การเพิ่มประสิทธิภาพแสงธรรมชาติควบคู่กับการใช้เทคโนโลยีควบคุมการหรี่ไฟเพื่อการประหยัดพลังงานในพื้นที่ทางเดินหน้าห้องพัก: กรณีศึกษา โครงพลัม คอนโดมิเนียม พหลโยธิน 89

Increase Performance of Daylighting Participate with Dimmer Sensor for Energy Saving in A Guest Room Corridor: A Case Study Off Plum Condominium Paholyothin 89

ต่อพงษ์ ลิ่มลัญจกร[1] และ พรรณชลัท สุริโยธิน[2]

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแสงธรรมชาติในพื้นที่ทางเดินหน้าห้องพัก และนำผลที่ได้มาพิจารณาร่วมกับการใช้เทคโนโลยีเพื่อการประหยัดพลังงาน ภายในโครงการพลัม คอนโดมิเนียม พหลยธิน 89 ของ บริษัท พฤกษา เรียล เอสเตท จำกัด โดยจากการเข้าสำรวจโครงการเบื้องต้น พบว่าบริเวณใกล้ช่องเปิดหน้าต่างมีความสว่างจากแสงธรรมชาติสูง ในขณะที่ส่วนลึกเข้าไปมีความสว่างไม่เพียงพอแม้จะเปิดแสงประดิษฐ์ด้วยก็ตาม อีกทั้งยังมีการเปิดแสงประดิษฐ์ไว้ตลอดทั้งวันโดยไม่คำนึงถึงประโยชน์จากแสงธรรมชาติและพฤติกรรมผู้ใช้อาคาร ทำให้มีค่าใช้จ่ายไฟฟ้าต่อเดือนสูง โดยลักษณะพื้นที่ที่ทำการศึกษาเป็นทางเดินห้องพักยาว 95 เมตร กว้าง 1.50 เมตร สูง 2.20 เมตร มีช่องเปิดหน้าต่างบริเวณโถงลิฟท์และสุดปลายทางเดินทั้งสองด้าน เลือกใช้วัสดุตกแต่งภายในที่มีสีค่อนข้างเข้ม สร้างแบบจำลองสถานการณ์แสงสว่างด้วยโปรแกรม DIALux 4.12 เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างกรณีก่อนปรับปรุงและกรณีการเพิ่มประสิทธิภาพแสงธรรมชาติ โดยในงานวิจัยนี้ จะเลือกศึกษาถึงวิธีการเพิ่มค่าสะท้อนแสงของวัสดุตกแต่งภายใน พิจารณาควบคู่กับการเปลี่ยนชนิดของหลอดไฟและการใช้เทคโนโลยีควบคุมการหรี่ไฟ วิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานและความคุ้มค่าในการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์อย่างง่าย

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มประสิทธิภาพแสงธรรมชาติโดยการการเพิ่มค่าสะท้อนแสงของวัสดุตกแต่งภายใน เปรียบเทียบกับกรณีฐานสามารถเพิ่มระยะความลึกของแสงธรรมชาติได้ 9.8% และเมื่อพิจารณาร่วมกับแสงประดิษฐ์ จะเพิ่มค่าความสว่างโดยรวมของพื้นที่ได้มากขึ้นถึง 7 lux ส่งผลดีต่อการทำงานของเทคโนโลยีควบคุมการหรี่ไฟ จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นประมาณ 5,749 บาท/อาคาร/ปี สำหรับนำไปใช้เป็นแนวทางในโครงการใหม่เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ได้มีการเพิ่มค่าสะท้อนแสงของวัสดุ และมีระยะคืนทุนเพียง 0.7 ปี สามารถนำผลการวิจัยนี้เป็นแนวทางเพื่อองค์ประกอบหนึ่งในการปรับปรุงอาคาร หรือร่วมกับงานวิจัยอื่นๆ เพื่อการประหยัดพลังงานทั้งอาคารตั้งเดิมที่มีอยู่แล้วหรืออาคารที่จะเกิดขึ้นต่อไปในอนาคต

---

[1] นิสิตปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Email: limlunjakorn@hotmail.com

[2] รองศาสตราจารย์ ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่อง การออกแบบการส่องสว่างภายในพื้นที่ทางเดินห้องพักที่อยู่อาศัยรวมเพื่อการประหยัดพลังงาน : กรณีศึกษา โครงการพฤกษาเรียลเอสเตท ซึ่งได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจาก บ. พฤกษาเรียลเอสเตท จำกัด)

ABSTRACT

In this dissertation, the researcher purposed to study the increasing efficient performance of Daylighting in a Corridor for integrating consideration and apply to Energy Saving Technology with a case study of Plum Condominium Paholyothin 89 from Pruksa Real Estate Co., Ltd. The survey of this dissertation presented that the Daylight Illumination is shown closed to provided window while another area is under standardization though the Artificial Lights turn on to be supported. Moreover provided Artificial Lights through all day without either consider of useful Daylighting or Residential's Behavior is causing high expenses of Electronic Utility per month. The selecting project with corridor area sized consisting of 95 M. Length, 1.50 M. Width, & 2.20 M. Height and provided windows at Elevator Area and both ended edge of the corridor including decorated surface of quite dark tone. This dissertation selected the research simulation of applying DIALux 4.12 Program in order to compare the capability of Daylighting both before revisory and increasing performance to Daylighting Methodology. This research study methodology for increasing reflectance factor of interior surface and consider along to the varieties of selected light bulbs and Dimmer Sensor Technology as a result to analyses the efficiency of energy saving and worthwhile to basically economical investment.

The result of dissertation is shown that the increasing reflectance factor of interior surface can improve the efficiency of Daylight's Depth 9.8% compare to before, and improve overall of average Daylight Illumination consider with artificial lighting to 7 lux, compare to before. The Dimmer Sensor also works well to proposal of Electricity Saving representing in amount up to approximately THB 5,749 / Building / Year as will be applicable to upcoming project once comparing with the existing residences. The result of dissertation is shown that the length of payback period is 0.7 Year. The result of this dissertation can be one of support information for further development or other dissertation regarding to energy saving consideration to many existing residences or upcoming ones within the future.

คำสำคัญ: พื้นที่ทางเดินหน้าห้องพัก แสงธรรมชาติ ประหยัดพลังงาน ค่าสะท้อนแสงของวัสดุ เทคโนโลยีควบคุมการหรี่ไฟ

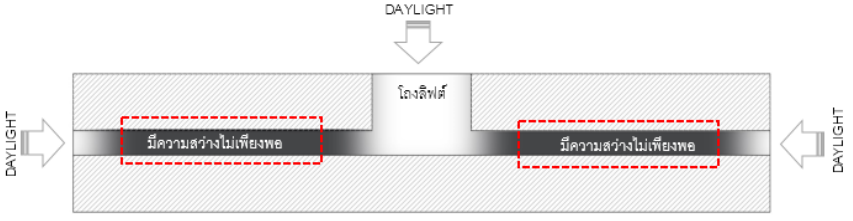
Keywords: guestroom corridor, daylighting, energy saving, reflectance factor, dimmer sensor

บทนำ

พื้นที่ทางเดินห้องพัก (guest room corridor) ของอาคารคอนโดมิเนียมในประเทศไทยมีลักษณะการวางผังที่ซ้ำกันทุกชั้น (typical corridor) ทำให้มีพื้นที่โดยรวมมากเมื่อเทียบกับสัดส่วนของพื้นที่ส่วนกลางทั้งหมด และยิ่งมากขึ้นเมื่อเป็นพื้นที่ทางเดินหน้าห้องพักของอาคารประเภทนี้ในเขตเมือง เนื่องจากในปัจจุบันพื้นที่ดังกล่าวยังไม่มีการออกแบบและจัดการพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานเกินความจำเป็น การออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแสงธรรมชาติร่วมกับการใช้เทคโนโลยีควบคุมการหรี่ไฟจะสามารถลดการใช้พลังงานได้ โดยพื้นที่ทาง

