

เทคโนโลยีอาคาร



# Development of Physical-based Linear Parametric Model Utilizing Virtual Sensors for Predicating Zone Temperature in a Retail Store

## การพัฒนาแบบจำลองทางฟิสิกส์โดยใช้สมการคณิตศาสตร์เชิงเส้นเพื่อการทำนายอุณหภูมิห้องสำหรับอาคารค้าปลีก

Denchai Woradechjumroen<sup>1\*</sup>, Yuebin Yu, Ph.D.<sup>2</sup> and Haorong Li, Ph.D.<sup>3</sup>

เด่นชัย วรเดชจำเจริญ<sup>1\*</sup>, Yuebin Yu, Ph.D.<sup>2</sup> และ Haorong Li, Ph.D.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Durham School of Architectural Engineering and Construction, University of Nebraska-Lincoln, Omaha, NE, USA

E-mail: dworadechjumroe@unomaha.edu<sup>1\*</sup>, yuebin.yu@unl.edu<sup>2</sup>, hli3@unl.edu<sup>3</sup>

### Abstract

Multi-zone layout is commonly designed for small commercial office buildings, retail stores and supermarkets. These buildings are typically served by multiple packaged rooftop units to supply heating and cooling for satisfying occupants' thermal comfort. With this open space layout, the center temperature of a zone is generally different from the ambient temperature of a zone. To accurately predict the representative zone temperature, physical temperature sensors are generally installed at multiple positions in a zone in order to develop temperature distribution estimation; however, this approach is difficult to apply in buildings due to the open space constraints. To overcome the problem, this article develops the novel zone temperature model using virtual surface temperature sensors as one of the components instead of the center temperature in adjacent zones. The proposed model is validated by simulation data obtained from a building simulation platform based on two criteria.

### บทคัดย่อ

อาคารรูปแบบหลายโซนได้รับการออกแบบทั่วๆ ไปสำหรับอาคารพาณิชย์ขนาดเล็ก อาคารค้าปลีกและอาคารซูเปอร์มาร์เก็ต อาคารเหล่านี้ถูกส่งความเย็นและความร้อนเพื่อความสะดวกสบายของผู้ใช้อาคารด้วยเครื่องแพคเกจจิ้งแบบติดตั้งคาดฟ้าหลายตัว เกี่ยวกับลักษณะของรูปแบบอาคารชนิดนี้ อุณหภูมิศูนย์กลางของห้องจะมีความแตกต่างจากอุณหภูมิรอบๆ โซน เพื่อที่จะทำนายอุณหภูมิห้องได้ถูกต้อง เช่นเซอร์วัดอุณหภูมิจะถูกติดตั้งในหลายๆ ตำแหน่งบริเวณพื้นที่ของโซนเพื่อที่จะพัฒนาตัวประมาณการกระจายตัวของอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีความยากที่จะนำไปใช้ได้จริงเนื่องจากข้อจำกัดของรูปแบบพื้นที่เปิด เพื่อจะแก้ปัญหานี้ บทความนี้ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองอุณหภูมิของโซน

แบบใหม่โดยใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิผิวแบบเสมือนซึ่งเป็นหนึ่งในส่วนประกอบของสมการแทนที่การใช้ อุณหภูมิที่ศูนย์กลางของโซนที่อยู่ใกล้เคียง แบบจำลองที่นำเสนอจะถูกตรวจสอบด้วยข้อมูลจำลองที่ได้ จากแพลตฟอร์มการจำลองอาคารด้วยเกณฑ์การตรวจสอบสองแบบ

**Keywords (คำสำคัญ):** ARX, Retail Stores (อาคารค้าปลีก), Physical-based Linear Parametric Model (แบบจำลองทางฟิสิกส์โดยใช้สมการคณิตศาสตร์เชิงเส้น), Virtual Wall Surface Temperature Sensor (เซนเซอร์วัดอุณหภูมิผิวของผนังแบบเสมือน), Supervisory Control (การควบคุมแบบอำนวยการ)

## 1. Introduction

Packaged air-conditioning equipment such as rooftop units (RTUs) has been intensively used in commercial buildings. Approximately, they consumed nearly 50% of all cooling conditioned commercial floor space in the United States (DOE, 2012). Despite their low initial and installation cost, they are expensive to operate. Over 90% of the units are of constant capacity, under-sensed, and have only rudimentary local on-off control. Meanwhile, based on year-long trended data from dozens of stores, it has been found that oversizing is a common problem with RTUs (Woradechjumroen et al., 2014). The over-sized capacity has an average value of 84% for cooling and 299% for heating. These issues incur low-energy efficiency, reduce life cycle of equipment, and affect the indoor environment control. To improve the efficiency of RTUs, many solutions were proposed by other researchers, such as a multi-speed fan control, demand-controlled ventilation, multi-stage compressor control, and enthalpy economizer control (Wang et al., 2011).

However, these techniques all require the installation of additional instruments and therefore encounter significant market resistance; they cannot eliminate other problems such as simultaneous cooling and heating and non-coordinated local control. To tackle these problems, advanced supervisory control of multiple RTUs can solve these challenges, but it requires the accurate prediction of zone temperatures in order to suitably design control values for optimizing efficient energy. This paper proposes a novel physical-based linear parametric model for predicting multi-zone temperatures utilizing the developed virtual wall surface temperature sensors (Yu et al., 2014) as one of components instead of adjacent zone temperatures. The validation of the proposed model is conducted via goodness of fit (G) through the off-control conditions of data obtained from the building simulation platform using an artificial weather in Miami, Florida USA. Also, the prediction results are compared with the same models which utilizing simulated wall surface temperature instead of the virtual sensors. The results

show that the physical model based linear parametric model, ARX (autoregressive with external inputs) 211, performs well and can be further applied in real-time supervisory control in a future research.

## 2. Multi-zone building with on-off control

Figure 1 shows the simulated three-zone one-story commercial building. The height of the building is 3.50 m and all windows are assigned to be of 1.2 m height. Three one-stage RTUs are installed to provide heating and cooling to the space. The cooling model is operated by a vapor compression cycle, whereas the heating mode uses electric heating instead of gas furnace. The rated cooling capacities are 5kW, 5kW, and 6.5kW, and the rated heating capacities are 4kW, 4kW and 4.5kW for RTU1, RTU2 and RTU3, respectively. The building model is established by HAMBASE (Wit, 2006) running on Matlab environment. The operating differential temperature is set as 2°C for all of RTUs Each RTU is controlled by individually on-off control as depicted in Figure 2 that briefly describes typical on-off control of a RTU with two-stage heating. The first-stage setpoint of the conditioned space is 20°C and the second-stage set point is 18.89°C. Whenever the temperatures of a space vary below the first-stage setpoint, the first-stage heating is turned on to supply heat; it is automatically turned off when the temperatures of the zone are higher than the setpoint plus the dead

band, shown as region B in the figure. The second-stage heating is turned on to supply auxiliary heat if indoor temperatures are below 18.9°C. The second-stage remains on until the temperatures in the zone are higher than 18.9°C and out of the operating differential range A.

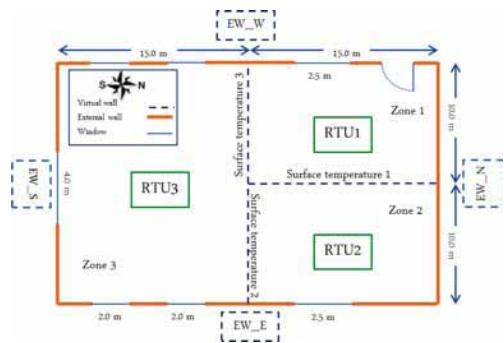


Figure 1 Illustrates three-zone one-story commercial building (Yu et al., 2014).

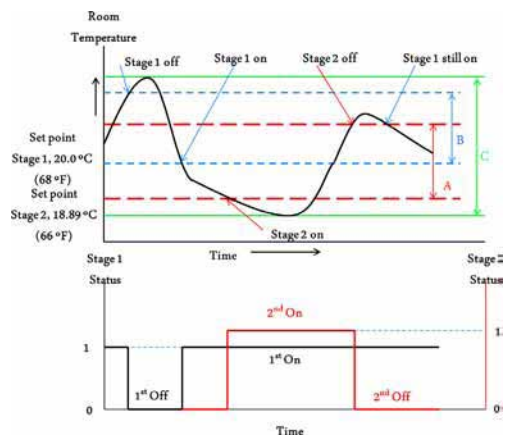


Figure 2 Demonstrates on-off control action for a heating mode (Woradechjumroen et al., 2014)

## 3. Model development

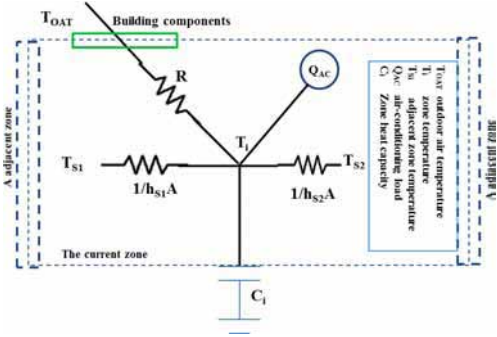
Conventionally, the heat balance equation of a zone temperature model has been developed using heat transfer from adjacent

zones through walls. However, this prior development cannot measure and analyze energy interaction and model uncertainties occurring at virtual walls in a multi-zone building layout. Since an advanced supervisory control, which will be developed, concurrently requires multi-zone temperature prediction and the analysis of model uncertainties and heat transfer around virtual wall environment, the current paper proposes a novel physical-based parametric model for predicting multi-zone room temperature utilizing the prediction of virtual wall surface temperature developed by our team (Yu et al., 2014). The model of this zone prediction is initially derived from the heat balance equation at the center of a room in Equation 1.

$$m_i C_{pa} \frac{d}{dt}(T_i) = \dot{m}_{a\_AC} C_{pa} (T_{AC} - T_i) + h_j A_j \sum (T_{S_j} - T_i) + \sum \frac{(T_{OAT} - T_i)}{R_{ToTi}} \quad (1)$$

, where  $i$  is zone index;  $j$  is adjacent zone index;  $C_{pa}$  ( $J / kg \cdot ^\circ C$ ) is the specific heat capacity of dry air;  $T_i$  ( $^\circ C$ ),  $T_{S_j}$  ( $^\circ C$ ),  $T_{OAT}$  ( $^\circ C$ ) and  $T_{AC}$  ( $^\circ C$ ) are room temperature, surface temperature in zone  $i$ , outdoor air temperature and supply air temperature of a RTU;  $m_i$  ( $kg$ ) and  $\dot{m}_{a\_AC}$  ( $kg / s$ ) are the air mass for a given zone and the mass flow rate of a room air and RTU;  $h_j$  ( $W / m^2 \cdot ^\circ C$ ) is convective heat transfer coefficients of an adjacent zone;  $R_{ToTi}$  ( $^\circ C / W$ ) is total thermal resistance of wall window and roof and  $A_j$  ( $m^2$ ) is the area of an internal wall. The two major

assumptions used in Figure 3 include: 1) each zone is well mixed, 2) heat radiation exchanges between a zone and surfaces are neglect and 3) internal and infiltration load in each zone are ignored. With these simplifications, the heat balance equation of the room model prediction consists of three load components: heat flow through building components; heat flow from the virtual walls; and load provided from the RTU.



**Figure 3** Shows a simplified room thermal model Using a weight version of the central difference approximation in Equation 2,

$$\frac{d}{dt} T_i \approx k_1 \left( \frac{T_{i,n+1} - T_{i,n}}{\Delta t} \right) + k_2 \left( \frac{T_{i,n} - T_{i,n-1}}{\Delta t} \right) \quad (2)$$

$$; k_1 + k_2 = 1$$

The physical model can be arranged in the form of linear parametric model in Equation 3 for conveniently real-time programming. The arrangement of the physical model based ARX model is:

$$(1 + \beta_{i1} q^{-1} + \beta_{i2} q^{-2}) T_{i,n} = \alpha_i T_{air,n-1} + \sum_{j \in N_i} \alpha_j T_{i_j,n-1} + \alpha_{OAT} T_{OAT,n-1} \quad (3)$$

,in which  $\alpha = \frac{\Delta t}{m_i C_{pa} k_1}$ ,  $\alpha_{OAT} = \frac{\alpha}{R_{ToTi}}$ ,  $\alpha_j = h_j A \alpha$

$$\beta_{i1} = \frac{1 - 2k_1}{k_1} + \alpha_i + \alpha_{OAT} + \sum_{j \in N_i} \alpha_j, \quad \beta_{i2} = \frac{k_1 - 1}{k_1}$$

#### 4. Model validation

In this section, the model validation is tested by using the off-control condition of a RTU. First validation is compared simulated room temperatures with predicted models: ARX211 and ARMAX (autoregressive moving average with exogenous variables) 2111; these two models apply the predicted values of wall surface temperature obtained from the virtual sensors in model prediction. The prediction results are depicted in Figure 4 to 6 for zone 1, 2 and 3, respectively.

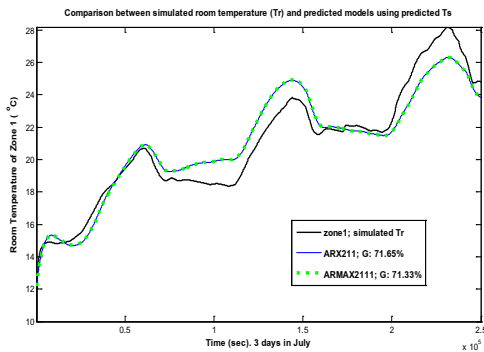


Figure 4 Shows the results of zone 1 by using predicted TS as the component of a model.

From Figure 4 to 6, the physical-based parametric models in terms of ARX 211 perform well; the results are similar to the prediction obtained by ARMAX2111, which includes an error term.

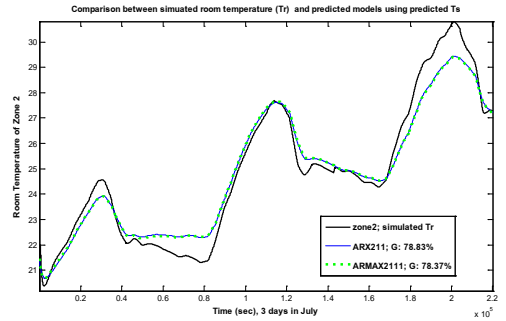


Figure 5 Depicts the results of zone 2 by using predicted  $T_s$  obtained from virtual sensors.

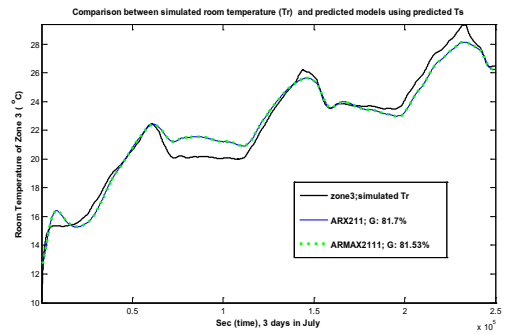
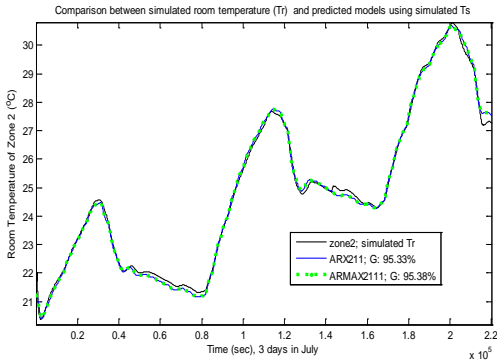


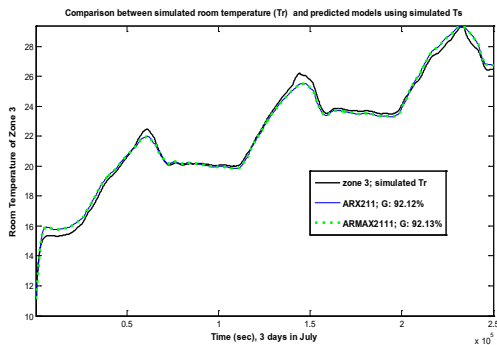
Figure 6 Shows the results of zone 3 by using predicted  $T_s$  obtained from virtual sensors.

Additionally, to evaluate the effect of prediction error in virtual wall surface temperature sensors, we assume that  $T_s$  can be measured by replacing simulated results from building platform instead of the values of predict  $T_s$ . The goodness of fit (G) is also used for predicting room temperature. Two examples of the evaluation are conducted by zone 2 and 3 in Figure 7 and 8, respectively. By comparison, the virtual sensor effect can degrade the prediction performance up to around 17% (comparing Figure 5 with Figure

7 based on ARX211) in zone 2 and around 11% (comparing Figure 6 with Figure 8 based on ARX 211) in zone 3.



**Figure 7** Demonstrates the effect of the virtual sensor application in zone 2



**Figure 8** Shows the effect of the virtual sensor application in zone 3

## 5. Conclusion

In this present study, the novel physical-based parametric model is proposed for predicting room temperatures by using the application of the virtual sensor. With the application of the virtual sensor, not only does the proposed model show good prediction performances, but it is also used to analyze the heat interaction between a zone and the

adjacent zones via the virtual wall surface temperature for mainly solving simultaneous cooling and heating problem; the proposed model can be conveniently and potentially applied in novel supervisory control for a future research.

## References

- DOE (2012). *Energy efficiency and renewable energy*. Commercial building energy alliance. Annual report. USA.
- Woradechjumroen, D., Yu, Y., Li, H., Yang, H., Yu, D (2014). Analysis of HVAC system oversizing in commercial buildings through field measurements. *Energy and Buildings*, 69, 131–143.
- Wang, W., Huang, Y., Katipamula, S., Brambley, M.R. (2011). *Energy saving and economics of advanced control strategies for packaged air-conditioning units with gas heat*. PNNL-20955. Pacific Northwest National Laboratory Richland, Washington.
- Yu, Y., Woradechjumroen, D., Yu, D. (2014). Virtual surface temperature sensor for multi-zone commercial buildings. The 6th International Conference on Applied Energy.
- Wit, M.H. de. (2006). *HAMBBase. Heat, air and moisture model for building and systems Evaluation*. *Bouwstenen 100*. Eindhoven University of Technology.



การศึกษาเปรียบเทียบคุณลักษณะทางแสงสว่างของ  
หลอดไฟแอลอีดีและหลอดฮาโลเจนที่มีผลต่อการมองเห็นของคนไทย  
The Comparison Study of Lighting Characteristics  
between Led and Halogen Lamp on Visibility of Thai People

นพวุฒิ ไผทรัตน์<sup>1</sup>, ดร.ศิริเดช สุริต<sup>2</sup> และ ดร. นวนวรรณ ทวยเจริญ<sup>3</sup>  
Noppawut Patirat<sup>1</sup>, Siradech Surit, Ph.D.<sup>2</sup> and Nuanwan Tuaijaroen, Ph.D.<sup>3</sup>

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์<sup>1,2</sup>

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์<sup>3</sup>

E-mail: chaise\_longue@hotmail.co.th<sup>1</sup>, archsds@ku.ac.th<sup>2</sup>, nuanwan@gmail.com<sup>3</sup>

#### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการพัฒนาหลอดไฟแอลอีดี (LED) สำหรับการส่องสว่างและงานตกแต่งสำหรับที่พักอาศัย และงานสถาปัตยกรรมกำลังเริ่มเป็นที่นิยมในประเทศไทย ด้วยคุณสมบัติของหลอดไฟแอลอีดีดังกล่าว เช่น การประหยัดพลังงาน และไม่ปล่อยรังสีความร้อน ทำให้นักวิจัยเรื่องหลอดไฟแอลอีดีเป็นที่สนใจมาโดยตลอด อย่างไรก็ตามการศึกษาในด้านอิทธิพลต่อการมองเห็นเมื่อมีการเปลี่ยนไปใช้หลอดแอลอีดีว่าสามารถใช้ทดแทนหลอดไฟชนิดต่าง ๆ ได้หรือไม่โดยเฉพาะกับคนไทยนั้นยังมีอยู่ค่อนข้างจำกัด การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาการมองเห็นของคนไทยจากหลอดแอลอีดี เทียบกับหลอดไฟฮาโลเจนแต่ละชนิด โดยศึกษาในสองแง่ ได้แก่ ในแง่แรกคือการศึกษาอิทธิพลต่อศักยภาพในการมองเห็นซึ่งทดสอบโดย Numerical Verification Test (NVT) และในแง่ที่สองคือการศึกษาอิทธิพลต่อความรู้สึกต่อการส่องสว่างที่เกิดขึ้น ซึ่งทำการทดสอบโดยการใช้ Semantic Differential Method (SDM) การศึกษาครั้งนี้ได้จัดทำในห้องมืดที่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ การทดสอบประกอบด้วย 2 การทดลองโดยแต่ละการทดลองนั้นได้ศึกษาการเปรียบเทียบหลอดแอลอีดี และหลอดฮาโลเจนแต่ละชนิด โดยทำการทดสอบ 2 ปัจจัย ได้แก่ ชนิดของหลอดไฟและระดับการส่องสว่าง การศึกษาครั้งนี้มีผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งหมด 32 คนในแต่ละการทดลอง ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าโดยภาพรวมนั้นหลอดไฟแอลอีดีสามารถใช้ทดแทนหลอดฮาโลเจนได้และมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าในหลายประเด็น

#### Abstract

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

of LED to other lamps are relatively limited, especially for Thai people. This study aimed to explore the visibility of the Thai people when there is a replacement of LED to each type of halogen. There are two aspects to be investigated. The first aspect is to see the effects of the replacements on visual performance, assessed by using Numerical Verification Test (NVT). The second aspect is to explore their effects on subjective impression of space evaluated by using Semantic Differential Method (SDM). Two experiments were carried out in a dark test room at the Faculty of Architecture, Kasetsart University. There were two experiments to be carried out and each of them aimed to explore different type of the replacement of LED to halogen. For each experiment, there were two factors to be investigated, which are 1) type of lamp and 2) illuminance level. There were 32 subjects participated in each experiment. In overall, the results indicated that LED can replace halogen and in several aspects LED perform better than halogen.

**คำสำคัญ (Keywords):** ความส่องสว่าง (Illuminance), ศักยภาพการมองเห็น (Visual Performance), คุณภาพแสง (Color Quality), การกระจายตัวของสเปกตรัม (Spectrum Power Distribution)

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีหลอดไฟแอลอีดี ถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพกว่าหลอดไฟชนิดอื่นที่ใช้กันในอดีต เช่น ไม่เปลืองรังสี UV และรังสีอินฟราเรด อีกทั้งประหยัดพลังงานกว่าหลอดไฟชนิดอื่น แต่การวิจัยในด้านการมองเห็นของหลอดไฟที่ส่งผลกระทบต่อสายตาคนไทย ยังมีไม่มาก เพื่อเป็นการศึกษาคุณสมบัติของหลอดไฟฮาโลเจนและหลอดไฟแอลอีดี ต่อความสามารถในการมองเห็นและรับรู้ความรู้สึกของคนไทยที่เกิดขึ้นจากหลอดไฟ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อที่จะศึกษาศักยภาพในการมองเห็นของคนไทยจากหลอดแอลอีดี และหลอดฮาโลเจนในระดับความส่องสว่างที่ต่างกันและเปรียบเทียบความรู้สึกของการส่องสว่างทางกายภาพของหลอดแอลอีดี และหลอดฮาโลเจน โดยในการทดสอบได้แบ่งชนิดหลอดในการเปรียบเทียบออกเป็น 2 ชนิด คือ แบบ MR

16 และแบบ Par เนื่องจากเป็นชนิดหลอดฮาโลเจนที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันในการให้แสงสว่างที่פקอาศัยและร้านอาหาร (CIBSE, 1994; TIEA, 1994; CIE, EN)

โดยการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้หลอดไฟยี่ห้อมาตรฐานที่มีขายในประเทศไทยและมีมาตรฐานการผลิตแบบเดียวกัน สามารถปรับหรี่ได้ ดังนี้

1. หลอดไฟ 50W OSRAM Halogen MR16 Dimmable 2700K
2. หลอดไฟ 7W OSRAM LED (สามารถใช้แทน Halogen 50W) Dimmable 2700
3. หลอดไฟ Philips Halogen Par30 ขั้ว E27 Dimmable 2700K
4. หลอดไฟ Philips LED Par 38 (สามารถใช้แทน Par 30 และ 20 ได้) ขั้ว E27 Dimmable 2700K



รูปที่ 1 สภาพในการทดลอง

## 2. ระเบียบวิธีการวิจัย

### 2.1 สภาพในการทดลอง

การทดลองครั้งนี้ทำในบริเวณห้องมืด ชั้น 6 ตึกคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภายในมีพื้นที่ 16 ตารางเมตร หันหน้าไปทางทิศตะวันตก ภายในห้องถูกปรับปรุงสภาพแวดล้อมให้มีมืดสนิท ไม่ให้มีแสงจากภายนอกเข้าไปรบกวน ภายในห้องจะประกอบไปด้วยโต๊ะทดลองสี่ตัว ขนาด 1.20x0.60x1.40 ม. พร้อมแผ่นรองคางและผ้าบังสายตา ด้านในกล่องติดตั้งหลอดไฟ 5 ตัว แบบ E27 3 ตัว และ MR16 2 ตัว ต่อเข้ากับ Dimmer Switch เพื่อให้สามารถปรับระดับความส่องสว่างได้ (Illuminance) บนโต๊ะจะถูกทำเครื่องหมายสำหรับวางแบบทดสอบด้วยเทปดำเพื่อกำหนดกระดาษให้วางอยู่ในจุดๆ เดียวกัน ระยะห่างของดวงตากับแบบทดสอบอยู่ที่ 40 ซม. ตามมาตรฐานการทดสอบสายตาแบบใกล้ (National Medical Audiovisual Center, 1972) โดยสภาพแวดล้อมในการทดสอบดังกล่าวเป็นวิธีการที่ใช้ในการทดสอบทางด้านการรับรู้แสงและศักยภาพในการมองเห็นในหลายๆ การศึกษา (Davis & Garza, 2002; Yamagishi et al., 2008)

### 2.2 วิธีการทดลอง

ในการศึกษาครั้งนี้มีผู้เข้าร่วมการทดลองอยู่ในช่วงอายุ 20-40 ปี Bechtel (1987) กำหนดว่าจำนวนผู้เข้าร่วมการทดลองควรมีอย่างน้อย 30 คน ดังนั้นการศึกษานี้มีจำนวนผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งหมด 32 คน โดยแบ่งเป็นชายหญิง สบายตาปกติและสวมแว่นอย่างละ 16 คน โดยผู้เข้าร่วมการทดลองจะใช้เวลาในการทดลองประมาณ 90 นาที ในการทดลองนั้นผู้ทดสอบจะต้องเข้ามาทีละคนและทำการปรับสายตาในห้องมืดอย่างน้อย 5 นาที จะมีการอธิบายขั้นตอนและตอบแบบฟอร์มแสดงความยินยอมทุกครั้งก่อนทำการทดสอบ วิธีการดังกล่าวใช้ในการศึกษาต่างๆ ในอดีตเพื่อเป็นการควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อความแปรปรวนของข้อมูลได้ อาทิ ความไม่เข้าใจในตัวแปรและวิธีการทดลอง (Tuaycharoen & Tregenza, 2005; Tuaycharoen & Kornisranukul, 2013) โดยการทดลองประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก โดยการทดลองส่วนแรกเป็นการศึกษาเปรียบเทียบหลอดแอลอีดี และหลอดฮาโลเจน ชนิด MR16 และการทดลองส่วนที่สองเป็นการศึกษาเปรียบเทียบหลอดแอลอีดี และหลอดฮาโลเจน ชนิด Par E27 โดยในแต่ละการทดลองจะประกอบด้วยปัจจัยในการทดสอบ 2 ปัจจัย ซึ่งได้แก่ 1) ชนิดของหลอดไฟ คือ หลอดแอลอีดี และหลอดฮาโลเจน และ 2) ระดับการส่องสว่าง โดยประกอบด้วย 3 ระดับ ได้แก่ 50 lux 100 lux และ 300 lux ซึ่งเป็นระดับที่มีการใช้งานโดยทั่วไปของหลอดฮาโลเจน ตามมาตรฐานการส่องสว่างประเภทที่พักอาศัยและร้านอาหาร (CIBSE, 1994)

**ตารางที่ 1** สภาพที่ใช้ในการทดลองแรก

Light Bulb	Illuminance(LUX)
Halogen MR16	300 LUX
LED MR 16	300 LUX
Halogen MR16	100 LUX
LED MR 16	100 LUX
Halogen MR16	50 LUX
LED MR 16	50 LUX

**ตารางที่ 2** สภาพที่ใช้ในการทดลองที่สอง

Halogen Par	300 LUX
LED Par	300 LUX
Halogen Par	100 LUX
LED Par	100 LUX
Halogen Par	50 LUX
LED Par	50 LUX

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการตรวจวัดอิทธิพลของสภาพแสงดังกล่าวต่อศักยภาพในการมองเห็นของคนไทยและความรู้สึกต่อสภาพในการส่องสว่าง โดยในการวัดศักยภาพในการมองเห็นนั้นได้ใช้วิธีการ NVT (Numerical Verification Test) ซึ่งเป็นการทดสอบการอ่านจากความเร็วและความแม่นยำในการอ่านซึ่งใช้ในการศึกษาศักยภาพในการมองเห็นในหลายๆ การศึกษา (Davis & Garza, 2002; Yamagishi et al, 2008)

52741    52741  
72409    72609  
22186    22184

**รูปที่ 1** ตัวอย่างแบบทดสอบ NVT

แบบทดสอบ NVT จะประกอบไปด้วยตัวเลขแบบกลุ่ม 20 บรรทัด 2 แถว ฟังซ้ายจะเป็นตัวเลขที่ถูกต้อง ฟังขวาจะมีบางตัวเลขที่ผิด ผู้ทดสอบจะต้องทำแบบทดสอบให้เร็วที่สุดจับเวลาเป็นวินาทีโดยการคิดคะแนน NVT Score ใช้สูตรดังต่อไปนี้

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

โดยกำหนดให้

T = The number of comparisons per trial

E = Number of Errors

S = Time to complete test

สำหรับการวัดความรู้สึกต่อสภาพแสงสว่างในด้านต่างๆ นั้นจะใช้มาตรวัดแบบ Semantic Differential Scale Method (SDM) โดยประกอบด้วยปัจจัย ได้แก่ ไม่ชอบ/ชอบ บาดตา/สบายตา มีด/สว่าง อ่านยาก/อ่านง่าย โทนเย็น/โทนร้อน ซึ่งมีสเกล 7 ระดับ (Davis & Garza 2002, Yamagishi et al., 2006)

ผลการศึกษาที่ได้จะนำมาวิเคราะห์โดยใช้สถิติ Paired t-test และ ANOVA ต่อไป

ไม่ชอบ	1-2-3-4-5-6-7	ชอบ
บาดตา	1-2-3-4-5-6-7	สบายตา
มีด	1-2-3-4-5-6-7	สว่าง
อ่านยาก	1-2-3-4-5-6-7	อ่านง่าย
แสงโทนร้อน	1-2-3-4-5-6-7	แสงโทนร้อน

**รูปที่ 2** แบบทดสอบ SDM

### 3. ผลการศึกษ

#### 3.1 อิทธิพลของการเปรียบเทียบชนิดหลอดไฟ

ตารางที่ 3 แสดงผลทางสถิติเปรียบเทียบหลอดฮาโลเจน และแอลอีดี ชนิด MR 16 ที่ค่าความส่องสว่าง 3 ลำดับ

Illuminance	Parameters	t	Sigs.
300 LUX	NVT Test	4.141	0.000**
	Dislike/Like	2.964	0.006**
	Glare/Comf.	4.818	0.000**
	Dim/Bright	6.500	0.000**
	Diff./Easy	0.942	0.354
	Cool/Warm	0.431	0.670
100 LUX	NVT Test	4.002	0.000**
	Dislike/Like	0.579	0.567
	Glare/Comf.	0.698	0.490
	Dim/Bright	3.819	0.001**
	Diff./Easy	1.209	0.236
	Cool/Warm	0.126	0.901
50 LUX	NVT Test	2.175	0.037*
	Dislike/Like	1.000	0.325
	Glare/Comf.	0.624	0.537
	Dim/Bright	3.388	0.002**
	Diff./Easy	1.892	0.068
	Cool/Warm	3.645	0.001**

ตารางที่ 3 แสดงผลทางสถิติเปรียบเทียบหลอดฮาโลเจน และแอลอีดี ชนิด MR16 ที่ค่าความส่องสว่างแต่ละระดับ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างประสิทธิภาพจากหลอดแอลอีดีและหลอดฮาโลเจน

ตารางที่ 4 ตารางสรุปการเปรียบเทียบหลอดฮาโลเจน และแอลอีดี ชนิด MR16

Illuminance 300 lux	LED ดีกว่า	ทดแทน กันได้	Halogen ดีกว่า
NVT Test	✓		
Dislike/Like			✓
Glare/Comf.	✓		
Dim/Bright	✓		
Diff./Easy		✓	
Cool/Warm		✓	
Illuminance 100 lux	LED ดีกว่า	ทดแทน กันได้	Halogen ดีกว่า
NVT Test	✓		
Dislike/Like		✓	
Glare/Comf.		✓	
Dim/Bright	✓		
Diff./Easy		✓	
Cool/Warm		✓	
Illuminance 50 lux	LED ดีกว่า	ทดแทน กันได้	Halogen ดีกว่า
NVT Test	✓		
Dislike/Like		✓	
Glare/Comf.		✓	
Dim/Bright	✓		
Diff./Easy		✓	
Cool/Warm			✓

จากการเปรียบเทียบผลทางสถิติของหลอดฮาโลเจน และแอลอีดี ชนิด MR16 ในตารางที่ 3 และ 4 สรุปได้ว่า หลอดแอลอีดี โดยภาพรวมนั้นสามารถใช้ทดแทนหลอดฮาโลเจนได้ และในหลายประเด็นนั้นหลอดแอลอีดี มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า

หลอดฮาโลเจน โดยผลในส่วนของคุณภาพในการมองเห็นที่วัดด้วย NV Test ทั้งในระดับความส่องสว่างที่ 50 100 และ 300 Lux ซึ่งหลอดแอลอีดีจะทำให้คุณภาพในการอ่านและการมองเห็นที่ชัดเจนและถูกต้องกว่าหลอดฮาโลเจน สำหรับทางด้านความรู้สึกต่อสภาพการส่องสว่างนั้น ที่ระดับความส่องสว่าง 300 lux หลอด แอลอีดี จะให้ความสบายตาน้อยกว่า และให้ความรู้สึกที่สว่างกว่าหลอดฮาโลเจน โดยที่ระดับความส่องสว่าง 100 lux และ 50 lux หลอดแอลอีดี ให้ความรู้สึกที่สว่างกว่าหลอดฮาโลเจน เช่นกัน อย่างไรก็ตาม ในระดับการส่องสว่าง 300 lux คนไทยยังชอบหลอดฮาโลเจนมากกว่าและที่ระดับความส่องสว่าง 50 Lux หลอดฮาโลเจน จะให้แสงสว่างที่ให้ความรู้สึกที่อุ่นกว่า

ตารางที่ 5 แสดงผลทางสถิติเปรียบเทียบหลอดฮาโลเจนและแอลอีดี ชนิด Par E27 ที่ค่าความส่องสว่างแต่ละระดับ

Illuminance	Parameters	t	Sigs.
300 LUX	NVT Test	1.145	0.261
	Dislike/Like	4.104	0.000**
	Glare/Comf.	0.610	0.546
	Dim/Bright	4.941	0.000**
	Diff./Easy	1.877	0.700
	Cool/Warm	0.000	1.000
100 LUX	NVT Test	1.067	0.294
	Dislike/Like	5.586	0.000**
	Glare/Comf.	1.784	0.084
	Dim/Bright	6.062	0.000**
	Diff./Easy	6.203	0.000**
	Cool/Warm	0.203	0.840

Illuminance	Parameters	t	Sigs.
50 LUX	NVT Test	1.828	0.077
	Dislike/Like	5.582	0.000**
	Glare/Comf.	1.027	0.313
	Dim/Bright	5.805	0.000**
	Diff./Easy	5.846	0.000**
	Cool/Warm	0.953	0.348

หมายเหตุ \*p <0.05 ทดสอบโดย t-test

\*\*p <0.01 ทดสอบโดย t-test

ตารางที่ 5 แสดงผลทางสถิติเปรียบเทียบหลอดฮาโลเจน และแอลอีดี ชนิด Par E27 ที่ค่าความส่องสว่างแต่ละระดับ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างประสิทธิภาพจากหลอดแอลอีดี และหลอดฮาโลเจน

