ความสัมพันธ์ระหว่างโหมดการปรากฏสีและการเคลื่อนการปรากฏสี

นางสาวปลูกเกษม ชูตระกูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

RELATIONSHIP BETWEEN COLOR APPEARANCE MODE AND COLOR APPEARANCE SHIFT

Miss Ploogkasem Chootragoon

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Imaging Technology
Department of Imaging and Printing Technology
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ความสัมพันธ์ระหว่างโหมดการปรากฏสีและการเคลื่อนการปรากฏสี
โดย	นางสาวปลูกเกษม ชูตระกูล
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญดา เกตุเมฆ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ศาสตราจารย์ ดร.มิตซูโอะ อิเคดะ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวาล คูร์พิพัฒน์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญดา เกตุเมฆ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ศาสตราจารย์ ดร.มิตซูโอะ อิเคดะ)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์พรทวี พึ่งรัศมี)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.จันทร์ประภา พ่วงสุวรรณ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปลูกเกษม ชูตระกูล : ความสัมพันธ์ระหว่างโหมดการปรากฏสีและการเคลื่อนการปรากฏสี. (RELATIONSHIP BETWEEN COLOR APPEARANCE MODE AND COLOR APPEARANCE SHIFT) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.พิชญดา เกตุเมฆ, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ศ. ดร.มิตซูโอะ อิเคดะ, 78 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเคลื่อนการปรากฏสีภายใต้โหมดการปรากฏสีที่แตกต่างกัน โดยใช้ตัวอย่างจำนวน 11 ตัวอย่าง ซึ่งประกอบด้วยตัวอย่างสี 8 ตัวอย่าง และตัวอย่างสีเทา 3 ตัวอย่าง จากระบบสีมาตรฐานของมันเซลล์ (Munsell) ซึ่งมีสีสัน (hue) ความสว่างสี (value) และความอิ่มตัวสี (chroma) แตกต่างกัน ตัวอย่างสีจะอยู่ภายในห้องทดลองที่ปรับระดับความสว่าง (illuminance) ได้ โดยให้ผู้สังเกตที่อยู่ห้องถัดไปพิจารณาตัวอย่างสีผ่านช่องหน้าต่างขนาดเล็ก การรับรู้สีของตัวอย่างสีของผู้สังเกตจะแปรเปลี่ยนไปตามระดับความส่องสว่างของทั้ง 2 ห้อง ซึ่งมีทั้งหมด 36 สภาวะ จากนั้นผู้สังเกตจะพิจารณาตัวอย่างสีแล้วบอกค่าสีโดยวิธีคำเรียกสีพื้นฐาน (elementary color naming) และเลือกโหมดการปรากฏสี (color appearance mode) ของตัวอย่างสีนั้นว่าเป็น object color mode, unnatural object color mode หรือ light source color mode ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการรับรู้ความสว่างและความอิ่มตัวสีของทุกตัวอย่างสีและสีเทา จะเปลี่ยนไปเมื่อโหมดการปรากฏสีเปลี่ยน เช่นเดียวกับการรับรู้สีสันที่เปลี่ยนไปเช่นกันเมื่อโหมดการปรากฏสีเปลี่ยน ยกเว้นสีน้ำเงิน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาควิชา	วิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์	ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางภาพ	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....
ปีการศึกษา	2556	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

5472019623 : MAJOR IMAGING TECHNOLOGY
KEYWORDS: COLOR APPEARANCE / COLOR APPEARANCE MODE / ELEMENTARY COLOR NAMING / ILLUMINANCE

PLOOGKASEM CHOOTRAGOON: RELATIONSHIP BETWEEN COLOR APPEARANCE MODE AND COLOR APPEARANCE SHIFT. ADVISOR: ASSOC. PROF.PICHAYADA KATEMAKE, Ph.D., CO-ADVISOR: PROF.MITSUO IKEDA, Ph.D., 78 pp.

This research investigated the effect of color appearance mode on color appearance shift, 11 Munsell patches with eight different hues and three different levels of gray were used as test stimuli. Each individual patch was shown, in a test room, to a subject sitting in subject room. The subject was asked to look at the test stimulus through a small window that is filled by the test stimulus. Thirty six illuminance combinations of the subject room and the test room were prepared, so that the subject perceived three different color appearance modes: the object color mode, unnatural object color mode and light source color mode. The subject described the color appearance of the test stimuli using the elementary color naming method and the color appearance mode for each condition. The results showed that perception of brightness and saturation of all color patches and grays change when the color appearance mode changes. Perception of hue of color patches change, except for blue, when the color appearance mode changes.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Department: Imaging and Printing Technology
Field of Study: Imaging Technology
Academic Year: 2013

Student's Signature .....
Advisor's Signature .....
Co-Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของ รองศาสตราจารย์ ดร. พิชญดา เกตุเมฆ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งคอยดูแลและให้คำปรึกษาแนะนำในสิ่งต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์สำหรับการทำงาน อีกทั้งช่วยตรวจสอบและแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับ ศาสตราจารย์ ดร.มิตซูโอะ อิเคดะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้จุดประกายชี้แนะแนวทางการดำเนินงานวิจัย ให้ความช่วยเหลือและข้อแนะนำในทุก ๆ ด้าน

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวาล คูร์พิพัฒน์ ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์พรทวี พึ่งรัศมี และอาจารย์ ดร. จันทร์ประภา พ่วงสุวรรณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ช่วยให้ข้อเสนอแนะ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ขอขอบคุณเพื่อน ๆ น้อง ๆ ทุกคน ที่สละเวลาให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูล และเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์เรื่องนี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาคภายัพ เชียงใหม่ ซึ่งให้โอกาสได้รับทุนเพื่อศึกษาในสาขาวิชานี้ รวมถึงครอบครัวที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 1

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและวารสารปริทัศน์ 3

2.1 การมองเห็นสี (color vision) 3

2.2 การรับรู้ลักษณะของสี 11

2.3 การปรากฏสี (color appearance) 16

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 18

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 20

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ 20

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 21

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล 33

4.1 ค่าเฉลี่ยปริมาณค่าองค์ประกอบสีของตัวอย่างสี 34

4.2 โหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 42

4.3 ค่าของสีสันที่ปรากฏของตัวอย่างสี 48

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 74

5.1 สรุปผลการวิจัย 74

5.2 ข้อเสนอแนะ 75

รายการอ้างอิง 76

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 78

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 สีสันในแต่ละช่วงความยาวคลื่นแสงที่มนุษย์สามารถรับรู้ได้จากการมองเห็น 4
ตารางที่ 2.2 หลักเกณฑ์ในการรับรู้สีสันหลัก 4 สี 14
ตารางที่ 3.1 สภาวะแสงในการทดลองทั้งหมด 36 แบบ 25
ตารางที่ 3.2 ค่าสีของตัวอย่างสีมันเซลล์ที่เลือกใช้ในการทดลอง ทั้ง 11 ตัวอย่าง 26
ตารางที่ 3.3 ค่าการบ่งชี้โหมดการปรากฏสีของรูปแบบการบอกโหมดการปรากฏสี ทั้ง 11 แบบ 31
ตารางที่ 4.1 โหมดการปรากฏสีและขีดเริ่มเปลี่ยนของตัวอย่างสีที่ไม่มีสี (achromatic) 43
ตารางที่ 4.2 โหมดการปรากฏสีและขีดเริ่มเปลี่ยนของตัวอย่างสีที่มีสีสัน (chromatic) 46
ตารางที่ 4.3 ค่า Hue angle ของตัวอย่างสี 5R 6/14 จากการรับรู้ค่าความเป็นสี (chromaticness) ความเป็นสีขาว (whiteness) และความเป็นสีดำ (blackness) ภายใต้สภาวะการทดสอบทั้งหมด 49
ตารางที่ 4.4 ค่า Hue angle ของตัวอย่างสี 5YR 7/12 จากการรับรู้ค่าความเป็นสี (chromaticness) ความเป็นสีขาว (whiteness) และความเป็นสีดำ (blackness) ภายใต้สภาวะการทดสอบทั้งหมด 52
ตารางที่ 4.5 ค่า Hue angle ของตัวอย่างสี 5Y 8.5/12 จากการรับรู้ค่าความเป็นสี (chromaticness) ความเป็นสีขาว (whiteness) และความเป็นสีดำ (blackness) ภายใต้สภาวะการทดสอบทั้งหมด 55
ตารางที่ 4.6 ค่า Hue angle ของตัวอย่างสี 5GY 8/10 จากการรับรู้ค่าความเป็นสี (chromaticness) ความเป็นสีขาว (whiteness) และความเป็นสีดำ (blackness) ภายใต้สภาวะการทดสอบทั้งหมด 58
ตารางที่ 4.7 ค่า Hue angle ของตัวอย่างสี 5G 6/10 จากการรับรู้ค่าความเป็นสี (chromaticness) ความเป็นสีขาว (whiteness) และความเป็นสีดำ (blackness) ภายใต้สภาวะการทดสอบทั้งหมด 61
ตารางที่ 4.8 Hue angle ของตัวอย่างสี 5BG 5/8 จากการรับรู้ค่าความเป็นสี (chromaticness) ความเป็นสีขาว (whiteness) และความเป็นสีดำ (blackness) ภายใต้สภาวะการทดสอบทั้งหมด 64
ตารางที่ 4.9 ค่า Hue angle ของตัวอย่างสี 10B 6/10 จากการรับรู้ค่าความเป็นสี (chromaticness) ความเป็นสีขาว (whiteness) และความเป็นสีดำ (blackness) ภายใต้สภาวะการทดสอบทั้งหมด 67
ตารางที่ 4.10 ค่า Hue angle ของตัวอย่างสี 5P 3/8 จากการรับรู้ค่าความเป็นสี (chromaticness) ความเป็นสีขาว (whiteness) และความเป็นสีดำ (blackness) ภายใต้สภาวะการทดสอบทั้งหมด 70

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 องค์ประกอบในการมองเห็นสีของวัตถุ 3
ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างของแสงที่มีอุณหภูมิสีเทียบเคียงแตกต่างกัน 5
ภาพที่ 2.3 การกระจายพลังงานของสเปกตรัมของแสงมาตรฐาน CIE A, C, D50 และ D65 5
ภาพที่ 2.4 ภาพตัดขวางแสดงส่วนประกอบของตามนุษย์ และชั้นจอตา 7
ภาพที่ 2.5 กราฟแสดงความไวแสงของการเห็นสโคทอพิก 8
ภาพที่ 2.6 ความไวแสงของเซลล์รูปกรวยสามชนิด 9
ภาพที่ 2.7 ความไวแสงของการเห็นโฟทอพิก 10
ภาพที่ 2.8 โครงสร้างสามมิติในการรับรู้ความสว่าง สีสัน และความอิ่มตัวสี 12
ภาพที่ 2.9 วงจรสีคู่สีตรงกันข้ามของเฮอริ่ง (Hering's opponent colors theory) 13
ภาพที่ 2.10 แผนภาพการจัดเรียงโครงสร้างของระบบสีมันเซลล์ แสดง สีสัน (hue) ความสว่างสี (value) และความอิ่มตัวสี (chroma) 14
ภาพที่ 2.11 การจัดเรียงตำแหน่งของสีสัน และความอิ่มตัวสีในระบบสีมันเซลล์ 16
ภาพที่ 2.12 ผลของระดับความสว่างที่เปลี่ยนแปลงต่อการรับรู้สีจากการมองเห็น 17
ภาพที่ 3.1 เครื่องวัดความสว่าง Konica Minolta/CL-200 21
ภาพที่ 3.2 ตัวอย่างสีมันเซลล์ จำนวน 11 ตัวอย่าง 21
ภาพที่ 3.3 ลักษณะโครงสร้างของห้องทดลองและตำแหน่งของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 22
ภาพที่ 3.4 การจัดวางวัตถุเพื่อจำลองสภาวะห้องของผู้สังเกต 23
ภาพที่ 3.5 มุมการมองที่ 1° ของผู้สังเกตในขณะทำการทดลอง 23
ภาพที่ 3.6 การจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ภายในห้องแสดงตัวอย่างสี 24
ภาพที่ 3.7 การจัดวางตำแหน่งของหลอดฟลูออเรสเซนซ์ภายในห้องแสดงตัวอย่างสี 24
ภาพที่ 3.8 ระดับความสว่างภายในห้องผู้สังเกตทั้ง 6 ระดับ 25
ภาพที่ 3.9 แผนภาพแสดงความอิ่มตัวสีของตัวอย่างสีที่มีสีสันทั้ง 8 สี ได้แก่ 5R 6/14, 5YR 7/12, 5Y 8.5/12, 5GY 8/10, 5G 6/10, 5BG 5/8, 10B 6/10 และ 5P 3/8 27
ภาพที่ 3.10 การบอกค่าสีเป็นสัดส่วนร้อยละโดยวิธีคำเรียกสีพื้นฐาน 28
ภาพที่ 3.11 โหมดการปรากฏสีทั้ง 3 โหมด ของตัวอย่างสี 5YR 29
ภาพที่ 3.12 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการทดลองภายใต้ 1 สภาวะแสง 29
ภาพที่ 3.13 ระดับการแบ่งโหมดการปรากฏสี 30
ภาพที่ 4.1 ปริมาณความเป็นสีดำ (blackness) ของตัวอย่างสี N5 ที่ปรากฏภายใต้ระดับความสว่างของห้องผู้สังเกต และห้องแสดงตัวอย่างสีที่ 80 ลักซ์ ของผู้สังเกต SN และ PC 33
ภาพที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยปริมาณค่าองค์ประกอบสี และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี N2 34

หน้า

ภาพที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยปริมาณค่าองค์ประกอบสี และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี N5 35
ภาพที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยปริมาณค่าองค์ประกอบสี และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี N8 35
ภาพที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยปริมาณค่าความเป็นสีดำของตัวอย่างสี N2, N5 และ N8 36
ภาพที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยปริมาณค่าองค์ประกอบสี และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5R 6/14 37
ภาพที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยปริมาณค่าองค์ประกอบสี และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5YR 7/12 38
ภาพที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยปริมาณค่าองค์ประกอบสี และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5Y 8.5/12 38
ภาพที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยปริมาณค่าองค์ประกอบสี และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5GY 8/10 39
ภาพที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยปริมาณค่าองค์ประกอบสี และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5G 6/10 39
ภาพที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยปริมาณค่าองค์ประกอบสี และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5BG 5/8 40
ภาพที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยปริมาณค่าองค์ประกอบสี และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 10B 6/10 40
ภาพที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยปริมาณค่าองค์ประกอบสี และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5P 3/8 41
ภาพที่ 4.14 โหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี N2, N5 และ N8 42
ภาพที่ 4.15 โหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5R, 5YR, 5Y, 5GY, 5G, 5BG, 10B และ 5P 45
ภาพที่ 4.16 ค่าสีสัน (hue) และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5R 6/14 50
ภาพที่ 4.17 ค่าสีสัน (hue) และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5YR 7/12 53
ภาพที่ 4.18 ค่าสีสัน (hue) และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5Y 8.5/12 56
ภาพที่ 4.19 ค่าสีสัน (hue) และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5GY 8/10 59
ภาพที่ 4.20 ค่าสีสัน (hue) และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5G 6/10 62
ภาพที่ 4.21 ค่าสีสัน (hue) และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5BG 5/8 65
ภาพที่ 4.22 ค่าสีสัน (hue) และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 10B 6/10 68
ภาพที่ 4.23 ค่าสีสัน (hue) และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5P 3/8 71
ภาพที่ 4.24 สเกลของ hue angle ของตัวอย่างสีที่มีสีสันทั้ง 8 ตัวอย่าง 72
ภาพที่ 4.25 ขอบเขตของ hue angle ของตัวอย่างสีที่มีสีสันทั้ง 8 ตัวอย่าง 73

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ความรู้เรื่องสีได้ถูกนำมาปรับใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์แก่มนุษย์จนกลายเป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญในชีวิตประจำวัน งานวิจัยเป็นจำนวนมากมุ่งศึกษาถึงผลกระทบของสีที่ส่งผลต่ออารมณ์ ความรู้สึก รวมถึงความชอบหรือไม่ชอบ ซึ่งส่งผลต่อการตัดสินใจในการเลือกซื้อสินค้า โดยเน้นไปที่การรับรู้ลักษณะของสีที่ปรากฏผ่านการมองเห็น ในความเป็นจริงมนุษย์เราไม่ได้รับรู้เพียงลักษณะของสีเท่านั้น หากแต่ยังรับรู้โหมดการปรากฏของสี ซึ่งส่งผลต่อการตัดสินใจในความชอบสีด้วยเช่นกัน [1]

การรับรู้โหมดการปรากฏสีจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะแวดล้อม โดยมีความสว่างเป็นปัจจัยหลักสำคัญที่ส่งผลต่อคุณสมบัติและลักษณะของโหมดการปรากฏสีในรูปแบบต่าง ๆ ดังที่ ยุวดี และคณะ [2] ทำการศึกษาการเปลี่ยนโหมดการปรากฏสีของแถบสี โดยค่อย ๆ เพิ่มความสว่างลงบนพื้นผิวของแถบสี ในขณะที่ความสว่างบนแถบสีน้อย สีที่ปรากฏมีลักษณะที่เป็นธรรมชาติกลมกลืนกับสภาพแวดล้อม การปรากฏจะอยู่ในโหมดสีของวัตถุ เมื่อเพิ่มความสว่างบนแถบสีเพิ่มมากขึ้นจนแถบสีเริ่มปรากฏเป็นวัตถุที่ไม่เป็นธรรมชาติ ดูสว่างผิดปกติเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุในสภาพแวดล้อมนั้น การปรากฏสีจะอยู่ในโหมดของวัตถุที่ดูไม่เป็นธรรมชาติ และถ้าเพิ่มความสว่างมากขึ้นเรื่อย ๆ จนแถบสีมีลักษณะเหมือนเป็นแหล่งแสง การปรากฏจะอยู่ในโหมดสีของแสง

การรับรู้โหมดการปรากฏสีในแต่ละรูปแบบ มีลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน เห็นได้จากวัตถุที่สามารถเปล่งแสงได้ในตัวเอง อาทิเช่น จอภาพแอลอีดีขนาดใหญ่ ซึ่งพบมากตามตึกสูงแหล่งชุมชน หรือในบริเวณที่มีคนพลุกพล่านเป็นจำนวนมาก เรารับรู้การปรากฏสีของจอภาพในเวลากลางวันที่มีแสงแดดจัดมีลักษณะเหมือนสีของวัตถุ แต่เมื่อแสงแดดลดลงในช่วงเย็นสีที่ปรากฏกลับดูไม่เป็นธรรมชาติจากสีของวัตถุ ส่วนในเวลากลางคืนการปรากฏสีของจอภาพจะมองเห็นเหมือนเป็นแหล่งแสงที่มีความสว่างมาก จนบางครั้งทำให้เกิดปัญหาในการมองเห็นได้

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงปัจจัยความสว่าง ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโหมดการปรากฏสีว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางใด โดยคาดว่าผลที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการแสดงผลของสีที่ปรากฏบนจอภาพ เมื่ออยู่ภายใต้ระดับความสว่างที่แตกต่างกันได้อย่างเหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของการเคลื่อนการปรากฏสีภายใต้โหมดการปรากฏสีที่แตกต่างกัน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาการเคลื่อนการปรากฏสีของตัวอย่างสี ภายใต้โหมดการปรากฏสีที่แตกต่างกัน โดยเลือกใช้ตัวอย่างสีจากระบบสีมาตรฐานของมันเซลล์ (Munsell) ซึ่งมีสีสัน (hue) ความสว่างสี (value) และความอิ่มตัวสี (chroma) ที่แตกต่างกัน จำนวน 11 ตัวอย่าง ได้แก่ N2, N5, N8, 5R 6/14, 5YR 7/12, 5Y 8.5/12, 5GY 8/10, 5G 6/10, 5BG 5/8, 10B 6/10 และ 5P 3/8 ตัวอย่างสีจะอยู่ภายในห้องทดลองที่ปรับระดับความสว่าง (illuminance) ได้ 6 ระดับ คือ 80, 120, 250, 500, 1000 และ 2400 ลักซ์ โดยผู้สังเกตที่นั่งอยู่ในห้องที่ควบคุมความสว่าง พิจารณาตัวอย่างสีผ่านช่องหน้าต่างขนาดเล็ก ภายในห้องของผู้สังเกตได้กำหนดระดับความสว่าง 6 ระดับ คือ 0, 0.5, 3, 15, 80 และ 240 ลักซ์ เพื่อจำลองสภาวะของความสว่างระดับต่าง ๆ จากมืดไปถึงสว่าง ระดับความสว่างของทั้ง 2 ห้อง ทั้งหมด 36 สภาวะ จากนั้นผู้สังเกตจะพิจารณาตัวอย่างสีแล้วบอกค่าสีโดยวิธีคำเรียกสีพื้นฐาน (elementary color naming) และเลือกโหมดการปรากฏสี (color appearance mode) ของตัวอย่างสีนั้นว่าเป็น object color mode, unnatural object color mode หรือ light source color mode

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ข้อมูลการรับรู้การเคลื่อนการปรากฏสีของตัวอย่างสีภายใต้โหมดการปรากฏสีที่แตกต่างกัน

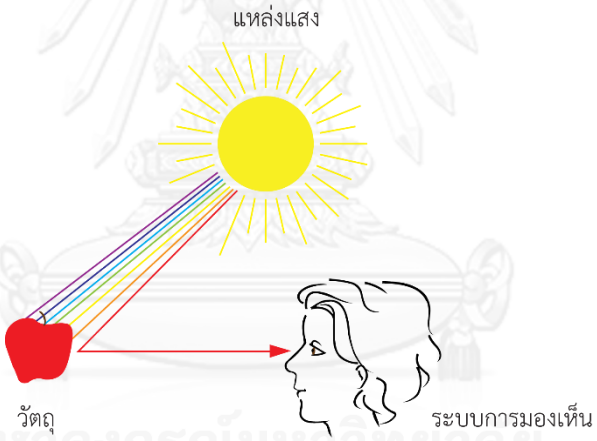
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
ทฤษฎีและวารสารปริทัศน์

2.1 การมองเห็นสี (color vision)

2.1.1 องค์ประกอบในการมองเห็น

การมองเห็นเป็นกระบวนการพื้นฐานทางการรับรู้ ที่ทำให้เราเข้าใจถึงความหมายของสิ่งต่าง ๆ จากลักษณะทางกายภาพ ซึ่งประกอบไปด้วยลักษณะทางโครงสร้างหรือรูปร่าง พื้นผิว และสี [3] ซึ่งการมองเห็นและรับรู้สีของวัตถุเป็นผลมาจากปฏิสัมพันธ์ขององค์ประกอบพื้นฐาน ได้แก่ แหล่งแสง วัตถุ และระบบการมองเห็นของมนุษย์ ดังแสดงในภาพที่ 2.1 แต่ถ้าหากวัตถุนั้นเป็นแหล่งแสง ตัวอย่างเช่น หลอดไฟ หรือแสงเทียน ปฏิสัมพันธ์ขององค์ประกอบดังกล่าวจะมีเพียงวัตถุและระบบการมองเห็น เนื่องจากวัตถุนั้นทำหน้าที่เป็นทั้งแหล่งแสงและวัตถุที่มีสี นอกจากนั้นสีที่อยู่แวดล้อมวัตถุยังส่งผลต่อการมองเห็นและการรับรู้สีของวัตถุนั้นด้วย [4]



ภาพที่ 2.1 องค์ประกอบในการมองเห็นสีของวัตถุ [5]

2.1.1.1 แหล่งแสง

แหล่งแสงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการมองเห็นสี ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แหล่งแสงตามธรรมชาติ (natural light source) ได้แก่ แสงจากดวงอาทิตย์ และแหล่งแสงประดิษฐ์ (artificial light source) ได้แก่ แสงจากเทียนไข แสงจากหลอดไฟ เป็นต้น

แสงจากดวงอาทิตย์ หรือแสงแดดในตอนกลางวัน (daylight) เป็นพลังงานที่แผ่ออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในช่วงความยาวคลื่นแสงที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ ซึ่งอยู่

ระหว่าง 380 - 780 นาโนเมตร (nm) (1 นาโนเมตร = 1/1,000,000,000 เมตร หรือ 10^{-9} m) โดยช่วงความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน จะส่งผลให้การรับรู้สีแตกต่างกันไป ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สีสันในแต่ละช่วงความยาวคลื่นแสงที่มนุษย์สามารถรับรู้ได้จากการมองเห็น [6]

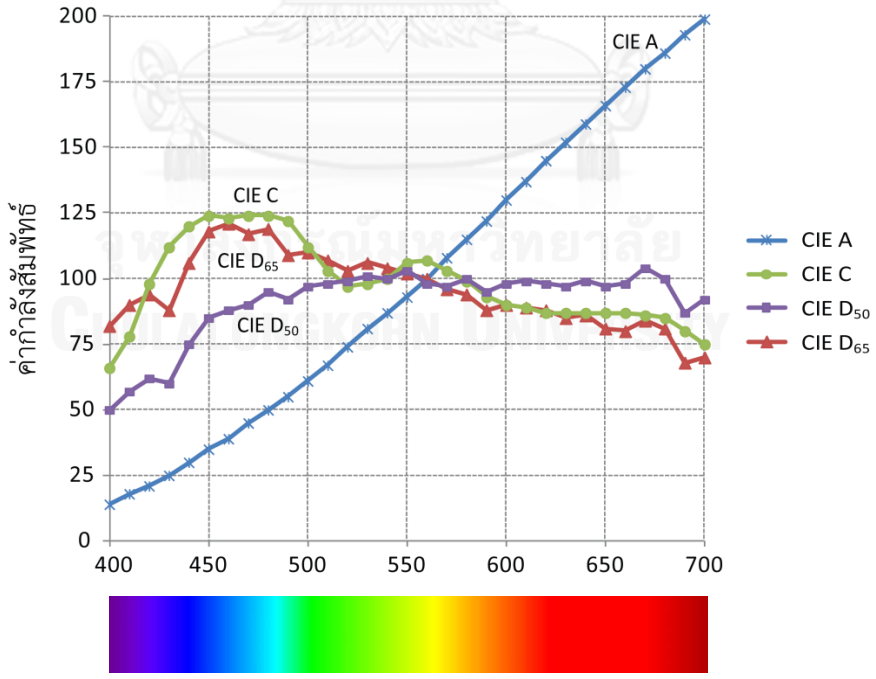
ช่วงความยาวคลื่น (nm)	**สีสันที่รับรู้จากการมองเห็น**
ต่ำกว่า 480	สีน้ำเงิน
480 - 560	สีเขียว
560 - 590	สีเหลือง
590 - 630	สีส้ม
สูงกว่า 630	สีแดง

แสงที่ได้จากแหล่งแสงแต่ละประเภทจะมีความแตกต่างกัน ในเรื่องต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิสีเทียบเคียง (correlated color temperature, CCT) การกระจายพลังงานของสเปกตรัม (spectral power distribution, SPD) และการเร็นเดอร์สี (color rendering) เป็นต้น

- อุณหภูมิสีเทียบเคียง (CCT) คือ อุณหภูมิของตัวเปล่งรังสีของพลังค์ (Planckian radiator) หรือ ตัวเปล่งรังสีวัตถุดำ (black body radiator) ที่ให้แสงสีคล้ายคลึงกับสีของแหล่งแสงหนึ่ง ๆ มากที่สุด โดยตัวเปล่งรังสีของพลังค์จะมีคุณสมบัติในการดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ทั้งหมดจึงทำให้มีสีดำ และหากได้รับความร้อนจะเปล่งรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ ที่มีค่าพลังงานแตกต่างกัน ตามระดับความร้อนในหน่วย เคลวิน (K) ดังตัวอย่างของแสงที่มีอุณหภูมิสีเทียบเคียงแตกต่างกัน ซึ่งแสดงในภาพที่ 2.2

- การกระจายพลังงานของสเปกตรัม (SPD) คือ พลังงานของแสงในแต่ละช่วงความยาวคลื่นของสเปกตรัม ซึ่งสามารถเปรียบเทียบสีของแสงได้ละเอียดกว่าอุณหภูมิสีเทียบเคียง โดยพิจารณาจากสีของแสงที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่นของแถบสเปกตรัม ซึ่งแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันจะมีสีที่แตกต่างกัน และถ้าหากค่ากำลังสัมพัทธ์มีค่ามากในช่วงความยาวคลื่นใด สีของแสงจะเหมือนกับสีของแสงในช่วงความยาวคลื่นนั้นมากที่สุด ตัวอย่างเช่น แสง CIE A มีค่ากำลังสัมพัทธ์สูงสุดในช่วง 700 นาโนเมตร จึงทำให้มีสีออกไปทางสีแดง ส่วนแสง CIE C มีค่ากำลังสัมพัทธ์สูงสุดในช่วง 450 - 480 นาโนเมตร จึงทำให้มีสีออกไปทางสีน้ำเงิน เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 2.3

ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างของแสงที่มีอุณหภูมิสีเทียบเคียงแตกต่างกัน



ภาพที่ 2.3 การกระจายพลังงานของสเปกตรัมของแสงมาตรฐาน CIE A, C, D_{50} และ D_{65}

- การเร็นเดอร์สี (color rendering) คือ ความสามารถของแหล่งแสงใด ๆ ในการให้แสงที่ทำให้สีของวัตถุมีสีปรากฏเหมือนมากหรือน้อยจากแสงของแหล่งแสงมาตรฐาน (แสงมาตรฐานที่นิยมใช้ คือ ตัวเปล่งรังสีของพลังค์ และ CIE D_{65}) การระบุคุณสมบัติของแสงโดยใช้ ดรรชนีเร็นเดอร์สี (color rendering index, Ra) มีค่าตั้งแต่ 0 - 100 ซึ่งถ้าแหล่งแสงนั้นมีค่าใกล้ 100 มากเท่าไหร่ สีของวัตถุที่ปรากฏจะคล้ายกับสีที่ปรากฏภายใต้แหล่งแสงมาตรฐานมากเท่านั้น

2.1.1.2 วัตถุ

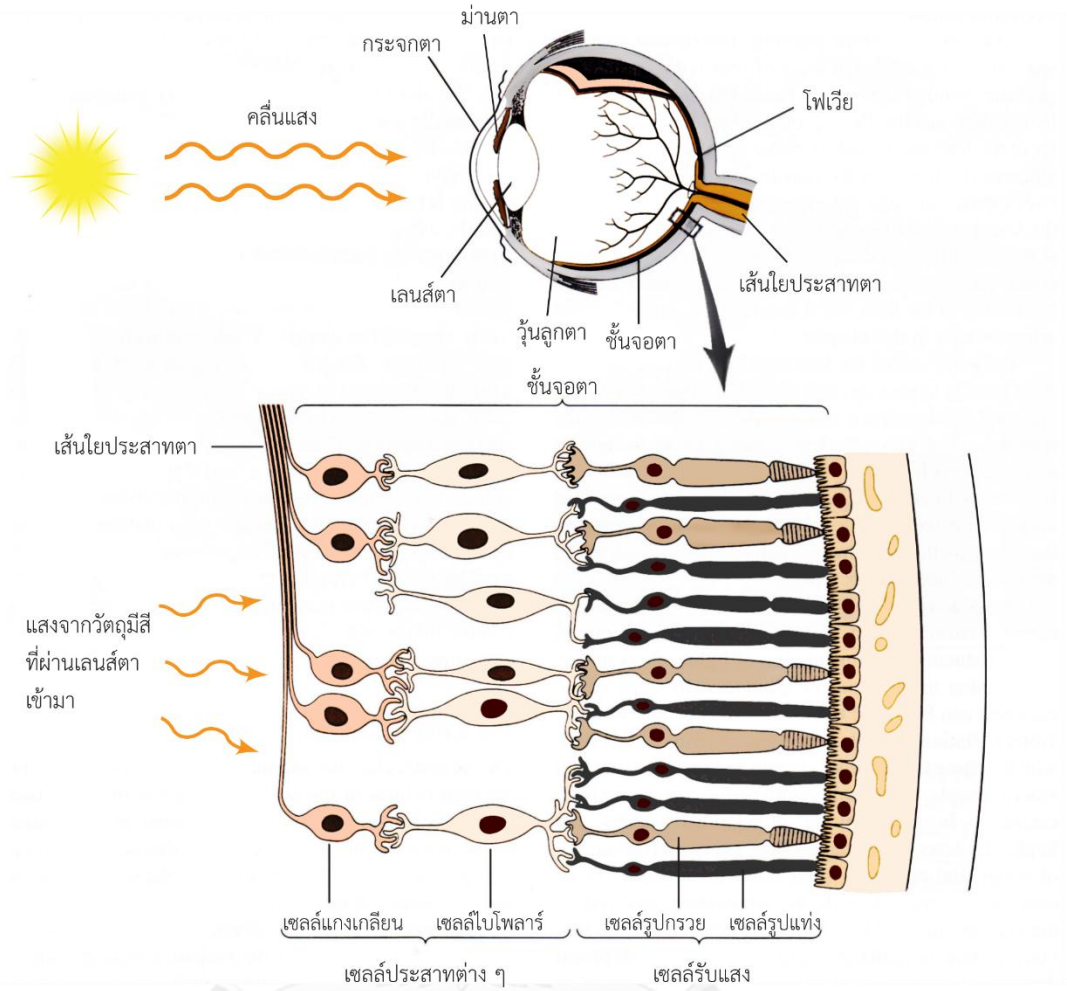
เรามองเห็นวัตถุมีสีได้ เนื่องจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างแสงและสารให้สีที่เป็นองค์ประกอบของวัตถุ ซึ่งส่งผลให้ค่าพลังงานในแต่ละความยาวคลื่นของแสงที่ตกกระทบ เกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมทำให้วัตถุปรากฏสีได้ ดังนั้นสีที่ปรากฏจึงเปลี่ยนแปลงไปตามแสงที่ตกกระทบและคุณสมบัติของสารให้สี

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างแสงและวัตถุมีสีที่ทำให้วัตถุปรากฏสีต่าง ๆ ได้แก่ การสะท้อน การส่องผ่าน การดูดกลืน การกระเจิง การหักเห การกระจาย การเลี้ยวเบน และการแทรกสอด ของวัตถุแต่ละประเภท ซึ่งมีองค์ประกอบและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน

