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในญี่ปุ่นที่วัดโดยสเปกโตรมิเตอร์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องระหว่างสเปกตรัมของสารสีบนภาพวาดและสารสีบนฐานข้อมูล ซึ่งการพัฒนาเกี่ยวกับเทคนิคที่ใช้ในการศึกษานี้อาจเป็นประโยชน์สำหรับการตรวจสอบงานศิลปะโดยที่ไม่ทำลายข้อมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
การทดลอง

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 กล้องถ่ายรูป (digital single-lens reflex camera, DSLR) ยี่ห้อ Canon EOS 5D Mark II ประเทศญี่ปุ่น มีรายละเอียดดังนี้

- เซนเซอร์ CMOS (ขนาด 36 x 24 มิลลิเมตร)
- ความละเอียด 21.1 ล้านพิกเซล
- ขนาดตัวกล้อง 152 x 113.5 x 75 มิลลิเมตร
- น้ำหนักตัวกล้อง 810 กรัม
- ช่วงความเร็วชัตเตอร์ 1/8000 – 30 วินาที

3.1.2 ฟิลเตอร์ขนาด 72 มิลลิเมตร จาก CHSOS ประเทศอิตาลี

- ฟิลเตอร์ที่ให้รังสียูวีผ่าน (UV) จำนวน 1 ชิ้น
- ฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน (Vis) จำนวน 1 ชิ้น
- ฟิลเตอร์ที่ให้รังสีอินฟราเรดผ่าน (IR) จำนวน 1 ชิ้น

3.1.3 โคมไฟแอลอีดี LEDCube I14 ที่ให้พลังงานช่วงความยาวคลื่นแคบ 14 ความยาวคลื่น จาก Thousand Lights Lighting (Changzhou) Limited-THOUSLITE ประเทศจีน ได้แก่

- แอลอีดีสีขาวอมฟ้า (cool white)
- แอลอีดีสีขาวอมเหลือง (warm white)
- แอลอีดีที่มีพีคที่ความยาวคลื่น 403 นาโนเมตร
- แอลอีดีที่มีพีคที่ความยาวคลื่น 425 นาโนเมตร
- แอลอีดีที่มีพีคที่ความยาวคลื่น 447 นาโนเมตร
- แอลอีดีที่มีพีคที่ความยาวคลื่น 474 นาโนเมตร
- แอลอีดีที่มีพีคที่ความยาวคลื่น 503 นาโนเมตร
- แอลอีดีที่มีพีคที่ความยาวคลื่น 523 นาโนเมตร
- แอลอีดีที่มีพีคที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร
- แอลอีดีที่มีพีคที่ความยาวคลื่น 598 นาโนเมตร
- แอลอีดีที่มีพีคที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร
- แอลอีดีที่มีพีคที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร
- แอลอีดีที่มีพีคที่ความยาวคลื่น 672 นาโนเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- แอลอีดีที่มีพีคที่ความยาวคลื่น 706 นาโนเมตร

ภาพที่ 3.1 โคมไฟแอลอีดี LEDCube I14

3.1.4 โคมไฟรังสียูวี (Ultraviolet lamp) จาก CHSOS ประเทศอิตาลี

- หลอดไฟ UV LED
- พีคความยาวคลื่น 365 นาโนเมตร (ข้อมูลจากผู้ผลิต)
- พลังงานการแผ่รังสี 14,250 ไมโครวัตต์

ภาพที่ 3.2 โคมไฟรังสียูวี

3.1.5 สารสีของเครเมอร์จำนวน 356 สีจากแคตาลอกจำนวน 9 เล่ม ประเทศเยอรมัน ได้แก่

- สารสีจากแคตาลอกชื่อ Red colors
- สารสีจากแคตาลอกชื่อ Green colors
- สารสีจากแคตาลอกชื่อ Blue colors
- สารสีจากแคตาลอกชื่อ Yellow colors
- สารสีจากแคตาลอกชื่อ Organic pigments

- สารสีจากแคตาลอกชื่อ Earth colors
- สารสีจากแคตาลอกชื่อ Cadmium pigments
- สารสีจากแคตาลอกชื่อ Iron oxide and translucent pigments
- สารสีจากแคตาลอกชื่อ Pigments of our product

3.1.6 สารสีจาก PIGMENT TOKYO ประเทศญี่ปุ่น จำนวน 4 ชนิด ได้แก่

- สารสีชาด (Cinnabar) ของ NAKAGAWA GOFUN ENOGU
- สารสีจากดินแดง (red ochre pigment) ของ ZECCHI
- สารสีสีเขียวโครเมียมออกไซด์ (chrome oxide green pigment) ของ Schmincke
- สารสีจากดินเหลือง (yellow ochre pigment) ของ ZECCHI

3.1.7 แผ่นคาลิเบรตที่ระดับความสว่างต่างกัน 6 ระดับจาก CHSOS ประเทศอิตาลี

3.1.8 กล่องสีเทาขนาดด้านหน้าเปิด กว้าง 43 ซ.ม. ยาว 43 ซ.ม. สูง 43 ซ.ม.

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องวัด Illuminance Spectrophotometer CL-500A, Konica Minolta, ประเทศญี่ปุ่น

ภาพที่ 3.3 เครื่องวัด Illuminance Spectrophotometer CL-500A

3.2.2 เครื่องรามานไมโครสโคป (Raman microscope) ยี่ห้อ Thermo Fisher Scientific, ประเทศสหรัฐอเมริกา

- เลเซอร์ความยาวคลื่น 532 และ 780 นาโนเมตร

ภาพที่ 3.4 เครื่องรามานไมโครสโคป

3.2.3 เครื่องวัด USB4000 Fiber Optic Spectrometer, ยี่ห้อ Ocean Optics, ประเทศสหรัฐอเมริกา

ภาพที่ 3.5 เครื่องวัด USB4000 Fiber Optic Spectrometer

3.3 โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 EOS Utility 2 ใช้สำหรับถ่ายภาพ

3.3.2 Canon Digital Photo Professional 4 ใช้สำหรับปรับสมดุลสีขาวและความสว่าง

3.3.3 MATLAB R2020b ใช้สำหรับตัดภาพให้ได้ขนาดเท่ากันและตำแหน่งเดิมทุกภาพ

3.4 วิธีการทดลอง

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน ได้แก่ การสร้างฐานข้อมูลสารสีด้วยเทคนิคทางภาพเชิงมัลติสเปกตรัมโดยใช้แอลอีดีความยาวคลื่นแคบและประมวลผลข้อมูลผ่านซอฟต์แวร์กล้อง การสร้างแผนผังแสดงการจำแนกประเภทและลักษณะของสารสี การเตรียมตัวอย่างสีทดสอบ การถ่ายภาพตัวอย่างสีทดสอบและประมวลผลข้อมูลผ่านซอฟต์แวร์กล้อง การระบุสารสี

ของตัวอย่างสีทดสอบเทียบกับฐานข้อมูลตามแผนผังที่สร้างขึ้น การเทียบผลเพื่อยืนยันผลด้วยเทคนิคอื่น ๆ

3.4.1 การสร้างฐานข้อมูลสารสีด้วยเทคนิคทางภาพเชิงมัลติสเปกตรัมโดยใช้แอลอีดีความยาวคลื่นแคบและประมวลผลข้อมูลผ่านซอฟต์แวร์กล้อง

3.4.1.1 การวัดสเปกตรัมของแสงจากแอลอีดีสำหรับถ่ายภาพสารสี

แอลอีดีที่ใช้มีทั้งหมด 15 ช่องสัญญาณที่มีความช่วงความยาวคลื่นแคบกระจายไปตั้งแต่พีคความยาวคลื่นที่ 403 ไปจนถึง 706 นาโนเมตรจำนวน 14 ช่องสัญญาณและแอลอีดียูวีที่มีจุดสูงสุดของความยาวคลื่นหรือพีคความยาวคลื่น (peak wavelength) ที่ 366 นาโนเมตร เชื่อมต่อกับหน่วยควบคุมที่ต่อกับคอมพิวเตอร์ วัดความส่องสว่างโดยเครื่อง Illuminance spectrophotometer CL-500A จุดยอดสุดของคลื่นและความส่องสว่างของแอลอีดีถูกควบคุมผ่าน MATLAB SDK โดยปรับให้มีเปอร์เซ็นความเข้ม (% intensity) สูงสุดและความสว่างสูงสุดของแอลอีดีแต่ละช่องสัญญาณแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 จุดยอดสูงสุดของคลื่นหรือพีคและความสว่างสูงสุดของแอลอีดีในแต่ละช่องสัญญาณ

ช่องสัญญาณ	พีคที่กำหนดจากผู้ขาย (นาโนเมตร)	พีค (นาโนเมตร)	ค่าความสว่าง (ลักซ์)
1	Cool white	439	3,619.8
2	Warm white	608	320.3
3	405	403	4.9
4	425	425	48.0
5	450	447	143.9
6	475	474	373.3
7	505	503	887.6
8	525	523	1,210.6
9	540	540	2,122.0
10	595	598	320.3
11	635	640	370.6
12	660	660	232.8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ช่องสัญญาณ	พีคที่กำหนดจากผู้ขาย (นาโนเมตร)	พีค (นาโนเมตร)	ค่าความสว่าง (ลักซ์)
13	670	672	145.3
14	700	706	10.0
15	365	366	2.5

3.4.1.2 การตั้งค่ากล้องถ่ายภาพสำหรับถ่ายภาพสารสี

ในงานวิจัยนี้ใช้กล้องที่ถูกดัดแปลงให้สามารถถ่ายภาพคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไฟในช่วงความยาวคลื่น 300 – 1,000 นาโนเมตรได้โดยใช้คู่กับเลนส์ทางยาวโฟกัส 50 มิลลิเมตรและใช้ร่วมกับฟิลเตอร์ 3 ชนิดได้แก่ ชนิดที่ให้รังสียูวีผ่าน ชนิดที่ให้แสงขาวผ่าน และชนิดที่ให้รังสีอินฟราเรดผ่าน โดยใช้โปรแกรม EOS Utility สำหรับควบคุมกล้องและตั้งค่ากล้องขณะถ่ายภาพโดยตั้งค่า base ISO 100, รูรับแสง f11 และ ความเร็วชัตเตอร์แต่ละแหล่งแสงดังตารางที่ 3.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.2 ค่าความเร็วชัตเตอร์ในแต่ละฟิลเตอร์และแอลอีดี

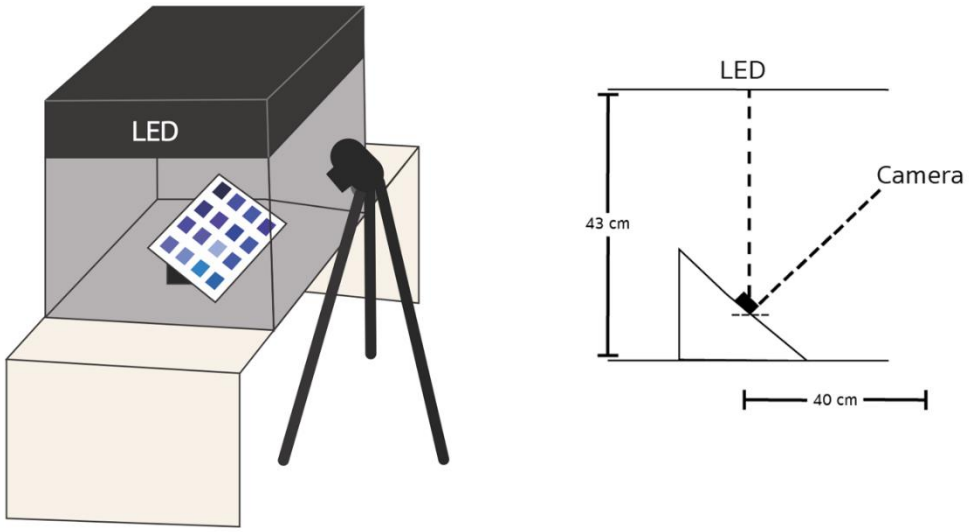
แอลอีดี	**ความเร็วชัตเตอร์ของฟิลเตอร์ (วินาที)**	
	Vis	**UV, IR**
365 นาโนเมตร	2	2, 30
Cool white	1/10	30
Warm white	1/10	
403 นาโนเมตร	1.5	
425 นาโนเมตร	0.3	
447 นาโนเมตร	0.5	
474 นาโนเมตร	1/4	
503 นาโนเมตร	1/8	
523 นาโนเมตร	1/6	
540 นาโนเมตร	1/8	
598 นาโนเมตร	2	
640 นาโนเมตร	6	
660 นาโนเมตร	15	
672 นาโนเมตร	3	
706 นาโนเมตร	30	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.4.1.3 การถ่ายภาพสารสี

สารสีที่ใช้สร้างฐานข้อมูลในงานวิจัยนี้คือสารสีของเครเมอร์จำนวน 356 สีที่เคลือบบนกระดาษการ์ดสีขาวขนาด 217 x 297 มิลลิเมตร โดยถ่ายภาพสารสีในกล่องสีเทาด้านหน้าเปิดที่วางแผ่นกระดาษการ์ดสารสีและแผ่นคาลิเบรตเป็นมุม 45 องศากับเส้นปกติที่ตั้งฉากกับระนาบกล่องสีเทา และตั้งกล้องมุม 0 องศากับเส้นปกติที่ตั้งฉากกับระนาบกระดาษการ์ดสารสี โดยหันเข้าหาสารสีที่วางอยู่ในกล่องสีเทามีแอลอีดีอยู่ด้านบนกล่องสีเทาทำมุม 45 องศากับเส้นปกติที่ตั้งฉากกับระนาบกระดาษการ์ดสีดังภาพที่ 3.6 ถ่ายภาพสารสีภายใต้แอลอีดีแต่ละช่องสัญญาณโดย

เปิดแอลอีดีทีละช่องสัญญาณ เมื่อปรับให้มีความสว่างสูงสุดและติดฟิลเตอร์หน้าเลนส์กล้องทีละ 1 แผ่น และตั้งค่าความเร็วชัตเตอร์ให้ตรงกับชนิดของฟิลเตอร์และแหล่งแสงที่ใช้ จากนั้นเปลี่ยนฟิลเตอร์หน้าเลนส์และถ่ายภาพจนครบผ่านฟิลเตอร์ทั้ง 3 แบบต่อ 1 แหล่งแสง เมื่อถ่ายภาพครบทำการเปลี่ยนแหล่งแสงเป็นช่องสัญญาณถัดไปและถ่ายภาพเช่นเดิมดังที่กล่าวไว้ข้างต้นจนครบทั้ง 15 ช่องสัญญาณตามที่แสดงในตารางที่ 3.1 และเก็บข้อมูลภาพเป็นไฟล์ TIFF ขนาด 8 บิต



ภาพที่ 3.6 ตำแหน่งการตั้งค่าการถ่ายภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.4.1.4 ประมวลผลข้อมูลภาพผ่านซอฟต์แวร์กล้อง

3.4.1.4.1 การปรับชดเชยความสว่างและสมดุลสีขาว

ในขั้นตอนการปรับชดเชยความสว่างและสมดุลขาวจะใช้โปรแกรม Canon Digital Photo Professional ในการชดเชยเพิ่มความสว่างของภาพถ่ายที่ถ่ายร่วมกับฟิลเตอร์ที่ให้รังสียูวีและอินฟราเรดภายใต้แอลอีดีความยาวคลื่นช่วงของแสงขาว ดังตารางที่ 3.3 และการปรับสมดุลขาวของภาพทั้งหมดจะใช้แผ่นคาลิเบรตที่มีระดับความสว่างเท่ากับ N8

ตารางที่ 3.3 ค่าชดเชยความสว่างของภาพถ่ายในแต่ละฟิลเตอร์

แหล่งแสง	ฟิลเตอร์	ค่าชดเชยความสว่าง
แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-14	Vis	0
	UV	+3
	IR	+3
แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 15	Vis, UV, IR	0

3.4.1.4.2 การตัดภาพโดยเลือกตำแหน่งและขนาด หรือครอปภาพ

ในขั้นตอนการครอปภาพจะใช้โปรแกรม MATLAB สำหรับการจัดการข้อมูลโดยเปิดข้อมูลภาพถ่ายสารสีบนกระดาษการ์ดที่ถ่ายได้เป็นไฟล์ TIFF ขนาด 8 บิตมาเปิดภาพซ้อนกันสำหรับภาพในแต่ละแอลอีดี เพื่อให้ตำแหน่งภาพตรงกัน หลังจากนั้นใช้คำสั่งในโปรแกรมครอปภาพ ณ ตำแหน่งเดียวกันของสารสีนั้นเป็นขนาดกว้าง 150 พิกเซล และยาว 150 พิกเซล เมื่อทำการครอปภาพจะมีการเก็บข้อมูลสีของสารสีนั้นที่ถ่ายภายใต้แหล่งแสงต่าง ๆ เป็นภาพขนาดกว้าง 150 พิกเซล ยาว 150 พิกเซล และเก็บข้อมูลสีในปริภูมิสีต่าง ๆ ได้แก่ปริภูมิสี sRGB ปริภูมิสี CIEL*a*b* และปริภูมิสี CIEL*C*h โดยค่าที่ได้มาเกิดจากการเฉลี่ยค่าที่ได้จากพื้นที่ดังกล่าว

3.4.1.4.3 การต่อภาพ

เมื่อครอปภาพเรียบร้อยจากข้อ 3.4.1.4.2 ภาพที่ได้จะถูกนำมาต่อกันด้วยโปรแกรม MATLAB โดยการต่อภาพจะเรียงภาพจากภาพถ่ายสารสีที่ถ่ายภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1 ซึ่งเป็นรูปแรกไปจนถึงภาพถ่ายสารสีที่ถ่ายภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 15

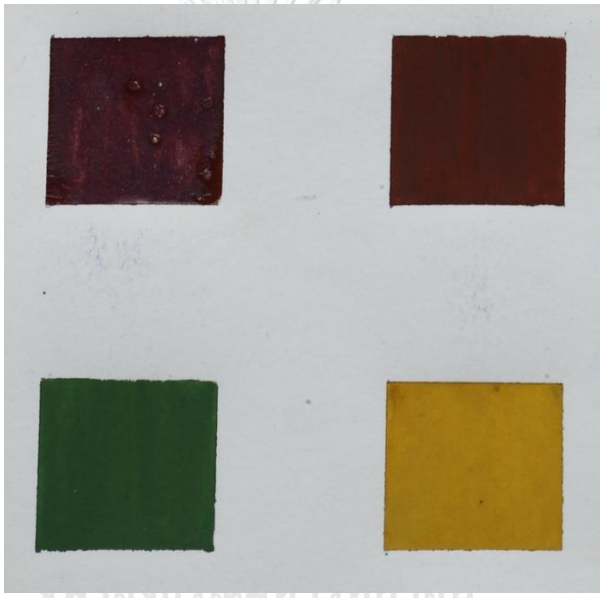
3.4.2 การสร้างแผนผังแสดงการจำแนกประเภทและลักษณะของสารสี

ในการสร้างแผนผังการจำแนกประเภทและลักษณะของสารสีเครเมอร์ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการพิจารณาจากการปรากฏสี โดยทำตามลำดับดังนี้ 1) จำแนกสีเดิมของสารสีนั้นในแคตาลอกโดยแบ่งประเภทตามกลุ่มสีจากการมองเห็นด้วยตาเปล่าเป็นกลุ่มสีหลัก 2) จำแนกสีที่มองเห็นจากภาพถ่ายในช่องสัญญาณที่ 1 ไปจนถึงช่องสัญญาณที่ 15 โดยดูภาพถ่ายจากกล้องที่ใช้ร่วมกับฟิลเตอร์ที่ยอมให้แสงขาวผ่าน (Vis) เป็นหลัก ประกอบกับดูภาพถ่ายจากกล้องที่ใช้ร่วมกับฟิลเตอร์ที่ยอมให้รังสียูวี (UV) และรังสีอินฟราเรด (IR) ผ่านสีที่ปรากฏเหมือนกันจะถูกจำแนกให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน และ 3) สร้างแผนผังจำแนกประเภทและลักษณะจากที่สีปรากฏเห็นในแต่ละช่องสัญญาณจากภาพถ่ายที่ใช้ร่วมกับฟิลเตอร์ที่ยอมให้แสงขาวผ่าน (Vis) โดยจำนวนช่องสัญญาณของสารสีแต่ละชนิดที่แสดงในแผนผังจะแสดงตั้งแต่ช่องสัญญาณที่ 1 ไปจนถึงช่องสัญญาณที่สามารถระบุและแยกประเภทสารสีออกจากสารสีอื่นได้ และในช่องสัญญาณสุดท้ายที่สามารถระบุและแยกประเภทสารสี

ได้ หากมีจำนวนสารสีในกลุ่มนั้น ๆ หลายชนิด ให้ดูภาพถ่ายจากกล้องที่ใช้ร่วมกับฟิลเตอร์ที่ยอมให้รังสียูวี (UV) และรังสีอินฟราเรด (IR) ผ่านต่อไปจากภาคผนวกเพื่อพิจารณาระบุสารสีต่อไป

3.4.3 การเตรียมตัวอย่างสีทดสอบ

เตรียมตัวอย่างสารสีทดสอบเพื่อนำไปทดสอบและยืนยันผลที่ได้จากเทคนิคทางภาพเชิงมัลติสเปกตรัมโดยใช้แอลอีดีความยาวคลื่นแคบ ในงานวิจัยนี้เตรียมสารสีเดี่ยวที่มีชื่อเดียวกันกับสารสีของเครเมอร์ที่ได้มาจากแหล่งอื่นผสมกับสารยึดกัมอะราบิกซึ่งเป็นสารยึดชนิดเดียวกันที่ใช้กับสารสีของเครเมอร์ โดยผสมสารสีเดี่ยวกับสารยึดในอัตราส่วน 1:4 โดยทดสอบแล้วว่าอัตราส่วนนี้ยึดสารสีกับวัสดุฐานได้ดี จากนั้นนำมาเคลือบบนกระดาษการ์ดพื้นที่ขนาดกว้าง 2 นิ้ว และยาว 2 นิ้วด้วยพู่กัน



ภาพที่ 3.7 ตัวอย่างสารสีทดสอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.4.4 การถ่ายภาพตัวอย่างสีทดสอบและประมวลผลข้อมูลผ่านซอฟต์แวร์กล้อง

ถ่ายภาพตัวอย่างสารสีเตรียมได้จากตอนที่ 3.4.3 เพื่อใช้ในการยืนยันผลสำหรับเทคนิคแอลอีดีความยาวคลื่นแคบ โดยตั้งค่าการถ่ายภาพตามตารางที่ 3.2 และถ่ายภาพด้วยสภาวะเดิมที่ใช้ถ่ายภาพสารสีในการทำฐานข้อมูล หลังจากนั้นนำข้อมูลภาพถ่ายที่ได้ไปประมวลผลข้อมูลภาพผ่านซอฟต์แวร์กล้องด้วยเงื่อนไขเดิมที่อธิบายในตอนที่ 3.4.1.4

3.4.5 การระบุสารสีของตัวอย่างสีทดสอบเทียบกับฐานข้อมูลตามแผนผังที่สร้างขึ้น

ระบุตัวอย่างสารสีทดสอบเทียบกับฐานข้อมูลตามแผนผังที่สร้างขึ้น โดยขั้นตอนนี้นำภาพตัวอย่างสารสีทดสอบไปเทียบกับภาพถ่ายจากฐานข้อมูลสารสีว่ามีลักษณะที่ปรากฏเห็นตรงกับสารสีใดในฐานข้อมูลที่สร้างขึ้น จากนั้นนำตัวอย่างสารสีทดสอบและสารสีจากฐานข้อมูลตัวที่คาดว่าจะเป็นสารสีตัวเดียวกันไปทดสอบเพื่อยืนยันผลต่อไป

3.4.6 การเทียบผลเพื่อยืนยันผลด้วยเทคนิคอื่น

3.4.6.1 สเปกตรัมการสะท้อนแสง (*spectral reflectance*)

การใช้เทคนิคสเปกตรัมการสะท้อนแสงในการยืนยันผลงานวิจัยนี้จะใช้ USB4000 Fiber Optic Spectrometer ในการวัดสเปกตรัมการสะท้อนแสงของสารสีทดสอบและสารสีที่เลือกมาจากฐานข้อมูลแล้วเทียบว่าสเปกตรัมที่ได้ตรงกันหรือไม่ หากสารสีมีสเปกตรัมการสะท้อนแสงที่คล้ายกันหลายตัวและไม่สามารถระบุชนิดของสารสีได้ จะใช้สเปกตรัมการสะท้อนแสงไปหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงต่อสัมประสิทธิ์การกระเจิงแสง (K/S) ตามสมการที่ 3.1 เพื่อดูพีคความยาวคลื่นที่มีค่าการดูดกลืนสูงสุดเทียบกันระหว่างตัวอย่างสีทดสอบและสารสีที่คาดว่าจะเป็นตัวเดียวกัน

$$K/S = (1-R)^2 / (2R) \qquad \text{(สมการที่ 3.1)}$$

โดย R คือ ค่าการสะท้อนแสง

3.4.6.2 เทคนิครามานสเปกโตรสโกปี *(Raman spectroscopy)*

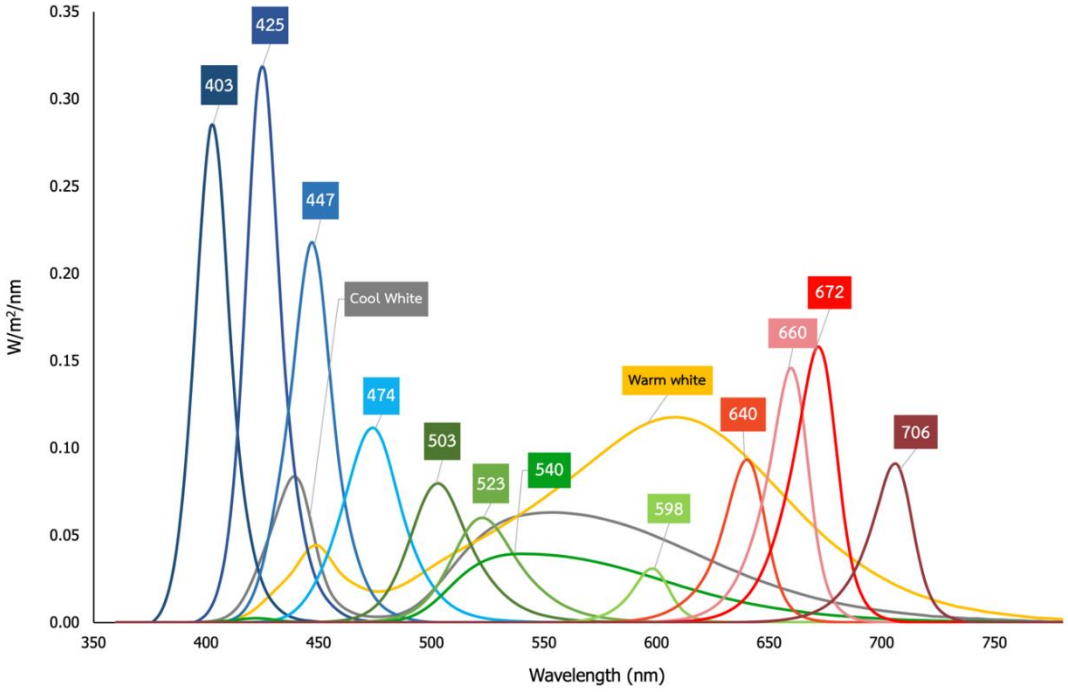
การใช้เทคนิครามานสเปกโตรสโกปีมาเทียบผลเพื่อยืนยันผลของกราฟที่ได้ระหว่างตัวอย่างสารสีทดสอบกับฐานข้อมูลว่าเป็นสารสีชนิดเดียวกันหรือไม่ โดยดูจากตำแหน่งพีคที่ขึ้นของสารสีตัวอย่างนั้นกับสารสีที่เลือกมาจากฐานข้อมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

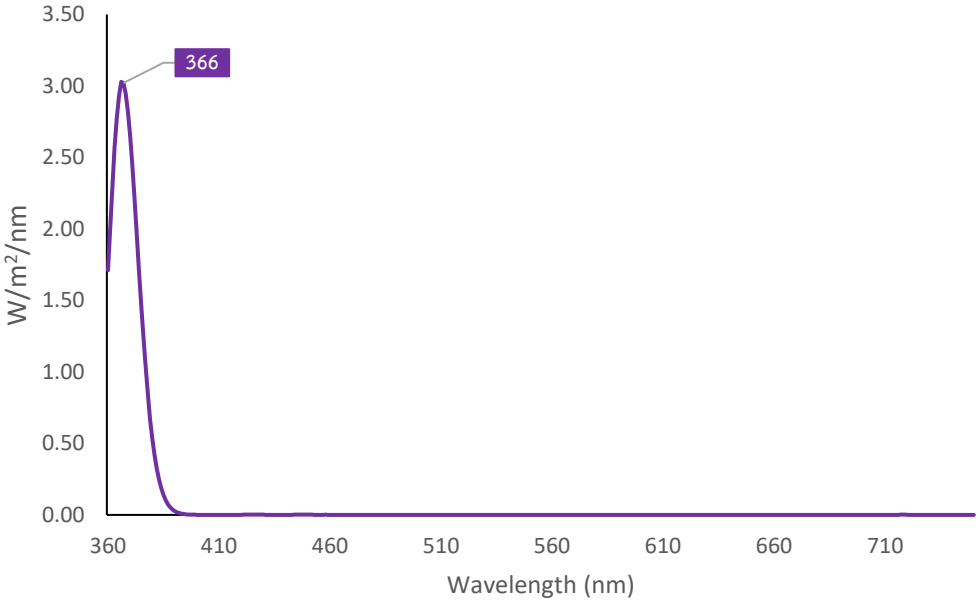
บทที่ 4
ผลการทดลองและการอภิปรายผล

4.1 สเปกตรัมของแอลอีดีสำหรับถ่ายภาพสารสี

ในงานวิจัยนี้ใช้แอลอีดีเป็นแหล่งแสงให้กับสารสีสำหรับดูลักษณะที่ปรากฏเห็นจากการที่สารสีมีปฏิสัมพันธ์กับแหล่งแสง โดยแหล่งแสงที่ใช้มีสเปกตรัมที่มีพีคในช่วงความยาวคลื่นของแสงขาวหรือช่วงที่ตามนุษย์สามารถมองเห็น ได้แก่ 403, 425, 447, 474, 503, 523, 540, 598, 640, 660, 672 และ 706 นาโนเมตร รวมถึงแอลอีดีที่เป็นแสงโทนเย็น (cool white) และแสงโทนอุ่น (warm white) ดังภาพที่ 4.1 จำนวน 14 ช่องสัญญาณและ แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 15 ช่วงความยาวคลื่นของรังสียูวี 1 ช่องสัญญาณมีพีคอยู่ที่ 366 นาโนเมตรดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.1 สเปกตรัมของแอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-14



