การประเมินคุณภาพระบบแสงสว่างภายนอกอาคารแบบปรับตามการใช้งาน: การวิจัยเชิงทดลอง

กิตติ เป้าอันพงษ์กูล

ดร. จรรยาพร จุลตามระ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำศูนย์วิจัยและนวัตกรรมการส่องสว่าง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บทคัดย่อ

ระบบควบคุมแสงสว่างแบบปรับตามการใช้งานมีศักยภาพสูงในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าและการลดมลภาวะทางแสง อย่างไรก็ตาม ควรคำนึงถึงระดับค่าความส่องสว่างที่เหมาะสม ซึ่งจะไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของแสงและการรับรู้ทางจิตวิทยาของผู้ใช้งาน งานวิจัยเชิงทดลองในครั้งนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาค่าความส่องสว่างที่เหมาะสมสำหรับการปรับแสงระดับสูง (เมื่อมีผู้ใช้งาน) และระดับต่ำ (เมื่อไม่มีผู้ใช้งาน) 2) ศึกษาผลกระทบต่อทัศนวิสัย ความสบายตา ความรู้สึกปลอดภัย และความพึงพอใจโดยรวม เปรียบเทียบกับการให้แสงแบบเดิม โดยใช้ทางเดินแบบมีหลังคาคลุมภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เป็นพื้นที่ในการทดลอง แบ่งเป็น 2 กรณีได้แก่ ทางเดินที่มีการใช้งานในระดับสูงและปานกลาง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความส่องสว่างแนวระนาบของบริเวณข้างเคียงประมาณ 15 ลักซ์ และ 5 ลักซ์ ตามลำดับ ระบบแสงสว่างที่ใช้ประกอบด้วยโคมไฟ LED อุณหภูมิสี 4000K ให้แสงแบบส่องลงและกระจายแสงแบบสมมาตร จำนวน 7 ชุด และชุดควบคุมแสงสว่างเพื่อปรับหรี่แสงในช่วง 100% 60% 40% 20% ของกำลังไฟฟ้า นักศึกษาอายุระหว่าง 19-28 ปี จำนวน 20 คน เข้าร่วมการทดลองและประเมินคุณภาพแสงสว่างโดยการตอบแบบสอบถาม ผลการศึกษาพบว่า การปรับค่าแสงในระดับสูงควรมีค่าเฉลี่ยความส่องสว่างในแนวระนาบประมาณ 24 ลักซ์ และ 12 ลักซ์ สำหรับทางเดินที่มีการใช้งานในระดับสูงและระดับปานกลางตามลำดับ ส่วนค่าแสงในระดับต่ำไม่ควรน้อยกว่าร้อยละ 50 ของค่าดังกล่าว โดยผู้เข้าร่วมการทดลองประเมินว่าแสงสว่างแบบปรับตามการใช้งานทำให้มองเห็นได้ดีขึ้นและรู้สึกปลอดภัยกว่าการให้แสงแบบเดิม การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่าสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 75-85 และมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 5 ปี

คำสำคัญ: ประเมินคุณภาพ / แสงสว่างภายนอก / แสงสว่างแบบปรับตามการใช้งาน

The Subjective Evaluations of Adaptive Lighting for Exterior Application: An Experimental Study

Kitti Paounpongkul

Chanyaporn Chuntamara, Ph.D.

Assistant Professor, Lighting Research and Innovation Centre,

King Mongkut's University of Technology Thonburi

Abstract

Adaptive lighting has high potential for energy savings and reducing light pollution. However, the lighting systems should still provide appropriate light levels and not create a negative impact on lighting quality and perceived safety for the users. This experimental study investigated 1) appropriate illuminances for high and low settings, responding to the presence of the users 2) subjective evaluation of visibility, visual comfort, perceived safety and overall satisfaction of the adaptive lighting. The experiment was conducted using a 21.5 meter-long covered walkway at KMUTT campus; the lighting system comprised 7 of MR16 LED (4000K) downlight luminaries equipped with an analogue dimmer. Two conditions were examined - high and medium rate of use with average horizontal illuminances of 15 and 5 lux on the adjacent road. Some 20 university students participated in the study. They completed written evaluations with 5-point scale questions after viewing all conditions including 100%, 60%, 40% and 20% of the full power, then combinations of the high and low settings. It was found that, for the high settings, the average horizontal illuminances should be around 24 and 12 lux for walkways with high and medium rate of use respectively. The low settings should not be less than 50% of these values. On average the adaptive lighting was rated as providing increased visibility and perceived safety compared to the existing lighting. In addition to higher subjective ratings, the adaptive lighting also contributed to 75-85% electricity savings with the payback period of 5 years.

Keywords: subjective evaluation / adaptive lighting / lighting quality / energy-efficient lighting

บทนำ

ประเทศไทยสามารถลดความเสี่ยงด้านความมั่นคงด้านพลังงานได้ในระยะยาว แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (2558-2579) ฉบับใหม่ตั้งเป้าหมายการลดใช้พลังงานลง 89,672 กิกะวัตต์-ชั่วโมง (กระทรวงพลังงาน, 2558) ซึ่งมีมาตรการสำคัญที่เกี่ยวข้องกับระบบแสงสว่าง ได้แก่ การเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานของอุปกรณ์ การบริหารจัดการการใช้พลังงานของอาคาร และโดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้เทคโนโลยีหลอดไดโอดเปล่งแสง (Light-emitting Diodes - LED) ซึ่งในปัจจุบันเป็นนวัตกรรมด้านแสงสว่างที่กำลังได้รับความนิยมและมีการใช้งานอย่างแพร่หลายมากขึ้น เนื่องจากได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพพลังงาน (Lamp efficacy) และคุณสมบัติด้านสีของแสงเทียบเท่าหรือสูงกว่าเทคโนโลยีเดิม มีอายุการใช้งานนานถึง 30,000-50,000 ชั่วโมง และแนวโน้มราคาที่ถูกลง จึงเริ่มมีหน่วยงานภาครัฐ อาทิ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จัดทำแผนโครงการเปลี่ยนโคมไฟ LED ทั่วประเทศจำนวน 445,783 โคมซึ่งคาดว่าจะลดการใช้พลังงานไม่น้อยกว่า 400 ล้านหน่วยต่อปี และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกไม่น้อยกว่า 200,000 ตัน CO_2 ต่อปี

จากการศึกษาในต่างประเทศ (Clanton, 2014) การใช้เทคโนโลยี LED สำหรับไฟภายนอกอาคารจะมีศักยภาพในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้สูงสุด เมื่อมีการเลือกใช้หลอด LED และโคมไฟที่มีประสิทธิภาพ เลือกใช้เทคนิคการออกแบบแสงสว่างที่เหมาะสม และการใช้ระบบควบคุมแสงสว่างเพื่อปรับลดหรือเพิ่มค่าความส่องสว่างให้เหมาะสมกับการใช้งาน ได้แก่ การปรับลดหลังการติดตั้งครั้งแรก และการปรับค่าความส่องสว่างตามการใช้งาน (Adaptive lighting) อย่างไรก็ตาม การใช้เทคโนโลยี LED และระบบควบคุมดังกล่าวยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก สาเหตุหลักประการหนึ่งเนื่องจากการปรับลดค่าความส่องสว่างในระยะเวลาหนึ่งๆ ย่อมมีผลต่อการมองเห็น (Visibility) และความรู้สึกรับรู้ทางจิตวิทยา เช่น ความรู้สึกปลอดภัย (Percieved safety) การจดจำไปหน้า (Face recognition) เป็นต้น ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาวิจัยเพื่อกำหนดแนวทางในการตั้งค่าความส่องสว่างที่เหมาะสมในกรณีต่างๆ รวมถึงผลกระทบของการประยุกต์ใช้ระบบแสงสว่างแบบปรับตามการใช้งานที่อาจมีต่อการมองเห็นและความรู้สึกรับรู้ทางจิตวิทยาของผู้ใช้อาคารในประเทศไทย

