



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (นวัตกรรมการ)

ปริญญา

นวัตกรรมการ

นวัตกรรมการ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาเปรียบเทียบศักยภาพในการมองเห็นและความรู้สึกจากหลอดแอลอีดีและหลอดฮาโลเจนในคนไทย

A Comparison Study of Visual Performance and Subjective Impression of LED and Halogen Lamp among Thai People

นามผู้วิจัย นายณพวุฒิ ไผ่รัตน์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ศิริเดช สุรিত, D.Eng.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์นวลวรรณ ทวยเจริญ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์พาสินี สุนากร, M.Arch.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาเปรียบเทียบศักยภาพในการมองเห็นและความรู้สึกจากหลอดแอลอีดีและ
หลอดฮาโลเจนในคนไทย

A Comparison Study of Visual Performance and Subjective Impression of LED and Halogen
Lamp among Thai People

โดย

นายณพวุฒิ ไผ่รัตน์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (นวัตกรรมการอาคาร)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นพวุฒิ ไผ่รัตน์ 2557: การศึกษาเปรียบเทียบศักยภาพในการมองเห็นและความรู้สึกจาก
หลอดแอลอีดีและหลอดฮาโลเจนในคนไทย ปรินญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
(นวัตกรรมการ) สาขาวิชานวัตกรรมการ ภาควิชา นวัตกรรมการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์ศิริเดช สุริต, D.Eng. 124 หน้า

ในปัจจุบันการพัฒนาหลอดไฟแอลอีดี (LED) สำหรับการส่องสว่างและงานตกแต่งสำหรับ
ที่พักอาศัย และงานสถาปัตยกรรมกำลังเริ่มเป็นที่นิยมในประเทศไทย ด้วยคุณสมบัติของหลอดไฟ
แอลอีดีดังกล่าว เช่น การประหยัดพลังงาน และไม่ปล่อยรังสีความร้อน ทำให้งานวิจัยเรื่องหลอดไฟ
แอลอีดีเป็นที่สนใจมาโดยตลอด

อย่างไรก็ตามการศึกษาในด้านอิทธิพลต่อการมองเห็นเมื่อมีการเปลี่ยนไปใช้หลอด
แอลอีดีว่าสามารถใช้ทดแทนหลอดไฟชนิดต่างๆ ได้หรือไม่โดยเฉพาะกับคนไทยนั้นยังมียู่
ค่อนข้างจำกัด การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาการมองเห็นของคนไทยจากหลอด
แอลอีดีเมื่อเทียบกับหลอดไฟฮาโลเจนแต่ละชนิด โดยได้ทำการศึกษาอิทธิพลของสองปัจจัย ได้แก่
ปัจจัยแรก คือ การศึกษาอิทธิพลของชนิดของหลอดไฟ และปัจจัยที่สองคือ การศึกษาอิทธิพลของ
ความส่องสว่าง โดยศึกษาอิทธิพลดังกล่าวต่อศักยภาพในการมองเห็นซึ่งทดสอบโดย Numerical
Verification Test (NVT) และต่อความรู้สึกต่อการส่องสว่างที่เกิดขึ้น ซึ่งทำการทดสอบโดยการ
ใช้ Semantic Differential Scale (SDM) การศึกษาครั้งนี้ได้จัดทำในห้องมืดที่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ การทดสอบประกอบด้วย 2 การทดลองโดยแต่ละการทดลองนั้นได้
ศึกษาการเปรียบเทียบหลอดแอลอีดีและหลอดฮาโลเจน แต่ละชนิด การศึกษาครั้งนี้มีผู้เข้าร่วมการ
ทดลองทั้งหมด 32 คนในแต่ละการทดลอง ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าโดยภาพรวมนั้นหลอดไฟ
แอลอีดีสามารถใช้ทดแทนหลอดฮาโลเจนได้และมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าในหลายประเด็น

Noppawut Patirat 2014: A Comparison Study of Visual Performance and Subjective Impression of LED and Halogen Lamp among Thai People. Master of Architecture (Building Innovation), Major Field: Building Innovation, Department of Building Innovation. Thesis Advisor: Mr. Siradech Surit, D.Eng. 124 pages.

At present, the development of LED bulbs (LED) for illumination and decoration for residential areas and architecture become more popular in Thailand. With features such as energy saving of LED light bulbs and no radiation released for LED, this makes researches on LED are of interest for a long time.

However, the studies on the influence on vision on the replacement of LED to other lamps are relatively limited, especially for Thai people. This study aimed to explore the visibility of the Thai people when there is a replacement of LED to each type of halogen. There are two factors to be investigated. The first factor is the lamp type and the second factor is the level of illuminance. The study investigated these two effects on visual performance, assessed by using NV test and on subjective impression of space evaluated by using Semantic Differential Scale (SDM) method. Two experiments were carried out in a dark test room at the Faculty of Architecture, Kasetsart University. There were two experiments to be carried out and each of them aimed to explore different type of the replacement of LED to halogen. There were 32 subjects participated in each experiment. In overall, the results indicated that LED can replace halogen and in several aspects LED perform better than halogen.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในหัวข้อ การศึกษาเปรียบเทียบคุณลักษณะทางแสงสว่างของหลอดแอลอีดีและฮาโลเจน ที่มีผลต่อการมองเห็นของคนไทย ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.ศิริเดช สุริต และ ดร.นวลวรรณ ทวยเจริญอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและความช่วยเหลือตลอดการดำเนินงานวิจัย อีกทั้งได้ให้คำปรึกษา แนะนำ และการตรวจแก้ไขข้อผิดพลาด ข้อบกพร่องต่าง ๆ และขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกมหาวิทยาลัย ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ความกรุณาให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะ

ขอขอบคุณคณาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาคารและอาจารย์พิเศษทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดองค์ความรู้และให้คำแนะนำซึ่งเป็นแนวทางในการทำวิจัยนี้ ตลอดจนบุคลากรทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือติดต่อประสานงาน และจัดทำสถานที่ในการทดลองในครั้งนี้ จนทำให้งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จ

ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับความเอื้อเฟื้อด้านสถานที่ทดลอง และอุปกรณ์เครื่องมือในการวิจัย ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ สำหรับทุนในการศึกษาต่อครั้งนี้ ขอขอบคุณผู้ร่วมทดลอง และเพื่อน ๆ ทุกท่านที่คอยให้กำลังใจและช่วยเหลือมาโดยตลอดจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ข้าพเจ้าขอสัญญาว่าจะนำความรู้ที่ได้ไปพัฒนาให้เกิดประโยชน์ต่อวงการสถาปัตยกรรมไทยต่อไป

นพวุฒิ ไผ่รัตน์

ตุลาคม 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(9)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(13)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	7
อุปกรณ์และวิธีการ	27
อุปกรณ์	27
วิธีการ	38
ผลและวิจารณ์	42
ผล	42
วิจารณ์	84
สรุปและข้อเสนอแนะ	89
สรุป	89
ข้อเสนอแนะ	92
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	93
ภาคผนวก	97
ภาคผนวก ก แบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัย	98
ภาคผนวก ข ตารางสรุปคะแนนในการทดสอบโดยโปรแกรม SPSS	101
ภาคผนวก ค แบบทดสอบก่อนทดสอบและคำอธิบาย	105
ภาคผนวก ง แบบสอบถามการใช้แสงในชีวิตประจำวัน	115
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	124

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สีตามความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	8
2	ค่าความส่องสว่างกับพื้นที่ทำกิจกรรมต่างๆ ตามมาตรฐานของ CIE	10
3	คุณสมบัติหลอดไฟประเภทต่างๆ กับหลอดไฟแอลอีดี	21
4	ทริทเมนต์ที่ใช้ในการทดลอง	32
5	การเปรียบเทียบการวัดค่า Lux meter สองช่วงเวลา	33
6	การเทียบมาตรฐานห้องทดลองที่ใช้ทดสอบโดยโปรแกรม SPSS	34
7	แผนงานวิจัย (Time+Table)	38
8	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของศักยภาพในการมองเห็นหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดีชนิด MR16 ที่ความส่องสว่าง 3 ลำดับ โดยใช้ Paired Sample t-test	42
9	ผลการเปรียบเทียบศักยภาพในการมองเห็นของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดีชนิด MR16 ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับ โดยใช้ Paired Sample t-test	43
10	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดีที่ความรู้สึกชอบ/ไม่ชอบ	44
11	ผลการเปรียบเทียบของความรู้สึกชอบ/ไม่ชอบ ของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดีชนิด MR16 ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับ โดยใช้ Paired Sample t-test	45
12	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดีที่รู้สึกปวดตา/สบายตา	45
13	ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกปวดตา/สบายตาของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดีที่ค่าความส่องสว่าง 3 ระดับโดยใช้ Paired Sample t-test	46
14	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกมืด/สว่างของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดีชนิด MR 16 ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับโดยใช้ Paired Sample t-test	47
15	ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกมืด/สว่างของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดี ชนิด MR 16 ที่ค่าความส่องสว่าง 3 ระดับ โดยใช้ Paired Sample t-test	48

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
16	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกอ่านง่าย/อ่านยากของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดีชนิด MR 16 ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับโดยใช้ Paired Sample t-test	48
17	ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกอ่านง่าย/อ่านยากของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดีชนิด MR16 ที่ค่าความส่องสว่าง 3 ระดับโดยใช้ Paired Sample t-test	49
18	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกโทนเย็น/ร้อนหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดีชนิด MR 16 ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับโดยใช้ Paired Sample t-test	50
19	ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกโทนเย็น/ร้อนของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดีชนิด MR 16 ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับโดยใช้ Paired Sample t-test	51
20	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของศักยภาพในการมองเห็นของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดีชนิด PAR ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับโดยใช้ Paired Sample t-test	51
21	ผลการเปรียบเทียบศักยภาพในการมองเห็นของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดีชนิด PAR ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับโดยใช้ Paired Sample t-test	52
22	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกชอบ/ไม่ชอบของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดีชนิด PAR ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับโดยใช้ Paired Sample t-test	53
23	ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกชอบ/ไม่ชอบของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดี โดยใช้ Paired Sample t-test	54
24	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกบาดตา/สบายตาของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดีชนิด PAR ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับโดยใช้ Paired Sample t-test	54
25	ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกบาดตา/สบายตาของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดี ชนิด PAR โดยใช้ Paired Sample t-test	55

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
26	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกมืด/สว่างของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดีชนิด PAR ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับ โดยใช้ Paired Sample t-test	56
27	ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกมืด/สว่างของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดี ชนิด PAR โดยใช้ Paired Sample t-test	57
28	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกอ่านง่าย/ยากของหลอดไฟฮาโลเจน และหลอดไฟแอลอีดีชนิด PAR ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับโดยใช้ Paired Sample t-test	57
29	ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกอ่านง่าย/ยากของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดี ชนิด PAR โดยใช้ Paired Sample t-test	59
30	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกโทนเย็น/ร้อนของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดีชนิด PAR ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับโดยใช้ Paired Sample t-test	59
31	ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกโทนเย็น/ร้อนของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดี โดยใช้ Paired Sample t-test	60
32	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของศักยภาพในการมองเห็นที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด MR 16	60
33	ผลการเปรียบเทียบศักยภาพในการมองเห็นจากอิทธิพลของแสงสว่างที่แตกต่างกันของหลอดแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด MR 16 โดยใช้ One-way ANOVA	61
34	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกชอบ/ไม่ชอบที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด MR 16	62
35	ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกชอบ/ไม่ชอบจากอิทธิพลของค่าความส่องสว่างที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดไฟฮาโลเจนชนิด MR 16 โดยใช้ One-Way ANOVA	63
36	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคู่ (Multiple Comparisons) ของความรู้สึกชอบ/ไม่ชอบ ระหว่างค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับของหลอดไฟฮาโลเจน โดย Sidak t-test	63

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
37	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกลับดา/สบายตาที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด MR 16	64
38	ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกลับดา/สบายตาจากอิทธิพลของค่าความส่องสว่างที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดไฟฮาโลเจนชนิด MR 16 โดยใช้ One-Way ANOVA	65
39	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกลับดา/สว่างที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด MR 16	65
40	ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกลับดา/สว่างจากอิทธิพลของค่าความส่องสว่างที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดไฟฮาโลเจนชนิด MR 16 โดยใช้ One-Way ANOVA	64
41	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคู่ (Multiple Comparisons) ของความรู้สึกลับดา/สว่างจากค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับของหลอดไฟฮาโลเจน โดย Sidak t-test	67
42	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคู่ (Multiple Comparisons) ของความรู้สึกลับดา/สว่างจากค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับของหลอดไฟแอลอีดี โดย sidak t-test	67
43	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกลับดา/อ่านง่าย/ยากที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด MR 16	68
44	ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกลับดา/อ่านง่าย/อ่านยากจากอิทธิพลของค่าความส่องสว่างที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดไฟฮาโลเจนชนิด MR 16 โดยใช้ One-way ANOVA	69
45	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคู่ (Multiple Comparisons) ของความรู้สึกลับดา/อ่านง่าย/อ่านยาก จากค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับของหลอดไฟฮาโลเจน โดย Sidak t-test	69
46	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคู่ (Multiple Comparisons) ของความรู้สึกลับดา/อ่านง่าย/อ่านยาก จากค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับของหลอดไฟแอลอีดี โดย sidak t-test	70

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
47	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกลึกโตนเย็น/ร้อนที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด MR 16	70
48	ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกลึกโตนเย็น/โตนร้อนจากอิทธิพลของค่าความส่องสว่างที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดไฟฮาโลเจนชนิด MR 16 โดยใช้ One-way ANOVA	71
49	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคู่ (Multiple Comparisons) ของความรู้สึกลึกโตนเย็น/โตนร้อน จากค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับของหลอดไฟแอลอีดี โดยใช้ sidak t-test	72
50	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของศักยภาพในการมองเห็นที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด PAR	72
51	ผลการเปรียบเทียบศักยภาพในการมองเห็นจากอิทธิพลของค่าความส่องสว่างที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดไฟฮาโลเจนชนิด PAR โดยใช้ One-way ANOVA	73
52	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกลึกชอบ/ไม่ชอบที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด PAR	74
53	ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกลึกชอบ/ไม่ชอบจากอิทธิพลของค่าความส่องสว่างที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดไฟฮาโลเจนชนิด PAR โดยใช้ One-way ANOVA	75
54	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคู่ (Multiple Comparisons) ของความรู้สึกลึกชอบ/ไม่ชอบ จากค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับของหลอดไฟฮาโลเจนชนิด PAR โดยใช้ Sidak t-test	75
55	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคู่ (Multiple Comparisons) ของความรู้สึกลึกชอบ/ไม่ชอบ จากค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับของหลอดไฟแอลอีดี โดยใช้ sidak t-test	76
56	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกบาดตา/สบายตาที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด PAR	76

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
57	ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกลับตา/สบายตาจากอิทธิพลของค่าความส่องสว่างที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดไฟฮาโลเจนชนิด PAR โดยใช้ One-way ANOVA	77
58	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกลับตา/สวายที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด PAR	78
59	ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกลับตา/สวายจากอิทธิพลของค่าความส่องสว่างที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดไฟฮาโลเจนชนิด PAR โดยใช้ One-way ANOVA	78
60	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคู่ (Multiple Comparisons) ของความรู้สึกลับตา/สวาย จากค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับของหลอดไฟฮาโลเจน โดย Sidak t-test	79
61	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคู่ (Multiple Comparisons) ของความรู้สึกลับตา/สวาย จากค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับของหลอดไฟแอลอีดี โดย Sidak t-test	79
62	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกลับตา/สวายที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด PAR	80
63	ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกลับตา/สวายจากอิทธิพลของค่าความส่องสว่างที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดไฟฮาโลเจนชนิด PAR โดยใช้ One-way ANOVA	81
64	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคู่ (Multiple Comparisons) ของความรู้สึกลับตา/สวาย จากค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับของหลอดไฟฮาโลเจน โดย sidak t-test	81
65	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคู่ (Multiple Comparisons) ของความรู้สึกลับตา/สวาย จากค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับของหลอดไฟแอลอีดี โดย Sidak t-test	82
66	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกลับตา/สวายที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด PAR	82

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
67 ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกโทนเย็น/ร้อนจากอิทธิพลของค่าความส่องสว่างที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดไฟฮาโลเจนชนิด PAR โดยใช้ One-way ANOVA	83
68 การเปรียบเทียบหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด MR16 ในแต่ละความส่องสว่างว่าสามารถใช้ทดแทนกันได้หรือไม่	84
69 การเปรียบเทียบหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด PAR ในแต่ละความส่องสว่างว่าสามารถใช้ทดแทนกันได้หรือไม่	86
70 ตารางสรุปเปรียบเทียบเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความส่องสว่างต่อศักยภาพการมองเห็นและความรู้สึกของคนไทย ของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด Mr16	87
71 ตารางสรุปเปรียบเทียบเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความส่องสว่างต่อศักยภาพการมองเห็นและความรู้สึกของคนไทย ของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด PAR	87
72 การเปรียบเทียบหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด MR16 ในแต่ละความส่องสว่างว่าสามารถใช้ทดแทนกันได้หรือไม่	89
73 การเปรียบเทียบหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด PAR ในแต่ละความส่องสว่างว่าสามารถใช้ทดแทนกันได้หรือไม่	90
74 อิทธิพลของค่าความส่องสว่างต่อศักยภาพในการมองเห็นและความรู้สึกของคนไทยที่มีต่อหลอดแอลอีดีและฮาโลเจน ชนิด MR 16	91
75 อิทธิพลของค่าความส่องสว่างต่อศักยภาพในการมองเห็นและความรู้สึกของคนไทยที่มีต่อหลอดแอลอีดีและฮาโลเจน ชนิด PAR	92
ตารางผนวกที่	
ง1 ข้อมูลพื้นฐานเบื้องต้นของผู้ร่วมทดสอบ	116

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	เปรียบเทียบคุณภาพของสี (Color Rendering Index)	4
2	เปรียบเทียบค่าการกระจายตัวของสเปกตรัม (SPD) ของหลอดแอลอีดีและฮาโลเจน	4
3	เปรียบเทียบกราฟการกระจายแสง (Polar Curve) ของหลอดแอลอีดีและฮาโลเจน	5
4	สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	8
5	ความไวแสงต่อการมองเห็น	9
6	กรอบแนวคิดปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระบบศักยภาพในการมองเห็นและศักยภาพในการทำงาน	12
7	แบบทดสอบ The numerical verification (NVT)	15
8	แบบทดสอบ Semantic Differential Scale (SDM)	16
9	แผนผังจรรยาบรรณที่ โทมัส อัลวา เอดิสัน ประดิษฐ์	18
10	เปรียบเทียบ Spectral Power Distribution (SPD) ของหลอด Halogen และ LED	19
11	ชุดของหลอดไฟ LED Module	20
12	ตัวเปลี่ยนกระแสไฟฟ้า (Driver)	20
13	ตัวระบายความร้อนออกจากหลอด (Heat Sink)	21
14	ภาพประกอบของคลื่นแสงหลอดไฟแอลอีดี	24
15	โต๊ะทดลองและการติดตั้งขั้วหลอดไฟ	28
16	การทดสอบและการต่อ Switch Dimmer	28
17	เปรียบเทียบหลอด Halogen และ LED ของ Philips	29
18	เปรียบเทียบหลอด Halogen และ LED ของ Philips	30
19	Digital Lux Meter INS รุ่น DX-200	33
20	นาฬิกาจับเวลา Digital Casio STOP-WATCH รุ่น HS-3V	34
21	ตัวอย่างแบบทดสอบ Numerical Verification Test (NVT)	36
22	ตัวอย่างแบบทดสอบ Numerical Verification Test (NVT)	37
23	ตัวอย่างแบบสอบถามแสงในชีวิตประจำวัน	40
24	ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของศักยภาพในการมองเห็นของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด MR 16 ที่ค่าความส่องสว่าง 3 ระดับ	43

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
25	ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความชอบ/ไม่ชอบหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด MR 16 ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับ	44
26	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความบาดเจ็บ/สบายตาของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด MR 16 ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับ	46
27	ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความรู้สึกสว่าง/มืดของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดฮาโลเจน ชนิด MR 16 ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับ	47
28	ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความรู้สึกอ่านง่าย/ยากของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดฮาโลเจน ชนิด MR 16 ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับ	49
29	ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความรู้สึกโทนเย็น/ร้อนของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดฮาโลเจนชนิด MR 16 ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับ	50
30	ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของศักยภาพในการมองเห็นของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดฮาโลเจน ชนิด PAR ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับ	52
31	ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความรู้สึกชอบ/ไม่ชอบของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดฮาโลเจน ชนิด PAR ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับ	53
32	ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความรู้สึกบาดเจ็บ/สบายตาของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดฮาโลเจน ชนิด PAR ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับ	55
33	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความรู้สึกมืด/สว่างของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดฮาโลเจน ชนิด PAR ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับ	56
34	ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความรู้สึกอ่านง่าย/ยากของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดฮาโลเจน ชนิด PAR ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับ	58
35	ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความรู้สึกโทนเย็น/ร้อนของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดฮาโลเจน ชนิด PAR ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับ	59
36	ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความส่องสว่างของหลอดฮาโลเจนและแอลอีดี MR 16 ของศักยภาพในการมองเห็น	61
37	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความชอบ/ไม่ชอบจากอิทธิพลของความส่องสว่างที่แตกต่างกันของหลอดแอลอีดีและหลอดฮาโลเจนชนิด MR 16	62

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
38	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความรู้สึกลบตา/สบายตา จากอิทธิพลของความสว่างที่แตกต่างกันของหลอดแอลอีดีและหลอดฮาโลเจนชนิด MR 16	64
39	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความรู้สึกรู้สึกมืด/สว่าง จากอิทธิพลของความสว่างที่แตกต่างกันของหลอดแอลอีดีและหลอดฮาโลเจนชนิด MR 16	66
40	ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความส่องสว่างของหลอดฮาโลเจนและแอลอีดี ชนิด MR 16 ที่ความรู้สึกรู้สึกอ่านง่าย/อ่านยาก	68
41	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความส่องสว่างของหลอดฮาโลเจนและแอลอีดี Mr 16 ที่ความรู้สึกรู้สึกโทนเย็น/โทนร้อน	71
42	ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความส่องสว่างของหลอดฮาโลเจนและแอลอีดี ชนิด PAR ที่ศึกษาภาพในการมองเห็น	73
43	ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความส่องสว่างของหลอดฮาโลเจนและแอลอีดี ชนิด PAR ที่ความรู้สึกรู้สึก ชอบ/ไม่ชอบ	74
44	ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความส่องสว่างของหลอดฮาโลเจนและแอลอีดี PAR ที่ความรู้สึกลบตา/สบายตา	77
45	ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความส่องสว่างของหลอดฮาโลเจนและแอลอีดี ชนิด PAR ที่ความรู้สึกรู้สึกมืด/สว่าง	78
46	ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความส่องสว่างของหลอดฮาโลเจนและแอลอีดี ชนิด PAR ที่ความรู้สึกรู้สึกอ่านง่าย/อ่านยาก	80
47	ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความส่องสว่างของหลอดฮาโลเจนและแอลอีดี PAR ที่ความรู้สึกรู้สึกโทนร้อน/โทนเย็น	83
ภาพผนวกที่		
ง1	แสดงผลสำรวจกิจกรรมของคนไทยที่ทำโดยการใช้แสงไฟแอลอีดีมากที่สุดในแต่ละวัน	117
ง2	แสดงผลสำรวจระยะเวลาการใช้คอมพิวเตอร์ใน 1 วัน ของผู้ทดสอบ	117
ง3	แสดงผลสำรวจชนิดของหลอดไฟที่ใช้ในห้องนอนของผู้เข้าทดสอบ	118

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ง4	แสดงผลสำรวจแสงที่คนไทยคุ้นเคยในชีวิตประจำวัน	118
ง5	แสดงผลสำรวจความพึงพอใจที่มีต่อแสงแต่ละประเภท	119
ง6	แสดงผลสำรวจงานออกแบบไฟแอลอีดีที่รู้และคุ้นเคย	119
ง7	แสดงผลสำรวจการนอนหลับต่อวันของคนไทย	120
ง8	แสดงผลสำรวจการปิดไฟเวลานอนของคนไทย	121
ง9	แสดงผลสำรวจอุปกรณ์ที่ใช้เกี่ยวกับสายตาของผู้ทดสอบ	121
ง10	แสดงผลสำรวจโรคที่ผู้ทดสอบเคยเป็น	122
ง11	แสดงผลสำรวจแสงที่ผู้ทดสอบพบเจอมากที่สุดในชีวิตประจำวัน	122
ง12	แสดงผลสำรวจปัญหาจากแสงที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน	123

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

CD	=	Candela
CCT	=	Correlated Color Temperature
LED	=	Light-Emitting Diode
CRI	=	Color Rendering Index
fc	=	Foot Candle
kWh	=	Kilowatt Hour
lm	=	Lumen
lm/W	=	Lumen/Watt
W	=	Watt
NVT	=	Numerical Virification Test
SDM	=	Sematic Differential Method
p-Value	=	Probability Value
SD	=	Standard Deveviation
SPD	=	Spectrum Power Distribution
AC	=	Alternate Current
DC	=	Direct Current
V	=	Volt
E	=	Illuminance
L	=	Luminance
I	=	Luminous Intensity

การศึกษาเปรียบเทียบศักยภาพในการมองเห็นและความรู้สึก จากหลอดแอลอีดีและหลอดฮาโลเจนในคนไทย

A Comparison Study of Visual Performance and Subjective Impression of LED and Halogen Lamp among Thai People

คำนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีหลอดไฟแอลอีดี (LED) ถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากกว่าหลอดไฟชนิดอื่นที่ใช้กันในอดีต เช่น ไม่เปลืองรังสี UV และรังสีอินฟราเรด อีกทั้งยังประหยัดพลังงานกว่าหลอดไฟชนิดอื่น ทำให้หลอดไฟแอลอีดีเป็นที่นิยมและนำมาทดแทนหลอดไฟที่ใช้ในปัจจุบันอย่างแพร่หลาย เช่น หลอดอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent) หลอดคอมแพ็กฟลูออเรสเซนต์ (Compact Fluorescent) และหลอดฮาโลเจน (Halogen) อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าแนวโน้มในการใช้หลอดแอลอีดีทดแทนหลอดฮาโลเจนนั้นจะมีมากขึ้นเรื่อยๆ แต่จากการรวบรวมหลักฐานงานวิจัยพบว่า ยังไม่มีการศึกษาที่แน่ชัดว่าหลอดแอลอีดีนั้นสามารถใช้ทดแทนหลอดฮาโลเจนได้หรือไม่

สำหรับหลอดแอลอีดีที่ใช้สำหรับงานตกแต่งและออกแบบที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนั้น ที่นิยมใช้กันอยู่ยังไม่ถูกพัฒนาให้เปล่งลำแสงสีขาวแท้ออกมาได้ (True White) สีที่เกิดขึ้นจากหลอดแอลอีดีนั้นถูกผสมขึ้นจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงที่ตามองเห็น (400-700 nm) หรือมีการใช้สารฟอสฟอรัสเข้ามาช่วยฉาบให้แสงเปล่งออกมาเป็นสีขาวขึ้นเท่านั้น นอกจากนี้หลอดไฟฮาโลเจนและแอลอีดีนั้นยังแตกต่างกันในเรื่องของความถูกต้องของสีของแสง (Color Rendering Index) โดยที่หลอดฮาโลเจนนั้นมีค่าดัชนีความถูกต้องของสี (Color Rendering Index) สูงที่สุดถึง 100 ในขณะที่หลอดไฟแอลอีดี (LED) นั้นมีค่าดัชนีความถูกต้องของสีอยู่ที่ 60-80 รวมไปถึงการกระจายตัวของสเปกตรัม (Spectral Power Distribution) และกราฟการกระจายแสง (Light Distribution Curve) ของหลอดไฟทั้ง 2 ชนิดนั้นมีความต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งคุณสมบัติต่างๆ ดังกล่าวที่กล่าวมานั้นน่าจะส่งผลทำให้เกิดความแตกต่างของศักยภาพการมองเห็นและความรู้สึกต่อสภาพการส่องสว่างดังกล่าวได้ (Fotio, 2004; Ivanov, 2001; O'Donell, 2010)

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์หลัก คือ เพื่อที่จะศึกษาศักยภาพในการมองเห็นและความรู้สึกต่อสภาพแสงสว่างของคนไทยจากหลอดแอลอีดีและหลอดฮาโลเจนว่าสามารถใช้ทดแทนกันได้หรือไม่ โดยในการทดสอบได้ทดสอบกับหลอดไฟ 2 ชนิด คือ ชนิด MR 16 และชนิด PAR เนื่องจากเป็นชนิดของหลอดฮาโลเจนที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันในการให้แสงสว่างที่ที่พักอาศัยและร้านอาหารและมีการนำหลอดแอลอีดีมาทดแทนหลอดดังกล่าว (CIBSE, 2013; TIEA, 2011)

2. ขอบเขตในการศึกษา

2.1 การศึกษาครั้งนี้ได้เปรียบเทียบหลอดไฟ ณ ค่าความส่องสว่าง (Illuminance) ที่ 50 100 และ 300 Lux และใช้ค่าอุณหภูมิสีที่ 2700°K เพื่อให้ประสิทธิภาพของหลอดไฟใกล้เคียงกันมากที่สุด

2.2 การศึกษาครั้งนี้ใช้หลอดแอลอีดีและหลอดฮาโลเจนประเภท MR16 และ PAR ในการเปรียบเทียบเท่านั้น ซึ่งหลอดไฟ 2 ชนิดนี้เป็นที่นิยมใช้ในท้องตลาดซึ่งระบุข้างกล่องว่าสามารถใช้ทดแทนกันได้

2.3 ผู้ร่วมทดสอบในการศึกษาครั้งนี้มีอายุ 20-40 ปี มีการศึกษาอยู่ในช่วงปริญญาตรี-เอก โดยเป็นผู้มีความรู้ความเข้าใจเรื่องแสงสว่างและผ่านการอบรมการทดสอบเบื้องต้น เพื่อให้คุณสมบัติผู้ร่วมทดสอบใกล้เคียงกันที่สุด

2.4 สถานที่ในการทดสอบถูกจำลองและตั้งค่าให้มีดสนิด ค่าการส่องสว่าง (Illuminance = 0 lux) และใช้หลอดไฟในการทดลองในห้องเพียงหลอดเดียวเท่านั้น

วัตถุประสงค์

1. วัตถุประสงค์ในการศึกษา

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์หลัก คือ เพื่อที่จะศึกษาศักยภาพในการมองเห็นและความรู้สึกต่อสภาพแสงสว่างของคนไทยจากหลอดแอลอีดีและหลอดฮาโลเจนว่าสามารถใช้ทดแทนกันได้หรือไม่

โดยประกอบด้วยวัตถุประสงค์ย่อย ดังต่อไปนี้

1.1 เพื่อที่จะเปรียบเทียบศักยภาพในการมองเห็น (Visual Performance) ของหลอดแอลอีดีและหลอดฮาโลเจนว่าสามารถใช้ทดแทนกันได้หรือไม่

1.2 เพื่อที่จะเปรียบเทียบความรู้สึกในการมองเห็น (Semantic Differential Method) ของหลอดแอลอีดีและหลอดฮาโลเจนว่าสามารถใช้ทดแทนกันได้หรือไม่

1.3 เพื่อศึกษาอิทธิพลของค่าความส่องสว่างที่ต่างกันต่อศักยภาพในการมองเห็น (Visual Performance) ของหลอดฮาโลเจนและแอลอีดี

1.4 เพื่อศึกษาอิทธิพลของค่าความส่องสว่างที่ต่างกันต่อความรู้สึกในการมองเห็น (Semantic Differential Method) ของหลอดฮาโลเจนและแอลอีดี

2. สมมุติฐาน

จากการศึกษาและตรวจสอบเอกสารงานวิจัยพบว่า มีการวิจัยหลายชิ้นที่บ่งชี้ถึงคุณสมบัติที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนที่น่าจะมีผลต่อการมองเห็นและความรู้สึกของมนุษย์ ดังนี้

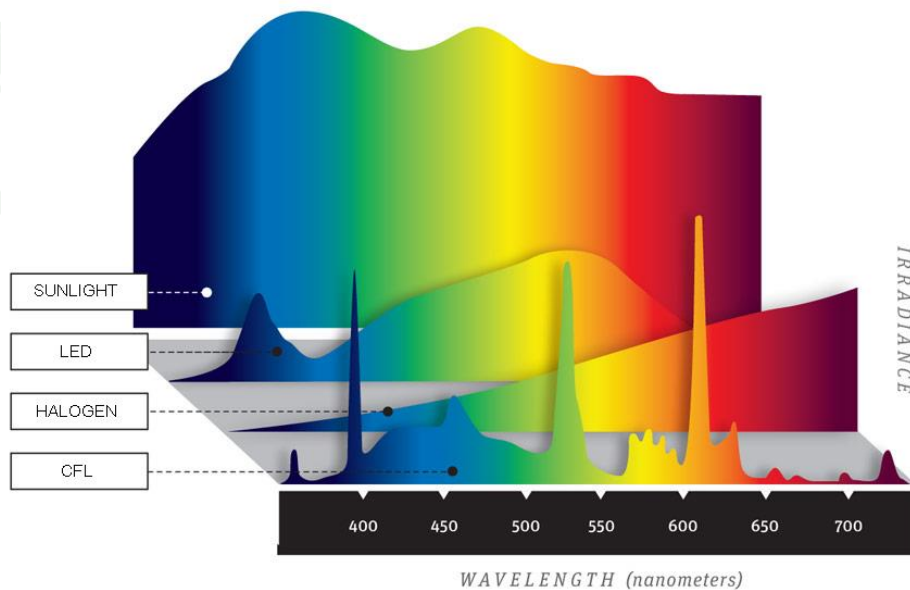
1.1 ความถูกต้องของสีของแสง (Color Rendering Index) ที่ต่างกันของหลอดไฟทั้ง 2 ชนิด ซึ่งหลอดฮาโลเจนนั้นมีค่าดัชนีความถูกต้องของสี (Color Rendering Index) สูงที่สุดถึง 100 โดยที่หลอดไฟแอลอีดี มีค่าดัชนีความถูกต้องของสีอยู่ที่ 60-80 ทำให้สามารถสันนิษฐานได้ว่าอาจจะส่งผลกระทบต่อศักยภาพการมองเห็นและความรู้สึกของมนุษย์ (O'Donnell, 2010)



ภาพที่ 1 เปรียบเทียบคุณภาพของสี (Color Rendering Index)

ที่มา: Erdmann (2009)

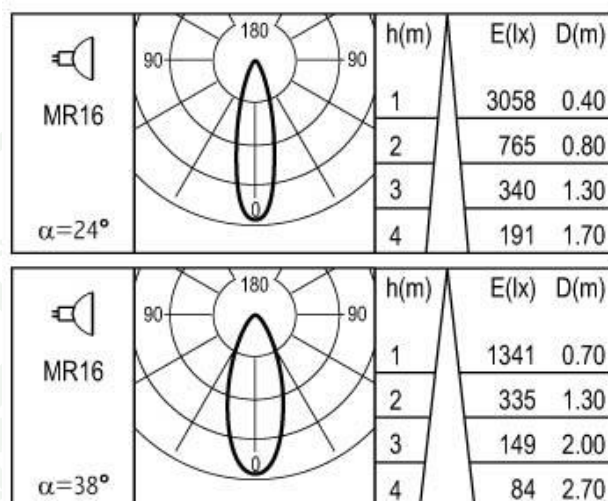
2.2 ค่าการกระจายตัวของสเปกตรัม (Spectral Power Distribution) ของหลอดไฟทั้ง 2 ชนิด มีความต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งจากการศึกษาต่างๆ พบว่าการกระจายตัวของสเปกตรัมที่แตกต่างกันนั้น น่าจะมีผลต่อการรับรู้สีของดวงตามนุษย์และทำให้อาจจะส่งผลต่อการมองเห็นของมนุษย์ (Fotio, 2004)



ภาพที่ 2 เปรียบเทียบค่าการกระจายตัวของสเปกตรัม (SPD) ของหลอดแอลอีดีและฮาโลเจน

ที่มา: Fairchild (2005)

2.3 กราฟการกระจายแสง (Light Distribution Curve) ของหลอดไฟทั้ง 2 ชนิดมีความต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งน่าจะทำให้อาจจะส่งผลต่อการมองเห็นและความรู้สึกต่อสภาพดังกล่าวได้ (Ivanov, 2001)