ภาพที่ 4.2 สเปกตรัมของแอลอีดีช่องสัญญาณที่ 15

4.2 ภาพถ่ายสารสีเครเมอร์

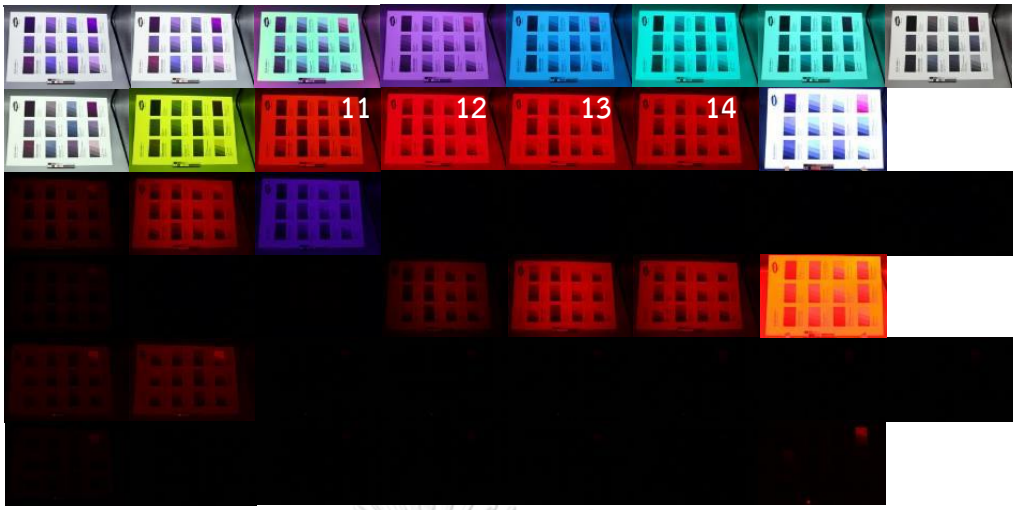
จากการถ่ายภาพสารสีเครเมอร์ดังอธิบายในในข้อ 3.4.1.3 จำนวนทั้งหมด 356 สีซึ่งอยู่บนกระดาษการ์ดสีขาวจำนวน 47 แผ่น ภายใต้แอลอีดีแต่ละช่องสัญญาณและผ่านฟิลเตอร์ 3 ชนิดได้แก่ ชนิดที่ให้รังสียูวีผ่าน (UV) ชนิดที่ให้แสงขาวผ่าน (Vis) และชนิดที่ให้รังสีอินฟราเรดผ่าน (IR) โดยภาพถ่ายที่ได้ยังไม่ได้มีการปรับชดเชยความสว่างและสมดุลสีขาว ตัวอย่างภาพที่ได้จะมีสีที่ผิดเพี้ยนไปจากความเป็นจริง ภาพถ่ายผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน ที่ได้ในช่องสัญญาณต่าง ๆ จะปรากฏเป็นสีคล้ายแหล่งแสงที่ให้ ได้แก่ ถ่ายภาพภายใต้แหล่งแสงที่มีความยาวคลื่นช่วงแสงสีแดงในช่องสัญญาณที่ 11-14 ภาพถ่ายสารสีที่ได้จึงปรากฏเป็นสีโทนแดงดังภาพที่ 4.3 (ก) และภาพถ่ายผ่านฟิลเตอร์ที่ให้รังสียูวี และรังสีอินฟราเรดผ่าน ในภาพที่ 4.3 ข) และภาพที่ 4.3 ค) ตามลำดับ ภาพที่ปรากฏจะค่อนข้างมืดเมื่อแหล่งแสงที่ให้กับสารสีมีพลังงานในช่วงความยาวคลื่นของแสงขาว เนื่องจากฟิลเตอร์ UV และ IR จะกรองให้พลังงานช่วง UV และ IR ผ่านฟิลเตอร์ไปเท่านั้น ซึ่งในบางช่องสัญญาณอาจจะมองเห็นภาพได้เนื่องจากสารสีหรือวัสดุฐานมีการสะท้อนรังสีออกมาในช่วงที่ฟิลเตอร์ให้รังสีนั้นผ่านได้ แต่ภาพก็ยังคงมีสีที่ผิดเพี้ยนไปจากความเป็นจริง จึงต้องมีกระบวนการในการจัดการข้อมูลหลังการถ่ายภาพได้แก่ การปรับสมดุลสีขาว (white balance) และ การปรับความสว่าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

(ก)

(ข)

(ค)



ภาพที่ 4.3 ภาพถ่ายสารสีเครเมอร์ blue colors แผ่นที่ 1 ภายใต้แอลอีดีความยาวคลื่นแคบ 15 ช่องสัญญาณผ่านฟิลเตอร์ชนิดที่ให้แสงขาวผ่าน (ก), ฟิลเตอร์ชนิดที่ให้รังสียูวีผ่าน (ข), ฟิลเตอร์ชนิดที่ให้รังสีอินฟราเรดผ่าน (ค)

4.3 การประมวลผลข้อมูลภาพผ่านซอฟต์แวร์กล้อง

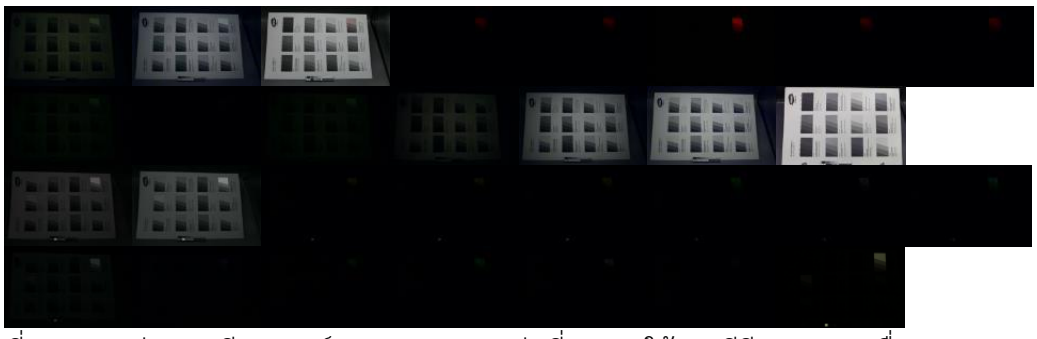
4.3.1 ผลการปรับสมดุลขาว

ภาพถ่ายสารสีภายใต้แอลอีดีทั้ง 15 ช่องสัญญาณจะถูกนำมาปรับสมดุลสีขาวด้วยโปรแกรม Canon Digital Photo Professional เนื่องจากโปรแกรมถูกออกแบบมาเพื่อให้ใช้สำหรับกล้องยี่ห้อ Canon โดยเฉพาะ ดังนั้นทางผู้ผลิตจะเป็นผู้ทราบถึงข้อมูลที่เฉพาะเจาะจง เช่น เรื่องการจัดการข้อมูลการตอบสนองของเซนเซอร์หรือการปรับชดเชยแสงของภาพถ่าย เป็นต้น โดยขั้นตอนนี้เมื่อปรับสมดุลสีขาวบนแผ่นคาลิเบรตที่วางอยู่ในภาพถ่าย ณ บริเวณแถบเทาที่มีระดับความสว่างเท่ากับ N8 เพื่อให้ภาพมีสีที่ถูกต้องดังภาพที่ 4.4

Chulalongkorn University

(ก)

(ข)



ภาพที่ 4.4 ภาพถ่ายสารสีเครเมอร์ blue colors แผ่นที่ 1 ภายใต้แอลอีดีความยาวคลื่นแคบ 15 ช่องสัญญาณผ่านฟิลเตอร์ชนิดที่ให้รังสียูวี (ก), ฟิลเตอร์ชนิดที่ให้รังสีอินฟราเรดผ่าน (ข)

4.3.2 ผลการปรับชดเชยความสว่าง

เนื่องจากภาพถ่ายที่ได้ในภาพที่ 4.3 ในส่วนของภาพถ่ายที่ถ่ายร่วมกับฟิลเตอร์ที่ให้รังสียูวีและอินฟราเรดผ่าน มีความมืดค่อนข้างสูงจึงปรับชดเชยเพิ่มความสว่างของภาพถ่ายสารสี ดังภาพที่ 4.4

4.4 แผนผังแสดงการจำแนกประเภทและลักษณะของสารสีเครเมอร์

แผนผังจำแนกประเภทและลักษณะสารสีเครเมอร์ทั้งหมด 356 สารสี ถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มสีหลักทั้งหมด 7 กลุ่มสีได้แก่

1. สีม่วง จำนวน 17 สี
2. สีน้ำเงิน จำนวน 38 สี
3. สีเขียว จำนวน 38 สี
4. สีเหลือง จำนวน 80 สี
5. สีส้ม จำนวน 37 สี
6. สีแดง จำนวน 52 สี
7. สีขาว เทา ดำ น้ำตาล จำนวน 94 สี

แผนผังแต่ละกลุ่มสี สร้างขึ้นโดยการจัดกลุ่มลักษณะสีที่ปรากฏจากภาพถ่ายในแต่ละช่องสัญญาณ ซึ่งดูจากภาพถ่ายที่ถ่ายร่วมกับฟิลเตอร์ที่ยอมให้แสงขาวผ่าน นอกจากนั้นดูประกอบกับภาพถ่ายจากกล้องที่ใช้ร่วมกับฟิลเตอร์ที่ยอมให้รังสียูวี และรังสีอินฟราเรดผ่าน

4.4.1 แผนผังสารสีสีม่วง

สารสีสีม่วงซึ่งมีจำนวน 17 สารสีดังตารางที่ 4.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4.1 สารสีสีม่วง

ลำดับ	รหัส	ชื่อสารสี	ลำดับ	รหัส	ชื่อสารสี
1	10074	HAN-Purple fine	10	45120	Ultramarine Violet light reddish
2	23401	Hostaperm Pink	11	45350	Manganese Violet
3	23451	Dioxazine Violet	12	45800	Cobalt Violet dark
4	23710	Cinquasia Violet RT 201 D	13	45810	Cobalt Violet brilliant dark
5	23750	Alizarine Violet	14	45820	Cobalt Violet light
6	42601	Ultramarine Red violet pink	15	55470	Studio Pigment Pink
7	42605	Ultramarine Red B dark pink	16	55900	Studio Pigment Violet
8	45100	Ultramarine Violet medium	17	56450	Fluorescent Pigment Violet
9	45110	Ultramarine Violet reddish			

จากภาพที่ 4.5 สามารถอธิบายการจำแนกและระบุสารสีได้ดังนี้ ช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 ให้ภาพสารสีเป็นสีม่วงและช่องสัญญาณที่ 3 ความยาวคลื่น 403 นาโนเมตร สามารถแยกลักษณะสารสีที่ปรากฏเห็นในภาพถ่ายภายใต้แอลอีดีที่ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน ออกเป็น 3 สีได้แก่ สีน้ำตาล สีเทาและสีเขียว ซึ่งในช่องสัญญาณนี้สารสีสีม่วงส่วนใหญ่จะปรากฏเห็นเป็นสีเขียว ทั้งสามกลุ่มนี้สามารถอธิบายได้ดังนี้

1) สารสีที่ปรากฏเห็นเป็นสีน้ำตาลได้คือ สารสี Fluorescent Pigment Violet

2) สารสีที่ปรากฏเห็นเป็นสีเขียวในช่องสัญญาณที่ 3 จะปรากฏเห็น สีเขียว สีไซแอนและสีเทา ในช่องสัญญาณที่ 4-7 ตามลำดับ และในช่องสัญญาณที่ 8 ความยาวคลื่น 523 นาโนเมตรปรากฏเห็นเป็น 2 สี โดยส่วนใหญ่ปรากฏเห็นเป็นสีเทาอธิบายได้ดังนี้

2.1) สารสีกลุ่ม Ultramarine Red ปรากฏเห็นเป็นสีน้ำตาลอ่อนในช่องสัญญาณที่ 8 และปรากฏเห็นเป็นสีส้มในช่องสัญญาณที่ 9

2.2) สารสีที่ปรากฏเห็นเป็นสีเทาในช่องสัญญาณที่ 8 จะสามารถแยกด้วยช่องสัญญาณที่ 9 ออกเป็น 4 สีได้แก่ สีม่วงอมน้ำเงิน สีเทาเข้ม สีม่วงแดง สีม่วง และสีชมพู โดยจำแนกรายละเอียดได้ดังนี้

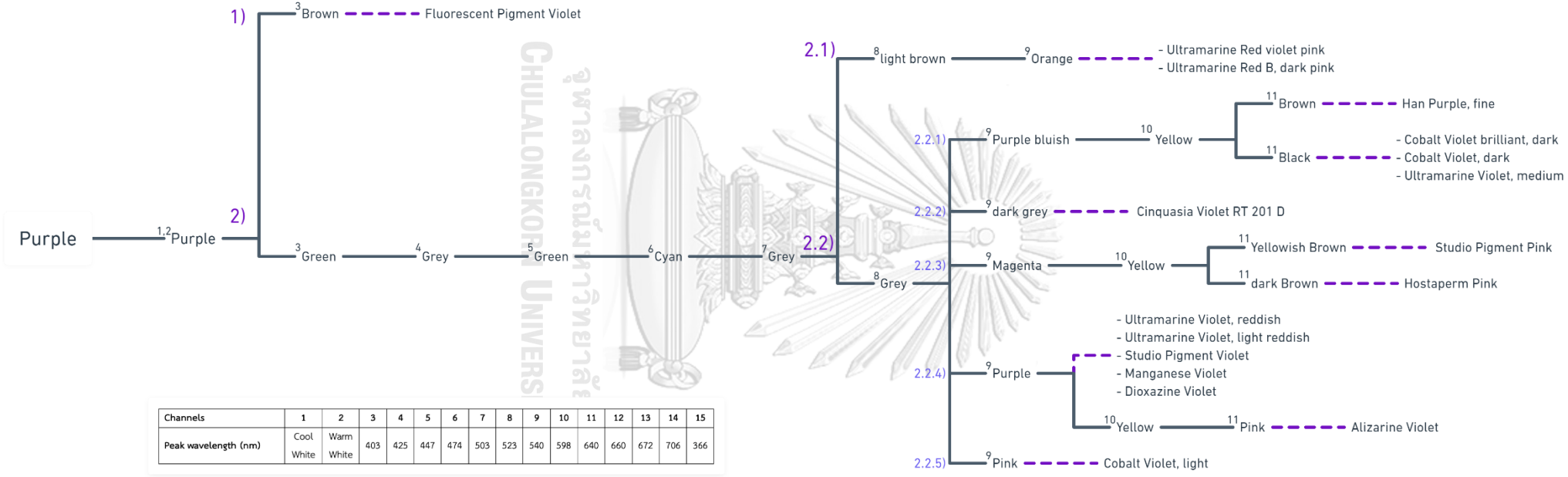
2.2.1) สารสีที่ปรากฏเห็นเป็นสีม่วงอมน้ำเงินในช่องสัญญาณที่ 9 จะปรากฏเห็นเป็นสีเหลืองในช่องสัญญาณที่ 10 จากนั้นในช่องสัญญาณที่ 11 สามารถแยกลักษณะที่ปรากฏเห็นสารสีได้ 2 สีได้แก่ สีน้ำตาลคือสารสี HAN-Purple, fine และสีดำคือสารสี Cobalt Violet brilliant, dark สารสี Cobalt Violet dark และสารสี Ultramarine Violet, medium

2.2.2) สารสีที่ปรากฏเห็นเป็นสีเทาเข้มในช่องสัญญาณที่ 9 คือสารสี Cinquasia Violet RT 201 D Violet

2.2.3) สารสีที่ปรากฏเห็นเป็นสีม่วงแดงในช่องสัญญาณที่ 9 จะปรากฏเห็นเป็นสีเหลืองในช่องสัญญาณถัดไปและในช่องสัญญาณที่ 11 สามารถแยกลักษณะที่ปรากฏเห็นสารสีได้ 2 สีได้แก่ สีน้ำตาลอมเหลืองคือสารสี Studio Pigment Pink สีน้ำตาลเข้มคือสารสี Hostaperm Pink

2.2.4) สารสีที่ปรากฏเห็นเป็นสีม่วงในช่องสัญญาณที่ 9 คือ สารสีกลุ่ม Ultramarine Violet สารสี Studio Pigment Violet สารสี Manganese Violet และสารสี Dioxazine Violet และในช่องสัญญาณที่ 10 และ 11 สามารถแยกสารสี Alizarine Violet ได้ชัดเจนจากสีที่ปรากฏเป็นสีเหลืองและสีชมพูตามลำดับ

2.2.5) สารสีที่ปรากฏเห็นเป็นสีชมพูคือสารสี Cobalt Violet, light



Channels	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Peak wavelength (nm)	Cool White	Warm White	403	425	447	474	503	523	540	598	640	660	672	706	366

ภาพที่ 4.5 แผนผังสารสีสีม่วง

4.4.2 แผนผังสารสีสีน้ำเงิน

สารสีสีน้ำเงินซึ่งมีจำนวน 38 สารสีดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สารสีสีน้ำเงิน

ลำดับ	รหัส	ชื่อสารสี	ลำดับ	รหัส	ชื่อสารสี
1	10010	Smalt very fine	20	45020	Ultramarine Blue reddish
2	10060	Egyptian Blue	21	45030	Ultramarine Blue greenish extra
3	10071	HAN Blue fine	22	45040	Ultramarine Blue greenish light
4	10180	Blue Verditer	23	45080	Ultramarine Blue light
5	10184	Blue Bice	24	45202	Prussian Blue LUX
6	10200	Azurite natural standard	25	45400	Zirconium Cerulean Blue
7	10206	Azurite MP pale	26	45700	Cobalt Blue Dark
8	10210	Azurite natural fine	27	45701	Cobalt Blue Dark greenish
9	10500	Lapis Lazuli grayish blue	28	45702	Cobalt Blue Sapporo
10	10530	Lapis Lazuli pure	29	45710	Cobalt Blue Medium
11	10550	Lapis Lazuli bright pure blue	30	45720	Cobalt Blue light
12	23050	Phthalo Blue Primary Blue	31	45730	Cobalt Cerulean Blue
13	23060	Phthalo Blue royal blue	32	45740	Cobalt Blue greenish
14	23070	Phthalo Blue reddish	33	45750	Cobalt Blue Turquoise light
15	23080	Phthalo Blue, very lightfast	34	45760	Cobalt Blue Turquoise dark
16	23100	Indanthren Blue	35	55500	Studio Pigment Sky Blue
17	36003	Indigo made of Woad	36	55600	Studio Pigment Dark Blue
18	45000	Ultramarine Blue very dark	37	56050	Fluorescent Pigment Blue
19	45010	Ultramarine Blue dark	38	457141	Cobalt Blue Pale

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารสีสีน้ำเงินจำนวน 38 สารสีดังตารางที่ สามารถแบ่งกลุ่มตามลักษณะที่ปรากฏเห็นในภาพถ่ายภายใต้แอลอีดีที่ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่านดังภาพที่ 4.6 ได้เป็น 4 สีในช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 คือสีน้ำเงิน สีน้ำเงินสว่าง สีม่วง และสีเทา และในช่องสัญญาณที่ 3 สามารถแยกสีที่ปรากฏเห็นภายใต้แอลอีดีได้ 2 กลุ่มใหญ่คือ สีเขียวสว่างและเข้ม โดยจะอธิบายการแบ่งประเภทจากลักษณะที่ปรากฏเห็นในกลุ่มที่ปรากฏเห็นเป็นสีเขียวสว่างจากนั้นจะอธิบายการแบ่งประเภทจากลักษณะที่ปรากฏเห็นในกลุ่มที่เป็นสีเขียวเข้ม จากภาพที่ 4.6 สามารถอธิบายการจำแนกและระบุสารสีได้ดังนี้

1) สารสีที่ปรากฏเห็นเป็นสีเขียวสว่างในช่องสัญญาณที่ 3 พบว่าในช่องสัญญาณที่ 4 สามารถแยกลักษณะที่ปรากฏเห็นได้เป็น 2 สีคือ สีเขียวและสีเทา

1.1) สามารถระบุว่าเป็นสารสี Fluorescent Pigment Blue เมื่อปรากฏเห็นเป็นสีเขียว

1.2) สารสีที่ปรากฏเห็นเป็นสีเทา จะปรากฏเห็นเป็นสีเขียวและสีน้ำเงินเขียว (Cyan) ในช่องสัญญาณที่ 5 และ 6 ตามลำดับและเมื่อเห็นภายใต้ช่องสัญญาณที่ 7 สารสีกลุ่มนี้สามารถแบ่งออกได้เป็นอีก 2 กลุ่มคือ สีน้ำเงินและสีเทา

1.2.1) กลุ่มที่ปรากฏเห็นเป็นสีน้ำเงินสามารถระบุสารสีได้ 4 ตัวคือ สารสี Ultramarine Blue greenish extra สารสี Ultramarine light สารสี Cobalt Blue dark และสารสี Cobalt Blue dark greenish

1.2.2) สารสีที่ปรากฏเป็นสีเทาในช่องสัญญาณที่ 7 นั้นในช่องสัญญาณที่ 8 ก็ปรากฏเป็นสีเทาเช่นเดียวกันและปรากฏเป็นสีน้ำเงินและสีเขียวอมเหลืองในช่องสัญญาณที่ 9 และ 10 ตามลำดับจากนั้นในช่องสัญญาณที่ 11 สามารถแบ่งออกเป็นอีก 2 กลุ่มคือกลุ่มที่ปรากฏเห็นเป็นสีเทาเข้มและกลุ่มที่ปรากฏเห็นเป็นสีเทา

1.2.2.1) กลุ่มที่ปรากฏเห็นเป็นสีเทาเข้มในช่องสัญญาณที่ 11 ยังสามารถแบ่งสีที่ปรากฏเห็นในช่องสัญญาณที่ 12 ได้อีก 2 สีคือสีเทาอมม่วงและสีเทาเข้มโดยสารสีทั้ง 2 กลุ่มนี้ในช่องสัญญาณที่ 13 และ 14 ปรากฏเป็นสีดำเช่นเดียวกัน

1.2.2.1.1) สารสีที่ให้สีเทาอมม่วงในช่องสัญญาณที่ 12 พบว่าในช่องสัญญาณที่ 15 สามารถแบ่งสารสีที่ปรากฏเห็นออกเป็นอีก 2 สีคือ สีขาวและสีน้ำเงินเขียวสว่าง (bright cyan) สารสีที่ปรากฏเห็นเป็นสีเทาอมม่วงในช่องสัญญาณที่ 12 และปรากฏเห็นเป็นสีขาวในช่องสัญญาณที่ 15 คือสารสี Lapis Lazuli pure สารสี Lapis Lazuli bright pure blue และสารสี Cobalt Blue Pale สารสีที่ปรากฏเห็นเป็นสีเทาอมม่วงในช่องสัญญาณที่ 12 และปรากฏเห็นเป็นน้ำเงินเขียวสว่างในช่องสัญญาณที่ 15 คือสารสี HAN Blue, fine

1.2.2.1.2) สารสีที่ปรากฏเห็นเป็นสีเทาเข้มในช่องสัญญาณที่ 12 และในช่องสัญญาณที่ 13 และ 14 ปรากฏสีดำเช่นเดียวกัน และปรากฏเห็นเป็นสีขาวในช่องสัญญาณที่ 15 คือสารสี Egyptian Blue สารสี Zirconium Cerulean Blue สารสี Cobalt Blue light และสารสี Cobalt Cerulean Blue

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

และสารสีที่ปรากฏเห็นสีน้ำเงินเขียวสว่างในช่องสัญญาณที่ 15 คือสารสี Studio Pigment Sky Blue

1.2.2.2) สารสีกลุ่มที่ปรากฏเห็นเป็นสีเทาในช่องสัญญาณที่ 11 จะปรากฏเห็นเป็นสีเทาเข้ม ในช่องสัญญาณที่ 12 และดำในช่องสัญญาณที่ 13-14 และในช่องสัญญาณที่ 15 สามารถแยกลักษณะที่ปรากฏเห็นได้ออกเป็นอีก 2 กลุ่มคือสีขาวซึ่งสามารถระบุสารสีได้คือ สารสี Lapis Lazuli grayish blue และ กลุ่มสีน้ำเงินเขียวสว่าง (bright cyan) สามารถระบุสารสีได้คือ สารสี Blue Bice และสารสี Azurite MP pale

2) สารสีที่ปรากฏเห็นเป็นสีเขียวเข้มในช่องสัญญาณที่ 3 พบว่าภายใต้ช่องสัญญาณที่ 4 สามารถแยกลักษณะสีที่ปรากฏเห็นได้อีก 3 ประเภทคือ สีเทา สีเทาเข้ม และสีดำ ลักษณะสีที่ปรากฏเห็นทั้ง 3 ในช่องสัญญาณที่ 5 และ 6 ปรากฏเป็นสีเขียวและสีน้ำเงินเขียวตามลำดับเช่นเดียวกัน

2.1) สารสีที่ปรากฏเห็นเป็นสีเทาในช่องสัญญาณที่ 4 สามารถแบ่งลักษณะสีที่ปรากฏออกเป็น 2 สีในช่องสัญญาณที่ 7 คือน้ำเงินและสีเทา

2.1.1) สารสีที่ปรากฏเห็นเป็นสีน้ำเงินในช่องสัญญาณนี้สามารถระบุเป็นสารสีได้ทั้งหมด 5 ตัวคือ สารสีกลุ่ม Ultramarine Blue ที่มีลักษณะ very dark, dark, reddish และ greenish light และ สารสี Cobalt Blue Sapporo

2.1.2) สารสีที่ปรากฏเป็นสีเทาจะปรากฏเป็นสีน้ำเงินในช่องสัญญาณที่ 8 และ 9 และปรากฏเป็นสีดำในช่องสัญญาณที่ 10-14 ในช่องสัญญาณที่ 15 สามารถแบ่งและระบุสารสีได้ 2 กลุ่มคือกลุ่มสารสีที่ปรากฏเห็นสีน้ำเงินเขียวสว่างได้แก่ สารสี Cobalt Blue Medium และสีน้ำเงินคือสารสี Studio Pigment Dark Blue

2.2) สารสีที่ปรากฏเห็นเป็นสีเทาเข้มสามารถแบ่งประเภทตามลักษณะสีที่ปรากฏในช่องสัญญาณที่ 7 ได้เป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มที่ปรากฏสีน้ำเงินตั้งแต่ช่องสัญญาณที่ 7-9 กลุ่มที่ปรากฏสีเทาในช่องสัญญาณที่ 7 และ8 และ

2.2.1) กลุ่มที่ปรากฏสีเทาเข้ม โดยสีเทาเข้มสามารถระบุสารสีได้คือ สารสี Prussian Blue LUX

2.2.2) กลุ่มสีน้ำเงินจะปรากฏเห็นสีเขียวอมเหลืองในช่องสัญญาณที่ 10 ปรากฏเห็นสีดำตั้งแต่ช่องสัญญาณที่ 11-14 และปรากฏเห็นสีน้ำเงินเขียวในช่องสัญญาณที่ 15 คือ สารสี Cobalt Blue greenish และ Cobalt Blue Turquoise dark และปรากฏสีน้ำเงินสว่างคือ Phthalo Blue royal blue

2.2.3) กลุ่มที่ปรากฏสีเทาในช่องสัญญาณที่ 7 และ 8 ในช่องสัญญาณที่ 9 สามารถแบ่งลักษณะสีที่ปรากฏออกเป็น 2 สีคือสี น้ำเงินสว่าง และสีน้ำเงิน ซึ่งสีน้ำเงินสว่าง

ในช่องสัญญาณนี้สามารถระบุสารสีได้คือ สารสี Cobalt Blue Turquoise light ส่วนสีที่ปรากฏเป็นสีน้ำเงินในช่องสัญญาณที่ 9 จะปรากฏสีเขียวอมเหลืองในช่องสัญญาณที่ 10 และปรากฏเป็นสีเทาเข้มหรือสีดำในช่องสัญญาณที่ 11-14 และสามารถระบุสารสีจากสีที่ปรากฏในช่องสัญญาณที่ 15 โดยสารสี Smalt, very fine จะปรากฏเห็นเป็นสีขาว สารสี Blue Verditer จะปรากฏเป็นสีน้ำเงินสว่าง และสารสี Azurite natural standard และสารสี Indanthren Blue ปรากฏสีเป็นสีน้ำเงิน