วัตถุประสงค์ของบทความ

1. ศึกษาค่าความส่องสว่างที่เหมาะสมสำหรับการตั้งค่าระดับสูงและระดับต่ำ ในแสงสว่างแบบปรับตามการใช้งาน
2. ศึกษาการใช้ระบบแสงสว่างแบบปรับตามการใช้งาน ในทางเดินที่มีการใช้งานระดับสูงและปานกลาง
3. ศึกษาผลการประเมินเชิงคุณภาพของผู้ใช้อาคาร ต่อระบบแสงสว่างแบบปรับตามการใช้งาน

สมมติฐานการวิจัย

การวิจัยเชิงทดลองมีสมมติฐานดังนี้

1. อัตราส่วนระหว่างค่าความส่องสว่างระดับสูงและระดับต่ำของระบบแสงสว่างแบบปรับตามการใช้งานมีผลต่อการมองเห็นและความรู้สึกรับรู้ทางจิตวิทยาของผู้ใช้ทางเดิน
2. ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของบริเวณโดยรอบทางเดินมีผลต่อค่าความส่องสว่างระดับสูงและระดับต่ำภายในทางเดินที่ผู้ใช้รู้สึกพึงพอใจ

ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้ระบบแสงสว่างแบบปรับตามการใช้งาน

การปรับค่าความส่องสว่างตามการใช้งาน (Adaptive lighting) สามารถทำได้หลายกรณี ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของลักษณะการใช้งาน สภาพแวดล้อมทางกายภาพ เวลา และความถี่ในการใช้งาน โดยหลักการแล้วหมายถึงระบบแสงสว่างที่ปริมาณแสงสามารถแปรเปลี่ยนไปตามปัจจัยที่กำหนดไว้ อาจปรับเปลี่ยนแบบอัตโนมัติด้วยการตั้งเวลา (Timer switches) ปริมาณแสงธรรมชาติที่วัดได้จากหัววัดแสง (Photocells) หรือเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว (Occupancy sensors) ที่จะส่งคำสั่งผ่านระบบควบคุมเพื่อลดหรือเพิ่มค่าความส่องสว่างในบริเวณที่ต้องการตามค่าและระยะเวลาที่ตั้งไว้ แต่ควรอยู่ในระดับที่ไม่ส่งผลกระทบต่อการมองเห็น ความปลอดภัย และความรู้สึกรับรู้ทางจิตวิทยาของผู้ใช้ หากมีการส่งสัญญาณจากระบบควบคุมว่ามีผู้ใช้งานในบริเวณดังกล่าว ค่าความส่องสว่างจะถูกปรับเพิ่มขึ้นในระดับที่เหมาะสมหรือตามมาตรฐานการออกแบบ ในตารางที่ 1 แสดงเกณฑ์การให้แสงสว่างสำหรับทางเดินที่มีระดับความถี่ของกิจกรรมที่ต่างกัน กำหนดโดย NSI/IESNA RP-8-00 เมื่อผู้ใช้ออกจากบริเวณนั้นเป็นระยะเวลาหนึ่ง (Time lag) ค่าความส่องสว่างจะลดลงไปสู่ระดับที่ตั้งไว้

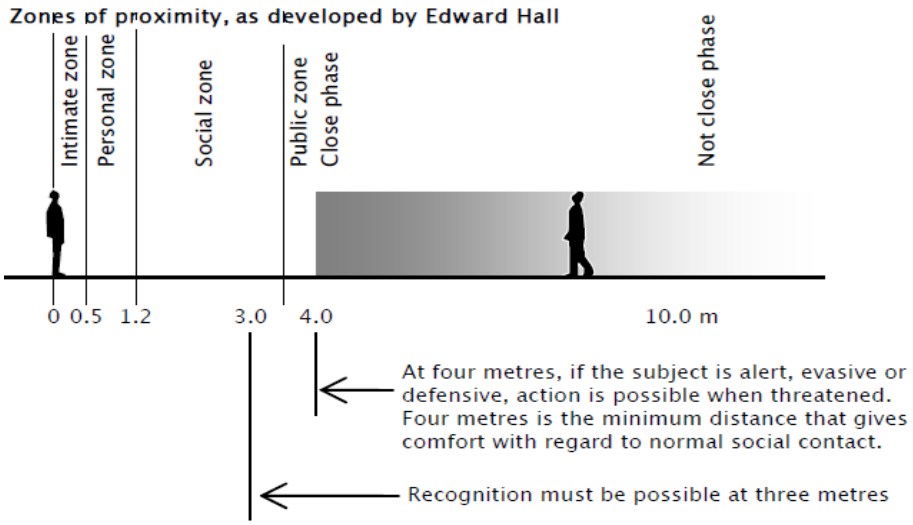
ตารางที่ 1: เกณฑ์การให้แสงสว่างสำหรับทางเดิน ที่มา: NSI/IESNA RP-8-00 American National Standard Practices

Pedestrian Activity Level Horizontal illuminance (lux)	Maintenance Average Horizontal illuminance (lux)	Average to Minimum Horizontal Uniformity Ratio	Maintenance Average Vertical illuminance (lux)
HIGH	≥ 20.0	≤ 4:1	≥ 10
MEDIUM	≥ 5.0	≤ 4:1	≥ 2.0
LOW	≥ 3.0	≤ 6:1	≥ 0.8

ด้วยหลักการนี้ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพด้านการประหยัดพลังงานได้แก่ ประสิทธิภาพพลังงานของระบบแสงสว่างที่ใช้ (System efficacy) ความถี่ในการใช้งาน (Frequency) ค่าความส่องสว่างที่กำหนดไว้สำหรับการปรับแสงในระดับสูง (High-setting) และระดับต่ำ (Low-setting) และจำนวนดวงโคมที่ถูกกำหนดให้ปรับเพิ่มหรือลดค่าความส่องสว่างเมื่อมีผู้ใช้งาน ในเชิงคุณภาพด้านการมองเห็น ความรู้สึกปลอดภัย และความรู้สึกรับรู้ทางจิตวิทยาของผู้ใช้นั้น การวิจัยเชิงทดลองโดย Haans และ Kort (2012) พบว่าไม่เพียงแต่ระดับค่าความส่องสว่างที่ใช้เท่านั้น แต่ยังได้รับอิทธิพลจากลักษณะการกระจายแสง (Light distributions) ในบริเวณที่ใช้งานและบริเวณข้างเคียง โดยผู้เข้าร่วมการทดลองส่วนใหญ่รู้สึกปลอดภัยมากกว่าเมื่อสามารถมองเห็นภาพรวม (Prospect) ของทางเดิน รวมถึงทางหลบหนีและบริเวณที่สามารถซ่อนตัว (Escape-refuge) หากมีสัญญาณอันตราย และต้องการให้บริเวณรอบๆ ตัว (Immediate surrounds) คือทางที่ใช้เดินอยู่มีความสว่างมากกว่าทางเดินด้านหน้า ซึ่งน่าจะสอดคล้องกับปัจจัยด้านระยะห่างที่น้อยที่สุดเพื่อการมองเห็นใบหน้า (Recognition) และระยะที่คนยังมีความรู้สึกสบายใจต่อการมีปฏิสัมพันธ์กับคนแปลกหน้า (Hall, 1996) ดังแสดงในภาพที่ 1

