การศึกษาการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ในห้องเรียนของมหาวิทยาลัย: กรณีศึกษาคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

The Study of the Improvement of Artificial Lighting in University Classroom: A Case Study of Faculty of Architecture, Kasetsart University

รับบทความ	04/08/2568
แก้ไขบทความ	26/11/2568
ยอมรับบทความ	27/11/2568

ศิรภัสสร สมตน นวลวรรณ ทวยเจริญ
ภาควิชานวัตกรรมอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
Sirapassorn Somthon, Nuanwan Tuaycharoen
Building Innovation Department, Faculty of Architecture, Kasetsart University
sirapasson1somthon@gmail.com, nuanwan.t@ku.th

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาแนวทางการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ที่เหมาะสมในห้องเรียนของมหาวิทยาลัย โดยทำการศึกษาห้องเรียนของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่แตกต่างกันจำนวน 3 ห้องเรียน ได้แก่ ห้องเรียนขนาดเล็ก ห้องเรียนขนาดกลาง และห้องปฏิบัติการเขียนแบบ เนื่องจากเป็นห้องเรียนที่มีการใช้งานสูงที่สุด และเป็นตัวแทนของห้องเรียนส่วนใหญ่ในคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยจำลองแสงธรรมชาติในช่วงเวลา 9.00–16.00 น. จำลองแสงธรรมชาติในช่วงวันวสันตวิษุวัต (21 มีนาคม) วันครีษมายัน (21 มิถุนายน) วันศารทวิษุวัต (21 กันยายน) และวันเหมายัน (21 ธันวาคม) ตัวแปรต้นในการศึกษาครั้งนี้มี 2 อย่าง ตัวแปรแรกคือ ชนิดของหลอดไฟ ได้แก่ 1) หลอด LED ชนิด E27 2) หลอด LED ชนิด MR16 จำนวน 2 หลอด และ 3) หลอดฟลูออเรส-เซนต์ ส่วนตัวแปรที่ 2 คือ การจัดวางแนวโคมไฟ 4 รูปแบบ ได้แก่ 1) การจัดวางรูปแบบเดิม 2) การจัดวางโดยอ้างอิงการใช้งาน 3) การจัดวางแบบหลีกเลี่ยงแสงธรรมชาติ 4) การจัดวางแบบกระจาย ผลการศึกษาพบว่า การใช้หลอด LED ชนิด E27 ประกอบกับการจัดวางผังในรูปแบบเดิมเหมาะสมกับห้องเรียนขนาดเล็ก โดยการใช้หลอด LED ชนิด E27 กับการจัดวางแบบกระจายเหมาะสมกับห้องเรียนขนาดกลาง และห้องปฏิบัติการเขียนแบบที่สุด โดยผลการศึกษาครั้งนี้จะนำไปเป็นตัวอย่างในการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ในห้องเรียนในมหาวิทยาลัยที่คล้ายคลึงได้ต่อไป

***คำสำคัญ**: แสงประดิษฐ์ หลอดไฟ ห้องเรียน การออกแบบแสง แสงสว่างในสถานศึกษา*

Abstract

This study mainly aims to explore methods for improving artificial lighting in university classrooms, focusing on a case study of the Faculty of Architecture at Kasetsart University. The research was explored in three representative classrooms at the Faculty of Architecture, Kasetsart University, which differ in size and function: a small classroom (Room 2406), a medium classroom (Room 1301), and a drafting laboratory (Room 2401). These rooms were selected for their high frequency of use and representativeness of typical learning spaces within the faculty. Daylighting conditions were simulated between 9:00 AM and 4:00 PM on important solar dates, including the Vernal Equinox (March 21), Summer Solstice (June 21), Autumnal Equinox (September 21), and Winter Solstice (December 21). The independent variables in this study consisted of two factors: three types of light bulbs (E27 LED lamps, dual MR16 LED lamps, and fluorescent lamps) and four lighting fixture layout configurations applied across the three classrooms (original layout, usage-based layout, layout avoiding natural light, and dispersed layout). The results suggest that the most suitable option for small classrooms is using E27 LED bulbs with the original layout of the lighting plan, while the best lighting option for medium classrooms and drafting labs is using E27 LED bulbs with a distributed layout lighting plan. The findings provide a valuable lighting guideline for improving artificial lighting in similar university learning environments.

***Keywords**: artificial light, light bulb, classroom, lighting design, lighting in university*

บทนำ

แสงสว่างในสถานศึกษาเป็นปัจจัยสำคัญในการออกแบบสภาพแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพแสงสว่างที่เหมาะสมช่วยสร้างความสบายทางสายตา ซึ่งเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพในการเรียนรู้ (Ibañez et al., 2017) การศึกษาในหลายประเทศพบว่าแสงสว่างที่เหมาะสมและเพียงพอจะช่วยเพิ่มความตื่นตัวและลดความเมื่อยล้าจากการเรียนรู้ ในกรณีที่ไม่สามารถใช้แสงธรรมชาติได้หรือในช่วงเวลาที่มีแสงไม่เพียงพอ แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ เช่น หลอดไฟ LED (Light Emitting Diode) หรือหลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent) ควรมีบทบาทในการสร้างแสงสว่างที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในห้องเรียนและพื้นที่ต่าง ๆ ภายในสถานศึกษา (ศิรินภา จันทรโคตร และยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล, 2560)

จากการสำรวจเบื้องต้นในห้องเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์มีสภาพการส่องสว่างที่ไม่เหมาะสมทั้งในปริมาณและคุณภาพการส่องสว่าง โดยผลจากสำรวจสภาพแวดล้อมการส่องสว่างเดิมมีค่าความส่องสว่างผ่านเกณฑ์ แต่มีบางพื้นที่ที่มืดหรือสว่างเกินไป และมีค่าความสม่ำเสมอของแสงต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานมาก และยังใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์และการวางผังโคมไฟในรูปแบบเดิม ซึ่งก่อให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูง ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีหลอดไฟที่มีการพัฒนาและสามารถที่ใช้ทดแทนรูปแบบแสงสว่างในห้องเรียนดังกล่าวที่ใช้อยู่ และก่อให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้ โดยยังสามารถก่อให้เกิดประสิทธิภาพการส่องสว่างในห้องเรียนที่เพิ่มขึ้น เช่น หลอดไฟ LED (E27 และ MR16) และการวางผังโคมไฟที่มีประสิทธิภาพ ประกอบกับคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์มีนโยบายที่จะปรับปรุงสถานที่ต่าง ๆ ในอาคารดังกล่าวให้มีสภาพแวดล้อมที่ดีขึ้นและประหยัดพลังงานมากขึ้น ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางในการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ที่เหมาะสมกับห้องเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยผลการศึกษาครั้งนี้จะนำไปเป็นตัวอย่างในการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ในห้องเรียนในมหาวิทยาลัยที่คล้ายคลึงได้ต่อไป

แสงสว่างในสถานศึกษา (Lighting in educational buildings)

มาตรฐานและเกณฑ์แสงสว่างในสถานศึกษา (Lighting standards in educational buildings)

มาตรฐานและเกณฑ์แสงสว่างในห้องเรียนมีความสำคัญต่อการสร้างสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่เหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทยที่มีการกำหนดค่าความส่องสว่างตามมาตรฐานและเกณฑ์ต่าง ๆ เช่น มาตรฐาน Illuminating Engineering Society (IES) มาตรฐานสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย (TIEA) มาตรฐานสถาบันวิศวกรบริการอาคาร (CIBSE) มาตรฐาน Commission International de L'Eclairage (CIE) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) โดยมีรายละเอียดดังนี้

- มาตรฐาน Illuminating Engineering Society (IES) ค่าความส่องสว่าง (illuminance) ที่แนะนำสำหรับห้องเรียนควรอยู่ที่ 300–500 lux บริเวณหน้ากระดาน หรือพื้นที่ที่ต้องการความชัดเจนสูง อาจเพิ่มค่าความส่องสว่าง (illuminance) ได้ถึง 500 lux และสำหรับห้องเขียนแบบ ค่าความส่องสว่าง (illuminance) ที่แนะนำคือ 500–750–1,000lux (สถาบันส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน, 2560) สำหรับการทำงานที่ต้องการความละเอียดสูง

- มาตรฐานสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย (TIEA) มีการกำหนดค่าความสว่างที่แนะนำไว้ดังนี้ ห้องเรียนควรมีค่าความส่องสว่าง (illuminance) ขั้นต่ำที่ 300 lux และค่าความส่องสว่าง (illuminance) ที่แนะนำคือ 500–750 lux สำหรับห้องเขียนแบบ ค่าความส่องสว่าง (illuminance) ที่แนะนำคือ 750–1000 lux สำหรับการทำงานที่ต้องการความละเอียดสูง (วิทยา แหลมทอง, 2563)

- มาตรฐานสถาบันวิศวกรบริการอาคาร (CIBSE) Lighting Guide 5 (LG5): Lighting for Education) ค่าความส่องสว่าง (illuminance) ขั้นต่ำที่แนะนำสำหรับห้องเรียนทั่วไปคือ 300–500 lux และพื้นที่พิเศษเพิ่มเติม เช่น โต๊ะ กระดาน หรือพื้นที่ทำงานเฉพาะควร 500 lux ขึ้นไป ควรมีความสม่ำเสมอของแสง (uniformity) อย่างน้อย 0.7 เพื่อป้องกันเงาและแสงที่ไม่สม่ำเสมอ (the Chartered Institution of Building Services Engineers [CIBSE], 2011)