ภาพที่ 3 เปรียบเทียบกราฟการกระจายแสง (Polar Curve) ของหลอดแอลอีดีและฮาโลเจน

ที่มา: Philips (2012)

จากการรวบรวมหลักฐานดังกล่าวทำให้เกิดสมมุติฐานในการศึกษาครั้งนี้คือ

1. หลอดแอลอีดีทำให้เกิดศักยภาพในการมองเห็นสำหรับคนไทยแตกต่างจากหลอดฮาโลเจน
2. หลอดแอลอีดีทำให้เกิดความรู้สึกต่อสภาพการส่องสว่างสำหรับคนไทยแตกต่างจากหลอดฮาโลเจน
3. ค่าความส่องสว่างของหลอดแอลอีดีที่ต่างกันทำให้เกิดศักยภาพในการมองเห็นที่ต่างกันสำหรับคนไทย
4. ค่าความส่องสว่างของหลอดแอลอีดีที่ต่างกันทำให้เกิดความรู้สึกต่อสภาพการส่องสว่างที่ต่างกันสำหรับคนไทย
5. ค่าความส่องสว่างของหลอดไฟฮาโลเจนที่ต่างกัน ทำให้เกิดศักยภาพในการมองเห็นที่ต่างกันสำหรับคนไทย

6. ค่าความส่องสว่างของหลอดไฟฮาโลเจนที่แตกต่างกันทำให้เกิดความรู้สึกต่อสภาพแสงสว่างที่แตกต่างกันสำหรับคนไทย



การตรวจเอกสาร

1. พื้นฐานเกี่ยวกับการมองเห็นและระบบแสงสว่าง

แสงสว่างเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่มีลักษณะเป็นคลื่นคล้ายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แสงสว่างมีความสำคัญกับมนุษย์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ในการดำรงชีวิตหรือการทำกิจกรรมต่างๆ แสงสว่างแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ แสงสว่างที่เกิดจากธรรมชาติ และแสงสว่างที่เกิดจากมนุษย์สร้างขึ้น โดยอาศัยหลักการที่เลียนแบบแสงจากธรรมชาติ ทำให้มนุษย์สามารถมองเห็นและแยกแยะสีต่างๆ ซึ่งการมองเห็นนั้นขึ้นอยู่กับความยาวของคลื่นแสงที่ตกกระทบลงกับดวงตา (วัชร, 2544)

1.1 สเปกตรัมของความยาวคลื่นในช่วงที่ตาของมนุษย์มองเห็นสามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วงดังนี้

1.1.1 การแผ่รังสีคลื่นยาว (Long-Wave Radiation) เป็นคลื่นที่มีการแผ่รังสีที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 4 ไมครอน (micron) ซึ่งการแผ่รังสีประเภทนี้เป็นการเปลี่ยนจากรังสีเป็นพลังงานความร้อน จำพวกรังสีอินฟราเรด หรือรังสีไมโครเวฟ

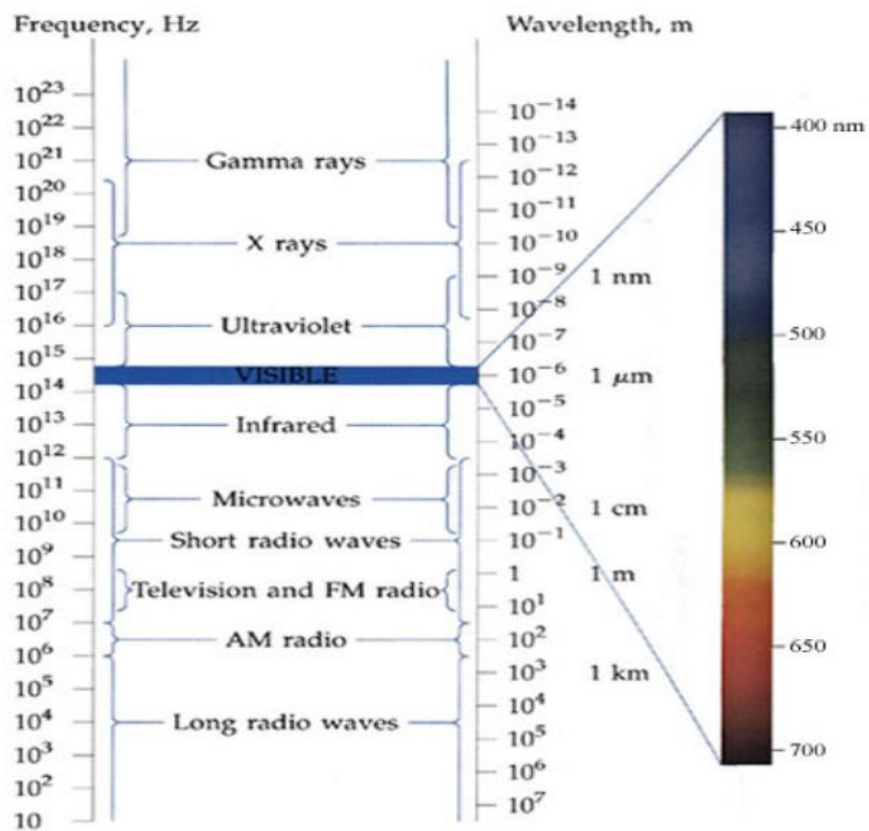
1.1.2 การแผ่รังสีคลื่นสั้น (Short-Wave Radiation) เป็นคลื่นที่มีการแผ่รังสีที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 4 ไมครอน (micron) ซึ่งเป็นคลื่นที่เริ่มต้นตั้งแต่รังสีอัลตราไวโอเล็ต รังสีแกมมา รังสีคอสมิก และรังสีเอ็กซ์

1.1.3 การแผ่รังสีในช่วงที่ตามนุษย์สามารถมองเห็น (Visible Light) ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 380-780 นาโนเมตร ซึ่งสีในแต่ละช่วงความยาวคลื่นสามารถแสดงได้ดังตารางและรูปด้านล่าง

ตารางที่ 1 สีตามความยาวคลื่น (นาโนเมตร)

สี	ความยาวคลื่น(นาโนเมตร)
ม่วง	380-435
น้ำเงิน	435-500
เขียว	500-565
เหลือง	565-600
ส้ม	600-630
แดง	630-780

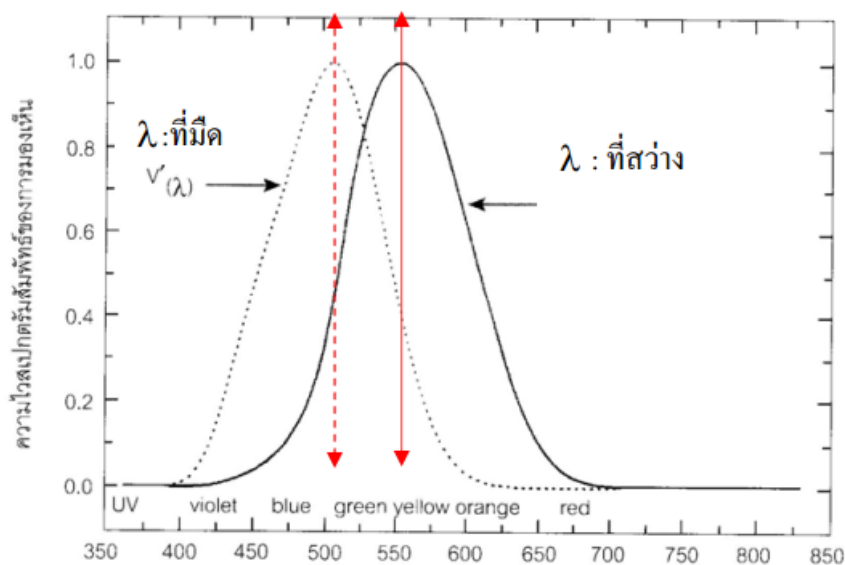
ที่มา: วัชร (2544)



ภาพที่ 4 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ที่มา: วัชร (2544)

โดยปกติตาของมนุษย์จะสามารถมองเห็นแสงสีน้ำเงินสีเขียวในเวลากลางคืนได้ดีที่สุดในช่วงความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร และในเวลากลางวันตาของมนุษย์สามารถมองเห็นสีเขียวเหลืองได้ดีที่สุดในช่วงคลื่น 550 นาโนเมตรดังแสดงในรูปด้านล่าง



ภาพที่ 5 ความไวแสงต่อการมองเห็น

ที่มา: วัชร (2544)

1.2 ค่าความส่องสว่างกับพื้นที่และกิจกรรมต่างๆ

ค่าความส่องสว่างของแสงสำหรับพื้นที่ทำกิจกรรมที่พอเพียงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานของผู้ทำงานมีความชัดเจน ถูกต้องและรวดเร็วขึ้น ซึ่งแสงที่พอเพียงต่อการปฏิบัติงานมีความจำเป็นอย่างมากในการปฏิบัติกิจกรรม ทั้งนี้งานที่มีชิ้นงานขนาดเล็กความเปรียบต่างต่ำ (Low Contrast) อย่างเช่นงานประดิษฐ์ หรืองานประกอบชิ้นส่วนในโรงงานขนาดเล็ก ต้องใช้สายตาในการทำกิจกรรมที่สูงทำให้ต้องมีค่าการส่องสว่างที่สูงกว่า งานชิ้นใหญ่ที่มีความเปรียบต่างสูง (High Contrast) เช่น การรับประทานอาหาร หรือการเดิน ที่ไม่จำเป็นต้องใช้แสงเพื่อแยกความถูกต้องของงานมากนัก (CIE, 2014)

ตามมาตรฐานของ CIE (International Commission on Illumination) ได้กำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับการส่องสว่างที่เพียงพอสำหรับการทำงานในแต่ละพื้นที่กิจกรรม ดังนี้ (CIE, 2014)

ตารางที่ 2 ค่าความส่องสว่างกับพื้นที่ทำกิจกรรมต่างๆ ตามมาตรฐานของ CIE

ค่าความส่องสว่าง (Lux)	พื้นที่และกิจกรรม
20-30-50	ทางเดินและพื้นที่ใช้งานภายนอก
50-100-150	ทางเดินภายใน
100-150-200	ห้องที่ไม่ได้ใช้ทำงานต่อเนื่องเป็นเวลานาน
200-300-500	งานที่ไม่ได้ใช้สายตามากนัก
300-500-750	งานที่ใช้สายตาปานกลาง เช่น สำนักงาน
500-750-1000	งานที่ใช้สายตามาก เช่น งานเขียนแบบ
750-1000-1500	งานที่ใช้สายตามากๆ เช่น งานประกอบชิ้นส่วนเล็กๆ
1000-1500-2000	งานที่ใช้สายตามากเป็นพิเศษ เช่น งานประกอบชิ้นส่วนเล็กๆมาก
มากกว่า 2000	งานที่ใช้สายตาในการทำงานพิถีพิถัน เช่น การผ่าตัด

ที่มา: CIE (2014)

2. การกำเนิดแสง

การกำเนิดแสงสามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ลักษณะ

2.1 การกำเนิดแบบอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent) คือ การกำเนิดแสงที่เกิดจากพลังงานความร้อนหรือการเผาไหม้เป็นพลังงานแสง เช่นการเผาแท่งเหล็กโดยความร้อนที่สูงมากๆ โดยที่เพิ่มอุณหภูมิขึ้นไปเรื่อยๆ ทำให้แท่งเหล็กร้อนและเปลี่ยนสีเป็นสีส้ม และสีเหลือง จนเกิดแสงสว่างในที่สุด หลอดไฟที่ใช้การกำเนิดแสงชนิดนี้คือ หลอดอินแคนเดสเซนต์ หลอดฮาโลเจน (Robert, 1986; Keefe, 2007)

2.2 การกำเนิดแสงแบบลูมิเนสเซนซ์ (Luminescent) คือ การกำเนิดแสงที่ไม่ได้เกิดจากปฏิกิริยาความร้อนให้เป็นพลังงานแสงสว่าง เช่น แสงจากปฏิกิริยาเคมี แสงจากการเปลี่ยนวงโคจรอิเล็กตรอนแสงที่เกิดจากการปล่อยประจุก๊าซ เช่น แสงจากหลอดไฟ ฟลูออเรสเซนต์ หลอดแอลอีดีจะจัดอยู่ในประเภทลูมิเนสเซนซ์แบบ อิเล็กโตรลูมิเนสเซนซ์ (Ectroluminescent) (Wiedemann, 1888)

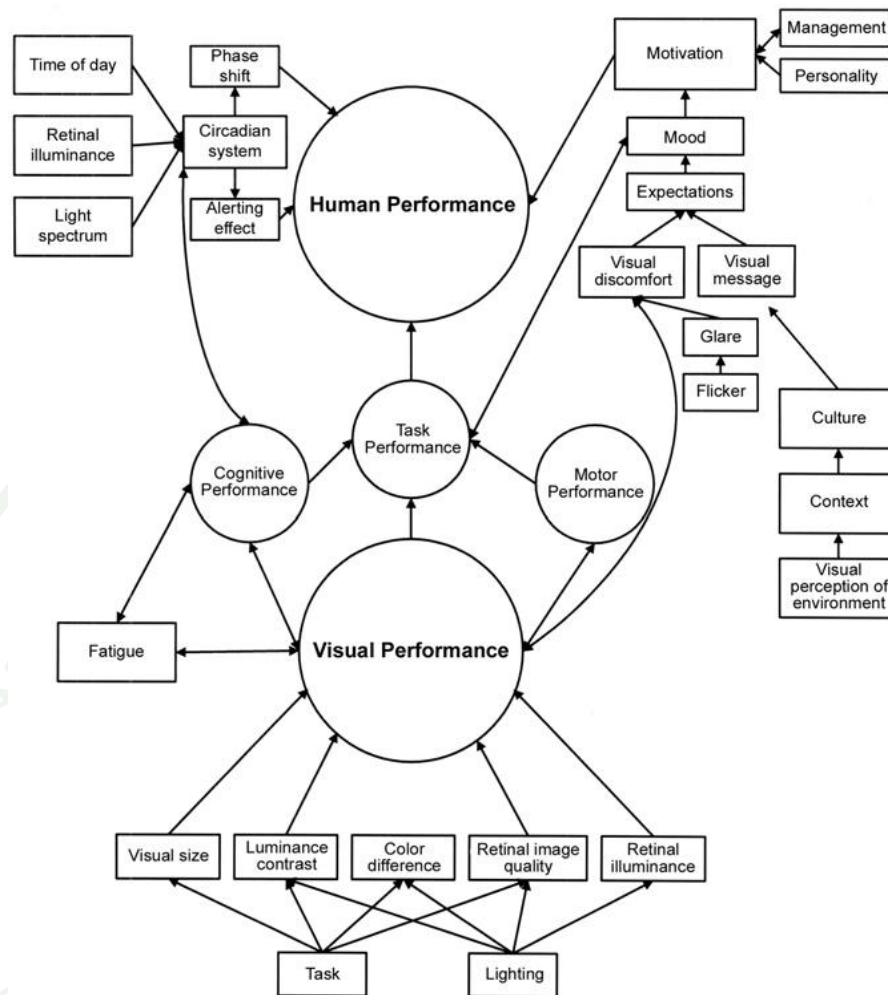
3. แสงสว่างกับศักยภาพในการมองเห็น (Light and Visual Performance)

มนุษย์สามารถรับรู้การมองเห็นได้ด้วยการมองผ่านลูกตา ส่งไปยังประสาทตาและถูกส่งต่อไปยังสมองระบบสมองดังกล่าวเรียกว่า Visual Cortex แสงที่ตกกระทบลงวัตถุจะถูกสะท้อนต่อไปยังเลนส์ (Lens) และตกกระทบเรตินา (Retina) ที่ส่วนหลังสุดของตา เซลล์ประสาทบริเวณเรตินาจะส่งสัญญาณยังสมองเพื่อที่จะแปลข้อมูลเป็นภาพ

ปัจจัยที่ส่งผลให้มนุษย์เกิดการมองเห็นประกอบไปด้วย 2 ปัจจัยซึ่งได้แก่ แสงสว่างและตามนุษย์สามารถปรับตาตัวเองให้มีการมองเห็นในสภาพแวดล้อมที่มีการกำเนิดแสงที่ต่างกัน แต่แสงน้อยกล้ำเนื้อตาที่ต้องปรับสภาพให้มองเห็นในแสงนั้นเป็นเวลานาน ดวงตาจะเกิดการเมื่อยล้าและทำให้ประสิทธิภาพในการมองเห็นและการทำงานลดน้อยลง แสงสว่างที่เหมาะสมจึงช่วยให้มนุษย์มองเห็นและทำงานได้มีประสิทธิภาพและมีความรวดเร็วแม่นยำมากขึ้น

3.1 ศักยภาพในการมองเห็น (Visual Performance)

แสงสว่างที่เหมาะสมทั้งในแง่ปริมาณและคุณภาพจะช่วยให้ทำงานได้ถูกต้องและง่ายขึ้นและมีผลต่อศักยภาพในการมองเห็น (Visual performance) และการทำงานในแต่ละชนิดของงาน (Human performance) ผลกระทบของระบบแสงสว่างต่อศักยภาพในการมองเห็นของมนุษย์แบ่งออกเป็น 3 ทางได้แก่ 1) ผลกระทบโดยผ่านระบบการมองเห็น (Visual) 2) ผลกระทบโดยผ่านระบบนาฬิกาชีวภาพ (Circadian) และ 3) ผลกระทบโดยผ่านระบบการรับรู้ (Perceptual) ดังแสดงในรูปด้านล่าง



ภาพที่ 6 กรอบแนวคิดปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระบบศักยภาพในการมองเห็นและศักยภาพในการทำงาน

ที่มา: Boyce (2004)

Boyce (2003) กล่าวว่าปัจจัยที่มีผลต่อศักยภาพในการมองเห็น (Visual performance) ประกอบด้วย 5 ปัจจัย ได้แก่ 1) ขนาดการมองเห็น (Visual field) 2) ความแตกต่างของความสว่าง (Luminance Contrast) 3) ความแตกต่างของสี (Color difference) 4) คุณภาพของภาพที่ปรากฏที่เรตินา (Retinal Image Quality) และ 5) ปริมาณแสงที่ตกกระทบลงบนเรตินา (Retinal Illumination) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ขนาดของการมองเห็น (Visual field) โดยปกติแล้วมักหมายถึงโดยมุมตันที่ทำกับดวงตาของผู้มอง มุมตัน คือผลหารของพื้นที่ของวัตถุและกำลังสองของระยะทางจากตำแหน่งที่ถูกพิจารณา สิ่งที่มีขนาดใหญ่กว่าจะก่อให้เกิดศักยภาพในการมองเห็นที่มากขึ้น

ความแตกต่างของความสว่าง (Luminance contrast) นั้น คือ ค่าความแตกต่างของความสว่างของวัตถุต่อความสว่างของพื้นหลัง ความแตกต่างของความสว่างที่สูงกว่า จะก่อให้เกิดศักยภาพในการมองเห็นที่มากกว่า อย่างไรก็ตามความแตกต่างของความสว่างที่มากเกินไปอาจก่อให้เกิดแสงบาดตาได้ (Glare)

ความแตกต่างของสี (Color difference) การวัดค่าความแตกต่างของสีที่ถูกยอมรับอย่างแพร่หลายนั้นยังไม่มี (Tansley and Boynton, 1978) อย่างไรก็ตามความแตกต่างของสีนั้นมีผลต่อศักยภาพในการมองเห็น เมื่อวัตถุที่มีความแตกต่างของความสว่างไม่มากนัก

คุณภาพของภาพที่ปรากฏบนเรตินา (Retinal Image Quality) นั้น คือ คุณสมบัติด้านความคมชัดของภาพที่ตกลงบนเรตินา โดยที่หากภาพที่ตกลงบนเรตินานั้นมีการกระจายตัวของความถี่ของแสงที่สูงภาพที่เห็นจะคมชัด โดยความคมชัดของภาพที่ปรากฏบนเรตินานั้นถูกกำหนดโดยปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการกระจายของแสง และความสามารถของระบบการเห็นเพื่อปรับความชัดของภาพบนเรตินา อาทิเช่น ขนาดของรูม่านตา โดยที่ขนาดรูม่านตาที่เล็กกว่าให้คุณภาพที่ปรากฏบนจอตาดีกว่า (Berman et al., 1992)

ปริมาณแสงที่ตกลงบนเรตินา (Retinal Illumination) โดยเมื่อมีแสงตกลงบนเรตินามากขึ้นจะทำให้ศักยภาพในการมองเห็นนั้นดีขึ้น ปริมาณแสงที่เข้าสู่ดวงตาถูกกำหนดโดยความสว่างในขอบเขตของการมองเห็น อันได้แก่ ความสว่างของสิ่งต่างๆ ที่มองและพื้นผิวโดยรอบดัง ความสว่างที่สำคัญคือกลุ่มของแสงสะท้อนจากพื้นผิว เช่น พื้นดิน และแหล่งกำเนิดแสง เช่น ท้องฟ้า ทั้งด้านภายในและภายนอก (Berman et al., 1992)

3.2 แบบทดสอบในการวัดศักยภาพในการมองเห็นและความรู้สึกที่มีต่อแสง

โดยทั่วไปในการวัดศักยภาพในการมองเห็น (Visual Performance) นั้นจะใช้แผนภาพการทดสอบด้วยตัวเลข Numerical Verification Test (NVT) เป็นแบบทดสอบการอ่านโดยใช้ตัวเลขที่มีขนาดอักษรแบบเดียวกันสีเดียวกัน พิมพ์ลงบนกระดาษชนิดเดียวกัน โดยจะแบ่งเป็น 2 แถว ซ้ายและขวา จะประกอบไปด้วยตัวเลขบรรทัดละ 5 หลัก คอลัมน์ซ้ายจะเป็นคอลัมน์ที่ถูก ส่วนคอลัมน์ขวาจะมีบางตัวที่ผิดอยู่ ผู้ทดสอบจะต้องอ่านตัวเลขทั้งหมด 20 บรรทัดให้เร็วที่สุด โดยเมื่ออ่านเจอตัวเลขที่ไม่เหมือนด้านซ้ายให้ทำเครื่องหมายด้วยปากกาสีแดง ในสภาพแสงสว่างที่เปลี่ยนไปของ

หลอดไฟ ผลจากการเก็บข้อมูลจะถูกนำมาคิด เป็น NVT Score เพื่อทำการหาผลทางสถิติต่อไป
(Davis and Garza, 2002)

การคิดคะแนน NVT Score ใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\text{Score} = (T-E) 100/(S+5)$$

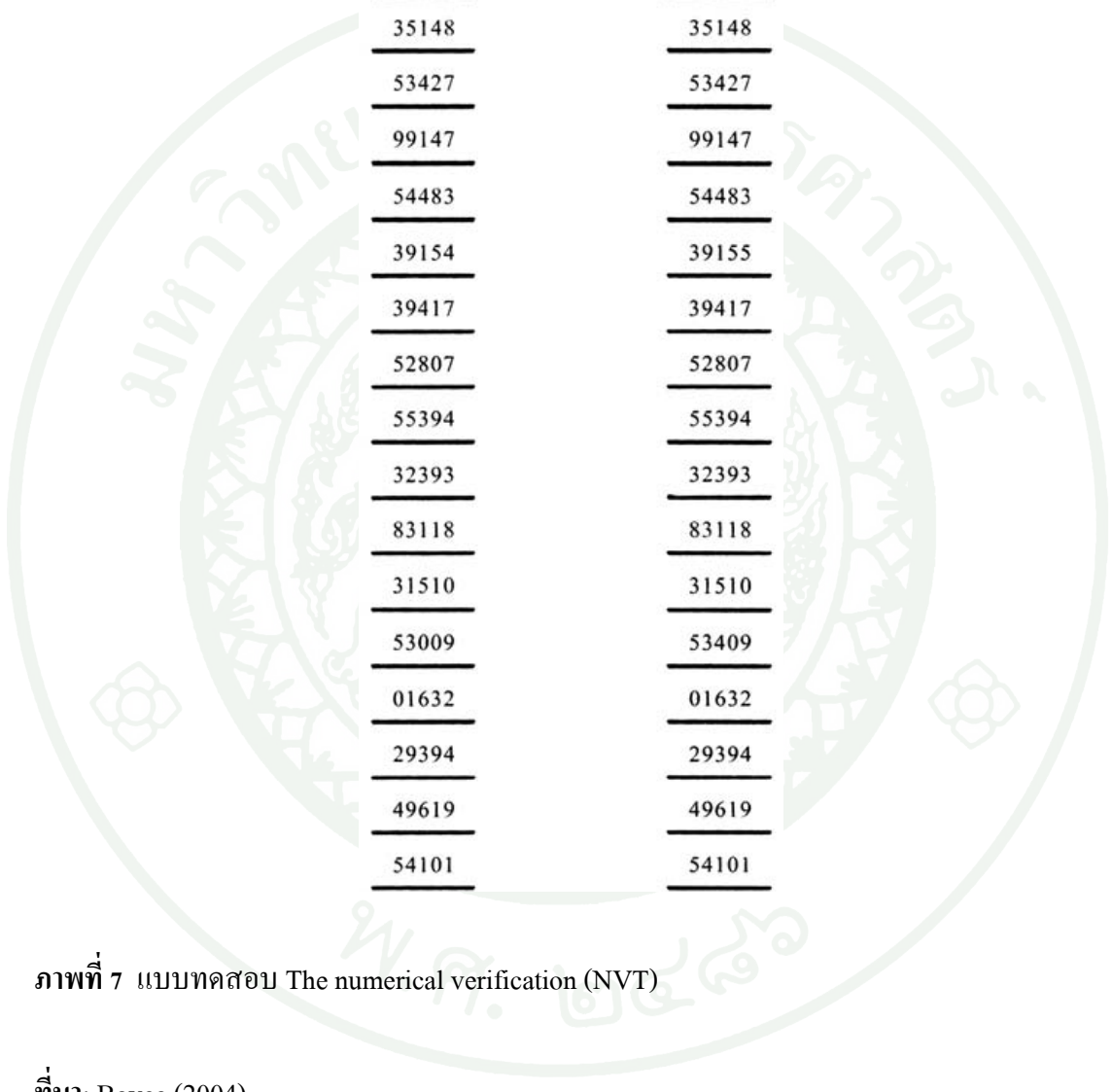
โดยกำหนดให้

T = The number of comparisons per trial

E = Number of Errors

S = Time to complete test

Davis and Garza (2002) ได้ศึกษาลักษณะแสงที่เหมาะสมสำหรับผู้สูงอายุ โดยการทำ
กล่องทดลองขนาดโต๊ะอ่านหนังสือมาตรฐาน 1.20x0.60 ซม. โดยมีการกำหนดค่า ความส่องสว่าง
(Illuminance) 3 ลำดับ ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity) 3 ลำดับ สีของพื้นหลัง 2 ลำดับ สีของแสง
(CCT) 2 ลำดับ โดยใช้ชุดทดสอบ NVT Test Landolt Ring และ Reading Test



58313	58313
51424	51424
26538	26538
10508	10508
35148	35148
53427	53427
99147	99147
54483	54483
39154	39155
39417	39417
52807	52807
55394	55394
32393	32393
83118	83118
31510	31510
53009	53409
01632	01632
29394	29394
49619	49619
54101	54101

ภาพที่ 7 แบบทดสอบ The numerical verification (NVT)

ที่มา: Boyce (2004)

นอกจากนี้ Davis and Garza (2002) ได้ใช้แบบทดสอบ Semantic Differential Scale ในการทดสอบความส่องสว่างของผู้สูงอายุโดยใช้การตั้งคำถามทางความรู้สึก 6 ข้อ คือ ชอบ/ไม่ชอบ สว่าง/มืด สบายตา/ไม่สบายตา อ่านง่าย/อ่านยาก แสงโทนร้อน/แสงโทนเย็น และข้อสุดท้ายถามว่าในสภาพแสงที่ทำการทดสอบ อยากใช้แสงนี้ในการอ่านในชีวิตประจำวันหรือไม่ จากการ

เก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถาม Semantic Differential Scale จะถูกนำไปคำนวณทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS ต่อไป

แบบสอบถามความรู้สึกที่มีต่อแสง Semantic Differential Method (SDM) ใช้ตัวหนังสือ BrowalliaUPC ตัวหนา ขนาด 20 Point แบ่งเป็น 3 ตอนคือ 300 lux 100 lux และ 50 lux ซึ่งจะต้องทำแบบทดสอบนี้หลังจากทำ NVT เสร็จในแต่ละค่าความส่องสว่าง

How would you rate this lighting for reading?

Like: _____:Dislike

Comfortable: _____:Uncomfortable

Too Bright: _____:Too Dim

Easy to Read: _____:Difficult to Read

Pleasant Color of Light: _____:Unpleasant Color of Light

Would you like to have this kind of lighting available for your everyday reading?

Yes: _____:No

Figure A3 - Sample of Subjective Preference Questionnaire

ภาพที่ 8 แบบทดสอบ Semantic Differential Scale (SDM)

ที่มา: Davis (2002)

4. การศึกษาความเป็นมาพื้นฐานของหลอดไฟฮาโลเจน (Halogen)

4.1 พื้นฐานของหลอดไฟฮาโลเจน (Halogen)

หลอดฮาโลเจน หรือ หลอดทังสเตนฮาโลเจน เป็นหลอดที่ใส่หลอดเป็นทังสเตนที่ภายในบรรจุก๊าซเฉื่อยไว้และฮาโลเจนปริมาณน้อย หลอดฮาโลเจนดีกว่าหลอดไส้ปกติตรงที่เมื่อทังสเตนภายในหลอดระเหยออกไปจะกลับมาเป็นไส้หลอดอีกครั้ง โดยผ่านอุณหภูมิของสี (CCT) นั้นหลอดฮาโลเจนมีค่า CCT ที่สูงกว่าหลอดในมาตรฐานเดียวกัน แต่ด้วยขนาดเล็ก หลอดฮาโลเจนจึงมีประสิทธิภาพในการทำงาน การให้แสงสว่างและเป็นที่ยอมรับมากกว่าหลอดไส้ชนิดอื่น

การใช้งานหลอดฮาโลเจนส่วนมากจะเป็นหลอดเพื่อการประดับตกแต่งและการใช้บรรยากาศมากกว่าการใช้งานที่หลากหลาย หลอดฮาโลเจนนั้นเป็นหลอดที่สามารถจุดติดได้ทันที แม้จะมีกระแสไฟฟ้าที่น้อย และสามารถหรี่ค่าความส่องสว่างได้ (Dimmable) และมีค่าการส่องสว่างที่สูง แต่ข้อเสียคือไม่ประหยัดพลังงาน

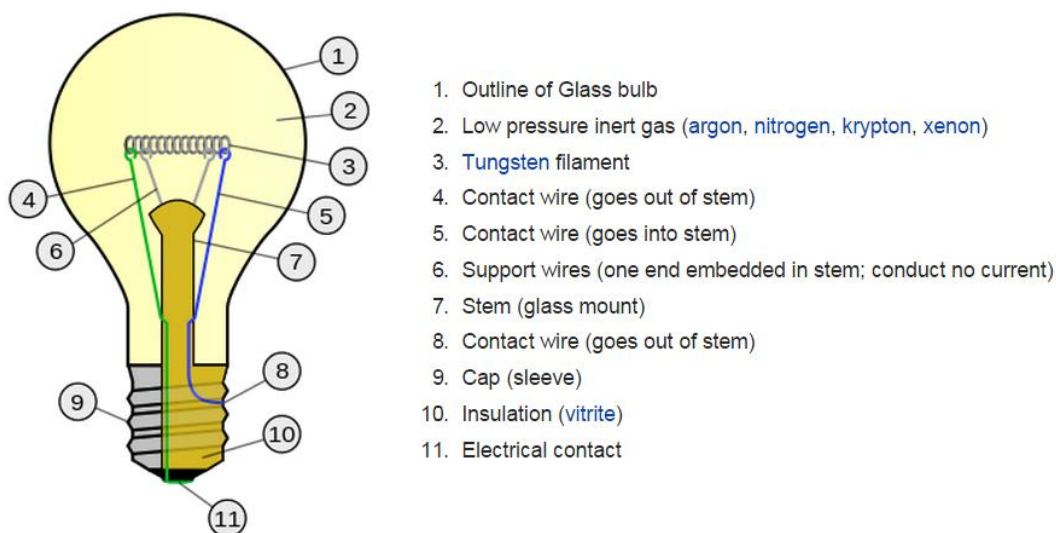
ทางด้านประสิทธิภาพด้านการใช้งานของหลอดฮาโลเจนนั้น หลอดดังกล่าวมีอายุการใช้งานมากกว่าอินแคนเดสเซนต์ 2-3 เท่า นอกจากนี้หลอดฮาโลเจนสามารถหรี่ไฟได้ แต่เมื่อหรี่แล้วอายุการใช้งานจะลดลงไม่เหมือนอินแคนเดสเซนต์ โดยในการติดตั้งหลอดฮาโลเจน หากมือไปสัมผัสด้านในหลอดจะทำให้อายุการใช้งานลดลง อย่างไรก็ตามหลอดฮาโลเจนมีข้อดีกว่าหลอดประเภทอื่นในเรื่องการติดทันทีเมื่อป้อนไฟฟ้า และเมื่อแรงดันต่ำก็ยังให้แสงสว่างได้ แต่ปริมาณแสงอาจลดลง เหมาะสำหรับงานแสงสว่างฉุกเฉินที่มีสภาพการจ่ายไฟไม่ดี

สำหรับในด้านของประสิทธิภาพในการมองเห็นของหลอดฮาโลเจนนั้นหลอดฮาโลเจนมีค่า ความถูกต้องของสี (CRI) 100 ทำให้ความชัดเจนในการมองเห็นสูงที่สุด รวมไปถึงเป็นหลอดที่มีการให้แสงสว่างแบบกระจาย (Flood) จึงทำให้เกิดแสงบาดตาบ่อย และหลอดฮาโลเจนมีสีเดียวคือสีส้ม 2700K-3000K แต่ยิ่งความสว่างมากจะยิ่งขาว

4.2 การพัฒนาหลอดไฟฮาโลเจนจากอดีตสู่ปัจจุบัน

Joule (1900) ค้นพบว่าเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าไปยังตัวต้านทานบางชนิด จะทำให้เกิดความร้อนและมีแสงสว่างออกมา ทำให้ เซอร์ โจเซฟ สวอน (Sir Joseph Swan) (ฝั่งอังกฤษ) และ โทมัส อัลวา เอดิสัน (Thomas Alva Edison) เกิดไอเดียขึ้นมา ต่างฝ่ายพยายามพัฒนาหลอดไฟตามแนวทางของตน สวอน ฝั่งอังกฤษแสดงหลอดไฟฟ้ายกก่อนใน พ.ศ. 2421 และทำการจดลิขสิทธิ์จากหลอดสุญญากาศที่มีคาร์บอนเป็นไส้หลอดแต่ไม่ระบุอายุของไส้หลอด

ต่อมา โทมัส อัลวา เอดิสัน (Thomas Alva Edison) ได้คิดค้นวงจรการต่อวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรมให้เป็นแบบขนานสามารถเปิด-ปิดเฉพาะดวงได้ และคิดค้นหลอดไฟฟ้าที่ทำจากคาร์บอนที่มีอายุการใช้งานนานถึง 13 ชั่วโมง แต่ข้อเสีย คือ ขาดง่าย



ภาพที่ 9 แผงวงจรคาร์บอนที่ โทมัส อัลวา เอดิสัน ประดิษฐ์

ที่มา: Keefe (2007)

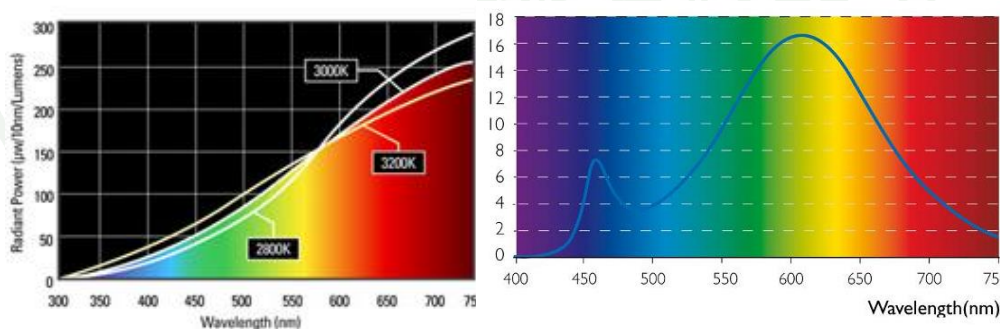
David (1910) ได้ทดลองใช้ทั้งสแตนทำเป็นไส้หลอดเป็นครั้งแรก จุดประสงค์เพื่อให้ไส้หลอดมีความร้อนได้มากขึ้น จากหลอดไส้ธรรมดาเมื่อใช้ไส้เป็นทั้งสแตนสามารถทนความร้อนได้ถึง 3410 องศาเซลเซียส ในขณะที่หลอดไส้ธรรมดามีอุณหภูมิ 2546 องศาเซลเซียส อีกทั้งการใช้ทั้งสแตนเป็นไส้หลอดทำให้หลอดขาดยากขึ้นช่วยยืดอายุการใช้งานของหลอดไฟได้

