อิทธิพลของความสว่างภายในห้องและความส่องสว่างของจอแสดงผล ต่อความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียส์มองผ่านกระดาษทิชชู

EFFECTS OF ROOM ILLUMINANCE AND DISPLAY LUMINANCE ON SIMULTANEOUS COLOR CONTRAST VIEWED THROUGH TISSUE PAPER

เจนจิรา มีเพียร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสีและการออกแบบ
คณะเทคโนโลยีสื่อสารมวลชน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อิทธิพลของความสว่างภายในห้องและความส่องสว่างของจอแสดงผล ต่อความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียส์มองผ่านกระดาษทิชชู

เจนจิรา มีเพียร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสีและการออกแบบ
คณะเทคโนโลยีสื่อสารมวลชน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัย ขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะเทคโนโลยีสื่อสารมวลชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และข้อความต่าง ๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอรับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า

This thesis consists of research materials conducted at Mass Communication Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi and hence the copyright owner. I hereby certify that the thesis does not contain any forms of plagiarism.

เจนจิรา มีเพียร

(เจนจิรา มีเพียร)

COPYRIGHT © 2021 ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2564
FACULTY OF MASS COMMUNICATION TECHNOLOGY คณะเทคโนโลยีสื่อสารมวลชน
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีฆ

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของความสว่างภายในห้องและความส่องสว่างของจอแสดงผลต่อความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสมองผ่านกระดาษทิชชู Effects of Room Illuminance and Display Luminance on Simultaneous Color Contrast viewed through Tissue paper
ชื่อ-สกุล	นางสาวเจนจิรา มีเพียร
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสีและการออกแบบ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์จันทร์ประภา พ่วงสุวรรณ, ปร.ด.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ศาสตราจารย์มิสึโอะ อิเคดะ, Ph.D.
ปีการศึกษา	2563

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์พิชญดา เกตุเมฆ, Ph.D.)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ไวยวุฒิ วุฒิอรรถสาร, ปร.ด.)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อุรวิศ ตั้งกิจวิวัฒน์, Ph.D.)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติโรจน์ รัตนเกษมสุข, Ph.D.)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จันทร์ประภา พ่วงสุวรรณ, ปร.ด.)

คณะเทคโนโลยีสื่อสารมวลชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะเทคโนโลยีสื่อสารมวลชน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประภาภร ตลกิจ, ศษ.ด.)
วันที่ 20 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2564

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของความสว่างภายในห้องและความส่องสว่างของจอแสดงผลต่อความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสมองผ่านกระดาษทิชชู
ชื่อ-นามสกุล	นางสาวเจนจิรา มีเพียร
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสีและการออกแบบ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์จันทร์ประภา พ่วงสุวรรณ, ปร.ด.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ศาสตราจารย์มิสิโอะ อิเคดะ, Ph.D.
ปีการศึกษา	2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของความสว่างภายในห้องและความส่องสว่างของจอแสดงผลที่มีต่อการปรากฏความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสมองผ่านกระดาษทิชชู การทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การทดลองที่ 1 การศึกษาอิทธิพลของความส่องสว่างของสีพื้นหลัง โดยกำหนดความสว่างภายในห้องทดลองที่ 200 ลักซ์ คงที่ และใช้สิ่งเร้าที่มีสีพื้นหลังจำนวน 4 สี (แดง เหลือง เขียว น้ำเงิน) บนจอแสดงผลที่มีการเปลี่ยนความส่องสว่าง 5 ระดับ ด้วยการปรับสัดส่วนสี RGB และแผ่นทดสอบสีเทามีความส่องสว่างแตกต่างกัน 3 ระดับ

การทดลองที่ 2 ศึกษาอิทธิพลของความสว่างภายในห้องโดยกำหนดความส่องสว่างของจอแสดงผลคงที่และความสว่างภายในห้องเปลี่ยนไป 10 ระดับ (3-1600 ลักซ์) การศึกษาครั้งนี้มีผู้สังเกตจำนวน 10 คน ที่มีการมองเห็นสีแบบปกติเข้าร่วมการทดลอง ผู้สังเกตทำการประเมินค่าสีพื้นหลังและแผ่นทดสอบสีเทาโดยมองผ่านกระดาษทิชชูและมองตรงโดยไม่ผ่านกระดาษทิชชูด้วยวิธีคำเรียกสีพื้นฐาน (Elementary color naming method)

ผลการทดลองที่ 1 พบว่าความส่องสว่างของสีพื้นหลังที่เพิ่มขึ้นมีอิทธิพลต่อการมองเห็นความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสมองผ่านกระดาษทิชชูที่เพิ่มขึ้น การทดลองที่ 2 พบว่าความสว่างภายในห้องไม่ส่งผลกระทบต่อการปรากฏความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสมองผ่านกระดาษทิชชู แต่เมื่อแสดงด้วยอัตราส่วนของปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบสีเทาต่อปริมาณเนื้อสีของพื้นหลัง พบผลกระทบต่อการปรากฏเพิ่มขึ้นเมื่อความสว่างสูงเกิน 200 ลักซ์ และพบว่าการรับรู้โหมดการปรากฏสีของสิ่งเร้าเปลี่ยนแปลงไปเมื่อความสว่างเปลี่ยน

คำสำคัญ: จอแสดงผล ความส่องสว่าง ความสว่างในห้อง ความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียส กระดาษทิชชู

Thesis Title	Effects of Room Illuminance and Display Luminance on Simultaneous Color Contrast Viewed through Tissue Paper
Name – Surname	Miss Janejira Mepean
Program	Color Technology and Design
Thesis Advisor	Assistant Professor Chanprapha Phuangsuwan, Ph.D.
Thesis Co-advisor	Professor Mitsuo Ikeda, Ph.D.
Academic Year	2020

ABSTRACT

This research aimed to study the effects of room illuminance and display luminance on the appearance of simultaneous color contrast viewed through tissue paper. The experiment was divided into two parts. Experiment 1 targeted at effects of luminance. Room illuminance was kept constant at 200 lux while the stimulus combining four surround colors (red, yellow, green, blue) was tested with five levels of display luminance modified by RGB adjustment. Gray test patch was supplied for three different luminance levels.

Experiment 2 focused on effects of room illuminance. Display luminance was kept constant, and the illuminance in the room was adjusted for ten levels (3-1600 lx). In both experiments, ten subjects with normal color vision participated. The subjects were asked to judge the color appearance of surround and gray test patch by using the elementary color naming method “with” and “without” tissue.

The result of experiment 1 showed that as surround luminance was increased, the simultaneous color contrast viewed through tissue paper appeared more vivid in color. Experiment 2 showed that room illuminance did not affect the appearance of the simultaneous color contrast viewed through tissue paper. But when expressing in the ratio of gray test patch chromaticness to surround chromaticness, the effect became larger once illuminance was over 200 lux. And the perceived color appearance of stimulus was changed when illuminance changed.

Keywords: display, luminance, room illuminance, simultaneous color contrast, tissue paper

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยได้รับความกรุณาและความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร.จันทร์ประภา พ่วงสุวรรณ และ Prof. Mitsuo Ikeda ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาของผู้วิจัย ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาให้คำแนะนำ คำปรึกษา รวมถึงแนะนำแนวทางและข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขจุดบกพร่องในงานวิจัยให้สมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.พิชญดา เกตุเมฆ ประธานกรรมการสอบ และคณะกรรมการสอบ ผศ.ดร.กิติโรจน์ รัตนเกษมสุข ผศ.ดร.อุรวิศ ตั้งกิจวิวัฒน์ และ ผศ.ดร.ไวยวุฒิ วุฒิอรรถสาร ที่เสียสละเวลาในการเป็นกรรมการสอบในครั้งนี้ รวมทั้งได้ให้ความกรุณาในการให้คำแนะนำและแนะแนวทางการปรับปรุงของงานวิจัยของผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณ Dr. Fusako Ikeda ผู้มอบทุน Fusako Scholarship สำหรับสนับสนุนการศึกษาให้ผู้วิจัย อีกทั้งขอขอบคุณหลาย ๆ บุคคลที่มิได้เอ่ยนามถึง ที่คอยช่วยเหลือ ให้ความร่วมมือ ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และกำลังใจ โดยเฉพาะบุพการีที่เชื่อมั่นในตัวผู้วิจัยเสมอมา ท้ายนี้ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจ หากบกพร่องประการใด ผู้วิจัยขออภัยไว้ ณ โอกาสนี้

เจนจิรา มีเพียร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย (4)

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (5)

กิตติกรรมประกาศ (6)

สารบัญ (7)

สารบัญตาราง (9)

สารบัญรูป (10)

บทที่ 1 บทนำ 13

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 13

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 14

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 14

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 14

1.5 นิยามศัพท์ 15

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 16

2.1 การปรับสภาพการมองเห็นภายใต้แสงสี 16

2.2 ความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียส 17

2.3 การมองเห็นสี 18

2.4 ทฤษฎีการมองเห็นสีแบบคู่สีตรงกันข้าม 19

2.5 ทฤษฎีอาร์วีเอสไอ 20

2.6 กระดาษทิชชู 20

2.7 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 23

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 26

3.1 การเตรียมการทดลอง 26

3.2 การทดลองที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของความส่องสว่างของจอแสดงผล 31

3.3 การทดลองที่ 2 ศึกษาอิทธิพลของความสว่างของห้อง 37

3.4 วิธีการวิเคราะห์ผลการทดลอง 40

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ 43

4.1 ผลการทดลองที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของความส่องสว่างของจอแสดงผล 43

4.2 ผลการทดลองที่ 2 ศึกษาอิทธิพลของความสว่างภายในห้อง 54

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง 60

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย 63

5.1 สรุปผลการวิจัย 63

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต 64

บรรณานุกรม 65

ภาคผนวก 68

ภาคผนวก ก สิ่งเร้า 69

ภาคผนวก ข ผลการทดลอง 73

ประวัติผู้เขียน 130

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของกระดาษทิชชูที่ใช้ในการทดลอง 28
ตารางที่ 3.2 ระดับความสว่างของห้องทดลอง 38
ตารางที่ 4.1 โหมดการปรากฏสีของสิ่งเร้าภายใต้ความสว่าง 10 ระดับ 59

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 ตัวอย่างการเห็นสีคงที่ของกระดาษภายใต้สภาพแสงที่อุณหภูมิสีต่างกัน 16
ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างรูปแบบของการสังเกตความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียส 17
ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างรูปแบบของการสังเกตความเปรียบต่างความสว่างแบบไซมัลเทเนียส 18
ภาพที่ 2.4 ช่วงสเปกตรัมของแสงที่ตามนุษย์มองเห็นได้ 18
ภาพที่ 2.5 การมองเห็นสีตามทฤษฎีของคู่สีตรงกันข้าม 19
ภาพที่ 2.6 แผนภูมิอธิบายทฤษฎีอาร์วีเอสไอ 20
ภาพที่ 2.7 กระดาษเช็ดหน้า 21
ภาพที่ 2.8 การตรวจสอบหาสารเรืองแสงของกระดาษ 22
ภาพที่ 3.1 ภาพร่างของห้องทดลอง 26
ภาพที่ 3.2 ภาพมุมมองจากด้านบนของจอแสดงผลที่วางขนานกับโต๊ะ 27
ภาพที่ 3.3 กระดาษทิชชูสำหรับทำการทดลอง 27
ภาพที่ 3.4 พื้นที่สำหรับวัดความหนา 5 จุด และเกจวัดความหนา 28
ภาพที่ 3.5 เครื่องวัดค่าความขุ่น Murakami Color Research Laboratory รุ่น HM-150 29
ภาพที่ 3.6 เครื่องวัดสีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ Konica Minolta รุ่น CM-3700A 29
ภาพที่ 3.7 การตรวจสอบสารเรืองแสง (Optical Brightening Agents, OBA) 30
ภาพที่ 3.8 ภาพลายตาเสื่อ (Moirés) ปรากฏบนจอแสดงผลเมื่อมองผ่านกระดาษทิชชู 30
ภาพที่ 3.9 สีของพื้นหลังที่ทำการปรับสัดส่วนสี RGB 5 ระดับและแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ 31
ภาพที่ 3.10 แผนภูมิแสดงค่า xy chromaticity สีสิ่งเร้า 5 สีไม่มีกระดาษทิชชูและมีกระดาษทิชชู 32
ภาพที่ 3.11 แผนภูมิแสดงการกระจายพลังงานแสงในสเปกตรัมที่วัดจากสีสิ่งเร้าบนจอแสดงผล 32
ภาพที่ 3.12 องศาการมองเห็นสิ่งเร้าของผู้สังเกต 33
ภาพที่ 3.13 สิ่งเร้าบนจอแสดงผลเมื่อไม่มีและมีกระดาษทิชชูโดยอิงจากมุมมองผู้สังเกต 34
ภาพที่ 3.14 เครื่องวัดแสง (Illuminance Meter) Konica Minolta รุ่น T-10A 34
ภาพที่ 3.15 แผนภูมิขั้นตอนการทดลองที่ 1 35
ภาพที่ 3.16 ผู้สังเกตขณะทำการทดลอง 36
ภาพที่ 3.17 ตัวอย่างการประเมินสีด้วยวิธีคำเรียกสีพื้นฐาน 36
ภาพที่ 3.18 สีของสิ่งเร้าที่ใช้แสดงในการทดลองที่ 2 37
ภาพที่ 3.19 แผนภูมิแสดงค่า xy chromaticity สีสิ่งเร้า 5 สีภายใต้ความสว่าง 10 ระดับ 38

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 3.20 แผนภูมิขั้นตอนการทดลองที่ 2 39

ภาพที่ 4.1 แผนภูมิ XY แสดงค่าการปรากฏสีสันของพื้นหลัง 5 ระดับ ของผู้สังเกต CP และ JM 43

ภาพที่ 4.2 แผนภูมิ XY แสดงค่าการปรากฏสีสันของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับของผู้สังเกต CP และ JM 44

ภาพที่ 4.3 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ ของผู้สังเกต CP และ JM 45

ภาพที่ 4.4 แผนภูมิ XY แสดงค่าการปรากฏสีสันของพื้นหลัง 5 ระดับ โดยเฉลี่ยผลการทดลองของผู้สังเกต 10 คน 47

ภาพที่ 4.5 แผนภูมิแสดงปริมาณความเป็นสีของพื้นหลัง 5 ระดับ โดยเฉลี่ยผลการทดลองของผู้สังเกต 10 คน 48

ภาพที่ 4.6 แผนภูมิ XY แสดงค่าการปรากฏสีสันของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ โดยเฉลี่ยผลการทดลองของผู้สังเกต 10 คน 49

ภาพที่ 4.7 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ โดยเฉลี่ยผลการทดลองของผู้สังเกต 10 คน 50

ภาพที่ 4.8 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีโดยเฉลี่ยแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ แสดงในแต่ละสีพื้นหลังโดยเฉลี่ยผลการทดลองของผู้สังเกต 10 คน 51

ภาพที่ 4.9 แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบ 3 ระดับ เฉลี่ยจากทั้ง 4 สีพื้นหลัง โดยเฉลี่ยผลการทดลองของผู้สังเกต 10 คน 52

ภาพที่ 4.10 แผนภูมิแสดงความแตกต่างของอัตราส่วนปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบ 3 ระดับ เฉลี่ยจากทั้ง 4 สีพื้นหลังโดยเฉลี่ยผลการทดลองของผู้สังเกต 10 คน 53

ภาพที่ 4.11 แผนภูมิ XY แสดงการปรากฏสีสันของพื้นหลัง 10 ระดับความสว่างในห้องโดยเฉลี่ยจากผลการทดลองของผู้สังเกต 10 คน 54

ภาพที่ 4.12 แผนภูมิ XY แสดงการปรากฏสีสันของแผ่นทดสอบ 10 ระดับความสว่างในห้องโดยเฉลี่ยจากผลการทดลองของผู้สังเกต 10 คน 55

ภาพที่ 4.13 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของพื้นหลัง 10 ระดับความสว่างในห้องโดยเฉลี่ยจากผลการทดลองของผู้สังเกต 10 คน 56

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.14 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบสีเทา 10 ระดับความสว่างในห้อง โดยเฉลี่ยจากผลการทดลองของผู้สังเกต 10 คน 57
ภาพที่ 4.15 แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณเนื้อสีของพื้นหลังแผ่นทดสอบสีเทา 10 ระดับความสว่างห้อง โดยเฉลี่ยจากผลการทดลองของผู้สังเกต 10 คน 58
ภาพที่ 4.16 แผนภูมิค่าเฉลี่ยความแตกต่างของอัตราส่วนปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบและพื้นหลัง 10 ระดับความสว่างห้องโดยเฉลี่ยจากผลการทดลองของผู้สังเกต 10 คน 58

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียส (Simultaneous color contrast, SCC) เป็นที่รู้จักกันดีว่าเป็นหนึ่งในปรากฏการณ์ที่ที่แสดงให้เห็นถึงการปรับสภาพการมองเห็นภายใต้แสงสี (Chromatic adaptation) หลักการคือเมื่อแผ่นทดสอบสีเทาถูกล้อมรอบด้วยพื้นหลังที่เป็นสี แผ่นทดสอบสีเทาจะปรากฏสีคู่ตรงข้ามข้างเคียงกับสีพื้นหลังนั้น ๆ ซึ่งเป็นผลของการปรับสภาพการมองเห็นภายใต้แสงสีให้เข้ากับสีพื้นหลัง [1, 2, 3, 4, 5] เพื่อทำความเข้าใจและเผยแพร่หลักการของปรากฏการณ์นี้ให้ดียิ่งขึ้น นักวิจัยหลายท่านจึงทำการศึกษาและวิจัยด้วยวิธีการทดลองในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การใช้สิ่งเร้าที่ซับซ้อนยิ่งขึ้นในรูปแบบแผ่นทดสอบที่มีสีสันล้อมรอบด้วยพื้นหลังที่เป็นสีซึ่งต่างจากที่กล่าวไปด้านบน เพื่อศึกษาอิทธิพลการเหนี่ยวนำของสีพื้นหลังต่อแผ่นทดสอบ [6] เป็นต้น นอกเหนือจากความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสแล้วนั้น ขณะเดียวกันก็มีความเปรียบต่างความสว่างแบบไซมัลเทเนียสที่ปรากฏไปพร้อมกัน ซึ่งเป็นปรากฏการณ์จากอิทธิพลของความสว่างจากพื้นหลังที่แตกต่างกันเหนี่ยวนำให้เรารับรู้ความสว่างของแผ่นทดสอบตรงกลางสว่างขึ้นหรือมืดลงสวนทางกับพื้นหลัง [7] ซึ่งจนถึงปัจจุบันนี้แม้จะมีนักวิจัยที่ศึกษาปรากฏการณ์ความเปรียบต่างแบบไซมัลเทเนียสทั้งสองรูปแบบ แต่กระนั้นยังคงไม่สามารถแยกออกจากกันได้อย่างชัดเจน

ในอดีตการทดลองความเปรียบต่างแบบไซมัลเทเนียส สิ่งเร้ามักนิยมใช้เป็นกระดาษสีซึ่งผลของการเกิดปรากฏการณ์นี้แสดงออกมาเพียงเล็กน้อยหรือเกือบจะไม่เกิดปรากฏการณ์นี้ขึ้น ผู้วิจัยได้พบประเด็นที่น่าสนใจในหนังสือ Vision and visual perception เขียนโดย Graham ซึ่งได้กล่าวถึงการใช้กระดาษทิชชูวางทับบนกระดาษสีเพื่อทำให้ขอบของรูปทรงแผ่นทดสอบสีเทาไม่คมชัด (พร่ามัว) และลดความอิ่มตัวสีของพื้นหลัง ทำให้การปรากฏความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสเกิดได้รวดเร็วและเห็นสีสันได้ชัดเจนยิ่งขึ้นจากอิทธิพลของกระดาษทิชชู [8, 9, 10] ซึ่งในปัจจุบันผู้วิจัยหลายท่านได้เพิ่มวิธีการทดลองด้วยที่หลากหลายมากขึ้น เช่น เทคนิคสองห้อง (Two rooms technique) การแสดงสิ่งเร้าผ่านโปรเจคเตอร์ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับจอแสดงผลที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายสำหรับการทดลองเกี่ยวกับการปรากฏสี [11, 12, 13]

จากที่ได้กล่าวไปตามข้างต้น ทำให้เกิดคำถามที่น่าสนใจที่จะทำการศึกษาความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสบนจอแสดงผลที่เปล่งแสงในตัวเองต่างจากสิ่งเร้ากระดาษโดยใช้กระดาษทิชชูเป็นตัวแปรเช่นเดียวกับสิ่งเร้ากระดาษแล้วนั้น ผลลัพธ์ที่ได้จะยังคงปรากฏเช่นเดียวกันหรือไม่ นั่นจึงเป็นผลให้

ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะทำการศึกษา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปรากฏความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสโดยมองผ่านกระดาษทิชชู ซึ่งกำหนดสภาวะของความสว่างภายในห้องและความส่องสว่างของจอแสดงผล เพื่อตรวจสอบอิทธิพลที่มีผลต่อการปรากฏสีความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสมองผ่านกระดาษทิชชูได้อย่างเด่นชัดที่สุด ผู้วิจัยหวังว่าองค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้จะสามารถช่วยให้นักวิจัยนำไปประยุกต์ใช้ในการแสดงผลสำหรับการทดลองหรือการปรับสภาพการมองเห็นได้อีกทางหนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาอิทธิพลของความสว่างภายในห้องและความส่องสว่างของจอแสดงผลที่มีต่อการปรากฏความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสผ่านกระดาษทิชชู

1.2.2 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของความสว่างภายในห้องและความส่องสว่างของจอแสดงผลที่ปรากฏความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสผ่านกระดาษทิชชูอย่างเด่นชัด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในการศึกษาอิทธิพลของความสว่างภายในห้องและความส่องสว่างของจอแสดงผลที่มีต่อความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสมองผ่านกระดาษทิชชูนั้น ผู้วิจัยดำเนินการทดลองโดยทำการศึกษาสมบัติของกระดาษทิชชูที่ใช้ทำการทดลอง และแบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน คือ 1) กำหนดความสว่างภายในห้องทดลองให้คงที่ และทำการปรับความส่องสว่างของจอแสดงผลโดยปรับสีพื้นหลังสิ่งเร้าจำนวน 4 สี ที่ความส่องสว่าง 5 ระดับ และแผ่นทดสอบสีเทาที่ความส่องสว่างแตกต่างกัน 3 ระดับ โดยการปรับสัดส่วนสี RGB ส่วนที่ 2) กำหนดความส่องสว่างของจอแสดงผลคงที่และทำการปรับความสว่างภายในห้องทดลองที่ 10 ระดับ (3-1600 ลักซ์) วิธีการทดลองผู้สังเกตจะทำการประเมินสีของสิ่งเร้าที่แสดงบนจอแสดงผลโดยมองผ่านกระดาษทิชชูและมองตรงโดยไม่ผ่านกระดาษทิชชูด้วยวิธีคำเรียกสีพื้นฐาน (Elementary color naming method) มีผู้สังเกตที่มีการมองเห็นสีเป็นปกติเข้าร่วมการทดลองจำนวน 10 คน โดยผู้สังเกต 1 คนทำการทดลองซ้ำจำนวน 5 ครั้ง ของการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับอิทธิพลของความสว่างภายในห้องและความส่องสว่างของจอแสดงผลที่มีต่อความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสมองผ่านกระดาษทิชชู

1.3.2 ได้ข้อมูลของสภาวะที่เหมาะสมของความสว่างภายในห้องและความส่องสว่างของจอแสดงผลที่ปรากฏความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสมองผ่านกระดาษทิชชูอย่างเด่นชัด และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้

1.5 นิยามศัพท์

Linearized RGB	สัดส่วนของการนำเข้าค่าสี RGB (สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน) ตั้งแต่ 0-255 ในจอแสดงผล โดยได้มาจากสมการ $\frac{\mathrm{I}}{\mathrm{I}_{max}}$
Chromaticness ratio	อัตราส่วนปริมาณเนื้อสีที่เปรียบเทียบระหว่างปริมาณเนื้อสีที่มองผ่านกระดาษทิชชูและมองตรงโดยไม่ผ่านกระดาษทิชชู ซึ่งคำนวณจากปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบสีเทาและพื้นหลังดังสมการ $\frac{\text{Chromaticness test patch}}{\text{Chromaticness surround}}$
Surround	พื้นหลังที่ล้อมรอบแผ่นทดสอบสีเทาตรงกลาง

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

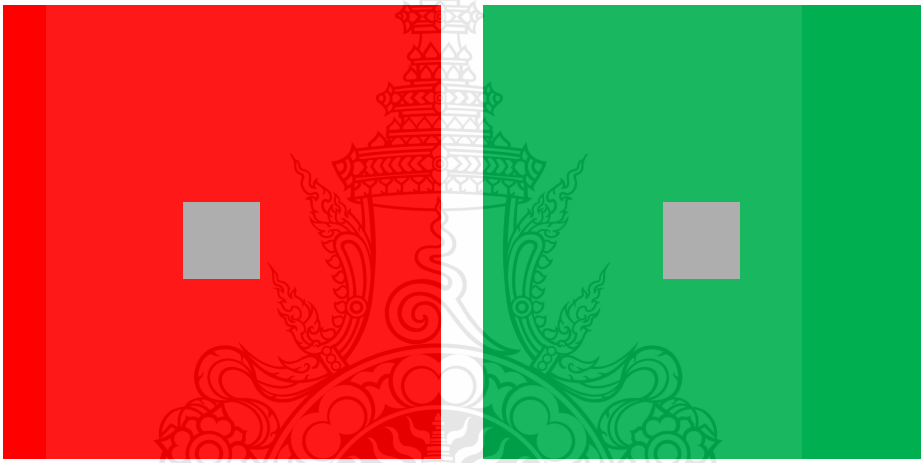
2.1 การปรับสภาพการมองเห็นภายใต้แสงสี (Chromatic adaptation)

การปรับสภาพการมองเห็นภายใต้แสงสีนั้นหมายถึงความสามารถของระบบการมองเห็นของมนุษย์ในการปรับสภาพการมองเห็นในสภาวะแสงที่มีสีสันต่าง ๆ หรือแสงที่สีสันที่เปลี่ยนไป เพื่อรักษาลักษณะที่ปรากฏของสีวัตถุ ทำให้ยังคงรับรู้หรือยังคงเห็นสีที่แท้จริงของวัตถุได้ เช่นภาพที่ 2.1 ในวงกลมสีแดงเรายังคงมองเห็นกระดาษสีขาวเป็นสีขาวอยู่เสมอไม่ว่าจะมองในสภาพแสงสีแบบใด จะยังคงเป็นสีขาวตราบเท่าที่ผู้สังเกตได้รับการปรับสภาพให้เข้ากับแสงนั้น ๆ คุณสมบัติของระบบการมองเห็นนี้เรียกว่าการปรับสภาพในการมองเห็นสีหรือการเห็นสีของวัตถุคงที่ (Color constancy) ในทางกลับกันกล้องที่ไม่มีการปรับแสงเมื่อบันทึกภาพวัตถุภายใต้สภาพแสงที่ต่างกัน ภาพที่ได้ก็จะมีสีแตกต่างกัน แต่ปัจจุบันกล้องนั้นมีฟังก์ชั่นที่เรียกว่า สมดุลสีขาว (White balance) ที่สามารถกำหนดค่าอุณหภูมิสีของแสงในช่วงต่าง ๆ ได้ทำให้สามารถบันทึกภาพวัตถุให้มีสีเหมือนที่ตาเห็นได้ ซึ่งเป็นหลักการเดียวกับการมองเห็นสีคงที่ของมนุษย์ ซึ่งกลไกนี้มีความสำคัญต่อการมองเห็นในชีวิตประจำวันเพื่อที่จะสามารถแยกแยะสิ่งต่าง ๆ ได้ [14, 15, 16]

ภาพที่ 2.1 ตัวอย่างการเห็นสีคงที่ของกระดาษภายใต้สภาพแสงที่อุณหภูมิสีต่างกัน
ที่มา: https://www.cloudynights.com/topic/616978-ies-friend-or-foe/

2.2 ความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียส (Simultaneous Color Contrast, SCC)

ความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียส เป็นปรากฏการณ์ที่รู้จักกันดีที่แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของการปรับสภาพในการมองเห็นสี หากวางแผ่นทดสอบสีเทาไว้ตรงกลางของพื้นหลังสีแดง ดังภาพที่ 2.2 แผ่นทดสอบสีเทาจะปรากฏสีน้ำเงินอมเขียว (Cyan) แต่ไม่ปรากฏเป็นสีที่ชัดเจน [4] ในการทดลองด้วยเทคนิคสองห้อง (Two rooms technique) ที่ประกอบด้วยห้องทดสอบและห้องผู้สังเกตโดยที่แยกทั้งสองห้องด้วยผนัง ผู้สังเกตจะมองไวท์บอร์ดที่อยู่ในห้องทดสอบผ่านหน้าต่างบนผนังกั้น หากว่าผนังด้านหน้าผู้สังเกตเป็นสีขาว ห้องทดสอบสว่างด้วยแสงสีขาวและห้องผู้สังเกตสว่างด้วยแสงสี ผู้สังเกตสามารถมองเห็นความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสในด้านของสีและความสว่างซึ่งสีของหน้าต่างจะปรากฏเป็นสีสดใสชัดเจน [17]



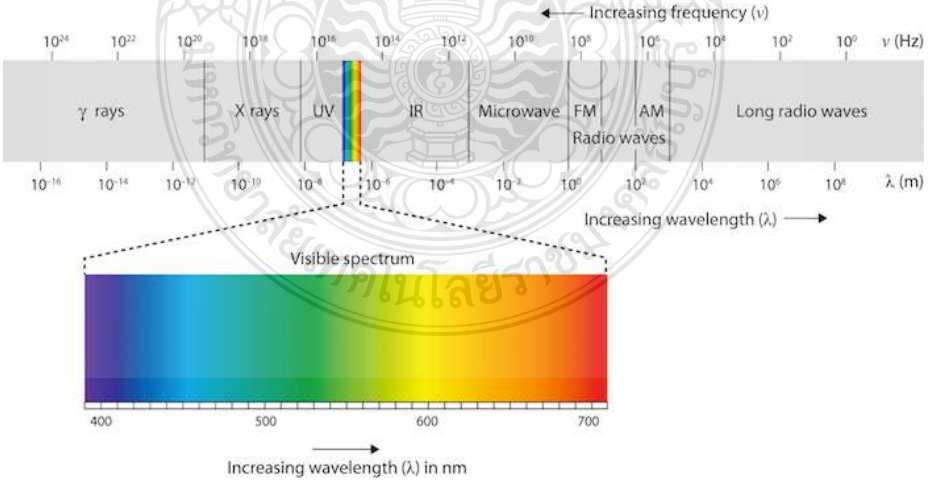
ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างรูปแบบของการสังเกตความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียส

แต่ความเปรียบต่างแบบไซมัลเทเนียสนั้นยังมีอีกรูปแบบ ได้แก่ ความเปรียบต่างความสว่างแบบไซมัลเทเนียส (Simultaneous lightness contrast) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของความสว่างของพื้นหลังให้เกิดการเหนี่ยวนำทำให้ผู้สังเกตรับรู้แผ่นทดสอบสีเทาตรงกลางไปในทิศทางตรงข้าม ตัวอย่างสิ่งเร้าตามภาพที่ 2.3 กล่าวคือหากพื้นหลังสว่างกว่าแผ่นทดสอบสีเทาตรงกลาง ผู้สังเกตจะรับรู้ว่าแผ่นทดสอบตรงกลางมืดลงกว่าความเป็นจริง เป็นต้น [16]

ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างรูปแบบของการสังเกตความเปรียบต่างความสว่างแบบไซมัลเทเนียส

2.3 การมองเห็นสี

สีคือการรับรู้โดยการมองและการจะมองเห็นสีนั้นอาศัยปัจจัยด้วยกัน 3 ประการ นั่นคือ แสงจากแหล่งกำเนิดแสง วัตถุที่ดูดกลืนแสงในบางช่วงคลื่นสะท้อนแสงในบางช่วงคลื่น และระบบการมองเห็นของมนุษย์ที่ทำให้มองเห็นสีที่วัตถุสะท้อนออกมา [18] การที่เรามองเห็นวัตถุมีสีแดงไม่ใช่เพราะตัววัตถุเป็นสีแดง แต่วัตถุดูดกลืนช่วงความถี่ทั้งหมดของคลื่นแสงที่ส่องมากระทบ ยกเว้นช่วงของความถี่บางช่วงที่สะท้อนออกมานั่นคือความถี่ซึ่งถูกมนุษย์มองเห็นว่าเป็นสีแดง [19] โดยเซลล์รูปกรวยในเรตินามีความไวต่อช่วงต่าง ๆ ของสเปกตรัมของแสงที่ตามนุษย์มองเห็นได้ ซึ่งอยู่ในช่วง 380 ถึง 740 นาโนเมตร ดังภาพที่ 2.4

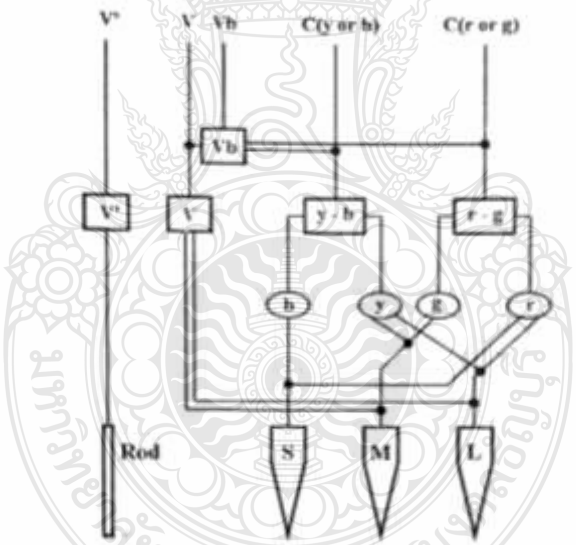


ภาพที่ 2.4 ช่วงสเปกตรัมของแสงที่ตามนุษย์มองเห็นได้

ที่มา: http://www.savingstudentsmoney.org/OLI/psychpost.html\

2.4 ทฤษฎีการมองเห็นสีแบบคู่สีตรงกันข้าม (Opponent color theory)

ทฤษฎีการมองเห็นสีแบบคู่สีตรงกันข้าม หรือทฤษฎีคู่สีตรงกันข้ามได้ถูกนำเสนอเป็นครั้งแรกโดย Ewald Hering นักวิทยาศาสตร์ทางด้านการศึกษากลไกการทำงานของมนุษย์ชาวเยอรมัน เขานำเสนอแนวคิดว่าสีแดงเหลืองเขียวและน้ำเงินนั้นมีความพิเศษตรงที่หากอยู่ในคู่สีตรงกันข้ามแล้วจะไม่สามารถผสมกันได้ แต่หากเป็นสีอื่น ๆ สามารถผสมกันได้ ตัวอย่างเช่น ไม่ว่าเราจะรับรู้สีแดงหรือสีเขียว แต่เราจะไม่มีทางเห็นสีแดงอมเขียว แต่เราสามารถเห็นสีเหลืองอมแดงหรือสีเหลืองอมเขียวได้ ถึงแม้ว่าในทฤษฎีอาร์จีบี (RGB) สีเหลืองจะเกิดจากส่วนผสมของสีแดงและสีเขียวก็ตาม แต่ดวงตาก็ไม่รับรู้เช่นนั้น [20] นั่นได้แสดงให้เห็นว่าระบบการมองเห็นสีของมนุษย์นั้น เป็นการประมวลผลสัญญาณจากเซลล์รูปแท่งเซลล์และรูปกรวยในลักษณะที่ตรงข้ามกัน ทฤษฎีคู่สีตรงกันข้ามนี้แสดงให้เห็นว่ามีช่องสัญญาณที่ตรงข้ามกันสามตัวที่เซลล์รูปกรวยเชื่อมโยงเข้าด้วยกันเพื่อสร้างคู่สีที่ตรงข้ามกัน 3 คู่ ได้แก่ แดงกับเขียว น้ำเงินกับเหลือง และดำกับขาว โดยดำและขาวนั้นไม่เกี่ยวกับสีแต่เป็นความมืดหรือสว่าง [21] ดังภาพที่ 2.5

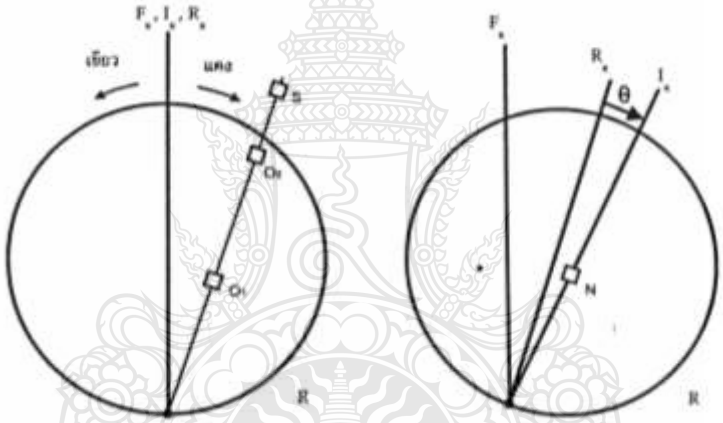


ภาพที่ 2.5 การมองเห็นสีตามทฤษฎีของคู่สีตรงกันข้าม
ที่มา: พรทวี พึ่งรัศมี และ มิทสึโอะ อิเคดะ, **สีและการเห็นสี**, 2551

ในเวลาต่อมาทฤษฎีคู่สีตรงกันข้ามนี้ได้รับการเผยแร่และเป็นที่รู้จักอีกครั้งโดย Hurvich and Jameson ในปี 1957 ทำให้ต่อมาทฤษฎีนี่ได้เป็นที่นิยมใช้ในการศึกษาที่เกี่ยวกับกลไกการมองเห็น และนิยมใช้ในการอธิบายกลไกการทำงานระดับสมองซึ่งเหนือจากการทำงานระดับเรตินา [16]

2.5 ทฤษฎีอาร์วีเอสไอ (Recognized Visual Space of Illumination, RVSI)

การรับรู้สีของวัตถุภายใต้สภาพแวดล้อมนั้นได้รับการอธิบายด้วยทฤษฎีอาร์วีเอสไอโดยมาจากแนวคิดที่ว่ามนุษย์นั้นจดจำพื้นที่ก่อนแล้วจึงรับรู้ถึงสี กล่าวคือ มนุษย์สร้างการรับรู้ความสว่างของพื้นที่ขึ้นภายในสมองของตนเอง ดังตัวอย่างภาพที่ 2.6 โดยที่ขนาดของวงกลมแสดงแทนระดับของความสว่างที่เรารับรู้ หากว่าเรารับรู้ว่าพื้นที่นั้น ๆ ที่เราอยู่มีความสว่างมากขนาดของวงกลมก็จะใหญ่ขึ้น แกนพื้นฐาน (Fx) คือแกนการรับรู้สีที่แท้จริงของวัตถุและเป็นแกนการรับรู้สีขณะที่เราอยู่ในความมืดโดยไม่มีแสงสว่าง เนื่องจากมนุษย์นั้นมีการเรียนรู้และจดจำสีของวัตถุต่าง ๆ ภายใต้แสงจากดวงอาทิตย์อยู่ในความทรงจำ แกนรับรู้ (Rx) ที่เอนไปทางแกนส่องสว่าง (Ix) แสดงแทนการรับรู้สีที่แท้จริงของวัตถุแม้ว่าจะอยู่ภายใต้การส่องสว่างด้วยแสงสีใด ๆ ก็ตาม โดย O_1, O_2 และ N แสดงแทนความสว่างของตัววัตถุ ยิ่งตำแหน่งเข้าใกล้จุดด้านล่างของแกนก็จะยิ่งสว่างน้อยลง [1, 22]



ภาพที่ 2.6 แผนภูมิอธิบายทฤษฎีอาร์วีเอสไอ
ที่มา: พรทวี พึ่งรัศมี และ มิทสึโอะ อิเคดะ, **สีและการเห็นสี**, 2551

2.6 กระดาษทิชชู (Tissue paper)

กระดาษทิชชู หรือกระดาษชำระ เป็นที่นิยมในการใช้เพื่อทำความสะอาด โดยเนื้อกระดาษมีน้ำหนักเบามักจะมีลักษณะเป็นม้วนกลม โดยวัตถุดิบหลักที่นำมาใช้ในการผลิตเป็นกระดาษทิชชูที่เราใช้กันอยู่นี้ นำมาจากเยื่อกระดาษบริสุทธิ์ หรือก็คือเยื่อที่ได้จากขั้นตอนการคัดแยกเยื่อจากต้นไม้ และอีกประเภทคือเยื่อเวียนใหม่ คือเยื่อกระดาษที่ผลิตโดยการนำกระดาษที่ใช้แล้วขึ้นมาใหม่โดยผ่านกระบวนการแยกเอาเยื่อกระดาษออกจากสิ่งปฏิกูล สิ่งสกปรก และหมึกพิมพ์ จากนั้นเข้ากระบวนการฟอกสีให้เยื่อกลับมาเป็นสีขาวเพื่อเป็นวัตถุดิบต่อไป โดยประเทศไทยนั้นทำการนำเข้าเยื่อกระดาษจาก

ต่างประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา สิงคโปร์ และเยอรมนี ทิชชูนั้นเดิมมีเพียงแค่ 2 สี คือสีน้ำตาลจากเยื่อที่รีไซเคิลจากกระดาษหนังสือพิมพ์หรือกระดาษลัง และสีขาวตุ่นจากเยื่อที่รีไซเคิลจากกระดาษสีขาวเช่น กระดาษเอกสารทั่วไป โดยในปัจจุบันนั้นได้มีการคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมมากขึ้นดังนั้นผู้ผลิตจึงหันมาผลิตทิชชูจากเยื่อเวียนใหม่ หรือเยื่อจากกระดาษรีไซเคิล แทนการใช้เยื่อกระดาษบริสุทธิ์ เนื่องจากมีผลการเปรียบที่ชัดเจน คือการผลิตกระดาษจากเยื่อรีไซเคิล 100 เปอร์เซ็นต์ จำนวน1ตัน สามารถลดการตัดต้นไม้ได้จำนวน 17 ต้น มีใช้น้ำน้อยลง 26,500 ลิตร และลดการใช้น้ำมัน 378 ลิตร

2.6.1 ประเภทของกระดาษทิชชู

โดยทั่วไปแล้วกระดาษทิชชูถูกแบ่งประเภทตามประโยชน์การใช้งาน แต่ประเทศไทยมักจะเรียนกระดาษกลุ่มนี้แบบเหมารวมว่ากระดาษทิชชู และไม่แบ่งประเภทการใช้งาน ถ้าทำการแบ่งประเภทของทิชชูแล้วโดยทั่วไปจะแบ่งได้ดังนี้

กระดาษชำระ หรือ Toilet paper เป็นกระดาษทิชชูที่จุดเด่นคือเปื่อยยุ่ยง่ายเมื่อโดนน้ำ สำหรับต่างประเทศมักจะใช้กระดาษชำระเฉพาะในการทำความสะอาดหลังขับถ่ายเท่านั้น ซึ่งโดยทั่วไปจะคงลักษณะไว้ให้เป็นม้วนกลมเพื่อสะดวกต่อการใช้ โดยอาจมีการพิมพ์ลวดลายหรือใส่สีเพื่อเพิ่มความงาม

กระดาษชำระอเนกประสงค์ หรือ Paper towels เป็นกระดาษทิชชูที่ใช้สำหรับงานบ้านทั่วไปโดยทดแทนการใช้ผ้าเช็ดโต๊ะหรือผ้าเช็ดพื้น ในประเทศไทยกระดาษชนิดนี้ไม่เป็นที่นิยมเพราะยังติดการใช้ผ้าในการทำความสะอาดแต่เริ่มมีการใช้งานมากขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปจะผลิตออกมาในรูปแบบม้วนกระดาษขนาดใหญ่ โดยเนื้อกระดาษจะมีความเหนียวเพื่อใช้ทำความสะอาดและใช้งานทั่วไป

ภาพที่ 2.7 กระดาษเช็ดหน้า (Facial tissue)

ที่มา: https://www.indiamart.com/proddetail/facial-tissue-9296934591.html [ออนไลน์]

กระดาษเช็ดหน้า หรือ Facial tissue ดังภาพที่ 2.7 ถือเป็นกระดาษทิชชูที่มีคุณสมบัติของความเหนียว นุ่ม เนื่องจากเป็นการใช้สำหรับซับน้ำหลังการล้างหน้า เป็นต้น มักจะบรรจุอยู่ในกล่องทรงสี่เหลี่ยม หรืออยู่ในห่อพลาสติกขนาดเล็ก เพื่อสะดวกต่อการพกพา โดยมีลวดลายบรรจุภัณฑ์ที่สวยงามน่าซื้อ ซึ่งกระดาษเช็ดหน้านี้นิยมทำเป็นสีขาวเพื่อให้ดูสะอาดน่าใช้

กระดาษเช็ดปาก หรือ Table napkins โดยกระดาษทิชชูประเภทนี้แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทแรกนั้นใช้สำหรับวางบนโต๊ะอาหารทดแทนผ้าเช็ดปาก ในกลุ่มประเทศยุโรปและอเมริกา มักจะมีสีสันและลวดลายที่สวยงามเพื่อใช้ในการประดับตกแต่งบนโต๊ะอาหาร อีกประเภทคือสำหรับจัดไว้ในห้องน้ำเพื่อใช้เช็ดทำความสะอาดมือ [23]

2.6.2 สารเรืองแสง (Optical Brightening Agents, OBA)

ในการผลิตกระดาษทิชชู บรรจุภัณฑ์อาหาร เช่น กรวยน้ำดื่ม หรือกระดาษที่ต้องการความขาว มักจะใช้สารเรืองแสง (Optical Brightening Agents, OBA) เพื่อเพิ่มความขาวสว่างให้ตัวกระดาษในการผลิต โดยในกระดาษทิชชูนั้นถือเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดกระดาษที่สัมผัสกับผิวหนังของผู้ใช้ เช่นในการทำความสะอาดผิว หรือการเช็ดหน้า แต่ในขั้นตอนการผลิตนั้นหากเป็นเนื้อเยื่อจากรีไซเคิลมักมีการผสมสารเรืองแสงเข้ามาด้วย โดยหากนำกระดาษที่มีส่วนผสมของสารเรืองแสงตรวจวัดภายใต้แหล่งกำเนิดแสงชนิด UV กระดาษนั้นจะสะท้อนแสงออกมา ดังภาพที่ 2.8 [24]

ภาพที่ 2.8 การตรวจสอบหาสารเรืองแสงของกระดาษ ไม่มีสารเรืองแสง (ซ้าย) มีสารเรืองแสง (ขวา)
ที่มา: http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_j/2559_64_201_p10-11.pdf [ออนไลน์]

2.7 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสนั้นในได้มีการศึกษามาอย่างยาวนานซึ่งมีการใช้วิธีการที่หลากหลายในการศึกษา โดย Chitapanya, Ikeda and Phuangsuwan (2018) ที่ได้ทำการศึกษาในเรื่องของความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสโดยทำการทดลอง 2 รูปแบบ ที่มีการควบคุมค่าสีที่ใช้ทำการทดลอง จำนวน 4 สี ให้เหมือนกัน ได้แก่ การทดลองในโหมดวัตถุ (Object mode) โดยใช้แผ่นกระดาษสีทดสอบ และการทดลองในโหมดการส่องสว่าง (Illumination mode) ภายในห้อง ผู้สังเกตทำการทดลองโดยการประเมินค่าสีที่ปรากฏด้วยวิธีคำเรียกสีพื้นฐานในทั้ง 2 การทดลอง ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าการปรากฏสีของแผ่นทดสอบสีเทาภายใต้โหมดการส่องแสงสว่างภายในห้องผู้สังเกตจะรับรู้สีที่สดใสหรือชัดเจน ขณะที่เกือบจะไม่มีสีเมื่ออยู่ในโหมดวัตถุ แสดงให้เห็นว่าการปรับสภาพการมองเห็นนั้นเกิดขึ้นต่อการส่องแสงสว่าง ไม่ใช่ต่อสีของวัตถุ [5] ในปีเดียวกันนั้น Ikeda and Phuangsuwan (2018) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเกิดความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียส โดยการทดลองซึ่งสิ่งเร้าจำนวน 13 สีถูกแสดงผ่านจอแสดงผล ผู้สังเกตประเมินค่าสีของสีแวดล้อมก่อน จากนั้นหลังเกิดภาพติดตาจึงทำการประเมินค่าที่สีปรากฏของสีแวดล้อมและแผ่นทดสอบสีเทาด้วยวิธีคำเรียกสีพื้นฐาน ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์นั้นพบว่าสีของภาพติดตาของแผ่นทดสอบสีเทานั้นปรากฏสีเหมือนกับสีแวดล้อม จากความสัมพันธ์ของเฉดสีนี้ทำให้สังเกตได้ว่าการเกิดความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสในภาพติดตาเป็นผลมาจากการปรับสภาพการมองเห็นสีต่อความส่องสว่างของภาพติดตาของสีแวดล้อม [25] Nguensawat, Ikeda, Phuangsuwan and Mizokami (2019) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของระยะการมองต่อความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียส โดยการกำหนดระยะทางในการมองหลายระยะและขยายขนาดของสิ่งเร้าให้มีขนาดใหญ่และเป็นทรงโค้งในแนวนอน ผลการศึกษาพบว่าความสดใสของแผ่นทดสอบสีเทาเพิ่มขึ้นเมื่อระยะห่างจากสิ่งเร้านั้นสั้นลง เป็นการยืนยันตามการคาดการณ์ของทฤษฎีอาร์วีเอสไอ คือเมื่อสิ่งเร้าถูกมองจากระยะทางสั้นมาก ๆ ผู้สังเกตจะรับรู้ความเป็นวัตถุของสิ่งเร้าน้อยลงเพราะสิ่งเร้ามีขนาดใหญ่และไม่สามารถมองเห็นขอบ จึงทำให้ปรับสภาพเข้ากับสีของแสงไม่ใช่สีของวัตถุ [26] Mepean, Ikeda and Phuangsuwan (2019) ได้ศึกษาอิทธิพลของระยะการมองต่อการเกิดความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสบนหน้าจอแสดงผล โดยกำหนดระยะในการมองวัตถุหลายระยะและทำการประเมินค่าสี ผลการศึกษาพบว่าโดยทั่วไปผู้สังเกตมองเห็นความสดใสของแผ่นทดสอบเพิ่มขึ้นเมื่อระยะทางสั้นลง ขณะเดียวกันก็มีผลที่ตรงกันข้ามจากผู้สังเกตบางคน ซึ่งมีคำอธิบายไว้ว่าเป็นเพราะจอแสดงผลเป็นจอที่เปล่งแสงในตัวเอง (Self-luminous display) ทำให้ผู้เข้าร่วมบางคนรู้สึกหรือรับรู้แสงสีของพื้นหลังแม้ในระยะทางไกลสุด (5 เมตร) ทำให้สามารถเห็นการปรากฏสีที่สดใสได้แม้อยู่ในระยะไกล [13]

