

ETM-26

การศึกษาผลของการควบคุมม่านแนวตั้งเพื่อให้เกิดสภาวะความสบายเชิงความร้อน และสภาวะความสบายทางสายตาภายในอาคาร

The study of vertical blind controls for thermal and visual comforts in buildings

ธนิช แสนขมภู¹, พรพรรณ น่วมคุณสิน¹, ดนัย ขวาทิจกร¹ และ วิชุดา เมตตานันท์^{1*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร.เมืองจ.นครปฐม 73000

*ติดต่อ: E-mail: vichuda.mettanant@gmail.com, Tel.: +66-3425-9025, fax: +66-3421-9367

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการควบคุมม่านแนวตั้งเพื่อให้เกิดสภาวะความสบายเชิงความร้อนและสภาวะความสบายทางสายตาภายในอาคาร โดยการปรับมุมม่านที่เหมาะสมจะช่วยให้เกิดสภาวะความสบาย และสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างได้ ในการศึกษาได้ทำการทดลองภายในห้องทดลอง 2 ห้องที่ติดกันและมีหน้าต่างที่ติดตั้งม่านปรับแสงในทิศตะวันตก ภายในห้องมีโต๊ะทำงาน ห่างจากหน้าต่าง 1.5 เมตร สูงจากพื้น 0.75 เมตร โดยทำการวัดแสงที่กลางโต๊ะทำงานตั้งแต่ 09.00น. ถึง 17.00น. และมีการจัดทำแบบสอบถามเพื่อประเมินสภาวะความสบายเชิงความร้อนและสภาวะความสบายทางสายตาของคนที่นั่งภายในห้อง มีผู้มานั่งทำแบบสอบถามทุกๆ 2 ชั่วโมง การควบคุมม่านประกอบด้วย 3 กรณี คือ การใช้ม่านที่ม้วนลงที่ตลอดทั้งวัน การปรับมุมม่านตามเวลา และการใช้ม่านปรับมุมอัตโนมัติ

ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าในกรณีปรับมุมม่านที่ มุมม่าน -45° และ 45° จะให้แสงใกล้เคียง 500 lux ตลอดทั้งวัน และเกิดสภาวะความสบายทางสายตาและสภาวะความสบายเชิงความร้อนตลอดทั้งวัน เกิดการถ่ายเทความร้อนผ่านหน้าต่างเข้ามาภายในห้องสูงสุดที่เวลา 15.00 น.ของแต่ละวันที่ทำการทดลอง ในกรณีปรับมุมม่านม้วนที่มุม -45° จะมีการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 682.97 W/m^2 ซึ่งสูงกว่าในกรณีมุมม่าน 45° ที่มีการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 482.54 W/m^2 เมื่อคิดเป็นอัตราส่วนแสงที่เข้ามาที่โต๊ะทำงานต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านหน้าต่างที่มุม -45° และ 45° คือ $0.97 \text{ lux.m}^2/\text{W}$ และ $1.015 \text{ lux.m}^2/\text{W}$ ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าการปรับมุมม่านที่ 45° ให้ผลดีที่สุด โดยสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าการเปิดไฟตลอดทั้งวัน(09.00น.-17.00น.) ถึง 66.07%

ในกรณีปรับมุมม่านตามเวลาการใช้งาน เมื่อวิเคราะห์ผลจากการปรับมุมม่านที่จะได้มุมที่เหมาะสมที่สุดในการปรับมุมตามเวลา จำนวน 3 มุมคือ ปรับมุมที่ 60° ณ เวลา 9.00 น. – 13.00 น. ปรับมุมที่ 45° ณ เวลา 13.00 น. – 15.00 น. และ ปรับมุมที่ -15° ณ เวลา 15.00 น. – 17.00 น. จะพบว่าประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าเปิดไฟตลอดทั้งวันถึง 71.43%และเกิดสภาวะความสบายทางสายตาและสภาวะความสบายเชิงความร้อนตลอดทั้งวัน ส่วนกรณีปรับมุมม่านอัตโนมัติตามระดับแสงภายในห้องทดลองนั้นได้ทำการหาความสัมพันธ์ของแสงที่ตำแหน่งของเซ็นเซอร์กับแสงที่โต๊ะทำงาน จากนั้นได้ทำการทดลองพบว่าม่านมีความสบายเชิงความร้อนและสภาวะความสบายทางสายตาตลอดทั้งวัน และประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าเปิดไฟตลอดทั้งวันถึง 86.60%

เมื่อวิเคราะห์ผลจะได้ว่าหากต้องการปรับมุมม่านมุมเดียวทั้งวันควรปรับมุมม่านที่ 45° จะมีประหยัดไฟฟ้าและมีสภาวะความสบายที่เหมาะสม และถ้ามีการปรับมุมม่านตามเวลา ที่มุม 60° , 45° , -15° จะพบว่ามีการประหยัดไฟฟ้าและมีสภาวะความสบายมากกว่าในกรณีปรับมุมเดียวทั้งวัน และในการปรับมุมม่านอัตโนมัติจะมีการประหยัดไฟฟ้าได้มากที่สุด และยังมีสภาวะความสบายตลอดทั้งวัน

คำหลัก: สภาวะความสบายเชิงความร้อน; สภาวะความสบายทางสายตา; ม่านปรับแสงแนวตั้ง; แสงธรรมชาติ

ETM-26

Abstract

The appropriate blind controls help maintain visual and thermal comfort and provide energy saving in lighting system. In this study, optimized slat angle control strategies of vertical blinds are suggested. The experiments were conducted in two identical rooms with windows on west façade. The experiments include of two parts. The first part is to measure interior illuminance level. An illuminance sensor was set at 0.75 m above floor level on the table which is located 1.5 m from the window in each room. The second part is to evaluate thermal and visual comforts by using questionnaires. A person who answers the questionnaire stayed inside each experimental room for 15 minutes at 9:00, 11:00, 13:00, and 15:00 hr. Three types of blind controls were studied; fix blind, time scheduling blind, and automatic blind.