ตารางที่ 6 ตารางสรุปการเปรียบเทียบหลอดฮาโลเจนและแอลอีดี ชนิด Par

Illuminance 300 lux	LED ดีกว่า	ทดแทน กันได้	Halogen ดีกว่า
NVT Test		✓	
Dislike/Like	✓		
Glare/Comf.		✓	
Dim/Bright	✓		
Diff./Easy		✓	
Cool/Warm		✓	

Illuminance 100 lux	LED ดีกว่า	ทดแทน กันได้	Halogen ดีกว่า
NVT Test		✓	
Dislike/Like	✓		
Glare/Comf.		✓	
Dim/Bright	✓		
Diff./Easy	✓		
Cool/Warm		✓	
Illuminance 50 lux	LED ดีกว่า	ทดแทน กันได้	Halogen ดีกว่า
NVT Test		✓	
Dislike/Like	✓		
Glare/Comf.		✓	
Dim/Bright	✓		
Diff./Easy	✓		
Cool/Warm		✓	

**หมายเหตุ**

- หากค่าเฉลี่ยหลอดใดมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหมายถึงหลอดนั้นให้ประสิทธิภาพดีกว่านั่นเอง
- หากค่าเฉลี่ยหลอดใดน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหมายถึงหลอดนั้นให้ประสิทธิภาพแยกว่านั่นเอง
- หากค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติหมายถึงใช้ทดแทนกันได้

จากการเปรียบเทียบผลทางสถิติของหลอดไฟฮาโลเจน และแอลอีดี ชนิด MR 16 ในตารางที่ 5 และ 6 สรุปได้ว่าหลอดแอลอีดี ชนิด MR16 โดยภาพรวมนั้นสามารถใช้ทดแทนหลอดฮาโลเจน ได้และในหลายประเด็นนั้นหลอดแอลอีดีมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าหลอดฮาโลเจน โดยจะเห็นได้ว่าไม่ว่าจะที่ระดับการส่องสว่างในระดับใดไม่มีแห่งที่หลอด ฮาโลเจนให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า

ผลในส่วนของศักยภาพในการมองเห็นที่วัดด้วย NV Test ทั้งในระดับความส่องสว่างที่ 50 100 และ 300 Lux ซึ่งหลอดแอลอีดี จะทำให้ศักยภาพในการอ่านและการมองเห็นทดแทนฮาโลเจน ได้ สำหรับทางด้านความรู้สึกต่อสภาพการส่องสว่างนั้น ที่ทุกระดับความส่องสว่าง คนไทยชอบสภาพแสงจากหลอดแอลอีดี มากกว่า และหลอดแอลอีดีให้ความรู้สึกที่สว่างกว่าหลอดฮาโลเจน โดยเฉพาะที่ระดับความส่องสว่าง 100 lux หลอดแอลอีดี ให้สภาพการส่องสว่างที่ทำให้อ่านง่ายกว่าหลอดฮาโลเจน

**3.2 อิทธิพลของระดับความส่องสว่าง**

ตารางที่ 7 แสดงผลทางสถิติเปรียบเทียบความส่องสว่าง 3 ระดับของหลอดฮาโลเจน และแอลอีดี ชนิด MR16

Lamp Type	Parameters	F	Sig.
Halogen MR16	NVT Test	0.557	0.575
	Dislike/Like	9.526	0.000**
	Glare/Comf.	2.165	0.121
	Dim/Bright	34.63	0.000**
	Diff./Easy	22.19	0.000**
	Cool/Warm	1.914	0.153
LED MR16	NVT Test	1.820	0.168
	Dislike/Like	2.201	0.116
	Glare/Comf.	2.999	0.055
	Dim/Bright	58.42	0.000**
	Diff./Easy	7.003	0.001**
	Cool/Warm	7.879	0.001**

หมายเหตุ: \*p <0.05 ทดสอบโดย ANOVA  
 \*\*p <0.01 ทดสอบโดย ANOVA

**ตารางที่ 7** แสดงผลทางสถิติเปรียบเทียบความส่องสว่าง 3 ระดับของหลอดฮาโลเจน และแอลอีดี ชนิด MR16 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้หลอดฮาโลเจน MR16 การส่องสว่างที่เพิ่มขึ้นทำให้คนไทยชอบมากขึ้น สภาพห้องดูสว่างขึ้นและง่ายต่อการอ่านมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง โดยเมื่อใช้หลอดแอลอีดี ชนิด MR16 นั้นเมื่อเพิ่มความส่องสว่างมากขึ้นจะทำให้สภาพการส่องสว่างดูสว่างขึ้น อ่านง่ายขึ้นและรู้สึกอบอุ่นมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูงเช่นกัน

**ตารางที่ 8** แสดงผลทางสถิติเปรียบเทียบความส่องสว่าง 3 ระดับของหลอดฮาโลเจน และแอลอีดี ชนิด Par

Light Blub	Parameters	F	Sig.
Halogen PAR	NVT Test	0.056	0.946
	Dislike/Like	22.71	0.000**
	Glare/Comf.	1.547	0.218
	Dim/Bright	85.80	0.000**
	Diff./Easy	38.53	0.000**
	Cool/Warm	0.797	0.454
LED PAR	NVT Test	0.074	0.929
	Dislike/Like	5.362	0.006**
	Glare/Comf.	0.749	0.478
	Dim/Bright	21.33	0.000**
	Diff./Easy	4.986	0.009**
	Cool/Warm	3.678	0.029

\*p <0.05 ทดสอบโดย ANOVA

\*\*p <0.01 ทดสอบโดย ANOVA

ตารางที่ 8 แสดงผลทางสถิติเปรียบเทียบความส่องสว่าง 3 ระดับของหลอดฮาโลเจน และแอลอีดี ชนิด Par ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าไม่

ว่าจะใช้หลอด ฮาโลเจน MR16 และหลอดแอลอีดี ชนิด MR16 นั้นอิทธิพลของระดับการส่องสว่างนั้นเหมือนกัน คือ เมื่อเพิ่มความส่องสว่างมากขึ้นจะทำให้คนชอบสภาพดังกล่าวมากขึ้น สภาพการส่องสว่างดูสว่างขึ้น และอ่านง่ายขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูงเช่นกัน

#### 4. บทสรุปและการอภิปรายผล

วัตถุประสงค์หลักในการศึกษารั้งนี้ คือ เพื่อที่จะศึกษาการมองเห็นของคนไทยจากหลอดแอลอีดี เทียบกับหลอดไฟฮาโลเจน แต่ละชนิด โดยศึกษาในสองแง่ ได้แก่ ในแง่แรกคือการศึกษาอิทธิพลต่อศักยภาพในการมองเห็นซึ่งทดสอบโดย Numerical Verification Test (NVT) และในแง่ที่สองคือการศึกษาอิทธิพลต่อความรู้สึกต่อการส่องสว่างที่เกิดขึ้น สามารถสรุปได้ว่าโดยภาพรวมนั้นหลอดแอลอีดี สามารถใช้ทดแทนหลอดฮาโลเจน ได้และให้ประสิทธิภาพในหลายๆ ประเด็นที่ดีกว่า โดยหากเป็นหลอดประเภทชนิด MR 16 นั้นหลอดแอลอีดี จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าในแง่ของศักยภาพในการมองเห็น และหากเป็นชนิด Par จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าในแง่ของความรู้สึกต่อสภาพแสงในหลายๆ ประเด็น

จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าหลอดฮาโลเจน นั้นจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าหลอดแอลอีดี เฉพาะเมื่อใช้ชนิด MR16 เพียงในเรื่องของให้ความรู้สึกที่อบอุ่นกว่าในระดับความส่องสว่าง 50 lux และคนไทยชอบหลอดฮาโลเจน มากกว่าเมื่อมีระดับค่าความส่องสว่าง 300 lux เท่านั้น ผลดังกล่าวน่าจะมีสาเหตุมาจากแสงจากหลอดฮาโลเจน กำเนิดมาจากความร้อน ส่วนหลอดแอลอีดีเป็นหลอดที่เกิดจากการฉาบสี ทำให้หลอดแอลอีดีไม่มีสีแท้ (True White) จึงไม่ให้ความรู้สึกอุ่นและในความส่องสว่างที่ค่อนข้างสูงในระดับ 300



Lux นั้น เนื่องจากหลอดแอลอีดี มีลักษณะของ Polar Curve ของหลอดที่ส่องลงบนพื้นงาน (Miller & Wolsey, 1994) และน่าจะก่อให้เกิดความจ้ามากเกินไปส่งผลให้เมื่อมีระดับความส่องสว่าง 300 Lux คนไทยจึงมีความรู้สึกชอบหลอดฮาโลเจน มากกว่าได้

ในปัจจุบันประเทศไทยใช้มาตรฐานการวัดความส่องสว่างแบบสากล อาทิ CIE, EN, IESNA, BS, TIEA แต่ยังไม่มียานวิจัยที่เป็นมาตรฐานการส่องสว่างสำหรับคนไทย งานวิจัยนี้อาจเป็นส่วนหนึ่งในการกำหนดมาตรฐานการส่องสว่างและหลอดไฟสำหรับคนไทยในอนาคต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของการเลือกใช้หลอดไฟให้ตรงกับความต้องการและการการมองเห็นของคนไทย

### รายการอ้างอิง

สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย. (2546).

TIEA-GD003 ข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทย. กรุงเทพฯ: สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย.

Bechtel. 1987. Psycholinguistics as a case of cross-disciplinary research. *Symposium Introduction*, 72(3): 293-311(1987)

CIBSE, (1994). CIBSE Interior lighting guide, charter institute of Building Service Engineer. UK: Author

Davis, R. G. & Garza, A. (2002). Task lighting for the elderly. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 31(1), 20-32.

Fotios, S. & Cheal, C. (2007). Lighting for subsidiary streets: Investigation of lamps of different SPD: Part 2-brightness. *Lighting Research & Technology*, 39(3), 233-252.

Fotios, S. Cheal, C. & Boyce, P. R. (2005). Light source spectrum, brightness perception and visual performance in pedestrian environment. *A Review Lighting Research & Technology*, 37, 4.

Miller. N. & Wolsey, R. (1994). Task light for offices. *Lighting Research Center*, 1(3), 8.

Miller, L. K., Rowe, P. J. & Lund, J. (1992). Correlation of eye color on self-paced and reactive motor performance. *Perceptual and Motor Skills*, 75(1), 91-95.

National Medical Audiovisual Center. *Ophthalmoscopy: basic self-instruction for medical students, Study guide: BP-2543-9*. Washington DC: National Medical Audiovisual Center (GSA).1972

Tuaycharoen, N. & Kornisranukul, W. (2013). *Lighting for Thai elderly: An investigation of visual performance and discomfort glare*, p. 397-402. Lux Pacifica 2013. TIEA, Bangkok.

Tuaycharoen, N. & Tregenza, P. (2005). Discomfort glare from interesting images. *Lighting Research and Technology*, 37(4), 329-341.

Yamigishi, M., Yamaba, K., Kubo, C. Nokura, K. & Nagata, M. (2008). Effect of LED lighting characteristics on visual performance of elderly people. *Gerontechnology*, 7(2), 243.

# แนวทางการออกแบบโครงสร้างแกนกระดาษสำหรับพื้นที่ชั่วคราว ทางสถาปัตยกรรม

## Design Guidelines of Paper Tube Structures for Temporary Architecture

ชวพัฒน์ สัมพันธ์รัตน์<sup>1</sup> และ ดร. ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์<sup>2</sup>

Chaowapat Samphantharat<sup>1</sup> and Pusit Lertwattanak, Ph.D.<sup>2</sup>

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: paths\_09@hotmail.com<sup>1</sup>, lertwatt@ap.tu.ac.th<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแนวทางการออกแบบโครงสร้างแกนกระดาษสำหรับพื้นที่ชั่วคราวทางสถาปัตยกรรม วิธีการศึกษาประกอบด้วยการสำรวจและเก็บข้อมูลเบื้องต้นจากโรงงานผลิตแกนกระดาษในประเทศไทย และทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของแกนกระดาษ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการพิจารณาแนวทางการออกแบบโครงสร้างแกนกระดาษในระบบโครงสร้างเสา - คาน และโครงสร้างอิสระ ผลการวิจัย พบว่า แกนกระดาษซึ่งเป็นวัสดุที่ประกอบด้วยเส้นใยมีความหนาแน่นประมาณ 700 – 750 กก./ลบ.ม. และสามารถดูดความชื้นได้ดี โดยแกนกระดาษที่มีความหนามากจะมีปริมาณความชื้นมากกว่าแกนกระดาษที่มีความหนาน้อย แกนกระดาษทุกตัวอย่างมีค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำมากกว่าร้อยละ 100 และมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดอยู่ระหว่าง 65 - 100 กก./ตร.ซม. ซึ่งสามารถใช้ออกแบบเป็นโครงสร้างสำหรับพื้นที่ชั่วคราวทางสถาปัตยกรรมได้เป็นอย่างดี และมีข้อดีหลายประการ ได้แก่ น้ำหนักเบา ก่อสร้างง่าย ราคาประหยัด และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่

### Abstract

The research aims to develop the design guidelines of paper tube structures for temporary architecture. Research methods included preliminary investigation and data collection from various paper tube mills in Thailand and experimental investigation for the physical and mechanical properties of paper tubes to be applied for developing the design guidelines of the paper tube structures such as column-beam frame and free-form structure. The results showed that the paper tube, which is composed of fibrous material, has a density of about 700 - 750 kg/m<sup>3</sup> and can absorb moisture very well. The thick paper tube yielded more moisture content than that of the thin paper tube. All of paper tube samples have the level of water absorption higher than 100% and the maximum compressive strength between 65 - 100 kg/cm<sup>2</sup>, which can be designed as a structure for temporary architecture. Several advantages of paper tube structure included light weight, low construction cost and recyclability.

**คำสำคัญ (Keywords):** แกนกระดาษ (Paper Tube), สถาปัตยกรรมชั่วคราว (Temporary Architecture), โครงสร้าง (Structure), คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties), คุณสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties)

## 1. ที่มาและความสำคัญ

จากข้อมูลในปี พ.ศ. 2554 ปริมาณขยะมูลฝอยในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.42 ซึ่งถูกฝังกลบโดยไม่ได้มีการแยกขยะร้อยละ 95 (กรมควบคุมมลพิษ, 2554) โดยที่กระดาษเป็นวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้หลายครั้งโดยวิธีการแยกเยื่อแล้วนำมาขึ้นรูปใหม่ นอกจากนั้นยังเป็นของเสียที่มีการนำกลับมาใช้ใหม่น้อยเมื่อเทียบกับเหล็ก กล่าวคือกระดาษมีปริมาณการซื้อขายร้อยละ 59 จากปริมาณของเสียที่เป็นกระดาษทั้งหมด ในขณะที่เหล็กมีปริมาณการซื้อขายมากกว่าที่ร้อยละ 90 ทั้งนี้ในวงการสถาปัตยกรรมได้มีการนำแกนกระดาษมาใช้งานในรูปแบบของเฟอร์นิเจอร์ วัสดุปิดผิวอาคาร รวมไปถึงโครงสร้างอาคาร โดยสถาปนิกชื่อชิเกรุ บัน ได้ใช้แกนกระดาษในงานออกแบบของเขาจนกลายเป็นเอกลักษณ์ประจำตัว เช่น บ้านพักฉุกเฉินสำหรับผู้ประสบภัยเหตุการณ์แผ่นดินไหวในเมืองโกเบ ประเทศญี่ปุ่น ทั้งนี้แกนกระดาษมีข้อดีหลายประการคือราคาถูก ผลิตได้ในท้องถิ่น ลดค่าขนส่ง สามารถตัดแบ่งและประกอบได้ง่ายด้วยระบบก่อสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป มีน้ำหนักเบา และมีอัตราการดูดซับพลังงานจากการกระแทกต่อน้ำหนักสูง (Miyake, 2009) จากเหตุผลดังกล่าวนำมาสู่การศึกษาวิจัยแนวทางการออกแบบโครงสร้างแกนกระดาษในประเทศไทย โดยสัมภาษณ์สำรวจและเก็บข้อมูลของอุตสาหกรรมการผลิตแกนกระดาษในประเทศไทย จากนั้นทำการทดสอบ

วัสดุเพื่อพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการคำนวณโครงสร้างและเป็นแนวทางในการออกแบบโครงสร้างแกนกระดาษสำหรับพื้นที่ชั่วคราวทางสถาปัตยกรรม

## 2. ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ข้อมูลทั่วไปของกระดาษ

2.1.1 องค์ประกอบของกระดาษ แบ่งออกเป็นสองส่วน ดังต่อไปนี้ (ปิยะพงษ์ ปันทนา, 2553)

1) องค์ประกอบที่เป็นเส้นใย เป็นโครงสร้างหลักของกระดาษ การที่กระดาษสามารถคงรูปอยู่ได้นั้นเกิดจากการสานกันของเส้นใยที่ไม่มีระเบียบ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ เส้นใยตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นเส้นใยที่เกิดจากวัสดุธรรมชาติ เช่น พืช สัตว์ รวมถึงแร่ธาตุ และเส้นใยสังเคราะห์ ซึ่งเป็นเส้นใยที่เกิดจากการสังเคราะห์ เช่น พอลิเอไมด์ (polyamide)

2) องค์ประกอบที่ไม่เป็นเส้นใย เป็นองค์ประกอบที่นอกเหนือจากเส้นใย เช่น สารเคมี หรือส่วนผสมที่ช่วยเพิ่มคุณภาพของแกนกระดาษให้ดีขึ้น เช่น สารเพิ่มปริมาณ สารยึดติด สารกันซึม สารเพิ่มความแข็งแรงของผิว

### 2.2 ขั้นตอนการผลิตแกนกระดาษ

ขั้นตอนการผลิตแกนกระดาษ แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) การเตรียมกระดาษกราฟท์หรือลูกกระดาษ (jumbo rolls) ที่เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการเข้ารูปแกนกระดาษ
- 2) นำลูกกระดาษมาตัดแบ่งออกตามขนาดที่ต้องการ เรียกว่า กระดาษสลิต (slit paper)
- 3) การขึ้นรูปแกนกระดาษโดยหาสัดส่วนของกระดาษที่เหมาะสมตามการใช้งานและขนาดหน้าตัดที่ต้องการ นำกระดาษสลิตที่เตรียมไว้มาทาด้วยกาวแล้วม้วนเข้าด้วยกันโดยมีเพลลาเหล็กช่วยเป็นแกนในการขึ้นรูป โดยกระดาษทั้งหมดจะถูกบีบอัดเข้าด้วยแผ่นยางที่ม้วนสวนกันจากนั้นจึงตัดเป็นชิ้น
- 4) แกนกระดาษจะถูกบ่มทิ้งไว้เป็นเวลา มากกว่า 5 วันเพื่อรอให้ชิ้นงานแห้งสนิทและแข็งแรง
- 5) นำแกนกระดาษที่บ่มจนแห้งสนิทมาตัดแบ่งตามขนาดที่ต้องการและเตรียมบรรจุเพื่อส่งขาย

### 2.3 คุณสมบัติของแกนกระดาษ

แกนกระดาษในประเทศไทยได้ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น พลาสติก กระดาษ และสิ่งทอ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วมักจะใช้เป็นแกนในการม้วนวัสดุที่เป็นแผ่นบาง โดยที่แกนขนาดและความยาวรวมถึงความแข็งแรงแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์ในการใช้งาน โดยมีคุณสมบัติต่าง ๆ โดยเฉลี่ย ดังแสดงในตารางที่ 1 (Preston, 2011)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของแกนกระดาษโดยเฉลี่ย

กำลังแรงดัดสูงสุด	140.61 กก./ตร.ซม.
โมดูลัสยืดหยุ่น (E)	21,092.1 กก./ตร.ซม.
ความหนาแน่น	747.35 กก./ลบ.ม.
อัตราส่วนของผิวของ	0.25

### 3. วิธีการวิจัย

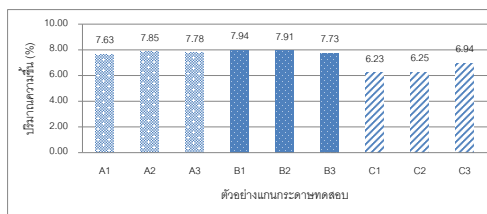
การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของแกนกระดาษ เพื่อใช้ในการเลือกและพิจารณาใช้แกนกระดาษในการก่อสร้างโครงสร้างแกนกระดาษสำหรับพื้นที่ชั่วคราวทางสถาปัตยกรรม

#### 3.1 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

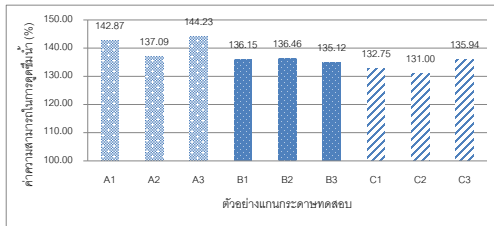
คุณสมบัติทางกายภาพที่ทำในการศึกษา คือ ความชื้น ความหนาแน่นปรากฏ ความหนาแน่นสัมพัทธ์ปรากฏ และค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำของ ตัวอย่างทดสอบจากแกนกระดาษผลิตใหม่ 3 ขนาดจากโรงงานแกนกระดาษ 3 แห่งในประเทศไทย โดยใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน มยพ. 1223-51 และ ASTM D143

#### 3.2 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

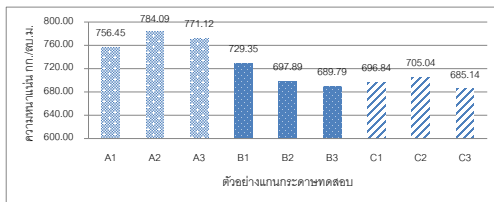
การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ได้แก่ กำลังต้านแรงอัดเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 143 โดยใช้ตัวอย่างการทดสอบจากแกนกระดาษผลิตใหม่จากโรงงานผลิตแกนกระดาษในประเทศไทย 3 แห่ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความหนาเท่ากับ 10.0/1.0, 7.62/1.0 และ 7.62/0.5 ซม. ตามลำดับ



รูปที่ 1 ปริมาณความชื้น



รูปที่ 2 ค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำ



รูปที่ 3 ความหนาแน่น

#### 4. ผลการศึกษา

##### 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

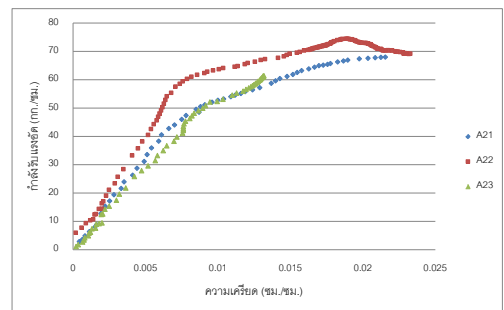
กระดาศเป็นวัสดุที่มีประกอบไปด้วยเส้นใยและมีรูพรุน จึงสามารถเกิดความชื้นได้ง่ายจากการทดสอบความชื้นของแกนกระดาศ พบว่าแกนกระดาศที่มีความหนามากกว่าจะมีความชื้นมากกว่าแกนกระดาศที่มีความหนาน้อยกว่า รวมถึงค่าการดูดซึมน้ำของแกนกระดาศสามารถดูดซึมน้ำได้เกินร้อยละร้อยทุกตัวอย่างทดสอบ ในส่วนความหนาแน่นของแกนกระดาศจากการทดสอบ พบว่า ความหนาแน่นสัมพัทธ์และความหนาแน่นสัมพัทธ์ปรากฏมีทิศทางเดียวกันคือ บริษัท A มีความหนาแน่นมากกว่า บริษัท B และ C

##### 4.2 คุณสมบัติเชิงกล

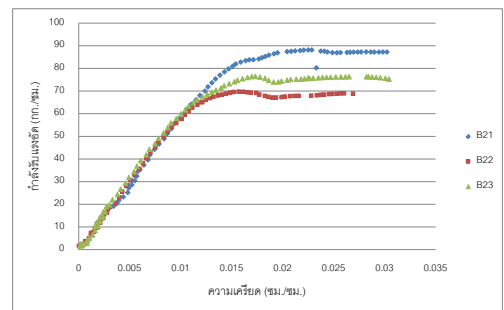
ผลการศึกษากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างแกนกระดาศผลิตใหม่จาก 3 โรงงาน พบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดของแกนกระดาศมีค่าระหว่าง 65 – 100 กก./ตร.ซม.

ตารางที่ 2 กำลังรับแรงอัดของแกนกระดาศ

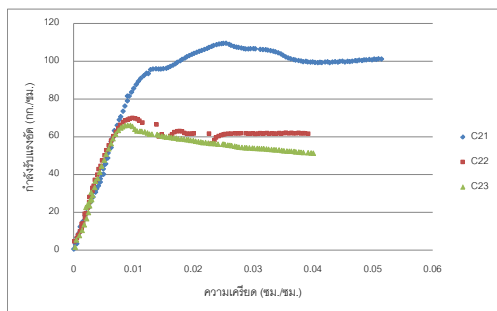
ตัวอย่างทดสอบ	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)	โมดูลัสยืดหยุ่น (E) เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)
A1	68.54	
A2	75.97	6717.37
A3	64.22	
B1	90.96	
B2	69.77	5987.57
B3	76.48	
C1	109.53	
C2	69.98	5801.80
C3	66.20	



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและความเคียวของตัวอย่างจากบริษัท A



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและความเคียวของตัวอย่างจากบริษัท B



**รูปที่ 6** ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและความเครียดของตัวอย่างจากบริษัท C

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและความเครียดของแกนกระดาศในรูปที่ 4 – 6 พบว่า ในกราฟของบริษัท A ไปในทิศทางเดียวกันและมีความคาดเคลื่อนน้อยกว่าบริษัท B และ C โดยเฉพาะในบริษัท C ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนสูง

## 5. ข้อสรุปจากการทดลองและข้อเสนอแนะ

### 5.1 ข้อสรุปจากการทดลอง

#### 5.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพของแกนกระดาศ

1) แกนกระดาศผลิตจากกระดาศจึงมีคุณสมบัติทางกายภาพคล้ายกับกระดาศ คือเป็นวัสดุที่ประกอบด้วยเส้นใยและมีรูพรุน

2) ความชื้นเป็นตัวแปรที่จำเป็นต้องให้ความสำคัญในการเลือกใช้แกนกระดาศเป็นโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม เนื่องจากความชื้นมีผลโดยตรงต่อความแข็งแรงของโครงสร้างแกนกระดาศ

#### 5.1.2 คุณสมบัติเชิงกลของแกนกระดาศ

1) ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดของแกนกระดาศมีค่าประมาณ 75 กก./ตร.ซม. ซึ่งแปรผันตามคุณภาพในการผลิตของโรงงานผลิตแกนกระดาศแต่ละแห่ง ในโรงงานที่มีการควบคุม

มาตรฐานการผลิตจะทำให้ค่าการรับน้ำหนักมีความคงที่มากกว่าในโรงงานที่ไม่มีการควบคุมมาตรฐานการผลิต

2) ค่าความโมดูลัสยืดหยุ่นของแกนกระดาศมีค่าเฉลี่ยประมาณ 6000 กก./ตร.ซม.

3) ในการเลือกใช้แกนกระดาศเพื่อเป็นวัสดุโครงสร้างชั่วคราวทางสถาปัตยกรรมมีความเป็นไปได้ แต่จำเป็นต้องเคลือบผิววัสดุเนื่องจากความชื้นจะส่งผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างโดยตรง โดยประยุกต์ใช้เป็นแนวทางการออกแบบศาลา ร้านค้า ที่พักชั่วคราว หรือพื้นที่การจัดกิจกรรมทางเศรษฐกิจ



**รูปที่ 7** ภาพทัศนียภาพสถาปัตยกรรมโครงสร้างแกนกระดาศสำหรับพื้นที่ชั่วคราว

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการป้องกันน้ำและความชื้นกับแกนกระดาศเพื่อให้โครงสร้างชั่วคราวที่ออกแบบสามารถใช้งานได้นานมากยิ่งขึ้น เบื้องต้นได้มีการศึกษาการเคลือบผิวด้วยโพลียูรีเทน (VOC) หรือมีการผลิตกระดาศประเภทป้องกันน้ำเพื่อใช้ในการขึ้นรูปเป็นแกนกระดาศ

2) คุณสมบัติเชิงกลควรมีการศึกษาในส่วนกำลังรับแรงดัดและแรงดึงแกนกระดาศเพิ่มเติม

3) ควรมีส่วนของการประยุกต์ใช้กับการออกแบบทางสถาปัตยกรรม เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบเบื้องต้น

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ในการทดสอบ

### รายการอ้างอิง

วุฒิมิกร สุทธิอาภา. (2555). *การก่อสร้างโครงสร้างรับพื้นจากท่อกระดาษ*. สาขาสถาปัตยกรรมภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. สถาปัตยกรรมศาสตร์ฉบับบัณฑิต: 136.

ปิยะพงษ์ ปันทนา. (2553). *การวิเคราะห์พารามิเตอร์ของท่อกระดาษผนังบางภายใต้ภาระกดในแนวแกน*. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. วิศวกรรมศาสตร์ฉบับบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล).

สิทธิชัย แสงอาทิตย์. (2545). *การทดสอบวัสดุ: บรรยาย*. สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

กรมควบคุมมลพิษ. (2555). *รายงานประจำปี 2555 กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม*. ประเทศไทย, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคารกรมโยธาธิการและผังเมือง. (2551). *มาตรฐานการทดสอบไม้ มยพ. 1223-51 มาตรฐานการทดสอบค่าความชื้นของไม้: กรมโยธาธิการและผังเมือง*.

สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคารกรมโยธาธิการและผังเมือง. (2551). *มาตรฐานการทดสอบไม้ มยพ. 1222-51 มาตรฐานการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวขนานเส้นของไม้: กรมโยธาธิการและผังเมือง*.

ASTM International. (2010). *ASTM D 143 Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber* (pp. 1-31).

Miyake, R. (2009). *Shigeru Ban Paper in Architecture*. The United States of America, Rizzoli International Publication.

Preston, S. J. (2011). *Portals to an Architecture: Design of a temporary structure with paper tube arches*. *Construction and Building Material*, 30, 657-666.

ประสิทธิภาพการใช้พลังงานและแสงธรรมชาติของช่องเปิดด้านบน  
โดยใช้แผงกันแดดในภูมิอากาศร้อนชื้น  
Energy Efficiency and Natural Light Quality of Skylight with  
Shading Devices in Hot-Humid

ธวัชชัย บุนนาค<sup>1</sup> และ ดร. จตุวัฒน์ วโรตมพันธ์<sup>2</sup>

Thawatchai Bunnag<sup>1</sup> and Jatuwat Varodompun, Ph.D.<sup>2</sup>

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: beau1849@gmail.com<sup>1</sup>, vjatuwat@umich.edu<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

อาคารขนาดใหญ่ที่มีโถงส่วนกลาง มักนิยมใช้ช่องเปิดด้านบนอาคารเพื่อนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ประโยชน์ แต่การใช้ช่องเปิดด้านบนมักมีความไม่สมดุลของความร้อนและแสงธรรมชาติที่เข้ามาในอาคาร การเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านพลังงานจึงมีการใช้แผงกันแดด การเปลี่ยนชนิดกระจก เพื่อลดความร้อนและปรับแสงที่เข้ามาในอาคารให้มีความเหมาะสม งานวิจัยนี้เปรียบเทียบการใช้พลังงานและแสงธรรมชาติของช่องแสงด้านบนที่มีและไม่มีการติดตั้งแผงกันแดด อาคารที่ศึกษาคือ อาคารห้างสรรพสินค้าขนาดใหญ่ที่มีการใช้ช่องเปิดด้านบน การศึกษามีการเปลี่ยนตัวแปรต่างๆ ของแผงกันแดด ขนาดของช่องเปิดด้านบน และชนิดกระจก โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ e-Quest 3.6 ในการจำลองผล จากนั้นทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลทางด้านพลังงาน และแสงธรรมชาติ เพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมของการใช้งานแผงกันแดดสำหรับช่องเปิดด้านบน

### Abstract

Large buildings with central halls are usually equipped with skylights to utilize natural light, yet skylight installation should take heat and brightness into consideration. For the purpose of energy efficiency, shading devices with replaceable glazings are applied for indoor heat and brightness reduction. The research did a comparative study on energy consumption and natural light penetrating through skylights fitted and not fitted with shading devices. Sample buildings used in the research were large department stores fitted with skylights. The study was based on variables of shading devices, sizes of skylights and types of glazings. It used e-Quest 3.6 computer application as an energy simulation tool and the data was then analyzed for energy consumption and natural light results in order to find appropriate shading devices for skylight installation.