David (1910) หลังจากประสบความสำเร็จในการใช้ทั้งสแตนเป็นไส้หลอดต่อมา ได้ทดลองเติมก๊าซเฉื่อยลงไป เช่น พวกอาร์กอน ไนโตรเจน ทำให้หลอดไฟสว่างขาวนวล แต่การเติมก๊าซลงไปทำให้เกิดการพาความร้อนออกไปจากไส้หลอดทำให้ใช้ไประยะหนึ่งความสว่างของหลอดไฟลดลง จึงพัฒนาไส้หลอดให้มีรูปแบบเป็นขดเกลียวเพื่อเพิ่มความร้อนให้กับไส้หลอดทำให้ความสว่างไม่ลดลงไป หลังจากมีการเติมก๊าซต่างๆลงไป ก็เริ่มพัฒนาเป็นหลอดชนิดใหม่ๆขึ้นมาเรื่อยๆ เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ หรือการเติมก๊าซนีออนให้หลอดนีออนมีแสงสีแดง การบรรจุไอปรอท และการฉาบสารเรืองแสงของหลอดเมอร์คิวรี จนถึงหลอดแอลอีดีที่ใช้ในปัจจุบัน

5. การศึกษาพื้นฐานหลอดไฟแอลอีดี (LED)

5.1 พื้นฐานหลอดไฟแอลอีดี (LED)

หลอดไฟแอลอีดี (Light-emitting diode) เป็นหลอดที่แปลงคลื่นความถี่ออกมาสีเดียว ต่อเนื่องกัน สามารถเปล่งแสงได้เมื่อจ่ายกระแสไฟเพียงเล็กน้อย มีหลายสี และให้ประสิทธิภาพดีกว่าหลอดไฟขนาดเล็กทั่วไป ในปัจจุบันหลอดแอลอีดีถูกพัฒนาให้เทียบเท่าและดีกว่าหลอดบางประเภทในท้องตลาด แต่ก็มีข้อจำกัดบางชนิดที่หลอดไฟแอลอีดียังเลียนแบบหลอดประเภทหลอดไส้ไม่ได้ในหลายๆด้าน หลอดไฟแอลอีดียังไม่มีสีขาวแท้ (True White) โดยสีจากหลอดไฟแอลอีดี เกิดจากการผสมของสี แดง น้ำเงิน เขียว จนเกิดแสงสีขาว หรือเกิดจากการฉาบฟอสฟอรัสสีเหลือง เพื่อให้เกิดสีขาว จึงทำให้สีของหลอดแอลอีดี ไม่มีสีแท้ที่แน่นอน ทั้งนี้คุณภาพขึ้นอยู่กับ เทคนิคการผสมสีของแต่ละยี่ห้อ ซึ่งจากการศึกษาตลาดจะพบว่าหลอดแอลอีดีที่มีขายอยู่ในประเทศไทยจะแบ่งเป็น 2 เกรด คือ เกรด A กับ B เกรด A จะมีค่า CRI 80-90 ส่วน B จะมี 60-70 และราคาจะแตกต่างกันมากส่วนมากผู้บริโภคจะนิยมซื้อเกรด B เพราะราคาถูกกว่า หลอดไฟประเภทนี้ถูกผลิตขึ้นในประเทศ จีน มาเลเซีย และไทย ในการวิจัยนี้ได้ใช้หลอดไฟชนิดที่นิยมใช้และเป็นเกรด A เพื่อความน่าเชื่อถือ และสามารถปรับความส่องสว่างได้



ภาพที่ 10 เปรียบเทียบ Spectral Power Distribution (SPD) ของหลอด Halogen และ LED

ที่มา: Fairchild (2005)

หลอดแอลอีดี (Light Emitting Diode) หรือที่เรียกกันว่า ไอโอดเปล่งแสง มีต้นกำเนิดมาจากไดโอด ซึ่งเป็นอิเล็กทรอนิกส์ชนิด 2 ขั้ว เพื่อควบคุมการไหลของประจุไฟฟ้าให้ทำการไหล

ไปในทิศทางเดียวกัน และปิดกั้นการไหลกลับของประจุไฟฟ้า ไดโอดมักจะทำมาจากสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Diodi) ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำที่สามารถใช้ต่อกับขั้วไฟฟ้าได้ทั้งสองขั้ว (Doug, 2013)

ส่วนประกอบของหลอดไฟแอลอีดีประกอบด้วย 3 ส่วนหลักได้แก่ 1) ชุดของหลอดไฟ (LED Module) 2) ตัวเปลี่ยนกระแสไฟฟ้า (Driver) และ 3) อุปกรณ์ระบายความร้อนจากตัวหลอด (Heat Sink) (พรรณชลัท, 2011) ดังแสดงในรูปด้านล่าง



ภาพที่ 11 ชุดของหลอดไฟ LED Module

ที่มา: พรรณชลัท (2011)



ภาพที่ 12 ตัวเปลี่ยนกระแสไฟฟ้า (Driver)

ที่มา: พรรณชลัท (2011)



ภาพที่ 13 ตัวระบายความร้อนออกจากหลอด (Heat Sink)

ที่มา: พรรณชลัท (2011)

5.2 ประสิทธิภาพของหลอดไฟแอลอีดี

หลอดแอลอีดีเป็นหลอดที่ให้แสงสว่างที่ดีกว่าหลอดไฟธรรมดาทั่วไป โดยเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับแล้วหลอดแอลอีดีนั้นกินกระแสไฟต่ำกว่า 1-20 mA ทำให้ประหยัดพลังงานและตัวหลอดยังมีอายุการใช้งานที่นานถึง 50,000-100,000 ชั่วโมง และยังไม่ก่อให้เกิดรังสีอินฟราเรด และอัลตราไวโอเลต โดยคุณสมบัติของหลอดดังแสดงในตารางด้านล่าง (พรรณชลัท, 2011)

ตารางที่ 3 คุณสมบัติหลอดไฟประเภทต่างๆ กับหลอดไฟแอลอีดี

ชนิดของหลอดไฟ	ประสิทธิภาพ (ลูเมน/วัตต์)	อุณหภูมิสี (K)	ดัชนีความถูกต้องของสี (CRI)	อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)
หลอดไส้	5 – 12	2,500 – 2,700	100	1,000
หลอดไส้				
ทั้งสแตนด์-ฮาโลเจน				
• แรงดันปกติ	12 – 22	2,800	100	1,500 – 3,000
• แรงดันต่ำ	12 - 22	3,000		2,000 – 3,000

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ชนิดของหลอดไฟ	ประสิทธิภาพ (ลูเมน/วัตต์)	อุณหภูมิสี (K)	ดัชนีความถูกต้องของสี (CRI)	อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)
หลอดฟลูออเรสเซนต์ธรรมดา				
• ชนิดตรง (T8)	45 – 80	2,700 – 6,500	60 – 80	8,000 – 10,000
• ชนิดกลม (T9)	60 – 70	2,700 – 6,500	60 -80	5,000 – 8,000
หลอดฟลูออเรสเซนต์ฟลักซ์การส่องสว่างสูง				
• ชนิดตรง (T8)	73 – 93	2,700 – 6,500	80 – 90	8,000 – 10,000
• ชนิดตรง (T5)	90 - 93	2,700 – 6,500	80 - 90	10,000 - 12,000
หลอดคอมแพ็คฟลูออเรสเซนต์	40 – 80	2,700	80 – 90	7,500 – 10,000
หลอดโซเดียมความดันต่ำ	100 – 180	2,000	0 – 20	22,000 – 24,000
หลอดเมอร์คิวรี	30 – 60	3,000 – 4,200	40 – 60	20,000 – 24,000
ชนิดของหลอดไฟ	ประสิทธิภาพ (ลูเมน/วัตต์)	อุณหภูมิสี (K)	ดัชนีความถูกต้องของสี (CRI)	อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)
หลอดโซเดียมความดันสูง	70 – 130	2,000 – 2,200	30 – 50	18,000 – 24,000
หลอดเมทัลฮาไลด์	60 – 120	2,900 – 6,000	60 – 90	8,000 – 15,000
หลอดแอลอีดี	25 – 64	2,700 – 10,000	70 – 100	35,000 – 60,000

ที่มา: พรรณชาติ (2011)

5.3 ประสิทธิภาพด้านการมองเห็นจากหลอดแอลอีดี

ในปัจจุบันหลอดไฟแอลอีดีแบ่งได้เป็น 2 เกรด คือ แบบที่ราคาถูกจะมีค่า CRI 60-70 ส่วนแบบที่มีราคาแพงกว่าจะมีค่า CRI อยู่ที่ 80-90 หลอดไฟแอลอีดีเป็นหลอดที่ไม่มีสีแท้ (True White) จึงไม่มีสีที่ชัดเจน สีที่ได้เกิดมาจากการฉาบตัวหลอดเป็นสีต่างๆ หลอดไฟแอลอีดี ชนิด Dimmable ถ้าหากหรี่แสงให้ต่ำลงเกิด 50% จะเกิดการกระพริบ ยิ่งหรี่ต่ำแสงจะยิ่งกระพริบมากขึ้น เมื่อคนมองภายใต้แสงนี้จะเกิดการปวดตา และความไม่สบายตา และหากมองหลอดไฟแอลอีดี โดยตรงเป็นเวลานานสามารถทำให้สายตาเสียถาวรได้ โดยที่แอลอีดีจะมีแสงที่เรียกว่า “Blue light” ที่เป็นแสงสีในช่วงที่มีสีน้ำเงินที่จะมีผลทำลายเรตินาได้ (CIE, 2012; O'Donnell, 2010) โดยจากการศึกษาของ French Agency for Food, Environment and Occupational Health and Safety (2010) ได้ชี้ให้เห็นว่าการมองแสงสีฟ้า (Blue-Light Hazard) ในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร มีอันตรายต่อเรตินา โดยเฉพาะอย่างยิ่งเด็กทารกและเด็กเล็ก เนื่องจากเรตินายังอ่อนแอต่อแสงและยังไม่สมบูรณ์

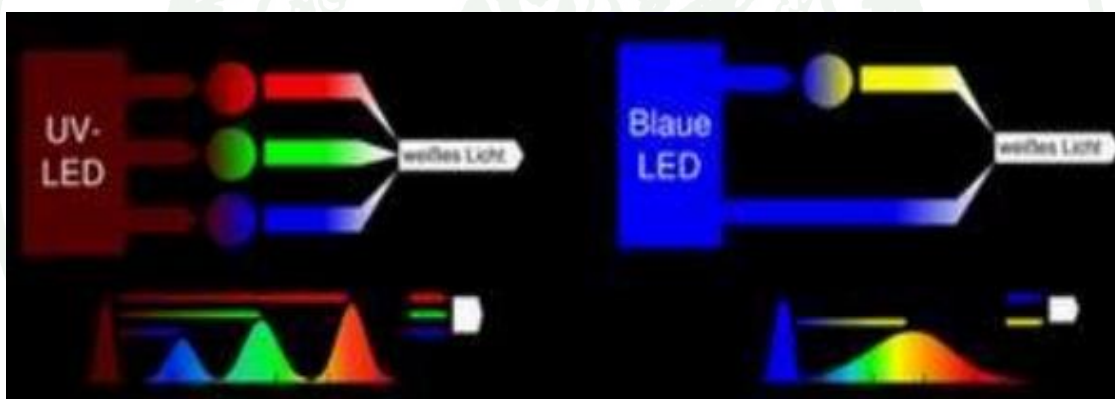
อย่างไรก็ตามหากพิจารณาในเรื่องของความนุ่มนวลตาและความรู้สึกที่มีต่อแสงนั้น หลอดแอลอีดีนั้นจะก่อให้เกิดความนุ่มนวลตาที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับหลอดไส้หรืออินแคนเดสเซนต์หรือฮาโลเจนทั้งสแตนด์ เพราะลักษณะแสงของหลอดแอลอีดีจะเป็นแสงพุ่งและเมื่อปรับความส่องสว่างหลอดแอลอีดีให้สีที่เพี้ยนไปจากเดิม ซึ่งต่างจากหลอดฮาโลเจนหรืออินแคนเดสเซนต์ที่แสงสว่างยังเข้มคงเดิม และแม้ว่าหลอดแอลอีดีมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าหลอดทั่วๆ ไปแต่ในแง่ของความถูกต้องของสีเมื่อเปรียบเทียบกับหลอดฮาโลเจนชนิด MR 16 พบว่าเมื่อนำมาส่องวัตถุชนิดเดียวกันหลอดแอลอีดีชนิด MR 16 จะไม่จับวัตถุที่ส่องในแนวลึก ทำให้แสงที่ออกมาขาดมิติ ลึกตื้น (Depth) นอกจากนี้หลอดแอลอีดีหนึ่งหลอดประกอบไปด้วยเม็ดแอลอีดีหลายเม็ดเมื่อทำการส่องลงไปบนวัตถุทำให้วัตถุนั้นเกิดเงาหลายเงาซ้อนกันได้ (พรรณชลัท, 2011)

5.4 การพัฒนาหลอดไฟแอลอีดีจากอดีตสู่ปัจจุบัน

ในปี 1907 Robin Braunstin ได้ค้นพบสารกึ่งตัวนำที่สามารถเปล่งรังสีอินฟราเรดออกมาได้เป็นครั้งแรกจากสารแกเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) ต่อมา Nick Holonyak (1962) เป็นผู้พัฒนาหลอดไฟแอลอีดีขึ้นเป็นหลอดแรกจากสารกึ่งตัวนำซึ่งหลอดแอลอีดีชนิดแรกที่ถูกค้นพบ เป็นหลอดแอลอีดีสีแดงลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ หลังจากนั้นไม่นาน Shuji Nakamura (1993) นักวิทยาศาสตร์ชาวญี่ปุ่นได้คิดค้นหลอดไฟแอลอีดีสีฟ้าและเขียวได้สำเร็จ และเมื่อนำความถี่ของหลอดทั้ง 3 สี มา

ผสมกันทำให้เกิดเฉดสีต่างๆมากมายรวมถึงหลอดแอลอีดีสีขาวที่มีใช้กันในปัจจุบัน และเนื่องจากหลอดแอลอีดีในปัจจุบันสามารถให้แสงสว่างในปริมาณที่มากกว่าหลอดทั่วไป ทำให้หลอดแอลอีดีนั้นมีแนวโน้มในการใช้งานมากขึ้นในหลายๆประเทศ จากการศึกษางานวิจัยแสดงให้เห็นว่าหลอดไฟแอลอีดีนั้นในสหรัฐอเมริกา มีอัตราการเพิ่มขึ้นของการใช้งานและการขายในอัตราสูงถึงปีละ 25% (Hyari, 2006)

จากการศึกษาพบว่าหลอดแอลอีดีในคลื่นความถี่เดียวสามารถเปล่งแสงออกมาได้เป็นสีเดียวเท่านั้น และเพื่อให้หลอดแอลอีดีมีสีขาวจะทำโดย 2 วิธี คือ 1. ใส่ส่วนผสมของการฉาบฟอสฟอรัสเข้าไปในแก้วหลอดเพื่อให้แสงสีฟ้า (Blue Light) ลี้ผ่านฟอสฟอรัสสีเหลืองจนเกิดเป็นแสงสีขาว เทคนิคนี้เรียกว่าการเปลี่ยนความยาวคลื่น (wavelength conversion) 2. เป็นการนำแม่สี (RGB) ของหลอดไฟแอลอีดีทั้ง 3 สีมาผสมกันเพื่อให้เกิดแสงสีขาว เรียกว่าเทคนิคการผสมสี (colour mixing) ดังแสดงในภาพด้านล่าง



ภาพที่ 14 ภาพประกอบของคลื่นแสงหลอดไฟแอลอีดี

ที่มา: สิลาวดี (2551)

อย่างไรก็ตามในปัจจุบันยังไม่สามารถผลิตหลอดแอลอีดีที่มีสีขาวแท้ๆออกมาได้ ซึ่งสีที่ออกมายังมีสีที่ผิดเพี้ยนอยู่มาก โดยหลอดแอลอีดีในปัจจุบันที่ให้สีขาวในช่วงสีที่ 2,700 – 10,000°K สีของหลอดจึงผิดเพี้ยนไปบ้างโดยเมื่อเปรียบเทียบกับหลอดชนิด ฮาโลเจนทั้งสแตนด์ หรือ หลอดคอมแพ็คฟลูออเรสเซนต์ สำหรับค่าดัชนีความถูกต้องของสีของแสงแล้วหลอดแอลอีดีที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีค่า CRI อยู่ในช่วง 63 – 95 ซึ่งแล้วแต่ประเภทที่เลือกใช้ โดยทั่วไปแล้วหลอดไฟแอลอีดีที่ขายตามท้องตลาดส่วนใหญ่ไม่มีสารฟอสเฟอร์เคลือบตัวหลอดไว้ ซึ่งจะทำให้เกิดแสงบาดตาขึ้นได้

ดังนั้นหลอดแอลอีดีชนิดนี้ไม่ควรนำมาใช้กับกิจกรรมเช่น การอ่านหนังสือหรือป้ายโฆษณา หรืองานที่ต้องการคุณภาพของแสงสูง หากต้องการลดแสงบาดตาลงอาจใช้เป็นโคมที่มีแก้วฝ้าปิดแต่การทำแบบนั้นจะทำให้ความสว่างของแสงลดลงด้วย (พรรณชลัท, 2011)

6. งานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาด้านสัณยภาพในการมองเห็นของมนุษย์

Davis and Garza (2002) ได้ศึกษาถึงลักษณะแสงที่เหมาะสมต่อการอ่านสำหรับผู้สูงอายุ เนื่องจากผู้สูงอายุจะมีปัญหาเกี่ยวกับการอ่าน เนื่องจากตาของผู้สูงอายुरับแสงได้น้อยลงและมีการตอบสนองความต่างของวัตถุลดลง โดยใช้วิธีการทดสอบทั้งหมด 3 ส่วน คือ Numerical Verification Test (NVT) , Reading Test (MN Read) และ Semantic Differential Scale โดยกำหนดให้มีค่า ความส่องสว่าง (Illuminance) 3 ระดับ ค่าความสม่ำเสมอ(Uniformity) 3 ระดับ ค่า สีของแสง (CCT) 2 ระดับ และ พื้นหลัง (Background) 2 ระดับ โดยพบว่าผู้สูงอายุมีความพึงพอใจในการอ่านเพิ่มขึ้นเมื่อมีค่าความส่องสว่างที่สูงขึ้น

Yamagishi (2003) ได้ศึกษาอิทธิพลของค่าอุณหภูมิสีของแสง (Correlated Color Temperature, CCT) ต่อการมองเห็นของเด็ก วัยกลางคน และผู้สูงอายุ โดยได้ศึกษาค่าอุณหภูมิสีของแสง 3 ระดับ ได้แก่ 2500°K, 5000°K, และ 8200°K การทดสอบนั้นทำโดยใช้ Landolt ring chart Color Checker Numerical Verification Test (NVT) และการทดสอบแบบ Semantic Differential Scale ผลการศึกษาสรุปได้ว่าแสงจากหลอดไฟแอลอีดีที่เหมาะสมกับเด็กคือ อุณหภูมิสี 2500°K และจากการทดสอบแสงที่ทำให้ผู้สูงอายุรู้สึกถึงความตื่นตัวมากที่สุด คือปริมาณแสงที่มีอุณหภูมิสี 5000°K

BM O'Donnell (2006) ได้ศึกษาอิทธิพลของความแตกต่างของความสว่างและสีต่อสัณยภาพในการมองเห็น ผลการศึกษาสรุปได้ว่าความแตกต่างของสีจะมีผลต่อสัณยภาพการมองเห็นเมื่อมีความต่างของความสว่างประมาณ 0.20

Cheal and Boyce (2005) ได้ศึกษาเรื่องการกระจายสเปกตรัมของแสง (Spectral Power Distribution, SPD) การรับรู้ของแสงสว่าง และสัณยภาพการมองเห็นบนทางเท้า โดยศึกษาจากแหล่งกำเนิดแสงที่มีค่าสเปกตรัมที่ต่างกันซึ่งจะทำให้เกิดความรู้สึกที่แตกต่างกันจากแสงดังกล่าว การศึกษานี้ต้องการพิสูจน์ว่าค่า SPD นั้นเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดค่าความสว่างต่อสัณยภาพ

การมองเห็นบนทางเดิน ผลจากการศึกษาชี้ให้เห็นว่าค่า SPD ของแสงส่งผลต่อสภาพการมองเห็นในช่วงพลบค่ำเท่านั้น (Mesopic Vision)

7. สรุปการตรวจเอกสารงานวิจัย

ในการตรวจเอกสารพบว่าถึงแม้ว่าหลอดแอลอีดีจะมีการพัฒนาและมีแนวโน้มในการใช้งานทดแทนหลอดไฟหลายๆ ชนิดอย่างมากมาย อย่างไรก็ตามการศึกษาศภาพการส่องสว่างของหลอดไฟแอลอีดีที่มีผลต่อการมองเห็นของคนไทยยังมีไม่มากนัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแง่ของการเปรียบเทียบอิทธิพลทางด้านศักยภาพในการมองเห็นและความรู้สึกต่อสภาพการส่องสว่างที่ได้จากหลอดแอลอีดีกับหลอดฮาโลเจน ซึ่งจากการรวบรวมหลักฐานพบว่ายังไม่มีการศึกษาในเรื่องดังกล่าว

จากการศึกษาของ Miller *et al* (1992) พบว่าลักษณะเด่นของชนชาติ ตะวันตกและตะวันออกมีการรับรู้ของสีที่ต่างกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากสภาพความเคยชิน สภาพแวดล้อม และสีตา สภาพดังกล่าวทำให้การตอบสนอง ความไวของสายตาต่อกิจกรรมต่างๆ ของคนที่มีสีตาที่แตกต่างกันนั้นต่างกัน อีกทั้งในแง่ของคุณสมบัติต่างๆ ที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดฮาโลเจน เช่น กราฟการกระจายแสง (Spectral Power Distribution) ค่าดัชนีความถูกต้องของสีของแสง (Colour Rendering Index) รวมถึงการกระจายตัวของสเปกตรัม (Light Distribution Curve) ซึ่งจากการศึกษาต่างๆ ในอดีตชี้ให้เห็นว่าหากประกอบด้วยปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ที่แตกต่างกันนั้นน่าจะก่อให้เกิดผลต่อการมองเห็นและความรู้สึกต่อแสงที่แตกต่างกัน

นอกจากนี้จากการตรวจเอกสารยังพบว่าในการทดสอบศักยภาพการมองเห็นและความรู้สึกต่อแสงนั้นการทดสอบโดยใช้แบบทดสอบ NVT และ SDM (Davis and Garza, 2002) เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการสำรวจและทดลองเรื่องอิทธิพลของหลอดไฟ

อุปกรณ์และวิธีการ

ในปัจจุบันหลอดไฟแอลอีดี (LED) ถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเพื่อตอบสนองการใช้งานและเพื่อผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจ ประเทศไทยเป็นหนึ่งในเอเชียที่กำลังเปลี่ยนแปลงนำเทคโนโลยีหลอดไฟแอลอีดีมาใช้ โดยประเทศที่ใช้แอลอีดีกันมากในเอเชีย คือ ญี่ปุ่นและสิงคโปร์ ในประเทศไทยไฟประเภทแอลอีดีกำลังเติบโตอย่างช้าๆ และมีให้เลือกหลากหลายในตลาด แต่การศึกษาด้านหลอดไฟแอลอีดีในด้านการมองเห็นที่ส่งผลกระทบต่อการทำงาน และการทำกิจกรรมของคนไทย ยังมีไม่มากนัก

จากการศึกษางานวิจัยของ Miller (1988) พบว่าสีของตามนุษย์มีผลต่อการทำกิจกรรม ในด้านของความถนัดและความรวดเร็ว ลักษณะสีของตาคนไทยเป็นสีเข้ม การมองเห็นหรือการรับรู้แสงจะแตกต่างกับคนตะวันตก วัตถุประสงค์ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ คือศึกษาเปรียบเทียบศักยภาพของหลอดไฟแอลอีดี (LED) และ หลอดไฟฮาโลเจน (Halogen) ในด้านศักยภาพการมองเห็นและด้านความรู้สึกลดสภาพส่องสว่าง โดยศึกษาในสองแง่ ได้แก่ ในแง่แรกคือการศึกษาในแง่อิทธิพลต่อศักยภาพในการมองเห็นซึ่งทดสอบโดย Numerical Verification Test (NVT) และในแง่ที่สองคือการศึกษาในแง่อิทธิพลต่อความรู้สึกลดการส่องสว่างที่เกิดขึ้นซึ่งทำการทดสอบโดยใช้ Semantic Differential Scale (SDM) การศึกษาค้นคว้านี้ได้จัดทำในห้องมืดที่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ การทดสอบประกอบด้วย 2 การทดลองโดยแต่ละการทดลองนั้นได้ศึกษาการเปรียบเทียบหลอดแอลอีดี และหลอดฮาโลเจน แต่ละชนิด ซึ่งได้แก่ชนิด MR16 และ ชนิด PAR ในแต่ละการทดลองจะประกอบด้วยปัจจัยในการทดสอบ 2 ปัจจัย ซึ่งได้แก่ 1.ชนิดของหลอดไฟซึ่งประกอบด้วยหลอด 2 ชนิด ได้แก่ หลอดฮาโลเจนและหลอดแอลอีดี 2.ระดับการส่องสว่างซึ่งประกอบด้วยความส่องสว่าง (Illuminance, lux) 3 ลำดับ คือ 50 lux 100 lux และ 300 lux ในการศึกษาครั้งนี้ในแต่ละการทดลองมีผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งหมด 32 คน

อุปกรณ์

1. สภาพห้องทดลองและหลอดไฟที่ใช้ในการวิจัย

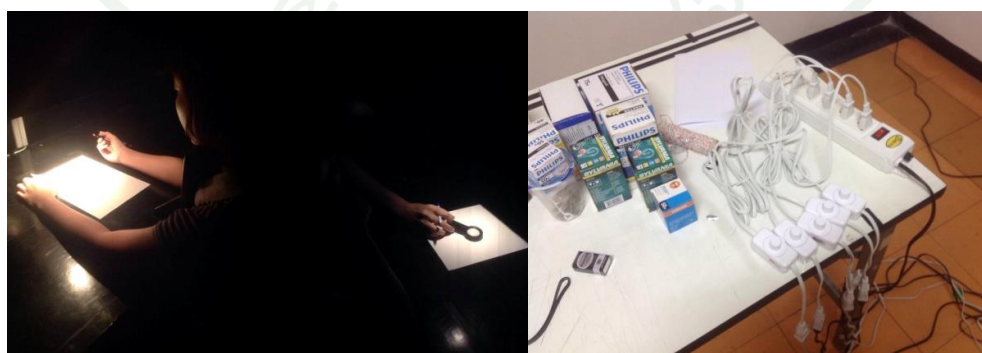
การทดลองนี้ถูกทำขึ้นที่ชั้น 6 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สภาพภายในห้องจะถูกปิดช่องแสงให้เป็นห้องมืดเพื่อควบคุมตัวแปรแสงจากภายนอกไม่ให้เข้ามารบกวนการทดลอง ทั้งนี้ได้จัดทำโต๊ะทดลองสำหรับการทดลอง ประกอบด้วยโต๊ะโครงไม้เนื้ออ่อนทาสี

คำด้าน เพื่อให้เกิดความเปรียบต่าง (Contract) และไม่เกิดการสะท้อน (Reflection) ครอบงายตาผู้ทดลอง ขนาด 1.20x0.60x1.50 ซม. และติดตั้งแผ่นรองคางไม้ และชุดผ้าบังตาสำหรับผู้ทดสอบ มีการติดขั้วหลอดไฟทั้งหมด 5 ขั้ว ได้แก่ ขั้ว MR16 3ขั้ว และขั้ว E27 2ขั้ว ระยะจากพื้นงาน (Light Task) ถึงฝ้าอยู่ที่ 60 ซม. เป็นระยะที่สามารถให้ค่าความส่องสว่างต่ำสุด และสูงสุด เท่ากันทุกหลอดโดยที่ไม่เกิดการกระพริบของหลอดแอลอีดี โดยได้กำหนดจุดมอง (Fixation) ไว้ที่จุดกึ่งกลางกระดาษทดสอบ และระยะห่างจากสายตาถึงแบบทดสอบอยู่ที่ประมาณ 40 ซม. ตามมาตรฐานการทดสอบสายตาแบบใกล้ที่สากลใช้ทั่วไป (Near Vision Test Card)

หลอดไฟที่ใช้ทดลองมี 2 ชนิด คือ MR16 2 ขั้ว และ E27 3 ขั้ว ชนิด MR16 ต้องต่อเข้ากับหม้อแปลงไฟฟ้า 220v เป็น 12v (PHILIPS Electronic Transformer ET-C60, ET-S60 2 ตัว) สำหรับทดสอบหลอด แบบ Spot ส่วนขั้วหลอดแบบ E27 สามารถต่อตรงได้เลย ทุกหลอดจะถูกต่อเข้ากับ Switch Dimmer (LAMPCORD รุ่น E072C 220v MAX 200watt) เพื่อให้สามารถหรี่ไฟได้



ภาพที่ 15 โต๊ะทดลองและการติดตั้งขั้วหลอดไฟ



ภาพที่ 16 การทดสอบและการต่อ Switch Dimmer

2. ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา

2.1 หลอดไฟ

การเปรียบเทียบชนิดของหลอดไฟในการศึกษารั้วนี้ใช้หลอดไฟ 2 รุ่นในการเปรียบเทียบ ได้แก่ 1.ชนิด Par ขั้ว E27 และ 2. ชนิด MR 16

2.1.1 A หลอดไฟชนิด Par ขั้ว E27

1. หลอดไฟ HALOGEN PAR 38 Philips แบบ Spot ขั้ว E27 2700K
2. หลอดไฟ LED PAR 38 Philips แบบ Spot ขั้ว E27 2700K Dimmable (สามารถใช้ทดแทนหลอดไส้ 60watt)



ภาพที่ 17 เปรียบเทียบหลอด Halogen และ LED ของ Philips

ที่มา: Philips (2013)

2.1.2 B หลอดไฟชนิด MR 16

1. หลอดไฟ 50W OSRAM Halogen MR16 Dimmable 2700K มี Reflector
2. หลอดไฟ 7W OSRAM LED Halogen Mr16 แบบ Spot 2700K



ภาพที่ 18 เปรียบเทียบหลอด Halogen และ LED ของ Philips

ที่มา: Lighting.philips (2013)

3. หลอดไฟ Incandescent PHILIPS 40w แก้วฝ้า (สำหรับใช้ในการทดลองการทดสอบ)

2.2 คุณสมบัติหลอดไฟแอลอีดีที่ใช้ในการทดลอง

หลอดไฟที่ใช้ในการทดลองมี 2 ชนิด คือ หลอด ชนิด Par และ MR 16

2.2.1 หลอด หลอดไฟ 7W OSRAM LED Halogen Mr16 แบบ Spot 2700K (เทียบเท่าหลอด Halogen 50 W) สำหรับใช้ในการทดลองที่ 1 แบบ Dimmable เป็นหลอดรูปทรง Spot อายุการใช้งาน 30,000 ชั่วโมง มีค่า CRI 80-90 เป็นชนิด Good Quality ไม่มีรังสี UV และอินฟราเรด การแผ่รังสีความร้อนต่ำ เหมาะสำหรับ ใช้กับโคมไฟอ่านหนังสือ ห้องนอน ห้องนั่งเล่น สามารถหรีค่าความส่องสว่างได้ (Illuminance) ตั้งแต่ 50-400 Lux

2.2.2 หลอดไฟ HALOGEN PAR 38 Philips แบบ Spot ขั้ว E27 2700K สามารถใช้แทนหลอดไฟ ชนิด Par 20, 30, 38 ได้ มีขนาดใหญ่กว่าหลอด LED spot 3 เท่า ใช้เป็นไฟส่องผนังสูงๆ หรือส่องให้ Shading หรือส่องประดับตามร้านอาหารสลัวๆ อายุการใช้งาน 25,000 – 30,000 ชั่วโมง สามารถหรีได้ (Dimmable) มีค่า CRI 80-90 เป็นชนิด Good Quality ไม่มีรังสี UV และอินฟราเรด การแผ่รังสีความร้อน สามารถปรับค่าความส่องสว่างได้ตั้งแต่ 50-13,000 Lux

2.3 ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)

ในการศึกษาครั้งนี้ทดสอบอิทธิพลของความส่องสว่าง 3 ลำดับ ได้แก่ 50, 100, 300 lux เหตุผลในการเลือกค่าระดับการส่องสว่างเนื่องจากเป็นระดับความส่องสว่างที่มีการนำหลอดไฟฮาโลเจนมาใช้ในพื้นที่บริเวณดังกล่าวและมีแนวโน้มว่าจะมีการใช้หลอดไฟแอลอีดีมาทดแทน

โดยความส่องสว่าง 50 lux ใช้กับ ทางเดินภายนอกอาคาร
ทั้ง 3 ลำดับมีดังนี้ 100 lux ใช้กับ ทางเดินภายในที่ไม่ต้องทำกิจกรรมมาก
300 lux ใช้กับ ห้องนอน ห้องนั่งเล่น

2.4 การวัดศักยภาพในการมองเห็น (Visual Performance)

ในการทดสอบแบ่งเป็น 2 ชุดการทดสอบ ได้แก่

2.4.1 การทดสอบหลอดชนิด MR16 2 หลอด หลอดละ 6 วัตต์รวม 12 วัตต์

2.4.2 การทดสอบหลอดชนิด PAR 2 หลอด หลอดละ 6 วัตต์รวม 12 วัตต์

2.4.3 ซึ่งจาก 2 การทดสอบผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องทำทั้งหมด 24 วัตต์ โดยแบบทดสอบประกอบด้วย

3. รูปแบบที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 4 ทริทเมนต์ที่ใช้ในการทดลอง

ทริทเมนต์	ชนิดของหลอดไฟ	ชนิดข้าวหลอด	ค่าความส่องสว่าง(Lux)	แบบทดสอบ NVT	แบบทดสอบ SDM
แบ่งการทดลองเป็น หลอดไฟชนิด MR 16 6 การทดลอง					
1	ฮาโลเจน	MR 16	50	สุ่ม ชด 1-6	แบบทดสอบ 6 ข้อ
2	ฮาโลเจน	MR 16	100	สุ่ม ชด 1-6	แบบทดสอบ 6 ข้อ
2	ฮาโลเจน	MR 16	300	สุ่ม ชด 1-6	แบบทดสอบ 6 ข้อ
4	แอลอีดี	MR 16	50	สุ่ม ชด 1-6	แบบทดสอบ 6 ข้อ
5	แอลอีดี	MR 16	100	สุ่ม ชด 1-6	แบบทดสอบ 6 ข้อ
6	แอลอีดี	MR 16	300	สุ่ม ชด 1-6	แบบทดสอบ 6 ข้อ
แบ่งการทดลองเป็น หลอดไฟชนิด PAR 6 การทดลอง					
7	ฮาโลเจน	Par	50	สุ่ม ชด 1-6	แบบทดสอบ 6 ข้อ
8	ฮาโลเจน	Par	100	สุ่ม ชด 1-6	แบบทดสอบ 6 ข้อ
9	ฮาโลเจน	Par	300	สุ่ม ชด 1-6	แบบทดสอบ 6 ข้อ
10	แอลอีดี	Par	50	สุ่ม ชด 1-6	แบบทดสอบ 6 ข้อ
11	แอลอีดี	Par	100	สุ่ม ชด 1-6	แบบทดสอบ 6 ข้อ
12	แอลอีดี	Par	300	สุ่ม ชด 1-6	แบบทดสอบ 6 ข้อ

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการประเมิน

3.1 ความตรงของเครื่องมือ (Validity)