For fix blind, the blind was set at -60° , -45° , -30° , -15° , 0° , 15° , 30° , 45° , 60° , and 90° . The experimental results show that blind angle at -45° and 45° provide workplane illuminance level close to 500 lux during office hours and thermal and visual comforts in the experimental room were met all day. However, at 15.00 hr. on the days that the experiments were conducted, the calculation results of daily maximum heat transfer through window for the case of -45° and 45° blind angle are 682.97 W/m^2 and 482.54 W/m^2 , respectively. Furthermore, the ratio of workplane illuminance to heat transfer through window for the case of -45° and 45° blind angle are $0.97 \text{ lux.m}^2/\text{W}$ and $1.015 \text{ lux.m}^2/\text{W}$, respectively. Among all fix blind cases that provide thermal and visual comfort all day, the energy saving on lighting system of 45° blind angle case is highest at 66.07% when daylight is used with a lighting dimmer. Therefore, when blind is fixed, setting slats at 45° provides the best results.

The time scheduling blind control was set by considering the results of fix blinds and three blind angles were selected. In this case blind was set at 60° from 9 a.m. to 1 p.m., at 45° from 1 p.m. to 3 p.m., and at -15° from 3 p.m. to 5 p.m. The time scheduling blind provides thermal and visual comforts with 71.43% electricity saving in lighting system.

In the case of the automatic blind control, slat angle was adjusted according to an illuminance sensor which is connected to a control box. The sensor was set in order to maintain the illuminance level on the table at 500 lux. The automatic blind shows higher energy saving than fix blind and scheduling blind at 86.60% while thermal and visual comforts were in the acceptable levels.

Keywords: thermal comfort; visual comfort; Vertical Blinds; Daylight.

1. บทนำ

ในปัจจุบันอาคารจำนวนมากมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดภายในจำพวกม่านปรับแสงเพิ่มเติมกับระบบหน้าต่างกระจก โดยใช้เพื่อความเป็นส่วนตัว และใช้ในการควบคุมความสว่างจากแสงธรรมชาติ (Daylight) ซึ่งม่านปรับแสงแนวตั้งเป็นอุปกรณ์ประเภทหนึ่งที่มีความนิยม โดยแสงธรรมชาติ (Daylight) เป็นแสงสว่างที่มีประสิทธิภาพสูง และได้มาโดยไม่ต้องลงทุน เหมาะสำหรับอาคารที่มีการใช้งานในเวลากลางวัน หากนำมาใช้อย่างเหมาะสมคือใช้เฉพาะแสงกระจาย และหลีกเลี่ยงการได้รับแสงตรงจากดวงอาทิตย์จะสามารถลดการใช้พลังงานในอาคารได้ โดยสามารถลดการใช้พลังงานในระบบส่องสว่างโดยตรง

และยังลดภาระของระบบปรับอากาศอันเนื่องมาจากระบบส่องสว่างอีกด้วย

อย่างไรก็ตามปัญหาที่พบเมื่อมีการใช้แสงธรรมชาติคือหากควบคุมปริมาณแสงไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดแสงจ้าซึ่งทำให้เกิดความไม่สบายในการมองเห็น (visual discomfort) นอกจากนี้ยังส่งผลให้มีการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากรังสีอาทิตย์ที่ผ่านหน้าต่างเข้ามาภายในอาคารในปริมาณมาก ทำให้การใช้พลังงานเพิ่มขึ้น และยังกระทบต่อความสบายเชิงความร้อนของผู้ใช้งาน โดยเมื่อผู้อยู่อาศัยนั่งใกล้กับหน้าต่างจะเกิดความไม่สบายเชิงความร้อนได้จาก 2 สาเหตุคือ เนื่องจากมีรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านหน้าต่างกระจกมาตกกระทบผู้ที่อยู่อาศัย

ETM-26

โดยตรงและเกิดจากความร้อนที่สะสมไว้ในตัวของหน้าต่างกระจกซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของผิวกระจกสูงขึ้นส่งผลให้เกิดการแผ่รังสีความร้อนจากกระจกของหน้าต่างมายังผู้อยู่อาศัยที่นั่งใกล้หน้าต่างทำให้เกิดความรู้สึกไม่สบาย

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงทำการศึกษาผลของการควบคุมผ่านปรับแสงแนวตั้งที่มีต่อระดับความสบายเชิงความร้อน ความสบายทางสายตา และการพลังงาน เพื่อทราบมุมและเวลาในการปรับบานที่เหมาะสมต่อระดับความสบายทางสายตาและความสบายเชิงความร้อนของผู้ใช้งาน โดยการทดลองประกอบไปด้วยมุมปรับแสง 3 กรณี คือ 1.ปรับมุมมู่มวกที่ที่มุม -60° , -45° , -30° , -15° , 0° , 15° , 30° , 45° , 60° และ 90° 2.ปรับมุมตามเวลาการใช้งาน 3.ปรับมุมอัตโนมัติตามระดับแสงภายในห้อง

2. ทฤษฎี

2.1 แสงธรรมชาติ

แสงธรรมชาติ (Daylight) เป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งซึ่งมีแหล่งพลังงานมาจากดวงอาทิตย์ที่แผ่รังสีและสะท้อนออกมาสู่ชั้นบรรยากาศ ท้องฟ้าและสภาพแวดล้อม มีช่วงความยาวคลื่นที่ตาสามารถมองเห็นได้ (Visible Wavelength) อยู่ระหว่าง 380-760 นาโนเมตรแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ แสงตรง (direct Illuminance) เป็นแสงธรรมชาติที่ได้รับจากดวงอาทิตย์โดยตรงและแสงกระจาย (Diffuse Illuminance) เป็นแสงธรรมชาติที่ได้รับจากแสงที่กระจายจากท้องฟ้า[1] การใช้แสงธรรมชาติภายในอาคารโดยส่วนใหญ่จะใช้แสงธรรมชาติเฉพาะแสงกระจายและหลีกเลี่ยงแสงตรง โดยการติดตั้งม่านปรับแสงเพื่อช่วยควบคุมปริมาณแสงที่จะเข้ามาภายในตัวอาคาร โดยในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้กำหนดให้เป็นพื้นที่สำหรับงานที่ใช้สายตาปานกลาง เช่น งานสำนักงานซึ่งค่าความส่องสว่างที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานตามมาตรฐาน CIE (International Commission on Illumination) มีค่าเท่ากับ 500 lux [2]