เดินห้องพักที่เลือกมาทำการวิจัยนั้น เป็นโครงการกรณีศึกษาที่ได้รับการอนุเคราะห์จาก บริษัท พฤกษา เรียลเอสเตท ที่สามารถเป็นตัวแทนคอนโดมิเนียมที่ยังไม่มีการจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างในพื้นที่ดังกล่าว

ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ทางเดินหน้าห้องพักอาคารคอนโดมิเนียมเป็นการวางผังแบบทางเดินร่วม (double loaded corridor) เป็นทางเดินที่ยาว ขนาบด้วยห้องพักทั้ง 2 ฝั่ง มีช่องเปิดหน้าต่างบริเวณสุดปลายทางเดิน โถงลิฟต์ที่มีช่องเปิดรับแสงธรรมชาติมักอยู่กึ่งกลางอาคาร ส่งผลให้ไม่สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาในส่วนทางเดินหน้าห้องพักได้เต็มที่ ความส่องสว่างตามเกณฑ์มีเพียงบริเวณใกล้ช่องเปิดเท่านั้น (ภาพที่ 1) ในส่วนลึกของพื้นที่ทางเดินจะไม่ได้รับอิทธิพลจากแสงธรรมชาติจึงมีการใช้แสงสว่างจากแสงประดิษฐ์ตลอดทั้งวัน



ภาพที่ 1 ลักษณะแสงธรรมชาติในพื้นที่ทางเดินหน้าห้องพัก

โดยวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแสงธรมชาติ มีอยู่หลายวิธีที่ศึกษาได้จากการทบทวนวรรณกรรม เช่น การใช้ท่อนำแสงสามารถเพิ่มความส่องสว่างในพื้นที่ส่วนลึกที่ห่างจากช่องเปิดหน้าต่างได้ (Mostofa, N.d.) แต่จะไม่แสดงประสิทธิภาพในวันที่สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมมาก และต้องใช้พื้นที่ในการติดตั้ง ซึ่งไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในพื้นที่ทางเดินหน้าห้องพักที่มีระดับฝ้าเพดานที่ต่ำ หรือการเพิ่มช่องเปิดช่องเปิดบริเวณด้านข้างสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพแสงธรรมชาติภายในลักษณะพื้นที่ทางเดินทางเดินยาวได้ (พัชริยา ชินฮาต และ ชูพงษ์ ทองคำสมุทร, 2555) แต่จะสูญเสียพื้นที่ขายของโครงการ ส่วนการใช้หิ้งสะท้อนแสงภายในร่วมกับแผงสะท้อนแสง (ไกรฤทธิ์ ฤทธิ์เกษม และ ธนิต จินดาวณิค, 2554) และการใช้หิ้งสะท้อนแสงภายในร่วมกับฝ้าเพดานลาดเอียง (ผการัตน์ โกศัลย์ประไพ, 2551) สามารถเพิ่มความลึกของแสงธรรมชาติได้ แต่ทั้ง 2 แนวทางนี้ต้องใช้ติดตั้งที่ระดับความสูง 2.20 เมตรขึ้นไป รวมถึงระดับฝ้าเพดานต้องมีความสูงเกินกว่า 2.75 เมตร จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในพื้นที่ทางเดินหน้าห้องพักที่มีระดับฝ้าเพดานที่ต่ำ

การปรับปรุงค่าสะท้อนแสงของวัสดุตกแต่งภายในจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมในการนำมาพิจารณาใช้มากที่สุดกับลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ทางเดินหน้าห้องพัก ซึ่งสามารถเพิ่มปริมาณแสงธรรมชาติได้มากถึง 58% จากกรณีฐาน อีกทั้งยังสามารถเพิ่มการสะท้อนแสงประดิษฐ์ ส่งผลให้ความสว่างโดยรวมของพื้นที่เพิ่มมากขึ้น สามารถลดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างได้ถึง 44.5% หรือเท่ากับ 13% เมื่อเทียบกับอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของอาคาร (คมกฤช ชูเกียรติมั่น, 2540)

การเปลี่ยนชนิดหลอดไฟจากเดิม compact fluorescents (CFLs) เป็นหลอด LED เป็นเรื่องที่ควรนำมาพิจารณาต่อมา เนื่องจากจะทำให้ได้ค่าความส่องสว่างเพิ่มมากขึ้นโดยที่การใช้พลังงาน (วัตต์) ลดลง (พรรณชลัท สุริโยธิน, 2548) ส่งผลให้ประหยัดพลังงานเพิ่มมากขึ้นและสามารถนำไปใช้ร่วมกับเทคโนโลยีควบคุมการหรี่ไฟได้ ประเภท daylight sensor ที่สามารถลดการใช้พลังงานในพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติเพียงพอในช่วงเวลากลางวัน และ motion sensor ที่สามารถลดการใช้พลังงานในช่วงเวลาที่มีผู้ใช้งานอย่างเบาบางได้ โดยเมื่อพิจารณาการใช้เทคโนโลยีควบคุมการหรี่ไฟร่วมกับการปรับปรุงค่าสะท้อนแสงของวัสดุตกแต่งภายใน จะส่งผลดีต่อการทำงานของเทคโนโลยีดังกล่าว เนื่องจากความลึกของแสงธรรมชาติเพิ่มขึ้นและระดับความสว่างโดยรวมของพื้นที่เพิ่มมากขึ้นด้วย โดยอาคาร

ที่มีวัสดุตกแต่งภายในค่าสะท้อนแสงสูงจะมีระยะคืนทุนของการลงทุนค่าระบบเร็วยิ่งขึ้น (รุ่งทิพย์ พูนอัศวสมบัติ และวรภัทร์ อิงคโรจนฤทธิ์, 2553) สามารถนำผลการวิจัยนี้เป็นองค์ประกอบหนึ่งในการปรับปรุงหรือพิจารณาร่วมกับงานวิจัยอื่นๆ เพื่อการประหยัดพลังงานทั้งอาคารดั้งเดิมที่มีอยู่แล้วหรืออาคารที่จะเกิดขึ้นต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์ของบทความ

1. ศึกษาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ภายในพื้นที่ทางเดินหน้าห้องพัก
2. ศึกษาประสิทธิภาพเทคโนโลยีควบคุมการหรี่ไฟพื้นที่ทางเดินห้องพัก
3. ศึกษาความคุ้มค่าในการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์อย่างง่ายในการปรับปรุงอาคาร

ขอบเขตการศึกษา

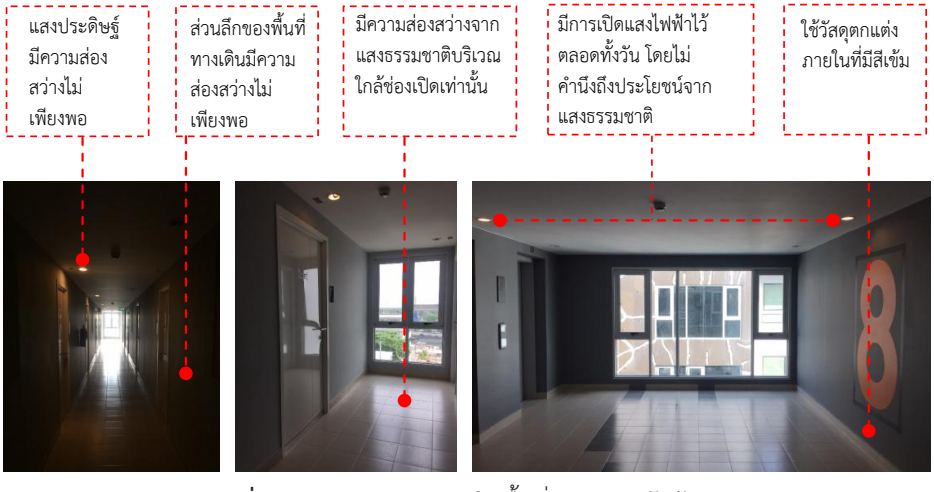
1. ศึกษาประสิทธิภาพของความส่องสว่างโดยไม่พิจารณาถึงผลกระทบต่อความร้อนที่กระทำต่อพื้นที่
2. ศึกษาเฉพาะกรอบผนังของพื้นทางเดินหน้าห้องพัก โดยไม่คำนึงถึงพื้นที่ห้องพัก ตำแหน่งประตู บันได หนีไฟ ห้องทิ้งขยะ หรือลิฟท์โดยสาร

วิธีการวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้ใช้วิธีดำเนินงานวิจัยเชิงจำลองสถานการณ์ (Simulation Research) โดยการศึกษาถึงปัญหาที่พบในโครงการ และสร้างแบบจำลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพของแสงสว่างด้วยโปรแกรม DIALux 4.12 เปรียบเทียบกับกรณีฐานที่ไม่มีการออกแบบ กับกรณีที่มีการออกแบบเพิ่มประสิทธิภาพแสงธรรมชาติและเปลี่ยนชนิดของหลอดไฟเพื่อให้ได้ความสว่างที่เหมาะสม วิเคราะห์และประเมินผลข้อมูลเชิงปริมาณ คือ ความลึกของแสงธรรมชาติ และ ค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Eav) เพื่อนำผลที่ได้มาพิจารณาร่วมกับการใช้เทคโนโลยีควบคุมการหรี่ไฟ เพื่อให้ลดการใช้พลังงานและประหยัดค่าใช้จ่ายไฟฟ้า โดยมีรายละเอียดวิธีการวิจัยดังนี้

1. การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

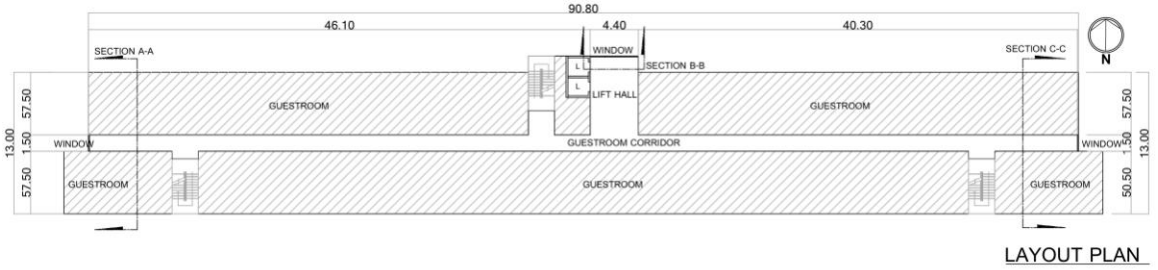
การสำรวจพื้นที่ทางเดินหน้าห้องพักโครงการ พลัม คอนโดมิเนียม เบื้องต้น สามารถพบปัญหาแสงสว่างได้ดังต่อไปนี้



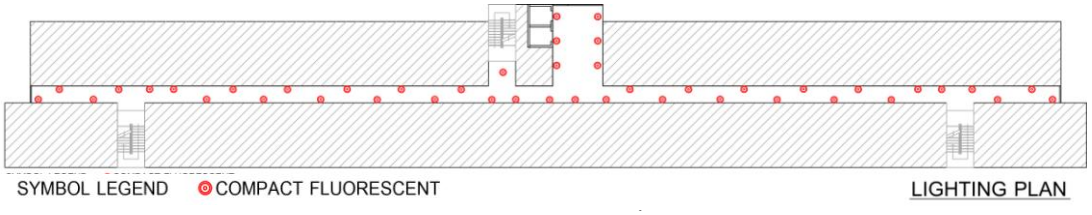
ภาพที่ 2-4 ลักษณะแสงสว่างในพื้นที่ทางเดินหน้าห้องพัก

2. การสร้างแบบจำลองในโปรแกรม DIALux 4.12

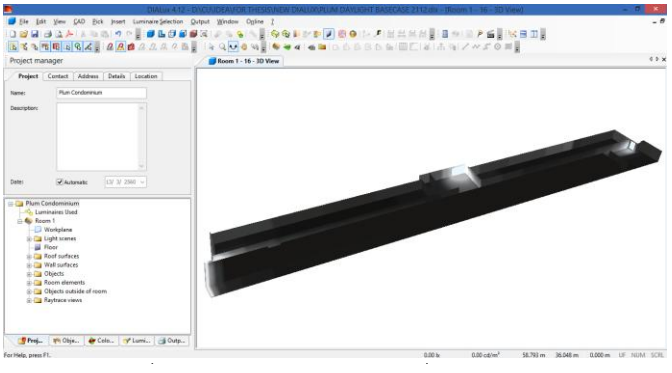
ถอดแบบมาจากโครงการพลัม คอนโดมิเนียม พหลโยธิน 89 เป็นอาคารที่มีความสูง 8 ชั้น วางโถงทางเดินกลางแบบกึ่งกลางของอาคาร (double load corridor) วางแกนอาคารทางทิศตะวันออก-ตก พื้นที่ทางเดินห้องพักมีความยาว 95 เมตร กว้าง 1.50 เมตร สูง 2.20 เมตร มีช่องเปิดบริเวณโถงลิฟท์และสุดปลายทางเดินทั้งสองด้าน (ภาพที่ 5) ตำแหน่งการวางดวงโคมใช้ผังไฟฟ้าดั้งเดิมของโครงการ (ภาพที่ 6) โดยกำหนดรายละเอียดของตัวแปรที่จะใช้จำลองสถานการณ์แสงสว่าง คือ ค่าการดูแลรักษา (maintenance factor) = 0.80, ค่าความสะท้อนของวัสดุกระเบื้องสีครีม = 0.20, ค่าความสะท้อนของผนังทาสีเทาอ่อน = 0.30 และค่าความสะท้อนของฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดสีขาว = 0.70 สร้างแบบจำลองในโปรแกรม DIALux 4.12 (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 5 แสดงลักษณะทางกายภาพและการวางผังไฟฟ้าในพื้นที่ทางเดินหน้าห้องพัก Plum condominium



ภาพที่ 6 แสดงลักษณะทางกายภาพและการวางผังไฟฟ้าในพื้นที่ทางเดินหน้าห้องพัก Plum condominium

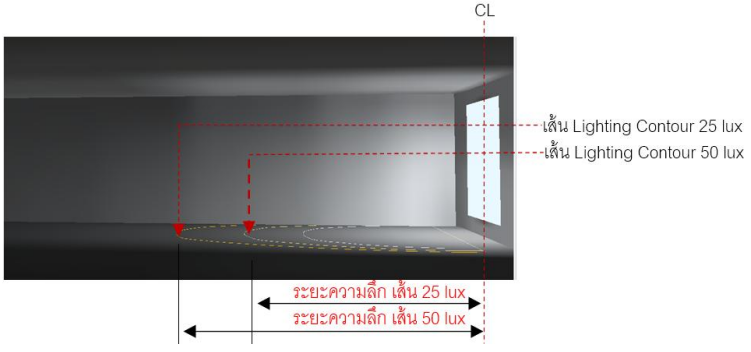


ภาพที่ 7 แบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบแสงสว่าง ที่สร้างโดยโปรแกรม DIALux 4.12

3. เกณฑ์และวิธีการพิจารณา

3.1 การพิจารณาเกณฑ์แสงสว่าง อ้างอิงตาม กฎกระทรวงแรงงาน พ.ศ. 2549 คือพื้นที่ทางทางสัญจรหนาแน่นในอาคาร ต้องมีค่าความส่องสว่างฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 50 lux และพื้นที่ทางสัญจรเบาบางในอาคารต้องมีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 20 lux