ประเด็นต่อมานั่นคือการใช้กระดาษทิชชูในการทำการศึกษาวิจัยความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียส ซึ่งได้มีผู้ศึกษา เช่น Kimcheang, Ikeda and Phuangsuwan (2019) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความแตกต่างสีโดยใช้แผ่นกระดาษสีทดสอบ จำนวน 10 สี ผู้สังเกตทำการตัดสินสีที่เห็นบนแผ่นทดสอบโดยใช้วิธีคำเรียกสีพื้นฐาน การทดลองนั้นเริ่มด้วยการตัดสินสีของแผ่นทดสอบที่ไม่มีกระดาษทิชชู จากนั้นใช้กระดาษทิชชูวางปิดทับด้านบนแผ่นสีทดสอบ โดยเพิ่มจำนวนชั้นของทิชชู จาก 1, 2, 3 และ 4 ชั้น ผลที่ได้พบว่าแม้ปริมาณของค่าความมีสีจะลดลง แต่สีของแผ่นทดสอบไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนเมื่อทำการเพิ่มจำนวนชั้นกระดาษทิชชู [10] เช่นเดียวกับ Phuangsuwan and Ikeda (2019) ที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียส เนื่องจากเป็นไปได้ว่าอุปกรณ์แสดงผลที่ต่างกันอาจให้ข้อมูลที่แตกต่างกันได้ จึงทำการศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ในการนำเสนอสิ่งเร้าที่แตกต่างกัน 5 โหมด เพื่อหาข้อสรุป โดยมี โหมดวัตถุ (แผ่นกระดาษสีทดสอบ) วัตถุที่ปิดทับด้วยกระดาษทิชชู จอแสดงผล โปรเจคเตอร์ และเทคนิคสองห้อง และใช้สีแวดล้อม จำนวน 4 สี ได้รับการควบคุมให้แสดงสีเหมือนกันในทุกอุปกรณ์และทำการทดลองด้วยวิธีคำเรียกสีพื้นฐาน ผลลัพธ์พบว่าในด้านของสีสัน (Hue) ไม่ได้เปลี่ยนแปลงมากนักในแต่ละอุปกรณ์ แต่สีที่ปรากฏของแผ่นทดสอบสีเทาที่แวดล้อมด้วยสีแดง กลับมีความแตกต่างของค่าความมีสีประมาณ 15 – 70 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ โดยสรุปแล้วพวกเขาได้แนะนำว่าไม่ควรเปรียบเทียบผลลัพธ์ของความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสโดยตรงหากใช้อุปกรณ์แสดงผลที่แตกต่างกัน [11] Jinphol, Ikeda, Phuangsuwan and Mizokami (2019) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเกิดความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียส โดยใช้วัสดุสำหรับปิดแผ่นทดสอบหลายประเภท เช่น กระจกฝ้า ทิชชู ผ้าที่มีเส้นใยต่าง ๆ เช่น ผ้าไหม โดยสิ่งเร้าที่ใช้มีสองประเภท คือ สิ่งเร้าที่เป็นกระดาษ และสิ่งเร้าที่แสดงบนจอแสดงผล ผลการศึกษาพบว่าชนิดของวัสดุนั้นไม่มีอิทธิพลต่อการปรากฏสีแต่จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อค่าความขุ่นมัว (Haze value) ของวัสดุนั้นสูงถึง HV 80 แต่หากสูงกว่านี้อิทธิพลต่อการปรากฏสีจะลดลง และการมองสิ่งเร้าที่แสดงบนจอแสดงผลผ่านกระดาษทิชชูจะเห็นสีที่ชัดเจนกว่าสีที่เห็นบนสิ่งเร้าที่เป็นกระดาษในวิธีเดียวกัน [12] และ Purves, Williams, Nundy and R. B. (2004) ทำการศึกษาปรากฏการณ์ความเปรียบต่างความสว่างแบบไซมัลเทเนียสโดยใช้สิ่งเร้าที่จำลองภาพด้วยกราฟิกแสดงบนจอแสดงผลโดยเป็นแผ่นทดสอบสีเทารูปทรงไดม่อนที่มีความส่องสว่างเท่ากันล้อมล้อมด้วยพื้นหลังมืด (เทาเข้ม) ด้านซ้ายและพื้นหลังสว่าง (เทาอ่อน) ด้านขวา ผู้สังเกตทำการเทียบความสว่างของแผ่นทดสอบกับเสกลสีเทา ผลพบว่าแผ่นทดสอบสีเทาที่ล้อมรอบด้วยพื้นหลังมืดผู้สังเกตจะรับรู้ว่าสว่างกว่าแผ่นทดสอบสีเทาที่ล้อมรอบด้วยพื้นหลังสว่าง ถึงแม้ในความจริงแผ่นทดสอบสีเทาทั้งคู่จะสว่างเท่ากันก็ตาม [7]

และยังรวมไปถึงการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับสภาพการมองเห็นภายใต้แสงสีเช่นเดียวกัน เช่น Mizokami, Ikeda and Shinoda (2000) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีอาร์วีเอสไอ เพื่อแสดง

ให้เห็นว่าคุณสมบัติสีของอาร์วีเอสไอถูกควบคุมโดยการเปลี่ยนข้อมูลการมองเห็นแรกเริ่ม ซึ่งทำการทดลองโดยสร้างห้องขนาดเล็ก และใช้วัตถุจำลองเป็นเฟอร์นิเจอร์คล้ายห้องนอน จำนวน 2 ห้องที่เหมือนกันทั้งคู่ และให้แสงสว่างด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดเดียวกัน ห้องหนึ่งจัดวัตถุต่าง ๆ ภายในห้องด้วยสีสันหลากหลาย (ห้อง D) และอีกหนึ่งห้องจัดสีของวัตถุในห้องทั้งหมดไปในทิศทางสีส้มคล้ายกับห้องสว่างด้วยแสงสีส้ม (ห้อง I) แผ่นทดสอบจำนวน 15 แผ่น ถูกติดตั้งไว้บริเวณกลางห้องครั้งละหนึ่งแผ่น ผู้สังเกตทำการตัดสินสีของแผ่นทดสอบโดยตอบเพียงหนึ่งถึงสองสีจาก 4 สี แดง เหลือง เขียว และน้ำเงิน พบว่าสีที่ปรากฏของชุดแผ่นทดสอบในห้อง I ค่อนไปทางสีน้ำเงินแกมเขียว เมื่อเทียบกับสีชุดแผ่นทดสอบในห้อง D แม้ว่าจะมีแสงเดียวกัน บ่งชี้ว่าสีที่ปรากฏของวัตถุนั้นไม่ได้ถูกกำหนดโดยสีของมันเอง แต่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติสีของอาร์วีเอสไอของห้องที่มีการสังเกตวัตถุ [27] ต่อมา Ikeda, Pungrassamee, Katemake and Hansuebsai (2006) ทำการวัดการปรากฏสีของแผ่นทดสอบที่วางอยู่ในห้องทดสอบที่มีความสว่างจากแสงไฟประเภทแสงกลางวัน โดยการดูจากห้องผู้สังเกตที่มีแสงสว่างเป็นหนึ่งในสี่สี ของแดง เหลือง เขียว และน้ำเงิน โดยผ่านช่องหน้าต่างที่ขนาดต่างกัน ผลการทดลองพบว่าหน้าต่างขนาดเล็กสุดที่เห็นเพียงแผ่นทดสอบปรากฏสีที่เกือบจะตรงข้ามกับสีไฟในห้องผู้สังเกต เมื่อหน้าต่างใหญ่ขึ้นสีก็จะกลับไปเป็นสีเดิมของมันเนื่องจากผู้สังเกตสามารถจดจำห้องทดสอบที่เป็นพื้นที่จริง ซึ่งการเปลี่ยนกลับเป็นสีเดิมของแผ่นทดสอบไม่ได้เกิดจากสีของวัตถุที่อยู่ในห้องนั้น ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าการปรากฏสีของแผ่นทดสอบไม่ได้ถูกกำหนดโดยการปรับสภาพการมองเห็นสีที่เรตินา แต่เป็นการที่สมองการปรับให้เข้ากับสีของแสงในพื้นที่นั้น [28] Phuangsuwan and Ikeda (2017) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการปรับสภาพการมองเห็นสีโดยใช้เทคนิคสองห้อง ห้องทดสอบนั้นสว่างด้วยแสงไฟสีขาว และห้องผู้สังเกตสว่างด้วยแสงไฟสีต่าง ๆ ผู้สังเกตทำการประเมินสีของหน้าต่างซึ่งเรียกว่าสีที่ได้รับการปรับ (Adapted) และประเมินสีที่ปรากฏภายในห้องของผู้สังเกตซึ่งเรียกว่าสีขณะปรับ (Adapting) โดยใช้วิธีคำเรียกสีพื้นฐาน ซึ่งใช้แสงสีจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ 7 สี และหลอด LED 19 สี ผลพบว่าสีของหน้าต่างดูสีสดชัดเจนซึ่งขึ้นอยู่กับสีของห้องผู้สังเกต และการปรับสภาพการมองเห็นสีนั้นไม่ได้เป็นไปตามแนวคิดสีของคู่สีตรงข้าม [16]

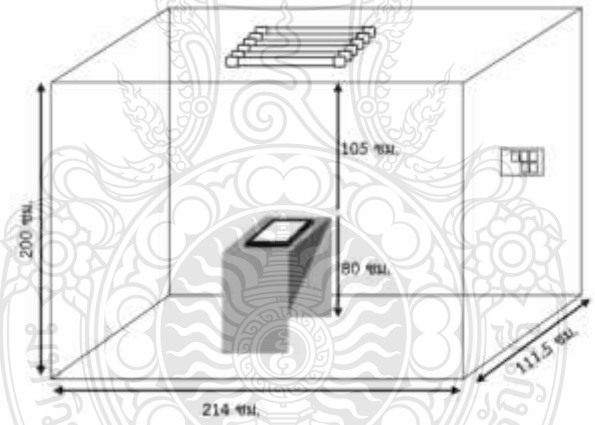
ปลูกเกษม ชูตระกูล (2013) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างโหมดการปรากฏสีและการเคลื่อนที่การปรากฏสี โดยใช้ชิ้นสีมันเซลล์วางในห้องที่มีการปรับระดับความสว่างรวมถึงห้องของผู้สังเกตเช่นกัน โดยผลพบว่าเมื่อโหมดการปรากฏสีเปลี่ยนการรับรู้ความสว่างรวมถึงความอิ่มตัวสีของแผ่นสีทดสอบจะเปลี่ยนไปเช่นกัน รวมถึงการรับรู้สีสันที่เปลี่ยนไปของแผ่นทดสอบสียกเว้นสีน้ำเงิน [29]

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาอิทธิพลของความสว่างภายในห้องและความส่องสว่างของจอแสดงผลที่มีต่อการปรากฏความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสมองผ่านกระดาษทิชชูมีวิธีการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

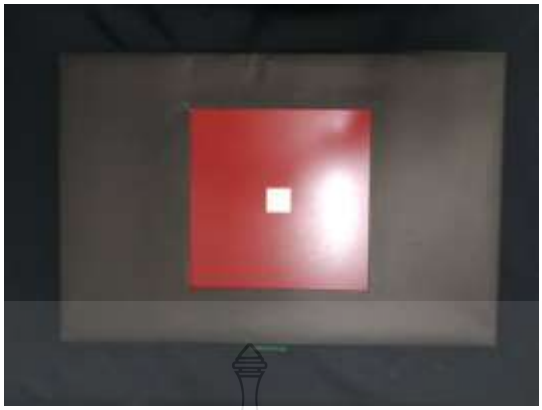
3.1 การเตรียมการทดลอง

3.1.1 ห้องทดลอง ตามภาพที่ 3.1 ในการดำเนินการทดลองนั้นห้องที่ใช้มีขนาดกว้าง 111.5 เซนติเมตร ยาว 214 เซนติเมตร และมีความสูง 200 เซนติเมตร ผนังภายในห้องเป็นสีขาว ความสูงของโต๊ะที่วางจอแสดงผลนั้นอยู่ที่ 80 เซนติเมตร มีติดตั้งไฟเพดานเพื่อให้แสงสว่างประกอบด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดแสงเดย์ไลท์ จำนวน 5 หลอด และฟลูออเรสเซนต์ชนิดปรับระดับความสว่างได้ จำนวน 1 หลอด โดยระยะห่างจากไฟเพดานถึงจอแสดงผลอยู่ที่ 105 เซนติเมตร



ภาพที่ 3.1 ภาพร่างของห้องทดลอง

3.1.2 จอแสดงผล ตามภาพที่ 3.2 สิ่งเร้าได้รับการนำเสนอโดยใช้จอแสดงผล EIZO LCD รุ่น ColorEdge CS2420 ขนาดจอ 24.1 นิ้ว โดยมีการครอบปิดบริเวณหน้าจอด้วยกระดาษสีดำที่เจาะช่องว่างตรงกลางให้มีขนาดเท่ากับสิ่งเร้า เพื่อลบการจดจำของผู้สังเกตขณะแสดงสิ่งเร้าว่ากำลังมองสิ่งเร้าที่แสดงบนจอแสดงผล หากผู้สังเกตจดจำว่าตนนั้นกำลังมองจอแสดงผลอาจส่งผลต่อการตัดสินคำตอบได้ จอแสดงผลถูกวางขนานไปกับพื้นโต๊ะซึ่งปิดด้วยผ้าคลุมสีดำ และควบคุมการแสดงสิ่งเร้าด้วยคอมพิวเตอร์พกพา ASUS รุ่น N43S จากด้านนอกห้องทดลองผ่านสายเชื่อมต่อ HDMI



ภาพที่ 3.2 ภาพมุมมองจากด้านบนของจอแสดงผลที่วางขนานกับโต๊ะ

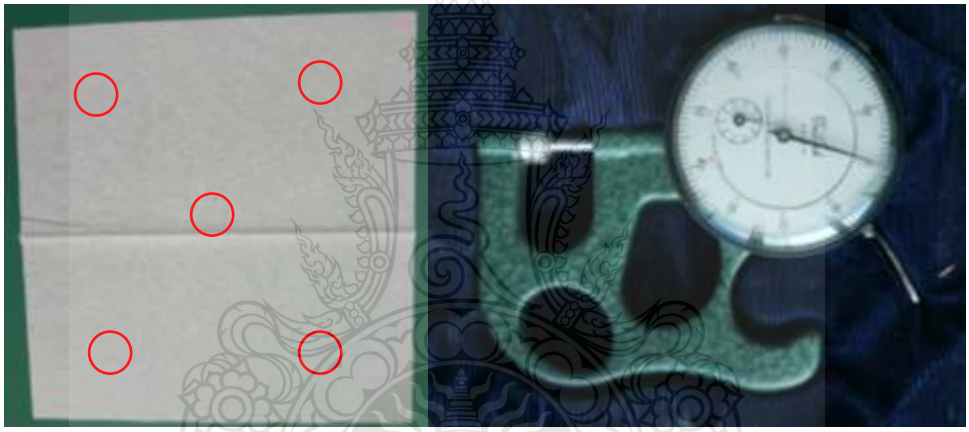
3.1.3 กระดาษทิชชู ในการทดลองนี้ได้มีการใช้กระดาษทิชชูเป็นหนึ่งในขั้นตอนการทำการทดลองโดยใช้เพื่อบดบังรูปทรงของแผ่นทดสอบสีเทาและลดการรับรู้ความเป็นวัตถุของสิ่งเร้า [8] ผู้วิจัยได้ใช้กระดาษทิชชูโดยยึดกับกรอบสี่เหลี่ยมที่ทำจากแผ่นโฟมเพื่อความเรียบตึง ช่องด้านในของกรอบนั้นมีขนาด 13x14 เซนติเมตร ตามภาพที่ 3.3 โดยกระดาษทิชชูที่ใช้นั้นเป็นชนิดกระดาษเช็ดหน้า (Facial tissue) แบบแผ่นสี่เหลี่ยมที่หาซื้อได้ทั่วไปจำนวน 1 ชั้น (โดยทั่วไปกระดาษเช็ดหน้า 1 แผ่น ประกอบด้วยกระดาษทิชชูซ้อนประกบ 2-3 ชั้น)

ภาพที่ 3.3 กระดาษทิชชูสำหรับทำการทดลอง

กระดาษทิชชูที่วางขายทั่วไปนั้นต่างมีลักษณะและสมบัติเฉพาะต่างกันไปตามชนิดและบริษัทผู้ผลิต กล่าวคือการเลือกใช้กระดาษทิชชูต่างยี่ห้อสำหรับการทดลองอาจให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน โดยรายละเอียดของกระดาษทิชชูที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของกระดาษทิชชูที่ใช้ในการทดลอง

หัวข้อ	รายละเอียด
ความหนา	0.06 มิลลิเมตร
ความสม่ำเสมอของกระดาษ	S.D. $\pm$ 0.01
ค่าความขุ่นมัว	80 เปอร์เซ็นต์
ค่าการส่องผ่าน	56 เปอร์เซ็นต์
ค่าความทึบแสง	44 เปอร์เซ็นต์
ค่าความขาว	L* = 93
สีของกระดาษ	x = 0.311, y = 0.325



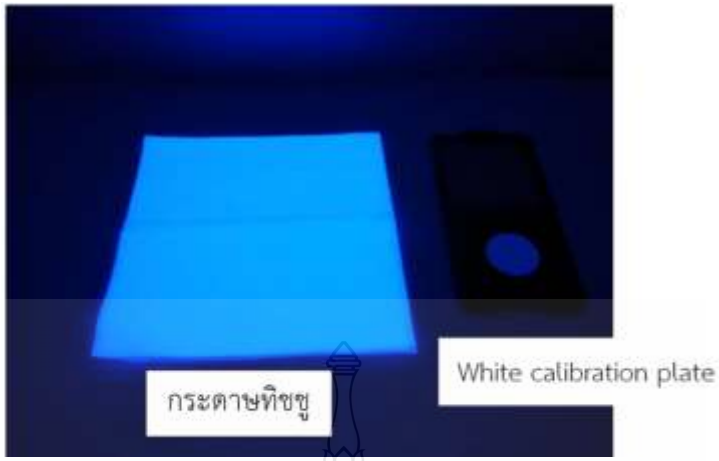
ภาพที่ 3.4 พื้นที่สำหรับวัดความหนา 5 จุด และเกจวัดความหนา

ในการวัดความหนาของกระดาษทิชชูทำการวัดโดยเลือกสุ่มเลือกตัวอย่างกระดาษจากยี่ห้อเดียวกัน 2 กล่อง ๆ ละ 5 แผ่น และทำการวัดจำนวน 5 จุดต่อแผ่น ด้วยอุปกรณ์เกจวัดความหนา (ภาพที่ 3.4) โดยความหนาเฉลี่ยอยู่ที่ 0.06 มิลลิเมตร และความหนาทั้ง 5 จุดนั้นค่อนข้างใกล้เคียงกัน ระหว่าง 0.05-0.07 มิลลิเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, S.D.) อยู่ที่ $\pm$0.01 ค่าความขุ่นมัวนั้นทำการวัดด้วยเครื่องวัดค่าความขุ่น (Haze meter) Murakami Color Research Laboratory รุ่น HM-150 (ภาพที่ 3.5)

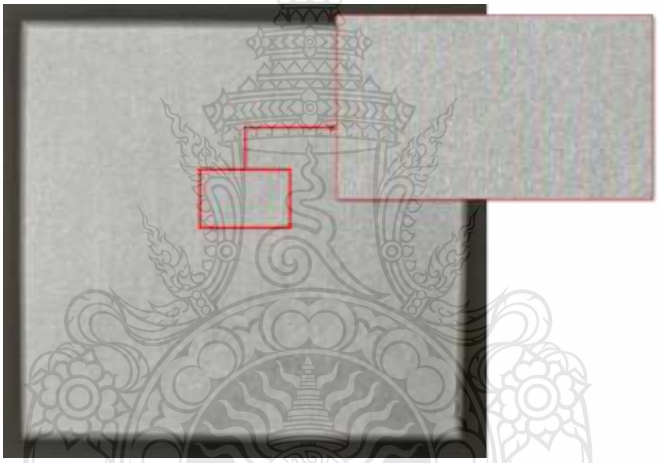
ภาพที่ 3.5 เครื่องวัดค่าความขุ่น Murakami Color Research Laboratory รุ่น HM-150

ภาพที่ 3.6 เครื่องวัดสีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ Konica Minolta รุ่น CM-3700A

ค่าการส่องผ่าน ค่าความทึบแสง ค่าความขาวและสีของกระดาษทิชชูถูกวัดด้วยเครื่องวัดสีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ Konica Minolta รุ่น CM-3700A (ภาพที่ 3.6) พบว่ากระดาษทิชชูที่ใช้มีการผสมสารเรืองแสง (Optical Brightening Agents, OBA) ผสมในตัวทิชชูดังภาพที่ 3.7 โดยทำการตรวจสอบภายใต้แสงไฟ UV โดยเทียบกับอุปกรณ์ White calibration plate ด้วยอุปกรณ์ห้องดูแสงไฟสี PANTONE Color Viewing Light และในส่วนของตัวกระดาษทิชชูนั้นมีลักษณะเส้นใยของเยื่อกระดาษค่อนข้างสั้น มีรูพรุนขนาดเล็ก และฉีกขาดได้ง่าย เมื่อนำกระดาษทิชชูวางทับบนหน้าจอที่แสดงสิ่งเร้าพบว่ามีผู้สังเกตมีการเห็นภาพลายตาเสื่อ (Moirés) ดังภาพที่ 3.8 โดยมองเห็นเม็ดสกรีน RGB ของจอแสดงผลลักษณะเป็นริ้วแนวตั้งหรือแนวนอนตามทิศทางของการวางกระดาษทิชชู ซึ่งส่งผลให้ผู้สังเกตประเมินสีของสิ่งเร้ายากขึ้นกว่าปกติ โดยเฉพาะในการทดลองที่ 2 ในสภาวะความสว่างน้อย



ภาพที่ 3.7 การตรวจสอบสารเรืองแสง (Optical Brightening Agents, OBA)



ภาพที่ 3.8 ภาพลายตาเสื่อ (Moirés) ปรากฏบนจอแสดงผลเมื่อมองผ่านกระดาษทิชชู

ในการศึกษาครั้งนี้มีผู้วิจัยได้ทำการแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน เพื่อศึกษาการปรากฏความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสมองผ่านกระดาษทิชชู โดย

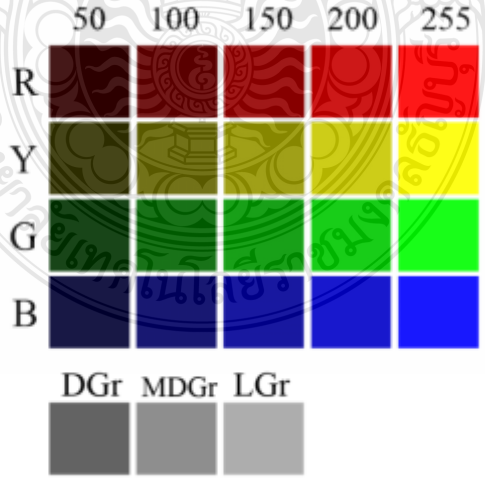
1. ศึกษาอิทธิพลของความส่องสว่างของจอแสดงผล
2. ศึกษาอิทธิพลของความสว่างภายในห้อง

โดยการทดลองทั้ง 2 การทดลองมีการกำหนดสภาวะการทดลองและสิ่งเร้าที่แตกต่างกันเพื่อให้เหมาะสมต่อการศึกษา โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

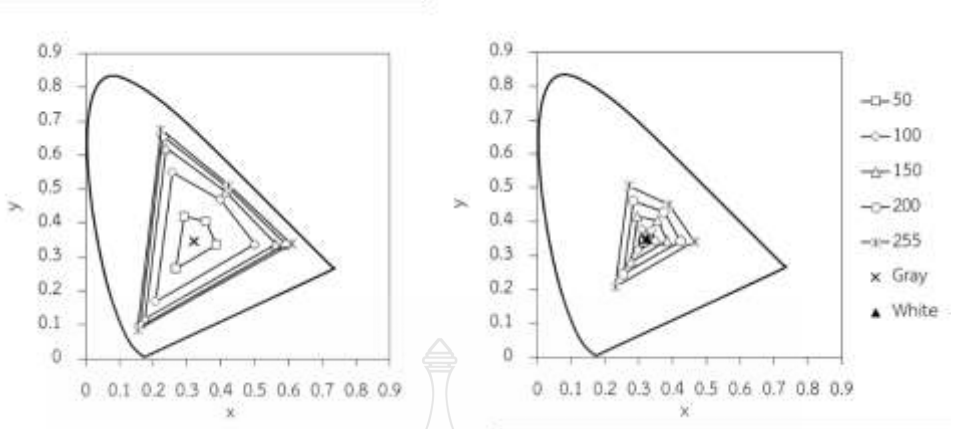
3.2 การทดลองที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของความส่องสว่างของจอแสดงผล

การทดลองที่ 1 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของความส่องสว่างของจอแสดงผลที่ส่งผลต่อความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสมองผ่านกระดาษทิชชูได้ดีที่สุด มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

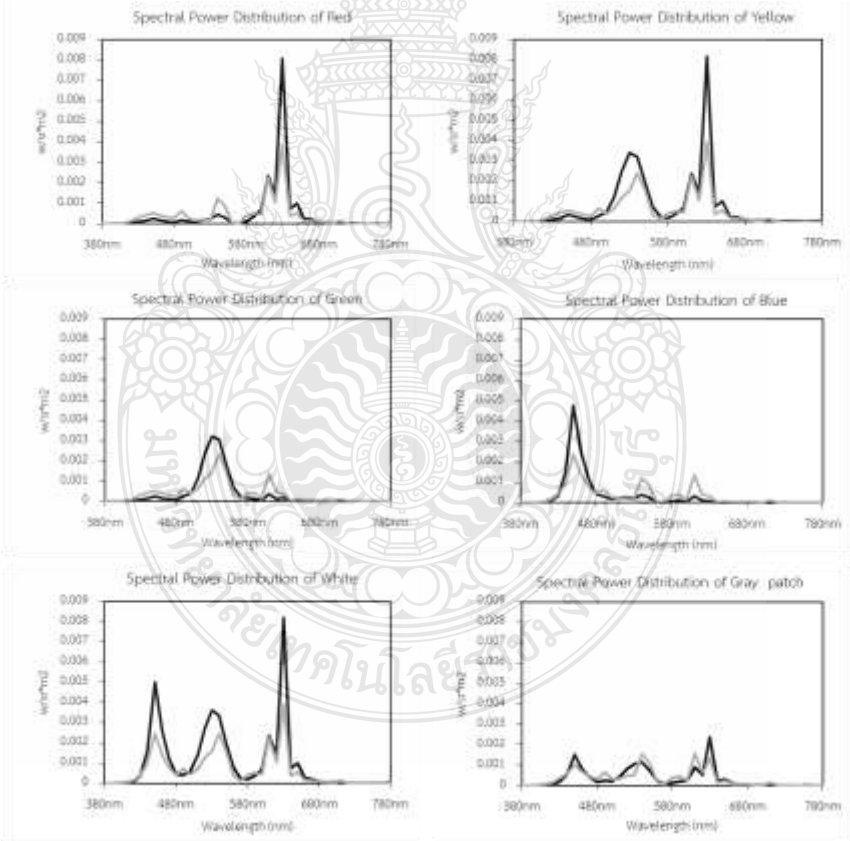
3.2.1 สิ่งเร้า ในการทดลองสิ่งเร้าที่นำมาใช้ถูกสร้างขึ้นโดยทำการปรับสัดส่วนสี RGB ในโปรแกรม Microsoft PowerPoint 2013 เป็นจำนวน 6 สี ซึ่งแบ่งเป็นสีพื้นหลัง (Surround) จำนวน 5 สี ได้แก่ สีแดง (Red, R) สีเหลือง (Yellow, Y) สีเขียว (Green, G) และสีน้ำเงิน (Blue, B) โดยสีพื้นหลัง 1 สี จะได้รับการปรับระดับความเข้มของการส่องสว่างโดยทำการปรับสัดส่วนสี RGB ตั้งแต่ 0 ถึง 255 ออกเป็น 5 ระดับ คือ 50, 100, 150, 200 และ 255 ดังภาพที่ 3.9 และสีขาวสำหรับเป็นสีควบคุมในการตรวจสอบการประเมินแผ่นทดสอบสีเทาปกติ และสีเทาสำหรับแผ่นทดสอบสีเทา (Gray test patch) บริเวณตรงกลางสิ่งเร้าอีก 1 สี โดยแบ่งออกเป็น 3 ระดับความส่องสว่างเช่นกัน ซึ่งความส่องสว่างทั้ง 3 ระดับมีความต่างที่เท่า ๆ กัน คือ 20 แคนเดลา/ตารางเมตร (cd/m^2) เรียกแทนด้วย DGr (21 cd/m^2), MDGr (41 cd/m^2), LGr (61 cd/m^2) สำหรับสีเทาเข้ม สีเทากลาง และสีเทาอ่อนตามลำดับ เมื่อแสดงสิ่งเร้าบนจอแสดงผลและวัดด้วยเครื่องวัดความส่องสว่างและสี (Luminometer) Konica Minolta รุ่น CS-100A โดยวัดจากจอแสดงผลโดยตรงไม่ผ่านกระดาษทิชชูและวัดผ่านกระดาษทิชชู ภายใต้ความสว่างห้อง 200 ลักซ์ (lx) โดยแสดงค่าสีในรูปแบบแผนภูมิ xy chromaticity ดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.9 สีของพื้นหลังที่ทำการปรับสัดส่วนของสี RGB 5 ระดับ และแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ



ภาพที่ 3.10 แผนภูมิแสดงค่า xy chromaticity สีสิ่งเร้า 5 สี ไม่มีกระดาษทิชชู (ซ้าย) และมีกระดาษทิชชู (ขวา)



(——) ไม่มีกระดาษทิชชู (——) มีกระดาษทิชชู

ภาพที่ 3.11 แผนภูมิแสดงการกระจายพลังงานแสงในสเปกตรัมที่วัดจากสีสิ่งเร้าบนจอแสดงผล

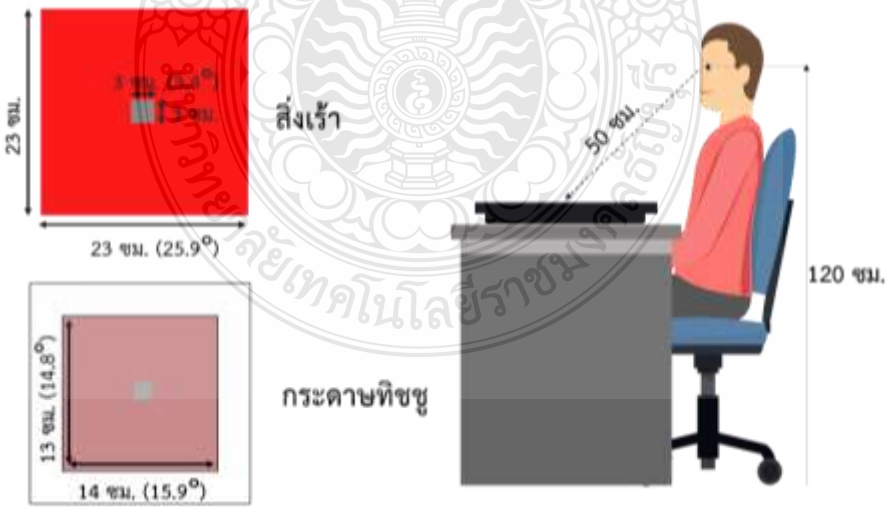
จากภาพที่ 3.10 แสดงให้เห็นถึงลดลงอย่างเป็นลำดับของสีพื้นหลังทั้ง 4 สี แสดงโดยสัญลักษณ์ (∗) หรือสีของพื้นหลังที่มีการปรับสัดส่วนสี RGB ที่ 255 ของสีนั้น ๆ ปรากฏอยู่ด้านนอกสุด และลดลงอย่างสอดคล้องกับสัดส่วนสี RGB เช่นกัน และที่สัดส่วนสี RGB ที่ 50 สัญลักษณ์ (□) ปรากฏเข้าใกล้สีขาว ซึ่งแสดงชัดเจนในแผนภูมิขวามือที่วัดสีผ่านกระดาษทิชชู และภาพที่ 3.11 แสดงการกระจายพลังงานแสงในสเปกตรัมในแต่ละความยาวคลื่นของสีสิ่งเร้าบนจอแสดงผล

ในการทดลองนั้นเมื่อผู้สังเกตนั่งบนเก้าอี้แล้วความสูงของระดับสายตาของผู้สังเกตโดยเฉลี่ยแล้วจะอยู่ที่ 120 เซนติเมตร โดยสิ่งเร้าเมื่อแสดงอยู่บนจอนั้น มีขนาด 23 ตารางเซนติเมตร และแผ่นทดสอบสีเทามีขนาด 3 ตารางเซนติเมตร เมื่อผู้สังเกตมองไปยังตรงกลางของสิ่งเร้าจะมีระยะการมองเห็นที่ห่างจากสิ่งเร้า 50 เซนติเมตร โดยหากวางกระดาษทิชชูทับจอแสดงผลจะทำให้องศาการมองเห็นของผู้สังเกตต่อสิ่งเร้าจะเปลี่ยนไปตามภาพที่ 3.12 และ 3.13 ซึ่งองศาการมองเห็นของผู้สังเกตต่อสิ่งเร้านั้นได้รับการคำนวณโดยใช้สมการที่ 3.1 ดังนี้

$$\theta = 2\tan^{-1}\left(\frac{h}{2d}\right) \tag{3.1}$$

โดย h = ความสูงหรือความกว้างของวัตถุ

d = ระยะทางจากตาผู้สังเกตไปยังวัตถุ



ภาพที่ 3.12 องศาการมองเห็นสิ่งเร้าของผู้สังเกต

ภาพที่ 3.13 สิ่งเร้าบนจอแสดงผลเมื่อไม่มีและมีกระดาษทิชชูโดยอิงจากมุมมองผู้สังเกต

3.2.2 สภาวะความสว่าง ถูกกำหนดให้คงที่ 200 ลักซ์ ตลอดการทดลองโดยใช้เครื่องวัดแสง (Illuminance Meter) Konica Minolta รุ่น T-10A (ภาพที่ 3.14) ซึ่งอ้างอิงจากผลการทดลองเบื้องต้น (เป็นระดับความส่องสว่างของจอแสดงผลที่ผู้สังเกตมองเห็นสีของการปรากฏความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสผ่านกระดาษทิชชูได้ชัดเจนที่สุดภายใต้ความสว่างภายในห้องทดลองที่ 200 ลักซ์)

ภาพที่ 3.14 เครื่องวัดแสง (Illuminance Meter) Konica Minolta รุ่น T-10A

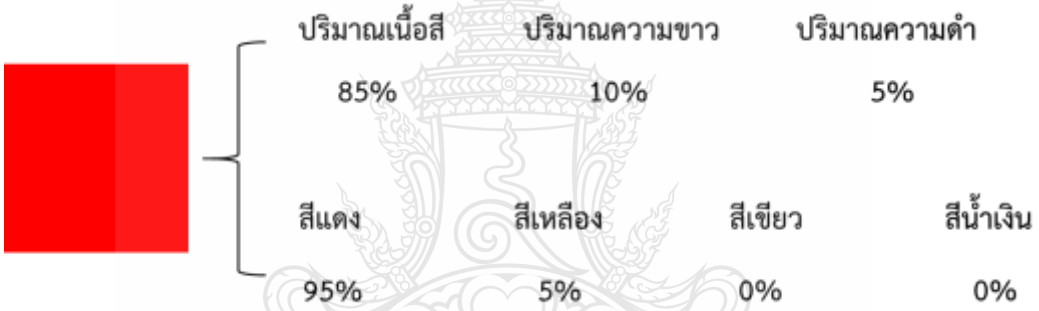
3.2.3 ผู้สังเกต ในการทดลองที่ 1 มีผู้เข้าร่วมการทดลองมีจำนวน 10 คน เป็นอาจารย์และนักศึกษาภายในคณะเทคโนโลยีสื่อสารมวลชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ซึ่งมีการมองเห็นสีที่เป็นปกติ โดยเป็นผู้ที่มีประสบการณ์ด้านการประเมินสีด้วยวิธีคำเรียกสีพื้นฐาน (Elementary color naming method) จำนวน 6 คน และเป็นผู้ที่มีประสบการณ์ด้านการประเมินสีด้วยวิธีคำเรียกสีพื้นฐาน

เล็กน้อยและผู้ที่ไม่เคยเข้าร่วมการทดลองเกี่ยวกับการมองเห็นสีเลยจำนวน 4 คน โดยผู้สังเกตหนึ่งคนจะทำการทดลองซ้ำจำนวน 5 ครั้ง ในทุกสภาวะการทดลอง

ภาพที่ 3.15 แผนภูมิขั้นตอนการทดลองที่ 1

3.2.4 การดำเนินการทดลอง ตามภาพที่ 3.15 แผนภูมิขั้นตอนการทดลองที่ 1 ก่อนเริ่มการทดลองผู้เก็บข้อมูลจะอธิบายเกี่ยวกับวิธีการทำการทดลอง ผู้สังเกตเข้าไปในห้องทดลองที่ผู้เก็บข้อมูลได้ปรับสภาวะการทดลองแล้ว โดยผู้เก็บข้อมูลจะอยู่ด้านนอกห้องทดลองเพื่อควบคุมการแสดงสิ่งเร้าและบันทึกผลการทดลองตามภาพที่ 3.16 เริ่มต้นจากผู้สังเกตจะได้รับการขอให้ประเมินสีของพื้นหลังและแผ่นทดสอบสีเทาที่แสดงบนหน้าจอโดยตรงด้วยวิธีคำเรียกสีพื้นฐาน โดยบอกปริมาณเนื้อสี (Chromaticness) ปริมาณความขาว (Whiteness) และปริมาณความดำ (Blackness) ซึ่งรวม 3 ค่าเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ และบอกสีที่เห็นซึ่งผู้สังเกตสามารถตอบเพียงหนึ่งสีหรือสองสีผสมกัน ได้แก่ ค่าสีแดง (Red) สีเหลือง (Yellow) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) ซึ่งรวมเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ดังตัวอย่างภาพที่ 3.17 ยกเว้นคู่สีตรงข้ามตามทฤษฎีของ Hering [20] ที่ผู้สังเกตไม่สามารถตอบด้วยกันได้ คือ คู่สีแดง-เขียว และคู่สีเหลือง-น้ำเงิน

ภาพที่ 3.16 ผู้สังเกตขณะทำการทดลอง



ภาพที่ 3.17 ตัวอย่างการประเมินสีด้วยวิธีคำเรียกสีพื้นฐาน

เมื่อผู้สังเกตทำการทดลองจบในสภาวะการทดลองนั้น ๆ ผู้สังเกตจะต้องทำการทดลองซ้ำอีกครั้งแต่เพิ่มการใช้กระดาษทิชชูวางทับบนจอแสดงผลแล้วประเมินสีของพื้นหลังและแผ่นทดสอบสีเทาที่เห็นอีกครั้ง ในการทดลองซ้ำแต่ละครั้งผู้สังเกตจะทำการประเมินสีสิ่งเร้าจำนวน 126 ครั้ง โดยรวมการประเมินแบบมองผ่านกระดาษทิชชูและมองตรงโดยไม่ผ่านกระดาษทิชชู โดยการทดลองซ้ำจะทำทั้งหมด 5 ครั้ง รวมแล้วผู้สังเกตจะทำการทดลองทั้งหมดเป็นจำนวน 630 ครั้ง ต่อ 1 คน

3.3 การทดลองที่ 2 ศึกษาอิทธิพลของความสว่างภายในห้อง

การทดลองที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของความสว่างภายห้องที่ส่งผลต่อการมองเห็นความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสบนจอแสดงผลผ่านกระดาษทิชชูได้ดีที่สุด มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

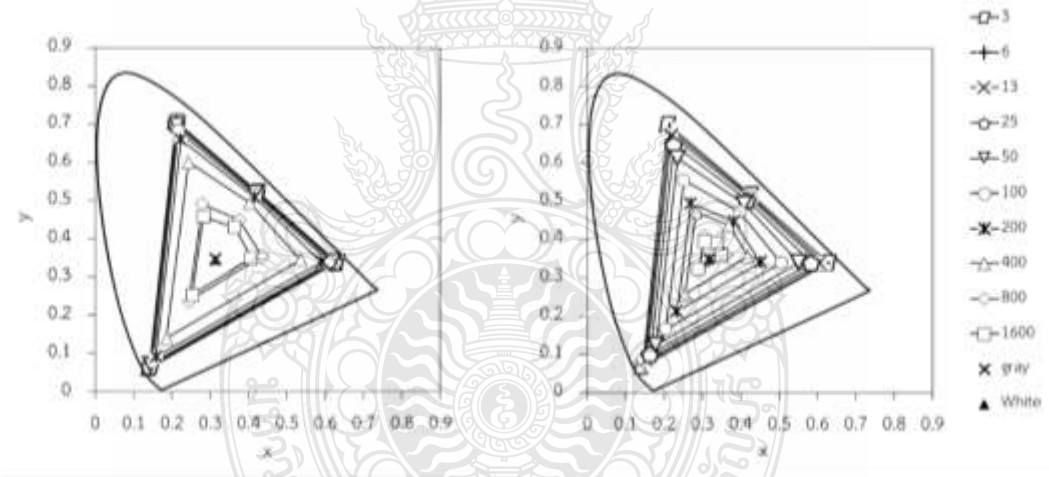
3.3.1 สิ่งเร้า หลังจากการทดลองที่ 1 เสร็จสิ้นผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อเลือกสีพื้นหลังและแผ่นทดสอบสีเทาที่มีอิทธิพลต่อการมองเห็นความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสผ่านกระดาษทิชชูได้ดีที่สุด และนำมาแสดงสิ่งเร้าในการทดลองที่ 2 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นั้นพบว่าสีพื้นหลังที่มีสัดส่วนสี RGB ที่ 255 ของทุกสีนั้นมีอิทธิพลต่อการปรากฏความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสมองผ่านกระดาษทิชชูชัดเจนที่สุด และในส่วนของแผ่นทดสอบสีเทาปรากฏว่าสีเทากลางหรือ MDGr เหมาะสมต่อการใช้เป็นแผ่นทดสอบมากที่สุดจากทั้ง 3 ระดับ ดังภาพที่ 3.18 จากการสัมภาษณ์ผู้สังเกต

ภาพที่ 3.18 สีของสิ่งเร้าที่ใช้แสดงในการทดลองที่ 2

3.3.2 สภาวะความสว่าง การทดลองที่ 2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของความสว่างภายในห้อง ดังนั้นจึงกำหนดระดับความสว่างภายในห้องซึ่งอยู่ระหว่าง 3-1600 ลักซ์ ซึ่งคำนวณโดยใช้ระดับที่เท่ากันของ Log (Equal step of logarithmic) ซึ่งมีระยะห่างอยู่ที่ 0.3 ของสเกล Log ในแต่ละระดับเป็นจำนวน 10 ระดับ ตามตารางที่ 3.2 และเมื่อแสดงสิ่งเร้าบนจอแสดงผลภายใต้สภาวะความสว่างแต่ละระดับและวัดด้วยเครื่องวัดความส่องสว่างและสี Konica Minolta รุ่น CS-100A โดยวัดจากจอแสดงผลโดยตรงและวัดผ่านกระดาษทิชชู ค่าสีที่วัดได้แสดงในรูปแบบของแผนภูมิ xy chromaticity ดังภาพที่ 3.19

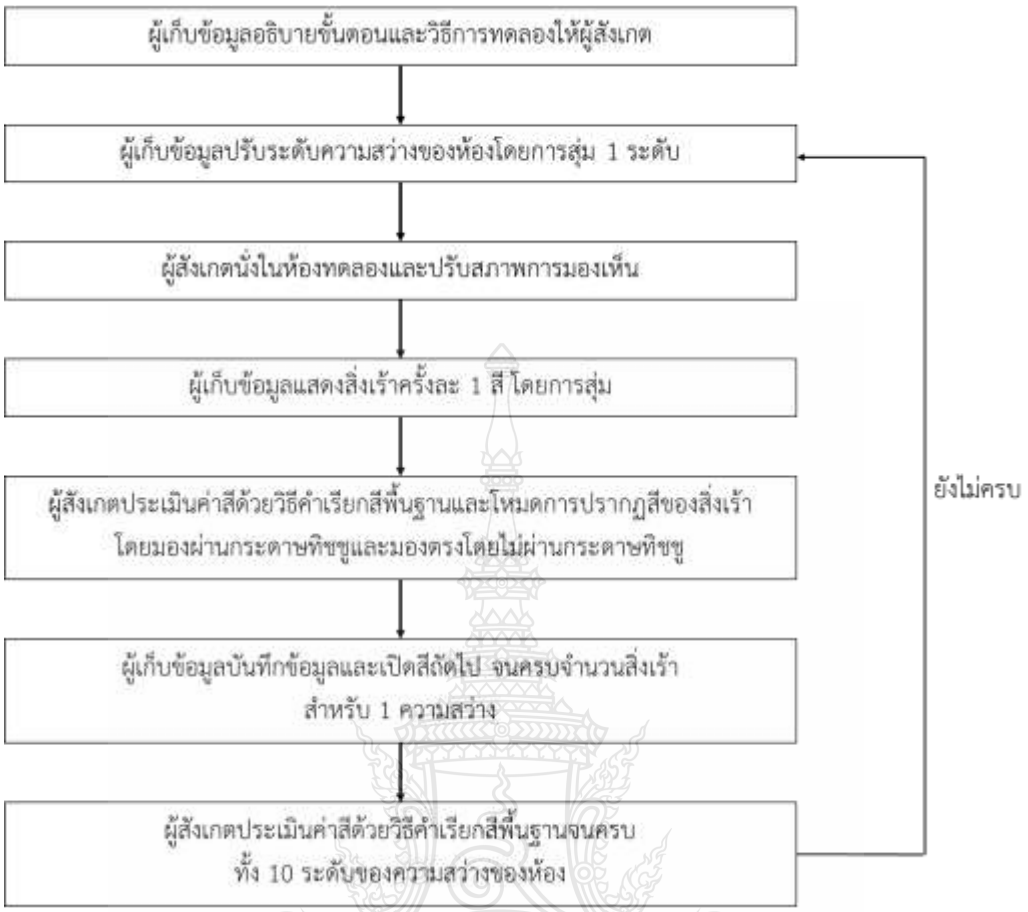
ตารางที่ 3.2 ระดับความสว่างภายในห้องทดลอง

ความสว่าง (lx)	Log unit
3	0.5
6	0.8
13	1.1
25	1.4
50	1.7
100	2.0
200	2.3
400	2.6
800	2.9
1600	3.2



ภาพที่ 3.19 แผนภูมิแสดงค่า xy chromaticity สีของสิ่งเร้า 5 สี ไม่มีกระดาษทิชชู (ซ้าย) และมีกระดาษทิชชู (ขวา) ภายใต้ความสว่าง 10 ระดับ

3.3.3 ผู้สังเกต ในการทดลองที่ 2 เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่มีประสิทธิภาพจึงใช้ผู้สังเกตกลุ่มเดิมกับการทดลองที่ 1



ภาพที่ 3.20 แผนภูมิขั้นตอนการทดลองที่ 2

3.2.3 การดำเนินการทดลอง จากภาพที่ 3.20 ในการดำเนินการทดลองนั้นใช้วิธีการเดียวกันกับการทดลองที่ 1 ผู้สังเกตเข้าไปในห้องทดลองที่ผู้เก็บข้อมูลได้ปรับสภาวะความสว่างแล้ว ผู้สังเกตจะได้รับการขอให้ประเมินสีของพื้นหลังและแผ่นทดสอบสีเทาที่แสดงบนหน้าจอโดยตรงด้วยวิธีคำเรียกสีพื้นฐาน และทำการทดลองซ้ำอีกครั้งโดยใช้กระดาษทิชชูวางทับบนจอแสดงผล โดยจะทำการสุ่มปรับระดับความสว่างโดยไม่ต่อเนื่องกันและสุ่มเปิดสิ่งเร้าสลับกันไปในแต่ละความสว่าง

อย่างไรก็ตามเนื่องจากความสว่างภายในห้องทดลองนั้นมีหลายระดับตั้งแต่มืดไปจนสว่างมาก และความสว่างหรือแสงแวดล้อมที่เปลี่ยนไปนั้นส่งผลต่อการรับรู้โหมดการปรากฏสีของสิ่งเร้าที่ผู้สังเกตเห็นซึ่งอาจส่งผลต่อการประเมินสีของสิ่งเร้าที่เปลี่ยนไป ดังนั้นในการทดลองที่ 2 ผู้วิจัยคาดการณ์ว่าสิ่งเร้าที่แสดงภายใต้แสงแวดล้อมที่สว่างน้อยกว่าจอแสดงแสดงผลนั้น แสงแวดล้อมไม่ส่งผลต่อการปรากฏความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสและการรับรู้โหมดการปรากฏสีของสิ่งเร้า แต่หากแสงแวดล้อมสว่างมากกว่าจอแสดงแสดงผล จะทำให้การปรากฏสีของสิ่งเร้าตกอยู่ภายใต้อิทธิพล

ของแสงแวดล้อมและส่งผลต่อการปรากฏความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสที่ลดลงและการรับรู้โหมดการปรากฏสีของสิ่งเร้าที่เปลี่ยนไป

เพื่อตรวจสอบสมมติฐาน ผู้วิจัยจึงเพิ่มขั้นตอนโดยให้ผู้สังเกตบอกโหมดการปรากฏสีที่เห็นโดยตัดสินจากภาพรวมของสิ่งเร้า ซึ่งโหมดการปรากฏสีนั้นได้รับการจัดกลุ่มโดย Ikeda, Shinoda and Mizokami (1998) [30] ซึ่งแบ่งเป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ

1. Object color mode ผู้สังเกตมองเห็นการปรากฏสีสิ่งเร้าบนจอแสดงผลในลักษณะสีของวัตถุ เช่น กระดาษ เป็นต้น

2. Unnatural object color mode ผู้สังเกตมองเห็นการปรากฏสีสิ่งเร้าบนจอแสดงผลในลักษณะที่ไม่เป็นธรรมชาติแบบเดียวกับวัตถุ โดยเรืองแสงมากกว่าวัตถุแต่ไม่ถึงกับเป็นลักษณะของแหล่งกำเนิดแสง

3. Light source color mode ผู้สังเกตมองเห็นการปรากฏสีสิ่งเร้าบนจอแสดงผลในลักษณะของสีจากแหล่งกำเนิดแสง เช่น แสงไฟ เป็นต้น

การทดลองภายใต้สภาวะความสว่าง 10 ระดับ และทำซ้ำจำนวน 5 ครั้ง โดยมองผ่านกระดาษทิชชูและมองตรงโดยไม่ผ่านกระดาษทิชชู ดังนั้นผู้สังเกตจะต้องทำการทดลองทั้งหมดเป็นจำนวน 500 ครั้ง ต่อ 1 คน และเนื่องจากการทดลองนั้นค่อนข้างใช้เวลาและมักเกิดการล้าของดวงตาของผู้สังเกต รวมทั้งเกิดการจดจำคำตอบจึงใช้วิธีการทำซ้ำเพียงวันละ 1 ถึง 2 ครั้ง โดยทิ้งระยะเวลาเพื่อพักสายตา ในบางกรณีที่ผู้สังเกตไม่สามารถทำการทดลองต่อได้ก็จะกลับมาทำการทดลองในวันต่อไปทั้งในการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2