- มาตรฐาน Commission International de L'Eclairage (CIE) ค่าความส่องสว่าง (illuminance) ในห้องเรียนควรอยู่ในช่วง 300–500–750 lux และห้องเขียนแบบควรมีค่าความส่องสว่าง (illuminance) คือ 500–750–1000 lux (วิทยา แหลมทอง, 2563)

- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) กำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง (ประกาศในราชกิจจานุเบกษาเมื่อวันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2561) โดยห้องบรรยายมีค่าความส่องสว่าง (illuminance) 150–300 lux และห้องเขียนแบบควรมีค่าความส่องสว่าง (illuminance) คือ 600–700 lux (ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง มาตรฐานความเข้มของแสงสว่าง พ.ศ. 2561, 2561)

- ดัชนีวัดค่าความถูกต้องของสี (Color Rendering Index : CRI) เป็นดัชนีที่ใช้วัดความสามารถของแหล่งกำเนิดแสงในการแสดงสีของวัตถุอย่างถูกต้อง โดยมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 ซึ่งดัชนีวัดค่าความถูกต้องของสี (Color Rendering Index : CRI) ที่สูงหมายถึงความสามารถในการแสดงสีที่ใกล้เคียงกับแสงธรรมชาติ โดยเฉพาะในห้องเรียนและห้องเขียนแบบ มาตรฐานดัชนีวัดค่าความถูกต้องของสี (Color Rendering Index : CRI) มีความสำคัญในการเลือกใช้หลอดไฟที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนรู้ (Commission Internationale de l´Eclairage [CIE], 2017)

สำหรับการใช้งานในห้องเรียน ควรเลือกใช้หลอดไฟที่มีค่าดัชนีวัดค่าความถูกต้องของสี (Color Rendering Index : CRI) สูง เช่น หลอด LED ที่มีค่าตั้งแต่ 80 ขึ้นไป ซึ่งจะช่วยให้สีของวัตถุในห้องเรียนดูเป็นธรรมชาติและไม่เสียสมดุลการรับรู้ของผู้เรียน (Wan, 2022)

ตาราง 1 เกณฑ์ค่าความส่องสว่างในสถานศึกษา สำหรับห้องเรียนและห้องเขียนแบบ (lux)

เกณฑ์ค่าความส่องสว่างในสถานศึกษา	มาตรฐาน IES	มาตรฐาน TIEA	มาตรฐาน CIBSE	มาตรฐาน CIE	มาตรฐาน มอก.
ค่าความส่องสว่าง (lux) สำหรับห้องเรียนทั่วไป	300–500	300–500	300–500	300–500–750	150–300
ค่าความส่องสว่าง (lux) สำหรับห้องเขียนแบบ	500–750–1,000	500–1,000	500–1,000	500–750–1000	600–700

ที่มา: คู่มือฝึกอบรม การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน โดย สถาบันส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน, 2560. (http://energyauditorthai.com/wp-content/uploads/2017/01/04-บทที่-3-ระบบแสงสว่าง.pdf); ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง มาตรฐานความเข้มของแสงสว่าง พ.ศ. 2561. (2561, 21 กุมภาพันธ์). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 135 ตอนพิเศษ 39 ง หน้า 15; แสงสว่างสำหรับห้องเรียนในคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดย วิทยา แหลมทอง, 2563. Mahidol R2R e-Journal, 7(1), หน้า 149–158. (https://doi.org/10.14456/jmu.2020.13); LG05 lighting for education by the Chartered Institution of Building Services Engineers, 2011. (https://www.cibse.org/knowledge-research/knowledge-portal/lighting-guide-05-lighting-for education-2011)

โดยสรุปในการออกแบบแสงสว่างสำหรับห้องเรียนทั่วไปควรคำนึงถึงความสม่ำเสมอของแสง โดยค่าความส่องสว่าง (illuminance) ควรอยู่ที่ 300–500 lux ซึ่งเพียงพอในการอ่านหนังสือและทำกิจกรรมต่าง ๆ โดยไม่ทำให้เกิดความล้าทางสายตา หรือการเสียสมาธิ (CIBSE, 2011) นอกจากนี้ความสม่ำเสมอของแสง (uniformity) ยังควรกระจายอย่างทั่วถึง เพื่อไม่ให้เกิดแสงจ้าในบางจุดหรือเงามืดในจุดอื่น ๆ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการทำงานหรือการเรียนรู้ และสำหรับห้องเขียนแบบค่าความส่องสว่าง (illuminance) ควรอยู่ระหว่าง 500–750–1,000 lux เนื่องจากห้องเขียนแบบต้องการความละเอียดในการทำงาน เช่น การวาดภาพ หรือการออกแบบซึ่งต้องใช้แสงที่มีความเข้มสูงเพื่อให้สามารถมองเห็นรายละเอียดได้อย่างชัดเจน และลดแสงสะท้อนเพื่อป้องกันความเมื่อยล้าของสายตา โดยอุณหภูมิสีของแสง (Correlated Colour Temperature: CCT) สำหรับห้องทั้งสองประเภทควรมากกว่า 4,000K (Castilla et al., 2024) และดัชนีวัดค่าความถูกต้องของสี (Color Rendering Index : CRI) มากกว่า 80 ขึ้นไป ซึ่งความสม่ำเสมอของแสง (uniformity) ควรอย่างน้อย 0.7 เพื่อป้องกันเงาและแสงที่ไม่สม่ำเสมอ (CIBSE, 2011)

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลัก คือเพื่อศึกษาแนวทางการศึกษาการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ในห้องเรียนที่เหมาะสมของมหาวิทยาลัย โดยศึกษาในกรณีศึกษาคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยประกอบด้วยวัตถุประสงค์ย่อย 2 ประการดังนี้

1. เพื่อศึกษาคุณลักษณะของแสงประดิษฐ์ในห้องเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่มีปริมาณความส่องสว่าง (illuminance) ที่เหมาะสม
2. เพื่อศึกษาคุณลักษณะของแสงประดิษฐ์ในห้องเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่มีปริมาณความสม่ำเสมอของแสง (uniformity) ที่เหมาะสม

ขอบเขตงานศึกษา

ศึกษาเฉพาะห้องเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่แตกต่างกัน จำนวน 3 ห้องเรียน ได้แก่ ห้องเรียนขนาดเล็ก ห้องเรียนขนาดกลาง และห้องปฏิบัติการเขียนแบบ เนื่องจากเป็นห้องเรียนที่มีการใช้งานสูงที่สุดและเป็นตัวแทนของห้องเรียนส่วนใหญ่ในคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศึกษาแสงธรรมชาติในพื้นที่กรุงเทพฯ และใช้สภาพอากาศท้องฟ้ามืดครึ้ม (overcast sky) เนื่องจากเป็นสภาพท้องฟ้าที่เกิดความสว่างต่ำ

จำลองแสงธรรมชาติในช่วงเวลา 9.00-16.00 น.

จำลองแสงธรรมชาติในช่วง

วันวสันตวิษุวัต (Vernal Equinox) 21 มีนาคม
วันครีษมายัน (Summer Solstice) 21 มิถุนายน
วันศารทวิษุวัต (Autumnal Equinox) 21 กันยายน
วันเหมายัน (Winter Solstice) 21 ธันวาคม

สภาพแวดล้อมห้องเรียนกรณีศึกษา

ในกรณีศึกษานี้มีการตรวจสอบห้องเรียนและห้องสตูดิโอต่าง ๆ ภายในอาคาร ซึ่งพบปัญหาด้านแสงสว่างและลักษณะเชิงบริบทที่แตกต่างกันออกไป โดยเลือกตรวจสอบ 3 ห้องที่มีปัญหาดังกล่าวดังนี้

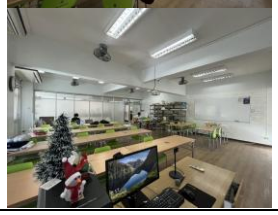
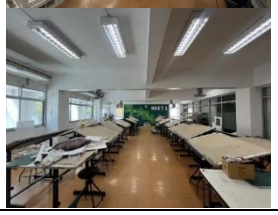
ห้องเรียนแรก คือ ห้องเรียนขนาดเล็ก (ห้อง 2406) ซึ่งเป็นห้องเรียนที่หันไปทางทิศใต้อยู่ที่ชั้น 4 มีขนาดกว้าง 8x16 เมตร มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุของพื้น 0.2 ผนัง 0.6 และฝ้าเพดาน 0.8 โดยมีระดับแสงสว่างไม่เพียงพอตลอดทั้งวันทำให้ห้องนี้ใช้โคมตะแกรงโดยหลอดไฟ Fluorescent (หลอดฟลูออเรสเซนต์) อุณหภูมิสีของแสง 6500K แม้ว่าจะมีทั้งแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ แต่ยังคงไม่สามารถให้แสงสว่างที่เหมาะสมในพื้นที่ทำงานได้ เนื่องจากพื้นที่บางส่วนจะมืดและบางส่วนจะสว่างเกินไป นอกจากนี้ห้องเรียนขนาดเล็ก ยังมีปัญหาด้านแสงสว่างที่คล้ายคลึงกับห้องเรียนอื่น ๆ ที่หันไปทางทิศใต้ในอาคารเดียวกัน

