

## ผลกระทบของเฟรมกระจกที่มีต่อคุณสมบัติทางความร้อนของระบบหน้าต่าง และการใช้พลังงานในอาคาร

### Effects of Window Frames on Thermal Properties of Window Systems and Building Energy Consumption

ชาญวิทย์ ดุลยะโสภณ<sup>1</sup>, เตชัส ห่อเพ็ชร<sup>1</sup>, ทิพย์รัตน์ ธารนพวงษ์<sup>1</sup>, ทสพล เขตเจนการ<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> ห้องวิจัยระบบพลังงานในอาคาร ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร  
6 ถนนราชมรรคาใน ตำบลพระปฐมเจดีย์ อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

\* ติดต่อ: E-mail: thosaponk@hotmail.com, โทรศัพท์: 034-259-025, โทรสาร: 034-219-367

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของเฟรมกระจกที่มีต่อการใช้พลังงานในอาคาร โดยสืบเนื่องจากการคำนวณการใช้พลังงานในอาคารโดยทั่วไปมักใช้คุณสมบัติทางความร้อนของกระจกเพียงอย่างเดียวโดยไม่คำนึงถึงเฟรมหรือวงกบเพื่อความสะดวก แต่จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าค่าคุณสมบัติทางความร้อนของเฟรมส่งผลต่อคุณสมบัติทางความร้อนรวมของระบบหน้าต่างถึง 20–30% ดังนั้น จึงได้ทำการวิจัยนี้ขึ้นเพื่อศึกษาผลกระทบของเฟรมกระจกว่าจะส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารมากน้อยเพียงใด โดยเริ่มจากการเปรียบเทียบค่าคุณสมบัติทางความร้อนของระบบหน้าต่างซึ่งคำนวณด้วยโปรแกรม Windows 6.3 โดยให้กระจกใสล้วนที่ไม่มีเฟรมเป็นกรณีฐาน และแปรชนิดของกระจก 3 ชนิด (ได้แก่ กระจกใสหนา 6 mm กระจกเขียวหนา 6 mm และกระจก Low-E หนา 6 mm) วัสดุเฟรม 2 ชนิด (ได้แก่ อลูมิเนียม และพีวีซี) และรูปแบบของเฟรมกระจก 2 รูปแบบ (ได้แก่ แบบปิดตาย และแบบบานเลื่อน) หลังจากนั้น นำค่าคุณสมบัติทางความร้อนที่ได้จากแต่ละกรณีมาป้อนลงในโปรแกรม EnergyPlus เพื่อทำการจำลองหาค่าปริมาณการใช้พลังงานในอาคารตัวอย่าง 1 แห่ง ซึ่งเป็นอาคารสำนักงาน 4 ชั้น พื้นที่ใช้สอยรวม 1,295.91 m<sup>2</sup> และมีสัดส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 37% เพื่อเปรียบเทียบระหว่างกรณีต่าง ๆ ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าคุณสมบัติทางความร้อนของระบบหน้าต่างจะมีความแตกต่างสูงสุดเมื่อเทียบระหว่างกรณีฐานกับกรณีกระจก Low-E ที่ใส่เฟรมพีวีซีแบบบานเลื่อน โดยมีค่าการส่งผ่านความร้อน (U) ต่างกัน 58% ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากแสงอาทิตย์ (SHGC) ต่างกัน 37% และค่าการส่งผ่านแสงที่มองเห็น (Tvis) ต่างกัน 26% ส่วนปริมาณการใช้พลังงานในอาคารระหว่างกรณีทั้งสองต่างกันเพียงเล็กน้อย คือ 0.67% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในกรณีตัวอย่างนี้ ค่าคุณสมบัติทางความร้อนของระบบกระจกที่ต่างกันถึง 58% มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานของอาคารเพียงเล็กน้อยและถือว่าไม่นับสำคัญ ดังนั้น ในการวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคารจึงสามารถใช้คุณสมบัติของกระจกล้วนไม่รวมเฟรมเป็นคุณสมบัติของระบบหน้าต่างได้โดยไม่ทำให้ผลลัพธ์มีความคลาดเคลื่อนอย่างมีนัยสำคัญ

**คำหลัก:** ระบบหน้าต่าง, เฟรมกระจก, วงกบ, คุณสมบัติทางความร้อน, การใช้พลังงานในอาคาร

**Abstract**

This research is a study on the effects of window frames on building energy consumption. In general, only thermal properties of pure glass are used in the building energy calculation. However, past works showed that thermal properties of window frames could alter the overall window systems' properties by 20-30%. Therefore, this study was set up to investigate the significance of window frames on building energy use. First, comparisons of properties obtained from the Window 6.3 software of various combinations of window systems were carried out. Six-mm-thick clear glass was used as the base case. The combinations of window systems were generated from 3 glass types (6-mm clear glass, 6-mm clear green glass, 6-mm low-E coating glass), 2 frame materials (aluminum, PVC), and 2 frame configurations (fixed frames, sliding frames). After that, each window system was applied to a sample office building to simulate the building energy consumption by using the EnergyPlus software. The sample building had 4 floors with a total area of 1,295.91 m<sup>2</sup> and a window-to-wall ratio (WWR) of 37%. The results showed that the thermal properties were most different between the base case and the case of low-E glass with PVC sliding frames. The overall heat transfer coefficient (U), solar heat gain coefficient (SHGC), and visible transmissivity (Tvis) were found to be different by 58%, 37%, and 26%, respectively. In contrast, the energy consumption between these two cases was only 0.67%. It implies that even with as high as 58% deviation, thermal properties of window systems with frames added has insignificant effects on energy consumption of the building. In turn, building energy calculation could be done by using only the properties of glass with no frames as conventionally done without causing significant errors.