2.2 ความสบายทางสายตา (Visual Comfort)

คุณภาพของแสงในอาคารสามารถประเมินได้จากสภาพแสงจ้าที่เกิดขึ้นได้ใน 2 ลักษณะ คือ แสงจ้าที่ทำให้สูญเสียความสามารถในการมองเห็น (Disability glare) และ แสงจ้าที่ทำให้เกิดความไม่สบายในการมองเห็น (Discomfort glare) แสงจ้ามักเกิดขึ้นที่ 2 นี้ไม่ทำให้สูญเสีย

ความสามารถในการมองเห็นแต่ทำให้เกิดความเครียดในการมอง และปัจจัยที่มีผลต่อความจำประกอบด้วย ความสว่างของแหล่งกำเนิดแสง (Source luminance) ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสง (Position of the source) และความสว่างของสภาพแวดล้อม (Background luminance)

ความไม่สบายในการมอง (visual discomfort) ประเมินโดยการจัดทำแบบสอบถามเพื่อประเมินสภาวะความสบายทางสายตาของคนที่นั่งภายในห้อง มีผู้มาทำแบบสอบถามทุกๆ 2 ชั่วโมง

2.3 ความสบายเชิงความร้อน

สภาวะความสบายเชิงความร้อน แสดงถึงความพึงพอใจของคนต่อสภาพแวดล้อม โดยมีปัจจัยหลายอย่างด้วยกัน เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม เสื้อผ้า และยั้งรวมถึงกิจกรรมที่ทำ ซึ่งมีการกำหนดค่าดัชนีความสบายไว้ 2 ค่าคือ ค่าดัชนีทำนายการโหวตเฉลี่ย (Predicted mean vote, PMV) และค่าดัชนีคาดการณ์ร้อยละความไม่พอใจ (Predicted Percentage of Dissatisfied, PPD) โดยในการวิจัยนี้ค่าดัชนีคาดการณ์โหวตเฉลี่ยเป็นค่าที่ได้จากแบบสอบถาม ซึ่งแบ่งเป็นค่า 7 ระดับได้แก่ ร้อน (+3), อุ่น (+2), ค่อนข้างอุ่น (+1), พอดี (0), ค่อนข้างเย็น (1), เย็น (-2) และหนาว (-3)

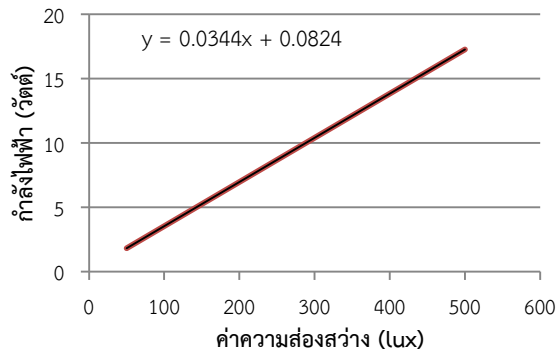
2.4 การใช้พลังงาน

การใช้ม่านปรับแสงส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคารใน 2 ส่วนคือ การใช้พลังงานในระบบส่องสว่าง และการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศเนื่องมาจากโหลดของระบบส่องสว่างและจากความร้อนถ่ายเทผ่านหน้าต่างที่มีการใช้ม่าน

โดยการใช้แสงธรรมชาติจะสามารถลดการใช้พลังงานในระบบแสงสว่างได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อใช้ร่วมกับหลอดไฟที่สามารถปรับหรี่ได้ ซึ่งในการวิจัยนี้กำหนดให้หลอดไฟสามารถปรับหรี่ได้ โดยมีความต้องการกำลังไฟฟ้าสัมพันธ์กับระดับความส่องสว่างเป็นสมการเส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 1

จากรูปที่ 1 ระบบส่องสว่างสามารถปรับหรี่ได้ต่ำสุดที่ 50 lux โดยมีความต้องการกำลังไฟฟ้าที่ 1.8 วัตต์ และที่ระดับความส่องสว่าง 500 lux จะมีความต้องการกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 17.258 วัตต์

ETM-26



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการกำลังไฟฟ้าและค่าความส่องสว่างของระบบส่องสว่าง

ในส่วนของการถ่ายเทความร้อนผ่านหน้าต่างที่มีการใช้ม่านประกอบด้วยความร้อนนั้นเนื่องจากรังสีตรงและรังสีกระจายจากดวงอาทิตย์ที่ทะลุผ่านม่านเข้ามา ความร้อนนั้นเนื่องจากรังสีตรงและรังสีกระจายที่ตกกระทบบนใบม่านแล้วสะท้อนเข้ามาภายในห้อง ความร้อนนั้นเนื่องมาจากการแผ่รังสีจากกระจกและม่านเมื่อม่านและกระจกมีอุณหภูมิต่างจากอุณหภูมิห้อง และจากการพาความร้อนออกจากกระจกและใบม่านโดยอากาศภายในห้อง

