ผลของความสว่างในห้องต่อขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างของความส่องสว่างบนจอภาพแอลซีดี
สำหรับผู้สูงอายุที่เป็นต้อกระจก

นายปรึกษา ประทุมรัตน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

EFFECTS OF ROOM ILLUMINANCE ON LUMINANCE CONTRAST THRESHOLD ON LCD FOR THE ELDERLY WITH CATARACT

Mr.Prueksa Pratumrat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Imaging Technology

Department of Imaging and Printing Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของความสว่างในห้องต่อขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างของความส่องสว่างบนจอภาพแอลซีดีสำหรับผู้สูงอายุที่เป็นต้อกระจก
โดย	นายปรึกษา ประทุมรัตน์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตร์จารย์ ดร. พิชญดา เกตุเมฆ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	Professor Mitsuo Ikeda, Ph.D.

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…… ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรัญ หาญสืบสาย)

……... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญดา เกตุเมฆ)

…… อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(Professor Mitsuo Ikeda, Ph.D.)

…… กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุจิตรา สื่อประสาร)

…… กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(นายธีระ ปิยคุณากร)

ปรึกษา ประทุมรัตน์ : ผลของความสว่างในห้องต่อขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างของความส่องสว่างบนจอภาพแอลซีดีสำหรับผู้สูงอายุที่เป็นต้อกระจก. (EFFECTS OF ROOM ILLUMINANCE ON LUMINANCE CONTRAST THRESHOLD ON LCD FOR THE ELDERLY WITH CATARACT) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ. ดร. พิชญดา เกตุเมฆ,อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม Prof. Mitsuo Ikeda 60 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของระดับความสว่างภายในห้องต่อการอ่านข้อความบนจอภาพชนิดแอลซีดี ของผู้สูงอายุที่มีอาการต้อกระจก การวิจัยทำโดยให้ผู้สังเกตตัดสินขีดเริ่มเปลี่ยน ความเปรียบต่างของความส่องสว่างของข้อความที่แสดงบนจอภาพชนิดแอลซีดี ผู้สังเกตทดลองภายในห้องปิดที่สามารถปรับระดับความสว่างได้ 5 ระดับ 1, 10, 100, 300 และ 1,000 ลักซ์ ผู้สังเกตจะอ่านข้อความบนจอภาพผ่านช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ความสูง 8 เซนติเมตร โดยข้อความที่แสดงมีความส่องสว่างต่างจากพื้นหลังเฉพาะระดับของความส่องสว่างเท่านั้น ผู้สังเกตจะทำการทดลองโดยมองจอภาพด้วยตาเปล่าและสวมแว่นจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก ผลที่ได้จากผู้สังเกตทั้ง 5 คน พบว่าที่ระดับความสว่างของห้อง 1 ถึง 100 ลักซ์ ข้อความบนพื้นหลังสีเขียว แดง และเหลือง ระดับความสว่างในห้องมีผลต่อการอ่านข้อความของผู้สังเกตเพียงเล็กน้อย ทั้งขณะสวมแว่นจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจกและตาเปล่า ในระดับความสว่าง 100 ถึง 1,000 ลักซ์ ผู้สวมแว่นจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจกต้องในความเปรียบต่างระหว่างข้อความและพื้นหลังสูงขึ้น และผลจะต่างออกไปเมื่อพื้นหลังเป็นแบบไม่มีสีหรือสีน้ำเงิน ที่ต้องเริ่มใช้ความเปรียบต่างของข้อความสูงมาก เมื่อความสว่างภายในห้องมีความสว่างตั้งแต่ 100 ลักซ์ ขึ้นไป

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่าย ลายมือชื่อนิสิต.....
และเทคโนโลยีทางการพิมพ์ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....
ปีการศึกษา 2554

5172359723 : MAJOR IMAGING TECHNOLOGY

KEYWORDS : luminance contrast / legibility / the elderly / cataract / LCD

PRUEKSA PRATUMRAT : EFFECTS OF ROOM ILLUMINANCE ON LUMINANCE CONTRAST THRESHOLD ON LCD FOR THE ELDERLY WITH CATARACT. ADVISOR : PICHAYADA KATEMAKE, Ph.D., CO-ADVISOR : MITSUO IKEDA, Ph.D., 60 pp.

We investigated effects of artificial illuminance levels on the luminance contrast threshold of text and background on liquid crystal display (LCD) for the elderly with cataract. Five subjects were involved in the experiment. They determined the luminance contrast threshold of achromatic and chromatic red, yellow, green and blue stimuli under five artificial illuminance levels: 1, 10, 100, 300 and 1000 lux (lx) by using cataract-experienced goggles. The text and background stimuli had the same hue but different luminance. We established that the illuminance levels of 1 to 100 lx does not affect the way elderly with cataract and people with normal-vision read the LCD for both positive (C+) and negative contrast (C-) of red, green and yellow stimuli. However, the illuminance of 100 lx upward resulted in high luminance contrast threshold of C- of all stimuli for the cataract lenses. The achromatic and blue C- are affected by illuminance levels of 10 lx onward in the elderly with cataract.

Department : Imaging and Printing Technology
Field of Study : Imaging Technology
Academic Year : 2011

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

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้เพราะมีบุคคลที่คอยช่วยเหลือ เป็นกำลังใจ ให้คำปรึกษาและคำแนะนำอยู่เสมอ ผมขอขอบพระคุณทุกคนที่มีส่วนช่วยเหลือตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาดังมีรายนามต่อไปนี้

1. ขอขอบพระคุณ ผศ. ดร. พิชญดา เกตุเมฆ และ ศ. ดร. มิสึโอะ อิเคดะ สำหรับคำแนะนำ และการช่วยเหลือใน ทุกด้าน ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้

2. ขอขอบพระคุณ ประธานและกรรมการสอบทุกท่าน สำหรับคำ แนะนำ ที่มีประโยชน์ทั้งในงานวิจัย และในชีวิตประจำวัน

3. ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ ทุกท่านสำหรับคำสอน ข้อแนะนำ และการช่วยเหลือในทุก ๆ เรื่อง

4. ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่านที่เคยสอนผมมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

5. ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ สำหรับการแนะนำและช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ

6. ขอขอบใจ เพื่อน ๆ นิสิตปริญญาโทสาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพ ที่ช่วยกันสร้างบรรยากาศที่ดีในการเรียนและทำงานตลอดสองปีที่ผ่านมา

7. ขอขอบพระคุณครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจ ให้โอกาส ยอมรับและ เข้าใจในสิ่งที่ผมทำตลอดมา และตลอดไป

8. ขอขอบพระคุณผู้สังเกตทั้ง 4 ท่าน ได้แก่ คุณจันทร์ประภา พ่วงสุวรรณ คุณธนรัตน์ เอกอวัสดาพร คุณนัทธมน หงส์เจริญ และ คุณสิโนรส สมิทธิคุณานนท์ ที่สละเวลาอันมีค่า เพื่องานวิจัยนี้

9. ขอขอบคุณ คุณอสมาภรณ์ สิทธิ สำหรับกำลังใจและแรงพลักดันจนทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ตั้งแต่ต้นจวบจนวันสุดท้าย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญภาพ..... ฌ
บทที่ 1 บทนำ..... 1
1.1 ความเป็นมา..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4
1.5 วิธีดำเนินงานวิจัย..... 4
บทที่ 2 ทฤษฎีและวารสารปริทรรศน์..... 5
2.1 ระบบการรับรู้ด้านการมองเห็น..... 5
2.2 การมองเห็นของผู้สูงอายุ..... 5
2.3 ต้อกระจก..... 7
2.4 การส่องผ่านแสงของเลนส์แก้วตา..... 14
2.5 ความเปรียบต่างความส่องสว่าง (luminance contrast)..... 17
2.6 ระบบการวัดสี CIE..... 19
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 22
3.1 วัสดุและอุปกรณ์..... 22
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย..... 25
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล..... 32
4.1 ตัวอักษรแบบไร้สี (achromatic)..... 32
4.2 ตัวอักษรแบบมีสี (chromatic)..... 36
4.2.1 ข้อความสีน้ำเงินบนพื้นหลังสีน้ำเงิน..... 36
4.2.2 ข้อความสีเขียวบนพื้นหลังสีเขียว..... 38
4.2.3 ข้อความสีแดงบนพื้นหลังสีแดง..... 40
4.2.4 ข้อความสีเหลืองบนพื้นหลังสีเหลือง..... 41
4.3 การอภิปรายผลการทดลอง..... 43
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และ เสนอแนะ..... 45
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 45
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 46

รายการอ้างอิง.....47
ภาคผนวก.....49
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....60

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2-1 กราฟความคมชัดของสายตาเทียบกับอายุที่เปลี่ยนแปลงไป..... 6
ภาพที่ 2-2 สเปกตรัมการส่องผ่านแสงของฟิลเตอร์ที่ใช้ในแว่นจำลองสถานการณ์การเป็นต้อของ โอบามา ในปี 2004.....9
ภาพที่ 2-3 การปรากฏสีที่เปลี่ยนไปเมื่อส่วมแว่นจำลองสถานการณ์การเป็นต้อ.....10
ภาพที่ 2-4 ความส่องสว่าง (luminance) ของแถบสีที่ให้ความสว่างเท่ากับแผ่นอ้างอิงทีมีค่าคงที่..... 11
ภาพที่ 2-5 ค่าสีของแผ่นสีทดสอบ..... 12
ภาพที่ 2-6 ค่าความขุ่นของฟิลเตอร์หมอกที่ใช้สำหรับศึกษาการปรากฏของสี.....12
ภาพที่ 2-7 ระยะไกลที่สุดที่ผู้สังเกตสามารถรับรู้สีได้เมื่อส่วมแว่นตาติดฟิลเตอร์ระดับต่าง ๆ 13
ภาพที่ 2-8 การสะท้อนของแสงที่ตกกระทบ A โดยส่วนต่าง ๆ ของดวงตาเพื่อสร้างเป็น I ไปจนถึง IV ภาพเพอคินเจ.....14
ภาพที่ 2-9 ความดำเชิงแสงของคริสทัลลีนเลนส์ วัดจากคน 6 คน ที่อายุต่างกัน..... 16
ภาพที่ 2-10 แผนภูมิ CIE xy ไตรสติมูลัส.....20
ภาพที่ 3-1 กราฟแสดงความยาวคลื่นที่ถูกดูดกลืนด้วยแว่นจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก..... 24
ภาพที่ 3-2 ห้องทดลอง..... 26
ภาพที่ 3-2 รูปแบบตัวอักษร (font)..... 26
ภาพที่ 3-3 ภาพตัวอย่างภาพที่ใช้เป็นสิ่งเร้า..... 28
ภาพที่ 3-4 ขั้นตอนการทดลอง..... 32
ภาพที่ 4-1 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างความส่องสว่างกับค่าลอการิทึมของความสว่างจากผู้สังเกต 5 คน 33
ภาพที่ 4-2 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างความส่องสว่างกับลอการิทึมของระดับความสว่างจากผู้สังเกต 5 คน.....34
ภาพที่ 4-3 ขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างความส่องสว่างกับลอการิทึมของระดับความสว่าง สำหรับข้อความไร้สี แบบพอสิทิฟ..... 34
ภาพที่ 4-4 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างความส่องสว่างกับลอการิทึมของระดับความสว่างจากผู้สังเกต 5 คน.....35
ภาพที่ 4-5 ขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างความส่องสว่างกับลอการิทึมของระดับความสว่าง..... 35
ภาพที่ 4-6 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างความส่องสว่างกับค่าลอการิทึมของความสว่าง จากผู้สังเกต 5 คน.....37

หน้า

ภาพที่ 4-7 ขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างความส่องสว่างกับค่าลอการิทึมของความสว่าง จากผู้สังเกต 5 คน (JP, NH, PR, SS และ TA)..... 38
ภาพที่ 4-8 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างความส่องสว่างกับค่าลอการิทึมของความสว่าง จากผู้สังเกต 5 คน..... 39
ภาพที่ 4-9 ขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างความส่องสว่างกับค่าลอการิทึมของความสว่าง จากผู้สังเกต 5 คน (JP, NH, PR, SS และ TA)..... 39
ภาพที่ 4-10 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างความส่องสว่างกับค่าลอการิทึมของความสว่างจากผู้สังเกต 5 คน..... 40
ภาพที่ 4-11 ขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างความส่องสว่างกับค่าลอการิทึมของความสว่าง จากผู้สังเกต 5 คน (JP, NH, PR, SS และ TA)..... 41
ภาพที่ 4-12 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างความส่องสว่างกับค่าลอการิทึมของความสว่างจากผู้สังเกต 5 คน..... 42
ภาพที่ 4-13 ขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างความส่องสว่างกับค่าลอการิทึมของความสว่าง จากผู้สังเกต 5 คน (JP, NH, PR, SS และ TA)..... 42

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา

การรับรู้ของมนุษย์ที่ทำให้เราสามารถมองเห็นสิ่งต่าง ๆ ได้นั้น เกิดขึ้นจาก 3 ปัจจัย คือ แสง วัตถุ และระบบการมองเห็นของมนุษย์ ในปัจจัยหลักนี้เมื่อปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงไป ก็จะส่งผลต่อการรับรู้การมองเห็นของเรา อาทิ สภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไปส่งผลต่อสภาวะแสง สภาพร่างการที่เปลี่ยนไป อายุขัยที่เพิ่มขึ้น โรคภัยไข้เจ็บทำให้การรับรู้ของเราเปลี่ยนแปลงไปเช่นเดียวกัน อายุขัยที่เพิ่มขึ้นย่อมส่งผลให้ประสิทธิภาพของร่างกายเสื่อมถอยลง ดวงตาก็เช่นกัน การเสื่อมสภาพของของเลนส์ตาเกิดขึ้นหลายแบบ โรคที่เข้าแทรกซ้อนเป็นอีกปัจจัยที่สัมพันธ์กับประสิทธิภาพการมองเห็น อาการหนึ่งที่พบบ่อยในผู้สูงวัย คือ อาการต้อกระจก (cataract) พบว่าในประเทศไทยมีถึงครึ่งหนึ่งของผู้ที่อายุเกิน 60 ปี มีอาการนี้ และผู้มีอาการต้อกระจกรายใหม่ในประเทศไทยราว 66,000 รายต่อปี [1]

วิทยาการปัจจุบันทำให้มนุษย์มีอัตราเฉลี่ยอายุสูงขึ้น หลายประเทศมีผู้สูงวัยจำนวนมากขึ้น การดูแลผู้สูงวัยต้องใช้ทั้งเวลาและเงินจำนวนมาก อาการต้อกระจกถึงแม้ว่าเป็นอาการที่รักษาได้โดยการผ่าตัด แต่ไม่ใช่ทุกคนจะสามารถเข้ารับการผ่าตัดได้ การช่วยให้ผู้สูงวัยสามารถอยู่ได้ด้วยตนเองอย่างสะดวกสบาย โดยการช่วยอำนวยความสะดวก ให้เหมาะสมกับเขาจึงถือเป็นเรื่องจำเป็น

การมองเห็นสัญลักษณ์ การอ่านหนังสือ การดูภาพถ่าย เทคโนโลยีสมัยใหม่ต่าง ๆ พึ่งพาการแสดงผลบนจอภาพทั้งสิ้น ผลิตภัณฑ์ พยายามเข้าถึงผู้บริโภคทุกกลุ่ม ทำให้ราคาถูกลง ความแพร่หลายความหลากหลายของอุปกรณ์เพิ่มสูงขึ้น จะสังเกตได้ว่าผู้สูงวัยเองก็สามารถเข้าถึง

อุปกรณ์เหล่านี้ได้ง่ายด้วยเช่นกัน เพราะฉะนั้นการแสดงผลบนอุปกรณ์เหล่านี้ จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงกลุ่มผู้สูงวัย เพื่ออำนวยความสะดวกให้เขาสามารถใช้อุปกรณ์เหล่านี้ได้ด้วย

การใช้งานจอภาพ เช่น จอภาพโทรศัพท์ จอภาพคอมพิวเตอร์ จอภาพที่ใช้แสดงผลข้อมูลในที่สาธารณะ อย่างแพร่หลาย ผู้ใช้งานหลายช่วงอายุตั้งแต่ผู้เยาว์ถึงผู้สูงอายุมีโอกาสใช้งานได้ง่ายและบ่อยครั้งขึ้น การปรับจอภาพ ในส่วนของการแสดงขนาดตัวอักษร ความส่องสว่าง และความเปรียบต่างที่เหมาะสมเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ผู้สูงอายุสามารถอ่านตัวอักษรจากจอภาพได้ง่ายขึ้น ทั้งนี้ระดับความสว่างของแสงขณะที่อ่านข้อมูลบนจอภาพมีผลต่อความสามารถในการอ่านจากจอภาพ ผู้สูงอายุจำนวนมากมีความสามารถในการมองเห็นลดลงเนื่องจากต้อกระจกที่เกิดบริเวณเลนส์ตาทำให้ต้องปรับความเปรียบต่างจนกระทั่งอ่านได้ง่าย งานวิจัยนี้เห็นความสำคัญของผู้สูงอายุกลุ่มนี้จึงศึกษาขีดเริ่มเปลี่ยนของความเปรียบต่างของความส่องสว่างระหว่างความส่องสว่างของตัวอักษรและพื้นหลังบนจอภาพชนิดแอลซีดีในระดับความสว่างของแสงที่ต่างกัน 6 ระดับ โดยให้ผู้สังเกตใส่แว่นจำลองสภาพการเป็นต้อแทนการมองเห็นของผู้สูงอายุที่เป็นต้อเทียบกับขีดเริ่มเปลี่ยนเมื่อไม่ใส่แว่นจำลองสภาพการเป็นต้อ ตัวอักษรและพื้นหลังที่ใช้แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ไร้สี และกลุ่มที่มีสี ทั้งนี้ในกลุ่มที่มีสีเฉพาะความส่องสว่างของตัวอักษรที่ถูกปรับเปลี่ยนขณะสังเกต ผลที่คาดว่าจะได้รับ คือ ความเปรียบต่างของความส่องสว่างของข้อความและพื้นหลังจะสูงเมื่อผู้สังเกตสวมแว่นจำลองสภาพการเป็นต้อเทียบกับผู้ที่ไม่สวม เมื่อแสงภายในห้องมีความสว่างสูงการอ่านตัวอักษรก็น่าจะใช้อัตราส่วนความเปรียบต่างของแสงที่มากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาผลของความสว่างในห้องต่อขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างของความส่องสว่างระหว่างตัวอักษรกับพื้นหลังที่แสดงบนจอภาพแอลซีดี สำหรับผู้สูงอายุที่เป็นต้อกระจก