ห้องเรียนห้องที่สอง คือ ห้องเรียนขนาดกลาง (ห้อง 1301) ซึ่งเป็นห้องเรียนที่หันไปทางทิศเหนืออยู่ที่ชั้น 3 ของอาคาร มีขนาดกว้าง 8x24 เมตร มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุของพื้น 0.2 ผนัง 0.6 และฝ้าเพดาน 0.8 ใช้โคมตะแกรงโดยหลอดไฟ Fluorescent (หลอดฟลูออเรสเซนต์) ขั้ว T8 ขนาด 1.20 ม. 8W 800Lm อุณหภูมิสี 6500K และติดตั้งหลอดไฟจำนวน 1 ดวงต่อโคมไฟ จำนวนหลอดที่ใช้ทั้งหมด 40 หลอด ห้องนี้ยังมีลักษณะที่หันไปทางทิศเหนือซึ่งในเรื่องของปัญหาด้านแสงสว่างแม้ว่าจะมีทั้งแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ แต่ยังคงไม่สามารถให้แสงสว่างที่เหมาะสมในพื้นที่ทำงานได้ โดยมีบางพื้นที่ที่มืดเกินไป

ห้องเรียนห้องสุดท้าย คือ ห้องปฏิบัติการเขียนแบบ (ห้อง 2401) ซึ่งเป็นห้องสตูดิโอออกแบบที่ชั้น 4 ของอาคาร มีขนาดกว้าง 8x24 เมตร มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุของพื้น 0.2 ผนัง 0.6 และฝ้าเพดาน 0.8 มีหน้าต่างหันไปทั้งหันไปทางทิศใต้

และทิศตะวันตก เป็นห้องที่มีแสงธรรมชาติเข้าตลอดทั้งวัน ห้องนี้ใช้โคมตะแกรงโดยหลอดไฟ Fluorescent (หลอดฟลูออเรสเซนต์) อุณหภูมิสีของแสง 6500K

ตาราง 2 สภาพแสงสว่างในปัจจุบันของห้องเรียนในกรณีศึกษา

	ห้องเรียนขนาดเล็ก	ห้องเรียนขนาดกลาง	ห้องปฏิบัติการเขียนแบบ
Electric Lights Off, Internal Blinds Up			
Electric Lights On, Internal Blinds Up			

ที่มา: ผู้วิจัย, 2568

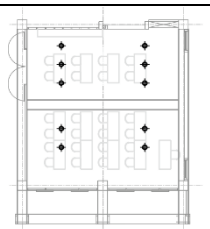
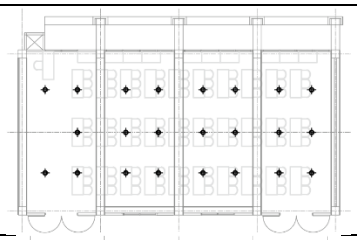
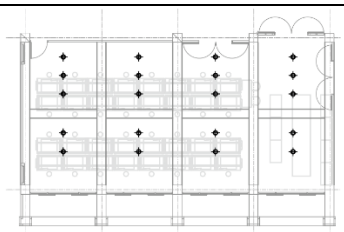
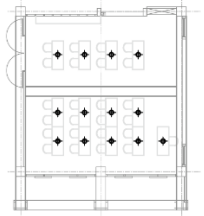
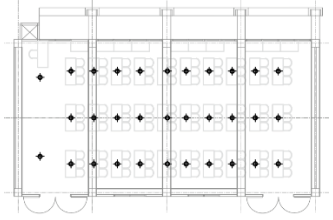
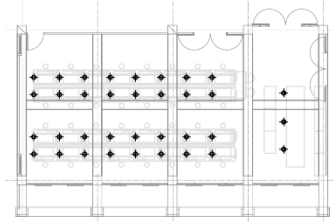
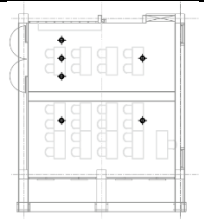
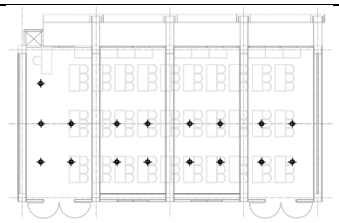
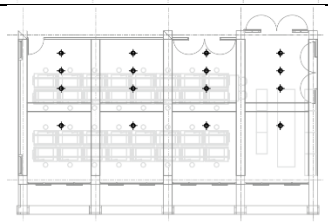
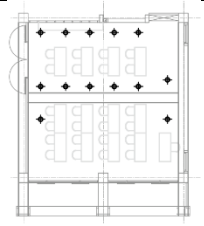
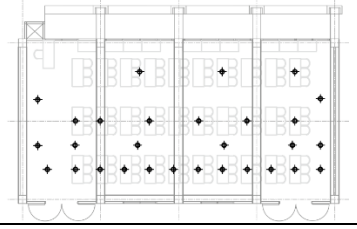
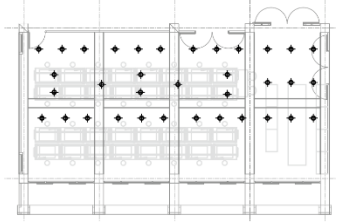
อุปกรณ์ในการดำเนินงาน

การศึกษาเป็นการจำลองแสงธรรมชาติโดยใช้โปรแกรม DIALux Evo 13 โดยการคำนวณปริมาณแสงมาเปรียบเทียบกับค่าเกณฑ์ความส่องสว่างภายในห้องเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในสภาวะท้องฟ้าแบบเมฆเต็มท้องฟ้า (overcast sky) ในการหาความเชื่อมั่นของโปรแกรมดังกล่าว ค่าที่จำลองในบริเวณจุดกึ่งกลางของห้องเรียนขนาดกลาง ถูกนำมาทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องวัดแสงสว่าง (Lux meter) รุ่น KIMO HQ 210 Thermo-hygrometer-Air quality สามารถวัดค่าความส่องสว่าง (illuminance) พร้อมกันได้สูงสุด 6 ครั้ง ได้มาตรฐาน ISO 9000 ซึ่งเป็นเครื่องมือประจำของศูนย์วิจัย ศูนย์นวัตกรรมและเทคโนโลยีทางอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยทำการวัดวันและเวลาที่ตรงกัน ซึ่งได้แก่ 21 ธันวาคม 2567 โดยทำการวัดทุกชั่วโมงระหว่างเวลา 9:00 ถึง 16:00 ตามตารางเรียน และกำหนดระยะการใช้งานที่ 0.75 เมตรจากพื้น โดยผลการศึกษาในการเปรียบเทียบพบว่า ความคลาดเคลื่อนของผลจากโปรแกรมและผลการวัดจากสภาพแวดล้อมจริงอยู่ในระดับไม่เกินร้อยละ 10 เมื่อเปรียบเทียบกับ DIALux Evo 5.1 (Salata et al., 2016) ดังนั้นจึงใช้โปรแกรม DIALux Evo 13 ซึ่งเป็นรุ่นพัฒนาล่าสุด ณ ปัจจุบันในการจำลองผลการศึกษาครั้งนี้

การศึกษาครั้งนี้ใช้โปรแกรม DIALux Evo 13 ซึ่งมีจุดเด่นในการออกแบบและจำลองระบบแสงสว่างทั้งภายในและภายนอกอาคารสามารถจำลองแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ได้อย่างสมจริง และสามารถคำนวณค่าความส่องสว่าง (illuminance) และแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบภาพสามมิติและข้อมูลเชิงตัวเลข จึงสามารถประเมินและปรับปรุงการออกแบบแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ (DIALuxEvo, (n.d.)) จากการศึกษาหลายการศึกษาพบว่า ผลจากการคำนวณค่าความส่องสว่าง (lux) โดย DIALux Evo 13 นั้นไม่แตกต่าง

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากผลที่เก็บบันทึกในสถานที่จริง และนอกจากนี้หลายการศึกษาใช้โปรแกรม DIALux จำลองแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์อย่างแพร่หลาย (Bora, et al., 2023; Lattasit Prasertseree & Nuanwan Tuaycharoen, 2025)

ตาราง 3 รูปแบบการจัดวางแนวโคมไฟ

การจัดวางแนวโคมไฟ	ห้องเรียน		
	ห้องเรียนขนาดเล็ก	ห้องเรียนขนาดกลาง	ห้องปฏิบัติการเขียนแบบ
การจัดวางรูปแบบเดิม			
การจัดวางโดยอ้างอิงการใช้งาน			
การจัดวางแบบการจัดวางแบบหลีกเลี่ยงแสงธรรมชาติ			
การจัดวางแบบกระจาย			

ที่มา: ผู้วิจัย, 2568

วิธีดำเนินการ

การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการจำลองแสงธรรมชาติในช่วงเวลา 9.00–16.00 น. ตามตารางเรียนของนิสิตคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยจำลองผลแสงธรรมชาติทุก ๆ ชั่วโมง จำลองทั้งหมด 4 วัน ได้แก่ 21 ธันวาคม (Winter Solstice) 21 มีนาคม (Vernal Equinox) 21 มิถุนายน (Summer Solstice) และ 21 กันยายน (Autumnal Equinox) การศึกษาครั้งนี้กำหนดระยะการใช้งานที่ 0.75 เมตรจากพื้น และห้องเรียนขนาดเล็ก มีจุดวัด 16 จุด ห้องเรียนขนาดกลาง มีจุดวัด 32 จุด และห้องปฏิบัติการเขียนแบบ มีจุดวัด 32 จุด ในทุกระยะห่างจากผนัง 1 เมตร และห่างจากจุดวัดต่อจุดวัด 2 เมตร (กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, 2564)

