การศึกษาความคุ้มทุนของการเลือกใช้ และปรับปรุงระบบกระจกสำหรับอาคาร

A Study on the Cost Effectiveness in the Selection and Retrofit of Glazing Systems for Buildings

ศุภกิจ วรศิลป์ชัย[1] สมศักดิ์ ไชยะภินันท์[2]
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถ. พญาไท กรุงเทพ 10330
โทร. 02218-6610 โทรสาร. 0-2252-2889 Email : supakit.w@gmail.com[1], fmescy@eng.chula.ac.th[2]

Supakit Worasinchai[1] and Somsak Chaiyapinunt[2]
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
Phyathai Road, Bangkok 10330 Thailand Tel. 02218-6610 Fax. 0-2252-2889
Email : supakit.w@gmail.com[1], fmescy@eng.chula.ac.th[2]

บทคัดย่อ

บทความนี้จะกล่าวถึงการศึกษาความคุ้มทุนของการเลือกใช้กระจกชนิดต่าง ๆ ของอาคารภายใต้ภาวะภูมิอากาศมาตรฐานของกรุงเทพมหานคร ในการวิเคราะห์นั้นจะใช้การวิเคราะห์แบบ life cycle cost ควบคู่กับผลการทำนายการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ DOE 2.1E ในการศึกษาจะพิจารณาอาคารตัวอย่างที่มีกระจกใสเป็นกรอบของอาคารเป็นกรณีพื้นฐาน (baseline) จากนั้นจึงทำการศึกษาถึงความคุ้มค่าที่เจ้าของอาคารพึงจะได้รับจากการปรับปรุงระบบกระจกไปเป็นกระจกชนิดอื่น ๆ ค่าการทำนายการใช้พลังงานของอาคารตัวอย่างที่ทำนายได้โดยใช้โปรแกรม DOE 2.1E ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงที่ได้จากการตรวจวัดเพื่อยืนยันความถูกต้อง จากนั้นจึงทำการศึกษาถึงผลของขนาดของกระจกที่อาจจะมีผลต่อความคุ้มทุนจากการเลือกใช้ และปรับเปลี่ยนชนิดกระจก จากการศึกษาพบว่า การปรับปรุงกระจกใส โดยการติดฟิล์ม และการเปลี่ยนจากกระจกใสไปเป็น กระจกสี 1 ชั้น กระจกสะท้อนแสง 1 ชั้น และกระจก 2 ชั้นที่กระจกชั้นนอกเป็นกระจกสี และกระจกสะท้อนแสงนั้น มีความคุ้มค่าในการลงทุน และมีระยะเวลาคืนทุนที่ไม่นานนัก ในขณะที่การเปลี่ยนจากกระจกใสไปเป็นกระจก 2 ชั้นที่กระจกชั้นนอกเป็นกระจกใสกลับไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุนนัก และมีระยะเวลาคืนทุนที่นานเกินไป ส่วนในกรณีที่ปรับเปลี่ยนให้กระจกมีขนาดใหญ่ขึ้นนั้น การปรับปรุงระบบกระจกจะให้แนวโน้มของความคุ้มค่าในทำนองเดียวกัน แต่จะมีระยะเวลาคืนทุนที่นานขึ้น ในกรณีของการปรับปรุงระบบกระจกของอาคารเดิมที่มีการติดตั้งกระจกใสไว้แล้ว ในการศึกษานี้พบว่าการติดฟิล์มและการใช้กระจกสะท้อนแสงมีความคุ้มค่าในการลงทุนที่เด่นกว่าเงื่อนไขอื่น