3.4 วิธีการวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.4.1 ผลการทดลองที่ได้จะถูกนำมาคำนวณหาค่าพิกัดสี (θ) ด้วยสมการที่ 3.2 และค่าพิกัดสี xy ด้วยสมการที่ 3.3 จากนั้นจึงนำผลที่ได้วาดลงในแผนภูมิเชิงขั้วที่ใช้ในทฤษฎีสีของคู่สีตรงกันข้ามเพื่อวิเคราะห์ผลต่อไป

$$\frac{(\mathrm{R}\times 0)+(\mathrm{Y}\times 90)+(\mathrm{G}\times 180)+(\mathrm{B}\times 270)}{100} = \theta \qquad (3.2)$$

โดย ในกรณีที่ผู้สังเกตตอบคู่สีแดงและสีน้ำเงินด้วยกัน ในสมการด้านบนจะเปลี่ยนตัวคูณของ R จาก 0 เป็น 360

$$\sin(\theta) \times \mathrm{Chromaticness} = \mathrm{x}$$

$$\cos(\theta) \times \mathrm{Chromaticness} = y \qquad (3.3)$$

3.4.2 จากคำตอบปริมาณเนื้อสีของผู้สังเกตแต่ละคนจะถูกนำสร้างแผนภูมิเพื่อเปรียบเทียบผลและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของช่วงความสว่างภายในห้องและความส่องสว่างของจอที่ส่งผลให้มองเห็นการปรากฏสีผ่านกระดาษทิชชู โดยสัดส่วนสี RGB ทั้ง 5 ระดับนั้นจะถูกคำนวณด้วยสมการที่ 3.4 เพื่อแสดงสัดส่วนการนำเข้า (Input) ค่าสี RGB หรือค่า Linearized RGB ในแต่ละสีในแต่ละระดับ

$$\frac{\mathrm{I}}{\mathrm{I}_{max}} \tag{3.4}$$

โดย I คือ สัดส่วนสี RGB ในแต่ละระดับ (50, 100, 150, 200, 255)

I_{max} คือ สัดส่วนสี RGB ที่ 255

ซึ่งเมื่อคำนวณตามสมการด้านบนสัดส่วนสี RGB ทั้ง 5 ระดับ คือ 50 100 150 200 และ 255 จะได้ค่า Linearized RGB 0.2 0.4 0.6 0.8 และ 1.0 ตามลำดับในทุกสี

3.4.3 จากสมมติฐานของผู้วิจัยว่าอิทธิพลของการเหนี่ยวนำของพื้นหลังต่อแผ่นทดสอบสีเทาเมื่อมองผ่านกระดาษทิชชูมากกว่าการมองโดยตรงไม่ผ่านกระดาษทิชชู จึงนำผลปริมาณเนื้อสีของสีพื้นหลังและแผ่นทดสอบสีเทามาคำนวณด้วยสมการ 3.5 เพื่อตรวจสอบอิทธิพลของสีพื้นหลังในการเหนี่ยวนำแผ่นทดสอบสีเทา เปรียบเทียบระหว่างมองผ่านกระดาษทิชชูและการมองโดยตรงว่ามีอัตราส่วนของปริมาณเนื้อสีแตกต่างกันเท่าไหร่

$$\frac{\text{Chromaticness test patch}}{\text{Chromaticness surround}} \tag{3.5}$$

3.4.4 ปลูกเกษม ชูตระกูล (2013) ศึกษาเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างโหมดการปรากฏสีและการเคลื่อนการปรากฏสีพบว่าการรับรู้สีของผู้สังเกตนั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปตามความส่องสว่างที่เปลี่ยนไปโดยการรับรู้ของผู้สังเกตต่อสีนั้น ๆ จะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนของโหมดการปรากฏสี เพื่อตรวจสอบผลการทดลองครั้งนี้ในการทดลองที่ 2 ที่มีการเปลี่ยนแปลงของความสว่างภายในห้องจึงอ้างอิงสมการในการคำนวณหาค่าบ่งชี้โหมดการปรากฏสี โดยแทนค่าคำตอบของโหมดการปรากฏสีของสิ่งเร้าโดย 5 = Light source color mode, 10 = Unnatural object color mode, 15 = Object color mode คำนวณตามสมการที่ 3.6

$$\text{ค่าบ่งชี้โหมดการปรากฏสี} = \frac{(5\times N_{LS})+(10\times N_{UN})+(15\times N_{OB})}{N_{LS}+N_{UN}+N_{OB}} \quad (3.6)$$

โดย N_{LS} คือ จำนวนครั้งที่ตอบ Light source color mode

N_{UN} คือ จำนวนครั้งที่ตอบ Unnatural object color mode

N_{OB} คือ จำนวนครั้งที่ตอบ Object color mode

ผลลัพธ์ของสมการที่ 3.5 นั้น จัดกลุ่มดังนี้

ผลลัพธ์อยู่ในช่วงระหว่าง 5-7 การปรากฏสีของสิ่งเร้านั้นจะจัดอยู่ในโหมด Light source color mode

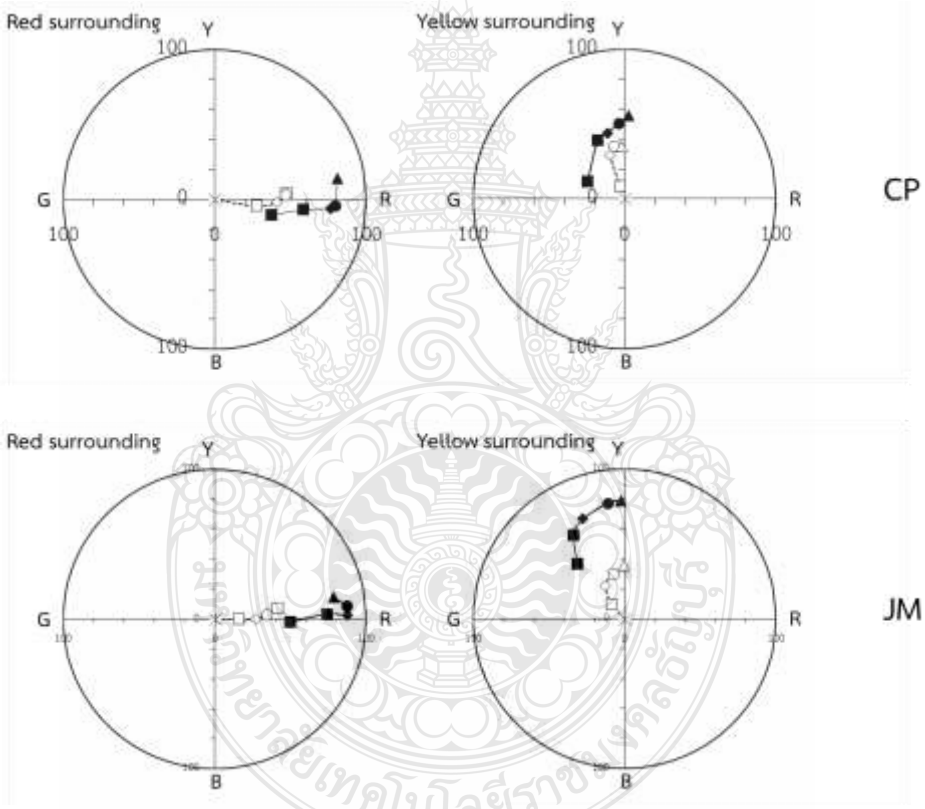
ผลลัพธ์อยู่ในช่วงระหว่าง 8-12 การปรากฏสีของสิ่งเร้านั้นจะจัดอยู่ในโหมด Unnatural object color mode

ผลลัพธ์อยู่ในช่วงระหว่าง 13-15 การปรากฏสีของสิ่งเร้านั้นจะจัดอยู่ในโหมด Object color mode [29]

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์

การวิจัยครั้งนี้ ได้แบ่งออกเป็น 2 การทดลองซึ่งมีสภาวะการทดลองที่ต่างกันเพื่อศึกษาอิทธิพลความสว่างภายในห้องและความส่องสว่างของจอแสดงผลที่ส่งผลต่อการมองเห็นความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสบนจอแสดงผลมองผ่านกระดาษทิชชู ผลลัพธ์ของการทดลองแสดงดังต่อไปนี้

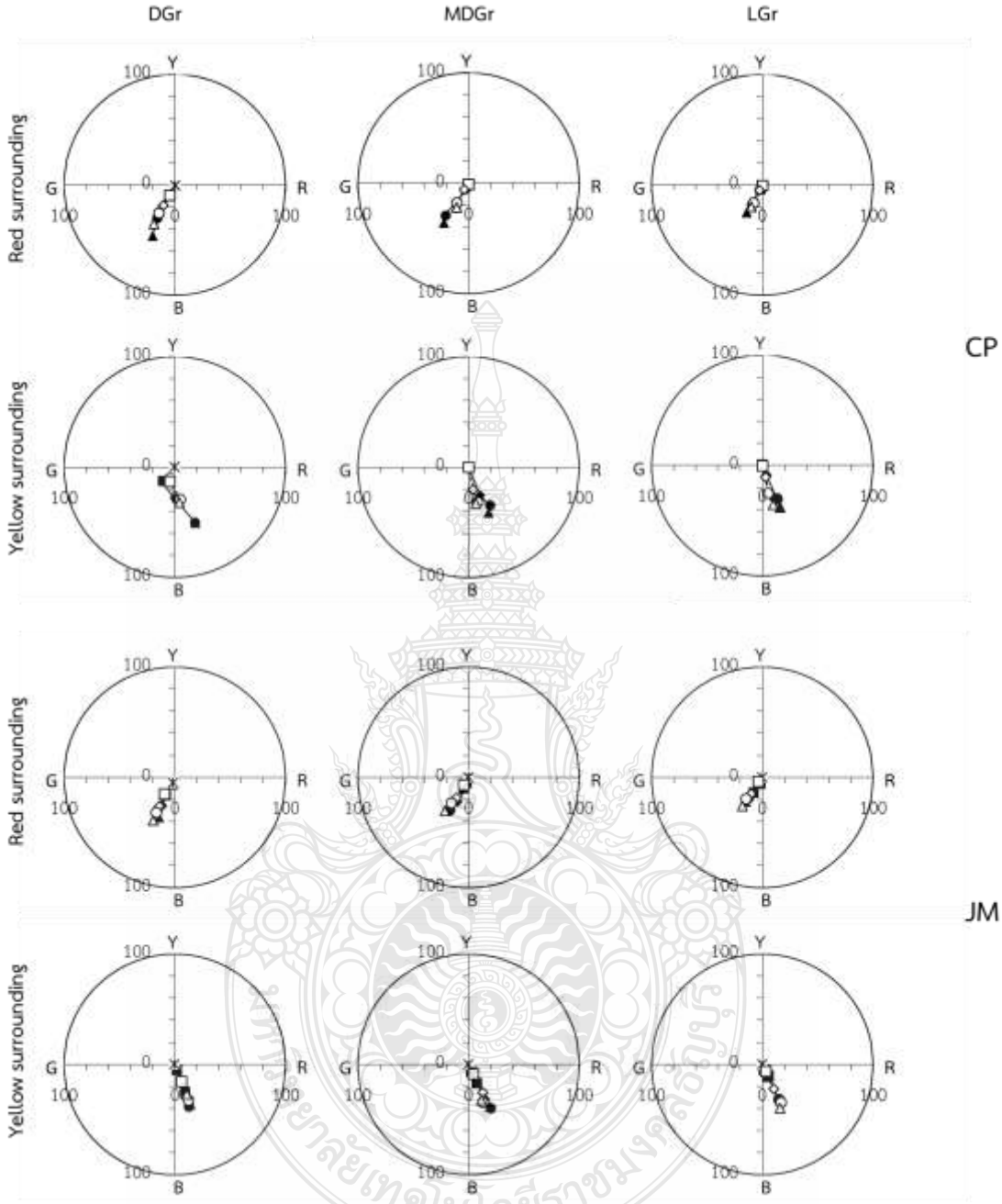
4.1 ผลการทดลองที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของความส่องสว่างของจอแสดงผล



✳ RGB 0.2, □ RGB 0.4, ◇ RGB 0.6, ○ RGB 0.8, △ RGB 1.0

● ไม่มีกระดาษทิชชู, ○ มองผ่านกระดาษทิชชู

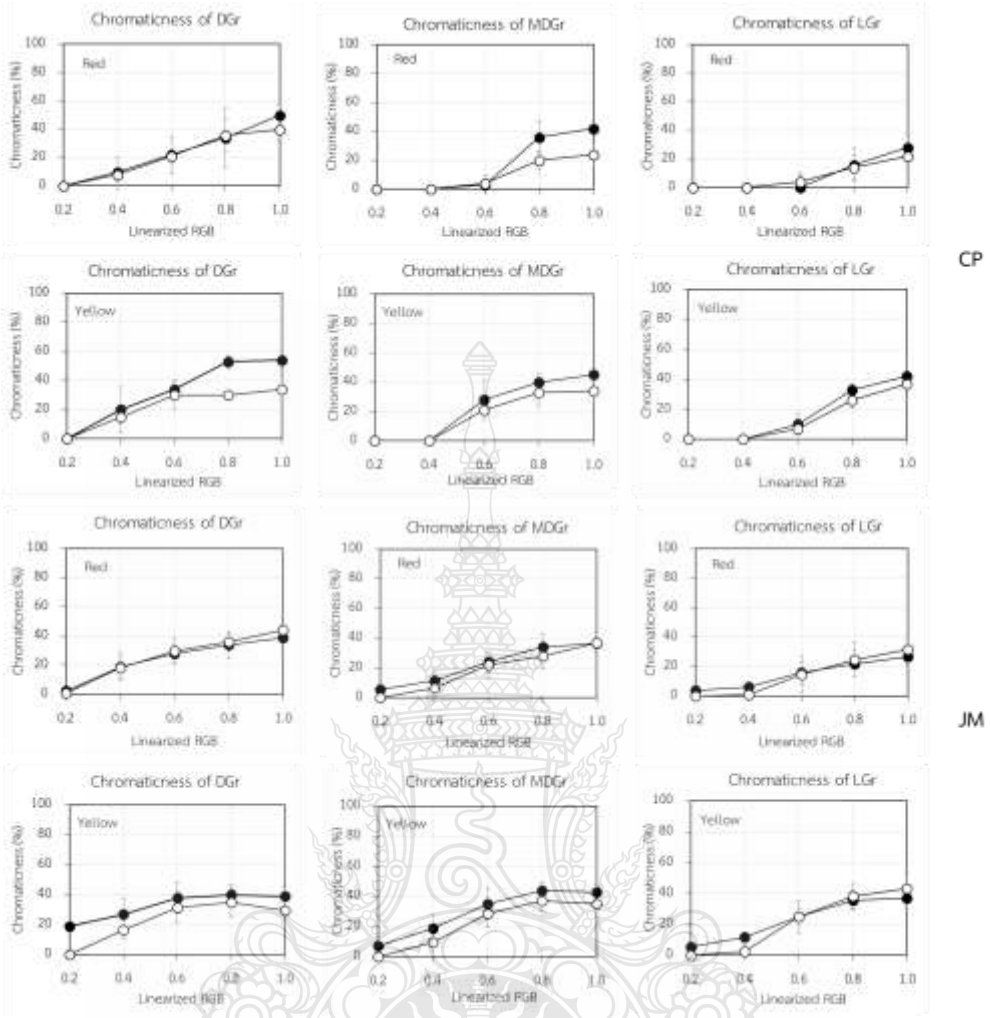
ภาพที่ 4.1 แผนภูมิ XY แสดงค่าการปรากฏสีสันของพื้นหลัง 5 ระดับ ของผู้สังเกต CP และ JM



✳ RGB 0.2, □ RGB 0.4, ◇ RGB 0.6, ○ RGB 0.8, △ RGB 1.0

● ไม่มีกระดาษทิชชู, ○ มองผ่านกระดาษทิชชู

ภาพที่ 4.2 แผนภูมิ XY แสดงค่าการปรากฏสีสันของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ ของผู้สังเกต CP และ JM



ภาพที่ 4.3 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ ของผู้สังเกต CP และ JM

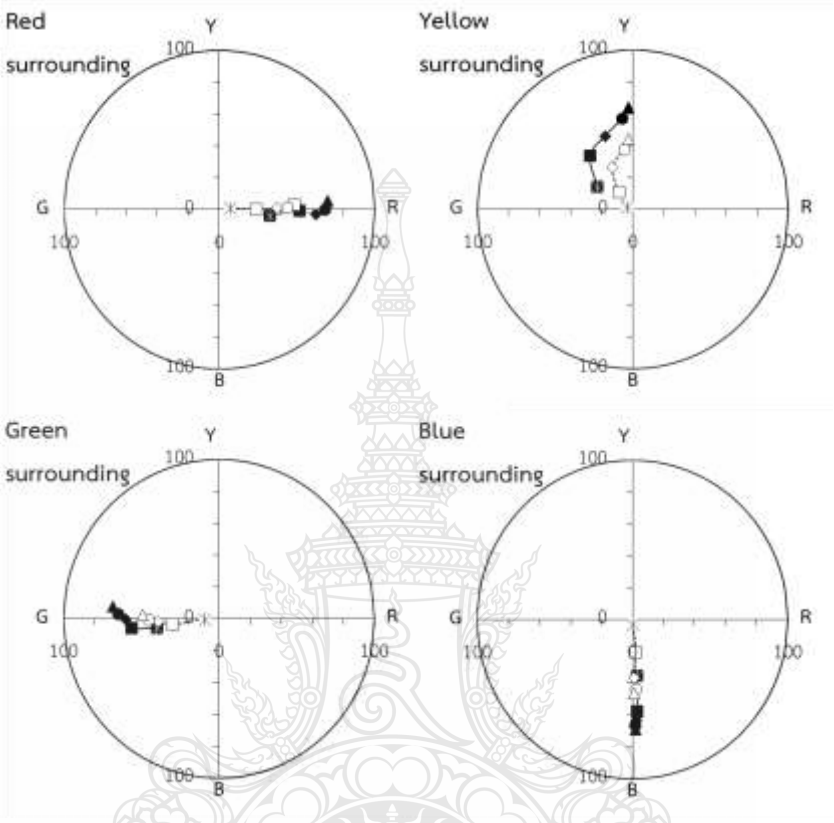
ตัวอย่างของผลลัพธ์แสดงในภาพที่ 4.1 ถึง 4.3 นำมาจากผู้สังเกต CP และ JM เพื่อแสดงตัวอย่างของผลการทดลองของพื้นหลัง 2 สี เนื่องจากผลการทดลองของพื้นหลังทุกสีนั้นมีแนวโน้มผลการทดลองในทิศทางเดียวกัน โดยภาพที่ 4.1 แสดงผลการปรากฏสีสันในแผนภูมิ XY ซึ่งโดยปกติจะใช้ในทฤษฎีสีของคู่สีตรงข้าม จากแผนภูมิแสดงให้เห็นว่าภาพรวมสีของพื้นหลังที่ไม่มีกระดาษทิชชูมีขนาดใหญ่กว่าพื้นหลังที่มองผ่านกระดาษทิชชูทั้งผู้สังเกต CP และ JM โดยผู้สังเกต CP สีพื้นหลังที่ชัดเจนที่สุดปรากฏในค่า Linearized RGB 1.0 ในพื้นหลังสีแดง มีปริมาณเนื้อสีมากที่สุดอยู่ที่ 82 เปอร์เซ็นต์ พื้นหลังสีเหลืองมีค่ามากที่สุดอยู่ที่ 56 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่เมื่อมองผ่านกระดาษทิชชูปริมาณเนื้อสีที่มากที่สุดของสีแดงอยู่ที่ 48 เปอร์เซ็นต์และสีเหลืองอยู่ที่ 35 เปอร์เซ็นต์ ผู้สังเกต JM ในพื้นหลังสีแดงในค่า

Linearized RGB 0.8 มีปริมาณเนื้อสีมากที่สุดอยู่ที่ 88 เปอร์เซ็นต์ พื้นหลังสีเหลืองในค่า Linearized RGB 1.0 มีค่ามากที่สุดอยู่ที่ 79 เปอร์เซ็นต์ จุดที่น่าสนใจคือพื้นหลังของค่า Linearized RGB 0.2 ทั้งสีแดงและสีเหลือง ผู้สังเกตทั้ง 2 คนไม่สามารถประเมินสีเมื่อมองผ่านกระดาษทิชชู ขณะที่เมื่อไม่มีกระดาษทิชชูผู้สังเกตทั้ง 2 คนมองเห็นยังคงมองเห็นสีได้อย่างปกติ

ภาพที่ 4.2 แสดงผลการปรากฏสีสันในแผนภูมิ XY ของแผ่นทดสอบสีเทาซึ่งแบ่งตามแผ่นทดสอบสีเทาที่มีความส่องสว่างต่างกัน จากแผนภูมิพบว่าการปรากฏสีสันของแผ่นทดสอบที่ไม่มีกระดาษทิชชูและมองผ่านกระดาษทิชชูค่อนข้างไปในทิศทางเดียวกัน โดยสังเกตจากการซ้อนทับของสัญลักษณ์แสดงค่าสีในทุกแผนภูมิของแผ่นทดสอบสีเทาทั้ง 3 สามารถกล่าวได้ว่าแม้แผ่นทดสอบสีเทาที่ใช้ในการทดลองจะมีความส่องสว่างต่างกันแต่ไม่ส่งผลต่อการปรากฏสีสันเปลี่ยนไป โดยพื้นหลังสีแดงส่งผลให้ผู้สังเกต CP และ JM มองเห็นสีที่ปรากฏบนแผ่นทดสอบสีเทาเป็นสีน้ำเงินอมเขียว และพื้นหลังสีเหลืองส่งผลให้ผู้สังเกต CP และ JM มองเห็นสีที่ปรากฏบนแผ่นทดสอบสีเทาเป็นน้ำเงินอมแดง

การทดลองนี้ผู้วิจัย ให้ความสนใจในปริมาณเนื้อสีเนื่องจากปริมาณเนื้อสีคือสิ่งสำคัญบ่งบอกว่าสีที่เราเห็นนั้นชัดเจนหรือไม่ โดยหากผู้สังเกตประเมินปริมาณเนื้อสีสูงนั่นแสดงว่าผู้สังเกตเห็นสีนั้น ๆ ได้อย่างชัดเจน กล่าวคือสีที่เห็นมีความอิ่มตัวสีสูง แต่หากผู้สังเกตประเมินปริมาณเนื้อสีน้อยนั่นแสดงว่าผู้สังเกตมองเห็นสีที่ปรากฏเพียงเล็กน้อยหรือสีที่เห็นนั้นมีความอิ่มตัวสีน้อย ดังนั้นในภาพที่ 4.3 เป็นการแสดงปริมาณเนื้อสีโดยเปรียบเทียบระหว่างการมองสิ่งเร้าโดยไม่มีกระดาษทิชชูและการมองสิ่งเร้าผ่านกระดาษทิชชูที่ปิดบนหน้าจอแสดงผล แกนตั้งแสดงปริมาณเนื้อสี (Chromaticness) แกนนอนแสดงค่า Linearized RGB จากแผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของสีแดงและสีเหลืองที่สอดคล้องกับแผนภูมิในภาพที่ 4.2 พบว่าแผ่นทดสอบในพื้นหลังที่ค่า Linearized RGB 0.2 ของผู้สังเกตทั้ง 2 ในการมองแบบไม่มีกระดาษทิชชูและมองผ่านกระดาษทิชชูนั้นผู้สังเกตไม่เห็นสีปรากฏบนแผ่นทดสอบสีเทาซึ่งสอดคล้องกับแผนภูมิจากภาพที่ 4.1 ที่พื้นหลังของค่า Linearized RGB 0.2 ทั้งสีแดงและสีเหลือง ผู้สังเกตไม่สามารถมองประเมินสีเมื่อมองผ่านกระดาษทิชชู และแม้ว่าเมื่อมองโดยไม่มีกระดาษทิชชู ผู้สังเกตยังคงมองเห็นสีที่ค่า Linearized RGB 0.2 ได้อย่างปกติ แต่ผู้สังเกตก็ไม่สามารถมองเห็นสีปรากฏบนแผ่นทดสอบสีเทาหรือมองเห็นได้เพียงเล็กน้อยเมื่อมองโดยไม่มีกระดาษทิชชูของผู้สังเกต JM ในพื้นหลังสีเหลืองของทั้ง 3 แผ่นทดสอบ ส่วนผู้สังเกต CP นั้นนอกจากพื้นหลังที่ค่า Linearized RGB 0.2 ของทุกแผ่นทดสอบแล้ว แผ่นทดสอบสีเทา MDGr และ LGr ที่ค่า Linearized RGB 0.4 และ 0.6 ของสีแดง และที่ค่า Linearized RGB 0.4 ของสีเหลือง พบว่าไม่สามารถมองเห็นสีปรากฏบนแผ่นทดสอบสีเทา หรือมองเห็นได้เพียงเล็กน้อยเช่นเดียวกัน และในภาพรวมนั้นปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบสีเทาที่ดูโดยไม่มีกระดาษทิชชูและเมื่อมองผ่านกระดาษทิชชูไม่แตกต่างกันมากนัก อย่างไรก็ตามนี่เป็นผลการทดลองจากตัวอย่างผู้สังเกตเพียง 2 คน จากทั้งหมด 10 คน ซึ่งผลลัพธ์ของผู้สังเกตทุกคนนั้นมีแนวโน้ม

ไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นผลการทดลองที่จะแสดงต่อจากนี้จะนำมาจากค่าเฉลี่ยผลลัพธ์ของผู้สังเกตทั้ง 10 คน



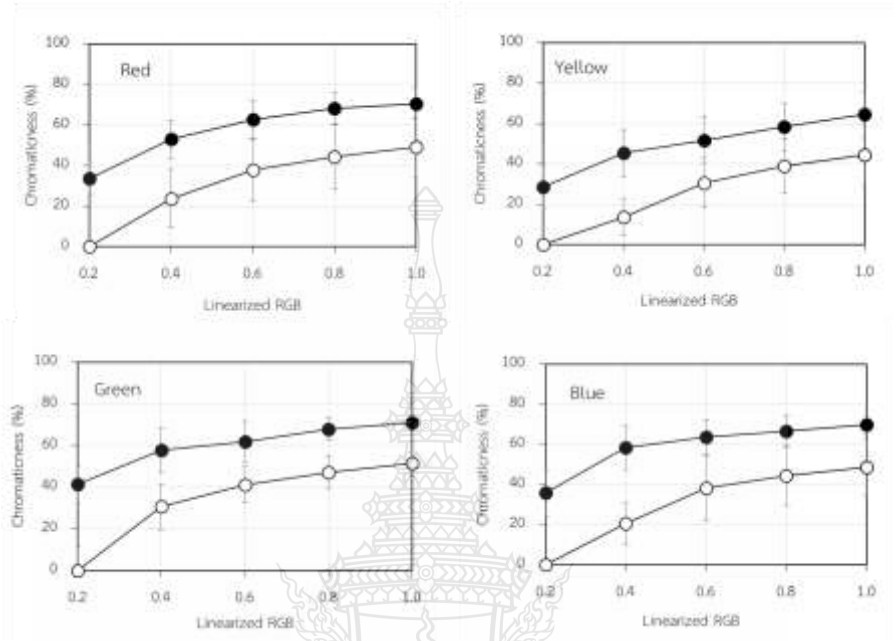
✳ RGB 0.2, ☐ RGB 0.4, ◇ RGB 0.6, ○ RGB 0.8, △ RGB 1.0

● ไม่มีกระดาษทิชชู, ○ มองผ่านกระดาษทิชชู

ภาพที่ 4.4 แผนภูมิ XY แสดงค่าการปรากฏสีสันของพื้นหลัง 5 ระดับ โดยเฉลี่ยผลการทดลองของผู้สังเกต 10 คน

ภาพที่ 4.4 แสดงค่าการปรากฏสีสันของพื้นหลังโดยเฉลี่ยจากผลการทดลองของผู้สังเกต 10 คนเปรียบเทียบระหว่างมองผ่านกระดาษทิชชูและไม่มีกระดาษทิชชู ของพื้นหลังทั้ง 4 สี ได้แก่ สีแดง สีเหลือง สีเขียว และสีน้ำเงิน จากแผนภูมิแสดงให้เห็นว่าภาพรวมสีของพื้นหลังที่ไม่มีกระดาษทิชชูมีขนาดใหญ่กว่าพื้นหลังที่มองผ่านกระดาษทิชชู เมื่อสังเกตที่สีสันพบว่าสีสันของพื้นหลังค่อนข้างเหมือนกันทั้งมองตรงโดยไม่มีกระดาษทิชชูและมองผ่านกระดาษทิชชูของพื้นหลังสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ยกเว้นพื้นหลังสีเหลืองที่เห็นได้ชัดเจนว่ามีการมองเห็นเป็นสีเหลืองผสมสีเขียวในค่า

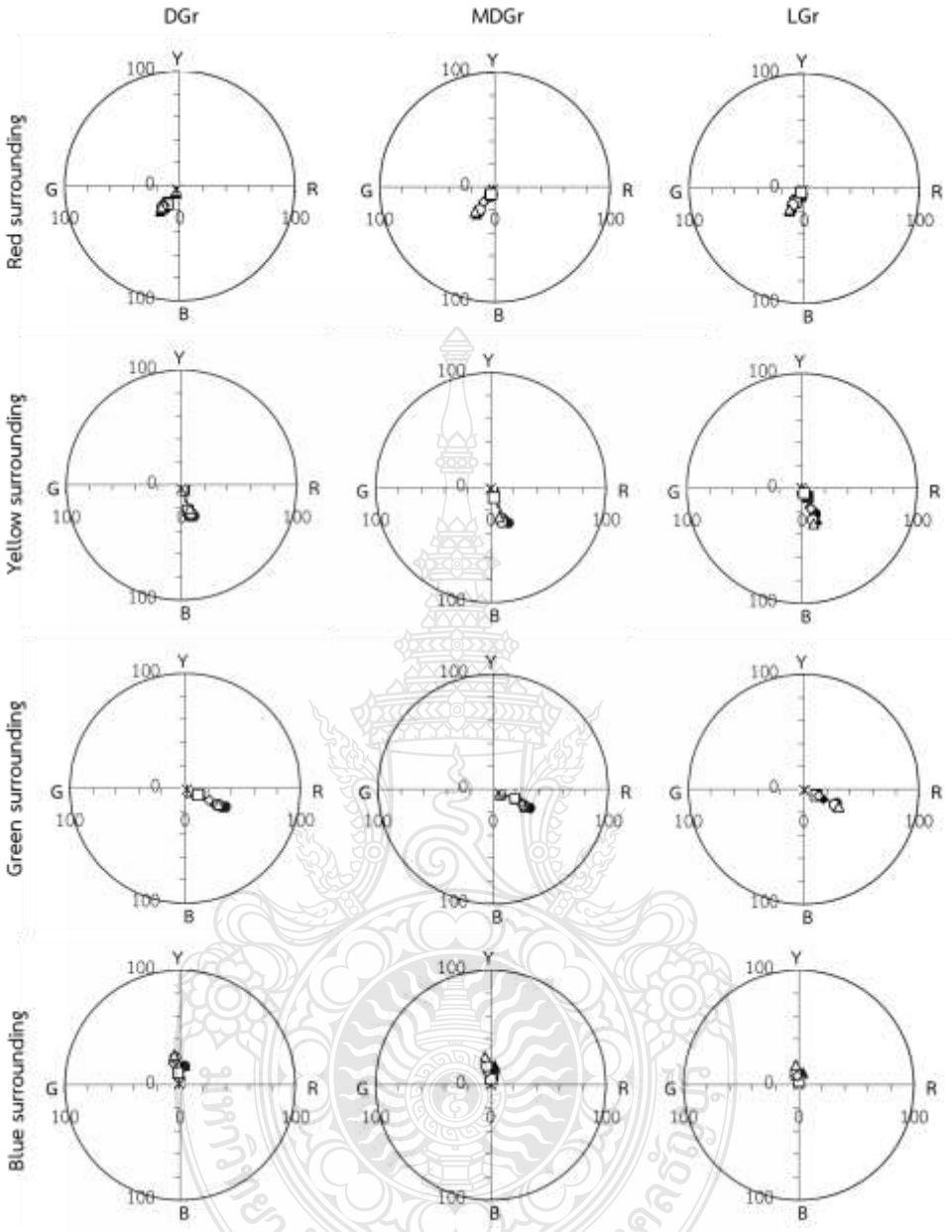
Linearized RGB 0.2 ขึ้นไป และกลับมาเป็นสีเหลืองล้วนในค่า Linearized RGB 1.0 และมองเห็นสีแยกจากกันอย่างชัดเจน ซึ่งปริมาณเนื้อสีของพื้นหลังจะแสดงในภาพที่ 4.5



● ไม่มีกระดาษทิชชู, ○ มองผ่านกระดาษทิชชู

ภาพที่ 4.5 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของพื้นหลัง 5 ระดับ โดยเฉลี่ยผลการทดลองของผู้สังเกต 10 คน

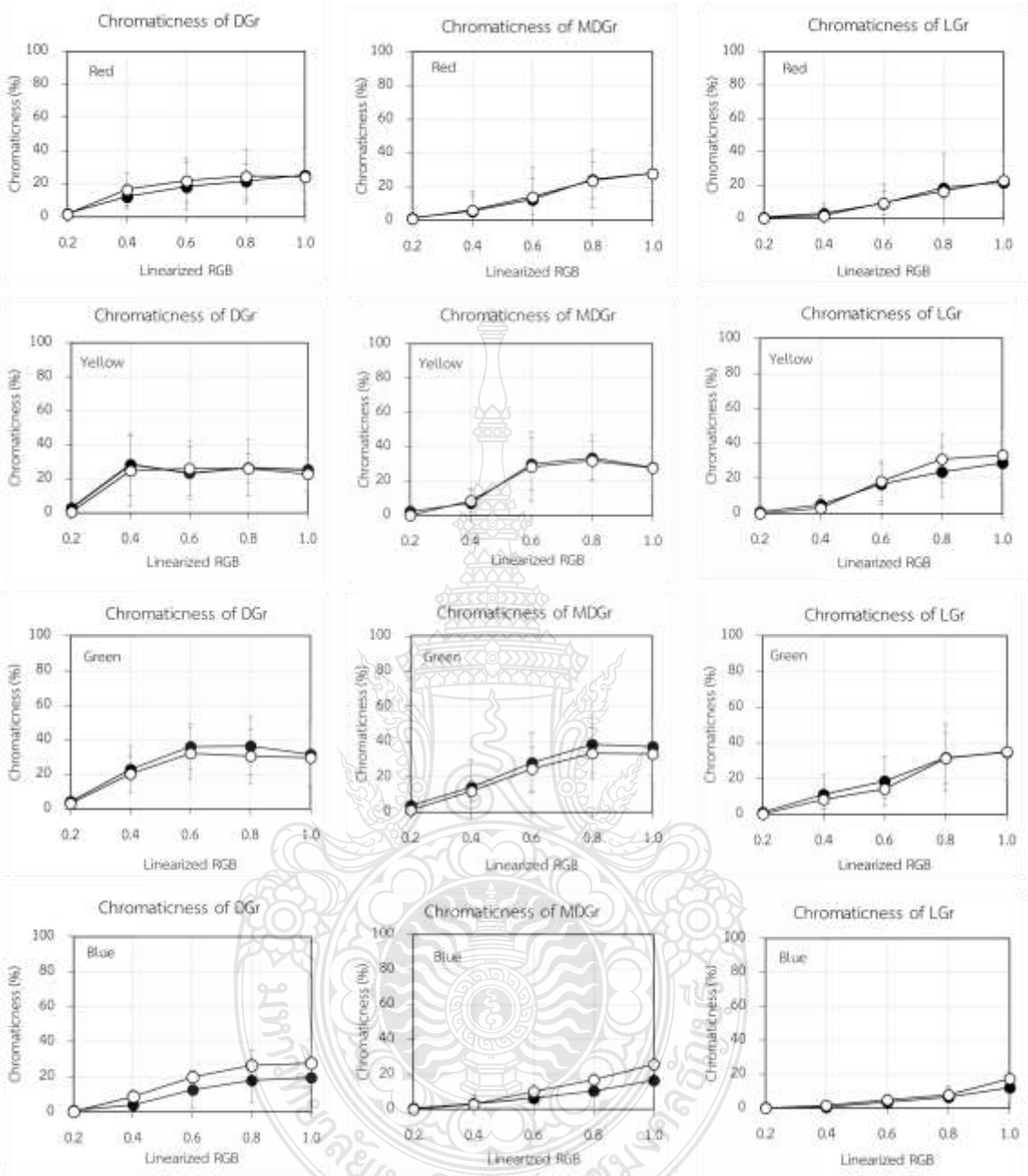
ในภาพที่ 4.5 แสดงปริมาณเนื้อสีที่สอดคล้องกับแผนภูมิในภาพที่ 4.4 ซึ่งเป็นการยืนยันความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดระหว่างการรับรู้ปริมาณเนื้อสีที่มองผ่านกระดาษทิชชูและมองตรงโดยไม่ผ่านกระดาษทิชชู โดยสีพื้นหลังที่ชัดเจนที่สุดปรากฏในค่า Linearized RGB 1.0 ของทุกสีพื้นหลังซึ่งขณะไม่มีกระดาษทิชชูผู้สังเกตรับรู้ปริมาณเนื้อสีมากที่สุดอยู่ที่ 71, 65, 71 และ 70 เปอร์เซ็นต์ และขณะมองผ่านกระดาษทิชชูผู้สังเกตรับรู้ปริมาณเนื้อสีมากที่สุดอยู่ที่ 50, 45, 53 และ 48 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นหลังสีแดง สีเหลือง สีเขียว และสีน้ำเงิน ตามลำดับ ขณะที่มีปริมาณเนื้อสีน้อยที่สุดปรากฏ ณ ทุกสีพื้นหลังในค่า Linearized RGB 0.2 โดยมีปริมาณเนื้อสีอยู่ที่ 34, 29, 41 และ 36 เปอร์เซ็นต์ เมื่อไม่มีกระดาษทิชชู และปริมาณเนื้อสีที่ 2, 2, 3 และ 1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมองผ่านกระดาษทิชชูของพื้นหลังสีแดง สีเหลือง สีเขียว และสีน้ำเงิน ตามลำดับเช่นเดียวกัน โดยปริมาณเนื้อสีของพื้นหลังที่มองผ่านกระดาษทิชชูและไม่มีกระดาษทิชชูแสดงให้เห็นถึงการค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของค่า Linearized RGB ในทุกสีพื้นหลัง



✳ RGB 0.2, ☐ RGB 0.4, ◇ RGB 0.6, ○ RGB 0.8m, △ RGB1.0

● ไม่มีกระดาษทิชชู, ○ มองผ่านกระดาษทิชชู

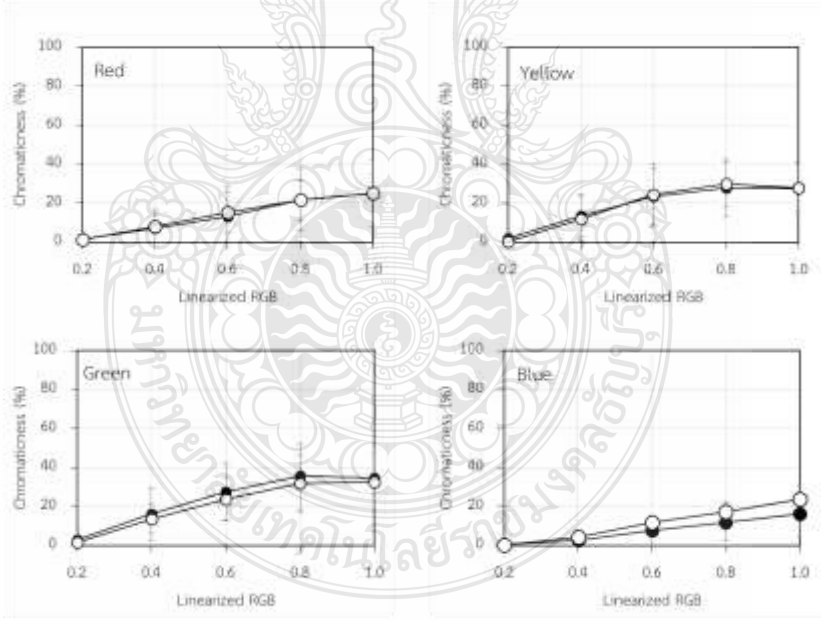
ภาพที่ 4.6 แผนภูมิ XY แสดงค่าการปรากฏสีสันของแผ่นทดสอบสีเทา 3 โดยเฉลี่ยผลการทดลองของผู้สังเกต 10 คน



● ไม่มีกระดาษทิชชู, O มองผ่านกระดาษทิชชู

ภาพที่ 4.7 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ โดยเฉลี่ยผลการทดลองของผู้สังเกต 10 คน

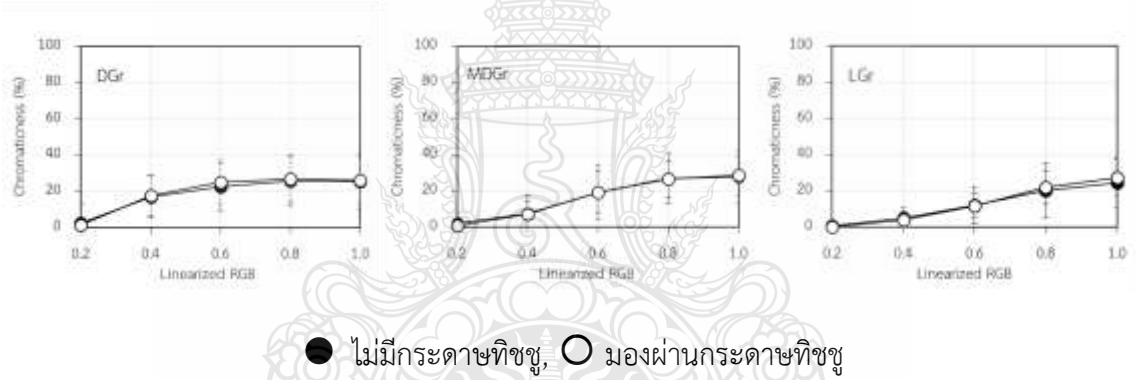
ภาพที่ 4.6 แสดงผลการปรากฏสีสันในแผนภูมิ XY ของแผ่นทดสอบสีเทาซึ่งแบ่งตามความส่องสว่างต่างกันของแผ่นทดสอบสีเทาและพื้นหลังทั้ง 4 สี ได้แก่ สีแดง สีเหลือง สีเขียว และสีน้ำเงิน จากแผนภูมิพบว่าการปรากฏสีสันของแผ่นทดสอบที่มองผ่านกระดาษทิชชูและมองตรงโดยไม่ผ่านกระดาษทิชชูค่อนข้างไปในทิศทางเดียวกัน ปรากฏโดยการซ้อนทับของสัญลักษณ์แสดงค่าสีในทุกแผนภูมิของแผ่นทดสอบสีเทาทั้ง 3 ระดับ แสดงให้เห็นว่าแม้แผ่นทดสอบสีเทาที่ใช้ในการทดลองจะมีความส่องสว่างต่างกันแต่ไม่ส่งผลต่อการปรากฏสีสันบนแผ่นทดสอบที่ต่างกัน ซึ่งผลลัพธ์เป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 4 สีพื้นหลัง และเมื่อเปรียบเทียบแต่ละสีพื้นหลังพบว่าพื้นหลังสีน้ำเงินค่อนข้างส่งผลต่อการปรากฏสีของแผ่นทดสอบน้อยที่สุด และเมื่อดูประกอบแผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีในภาพที่ 4.7 พบว่าพื้นหลังสีเขียวส่งผลต่อการปรากฏสีของแผ่นทดสอบมากที่สุด ตามมาด้วยสีเหลือง สีแดง และสีน้ำเงินตามลำดับ และพบว่าพื้นหลังในค่า Linearized RGB 0.8 และ 1.0 ในทุกแผ่นทดสอบ ผู้สังเกตมีการมองเห็นสีปรากฏบนแผ่นทดสอบสีเทาได้ชัดเจนมากที่สุด และแผ่นทดสอบ DGr และพื้นหลังสีเหลืองที่แสดงปริมาณเนื้อสีคงที่ตั้งแต่ค่า Linearized RGB 0.4 จนถึง 1.0



● ไม่มีกระดาษทิชชู, O มองผ่านกระดาษทิชชู

ภาพที่ 4.8 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีโดยเฉลี่ยแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ แสดงในแต่ละสีพื้นหลัง โดยเฉลี่ยผลการทดลองของผู้สังเกต 10 คน

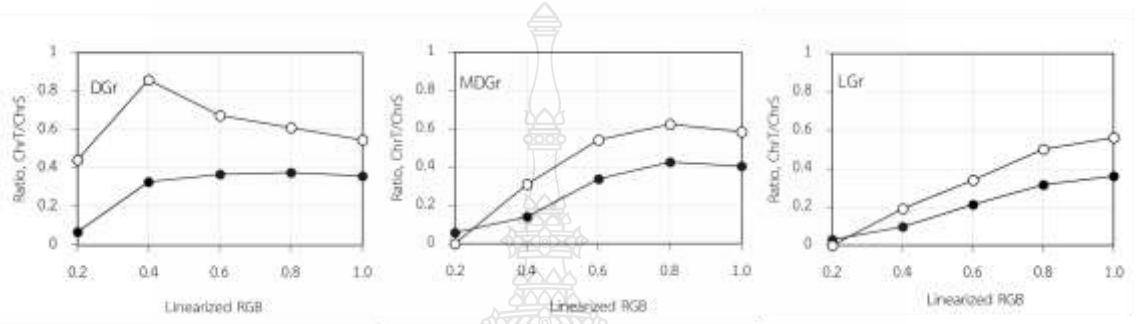
เพื่อตรวจสอบอิทธิพลของสีพื้นหลังจึงทำการเฉลี่ยแผ่นทดสอบสีเทาทั้ง 3 ระดับของแต่ละสีและแสดงในภาพที่ 4.8 จากแผนภูมิ พบว่าปริมาณเนื้อสีที่ปรากฏบนแผ่นทดสอบสีเทานั้นไม่มีความแตกต่างระหว่างมองผ่านกระดาษทิชชูและมองตรงโดยไม่ผ่านกระดาษทิชชู ยกเว้นพื้นหลังสีน้ำเงินที่การมองผ่านกระดาษทิชชูปรากฏปริมาณเนื้อสีสูงกว่าไม่มีกระดาษทิชชูเล็กน้อย และทุกสีพื้นหลังนั้นค่า Linearized RGB ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้แผ่นทดสอบปรากฏค่าความอิ่มตัวสีเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน โดยสีที่มีอิทธิพลต่อการปรากฏสีของแผ่นทดสอบมากที่สุดคือ พื้นหลังสีเขียว สีเหลือง สีแดง และสีน้ำเงิน โดยปริมาณเนื้อสีสูงสุดของมองผ่านกระดาษทิชชูและไม่มีกระดาษทิชชูปรากฏที่ 33/35 เปอร์เซ็นต์ สำหรับสีเขียว 28/27 เปอร์เซ็นต์ สำหรับสีเหลือง 25/25 เปอร์เซ็นต์ สำหรับสีแดง และ 24/16 เปอร์เซ็นต์ สำหรับสีน้ำเงิน ตามลำดับ และความส่องสว่างของพื้นหลังที่เพิ่มขึ้นทำให้ผู้สังเกตมองเห็นการปรากฏความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 4.9 แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบทั้ง 3 ระดับเฉลี่ยจากทั้ง 4 สีพื้นหลัง โดยเฉลี่ยผลการทดลองของผู้สังเกตทั้ง 10 คน

ภาพที่ 4.9 แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบทั้ง 3 ความส่องสว่าง คือ สีเทาเข้ม DGr สีเทากลาง MDGr และสีเทาอ่อน LGr โดยเฉลี่ยจากทั้ง 4 สีพื้นหลัง โดยเปรียบเทียบระหว่างมองผ่านกระดาษทิชชูและมองตรงโดยไม่ผ่านกระดาษทิชชู เพื่อสังเกตอิทธิพลของความส่องสว่างของแผ่นทดสอบสีเทาต่อการปรากฏความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียส แผนภูมิแสดงให้เห็นว่าปริมาณเนื้อสีที่ปรากฏบนแผ่นทดสอบสีเทานั้นไม่มีความแตกต่างระหว่างมองผ่านกระดาษทิชชูและไม่มีกระดาษทิชชู และสังเกตได้ว่าปริมาณเนื้อสีที่ปรากฏนั้นมีการเพิ่มขึ้นอย่างเป็นลำดับจากค่า Linearized RGB 0.2 จนถึง 1.0 โดยปริมาณเนื้อสีของทั้ง 3 แผ่นทดสอบไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างผลลัพธ์เมื่อไม่มีกระดาษทิชชูและมองผ่านกระดาษทิชชูสำหรับความส่องสว่าง

ของแผ่นทดสอบใด ๆ โดยสังเกตได้จากการซ้อนทับกันของข้อมูลจากทั้ง 3 แผนภูมิ ซึ่งผลลัพธ์ที่พบนั้นตรงกันข้ามกับความคาดหวังที่ว่ากระดาษทิชชูจะบดบังขอบของแผ่นทดสอบสีเทา และการปรากฏความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสมองผ่านกระดาษทิชชูที่แข็งแกร่งขึ้น และความส่องสว่างของพื้นหลังที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ผู้สังเกตมองเห็นการปรากฏความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียส ปรากฏบนแผ่นทดสอบสีเทาเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันในทุกความส่องสว่างของแผ่นทดสอบ

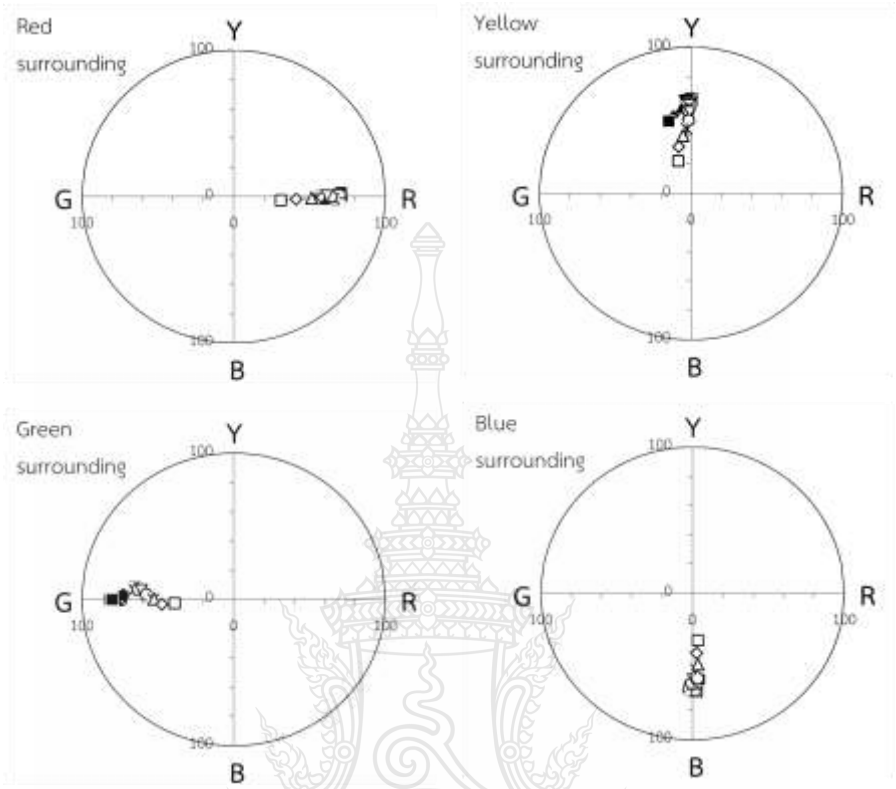


● ไม่มีกระดาษทิชชู, ○ มองผ่านกระดาษทิชชู

ภาพที่ 4.10 แผนภูมิแสดงความแตกต่างของอัตราส่วนปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบ 3 ระดับ ที่เฉลี่ยจากทั้ง 4 สีพื้นหลัง โดยเฉลี่ยผลการทดลองของผู้สังเกต 10 คน