2.1.1.3 ระบบการมองเห็นของมนุษย์

กระบวนการมองเห็นประกอบด้วย ตา ระบบประสาท รวมถึงสมอง โดยเริ่มจากแสงที่สะท้อนเดินทางเข้าสู่กระจกตา (cornea) ผ่านรูม่านตา (pupil) ไปกระทบกับเลนส์ตา (lens) แล้วเกิดการหักเหไปรวมกันเกิดเป็นภาพขึ้นที่ชั้นจอตา (retina) ซึ่งเป็นชั้นเนื้อเยื่อที่อยู่ด้านในสุด องค์ประกอบสำคัญของชั้นจอตาที่ทำให้เกิดการเห็นภาพ คือ เซลล์รับแสง (photoreceptor) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามลักษณะรูปร่างของเซลล์ คือ เซลล์รูปแท่ง (rod cell) และเซลล์รูปกรวย (cone cell) ดังแสดงในภาพที่ 2.4

เซลล์รับแสงทั้งสองชนิดที่อยู่ในบริเวณชั้นจอตามีปริมาณแตกต่างกัน โดยเซลล์รูปแท่งจะมีประมาณ 130 ล้านเซลล์ มากกว่าเซลล์รูปกรวยที่มีประมาณ 6 ล้าน 5 แสนเซลล์ ในบริเวณที่ไม่พบเซลล์รูปแท่งแต่พบเซลล์รูปกรวย คือ บริเวณโฟเวีย (fovea) ซึ่งมีลักษณะเป็นแอ่งและเป็นศูนย์กลางการเห็นภาพ โดยแสงจากวัตถุที่ตกลงบริเวณโฟเวียจะเกิดภาพคมชัดที่สุด และเห็นสีต่าง ๆ ได้มากที่สุด ส่วนบริเวณชั้นจอตาที่ห่างออกไปจะพบว่าเซลล์รูปกรวยมีจำนวนที่ลดลง ในขณะที่เซลล์รูปแท่งมีมากขึ้น นอกจากความแตกต่างในด้านรูปร่าง ปริมาณ และความหนาแน่นของการกระจายตัวในชั้นจอตาแล้ว เซลล์รับแสงทั้งสองชนิดยังแตกต่างกันในเรื่องความไวแสงด้วย



ภาพที่ 2.4 ภาพตัดขวางแสดงส่วนประกอบของตามนุษย์ และชั้นจอตา [7]

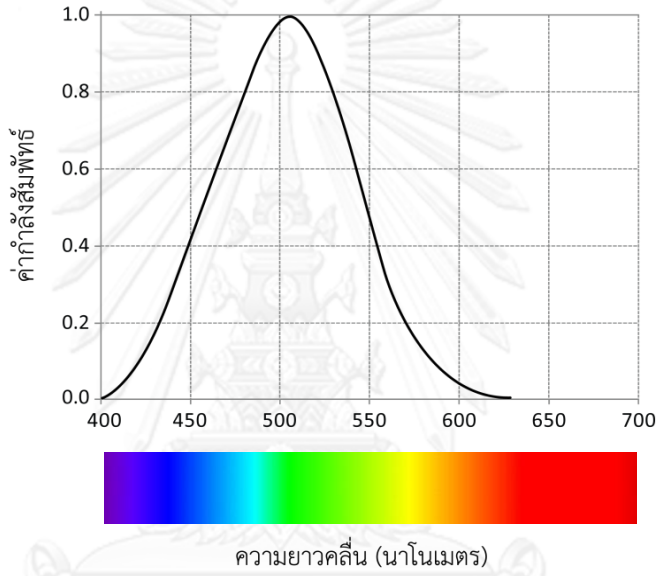
2.1.2 กระบวนการมองเห็นสี

การมองเห็นสีวัตถุเกิดขึ้นเมื่อแสงจากวัตถุสะท้อนเข้าสู่ตาและตกลงบนเซลล์รับแสง แสงเป็นตัวกระตุ้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายในเซลล์รับแสง โดยแปลงสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นเซลล์ประสาท (neuron) จะทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณประสาท และส่งผ่านไปยังเส้นใยประสาทตา (optic nerve fiber) ไปยังสมองส่วนที่เรียกว่าวิชวลคอร์เท็กซ์ (visual cortex) เพื่อประมวลผลภาพที่ปรากฏบนจอตาว่าคือวัตถุใด มีรูปร่าง และสีสันอย่างไร โดยกระบวนการทำงานของเซลล์รับแสงที่ทำให้เกิดการมองเห็นสี มีดังนี้

2.1.2.1 การเห็นสีจากการทำงานของเซลล์รูปแท่ง

เกิดขึ้นจากสารสีไวแสง (photopigment) ในเซลล์รูปแท่ง เมื่อดูดกลืนแสงจะเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี ทำให้เกิดสัญญาณไฟฟ้า แล้วถูกแปลงให้เป็นสัญญาณประสาทเพื่อส่งไปประมวลผลยังสมองต่อไป

เนื่องจากเซลล์รูปแท่งในจอตามีเพียงชนิดเดียว จึงทำให้การเห็นสีที่เกิดจากการทำงานของเซลล์รูปแท่ง เปรียบเสมือนกับการถ่ายภาพด้วยฟิล์มขาวดำ ทำให้เห็นภาพเป็นสีขาว สีเทา และสีดำเท่านั้น โดยเซลล์รูปแท่งจะทำงานได้ในสภาพที่มีแสงน้อย เช่น ในเวลากลางคืน หรือในห้องที่มีความสว่างเพียงเล็กน้อย โดยต้องมีความสว่าง (illuminance) อยู่ระหว่าง 0.0001 ถึง 0.01 ลักซ์ (lux, lx) การเห็นความสว่างที่เกิดจากการทำงานของเซลล์รูปแท่งเท่านั้น เรียกว่า การเห็นสโคทอพิก (scotopic vision) หรือการเห็นในเวลากลางคืน ดังกราฟในภาพที่ 2.5 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความไวแสงของเซลล์รูปแท่งที่ความยาวคลื่นแตกต่างกัน

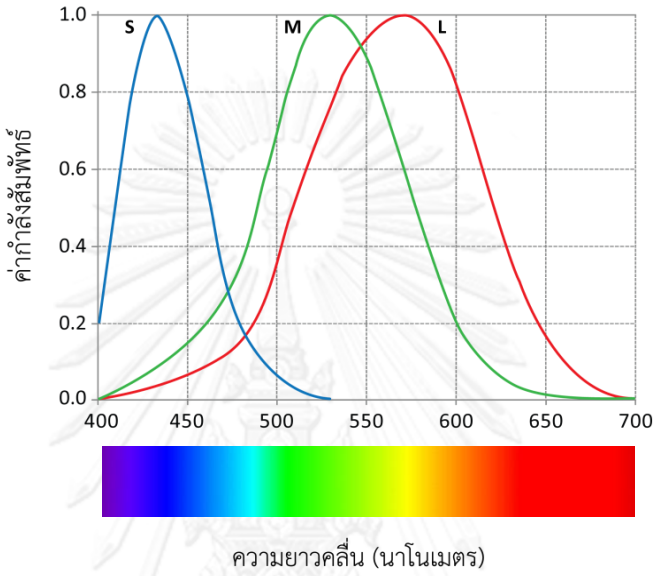


ภาพที่ 2.5 กราฟแสดงความไวแสงของการเห็นสโคทอพิก

กราฟความไวแสงของเซลล์รูปแท่ง ที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบความเข้มหรือความสว่างระหว่างแสงสีต่าง ๆ กับแสงอ้างอิงหนึ่ง ซึ่งมีความเข้มหรือความสว่างอยู่ในระดับที่ทำให้เกิดการเห็นสโคทอพิก ถ้าหากแสงสีหรือความยาวคลื่นใดมีความเข้มหรือความสว่างแตกต่างไปจากแสงอ้างอิง ผู้ทดลองจะทำการปรับความเข้มของแสงสีนั้นให้เท่ากับความเข้มของแสงอ้างอิง แล้วบันทึกค่าความเข้มแสงเพื่อนำมาเขียนเป็นกราฟ จากการทดลองนี้พบว่าเซลล์รูปแท่งมีความไวแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ แตกต่างกัน หรืออาจกล่าวได้ว่า แสงที่ความยาวคลื่นต่างกันที่มีความสว่างเท่ากันกระตุ้นให้เซลล์รูปแท่งทำงานและทำให้เกิดการเห็นภาพได้แตกต่างกัน โดยความไวแสงสูงสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 อยู่ที่ความยาวคลื่นประมาณ 500 - 510 นาโนเมตร เป็นช่วงของแสงสีเขียว ส่วนช่วงอื่น ๆ เซลล์รูปแท่งจะมีความไวแสงลดลง เนื่องจากค่าความไวแสงที่แสดงในกราฟเป็นค่าสัมพัทธ์จึงไม่มีหน่วย โดยเป็นค่าที่เกิดจากการเปรียบเทียบกับค่าไวแสงสูงสุด

2.1.2.2 การเห็นสีจากการทำงานของเซลล์รูปกรวย

เกิดจากการดูดกลืนแสงของสารสีไวแสงในเซลล์รูปกรวย เนื่องจากเซลล์รูปกรวยมีสามชนิด แต่ละชนิดมีองค์ประกอบของสารสีไวแสงต่างชนิดกัน จึงทำให้มีความไวแสงที่แตกต่างกัน โดยความไวแสงของเซลล์รูปกรวยทั้งสามชนิด แสดงดังกราฟในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 ความไวแสงของเซลล์รูปกรวยสามชนิด

จากกราฟความไวแสงของเซลล์รูปกรวยแต่ละชนิด ได้แก่ S, M และ L แสดงให้เห็นว่า

- เซลล์รูปกรวย S มีความไวแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 400 - 540 นาโนเมตร และมีความไวแสงสูงสุดประมาณ 440 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงของแสงสีน้ำเงิน จึงเรียกว่าเซลล์รูปกรวยสีน้ำเงิน

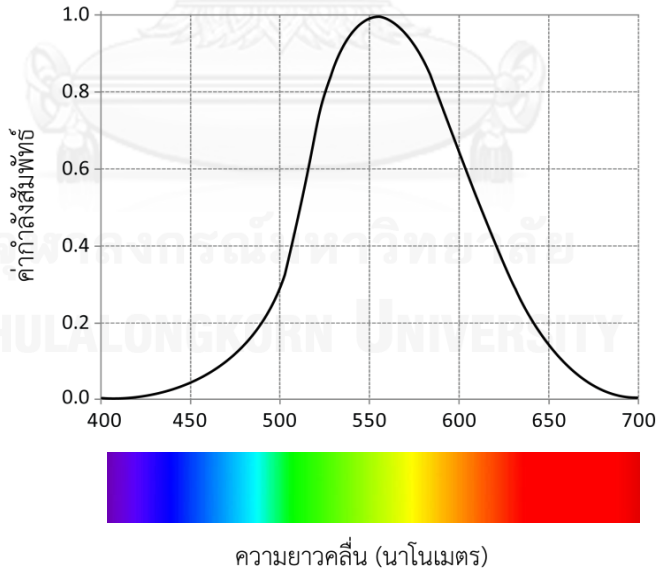
- เซลล์รูปกรวย M มีความไวแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 400 - 670 นาโนเมตร และมีความไวแสงสูงสุดประมาณ 540 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงของแสงสีเขียว จึงเรียกว่าเซลล์รูปกรวยสีเขียว

- เซลล์รูปกรวย L มีความไวแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 410 - 700 นาโนเมตร และมีความไวแสงสูงสุดประมาณ 570 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงของแสงสีเหลือง โดยเป็นเซลล์รูปกรวยเพียงชนิดเดียวที่ไวต่อการตอบสนองแสงสีแดงได้มากที่สุด จึงเรียกว่าเซลล์รูปกรวยสีแดง

ดังนั้นเมื่อเซลล์รูปกรวยทั้งสามชนิดทำงานร่วมกัน จึงทำให้มนุษย์สามารถมองเห็นสีของแสงที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 400 - 700 นาโนเมตรได้ การเห็นสีที่เกิดจากการทำงานของเซลล์รูปกรวยทั้งสามชนิด เรียกว่า การเห็นสีไตรโครมาติก (trichromatic color vision) ซึ่งเป็น

ผลมาจากเซลล์รูปกรวยแต่ละชนิด มีความไวต่อแสงที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ แตกต่างกัน เมื่อดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นใดความยาวคลื่นหนึ่ง จึงผลิตสัญญาณไฟฟ้าได้ไม่เท่ากัน สัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะได้รับการแปลงให้เป็นสัญญาณประสาทและส่งไปยังสมองเพื่อประมวลผล ทำให้เกิดการรับรู้เป็นสีต่าง ๆ ได้ ตัวอย่างเช่น แสงที่มีความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร เมื่อตกลงบนเซลล์รูปกรวย เซลล์รูปกรวยที่ได้รับการกระตุ้นให้ผลิตสัญญาณไฟฟ้า คือ เซลล์รูปกรวย M และเซลล์รูปกรวย L ในขณะที่เซลล์รูปกรวย S ไม่ได้รับการกระตุ้น แต่เซลล์รูปกรวย L ได้รับการกระตุ้นมากกว่าเซลล์รูปกรวย M ค่อนข้างมาก จึงทำให้เกิดการรับรู้สีของแสงจากวัตถุเป็นสีส้ม ถ้าหากในชั้นจอตาไม่มีเซลล์รูปกรวยชนิดใดชนิดหนึ่ง จะส่งผลให้บุคคลนั้นมีอาการตาบอดสี เช่น ถ้าเซลล์รูปกรวย M หายไปจากชั้นจอตาจะทำให้มีอาการตาบอดสีเขียว รวมทั้งไม่สามารถแยกสีเขียวออกจากสีแดงได้

นอกจากนั้นยังได้มีการศึกษาถึงความไวแสงของเซลล์รูปกรวยทั้งสามชนิดรวมกัน เพื่อดูว่าการตอบสนองหรือไวต่อแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ได้เท่ากันหรือไม่ จากการศึกษาพบว่าเซลล์รูปกรวยมีความไวต่อแสงที่มีความยาวคลื่นไม่เท่ากัน เช่นเดียวกับเซลล์รูปแท่ง กล่าวคือ หากต้องการเห็นแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกัน ปรากฏมีความสว่างเท่ากันแล้ว ต้องใช้แสงที่มีความเข้มแสงแตกต่างกัน โดยการเห็นความสว่างที่เกิดจากการทำงานของเซลล์รูปกรวยเท่านั้น มีชื่อเฉพาะเรียกว่า การเห็นโฟทอพิก (photopic vision) ซึ่งลักษณะความไวแสงของเซลล์รูปกรวยของการเห็นโฟทอพิก ดังแสดงในภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 ความไวแสงของการเห็นโฟทอพิก

จากภาพที่ 2.7 จะเห็นได้ว่าโค้งความไวแสงของเซลล์รูปกรวยของการเห็นโฟทอพิกคล้ายกับโค้งความไวแสงของเซลล์รูปแท่งของการเห็นสโคโทพิก แต่ความไวแสงสูงสุดของการเห็นโฟทอพิกอยู่ที่ความยาวคลื่น 550 - 560 นาโนเมตร หรือไวต่อแสงที่มีสีเขียวเหลืองมากที่สุด ส่วนที่ความยาวคลื่นอื่น ๆ เซลล์รูปกรวยจะมีความไวแสงลดลง ทั้งนี้การมองเห็นแบบโฟทอพิกเกิดขึ้นได้ในเวลากลางวัน ซึ่งถ้าหากเปรียบเทียบกับเซลล์รูปแท่งแล้ว จะเห็นได้ว่าเซลล์รูปกรวยมีความไวแสงน้อยกว่าเซลล์รูปแท่ง เนื่องจากต้องได้รับแสงที่มีความเข้มสูงกว่าจึงเกิดการตอบสนองได้

2.1.2.3 การเห็นสีจากการทำงานของเซลล์ประสาท

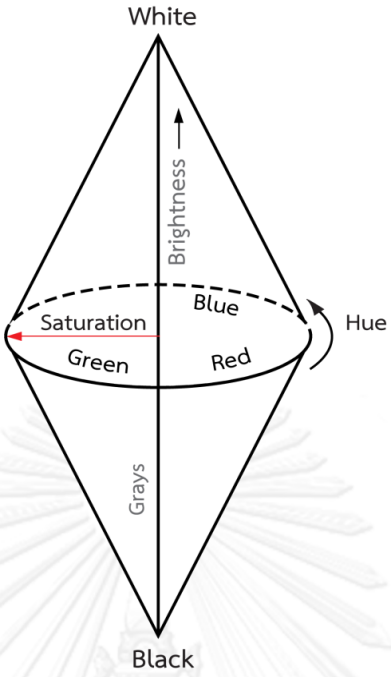
นอกจากการทำงานของเซลล์รูปแท่งและเซลล์รูปกรวยแล้ว การมองเห็นและการรับรู้สีของมนุษย์ยังเกี่ยวข้องกับการทำงานของเซลล์ประสาทซึ่งอยู่ในชั้นจอตาด้วย โดยเซลล์ประสาทที่สำคัญ คือ เซลล์แกงเกลียน (ganglion cell) ดังแสดงในภาพที่ 2.4 เมื่อเซลล์รับแสงผลิตสัญญาณไฟฟ้า สัญญาณไฟฟ้าจะได้รับการส่งต่อไปยังเซลล์ประสาทต่าง ๆ จนถึงเซลล์แกงเกลียน เซลล์แกงเกลียนจะทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่ได้รับให้เป็นสัญญาณประสาท ที่มีค่าสัญญาณตรงข้ามกันเป็นคู่ ๆ คือ สีแดงมีค่าสัญญาณตรงข้ามกับสีเขียว สีเหลืองมีค่าสัญญาณตรงข้ามกับสีน้ำเงิน และสีขาวมีค่าสัญญาณตรงข้ามกับสีดำ ดังนั้น นอกจากการเห็นสีไตรโครมาติกแล้ว มนุษย์เรายังมีการเห็นสีตรงกันข้าม (opponent color vision) ซึ่งสัญญาณประสาทที่มีค่าสัญญาณตรงกันข้ามกัน จะเดินทางผ่านเส้นประสาทตาไปยังสมองส่วนวิชวลคอร์เท็กซ์เพื่อแปลผลต่อไป [4]

2.2 การรับรู้ลักษณะของสี

การรับรู้เป็นกระบวนการขั้นพื้นฐานที่ทำให้มนุษย์เข้าใจความหมายของสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่บนโลก ซึ่งมากกว่าร้อยละ 80 เป็นการรับรู้ที่เกิดจากการมองเห็น ผ่านลักษณะทางกายภาพของสิ่งเหล่านั้น ไม่ว่าจะเป็นโครงสร้างหรือรูปร่าง พื้นผิว รวมไปถึงสีสัน [8]

2.2.1 คุณลักษณะของสี (color attributes)

มนุษย์เรามีความแตกต่างกันในการแยกแยะสีที่มีอยู่หลากหลายล้านสี ซึ่งขึ้นอยู่กับประสบการณ์ในการรับรู้สีของแต่ละคน ดังนั้นในการศึกษาด้านจิตวิทยาจึงได้มีการกำหนดลักษณะพื้นฐานทางการรับรู้ที่ใช้ในการอธิบายสี ซึ่งพิจารณาจาก 3 ด้าน คือ ความสว่าง (brightness) สีสัน (hue) และความอิ่มตัวสี (saturation) โดยแสดงลักษณะโครงสร้างสามมิติในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 โครงสร้างสามมิติในการรับรู้ความสว่าง สีสัน และความอิ่มตัวสี [9]

2.2.1.1 ความสว่าง (brightness) คือ ลักษณะทางการรับรู้ที่ปรากฏให้เห็นบนพื้นที่หนึ่ง ซึ่งแสดงถึงปริมาณของแสงมากหรือน้อย เช่น สว่าง และสลัว

2.2.1.2 สีสัน (hue) คือ ลักษณะทางการรับรู้ที่บ่งบอกความเป็นสีที่เรามองเห็น เช่น สีแดง สีเหลือง สีเขียว และสีน้ำเงิน

2.2.1.3 ความอิ่มตัวสี (saturation) คือ ลักษณะทางการรับรู้ที่แสดงให้เห็นถึงความเป็นสีบนพื้นที่หนึ่งว่ามีมากหรือน้อย

โดยความเป็นสีที่ปรากฏให้เห็นประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

- chromatic คือ ส่วนที่เป็นสี มีสีสัน สามารถบอกได้ว่าเป็น สีแดง สีเหลือง สีเขียว สีน้ำเงิน
- achromatic คือ ส่วนที่ไม่มีสี มีแต่ระดับความสว่าง เช่น ขาว เทา ดำ [10]

2.2.2 คำเรียกสีพื้นฐาน (elementary color naming)

คำเรียกสีถูกกำหนดขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ในการสื่อความหมาย และทำให้เกิดความเข้าใจระหว่างกันในคนแต่ละกลุ่ม ความแตกต่างทางด้านวัฒนธรรม ภาษาที่ใช้สื่อสาร ประสบการณ์ และการนำไปใช้งานที่มีความเกี่ยวข้องกับสี ส่งผลให้คำเรียกสีที่ใช้เพื่ออธิบายลักษณะของสีนั้นมีความแตกต่างกัน รวมถึงจำนวนของคำที่ใช้ก็แตกต่างกันไปด้วย [11] จากงานวิจัยของ Berlin and Kay แสดงถึงผลของการรับรู้สีของคนที่มีระบบการมองเห็นเป็นปกติ มีแนวโน้มในการมองเห็นสีที่ปรากฏมี

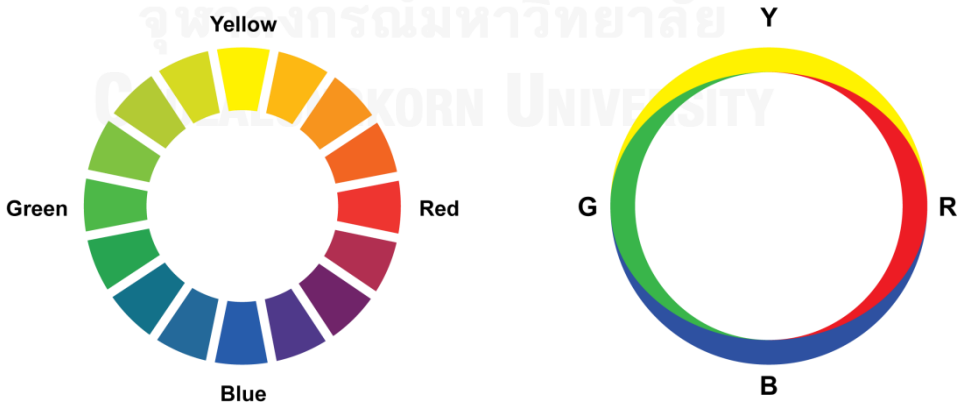
ลักษณะเดียวกัน โดยไม่คำนึงถึงจำนวนของคำเรียกชื่อสีที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งผลสรุปที่ได้เป็นคำเรียกสีพื้นฐานหลัก จำนวน 11 คำ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

- achromatic คือ สีที่ไม่มีความเป็นสี ได้แก่ สีขาว สีเทา และสีดำ
- primary คือ สีขั้นที่หนึ่งหรือสีสันหลัก ได้แก่ สีแดง สีเหลือง สีเขียว และสีน้ำเงิน
- secondary คือ สีขั้นที่สองหรือสีรอง ได้แก่ สีส้ม สีม่วง สีชมพู และสีน้ำตาล [3]

ในการทดลองทางจิตวิทยาฟิสิกส์ ใช้วิธีบอกลักษณะสีโดยวิธีที่เรียกว่า คำเรียกสีพื้นฐาน (elementary color naming) โดยการวัดสีที่เรารับรู้ด้วยการบอกปริมาณ ความเป็นสีขาว (Whiteness; W) ความเป็นสีดำ (Blackness; Bl) และความเป็นสี (Chromaticness; Chr) ซึ่งต้องบอกในสัดส่วนร้อยละ โดยบอกปริมาณความเป็นสีขาว ความเป็นสีดำ และความเป็นสี รวมเป็นผลร้อยละดังนี้

$$W + Bl + Chr = 100$$

จากนั้นผู้สังเกตต้องตัดสินว่าความเป็นสีที่ปรากฏให้เห็นเป็นสีใดบ้าง โดยต้องรวมให้ได้สัดส่วนร้อยละเช่นกัน [12] โดยการปรากฏสีนี้อ้างอิงจากทฤษฎีคู่สีตรงกันข้ามของเฮอริ่ง (Hering's opponent colors theory) ที่กล่าวถึง การรับรู้สีหลัก 4 สี คือ สีแดง สีเหลือง สีเขียว และสีน้ำเงิน ดังแสดงในภาพที่ 2.9 โดยกล่าวว่าเมื่อเรามองวัตถุหรือแสงสี เราเห็นเพียงแค่หนึ่งสีหลักหรือสองสีหลักเท่านั้น เราจะไม่สามารถเห็นสีแดงและสีเขียวจากวัตถุหรือแสงสีได้ในเวลาเดียวกัน รวมทั้งไม่สามารถเห็นสีเหลืองและสีน้ำเงินจากวัตถุหรือแสงสีได้ในเวลาเดียวกัน เนื่องจากแต่ละคู่เป็นสีตรงกันข้าม แต่เราสามารถเห็นสีผสมของสีแดงและสีเหลือง สีแดงและสีน้ำเงิน สีเหลืองและสีเขียว สีเหลืองและสีแดง ตัวอย่างเช่น เมื่อเราเห็นสีส้ม เราจะเห็นสีแดงและสีเหลืองผสมอยู่ในสีส้ม [13] โดยหลักเกณฑ์ในการรับรู้สีสันหลัก 4 สี แสดงในตารางที่ 2.2



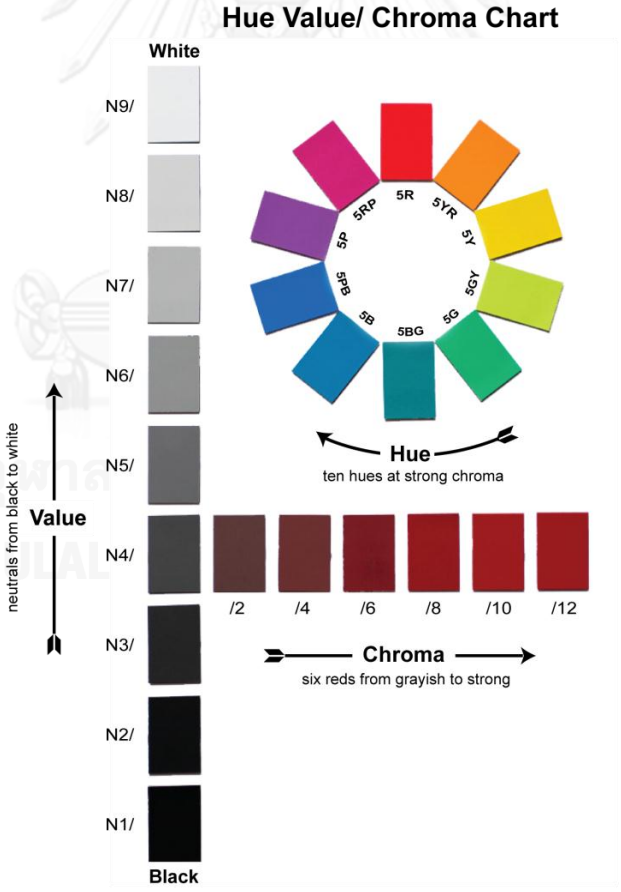
ภาพที่ 2.9 วงจรสีคู่สีตรงกันข้ามของเฮอริ่ง (Hering's opponent colors theory)

ตารางที่ 2.2 หลักเกณฑ์ในการรับรู้สีสันหลัก 4 สี [3]

สีสัน	สีสันที่ไม่สามารถมองเห็นพร้อมกันได้	สีสันที่อาจแสดงออกมาให้เห็นร่วมกันได้
แดง (red)	เขียว	เหลือง หรือน้ำเงิน
เหลือง (yellow)	น้ำเงิน	เขียว หรือแดง
เขียว (green)	แดง	น้ำเงิน หรือเหลือง
น้ำเงิน (blue)	เหลือง	แดง หรือเขียว

2.2.3 ระบบสีมันเซลล์ (Munsell color order system)

ปัจจุบันระบบสีที่คิดค้นขึ้นมาจากประสบการณ์ทางด้านสี ได้ถูกนำไปประยุกต์ให้เหมาะสมกับการใช้งานที่หลากหลาย ระบบสีโดยส่วนมากมีโครงสร้างของสีที่สร้างขึ้นจากลักษณะพื้นฐานทางการรับรู้สี ซึ่งระบบสีที่เป็นที่รู้จักและนิยมใช้อย่างแพร่หลาย ได้แก่ ระบบสีมันเซลล์ [14]



ภาพที่ 2.10 แผนภาพการจัดเรียงโครงสร้างของระบบสีมันเซลล์
แสดง สีสัน (hue) ความสว่างสี (value) และความอิ่มตัวสี (chroma) [15]

ระบบสีมันเซลล์เป็นระบบสีที่มีการจัดเรียงโครงสร้างของสี ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ในลักษณะ 3 มิติ ได้แก่ สีสัน (hue) ความสว่างสี (value) และความอิ่มตัวสี (chroma) โดยโครงสร้างของระบบสีนี้จะมีลักษณะกระจายออกจากแกนกลางในแนวตั้ง ซึ่งกำหนดให้เป็นค่าความสว่างของสีเทากลาง (neutral grey value) ที่เกิดจากการไล่ระดับจากสีดำในส่วนล่างสุดไปยังสีขาวที่อยู่ด้านบนสุดของแกน ทำให้เกิดเป็นสีเทาที่มีค่าน้ำหนักแตกต่างกัน ในส่วนของสีสันจะกระจายเป็นรัศมีโดยรอบของแกนกลาง โดยสีสันที่อยู่ใกล้แกนกลางมากที่สุดจะมีความอิ่มตัวสีต่ำ (low chroma) ส่วนสีสันที่อยู่ห่างออกไปจะมีความอิ่มตัวของสีสูง (high chroma) ทำให้มีสีสันที่ชัดเจน [16] ดังแสดงในภาพที่ 2.10

การกำหนดสัญลักษณ์สีของมันเซลล์ (Munsell notation) กำหนดให้ใช้ตัวอักษรและตัวเลขในการกำกับสีแต่ละสี ดังนี้ คือ H V/C (H = hue, V = value, C = chroma) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.2.3.1 H (hue) หรือ สีสัน

สีสันเป็นคุณสมบัติที่ใช้จำแนกกลุ่มสีใดสีหนึ่งที่มีความแตกต่างไปจากสีอื่น ซึ่งสีนั้นจัดเป็นสีประเภท chromatic color เช่น สีแดง สีเหลือง สีเขียว เป็นต้น ในระบบสีมันเซลล์ได้กำหนดสีสันหลักไว้ 5 สี คือ สีแดง (red) สีเหลือง (yellow) สีเขียว (green) สีน้ำเงิน (blue) และสีม่วง (purple) ซึ่งจัดเรียงตำแหน่งสีตามลำดับเป็นรูปวงกลมตามเข็มนาฬิกา และเว้นระยะห่างแต่ละสีเท่า ๆ กัน โดยระหว่างกึ่งกลางของสีหลักที่อยู่ใกล้กันจะผสมกันได้สีใหม่เพิ่มขึ้นมาอีก 5 สี ได้แก่ สีเหลือง-แดง (yellow red) สีเขียว-เหลือง (green yellow) สีน้ำเงิน-เขียว (blue green) สีม่วง-น้ำเงิน (purple blue) และสีแดง-ม่วง (red purple) สีดังกล่าวเป็นสีรองที่แทรกอยู่ระหว่างสีหลัก ซึ่งสีหลักและสีรองที่เรียงอยู่ในวงจรสีมีทั้งหมด 10 สี โดยกำหนดอักษรย่อของแต่ละสี เริ่มจากสีแดง ดังนี้ R, YR, Y, GY, G, BG, B, PB, P, และ RP วงจรสีของมันเซลล์จะแบ่งออกเป็น 100 ส่วน และใช้ตัวเลขร่วมกับอักษรย่อกำกับในแต่ละสี ตัวอย่างเช่น 5R, 5YR, 5Y, 5GY, 5G, 5BG, 5B, 5PB, 5P และ 5RP ดังแสดงในภาพที่ 2.11

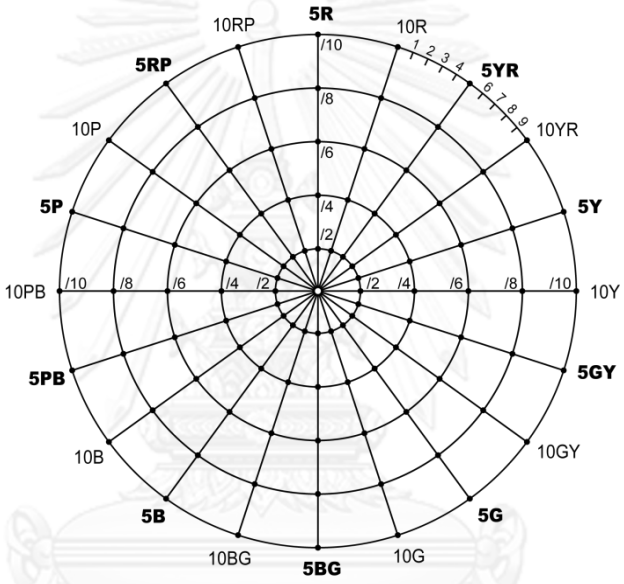
2.2.3.2 V (value) หรือ ความสว่างสี

ความสว่างสีเป็นคุณสมบัติของค่าน้ำหนักความอ่อน - แก่ของสีในประเภท achromatic color ได้แก่ สีดำ สีเทา และสีขาว โดยความสว่างสีของระบบสีมันเซลล์จะอยู่ในตำแหน่งแกนกลางของแนวตั้ง ซึ่งกำหนดเป็นค่าตัวเลขจาก 0 ให้เป็นสีดำที่อยู่ล่างสุด และสีขาวซึ่งอยู่ด้านบนมีค่าเป็น 10 โดยเรียงตามลำดับจากมืดไปสว่างได้ดังนี้ N0/, N1/, N2/, N3/, N4/, N5/, N6/, N7/, N8/, N9/ และ N10/ ซึ่งสีที่อยู่ระหว่างสีดำ N0/ กับสีขาว N10/ จะเป็นสีเทาที่ไล่ระดับความสว่างจากเข้มไปอ่อน โดยค่าน้ำหนักของสีเทาจะเรียกว่า สีกลาง (neutral) ซึ่งเป็นสีที่ไม่มีคุณสมบัติของสีสัน แต่เมื่อนำไปผสมกับสีสัน หรือสีประเภท chromatic color จะทำให้ได้ค่าน้ำหนักอ่อน - แก่