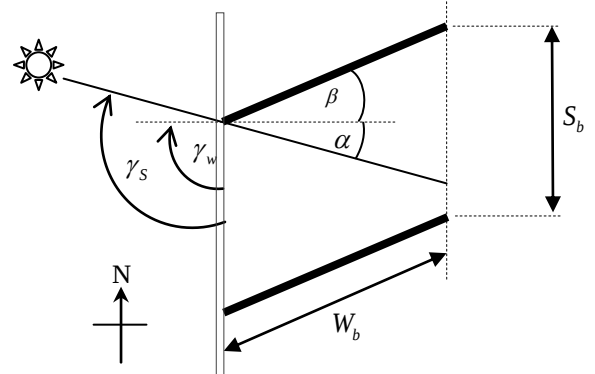
ความร้อนนั้นเนื่องจากรังสีตรงและรังสีกระจายจากดวงอาทิตย์ที่ทะลุผ่านม่านเข้ามาคำนวณได้จาก

$$q_{tr} = (\tau I_b \cos \theta + \tau I_d \cos 90^\circ) F_b \quad (1)$$

เมื่อ I_b คือรังสีตรง (W/m^2) I_d คือรังสีกระจาย (W/m^2) $\tau(\theta)$ คือค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของกระจกที่ขึ้นกับมุมตกกระทบ θ และ τ คือค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของกระจก ค่า F_b คือสัดส่วนที่รังสีอาทิตย์สามารถทะลุผ่านใบม่านเข้ามาภายในอาคาร สามารถคำนวณได้จาก

$$F_b = 1 - \frac{W_b \sin \beta}{S_b} - \frac{W_b \cos \beta \tan \alpha}{S_b} \quad (2)$$

เมื่อ W_b คือความกว้างของใบม่าน (m) S_b คือระยะห่างระหว่างใบม่าน (m) β คือมุมเอียงของใบม่านเมื่อวัดจากแนวตั้งฉากกับหน้าต่าง α คือผลต่างระหว่างมุมอะซิมุทของดวงอาทิตย์กับมุมอะซิมุทของใบม่าน ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 รังสีอาทิตย์ทะลุผ่านกระจกและใบม่านเมื่อมองจากด้านบน

ความร้อนนั้นเนื่องจากรังสีตรงและรังสีกระจายที่ตกกระทบบนใบม่านแล้วสะท้อนเข้ามาภายในห้อง (q_{RE}) คำนวณได้จาก

$$q_{RE} = \sum_{j=1}^n J_j F_{ij} \quad (3)$$

เมื่อ J_j คือ เรดิโอซิตี (Radiosity) หรือฟลักซ์รังสีที่ออกจากพื้นผิว j ซึ่งได้แก่ ใบม่านและกระจก และ F_{ij} คือแฟกเตอร์การมอง (view factor) ระหว่างพื้นผิว i กับพื้นผิว j เรดิโอซิตี สามารถคำนวณได้จาก

$$J_i = \rho_i I_{oi} + \rho_i \sum_j J_j F_{ji} \quad (4)$$

เมื่อ ρ_i คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิว i I_{oi} คือรังสีตั้งต้นที่ตกกระทบบนพื้นผิว i (W/m^2)

ในส่วนของการถ่ายเทความร้อนเนื่องมาจากการแผ่รังสีจากกระจกและม่านเนื่องจากอุณหภูมิที่ต่างจากอุณหภูมิห้อง และการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนออกจากกระจกและใบม่าน (q_{LW}) คำนวณโดยใช้สมการการถ่ายเทความร้อนในหนึ่งมิติที่คำนึงถึงผลของการสะสมความร้อนโดยมวลของวัตถุที่เวลาก่อนหน้าด้วยดังแสดงในสมการที่

5

ETM-26

$$q_{LW} = \left(\frac{T_g - T_{room}}{R_{rr}} \right) + \left(\frac{T_b - T_{room}}{R_{rb,i}} \right) + \left(\frac{T_g - T_b}{R_{cb,o}} \right) + \left(\frac{T_g - T_{room}}{R_{cr}} \right) + \left(\frac{T_b - T_{room}}{R_{cb,i}} \right) + \frac{\rho_g C_{p_g} \Delta X_g}{\Delta t} (T_g - T_{g(t-1)}) + \frac{\rho_b C_{p_b} \Delta X_b}{\Delta t} (T_b - T_{b(t-1)}) \quad (5)$$

เมื่อ T คืออุณหภูมิ (K) R_r คือความต้านทานการแผ่รังสี ($K.m^2/W$) R_c คือความต้านทานการพาความร้อน ($K.m^2/W$) ρ คือความหนาแน่น (kg/m^3) C_p คือค่าความจุความร้อนจำเพาะ ($J/kg.K$) X ความหนา (m) t คือเวลา (s) ตัวห้อย g คือกระจก b คือโถง $room$ คืออากาศหรือผนังภายในห้อง

3. วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการใช้ม่านปรับแสงที่มีผลกระทบต่อสภาวะความสบายเชิงความร้อน ความสบายทางสายตา และผลกระทบต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร โดยห้องที่ใช้ในการทดลองตั้งอยู่ที่ชั้น 4 อาคาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม ห้องทดลองมีจำนวน 2 ห้องติดกันดังแสดงในรูปที่ 2 แต่ละห้องมีขนาดกว้าง 2 เมตร ยาว 4 เมตร สูง 3.5 เมตร ทางทิศตะวันตกมีหน้าต่างที่มีขนาด สูง 1.45 เมตร กว้าง 1.85 เมตร และติดตั้งม่านปรับแสงแนวตั้งโดยโถงทำจากอะลูมิเนียมสีขาว โถงม่านมีขนาดกว้าง 8 เซนติเมตรระยะห่างระหว่างโถงม่าน 7 เซนติเมตร มอเตอร์ที่ใช้ในการขับโถงม่านเป็นสเต็ปมอเตอร์ขนาด 1 A 200 step/rev ส่วนประกอบของวงจรควบคุมม่านประกอบด้วย บอร์ด arduino UNO R3 บอร์ด RTC รุ่น DS1307 เซนเซอร์วัดแสง รุ่น BH1750 และวงจรเวลา

ในการทดลองได้ใช้แบบสอบถามเพื่อประเมินสภาวะความสบายเชิงความร้อนและความสบายทางสายตาซึ่งจะมีคนเข้ามาทำแบบสอบถามจำนวน 4 คนต่อวัน แต่ละคนนั่งภายในห้องทดลอง 2 ชั่วโมง และได้ทำการวัดระดับความสว่างโดยใช้ lux meter รุ่น Testo 545 ที่ตำแหน่งสูง