**คำสำคัญ (Keywords):** แผงกันแดดช่องแสงด้านบน (Skylight Shading Devices), ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Energy Efficiency), คุณภาพแสงธรรมชาติ (Natural Light Quality)

## 1. ที่มาและความสำคัญ

พลังงานไฟฟ้าของอาคารส่วนใหญ่ใช้ไปในสามส่วนหลัก ๆ คือ ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง และอื่น ๆ พลังงานในอาคารนั้นมากกว่าร้อยละ 50 ถูกนำไปในระบบปรับอากาศของอาคาร เนื่องจากความร้อนที่อาคารได้รับผ่านทางเปลือกอาคาร และความร้อนที่เกิดจากภายในอาคาร ความร้อนที่ผ่านเข้ามานั้น เข้ามาในรูปแบบการแผ่รังสี และการกระจัดกระจาย (สมสิทธิ์, 2541) โดยที่ช่องเปิดของอาคารเป็นส่วนที่ความร้อนผ่านเข้ามามากที่สุด แต่ช่องเปิดนั้นสามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร เพื่อลดการใช้พลังงานในส่วนของการปรับอากาศ และช่วยสร้างสุนทรียภาพให้พื้นที่ในอาคาร การนำแสงธรรมชาติมาใช้ต้องคำนึงถึงความร้อนที่มาจากรังสีดวงอาทิตย์ (อวิรุทธ์, 2553) ในปัจจุบันอาคารนิยมนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ผ่านช่องเปิดด้านบน โดยเฉพาะสำหรับอาคารที่มีผังพื้นที่ขนาดใหญ่ ช่องเปิดด้านบนจะมีความจำเป็นเพราะแสงจากช่องเปิดด้านข้างเข้าไม่ถึงแกนกลางของอาคาร แต่การเปิดช่องเปิดด้านบนส่งผลต่อพลังงานความร้อนที่เข้ามาในอาคารโดยตรง จากการศึกษางานวิจัยพบว่า อัตราส่วนการเปิดช่องแสงด้านบน ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ทั้งในแง่ของการใช้พลังงานและปริมาณแสงสว่าง คือการเปิดช่องเปิดด้านบนขนาดร้อยละ 5 ของพื้นที่หลังคา (Guo, 2009) หากช่องเปิดด้านบนมีการติดตั้งแผงกันแดด สามารถกันรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ ทำให้กันความร้อนส่วนใหญ่ที่เข้ามาในอาคารได้ด้วย แผงกันแดดจึงมีความจำเป็น แต่การนำแผงกันแดดมาใช้ ควรคำนึงถึงการนำแสง

สว่างเข้ามาภายในอาคารด้วย ดังนั้นการติดตั้งช่องเปิดด้านบนที่มีแผงกันแดด จึงต้องคำนึงถึงเรื่องการประหยัดพลังงาน และคุณภาพของแสง แต่การติดตั้งแผงกันแดดที่ช่องเปิดด้านบนยังไม่มีการศึกษาวิจัยมารองรับ ดังนั้นเพื่อให้การใช้งานแผงกันแดดของช่องเปิดด้านบน มีประสิทธิภาพที่สุดในด้านพลังงานและคุณภาพแสง จึงเป็นที่มาของการทำงานวิจัย

## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

1. การนำความร้อน (Conduction) เกิดจากความร้อนจะถ่ายเทจากโมเลกุลที่มีอุณหภูมิสูง ไปหาโมเลกุลที่มีอุณหภูมิต่ำ ซึ่งการนำความร้อนจะเกิดกับสสารที่เป็นของแข็ง 2. การพาความร้อน (Convection) ของไหลเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะมีการเคลื่อนที่ขึ้น ขณะที่เมื่อมีอุณหภูมิต่ำจะเคลื่อนที่ลง เกิดเป็นการไหลเวียน 3. การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) เป็นการแผ่รังสีความร้อนโดยไม่อาศัยตัวกลาง

### 2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง

ความส่องสว่าง (Illuminance) มีหน่วยเป็นลักซ์ (lux) หรือฟุตแคนเดิล (fc) เกิดจากแสงที่ปล่อยออกมาของแหล่งกำเนิดแสง และส่องมาตกกระทบกับพื้นผิวของวัสดุ ระดับความส่องสว่างที่ต้องการในแต่ละการใช้งานแต่ละพื้นที่นั้นไม่เท่ากัน การออกแบบควรคำนึงถึงระดับความส่องสว่างที่เหมาะสมต่อการใช้งาน

### 2.3 พฤติกรรมของแสง

1. การสะท้อน (Reflection) เมื่อแสงตกกระทบ และสะท้อนออกโดยความถี่ของแสงไม่เปลี่ยน 2. การส่องผ่าน (Transmission) เมื่อแสงกระทบตัวกลางที่มีลักษณะโปร่งใส หรือที่แสงส่องผ่านได้ แสงส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนกลับ อีกส่วนถูกดูดกลืน และส่วนที่เหลืออยู่จะทะลุผ่านตัวกลางนั้น

### 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พื้นที่ช่องเปิดส่วนบนที่เหมาะสมในการใช้งานที่สุดคือ ร้อยละ 5 ของพื้นที่หลังคา (Guo, 2009) พื้นที่ช่องเปิดด้านบนจะช่วยประหยัดพลังงานจากแสงประดิษฐ์ แต่เมื่อช่องเปิดส่วนบนมีขนาดใหญ่เกินไปจะส่งผลต่อความร้อนที่เข้ามา ทำให้การใช้พลังงานของอาคารเพิ่มขึ้น อาคารเมื่อมีการใช้แสงธรรมชาติ ควรที่มีการนำระบบหรือปรับแสงอัตโนมัติมาใช้ควบคู่กันไปด้วย เพื่อให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากระบบหรือปรับแสงอัตโนมัติ ช่วยให้เกิดการลดการใช้พลังงานในส่วนของพลังงานที่เกิดจากการใช้งานแสงประดิษฐ์ โดยที่สามารถลดการใช้พลังงานในส่วนนี้ลงได้มากที่สุดถึงร้อยละ 45 ต่อปี (ธีรไฉย, 2556) จากการออกแบบแผงกันแดดบนหลังคาในช่วงฤดูร้อนนั้นรังสีดวงอาทิตย์ถูกกันออกไป ร้อยละ 85 ทำให้อุณหภูมิของหลังคาลดลง ส่งผลต่อพลังงานการทำความเย็น ช่วยให้ประหยัดพลังงานการทำความเย็นมากขึ้น (Meng, 2006)

### 3. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับความร้อนที่เข้ามาในอาคาร
2. ศึกษาปัจจัยเกี่ยวกับอุปกรณ์กันแดดเพื่อป้องกันความร้อน

3. ทดลองและวิเคราะห์ผล ด้านพลังงานและค่าความส่องสว่างใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลองวิจัย โดยมีตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ลักษณะของแผงกันแดด ขนาดช่องเปิด

4. เปรียบเทียบการใช้พลังงาน และค่าความส่องสว่างที่เหมาะสม ระหว่างช่องเปิดด้านบนที่มีแผงกันแดด และช่องเปิดด้านบนที่ไม่มีการติดตั้งแผงกันแดด

5. เสนอแนวทางการออกแบบช่องเปิดด้านบน ที่มีการใช้แผงกันแดด ให้เหมาะสมต่อการใช้งาน เพื่อประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และค่าความส่องสว่างที่เหมาะสม

### 4. ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองที่ใช้โปรแกรม e-Quest ในงานวิจัยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ

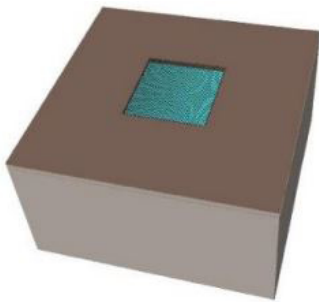
**1. การทดลองเพื่อหาค่าการใช้พลังงานและค่าความส่องสว่างของช่องเปิดส่วนบนที่มีการติดตั้งแผงกันแดดและไม่มีการติดตั้งแผงกันแดด**  
นำตัวแปรไปทำการจำลองหาประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และค่าความส่องสว่าง จากนั้นทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงาน และค่าความส่องสว่าง และทำการวิเคราะห์ อภิปราย และสรุปผลการทดลอง

**2. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานและค่าความส่องสว่าง ระหว่างช่องเปิดส่วนบนที่มีการติดตั้งแผงกันแดด และไม่มีการติดตั้งแผงกันแดด โดยค่าความส่องสว่างที่เหมาะสมคือ 300-1000 ลักซ์**

นำผลจากการจำลองมาทำการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบ ค่าของประสิทธิภาพการประหยัดพลังงาน และค่าความส่องสว่างที่เหมาะสมต่อการใช้งาน เพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมที่สุด

ทำการอภิปรายผลและสรุปผล นำเสนอแนวทางการออกแบบ

การสร้างโมเดลจำลองมีการสำรวจอาคารห้างสรรพสินค้าที่มีการใช้ช่องเปิดส่วนบน นำมาหาค่าเฉลี่ยของพื้นที่และจำนวนชั้นเพื่อใช้ในการจำลองตามรูปที่ 1 และตารางที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะโมเดลที่ใช้ทดลอง

ตารางที่ 1 รายละเอียดของกรณีทดลอง

Type	Data
Building Type	Retail, Department Store
Building area	67,167 m <sup>2</sup> (6,240 m <sup>2</sup> )
Building height	7 stories
Dimension	259.15 ft. x 259.15 ft. (79 m. x 79 m.)
Floor to Floor	137.5 ft. (42 m.)
Floor to ceiling	133 ft. (41 m.)
Time use	10am. – 10pm. (12 hrs.)
Time A/C	9am. – 10pm. (13 hrs.)

ตัวแปรต้น ได้แก่ 1. แผงกันแดด 2. ชนิดของกระจก 3. อัตราส่วนช่องเปิดต่อหลังคา 4. อัตราความสูงต่อระยะห่างระแนงแผงกันแดด 5. มุมเอียงของระแนงแผงกันแดด 6. ทิศทางการวางตัวของแผงกันแดด ตามตารางที่ 2 ตัวแปรอื่นที่ไม่กำหนดให้เป็นตัวแปรคงที่

ตารางที่ 2 ตัวแปรต่างๆ ในงานวิจัย

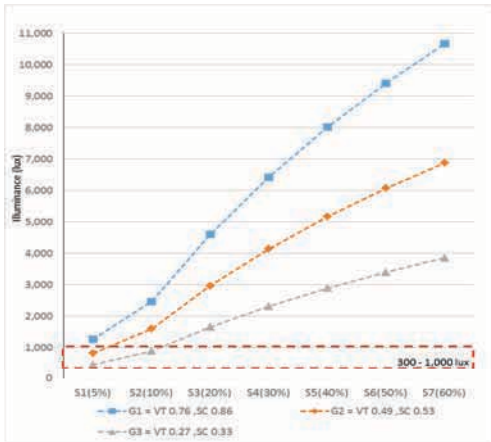
ชนิดกระจก	1	2	3
	SC = 0.86 VT = 0.76	SC = 0.53 VT = 0.49	SC = 0.33 VT = 0.27
อัตราส่วนช่องเปิด	5,10,20,30,40,50,60		
ทิศทางการวางตัวของแผงกันแดด	แนวเหนือ-ใต้ แนวตะวันออก-ตะวันตก		
ความสูง:ระยะห่างระแนงแผงกันแดด	1:0.5, 1:1, 1:1.5, 1:2		
มุมเอียงของระแนงแผงกันแดด	-30, -45, -60, 90, 60, 45, 30		

## 5. ผลการทดลอง

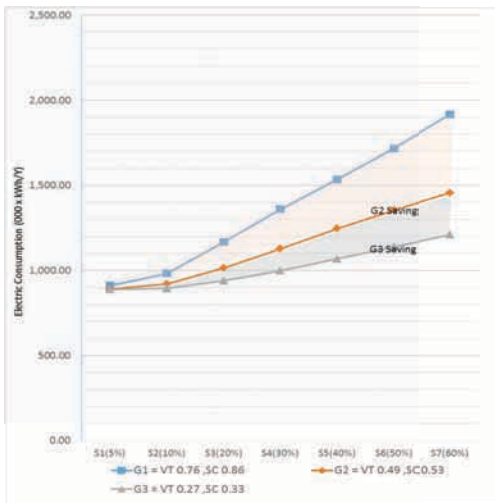
### 5.1 กรณีที่ช่องเปิดด้านบนไม่ติดตั้งแผงกันแดด ผลการจำลองด้านค่าความส่องสว่างและการใช้พลังงาน

ด้านค่าความส่องสว่าง กรณีกระจกมีคุณสมบัติ VT = 0.27 SC = 0.33. สามารถทำให้ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของช่องเปิดร้อยละ 5 และ 10 มีค่าเหมาะสมต่อการใช้งาน ส่วนของช่องเปิดอื่นๆ ค่าความสว่างมากเกินความเหมาะสมในการใช้งาน

ด้านการใช้พลังงาน กรณีกระจกมีคุณสมบัติ VT = 0.27 SC = 0.33 สามารถช่วยให้อาคารประหยัดพลังงานมากขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีพื้นฐาน และประหยัดพลังงานมากขึ้นเมื่อช่องเปิดมีขนาดใหญ่ขึ้นแต่ค่าการใช้พลังงานโดยรวมเพิ่มขึ้นตามขนาดช่องเปิดที่ใหญ่ขึ้น เช่น ในช่องเปิดชนิดร้อยละ 60 สามารถประหยัดพลังงานได้มากที่สุด เมื่อเทียบกับกรณีพื้นฐาน



รูปที่ 2 เปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง กรณีที่ไม่ติดตั้งแผงกันแดด และเปลี่ยนชนิดกระจก



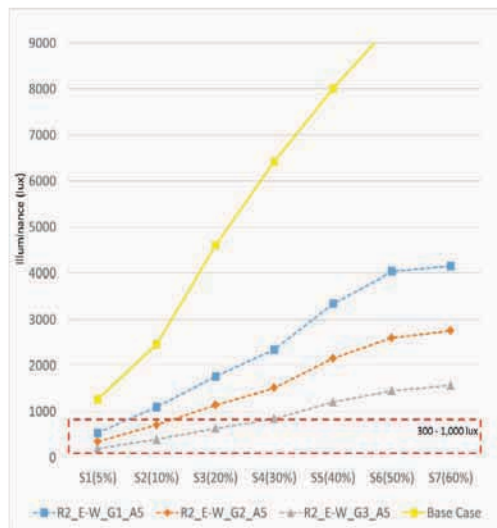
รูปที่ 3 เปรียบเทียบการใช้พลังงาน กรณีที่ไม่ติดตั้งแผงกันแดด และเปลี่ยนชนิดกระจก

## 5.2 กรณีที่ช่องเปิดด้านบนติดตั้งแผงกันแดด ผลการจำลองด้านค่าความส่องสว่างและการใช้พลังงาน

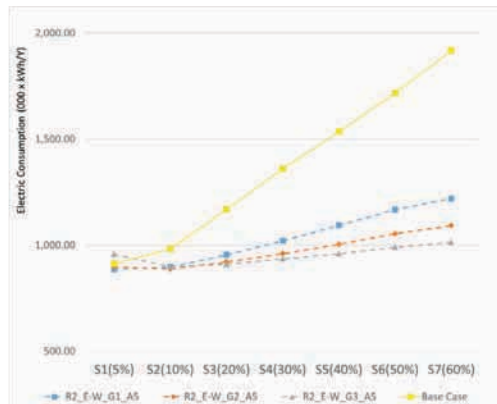
กระจก VT = 0.76 SC = 0.86 มีค่าความส่องสว่างสูงที่สุดในทุกกรณีที่ใช้ควบคู่กับแผงกันแดด เมื่อช่องเปิดมีขนาดใหญ่ขึ้นค่าความส่องสว่างมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้ในหลายกรณีได้ค่าความส่องสว่างที่มากเกินไปความเหมาะสมต่อ

การใช้งาน แต่ในกรณีที่ช่องเปิดขนาดร้อยละ 5 บางกรณีค่าความส่องสว่างที่ได้จะเหมาะสมต่อการใช้งาน

กระจกชนิด VT = 0.27 SC = 0.33 ควบคู่กับแผงกันแดดที่ความถี่มากที่สุดช่องเปิดขนาดเล็กร้อยละ 5 และ 10 ส่งผลให้การใช้พลังงานเพิ่มขึ้นในช่องเปิดขนาดใหญ่ร้อยละ 30-60 กระจกชนิดนี้สามารถช่วยให้ประหยัดพลังงานมากที่สุด



รูปที่ 4 เปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง กรณีศึกษาที่มีแผงกันแดด และเปลี่ยนชนิดกระจก



รูปที่ 5 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงาน กรณีศึกษาที่มีแผงกันแดด และเปลี่ยนชนิดกระจก

ด้านค่าความส่องสว่าง อัตราส่วนความสูงต่อระยะห่างของระแนงแผงกันแดด ที่ลดค่าความส่องสว่างมากที่สุดไปหาน้อยที่สุด ได้แก่ (1:0.5) (1:1) (1:1.5) และ (1:2) ตามลำดับ อัตราส่วนที่ (1:0.5) ให้ค่าความส่องสว่างต่ำที่สุด เนื่องจากมีค่าความถี่ของระแนงแผงกันแดดมาก

ด้านการใช้พลังงาน อัตราส่วนความสูงต่อระยะห่างของระแนงแผงกันแดด ที่ลดการใช้พลังงานมากที่สุดไปหาน้อยที่สุด ได้แก่ (1:0.5) (1:1) (1:1.5) และ (1:2) ตามลำดับ อัตราส่วนที่ (1:0.5) ใช้พลังงานต่ำสุด ในเกือบทุกกรณี มีบางกรณีเช่น การเลือกใช้อัตราส่วน (1:0.5) กับกระจก VT = 0.27 SC = 0.33 ในช่องเปิดขนาดร้อยละ 5 ส่งผลให้กรณีดังกล่าวใช้พลังงานเพิ่มขึ้น

## 6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การใช้แผงกันแดดติดตั้งที่ช่องเปิดด้านบนนั้นสามารถช่วยประหยัดการใช้พลังงาน และปรับค่าความส่องสว่างให้เหมาะสมต่อการใช้งาน เมื่อเทียบกับอาคารที่ไม่มีการติดตั้งแผงกันแดด การติดตั้งแผงกันแดดสามารถทำให้เปิดช่องเปิดด้านบนได้มากขึ้น โดยที่ค่าความส่องสว่างยังเหมาะสมต่อการใช้งาน การใช้งานแผงกันแดดในช่องเปิดขนาดร้อยละ 5 บางกรณีส่งผลให้การใช้พลังงานของอาคารเพิ่มขึ้น ในขณะที่ช่องเปิดขนาดใหญ่กว่าร้อยละ 5 นั้นการติดตั้งแผงกันแดดจะช่วยให้ประหยัดพลังงานมากขึ้นในทุกกรณี หากเทียบกับกรณีที่ไม่ติดตั้งแผงกันแดด แผงกันแดดที่ช่องเปิดด้านบนนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับช่องเปิดด้านบนที่มีขนาดใหญ่กว่าร้อยละ 5

## รายการอ้างอิง

- สมสิทธิ์ นิตยะ. (2541). *การออกแบบสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธีรไนย สร้อยศิริ. (2556). *แนวทางการออกแบบโถงสูงชนิดผนังกระจกด้านเดียวปรับอากาศในเขตร้อนชื้นเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ และ พรรณจิรา ทิศาวิภาค. (2553). *แสงธรรมชาติในงานสถาปัตยกรรม*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- ASHRAE. (2007). *ASHRAE Standard 90.1 2007: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Building* (I-P edition). Atlanta: ASHRAE
- Guo, W. and Nutter, D. W. (2009). *The Optimization of Skylight Area for a Large Retail Building*. 2009 ECTC Proceeding.
- Meng, Q. and Zhang, L. (2006). *The Rooftop Shading System of The Humanities Building at SCUT*. 2006 Energy and Buildings.

ผลของมองเห็นวิวภายนอกผ่านช่องเปิดที่มีการบังแดดในแนวตั้งต่อภาระ  
การทำความเย็น: กรณีศึกษาอาคารประเภทโรงแรมและอาคารที่พักอาศัย

**The Effect of Visibility through Vertical Self Shading Openings on  
Cooling Load: The Case Study of Hotel and Residential Buildings**

ทิพา นน่อแก้วมูล<sup>1</sup> และ ดร. สูดาภรณ์ สูดประเสริฐ<sup>2</sup>  
Tipa Norkaewmool<sup>1</sup> and Sudaporn Sudprasert, Ph.D.<sup>2</sup>

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: llwstipa@gmail.com<sup>1</sup>, Chungloo@tu.ac.th<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันการลดพลังงานภายในอาคารนิยมใช้แผงกันแดดเพื่อป้องกันรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ แต่การเลือกใช้แผงกันแดดจำกัดขอบเขตพื้นที่การมองเห็น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาอาคารประเภทโรงแรมและอาคารที่พักอาศัย เพราะมีรูปแบบเปลือกอาคารที่ยื่นออกในแนวตั้ง ซึ่งสามารถทำหน้าที่คล้ายแผงบังแดดและยังมีพื้นที่การมองเห็นภายในห้อง โดยจุดประสงค์ในงานวิจัยนี้จึงต้องการหารูปแบบช่องเปิดที่ช่วยลดการใช้พลังงานภายในอาคารในขณะที่เพิ่มการมองเห็นทิวทัศน์ภายนอกผ่านช่องเปิดจากตำแหน่งภายในห้องได้ ซึ่งมีวิธีการวิจัยโดยการหารูปแบบช่องเปิดอาคารที่มีการบังแดดในแนวตั้งเปรียบเทียบกับรูปแบบช่องเปิดปกติที่ไม่มีลักษณะการบังแดดเพื่อศึกษาอิทธิพลของแต่ละรูปแบบช่องเปิดที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานและการมองเห็นจากภายในห้อง โดยการสร้างแบบจำลองในโปรแกรม eQUEST เพื่อประเมินผลในเรื่องพลังงานในขณะที่เรื่องการมองเห็นภายในห้องใช้การประเมินผลในโปรแกรม Ecotect ผลการศึกษาพบว่ารูปแบบช่องเปิดที่มีลักษณะการบังแดดในแนวตั้งช่วยลดการใช้พลังงานภายในอาคารได้รวมถึงช่วยเพิ่มพื้นที่การมองเห็นทิวทัศน์จากภายในห้องด้วย

### Abstract

Nowadays, buildings widely use shading devices to prevent direct solar heat gain but they were found restricted view area. This study, therefore, explored extruded facades of hotel and residential buildings those allows seeing views and acting like the vertical shading fin. The main purpose of the research is to find the solution of wall openings that response both of seeing view and reducing solar heat gain. Simulated buildings of various wall opening designs were tested in computer program called eQUEST, for energy consumption, and in Ecotect for seeing view. The results would shows the vertical shading fin can help reduce energy consumption and also enhance view area.



**คำสำคัญ (Keywords):** แผงบังแดดในแนวตั้ง (Vertical Shading Fin), พื้นที่การมองเห็น (View Area), การมองเห็น (Seeing View), รูปแบบช่องเปิด (Wall Opening Designs)

## 1. ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยอยู่ในสภาพภูมิอากาศในเขตร้อนชื้น ในอาคารส่วนใหญ่จึงใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้กับพื้นที่ใช้งาน อย่างไรก็ตามเครื่องปรับอากาศมีส่วนการใช้พลังงานสูงเมื่อเทียบกับการใช้ไฟฟ้าในอาคารในรูปแบบอื่น ๆ ดังนั้นการออกแบบอาคารจึงต้องมีการป้องกันความร้อนเข้ามาภายในอาคาร โดยการใช่วิธีต่าง ๆ เพื่อช่วยลดภาระการทำความเย็นให้แก่อาคาร การยื่นชายคาเพื่อลดปริมาณความร้อนจากแสงแดด การใช้แผงกันแดดในแนวตั้งและแนวนอน รวมทั้งการออกแบบรูปร่างของอาคารมีส่วนช่วยลดปริมาณความร้อนเข้าสู่ภายใน (สมสิทธิ์ นิตยะ, 2541) ในประเทศไทยมักพบการใช้แผงบังแดดในการลดความร้อนให้แก่อาคาร ทว่าแผงบังแดดจะส่งผลต่อการมองเห็นทิวทัศน์โดยเฉพาะแผงกันแดดในแนวตั้งจะสามารถมองเห็นทัศนียภาพได้น้อยกว่าการใช้แผงกันแดดในลักษณะแนวนอน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาอาคารประเภทโรงแรมและอาคารที่พักอาศัย เพราะมีรูปแบบเปลือกอาคารที่ยื่นออกในแนวตั้ง และยังสามารถทำหน้าที่คล้ายแผงบังแดดและมีพื้นที่การมองเห็นทัศนียภาพภายนอกอาคารด้วย นอกจากนี้สถาปนิกได้ให้ความสำคัญกับบรรยากาศภายในห้องซึ่งส่งผลต่อมูลค่าของห้องพักและผู้ใช้งานห้องพัก

งานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษารูปแบบช่องเปิดที่ช่วยลดการใช้พลังงานภายในอาคารในขณะที่เพิ่มพื้นที่การมองเห็นภายในได้โดยศึกษารูปแบบช่องเปิดตัวอย่างที่มีอยู่ในประเทศไทย

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของแต่ละรูปแบบช่องเปิดในเรื่องพลังงานและการมองเห็น

## 2. ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังแบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ

#### 2.1.1 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ

การถ่ายเทความร้อนจากดวงอาทิตย์ส่งผ่านเข้ามาภายในห้อง ส่งผลให้ภายในอาคารมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าภายนอกอาคารจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารเข้ามาภายใน

#### 2.1.2 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง

ความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสงมีส่วนหนึ่งที่ผ่านเข้ามาภายในห้อง ส่วนหนึ่งถูกดูดกลืนไว้ในผนังโปร่งแสง ในขณะที่อีกส่วนหนึ่งถูกสะท้อนออกจากตัวอาคาร ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศและผนังภายในห้องเพิ่มสูงขึ้น

### 2.2 อิทธิพลของการบังแดดต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง

#### 2.2.1 การถ่ายเทรังสีความร้อน

โลกได้รับรังสีความร้อนมาจากดวงอาทิตย์ในปริมาณที่ไม่มากเนื่องจากมีบรรยากาศของโลกกรองไว้ซึ่งส่วนหนึ่งถูกดูดซับไว้ บางส่วนกระจายออก และบางส่วนแผ่กลับให้โลก โดยรังสีที่ผิวโลกมี 3 ลักษณะ คือ รังสีตรง รังสีกระจาย และรังสีรวม โดยทั้งหมดเป็นรังสีจากดวงอาทิตย์ที่อาคารได้รับ

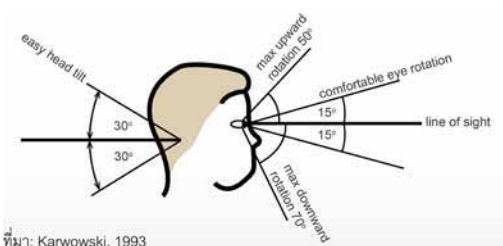
32 ผลของมองเห็นวิถายนอกผ่านช่องเปิดที่มีการบังแดดในแนวตั้งต่อภาระการทำความเป็น:  
กรณีศึกษาอาคารประเภทโรงแรมและอาคารที่พักอาศัย  
ทิพา หน่อแก้วมูล และ ดร. สุดาภรณ์ สุดประเสริฐ

### 2.2.2 การโคจรของดวงอาทิตย์

การโคจรของดวงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล โดยในช่วงฤดูร้อนดวงอาทิตย์จะอยู่ค่อนไปทางทิศเหนือและจะไปอยู่ทางทิศเหนือมากที่สุดประมาณวันที่ 21 มิถุนายน ซึ่งในช่วงปลายเป็นเวลาที่สำคัญในการหาร่มเงาให้แก่อาคาร และในฤดูหนาวดวงอาทิตย์จะอ้อมใต้มากที่สุดประมาณวันที่ 21 ธันวาคม โดยมุมทางตั้งของดวงอาทิตย์จะทอดต่ำมากกว่าในเดือนมิถุนายน ทางด้านใต้จึงต้องการบังแดดให้มากกว่าทางทิศเหนือ (ตรีงใจ บุรณสมภพ, 2539)

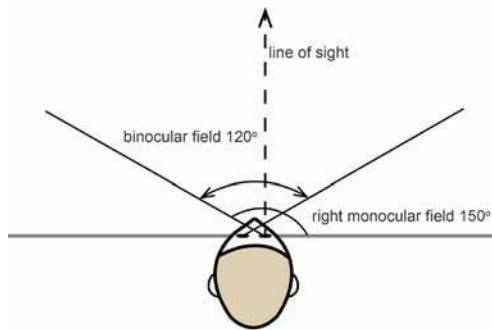
### 2.4 ทฤษฎีขอบเขตการมองเห็นของมนุษย์

การมองเห็นของมนุษย์เมื่อพิจารณาในแนวตั้งมีขอบเขตการมองเห็น 60 องศา โดยจากระยะ ขอบเขตการมองเห็นเหนือการมองตรงปกติสามารถเห็นขอบเขตภาพด้านบนขึ้นไปได้สูงสุด 50 องศา ในขณะที่ขอบเขตการมองเห็นภาพด้านล่างสูงสุดจากการมองตรงคือ 70 องศา และเมื่อพิจารณาขอบเขตการมองเห็นในแนวระนาบภาพที่สามารถมองเห็นได้อยู่ในระยะ 120 องศา ซึ่งขอบเขตการมองเห็นสูงสุดในแนวระนาบคือ 180 องศา (Karmarkar, 1993)



ที่มา: Karwowski, 1993

รูปที่ 1 ขอบเขตการมองเห็นของมนุษย์ในแนวตั้ง



ที่มา: Karwowski, 1993

รูปที่ 2 ขอบเขตการมองเห็นของมนุษย์ในแนวระนาบ

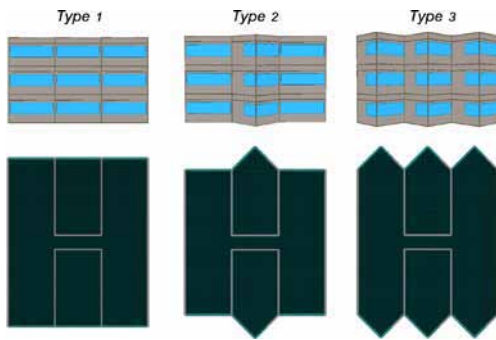
### 3. ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษารูปแบบช่องเปิดอาคารประเภทโรงแรมในแต่ละรูปแบบรวมถึงศึกษาความสัมพันธ์ของลักษณะรูปร่างช่องเปิดอาคารกับพื้นที่การมองเห็นที่มีผลต่อพลังงานความร้อนที่เข้ามาภายในอาคาร โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Ecotect และ eQUEST ในการศึกษาเรื่องขอบเขตการมองเห็นพื้นที่ภายในและหาค่าการใช้พลังงานภายในอาคารตามลำดับ

#### 3.1 การทดสอบรูปแบบช่องเปิดที่มีอิทธิพลต่อการลดพลังงานความร้อนภายในอาคาร

การทดลองเบื้องต้นได้สร้างแบบจำลองขึ้นมา 3 รูปแบบ ศึกษาอิทธิพลของการบังเงาในแต่ละรูปแบบช่องเปิด ซึ่งจะพิจารณาเฉพาะห้องตรงกลางชั้นที่ 2 เพื่อศึกษาพลังงานความร้อนที่เข้ามาเฉพาะผนังด้านที่มีช่องเปิดเท่านั้น และทำการทดสอบทั้ง 4 ทิศทาง เพื่อหาค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานใน 1 ปี



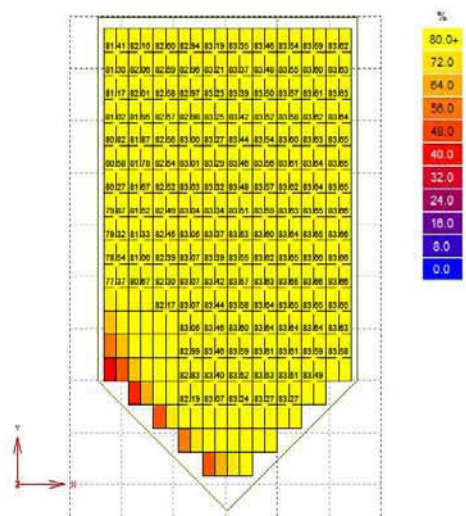


รูปที่ 3 แบบจำลองในโปรแกรม eQUEST

จากการทดลอง พบว่าการใช้ รูปแบบที่ 3 ใช้พลังงานน้อยที่สุด คือ 117.70 kWh/sqm/yr เนื่องจากรูปร่างของช่องเปิดห้องข้างเคียงที่มีลักษณะยื่นออกมาช่วยทำหน้าที่บังแดดและลดความร้อนที่เข้ามาในห้องตรงกลางได้ ในขณะที่ร่องลงมาคือรูปแบบที่ 2 ใช้พลังงานไป 128.15 kWh/sqm/yr เพราะรูปแบบการยื่นของช่องเปิดมีส่วนของผนังที่ช่วยลดพลังงานความร้อนที่เข้ามาโดยตรงได้บางทิศทาง เนื่องจากการโคจรของดวงอาทิตย์ทำให้บางช่วงเวลาที่พื้นที่กระจกไม่ได้รับความร้อนโดยตรง ในขณะที่รูปแบบที่ 1 ใช้พลังงานมากที่สุด คือ 131.36 kWh/sqm/yr เพราะไม่มีส่วนบังแดดที่ช่วยลดพลังงานความร้อนที่เข้ามา

### 3.2 การทดลองการมองเห็นทิวทัศน์ภายนอกผ่านหน้าต่างจากตำแหน่งภายในห้อง

ทดลองสร้างแบบจำลองห้องขนาด 41.25 ตารางเมตร สร้างขนาดพื้นที่ตารางสูงจากพื้นห้อง 1.5 เมตร เพื่อให้โปรแกรมประมวลผลระบุค่าการมองเห็นในแต่ละจุดบนตาราง และจากการทดสอบการประมวลผลของโปรแกรมเบื้องต้น พบว่า ตำแหน่งที่สามารถมองเห็นพื้นที่กระจกได้มากที่สุดจะแสดงค่าการมองเห็นมากที่สุดด้วย



รูปที่ 4 แบบจำลองการมองเห็นพื้นที่ภายนอกในห้อง

## 4. ผลการทดลอง

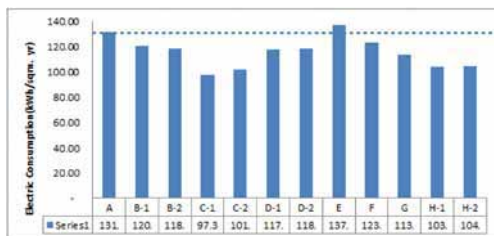
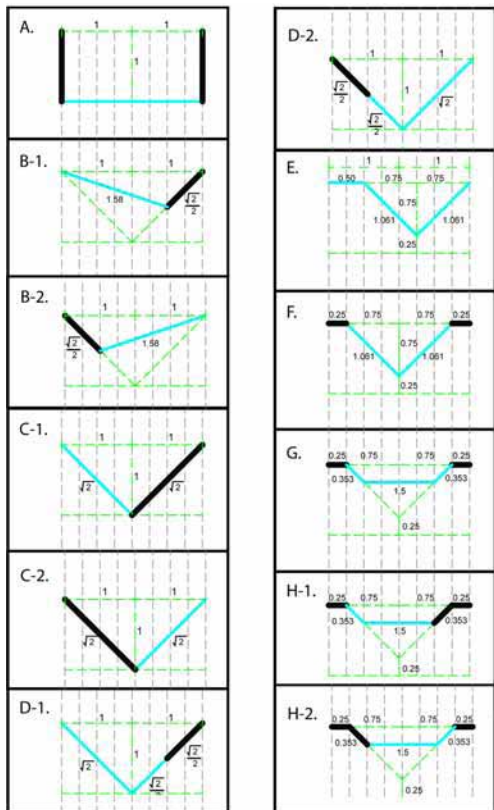
### 4.1 การทดลองที่ 1 รูปแบบช่องเปิดที่มีอิทธิพลต่อการลดพลังงานความร้อนภายในอาคาร

จากการรวบรวมรูปแบบช่องเปิดของอาคารกรณีศึกษาได้กำหนดให้ทุกรูปแบบช่องเปิดมีขนาดความกว้าง 5 เมตร ความสูงจากพื้นถึงเพดานมีระยะ 3 เมตร ในขณะที่ความยาวของห้องจะปรับเปลี่ยนตามความเหมาะสมของการเพิ่มพื้นที่กระจกและผนังตามรูปแบบของอาคารกรณีศึกษา โดยมีทั้งหมด 12 รูปแบบ

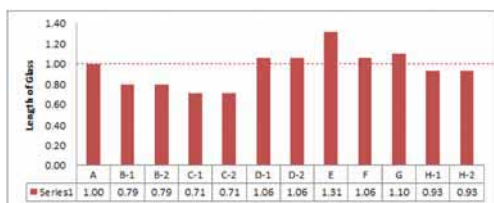
ผลปรากฏว่ารูปแบบที่ช่วยลดการใช้พลังงานมากที่สุดจาก 12 แบบ คือรูปแบบ C-1 เพราะมีขนาดช่องเปิดน้อยที่สุดและยังมีพื้นที่ผนังส่วนที่ยื่นออกมาทำหน้าที่ช่วยลดพลังงานความร้อนที่เข้ามาภายในอาคารได้ ในขณะที่รูปแบบ E ใช้พลังงานมากที่สุดถึงแม้จะมีรูปแบบช่องเปิดที่ทำหน้าที่คล้ายบังแดดก็ตาม แต่ด้วยขนาดช่องเปิดที่มากที่สุดรวมถึงส่วนที่ยื่นทั้งหมดคือกระจกจึงส่งผลให้อาคารต้องใช้พลังงานมากขึ้น

ผลของมองเห็นวิถายนอกผ่านช่องเปิดที่มีกรบังแดดในแนวตั้งต่อภาระการทำควมเย็น: กรณีสึกษาอาคารประเภทโรงแรมและอาคารที่พักอาศัย ทิพา หน่อแก้วมูล และ ดร. สุดาภรณ์ สุดประเสริฐ

ตารางที่ 1 รูปแบบช่องเปิด



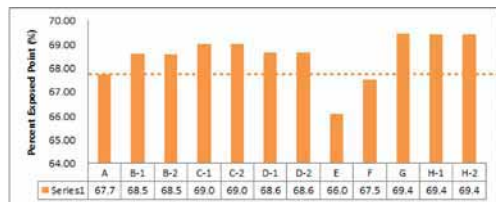
รูปที่ 5 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานเฉลี่ยใน 1 ปี



รูปที่ 6 เปรียบเทียบขนาดกระจก

## 4.2 การทดลองที่ 2 ผลการมองเห็นทิวทัศน์ จากตำแหน่งภายในห้อง

จากการทดลองพบว่า รูปแบบ G ให้ค่าการมองเห็นภายในมากที่สุด เนื่องจากมีหลายตำแหน่งที่สามารถมองเห็นพื้นที่ช่องเปิดโดยรวมมากที่สุด ทำให้ค่าเฉลี่ยการมองเห็นมากขึ้นด้วย และรูปแบบที่ให้ค่าการมองเห็นภายในน้อยที่สุดคือ รูปแบบ E เพราะตำแหน่งที่สามารถมองเห็นพื้นที่โดยรวมกระจกมีน้อยทำให้ค่าการแสดงผลเฉลี่ยโดยรวมจึงมีค่าน้อยที่สุด



รูปที่ 7 เปรียบเทียบการมองเห็นภายในห้อง

## 5. ข้อสรุปจากการทดลองและข้อเสนอแนะ

### 5.1 ข้อสรุปจากการศึกษาวิจัย

5.1.1 การทดลองรูปแบบช่องเปิดที่มีอิทธิพลต่อการลดพลังงานความร้อนภายในอาคาร อิทธิพลของรูปร่างช่องเปิดที่มีลักษณะคล้ายแผงบังแดดในแนวตั้งสามารถช่วยในการลดพลังงานความร้อนที่เข้ามาภายในอาคารได้ โดยพื้นที่ในส่วนผนังทึบที่ยื่นออกมาจะช่วยทำหน้าที่ลดความร้อนที่เข้ามาภายในห้อง แต่ในกรณีที่ผนังส่วนที่ยื่นทั้งหมดเป็นกระจก ปัจจัยเรื่องการยื่นของเปลือกอาคารจะไม่สามารถช่วยลดพลังงานความร้อนได้

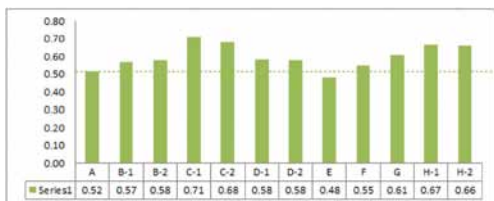
### 5.1.2 การทดลองการมองเห็นทิวทัศน์ภายนอก จากตำแหน่งภายในห้อง

ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มพื้นที่กระจกไม่สามารถช่วยเพิ่มพื้นที่การมองเห็นทิวทัศน์จาก

ภายในได้ เนื่องจากการทดสอบในรูปแบบนี้ต้องการหาบริเวณพื้นที่โดยรวมที่สามารถหาตำแหน่งทั้งหมดที่มองเห็นพื้นที่ของกระจกได้มากที่สุด เพราะการแสดงค่าการมองเห็นในแต่ละจุดจะช่วยบอกตำแหน่งที่สามารถมองเห็นบรรยากาศภายนอกผ่านพื้นที่กระจกได้

### 5.1.3 เปรียบเทียบการใช้พลังงานและการมองเห็นภายใน

รูปแบบที่ดีที่สุดที่ช่วยลดการใช้พลังงานและมีพื้นที่การมองเห็นภายในมากที่สุด คือรูปแบบ C-1 โดยพิจารณาจากสัดส่วนของพื้นที่การมองเห็นต่อการใช้พลังงาน ซึ่งในรูปแบบนี้ให้ค่าการมองเห็นพื้นที่ภายในมากที่สุดและใช้พลังงานมากที่สุดจากรูปแบบทั้งหมด ในขณะที่รูปแบบช่องเปิด E มีสัดส่วนของพื้นที่การมองเห็นต่อการใช้พลังงานน้อยที่สุด



รูปที่ 8 เปรียบเทียบสัดส่วนพื้นที่การมองเห็นทิวทัศน์ภายนอกต่อการใช้พลังงาน

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องการมองเห็นพื้นที่ภายนอก เนื่องจากการทดสอบพื้นที่การมองเห็นจากภายในเป็นการทดสอบเพื่อบอกตำแหน่งที่มีโอกาสมองเห็นบรรยากาศภายนอก แต่ไม่สามารถระบุค่าการมองเห็นบรรยากาศภายนอกในบริเวณใกล้เคียงกระจกได้

2) การศึกษาเพิ่มเติมควรปรับเปลี่ยนชนิดกระจกชนิดประหยัดพลังงานกับกระจกปกติที่ใช้ทั่วไป เพื่อนำมาหาค่าความคุ้มค่าในการออกแบบและก่อสร้างต่อไปในอนาคต

### รายการอ้างอิง

ตรึงใจ บุรณสมภพ. (2539). *การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศิลปากร.