3.2 การพิจารณาความลึกของแสงธรรมชาติ จะพิจารณาจากเส้นบอกระดับแสงสว่าง (lighting contour) ทั้ง 2 เส้น อ้างอิงตามเกณฑ์แสงสว่าง คือ 50 และ 25 ลักซ์ ในพื้นที่ใกล้ช่องเปิดหน้าต่าง เปรียบเทียบระหว่างกรณีฐานและกรณีที่ออกแบบเพิ่มประสิทธิภาพแสงธรรมชาติ ซึ่งมีหน่วยเป็นเมตร (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 แสดงการพิจารณาเส้นบอกระดับแสงสว่าง

3.3 การพิจารณาความสว่างเฉลี่ยโดยรวมของพื้นที่ (Eav) ที่ได้จากการจำลองแสงสว่างด้วยโปรแกรม DIALux 4.12 เปรียบเทียบระหว่างกรณีฐานและกรณีที่ออกแบบเพิ่มประสิทธิภาพแสงธรรมชาติ ซึ่งมีหน่วยเป็น lux

3.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพหลอดไฟ ระหว่างกรณีฐาน compact fluorescent (CFLs) กับหลอด LED โดยอ้างอิงประสิทธิภาพจากตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพหลอด CFLs และ LED

Light Output	LED	CFLs
450 lumens	4-5 W	9-13 W
800 lumens	6-8 W	13-15 W
1,100 lumens	9-13 W	18-25 W
1,600 lumens	1-20 W	1-30 W

3.5 การคำนวณปริมาณการใช้ไฟฟ้า และค่าใช้จ่ายไฟฟ้าอย่างง่าย อ้างอิงจากสมการการคิดคำนวณค่าไฟฟ้าอย่างง่ายของการไฟฟ้านครหลวง คือ

$$\text{ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh/yr)} = \frac{N \times P \times \text{ชั่วโมงการใช้งาน} \times U}{1{,}000} \quad \text{---------- สมการที่ 1}$$

เมื่อ N = จำนวนดวงโคม

P = กำลังไฟฟ้า (วัตต์)

U = ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย (ข้อมูลค่าใช้จ่าไฟฟ้าย้อนหลังของโครงการ เฉลี่ย คือ 4.22 บาท/หน่วย)

3.6 วิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์อย่างง่าย (simple payback period) อ้างอิงจากสูตร

ระยะเวลาคืนทุน (ปี) $PB = \frac{Io}{ES}$ ---------- สมการที่ 2_

เมื่อ Io = ค่าใช้จ่ายในการลงทุนครั้งแรก (บาท)

ES = ค่าใช้จ่ายพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี มีหน่วยเป็น บาท/ปี

4. การสร้างสถานการณ์ที่ใช้ในการทดสอบสภาพแสงธรรมชาติ

ตัวแปรควบคุมที่ส่งผลต่อระดับแสงสว่างในพื้นที่ทางเดินห้องพัก ที่จะนำมาใช้ในการศึกษาวิจัย คือ 1) สภาพท้องฟ้า 2) วันที่ทำการศึกษา 3) เวลาที่ทำการศึกษา 4) ทิศทางของช่องเปิดที่ทำการศึกษา สามารถวิเคราะห์ได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1 เลือกศึกษาสภาพท้องฟ้าลักษณะมีเมฆปกคลุมปานกลาง (Partly Cloudy) เนื่องจากเป็นสภาพท้องฟ้าที่พบได้มากที่สุดตลอดช่วงเวลาตลอดทั้งปีของประเทศไทย (ปุณยวีร์ เต็มธนานันท์, 2554)

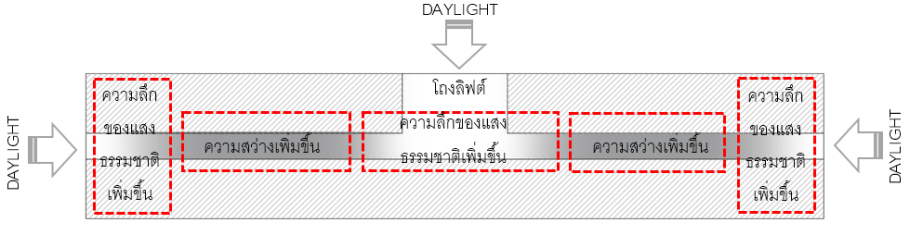
4.2 เลือกศึกษาวันที่ 21 ธันวาคม (Winter Soltice) เนื่องจากวันดังกล่าวมีความสว่างของท้องฟ้าต่ำสุดเมื่อเทียบกับช่วงเวลาตลอดทั้งปี ลักษณะเป็น worse case scenario เมื่อเลือกศึกษาจากวันนี้จะสามารถนำผลการวิจัยไปรับรองช่วงเวลาตลอดทั้งปีได้ (ปุณยวีร์ เต็มธนานันท์, 2554)

4.3 เลือกศึกษาช่วงเวลา 08.00 น. 12.00 น. และ 16.00 น. เนื่องจากการเข้าวัดระดับแสงสว่างในสถานที่จริงช่วงเวลา 12.00 น. จะมีระดับแสงธรรมชาติสูงที่สุดระหว่างวัน ส่วนช่วงเวลา 08.00 น. และ 16.00 น. จะศึกษาอิทธิพลจากแสงแดดเช้าและแสงแดดบ่ายอย่างเต็มที่

5. การนำเสนอแนวทางการปรับปรุงอาคาร

งานวิจัยนี้จะศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพแสงธรรมชาติควบคู่กับการใช้เทคโนโลยีควบคุมการหรี่ไฟเพื่อการประหยัดพลังงานในพื้นที่ทางเดินหน้าห้องพัก โครงการพลัม คอนโดมิเนียม พหลโยธิน 89 ตามแนวทางดังต่อไปนี้

5.1 การปรับปรุงค่าสะท้อนแสงของวัสดุตกแต่งภายใน จากการทบทวนวรรณกรรม วิธีนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในพื้นที่ทางเดินหน้าห้องพัก เนื่องจากเป็นเพียงการเลือกวัสดุตกแต่งภายในให้มีสีโทนสว่างตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบและไม่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม อีกทั้งประสิทธิภาพที่ได้ยังส่งผลต่อดีการประหยัดพลังงานเพิ่มขึ้นของเทคโนโลยีควบคุมการหรี่ไฟ โดยแนวความคิดที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรม จะสามารถแสดงได้ดังแผนภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 9 แสดงแนวความคิดของการเพิ่มประสิทธิภาพแสงธรรมชาติโดยการเพิ่มค่าสะท้อนแสงของวัสดุตกแต่งภายใน

โดยการเปลี่ยนวัสดุตกแต่งภายในเป็นสีโทนสว่าง จากพื้นกระเบื้องสีครีมเดิม = 0.20 มาเป็นกระเบื้องสีขาว 0.50, ผนังสีเทาอ่อนเดิม 0.30 มาเป็นผนังทาสีขาว 0.50, ค่าการสะท้อนของฝ้าเพดานเท่าเดิม = 0.70 ทดสอบประสิทธิภาพแสงสว่างด้วยโปรแกรม DIALux 4.12 เปรียบเทียบกับกรณีฐาน

5.2 การเปลี่ยนชนิดของหลอดไฟจากเดิม compact fluorescent เป็นหลอด LED ให้มีค่าความส่องสว่างที่เพียงพอตามเกณฑ์ 50 lux (กฎกระทรวงแรงงาน พ.ศ. 2549) ทดสอบประสิทธิภาพแสงสว่างด้วยโปรแกรม DIALux 4.12 เปรียบเทียบกับกรณีฐาน

5.3 การใช้เทคโนโลยีควบคุมการหรี่ไฟชดเชยแสงธรรมชาติ daylight sensor พิจารณาพื้นที่ใกล้ช่องเปิดที่ได้รับอิทธิพลจากแสงธรรมชาติโดยที่ยังมีการเปิดดวงโคมอยู่ ระหว่างผังไฟฟ้าดั้งเดิมร่วมกับการจำลองสภาพแสงสว่าง DIALux 4.12 ช่วงเวลา 08.00 น.-16.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่แสงธรรมชาติเริ่มมีอิทธิพลต่อพื้นที่