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ทางเดินแบบมีหลังคาคลุมซึ่งตั้งอยู่ภายในมหาวิทยาลัยเป็นสถานที่ทดลอง โดยพิจารณาจากการสำรวจอาคารสาธารณะหลายแห่งในเบื้องต้นแล้วเห็นว่าทางเดินลักษณะนี้มีใช้งานอยู่ทั่วไป และส่วนใหญ่มีความถี่ในการใช้งานไม่คงที่ในแต่ละช่วงเวลา จึงมีศักยภาพในการปรับลดค่าความส่องสว่างในช่วงที่มีการใช้งานน้อยเพื่อการประหยัดพลังงาน แต่ยังมีความจำเป็นที่ต้องให้แสงสว่างในบริเวณนั้นเพื่อสร้างความปลอดภัยแก่ผู้ใช้และการป้องกันอาชญากรรม โดยการวิจัยเชิงทดลองภายในทางเดินดังกล่าวคำนึงถึงปัจจัยดังนี้ 1) ค่าความส่องสว่างมาตรฐาน (แนวระนาบ) อ้างอิงจากเกณฑ์ดังแสดงในตารางที่ 1 สำหรับทางเดินที่มีระดับกิจกรรมระดับสูง (High) และปานกลาง (Medium) 2) ลักษณะการกระจาย

แสงและการกำหนดบริเวณที่มีค่าความส่องสว่างระดับสูง (Immediate surrounds) ภายในทางเดิน ได้กำหนดให้มีระยะห่างมากกว่าค่าที่แสดงในรูปที่ 1 และ 3) ความส่องสว่างของบริเวณโดยรอบกำหนดให้มี 2 กรณีคือแบบสว่างและแบบมืด



ภาพที่ 1: ความสัมพันธ์ของระยะห่างและการมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคม

ที่มา: Hall E.T.,1996. The Hidden Dimension, Anchor books, Doubleday & Company Inc, GardenCity, New York.

ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่

1) การสำรวจสภาพปัจจุบันของระบบแสงสว่างภายนอกอาคาร และคัดเลือกพื้นที่เพื่อทำการทดลอง
2) การสำรวจเทคนิคการออกแบบแสงสว่างที่เหมาะสมสำหรับทางเดินภายนอกอาคารแบบมีหลังคาคลุม
3) การติดตั้งและการประเมินระบบแสงสว่างแบบปรับตามการใช้งานโดยผู้เข้าร่วมการทดลอง

1) การสำรวจสภาพแสงสว่างปัจจุบัน ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจสภาพปัจจุบันและการใช้พลังงานของระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายนอกอาคาร ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจธ.) วิทยาเขตบางมด โดยศึกษาจากแผนผังรวมเพื่อระบุตำแหน่งและประเภททางเดิน ซึ่งจากการสำรวจเบื้องต้นได้เลือกทางเดินแบบมีหลังคาโค้ง ทำด้วยโครงสร้างเสาเหล็กทาสีขาวและหลังคา Metal sheet สีเทาเงิน ความยาวขนานกับถนนภายในรอบมหาวิทยาลัย บันทึกจำนวนและประเภทหลอดไฟและโคมไฟ วิธีติดตั้ง จากนั้นจึงบันทึกภาพ (Photographic record) ในเวลากลางวันและหลังเวลา 19:00 น. รวมทั้งการวัดการกระจายแสง (Photmetric measurements) ได้แก่ ค่าความส่องสว่างแนวระนาบ (บนพื้นคอนกรีตบล็อค) และแนวดิ่ง (Horizontal and vertical illuminance) สำหรับค่าความส่องสว่างแนวดิ่งวัดโดยการติดตั้งเครื่อง Konica Minolta Iluminance Meter T-10A บนขาตั้งกล้องที่ความสูง 1.60 เมตร ค่าความส่องสว่างแนวระนาบนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าความสม่ำเสมอของแสง (Uniformity) จากอัตราส่วนระหว่างค่าเฉลี่ยและค่าต่ำที่สุด จากนั้นวัดความสว่าง และ ค่าความสม่ำเสมอของแสงโดยใช้เครื่อง Minolta Luminance Meter LS-110 เพื่อวิเคราะห์ในเชิงปริมาณและคุณภาพของระบบแสง

สว่างปัจจุบัน วัดค่าความส่องสว่างและความสว่างบนพื้นบล็อคคอนกรีตสีเทาและหลังคาเพื่อคำนวณค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวหลักภายในทางเดิน โดยใช้สูตร Luminance (L) = (Reflectance*Illuminance)/3.14

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้สำรวจความคิดเห็นของผู้ใช้ในบริเวณทางเดินดังกล่าว ระหว่างเวลา 19:00-21:00 น. โดยเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) จำนวน 18 คนประกอบด้วยนักศึกษา 15 คนและอาจารย์ 3 คน ด้วยการสัมภาษณ์แบบ Semi-structure interviews เพื่อให้ผู้ใช้ประเมินคุณภาพการมองเห็น ความรู้สึกปลอดภัย และความพึงพอใจโดยรวมต่อสภาพแสงสว่างในปัจจุบัน ภาพที่ 2 และ 3 แสดงทางเดินมีหลังคาคลุมขนานอยู่กับแนวถนนภายในมหาวิทยาลัยในตอนกลางวัน ผลจากการสำรวจในเชิงปริมาณได้รับการวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานที่แนะนำโดย NSI/IESNA RP-8-00 ในตารางที่ 1

ส่วนข้อมูลการการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างปัจจุบัน ใช้สำหรับการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองใช้ระบบแสงสว่างแบบปรับตามการใช้งาน จุดประสงค์สุดท้ายของการสำรวจเบื้องต้นคือการคัดเลือกทางเดินในบริเวณที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง เกณฑ์เบื้องต้นคือเป็นทางเดินที่มีหลังคาคลุมเป็นเส้นตรงความยาวไม่ต่ำกว่า 20 เมตร และอยู่ในบริเวณที่ไม่พลุกพล่านมากนักในช่วงเย็น ซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการควบคุมสภาพแสงในบริเวณใกล้เคียงที่เป็นตัวแปรต้นในการศึกษา โดยทางเดินที่เลือกเป็นเส้นตรงมีความยาว 21 เมตร