ของชิ้นตัวอย่างสีสันนั้น ๆ แต่เนื่องจาก N0/ เป็นสีดำแบบอุดมคติ และ N10/ เป็นสีขาวแบบอุดมคติ จึงไม่มีชิ้นตัวอย่างสีจริงในระบบสีมันเซลล์

2.2.3.3 C (chroma) หรือ ความอิ่มตัวสี

ความอิ่มตัวสีเป็นคุณสมบัติของสีสันที่ถูกผสมกับสีกลาง ซึ่งไล่น้ำหนักออกมาจากแกนกลางในนอน โดยเริ่มจาก /0 ไปจนถึง /10 , /12 , /14 หรือมากกว่านั้น ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มของสีนั้น ๆ โดยสีที่มีความอิ่มตัวสีต่ำ (low chroma) จะอยู่ใกล้แกนกลาง ส่วนสีที่มีความอิ่มตัวสูง (high chroma) จะอยู่ห่างจากแกนกลางออกไป [17]



ภาพที่ 2.11 การจัดเรียงตำแหน่งของสีสัน และความอิ่มตัวสีในระบบสีมันเซลล์ [18]

2.3 การปรากฏสี (color appearance)

2.3.1 สภาพแสงและการปรากฏสี

การปรากฏสีเป็นลักษณะที่เกิดจากการรับรู้โดยการมองเห็น ที่เปลี่ยนแปลงได้ตามสภาวะแวดล้อม หรือระดับความส่องสว่างของสภาวะแสงในช่วงเวลานั้น [6] ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อกลไกการมองเห็นของมนุษย์ ทำให้เกิดการรับรู้สีที่เปลี่ยนแปลงไปได้ โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

2.3.1.1 การเห็นโฟโทปิก (photopic vision) จะเกิดขึ้นในเวลากลางวัน หรือในช่วงเวลาที่มีแสงแดดสดใส ซึ่งมีค่าระดับความส่องสว่างตั้งแต่ 3 แคนเดลา/ตารางเมตร ขึ้นไป ทำให้การรับรู้สี และรายละเอียดต่าง ๆ มีความชัดเจนมากขึ้น

2.3.1.2 การเห็นเมโซปิก (mesopic vision) จะเกิดขึ้นในช่วงพลบค่ำหรือในช่วงเวลาที่แสงมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งมีระดับความส่องสว่างตั้งแต่ 0.001 ถึง 3 แคนเดลา/ตารางเมตร ส่งผลให้การรับรู้สีและความคมชัดลดลง

2.3.1.3 การเห็นสโคโทปิก (scotopic vision) จะเกิดขึ้นในเวลากลางคืนหรือในที่มีแสงสลัว (dim light) ซึ่งมีค่าความส่องสว่างต่ำกว่า 0.001 แคนเดลา/ตารางเมตร จึงทำให้ไม่สามารถมองเห็นสีสันต่าง ๆ และรายละเอียดได้อย่างชัดเจน [14, 19]

การเห็นโฟทอพิก (photopic vision) | การเห็นเมโซพิก (mesopic vision) | การเห็นสโคทอพิก (scotopic vision)

ภาพที่ 2.12 ผลของระดับความสว่างที่เปลี่ยนแปลงต่อการรับรู้สีจากการมองเห็น [20]

2.3.2 โหมดการปรากฏสี (color appearance mode)

สีที่เรารับรู้จะปรากฏให้เห็นในรูปแบบของโหมดการปรากฏสี โดยแต่ละรูปแบบจะแสดงถึงคุณสมบัติ และคุณลักษณะเชิงเรขาคณิตที่แตกต่างกัน อาทิเช่น โหมดการปรากฏสีที่เห็นเป็นโหมดของวัตถุ (object mode) จะรับรู้ได้จากสีสัน ขนาด ลักษณะโครงสร้าง และพื้นผิว ส่วนโหมดที่ปรากฏในโหมดของความสว่าง (illuminance mode) จะมองเห็นเป็นแหล่งแสง เป็นต้น [21]

เราสามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงของโหมดการปรากฏสีได้ จากการทดลองโดยค่อย ๆ เพิ่มระดับความสว่างของแหล่งแสงที่ตกกระทบลงบนวัตถุให้มากขึ้น จนทำให้เกิดการรับรู้การเปลี่ยนแปลงสีของวัตถุ หากลักษณะที่ปรากฏยังเป็นธรรมชาติและดูกลมกลืนกับสภาพแวดล้อม สีที่ปรากฏจะอยู่ในโหมดสีของวัตถุ และเมื่อให้ความสว่างเพิ่มมากขึ้น จนพื้นผิวของวัตถุนั้นเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงไม่เป็นธรรมชาติ จะทำให้สีที่ปรากฏอยู่ในโหมดสีที่ไม่เป็นธรรมชาติ และสีที่ปรากฏจะอยู่ในโหมดสีของแสง เมื่อลักษณะของการปรากฏของวัตถุดูเปล่งแสงหรือส่องสว่าง ซึ่งลักษณะที่เห็นเหล่านั้นส่งผลถึงการรับรู้การปรากฏสีที่เปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้น อุรวิศ และคณะ [1] จึงใช้การทดลองนี้เป็นส่วนหนึ่งในการหาความชอบสีที่มีผลต่อโหมดของการปรากฏสี โดยแบ่งโหมดการปรากฏสีออกเป็น 3 โหมด ตามลักษณะการรับรู้ ได้แก่

2.3.2.1. โหมดที่สีปรากฏให้เห็นเป็นสีของวัตถุ (object color mode, OB-mode) มักจะพบเห็นได้ทั่ว ๆ ไปในชีวิตประจำวัน ซึ่งจะมีลักษณะทึบแสงเหมือนกับสีของวัตถุที่มีการสะท้อนแสงน้อยกว่า ร้อยละ 100 โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสีของวัตถุนั้นมีความส่องสว่าง (luminance) อยู่ในระดับต่ำ

2.3.2.2 โหมดที่สีปรากฏให้เห็นเป็นสีของแหล่งแสง (light source color mode, LS-mode) เนื่องจากวัตถุนั้นสะท้อนแสงมากกว่า ร้อยละ 100 หรือมากกว่าแสงที่ตกกระทบ ทำให้เรามองเห็นเป็นสีของแหล่งแสง เกิดขึ้นเพราะวัตถุปรากฏเป็นสิ่งที่เปล่งแสงหรือมีความส่องสว่าง วัตถุจะปรากฏให้รับรู้เป็นแหล่งแสงแทนที่จะเป็นวัตถุ เราจะเรียกโหมดของวัตถุนั้นว่าเป็นแหล่งแสง และสีที่เห็นเป็นสีแหล่งแสง

2.3.2.3 โหมดที่สีปรากฏให้เห็นเป็นสีที่ผิดไปจากธรรมชาติของสีวัตถุ (unnatural object color mode, UN-mode) หรืออยู่ในระหว่างช่วงของโหมดที่สีปรากฏให้เห็นเป็นสีของวัตถุกับโหมดที่สีปรากฏให้เห็นเป็นสีของแหล่งแสง ซึ่งมีลักษณะคล้ายสีเรืองแสง [12, 22]

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ยุวดี และคณะ [2] ศึกษาการเปลี่ยนโหมดการปรากฏสีของแถบสี ซึ่งทำการทดลองโดยการเพิ่มความสว่างของแหล่งแสงแบบจุด ที่ฉายลงไปบนพื้นผิวของวัตถุซึ่งเป็นแผ่นสีของมันเซลล์ โดยให้ผู้สังเกตซึ่งอยู่ห้องถัดไปทำการปรับเพิ่มระดับความสว่างขึ้นทีละน้อย โดยมองดูแถบสีผ่านช่องขนาดเล็ก จนสีของแถบสีเกิดการเปลี่ยนแปลง ถ้าลักษณะของแถบสีที่ปรากฏดูเป็นธรรมชาติกลมกลืนกับสภาพแวดล้อมจะปรากฏในโหมดสีของวัตถุ และเมื่อให้ความสว่างเพิ่มมากขึ้นจนพื้นผิวของแถบสีเริ่มมีสีเปลี่ยนแปลงดูไม่เป็นธรรมชาติ เมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุที่วางอยู่ในสภาพแวดล้อมนั้น การปรากฏสีจะอยู่ในโหมดของวัตถุที่ไม่เป็นธรรมชาติ จากปรากฏการณ์นี้สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อระดับความสว่างของพื้นผิวของวัตถุสูงขึ้น ๆ จนพื้นผิวของวัตถุปรากฏพ้นไปจากขอบเขตของปริภูมิการรับรู้ของการมองเห็นของความส่องสว่าง (The recognize visual space of illmination: RVSI) ที่ปรากฏให้เห็นไปถึงความสว่างของโหมดสีของแสง การทดลองนี้ได้กำหนดค่าขอบเขตความสว่างของแถบสีของมันเซลล์ จำนวน 39 สี ในความสว่างที่ต่างกันสองระดับ คือ 5 ลักซ์ และ 50 ลักซ์ ซึ่งจะพบว่าค่าขอบเขตความสว่างของแถบสีเหลืองมีขอบเขต RVSI สูง ในขณะที่สีแดงมีขอบเขต RVSI ต่ำ ผลที่ได้ของการศึกษาถึงความสว่างของแถบสี ซึ่งเป็นตัวกำหนดขอบเขตความสว่างโดยวิธีการปรับเทียบความสว่างกับแถบสีเทาอ้างอิง N7 พบว่าส่วนใหญ่ค่าขอบเขตความสว่างของแถบสีจะถูกกำหนดโดยความสว่างในพื้นที่ที่วัตถุนั้นวางอยู่ นอกจากความสว่างแล้วยังพบว่ามีปัจจัยอื่นซึ่งได้แก่การปรากฏลักษณะที่ไม่เป็นธรรมชาติของแถบสี เช่น ความจ้า ความโปร่งใส หรือการเรืองแสง ซึ่งลักษณะที่เห็นเหล่านี้เป็นสาเหตุทำให้ค่าของขอบเขตความสว่างลดลง

อุรวิศ และคณะ [1] [23] ศึกษาความชอบสีที่มีผลต่อโหมดของการปรากฏสี โดยเลือกใช้ตัวอย่างสีของมันเซลล์ จำนวน 33 สี ที่มีสีสัน (hue) และความอิ่มตัวสี (chroma) แตกต่างกัน โดยตัวอย่างสีถูกจัดวางไว้ภายในห้องที่สามารถปรับระดับความสว่างได้ 3 ระดับ คือ 300, 500 และ 700 ลักซ์ ส่วนผู้สังเกตซึ่งนั่งอยู่ในห้องถัดไปจะพิจารณาตัวอย่างสีผ่านช่องหน้าต่างขนาดเล็กที่มุมมอง 1° ภายใต้ระดับความส่องสว่างที่ 50 และ 500 ลักซ์ การรับรู้ค่าสีและโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสีจะเปลี่ยนแปลงไปตามระดับความส่องสว่างของทั้ง 2 ห้อง ซึ่งมีทั้งหมด 6 สภาวะแสง เมื่อผู้สังเกตพิจารณาตัวอย่างสีแล้วจะให้คะแนนความชอบสี ซึ่งแบ่งเป็น 7 ระดับ คือ -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3 โดยตัวเลขด้านลบจะแสดงถึงความไม่ชอบ ส่วนด้านบวกจะแสดงว่าความชอบ หลังจากนั้นผู้สังเกตจะเลือกโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสีว่าเป็น object color mode, unnatural object color mode หรือ light source color mode ซึ่งผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างสีที่มีความสว่างมาก (high brightness) และมีความอิ่มตัวสีมาก (high chroma) จะได้รับความชอบมากที่สุด โดยตัวอย่างสีที่ปรากฏเป็น light source color mode และ unnatural object color mode จะมีคะแนนความชอบมากกว่า object color mode นอกจากนั้นยังพบว่าสีสันจะมีผลกระทบเพียงเล็กน้อยกับความชอบสี เมื่อตัวอย่างสีปรากฏเป็น light source color mode

ในส่วนของการทดลองเสริมเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความชอบสีและการรับรู้สี โดยใช้วิธีคำเรียกสีพื้นฐาน ซึ่งผลที่ได้พบว่าการรับรู้ค่าความเป็นสีดำ (blackness) จะสัมพันธ์กับความชอบสีที่ปรากฏเป็น object color mode ส่วนการรับรู้ค่าความเป็นสีขาว (whiteness) และความเป็นสี (chromaticness) จะสัมพันธ์กับความชอบสีที่ปรากฏเป็น light source color mode และ unnatural object color mode ดังนั้นจะเห็นได้ว่าความชอบสีนั้นไม่ได้เกิดจากการรับรู้เพียงแค่คุณลักษณะของสีเท่านั้น แต่ยังเป็นผลมาจากโหมดการปรากฏของสีด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ชนิด cool daylight ของ Panasonic

- รุ่น FLR20S • EX-D/M
- กำลังไฟฟ้า 20 วัตต์
- อุณหภูมิสี 6700 เคลวิน (วัดได้จริง 6000 เควิน)
- จำนวน 3 หลอด
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดไฟ 32.5 มิลลิเมตร
- ความยาวของหลอดไฟ 580 มิลลิเมตร

3.1.2 หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ชนิด cool daylight ของ PHILIPS

- รุ่น TLD 18W/54-765
- กำลังไฟฟ้า 18 วัตต์
- อุณหภูมิสี 6200 เคลวิน (วัดได้จริง 5700 เควิน)
- จำนวน 4 หลอด
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดไฟ 26 มิลลิเมตร
- ความยาวของหลอดไฟ 589 มิลลิเมตร

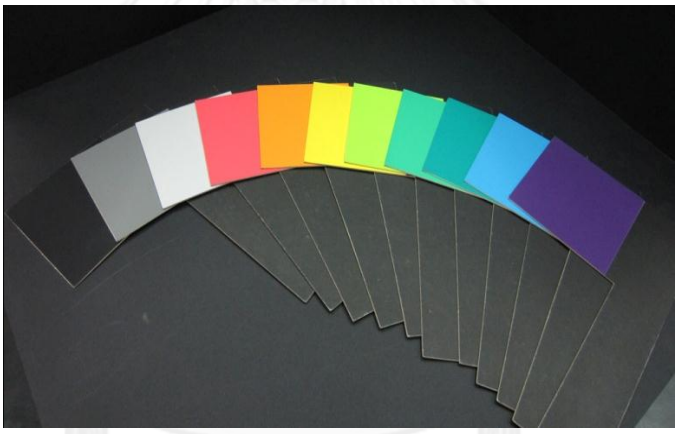
3.1.3 เครื่องวัดความสว่าง (illuminance meter) ของ Konica Minolta รุ่น CL-200

- Receptor: silicon photocell
- Measuring range: 0.1 - 99,990 ลักซ์
- Chromaticity: ± 5 ลักซ์
- Luminance (Y) accuracy: ±2%, ±1 digit
- Chromaticity (x,y) accuracy: ±0.002
- Luminance (Y) repeatability: 0.5%, ±1 digit
- Chromaticity (x,y) repeatability: ±0.0005
- Luminance temperature drift / humidity drift: ±3%, ±1 digit
- Chromaticity xy temperature drift / humidity drift: ±0.003
- ขนาด 69 × 174 × 35 มิลลิเมตร
- น้ำหนัก 215 กรัม ไม่รวมแบตเตอรี่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 3.1 เครื่องวัดความสว่าง Konica Minolta/CL-200

3.1.4 ตัวอย่างสีมันเซลล์ (munsell sheet) ของบริษัท X-Rite Incorporated, U.S.A. แบบด้าน (matte) ขนาด 11 × 11 เซนติเมตร จำนวน 11 ตัวอย่าง ได้แก่ N2, N5, N8, 5R, 5YR, 5Y, 5GY, 5G, 10B และ 5P ดังภาพที่ 3.2 โดยเรียงลำดับจากซ้ายไปขวา



ภาพที่ 3.2 ตัวอย่างสีมันเซลล์ จำนวน 11 ตัวอย่าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

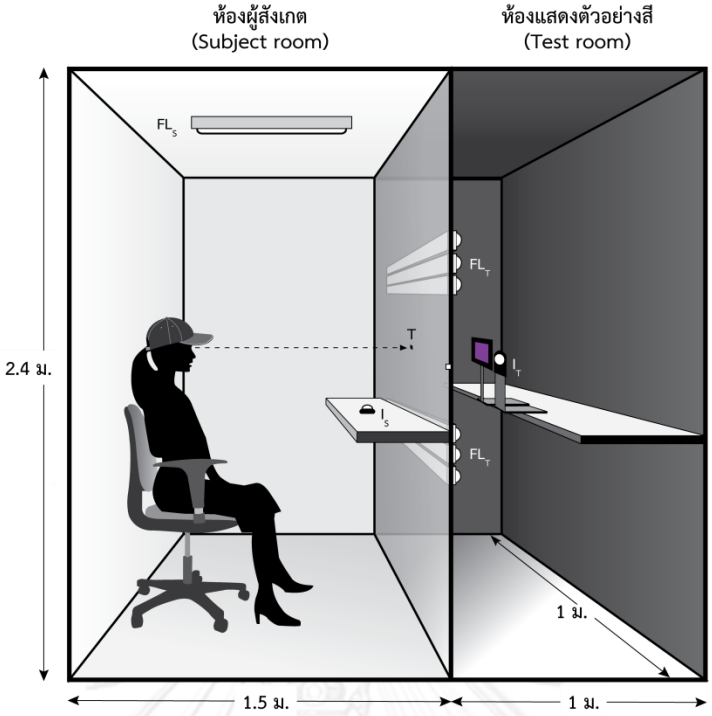
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัย แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ การเตรียมการทดลอง การทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 การเตรียมการทดลอง

3.2.1.1 ห้องทดลอง

ห้องที่ใช้สำหรับทำการทดลอง แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ในส่วนของห้องผู้สังเกต (subject room) และห้องแสดงตัวอย่างสี (test room) ดังภาพที่ 3.3 ซึ่งในแต่ละห้องจะมีรายละเอียดดังนี้



FL_S = หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ในห้องผู้สังเกต
FL_T = หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ในห้องแสดงตัวอย่างสี
I_S = เครื่องวัดความสว่าง ในห้องผู้สังเกต
I_T = เครื่องวัดความสว่าง ในห้องแสดงตัวอย่างสี
T = ช่องเปิดสี่เหลี่ยม ขนาด 2 × 2 เซนติเมตร

ภาพที่ 3.3 ลักษณะโครงสร้างของห้องทดลองและตำแหน่งของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

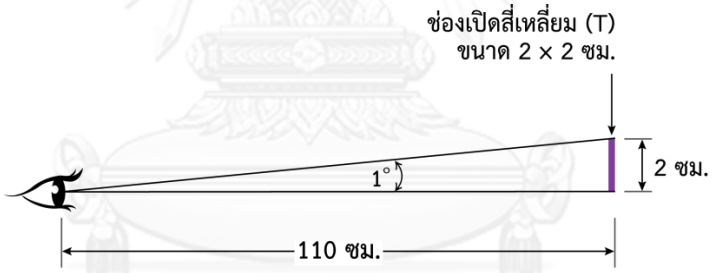
- ห้องผู้สังเกต (subject room)

ห้องผู้สังเกตมีขนาด 1 × 1.5 × 2.4 เมตร (กว้าง × ยาว × สูง) เป็นห้องปิดเพื่อควบคุมไม่ให้แสงจากภายนอกเข้ามาในห้อง ผนังด้านในห้องติดด้วยวอลเปเปอร์สีขาว เพดานติดหลอดฟลูออเรสเซนซ์ (FL_S) ของ Panasonic จำนวน 1 หลอด ที่สามารถปรับระดับความเข้มแสงภายในห้องได้ 6 ระดับ คือ 0, 0.5, 3, 15, 80 และ 240 ลักซ์ (lx) ซึ่งวัดโดยเครื่องวัดความสว่าง Illuminance meter (I_S) ที่ติดไว้บนชั้นซึ่งอยู่สูงจากพื้น 96 เซนติเมตร ส่วนผนังห้องด้านหน้าของผู้สังเกตเจาะเป็นช่องเปิดสี่เหลี่ยม (T) ขนาด 2 × 2 เซนติเมตร เพื่อให้ผู้สังเกตมองเห็นตัวอย่างสีที่อยู่ในห้องถัดไป โดยช่องเปิดสี่เหลี่ยม (T) อยู่สูงกว่าตำแหน่งของเครื่องวัดความสว่าง 26 เซนติเมตร และอยู่สูงจากพื้น 122 เซนติเมตร

ภายในห้องผู้สังเกตมีการจำลองสภาวะห้องปกติ เพื่อช่วยให้ไม่เกิดความตึงเครียดในขณะที่ผู้สังเกตทำการทดลอง โดยจัดวางวัตถุต่าง ๆ ที่มีสีสันหลากหลาย อาทิเช่น กรอบรูป นาฬิกาติดผนัง พวงกุญแจ กระเป๋า ดอกไม้พลาสติก กล่องใส่ของ ตุ๊กตาเซรามิค ต้นไม้ประดิษฐ์ รูบิค และหนังสือ เป็นต้น ดังภาพที่ 3.4

ภาพที่ 3.4 การจัดวางวัตถุเพื่อจำลองสภาวะห้องของผู้สังเกต

เมื่อผู้สังเกตนั่งอยู่ภายในห้องแล้วมองผ่านช่องเปิดสี่เหลี่ยม (T) ผู้สังเกตจะมองเห็นเพียงตัวอย่างสีเท่านั้น โดยสายตาของผู้สังเกตที่อยู่ในแนวเดียวกันกับช่องเปิด จะอยู่ห่างจากช่องเปิด (T) ที่ระยะ 110 เซนติเมตร ซึ่งมีมุมการมองของผู้สังเกตอยู่ที่ 1° ดังแสดงในรูปที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 มุมการมองที่ 1° ของผู้สังเกตในขณะทำการทดลอง

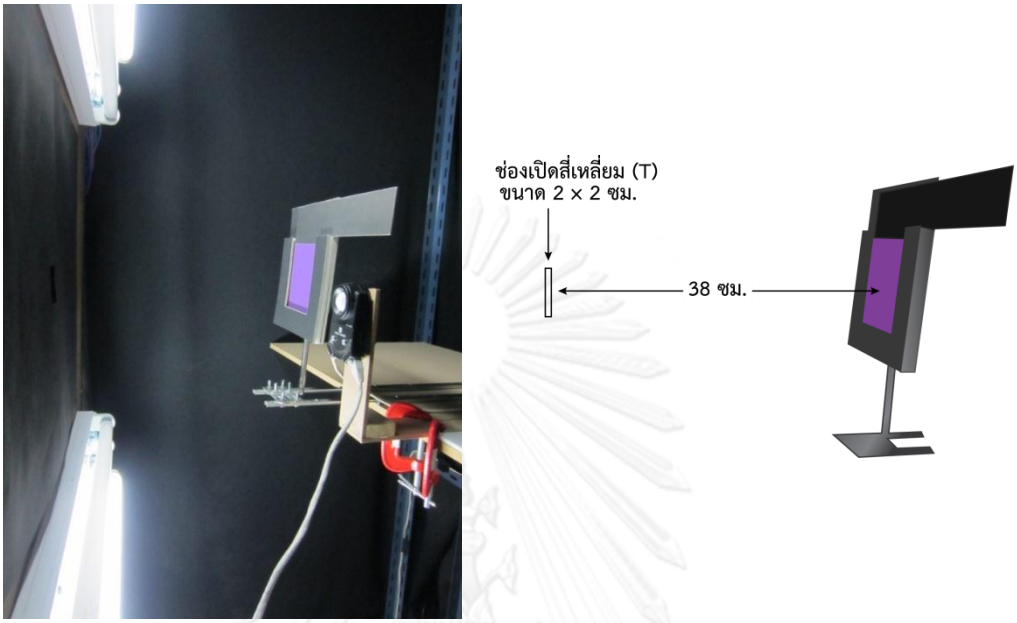
Chulalongkorn University

- **ห้องแสดงตัวอย่างสี (test room)**

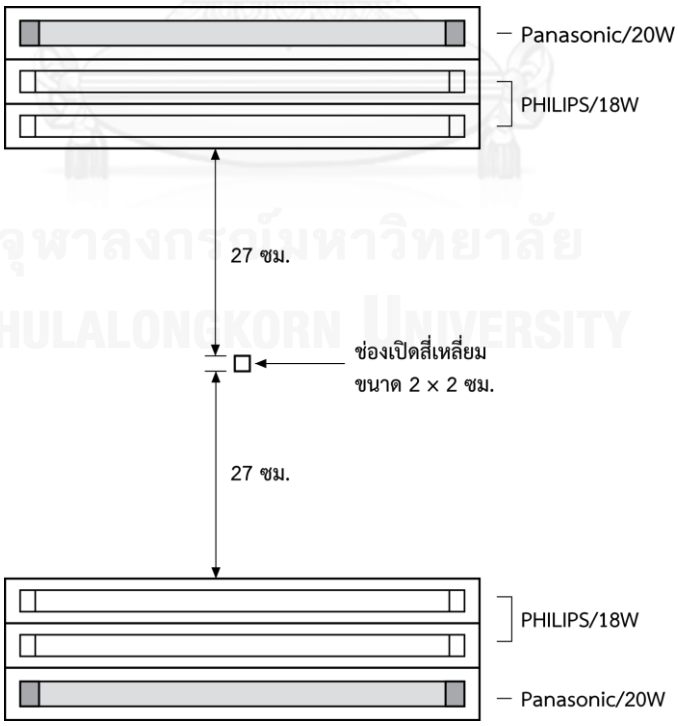
ห้องแสดงตัวอย่างสีมีขนาด 1 × 1 × 2.4 เมตร (กว้าง × ยาว × สูง) เป็นห้องปิด ผนังและเพดานด้านในคลุมด้วยผ้าสีดำด้านที่มีความหนาเพียงพอ เพื่อป้องกันแสงรบกวนจากภายนอก และช่วยไม่ทำให้เกิดแสงสะท้อนภายในห้อง ซึ่งอาจส่งผลต่อการปรากฏสีของตัวอย่างสี มันเซลล์ที่วางอยู่บนฐานซึ่งยึดติดกับชั้น ตัวอย่างสีมีระยะห่างจากช่องเปิดสี่เหลี่ยม (T) 38 เซนติเมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีปริมาณของแสงที่ตกกระทบลงบนตัวอย่างสีมากที่สุด ดังภาพที่ 3.6

บริเวณผนังด้านข้างภายในห้องแสดงตัวอย่างสี ซึ่งเป็นด้านเดียวกับช่องเปิด (T) ติดหลอดฟลูออเรสเซนซ์ (FL_T) จำนวน 6 หลอด โดยจัดวางตำแหน่งของหลอดไฟดังแสดงในภาพที่ 3.7 ความสว่างของหลอดไฟภายในห้อง ควบคุมโดยผู้ทดลอง (experimenter) ให้มีระดับของ

ความสว่าง 6 ระดับ คือ 80, 120, 250, 500, 1000 และ 2400 ลักซ์ (lx) โดยหลอดไฟจะหันหน้าเข้าหาเครื่องวัดความสว่าง Illuminance meter (I_T) ซึ่งติดไว้ในตำแหน่งด้านข้างของตัวอย่างสี



ภาพที่ 3.6 การจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ภายในห้องแสดงตัวอย่างสี



ภาพที่ 3.7 การจัดวางตำแหน่งของหลอดฟลูออเรสเซนซ์ภายในห้องแสดงตัวอย่างสี

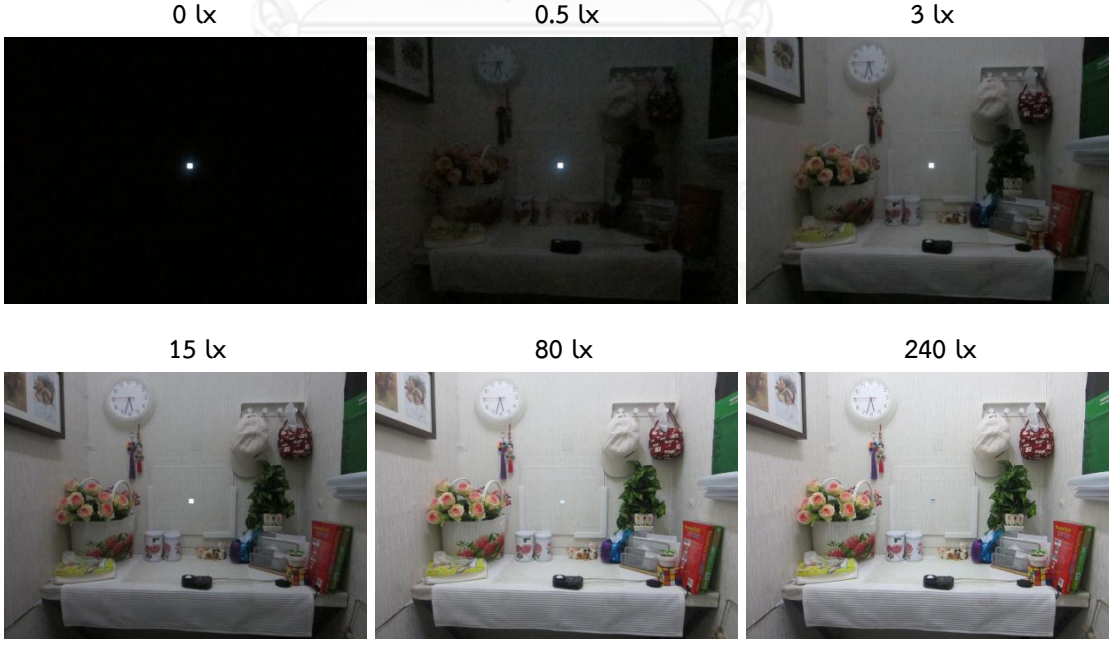
3.2.1.2 สภาวะในการทดลอง

สภาวะแสงที่ใช้ในการทดลองมีทั้งหมด 36 แบบ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยตัวเลขที่อยู่ด้านหน้าแสดงระดับความสว่างภายในห้องผู้สังเกตทั้ง 6 ระดับ ส่วนตัวเลขด้านหลังแสดงระดับความสว่างภายในห้องแสดงตัวอย่างสี 6 ระดับ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 3.1 สภาวะแสงในการทดลองทั้งหมด 36 แบบ

ความสว่างภายในห้องผู้สังเกต (lx) - ความสว่างภายในห้องแสดงตัวอย่างสี (lx)					
0 - 80	0.5 - 80	3 - 80	15 - 80	80 - 80	240 - 80
0 - 120	0.5 - 120	3 - 120	15 - 120	80 - 120	240 - 120
0 - 250	0.5 - 250	3 - 250	15 - 250	80 - 250	240 - 250
0 - 500	0.5 - 500	3 - 500	15 - 500	80 - 500	240 - 500
0 - 1000	0.5 - 1000	3 - 1000	15 - 1000	80 - 1000	240 - 1000
0 - 2400	0.5 - 2400	3 - 2400	15 - 2400	80 - 2400	240 - 2400

- ห้องผู้สังเกต เป็นการจำลองสภาวะแสงจากมืดไปจนถึงสว่าง โดยการกำหนดความสว่างภายในห้องเป็น 6 ระดับ ได้แก่ 0, 0.5, 3, 15, 80 และ 240 ลักซ์ ดังภาพที่ 3.8 ส่งผลให้ตัวอย่างสี N2 ซึ่งอยู่ภายในห้องแสดงตัวอย่างที่ระดับความสว่าง 500 ลักซ์ ปรากฏค่าสีและโหมดการปรากฏสีที่เปลี่ยนแปลงไป



ภาพที่ 3.8 ระดับความสว่างภายในห้องผู้สังเกตทั้ง 6 ระดับ

- ห้องแสดงตัวอย่างสี เป็นการจำลองโหมดการปรากฏสี เมื่อผู้สังเกตมองตัวอย่างสีผ่านช่องเปิด โดยปรับระดับความสว่างภายในห้องเป็น 6 ระดับ ได้แก่ 80, 120, 250, 500, 1000 และ 2400 ลักซ์ ซึ่งเป็นระดับความสว่างที่ผู้สังเกตมองเห็นตัวอย่างสีปรากฏเป็นโหมด object color (OB-mode), โหมด unnatural object color (UN-mode) และโหมด light source color (LS-mode)

3.2.1.3 สิ่งเร้า

สิ่งเร้าที่ใช้ในการทดสอบเลือกจากตัวอย่างสีมันเซลล์แบบด้าน จำนวน 11 ตัวอย่าง ขนาด 11 × 11 เซนติเมตร ซึ่งมีขนาดที่ใหญ่เพียงพอสำหรับการมองผ่านช่องเปิด โดยผู้สังเกตจะมองเห็นเพียงตัวอย่างสีเท่านั้น ตัวอย่างสีดังกล่าวแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ตัวอย่างสีที่ไม่มีสีสัน (achromatic) และตัวอย่างสีที่มีสีสัน (chromatic) โดยค่าสีของตัวอย่างสีทั้ง 11 ตัวอย่าง ประกอบไปด้วย สีสัน (hue) ความสว่างสี (value) และความอิ่มตัวสี (chroma) ดังแสดงในตารางที่ 3.2

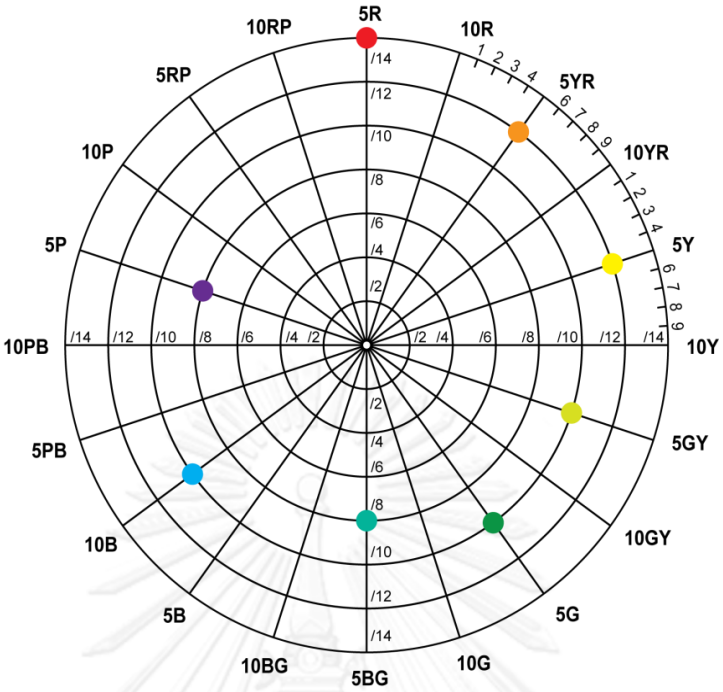
ตารางที่ 3.2 ค่าสีของตัวอย่างสีมันเซลล์ที่เลือกใช้ในการทดลอง ทั้ง 11 ตัวอย่าง