ตัวแปรต้น ตัวแปรต้นในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ได้แก่ ชนิดของหลอดไฟ และการจัดวางแนวโคมไฟที่ใช้กับห้องเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 3 ห้องเรียน ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกศึกษาการเปรียบเทียบชนิดของหลอดไฟในเบื้องต้น โดยหลอดไฟแต่ละรูปแบบที่นำมาใช้ศึกษาจะติดตั้งทั้งหลอดไฟและโคมไฟที่เหมาะสมกับหลอดดังกล่าว โดยไม่ได้ศึกษาการเปรียบเทียบชนิดของโคมไฟในหลาย ๆ รูปแบบ เนื่องจากด้วยงบประมาณที่จำกัดของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ดังนั้นแนวทางในการปรับปรุงแสงสว่างจึงเป็นการปรับเปลี่ยนโคมไฟและหลอดไฟที่มีการสนับสนุนจากเอกชนในปัจจุบันกับทางคณะฯ เท่านั้น

ตัวแปรต้นที่ 1 : ชนิดของหลอดไฟ ประกอบด้วย 3 ชนิด ดังนี้

- หลอด LED ชนิด E27 เนื่องจากเป็นหลอดไฟชนิดใหม่ที่มีการพัฒนาขึ้นในปัจจุบัน โดย E27 มีคุณลักษณะเป็นขั้วเกลียวมาตรฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย มีแรงดันไฟฟ้า 220–240V ลักษณะฟุ้งแสง มีข้อดีในด้านการประหยัดพลังงานและมีอายุการใช้งานที่นาน โดยติดตั้งเข้ากับโคมติดลอยเนื่องจากห้องเรียนไม่มีการติดตั้งฝ้า

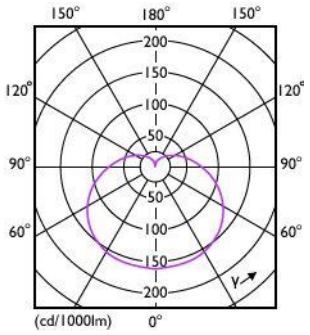
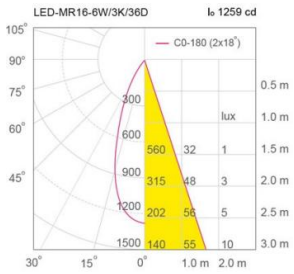
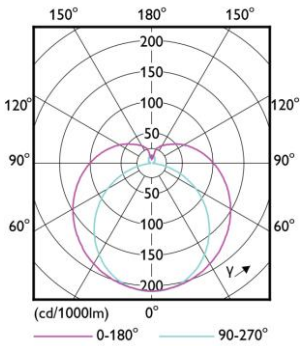
- หลอด LED ชนิด MR16 เนื่องจากเป็นหลอดไฟชนิดใหม่ที่มีการพัฒนาขึ้นในปัจจุบัน โดย MR16 มีคุณลักษณะเป็นขั้วแบบสองขา (GU5.3) แรงดันต่ำ (12V) ซึ่งต้องใช้หม้อแปลงไฟฟ้าเพิ่มเติม มีลักษณะเป็นไฟส่องเฉพาะจุด มีข้อดีในด้านการประหยัดพลังงานและอายุการใช้งานที่นานขึ้น โดยติดตั้งเข้ากับโคมติดลอยเนื่องจากห้องเรียนไม่มีการติดตั้งฝ้า

- หลอดฟลูออเรสเซนต์ เนื่องจากเป็นหลอดไฟที่ใช้ดั้งเดิมในห้องเรียน โดยหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดไฟที่ใช้หลักการการเรืองแสงจากการปล่อยอิเล็กตรอน ประสิทธิภาพการส่องสว่างสูง โดยติดตั้งเข้ากับโคมติดลอยเนื่องจากห้องเรียนไม่มีการติดตั้งฝ้า

โดยมีรายละเอียดคุณสมบัติและติดตั้งภายใต้โคมไฟ ดังต่อไปนี้

ตาราง 4 ชนิดและคุณลักษณะของหลอดไฟ

ชนิดของหลอดไฟ			
	หลอด LED ชนิด E27	**หลอด LED ชนิด MR16**	**หลอดฟลูออเรสเซนต์**
Luminous Efficacy	108.00 lm/W	67.00 lm/W	161.00 lm/W
Luminous Flux	1,300 lm	400 lm	2,100 lm
Lamp Power	13 W	6 W	13 W
Beam Angle	200 degree(s)	36 degree(s)	190 degree(s)
Voltage	220–240 V	12V AC/DC	220–240 V
Lighting Technology	LED	LED	T8
Correlated Color Temperature (K)	6500 K	6500 K	6500 K
Color rendering index (CRI)	90	80	80
หลอดไฟ	Philips	L&E	Philips

ชนิดของหลอดไฟ			
	หลอด LED ชนิด E27	**หลอด LED ชนิด MR16**	**หลอดฟลูออเรสเซนต์**
light distribution			
โคมไฟ	โคมดาวไลท์ติดลอย 1xE27	โคมดาวไลท์ติดลอย 1xMR16	โคมตะแกรงติดลอย 1xT8

ที่มา: โคมดาวไลท์ติดลอย โดย Lighting & Equipment, (n.d.). (https://lightingshoponline.com/th/products/indoor/lamp-downlight/d-l-lumax-white-4-inch.html); หลอด LED, L&E MR16 โดย Lighting & Equipment, (n.d.). (https://lightingshoponline.com/th/lamp-12-l0157.html); LED lamps E27 by Philips, (n.d.). (https://www.lighting.philips.com/prof/led-lamps-and-tubes/led-bulbs/led-lamps/929003008509_EU/product); MASTER LEDtube T8 by Philips, (n.d.). (https://www.lighting.philips.co.th/prof/led-lamps-and-tubes/led-tubes/master-ledtube-t8/929003806208_EU/product); Slim recessed mounted louver luminaire by SECO Ligthing, (n.d.). (http://secolighting.com/test.asp?p=63)

ตัวแปรต้นที่ 2: รูปแบบการจัดวางดวงโคม 4 รูปแบบ

- การจัดวางรูปแบบเดิม เนื่องจากเป็นผังการจัดวางที่ใช้ดั้งเดิมในห้องเรียน โดยเป็นการจัดวางผังไฟในรูปแบบเดิม โดยเปลี่ยนชนิดของหลอดไฟ เพื่ออ้างอิงข้อมูลเดิมสำหรับความสะดวกในการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ในห้องเรียนของมหาวิทยาลัย : กรณีศึกษาคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มากที่สุด
- การจัดวางโดยอ้างอิงการใช้งาน เนื่องจากเป็นผังการจัดวางที่ให้แสงลงบนโต๊ะเรียนโดยตรง โดยเป็นการจัดวางผังไฟโดยอ้างอิงผู้ใช้งานเป็นหลัก เน้นวางผังเพียงบริเวณที่ใช้งาน
- การจัดวางแบบการจัดวางแบบหลีกเลี่ยงแสงธรรมชาติ ผังดังกล่าวมีการจัดวางโดยพิจารณาจากปริมาณแสงธรรมชาติเป็นหลัก โดยจะเป็นผังการจัดวางที่ให้มีจำนวนดวงโคมลดลงในบริเวณที่ได้รับแสงธรรมชาติมาก เพื่อเป็นการปรับปรุงค่าความสม่ำเสมอของแสงในห้องดังกล่าว
- การจัดวางแบบกระจาย เป็นการปรับปรุงพัฒนารูปแบบการจัดวางจากการจัดวางแบบหลีกเลี่ยงแสงธรรมชาติ เพื่อให้มีค่าความสม่ำเสมอของแสงเพิ่มขึ้น โดยจะเป็นผังการจัดวางที่ให้มีจำนวนดวงโคมลดลงในบริเวณที่ได้รับแสงธรรมชาติมากและจะวางผังไฟโดยไม่อ้างอิงระยะกริด แต่จะมีการกระจายไปตามจุดมืดในห้องดังกล่าว

รูปแบบห้องที่แตกต่างกันทั้งรูปร่างห้องและการจัดวางเฟอร์นิเจอร์จะมีผลในการเลือกรูปแบบการจัดวางโคมแบบอ้างอิงการใช้งานตามเฟอร์นิเจอร์ดังกล่าว และในส่วนการจัดวางแบบการจัดวางแบบหลีกเลี่ยงแสงธรรมชาติจะมีตำแหน่งแตกต่างกันในแต่ละห้องรวมถึงรูปแบบการจัดวางแบบกระจายจะมีรูปแบบแตกต่างกันในแต่ละห้องเช่นกัน

ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะนำค่าเฉลี่ยของการส่องสว่างทั้งปีจาก 4 วัน (21 ธันวาคม 21 มีนาคม 21 มิถุนายน และ 21 กันยายน) มาเทียบกับเกณฑ์ 300–500 lux สำหรับห้องเรียนขนาดเล็กและห้องเรียนขนาดกลาง และเทียบกับเกณฑ์ 500–1000 lux ห้องปฏิบัติการเขียนแบบ เกณฑ์ในการพิจารณารูปแบบที่ดีที่สุดมี 2 ลักษณะ 1) หากมีรูปแบบที่ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยทั้งปีอยู่ในเกณฑ์หลายรูปแบบ และมีจำนวนช่วงเวลาที่มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ไม่ผ่านเกณฑ์เท่ากัน การสรุปผลจะนำผลค่าเฉลี่ยความสม่ำเสมอของแสงทั้งปีที่สูงที่สุดมาเป็นเกณฑ์ในการตัดสินรูปแบบที่เหมาะสมที่สุด โดยการวิเคราะห์ดังกล่าวได้ใช้ในหลายการศึกษาทางด้านแสงสว่างในอดีต (Bora et al., 2023; Lattasit Prasertseree, Nuanwan Tuaycharoen, 2025) โดยค่าเฉลี่ยความสม่ำเสมอของแสงทั้งปีนั้นเกิดจากการนำค่าเฉลี่ยความสม่ำเสมอของแต่ละช่วงเวลา (ค่าความส่องสว่างต่ำที่สุด/ค่าความส่องสว่างเฉลี่ย ณ ช่วงเวลานั้น) มาหาค่าเฉลี่ยทั้งปี 2) หากมีรูปแบบที่ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยทั้งปีอยู่ในเกณฑ์หลายรูปแบบ และค่าความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยทั้งปีแตกต่างกันไม่มากนั้น จะใช้จำนวนช่วงเวลาที่มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ผ่านเกณฑ์ที่มากที่สุดเป็นเกณฑ์ในการเลือกรูปแบบที่ดีที่สุด