**Keywords:** Window system, Window frame, Jamb, Thermal property, Building energy consumption

**1. บทนำ**

จากข้อมูลการใช้พลังงานในระดับโลกพบว่าพลังงานที่ใช้ในภาคอาคารมีค่าประมาณ 40% ของพลังงานทั้งหมด [1-4] ส่วนในประเทศไทย พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในภาคอาคารคิดเป็น 46% ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของประเทศ [5] โดยปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารกว่า 50% ใช้ในระบบปรับอากาศ [6] เนื่องจาก 20-40% ของภาระความร้อนของระบบปรับอากาศนั้นมาจากระบบหน้าต่าง [3] ดังนั้น ค่าคุณสมบัติทางความร้อนของระบบหน้าต่างและสัดส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (Window-to-wall ratio) จึงเป็นปัจจัยที่จะมีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร [7] โดยหากพิจารณาสัดส่วนพื้นที่กระจก อาคารที่มีสัดส่วนพื้นที่กระจกน้อยจะส่งผลให้มีปริมาณการใช้พลังงานในอาคารน้อยลง [4, 8] โดยสัดส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่

เหมาะสมของประเทศไทยอยู่ที่ประมาณ 40% [9] ส่วนอาคารที่ไม่มีอุปกรณ์บังแสงภายนอกจะมีค่าสัดส่วนพื้นที่กระจกที่เหมาะสมอยู่ที่ 30% [10]

สำหรับคุณสมบัติของระบบหน้าต่างจะพิจารณาจากตัวแปรหลัก 3 ตัว คือ 1) ค่าการส่งผ่านความร้อน (Overall heat transfer coefficient, U) ซึ่งเป็นค่าที่เกี่ยวข้องกับการนำความร้อนและการพาความร้อนของระบบกระจก 2) ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากแสงอาทิตย์ (Solar heat gain coefficient, SHGC) ซึ่งเป็นค่าที่เกี่ยวข้องกับการแผ่รังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์ผ่านระบบกระจกและความร้อนที่กระจกดูดซับจากแสงอาทิตย์ไว้ในตัวกระจกแล้วแผ่รังสีเข้าสู่อาคาร และ 3) ค่าการส่งผ่านแสงที่มองเห็น (Visible transmittance, Tvis) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการส่งผ่านแสงในย่านที่ตามองเห็น ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคาร

[1] การออกแบบระบบหน้าต่างเพื่อให้ค่า U และ SHGC น้อยเพื่อลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารเพื่อประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ ในขณะที่ยังคงรักษาให้ Tvis มีค่ามากพอเพื่อให้สามารถใช้แสงธรรมชาติและประหยัดพลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างได้ จึงเป็นสิ่งที่ผู้ออกแบบอาคารต้องให้ความสนใจ Sekhar and Lim ถึงกับกล่าวว่าการปรับปรุงระบบหน้าต่างและระบบปรับอากาศเป็นทางเลือกที่เหลือเพียงทางเดียวในแง่ของการปรับปรุงโครงสร้างอาคารเพื่อประหยัดพลังงาน [7] ดังนั้น การมีมาตรฐานคุณสมบัติของระบบหน้าต่างและการทราบถึงผลกระทบของคุณสมบัติของระบบหน้าต่างที่มีต่อการใช้พลังงานของอาคารจึงเป็นสิ่งที่ควรทำการศึกษาวิจัย

ในด้านมาตรฐานคุณสมบัติของระบบหน้าต่าง ในระดับสากลมีมาตรฐานด้านสมรรถนะของระบบหน้าต่างกำหนดไว้ทั้งด้านการคำนวณและการทดสอบ [11-26] ส่วนประเทศไทยมีเพียงมาตรฐานด้านการจำแนกประเภทและด้านมิติของระบบกระจกเท่านั้น [27-30] โดยที่มาตรฐานด้านสมรรถนะทางความร้อนของระบบกระจกกำลังอยู่ในระหว่างการจัดทำ

สำหรับด้านผลของคุณสมบัติของระบบหน้าต่างที่มีต่อการใช้พลังงานของอาคารที่จะเป็นประเด็นหลักในการนำเสนอบทความนี้ โดยทั่วไปมักจะพบว่าในการจำลองการใช้พลังงานในอาคารมักใช้ค่าคุณสมบัติทางความร้อนของกระจกล้วนไม่รวมเฟรมหรือวงกบเพื่อความสะดวก แต่จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเฟรมจะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางความร้อนรวมของระบบหน้าต่างถึง 20-30% [1, 31] ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะวิเคราะห์ผลกระทบของคุณสมบัติทางความร้อนของระบบหน้าต่างที่มีต่อปริมาณการใช้พลังงานในอาคาร โดยจะใช้อาคารตัวอย่าง 1 แห่งเป็นกรณีศึกษา