Hue	Value/Chroma	Hue	Value/Chroma
5R	6/14	5BG	5/8
5YR	7/12	10B	6/10
5Y	8.5/12	5P	3/8
5GY	8/10	N	2/, 5/, 8/
5G	6/10		

- ตัวอย่างสีที่ไม่มีสีสัน (achromatic) ได้แก่ N2, N5 และ N8 โดยทั้ง 3 ตัวอย่าง เป็นสีเทาเข้ม เทากลาง และเทาอ่อน ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณความเป็นสีขาว (whiteness) และความเป็นสีดำ (blackness) ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน

- ตัวอย่างสีที่มีสีสัน (chromatic) ได้แก่ 5R, 5YR, 5Y, 5GY, 5G, 5BG, 10B และ 5P ทั้ง 8 ตัวอย่าง เป็นสีแดง สีเหลือง-แดง สีเหลือง สีเขียว-เหลือง สีเขียว สีน้ำเงิน-เขียว สีน้ำเงิน และสีม่วง ตามลำดับ โดยแต่ละสีปรากฏความเป็นสีสัน (chromaticness) ความเป็นสีขาว (whiteness) และความเป็นสีดำ (blackness) ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน โดยตัวอย่างสีที่เลือกใช้จะเป็นตัวอย่างสีที่มีความอิ่มตัวสีสูง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 3.9 แผนภาพแสดงความอิ่มตัวสีของตัวอย่างสีที่มีสีสันทั้ง 8 สี
ได้แก่ 5R 6/14, 5YR 7/12, 5Y 8.5/12, 5GY 8/10, 5G 6/10, 5BG 5/8, 10B 6/10 และ 5P 3/8

3.2.1.4 ผู้สังเกต

ผู้สังเกตในการทดลองจำนวนทั้งหมด 5 คน ได้แก่ SN (เพศหญิง อายุ 24 ปี) PY (เพศหญิง อายุ 24 ปี) NP (เพศชาย อายุ 27 ปี) OB (เพศหญิง อายุ 28 ปี) และ PC (เพศหญิง อายุ 36 ปี) ทุกคนมีสายตาเป็นปกติและไม่มีความบกพร่องในการมองเห็นสี ผู้สังเกตต้องทำการฝึกซ้อมก่อนทำการทดลอง ตามคำแนะนำของผู้ทดลองก่อนที่จะทำการประเมิน แล้วจึงบอกค่าสีของตัวอย่างสีที่ปรากฏ โดยใช้วิธีการบอกค่าสีพื้นฐาน (elementary color naming) และบอกโหมดของการปรากฏสี (color appearance mode)

3.2.2 การทดลอง

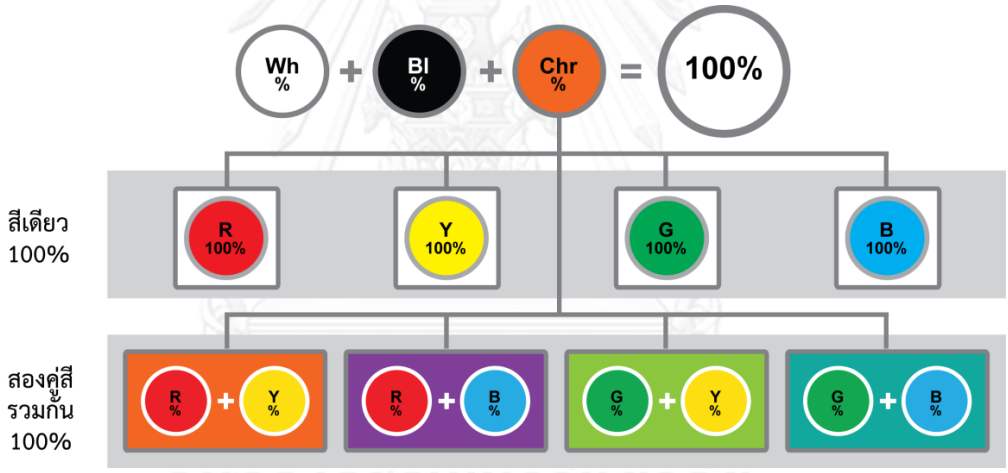
ในขั้นตอนของการทดลองแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ การบอกค่าสี และโหมดของการปรากฏสี ภายใต้สภาวะแสงที่มีระดับความสว่างที่แตกต่างกัน 36 สภาวะ โดยในแต่ละขั้นตอนของการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

3.2.2.1 ผู้ทดลองปรับระดับความสว่างของแสงภายในห้องผู้สังเกต และห้องแสดงตัวอย่างสี เพื่อให้ได้สภาวะแสงตามที่กำหนด

3.2.2.2 เมื่อผู้สังเกตนั่งอยู่ภายในห้องจะใช้เวลาในการปรับการมองเห็นเข้ากับระดับความสว่างภายในห้องผู้สังเกตเป็นเวลา 2 นาที

3.2.2.3 ผู้ทดลองแสดงตัวอย่างสีโดยการสุ่มทีละ 1 ตัวอย่าง พร้อมกับให้คำแนะนำแก่ผู้สังเกตว่าให้มองดูตัวอย่างสี โดยไม่ตรึงสายตาอยู่ที่ตัวอย่างสีตลอดเวลา แต่ควรมองรอบ ๆ ห้องเป็นบางครั้ง เพื่อป้องกันการเกิดภาพติดตา (After-image) หรือการปรากฏสีของคู่สีตรงกันข้าม (complementary color) ของสีนั้น ซึ่งเกิดจากการจ้องมองสีใดสีหนึ่งเป็นเวลานาน ทำให้มองเห็นตัวอย่างสีที่แสดงในลำดับถัดไปมีค่าสีที่ผิดเพี้ยนได้

3.2.2.4 ผู้สังเกตบอกค่าสีของตัวอย่างสีโดยใช้วิธีคำเรียกสีพื้นฐาน โดยบอกสัดส่วนของปริมาณ ความเป็นสีขาว (Whiteness; W) ความเป็นสีดำ (Blackness; Bl) และความเป็นสี (Chromaticness; Chr) รวมเป็นผลร้อยละ จากนั้นหากตัวอย่างสีใดปรากฏความเป็นสี ผู้สังเกตจะต้องบอกสัดส่วนของปริมาณ ความเป็นสีแดง (Redness; R) ความเป็นสีเหลือง (Yellowness; Y) ความเป็นสีเขียว (Greenness; G) และความเป็นสีน้ำเงิน (Blueness; B) รวมให้ได้สัดส่วนร้อยละเช่นกัน โดยความเป็นสีอาจปรากฏเพียงสีเดียว เช่น สีแดง สีเหลือง สีเขียว และสีน้ำเงิน หรือปรากฏจากสองคู่สีรวมกัน ได้แก่ สีแดงกับสีเหลือง สีแดงกับสีน้ำเงิน สีเขียวกับสีเหลือง และสีเขียวกับสีน้ำเงิน ดังแสดงในภาพที่ 3.10

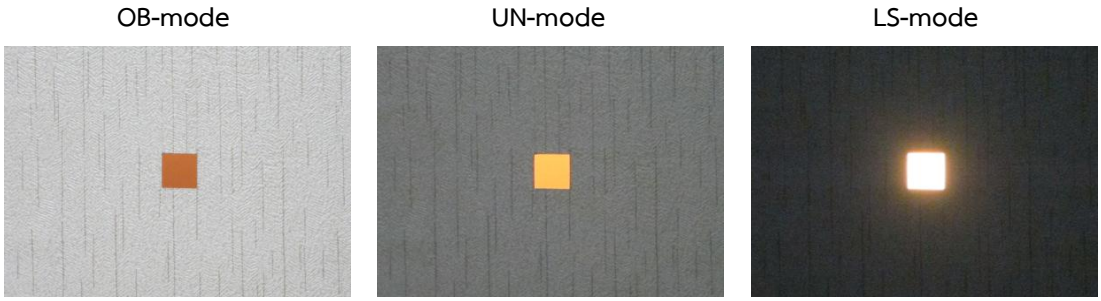


ภาพที่ 3.10 การบอกค่าสีเป็นสัดส่วนร้อยละโดยวิธีคำเรียกสีพื้นฐาน

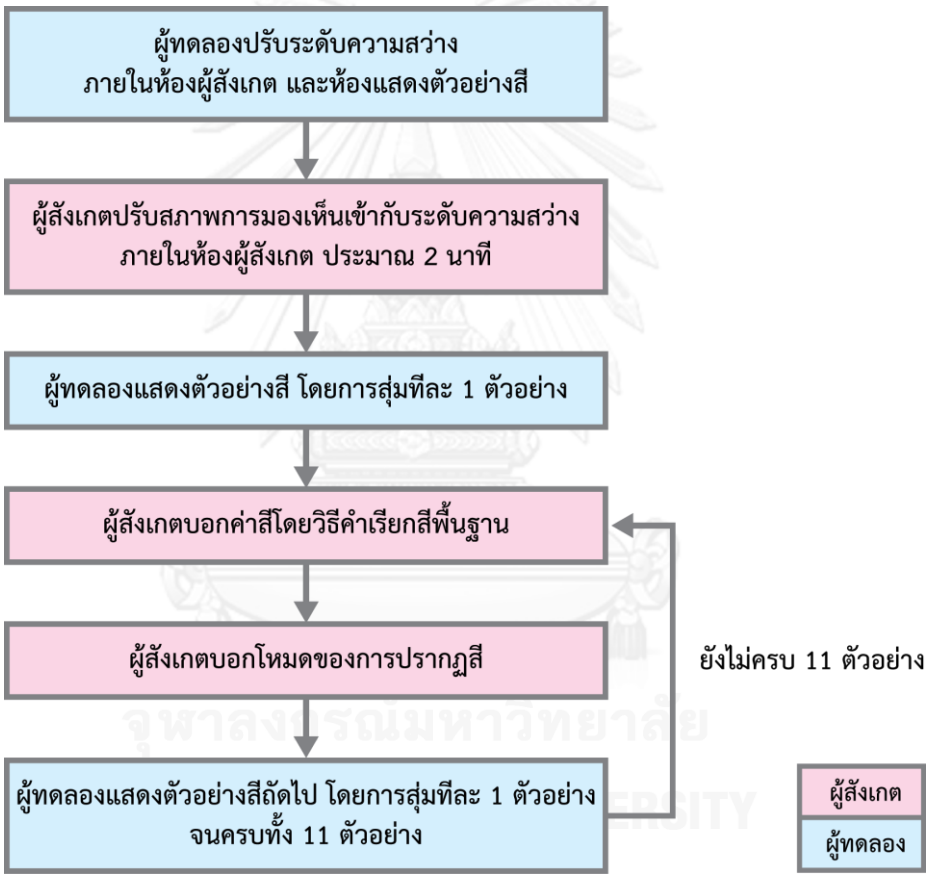
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.3.2.5 ผู้สังเกตบอกโหมดการปรากฏสี โดยเลือกว่าตัวอย่างสีที่ปรากฏอยู่ในโหมดใดจาก 3 โหมด ดังภาพที่ 3.11 ได้แก่

- OB-mode หรือ object color mode ลักษณะสีที่ปรากฏจะมองเห็นเป็นสีของวัตถุ
- UN-mode หรือ unnatural object color mode ลักษณะสีที่ปรากฏจะมองเห็นเป็นสีที่ผิดไปจากธรรมชาติของสีวัตถุ
- LS-mode หรือ light source color mode ลักษณะสีที่ปรากฏจะมองเห็นเป็นสีของแหล่งแสง



ภาพที่ 3.11 โหมดการปรากฏสีทั้ง 3 โหมด ของตัวอย่างสี 5YR



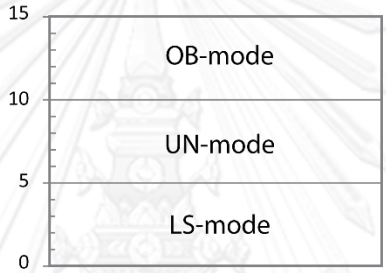
ภาพที่ 3.12 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการทดลองภายใต้ 1 สภาวะแสง

ในแต่ละช่วงของการทดลองหรือภายใต้ 1 สภาวะแสง ตัวอย่างสีทั้งหมดจะถูกสุ่มโดยไม่เรียงลำดับจนครบทั้ง 11 ตัวอย่าง เมื่อผู้สังเกตบอกค่าสีของตัวอย่างสีแล้ว จึงบอกโหมดการปรากฏสี โดยไม่จำกัดเวลาในการตัดสินใจ ผู้สังเกตทุกคนจะต้องทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ในทุกสภาวะแสงซึ่งมีทั้งหมด 36 แบบ ผู้สังเกตแต่ละคนจะต้องทำการตัดสินใจในการบอกค่าสีและบอกโหมดการปรากฏสีทั้งหมดรวม 1,980 ครั้ง

3.2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.2.3.1 นำผลจากการบอกค่าองค์ประกอบสีโดยวิธีคำเรียกสีพื้นฐานของผู้สังเกตทั้ง 5 คน ซึ่งแต่ละคนทำซ้ำ 5 ครั้ง มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเปรียบเทียบสัดส่วนปริมาณค่าองค์ประกอบสีของตัวอย่างสีที่ปรากฏในแต่ละสภาวะแสง โดยแสดงสัดส่วนปริมาณความเป็นสีดำ (blackness) ความเป็นสีขาว (whiteness) และความเป็นสี (chromaticness) รวมเป็นผลร้อยละ

3.2.3.2 นำผลจากการบอกโหมดการปรากฏสีของผู้สังเกตทั้ง 5 คน มาคำนวณหาค่าการบ่งชี้โหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี ดังสมการที่ 3-1 โดยสมการดังกล่าวใช้วิธีคิดจากการแบ่งโหมดการปรากฏสี ออกเป็น 3 ระดับ เริ่มจาก LS-mode ให้เป็น 0-5 UN-mode ให้เป็น 5-10 และ OB-mode ให้เป็น 10-15 ซึ่งแต่ละระดับจะต่างกันเท่ากับ 5 ดังภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 ระดับการแบ่งโหมดการปรากฏสี

$$\text{ค่าการบ่งชี้โหมดการปรากฏสี} = \frac{15(N_{OB}) + 10(N_{UN}) + 5(N_{LS})}{N_{OB} + N_{UN} + N_{LS}} \quad \text{สมการที่ 3-1}$$

โดยค่าของ N_{OB}, N_{UN} และ N_{LS} คือ จำนวนครั้งที่ผู้สังเกตตอบในโหมด object color (OB-mode), unnature object color (UN-mode) และ light source color (LS-mode) ตามลำดับ ซึ่งรูปแบบการบอกโหมดการปรากฏสีทั้ง 5 ครั้ง ของผู้สังเกต แบ่งออกเป็น 11 แบบ ดังแสดงในตารางที่ 3.3 โดยค่าการบ่งชี้โหมดการปรากฏสีแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1) ถ้าค่าการบ่งชี้ที่ได้มีค่าตั้งแต่ 5 จนถึง 7 ตัวอย่างสีจะปรากฏในโหมด light source color (LS-mode)

2) ถ้าค่าการบ่งชี้ที่ได้มีค่าตั้งแต่ 8 จนถึง 12 ตัวอย่างสีจะปรากฏในโหมด unnatural object color (UN-mode)

3) ถ้าค่าการบ่งชี้ที่ได้มีค่าตั้งแต่ 13 จนถึง 15 ตัวอย่างสีจะปรากฏในโหมด object color (OB-mode)

ตารางที่ 3.3 ค่าการบ่งชี้โหมดการปรากฏสีของรูปแบบการบอกโหมดการปรากฏสี ทั้ง 11 แบบ

จำนวนการตอบโหมดการปรากฏสี (ครั้ง)			ค่าการบ่งชี้โหมดการปรากฏสี	โหมดการปรากฏสี
OB-mode	UN-mode	LS-mode		
0	0	5	5	LS-mode
0	1	4	6	LS-mode
0	2	3	7	LS-mode
0	3	2	8	UN-mode
0	4	1	9	UN-mode
0	5	0	10	UN-mode
1	4	0	11	UN-mode
2	3	0	12	UN-mode
3	2	0	13	OB-mode
4	1	0	14	OB-mode
5	0	0	15	OB-mode

ตัวอย่างเช่น ผู้สังเกตบอกโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสีหนึ่ง ภายใต้สภาวะเดียวกัน 5 ครั้ง โดยตอบในโหมด unnatural object color 2 ครั้ง และโหมด light source color 3 ครั้ง

$$\text{ค่าการบ่งชี้โหมดการปรากฏสี} = \frac{15(0) + 10(2) + 5(3)}{0 + 2 + 3}$$

$$= \frac{0 + 20 + 15}{5}$$

$$= 7$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ดังนั้นตัวอย่างสีดังกล่าวจะมีค่าการบ่งชี้โหมดการปรากฏสีเท่ากับ 7 ซึ่งจะปรากฏในโหมด light source color

3.2.3.3 นำค่าการบ่งชี้โหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี แสดงผลเทียบกับสัดส่วนปริมาณค่าสีของตัวอย่างสีที่ปรากฏ ภายใต้สภาวะแสงที่กำหนดในการทดลอง

3.2.3.4 นำผลจากการบอกค่าความเป็นสี (chromaticness) ซึ่งได้แก่ ความเป็นสีแดง (red) สีเหลือง (yellow) สีเขียว (green) และสีน้ำเงิน (blue) ของตัวอย่างสีที่มีสีสันมาคำนวณหาค่าความเป็นสีสัน (hue) ของตัวอย่างสีที่ปรากฏภายใต้สภาวะแสงที่แตกต่างกัน โดยคำนวณจาก 6 สมการที่ 3-2

$$\theta = \frac{V_R(0) + V_Y(90) + V_G(180) + V_B(270)}{100}$$ สมการที่ 3-2

จากสมการที่ 3-2 ค่า V_R, V_Y, V_G และ V_B คือ ค่าความเป็นสีแดง สีเหลือง สีเขียว และสีน้ำเงิน ที่ปรากฏของตัวอย่างสีตามลำดับ ซึ่งสมการนี้จะใช้ในการคำนวณเฉพาะตัวอย่างสีที่ปรากฏความเป็นสีดังนี้ สีแดง (R), สีแดงและสีเหลือง (R+Y), สีเหลือง (Y) , สีเหลืองและสีเขียว (Y+G), สีเขียว (G), สีเขียวและสีน้ำเงิน (G+B) และสีน้ำเงิน (B) แต่ถ้าหากตัวอย่างสีปรากฏเป็นสีแดงและสีน้ำเงิน (R+B) หรือสีม่วง จะต้องใช้สมการที่ 3-3 ในการคำนวณหาค่า θ

$$\theta = \frac{V_R(360) + V_Y(90) + V_G(180) + V_B(270)}{100}$$ สมการที่ 3-3

เมื่อได้ค่า θ แล้วให้คำนวณหาค่า x และ y ดังสมการที่ 3-4 และ 3-5 เพื่อแสดงตำแหน่งการปรากฏของสีสัน (hue) ของตัวอย่างสี เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะแสงที่แตกต่างกัน โดยแสดงผลในกราฟวงกลม

$$x = \text{chroma} \times \cos(\text{Radians}\,\theta)$$ สมการที่ 3-4

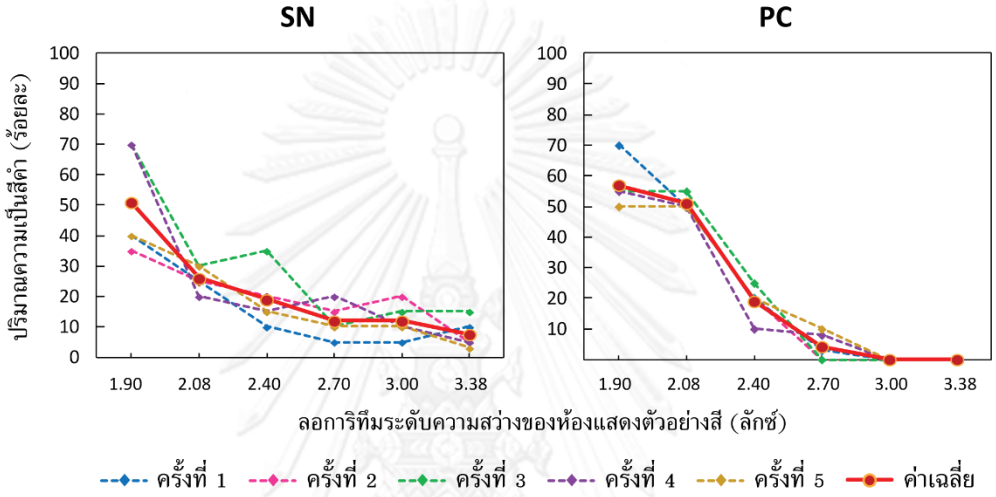
$$y = \text{chroma} \times \sin(\text{Radians}\,\theta)$$ สมการที่ 3-5

3.2.3.5 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าองค์ประกอบสีที่ปรากฏและโหมดการปรากฏสี แล้วจึงเปรียบเทียบผลและสรุปผลการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

จากการทดสอบการปรากฏสี และโหมดการปรากฏสีของผู้สังเกตจำนวน 5 คน ภายใต้สภาวะการทดลองที่กำหนด 36 สภาวะ โดยผู้สังเกตแต่ละคนต้องทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง/ 1 สภาวะ แล้วนำผลที่ได้ในแต่ละครั้งมาหาค่าเฉลี่ย ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ปริมาณความเป็นสีดำ (blackness) ของตัวอย่างสี N5 ที่ปรากฏภายใต้ระดับความสว่างของห้องผู้สังเกต และห้องแสดงตัวอย่างสีที่ 80 ลักซ์ ของผู้สังเกต SN และ PC

จากภาพที่ 4.1 แสดงผลการปรากฏสีของตัวอย่างสี N5 ของผู้สังเกต SN และ PC ภายใต้ระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตและห้องแสดงตัวอย่างสีที่เท่ากัน คือ 80 ลักซ์ โดยกราฟแสดงถึงปริมาณความเป็นสีดำ (blackness) ที่ลดลง เมื่อค่าลอการึทึมของระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสีเพิ่มขึ้น ส่วนความเป็นสีขาว (whiteness) ได้จากปริมาณความเป็นสีดำลบกับ 100% และเมื่อนำผลการทดสอบแต่ละครั้งซึ่งแสดงโดยเส้นประทั้ง 5 เส้น เปรียบเทียบกับเส้นโค้งของค่าเฉลี่ยจะพบว่า ผู้สังเกต SN มีความแปรปรวนของค่าสีมากกว่า PC โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของผู้สังเกต SN ภายใต้สภาวะนี้มีค่าเท่ากับ 17.46 ในขณะที่ PC มีค่าเท่ากับ 7.58 แต่อย่างไรก็ตามทิศทางของเส้นโค้งที่แสดงค่าเฉลี่ยความเป็นสีดำนั้นมีแนวโน้มที่ลดลง เมื่อระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสีเพิ่มมากขึ้น ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวนี้ปรากฏเช่นเดียวกันกับผู้สังเกตทุกคน ดังนั้นผลของการทดสอบที่จะแสดงลำดับต่อไป จะแสดงเฉพาะค่าเฉลี่ยของผู้สังเกตทั้ง 5 คนเท่านั้น

ผลจากการทดสอบเมื่อผู้สังเกตมองดูตัวอย่างสี ซึ่งแสดงอยู่ภายใต้สภาวะแสงที่แตกต่างกัน แบ่งเป็น 3 ส่วน คือ 1) ค่าเฉลี่ยปริมาณค่าองค์ประกอบสีของตัวอย่างสี 2) โหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 3) ค่าของสีสันที่ปรากฏของตัวอย่างสี

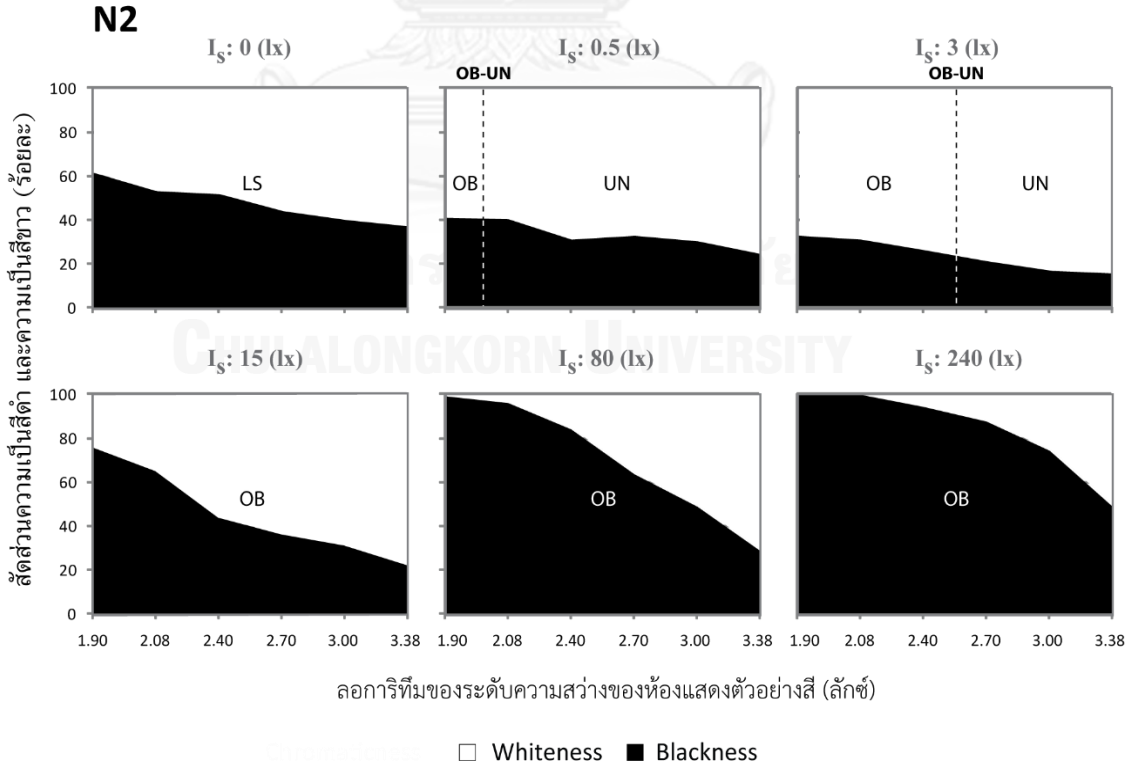
4.1 ค่าเฉลี่ยปริมาณค่าองค์ประกอบสีของตัวอย่างสี

ค่าเฉลี่ยปริมาณค่าองค์ประกอบสีประกอบด้วยปริมาณ ความเป็นสีดำ (blackness) ความเป็นสีขาว (whiteness) และความเป็นสี (chromaticness) ของตัวอย่างสีจำนวน 11 ตัวอย่าง จากผู้สังเกตทั้ง 5 คน ภายใต้สภาวะการทดสอบ 36 สภาวะ โดยตัวอย่างสีที่ใช้ในการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ตัวอย่างสีที่ไม่มีสีสัน (achromatic) และตัวอย่างสีที่มีสีสัน (chromatic) ซึ่งผลที่ได้มีดังนี้

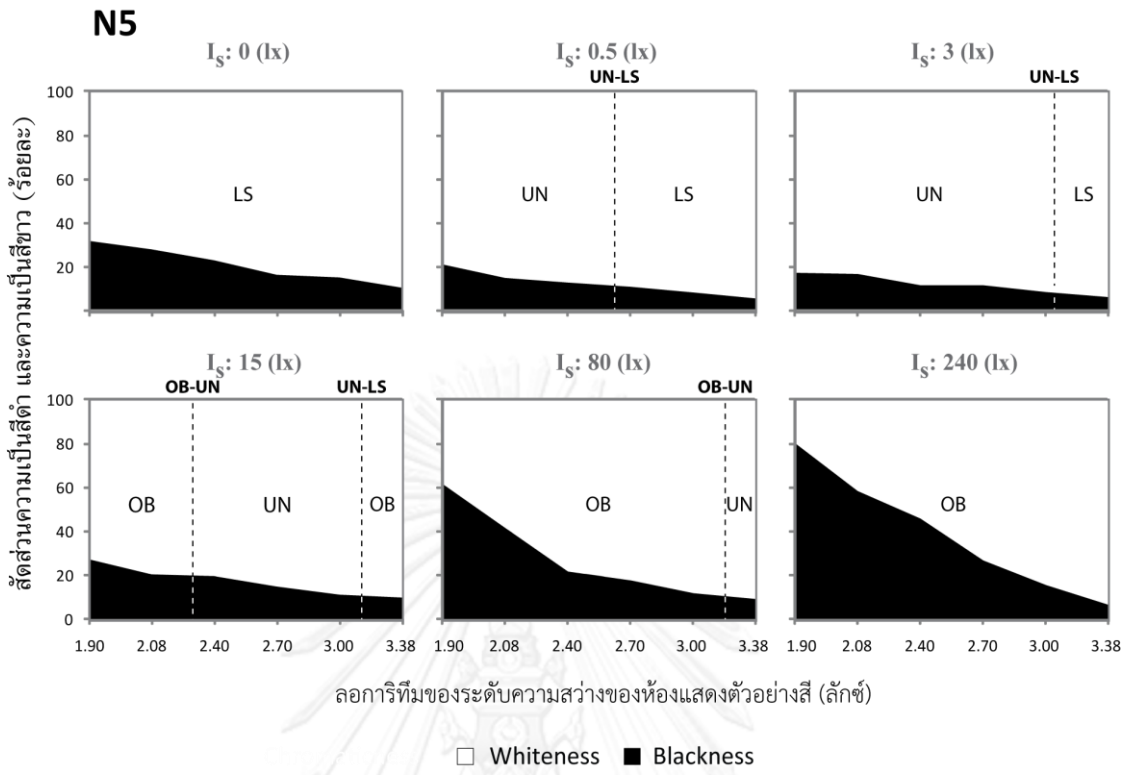
4.1.1 ตัวอย่างสีที่ไม่มีสีสัน (achromatic)

ตัวอย่างสีที่ไม่มีสีสัน ได้แก่ N2, N5 และ N8 แสดงในภาพที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ โดยแสดงสัดส่วนของค่าองค์ประกอบสีที่ปรากฏภายใต้ระดับความสว่างของห้องผู้สังเกต (I_S) ทั้ง 6 ระดับ ได้แก่ 0, 0.5, 3, 15, 80 และ 240 ลักซ์ โดยแกน X แสดงค่าลอการิทึมของระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสีทั้ง 6 ระดับ ได้แก่ 80, 120, 250, 500, 1000 และ 2400 ลักซ์ ส่วนแกน Y แสดงปริมาณความเป็นสีดำ (blackness) และความเป็นสีขาว (whiteness) ในสัดส่วนร้อยละ

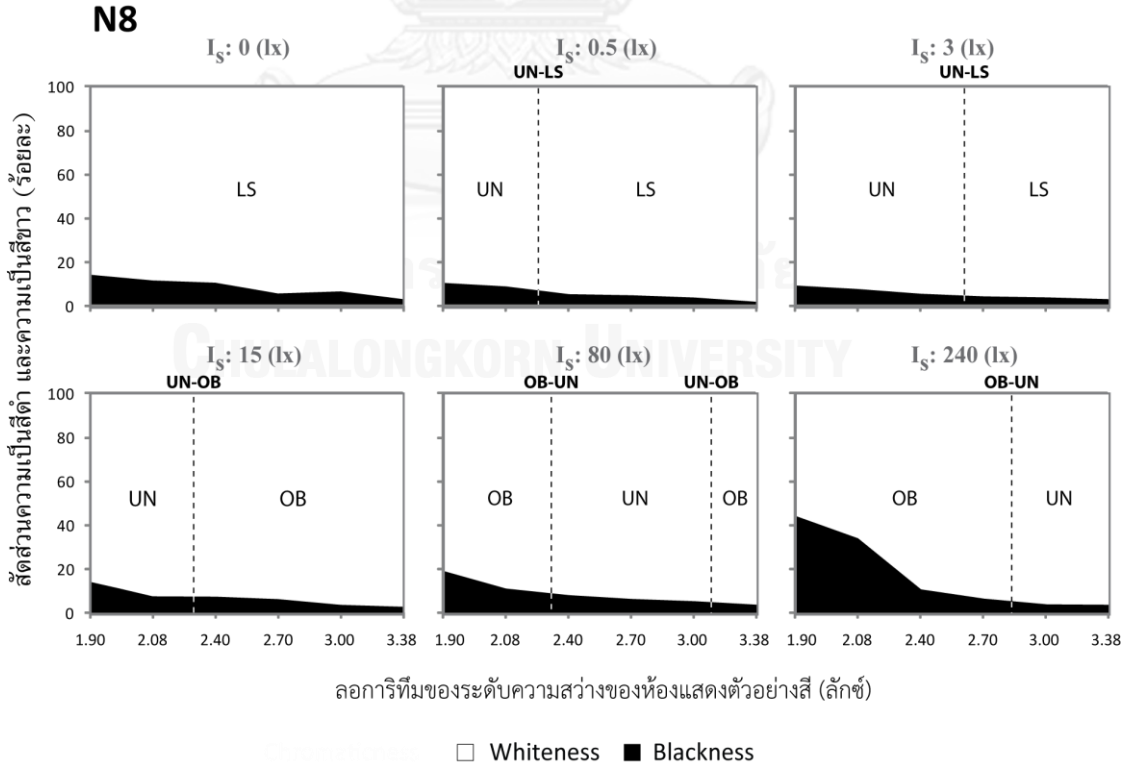
ผลของโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสีซึ่งได้แก่โหมด object color, unnatural object color และ light source color จะแสดงโดยค่า OB, UN และ LS ตามลำดับ โดยการปรากฏของโหมดการปรากฏสีภายใต้สภาวะแสงที่ต่างกัน อาจส่งผลทำให้เกิดการปรากฏโหมดสีที่มากกว่า 1 โหมด ดังนั้นจึงใช้เส้นประเพื่อแสดงขีดเริ่มเปลี่ยนระหว่างโหมดการปรากฏสีทั้งสองโหมด โดยผลของโหมดการปรากฏสีสามารถดูได้จากหัวข้อที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยปริมาณค่าองค์ประกอบสี และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี N2