สมสิทธิ์ นิตยะ. (2541). *การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Kamarkar, S. (1993). *Visual Field and Visual Obstruction*. Retrieved July 21, 2013, from <http://www.dsourc.in/course/ergonomics/auto-ergo/visual/visual.html>

# Development of a Virtual Wall Surface Temperature Sensor Utilizing Steady-state Model in a Retail Store

การพัฒนาเซนเซอร์เสมือนแบบใหม่สำหรับการวัดอุณหภูมิผนังห้อง โดยใช้แบบจำลองรูปแบบคงที่สำหรับอาคารค้าปลีก

Denchai Woradechjumroen<sup>1\*</sup>, Yuebin Yu, Ph.D.<sup>2</sup> and Haorong Li, Ph.D.<sup>3</sup>

เด่นชัย วรเดชจำริญู<sup>1\*</sup>, Yuebin Yu, Ph.D.<sup>2</sup> และ Haorong Li, Ph.D.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Durham School of Architectural Engineering and Construction, University of Nebraska-Lincoln, Omaha, NE, USA

E-mail: dworadechjumroe@unomaha.edu<sup>1\*</sup>, yuebin.yu@unl.edu<sup>2</sup>, hli3@unl.edu<sup>3</sup>

## Abstract

Virtual sensors are systematically developed from low-cost measurements such as available physical sensors and manufacturers' data. Utilizing system responses-based criterion, a virtual model based on transient response can be theoretically applied in feedback control and system fault detection applications. In real implementation, however, it is required signal processing from continuous time to discrete time; it can practically lead to system performance degradation from actual model design. This paper proposes a novel virtual wall surface temperature sensor using steady-state models in terms of multiple linear regression analysis. The proposed virtual model can tackle the aforementioned barrier since it is applied to analyze energy interaction in terms of simultaneous cooling and heating between a zone and adjacent zones at steady-state response. Also, the virtual model application is implemented in zone temperature prediction in multi-zone commercial buildings. The novel approach is implemented in a building simulation platform for validating results via statistical theories.

## บทคัดย่อ

เซนเซอร์แบบเสมือนถูกพัฒนาอย่างเป็นระบบจากการวัดต้นทุนต่ำ อย่างเช่น เซนเซอร์ที่มีในระบบและข้อมูลจากผู้ผลิต โดยการใช้หลักเกณฑ์ผลการตอบสนองของระบบ แบบจำลองเสมือนจากการตอบสนองชั่วคราวสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการควบคุมแบบป้อนกลับและการตรวจสอบความผิดพลาดของระบบ แต่ในการนำไปใช้จริง มันจำเป็นต้องมีการประมวลผลสัญญาณจากการต่อเนื่องทางเวลาเพื่อเป็นแบบไม่ต่อเนื่องทางเวลา ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงในทางปฏิบัติจากที่ได้ออกแบบไว้ บทความนี้นำเสนอเซนเซอร์แบบเสมือนแบบใหม่สำหรับวัดอุณหภูมิผนังห้อง โดยใช้สมการ

รูปแบบคงที่ในรูปแบบของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปร สมการแบบเสมือนนี้สามารถลดข้อจำกัดที่ได้กล่าวมาได้เนื่องจากมันจะถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพลังงานในรูปแบบระบายความร้อนและความเย็นพร้อมกันระหว่างโซนที่ถูกพิจารณาและโซนที่ใกล้เคียงที่การตอบสนองแบบมั่งคั่ง การประยุกต์ของแบบจำลองสามารถนำไปใช้ในการทำนายอุณหภูมิห้องในอาคารพาณิชย์แบบหลายโซน วิธีแบบนี้จะถูกนำไปใช้ในแพลตฟอร์มการจำลองอาคารเพื่อทำการตรวจสอบผลลัพธ์ด้วยทฤษฎีทางสถิติ

**Keywords (คำสำคัญ):** Regression Analysis (การวิเคราะห์ความถดถอย), Retail Stores (อาคารค้าปลีก), RTUs (เครื่องแพคเกจแบบติดตั้งดาต้าหลายตัว), Virtual Sensor (เซนเซอร์เสมือน), Supervisory Control (การควบคุมแบบอำนวยการ)

## 1. Introduction

According to U.S. Commercial Sector Primary Energy in 2006 (DOE 2011), heating, ventilation, air-conditioning and refrigeration systems (HVAC&R) accounted for about 50% of the total energy use in commercial buildings. Approximately, 30% of total energy was consumed on space cooling and space heating by HVAC systems. Rooftop units (RTUs) consumed approximately 62% of total energy to provide both cooling and heating systems for commercial buildings in the U.S. Specifically, RTUs accounted for 50% of total energy use for small commercial offices and retail stores (Rivers, 2004-2005). One of major excessive energy uses is inherent oversizing effect in RTUs. Based on the field data analysis of 268 RTUs in 12 retail stores located at different climate regions in USA, Woradetchjumroen et al. (2014) state that the over-sized capacity of the RTUs has an average value of 84% for cooling and 299%

for heating. These situations lead to the highest peak energy penalty that goes to 226.41 kW in a cooling mode and 1,375.99 kW in a heating mode. To solve this oversizing effect, advanced supervisory control becomes the challenge solution that can potentially supervise all RTU operations in terms of an optimal coordinate control. The supervisory control requires operational constraints from installed sensors in a system. However, the proposed solution solved inherent oversizing effect could result model uncertainties and unexpected situations around virtual walls in multi-zone building structures such as supermarket buildings and retail stores.

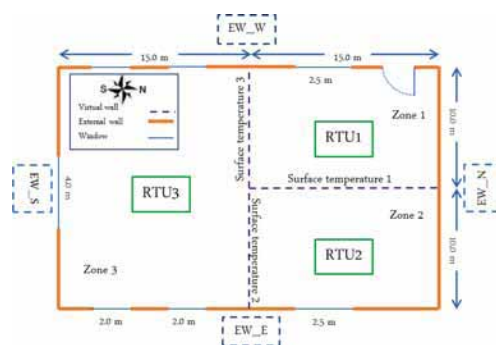
To address these challenges, our team (Yu et al., 2014) developed a novel virtual wall surface temperature sensor utilizing dynamic equation in terms of a physical-based linear parametric model. However, there is existing error between 10 and 20% depending upon the level of oversizing effect. To investigate and

analyze fault error in prediction, steady-state models developed from multiple linear regression analysis (MLR) is proposed for a novel wall surface temperature sensor in this present paper. The main advantages of steady-state virtual sensors are: 1) potential for predicting system performance at steady-state response; 2) easy-to-implement for real-time control and fault detection and diagnosis (FDD) (Li et al., 2011) and 3) to guarantee stable system prediction. In this article, we will apply statistical theories for systematically developing steady-state virtual sensor to predict wall surface temperature in a multi-zone building. The results show excellent prediction validated by goodness of fit (G) and coefficient of determination ( $R^2$ ) when off-control conditions are utilized to test in 3 zones. The newly proposed model can be further applied in real-time supervisory control in a future research.

## 2. Building for model prediction

The analysis also utilizes the same building example as the proposed dynamic virtual sensor (Yu et al., 2014) for comparing results. The building platform is three-zone one-story commercial building. The height of the building is 3.50 m and all windows are assigned to be of 1.2 m height. It has been supplied heating and cooling to the space by three one-stage RTUs installed on the roof. The cooling model is operated by a vapor compression cycle, as depicted in Figure 1. The rated cooling capacities are 5kW, 5kW,

and 6.5kW for RTU1, RTU2 and RTU3, respectively. This building is simulated by HAMBASE (Wit, 2006) running on Matlab environment.



**Figure 1** Illustrates three-zone one-story commercial building (Yu et al., 2014).

In Figure 1, the simulation is assumed as follows: 1) the zone temperature of each zone is measured at the center and 2) one wall surface temperature is equally approximated for four walls in a zone due to the limitation of HAMBASE.

## 3. Model development

The concepts of virtual sensors can be categorized in three criteria (Li et al., 2011): measurement characteristics-based criterion (transient-state and steady-state data-based approach); modeling method-based criterion (white-box, gray-box and black-box models) and application purposes-based criterion (replacement and observing). In this section, the proposed model is based on black-box models using multiple linear regression method in the form of steady-state model,



which do not change with time. Thus, it could obtain better prediction than dynamic pattern when sensitivity occurs in the system. Regression method has been intensively applied in HAVC areas, especially in FDD applications (Yang et al., 2014a and 2014b). MLR is used to model the relationship between two or more independent variables and a response variable by fitting a linear equation to observed data. Every value of the independent variable X is associated with a value of the dependent variable Y. Equation 1 is typically described in this study as follows:

$$Y = A_1X_1 + A_2X_2 + A_3X_3 + error \quad (1)$$

Where as the error is 5% out of 95% confidence of this fitting curve,  $A_0$ ,  $A_1$ ,  $A_2$  and  $A_3$  are constant coefficient of curve fitting from observed data (simulated wall surface temperatures). Also,  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  are independent variables and Y is a response variable or dependent variable.

The procedures for constructing MLR analysis are:

1. Investigating independency between any independent variables (outdoor air temperatures and zone temperatures) using Pearson's correlation (r) and tolerance values with significance
2. Checking y (wall surface temperatures) depending upon at least one independent variable tested by p value with significance

3. Examining the influence of all selected independent variables on a dependent variable (y) via p-value with significance

4. Computing the degree of relation between multiple independent variables and y in terms of  $R^2$  with significance.

5. Checking conditions of a MLR equation.

The example of procedures is systematically conducted in zone 1 as follows:

**Table 1** Tabulates statistical analysis of zone 1

Independent variables	P-value	r-value
Tzone1	0.000481	0.99
Tzone2	0	0.79
TOAT	5.03e-31	0.93

According to Table 1, we select three significant independent variables including zone temperature 1 ( $T_{z1}$ ), zone temperature 2 ( $T_{z2}$ ) and outdoor air temperature ( $T_{OAT}$ ) since the tolerance value between  $T_{z1}$  and  $T_{z3}$  equalling 0.004 is less than 0.1 showing high independency. Thus, we can select one of them ( $T_{z1}$ ). All selected independent variables strongly impact on wall surface temperature in zone 1 since p values of each selected variable are all lower than the significance at 0.05, and each independent variable considerably affect the variation of wall surface temperature by high Pearson's correlation (r-value). With investigating the independency, each pair of the variables is examined by tolerance value that is higher than 0.1 leading to low independency.

dependency between each variable. Thus, the steady-state models of virtual wall surface temperature are:

$$T_{S1} = -0.296T_{OAT} + 0.137T_{Z1} - 0.217T_{Z2} + 2.581 \quad (2)$$

$$T_{S2} = -0.354T_{OAT} + 0.130T_{Z2} + 1.108T_{Z3} + 2.617 \quad (3)$$

$$T_{S3} = -0.424T_{OAT} + 1.814T_{Z1} - 0.455T_{Z2} + 4.298 \quad (4)$$

#### 4. Results

After obtaining the suitable and potential MLR equations in last section, the equations are tested and validated by off-control conditions in three zones for two days in July, and are also compared to the predicted results obtained from the dynamic virtual wall surface temperature sensors proposed by Yu et al. (2014). The validation is computed by using  $R^2$  and G criteria.

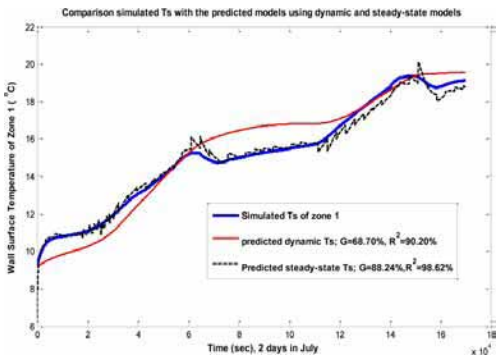


Figure 2 Depicts the compared results in Zone 1

From Figure 2 to Figure 4, the steady-state models as shown in Equation 2, 3 and 4 demonstrate better predicted results than the predicted dynamic models. Utilizing G and  $R^2$  criteria, the G values of the models can be

increased from around 70% to 85% for zone 2 and 3, respectively, and can reach to 88% for zone 1. Additionally, R-square values of steady-state models can go to the highest value at around 98% in zone 1.

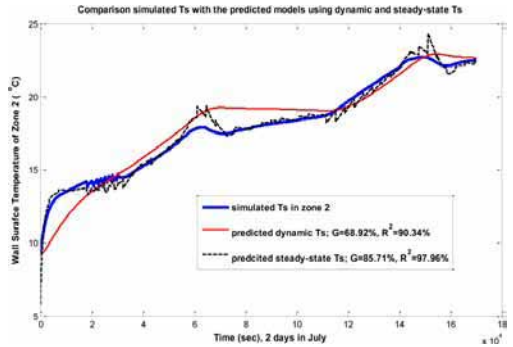


Figure 3 Shows the compared results in Zone 2

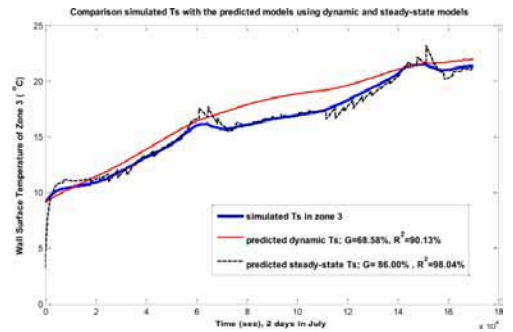


Figure 4 Shows the compared results in Zone 3

#### 5. Conclusion

This study improves the prediction performance of dynamic virtual wall surface temperature by proposing the innovative steady-state wall surface temperature which systematically utilizes the application of MLR analysis. With the validation via high G and  $R^2$  values, the predicted models demonstrate excellent results. Their performances of the



dynamic models are improved about 17-20% based on the G criterion. The terminology can be applied to detect faulty wall surface temperature prediction and embedded into supervisory control for a future research.

## References

- DOE. Energy Information Administration (EIA). (2011). *Annual Energy Outlook*. USA.
- Rivers, N. session 2004-2005. *Management of Energy Usage in a Supermarket Refrigeration Systems*. The Institute of Refrigeration.
- Woradechjumroen, D., Yu, Y., Li, H., Yang, H., Yu, D. (2014). Analysis of HVAC system oversizing in commercial buildings through field measurements. *Energy and Buildings*, 69, 131–143
- Yu, Y., Woradechjumroen, D., Yu, D. (2014). *Virtual surface temperature sensor for multi-zone commercial buildings*. The 6th International Conference on Applied Energy.
- Li, H., Yu, D., Braun, J.E. (2011) A review of virtual sensing technology and application in building systems. *HVAC&R Research*, 17(5), 619–645.
- Wit, M.H. de. (2006) *HAMBase. Heat, air and moisture model for building and systems Evaluation*. Bouwstenen 100. Eindhoven University of Technology.
- Yang, H., Zhang, T.C., Li, H., Woradechjumroen, D., Liu, X. (2014 a). *HVAC Equipment, Unitary: Fault Detection and Diagnosis*. In Encyclopedia of Energy Engineering and Technology. (2nd edition, in press).
- Yang, H., Xu, Z., Xiong, R., Li, H., Zhang, T.C., Liu, X., Woradechjumroen, D. (2014 b). Simplifying manufacturers' data in unitary HVAC equipment through a DX cooling coil modeling. *Energy and Buildings*, 74, 152-162.

# แผ่นบุผนังภายในที่ผลิตจากขี้เลื่อย

## Interior Particle Board Made from Sawdust

ผ่องพรรณ วะชুম<sup>1</sup>, ปารเมศ กำแหงฤทธิรงค์<sup>2</sup>, โสภา วิศิษฎ์ศักดิ์<sup>3</sup>, โจเซฟ เคดารี<sup>4</sup>  
และ ทรงกลด จารุสมบัติ<sup>5</sup>

Phongphan Wachoom<sup>1</sup>, Parames Kamhangrittirong<sup>2</sup>, Sopa visitsak<sup>3</sup>, Joseph Khedari<sup>4</sup>  
and Songklod Jarusombuti<sup>5</sup>

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: i\_arch\_chompoo@hotmail.com<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำขี้เลื่อยเหลือทิ้งจากโรงงานแปรรูปไม้มาใช้ให้เป็นประโยชน์ โดยการนำมาผลิตเป็นแผ่นบุผนังภายใน สัดส่วนผสมของแผ่นตัวอย่างประกอบด้วยขี้เลื่อยและวัสดุประสานที่มาจากธรรมชาติ คือ น้ำมันยางผสมกับผงชันซึ่งเป็นภูมิปัญญาของคนรุ่นหลังที่ใช้ในการอุดรอยรั่วของเรือ และศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติในการกันความร้อน และการดูดซับเสียงระหว่างแผ่นบุผนังภายในจากขี้เลื่อยกับแผ่นไม้อัดและแผ่นยิปซัมบอร์ดในห้องทดลอง ในการผลิตแผ่นตัวอย่างเพื่อการทดสอบใช้อัตราส่วนผสม ขี้เลื่อย: น้ำมันยาง: ผงชัน เท่ากับ 1: 1: 1, 2: 1: 1 และ 2.0: 1.5: 1.5 การอัดขึ้นรูปแผ่นใช้กรรมวิธีการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยใช้ความดัน 80-100 ปอนด์ต่อตารางนิ้วเป็นเวลา 10 และ 5 นาที ผลการศึกษาพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ในการนำความร้อน (K) ของแผ่นบุผนังภายในจากขี้เลื่อยอัตราส่วนผสม 2: 1: 1 ใช้เวลาอัด 5 นาที ให้ค่าการนำความร้อนมากที่สุด 0.2735 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน อัตราส่วน 1: 1: 1 ใช้เวลาอัด 10 นาที ให้ค่าการนำความร้อนน้อยที่สุด 0.1905 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน แผ่นบุผนังภายในที่ผลิตจากขี้เลื่อยสามารถเป็นฉนวนกันความร้อนใกล้เคียงกับแผ่นยิปซัมบอร์ด คือ 0.19 มีค่าการนำความร้อนมากกว่าแผ่นไม้อัด คือ 0.138 ค่าการดูดซับเสียงของแผ่นตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสม 2.0: 1.5: 1.5 ใช้เวลาอัด 5 นาที ดูดซับเสียงได้มากกว่าร้อยละ 40

### Abstract

This research aims to utilize wasted sawdust from wood transformation factories by producing it as interior panel. The mixture ratio of sample wall panel was consisted of sawdust and natural cementitious materials, i.e., wood oil mixed with dammar powder that was local wisdom of former people for caulking boats. In addition, this research also studied and compared thermal insulation property and sound absorption between interior wall panel made of sawdust and gypsum board available in current markets. For producing sample wall panel for testing, the mixture ratios of sawdust: wood oil: dammar were 1: 1: 1, 2: 1: 1, and 2: 1.5: 1.5.

For compression molding of wall panel, thermal compression at 100 degrees Celsius was used with pressure of 80-100 pounds per square inch for 10 and 5 minutes. The results showed that the heat transfer coefficient (K) of interior wall panel made of sawdust with the mixture of 2: 1: 1 and duration of compression of 5 minutes provided the highest level of heat conduction at 0.2735 w/m.K while interior wall panel made of sawdust with the mixture of 1: 1: 1 and duration of compression of 10 minutes provided the lowest level of heat conduction at 0.1905 w/m.K. Interior particle board from sawdust was able to be used as insulation with similar property to gypsum board at 0.19 w/m.K but, Plywood provide heat conduction better than at 0.138 w/m.K. For sound absorption, the sample wall panels with the mixture ratio of 2.0: 1.5: 1.5 with duration of compression of 5 minutes, the sample wall panels with the mixture ratio of 1: 1: 1 with duration of compression of 10 minutes, and the sample wall panels with the mixture ratio of 1: 1: 1 with duration of compression of 5 minutes, were able to absorb over 40% of sound.

**คำสำคัญ (Keywords):** แผ่นบุผนังภายใน (Interior Panel), ไม้เลื่อย (Sawdust), น้ำมันยาง (Wood Oil), ผงขี้ (Dammar Power), วัสดุเหลือทิ้ง (Waste)

## 1. บทนำ

ไม้เลื่อยจัดเป็นทรัพยากรชีวมวล ที่ได้รับการแปรรูปไม้ โดยมีปริมาณถึง 8 ล้านตัน ต่อปี (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2546) จากปริมาณที่มีมากปัญหาในการจัดเก็บและการกองของเศษไม้เลื่อยทำให้เกิดฝุ่นละออง การทับถมกันในปริมาณมากทำให้เกิดความร้อนและเกิดเพลิงไหม้ขึ้นได้ในโรงงานแปรรูปไม้ การแก้ปัญหาด้วยการกำจัดโดยการนำไปเผาหรือการฝังกลบทำให้เกิดความร้อนในดินเป็นปัญหาต่อระบบนิเวศต่อมา มีงานวิจัยที่นำไม้เลื่อยมาพัฒนาต่อยอดอุตสาหกรรมจากหน่วยงานต่างๆ โดยนำมาใช้ประโยชน์หลายอย่าง เช่น การนำไม้เลื่อยมาอัดเพื่อใช้ในการเพาะเห็ด (อนันท์ กล้ารอด, 2546) การทำถ่านอัดแท่ง การทำไม้อัด เป็นต้น กรรมวิธีการแปรรูปไม้มีลักษณะความละเอียดของเนื้อไม้เลื่อยต่างกันโดยแยกเป็น

3 ชนิด คือ ลักษณะหยาบมาก ได้จากการเลื่อยเปิดใช้ใบเลื่อยที่มีช่องห่างของฟันเลื่อย ลักษณะหยาบปานกลางได้จากการแปรรูปไม้ก่อนใช้ใบเลื่อยที่มีช่องห่างของฟันเลื่อยในระดับปานกลาง จนถึงลักษณะละเอียดมากได้จากการแปรรูปไม้ก่อนเป็นเครื่องเรือนซึ่งใบเลื่อยที่ใช้จะมีความถี่มากทำให้ผิวสัมผัสของไม้ค่อนข้างเรียบและได้เนื้อไม้เลื่อยที่ละเอียด ไม้เลื่อยที่มีความละเอียด ไม้เลื่อยหยาบละเอียดจะใช้ในการเพาะเห็ด การหลอมไม้เลื่อยในการทำถ่านอัดแท่ง การใช้ไม้เลื่อยผสมกับกาวเพื่อใช้ในการขึ้นรูปต่าง ๆ รวมทั้งไม้อัด ซึ่งจากกาวที่ใช้เป็นวัสดุประสานในการอัดส่วนผสมของสารเคมี จากการหาข้อมูลพบว่ามีการใช้สารประกอบที่เป็นวัสดุประสานจากธรรมชาติที่มีคุณสมบัติที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่น ผงขี้ หรือขี้ นำมาผสมกับน้ำมันยาง เพื่อเป็นวัสดุประสาน นับจากอดีตจนถึงปัจจุบัน

การนำผงซีลี้อย ผสมกับน้ำมันยาง เพื่อใช้ในการอุดรอยรั่วของเรือ ผงซีลี้อยและน้ำมันยางเป็นวัสดุที่ซีลี้อยใช้ในการประสานที่สามารถกันน้ำได้มีราคาถูกและหาได้ทั่วไป และเป็นวัสดุที่ผลิตจากธรรมชาติที่ไม่ทำลายสภาพแวดล้อม

งานวิจัยนี้จะเป็นแนวทางสำหรับการนำซีลี้อยเหลือทิ้งจากโรงงานแปรรูปไม้มาประดิษฐ์เป็นแผ่นบุผนังภายใน โดยการใช้ผงซีลี้อยและน้ำมันยางเป็นวัสดุประสาน เพื่อช่วยลดปริมาณซีลี้อยและน้ำมันยางในการใช้วัสดุที่มาจากธรรมชาติ ตลอดจนเป็นวัสดุทางเลือกให้แก่ผู้บริโภค

## 2. วัตถุประสงค์

2.1 พัฒนาแผ่นบุผนังภายในอาคารจากซีลี้อยโดยมีผงซีลี้อย และน้ำมันยาง เป็นวัสดุประสาน

2.2 ทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K) และการดูดซับเสียง ของแผ่นบุผนังภายในอาคารจากซีลี้อย

## 3. ขอบเขตงานวิจัย

3.1 ซีลี้อยไม้ยางพารา

3.2 ทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนตามมาตรฐาน ASTM (C-518) โดยเปรียบเทียบกับแผ่นไม้อัดในท้องตลาด

3.3 ทดสอบคุณสมบัติการดูดซับเสียงตามมาตรฐาน ISO (10534-2) โดยเปรียบเทียบกับวัสดุดูดซับเสียงตามท้องตลาด

## 4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

4.1 ต้นแบบและวิธีการพัฒนาแผ่นบุผนังภายในจากซีลี้อย เพื่อใช้ในการดูดซับเสียง และลดความร้อนเข้าสู่อาคาร

4.2 แนวทางการพัฒนาวัสดุบุผนังจากวัสดุเหลือทิ้งและวัสดุจากธรรมชาติอย่างยั่งยืน

## 5. วิธีดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ประกอบด้วย

**ขั้นตอนที่ 1** การจัดเตรียมซีลี้อยที่มีลักษณะหยาบมาก (ซีกบ) และวัสดุประสานเพื่อขึ้นรูปสำหรับใช้เป็นแผ่น แผ่นทดลอง ในการรวบรวมซีลี้อยโดยจัดหาซีลี้อยจากโรงงานแปรรูปไม้และการทำอุตสาหกรรมเครื่องเรือนซึ่งเป็นซีลี้อยจากไม้ยางพารา จากนั้นคัดแยกความละเอียดของซีลี้อย โดยเลือกซีลี้อยที่มีลักษณะหยาบที่สุด (ซีกบ) เพื่อให้ได้ลักษณะพื้นผิวที่สวยงามและเมื่อผสมกับวัสดุประสานมีความแข็งตัวเร็วกว่าซีลี้อยที่ละเอียดมากกว่า



(ก) ซีลี้อย



(ข) ผงซีลี้อย



(ค) น้ำมันยาง

รูปที่ 1 วิธีการชั่งวัสดุเพื่อใช้ในการขึ้นรูป

**ขั้นตอนที่ 2** การผลิตต้นแบบแผ่นบุผนัง  
 ภายในจากซีลี้อยที่มีอัตราส่วนผสมที่ต่างกัน

ในการผสมวัสดุประสาน คือ ผงซันกับ  
 น้ำมันยางใช้อัตราส่วนผสมที่เท่ากันเพื่อให้มี  
 ความเหนียวและความชื้นในการยึดเกาะกัน  
 สามารถยึดเกาะกับซีลี้อย โดยกำหนดอัตราส่วน  
 ผสม ซีลี้อย: น้ำมันยาง: ผงซัน โดยน้ำหนัก ดังนี้  
 2: 1: 1, 2.0: 1.5: 1.5 และ 1: 1: 1 ในการขึ้นรูป  
 ในเบื่องต้นใช้วิธีการผสมด้วยมือและเทส่วนผสม  
 ในแม่แบบทิ้งให้แห้งด้วยวิธีธรรมชาติ พบว่า วิ  
 การดังกล่าว ทำให้ได้แผ่นทดลองที่มีความแข็งแรง  
 น้อย แห้งตัวช้า และมีกลิ่น จึงยังไม่เหมาะกับการ  
 จะนำไปใช้งาน



(น) 2 : 1 : 1



(ข) 2.0 : 1.5 : 1.5



(ค) 1 : 1 : 1

**รูปที่ 2** แผ่นทดลองที่ขึ้นรูปจากการผสมวัสดุด้วยมือ  
 และทิ้งให้แห้งด้วยวิธีการธรรมชาติ โดยใช้อัตรา  
 ส่วน ซีลี้อย : น้ำมันยาง : ผงซัน โดยน้ำหนัก (น)  
 2 : 1 : 1 (ข) 2.0 : 1.5 : 1.5 และ (ค) 1 : 1 : 1

วิธีที่เหมาะสมต่อการผลิตเพื่อใช้ทดสอบ  
 คือ การขึ้นแผ่นด้วยการอัดความร้อนด้วยเครื่อง  
 อัดความร้อน ตามอัตราส่วนที่กำหนด คือ 2: 1:  
 1, 2: 1.5: 1.5 และ 1: 1: 1 (ซีลี้อย: น้ำมันยาง:  
 ผงซันโดยน้ำหนัก) การอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นใช้  
 กรรมวิธีการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส  
 โดยใช้ความดัน 80-100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็น  
 เวลา 10 และ 5 นาที (ดูตารางที่ 1) เพื่อทำการ  
 ทดสอบ หาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K)  
 และการดูดซับเสียง

**ตารางที่ 1** สัดส่วนผสมขึ้นงานเพื่อใช้ในการทดสอบ

สัดส่วน ผสม	อัตราส่วนตามปริมาณแม่แบบ			เวลา อัด/ นาที	จำนวน (แผ่น)
	ซีลี้อย (กรัม)	ผงซัน (กรัม)	น้ำมันยาง (กรัม)		
	2	1	1		
A	468.75	2364.38	234.38	10	2
A1	468.75	234.38	234.38	5	2
	2.0	1.5	1.5		
B	375	281.25	281.25	10	2
B2	375	281.25	281.25	5	2
	1	1	1		
C	312.50	312.50	312.50	10	2
C1	312.50	312.50	312.50	5	2

**ขั้นตอนที่ 3** การผลิตแผ่นบุผนังภายใน  
 จากซีลี้อย ด้วยเครื่องอัดความร้อนจะทำการ  
 ผลิตแผ่นตัวอย่างขนาด กว้าง 25 ซม. ยาว 25  
 ซม.สูง 1.5 ซม.

**วิธีการอัดแผ่น**

นำซีลี้อย และวัสดุประสาน คือ น้ำมัน  
 ยาง และผงซัน ซึ่งให้ได้ตามอัตราส่วนที่ได้กำหนด  
 ผสมในภาชนะที่เตรียมไว้ จากนั้นนำมาบรรจุใส่

ในแม่แบบ การอัดขึ้นรูปแผ่นใช้กรรมวิธีการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยใช้ความดัน 80-100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 10 และ 5 นาที เสร็จแล้วนำแผ่นที่ได้พักไว้ในบริเวณที่มีลมผ่านและแสงแดดส่องถึง อย่างน้อย 3 วัน ก่อนนำไปตัดและทำการทดลอง



รูปที่ 3 ขั้นตอนการผสมวัสดุ



รูปที่ 4 การขึ้นรูปก่อนนำเข้าเครื่องอัดความร้อน



รูปที่ 5 เครื่องอัดความร้อน



รูปที่ 6 ชิ้นตัวอย่างเมื่อนำออกมาจากเครื่องอัดความร้อน

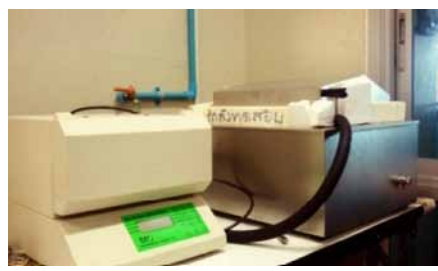
**ขั้นตอนที่ 4** การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนตามมาตรฐาน ASTM C-518 โดยวิธีการวัดอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านบนสู่ด้านล่างของวัตถุ และการดูดซับเสียงมาตรฐาน ISO 10534-2 ภายในห้องปฏิบัติการ

1.1 การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K)

ในการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K) ได้ทำการผลิตแผ่นตัวอย่างเพื่อการทดสอบ จำนวน 6 อัตราส่วน ดังกล่าว (ดูตารางที่ 1) อัตราส่วนละ 1 แผ่น ขนาดที่ผลิตเพื่อใช้ทดลอง คือ 10x10x1.5 ซม. จากนั้นนำไปทดสอบด้วยเครื่อง Heat Flow Meter Instrument ตามมาตรฐาน ASTM-C518 ค่าความคลาดเคลื่อน  $\pm 1\%$  เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนทำการบันทึกผล หาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเพื่อเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นไม้อัด และแผ่นยิปซัมบอร์ดทั่วไป



รูปที่ 7 ขนาดของแผ่นตัวอย่างเพื่อการทดสอบ กว้าง 10 ซม. 10 ซม. สูง 1.5 ซม.