ภาพที่ 2: ทางเดินแบบมีหลังคาคลุม

ภาพที่ 3: ทางเดินในเวลากลางวัน

2) การออกแบบระบบแสงสว่างสำหรับการทดลอง เทคนิคการออกแบบแสงสว่างมีความสำคัญต่อการใช้พลังงานและการรับรู้ทางจิตวิทยาของผู้ใช้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการสำรวจเทคนิคการให้แสงภายในทางเดินที่ผู้ใช้มีความพึงพอใจมากที่สุดโดยใช้แบบจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Sketch Up 3D และคำนวณด้านแสงสว่างด้วยโปรแกรม DIALUX 4.11 (www.dialux.com) จำนวน 4 เทคนิค ซึ่งโปรแกรมคำนวณแสงจากข้อมูลด้านคุณสมบัติการกระจายแสงของและโคมไฟที่สามารถดาวน์โหลดได้จากเว็ปไซต์ของผู้ผลิต ส่วนข้อมูลด้านค่าการสะท้อนแสงของวัสดุหลัก ได้แก่ พื้นผิวคอนกรีตบล็อคและหลังคาเมทัลชีทได้จากการคำนวณ เมื่อได้ค่าการคำนวณจากการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม Dialux แล้ว ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบความแม่นยำของผลการคำนวณกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดการติดตั้งโคมไฟในสถานที่จริง พบว่าค่าที่ได้จากการวัดจริงต่ำกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณประมาณร้อยละ 15 ซึ่งสันนิษฐานว่าเกิดจากค่าการสะท้อนแสงที่ระบุในโปรแกรมการคำนวณ จึงทำการแก้ไขโดยปรับลดค่าการสะท้อนแสงลงร้อยละ 5-10 โดยเทคนิคการให้แสงสว่างที่นำมาศึกษาประกอบด้วย

1. แบบส่องลงจากหลังคา (Downlight/ceiling-mounted)
2. แบบส่องลงจากด้านข้าง (Downlight/column-mounted)
3. แบบส่องขึ้นจากด้านข้าง (In-ground uplight)
4. แบบส่องขึ้นและส่องลงจากด้านข้าง (Up/Down column-mounted)

เทคนิคการให้แสงสว่างที่เลือกมานี้ 2 แบบแรกเป็นการให้แสงโดยตรง (Direct light) แบบที่ 3 เป็นการให้แสงทางอ้อม (Indirect light) และแบบที่ 4 เป็นการให้แสงแบบผสม ซึ่งผู้วิจัยมีสมมติฐานว่าผู้ใช้อาจพึงพอใจการให้แสงแบบทางอ้อมหรือแบบผสมเนื่องจากจะได้แสงที่มีความฟุ้งกระจาย (Diffuse light) ไม่คมชัดจนเกินไป และยังทำให้หลังคามีความสว่างซึ่งอาจช่วยเพิ่มความสม่ำเสมอของแสงและค่าความส่องสว่างบนแนวดิ่ง ที่มีผลต่อการมองเห็นวัตถุสามมิติ (Modeling effects) เช่น สิ่งกีดขวางหรือ การจดจำใบหน้า (Facial recognition) จากนั้นได้ขอความร่วมมือจากกลุ่มตัวอย่างให้ทำการเลือกเทคนิคที่คิดว่าเหมาะสมสำหรับทางเดินแบบมีหลังคาคลุมมากที่สุด ภาพจำลองทั้ง 4 ภาพได้ถูกส่งทางอีเมลให้แก่เครือข่ายของผู้วิจัยจำนวน 90 คนประกอบด้วยนักศึกษาและอาจารย์จาก มจธ. และมหาวิทยาลัยอื่นๆ ร้อยละ 70 ของผู้ที่แสดงความคิดเห็นเป็นผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องกับวิชาชีพการออกแบบ โดยเทคนิคการให้แสงสว่างที่ได้รับการเลือกมากที่สุดได้แก่แบบส่องลงจากหลังคา (Downlight/ceiling-mounted) ร้อยละ 48 แบบส่องขึ้นและส่องลงร้อยละ 30 แบบส่องลงจากเสาด้านข้างร้อยละ 12 และแบบส่องขึ้นจากฐานเสามีผู้เลือกน้อยที่สุดคือร้อยละ 10

ดังนั้นจึงพัฒนาเทคนิคการให้แสงแบบส่องลงเพื่อพัฒนาระบบแสงสว่างแบบปรับตามการใช้งานสำหรับการทดลองในครั้งนี้ การออกแบบเบื้องต้นใช้การจำลองสถานการณ์และคำนวณด้วยโปรแกรม Dialux 4.11 จากนั้นจึงทำการติดตั้งจริงโดยใช้โคมไฟแบบส่องลงสำหรับใช้ภายนอกอาคารและใช้หลอด Philips Master LED MR16 อุณหภูมิสี 3000K ค่า CRI 80 ใช้กำลังไฟฟ้า 7 วัตต์ วงแสงกว้าง 60 องศา แบบหรี่ได้ จำนวน 7 ชุด ติดตั้งบนแป้นไม้อัดเพื่อให้โคมไฟอยู่ในแนวระนาบบริเวณกึ่งกลางระหว่างช่วงเสา แต่ละโคมห่างกัน 3 เมตร ร่วมกับชุดขับกระแสแบบปรับหรี่ได้ ควบคุมโดยการปรับหมุนด้วยมือ (Rotary dimmer) เพื่อให้ได้สภาพแสงที่สอดคล้องกับค่าที่แนะนำตามตารางที่ 2 จึงทำการวัดและบันทึกค่าแสงตามตำแหน่งที่ทำสัญลักษณ์ไว้บนพื้นสำหรับค่าในแนวระนาบ การวัดค่าความส่องสว่างแนวดิ่งใช้การติดตั้งเครื่องวัดบนขาตั้งกล้องเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 1 และคำนวณค่าเฉลี่ยความส่องสว่างและค่าความสม่ำเสมอของแสง

จากการเปิดระบบไฟโดยไม่ปรับหรี่ (100%) ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างแนวระนาบที่ได้สูงกว่า 40 ลักซ์ ซึ่งมากกว่าค่าที่ต้องการถึงสองเท่า แต่เนื่องจากข้อจำกัดของหลอด LED MR16 ในท้องตลาดซึ่งไม่ผลิตหลอดที่ใช้กำลังไฟต่ำกว่านี้ จึงใช้การปรับหรี่ไฟลงครั้งละ 20% จนได้สภาพแสงที่ใกล้เคียงกับค่าที่แนะนำตามตารางที่ 2 มากที่สุด ดังแสดงผลในตารางที่ 2

ตารางที่ 2: แสดงค่าจากการวัดแสงเมื่อปรับหรี่ในแต่ละระดับ

ระดับการปรับแสง **(ร้อยละ)**	ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง **แนวระนาบ (ลักซ์)**	ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง **แนวดิ่ง (ลักซ์)**	ค่าความสม่ำเสมอของแสง **(ค่าต่ำที่สุด/ค่าเฉลี่ย)**
60%	24.5	5.1	0.67
40%	12.1	2.9	0.61
20%	5.5	1.8	0.69

เพื่อศึกษาค่าความส่องสว่างที่เหมาะสมสำหรับการปรับหรี่ซึ่งแบ่งออกเป็น 1) ระดับสูง (High setting) สำหรับบริเวณที่ผู้ใช้ยืนอยู่และทางเดินที่ห่างออกไปมากกว่า 4 เมตร สำหรับการปรับโคมไฟจำนวน 3 ชุดแรก และ 2) ระดับต่ำ (Low setting) สำหรับบริเวณที่ห่างออกไปมากกว่า 4 เมตร หรือโคมไฟอีก 4 ชุดที่เหลือ สำหรับจุดประสงค์ที่ 2 ได้แก่ การศึกษาในสองกรณี คือ กรณีที่เป็นทางเดินที่มีระดับกิจกรรมสูงและระดับกิจกรรมต่ำตามที่ระบุใน IESNA RP-8-00 และกำหนดให้มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของบริเวณโดยรอบ (Ambient light) 15 และ 5 ลักซ์ ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานสำหรับไฟถนนภายในมหาวิทยาลัย และค่าที่ได้จากการสำรวจและวัดแสงทางเดินในบริเวณอื่นของมหาวิทยาลัยที่ไม่ได้อยู่ติดถนนและมีกิจกรรมการใช้งานในระดับต่ำถึงปานกลาง แต่ได้รับแสงสว่างทางอ้อมจากพื้นที่ใกล้เคียง เช่น ทางเดินระหว่างอาคารเรียน เนื่องจากพื้นที่สำหรับทำการทดลองอยู่ในบริเวณที่ไม่มีรถผ่านมากนักในเวลากลางคืน ผู้วิจัยได้ทำการปิดไฟถนนเพื่อลดค่าความส่องสว่างของบริเวณโดยรอบลงเพื่อศึกษาในกรณีที่ 2