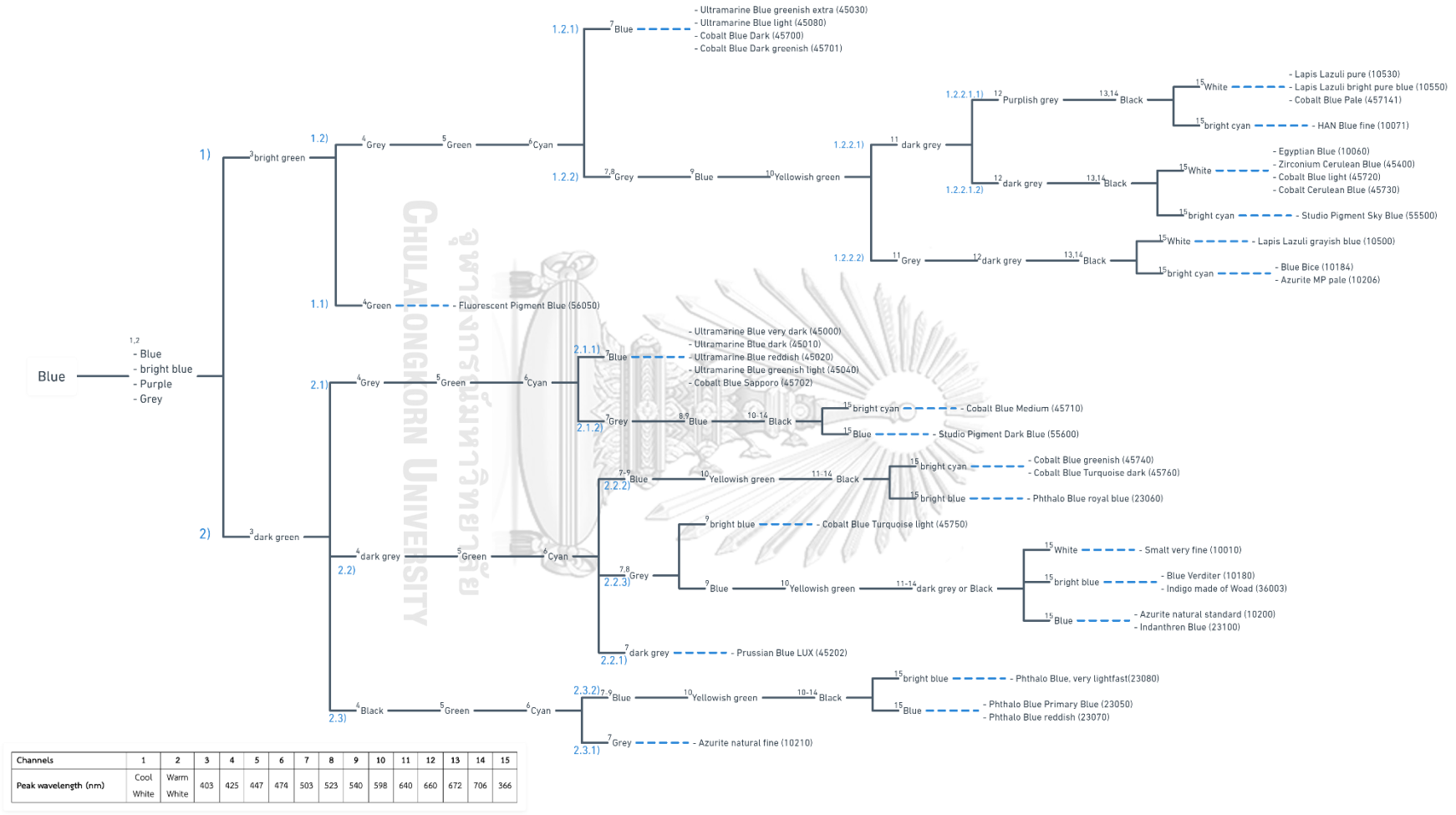
2.3) สารสีที่ปรากฏเห็นเป็นสีดำในช่องสัญญาณที่ 4 โดยสารสีกลุ่มนี่สามารถแบ่งและระบุสารสีได้ 2 กลุ่มคือกลุ่มสารสีที่ปรากฏสีน้ำเงินในช่องสัญญาณที่ 7-9 และ สีเทาในช่องสัญญาณที่ 7

2.3.1) สีเทาที่ปรากฏสามารถระบุสารสีได้คือ สารสี Azurite natural fine

2.3.2) สารสีที่ปรากฏเป็นสีน้ำเงินจะปรากฏสีเป็นสีเขียวอมเหลือง ในช่องสัญญาณที่ 10 ปรากฏเป็นสีดำในช่องสัญญาณที่ 11-14 จากนั้นในช่องสัญญาณที่ 15 สามารถแบ่งลักษณะการปรากฏสีออกเป็น 2 สีคือ สีน้ำเงิน ซึ่งคือสารสี Phthalo Blue Primary Blue และสารสี Phthalo Blue reddish และสีน้ำเงินสว่างคือสารสี Phthalo Blue, very lightfast

หากสังเกตจากแผนผังจะพบว่า Cobalt Violet, light และ Cobalt Violet dark กับ Cobalt Violet brilliant, dark ถูกแยกออกจากกันทั้ง ๆ ที่น่าจะถูกจัดมาอยู่กลุ่มเดียวกัน ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากปริมาณของสารสีที่ใช้แตกต่างกัน เมื่อเคลือบลงบนกระดาษซึ่งมีองค์ประกอบของสารเรืองแสง (มีการเรืองแสงภายใต้รังสียูวี) ทำให้สารสีที่มีปริมาณน้อยกว่าได้แก่ Cobalt Violet, light ปรากฏเป็นสีชมพูภายใต้ช่องสัญญาณที่ 9 ในขณะที่ Cobalt Violet, dark กับ Cobalt Violet brilliant, dark ปรากฏเป็นสีม่วงอมน้ำเงินในแผนผังตามภาพที่ 4.5 จึงถูกจำแนกออกไปในกลุ่มที่ต่างกัน ดังนั้นจะพบว่าวิธีนี้จะมีข้อจำกัดในสารสีบางตัวที่มีความโปร่งแสงและใช้บนวัสดุที่มีองค์ประกอบของสารเรืองแสง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



Channels	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Peak wavelength (nm)	Cool White	Warm White	403	425	447	474	503	523	540	598	640	660	672	706	366

ภาพที่ 4.6 แผนผังสารสีสีน้ำเงิน

4.4.3 แผนผังสารสีสีเขียว

สารสีสีเขียวซึ่งมีจำนวน 38 สารสีดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สารสีสีเขียว

ลำดับ	รหัส	ชื่อสารสี	ลำดับ	รหัส	ชื่อสารสี
1	10064	Egyptian Green	20	44110	Cobalt Oxide Green Blue
2	10170	Ploss Blue	21	44130	Cobalt Bottle Green
3	10310	Malachite natural, extra fine	22	44151	Cobalt Green bluish A
4	10345	Malachite MP, extra fine	23	44190	Pastel Green Victoria Green
5	10350	Chrysocolla	24	44200	Chrome Oxide Green
6	10470	Pentagonite	25	44250	Viridian Green
7	11100	Bavarian Green Earth	26	44280	Permanent Green
8	11140	Aegirine, fine	27	44400	Malachite synthetic
9	11250	Celadonite	28	44450	Verdigris synthetic
10	17410	Bluish Green Earth from Cyprus	29	44500	Cadmium Green light
11	23000	Phthalo Green dark	30	44510	Cadmium Green dark
12	23010	Phthalo Green yellowish	31	55700	Studio Pigment Light Green
13	40810	Bohemian Green Earth	32	55800	Studio Pigment Dark Green
14	40830	Green Earth from France	33	103601	Fabrous Malachite, fine
15	41700	Verona Green Earth	34	103701	Malachite Arabian, fine
16	41750	Vegone Green Earth	35	103901	Atacamite, fine
17	41770	Nicosia Green	36	104000	Vivianite
18	41820	Vegone Green Earth, imitation	37	104602	Cavasite, extra fine
19	44100	Cobalt Green	38	111111	Russian Green Earth, extra fine

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารสีสีเขียวจำนวน 38 สารสีดังตารางที่ 4.3 สามารถแบ่งกลุ่มตามลักษณะที่ปรากฏเห็นในภาพถ่ายภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน ดังภาพที่ 4.7 ออกเป็น 5 กลุ่มได้แก่ สีเขียว สีน้ำเงิน สีเทา สีดำ และสีเขียวอมเทา โดยจะอธิบายลักษณะที่ปรากฏเห็นสีในแต่ละช่องสัญญาณตามลำดับ

1) กลุ่มสารสีสีเขียวที่ปรากฏเห็นเป็นสีเขียวในช่องสัญญาณที่ 1 สามารถแบ่งลักษณะสีที่ปรากฏออกเป็นอีก 2 สีในช่องสัญญาณที่ 2 คือกลุ่มสีเขียวและกลุ่มสีเขียวอมน้ำเงิน โดยในช่องสัญญาณที่ 3 แต่ละกลุ่มสีสามารถแยกกลุ่มออกได้อีกกลุ่มละ 2 สีคือสีเขียวกับสีดำ และสีเทากับสีเขียว

กลุ่มที่ปรากฏสีเขียวกับสีดำสามารถระบุสารสีได้ 8 ตัว โดยในกลุ่มที่ปรากฏสีเขียวในช่องสัญญาณที่ 2 และ 3 จะปรากฏสีดำ สีเขียว และสีเขียวในช่องสัญญาณที่ 4-6 ตามลำดับและในช่องสัญญาณที่ 7 จะสามารถแยกสารสีที่ปรากฏออกเป็น 2 กลุ่มคือสีน้ำตาลอ่อนและสีเทา โดยสีเทาสามารถระบุสารสีได้คือ สารสี Phthalo Green yellowish และกลุ่มสีที่ปรากฏเห็นสีน้ำตาลอ่อนจะปรากฏเห็นสีเทาและสีน้ำเงินอ่อน ในช่องสัญญาณที่ 8 และ 9 ตามลำดับซึ่งในช่องสัญญาณที่ 10 สามารถระบุสารสีได้ออกเป็น 2 สี คือสีที่ปรากฏเห็นเป็นสีเขียวอมเหลืองคือ สารสี Pastel Green Victoria Green และสีที่ปรากฏเป็นสีเขียวคือ สารสี Studio Pigment Light Green และสารสี Studio Pigment Dark Green ส่วนกลุ่มที่ปรากฏเป็นสีดำในช่องสัญญาณที่ 3 และ 4 ปรากฏเป็นสีเขียวในช่องสัญญาญ 5 และ 6 สามารถระบุสารสีได้ในช่องสัญญาณที่ 7 ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 สีคือ สีเทาได้แก่สารสี Cadmium Green light และสารสี Cadmium Green dark ส่วนที่ปรากฏเป็นสีน้ำตาลได้แก่สารสี Cobalt Green และสารสี Chrome Oxide Green

กลุ่มที่ปรากฏเห็นเป็นสีเขียวอมน้ำเงินในช่องสัญญาณที่ 2 และสีเทากับเขียวในช่องสัญญาณที่ 3 โดย สามารถระบุสารสีที่ปรากฏเห็นเป็นสีเทาในช่องสัญญาณนี้ คือ สารสี Permanent Green ส่วนที่ปรากฏเป็นสีเขียวในช่องสัญญาณที่ 3 จะปรากฏสีดำและสีเขียวในช่องสัญญาณที่ 4 และ 5 ซึ่งในช่องสัญญาณที่ 6 สามารถแบ่งสีของสารสีที่ปรากฏเห็นเป็น 2 สีคือ สีน้ำเงินเขียว (Cyan) และสีเขียว โดยสามารถระบุสารสีที่ปรากฏเห็นเป็นสีเขียวได้ในช่องสัญญาณนี้คือ สารสี Phthalo Green dark และสารสี Viridian Green ส่วนสารสีที่ปรากฏเห็นสีน้ำเงินเขียว (Cyan) จะปรากฏเป็นสีเทาในช่องสัญญาณที่ 7 และ 8 และในช่องสัญญาณที่ 9 สามารถระบุสารสีที่ปรากฏ 2 สีคือสีน้ำเงินอ่อนคือ สารสี Verdigris synthetic และสีน้ำเงิน คือสารสี Cobalt Green bluish A

2) กลุ่มสารสีสีเขียวที่ปรากฏเห็นเป็นสีน้ำเงินในช่องสัญญาณที่ 1 โดยสามารถระบุสารสีนี้ได้เป็นสารสี Cobalt Oxide Green Blue

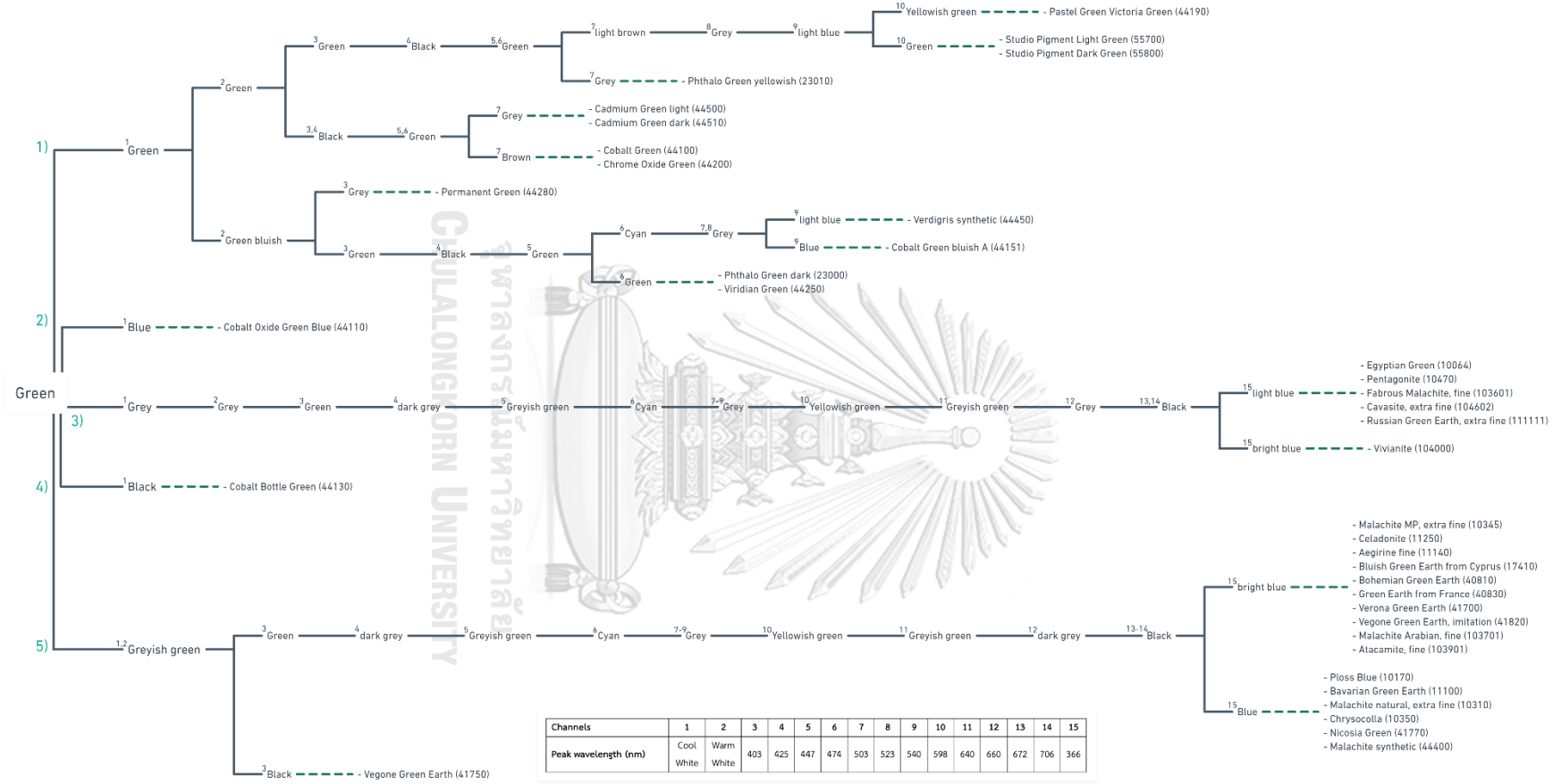
3) กลุ่มสารสีสีเขียวที่ปรากฏเห็นเป็นเทาในช่องสัญญาณที่ 1 และปรากฏเป็นสีเทาเช่นเดียวกันในช่องสัญญาณที่ 2 และปรากฏสีเขียว เทาเข้ม เขียวอมเทา น้ำเงินเขียว ในช่องสัญญาณที่ 3-6 ตามลำดับในช่องสัญญาณที่ 7-9 ปรากฏสีเทา และในช่องสัญญาณที่ 10-12 ปรากฏสีเขียวอมเหลือง เขียวอมเทาและเทาตามลำดับ และปรากฏสีดำในช่องสัญญาณที่ 13 และ 14 โดยกลุ่มสารสีที่ปรากฏเห็นเป็นเทาในช่องสัญญาณที่ 1 สามารถระบุสารสีจากสีที่ปรากฏเห็นในช่องสัญญาณที่ 15 ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 สีคือ สีน้ำเงินอ่อน ได้แก่สารสี

Egyptian Green สารสี Pentagonite สารสี Fabrous Malachite, fine สารสี Cavasite, extra fine และสารสี Russian Green Earth, extra fine และอีกสีคือสีน้ำเงินสว่างได้แก่ สารสี Vivianite

4) กลุ่มสารสีสีเขียวที่ปรากฏเห็นเป็นสีดำในช่องสัญญาณที่ 1 โดยสามารถระบุสารสีนี้ได้เป็นสารสี Cobalt Bottle Green

5) กลุ่มสารสีสีเขียวที่ปรากฏเห็นเป็นสีเขียวอมเทาในช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 พบว่า ในช่องสัญญาณที่ 3 สามารถแยกลักษณะของสารสีที่ปรากฏเห็นได้ 2 สีคือสีเขียวและสีดำ โดยสีดำสามารถระบุสารสีได้เป็นสารสี Vegone Green Earth ส่วนสารสีที่ปรากฏเป็นสีเขียวในช่องสัญญาณที่ 3 จะปรากฏสีเทาเข้ม เขียวอมเทาและน้ำเงินเขียว ในช่องสัญญาณที่ 4-6 ตามลำดับปรากฏสีเทาในช่องสัญญาณที่ 7-9 ปรากฏสีเขียวอมเหลือง เขียวอมเทาและเทาเข้มในช่องสัญญาณที่ 10-12 ตามลำดับและปรากฏสีดำในช่องสัญญาณที่ 13 และ 14 ซึ่งในช่องสัญญาณที่ 15 สามารถระบุสารสีโดยแบ่งลักษณะสีที่ปรากฏเห็นเป็น 2 สี คือสีน้ำเงินสว่าง ได้แก่ สารสี Malachite MP, extra fine สารสี Celadonite สารสี Aegirine, fine สารสี Bluish Green Earth from Cyprus สารสี Bohemian Green Earth สารสี Green Earth from France สารสี Verona Green Earth Vegone Green Earth, imitation สารสี Malachite Arabian, fine และสารสี Atacamite, fine และสีปรากฏเป็นสีน้ำเงิน สามารถระบุได้เป็นสารสี Ploss blue สารสี Bavarian Green Earth สารสี Malachite natural, extra fine สารสี Chrysocolla สารสี Nicosia Green และสารสี Malachite syntheeic

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



Channels	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Peak wavelength (nm)	Cool White	Warm White	403	425	447	474	503	523	540	598	640	660	672	706	366

ภาพที่ 4.7 แผนผังสารสีสีเขียว

4.4.4 แผนผังสารสีสีเหลือง

สารสีสีเหลืองซึ่งมีจำนวน 80 สารสีดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สารสีสีเหลือง

ลำดับ	รหัส	ชื่อสารสี	ลำดับ	รหัส	ชื่อสารสี
1	10100	Lead Tin Yellow, light	41	40260	Satin Ochre
2	10110	Lead Tin Yellow, deep	42	40280	Amberg Yellow
3	10120	Lead Tin Yellow II	43	40301	Iron Oxide Yellow
4	10130	Naples Yellow from Paris	44	40310	Dark Ochre German
5	10700	Orpiment, genuine	45	40392	Raw Sienna French
6	10930	Pyrite Powder, fine	46	40400	Raw Sienna Italian
7	11000	Verona Green Earth	47	40404	Raw Sienna Badia Italian
8	11150	Epidote	48	40410	Raw Sienna brownish
9	11283	Alba Albula	49	40610	Raw Umber
10	11572	Burgundy Yellow Ochre, fine	50	40611	Raw Umber, light
11	17000	Jarosite from Cyprus	51	40612	Raw Umber, greenish
12	17050	Natural Sienna Monte Amiata	52	40630	Raw Umber, greenish dark
13	17400	Green Earth from Cyprus	53	40800	Green Earth, light
14	21010	Cadmiun Yellow Lemon No1	54	40821	Green Earth from Verona
15	21020	Cadmiun Yellow Lemon No2, very light	55	41800	Bohemian Green Earth, imitation
16	21030	Cadmiun Yellow Lemon No4, light	56	43101	Bristol Yellow pale
17	21040	Cadmiun Yellow Lemon No6, medium	57	43111	Bristol Yellow, medium
18	21060	Cadmiun Yellow Lemon No9, dark	58	43125	Naples Yellw, dark
19	23300	Permanent Yellow light	59	43130	Naples Yellw, reddish
20	23310	Permanent Yellow Medium	60	43200	Nickel Titanium Yellow
21	23330	Irgazine Yellow, greenish	61	43210	Nickel Titanium Yellow, greenish
22	23340	Isoindole Yellow	62	43230	Praseodym Yellow
23	23370	Pyramid Yellow medium	63	43500	Cobalt Yellow
24	23650	Brilliant Yellow	64	43870	Yellow Zircon
25	23660	Isoindolinon Yellow	65	43880	Intensive Yellow

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ลำดับ	รหัส	ชื่อสารสี	ลำดับ	รหัส	ชื่อสารสี
26	23850	Studio Yellow	66	43910	Bismuth Vanadate Yellow lemon
27	24000	Paliotol Yellow Orange	67	43915	Bismuth Vanadate Yellow light
28	28020	Irgazin Yellow, greenish	68	43918	Bismuth Vanadate Yellow medium
29	40010	French Ochre JTCLES	69	43920	Bismuth Vanadate Yellow dark
30	40012	French Ochre, very light	70	48000	Iron Oxide Yellow 920, medium
31	40013	French Ochre, extra light	71	48020	Iron Oxide Yellow 415, greenish
32	40030	French Ochre JOLES	72	48040	Iron Oxide Yellow 940, dark
33	40040	French Ochre JCLES	73	48050	Iron Oxide Yellow Orange Gamma
34	40070	French Ochre SOFODOR	74	48060	Iron Oxide Orange 960, light
35	40080	French Ochre HAVANE	75	52200	Translucent Yellow
36	40130	French Ochre SAHARA	76	55100	Studio Pigment Yellow
37	40195	Gold Ochre, from Poland	77	55125	Studio Pigment Egg Yolk Yellow
38	40214	Gold Ochre DD	78	55140	Studio Pigment Yellow Sun Gold
39	40220	Italian Gold Ochre light	79	56150	Fluorescent Pigment Lemon Yellow
40	40241	Fawn Ochre	80	116421	Yellow Moroccan Ochre, fine

สารสีสีเหลืองจำนวน 80 สารสีดังตารางที่ 4.4 สามารถแบ่งกลุ่มตามลักษณะที่ปรากฏเห็นในภาพถ่ายภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน ดังภาพที่ 4.8 ออกเป็น 3 กลุ่มได้แก่ สีเหลืองหรือสีน้ำตาล สีเขียว และสีเหลืองอมเขียว ในช่องสัญญาณที่ 3 สามารถแบ่งกลุ่มตามลักษณะที่ปรากฏสีได้เป็น 2 กลุ่มคือกลุ่มสีดำและกลุ่มสีเขียวเข้ม โดยจะอธิบายลักษณะที่ปรากฏเห็นสีในแต่ละช่องสัญญาณตามลำดับ

1) กลุ่มสารสีสีเหลืองที่ปรากฏเห็นเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำตาลในช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 ในช่องสัญญาณที่ 3 สามารถแยกออกได้เป็นอีก 2 กลุ่มคือ สีดำและสีเขียวเข้ม โดยสามารถระบุสารสีได้เป็นจำนวน 50 สารสีจากช่องสัญญาณดังต่อไปนี้

ช่องสัญญาณที่ 5 ที่แอลอีดีความยาวคลื่น 447 นาโนเมตรสามารถระบุสารสีได้จากสีที่ปรากฏเห็นจำนวน 4 สีได้แก่ สารสีที่ปรากฏสีน้ำตาลเข้มคือสารสี Orpiment, genuine สารสี Pyramid Yellow medium และสารสี Isoindolinon Yellow สารสีที่ปรากฏสีน้ำตาลอมแดงคือสารสี Cadmium Yellow Lemon No6, medium และสารสี Cadmium Yellow Lemon No9,

dark สารสีที่ปรากฏสีเขียวเข้มคือสารสี French Ochre, very light สารสี Gold Ochre, from Poland และสารสี Studio Pigment Yellow Sun Gold และสารสีที่ปรากฏสีน้ำเงินเข้มคือสารสี Naples Yellow, reddish และสารสี Naples Yellow, dark

ช่องสัญญาณที่ 9 ที่แอลอีดีความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร สามารถระบุสารสีได้จากสีที่ปรากฏเห็นจำนวน 5 สีได้แก่ 1.1) สารสีที่ปรากฏสีครีม (Cream) คือสารสี Naples Yellow from Paris สารสี Brilliant Yellow และสารสี Bristol Yellow 1.2) สารสีที่ปรากฏสีส้มอ่อนคือ สารสี Gold Ochre DD สารสี Italian Gold Ochre light สารสี Fawn Ochre สารสี Satin Ochre สารสี Amberg Yellow สารสี Iron Oxide Yellow สารสี Dark Ochre German สารสี Raw Sienna French สารสี Raw Sienna Badia Italian สารสี Raw Umber และสารสี Raw Umber, light 1.3) สารสีที่ปรากฏสีส้มคือสารสี Natural Sienna Monte Amiata สารสี French Ochre JOLES สารสี French Ochre JCLES สารสี French Ochre SOFODOR สารสี Raw Sienna brownish สารสี Iron Oxide Yellow 920, medium สารสี Iron Oxide Yellow 415, greenish สารสี Iron Oxide Yellow 940, dark และสารสี Iron Oxide Yellow Orange Gamma 1.4) สารสีที่ปรากฏสีน้ำตาลคือสารสี Irgazin Yellow, greenish สารสี French Ochre SAHARA สารสี Raw Umber, greenish สารสี Raw Umber, greenish dark และ 1.5) สารสีที่ปรากฏสีน้ำตาลอ่อนคือสารสี Bismuth Vanadate Yellow, medium และสารสี Bismuth Vanadate Yellow, dark

ช่องสัญญาณที่ 13 ที่แอลอีดีความยาวคลื่น 672 นาโนเมตร สามารถระบุสารสีได้จากสีที่ปรากฏเห็นจำนวน 2 สีได้แก่ สีเทาคือสารสี French Ochre HAVANE และสีดำคือสารสี Iron Oxide Orange 960, light

ช่องสัญญาณที่ 15 ที่แอลอีดีความยาวคลื่น 366 นาโนเมตร สามารถระบุสารสีได้จากสีที่ปรากฏเห็นจำนวน 5 สีได้แก่ 1) สารสีที่ปรากฏสีน้ำเงินเข้มคือสารสี Burgundy Yellow Ochre, fine สารสี Jarosite from Cyprus สารสี French Ochre JTCLES สารสี Translucent Yellow และสารสี Yellow Moroccan Ochre, fine 2) สารสีที่ปรากฏสีน้ำเงินคือสารสี Raw Sienna Italian 3) สารสีที่ปรากฏสีแดงคือสารสี Bristol Yellow, medium 4) สารสีที่ปรากฏสีแดงอ่อนคือสารสี Paliotol Yellow Orange และ 5) สารสีที่ปรากฏสีม่วงคือสารสี Studio Pigment Egg Yolk Yellow

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.) กลุ่มสารสีสีเหลืองที่ปรากฏเห็นเป็นสีเขียวในช่องสัญญาณที่ 1 และในช่องสัญญาณที่ 3 สามารถแยกออกได้เป็นอีก 2 กลุ่มคือ สีเขียวและสีเขียวเข้ม โดยสามารถระบุสารสีได้เป็นจำนวน 13 สารสีจากช่องสัญญาณดังต่อไปนี้

ช่องสัญญาณที่ 5 ที่แอลอีดีความยาวคลื่น 447 นาโนเมตร สามารถระบุสารสีได้จากสีที่ปรากฏเห็นเป็นสีดำคือสารสี Irgazine Yellow, greenish

ช่องสัญญาณที่ 7 ที่แอลอีดีความยาวคลื่น 503 นาโนเมตร สามารถระบุสารสีได้จากสีที่ปรากฏเห็นจำนวน 2 สีได้แก่ สีเทาสารสี Lead Tin Yellow, light และสีน้ำตาลอ่อนคือสารสี Lead Tin Yellow, deep

ช่องสัญญาณที่ 13 ที่แอลอีดีความยาวคลื่น 672 นาโนเมตร สามารถระบุสารสีได้จากสีที่ปรากฏเห็นเป็นสีเทาคือสารสี Alba Albula

ช่องสัญญาณที่ 15 ที่แอลอีดีความยาวคลื่น 366 นาโนเมตร สามารถระบุสารสีได้จากสีที่ปรากฏเห็นจำนวน 3 สีได้แก่ 2.1) สารสีที่ปรากฏสีน้ำเงินสว่างคือสารสี Lead Tin Yellow II และสารสี French Ochre, extra light 2.2) สารสีที่ปรากฏสีน้ำเงินคือสารสี Green Earth from Cyprus สารสี Green Earth, light สารสี Verona Green Earth สารสี Epidote และสารสี Green Earth from Verona 2.3) สารสีที่ปรากฏสีน้ำเงินเข้มคือสารสี Pyrite, powder, fine และสารสี Bohemian Green Earth, imitation