ผลลัพธ์ของปริมาณเนื้อสีสามารถบ่งบอกถึงอิทธิพลของค่าความส่องสว่างของสิ่งเร้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการปรากฏความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสที่แข็งแกร่งขึ้น ผู้วิจัยพบว่ามีความแตกต่างของผลลัพธ์ปริมาณเนื้อสีของพื้นหลังระหว่างมองผ่านกระดาษทิชชูและมองตรงโดยไม่ผ่านกระดาษทิชชู ดังนั้นจึงใช้การคำนวณด้วยสมการที่ 3.4 เพื่อศึกษาผลกระทบของสีพื้นหลังที่มีแผ่นทดสอบสีเทาเมื่อมองผ่านกระดาษทิชชู เนื่องจากผลลัพธ์ที่ก่อนหน้าเราพบว่าพื้นหลังที่มองผ่านกระดาษทิชชูนั้นผู้สังเกตประเมินมีปริมาณเนื้อสีน้อยกว่าพื้นหลังที่มองโดยไม่มีกระดาษทิชชู แต่ปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบที่มองโดยไม่มีกระดาษทิชชูและมองผ่านกระดาษทิชชูกลับแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกัน ผลลัพธ์ที่ปรากฏในภาพที่ 4.10 แสดงความแตกต่างของอัตราส่วนปริมาณเนื้อสี (Chromaticness ratio) ของแผ่นทดสอบทั้ง 3 ระดับ ที่เฉลี่ยจาก 4 สีพื้นหลัง แกนแนวตั้งแสดงอัตราส่วนปริมาณเนื้อสี แกนแนวนอนแสดงค่า Linearized RGB พบว่า มีความแตกต่างระหว่างผลลัพธ์ที่ไม่มีกระดาษทิชชูและมองผ่านกระดาษทิชชูอย่างเห็นได้ชัดในทุกความส่องสว่างของแผ่นทดสอบสีเทา

4.2 ผลการทดลองที่ 2 ศึกษาอิทธิพลของความสว่างภายในห้อง



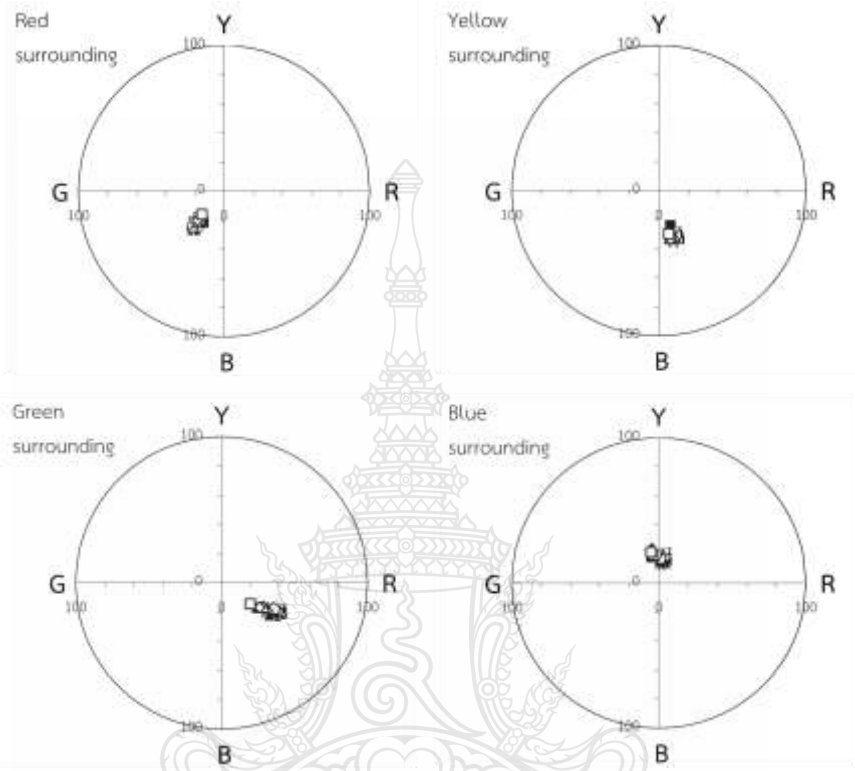
▱ 3 lx, + 6 lx, × 13 lx, ⬠ 25 lx, ▽ 50, ○ 100, ✳ 200 lx, △ 400 lx, ◇ 800 lx, □ 1600 lx

● ไม่มีกระดาษทิชชู, ○ มองผ่านกระดาษทิชชู

ภาพที่ 4.11 แผนภูมิ XY แสดงการปรากฏสีสันของพื้นหลัง 10 ระดับความสว่างภายในห้อง โดยเฉลี่ยจากผลการทดลองของผู้สังเกต 10 คน

ภาพที่ 4.11 แผนภูมิ XY แสดงการปรากฏสีสันของพื้นหลัง 10 ระดับความสว่าง โดยเฉลี่ยจากผลการทดลองของผู้สังเกต 10 คน เปรียบเทียบระหว่างมองผ่านกระดาษทิชชูและมองตรงโดยไม่ผ่านกระดาษทิชชูภายในแผนภูมิเดียวกันซึ่งแบ่งออกเป็นแต่ละสีพื้นหลัง จากแผนภูมิพบว่าผลลัพธ์ทั้งหมดค่อนข้างไปในทิศทางเดียวกันในทุกสีพื้นหลัง โดยในส่วนของพื้นหลังที่ไม่มีกระดาษทิชชูนั้นการปรากฏสีค่อนข้างคงที่ แสดงโดยการเกาะกลุ่มและซ้อนทับกันของสัญลักษณ์ เมื่อเทียบกับพื้นหลังที่มองผ่านกระดาษทิชชูนั้นมีการลดลงสวนทางกับระดับความสว่างที่เพิ่มขึ้น และสีที่ปรากฏของทั้ง 4 สีพื้นหลัง

แสดงตามแกนสีสันของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ขณะที่สีเหลืองทั้งมีและไม่มีกระดาษทิชชูมีการปรากฏสีสันออกห่างจากแกนโดยผสมไปทางสีเขียวเมื่อความสว่างภายในห้องเพิ่มขึ้น

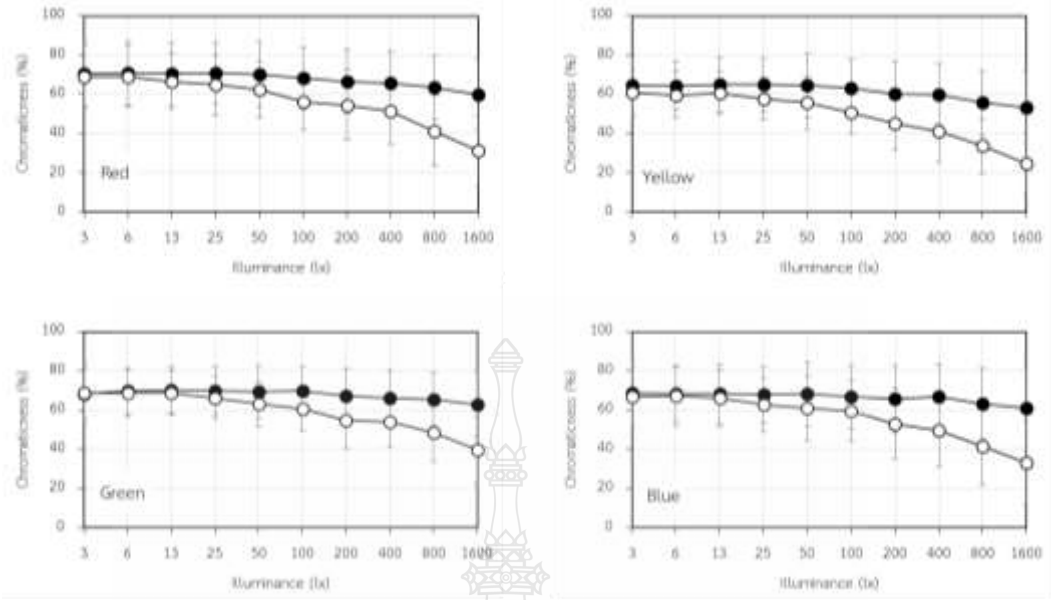


▱ 3 lx, + 6 lx, × 13 lx, ⬠ 25 lx, ▽ 50, ○ 100, ✳ 200 lx, △ 400 lx, ◇ 800 lx, □ 1600 lx

● ไม่มีกระดาษทิชชู, ○ มองผ่านกระดาษทิชชู

ภาพที่ 4.12 แผนภูมิ XY แสดงการปรากฏสีสันของแผ่นทดสอบ 10 ระดับความสว่างภายในห้อง โดยเฉลี่ยจากผลการทดลองของผู้สังเกต 10 คน

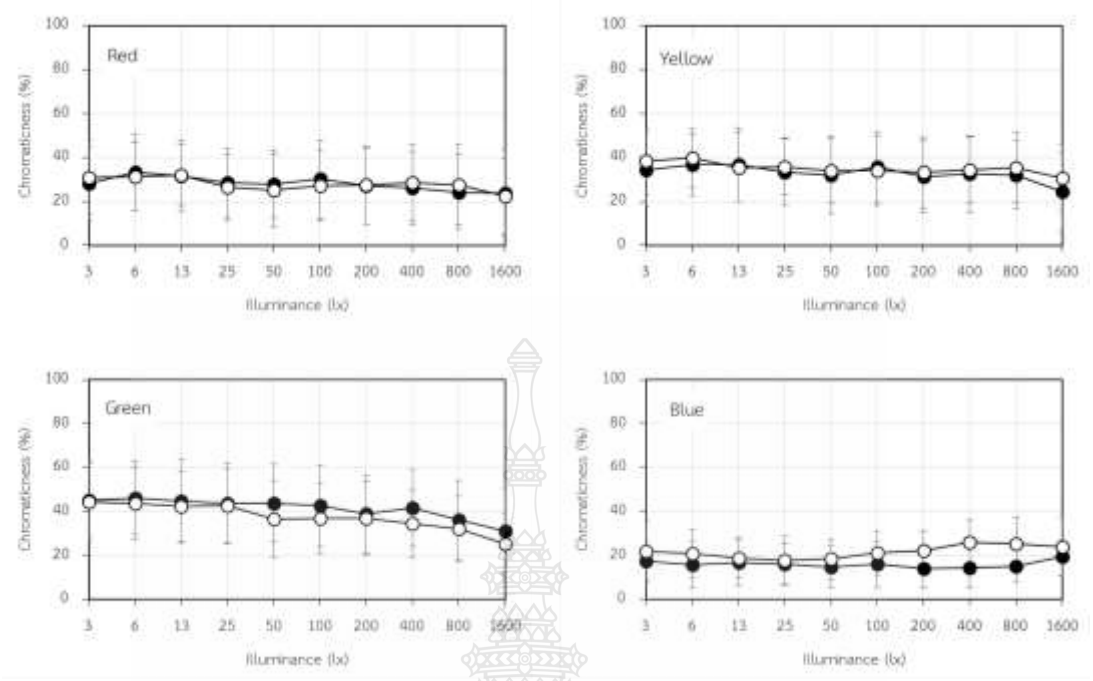
ภาพที่ 4.12 แผนภูมิ XY แสดงการปรากฏสีสันของพื้นหลังและแผ่นทดสอบ 10 ระดับความสว่าง เปรียบเทียบระหว่างมองผ่านกระดาษทิชชูและมองตรงโดยไม่ผ่านกระดาษทิชชูในแผนภูมิเดียวกันซึ่งแบ่งออกเป็นแต่ละสีพื้นหลัง จากผลลัพธ์พบว่าในขณะที่การปรากฏสีของพื้นหลังมีความแตกต่างกันระหว่างมองผ่านกระดาษทิชชูและไม่มีกระดาษทิชชูภายใต้ความสว่างที่ต่างกัน แต่แผ่นทดสอบสีเทาระหว่างไม่มีกระดาษทิชชูและมองผ่านกระดาษทิชชูนั้นกลับค่อนข้างคงที่ แสดงโดยการเกาะกลุ่มและซ้อนทับกันของสัญลักษณ์ของการประเมินสิ่งเร้าทั้ง 2 รูปแบบ



● ไม่มีกระดาษทิชชู, ○ มองผ่านกระดาษทิชชู

ภาพที่ 4.13 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของพื้นหลัง 10 ระดับความสว่างในห้อง โดยเฉลี่ยจากผลการทดลองของผู้สังเกต 10 คน

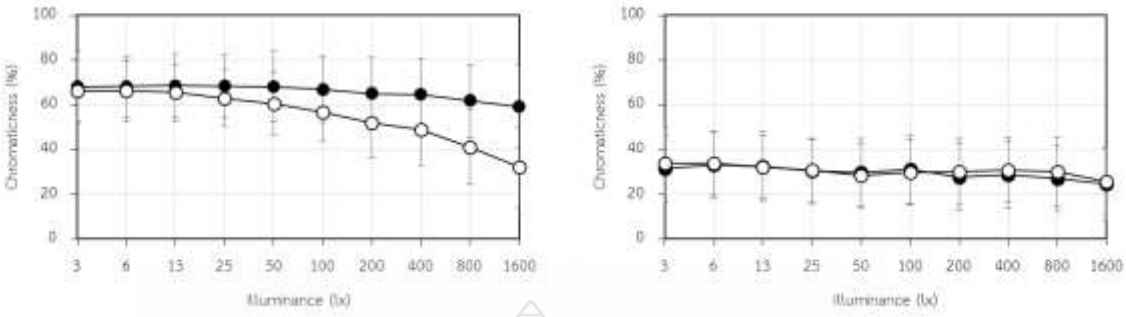
ภาพที่ 4.13 สังเกตได้ว่าปริมาณเนื้อสีของพื้นหลังทั้ง 4 สีที่ไม่มีกระดาษทิชชูนั้นค่อนข้างคงที่แต่ยังสังเกตได้ว่าค่อย ๆ มีการลดลงเล็กน้อยเมื่อระดับความสว่างเพิ่มขึ้นในช่วง 200 ลักซ์ ขึ้นไป โดยลดลงไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณเนื้อสีในทุกสีพื้นหลัง ขณะที่ปริมาณเนื้อสีของพื้นหลังที่มองผ่านกระดาษทิชชูมีการลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจนเมื่อความสว่างเพิ่มขึ้น เช่น พื้นหลังสีเหลืองที่ไม่มีกระดาษทิชชูมีปริมาณเนื้อสีอยู่ที่ 65 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้ความสว่างที่ 3 ลักซ์ และลดลงจนถึง 53 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้ความสว่างที่ 1600 ลักซ์ เมื่อเทียบกับมองผ่านกระดาษทิชชูที่ปริมาณเนื้อสีอยู่ที่ 61 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้ความสว่างที่ 3 ลักซ์ และลดลงจนถึง 25 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้ความสว่างที่ 1600 ลักซ์ นั่นแสดงให้เห็นว่าความสว่างภายในห้องส่งผลต่อการมองสีพื้นหลังผ่านกระดาษทิชชู โดยมีเพียงพื้นหลังสีเขียวที่การลดลงของปริมาณเนื้อสีน้อยที่สุดแต่ยังคงสามารถสังเกตได้ชัดเจน โดยมีปริมาณเนื้อสีอยู่ที่ 69 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้ความสว่างที่ 3 ลักซ์ และลดลงจนถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้ความสว่างที่ 1600 ลักซ์ เมื่อมองผ่านกระดาษทิชชู



● ไม่มีกระดาษทิชชู, ○ มองผ่านกระดาษทิชชู

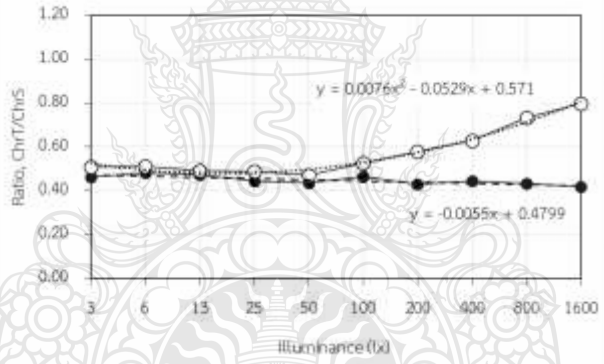
ภาพที่ 4.14 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบสีเทา 10 ระดับความสว่างในห้อง โดยเฉลี่ยจากผลการทดลองของผู้สังเกต 10 คน

ขณะที่ปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบสีเทาที่แสดงในภาพที่ 4.14 ระหว่างไม่มีกระดาษทิชชูและมองผ่านกระดาษทิชชูนั้นแสดงปริมาณเนื้อสีที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันและค่อนข้างคงที่ในทุกระดับความสว่างแต่ลดลงเล็กน้อยเมื่อความสว่างเพิ่มขึ้นในพื้นหลังสีแดงและสีเหลือง และสังเกตได้มากที่สุดสำหรับแผ่นทดสอบของพื้นหลังสีเขียวสำหรับการลดลงของปริมาณเนื้อสี โดยมีปริมาณเนื้อสีอยู่ที่ 45 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้ความสว่างที่ 3 ลักซ์ และลดลงจนถึง 31 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้ความสว่างที่ 1600 ลักซ์ เมื่อไม่มีกระดาษทิชชู และเมื่อมองผ่านกระดาษทิชชูจะมีปริมาณเนื้อสีอยู่ที่ 44 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้ความสว่างที่ 3 ลักซ์ และลดลงจนถึง 25 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้ความสว่างที่ 1600 ลักซ์ ขณะที่แผ่นทดสอบของพื้นหลังสีน้ำเงินนั้น สังเกตเห็นความแตกต่างระหว่างมองผ่านกระดาษทิชชูและมองตรงโดยไม่ผ่านกระดาษทิชชู แต่ยังค่อนข้างคงที่อยู่ระหว่าง 18 ถึง 19 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณเนื้อสีภายใต้ความสว่างทั้งหมดเมื่อไม่มีกระดาษทิชชู และระหว่าง 22 ถึง 24 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณเนื้อสีภายใต้ความสว่างทั้งหมดเมื่อมองผ่านกระดาษทิชชู



● ไม่มีกระดาษทิชชู, ○ มองผ่านกระดาษทิชชู

ภาพที่ 4.15 แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณเนื้อสีของพื้นหลัง (ซ้าย) แผ่นทดสอบสีเทา (ขวา) 10 ระดับความสว่างในห้อง โดยเฉลี่ยจากผลการทดลองของผู้สังเกต 10 คน



● ไม่มีกระดาษทิชชู, ○ มองผ่านกระดาษทิชชู

ภาพที่ 4.16 แผนภูมิค่าเฉลี่ยความแตกต่างของอัตราส่วนปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบและพื้นหลัง 10 ระดับความสว่างในห้อง โดยเฉลี่ยจากผลการทดลองของผู้สังเกต 10 คน

ในภาพที่ 4.15 เมื่อทำการหาค่าเฉลี่ยจากทั้ง 4 สีพื้นหลังและแผ่นทดสอบ เพื่อเปรียบเทียบระหว่างมองผ่านกระดาษทิชชูและมองตรงโดยไม่ผ่านกระดาษทิชชู พบว่าในกรณีของพื้นหลังที่มองผ่านกระดาษทิชชูนั้นค่อนข้างส่งผลต่อการปรากฏสีของพื้นหลังอย่างชัดเจน หรืออีกนัยหนึ่งอาจกล่าวได้ว่าแม้ผู้สังเกตมองสีของพื้นหลังผ่านกระดาษทิชชูได้ลดลง (เห็นสีในลักษณะซีดจางลงหรือความอิ่มตัวสีลดลง) แต่ยังคงเห็นความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสที่ปรากฏบนแผ่นทดสอบมีเทาได้อย่างชัดเจน

เทียบเท่ากับการมองโดยไม่มีกระดาษทิชชู แต่ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าความสว่างภายในห้องไม่ส่งผลต่อการปรากฏความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสเมื่อมองผ่านกระดาษทิชชู

ภาพที่ 4.16 เป็นผลลัพธ์โดยเฉลี่ยจากผลการทดลองของผู้สังเกตทั้ง 10 คน ที่แสดงความแตกต่างของอัตราส่วนของปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบและพื้นหลังเปรียบเทียบระหว่างมองโดยตรงและมองผ่านกระดาษทิชชู โดยแกนตั้งแสดงอัตราส่วนของปริมาณเนื้อสี แกนนอนแสดงค่าความสว่างภายในห้องทั้ง 10 ระดับ จากแผนภูมิพบว่ากรณีที่ไม่มีทิชชูอัตราส่วนของปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบและพื้นหลังค่อนข้างคงที่โดยเฉลี่ยที่ 0.45 ขณะกรณีที่มีทิชชูนั้นมีค่าคงที่ในช่วงความสว่างตั้งแต่ 3 จนถึง 100 ลักซ์ และค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตั้งแต่ 200 จนถึง 1600 ลักซ์ กรณีที่ไม่มีกระดาษทิชชูปริมาณเนื้อสีของพื้นหลังมากกว่าแผ่นทดสอบและคงที่ในทุกระดับความสว่าง ขณะที่มองผ่านกระดาษทิชชูนั้นแม้ว่าปริมาณเนื้อสีของพื้นหลังมากกว่าแผ่นทดสอบในทุกระดับความสว่างเช่นเดียวกันแต่ในช่วงระดับความสว่างตั้งแต่ 200 ลักซ์ ขึ้นไป ส่งผลให้ปริมาณเนื้อสีของพื้นหลังลดลงจนใกล้เคียงแผ่นทดสอบซึ่งมากกว่าเพียงเล็กน้อย โดยปริมาณเนื้อสีของพื้นหลังอยู่ที่ 32 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่แผ่นทดสอบอยู่ที่ 26 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความสว่าง 1600 ลักซ์ โดยอัตราส่วนอยู่ที่ 0.80

ตารางที่ 4.1 โหมดการปรากฏสีของสิ่งเร้าภายใต้ความสว่าง 10 ระดับ

Illuminance	Stimuli									
	Red		Yellow		Green		Blue		White	
	No	With	No	With	No	With	No	With	No	With
3	UN		LS		UN		UN		LS	
6										
13										
25			UN						UN	
50										
100										
200	OB		OB		OB		OB		OB	
400										
800										
1600										

LS = Light source color mode, UN = Unnatural object color mode, OB = Object color mode

จากตารางที่ 4.1 พบว่า ในช่วงระดับความสว่างที่ 3 ถึง 100 ลักซ์ สิ่งเร้าที่แสดงบนจอแสดงผลนั้น ผู้สังเกตรับรู้การปรากฏสีของสิ่งเร้าในโหมดการปรากฏสีแบบ Unnatural object color mode ในทุกสีพื้นหลังเมื่อมองแบบไม่มีกระดาษทิชชูและมองผ่านกระดาษทิชชู ยกเว้นที่สิ่งเร้าพื้นหลังสีเหลืองและสีขาวภายใต้ความสว่าง 6 ลักซ์ แบบไม่มีกระดาษทิชชู ที่ผู้สังเกตรับรู้การปรากฏสีโหมดการปรากฏสีแบบ Light source color mode และในช่วงระดับความสว่างที่ 400 ถึง 1600 ลักซ์ ผู้สังเกตรับรู้การปรากฏสีโหมดการปรากฏสีแบบ Object color mode ในทุกสีพื้นหลังเมื่อมองแบบไม่มีกระดาษทิชชูและมองผ่านกระดาษทิชชู ขณะที่ความสว่างที่ 200 ลักซ์ พบว่าเป็นช่วงที่อยู่ในช่วงคาบเกี่ยวระหว่างการปรากฏสีแบบ Unnatural object color mode (สิ่งเร้าพื้นหลังสีเขียวแบบไม่มีกระดาษทิชชูและมองผ่านกระดาษทิชชู และสีเหลืองที่ไม่มีกระดาษทิชชู) และ Object color mode (สิ่งเร้าพื้นหลังสีแดงสีน้ำเงิน และสีขาว แบบไม่มีกระดาษทิชชูและมองผ่านกระดาษทิชชู และสีเหลืองที่มองผ่านกระดาษทิชชู) จากผลที่ได้รวมถึงการสอบถามจากผู้สังเกต พบว่าในช่วงของความสว่างต่ำหรือห้องที่ค่อนข้างมีแสงน้อย ผู้สังเกตจะรับรู้สิ่งเร้าที่แสดงบนจอแสดงผลอยู่ในลักษณะที่มีการเรืองแสงดูไม่เป็นธรรมชาติเหมือนสีของวัตถุ แต่ไม่ถึงกับเป็นแสงของแหล่งกำเนิดแสง แม้มองผ่านกระดาษทิชชูที่ด้านบนจอแสดงผลแต่ผู้สังเกตยังคงรับรู้ได้ว่าสีของสิ่งเร้านั้นเรืองแสง แต่ในช่วงของความสว่างสูงหรือห้องที่ค่อนข้างสว่างมากขึ้นนั้น ผู้สังเกตรับรู้ถึงการแยกกันระหว่างสิ่งเร้าและกระดาษทิชชูทำให้ค่อนข้างประเมินสีของสิ่งเร้าได้ยากกว่าช่วงความสว่างต่ำ และสิ่งเร้าที่แสดงโดยไม่มีกระดาษทิชชูหรือมองผ่านกระดาษทิชชูนั้นการปรากฏสีของสิ่งเร้ามีลักษณะคล้ายการมองแผ่นทดสอบที่เป็นวัตถุ เช่น กระดาษทดสอบสี เป็นต้น

4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 ศึกษาตัวแปรคือความส่องสว่างของจอแสดงผลต่อการปรากฏความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสมองผ่านกระดาษทิชชู โดยการปรับค่า Linearized RGB ของพื้นหลัง ทำให้เห็นว่าเมื่อค่า Linearized RGB เพิ่มสูงขึ้น (ความส่องสว่างจอแสดงผลเพิ่มขึ้น) ส่งผลให้สีที่ปรากฏบนแผ่นทดสอบสีเทาก็เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน เนื่องจากอิทธิพลจากความส่องสว่างของพื้นหลังบนจอแสดงผลที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ผู้สังเกตมองเห็นความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ความส่องสว่างต่ำทำให้มองเห็นความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสได้น้อยลงจนกระทั่งไม่ปรากฏซึ่งสอดคล้องกับปรากฏการณ์ Hunt effect นำเสนอโดย Hunt (1950) ที่กล่าวถึงปรากฏการณ์ที่สีของวัตถุที่ระดับแสงน้อยนั้นถูกรับรู้ว่ามีความอิ่มตัวน้อยกว่าเมื่อเทียบกับที่ระดับแสงสูงกว่า [31] แม้ว่าผู้วิจัยทำการทดลองโดยใช้จอแสดงผลที่มีความส่องสว่างหลายระดับภายใต้ความสว่างคงที่แทนการเปลี่ยนความระดับสว่าง แต่ผลยังคงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งสามารถเข้าใจได้เพราะเรามองเห็นสีของวัตถุ

ได้เมื่อมีความสว่าง ยิ่งสว่างมากเรายิ่งเห็นสีของวัตถุได้ชัดเจนยิ่งขึ้นเช่นเดียวกับจอแสดงผล ที่เปล่งแสงในตัวเอง เมื่อได้รับการปรับให้มีความส่องสว่างสูงยิ่งทำให้เรามองเห็นสีสันที่แสดงบนจอได้สดใสกว่าจอแสดงผลที่ถูกปรับให้มืด ผู้วิจัยพบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างการมองผ่านกระดาษทิชชูและมองตรงโดยไม่ผ่านกระดาษทิชชูในปริมาณเนื้อสีของความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสที่ปรากฏบนแผ่นทดสอบสีเทา นั่นหมายความว่ากระดาษทิชชูไม่ได้ส่งผลให้ผู้สังเกตมองเห็นสีของความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียส ซึ่งผลลัพธ์นี้ไม่ได้เป็นไปตามสมมติฐานของผู้วิจัยที่คาดกว่าการใช้กระดาษทิชชูปิดบังสิ่งเร้าเพื่อทำให้ขอบของรูปทรงแผ่นทดสอบสีเทาไม่คมชัด จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเกิดความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสให้แข็งแกร่งขึ้นเช่นเดียวกับที่เกิดกับสิ่งเร้ากระดาษของ Graham [8] แต่ผลลัพธ์นั้นสามารถเข้าใจได้ด้วยเหตุผลของ Phuangsuwan and Ikeda (2019) [11] เนื่องจากจอแสดงผลเป็นอุปกรณ์เปล่งแสงในตัวเอง ผู้สังเกตจะรับรู้แสงจากพื้นหลังโดยรอบมากพอที่จะทำการปรับสภาพการมองเห็นภายใต้แสงสีได้อย่างชัดเจนโดยไม่ต้องใช้กระดาษทิชชู

การทดลองที่ 2 ในการศึกษาโดยมีตัวแปรคือความสว่างภายในห้องที่ พบว่าความสว่างภายในห้องไม่ส่งผลกระทบต่อการปรากฏความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 แต่พบว่าส่งผลต่อการรับรู้โหมดการปรากฏสีของสิ่งเร้า เมื่อดูตารางที่ 4.1 โหมดการปรากฏสีของสิ่งเร้าแสดงให้เห็นว่าแม้จอแสดงผลจะเป็นรูปแบบเปล่งแสงในตัวเอง แต่เมื่อแสดงสิ่งเร้าภายใต้ความสว่างภายในห้องที่เปลี่ยนไปผู้สังเกตก็รับรู้โหมดการปรากฏสีเปลี่ยนไปซึ่งเป็นไปตามการคาดการณ์ของผู้วิจัยที่คาดการณ์ว่าความสว่างภายในห้องส่งผลต่อการการรับรู้โหมดการปรากฏสี โดยช่วงความสว่างต่ำตั้งแต่ 3 ถึง 100 ลักซ์ ผู้สังเกตรับรู้การปรากฏสีของสิ่งเร้าในรูปแบบ Unnatural object color mode เนื่องจากผู้สังเกตรับรู้ว่าจอแสดงผลนั้นสว่างกว่าแสงแวดล้อมภายในห้องทำให้ผู้สังเกตมองเห็นสีที่แสดงบนจอในสภาวะที่ดูไม่เป็นธรรมชาติ แต่เมื่อความสว่างเพิ่มสูงขึ้นเกิน 200 ลักซ์ การรับรู้ปรากฏสีจะเปลี่ยนไปเป็นรูปแบบ Object color mode เนื่องจากผู้สังเกตรับรู้ว่าแสงแวดล้อมภายในห้องดูสว่างกว่าจอแสดงผล ซึ่งความสว่างที่มากกว่านั้นส่งผลให้ผู้สังเกตรับรู้สีที่ปรากฏบนจอแสดงผลดูเป็นธรรมชาติคล้ายกับการมองสีวัตถุมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม เราทราบกันดีว่าความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสนั้นคือการปรับสภาพการมองเห็นเข้ากับสีของพื้นหลังและทำให้เห็นคู่สีตรงกันข้ามข้างเคียงของสีพื้นหลังปรากฏบนแผ่นทดสอบสีเทา ในการทดลองที่ 1 เราพบว่าผู้สังเกตจะมองเห็นสีพื้นหลังผ่านกระดาษทิชชูน้อยกว่าไม่มีกระดาษทิชชู ขณะที่ความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสที่ปรากฏบนแผ่นทดสอบสีเทากลับเท่ากัน สิ่งนี้เป็นผลมาจากการใช้กระดาษทิชชูเพื่อทำให้ขอบของรูปทรงแผ่นทดสอบสีเทาไม่คมชัดเป็นการลดการรับรู้ความเป็นวัตถุของสิ่งเร้าเหลือเพียงสีและแสง เนื่องจากเรารับรู้ว่าสิ่งเร้านั้นเป็นวัตถุจากขอบหรือรูปทรงและสี แต่เมื่อขอบหรือรูปทรงนั้นถูกลบด้วยกระดาษทิชชูทำให้การรับรู้ขอบหายไปและสิ่งที่ยังคง

เหลืออยู่ในการรับรู้คือสีหรือแสงในการปรับสภาพการมองเห็นภายใต้แสงสีตามทฤษฎีอาร์วีเอสไอที่นำเสนอโดย Ikeda (2004) [1] สมการที่ 3.4 ถูกนำมาใช้เพื่อตรวจสอบอิทธิพลของกระดาษทิชชูที่ส่งผลให้ความสามารถในการเหนี่ยวนำแผ่นทดสอบเพิ่มสูงขึ้นขณะความอิ่มตัวสีของพื้นหลังลดลง ซึ่งปรากฏความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างการดูด้วยตาเปล่าและการมองผ่านกระดาษทิชชู ทั้งในการทดลองที่ 1 และ 2 ภาพที่ 4.10 ผลการทดลองที่ 1 แสดงให้เห็นความแตกต่างของอัตราส่วนของอิทธิพลพื้นหลังต่อแผ่นทดสอบที่เพิ่มขึ้นตามค่า Linearized RGB ที่เพิ่มขึ้นเมื่อมองผ่านกระดาษทิชชู นั่นเพราะแม้ตัวกระดาษทิชชูจะทำให้สีพื้นหลังมีความอิ่มตัวสีลดลงแต่สามารถเหนี่ยวนำให้ยังคงปรากฏสีของแผ่นทดสอบคงที่ แต่ผู้วิจัยยังไม่สามารถตอบคำถามได้ชัดเจนว่าเพราะเหตุใดกระดาษทิชชูจึงทำให้เกิดผลลัพธ์ดังกล่าว ภาพที่ 4.16 ผลการทดลองที่ 2 พบว่าอัตราส่วนที่ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ความสว่างภายในห้องที่ 200 ลักซ์ ขึ้นไป ความสว่างภายในห้องที่สูงขึ้นเพิ่มการสะท้อนของแสงสีขาวจากไฟบนเพดานห้องทดลองบนพื้นผิวกระดาษทิชชูและส่งผลให้ผู้สังเกตมองเห็นความเป็นสีพื้นหลังลดลงผ่านกระดาษทิชชูแต่ยังคงมองเห็นการเกิดความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสเท่าเดิม ผู้วิจัยพบว่าอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นในช่วง 200 ลักซ์ ที่ผู้สังเกตเห็นพื้นหลังลดลงเมื่อมองผ่านกระดาษทิชชูนั้นสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงโหมดการปรากฏสีเป็น Object color mode หมายความว่าเมื่อความสว่างเพิ่มขึ้นการปรากฏสีจะตกอยู่ภายใต้อิทธิพลของความสว่างที่ทำให้ผู้สังเกตรับรู้สิ่งเร้าปรากฏเป็นวัตถุมากขึ้นพร้อมกับรับรู้สีของพื้นหลังที่ลดลงแม้จะยังเห็นสีของแผ่นทดสอบปรากฏชัดเจน อีกทั้งผู้สังเกตได้รายงานเกี่ยวกับการใช้กระดาษทิชชูว่าสามารถมองเห็นการเกิดความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสได้รวดเร็วกว่ามองโดยตรงไม่ผ่านกระดาษทิชชู แสดงให้เห็นว่าแม้การมองสิ่งเร้าบนจอแสดงผลผ่านกระดาษทิชชูจะไม่ได้ทำให้ผู้สังเกตมองเห็นการปรากฏความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสที่เด่นชัดยิ่งขึ้น แต่ช่วยให้มองเห็นการปรากฏสีที่เร็วกว่าการมองโดยตรง หรือก็คือใช้เวลาในการปรับสภาพการมองเห็นน้อยลงนั่นเอง

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษาอิทธิพลของความสว่างภายในห้องและความส่องสว่างของจอแสดงผลที่มีต่อการเกิดความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสมองผ่านกระดาษทิชชู มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลความส่องสว่างของจอแสดงผลและความสว่างภายในห้องที่มีต่อการเกิดความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสมองผ่านกระดาษทิชชู และเพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของความสว่างในห้องและความส่องสว่างของจอแสดงผลที่ปรากฏความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสผ่านกระดาษทิชชูอย่างเด่นชัด ซึ่งสรุปผลได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลอง เมื่อพิจารณาจากปริมาณเนื้อสี ผลการทดลองที่ 1 พบว่าความส่องสว่างของสีพื้นหลังมีอิทธิพลต่อการมองเห็นความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสที่เพิ่มขึ้นอย่างเป็นลำดับจากค่า Linearized RGB 0.4 จนถึง 1.0 ขณะที่ความส่องสว่างต่ำที่ค่า Linearized RGB 0.2 ทำให้มองเห็นความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสได้น้อยลงจนกระทั่งไม่ปรากฏ สำหรับผลการทดลองที่ 2 ความสว่างภายในห้องไม่ส่งผลกระทบต่อการปรากฏความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง แต่ส่งผลต่อการรับรู้โหมดการปรากฏสีของสิ่งเร้าที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อความสว่างเปลี่ยน ผลลัพธ์เห็นด้วยกับการรายงานผลของ Phuangsuwan and Ikeda (2019) ว่าจอแสดงผลเป็นอุปกรณ์เปล่งแสงในตัวเอง ผู้สังเกตจะรับรู้แสงจากพื้นหลังโดยรอบมากพอที่จะทำการปรับสภาพการมองเห็นภายใต้แสงสีได้อย่างชัดเจน [11] สำหรับการมองสิ่งเร้าผ่านกระดาษทิชชูนั้นช่วยทำให้มองเห็นความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสได้รวดเร็วกว่ามองสิ่งเร้าโดยไม่ผ่านกระดาษทิชชู

ในการพิจารณาจากอัตราส่วนปริมาณเนื้อสีของสิ่งเร้าโดยปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบสีเทาต่อปริมาณเนื้อสีของพื้นหลังเปรียบเทียบระหว่างการมองผ่านกระดาษทิชชูและการมองตรงโดยไม่ผ่านกระดาษทิชชู พบว่าเมื่อความสว่างภายในห้องสูงเกิน 200 ลักซ์ ขึ้นไป การมองเห็นความชัดเจนของสีพื้นหลังผ่านกระดาษทิชชูจะลดลงโดยไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชัดเจนของความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสบนแผ่นทดสอบสีเทา อีกทั้งการรับรู้โหมดการปรากฏสีของสิ่งเร้าที่แสดงบนจอแสดงผลของผู้สังเกตจะเปลี่ยนจาก Unnatural object color mode ไปสู่ Object color mode แม้ว่าจอแสดงผลจะเป็นอุปกรณ์เปล่งแสงในตัวเอง ดังนั้นผลการทดลองพบว่าที่ค่า Linearized RGB

1.0 หรือ สัดส่วนสี RGB ที่ 255 ของสิ่งเร้าภายใต้ความสว่างสูงเกิน 200 ลักซ์ ทำให้อิทธิพลของกระดาษทิชชูต่อการปรากฏความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสผ่านกระดาษทิชชูปรากฏชัดเจน

ผู้วิจัยพบว่าการใช้กระดาษทิชชูบดบังสิ่งเร้านั้นทำให้รับรู้ความอิ่มตัวสีที่ลดลงซึ่งคล้ายกับการมองเห็นของบุคคลที่มีภาวะสายตาเลือนรางรูปแบบ Cloudy vision ซึ่งมีการมองเห็นที่ขุ่นมัวเหมือนมองผ่านหมอกตลอดเวลา ดังนั้นผลการทดลองที่ได้ในครั้งนี้อาจนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบสภาวะความสว่างแวดล้อมภายในอาคาร เช่น ที่พักอาศัยหรือสถานที่ทำงาน ช่วยให้ผู้ที่มีอาการ Cloudy vision มีประสิทธิภาพการมองเห็นสีที่ดีขึ้นหรือมองเห็นสีได้ชัดเจนขึ้น เป็นต้น

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

5.2.1 ศึกษาอิทธิพลของกระดาษทิชชู ที่ส่งผลต่อการเกิดปรากฏการณ์ความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียส

5.2.2 ขนาดและรูปทรงของแผ่นทดสอบสีเทารวมถึงตำแหน่งของการนำเสนอแผ่นทดสอบสีเทาบนพื้นหลัง อาจมีผลต่อการเกิดปรากฏการณ์ความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียส

5.2.3 ในการศึกษาครั้งนี้ใช้จอแสดงผลชนิด LCD แสดงสิ่งเร้าภายใต้แหล่งกำเนิดแสงประเภทหลอดฟลูออเรสเซนต์ หากมีการศึกษาโดยใช้จอแสดงผลชนิดอื่นและภายใต้แหล่งกำเนิดแสงประเภทอื่น เช่น ไฟ LED อาจแสดงผลลัพธ์ของปรากฏการณ์ความเปรียบต่างสีแบบไซมัลเทเนียสที่น่าสนใจ

บรรณานุกรม

[1] M. Ikeda, “Color appearance explained, predicted and confirmed by the concept of recognized visual space of illumination,” *Optical Review,* 11, p. 217-225, 2004.

[2] P. Srirat, Phuangsuwan. C, & Ikeda. M, “Chromatic adaptation to illumination investigated with two rooms technique,” presented at Color Science Association of Japan (CSAJ2014), Tokyo, 2014.

[3] C. Phuangsuwan, M. Ikeda, & J. Mepean, “Learning to de-escalate: Color appearance of afterimages compared to the chromatic adaptation to illumination,” *Color Research and Application*, 43(3), p. 349-357, 2018.

[4] J. H. Pearsons, "Chromatic Adaptation," in *An introduction to the study of color vision*.2nd ed, Cambridge: Cambridge Press, 1924, pp. 139

[5] P. Chitapanya, M. Ikeda, & C. Phuangsuwan, “Comparison of the simultaneous color contrast determined by colored paper and colored illumination,” presented at Color Science Association of Japan (CSAJ2018), Tokyo, 2018.

[6] S. Ratnasingam, & B. L. Anderson, "What predicts the strength of simultaneous color contrast?" *Journal of Vision February*. 17(13), 2017. DOI: https://doi.org/ 10.1167 /17.2.13

[7] D. Purves, S. M. Williams, S. Nundy, R. B. “Lotto Perceiving the Intensity of Light” Psychological Review, 111(1), p. 142-58, 2004.

[8] C. H. Graham and J. L. Brown, "Color contrast and color appearance: Brightness constancy and color constancy," in *Vision and visual perception.* C. H. Graham, USA : John Wiley & Sons., 1965, pp. 461.

[9] M. Ikeda, "Enhanced effect of simultaneous color contrast with tissue paper**,"** presented at Color Science Association of Japan (CSAJ2019), Tokyo, 2019.

[10] B. Kimcheang, M. Ikeda, and C. Phuangsuwan, “Effect of tissue on color appearance of objects,” presented at Color Science Association of Japan (CSAJ2019), Tokyo, 2019.

[11] C. Phuangsuwan, and M. Ikeda, “Device Dependent Simultaneous Color Contrast,” presented at Color Science Association of Japan (CSAJ2019), Tokyo, 2019.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[12] S. Jinphol, M. Ikeda, C. Phuangsuwan, and Y. Mizokami, "Effect of Haze value and Materials on The color appearance in the tissue experiment of The simultaneous color contrast," presented at The 5th Asia Color Association Conference 2019 (ACA2019), Nagoya, 2019.

[13] J. Mepean, M. Ikeda, and C. Phuangsuwan, "Simultaneous color contrast on a display determined by different viewing distances," presented at The 5th Asia Color Association Conference (ACA2019), Nagoya, 2019.

[14] Chromatic Adaptation, *Educalingo (online)*, n.d.,Available: https://educalingo.com/en/dic-en/chromatic-adaptation, (3 April 2020).

[15] M. D. Fairchild, "Chromatic Adaptation," in *Color Appearance Models, 3rd Edition*. P. Schelkens, A. Skodras and T. Ebrahimi, P. Green, USA : Pearson Education, Inc., 2013, pp. 156-159.

[16] จันทร์ประภา พ่วงสุวรรณ และมิสึโอะ อิเคดะ, การมองเห็นและสี, 2563, ศูนย์นวัตกรรมการออกแบบและสื่อคอนเวอร์เจนซ์: ปทุมธานี. pp. 52, 78-79, 80

[17] C. Phuangsuwan, and M. Ikeda, "Chromatic Adaptation to Illumination Investigated with Adapting and Adapted Color," *Color Research and Application*, Vol. 42, 2017, pp. 571-579, Available: Wiley Online Library (25 January 2020)

[18] R. W. G. Hunt, and M. R. Pointe, in *Measuring Colour*. United Kingdom: John Wiley & Sons., 2011.

[19] W. D. Wright, "The rays are not coloured: essays on the science and vision and colour," *Physics Today*, Vol. 22, 1967, pp. 85, Available: National Bureau of Standards (25 January 2020)

[20] E. Hering, in *Outlines of a Theory of the Light Sense.* Cambridge, Mass: Harvard University Press, 1964.

[21] M. Foster, in *A Text-book of physiology*. Cambridge : Lea Brothers. & Co., 1891, pp. 921.

[22] พรทวี พึ่งรัศมี และมิทสึโอะ อิเคดะ, สีและการเห็นสี, 2551, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพฯ. pp. 162-163

บรรณานุกรม (ต่อ)

[23] วิกิพีเดีย, “กระดาษชำระ,” 2564. [ออนไลน์] Available: https://th.wikipedia.org/wiki/กระดาษชำระ#กระบวนการผลิตกระดาษชำระ

[24] ภูวดี ตู้จินดา และก่อพงศ์ หงษ์ศรี, “สารเรืองแสงในผลิตภัณฑ์กระดาษ: อันตรายที่ซ่อนอยู่ในความขาว,” 2564. [ออนไลน์] Available:http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_j/2559_64_201_p10-11.pdf

[25] M. Ikeda, and C. Phuangsuwan, “Strong effect of the simultaneous color contrast in an afterimage,” *Color Research and Application*, Vol. 44, 2018, pp. 50-53, Available: Wiley Online Library (25 January 2020)

[26] P. Nguensawat, M. Ikeda, C. Phuangsuwan, and Y. Mizokami, “Effect of Viewing distance to The simultaneous color contrast,” presented at The 5th Asia Color Association Conference 2019 (ACA2019), Nagoya, 2019.

[27] Y. Mizokami, M. Ikeda, and H. Shinoda, “Color Property of the Recognized Visual Space of Illumination Controlled by Interior Color as the Initial Visual Information,” *Optical Review*, Vol. 7, 2000, pp. 358-363, Available: Optical Review, Springer (30 January 2020)

[28] M. Ikeda**,** C. Pungrassamee, P. Katemake, and A. Hansuebsa, “The Brain Adaptation to the Color of Illumination and not the Retinal Adaptation to the Color of Objects that Determines the Color Appearance of an Object in the Space,” *Optical Review,* Vol. 13, 2006, pp. 388-395, Available: Optical Review, Springer (10 March 2020)

[29] ปลูกเกษม ชูตระกูล. (2556). **ความสัมพันธ์ระหว่างโหมดการปรากฏสีและการเคลื่อนที่การปรากฏสี**. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

[30] M. Ikeda, H. Shinoda, and Y. Mizokami, “Phenomena of apparent lightness interpreted by recognized visual space of illumination,” *Optical Review*, 5(6), p. 380-386, 1998.