2. เปรียบเทียบขีดเริ่มเปลี่ยนความส่องสว่างระหว่างพื้นหลังกับตัวอักษรของผู้สูงอายุที่เป็นต้อกระจกกับผู้ที่มีสายตาปกติ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาหาขีดเริ่มเปลี่ยนของความเปรียบต่างระหว่างตัวอักษรกับพื้นหลังที่เหมาะสม ที่ทำให้เริ่มอ่านตัวอักษรบนจอภาพแอลซีดีได้ เมื่อระดับความสว่างของห้องเปลี่ยนแปลงไปแตกต่างกันไป 5 ระดับ คือ 1, 10, 100, 300 และ 1000 ลักซ์ และเปรียบเทียบขีดเริ่มเปลี่ยนของความเปรียบต่างระหว่างตัวอักษรกับพื้นหลังที่สามารถทำให้อ่านอักษรบนจอภาพได้ ระหว่างผู้มีสายตาปกติ และผู้สูงวัยที่เป็นต้อกระจก (สวมและไม่สวมแว่นจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก) โดยการศึกษาจะพิจารณาแยกพื้นหลังที่ต่างกันแต่ละสี คือ แดง เหลือง น้ำเงิน และเขียว

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ข้อมูลขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างของความส่องสว่างระหว่างตัวอักษรกับพื้นหลังทั้งที่มีสีและไร้สี ภายใต้ความสว่างในห้อง 5 ระดับ สำหรับผู้สูงอายุที่เป็นต้อกระจกและผู้ที่มีสายตาปกติ

1.5 วิธีดำเนินงานวิจัย

แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 : การปรับเปลี่ยนห้องทดลอง และเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1.1 ปรับห้องทดลองโดยใช้ห้องปิดทึบ

1.2 เตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์และหน้าจอ

1.3 สร้างแผ่นทดสอบบนจอภาพแอลซีดี

ขั้นตอนที่ 2 : การหาขีดเริ่มเปลี่ยน ของความเปรียบต่างของความสว่างของตัวอักษรกับพื้นหลัง

2.1 การหาขีดเริ่มเปลี่ยนของแผ่นทดสอบที่ไร้สี

2.2 การหาขีดเริ่มเปลี่ยนของแผ่นทดสอบที่มีสี

บทที่ 2

ทฤษฎีและวารสารปริทรรศน์

2.1 ระบบการรับรู้ด้านการมองเห็น

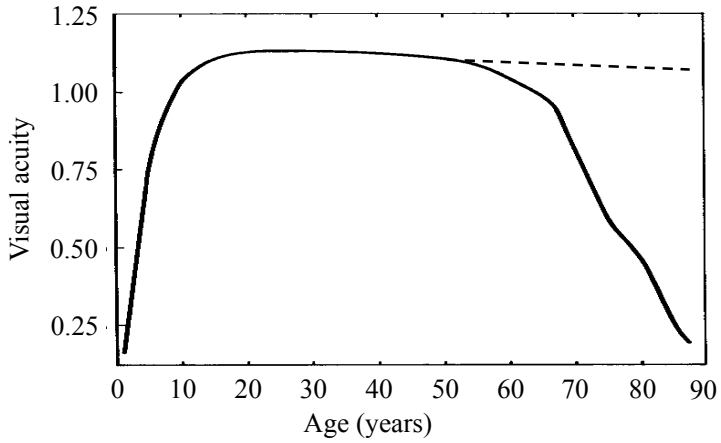
ดวงตาและสมองถือเป็นองค์ประกอบหลักในการรับรู้การมองเห็น หน้าที่ของดวงตา คือ การรับภาพ ส่งไปประมวลผลยังสมอง การรับภาพนั้นประกอบด้วยการที่แสงส่องผ่านเข้าไปยังรูม่านตา ปรับปริมาณให้เข้ามาในบริมาณที่เหมาะสม แสงเดินทางผ่านแก้วตาหรือคริสทัลลีนเลนส์ ซึ่งช่วยรวมแสงให้มาตกกระทบจอตาหรือเรตินาซึ่งมีเซลล์โคนที่ไวต่อแสง ก่อนจะส่งไปประมวลผลที่สมอง จากการอธิบายข้างต้นจะเห็นว่าการทำงานของระบบการมองเห็นของมนุษย์นั้นคล้ายกล้องถ่ายภาพ ซึ่งส่วนของเลนส์มีความสำคัญไม่แพ้ส่วนอื่น ๆ แต่ความแตกต่างอยู่ที่คริสทัลลีนเลนส์ที่ไม่สามารถยื่นออกได้เหมือนกล้อง แต่ใช้การเปลี่ยนแปลงความโค้งของเลนส์แทน โดยที่เส้นใยโซนุล (zonule) ช่วยพยุง และกล้ามเนื้อซิลเลียรี่ (cilliary muscle) มีส่วนช่วยในการปรับความคมชัดของภาพ โดยวิธีขยายตัวให้ใหญ่ขึ้นบังคับให้คริสทัลลีนเลนส์หนาขึ้น มีความโค้งมากขึ้น เมื่อวัตถุที่ต้องการมองเห็นอยู่ในระยะใกล้ และทำกลับกันเมื่อวันถุอยู่ในระยะที่ห่างออกไป เรตินาเป็นเยื่อบาง ๆ หนาประมาณ 1/4 มิลลิเมตร ประกอบไปด้วยเซลล์นับพันล้านเซลล์ ที่เป็นตัวรับแสง 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ เซลล์ร็อดและเซลล์โคน เซลล์ทั้งสองมีหน้าที่ในการรับแสงที่แตกต่างกันออกไป [2]

2.2 การมองเห็นของผู้สูงอายุ

2.2.1 การเปลี่ยนแปลงสายตาในการมองเห็นของผู้สูงอายุ

ความชัดในการมองเห็นถูกกำหนดขึ้นมาเพื่อแสดงถึงรายละเอียดที่เรายังสามารถบอกรายละเอียดได้ ซึ่งหาได้จากส่วนกลับของมุมต่ำสุดที่เราแยกแยะได้ มุมนี้ถูกกำหนดด้วยหน่วยลิปดา (arc minute) ถ้าเราสามารถแยกแยะระยะห่างของเส้นได้ถึงขนาดของมุม 1

ลิปดา (1 arc minute) ความชัดในการมองเห็น จะเท่ากับ 1.0 ซึ่งค่อนข้างดี โดยทั่วไปความชัดในการมองเห็นสูงได้ถึง 1.2 หรือ 1.5 บุคคลที่การได้รับใบอนุญาติในการขับขี่ในญี่ปุ่นจะต้องมีความชัดในการมองเห็นดีกว่า 0.6 สำหรับตาทั้งสองข้าง ความชัดในการมองเห็นมีค่าไม่คงที่ไปตลอดช่วงชีวิต เราไม่ได้มีระบบการมองเห็นที่สมบูรณ์ตั้งแต่แรกเกิดแต่ความสามารถในการมองเห็นเพิ่มขึ้นในแต่ละเดือนของการเป็นทารก อย่างน้อย 3 เดือนจากแรกเกิด ระบบการมองเห็นของเราเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในด้านของการมองเห็นรายละเอียด ความคมชัดของสายตาของเราเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ประมาณ 1.2 เมื่ออายุประมาณ 20 ปี เรามีความสุขกับความคมชัดของสายตาทุกอย่างได้ชัดเจนไม่ว่าใกล้หรือไกล แต่เมื่อเวลาผ่านไปก็จะถึงอายุที่ความคมชัดของสายตาเริ่มลดลงซึ่งอยู่ที่ประมาณ 50 ถึง 60 ปี การลดลงของความคมชัดของสายตาเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากอายุ 40 ปี [3] ทุกคนจะเป็นต้อกระจกในเลนส์ตาเมื่ออายุมากขึ้น การที่ความคมชัดของสายตาลดลงอย่างรวดเร็วนี้มีสาเหตุมาจากต้อกระจก การผ่าตัดต้อกระจกมีความก้าวหน้าขึ้นมาก และผู้สูงอายุสามารถมีความคมชัดของสายตาได้ปกติหลังการผ่าตัด ถ้าเรารวมคนเหล่านี้ไปในข้อมูล กราฟที่ลดลงอย่างรวดเร็วในภาพที่ 2-1 จะเปลี่ยนไป (แกนตั้ง คือ ความคมชัดของสายตา และแกนนอน คือ อายุ) กราฟของแต่ละคนหลังการผ่าตัดอาจเป็นดังเส้นประแม้ว่าอายุจะมากกว่า 50 ปีไปแล้ว ถ้าไม่มีโรคทางตาอย่างอื่น [2]



ภาพที่ 2-1 กราฟความคมชัดของสายตาเทียบกับอายุที่เปลี่ยนแปลงไป

2.2.2 สายตายาวตามอายุ (Presbyopia)

เมื่อเลนส์ตามีอายุมากขึ้นก็จะค่อย ๆ เสียความยืดหยุ่นไป แม้ว่ากล้ามเนื้อซิลเลียรี่จะหดเพื่อทำให้เลนส์หนาขึ้น เลนส์เองไม่สามารถหนาขึ้นได้เพราะความยืดหยุ่นมีน้อยลงเทียบกับเมื่อเวลาหนุ่มสาว ระยะใกล้ที่สุดที่ตาสามารถเห็นชัดจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น เมื่ออายุประมาณ 10 ปี เราสามารถอ่านตัวอักษรที่ระยะ 8 เซนติเมตรได้ แต่เมื่ออายุประมาณ 40 ปี ระยะที่ใกล้ที่สุดที่อ่านได้ชัดคือประมาณ 40 เซนติเมตร แต่เมื่ออายุ 60 ปี ระยะใกล้ที่สุดที่สามารถอ่านได้ชัดอยู่ที่ประมาณ 70 เซนติเมตร

การเปลี่ยนแปลงขนาดรูม่านตา เส้นผ่าศูนย์กลางรูม่านตาสามารถเปลี่ยนขนาดไปตามสภาพแสงโดยเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 2-8 มิลลิเมตร เมื่ออายุเพิ่มขึ้นขนาดรูม่านตาจะเล็กลง เมื่ออายุ 80 ปี ขนาดรูม่านตาเปิดได้สูงสุดเพียง 4 มิลลิเมตร ถึงแม้จะอยู่ในที่มืดเป็นเวลานาน ดังนั้นการอยู่ในสภาพแสงที่มีความสว่างน้อยทำให้ผู้สูงอายุมีการมองเห็นได้ไม่ดีเท่าคนหนุ่มสาว การปรับสายตาเข้ากับสภาพแสงสลัวไม่สามารถทำได้ดี ดังนั้นในสถานที่หรือบริเวณที่มีสภาพแสงต่ำควรมีข้อบังคับให้มีความสว่างพอที่ผู้สูงอายุเห็นได้ดี เช่นในอุโมงค์ตามถนนสายต่าง ๆ หรือตามทางเดินระเบียงของตึกในยามค่ำคืน

2.3 ต้อกระจก

ประชากรที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไป ประสบสภาวะต่อกระจกถึงร้อยละ 70 จากสถิติยังพบว่าตัวเลขจะยิ่งสูงขึ้นเป็นร้อยละ 80 และ 90 เมื่ออายุเกิน 70 และ 75 ปี ตามลำดับ ซึ่งถือเป็นต้อกระจกที่เกิดขึ้นตามวัย โดยการวินิจฉัยต้อกระจก จักษุแพทย์จะทำโดยการใช้แว่นขยาย (Slit Lamp) ตรวจที่บริเวณเลนส์ตา ว่ามีความขุ่นหรือไม่ หากพบความขุ่นบริเวณใดบริเวณหนึ่งหรือทั้งหมด ก็จะวินิจฉัยว่ามีอาการต้อกระจก [1]

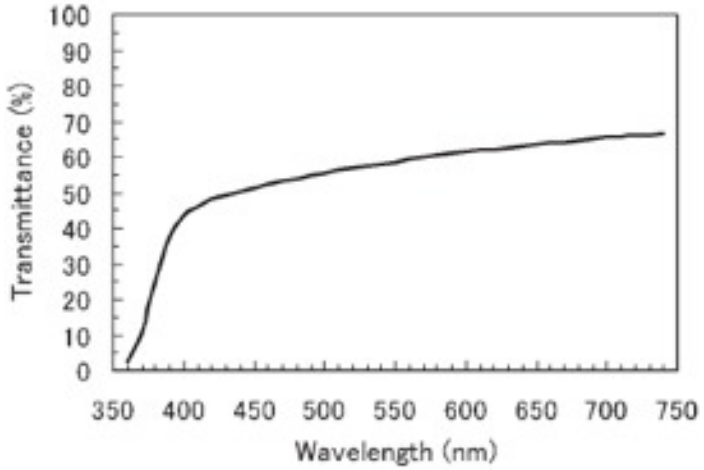
โอบามา [4] ได้ประดิษฐ์แว่นจำลองการเป็นต้อกระจก เพื่อให้นักออกแบบ เข้าใจถึงการมองเห็นของผู้สูงอายุที่เป็นต้อกระจก ออกแบบผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสมเหมาะแก่การใช้งานในผู้สูงอายุที่มีอาการต้อกระจก โอบามาสัมภาษณ์คนไข้จำนวน 48 ราย ที่เคยเป็นต้อกระจกในระดับปานกลาง และผ่าตัดต้อกระจกมาแล้ว 1 ข้าง โดยสัมภาษณ์คนไข้หลังจากการผ่าตัด 3 วัน ว่าภาพที่มองเห็นจากตาข้างที่ถูกผ่าตัดเป็นอย่างไร มีความแตกต่างในการมองเห็นก่อนและหลังการผ่าตัดหรือไม่ อย่างไร ผลที่ได้ทางคณะผู้วิจัยพบว่า มีองค์ประกอบ 3 อย่างที่เปลี่ยนแปลง ได้แก่

1) องค์ประกอบด้านความขุ่น (haze) เช่น เห็นหน้าผู้คนชัดเจนขึ้น อ่านหนังสือและดูโทรทัศน์ได้ง่ายขึ้น

2) องค์ประกอบด้านความสว่าง (brightness) เช่น เห็นสีขาวขาวขึ้นกว่าเมื่อก่อน รับรู้สิ่งต่าง ๆ รอบตัวสว่างขึ้นกว่าเดิม

3) องค์ประกอบด้านสี (color) เช่น เสื้อผ้าที่ผู้คนสวมใส่ ใบไม้และท้องฟ้าสีสดใสขึ้น เปลวไฟจากแก๊ซดูเป็นสีน้ำเงินมากขึ้น

โอบามาจึงประดิษฐ์แว่นจำลองสถานการณ์การเป็นต้อ ที่ประกอบด้วยฟิลเตอร์ 3 ชนิด คือ ความขุ่น ความสว่าง และสี เมื่อใส่ฟิลเตอร์ความสว่างแล้ว จะทำให้ค่าแสงส่องผ่านร้อยละ 63 ส่วนฟิลเตอร์ขุ่นจะมีค่าแสงกระเจิงต่อค่าแสงส่องผ่านเท่ากับร้อยละ 18 เมื่อนำฟิลเตอร์ทั้ง 2 มาวางประกบกันจะได้ผลดังภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 สเปกตรัมการส่องผ่านแสงของฟิลเตอร์ที่ใช้ในแว่นจำลองสถานการณ์การเป็นต้อของโอบามา ในปี 2004

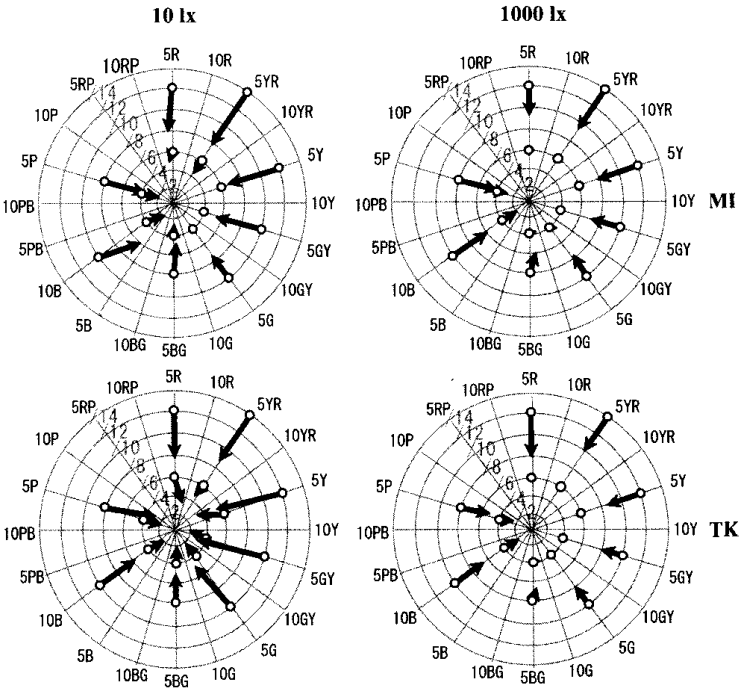
ค่าความขุ่นที่ใช้แสดงถึงการกระเจิงแสงเทียบกับแสงที่ตกกระทบทั้งหมด แสดงได้ดังสมการ 2-1

$$Haze\ Value\ (\%) = \frac{T_d}{T_t \times 100} \qquad \text{สมการ 2-1}$$

ถึงแม้ว่าแว่นจำลองสถานการณ์การเป็นต้อ จะไม่ได้ทำขึ้นตามหลักทฤษฎี แต่เป็นการทำขึ้นโดยการทดลองเปรียบเทียบกับสายตาจริงของผู้ที่เคยเป็นต้อกระจก แต่ก็มีผู้นำไปใช้ในการทดลองและพบว่าได้ผลใกล้เคียงกับสายตาที่เป็นต้อกระจกจริง

อิเคดะ และคณะ [5] ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อใส่แว่นจำลองสถานการณ์การเป็นต้อ โดยในการทดลองทำการถอดฟิลเตอร์ด้านตาขวาออก ให้ผู้ทดสอบสวมใส่ เพื่อสังเกตแผ่นสีมันเซลล์ ให้ผู้ทดสอบเลือกแผ่นสีมันเซลล์ด้านขวามือด้วยตาข้างขวาที่ไม่มีฟิลเตอร์บังเท่านั้น เพื่อให้มีสีตรงกับแผ่นสีมันเซลล์ด้านซ้ายมือด้วยตาด้านซ้ายซึ่งเป็นตาข้างที่ถูกฟิลเตอร์บังไว้ ทำการทดลองใน 2 ระดับความสว่าง 10 และ 1000 ลักซ์ ผลจากผู้ทดสอบ 2 คน แสดงไว้ดังภาพที่ 2-3