5.3.1 หากตำแหน่งของดวงโคมอยู่ในพื้นที่ที่มีเส้นบอกระดับระดับส่องสว่าง 50 lux (กฎกระทรวงแรงงาน พ.ศ. 2549) ดวงโคมจะปิดอัตโนมัติ (ลดการใช้ดวงโคม 1 ดวงโคม)

5.3.1 หากตำแหน่งของดวงโคมอยู่ในพื้นที่ที่มีเส้นบอกระดับระดับส่องสว่าง 25 lux (กฎกระทรวงแรงงาน พ.ศ. 2549) ดวงโคมจะหรี่ไฟ 50% อัตโนมัติ (ลดการใช้ดวงโคม 0.5 ดวงโคม)

5.4 การใช้เทคโนโลยีควบคุมการหรี่ไฟเมื่อไม่มีผู้ใช้งาน motion sensor ควบคุมดวงโคมให้มีการหรี่ไฟอัตโนมัติให้อยู่ในระดับความส่องสว่าง 20 lux (dimming 50%) (กฎกระทรวงแรงงาน พ.ศ. 2549) เมื่อไม่มีผู้ใช้งาน

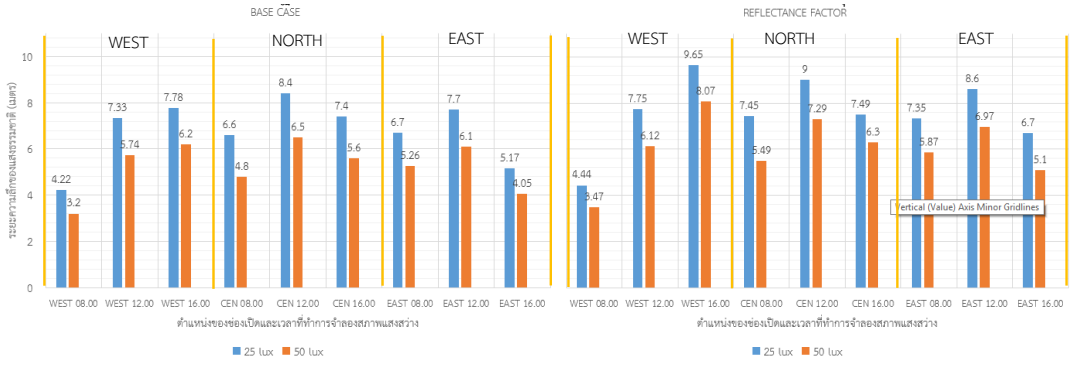
5.4.1 พิจารณาจากช่วงเวลาที่มีการใช้งานอย่างเบาบางในเวลากลางวัน วันจันทร์-วันศุกร์ 08.00-16.00 น. เป็นเวลา 8 ชั่วโมง/วัน (ช่วงเวลาที่ผู้อยู่อาศัยออกไปทำงาน)

5.4.1 พิจารณาจากช่วงเวลากลางคืน ทุกวัน 23.00-05.00 น. เป็นเวลา 7 ชั่วโมง/วัน (ช่วงเวลาที่ผู้อยู่อาศัยนอนหลับ)

ผลการวิจัย

1. การปรับปรุงค่าสะท้อนแสงของวัสดุตกแต่งภายใน

โครงการพลัม คอนโดมิเนียม เดิมมีการใช้วัสดุตกแต่งภายในที่มีพื้นผิวสีค่อนข้างเข้ม มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงต่ำ โดยจะทำการจำลองการปรับปรุงค่าสะท้อนแสงของวัสดุปิดผิวภายในให้มีสีโทนสว่างขึ้น เพื่อศึกษาถึงระยะความลึกของแสงธรรมชาติเปรียบเทียบกับกรณีฐาน ข้อมูลที่ได้จะใช้ในการพิจารณาร่วมกับการทำงานของ daylight sensor ซึ่งมีรายละเอียดดังแผนภูมิที่ 1



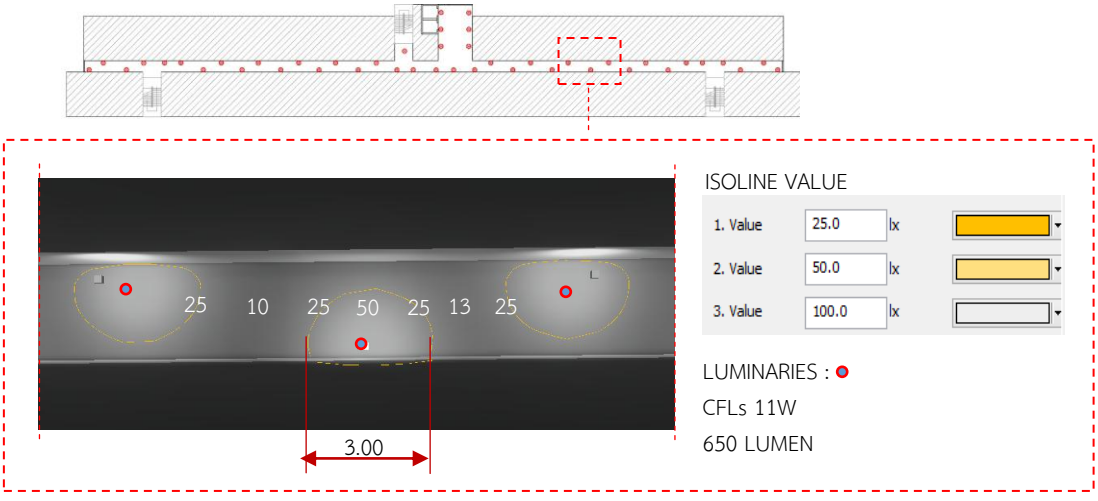
แผนภูมิที่ 1 ระยะความลึกของแสงธรรมชาติเปรียบเทียบกรณีฐานกับกรณีเพิ่มค่าสะท้อนแสงวัสดุตกแต่งภายใน

เมื่อมีการเพิ่มค่าสะท้อนแสงของวัสดุตกแต่งภายใน ความลึกของแสงธรรมชาติทุกกรณีเพิ่มขึ้นจากกรณีฐาน 9.8% ผลการทดลองที่ได้จะนำไปพิจารณาร่วมกับการใช้ daylight sensor

2. การเปลี่ยนชนิดของดวงโคม

โครงการพลัม คอนโดมิเนียม เดิมมีการใช้หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนส์ 11 วัตต์ ความสว่าง 650 ลูเมน มีค่าความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ การพิจารณาเทคโนโลยีการควบคุมการหรี่ไฟ ต้องเปรียบเทียบกับกรณีฐานให้มีค่าความส่องสว่างตามเกณฑ์ก่อน ผู้วิจัยจึงจำลองสถานการณ์แสงสว่างจากแสงประดิษฐ์ จากโปรแกรม DIALux 4.12 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