แบบสอบถาม (Questionnaire) ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเบื้องต้นและการประเมินคุณภาพแสงสว่าง ประกอบด้วยคำถาม 4 หมวดดังนี้

1) ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้เข้าร่วมการทดลอง (Demographic data) และด้านการใช้พื้นที่และทางเดินในเวลากลางคืนภายในมหาวิทยาลัยได้แก่ เพศ อายุ สุขภาพทางสายตา ระดับการศึกษา ความเชี่ยวชาญ ระยะเวลาที่ศึกษา

2) ข้อมูลด้านการใช้ถนนและทางเดินภายในมหาวิทยาลัยในเวลากลางคืน ได้แก่ พื้นที่ที่ใช้ในเวลากลางคืน ช่วงเวลา ความถี่ ความคิดเห็นต่อสภาพแสงสว่างเดิมจากประสบการณ์ของผู้เข้าร่วมการทดลอง

3) การประเมินคุณภาพแสงสว่างแบบปรับตามการใช้งาน ภายใต้สภาพแวดล้อมแบบสว่างและแบบมืดโดยตอบคำถามซึ่งประเมินระดับความพึงพอใจ (1 หมายถึงพึงพอใจน้อยที่สุด และ 5 หมายถึงพึงพอใจมากที่สุด) ต่อสภาพแสงสว่าง การมองเห็นพื้นทางเดินและใบหน้าผู้ที่ยืนอยู่อีกด้านหนึ่งของทางเดิน ความปลอดภัย ความสบายตา และความพึงพอใจโดยรวม

4) ผลการเลือกค่าสำหรับการปรับแสงทั้งในระดับสูง (High setting) และระดับต่ำ (Low setting) สำหรับทางเดินที่มีสภาพแวดล้อมแบบสว่าง (Bright surrounding) และแบบมืด (Dark surrounding) ที่ผู้เข้าร่วมการทดลองเห็นว่าเหมาะสมมากที่สุด

ผู้เข้าร่วมการทดลอง (Participants) ผู้วิจัยได้รับความร่วมมือจากอาสาสมัครซึ่งเป็นนักศึกษาทั้งปริญญาตรีและปริญญาโทคณะต่างๆ ในมหาวิทยาลัย จำนวน 18 คน เป็นหญิง 10 คน ชาย 8 คน อายุระหว่าง 20-28 ปี ในจำนวนนี้มีผู้ที่มีปัญหาทางสายตา (สายตาสั้น) และใส่แว่นสายตาจำนวน 3 คน ทุกคนศึกษาในคณะที่ไม่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและสถาปัตยกรรม มีเพียง 1 คนที่เป็นนักศึกษาจากภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม นักศึกษาให้ข้อมูลว่าไม่มีความรู้ด้านการออกแบบระบบแสงสว่างทางสถาปัตยกรรม จึงถือได้ว่าทุกคนไม่มีประสบการณ์หรือคุ้นเคยกับระบบแสงสว่างที่กำลังศึกษา เพราะอาจเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการประเมินคุณภาพระบบแสงสว่าง เนื่องจากผู้เชี่ยวชาญ (Trained eyes) อาจมีความรู้สึกไวต่อความสภาพแสงที่แตกต่างกันมากกว่าบุคคลทั่วไป

ขั้นตอนการทดลอง (Experimental procedure) วันที่ทำการทดลอง เวลา 18:30 น. ผู้เข้าร่วมการทดลองชุดแรกจำนวน 4 คนได้รับการนัดหมายให้มาถึงสถานที่ทดลองด้านข้างสำนักหอสมุด ซึ่งมีพื้นที่นั่งพักคอยและมีแสงสว่างเพียงพอให้สามารถอ่านและเขียนตอบแบบสอบถามได้ แต่ละกลุ่มจะมีเวลาในการปรับสายตาและได้รับการอธิบายจากผู้ช่วยวิจัยถึงจุดประสงค์และขั้นตอนการทดลอง จากนั้นผู้เข้าร่วมการทดลองจะตอบแบบสอบถามในช่วงที่ 1 และ 2 ซึ่งเกี่ยวกับข้อมูล

ทั่วไปและการใช้งานทางเดินในมหาวิทยาลัย และการประเมินความพึงพอใจต่อแสงสว่างสำหรับทางเดินในปัจจุบัน การทดลองชุดแรกเริ่มขึ้นในเวลาประมาณ 19:00 น. เมื่อไม่มีแสงธรรมชาติและท้องฟ้ามืดสนิท เริ่มด้วยการทดลองในกรณีที่ 1 ได้แก่ ทางเดินที่มีสภาพแวดล้อมสว่าง (จากไฟถนน) ซึ่งผู้เข้าร่วมการทดลองใช้เวลานี้ในการตอบแบบสอบถามประมาณ 15 นาที ก่อนการทำซ้ำการทดลองในกรณีที่ 2 โดยมีลำดับที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3: แสดงการปรับค่าความส่องสว่างและลำดับในการทดลอง

ลำดับที่	สภาพแวดล้อมแบบสว่าง (15 ลักซ์)		สภาพแวดล้อมแบบมืด (5 ลักซ์)	
	การตั้งค่าระดับสูง	การตั้งค่าระดับต่ำ	การตั้งค่าระดับสูง	การตั้งค่าระดับต่ำ
1	60% (24 ลักซ์)	60% (24 ลักซ์)	20% (5.5 ลักซ์)	20% (5.5 ลักซ์)
2	60% (24 ลักซ์)	40% (12 ลักซ์)	40% (12 ลักซ์)	20% (5.5 ลักซ์)
3	60% (24 ลักซ์)	20% (5.5 ลักซ์)	40% (12 ลักซ์)	40% (12 ลักซ์)
4	40% (12 ลักซ์)	40% (12 ลักซ์)	60% (24 ลักซ์)	40% (12 ลักซ์)
5	40% (12 ลักซ์)	20% (5.5 ลักซ์)	60% (24 ลักซ์)	60% (24 ลักซ์)