Abstract

This article refers to a study on the cost effectiveness in the selection and retrofit of glazing systems for buildings under standard meteorological data of Bangkok. By using DOE 2.1E simulation program, the life cycle cost analysis and the result from the prediction in building electrical consumption are used in this study. The typical building with clear glazing window was used as a baseline case. Then the study was done to see how much the cost effectiveness that the building owner would get if they changed the type of glazing from the baseline case. The electrical consumption predicted by the DOE 2.1E was verified by directly compared to the real electrical consumption from the audit data. The effect on the size of glazing window was also studied. The study shows that the cases of using film applied to the clear glass and changing from clear glazing to single tinted glass, single reflective glass and double glass with outer pane as tinted and reflective glass are cost effective and give a short payback period. However, the change to double clear glass is not an appropriate choice and gives payback period longer than 10 years. For the effect of window size, the changes of the size of the glazing window give the same trend as found in the previous case but having a longer payback period. In case of the existing building, the retrofit by using film applied to the existing clear glass window and changing the existing clear glass window to the single reflective glass window are found to be the most cost effective compared to the other options for this study.

บทนำ

การใช้พลังงานในอาคารนั้นพลังงานส่วนใหญ่ (40-60%) จะถูกใช้ไปในการปรับสภาวะอากาศภายในของอาคารให้มีความเหมาะสม และเกิดความสบายเชิงความร้อน (thermal comfort) โดยการใช้พลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศนี้มักจะมีค่าที่แปรผันโดยตรงกับภาระการทำความเย็นของอาคารนั้น ๆ

ภาระการทำความเย็นของอาคารจะมาจากสาเหตุหลัก ๆ อยู่ 2 ส่วน ส่วนแรกคือ ภาระการทำความเย็นจากภายในอาคาร ซึ่งเกิดจากผู้อยู่อาศัย อุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ ในอาคาร การระบายอากาศ และการรั่วซึมของอากาศผ่านผนัง ส่วนที่สองคือ ภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการส่งผ่านความร้อนผ่านกรอบอาคารที่จะขึ้นกับสภาวะอากาศภายนอก และค่าสมรรถนะเชิงความร้อนของวัสดุที่ใช้เป็นกรอบของอาคาร ซึ่งโดยทั่วไปแล้วระบบกระจกที่ใช้เป็นส่วนประกอบหนึ่งของกรอบอาคารนั้นจะมีค่าสมรรถนะที่ไม่ดีเท่าผนังทึบในกรณีที่มีพื้นที่ที่เท่ากัน อันเป็นผลเนื่องมาจากระบบกระจกนั้นมีลักษณะที่โปร่งแสงทำให้สามารถส่งผ่านรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบได้ดีกว่า นอกจากนั้นค่าการนำความร้อนของตัวกระจกก็ยังมีค่าสูง และเป็นผลให้เกิดการนำความร้อนที่ดีอีกด้วย

อย่างไรก็ตามระบบกระจกก็ยังมีความสำคัญในแง่ของการมองเห็นเพื่อที่จะให้ผู้อยู่อาศัยนั้นสามารถเห็นทิวทัศน์ภายนอกได้ ทำให้อาคารมีลักษณะโปร่ง และมีส่วนทำให้อาคารนั้นมีลักษณะทางสถาปัตยกรรมที่สวยงาม จึงเป็นผลให้ระบบกระจกนั้นเป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้ในการสร้างอาคาร แต่เนื่องจากกระจกมีสมรรถนะทางความร้อนที่ไม่ดีนัก ดังนั้นจึงควรจะระมัดระวังในการเลือกใช้เพื่อให้เกิดความเหมาะสม และเนื่องจากว่าค่าสมรรถนะเชิงความร้อนของระบบกระจกต่าง ๆ เหล่านี้มีค่าที่แปรเปลี่ยนตามสภาวะอากาศภายนอกที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดวัน และชนิดของกระจกที่ใช้ในประเทศไทยก็มีหลายชนิด ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ DOE 2.1E ร่วมกับข้อมูลภูมิอากาศมาตรฐาน ราคา และคุณสมบัติของระบบกระจก เพื่อศึกษาถึงความคุ้มทุนที่จะได้จากการปรับปรุง และเลือกใช้ระบบกระจกให้เหมาะสม

2. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ DOE 2.1E

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ DOE 2.1E[1] เป็นโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการทำนาย และวิเคราะห์สมรรถนะทางด้านพลังงานของอาคาร ผลการทำนายมักจะถูกนำไปใช้ในการปรับปรุงลักษณะของอาคารที่มีอยู่เดิมให้มีการใช้งานอย่างเหมาะสม หรือใช้เป็นแนวทางในการออกแบบอาคารใหม่ให้มีลักษณะที่เอื้อต่อการประหยัดพลังงานมากขึ้น

เนื่องจากโปรแกรม DOE 2.1E นั้นเป็นโปรแกรมวิเคราะห์พลังงานที่มีสมรรถนะสูง และสามารถให้ผลเฉลยออกมาเป็นค่าภาระการทำความเย็น และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ที่ละเอียดเป็นรายชั่วโมง ดังนั้น ข้อมูลสิ่งแรก และสำคัญที่สุดในการใช้งานโปรแกรม DOE 2.1E ก็คือ ข้อมูลภูมิอากาศที่เหมาะสมของสถานที่นั้น ๆ

แต่เนื่องจากข้อมูลภูมิอากาศรายชั่วโมงที่ได้จากการตรวจวัดในแต่ละสถานที่นั้นมีจำนวนมาก และมีค่าที่แปรเปลี่ยนตลอดวัน และยังแตกต่างไปในแต่ละปี ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกข้อมูลภูมิอากาศที่สามารถเป็นตัวแทนของสภาวะภูมิอากาศทั้งหมดได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงได้ทำให้เกิดวิธีการคัดเลือกข้อมูลภูมิอากาศที่แตกต่างกัน และนำไปสู่การจัดเก็บในรูปแบบที่แตกต่างกันด้วย โดยรูปแบบของข้อมูลภูมิอากาศที่ โปรแกรม DOE 2.1E สามารถรับได้นั้นประกอบไปด้วย แฟ้มข้อมูลแบบ CD144, WYEC, TRY และ TMY[2-3]

3. ข้อมูลภูมิอากาศมาตรฐานของกรุงเทพมหานคร

ข้อมูลภูมิอากาศที่วัดได้ที่สถานีตรวจวัดนั้นจะเป็นประกอบไปด้วยข้อมูลภูมิอากาศหลายค่าด้วยกัน และค่าข้อมูลภูมิอากาศต่าง ๆ เหล่านี้อาจนำมาจัดเก็บในรูปแบบที่ต่างกัน ขึ้นอยู่กับสถานีตรวจวัด อุปกรณ์ที่มีในเวลานั้น ๆ โดยข้อมูลที่มีผลมากต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารก็คือ ค่ารังสีแสงอาทิตย์ โปรแกรม DOE 2.1E สามารถรับข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์ได้ 2 รูปแบบคือ การอ่านค่าข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์ที่ถูกป้อนเข้าไปจากแฟ้มข้อมูลขาเข้าโดยตรง และในกรณีที่ไม่มีข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์ โปรแกรมจะทำการคำนวณค่ารังสีแสงอาทิตย์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งมักไม่แม่นยำเท่ากับการใช้ข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์โดยตรง

ดังนั้นแฟ้มข้อมูลที่มีการเก็บค่ารังสีแสงอาทิตย์ไว้โดยตรงนั้นจึงมีความเหมาะสมในการใช้งานมากกว่า โดยแฟ้มข้อมูลภูมิอากาศพื้นฐานที่มีการเก็บค่ารังสีแสงอาทิตย์ในรูปแบบต่าง ๆ ไว้โดยตรงนั้นจะประกอบไปด้วยแฟ้มข้อมูลแบบ WYEC และ TMY

สำหรับข้อมูลภูมิอากาศมาตรฐานที่ใช้ในการศึกษานี้จะใช้ข้อมูลภูมิอากาศมาตรฐานของกรุงเทพมหานครในรูปแบบ TMY ที่ได้พัฒนาขึ้นโดย สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ และคณะ[4]