3.) กลุ่มสารสีสีเหลืองที่ปรากฏเห็นเป็นสีเหลืองอมเขียวในช่องสัญญาณที่ 1 และในช่องสัญญาณที่ 3 สามารถแยกออกได้เป็นอีก 3 กลุ่มคือ สีเหลืองอ่อน สีเขียวและสีเขียวเข้ม โดยสามารถระบุสารสีได้เป็นจำนวน 13 สารสีจากช่องสัญญาณดังต่อไปนี้

ช่องสัญญาณที่ 3 ที่แอลอีดีความยาวคลื่น 403 นาโนเมตร สามารถระบุสารสีได้จากสีที่ปรากฏเห็นเป็นสีเหลืองอ่อนคือสารสี Fluorescent Pigment Lemon Yellow

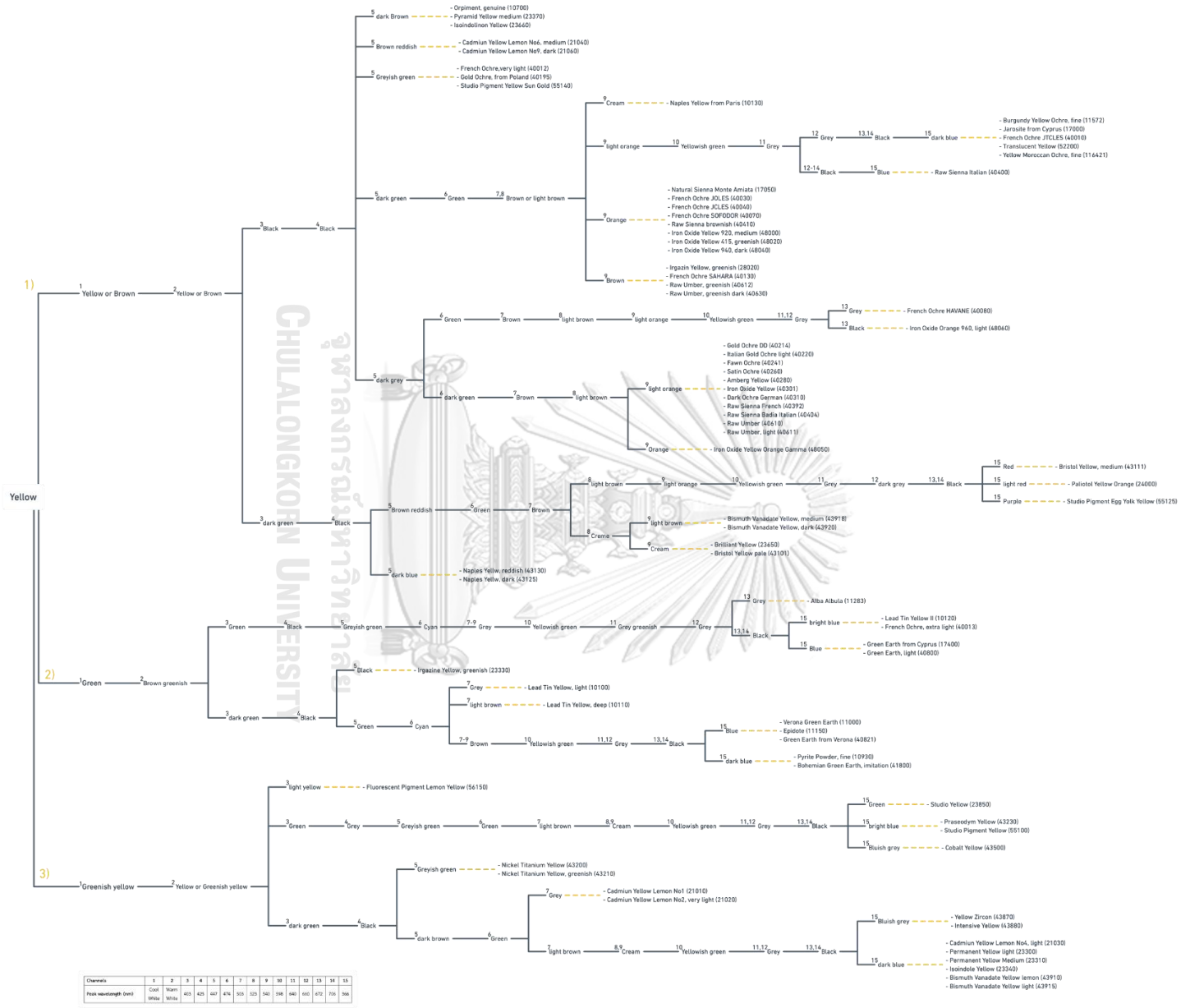
ช่องสัญญาณที่ 5 ที่แอลอีดีความยาวคลื่น 447 นาโนเมตรสามารถระบุสารสีได้จากสีที่ปรากฏเห็นเป็นสีเขียวอมเทาคือสารสี Nickel Titanium Yellow และสารสี Nickel Titanium Yellow, greenish

ช่องสัญญาณที่ 7 ที่แอลอีดีความยาวคลื่น 503 นาโนเมตรสามารถระบุสารสีได้จากสีที่ปรากฏเห็นเป็นเทาคือสารสี Cadmium Yellow Lemon No1 และสารสี Cadmium Yellow Lemon No2, very light

ช่องสัญญาณที่ 15 ที่แอลอีดีความยาวคลื่น 366 นาโนเมตรสามารถระบุสารสีได้จากสีที่ปรากฏเห็นจำนวน 4 สีได้แก่ 3.1) สารสีที่ปรากฏสีเขียวคือสารสี

Studio Yellow 3.2) สารสีที่ปรากฏสีน้ำเงินสว่างคือสารสี Praseodym Yellow และสารสี Studio Pigment Yellow 3.3) สารสีที่ปรากฏสีเทาอมน้ำเงินคือสารสี Cobalt Yellow สารสี Yellow Zircon และสารสี Intensive Yellow และ 3.4) สารสีที่ปรากฏสีน้ำเงินเข้มคือสารสี Cadmiun Yellow Lemon No4, light สารสี Permanent Yellow light สารสี Permanent Yellow Medium สารสี Isoindole Yellow สารสี Bismuth Vanadate Yellow lemon และสารสี Bismuth Vanadate Yellow light

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4.8 แผนผังสารสีสีเหลือง

4.4.5 แผนผังสารสีสีส้ม

สารสีสีส้มซึ่งมีจำนวน 37 สารสีดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 สารสีสีส้ม

ลำดับ	รหัส	ชื่อสารสี	ลำดับ	รหัส	ชื่อสารสี
1	10800	Realgar, genuine	20	40050	French Ochre JFLES
2	11272	Yellow Ochre from Andalusia	21	40060	French Ochre JALS
3	11300	Red Jasper	22	40090	French Ochre SOFOROUGE
4	11360	Brown Red Slate	23	40320	Dark Ochre Italian
5	11520	Jarosite	24	40440	Pompeii Red
6	11530	Gold Ochre	25	40503	Red Bole
7	11540	Taunus Ochre, light	26	42050	Zirconium Red
8	11574	Burgundy Red Ochre, fine	27	42500	Red Lead Minium
9	11585	Spanish Red Ochre, extra fine	28	43131	Bristol Yellow reddish
10	21080	Cadmiun Orange No 0, very light	29	43300	Titanium Orange
11	21090	Cadmiun Orange No 0.5, light	30	43340	Hokkaido Orange
12	21100	Cadmiun Orange No 1, medium	31	43600	Antimony Red
13	23178	Irgazine Orange DPP RA	32	52350	Translucent Orange Red
14	23350	Indian Yellow imitation	33	55200	Studio Pigment Orange
15	23540	Paliotol Orange	34	56200	Fluorescent Pigment Golden Orange
16	23570	Pyranthrone Orange	35	56250	Fluorescent Pigment Orange
17	23670	Irgazine Yellow	36	56300	Fluorescent Pigment Brick Red
18	23800	Isoindolol Orange	37	116431	Red Moroccan Ochre, fine
19	40020	French Ochre RTFLES			

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารสีสีส้มจำนวน 37 สารสีดังตารางที่ 4.5 สามารถแบ่งกลุ่มตามลักษณะที่ปรากฏเห็นในภาพถ่ายภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน ดังภาพที่ 4.9 ออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ สีเหลืองหรือสีน้ำตาล และ สีส้มหรือสีแดง โดยจะอธิบายลักษณะที่ปรากฏเห็นสีในแต่ละช่องสัญญาณตามลำดับ

1.) กลุ่มสารสีสีส้มที่ปรากฏเห็นเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำตาลในช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 โดยในช่องสัญญาณที่ 3 สามารถแบ่งลักษณะสีที่ปรากฏได้ 2 สี คือสีดำ และสีเขียว

สำหรับสีดำจะปรากฏเป็นสีดำในช่องสัญญาณที่ 4 เช่นกัน ในช่องสัญญาณที่ 5 สามารถแบ่งลักษณะและระบุสารสีที่ปรากฏออกได้เป็นอีก 3 สีได้แก่ สีแดงคือสารสี Bristol Yellow reddish สีน้ำเงินคือสารสี Antimony Red และสีเทาเข้มซึ่งในช่องสัญญาณที่ 6 สามารถแบ่งลักษณะและระบุสารสีที่ปรากฏออกได้เป็นอีก 2 สีคือ ปรากฏสีดำคือสารสี Dark Ochre Italian และสีที่ปรากฏเป็นสีเขียวจะปรากฏเห็นสีน้ำตาลในช่องสัญญาณที่ 7 และ 8 ต่อไป โดยในช่องสัญญาณที่ 9 สามารถแบ่งลักษณะสีที่ปรากฏได้อีก 2 กลุ่มคือสีส้มอมแดงและสีส้ม ในช่องสัญญาณที่ 10-12 สารสีทั้ง 2 กลุ่มนี้ปรากฏสีเหมือนกันคือสีเขียวอมเหลือง สีเทา และสีเทาตามลำดับซึ่งในช่องสัญญาณที่ 13 กลุ่มของสีส้มอมแดงจะแยกสีที่ปรากฏออกได้เป็นอีก 2 สีคือ สีเทาและดำ ซึ่งสีเทาที่ปรากฏในช่องสัญญาณที่ 13 จะปรากฏสีดำและสีน้ำเงินเข้มในช่องสัญญาณที่ 14 และ 15 โดยสามารถระบุสารสีได้เป็นสารสี French Ochre RTFLES สารสี French Ochre SOFOROUGE สารสี Pompeii Red สารสี Red Bole ส่วนกลุ่มของสีส้มจะปรากฏสีดำในช่องสัญญาณที่ 13 และ 14 และในช่องสัญญาณที่ 15 จะสามารถแยกและระบุสารสีที่ปรากฏได้ออกเป็น 3 สีได้แก่ สีน้ำเงินเข้มระบุได้เป็นสารสี Gold Ochre สารสี Spanish Red Ochre, extra fine สารสี French Ochre JFLES สารสี French Ochre JALS และสารสี Titanium Orange สีม่วงระบุได้เป็นสารสี Paliotol Orange และสารสี Irgazine Yellow และสีน้ำเงินอมเทาระบุได้เป็นสารสี Indian Yellow, imitation

สำหรับสีเขียวจะปรากฏเห็นสีดำ สีเขียว สีน้ำเงินเขียว สีน้ำตาล สีน้ำตาล ในช่องสัญญาณที่ 3-8 และสามารถแบ่งลักษณะสีที่ปรากฏเห็นออกเป็นสีน้ำตาลและสีน้ำตาลอมเหลืองในช่องสัญญาณที่ 9 ซึ่งในช่องสัญญาณที่ 10-14 สารสีทั้ง 2 กลุ่มนี้ปรากฏเห็นสีเหมือนกันคือ สีเขียวอมเหลือง สีเทา สีเทา สีดำ สีดำ ตามลำดับ โดยในช่องสัญญาณที่ 15 สามารถระบุสารสีกลุ่มสีน้ำตาลที่ปรากฏในช่องสัญญาณที่ 9 ได้โดยสารสี Red Jasper และสารสี Brown Red Slate ปรากฏเห็นสีน้ำเงินสว่างในช่องสัญญาณที่ 15 ส่วนกลุ่มสีน้ำตาลอมเหลืองที่ปรากฏในช่องสัญญาณที่ 9 ในช่องสัญญาณที่ 15 สามารถแบ่งลักษณะและระบุสีที่ปรากฏออกเป็น 2 สีได้แก่ สีน้ำเงินสว่างคือสารสี Taunus Ochre, light และสีน้ำเงินคือสารสี Yellow Ochre from Andalusia และสารสี Jarosite

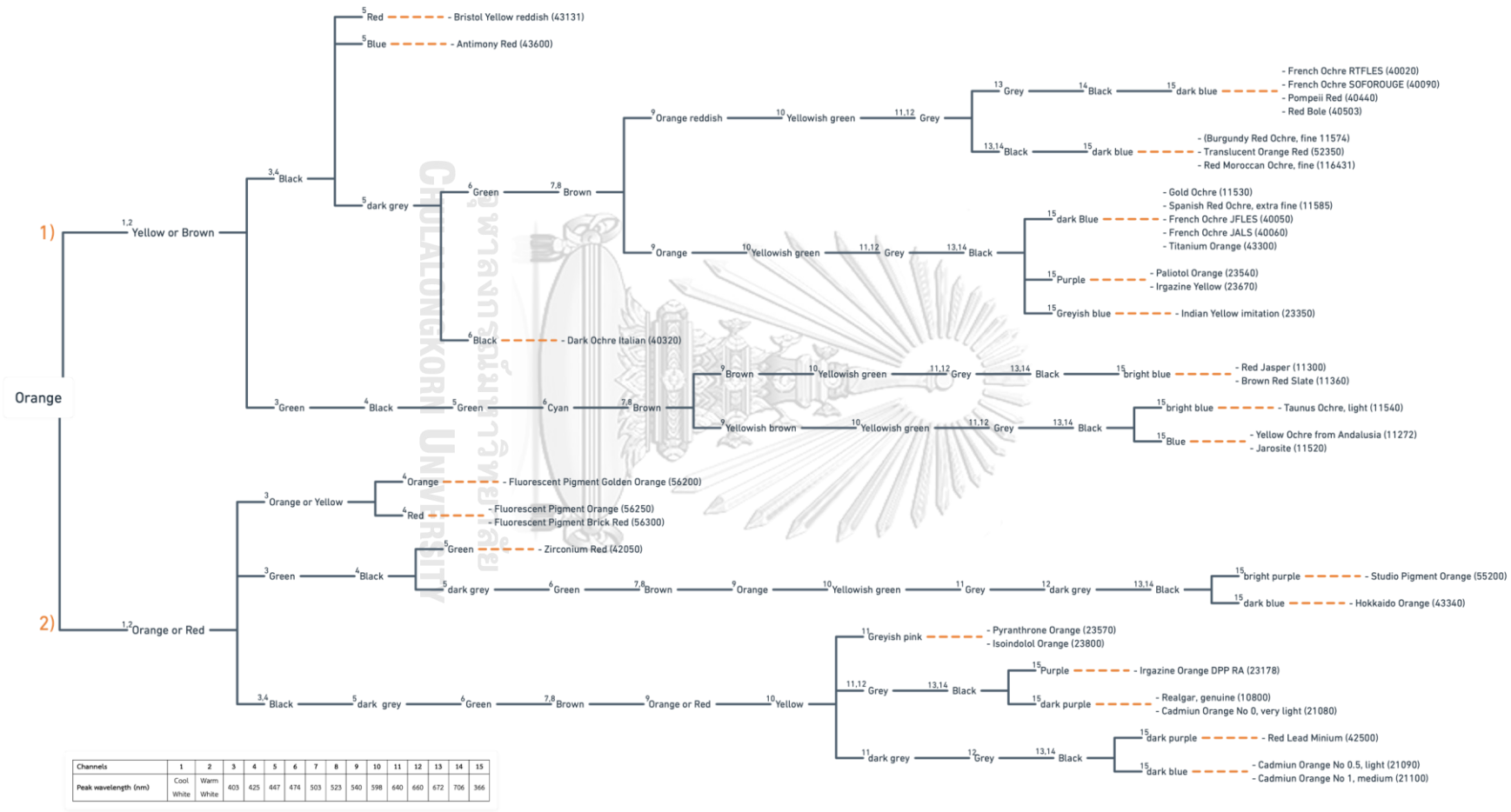
2) กลุ่มสารสีสีเหลืองที่ปรากฏเห็นเป็นสีส้มหรือสีแดงในช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 โดยในช่องสัญญาณที่ 3 สามารถแบ่งลักษณะสีที่ปรากฏได้ 3 สี คือสีส้มหรือเหลือง สีเขียว และสีดำ

สำหรับสีส้มหรือสีเหลืองในช่องสัญญาณที่ 4 สามารถแยกและระบุสารสีได้ออกเป็น 2 สีคือ สีส้มและสีแดง โดยสีส้มคือสารสี Fluorescent Pigment Golden Orange และสีแดงคือสารสี Fluorescent Pigment Orange และสารสี Fluorescent Pigment Brick Red

สำหรับสีเขียวในช่องสัญญาณที่ 4 จะปรากฏเห็นสีดำและสามารถแยกลักษณะสีที่ปรากฏออกเป็น 2 สีในช่องสัญญาณที่ 5 ได้แก่สีเขียวและสีเทาเข้ม โดยสีเขียวสามารถระบุสารสีได้เป็นสารสี Zirconium Red ส่วนสีเทาเข้มจะปรากฏเห็นสีเขียว สีน้ำตาล สีน้ำตาล สีส้ม สีเขียวอมเหลือง สีเทา สีเทาเข้ม สีดำ สีดำในช่องสัญญาณที่ 6-14 ตามลำดับและในช่องสัญญาณที่ 15 สามารถระบุสารสีจากลักษณะสีที่ปรากฏได้แก่ปรากฏสีม่วงสว่างคือสารสี Studio Pigment Orange และสีน้ำเงินเข้มคือสารสี Hokkaido Orange

สำหรับสีดำจะปรากฏเป็นสีเทา สีเขียว สีน้ำตาล สีน้ำตาล สีส้มหรือสีแดง และสีเหลืองในช่องสัญญาณที่ 5-10 ตามลำดับโดยในช่องสัญญาณที่ 11 สามารถแยกลักษณะสีที่ปรากฏออกเป็น 3 กลุ่มได้แก่ กลุ่มสีชมพูอมเทาซึ่งสามารถระบุสารสีได้เป็น สารสี Pyranthrone Orange และสารสี Isoindolol Orange ต่อมาเป็นกลุ่มสีเทาซึ่งจะปรากฏเป็นสีเทาในช่องสัญญาณที่ 12 เช่นกันและสีดำในช่องสัญญาณที่ 13 และ 14 โดยในช่องสัญญาณที่ 15 สามารถระบุสารสีที่ปรากฏได้แก่ สีม่วงคือสารสี Irgazine Orange DPP RA และสีม่วงเข้มคือสารสี Realgar, genuine และสารสี Cadmium Orange No. 0, very light และสุดท้ายกลุ่มสีเทาเข้มจะปรากฏสีเทาในช่องสัญญาณที่ 12 และปรากฏสีดำในช่องสัญญาณที่ 13 และ 14 โดยในช่องสัญญาณที่ 15 สามารถระบุสารสีที่ปรากฏได้แก่ สีม่วงเข้มคือสารสี Red Lead Minium และสีน้ำเงินเข้มคือสารสี Cadmium Orange 0.5, light และสารสี Cadmium Orange No 1, medium

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



Channels	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Peak wavelength (nm)	Cool White	Warm White	403	425	447	474	503	523	540	598	640	660	672	706	366

ภาพที่ 4.9 แผนผังสารสีส้ม

4.4.6 แผนผังสารสีสีแดง

สารสีสีแดงซึ่งมีจำนวน 52 สารสีดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 สารสีสีแดง

ลำดับ	รหัส	ชื่อสารสี	ลำดับ	รหัส	ชื่อสารสี
1	10150	Pinkcolor	27	23480	Cinquasia Chestnut Brown
2	10154	Pinkcolor Deep	28	23490	Purple Red
3	10620	Natural Cinnabar	29	23502	Maroon
4	10625	Cinnabar fine	30	23504	Paliogen Maroon, very fine
5	11274	Red Ochre from Andalusia	31	23600	Alizarine Crimson light
6	11350	Cote d'Azur Violet	32	23610	Alizarine Crimson dark
7	11550	Snaefellsjoekull Red	33	23720	Hostaperm Red
8	11576	Burgundy Red Ochre Deep, fine	34	23950	Studio Red Helio
9	21110	Cadmiun Orange No 2, vermilion	35	26308	XSL Poppy Red
10	21120	Cadmiun Red No 1, light	36	26310	XSL Irgazine Red DPP
11	21130	Cadmiun Red No 2, medium	37	37202	Madder Lake genuine
12	21140	Cadmiun Red No 3, dark	38	40510	Venetian Red
13	23153	Hostaperm Pink E	39	40542	English Red Light
14	23179	Irgazine Scarlet DPP EK	40	40545	English Red Deep
15	23180	Irgazine Red DPP BO	41	41550	Terra Pozzuoli
16	23181	DPP Red	42	41600	Terra Ercolano
17	23182	Irgazine Ruby DPP-TR	43	42000	Vermilion
18	23184	Hostaperm Red DPP	44	42100	Carmine Naccarat
19	23200	Scarlet Red	45	42300	Cerium Red
20	23202	CPT Scarlet Red	46	55300	Studio Pigment Light Red
21	23230	Permanent Red A	47	55400	Studio Pigment Dark Red
22	23250	Permanent Red dark	48	55450	Studio Pigment Bordeaux
23	23290	Permanent Red	49	56350	Fluorescent Pigment Flame Red
24	23291	Permanent Red FRLL	50	56400	Fluorescent Pigment Magenta Red
25	23293	CPT Red	51	372057	Madder Lake Carmine Red
26	23402	Quindo Pink D	52	372141	Madder Lake made of roots Dark Red

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารสีสีแดงจำนวน 52 สารสีดังตารางที่ 4.6 สามารถแบ่งกลุ่มตามลักษณะที่ปรากฏเห็นในภาพถ่ายภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน ดังภาพที่ 4.10 ออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ สีแดงหรือสีน้ำตาล และ สีม่วงหรือสีม่วงแดง โดยจะอธิบายลักษณะที่ปรากฏเห็นสีในแต่ละช่องสัญญาณตามลำดับ

1) กลุ่มสารสีสีแดงสีที่ปรากฏเห็นเป็นสีแดงหรือสีน้ำตาลในช่องสัญญาณที่ 1 โดยในช่องสัญญาณที่ 2 สามารถแบ่งลักษณะสีที่ปรากฏได้ 4 สี คือสีน้ำตาลอ่อน สีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลเข้ม สีแดงหรือส้ม สีชมพู

สำหรับสีน้ำตาลอ่อนจะปรากฏสีเขียว สีดำ สีเขียวอมเทา สี น้ำเงินเขียว สีน้ำตาล สีเทา สีส้ม และสีเขียวอมเหลืองในช่องสัญญาณที่ 3-10 และจะปรากฏเป็นสีเทาในช่องสัญญาณที่ 11 และ 12 และสีดำในช่องสัญญาณที่ 13 และ 14 โดยในช่องสัญญาที่ 15 สามารถระบุสารสีจากลักษณะสีที่ปรากฏ ได้แก่ สีม่วงสว่างคือสารสี Madder Lake Carmine Red และสารสี Madder Lake made of roots Dark red และสีน้ำเงินสว่างคือสารสี Cote d'Azur Violet และสารสี Snaefellsjoekull Red

สำหรับสีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลเข้มในช่องสัญญาณที่ 3 และ 4 จะปรากฏเป็นสีดำและช่องสัญญาณที่ 5 สามารถระบุและแบ่งสารสีจากลักษณะสีที่ปรากฏออกได้เป็น 3 สีได้แก่ สีน้ำตาลคือสารสี Permanent Red dark สีเขียวคือสารสี Natural Cinnabar สารสี Cinnabar, fine สารสี CPT Red สารสี Purple Red และสีเขียวเข้ม โดยสารสีที่ปรากฏสีเขียวเข้มในช่องสัญญาณที่ 5 จะปรากฏสีเขียว สีน้ำตาล สีน้ำตาล สีแดง สีเหลือง สีเทา และสีเทาในช่องสัญญาณที่ 5-12 ตามลำดับ ในช่องสัญญาณที่ 13 สามารถระบุและแบ่งสารสีจากลักษณะสีที่ปรากฏออกได้เป็น 2 สีคือ สีเทาได้แก่สารสี Venetian English สารสี Red Light สารสี English Red Deep สารสี Terra Pozzuoli และสีดำจะปรากฏในช่องสัญญาณที่ 14 ด้วยและในช่อสัญญาณที่ 15 สามารถระบุและแบ่งสารสีจากลักษณะสีที่ปรากฏออกได้เป็น 2 สีคือสีน้ำเงินคือสารสี Cinquasia Chestnut Brown และสีน้ำเงินเข้ม ได้แก่สารสี Red Ochre from Andalusia สารสี Burgundy Red Ochre Deep, fine สารสี Terra Ercolano และสารสี Vermilion

สำหรับสีแดงหรือส้มในช่องสัญญาณที่ 3 สามารถแบ่งสารสีจากลักษณะสีที่ปรากฏออกได้เป็น 2 สีคือ สีเขียวและสีดำ โดยกลุ่มที่ปรากฏสีเขียวในช่องสัญญาณที่ 3 และปรากฏสีดำ สีเทา สีน้ำเงินเขียว สีน้ำตาล สีน้ำตาล สีส้ม และสีเหลือง ในช่องสัญญาณที่ 4-10 ตามลำดับ ในช่องสัญญาณที่ 11 สามารถระบุและแบ่งสารสีจากลักษณะสีที่ปรากฏออกได้เป็น 2 สี ได้แก่สีชมพูคือ สารสี Hostaperm Red DPP และสีเทาจะปรากฏสีเทาเช่นเดียวกันในช่องสัญญาณที่ 12 และปรากฏสีดำในช่องสัญญาณที่ 13 และ 14 และ

สามารถระบุสารสีกลุ่มนี้ได้ในช่องสัญญาณที่ 15 โดยปรากฏเห็นเป็นสีม่วง ได้แก่ สารสี DPP Red สารสี Scarlet Red และสารสี Madder Lake genuine ส่วนที่ปรากฏเป็นสีดำในช่องสัญญาณที่ 3 จะปรากฏสีดำ สีเทาเข้ม สีเขียวเข้ม สีเทาเข้ม สีเทาเข้ม สีแดง และสีเหลือง ในช่องสัญญาณที่ 4-10 ตามลำดับในช่องสัญญาณที่ 11 สามารถระบุและแบ่งสารสีจากลักษณะสีที่ปรากฏออกได้เป็น 4 สี ได้แก่ สีเทาคือสารสี Studio Pigment Light Red สีเทาเข้มคือสารสี Cerium Red สีชมพูและสีชมพูเข้ม โดยสีชมพูจะปรากฏสีม่วงในช่องสัญญาณที่ 12 และสีดำในช่องสัญญาณที่ 13 และ 14 จากนั้นสามารถระบุสารสีกลุ่มนี้ได้ในช่องสัญญาณที่ 15 โดยปรากฏเห็น 2 สีได้แก่ สีน้ำเงินคือสารสี Permanent Red สารสี Alizarine Crimson light และสารสี Studio Pigment Dark Red ส่วนสารสีที่ปรากฏสีชมพูเข้มในช่องสัญญาณที่ 11 จะปรากฏสีม่วง สีดำ สีดำ สีน้ำเงินเข้มในช่องสัญญาณที่ 15 และระบุสารสีกลุ่มนี้คือ สารสี Cadmium Orange No 2, vermilion และสารสี Cadmium Red No 1, light

สำหรับสารสีที่ปรากฏเป็นสีชมพูในช่องสัญญาณที่ 2 สามารถระบุได้คือ สารสี Fluorescent Pigment Flame Red

2.) กลุ่มสารสีสีแดงสีที่ปรากฏเห็นเป็นสีม่วงหรือม่วงแดง (Magenta) ในช่องสัญญาณที่ 1 โดยในช่องสัญญาณที่ 2 สามารถแบ่งลักษณะสีที่ปรากฏได้ 4 สี คือสีม่วงหรือสีม่วงแดง สีแดงหรือสีน้ำตาล สีชมพูอ่อน และสีชมพู โดยจะอธิบายลักษณะที่ปรากฏเห็นสีในแต่ละช่องสัญญาณตามลำดับ

สำหรับสีม่วงหรือสีม่วงแดงที่ปรากฏในช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 ในช่องสัญญาณที่ 3 สามารถระบุและแบ่งสารสีจากลักษณะสีที่ปรากฏออกได้เป็น 2 สี ได้แก่ สีเขียวและสีดำ โดยที่ปรากฏสีดำและสามารถระบุสารสีได้เป็นสารสี Hostaper Pink E สารสี Paliogen Maroon, very fine และสารสี Studio Pigment Bordeaux ส่วนสีเขียวจะปรากฏสีดำ สีเขียวอมเทา สีเขียว และสีเทาในช่องสัญญาณที่ 4-7 โดยในช่องสัญญาณที่ 8 สามารถระบุและแบ่งสารสีจากลักษณะสีที่ปรากฏออกได้เป็น 2 สีได้แก่ สีน้ำตาลคือสารสี Alizarine Crimson dark สีเทาคือสารสี Hostaperm Red สารสี Irgazine Ruby DPP TR และสารสี Permanent Red A โดยในช่องสัญญาณที่ 9 จะปรากฏเป็นสีแดง สีแดงอมเทา และสีแดงอ่อนตามลำดับ