รูปที่ 8 เครื่องทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน



1.2 การทดสอบคุณสมบัติการดูดซับเสียงมาตรฐาน ISO 10534-2 โดยทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติในการดูดซับเสียงจากค่า Noise Reduction Coefficient (NRC)

ในการทดสอบคุณสมบัติการดูดซับเสียงได้ทำการผลิตแผ่นตัวอย่างเพื่อการทดสอบจำนวน 6 อัตราส่วนผสม ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว (ดูตารางที่ 1) อัตราส่วนละ 1 ขนาดที่ใช้ทดลองคือ Ø10 ซม. และ Ø3 ซม. (ตัดแต่งจากแผ่นแม่แบบ 25 x25 x1.5 ซม.) จากนั้นนำไปทดสอบด้วยเครื่องดูดซับเสียง ความถี่สูง (เสียงแหลม) และความถี่ต่ำ (เสียงทุ้ม) ทำการบันทึกผล หาค่าเฉลี่ยค่าการดูดซับเสียง



รูปที่ 9 เครื่องทดสอบคุณสมบัติการดูดซับเสียง (Acoustic Material Testing)

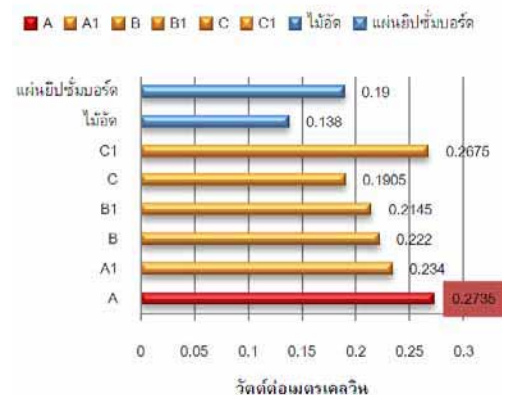
## 6. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและการดูดซับเสียง มีดังต่อไปนี้

1. ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นบุผนังภายในที่ผลิตจากซีลี้อย่าง 6 ชั้นตัวอย่าง ตัวอย่างละ 1 แผ่น อยู่ระหว่าง

0.2735, 0.234, 0.222, 0.2145, 0.1905 และ 0.2675 วัดต่อเมตร.เคลวิน แผ่นบุผนังภายในจากซีลี้อย อัตราส่วนผสม A (2 : 1 : 1 ใช้เวลาอัด 10 นาที) ให้ค่าการนำความร้อนสูงสุดคือ 0.2735 วัดต่อเมตร.เคลวิน และอัตราส่วนผสม C1 (1 : 1 : 1 ใช้เวลาอัด 5 นาที) ให้ค่าการนำความร้อนต่ำที่สุด คือ 0.1905 วัดต่อเมตร.เคลวิน ซึ่งนับได้ว่าแผ่นบุผนังภายในที่ผลิตจากซีลี้อยในอัตราส่วนผสม C1 มีคุณสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อนได้ใกล้เคียงกับแผ่นยิปซัมบอร์ด (0.19 วัดต่อเมตร.เคลวิน) แต่น้อยกว่าแผ่นไม้อัด (0.138 วัดต่อเมตร.เคลวิน)

### ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน



รูปที่ 10 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นตัวอย่าง

2. ผลการทดสอบคุณสมบัติการดูดซับเสียงแผ่นบุผนังภายในจากซีลี้อย่าง 6 อัตราส่วน โดยทดสอบช่วงความถี่สูง (เสียงแหลม) และช่วงความถี่ต่ำ (เสียงทุ้ม)



ตารางที่ 2 ค่าการดูดซับเสียงของชิ้นตัวอย่างและวัสดุดูดซับเสียง

สูตร	ชนิด	ค่าการดูดซับเสียง									
		125 Hz		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		2000 Hz	
		เฉลี่ย		เฉลี่ย		เฉลี่ย		เฉลี่ย			
A	ความถี่สูง	0.07	0.055	0.19	0.145	0.15	0.15	0.45	0.295	0.40	0.41
	ความถี่ต่ำ	0.04		0.10		0.15	0.15	0.14		-	-
A1	ความถี่สูง	0.03	0.045	0.11	0.105	0.19	0.19	0.54	0.465	0.32	0.29
	ความถี่ต่ำ	0.06		0.10		0.41	0.3	0.39		-	-
B	ความถี่สูง	0.03	0.045	0.09	0.09	0.14	0.14	0.38	0.41	0.21	0.24
	ความถี่ต่ำ	0.06		0.09		0.28	0.21	0.44		-	-
B1	ความถี่สูง	0.03	0.045	0.11	0.095	0.22	0.22	0.77	0.545	0.61	0.62
	ความถี่ต่ำ	0.06		0.08		0.22	0.22	0.32		-	-
C	ความถี่สูง	0.07	0.065	0.07	0.07	0.09	0.09	0.29	0.395	0.42	0.39
	ความถี่ต่ำ	0.06		0.07		0.18	0.135	0.50		-	-
C1	ความถี่สูง	0.13	0.095	0.09	0.13	0.12	0.12	0.32	0.335	0.26	0.33
	ความถี่ต่ำ	0.06		0.17		0.37	0.245	0.35		-	-
แผ่นอะคูสติก											
บอร์ค		0.92		0.8		0.92		0.88		1.04	0.92
		แสดงค่าดูดซับเสียงที่จุดที่น้อยที่สุด					แสดงค่าดูดซับเสียงที่จุดที่มากที่สุด				

ผลการทดลองหาค่าการดูดซับเสียงตามมาตรฐานสำคัญของวัสดุดูดซับเสียงที่ได้รับการยอมรับอยู่ภายใต้มาตรฐาน ISO 10534-2 แต่โดยทั่วไปจะนิยมทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติในการดูดซับเสียงจากค่า NRC (Noise Reduction Coefficient) คือ ความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุ โดยที่ NRC คือ ค่าเฉลี่ยของ SAC (Sound Absorption Coefficient) คือ สัดส่วนของพลังงานเสียงที่ถูกดูดซับไปเมื่อชนกระทบค่าของ SAC จะถูกวัดในช่วงความถี่ คือ 125, 250, 500, 1,000, 2,000 และ 4,000 Hz เป็นความถี่ช่วงสูง กลาง และต่ำของการทดสอบเสียงโดยนำค่าการทดสอบของแผ่นตัวอย่างในช่วงทดสอบเสียงสูงและเสียง

ต่ำมาหาค่าเฉลี่ย โดยทั่วไปค่า NRC จะต้องมีความมากกว่า 0.40 หรือ 40% จึงจะถือว่าเป็นวัสดุดูดซับเสียง (Acoustic) ซึ่งพบว่า แผ่นบุผนังภายในจากซีลี้อยที่ทดสอบที่ความถี่ของ SAC มีค่าการดูดซับเสียงได้ดีในช่วงความถี่ตั้งแต่ 1,000 Hz ขึ้นไป โดยชิ้นตัวอย่างที่สามารถดูดซับเสียงได้ดีที่สุด คือ ชิ้นตัวอย่าง B1 (2.0 : 1.5 : 1.5 ใช้เวลาอัด 5 นาที) สามารถดูดซับเสียงได้ถึง 0.545 หรือ 54.5 เปอร์เซ็นต์ และในช่วงความถี่ที่ 125 Hz เป็นช่วงที่แผ่นบุผนังภายในจากซีลี้อยสามารถดูดซับเสียงได้น้อยที่สุด คือ อัตราส่วนผสม A1 (2 : 1 : 1 ใช้เวลาอัด 5 นาที) และอัตราส่วนผสม B (2.0 : 1.5 : 1.5 ใช้เวลาอัด 5 นาที) สามารถดูด

ซับเสียงได้เพียง 0.06 หรือ 6 เปอร์เซ็นต์ จึงพอสรุปได้ว่าแผ่นบุผนังภายในจากซีลี้อยสามารถดูดซับเสียงได้ดีเพียงบางช่วงความถี่ ไม่สามารถดูดซับเสียงได้ดีเท่าวัสดุตามท้องตลาดทั่วไป

## 7. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการที่ได้นำซีลี้อยมาผลิตเป็นแผ่นบุผนังภายใน โดยมีวัสดุประสานจากธรรมชาติ คือ ผงขัน และน้ำมันยาง สามารถผลิตแผ่นบุผนังภายในได้ โดยการใช้เครื่องอัดความร้อนอัดความร้อนอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ใช้ความดันที่ 80-100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ตามอัตราส่วนผสม

อัตราส่วนผสม A (2 : 1 : 1 ใช้เวลาอัด 10 นาที) ให้ค่าการนำความร้อนสูงที่สุดคือ 0.2735 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน เป็นอัตราส่วนผสมที่มีซีลี้อยมากที่สุด ทำให้ความร้อนสามารถผ่านเนื้อไม้ได้มากกว่าอัตราส่วนอื่นที่มีน้ำมันยางกับผงขันที่มีปริมาณมากกว่า และความร้อนในการอัดอาจทำปฏิกิริยาทำให้ซีลี้อยบนผิวหน้ามีการเผาไหม้ทำให้ความร้อนผ่านได้มากขึ้น และอัตราส่วนผสม C1 (1 : 1 : 1 ใช้เวลาอัด 5 นาที) ให้ค่าการนำความร้อนต่ำที่สุด คือ 0.1905 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน เป็นอัตราส่วนผสมที่มีส่วนผสมของวัสดุเท่ากัน มีผลทำให้น้ำมันยางเมื่อผสมกับผงขันในปริมาณที่พอเหมาะสามารถเคลือบซีลี้อยที่เมื่ออยู่ในความร้อนเป็นเวลานานสร้างคราบความหนาแน่นให้กับแผ่นตัวอย่างทำให้ความร้อนผ่านเข้ามาในแผ่นตัวอย่างได้น้อย ซึ่งนับได้ว่าแผ่นบุผนังภายในที่ผลิตจากซีลี้อยในอัตราส่วนผสม C1 มีคุณสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อนได้ใกล้เคียงกับแผ่นยิปซัมบอร์ด (0.19 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน) แต่น้อยกว่าแผ่นไม้อัด (0.138 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน) แผ่นบุผนังภายในจากซีลี้อยสามารถดูดซับเสียงได้ตามมาตรฐาน NRC มีค่ามากกว่า 0.40 หรือ 40%

ในชั้นตัวอย่าง B1 คือ 0.545 หรือ 54.5 เปอร์เซ็นต์ (2.0 : 1.5 : 1.5 ใช้เวลาอัด 5 นาที)

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม บทความนี้ได้นำเสนอการทดสอบหาประสิทธิภาพของซีลี้อยกับวัสดุประสานที่มาจากธรรมชาติสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นบุผนังภายใน ผู้มีความสนใจอาจนำข้อมูลไปพัฒนาต่อเพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพสำหรับใช้เป็นแผ่นผนังภายนอกเพิ่มเติมได้ เรื่องความคงทนของวัสดุ มีแนวทางและวิธีการ ส่วนผสมหรือรูปแบบอื่นที่สามารถช่วยลดปริมาณการใช้สารเคมีจากการใช้กาวยูเรียฟอรัลดีไฮด์เป็นวัสดุประสานโดยสามารถนำวัสดุธรรมชาติมาใช้ทดแทนได้ ซึ่งต้องพัฒนาต่อในเรื่องรูปแบบการนำไปใช้ให้เหมาะสม

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง ในการให้ความช่วยเหลือด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตขึ้นรูป การทดลองนี้จนเป็นผลสำเร็จ

## รายการอ้างอิง

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.  
(2546). *พลังงานชีวมวล. กลุ่มพลังงานชีวมวล. สำนักวิจัย ค้นคว้าพลังงาน. สืบค้นเมื่อ 6 ธันวาคม 2555.* จาก <http://www2.dede.go.th/kmmf/download>
- กิตติชาติ โหมาศวิน.(2551). *แผ่นฉนวนดูดซับเสียงจากใยมะพร้าวร่วมกับยางพารา.* การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชาติ ลัทธิ, วรพงษ์ สีสพรหมมา, ชวิน เป้าอารีย์ และ  
สุรเดช สุทธาวาทิน. (2527). *ช่างทั่วไป*. กรม  
อาชีวศึกษา.

ไทย สุมิ. (2555). *การลงทุนผลิตถ่านอัดแท่งจาก  
ขี้เลื่อย*. สืบค้นเมื่อ 6 ธันวาคม 2555, จาก  
<http://www.charcoal.snmcenter.com/charcoalthai/business1.php>

วรัท พรหมโชติกุล. (2542). *อุตสาหกรรมไม้ใน  
ประเทศไทย*. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

วิชาญ เอียดทอง. (2529). *น้ำมันยาง เชื้อเพลิง  
ที่ถูกลืม*. ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้ คณะวน-  
ศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิจิต สนธิวิณิช และ สมชัย เบญจชัย. (2542). *การ  
ใช้ประโยชน์ไม้เสรม็ดเพื่องานประดิษฐ์กรรมใน  
ชุมชน*. ส่วนวิจัยและพัฒนาผลผลิตป่าไม้,  
กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

นเรศ ศรีรัตน์. (2529). *ระแမ်း*. สารานุกรม  
วัฒนธรรมภาคใต้.

ผลิตภัณฑ์แทนหนังสัตว์จากขี้เลื่อยไม้ยางพารา.  
สืบค้นเมื่อ 22 พฤศจิกายน 2548, จาก :  
<http://www.manager.co.th/iBizchannel/ViewNews.aspx?NewsID=9480000154429>  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ส่วนวิจัยและพัฒนาผลผลิตป่าไม้. (2542). *การใช้  
ประโยชน์ชั้นพื้นฐาน*. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.  
สมชัย เบญจชัย. (2544). *สถานภาพการใช้  
ประโยชน์ไม้ในประเทศไทย*.

อนันท์ กล้ารอด. (2546). เอกสารประกอบการ  
เรียนวิชาการเพาะเห็ดด้วยวัสดุผสม. ชัยภูมิ :  
โรงเรียนเนินสง่าวิทยา.

American Society for Testing and Materials.  
(2010). *ASTM C518-10 Standard  
test method for steady-state thermal  
transmission properties by means of  
the heat flow apparatus*. Philadelphia,  
Pennsylvania

International Standard IOS 10534-2. (1998).  
Acoustics - Determination of sound  
absorption coefficient and impedance in  
impedance tubes.

# แนวทางการออกแบบโครงสร้างพับเก็บเพื่อการใช้งานทางสถาปัตยกรรม

## Design Guidelines of Deployable Structure for Architectural Applications

นัตปภา เกตุแก้ว<sup>1</sup> และ ดร. ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์<sup>2</sup>  
Natpapha Ketkao<sup>1</sup> and Pusit Lertwattanaruk, Ph.D.<sup>2</sup>

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: tectnice@gmail.com<sup>1</sup>, lertwatt@ap.tu.ac.th<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาโครงสร้างพับเก็บด้วยระบบขากกรไกรเนื่องจากระบบโครงสร้างประเภทนี้สามารถประกอบได้รวดเร็วและลดความเสียหายอันเกิดจากการพับเก็บได้ วิธีการศึกษาประกอบด้วยการทดลองเปลี่ยนตำแหน่งของจุดเชื่อมต่อของชิ้นส่วนโครงสร้างจำนวน 3 กรณีศึกษา เพื่อศึกษาพฤติกรรมการพับกางของโครงสร้างระบบขากกรไกรจำนวน 3 กรณีศึกษา และการเปลี่ยนแปลงของมิติโครงสร้างเมื่อองศาการหมุนของชิ้นส่วนเท่ากับ  $8^\circ$   $20^\circ$   $32^\circ$   $44^\circ$   $56^\circ$   $68^\circ$  และ  $80^\circ$  ตามลำดับ ผลการศึกษา พบว่า การเปลี่ยนตำแหน่งของจุดเชื่อมต่อของชิ้นส่วนโครงสร้างมีผลต่อระยะห่างระหว่างจุดเชื่อมต่อและพื้นที่ใช้สอยของกรณีศึกษาทั้งสาม โดยเฉพาะกรณีศึกษาที่ 3 ระยะห่างระหว่างจุดเชื่อมต่อมีขนาดลดลง ส่งผลให้พื้นที่ใช้สอยภายในมีขนาดมากกว่า และมิติภายนอกของโครงสร้างระบบขากกรไกรมีขนาดเล็กกว่ากรณีศึกษาที่ 1 และ 2 ดังนั้น กรณีศึกษาที่ 3 จึงเหมาะแก่การนำมาพัฒนาเป็นโครงสร้างต้นแบบสำหรับโครงสร้างพับเก็บในรูปแบบสองมิติและสามมิติ ผลการศึกษาระบุว่าการพับกางและการประกอบที่ใช้งาน พบว่า โครงสร้างกรณีศึกษาที่ 3 เหมาะสำหรับกางพับกางรูปแบบสองมิติ เนื่องจากการพับเก็บแบบสามมิตินั้น ทำให้จุดเชื่อมต่อของชิ้นส่วนโครงสร้างในแต่ละจุดเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งทำให้เกิดระบบโครงสร้างแบบขากกรไกรที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานทางสถาปัตยกรรม

### Abstract

This research focused on the study of the deployable structures based on scissor-like elements (SLE). This structural system can be constructed rapidly and is unlikely to be damaged due to the deployment process. Research methods included changes of connection positions in the member for studying the deployment behaviors of the scissor-like structural members of three case studies. Rotations of the members at the given angles of  $8^\circ$   $20^\circ$   $32^\circ$   $44^\circ$   $56^\circ$   $68^\circ$  and  $80^\circ$  were studied. The results showed that for all case studies the changes of connection positions affected the distance between connections and functional area. In particular, the third case study yielded the decrease of distance between connections, which leads to the increase in functional area, and decrease in overall dimensions of structure in comparison with those of

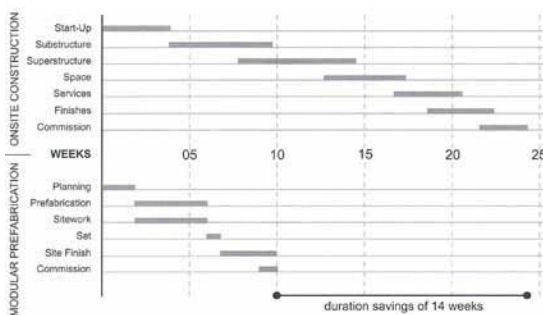
the first and second case studies. Therefore, the third case study is appropriate for developing a prototype for the deployable structure. Consequently, the two- and three-dimensional deployable structures were investigated to study the effectiveness of their applications. The result showed that the third case study is more appropriate for the two-dimensional deployable structure. In case of the three-dimensional structure, the connections moved independently to one another that the deployable structures based on scissor-like elements (SLE) deployable cannot be generated for architectural applications.

**คำสำคัญ (Keywords):** โครงสร้างพับเก็บ (Deployable Structure), โครงสร้างขากรรไกร (Scissor-Like Elements Structure (SLE)), กรณีศึกษา (Case Studies), จุดเชื่อมต่อโครงสร้าง (Connection), พื้นที่ใช้สอย (Function Area)

## 1. บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ความสะดวกในการขนย้าย ความรวดเร็วในการก่อสร้างและประสิทธิภาพในการใช้งาน เป็นปัจจัยสำคัญหลักที่จะเลือกใช้โครงสร้างพับเก็บในงานสถาปัตยกรรม ปัจจัยข้างต้นสามารถลดต้นทุนการผลิตและปัญหาการก่อสร้างในด้านต่างๆ ได้ ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญของโครงสร้างพับเก็บ เพื่อศึกษาถึงนวัตกรรมใหม่ในวงการสถาปัตยกรรม จากการศึกษาข้อเปรียบเทียบระหว่างโครงสร้างสำเร็จรูปและโครงสร้างที่ก่อสร้างภายในพื้นที่โครงการ พบว่า โครงสร้างสำเร็จรูปนั้นลดระยะเวลาในกระบวนการก่อสร้างถึงสองในสามเท่าของโครงสร้างแบบปกติ ดังรูปที่ 1



(ที่มา: E.Smith, 2011)

**รูปที่ 1** การเปรียบเทียบระยะเวลาของการก่อสร้างแบบก่อสร้างในพื้นที่และการก่อสร้างแบบใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูป

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาโครงสร้างพับเก็บในลักษณะต่างๆ รวมทั้งองค์ประกอบของโครงสร้างพับเก็บและพัฒนาแนวทางการประยุกต์ใช้โครงสร้างพับเก็บในงานสถาปัตยกรรมทั้งแบบถาวรและชั่วคราว ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งานทางสถาปัตยกรรม ส่งเสริมการคิดวิเคราะห์และหาแนวทางใหม่ สำหรับโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม ให้มีการพัฒนามากขึ้น โดยการนำเสนอแนวทาง

การใช้โครงสร้างพับเก็บได้ในพื้นที่ทางสถาปัตยกรรม

### 1.2 โครงสร้างพับเก็บ

โครงสร้างพับเก็บ หรือ Deployable structure เป็นโครงสร้างที่มีความสามารถในการพับเก็บเพื่อประโยชน์อย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น เพื่อประหยัดพื้นที่ในการขนย้าย เพื่อประหยัดพื้นที่ในการจัดเก็บหรือเพื่ออำนวยความสะดวก โดยการพับเก็บนั้นจะต้องพับเก็บอย่างเป็นระบบระเบียบ โดยโครงสร้างพับเก็บนั้นจะมีประสิทธิภาพในการขนย้ายเช่นเดียวกับโครงสร้างถอดประกอบแต่ถูกพัฒนาให้มีความเร็วในการสร้างมากกว่าโครงสร้างถอดประกอบดังรูปที่ 2 ซึ่งในงานวิจัยนี้ มุ่งเน้นการศึกษาและพัฒนาออกแบบโครงสร้างพับเก็บที่มีลักษณะการพับแบบขากรรไกร หรือ Scissors-like Elements (SLE)



(ที่มา: สืบค้นเมื่อวันที่ 15 เมษายน 2557 จาก <http://pingmag.jp>)

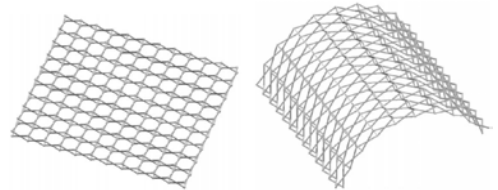
รูปที่ 2 Iris Dome ซึ่งจัดแสดงที่ MoMA ใน New York ปี พ.ศ. 2537

### 1.3 โครงสร้างพับเก็บแบบขากรรไกร

ระบบโครงสร้างพับเก็บแบบขากรรไกรเป็นระบบโครงสร้างพับเก็บที่มีประสิทธิภาพสูงในการชะลอการเสื่อมของรอยต่อทั้งยังมีประสิทธิภาพในการพับเก็บที่ยอดเยี่ยม โดยการพัฒนาระบบขากรรไกรให้เป็นโครงสร้างที่สามารถใช้งานได้ทางสถาปัตยกรรมจะต้องทำการออกแบบให้โครงสร้างเป็นลักษณะโมดูลเพื่อที่จะใช้ครอบคลุมให้เกิดพื้นที่การใช้งาน ดังรูปที่ 3 โดยการสร้างพื้นที่ครอบคลุมของโครงสร้างพับเก็บแบบ

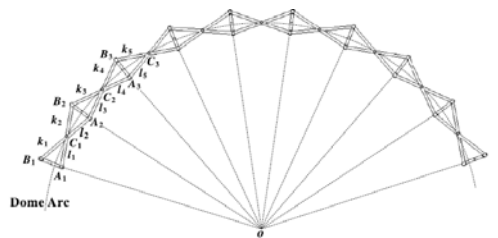
ขากรรไกรสามารถนำเสนอเป็นความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (1) หรือแสดงดังในรูปที่ 4

$$li + ki = li+1 + ki+1 \quad (i = 1,2,3,\dots) \quad (1)$$



(ที่มา: Jing-Shan, 2009)

รูปที่ 3 ลักษณะการครอบคลุมพื้นที่ของโครงสร้างพับเก็บแบบขากรรไกร



(ที่มา: Jing-Shan, 2009)

รูปที่ 4 โครงสร้างพับเก็บแบบขากรรไกร

## 2. ระเบียบวิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการเป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยทำการวิเคราะห์และประเมินผล เพื่อศึกษาแนวทางการออกแบบโครงสร้างพับเก็บเพื่อการใช้งานสำหรับพื้นที่ทางสถาปัตยกรรม ผลการศึกษานี้จะนำไปสู่การพัฒนา รูปแบบของโครงสร้างพับเก็บให้มีประสิทธิภาพ โดยการวิจัยมีขั้นตอนการศึกษา ดังนี้

- 1) การศึกษางานวิจัย ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับโครงสร้างพับเก็บ
- 2) การศึกษาเชิงทดลอง โดยการออกแบบการทดลองให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ การทดลองหา

ตำแหน่งของการพับในลักษณะการพับแบบขากรรไกร การทดลองออกแบบโครงสร้างพับเก็บในลักษณะ 2 มิติและการทดลองออกแบบโครงสร้างพับเก็บในลักษณะ 3 มิติการสรุปและวิเคราะห์ผล

3) ขั้นตอนการศึกษาข้อมูล ประกอบด้วย การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างพับเก็บ ศึกษาองค์ประกอบของโครงสร้างพับเก็บ ขึ้นส่วนรอยต่อ การประกอบโครงสร้าง ความแข็งแรงและลักษณะการพับเก็บโครงสร้าง

4) ทดลองการออกแบบโครงสร้างพับเก็บในลักษณะต่าง ๆ

5) ทดสอบประสิทธิภาพของโครงสร้างขนาดของพื้นที่เมื่อพับเก็บโครงสร้าง ระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง ความแข็งแรงของโครงสร้าง และน้ำหนักของโครงสร้างโดยการเลือกวัสดุ

### 3. ผลการวิจัย

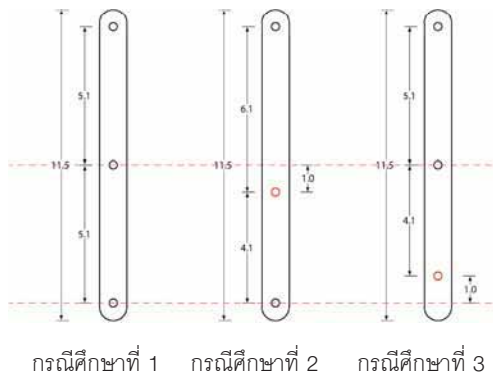
#### 3.1 การปรับเปลี่ยนตำแหน่งจุดเชื่อมต่อในโครงสร้างขากรรไกร

1) กรณีศึกษาที่ 1 โครงสร้างขากรรไกรพื้นฐาน

2) กรณีศึกษาที่ 2 โครงสร้างขากรรไกรที่ขยับจุดหมุนส่วนกลางไป 1.0 เซนติเมตร

3) กรณีศึกษาที่ 3 โครงสร้างขากรรไกรที่ขยับจุดหมุนส่วนริมไป 1.0 เซนติเมตร ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 5

การศึกษาเริ่มจากการหมุนองศาขึ้นส่วนเป็นมุม  $8^\circ$  และเพิ่มองศาการหมุนไปที่ละ  $12^\circ$  จนกระทั่งได้พื้นที่ครอบคลุม



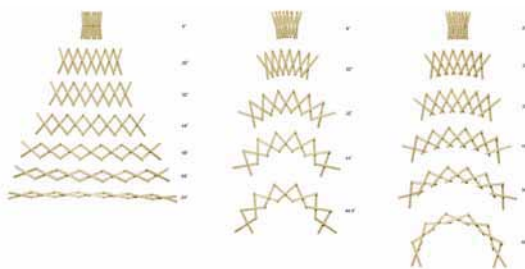
รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งจุดเชื่อมในแต่ละกรณีศึกษา

#### 3.2 การสร้างพื้นที่ครอบคลุมโดยโครงสร้างพับเก็บขากรรไกร

1) การสร้างพื้นที่ครอบคลุมพับเก็บ 2 มิติ จากกรณีศึกษาที่ 2

2) การสร้างพื้นที่ครอบคลุมพับเก็บ 2 มิติ จากกรณีศึกษาที่ 3

3) การสร้างพื้นที่ครอบคลุมพับเก็บ 3 มิติ จากกรณีศึกษาที่ 3



กรณีศึกษาที่ 1      กรณีศึกษาที่ 2      กรณีศึกษาที่ 3

รูปที่ 6 การเปลี่ยนตำแหน่งจุดหมุนในชิ้นส่วนโครงสร้าง



ตารางที่ 1 มิติกรณีศึกษาที่ 3

กรณีศึกษาที่ 3 โครงสร้างอาคารไทรที่ยับจุดหมุนส่วนริมไป 1.0 เซนติเมตร								
มุม(A) (องศา)	มิติของโครงสร้างภายนอก (เซนติเมตร)				มิติของโครงสร้างภายใน (เซนติเมตร)			
	ความสูง(H)	ความกว้าง(W)	H:W	W:H	ความสูง(h)	ความกว้าง(w)	h:w	w:h
8.0	11.3	10.4	1.09	0.92	-	-	-	-
20.0	12.0	28.0	0.43	2.33	-	-	-	-
32.0	13.2	36.0	0.37	2.73	3.5	27.4	0.13	7.83
44.0	15.4	44.6	0.35	2.90	7.2	34.0	0.21	4.72
56.0	18.3	46.6	0.39	2.55	12.4	35.4	0.35	2.85
68.0	23.2	34.6	0.67	1.49	18.8	25.0	0.75	1.33

ผลการศึกษาในแต่ละกรณีศึกษาเมื่อมีการเปลี่ยนตำแหน่งจุดหมุนและองศาการหมุน ดังรูปที่ 6

จากทั้ง 3 กรณีศึกษา การเปลี่ยนตำแหน่งของจุดเชื่อมต่อนั้นมีผลต่อพื้นที่ภายในของโครงสร้างโดยการขยับจุดหมุนส่วนกลาง(กรณีศึกษาที่ 2) จะได้พื้นที่ภายในน้อยกว่าการขยับจุดเชื่อมต่อบริเวณ(กรณีศึกษาที่ 3) ซึ่งจากการทดลองจะสามารถสรุปมิติของกรณีศึกษาที่ 3 ได้ดังแสดงในตารางที่ 1

เมื่อนำกรณีศึกษาที่ 2 และ กรณีศึกษาที่ 3 พัฒนาเป็นพื้นที่ครอบคลุมโดยมีแนวการพับเป็น 2 มิติ และ 3 มิติ ผลปรากฏว่า การสร้างพื้นที่ครอบคลุม 2 มิติจากกรณีศึกษาที่ 3 นั้น มีประสิทธิภาพในการพับเก็บและพื้นที่ครอบคลุมภายในมากที่สุด แต่การสำหรับด้านการพับเก็บโครงสร้างที่สามารถพับได้ 3 มิติ ใช้พื้นที่ในการพับเก็บน้อยที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 2

ผลการศึกษาในด้านมิติของโครงสร้าง พบว่า ตำแหน่งของจุดเชื่อมต่อในโครงสร้างพับเก็บได้แบบอาคารไทรนั้นมีผลต่อขนาดของพื้นที่ โดยการปรับเปลี่ยนตำแหน่งจุดเชื่อมต่อโครงสร้างใน

ส่วนริม (กรณีศึกษาที่ 3) มีผลต่อพื้นที่ภายในโครงสร้างมากกว่าการปรับเปลี่ยนตำแหน่งจุดเชื่อมต่อในส่วนกลาง (กรณีศึกษาที่ 2) อีกทั้งตัวโครงสร้างยังมีความบางกว่า กรณีศึกษาที่ 3 จึงเหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาสำหรับการสร้างพื้นที่ครอบคลุมในงานสถาปัตยกรรม

ตารางที่ 2 โครงสร้างพับเก็บ 2 มิติ และ 3 มิติ

ขนาดโครงสร้างพับเก็บ	2D Type 1	2D Type 2	3D Type
ความกว้าง(cm)	12.0	12.0	9.5
ความยาว(cm)	21.5	21.5	13.0
ความสูง(cm)	11.0	11.0	11.0
ขนาดพื้นที่พับเก็บ(ตร.ม.)(nxny)	258.0	258.0	123.5
ขนาดโครงสร้างกาง	2D Type 1	2D Type 2	3D Type
<b>พื้นที่ภายนอก</b>			
ความกว้าง(cm)	42.0	39.0	39.0
ความยาว(cm)	21.5	21.5	21.5
ความสูง(cm)	21.0	22.0	22.0
ขนาดพื้นที่ครอบคลุม(ตร.ม.)(nxny)	903.0	838.5	838.5
<b>พื้นที่ภายใน</b>			
ความกว้าง(cm)	26.5	28.0	28.0
ความยาว(cm)	21.5	21.5	21.5
ความสูง(cm)	15.5	19.5	19.5
ขนาดพื้นที่ครอบคลุม(ตร.ม.)(nxny)	569.8	602.0	602.0

#### 4. บทสรุป

การพัฒนาโครงสร้างพับเก็บได้โดยใช้การพับเก็บลักษณะขากกรไกร ใจความสำคัญในการเกิดพื้นที่การใช้งานภายในคือการกำหนดจุดเชื่อมต่อให้มีความเหมาะสมเพื่อให้โครงสร้างนั้นสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งด้านการขนย้าย ความรวดเร็วในการก่อสร้างและประสิทธิภาพด้านการเกิดพื้นที่ในการใช้งานทางสถาปัตยกรรม โดยจากการทดลองพื้นที่การใช้งานภายในที่กว้างที่สุดมีขนาด 602 cm<sup>2</sup> และขนาดของโครงสร้างที่เล็กที่สุดเมื่อมีการพับเก็บอยู่ที่ 123.5 cm<sup>2</sup> ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าตอнокถึง 5 เท่า ซึ่งในเป็นประโยชน์อย่างมากในทางสถาปัตยกรรม ในการลดระยะเวลาในการก่อสร้าง ความสะดวกในการขนย้ายและประสิทธิภาพด้านการควบคุมการผลิตโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม

#### รายการอ้างอิง

ชาคริต วิชชาบุญศิริ. (2553). *การศึกษาเปรียบเทียบระบบการก่อสร้างระหว่างโครงหลังคาสำเร็จรูปและโครงหลังคาเหล็กรูปพรรณสำหรับบ้านเดี่ยวขนาดกลาง*. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ศศิภา โรจน์วีระสิงห์. (2554). *แนวทางการออกแบบหน่วยพักอาศัยขนาดเล็กพิเศษที่เหมาะสมกับพฤติกรรมการใช้งานของคนไทย*. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

Gantes, C. J. & Konitopoulou, E. (2004). *Geometric design of arbitrarily curved bi-stable deployable arches with discrete joint size, metal structures laboratory*. National Technical University of Athens, Greece.

Hugues Wilquin. (2001). *Aluminium architecture: construction and details*. Germany.

Zhao, J.S., Cho, F. & Feng, Z.J. (2009). *The mechanism theory and application of deployable structures based on SLE*. Department of Precision Instruments and Technology, Tsinghua University, China: Beijing.

Nicholas O'Brien Melin. (2004). *Application of Bennett mechanism to long-span shelters*. Department of Engineering Science at the University of Oxford.

Kronenburg, R. (2002). *Houses in motion: The Genesis, History and development of the portable building*. UK: TJ International Ltd, Podstow, Cornwall.

Smith, R.E. (2011). *Prefab architecture: a guide to modular design and construction*. United States of America

# เปลือกอาคารกรองแสงแดดปรับเปลี่ยนได้จากโครงสร้างรังผึ้ง

## Honeycomb Flexible Sunlight Façade

สุกัญญา นิลผาย<sup>1\*</sup>, ปารเมศ กำแหงฤทธิ์รงค์<sup>2</sup>, โสภา วิศิษฐ์ศักดิ์<sup>3</sup> และ Joseph Khedari<sup>4</sup>  
Sukanyar Nilphai<sup>1\*</sup>, Parames Kamhangrittirong<sup>2</sup>, Sopa Visitsak<sup>3</sup> and Joseph Khedari<sup>4</sup>

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: sukanyar.arch@gmail.com<sup>1\*</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างต้นแบบเปลือกอาคารที่ปรับเปลี่ยนได้เพื่อการกันแดด ซึ่งพัฒนา รูปแบบโครงสร้างมาจากรังผึ้งที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันแสงแดดได้ดี โดยผ่านการศึกษาวิเคราะห์ รูปแบบที่มีความเหมาะสมในด้านต่าง ๆ และจัดทำต้นแบบเพื่อการทดสอบประสิทธิภาพในการกรอง แสงและลดความร้อนภายในอาคารโดยการใช้กล่องทดลองขนาด 1.00x1.00x1.00 ม. (กว้างxยาวxสูง) จำนวน 3 กล่อง ที่เป็นผนังที่บุนนวนกันความร้อนหนา 1 นิ้ว โดยรอบ ด้านหน้า (ทิศใต้) กรงกระจกใส หนา 6 มม.ที่ไม่มีการติดตั้งเปลือกอาคารและที่มีการติดตั้งเปลือกอาคารต้นแบบที่มีการปรับรูปแบบ (เปิดระยะปานกลาง 15 ซม. และสูงสุด 30 ซม.) พร้อมติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณความส่องสว่าง และอุณหภูมิโดยบันทึกผลการทดลองทุกๆ 5 นาทีและ 10 นาทีตามลำดับ ตั้งแต่เวลา 6:00-18:00 น. ผลที่ได้จากการทดสอบยืนยันว่าเปลือกอาคารนี้มีความสามารถในการกรองแสงและลดความร้อนภายใน กล่องทดลองได้ และนับเป็นทางเลือกใหม่สำหรับการออกแบบเปลือกอาคารในปัจจุบัน

### Abstract

This study aims to design a prototype of building envelope an adjustable for sunlight protection. The development of the façade was inspired from honeycomb structure due to it is efficient in term of direct sun radiation protection. Appropriate model analysis and efficacy testing of the façade to light filtering and reduce heat indoors temperature were assessed using experimental test boxes. The test boxes was a solid wall with insulation thickness of 1 inch. The side front of the box was a single-pane transparency glass, 6 mm. of thickness (south side). The box sizing 1.00x1.00x1.00 m.(WxLxH) was of the 3 boxes. The boxes were equipped without the façade (opening moderate 15 cm. & max 30 cm.) illuminance and temperature to were recorded from 6:00 am. to 6:00 pm. every 5 minutes and 10 minutes respectively. The results of the test confirmed that the building envelope has the ability to filter light and reduce heat inside the experimental boxes. Therefore the proposed façade offers a new alternative for modern sustainable design and promote innovation.