4. การวิเคราะห์แบบ life cycle cost

การวิเคราะห์แบบ life cycle cost นี้เป็นวิธีที่ใช้ในการประเมินความคุ้มทุนของการลงทุนของโครงการต่าง ๆ โดยการวิเคราะห์นี้จะเป็นการคิดการลงทุนของอุปกรณ์ชนิดหนึ่ง (ซึ่งในที่นี้คือระบบกระจก) ตลอดอายุการใช้งานของอุปกรณ์นั้น ๆ (life cycle) ที่รวมถึงผลของการเปลี่ยนแปลงค่าเงินเมื่อเวลาผ่านไป (time value of money) เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบทางเลือกที่เหมาะสม

ในการศึกษาเพื่อปรับปรุงระบบกระจกของอาคารนั้นค่าใช้จ่ายของอาคารอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนหลัก คือ ค่าใช้จ่ายที่ไม่ใช่ค่าพลังงาน (non-energy cost) และค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงาน โดยค่าใช้จ่ายที่ไม่ใช่ค่าพลังงาน จะได้แก่ เงินลงทุนเบื้องต้นของอุปกรณ์ที่พิจารณา ค่าติดตั้ง และค่าเปลี่ยนอุปกรณ์ เป็นต้น และค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานจะเป็นค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายในแต่ละปีเพื่อซื้อพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ นำมาใช้ในอาคาร เพื่อเดินเครื่องอุปกรณ์ต่าง ๆ ในอาคารนั้น ๆ โดยในการศึกษานี้จะเน้นอยู่ที่การเลือก และปรับปรุงระบบกระจกต่อความคุ้มค่าทางด้านพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงสามารถแบ่งค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ต้องพิจารณาได้ดังนี้

ค่าใช้จ่ายที่ไม่ใช่ค่าพลังงาน

-เงินลงทุนเบื้องต้นที่ใช้ในการซื้อระบบกระจก

-ค่าติดตั้งระบบกระจกชนิดต่าง ๆ

-เงินลงทุนเบื้องต้นที่ใช้ในการซื้อฟิล์ม

-ค่าติดตั้งฟิล์ม

-ค่าปรับปรุงฟิล์มเมื่อครบอายุการใช้งาน

ค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงาน

-ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคาร

โดยค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ข้างต้นนั้นหากเกิดขึ้นในเวลาที่ต่างกันแล้วจะไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้โดยตรง เพราะค่าเงินแต่ละเวลาจะต่างกันเนื่องจากต้องนำอัตราดอกเบี้ยของเงินที่เวลาต่างกันมาคิดด้วย ดังนั้นในการศึกษาจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ในเวลาเดียวกัน ในการศึกษานี้จะใช้การพิจารณาอยู่ในรูปของค่าเงินปัจจุบัน (present value) ในปีที่ n ซึ่งสามารถหาค่าได้จากความสัมพันธ์

$$PV_n = C \cdot \left(\frac{1+r}{1+d} \right)^n \qquad (1)$$

เมื่อ PV_n คือ ค่าเงินปัจจุบันในปีที่ n

C คือ ค่าเงินเริ่มต้นในปีแรก

d คือ ค่าดอกเบี้ย (discount rate)

r คือ อัตราเงินเฟ้อ (inflation rate)

n คือ ปีที่พิจารณา

หรืออาจเขียนได้เป็น

$$PV_n = C \cdot PVF_n \qquad (2)$$

เมื่อ PVF_n คือ ค่า present value factor ในปีที่ n

จากนั้นจึงทำการประยุกต์หลักการนี้กับค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ข้างต้นเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