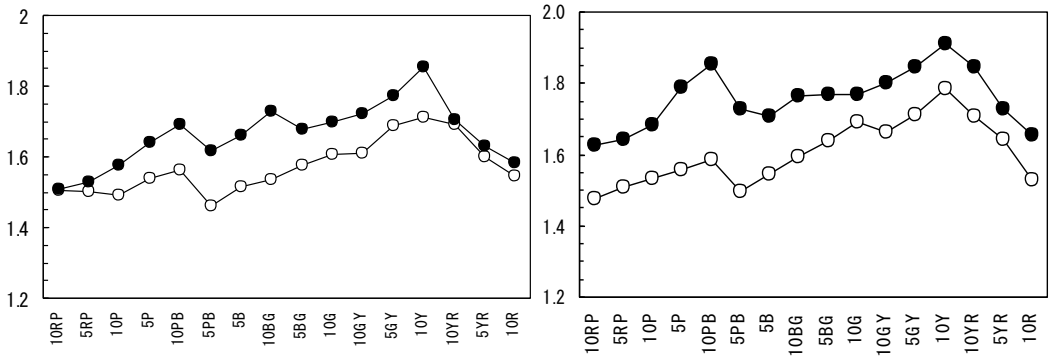
โดยลูกศรชี้ไปทางที่เกิดการเปลี่ยนแปลง จุดเริ่มของลูกศรอยู่ที่ตาเปล่า และปลายของลูกศรอยู่ที่จุดที่เปลี่ยนไปหลังจากใส่แว่นจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก



ภาพที่ 2-3 การปรากฏสีที่เปลี่ยนไปเมื่อส่วมแว่นจำลองสถานการณ์การเป็นต้อ

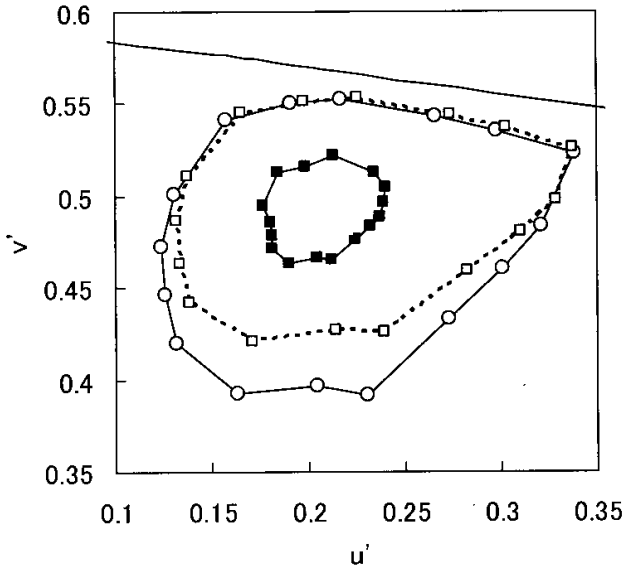
อิเคดะ และคณะ [6] ทดลองการปรับเทียบความสว่าง (Brightness matching) ที่ต่างกันของแผ่นอ้างอิง N8 สี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 22 มิลลิเมตร ให้ผู้ทดสอบปรับความสว่างของห้องที่มีแผ่นสีทดสอบวางอยู่ ให้เห็นความสว่างของแผ่นสีทดสอบเท่ากับแผ่นอ้างอิงซึ่งอยู่ในห้องเดียวกับผู้ทดสอบ แม้ว่าการวางแผ่นสีทั้งแผ่นสีทดสอบและแผ่นสีอ้างอิงจะอยู่ต่างห้องผู้วิจัยพยายามทำให้ผู้ทดสอบรู้สึกเหมือนแผ่นสีทั้ง 2 อยู่ในห้องเดียวกัน ห้องที่ผู้ทดสอบนั่งอยู่มีความสว่าง 500 ลักซ์ แผ่นอ้างอิง N8 มีค่าความสว่าง 93.3 cd/m^2 หรือ 1.97 ในหน่วยลอการิทึม ผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 2-4 ซึ่งสามารถอธิบายสีของแผ่นสีทดสอบมีส่วนต่อการรับรู้ของผู้ทดสอบ ความสว่าง และค่าความส่องสว่าง (luminance) ที่ผู้ทดสอบรับรู้มีค่าต่ำกว่าความส่องสว่างของแผ่นอ้างอิง แต่ในภาพจะเห็นว่าความส่องสว่างของแผ่นสีทดสอบจะเพิ่มขึ้นเมื่อใส่แว่นจำลอง

สถานการณ์การเป็นต้อ ซึ่งอาจตีความได้ว่าความอิ่มตัวของสีแผ่นสีทดสอบลดลงเมื่อใส่แว่นจำลองสถานการณ์การเป็นต้อ ในภาพที่ 2-4 ภาพขวา อธิบายเพิ่มเติมว่าตาเป็นต้อจะได้รับความอิ่มตัวสีที่ต่ำลงและต้องการความส่องสว่างที่สูงขึ้น



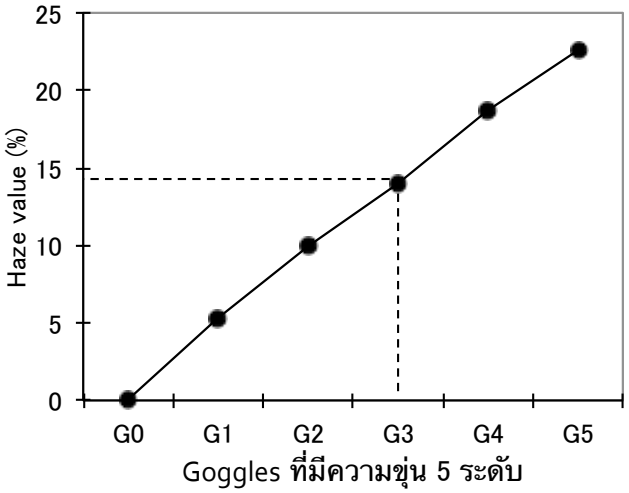
ภาพที่ 2-4 ความส่องสว่าง (luminance) ของแถบสีที่ให้ความสว่างเท่ากับแผ่นอ้างอิงทีมีค่าคงที่
ภาพซ้าย ใส่แว่นจำลองสถานการณ์การเป็นต้อ (●) เปรียบเทียบกับตาปกติ (○)
ภาพขวา ตาเป็นต้อกระจก (●) เปรียบเทียบกับตาปกติ (○)

โอบามา และคณะ [7] สรุปผลของการกระเจิงแสงเนื่องจากต้อกระจก มีลักษณะดังภาพที่ 2-5 เมื่อมีอาการต้อกระจกสภาวะแสงภายนอกจะกระเจิงเข้าสู่ตาเราในทุกทิศทาง ส่งผลต่อความบริสุทธิ์ของสี วงกลมเปิดในภาพที่ 2-5 แสดงให้เห็นว่าเมื่อวัดสีปกติโดยไม่สวมแว่นจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจกให้กับเครื่องวัดสี ความอิ่มตัวของสีจะสูงกว่าใส่แว่นจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจกมาก ซึ่งได้ผลดังแสดงโดยใช้สัญลักษณ์สี่เหลี่ยมทึบ และเมื่อสวมท่อหน้าแว่นจำลองสถานการณ์การเป็นต้อ ที่สวมให้กับเครื่องวัดสี ซึ่งเปรียบเหมือนการเป็นต้อกระจก แต่ตัดผลของแสงจากสภาวะแวดล้อมรอบข้างออกไป ผลเป็นไปตามที่คาดคือ เมื่อไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก ความอิ่มตัวของสีจะกลับเข้าใกล้สภาวะปกติ แสดงให้เห็นว่าแสงในสภาวะแวดล้อมมีผลต่อความอิ่มตัวของสีในผู้ที่มีอาการต้อกระจก



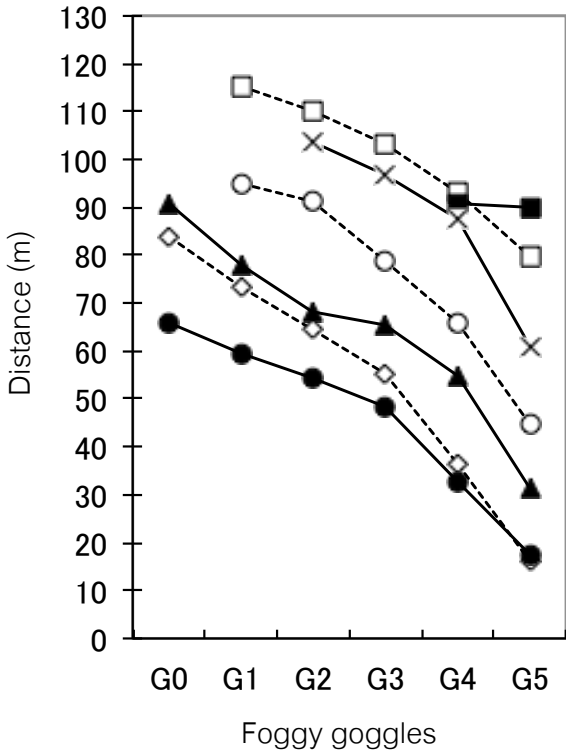
ภาพที่ 2-5 ค่าสีของแผ่นสีทดสอบเมื่อไม่มีแสงรอบข้าง (○) มีแสงรอบข้าง (■) มีแสงในสภาวะแวดล้อมแต่ตัดผลของแสงออกโดยการใส่ท่อ (□)

โอบามา และคณะ [8] ทำฟิลเตอร์หมอก ที่มีความขุ่น 5 ระดับจากน้อยไปมาก G1, G2, G3, G4 และ G5 ส่วน G0 เป็นฟิลเตอร์ที่ไม่มีความขุ่น (ดังภาพที่ 2-6) เพื่อศึกษาผลของค่าความขุ่นต่อความสามารถในการมองเห็น



ภาพที่ 2-6 ค่าความขุ่นของฟิลเตอร์หมอกที่ใช้สำหรับศึกษาการปรากฏของสี

แว่นตาที่ใช้ทดสอบเป็นแว่นที่ใส่ฟิลเตอร์หมอกเท่านั้น โดย G0 มีค่าความขุ่นเป็น 0 ส่วน G3 เป็นแว่นที่ฟิลเตอร์มีระดับความขุ่นเช่นเดียวกับแว่นจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก การทดลองทำในวันที่อากาศดีแสงแดดจัด ทดสอบโดยวางแผ่นสีสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 20 เซนติเมตร ไว้ใต้ร่มไม้ใหญ่ ให้ผู้ทดสอบส่วมแว่นตาที่มีฟิลเตอร์หมอกระดับต่าง ๆ ยืนอยู่ด้านหน้าแผ่นสี แล้วจึงถอยหลังไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงระยะไกลที่สุดที่เขาสามารถรับรู้สีของแผ่นสีนั้นได้ จากนั้นเปลี่ยนแว่นตาที่มีระดับความขุ่นเปลี่ยนไป รวมถึงไม่สวมแว่นตาเลย แล้วปรับระยะไปจนกว่าจะไม่สามารถรับรู้สีได้ ทำซ้ำกับสีอื่น ๆ ผลของการทดสอบของผู้ทดสอบหญิงอายุ 42 แสดงในภาพที่ 2-7



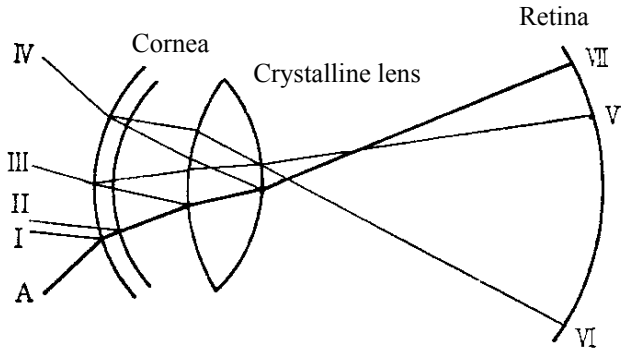
ภาพที่ 2-7 ระยะไกลที่สุดที่ผู้สังเกตสามารถรับรู้สีได้เมื่อส่วมแว่นตาติดฟิลเตอร์ระดับต่าง ๆ

ในภาพแสดงผลเมื่อใช้แผ่นสี 7 สี จากทั้งหมด 14 สี แกน x แสดงระดับความขุ่นของแว่น แกน y แสดงระยะที่ไกลที่สุดที่รับรู้สีได้ ซึ่งจะลดลงเมื่อความขุ่นของแว่นมากขึ้น ยิ่งขุ่นมากระยะทางที่รับรู้สีก็ยิ่งน้อยลงนั้นเอง

2.4 การส่องผ่านแสงของเลนส์แก้วตา

ดวงตามีหน้าที่ทำให้แสงภายนอกตกกระทบบนเรตินาได้ดี การที่จะทำให้เกิดภาพที่ดีนั้น ดวงตาต้องประกอบด้วย กระจกตา (corner) เอเควียส ฮิวเมอร์ (aqueous humor) คริสทัลลีนเลนส์ และวิเทรียสฮิวเมอร์ (vitreous humor) แสงที่มาจากภายนอกจะหักเหอย่างหยาบด้วยกระจกตา และคริสทัลลีนเลนส์จะช่วยในการปรับละเอียดเพื่อให้แสงตรงไปสู่เรตินาอย่างสมบูรณ์ นอกจากการทำงานที่ดีแล้วองค์ประกอบเหล่านี้ความมีความโปร่งแสงเพื่อให้สเปกตรัมของแสงผ่านได้ดีในทุกช่วงคลื่นที่ใช้ในการมองเห็น แต่เมื่ออายุมากขึ้นความโปร่งแสงของคริสทัลลีนเลนส์จะลดลง

เซดและวีลี [9] ศึกษาการสะท้อนกลับของภาพบนดวงตามนุษย์ โดยใช้การศึกษาทางกายภาพ โดยใช้แสงที่สะท้อนจากคริสทัลลีนเลนส์ เมื่อเรามองไปที่ตาของเพื่อนเรา เราจะมองเห็นภาพบนดวงตานั้น ภาพนี้เกิดขึ้นจากกระจกตาที่ทำงานเหมือนกระจกเว้าอธิบายได้ด้วยภาพที่ 2-8



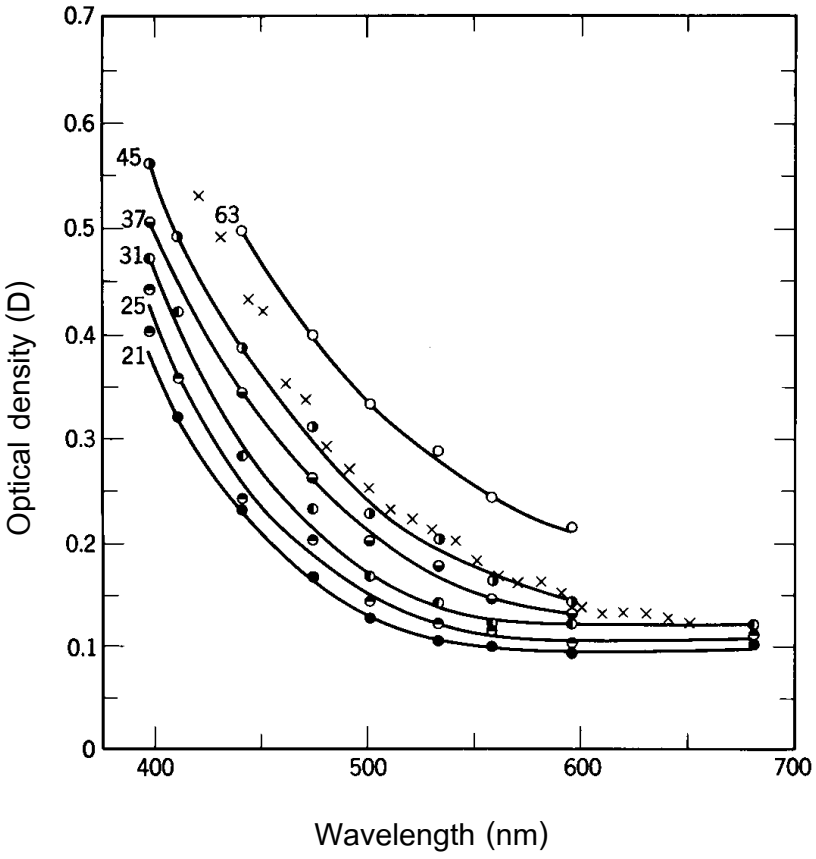
ภาพที่ 2-8 การสะท้อนของแสงที่ตกกระทบ A โดยส่วนต่าง ๆ ของดวงตาเพื่อสร้างเป็น I ไปจนถึง IV ภาพเพอคินเจ

แสง A เข้าสู่ดวงตา แสงร้อยละ 2.5 จะสะท้อนกลับที่ผิวหน้าของดวงตา ซึ่งคือ I ทำให้เกิดภาพเสมือนของวัตถุ ซึ่งเราเรียกภาพนี้ว่าภาพเพอคินเจ แสงที่เหลือยังเดินทางต่อเข้าไป ภาพในดวงตา มีการสะท้อนกลับบริเวณที่สองดังที่แสดงด้วย II ซึ่งทำให้เกิดภาพเพอคินเจภาพที่สอง ซึ่งภาพนี้เราอาจไม่เห็นเนื่องจากบริมาณแสงสะท้อนกลับน้อยมาก แสงเดินทางต่อไปที่ผิวหน้าของ คริสทัลลีนเลนส์เกิดการสะท้อนกลับดังแสดงด้วย III เกิดเป็นภาพเพอคินเจภาพที่สาม แสงที่คงเหลือยังเดินทางต่อไป และเกิดการสะท้อนอีกที่ด้านในของคริสทัลลีนเลนส์ทำให้เกิดภาพเพอคินเจภาพที่สี่ ดังแสดงด้วย IV จนแสงที่เหลือสุดท้ายเดินทางไปสู่เรตินา (retina) เซดและวีลีใช้แสงสีโมโนโครมาติก (monochromatic) 9 สี ถ่ายภาพที่สามและสี่ของเพอคินเจ วัดความดำของฟิล์มด้วยเครื่องมือวัดความดำ ซึ่งแสดงผลดังภาพที่ 2-9 ความดำ D ของคริสทัลลีนเลนส์ตามแนวแกน Y คำนวณจากสมการที่ 2-4

$$D = \log\left(\frac{I_i}{I_o}\right) = \log\left(\frac{1}{T}\right) \qquad \text{สมการที่ 2-4}$$