ภาพที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยปริมาณค่าองค์ประกอบสี และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี N5

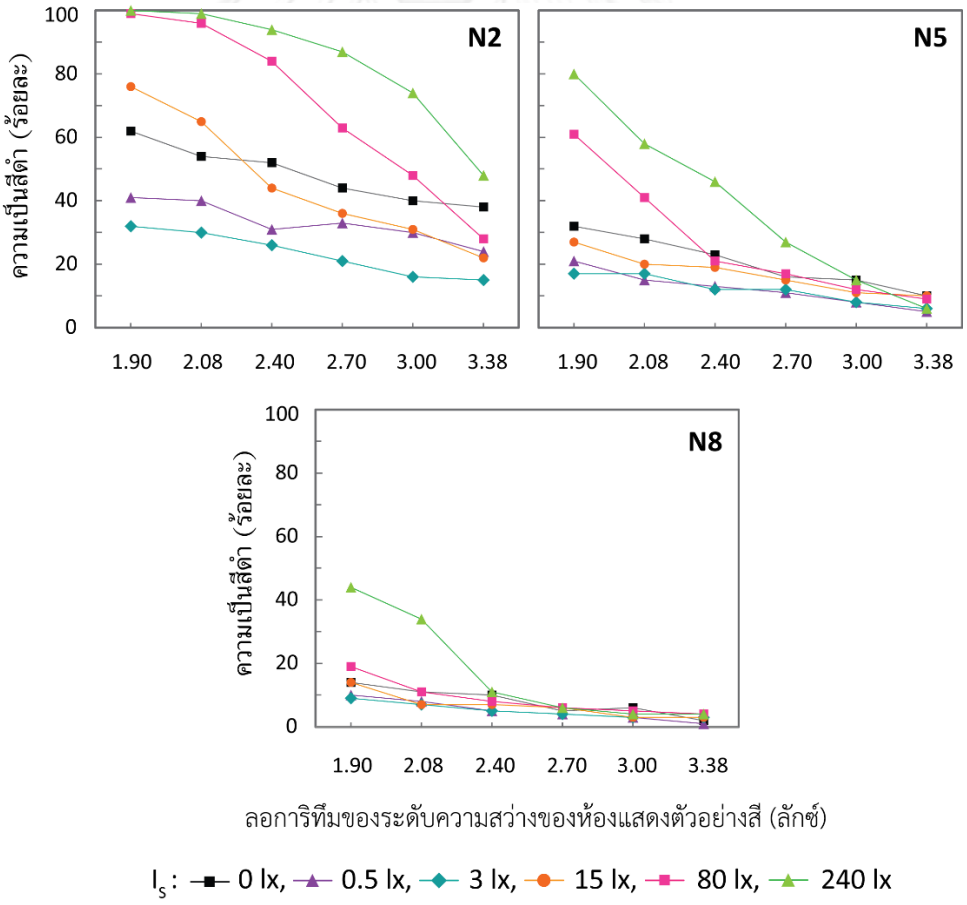


ภาพที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยปริมาณค่าองค์ประกอบสี และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี N8

จากภาพที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 ของตัวอย่างสี N2, N5 และ N8 แสดงถึงสัดส่วนของปริมาณความเป็นสีดำ (blackness) และความเป็นสีขาว (whiteness) ซึ่งแสดงในส่วนของพื้นที่สีดำและพื้นที่สีขาว ตามลำดับ ผลจากระดับความสว่างภายในห้องผู้สังเกตทั้ง 6 ระดับ แสดงสัดส่วนของค่าองค์ประกอบสีที่แตกต่างกันดังนี้

1) ความเป็นสีดำ (blackness) จะมีปริมาณโดยรวมลดลงเล็กน้อย เมื่อระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นจาก 0 ลักซ์ จนถึง 3 ลักซ์ แต่เมื่อระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นจาก 15 ลักซ์ จนถึง 240 ลักซ์ ความเป็นสีดำโดยรวมจะมีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยที่ความสว่างของห้องผู้สังเกตที่ 3 ลักซ์ ของตัวอย่างสี N2, N5 และ N8 จะมีปริมาณความเป็นสีดำต่ำที่สุด และเมื่อระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสีมีระดับความสว่างเพิ่มมากขึ้น ปริมาณความเป็นสีดำจะลดลง โดยจะปรากฏในทุกระดับความสว่างของห้องผู้สังเกต ดังภาพที่ 4.5

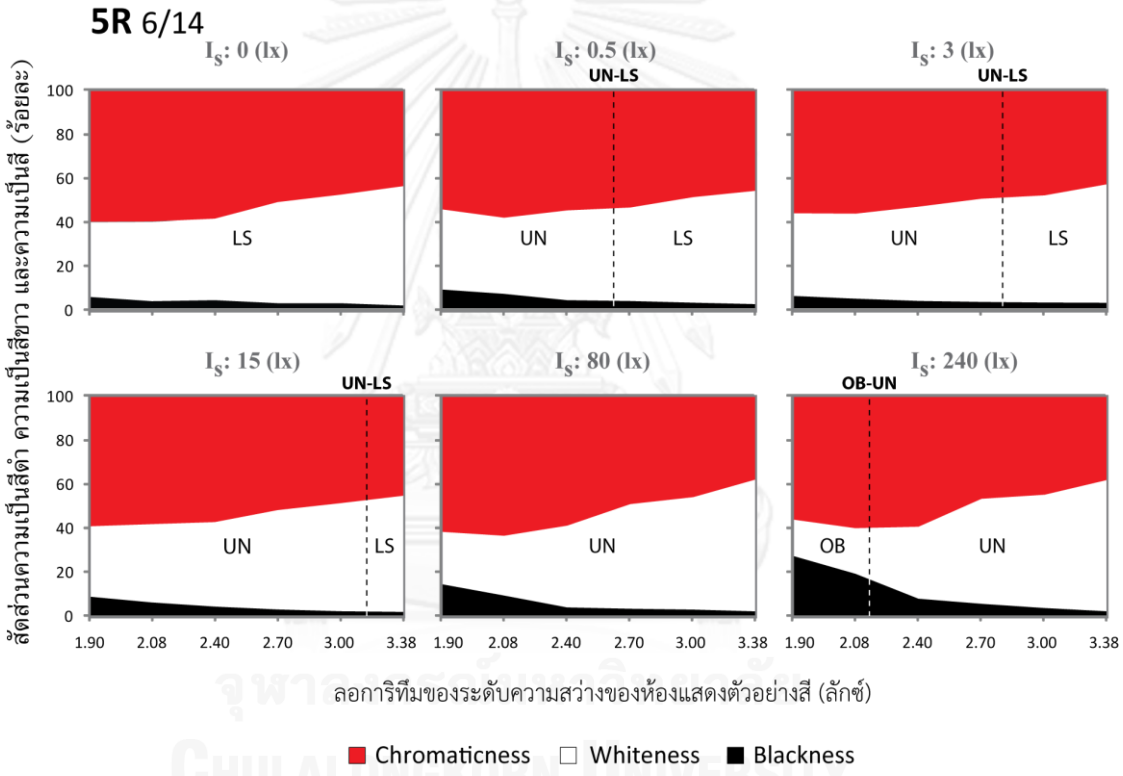
2) ความเป็นสีขาว (whiteness) จะมีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยมีสัดส่วนที่สัมพันธ์กันกับค่าความเป็นสีดำ (blackness) ซึ่งมีปริมาณลดลง ดังที่กล่าวไว้ในข้อ 1)



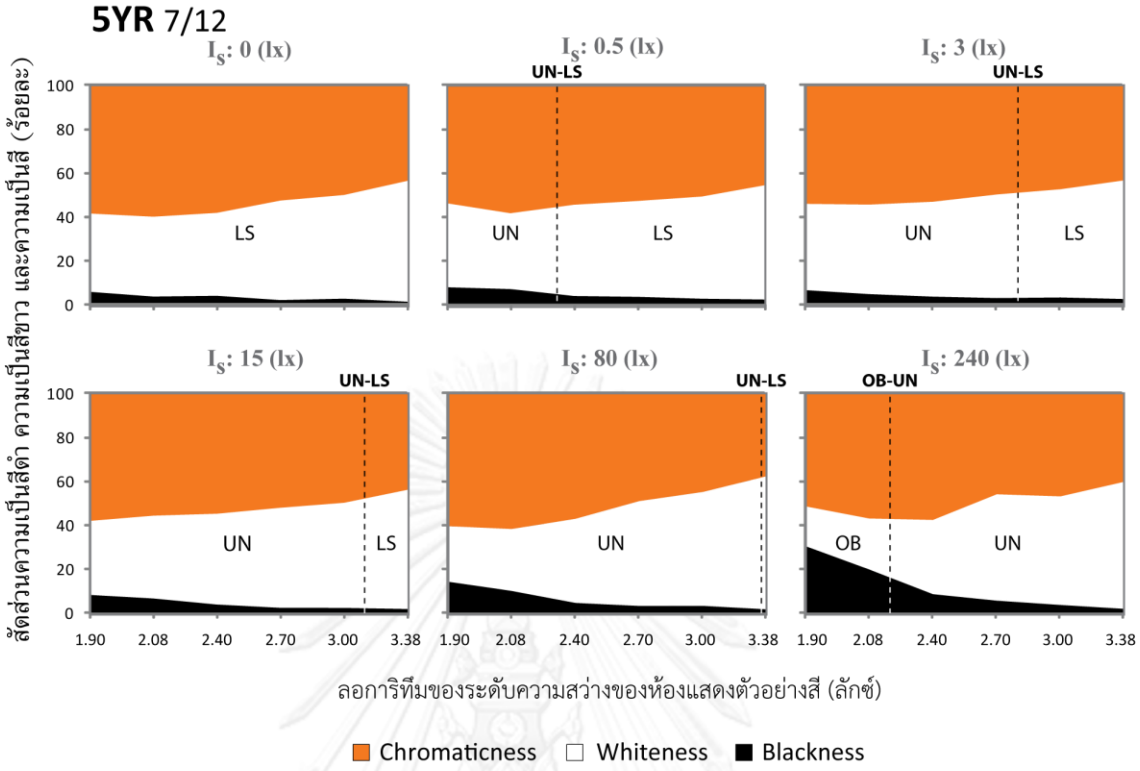
ภาพที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยปริมาณค่าความเป็นสีดำของตัวอย่างสี N2, N5 และ N8

4.1.2 ตัวอย่างสีที่มีสีสัน (chromatic)

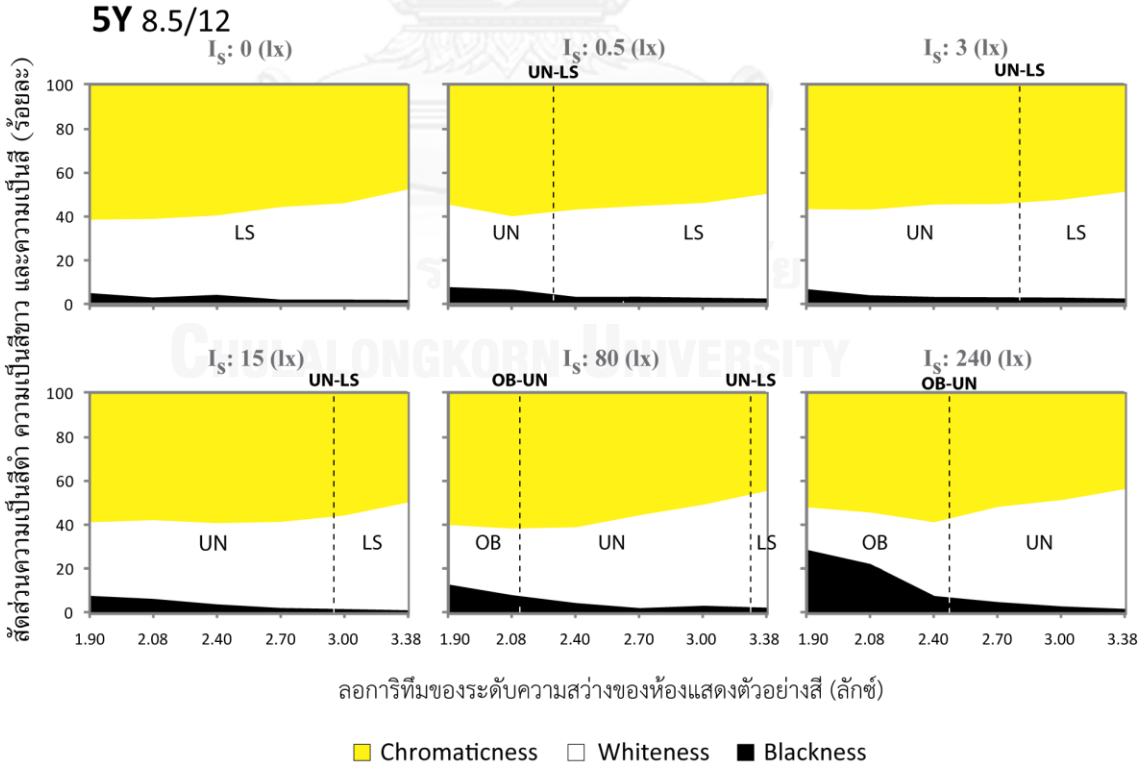
ตัวอย่างสีที่มีสีสัน ทั้ง 8 สี ได้แก่ สีแดง 5R 6/14, สีเหลืองแดง 5YR 7/12, สีเหลือง 5Y 8.5/12, สีเขียวเหลือง 5GY 8/10, สีเขียว 5G 6/10, สีน้ำเงินเขียว 5BG 5/8, สีน้ำเงิน 10B 6/10 และสีม่วง 5P 3/8 ซึ่งแสดงในภาพที่ 4.6 - 4.13 ตามลำดับ โดยแสดงสัดส่วนของค่าองค์ประกอบสีที่ปรากฏภายใต้ระดับความสว่างของห้องผู้สังเกต (I_S) ทั้ง 6 ระดับ ได้แก่ 0, 0.5, 3, 15, 80 และ 240 ลักซ์ โดยแกน X แสดงค่าลอการิทึมของระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสีทั้ง 6 ระดับ ได้แก่ 80, 120, 250, 500, 1000 และ 2400 ลักซ์ ส่วนแกน Y แสดงสัดส่วนร้อยละของปริมาณความเป็นสีดำ (blackness) ความเป็นสีขาว (whiteness) และความเป็นสี (chromaticness)



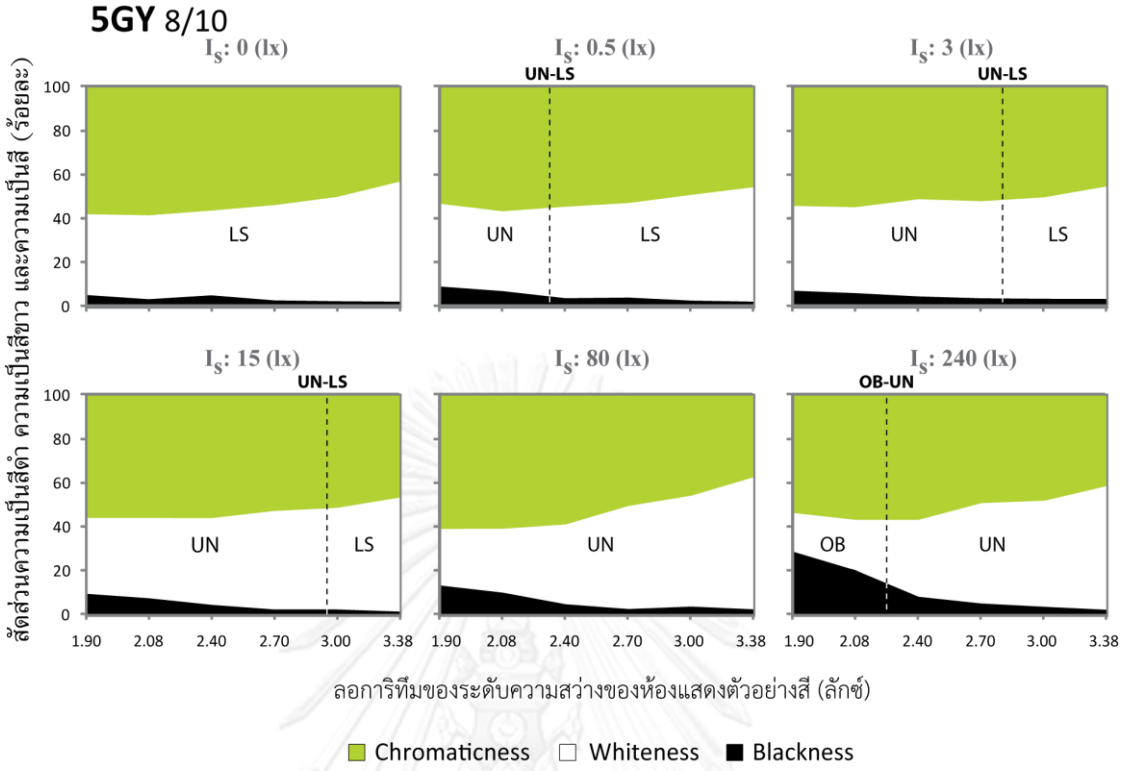
ภาพที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยปริมาณค่าองค์ประกอบสี และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5R 6/14



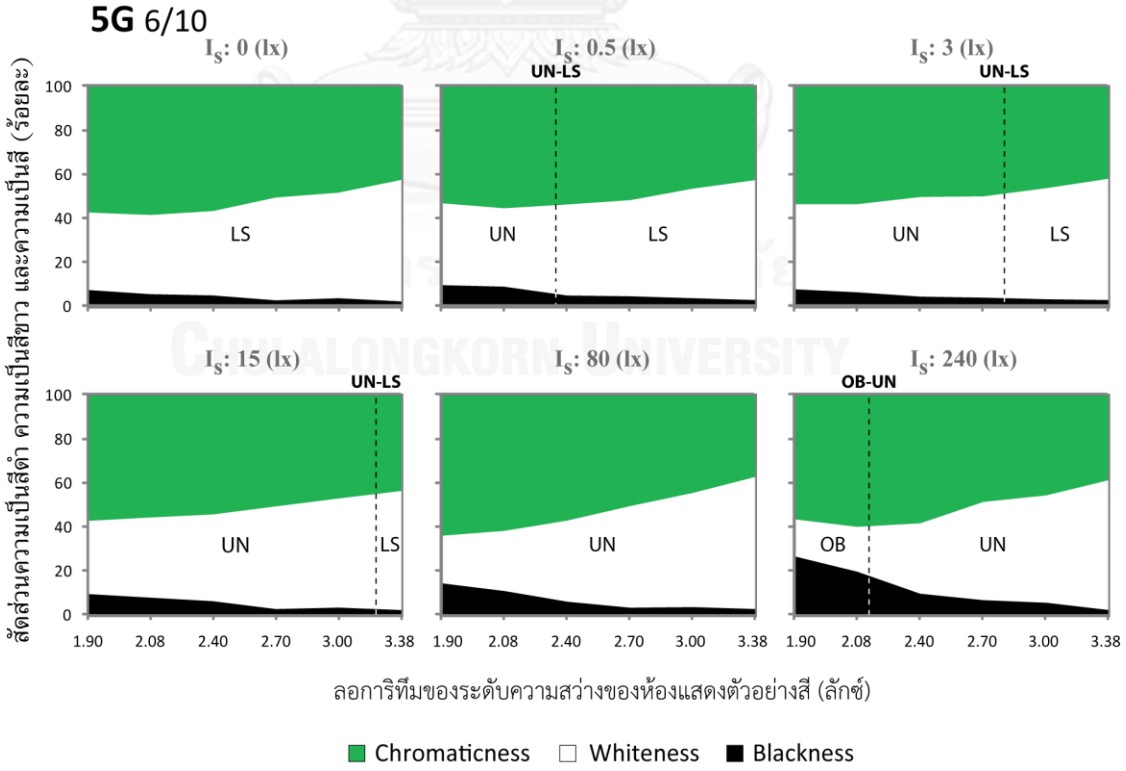
ภาพที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยปริมาณค่าองค์ประกอบสี และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5YR 7/12



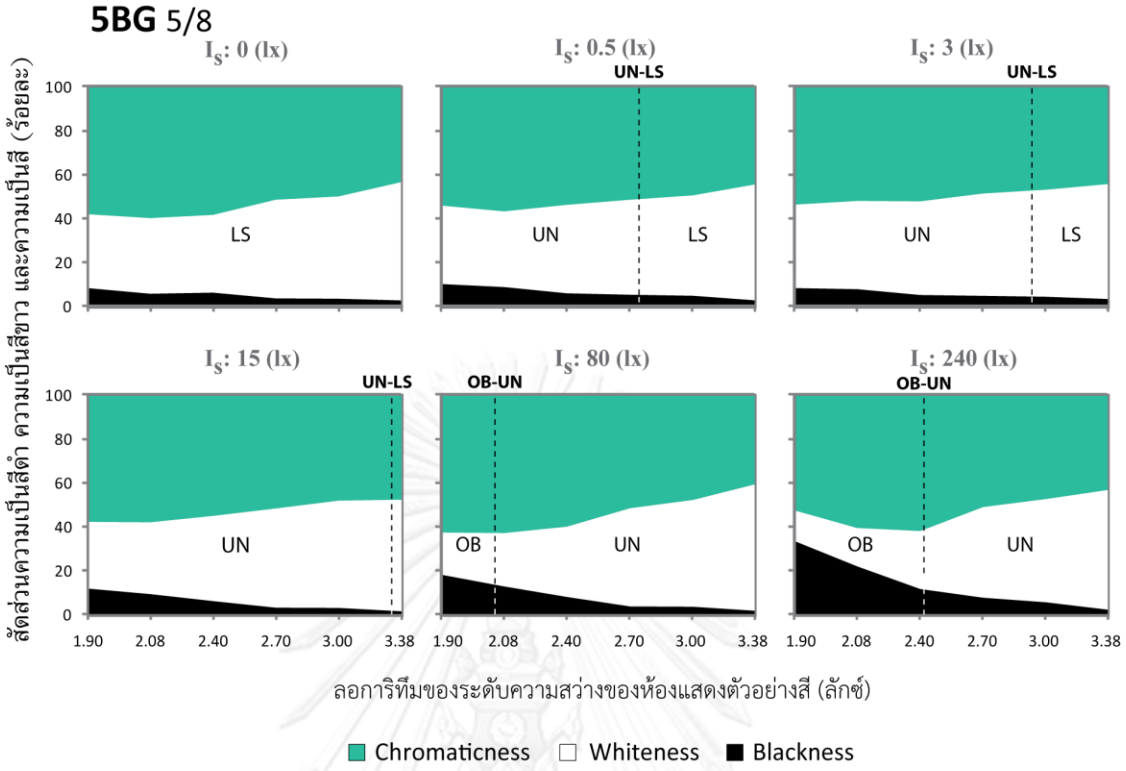
ภาพที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยปริมาณค่าองค์ประกอบสี และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5Y 8.5/12



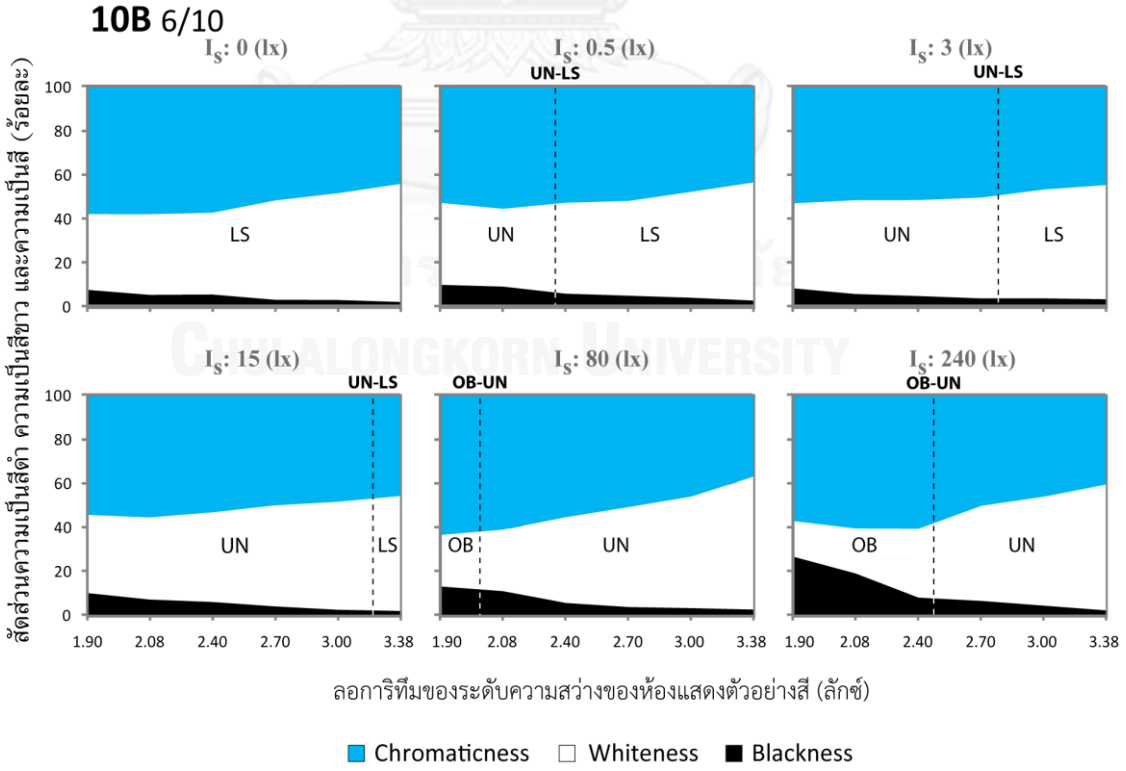
ภาพที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยปริมาณค่าองค์ประกอบสี และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5GY 8/10



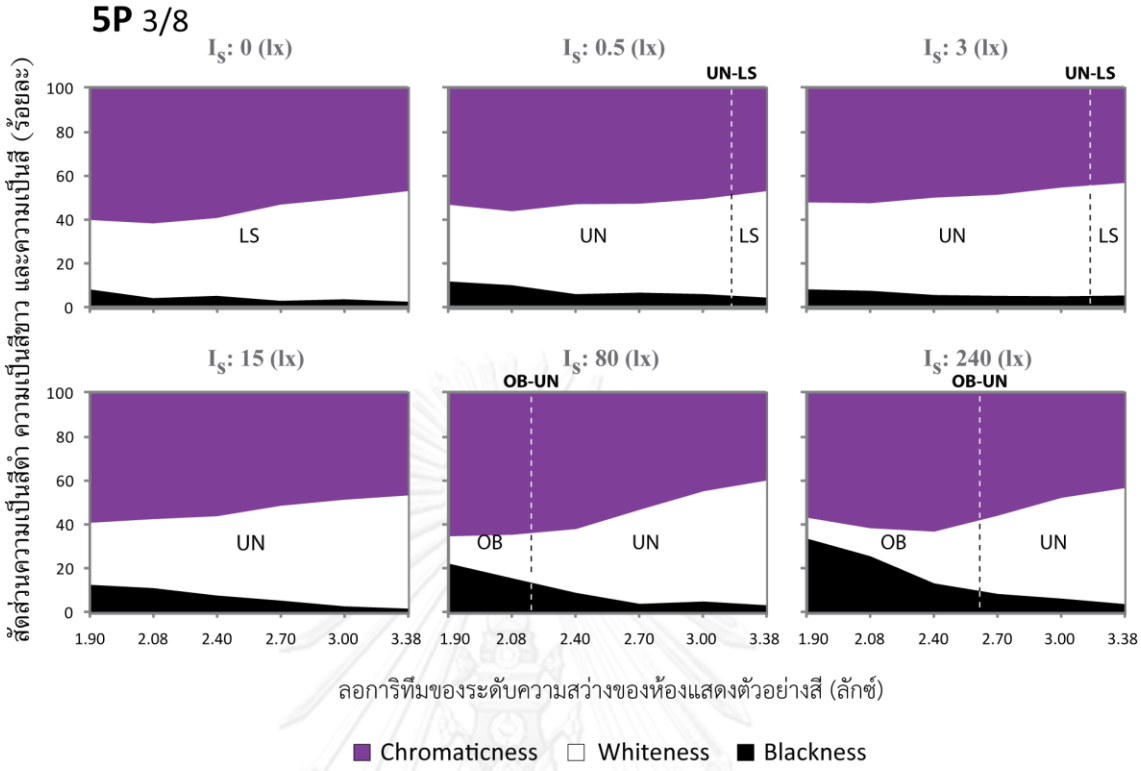
ภาพที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยปริมาณค่าองค์ประกอบสี และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5G 6/10



ภาพที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยปริมาณค่าองค์ประกอบสี และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5BG 5/8



ภาพที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยปริมาณค่าองค์ประกอบสี และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 10B 6/10



ภาพที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยปริมาณค่าองค์ประกอบสี และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5P 3/8

จากภาพที่ 4.6 - 4.13 ของตัวอย่างสีที่มีสีสัน จะแสดงสัดส่วนของความเป็นสีดำ (blackness) ในส่วนของพื้นที่สีดำ ความเป็นสีขาว (whiteness) ในพื้นที่สีขาว และความเป็นสี (chromaticness) ในส่วนพื้นสีของตัวอย่างสีนั้น ผลจากระดับความสว่างภายในห้องผู้สังเกตทั้ง 6 ระดับ แสดงสัดส่วนของค่าองค์ประกอบสีที่แตกต่างกันดังนี้

1) ความเป็นสีดำ (blackness) จะมีปริมาณโดยรวมเพิ่มขึ้น เมื่อระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นจาก 0 ลักซ์ จนถึง 0.5 ลักซ์ แต่เมื่อระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นจนถึง 3 ลักซ์ ความเป็นสีดำจะมีปริมาณลดลง และจะมีปริมาณโดยรวมเพิ่มมากขึ้นเมื่อระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นจาก 15 ลักซ์ จนถึง 240 ลักซ์ โดยที่ความสว่างของห้องผู้สังเกตที่ 0 ลักซ์ ของตัวอย่างสีที่มีสีสันทุกสี จะมีปริมาณความเป็นสีดำต่ำที่สุด ในขณะที่ความสว่างของห้องผู้สังเกตที่ 240 ลักซ์ จะมีปริมาณความเป็นสีดำสูงที่สุด และเมื่อระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสีเพิ่มขึ้นจาก 80 ลักซ์ จนถึง 2400 ลักซ์ ปริมาณความเป็นสีดำจะมีแนวโน้มที่ลดลง โดยที่ระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสีที่ 80 ลักซ์ ของตัวอย่างสีที่มีสีสันทุกสี จะมีปริมาณความเป็นสีดำสูงที่สุด ในขณะที่ความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสีที่ 2400 ลักซ์ จะมีปริมาณความเป็นสีดำต่ำที่สุด

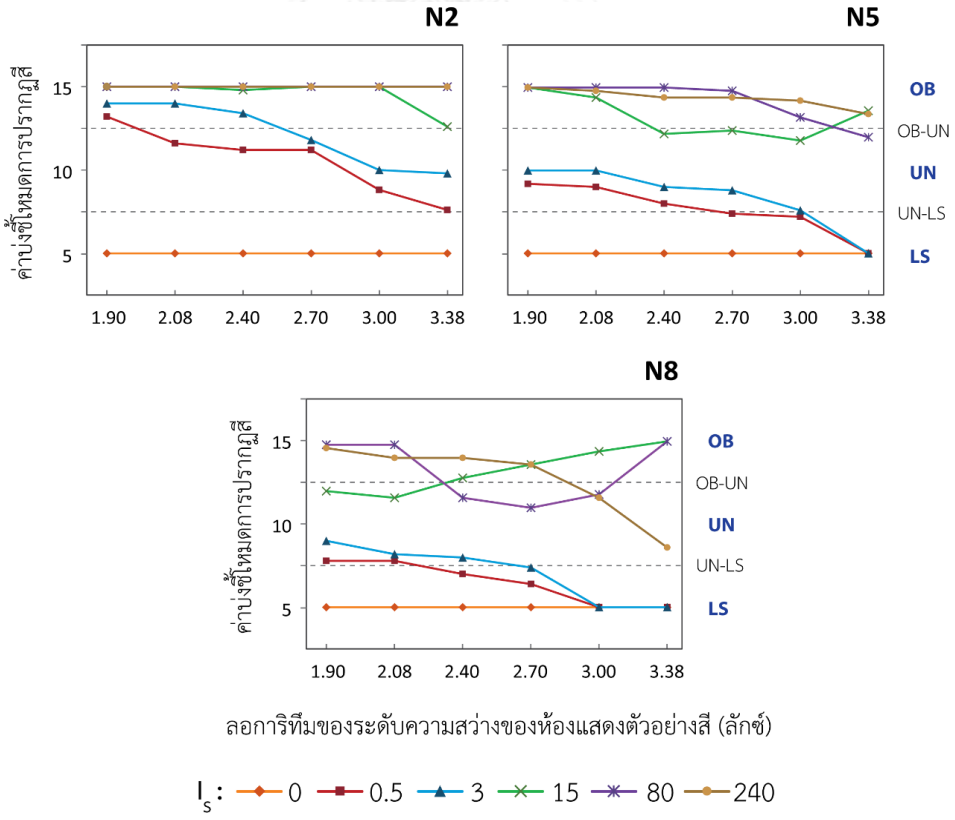
2) ความเป็นสีขาว (whiteness) จะมีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสีเพิ่มขึ้นจาก 80 ลักซ์ จนถึง 2400 ลักซ์ โดยที่ความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสีที่ 2400 ลักซ์ จะมีปริมาณความเป็นสีขาวมากสุด

3) ความเป็นสี (chromaticness) จะมีปริมาณลดลง เมื่อระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสีเพิ่มขึ้นจาก 80 ลักซ์ จนถึง 2400 ลักซ์ ความเป็นสีโดยรวมที่ความสว่างของห้องผู้สังเกต 0 ลักซ์ จนถึง 15 ลักซ์ จะเปลี่ยนแปลงไม่มาก แม้ความสว่างในห้องแสดงตัวอย่างสีจะเปลี่ยนแปลงไป แต่เมื่อระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตเท่ากับ 80 ลักซ์ จนถึง 240 ลักซ์ ความเป็นสีจะเปลี่ยนแปลงมาก เมื่อความสว่างในห้องแสดงตัวอย่างสีเปลี่ยนจาก 250 ลักซ์ ไปเป็น 2400 ลักซ์