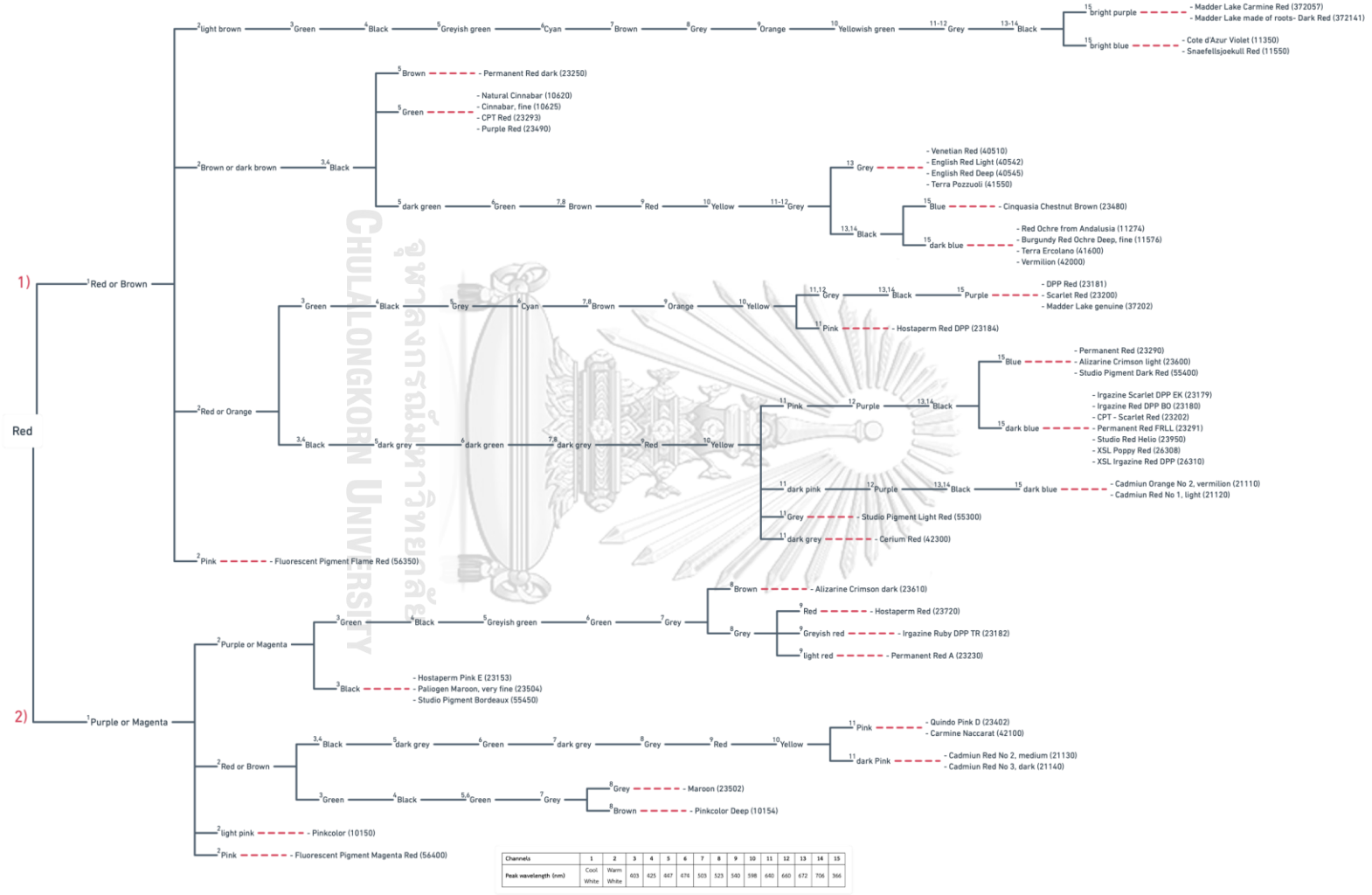
สำหรับสีแดงและน้ำตาลในช่องสัญญาณที่ 3 จะสามารถแบ่งสารสีจากลักษณะสีที่ปรากฏออกได้เป็น 2 สีได้คือสีดำและสีเขียว โดยสารสีที่ปรากฏสีดำในช่องสัญญาณที่ 3 จะปรากฏสีดำ สีเทาเข้ม สีเขียว สีเทาเข้ม สีเทา สีแดง และสีเหลืองในช่องสัญญาณที่ 4-10 และในช่องสัญญาณที่ 11 สามารถระบุและแบ่งสารสีจากลักษณะสีที่ปรากฏออกได้เป็น 2 สี ได้แก่ สีชมพูคือสารสี Quindo Pink D และสารสี Carmine Naccarat และที่ปรากฏสีชมพู

เข้มคือสารสี Cadmium Red No 2, medium และสารสี Cadmium Red No 3, dark ส่วนสารสีที่ปรากฏสีเขียวในช่องสัญญาณที่ 3 จะปรากฏ สีดำ สีเขียว สีเขียว และสีเทาในช่องสัญญาณที่ 4-7 และในช่องสัญญาณที่ 8 สามารถระบุและแบ่งสารสีจากลักษณะสีที่ปรากฏออกได้เป็น 2 สีได้แก่ สีเทาคือสารสี Maroon และสีน้ำตาลคือสารสี Pinkcolor Deep

สำหรับสารสีที่ปรากฏเป็นสีชมพูอ่อนในช่องสัญญาณที่ 2 สามารถระบุได้คือ สารสี Pinkcolor

สำหรับสารสีที่ปรากฏเป็นสีชมพูในช่องสัญญาณที่ 2 สามารถระบุได้คือ สารสี Fluorescent Pigment Magenta Red

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4.10 แผนผังสารสีแดง

4.4.7 แผนผังสารสีสีขาว เทา ดำ น้ำตาล

สารสีสีขาว เทา ดำ น้ำตาล มีจำนวน 94 สารสีดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 สารสีสีขาว เทา ดำ น้ำตาล

ลำดับ	รหัส	ชื่อสารสี	ลำดับ	รหัส	ชื่อสารสี
1	10900	Galena	49	40650	Chromite
2	10940	Antimony	50	40660	Raw Umber dark
3	11152	Florentine Green	51	40700	Burnt Umber reddish
4	11181	Andeer Green, fine	52	40710	Burnt Umber Brownish
5	11200	Green Jasper	53	40720	Burnt Umber, dark brown
6	11276	Brown Ochre from Andalusia	54	40723	Burnt Umber type B
7	11280	Black Earth from Andalusia	55	40730	Burnt Umber Light reddish brown
8	11282	Nero Bernino	56	40850	Burnt Green Earth
9	11290	Sugar Dolomite	57	40900	Slate Grey, extra light
10	11305	Carneol pale yellow	58	40911	Slate Gray, light greenish
11	11310	Rose Quartz from Namibia	59	40920	Slate Gray, gray green
12	11315	Amethyst Brasilian	60	40960	Pencil Clay, powder
13	11320	Rhodochrosite	61	41000	Van Dyck Brown
14	11324	Rhodonite	62	41050	Cassel Brown, wood stain
15	11354	Slate Green from Mels	63	45364	Copper Blue
16	11356	Gray from Mels	64	48100	Iron Oxide Red 110 M, light
17	11362	Gray from Burgundy	65	48120	Iron Oxide Red 120 M
18	11390	Jade, very fine	66	48150	Iron Oxide Red 130 B, medium
19	11401	Rock Crystal, fine	67	48200	Iron Oxide Red 130 M, medium
20	11410	Eggshell White	68	48220	Caput Mortuum Synthetic 180 M
21	11420	Fuchsite, extra fine	69	48250	Iron Oxide Red 222, dark
22	11620	Brown Earth from Otranto	70	48289	Iron Oxide Red micronized
23	11630	Iseo Brown	71	48300	Iron Oxide Brown 610, light
24	11670	Onyx Black	72	48320	Iron Oxide Brown 640, medium
25	11674	Obsidian Black	73	48340	Iron Oxide Brown 655
26	11810	Selenite Marienglas, fine	74	48350	Iron Oxide Brown 660, dark
27	11830	Aragonite	75	48400	Iron Oxide Black 318 high tinting
28	12000	Ivory Black, genuine	76	48420	Iron Oxide Black 360 bluish
29	12010	Peach Black	77	48440	Iron Oxide Black 320 brownish

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ลำดับ	รหัส	ชื่อสารสี	ลำดับ	รหัส	ชื่อสารสี
30	12015	Grape Black	78	48600	Iron Oxide Red, natural
31	12020	Cherry Black	79	48651	Haematite intense tinting
32	12030	Atramentum	80	48700	Caput Mortuum reddish
33	12040	Shungit	81	48710	Caput Mortuum dark
34	12100	Bistre	82	48750	Caput Mortuum Violet
35	12400	Sepia	83	48800	Magnetite, very fine
36	23480	Cinquasia Chestnut Brown	84	48804	Magnetite, fine
37	23493	Gubbio Red	85	48806	Magnetite, coarse
38	23500	Paliogen Maroon	86	48910	Natural Iron Glimmer
39	23585	Cinquasia Gold red gold	87	48930	Iron Glimmer Violet
40	24100	Aniline Black	88	48933	Iron Glimmer Violet, extra fine
41	36000	Indigo, genuine	89	52400	Translucent Red medium
42	36009	Indigo, synthetic	90	103801	Torquoise sky blue, fine
43	37218	Madder Lake Violet	91	104201	Sodalite, fine
44	40231	Brown Ochre light	92	116441	Dark Red Moroccan Ochre, fine
45	40430	Dark Burnt Sienna	93	489623	Spanish Haematite medium
46	40470	Burnt Sienna from France	94	489624	Spanish Haematite coarse
47	40490	Rosso Sartorius			
48	40623	Manganese Brown Intense			

สารสีกลุ่มขาว เทา ดำ และน้ำตาล เป็นสารสีกลุ่มที่มีจำนวนมากที่สุดซึ่งมีจำนวน 94 สารสี ดังตารางที่ 4.7 โดยเมื่อพิจารณาจากภาพถ่ายทั้งหมดของสารสีกลุ่มนี้พบว่าลักษณะสีที่ปรากฏในช่องสัญญาณส่วนใหญ่ปรากฏคล้ายกันจึงทำให้สามารถแยกกลุ่มและระบุชนิดสารสีเป็นกลุ่มใหญ่ได้เท่านั้น โดยสามารถแบ่งกลุ่มตามลักษณะที่ปรากฏเห็นในภาพถ่ายภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน จากนั้นดูลักษณะสีที่ปรากฏเห็นแบบย้อนกลับจากช่องสัญญาณสุดท้ายดังภาพที่ 4.11 ซึ่งในช่องสัญญาญที่ 1 และ 2 สามารถแบ่งลักษณะสีที่ปรากฏเห็นออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่คือ สีเทาอ่อน สีเทาเข้มหรือดำ สีน้ำเงินเข้ม และสีน้ำตาล โดยจะอธิบายลักษณะที่ปรากฏเห็นสีในแต่ละช่องสัญญาณตามลำดับ

1) กลุ่มสารสีขาว เทา ดำ น้ำตาลที่ปรากฏเห็นเป็นสีเทาอ่อนในช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 โดยในช่องสัญญาณที่ 15 สามารถแบ่งลักษณะสีที่ปรากฏเห็นได้ออกเป็น 2 สี คือสีขาวและสีน้ำเงินสว่าง ซึ่งสารสีที่ปรากฏเป็นสีขาวในช่องสัญญาณที่ 15 จะปรากฏสีดำในช่องสัญญาณที่ 14 และสามารถระบุและแบ่งสารสีจากลักษณะสีที่ปรากฏในช่องสัญญาณที่ 13 ออกได้เป็น 2 สีคือ สีเทา

จำนวน 7 ตัวได้แก่สารสี Sugar Dolomite สารสี Carneol pale yellow สารสี Rose Quartz from Namibia สารสี Amethyst Brasilian สารสี Rock Crystal, fine สารสี Eggshell White และสารสี Selenite Marienglas, fine และสีดำจำนวน 3 ตัวได้แก่สารสี Fuchsite, extra fine สารสี Obsidian Black และสารสี Sodalite, fine ส่วนสารสีที่ปรากฏสีน้ำเงินสว่างในช่องสัญญาณที่ 15 จะปรากฏสีดำในช่องสัญญาณที่ 14 และสามารถระบุและแบ่งสารสีจากลักษณะสีที่ปรากฏในช่องสัญญาณที่ 13 ออกได้เป็น 2 สีคือ สีเทาจำนวน 2 ตัวคือ สารสี Rhodochrosite และสารสี Aragonite และสีที่ปรากฏเป็นสีดำจำนวน 15 ตัวได้แก่ สารสี Green Jasper สารสี Florentine Green สารสี Andeer Green, fine สารสี Nero Bernino สารสี Slate Green from Mels สารสี Gray from Mels สารสี Gray from Burgundy สารสี Jade, very fine สารสี Onyx Black สารสี Slate Grey, extra light สารสี Slate Gray, light greenish สารสี Slate Gray, gray green สารสี Pencil Clay, powder สารสี Copper Blue และสารสี Torquoise sky blue, fine

2) กลุ่มสารสีขาว เทา ดำ น้ำตาลที่ปรากฏเห็นเป็นสีเทาอ่อนในช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 โดยในช่องสัญญาณที่ 15 สามารถระบุสารสีจากลักษณะสีที่ปรากฏเห็นได้ออกเป็น 2 สีคือ สีน้ำเงินจำนวน 6 ตัวได้แก่ สารสี Galena สารสี Ivory Black, genuine สารสี Natural Iron Glimmer สารสี Iron Glimmer Violet สารสี Spanish Haematite medium และสารสี Spanish Haematite coarse และสารสีที่ปรากฏสีน้ำเงินเข้มจำนวน 19 ตัวได้แก่ สารสี Antimony สารสี Rhodonite สารสี Peach Black สารสี Grape Black สารสี Cherry Black สารสี Atramentum สารสี Shungit สารสี Bistre สารสี Sepia สารสี Aniline Black สารสี Chromite สารสี Van Dyck Brown สารสี Iron Oxide Black 318 high tinting สารสี Iron Oxide Black 360 bluish สารสี Iron Oxide Black 320 brownish สารสี Caput Mortuum dark สารสี Magnetite, very fine สารสี Magnetite, fine และสารสี Magnetite, coarse

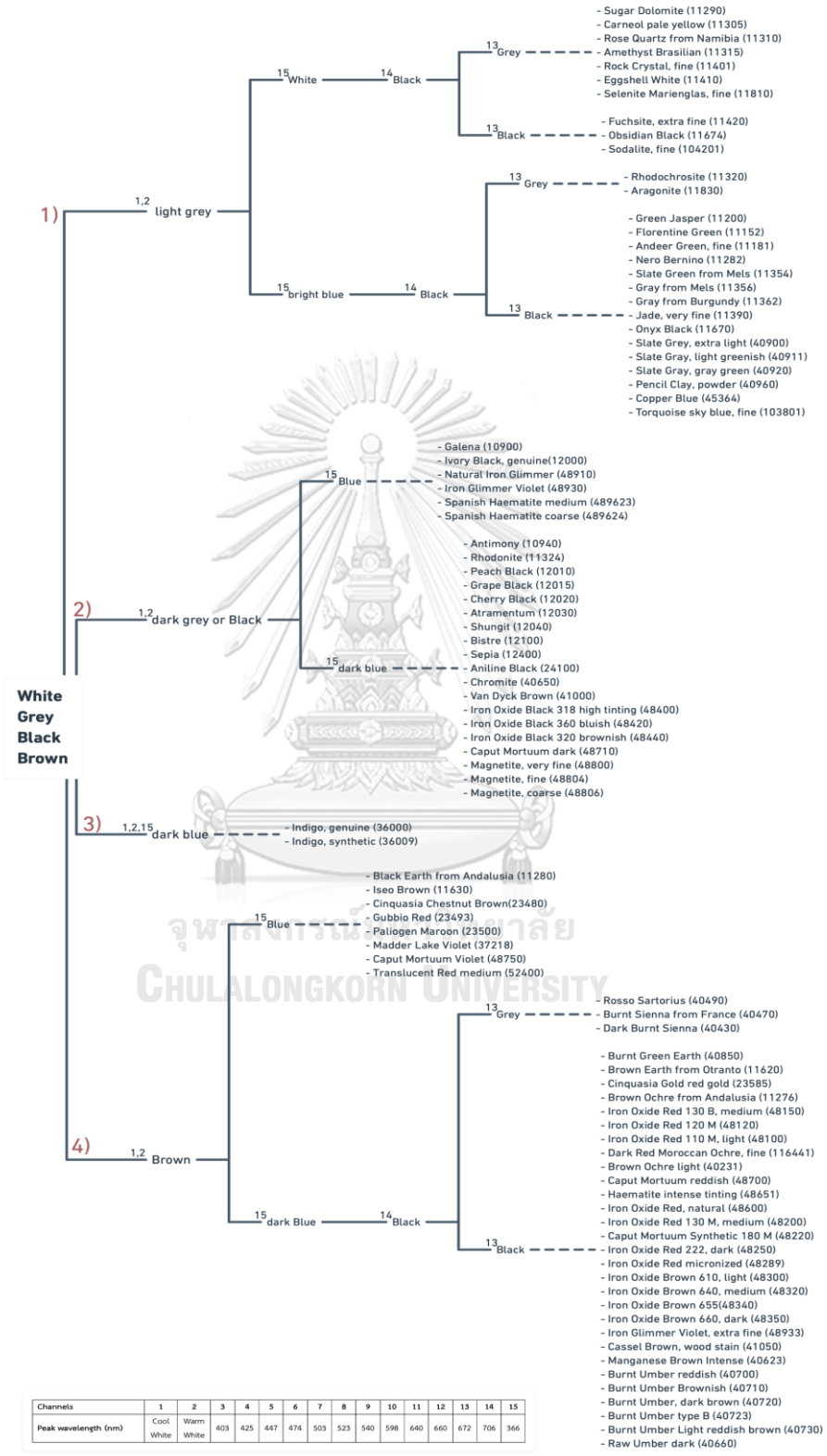
3) กลุ่มสารสีขาว เทา ดำ น้ำตาลที่ปรากฏเห็นเป็นน้ำเงินเข้มในช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 โดยในช่องสัญญาณที่ 15 ปรากฏสีน้ำเงินเข้มเช่นเดียวกัน โดยสามารถระบุสารสีได้จำนวน 2 ตัวคือ สารสี Indigo, genuine และสารสี Indigo, synthetic

4) กลุ่มสารสีขาว เทา ดำ น้ำตาลที่ปรากฏเห็นเป็นสีน้ำตาลในช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 โดยในช่องสัญญาณที่ 15 สามารถระบุสารสีจากลักษณะสีที่ปรากฏเห็นได้ออกเป็น 2 สีคือ สีน้ำเงินและสีน้ำเงินเข้ม โดยสีที่ปรากฏสีน้ำเงินในช่องสัญญาณที่ 15 สามารถระบสารสีได้จำนวน 8 ตัวได้แก่ สารสี Black Earth from Andalusia สารสี Iseo Brown สารสี Cinquasia Chestnut Brown สารสี Gubbio Red สารสี Paliogen Maroon สารสี Madder Lake Violet สารสี Caput Mortuum Violet และสารสี Translucent Red medium

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ส่วนสารสีที่ปรากฏเป็นสีน้ำเงินเข้มในช่องสัญญาณที่ 15 ในช่องสัญญาณที่ 14 จะปรากฏเป็นสีดำและในช่องสัญญาณที่ 13 สามารถระบุสารสีจากลักษณะสีที่ปรากฏเห็นได้ออกเป็น 2 สีคือ สีเทาจำนวน 3 สีได้แก่ สารสี Rosso Sartorius สารสี Burnt Sienna from France และสารสีที่ปรากฏสีดำจำนวน 29 สี ได้แก่ สารสี Burnt Green Earth สารสี Brown Earth from Otranto สารสี Cinquasia Gold red gold สารสี Brown Ochre from Andalusia สารสี Iron Oxide Red 130 B, medium สารสี Iron Oxide Red 120 M สารสี Iron Oxide Red 110 M, light สารสี Dark Red Moroccan Ochre, fine สารสี Brown Ochre light สารสี Caput Mortuum reddish สารสี Haematite intense tinting สารสี Iron Oxide Red, natural สารสี Iron Oxide Red 130 M, medium สารสี Caput Mortuum Synthetic 180 M สารสี Iron Oxide Red 222, dark สารสี Iron Oxide Red micronized สารสี Iron Oxide Brown 610, light สารสี Iron Oxide Brown 640, medium สารสี Iron Oxide Brown 655 สารสี Iron Oxide Brown 660, dark สารสี Iron Glimmer Violet, extra fineสารสี Cassel Brown, wood stain สารสี Manganese Brown Intense สารสี Burnt Umber reddish สารสี Burnt Umber Brownish สารสี Burnt Umber, dark brown สารสี Burnt Umber type B สารสี Burnt Umber Light reddish brown และสารสี Raw Umber dark (40660)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4.11 แผนผังสารสีสีขาว เทา ดำ และ น้ำตาล

4.5 การเลือกแผนผังเพื่อระบุสารสีของตัวอย่างสีทดสอบ

จากภาพที่ 4.5-4.11 แผนผังที่สร้างขึ้นจากฐานข้อมูลภาพถ่ายภายใต้แอลอีดี 15 ช่องสัญญาณผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่านทั้งหมด 7 แผนผัง การแยกลักษณะสีที่ปรากฏส่วนใหญ่จะแยกจากสีที่ปรากฏเห็นในช่องสัญญาณที่ 1 ซึ่งเป็นช่องสัญญาณของแอลอีดี cool white โดยในแผนผังแต่ละสีมีสีที่ปรากฏเหมือนกับสีต้นแบบในช่องสัญญาณที่ 1 ดังตารางที่ 4.8 โดยในการพิจารณาเลือกแผนผังเพื่อระบุสารสีจะพิจารณาจากการมองเห็นตัวอย่างสีทดสอบจริงด้วยตาเปล่าหากตัวอย่างทดสอบสีนั้นมีเฉดสีคล้ายกับสีใดให้เลือกพิจารณาแผนผังเฉดสีนั้นก่อน

ตารางที่ 4.8 สีที่ปรากฏในช่องสัญญาณที่ 1 ของแผนผังสารสี

แผนผังสารสี	**สีที่ปรากฏในช่องสัญญาณที่ 1**
สีม่วง	สีม่วง
สีน้ำเงิน	สีน้ำเงิน สีน้ำเงินสว่าง สีม่วง สีเทา
สีเขียว	สีเขียว สีน้ำเงิน สีเขียวอมเทา สีเทา สีดำ
สีเหลือง	สีเหลืองหรือสีน้ำตาล สีเหลือ สีเขียว
สีส้ม	สีส้มหรือสีแดง สีเหลืองหรือสีน้ำตาล
สีแดง	สีแดงหรือสีน้ำตาล สีม่วงหรือสี สีม่วงแดง
สีขาว เทา ดำ และน้ำตาล	สีเทาเข้มหรือสีดำ สีน้ำตาล สีน้ำเงินเข้ม สีเทาอ่อน

4.6 ผลการระบุสารสีของตัวอย่างสีทดสอบกับฐานข้อมูลที่สร้างขึ้น

การระบุสารสีจากตัวอย่างสีทดสอบ โดยงานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการวิเคราะห์ชนิดของสารสีด้วยเทคนิคการถ่ายภาพ โดยภาพถ่ายสารสีแต่ละตัวจะมีลักษณะของสีที่ปรากฏเห็นแตกต่างกันเมื่อถูกถ่ายภาพภายใต้แอลอีดีที่ความยาวคลื่นแตกต่างกันซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ตัวอย่างสีจำนวน 4 สีมาทดลองเพื่อระบุตามแผนผังสารสีที่สร้างขึ้นจากฐานข้อมูลภาพ ได้แก่ สีเขียว สีเหลือง สีแดง และสีน้ำตาล

4.6.1 ตัวอย่างสีเขียว

จากตารางที่ 4.7 สีที่ปรากฏในช่องสัญญาณที่ 1 ของตัวอย่างสีทดสอบคือสีเขียว และเมื่อมองด้วยตาเปล่าก็ปรากฏเป็นสีเขียวจึงเลือกพิจารณาแผนผังสารสีสีเขียว เมื่อดูตัวอย่างสีทดสอบผ่านภาพถ่ายภายใต้แอลอีดีพบว่าภาพถ่ายภายใต้ช่องสัญญาณที่ 1-7 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน สามารถใช้ระบุสีทดสอบสีเขียวได้โดยมีลักษณะสีที่ปรากฏเห็นเป็นสีดังนี้ สีเขียว สีเขียว สีดำ สีดำ สีเขียว สีเขียว และสีน้ำตาลตามลำดับดังภาพที่ 4.12

ภาพที่ 4.12 ภาพถ่ายตัวอย่างสีทดสอบสีเขียวภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน

เมื่อดูเทียบลักษณะสีที่ปรากฏเห็นกับฐานข้อมูลที่สร้างขึ้นในส่วนของแผนผังสารสีสีเขียวดังภาพที่ 4.7 พบว่ามีสารสี 2 ตัวที่มีลักษณะสีที่ปรากฏเห็นตรงกันในช่องสัญญาณที่ 1-7 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน คือ

1) สารสี Cobalt Green (44100) ดังภาพที่ 4.13

2) สารสี Chrome Oxide Green (44200) ดังภาพที่ 4.14

ภาพที่ 4.13 ภาพถ่ายสารสี Cobalt Green ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน

ภาพที่ 4.14 ภาพถ่ายสารสี Chrome Oxide Green ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ซึ่งเมื่อนำภาพถ่ายตัวอย่างสีทดสอบสีเขียวในภาพที่ 4.12 มาเทียบกับภาพถ่ายสารสี Cobalt Green ในภาพที่ 4.13 และ สารสี Chrome Oxide Green ในภาพที่ 4.14 จะเห็นว่าสีที่ปรากฏเห็นในช่องสัญญาณที่ 1-15 มีสีที่ปรากฏคล้ายคลึงกันมากและมีลักษณะสีที่ปรากฏคล้ายคลึงกับตัวอย่างสีทดสอบสีเขียว ดังนั้นตัวอย่างสีทดสอบสีเขียวถูกระบุจากฐานข้อมูลที่สร้างขึ้นเป็น สารสี Chrome Oxide Green (44200) หรือ สารสี Cobalt Green (44100) และเพื่อยืนยันผลการระบุตัวอย่างสีทดสอบสีเขียวนี้ สารสีตัวอย่างสีทดสอบสีเขียวและสารสี Chrome Oxide Green และสารสี Cobalt Green (44100) จะถูกนำไปทดสอบเปรียบเทียบด้วยสเปกกตรัมการสะท้อนแสงและเทคนิครามานสเปกโตรสโกปีต่อไป

4.6.2 ตัวอย่างสีเหลือง

จากตารางที่ 4.8 สีที่ปรากฏในช่องสัญญาณที่ 1 ของตัวอย่างสีทดสอบคือสีเหลืองและสีที่มองเห็นด้วยตาเปล่าจึงเลือกพิจารณาแผนผังสารสีสีเหลือง เมื่อดูตัวอย่างสีทดสอบจากภาพถ่ายภายใต้แอลอีดีพบว่าภาพถ่ายภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-9 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่านสามารถใช้ระบุสีทดสอบสีเหลืองได้โดยมีลักษณะสีที่ปรากฏเห็นเป็นสีดังนี้ สีเหลืองหรือน้ำตาล สีเหลือง สีดำ สีดำ สีเขียวเข้ม สีเขียว สีน้ำตาล สีน้ำตาลอ่อน และสีส้มตามลำดับดังภาพที่ 4.15

ภาพที่ 4.15 ภาพถ่ายตัวอย่างสีทดสอบสีเหลืองภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน

เมื่อดูเทียบลักษณะสีที่ปรากฏเห็นกับฐานข้อมูลที่สร้างขึ้นในส่วนของแผนผังสารสีสีเหลืองดังภาพที่ 4.8 พบว่ามีสารสี 8 ตัวที่มีลักษณะสีที่ปรากฏเห็นตรงกันในช่องสัญญาณที่ 1-13 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน คือ

1) สารสี Natural Sienna Monte Amiata (17050) ดังภาพที่ 4.16
2) สารสี French Ochre JOLES (40030) ดังภาพที่ 4.17
3) สารสี French Ochre JCLES (40040) ดังภาพที่ 4.18
4) สารสี French Ochre SOFODOR (40070) ดังภาพที่ 4.19
5) สารสี Iron Oxide Yellow 920, medium (48000) ดังภาพที่ 4.20
6) สารสี Iron Oxide Yellow 415, greenish (48020) ดังภาพที่ 4.21
7) สารสี Iron Oxide Yellow 940, dark (48040) ดังภาพที่ 4.22
8) สารสี Raw Sienna brownish (40410) ดังภาพที่ 4.23

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 4.16 ภาพถ่ายสารสี Natural Sienna Monte Amiata ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน

ภาพที่ 4.17 ภาพถ่ายสารสี French Ochre JOLES ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน

ภาพที่ 4.18 ภาพถ่ายสารสี French Ochre JCLES ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน

ภาพที่ 4.19 ภาพถ่ายสารสี French Ochre SOFODOR ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน

ภาพที่ 4.20 ภาพถ่ายสารสี Iron Oxide Yellow 920, medium ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน

ภาพที่ 4.21 ภาพถ่ายสารสี Iron Oxide Yellow 415, greenish ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน

ภาพที่ 4.22 ภาพถ่ายสารสี Iron Oxide Yellow 940, dark ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน

ภาพที่ 4.23 ภาพถ่ายสารสี Raw Sienna brownish ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน

ซึ่งเมื่อนำภาพถ่ายตัวอย่างสีทดสอบสีเหลืองในภาพที่ 4.15 มาเทียบกับภาพถ่ายสารสีทั้ง 8 ตัวข้างต้น ดังภาพที่ 4.16-4.23 และจะเห็นว่าสีที่ปรากฏเห็นในช่องสัญญาณที่ 1-9 มีสีที่ปรากฏคล้ายคลึงกันและมีลักษณะสีที่ปรากฏคล้ายคลึงกับตัวอย่างสีทดสอบสีเหลือง ดังนั้นตัวอย่างสีทดสอบสีเหลืองถูกระบุจากฐานข้อมูลที่สร้างขึ้นเป็นสารสีดังนี้ สารสี Natural Sienna Monte Amiata (17050) สารสี French Ochre JOLES (40030) สารสี French Ochre JCLES (40040) สารสี

French Ochre SOFODOR (40070) สารสี Iron Oxide Yellow 920, medium (48000) สารสี Iron Oxide Yellow 415, greenish (48020) สารสี Iron Oxide Yellow 940, dark (48040) หรือ Raw Sienna brownish (40410) สารสีตัวอย่างสีทดสอบสีเหลืองและสารที่ถูกระบุได้เมื่อข้างต้นจะถูกนำไปทดสอบเปรียบเทียบด้วยสเปกตรัมการสะท้อนแสงและเทคนิครามานสเปกโตรสโกปีต่อไป

4.6.3 ตัวอย่างสีแดง

ตัวอย่างสีทดสอบสีแดงเมื่อดูสีที่ปรากฏเห็นด้วยตาเปล่าเห็นเป็นสีแดง จึงเลือกพิจารณาจากแผนผังสารสีสีแดง พบว่าภาพถ่ายตัวอย่างสีทดสอบสีแดงภายใต้ช่องสัญญาณที่ 1-5 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน สามารถใช้ระบุสีทดสอบสีแดงได้โดยมีลักษณะสีที่ปรากฏเห็นเป็นสีดังนี้ สีแดงหรือน้ำตาล สีน้ำตาล สีดำ สีดำ และสีเขียวตามลำดับดังภาพที่ 4.24

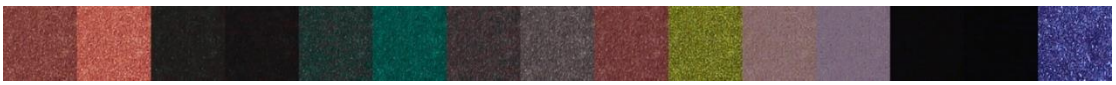
ภาพที่ 4.24 ภาพถ่ายตัวอย่างสีทดสอบสีแดงภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน

เมื่อดูเทียบลักษณะสีที่ปรากฏเห็นกับฐานข้อมูลที่สร้างขึ้นในส่วนของแผนผังสารสีสีแดงดังภาพที่ 4.10 พบว่ามีสารสี 4 ตัวที่มีลักษณะสีที่ปรากฏเห็นตรงกันในช่องสัญญาณที่ 1-5 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน คือ

1) สารสี Natural Cinnabar (10620) ดังภาพที่ 4.25
2) สารสี Cinnabar fine (10625) ดังภาพที่ 4.26
3) สารสี CPT Red (23293) ดังภาพที่ 4.27
4) สารสี Purple Red (23490) ดังภาพที่ 4.28

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 4.25 ภาพถ่ายสารสี Natural Cinnabar ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน



ภาพที่ 4.26 ภาพถ่ายสารสี Cinnabar fine ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน

ภาพที่ 4.27 ภาพถ่ายสารสี CPT Red ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน

ภาพที่ 4.28 ภาพถ่ายสารสี Purple Red ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน

ซึ่งเมื่อนำภาพถ่ายตัวอย่างสีทดสอบสีแดงในภาพที่ 4.24 มาเทียบกับภาพถ่ายสารสีทั้ง 4 ตัว คือ สารสี Natural Cinnabar สารสี Cinnabar fine สารสี CPT Red และสารสี Purple Red ในภาพที่ 4.25-4.28 ตามลำดับ และจะเห็นว่าสีที่ปรากฏเห็นในช่องสัญญาณที่ 1-15 มีสีที่ปรากฏคล้ายคลึงกันและมีลักษณะสีที่ปรากฏคล้ายคลึงกับตัวอย่างสีทดสอบสีแดง ดังนั้นตัวอย่างสีทดสอบสีแดงถูกระบุจากฐานข้อมูลที่สร้างขึ้นเป็นสารสีดังนี้ สารสี Natural Cinnabar (10620) สารสี Cinnabar fine (10625) สารสี CPT Red (23293) หรือสารสี Purple Red (23490) เพื่อยืนยันผลการระบุตัวอย่างสีทดสอบสีแดงนี้ สารสีตัวอย่างสีทดสอบสีแดงและสารที่ถูกระบุได้เมื่อข้างต้นจะถูกนำไปทดสอบเปรียบเทียบด้วยสเปกตรัมการสะท้อนแสงและเทคนิครามานสเปกโตรสโกปีต่อไป

4.6.4 ตัวอย่างสีน้ำตาล

ตัวอย่างสีทดสอบสีน้ำตาลเมื่อดูสีที่ปรากฏเห็นด้วยตาเปล่าเห็นเป็นสีน้ำตาล จึงเลือกพิจารณาจากแผนผังสารสีสีน้ำตาลก่อนพบว่าตัวอย่างทดสอบสีน้ำตาลถูกระบุอยู่ในกลุ่มที่ 4 คือ กลุ่มสารสีขาว เทา ดำ น้ำตาลที่ปรากฏเห็นเป็นสีน้ำตาล โดยในช่องสัญญาณที่ 13 ปรากฏเป็นสีดำซึ่งในกลุ่มนี้สามารถระบุสารสีได้จำนวน 29 ตัวซึ่งอาจไม่ละเอียดเพียงพอ จึงพิจารณาต่อในแผนผังสีแดง พบว่าภาพถ่ายตัวอย่างสีทดสอบสีน้ำตาลภายใต้ช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่านสามารถใช้ระบุสีทดสอบสีน้ำตาลได้โดยมีลักษณะสีที่ปรากฏเห็นเป็นสีดังนี้ สีน้ำตาล สีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลเข้ม สีดำ สีดำ สีเขียวเข้ม สีเขียว สีน้ำตาล สีน้ำตาล สีแดง สีเหลือง สีเทา สีเทา สีดำ สีดำ และสีน้ำเงินเข้มตามลำดับดังภาพที่ 4.29

ภาพที่ 4.29 ภาพถ่ายตัวอย่างสีทดสอบสีน้ำตาลภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน

เมื่อดูเทียบลักษณะสีที่ปรากฏเห็นกับฐานข้อมูลที่สร้างขึ้นในส่วนของแผนผังสารสีสีแดงดังภาพที่ 4.10 พบว่ามีสารสี 4 ตัวที่มีลักษณะสีที่ปรากฏเห็นตรงกันในช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่านคือ

1) สารสี Red Ochre from Andalusia (11274) ดังภาพที่ 4.30
2) สารสี Burgundy Red Ochre Deep (11576) ดังภาพที่ 4.31
3) สารสี Terra Ercolano (41600) ดังภาพที่ 4.32
4) สารสี Vermilion (42000) ดังภาพที่ 4.33

ภาพที่ 4.30 ภาพถ่ายสารสี Red Ochre from Andalusia ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน

ภาพที่ 4.31 ภาพถ่ายสารสี Burgundy Red Ochre Deep ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน

ภาพที่ 4.32 ภาพถ่ายสารสี Terra Ercolano ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 4.33 ภาพถ่ายสารสี Vermilion ภายใต้แอลอีดีช่องสัญญาณที่ 1-15 ผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน

ซึ่งเมื่อนำภาพถ่ายตัวอย่างสีทดสอบสีน้ำตาลในภาพที่ 4.29 มาเทียบกับภาพถ่ายสารสีทั้ง 4 ตัวคือ สารสี Red Ochre from Andalusia สารสี Burgundy Red Ochre Deep สารสี Terra Ercolano และสารสี Vermilion ในภาพที่ 4.30-4.33 ตามลำดับ จะเห็นว่าสีที่ปรากฏเห็นในช่องสัญญาณที่ 1-15 มีสีที่ปรากฏคล้ายคลึงกันและมีลักษณะสีที่ปรากฏคล้ายคลึงกับตัวอย่างสีทดสอบสีน้ำตาล ดังนั้นตัวอย่างสีทดสอบสีน้ำตาลถูกระบุจากฐานข้อมูลที่สร้างขึ้นเป็นสารสีดังนี้ Red

Ochre from Andalusia (11274) สารสี Burgundy Red Ochre Deep (11576) สารสี Terra Ercolano (41600) หรือสารสี Vermilion (42000) เพื่อยืนยันผลการระบุตัวอย่างสีทดสอบสีน้ำตาลนี้ สารสีตัวอย่างสีทดสอบสีน้ำตาลและสารที่ถูกระบุได้เมื่อข้างต้นจะถูกนำไปทดสอบเปรียบเทียบด้วยสเปกตรัมการสะท้อนแสงและเทคนิครามานสเปกโตรสโกปีต่อไป

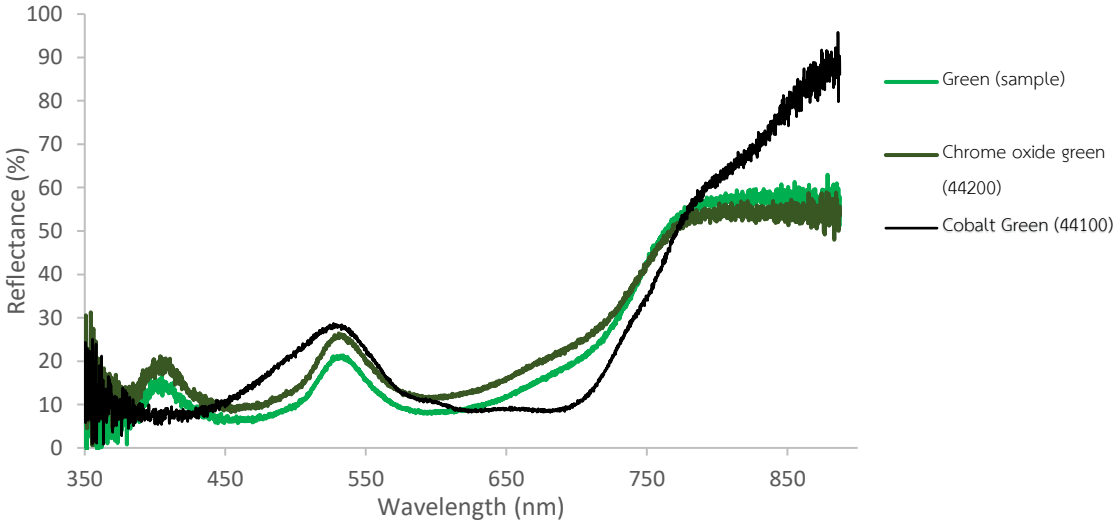
4.7 ผลการยืนยันผลด้วยเทคนิคอื่น

จากผลการระบุสารสีของตัวอย่างสีทดสอบกับฐานข้อมูลที่สร้างขึ้นด้วยเทคนิคแอลอีดีความยาวคลื่นแคบ สารสีที่ถูกระบุในข้อที่ 4.6 จะถูกนำมาทดสอบยืนยันผลด้วยเทคนิคอื่น ได้แก่ เปรียบเทียบสเปกตรัมการสะท้อนแสงและเทคนิครามานสเปกโตรสโกปีเป็นต้น

4.7.1 ตัวอย่างทดสอบสีเขียว

4.7.1.1 การยืนยันผลด้วยสเปกตรัมการสะท้อนแสง

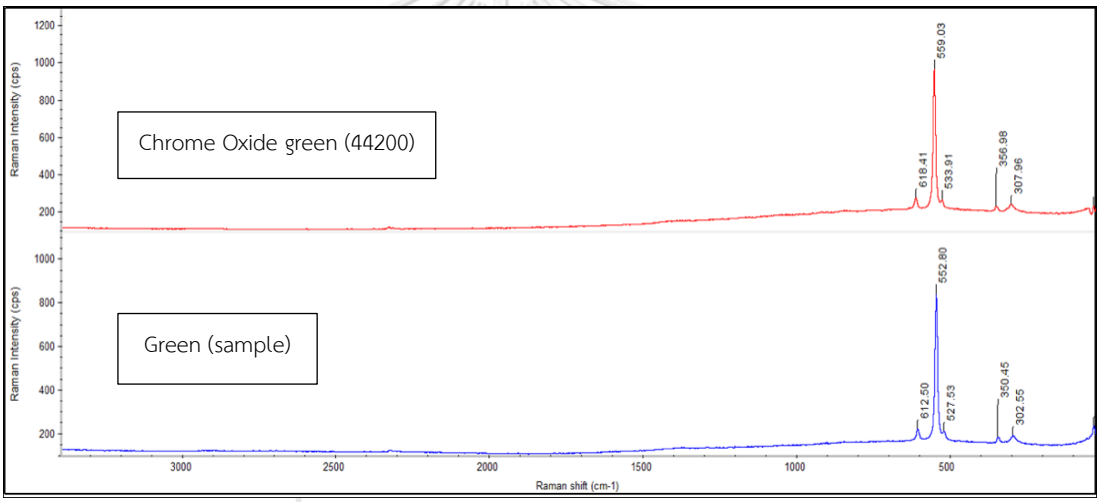
จากการวัดค่าสเปกตรัมการสะท้อนแสงเปรียบเทียบกันระหว่างตัวอย่างสีทดสอบสีเขียวกับสารสีที่คาดว่าจะเป็นสารสีชนิดเดียวกันที่ถูกระบุมาจากฐานข้อมูลที่สร้างขึ้นดังภาพที่ 4.34 พบว่าตัวอย่างทดสอบสีเขียวมีสเปกตรัมค่าการสะท้อนแสงที่มีรูปร่างคล้ายกับสารสี Chrome Oxide green ของเครเมอร์โดยในเทคนิคนี้ทำให้สามารถระบุได้ว่าตัวอย่างสีทดสอบสีเขียวคือสารสี Chrome Oxide green (44200)



ภาพที่ 4.34 สเปกตรัมการสะท้อนแสงของตัวอย่างสีทดสอบสีเขียว (เส้นกราฟสีเขียวอ่อน) กับสารสีของเครเมอร์ที่คาดว่าเป็นตัวเดียวกัน

4.7.1.2 การยืนยันผลด้วยเทคนิครามานสเปกโตรสโกปี

สารสี Chrome oxide green ถูกระบุว่ามีลักษณะที่ปรากฏเห็นตรงกับตัวอย่างทดสอบสีเขียว โดยมีองค์ประกอบทางเคมีเป็น Cr_2O_3 ซึ่งจากฐานข้อมูลรามานสเปกโตรสโกปีที่ใช้เลเซอร์ 532 นาโนเมตรของสารสี Chrome oxide green จะปรากฏพีคที่ความยาวคลื่น 301, 340, 388, 538, 595 และ1,355 นาโนเมตร [20] จากผลการวัดสารสี Chrome oxide green ของเครเมอร์กับตัวอย่างทดสอบสีเขียว พบว่าสารสี Chrome oxide green ของเครเมอร์มีพีคขึ้นที่ 308, 357, 534, 559 และ 618 นาโนเมตร ส่วนตัวอย่างทดสอบสีเขียวมีพีคขึ้นที่ 303, 350, 528, 553 และ 612 นาโนเมตร ดังภาพที่ 4.35 ซึ่งสเปกตรัมรามานของสารสี Chrome oxide green ของเครเมอร์กับตัวอย่างทดสอบสีเขียวมีรูปร่างและตำแหน่งพีคที่ใกล้เคียงกันจึงสามารถสรุปได้ว่าตัวอย่างทดสอบสีเขียวคือสารสี Chrome oxide green



ภาพที่ 4.35 สเปกตรัมรามานของสารสี Chrome oxide green ของเครเมอร์ (บน) และ ตัวอย่างทดสอบสีเขียว (ล่าง)

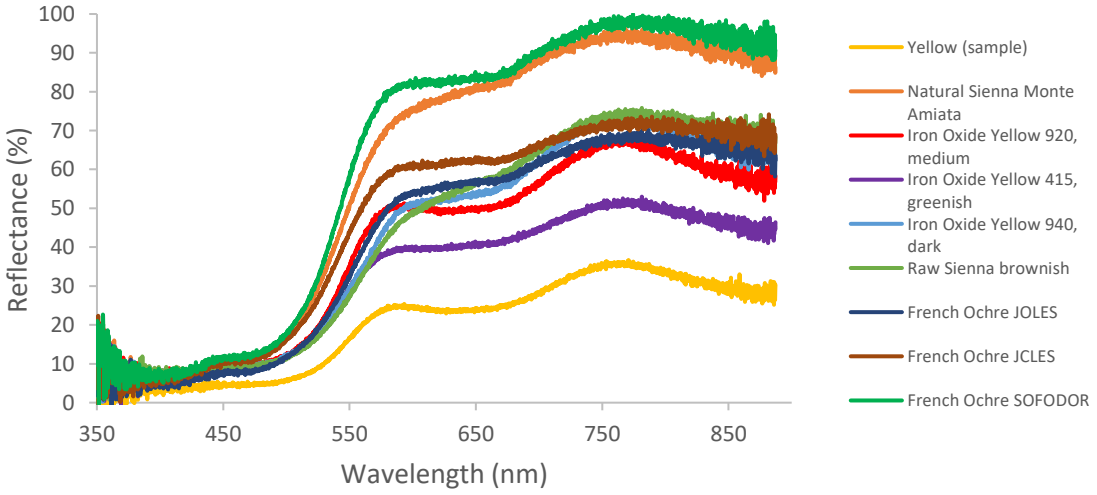
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.7.2 ตัวอย่างทดสอบสีเหลือง

4.7.2.1 การยืนยันผลด้วยสเปกตรัมการสะท้อนแสง

จากการวัดค่าสเปกตรัมการสะท้อนแสงเปรียบเทียบกันระหว่างตัวอย่างสีทดสอบสีเหลืองกับสารสีของเครเมอร์ที่คาดว่าจะเป็นสารสีชนิดเดียวกันที่ถูกระบุมาจากฐานข้อมูลที่สร้างขึ้นดังภาพที่ 4.36 พบว่าตัวอย่างทดสอบสีเหลืองมีรูปร่างของสเปกตรัมค่าการสะท้อนแสงที่คล้ายกับสารสีของเครเมอร์ที่คาดว่าเป็นตัวเดียวกันหลายตัว จึงทำให้ไม่สามารถระบุชนิดของตัวอย่างสีทดสอบสีเหลืองได้ชัดเจน จึงนำค่าการสะท้อนแสงของตัวอย่างทดสอบสีเหลืองและสารสีของเครเมอร์ที่คาดว่าจะเป็นสารสีชนิดเดียวกันตั้งแต่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตรมาหาค่าสัมประสิทธิ์

การดูดกลืนแสงต่อสัมประสิทธิ์การกระเจิงแสง (K/S) จากสมการที่ 3.1พบว่าสารสีทดสอบสีเหลืองมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 402.6 นาโนเมตรและมีค่า K/S เท่ากับ 21.2 ซึ่งมีสารสีของเครเมอร์ที่คาดว่าจะเป็นสารสีชนิดเดียวกันจำนวน 2 ตัวที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่พีคเดียวกันกับสารสีทดสอบสีเหลืองคือ สารสี French Ochre JCLES (40040) และสารสี French Ochre SOFODOR (40070) ซึ่งจากฐานข้อมูลผู้ผลิตสารสีเครเมอร์ระบุว่าสารสีทั้ง 2 นี้มีดัชนีสี (Color Index) ที่ตรงกันกับสารสีอีก 3 ตัวคือสารสี Natural Sienna Monte Amiata สารสี French Ochre JOLES และสารสี Raw Sienna brownish ดัชนีสีคือ Pigment Yellow 43 (CI 77492) [21] ส่วนสารสีอีก 3 สารสีคือสารสี Iron Oxide Yellow 920, medium (48000) สารสี Iron Oxide Yellow 415, greenish (48020) และสารสี Iron Oxide Yellow 940, dark (48040) สารสีทั้งสามนี้มีดัชนีสีคือ Pigment Yellow 42 (CI 77492) เท่ากัน ซึ่งดัชนีสี Pigment Yellow 42 และ Pigment Yellow 43 คือสารสีในกลุ่ม Yellow Iron Oxide [22] ทั้งคู่แต่อาจต่างกันจากแหล่งที่มาหรือวิธีการผลิต ค่าการสะท้อนแสงจึงคล้ายคลึงกันหรือแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งสารสี Yellow ochre ก็เป็นสารสีในกลุ่มนี้ จึงสามารถสรุปได้ว่าตัวอย่างทดสอบสีเหลืองเมื่อระบุด้วยแผนผังสารสีสีเหลืองดังภาพที่ 4.8 ให้ผลการระบุชนิดสารสีอยู่ในกลุ่มที่มีเพียงสารสีกลุ่ม Yellow Iron Oxide และสอดคล้องกับสเปกตรัมการสะท้อนแสงของสารสีกลุ่มสีเหลือง

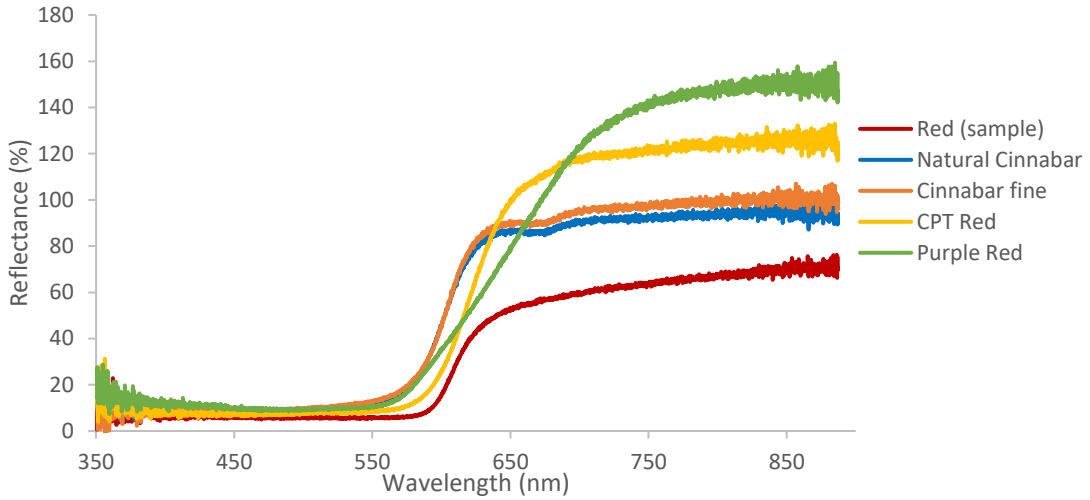


ภาพที่ 4.36 สเปกตรัมการสะท้อนแสงของตัวอย่างสีทดสอบสีเหลือง (สีเหลือง) กับสารสีของเครเมอร์ที่คาดว่าเป็นตัวเดียวกัน

4.7.3 ตัวอย่างทดสอบสีแดง

4.7.3.1 การยืนยันผลด้วยสเปกตรัมการสะท้อนแสง

จากการวัดค่าสเปกตรัมการสะท้อนแสงเปรียบเทียบกันระหว่างตัวอย่างสีทดสอบสีแดงกับสารสีที่คาดว่าจะเป็นสารสีชนิดเดียวกันที่ถูกระบุมาจากฐานข้อมูลที่สร้างขึ้นพบว่าตัวอย่างทดสอบสีแดงมีสเปกตรัมค่าการสะท้อนแสงที่มีรูปร่างคล้ายกับสารสี 2 ตัวคือ สารสี Natural Cinnabar และสารสี Cinnabar fine ของเครเมอร์ดังภาพที่ 4.37 โดยในเทคนิคนี้ทำให้สามารถระบุได้ว่าตัวอย่างสีทดสอบสีแดงอาจจะเป็นสารสี Natural Cinnabar (10620) หรือสารสี Cinnabar fine (10625)



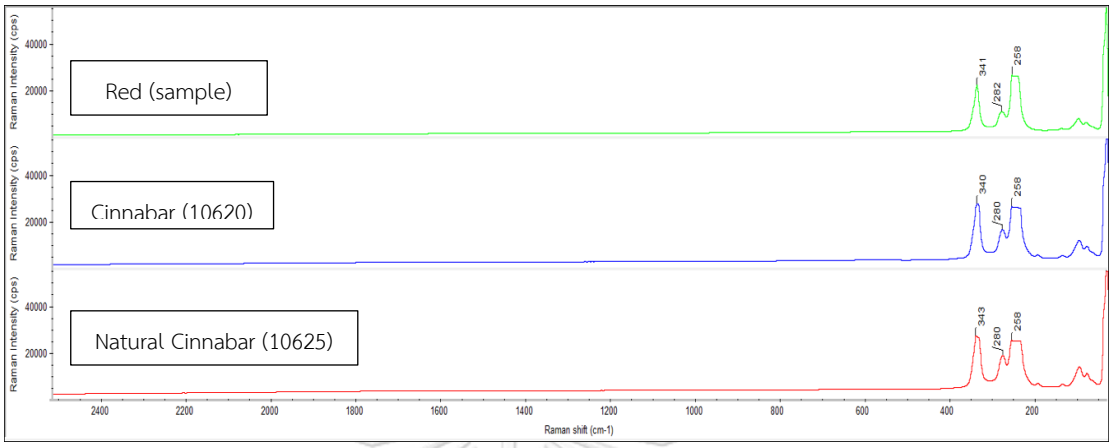
ภาพที่ 4.37 สเปกตรัมการสะท้อนแสงของตัวอย่างสีทดสอบสีแดง (สีแดง) กับสารสีของเครเมอร์ที่คาดว่าเป็นตัวเดียวกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.7.3.2 การยืนยันผลด้วยเทคนิครามานสเปกโตรสโกปี

สารสี Natural Cinnabar หรือสารสี Cinnabar, fine ถูกระบุว่ามีลักษณะที่ปรากฏเห็นตรงกับตัวอย่างทดสอบสีแดง โดยมีองค์ประกอบทางเคมีเป็น HgS ซึ่งจากฐานข้อมูลรามานสเปกโตรสโกปีที่ใช้เลเซอร์ 785 นาโนเมตรของสารสี Cinnabar จะปรากฏพีคหลัก ๆ ที่ความยาวคลื่น 252, 280, และ 341 นาโนเมตร ซึ่งจากผลการวัดสารสี Cinnabar ของเครเมอร์กับตัวอย่างทดสอบสีแดงด้วยเครื่องรามานสเปกโตรสโกปีเลเซอร์ 780 นาโนเมตรพบว่าสารสี Cinnabar, fine ของเครเมอร์มีพีคขึ้นที่ 258, 280และ 340 นาโนเมตร [23] และสารสี Natural Cinnabar ของเครเมอร์มีพีคขึ้นที่ 258, 280 และ 343 นาโนเมตร ส่วนตัวอย่างทดสอบสีเขียวมีพีคขึ้นที่ 258, 282 และ 340 นาโนเมตร ดังภาพที่ 4.38 ซึ่งสเปกตรัมรามานของสารสี ของเครเมอร์ทั้ง 2 ตัวกับตัวอย่าง

ทดสอบสีแดงมีรูปร่างและตำแหน่งพีคที่ใกล้เคียงกันจึงสามารถสรุปได้ว่าตัวอย่างทดสอบสีแดงคือสารสี Cinnabar หรือสารสี Natural Cinnabar

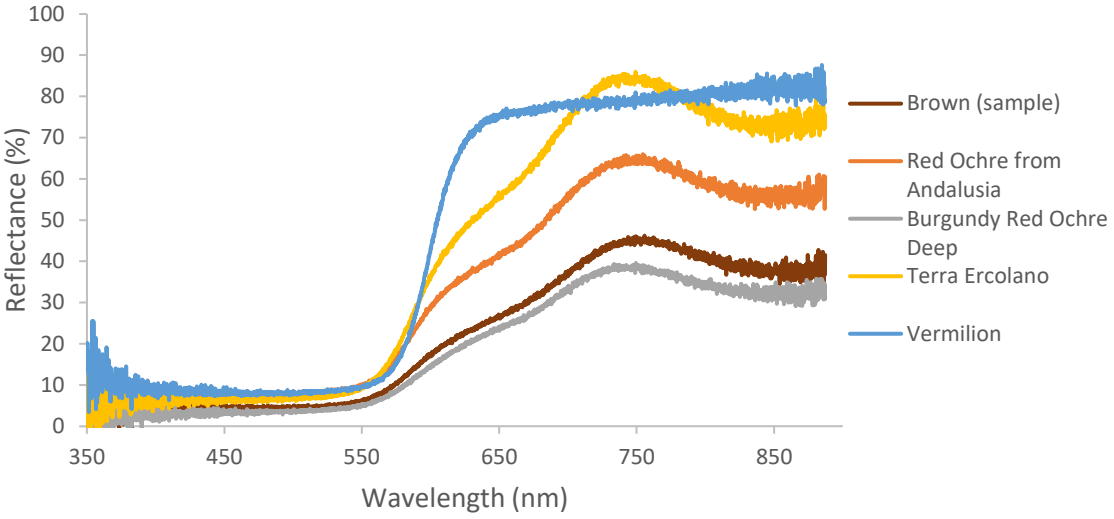


ภาพที่ 4.38 สเปกตรัมรามานของตัวอย่างสีทดสอบสีแดง (เขียว) สารสี Cinnabar (น้ำเงิน) และสารสี Natural Cinnabar (แดง)