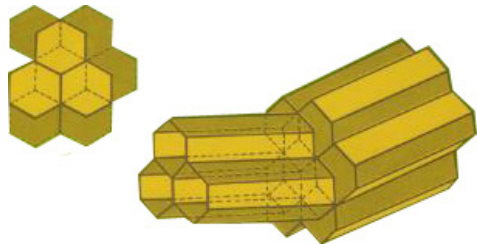
**คำสำคัญ (Keywords):** เปลือกอาคาร (Façade), อุปรกรณ์กันแดด (Sustainable Modern Architecture), รังผึ้ง (Flexible Shade), ชีวลอกเลียน (Biomimicry)

### 1. คำนำ

ปัจจุบันปัญหาด้าน ภัยพิบัติทางธรรมชาติ และความร้อนจากดวงอาทิตย์หรือแสงแดดที่ทวีความรุนแรงมากขึ้น (อุดม, 2555) ส่งผลโดยตรงกับมนุษย์ จึงมีการหาแนวทางการแก้ปัญหาลดภาวะโลกร้อนและการประหยัดพลังงานกันมากขึ้น ในการออกแบบอาคารในเขตร้อน การลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยเฉพาะส่วนที่เป็นช่องเปิดและกระจก เป็นสิ่งสำคัญที่ส่งผลต่อการลดใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ จากการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องในการออกแบบแผงกันแดด (Olgay, 1967; สมสิทธิ์, 2541) ซึ่งมีการใช้หลักการสร้างร่วมเงาให้กับอาคารในลักษณะต่างๆ ทั้งแนวตั้ง (Vertical louvers) แนวนอน (Horizontal overhangs) และแบบตาราง (Egg crate types) ในประเทศไทยมีงานวิจัยด้านสถาปัตยกรรมที่หลากหลาย งานวิจัยที่เกี่ยวกับวัสดุประกอบอาคาร เช่น การพัฒนารูปทรงอุปรกรณ์กันแดดที่มีประสิทธิภาพสำหรับช่องแสงด้านทิศใต้ในประเทศไทย (วรางคณา, 2553), การศึกษาแนวความคิดในการเลือกใช้เปลือกอาคารของอาคารสูง (ประพฤทธิ์, 2544) อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่เกี่ยวกับการพัฒนารูปแบบของเปลือกอาคารที่เป็นผนังด้านนอกโดยตรง ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยลดความร้อนและแสงจ้าของแสงแดดก่อนเข้าสู่อาคารและเพิ่มความสวยงามยังมีอยู่ไม่มากนัก

งานวิจัยนี้ศึกษาพัฒนาต้นแบบเปลือกอาคารโดยใช้แนวความคิดจากนวัตกรรมการเลียนแบบความหลากหลายและความมหัศจรรย์ของธรรมชาติ (Brett, 2008) หรือชีวลอกเลียน (Bio-

mimicry) ซึ่งเป็นการออกแบบรูปทรงและโครงสร้างที่เลียนแบบธรรมชาติ เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบรูปทรงเปลือกอาคารใช้แนวความคิดจากรังผึ้ง รังผึ้งถูกสร้างอย่างมีระเบียบแบบแผนเพราะจากการพิสูจน์โดยนักคณิตศาสตร์ ปรากฏว่า รังผึ้งจะเป็นรูปหกเหลี่ยมด้านเท่าเสมอ ซึ่งการสร้างรูปทรงลักษณะนี้ จะทำให้รังผึ้งมีความจุมากที่สุด และสามารถเก็บน้ำผึ้งได้มากที่สุด (สิริวัฒน์ - สุวรรินทร์, 2555)



รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของหลอดรวงของผึ้ง (สิริวัฒน์ - สุวรรินทร์, 2555)

นอกจากนั้นแล้วในการการออกแบบรูปแบบของโครงสร้างเปลือกอาคาร พิจารณาแนวความคิดการเลียนแบบการเคลื่อนไหวของพืช (Plant movement) แบบมีทิศทางที่ไม่สัมพันธ์กับทิศทางของสิ่งเร้า (nasty หรือ nastic movement) การตอบสนองแบบนี้จะมีทิศทางคงที่คือ การเคลื่อนขึ้นหรือลงเท่านั้น ไม่ขึ้นกับทิศทางของสิ่งเร้า (ชุมพล, 2553)



รูปที่ 2 แสดงการบานของดอกไม้ (ชุมพล, 2553)

โดยงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกรองแสงและลดความร้อนของแสงแดดผ่านเปลือกอาคารที่สามารถปรับเปลี่ยน หรือเปิด-ปิดได้ เพื่อสร้างทางเลือกให้กับผู้ออกแบบในการออกแบบงานสถาปัตยกรรมไปพัฒนาต่อยอดในการสร้างพื้นที่เขชนานบนเปลือกอาคารได้ในอนาคต

## 2. วัตถุประสงค์

2.1 พัฒนาต้นแบบเปลือกอาคารที่สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบได้ เพื่อการยึดติดกับผนังภายนอกอาคาร

2.2 ทดสอบประสิทธิภาพในการกรองแสงและทดสอบประสิทธิภาพในการลดความร้อนภายในอาคารที่มีการติดตั้งเปลือกอาคาร เมื่อมีการปรับรูปแบบต่าง ๆ

## 3. ขอบเขตงานวิจัย

3.1 การออกแบบเปลือกอาคารกรองแสงแดดปรับเปลี่ยนได้โดยนำลักษณะโครงสร้างของรังผึ้งมาและการเคลื่อนไหวของพีชมาใช้ในการออกแบบ

3.2 นำเสนอกระบวนการออกแบบ (Process) เปลือกอาคารโดยการสร้างหุ่นจำลอง (Mass Model)

3.3 การทดสอบประสิทธิภาพเปลือกอาคารโดยสร้างต้นแบบ (Physical Model) และใช้กล่องทดลองทดสอบผนังด้านทิศใต้ ในสภาวะแวดล้อมจริงในเขต อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

## 4. ประโยชน์ที่จะได้รับ

4.1 ต้นแบบเปลือกอาคารกรองแสงแดดปรับเปลี่ยนได้ ที่ช่วยการกรองแสงแดดและการลด

ความร้อนภายในอาคารที่มีการติดตั้งเปลือกอาคาร

4.2 แนวทางการออกแบบโดยใช้แนวความคิดจากนวัตกรรมกรรมเลียนแบบความหลากหลายและความมหัศจรรย์ของธรรมชาติหรือชีวโลกเลียน

## 5. วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการออกแบบแผงบังแดดภายนอกอาคารที่สามารถปรับทิศทางและให้ความสำคัญกับอาคารด้านทิศใต้จึงพิจารณาใช้อุปกรณ์บังแดดแบบผสม แผงบังแดดนี้จะถูกติดตั้งอยู่ภายนอกอาคาร เพราะนอกจากการแผ่รังสีจากตัวแผงบังแดดเองจะเข้ามาไม่ถึงแล้ว ยังสามารถให้ลมพัดพาระบายความร้อนจากที่แผงแดดภายนอกได้อีกด้วย ในการพัฒนารูปทรงของเปลือกอาคารคำนึงถึงเรื่องช่องเปิดของตัวเปลือกอาคารและทิศทางของแสงแดด จากนั้นนำรูปแบบที่มีความเหมาะสมไปทดสอบโดยสร้างกล่องทดสอบเพื่อทดสอบเปรียบเทียบด้านความส่องสว่างและอุณหภูมิในสภาวะจริง ดังนี้

5.1 การพัฒนาเปลือกอาคารเพื่อการกันแดดด้วยการสร้างแบบจำลอง ในขั้นตอนนี้มีแนวคิดและขั้นตอนการพัฒนา ดังต่อไปนี้

5.1.1 พัฒนาให้ใกล้เคียงกับรูปแบบของรังผึ้งซึ่งจะมีโครงสร้างเป็นลักษณะเป็นรูปหกเหลี่ยม ข้อดี มีรูปแบบใกล้เคียงกับรังผึ้งอย่างชัดเจน ข้อเสีย มีช่องเปิดมากเกินไป (ดูรูป (ก))

5.1.2 พัฒนาจากแบบ 5.1.1 โดยเพิ่มแผ่นประกบด้านนอก เพราะคำนึงถึงตัวแปรเรื่องแสง ข้อดี ลดช่องเปิดของ ข้อเสีย รูปแบบด้านหน้าไม่เป็นรังผึ้ง ขั้วซ้อนและสิ้นเปลืองวัสดุ (ดูรูป (ข))

5.1.3 พัฒนาจากแบบ 5.1.2 โดยสลับด้านแผ่นประกบ ข้อดีมีพื้นที่ว่างภายในมากขึ้น ช่วยในการระบายอากาศได้มากขึ้น (ดูรูป (ค))

5.1.4 พัฒนาจากแบบ 5.1.3 โดยปรับพับลดขนาดได้ข้อดี พับให้มีขนาดเล็กลงได้ (ดูรูป (ง))

5.1.5 พัฒนาจากแบบ 5.1.3 โดยตัดแผ่นประกบออก 1 ด้าน ข้อดี ลดวัสดุลง (ดูรูป (จ))

5.1.6 พัฒนาจากแบบ 5.1.5 โดยเพิ่มครีบบริเวณช่องเปิด(ครีบบนอยู่ด้านใน) ข้อดี มีครีบบนตัวเปิด-ปิดรับแสงธรรมชาติ และช่วยกันความร้อน (ดูรูป (ฉ))

5.1.7 พัฒนาจากแบบ 5.1.6 โดยลดแผ่นประกบ เหลือ 1 ด้าน (ครีบบนอยู่ด้านใน) (ดูรูป (ช))

5.1.8 พัฒนาจากแบบ 7 โดยสลับครีบบนอยู่ด้านนอก ข้อดี มีครีบบนตัวเปิด-ปิดรับแสงธรรมชาติ และช่วยกันความร้อน (ดูรูป (ซ))



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)



(ช)



(ซ)

รูปที่ 3 รูปแบบการพัฒนาเปลือกอาคารเพื่อการกันแดด  
 (ก) รูปแบบรังผึ้ง, (ข) เพิ่มแผ่นประกบด้านนอก,

(ค) สลับด้านแผ่นประกบ, (ง) พับลดขนาดได้, (จ) ตัดแผ่นประกบออก 1 ด้าน, (ฉ) เพิ่มครีบบริเวณช่องเปิด(ครีบบนอยู่ด้านใน), (ช) ลดแผ่นประกบเหลือ 1 ด้าน (ครีบบนอยู่ด้านใน), (ซ) สลับครีบบนอยู่ด้านนอก

จากการทดลองพัฒนารูปแบบของเปลือกอาคารด้วยแบบจำลองสามารถนำไปทดสอบเบื้องต้น ด้วยการสังเกตการส่องผ่านของแสงแดด ดังนั้น รูปแบบของเปลือกอาคารที่นำไปพัฒนาต่อ คือ แบบจำลองภาพ (ซ) เพราะแสงแดดสามารถส่องผ่านได้น้อยที่สุด

5.2 จากการศึกษาการเคลื่อนไหวของพืช การพัฒนาโครงสร้างของเปลือกอาคาร เพื่อการปรับเปลี่ยนในขั้นตอนนี้มีแนวคิดและขั้นตอนการพัฒนา ดังต่อไปนี้

5.2.1 พัฒนาจากแบบ 5.1.6 (ดูรูป (ช)) โดยแบ่งย่อยแผ่นเปลือกอาคารออกเป็น 25 ชิ้น ใช้บานพับเป็นตัวเชื่อมต่อในแต่ละแผ่น ข้อดี เคลื่อนไหวตามรูปแบบของบานพับ ข้อเสีย การเคลื่อนไหวไม่อิสระถูกจำกัดด้วยบานพับ (ดูรูป (ฅ))

5.2.2 พัฒนาจากแบบ 5.2.1 โครงสร้างใช้ระบบรางเลื่อน ข้อดี ไม่ต้องใช้พื้นที่ด้านหลังมาก ข้อเสีย ซับซ้อน สิ้นเปลืองวัสดุ (ดูรูป (ณ))

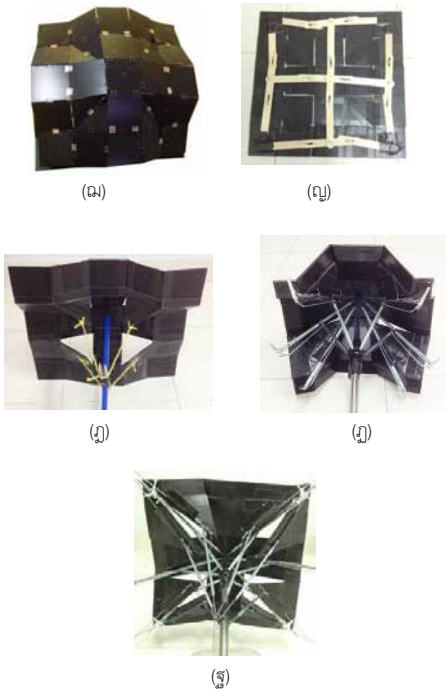
5.2.3 พัฒนาจากแบบ 5.2.2 โครงสร้างใช้เสาเป็นแกนกลางและรับแรงดึงของเชือกที่ดึงครีบบนอยู่ด้านใน เพื่อเปิด/ปิด ข้อดี เรียบง่าย ข้อเสีย วัสดุไม่ค่อยแข็งแรง (ดูรูป (น))

5.2.4 พัฒนาจากแบบ 5.2.3 โครงสร้างใช้โครงร่วมเป็นแกนกลางและใช้ก้านร่วมติดกับครีบบน ข้อดี เป็นระบบมากขึ้น ข้อเสีย ไม่สามารถล็อคปรับระดับการ เปิด-ปิด (ดูรูป (ด))

5.2.5 พัฒนาจากแบบ 5.2.4 แบ่งครีบบนออกเป็น 2 ชิ้น ใช้ก้านร่วมติดกับครีบบน ข้อดี



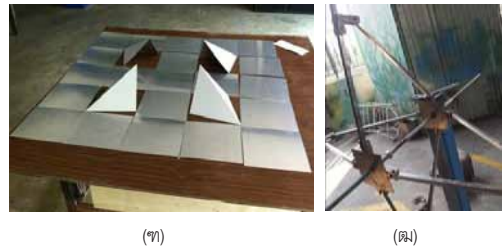
ครีบบดถูกแบ่งออกเป็น 2 ชั้น ทำให้สามารถเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระ และรับแสงธรรมชาติได้มากขึ้น (ดูรูป (ฐ))



**รูปที่ 4** รูปแบบการพัฒนาเปลือกอาคารเพื่อการปรับเปลี่ยน (ม) ระบบบานพับ, (ณ) ระบบวางเลื่อน, (ด) ระบบเสากลางแกนกลาง, (จ) ระบบโครงร่แกนกลางครีบบด 1 ชั้น, (ฐ) ระบบโครงร่แกนกลางครีบบด 2 ชั้น

### 5.3 จัดเตรียมวัสดุ อุปกรณ์ และสร้างหุ่นจำลองที่ใช้ในการทดสอบ

5.3.1 ต้นแบบเปลือกอาคารใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นแผ่นเปลือกอาคาร ขนาด 1.00x1.00 ม.จำนวน 2 ชุด ใช้แผ่นอะลูมิเนียม โครงสร้างใช้เหล็กเส้นขึ้นรูปตามโครงสร้างที่ต้องการ



**รูปที่ 5** วัสดุขึ้นรูปต้นแบบเปลือกอาคาร (ท) แผ่นอะลูมิเนียม แบ่งเป็น 25 ชั้น ขนาด 20x20 ซม., (ตม) โครงสร้างเหล็กเส้น

5.3.2 กล้องทดสอบ ขนาด 1.00x1.00x1.00 ม.(กxยxส) สูงจากพื้น 50 ซม.จำนวน 3 กล้อง วัสดุของกล้องโครงสร้างใช้เหล็กฉากขนาด 2 นิ้ว ด้านนอกใช้แผ่นสมาร์ทบอร์ดหนา 8 มม. 5 ด้าน ด้านหน้ากระจกใส หนา 6 มม.ด้านในกรุฉนวนโฟม หนา 1 นิ้ว ภายนอกกล้องทาสีขาว ภายในทาสีดำ ในการสร้างกล้องเพื่อทดสอบการกรองแสงและอุณหภูมิคำนึงถึงผลกระทบจากตัวแปรอื่น ๆ จึงกรุฉนวนโฟมและทาสีดำด้านในเพื่อลดการสะท้อนของแสงและอุณหภูมิภายในดังนี้

กล้อง A = กล้องทดสอบที่ไม่มีการติดตั้งต้นแบบเปลือกอาคาร(ดูรูป (ณ))

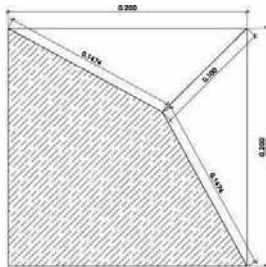
กล้อง B กล้องเปิด 30 ซม.(ระยะที่สามารถเปิดได้มากที่สุดของแบบจำลอง 1.00x1.00 ม.) หรือคิดเป็นสัดส่วนของช่องเปิดเท่ากับ 64.75 % ของพื้นที่ช่องเปิด 1 ช่อง (ดูรูป (ด))

กล้อง C กล้องเปิด 15 ซม.(ระยะที่สามารถเปิดได้ปานกลางของแบบจำลอง 1.00x1.00 ม.) หรือคิดเป็นสัดส่วนของช่องเปิดเท่ากับ 29.25 % ของพื้นที่ช่องเปิด 1 ช่อง (ดูรูป (จ))

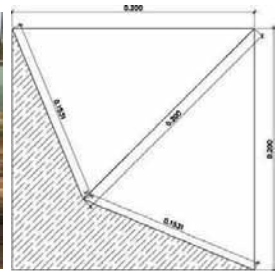




(ณ)



(ด)



(ค)

รูปที่ 6 กล้องทดสอบและต้นแบบเปลือกอาคารเพื่อการทดสอบ (ณ) กล้อง A, (ด) กล้อง B, (ค) กล้อง C

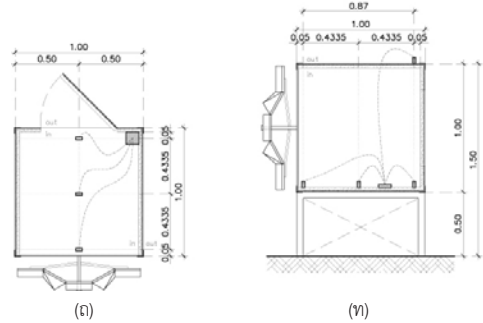
5.3.3 สถานที่ทดสอบในสภาวะแวดล้อมจริงในเขตอำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยตั้งกล้องทดสอบในที่โล่งและจัดให้ด้านที่ติดตั้งต้นแบบเปลือกอาคารหันไปทางทิศใต้ เพื่อให้ได้รับแสงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน

### 5.4 ติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบและเก็บข้อมูล

#### 5.4.1 ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณ

ความส่องสว่าง Hobo micro station data logger รองรับการทำงานเชื่อมต่อเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสง

จำนวน 4 ช่อง ช่วงความสามารถในการบันทึกปริมาณแสง 0-1280 W/m<sup>2</sup> ช่วงความยาวคลื่น 300-1100 นาโนเมตร ค่าความคลาดเคลื่อน 10 W/m<sup>2</sup> ติดตั้งภายในกล่อง 3 จุด และภายนอก 1 จุด โดยบันทึกผลการทดลองทุกๆ 5 นาที ตั้งแต่ 06:00-18:00 น.



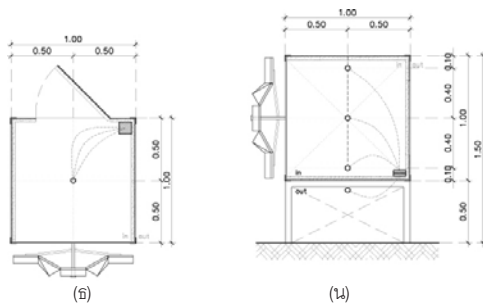
(ก)

(ข)

รูปที่ 7 วางตำแหน่งอุปกรณ์ทดสอบและเก็บข้อมูลด้านค่าความส่องสว่าง (ก) แปลนกล่องทดสอบ, (ข) รูปตัดกล่องทดสอบ

#### 5.4.2 ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ

HOBO U12 External Channel Data Logger ช่วงความสามารถในการบันทึกอุณหภูมิ -20 ถึง 70°C ช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 0-95% RH ช่วงความสามารถในการบันทึกอุณหภูมิในอากาศ -40 ถึง 100°C ค่าความคลาดเคลื่อน ±0.25°C ติดตั้งภายในกล่อง 3 จุด และภายนอก 1 จุดโดยบันทึกผลการทดลองทุกๆ 10 นาที ตั้งแต่ 06:00-18:00 น.



(ค)

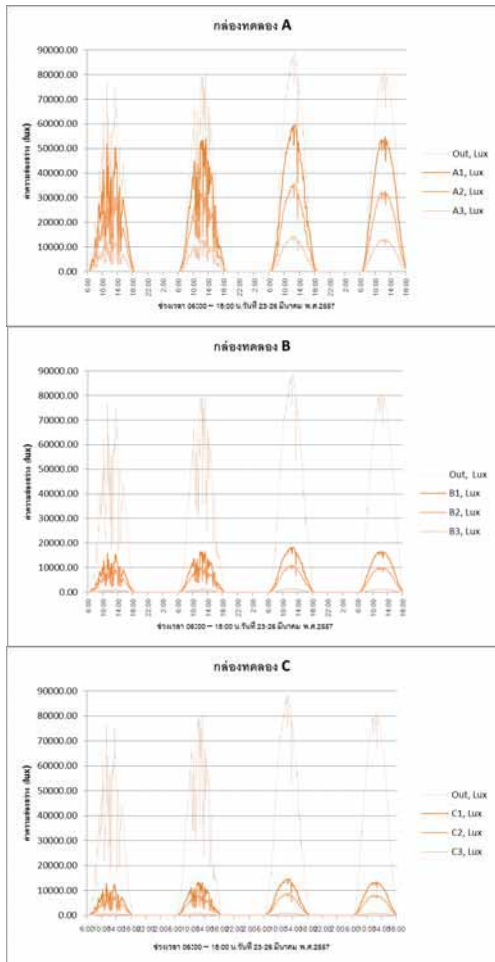
(ง)

รูปที่ 8 วางตำแหน่งอุปกรณ์ทดสอบและเก็บข้อมูลด้านอุณหภูมิ (ค) แปลนกล่องทดสอบ, (ง) รูปตัดกล่องทดสอบ

## 6. ผลการทดลองและการวิเคราะห์

ผลการทดสอบด้านความส่องสว่างและอุณหภูมิ มีดังต่อไปนี้

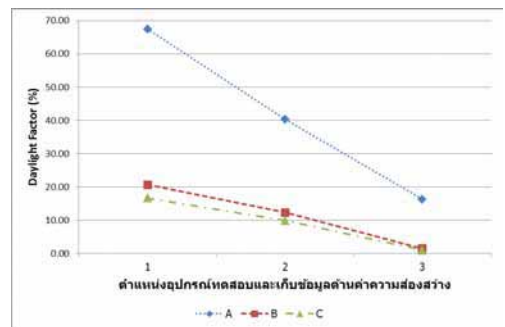
### 6.1 ผลการทดสอบด้านความส่องสว่าง



รูปที่ 9 เปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในห้องทดลอง A, B, C ตามลำดับ

บันทึกผลการทดลองทุก ๆ 5 นาที จำนวน 3 วัน ตั้งแต่ 06:00-18:00 น. วันที่ 23-26 มีนาคม พ.ศ. 2557 ค่าความส่องสว่างภายนอกสูงสุดเท่ากับ 88759 lux ภายในสูงสุดจะอยู่ที่ห้อง A,

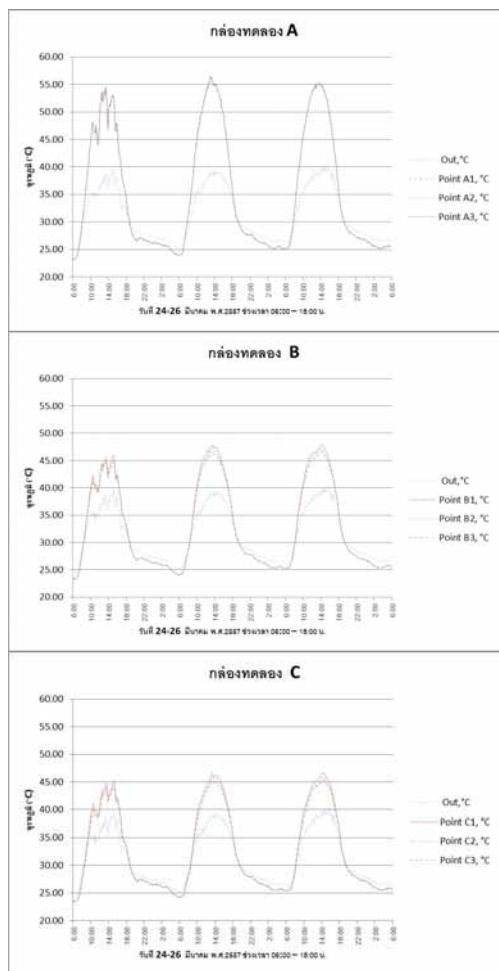
B, C ณ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 1 คือ 59804, 18355, 14757 lux ตามลำดับ ในวันที่ 25 มีนาคม พ.ศ. 2557 เวลา 12:50 น. ผลทดลองค่าความส่องสว่างภายในมีการลดลงเมื่อมีการติดตั้งเปลือกอาคาร กล้อง B ลดลง 70% กล้อง C 75% เมื่อเปรียบเทียบกับกล้อง A ที่ไม่มีการติดตั้ง ปริมาณค่าความส่องสว่างจะลดลงตามระยะของช่องเปิด



รูปที่ 10 เปรียบเทียบค่า Daylight Factor (%) ในช่วงเวลาที่ทดสอบ ภายในห้องทดลอง A, B, C ตามลำดับ

ผลการทดลองสังเกตการตกของกราฟของค่าความส่องสว่าง (ดูภาพ 9) ทุก ๆ 1 ชม. ของอุปกรณ์ทดสอบและเก็บข้อมูลภายในห้องทดลองทั้ง 3 ตำแหน่ง (ดูภาพ 7) ช่วงเวลากลางวัน จำนวน 2 วัน ในวันที่มีผลต่างของค่าความส่องสว่างปริมาณมาก ตั้งแต่ 06:00-18:00 น. ของวันที่ 23-24 มีนาคม พ.ศ. 2557 ค่า DF ที่มีค่าสูงสุดที่ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 1 ของห้องสอบ A, B, C เท่ากับ 67.38, 20.68, 16.63 % ตามลำดับ ปริมาณค่าความส่องสว่างจะลดลงเรื่อยๆ ตามระยะห่างของตำแหน่งของอุปกรณ์กับช่องเปิด ค่า DF จะลดลงสอดคล้องกับค่าความส่องสว่าง

## 6.2 ผลการทดสอบด้านอุณหภูมิ



รูปที่ 11 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิภายนอกและภายใน  
 กล้องทดลอง A, B, C ตามลำดับ

บันทึกผลการทดลองทุก ๆ 10 นาที  
 จำนวน 3 วัน ตั้งแต่ 06:00-18:00 น. วันที่ 24-26  
 มีนาคม พ.ศ. 2557 อุณหภูมิภายนอกสูงสุด  
 เท่ากับ 40.11 °C อุณหภูมิภายในสูงสุดจะอยู่ที่  
 กล้อง A, B, C ณ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 1 คือ 56.30,  
 47.22, 45.81 °C ตามลำดับ ผลทดลองอุณหภูมิ  
 ภายในมีการลดลงเมื่อมีการติดตั้งเปลือกอาคาร  
 กล้อง B ลดลง 15% กล้อง C 20% เมื่อเปรียบ

เทียบกับกล้อง A ที่ไม่มีการติดตั้ง อุณหภูมิจะลด  
 ลงตามระยะของช่องเปิด

อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดเท่ากับ 24.34 °C  
 อุณหภูมิภายในสูงสุดจะอยู่ที่กล้อง A, B, C ณ  
 ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 3 คือ 23.16, 23.38, 23.42  
 °C ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดภายในกล้องทดลอง A,  
 B, C (°C) ตามลำดับ

	24/3/2014	25/3/2014	26/3/2014	AVERAGE
Out	39.6	39.3	40.1	39.6
A1	54.6	56.6	55.3	55.5
A2	54.3	56.3	55.1	55.2
A3	54.4	56.2	55.1	55.2
B1	46.0	47.8	47.9	47.2
B2	45.2	47.1	47.2	46.5
B3	44.8	46.5	46.6	45.9
C1	45.2	46.5	46.6	46.1
C2	44.6	45.7	45.8	45.3
C3	44.0	45.2	45.3	44.8

ผลการทดลองค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุด  
 ภายในกล้องทดลอง จำนวน 3 วัน ตั้งแต่ 06:00-  
 18:00 น. วันที่ 24-26 มีนาคม พ.ศ. 2557 อุณหภูมิ  
 ภายนอกสูงสุดเท่ากับ 40.11 °C อุณหภูมิเฉลี่ย  
 ภายในสูงสุดจะอยู่ที่กล้อง A1, B1, C1 ตามลำดับ

## 7. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

### 7.1 สรุปผลการทดลอง

7.1.1 จากการเปรียบเทียบค่า DF ภายใน  
 กล้องทดลอง A, B, C พบว่า ณ ตำแหน่งอุปกรณ์  
 ที่ 1 ในเวลากลางวัน กล้อง C ค่าต่ำที่สุด เท่ากับ  
 16.63% เนื่องจากมีพื้นที่ช่องเปิดเท่ากับ 29.25%  
 ของพื้นที่ช่องเปิด 1 ช่อง กล้อง B เท่ากับ 20.68%

เนื่องจากมีพื้นที่ช่องเปิดเท่ากับ 64.75% ของพื้นที่ช่องเปิด 1 ช่อง กล่อง A เท่ากับ 67.38% เนื่องจากเป็นกล่องที่ไม่ได้ติดตั้งเปลือกอาคาร แสงแดดจึงสามารถเข้าถึงโดยตรง ปริมาณค่าความส่องสว่างจะลดลงเรื่อยๆ ตามระยะห่างของตำแหน่งของอุปกรณ์กับช่องเปิด ค่า DF จะลดลงสอดคล้องกับค่าความส่องสว่าง

7.7.2 จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกและภายในของกล่องทดลอง A, B, C ตามลำดับ ณ ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ กลางกล่องในเวลากลางวัน พบว่า กล่องทดลองร้อนกว่าข้างนอกในเวลากลางวัน แต่ในเวลากลางวัน อุณหภูมิจะใกล้เคียงกัน กล่าวคือ กล่อง A จะมีอุณหภูมิสูงสุด โดยเมื่อมีการติดตั้งเปลือกอาคารเข้าไปที่กล่อง B พื้นที่ช่องเปิดเท่ากับ 64.75% ของพื้นที่ช่องเปิด 1 ช่อง, กล่อง C มีพื้นที่ช่องเปิดเท่ากับ 29.25% ของพื้นที่ช่องเปิด 1 ช่อง ทำให้อุณหภูมิลดลงตามลำดับ ตามระยะการเปิดของเปลือกอาคาร จะเห็นได้ว่า การติดตั้งเปลือกอาคารนี้ ช่วยกรองแสงได้มากโดยเฉพาะบริเวณที่ผนังที่เป็นช่องเปิด และมีประสิทธิภาพช่วยลดความร้อนภายในลงได้อย่างเห็นได้เด่นชัด

## 7.2 ข้อเสนอแนะ

บทความนี้ได้นำเสนอแนวทางการออกแบบเปลือกอาคาร โดยใช้แนวความคิดจากนวัตกรรมการเล่นแบบความหลากหลายและความมหัศจรรย์ของธรรมชาติ หรือ ชีวลอกเลียนและการทดสอบหาประสิทธิภาพของต้นแบบเปลือกอาคารกรองแสงแดดปรับเปลี่ยนได้จากโครงสร้างรังผึ้ง ผู้ที่มีความสนใจอาจนำข้อมูลไปพัฒนาต่อในด้านระบบกลไกการทำงานของเปลือกอาคาร และการปรับขนาดของช่องเปิดเพื่อให้ได้ปริมาณของแสงเพียงพอต่อการใช้งานในกิจกรรมต่างๆ ที่มีการนำไปใช้ ตลอดจนงานการเลือกวัสดุที่ช่วย

ประหยัดพลังงาน หรือแนวทางการใช้ประโยชน์เพิ่มเติมจากเปลือกอาคาร เช่น ใช้เป็นพื้นที่โฆษณา เพื่อให้เปลือกอาคารใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด

## รายการอ้างอิง

- ชุมพล คุณาวาสิ. (2553). *การตอบสนองและการควบคุมภายในพีช*. สืบค้นเมื่อ 15 มิถุนายน 2556, จาก <http://www.sc.chula.ac.th>
- ประพฤทธิ์ เตี้ยะตาช่าง. (2544). *การศึกษาแนวความคิดในการเลือกใช้เปลือกอาคารของอาคารสูง*. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์-มหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วรางคณา มีจิตต์. (2553). *การพัฒนารูปทรงอุปกรณ์กันแดดที่มีประสิทธิภาพสำหรับช่องแสงด้านทิศใต้ในประเทศไทย*. การค้นคว้าอิสระสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ และ สุรรัตน์ เตี้ยะวาณิชย์. (2555). *ชีววิทยาของผึ้ง* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมสิทธิ์ นิตยะ. (2541). *การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อุดม เขยกิ่งศ์. (2555). *ภาวะโลกร้อน*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แสงดาว.
- Holverstott, B. (2008). *What Can Architecture Learn From Nature?*. สืบค้นเมื่อ 30 มิถุนายน 2556, จาก <http://www.greenerdesign.com/blog/2008/09/07>
- Victor, O. (1967). *Design With Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*. New Jersey: Princeton University Press.

ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานในอาคารสำนักงานโดย  
การบังแดดด้วยรูปทรงอาคารในเขตร้อนชื้น  
Energy Performance in Office Buildings with Self-Shading  
Envelope in Hot-Humid Climate

รฐา จิตตวิสุทธิกุล<sup>1</sup> และ ดร. จตุวัฒน์ วจโรดมพันธ์<sup>2</sup>

Ratha Jittawisutthikul<sup>1</sup> and Jatuwat Varodompun, Ph.D.<sup>2</sup>

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Email: ra\_tha@hotmail.com<sup>1</sup>, vjatuwat@umich.edu<sup>2</sup>

## บทคัดย่อ

การออกแบบกรอบอาคารเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถลดการใช้พลังงานได้ในสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย สถาปนิกจึงได้เล็งเห็นความสำคัญของการออกแบบกรอบอาคารและนำมาใช้เพื่อการออกแบบอาคารสำนักงานที่มีแนวโน้มการใช้พลังงานที่สูงขึ้น โดยมีการใช้หลากหลายรูปแบบ เช่น การติดฉนวน การเลือกใช้วัสดุผนัง และการติดตั้งแผงบังแดด งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการลดใช้พลังงานผ่านกรอบอาคารสำนักงานโดยการบังแดดด้วยรูปทรงอาคาร โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงที่ 1 ศึกษาการใช้พลังงานของอาคารที่บังแดดด้วยรูปทรงอาคาร 1 ทิศทาง ช่วงที่ 2 ศึกษาการบังแดดด้วยรูปทรงอาคารมากกว่า 1 ทิศทาง ตัวแปรที่มีความสำคัญในการออกแบบ 4 ตัวแปร คือ ทิศทางการวางอาคาร ระยะยื่นกรอบอาคาร สัดส่วนช่องเปิด และอุปกรณ์หรีฟ โดยทำการจำลองผ่านโปรแกรม eQUEST\_3.64 ผลการวิจัยสรุปได้ว่า ทิศที่มีความเหมาะสมที่สุดของรูปแบบอาคารดังกล่าว คือ ทิศตะวันออก และเมื่อเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของอาคารที่ใช้การบังแดดด้วยรูปทรงอาคารกับอาคารติดตั้งแผงบังแดดและผนังเอียง พบว่า ที่สัดส่วนช่องเปิด 20% - 80% อาคารที่ใช้การบังแดดด้วยรูปทรงอาคารมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานมากที่สุด ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัยนี้เป็นประโยชน์สำหรับสถาปนิกที่สนใจการออกแบบกรอบอาคาร และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบอาคารที่ใช้การบังแดดด้วยรูปทรงอาคารสำนักงานเพื่อประหยัดพลังงานได้

## Abstract

The facade design is one of the approaches to reduce energy consumption of building in hot humid climate. Architects have realized the importance of facade design, and applied applications to enhance the office building facade design. Which has a trend of higher energy consumption such as the insulation installation, wall construction selection, and shading device. This research aims to study the approaches to reduce energy consumption in office building

facade though self-shading, The research is divided into two experimental phases; Experimental phase 1, the study of the energy consumption of the building that is self-shading in one direction; Experimental phase 2, the study of the energy consumption of the building that is self-shading in more than one direction. The four important variables to the design have been modified, that is the orientation of the building, extension distance of facade, window to wall ratio (WWR) and the daylight dimmers. This was done through the simulation of the eQUEST\_3.64 program. The research results show that the most direction of the self-shading is the east. When comparing the self-shading with shading device and tilted wall, it found that the self-shading is the most efficient on energy saving at WWR 20% - 80%. The results from this research are useful for architects who are interested in the facade design, and can be applied as an approach to the building design using the self-shading for energy saving.