4.2 โหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี

4.2.1 ตัวอย่างสีที่ไม่มีสีสัน (achromatic)

โหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสีที่ไม่มีสีสัน ได้แก่ N2, N5 และ N8 แสดงในภาพที่ 4.14 โดยแกน X แสดงค่าลอการิทึมของระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสีทั้ง 6 ระดับ ได้แก่ 80, 120, 250, 500, 1000 และ 2400 ลักซ์ ส่วนแกน Y แสดงค่าบ่งชี้โหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี ภายใต้ระดับความสว่างของห้องผู้สังเกต (I_S) ทั้ง 6 ระดับ ได้แก่ 0, 0.5, 3, 15, 80 และ 240 ลักซ์ โดยโหมดการปรากฏสีทั้ง 3 โหมดได้แก่ โหมด object color (OB), unnatural object color (UN) และ light source color (LS) โดยใช้เส้นประเพื่อแสดงขีดเริ่มเปลี่ยนระหว่างโหมดการปรากฏสีทั้งสองโหมด ซึ่งได้แก่ OB-UN และ UN-LS



ภาพที่ 4.14 โหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี N2, N5 และ N8

ตารางที่ 4.1 โหมดการปรากฏสีและขีดเริ่มเปลี่ยนของตัวอย่างสีที่ไม่มีสี (achromatic)

ตัวอย่างสี / I_S (lx)	โหมดการปรากฏสี และขีดเริ่มเปลี่ยน I_T (lx)		
	N2	N5	N8
0	LS	LS	LS
0.5	OB-UN 95		
		UN-LS 440	UN-LS 160
3	OB-UN 360		
		UN-LS 1020	UN-LS 440
15	OB	OB-UN 230	
		UN-OB 1410	UN-OB 210
80	OB	OB-UN 1660	OB-UN 200
			UN-OB 1230
240	OB	OB	OB-UN 720

LS คือ โหมด light source color

UN คือ โหมด unnatural object color

OB คือ โหมด object color

OB-UN คือ ขีดเริ่มเปลี่ยนระหว่างโหมด object color และ unnatural object color

UN-LS คือ ขีดเริ่มเปลี่ยนระหว่างโหมด unnatural object color และ light source color

I_S คือ ระดับความสว่างในห้องผู้สังเกต (subject room)

I_T คือ ระดับความสว่างในห้องแสดงตัวอย่างสี (test room)

จากภาพที่ 4.14 แสดงให้เห็นถึงโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี N2, N5 และ N8 ที่ปรากฏภายใต้ระดับความสว่างที่แตกต่างกัน โดยขีดเริ่มเปลี่ยนโหมดการปรากฏสีของแต่ละตัวอย่างสีแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งเมื่อนำผลดังกล่าวมาแสดงผลร่วมกับค่าความเป็นสีของตัวอย่างสี จะได้ผลความสัมพันธ์ระหว่างโหมดการปรากฏสีและค่าสีที่ปรากฏ ดังแสดงในภาพ 4.2, 4.3 และ 4.4 ดังนี้

1) ภายใต้ระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตที่ 0 ลักซ์ ของตัวอย่างสี N2, N5 และ N8 จะปรากฏในโหมด light source color เพียงโหมดเดียว โดยปรากฏความเป็นสีขาวเพิ่มมากขึ้นเมื่อระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสีเพิ่มขึ้น

2) เมื่อความสว่างของห้องผู้สังเกตค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเป็น 0.5, 3, 15, 80 และ 240 ลักซ์ ผู้สังเกตจะเริ่มเห็นตัวอย่างสีปรากฏในโหมด object color และโหมด unnatural object color ดังรายละเอียดที่แสดงต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

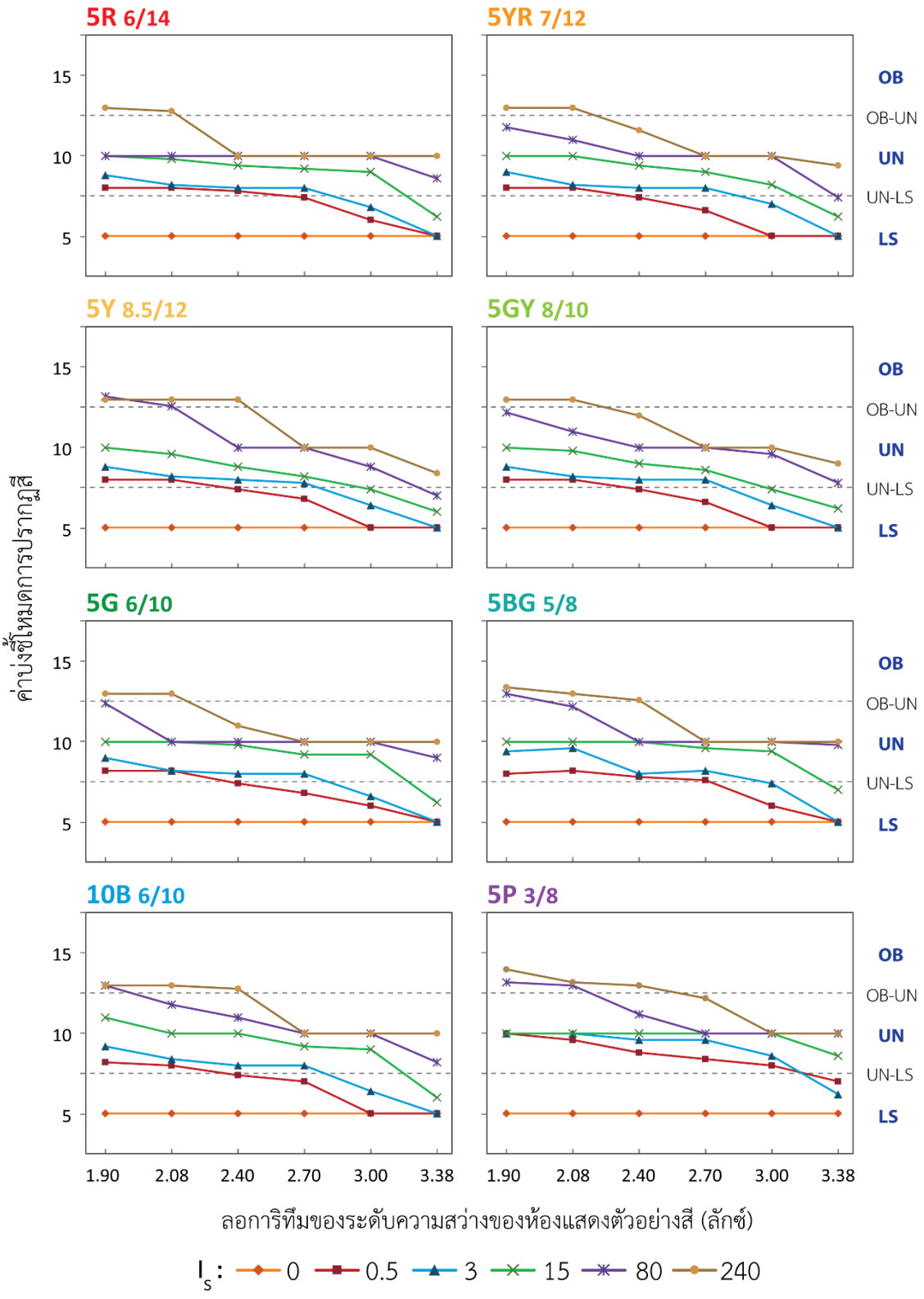
- เมื่อระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นเป็น 0.5 และ 3 ลักซ์ ตัวอย่างสี N2 จะเป็นสีแรกที่ปรากฏในโหมด object color และค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นโหมด unnatural object color เมื่อความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสีเพิ่มขึ้น ในขณะที่ตัวอย่างสี N5 และ N8 ซึ่งปรากฏในโหมด unnatural object color จะเปลี่ยนเป็นโหมด light source color เมื่อระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสีค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ซึ่งตัวอย่างสีจะปรากฏความเป็นสีขาวเพิ่มมากขึ้น

- เมื่อระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นเป็น 15 ลักซ์ จนถึง 240 ลักซ์ ตัวอย่างสี N2 , N5 และ N8 จะมีความเป็นสีขาวลดลง โดยตัวอย่างสี N2 ซึ่งปรากกฏในโหมด object color เพียงโหมดเดียว จะมีความเป็นสีขาวน้อยที่สุด ในขณะที่ตัวอย่างสี N5 และ N8 จะปรากฏในโหมด object color และโหมด unnatural object color โดยมีการเปลี่ยนแปลงโหมดการปรากฏสีถึง 2 ครั้ง ในตัวอย่างสี N5 และ N8 ที่ระดับความสว่าง 15 ลักซ์ และ 80 ลักซ์ ตามลำดับ จากโหมด object color ไปเป็นโหมด unnatural object color และกลับมาเป็นโหมด object color อีกครั้ง ซึ่งการเปลี่ยนโหมดดังกล่าวทำให้ตัวอย่างสีปรากฏความเป็นสีขาวเพิ่มมากขึ้น เมื่อระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสีเพิ่มขึ้น

3) ทุกโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสีที่ไม่มีสีสัน จะมีความเป็นสีดำลดลงเมื่อระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสีเพิ่มมากขึ้น

4.2.2 ตัวอย่างสีที่มีสีสัน (chromatic)

โหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสีที่มีสีสัน ได้แก่ 5R 6/14, 5YR 7/12, 5Y 8.5/12, 5GY 8/10, 5G 6/10, 5BG 5/8, 10B 6/10 และ 5P 3/8 แสดงในภาพที่ 4.15 โดยแกน X แสดงค่าลอการิทึมของระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสีทั้ง 6 ระดับ ได้แก่ 80, 120, 250, 500, 1000 และ 2400 ลักซ์ ส่วนแกน Y แสดงค่าบ่งชี้โหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี ภายใต้ระดับความสว่างของห้องผู้สังเกต (I_S) ทั้ง 6 ระดับ ได้แก่ 0, 0.5, 3, 15, 80 และ 240 ลักซ์ โดยโหมดการปรากฏสีทั้ง 3 โหมดได้แก่ โหมด object color (OB), unnatural object color (UN) และ light source color (LS) โดยใช้เส้นประเพื่อแสดงขีดเริ่มเปลี่ยนระหว่างโหมดการปรากฏสีทั้งสองโหมด ซึ่งได้แก่ OB-UN และ UN-LS



ภาพที่ 4.15 โหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5R, 5YR, 5Y, 5GY, 5G, 5BG, 10B และ 5P

ตารางที่ 4.2 โหมดการปรากฏสีและขีดเริ่มเปลี่ยนของตัวอย่างสีที่มีสีสัน (chromatic)

<table>
<tr><th rowspan="2">ตัวอย่างสี
I_S (lx)</th><th colspan="8">โหมดการปรากฏสี และขีดเริ่มเปลี่ยน
I_T (lx)</th></tr>
<tr><th>5R
6/14</th><th>5YR
7/12</th><th>5Y
8.5/12</th><th>5GY
8/10</th><th>5G
6/10</th><th>5BG
5/8</th><th>10B
6/10</th><th>5P
3/8</th></tr>
<tr><td>0</td><td>LS</td><td>LS</td><td>LS</td><td>LS</td><td>LS</td><td>LS</td><td>LS</td><td>LS</td></tr>
<tr><td>0.5</td><td>UN-LS
400</td><td>UN-LS
220</td><td>UN-LS
220</td><td>UN-LS
220</td><td>UN-LS
220</td><td>UN-LS
530</td><td>UN-LS
220</td><td>UN-LS
1550</td></tr>
<tr><td>3</td><td>UN-LS
660</td><td>UN-LS
710</td><td>UN-LS
580</td><td>UN-LS
620</td><td>UN-LS
630</td><td>UN-LS
910</td><td>UN-LS
620</td><td>UN-LS
1480</td></tr>
<tr><td rowspan="2">15</td><td>UN-LS
1590</td><td>UN-LS
1350</td><td>UN-LS
910</td><td>UN-LS
960</td><td>UN-LS
1660</td><td>UN-LS
2000</td><td>UN-LS
1550</td><td rowspan="2">UN</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">80</td><td rowspan="2">UN</td><td>UN-LS
2340</td><td>UN-LS
1860</td><td rowspan="2">UN</td><td rowspan="2">UN</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td>OB-UN
120</td><td>OB-UN
110</td><td>OB-UN
100</td><td>OB-UN
150</td></tr>
<tr><td>240</td><td>OB-UN
130</td><td>OB-UN
160</td><td>OB-UN
280</td><td>OB-UN
170</td><td>OB-UN
150</td><td>OB-UN
260</td><td>OB-UN
270</td><td>OB-UN
390</td></tr>
</table>

LS คือ โหมด light source color

UN คือ โหมด unnatural object color

OB คือ โหมด object color

OB-UN คือ ขีดเริ่มเปลี่ยนระหว่างโหมด object color และ unnatural object color

UN-LS คือ ขีดเริ่มเปลี่ยนระหว่างโหมด unnatural object color และ light source color

จากภาพที่ 4.15 แสดงให้เห็นถึงโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสีที่มีสีสันทั้ง 8 สี ที่ปรากฏภายใต้ระดับความสว่างที่แตกต่างกัน โดยขีดเริ่มเปลี่ยนโหมดการปรากฏสีของแต่ละตัวอย่างสีแสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งเมื่อนำผลดังกล่าวมาแสดงผลร่วมกับค่าความเป็นสีของตัวอย่างสี จะได้ผลความสัมพันธ์ระหว่างโหมดการปรากฏสีและค่าสีที่ปรากฏ ดังแสดงในภาพ 4.6 – 4.13 ดังนี้

1) ภายใต้ระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตที่ 0 ลักซ์ ซึ่งเป็นห้องที่มืดสนิท ตัวอย่างสีที่มีสีสันทุกตัวอย่างสีจะปรากฏในโหมด light source color เพียงโหมดเดียว โดยปรากฏความเป็นสีขาวเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ความเป็นสีดำและความเป็นสีลดลง เมื่อระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสีเพิ่มขึ้น

2) เมื่อระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นเป็น 0.5 ลักซ์ ผู้สังเกตจะเห็นตัวอย่างสีที่มีสีสันมีความดำเพิ่มขึ้น และเริ่มปรากฏให้เห็นในโหมด unnatural object color และเมื่อระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสีค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ตัวอย่างสี 5YR 6/14, 5Y 8.5/12, 5GY 8/10, 5G 6/10 และ 10B 6/10 จะเปลี่ยนเป็นโหมด light source color โดยขีดเริ่มเปลี่ยนจาก UN-LS อยู่

ที่ 220 ลักซ์ ส่วนตัวอย่างสี 5R 6/14, 5BG 5/8 และ 5P 3/8 มีขีดเริ่มเปลี่ยนจาก UN-LS ที่ 400, 530 และ 1550 ลักซ์ ตามลำดับ

3) ภายใต้ระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตที่ 3 ลักซ์ และ 15 ลักซ์ ผู้สังเกตจะเห็นตัวอย่างสี 5R 6/14, 5YR 7/12, 5Y 8.5/12, 5GY 8/10, 5G 6/10, 5BG 5/8 และ 10B 6/10 ซึ่งปรากฏในโหมด unnatural object color เปลี่ยนเป็นโหมด light source color มีความเป็นสีดำและความเป็นสีลดลง ในขณะที่ความเป็นสีขาวเพิ่มมากขึ้น โดยตัวอย่างสี 5Y 7/12 จะเป็นสีแรกที่เริ่มปรากฏการเปลี่ยนโหมดจาก UN-LS ส่วนตัวอย่างสี 5P 3/8 ที่ปรากฏภายใต้ระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตที่ 15 ลักซ์ จะปรากฏในโหมด unnatural object color เพียงโหมดเดียว ทั้งนี้เนื่องจากตัวอย่างสีนี้ มีค่า Value หรือความสว่าง เท่ากับ 3 ซึ่งมีค่าต่ำที่สุดในตัวอย่างสีที่ใช้ทั้ง 8 สี

เมื่อพิจารณาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของสีแดง 5R 6/14 และสีน้ำเงิน 10B 6/10 ซึ่งมีค่าความสว่าง (value) เท่ากัน เท่ากับ 6 ในสภาวะแสงน้อย 0.5 ลักซ์ จะพบว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของสีแดงมีค่าสูงกว่าสีน้ำเงินประมาณ 2 เท่า นั่นหมายความว่าจะต้องเพิ่มให้สีแดงมากขึ้น 2 เท่า ถึงจะปรากฏเป็นโหมดเดียวกันกับสีน้ำเงิน ซึ่งสอดคล้องกับความจริงที่ว่าสีของวัตถุส่งผลต่อการรับรู้ความสว่างจากการทดลองของอิเคดะและคณะ [24] ซึ่งอธิบายว่าความสว่าง (brightness) ของสีแดงจะค่อย ๆ ลดลง เมื่อการส่องสว่างของห้องลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเซลล์รับแสงรูปแท่งซึ่งมีความไวแสงต่อความยาวคลื่นยาว (สีแดง) นั้นมีต่ำมาก ที่ความสว่าง 0.5 ลักซ์นี้ สีแดงปรากฏว่ามืดมากเพราะว่าเซลล์รูปแท่งตอบสนอง ทำให้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนสูงเมื่อเทียบกับสีน้ำเงินที่มีค่า value เท่ากัน ส่วนที่ระดับความสว่างต่ำสโกโทปิก เซลล์รูปแท่งไวต่อช่วงความยาวคลื่นสั้นมากกว่า ทำให้สีน้ำเงินปรากฏว่าสว่างมากกว่า จึงมีผลให้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของสีน้ำเงิน 10B 6/10 ต่ำกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของสีแดง ที่ความสว่างของห้องผู้สังเกต 0.5 ลักซ์

4) ที่ระดับความสว่างของห้องผู้สังเกต 80 ลักซ์ ตัวอย่างสีจะปรากฏความเป็นสีดำเพิ่มขึ้น โดยตัวอย่างสี 5Y 8.5/12, 5BG 5/8, 10B 6/10 และ 5P 3/8 จะเริ่มปรากฏในโหมด object color และเปลี่ยนเป็นโหมด unnatural object color เมื่อระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสีเพิ่มขึ้น ทำให้ความเป็นสีดำและความเป็นสีลดลง ในขณะที่ความเป็นสีขาวเพิ่มมากขึ้น

5) ที่ระดับความสว่างของห้องผู้สังเกต 240 ลักซ์ จะไม่มีตัวอย่างสีใดปรากฏในโหมด light source color แต่จะปรากฏเพียงโหมด object color และโหมด unnatural object color โดยตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด object color จะมีความเป็นสีดำมากที่สุด

4.3 ค่าของสีสันที่ปรากฏของตัวอย่างสี

ผลการรับรู้สีสันภายใต้โหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสีที่มีสีสันทั้ง 8 สี ที่ได้จากการบอกค่าความเป็นสี (chromaticness) ได้แก่ ความเป็นสีแดง (red), สีเหลือง (yellow), สีเขียว (green) และสีน้ำเงิน (blue) ของตัวอย่างสีที่มีสีสัน มาคำนวณหาค่ามุมการปรากฏสี (hue angle) และตำแหน่งของสีสันที่ปรากฏ ภายใต้ระดับความสว่างของห้องผู้สังเกต (I_S) ทั้ง 6 ระดับ ซึ่งผลที่ได้มีดังนี้

4.3.1 ตัวอย่างสี 5R 6/14

จากตารางที่ 4.3 แสดงค่าความเป็นสี และมุมการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5R 6/14 ร่วมกับกราฟวงกลมแสดงความเป็นสีสัน และโหมดการปรากฏสี ในภาพที่ 4.16 ซึ่งผลที่ได้มีดังนี้

1) ภายใต้ระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตที่ 0 ลักซ์ ตัวอย่างสีแดง 5R 6/14 จะปรากฏในโหมด light source color เพียงโหมดเดียว โดยจะมีความอิ่มตัวสีมากที่สุดที่ระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสี 80 ลักซ์ และ 120 ลักซ์

2) เมื่อความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นเป็น 0.5 ลักซ์ ตัวอย่างสีจะปรากฏในโหมด unnatural object color ที่ระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสี 80 ลักซ์ จนถึง 250 ลักซ์ ผู้สังเกตจะเห็นตัวอย่างสีแดงมีความอิ่มตัวสีลดลง และมีความเป็นสีดำเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตที่ 3 ลักซ์ ตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด unnatural object color จะมีความอิ่มตัวของสีลดลงอีกเล็กน้อย และความเป็นสีดำจะมีค่าที่ลดลง

3) เมื่อระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นเป็น 15 ลักซ์ และ 80 ลักซ์ ตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด unnatural object color จะเริ่มมีความอิ่มตัวสีเพิ่มมากขึ้น โดยความอิ่มตัวสีจะมีค่าสูงสุดที่ระดับความสว่างของห้องผู้สังเกต 80 ลักซ์ และมีความเป็นสีดำเพิ่มมากขึ้น สภาวะการมองเห็นเป็นแบบโฟโทปิก ซึ่งเมื่อความสว่างสูงขึ้น colorfulness ของวัตถุจะสูงขึ้นด้วย ผู้สังเกตจึงมองเห็นว่าวัตถุมีสีสดขึ้น

4) เมื่อระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นจนถึง 240 ลักซ์ ตัวอย่างสีจะปรากฏในโหมด object color และโหมด unnatural object color โดยตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด object color จะมีความอิ่มตัวสีลดลงเล็กน้อย และมีความเป็นสีดำสูงมากที่สุด

5) การรับรู้สีสัน (hue) ของตัวอย่างสี 5R 6/14 ที่ปรากฏให้เห็นทุกโหมดการปรากฏสี จะมีค่ามุมการปรากฏสี (hue angle) ที่ใกล้เคียงกัน ทำให้ผู้สังเกตมองเห็นตัวอย่างสีเป็นสีแดงในทุกสภาวะแสง โดยแต่ละโหมดการปรากฏสีมีค่าเฉลี่ยดังนี้

- ค่าเฉลี่ย hue angle ในโหมด light source color เท่ากับ 10.5
- ค่าเฉลี่ย hue angle ในโหมด unnatural object color เท่ากับ 10
- ค่าเฉลี่ย hue angle ในโหมด object color เท่ากับ 6.5
- ขอบเขตของ hue angle เท่ากับ 4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

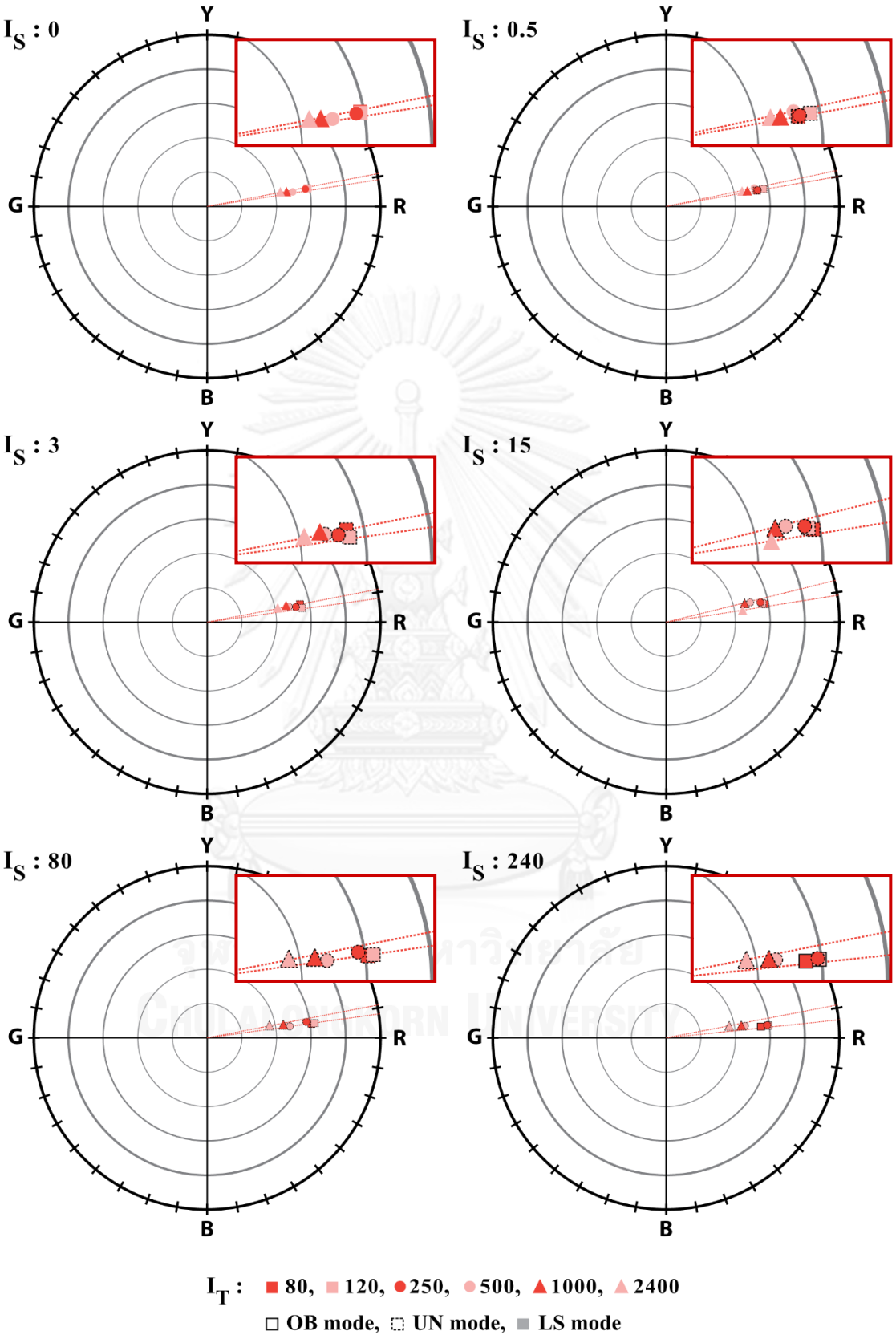
ตัวอย่างสี 5R 6/14 มีทิศทางการเปลี่ยนแปลงของสีสันไปในทิศทางของสีเหลือง หรือทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อโหมดการปรากฏสีเปลี่ยนแปลงจากโหมด object color ไปเป็นโหมด unnatural object color และโหมด light source color ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ค่า Hue angle ของตัวอย่างสี 5R 6/14 จากการรับรู้ค่าความเป็นสี (chromaticness), ความเป็นสีขาว (whiteness) และความเป็นสีดำ (blackness) ภายใต้สภาวะการทดสอบทั้งหมด

5R 6/14	I_S: 0 lx						I_S: 15 lx					
I_T: (lx)	80	120	250	500	1000	2400	80	120	250	500	1000	2400
Hue angle	10	10	10	9	10	11	10	11	12	13	14	9
Chromaticness	60	60	59	51	48	44	59	58	57	52	49	46
Whiteness	34	36	37	46	49	54	33	36	39	45	49	53
Blackness	6	4	4	3	3	2	8	6	4	3	2	1
	I_S: 0.5 lx						I_S: 80 lx					
Hue angle	10	10	11	12	11	12	8	8	9	8	10	11
Chromaticness	54	58	55	54	49	46	62	64	59	49	46	38
Whiteness	37	35	41	42	48	52	24	27	37	48	51	60
Blackness	9	7	4	4	3	2	14	9	4	3	3	2
	I_S: 3 lx						I_S: 240 lx					
Hue angle	10	8	10	11	11	11	6	7	7	9	9	11
Chromaticness	56	56	53	50	48	43	56	60	60	47	45	38
Whiteness	38	39	43	47	49	54	17	21	32	48	52	60
Blackness	6	5	4	3	3	3	27	19	8	5	3	2

LS-mode UN-mode OB-mode

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4.16 ค่าสีสัน (hue) และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5R 6/14

4.3.2 ตัวอย่างสี 5YR 7/12

จากตารางที่ 4.4 แสดงค่าความเป็นสี และมุมการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5YR 7/12 ร่วมกับกราฟวงกลมแสดงความเป็นสีสัน และโหมดการปรากฏสี ในภาพที่ 4.17 ซึ่งผลที่ได้มีดังนี้

1) ภายใต้ระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตที่ 0 ลักซ์ ตัวอย่างสีเหลืองแดง 5YR 7/12 จะปรากฏในโหมด light source color เพียงโหมดเดียว โดยจะมีความอิ่มตัวสีมากที่สุดที่ระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสี 120 ลักซ์

2) เมื่อความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นเป็น 0.5 ลักซ์ ตัวอย่างสีจะปรากฏในโหมด unnatural object color ที่ระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสี 80 ลักซ์ และ 120 ลักซ์ โดยผู้สังเกตจะเห็นตัวอย่างสีมีความอิ่มตัวสีลดลง และมีความเป็นสีดำเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตที่ 3 ลักซ์ ตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด unnatural object color จะมีความอิ่มตัวของสีลดลงอีกเล็กน้อย และความเป็นสีดำจะมีค่าที่ลดลง

3) เมื่อระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นเป็น 15 ลักซ์ และ 80 ลักซ์ ตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด unnatural object color จะเริ่มมีความอิ่มตัวสีเพิ่มมากขึ้น โดยความอิ่มตัวสีจะมีค่าสูงสุดที่ระดับความสว่างของห้องผู้สังเกต 80 ลักซ์ และมีความเป็นสีดำเพิ่มมากขึ้น

4) เมื่อระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นจนถึง 240 ลักซ์ ตัวอย่างสีจะปรากฏในโหมด object color และ unnatural object color โดยตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด object color จะมีความอิ่มตัวสีลดลงเล็กน้อย และมีความเป็นสีดำสูงมากที่สุด

5) การรับรู้สีสัน (hue) ของตัวอย่างสี 5YR 7/12 ที่ปรากฏให้เห็นทุกโหมดการปรากฏสี จะมีค่ามุมการปรากฏสี (hue angle) ที่ใกล้เคียงกัน ทำให้ผู้สังเกตมองเห็นตัวอย่างสีเป็นสีเหลืองแดงในทุกสภาวะแสง โดยแต่ละโหมดการปรากฏสีมีค่าเฉลี่ยดังนี้

- ค่าเฉลี่ย hue angle ในโหมด light source color เท่ากับ 64.14
- ค่าเฉลี่ย hue angle ในโหมด unnatural object color เท่ากับ 63.05
- ค่าเฉลี่ย hue angle ในโหมด object color เท่ากับ 62.5
- ขอบเขตของ hue angle เท่ากับ 1.64

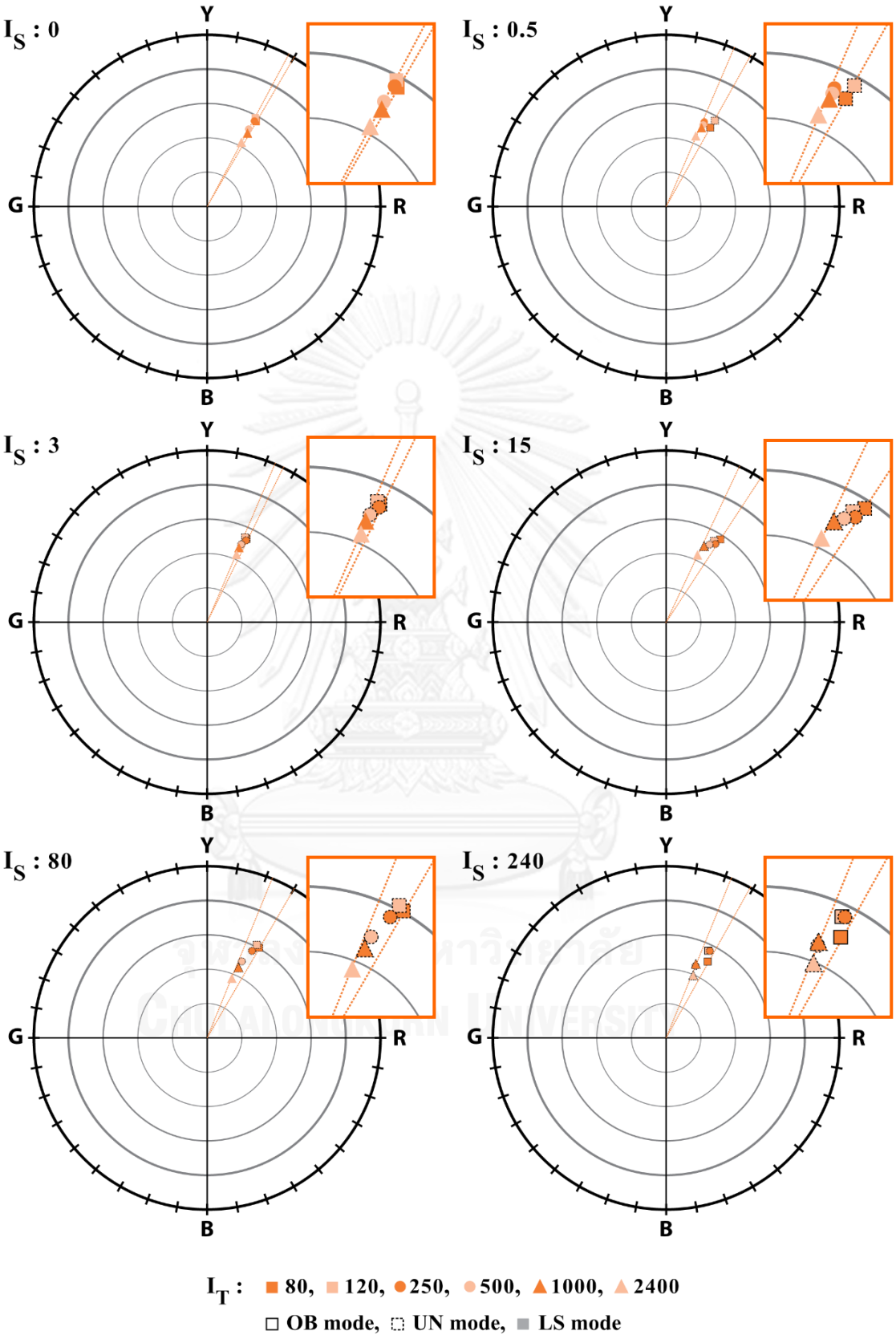
ตัวอย่างสี 5YR 7/12 มีทิศทางการเปลี่ยนแปลงของสีสันไปในทิศทางของสีเหลืองหรือทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อโหมดการปรากฏสีเปลี่ยนแปลงจากโหมด object color ไปเป็นโหมด unnatural object color และโหมด light source color ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 ค่า Hue angle ของตัวอย่างสี 5YR 7/12 จากการรับรู้ค่าความเป็นสี (chromaticness), ความเป็นสีขาว (whiteness) และความเป็นสีดำ (blackness) ภายใต้สภาวะการทดสอบทั้งหมด