จากพื้น 0.75 เมตร และที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 1.5 เมตร และให้ผู้ตอบแบบสอบถามนั่งที่ตำแหน่งดังกล่าว นอกจากนี้ยังมีการวัดอุณหภูมิโถงม่าน อุณหภูมิกระจก อุณหภูมิผนัง โดยเทอร์โมคัปเปิลชนิด T และวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องโดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์รุ่น Testo 445 เพื่อใช้ในการคำนวณการถ่ายเทความร้อนผ่านหน้าต่าง



รูปที่ 2 ห้องทดลอง

ข้อมูลรังสีอาทิตย์ที่ใช้ในการคำนวณการถ่ายเทความร้อนผ่านหน้าต่างได้รับข้อมูลจากสถานีวัดของภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ซึ่งตั้งอยู่บริเวณใกล้เคียงกับห้องทดลอง

4. ผลและการวิเคราะห์ผล

ได้ทำการทดลองทั้งหมด 3 กรณี คือ ปรับม่านมุมคงที่ ปรับม่านตามเวลาการใช้งาน และปรับม่านอัตโนมัติตามระดับแสงในห้อง

4.1. กรณีปรับมุมม่านคงที่

ทดลองปรับมุมม่านคงที่ ที่มุม 0° (ปิด), 15° , 30° , 45° , 60° , 90° (เปิดโถงม่านตั้งฉากกับหน้าต่าง), -15° , -30° , -45° , -60° โดยมุมที่มีค่าบวกแสดงถึงม่านที่บิดเพื่อบังรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ ส่วนมุมที่มีค่าติดลบแสดงถึงม่านที่บิดในแนวนอนกับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์

ผลการทดลองของม่านที่มุมต่างๆ โดยในแต่ละวันได้ทำการทดลองใน 2 ห้องที่มีลักษณะเดียวกันเพื่อเปรียบเทียบผลที่สภาวะแสงภายนอกที่เท่ากัน ในตารางที่ 1 และ 2 แสดงผลของกรณีม่านบิดบังรังสีตรงและขนานกับรังสีตรงโดยเรียงลำดับจากม่านที่บิดมุมปิดไปยังม่านที่เปิดให้เห็นภายนอกได้เพิ่มขึ้น

จากผลพบว่าเมื่อม่านปรับมุมที่เปิดให้เห็นภายนอกได้มากขึ้นจะมีปริมาณแสงที่บริเวณพื้นที่ทำงานสูงขึ้น โดยที่มุมเดียวกัน ม่านที่บิดบังรังสีตรงจะมีปริมาณแสงต่ำกว่า

ETM-26

ม่านที่ปิดขนานรังสีตรง โดยในช่วงเช้า ดวงอาทิตย์อยู่ด้านทิศตะวันออก จึงไม่มีรังสีตรงผ่านหน้าต่าง ส่วนในช่วงบ่ายดวงอาทิตย์อยู่ด้านหลังหน้าต่างจึงมีโอกาสมันจะมีแสงตรงลอดผ่านช่องระหว่างใบม่านเข้ามาได้ โดยที่มุมม่าน 60° 90° และ -60° ในช่วงเวลา 16.00น. จะมีแสงตรงลอดเข้ามาภายในห้องและมีปริมาณความสว่างสูงเกินกว่า 2000 lux ซึ่งเป็นปริมาณความสว่างสูงสุดที่สามารถใช้งานได้จากหลักการของ Useful Daylight Illuminance (UDI)[4]

ตารางที่ 1 ความสว่างบนโต๊ะทำงาน (lux) ที่เวลาต่างๆ กรณีปรับมุมม่านคงที่เวลา 9:00-12:00น.

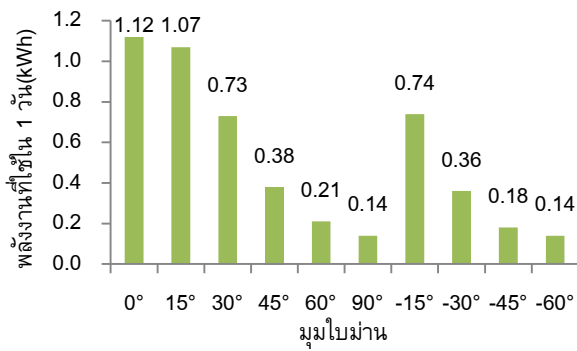
วันที่ทดลอง	มุมม่าน (องศา)	ความสว่าง เวลา 9:00-12:00น. (lux)		
		ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย
กรณีม่านปิดบังรังสีตรง				
30 ก.ย. 57	0 (ปิด)	0	9	5
	15	14	39	25
3 ต.ค. 57	15	15	36	23
	30	69	122	88
4 ต.ค. 57	30	66	106	87
	45	134	229	184
12 ต.ค. 57	45	176	345	270
	60	261	512	410
22 ธ.ค. 57	90 (เปิดสุด)	366	880	634
กรณีม่านปิดขนานรังสีตรง				
14 ต.ค. 57	0 (ปิด)	2	8	5
	-15	73	142	109
16 ต.ค. 57	-15	69	128	94
	-30	166	297	219
17 ต.ค. 57	-30	181	281	220
	-45	241	371	298
22 ต.ค. 57	-45	261	584	430
	-60	322	668	477

ตารางที่ 2 ความสว่างบนโต๊ะทำงาน (lux) ที่เวลาต่างๆ กรณีปรับมุมม่านคงที่เวลา 12:00-17:00น.