ในการศึกษาการวัดศักยภาพในการอ่านของแสงนั้นใช้อุปกรณ์วัดค่าความส่องสว่าง (Digital Lux Meter) INS รุ่น DX-200 มีระบบ auto-switchover สามารถเปลี่ยนหน่วย Lux เป็น fc (Foot Candle) และสามารถตรวจจับความส่องสว่างได้ตั้งแต่ 0–200,000 Lux หรือ 0–20,000 FC มีหัวเซ็นเซอร์ทำจาก Siliconphotp cell (ได้มาตรฐาน CIE Photopic Spectrum) ความคลาดเคลื่อน (Accuracy) อยู่ที่ ± 2 หรือคิดเป็น ± 1 ของตัวเลขที่วัดได้จริง สามารถทำงานได้ในอุณหภูมิ 10-50 องศาเซลเซียส และมีความชื้นต่ำกว่า 85%



ภาพที่ 19 Digital Lux Meter INS รุ่น DX-200

3.2 ความเที่ยงของอุปกรณ์วัด (Reliability) และความถูกต้องของห้องทดลอง (Validity)

ในการหาความเที่ยงของอุปกรณ์วัดในการศึกษาครั้งนี้ ก่อนการนำเครื่อง Lux meter ไปใช้ในการวัดจริง เครื่องดังกล่าวจะถูกทดสอบความเที่ยงของเครื่องมือ โดยนำไปเข้าไปในห้องมืดเพื่ออ่านค่า 2 ช่วงเวลา โดยในแต่ละช่วงจะวัดซ้ำทั้งหมด 30 ครั้งและทดสอบสถิติโดยโปรแกรม SPSS โดยหาค่าจากการวัดทั้งสองช่วงดังกล่าวนี้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะสามารถสรุปได้ว่าเครื่องมือดังกล่าวนี้มีความเที่ยงและสามารถใช้ได้ในการทดลอง

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบการวัดค่า Lux meter สองช่วงเวลา

การวัดด้วย Lux meter	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน	<i>p</i> -value
วัดครั้งแรก	30	0.0100	0.03051
วัดครั้งที่สอง	30	0.1433	0.34309

* ค่า $p < 0.05$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ค่า $p < 0.01$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง

จากผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม SPSS พบว่าไม่มีความต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างการวัดทั้งสองช่วง ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเครื่องมือนี้จึงมีความเที่ยงสามารถใช้ในการทดลองได้

ในการตรวจสอบว่าห้องทดลองนั้นเป็นห้องที่มีदनิจจริง ก่อนทำการทดลองจะมีการทำการวัดค่าการส่องสว่างโดยเครื่อง Lux meter โดยจะวัดซ้ำทั้งหมด 30 ครั้งและทดสอบสถิติโดยโปรแกรม SPSS โดยหาค่าจากการวัดดังกล่าวนี้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับค่า 0 lux จะสามารถสรุปได้ว่าห้องทดลองนั้นมีदनิตและสามารถใช้ในการทดลองได้

ตารางที่ 6 การเทียบมาตรฐานห้องทดลองที่ใช้ทดสอบโดยโปรแกรม SPSS

จำนวนครั้งที่วัด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน	p-value
30	1.133	0.434	0.103

* ค่า $p < 0.05$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ค่า $p < 0.01$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง

จากผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม SPSS พบว่าไม่มีความต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างค่าที่วัดได้กับค่า 0 lux ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าห้องทดลองนั้นมีदनิตและสามารถใช้ในการทดลองได้

นาฬิกาจับเวลาจับเวลา Casio STOP-WATCH รุ่น HS-3V ใช้ในการจับเวลาทำแบบทดสอบจับเวลาความละเอียด 1/100 วินาที



ภาพที่ 20 นาฬิกาจับเวลา Digital Casio STOP-WATCH รุ่น HS-3V

3.3 แบบทดสอบการอ่าน Numerical Verification Test (NVT) (Rea, 1981)

แผนภาพการทดสอบด้วยตัวเลข The numerical verification (NVT) เป็นแบบทดสอบการอ่านโดยใช้ตัวเลข ที่มีขนาดอักษรแบบเดียวกันสีเดียวกัน พิมพ์ลงบนกระดาษชนิดเดียวกัน จะแบ่งเป็น 2 คอลัมน์ ซ้ายและขวา โดยประกอบไปด้วยตัวเลขบรรทัดละ 5 หลัก คอลัมน์ซ้ายจะเป็นคอลัมน์ที่ถูก ส่วนคอลัมน์ขวาจะมีบางตัวที่ผิด ผู้ทดสอบจะต้องอ่านตัวเลขทั้งหมด 20 บรรทัดให้เร็วที่สุด โดยเมื่ออ่านเจอตัวเลขที่ไม่เหมือนด้านซ้ายให้ทำเครื่องหมายด้วยปากกาสีแดง ในสภาพแสงสว่างที่เปลี่ยนไปของหลอดไฟ ผลจากการเก็บข้อมูลจะถูกนำมาคิด เป็น NVT Score เพื่อทำการหาผลทางสถิติต่อไป

3.3.1 การคิดคะแนน NVT Score

คิดหาค่า NVT Score โดยใช้สมการ $Score = (T-E) 100/(S+5)$

โดยกำหนดให้

T	=	The number of comparisons per trial
E	=	Number of Errors
S	=	Time to complete test

แบบทดสอบ NVT นี้ถูกพิมพ์ลงบนกระดาษ A4 80 แกรม โดยใช้ตัวหนังสือ BrowalliaUPC ตัวหนาขนาด 20 Point มีมีเส้นปะแยกตัวหนังสือแต่ละตัวชัดเจนในง่ายต่อการอ่าน แบบทดสอบมีทั้งหมด 6 ชุด ผู้ทดสอบจะถูกสุ่มแบบทดสอบให้ทำ โดยจะไม่ซ้ำชุดกัน เพื่อให้ผู้ทดสอบจดจำได้

<u>74139</u>	<u>74139</u>
<u>29756</u>	<u>29756</u>
<u>84234</u>	<u>84284</u>
<u>11463</u>	<u>11463</u>
<u>73201</u>	<u>73201</u>
<u>64153</u>	<u>64153</u>

ภาพที่ 21 ตัวอย่างแบบทดสอบ Numerical Verification Test (NVT)

3.4 แบบทดสอบทางความรู้สึกและทัศนคติ (Semantic Differential Scale)

แบบทดสอบทางความรู้สึก Semantic Differential Scale (SDM) เป็นแบบทดสอบทางความรู้สึก เป็นการให้คำตอบ 7 ระดับ (Davis Loe, 2004)

Davis and Garza (2002) ใช้แบบทดสอบ Semantic Differential Method ในการทดสอบความส่องสว่างของผู้สูงอายุโดยใช้การตั้งคำถามทางความรู้สึก 6 ข้อ คือ ชอบ/ไม่ชอบ สว่าง/มืด สบายตา/ไม่สบายตา อ่านง่าย/อ่านยาก แสงโทนร้อน/แสงโทนเย็น และข้อสุดท้ายถามว่าในสภาพแสงที่ทำการทดสอบ อยากใช้แสงนี้ในการอ่านในชีวิตประจำวันหรือไม่ จากการเก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถาม Semantic Differential Scale จะถูกนำไปคำนวณทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS ต่อไป

แบบสอบถาม Semantic Differential Scale (SDM) ที่ใช้ในการทดสอบ BrowalliaUPC ตัวหนา ขนาด 20 Point แบ่งเป็น 3 ตอนคือ 300 lux 100 lux และ 50 lux ซึ่งจะต้องทำแบบทดสอบนี้หลังจากทำ NVT เสร็จในแต่ละค่าความส่องสว่าง

จัดลำดับความพึงพอใจของแสงที่เหมาะสมกับการอ่าน หลอด Halogen Spot 50 Lux

ไม่ชอบ	1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6 : 7	ชอบ
บาดเจ็บ	1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6 : 7	สบายตา
มืด	1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6 : 7	สว่าง
อ่านยาก	1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6 : 7	อ่านง่าย
แสงโตนเย็น	1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6 : 7	แสงโตนร้อน

คุณอยากให้มีการใช้แสงแบบนี้ในการอ่านหนังสือในชีวิตประจำวันหรือไม่

☐ อยากร

☐ ไม่อยาก

ภาพที่ 22 ตัวอย่างแบบทดสอบ Semantic Differential Method (SDM)

หมายเหตุ: ชอบ/ไม่ชอบ	หมายถึง	รู้สึกพอใจในแสงนั้นมากหรือน้อย
บาดเจ็บ/สบายตา	หมายถึง	สามารถมองเห็นได้ชัดมากหรือน้อย
มืด/สว่าง	หมายถึง	แสงน้อย หรือ แสงมาก
อ่านยาก/อ่านง่าย	หมายถึง	สามารถอ่านได้ชัดเจน รวดเร็ว
โตนเย็น/โตนร้อน	หมายถึง	แสงออกโตนเย็นหรือโตนร้อน

ลำดับความพึงพอใจ

1	หมายถึง	รู้สึกไม่พอใจในสิ่งนั้นมาก
2	หมายถึง	รู้สึกไม่พอใจกับแสงนั้น
3	หมายถึง	รู้สึกไม่พอใจกับแสงนั้นเล็กน้อย
4	หมายถึง	รู้สึกเฉยๆกับแสงนั้น
5	หมายถึง	รู้สึกพอใจกับแสงนั้นเล็กน้อย
6	หมายถึง	รู้สึกพอใจกับแสงนั้น
7	หมายถึง	รู้สึกพอใจในแสงนั้นมาก

การทำแบบทดสอบให้ผู้เข้าทดสอบทำเครื่องหมายโดยใช้ปากกาไฮไลต์ ที่ตัวเลขตามความพึงพอใจของผู้ทดสอบ การให้คะแนนจะเรียงลำดับจากความรู้สึกแย่ ที่เลข 1 ไปถึงดีมาก ที่เลข 7

แบบทดสอบนี้จะถูกนำไปวิเคราะห์ข้อมูล และวิเคราะห์ผลควบคู่ไปกับการทดสอบแบบ NVT โดยใช้โปรแกรม SPSS

หมายเหตุ : แบบทดสอบนี้อ้างอิงจาก (Davis and Garza, 2002 , M.Yamakishi) ในการทดสอบกับคนไทยอาจจะมีปัจจัยอื่นนอกเหนือจาก 6 ข้อเช่น แสงของสี, ความสม่ำเสมอของแสงหรือปัจจัยอื่นที่มีผลกับคนไทย

วิธีการ

1. การวางแผนการทดลอง

ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย ผู้ทดสอบจำนวน 32 คน โดยแบ่งเป็นชายไม่สวมแว่น 8 คน สวมแว่น 8 คน หญิงสวมแว่น 8 คน ไม่สวมแว่น 8 คน เพื่อเป็นการจำกัดอิทธิพลปัจจัยของเพศและอายุ โดยมีการกำหนดปัจจัยด้านอายุตั้งแต่ 20-35 ปี วุฒิการศึกษาอย่างน้อยปริญญาตรี ศึกษาเกี่ยวกับด้านสถาปัตยกรรมหรืองานออกแบบเพื่อควบคุมปัจจัยด้านความแตกต่างของบุคคลที่มีอิทธิพลต่อการวิจัย และจะต้องไม่เป็นผู้ที่มีตาบอดสี

ตารางที่ 7 แผนงานวิจัย (Time+Table)

รายละเอียด	เดือน								
	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.
กำหนดเนื้อหาที่จะศึกษา	■								
แต่งตั้งอาจารย์ที่ปรึกษา	■								
ตรวจเอกสาร	■	■							
จัดหาอุปกรณ์การทดลอง			■						
จัดเตรียมสถานที่ทดลอง			■						
ส่งอนุมัติโครงการวิทยานิพนธ์				■					
ทำการทดลอง				■					
สรุปผลการทดลอง					■				
ส่งอนุมัติเล่มวิทยานิพนธ์						■			
สอบปากเปล่า								■	
แก้ไขเล่มวิทยานิพนธ์ (ถ้ามี)									■

2. ขั้นตอนในการทดลอง

การทดสอบจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ 1. ช่วงเวลาการเตรียมการทดลองและการทดสอบเบื้องต้น (Pre-Test) 2. การทดลองจริง (Real Experiment) โดยก่อนทดสอบจะมีการอธิบายขั้นตอนดังกล่าวและจะต้องได้รับการยินยอมจากผู้ทดสอบ โดยจะมีการชี้แจงถึงผลกระทบ และมีเอกสารแสดงความยินยอม ผู้ทดสอบสามารถหยุดได้ตลอดเวลาเมื่อมีอาการผิดปกติ ในช่วงเวลาการทดลองและการทดลองเบื้องต้น เป็นการทดลองเบื้องต้นผู้ทดสอบจะทำแบบทดสอบทุกอย่าง 1 รอบพร้อมจับเวลาเหมือนจริง

เมื่อจัดสภาพแวดล้อมในห้องทดลองและติดตั้งอุปกรณ์เสร็จแล้ว การทดสอบจะทดสอบวันละ 2-3 คน โดยจะใช้เวลาในการทดสอบ 1.00-1.30 ชั่วโมง ขั้นตอนการทดลอง จะให้ผู้ทดลองเข้ามาในห้องปิดมิด โดยจะต้องไม่มีการรบกวนจากแสงภายนอก ผู้ทำการทดลองจะต้องเข้ามานั่งเพื่อปรับสายตาให้ชินก่อนเป็นเวลา 3-5 นาทีเป็นอย่างน้อย ระหว่างที่ปรับสายตา จะมีการอธิบายขั้นตอนการทดลองในแต่ละช่วงการทดลอง และทุกครั้งที่ทำการเปลี่ยนชุดการทดลอง ผู้เข้ารับการทดลองจะต้องนั่งโดยวางขาไว้บนที่รองขาเท่านั้น เพื่อกำหนดระยะห่างสายตาให้ได้มาตรฐาน ตลาดการทดลอง ผู้ทดลองจะต้องทำแบบทดสอบ ในแสงสว่างที่ 50 Lux 300 Lux และ 500 Lux ตามลำดับ และเมื่อเสร็จ 1 ชุด จะต้องปรับสายตาทันทีก่อนเป็นเวลาประมาณ 2 นาทีจะทำแบบทดสอบในชุดทดสอบต่อไป (Davis & Garza 2002)

เมื่อจบการทดลองแรกในการทดสอบหลอดชนิด MR 16 ผู้เข้าร่วมทดสอบจะต้องพักสายตาประมาณ 2-5 นาที เพื่อให้อิทธิพลต่างๆหายไป จึงเริ่มทดลองในการศึกษาหลอด PAR ต่อไป

เมื่อจบการทดสอบผู้ทดสอบจะต้องกรอกแบบสอบถามชุดสุดท้ายจะเป็นแบบสอบถามแสงที่ใช้ในชีวิตประจำวัน จะมีคำถามเรื่อง เพศ อายุ ระดับสายตา แสงที่พบเจอ แสงที่คุ้นเคย เป็นต้น แบบทดสอบนี้จะถูกนำไปวิเคราะห์ถึงผลกระทบในด้านต่างๆจากหลอดไฟที่ใช้ในชีวิตประจำวัน

ตอนที่ 1 ข้อมูลส่วนบุคคล

1. เพศ

☐ ชาย

☐ หญิง

2. อายุ

☐ 20-25 ปี ☐ 25-30 ปี ☐ 30-35 ปี ☐ 35-40 ปี

3. ระดับการศึกษา

☐ อนุปริญญา ☐ ปริญญาตรี ☐ ปริญญาโท ☐ ปริญญาเอก

4. เป็นผู้มีสายตา

☐ ปกติ ☐ สายตาสั้น ☐ สายตายาว ☐ สายตาเอียง ☐ อื่นๆ.....

ตอนที่ 2 แสงสว่างที่ใช้ในชีวิตประจำวัน

1. กิจกรรมที่ท่านทำโดยใช้แสงจากไฟแอลอีดี (LED)

☐ โทรศัพท์มือถือ ☐ คอมพิวเตอร์ ☐ โทรศัพท์ ☐ ไฟ LED จากที่พกอาศัย

2. ใน 1 วันท่านใช้คอมพิวเตอร์เป็นเวลา

☐ น้อยกว่า 1 ชม. ☐ 1-2 ชม. ☐ 3-4 ชม. ☐ 5-6 ชม. ☐ มากกว่า 6 ชม.

3. ชนิดไฟในห้องนอนของท่าน

☐ Fluorescent ☐ Incandescent ☐ Halogen ☐ LED

ภาพที่ 23 ตัวอย่างแบบสอบถามแสงในชีวิตประจำวัน

3. วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการตรวจสอบพบว่าอิทธิพลของค่าความส่องสว่าง (Illuminance) กับชนิดของหลอดไฟ มีปฏิสัมพันธ์กัน (Interaction Effect) ในด้านการมองเห็นและในด้านความรู้สึกรู้สึก การศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการเปรียบเทียบหลอดไฟแต่ละชนิด เมื่อมีค่าความส่องสว่างที่เปลี่ยนไปว่าจะส่งผลในด้านการมองเห็นและในด้านความรู้สึกที่แตกต่างกันอย่างไร

4. การเปรียบเทียบทางสถิติใช้

4.1 สถิติ Paired *t*-Test ใช้ทดสอบความแตกต่างหรือเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่เป็นกลุ่มเดียวกัน โดยในการศึกษาครั้งนี้ใช้ในการเปรียบเทียบหลอดไฟ 2 ชนิด ได้แก่ การเปรียบเทียบหลอดไฟ 2 หลอดระหว่างแอลอีดีและฮาโลเจน ว่ามีผลต่อศักยภาพในการอ่าน (NVT) และความรู้สึกในการมองเห็น (SDM) แตกต่างกันหรือไม่

4.2 Repeated Measure One Way ANOVA เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว เป็นวิธีวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นตัวเดียวกับตัวแปรตามเพียงตัวเดียว โดยที่ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นอาจมีลักษณะเป็นเชิงคุณภาพ (Qualitative Variable) ที่จำแนกออกเป็นระดับหรือประเภทต่างๆ ส่วนตัวแปรอาจมีลักษณะเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ (Quantitative Variable) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นว่าจะส่งผลอย่างไรกับตัวแปรตาม ตามสมมติฐานงานวิจัยในการทดสอบอิทธิพลของความแตกต่างของค่าการส่องสว่าง (Illuminance) 3 ระดับ ซึ่งได้แก่ 300 ลักซ์ 100 ลักซ์ และ 50 ลักซ์ ต่อศักยภาพในการมองเห็น (NVT) และความรู้สึกในการมองเห็น (SDM)

4.3 สถิติ Sidak เป็นการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรเป็นรายคู่ โดย Sidak จะเป็นการวิเคราะห์หว่าคู่ไหนต่าง โดยในการทดลองจะใช้พิจารณาต่อจาก Repeated Measure One Way ANOVA เมื่อความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้น 50 ลักซ์ 100 ลักซ์ และ 300 ลักซ์ อย่างมีนัยสำคัญส่งผลให้ปัจจัยนั้นมีความสามารถเพิ่มขึ้น จะใช้ Sidak ทดสอบว่า เมื่อความส่องสว่างเพิ่มขึ้นค่าความส่องสว่างระดับไหนบ้างที่ให้ผลดีกว่ากันอย่างมีนัยสำคัญ

ผลและวิจารณ์

การศึกษาศักยภาพในการมองเห็นของคนไทย ในครั้งนี้ได้กำหนดตัวแปร 2 ตัวแปรคือ 1. ชนิดของหลอดไฟจำนวน 2 ชนิด 2. ค่าความส่องสว่าง (Illuminance) จำนวน 3 ระดับ ส่องสว่าง เพื่อทดสอบศักยภาพในการมองเห็น (NVT) และความรู้สึกล่อสภพของแสงและนำมาเปรียบเทียบกันโดยใช้การคำนวณทางสถิติโดยโปรแกรม SPSS ซึ่งค่าทางสถิติจะสามารถบอกได้ว่าหลอดไฟชนิดใดสามารถใช้ได้ทดแทนกันได้หรือดีกว่ากัน

ผล

1. ผลการศึกษาศักยภาพของหลอดไฟ

1.1 ผลการศึกษาศักยภาพของหลอดไฟชนิด MR 16

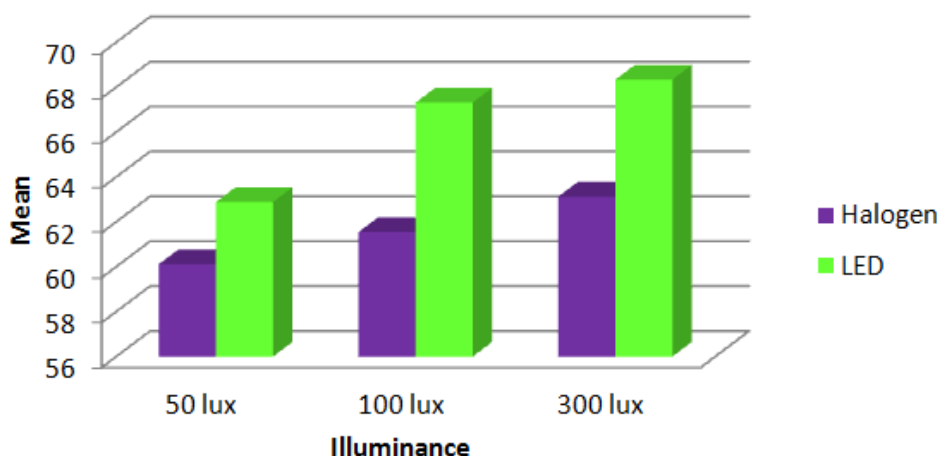
การเปรียบเทียบศักยภาพในการมองเห็นของหลอดไฟฮาโลเจนและแอลอีดีชนิด MR16

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของศักยภาพในการมองเห็นหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดีชนิด MR16 ที่ความส่องสว่าง 3 ลำดับ โดยใช้ Paired Sample *t*-test

ตัวชี้วัด	ค่าความส่องสว่าง (Lux)		ชนิดของหลอดไฟ	
			ฮาโลเจน	แอลอีดี
NVT Score	50 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	60.12	62.89
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	10.79	10.06
	100 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	61.55	67.32
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	13.27	13.27
	300 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	63.13	68.34
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	11.14	12.85

หมายเหตุ: ตัวเอียงหมายถึงค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ของหลอดไฟดังกล่าวนี้มากกว่าหลอดไฟอีกหลอด

ศักยภาพในการมองเห็น MR16



ภาพที่ 24 ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของศักยภาพในการมองเห็นของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจน ชนิด MR 16 ที่ค่าความส่องสว่าง 3 ระดับ

ตารางที่ 9 ผลการเปรียบเทียบศักยภาพในการมองเห็นของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดี ชนิด MR16 ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับ โดยใช้ Paired Sample t-test

ค่าความส่องสว่าง (Lux)	t	p-value
50 Lux	2.175	0.037*
100 Lux	4.001	0.000**
300 Lux	4.141	0.000**

* ค่า $p < 0.05$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์สถิติ Paired sample t-test

** ค่า $p < 0.01$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์สถิติ Paired sample t-test

ตารางที่ 9 แสดงให้เห็นว่า ณ ระดับความส่องสว่าง 50 lux นั้นหลอดแอลอีดีทำให้คนไทยมีศักยภาพในการมองเห็นดีกว่าหลอดฮาโลเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) นอกจากนั้น ณ ระดับความส่องสว่าง 100 lux และ 300 lux หลอดแอลอีดีทำให้คนไทยมีศักยภาพในการมองเห็นดีกว่าหลอดฮาโลเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$) ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ณ การส่องสว่างทั้ง 3 ระดับหลอดแอลอีดีให้ศักยภาพในการมองเห็นที่ดีกว่าหลอดฮาโลเจน

1.2 ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกของการส่องสว่างของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด

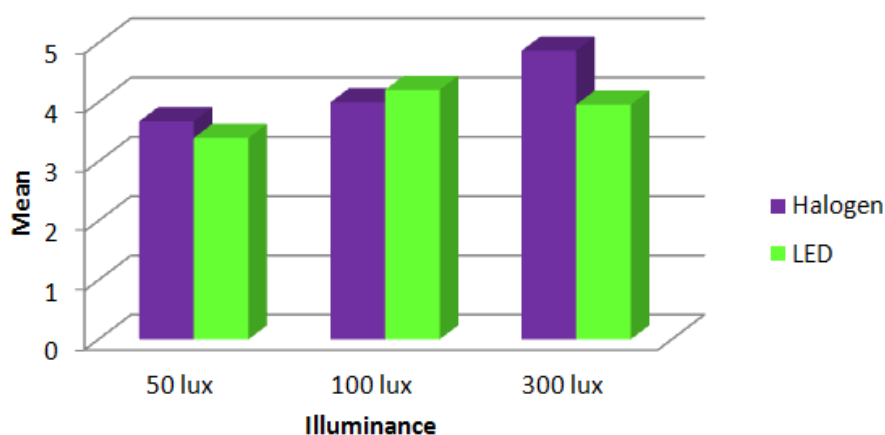
MR 16

ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดีที่ความรู้สึกชอบ/ไม่ชอบ

ตัวชี้วัด	ค่าความส่องสว่าง (Lux)		ชนิดของหลอดไฟ	
			ฮาโลเจน	แอลอีดี
Dislike/ Like	50 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	3.68	3.40
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.28	1.31
	100 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	4.00	4.21
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.19	1.66
	300 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	4.87	3.96
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	0.87	1.75

หมายเหตุ: ตัวเอียงหมายถึงค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ของหลอดไฟดังกล่าวนี้มากกว่าหลอดไฟอีกหลอด

ความชอบ/ไม่ชอบ MR 16



ภาพที่ 25 ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความชอบ/ไม่ชอบหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจน ชนิด MR 16 ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับ

ตารางที่ 11 ผลการเปรียบเทียบของความรู้สึกชอบ/ไม่ชอบ ของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดีชนิด MR16 ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับ โดยใช้ Paired Sample *t*-test

ค่าความส่องสว่าง (Lux)	t	p-value
50 Lux	1.000	0.325
100 Lux	0.579	0.567
300 Lux	2.964	0.006**

* ค่า $p < 0.05$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์สถิติ Paired sample *t*-test

** ค่า $p < 0.01$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์สถิติ Paired sample *t*-test

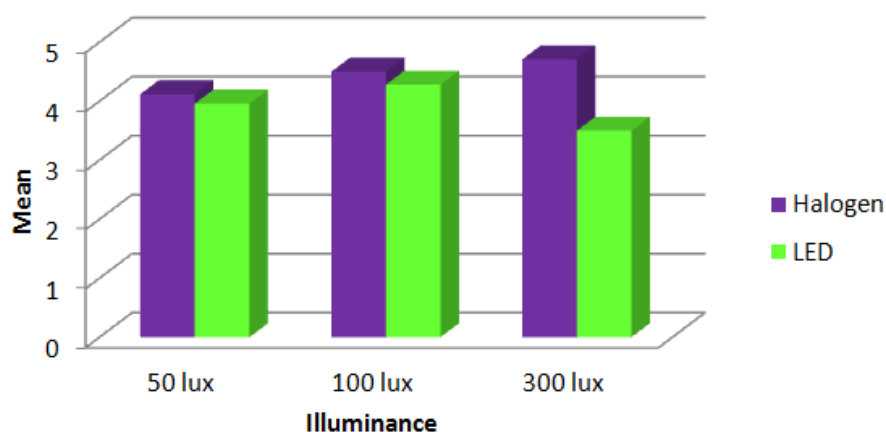
ตารางที่ 11 แสดงให้เห็นว่า ณ ความรู้สึกส่องสว่าง 300 lux นั้น คนไทยชอบแสงที่มาจากหลอดฮาโลเจนมากกว่าหลอดแอลอีดีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$)

ตารางที่ 12 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดีที่ความรู้สึกบาดตา/สบายตา

ตัวชี้วัด	ค่าความส่องสว่าง (Lux)		ชนิดของหลอดไฟ	
			ฮาโลเจน	แอลอีดี
Glare/ Comfort	50 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	4.12	3.96
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.36	1.12
	100 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	4.50	4.28
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.07	1.27
	300 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	4.71	3.50
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	0.99	1.43

หมายเหตุ: ตัวเอียงหมายถึงค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ของหลอดไฟดังกล่าวนี้มากกว่าหลอดไฟอีกหลอด

ความสบายตา/บาดตา MR 16



ภาพที่ 26 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความสบายตา/สายตาของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจน ชนิด MR 16 ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับ

ตารางที่ 13 ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกรบกวนตา/สายตาของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดีที่ค่าความส่องสว่าง 3 ระดับโดยใช้ Paired Sample t-test

ค่าความส่องสว่าง (Lux)	t	p-value
50 Lux	0.624	0.537
100 Lux	0.698	0.490
300 Lux	4.818	0.000**

* ค่า $p < 0.05$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์สถิติ Paired Sample t-test

** ค่า $p < 0.01$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์สถิติ Paired Sample t-test

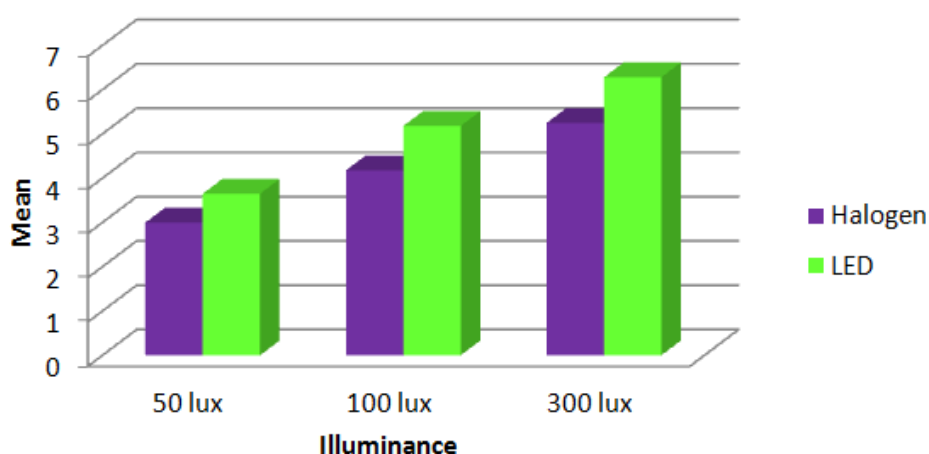
ตารางที่ 13 หลอดไฟฮาโลเจนที่ 300 lux มีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$) หลอดไฟฮาโลเจนที่ความส่องสว่าง 300 Lux จะทำให้คนรู้สึกสบายตาว่าหลอดแอลอีดี

ตารางที่ 14 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกมืด/สว่างของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดีชนิด MR 16 ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับโดยใช้ Paired Sample t-test

ตัวชี้วัด	ค่าความส่องสว่าง (Lux)		ชนิดของหลอดไฟ	
			ฮาโลเจน	แอลอีดี
Dim/Bright	50 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	3.00	3.65
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.04	1.15
	100 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	4.18	5.18
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.15	1.06
	300 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	5.25	6.28
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	0.91	0.63

หมายเหตุ: ตัวเอียงหมายถึงค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ของหลอดไฟดังกล่าวนี้มากกว่าหลอดไฟอีกหลอด

ความรู้สึกมืด/สว่าง MR16



ภาพที่ 27 ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความรู้สึกสว่าง/มืดของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดฮาโลเจนชนิด MR 16 ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับ

ตารางที่ 15 ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกมืด/สว่างของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดี ชนิด MR 16 ที่ค่าความส่องสว่าง 3 ระดับ โดยใช้ Paired Sample t-test

ค่าความส่องสว่าง (Lux)	t	p-value
50 Lux	3.388	0.002**
100 Lux	3.819	0.001**
300 Lux	6.500	0.000**

* ค่า $p < 0.05$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์สถิติ Paired Sample t-test

** ค่า $p < 0.01$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์สถิติ Paired Sample t-test

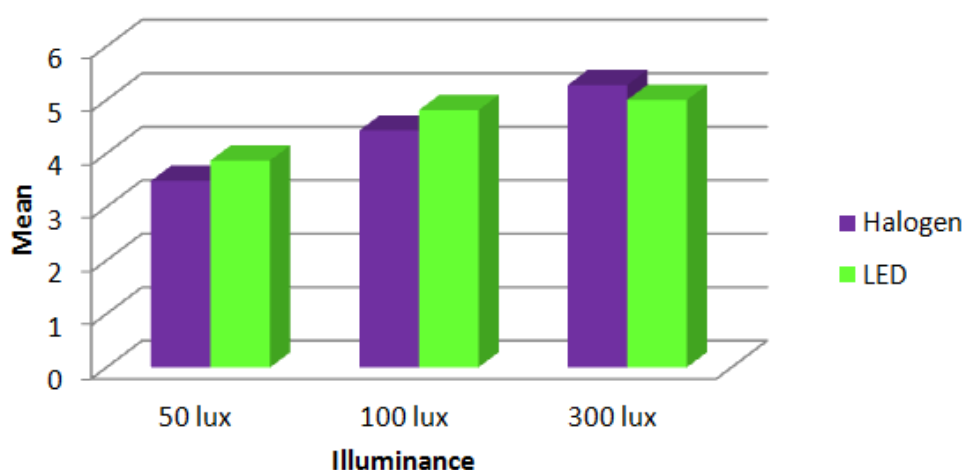
ตารางที่ 15 แสดงให้เห็นว่า ณ ความส่องสว่าง 3 ระดับนั้นแสงจากหลอดไฟแอลอีดีนั้นก่อให้เกิดความรู้สึกสว่างมากกว่าหลอดไฟฮาโลเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$)

ตารางที่ 16 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกอ่านง่าย/อ่านยากของหลอดไฟฮาโลเจน และหลอดไฟแอลอีดีชนิด MR 16 ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับโดยใช้ Paired Sample t-test

ตัวชี้วัด	ค่าความส่องสว่าง (Lux)		ชนิดของหลอดไฟ	
			ฮาโลเจน	แอลอีดี
Diff.Easy	50 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	3.49	3.87
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.01	1.12
	100 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	4.43	4.81
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.13	1.28
	300 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	5.28	5.00
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.11	1.43

หมายเหตุ: ตัวเอียงหมายถึงค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ของหลอดไฟดังกล่าวนี้มากกว่าหลอดไฟอีกหลอด

ความรู้สึกอ่านง่าย/อ่านยาก MR 16



ภาพที่ 28 ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความรู้สึกอ่านง่าย/ยากของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดฮาโลเจน ชนิด MR 16 ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับ

ตารางที่ 17 ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกอ่านง่าย/อ่านยากของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดีชนิด MR16 ที่ค่าความส่องสว่าง 3 ระดับโดยใช้ Paired Sample *t*-test

ค่าความส่องสว่าง (Lux)	t	p-value
50 Lux	1.892	0.068
100 Lux	1.209	0.236
300 Lux	0.942	0.354

* ค่า $p < 0.05$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์สถิติ Paired Sample *t*-test

** ค่า $p < 0.01$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์สถิติ Paired Sample *t*-test

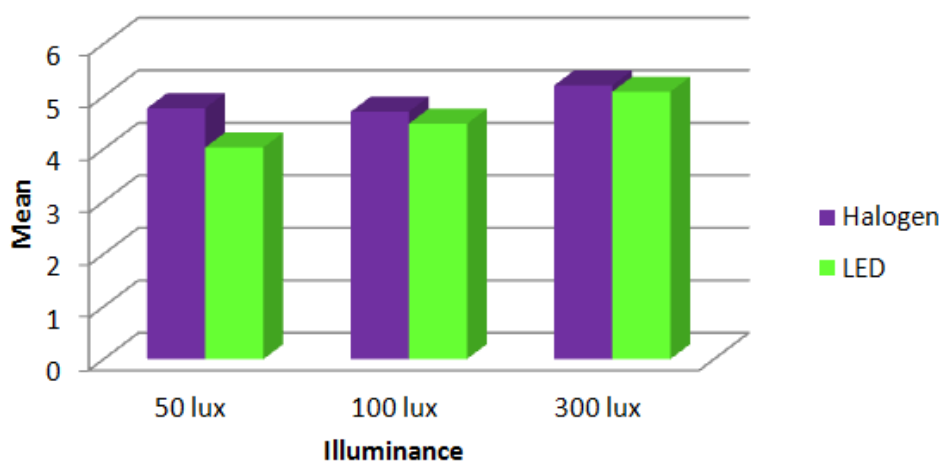
ตารางที่ 17 แสดงให้เห็นว่าไม่มีความแตกต่างในความรู้สึกอ่านง่าย/ยากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความส่องสว่าง 3 ระดับ

ตารางที่ 18 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกโทนเย็น/ร้อนหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดีชนิด MR 16 ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับโดยใช้ Paired Sample t-test

ตัวชี้วัด	ค่าความส่องสว่าง (Lux)		ชนิดของหลอดไฟ	
			ฮาโลเจน	แอลอีดี
Cool/Warm	50 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	4.78	4.03
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.14	0.96
	100 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	4.71	4.48
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.14	0.96
	300 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	5.21	5.09
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.09	1.27