[31] R. W. G. Hunt, “The Effects of Daylight and Tungsten Light-Adaptation on Colour Perception,” *Journal of the Optical Society of America*, 40(6), p. 362-371, 1950. DOI: 10.1364/JOSA.40.000362

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
สิ่งเร้า

ตารางที่ ก.1 แสดงค่า xy chromaticity ของสีสิ่งเร้าในการทดลองที่ 1

	Without-tissue				With-tissue			
	Input	Y	x	y	Input	Y	x	y
Red surround	50	4.94	0.387	0.336	50	20.8	0.325	0.344
	100	9.08	0.501	0.337	100	23.1	0.349	0.343
	150	16.7	0.563	0.337	150	26.2	0.385	0.343
	200	28.1	0.593	0.337	200	31.1	0.424	0.342
	255	45	0.609	0.338	255	38.1	0.465	0.341
Yellow surround	50	7.21	0.356	0.404	50	21.9	0.322	0.352
	100	19.8	0.399	0.469	100	27.4	0.338	0.374
	150	42.9	0.415	0.494	150	37	0.357	0.402
	200	77.5	0.421	0.505	200	51	0.375	0.428
	255	128	0.424	0.511	255	71.7	0.39	0.45
Green surround	50	6.04	0.291	0.42	50	21.9	0.316	0.352
	100	14.3	0.256	0.549	100	25.3	0.308	0.378
	150	29.7	0.237	0.621	150	31.5	0.297	0.416
	200	52.9	0.228	0.656	200	40.3	0.284	0.461
	255	87.2	0.223	0.675	255	54.1	0.271	0.506
Blue surround	50	3.96	0.267	0.266	50	21.1	0.313	0.338
	100	4.93	0.206	0.168	100	21.5	0.299	0.315
	150	6.69	0.175	0.119	150	22.2	0.278	0.282
	200	9.26	0.161	0.096	200	23.1	0.255	0.246
	255	13.1	0.154	0.084	255	23.9	0.231	0.208
Gray test patch	DGr	20.7	0.32	0.346	DGr	27.6	0.32	0.346
	MDGr	41.2	0.32	0.346	MDGr	35.8	0.322	0.347
	LGr	61.5	0.32	0.347	LGr	44.1	0.322	0.348

ตารางที่ ก.2 แสดงค่า xy chromaticity ของสีสิ่งเร้าในการทดลองที่ 2

	Without-tissue				With-tissue			
	Illminance	Y	x	y	Illminance	Y	x	y
Red surround	3	40.1	0.632	0.339	3	16.2	0.629	0.339
	6	40.3	0.63	0.339	6	16.6	0.617	0.338
	13	40.4	0.629	0.339	13	17.3	0.605	0.339
	25	40.7	0.626	0.339	25	18.6	0.585	0.339
	50	41.2	0.621	0.339	50	21.2	0.552	0.339
	100	42.6	0.611	0.339	100	26.3	0.505	0.339
	200	45.7	0.59	0.339	200	37.8	0.452	0.341
	400	58.5	0.535	0.345	400	51.3	0.419	0.356
	800	113	0.435	0.355	800	124	0.363	0.36
	1600	139	0.407	0.349	1600	161	0.349	0.358
Yellow surround	3	122	0.423	0.522	3	47.8	0.427	0.517
	6	123	0.422	0.522	6	47.9	0.425	0.513
	13	123	0.422	0.522	13	48.5	0.423	0.509
	25	123	0.422	0.521	25	49.4	0.418	0.503
	50	123	0.421	0.519	50	52.4	0.411	0.492
	100	125	0.419	0.516	100	57.8	0.398	0.472
	200	128	0.415	0.509	200	69.7	0.382	0.447
	400	141	0.403	0.493	400	83.6	0.37	0.437
	800	196	0.375	0.449	800	157	0.345	0.401
	1600	221	0.363	0.43	1600	192	0.337	0.39
Green surround	3	82.6	0.211	0.707	3	31.9	0.211	0.701
	6	82.8	0.211	0.706	6	32.2	0.215	0.688
	13	83.1	0.211	0.704	13	32.8	0.219	0.673
	25	83.4	0.212	0.701	25	34.2	0.226	0.649
	50	83.7	0.214	0.695	50	36.6	0.236	0.611
	100	85	0.217	0.683	100	42	0.252	0.555
	200	88.2	0.223	0.659	200	53.6	0.27	0.495
	400	101	0.243	0.6	400	66.4	0.283	0.472
	800	156	0.28	0.49	800	141	0.305	0.409
	1600	181	0.282	0.457	1600	177	0.305	0.395

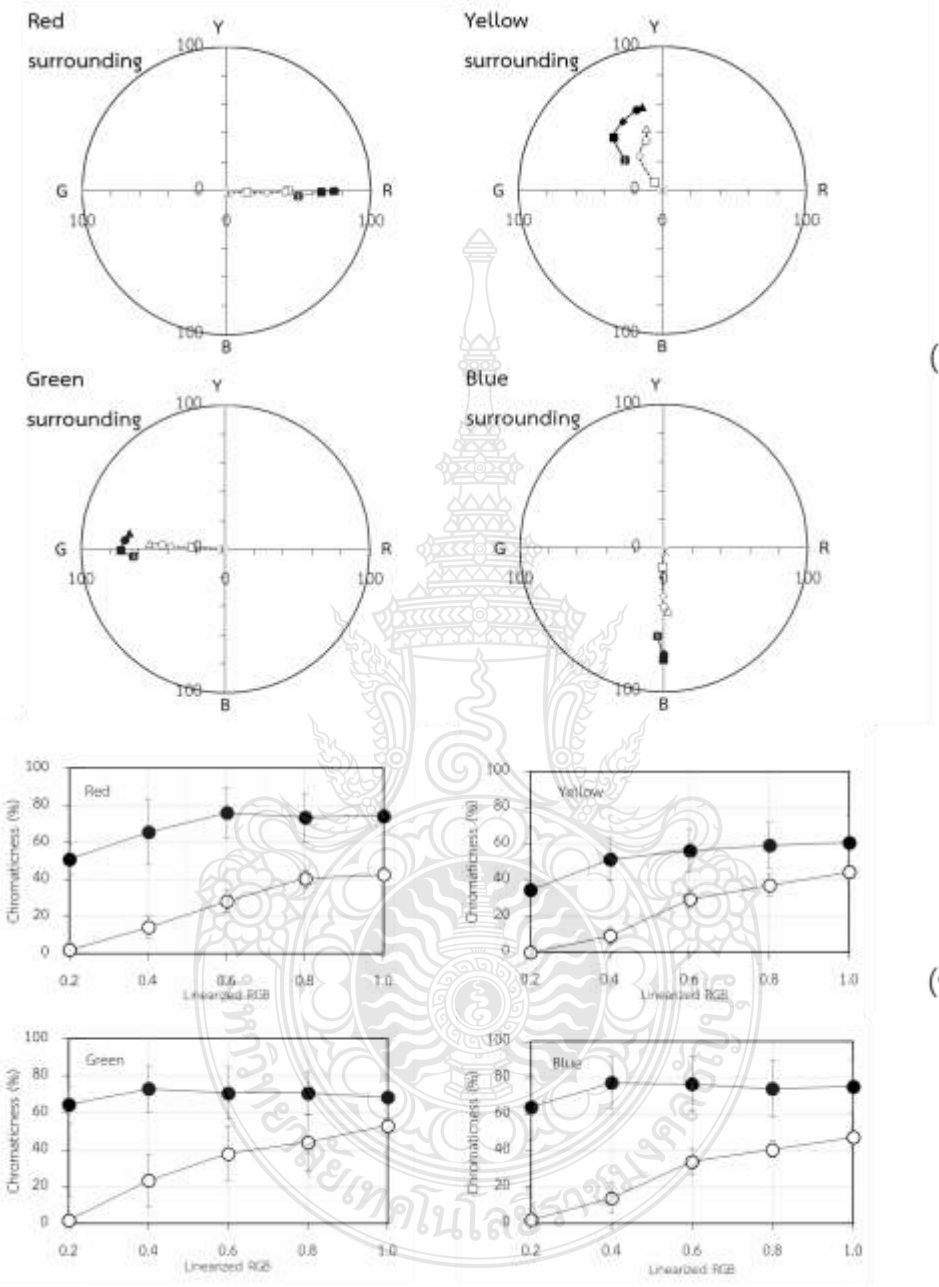
ตารางที่ ก.2 แสดงค่า xy chromaticity ของสีสิ่งเร้าในการทดลองที่ 2 (ต่อ)

	Without-tissue				With-tissue			
	Illminance	Y	x	y	Illminance	Y	x	y
Blue surround	3	9.46	0.141	0.063	3	3.76	0.144	0.067
	6	9.61	0.142	0.064	6	4.3	0.149	0.075
	13	0.78	0.142	0.064	13	4.98	0.154	0.084
	25	10.1	0.143	0.066	25	6.32	0.164	0.1
	50	10.7	0.146	0.07	50	8.8	0.179	0.125
	100	12	0.15	0.077	100	14.2	0.204	0.165
	200	15.2	0.159	0.092	200	25	0.233	0.212
	400	28	0.186	0.14	400	40.1	0.255	0.258
	800	82.7	0.244	0.236	800	113	0.292	0.317
	1600	108	0.253	0.253	1600	149	0.29	0.324
White surround	3	132	0.313	0.343	3	51.1	0.32	0.347
	6	132	0.311	0.343	6	51.3	0.32	0.347
	13	132	0.313	0.343	13	51.9	0.32	0.346
	25	132	0.313	0.343	25	53.3	0.32	0.346
	50	133	0.313	0.343	50	55.7	0.319	0.346
	100	134	0.313	0.343	100	61.1	0.319	0.345
	200	137	0.313	0.344	200	73	0.319	0.346
	400	150	0.313	0.346	400	86.2	0.319	0.354
	800	205	0.316	0.351	800	161	0.32	0.359
	1600	231	0.313	0.348	1600	197	0.317	0.357
Gray test patch	3	36	0.315	0.347	3	14.6	0.322	0.348
	6	36	0.315	0.346	6	14.7	0.321	0.349
	13	36	0.315	0.346	13	15.7	0.32	0.347
	25	36.6	0.315	0.346	25	17	0.319	0.347
	50	37.3	0.315	0.346	50	19.8	0.318	0.345
	100	39.2	0.314	0.345	100	27.6	0.316	0.343
	200	41.7	0.314	0.344	200	36.8	0.315	0.343
	400	57.4	0.313	0.347	400	49.1	0.316	0.353
	800	110	0.311	0.346	800	102	0.315	0.351
	1600	136	0.312	0.351	1600	158	0.316	0.359

ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

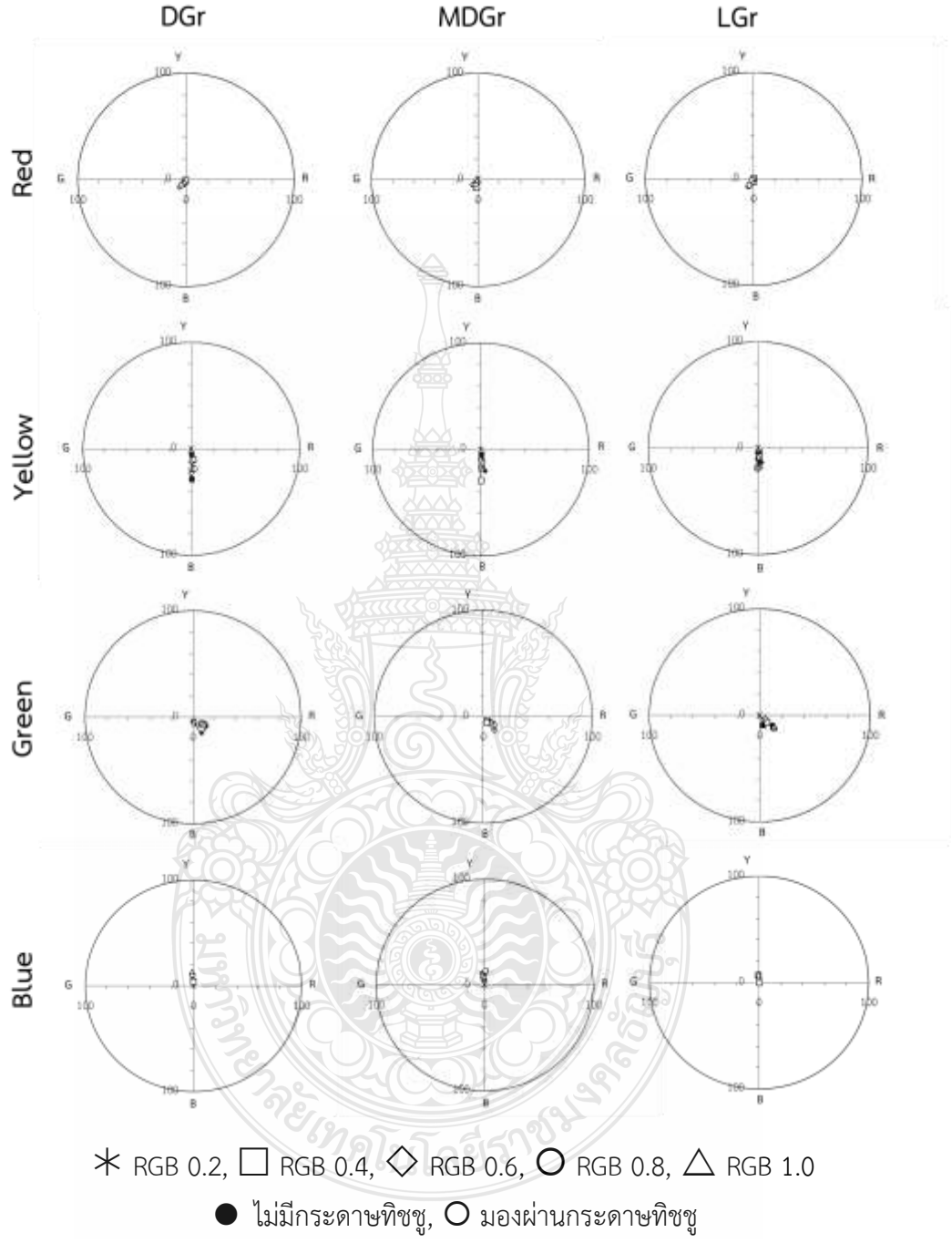
ข.1 ผลการทดลองที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของความส่องสว่างของจอแสดงผล



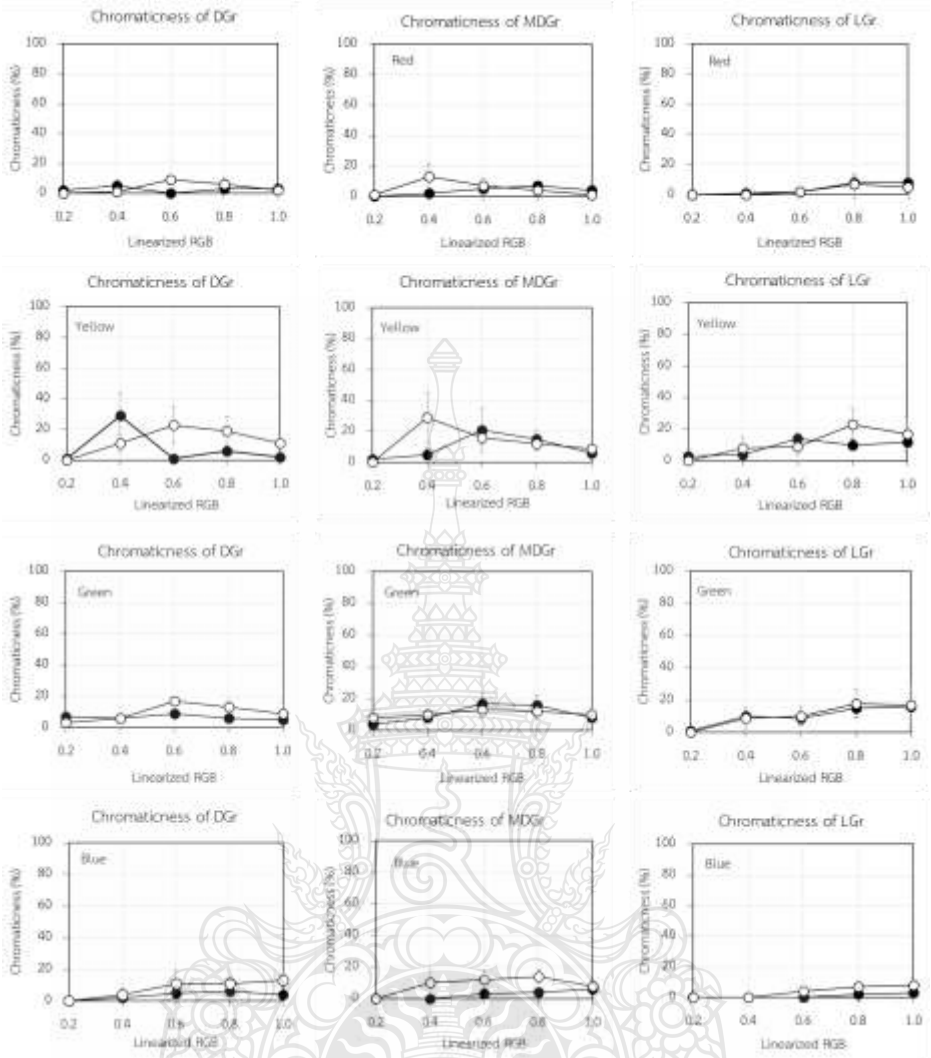
✳ RGB 0.2, ☐ RGB 0.4, ◇ RGB 0.6, ○ RGB 0.8, △ RGB 1.0

● ไม่มีกระดาษทิชชู, ○ มองผ่านกระดาษทิชชู

ภาพที่ ข.1 (ก) แผนภูมิ xy แสดงค่าการปรากฏสีสันของพื้นหลัง 5 ระดับ (ข) แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของพื้นหลัง 5 ระดับ ของผู้สังเกต MI

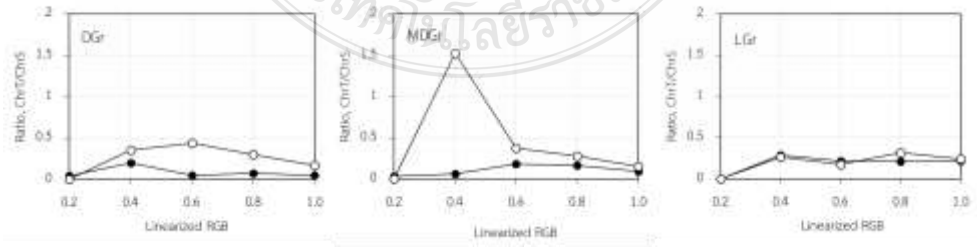


ภาพที่ ข.2 แผนภูมิ xy แสดงค่าการปรากฏสีสันของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ ของผู้สังเกต MI



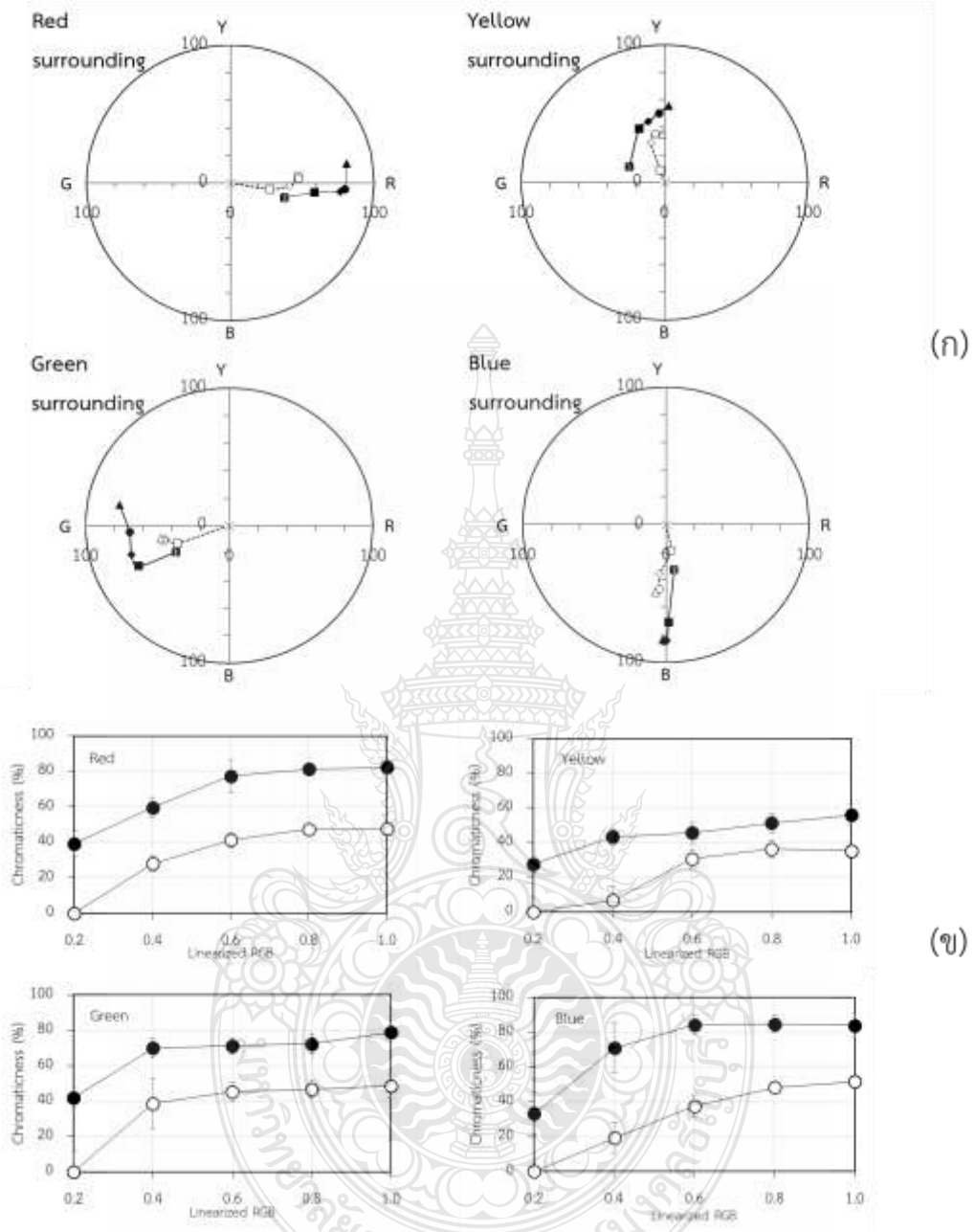
● ไม่มีกระดาษทิชชู, ○ มองผ่านกระดาษทิชชู

ภาพที่ ข.3 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ ของผู้สังเกต MI

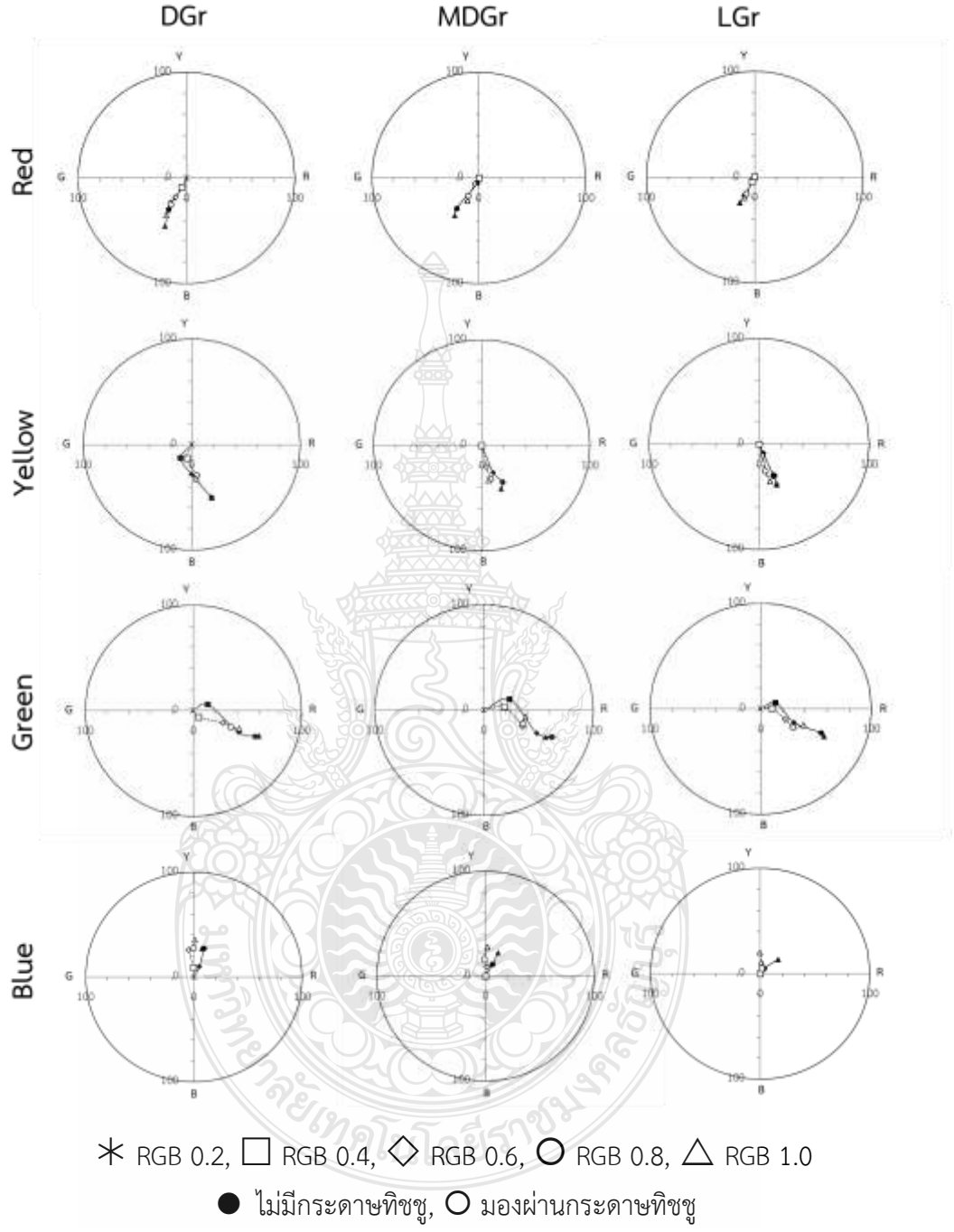


● ไม่มีกระดาษทิชชู, ○ มองผ่านกระดาษทิชชู

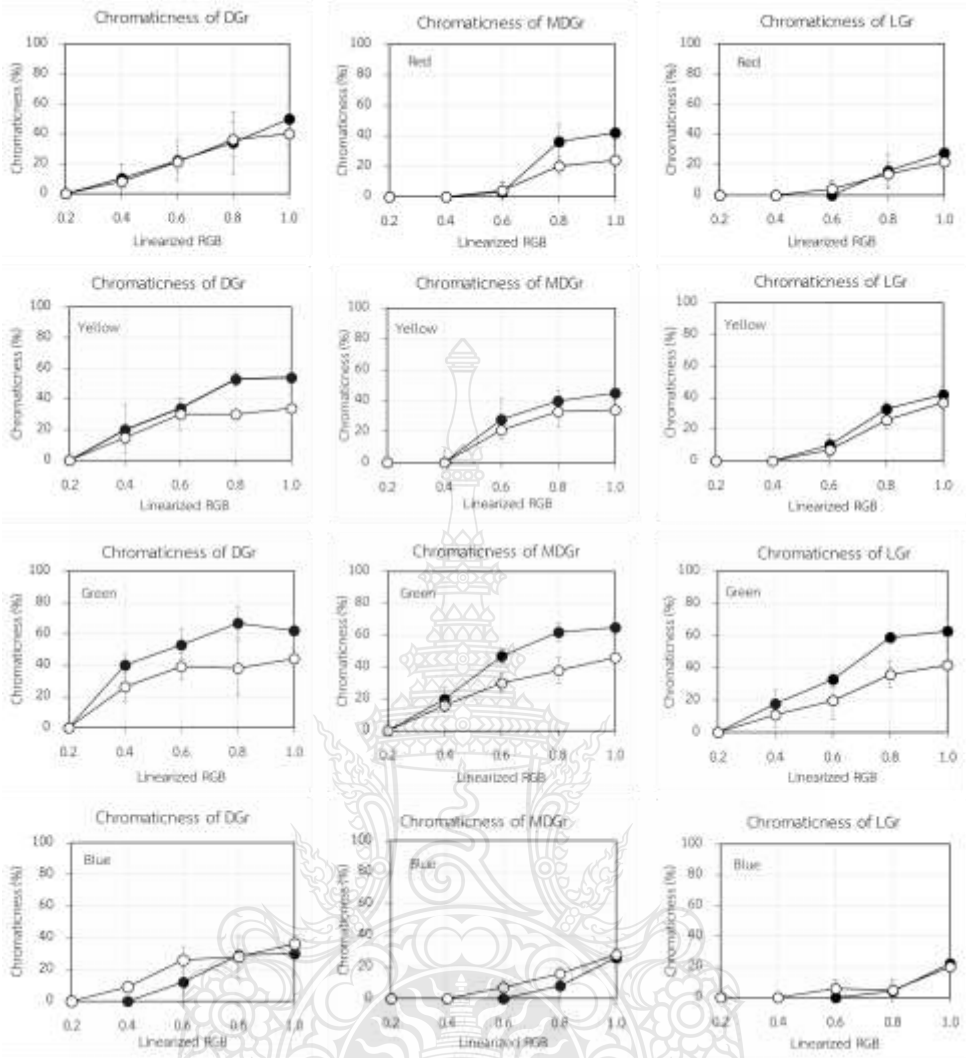
ภาพที่ ข.4 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ ของผู้สังเกต MI



ภาพที่ ข.5 (ก) แผนภูมิ xy แสดงค่าการปรากฏสีสันของพื้นหลัง 5 ระดับ (ข) แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของพื้นหลัง 5 ระดับ ของผู้สังเกต CP

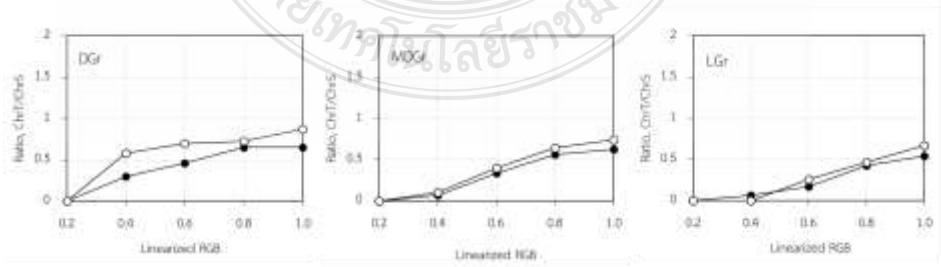


ภาพที่ ข.6 แผนภูมิ xy แสดงค่าการปรากฏสีสันของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ ของผู้สังเกต CP



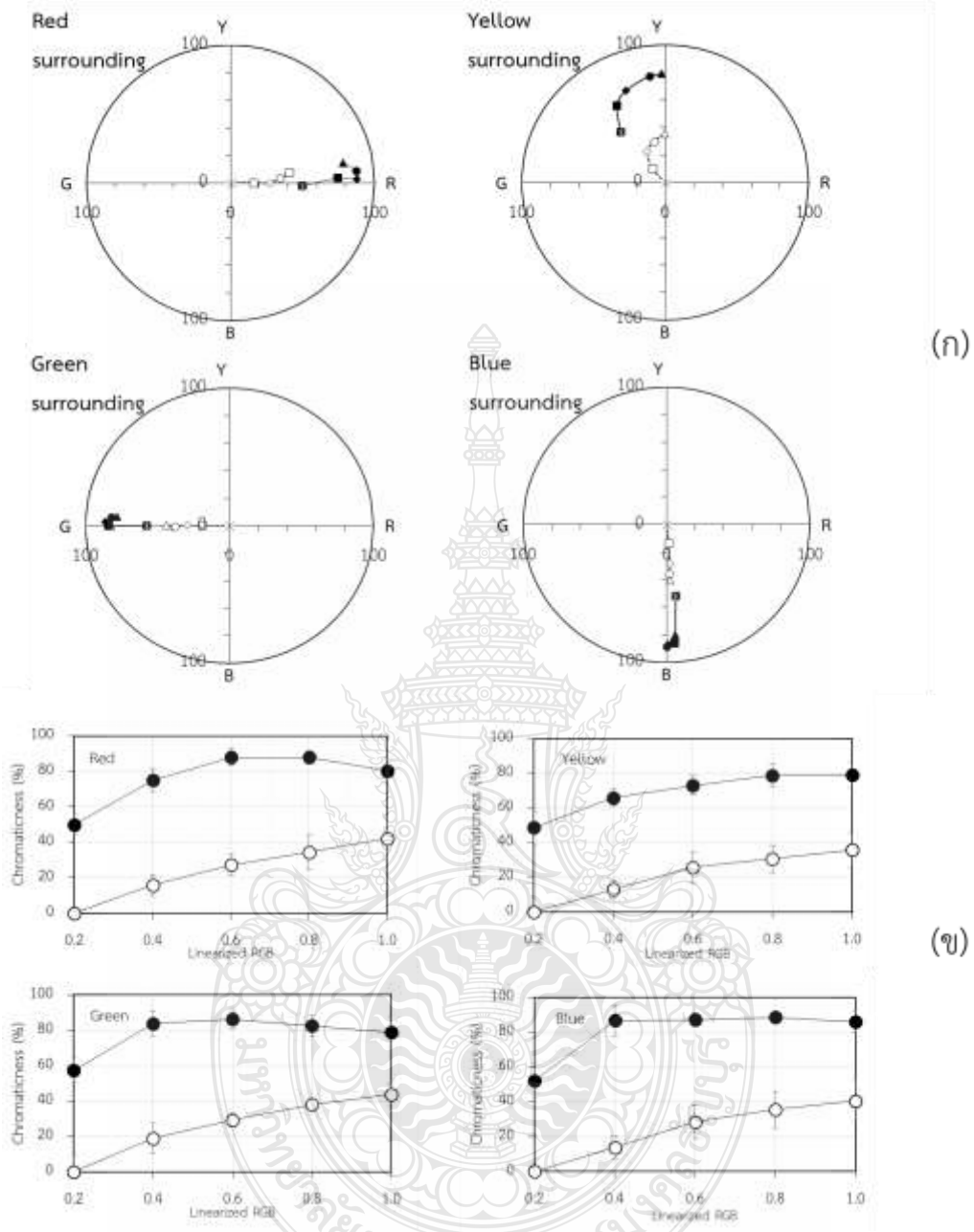
● ไม่มีกระดาษทิชชู, ○ มองผ่านกระดาษทิชชู

ภาพที่ ข.7 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ ของผู้สังเกต CP

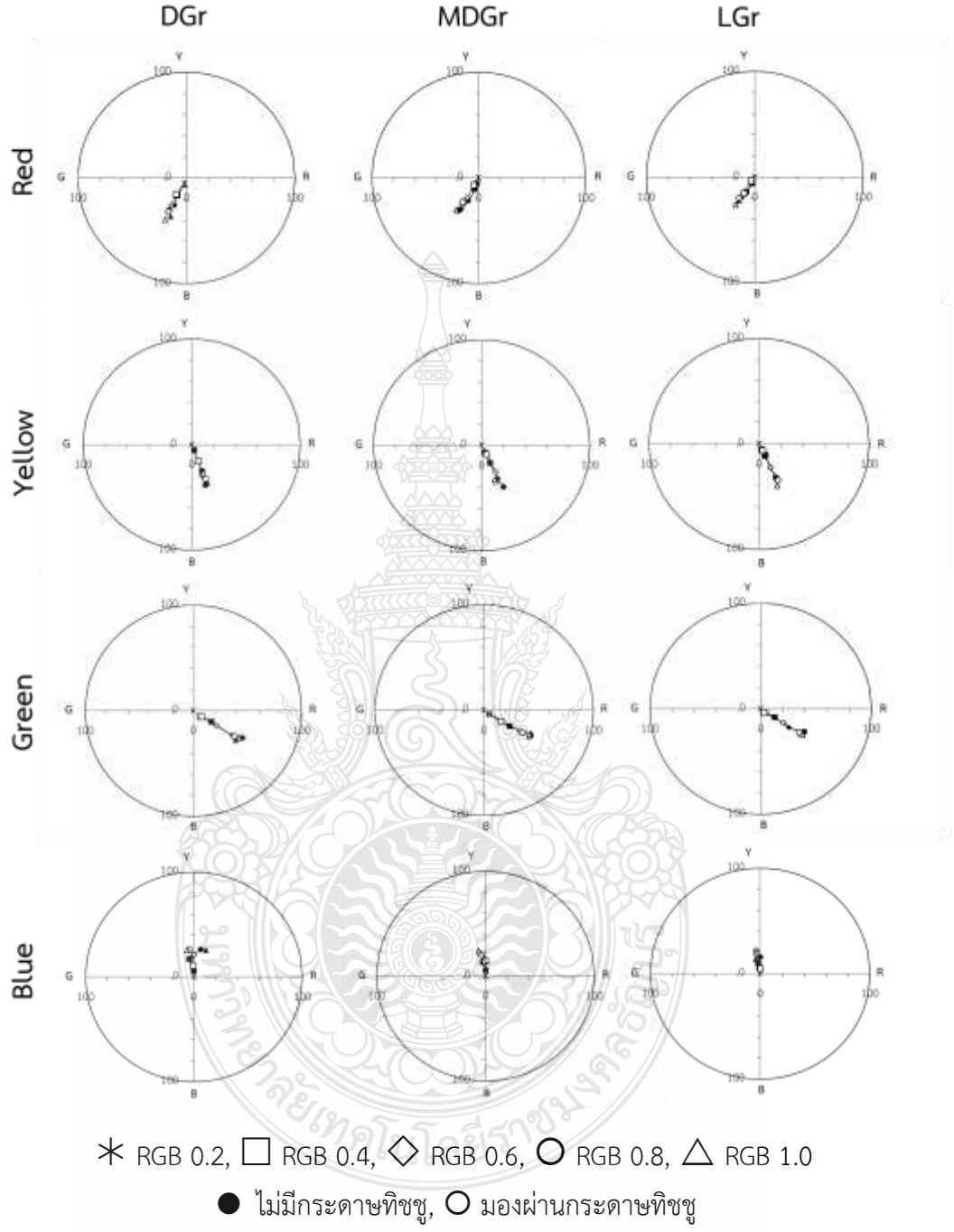


● ไม่มีกระดาษทิชชู, ○ มองผ่านกระดาษทิชชู

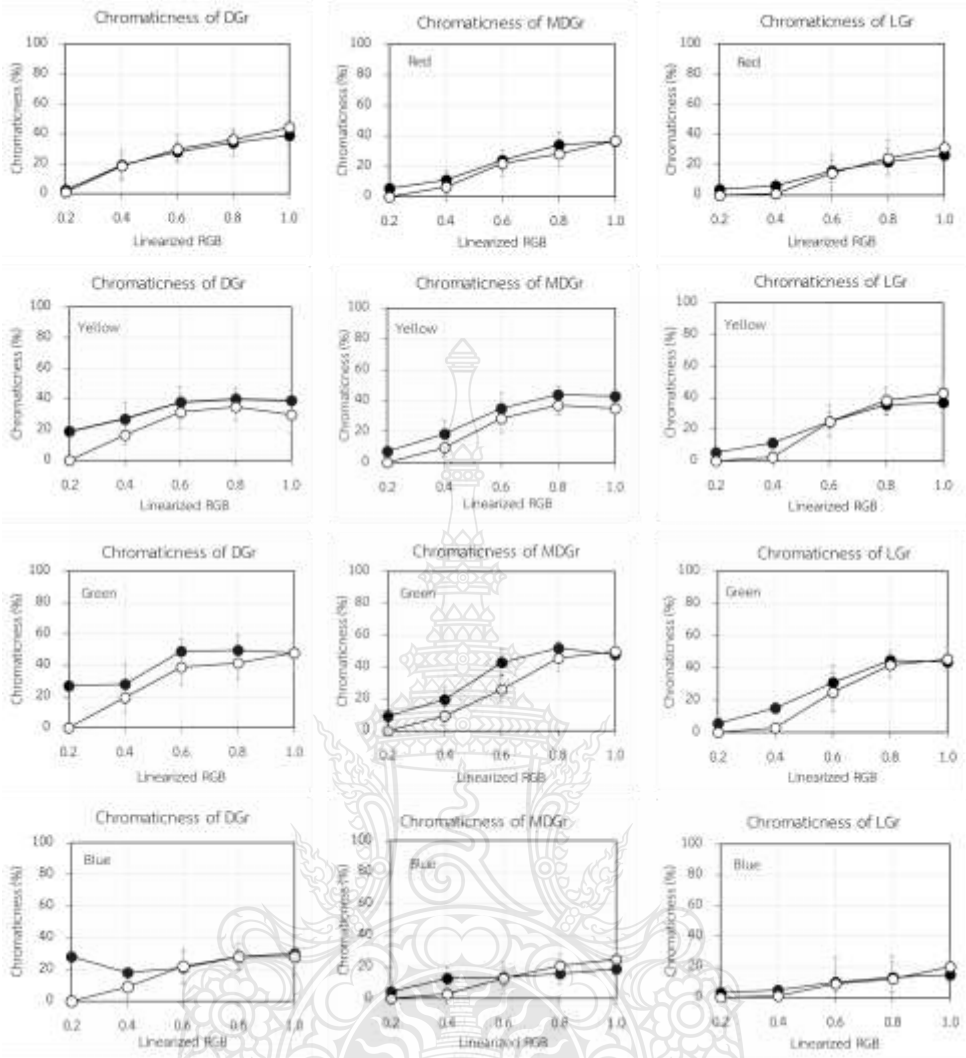
ภาพที่ ข.8 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ ของผู้สังเกต CP



ภาพที่ ข.9 (ก) แผนภูมิ xy แสดงค่าการปรากฏสีสันของพื้นหลัง 5 ระดับ (ข) แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของพื้นหลัง 5 ระดับ ของผู้สังเกต JM

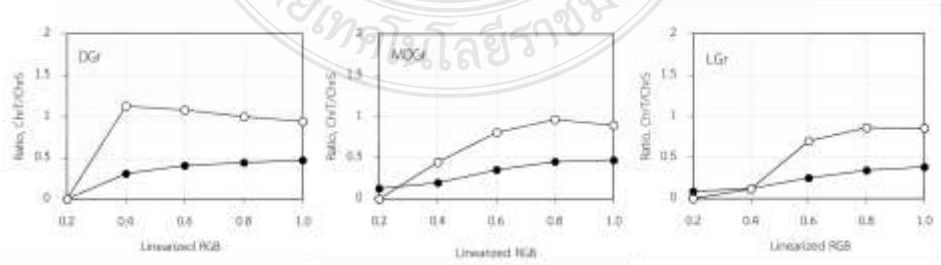


ภาพที่ ข.10 แผนภูมิ xy แสดงค่าการปรากฏสีสันของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ ของผู้สังเกต JM



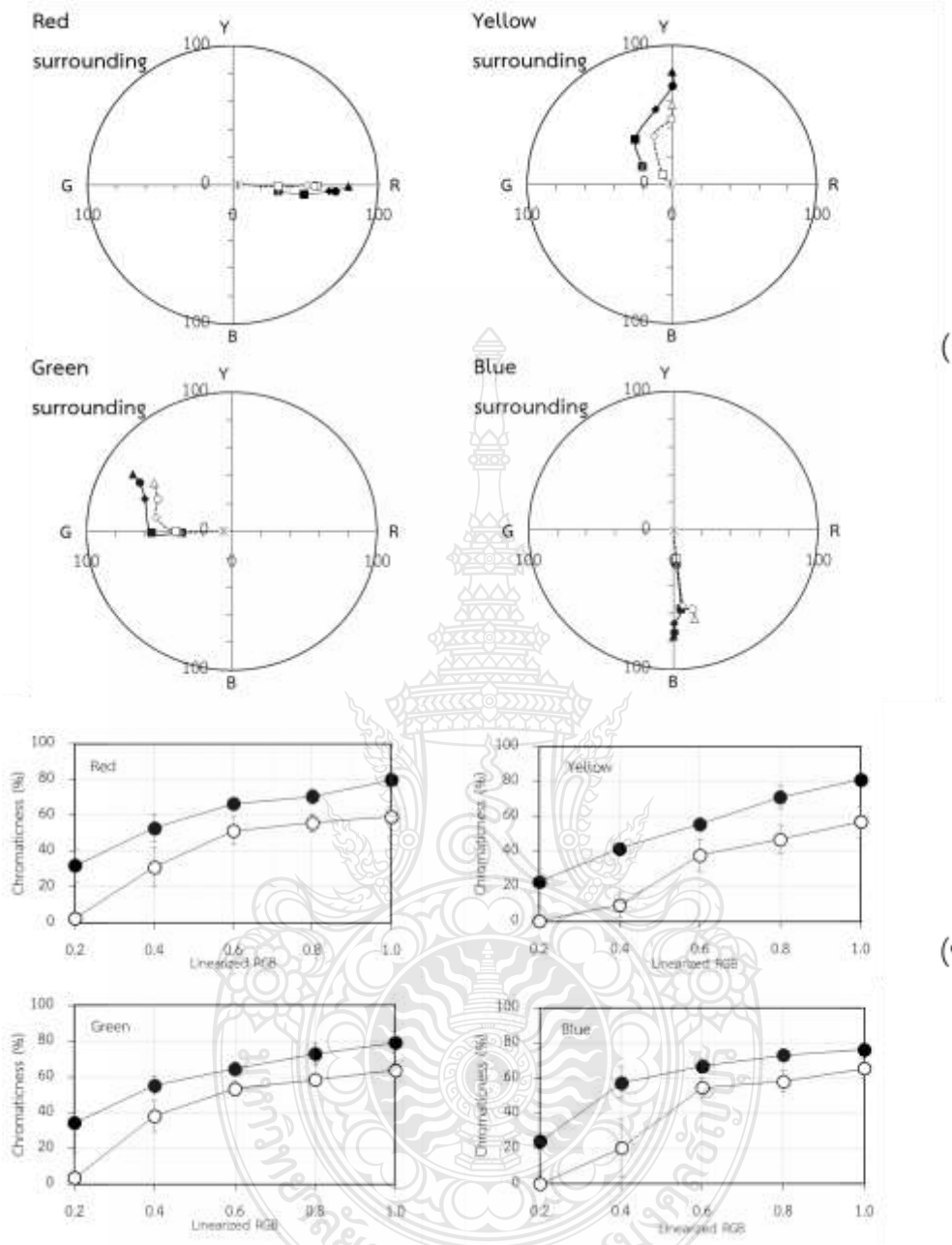
● ไม่มีกระดาษทิชชู, ○ มองผ่านกระดาษทิชชู

ภาพที่ ข.11 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ ของผู้สังเกต JM

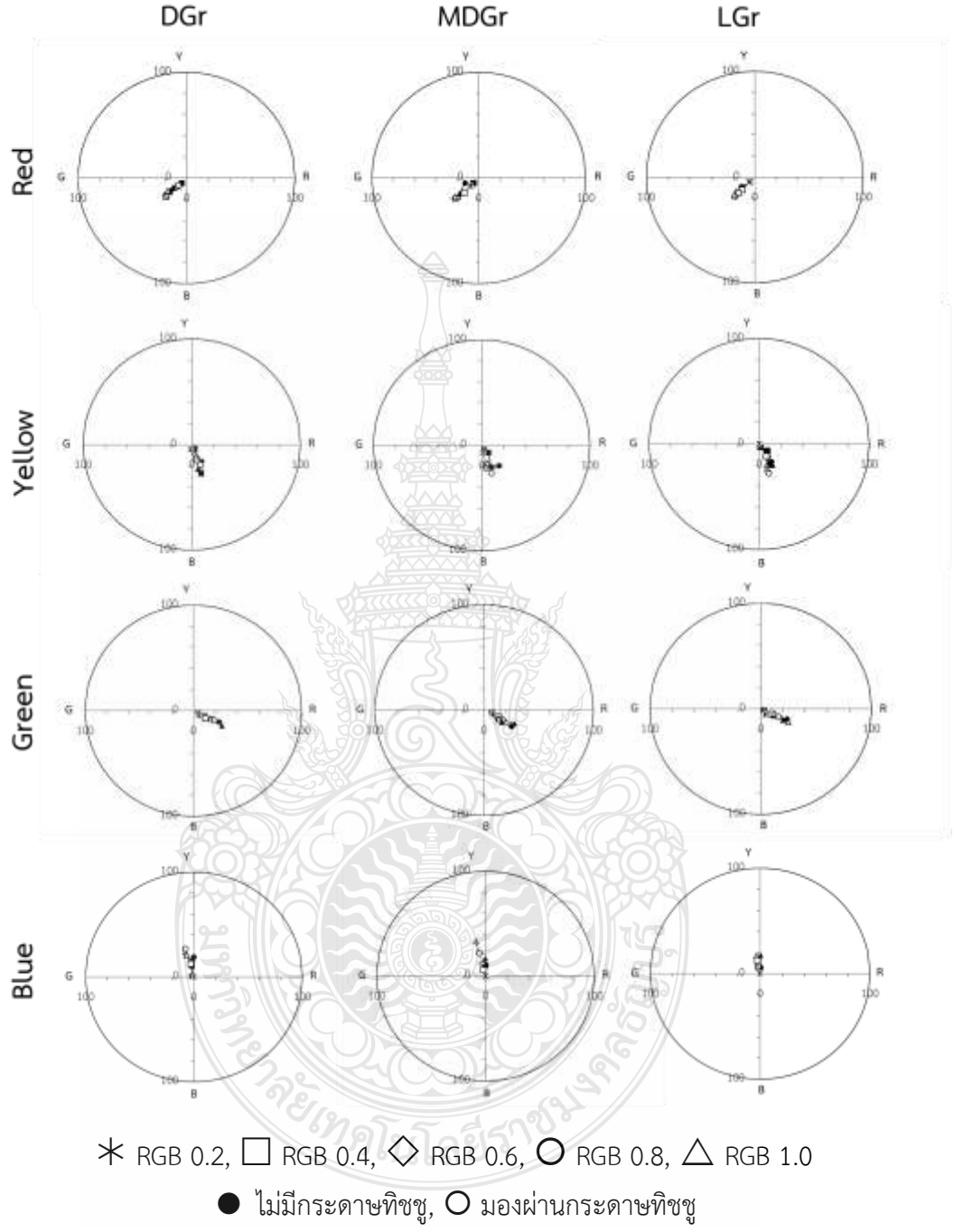


● ไม่มีกระดาษทิชชู, ○ มองผ่านกระดาษทิชชู

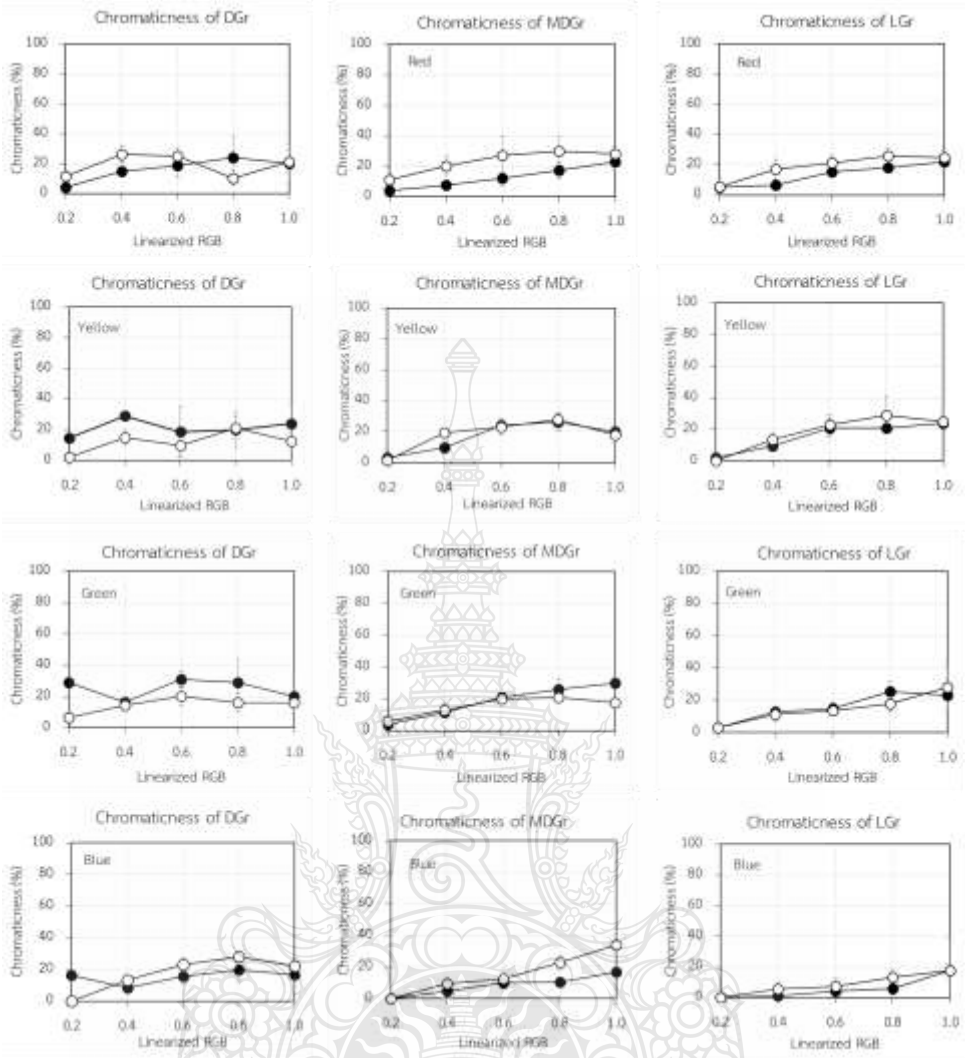
ภาพที่ ข.12 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ ของผู้สังเกต JM



ภาพที่ ข.13 (ก) แผนภูมิ xy แสดงค่าการปรากฏสีสันของพื้นหลัง 5 ระดับ (ข) แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของพื้นหลัง 5 ระดับ ของผู้สังเกต NP

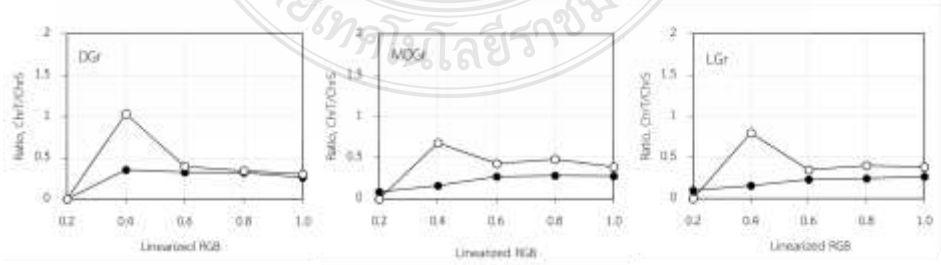


ภาพที่ ข.14 แผนภูมิ xy แสดงค่าการปรากฏสีสันของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ ของผู้สังเกต NP