4.7.4 ตัวอย่างทดสอบสีน้ำตาล

4.7.4.1 การยืนยันผลด้วยสเปกตรัมการสะท้อนแสง

จากการวัดค่าสเปกตรัมการสะท้อนแสงเปรียบเทียบกันระหว่างตัวอย่างสีทดสอบสีน้ำตาลกับสารสีที่คาดว่าจะเป็นสารสีชนิดเดียวกันที่ถูกระบุมาจากฐานข้อมูลที่สร้างขึ้นดังภาพที่ 4.39 พบว่าตัวอย่างทดสอบสีน้ำตาลมีสเปกตรัมค่าการสะท้อนแสงที่มีรูปร่างคล้ายกับสารสี 3 ตัวคือ สารสี Red Ochre from Andalusia (สีส้ม) สารสี Burgundy Red Ochre Deep (สีเทา) และสารสี Terra Ercolano ของเครเมอร์โดยในเทคนิคนี้ทำให้สามารถระบุได้ว่าตัวอย่างสีทดสอบสีน้ำตาลอาจจะเป็นสารสี Red Ochre from Andalusia (11274) สารสี Burgundy Red Ochre Deep (11576) หรือสารสี Terra Ercolano (41600)

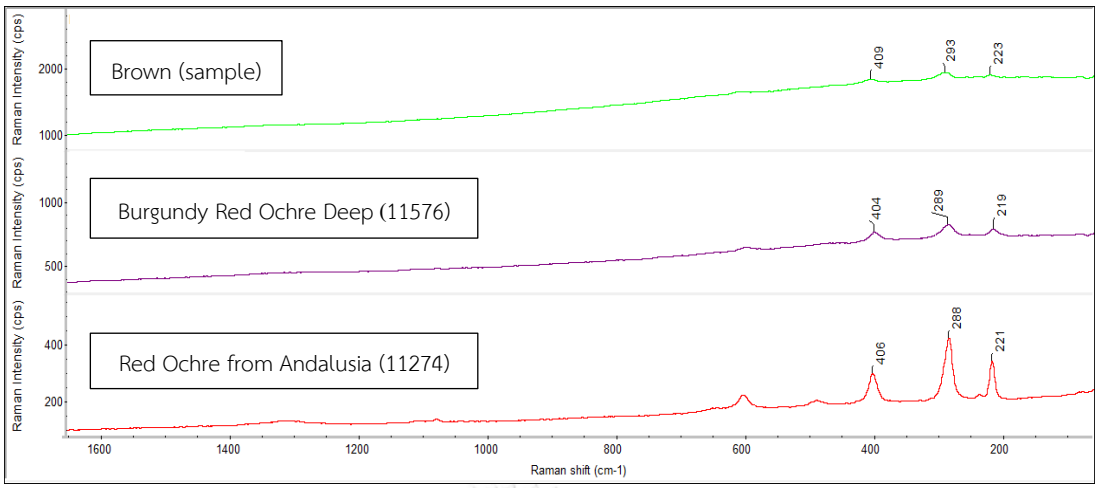


ภาพที่ 4.39 สเปกตรัมการสะท้อนแสงของตัวอย่างสีทดสอบสีน้ำตาล (สีน้ำตาล) กับสารสีของเครเมอร์ที่คาดว่าเป็นตัวเดียวกัน

4.7.4.2 การยืนยันผลด้วยเทคนิครามานสเปกโตรสโกปี

สารสี Red Ochre from Andalusia สารสี Burgundy Red Ochre Deep หรือสารสี Terra Ercolano ถูกระบุว่ามีลักษณะที่ปรากฏเห็นตรงกับตัวอย่างทดสอบสีน้ำตาล ซึ่งจากฐานข้อมูลของผู้ผลิตเครเมอร์ระบุว่าสารสี Terra Ercolano มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นธาตุ Hematite และจัดอยู่ในสารสีกลุ่ม Red Ochre เช่นเดียวกัน และจากฐานข้อมูลรามานสเปกโตรสโกปีที่ใช้เลเซอร์ 785 นาโนเมตรของสารสี Red Ochre จะปรากฏพีคหลัก ๆ ที่ความยาวคลื่น 225, 290, และ 405 นาโนเมตร [20] ซึ่งจากผลการวัดสารสี Red Ochre from Andalusia และสารสี Burgundy Red Ochre Deep ของเครเมอร์กับตัวอย่างทดสอบสีน้ำตาลด้วยเทคนิครามานสเปกโตรสโกปีเลเซอร์ 780 นาโนเมตรพบว่าสาร Red Ochre from Andalusia มีพีคขึ้นที่ 221, 288 และ 406 นาโนเมตร และสารสี Natural Cinnabar ของเครเมอร์มีพีคขึ้นที่ 219, 289 และ 404 นาโนเมตร ส่วนตัวอย่างทดสอบสีน้ำตาลมีพีคขึ้นที่ 223, 293 และ 409 นาโนเมตร ดังภาพที่ 4.40 ซึ่งสเปกตรัมรามานของสารสี ของเครเมอร์ทั้ง 2 ตัวกับตัวอย่างทดสอบสีน้ำตาลมีรูปร่างและตำแหน่งพีคที่ใกล้เคียงกันจึงสามารถสรุปได้ว่าตัวอย่างทดสอบสีน้ำตาลเป็นสารสีกลุ่ม Red Ochre

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4.40 สเปกตรัมการสะท้อนแสงของตัวอย่างสีทดสอบสีน้ำตาล (สีน้ำตาล) กับสารสีของเครเมอร์ที่คาดว่าเป็นตัวเดียวกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเทคนิคมัลติสเปกตรัมซึ่งเป็นเทคนิคการถ่ายภาพชนิดหนึ่ง โดยใช้แสงจากแอลอีดีความยาวคลื่นแคบ 13 ช่องสัญญาณ และแสงขาวอีกสองช่องสัญญาณฉายลงบนสารสี แสงที่สะท้อนจากสารสีผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่านไปยังเซนเซอร์ของกล้อง ภาพสารสีที่ได้หรือในที่นี้เรียกว่าฐานข้อมูล ถูกนำมาสร้างเป็นแผนผังได้ทั้งหมด 7 แผนผัง ได้แก่ แผนผังสารสีสีม่วง แผนผังสารสีสีน้ำเงิน แผนผังสารสีสีเขียว แผนผังสารสีสีเหลือง แผนผังสารสีสีส้ม แผนผังสารสีสีแดง และแผนผังสารสี ขาว เทา ดำ น้ำตาล ที่สามารถจำแนกสารสีสีเดียวกันกลุ่มใหญ่ออกเป็นกลุ่มเล็ก ๆ หลายกลุ่ม ในแต่ละกลุ่มพบว่าสารสีส่วนใหญ่อยู่ในตระกูลเดียวกัน และสารสีบางตัวสามารถระบุได้ชัดเจนโดยไม่มีสารสีตัวอื่นอยู่ในกลุ่ม

จำนวนสารสีที่ถูกจำแนกและระบุได้มีเป็นจำนวนมาก หากแต่สารสีที่แยกได้อย่างชัดเจน ตัวอย่างเช่น ในกลุ่มสีม่วงคือ Fluorescent pigment violet ที่ปรากฏเป็นสีน้ำตาลเมื่อถ่ายด้วย LED 403 nm, ตระกูล Ultramarine red ที่ปรากฏเป็นสีน้ำตาลอ่อนและสีส้มเมื่อถ่ายด้วย LED 523 nm และ 540 nm ตามลำดับ, Cinquasia Violet RT 201 D ที่ปรากฏเป็นสีเทาเข้มเมื่อถ่ายด้วย LED 540 nm ในขณะที่สารสีตัวอื่นที่ปรากฏเป็นสีม่วง ชมพู ม่วงอมน้ำเงิน ม่วงแดงเมื่อถ่ายด้วย LED 540 nm ยังอาจมีความไม่แน่นอนในการจำแนกเนื่องจากสีที่ปรากฏอยู่ในเฉดสีที่ใกล้เคียงกัน เป็นไปได้ว่าปริมาณของสารสีที่ใช้แตกต่างกันทำให้มีความโปร่งแสงต่างกัน ส่งผลให้แสงที่สะท้อนผ่านฟิลเตอร์เข้าสู่เซนเซอร์ต่างกันทั้ง ๆ ที่อาจเป็นสารสีเดียวกันหรือตระกูลเดียวกัน

สารสีที่แยกได้อย่างชัดเจนในกลุ่มสีน้ำเงินคือ Fluorescent Pigment Blue ที่ปรากฏเป็นสีเขียวสดเมื่อถ่ายด้วย LED 403 nm และเป็นสีเขียวเมื่อถ่ายด้วย LED 425 nm สำหรับสารสีตัวอื่นต้องสังเกตเป็นลำดับตามช่องสัญญาณซึ่งในแต่ละช่องสัญญาณจะให้สีที่เหมือนหรือต่างกันไปบ้าง ข้อพึงระวังเช่นเดียวกันกับสีม่วงคือสารสีที่อยู่ในตระกูลเดียวกันที่มีปริมาณสารสีต่างกันอาจทำให้การปรากฏเห็นของสีต่างจากกันไปบ้างเล็กน้อย

สารสีที่แยกได้อย่างชัดเจนในกลุ่มสีเขียวคือ Cobalt Oxide Green Blue ที่ปรากฏเป็นสีเขียวสดเมื่อถ่ายด้วย cool white LED, Cobalt bottle Green ที่ปรากฏเป็นสีดำเมื่อถ่ายด้วย cool white LED ส่วนสารสีอื่นต้องไล่เรียงสังเกตไปทีละช่องสัญญาณ

ในการยืนยันแผนผังที่สร้างขึ้นจากฐานข้อมูลภาพถ่าย ผู้วิจัยได้สร้างตัวอย่างสีทดสอบสีเขียว สีเหลือง สีแดง และสีน้ำตาลซึ่งได้แก่ สารสี Chrome Oxide Green สารสี Yellow Ochre สารสี

Cinnabar และสารสี Red Ochre ตามลำดับ เมื่อระบุตัวอย่างสีทดสอบด้วยแผนผังที่สร้างขึ้นพบว่าสามารถจำแนกสารสี Chrome Oxide Green สารสี Cinnabar และสารสี Red Ochre ตามสีที่ปรากฏในแต่ละช่องสัญญาณได้ สำหรับสารสี Yellow Ochre สามารถจำแนกได้ว่าอยู่ในกลุ่มที่มีสารสี Yellow Iron Oxide อยู่ และเมื่อยืนยันด้วยสเปกตรัมการสะท้อนแสงและสเปกตรัมรามานพบว่าให้ผลที่ตรงกัน

จากแผนผังสารสีที่สร้างขึ้นและการยืนยันด้วยการระบุสารสีจากตัวอย่างสามารถสรุปได้ว่าเทคนิคภาพถ่ายมัลติสเปกตรัมที่ใช้แอลอีดีที่มีความยาวคลื่นต่างกันเป็นฐานข้อมูลสร้างแผนผังจำแนกสารสี สามารถใช้แบ่งประเภทของสารสีจากสีตั้งต้นที่มองเห็นที่เป็นกลุ่มใหญ่ออกเป็นกลุ่มเล็ก ๆ ลงได้ และสามารถนำเทคนิคนี้มาใช้เพื่อช่วยวิเคราะห์สารสีในการอนุรักษ์ซ่อมแซมงานศิลปะ โดยนักอนุรักษ์สามารถนำสารสีที่ต้องการทราบชนิดมาเทียบกับสีตั้งต้นของสารสีนั้นสามารถเป็นกลุ่มใดเป็นเบื้องต้นได้จากแผนผัง และหากต้องการระบุสารสีให้เป็นกลุ่มเล็กลงหรือชัดเจนยิ่งขึ้นอาจจำเป็นต้องมีเครื่องมือที่ใช้สำหรับเทคนิคนี้ เช่น ชุดแสงและฟิลเตอร์ เป็นต้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ความหนา ขนาดเม็ดสี และ วัสดุฐาน มีผลต่อการระบุสารสีด้วยภาพถ่ายดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติม

5.2.2 ภาพที่ได้จากกล้องถ่ายภาพรุ่นและยี่ห้อที่ต่างกัน อาจให้ผลภาพถ่ายที่แตกต่างกันได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

ภาพถ่ายสารสีของเครเมอร์ภายใต้แอลอีดี 15 ช่องสัญญาณผ่านฟิลเตอร์ที่ให้แสงขาวผ่าน

Code	Pigment name	VIS
10010	Smalt, very fine	
10060	Egyptian Blue	
10064	Egyptian Green	
10071	HAN-Blue, fine	
10074	HAN-Purple,fine	
10100	Lead Tin Yellow, light	
10110	Lead Tin Yellow deep	
10120	Lead Tin Yellow II	
10130	Naples Yellow from Paris	
10150	Pinkcolor	
10154	Pinkcolor Deep	
10170	Ploss Blue	
10180	Blue Verditer	
10184	Blue Bice	
10200	Azurite natural standard	
10206	Azurite MP, pale	
10210	Azurite natural fine	
10310	Malachite natural, extra fine	
10345	Malachite MP extra fine	
10350	Chrysocolla	
103601	Fabrous Malachite, fine	
103701	Malachite Arabian, fine	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Code	Pigment name	VIS
103801	Torquoise sky-blue, fine	
103901	Atacamite, fine	
104000	Vivianite	
104201	Sodalite, fine	
104602	Cavasite, extra fine	
10470	Pentagonite	
10500	Lapis Lazuli, grayish-blur	
10530	Lapis Lazuli, pure	
10550	Lapis Lazuli bright pure blue	
10620	Natural Cinnabar	
10625	Cinnabar, fine	
10700	Orpiment, genuine	
10800	Realgar, genuine	
10900	Galena	
10930	Pyrite Powder fine	
10940	Antimony	
11000	Verona Green Earth	
11100	Bavarian Green Earth	
111111	Russian Green Earth, extra fine	
11140	Aegirine, fine	
11150	Epidote	
11152	Florentine Green	
11181	Andeer Green, fine	
11200	Green Jasper	
11250	Celadonite	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Code	Pigment name	VIS
11272	Yellow Ochre, from Andalusia	
11274	Red Ochre, from Andalusia	
11276	Brown Ochre, from Andalusia	
11280	Black Earth, from Andalusia	
11282	Nero Bernino	
11283	Alba Albula	
11290	Sugar Dolomite	
11300	Red Jasper	
11305	Carneol, pale yellow	
11310	Rose Quartz from Namibia	
11315	Amethyst, Brasilian	
11320	Rhodochrosite	
11324	Rhodonite	
11350	Cote d'Azur Violet	
11354	Slate Green from Mels	
11356	Gray from Mels	
11360	Brown-Red Slate	
11362	Gray from Burgundy	
11390	Jade, very fine	
11401	Rock Crystal, fine	
11410	Eggshell White	
11420	Fuchsite, extra fine	
11520	Jarosite	
11530	Gold Ochre	
11540	Taunus Ochre, light	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Code	Pigment name	VIS
11550	Snaefellsjoekull Red	
11572	Burgundy Yellow Ochre, fine	
11574	Burgundy Red Ochre, fine	
11576	Burgundy Red Ochre Deep, fine	
11585	Spanish Red Ochre, extra fine	
11620	Brown Earth from Otranto	
11630	Iseo Brown	
116421	Yellow Moroccan Ochre, fine	
116431	Red Moroccan Ochre, fine	
116441	Dark Red Moroccan Ochre, fine	
11670	Onyx Black	
11674	Obsidian Black	
11810	Selenite, Marienglas, fine	
11830	Aragonite	
12000	Ivory Black, genuine	
12010	Peach Black	
12015	Grape Black	
12020	Cherry Black	
12030	Atramentum	
12040	Shungit	
12100	Bistre	
12400	Sepia	
17000	Jarosite, from Cyprus	
17050	Natural Sienna, Monte Amiata	
17400	Green Earth, from Cyprus	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Code	Pigment name	VIS
17410	Bluish Green Earth, from Cyprus	
21010	Cadmiun Yellow Lemon No.1	
21020	Cadmiun Yellow Lemon No.2, very light	
21030	Cadmiun Yellow Lemon No.4, light	
21040	Cadmiun Yellow Lemon No.6, medium	
21060	Cadmiun Yellow Lemon No.9, dark	
21080	Cadmiun Orange No. 0,very light	
21090	Cadmiun Orange No. 0.5, light	
21100	Cadmiun Orange No. 1, medium	
21110	Cadmiun Orange No. 2, vermilion	
21120	Cadmiun Red No. 1, light	
21130	Cadmiun Red No. 2, medium	
21140	Cadmiun Red No. 3, dark	
23000	Phthalo Green dark	
23010	Phthalo Green, yellowish	
23050	Phthalo Blue (Primary Blue)	
23060	Phthalo Blue royal blue	
23070	Phthalo Blue reddish	
23080	Phthalo Blue (very lightfast)	
23100	Indanthren Blue	
23153	Hostaperm Pink E	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Code	Pigment name	VIS
23178	Irgazine Orange DPP RA	
23179	Irgazine Scarlet DPP EK	
23180	Irgazine Red DPP BO	
23181	DPP - Red	
23182	Irgazine Ruby DPP-TR	
23184	Hostaperm Red DPP	
23200	Scarlet Red	
23202	CPT - Scarlet Red	
23230	Permanent Red A	
23250	Permanent Red dark	
23290	Permanent Red	
23291	Permanent Red FRLL	
23293	CPT - Red	
23300	Permanent Yellow light	
23310	Permanent Yellow Medium	
23330	Irgazine Yellow, greenish	
23340	Isoindole Yellow	
23350	Indian Yellow imitation	
23370	Pyramid-Yellow medium	
23401	Hostaperm Pink, transparent	
23402	Quindo Pink D	
23451	Dioxazine Violet	
23480	Cinquasia Chestnut Brown	
23490	Purple-Red	
23493	Gubbio Red	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Code	Pigment name	VIS
23500	Paliogen Maroon	
23502	Maroon	
23504	Paliogen Maroon very fine	
23540	Paliotol Orange	
23570	Pyranthrone Orange	
23585	Cinquasia Gold, red-gold	
23600	Alizarine Crimson light	
23610	Alizarine Crimson dark	
23650	Brilliant Yellow	
23660	Isoindolinon Yellow	
23670	Irgazine Yellow	
23710	Cinquasia Violet RT 201 D	
23720	Hostaperm Red	
23750	Alizarine Violet	
23800	Isoindolol Orange	
23850	Studio Yellow	
23950	Studio Red, Helio	
24000	Paliotol Yellow-Orange	
24100	Aniline Black	
26308	XSL Poppy Red	
26310	XSL Irgazine Red DPP	
28020	Irgazin Yellow, greenish	
36000	Indigo, genuine	
36003	Indigo made of Woad	
36009	Indigo, synthetic	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Code	Pigment name	VIS
37202	Madder Lake, genuine	
372057	Madder Lake Carmine Red	
372141	Madder Lake made of roots, Dark Red	
37218	Madder Lake Violet	
40010	French Ochre JTCLES	
40012	French Ochre, very light	
40013	French Ochre , extra light	
40020	French Ochre RTFLES	
40030	French Ochre JOLES	
40040	French Ochre JCLES	
40050	French Ochre JFLES	
40060	French Ochre JALS	
40070	French Ochre SOFODOR	
40080	French Ochre HAVANE	
40090	French Ochre SOFOROUGE	
40130	French Ochre SAHARA	
40195	Gold Ochre, from Poland	
40200	Ochre Avana, greenish-yellow	
40214	Gold Ochre DD	
40220	Italian Gold Ochre light	
40231	Brown Ochre light	
40241	Fawn Ochre	
40260	Satin Ochre	
40280	Amberg Yellow	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Code	Pigment name	VIS
40301	Iron Oxide Yellow	
40310	Dark Ochre, German	
40320	Dark Ochre, Italian	
40392	Raw Sienna, French	
40400	Raw Sienna, Italian	
40404	Raw Sienna Badia, Italian	
40410	Raw Sienna brownish	
40430	Dark Burnt Sienna	
40440	Pompeii Red	
40470	Burnt Sienna, from France	
40490	Rosso Sartorius	
40503	Red Bole	
40510	Venetian Red	
40542	English Red Light	
40545	English Red Deep	
40610	Raw Umber	
40611	Raw Umber, light	
40612	Raw Umber, greenish	
40623	Manganese Brown Intense	
40630	Raw Umber greenish dark	
40650	Chromite	
40660	Raw Umber, dark	
40700	Burnt Umber, reddish	
40710	Burnt Umber, Brownish	
40720	Burnt Umber, dark brown	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Code	Pigment name	VIS
40723	Burnt Umber, type B	
40730	Burnt Umber Light, reddish-brown	
40800	Green Earth, light	
40810	Bohemian Green Earth	
40821	Green Earth from Verona	
40830	Green Earth from France	
40850	Burnt Green Earth	
40900	Slate Grey, extra light	
40911	Slate Gray, light, greenish	
40920	Slate Gray, gray-green	
40960	Pencil Clay, powder	
41000	Van Dyck Brown	
41050	Cassel Brown, wood stain	
41550	Terra Pozzuoli	
41600	Terra Ercolano	
41700	Verona Green Earth	
41750	Vegone Green Earth	
41770	Nicosia Green	
41800	Bohemian Green Earth, imitation	
41820	Vegone Green Earth, imitation	
42000	Vermilion	
42050	Zirconium Red	
42100	Carmine Naccarat	
42300	Cerium Red	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Code	Pigment name	VIS
42500	Red Lead Minium	
42601	Ultramarine Red, violet pink	
42605	Ultramarine Red B, dark pink	
43101	Bristol Yellow pale	
43111	Bristol Yellow, medium	
43125	Naples Yellw, dark	
43130	Naples Yellw, reddish	
43131	Bristol Yellow, reddish	
43200	Nickel-Titanium Yellow	
43210	Nickel-Titanium Yellow, greenish	
43230	Praseodym Yellow	
43300	Titanium Orange	
43340	Hokkaido-Orange	
43500	Cobalt Yellow	
43600	Antimony Red	
43870	Yellow Zircon	
43880	Intensive Yellow	
43910	Bismuth-Vanadate Yellow lemon	
43915	Bismuth-Vanadate Yellow light	
43918	Bismuth-Vanadate Yellow medium	
43920	Bismuth-Vanadate Yellow dark	
44100	Cobalt Green	
44110	Cobalt Oxide Green Blue	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Code	Pigment name	VIS
44130	Cobalt Bottle Green	
44151	Cobalt Green bluish A	
44190	Pastel Green, Victoria Green	
44200	Chrome Oxide Green	
44250	Viridian Green	
44280	Permanent Green	
44400	Malachite, synthetic	
44450	Verdigris, synthetic	
44500	Cadmium Green, light	
44510	Cadmium Green, dark	
45000	Ultramarine Blue, very dark	
45010	Ultramarine Blue, dark	
45020	Ultramarine Blue, reddish	
45030	Ultramarine Blue, greenish extra	
45040	Ultramarine Blue, greenish light	
45080	Ultramarine Blue, light	
45100	Ultramarine Violet, medium	
45110	Ultramarine Violet, reddish	
45120	Ultramarine Violet, light reddish	
45202	Prussian Blue LUX	
45350	Manganese Violet	
45364	Copper Blue	
45400	Zirconium Cerulean Blue	
45700	Cobalt Blue Dark	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Code	Pigment name	VIS
45701	Cobalt Blue Dark, greenish	
45702	Cobalt Blue,Sapporo	
45710	Cobalt Blue Medium	
457141	Cobalt Blue Pale	
45720	Cobalt Blue light	
45730	Cobalt Cerulean Blue	
45740	Cobalt Blue, greenish	
45750	Cobalt Blue Turquoise, light	
45760	Cobalt Blue Turquoise, dark	
45800	Cobalt Violet, dark	
45810	Cobalt Violet brilliant, dark	
45820	Cobalt Violet, light	
48000	Iron Oxide Yellow 920, medium	
48020	Iron Oxide Yellow 415, greenish	
48040	Iron Oxide Yellow 940, dark	
48050	Iron Oxide Yellow-Orange, Gamma	
48060	Iron Oxide Orange 960, light	
48100	Iron Oxide Red 110 M, light	
48120	Iron Oxide Red 120 M	
48150	Iron Oxide Red 130 B, medium	
48200	Iron Oxide Red 130 M, medium	
48220	Caput Mortuum Synthetic 180 M	
48250	Iron Oxide Red 222, dark	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Code	Pigment name	VIS
48289	Iron Oxide Red micronized	
48300	Iron Oxide Brown 610, light	
48320	Iron Oxide Brown 640, medium	
48340	Iron Oxide Brown 655	
48350	Iron Oxide Brown 660, dark	
48400	Iron Oxide Black 318, high tinting	
48420	Iron Oxide Black 360, bluish	
48440	Iron Oxide Black 320, brownish	
48600	Iron Oxide Red, natural	
48651	Haematite, intense tinting	
48700	Caput Mortuum reddish	
48710	Caput Mortuum dark	
48750	Caput Mortuum, violet	
48800	Magnetite, very fine	
48804	Magnetite, fine	
48806	Magnetite, coarse	
48910	Natural Iron Glimmer	
48930	Iron Glimmer Violet	
48933	Iron Glimmer Violet, extra fine	
489623	Spanish Haematite, medium	
489624	Spanish Haematite, coarse	
52200	Translucent Yellow	
52350	Translucent Orange-Red	
52400	Translucent Red medium	

จุฬาลงกรณ์
CHULALONGKO

Code	Pigment name	VIS
55100	Studio Pigment Yellow	
55125	Studio Pigment Egg Yolk Yellow	
55140	Studio Pigment Yellow Sun Gold	
55200	Studio Pigment Orange	
55300	Studio Pigment Light Red	
55400	Studio Pigment Dark Red	
55450	Studio Pigment Bordeaux	
55470	Studio Pigment Pink	
55500	Studio Pigment Sky Blue	
55600	Studio Pigment Dark Blue	
55700	Studio Pigment Light Green	
55800	Studio Pigment Dark Green	
55900	Studio Pigment Violet	
56050	Fluorescent Pigment Blue	
56150	Fluorescent Pigment Lemon Yellow	
56200	Fluorescent Pigment Golden Orange	
56250	Fluorescent Pigment Orange	
56300	Fluorescent Pigment Brick Red	
56350	Fluorescent Pigment Flame Red	
56400	Fluorescent Pigment Magenta Red	
56450	Fluorescent Pigment Violet	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข

ภาพถ่ายสารสีของเครเมอร์ภายใต้แอลอีดี 15 ช่องสัญญาณผ่านฟิลเตอร์ที่ให้รังสียูวีผ่าน

Code	Pigment name	UV
10010	Smalt, very fine	
10060	Egyptian Blue	
10064	Egyptian Green	
10071	HAN-Blue, fine	
10074	HAN-Purple,fine	
10100	Lead Tin Yellow, light	
10110	Lead Tin Yellow deep	
10120	Lead Tin Yellow II	
10130	Naples Yellow from Paris	
10150	Pinkcolor	
10154	Pinkcolor Deep	
10170	Ploss Blue	
10180	Blue Verditer	
10184	Blue Bice	
10200	Azurite natural standard	
10206	Azurite MP, pale	
10210	Azurite natural fine	
10310	Malachite natural, extra fine	
10345	Malachite MP extra fine	
10350	Chrysocolla	
103601	Fabrous Malachite, fine	
103701	Malachite Arabian, fine	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Code	Pigment name	UV
103801	Torquoise sky-blue, fine	
103901	Atacamite, fine	
104000	Vivianite	
104201	Sodalite, fine	
104602	Cavasite, extra fine	
10470	Pentagonite	
10500	Lapis Lazuli, grayish-blur	
10530	Lapis Lazuli, pure	
10550	Lapis Lazuli bright pure blue	
10620	Natural Cinnabar	
10625	Cinnabar, fine	
10700	Orpiment, genuine	
10800	Realgar, genuine	
10900	Galena	
10930	Pyrite Powder fine	
10940	Antimony	
11000	Verona Green Earth	
11100	Bavarian Green Earth	
111111	Russian Green Earth, extra fine	
11140	Aegirine, fine	
11150	Epidote	
11152	Florentine Green	
11181	Andeer Green, fine	
11200	Green Jasper	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Code	Pigment name	UV
11250	Celadonite	