หมายเหตุ: ตัวเอียงหมายถึงค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ของหลอดไฟดังกล่าวนี้มากกว่าหลอดไฟอีกหลอด

ความรู้สึกโทนเย็น/โทนร้อน MR 16



ภาพที่ 29 ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความรู้สึกโทนเย็น/ร้อนของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดฮาโลเจนชนิด MR 16 ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับ

ตารางที่ 19 ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกโทนเย็น/ร้อนของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดี ชนิด MR 16 ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับโดยใช้ Paired Sample *t*-test

ค่าความส่องสว่าง (Lux)	t	p-value
50 Lux	3.645	0.001**
100 Lux	0.126	0.901
300 Lux	0.431	0.670

* ค่า $p < 0.05$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์สถิติ Paired Sample *t*-test

** ค่า $p < 0.01$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์สถิติ Paired Sample *t*-test

ตารางที่ 19 หลอดไฟฮาโลเจนที่ 50 lux มีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$) หลอดไฟฮาโลเจนที่ความส่องสว่าง 50 Lux จะทำให้คนรู้สึกอุ่นกว่าหลอดแอลอีดี

1.2 ผลการศึกษาหลอดไฟฮาโลเจนและแอลอีดี ชนิด PAR

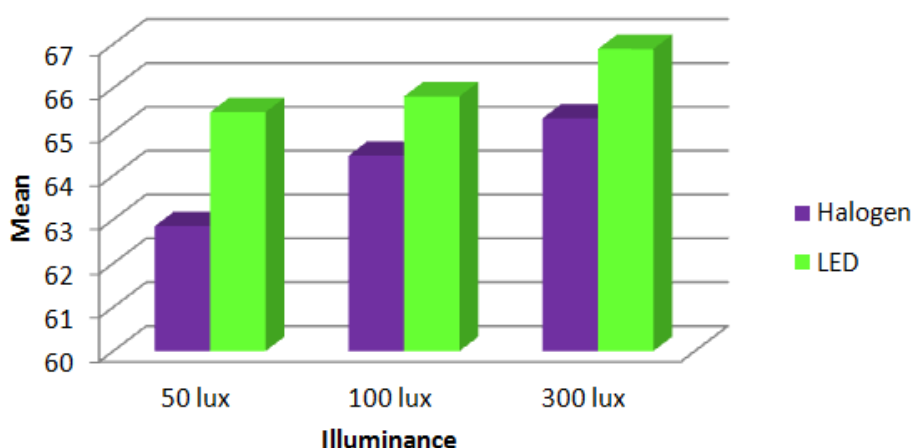
1.2.1 ผลการเปรียบเทียบศักยภาพในการมองเห็นของหลอดแอลอีดีและฮาโลเจน ชนิด PAR

ตารางที่ 20 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของศักยภาพในการมองเห็นของหลอดไฟฮาโลเจน และหลอดไฟแอลอีดีชนิด PAR ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับโดยใช้ Paired Sample *t*-test

ตัวชี้วัด	ค่าความส่องสว่าง(Lux)	ชนิดของหลอดไฟ	
		ฮาโลเจน	แอลอีดี
NVT Score	50 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	62.85
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	65.45
	100 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	13.11
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	12.34
	300 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	64.46
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	65.81
	300 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	65.31
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	66.89
	300 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	12.02
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	12.74
	300 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	65.31
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	66.89
	300 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	12.21
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	13.14

หมายเหตุ : ตัวเอียงหมายถึงค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ของหลอดไฟดังกล่าวนี้มากกว่าหลอดไฟอีกหลอด

ศักยภาพในการมองเห็น PAR



ภาพที่ 30 ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของศักยภาพในการมองเห็นของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดฮาโลเจน ชนิด PAR ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับ

ตารางที่ 21 ผลการเปรียบเทียบศักยภาพในการมองเห็นของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดีชนิด PAR ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับ โดยใช้ Paired Sample t-test

ค่าความส่องสว่าง (Lux)	t	p-value
50 Lux	1.828	0.077
100 Lux	1.067	0.294
300 Lux	1.145	0.261

* ค่า $p < 0.05$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์สถิติ Paired Sample t-test

** ค่า $p < 0.01$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์สถิติ Paired Sample t-test

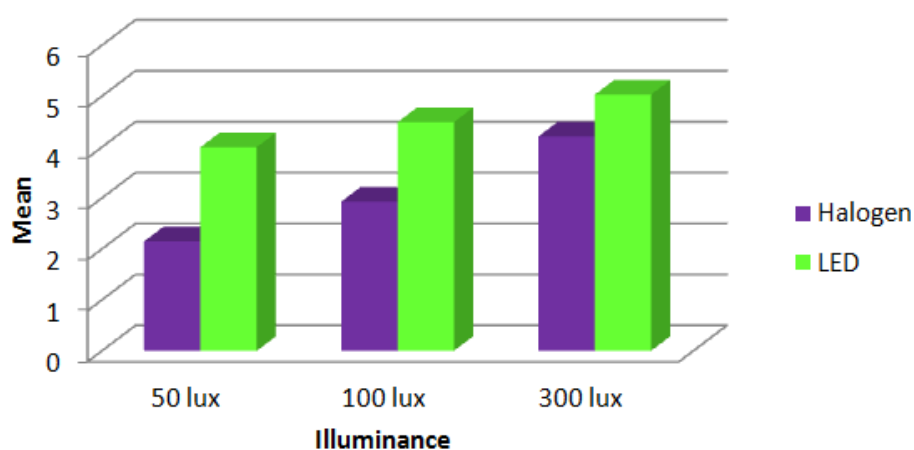
ตารางที่ 21 แสดงให้เห็นว่าไม่มีความแตกต่างของมีนัยสำคัญทางสถิติของศักยภาพในการมองเห็นของหลอดแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด PAR

ตารางที่ 22 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกชอบ/ไม่ชอบของหลอดไฟฮาโลเจน และหลอดไฟแอลอีดีชนิด PAR ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับโดยใช้ Paired Sample t-test

ตัวชี้วัด	ค่าความส่องสว่าง (Lux)		ชนิดของหลอดไฟ	
			ฮาโลเจน	แอลอีดี
Dislike/ Like	50 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	2.15	4.00
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.39	1.39
	100 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	2.93	4.49
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.24	1.34
	300 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	4.21	5.03
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.00	1.03

หมายเหตุ: ตัวเอียงหมายถึงค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ของหลอดไฟดังกล่าวนี้มากกว่าหลอดไฟอีกหลอด

ความรู้สึกชอบ/ไม่ชอบ PAR



ภาพที่ 31 ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความรู้สึกชอบ/ไม่ชอบของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดฮาโลเจน ชนิด PAR ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับ

ตารางที่ 23 ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกชอบ/ไม่ชอบของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดี โดยใช้ Paired Sample t-test

ค่าความส่องสว่าง (Lux)	t	p-value
50 Lux	5.582	0.000**
100 Lux	5.586	0.000**
300 Lux	4.104	0.000**

* ค่า $p < 0.05$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์สถิติ Paired Sample t-test

** ค่า $p < 0.01$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์สถิติ Paired Sample t-test

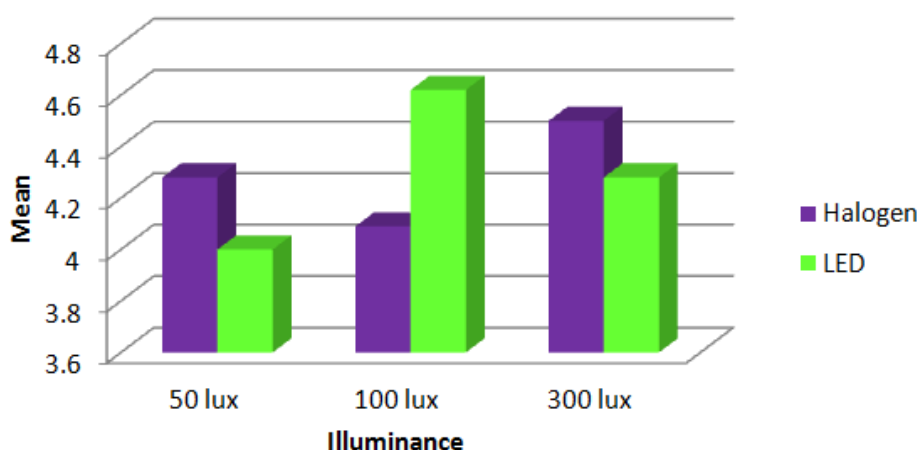
ตารางที่ 23 แสดงให้เห็นว่า ณ ความส่องสว่าง 3 ระดับนั้นแสงจากหลอดไฟแอลอีดีนั้นก่อให้เกิดความรู้สึกสว่างมากกว่าหลอดไฟฮาโลเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$)

ตารางที่ 24 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกบาดตา/สบายตาของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดีชนิด PAR ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับ โดยใช้ Paired Sample t-test

ตัวชี้วัด	ค่าความส่องสว่าง (Lux)		ชนิดของหลอดไฟ	
			ฮาโลเจน	แอลอีดี
Glare/ Comf.	50 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	4.28	4.00
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.39	1.39
	100 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	4.09	4.62
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.32	1.18
	300 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	4.50	4.28
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.16	1.30

หมายเหตุ: ตัวเอียงหมายถึงค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ของหลอดไฟดังกล่าวนี้มากกว่าหลอดไฟอีกหลอด

ความรู้สึกสบายตา/บาดตา PAR



ภาพที่ 32 ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความรู้สึกบาดตา/สบายตาของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดฮาโลเจน ชนิด PAR ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับ

ตารางที่ 25 ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกบาดตา/สบายตาของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดี ชนิด PAR โดยใช้ Paired Sample t-test

ค่าความส่องสว่าง (Lux)	<i>t</i>	<i>p</i> -value
50 Lux	1.027	0.313
100 Lux	1.784	0.084
300 Lux	0.610	0.546

* ค่า $p < 0.05$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์สถิติ Paired Sample *t*-test

** ค่า $p < 0.01$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์สถิติ Paired Sample *t*-test

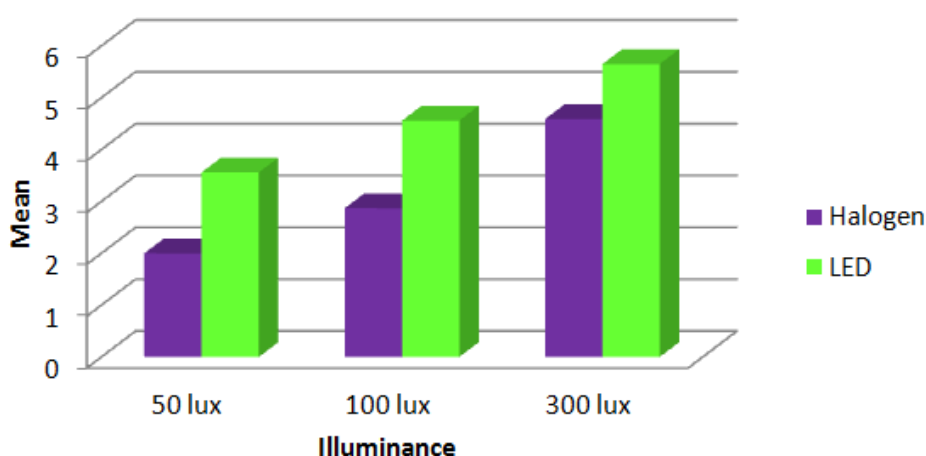
ตารางที่ 25 แสดงให้เห็นว่าไม่มีความแตกต่างของมีนัยสำคัญทางสถิติของสัภาพในการมองเห็นของหลอดแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด PAR

ตารางที่ 26 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกลึกมืด/สว่างของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดีชนิด PAR ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับโดยใช้ Paired Sample t-test

ตัวชี้วัด	ค่าความส่องสว่าง (Lux)		ชนิดของหลอดไฟ	
			ฮาโลเจน	แอลอีดี
Dim/Bright	50 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	2.00	3.56
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	0.71	1.31
	100 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	2.87	4.56
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	0.79	1.38
	300 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	4.59	5.65
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	0.87	1.12

หมายเหตุ : ตัวเอียงหมายถึงค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ของหลอดไฟดังกล่าวนี้มากกว่าหลอดไฟอีกหลอด

ความรู้สึกลึกมืด/สว่าง PAR



ภาพที่ 33 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความรู้สึกลึกมืด/สว่างของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดฮาโลเจนชนิด PAR ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับ

ตารางที่ 27 ผลการเปรียบเทียบความรู้มืด/สว่างของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดี ชนิด PAR โดยใช้ Paired Sample t-test

ค่าความส่องสว่าง (Lux)	t	p-value
50 Lux	5.805	0.000**
100 Lux	6.062	0.000**
300 Lux	4.941	0.000**

* ค่า $p < 0.05$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์สถิติ Paired Sample t-test

** ค่า $p < 0.001$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์สถิติ Paired Sample t-test

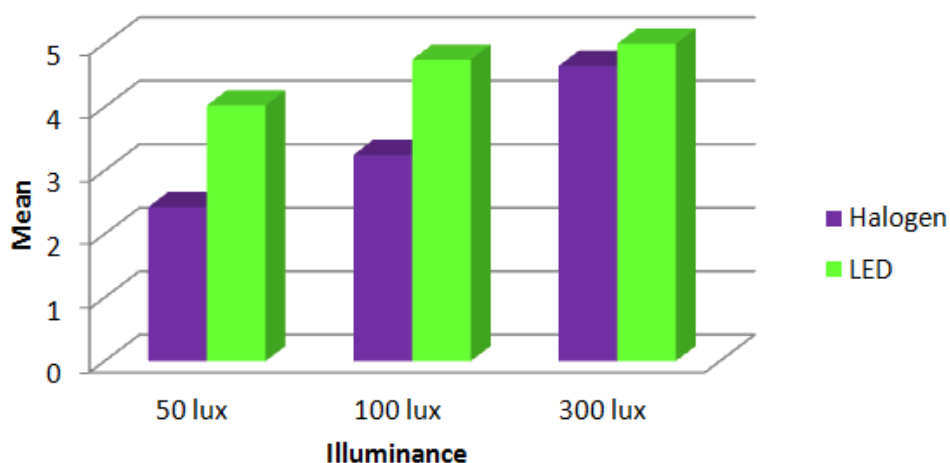
ตารางที่ 27 แสดงให้เห็นว่าค่าความส่องสว่าง 3 ระดับ หลอดไฟแอลอีดีให้ความรู้สีสว่างกว่าหลอดไฟฮาโลเจน

ตารางที่ 28 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สีอ่านง่าย/ยากของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดีชนิด PAR ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับ โดยใช้ Paired Sample t-test

ตัวชี้วัด	ค่าความส่องสว่าง (Lux)		ชนิดของหลอดไฟ	
			ฮาโลเจน	แอลอีดี
Diff.Easy	50 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	2.43	4.03
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.13	1.33
	100 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	3.25	4.75
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	0.84	1.29
	300 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	4.56	5.00
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.01	1.19

หมายเหตุ: ตัวเอียงหมายถึงค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ของหลอดไฟดังกล่าวนี้มากกว่าหลอดไฟอีกหลอด

ความรู้สึกอ่านง่าย/อ่านยาก PAR



ภาพที่ 34 ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความรู้สึกอ่านง่าย/ยากของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดฮาโลเจน ชนิด PAR ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับ

ตารางที่ 29 ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกอ่านง่าย/ยากของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดี ชนิด PAR โดยใช้ Paired Sample *t*-test

ค่าความส่องสว่าง (Lux)	t	p-value
50 Lux	5.846	0.000**
100 Lux	6.203	0.000**
300 Lux	1.877	0.700

* ค่า $p < 0.05$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์สถิติ Paired Sample *t*-test

** ค่า $p < 0.01$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์สถิติ Paired Sample *t*-test

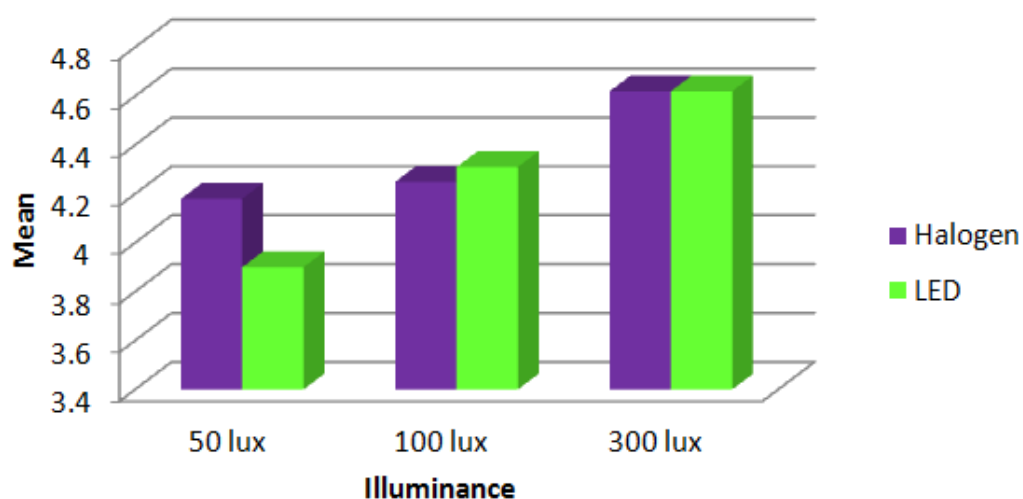
ตารางที่ 29 แสดงให้เห็นว่า ณ ความส่องสว่าง 50 ลักซ์ และ 100 ลักซ์ หลอดแอลอีดีรู้สึกอ่านง่ายกว่าแสงจากหลอดฮาโลเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$)

ตารางที่ 30 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกโทนเย็น/ร้อนของหลอดไฟฮาโลเจน และหลอดไฟแอลอีดีชนิด PAR ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับโดยใช้ Paired Sample t-test

ตัวชี้วัด	ค่าความส่องสว่าง (Lux)		ชนิดของหลอดไฟ	
			ฮาโลเจน	แอลอีดี
Cool/Warm	50 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	4.18	3.90
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.61	0.99
	100 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	4.25	4.31
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.45	1.14
	300 Lux	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	4.62	4.62
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.45	1.03

หมายเหตุ: ตัวเอียงหมายถึงค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ของหลอดไฟดังกล่าวนี้มากกว่าหลอดไฟอีกหลอด

ความรู้สึกโทนร้อน/โทนเย็น PAR



ภาพที่ 35 ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความรู้สึกโทนเย็น/ร้อนของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดฮาโลเจน ชนิด PAR ที่ความส่องสว่าง 3 ระดับ

ตารางที่ 31 ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกโทนเย็น/ร้อนของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดี โดยใช้ Paired Sample t-test

ค่าความส่องสว่าง (Lux)	t	p-value
50 Lux	0.953	0.348
100 Lux	0.203	0.840
300 Lux	0.000	1.000

* ค่า $p < 0.05$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์สถิติ Paired Sample t-test

** ค่า $p < 0.01$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์สถิติ Paired Sample t-test

ตารางที่ 31 แสดงให้เห็นว่าไม่มีความแตกต่างของมีนัยสำคัญทางสถิติของศักยภาพในการมองเห็นของหลอดแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด PAR

2. ผลการศึกษาอิทธิพลของค่าความส่องสว่าง

2.1 ผลการศึกษาหลอดแอลอีดีและหลอดฮาโลเจนชนิด MR 16

2.1.1 ผลการเปรียบเทียบศักยภาพในการมองเห็นของหลอดแอลอีดีและหลอดฮาโลเจนชนิด MR 16

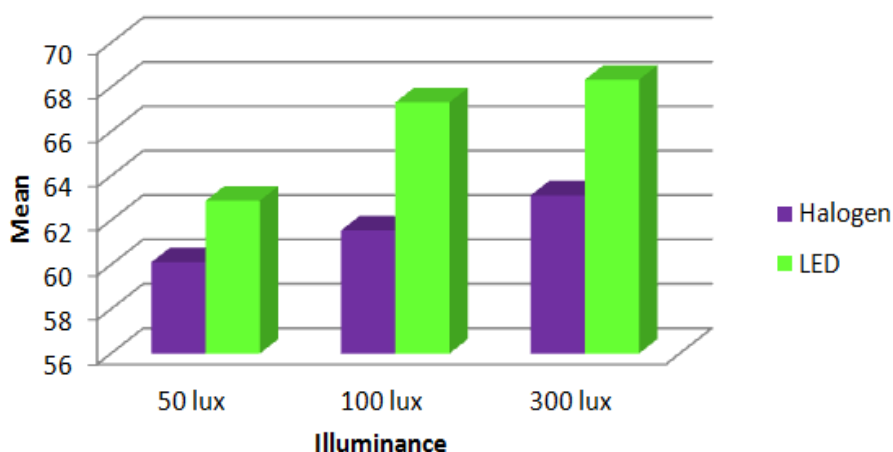
ตารางที่ 32 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของศักยภาพในการมองเห็นที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด MR 16

ตัวชี้วัด	ชนิดของหลอดไฟ		ค่าความส่องสว่าง		
			300 Lux	100 Lux	50 Lux
NVT	Halogen	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	63.13	61.55	60.12
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	11.14	12.16	10.79
Score	LED	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	68.34	67.32	62.89
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	12.85	13.27	10.06

* ค่า $p < 0.05$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Repeated Measures One-way ANOVA

** ค่า $p < 0.01$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Repeated Measures One-way ANOVA

ศักยภาพในการมองเห็น MR16



ภาพที่ 36 ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความส่องสว่างของหลอดฮาโลเจนและแอลอีดี MR 16 ของศักยภาพในการมองเห็น

ตารางที่ 33 ผลการเปรียบเทียบศักยภาพในการมองเห็นจากอิทธิพลของแสงสว่างที่แตกต่างกันของหลอดแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด MR 16 โดยใช้ One-way ANOVA

หลอดไฟ	F	p-value
Halogen	0.557	0.575
LED	1.820	0.168

* ถ้า $p < 0.05$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Repeated Measures One-way ANOVA

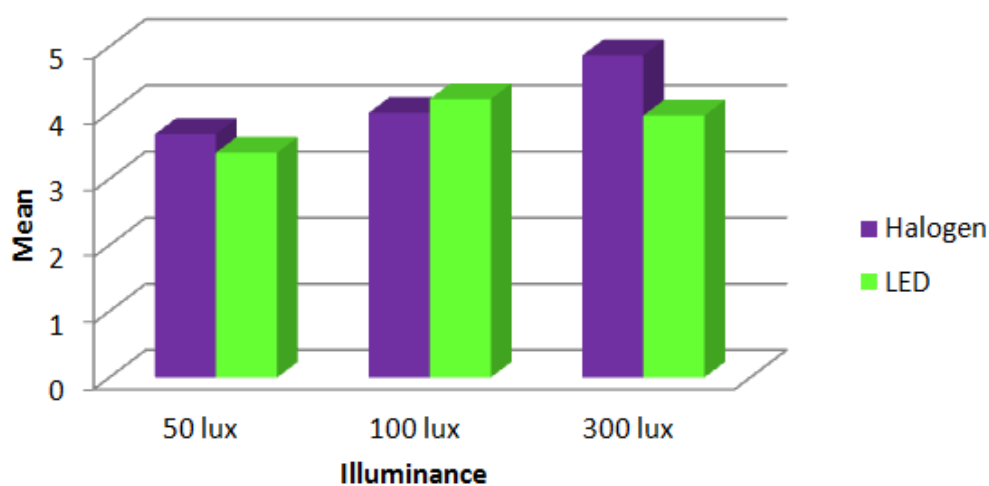
** ถ้า $p < 0.01$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Repeated Measures One-way ANOVA

ตารางที่ 33 แสดงให้เห็นว่าไม่พบความแตกต่างของศักยภาพในการมองเห็นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อค่าความส่องสว่างแตกต่างกัน ทั้งในหลอดแอลอีดีและฮาโลเจน

ตารางที่ 34 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกชอบ/ไม่ชอบที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด MR 16

ตัวชี้วัด	ชนิดของหลอดไฟ	ค่าความส่องสว่าง			
		300 Lux	100 Lux	50 Lux	
Like/	Halogen	ค่าเฉลี่ย($\bar{X}$)	4.87	4.00	3.68
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	0.87	1.19	1.28
Dislike	LED	ค่าเฉลี่ย($\bar{X}$)	3.96	4.21	3.40
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.75	1.66	1.31

ความรู้สึกชอบ/ไม่ชอบ MR16



ภาพที่ 37 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความชอบ/ไม่ชอบจากอิทธิพลของความส่องสว่างที่แตกต่างกันของหลอดแอลอีดีและหลอดฮาโลเจนชนิด MR 16

ตารางที่ 35 ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกรู้สึกชอบ/ไม่ชอบจากอิทธิพลของค่าความส่องสว่างที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดไฟฮาโลเจนชนิด MR 16 โดยใช้ One-Way ANOVA

หลอดไฟ	F	p-value
Halogen	9.526	0.000**
LED	2.201	0.116

* ค่า $p < 0.05$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Repeated Measures One-way ANOVA

**ค่า $p < 0.01$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Repeated Measures One-way ANOVA

ตารางที่ 35 แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าความส่องสว่างแตกต่างกันจะส่งผลทำให้เกิดความชอบที่แตกต่างกันในหลอดฮาโลเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง อย่างไรก็ตามนั้นไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในเรื่องความชอบในหลอดแอลอีดีเมื่อความแตกต่างของค่าความส่องสว่าง

ตารางที่ 36 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคู่ (Multiple Comparisons) ของความรู้สึกรู้สึกชอบ/ไม่ชอบ ระหว่างค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับของหลอดไฟฮาโลเจน โดย Sidak t-test

หลอดไฟฮาโลเจน	50 ลักซ์	100 ลักซ์	300 ลักซ์
50 ลักซ์	0.000		
100 ลักซ์	0.313	0.000	
300 ลักซ์	1.188**	0.875**	0.000

* ค่า $p < 0.05$ มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Sidak t-test

** ค่า $p < 0.01$ มีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Sidak t-test

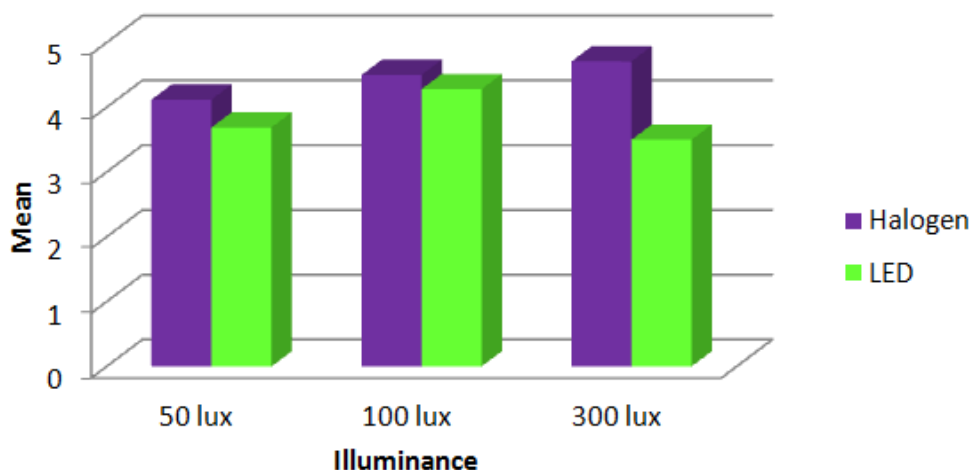
นอกจากนี้ตารางที่ 36 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างคู่โดยใช้ Sidak t-test โดยผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาความชอบ/ไม่ชอบของสภาพแสงสว่างของหลอดไฟฮาโลเจนระหว่าง

ระดับค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับแล้วนั้น หลอดไฟฮาโลเจนเมื่อมีความส่องสว่างที่ระดับ 300 ลักซ์ก่อให้เกิดความรู้สึกชอบมากกว่า 100 ลักซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$) และที่ระดับความส่องสว่างที่ระดับ 300 ลักซ์ก่อให้เกิดความรู้สึกชอบมากกว่า 50 ลักซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูงเช่นกัน ($p < 0.01$)

ตารางที่ 37 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกบาดเจ็บ/สบายตาที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด MR 16

ตัวชี้วัด	ชนิดของหลอดไฟ		ค่าความส่องสว่าง		
			300 Lux	100 Lux	50 Lux
Glare/ Comfort	Halogen	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	4.71	4.50	4.12
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	0.99	1.07	1.36
	LED	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	3.50	4.28	3.69
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.43	1.27	1.12

ความรู้สึกสบายตา/บาดเจ็บ MR16



ภาพที่ 38 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความรู้สึกบาดเจ็บ/สบายตา จากอิทธิพลของความสว่างที่แตกต่างกันของหลอดแอลอีดีและหลอดฮาโลเจนชนิด MR 16

ตารางที่ 38 ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกบาดตา/สบายตาจากอิทธิพลของค่าความส่องสว่างที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดไฟฮาโลเจนชนิด MR 16 โดยใช้
One-Way ANOVA

หลอดไฟ	F	p-value
Halogen	2.165	0.121
LED	2.999	0.055

* ค่า $p < 0.05$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Repeated Measures One-way ANOVA

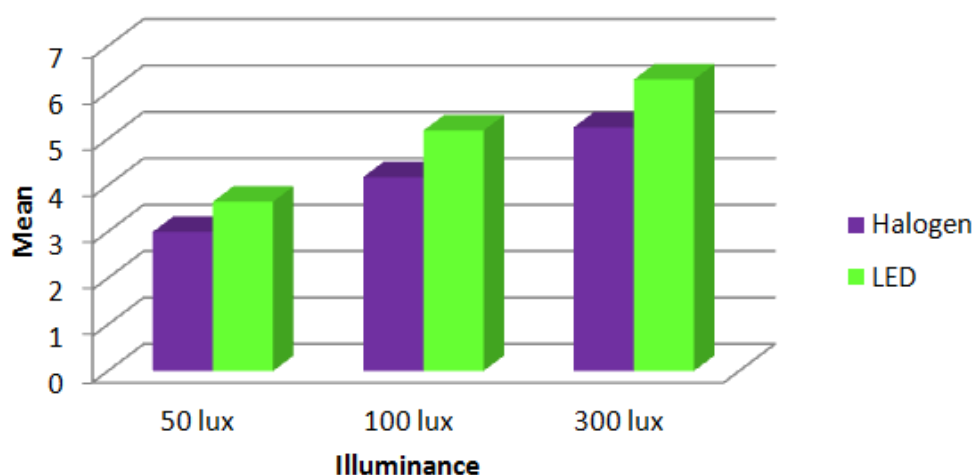
**ค่า $p < 0.01$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Repeated Measures One-way ANOVA

ตารางที่ 38 แสดงให้เห็นว่าไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของความรู้สึกบาดตา/สบายตา เมื่อมีค่าความส่องสว่างที่แตกต่างกัน ทั้งจากหลอดแอลอีดีและฮาโลเจน

ตารางที่ 39 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกมืด/สว่างที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด MR 16

ตัวชี้วัด	ชนิดของหลอดไฟ	ค่าความส่องสว่าง			
		300 Lux	100 Lux	50 Lux	
Dim/	Halogen	ค่าเฉลี่ย($\bar{X}$)	5.25	4.18	3.00
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	0.91	1.25	1.04
Bright	LED	ค่าเฉลี่ย($\bar{X}$)	6.28	5.18	3.65
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	0.63	1.06	1.15

ความรู้สึกมืด/สว่าง MR16



ภาพที่ 39 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความรู้สึกมืด/สว่าง จากอิทธิพลของความสว่างที่แตกต่างกันของหลอดแอลอีดีและหลอดฮาโลเจนชนิด MR 16

ตารางที่ 40 ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกมืด/สว่างจากอิทธิพลของค่าความส่องสว่างที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดไฟฮาโลเจนชนิด MR 16 โดยใช้ One-Way ANOVA

หลอดไฟ	F	p-value
Halogen	34.63	0.000**
LED	58.42	0.000**

* ค่า $p < 0.05$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Repeated Measures One-way ANOVA

**ค่า $p < 0.01$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Repeated Measures One-way ANOVA

ตารางที่ 40 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีความส่องสว่างที่แตกต่างกันส่งผลให้มีความรู้สึกมืด/สว่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$) จากทั้งหลอดฮาโลเจนและหลอดแอลอีดี

ตารางที่ 41 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคู่ (Multiple Comparisons) ของความรู้สึกรู้สึกมืด/สว่างจากค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับของหลอดไฟฮาโลเจน โดย Sidak *t*-test

หลอดไฟฮาโลเจน	50 ลักซ์	100 ลักซ์	300 ลักซ์
50 ลักซ์	0.000		
100 ลักซ์	1.187**	0.000	
300 ลักซ์	2.281**	1.093**	0.000

* ค่า $p < 0.05$ มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Sidak *t*-test

** ค่า $p < 0.01$ มีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Sidak *t*-test

นอกจากนี้ตารางที่ 41 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างคู่โดยใช้ Sidak *t*-test โดยผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาความสว่าง / มีดของสภาพแสงสว่างของหลอดฮาโลเจนระหว่างระดับค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับแล้วนั้น หลอดไฟฮาโลเจนเมื่อมีความส่องสว่างที่ระดับ 300 ลักซ์ก่อให้เกิดความรู้สึกสว่างมากกว่า 100 ลักซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$) และที่ระดับความส่องสว่างที่ระดับ 300 ลักซ์ก่อให้เกิดความรู้สึกสว่างมากกว่า 50 ลักซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$) นอกจากนี้ หลอดไฟฮาโลเจนที่ระดับความส่องสว่างที่ระดับ 100 ลักซ์ก่อให้เกิดความรู้สึกสว่างมากกว่า 50 ลักซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$)

ตารางที่ 42 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคู่ (Multiple Comparisons) ของความรู้สึกรู้สึกมืด/สว่างจากค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับของหลอดไฟแอลอีดี โดย sidak *t*-test

หลอดไฟแอลอีดี	50 ลักซ์	100 ลักซ์	300 ลักซ์
50 ลักซ์	0.000		
100 ลักซ์	1.187**	0.000	
300 ลักซ์	2.281**	1.093**	0.000

* ค่า $p < 0.05$ มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Sidak *t*-test

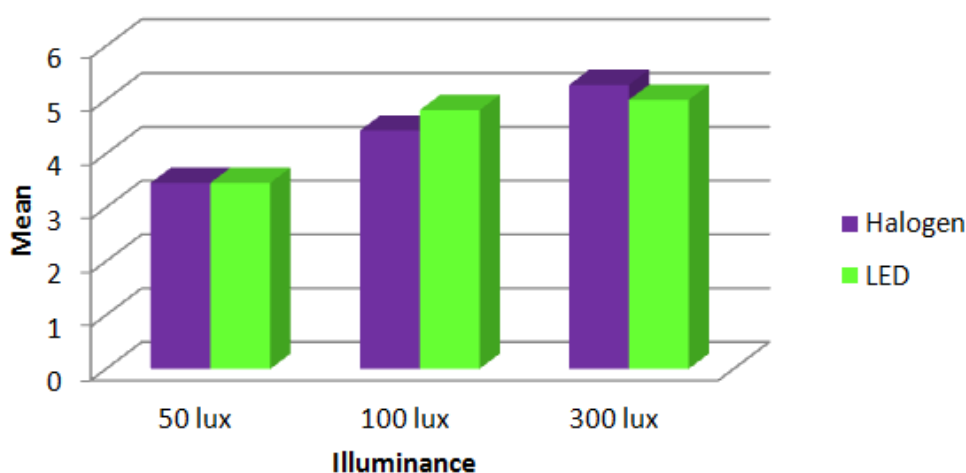
** ค่า $p < 0.01$ มีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Sidak *t*-test

นอกจากนี้ตารางที่ 42 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างคู่โดยใช้ Sidak *t*-test โดยผลการศึกษาลงแสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาความสว่าง / มีดของสภาพแสงสว่างของหลอดแอลอีดีระหว่างระดับค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับแล้วนั้น หลอดไฟแอลอีดีเมื่อมีความส่องสว่างที่ระดับ 300 ลักซ์ก่อให้เกิดความรู้สึกสว่างมากกว่า 100 ลักซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$) และที่ระดับความส่องสว่างที่ระดับ 300 ลักซ์ก่อให้เกิดความรู้สึกสว่างมากกว่า 50 ลักซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$) นอกจากนี้ หลอดไฟแอลอีดีที่ระดับความส่องสว่างที่ระดับ 100 ลักซ์ก่อให้เกิดความรู้สึกสว่างมากกว่า 50 ลักซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$)