วันที่ทดลอง	มุมม่าน (องศา)	ความสว่าง เวลา 12:00-17:00น. (lux)		
		ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย
กรณีม่านปิดบังรังสีตรง				
30 ก.ย. 57	0 (ปิด)	0	20	9
	15	1	73	35
3 ต.ค. 57	15	28	140	67
	30	98	524	245
4 ต.ค. 57	30	106	306	173
	45	202	781	394
12 ต.ค. 57	45	203	750	448
	60	392	3430	921
22 ธ.ค. 57	90 (เปิดสุด)	724	2351	1296
กรณีม่านปิดขนานรังสีตรง				
14 ต.ค. 57	0 (ปิด)	2	20	10
	-15	78	292	173
16 ต.ค. 57	-15	92	365	231
	-30	240	887	564
17 ต.ค. 57	-30	315	923	613
	-45	455	1420	924
22 ต.ค. 57	-45	477	1240	792
	-60	634	2750	1489

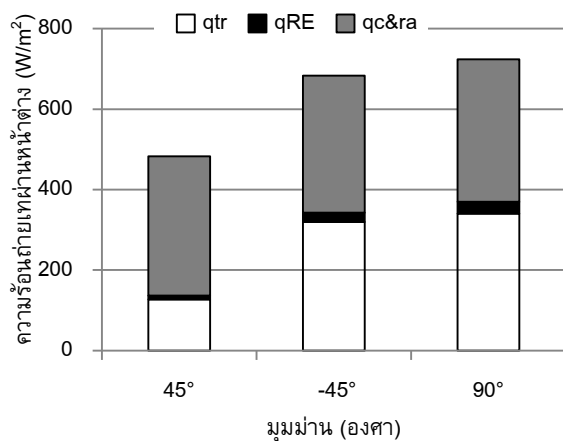
รูปที่ 3 แสดงผลการคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบส่องสว่างกรณีปรับมุมม่านคงที่พบว่าเมื่อปรับมุมม่านที่เปิดมากขึ้นจะสามารถได้รับแสงธรรมชาติเพื่อทดแทนการใช้แสงจากหลอดไฟได้มากขึ้นส่งผลให้มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบส่องสว่างลดลง และที่มุมเปิดเท่ากันแต่ปิดขนานกับรังสีตรงจะมีแสงธรรมชาติเข้ามาได้ปริมาณมากกว่า จึงมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบส่องสว่างที่ต่ำกว่า โดยมุมที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบส่องสว่างน้อยที่สุดคือมุม 90°

ETM-26



รูปที่ 3 การใช้พลังงานในระบบส่องสว่างกรณีม่านปรับมุมคงที่

ถึงแม้ว่าที่มุมเปิดเท่ากันแต่บิดขนานกับรังสีตรงจะมีแสงธรรมชาติเข้ามาได้ปริมาณมากกว่า แต่ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านหน้าต่างจะมีค่าสูงกว่าซึ่งเป็นภาระของระบบปรับอากาศ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ความร้อนถ่ายเทผ่านหน้าต่างกรณีม่านปรับมุมคงที่

รูปที่ 4 แสดงผลการคำนวณการถ่ายเทความร้อนผ่านหน้าต่างที่เวลา 15:00 น. โดยเปรียบเทียบกรณีมุม 45° มุม -45° และมุมบิดใบม่านตั้งฉากกับหน้าต่าง (90°) โดยมุม 90° จะมีการถ่ายเทความร้อนเข้ามาภายในห้องมากที่สุด ในกรณีปรับมุมม่านคงที่ที่มุม -45° จะมีการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 682.97 W/m² ซึ่งสูงกว่าในกรณีมุมม่าน 45° ที่มีการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 482.54 W/m² เนื่องจากใบม่านบิดในลักษณะบังรังสีตรงส่งผลให้รังสีอาทิตย์ที่ลอดผ่านช่องว่างระหว่างใบม่าน (q_{tr}) เข้ามาภายในห้องมีค่าต่ำกว่ากรณีมุม -45° ที่มุมม่านทั้ง 3 มุม มีการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพาและการแผ่รังสีจาก

ใบม่านและกระจก ($q_{c&ra}$) ที่ใกล้เคียงกันเนื่องจากอุณหภูมิของใบม่านและกระจกใกล้เคียงกัน ส่วนความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบใบม่านแล้วสะท้อนเข้าห้อง (q_{RE}) นั้นมีค่าต่ำในทั้ง 3 กรณี เมื่อคิดเป็นอัตราส่วนแสงที่เข้ามาที่โต๊ะทำงานต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านหน้าต่างที่มุม -45° และ 45° คือ 0.97 lux.m²/W และ 1.015 lux.m²/W

ผลการสำรวจจากผู้ทำแบบสอบถามในกรณีปรับมุมคงที่ พบว่าผู้ที่ร่วมการทดลองทำแบบสอบถาม จะรู้สึกจะรู้สึกแยงตาและรู้สึกค่อนข้างอุ่น หรือเทียบเท่ากับระดับ PMV ที่เท่ากับ 1 ที่มุม 60°, 90°, 45°, -60° โดยที่มุม 60° และมุม -45° จะรู้สึกที่เวลา 15.00-17.00น. ที่มุม 90°, -60° จะรู้สึกที่เวลา 13.00-17.00น. ซึ่งเป็นเวลาที่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์ตกกระทบลงบนตัวผู้ร่วมการทดลองทำแบบสอบถาม ส่วนที่กรณีอื่นๆและในเวลาอื่นๆที่ทำการทดลองผู้ที่ร่วมการทดลองทำแบบสอบถามทั้งหมดมีความสบายทางสายตาและมีความสบายทางความร้อน

ดังนั้นในกรณีม่านปรับมุมคงที่ หากต้องการความสว่างบนพื้นที่ทำงาน 500 lux เช่นในกรณีการใช้งานของสำนักงาน ควรปรับมุมที่มุม 45° เนื่องจากเป็นมุมที่ได้รับแสงธรรมชาติที่ความสว่างเฉลี่ยใกล้เคียง 500 lux และยังคงสภาวะความสบายทางสายตาและความสบายทางความร้อนได้ตลอดทั้งวัน โดยสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระบบส่องสว่างได้มากกว่ากรณีที่ไม่มีการใช้แสงธรรมชาติเท่ากับ 66.07%