ผลการศึกษา

ห้องเรียนขนาดเล็ก

ตาราง 5 แสดงผลเปรียบเทียบการจำลองแสงตลอดทั้งปีของห้องเรียนขนาดเล็ก

ห้องเรียนขนาดเล็ก													
รูปแบบการจัดวางดวงโคม	ช่วงเวลาจำลองแสงธรรมชาติ	E27				MR16				ฟลูออเรสเซนต์			
		Minimum (Lux)	Average (Lux)	Maximum (Lux)	Uniformity	Minimum (Lux)	Average (Lux)	Maximum (Lux)	Uniformity	Minimum (Lux)	Average (Lux)	Maximum (Lux)	Uniformity
การจัดวางรูปแบบเดิม	21 ธันวาคม	110.463	341.750	3095.375	0.329	51.625	287.125	3045.875	0.17	117.050	376.125	3112.625	0.311
	21 มีนาคม	123.213	401.125	3874.250	0.313	62.575	346.750	3824.375	0.180	131.913	435.375	3890.625	0.304
	21 มิถุนายน	125.263	411.375	4007.125	0.308	64.463	357.250	3957.875	0.180	134.325	445.625	4024.250	0.303
	21 กันยายน	122.675	400.250	3859.625	0.310	62.388	345.750	3811.500	0.180	131.913	435.375	3890.625	0.304
	เฉลี่ยรวม	120.404	388.625	3709.094	0.315	60.263	334.219	3659.906	0.178	128.800	423.125	3729.531	0.306
การจัดวางโดยอ้างอิงการใช้งาน	21 ธันวาคม	113.613	378.000	3154.500	0.304	51.813	306.125	3074.000	0.168	105.113	421.375	3180.000	0.251
	21 มีนาคม	125.275	437.875	3933.000	0.289	62.613	366.125	3958.125	0.169	117.475	480.250	3957.375	0.245
	21 มิถุนายน	127.338	448.250	4067.000	0.286	64.463	376.250	4080.625	0.169	119.538	490.500	4091.000	0.244
	21 กันยายน	125.225	436.875	3918.625	0.290	62.425	365.125	3937.250	0.169	117.313	479.250	3943.375	0.245
	เฉลี่ยรวม	122.863	425.250	3768.281	0.292	60.329	353.406	3762.500	0.169	114.860	467.844	3792.938	0.246
การจัดวางแบบการจัดวางแบบหลีกเลี่ยงแสงธรรมชาติ	21 ธันวาคม	73.450	300.750	3057.125	0.249	50.250	276.000	3038.125	0.180	83.263	372.375	3063.750	0.223
	21 มีนาคม	85.575	360.375	3835.250	0.238	61.763	335.750	3816.875	0.184	95.538	432.125	3842.250	0.221
	21 มิถุนายน	87.438	370.500	3969.500	0.238	63.750	346.000	3950.750	0.185	97.688	442.375	3976.000	0.221
	21 กันยายน	85.338	359.375	3821.625	0.239	61.563	334.500	3804.125	0.185	95.400	431.250	3828.875	0.221
	เฉลี่ยรวม	82.950	347.750	3670.875	0.241	59.332	323.063	3652.469	0.184	92.972	419.531	3677.719	0.222
การจัดวางแบบกระจาย	21 ธันวาคม	79.750	366.00	3071.125	0.248	51.450	298.125	3039.125	0.171	70.925	350.000	3071.375	0.220
	21 มีนาคม	92.138	425.750	3851.750	0.238	63.475	358.00	3818.125	0.176	82.950	409.125	3850.125	0.220
	21 มิถุนายน	94.300	436.00	3984.875	0.238	65.550	368.250	3951.875	0.176	85.025	419.500	3984.000	0.220
	21 กันยายน	91.850	424.375	3837.250	0.238	63.275	357.125	3803.625	0.175	82.738	408.250	3836.625	0.220
	เฉลี่ยรวม	89.510	413.031	3686.250	0.241	60.938	345.375	3653.188	0.175	80.409	396.719	3685.531	0.220

ที่มา: ผู้วิจัย, 2568

ตาราง 5 แสดงผลเปรียบเทียบการจำลองแสงตลอดทั้งปีของห้องเรียนขนาดเล็ก แสดงให้เห็นว่า ความส่องสว่างเฉลี่ย (average) ทั้ง 12 รูปแบบ ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน IES (300–500 lux) โดยภาพรวมการใช้หลอด E27 MR16 และหลอดฟลูออเรสเซนต์ไม่ว่าจะเป็นการจัดวางรูปแบบใดจะมีเพียงค่าความส่องสว่างเฉลี่ยในช่วงเวลา 16.00 น. ที่ไม่ผ่านเกณฑ์เท่านั้น ดังนั้นจึงใช้ค่าความสม่ำเสมอของแสง (uniformity) สูงสุดในการเปรียบเทียบข้อมูลเพื่อหารูปแบบที่ดีที่สุด ผลการศึกษาพบว่าการใช้หลอดไฟ LED ชนิด E27 ในรูปแบบการจัดวางรูปแบบเดิมนั้นเหมาะสมที่สุด โดยมีระดับความส่องสว่างเฉลี่ย (average) ทั้งปีอยู่ที่ 388.625 lux ซึ่งอยู่ในเกณฑ์

มาตรฐาน IES (300-500 lux) และรูปแบบดังกล่าวก่อให้เกิดค่าเฉลี่ยของค่าความส่องสว่างต่ำสุด (minimum) ทั้งปีอยู่ที่ 120.404 lux โดยค่าเฉลี่ยของความส่องสว่างสูงที่สุด (maximum) ทั้งปีอยู่ที่ 3709.094 lux นอกจากนี้รูปแบบดังกล่าวยังก่อให้เกิดค่าสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยทั้งปีที่สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบอื่น ๆ โดยมีค่าความสม่ำเสมอของแสง (uniformity) มีค่าเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ 0.315

ห้องเรียนขนาดกลาง

ตาราง 6 แสดงผลเปรียบเทียบการจำลองแสงตลอดทั้งปีของห้องเรียนขนาดกลาง

ห้องเรียนขนาดกลาง													
รูปแบบการจัดวางดวงโคม	ช่วงเวลาจำลองแสงธรรมชาติ	E27				MR16				ฟลูออเรสเซนต์			
		Minimum (Lux)	Average (Lux)	Maximum (Lux)	Uniformity	Minimum (Lux)	Average (Lux)	Maximum (Lux)	Uniformity	Minimum (Lux)	Average (Lux)	Maximum (Lux)	Uniformity
การจัดวางรูปแบบเดิม	21 ธันวาคม	16.850	263.250	1031.125	0.084	6.841	190.250	975.625	0.056	14.475	308.375	1070.125	0.047
	21 มีนาคม	18.488	292.750	1273.375	0.083	8.179	219.750	1223.875	0.057	15.638	333.250	1278.000	0.047
	21 มิถุนายน	18.800	298.250	1315.125	0.083	8.410	225.250	1266.500	0.057	15.713	336.125	1299.750	0.047
	21 กันยายน	18.400	292.500	1269.00	0.089	8.155	219.500	1219.500	0.057	15.600	332.875	1274.000	0.047
	เฉลี่ยรวม	18.135	286.688	1222.156	0.085	7.896	213.688	1171.375	0.057	15.357	327.656	1230.469	0.047
การจัดวางโดยอ้างอิงการใช้งาน	21 ธันวาคม	19.488	282.00	1041.875	0.089	10.300	201.250	973.500	0.051	18.025	323.250	1059.375	0.056
	21 มีนาคม	21.663	311.750	1281.875	0.089	12.015	230.750	1219.500	0.052	19.750	352.250	1298.125	0.056
	21 มิถุนายน	22.038	316.750	1323.250	0.089	12.313	236.000	1261.875	0.052	20.075	357.500	1339.500	0.056
	21 กันยายน	21.625	311.125	1278.00	0.088	11.979	230.250	1215.375	0.052	19.688	351.875	1294.125	0.056
	เฉลี่ยรวม	21.204	305.406	1231.250	0.089	11.652	224.563	1167.563	0.052	19.385	346.219	1247.781	0.056
การจัดวางแบบการจัดวางแบบหลีกเลี่ยงแสงธรรมชาติ	21 ธันวาคม	11.748	225.250	1001.750	0.091	6.418	172.000	971.125	0.067	13.214	325.500	1027.750	0.050
	21 มีนาคม	13.254	254.750	1243.500	0.090	7.769	201.750	1219.125	0.068	14.838	354.875	1267.750	0.052
	21 มิถุนายน	13.493	259.875	1285.375	0.090	8.000	206.750	1261.875	0.068	15.152	360.125	1309.000	0.052
	21 กันยายน	13.201	254.250	1239.500	0.090	7.743	201.125	1215.000	0.068	14.825	354.625	1263.625	0.052
	เฉลี่ยรวม	12.924	248.531	1192.531	0.090	7.483	195.406	1166.781	0.068	14.507	348.781	1217.031	0.052
การจัดวางแบบกระจาย	21 ธันวาคม	18.813	282.000	1030.500	0.121	10.868	199.000	974.250	0.064	18.875	340.875	1059.000	0.055
	21 มีนาคม	20.650	311.750	1270.875	0.121	12.859	228.750	1221.125	0.066	20.775	370.125	1299.000	0.056
	21 มิถุนายน	20.938	316.750	1312.250	0.121	13.213	233.750	1263.500	0.066	21.113	375.250	1340.250	0.056
	21 กันยายน	20.575	311.125	1266.625	0.121	12.811	228.125	1217.250	0.066	20.713	369.750	1294.750	0.056
	เฉลี่ยรวม	**20.244**	**305.406**	**1200.063**	0.121	12.438	222.406	1169.031	0.065	20.369	364.000	1248.250	0.056