ตารางที่ 43 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกอ่านง่าย/ยากที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด MR 16

ตัวชี้วัด	ชนิดของหลอดไฟ		ค่าความส่องสว่าง		
			300 Lux	100 Lux	50 Lux
Diff./ Easy	Halogen	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	5.28	4.43	3.46
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.11	1.13	1.01
	LED	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	5.00	4.81	3.46
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.43	1.13	1.01

ความรู้สึกอ่านง่าย/อ่านยาก MR16



ภาพที่ 40 ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความส่องสว่างของหลอดฮาโลเจนและแอลอีดี ชนิด MR 16 ที่ความรู้สึกอ่านง่าย/อ่านยาก

ตารางที่ 44 ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกอ่านง่าย/อ่านยากจากอิทธิพลของค่าความส่องสว่างที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดไฟฮาโลเจนชนิด MR 16 โดยใช้ One-way ANOVA

หลอดไฟ	F	p-value
Halogen	22.19	0.000**
LED	7.00	0.000**

* ค่า $p < 0.05$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Repeated Measures One-way ANOVA

**ค่า $p < 0.01$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Repeated Measures One-way ANOVA

ตารางที่ 44 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีความส่องสว่างที่แตกต่างกันส่งผลให้มีความรู้สึกอ่านง่าย/อ่านยากแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$) จากทั้งหลอดฮาโลเจนและหลอดแอลอีดี

ตารางที่ 45 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคู่ (Multiple Comparisons) ของความรู้สึกอ่านง่าย/อ่านยาก จากค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับของหลอดไฟฮาโลเจน โดยใช้ Sidak t-test

หลอดไฟฮาโลเจน	50 ลักซ์	100 ลักซ์	300 ลักซ์
50 ลักซ์	0.000		
100 ลักซ์	0.968**	0.000	
300 ลักซ์	1.812**	0.843**	0.000

* ค่า $p < 0.05$ มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Sidak t-test

** ค่า $p < 0.01$ มีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Sidak t-test

นอกจากนี้ตารางที่ 45 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างคู่โดยใช้ Sidak t-test โดยผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาความอ่านง่าย/อ่านยาก ของสภาพแสงสว่างของหลอดฮาโลเจนระหว่างระดับค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับแล้วนั้น หลอดไฟฮาโลเจนเมื่อมีความส่องสว่างที่ระดับ 300 ลักซ์ ก่อให้เกิดความรู้สึกอ่านง่ายมากกว่า 100 ลักซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$) และที่ระดับความส่องสว่างที่ระดับ 300 ลักซ์ก่ให้เกิดความรู้สึกอ่านง่ายมากกว่า 50 ลักซ์อย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p<0.01$) นอกจากนี้ หลอดไฟฮาโลเจนที่ระดับความส่องสว่างที่ระดับ 100 ลักซ์ก่อให้เกิดความรู้สึกอ่านง่ายมากกว่า 50 ลักซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p<0.01$)

ตารางที่ 46 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคู่ (Multiple Comparisons) ของความรู้สึกอ่านง่าย/อ่านยาก จากค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับของหลอดไฟแอลอีดี โดย sidak t-test

หลอดไฟแอลอีดี	50 ลักซ์	100 ลักซ์	300 ลักซ์
50 ลักซ์	0.000		
100 ลักซ์	0.937**	0.000	
300 ลักซ์	0.187**	1.125**	0.000

* ค่า $p<0.05$ มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Sidak *t*-test

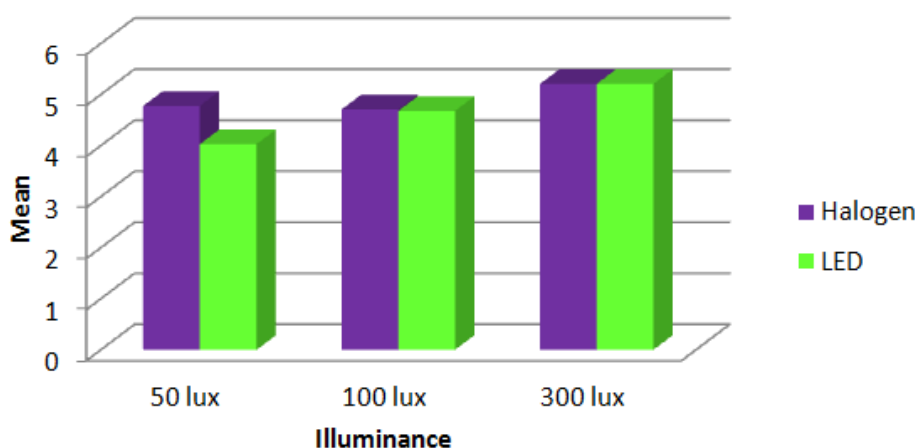
** ค่า $p<0.01$ มีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Sidak *t*-test

นอกจากนี้ตารางที่ 46 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างคู่โดยใช้ Sidak *t*-test โดยผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาความอ่านง่าย/อ่านยาก ของสภาพแสงสว่างของหลอดแอลอีดีระหว่างระดับค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับแล้วนั้น หลอดไฟแอลอีดีเมื่อมีความส่องสว่างที่ระดับ 300 ลักซ์ก่อให้เกิดความรู้สึกอ่านง่ายมากกว่า 100 ลักซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p<0.01$) และที่ระดับความส่องสว่างที่ระดับ 300 ลักซ์ก่อให้เกิดความรู้สึกอ่านง่ายมากกว่า 50 ลักซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p<0.01$) นอกจากนี้ หลอดไฟแอลอีดีที่ระดับความส่องสว่างที่ระดับ 100 ลักซ์ก่อให้เกิดความรู้สึกอ่านง่ายมากกว่า 50 ลักซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p<0.01$)

ตารางที่ 47 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกโทนเย็น/ร้อนที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด MR 16

ตัวชี้วัด	ชนิดของหลอดไฟ		ค่าความส่องสว่าง		
			300 Lux	100 Lux	50 Lux
Cool/	Halogen	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	5.21	4.71	4.78
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.09	1.14	1.09
Warm	LED	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	5.21	4.68	4.03
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.27	0.96	0.96

ความรู้สึกโทนเย็น/โทนร้อน MR16



ภาพที่ 41 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความส่องสว่างของหลอดฮาโลเจนและแอลอีดี Mr 16 ที่ความรู้สึกโทนเย็น/โทนร้อน

ตารางที่ 48 ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกโทนเย็น/โทนร้อนจากอิทธิพลของค่าความส่องสว่างที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดไฟฮาโลเจนชนิด MR 16 โดยใช้ One-way ANOVA

หลอดไฟ	F	p-value
Halogen	1.914	0.153
LED	7.879	0.001*

* ค่า $p < 0.05$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Repeated Measures One-way ANOVA

**ค่า $p < 0.01$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Repeated Measures One-way ANOVA

ตารางที่ 48 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีค่าความส่องสว่างแตกต่างกันส่งผลให้เกิดความรู้สึกโทนเย็น/โทนร้อนที่แตกต่างกันในหลอดแอลอีดีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$) อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในเรื่องความรู้สึกโทนเย็น/โทนร้อนของหลอดฮาโลเจนเมื่อมีความแตกต่างของค่าความส่องสว่าง

ตารางที่ 49 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคู่ (Multiple Comparisons) ของความรู้สึกลึกโตนเย็น/โตนร้อน จากค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับของหลอดไฟแอลอีดี โดย sidak t-test

หลอดไฟฮาโลเจน	50 ลักซ์	100 ลักซ์	300 ลักซ์
50 ลักซ์	0.000		
100 ลักซ์	0.656**	0.000	
300 ลักซ์	1.062**	0.406**	0.000

* ค่า $p < 0.05$ มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Sidak t -test

** ค่า $p < 0.01$ มีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Sidak t -test

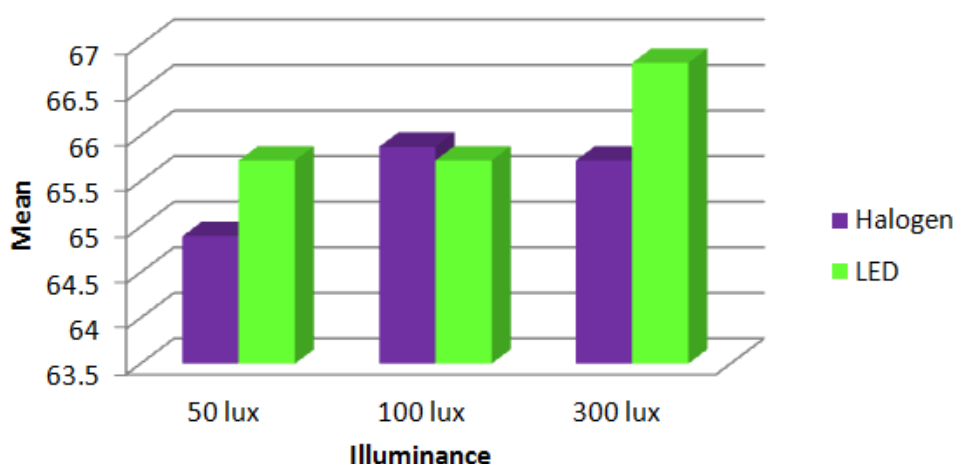
นอกจากนี้ตารางที่ 49 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างคู่โดยใช้ Sidak t -test โดยผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาแสงโตนเย็น/โตนร้อน ของสภาพแสงสว่างของหลอดแอลอีดีระหว่างระดับค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับแล้วนั้น หลอดไฟแอลอีดีเมื่อมีความส่องสว่างที่ระดับ 300 ลักซ์ก่อให้เกิดความรู้สึกเย็นมากกว่า 100 ลักซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$) และที่ระดับความส่องสว่างที่ระดับ 300 ลักซ์ก่อให้เกิดความรู้สึกเย็นมากกว่า 50 ลักซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$) นอกจากนี้ หลอดไฟแอลอีดีที่ระดับความส่องสว่างที่ระดับ 100 ลักซ์ก่อให้เกิดความรู้สึกเย็นมากกว่า 50 ลักซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$)

2.2 การเปรียบเทียบค่าการส่องสว่างของหลอดชนิด PAR

ตารางที่ 50 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของศักยภาพในการมองเห็นที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด PAR

ตัวชี้วัด	ชนิดของหลอดไฟ		ค่าความส่องสว่าง		
			300 Lux	100 Lux	50 Lux
NVT	Halogen	ค่าเฉลี่ย($\bar{X}$)	65.73	65.88	64.90
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	12.81	12.70	12.69
Score	LED	ค่าเฉลี่ย($\bar{X}$)	66.80	65.73	65.73
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	13.19	12.70	12.69

ศักยภาพในการมองเห็น PAR



ภาพที่ 42 ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความส่องสว่างของหลอดฮาโลเจนและแอลอีดี ชนิด PAR ที่ศักยภาพในการมองเห็น

ตารางที่ 51 ผลการเปรียบเทียบศักยภาพในการมองเห็นจากอิทธิพลของค่าความส่องสว่างที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดไฟฮาโลเจนชนิด PAR โดยใช้ One-way ANOVA

หลอดไฟ	F	p-value
Halogen	0.056	0.946
LED	0.074	0.929

* ค่า $p < 0.05$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Repeated Measures One-way ANOVA

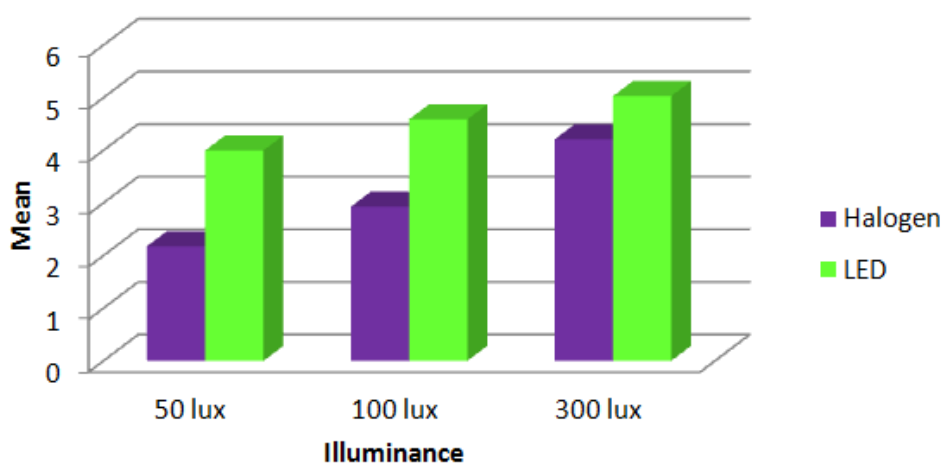
**ค่า $p < 0.01$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Repeated Measures One-way ANOVA

ตารางที่ 51 แสดงให้เห็นว่าไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของของศักยภาพในการมองเห็นเมื่อมีค่าความส่องสว่างที่แตกต่างกันทั้งจากหลอดแอลอีดีและฮาโลเจน

ตารางที่ 52 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกชอบ/ไม่ชอบที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด PAR

ตัวชี้วัด	ชนิดของหลอดไฟ	ค่าความส่องสว่าง		
		300 Lux	100 Lux	50 Lux
Like/ Dislike	Halogen	ค่าเฉลี่ย($\bar{X}$)		
		4.21	2.93	2.18
	LED	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)		
		1.00	1.24	1.37
Dislike	LED	ค่าเฉลี่ย($\bar{X}$)		
		5.03	4.59	4.00
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)		
		1.03	1.34	1.37

ความรู้สึกชอบ/ไม่ชอบ PAR



ภาพที่ 43 ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความส่องสว่างของหลอดฮาโลเจนและแอลอีดี ชนิด PAR ที่ความรู้สึก ชอบ/ไม่ชอบ

ตารางที่ 53 ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกรู้สึกชอบ/ไม่ชอบจากอิทธิพลของค่าความส่องสว่างที่ต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดไฟฮาโลเจนชนิด PAR โดยใช้ One-way ANOVA

หลอดไฟ	F	p-value
Halogen	22.71	0.006**
LED	5.362	0.000**

* ค่า $p < 0.05$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Repeated Measures One-way ANOVA

**ค่า $p < 0.01$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Repeated Measures One-way ANOVA

ตารางที่ 53 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีความส่องสว่างที่แตกต่างกันส่งผลให้มีความรู้สึกรู้สึกชอบ/ไม่ชอบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$) จากทั้งหลอดฮาโลเจนและหลอดแอลอีดี

ตารางที่ 54 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคู่ (Multiple Comparisons) ของความรู้สึกรู้สึกชอบ/ไม่ชอบ จากค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับของหลอดไฟฮาโลเจนชนิด PAR โดย Sidak t-test

หลอดไฟฮาโลเจน	50 ลักซ์	100 ลักซ์	300 ลักซ์
50 ลักซ์	0.000		
100 ลักซ์	0.750*	0.000	
300 ลักซ์	2.031**	1.281**	0.000

* ค่า $p < 0.05$ มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Sidak t-test

** ค่า $p < 0.01$ มีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Sidak t-test

นอกจากนี้ตารางที่ 54 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างคู่โดยใช้ Sidak t-test โดยผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาความชอบ/ไม่ชอบ ของสภาพแสงสว่างของหลอดฮาโลเจนระหว่างระดับค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับแล้วนั้น หลอดไฟฮาโลเจนเมื่อมีความส่องสว่างที่ระดับ 300 ลักซ์ก่อให้เกิดความรู้สึกชอบมากกว่า 100 ลักซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$) และที่

ระดับความส่องสว่างที่ระดับ 300 ลักซ์ก่อให้เกิดความรู้สึกชอบมากกว่า 50 ลักซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูงเช่นกัน ($p<0.01$) นอกจากนี้ หลอดไฟฮาโลเจนที่ระดับความส่องสว่างที่ระดับ 100 ลักซ์ก่อให้เกิดความรู้สึกชอบมากกว่า 50 ลักซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 55 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคู่ (Multiple Comparisons) ของความรู้สึกชอบ/ไม่ชอบ จากค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับของหลอดไฟแอลอีดี โดย sidak t-test

หลอดไฟแอลอีดี	50 ลักซ์	100 ลักซ์	300 ลักซ์
50 ลักซ์	0.000		
100 ลักซ์	0.593	0.000	
300 ลักซ์	1.031*	0.437	0.000

* ค่า $p<0.05$ มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Sidak t -test

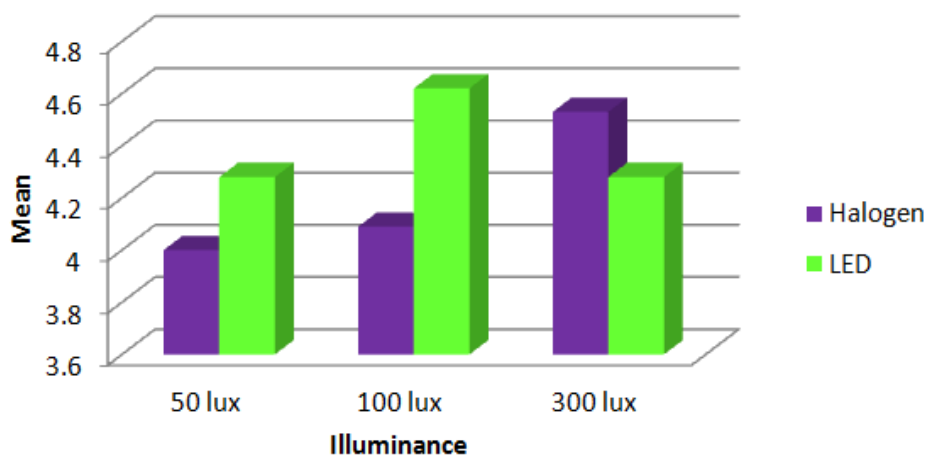
** ค่า $p<0.01$ มีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Sidak t -test

นอกจากนี้ตารางที่ 55 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างคู่โดยใช้ Sidak t -test โดยผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาความรู้สึกชอบ/ไม่ชอบ ของสภาพแสงสว่างของหลอดแอลอีดีระหว่างระดับค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับแล้วนั้น หลอดไฟแอลอีดีเมื่อมีความส่องสว่างที่ระดับ 300 ลักซ์ก่อให้เกิดความรู้สึกชอบมากกว่า 50 ลักซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 56 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกขาดตา/สบายตาที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด PAR

ตัวชี้วัด	ชนิดของหลอดไฟ		ค่าความส่องสว่าง		
			300 Lux	100 Lux	50 Lux
Glare/	Halogen	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	4.53	4.09	4.00
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.13	1.32	1.39
Comfort	LED	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	4.28	4.62	4.28
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.30	1.18	1.39

ความรู้สึกชอบ/ไม่ชอบ PAR



ภาพที่ 44 ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความส่องสว่างของหลอดฮาโลเจนและแอลอีดี PAR ที่ความรู้สึกบาดตา/สบายตา

ตารางที่ 57 ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกบาดตา/สบายตาจากอิทธิพลของค่าความส่องสว่างที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดไฟฮาโลเจนชนิด PAR โดยใช้ One-way ANOVA

หลอดไฟ	F	p-value
Halogen	0.749	0.478
LED	1.547	0.218

* ค่า $p < 0.05$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Repeated Measures One-way ANOVA

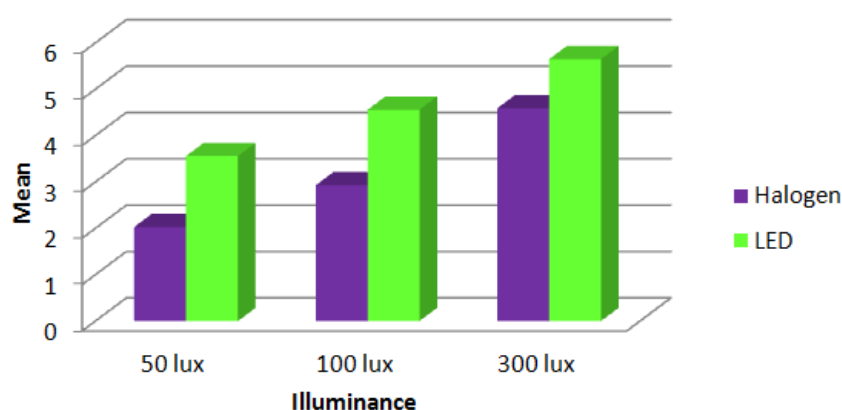
**ค่า $p < 0.01$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Repeated Measures One-way ANOVA

ตารางที่ 57 แสดงให้เห็นว่าไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของความรู้สึกบาดตา/สบายตา เมื่อมีค่าความส่องสว่างที่แตกต่างกัน ทั้งจากหลอดแอลอีดีและฮาโลเจน

ตารางที่ 58 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกมืด/สว่างที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด PAR

ตัวชี้วัด	ชนิดของหลอดไฟ	ค่าความส่องสว่าง		
		300 Lux	100 Lux	50 Lux
Bright/ Dim	Halogen	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	4.59	2.93
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	0.87	0.80
	LED	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	5.65	4.56
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.12	1.38

ความรู้สึกมืด/สว่าง PAR



ภาพที่ 45 ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความส่องสว่างของหลอดฮาโลเจนและแอลอีดี ชนิด PAR ที่ความรู้สึกมืด/สว่าง

ตารางที่ 59 ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกมืด/สว่างจากอิทธิพลของค่าความส่องสว่างที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดไฟฮาโลเจนชนิด PAR โดยใช้ One-way ANOVA

หลอดไฟ	F	p-value
Halogen	85.80	0.000**
LED	21.33	0.000**

* ค่า $p < 0.05$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์สถิติ Paired Sample t-test

** ค่า $p < 0.01$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์สถิติ Paired Sample t-test

ตารางที่ 58 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีความส่องสว่างที่แตกต่างกันส่งผลให้มีความรู้สึกสว่าง/มืด ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$) จากทั้งหลอดฮาโลเจนและหลอดแอลอีดี

ตารางที่ 60 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคู่ (Multiple Comparisons) ของความรู้สึกมืด/สว่าง จากค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับของหลอดไฟฮาโลเจน โดย Sidak t -test

หลอดไฟฮาโลเจน	50 ลักซ์	100 ลักซ์	300 ลักซ์
50 ลักซ์	0.000		
100 ลักซ์	0.906**	0.000	
300 ลักซ์	2.562**	1.656**	0.000

* ค่า $p < 0.05$ มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Sidak t -test

** ค่า $p < 0.01$ มีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Sidak t -test

นอกจากนี้ตารางที่ 60 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างคู่โดยใช้ Sidak t -test โดยผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาความรู้สึกมืด/สว่าง ของสภาพแสงสว่างของหลอดฮาโลเจนระหว่างระดับค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับแล้วนั้น หลอดไฟฮาโลเจนเมื่อมีความส่องสว่างที่ระดับ 300 ลักซ์ก่อให้เกิดความรู้สึกสว่างมากกว่า 100 ลักซ์และ 50 ลักซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$) นอกจากนี้ หลอดไฟฮาโลเจนที่ระดับความส่องสว่างที่ระดับ 100 ลักซ์ก่อให้เกิดความรู้สึกสว่างมากกว่า 50 ลักซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$)

ตารางที่ 61 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคู่ (Multiple Comparisons) ของความรู้สึกมืด/สว่าง จากค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับของหลอดไฟแอลอีดี โดย Sidak t -test

หลอดไฟแอลอีดี	50 ลักซ์	100 ลักซ์	300 ลักซ์
50 ลักซ์	0.000		
100 ลักซ์	1.000**	0.000	
300 ลักซ์	2.093**	1.093**	0.000

* ค่า $p < 0.05$ มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Sidak t -test

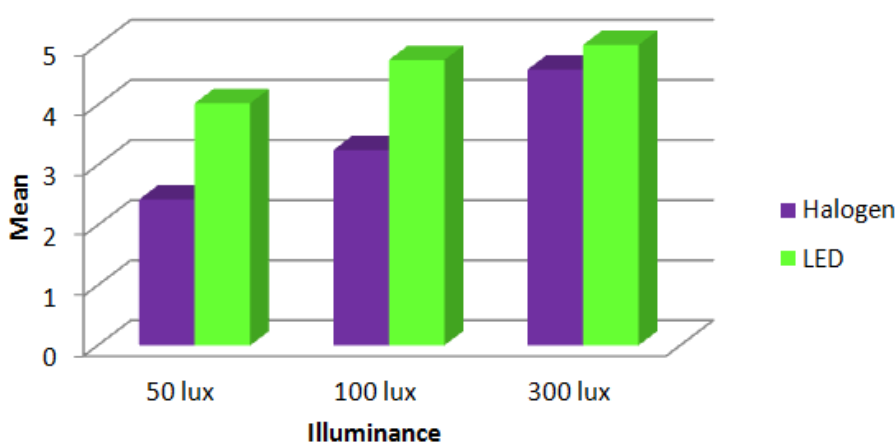
** ค่า $p < 0.01$ มีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Sidak t -test

นอกจากนี้ตารางที่ 60 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างคู่โดยใช้ Sidak *t*-test โดยผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาความรู้สึกมืด/สว่าง ของสภาพแสงสว่างของหลอดแอลอีดีระหว่างระดับค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับแล้วนั้น หลอดไฟแอลอีดีเมื่อมีความส่องสว่างที่ระดับ 300 ลักซ์ ก่อให้เกิดความรู้สึกสว่างมากกว่า 100 ลักซ์และ 50 ลักซ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$) นอกจากนี้ หลอดไฟแอลอีดีที่ระดับความส่องสว่างที่ระดับ 100 ลักซ์ก่อก่อให้เกิดความรู้สึกสว่างมากกว่า 50 ลักซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$)

ตารางที่ 62 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกอ่านง่าย/ยากที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด PAR

ตัวชี้วัด	ชนิดของหลอดไฟ		ค่าความส่องสว่าง		
			300 Lux	100 Lux	50 Lux
Diff./ Easy	Halogen	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	4.59	3.25	2.43
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	0.97	0.84	1.13
	LED	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	5.00	4.75	4.03
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.19	1.29	1.33

ความรู้สึกอ่านง่าย/อ่านยาก PAR



ภาพที่ 46 ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความส่องสว่างของหลอดฮาโลเจนและแอลอีดี ชนิด PAR ที่ความรู้สึกอ่านง่าย/อ่านยาก

ตารางที่ 63 ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกอ่านง่าย/ยากจากอิทธิพลของค่าความส่องสว่างที่ต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดไฟฮาโลเจนชนิด PAR โดยใช้ One-way ANOVA

หลอดไฟ	F	p-value
Halogen	38.53	0.000**
LED	4.986	0.009**

* ค่า $p < 0.05$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Repeated Measures One-way ANOVA

**ค่า $p < 0.01$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Repeated Measures One-way ANOVA

ตารางที่ 63 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีความส่องสว่างที่แตกต่างกันส่งผลให้มีความรู้สึกอ่านง่าย/อ่านยาก ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$) จากทั้งหลอดฮาโลเจนและหลอดแอลอีดี

ตารางที่ 64 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคู่ (Multiple Comparisons) ของความรู้สึกมืด/สว่างจากค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับของหลอดไฟฮาโลเจน โดย sidak t-test

หลอดไฟฮาโลเจน	50 ลักซ์	100 ลักซ์	300 ลักซ์
50 ลักซ์	0.000		
100 ลักซ์	0.812**	0.000	
300 ลักซ์	2.156**	1.343**	0.000

* ค่า $p < 0.05$ มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Sidak t-test

** ค่า $p < 0.01$ มีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Sidak t-test

นอกจากนี้ตารางที่ 64 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างคู่โดยใช้ Sidak t-test โดยผลการศึกษาลงแสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาความรู้สึกอ่านง่าย/อ่านยาก ของสภาพแสงสว่างของหลอดฮาโลเจนระหว่างระดับค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับแล้วนั้น หลอดไฟฮาโลเจนเมื่อมีความส่องสว่างที่ระดับ 300 ลักซ์ก่อให้เกิดความรู้สึกอ่านง่ายมากกว่า 100 ลักซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง

($p < 0.01$) และที่ระดับความส่องสว่างที่ระดับ 300 ลักซ์ก่อให้เกิดความรู้สึกอ่านง่ายมากกว่า 50 ลักซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$) นอกจากนี้ หลอดไฟฮาโลเจนที่ระดับความส่องสว่างที่ระดับ 100 ลักซ์ก่อให้เกิดความรู้สึกอ่านง่ายมากกว่า 50 ลักซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$)

ตารางที่ 65 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคู่ (Multiple Comparisons) ของความรู้สึกอ่านง่าย/อ่านยาก จากค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับของหลอดไฟแอลอีดี โดย Sidak t -test

หลอดไฟแอลอีดี	50 ลักซ์	100 ลักซ์	300 ลักซ์
50 ลักซ์	0.000		
100 ลักซ์	0.718	0.000	
300 ลักซ์	0.968**	0.250	0.000

* ค่า $p < 0.05$ มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ sidak t -test

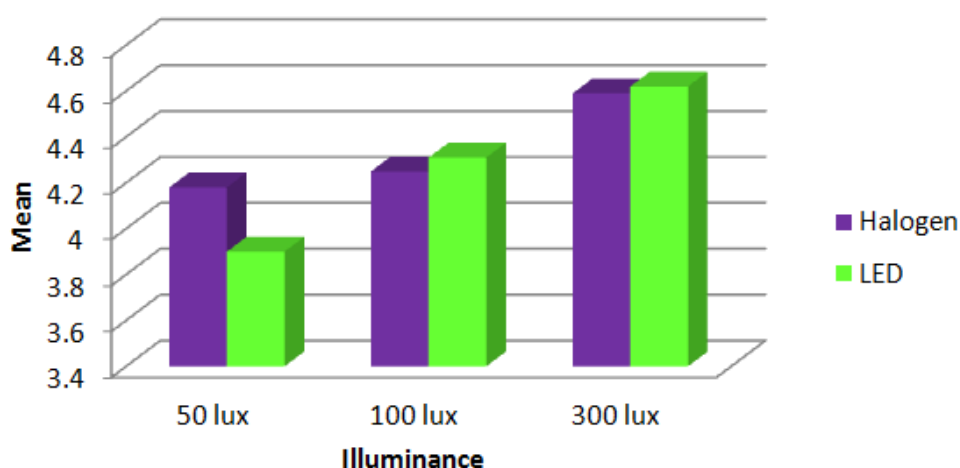
** ค่า $p < 0.01$ มีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ sidak t -test

นอกจากนี้ตารางที่ 65 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างคู่โดยใช้ Sidak t -test โดยผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาความรู้สึกอ่านง่าย/อ่านยาก ของสภาพแสงสว่างของหลอดแอลอีดีระหว่างระดับค่าความส่องสว่างในแต่ละระดับแล้วนั้น หลอดไฟแอลอีดีเมื่อมีความส่องสว่างที่ระดับ 300 ลักซ์ก่อให้เกิดความรู้สึกอ่านง่ายมากกว่า 50 ลักซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$)

ตารางที่ 66 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้สึกโทนร้อน/โทนเย็นที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด PAR

ตัวชี้วัด	ชนิดของหลอดไฟ		ค่าความส่องสว่าง		
			300 Lux	100 Lux	50 Lux
Cool/	Halogen	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	4.59	4.25	4.18
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.01	1.45	1.61
Warm	LED	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	4.62	4.31	3.90
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.03	1.14	0.99

ความรู้สึกโทนเย็น/โทนร้อน PAR



ภาพที่ 47 ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความส่องสว่างของหลอดฮาโลเจนและแอลอีดี PAR ที่ความรู้สึกโทนร้อน/โทนเย็น

ตารางที่ 67 ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกโทนเย็น/ร้อนจากอิทธิพลของค่าความส่องสว่างที่แตกต่างกันของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดไฟฮาโลเจนชนิด PAR โดยใช้ One-way ANOVA

หลอดไฟ	F	p-value
Halogen	0.797	0.454
LED	3.678	0.029

* ค่า $p < 0.05$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Repeated Measures One-way ANOVA

**ค่า $p < 0.01$ หมายถึงมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Repeated Measures One-way ANOVA

ตารางที่ 67 แสดงให้เห็นว่าไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของของความรู้สึกบาดตา/สบายตา เมื่อมีค่าความส่องสว่างที่แตกต่างกัน ทั้งจากหลอดแอลอีดีและหลอดฮาโลเจน

วิจารณ์

ในบทวิจารณ์ได้แบ่งผลการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1.อิทธิพลของการเปรียบเทียบหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนในแต่ละความส่องสว่างที่ส่งผลต่อศักยภาพการมองเห็นและความรู้สึกของคนไทย 2. อิทธิพลของค่าการส่องสว่างของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนที่ส่งผลต่อศักยภาพการมองเห็นและความรู้สึกของคนไทย

1. อิทธิพลของการเปรียบเทียบหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนในแต่ละความส่องสว่างที่ส่งผลต่อศักยภาพการมองเห็นและความรู้สึกของคนไทย

1.1 อิทธิพลของของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนของหลอดชนิด MR16 ในแต่ละค่าความส่องสว่างที่ส่งผลต่อศักยภาพการมองเห็นและความรู้สึกของคนไทย

ตารางที่ 68 การเปรียบเทียบหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด MR16 ในแต่ละความส่องสว่างว่าสามารถใช้ทดแทนกันได้หรือไม่

Condition	Light Bulb	Illuminance (lux)	แอลอีดีให้ ศักยภาพที่ ที่ดีกว่า	สามารถใช้ ทดแทนกันได้	ฮาโลเจนให้ ศักยภาพที่ ดีกว่า
NVT Test	MR 16	300	✓		
Dislike/Like	MR 16	300			✓
Glare/Comf.	MR 16	300	✓		
Dim/Bright	MR 16	300	✓		
Diff./Easy	MR 16	300		✓	
**Cool/Warm	MR 16	300		✓	
NVT Test	MR 16	100	✓		
Dislike/Like	MR 16	100		✓	
Glare/Comf.	MR 16	100		✓	
Dim/Bright	MR 16	100	✓		
Diff./Easy	MR 16	100		✓	
**Cool/Warm	MR 16	100		✓	

ตารางที่ 68 (ต่อ)

Condition	Light Bulb	Illuminance (lux)	LED ให้ ศักยภาพ ที่มากกว่า	สามารถใช้ ทดแทนกัน ได้	Halogen ให้ ศักยภาพที่ มากกว่า
NVT Test	MR 16	50	✓		
Dislike/Like	MR 16	50		✓	
Glare/Comf.	MR 16	50		✓	
Dim/Bright	MR 16	50	✓		
Diff./Easy	MR 16	50		✓	
**Cool/Warm	MR 16	50			✓

หมายเหตุ**

1. หลอดไฟแอลอีดีให้ค่าที่ดีกว่า หมายถึง ค่าดังกล่าวจากหลอดแอลอีดีนั้นมากกว่าจากหลอดฮาโลเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
2. สามารถทดแทนกันได้ หมายถึง ค่าดังกล่าวจากหลอดแอลอีดีนั้นไม่แตกต่างจากหลอดฮาโลเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
3. หลอดไฟฮาโลเจนให้ค่าที่ดีกว่า หมายถึง ค่าดังกล่าวจากหลอดฮาโลเจนนั้นมากกว่าจากหลอดแอลอีดีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
4. ** หมายถึงหลอดดังกล่าวให้แสงสีโทนร้อนกว่า

ตารางที่ 68 แสดงผลการเปรียบเทียบศักยภาพในการมองเห็นและความรู้สึกต่อแสงสว่างของหลอดไฟฮาโลเจนและแอลอีดีชนิด MR16 ณ ระดับการส่องสว่างต่างๆ ว่าทั้ง 2 หลอดสามารถใช้ทดแทนกันได้หรือไม่ จากตารางที่ 68 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าหลอดแอลอีดีโดยส่วนใหญ่แล้วนั้นสามารถใช้แทนหลอดฮาโลเจนได้และหลอดแอลอีดีนั้นให้ศักยภาพที่ดีกว่าในหลายๆ ประเด็น

ผลการศึกษาโดยภาพรวมของการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ ศสวรรณ กิ่งแก้ว (2556) ที่ทำการศึกษเปรียบเทียบศักยภาพในการมองเห็นและความรู้สึกต่อแสงสว่างของหลอดไฟอินแคนเดสเซนต์และแอลอีดี ซึ่งผลจากการศึกษาของ ศสวรรณ แสดงให้เห็นว่าหลอดไฟแอลอีดีนั้นมีศักยภาพที่ดีและสามารถใช้ทดแทนหลอดอินแคนเดสเซนต์ได้และดีกว่าในหลายๆ ประเด็นในการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าโดยภาพรวมแอลอีดีนั้นมีศักยภาพที่ดีและสามารถใช้ทดแทนหลอดฮาโลเจนได้เช่นเดียวกัน และผลการศึกษาทั้งสองการศึกษาทั้งสองสอดคล้องกันในเรื่องที่ว่าคนไทยมีแนวโน้มที่จะชอบแสงจากหลอดไฟที่ให้แสงสีขาวกว่าเสมอ