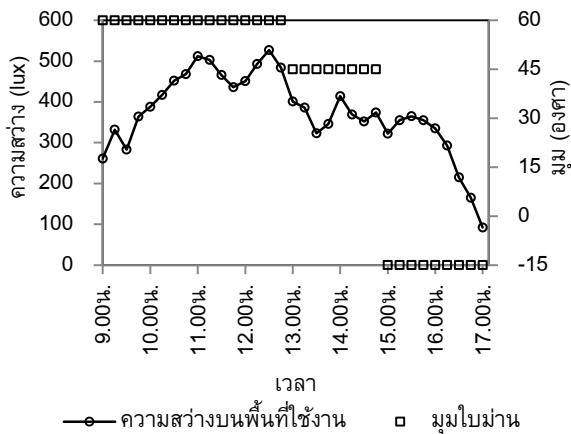
4.2. กรณีปรับมุมม่านตามเวลา

ในกรณีที่ผู้ใช้งานภายในอาคารสามารถทำการปรับมุมม่านได้ด้วยตนเองนั้น ซึ่งจากผลการทดลองม่านที่มุมใบม่านต่างๆข้างต้น ในการวิจัยนี้ได้เสนอให้ทำการปรับมุมม่านที่เวลาต่างๆดังแสดงในรูปที่ 5 โดยอาศัยหลักเกณฑ์ในการเลือกมุมม่านคือ เลือกมุมใบม่านที่ผู้ใช้งานมีความสบายเชิงความร้อนและความสบายทางสายตา ตลอดทั้งวัน ค่าความส่องสว่างบนพื้นที่ใช้งานใกล้เคียง 500 lux และความถี่ในการปรับมุมไม่เกิน 4 ครั้งต่อวันเพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งานจริง

จากรูปที่ 5 ผลการทดลองวัดค่าความส่องสว่างในกรณีปรับมุมม่านตามเวลาการใช้งาน พบว่าที่เวลา 11.00 น. และ 12.30 น. มีค่าความส่องสว่าง 513 lux และ 527 lux ตามลำดับ ซึ่งเกินกว่า 500 lux เล็กน้อย และแสงจะลดลงเรื่อยๆในช่วงบ่าย

ETM-26

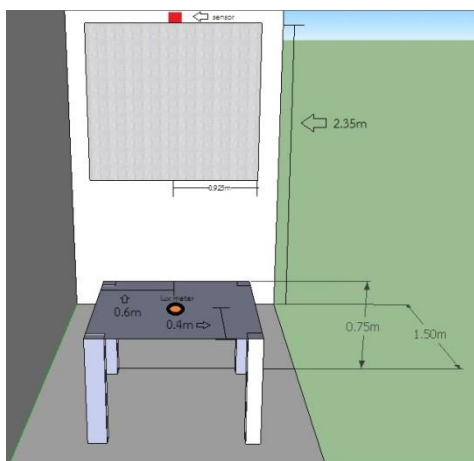
ผลการสำรวจจากผู้ทำแบบสอบถามกรณีปรับมุมตามเวลาการใช้งานพบว่าผู้ร่วมการทดลองนี้ไม่รู้สึกรบกวนและไม่รู้สึกว่าไม่สบายทางความร้อน และจากผลการคำนวณในกรณีปรับมุมตามเวลาการใช้งานมีการใช้พลังงานต่อวันเท่ากับ 0.32 kWh ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการใช้แสงธรรมชาติ สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระบบส่องสว่างได้ 71.43%



รูปที่ 5 ความสว่างในกรณีปรับมุมตามเวลาการใช้งาน

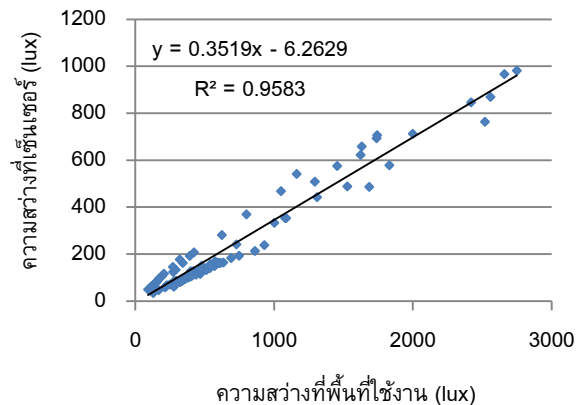
4.3. กรณีปรับมุมอัตโนมัติตามระดับแสงภายในห้อง

ในการใช้งานม่านอัตโนมัตินั้น อาจเกิดความไม่สะดวกหากนำเซ็นเซอร์วัดแสงไปติดตั้งบริเวณพื้นที่ใช้งานโดยตรง ดังนั้นในการวิจัยนี้ได้มีการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดปริมาณความสว่างที่ด้านบนใบม่าน ที่ตำแหน่งสูงจากพื้น 2.35 เมตร โดยพื้นที่ใช้งานนั้นอยู่ที่ตำแหน่งสูงจากพื้น 0.75 เมตร และที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 1.5 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 6



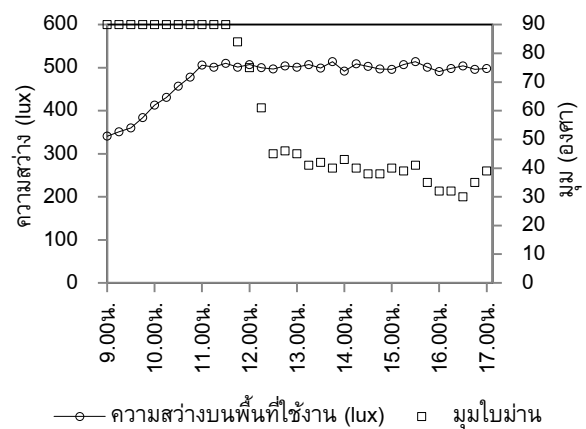
รูปที่ 6 ตำแหน่งเซ็นเซอร์วัดปริมาณความสว่าง

จากผลการทดลองที่มุม 45° มุม 45° และมุม 90° พบความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างที่วัดได้โดยเซ็นเซอร์กับความสว่างที่วัดได้ในพื้นที่ใช้งานเป็นสมการเส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างแสงที่วัดได้ที่เซ็นเซอร์ (lux) และแสงที่วัดได้ในพื้นที่ใช้งาน (lux)