ที่มา: ผู้วิจัย, 2568

ตาราง 6 แสดงผลเปรียบเทียบการจำลองแสงตลอดทั้งปีของห้องเรียนขนาดกลาง แสดงให้เห็นว่าความส่องสว่างเฉลี่ย (average) ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน IES (300–500 lux) ทั้งหมด 5 รูปแบบ ได้แก่ หลอดไฟ LED ชนิด E27 ในรูปแบบการจัดวางโดยอ้างอิงการใช้งานและการจัดวางแบบกระจาย หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ในรูปแบบการจัดวางรูปแบบเดิม การจัดวางโดยอ้างอิงการใช้งาน การจัดวางแบบการจัดวางแบบหลีกเลี่ยงแสงธรรมชาติ และการจัดวางแบบกระจาย โดยภาพรวมการใช้หลอด E27 MR16 และหลอดฟลูออเรสเซนต์ไม่ว่าจะเป็นการจัดวางรูปแบบใดจะมีเพียงค่าความส่องสว่างเฉลี่ยในช่วงเวลา 9.00 น. และ 16.00 น. ที่ไม่ผ่านเกณฑ์เท่านั้น ดังนั้นจึงใช้ค่าความสม่ำเสมอของแสง (uniformity) สูงสุดในการเปรียบเทียบข้อมูลรูปแบบที่ดีที่สุด ผลการศึกษาพบว่า การใช้หลอดไฟ LED ชนิด E27 ในรูปแบบการจัดวางดวงโคมโดยการจัดวางแบบกระจายนั้นเหมาะสมที่สุด โดยมีระดับความส่องสว่างเฉลี่ย (average) ทั้งปีอยู่ที่ 305.406 lux ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน IES (300–500 lux) และค่าเฉลี่ยของค่าความส่องสว่างต่ำสุด (minimum) ทั้งปีอยู่ที่ 20.244 lux โดยค่าเฉลี่ยของความส่องสว่างสูงสุด (maximum) ทั้งปีอยู่ที่ 1200.063 lux นอกจากนี้รูปแบบดังกล่าวยังก่อให้เกิดค่าสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยทั้งปีที่สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบอื่น ๆ โดยมีค่าความสม่ำเสมอของแสง (uniformity) มีค่าเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ 0.121

ห้องปฏิบัติการเขียนแบบ

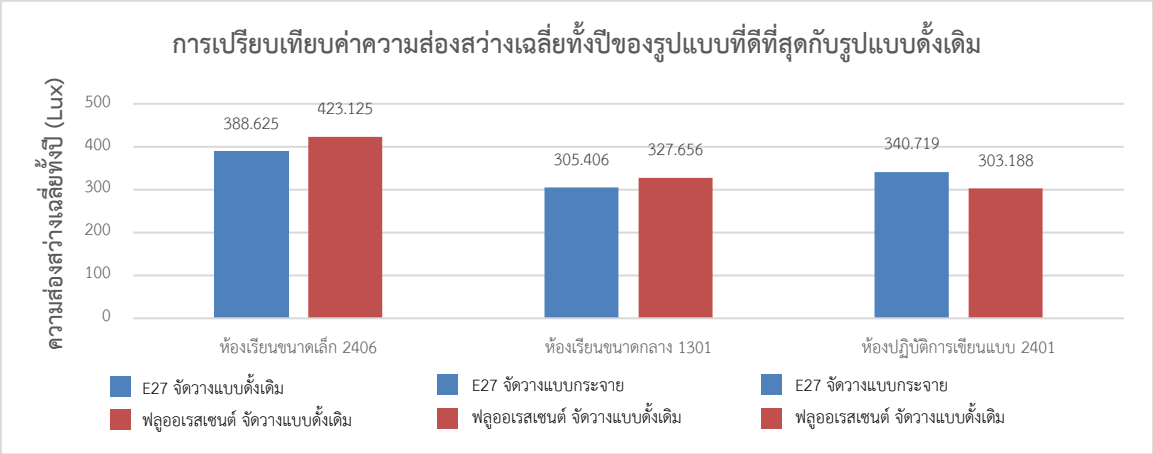
ตาราง 7 แสดงผลเปรียบเทียบการจำลองแสงตลอดทั้งปีของห้องปฏิบัติการเขียนแบบ

ห้องปฏิบัติการเขียนแบบ													
รูปแบบการจัดวางดวงโคม	ช่วงเวลาจำลองแสงธรรมชาติ	E27				MR16				ฟลูออเรสเซนต์			
		Minimum (Lux)	Average (Lux)	Maximum (Lux)	Uniformity	Minimum (Lux)	Average (Lux)	Maximum (Lux)	Uniformity	Minimum (Lux)	Average (Lux)	Maximum (Lux)	Uniformity
การจัดวางรูปแบบแต่ม	21 ธันวาคม	24.125	245.250	3568.000	0.099	14.949	197.150	3516.000	0.076	27.113	272.125	3588.125	0.098
	21 มีนาคม	27.038	285.250	4469.250	0.095	1 7.663	236.750	4434.875	0.075	31.800	311.625	4490.875	0.101
	21 มิถุนายน	27.563	292.000	4624.375	0.095	18.163	243.750	4572.500	0.075	32.600	318.250	4646.250	0.102
	21 กันยายน	27.000	284.000	4453.750	0.095	18.413	247.250	4650.250	0.074	31.675	310.750	4475.125	0.101
	เฉลี่ยรวม	26.432	276.625	4278.844	0.096	17.175	231.225	4293.406	0.075	30.797	303.188	4300.094	0.101
การจัดวางโดยอ้างอิงการใช้งาน	21 ธันวาคม	26.388	243.125	3570.250	0.110	14.250	182.713	3515.250	0.080	29.838	263.250	3565.875	0.114
	21 มีนาคม	29.300	282.875	4471.625	0.104	16.895	222.375	4416.625	0.077	32.825	302.500	4465.750	0.109
	21 มิถุนายน	29.838	289.750	4626.750	0.104	17.338	229.250	4571.625	0.076	33.338	309.375	4612.375	0.108
	21 กันยายน	29.200	282.250	4456.125	0.105	16.831	221.625	4401.125	0.077	32.788	301.625	4445.500	0.110
	เฉลี่ยรวม	28.682	274.500	4281.188	0.106	16.329	213.991	4226.156	0.078	32.197	394.188	4272.375	0.110
การจัดวางแบบการจัดวางแบบหลีกเลี่ยงแสงธรรมชาติ	21 ธันวาคม	19.325	228.250	3536.375	0.113	14.586	189.713	3510.500	0.078	32.875	303.000	3555.500	0.107
	21 มีนาคม	21.925	267.875	4437.750	0.108	17.338	229.375	4411.625	0.076	36.775	342.625	4450.250	0.108
	21 มิถุนายน	22.375	274.875	4593.125	0.107	17.813	236.250	4566.750	0.076	37.538	349.625	4605.500	0.110
	21 กันยายน	20.738	249.875	4028.000	0.109	17.290	228.875	4369.000	0.076	36.675	342.000	4436.375	0.109
	เฉลี่ยรวม	21.091	255.219	4148.813	0.109	16.757	221.053	4214.469	0.077	35.966	334.313	4261.906	0.109
การจัดวางแบบกระจาย	21 ธันวาคม	29.163	309.250	3577.750	0.125	23.813	254.625	3623.500	0.093	27.913	298.375	3537.750	0.094
	21 มีนาคม	31.775	349.125	4477.250	0.122	26.850	289.750	4422.375	0.093	31.150	337.875	4439.125	0.093
	21 มิถุนายน	32.238	356.000	4632.375	0.121	27.613	296.625	4577.000	0.093	31.675	344.750	4594.250	0.092
	21 กันยายน	31.725	348.500	4461.750	0.122	27.000	289.000	4407.125	0.093	31.113	337.375	4423.375	0.093
	เฉลี่ยรวม	**31.225**	**340.719**	**4287.281**	0.123	26.319	282.500	4257.500	0.093	30.463	329.594	4248.625	0.093