ตารางที่ 69 การเปรียบเทียบหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด PAR ในแต่ละความส่องสว่างว่าสามารถใช้ทดแทนกันได้หรือไม่

Condition	Light Bulb	Illuminance (lux)	แอลอีดีให้ สัณยภาพที่ ดีกว่า	สามารถใช้ ทดแทนกันได้	ฮาโลเจนให้ สัณยภาพ ดีกว่า
NVT Test	PAR	300		✓	
Dislike/Like	PAR	300	✓		
Glare/Comf.	PAR	300		✓	
Dim/Bright	PAR	300	✓		
Diff./Easy	PAR	300		✓	
**Cool/Warm	PAR	300		✓	
NVT Test	PAR	100		✓	
Dislike/Like	PAR	100	✓		
Glare/Comf.	PAR	100		✓	
Dim/Bright	PAR	100	✓		
Diff./Easy	PAR	100	✓		
**Cool/Warm	PAR	100		✓	
NVT Test	PAR	50		✓	
Dislike/Like	PAR	50	✓		
Glare/Comf.	PAR	50		✓	
Dim/Bright	PAR	50	✓		
Diff./Easy	PAR	50	✓		
**Cool/Warm	PAR	50		✓	

หมายเหตุ**

1. หลอดไฟแอลอีดีให้ค่าที่ดีกว่า หมายถึง ค่าดังกล่าวจากหลอดแอลอีดีนั้นมากกว่าจากหลอดฮาโลเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
2. สามารถทดแทนกันได้ หมายถึง ค่าดังกล่าวจากหลอดแอลอีดีนั้นไม่แตกต่างจากหลอดฮาโลเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
3. หลอดไฟฮาโลเจนให้ค่าที่ดีกว่า หมายถึง ค่าดังกล่าวจากหลอดฮาโลเจนนั้นมากกว่าจากหลอดแอลอีดีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
4. ** หมายถึงหลอดดังกล่าวให้แสงสีโทนร้อนกว่า

2. อิทธิพลของค่าการส่องสว่างของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนต่อทัศนภาพการมองเห็นและความรู้สึกของคนไทย

ตารางที่ 70 ตารางสรุปเปรียบเทียบเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าการส่องสว่างต่อทัศนภาพการมองเห็นและความรู้สึกของคนไทย ของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด Mr16

Condition	LED มีนัยสำคัญ	Halogen มีนัยสำคัญ
NVT Test	-	-
Dislike/Like	✓	✓
Glare/Comf.	-	-
Dim/Bright	✓	✓
Diff./Easy	✓	✓
Cool/Warm	✓	

หมายเหตุ ✓ หมายถึง ค่าการส่องสว่างที่เพิ่มขึ้น 50–300 ลักซ์ มีผลทำให้ปัจจัยดังกล่าวเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 71 ตารางสรุปเปรียบเทียบเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าการส่องสว่างต่อทัศนภาพการมองเห็นและความรู้สึกของคนไทย ของหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด PAR

Condition	LED มีนัยสำคัญ	Halogen มีนัยสำคัญ
NVT Test	✓	-
Dislike/Like	✓	✓
Glare/Comf.	-	-
Dim/Bright	✓	✓
Diff./Easy	✓	✓
Cool/Warm	-	-

หมายเหตุ ✓ หมายถึง ค่าการส่องสว่างที่เพิ่มขึ้น 50 – 300 ลักซ์ มีผลทำให้ปัจจัยดังกล่าวเพิ่มขึ้น

สรุปการเปรียบเทียบค่าการส่องสว่าง 3 ลำดับของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดฮาโลเจนต่อทัศนภาพในการมองเห็นและความรู้สึกต่อสภาพของแสงสว่างของคนไทย ตารางที่ 70 ซึ่งให้

ว่าเมื่อปรับเปลี่ยนความส่องสว่างของหลอดไฟแอลอีดีชนิด MR16 นั้นเพิ่มขึ้นจะทำให้คนไทยมีความชอบมากขึ้น รู้สึกสว่างมากขึ้นและอ่านง่ายขึ้น รวมถึงรู้สึกแสงมีสีโทนร้อนมากขึ้นอีกด้วย อย่างไรก็ตามเมื่อปรับเปลี่ยนความส่องสว่างสำหรับหลอดฮาโลเจนชนิด MR 16 นั้นเพิ่มขึ้นจะทำให้คนไทยมีความชอบมากขึ้น รู้สึกสว่างมากขึ้นและอ่านง่ายขึ้นอีกด้วย

ตารางที่ 71 สรุปการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง 3 ลำดับของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดฮาโลเจนต่อศักยภาพในการมองเห็นและความรู้สึกต่อสภาพของแสงสว่างของคนไทยชนิด PAR ตารางที่ 71 ชี้ให้เห็นว่าเมื่อปรับเปลี่ยนความส่องสว่างของหลอดไฟฮาโลเจนชนิด PAR นั้นเพิ่มขึ้นจะทำให้คนไทยมีศักยภาพในการมองเห็นที่มากขึ้น ความชอบมากขึ้น รู้สึกสว่างมากขึ้นและอ่านง่ายขึ้นเช่นกัน รวมถึง อย่างไรก็ตามเมื่อปรับเปลี่ยนความส่องสว่างสำหรับหลอดฮาโลเจนชนิด PAR นั้นเพิ่มขึ้นจะทำให้คนไทยมีความชอบมากขึ้น รู้สึกสว่างมากขึ้นและอ่านง่ายขึ้นเช่นกัน โดยภาพรวมนั้นผลการศึกษาอิทธิพลของการเปลี่ยนค่าการส่องสว่างของหลอดแอลอีดีนั้นค่อนข้างเหมือนกันกับหลอดฮาโลเจน ไม่ว่าจะเป็นหลอดชนิด MR16 และชนิด PAR

ผลการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาในหลายๆ การศึกษาที่พบว่าอิทธิพลของการเพิ่มขึ้นของการส่องสว่างนั้นมีผลต่อความรู้สึกต่อสภาพการส่องสว่างในเชิงบวก (Davis and Garza, 2002; CIBSE, 1994; Davis and Garza, 2002) ซึ่งทำการศึกษาอิทธิพลของปัจจัย 4 ปัจจัยต่อศักยภาพในการมองเห็นและความรู้สึกต่อสภาพแสงสว่าง โดยปัจจัยดังกล่าวได้แก่ ค่าความส่องสว่างของชิ้นงาน ค่าอุณหภูมิสีของแสง ค่าความสม่ำเสมอของแสงและชนิดของพื้นหลัง โดยทดสอบกับผู้สูงอายุจำนวน 17 คนซึ่งเป็นคนในชาติตะวันตก ผลการศึกษาชี้ให้เห็นอิทธิพลที่มีนัยสำคัญทางสถิติของค่าการส่องสว่างต่อความรู้สึกต่อสภาพแสงสว่างทั้ง 6 ปัจจัย โดยเมื่อค่าความส่องสว่างที่มากขึ้นทำให้ผู้สูงอายุอ่านหนังสือง่ายขึ้น สบายตาขึ้น พึงพอใจมากขึ้น และอยากได้แสงดังกล่าวในชีวิตประจำวันมากขึ้นเช่นกัน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาการมองเห็นของคนไทยจากหลอดแอลอีดีเทียบกับหลอดไฟฮาโลเจน แต่ละชนิด โดยศึกษาในสองแง่ ได้แก่ ในแง่แรกคือการศึกษาอิทธิพลต่อศักยภาพในการมองเห็นซึ่งทดสอบโดย Numerical Verification Test (NVT) และในแง่ที่สองคือการศึกษาอิทธิพลต่อความรู้สึกต่อการส่องสว่างที่เกิดขึ้น ซึ่งทำการทดสอบโดยใช้ Semantic Differential Scale (SDM) การศึกษานี้ได้จัดทำในห้องมืดที่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ การทดสอบประกอบด้วย 2 การทดลองโดยแต่ละการทดลองนั้นได้ศึกษาการเปรียบเทียบหลอดแอลอีดี และหลอดฮาโลเจน แต่ละชนิด โดยทำการทดสอบ 2 ปัจจัย ได้แก่ ชนิดของหลอดไฟและระดับการส่องสว่าง

จากผลการศึกษาการส่องสว่างของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดฮาโลเจนนั้นชี้ให้เห็นว่าในภาพรวมหลอดแอลอีดีชนิด Warm White (2700K) ให้ผลที่ดีกว่าในหลายๆด้านโดยสามารถใช้ทดแทนหลอดไฟฮาโลเจนได้ทั้งในแง่ศักยภาพในการมองเห็นและความรู้สึกต่อแสงสว่าง และในการศึกษา ยังพบอีกว่าค่าการส่องสว่างที่เพิ่มขึ้นนั้นก่อให้เกิดอิทธิพลโดยภาพรวมที่คล้ายกันระหว่างหลอดแอลอีดีและหลอดฮาโลเจนไม่ว่าจะเป็นชนิด MR16 หรือ PAR โดยสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. สรุปการเปรียบเทียบหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด MR 16

ตารางที่ 72 การเปรียบเทียบหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด MR16 ในแต่ละความส่องสว่างว่าสามารถใช้ทดแทนกันได้หรือไม่

Condition	Light Bulb	Illuminance (lux)	แอลอีดีให้ ศักยภาพที่ ดีกว่า	สามารถใช้ ทดแทน กันได้	ฮาโลเจนให้ ศักยภาพ ที่ดีกว่า
NVT Test	MR 16	300	✓		
Dislike/Like	MR 16	300			✓
Glare/Comf.	MR 16	300	✓		
Dim/Bright	MR 16	300	✓		
Diff./Easy	MR 16	300		✓	
**Cool/Warm	MR 16	300		✓	

ตารางที่ 72 (ต่อ)

Condition	Light Bulb	Illuminance (lux)	แอลอีดีให้ ศักยภาพที่ ดีกว่า	สามารถใช้ ทดแทน กันได้	ฮาโลเจนให้ ศักยภาพ ดีกว่า
NVT Test	MR 16	100	✓		
Dislike/Like	MR 16	100		✓	
Glare/Comf.	MR 16	100		✓	
Dim/Bright	MR 16	100	✓		
Diff./Easy	MR 16	100		✓	
**Cool/Warm	MR 16	100		✓	
NVT Test	MR 16	50	✓		
Dislike/Like	MR 16	50		✓	
Glare/Comf.	MR 16	50		✓	
Dim/Bright	MR 16	50	✓		
Diff./Easy	MR 16	50		✓	
**Cool/Warm	MR 16	50			✓

หมายเหตุ ** หมายถึง หลอดไฟดังกล่าวให้แสงสีโทนร้อนกว่า

ตารางที่ 73 การเปรียบเทียบหลอดไฟแอลอีดีและฮาโลเจนชนิด PAR ในแต่ละความส่องสว่างว่า
สามารถใช้ทดแทนกันได้หรือไม่

Condition	Light Bulb	Illuminance(lux)	LED ดีกว่า	ทดแทนกัน ได้	Halogen ดีกว่า
NVT Test	PAR	300		✓	
Dislike/Like	PAR	300	✓		
Glare/Comf.	PAR	300		✓	
Dim/Bright	PAR	300	✓		
Diff./Easy	PAR	300		✓	
Cool/Warm	PAR	300		✓	

ตารางที่ 73 (ต่อ)

Condition	Light Bulb	Illuminance(lux)	LED ดีกว่า	ทดแทนกันได้	Halogen ดีกว่า
NVT Test	PAR	100		✓	
Dislike/Like	PAR	100	✓		
Glare/Comf.	PAR	100		✓	
Dim/Bright	PAR	100	✓		
Diff./Easy	PAR	100	✓		
Cool/Warm	PAR	100		✓	
NVT Test	PAR	50		✓	
Dislike/Like	PAR	50	✓		
Glare/Comf.	PAR	50		✓	
Dim/Bright	PAR	50	✓		
Diff./Easy	PAR	50	✓		
Cool/Warm	PAR	50		✓	

หมายเหตุ ** หมายถึง หลอดไฟดังกล่าวให้แสงสีโทนร้อนกว่า

2.สรุปการเปรียบเทียบความส่องสว่าง 3 ระดับของหลอดฮาโลเจน และ แอลอีดี ชนิด MR16

ตารางที่ 74 อิทธิพลของค่าความส่องสว่างต่อศักยภาพในการมองเห็นและความรู้สึกของคนไทย ที่มีต่อหลอดแอลอีดีและฮาโลเจน ชนิด MR 16

Condition	LED	Halogen
NVT Test	-	-
Dislike/Like	✓	✓
Glare/Comf.	-	-
Dim/Bright	✓	✓
Diff./Easy	✓	✓
Cool/Warm	✓	

หมายเหตุ ✓ หมายถึง ค่าความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้น 50 – 300 ลักซ์ มีผลทำให้ปัจจัยดังกล่าวเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 75 อิทธิพลของค่าความส่องสว่างต่อศักยภาพในการมองเห็นและความรู้สึกของคนไทย
ที่มีต่อหลอดแอลอีดีและฮาโลเจน ชนิด PAR

Condition	LED	Halogen
NVT Test	-	-
Dislike/Like	✓	✓
Glare/Comf.	-	-
Dim/Bright	✓	✓
Diff./Easy	✓	✓
Cool/Warm	-	-

หมายเหตุ ✓ หมายถึง ค่าความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้น 50 – 300 ลักซ์ มีผลทำให้ปัจจัยดังกล่าวเพิ่มขึ้น

ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาครั้งนี้มีข้อเสนอแนะในการทดลองอยู่หลายประการดังนี้

1. ในการทดสอบนั้นมีผู้เข้าร่วมการทดลองอายุอยู่ที่ช่วงอายุ 20–40 ปีเท่านั้นและมีการศึกษา รวมถึงมีอาชีพที่เป็นสถาปนิกและวิศวกรเท่านั้น หากการทดลองมีการขยายกลุ่มผู้ทดสอบที่ต่างออกไปเช่น เด็ก และผู้สูงอายุ รวมไปถึงระดับการศึกษาอื่น และอาชีพ น่าจะทำให้ผลที่ได้ อาจจะแตกต่างออกไปจากเดิม
2. ในการทดสอบครั้งนี้ได้ศึกษาเฉพาะในห้องทดลองที่มีสภาพแวดล้อมที่ควบคุม ดังนั้น น่าจะมีการศึกษาในสภาพแวดล้อมจริง เช่น ห้องเรียน หรือสำนักงาน เพื่อขยายผลต่อไป
3. ในการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาเฉพาะค่าการส่องสว่างบางระดับ และหลอดไฟทั้งฮาโลเจน และแอลอีดีบางชนิด หากมีเวลาควรศึกษาเพิ่มเติมในค่าการส่องสว่างระดับอื่น และหลอดไฟชนิดอื่น
4. ในอนาคตอาจจะมีการทดสอบค่า CCT ที่แตกต่างกันออกไปเช่น Warm White, Cool White, Day Light นำมาทดสอบผสมกัน และใช้ค่าความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้นเกินมาตรฐาน
5. ไม่ควรบอกชนิดหลอดไฟให้ผู้ทดสอบทราบ เพราะอาจส่งผลก่อให้เกิดความรู้สึกที่เปลี่ยนไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2551. คู่มือประกอบการฝึกอบรมหลักสูตร

“พัฒนาบุคลากรภาคปฏิบัติด้านเทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงานในระบบแสงสว่าง”.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรุงเทพฯ.

พรรณชลัท สุริโยธิน. 2554. LED ศักยภาพความสดใสของแสงและสี ... ที่ต้องพิสูจน์. วารสาร

วิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 60(2554): 11-24.

วัชร มั่งวิทิกุล. 2544. กระบวนการและเทคนิคการลดค่าใช้จ่ายพลังงานสำหรับอาคารและ

โรงงานอุตสาหกรรม. ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

ศศวรรณ กิ่งแก้ว. 2557. การศึกษาเปรียบเทียบคุณลักษณะของหลอดแอลอีดีและอินแคนเดสเซนต์

ที่มีผลต่อการมองเห็นของคนไทย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย. 2546. TIEA-GD003 ข้อเสนอแนะระดับความส่องสว่าง

ภายในอาคารของประเทศไทย. สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

Asimpleswitch.com. 2013. **Make the Switch Now!: Replacement Guide for Classic Light**

Bulbs. (Leaflet). Philips, UK.

Baldwin, N. 1995. **Edison: Inventing the Century.** Hyperion.

Boyce, P.R. 1973. Age, Illuminance, Visual Performance and Preference. **Lighting Research and Technology** 5(3): 154-144.

Boyce, P.R., Y. Akashi, C. M. Hunter and J. D. Bullough. 2003. The Impact of Spectral Power Distribution on the Performance of an Achromatic Visual Task. **Lighting Research and Technology** 35(2): 141-161.

Boyce, P.R.. 2004. Lighting research for interiors: the beginning of the end or the end of the beginning. **Lighting Res. Technol.** 36(4): 283-2940.

Cecie, S. 2005. **Biology: Concepts and Applications**. Thomson Brooks, Cole.

CIBSE. 1994. **CIBSE Interior Lighting Guide, Charter Institute of Building Service Engineer.**

Davis, R.G. and A. Garza. 2002. Task Lighting for the Elderly. **Journal of the Illuminating Engineering Society** 31(1): 20-32.

Evan, BJW. 2010. Apilot study of lighting and low vision in older people, **Lighting Res. Technol.** 10(42): 103-119

Fotios, S. and C. Cheal. 2007. Lighting for Subsidiary Streets: Investigation of Lamps of Different SPD: Part 2-Brightness. **Lighting Research and Technology** 39(3): 233-252.

Fotios, S., C. Cheal. and P.R. Boyce. 2005. **Light Source Spectrum, Brightness Perception and Visual Performance in Pedestrian Environment: A Review** **Lighting Research and Technology** 37, 4.

Ivanov. A.B., 2001. Polar, in Hazewinkel, Michiel, Encyclopedia of Mathematics, Springer.

Keefe, T.J. 2007. The Nature of Light Archived from the original on 2012-07-24. **Retrieved** 2007-11-05.

Lowe, D. 2013. **Electronics Components: Diodes, Electronics All-In-One Desk Reference For Dummies**. John Wiley & Sons.

Lighting , A. 1994. **Task Lighting for Office, Volume 1 Number 3, Lighting Research Center**, Rensselaer Polytechnic Institute.

Tuaycharoen, N. and W. Kornisranukul. 2013. **Lighting for Thai Elderly: An Investigation of Visual Performance and Discomfort Glare**, p. 397-402. Lux Pacifica 2013. TIEA, Bangkok.

Tuaycharoen, N. and PR. Tregenza. 2005. **Discomfort Glare from Interesting Images, Lighting Research and Technology**, Vol.37, No.4 pp. 329-341.

Miller, L.K., P.J. Rowe and J. Lund. 1992. Correlation of Eye Color on Self-Paced and Reactive Motor Performance. **Perceptual and Motor Skills** 75(1): 91-95.

National Medical Audiovisual Center. 1972. **Ophthalmoscopy: Basic Self-Instruction for Medical students, study guide: BP-2543-9**. National Medical Audiovisual Center (GSA), Washington DC.

Tananuwat , N. 2008. **Visual Acuity and Ophthalmoscopy, study lecture** , Chaing Mai University.

O'Donell, B. M., E. M. Colombo and P.R. Boyce. 2011. Colour Information improves Relative Visual Performance. **Lighting Research and Technology** 43: 423-438.

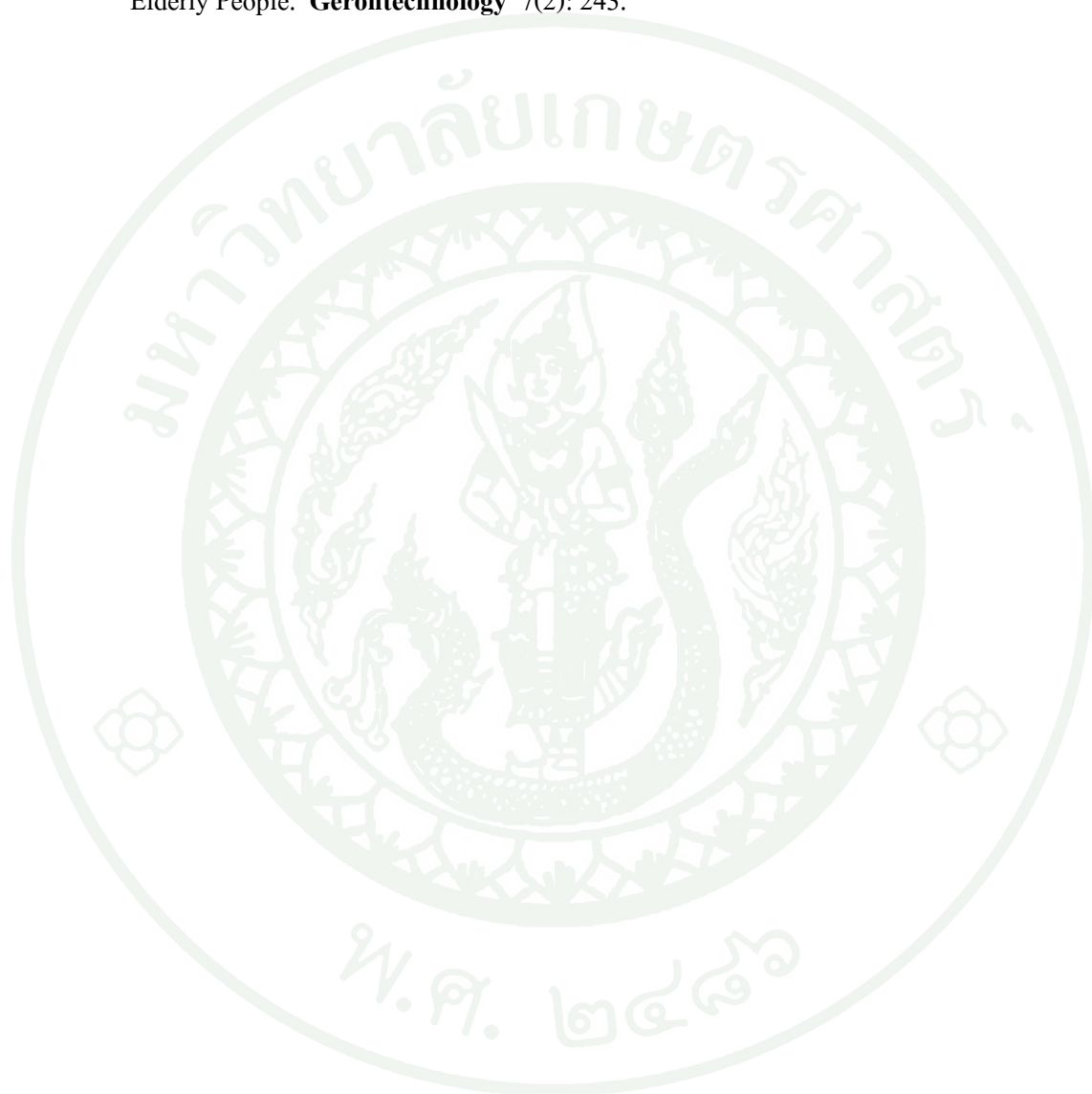
Paisnil, K., G. Rang and T. Rang. 2011. Life-time Characterization of LEDs. **Estonian Journal of Engineering** 17(3): 241-251.

Reichmann, H. 2005. **Streckensegelflug**. Motorbuch Verlag. Dresden, Germany

Veitch, J.A. 2008. Lighting appraisal, well-being and performance in open-plan offices: A linked mechanisms approach, **Lighting Res. Technol.** 40: 133-151.

Wiedemann. 1888. "Über Fluoreszenz und Phosphoreszenz, I. Abhandlung" (On fluorescence and phosphorescence, first paper), *Annalen der Physik*, 34: 446-463.

Yamagishi, *et al.* 2008. Effects of LED Lighting Characteristics on Visual Performance of Elderly People. *Gerontechnology* 7(2): 243.







ภาคผนวก ก
แบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัย

<u>74139</u>	<u>74139</u>
<u>29756</u>	<u>29756</u>
<u>84234</u>	<u>84284</u>
<u>11463</u>	<u>11463</u>
<u>73201</u>	<u>73201</u>
<u>64153</u>	<u>64153</u>
<u>95153</u>	<u>95153</u>
<u>64414</u>	<u>64414</u>
<u>47174</u>	<u>47177</u>
<u>38835</u>	<u>38835</u>
<u>98531</u>	<u>98231</u>
<u>95382</u>	<u>95382</u>
<u>62547</u>	<u>62547</u>
<u>29614</u>	<u>29814</u>
<u>36912</u>	<u>36912</u>
<u>13131</u>	<u>13131</u>
<u>75971</u>	<u>75971</u>
<u>64231</u>	<u>64231</u>
<u>11411</u>	<u>11411</u>
<u>58316</u>	<u>58316</u>

Numerical Verification Test 99

Light Bulb: _____ Lux : _____

ชื่อ.....

เพศ

ปัญหาด้านสายตา

จัดลำดับความพึงพอใจของแสงที่เหมาะสมกับการอ่าน หลอด Halogen Spot 50 Lux

ไม่ชอบ	1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6 : 7	ชอบ
บาดตา	1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6 : 7	สบายตา
มืด	1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6 : 7	สว่าง
อ่านยาก	1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6 : 7	อ่านง่าย
แสงโทนเย็น	1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6 : 7	แสงโทนร้อน

คุณอยากให้มีการใช้แสงแบบนี้ในการอ่านหนังสือในชีวิตประจำวันหรือไม่

☐

อยาก

☐

ไม่อยาก

จัดลำดับความพึงพอใจของแสงที่เหมาะสมกับการอ่าน หลอด Halogen Spot 100 Lux

ไม่ชอบ	1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6 : 7	ชอบ
บาดตา	1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6 : 7	สบายตา
มืด	1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6 : 7	สว่าง
อ่านยาก	1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6 : 7	อ่านง่าย
แสงโทนเย็น	1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6 : 7	แสงโทนร้อน



ภาคผนวก ข

ตารางสรุปคะแนนในการทดสอบโดยโปรแกรม SPSS

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Halo16_100	61.5516	32	12.16951	2.15129
	LED16_100	67.3216	32	13.27157	2.34610

T-Test**Paired Samples Correlations**

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 Halo16_100 & LED16_100	32	.798	.000

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 Halo16_100 - LED16_100	-5.77000	8.15660	1.44190	-8.71077	-2.82923	-4.002	31	.000

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Halo16_300	63.1313	32	11.14509	1.97019
	LED16_300	68.3400	32	12.85501	2.27247

Paired Samples Correlations

	N	Correlation	Sig.
--	---	-------------	------

		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference			
					Lower	Upper		
Pair 1	Halo16_300 - LED16_300	-5.20875	7.11528	1.25782	-7.77408	-2.64342	-4.141	31 .000
Pair 1	Halo16_300 & LED16_300			32	.834		.000	

Paired Samples Test**Paired Samples Statistics**

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Like16_50	3.6875	32	1.28107	.22646
	LikeL16_50	3.4063	32	1.31638	.23271

Paired Samples Correlations

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 Like16_50 & LikeL16_50	32	.250	.168

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 Like16_50 - LikeL16_50	.28125	1.59099	.28125	-.29236	.85486	1.000	31	.325



	Master of Building Technology and Innovation, Kasetsart University	ข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย (Information Sheet for Research Participant)
---	---	---

ชื่อโครงการวิจัย: การเปรียบเทียบคุณลักษณะทางแสงสว่างของหลอดแอลอีดีและฮาโลเจนที่มีผลต่อการมองเห็นของคนไทย (The Comparison Study of Lighting Characteristics between LED and Halogen Lamp on Visibility of Thai People)

ผู้ทำวิจัย

ชื่อ นาย นพวุฒิ ไพรัตน์
ที่อยู่ 56 ม.เดชา 2 รามคำแหง 78 หัวหมาก บางกะปิ กรุงเทพฯ 10240
เบอร์โทรศัพท์ 080-290-5678 (มือถือ)

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์หลัก

ชื่อ ดร.ศิริเดช สุริต

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ร่วม

ชื่อ ดร. นवलวรรณ ทวยเจริญ

สถานที่วิจัย ห้องพักที่ 3 ตึกคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ

เรียน ผู้เข้าร่วมการวิจัยทุกท่าน

ท่านได้รับเชิญให้เข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้เนื่องจากท่านเป็นผู้มีอายุอยู่ในเกณฑ์ 20-40 ปี ทั้งท่านผู้มีความสนใจ และท่านผู้มีความบกพร่องทางสายตา ก่อนที่ท่านจะตัดสินใจเข้าร่วมในการศึกษาวิจัยดังกล่าว ขอให้ท่านอ่านเอกสารนี้อย่างถี่ถ้วน เพื่อให้ท่านได้ทราบถึงเหตุผลและรายละเอียด การทำวิจัยครั้งนี้ หากมีข้อสงสัยใดๆเพิ่มเติมสามารถซักถามหรือเสนอแนะจากผู้ทำวิจัยนี้ได้

การวิจัยนี้ไม่ได้เป็นการบังคับ ท่านสามารถตัดสินใจในการเข้าร่วมได้อย่างอิสระ ซึ่งหากท่านตัดสินใจเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้แล้ว ขอให้ท่านลงนามในเอกสารแสดงความยินยอมของโครงการวิจัยนี้ โดยจะมีขั้นตอนการวิจัยดังต่อไปนี้

เหตุผลความเป็นมา

ในปัจจุบันมีการพัฒนาหลอดแอลอีดี เพื่อใช้ในงานตกแต่งมากมายโดยคุณสมบัติของหลอดไฟแอลอีดีในปัจจุบัน มีข้อดีทั้ง ประหยัดพลังงานและไม่เปลืองรังสี Uv และ Infrared แต่สำหรับการมองเห็นยังไม่มีมีการวิจัยที่บ่งบอกว่าหลอดไฟแอลอีดี มีประสิทธิภาพดีกว่าหรือเท่าเทียมหลอดไฟประเภทอื่น ในด้านศักยภาพด้านการมองเห็นของหลอดไฟ ที่มีผลกับพฤติกรรม กิจกรรมและการรับรู้ความรู้สึกของผู้ใช้งาน โดยเฉพาะกับคนไทย

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

วัตถุประสงค์ในการวิจัยครั้งนี้คือ เพื่อศึกษาศักยภาพการมองเห็นและความรู้สึกต่อสภาพแสงสว่างจากหลอดไฟแอลอีดี และฮาโลเจน ว่าสามารถใช้ทดแทนกันได้หรือไม่ และมีความแตกต่างทางด้านศักยภาพการมองเห็นอย่างไร และส่งผลทางด้านจิตวิทยาที่แตกต่างกันอย่างไร โดยจะประกอบด้วยวัตถุประสงค์ย่อยดังนี้

1. เพื่อศึกษาศักยภาพการมองเห็นของคนไทยจากหลอด แอลอีดี (LED) และหลอดฮาโลเจน (HALOGEN) ในระดับค่าความส่องสว่าง (Illuminance) ที่ต่างกัน โดยใช้มาตรวัดทั้งทางจิตวิทยา (ด้วยวิธีการ Numeral Verification Test – NVT) และมาตรวัดความรู้สึกของการส่องสว่างทางกายภาพ (Semantic Differential Method)

- 1.1 เพื่อศึกษาการส่องสว่างจากหลอดไฟแอลอีดี และหลอด ฮาโลเจน ที่ก่อให้เกิด ศักยภาพการมองเห็นที่แตกต่างกัน

- 1.2 เพื่อศึกษาสภาพการส่องสว่างจากหลอดแอลอีดี และหลอดฮาโลเจน ที่ก่อให้เกิด ความรู้สึกที่ต่างกัน

1.3 ในสภาพการส่องสว่างของหลอดแอลอีดี เมื่อค่าการส่องสว่างที่ต่างกัน (I-Illuminance) ที่ก่อให้เกิดศักยภาพในการมองเห็นที่แตกต่างกัน

1.4 ในสภาพการส่องสว่างของหลอดแอลอีดี เมื่อค่าการส่องสว่างที่ต่างกัน (I-Illuminance) ที่ก่อให้เกิดความรู้สึกที่แตกต่างกัน

1.5 ในสภาพการส่องสว่างของหลอดฮาโลเจน เมื่อค่าการส่องสว่างที่ต่างกัน (I-Illuminance) ที่ก่อให้เกิดศักยภาพในการมองเห็นที่แตกต่างกัน

1.6 ในสภาพการส่องสว่างของหลอดฮาโลเจน เมื่อค่าการส่องสว่างที่ต่างกัน (I-Illuminance) ที่ก่อให้เกิดความรู้สึกที่แตกต่างกัน

2. เพื่อเปรียบเทียบศักยภาพและวิเคราะห์ผลศักยภาพการมองเห็น (Visual Performance) ของหลอด แอลอีดี (LED) และ แฮโลเจน (HALOGEN) ว่าสามารถใช้ทดแทนกันได้หรือไม่ มีความแตกต่างทางด้านกายภาพอย่างไรและส่งผลทางด้านจิตวิทยาที่ต่างกันอย่างไร

วิธีการที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้ประกอบด้วย 2 การทดสอบหลัก ได้แก่ 1. การศึกษาด้านศักยภาพการมองเห็นเมื่อมีค่าความส่องสว่างที่ต่างกัน 2. เมื่อมีค่าความส่องสว่างที่ต่างกันจะส่งผลให้เกิดความรู้สึกทางกายภาพและจิตวิทยาที่ต่างกันอย่างไร โดนมียรายละเอียดการทดลองดังนี้

1. การศึกษาศักยภาพการมองเห็นของหลอดไฟแอลอีดี และ ฮาโลเจน เมื่อมีค่าความส่องสว่างที่ต่างกัน ในขั้นตอนนี้เป็น การทดลองในการทำแบบทดสอบทางด้านจิตวิทยา (Numeral Verification Test

แบบทดสอบทางจิตวิทยา Numeral Verification Test (NVT) เป็นแบบทดสอบประสิทธิภาพในการมองด้านความเร็วและความถูกต้องในการอ่าน ซึ่งจะประกอบไปด้วยตัวเลข 5 หลัง 2 แถว จำนวน 20 ข้อ แถวซ้ายจะเป็นเลขที่ทำการสุ่ม แถวขวาคือเลขชุดเดียวกัน ซึ่งจะแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยของบางบรรทัด ซึ่งผู้ทำการทดลองจะต้องหาตัวเลขที่ต่างกันภายในเวลาที่กำหนด หลังจากนั้นจะเก็บผลเพื่อทดลองทางสถิติต่อไป

ในขั้นตอนการทดลองนี้ท่านจะต้องนั่งปรับสายตาภายในห้องมืด 2-5 นาทีโดยประมาณ เพื่อให้ตาคุ้นชินกับสภาพแวดล้อม โดยเมื่อทำการทดสอบผู้ทำการวิจัยจะสั่งให้ผู้ทดสอบวางคางลงบนแผ่นรองคาง และทำการเปิดไฟ จากนั้นผู้เข้าร่วมการวิจัยจะต้องมองแผ่นทดสอบที่แปะอยู่กลางโต๊ะทดสอบ (ดังภาพ)

<u>83243</u>	<u>83243</u>
<u>76475</u>	<u>76475</u>
<u>05023</u>	<u>05123</u>
<u>77426</u>	<u>77486</u>

โดยแบบทดสอบจะแบ่งเป็น 2 แถว จำนวน 20 บรรทัด ซึ่งตัวเลขแถววาจะมีตัวเลขที่ไม่เหมือนกับแถวซ้าย ท่านจะต้องจับผิดตัวเลขที่เหมือนกันในเวลาที่กำหนด โดยใช้ปากกาไฮไลต์บนตัวเลขที่ต่างกัน โดยจะต้องทำแบบทดสอบ Numeral Verification Test (NVT) จำนวน 5 ชุด คือ 1.หลอดที่ใช้ในการทำแบบทดสอบชุดตัวอย่าง หลอด Incandescent 2. หลอด Halogen Par 38 3. หลอด LED PAR 38 4.หลอด Halogen Spot MR16 5.หลอด LED Spot MR16 รวม 13 ทริทเมนต์ จะใช้เวลาในการทดสอบประมาณ 1 ชม.