## 2. วิธีการดำเนินงาน

อาคารกรณีฐานที่ใช้ในการศึกษาวิจัยเป็นอาคารสำนักงาน 4 ชั้น มีพื้นที่ใช้งานทั้งหมด 1,295.91 m<sup>2</sup> มีสัดส่วนพื้นที่ที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 37% โดย

กำหนดให้มีที่ตั้งอยู่ที่ อ.เมือง จ.นครปฐม รายละเอียดโดยสังเขปของอาคารแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดของอาคารกรณีฐาน

|                                               |                                                   |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| ประเภทอาคาร                                   | อาคารสำนักงาน                                     |
| สถานที่ตั้ง                                   | อ.เมือง จ.นครปฐม 13.82°N 100.05°E                 |
| จำนวนชั้น                                     | 4 ชั้น                                            |
| พื้นที่ - ปรับอากาศ                           | 741.69 m <sup>2</sup>                             |
| - ไม่ปรับอากาศ                                | 554.22 m <sup>2</sup>                             |
| - รวม                                         | 1,295.91 m <sup>2</sup>                           |
| วัสดุ - ประเภท                                | อิฐ ปูนฉาบ คอนกรีต กระฉก ฯลฯ                      |
| - จำนวน                                       | 16 ชนิด                                           |
| โครงสร้าง - ประเภท                            | ผนัง พื้น เพดาน หลังคา / หน้าต่าง ประตู           |
| - จำนวน                                       | 362 / 153 ชิ้น                                    |
| ระบบหน้าต่าง                                  |                                                   |
| - ประเภทกระจก                                 | กระจกใสหนา 6 mm                                   |
| - สัดส่วนพื้นที่ที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด | 37%                                               |
| โซน - จำนวน                                   | 32 โซน                                            |
| - เวลาใช้งาน                                  | 8:00-17:00 น. จันทร์-เสาร์ 2,808 ชม./ปี           |
| จำนวนคน                                       | 102 คน                                            |
| แสงสว่าง - หลอด                               | - หลอดตะเกียบ 18 W                                |
| - โคม                                         | - หลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 W                          |
| - กำลังรวม                                    | - 1 หลอด/โคม ดาวนไลท์ 274 โคม                     |
|                                               | - 2 หลอด/โคม ฝาครอบอะคริลิก 29 โคม                |
|                                               | 6.75 kW                                           |
| อุปกรณ์ - ประเภท                              | อุปกรณ์สำนักงาน                                   |
| - กำลังรวม                                    | 7.75 kW                                           |
| ระบบปรับอากาศ                                 |                                                   |
| - ประเภท                                      | รวมศูนย์ / เครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยอากาศ |
| - ขนาด                                        | 51 TR                                             |
| - กำลังรวม                                    | 182.2 kW                                          |
| ประเภทพลังงาน                                 | พลังงานไฟฟ้า                                      |
| ค่า U - หลังคา                                | 5.306 W/m <sup>2</sup> -K                         |
| - ผนัง                                        | 2.057-6.680 W/m <sup>2</sup> -K                   |
| - พื้น                                        | 1.774-2.812 W/m <sup>2</sup> -K                   |

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อนของระบบกระจก โดยจะวิเคราะห์ทั้งหมด 15 กรณี จากการแปรชนิดกระจกทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ กระจกใสหนา 6 mm กระจกเขียวหนา 6 mm และกระจก Low-E หนา 6 mm แปรชนิดของวัสดุที่ใช้ทำเฟรม 2 ชนิด ได้แก่

อลูมิเนียม และพีวีซี (Polyvinylchloride, PVC) และแปรรูปแบบของเฟรม 2 รูปแบบ ได้แก่ แบบปิดตายและแบบบานเลื่อน ดังที่สรุปไว้ในตารางที่ 2 โดยคุณสมบัติทางความร้อนของกระจกและวัสดุเฟรมแสดงไว้ในตารางที่ 3 ส่วนรูปแบบของเฟรมแสดงในรูปที่ 1 ค่าคุณสมบัติทางความร้อนของระบบกระจกที่จะทำการวิเคราะห์ คือ ค่าการส่งผ่านความร้อน (U) ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากแสงอาทิตย์ (SHGC) และค่าการส่งผ่านแสงที่มองเห็น (Tvis) โดยเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ โปรแกรม Window 6.3 [32]