**คำสำคัญ (Keywords):** การบังแดดด้วยรูปทรงอาคาร (Self – Shading), พลังงานปรับอากาศ (Cooling Energy), การประหยัดพลังงาน (Energy Conservation), กรอบอาคาร (Envelope), อาคารสำนักงาน (Office Building)

## 1. ที่มาและความสำคัญ

แนวโน้มการใช้พลังงานในกลุ่มอาคารมีปริมาณสูงขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากการขยายตัวของสังคมและเศรษฐกิจที่เติบโตตามการพัฒนาของประเทศส่งผลให้จำนวนอาคารเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยเฉพาะอาคารประเภทสำนักงานซึ่งมีสัดส่วนมากที่สุด 38% ของประเภทอาคารทั้งหมด (กระทรวงพลังงาน, 2554)

เนื่องจากประเทศไทยเป็นภูมิอากาศแบบร้อนชื้นกรอบอาคารจึงได้รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์โดยตรงซึ่งเป็นปัญหาหนึ่งในการเพิ่มภาระให้เครื่องปรับอากาศดังพบว่า ค่าการใช้พลังงานมาจากระบบปรับอากาศมากที่สุด

สถาปนิกจึงพยายามออกแบบกรอบอาคารเพื่อให้ได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์น้อยที่สุดและในปัจจุบันสถาปนิกคำนึงถึงการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นภายในอาคารมากขึ้นซึ่งสามารถ

ทำได้หลายวิธี เช่น ทิศทางการวางอาคาร การเลือกใช้วัสดุผนังหรือแม้แต่การออกแบบรูปทรงของอาคารที่เหมาะสม เป็นต้น โดยแผงบังแดดเป็นหนึ่งในวิธีที่สถาปนิกนิยมใช้ในการออกแบบแต่เนื่องจากแผงบังแดดมีราคาค่อนข้างสูง ลำบากในการติดตั้งและยากต่อการบำรุงรักษา

จากปัญหาข้างต้นกรอบอาคารจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานงานวิจัยนี้จึงมุ่งนำเสนอการประหยัดพลังงานโดยการบังแดดด้วยรูปทรงอาคาร (self-shading) สำหรับอาคารสำนักงาน โดยศึกษาประเด็นการบังแดดด้วยรูปทรงอาคารให้มีความสอดคล้องในเรื่องระยะยื่นของกรอบอาคารทิศทางการวางอาคารและสัดส่วนช่องเปิดเพื่อเป็นแนวทางในการประหยัดพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดซึ่งมีตัวอย่างอาคารที่มีการประยุกต์ใช้การบังแดดด้วยรูปทรงอาคาร ดังรูปที่ 1





(ที่มา: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File: Prefecture\\_de\\_cergy.JPG](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Prefecture_de_cergy.JPG), 2557)

**รูปที่ 1** Hotel de Prefecture du Val-D'Oise ประเทศฝรั่งเศส โดย Henry Bernard

## 2. ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 การออกแบบการบังแดด

สำหรับประเทศไทยโดยเฉพาะกรุงเทพมหานคร (14° N) นั้น ในฤดูร้อนทิศเหนือได้รับรังสีความร้อนมากกว่าทิศใต้ ประมาณ 0.5 เท่า และในฤดูหนาวทิศใต้ได้รับรังสีความร้อนมากกว่าทิศเหนือ 8 เท่า เพราะฉะนั้นทางด้านทิศใต้แสงแดดจะเข้าเป็นมุมเบี่ยงต่ำสุดในเดือนธันวาคมและทางด้านทิศเหนือ แสงแดดจะเข้าเป็นมุมเบี่ยงต่ำสุดในเดือนมิถุนายน ทำให้ต้องการการกันแดดตลอดทั้งปี (สมสิทธิ์ นิตยะ, 2541) ลักษณะมุมของดวงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน จะมีความสัมพันธ์กับระยะยื่นของกรอบอาคารเนื่องจากมุมดวงอาทิตย์ จะกระทำกับอาคาร เกิดเงาตกกระทบบนอาคารที่แตกต่างกันในแต่ละเวลา ส่งผลให้การใช้พลังงานเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะของมุมดวงอาทิตย์ โดยการบังแดดที่เหมาะสมในการศึกษา คือ การบังแดดแนวนอน

ปัจจัยในการออกแบบการบังแดด

- 1) ขนาดช่องเปิด
- 2) ตำแหน่งช่องเปิด
- 3) ทิศทางช่องเปิด
- 4) วันและเวลาที่ต้องการบังแดด

### 2.2 ภาระการทำความเย็น

การใช้พลังงานที่เกิดขึ้นภายในอาคารส่วนหนึ่งมาจากระบบปรับอากาศ ซึ่งมีสัดส่วนการใช้พลังงานมากกว่าระบบอื่นๆ สามารถแจกแจงแหล่งที่มาของภาระการทำความเย็นของได้ดังนี้

1) ความร้อนจากภายนอกที่ผ่านเข้ามาในบริเวณอาคารปรับอากาศ โดยการพาความร้อนจากอากาศภายนอกอาคารเข้าสู่ผนังด้านนอก และนำความร้อนจากผนังด้านนอกเข้าสู่ผนังด้านในอาคาร

2) ความร้อนที่เข้าสู่อาคารปรับอากาศโดยตรง โดยการแผ่รังสีผ่านกระจกหรือวัสดุโปร่งแสง

3) ความร้อนจากการรั่วไหลของอากาศ

4) ความร้อนจากผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทำความเย็น

5) ความร้อนจากผู้ใช้งานภายในอาคาร

6) ความร้อนจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เป็นตัวกำเนิดความร้อนในบริเวณที่มีการปรับอากาศ เช่น หลอดไฟ เครื่องคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ไฟฟ้า เป็นต้น

### 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่องการศึกษาประสิทธิภาพด้านพลังงานของการบังแดดด้วยรูปทรงอาคาร ของ Capeluto, (2003) พบว่า เมื่อเปรียบเทียบการลดพลังงานอาคารทั้ง 5 รูปแบบ ได้แก่

- 1) 90 nS (ผนัง 90 องศา, no shading)
- 2) 90 IB (ผนัง 90 องศา, internal blind)
- 3) 90-nS-LE (ผนัง 90 องศา, no shading, SC 0.44, VT 69%)
- 4) angle-nS (self-shading, no shading)
- 5) angle-IB (self-shading, internal blind)

อาคารที่ใช้การบังแดดด้วยรูปทรงอาคารรูปแบบที่ 4 และ 5 สามารถลดการใช้พลังงานได้มากกว่ารูปแบบอื่น ๆ และรูปแบบที่ 5 มีค่าการ



ใช้พลังงานน้อยที่สุด ในส่วนเรื่องทิศทางการวางอาคารก็มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร ซึ่งการบังแดดด้วยรูปทรงอาคารในทิศตะวันตกและทิศตะวันออกมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน

### 3. ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม eQUEST โดยแบ่งการวิจัยออกเป็น 2 ช่วงหลัก ได้แก่ ช่วงที่ 1 ศึกษาค่าการใช้พลังงานของอาคารที่ใช้การบังแดดด้วยรูปทรงอาคาร 1 ทิศทาง และทำการเปรียบเทียบกับอาคารรูปแบบอื่นๆ ช่วงที่ 2 ศึกษาค่าการใช้พลังงานของอาคารที่ใช้การบังแดดด้วยรูปทรงอาคาร มากกว่า 1 ทิศทาง

#### 3.1 แบบจำลองอาคารต้นแบบ

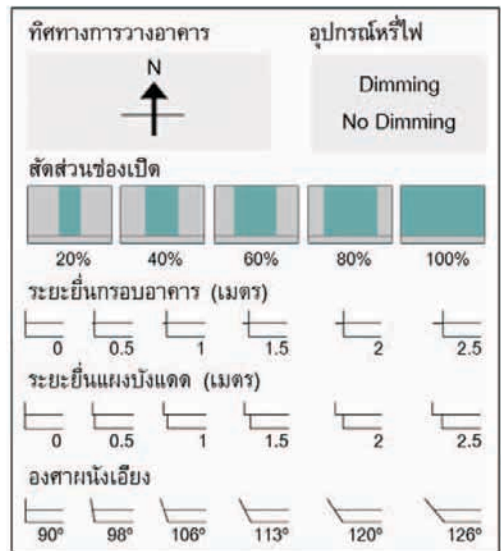
ในการสร้างแบบจำลองต้นแบบ (Base case building) เพื่อนำไปคำนวณค่าการใช้พลังงานในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยกำหนดค่าพื้นฐานของแบบจำลองในส่วนของรายละเอียดต่างๆ เช่น ขนาดอาคาร วัสดุในก่อสร้างทั้งผนังและกระจก ขนาดเครื่องปรับอากาศ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดแบบจำลองอาคาร

Type	Data
Building type	Office
Building area	58,125.6 ft <sup>2</sup> (5,400 m <sup>2</sup> )
Building Height	6 stories
Floor to Floor	11.5 ft. (3.5 m)
Floor to Ceiling	9 ft. (2.74 m)
Roof type	Concrete Slap
Glass type	Green Tint Laminated Glass
HVAC system	Chilled water coils

### 3.2 การกำหนดตัวแปรในงานวิจัย

ตัวแปรที่เลือกศึกษาในงานวิจัยเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคาร และมีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการประหยัดพลังงาน สามารถแบ่งตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่ ทิศทางการวางอาคาร อุปกรณ์หรือไฟ สัดส่วนช่องเปิด ระยะเวลาของกรอบอาคาร, แผงบังแดด และองศาของผนังเอียง มีรายละเอียดดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 รายละเอียดตัวแปรที่ศึกษาในงานวิจัย

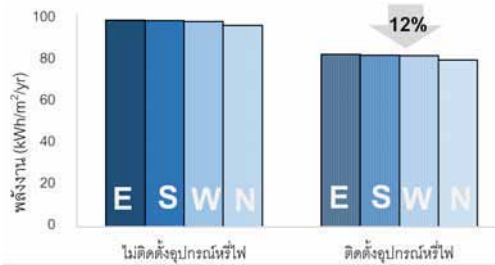
### 4. ผลการทดลอง

ผลการทดลองเป็นการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานในแต่ละกรณี แสดงหน่วยเป็น กิโลวัตต์ต่อตารางเมตรต่อปี (kWh/m<sup>2</sup>/yr) ดังนี้

#### 4.1 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานเมื่อติดตั้งอุปกรณ์หรือไฟ

จากผลการทดลองพบว่า การติดตั้งอุปกรณ์หรือไฟสามารถลดพลังงานอาคารได้ในทุกทิศทาง ซึ่งพลังงานมีค่าลดลง 11.41–11.56 kWh/

m<sup>2</sup>/yr เมื่อเทียบกับไม่ติดตั้งอุปกรณ์หรีไฟ สามารถสรุปได้ว่าการติดตั้งอุปกรณ์หรีไฟทำให้ประหยัดพลังงานได้มากถึง 12% ต่อปี ดังรูปที่ 3



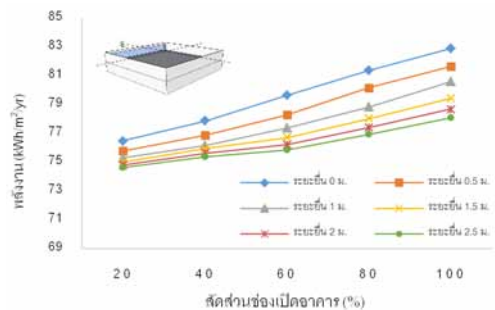
รูปที่ 3 อาคารที่ใช้การบังแดดด้วยรูปทรงอาคารติดตั้งและไม่ติดตั้งอุปกรณ์หรีไฟ

#### 4.2 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานในแต่ละทิศ

พบว่าทิศที่มีการใช้พลังงานมากที่สุด คือ ทิศตะวันออก ถัดมาคือ ทิศใต้ ทิศตะวันตก และทิศเหนือตามลำดับ

#### 4.3 เปรียบเทียบอาคารที่ใช้การบังแดดด้วยรูปทรงอาคารเมื่อปรับเปลี่ยนระยะยื่น

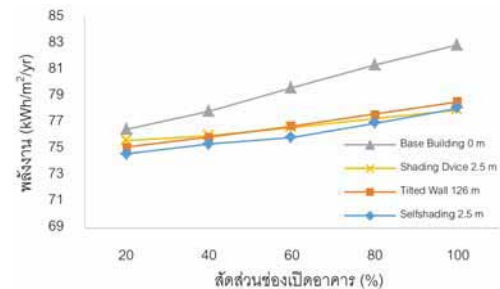
ระยะยื่นของกรอบอาคารแปรผกผันกับการใช้พลังงานอาคารกล่าวคือ ระยะยื่น 2.5 ม. เป็นระยะยื่นที่มากที่สุดในการทดลอง มีค่าการใช้พลังงานน้อยที่สุด ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 อาคารที่ใช้การบังแดดด้วยรูปทรงอาคารที่เมื่อปรับเปลี่ยนระยะยื่น (ตะวันออก)

#### 4.4 เปรียบเทียบอาคารที่ใช้การบังแดดด้วยรูปทรงอาคาร อาคารติดตั้งแผงบังแดดและอาคารผนังเอียง

อาคารที่ใช้การบังแดดด้วยรูปทรงอาคาร อาคารติดตั้งแผงกันแดด และอาคารผนังเอียง มีอัตราการเพิ่มค่าการใช้พลังงานในแต่ละสัดส่วนช่องเปิดแตกต่างกัน ที่สัดส่วนช่องเปิด 20%-80% อาคารที่ใช้การบังแดดด้วยรูปทรงอาคารมีค่าการใช้พลังงานน้อยที่สุด แต่ที่สัดส่วนช่องเปิด 100% อาคารติดตั้งแผงกันแดด มีค่าการใช้พลังงานน้อยที่สุด ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 เปรียบเทียบอาคารที่ใช้การบังแดดด้วยรูปทรงอาคาร อาคารติดตั้งแผงกันแดด และอาคารผนังเอียง (ตะวันออก, ระยะยื่น 2.5 ม.)

### 5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

##### 5.1.1 การติดตั้งอุปกรณ์หรีไฟในอาคาร

การติดตั้งอุปกรณ์หรีไฟมีความเหมาะสมในการใช้กับอาคารที่ใช้การบังแดดด้วยรูปทรงอาคาร ประเภทอาคารสำนักงาน มีประสิทธิภาพในการลดค่าการใช้ประหยัดพลังงานได้มากถึง 12%

##### 5.1.2 ความเหมาะสมของทิศทางการวางอาคาร

จากการทดลอง พบว่า ทิศตะวันออกมีความเหมาะสมในการออกแบบอาคารที่ใช้การบัง

แดดด้วยรูปทรงอาคารเพื่อประหยัดพลังงานมากที่สุด ใน 4 ทิศ รองลงมา คือ ทิศใต้และทิศตะวันตก ส่วนทิศเหนือไม่มีความจำเป็นในการออกแบบอาคารที่ใช้การบังแดดด้วยรูปทรงอาคาร

### 5.1.3 สัดส่วนช่องเปิดอาคาร

สัดส่วนช่องเปิด 20% ช่องเปิดอาคารมีขนาดเล็ก มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานน้อย สัดส่วนช่องเปิด 40%-100% ช่องเปิดอาคารที่เปิดมากขึ้น ทำให้การยื่นของกรอบอาคารส่งผลให้การลดใช้พลังงานอาคารชัดเจนมากขึ้น สรุปได้ว่า กรอบอาคารที่มีสัดส่วนช่องเปิดเพิ่มขึ้น การออกแบบอาคารที่ใช้การบังแดดด้วยรูปทรงอาคารจะมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานมากขึ้นด้วย

### 5.1.4 เปรียบเทียบอาคารที่ใช้การบังแดดด้วยรูปทรงอาคารกับอาคารติดตั้งแผงบังแดดและอาคารผนังเอียง

เมื่อพิจารณาค่าการใช้พลังงานของอาคารที่ใช้การบังแดดด้วยรูปทรงอาคารแล้ว สามารถกล่าวได้ว่า ที่สัดส่วนช่องเปิด 20%-80% การออกแบบอาคารที่ใช้การบังแดดด้วยรูปทรงอาคารมีประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานมากกว่าอาคารติดตั้งแผงบังแดดและอาคารผนังเอียงในทุกกระยะยื่นและทุกองศา แต่ที่สัดส่วนช่องเปิด 100% อาคารที่ติดตั้งแผงบังแดดประสิทธิภาพมากกว่าอาคารที่ใช้การบังแดดด้วยรูปทรงอาคารและผนังเอียงในทุกกระยะยื่นและทุกองศา

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ไม่ได้คำนึงถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการสร้างอาคารที่ใช้การบังแดดด้วยรูปทรงอาคารซึ่งเป็นตัวแปรหนึ่งในการเปรียบเทียบกับอาคารรูปแบบอื่น ๆ

## รายการอ้างอิง

- กระทรวงพลังงาน. (2554). *แนวโน้มการใช้ไฟฟ้าของอาคารสำนักงาน*. เอกสารประกอบการบรรยาย, กระทรวงพลังงาน.
- สมสิทธิ์ นิตยะ. (2541). *การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น (Tropical design environment)*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อริวัฒน์ อัครพิทยานนท์. (2553). *ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานในอาคารจากการประยุกต์ใช้ผนังเอียงในเขตร้อนชื้น*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง.
- ASHRAE Standard 90.1 (2007). *Energy standard for buildings except low-rise Residential Buildings (I-P edition)*. Atlanta: ASHRAE.
- Capeluto, I. G. (2003). Energy performance of the self-shading building envelope. *Energy and Buildings*, 35(3), 327-336.

การศึกษาความสามารถการรับน้ำหนักของโครงสร้างไผ่  
โดยวิธีการรวบลำเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบสถาปัตยกรรม  
The Study of Load Bearing Capacity of Bamboo Culm Bundles  
for the Design Applications in Architecture

ภัทธิตา พงศ์ธนา<sup>1</sup> และ ดร.สุปรีดี ฤทธิรงค์<sup>2</sup>

Phattita Pongthana<sup>1</sup> and Supreedee Rittironk, Ph. D.<sup>2</sup>

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: nan\_phatita@hotmail.com<sup>1</sup>, supreedee@ap.tu.ac.th<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

ไผ่ไผ่เป็นวัสดุที่เหมาะสมกับการนำมาใช้ในงานก่อสร้าง เนื่องจากไผ่เป็นพืชที่ขึ้นง่ายในทุกสภาวะอากาศและเติบโตเร็วจึงเป็นวัสดุทางเลือกที่ดีต่อสิ่งแวดล้อม การนำไผ่มาใช้ในการออกแบบโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมต้องมีการคำนึงถึงการรับน้ำหนักของอาคาร แต่ไผ่มีข้อจำกัดในเรื่องขนาดของลำไผ่ จึงต้องมีการเพิ่มลำไผ่โดยการใช่วิธีการรวบลำไผ่ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาความสามารถในการรับน้ำหนักของคานที่เกิดจากการรวบลำไผ่ให้เหมาะสมกับการรับน้ำหนักของอาคาร และเป็นแนวทางในการประยุกต์และเลือกใช้จำนวนลำและวิธีการรวบลำไผ่เพื่อใช้ในการออกแบบทางสถาปัตยกรรม การทดสอบกำหนดให้ใช้ไผ่ขางหม่น เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่พบได้มากในภาคเหนือและเป็นที่ยอมรับในการนำไปใช้ในการก่อสร้าง วิธีที่ใช้ในการรวบลำไผ่ประกอบด้วย ใช้ลิ่มและมัดด้วยเชือกไนลอน และนอตเกลียว จำนวนลำไผ่ที่ใช้ในการรวบ 1-4 ลำ โดยทดสอบตามมาตรฐาน ISO-22157 ในการรับน้ำหนักของคาน ปรากฏว่าจำนวนการรวบลำไผ่ และระยะของการรวบลำไผ่ที่เพิ่มขึ้นทำให้สามารถรับน้ำหนักได้เพิ่มขึ้น แต่วิธีการรวบไผ่โดยใช่วิธีการใช้นอตเกลียวสามารถรับน้ำหนักได้ดีกว่าการใช้ลิ่มและมัดด้วยเชือกไนลอน

### Abstract

Bamboo is a natural material. It can be used as an alternative construction material that can become friendly to the environment. In bamboo construction, we know that bamboo has the limit of each culm to carry the loads. So, in order for the structure to carry more loads, quantity of bamboo culms can be increased. Most common method is to put culms together called "bundling". The research is the experimental research that does the finding by testing the loading capacity of setting specimens. The bamboo specie is selected to be Pai Sang Mon (*Dendrocalamus Munro*) is a very common bamboo specie in northern Thailand that is used in construction. The variables in bundling methods are set to be 2 types. They are bamboo

dowels with nylon rope and nuts and bolts. The amount of bamboo columns used in bundling in order to test the load carrying capacity is one to four culms. The finding is to find load carrying capacity of bamboos by based on ISO-22157 standards (Determination of physical and mechanical properties of bamboo) The load carrying capacity of bamboo beams result appears to be highly increased if the amount of bamboo beam increases. The load carrying from the bundling method with nuts and bolts appears to be higher than the bundling method with be bamboo dowels with nylon rope.

**คำสำคัญ (Keywords):** การรวบลำไผ่ (Bamboo Bundle), วิธีการรวบลำไผ่ (Bamboo Bundling Method), การรับน้ำหนักของคานไผ่ (The Load Carrying Capacity of Bamboo Beams)

## 1. บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันสภาพอากาศและสิ่งแวดล้อมของโลกเปลี่ยนไป ทำให้เกิดแนวคิดในการออกแบบสถาปัตยกรรมที่คำนึงถึงการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้นเพื่อการอยู่ร่วมกับธรรมชาติอย่างยั่งยืน ไผ่เป็นพืชที่ขึ้นง่ายในทุกสภาวะอากาศ และเติบโตเร็วจึงสามารถนำไผ่มาใช้ประโยชน์ได้ภายในเวลา 1-4 ปี ไผ่มีคุณสมบัติพิเศษคือ ความแข็งแรง ความเหนียว การยืดหดตัว ความโค้งงอ และการสปริงตัว เป็นต้น งานวิจัยนี้จึงเห็นถึงความสำคัญของไผ่เพื่อนำมาพัฒนาและทดสอบเพื่อให้สามารถนำไผ่ไปใช้ในการออกแบบและงานก่อสร้างได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการออกแบบโครงสร้างคานที่ใช้ในการรับน้ำหนักในงานสถาปัตยกรรม ในปัจจุบันการออกแบบโครงสร้างคานโดยใช้ไผ่ยังไม่มีการทดสอบและการคำนวณการรับน้ำหนักของโครงสร้างอย่างมีมาตรฐาน ทำให้ในการออกแบบและการก่อสร้างมักจะมีการเผื่อไว้ก่อน

ทำให้โครงสร้างที่ใช้เกินความจำเป็นทั้งในด้านการใช้วัสดุ การรับน้ำหนัก และงบประมาณการก่อสร้าง จากทฤษฎีการออกแบบโครงสร้างคานขนาดของคานแปรผันตามขนาดของหน้าตัดและการรับน้ำหนักของอาคาร แต่ในการออกแบบอาคารโครงสร้างไม้ไผ่ ไผ่มีข้อจำกัดในเรื่องขนาดของลำไผ่ ทำให้ไม่สามารถรับน้ำหนักอาคารขนาดใหญ่ได้ ดังนั้นการที่จะเพิ่มขนาดของคานไผ่จึงต้องนำลำไผ่มารวบเพื่อให้มีความสามารถในการรับแรงเพิ่มขึ้น การทดสอบ จำนวนและวิธีการรวบลำไผ่ให้เหมาะสม สอดคล้องกับการรับน้ำหนักและง่ายต่อการนำไปเลือกใช้ในการออกแบบและการก่อสร้างงานสถาปัตยกรรม

### 1.2 ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงดัดของลำไผ่

การศึกษาความแข็งแรงดัดโค้งและอิทธิพลของข้อและปล้องของลำไม้ไผ่ป่า (*Bambusa arundinacea*, Willd) เปรียบเทียบกับไผ่ชางนวล (*Dendrocalamus strictus* Nees) อายุ 3-4 ปี ผลการทดสอบปรากฏว่าค่าความแข็งแรงในการดัด

ของลำไม้ไฟทั้งสองชนิดที่บริเวณปล้องอยู่ในระดับไม้เนื้ออ่อนทั่วไปคือ ต่ำกว่า 600 กก./ซม. แต่ค่าความแข็งแรงในการดัดที่บริเวณข้ออยู่ในระดับไม้เนื้อแข็งปานกลางคืออยู่ในระหว่าง 600-1,000 กก./ซม.<sup>2</sup> ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้อของไม้ไฟไม่มีอิทธิพลมากในการเพิ่มค่าความแข็งแรงดัดของลำไม้ไฟ แต่ข้อของไม้ไฟทั้งสองชนิดไม่มีอิทธิพลในการทำให้เกิดความแตกต่างทางสถิติของสัมประสิทธิ์ ไม้ไฟป่าและไม้ไฟชางนวลมีคุณสมบัติในการยืดหยุ่นสูงเมื่อเปรียบเทียบกับไม้ทั่วไปที่มีความแข็งแรงดัดในระดับเดียวกัน โดยไม้ไฟทั้งสองมีสัมประสิทธิ์ของการยืดหยุ่นสูงกว่าถึงสองถึงสามเท่า (มนตรี และ ศักดิ์พิชิต, 2528)

การศึกษาส่วนประกอบของคานไม้ไฟโดยใช้วิธีการรวบลำไม้โดยรวบลำไม้ 2-3 ลำ โดยใช้การเชื่อมต่อที่แตกต่างกัน คือ การเชื่อมต่อแบบลิ้มที่อยู่ภายในมีความแข็งแรงกว่าแบบเชื่อมต่อด้วยการนำลิ้มผ่านลำแล้วมัดด้วยลวดเหล็ก ทำให้ส่วนประกอบของคานแข็งแรงกว่าไฟ 2 หรือ 3 ลำที่ไม่มีการเชื่อมต่อ โดยกำหนดให้ส่วนประกอบของคานมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร และการรวมกันของลำไม้ทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น การเชื่อมไฟแบบ 2 ลำ ที่เชื่อมด้วย ท่อนไม้ หรือ ลิ้มที่อยู่ภายในมีความแข็งแรงกว่าไฟ 1 ลำแบบ 2 ลำ ที่เชื่อมด้วย ท่อนไม้ หรือ ลิ้มที่อยู่ภายในมีความแข็งแรงกว่าแบบเชื่อมต่อด้วยการนำลิ้มผ่านลำทั้งสองด้านอยู่ 15-20% การเชื่อมต่อแบบลิ้มที่อยู่ภายในมีความแข็งแรงกว่าแบบเชื่อมต่อด้วยการนำลิ้มผ่านลำ (Sjoerd, 2012)

## 2. ระเบียบวิธีวิจัย

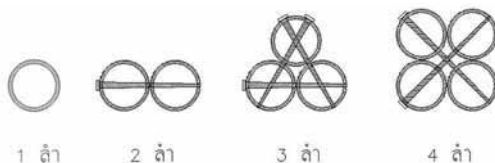
### 2.1 การกำหนดตัวแปร

#### 2.1.1 ตัวแปรต้น

1. จำนวนไม้ที่ใช้ในการรวบ (1,2,3,4)

#### 2. วิธีการรวบลำไม้

- 2.1 ลิ้มแล้วมัดด้วยเชือกไนลอน
- 2.2 นอตเกลียว



รูปที่ 1 วิธีการรวบลำไม้โดยใช้การเข้าลิ้มแล้วมัดด้วยเชือกไนลอนและนอตเกลียว

#### 2.3 ระยะห่างจากการรวบไป

กำหนดให้เว้นระยะจากปลายเสาทั้งสองข้าง ๆ ละ 15 เซนติเมตร กำหนดระยะห่างของการรวบไฟมีสัดส่วนการเว้นระยะเชื่อมต่อ 1/2L (60 เซนติเมตร) และ 1/3L (40 เซนติเมตร)

#### 2.1.2 ตัวแปรตาม

ประสิทธิภาพของการรับแรงดัดของคาน

#### 2.1.3 ตัวแปรควบคุม

##### 1. พันธุ์ไฟ

ไฟชางหม่น (*Dendrocalamus sericeus* Munro)

##### 2. ขนาด

2.1 ใช้ไฟที่มีอายุ 3-4 ปี ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 8-10 เซนติเมตร

2.2 ใช้ส่วนกลางถึงปลายลำในการทดสอบคาน

2.3 ความยาวไฟที่ใช้ในการทดสอบคานยาว 3 เมตร

2.4 เว้นระยะปลายทั้ง 2 ข้าง ๆ ละ 0.15 เมตร

##### 3. คุณภาพ ไม้มีคุณภาพดีไม่มีรอยแตก

##### 4. ไฟชางหม่นจากจังหวัดอุดรดิตถ์

### 3. วิธีกรวิจัย

การทดสอบคุณสมบัติทางการภาพและเชิงกล ตามมาตรฐาน ISO 22157 Determination of physical and mechanical properties of bamboo

#### 3.1 การทดสอบคุณสมบัติทางการภาพ

คุณสมบัติทางการภาพ ประกอบด้วย การทดสอบปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (moisture content) การทดสอบความหนาแน่น (density) และการทดสอบความถ่วงจำเพาะ (specific gravity)

#### 3.2 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

คุณสมบัติเชิงกล ประกอบด้วย การทดสอบแรงดึง (tension test) การทดสอบแรงอัด (compression test) การทดสอบแรงดัด (bending test) และการทดสอบแรงเฉือน (shear test)

#### 3.3 การทดสอบความสามารถในการรับ

##### น้ำหนักของคาน

การทดสอบคาน ความยาวไม้ 3 เมตร กำหนดระยะห่างของการรวบไม้มีสัดส่วนการเว้นระยะเชื่อมต่อ 1/2L (135 เซนติเมตร) และ 1/3L (90 เซนติเมตร)

### 4. ผลการวิจัย

#### 4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางการภาพ

##### และเชิงกล

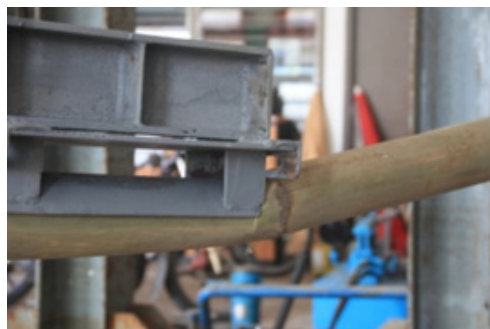
จากการทดสอบปรากฏว่าส่วนโคนของลำไม้และความหนาของเนื้อไม้ที่หนามากมีผลทำให้คุณสมบัติเชิงกลสูงมากขึ้น

#### ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางการภาพและเชิงกล

คุณสมบัติทางการภาพ	
1. ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (%)	12.30
2. ค่าความหนาแน่น (kg/cm <sup>3</sup> )	711.76
3. ค่าความถ่วงจำเพาะ (%)	69.83
คุณสมบัติเชิงกล	
4. ความเค้นดึงสูงสุด (kg/cm <sup>2</sup> )	1,521.27
5. ความเค้นอัดสูงสุด (kg/cm <sup>2</sup> )	267.84
6. ความเค้นเฉือนสูงสุด (kg/cm <sup>2</sup> )	263.62
7. ความเค้นดัดสูงสุด (kg/cm <sup>2</sup> )	794.24
8. ค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่น (kg/cm <sup>2</sup> )	27,436.62

#### 4.2 ผลการทดสอบการรับน้ำหนักของคานโดยใช้วิธีการรวบลำไม้

จากการทดสอบคุณสมบัติการรับแรงดัดของการรวบลำไม้มีการลักษณะการวิบัติของวัสดุมี 2 แบบ คือ การวิบัติแบบแรงเฉือน (local crushing) และการวิบัติที่มีรอยแตกตามความยาว (splitting)



รูปที่ 2 ลักษณะการวิบัติแบบ Local crushing





รูปที่ 3 ลักษณะการวิบัติแบบ Splitting

### ตารางที่ 2 คุณสมบัติกำลังรับแรงดัดของไม้ 1 ลำ

#### ไม้ 1 ลำ

1. โมเมนต์อินเนอร์เซีย (I) (cm <sup>4</sup> )	252.61
2. แรงดัดเฉลี่ย (Fult) (kg.)	855.73
3. $\sigma_{ult}$ เฉลี่ย (kg/cm <sup>2</sup> )	794.24

### ตารางที่ 3 คุณสมบัติกำลังรับแรงดัดของการรวบลำไม้โดยการเข้าลิ้มแล้วมัดด้วยเชือกไนลอน

#### การรวบลำไม้ 2 ลำ

##### ระยะการเชื่อมต่อนี้ 1/2 ของความยาว

1. โมเมนต์อินเนอร์เซีย (I) (cm <sup>4</sup> )	422.15
2. แรงดัดเฉลี่ย (Fult) (kg.)	1750.55
3. $\sigma_{ult}$ เฉลี่ย (kg/cm <sup>2</sup> )	925.15

##### ระยะการเชื่อมต่อนี้ 1/3 ของความยาว

1. โมเมนต์อินเนอร์เซีย (I) (cm <sup>4</sup> )	212.24
2. แรงดัดเฉลี่ย (Fult) (kg.)	1008.65
3. $\sigma_{ult}$ เฉลี่ย (kg/cm <sup>2</sup> )	511.89

#### การรวบลำไม้ 3 ลำ

##### ระยะการเชื่อมต่อนี้ 1/2 ของความยาว

1. โมเมนต์อินเนอร์เซีย (I) (cm <sup>4</sup> )	2383.98
2. แรงดัดเฉลี่ย (Fult) (kg.)	2417.50
3. $\sigma_{ult}$ เฉลี่ย (kg/cm <sup>2</sup> )	246.70

##### ระยะการเชื่อมต่อนี้ 1/3 ของความยาว

1. โมเมนต์อินเนอร์เซีย (I) (cm <sup>4</sup> )	2058.77
2. แรงดัดเฉลี่ย (Fult) (kg.)	2900.95
3. $\sigma_{ult}$ เฉลี่ย (kg/cm <sup>2</sup> )	328.93

#### การรวบลำไม้ 4 ลำ

##### ระยะการเชื่อมต่อนี้ 1/2 ของความยาว

1. โมเมนต์อินเนอร์เซีย (I) (cm <sup>4</sup> )	2874.09
2. แรงดัดเฉลี่ย (Fult) (kg.)	2284.13
3. $\sigma_{ult}$ เฉลี่ย (kg/cm <sup>2</sup> )	178.21

##### ระยะการเชื่อมต่อนี้ 1/3 ของความยาว

1. โมเมนต์อินเนอร์เซีย (I) (cm <sup>4</sup> )	3018.66
2. แรงดัดเฉลี่ย (Fult) (kg.)	2106.27
3. $\sigma_{ult}$ เฉลี่ย (kg/cm <sup>2</sup> )	153.16