โดยที่ I_i และ I_o คือ ความเข้มของแสงตกกระทบ แสงที่ผ่านไปตามลำดับ

T คือ การส่องผ่าน ถ้าครึ่งหนึ่งของแสงที่ตกกระทบส่องผ่าน เราจะได้ D เท่ากับ 0.3 เป็นต้น



ภาพที่ 2-9 ความดำเชิงแสงของคริสทัลลีนเลนส์ วัดจากคน 6 คน ที่อายุต่างกัน [9]

แกน X คือ ความยาวคลื่นของแสงที่ตกกระทบคริสทัลลีนเลนส์กราฟแต่ละเส้นแสดงถึงผู้สังเกตที่อายุต่างกัน 6 คน สัญลักษณ์กากบาท (X) ในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยได้จากการสกัดคริสทีลลีนเลนส์ของคนอายุ 48 และ 53 ปี ซึ่งวัดจากการทำเทียม [10] ในขณะที่กราฟทั้ง 6 เส้น ได้จากการวัดโดยตรงจากผู้สังเกต กราฟทุกเส้นมีความดำเพิ่มขึ้นที่ความยาวคลื่นสั้น การเพิ่มของความดำบนฟิล์มนี้หมายถึงการลดลงของแสงนั้นเอง ความดำที่ได้จากฟิล์มที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร จากคนอายุ 63 ปี สูงกว่าจากคนอายุ 21 ปี ถึง 0.27 เท่า สังเกตว่าผู้สูงอายุจะเห็นภาพมืดลง โดยเฉพาะในช่วงแสงความยาวคลื่นต่ำนี้มีผลทำให้การการมองเห็นวัสตถุสีน้ำเงินดูเข้มขึ้นหรืออาจเป็นสีดำได้หากสภาวะแสงมีความสว่างน้อย

2.5 **ความเปรียบต่างความส่องสว่าง** (luminance contrast)

ความเปรียบต่างของรายละเอียดที่เรามองเห็นต้องมีค่าสูงกว่าขีดเริ่มเปลี่ยน (threshold) เพื่อให้เห็นได้ชัดเจน ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลว่าเห็นได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับ สมบัติของภาพเอง และ สมบัติของสิ่งที่แสดงภาพ เช่น จอภาพ ในที่นี้จะกล่าวเพียงความเปรียบต่างความสว่างเท่านั้น การกำหนดความเปรียบต่างความส่องสว่าง ทำได้หลายวิธี ขอนำเสนอ 2 วิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่

2.5.1 ความเปรียบต่างมิเคลสัน (Michelson contrast)

วิธีนี้โดยทั่วไปใช้ในการศึกษาทางจิตวิทยาฟิสิกส์ (psychophysical studies) และ วิทยาศาสตร์ทางภาพ (imaging science) โดยเฉพาะเมื่อกำหนดความเปรียบต่างความสว่างของแพทเทิร์นที่มีความซ้ำ เช่น แพทเทิร์นไซน์เวฟ เกรตติ้ง ในกรณีความเปรียบต่างของบริเวณที่มีความส่องสว่างสูงสุดกับบริเวณที่มีความส่องสว่างต่ำที่สุด หารด้วยผลรวมความส่องสว่างของสองบริเวณนี้ ดังแสดงในสมการที่ 2-2

$$C = \frac{(L_{\max} - L_{\min})}{(L_{\max} + L_{\min})} \qquad \text{สมการ 2-2}$$

ค่า L_{max} และ L_{min} คือ ค่าความส่องสว่างสูงสุดและต่ำสุดของสีของบริเวณฉากหน้า และพื้นหลัง โดยค่า C จะมีช่วงอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 [11]

2.5.2 ความเปรียบต่างของวีเบอร์ (Weber contrast)

ส่วนใหญ่ใช้เพื่อหาค่าความเปรียบต่างความส่องสว่างของแพทเทิร์นที่ไม่มีความซ้ำ เช่น ตัวหนังสือกับพื้นหลัง ตัวหนังสืออาจมีสีเข้มบนพื้นหลังขนาดใหญ่ การคำนวณความเปรียบต่างความส่องสว่างด้วยสมการของวีเบอร์ ซึ่งคือ ความแตกต่างของความส่องสว่างสูงสุด

กับความส่วางต่ำสุดหารด้วยความส่องสว่างสูงสุด ดังสมการที่ 2-3 ซึ่งเป็นสมการที่ใช้ในการวิจัยนี้

$$C = \frac{(L_{max} - L_{min})}{L_{max}} \qquad \text{สมการที่ 2-3}$$

ค่า L_{max} และ L_{min} คือ ค่าความส่องสว่างสูงสุดและต่ำสุดของสีของบริเวณฉากหน้า และพื้นหลัง

2.5.3 การนำเสนอความเปรียบต่าง

ความเปรียบต่างจะถูกนำเสนอ เป็นร้อยละ จาก 0-100

ร้อยละ 0 หมายถึง ไม่มีขอบระหว่างพื้นที่สองบริเวณ

มากกว่าร้อยละ 0 หมายถึงมีขอบระหว่างสองบริเวณ ถึงแม้ว่าจะมองเห็นหรือไม่ก็ตาม

2.5.4 ขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่าง (contrast threshold)

โดยทั่วไปการหาขีดเริ่มเปลี่ยนสำหรับสิ่งเร้าหนึ่ง ๆ คือ การหาขีดเริ่มเปลี่ยนต่ำสุด ในงานวิจัยเชิงคลีนิกจะแสดงขีดเริ่มความเปรียบต่าง เป็นความไวต่อความเปรียบต่าง ซึ่งความไวจะเป็นส่วนกลับของขีดเริ่มเปลี่ยน เรากล่าวได้ว่าคนที่มีขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างต่ำมีความไวต่อความเปรียบต่างสูง และคนที่มีขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างสูง มีความไวต่อความเปรียบต่างต่ำ

ขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่าง [2] คือ ปริมาณความเปรียบต่างที่คน ๆ หนึ่งต้องการเพื่อให้มองเห็นเป้าหมาย ซึ่งสามารถวัดได้หลายรูปแบบ ในการตัดสินการมองเห็น เช่น

- การตัดสินแบบง่าย : ผู้สังเกตเห็นเป้าหมายหรือไม่

- การตัดสินแบบบอกความแตกต่าง : ผู้สังเกตบอกความแตกต่างของพื้นที่ 2 บริเวณได้หรือไม่

- การตัดสินแบบรู้จำ : ผู้สังเกตคุ้นเคยกับสิ่งที่มองเห็นหรือไม่

- การตัดสินแบบบอกลักษณะ : ผู้สังเกตทราบหรือไม่ สิ่งที่เห็นคืออะไร

2.6 ระบบการวัดสี CIE

ระบบการวัดสี CIE ถูกพัฒนาขึ้นในปี พ.ศ. 2474 โดย Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) จากทฤษฎีการมองเห็นสีไตรโครมาติก มีค่าไตรสติมูลัส XYZ ซึ่งเป็นค่าที่ใช้เพื่อระบุสีของวัตถุหนึ่ง ๆ ว่ามีสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน อยู่มากน้อยเพียงใด ระบบการวัดสี CIE มีแนวคิดที่ว่า สีที่ตามนุษย์มองเห็นนั้นประกอบขึ้นจาก 3 ปัจจัย คือแหล่งกำเนิดแสง วัตถุมีสี และผู้สังเกตุการณ์ สามารถคำนวณได้จากสมการ 2-4 [12]

$$X = k\sum P(\lambda)\, r(\lambda)\, x(\lambda)\, \Delta\lambda$$

$$Y = k\sum P(\lambda)\, r(\lambda)\, y(\lambda)\, \Delta\lambda \qquad \text{สมการ 2-4}$$

$$Z = k\sum P(\lambda)\, r(\lambda)\, z(\lambda)\, \Delta\lambda$$

โดยค่าไตรสติมูลัส ที่คำนวณในช่วงความยาวคลื่นแสงที่สามารถมองเห็นได้ (380-830 นาโนเมตร)

k คือ ค่านอร์มอลไลซ์ซึ่งมีค่าเท่ากับ $100/\Sigma\, P(\lambda)\, y(\lambda)\, \Delta\lambda$

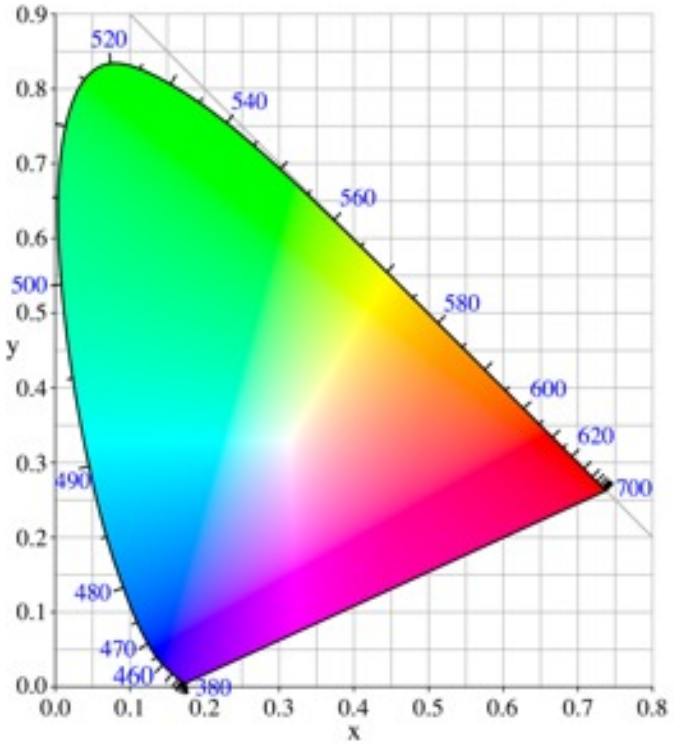
$P(\lambda)$ คือ ค่าการกระจายพลังงานของแสงทีความยาวคลื่นต่าง ๆ

$r(\lambda)$ คือ ค่าแฟกเตอร์การสะท้อนแสงในสเปกตรัมที่ความยาวคลื่นนั้น ๆ

$x(\lambda)$, $y(\lambda)$, $z(\lambda)$ คือ ค่าฟังชันการเปรียบเทียบที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ

$\Delta\lambda$ คือ ระยะห่างของความยาวคลื่น เพื่อระบุว่าให้ทำการคำนวณที่ความยาวคลื่นใด

แม้จะมีค่า CIE ไตรสติมูลัส เป็นค่า x ,y ,z แต่ค่านี้ยังไม่อิงกับการมองเห็นของมนุษย์ ซึ่งลักษณะสีที่มอง จากภาพที่ 2-10 เมื่อสีมีระยะการเปลี่ยนแปลงหนึ่งจะไม่สัมพันธ์กับระยะการเปลี่ยนแปลงที่ตามนุษย์มองเห็นได้



ภาพที่ 2-10 แผนภูมิ CIE xy ไตรสติมูลัส [12]

เห็นโดยตามนุษย์จะแบ่งแยกโดยลักษณะของ สีสัน (hue) ความสว่าง (lightness) และความอิ่มตัวสี (chroma) ดังนั้นจึงต้องมีการปรับค่าให้สัมพันธ์กัน จึงมีการคำนวณ CIE Chromaticity Coordinates โดยแปลงค่าดังสมการ 2-5

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z} \qquad \text{สมการ 2-5}$$

$$z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$

โดย $x+y+z = 1$

เมื่อนำ x และ y ไปสร้างกราฟจะได้แผนผัง CIE Chromaticity Diagram ดังภาพที่ 2-10 ซึ่งจะบอกเพียงสีสัน และความอิ่มตัวสีเท่านั้น และถ้าต้องการบอกความสว่างของสี ต้องกำหนดด้วยค่า CIE ไตรสติมูลัส Y ดังนั้นการจะระบุสีได้ครบถ้วนต้องระบุค่า x , y และ Y แต่ระบบนี้ในทางปฏิบัติพบว่าสายตามนุษย์มองเห็นความแตกต่างของสี ณ จุดต่าง ๆ บนแผนภูมิ CIE ไตรสติมูลัส ได้ไม่เท่ากัน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1 จอภาพแอลซีดี

ยี่ห้อ / รุ่น : Eizo / Height Adjustable Stand for Flexscan L767

ขนาด : 19” TFT colour LCD panel

ความละเอียด : 1024 x 768 pixels True Color

คุณภาพสีสูงสุด : 32 bit

ความห่างของจุด : 0.29 มิลลิเมตร

ความสว่างสูงสุด : 250 cd/m^2

อัตราส่วนความเปรียบต่าง : 500 : 1

3.2 เครื่องวัดสีและความสว่าง

ยี่ห้อ / รุ่น : Konica Minolta / CS-100A

Acceptance angle : 1°

Angle of view : 9° with 1° measurement area indication

ช่วงการวัด : FAST : 0.01 to 299,000cd/m2 (0.01 to 87,530fL);

SLOW : 0.01 to 49,900cd/m2 (0.01 to 14,500fL)

Luminance accuracy : + 2 %, + 1 digit

Chromaticity accuracy : ±0.004 (x,y)

Luminance repeatability : + 0.2 %, + 1digit

3.3 เครื่องวัดความสว่าง

ยี่ห้อ / รุ่น : Konica Minolta / CL-200

ช่วงการวัด : 0.1 to 99,990 lx

Accuracy : Ev: ±2%, ±1

ความสามารถในการวัดซ้ำ : Ev: 0.5% ±1

Temperature drift : Ev: ±3%, ±1

Humidity drift : Ev: ±3%, ±1

3.4 โปรแกรม

Adobe Reader 9.0

Adobe Photoshop 10.0

3.5 เครื่องคอมพิวเตอร์

Intel® Xeon® Processor 5150

1024 MB of RAM

ATI Radeon™ HD 4000

Microsoft Windows XP (SP2)

3.6 เครื่องวัดสีจอภาพ

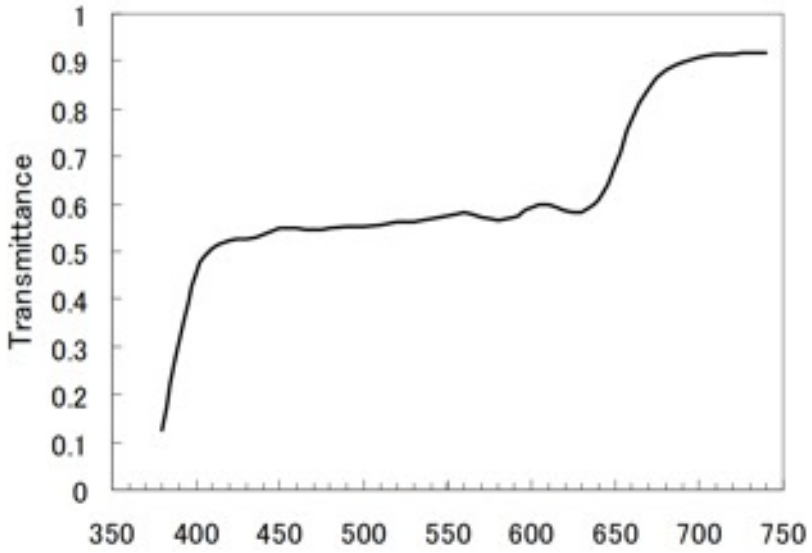
ยี่ห้อ / รุ่น : Datacolor / Spyder 3

3.7 แว่นจำลองสถานการณ์การเป็นต้อ (simulated cataract goggles)

แว่นจำลองสถานการณ์การเป็นต้อ มีสมบัติที่สามารถกำหนด ความขุ่น (haze) , สี (color) และ ความสว่าง (brightness) ที่ทำให้ใกล้เคียงกับลักษณะการมองเห็นของผู้ที่เป็นต้อให้มากที่สุด

โดยแบ่งเป็นฟิลเตอร์ 2 ชนิด

- ฟิลเตอร์สี เป็นตัวกำหนดความเข้มของแสง และสีของแสงที่ผ่านชั้นฟิลเตอร์ ซึ่งในการทดสอบได้เลือกใช้ฟิลเตอร์ซึ่งกรองแสงร้อยละ 40 และจำกัดความยาวคลื่นโดยเฉพาะช่วงความยาวคลื่นสั้นให้ผ่านฟิลเตอร์ได้น้อย (ดังภาพที่ 3-1)



ภาพที่ 3-1 กราฟแสดงความยาวคลื่นที่ส่องผ่านแว่นจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก

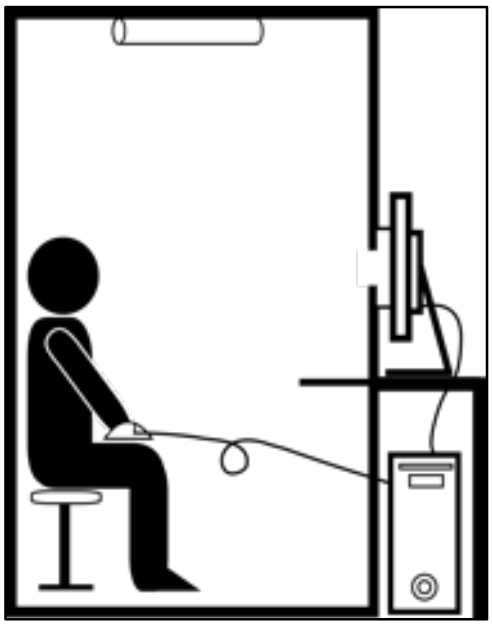
- ฟิลเตอร์ขุ่น เป็นฟิลเตอร์ที่ช่วยให้แสงกระเจิง เพื่อให้ภาพที่มีความขุ่นคล้ายกับที่ผู้เป็นต้อกระจกรับรู้

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

งานวิจัย แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน คือ

3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมห้องทดสอบ

ห้องทดลองสร้างเป็นห้องปิดทึบขนาด ความกว้าง 1 เมตร ความลึก 1.5 เมตร ความสูง 2.4 เมตร (ดังภาพที่ 3-2) ภายในห้องตกแต่งด้วย ของเล่น หนังสือ รูปภาพ และแผ่นตกแต่งฝาฝนัง ให้คล้ายสภาพห้องปกติ เพื่อให้ผู้ทำการทดลองรู้สึกผ่อนคลาย ไม่ตึงเครียด หรืออึดอัด ขณะทำการทดลอง ให้ผู้สังเกตนั่งห่างจากจอภาพ 1.3 เมตร ผนังด้านหน้าของผู้สังเกตเจาะช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 8 เซนติเมตร ความสูงระดับเดียวกับสายตาผู้ทดลอง ซึ่งสูงจากพื้น 1.3 เมตร ด้านหลังของช่องเปิดนี้ ได้วางจอภาพชนิดแอลซีดีไว้เพื่อแสดงสิ่งเร้าที่ใช้ในการทดลอง ระหว่างช่องเปิดกับจอภาพมีกรอบป้องกันแสงรบกวนจากภายนอก และ ผนังด้านบนของห้องติดหลอดฟลูออเรสเซนต์ จำนวน 6 หลอด อุณหภูมิสีของหลอดฟลูออเรสเซนต์ คือ 6500 เคลวิน ทั้ง 6 หลอดสามารถปรับระดับความสว่าง เพื่อให้ความสว่างในห้องมีความแตกต่างกัน 5 ระดับ ดังนี้ 1, 10, 100, 300 และ 1000 ลักซ์ วัดความสว่างภายในห้องโดยใช้ อุปกรณ์วัดความสว่าง Konica Minolta CL-200 โดยวางบนชั้นวางด้านหน้าช่องเปิดภายในห้อง