Code	Pigment name	UV
11272	Yellow Ochre, from Andalusia	
11274	Red Ochre, from Andalusia	
11276	Brown Ochre, from Andalusia	
11280	Black Earth, from Andalusia	
11282	Nero Bernino	
11283	Alba Albula	
11290	Sugar Dolomite	
11300	Red Jasper	
11305	Carneol, pale yellow	
11310	Rose Quartz from Namibia	
11315	Amethyst, Brasilian	
11320	Rhodochrosite	
11324	Rhodonite	
11350	Cote d'Azur Violet	
11354	Slate Green from Mels	
11356	Gray from Mels	
11360	Brown-Red Slate	
11362	Gray from Burgundy	
11390	Jade, very fine	
11401	Rock Crystal, fine	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Code	Pigment name	UV
11410	Eggshell White	
11420	Fuchsite, extra fine	
11520	Jarosite	
11530	Gold Ochre	
11540	Taunus Ochre, light	
11550	Snaefellsjoekull Red	
11572	Burgundy Yellow Ochre, fine	
11574	Burgundy Red Ochre, fine	
11576	Burgundy Red Ochre Deep, fine	
11585	Spanish Red Ochre, extra fine	
11620	Brown Earth from Otranto	
11630	Iseo Brown	
116421	Yellow Moroccan Ochre, fine	
116431	Red Moroccan Ochre, fine	
116441	Dark Red Moroccan Ochre, fine	
11670	Onyx Black	
11674	Obsidian Black	
11810	Selenite, Marienglas, fine	
11830	Aragonite	
12000	Ivory Black, genuine	
12010	Peach Black	
12015	Grape Black	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Code	Pigment name	UV
12020	Cherry Black	
12030	Atramentum	
12040	Shungit	
12100	Bistre	
12400	Sepia	
17000	Jarosite, from Cyprus	
17050	Natural Sienna, Monte Amiata	
17400	Green Earth, from Cyprus	
17410	Bluish Green Earth, from Cyprus	
21010	Cadmiun Yellow Lemon No.1	
21020	Cadmiun Yellow Lemon No.2, very light	
21030	Cadmiun Yellow Lemon No.4, light	
21040	Cadmiun Yellow Lemon No.6, medium	
21060	Cadmiun Yellow Lemon No.9, dark	
21080	Cadmiun Orange No. 0,very light	
21090	Cadmiun Orange No. 0.5, light	
21100	Cadmiun Orange No. 1, medium	
21110	Cadmiun Orange No. 2, vermilion	
21120	Cadmiun Red No. 1, light	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Code	Pigment name	UV
21130	Cadmiun Red No. 2, medium	
21140	Cadmiun Red No. 3, dark	
23000	Phthalo Green dark	
23010	Phthalo Green, yellowish	
23050	Phthalo Blue (Primary Blue)	
23060	Phthalo Blue royal blue	
23070	Phthalo Blue reddish	
23080	Phthalo Blue (very lightfast)	
23100	Indanthren Blue	
23153	Hostaperm Pink E	
23178	Irgazine Orange DPP RA	
23179	Irgazine Scarlet DPP EK	
23180	Irgazine Red DPP BO	
23181	DPP - Red	
23182	Irgazine Ruby DPP-TR	
23184	Hostaperm Red DPP	
23200	Scarlet Red	
23202	CPT - Scarlet Red	
23230	Permanent Red A	
23250	Permanent Red dark	
23290	Permanent Red	
23291	Permanent Red FRLL	
23293	CPT - Red	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Code	Pigment name	UV
23300	Permanent Yellow light	
23310	Permanent Yellow Medium	
23330	Irgazine Yellow, greenish	
23340	Isoindole Yellow	
23350	Indian Yellow imitation	
23370	Pyramid-Yellow medium	
23401	Hostaperm Pink, transparent	
23402	Quindo Pink D	
23451	Dioxazine Violet	
23480	Cinquasia Chestnut Brown	
23490	Purple-Red	
23493	Gubbio Red	
23500	Paliogen Maroon	
23502	Maroon	
23504	Paliogen Maroon very fine	
23540	Paliotol Orange	
23570	Pyranthrone Orange	
23585	Cinquasia Gold, red-gold	
23600	Alizarine Crimson light	
23610	Alizarine Crimson dark	
23650	Brilliant Yellow	
23660	Isoindolinon Yellow	
23670	Irgazine Yellow	
23710	Cinquasia Violet RT 201 D	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Code	Pigment name	UV
23720	Hostaperm Red	
23750	Alizarine Violet	
23800	Isoindolol Orange	
23850	Studio Yellow	
23950	Studio Red, Helio	
24000	Paliotol Yellow-Orange	
24100	Aniline Black	
26308	XSL Poppy Red	
26310	XSL Irgazine Red DPP	
28020	Irgazin Yellow, greenish	
36000	Indigo, genuine	
36003	Indigo made of Woad	
36009	Indigo, synthetic	
37202	Madder Lake, genuine	
372057	Madder Lake Carmine Red	
372141	Madder Lake made of roots, Dark Red	
37218	Madder Lake Violet	
40010	French Ochre JTCLES	
40012	French Ochre, very light	
40013	French Ochre , extra light	
40020	French Ochre RTFLES	
40030	French Ochre JOLES	
40040	French Ochre JCLES	
40050	French Ochre JFLES	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Code	Pigment name	UV
40060	French Ochre JALS	
40070	French Ochre SOFODOR	
40080	French Ochre HAVANE	
40090	French Ochre SOFOROUGE	
40130	French Ochre SAHARA	
40195	Gold Ochre, from Poland	
40200	Ochre Avana, greenish-yellow	
40214	Gold Ochre DD	
40220	Italian Gold Ochre light	
40231	Brown Ochre light	
40241	Fawn Ochre	
40260	Satin Ochre	
40280	Amberg Yellow	
40301	Iron Oxide Yellow	
40310	Dark Ochre, German	
40320	Dark Ochre, Italian	
40392	Raw Sienna, French	
40400	Raw Sienna, Italian	
40404	Raw Sienna Badia, Italian	
40410	Raw Sienna brownish	
40430	Dark Burnt Sienna	
40440	Pompeii Red	
40470	Burnt Sienna, from France	
40490	Rosso Sartorius	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Code	Pigment name	UV
40503	Red Bole	
40510	Venetian Red	
40542	English Red Light	
40545	English Red Deep	
40610	Raw Umber	
40611	Raw Umber, light	
40612	Raw Umber, greenish	
40623	Manganese Brown Intense	
40630	Raw Umber greenish dark	
40650	Chromite	
40660	Raw Umber, dark	
40700	Burnt Umber, reddish	
40710	Burnt Umber, Brownish	
40720	Burnt Umber, dark brown	
40723	Burnt Umber, type B	
40730	Burnt Umber Light, reddish-brown	
40800	Green Earth, light	
40810	Bohemian Green Earth	
40821	Green Earth from Verona	
40830	Green Earth from France	
40850	Burnt Green Earth	
40900	Slate Grey, extra light	
40911	Slate Gray, light, greenish	
40920	Slate Gray, gray-green	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Code	Pigment name	UV
40960	Pencil Clay, powder	
41000	Van Dyck Brown	
41050	Cassel Brown, wood stain	
41550	Terra Pozzuoli	
41600	Terra Ercolano	
41700	Verona Green Earth	
41750	Vegone Green Earth	
41770	Nicosia Green	
41800	Bohemian Green Earth, imitation	
41820	Vegone Green Earth, imitation	
42000	Vermilion	
42050	Zirconium Red	
42100	Carmine Naccarat	
42300	Cerium Red	
42500	Red Lead Minium	
42601	Ultramarine Red, violet pink	
42605	Ultramarine Red B, dark pink	
43101	Bristol Yellow pale	
43111	Bristol Yellow, medium	
43125	Naples Yellw, dark	
43130	Naples Yellw, reddish	
43131	Bristol Yellow, reddish	
43200	Nickel-Titanium Yellow	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Code	Pigment name	UV
43210	Nickel-Titanium Yellow, greenish	
43230	Praseodym Yellow	
43300	Titanium Orange	
43340	Hokkaido-Orange	
43500	Cobalt Yellow	
43600	Antimony Red	
43870	Yellow Zircon	
43880	Intensive Yellow	
43910	Bismuth-Vanadate Yellow lemon	
43915	Bismuth-Vanadate Yellow light	
43918	Bismuth-Vanadate Yellow medium	
43920	Bismuth-Vanadate Yellow dark	
44100	Cobalt Green	
44110	Cobalt Oxide Green Blue	
44130	Cobalt Bottle Green	
44151	Cobalt Green bluish A	
44190	Pastel Green, Victoria Green	
44200	Chrome Oxide Green	
44250	Viridian Green	
44280	Permanent Green	
44400	Malachite, synthetic	
44450	Verdigris, synthetic	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Code	Pigment name	UV
44500	Cadmium Green, light	
44510	Cadmium Green, dark	
45000	Ultramarine Blue, very dark	
45010	Ultramarine Blue, dark	
45020	Ultramarine Blue, reddish	
45030	Ultramarine Blue, greenish extra	
45040	Ultramarine Blue, greenish light	
45080	Ultramarine Blue, light	
45100	Ultramarine Violet, medium	
45110	Ultramarine Violet, reddish	
45120	Ultramarine Violet, light reddish	
45202	Prussian Blue LUX	
45350	Manganese Violet	
45364	Copper Blue	
45400	Zirconium Cerulean Blue	
45700	Cobalt Blue Dark	
45701	Cobalt Blue Dark, greenish	
45702	Cobalt Blue,Sapporo	
45710	Cobalt Blue Medium	
457141	Cobalt Blue Pale	
45720	Cobalt Blue light	
45730	Cobalt Cerulean Blue	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Code	Pigment name	UV
45740	Cobalt Blue, greenish	
45750	Cobalt Blue Turquoise, light	
45760	Cobalt Blue Turquoise, dark	
45800	Cobalt Violet, dark	
45810	Cobalt Violet brilliant, dark	
45820	Cobalt Violet, light	
48000	Iron Oxide Yellow 920, medium	
48020	Iron Oxide Yellow 415, greenish	
48040	Iron Oxide Yellow 940, dark	
48050	Iron Oxide Yellow-Orange, Gamma	
48060	Iron Oxide Orange 960, light	
48100	Iron Oxide Red 110 M, light	
48120	Iron Oxide Red 120 M	
48150	Iron Oxide Red 130 B, medium	
48200	Iron Oxide Red 130 M, medium	
48220	Caput Mortuum Synthetic 180 M	
48250	Iron Oxide Red 222, dark	
48289	Iron Oxide Red micronized	
48300	Iron Oxide Brown 610,	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn

Code	Pigment name	UV
	light	
48320	Iron Oxide Brown 640, medium	
48340	Iron Oxide Brown 655	
48350	Iron Oxide Brown 660, dark	
48400	Iron Oxide Black 318, high tinting	
48420	Iron Oxide Black 360, bluish	
48440	Iron Oxide Black 320, brownish	
48600	Iron Oxide Red, natural	
48651	Haematite, intense tinting	
48700	Caput Mortuum reddish	
48710	Caput Mortuum dark	
48750	Caput Mortuum, violet	
48800	Magnetite, very fine	
48804	Magnetite, fine	
48806	Magnetite, coarse	
48910	Natural Iron Glimmer	
48930	Iron Glimmer Violet	
48933	Iron Glimmer Violet, extra fine	
489623	Spanish Haematite, medium	
489624	Spanish Haematite, coarse	
52200	Translucent Yellow	

จุฬาลงกรณ์
CHULALONGKO

Code	Pigment name	UV
52350	Translucent Orange-Red	
52400	Translucent Red medium	
55100	Studio Pigment Yellow	
55125	Studio Pigment Egg Yolk Yellow	
55140	Studio Pigment Yellow Sun Gold	
55200	Studio Pigment Orange	
55300	Studio Pigment Light Red	
55400	Studio Pigment Dark Red	
55450	Studio Pigment Bordeaux	
55470	Studio Pigment Pink	
55500	Studio Pigment Sky Blue	
55600	Studio Pigment Dark Blue	
55700	Studio Pigment Light Green	
55800	Studio Pigment Dark Green	
55900	Studio Pigment Violet	
56050	Fluorescent Pigment Blue	
56150	Fluorescent Pigment Lemon Yellow	
56200	Fluorescent Pigment Golden Orange	
56250	Fluorescent Pigment Orange	
56300	Fluorescent Pigment Brick Red	
56350	Fluorescent Pigment	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Code	Pigment name	UV
	Flame Red	
56400	Fluorescent Pigment Magenta Red	
56450	Fluorescent Pigment Violet	

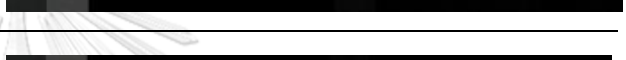
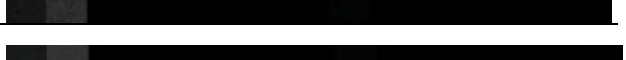
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ค

ภาพถ่ายสารสีของเครเมอร์ภายใต้แอลอีดี 15 ช่องสัญญาณผ่านฟิลเตอร์ที่ให้รังสีอินฟราเรดผ่าน

Code	Pigment name	IR
10010	Smalt, very fine	
10060	Egyptian Blue	
10064	Egyptian Green	
10071	HAN-Blue, fine	
10074	HAN-Purple,fine	
10100	Lead Tin Yellow, light	
10110	Lead Tin Yellow deep	
10120	Lead Tin Yellow II	
10130	Naples Yellow from Paris	
10150	Pinkcolor	
10154	Pinkcolor Deep	
10170	Ploss Blue	
10180	Blue Verditer	
10184	Blue Bice	
10200	Azurite natural standard	
10206	Azurite MP, pale	
10210	Azurite natural fine	
10310	Malachite natural, extra fine	
10345	Malachite MP extra fine	
10350	Chrysocolla	
103601	Fabrous Malachite, fine	
103701	Malachite Arabian, fine	
103801	Torquoise sky-blue, fine	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Code	Pigment name	IR
103901	Atacamite, fine	
104000	Vivianite	
104201	Sodalite, fine	
104602	Cavasite, extra fine	
10470	Pentagonite	
10500	Lapis Lazuli, grayish-blur	
10530	Lapis Lazuli, pure	
10550	Lapis Lazuli bright pure blue	
10620	Natural Cinnabar	
10625	Cinnabar, fine	
10700	Orpiment, genuine	
10800	Realgar, genuine	
10900	Galena	
10930	Pyrite Powder fine	
10940	Antimony	
11000	Verona Green Earth	
11100	Bavarian Green Earth	
111111	Russian Green Earth, extra fine	
11140	Aegirine, fine	
11150	Epidote	
11152	Florentine Green	
11181	Andeer Green, fine	
11200	Green Jasper	
11250	Celadonite	

Code	Pigment name	IR
11272	Yellow Ochre, from Andalusia	
11274	Red Ochre, from Andalusia	
11276	Brown Ochre, from Andalusia	
11280	Black Earth, from Andalusia	
11282	Nero Bernino	
11283	Alba Albula	
11290	Sugar Dolomite	
11300	Red Jasper	
11305	Carneol, pale yellow	
11310	Rose Quartz from Namibia	
11315	Amethyst, Brasilian	
11320	Rhodochrosite	
11324	Rhodonite	
11350	Cote d'Azur Violet	
11354	Slate Green from Mels	
11356	Gray from Mels	
11360	Brown-Red Slate	
11362	Gray from Burgundy	
11390	Jade, very fine	
11401	Rock Crystal, fine	
11410	Eggshell White	
11420	Fuchsite, extra fine	
11520	Jarosite	
11530	Gold Ochre	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Code	Pigment name	IR
11540	Taunus Ochre, light	
11550	Snaefellsjoekull Red	
11572	Burgundy Yellow Ochre, fine	
11574	Burgundy Red Ochre, fine	
11576	Burgundy Red Ochre Deep, fine	
11585	Spanish Red Ochre, extra fine	
11620	Brown Earth from Otranto	
11630	Iseo Brown	
116421	Yellow Moroccan Ochre, fine	
116431	Red Moroccan Ochre, fine	
116441	Dark Red Moroccan Ochre, fine	
11670	Onyx Black	
11674	Obsidian Black	
11810	Selenite, Marienglas, fine	
11830	Aragonite	
12000	Ivory Black, genuine	
12010	Peach Black	
12015	Grape Black	
12020	Cherry Black	
12030	Atramentum	
12040	Shungit	
12100	Bistre	

จุฬาลงกรณ์
CHULALONGKO

Code	Pigment name	IR
12400	Sepia	
17000	Jarosite, from Cyprus	
17050	Natural Sienna, Monte Amiata	
17400	Green Earth, from Cyprus	
17410	Bluish Green Earth, from Cyprus	
21010	Cadmiun Yellow Lemon No.1	
21020	Cadmiun Yellow Lemon No.2, very light	
21030	Cadmiun Yellow Lemon No.4, light	
21040	Cadmiun Yellow Lemon No.6, medium	
21060	Cadmiun Yellow Lemon No.9, dark	
21080	Cadmiun Orange No. 0,very light	
21090	Cadmiun Orange No. 0.5, light	
21100	Cadmiun Orange No. 1, medium	
21110	Cadmiun Orange No. 2, vermilion	
21120	Cadmiun Red No. 1, light	
21130	Cadmiun Red No. 2, medium	
21140	Cadmiun Red No. 3, dark	
23000	Phthalo Green dark	
23010	Phthalo Green, yellowish	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Code	Pigment name	IR
23050	Phthalo Blue (Primary Blue)	
23060	Phthalo Blue royal blue	
23070	Phthalo Blue reddish	
23080	Phthalo Blue (very lightfast)	
23100	Indanthren Blue	
23153	Hostaperm Pink E	
23178	Irgazine Orange DPP RA	
23179	Irgazine Scarlet DPP EK	
23180	Irgazine Red DPP BO	
23181	DPP - Red	
23182	Irgazine Ruby DPP-TR	
23184	Hostaperm Red DPP	
23200	Scarlet Red	
23202	CPT - Scarlet Red	
23230	Permanent Red A	
23250	Permanent Red dark	
23290	Permanent Red	
23291	Permanent Red FRLL	
23293	CPT - Red	
23300	Permanent Yellow light	
23310	Permanent Yellow Medium	
23330	Irgazine Yellow, greenish	
23340	Isoindole Yellow	
23350	Indian Yellow imitation	
23370	Pyramid-Yellow medium	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Code	Pigment name	IR
23401	Hostaperm Pink, transparent	
23402	Quindo Pink D	
23451	Dioxazine Violet	
23480	Cinquasia Chestnut Brown	
23490	Purple-Red	
23493	Gubbio Red	
23500	Paliogen Maroon	
23502	Maroon	
23504	Paliogen Maroon very fine	
23540	Paliotol Orange	
23570	Pyranthrone Orange	
23585	Cinquasia Gold, red-gold	
23600	Alizarine Crimson light	
23610	Alizarine Crimson dark	
23650	Brilliant Yellow	
23660	Isoindolinon Yellow	
23670	Irgazine Yellow	
23710	Cinquasia Violet RT 201 D	
23720	Hostaperm Red	
23750	Alizarine Violet	
23800	Isoindolol Orange	
23850	Studio Yellow	
23950	Studio Red, Helio	
24000	Paliotol Yellow-Orange	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Code	Pigment name	IR
24100	Aniline Black	
26308	XSL Poppy Red	
26310	XSL Irgazine Red DPP	
28020	Irgazin Yellow, greenish	
36000	Indigo, genuine	
36003	Indigo made of Woad	
36009	Indigo, synthetic	
37202	Madder Lake, genuine	
372057	Madder Lake Carmine Red	
372141	Madder Lake made of roots, Dark Red	
37218	Madder Lake Violet	
40010	French Ochre JTCLES	
40012	French Ochre, very light	
40013	French Ochre , extra light	
40020	French Ochre RTFLES	
40030	French Ochre JOLES	
40040	French Ochre JCLES	
40050	French Ochre JFLES	
40060	French Ochre JALS	
40070	French Ochre SOFODOR	
40080	French Ochre HAVANE	
40090	French Ochre SOFOROUGE	
40130	French Ochre SAHARA	
40195	Gold Ochre, from Poland	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Code	Pigment name	IR
40200	Ochre Avana, greenish-yellow	
40214	Gold Ochre DD	
40220	Italian Gold Ochre light	
40231	Brown Ochre light	
40241	Fawn Ochre	
40260	Satin Ochre	
40280	Amberg Yellow	
40301	Iron Oxide Yellow	
40310	Dark Ochre, German	
40320	Dark Ochre, Italian	
40392	Raw Sienna, French	
40400	Raw Sienna, Italian	
40404	Raw Sienna Badia, Italian	
40410	Raw Sienna brownish	
40430	Dark Burnt Sienna	
40440	Pompeii Red	
40470	Burnt Sienna, from France	
40490	Rosso Sartorius	
40503	Red Bole	
40510	Venetian Red	
40542	English Red Light	
40545	English Red Deep	
40610	Raw Umber	
40611	Raw Umber, light	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Code	Pigment name	IR
40612	Raw Umber, greenish	
40623	Manganese Brown Intense	
40630	Raw Umber greenish dark	
40650	Chromite	
40660	Raw Umber, dark	
40700	Burnt Umber, reddish	
40710	Burnt Umber, Brownish	
40720	Burnt Umber, dark brown	
40723	Burnt Umber, type B	
40730	Burnt Umber Light, reddish-brown	
40800	Green Earth, light	
40810	Bohemian Green Earth	
40821	Green Earth from Verona	
40830	Green Earth from France	
40850	Burnt Green Earth	
40900	Slate Grey, extra light	
40911	Slate Gray, light, greenish	
40920	Slate Gray, gray-green	
40960	Pencil Clay, powder	
41000	Van Dyck Brown	
41050	Cassel Brown, wood stain	
41550	Terra Pozzuoli	
41600	Terra Ercolano	
41700	Verona Green Earth	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Code	Pigment name	IR
41750	Vegone Green Earth	
41770	Nicosia Green	
41800	Bohemian Green Earth, imitation	
41820	Vegone Green Earth, imitation	
42000	Vermilion	
42050	Zirconium Red	
42100	Carmine Naccarat	
42300	Cerium Red	
42500	Red Lead Minium	
42601	Ultramarine Red, violet pink	
42605	Ultramarine Red B, dark pink	
43101	Bristol Yellow pale	
43111	Bristol Yellow, medium	
43125	Naples Yellw, dark	
43130	Naples Yellw, reddish	
43131	Bristol Yellow, reddish	
43200	Nickel-Titanium Yellow	
43210	Nickel-Titanium Yellow, greenish	
43230	Praseodym Yellow	
43300	Titanium Orange	
43340	Hokkaido-Orange	
43500	Cobalt Yellow	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Code	Pigment name	IR
43600	Antimony Red	
43870	Yellow Zircon	
43880	Intensive Yellow	
43910	Bismuth-Vanadate Yellow lemon	
43915	Bismuth-Vanadate Yellow light	
43918	Bismuth-Vanadate Yellow medium	
43920	Bismuth-Vanadate Yellow dark	
44100	Cobalt Green	
44110	Cobalt Oxide Green Blue	
44130	Cobalt Bottle Green	
44151	Cobalt Green bluish A	
44190	Pastel Green, Victoria Green	
44200	Chrome Oxide Green	
44250	Viridian Green	
44280	Permanent Green	
44400	Malachite, synthetic	
44450	Verdigris, synthetic	
44500	Cadmium Green, light	
44510	Cadmium Green, dark	
45000	Ultramarine Blue, very dark	
45010	Ultramarine Blue, dark	
45020	Ultramarine Blue, reddish	

Code	Pigment name	IR
45030	Ultramarine Blue, greenish extra	
45040	Ultramarine Blue, greenish light	
45080	Ultramarine Blue, light	
45100	Ultramarine Violet, medium	
45110	Ultramarine Violet, reddish	
45120	Ultramarine Violet, light reddish	
45202	Prussian Blue LUX	
45350	Manganese Violet	
45364	Copper Blue	
45400	Zirconium Cerulean Blue	
45700	Cobalt Blue Dark	
45701	Cobalt Blue Dark, greenish	
45702	Cobalt Blue,Sapporo	
45710	Cobalt Blue Medium	
457141	Cobalt Blue Pale	
45720	Cobalt Blue light	
45730	Cobalt Cerulean Blue	
45740	Cobalt Blue, greenish	
45750	Cobalt Blue Turquoise, light	
45760	Cobalt Blue Turquoise, dark	
45800	Cobalt Violet, dark	
45810	Cobalt Violet brilliant, dark	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Code	Pigment name	IR
45820	Cobalt Violet, light	
48000	Iron Oxide Yellow 920, medium	
48020	Iron Oxide Yellow 415, greenish	
48040	Iron Oxide Yellow 940, dark	
48050	Iron Oxide Yellow-Orange, Gamma	
48060	Iron Oxide Orange 960, light	
48100	Iron Oxide Red 110 M, light	
48120	Iron Oxide Red 120 M	
48150	Iron Oxide Red 130 B, medium	
48200	Iron Oxide Red 130 M, medium	
48220	Caput Mortuum Synthetic 180 M	
48250	Iron Oxide Red 222, dark	
48289	Iron Oxide Red micronized	
48300	Iron Oxide Brown 610, light	
48320	Iron Oxide Brown 640, medium	
48340	Iron Oxide Brown 655	
48350	Iron Oxide Brown 660, dark	
48400	Iron Oxide Black 318, high tinting	
48420	Iron Oxide Black 360, bluish	
48440	Iron Oxide Black 320,	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Code	Pigment name	IR
	brownish	
48600	Iron Oxide Red, natural	
48651	Haematite, intense tinting	
48700	Caput Mortuum reddish	
48710	Caput Mortuum dark	
48750	Caput Mortuum, violet	
48800	Magnetite, very fine	
48804	Magnetite, fine	
48806	Magnetite, coarse	
48910	Natural Iron Glimmer	
48930	Iron Glimmer Violet	
48933	Iron Glimmer Violet, extra fine	
489623	Spanish Haematite, medium	
489624	Spanish Haematite, coarse	
52200	Translucent Yellow	
52350	Translucent Orange-Red	
52400	Translucent Red medium	
55100	Studio Pigment Yellow	
55125	Studio Pigment Egg Yolk Yellow	
55140	Studio Pigment Yellow Sun Gold	
55200	Studio Pigment Orange	
55300	Studio Pigment Light Red	
55400	Studio Pigment Dark Red	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Code	Pigment name	IR
55450	Studio Pigment Bordeaux	
55470	Studio Pigment Pink	
55500	Studio Pigment Sky Blue	
55600	Studio Pigment Dark Blue	
55700	Studio Pigment Light Green	
55800	Studio Pigment Dark Green	
55900	Studio Pigment Violet	
56050	Fluorescent Pigment Blue	
56150	Fluorescent Pigment Lemon Yellow	
56200	Fluorescent Pigment Golden Orange	
56250	Fluorescent Pigment Orange	
56300	Fluorescent Pigment Brick Red	
56350	Fluorescent Pigment Flame Red	
56400	Fluorescent Pigment Magenta Red	
56450	Fluorescent Pigment Violet	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บรรณานุกรม

1. Liang, H., *Advances in multispectral and hyperspectral imaging for archaeology and art conservation.* Applied Physics A, 2012. **106**(2): p. 309-323.
2. Cosentino, A., *Infrared Technical Photography for art examination.* E-Preservation Sci, 2016. **13**: p. 1-6.
3. Cosentino, A., et al., *Technical photography for mural paintings: the newly discovered frescoes in Aci Sant'Antonio (Sicily, Italy).* Conservar Património, 2014(20): p. 23-33.
4. Fox, M., *Optical Properties of Solids.* American Journal of Physics, 2002. **70**(12): p. 1269-1270.
5. Eaton-Magaña, S. and C.M. Breeding, *AN INTRODUCTION TO PHOTOLUMINESCENCE SPECTROSCOPY FOR DIAMOND AND ITS APPLICATIONS IN GEMOLOGY.* Gems & Gemology, 2016. **52**(1): p. 2-17.
6. Hersch, R.D., P. Donzé, and S. Chosson, *Color images visible under UV light*, in *ACM SIGGRAPH 2007 papers*. 2007, Association for Computing Machinery: San Diego, California. p. 75–es.
7. X-rite, *The Color Guide and Glossary, Communication, measurement, and control for Digital Imaging and Graphic Art*. 2004. p. 1-41.
8. Gürses, A., et al., *Classification of Dye and Pigments*, in *Dyes and Pigments*. 2016, Springer International Publishing: Cham. p. 31-45.
9. chemicals, E.s.i. *Chrome Oxide Green*. [cited 2021 1 Aug 2021]; Available from: http://www.epsilonpigments.com/inorganic-pigment/chrome-pigment/chrome-oxide-green/.
10. Amrhein, A., et al., *The Myth of MIDAS' GOLDEN TOUCH*, in *EXPEDITION Winter 2015*. 2015, Penn museum: Penn museum. p. 53-55.
11. สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, ฝ.ก., แคดเมี่ยม (*Cadmium*). 2 ed. 2541.
12. NaturalPigments. *Venetian Red*. [cited 2021 15 Aug 2021]; Available from: https://www.naturalpigments.com/venetian-red.html.
13. สรวารี, อ., สารเคลือบผิว (สี วาร์นิช และแลกเกอร์). 2001.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

14. Larkin, P., *Chapter 2-basic principles.* Infrared and Raman Spectroscopy, 2011: p. 7-25.
15. Mosca, S., et al., *Spatially offset Raman spectroscopy.* Nature Reviews Methods Primers, 2021. **1**(1): p. 21.
16. Colantonio, C., et al., *Hypercolorimetric multispectral imaging system for cultural heritage diagnostics: an innovative study for copper painting examination.* The European Physical Journal Plus, 2018. **133**(12): p. 1-12.
17. Cosentino, A., *Multispectral imaging of pigments with a digital camera and 12 interferential filters.* e-Preservation Sci, 2015. **12**: p. 1-7.
18. Shrestha, R. and J.Y. Hardeberg. *Multispectral imaging using LED illumination and an RGB camera*. in *Color and Imaging Conference*. 2013. Society for Imaging Science and Technology.
19. Toque, J.A., Y. Sakatoku, and A. Ide-Ektessabi. *Pigment identification by analytical imaging using multispectral images*. in *2009 16th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*. 2009. IEEE.
20. Caggiani, M.C., A. Cosentino, and A. Mangone, *Pigments Checker version 3.0, a handy set for conservation scientists: A free online Raman spectra database.* Microchemical Journal, 2016. **129**: p. 123-132.
21. Eastaugh, N., et al., *Pigment compendium: a dictionary of historical pigments*. 2007: Routledge.
22. Myers, D., *The Color of Art Pigment Database: Pigment Yellow, PY*. Art is Creation.
23. *Raman Spectrum database* Philadelphia Museum of Art (PMA) IRUG Infrared & Raman Users Group p. 78.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	สุรีย์พร คำแพง
วัน เดือน ปี เกิด	16 สิงหาคม 2539
สถานที่เกิด	ขอนแก่น
วุฒิการศึกษา	ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์
ที่อยู่ปัจจุบัน	86/16 ถนน นราธิวาสราชนครินทร์ แขวง ทุ่งวัดดอน เขต สาทร จังหวัด กรุงเทพฯ
ผลงานตีพิมพ์	S. Khampaeng, P. Katemake, K. Chawan, Optimizing Multicoloured LEDs for Identifying Pigments, Optics for Arts, Architecture, and Archaeology VIII, SPIE Optical Metrology 2021 Proc. SPIE 11784, 21-25 Jul 2021, Munich, Germany. P. Poungto, S. Khampaeng, P. Punkhor, P. Katemake, S. Noppakundilograt, K. Tananuwong, T. Janjarasskul, Development of a Color Strip from Colorants in Grape for Alkali Indicator, ACA2019 Nagoya, 29 Nov-2 Dec 2019, Nagoya, Japan.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University