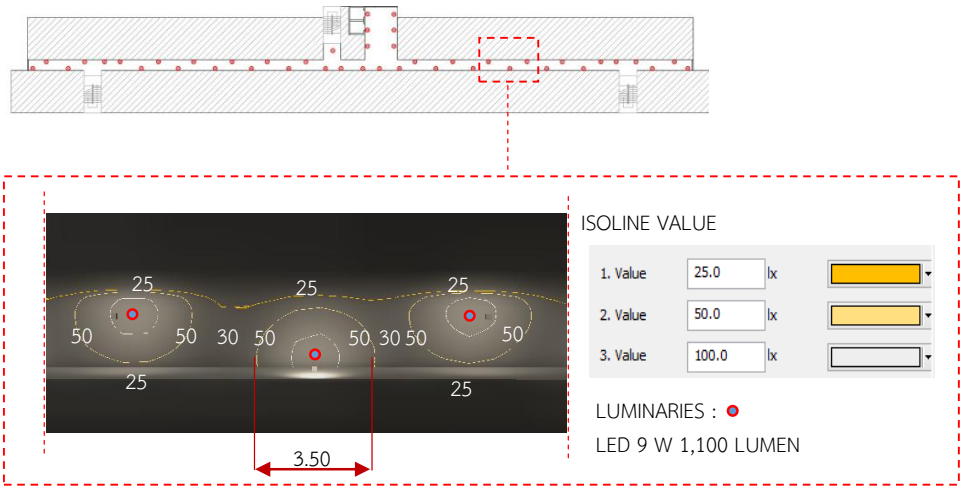
2.1 การจำลองประสิทธิภาพแสงประดิษฐ์กรณีฐาน จากการใช้หลอด CFLs 11 W ความสว่าง 650 lumen



ภาพที่ 10 แสดงการจำลองแสงประดิษฐ์กรณีฐาน CFLs 11W

จากการจำลองสถานการณ์แสงสว่าง พบว่า เส้นบอกระดับแสงสว่าง (lighting contour) ที่ 25 lux จะมีพื้นที่ครอบคลุมเพียงเฉพาะรัศมี 1.50 เมตร รอบๆตำแหน่งดวงโคมเท่านั้น ตำแหน่งจุดกึ่งกลางระยะห่างระหว่างดวงโคมจะมีความสว่างเพียง 10 lux และค่า Eav คือ 18 lux ซึ่งยังไม่เพียงพอต่อเกณฑ์แสงสว่างในพื้นที่ทางสัญจรในอาคาร

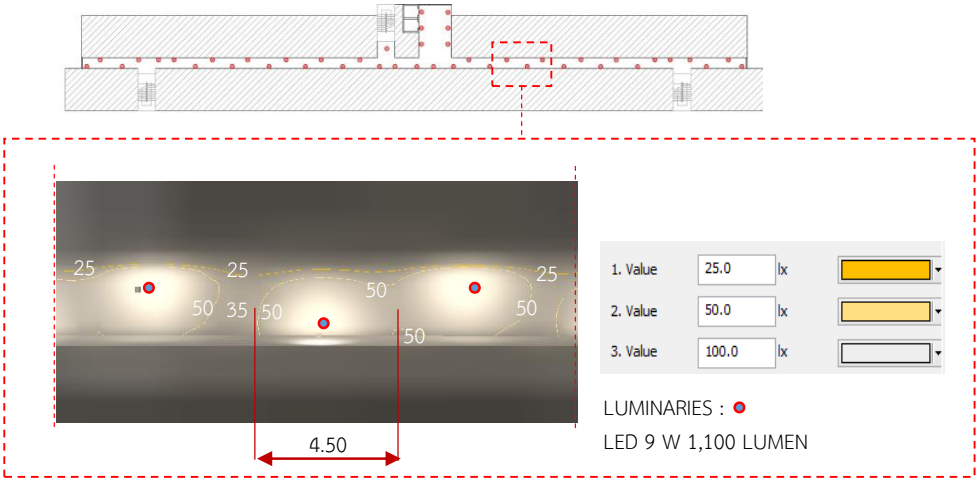
2.2 การจำลองประสิทธิภาพแสงประดิษฐ์เมื่อมีการเปลี่ยนชนิดหลอดเป็น LED 9 W ความสว่าง 1,100 lumen (จากตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพลอดไฟ)



ภาพที่ 11 แสดงการจำลองแสงประดิษฐ์โดยใช้หลอด LED 9 วัตต์

จากการจำลองสถานการณ์แสงสว่าง พบว่า เส้นบอกระดับแสงสว่าง (lighting contour) ที่ 25 lux จะมีพื้นที่ครอบคลุมทั่วทุกพื้นที่ทางเดิน และเส้นที่ 50 lux จะครอบคลุม 3.50 เมตร รอบๆดวงโคม ตำแหน่งจุดกึ่งกลางระยะห่างระหว่างดวงโคมจะมีความสว่างได้ 30 lux และค่า Eav คือ 56 lux ซึ่งเพียงพอต่อเกณฑ์แสงสว่างในพื้นที่ทางสัญจรในอาคาร

2.3 การจำลองประสิทธิภาพแสงประดิษฐ์เมื่อมีการเปลี่ยนชนิดหลอดเป็น LED ร่วมกับการปรับปรุงค่าสะท้อนแสงของวัสดุตกแต่งภายใน



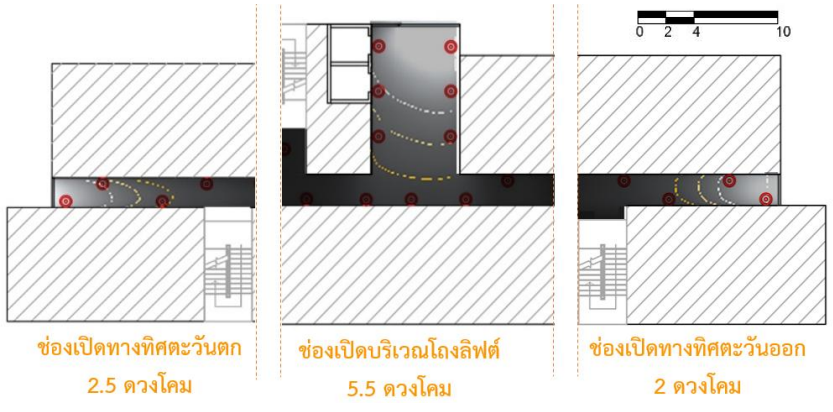
ภาพที่ 12 แสดงการจำลองแสงประดิษฐ์โดยใช้หลอด LED 9 วัตต์ ร่วมกับการปรับปรุงค่าสะท้อนแสงของวัสดุ

จากการจำลองสถานการณ์แสงสว่าง พบว่า เส้นบอกระดับแสงสว่าง (lighting contour) ที่ 25 lux จะมีพื้นที่ครอบคลุมทั่วทุกพื้นที่ และเส้นที่ 50 lux จะมีรัศมีครอบคุลม 2.25 เมตร รอบๆดวงโคม ตำแหน่งจุดกึ่งกลางระยะห่างระหว่างดวงโคมจะมีความสว่างได้ 35 lux และค่า Eav คือ 64 lux ซึ่งเพียงพอต่อเกณฑ์แสงสว่างในพื้นที่ทางสัญจรในอาคาร ผลการจำลองสภาพแสงสว่างแสดงให้เห็นว่า การปรับปรุงค่าสะท้อนแสงของวัสดุปิดผิวสามารถเป็นทางเลือกที่สามารถช่วยเพิ่มความส่องสว่างในพื้นที่ได้อีกทางหนึ่ง โดยที่ยังมีการใช้พลังงานในพื้นที่เท่าเดิม

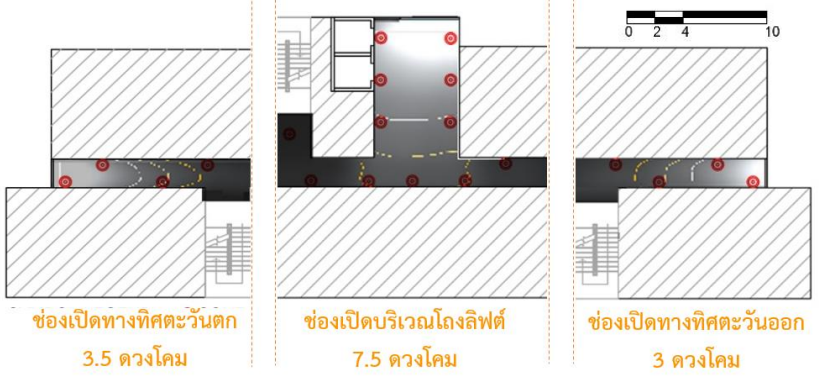
การเปลี่ยนหลอดไฟจากหลอด CFLs เป็นหลอด LED เมื่อพิจารณาจากสมการการคิดค่าไฟฟ้าอย่างง่าย (สมการที่ 1) ในกรณีเปิดใช้งานตลอด 24 ชม. สามารถลดการใช้พลังงานได้ประมาณ 6,161 kWh/yr/อาคาร/ปี หรือลดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าได้ประมาณ 26,000 บาท/อาคาร/ปี