5YR 7/12	I_S: 0 lx						I_S: 15 lx					
I_T: (lx)	80	120	250	500	1000	2400	80	120	250	500	1000	2400
Hue angle	60	61	61	62	61	62	57	59	58	61	63	65
Chromaticness	59	60	58	53	50	44	58	56	55	53	50	44
Whiteness	35	36	38	45	47	55	34	38	41	45	48	54
Blackness	6	4	4	2	3	1	8	6	4	2	2	2
	I_S: 0.5 lx						I_S: 80 lx					
Hue angle	61	61	66	66	66	67	60	62	63	66	66	68
Chromaticness	54	59	55	53	51	46	61	62	58	50	45	38
Whiteness	38	34	41	44	46	52	25	28	38	47	52	61
Blackness	8	7	4	3	3	2	14	10	4	3	3	1
	I_S: 3 lx						I_S: 240 lx					
Hue angle	64	66	64	66	67	66	61	64	63	67	68	66
Chromaticness	55	55	54	50	48	44	52	57	58	47	48	41
Whiteness	39	40	43	47	49	54	18	24	34	48	49	57
Blackness	6	5	3	3	3	2	30	19	8	5	3	2

LS-mode UN-mode OB-mode

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4.17 ค่าสีสัน (hue) และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5YR 7/12

4.3.3 ตัวอย่างสี 5Y 8.5/12

จากตารางที่ 4.5 แสดงค่าความเป็นสี และมุมการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5Y 8.5/12 ร่วมกับกราฟวงกลมแสดงความเป็นสีสัน และโหมดการปรากฏสี ในภาพที่ 4.18 ซึ่งผลที่ได้มีดังนี้

1) ภายใต้ระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตที่ 0 ลักซ์ ตัวอย่างสีเหลือง 5Y 8.5/12 จะปรากฏในโหมด light source color เพียงโหมดเดียว โดยจะมีความอิ่มตัวสีมากที่สุดที่ระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสี 80 ลักซ์

2) เมื่อความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นเป็น 0.5 ลักซ์ ตัวอย่างสีจะปรากฏในโหมด unnatural object color ที่ระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสี 80 ลักซ์ และ 120 ลักซ์ โดยผู้สังเกตจะเห็นตัวอย่างสีเหลืองมีความอิ่มตัวสีลดลง และมีความเป็นสีดำเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตที่ 3 ลักซ์ ตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด unnatural object color จะมีความอิ่มตัวของสีลดลงอีกเล็กน้อย และความเป็นสีดำจะมีค่าที่ลดลง

3) เมื่อระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นเป็น 15 ลักซ์ ตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด unnatural object color จะเริ่มมีความอิ่มตัวสีเพิ่มมากขึ้น และมีความเป็นสีดำเพิ่มมากขึ้น

4) เมื่อระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นเป็น 80 ลักซ์ ตัวอย่างสีจะปรากฏในโหมด object color , unnatural object color และ light source color โดยตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด object color จะมีความอิ่มตัวสีสูงที่สุด และมีความดำเพิ่มมากขึ้น

5) เมื่อระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นจนถึง 240 ลักซ์ ตัวอย่างสีจะปรากฏในโหมด object color และโหมด unnatural object color โดยตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด object color จะมีความอิ่มตัวสีลดลง และมีความเป็นสีดำสูงมากที่สุด

6) การรับรู้สีสัน (hue) ของตัวอย่างสี 5Y 8.5/12 ที่ปรากฏให้เห็นทุกโหมดการปรากฏสี จะมีค่ามุมการปรากฏสี (hue angle) ที่แตกต่างกันเพียง 1° ทำให้ผู้สังเกตมองเห็นตัวอย่างสีเป็นสีเหลืองในทุกสภาวะแสง โดยแต่ละโหมดการปรากฏสีมีค่าเฉลี่ยดังนี้

- ค่าเฉลี่ย hue angle ในโหมด light source color เท่ากับ 90.07
- ค่าเฉลี่ย hue angle ในโหมด unnatural object color เท่ากับ 90.13
- ค่าเฉลี่ย hue angle ในโหมด object color เท่ากับ 91.2
- ขอบเขตของ hue angle เท่ากับ 1.13

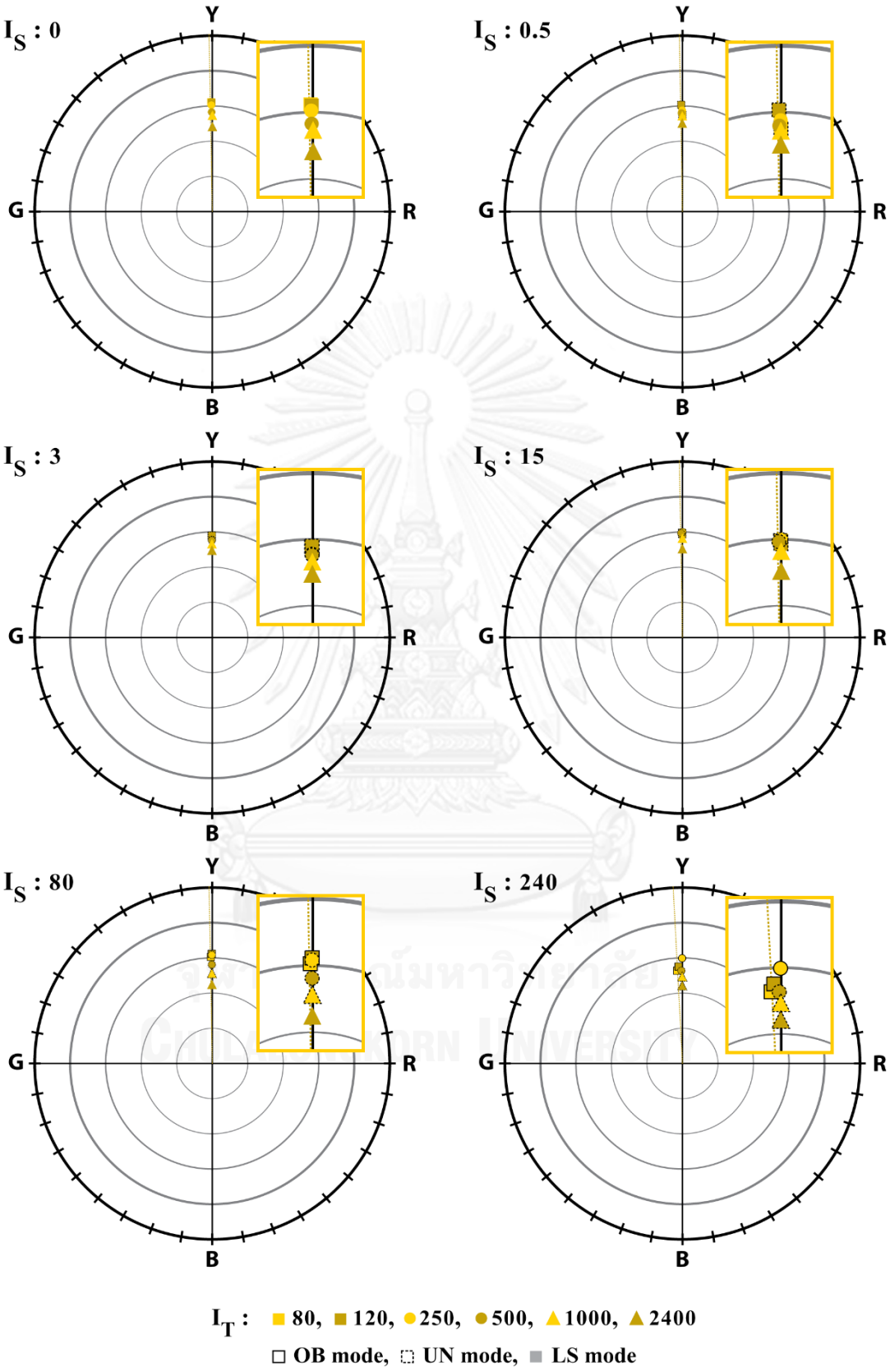
ตัวอย่างสี 5Y 8.5/12 มีทิศทางการเปลี่ยนแปลงของสีสันไปในทิศทางของสีแดงหรือตามเข็มนาฬิกาเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อโหมดการปรากฏสีเปลี่ยนแปลงจากโหมด object color ไปเป็นโหมด unnatural object color และโหมด light source color ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 ค่า Hue angle ของตัวอย่างสี 5Y 8.5/12 จากการรับรู้ค่าความเป็นสี (chromaticness), ความเป็นสีขาว (whiteness) และความเป็นสีดำ (blackness) ภายใต้สภาวะการทดสอบทั้งหมด

5Y 8.5/12	I_S: 0 lx						I_S: 15 lx					
I_T: (lx)	80	120	250	500	1000	2400	80	120	250	500	1000	2400
Hue angle	91	90	90	90	90	90	90	90	90	91	90	90
Chromaticness	62	61	60	56	54	48	59	58	59	59	56	50
Whiteness	33	36	36	42	44	50	34	36	37	39	43	49
Blackness	5	3	4	2	2	2	7	6	4	2	1	1
	I_S: 0.5 lx						I_S: 80 lx					
Hue angle	90	91	90	90	90	90	91	90	90	90	90	90
Chromaticness	55	60	57	55	54	50	60	62	61	56	51	45
Whiteness	38	34	40	42	43	48	27	30	35	42	46	53
Blackness	7	6	3	3	3	2	13	8	4	2	3	2
	I_S: 3 lx						I_S: 240 lx					
Hue angle	90	90	90	90	90	90	93	92	90	90	90	90
Chromaticness	57	57	55	54	53	49	52	55	59	52	49	44
Whiteness	37	39	42	43	45	49	19	23	33	43	48	55
Blackness	6	4	3	3	2	2	29	22	8	5	3	1

LS-mode UN-mode OB-mode

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4.18 ค่าสีสัน (hue) และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5Y 8.5/12

4.3.4 สีสันของตัวอย่างสี 5GY 8/10

จากตารางที่ 4.6 แสดงค่าความเป็นสี และมุมการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5GY 8/10 ร่วมกับกราฟวงกลมแสดงความเป็นสีสัน และโหมดการปรากฏสี ในภาพที่ 4.19 ซึ่งผลที่ได้มีดังนี้

1) ภายใต้ระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตที่ 0 ลักซ์ ตัวอย่างสีเขียวเหลือง 5GY 8/10 จะปรากฏในโหมด light source color เพียงโหมดเดียว โดยจะมีความอิ่มตัวสีมากที่สุดที่ระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสี 80 ลักซ์ และ 120 ลักซ์ แต่เมื่อระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสี เพิ่มขึ้นเป็น 80 ลักซ์ จนถึง 2400 ลักซ์ ตัวอย่างสีจะมีความอิ่มตัวสีที่ลดลง และปรากฏความเป็นสีเหลืองมากขึ้น

2) เมื่อความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นเป็น 0.5 ลักซ์ ตัวอย่างสีจะปรากฏในโหมด unnatural object color ที่ระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสี 80 ลักซ์ และ 120 ลักซ์ โดยผู้สังเกตจะเห็นตัวอย่างสีเขียวเหลืองมีความอิ่มตัวสีลดลง มีสีเหลืองเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และมีความเป็นสีดำเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตที่ 3 ลักซ์ ตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด unnatural object color จะมีความอิ่มตัวของสีลดลงอีกเล็กน้อย และความเป็นสีดำจะมีค่าที่ลดลง

3) เมื่อระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นเป็น 15 ลักซ์ ตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด unnatural object color จะเริ่มมีความอิ่มตัวสีเพิ่มมากขึ้น และมีความเป็นสีดำเพิ่มมากขึ้น

4) เมื่อระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นเป็น 80 ลักซ์ ตัวอย่างสีจะปรากฏในโหมด unnatural object color เพียงโหมดเดียว จะมีความอิ่มตัวสีสูงที่สุด และมีความดำเพิ่มมากขึ้น

5) เมื่อระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นจนถึง 240 ลักซ์ ตัวอย่างสีจะปรากฏในโหมด object color และ unnatural object color โดยตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด object color จะมีความอิ่มตัวสีลดลง และมีความเป็นสีดำสูงมากที่สุด

6) การรับรู้สีสัน (hue) ของตัวอย่างสี 5GY 8/10 ที่ปรากฏให้เห็นทุกโหมดการปรากฏสี จะมีค่ามุมการปรากฏสี (hue angle) ที่แตกต่างกันมากในโหมด light source color ทำให้ผู้สังเกตมองเห็นตัวอย่างสีมีสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น เมื่อระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสีเพิ่มขึ้น โดยแต่ละโหมดการปรากฏสีมีค่าเฉลี่ยดังนี้

- ค่าเฉลี่ย hue angle ในโหมด light source color เท่ากับ 113.79
- ค่าเฉลี่ย hue angle ในโหมด unnatural object color เท่ากับ 115.95
- ค่าเฉลี่ย hue angle ในโหมด object color เท่ากับ 122
- ขอบเขตของ hue angle เท่ากับ 8.21

ตัวอย่างสี 5GY 8/10 มีทิศทางการเปลี่ยนแปลงของสีสันไปในทิศทางของสีเหลือง หรือตามเข็มนาฬิกา เมื่อโหมดการปรากฏสีเปลี่ยนแปลงจากโหมด object color ไปเป็นโหมด

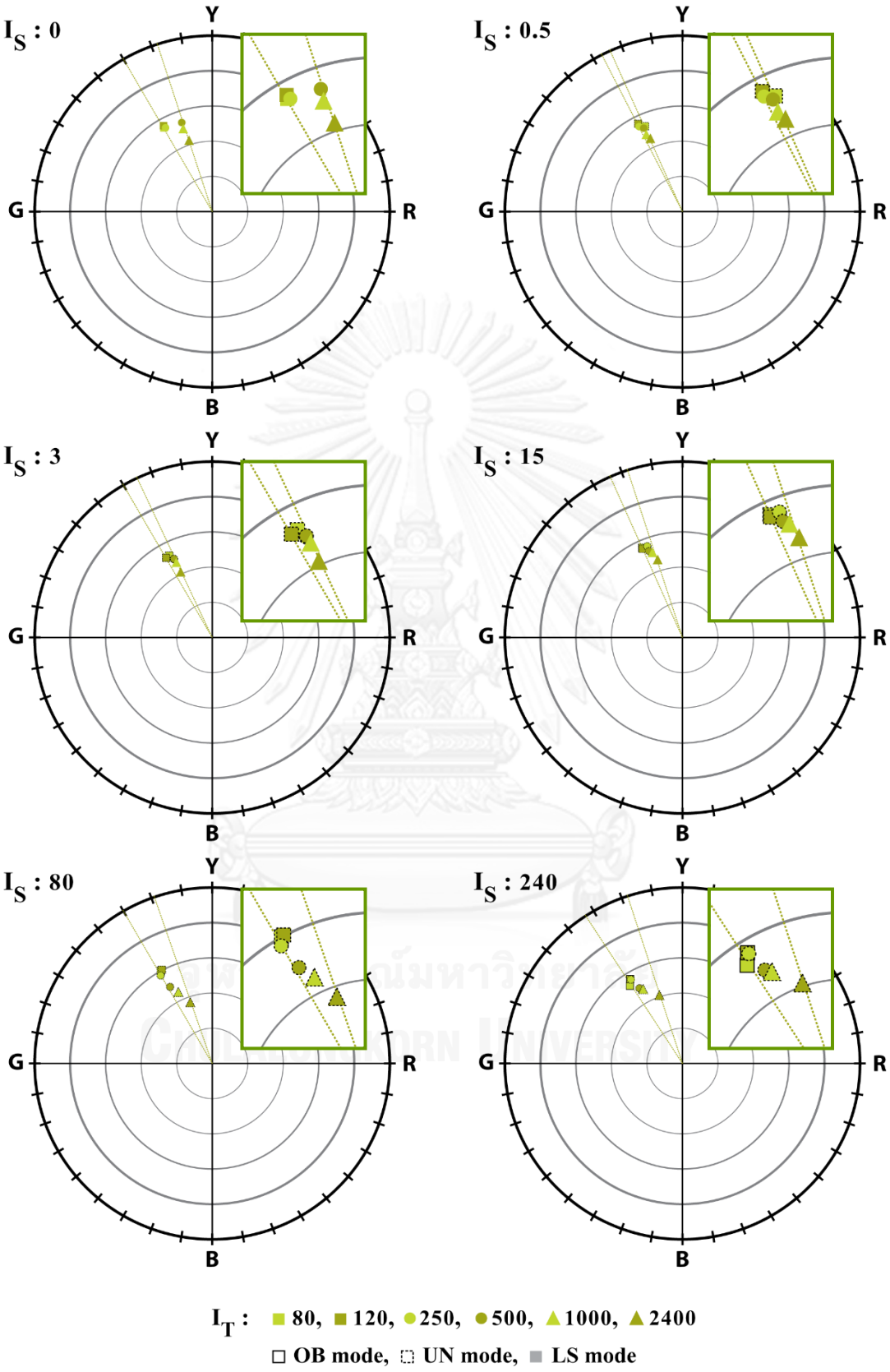
unnatural object color และ light source color ตามลำดับ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสีสันจะค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับสีอื่น

ตารางที่ 4.6 ค่า Hue angle ของตัวอย่างสี 5GY 8/10 จากการรับรู้ค่าความเป็นสี (chromaticness), ความเป็นสีขาว (whiteness) และความเป็นสีดำ (blackness) ภายใต้สภาวะการทดสอบทั้งหมด

5GY 8/10	I_S: 0 lx						I_S: 15 lx					
I_T: (lx)	80	120	250	500	1000	2400	80	120	250	500	1000	2400
Hue angle	120	119	119	109	109	108	114	114	111	111	110	108
Chromaticness	59	59	57	54	51	44	57	57	57	53	52	47
Whiteness	36	38	39	44	47	54	34	36	39	45	46	52
Blackness	5	3	4	2	2	2	9	7	4	2	2	1
	I_S: 0.5 lx						I_S: 80 lx					
Hue angle	114	117	117	115	114	114	119	118	120	118	115	109
Chromaticness	54	57	55	53	50	46	61	61	59	51	46	38
Whiteness	37	36	42	43	48	52	26	29	37	47	51	60
Blackness	9	7	3	4	2	2	13	10	4	2	3	2
	I_S: 3 lx						I_S: 240 lx					
Hue angle	118	120	117	116	115	116	123	121	122	120	118	108
Chromaticness	54	55	51	52	51	46	54	57	57	50	49	42
Whiteness	39	39	45	45	46	51	18	23	35	45	48	56
Blackness	7	6	4	3	3	3	28	20	8	5	3	2

LS-mode UN-mode OB-mode

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4.19 ค่าสีสัน (hue) และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5GY 8/10

4.3.5 สีสันของตัวอย่างสี 5G 6/10

จากตารางที่ 4.7 แสดงค่าความเป็นสี และมุมการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5G 6/10 ร่วมกับกราฟวงกลมแสดงความเป็นสีสัน และโหมดการปรากฏสี ในภาพที่ 4.20 ซึ่งผลที่ได้มีดังนี้

1) ภายใต้ระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตที่ 0 ลักซ์ ตัวอย่างสีเขียว 5G 6/10 จะปรากฏในโหมด light source color เพียงโหมดเดียว โดยจะมีความอิ่มตัวสีมากที่สุดที่ระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสี 120 ลักซ์ และเมื่อระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสีเพิ่มขึ้น ตัวอย่างสีจะมีความเป็นสีขาวเพิ่มมากขึ้น

2) เมื่อความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นเป็น 0.5 ลักซ์ ตัวอย่างสีจะปรากฏในโหมด unnatural object color ที่ระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสี 80 ลักซ์ และ 120 ลักซ์ โดยผู้สังเกตจะเห็นตัวอย่างสีเขียวมีความอิ่มตัวสีลดลง และมีความเป็นสีดำเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตที่ 3 ลักซ์ ตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด unnatural object color จะมีความอิ่มตัวของสีลดลงอีกเล็กน้อย และความเป็นสีดำจะมีค่าที่ลดลง

3) เมื่อระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นเป็น 15 ลักซ์ ตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด unnatural object color จะเริ่มมีความอิ่มตัวสีเพิ่มมากขึ้น และมีความเป็นสีดำเพิ่มมากขึ้น

4) เมื่อระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นเป็น 80 ลักซ์ ตัวอย่างสีจะปรากฏในโหมด unnatural object color เพียงโหมดเดียว จะมีความอิ่มตัวสีสูงที่สุด และมีความดำเพิ่มมากขึ้น

5) เมื่อระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นจนถึง 240 ลักซ์ ตัวอย่างสีจะปรากฏในโหมด object color และ unnatural object color โดยตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด object color จะมีความอิ่มตัวสีลดลง และมีความเป็นสีดำเพิ่มขึ้นมากที่สุด

6) การรับรู้สีสัน (hue) ของตัวอย่างสี 5G 6/10 ที่ปรากฏให้เห็นทุกโหมดการปรากฏสี จะมีค่ามุมการปรากฏสี (hue angle) ที่ใกล้เคียงกัน ทำให้ผู้สังเกตมองเห็นตัวอย่างสีเป็นสีเขียวในทุกสภาวะแสง โดยแต่ละโหมดการปรากฏสีมีค่าเฉลี่ยดังนี้

- ค่าเฉลี่ย hue angle ในโหมด light source color เท่ากับ 185
- ค่าเฉลี่ย hue angle ในโหมด unnatural object color เท่ากับ 183.81
- ค่าเฉลี่ย hue angle ในโหมด object color เท่ากับ 187
- ขอบเขตของ hue angle เท่ากับ 3.19

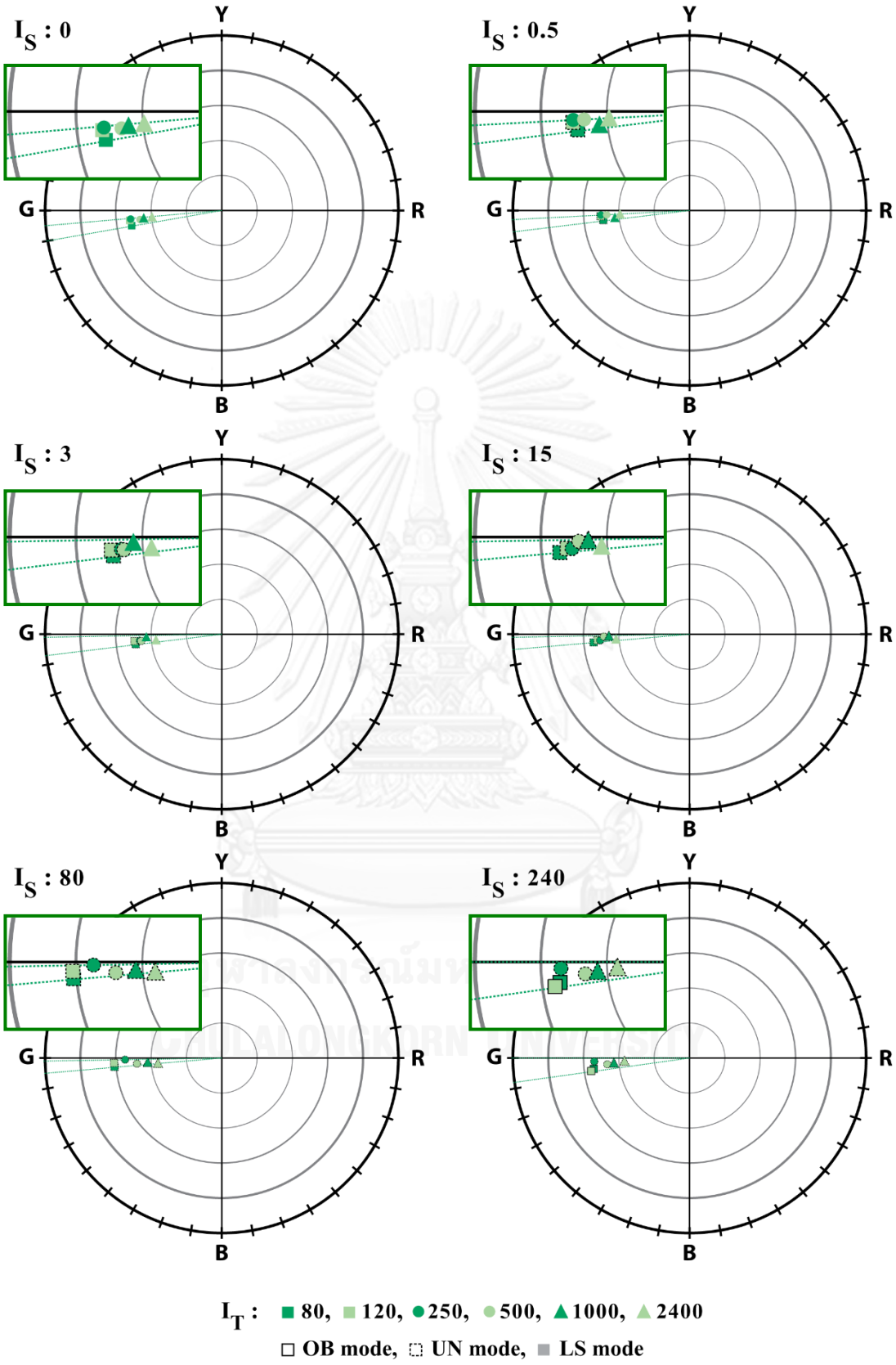
ตัวอย่างสี 5G 6/10 มีทิศทางการเปลี่ยนแปลงของสีสันไปในทิศทางของสีเหลือง เมื่อโหมดการปรากฏสีเปลี่ยนแปลงจากโหมด object color ไปเป็นโหมด unnatural object color และ light source color ตามลำดับ

ตารางที่ 4.7 ค่า Hue angle ของตัวอย่างสี 5G 6/10 จากการรับรู้ค่าความเป็นสี (chromaticness), ความเป็นสีขาว (whiteness) และความเป็นสีดำ (blackness) ภายใต้สภาวะการทดสอบทั้งหมด

5G 6/10	I_S: 0 lx						I_S: 15 lx					
I_T: (lx)	80	120	250	500	1000	2400	80	120	250	500	1000	2400
Hue angle	190	187	186	186	185	186	185	184	185	181	181	184
Chromaticness	58	59	57	51	49	43	58	56	55	51	47	44
Whiteness	35	36	39	47	48	55	33	37	39	47	50	54
Blackness	7	5	4	2	3	2	9	7	6	2	3	2
	I_S: 0.5 lx						I_S: 80 lx					
Hue angle	187	183	183	184	185	183	185	183	181	184	183	185
Chromaticness	54	56	54	52	47	43	65	62	58	51	45	38
Whiteness	37	35	42	44	50	55	22	27	37	46	52	60
Blackness	9	9	4	4	3	2	13	11	5	3	3	2
	I_S: 3 lx						I_S: 240 lx					
Hue angle	187	185	185	185	181	185	186	188	182	185	184	180
Chromaticness	54	54	51	51	47	42	57	61	59	49	46	39
Whiteness	39	40	45	46	50	56	17	20	32	45	49	59
Blackness	7	6	4	3	3	2	26	19	9	6	5	2

LS-mode UN-mode OB-mode

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4.20 ค่าสีสัน (hue) และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5G 6/10

4.3.6 สีสันของตัวอย่างสี 5BG 5/8

จากตารางที่ 4.8 แสดงค่าความเป็นสี และมุมการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5BG 5/8 ร่วมกับกราฟวงกลมแสดงความเป็นสีสัน และโหมดการปรากฏสี ในภาพที่ 4.21 ซึ่งผลที่ได้มีดังนี้

1) ภายใต้ระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตที่ 0 ลักซ์ ตัวอย่างสีน้ำเงินเขียว 5BG 5/8 จะปรากฏในโหมด light source color เพียงโหมดเดียว โดยจะมีความอิ่มตัวสีมากที่สุดที่ระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสี 120 ลักซ์ โดยมีความเป็นสีเขียวมากกว่าตัวอย่างสีที่ปรากฏเมื่อห้องแสดงตัวอย่างสีมีความสว่างที่ 80 ลักซ์ ซึ่งมีความเป็นสีน้ำเงินมากกว่า

2) เมื่อความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นเป็น 0.5 ลักซ์ ตัวอย่างสีจะปรากฏในโหมด unnatural object color ที่ระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสี 80 ลักซ์ จนถึง 500 ลักซ์ โดยผู้สังเกตจะเห็นตัวอย่างสีน้ำเงินเขียวมีความอิ่มตัวสีลดลง และมีความเป็นสีดำเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตที่ 3 ลักซ์ ตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด unnatural object color จะมีความอิ่มตัวของสีลดลงอีกเล็กน้อย และความเป็นสีดำมีค่าที่ลดลง

3) เมื่อระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นเป็น 15 ลักซ์ ตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด unnatural object color จะเริ่มมีความอิ่มตัวสีเพิ่มมากขึ้น และมีความเป็นสีดำเพิ่มมากขึ้น

4) เมื่อระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นเป็น 80 ลักซ์ ตัวอย่างสีจะปรากฏในโหมด object color และ unnatural object color โดยตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด object color จะมีความอิ่มตัวสีสูงที่สุด และมีความดำเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด unnatural object color ที่ระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสีที่ 120 ลักซ์ ซึ่งมีความอิ่มตัวสีสูงเท่ากัน แต่จะมีค่าความดำต่ำกว่าตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด object color นอกจากนั้นตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด unnatural object color ที่ระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสี 2400 ลักซ์ จะมีความอิ่มตัวสีลดลงมากที่สุด และเห็นความเป็นสีน้ำเงินเพิ่มมากขึ้น

5) เมื่อระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นจนถึง 240 ลักซ์ ตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด object color จะมีความอิ่มตัวสีลดลง และมีความเป็นสีดำเพิ่มขึ้นมากที่สุด ที่ระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสี 80 ลักซ์ ซึ่งความอิ่มตัวของสีจะค่อย ๆ เพิ่มมากขึ้นและมีความเป็นสีดำลดลง เมื่อระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสีเพิ่มขึ้นจนถึง 250 ลักซ์

6) การรับรู้สีสัน (hue) ของตัวอย่างสี 5BG 5/8 ที่ปรากฏให้เห็นทุกโหมดการปรากฏสี จะมีค่ามุมการปรากฏสี (hue angle) ที่แตกต่างกันมากในโหมด light source color และโหมด unnatural object color ในบางสภาวะแสง ทำให้ผู้สังเกตมองเห็นตัวอย่างสีมีสีน้ำเงินเพิ่มมากขึ้น โดยแต่ละโหมดการปรากฏสีมีค่าเฉลี่ยดังนี้

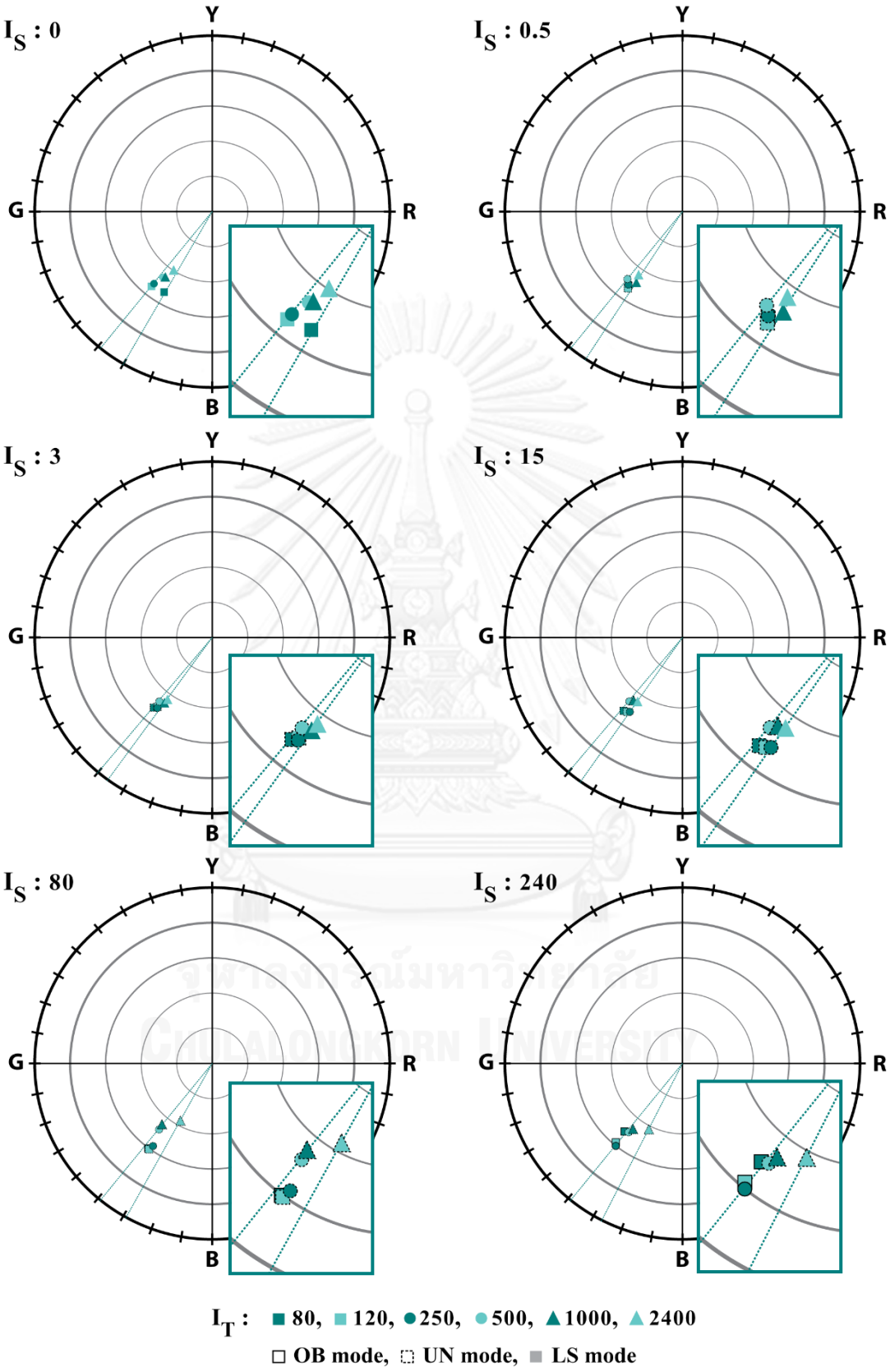
- ค่าเฉลี่ย hue angle ในโหมด light source color เท่ากับ 234.64
- ค่าเฉลี่ย hue angle ในโหมด unnatural object color เท่ากับ 233.38
- ค่าเฉลี่ย hue angle ในโหมด object color เท่ากับ 231.75
- ขอบเขตของ hue angle เท่ากับ 2.89