ที่มา: ผู้วิจัย, 2568

ตาราง 7 แสดงผลเปรียบเทียบการจำลองแสงตลอดทั้งปีของห้องปฏิบัติการเขียนแบบ แสดงให้เห็นว่า ความส่องสว่างเฉลี่ย (average) ของทุกรูปแบบไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน IES (500–1000 lux) โดยภาพรวมการใช้หลอด E27 MR16 และหลอดฟลูออเรสเซนต์ไม่ว่าจะเป็นการจัดวางรูปแบบใดจะไม่มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยในช่วงใดผ่านเกณฑ์ ดังนั้นจึงใช้ค่าความสม่ำเสมอของแสง (uniformity) สูงที่สุดในการเปรียบเทียบข้อมูลเพื่อหารูปแบบที่ดีที่สุด ผลการศึกษาพบว่า การใช้หลอดไฟ LED ชนิด E27 ในรูปแบบการจัดวางดวงโคมโดยการจัดวางแบบกระจายนั้นเหมาะสมที่สุด โดยมีค่าระดับความส่องสว่างเฉลี่ย (average) ทั้งปีอยู่ที่ 340.719 lux ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน IES (500–1000 lux) และค่าเฉลี่ยรวมของค่าความส่องสว่างต่ำสุด (minimum) ทั้งปีอยู่ที่ 31.225 lux โดยค่าเฉลี่ยรวมความส่องสว่างสูงสุด (maximum) ทั้งปีอยู่ที่ 4287.281 lux นอกจากนี้รูปแบบดังกล่าวยังก่อให้เกิดค่าสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยทั้งปีที่สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบอื่น ๆ โดยมีค่าความสม่ำเสมอของแสง (uniformity) มีค่าเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ 0.123

การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างเฉลี่ยทั้งปีของรูปแบบที่ดีที่สุดกับรูปแบบดั้งเดิม

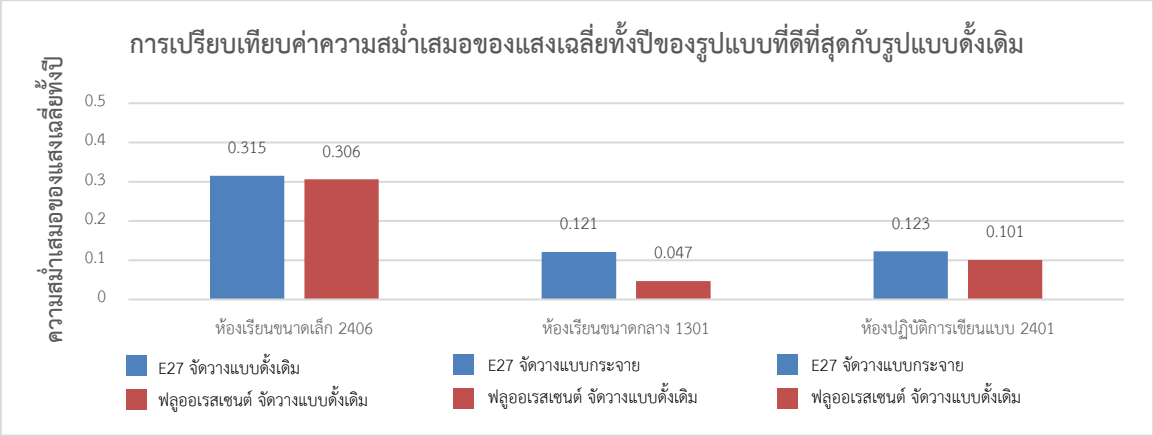


ภาพ 1 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างเฉลี่ยทั้งปีของรูปแบบที่ดีที่สุดกับรูปแบบดั้งเดิม

ที่มา: ผู้วิจัย, 2568

ภาพ 1 แสดงแผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างเฉลี่ยทั้งปีของรูปแบบที่ดีที่สุดกับรูปแบบดั้งเดิม ผลการศึกษาของห้องเรียนขนาดเล็ก พบว่า ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยทั้งปีของรูปแบบที่ดีที่สุด (LED ชนิด E27 ในรูปแบบการจัดวางรูปแบบเดิม) มีค่า 388.625 lux โดยมีค่าต่ำกว่ารูปแบบดั้งเดิม (ฟลูออเรสเซนต์ ในรูปแบบการจัดวางรูปแบบเดิม) ที่มีค่า 423.125 lux โดยผลการศึกษาของห้องเรียนขนาดกลาง พบว่า ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยทั้งปีของรูปแบบที่ดีที่สุด (LED ชนิด E27 ในรูปแบบการจัดวางรูปแบบกระจาย) มีค่า 305.406 lux โดยมีค่าต่ำกว่ารูปแบบดั้งเดิม (ฟลูออเรสเซนต์ ในรูปแบบการจัดวางรูปแบบเดิม) ที่มีค่า 327.656 lux นอกจากนี้พบอีกว่า ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยทั้งปีของห้องปฏิบัติการเขียนแบบในรูปแบบที่ดีที่สุด (LED ชนิด E27 ในรูปแบบการจัดวางรูปแบบกระจาย) มีค่า 340.719 lux โดยมีค่าสูงกว่ารูปแบบดั้งเดิม (ฟลูออเรสเซนต์ ในรูปแบบการจัดวางรูปแบบเดิม) ที่มีค่า 303.188 lux โดยภาพรวมรูปแบบที่ดีที่สุดนั้นก่อให้เกิดค่าความส่องสว่างเฉลี่ยทั้งปีที่อยู่ในเกณฑ์ โดยจะมีค่าสูงกว่าและต่ำกว่ารูปแบบดั้งเดิมเล็กน้อย

การเปรียบเทียบค่าความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยทั้งปีของรูปแบบที่ดีที่สุดกับรูปแบบดั้งเดิม



ภาพ 2 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยทั้งปีของรูปแบบที่ดีที่สุดกับรูปแบบดั้งเดิม

ที่มา: ผู้วิจัย, 2568

ภาพ 2 แสดงแผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยทั้งปีของรูปแบบที่ดีที่สุดกับรูปแบบดั้งเดิม ผลการศึกษาของห้องเรียนขนาดเล็ก พบว่า ค่าความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยทั้งปีของรูปแบบที่ดีที่สุด (LED ชนิด E27 ในรูปแบบการจัดวางรูปแบบเดิม) มีค่า 0.315 โดยมีค่าสูงกว่ารูปแบบดั้งเดิม (ฟลูออเรสเซนต์ ในรูปแบบการจัดวางรูปแบบเดิม) ที่มีค่า 0.306 โดยผลการศึกษาของห้องเรียนขนาดกลาง พบว่า ค่าความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยทั้งปีของรูปแบบที่ดีที่สุด (LED ชนิด E27 ในรูปแบบการจัดวางรูปแบบกระจาย) มีค่า 0.121 โดยมีค่าสูงกว่ารูปแบบดั้งเดิม (ฟลูออเรสเซนต์ ในรูปแบบการจัดวางรูปแบบเดิม) ที่มีค่า 0.047 นอกจากนี้พบอีกว่า ค่าความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยทั้งปีของห้องปฏิบัติการเขียนแบบในรูปแบบที่ดีที่สุด (LED ชนิด E27 ในรูปแบบการจัดวางรูปแบบกระจาย) มีค่า 0.123 โดยมีค่าสูงกว่ารูปแบบดั้งเดิม (ฟลูออเรสเซนต์ ในรูปแบบการจัดวางรูปแบบเดิม) ที่มีค่า 0.101 โดยภาพรวมรูปแบบที่ดีที่สุดนั้นก่อให้เกิดค่าความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยทั้งปีที่ต่ำกว่าเกณฑ์ แต่จะมีค่าสูงกว่ารูปแบบดั้งเดิมเล็กน้อย

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลัก คือเพื่อศึกษาแนวทางการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ที่เหมาะสมในห้องเรียนของมหาวิทยาลัย โดยมีกรณีศึกษาคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ ดังนี้

ผลการศึกษาพบว่า สำหรับห้องเรียนขนาดเล็ก การใช้หลอดไฟ LED ชนิด E27 ในรูปแบบการจัดวางรูปแบบเดิมนั้นเหมาะสมที่สุด โดยพบว่า สำหรับห้องเรียนขนาดกลาง การใช้หลอดไฟ LED ชนิด E27 ในรูปแบบการจัดวางแบบกระจายนั้นเหมาะสมที่สุด และผลการศึกษายังพบอีกว่า สำหรับห้องปฏิบัติการเขียนแบบ การใช้หลอดไฟ LED ชนิด E27 ในรูปแบบการจัดวางดวงโคมโดยการจัดวางแบบกระจายนั้นเหมาะสมที่สุด