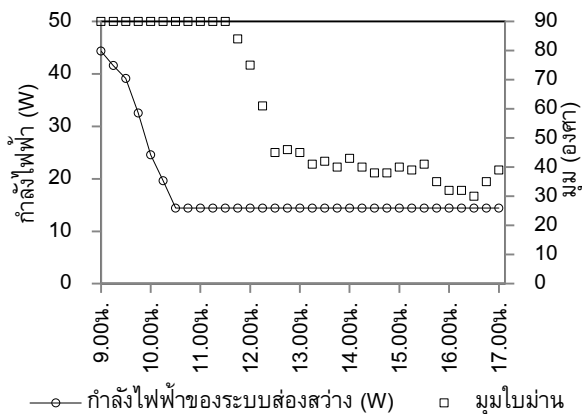
จากสมการเส้นตรงที่ได้เมื่อทำการใช้งานม่านอัตโนมัติหากต้องการระดับความสว่างที่ 500 lux บนโต๊ะทำงาน ณ ตำแหน่งที่กำหนด จะต้องตั้งค่าความสว่างที่สูงสุดที่ต้องการที่เซ็นเซอร์เท่ากับ 170 lux โดยระดับความสว่างที่เกิดขึ้นจริงบนพื้นที่ใช้งานที่เวลาต่างๆแสดงดังในรูปที่ 8



รูปที่ 8 ความสว่างและมุมใบม่านในแต่ละเวลาในกรณีม่านปรับแสงอัตโนมัติ

ETM-26

ผลจากการทดลองในกรณีปรับแสงอัตโนมัติพบว่า ในช่วงเวลา 9.00 น.-11.45 น. ม่านปรับที่มุม 90° (ใบม่านปรับตั้งฉากกับหน้าต่าง) เนื่องจากแสงภายนอกที่เข้ามาในช่วงเวลานี้มีปริมาณไม่ถึง 500 lux หลังจากนั้นม่านได้ปรับมุมลดลงมาเรื่อยๆ เพื่อควบคุมให้แสงที่เข้ามาไม่เกินกว่า 500 lux โดยในช่วงบ่ายมุมใบม่านปรับอยู่ในช่วง 30 – 45 องศา



รูปที่ 9 ความต้องการกำลังไฟฟ้าของระบบส่องสว่าง
ในกรณีม่านปรับแสงอัตโนมัติ

จากผลการทดลองกรณีใช้ม่านปรับแสงอัตโนมัติพบว่าในเวลา 9.00 น. มีความต้องการกำลังไฟฟ้าของระบบส่องสว่างสูงที่สุด เนื่องจากปริมาณแสงที่เข้ามาในห้องมีไม่ถึง 500 lux โดยต้องเปิดไฟฟ้าตั้งแต่เวลา 9.00 น.-10.45 น. หลังจากนั้นแสงธรรมชาติที่เข้ามาเพียงพอต่อการใช้งานดังแสดงในรูปที่ 9 โดยมีการใช้พลังงานต่อวันเท่ากับ 0.15 kWh ซึ่งประหยัดพลังงานไฟฟ้าเมื่อเทียบกับการไม่ใช้แสงธรรมชาติเท่ากับ 86.60% และจากผลการสำรวจจากผู้ทำแบบสอบถามในกรณีใช้ม่านปรับแสงอัตโนมัติพบว่าผู้ที่ร่วมการทดลองทำแบบสอบถามทั้งหมดมีความสบายทางสายตาและมีความสบายทางความร้อน

5. สรุปผล

จากการศึกษาพบว่าการใช้ม่านปรับแสงแนวตั้งโดยการปรับใบม่านที่มุมต่างๆ สามารถส่งผลต่อสภาวะความสบายเชิงความร้อน สภาวะสบายทางสายตา และการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร โดยหากปรับมุมม่านที่มุมเดียวตลอดทั้งวันควรปรับมุมม่านที่ 45° จะสามารถลดการใช้ไฟฟ้าในระบบส่องสว่างโดยยังได้รับสภาวะความสบายทางสายตาและความร้อนตลอดทั้งวัน ส่วนการปรับมุมตามเวลาการใช้งานนั้นควรปรับมุมใบม่านที่มุม 60° ใน

เวลา 9.00 น. – 13.00 น. ที่มุม 45° เวลา 13.00 น. – 15.00 น. และ ที่มุม -15° เวลา 15.00 น. – 17.00 น. จะสามารถประหยัดไฟฟ้าในระบบส่องสว่างได้มากกว่ากรณีปรับมุมม่านคงที่ และมีสภาวะความสบายตลอดทั้งวัน ในกรณีม่านปรับแสงอัตโนมัติตามระดับความสว่างภายในห้องจะสามารถประหยัดไฟฟ้าในระบบส่องสว่างได้มากกว่าทั้งกรณีปรับมุมม่านคงที่และกรณีปรับมุมม่านตามเวลาโดยมีสภาวะความสบายตลอดทั้งวัน

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูลรังสีอาทิตย์และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ได้เอื้อเฟื้อทุนในการดำเนินการวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Kim, J.H., Park, Y.J., Yeo, M.S., and Kim, K.-W. (2009). An experimental study on the environmental performance of the automated blind in summer, paper presented in the 6th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation & Energy Conservation in Buildings 2007, Sendai, Japan.
- [2] Oh, M. H., Lee, K. H. and Yoon, J. H. (2012). Automated control strategies of inside slat-type blind considering visual comfort and building energy performance, *Cool Roofs Cool Pavements Cool Cities and Cool World*, vol. 55(0), December 2012, pp. 728–737.
- [3] Robinson, L., and Athienitis, A. (2009). Design Methodology for Optimization of Electricity Generation and Daylight Utilization for Façade with Semitransparent Photovoltaics, paper presented in the Eleventh International Conference of International Building Performance Simulation Association, Glasgow, Scotland.
- [4] Nabil, A. and Mardaljevic, J., (2005). Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings, *Lighting Research and Technology*, vol. 37(1), March 2005, pp.41-57.