ตารางที่ 2 กรณีทั้งหมดที่ทำการวิเคราะห์

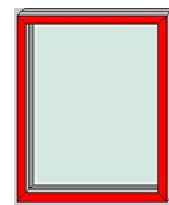
| ลำดับ | ชื่อกรณี   | รายละเอียด                                      |
|-------|------------|-------------------------------------------------|
| 1     | clear      | กระจกใสหนา 6 mm                                 |
| 2     | F clearalu | กระจกใสวงกบอลูมิเนียมปิดตาย                     |
| 3     | F clearPVC | กระจกใสวงกบพีวีซีปิดตาย                         |
| 4     | S clearalu | กระจกใสวงกบอลูมิเนียมแบบบานเลื่อน               |
| 5     | S clearPVC | กระจกใสวงกบพีวีซีแบบบานเลื่อน                   |
| 6     | green      | กระจกเขียวหนา 6 mm                              |
| 7     | F greenalu | กระจกเขียววงกบอลูมิเนียมปิดตาย                  |
| 8     | F greenPVC | กระจกเขียววงกบพีวีซีปิดตาย                      |
| 9     | S greenalu | กระจกเขียววงกบอลูมิเนียมแบบบานเลื่อน            |
| 10    | S greenPVC | กระจกเขียววงกบพีวีซีแบบบานเลื่อน                |
| 11    | Low-E      | กระจกเคลือบสาร Low-E หนา 6 mm                   |
| 12    | F Low-Ealu | กระจกเคลือบสาร Low-E วงกบอลูมิเนียมปิดตาย       |
| 13    | F low-EPVC | กระจกเคลือบสาร Low-E วงกบพีวีซีปิดตาย           |
| 14    | S low-Ealu | กระจกเคลือบสาร Low-E วงกบอลูมิเนียมแบบบานเลื่อน |
| 15    | S low-EPVC | กระจกเคลือบสาร Low-E วงกบพีวีซีแบบบานเลื่อน     |

งานวิจัยส่วนที่สองเป็นการนำระบบกระจกทั้ง 15 กรณีไปใส่ในอาคารตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม EnergyPlus version 7.0.0.036 [33] เพื่อศึกษาผลกระทบของระบบ

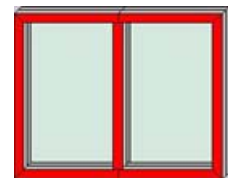
หน้าต่างที่มีคุณสมบัติทางความร้อนต่างกันที่มีต่อปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร [7, 34] โดยในการวิเคราะห์จะพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนของค่าคุณสมบัติทางความร้อนของระบบกระจกร่วมด้วยโดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ  $\pm 5\%$  ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่จะเกิดขึ้นจากการใช้เครื่องทดสอบ Hot box ในการทดสอบหาค่าคุณสมบัติทางความร้อนของระบบกระจก [11]

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของกระจกและเฟรม

| รายการ                    | คุณสมบัติ                  |       |       |
|---------------------------|----------------------------|-------|-------|
|                           | U<br>(W/m <sup>2</sup> -K) | SHGC  | Tvis  |
| กระจกใส 6 mm              | 5.381                      | 0.840 | 0.883 |
| กระจกเขียว 6 mm           | 5.383                      | 0.618 | 0.770 |
| กระจกเคลือบสาร Low-E 6 mm | 2.507                      | 0.676 | 0.857 |
| เฟรมอลูมิเนียม            | 5.680                      | -     | -     |
| เฟรมพีวีซี                | 1.700                      | -     | -     |



(ก) เฟรมแบบปิดตาย



(ข) เฟรมแบบบานเลื่อน

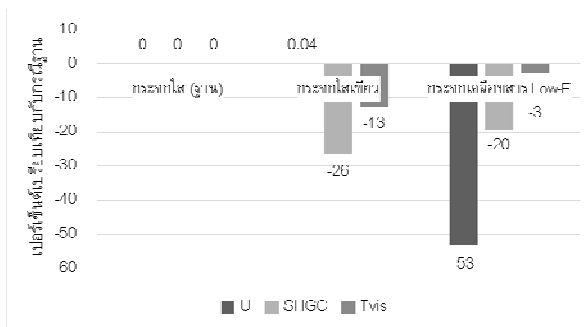
รูปที่ 1 รูปแบบของเฟรมกระจกที่ใช้ในการวิเคราะห์

### 3. ผลและการวิเคราะห์ผล

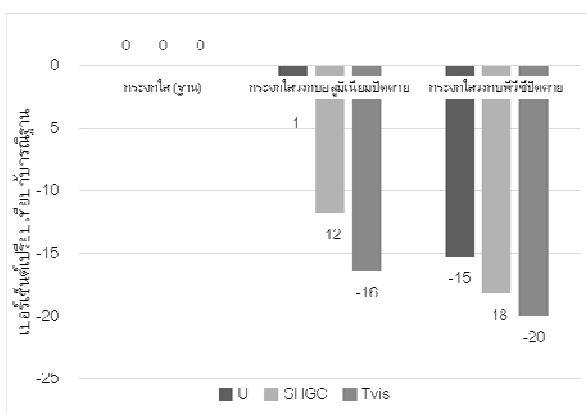
#### 3.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อนของระบบกระจก

รูปที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางความร้อนระหว่างกระจก 3 ชนิด โดยกำหนดให้เป็นหน้าต่างล้วน ไม่มีเฟรม จากรูปจะเห็นว่ากระจกเขียวมีค่า U ที่ใกล้เคียงกับกระจกใสฐานมาก แต่ในส่วน of ค่า SHGC จะมีค่าต่ำกว่า 26% และค่า Tvis ต่ำกว่า 13% ซึ่งเป็นเพราะว่ากระจกเขียวมีลักษณะเป็นกระจกใส แต่สีของตัวกระจกเป็นสีเขียว จึงลดการส่งผ่านของแสงอาทิตย์ที่เข้ามาในอาคาร และทำให้ทั้งค่า SHGC และ Tvis ลดลง