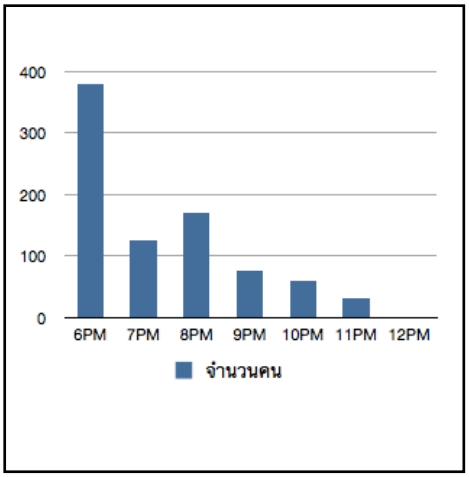
ผลการวิจัย

1. สภาพแสงสว่างในปัจจุบัน

จากการสำรวจและการสัมภาษณ์ผู้ใช้ในเบื้องต้นพบว่า ทางเดินภายในมหาวิทยาลัยส่วนใหญ่เป็นแบบมีหลังคาคลุมและอยู่ขนานกับแนวถนน มีความยาวประมาณ 750 เมตร ระบบแสงสว่างเดิมใช้การติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบยาว 36 วัตต์ อุณหภูมิสี 6500 K (Daylight) ใช้กับบัลลาสต์แบบขดลวด ส่วนใหญ่ไม่มีโคมไฟและติดตั้งห่างกัน 6-8 เมตร ใช้การควบคุมแบบปิดเปิดตามเวลา ใช้พลังงาน 6.8 วัตต์ต่อเมตร แม้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างบนแนวระนาบจะอยู่ในช่วงที่แนะนำตาม IES RP-8-00 (มากกว่า 20 ลักซ์) แต่เนื่องจากหลอดไฟติดห่างกัน จึงมีค่าความสม่ำเสมอของแสงต่ำกว่าค่าที่แนะนำ (น้อยกว่าหรือเท่ากับ 4 ต่อ 1) และความเปรียบต่างระหว่างพื้นที่ใต้หลอดไฟและพื้นที่ระหว่างกลางสูงมาก เมื่อผู้ใช้เดินอยู่บริเวณใต้หลอดไฟซึ่งมีความสว่างมากสายตาจึงปรับให้เข้ากับสภาพความสว่างสูงจึงทำให้สูญเสียความสามารถในการมองเห็นรายละเอียดของวัตถุหรือใบหน้าผู้ที่อยู่ในบริเวณที่ไกลออกไปและมีความสว่างต่ำกว่ามาก ดังแสดงในภาพที่ 4

ซึ่งผู้ให้สัมภาษณ์ให้ความเห็นสอดคล้องกับผลการประเมินจากผู้เข้าร่วมการทดลองว่าสภาพแสงภายในทางเดินส่วนใหญ่ไม่เพียงพอ แสงไม่สม่ำเสมอ มีปัญหาด้านการมองเห็น ความสบายตา และความรู้สึกหวาดกลัวต่ออาชญากรรม (คะแนนเฉลี่ย 2.1, 2.5 และ 2.6 ตามลำดับ)

ภาพที่ 4: สภาพแสงสว่างภายในทางเดิน



ภาพที่ 5: ความถี่ของการใช้ทางเดิน

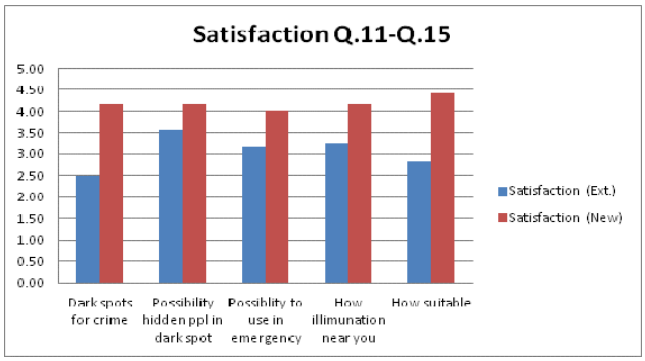
จากการสังเกตุการณ์ด้วยการนับจำนวนผู้ใช้ทางเดินในจุดที่กำหนดระหว่างช่วงเวลา 18:00-24:00 น. เป็นเวลา 3 วัน ระหว่างภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2557 ภาพที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนคนที่ใช้ทางเดินรายชั่วโมง ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีความถี่ของการใช้งานสูงสุดเกือบ 400 คน ช่วงเวลา 18:00 น. และผู้ใช้จะลดลงอยู่ในช่วง 125-180 คน ระหว่าง 19:00-21:00 น. หลังจากนั้นจำนวนผู้ใช้ลดลงต่ำสุดและเกือบไม่มีการใช้งานในช่วงเที่ยงคืน อย่างไรก็ตาม แสงสว่างสำหรับทางเดินเริ่มเปิดใช้งานตั้งแต่เวลา 18:00-18:30 น. ขึ้นอยู่กับฤดูกาล จนถึงเวลา 6:00 น. ของวันรุ่งขึ้น เนื่องจากต้องมีการให้แสงสว่างเพื่อสร้างความปลอดภัย จากความถี่การใช้งานที่แตกต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญในแต่ละช่วงเวลา แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้ระบบควบคุมแสงแบบปรับตามการใช้งานมีศักยภาพสูงและเหมาะสม ซึ่งจะสามารถช่วยประหยัดพลังงานในระบบแสงสว่างภายนอกอาคารได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้งาน

2. ผลการประเมินคุณภาพแสงแบบปรับตามการใช้งาน (Adaptive lighting)

ในภาพรวมผู้เข้าร่วมการทดลองมีความพึงพอใจการให้แสงแบบปรับตามการใช้งาน (คะแนนเฉลี่ย 4.0-4.4) เมื่อเปรียบเทียบกับการให้แสงแบบเดิม (คะแนนเฉลี่ย 2.5-3.0) ส่วนใหญ่เห็นว่าแสงสว่างที่ใช้ในการทดลองทำให้มีทัศนวิสัยดีขึ้น มองเห็นได้ชัดเจนมากขึ้นทั้งทางเดินและใบหน้าของบุคคล และยังทำให้รู้สึกปลอดภัยมากกว่าเดิม นอกจากนี้พบว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของบริเวณใกล้เคียงแบบมืดและแบบสว่าง (5 และ 15 ลักซ์) เป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อความรู้สึกปลอดภัย (Perceived safety) ของผู้ใช้ เห็นได้จากแนวโน้มของคะแนนการประเมินความรู้สึกปลอดภัยในกรณีต่างๆ ที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนระหว่างผลจากการทดลองภายใต้สภาพแวดล้อมแบบมืดและแบบสว่าง

ด้านการประเมินคุณภาพแสงจากการปรับค่าความส่องสว่างในแนวระนาบสำหรับ Adaptive lighting ทั้งสองระดับ พบว่า การปรับแสงในระดับสูง (High setting) ที่ได้รับคะแนนการประเมินสูงที่สุดได้แก่กรณีที่มีค่าเฉลี่ย 24 และ 12 ลักซ์ สำหรับทางเดินที่มีสภาพแวดล้อมแบบสว่างและแบบมืดตามลำดับ ส่วนการปรับแสงระดับต่ำ (Low setting) ที่ผู้เข้าร่วมการทดลองยังคงพึงพอใจต่อคุณภาพแสง การมองเห็น และความรู้สึกปลอดภัยนั้นควรมีค่าไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 ของค่าระดับสูง

ภาพที่ 6: ผลการประเมินด้านการมองเห็นและความสบายตา ระหว่างระบบเดิมและระบบที่ใช้ทดลอง



ภาพที่ 7: ผลการประเมินด้านความรู้สึกปลอดภัยและความกลัวอาชญากรรม ระหว่างระบบเดิมและระบบที่ใช้ทดลอง