จากการวิเคราะห์ผลภาพรวมในการศึกษาครั้งนี้พบว่า โดยภาพรวมการใช้หลอดไฟ LED ชนิด E27 นั้นดีที่สุดเมื่อเทียบกับหลอดไฟชนิดอื่น ๆ โดยมีความสม่ำเสมอของแสงสูงกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ ทั้งนี้ เหตุผลน่ามาจากโคมไฟของหลอดดังกล่าวที่เลือกใช้มีการกระจายแสงค่อนข้างกว้าง ผนวกกับการที่มีอิทธิพลของแสงธรรมชาติที่มาจากหน้าต่างทางด้านข้างที่มีแสงแดดมุมสูง โดยภาพรวมหลอด LED ชนิด E27 เป็นรูปแบบที่ค่อนข้างเหมาะสมกับการใช้งานในห้องเรียนของมหาวิทยาลัย โดยการจัดวางที่น่าจะสามารถปรับใช้ได้หากมีขนาดของห้องที่แตกต่าง และตำแหน่งและทิศทางของหน้าต่างที่ต่างกันกับการศึกษาครั้งนี้ คือควรมีการจัดวางแบบการจัดวางแบบหลีกเลี่ยงแสงธรรมชาติหรือเป็นแบบกระจายที่มีการพัฒนาจากการจัดวางแบบแยก circuit โดยควรประเมินปริมาณแสงธรรมชาติจากหน้าต่างของห้องดังกล่าวก่อน และหาพื้นที่ที่เป็นมุมมืดเพื่อใส่ดวงโคมเข้าไป อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาต่อไปเพื่อให้ได้ข้อสรุปที่ครอบคลุมและเฉพาะมากยิ่งขึ้นกับคุณลักษณะต่าง ๆ ของห้องที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาข้อมูลบริษัทผลิตหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์รายใหญ่ประกาศว่า จะยุติการผลิตภายในปลายปี พ.ศ. 2570 และเพิ่มการผลิตหลอดไฟ LED แทน ซึ่งการผลิต LED มีการคาดการณ์ว่า จะเติบโตมากขึ้นหลายเท่า โดยตลาดหลอด LED ในประเทศไทยมีการเติบโตอย่างรวดเร็ว โดยในปี ค.ศ. 2024 มีมูลค่าตลาดประมาณ 915.3 ล้านดอลลาร์สหรัฐ และคาดว่าจะเติบโตถึง 4,841.1 ล้านดอลลาร์สหรัฐภายในปี ค.ศ. 2033 ด้วยอัตราการเติบโตเฉลี่ยต่อปี (CAGR) ที่ 19.31% (IMARC, 2024) โดยการศึกษาในอดีตแสดงให้เห็นว่า เมื่อเปรียบเทียบอายุการใช้งาน หลอด LED มีอายุการใช้งานนานกว่า 50,000 ชั่วโมง เทียบกับ 8,000 ชั่วโมงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ (ชิดชนก ประสพสุข และปุณณมี สัจจกมล, 2555) ผลการศึกษาครั้งนี้เป็นการสนับสนุนแนวความคิดที่จะนำหลอดไฟ LED มาใช้ทดแทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ โดยภาพรวมหลอด LED สามารถให้ประสิทธิภาพแสงที่ดีกว่า โดยเฉพาะการใช้ในห้องเรียนในสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย

ผลการศึกษาครั้งนี้ยังมีข้อจำกัดในการศึกษา ดังต่อไปนี้

เกณฑ์ในการเลือกรูปแบบที่ดีที่สุดในการศึกษาครั้งนี้ โดยหากมีรูปแบบที่ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยทั้งปีอยู่ในเกณฑ์หลายรูปแบบ และมีจำนวนช่วงเวลาที่มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ไม่ผ่านเกณฑ์เท่ากัน การศึกษาครั้งนี้จะสรุปผลโดยเลือกใช้ค่าความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยทั้งปีเป็นเกณฑ์ในการเลือกรูปแบบที่เหมาะสมที่สุด ในการศึกษาครั้งต่อไปอาจจะพิจารณาเกณฑ์ในการเลือกรูปแบบที่ดีที่สุดอื่น ๆ เพื่อให้ได้ผลการศึกษาที่ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ผลการศึกษาจากการจำลองแสงเพื่อศึกษาแนวทางการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ในห้องเรียนที่เหมาะสมของมหาวิทยาลัยทั้งหมด 12 รูปแบบในแต่ละห้อง เนื่องจากค่าความสม่ำเสมอของแสงยังค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้ น่าจะมาจากอิทธิพลของแสงธรรมชาติ หากมีแค่อิทธิพลแสงประดิษฐ์ความสม่ำเสมอของแสงน่าจะสูงขึ้น อย่างไรก็ตามเนื่องจากในการศึกษาครั้งนี้ศึกษาแนวทางในการปรับปรุงแสงสว่างจากรูปแบบโคมไฟและหลอดไฟที่มีการสนับสนุนจากเอกชนในปัจจุบันกับทางคณะฯ เท่านั้น ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้หลอดไฟ โคมไฟ และการจัดวางในรูปแบบอื่น ๆ เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. (2564). *แนวปฏิบัติหลักของกฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัยฯ เกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549.* กรม.

ชิดชนก ประสพสุข และปุณณมี สัจจกมล. (2555). การอนุรักษ์พลังงาน และการทดแทนฟลูออเรสเซนต์ด้วย LED กรณีศึกษาบริษัทต้าชิงคอตตอนไทย. *การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ.* 2555 (หน้า 1091–1095). ชะอำ เพชรบุรี. http://www.dms.eng.su.ac.th/filebox/FileData/EEM017.pdf

ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง มาตรฐานความเข้มของแสงสว่าง พ.ศ. 2561. (2561, 21 กุมภาพันธ์). *ราชกิจจานุเบกษา.* เล่ม 135 ตอนพิเศษ 39 ง หน้า 15.

วิทยา แหลมทอง. (2563). แสงสว่างสำหรับห้องเรียนในคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. *Mahidol R2R e-Journal*, *7*(1), 149–158. https://doi.org/10.14456/jmu.2020.13

ศิรินภา จันทรโคตร และยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล. (2560). แสงสว่างสำหรับห้องเรียนในมหาวิทยาลัยขอนแก่น. *การประชุมวิชาการเทคโนโลยีอาคารด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม ครั้งที่* 4 (BTAC 2017), *4*, 227–236.

สถาบันส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน. (2560). *คู่มือฝึกอบรม การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน*. http://energyauditorthai.com/wp-content/uploads/2017/01/04-บทที่-3-ระบบแสงสว่าง.pdf

Bannamas, S., & Jirapong, P. (2015). *An intelligent lighting energy management system for commercial and residential buildings.* 2015 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA). https://doi.org/10.1109/ISGT-Asia.2015.7386986

Bishop, I. D., & Rohrmann, B. (2003). Subjective responses to simulated and real environments: A comparison. *Landscape and Urban Planning*, *65*(4), 261-277. https://doi.org/10.1016/S0169-2046(03)00070-7

Bora, R., Tuaycharoen, N., Chompunich, R., & Saenkoontaoa, J. (2023). The effect of light shelf and translucent ceiling on daylighting performance in office building in Thailand. *International Journal of Building, Urban, Interior and Landscape Technology*, *21*(2), 51–60. https://doi.org/10.56261/built.v21.251701

Castilla, N., Higuera-Trujillo, J. L., & Llinares, C. (2024). Virtual reality-based study assessing the impact of lighting on attention in university classrooms. *Journal of Building Engineering, 86,* 108902. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.108902

Castilla, N., Llinares, C., Bisegna, F., & Blanca-Giménez, V. (2018). Emotional evaluation of lighting in university classrooms: A preliminary study. *Frontiers of Architectural Research, 7*(4), 600-609. https://doi.org/10.1016/j.foar.2018.07.002

The Chartered Institution of Building Services Engineers. (2011). *LG05 lighting for education.* https://www.cibse.org/knowledge-research/knowledge-portal/lighting-guide-05-lighting-for education-2011

Commission Internationale de l´Eclairage. (2017). *Colour fidelity index for accurate scientific use.* https://cie.co.at/publications/colour-fidelity-index-accurate-scientific-use

DIALux. (n.d.). *Lighting design made easy with DIALux evo*. https://www.dialux.com/en-GB/dialux

Ibañez, C. A., Zafra, J. C. G., & Sacht, H. M. (2017). Natural and artificial lighting analysis in a classroom of technical drawing: Measurements and HDR images use. *Procedia Engineering*, *196*, 964–971. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.037

IMARC. (2024). *Thailand LED market report by product type (Panel lights, down lights, street lights, tube lights, bulbs, and others), application (commercial, residential, institutional, industrial), installation type (new installation, retrofit installation), and region 2025–2033*. https://www.imarcgroup.com/thailand-led-market?utm.com

International Commission on Illumination. (2025). *International standards.* CIE. https://www.cie.co.at/publications/international-standards

KIMO Instruments. (n.d.). *HQ 210 thermo-hygrometer - Air quality.* https://www.kimoinstruments.com/detail/hq-210-thermo-hygrometer-air-quality

Lighting & Equipment. (n.d.). *หลอด LED, L&E MR16.* https://lightingshoponline.com/th/lamp-12-l0157.html

Lighting & Equipment. (n.d.). *โคมดาวไลท์ติดลอย.* https://lightingshoponline.com/th/products/indoor/lamp-downlight/d-l-lumax-white-4-inch.html

Philips. (n.d.). *LED lamps E27*. https://www.lighting.philips.com/prof/led-lamps-and-tubes/led-bulbs/led-lamps/929003008509_EU/product

Philips. (n.d.). *MASTER LEDtube T8*. https://www.lighting.philips.co.th/prof/led-lamps-and-tubes/led-tubes/master-ledtube-t8/929003806208_EU/product

Prasertseree, L., Tuaycharoen, N. (2025). The effect of curved light shelves, ceiling and window characteristics on daylighting in Thai classrooms. *Journal of Daylighting, 12(*1), 21-39. https://doi.org/10.15627/jd.2025.2

Salata, F., Golasi, I., di Salvatore, M., & de Lieto Vollaro, A. (2016). Energy and reliability optimization of a system that combines daylighting and artificial sources: A case study carried out in academic buildings. *Applied Energy*, *169*, 250-266. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.02.022

SECO Ligthing. (n.d.). *Slim recessed mounted louver luminaire.* http://secolighting.com/test.asp?p=63

Wan, M. (2022, December 28). *School lighting: The definitive guide*. LEDYi Lighting. https://www.ledyilighting.com/school-lighting-the-definitive-guide/