ภาพที่ 3-2 ห้องทดลอง

3.2.2. ขั้นตอนการเตรียมสิ่งเร้า

สิ่งเร้าสร้างจากคอมพิวเตอร์ นำแสดงผลบนจอภาพชนิดแอลซีดี ซึ่งอยู่ด้านหลังช่องเปิดของห้องทดสอบ ผู้สังเกตจะเห็นจอภาพที่แสดงสิ่งเร้าเพียงบางส่วน ภายในช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 8 เซนติเมตรเท่านั้น สิ่งเร้าบนจอภาพเป็นคำที่เกิดจากการผสมของตัวอักษรภาษาอังกฤษ จากอักษรจำนวน 6 ตัวอักษร คือ a, e, p, s, l และ t เป็นคำที่อ่านออกเสียงและมีความหมาย ได้ทั้งสิ้น 6 คำ คือ plates, palest, petals, staple, pleats และ pastel แสดงผลด้วยรูปแบบตัวอักษร HelveticaNeueLTCom ขนาด 52 พอยท์ (ดังภาพที่ 3-2)

staple

ภาพที่ 3-2 รูปแบบตัวอักษร (font)

เหตุที่เลือกใช้รูปแบบตัวอักษรนี้ เนื่องจากรูปแบบนี้มีความกว้างของเส้นอักษรสม่ำเสมอกันตลอดทั้งตัวอักษร ความกว้างของตัวอักษรแต่ละตัวก็มีขนาดเท่าหรือใกล้เคียงกันทั้งสิ้น ทำให้การกำหนดขนาดมุมของการมองเห็น ได้เท่ากับ 51.6 ลิปดา ในทุกคำที่ผสม ภาพสิ่งเร้าซึ่งประกอบด้วยตัวอักษรที่ประกอบเป็นคำแสดงอยู่บนพื้นหลังที่มีสีแตกต่างกัน โดยแบ่งความแตกต่างของพื้นหลังเป็น 2 ชนิด (ดังภาพที่ 3-3)

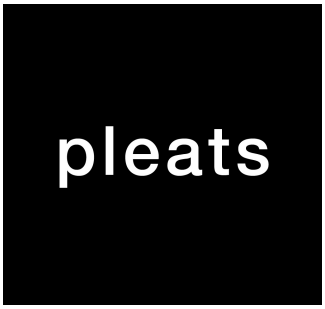
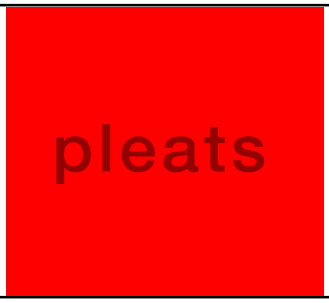
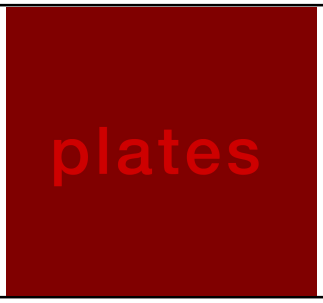
- แบบไร้สี (achromatic) ใช้พื้นหลังของตัวอักษรและตัวอักษรเป็นความสว่างของแสงจากจอภาพเท่านั้น

- แบบมีสี (chromatic) ใช้พื้นหลังของตัวอักษรและตัวอักษรเป็นสีเดียวกัน ใน 1 ชุดจะมีสีพื้นหลังเป็นสีเดียวกันทั้งหมด สีที่ใช้เป็นพื้นหลังมีด้วยกัน 4 สี คือ แดง (x = 0.642, y = 0.340), เขียว (x = 0.284, y = 0.592), น้ำเงิน (x = 0.141, y = 0.073) และ เหลือง (x = 0.426, y = 0.490) การวัดค่าสีทำหลังจากได้มีการคาลิเบรทจอภาพแล้ว

การแสดงผลของสิ่งเร้าแบ่งย่อยได้ เป็น 2 ประเภท ได้แก่

- ความเปรียบต่างชนิดบวก (positive contrast, C+) คือ การแสดงผลแบบเริ่มจากตัวอักษรที่มีสีและความสว่างเหมือนกับพื้นหลัง และหลังจากนั้นลดความสว่างของตัวอักษรลงตามลำดับ

- ความเปรียบต่างชนิดลบ (negative contrast, C-) คือ การแสดงผลแบบเริ่มจากตัวอักษรที่มีสีและความสว่างเหมือนกับพื้นหลัง และหลังจากนั้นเพิ่มความสว่างของตัวอักษรขึ้นตามลำดับ

	positive contrast (C+)	negative contrast (C-)
แบบไร้สี		
แบบมีสี		

ภาพที่ 3-3 ภาพตัวอย่างภาพที่ใช้เป็นสิ่งเร้า

จอภาพที่ใช้ในการแสดงผล เป็นจอแอลซีดี ของ EIZO และได้คาลิเบรทจอภาพด้วย Datacolor Sdyder 3 โดยตั้งค่าความสว่างของจอภาพร้อยละ 60 ความเปรียบต่างที่ร้อยละ 80 อุณหภูมิสี 6500 เคลวินแสดงผลด้วยโปรแกรม Adobe Reader บนระบบปฏิบัติการไมโครซอฟต์ วินโดวส์ (Microsoft Windows)

3.2.3 ขั้นตอนการหาขีดเริ่มเปลี่ยน

ผู้ทดสอบมองเห็นสี และ สายตาปกติ รวมทั้งความรู้ความเข้าใจภาษาอังกฤษและมีคะแนนสอบ CUTEP มากกว่า 500 คะแนน ผู้สังเกตทั้งสิ้น 5 คน ดังนี้ JP (ผู้หญิง อายุ 32 ปี), NH (ผู้หญิง อายุ 23 ปี), TA (ผู้หญิง อายุ 23 ปี), SS (ผู้หญิง อายุ 25 ปี) และ PR (ผู้ชาย อายุ 27 ปี)

- ห้องทดสอบ

3.2.3.1. ผู้สังเกตนั่งในห้องทดสอบห่างจากจอภาพ 1.3 เมตร ระดับสายตาอยู่ในระดับเดียวกับช่องเปิดด้านหน้าผู้ทดสอบ

3.2.3.2 เปิดแผ่นทดสอบบนจอภาพแอลซีดี ที่ประกอบด้วยคำศัพท์ที่เกิดจากการสลับตัวอักษร a, e, p, s และ t ให้เกิดเป็นคำที่มีความหมายจำนวน 6 คำ วางไว้กลางช่องเปิด โดยที่สีและความสว่างของพื้นหลังในแต่ละแผ่นที่ใช้ในชุดทดสอบเดียวกันไม่มีการเปลี่ยนแปลง จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเฉพาะเพียงความสว่างของตัวอักษรเท่านั้น

- การหาขีดเริ่มเปลี่ยน ของความเปรียบต่างของความสว่างของตัวอักษรกับพื้นหลัง ขั้นตอนนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนตามชนิดแผ่นทดสอบ คือ แผ่นทดสอบแบบไร้สี และแผ่นทดสอบที่มีสี

<u>แผ่นทดสอบแบบไร้สี</u>

3.2.3.3 ผู้สังเกตปรับการมองเห็นเข้ากับระดับความสว่างในห้องผู้สังเกตเป็นเวลา 10 นาที และเริ่มสังเกตแผ่นทดสอบพื้นหลังดำ และตัวอักษรที่มีความสว่างเท่ากับพื้นหลัง ผู้สังเกตเปลี่ยนแผ่นทดสอบที่มีความสว่างของตัวอักษรสูงขึ้น (negative contrast) ตามลำดับจนกระทั่งผู้สังเกตเริ่มอ่านออก ซึ่งเป็นขีดเริ่มเปลี่ยนของความเปรียบต่างของความสว่างของพื้นหลังและตัวอักษรที่เริ่มอ่านได้

3.2.3.4 เปลี่ยนแผ่นทดสอบเป็นพื้นหลังขาว และตัวอักษรที่มีความสว่างเท่าพื้นหลัง ผู้สังเกตเปลี่ยนแผ่นทดสอบ ที่มีความสว่างของตัวอักษรลดลง (positive contrast) จนเริ่มอ่านออก

3.2.3.5 การทดสอบใช้ผู้สังเกต 5 คน และระดับความสว่างของแสง 5 ระดับ คือ 1, 10, 100, 300 และ 1000 ลักซ์ ผู้สังเกตใส่แว่นจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก และใช้ตาเปล่าสังเกตแผ่นทดสอบทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้งทุกสภาวะการทดลองดังแสดงขั้นตอนการทดสอบในภาพที่ 3-4

<u>แผ่นทดสอบแบบมีสี</u>

3.2.3.6 สีที่ใช้เป็นสีพื้นหลังและสีตัวอักษรในแผ่นทดสอบ 4 สี คือ แดง (x = 0.642, y = 0.340), เขียว (x = 0.284, y = 0.592), น้ำเงิน (x = 0.141, y = 0.073) และเหลือง (x = 0.426, y = 0.490) ค่า xy ในที่นี้ คือ พิกัด xy โครมาติซิตี้ (xy chromaticity coordinates)

3.2.3.7 เช่นเดียวกับข้อ 3.2.3.3 นั่นคือ ผู้สังเกตจะเปลี่ยนแผ่นทดสอบที่มีความสว่างของตัวอักษรเปลี่ยนจากน้อยไปมากในกรณี negative contrast และจากมากไปน้อยในกรณี positive contrast ภายใต้ระดับความสว่างของแสง 5 ระดับ และทำซ้ำ 5 ครั้งในทุกสภาวะการทดลอง

3.2.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์

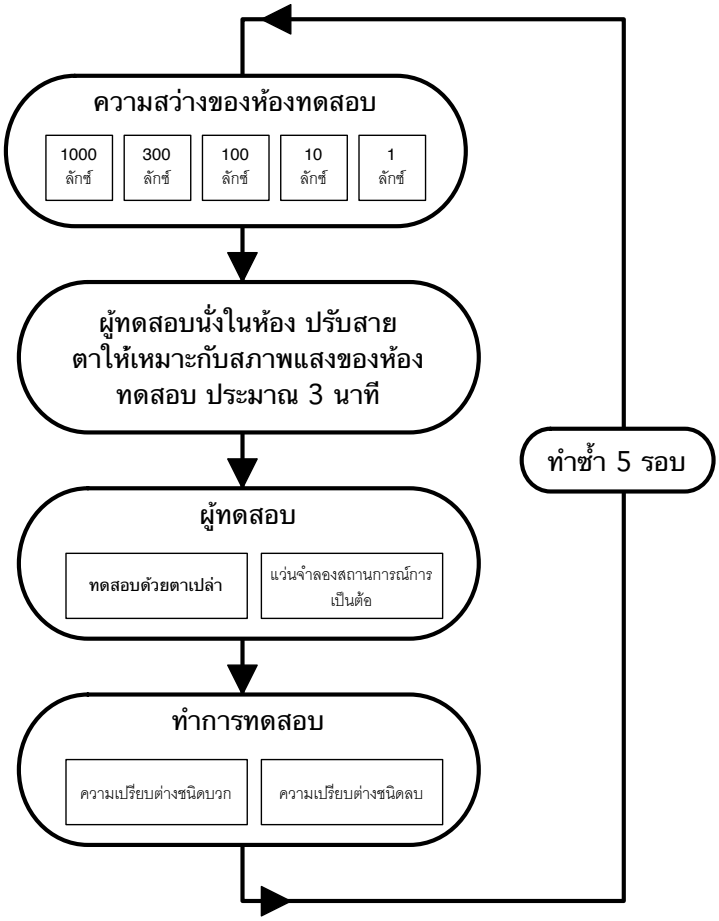
1. คำนวณขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างความส่องสว่าง ที่ระดับความสว่างในห้องต่างกัน

2. วิเคราะห์เปรียบเทียบขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างความส่องสว่าง ของข้อความแบบไร้สี แบบพอสิทีฟกับแบบเนกาทิฟที่ระดับความส่องสว่างในห้องต่างกัน

3. วิเคราะห์เปรียบเทียบขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างความส่องสว่าง ของข้อความแบบมีสี แบบพอสิทิฟเมื่อใสและไม่ใส่แว่นจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก ที่ระดับความส่องสว่างในห้องต่างกัน

4. วิเคราะห์เปรียบเทียบขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างความส่องสว่าง ของข้อความแบบมีสี แบบเนกาทิฟเมื่อใส่และไม่ใส่แว่นจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก ที่ระดับความส่องสว่างในห้องต่างกัน

5. วิเคราะห์เปรียบเทียบขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างความส่องสว่าง ของข้อความแบบมีสี แบบพอสิทิฟกับแบบเนกาทิฟที่ระดับความส่องสว่างในห้องต่างกัน



ภาพที่ 3-4 ขั้นตอนการทดลอง

บทที่ 4

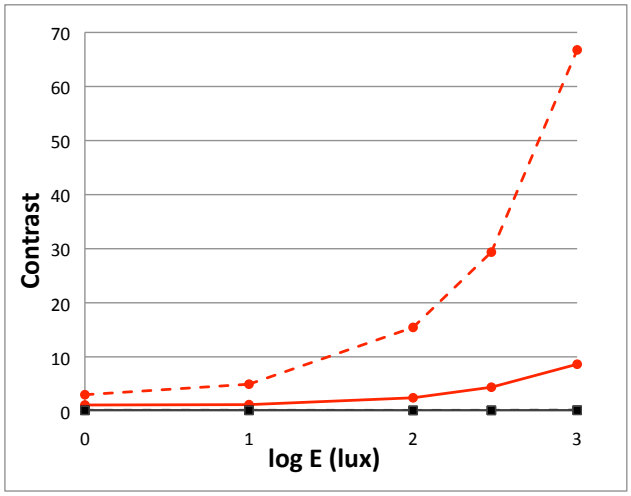
ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง

บทนี้แสดงผลการทดลองหาขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างความส่องสว่าง ซึ่งต่อจากนี้จะขอเรียกว่า 'ขีดเริ่มเปลี่ยน' ของตัวอักษรบนจอภาพชนิดแอลซีดี เมื่อความสว่างในห้องสังเกตเปลี่ยนไปจาก 1-1000 ลักซ์ และ เมื่อผู้สังเกตใช้ตาเปล่า และ ใส่แว่นจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก โดยแบ่งผลการทดลองเป็น 2 ตอน ตามชนิดของตัวอักษรนั้น คือ แบบไร้สี และแบบมีสี ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยน และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของผู้สังเกตที่ทำซ้ำ 5 ครั้ง แสดงในภาคผนวก

ผลโดยรวมพบว่าขีดเริ่มเปลี่ยนของข้อความบนจอภาพแอลซีดี มีค่าเพิ่มขึ้นตามความสว่างในห้องที่เพิ่มขึ้น เมื่อผู้สังเกตใส่แว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก แต่ในกรณีผู้สังเกตใช้ตาเปล่าในการสังเกตข้อความที่เป็นสี ขีดเริ่มเปลี่ยนของข้อความมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีผลเลย ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนในบทนี้ ได้จากการคำนวณตามสมการของวีเบอร์ (สมการ 2-3) ดังแสดงในบทที่ 2

4.1 **ตัวอักษรแบบไร้สี** (achromatic)

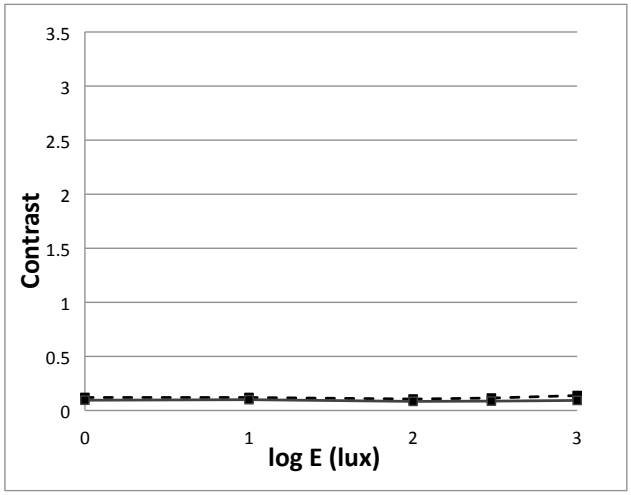
ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนมีความแตกต่างกันมากระหว่างข้อความแบบเนกาทิฟและพอสิทิฟดังแสดงในภาพ 4-1 ขีดเริ่มเปลี่ยนของตัวอักษรแบบพอสิทิฟมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.14 ที่ระดับความสว่าง 1000 ลักซ์ เมื่อใส่แว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก ในขณะที่ตัวอักษรแบบเนกาทิฟที่สภาวะเดียวกันมีค่าขีดเริ่มเปลี่ยนเท่ากับ 66.77



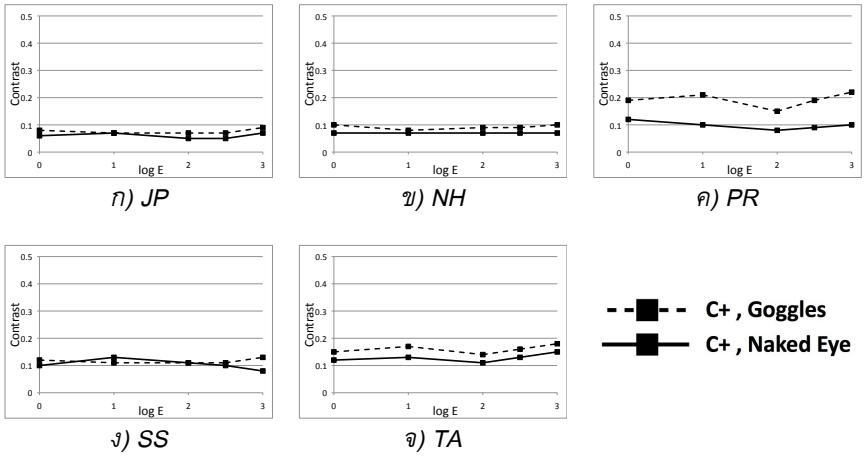
ภาพที่ 4-1 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างความส่องสว่างกับค่าลอการิทึมของความสว่าง จากผู้สังเกต 5 คน เมื่อใช้ข้อความที่เป็นแบบพอสิทิฟและใส่แว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก (- -■- -) ข้อความเนกาทิฟและแว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก (- -●- -) ข้อความพอสิทิฟ ตาเปล่า (—■—) และข้อความเนกาทิฟ ตาเปล่า (—●—)

ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนของข้อความแบบไร้สีชนิดพอสิทิฟได้จากทั้งผู้สังเกตที่มองด้วยตาเปล่าและใส่แว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจกมีค่าต่ำทั้งคู่ดังแสดงในภาพ 4-2 และภาพที่ 4-3 เมื่อแยกพิจารณาจากผู้สังเกตแต่ละคน ข้อความแบบพอสิทิฟ มีค่าขีดเริ่มเปลี่ยนอยู่ในช่วง 0.08 - 0.10 เมื่อมองด้วยตาเปล่า ภายใต้ช่วงของระดับความสว่าง 1 - 1000 ลักซ์ การใส่แว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจกไม่ทำให้ขีดเริ่มเปลี่ยนมีการเปลี่ยนแปลงไป คือ ยังคงอยู่ในช่วง 0.11-0.14

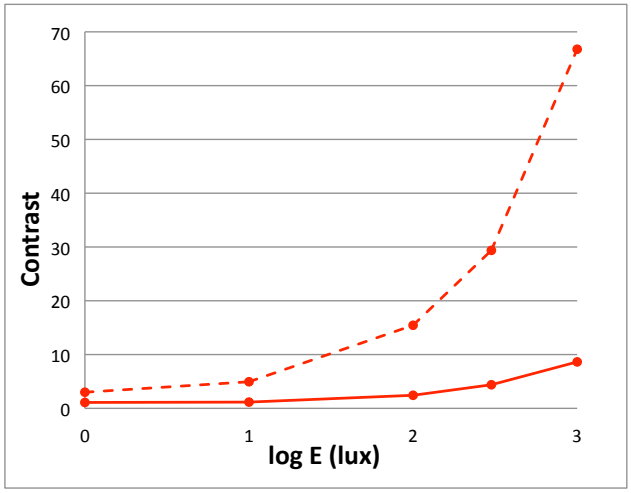
ในทางกลับกันขีดเริ่มเปลี่ยนของความสว่างแบบไร้สี ชนิดเนกาทิฟที่ได้จากผู้สังเกตที่มองด้วยตาเปล่า อยู่ในช่วง 1.10 - 8.64 และเมื่อใส่แว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก จะอยู่ในช่วง 3.00 - 66.77



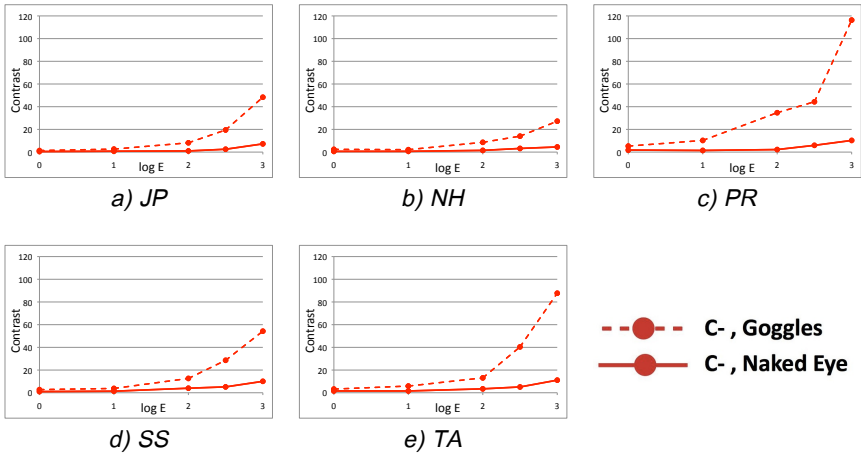
ภาพที่ 4-2 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างความส่องสว่างกับลอการิทึมของระดับความสว่างจากผู้สังเกต 5 คน สำหรับข้อความไร้สี แบบพอสิทิฟ เมื่อมองด้วยตาเปล่า (—■—) และเมื่อใส่แว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก (- -■- -)



ภาพที่ 4-3 ขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างความส่องสว่างกับลอการิทึมของระดับความสว่าง สำหรับข้อความไร้สี แบบพอสิทิฟ เมื่อมองด้วยตาเปล่า (—■—) และเมื่อใส่แว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก (- -■- -) ของผู้สังเกต 5 คน (JP, NH, PR, SS และ TA)



ภาพที่ 4-4 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างความส่องสว่างกับลอการิทึมของระดับความสว่างจากผู้สังเกต 5 คน สำหรับข้อความไร้สี แบบเนกาทิฟ เมื่อมองด้วยตาเปล่า (---●---) และเมื่อใส่แว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก (———●———)



ภาพที่ 4-5 ขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างความส่องสว่างกับลอการิทึมของระดับความสว่างสำหรับข้อความไร้สี แบบเนกาทิฟ เมื่อมองด้วยตาเปล่า (---●---) และเมื่อใส่แว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก (———●———) ของผู้สังเกต 5 คน (JP, NH, PR, SS และ TA)

4.2 ตัวอักษรแบบมีสี

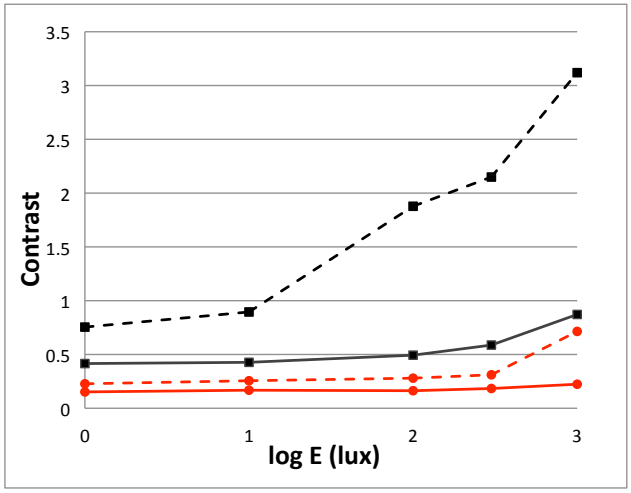
4.2.1 ข้อความสีน้ำเงินบนพื้นหลังสีน้ำเงิน

ลักษณะที่อ่านออกง่าย (legibility) ของข้อความสีน้ำเงินบนพื้นหลังสีน้ำเงินแบบพอสิทิฟ ที่แสดงบนจอแอลซีดี ดีกว่าแบบเนกาทิฟที่ระดับความสว่าง 1000 ลักซ์ ค่าสูงสุดของขีดเริ่มเปลี่ยนเฉลี่ยของข้อความแบบพอสิทิฟเมื่อใส่และไม่ใส่แว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก อยู่ที่ 0.71 และ 0.22 ตามลำดับ และของข้อความแบบเนกาทิฟเมื่อใส่และไม่ใส่แว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก อยู่ที่ 3.12 และ 0.87 ตามลำดับ จะเห็นว่าขีดเริ่มเปลี่ยนของข้อความแบบเนกาทิฟเมื่อใส่แว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจกกับตาเปล่ามีความแตกต่างกันสูงมาก และพบว่าข้อความสีน้ำเงินมีค่าขีดเริ่มเปลี่ยนสูงกว่าสีเขียว สีแดง และ สีเหลือง ระดับความสว่างมีผลต่อขีดเริ่มเปลี่ยน มากกว่าสีอื่น ใน 3 สีข้างต้น โดยที่ขีดเริ่มเปลี่ยนจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อระดับความสว่างเปลี่ยนจาก 100 เป็น 1000 ลักซ์

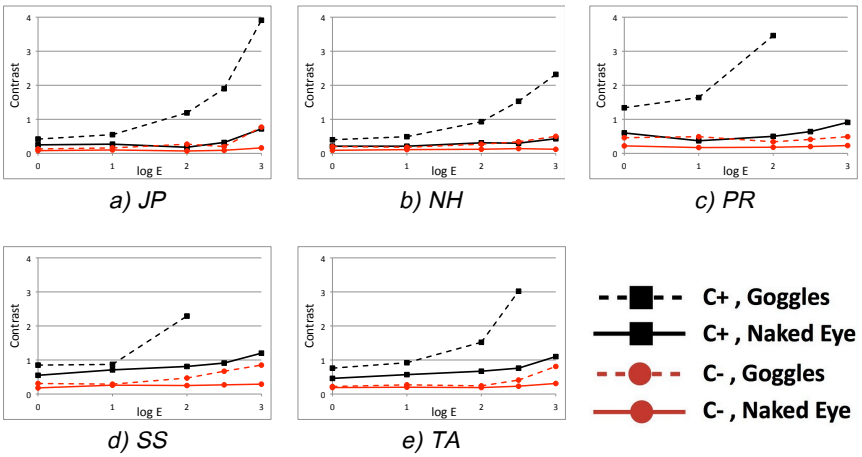
ผู้สังเกต PS และ SS (ภาพที่ 4-7ค และ ภาพที่ 4-7ง) ไม่สามารถบอกขีดเริ่มเปลี่ยนได้ที่ระดับความสว่างในห้องสูงกว่า 100 ลักซ์ เมื่อใส่แว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก และผู้สังเกต TA ไม่สามารถบอกขีดเริ่มเปลี่ยนเมื่อระดับความสว่างในห้องสูงกว่า 300 ลักซ์ ความเปรียบต่างของความส่องสว่างของข้อความสีน้ำเงินจะต้องสูงกว่านี้เพื่อให้ผู้สังเกตอ่านออกได้ในระดับความสว่าง 1000 ลักซ์ แต่ความเปรียบต่างที่ทำได้บนจอแอลซีดีในงานวิจัยนี้ที่ปรับความสว่างจอภาพ (brightness) ไว้ที่ร้อยละ 60 จึงไม่เพียงพอที่จะให้ผู้สังเกตกำหนดขีดเริ่มเปลี่ยนได้ที่ระดับความสว่าง 1000 ลักซ์

ในภาพที่ 4-6 ที่ระดับความสว่าง 300 ลักซ์ คือ ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนของข้อความเนกาทิฟจากผู้สังเกต 4 คน และ ที่ 1000 ลักซ์ จากผู้สังเกต 2 คน จากภาพแสดงให้เห็นว่าข้อความจำเป็นต้องมีความเปรียบต่างกับพื้นหลังสูงเพื่อให้มีลักษณะที่อ่านออกง่าย สำหรับผู้สังเกตที่ใส่

แว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก ภายใต้ระดับความสว่างสูงกว่า 100 ลักซ์ ขีดเริ่มเปลี่ยนจากผู้สังเกตที่ระดับความสว่าง 1000 ลักซ์ เมื่อใส่แว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก มีความสูงถึง 3 เท่า สำหรับข้อความแบบพอสิทิฟ



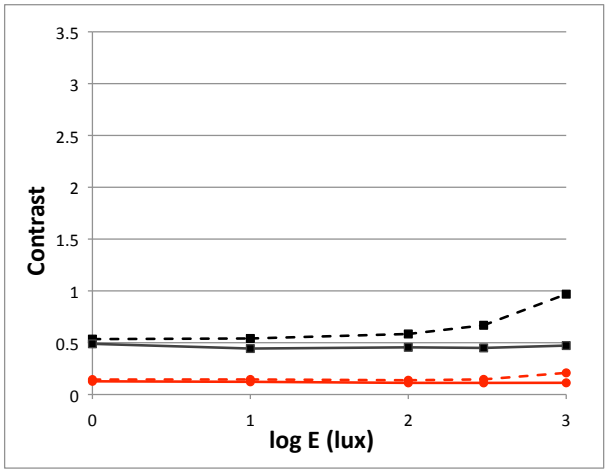
ภาพที่ 4-6 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างความส่องสว่างกับค่าลอการิทึมของความสว่างจากผู้สังเกต 5 คน เมื่อใช้ข้อความที่เป็นแบบพอสิทิฟและใส่แว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก (- ■ -) ข้อความเนกาทิฟและแว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก (- ● -) ข้อความพอสิทิฟ ตาเปล่า (—■—) และข้อความเนกาทิฟ ตาเปล่า (—●—)



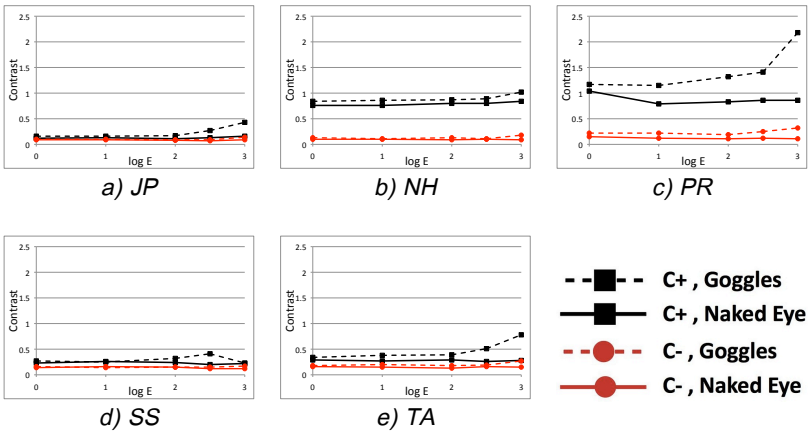
ภาพที่ 4-7 ขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างความส่องสว่างกับค่าลอการิทึมของความสว่าง จากผู้สังเกต 5 คน (JP, NH, PR, SS และ TA) เมื่อใช้ข้อความที่เป็นแบบพอสิทิฟและใส่แว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก (- -■- -) ข้อความเนกาทิฟและแว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก (- -●- -) ข้อความพอสิทิฟ ตาเปล่า (—■—) และข้อความเนกาทิฟ ตาเปล่า (—●—)

4.2.2 ข้อความสีเขียวบนพื้นหลังสีเขียว

ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนสูงสุดของข้อความสีเขียวแบบพอสิทิฟ เมื่อใส่แว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจกและตาเปล่า อยู่ที่ 0.21 และ 0.13 ตามลำดับ และเมื่อมองข้อความแบบเนกาทีฟ ขณะใส่แว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจกและตาเปล่าจะอยู่ที่ 0.97 และ 0.49 ตามลำดับ ที่ระดับความสว่างในห้อง 1- 300 ลักซ์ ค่าขีดเริ่มเปลี่ยน ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมาก หรือเกือบจะคงที่ แต่เมื่อระดับความสว่างเพิ่มจาก 300 ลักซ์ เป็น 1000 ลักซ์ ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนเพิ่มขึ้นในกรณีที่ใส่แว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก แต่ไม่เปลี่ยนแปลงหากมองด้วยตาเปล่า



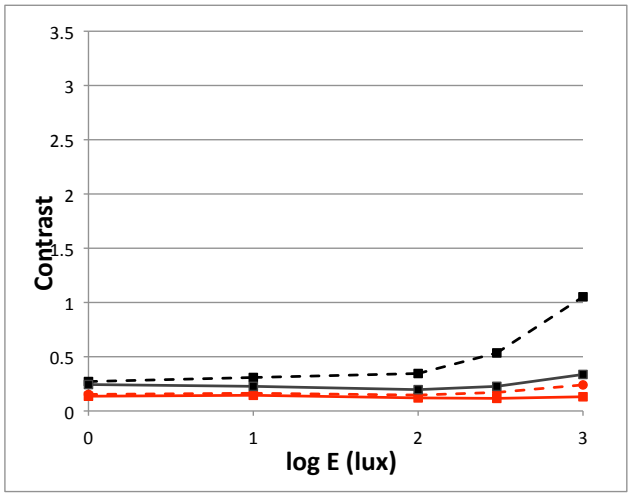
ภาพที่ 4-8 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างความส่องสว่างกับค่าลอการิทึมของความสว่าง จากผู้สังเกต 5 คน เมื่อใช้ข้อความที่เป็นแบบพอสิทิฟและใส่แว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก (- -■- -) ข้อความเนกาทิฟและแว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก (- -●- -) ข้อความพอสิทิฟ ตาเปล่า (——■——) และข้อความเนกาทิฟ ตาเปล่า (——●——)



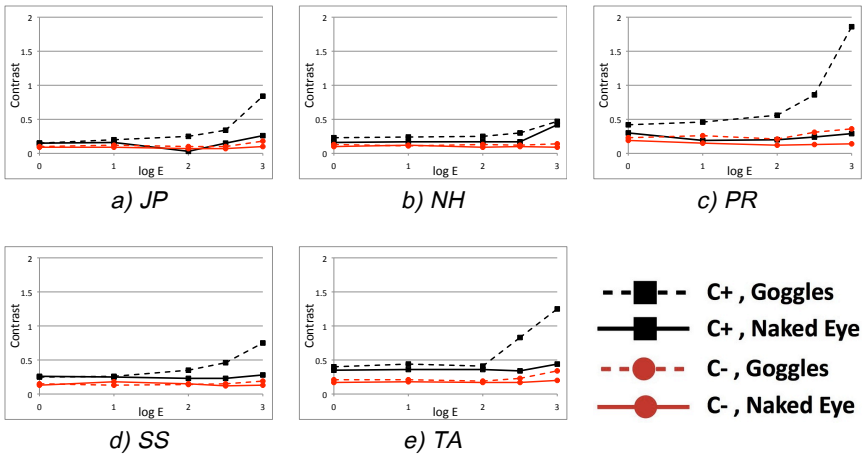
ภาพที่ 4-9 ขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างความส่องสว่างกับค่าลอการิทึมของความสว่าง จากผู้สังเกต 5 คน (JP, NH, PR, SS และ TA) เมื่อใช้ข้อความที่เป็นแบบพอสิทิฟและใส่แว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก (- -■- -) ข้อความเนกาทิฟและแว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก (- -●- -) ข้อความพอสิทิฟ ตาเปล่า (——■——) และข้อความเนกาทิฟ ตาเปล่า (——●——)