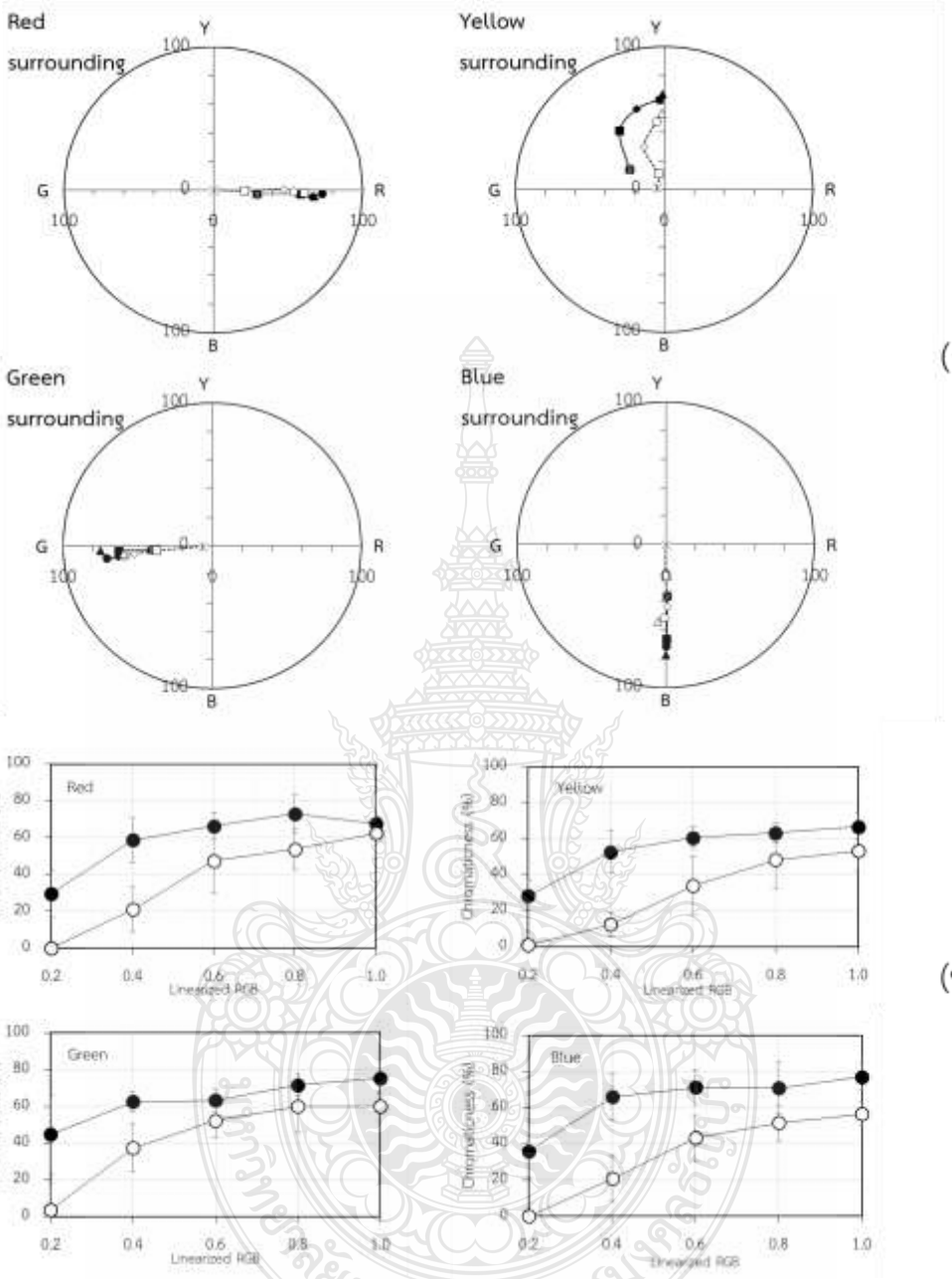
● ไม่มีกระดาษทิชชู, ○ มองผ่านกระดาษทิชชู

ภาพที่ ข.15 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ ของผู้สังเกต NP

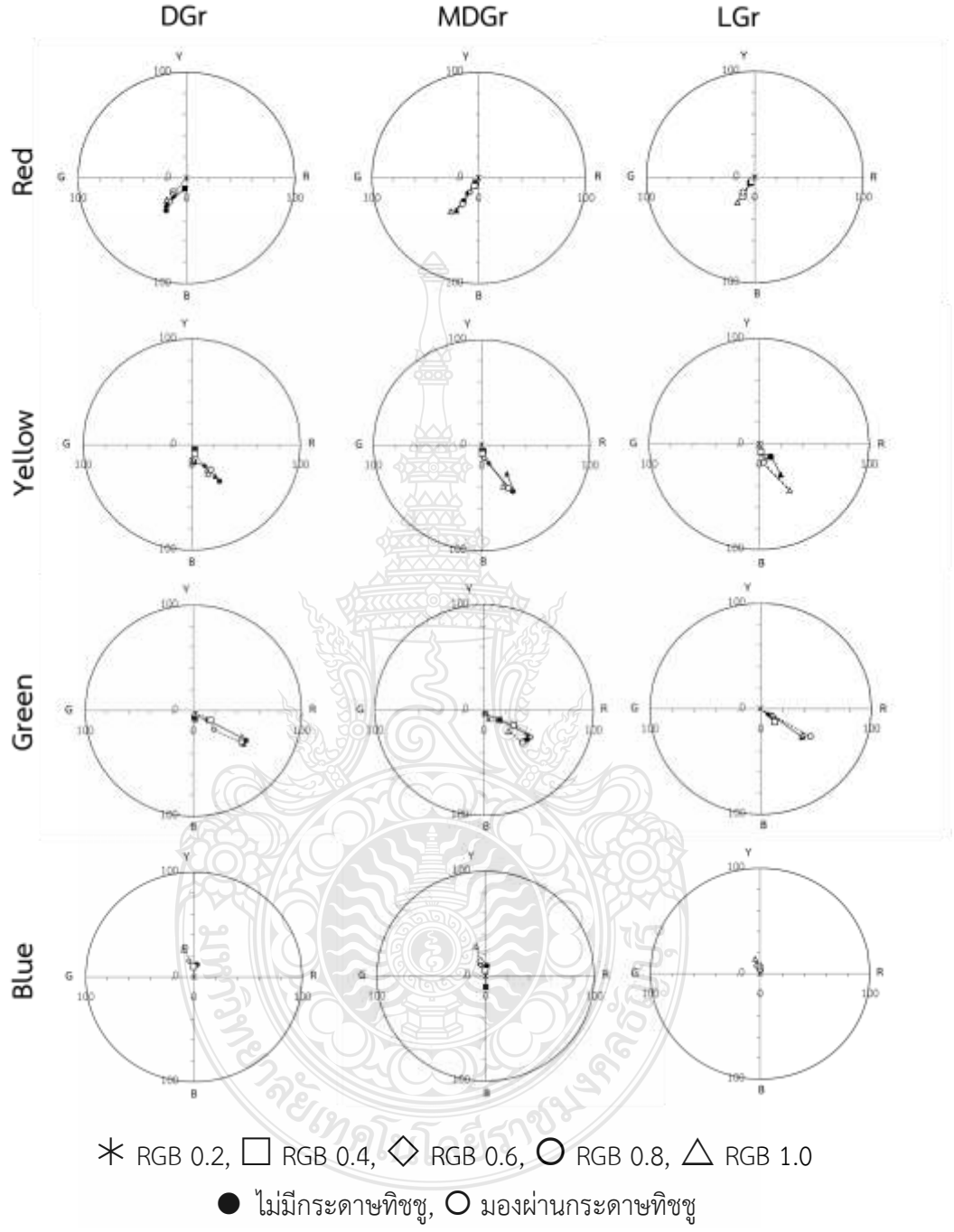


● ไม่มีกระดาษทิชชู, ○ มองผ่านกระดาษทิชชู

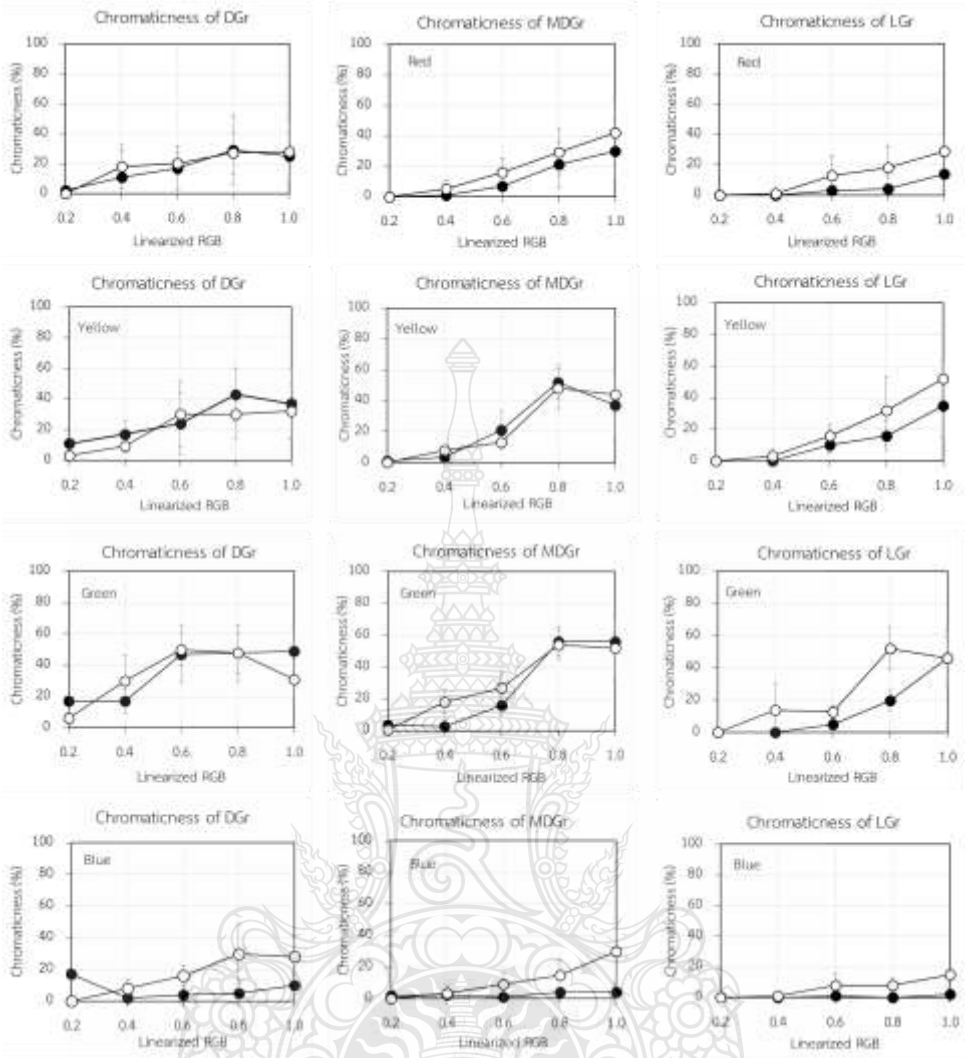
ภาพที่ ข.16 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ ของผู้สังเกต NP



ภาพที่ ข.17 (ก) แผนภูมิ xy แสดงค่าการปรากฏสีสันของพื้นหลัง 5 ระดับ (ข) แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของพื้นหลัง 5 ระดับ ของผู้สังเกต PC

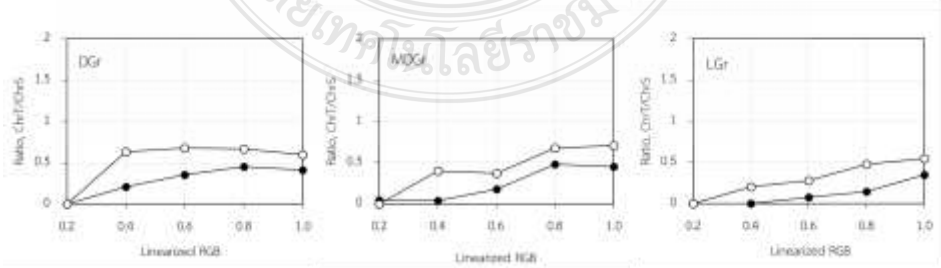


ภาพที่ ข.18 แผนภูมิ xy แสดงค่าการปรากฏสีสันของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ ของผู้สังเกต PC



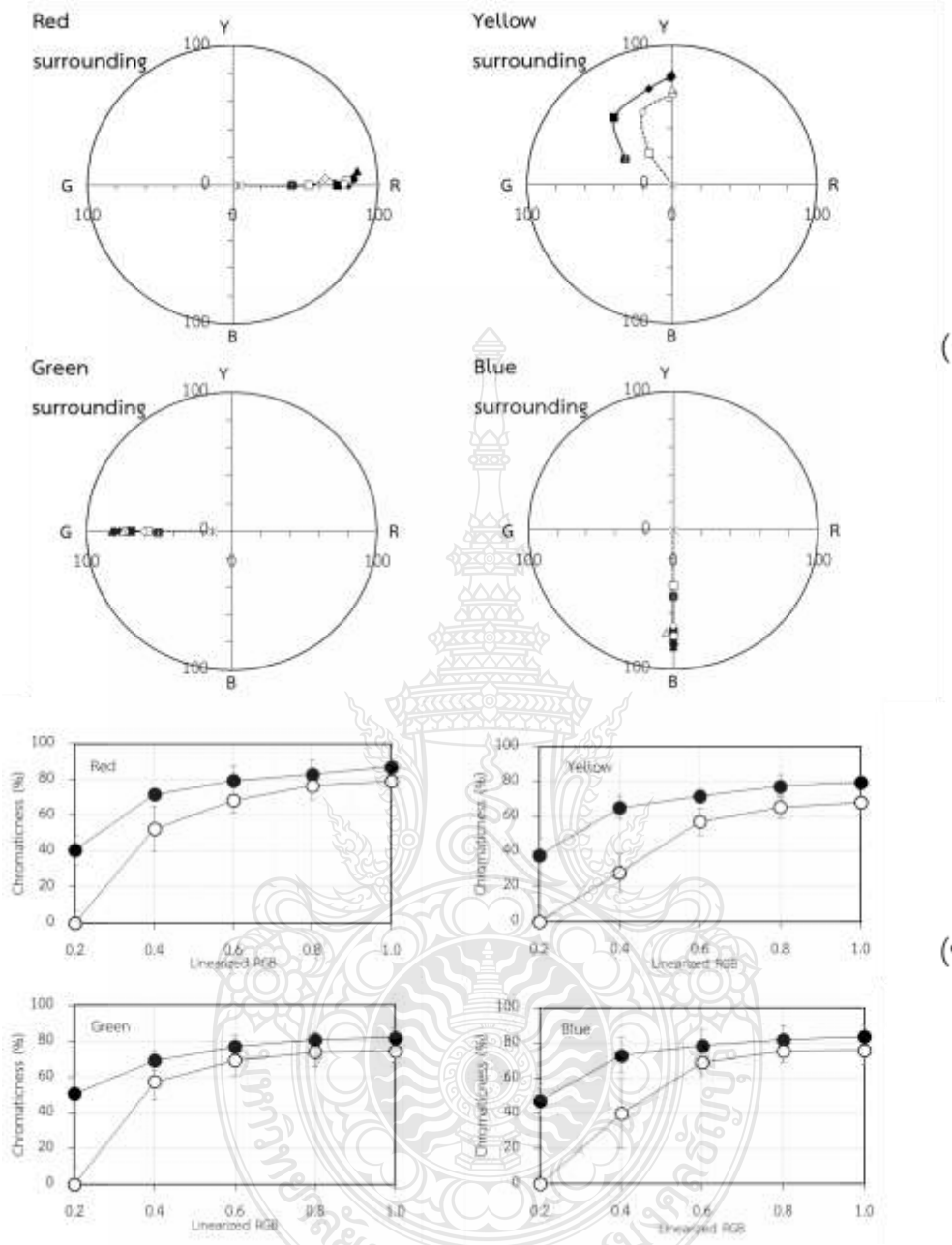
● ไม่มีกระดาษทิชชู, O มองผ่านกระดาษทิชชู

ภาพที่ ข.19 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ ของผู้สังเกต PC

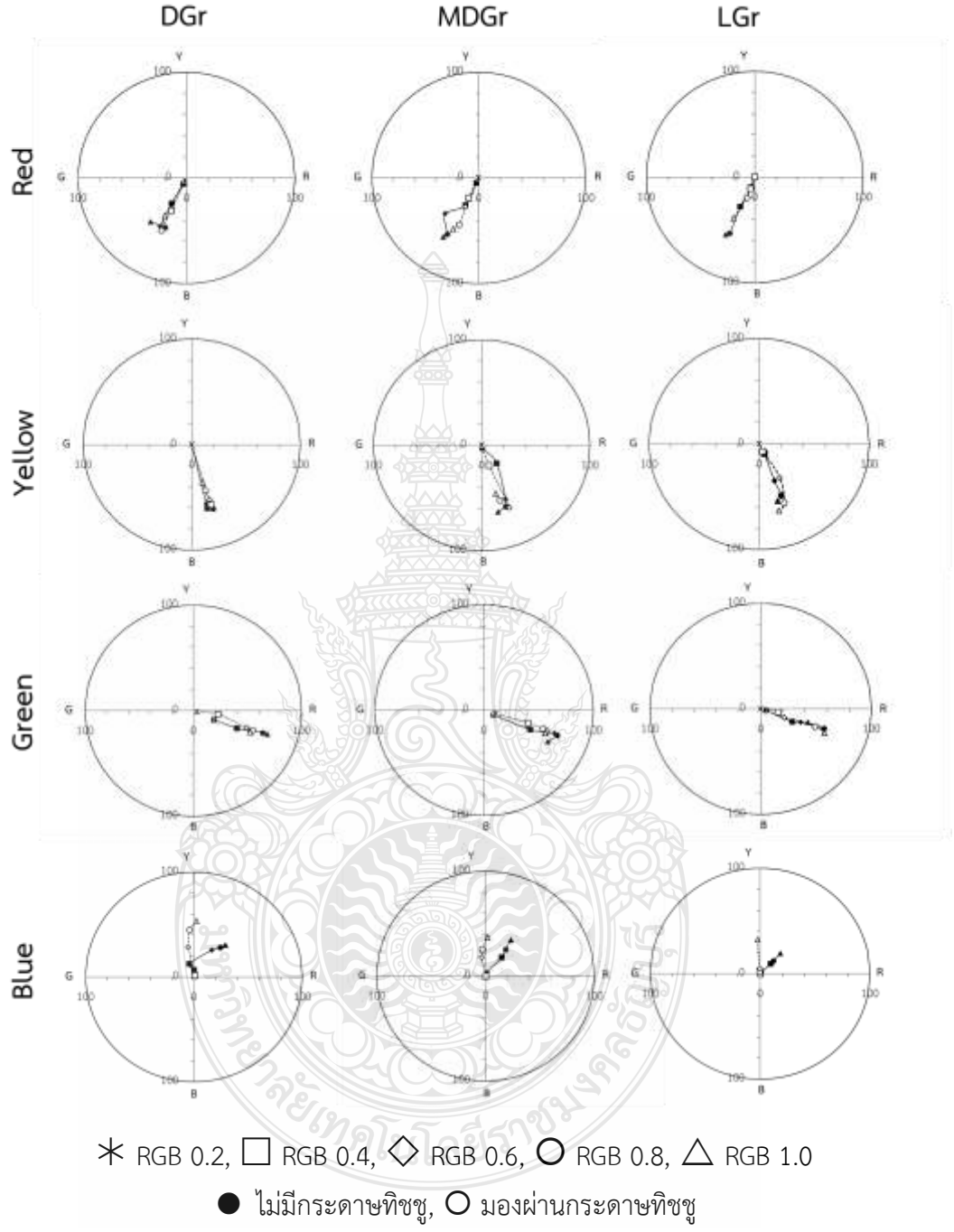


● ไม่มีกระดาษทิชชู, O มองผ่านกระดาษทิชชู

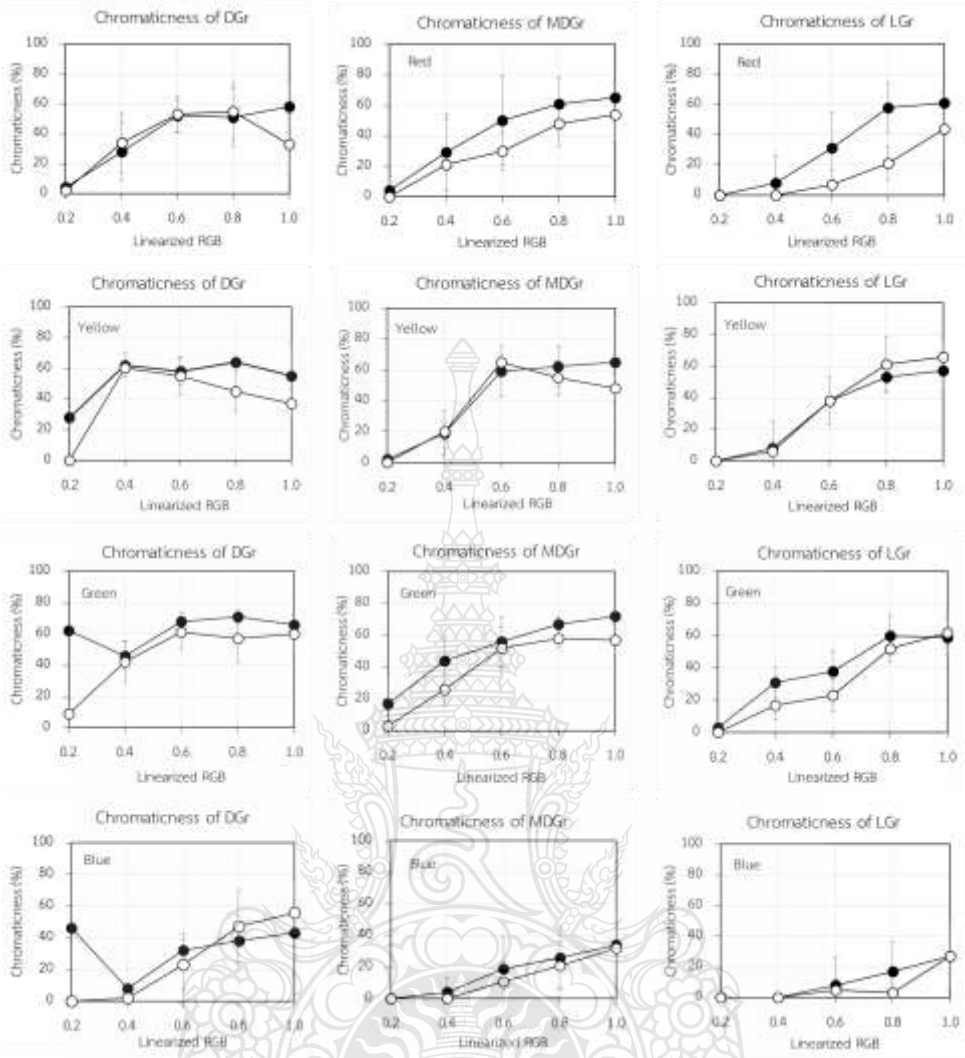
ภาพที่ ข.20 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ ของผู้สังเกต PC



ภาพที่ ข.21 (ก) แผนภูมิ xy แสดงค่าการปรากฏสีสันของพื้นหลัง 5 ระดับ (ข) แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของพื้นหลัง 5 ระดับ ของผู้สังเกต CT

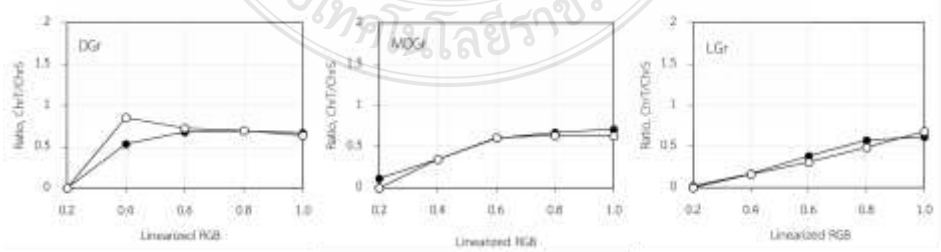


ภาพที่ ข.22 แผนภูมิ xy แสดงค่าการปรากฏสีสันของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ ของผู้สังเกต CT



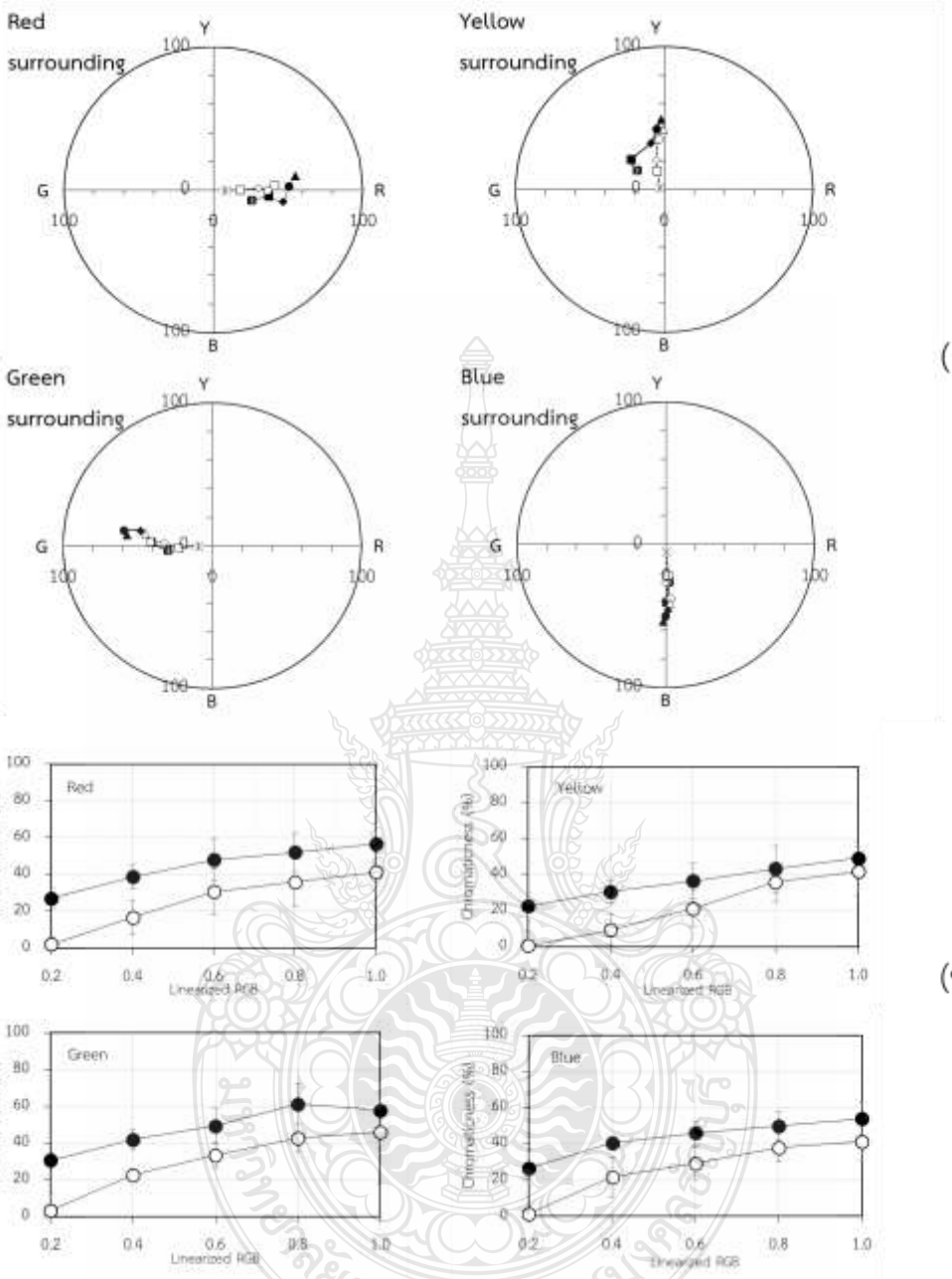
● ไม่มีกระดาษทิชชู, ○ มองผ่านกระดาษทิชชู

ภาพที่ ข.23 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ ของผู้สังเกต CT

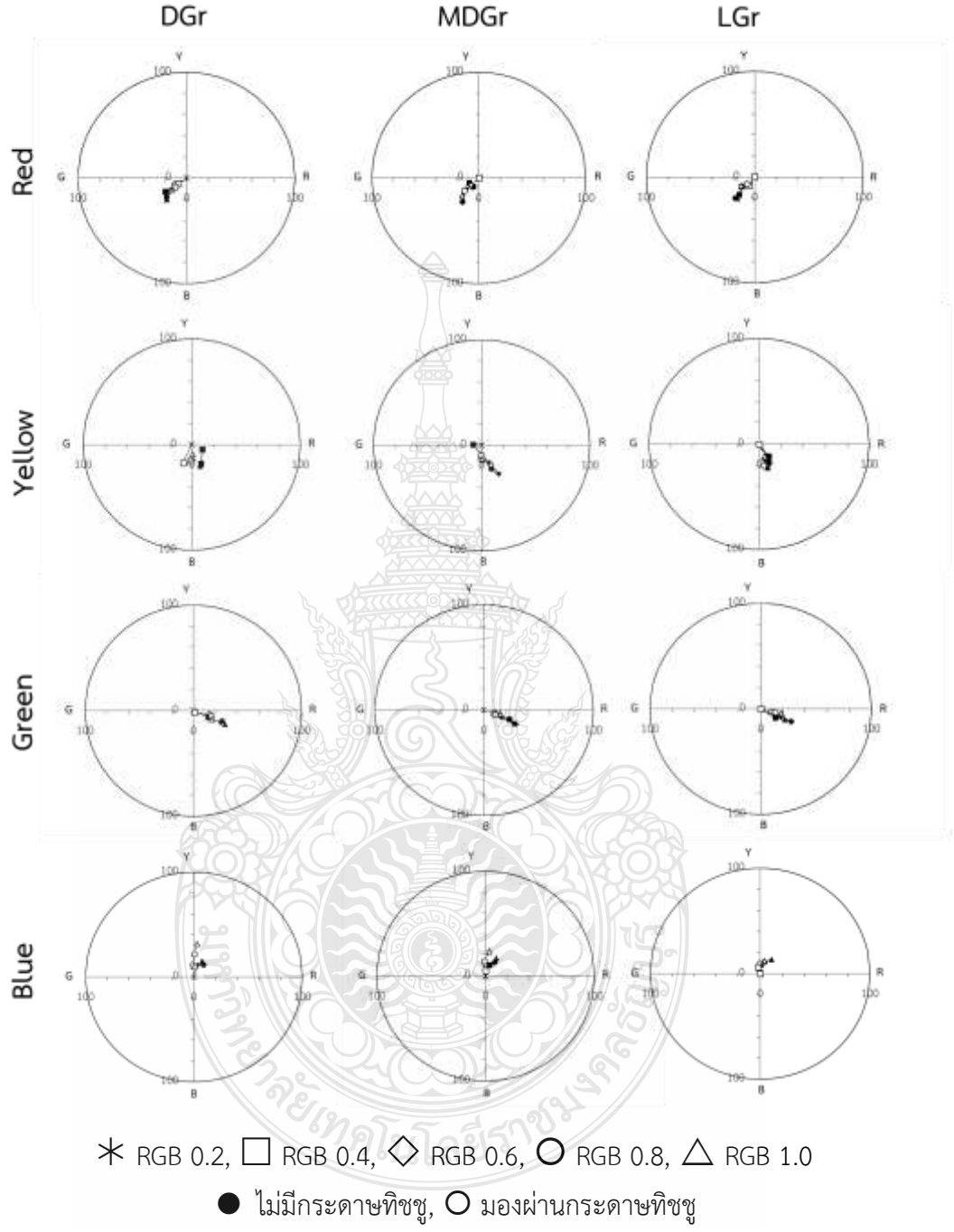


● ไม่มีกระดาษทิชชู, ○ มองผ่านกระดาษทิชชู

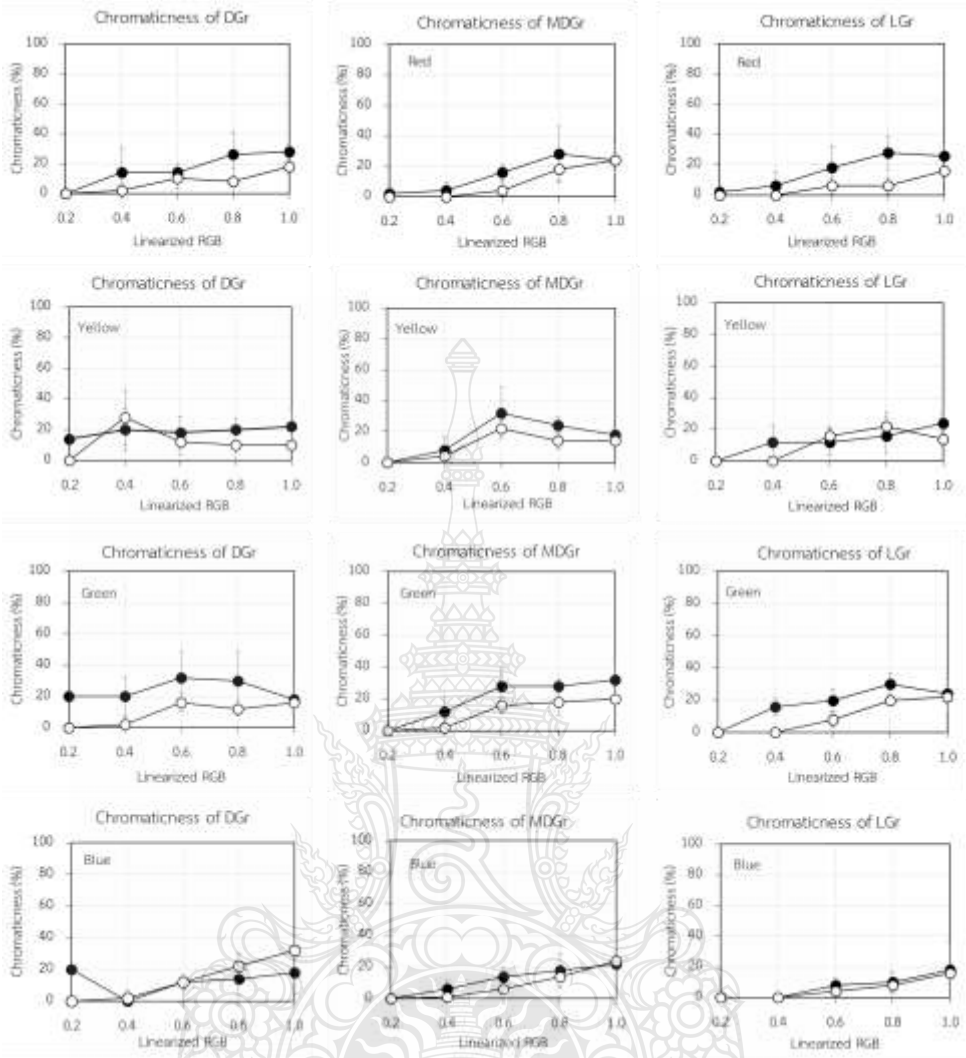
ภาพที่ ข.24 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ ของผู้สังเกต CT



ภาพที่ ข.25 (ก) แผนภูมิ xy แสดงค่าการปรากฏสีสันของพื้นหลัง 5 ระดับ (ข) แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของพื้นหลัง 5 ระดับ ของผู้สังเกต CN

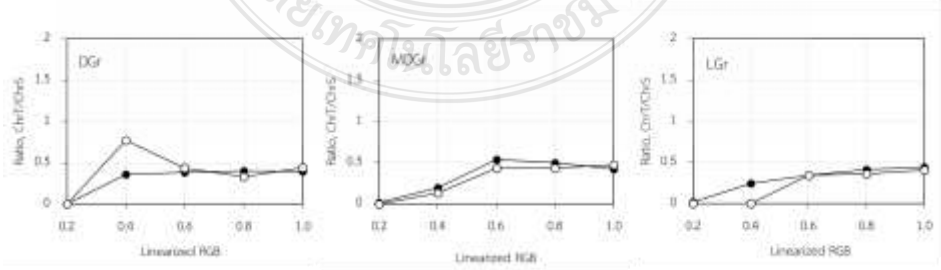


ภาพที่ ข.26 แผนภูมิ xy แสดงค่าการปรากฏสีสันของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ ของผู้สังเกต CN



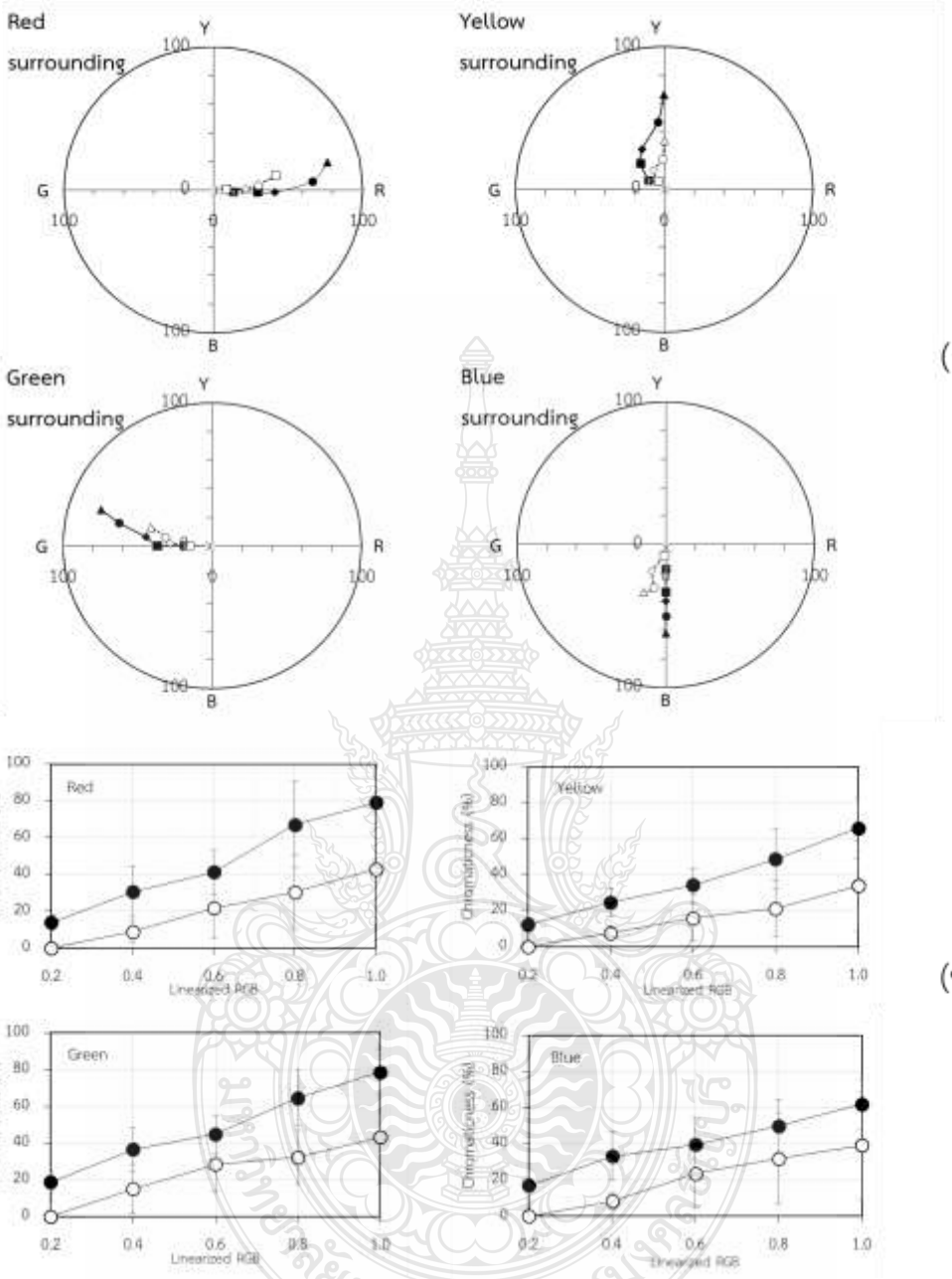
● ไม่มีกระดาษทิชชู, ○ มองผ่านกระดาษทิชชู

ภาพที่ ข.27 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ ของผู้สังเกต CN

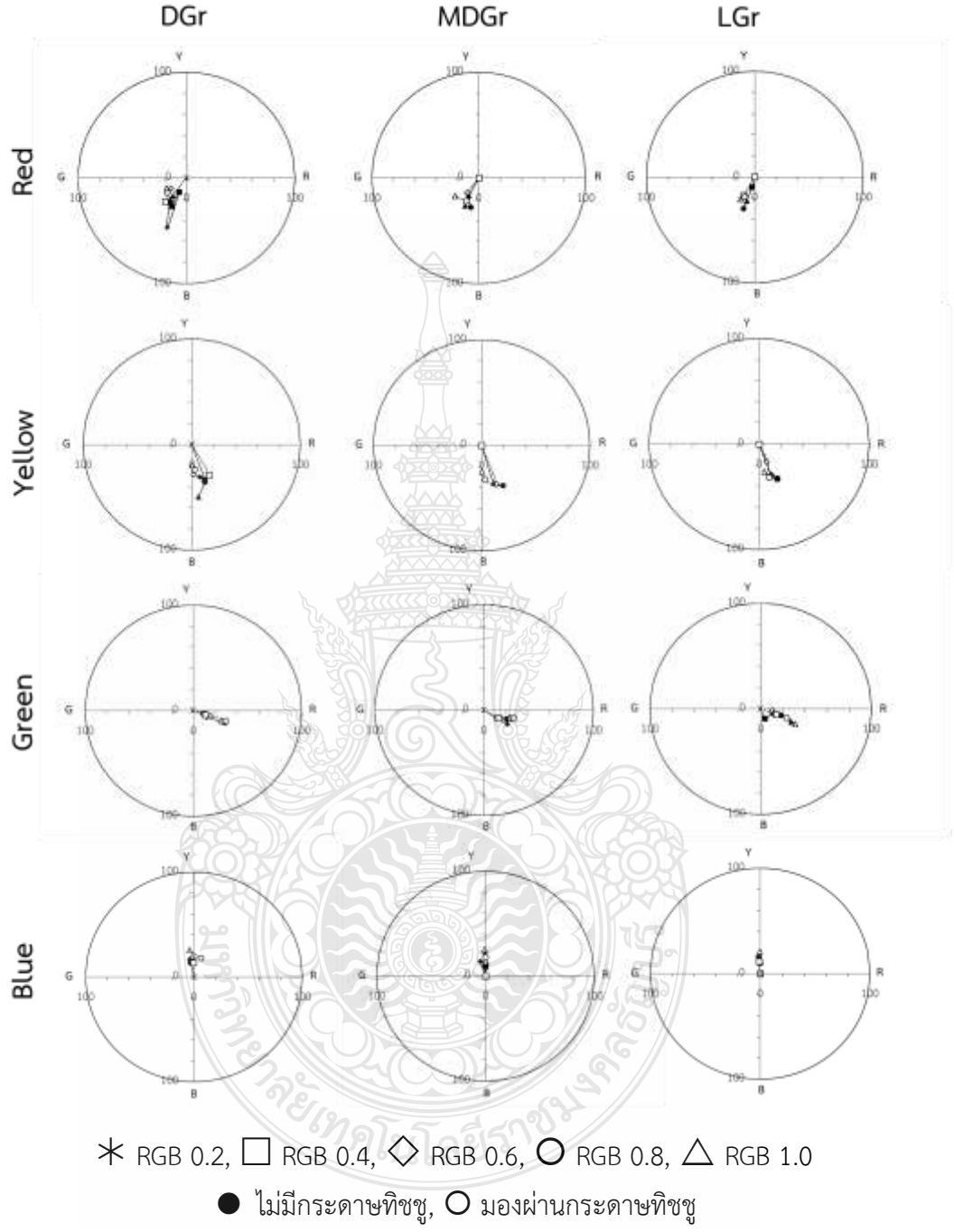


● ไม่มีกระดาษทิชชู, ○ มองผ่านกระดาษทิชชู

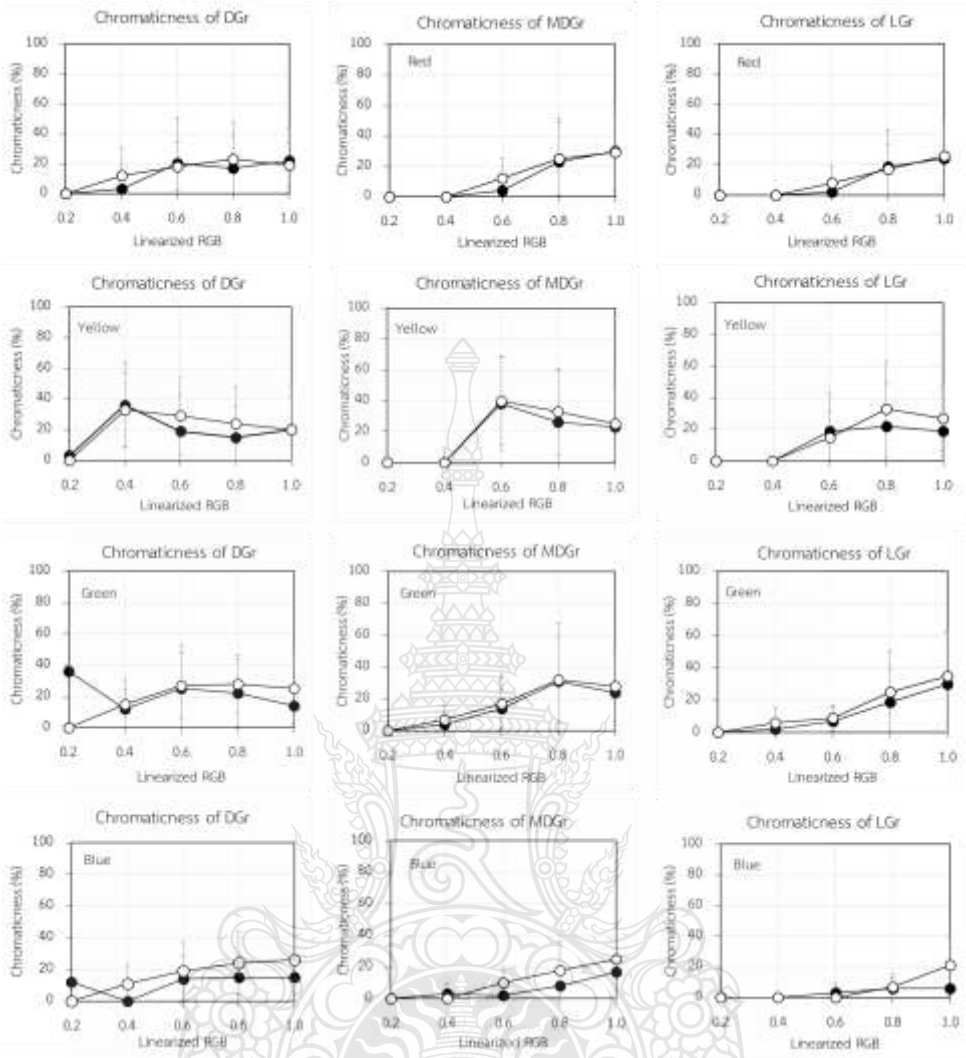
ภาพที่ ข.28 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ ของผู้สังเกต CN



ภาพที่ ข.29 (ก) แผนภูมิ xy แสดงค่าการปรากฏสีสันของพื้นหลัง 5 ระดับ (ข) แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของพื้นหลัง 5 ระดับ ของผู้สังเกต PT

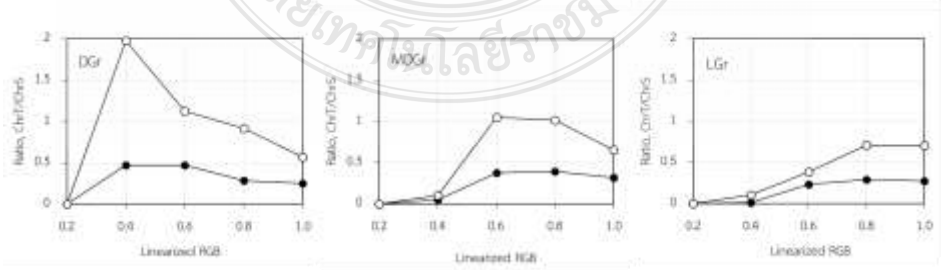


ภาพที่ ข.30 แผนภูมิ xy แสดงค่าการปรากฏสีสันของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ ของผู้สังเกต PT



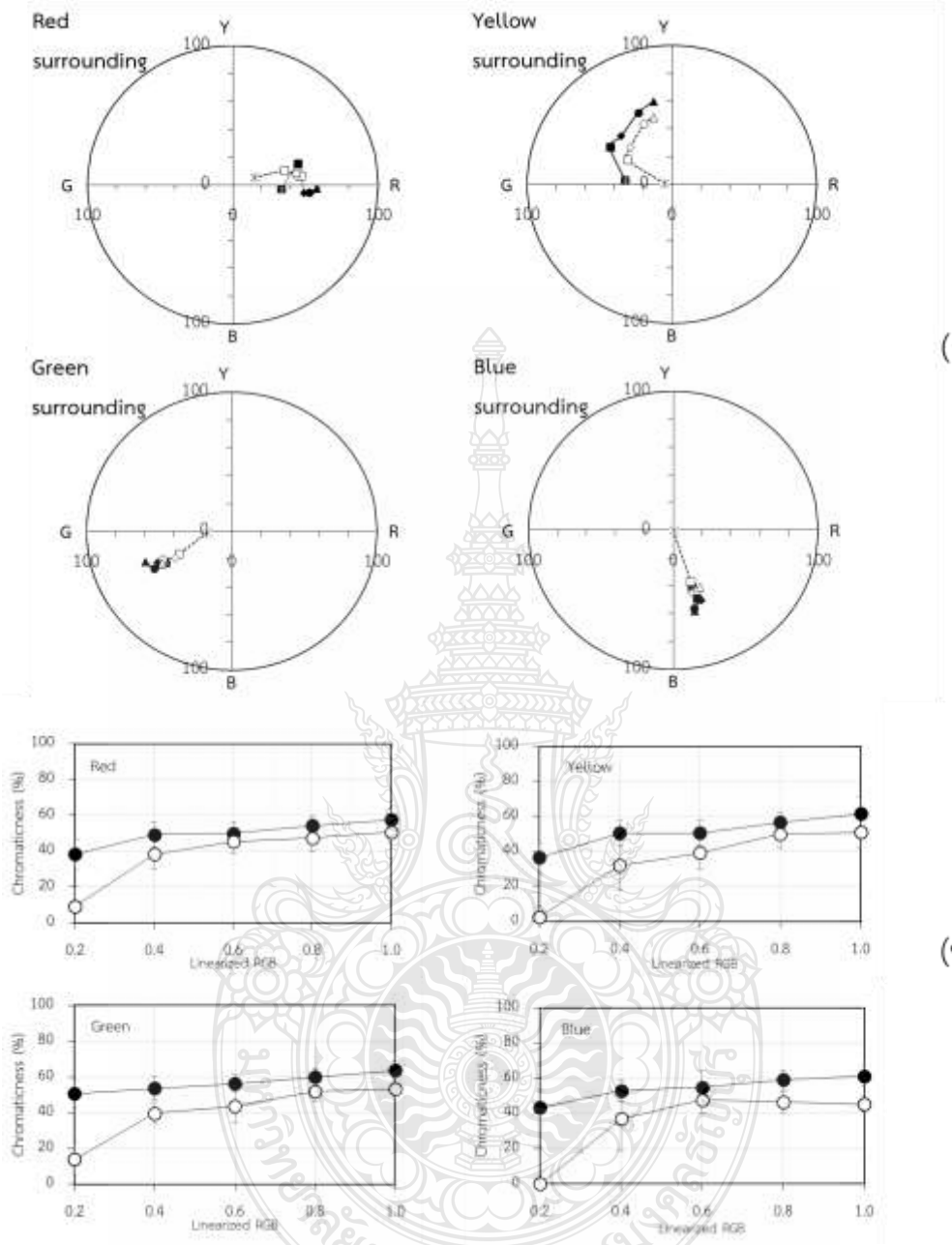
● ไม่มีกระดาษทิชชู, ○ มองผ่านกระดาษทิชชู