ตัวอย่างสี 5BG 5/8 มีทิศทางการเปลี่ยนแปลงของสีสันไปในทิศทางของสีน้ำเงิน เมื่อโหมดการปรากฏสีเปลี่ยนแปลงจากโหมด object color ไปเป็นโหมด unnatural object color และ light source color ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 Hue angle ของตัวอย่างสี 5BG 5/8 จากการรับรู้ค่าความเป็นสี (chromaticness), ความเป็นสีขาว (whiteness) และความเป็นสีดำ (blackness) ภายใต้สภาวะการทดสอบทั้งหมด

5BG 5/8	I_S: 0 lx						I_S: 15 lx					
I_T: (lx)	80	120	250	500	1000	2400	80	120	250	500	1000	2400
Hue angle	240	231	231	233	235	236	232	234	234	230	233	235
Chromaticness	58	60	58	52	50	44	58	58	55	52	48	48
Whiteness	34	35	36	45	47	54	30	33	39	45	49	51
Blackness	8	5	6	3	3	2	12	9	6	3	3	1
	I_S: 0.5 lx						I_S: 80 lx					
Hue angle	234	235	234	231	237	235	233	234	235	231	231	241
Chromaticness	54	57	55	52	50	45	63	63	60	52	48	41
Whiteness	36	35	40	43	46	53	19	24	32	45	49	58
Blackness	10	8	5	5	4	2	18	13	8	3	3	1
	I_S: 3 lx						I_S: 240 lx					
Hue angle	230	232	232	230	234	234	231	231	232	232	233	243
Chromaticness	54	53	53	49	48	45	53	61	63	52	48	44
Whiteness	38	40	42	47	48	52	14	17	26	41	47	54
Blackness	8	7	5	4	4	3	33	22	11	7	5	2

LS-mode UN-mode OB-mode



ภาพที่ 4.21 ค่าสีสัน (hue) และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5BG 5/8

4.3.7 สีสันของตัวอย่างสี 10B 6/10

จากตารางที่ 4.9 แสดงค่าความเป็นสี และมุมการปรากฏสีของตัวอย่างสี 10B 6/10 ร่วมกับกราฟวงกลมแสดงความเป็นสีสัน และโหมดการปรากฏสี ในภาพที่ 4.22 ซึ่งผลที่ได้มีดังนี้

1) ภายใต้ระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตที่ 0 ลักซ์ ตัวอย่างสีน้ำเงิน 10B 6/10 จะปรากฏในโหมด light source color เพียงโหมดเดียว โดยจะมีความอิ่มตัวสีมากที่ระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสี 80 ลักซ์ และ 120 ลักซ์

2) เมื่อความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นเป็น 0.5 ลักซ์ ตัวอย่างสีจะปรากฏในโหมด unnatural object color ที่ระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสี 80 ลักซ์ และ 120 ลักซ์ โดยผู้สังเกตจะเห็นตัวอย่างสีน้ำเงินมีความอิ่มตัวสีลดลง และมีความเป็นสีดำเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตที่ 3 ลักซ์ ตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด unnatural object color จะมีความอิ่มตัวของสีลดลงอีกเล็กน้อย และความเป็นสีดำจะมีค่าที่ลดลง

3) เมื่อระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นเป็น 15 ลักซ์ ตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด unnatural object color จะเริ่มมีความอิ่มตัวสีเพิ่มมากขึ้น และมีความเป็นสีดำเพิ่มมากขึ้น

4) เมื่อระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นเป็น 80 ลักซ์ ตัวอย่างสีจะปรากฏในโหมด object color และ unnatural object color โดยตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด object color จะมีความอิ่มตัวสีสูงที่สุด และมีความดำเพิ่มมากขึ้น

5) เมื่อระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นจนถึง 240 ลักซ์ ตัวอย่างสีจะปรากฏในโหมด object color และ unnatural object color โดยตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด object color จะมีความอิ่มตัวสีลดลงเล็กน้อย และมีความเป็นสีดำสูงมากที่สุด

6) การรับรู้สีสัน (hue) ของตัวอย่างสี 10B 6/10 ที่ปรากฏให้เห็นทุกโหมดการปรากฏสี จะมีค่ามุมการปรากฏสี (hue angle) ที่แตกต่างกันไม่ถึง 1° จึงทำให้ผู้สังเกตยังคงมองเห็นตัวอย่างสีเป็นสีน้ำเงินในทุกสภาวะแสง โดยแต่ละโหมดการปรากฏสีมีค่าเฉลี่ยดังนี้

- ค่าเฉลี่ย hue angle ในโหมด light source color เท่ากับ 270
- ค่าเฉลี่ย hue angle ในโหมด unnatural object color เท่ากับ 269.89
- ค่าเฉลี่ย hue angle ในโหมด object color เท่ากับ 269.75
- ขอบเขตของ hue angle เท่ากับ 0.25

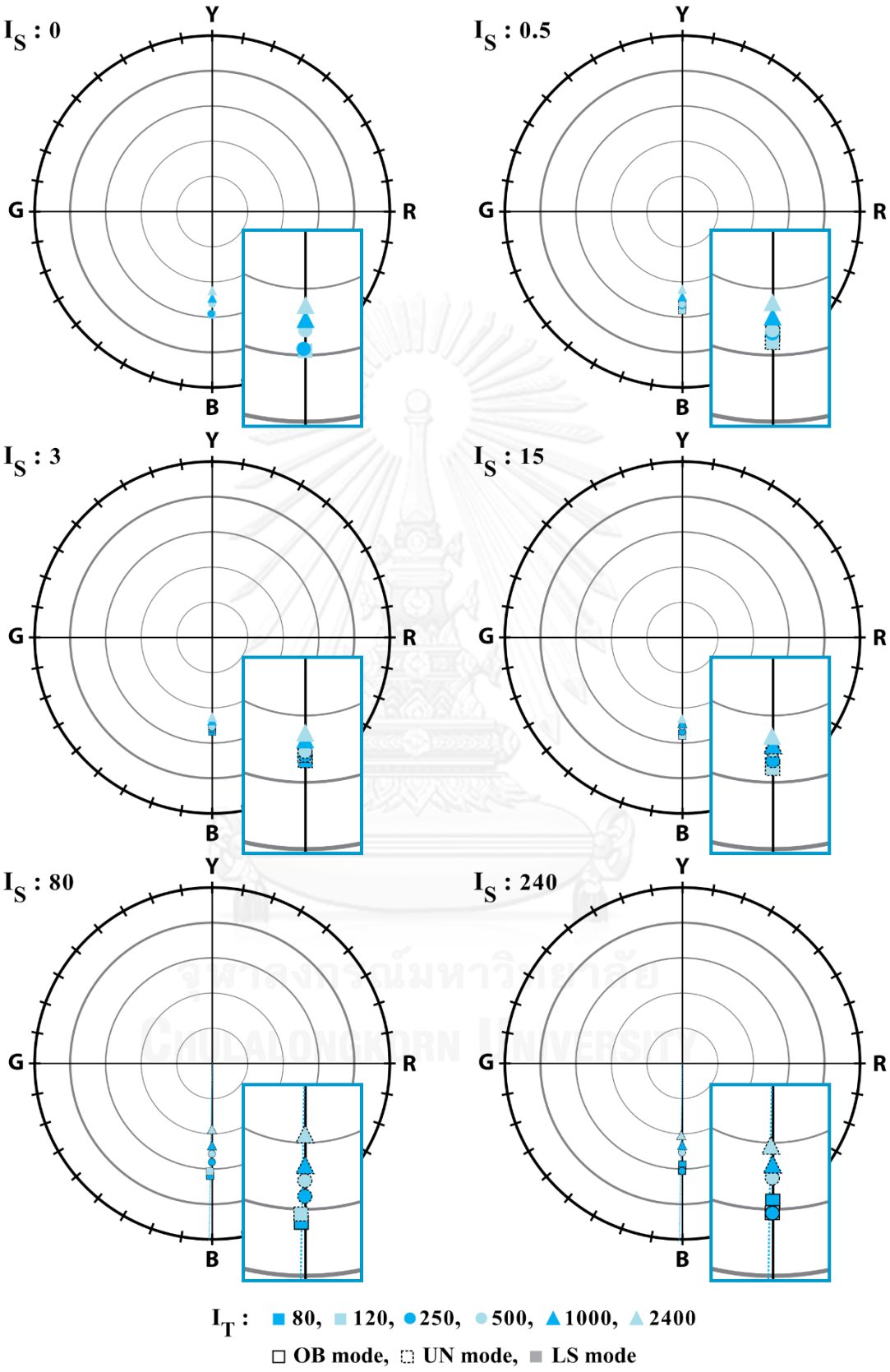
ตัวอย่างสี 10B 6/10 จึงถือว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสีสันเลย เมื่อโหมดการปรากฏสีเปลี่ยนแปลงจากโหมด object color ไปเป็นโหมด unnatural object color และ light source color ตามลำดับ

ตารางที่ 4.9 ค่า Hue angle ของตัวอย่างสี 10B 6/10 จากการรับรู้ค่าความเป็นสี (chromaticness), ความเป็นสีขาว (whiteness) และความเป็นสีดำ (blackness) ภายใต้สภาวะการทดสอบทั้งหมด

10B 6/10	I_S: 0 lx						I_S: 15 lx					
I_T: (lx)	80	120	250	500	1000	2400	80	120	250	500	1000	2400
Hue angle	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270
Chromaticness	59	59	58	52	49	45	55	56	53	50	49	46
Whiteness	34	36	37	46	49	54	35	37	41	46	49	52
Blackness	7	5	5	2	2	1	10	7	6	4	2	2
	I_S: 0.5 lx						I_S: 80 lx					
Hue angle	270	270	270	270	270	270	269	269	270	270	270	270
Chromaticness	53	56	53	52	48	44	64	62	56	51	46	37
Whiteness	37	35	41	43	48	54	23	28	39	46	51	61
Blackness	10	9	6	5	4	2	13	10	5	3	3	2
	I_S: 3 lx						I_S: 240 lx					
Hue angle	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	269
Chromaticness	53	52	52	51	47	45	57	61	61	51	46	41
Whiteness	39	43	44	46	50	52	17	21	31	43	50	57
Blackness	8	5	4	3	3	3	26	18	8	6	4	2

LS-mode UN-mode OB-mode

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4.22 ค่าสีสัน (hue) และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 10B 6/10

4.3.8 สีสันของตัวอย่างสี 5P 3/8

จากตารางที่ 4.10 แสดงค่าความเป็นสี และมุมการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5P 3/8 ร่วมกับกราฟวงกลมแสดงความเป็นสีสัน และโหมดการปรากฏสี ในภาพที่ 4.23 ซึ่งผลที่ได้มีดังนี้

1) ภายใต้ระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตที่ 0 ลักซ์ ตัวอย่างสีม่วง 5P 3/8 จะปรากฏในโหมด light source color เพียงโหมดเดียว โดยจะมีความอิ่มตัวสีมากที่ระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสี 120 ลักซ์ โดยตัวอย่างสีม่วงที่ปรากฏในโหมด light source color ในทุกระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสี มีความเป็นสีแดงมากกว่าสีน้ำเงิน

2) เมื่อความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นเป็น 0.5 ลักซ์ ตัวอย่างสีจะปรากฏในโหมด unnatural object color ที่ระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสี 80 ลักซ์ จนถึง 1000 ลักซ์ โดยผู้สังเกตจะเห็นตัวอย่างสีม่วงมีความอิ่มตัวสีลดลง และมีความเป็นสีดำเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตที่ 3 ลักซ์ ตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด unnatural object color จะมีความอิ่มตัวของสีลดลงอีกเล็กน้อย และความเป็นสีดำมีค่าที่ลดลง

3) เมื่อระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นเป็น 15 ลักซ์ ตัวอย่างสีจะปรากฏในโหมด unnatural object color เพียงโหมดเดียว โดยมีความอิ่มตัวสีเพิ่มมากขึ้น และมีความเป็นสีดำเพิ่มมากขึ้น

4) เมื่อระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นเป็น 80 ลักซ์ ตัวอย่างสีจะปรากฏในโหมด object color และ unnatural object color โดยตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด object color จะมีความอิ่มตัวสีสูงที่สุด และมีความดำเพิ่มมากขึ้น ส่วนตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด unnatural object color ที่ระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสีที่ 250 ลักซ์ จะมีความอิ่มตัวสีมาก แต่จะมีค่าความดำลดลง นอกจากนั้นตัวอย่างสีม่วงที่ปรากฏในโหมด unnatural object color จะมีความเป็นสีแดงมากกว่าสีน้ำเงิน และมีความอิ่มตัวสีน้อยกว่าโหมด object color

5) เมื่อระดับความสว่างของห้องผู้สังเกตเพิ่มขึ้นจนถึง 240 ลักซ์ ตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด object color จะมีความอิ่มตัวสีลดลง มีความเป็นสีน้ำเงินเพิ่มขึ้น และมีความเป็นสีดำเพิ่มขึ้นมากที่สุด ที่ระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสี 80 ลักซ์ ซึ่งความอิ่มตัวของสีจะค่อย ๆ เพิ่มมากขึ้นและมีความเป็นสีดำลดลง เมื่อระดับความสว่างของห้องแสดงตัวอย่างสีเพิ่มขึ้นจนถึง 250 ลักซ์

6) การรับรู้สีสัน (hue) ของตัวอย่างสี 5P 3/8 ที่ปรากฏให้เห็นทุกโหมดการปรากฏสี จะมีค่ามุมการปรากฏสี (hue angle) ที่แตกต่างกันมากในโหมด object color ในบางสภาวะแสงทำให้ผู้สังเกตมองเห็นตัวอย่างสีม่วงมีสีน้ำเงินเพิ่มมากขึ้น โดยแต่ละโหมดการปรากฏสีมีค่าเฉลี่ยดังนี้

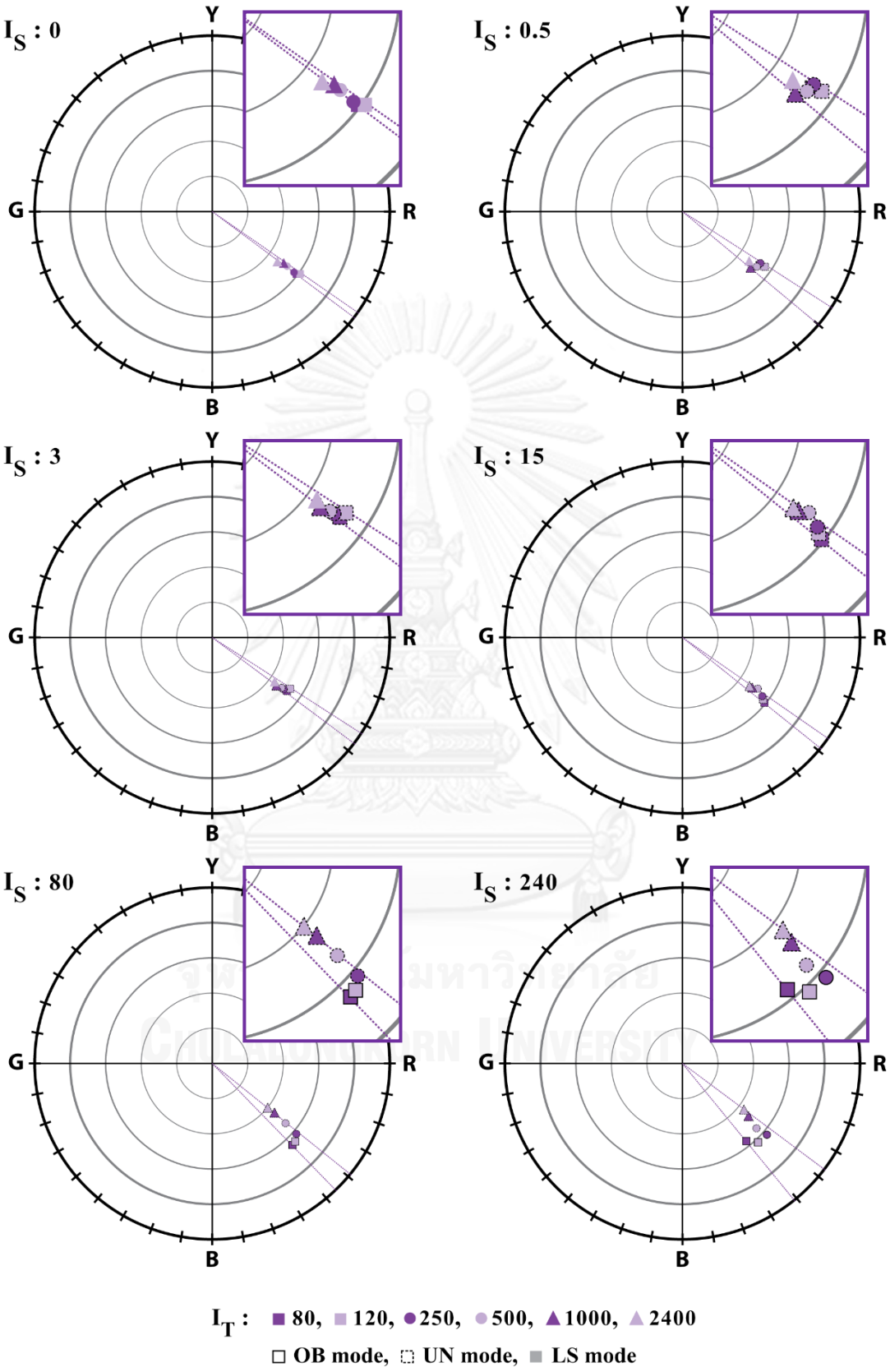
- ค่าเฉลี่ย hue angle ในโหมด light source color เท่ากับ 323.75
- ค่าเฉลี่ย hue angle ในโหมด unnatural object color เท่ากับ 323
- ค่าเฉลี่ย hue angle ในโหมด object color เท่ากับ 314.8
- ขอบเขตของ hue angle เท่ากับ 8.95

ตัวอย่างสี 5P 3/8 มีทิศทางการเปลี่ยนแปลงของสีสันไปในทิศทางของสีแดง หรือทวนเข็มนาฬิกา เมื่อโหมดการปรากฏสีเปลี่ยนแปลงจากโหมด object color ไปเป็นโหมด unnatural object color และ light source color ตามลำดับ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสีสันจะมีมากที่สุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างสีอื่น

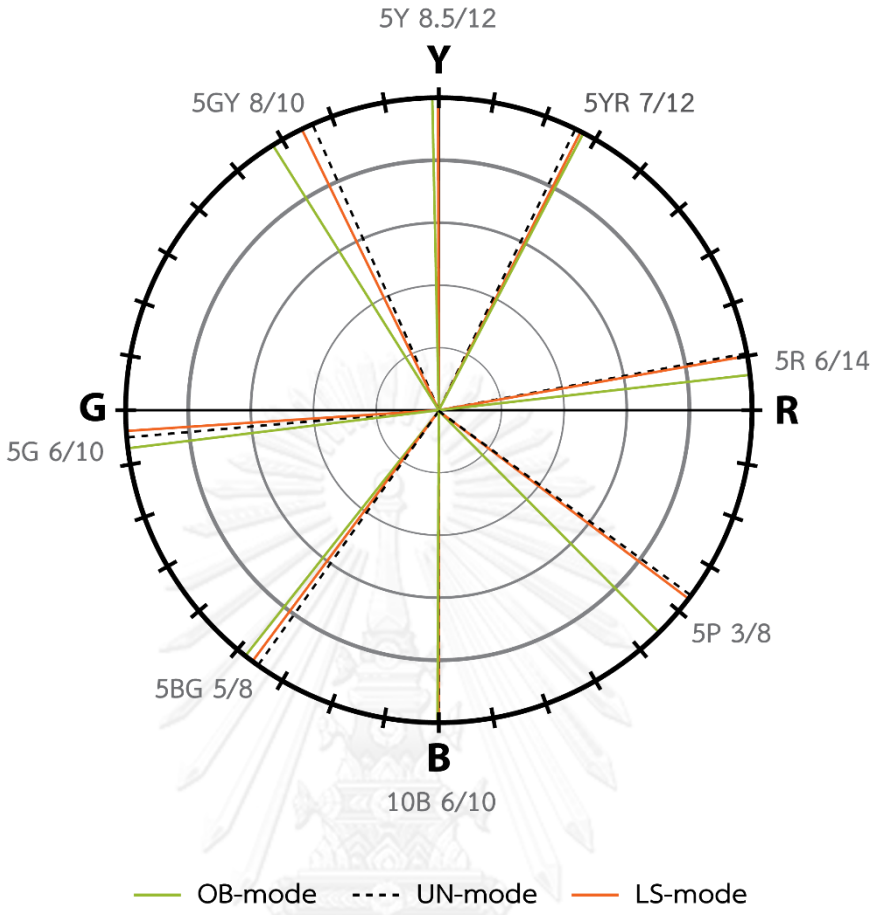
ตารางที่ 4.10 ค่า Hue angle ของตัวอย่างสี 5P 3/8 จากการรับรู้ค่าความเป็นสี (chromaticness), ความเป็นสีขาว (whiteness) และความเป็นสีดำ (blackness) ภายใต้สภาวะการทดสอบทั้งหมด

5P 3/8	I_S: 0 lx						I_S: 15 lx					
I_T: (lx)	80	120	250	500	1000	2400	80	120	250	500	1000	2400
Hue angle	323	325	323	324	324	323	321	322	324	325	324	325
Chromaticness	60	62	59	53	51	47	60	58	57	52	49	47
Whiteness	32	34	36	44	46	51	28	31	36	43	49	52
Blackness	8	4	5	3	3	2	12	11	7	5	2	1
	I_S: 0.5 lx						I_S: 80 lx					
Hue angle	325	326	327	324	320	324	314	317	320	320	321	321
Chromaticness	53	56	53	53	51	47	65	65	62	53	45	40
Whiteness	36	34	41	41	44	49	13	20	29	43	50	57
Blackness	11	10	6	6	5	4	22	15	9	4	5	3
	I_S: 3 lx						I_S: 240 lx					
Hue angle	324	327	324	323	323	324	309	314	320	319	321	323
Chromaticness	53	53	50	49	46	44	57	62	64	56	48	44
Whiteness	40	40	45	46	50	52	10	13	23	36	46	53
Blackness	7	7	5	5	4	4	33	25	13	8	6	3

LS-mode UN-mode OB-mode

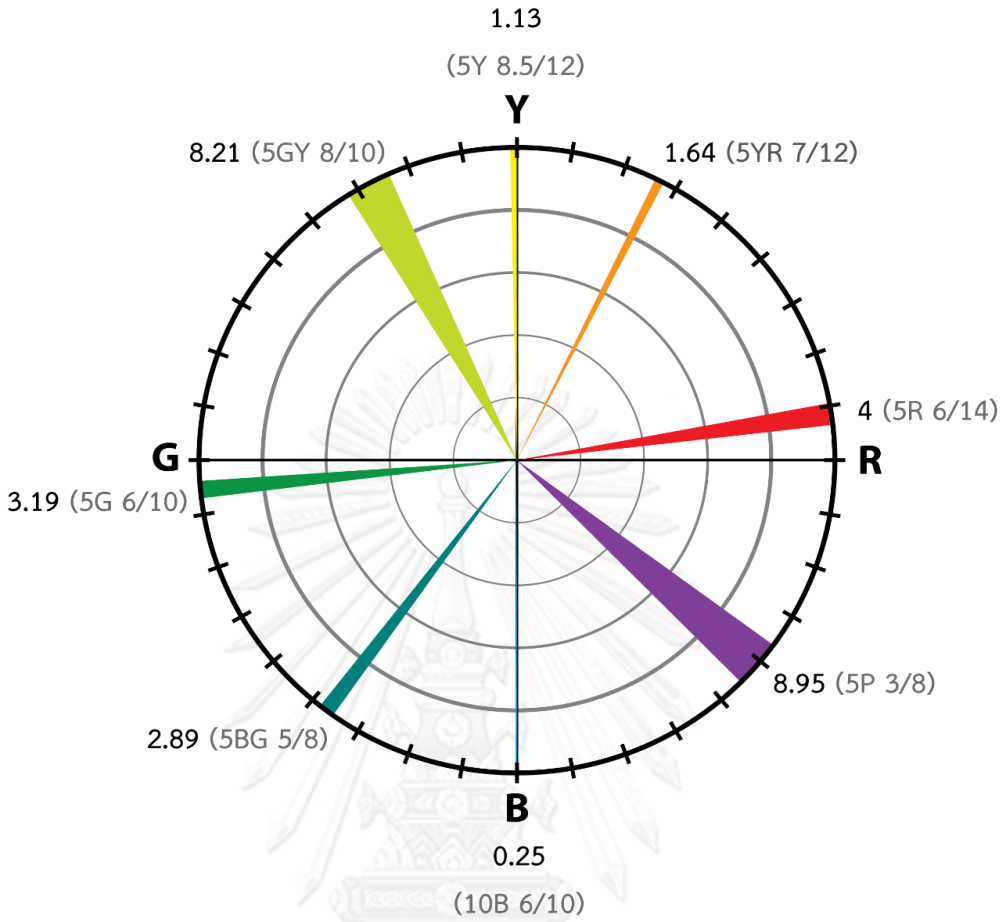


ภาพที่ 4.23 ค่าสีสัน (hue) และโหมดการปรากฏสีของตัวอย่างสี 5P 3/8



ภาพที่ 4.24 สเกลของ hue angle ของตัวอย่างสีที่มีสีสันทั้ง 8 ตัวอย่าง

ภาพที่ 4.24 แสดงสเกลค่าเฉลี่ย hue angle ของตัวอย่างสีที่มีสีสันทั้ง 8 ตัวอย่าง เมื่ออยู่ในโหมด object color (OB-mode) โหมด unnatural object color (UN-mode) และโหมด light source color (LS-mode) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของ hue angle ที่เปลี่ยนไป เมื่อโหมดการปรากฏสีเปลี่ยน โดยแสดงขอบเขตของค่า hue angle ภายใต้โหมดการปรากฏสีทั้ง 3 โหมด ของแต่ละตัวอย่างสี ดังภาพที่ 4.25



ภาพที่ 4.25 ขอบเขตของ hue angle ของตัวอย่างสีที่มีสีสันทั้ง 8 ตัวอย่าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโหมดการปรากฏสีและการเคลื่อนการปรากฏสี ซึ่งสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด light source color ผู้สังเกตจะรับรู้ถึงความสว่างที่เพิ่มมากขึ้น โดยสีสันที่ปรากฏจะมีความอิ่มตัวสีลดลง แนวโน้มนี้เป็นเช่นเดียวกันกับตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด unnatural object color ในขณะที่ตัวอย่างสีที่ปรากฏในโหมด object color ผู้สังเกตจะรับรู้ถึงความอิ่มตัวสีที่เพิ่มขึ้น แต่จะมีความสว่างที่ลดลง

5.1.2 การเปลี่ยนแปลงการรับรู้โหมดการปรากฏสีจากโหมด object color ไปเป็นโหมด unnatural object color และโหมด light source color ส่งผลให้การรับรู้สีสันของผู้สังเกตเปลี่ยนแปลงไปดังนี้

- ตัวอย่างสีแดง 5R 6/14 สีเขียว 5G 6/10 และสีเหลืองแดง 5YR 7/12 จะมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางของสีเหลืองที่เพิ่มมากขึ้นเล็กน้อย
- ตัวอย่างสีเหลือง 5Y 8.5/12 จะมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางของสีแดงที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย
- ตัวอย่างสีเขียวเหลือง 5GY 8/10 จะมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางของสีเหลืองที่เพิ่มขึ้นค่อนข้างมาก
- ตัวอย่างสีน้ำเงินเขียว 5BG 5/8 จะมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางของสีน้ำเงินที่เพิ่มมากขึ้นเล็กน้อย
- ตัวอย่างสีน้ำเงิน 10B 6/10 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสีสัน
- ตัวอย่างสีม่วง 5P 3/8 จะมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางของสีแดงที่เพิ่มขึ้นค่อนข้างมาก และมีการเปลี่ยนแปลงของสีสันมากที่สุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างสีอื่น

จากผลสรุปที่ได้แสดงให้เห็นว่า การรับรู้ความสว่างและความอิ่มตัวสีจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่ออยู่ภายใต้โหมดการปรากฏสีที่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับการรับรู้สีสันต่าง ๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงเช่นกัน ยกเว้นสีน้ำเงินที่ผู้สังเกตไม่เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงของสีสันเมื่อโหมดการปรากฏสีมีการเปลี่ยนแปลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

ผลจากการศึกษาในครั้งนี้เป็นการทดสอบภายใต้แหล่งแสง daylight เท่านั้น แต่ในความเป็นจริงแหล่งแสงมีอยู่หลากหลายประเภท และมีอุณหภูมิสีที่แตกต่างกัน ดังนั้นควรทำการศึกษาถึงผลของการปรากฏของสีภายใต้แหล่งแสงประเภทอื่น ๆ รวมถึงโหมดการปรากฏสีที่เปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

1. Tangkijviwat U., Rattanakasamsuk K., and Shinoda H., Color preference affected by mode of color appearance. Color research and application, February 2010. 35(1): p. 50-61.
2. ยุวดี เที่ยงทางธรรม, การเปลี่ยนโหมดสีของแถบสี, 2543, หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
3. Kaiser P.K. and Boynton R.M., Human color vision, 1996, Optical Society of America: Washington, DC. p. 44, 499-500.
4. ธีระ ตั้งวิชาชาญ, เอกสารการสอนชุดวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการพิมพ์ หน่วยที่ 11 เรื่อง สี, 2552, มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช: นนทบุรี. p. 11-6 - 11-31.
5. Holtzschue, L., Understanding color : an introduction for designers, 2011, John Wiley & Sons: New Jersey. p. 29.
6. Berns, R.S., Billmeyer and Saltzman's principles of color technology, 2000, John Wiley & Sons: New York. p. 3, 26-27.
7. Blake R. and Sekuler R., Perception, 2006, McGraw-Hill: Boston. p. 46.
8. Gregory R.L. and Colman A.M., Sensation and perception, 1995, Longman: London ; New York. p. 1.
9. Boothe, R.G., Perception of the visual environment, 2002, Springer-Verlag New York, Inc.: New York, USA. p. 193-197.
10. Hunt R.W.G. and Pointer M.R., Measuring colour, 2011, John Wiley & Sons: Hoboken, United Kingdom. p. 9-10.
11. Wandell, B.A., Foundations of vision, 1995, Sinauer Associates, Inc.: Sunderland, Massachusetts. p. 316.
12. พรทวี พึ่งรัศมี และมิตซูโอะ อิเคดะ, สีและการเห็นสี, 2551, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพฯ. p. 137, 155-156.
13. พิชญดา เกตุเมฆ และมิสึโอะ อิเคดะ, ไซโคฟิสิกส์ด้านการมองเห็น: พื้นฐานและการประยุกต์, 2555, อักษราพิพัฒน์: กรุงเทพฯ. p. 47.
14. Valberg, A., Light vision color, 2005, John Wiley & Sons: Chichester, West Sussex ; Hoboken, NJ. p. 210, 105.
15. Ries, A. The Hue Circle – It's Awesome Like the Color Wheel. 2012 OCTOBER 16, [cited 2013 December 14]; Available from: http://evstudio.com/the-hue-circle-its-awesome-like-the-color-wheel/.
16. Fairchild, M.D., Color appearance models, 2005, John Wiley & Sons: Chicheste, England ; Hoboken, NJ. p. 96-98.

17. Munsell, A.H., A color notation : an illustrated system defining all colors and their relations by measured scales of hue, value, and chroma, 1979, Baltimore, Md.: Munsell Color. p. 20-22
18. Kuehni, R.G., Color an introduction to practice and principles, 2005, John Wiley & Sons: Hoboken. p. 60.
19. Noribachi. What is design? – Why LEDs look brighter. 2013 24 Sep 2013 [cited 2013 8 November]; Available from: http://noribachi.com/week-4-design/.
20. Lyon, D., Red geranium photoic mesopic scotopic, 2009, Wikimedia Commons.
21. Evans, R.M., The perception of color, 1974, John Wiley & Sons, Inc.: New York. p. 89-92.
22. อุรวิศ ตั้งกิจวิวัฒน์, สรรค์สร้างงานด้วยนวัตกรรมแห่งสีสัน. วารสารส่งเสริมวิชาการพิมพ์, 2554. 13(40): p. 33-37.
23. Tangkijviwat U., Shinoda H., and Rattanakasamsuk K., Modeling color preference for different color appearance modes based on perceived color attributes. Optical Review, July 2010. 17(4): p. 425-434.
24. Ikeda M., Huang C.C., and Ashizawa S., Equivalent lightness of colored objects at illuminances from the scotopic to the photopic level. Color research and application, August 1989. 14(4): p. 198-206.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ-นามสกุล ปลูกเกษม ชูตระกูล

วัน เดือน ปี เกิด 5 มิถุนายน 2519

ที่อยู่ปัจจุบัน 46 หมู่ 6 ตำบลหนองป่าครั่ง อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50000

ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ. 2550 อาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีการพิมพ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาคพายัพ จังหวัดเชียงใหม่

พ.ศ. 2545 เจ้าหน้าที่/หัวหน้าหน่วยพัฒนาผลิตภัณฑ์ บริษัท ซี.พี.ดี ชีทบอร์ด จำกัด จังหวัดเชียงใหม่

พ.ศ. 2544 Graphic design บริษัท แสงเจริญพริ้นต์ แอนด์ เพรส จำกัด กรุงเทพมหานคร

พ.ศ. 2542 เจ้าหน้าที่แผนกจัดซื้อ บริษัท ไดอิชิ แพคเกจจิ้ง จำกัด จังหวัดฉะเชิงเทรา

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2550 ปริญญาโท ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสื่อศิลปะและการออกแบบสื่อ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

พ.ศ. 2542 ปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางการพิมพ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University