3. การใช้เทคโนโลยีควบคุมการหรี่ไฟ daylight sensor

พิจารณาพื้นที่ใกล้ช่องเปิดที่ได้รับความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติเปรียบเทียบกับผังไฟฟ้าเดิม หากตำแหน่งของดวงโคมอยู่ในพื้นที่ที่มีเส้นบอกระดับระดับส่องสว่าง 50 lux จะลดการใช้ดวงโคม 1 ดวง หากตำแหน่งของดวงโคมอยู่ในพื้นที่ที่มีเส้นบอกระดับระดับส่องสว่าง 25 lux จะลดการใช้ดวงโคม 0.5 ดวงโคม ศึกษาในช่วงเวลา 12.00 น โดยมีรายละเอียดดังภาพที่ 13 และ ภาพที่ 14



ภาพที่ 13 แสดงประสิทธิภาพการใช้ daylight sensor กรณีฐาน



ภาพที่ 14 แสดงประสิทธิภาพการใช้ daylight sensor กรณีออกปรับปรุงค่าสะท้อนแสงของวัสดุตกแต่งภายใน

การคำนวณการลดการใช้พลังงานของเทคโนโลยี daylight sensor **จะพิจารณาจากช่วงเวลาที่แสงธรรมชาติเริ่มมีอิทธิพลต่อพื้นที่ทางเดินห้องพักตั้งแต่ 08.00-16.00 น. เป็นเวลา 8 ชั่วโมง/วัน** อ้างอิงการคำนวณค่าไฟฟ้าจากสมการของการไฟฟ้านครหลวง (สมการที่ 1) สามารถพิจารณาได้ดังนี้

- กรณีฐานเมื่อไม่มีการปรับปรุงค่าสะท้อนแสงของวัสดุ จะสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 2,102 kWh/yr/อาคาร คิดเป็นจำนวนเงิน 8,872 บาท/อาคาร/ปี
- กรณีที่มีการปรับปรุงค่าสะท้อนแสงของวัสดุ จะสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 2,943 kWh/yr/อาคาร คิดเป็นจำนวนเงิน 12,420 บาท/อาคาร/ปี

4. การใช้เทคโนโลยีควบคุมการหรี่ไฟ motion sensor

ในช่วงเวลากลางวันจะพิจารณาเฉพาะตำแหน่งดวงโคมส่วนลึกของพื้นที่ ที่ไม่ได้รับอิทธิพลจาก daylight sensor (33 ดวงโคม) ในช่วงเวลากลางคืนจะพิจารณาทุกดวงโคม (44 ดวงโคม) **การคำนวณการลดการใช้พลังงานของเทคโนโลยี** motion sensor **จะพิจารณาจากช่วงเวลาที่มีการใช้งานอย่างเบาบาง ช่วงเวลากลางวันของวันจันทร์-วันศุกร์ คือ** 09.00-16.00 น. เป็นเวลา 8 ชั่วโมง/วัน และช่วงเวลากลางคืนของทุกวัน คือ 23.00-05.00 น. เป็นเวลา เป็นเวลา 7 ชั่วโมง/วัน

Time	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Week day	44 LUMINARIES											33 LUMINARIES												
Weekend	44 LUMINARIES																							

ภาพที่ 15 แสดงขอบเขตการทำงานของ motion sensor

- กรณีฐานที่ไม่มีการปรับปรุงค่าสะท้อนแสงของวัสดุ พื้นที่ทางเดินหน้าห้องพักจะมีค่า Eav 56 lux โดยจะควบคุมให้ดวงโคมหรี่ไฟให้มีความสว่าง 20 lux (พื้นที่ทางสัญจกเบาบาง, กฎกระทรวงแรงงาน พ.ศ. 2549) หรือคิดเป็นการหรี่ไฟ 64% เมื่ออ้างอิงสมการคำนวณค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง (สมการที่ 1) จะสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 8,342 kWh/yr/อาคาร คิดเป็นจำนวนเงิน 35,207 บาท/อาคาร/ปี
- กรณีที่มีการปรับปรุงค่าสะท้อนแสงของวัสดุ พื้นที่ทางเดินหน้าห้องพักจะมีค่า Eav 64 lux โดยจะควบคุมให้ดวงโคมหรี่ไฟให้มีความสว่าง 20 lux (พื้นที่ทางสัญจกเบาบาง, กฎกระทรวงแรงงาน พ.ศ. 2549) หรือคิดเป็นการหรี่ไฟ 68% เมื่ออ้างอิงสมการคำนวณค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง (สมการที่ 1) จะสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 8,864 kWh/yr/อาคาร คิดเป็นจำนวนเงิน 3,7408 บาท/อาคาร/ปี

5. การศึกษาความคุ้มค่าในการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์

1) มูลค่าการลงทุนในการเปลี่ยนชนิดหลอดไฟ ราคาหลอด **LED** ตามท้องตลาดคือ 125 บาท ราคาหลอด CFLs ตามท้องตลาดคือ 75 บาท

- กรณีที่โครงการดั้งเดิม การเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าทั้งอาคาร (8 ชั้น) จะมีค่าใช้จ่ายประมาณ 44,000 บาท/อาคาร
- กรณีเป็นแนวทางการไปใช้โครงการใหม่ (8 ชั้น) จะมีส่วนต่างในการในในการเลือกเปลี่ยนชนิดหลอด 17,600 บาท/อาคาร

2) มูลค่าการลงทุนเทคโนโลยีการควบคุมการหรี่ไฟ ชนิด daylight sensor และ motion sensor โดยอ้างอิงราคาตามท้องตลาด คือ 1,500 บาท/ชุด จะต้องใช้ 3 ชุด/ชั้น ในการควบคุม คือ ปีกอาคารด้าน

ทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก และบริเวณโถงลิฟท์ เมื่อพิจารณาเทคโนโลยีดังกล่าวทั้งอาคาร (8 ชั้น) จะมีค่าใช้จ่าย 36,000 บาท/อาคาร

3) มูลค่าการลงทุนการเพิ่มค่าสะท้อนแสงของวัสดุโดยการเลือกวัสดุตกแต่งภายในที่มีสีโทนสว่าง สำหรับโครงการเดิมจะไม่สามารถทำได้ เนื่องจากเป็นการรบกวนแขกที่พักอาศัย สำหรับโครงการใหม่สามารถทำได้โดยง่ายตั้งแต่ขั้นตอนการเลือกวัสดุโดยไม่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม

ตารางที่ 2 แสดงความคุ้มค่าในการลงทุนทางเลือกต่างๆ

รายการ	รายละเอียด	มูลค่าการลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท/ปี/อาคาร)
(1)	การเปลี่ยนหลอดไฟโครงการเดิม	4,4000	26,000
(2)	แนวทางการนำไปใช้ในโครงการใหม่	17,600	26,000
(3)	เทคโนโลยีควบคุมการหรี่ไฟ	36,000	44,079
(4)	เทคโนโลยีควบคุมการหรี่ไฟ + การเพิ่มค่าสะท้อนแสงของวัสดุ	36,000	49,828

ทางเลือกในการปรับปรุงอาคาร สามารถจำแนกได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ทางเลือก A1 สำหรับการนำมาปรับปรุงอาคารเดิมสามารถทำได้เพียง ใช้ทางเลือกที่ (1) คือ การเปลี่ยนชนิดของหลอดไฟ และ (3) คือการเทคโนโลยีควบคุมการหรี่ไฟ