ภาพที่ ข.31 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ ของผู้สังเกต PT

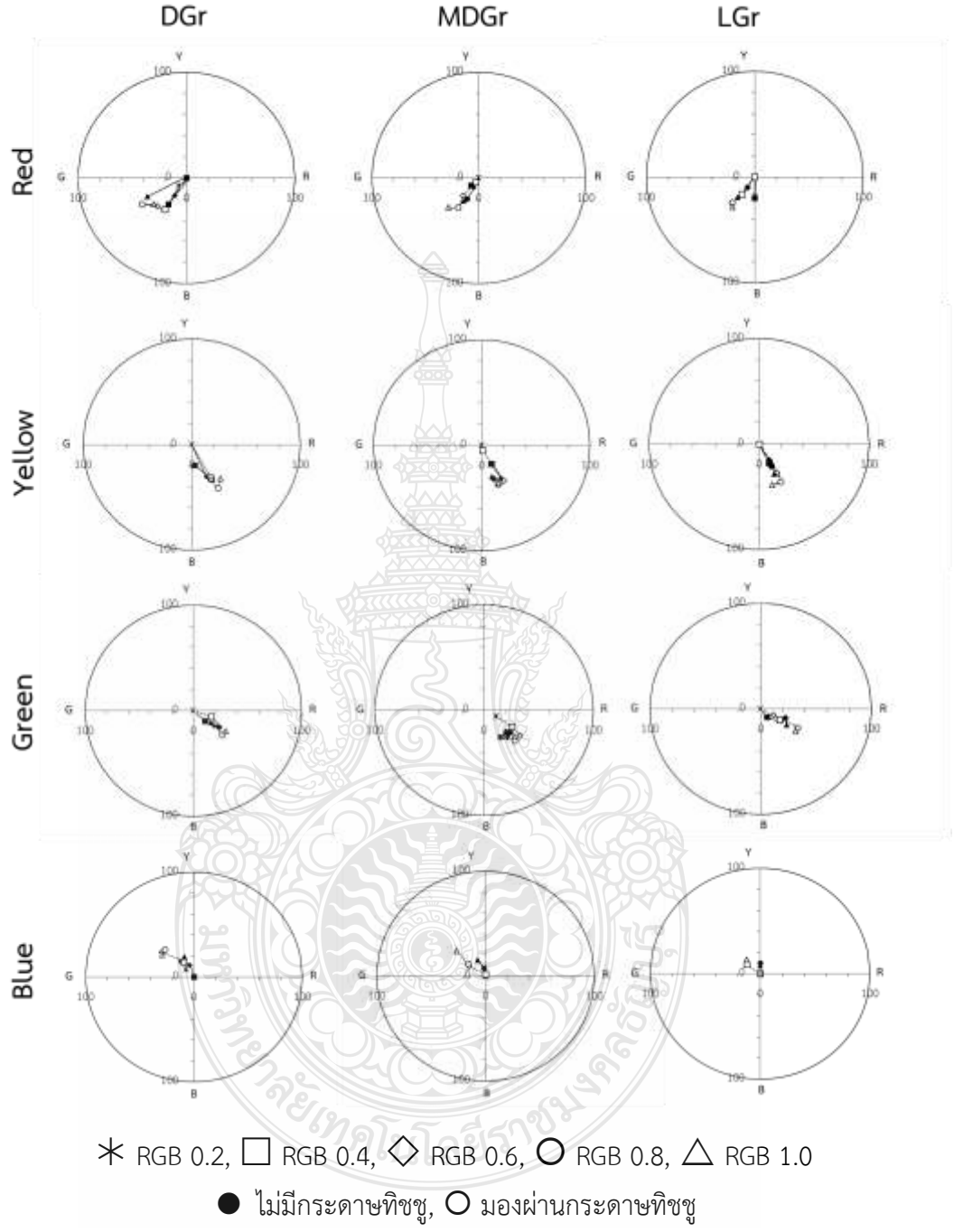


● ไม่มีกระดาษทิชชู, ○ มองผ่านกระดาษทิชชู

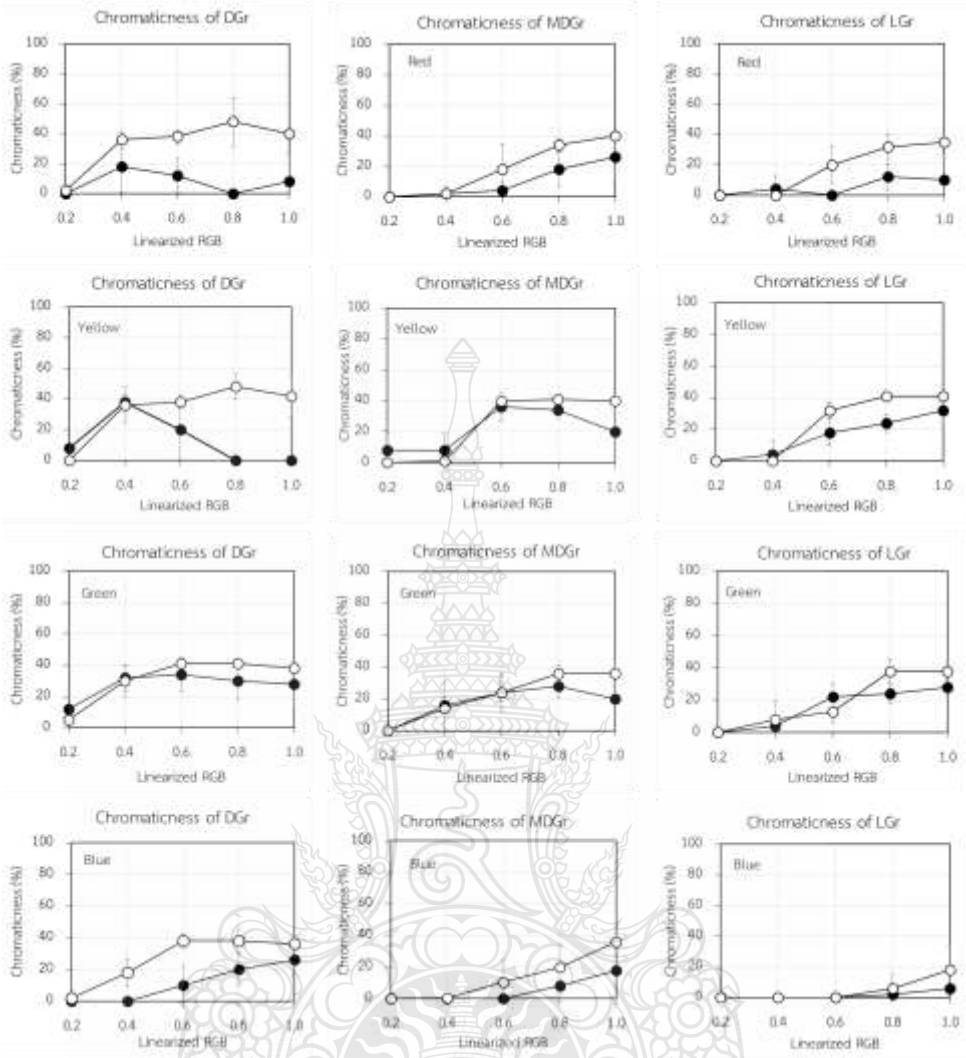
ภาพที่ ข.32 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ ของผู้สังเกต PT



ภาพที่ ข.33 (ก) แผนภูมิ XY แสดงค่าการปรากฏสีสันของพื้นหลัง 5 ระดับ (ข) แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของพื้นหลัง 5 ระดับ ของผู้สังเกต KS

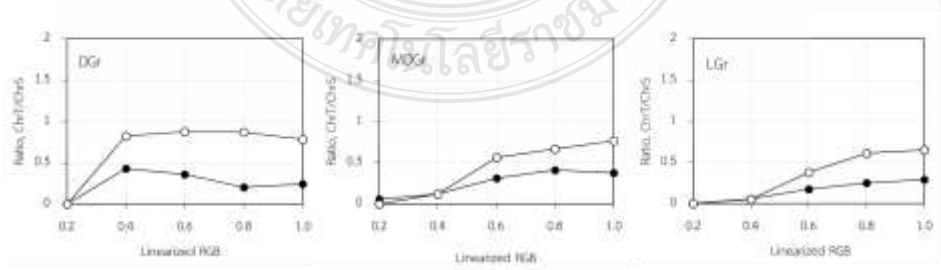


ภาพที่ ข.34 แผนภูมิ xy แสดงค่าการปรากฏสีสันของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ ของผู้สังเกต KS



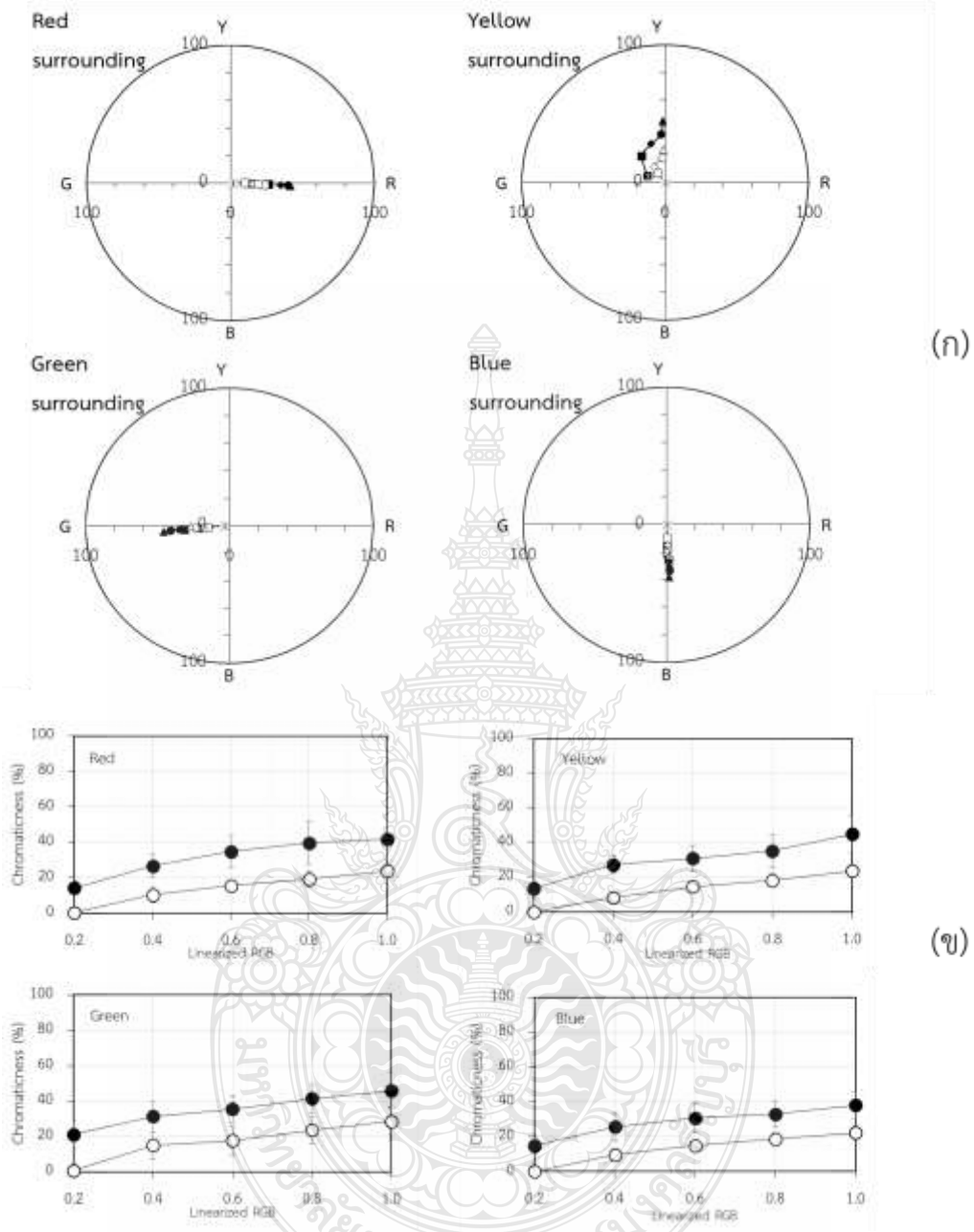
● ไม่มีกระดาษทิชชู, ○ มองผ่านกระดาษทิชชู

ภาพที่ ข.35 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ ของผู้สังเกต KS

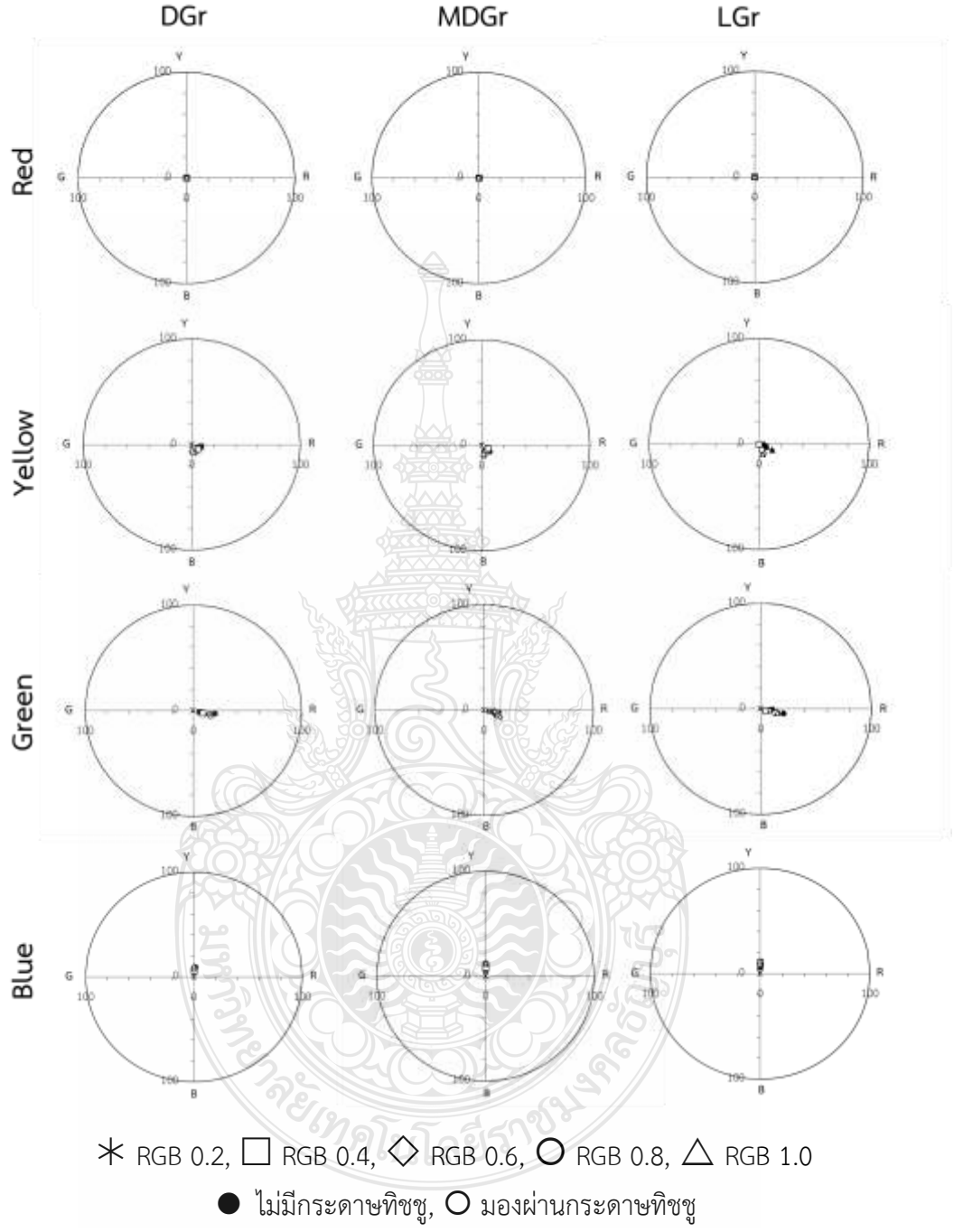


● ไม่มีกระดาษทิชชู, ○ มองผ่านกระดาษทิชชู

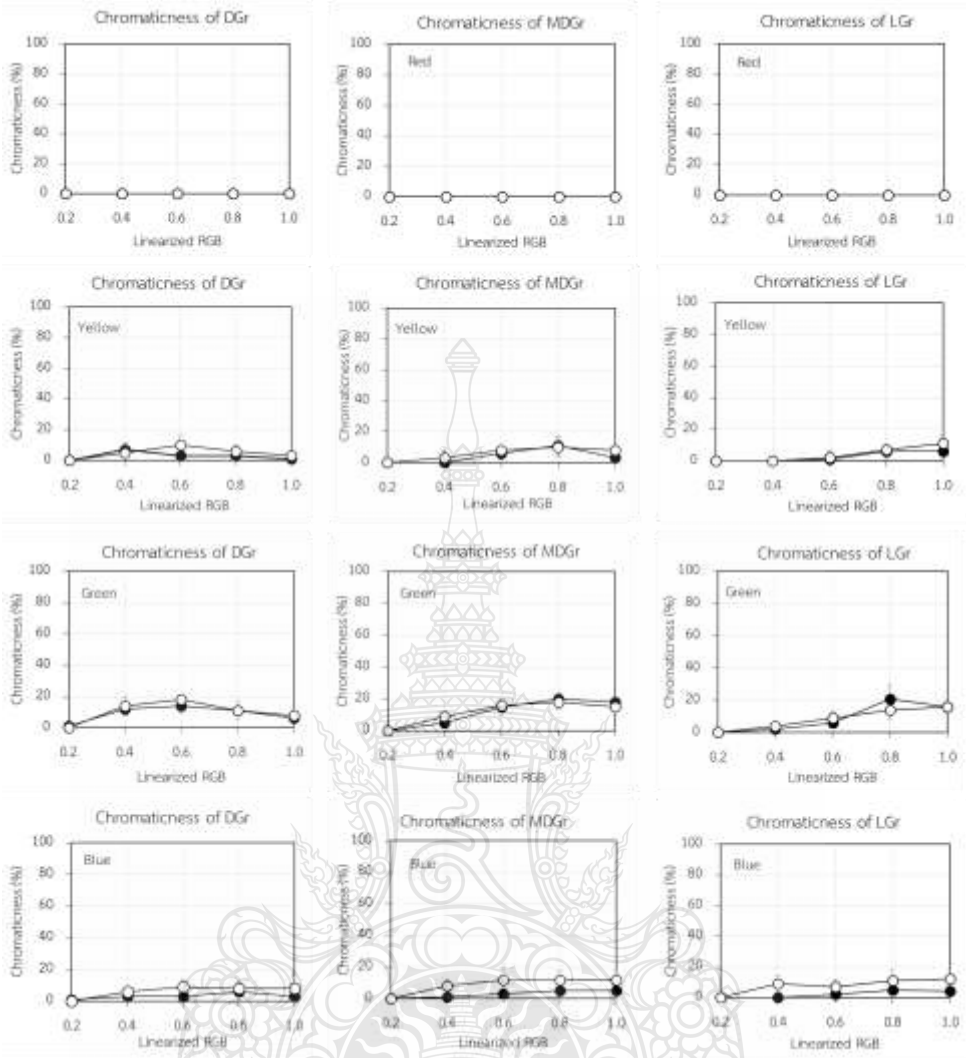
ภาพที่ ข.36 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ ของผู้สังเกต KS



ภาพที่ ข.37 (ก) แผนภูมิ xy แสดงค่าการปรากฏสีสันของพื้นหลัง 5 ระดับ (ข) แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของพื้นหลัง 5 ระดับ ของผู้สังเกต AK

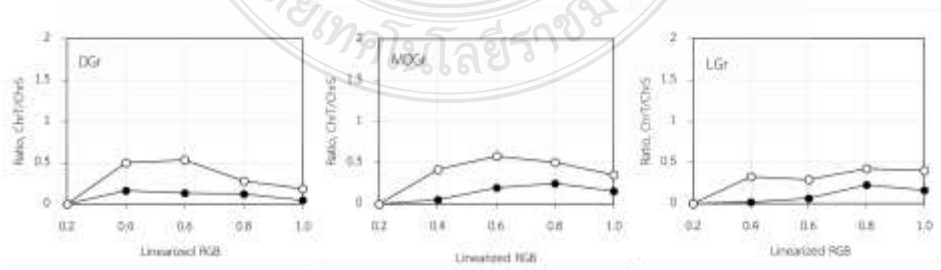


ภาพที่ ข.38 แผนภูมิ xy แสดงค่าการปรากฏสีสันของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ ของผู้สังเกต AK



● ไม่มีกระดาษทิชชู, ○ มองผ่านกระดาษทิชชู

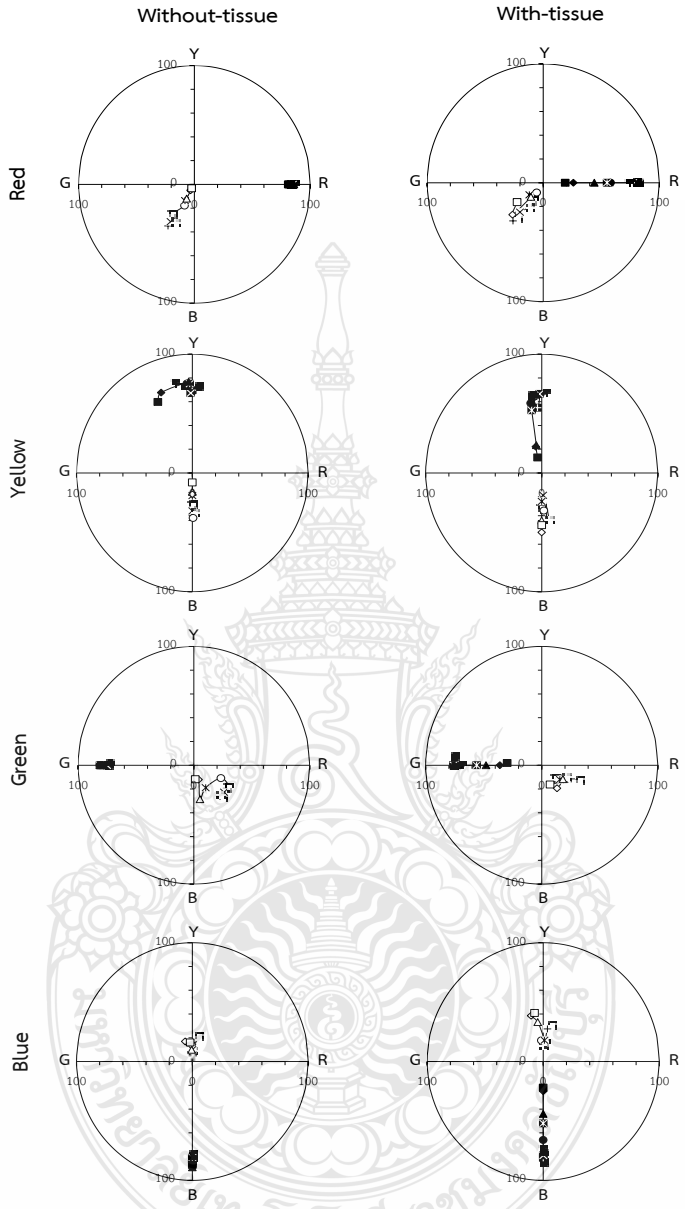
ภาพที่ ข.39 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ ของผู้สังเกต AK



● ไม่มีกระดาษทิชชู, ○ มองผ่านกระดาษทิชชู

ภาพที่ ข.40 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของแผ่นทดสอบสีเทา 3 ระดับ ของผู้สังเกต AK

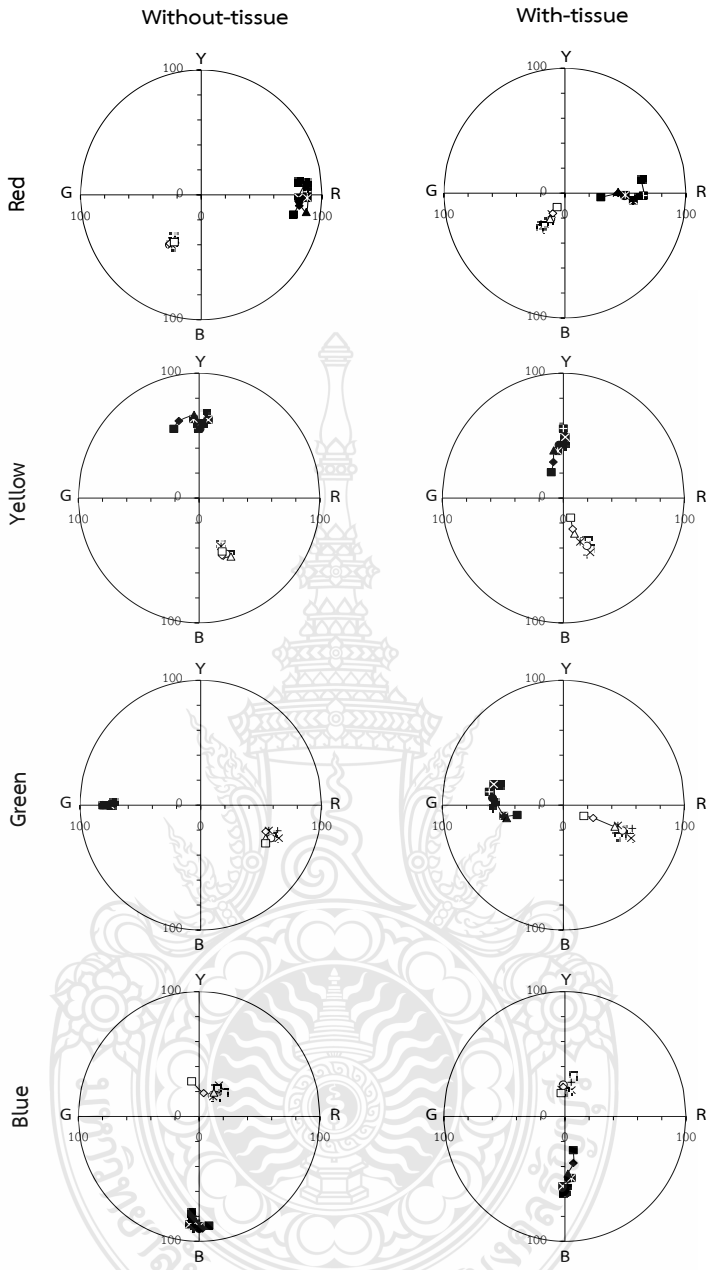
ข.2 ผลการทดลองที่ 2 ศึกษาอิทธิพลของความสว่างภายในห้อง



▱ 3 lx, + 6 lx, × 13 lx, ⬠ 25 lx, ▽ 50, ○ 100, ✳ 200 lx, △ 400 lx, ◇ 800 lx, □ 1600 lx

● พื้นหลัง, ○ แผ่นทดสอบสีเทา

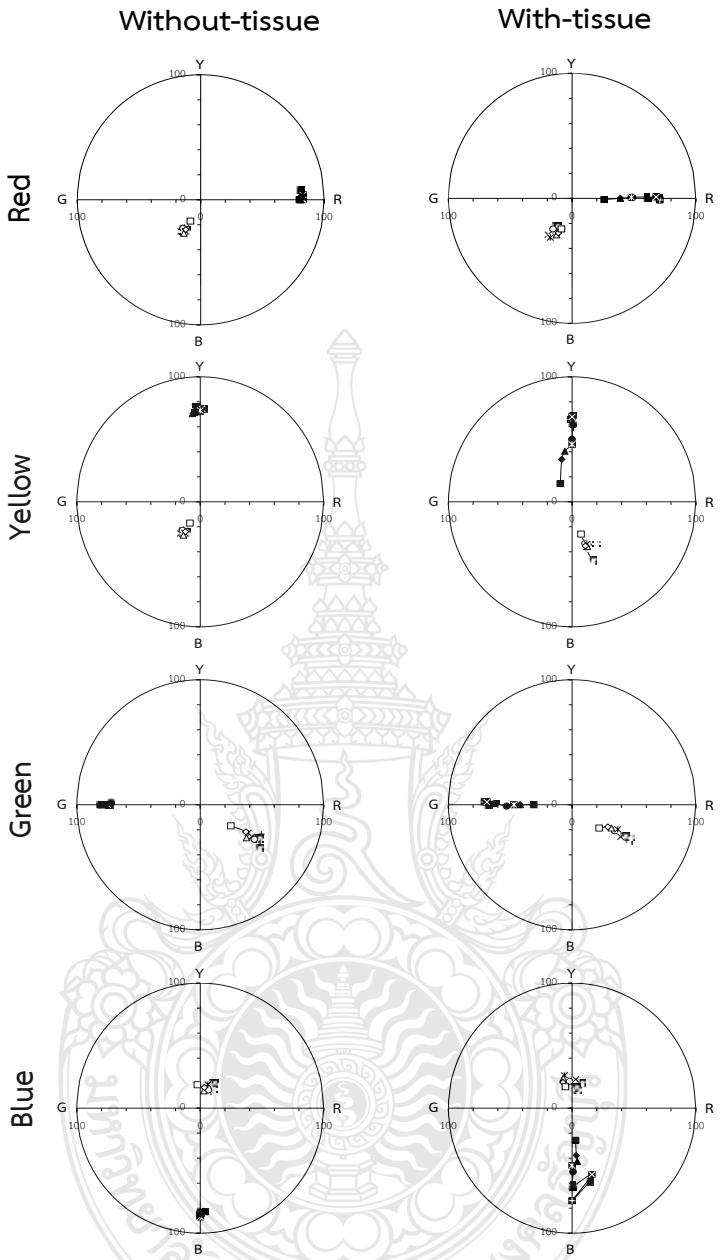
ภาพที่ ข.41 แผนภูมิ xy แสดงการปรากฏสีสันของพื้นหลังและแผ่นทดสอบสีเทาของผู้สังเกต MI



▱ 3 lx, + 6 lx, × 13 lx, ⬠ 25 lx, ▽ 50, ○ 100, ✳ 200 lx, △ 400 lx, ◇ 800 lx, □ 1600 lx

● พื้นหลัง, ○ แผ่นทดสอบสีเทา

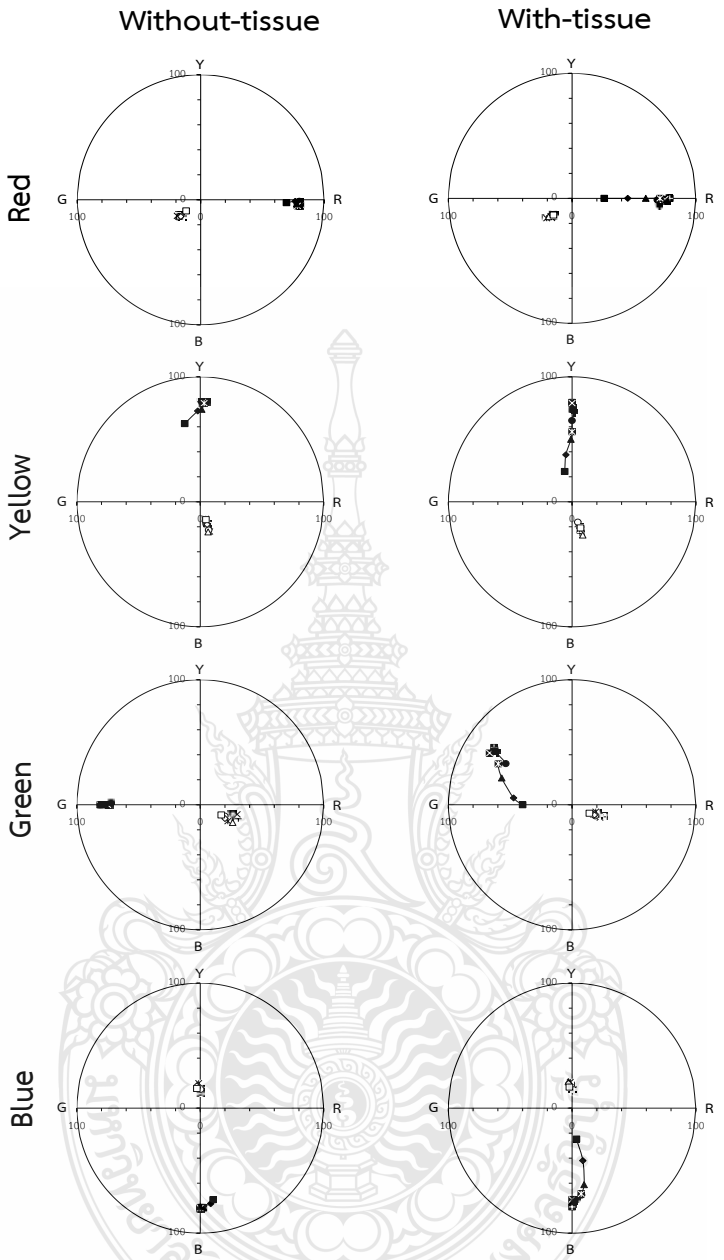
ภาพที่ ข.42 แผนภูมิ xy แสดงการปรากฏสีสันของพื้นหลังและแผ่นทดสอบสีเทาของผู้สังเกต CP



▱ 3 lx, + 6 lx, × 13 lx, ⬠ 25 lx, ▽ 50, ○ 100, ✳ 200 lx, △ 400 lx, ◇ 800 lx, □ 1600 lx

● พื้นหลัง, ○ แผ่นทดสอบสีเทา

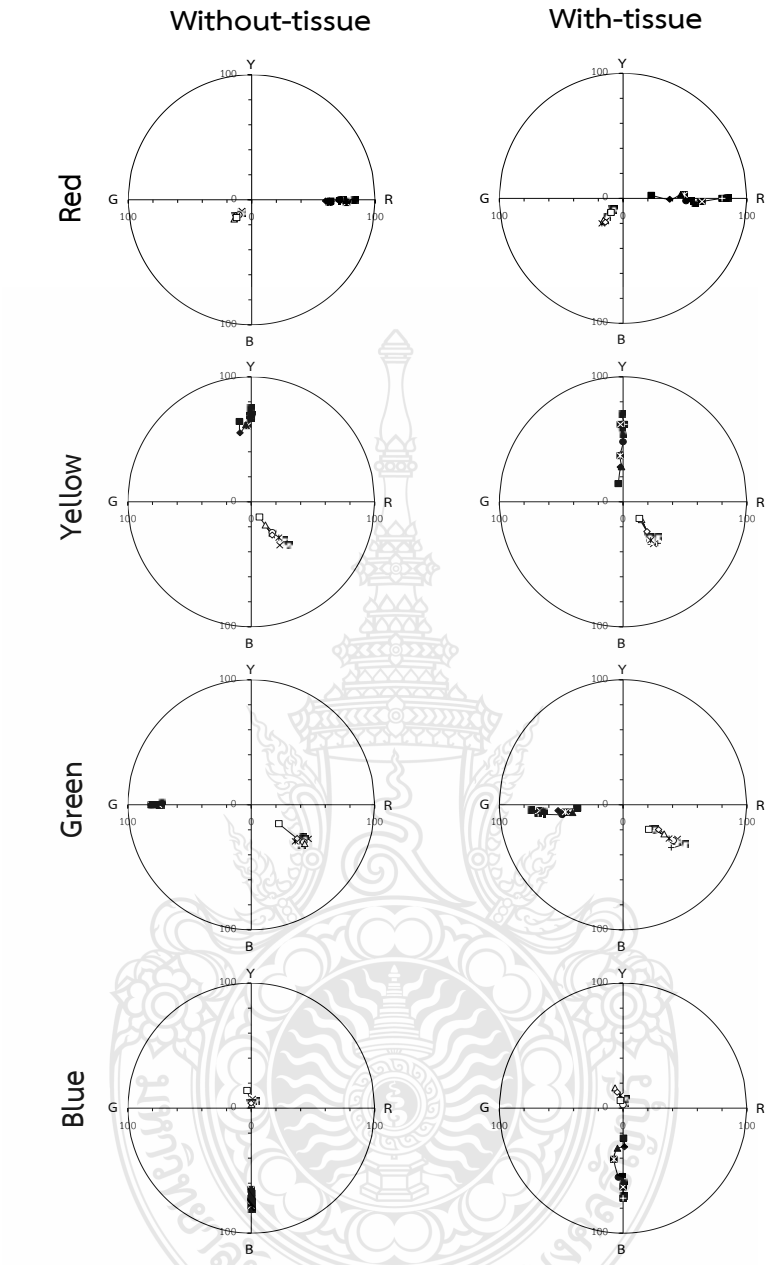
ภาพที่ ข.43 แผนภูมิ xy แสดงการปรากฏสีสันของพื้นหลังและแผ่นทดสอบสีเทาของผู้สังเกต JM



▱ 3 lx, + 6 lx, × 13 lx, ⬠ 25 lx, ▽ 50, ○ 100, ✳ 200 lx, △ 400 lx, ◇ 800 lx, □ 1600 lx

● พื้นหลัง, ○ แผ่นทดสอบสีเทา

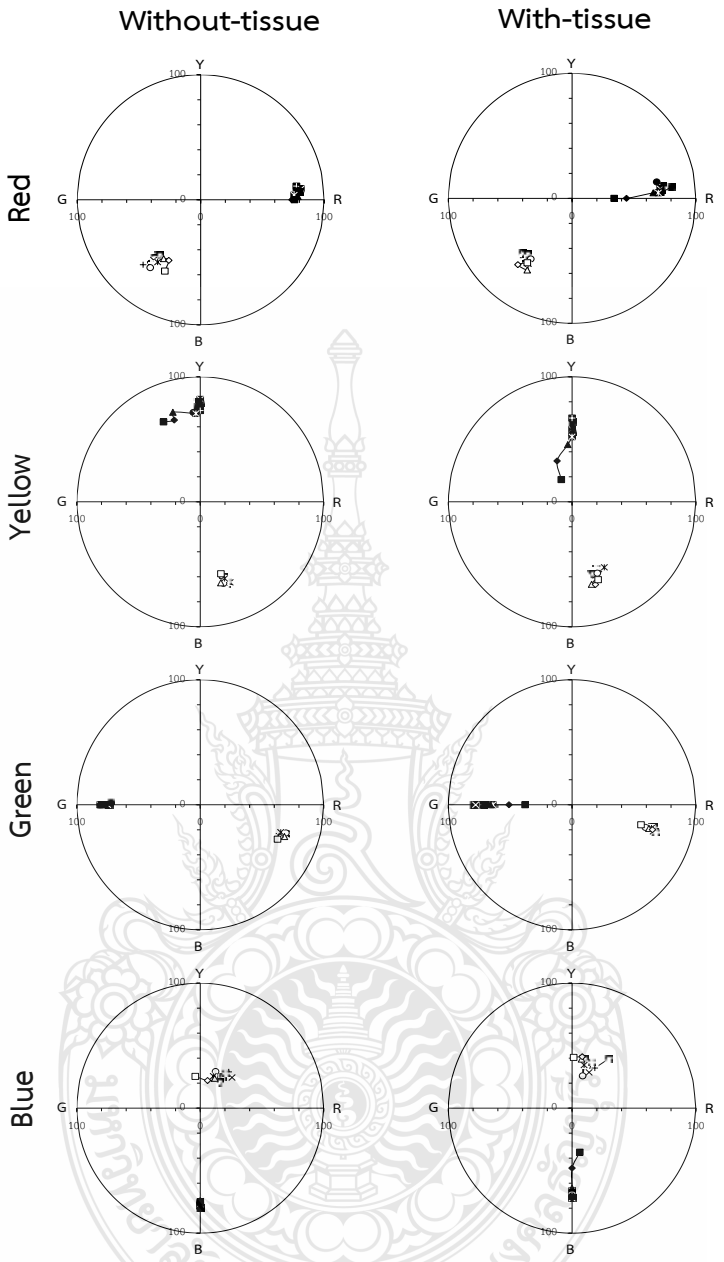
ภาพที่ ข.44 แผนภูมิ xy แสดงการปรากฏสีสันของพื้นหลังและแผ่นทดสอบสีเทาของผู้สังเกต NP



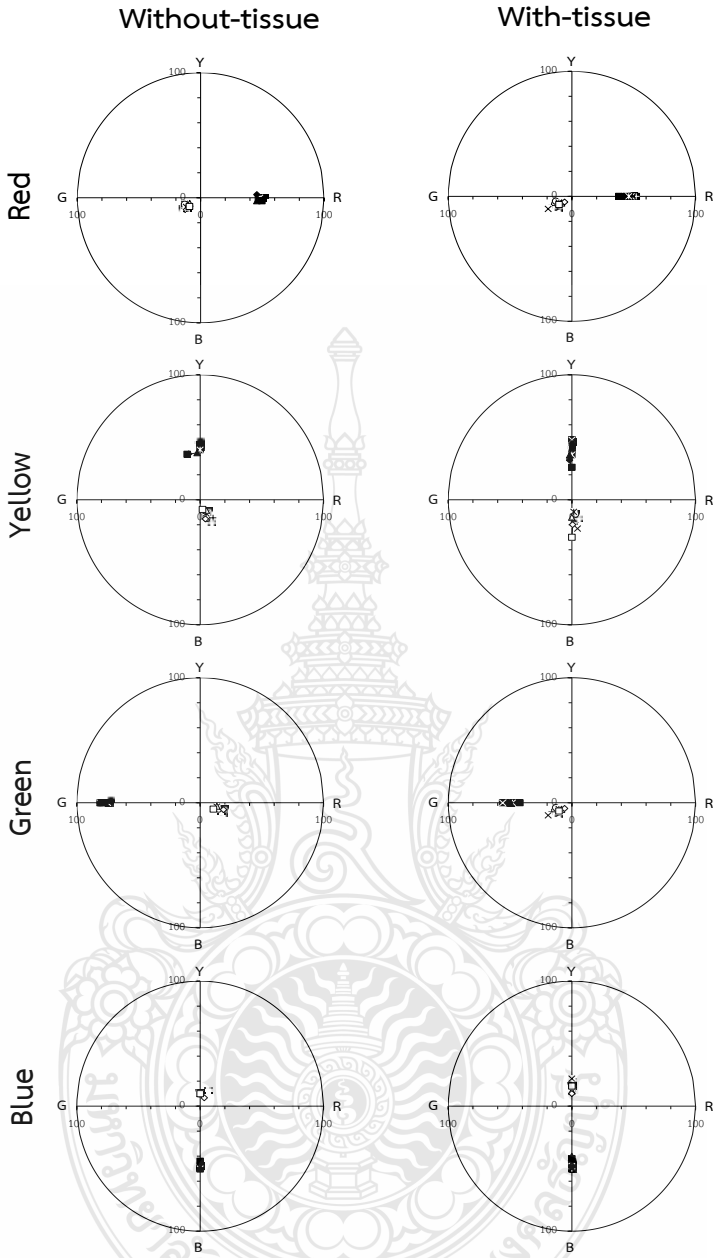
3 lx, 6 lx, 13 lx, 25 lx, 50, 100, 200 lx, 400 lx, 800 lx, 1600 lx

พื้นหลัง, แผ่นทดสอบสีเทา

ภาพที่ ข.45 แผนภูมิ xy แสดงการปรากฏสีสันของพื้นหลังและแผ่นทดสอบสีเทาของผู้สังเกต PC



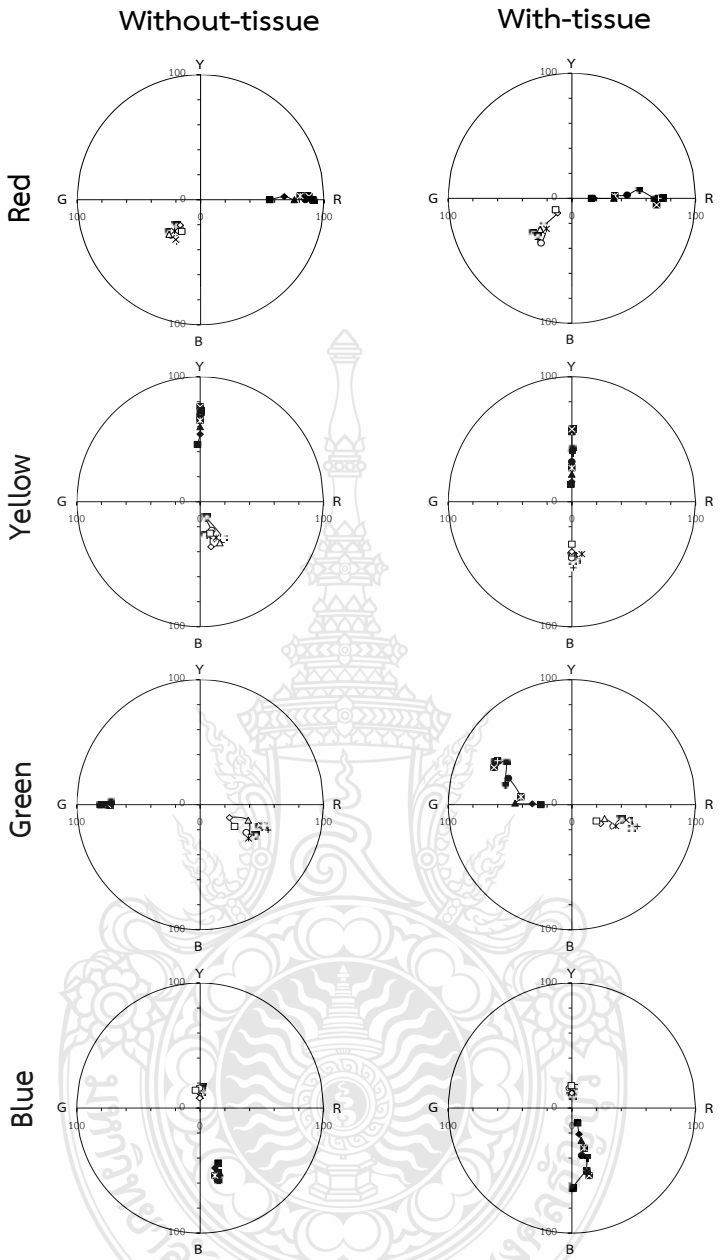
ภาพที่ ข.46 แผนภูมิ xy แสดงการปรากฏสีสันของพื้นหลังและแผ่นทดสอบสีเทาของผู้สังเกต CT



▱ 3 lx, + 6 lx, × 13 lx, ⬠ 25 lx, ▽ 50, ○ 100, ✳ 200 lx, △ 400 lx, ◇ 800 lx, □ 1600 lx

● พื้นหลัง, ○ แผ่นทดสอบสีเทา

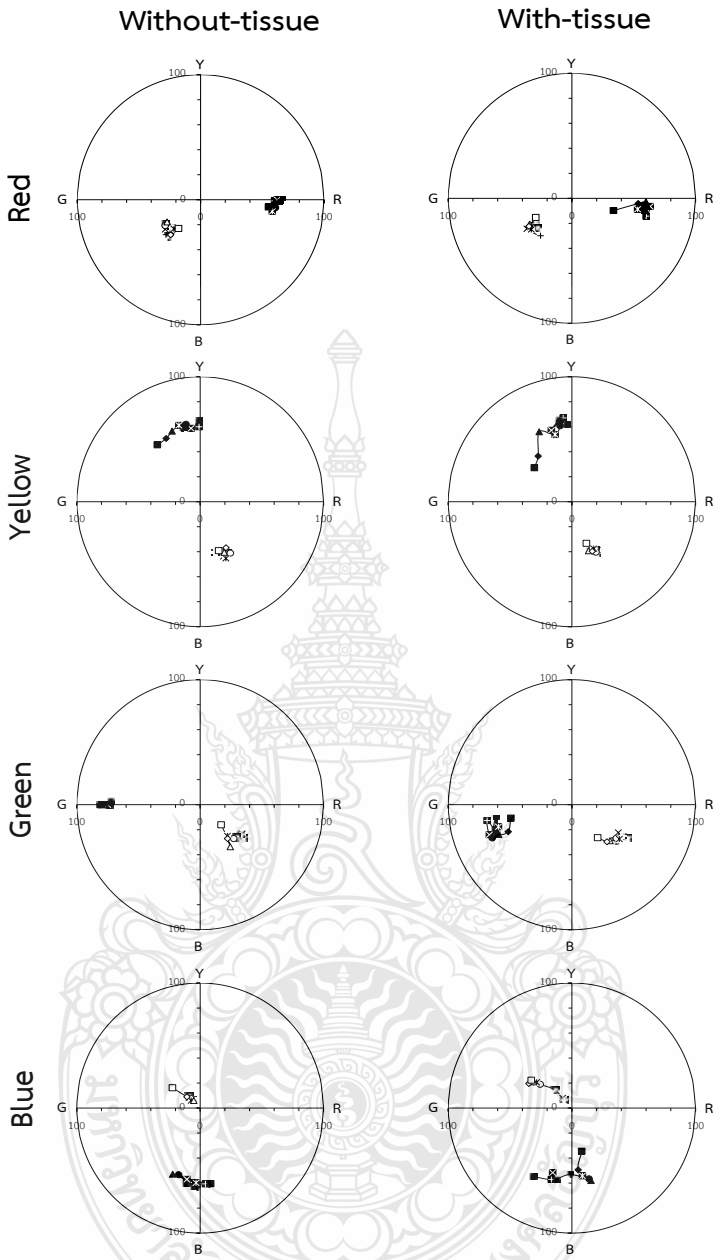
ภาพที่ ข.47 แผนภูมิ xy แสดงการปรากฏสีสันของพื้นหลังและแผ่นทดสอบสีเทาของผู้สังเกต CN



▱ 3 lx, + 6 lx, × 13 lx, ⬠ 25 lx, ▽ 50, ○ 100, ✳ 200 lx, △ 400 lx, ◇ 800 lx, □ 1600 lx