ซึ่งผลการเลือกค่าสำหรับการปรับแสงทั้งในระดับสูงและระดับต่ำที่ผู้เข้าร่วมการทดลองเห็นว่าเหมาะสมมากที่สุด มีความสอดคล้องกับผลการประเมินความพึงพอใจต่อสภาพแสงภายในทางเดิน ผลการเลือกค่าสำหรับการปรับแสงทั้งในระดับสูงและระดับต่ำสำหรับทางเดินที่มีสภาพแวดล้อมแบบสว่าง (Bright surrounding) ผู้เข้าร่วมการทดลองประมาณร้อยละ 60 เห็นว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างระดับสูงและระดับต่ำที่ 24 และ 12 ลักซ์ เหมาะสมที่สุด อีกร้อยละ 25 เห็นว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 12 และ 6 ลักซ์ มีความเหมาะสม และมีเพียงร้อยละ 15 เห็นว่าค่า 24 และ 6 ลักซ์ มีความเหมาะสม ส่วนทางเดินที่มีสภาพแวดล้อมแบบมืด (Dark surrounding) ผู้เข้าร่วมการทดลองราวสองในสามเห็นว่า ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างระดับสูงและระดับต่ำควรมีค่า 12 และ 6 ลักซ์ อีกร้อยละ 20 เห็นว่าค่า 24 และ 6 ลักซ์ เหมาะสม และร้อยละ 14 เห็นว่าค่า 24 และ 12 ลักซ์ มีความเหมาะสม ภาพที่ 6 และภาพที่ 7 แสดงผลการประเมินทั้งด้านการมองเห็น ความสบายตา ความรู้สึกปลอดภัย และความกลัวต่ออาชญากรรม โดยคะแนนเฉลี่ยจากทุกคำถามมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 4.0 แสดงให้เห็นว่าผู้เข้าร่วมการทดลองเห็นว่าระบบแสงสว่างปรับตามการใช้งานให้แสงที่มีคุณภาพและเหมาะสมกว่าระบบเดิมที่ได้คะแนนประเมินต่ำกว่ามาก โดยเฉพาะด้านประสิทธิภาพการมองเห็นและความสบายตา

จากผลข้างต้นและผลการประเมินความพึงพอใจต่อสภาพแสงภายในทางเดินโดยใช้คะแนนเฉลี่ยสูงกว่า 3.5 เป็นเกณฑ์ (1 หมายถึงพึงพอใจน้อยที่สุด และ 5 หมายถึงพึงพอใจมากที่สุด) ซึ่งแสดงความพึงพอใจและผลกระทบเชิงบวกจะพบว่า การปรับแสงในระดับสูงทั้งสองกรณี 24 และ 12 ลักซ์ นั้นยังได้รับคะแนนการประเมินที่สูงกว่า 3.5 แสดงให้เห็นว่าสำหรับทางเดินที่มีสภาพแวดล้อมแบบสว่าง สามารถเลือกใช้การตั้งค่าแสงในระดับสูงได้ทั้ง 24 และ 12 ลักซ์แล้วแต่ความเหมาะสม อาทิ ความถี่ในการใช้งาน และเป้าหมายด้านการลดใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต้องการ เช่น ช่วงเวลาระหว่าง 18:00-21:00 น. อาจตั้งค่าระดับสูงและระดับต่ำที่ 24 และ 12 ลักซ์ ตามลำดับ และหลังจาก 21:00-24:00 น. จึงตั้งค่าระดับสูงและระดับต่ำที่ 12 และ 6 ลักซ์ เป็นต้น

3. ผลการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เป็นการศึกษาระยะเวลาคุ้มทุนของการติดตั้งระบบแสงสว่างแบบปรับตามการใช้งานด้วยเทคโนโลยีแอลอีดี เมื่อเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของระบบแสงสว่างแบบเดิมได้แก่ โคมไฟฟลูออเรสเซนต์แบบ T8 36 วัตต์ ใช้ร่วมกับบัลลาสต์ขดลวด 12 วัตต์ อายุการใช้งาน 15000 ชั่วโมง และด้านการบำรุงรักษาได้กำหนดค่าแรงการเปลี่ยนหลอดและทำความสะอาดโคมไฟเป็นเงิน 200 บาทต่อโคม จำนวน 102 โคม ค่าไฟฟ้าราคาหน่วยละ 3 บาท ส่วนระบบแสงสว่างแบบปรับตามการใช้งานคำนวณจาก ต้นทุนค่าโคมไฟและ ค่าแรงการเดินสายไฟ ระบบควบคุม

และการติดตั้งโคมละ 2150 บาท จำนวน 237 โคม อายุการใช้งาน 45000 ชั่วโมง เมื่อไม่มีการปรับหรี่กำลังไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด 7 วัตต์ และลดลงเหลือ 5.2 วัตต์ เมื่อปรับหรี่ที่ร้อยละ 60 และ 3.4 วัตต์ เมื่อปรับหรี่ที่ร้อยละ 40 ตามลำดับ

สำหรับการประหยัดพลังงานไฟฟ้าเนื่องมาจากการปรับหรี่ตามการใช้งาน ควบคุมด้วย Occupancy sensors กล่าวคือโคมไฟที่อยู่ใกล้ผู้ใช้งานถูกปรับให้เป็นค่าความส่องสว่างระดับสูงโดยอัตโนมัติ ส่วนโคมไฟที่เหลือยังให้ค่าความส่องสว่างในระดับต่ำซึ่งมีค่าประมาณร้อยละ 50 ของค่าระดับสูง ดังนั้นจึงใช้สมมติฐานว่าจะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ประมาณร้อยละ 30 โดยกำหนดให้ทั้งสองระบบมีการเปิดใช้งานทุกวันๆ ละ 12 ชั่วโมง ผลการคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน (Simple payback period) พบว่าระบบแสงสว่างจากเทคโนโลยีแอลอีดีมีระยะเวลาคืนทุนระหว่าง 6.3-6.8 ปี สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 75 และหากมีการปรับตามการใช้งานระยะเวลาคืนทุนจะลดลงเป็น 5.9 ปี และช่วยลดการใช้พลังงานได้ร้อยละ 85

การอภิปรายผลและสรุป

ผลจากการสำรวจสภาพแสงสว่างแบบเดิมและผลการประเมินระบบแสงสว่างแบบปรับตามการใช้งานภายใต้สภาพแวดล้อมแบบสว่างและแบบมืดดังกล่าวแล้วข้างต้น แสดงให้เห็นว่าผู้เข้าร่วมการทดลองส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อการให้แสงแบบปรับตามการใช้งานมากกว่าแสงสว่างแบบเดิม ซึ่งแม้ว่าจะมีค่าเฉลี่ยความส่องสว่างสูงกว่าหรือเท่ากับมาตรฐานแต่มักประสบปัญหาด้านความเปรียบต่างของแสง ส่งผลต่อความสบายตา ประสิทธิภาพการมองเห็น และความรู้สึกปลอดภัยในการสัญจรเวลากลางคืน สำหรับการปรับค่าความส่องสว่างในระดับสูงและระดับต่ำของระบบแสงสว่างแบบปรับตามการใช้งานที่ผู้เข้าร่วมการทดลองเห็นว่าเหมาะสม ในกรณีสภาพแวดล้อมแบบสว่างนั้นสอดคล้องกับค่าที่แนะนำสำหรับทางเดินที่มีการใช้งานระดับสูงโดย IESNA- RP-8-00 (มากกว่า 20 ลักซ์) อย่างไรก็ตาม สำหรับทางเดินที่มีสภาพแวดล้อมแบบมืดผู้เข้าร่วมการทดลองพึงพอใจค่าความส่องสว่างเฉลี่ยระดับสูงที่ 12 ลักซ์ จึงสูงกว่าค่าที่แนะนำโดย IESNA- RP-8-00 (มากกว่า 5 ลักซ์) ซึ่งค่าความส่องสว่างในระดับสูงทั้งสองกรณีนี้ค่อนข้างสูงกว่าแนวปฏิบัติโดยทั่วไปที่ใช้ในประเทศไทย ที่มักให้แสงในแนวระนาบสำหรับทางเดินประมาณ 10-15 ลักซ์ อย่างไรก็ตามในประเทศไทยยังไม่ได้คำนึงถึงค่าความส่องสว่างในแนวดิ่งมากนัก