ทางเลือก A2 สำหรับการนำมาเป็นแนวทางในการ ใช้ทางเลือกที่ (2) คือ การเปลี่ยนชนิดของหลอดไฟ และ (3) คือการเทคโนโลยีควบคุมการหรี่ไฟ

ทางเลือก A3 สำหรับการนำมาเป็นแนวทางในการ ใช้ทางเลือกที่ (2) คือ การเปลี่ยนชนิดของหลอดไฟ และ (3) คือการเทคโนโลยีควบคุมการหรี่ไฟ รวมถึงการเพิ่มค่าสะท้อนแสงของวัสดุตกแต่งภายใน

โดยการคิดคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์จะอ้างอิงจากสมการคิดระยะเวลาคืนทุน (สมการที่ 2)

ตารางที่ 3 แสดงความคุ้มค่าในการลงทุนของทางเลือกในการปรับปรุงอาคาร

ทางเลือก	รายการปรับปรุงอาคาร	มูลค่าการลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท/ปี)	ระยะคืนทุน (ปี)
A1	อาคารดั้งเดิม (1) + (3)	80,000	70,079	1.14
A2	อาคารใหม่ (2) + (3)	53,600	70,079	0.76
A3	อาคารใหม่ (2) + (4)	53,600	75,828	0.70

สรุปผลการวิจัย

การเพิ่มประสิทธิภาพแสงธรรมชาติโดยการการเพิ่มค่าสะท้อนแสงของวัสดุตกแต่งภายใน เป็นวิธีเป็นวิธีที่สามารถทำได้โดยง่าย สามารถเพิ่มระยะความลึกของแสงธรรมชาติทุกสถานการณ์เฉลี่ย 9.8% ส่งผลดีต่อการทำงานของเทคโนโลยีควบคุมการหรี่ไฟของ daylight sensor ในช่วงเวลากลางวันจะลดการใช้ดวงโคมบริเวณไกล้ช่องเปิดหน้าต่างได้ถึง 4 ดวงโคม/ชั้น คิดเป็นประมาณ 32 ดวงโคม/อาคาร และ motion sensor เมื่อพิจารณาร่วมกับแสงประดิษฐ์จะมีค่าเฉลี่ยความสว่างเพิ่มขึ้นจากการณีฐานถึง 7 lux ส่งผลให้หรี่ไฟชดเชยแสงลดลงถึง 4 % โดยเมื่อพิจารณา

เทคโนโลยีทั้ง 2 ชนิดร่วมกัน สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นประมาณ 5,749 บาท/อาคาร/ปี เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ได้มีการเพิ่มค่าสะท้อนแสงของวัสดุ โดยหากโครงการมีการนำแนวความคิดการออกแบบในการตกแต่งภายในที่มีโทนสีเข้ม อาจนำแนวทางนี้มาใช้เฉพาะในพื้นที่ที่รับแสงธรรมชาติที่อยู่ในขอบเขตการทำงานของ daylight sensor เช่น โถงลิฟต์ และ ช่องเปิดสุดปลายทางได้

การเปลี่ยนชนิดหลอดไฟเป็นหลอด LED และการใช้เทคโนโลยีควบคุมการหรี่ไฟ ควรจะนำมาใช้ในทุกโครงการในอยู่ปัจจุบันและที่จะเกิดขึ้นใหม่ในอนาคต เนื่องจากพื้นที่ทางเดินหน้าห้องพักมีการเปิดใช้งานแสงประดิษฐ์ที่สูงคือตลอด 24 ชม. จึงมีอัตราคืนทุนที่รวดเร็ว และมีอัตราผลตอบแทนต่อไปที่ค่อนข้างสูง

สำหรับโครงการดั้งเดิม การเปลี่ยนชนิดหลอดไฟฟ้าควบคู่กับการใช้เทคโนโลยีการจัดการพลังงานจึงเป็นทางเลือกที่คุ้มค่าในการลงทุนมากที่สุด ผลการศึกษาวิจัยแสดงให้เห็นว่ามีระยะคืนทุนเพียง 1.14 ปี

สำหรับนำไปเป็นแนวทางในโครงการใหม่ การเปลี่ยนชนิดหลอดไฟฟ้าควบคู่กับการใช้เทคโนโลยีการจัดการพลังงานและการเลือกวัสดุตกแต่งภายในสีโทนสว่าง ผลการศึกษาวิจัยแสดงให้เห็นว่ามีระยะคืนทุนเพียง 0.7 ปี สามารถนำผลการวิจัยนี้เป็นแนวทางเพื่อองค์ประกอบหนึ่งในการปรับปรุง หรือร่วมกับงานวิจัยอื่นๆ เพื่อการประหยัดพลังงานทั้งอาคารดั้งเดิมที่มีอยู่แล้วหรืออาคารที่จะเกิดขึ้นต่อไปในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิจัย มีข้อจำกัดต่างๆไม่ว่าจะเป็นการใช้โปรแกรม DIALux 4.12 ในการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ และระยะเวลาในการศึกษาวิจัย โดยจำลองสถานการณ์เฉพาะช่วงเวลา 08.00 12.00 และ 16.00 น. เท่านั้น ซึ่งควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในช่วงเวลาอื่นๆเพื่อให้ทราบถึงสภาพแสงสว่างรายชั่วโมงในการใช้เทคโนโลยีการจัดการพลังงานที่แม่นยำยิ่งขึ้น อีกทั้งในงานวิจัยชิ้นนี้ใช้วิธีการคิดค่าไฟฟ้าเบื้องต้น ควรมีการศึกษาคิดค่าไฟฟ้าอัตรา TOD และ TOU ของอาคารคอนโดมิเนียมเพิ่มเติม รวมถึงการวิจัยนี้ยังไม่ได้พิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้ากระทำในพื้นทีและเรื่องของแสงบาดตาจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงในเรื่องดังกล่าวด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท พฤกษา เรียลเอสเตท ที่ให้การอนุเคราะห์ข้อมูลโครงการและทุนสนับสนุนการวิจัย
ขอขอบคุณ บริษัท I built Automation Co.Ltd. ที่ให้การอนุเคราะห์ข้อมูลเทคโนโลยีการควบคุมการหรี่ไฟ

เอกสารอ้างอิง

ไกรฤทธิ์ ฤทธิ์เกษม และ ธนิต จินดาวณิค. 2554. **ประสิทธิภาพแผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานภายในอาคาร**, วรสารวิจัยพลังงาน 8, 1.

คมกฤช ชูเกียรติมั่น. 2540. **การใช้แสงธรรมชาติเสริมเพื่อลดการใช้พลังงานในอาคาร กรณีศึกษา อาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**. ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปุณญวีร์ เต็มธนานันท์. 2554. **การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้แสงธรรมชาติในอาคารพาณิชย์ประเภทตึกแถว**. ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

พัชริยา ชินฮาต และ ชูพงษ์ ทองคำสมุทร. 2555. **การนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารพักอาศัยประเภททางเดินกลาง กรณีศึกษา จังหวัดขอนแก่น**, วรสารวิชาการ

วรภัทร อังสนารัตนา. 2549. **การออกแบบหิ้งสะท้อนแสงและฝ้าเพดานเพื่อการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพสำหรับอาคารสำนักงาน**. ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พรรณชลัท สุริโยธิน. 2548. **วัสดุและการก่อสร้างหลอดไฟฟ้า**. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

รุ่งทิพย์ พูนอัศวสมบัติ และ วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์. 2553 **ความสัมพันธ์ของค่าสะท้อนแสงพื้นผิวภายในอาคารกับประสิทธิภาพการใช้อุปกรณ์ควบคุมแสงสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติ**. ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Mostofa .A .S ., n.d. **Smart Light Pipe Strategies in Deep Plan Office Building in Dheka, Bangladesh**. Faculty of Architecture, University of Nottingham, UK.