4.2.3 ข้อความสีแดงบนพื้นหลังสีแดง

ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนจากผู้สังเกต เมื่อให้อ่านข้อความสีแดงบนพื้นหลังสีแดง มีความคล้ายคลึงกับผลการสังเกตของสีเขียว เพียงแต่ข้อความสีแดงมีค่าขีดเริ่มเปลี่ยนน้อยกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของข้อความสีเขียวประมาณ 2 เท่า ค่าขีดเริ่มเปลียนสูงสุดของข้อความสีแดงแบบพอสิทิฟ เมื่อใส่แว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจกและตาเปล่า อยู่ที่ 0.24 และ 0.15 ตามลำดับ และอ่านข้อความแบบเนกาทิฟเมื่อใส่แว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจกและตาเปล่า อยู่ที่ 1.05 และ 0.34 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพ 4.10



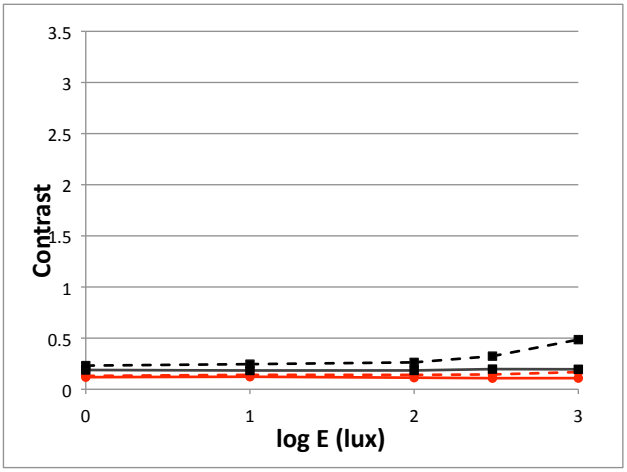
ภาพที่ 4-10 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างความส่องสว่างกับค่าลอการิทึมของความสว่างจากผู้สังเกต 5 คน เมื่อใช้ข้อความที่เป็นแบบพอสิทิฟและใส่แว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก (- -■- -) ข้อความเนกาทิฟและแว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก (- -●- -) ข้อความพอสิทิฟ ตาเปล่า (—■—) และข้อความเนกาทิฟ ตาเปล่า (—●—)



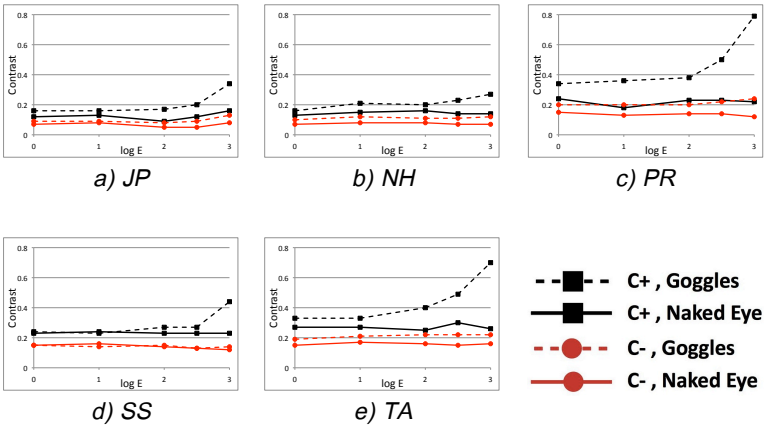
ภาพที่ 4-11 ขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างความส่องสว่างกับค่าลอการิทึมของความสว่างจากผู้สังเกต 5 คน (JP, NH, PR, SS และ TA) เมื่อใช้ข้อความที่เป็นแบบพอสิทิฟและใส่แว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก (- -■- -) ข้อความเนกาทิฟและแว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก (- -●- -) ข้อความพอสิทิฟ ตาเปล่า (—■—) และข้อความเนกาทิฟ ตาเปล่า (—●—)

4.2.4 ข้อความสีเหลืองบนพื้นหลังสีเหลือง

ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนจากผู้สังเกตกับข้อความสีเหลืองบนพื้นสีเหลือง มีค่าต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสีน้ำเงิน สีเขียว และ สีแดง ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนสูงสุดของข้อความสีเหลืองแบบพอสิทิฟ เมื่อใส่แว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจกและตาเปล่า อยู่ที่ 0.13 และ 0.23 ตามลำดับ และของข้อความแบบเนกาทิฟ เมื่อใส่แว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจกและตาเปล่า อยู่ที่ 0.11 และ 0.19 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4-12



ภาพที่ 4-12 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างความส่องสว่างกับค่าลอการิทึมของความสว่างจากผู้สังเกต 5 คน เมื่อใช้ข้อความที่เป็นแบบพอสิทิฟและใส่แว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก (- -■- -) ข้อความเนกาทิฟและแว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก (- -●- -) ข้อความพอสิทิฟ ตาเปล่า (—■—) และข้อความเนกาทิฟ ตาเปล่า (—●—)



ภาพที่ 4-13 ขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างความส่องสว่างกับค่าลอการิทึมของความสว่างจากผู้สังเกต 5 คน (JP, NH, PR, SS และ TA) เมื่อใช้ข้อความที่เป็นแบบพอสิทิฟและใส่แว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก (- -■- -) ข้อความเนกาทิฟและแว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก (- -●- -) ข้อความพอสิทิฟ ตาเปล่า (—■—) และข้อความเนกาทิฟ ตาเปล่า (—●—)

จากผลการทดลองทั้งข้อความแบบพอสิทิฟและเนกาทิฟ จะเห็นได้ว่าเมื่อผู้สังเกตใส่แว่นตาจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก ผู้สังเกตต้องการความเปรียบต่างของความส่องสว่างสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อิเคดะ [5] ที่ได้อธิบายว่าตาที่เป็นต้อกระจกจะได้รับความอิ่มตัวสีต่ำลงและความต้องการความส่องสว่างสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากคริสทัลลีนเลนส์หรือแก้วตาของผู้ที่เป็นต้อกระจกมีความขุ่นตามที่ โอบามา [4] ได้ศึกษาไว้ ซึ่งจะทำให้เกิดการกระเจิงแสงสูง กว่าคริสทัลลีนเลนส์ปกติ แสงจากภายนอกตกไปที่เรตินาหรือจอตาได้น้อย ทำให้ผู้สังเกตต้องการความเปรียบต่างของความส่องสว่างสูงขึ้น

ผลของค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของสีน้ำเงินสูงกว่าสีอื่น ๆ มีความสอดคล้องกับผลการทดลองของเซดและวีลี [8] โดยเขาอธิบายว่าผู้สูงอายุจะมองเห็นแสงในช่วงความยาวคลื่นต่ำดูเข้มขึ้นหรือดูภาพมืดลงนั้นเอง นอกจากนี้ยังสามารถอธิบายได้ว่า คริสทัลลีนเลนส์ของผู้สูงอายุมีสีอมเหลืองมากขึ้น [7] ยอมให้แสงที่สะท้อนจากสีน้ำเงินผ่านเลนส์ได้น้อยลง เนื่องจากสีเหลืองของเลนส์จะดูดกลืนแสงที่ช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงินไว้ทำให้แสงไปตกที่เรตินาน้อยลง ผู้สังเหตจึงต้องการความเปรียบต่างความสว่างของสีน้ำเงินสูงกว่าสีอื่น ทำให้ขีดเริ่มเปลี่ยนมีค่าสูง

4.3 การอภิปรายผลการทดลอง

ขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างของความส่องสว่างตัวอักษรกับพื้นหลังนี้เป็นตัวบ่งบอกความสามารถในการอ่านตัวอักษรบนพื้นหลังแบบต่าง ๆ หากผู้สังเกตมีขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างของความส่องสว่างตัวอักษรกับพื้นหลังต่ำ หมายความว่าสามารถอ่านตัวอักษรบนจอภาพนั้นได้ง่าย ดังผลการทดลองเปลี่ยนแปลงความสว่างภายในห้อง ผู้ใช้ต้องการขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างของความส่องสว่างตัวอักษรกับพื้นหลังน้อยมากเมื่อให้ผู้สังเกตอ่านตัวอักษรแบบไร้สีในแบบเนกาทีฟ และแบบมีสี ในสีเหลือง หากผู้สังเกตมีขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างของความส่องสว่างตัวอักษรกับพื้นหลังสูงขึ้น หมายความว่าตัวอักษรนั้นอ่านยากขึ้นจำเป็นต้องมีความเปรียบต่างระหว่างพื้นหลังและตัวอักษรที่มากขึ้นด้วย ผู้สังเกตจึงแยกแยะและสามารถอ่านตัว

อักษรบนจอภาพได้ ดังผลการทดลองแบบไร้สี ในแบบพอสิทีฟ ผู้สังเกตมีขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างของความส่องสว่างตัวอักษรกับพื้นหลังสูงขึ้น ตามความสว่างภายในห้องอย่างชัดเจน ทั้งขณะสวมแว่นจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจกและอ่านตัวอักษรด้วยตาเปล่า

ผลการทดลองแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าเมื่อมีสภาวะแวดล้อมมีแสงสว่าง พื้นหลังสีดำหรือ ไร้สี แบบพอสิทีฟ และ ตัวอักษรสีน้ำเงินบนพื้นหลังสีน้ำเงิน บนจอแอลซีดีนั้น ไม่เหมาะกับการอ่านหนังสือของผู้ที่เป็นต้อกระจกอย่างยิ่ง แม้แต่คนสายตาปกติเองก็ยังคงมีผลทำให้อ่านตัวอักษรยากกว่า แบบไร้สี ในแบบเนกาทีฟ และ แบบมีสี ในสีอื่น ๆ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และ เสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ความสว่างเพิ่มขึ้น ทำให้ขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างของความส่องสว่างระหว่างตัวอักษรกับพื้นหลังที่แสดงบนจอภาพแอลซีดีเพิ่มขึ้น สำหรับผู้ที่ใส่แว่นจำลองสถานการณ์การเป็นต้อกระจก โดยมีรายละเอียดเพิ่มเติม ดังนี้

- ข้อความแบบไร้สี พอสิทิฟ (ความส่องสว่างของตัวอักษรต่ำกว่าพื้นหลัง) มีค่าขีดเริ่มเปลี่ยนต่ำมากแม้ระดับความสว่างในห้องจะเพิ่มขึ้นถึง 1000 ลักซ์ ก็ตาม

- ข้อความแบบไร้สี เนกาทิฟ ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อระดับความส่องสว่างเปลี่ยนจาก 1 ลักซ์ ถึง 10 ลักซ์ และจาก 100 ลักซ์ ถึง 1000 ลักซ์ ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึง 66.77

- ข้อความแบบมีสี พอสิทิฟ สำหรับทุกสีมีค่าขีดเริ่มเปลี่ยนต่ำกว่าแบบเนกาทิฟ และค่าขีดเริ่มเปลี่ยนจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงมาก ที่ระดับความสว่าง 1, 10 และ 100 ลักซ์ แต่ที่ 300 และ 1000 ลักซ์ ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนเพิ่มขึ้นเห็นได้ชัด โดยเฉพาะข้อความสีน้ำเงิน

5.1.2 ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนความเปรียบต่างความส่องสว่างระหว่างพื้นหลังกับตัวอักษร ในผู้สูงอายุที่เป็นต้อกระจก จะสูงกว่าของผู้มีสายตาปกติ ซึ่งขีดเริ่มเปลี่ยนเกือบจะคงที่ แม้ระดับความสว่างจะเปลี่ยนจาก 1 ลักซ์ จนถึง 1000 ลักซ์ ในผู้มีสายตาปกติ ขีดเริ่มเปลี่ยนของข้อความสี (น้ำเงิน, เขียว, แดง และ เหลือง) แบบเนกาทิฟ ส่วนข้อความแบบไร้สี ขีดเริ่มเปลี่ยนของข้อความแบบเนกาทิฟ จะต่ำกว่าแบบพอสิทิฟเล็กน้อย

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ทำให้เราได้ทราบถึงผลของความสว่างในห้องทดลองที่มีต่อการอ่านตัวอักษรบนจอแอลซีดี ในผู้ที่เป็นต้อกระจก การทดลองได้จำกัดให้มีปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงเพียงความสว่างภายในห้องเท่านั้น แต่ในสถานการณ์การใช้งานจริง จะมีแสงรบกวนจากสภาพแวดล้อมแตกต่างออกไป ไม่ได้มีเพียงแสงทิศทางเดียวอย่างเช่นในงานวิจัยนี้ ชนิดของหน้าจอมีผลทำให้แสงจากสภาพแวดล้อมมาตกกระทบแตกต่างกันออกไป ผลของการรบกวนจากแสงอย่างอื่น ๆ นี้ยังต้องมีการศึกษากันต่อไป

คำศัพท์ในการทดลองนี้ผสมจากตัวอักษรเพียง 6 ตัวอักษร คำที่เลือกใช้เป็นคำที่มีความหมาย ในภาษาอังกฤษ จึงมีเพียง 6 คำเท่านั้น การที่ผู้สังเกตทำการทดสอบซ้ำ ๆ กันหลายครั้งอาจเกิดการคาดเดาคำศัพท์ได้ ในงานวิจัยนี้แก้ไขด้วยการเรียงคำศัพท์แบบสุ่มคำศัพท์ในแต่ละลำดับแตกต่างกัน แต่ผู้สังเกตก็อาจคาดเดาได้ในบางคำ เช่น staple ซึ่งเป็นคำเดียวที่มี s เป็นตัวอักษรแรก palest และ pastel ที่มีตัว t และ l ซึ่งมีความสูงที่ต่างจากอักษรตัวอื่น ๆ เป็นตัวท้าย การสร้างคำจึงควรให้มีความซับซ้อนหรือมีการสุ่มคำให้มากกว่านี้ เพื่อหลีกเลี่ยงการคาดเดาของผู้สังเกต

งานวิจัยนี้ศึกษาเพียงการอ่านคำศัพท์เพียง 6 คำ ไม่ใช่รูปประโยชน์อย่างแท้จริง จึงอาจมีข้อจำกัดในการในไปใช้ จึงควรศึกษาเพิ่มเติมในแง่มุมของการเป็นรูปประโยคหรือข้อความ รวมทั้งในรูปแบบของอัตลักษณ์ซึ่งเป็นสัญลักษณ์ที่ใช้กับทั่วไปด้วย

การศึกษาวิจัยเพื่อให้ผู้สูงวัยยังคงต้องมีเพิ่มเติมต่อไป เพื่อผู้สูงอายุที่มีจำนวนมากขึ้นมีสิ่งแวดล้อม อุปกรณ์อำนวยความสะดวกในชีวิต รวมทั้งมีคุณภาพชีวิตที่ดียิ่งขึ้นเมื่อสิ่งแวดล้อมอำนวยความสะดวกให้ผู้สูงอายุจนสามารถดูแลตนเองได้ลดการพึ่งพาสังคม ก็ทำให้องค์รวมของประเทศพัฒนาไปได้ดียิ่งขึ้นด้วยเช่นกัน

รายการอ้างอิง

[1] สุทธิรักษ์ วิภูสันติ. ผลการคัดกรองผู้ป่วยต้อกระจกในเขตพื้นที่การให้บริการ ของโรงพยาบาลเชียงคำ จังหวัดพะเยา. ลำปางเวชสาร 30 (มกราคม-เมษายน 2552) : 18-27.

[2] พิชญดา เกตุเมฆ และมิสึโอะ อิเคดะ. ไซโคฟิสิกส์ด้านการมองเห็น พื้นฐานและการประยุกต์. 100. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : อักษราพิพัฒน์, 2554.

[3] Pitts, D. G. Aging and human visual function. 350. New York : A.R. Liss, 1982.

[4] Obama, T., Uozato, H., Terauchi, H., Matsuoka, M. A qualitative determination of senile cataract experience filters. J Color Sci Assoc Jpn 28 2004 : 245–252.

[5] Ikeda, M., Kusumi, A., Obama, T. and Shinoda, H. Color appearance of color charts observed with a cataract experiencing google. J Color Sci Assoc Jpn 27 2003 : 113-124.

[6] Ikeda, M., Kusumi, A., Obama, T. and Shinoda, H. Comparative studies of visual performance and color perception of an elderly before and after the cataract surgery. J Color Sci Assoc Jpn 28 2004 : 26-35.

[7] Obama, T., Ikeda, M., Kusumi, A. and Shinoda, H. Destination of color charts caused by environment light at the use of a cataract experiencing goggle. J Color Sci Assoc Jpn 28 2004 : 95-101.

[8] Obama, T., Pungrassamee, P., Ikeda, M. and Haocharoen, P. Effect of haze of cataract eyes to color perception of elderliers. Proc. AIC 2007 : 86-89.

[9] Said, F.S. and Wealte, R.A. The cariation with age of the spectral transmissivity of the living human crystalline lens. Gerontologia 3 1959 : 213-231.

[10] Wealte, R.A. Light absorption by the lens of the human eye. Opt. Acta 1 1954 : 107-110.

[11] Legge, G. E., Parish, D. H., Luebker, A., & Wurm, L. Psychophysics of reading. XI. Comparing color contrast and luminance contrast. Journal of the Optical Society of America. A7 (1990) : 2002-2010.

[12] เพ็ญศรี ทองนพคุณ, ธนญา ตรึงตราจิตกุล, วินา คุณาวิวัฒน. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับทฤษฎีการวัดสี. กรุงเทพมหานคร : ส่วนอุตสาหกรรมสิ่งทอ สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมรายสาขา กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2540.