● พื้นหลัง, ○ แผ่นทดสอบสีเทา

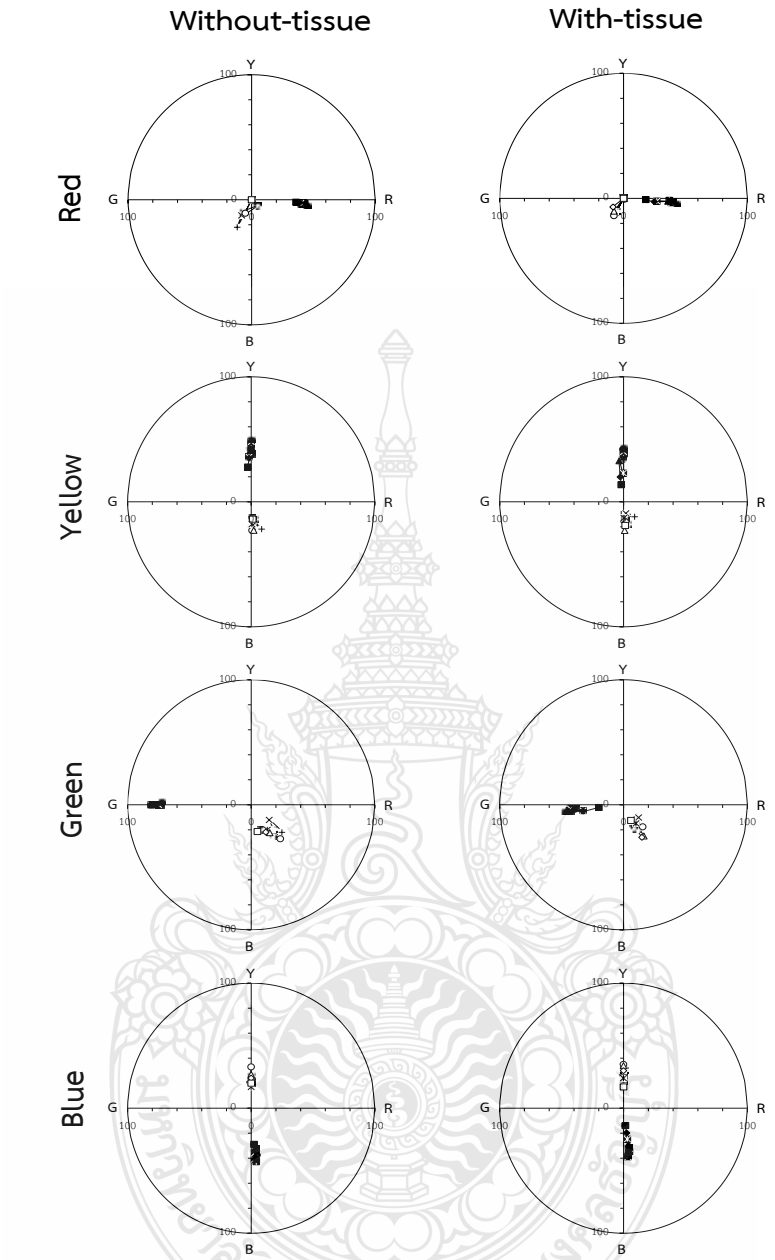
ภาพที่ ข.48 แผนภูมิ xy แสดงการปรากฏสีสันของพื้นหลังและแผ่นทดสอบสีเทาของผู้สังเกต PT



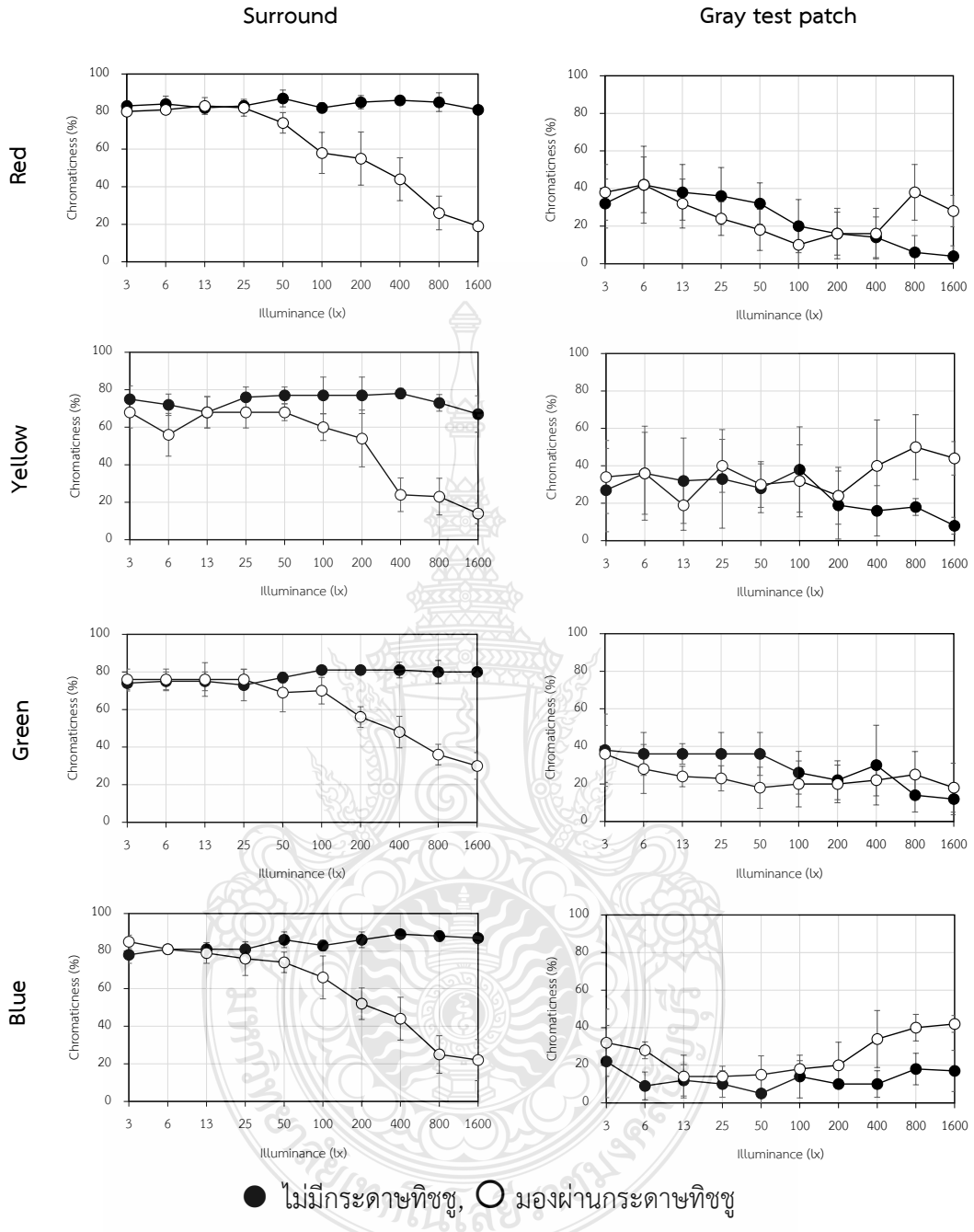
▱ 3 lx, + 6 lx, × 13 lx, ⬠ 25 lx, ▽ 50, ○ 100, ✳ 200 lx, △ 400 lx, ◇ 800 lx, □ 1600 lx

● พื้นหลัง, ○ แผ่นทดสอบสีเทา

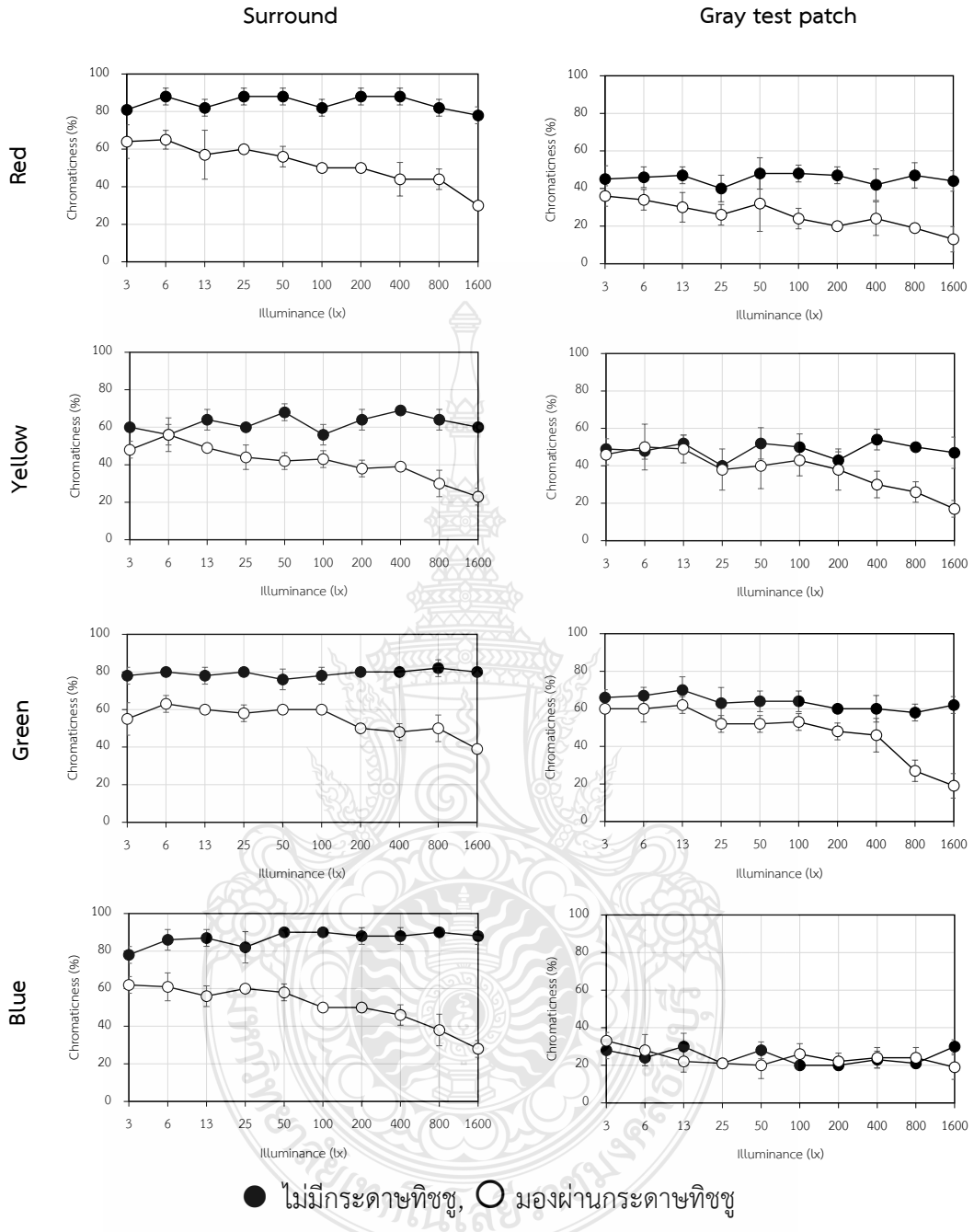
ภาพที่ ข.49 แผนภูมิ xy แสดงการปรากฏสีสันของพื้นหลังและแผ่นทดสอบสีเทาของผู้สังเกต KS



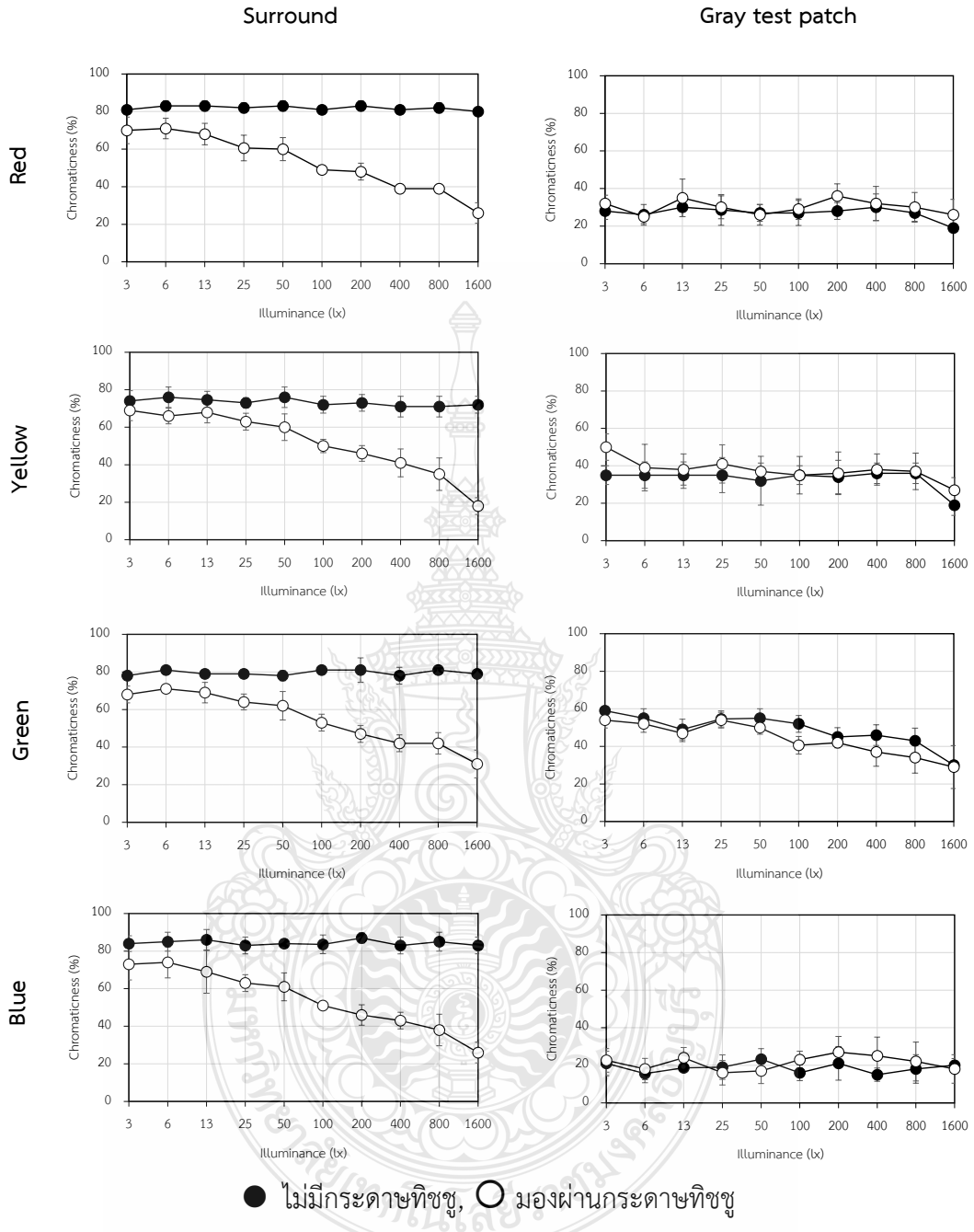
ภาพที่ ข.50 แผนภูมิ XY แสดงการปรากฏสีสันของพื้นหลังและแผ่นทดสอบสีเทาของผู้สังเกต AK



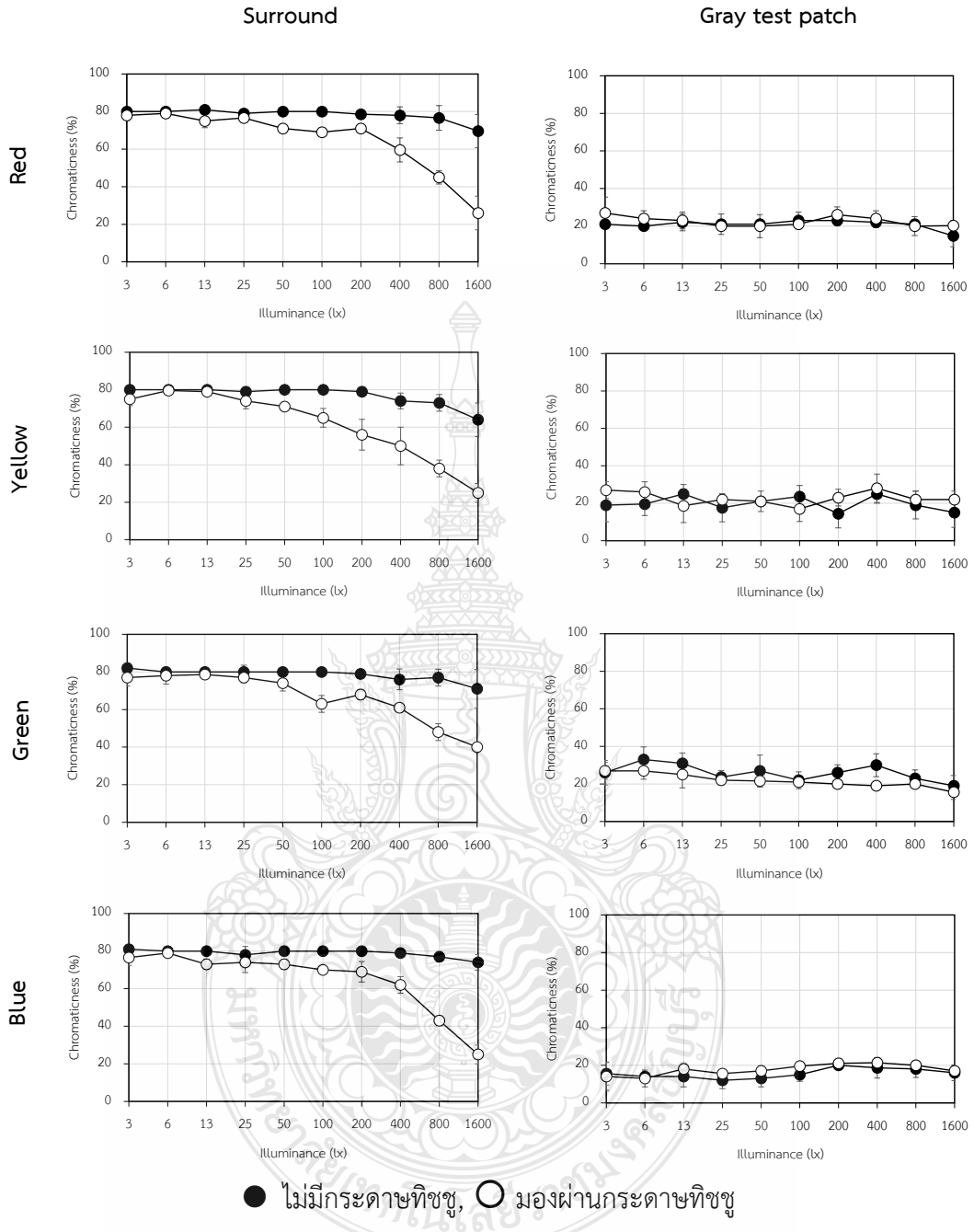
ภาพที่ ข.51 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของพื้นหลังและแผ่นทดสอบสีเทาของผู้สังเกต MI



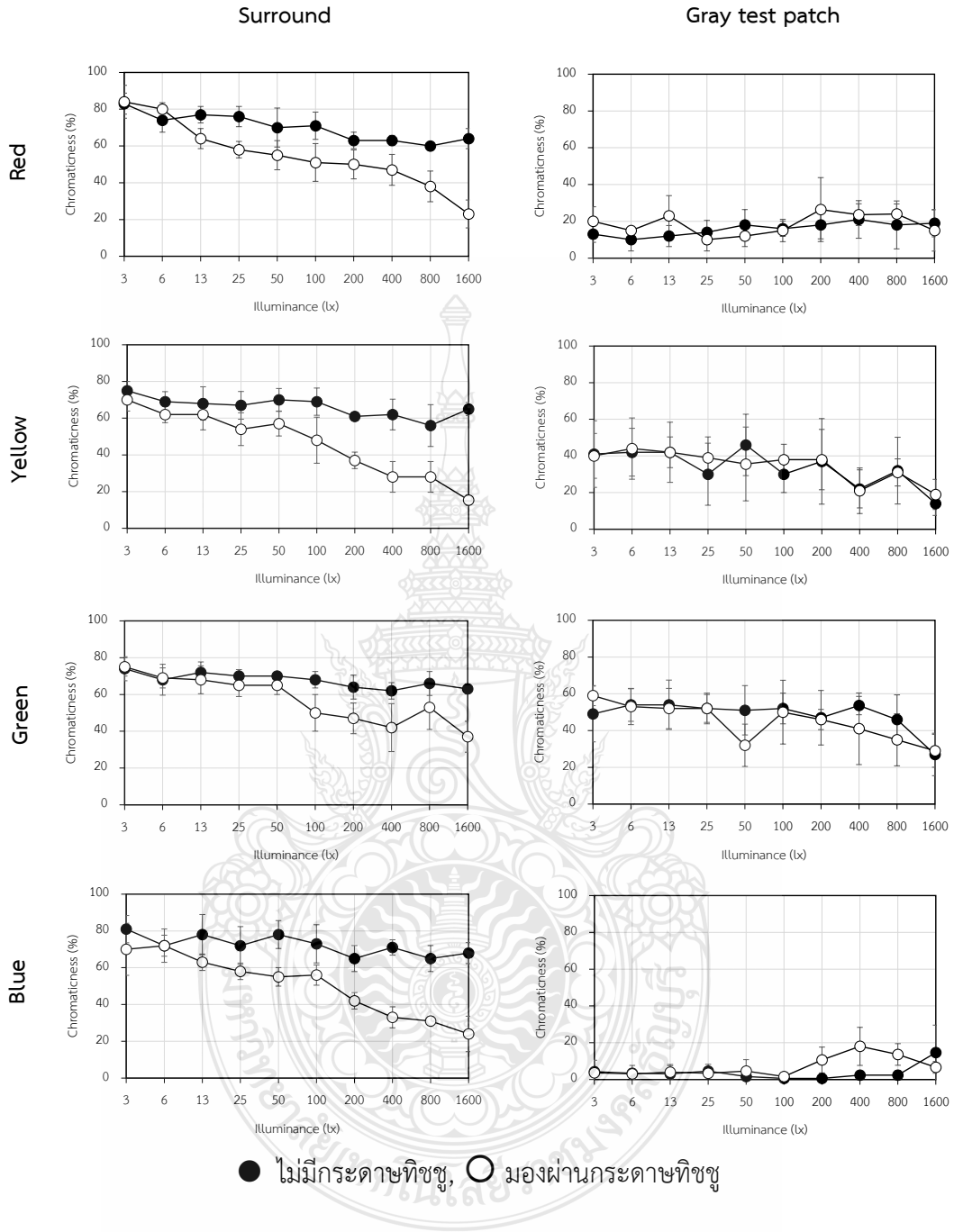
ภาพที่ ข.52 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของพื้นหลังและแผ่นทดสอบสีเทาของผู้สังเกต CP



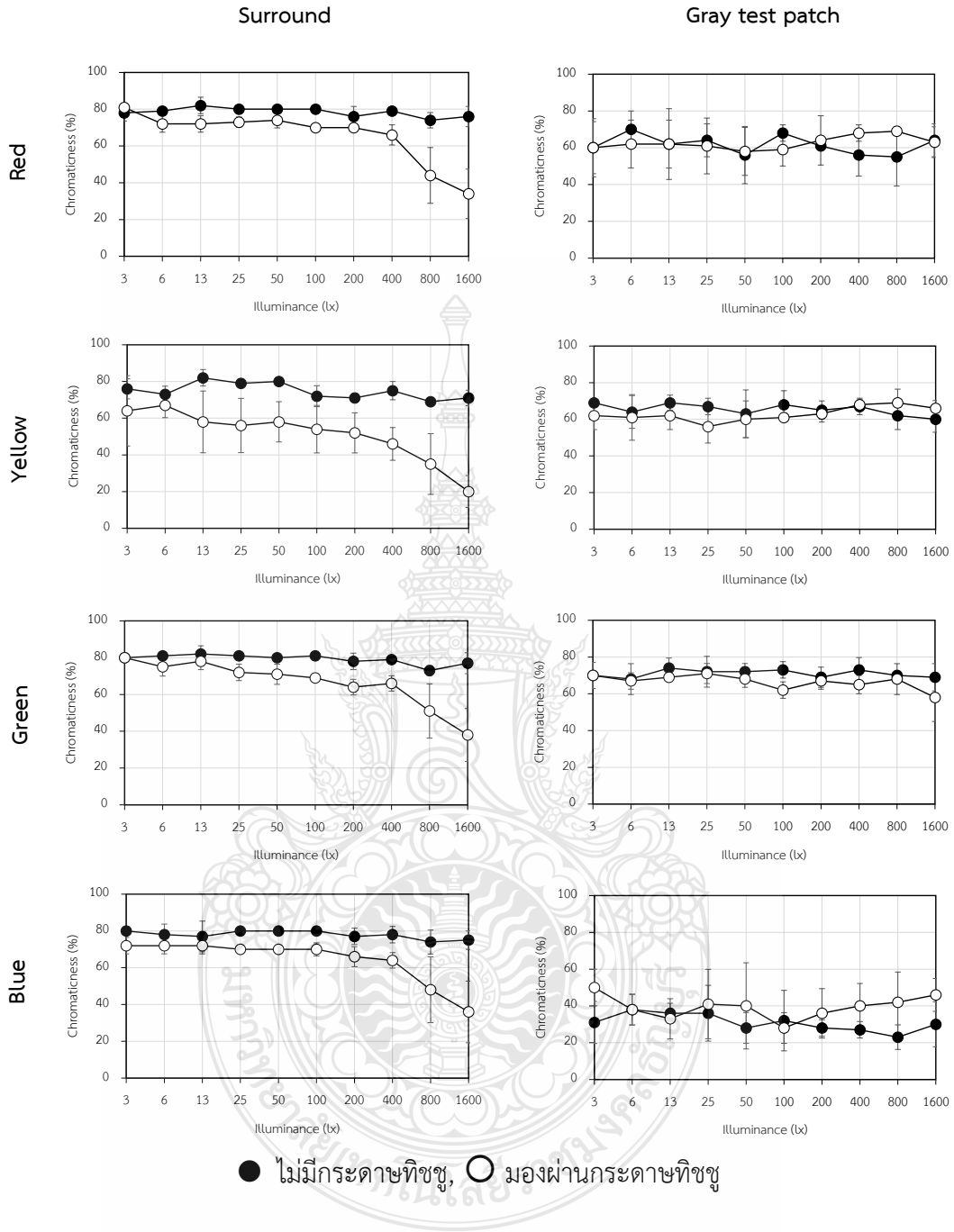
ภาพที่ ข.53 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของพื้นหลังและแผ่นทดสอบสีเทาของผู้สังเกต JM



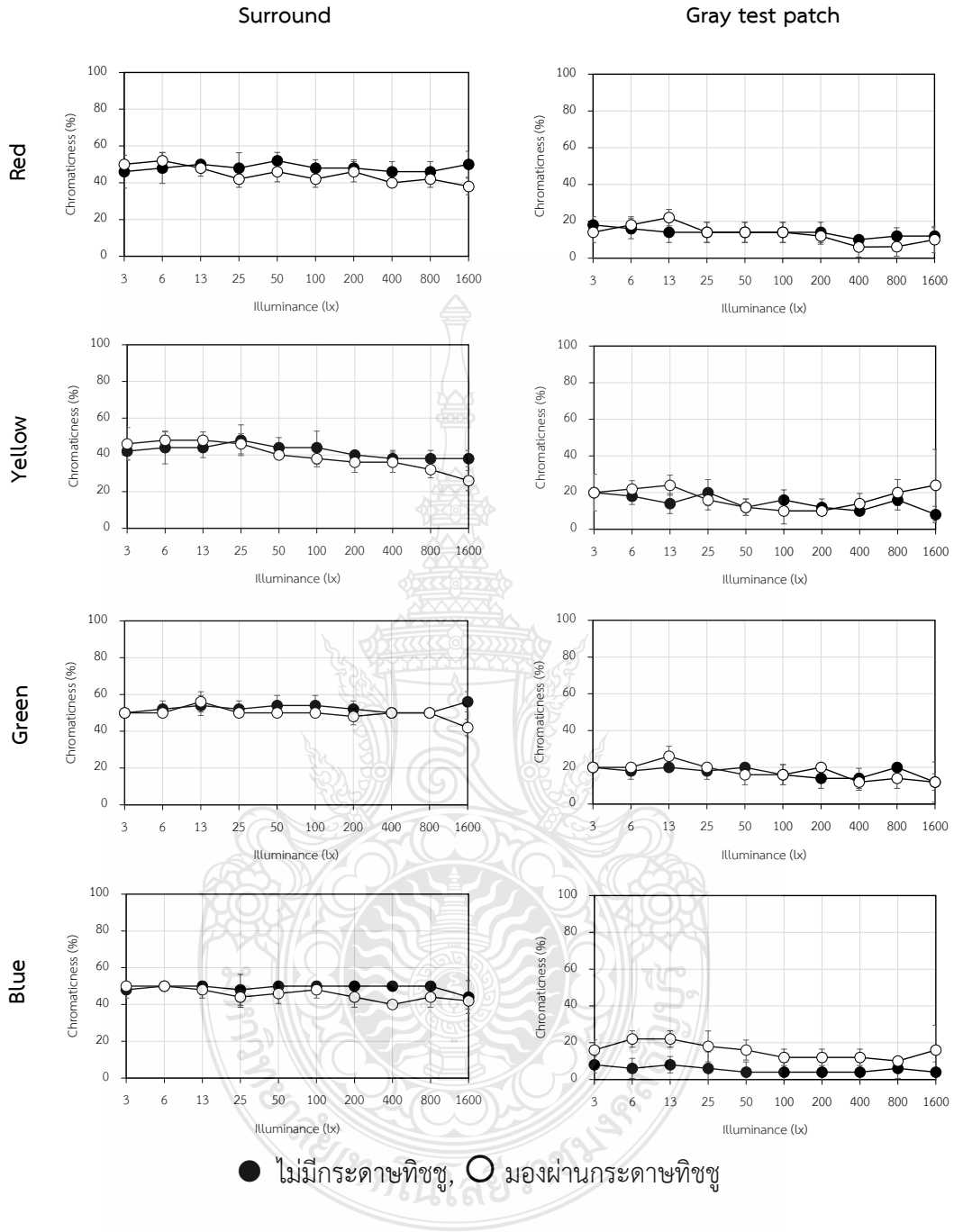
ภาพที่ ข.54 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของพื้นหลังและแผ่นทดสอบสีเทาของผู้สังเกต NP



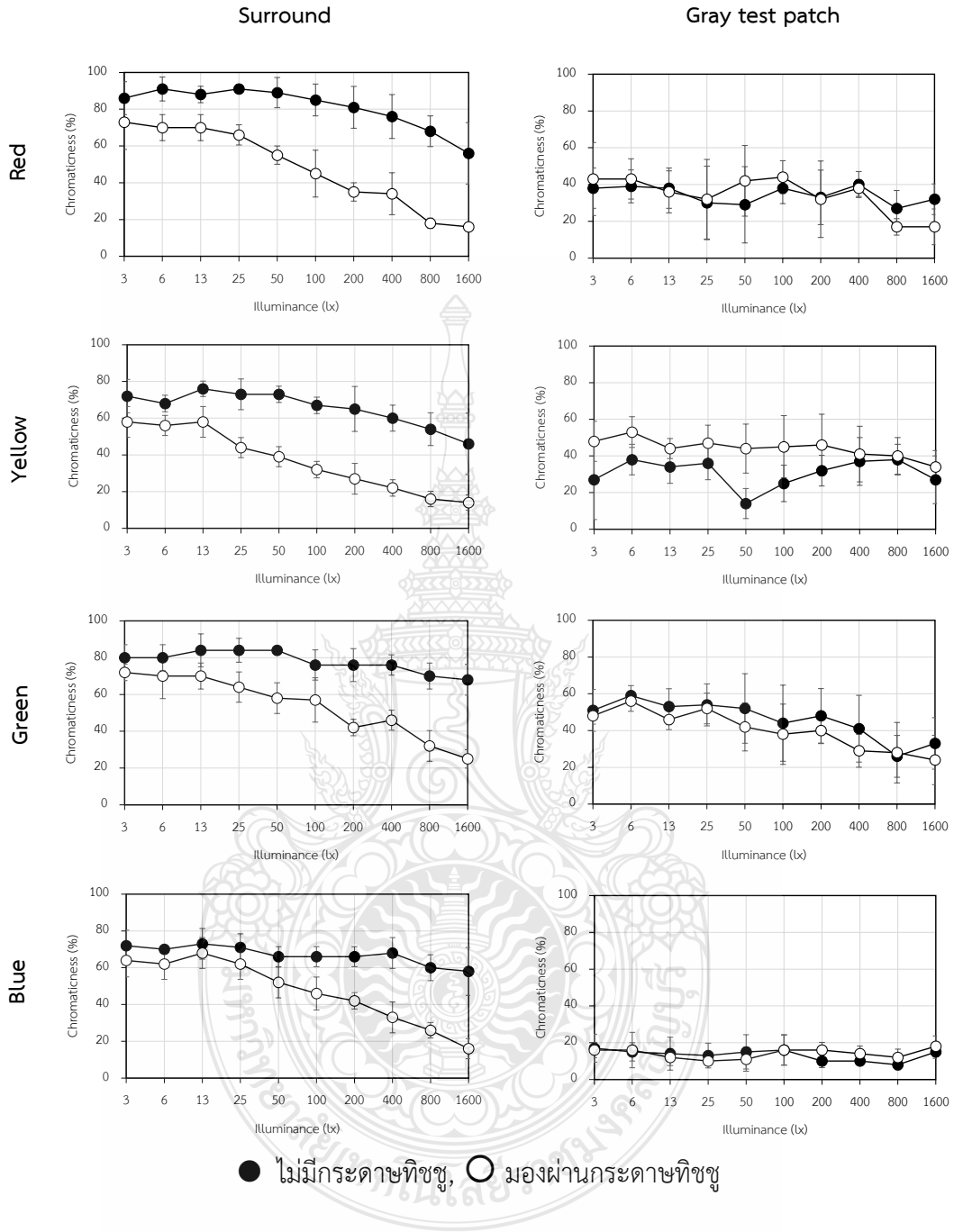
ภาพที่ ข.55 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของพื้นหลังและแผ่นทดสอบสีเทาของผู้สังเกต PC



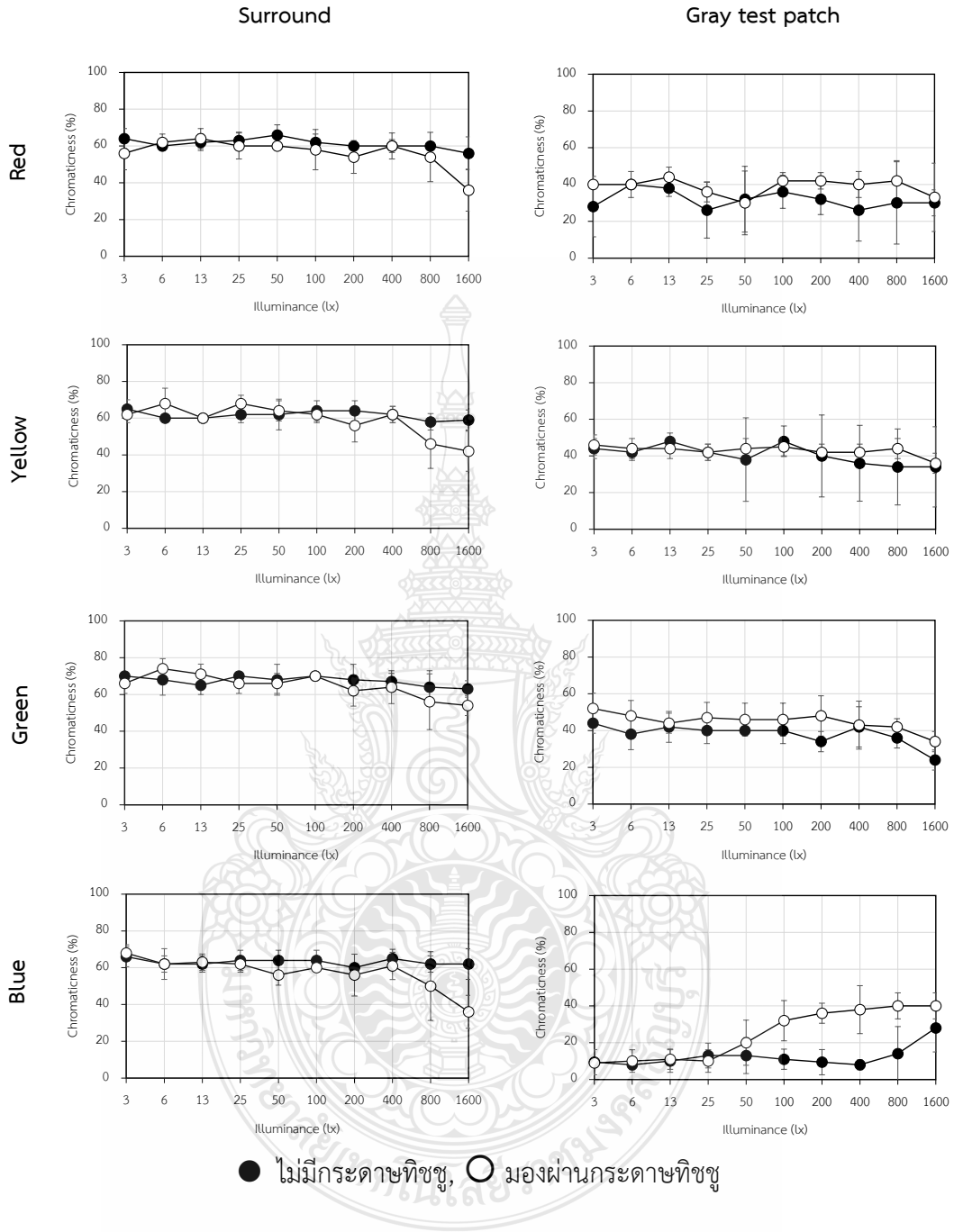
ภาพที่ ข.56 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของพื้นหลังและแผ่นทดสอบสีเทาของผู้สังเกต CT



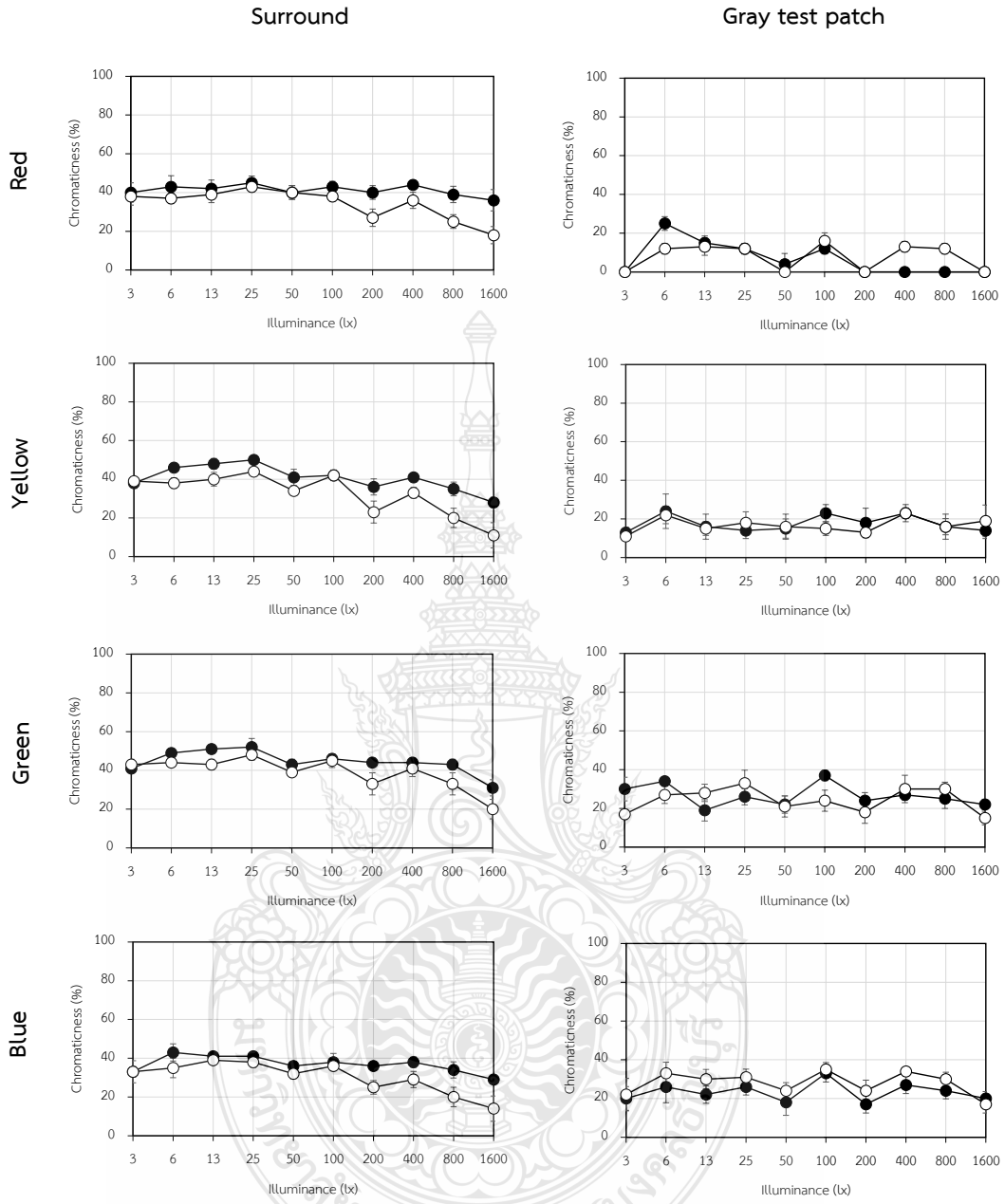
ภาพที่ ข.57 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของพื้นหลังและแผ่นทดสอบสีเทาของผู้สังเกต CN



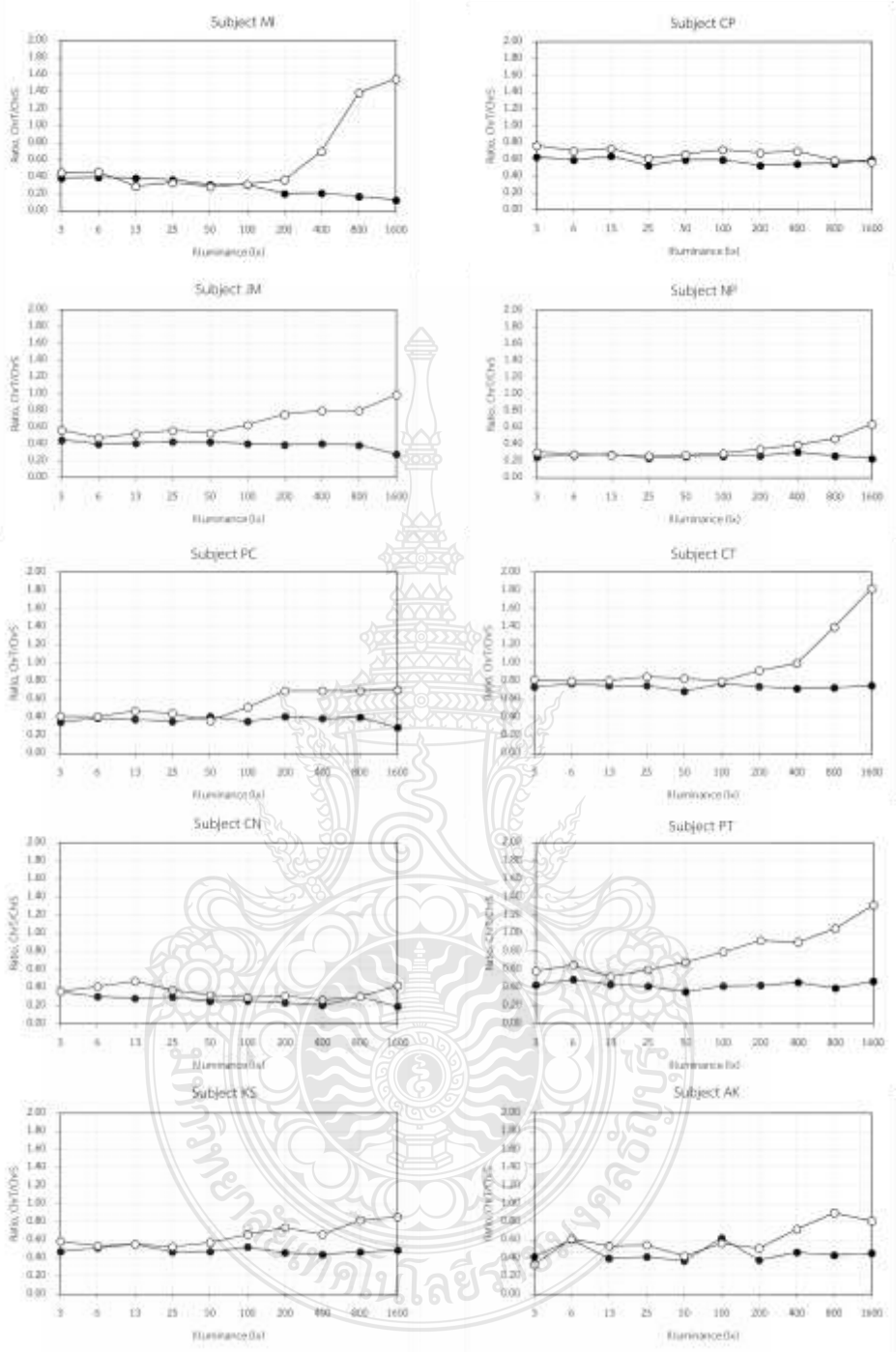
ภาพที่ ข.58 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของพื้นหลังและแผ่นทดสอบสีเทาของผู้สังเกต PT



ภาพที่ ข.59 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของพื้นหลังและแผ่นทดสอบสีเทาของผู้สังเกต KS



ภาพที่ ข.60 แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของพื้นหลังและแผ่นทดสอบสีเทาของผู้สังเกต AK



● ไม่มีกระดาษทิชชู, ○ มองผ่านกระดาษทิชชู

ภาพที่ ข. แผนภูมิแสดงปริมาณเนื้อสีของพื้นหลังและแผ่นทดสอบสีเทาเฉลี่ยจาก 4 สีพื้นหลังของผู้สังเกต 10 คน

โหมดการปรากฏสีของสิ่งเร้าภายใต้ความสว่าง 10 ระดับ โดยผลลัพธ์นั้นแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1. การปรากฏสีของสิ่งเร้าในโหมด Light source color mode, LS
2. การปรากฏสีของสิ่งเร้าในโหมด Unnatural object color mode, UN
3. การปรากฏสีของสิ่งเร้าในโหมด Object color mode, OB

ตารางที่ ข.1 โหมดการปรากฏสีของสิ่งเร้าภายใต้ความสว่าง 10 ระดับ ของผู้สังเกต MI

Illuminance	Stimuli									
	Red		Yellow		Green		Blue		White	
	No	With	No	With	No	With	No	With	No	With
3		LS	UN			LS	LS		LS	
6	UN			LS						
13	LS									
25		UN				LS	UN			
50	LS		UN		UN				UN	
100										
200										
400		OB		OB			UN			OB
800	UN					OB		OB	UN	
1600			UN							

ตารางที่ ข.2 โหมดการปรากฏสีของสิ่งเร้าภายใต้ความสว่าง 10 ระดับ ของผู้สังเกต CP

Illuminance	Stimuli									
	Red		Yellow		Green		Blue		White	
	No	With	No	With	No	With	No	With	No	With
3										
6	UN		UN		UN		UN		UN	
13										
25										
50										
100										
200	OB		OB		OB		OB		OB	
400										
800										
1600										

ตารางที่ ข.3 โหมดการปรากฏสีของสิ่งเร้าภายใต้ความสว่าง 10 ระดับ ของผู้สังเกต JM

Illuminance	Stimuli									
	Red		Yellow		Green		Blue		White	
	No	With	No	With	No	With	No	With	No	With
3	LS		LS		LS		LS		LS	
6										
13										
25										
50	UN		UN		UN		UN		UN	
100										
200										
400	OB		OB		OB		OB		OB	
800										
1600										

ตารางที่ ข.4 โหมดการปรากฏสีของสิ่งเร้าภายใต้ความสว่าง 10 ระดับ ของผู้สังเกต NP

Illuminance	Stimuli									
	Red		Yellow		Green		Blue		White	
	No	With	No	With	No	With	No	With	No	With
3										
6										
13	LS		LS		LS		LS		LS	
25										
50										
100		UN		UN		UN		UN		UN
200	UN		UN		UN					
400										
800	OB		OB		OB		OB		OB	
1600										

ตารางที่ ข.5 โหมดการปรากฏสีของสิ่งเร้าภายใต้ความสว่าง 10 ระดับ ของผู้สังเกต PC

Illuminance	Stimuli									
	Red		Yellow		Green		Blue		White	
	No	With	No	With	No	With	No	With	No	With
3			UN							
6	LS				LS		LS		LS	
13			LS							
25				UN						
50		UN				UN		UN		UN
100										
200										
400	OB		OB		OB		OB		OB	
800										
1600										

ตารางที่ ข.6 โหมดการปรากฏสีของสิ่งเร้าภายใต้ความสว่าง 10 ระดับ ของผู้สังเกต CT

Illuminance	Stimuli									
	Red		Yellow		Green		Blue		White	
	No	With	No	With	No	With	No	With	No	With
3	UN			UN			UN			
6	LS								LS	
13	UN		LS		UN					
25							LS			
50	LS								UN	
100			UN		LS		UN			
200	UN				UN					
400									OB	
800	OB		OB		OB		OB			
1600										

ตารางที่ ข.7 โหมดการปรากฏสีของสิ่งเร้าภายใต้ความสว่าง 10 ระดับ ของผู้สังเกต CN

Illuminance	Stimuli									
	Red		Yellow		Green		Blue		White	
	No	With	No	With	No	With	No	With	No	With
3	UN	OB						UN		
6	OB	UN								
13		LS						LS		
25	UN							UN		
50			OB		OB				OB	
100										
200	OB						OB			
400										
800										
1600										

ตารางที่ ข.8 โหมดการปรากฏสีของสิ่งเร้าภายใต้ความสว่าง 10 ระดับ ของผู้สังเกต PT

Illuminance	Stimuli									
	Red		Yellow		Green		Blue		White	
	No	With	No	With	No	With	No	With	No	With
3				UN						
6			LS							UN
13								UN		LS
25		UN		UN		UN				
50				LS						UN
100			UN							
200										OB
400										UN
800				OB				OB		
1600		OB				OB				OB

ตารางที่ ข.9 โหมดการปรากฏสีของสิ่งเร้าภายใต้ความสว่าง 10 ระดับ ของผู้สังเกต KS

Illuminance	Stimuli									
	Red		Yellow		Green		Blue		White	
	No	With	No	With	No	With	No	With	No	With
3										
6										
13	LS		LS		LS		LS		LS	
25										
50										
100										
200		UN		UN		UN		UN		UN
400										
800	OB		OB			OB	OB		OB	
1600										

ตารางที่ ข.10 โหมดการปรากฏสีของสิ่งเร้าภายใต้ความสว่าง 10 ระดับ ของผู้สังเกต AK

Illuminance	Stimuli									
	Red		Yellow		Green		Blue		White	
	No	With	No	With	No	With	No	With	No	With
3										
6										
13	UN		UN		UN		UN		UN	
25										
50										
100										
200									OB	
400									UN	
800	OB		OB		OB		OB			OB
1600										

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวเจนจิรา มีเพียร
วัน เดือน ปีเกิด	17 มิถุนายน 2537
ที่อยู่	19 หมู่ 2 ตำบลแม่น้ำ อำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84330
การศึกษา	ปริญญาตรี คณะเทคโนโลยีสื่อสารมวลชน สาขาเทคโนโลยีการพิมพ์
เบอร์โทรศัพท์	098-028-7532
อีเมล์	janjira672@gmail.com