ในส่วนของกระจกเคลือบสาร Low-E ค่า U และค่า SHGC จะน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับกระจกประเภทอื่น โดยค่า U จะลดลงมากถึง 53% และค่า SHGC จะลดลง 20% ซึ่งสอดคล้องกับผลลัพธ์ในงานวิจัยที่ผ่านมา [34] ส่วนค่า Tvis จะลดลงเพียง 3% ซึ่งในส่วน of ค่า U ที่ลดลงเป็นอย่างมาก เป็นเพราะว่าตัวกระจก Low-E เคลือบสารโลหะที่ป้องกันความร้อนถ่ายเทผ่านกระจกและสะท้อนความร้อนจากรังสีอาทิตย์ได้ และเนื่องจากตัวฟิล์มเคลือบลดความร้อนจากแสงอาทิตย์และปริมาณแสงอาทิตย์ที่เข้าสู่อาคาร จึงส่งผลให้ค่า SHGC และ Tvis ลดลงด้วย แต่ค่าที่ลดลงนั้นน้อยกว่ากระจกเขียวเนื่องจากว่ากระจกชนิดนี้ใสกว่ากระจกเขียว จึงทำให้แสงอาทิตย์ที่เข้าสู่อาคารมีปริมาณมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้ในงานของ Ihm et al. [35]



รูปที่ 2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของกระจกชนิดต่างๆ กับการณฐาน



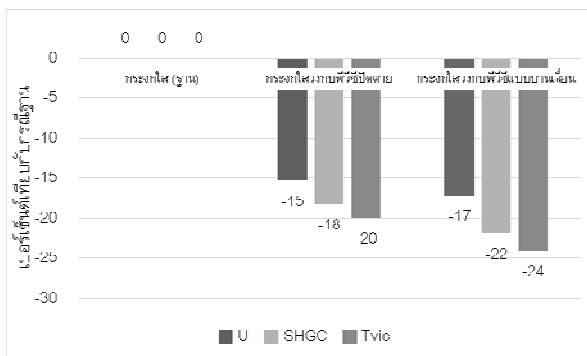
รูปที่ 3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบกระจกที่ใช้เฟรมปิดตายที่ทำจากวัสดุชนิดต่างๆ กับการณฐาน

รูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางความร้อนของกระจกใสที่ใช้เฟรมแบบปิดตายที่ทำจากวัสดุสองชนิด กับกระจกใสที่ไม่ใส่เฟรมซึ่งเป็นกรณีฐาน เพื่อดูผลกระทบจากวัสดุเฟรม จากรูปจะเห็นว่ากระจกใสที่ใช้เฟรมอลูมิเนียมแบบปิดตายจะมีค่า U ลดลง 1% ค่า SHGC ลดลง 12% และค่า Tvis ลดลง 16% ค่า U ของระบบกระจกที่ลดลงนั้นเนื่องจากเฟรมอลูมิเนียมมีค่า U น้อยกว่าค่า U ของกระจก จึงส่งผลให้ค่า U รวมของระบบกระจกลดลงเมื่อเทียบกับกรณีกระจกใสไม่ใส่เฟรม ส่วนค่า SHGC และ Tvis ที่ลดลงนั้น เนื่องจากพื้นที่ของเฟรมจะบดบังพื้นที่การส่งผ่านแสงอาทิตย์ของกระจก ทำให้กระจกส่งผ่านแสงอาทิตย์เข้าสู่ภายในอาคารได้น้อยลง ซึ่งหมายความว่า การส่งผ่านความร้อนจากแสงอาทิตย์และการส่งผ่านแสงที่มองเห็นจะลดลงด้วย

ในส่วนของระบบกระจกใสที่ใช้เฟรมพีวีซีแบบปิดตายพบว่าค่า U ลดลง 15% ค่า SHGC ลดลง 18% และค่า Tvis ลดลง 20% สาเหตุเป็นเพราะว่าเฟรมพีวีซีมีค่า U ต่ำมากเมื่อเทียบกับค่า U ของกระจกใส จึงทำให้ค่า U รวมของระบบกระจกลดลง ส่วนค่า SHGC และ Tvis ที่ลดลงมาจากสาเหตุเดียวกับการณของกระจกใสที่ใช้เฟรมอลูมิเนียมแบบปิดตาย แต่ที่ค่า SHGC และ Tvis ของกรณีกระจกใสที่ใช้เฟรมพีวีซีลดลงมากกว่ากระจกใสที่ใช้เฟรมอลูมิเนียม โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่า Tvis ที่ควรจะเกือบเท่ากัน เนื่องจากเป็นเฟรมที่มีขนาดและลักษณะเดียวกันนั้น ก็เนื่องมาจากพื้นที่ของเฟรมพีวีซีมีขนาดใหญ่กว่าเฟรมอลูมิเนียมเล็กน้อย ทั้งนี้เป็นเพราะว่าเฟรมพีวีซีทำจากวัสดุประเภทพอลิเมอร์ซึ่งมีความแข็งแรงน้อยกว่าเฟรมอลูมิเนียมที่เป็นโลหะ ทำให้จำเป็นต้องมีโครงสร้างที่เสริมความแข็งแรง จึงทำให้เฟรมพีวีซีมีพื้นที่มากกว่าเฟรมอลูมิเนียมเล็กน้อยและบดบังแสงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามามากกว่าเฟรมอลูมิเนียม

รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางความร้อนของระบบกระจกที่ใช้เฟรมพีวีซีรูปแบบต่างๆ กับกระจกใสที่ไม่ใส่เฟรมซึ่งเป็นกรณีฐาน เพื่อดูผลกระทบจากรูปแบบของเฟรม จากรูปจะเห็นว่าเฟรมพีวีซีชนิด

ปิดตายมีค่า U ลดลง 15% ค่า SHGC ลดลง 18% และค่า Tvis ลดลง 20% แต่เฟรมพียูชนิดบานเลื่อนจะมีค่า U ลดลง 17% ค่า SHGC ลดลง 22% และค่า Tvis ลดลง 24% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเฟรมชนิดบานเลื่อนจะทำให้ค่าคุณสมบัติรวมของระบบกระจกลดลงมากกว่าเฟรมชนิดปิดตาย สาเหตุเนื่องจากเฟรมแบบบานเลื่อนมีพื้นที่เฟรมมากกว่าเฟรมแบบปิดตาย ประกอบกับการที่ค่า U ของเฟรมมีค่าน้อยกว่าค่า U ของกระจก จึงทำให้ค่า U ของระบบกระจกที่ใช้เฟรมแบบบานเลื่อนลดลงมากกว่าแบบปิดตาย ส่วนค่า SHGC และค่า Tvis ของเฟรมแบบบานเลื่อนที่ลดลงมากกว่าเฟรมแบบปิดตาย เป็นเพราะเฟรมแบบบานเลื่อนมีพื้นที่เฟรมมากกว่า จึงลดพื้นที่ส่งผ่านแสงอาทิตย์ของกระจกมากกว่า และทำให้ความร้อนจากแสงอาทิตย์และปริมาณแสงที่ส่งเข้ามาในอาคารมีปริมาณน้อยกว่า



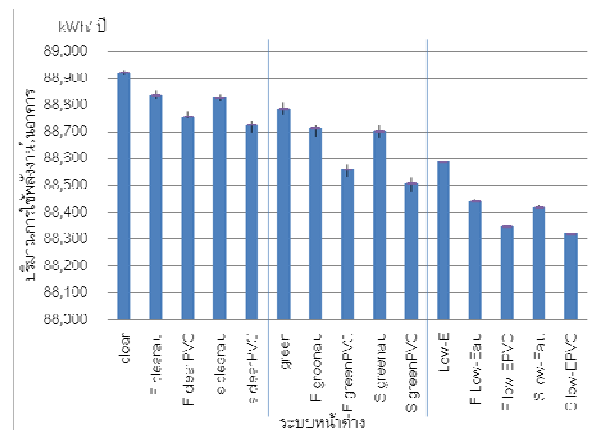
รูปที่ 4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบกระจกที่ใช้เฟรมพียูชนิดรูปทรงแบบต่างๆ กับกรณีฐาน

### 3.2 การวิเคราะห์ผลกระทบของคุณสมบัติทางความร้อนของระบบหน้าต่างที่มีต่อปริมาณการใช้พลังงานในอาคาร

รูปที่ 5 แสดงค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารเมื่อใช้ระบบหน้าต่างกรณีต่างๆ ตามตารางที่ 2 เทียบกับกรณีฐาน จากรูปจะเห็นว่าปริมาณการใช้พลังงานในอาคารกรณีที่ระบบหน้าต่างมีเฟรมจะมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีเฟรม รวมทั้งระบบหน้าต่างที่ใช้เฟรมพียูซึ่งจะใช้พลังงานน้อยกว่าระบบหน้าต่างที่ใช้เฟรมอลูมิเนียม โดยเฉพาะกรณีกระจก

เคลือบสาร Low-E ใส่เฟรมพียูซึ่งที่มีปริมาณการใช้พลังงานในอาคารลดลงมากที่สุด

เมื่อพิจารณากรณีที่ค่าคุณสมบัติทางความร้อนของระบบกระจกแตกต่างกันมากที่สุด คือ ระหว่างกรณีฐานที่ใช้กระจกใสล้วนไม่มีเฟรม กับกระจกเคลือบสาร Low-E ใส่เฟรมพียูซึ่งแบบบานเลื่อน พบว่าปริมาณการใช้พลังงานลดลงเพียง 0.67% ถึงแม้ว่าค่า U ค่า SHGC และค่า Tvis จะต่างกันถึง 58%, 37% และ 26% ตามลำดับ ก็ตาม แต่ก็ส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงานของอาคารน้อยมากในระดับที่ถือว่าไม่นับสำคัญ ดังนั้น สำหรับงานที่ต้องการคำนวณหรือสร้างแบบจำลองอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อทำนายปริมาณการใช้พลังงานจึงสามารถที่จะใช้ค่าคุณสมบัติของกระจกล้วนไม่รวมเฟรมเป็นคุณสมบัติของระบบหน้าต่างได้ตามที่นิยมทำกันโดยทั่วไป โดยจะมีผลต่อความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์น้อยมาก



รูปที่ 5 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารเมื่อใช้ระบบหน้าต่างกรณีต่างๆ

อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยนี้เป็นการวิจัยด้วยอาคารสำนักงานตัวอย่างเพียงอาคารเดียว และค่าสัดส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเพียงค่าเดียว รวมทั้งผลยังไม่ค่อยสอดคล้องกับงานของ Sekhar and Lim ที่กล่าวว่าระบบกระจกที่ดีช่วยลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้ซึ่งจะทำให้ขนาดของระบบปรับอากาศลดลง และการใช้แสงธรรมชาติที่จะช่วยลดจำนวนโคมไฟลง ซึ่งจะนำไปสู่การใช้พลังงานที่ลดลง [7] ในอนาคตคณะผู้วิจัยจะทำการศึกษาโดยใช้อาคารจำนวน

หลายอาคารและหลากหลายประเภทมากขึ้น รวมทั้ง  
ศึกษากรณีที่ใช้สัดส่วนพื้นที่กระจกหลายค่า เพื่อให้  
สามารถวิเคราะห์ผลได้ชัดเจนขึ้น

#### 4. สรุป

จากการศึกษาวิจัยผลกระทบของเฟรมกระจกที่มี  
ต่อคุณสมบัติทางความร้อนของระบบหน้าต่างและการ  
ใช้พลังงานในอาคาร ซึ่งได้วิเคราะห์โดยใช้กระจกที่  
ต่างกัน 3 ชนิด วัสดุเฟรมที่ต่างกัน 2 ชนิด และ  
รูปแบบของเฟรมที่ต่างกัน 2 รูปแบบ กับอาคาร  
สำนักงานตัวอย่าง 1 แห่ง พบว่า ชนิดของกระจก วัสดุ  
ของเฟรม และรูปแบบของเฟรม ส่งผลทำให้ค่า  
คุณสมบัติทางความร้อน คือ ค่าการส่งผ่านความร้อน  
(U) ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจาก  
แสงอาทิตย์ (SHGC) และค่าการส่งผ่านแสงที่มองเห็น  
(Tvis) ลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะในกรณีระบบ  
กระจกที่ใช้กระจกเคลือบสาร Low-E และเฟรมพีวีซี  
แบบบานเลื่อน จะมีค่าคุณสมบัติทางความร้อนของ  
ระบบกระจกต่างกันถึง 58%, 37% และ 26%  
ตามลำดับ แต่เมื่อนำมาจำลองการใช้พลังงานใน  
อาคารด้วยโปรแกรม EnergyPlus กลับพบว่าลดลง  
จากกรณีกระจกใสล้วนที่ไม่มีเฟรมที่เป็นกรณีฐาน  
เพียง 0.67% ซึ่งถือว่าไม่นับสำคัญ ดังนั้น สำหรับ  
งานที่ต้องการคำนวณหรือสร้างแบบจำลองอาคารด้วย  
โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อทำนายปริมาณการใช้  
พลังงานจึงสามารถใช้ค่าคุณสมบัติของกระจก  
ล้วนไม่รวมเฟรมเป็นคุณสมบัติของระบบหน้าต่างได้  
ตามที่นิยมทำกันโดยทั่วไป โดยจะมีผลต่อความ  
คลาดเคลื่อนของผลลัพธ์น้อยมาก

สิ่งที่ควรทำการศึกษาวิจัยต่อไป คือ ควร  
ทำการศึกษากับอาคารจำนวนมากขึ้น หลากหลาย  
ประเภทมากขึ้น และมีสัดส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่  
ผนังทั้งหมดหลายค่า เพื่อแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของ  
ผลกระทบของคุณสมบัติทางความร้อนของระบบ  
หน้าต่างที่มีต่อการใช้พลังงานในอาคารได้อย่างชัดเจน  
ยิ่งขึ้น

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะ  
วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม  
มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ได้เอื้อเฟื้อทุน เอกสาร และสิ่ง  
อำนวยความสะดวก อันเป็นประโยชน์ต่อการ  
ดำเนินการจัดทำงานวิจัย จึงทำให้งานนี้สำเร็จลุล่วงไป  
ด้วยดี

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Appelfeld, D., Hansen, C.S. and Svendsen, S. (2010). Development of a slim window frame made of glass fibre reinforced polyester, *Energy and Buildings*, vol. 42(10), October 2010, pp. 1918-1925.
- [2] Grynning, S., Gustavsen, A., Time, B. and Jelle, B.P. (2013). Windows in the buildings of tomorrow: Energy losers or energy gainers?, *Energy and Buildings*, vol. 61, June 2013, pp. 185-192.
- [3] Lee, J.W., Jung, H.J., Park, J.Y., Lee, J.B. and Yoon, Y. (2013). Optimization of building window system in Asian regions by analyzing solar heat gain and daylighting elements, *Renewable Energy*, vol. 50, February 2013, pp. 522-531.
- [4] Susorova, I., Tabibzadeh, M., Rahman, A., Clack, H.L. and Elimeiri, M. (2013). The effect of geometry factors on fenestration energy performance and energy savings in office buildings, *Energy and Buildings*, vol. 57, February 2013, pp. 6-13.
- [5] EPPO (2012). *Energy statistics: 5. Electricity*, URL: <http://www.eppo.go.th>, access on 24/07/2012.
- [6] Softbiz Plus (2555). *ลดการใช้ไฟฟ้าในอาคาร มุ่งสู่การเป็น "Green Society"*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.softbizplus.com>, เข้าดูเมื่อวันที่ 24/07/2555.