ภาคผนวก

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าขีดเริ่มเปลี่ยน เมื่อผู้สังเกตแต่ละคนทำซ้ำ 5 ครั้ง ในแต่ละระดับความสว่าง ตัวอักษรแบบไร้สีแบบพอสิทิฟ ไม่ใส่แว่นจำลองสถานการณ์เป็นต้อกระจก

ระดับความสว่าง (ลอการิทึม)	PR		TA		NH		JP		SS	
	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean
0	1.30	112.80	1.95	112.40	1.14	118.60	0.45	120.20	2.68	115.20
1	0.89	115.40	6.89	111.00	0.71	119.00	0.71	119.00	1.14	111.60
2	2.59	117.80	5.72	113.80	2.07	119.40	1.10	121.80	0.55	113.4
2.48	0.89	116.60	3.81	112.00	1.3	118.60	1.79	121.80	2.51	115.60
3	1.14	115.40	1.52	109.4	1.22	119.00	0.55	119.60	0.84	117.20

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าขีดเริ่มเปลี่ยน เมื่อผู้สังเกตแต่ละคนทำซ้ำ 5 ครั้ง ในแต่ละระดับความสว่าง ตัวอักษรแบบไร้สีแบบพอสิทิฟ ใส่แว่นจำลองสถานการณ์เป็นต้อกระจก

ระดับความสว่าง (ลอการิทึม)	PR		TA		NH		JP		SS	
	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean
0	0.84	103.80	3.90	108.20	2.88	114.60	1.92	118.20	2.30	112.40
1	1.14	101.40	6.73	106.10	0.71	118.00	1.30	118.80	1.87	114.00
2	7.70	108.60	6.91	109.60	2.83	116.00	0.71	119.00	1.95	113.6
2.48	1.82	103.40	5.66	108.00	2.1	116.60	0.45	119.20	1.92	113.80
3	4.23	99.52	5.79	105	0.71	115.00	1.41	116.00	1.95	111.40

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าขีดเริ่มเปลี่ยน เมื่อผู้สังเกตแต่ละคนทำซ้ำ 5 ครั้ง ในแต่ละระดับความสว่าง ตัวอักษรแบบไร้สีแบบเนกาทิฟ ไม่ใส่แว่นจำลองสถานการณ์เป็นต้อกระจก

ระดับความสว่าง (ลอการิทึม)	PR		TA		NH		JP		SS	
	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean
0	0.15	0.39	0.06	0.36	0.02	0.23	0.02	0.21	0.02	0.28
1	0.02	0.34	0.13	0.36	0.03	0.23	0.04	0.25	0.05	0.33
2	0.13	0.45	0.21	0.62	0.08	0.35	0.04	0.28	0.12	0.7
2.48	0.13	0.97	0.19	0.85	0.1	0.59	0.06	0.49	0.07	0.86
3	0.21	1.58	N/A	N/A	0.06	0.77	0.14	1.15	0.24	1.55

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าขีดเริ่มเปลี่ยน เมื่อผู้สังเกตแต่ละคนทำซ้ำ 5 ครั้ง ในแต่ละระดับความสว่าง ตัวอักษรแบบไร้สีแบบเนกาทิฟใส่แว่นจำลองสถานการณ์เป็นต้อกระจก

ระดับความสว่าง (ลอการิทึม)	PR		TA		NH		JP		SS	
	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean
0	0.15	0.88	0.08	0.59	0.04	0.47	0.06	0.33	0.05	0.53
1	0.19	1.58	0.32	0.97	0.03	0.44	0.09	0.51	0.07	0.67
2	0.89	5.00	1.16	1.97	0.46	1.34	0.33	1.29	0.16	1.9
2.48	3.59	6.35	0.76	5.80	0.1	2.10	0.19	2.87	0.29	4.14
3	1.97	16.42	1.23	12.42	0.08	3.95	1.11	6.91	0.35	7.73

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าขีดเริ่มเปลี่ยน เมื่อผู้สังเกตแต่ละคนทำซ้ำ 5 ครั้ง ในแต่ละระดับความสว่าง ตัวอักษรสีน้ำเงินพื้นหลังสีน้ำเงินแบบพอสิทิฟ ไม่ใส่แว่นจำลองสถานการณ์เป็นต้อกระจก

ระดับความสว่าง (ลอการิทึม)	PR		TA		NH		JP		SS	
	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean
0	0.28	6.99	0.17	7.31	0.18	8.16	0.12	8.25	0.65	7.42
1	0.12	7.50	0.54	7.20	0.22	8.04	0.08	8.05	0.07	6.61
2	0.33	7.39	0.68	7.24	0.31	7.92	0.07	8.35	0.61	6.73
2.48	0.17	7.17	0.46	6.95	0.32	7.76	0.03	8.21	0.08	6.61
3	0.17	6.92	0.34	6.19	0.15	7.87	0.05	7.56	0.16	6.37

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าขีดเริ่มเปลี่ยน เมื่อผู้สังเกตแต่ละคนทำซ้ำ 5 ครั้ง ในแต่ละระดับความสว่าง ตัวอักษรสีน้ำเงินพื้นหลังสีน้ำเงินแบบพอสิทิฟ ใส่แว่นจำลองสถานการณ์เป็นต้อกระจก

ระดับความสว่าง (ลอการิทึม)	PR		TA		NH		JP		SS	
	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean
0	0.36	4.86	0.31	7.05	0.24	7.19	0.27	7.81	0.17	6.24
1	0.34	4.54	0.50	6.54	0.09	7.35	0.16	7.51	0.37	6.36
2	0.55	5.89	0.49	6.82	0.43	6.58	0.35	6.54	0.27	4.78
2.48	0.36	5.32	0.88	5.30	0.16	5.94	0.21	7.20	0.63	2.93
3	N/A	N/A	0.55	1.68	0.70	4.51	0.28	2.05	0.56	1.34

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าขีดเริ่มเปลี่ยน เมื่อผู้สังเกตแต่ละคนทำซ้ำ 5 ครั้ง ในแต่ละระดับความสว่าง ตัวอักษรสีน้ำเงินพื้นหลังสีน้ำเงินแบบเนกาทิฟ ไม่ใส่แว่นจำลองสถานการณ์เป็นต้อกระจก

ระดับความสว่าง (ลอการิทึม)	PR		TA		NH		JP		SS	
	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean
0	0.29	2.81	0.18	2.56	0.02	2.12	0.05	2.18	0.12	2.71
1	0.03	2.39	0.21	2.75	0.02	2.12	0.04	2.22	0.15	2.99
2	0.08	2.62	0.11	2.92	0.00	2.29	0.08	2.06	0.16	3.17
2.48	0.07	2.87	0.15	3.08	0.06	2.28	0.04	2.31	0.19	3.35
3	0.14	3.34	0.11	3.67	0.08	2.51	0.16	3.01	0.24	3.85

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าขีดเริ่มเปลี่ยน เมื่อผู้สังเกตแต่ละคนทำซ้ำ 5 ครั้ง ในแต่ละระดับความสว่าง ตัวอักษรสีน้ำเงินพื้นหลังสีน้ำเงินแบบเนกาทิฟ ใส่แว่นจำลองสถานการณ์เป็นต้อกระจก

ระดับความสว่าง (ลอการิทึม)	PR		TA		NH		JP		SS	
	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean
0	0.50	4.10	0.27	3.08	0.04	2.45	0.22	2.48	0.15	3.24
1	0.28	4.62	0.15	3.35	0.01	2.61	0.21	2.71	0.21	3.28
2	0.88	7.81	0.31	4.40	0.07	3.38	0.10	3.84	0.67	5.75
2.48	N/A	N/A	0.42	7.03	0.07	4.43	0.26	5.07	N/A	N/A
3	N/A	N/A	N/A	N/A	0.06	5.82	0.00	8.60	N/A	N/A

ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าขีดเริ่มเปลี่ยน เมื่อผู้สังเกตแต่ละคนทำซ้ำ 5 ครั้ง ในแต่ละระดับความสว่าง ตัวอักษรสีเขียวพื้นหลังสีเขียวแบบพอสิทิฟ ไม่ใส่แว่นจำลองสถานการณ์เป็นต้อกระจก

ระดับความสว่าง (ลอการิทึม)	PR		TA		NH		JP		SS	
	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean
0	0.23	73.64	1.22	72.68	1.07	78.42	0.11	79.32	2.21	74.64
1	0.57	76.44	4.53	73.46	0.78	78.50	0.00	79.20	0.22	73.22
2	2.41	77.14	3.96	75.34	0.94	78.72	1.15	80.24	3.34	73.76
2.48	0.53	76.42	2.57	73.14	1.15	78.14	0.86	80.88	1.54	76.72
3	0.46	76.90	0.78	74.02	0.39	79.08	0.36	78.56	0.53	76.42

ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าขีดเริ่มเปลี่ยน เมื่อผู้สังเกตแต่ละคนทำซ้ำ 5 ครั้ง ในแต่ละระดับความสว่าง ตัวอักษรสีเขียวพื้นหลังสีเขียวแบบพอสิทิฟ ใส่แว่นจำลองสถานการณ์เป็นต้อกระจก

ระดับความสว่าง (ลอการิทึม)	PR		TA		NH		JP		SS	
	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean
0	1.99	67.94	2.49	71.14	2.00	75.84	1.44	78.18	1.09	72.48
1	0.27	67.30	4.30	69.38	0.87	77.64	0.95	78.28	1.74	74.44
2	5.63	70.16	5.44	70.88	2.14	75.86	1.25	78.64	1.95	73.36
2.48	0.99	65.22	4.46	70.24	0.05	77.26	0.48	78.92	1.20	73.38
3	3.98	59.14	3.18	63.24	2.74	71.30	1.10	74.80	1.34	72.10

ตารางที่ 11 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าขีดเริ่มเปลี่ยน เมื่อผู้สังเกตแต่ละคนทำซ้ำ 5 ครั้ง ในแต่ละระดับความสว่าง ตัวอักษรสีเขียวพื้นหลังสีเขียวแบบเนกาทิฟ ไม่ใส่แว่นจำลองสถานการณ์เป็นต้อกระจก

ระดับความสว่าง (ลอการิทึม)	PR		TA		NH		JP		SS	
	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean
0	6.37	35.74	0.18	22.52	0.27	30.88	0.11	19.62	0.36	21.54
1	0.22	31.40	1.01	22.20	0.27	30.88	0.32	19.86	0.57	21.98
2	0.76	32.06	0.47	22.64	0.65	31.52	0.00	19.50	0.46	21.62
2.48	0.00	32.60	0.72	22.04	0.69	31.42	0.26	19.76	0.35	21.02
3	0.04	32.62	0.46	22.38	0.60	32.16	0.09	20.36	0.28	21.30

ตารางที่ 12 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าขีดเริ่มเปลี่ยน เมื่อผู้สังเกตแต่ละคนทำซ้ำ 5 ครั้ง ในแต่ละระดับความสว่าง ตัวอักษรสีเขียวพื้นหลังสีเขียวแบบเนกาทิฟ ใส่แว่นจำลองสถานการณ์เป็นต้อกระจก

ระดับความสว่าง (ลอการิทึม)	PR		TA		NH		JP		SS	
	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean
0	0.58	25.62	0.87	26.52	0.49	28.48	0.33	29.06	1.09	27.70
1	0.22	27.00	2.37	25.92	0.54	28.14	0.16	28.98	0.41	26.00
2	1.30	27.98	1.54	26.40	0.91	28.78	0.25	29.66	0.56	27.04
2.48	0.72	27.68	0.85	26.47	0.47	28.64	0.27	29.72	0.91	28.04
3	0.35	27.40	0.27	25.42	0.16	28.98	0.13	28.74	0.33	27.64

ตารางที่ 13 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าขีดเริ่มเปลี่ยน เมื่อผู้สังเกตแต่ละคนทำซ้ำ 5 ครั้ง ในแต่ละระดับความสว่าง ตัวอักษรสีแดงพื้นหลังสีแดงแบบพอสิทิฟ ไม่ใส่แว่นจำลองสถานการณ์เป็นต้อกระจก

ระดับความสว่าง (ลอการิทึม)	PR		TA		NH		JP		SS	
	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean
0	0.58	25.62	0.87	26.52	0.49	28.48	0.33	29.06	1.09	27.70
1	0.22	27.00	2.37	25.92	0.54	28.14	0.16	28.98	0.41	26.00
2	1.30	27.98	1.54	26.40	0.91	28.78	0.25	29.66	0.56	27.04
2.48	0.72	27.68	0.85	26.47	0.47	28.64	0.27	29.72	0.91	28.04
3	0.35	27.40	0.27	25.42	0.16	28.98	0.13	28.74	0.33	27.64

ตารางที่ 14 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าขีดเริ่มเปลี่ยน เมื่อผู้สังเกตแต่ละคนทำซ้ำ 5 ครั้ง ในแต่ละระดับความสว่าง ตัวอักษรสีแดงพื้นหลังสแดงแบบพอสิทิฟ ใส่แว่นจำลองสถานการณ์เป็นต้อกระจก

ระดับความสว่าง (ลอการิทึม)	PR		TA		NH		JP		SS	
	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean
0	0.78	24.44	0.76	25.20	0.72	27.66	0.41	28.70	0.54	27.16
1	0.71	23.64	2.06	25.04	0.42	28.20	0.24	28.08	0.80	27.58
2	2.02	25.16	2.14	25.74	0.84	27.76	0.66	28.52	0.89	27.38
2.48	1.28	22.10	2.13	24.50	0.22	28.10	0.13	28.56	0.52	27.02
3	1.65	20.32	1.31	21.08	0.22	27.30	0.55	26.06	0.40	25.72

ตารางที่ 15 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าขีดเริ่มเปลี่ยน เมื่อผู้สังเกตแต่ละคนทำซ้ำ 5 ครั้ง ในแต่ละระดับความสว่าง ตัวอักษรสีแดงพื้นหลังสีแดงแบบเนกาทิฟ ไม่ใส่แว่นจำลองสถานการณ์เป็นต้อกระจก

ระดับความสว่าง (ลอการิทึม)	PR		TA		NH		JP		SS	
	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean
0	0.19	8.58	0.07	8.97	0.08	7.67	0.00	7.60	0.23	8.35
1	0.20	7.90	0.16	8.99	0.06	7.77	0.09	7.65	0.14	8.29
2	0.16	7.93	0.14	9.02	0.07	7.72	0.00	6.80	0.12	8.14
2.48	0.01	8.19	0.26	8.89	0.11	7.75	0.09	7.64	0.13	8.14
3	0.26	8.53	0.15	9.55	0.30	9.37	0.14	8.34	0.18	8.45

ตารางที่ 16 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าขีดเริ่มเปลี่ยน เมื่อผู้สังเกตแต่ละคนทำซ้ำ 5 ครั้ง ในแต่ละระดับความสว่าง ตัวอักษรสีแดงพื้นหลังสีแดงแบบเนกาทิฟ ใส่แว่นจำลองสถานการณ์เป็นต้อกระจก

ระดับความสว่าง (ลอการิทึม)	PR		TA		NH		JP		SS	
	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean
0	0.19	9.42	0.32	9.27	0.13	8.14	0.52	7.62	0.23	8.29
1	0.35	9.70	0.28	9.50	0.00	8.20	0.24	7.96	0.15	8.35
2	0.50	10.36	0.55	9.33	0.12	8.25	0.39	8.30	0.13	8.91
2.48	0.50	12.32	0.74	12.14	0.19	8.63	0.44	8.86	0.18	9.65
3	3.31	18.96	0.83	14.88	0.11	9.72	1.02	12.18	0.47	11.58

ตารางที่ 17 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าขีดเริ่มเปลี่ยน เมื่อผู้สังเกตแต่ละคนทำซ้ำ 5 ครั้ง ในแต่ละระดับความสว่าง ตัวอักษรสีเหลืองพื้นหลังสีเหลืองแบบพอสิทิฟ ไม่ใส่แว่นจำลองสถานการณ์เป็นต้อกระจก

ระดับความสว่าง (ลอการิทึม)	PR		TA		NH		JP		SS	
	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean
0	1.16	100.74	0.86	99.86	0.55	109.40	1.82	109.40	2.39	100.80
1	0.45	103.20	1.36	98.14	0.89	108.60	1.79	108.20	0.52	99.70
2	0.00	102.00	1.18	98.54	1.10	108.80	0.55	112.40	0.89	101.40
2.48	0.00	102.00	2.51	100.24	0.55	109.60	0.89	111.60	0.55	102.60
3	1.67	104.40	1.64	99.20	0.55	109.40	0.00	109.00	0.45	103.80

ตารางที่ 18 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าขีดเริ่มเปลี่ยน เมื่อผู้สังเกตแต่ละคนทำซ้ำ 5 ครั้ง ในแต่ละระดับความสว่าง ตัวอักษรสีเหลืองพื้นหลังสีเหลืองแบบพอสิทิฟ ใส่แว่นจำลองสถานการณ์เป็นต้อกระจก

ระดับความสว่าง (ลอการิทึม)	PR		TA		NH		JP		SS	
	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean
0	1.05	94.76	1.90	96.14	1.10	106.20	3.49	107.80	1.37	100.76
1	0.61	94.36	2.11	93.32	0.00	104.00	1.95	107.60	1.03	101.54
2	3.10	94.46	1.58	91.66	0.45	104.80	2.24	108.00	1.00	100.48
2.48	1.98	92.56	3.24	91.68	0.45	104.80	1.79	107.80	0.45	102.20
3	4.43	90.22	2.61	92.40	0.45	103.80	0.45	102.20	0.71	101.00

ตารางที่ 19 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าขีดเริ่มเปลี่ยน เมื่อผู้สังเกตแต่ละคนทำซ้ำ 5 ครั้ง ในแต่ละระดับความสว่าง ตัวอักษรสีเหลืองพื้นหลังสีเหลืองแบบเนกาทิฟ ไม่ใส่แว่นจำลองสถานการณ์เป็นต้อกระจก

ระดับความสว่าง (ลอการิทึม)	PR		TA		NH		JP		SS	
	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean
0	0.22	30.56	0.55	31.36	0.27	27.80	0.27	27.70	0.00	30.40
1	0.70	29.24	0.61	31.40	0.22	28.40	0.22	27.90	0.44	30.68
2	0.00	30.40	0.43	30.96	0.27	28.62	0.00	27.00	0.18	30.48
2.48	0.18	30.48	1.62	32.10	0.22	28.10	0.22	27.60	0.00	30.40
3	0.58	30.14	0.76	31.20	0.42	28.10	0.60	28.66	0.00	30.40

ตารางที่ 20 ค่าเฉลี่ยขีดเริ่มเปลี่ยนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าขีดเริ่มเปลี่ยน เมื่อผู้สังเกตแต่ละคนทำซ้ำ 5 ครั้ง ในแต่ละระดับความสว่าง ตัวอักษรสีเหลืองพื้นหลังสีเหลืองแบบเนกาทิฟ ใส่แว่นจำลองสถานการณ์เป็นต้อกระจก

ระดับความสว่าง (ลอการิทึม)	PR		TA		NH		JP		SS	
	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean
0	0.52	33.22	0.92	32.88	0.27	28.62	0.99	28.68	0.45	30.60
1	0.97	33.56	0.42	32.86	0.71	29.88	0.50	28.76	0.00	30.40
2	1.14	34.12	1.34	34.48	0.71	29.62	0.85	28.88	0.39	31.38
2.48	1.17	37.02	1.39	36.84	0.00	30.40	0.71	29.62	0.45	31.48
3	2.68	44.12	2.53	41.90	0.47	31.26	0.27	33.08	0.70	35.62

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายปรึกษา ประทุมรัตน์ เกิดวันที่ 11 พฤษภาคม 2526 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนทวีธาภิเศก เมื่อปี พ.ศ. 2544 ศึกษาต่อทางด้านเคมี ที่สถานศึกษาเคมีปฏิบัติ สังกัดกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จนจบอนุปริญญา ปี พ.ศ.2547 เข้าศึกษาภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้รับวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ เมื่อปีพ.ศ.2550 หลังจากจบการศึกษาแล้วก็เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางภาพ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ คณะ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551