2. การศึกษาความรู้สึกรู้สึกของการส่องสว่างของหลอดไฟแอลอีดี และฮาโลเจน เมื่อมีค่าความส่องสว่างที่ต่างกัน ในขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบการวัดความรู้สึกการส่องสว่างทางกายภาพ (Semantic Differential Method)

แบบทดสอบการวัดความรู้สึกของการส่องสว่างทางกายภาพ (Semantic Differential Method) จากการศึกษา (Davis & Garza 2002) โดยจะแบ่งลักษณะของแสงออกเป็น 6 ข้อ ได้แก่ ชอบ/ไม่ชอบ สบายตา/บาดตา สว่างไป/มืดไป อ่านง่าย/อ่านยาก แสงโทนเย็น/แสงโทนร้อน และคำถามสุดท้ายคือ ท่านอยากใช้แสงแบบนี้ในการอ่านหนังสือประจำวันหรือไม่ โดยข้อ 1-5 เป็นการวัดเป็นแบบอันตรภาค ในความถี่ 7 ลำดับ เช่น สบายตาอย่างมาก-สบายตา-สบายตาเล็กน้อย-ปกติ-บาดตาเล็กน้อย-บาดตา-บาดตามาก หรือสามารถแปลงเป็นตัวเลขได้เท่ากับ 1-2-3-4-5-6-7 ข้อ 6 เป็นการถามวิธีตรงแบบจัดประเภทโดยมี 2 คำตอบคือ ใช่ หรือ ไม่

แบบทดสอบวัดความรู้สึกของการส่องสว่างทางกายภาพ (Semantic Differential Method)

ชอบ	_1 : _2 : _3 : _4 : _5 : _6 : _7_	ไม่ชอบ
สบายตา	_1 : _2 : _3 : _4 : _5 : _6 : _7_	บาดตา
สว่าง	_1 : _2 : _3 : _4 : _5 : _6 : _7_	มืด
อ่านง่าย	_1 : _2 : _3 : _4 : _5 : _6 : _7_	อ่านยาก
แสงโทนเย็น	_1 : _2 : _3 : _4 : _5 : _6 : _7_	แสงโทนร้อน

คุณอยากให้มีการใช้แสงแบบนี้ในการอ่านหนังสือในชีวิตประจำวันหรือไม่

อยาก ☐

ไม่อยาก ☐

ในขั้นตอนการทดลองนี้ท่านจะต้องนั่งปรับสายตาภายในห้องมืด 2–5 นาทีโดยประมาณ เพื่อให้ตาคุ้นชินกับสภาพแวดล้อม โดยท่านจะต้องให้คะแนน ลักษณะของแสงในข้อ ซึ่งได้แก่ ชอบ/ไม่ชอบ สบายตา/บาดตา สว่างไป/มืดไป อ่านง่าย/อ่านยาก แสงโทนเย็น/แสงโทนร้อน และคำถามสุดท้ายคือ ท่านอยากใช้แสงแบบนี้ในการอ่านหนังสือประจำวันหรือไม่ โดยใช้ปากกาไฮไลต์ลงบนตัวเลขในการให้คะแนน ส่วนข้อสุดท้ายจะต้องเลือกตอบข้อใดข้อหนึ่ง โดยจะต้องทำแบบทดสอบ Semantic Differential Method (SDM) จำนวน 5 ชุด คือ 1.หลอดที่ใช้ในการทำแบบทดสอบชุดตัวอย่าง หลอด Incandescent 2. หลอดแอลอีดี แบบกระเปาะแก้ว 3.หลอดฮาโลเจน แบบกระเปาะแก้ว 4.หลอดแอลอีดีแบบสป็อต 5.หลอดฮาโลเจนแบบสป็อต รวม 13 ทรัพย์สินจะใช้เวลาในการทดสอบประมาณ 1ชม.

เกณฑ์การให้คะแนน Semantic Differential Method (SDM) มีดังต่อไปนี้

1. ความชอบ/ไม่ชอบ คือ ความรู้สึกพึงพอใจ เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีแสงนั้นๆ
2. สบายตา/แสงบาดตา คือ แสงในสภาพแวดล้อมนั้นๆ ส่งผลให้ผู้มองเกิดความไม่สะดวกสบายในการมองหรือไม่ หรือทำให้มองเห็นวัตถุได้ยาก
3. ความสว่าง/มืด คือ สภาวะแสงในสภาพนั้นๆ ทำให้รู้สึกสว่าง หรือ มืดจนส่งผลต่อการมองเห็นวัตถุได้ยากหรือง่ายขึ้น
4. อ่านง่าย/อ่านยาก คือ แสงในสภาพแวดล้อมนั้นๆ ส่งผลต่อการอ่านหนังสือได้สะดวกขึ้น หรืออ่านได้ยากขึ้นอันเกิดจากการส่องสว่าง
5. แสงโทนเย็น/แสงโทนร้อน คือ ความรู้สึกต่อแสงในสภาพแวดล้อมนั้นๆ เป็นสีในลักษณะที่เป็นโทนเย็นหรือโทนร้อน

ความเสี่ยงที่อาจจะได้รับ

ในการศึกษาครั้งนี้ต้องใช้เวลาในการศึกษานาน ท่านอาจจะเสียเวลา ไม่สะดวก ไม่สบาย หรือรบกวนเวลาทำกิจกรรมของท่าน และหลังการทดลองอาจจะเกิดอาการตาพร่ามัวในขณะที่ทำการศึกษาทดลอง

หากมีอาการผิดปกติอันเนื่องมาจากการทดลอง หรืออาการอื่นๆ ในขณะที่ทำการวิจัย ท่านสามารถแจ้งผู้วิจัยเพื่อหยุดการทดลอง ที่มีผลต่อสุขภาพของท่านได้

ประโยชน์ที่อาจได้รับ

ท่านจะเป็นส่วนร่วมในการทดลองในการวิจัยเพื่อหาความพึงพอใจต่อศักยภาพการมองเห็นของคนไทย เพื่อเป็นทางเลือกในการออกแบบแสงในอนาคต และท่านอาจสามารถบอกความพึงพอใจต่อระดับการส่องสว่างและหลอดไฟที่เหมาะสมกับตัวท่านได้จากการทดลอง

ข้อปฏิบัติของท่านขณะที่ร่วมในโครงการวิจัย

ขอให้ท่านปฏิบัติดังนี้

- ขอให้ท่านให้ข้อมูลแก่ผู้ทำวิจัยด้วยความสัตย์จริง
- ขอให้ท่านแจ้งให้ผู้ทำวิจัยทราบความผิดปกติที่เกิดขึ้นระหว่างที่ท่านร่วมในโครงการวิจัย

อันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการเข้าร่วมในโครงการวิจัยและความรับผิดชอบของผู้ทำวิจัย/ผู้สนับสนุนการวิจัย

หากพบอันตรายที่เกิดขึ้นจากการวิจัย ท่านจะได้รับการรักษาอย่างเหมาะสมทันที หากท่านปฏิบัติตามคำแนะนำของทีมผู้ทำวิจัยแล้ว ผู้ทำวิจัย/ผู้สนับสนุนการวิจัยยินดีจะรับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลของท่าน และการลงนามในเอกสารให้ความยินยอม ไม่ได้หมายความว่าท่านได้สละสิทธิ์ทางกฎหมายตามปกติที่ท่านพึงมี

ในกรณีที่ท่านได้รับอันตรายใด ๆ หรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย ท่านสามารถติดต่อกับผู้ทำวิจัยคือ นาย นพวุฒิ ไผทรัตน์ ได้ตลอด 24 ชั่วโมง

การเข้าร่วมและการสิ้นสุดการเข้าร่วมโครงการวิจัย

การเข้าร่วมในโครงการวิจัยครั้งนี้เป็นไปโดยความสมัครใจ หากท่านไม่สมัครใจจะเข้าร่วมการศึกษาแล้ว ท่านสามารถถอนตัวได้ตลอดเวลา การขอถอนตัวออกจากโครงการวิจัยจะไม่มีผลต่อการดูแลรักษาโรคของท่านแต่อย่างใด

ผู้ทำวิจัยอาจถอนท่านออกจากการเข้าร่วมการวิจัย เพื่อเหตุผลด้านความปลอดภัยของท่าน หรือเมื่อผู้สนับสนุนการวิจัยยุติการดำเนินงานวิจัย หรือ ในกรณีดังต่อไปนี้

- ท่านไม่สามารถปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ทำวิจัย
- ท่านเกิดอาการข้างเคียง หรือความผิดปกติในขณะที่เก็บข้อมูล

การปกป้องรักษาข้อมูลความลับของอาสาสมัคร

ข้อมูลที่ท่านนำไปสู่การเปิดเผยตัวท่าน จะได้รับการปกปิดและจะไม่เปิดเผยแก่สาธารณชน ในกรณีที่ผลการวิจัยได้รับการตีพิมพ์ ชื่อและที่อยู่ของท่านจะต้องได้รับการปกปิดอยู่เสมอ โดยจะใช้เฉพาะรหัสประจำโครงการวิจัยของท่าน

สิทธิของผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย

ในฐานะที่ท่านเป็นผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย ท่านจะมีสิทธิ์ดังต่อไปนี้

1. ท่านจะได้รับทราบถึงลักษณะและวัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้
2. ท่านจะได้รับการอธิบายเกี่ยวกับระเบียบวิธีวิจัยของโครงการวิจัยครั้งนี้
3. ท่านจะได้รับการอธิบายถึงความเสี่ยงและความไม่สบายที่จะได้รับจากการวิจัย
4. ท่านจะได้รับการอธิบายถึงประโยชน์ที่ท่านอาจจะได้รับจากการวิจัย
5. ท่านจะมีโอกาสได้ซักถามเกี่ยวกับงานวิจัยหรือขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
6. ท่านจะได้รับทราบว่าการยินยอมเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ท่านสามารถขอถอนตัวจากโครงการเมื่อไรก็ได้ โดยผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัยสามารถขอถอนตัวจากโครงการ โดยไม่ได้รับผลกระทบใด ๆ ทั้งสิ้น
7. ท่านจะได้รับเอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัยและสำเนาเอกสารใบยินยอมที่มีทั้งลายเซ็นและวันที่
8. ท่านมีสิทธิ์ในการตัดสินใจว่าจะเข้าร่วมในโครงการวิจัยหรือไม่ก็ได้ โดยปราศจากการใช้อิทธิพลบังคับข่มขู่ หรือการหลอกลวง

ขอแสดงความขอบคุณในความร่วมมือมา ณ ที่นี้

ใบยินยอมด้วยความสมัครใจ

โครงการวิจัย : การเปรียบเทียบคุณลักษณะทางแสงสว่างของหลอดแอลอีดีและฮาโลเจนที่มีผลต่อการมองเห็นของคนไทย (The Comparison Study of Lighting Characteristics between LED and Halogen Lamp on Visibility of Thai People)

วันที่ให้คำยินยอม วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ก่อนที่จะลงนามในใบยินยอมให้ทำการวิจัยนี้ ข้าพเจ้าได้รับการอธิบายจากผู้วิจัยถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีการวิจัย อันตรายหรืออาการที่อาจเกิดขึ้นจากการวิจัยหรือยาที่ใช้ รวมทั้งประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นจากการวิจัยโดยละเอียด และมีความเข้าใจดีแล้ว

ผู้วิจัยรับรองว่าจะตอบคำถามต่างๆ ที่ข้าพเจ้าสงสัยด้วยความเต็มใจ ไม่ปิดบัง ซ่อนเร้น จนข้าพเจ้าพอใจ

ข้าพเจ้ามีสิทธิที่จะบอกเลิกการเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้เมื่อใดก็ได้ และเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้โดยสมัครใจ และการบอกเลิกการเข้าร่วมวิจัยนี้จะไม่มีผลต่อการรักษาโรคที่ข้าพเจ้าพึงได้รับต่อไปและต่อสิทธิทางกฎหมายของข้าพเจ้า

ผู้วิจัยรับรองว่าจะเก็บข้อมูลเฉพาะเกี่ยวกับตัวข้าพเจ้าเป็นความลับ และจะเปิดเผยได้เฉพาะในรูปที่เป็นสรุปผลการวิจัย หรือการเปิดเผยข้อมูลต่อผู้มีหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการสนับสนุนและกำกับดูแลการวิจัย

ผู้วิจัยรับรองว่าหากเกิดอันตรายใดๆ จากการวิจัยดังกล่าว ข้าพเจ้าจะได้รับการรักษาพยาบาลโดยไม่คิดมูลค่า และจะได้รับการชดเชยรายได้ที่สูญเสียไประหว่างการรักษาพยาบาลดังกล่าว ตลอดจนเงินทดแทนความพิการที่อาจเกิดขึ้น และรายละเอียดเกี่ยวกับการรักษาพยาบาลหรือเงินชดเชยดังกล่าว ข้าพเจ้า สามารถติดต่อได้ที่ 56 ม.เดชา 2 รามคำแหง 78 หัวหมากบางกะปิ กรุงเทพมหานคร 1080-290-5678 โดยบุคคลที่รับผิดชอบเรื่องนี้เป็น นาย นพวุฒิ ไผ่รัตน์

ข้าพเจ้าได้อ่านข้อความข้างต้นแล้ว มีความเข้าใจดีทุกประการ และได้ลงนามในใบยินยอมนี้ด้วยความเต็มใจ

ลงนาม.....ผู้ยินยอม

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ข้าพเจ้าได้อธิบายอย่างครบถ้วนถึงรายละเอียดวัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีการวิจัย อันตราย หรืออาการที่อาจเกิดขึ้นจากการวิจัยหรือยาที่ใช้ รวมทั้งประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นจากการวิจัย ให้กับผู้ยินยอมและผู้ปกครอง/ผู้อุปการะโดยชอบด้วยกฎหมาย (ถ้ามี) ได้รับทราบแล้ว และได้ตอบข้อสงสัยทั้งหมดของผู้ยินยอมแล้ว ข้าพเจ้าเชื่อว่าผู้ยินยอมเข้าใจข้อมูลที่อธิบาย และยินยอมเข้าร่วมการศึกษาวิจัยโดยไม่มีการบังคับ และได้มอบสำเนาเอกสารใบยินยอมด้วยความสมัครใจฉบับนี้ที่ลงนามและวันที่แล้วให้กับผู้ยินยอมจำนวน 1 ฉบับ

ลงนาม.....ผู้วิจัย

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.



1. การศึกษาการใช้แสงสว่างในการมองเห็นในชีวิตประจำวันของคนไทย

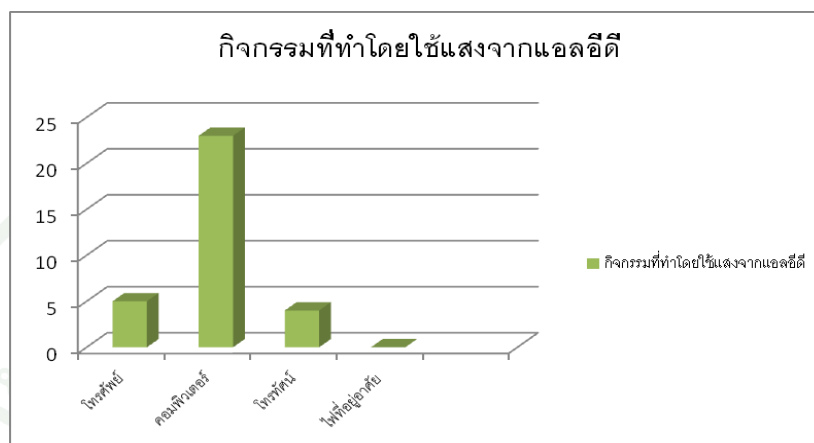
ตารางผนวกที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานเบื้องต้นของผู้ร่วมทดสอบ

1. เพศ	ค่าเฉลี่ย (Percent)		
	ชาย	หญิง	รวม
2. อายุ			
20 – 25 ปี	7	6	13
25 – 30 ปี	4	3	7
30 – 35 ปี	2	3	5
35 – 40 ปี	3	4	7
3. ระดับการศึกษา			
ปริญญาตรี	10	8	18
ปริญญาโท	7	7	14
4. ประเภทของสายตา			
ปกติ	7	8	15
สายตาสั้น	5	6	11
สายตายาว	1	1	2
สายตาสีเข้	2	2	4

การศึกษาอิทธิพลของการศึกษาหลอดไฟแอลอีดีที่ใช้ในชีวิตประจำวันที่มีผลต่อการมองเห็นของคนไทยได้จัดทำแบบสอบถาม ให้ผู้ทดสอบจำนวน 32 คน ทำเกี่ยวกับการใช้หลอดไฟในชีวิตประจำวัน เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสายตาและความรู้สึคนั้นสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

โดยกำหนดกิจกรรมต่อแสงในชีวิตประจำวัน ได้ 12 ข้อดังนี้

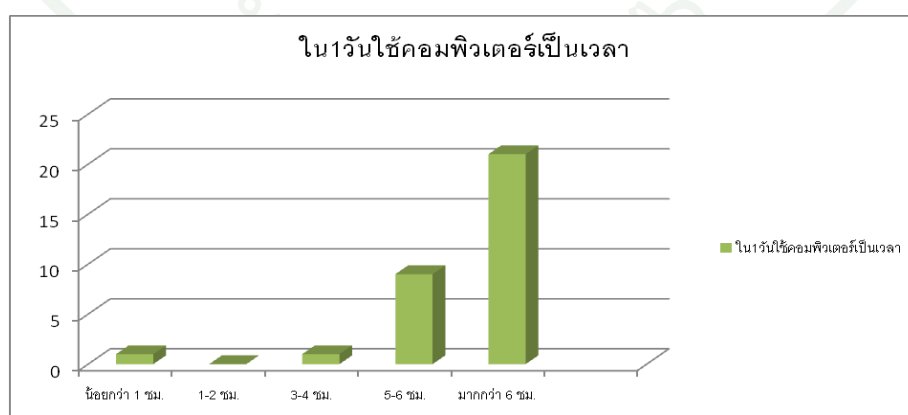
1.1 ผลสำรวจกิจกรรมของคนไทยที่ทำโดยใช้แสงไฟแอลอีดีมากที่สุดในแต่ละวัน



ภาพผนวกที่ ง1 แสดงผลสำรวจกิจกรรมของคนไทยที่ทำโดยใช้แสงไฟแอลอีดีมากที่สุดในแต่ละวัน

ผลสำรวจกิจกรรมที่คนไทยทำโดยใช้แสงจากหลอดแอลอีดีพบว่าในหนึ่งวัน คนไทย 75% ใช้สายตาไปกับการใช้คอมพิวเตอร์ 15% ใช้สายตาไปกับการใช้โทรศัพท์มือถือ และ 10% กับการดูโทรทัศน์

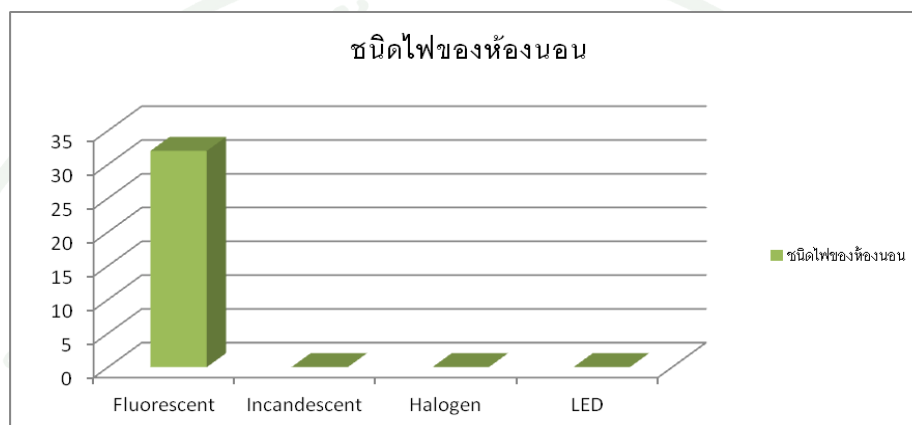
1.2 ระยะเวลาใช้คอมพิวเตอร์ใน 1 วัน ของผู้ทดสอบ



ภาพผนวกที่ ง2 แสดงผลสำรวจระยะเวลาใช้คอมพิวเตอร์ใน 1 วัน ของผู้ทดสอบ

ผลสำรวจการใช้คอมพิวเตอร์ในวันของผู้เข้าร่วมทดสอบ พบว่า กว่า 62.5% คนไทยใช้เวลาหนึ่งวันคนไทยใช้สายนการใช้คอมพิวเตอร์มากกว่า 6 ชม./วัน และ 25% ใช้คอมพิวเตอร์ 5-6 ชม./วัน และ 6.25% ใช้สายนการใช้คอมพิวเตอร์ 6.25% และน้อยกว่า 1ชม./วัน 6.25%

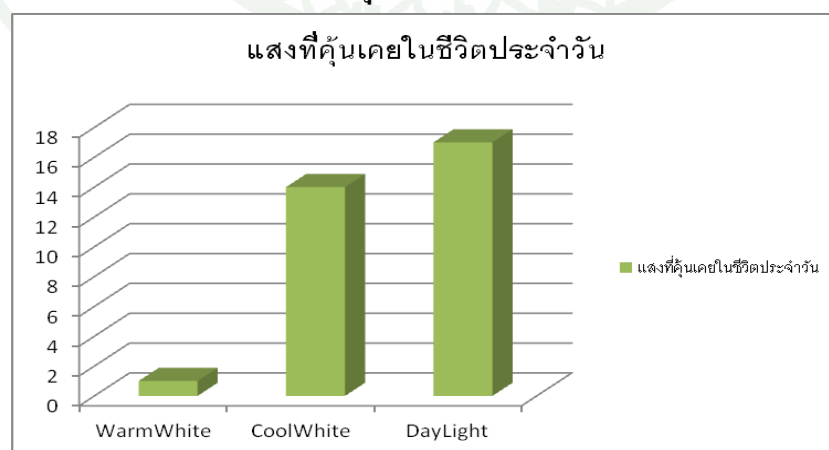
1.3 ผลการสำรวจชนิดของหลอดไฟที่ใช้ในห้องนอนของผู้เข้าทดสอบ



ภาพผนวกที่ 3 แสดงผลสำรวจชนิดของหลอดไฟที่ใช้ในห้องนอนของผู้เข้าทดสอบ

จากการสำรวจจากคนไทย 32 คน พบว่า 100% ใช้แสงจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ในห้องนอน เป็นแสงไฟหลักในการส่องสว่าง

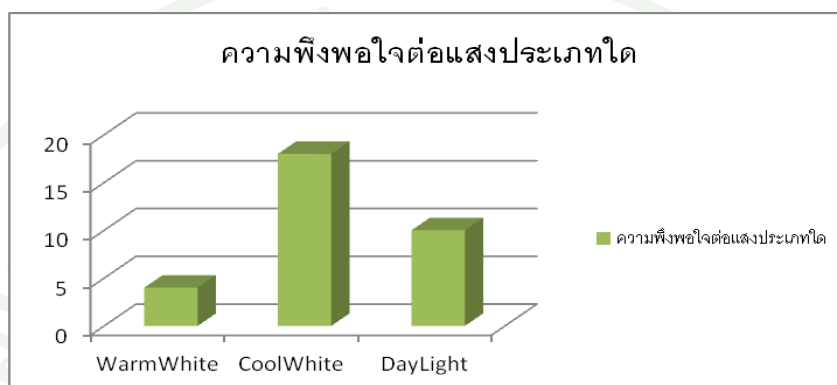
1.4 ผลการสำรวจแสงที่คนไทยคุ้นเคยในชีวิตประจำวัน



ภาพผนวกที่ 4 แสดงผลสำรวจแสงที่คนไทยคุ้นเคยในชีวิตประจำวัน

จากการสำรวจพบว่า คนไทย 50% ค่อนข้างกับแสงชนิด Daylight ที่เป็นแสงจากดวงอาทิตย์มากที่สุด และ 40.6% ค่อนข้างกับแสง Cool White ที่เป็นแสงประดิษฐ์สีขาวที่ใช้ในอาคารทั่วไป และ 9.4% ค่อนข้างกับแสง Warm White ที่เป็นแสงสีส้มที่ใช้ในการตกแต่งอาคาร

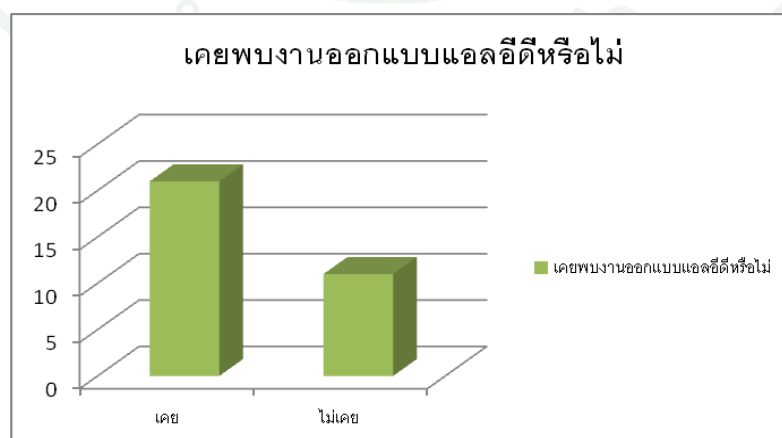
1.5 ผลการสำรวจความพึงพอใจที่มีต่อแสงแต่ละประเภท



ภาพผนวกที่ 5 แสดงผลสำรวจความพึงพอใจที่มีต่อแสงแต่ละประเภท

จากผลการสำรวจพบว่า 53.1%คนไทยมีความพึงพอใจกับแสงประดิษฐ์ประเภท Cool White มากที่สุด และ 28.1% มีความพึงพอใจกับแสงประเภท Daylight และ 18.8% มีความพึงพอใจกับแสงประเภท WarmWhite

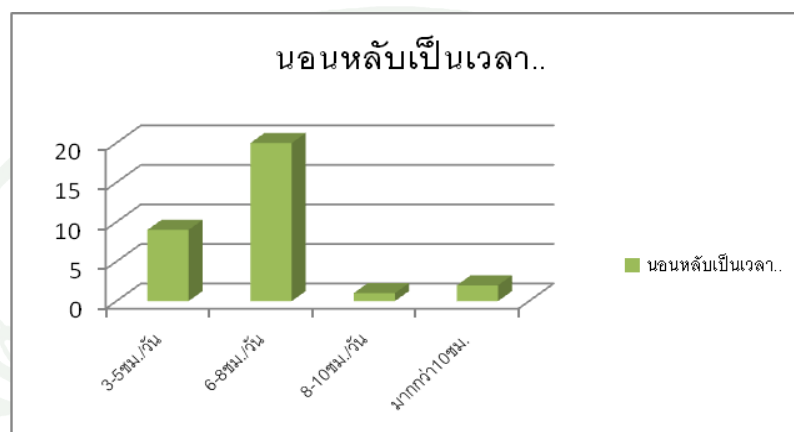
1.6 งานออกแบบไฟแอลอีดีที่รู้และคุ้นเคย



ภาพผนวกที่ 6 แสดงผลสำรวจงานออกแบบไฟแอลอีดีที่รู้และคุ้นเคย

จากการสำรวจคนไทย 66% รู้จักและเคยพบเห็นการใช้หลอดไฟแอลอีดีเพื่อการตกแต่งอาคาร และ 44% ไม่เคยพบเห็นการใช้หลอดไฟแอลอีดีในงานตกแต่ง

1.7 ผลสำรวจการนอนหลับต่อวันของคนไทย

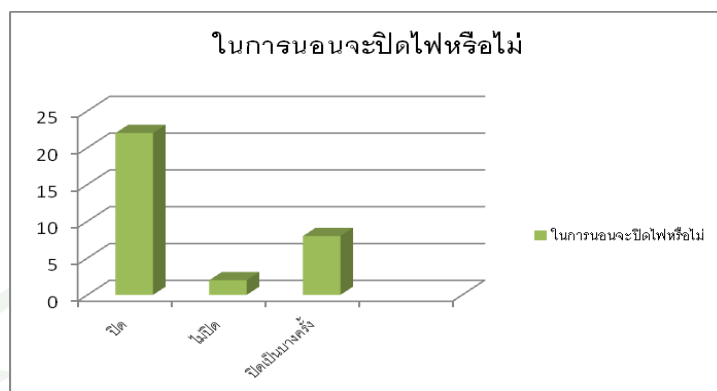


ภาพผนวกที่ 7 แสดงผลสำรวจการนอนหลับต่อวันของคนไทย

จากการสำรวจการนอนหลับของคนไทยพบว่า 59% คนไทยนอนหลับ 6-8 ชม./วัน และ 25% ที่นอนหลับวันละ 3-5 ชม./วัน 6.25% ที่นอนหลับวันละมากกว่า 10ชม./วัน และ 3.1% นอนหลับวันละ 8-10 ชม./วัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกลุ่มผู้ทดสอบเป็นกลุ่มผู้อยู่ในวัยทำงานเป็นหลัก การพักผ่อนจึงอยู่ในค่าเฉลี่ยนอนน้อย

จากการสำรวจพบว่าคนวัยทำงานกว่า 60% พักผ่อนเพียง 6-8 ชั่วโมงต่อวัน รองลงมา พักผ่อนวันละ 3-5 ชั่วโมง การพักผ่อนน้อยทำให้จอประสาทตาเสื่อมและอ่อนเพลีย จากการศึกษาองค์การนอนหลับแห่งชาติ อเมริกาแนะนำการนอนสำหรับคนงานงานประมาณ 7-9 ชั่วโมงแต่ควรมีการพักสายตาจากการทำงานเป็นระยะๆ และไม่ควรเปิดไฟนอน สาเหตุหลักที่ทำให้คนนอนน้อยเกิดมาจากความเครียด

1.8 ผลการสำรวจการปิดไฟเวลานอนของคนไทย



ภาพผนวกที่ ๘ แสดงผลสำรวจการปิดไฟเวลานอนของคนไทย

จากการสำรวจการปิดไฟนอนของคนไทยพบว่า 65% ปิดไฟเวลานอน 19% ปิดไฟนอนเป็นบางครั้ง และ 16% ไม่ปิดไฟเวลานอน

1.9 ผลสำรวจการใช้อุปกรณ์ที่ใช้เกี่ยวกับสายตา

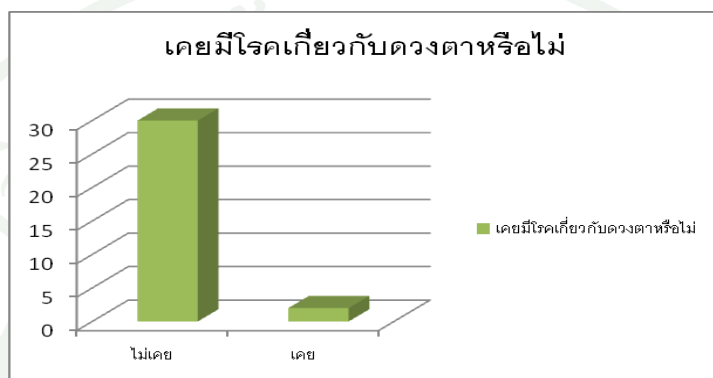
จากการสำรวจมีเข้าร่วมทดสอบที่มีปัญหาด้านสายตาที่ต้องสวมแว่นและคอนแทกเลนส์จำนวน 16 คนจาก 32 คน ผู้เข้าร่วมทดสอบส่วนใหญ่มีสายตาสั้น ต้องสวมแว่นตาอยู่ตลอดเวลา



ภาพผนวกที่ ๙ แสดงผลสำรวจอุปกรณ์ที่ใช้เกี่ยวกับสายตาของผู้ทดสอบ

1.10 ผลสำรวจโรคที่เกิดกับดวงตา

ในจำนวน 32 คน มี3คนที่พบว่าเคยเป็นโรคกระจกตาอักเสบ เนื่องมาจากการมองแสงนานเกินไป หรือเกิดการเคืองตาแล้วขยี้แรงๆ ข้อมูลในส่วนนี้จะถูกนำไปวิเคราะห์ผลเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการมองเห็นต่อแสงไฟต่อไป

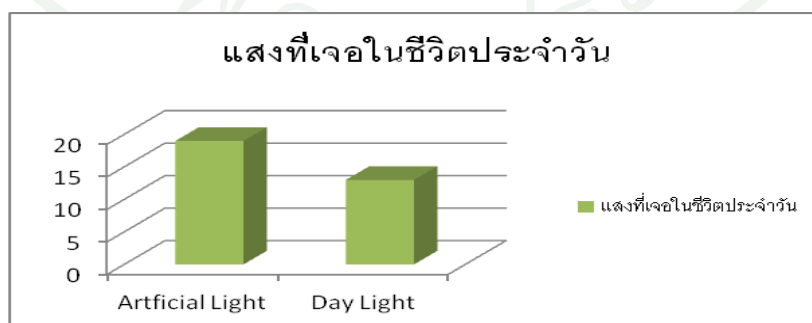


ภาพผนวกที่ 10 แสดงผลสำรวจโรคที่ผู้ทดสอบเคยเป็น

1.11 ผลสำรวจแสงที่ผู้ทดสอบพบเจอในชีวิตประจำวันมากที่สุด

จากการสำรวจกลุ่มผู้เข้าร่วมทดสอบพบว่า 65% พบเจอแสงประดิษฐ์มากกว่าแสง Daylight 35%

กลุ่มผู้ทดสอบส่วนมากเป็นนักศึกษาและพนักงานวัยทำงานแสงที่เจอในชีวิตประจำวันจะเป็นแสงประเภท Cool White และแสงประดิษฐ์ประเภท Daylight มากกว่าแสงอาทิตย์

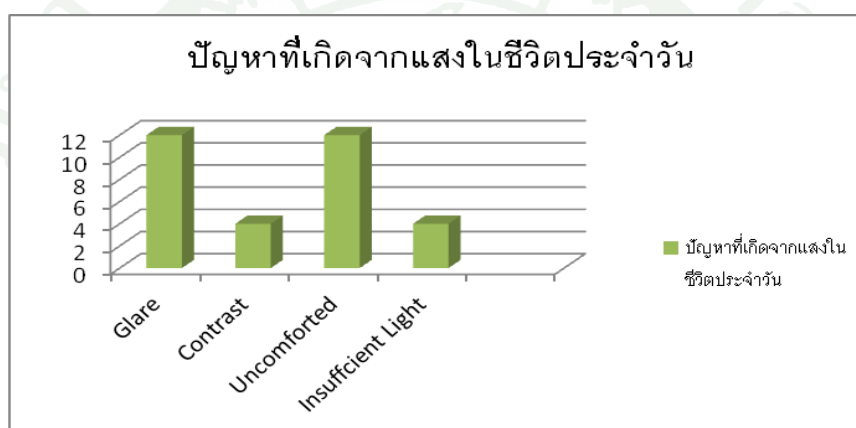


ภาพผนวกที่ 11 แสดงผลสำรวจแสงที่ผู้ทดสอบพบเจอมากที่สุดในชีวิตประจำวัน

1.12 ผลสำรวจปัญหาที่เกิดจากแสงในชีวิตประจำวัน

จากผลสำรวจปัญหาที่เกิดจากแสงในชีวิตประจำวันพบว่า 37.5% พบปัญหาที่เกิดจากเลนส์ 37.5% พบปัญหาจากความไม่สบายตาที่เกิดจากแสง 12.5% พบปัญหาจากการเกิด Contrast ของแสง และ 12.5% พบปัญหาความไม่เพียงพอของแสงสว่างในการทำกิจกรรม

ปัญหาที่เกิดขึ้นจากแสงในการใช้ชีวิตประจำวันของคนไทยส่วนมากจะเป็นแสงบาดตา อันเกิดมาจากแสงจ้าและการสะท้อนของดวงอาทิตย์ ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีแดดแรงทั้งวัน ก่อให้เกิดความไม่สบายตาในการมองเห็น ส่งผลต่อดวงตาทำให้ประสิทธิภาพในการมองเห็นไม่ชัดเจน



ภาพผนวกที่ 12 แสดงผลสำรวจปัญหาจากแสงที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นายณพวุฒิ ไพรัตน์
เกิดวันที่	8 สิงหาคม 2532
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	สถาปัตยกรรมและการออกแบบ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ตำแหน่งปัจจุบัน	นิสิตมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัทมอนทาจ ดีไซน์ ตำแหน่งอินทีเรียดีไซน์เนอร์
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	- รางวัลการออกแบบประกวดบุท สคบ. - รางวัลยอดเยี่ยม ปี2550 ได้รับการตีพิมพ์ผลงานวิชาการ เรื่อง การเปรียบเทียบคุณลักษณะทางแสงสว่างของหลอดไฟแอลอีดีและหลอดไฟฮาโลเจนที่มีผลต่อคนไทย ในการประชุมวิชาการ Berac5 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์