- [7] Sekhar, S.C. and Lim, K.C.T. (1998). On the study of energy performance and life cycle cost of smart window, *Energy and Buildings*, vol. 28(3), November 1998, pp. 307-316.
- [8] Persson, M.L., Roos, A. and Wall, M. (2006). Influence of window size on the energy balance of low energy houses, *Energy and Buildings*, vol. 38(3), March 2006, pp. 181-188.
- [9] จตุวัฒน์ วโรตมพันธ์ (2556). *กรอบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (ตอนที่ 1)*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา [www.buildernews.in.th](http://www.buildernews.in.th), เข้าดูเมื่อวันที่ 20/03/2556.
- [10] Tanachaikhan, L. and Kumar, S. (2009). Daylighting for energy conservation in the tropics: a study on the influences of window configurations and shading devices, *International Journal of Engineering Systems Modelling and Simulation*, vol. 1(2/3), 2009, pp. 144-159.
- [11] BSI (1996). *BS EN ISO 8990:1996 Thermal insulation. Determination of steady-state thermal transmission properties. Calibrated and guarded hot box*, British Standards Institution, London, UK.
- [12] BSI (1998). *BS EN 674:1998 Glass in building. Determination of thermal transmittance (U value). Guarded hot plate method*, British Standards Institution, London, UK.
- [13] BSI (1998). *BS EN 675:1998 Glass in building. Determination of thermal transmittance (U value). Heat flow meter method*, British Standards Institution, London, UK.
- [14] BSI (2000). *BS EN 12524:2000 Building materials and products. Hygrothermal properties. Tabulated design values*, British Standards Institution, London, UK.
- [15] BSI (2001). *BS EN 12898:2001 Glass in building. Determination of the emissivity*, British Standards Institution, London, UK.
- [16] BSI (2002). *BS 5250:2002 Code of practice for control of condensation in buildings*, British Standards Institution, London, UK.
- [17] BSI (2003). *BS EN 12412-4:2003 Thermal performance of windows, doors and shutters. Determination of thermal transmittance by hot box method. Roller shutter boxes*, British Standards Institution, London, UK.
- [18] BSI (2010). *BS EN ISO 12567-1:2010 Thermal performance of windows and doors. Determination of thermal transmittance by the hot-box method. Complete windows and doors*, British Standards Institution, London, UK.
- [19] ISO (1991). *ISO 8302:1991 Thermal insulation - Determination of steady-state thermal resistance and related properties - Guarded hot plate apparatus*, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- [20] ISO (1994). *ISO 10292:1994 Glass in building - Calculation of steady-state U values (thermal transmittance) of multiple glazing*, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- [21] ISO (2002). *ISO 14438:2002 Glass in building - Determination of energy balance value - Calculation method*, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- [22] ISO (2003). *ISO 15099:2003 Thermal performance of windows, doors and shading devices - Detailed calculations*, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- [23] ISO (2003). *ISO 10077-2:2003 Thermal performance of windows, doors and shutters - Calculation of thermal transmittance - Part 2: Numerical method for frames*, International

Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

[24] ISO (2003). *ISO 9050:2003 Glass in building - Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance and related glazing factors*, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

[25] ISO (2006). *ISO 10077-1:2006 Thermal performance of windows, doors and shutters - Calculation of thermal transmittance - Part 1: General*, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

[26] ISO (2007). *ISO 10211:2007 Thermal bridges in building construction - Heat flows and surface temperatures - Detailed calculations*, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

[27] สมอ. (2537). มอก.1231-2537 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระจกสำหรับอาคาร: กระจกฉนวน, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

[28] สมอ. (2537), มอก.965-2537 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระจกสำหรับอาคาร: กระจกนิรภัยเท็มเปอรั, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

[29] สมอ. (2541), มอก.1344-2541 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระจกโพลีคาร์บอเนตใส, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

[30] สมอ. (2547), มอก.880-2547 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระจกโพลีไค, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

[31] Gustavsen, A., Grynning, S., Arasteh, D., Jelle, B.P. and Goudey, H. (2011). Key elements of and material performance targets for highly

insulating window frames, *Energy and Buildings*, vol. 43(10), October 2011, pp. 2583-2594.

[32] Urbikain, M.K. and Sala, J.M. (2009). Analysis of different models to estimate energy savings related to windows in residential buildings, *Energy and Buildings*, vol. 41(6), June 2009, pp. 687-695.

[33] Crawley, D.B., Lawrie, L.K., Winkelmann, F.C., Buhl, W.F., Huang, Y.J., Pedersen, C.O., Strand, R.K., Liesen, R.J., Fisher, D.E., Witte, M.J. and Glazer, J. (2001). EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program, *Energy and Buildings*, vol. 33(4), April 2001, pp. 319-331.

[34] Cetiner, I. and Ozkan, E. (2005). An approach for the evaluation of energy and cost efficiency of glass facades, *Energy and Buildings*, vol. 37(6), June 2005, pp. 673-684.

[35] Ihm, P., Park, L., Krarti, M. and Seo, D. (2012). Impact of window selection on the energy performance of residential buildings in South Korea, *Energy Policy*, vol. 44, May 2012, pp. 1-9.