ผลดังกล่าวอาจเกิดจาก 3 กรณีคือ ลำดับของการทดลองภายใต้สภาพแวดล้อมแบบสว่างที่ผู้เข้าร่วมการทดลองได้เห็นและประเมินก่อน โดยเวลาที่ใช้ในการปรับสายตาจากสภาพแบบสว่างเป็นสภาพแบบมืดไม่เพียงพอ จึงอาจมีผลต่อการประเมินสภาพแสงภายใต้สภาพแวดล้อมแบบมืดได้ กรณีที่ 2 อาจเกิดจากความเคยชินต่อสภาพแสงภายในมหาวิทยาลัยของผู้เข้าร่วมการทดลอง เนื่องจากการสำรวจพบว่าทางเดินในบางพื้นที่มีค่าความส่องสว่างสูงถึง 70-100 ลักซ์ ส่วนกรณีสุดท้ายคือ การประเมินสภาพแสงของผู้เข้าร่วมการทดลองได้รับอิทธิพลจากค่าความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Maintained average vertical illumianance) มากกว่าค่าความส่องสว่างในแนวนอน เนื่องจากค่าความส่องสว่างแนวดิ่งที่ได้จากการปรับค่าแสงในระดับสูงที่ใช้ในการทดลองสภาพแวดล้อมแบบสว่างและสภาพแวดล้อมแบบมืดคือ 5 ลักซ์ และ 3 ลักซ์ ตามลำดับ โดยเฉพาะสำหรับทางเดินที่มีการใช้งานถี่ (สภาพแวดล้อมแบบสว่าง) ค่าต่ำกว่าค่าที่แนะนำโดย IESNA- RP-8-00 (สูงกว่า 10 ลักซ์) ทั้งนี้เกิดจากการใช้โคมไฟ MR16-LED ที่ให้แสงแบบมีทิศทาง (Directional light) มากกว่าการให้แสงแบบกระจาย (Diffused light) ทำให้ปริมาณแสงส่วนใหญ่ตกลงบนพื้นแนวระนาบมากกว่าแนวดิ่ง ซึ่งมีผลต่อการประเมินคุณภาพแสงต่อการมองเห็นใบหน้าและความรู้สึกปลอดภัย (Perceived safety) ของผู้ใช้ทางเดิน

ดังนั้นการศึกษาต่อไปควรพิจารณาทั้งด้านขั้นตอนการทดลองที่ควรมีการสลับสภาพแวดล้อมแบบมืดและแบบสว่างแบบสุ่ม (Randomized) เพื่อลดผลกระทบของการปรับสายตาเข้ากับสภาพแวดล้อมแบบสว่างของผู้เข้าร่วมการทดลอง ด้านการนำองค์ความรู้ไปประยุกต์ใช้ ควรเลือกโคมไฟภายนอกอาคารที่ให้แสงแบบกระจายมากขึ้น เพื่อเพิ่มสัดส่วนของแสงใน

แนวดิ่งที่อาจทำให้ผู้ใช้ทางเดินต้องการแสงในแนวระนาบน้อยลงและประหยัดพลังงานได้มากขึ้น สำหรับการใช้เทคโนโลยี LED ร่วมกับระบบควบคุมอัตโนมัติเพื่อปรับตามการใช้งาน จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าค่าความส่องสว่างระดับสูงสำหรับทางเดินที่มีการใช้งานถี่และมีสภาพแวดล้อมแบบสว่าง ควรมีค่าระหว่าง 12-24 ลักซ์ ขึ้นอยู่กับความถี่ในการใช้งานแต่ละช่วงเวลา สำหรับทางเดินที่มีการใช้งานน้อยและสภาพแวดล้อมมืดนั้นควรมีค่าระหว่าง 5-12 ลักซ์ ส่วนค่าความส่องสว่างระดับต่ำไม่ควรน้อยกว่าร้อยละ 50 ของค่าระดับสูง

ทั้งนี้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของปัจจัยด้านความเปรียบต่างของแสงในบริเวณที่ใกล้กับผู้ใช้งานและบริเวณที่ห่างออกไป และค่าความส่องสว่างในแนวดิ่งว่ามีผลต่อการประเมินคุณภาพด้านการมองเห็นและความรู้สึกปลอดภัยของผู้ใช้ ประการสุดท้ายได้แก่ศักยภาพของการใช้เทคโนโลยี LED ร่วมกับระบบควบคุมแบบปรับตามการใช้งาน มีแนวโน้มที่จะคืนทุนได้เร็วขึ้นเนื่องจากค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่คือการลงทุนเริ่มแรก (ค่าหลอดไฟและโคมไฟ) โดยหลอด LED มีประสิทธิภาพพลังงานที่สูงขึ้นในขณะที่มีราคาต่ำลง หากคำนวณจากเทคโนโลยีในปัจจุบัน หลังจากการทำการทดลองประมาณ 8 เดือน ราคาของหลอด LED ที่ใช้ในขณะนั้นลดลงประมาณร้อยละ 30 ทำให้ระยะเวลาคืนทุนได้ลดลงจาก 5.9 ปี เหลือเพียง 5.0 ปี เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ในอนาคตควรมีการศึกษาในกลุ่มตัวอย่างจำนวนมากขึ้นและรวมถึงผู้ใช้ที่มีอายุสูงกว่า 40 ปีขึ้นไป

บรรณานุกรม

Antal Haans, Yvonne A.W. de Kort, 2012. **Light distribution in dynamic street lighting: Two experimental studies on its effects on perceived safety, prospect, concealment, and escape**, Volume 32, Issue 4, December 2012, pp. 342–352.

Clanton, N. 2014. **Seattle LED Adaptive Lighting Study. Visual Quality, Acuity, Community Acceptance – LED Streetlight Sources**. Report Number E14-286. Northwest Energy Efficiency Alliance.

Lewis A, 1998. **Equating light sources for visual performance at low luminance**, Journal of the Illuminating Engineering Society 1998; 27: pp. 80–4.

David L. DiLuara, Kevin W. Houser, Richard G. Mistrick, Garry R. Steffy, **IESNA the lighting handbook : Reference and Application**, 10th edition, Illuminating Engineering Society of North America, New York., pp. 2.1-2.2, pp. 26.1-26.2.

Thijs H.J. van Osch, 2010. **Intelligent dynamic road lighting and perceived personal safety of pedestrians**, NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM, Washington, DC 20001.

Hall E.T., 1996. **The Hidden Dimension**, Anchor books, Doubleday & Company Inc, GardenCity, New York.

กิตติกรรมประกาศ

นักวิจัยขอขอบคุณสำนักบริหารอาคารและสถานที่ มจธ. ที่กรุณาให้ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าและการติดตั้งระบบแสงสว่างที่ใช้ในการทดลอง และขอขอบคุณนักศึกษาและอาจารย์ มจธ. ทุกท่านที่สละเวลาให้สัมภาษณ์และเข้าร่วมการทดลอง