### ตารางที่ 4 คุณสมบัติกำลังรับแรงดัดของการรวบลำไม้โดยการใช้เชือกไนลอน

#### การรวบลำไม้ 2 ลำ

##### ระยะการเชื่อมต่อนี้ 1/2 ของความยาว

1. โมเมนต์อินเนอร์เซีย (I) (cm <sup>4</sup> )	191.69
2. แรงดัดเฉลี่ย (Fult) (kg.)	1225.40
3. $\sigma_{ult}$ เฉลี่ย (kg/cm <sup>2</sup> )	702.53

##### ระยะการเชื่อมต่อนี้ 1/3 ของความยาว

1. โมเมนต์อินเนอร์เซีย (I) (cm <sup>4</sup> )	213.43
2. แรงดัดเฉลี่ย (Fult) (kg.)	1342.15
3. $\sigma_{ult}$ เฉลี่ย (kg/cm <sup>2</sup> )	683.89

#### การรวบลำไม้ 3 ลำ

##### ระยะการเชื่อมต่อนี้ 1/2 ของความยาว

1. โมเมนต์อินเนอร์เซีย (I) (cm <sup>4</sup> )	2085.08
2. แรงดัดเฉลี่ย (Fult) (kg.)	1275.40
3. $\sigma_{ult}$ เฉลี่ย (kg/cm <sup>2</sup> )	248.18

ระยะการเชื่อมต่อ 1/3 ของความยาว	
1. โมเมนต์อินเนอร์เซีย (I) (cm <sup>4</sup> )	1903.50
2. แรงดัดเฉลี่ย (Fult) (kg.)	1658.85
3. $\sigma_{ult}$ เฉลี่ย (kg/cm <sup>2</sup> )	328.81

#### การรวบลำไ้ 4 ลำ

ระยะการเชื่อมต่อ 1/2 ของความยาว	
1. โมเมนต์อินเนอร์เซีย (I) (cm <sup>4</sup> )	3108.66
2. แรงดัดเฉลี่ย (Fult) (kg.)	2106.27
3. $\sigma_{ult}$ เฉลี่ย (kg/cm <sup>2</sup> )	153.16

ระยะการเชื่อมต่อ 1/3 ของความยาว	
1. โมเมนต์อินเนอร์เซีย (I) (cm <sup>4</sup> )	4035.35
2. แรงดัดเฉลี่ย (Fult) (kg.)	2261.90
3. $\sigma_{ult}$ เฉลี่ย (kg/cm <sup>2</sup> )	129.25

การเพิ่มลำไ้มีผลทำให้ความสามารถในการรับแรงดัดเพิ่มมากขึ้นแต่กำลังรับแรงดัดลดลง แสดงให้เห็นว่าขนาดหน้าตัดของคานมีผลต่อการรับแรงดัด คือหน้าตัดคานที่มีขนาดเล็กมีความแข็งแรงมากกว่าหน้าตัดขนาดใหญ่

### 5. สรุปผลการวิจัย

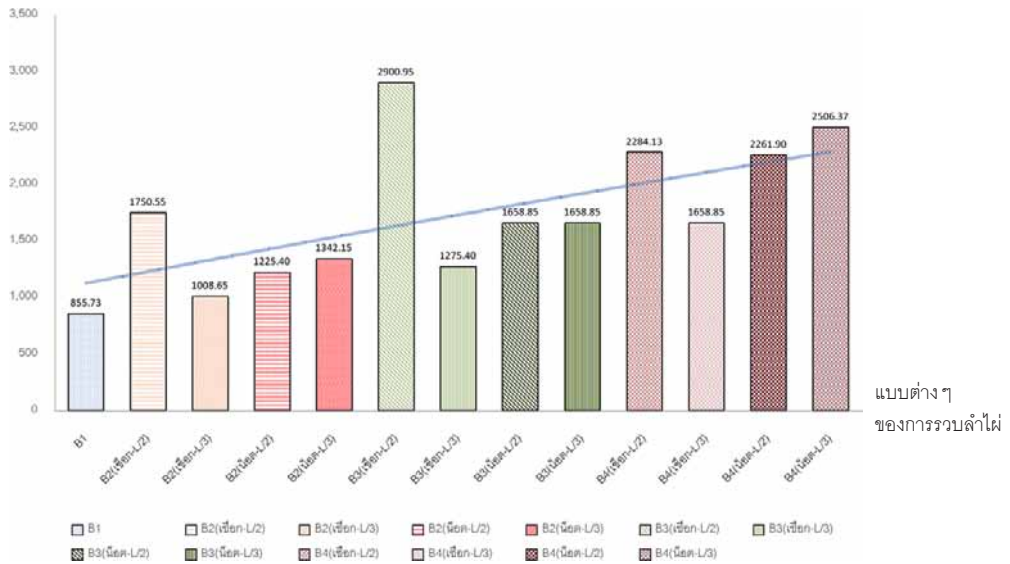
การรวบลำไ้โดยใช้วิธีการเชื่อมด้วยนอตเกลียวสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าวิธีการเข้าลิ้มแล้วมัดด้วยเชือกไนลอน เนื่องจากนอตเกลียวมีหัวนอตปิดปลายทั้งสองด้านช่วยรัดลำไ้ที่รวบไว้ให้แน่นยิ่งขึ้นทำให้การทำงานเป็นระบบมากขึ้น และระยะห่างของการเชื่อมต่อระยะ 1/3 ของความยาวคานมีความสามารถในการรับน้ำหนักได้ดีกว่าระยะห่างของการเชื่อมต่อ 1/2 ของความยาวคานอย่างไม่มีนัยสำคัญ

จากความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดสูงสุดและแบบต่าง ๆ ของการรวบลำไ้ ดังรูปที่ 6 การรวบลำไ้โดยใช้วิธีการเข้าลิ้มแล้วมัดด้วยเชือกไนลอนที่มีระยะห่างของการเชื่อมต่อ 1/2 ของความยาวคานมีความสามารถในการรับน้ำหนักได้ดีกว่าระยะห่างของการเชื่อมต่อ 1/3 ของความยาวคานอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการเข้าลิ้มแล้วมัดด้วยเชือกไนลอนจึงไม่ได้ช่วยคานรับแรงอย่างเป็นระบบ และการรวบลำไ้ที่มีระยะห่างของการเชื่อมต่อ 1/2 ของความยาวคาน บริเวณจุดที่ถ่ายน้ำหนักไม่ลงตรงจุดเชื่อมต่อของลำไ้ ทำให้ไม่เกิดแรงเฉือนขึ้น ณ บริเวณนั้นจึงทำให้สามารถรับแรงดัดได้มากยิ่งขึ้น แต่การรวบลำไ้ที่มีระยะห่างของการเชื่อมต่อ 1/3 ของความยาวคาน บริเวณจุดที่ถ่ายน้ำหนักลงตรงจุดเชื่อมต่อของลำไ้พอดี ดังรูปที่ 4 ทำให้เกิดแรงเฉือนขึ้นในบริเวณนั้นจนทำให้วัสดุและจุดเชื่อมต่อเกิดการวิบัติก่อนส่วนอื่น ๆ



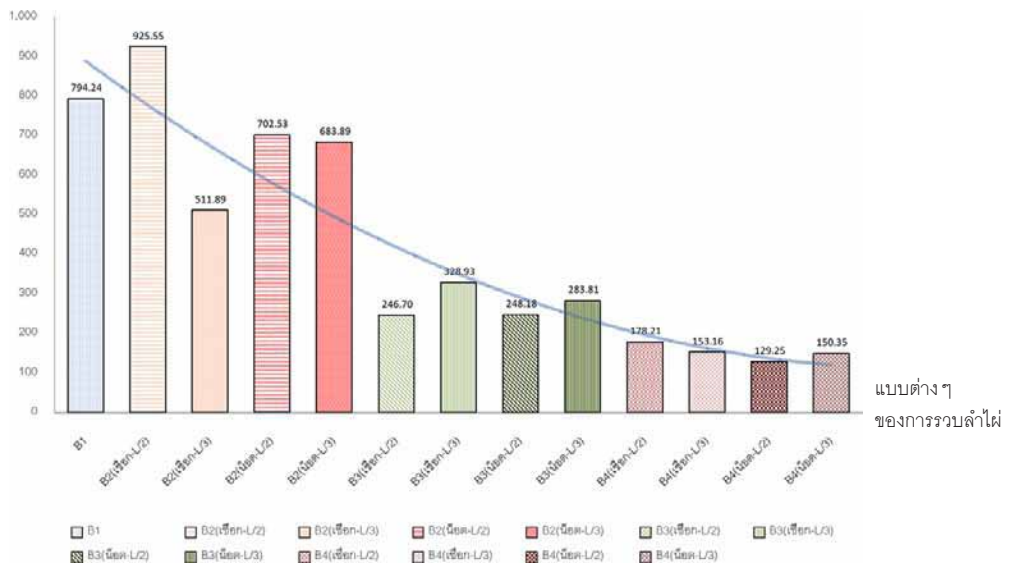
รูปที่ 4 การรวบลำไ้ที่มีระยะห่างของการเชื่อมต่อ 1/3 ของความยาวคาน บริเวณจุดที่ถ่ายน้ำหนักลงตรงจุดเชื่อมต่อของลำไ้

แรงดัดสูงสุด (กิโลกรัม)



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดสูงสุดและแบบต่างๆ ของการรวมลำไฟ

กำลังรับแรงดัดสูงสุด (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)

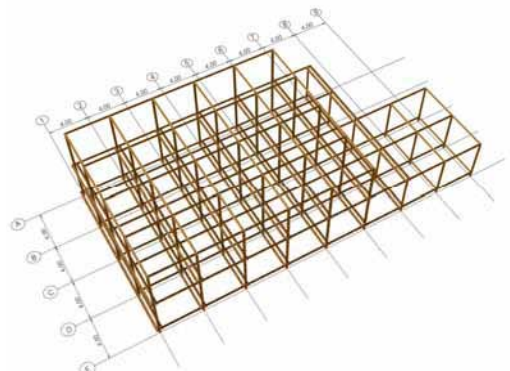


รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการรับดัดสูงสุดและแบบต่างๆ ของการรวมลำไฟ

จากรูปที่ 5-6 สรุปว่า การรवलำไฟโดยใช้วิธีการเชื่อมด้วยนอตเกลียวสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าวิธีการเข้าลิ้มแล้วมัดด้วยเชือกในลอน การรवलำไฟด้วยนอตเกลียวระยะห่างของการเชื่อมต่อระยะ  $1/3$  ของความยาวคานมีความสามารถในการรับน้ำหนักได้ดีกว่าระยะห่างของการเชื่อมต่อ  $1/2$  ของความยาวคาน แต่การรवलำไฟการรवलำไฟโดยใช้วิธีการเข้าลิ้มแล้วมัดด้วยเชือกในลอนที่มีระยะห่างของการเชื่อมต่อ  $1/2$  ของความยาวคานมีความสามารถในการรับน้ำหนักได้ดีกว่าระยะห่างของการเชื่อมต่อ  $1/3$  ของความยาวคาน

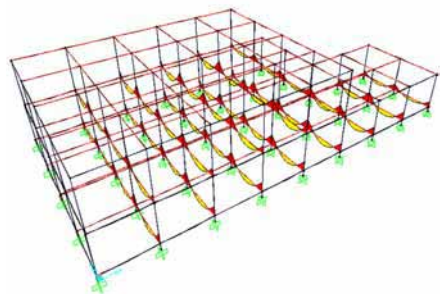
การรवलำไฟโดยใช้วิธีการเชื่อมลำไฟทั้ง 2 แบบ คือวิธีการเข้าลิ้มแล้วมัดด้วยเชือกในลอน และวิธีการเชื่อมด้วยนอตเกลียว การเชื่อมลำไฟ (connection) ไม่ช่วยให้การรवलำไฟสามารถรับน้ำหนักอย่างเป็นระบบ การใช้งานควรตรวจสอบการหดตัวของลำไฟเนื่องจากส่งผลให้เชือกในลอนและนอตเกลียวเกิดการคลายตัว ดังนั้นจึงต้องมัดเชือกและขันนอตเกลียวให้แน่นอยู่เสมอ และวัสดุที่ใช้รवलำไฟควรใช้วัสดุที่สามารถปรับขนาดได้ และมีค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่นสูงจะช่วยให้สามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้น

การจำลองอาคารสาธารณะขนาดเล็ก โดยใช้การรवलำไฟเป็นโครงสร้างในการออกแบบ มีลักษณะการใช้งานประกอบด้วยพื้นที่จัดแสดงนิทรรศการและร้านอาหาร 2 ชั้น ระยะช่วงพาด 4x4 เมตร อาคารสูงชั้นละ 4 เมตร การออกแบบโครงสร้างคานออกแบบโดยใช้โปรแกรม SAP 2000 ในการช่วยคำนวณค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด(M) นำค่าที่ได้มาคำนวณออกแบบขนาดหน้าตัดของคาน



รูปที่ 7 การจำลองโครงสร้างเพื่อหาค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด โดยการใช้โปรแกรม

จากผลการคำนวณการออกแบบโครงสร้างเสาคาน การออกแบบโครงสร้างคาน กำหนดให้คานชั้นหลังคาและคานชั้น 1 และ 2 ในแนวนอน ใช้คานไม้ 2 ลำโดยใช้วิธีการรवलำไฟด้วยนอตเกลียวและเว้นระยะการเชื่อมต่อ  $1/3$  ของความยาวคาน และคานชั้น 1 และ 2 ในแนวตั้งใช้คานคู่ 4 ลำโดยใช้วิธีการรवलำไฟด้วยนอตเกลียวและเว้นระยะการเชื่อมต่อ  $1/3$  ของความยาวคาน



รูปที่ 8 ผลการออกแบบโครงสร้างอาคารจากการคำนวณ



รูปที่ 9 ผลการออกแบบอาคารสาธารณะขนาดเล็ก

## รายการอ้างอิง

- มนตรี พรหมโชติกุล และศักดิ์พิชิต จุลฤกษ์. (2528). *ความแข็งแรงดัดของไม้ไผ่*. เอกสารการสัมมนาเรื่องไม้ไผ่ ครั้งที่ 1, 199 - 205. คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เอกลักษณ์ คงยนตร์. (2554). *พฤติกรรมการรับแรงดัดของลำไม้ไผ่ดง*. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์.
- มนัส อนุศิริ. (2545). *การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก* (ครั้งที่ 8). กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- วินิต ช่อวิเชียร. (2545). *การออกแบบโครงสร้างไม้* (ครั้งที่ 8). กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด ป. สัมพันธ์พาณิชย์.
- Chung, K. F. and Yu, W. K. (2002). Mechanical properties of structure bamboo for bamboo scaffoldings. *Journal of Engineering*, 6(4), 275 - 281.

- ISO. (2004). *Bamboo-Determination of Physical and Mechanical Properties ISO 22157-1:2004(E)*. Switzerland: International Organization for Standardization.
- Malanit, P. (2009). *The Suitability of Dendrocalamus asper Basker for Oriented Strand Lumber*. Doctor of Philosophy's thesis, University of Hamburg. Hamburg.
- Nienhuys, S. (2012). *Thin Bamboo Culms for Trusses-Use of Two and Three Culms in Composite Beams*. Nienhuys (November 17, 2012).

แนวทางการเพิ่มศักยภาพการใช้แสงธรรมชาติสำหรับอาคารสำนักงาน  
ตามเกณฑ์ประเมินอาคารเขียวในกลุ่มประเทศอาเซียน  
Guidelines for Enhanced Daylight Performance of Office Building  
Based on ASEAN Green Building Rating Systems

ปุกนิกา ทรัพย์เจริญ<sup>1</sup> และ ดร. จตุวัฒน์ วโรดมพันธ์<sup>2</sup>

Punika Subcharoen<sup>1</sup> and Jatuwat Varodompun, Ph.D.<sup>2</sup>

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: pinkpunika@gmail.com<sup>1</sup>, vjatuwat@umich.edu<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันเกณฑ์ประเมินอาคารเขียวในประเทศต่าง ๆ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะกลุ่มประเทศในแถบอาเซียน เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของกระแสแนวคิดอาคารเขียว ส่งผลดีต่อปริมาณการใช้พลังงานที่ลดลง คำนึงถึงการใช้พลังงานจากธรรมชาติมากขึ้น แสงธรรมชาติที่ได้จากดวงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการใช้งานในเวลากลางวัน สามารถทดแทนการใช้พลังงานสิ้นเปลืองจากแสงประดิษฐ์ได้ โดยงานวิจัยประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ การศึกษาเกณฑ์การประเมินอาคารเขียว ในหัวข้อแสงธรรมชาติ ของเกณฑ์ประเมินอาคารเขียว LEED BERDE GREENSHIP GREENMARK TREES GBI และ LOTUS และการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้แสงธรรมชาติภายในอาคารตามแต่ละเกณฑ์การประเมิน ซึ่งการทดลองเป็นการจำลองสภาพด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DIALux 4.10 เพื่อหาค่าความสว่างของแสงและค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติภายในอาคาร จากการศึกษาพบว่า เกณฑ์ประเมินในอาเซียนมีลักษณะการประเมินที่คล้ายกัน โดยที่แยกออกเป็น 2 กลุ่มคือ การประเมินจากค่าความสว่าง ได้แก่ LEED GREENSHIP GREEN MARK และ BERDE และการประเมินด้วยค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติ ได้แก่ TREES GBI และ LOTUS โดยที่อัตราส่วนช่องเปิดต่อผนังที่ 40% ค่าการส่องผ่านแสง 0.53 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงภายในของฝ้า ผนัง พื้น เท่ากับ 80%, 60% และ 40% ตามลำดับ มีพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติที่ผ่านเกณฑ์ LEED BERDE และ GREENSHIP แต่ไม่สามารถผ่านเกณฑ์ TREES GBI และ LOTUS ที่ต้องมีอัตราส่วนช่องเปิดที่ 50% ค่าการส่องผ่านของแสง 0.66 และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงภายในของฝ้า ผนัง พื้น เท่ากับ 80%, 40% และ 40% สำหรับกรณีขั้นต่ำ ถึงจะผ่านเกณฑ์ ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัยนี้ เป็นประโยชน์โดยตรงต่อสถาปนิกในการออกแบบ ทั้งการเลือกขนาดช่องเปิดที่สัมพันธ์กับค่าการส่องผ่านของแสงของกระจก และค่าการสะท้อนแสงภายในที่เหมาะสมในแต่ละทำเลที่ตั้งในภูมิภาคอาเซียน เพื่อช่วยในการประหยัดพลังงานในส่วนของระบบแสงสว่าง และเป็นแนวทางการทำคะแนนให้กับอาคารที่ต้องการเข้าร่วมประเมินเป็นอาคารเขียวตามแต่ละเกณฑ์ประเมินอาคารเขียวในประเทศอาเซียน

## Abstract

Nowadays, other countries are increasing the rules and regulation relating to Green Building Rating Systems. Especially, green building concept is continuing expansion in ASEAN countries. This reflects in the reduction of power, planning for energy efficiency and use of natural light for the day time instead of artificial light. This research comprises of two parts. The first part is the study relating to the daylight under the rules and regulations of LEED BERDE GREENSHIP GREENMARK TREES GBI and LOTUS and the second part is the comparison of efficiency use of daylight in different building according to factors. In this part, it shows simulation research result from energy software DIALux 4.10 which indicates illuminance and daylight factor. From the research, it appears that the rating system in ASEAN is similar to the LEED TREES GBI GREENSHIP GREEN MARK BERDE and LOTUS. It has two categories for the evaluation which are (i) illuminance factor which was used by LEED GREENSHIP GREENMARK and BERDE; and (ii) TREES GBI and LOTUS use the daylight factor for the evaluation. Concerning the 40 % Window to Wall Ratio, Visible Light Transmittance of 0.53, and Reflection Coefficient of 80%, 60%, and 40% for ceiling, wall, and floor, respectively, it shows that all the regularly occupied spaces pass the LEED standards, BERDE and GREENSHIP. However, the above figure does not pass the criteria under the standard of TREES GBI and LOTUS. In order to meet such standard, It requires 50% Window to Wall Ratio, Visible Light Transmittance of 0.66, and Reflection Coefficient of 80%, 40%, and 40% for ceiling, wall, and floor, respectively, as the minimum requirement. This research is benefit for the architect professional in relation to the design, the use of Window to Wall Ratio and Visible Light Transmittance, and reflectance that will proper for each location in ASEAN. Also, it helps in energy saving concerning the lighting system and it can be a tool for each building in order to meet the criteria under the Green Building Rating Systems in ASEAN.

**คำสำคัญ (Keywords):** แสงธรรมชาติ (Daylight), ตัวประกอบแสงธรรมชาติ (Daylight Factor), ความสว่าง (Illuminance), เกณฑ์การประเมินอาคารเขียว (Green Building Rating Systems), LEED, BERDE, GREENSHIP, TREES, GBI, LOTUS



## 1. ที่มาและความสำคัญ

กระแสการตื่นตัวของสังคมไทยในปัจจุบันกับการเปิดประชาคมอาเซียน (ASEAN Community) ผู้การเป็นชุมชนเศรษฐกิจอย่างแท้จริงในปี 2015 หรือที่เรียกว่าสั้น ๆ ว่า AEC (ASEAN Economic Community: AEC) โดยมีประเทศสมาชิก 10 ประเทศ เพื่อให้อาเซียนมีการเคลื่อนย้ายแรงงานฝีมืออย่างเสรี สถาปนิกเป็นหนึ่งในวิชาชีพที่สามารถทำได้ และอีกหนึ่งกระแสที่เกี่ยวข้องกับวิชาชีพโดยตรงคือ กระแสอาคารเขียวเริ่มมีบทบาทมากขึ้นทั้งในประเทศไทย และประเทศสมาชิกอาเซียน เกิดการรวมกลุ่ม องค์กร เพื่อจัดทำเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวสำหรับการใช้พลังงานที่ยั่งยืน ดังนั้นการศึกษาเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวของแต่ละประเทศสมาชิกในกลุ่มอาเซียน ถือเป็นการพัฒนาองค์ความรู้อีกด้านหนึ่งของสถาปนิก เพื่อการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสถาปัตยกรรมสีเขียว (Green Architecture) ให้เข้าใจตั้งแต่กรอบแนวคิดหลักไปจนถึงการประยุกต์แนวความคิดสีเขียวเข้าสู่กระบวนการในการออกแบบ

## 2. ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงธรรมชาติ

การศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับแสงธรรมชาตินั้น มีผลในการกำหนดตัวแปรเพื่อประเมินค่าความสว่างของแสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคาร โดยอัตราส่วนช่องเปิดต่อผนังที่ที่เหมาะสมในแต่ละทิศเท่ากับ 20 - 40% (เกษียร ธรานนท์, 2551) และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของระนาบฝ้าเพดานจะส่งผลต่อการสะท้อนแสงจากภายนอกเข้าสู่ภายในมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นและผนัง (สุพรรณิ สุพรรณสมบุรณ์, 2544)

## 2.2 เกณฑ์การประเมินอาคารเขียว

สรุปเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวตามรูปแบบของการประเมินที่มีด้วยกัน 2 แบบ คือ

### 2.2.1 เกณฑ์การประเมินอาคารเขียวในรูปแบบของการประเมินค่าความส่องสว่าง (lux)

โดยจะใช้เกณฑ์ LEED เป็นตัวอ้างอิงในการดำเนินการทดลอง ประกอบไปด้วยเกณฑ์ LEED, GREENSHIP และ BERDE โดยการประเมิน จะประเมินค่าความส่องสว่างที่ 10 fc หรือ 108 lux และ 300 lux สำหรับ GREENSHIP และ BERDE

### 2.2.2 เกณฑ์การประเมินอาคารเขียวในรูปแบบของการประเมินค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติ (DF)

ประกอบไปด้วยเกณฑ์ TREES, GBI และ LOTUS โดยที่เกณฑ์การประเมินทั้ง 3 เกณฑ์มีลักษณะการประเมินผลเหมือนกันทุกประการ และการประเมินจะประเมินค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติที่ 2% สำหรับ TREES และ 1.5% -3.5% สำหรับ GBI และ 1%-3.5% สำหรับ LOTUS

## 3. ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงจำลองสถานการณ์จริง (simulation research) มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาแนวทางการเพิ่มศักยภาพการใช้แสงธรรมชาติสำหรับอาคารสำนักงานแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ขั้นตอนหลัก คือ

### 3.1 ศึกษาเกณฑ์การประเมินอาคารเขียว

รวบรวมเนื้อหาการประเมินในหัวข้อของแสงธรรมชาติโดยเฉพาะของแต่ละเกณฑ์ประเมินอาคารเขียว เพื่อวิเคราะห์แนวทางในการประเมินแสงธรรมชาติที่คล้ายกันของแต่ละเกณฑ์

### 3.2 แนวทางการประเมินแสงธรรมชาติ

จำลองรูปแบบที่ใช้อ้างอิงในแต่ละกรณีศึกษา เพื่อศึกษาหาค่าความส่องสว่าง ค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติ และพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติ โดยจำลองผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DIALux 4.10 เพื่อเปรียบเทียบกรณีที่ผ่านมาเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวที่ได้จากขั้นตอนที่ 1

## 4. ผลการทดลอง

### 4.1 การวิเคราะห์เกณฑ์การประเมินอาคารเขียว

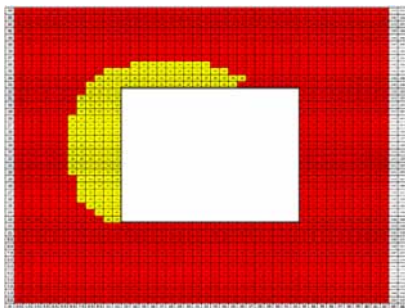
ขั้นตอนที่ 1 รวบรวมเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวในอาเซียน โดยที่สรุปไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางสรุปแนวทางการวิเคราะห์ผลการทดลองปริมาณแสงธรรมชาติของแต่ละเกณฑ์การประเมินอาคารเขียว

เกณฑ์การประเมิน	การวิเคราะห์ผล
LEED	$E > 10 \text{ fc}$ , พื้นที่ $\geq 75\%$
BERDE GREENSHIP	$E > 300 \text{ lux}$ , พื้นที่ $\geq 30\%$
TREES	$DF > 2\%$ , พื้นที่ $\geq 45\%$
GBI	$3.5\% \geq DF \geq 1.5\%$ , พื้นที่ $\geq 30\%$
LOTUS	$3.5\% \geq DF \geq 1.0\%$ , พื้นที่ $\geq 50\%$

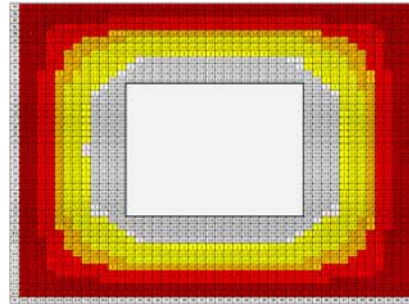
### 4.2 การประเมินแสงธรรมชาติภายในอาคาร

#### 4.2.1 ประเมินด้วยค่าความสว่าง



รูปที่ 2 การเก็บข้อมูลของการประเมินค่าความสว่าง  
■ 108 – 300 lux    ■ 301 - 5400 lux

#### 4.2.2 ประเมินด้วยค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติ

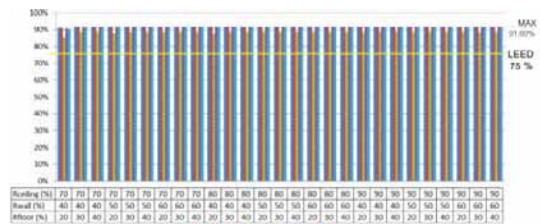


รูปที่ 3 การเก็บข้อมูลของการประเมินค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติ  
■ 1 – 1.49 DF    ■ 1.5 – 1.99 DF  
■ 2 – 3.5 DF    ■ > 3.5 DF

### 4.3 วิเคราะห์ผล

จากการประเมินแสงธรรมชาติแล้ว จึงทำการรวบรวมผลเพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบปริมาณพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติเพื่อหากรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ประเมินต่างๆ นำไปใช้เป็นแนวทางในการประเมินแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ประเมินอาคารเขียว

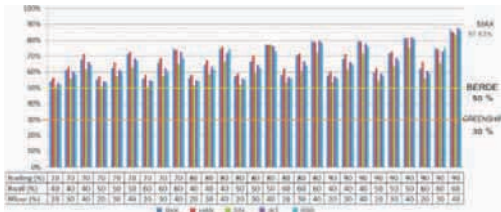
#### 4.3.1 เกณฑ์ประเมิน LEED



รูปที่ 4 ปริมาณพื้นที่ตามการประเมินเกณฑ์ LEED

กรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ LEED มีทั้งหมด 243 กรณี โดยที่ WWR 40, 50 และ 60 ค่า VLT 0.53, 0.66 และ 0.74 รวมถึง  $\rho_{\text{CEILING}}$  70–90%,  $\rho_{\text{WALL}}$  40–60%,  $\rho_{\text{FLOOR}}$  20–30% สามารถผ่านการประเมิน

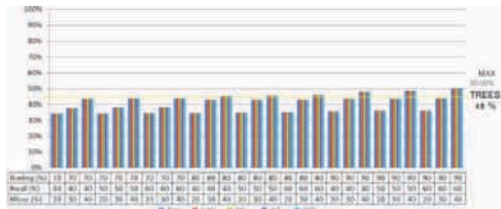
4.3.2 เกณฑ์ประเมิน BERDE และ GREENSHIP



รูปที่ 5 ปริมาณพื้นที่ตามการประเมินเกณฑ์ BERDE และ GREENSHIP

กรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ BERDE และ GREENSHIP มีทั้งหมด 209 กรณี โดยที่ WWR 40, 50 และ 60 ค่า VLT 0.53, 0.66 และ 0.74 รวมถึงค่า  $\rho_{\text{CEILING}}$  80–90%,  $\rho_{\text{WALL}}$  60%,  $\rho_{\text{FLOOR}}$  40% สามารถผ่านการประเมิน

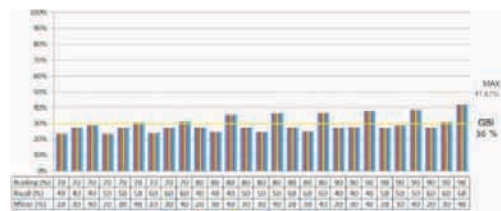
4.3.3 เกณฑ์ประเมิน TREES



รูปที่ 6 ปริมาณพื้นที่ตามการประเมินเกณฑ์ TREES

กรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ TREES มีทั้งหมด 45 กรณี โดยที่ WWR 50 และ 60 ค่า VLT 0.66 และ 0.74 รวมถึงค่า  $\rho_{\text{CEILING}}$  80–90%,  $\rho_{\text{WALL}}$  50–60 %,  $\rho_{\text{FLOOR}}$  40% สามารถผ่านการประเมิน

4.3.4 เกณฑ์ประเมิน GBI



รูปที่ 7 ปริมาณพื้นที่ตามการประเมินเกณฑ์ GBI

กรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ GBI มีทั้งหมด 44 กรณี โดยที่ WWR 40, 50 และ 60 ค่า VLT 0.66 และ 0.74 รวมถึง  $\rho_{\text{CEILING}}$  80–90%,  $\rho_{\text{WALL}}$  60%,  $\rho_{\text{FLOOR}}$  40% สามารถผ่านการประเมิน

4.3.5 เกณฑ์ประเมิน LOTUS



รูปที่ 8 ปริมาณพื้นที่ตามการประเมินเกณฑ์

กรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ LOTUS มีทั้งหมด 52 กรณี โดยที่ WWR 40, 50 และ 60 ค่า VLT 0.66 และ 0.74 รวมถึงค่า  $\rho_{\text{CEILING}}$  70–90%,  $\rho_{\text{WALL}}$  50 - 60%,  $\rho_{\text{FLOOR}}$  40% สามารถผ่านการประเมิน

5. ข้อเสนอจากการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 ข้อเสนอจากการศึกษาวิจัย

5.1.1 ทำเลที่ตั้ง

สิงคโปร์จะมีพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับเมืองหลวงอื่นของเกณฑ์ BERDE และ GREENSHIP ส่วนเกณฑ์อื่น ๆ ทำเลที่ตั้งไม่มีผลต่อปริมาณพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติ

5.1.2 อัตราส่วนช่องเปิดต่อผนังที่ป (WWR)

เลือกใช้ค่า WWR 50% เป็นอย่างต่ำจะสามารถผ่านเกณฑ์ประเมินทุกเกณฑ์ของอาเซียน

5.1.3 ค่าการส่งผ่านของแสง (VLT)

ค่า VLT ยิ่งสูง จะทำให้แสงผ่านเข้ามาได้มากยิ่งขึ้น แต่ก็ขึ้นอยู่กับขนาดของ WWR ที่เลือกใช้ด้วย สำหรับการทดลองนี้ การเลือกใช้ค่า VLT

= 0.66 และ 0.74 จะสามารถผ่านการประเมิน สำหรับกรณีของ WWR 50 และ WWR 60

### 5.1.4 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงภายใน

$\rho_{\text{FLOOR}}$  มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณ พื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติมากที่สุด รองลงมาคือ ค่า  $\rho_{\text{CEILING}}$  และน้อยที่สุดคือค่า  $\rho_{\text{WALL}}$  โดยที่ค่าที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานมากที่สุดคือ

- ค่า  $\rho_{\text{CEILING}} = 80 - 90 \%$
- ค่า  $\rho_{\text{WALL}} = 50 - 60 \%$
- ค่า  $\rho_{\text{FLOOR}} = 40 \%$

### 5.1.5 เปรียบเทียบพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติ

ตามเกณฑ์การประเมินอาคารเขียว

จากผลการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปกรณีที่ผ่านการประเมินแสงธรรมชาติในทุกเกณฑ์ประเมินอาคารเขียว ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แนวทางการประเมินแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ LEED, BERDE, GREENSHIP, TREES, GBI, LOTUS

WWR	VL	$\rho_{\text{CEILING}}$	$\rho_{\text{WALL}}$	$\rho_{\text{FLOOR}}$
50	0.66	80-90	40-50-60	40
	0.74	80 90	50-60 40-50-60	
60	0.53	90	50-60	40
		70	40-50-60	40
		80		40
	0.66	90	40-50-60	40 (30; $\rho_{w60}$ )
		70	50-60	40
		80	40-50-60	40 (30; $\rho_{w60}$ )
90				

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยชิ้นนี้ เป็นการศึกษาปริมาณแสงที่ได้ธรรมชาติเพียงอย่างเดียว ไม่ได้มีการศึกษาร่วมกับการใช้แสงประดิษฐ์ภายใน รวมถึงค่าพลังงานไฟฟ้าที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการลดการใช้แสงประดิษฐ์

### รายการอ้างอิง

เกษียร ธรานนท์. (2551). ผลของความร้อนที่เกิดจากการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารโดยผ่านช่องหน้าต่างกระจกด้านข้าง. รายงานวิจัย, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

คณะอนุกรรมการการจัดทำหลักเกณฑ์การประเมินอาคารเขียว. (2553). เกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทยสำหรับการก่อสร้างและการปรับปรุงโครงสร้างใหม่. สืบค้นเมื่อวันที่ 23 มกราคม 2555, จาก [http://www.tgbi.or.th/filestrees/2010-04-02-TreesRating\\_0.pdf](http://www.tgbi.or.th/filestrees/2010-04-02-TreesRating_0.pdf)

สุริพรพรรณ สุพรรณสมบุรณ์. (2544). อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติด้านข้างเข้ามาใช้ภายในอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Green Building Index SdnBhd (GSB). (2011). *Green Building Index Non – Residential NewConstruction (NRNC) V. 1.05*. สืบค้นเมื่อวันที่ 8 สิงหาคม 2555, จาก <http://www.greenbuildingindex.org>

The Vietnam Green Building Council (VGBC).

(2012). *LOTUS Non-Residential Rating Tool V.1.1 (English version)*. สืบค้นเมื่อวันที่ 8 สิงหาคม 2555, จาก <http://www.vgbc.org.vn/en/lotus/lotus-project-registration/lotus-non-res>

US Green Building Council (USGBC). (2009).

*LEED Reference Guide For Green Building Design And Construction*. สืบค้นเมื่อวันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2553, จาก <http://www.usgbc.org/ShowFile.aspx?DocumentID=8868>