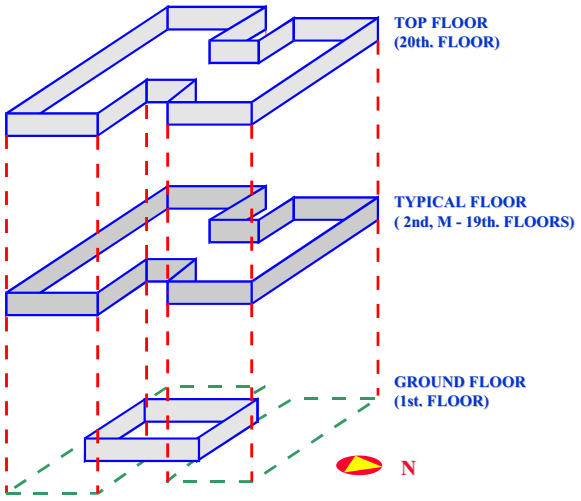
5. ค่าดัชนีความคุ้มทุน

ค่าดัชนีความคุ้มทุนที่ได้จากโปรแกรม DOE 2.1E นั้นมีหลายดัชนีด้วยกัน โดยแต่ละดัชนีก็จะใช้ในการประเมินศักยภาพในแต่ละด้าน โดยในการศึกษานี้ได้เลือกดัชนีเพื่อใช้ในการประเมิน 2 ตัว คือ ค่าพลังงานรายปีที่ประหยัดได้ และระยะเวลาคืนทุน

6. การจำลองภาระการทำความเย็น และการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม DOE 2.1E

ในการวิเคราะห์จะทำการใช้โปรแกรม DOE 2.1E เพื่อจำลองการใช้พลังงานของอาคารตัวอย่าง 1 อาคาร โดยอาคารที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้คือ อาคารเจริญวิศวกรรม (อาคารวิศวกรรม 4) ซึ่งเป็นอาคารสูง 21 ชั้น ตั้งอยู่ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 1

อาคารเจริญวิศวกรรมนี้ประกอบด้วยชั้นทั้งหมด 21 ชั้น คือ ชั้นที่ 1, 2, M และชั้นที่ 3 ถึงชั้นที่ 20 จากการพิจารณาลักษณะของการถ่ายเทความร้อนของอาคารจะพบว่า ในกรณีของชั้นที่ 1 จะมีการถ่ายเทความร้อนส่วนหนึ่งจะมาจากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับพื้นดิน ในขณะที่ชั้นที่ 2 ขึ้นไปถึงชั้นที่ 19 ความร้อนส่วนใหญ่จะมาจากกรอบอาคารด้านข้าง และการถ่ายเทความร้อนระหว่างชั้นมีไม่มากนัก (เพราะแต่ละชั้นก็มีการปรับอากาศ) และ ในกรณีของชั้นบนสุดความร้อนส่วนหนึ่งจะมาจากการถ่ายเทความร้อนผ่านเพดาน ดังนั้นจึงอาจจำลองอาคารทั้งหมดออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ ส่วนของชั้นที่พื้น ส่วนของชั้นบนสุด และ ส่วนของชั้นอื่น ๆ ทั่วไป (typical floor) โดยในชั้น typical floor นั้นในส่วนกรอบอาคารที่เป็นหน้าต่างกระจกจะมีสัดส่วนของพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังระหว่างชั้นประมาณ 35 % และเป็นผลให้ได้สัดส่วนกระจกต่อผนังรวมในแต่ละชั้นมีค่าประมาณ 23 % และระบบปรับอากาศที่ใช้ในอาคารนั้นจะเป็นแบบ air cooled packaged unit



รูปที่ 1 ลักษณะภายนอกของอาคารเจริญวิศวกรรม

นอกจากนั้นในแต่ละชั้นยังคงแบ่งออกเป็นโซนความร้อนต่าง ๆ กันตามลักษณะของกรอบอาคาร และลักษณะการใช้งานในห้องนั้น ๆ

จากนั้นจึงกำหนดลักษณะการคิดค่าไฟฟ้า [5] และกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ เกี่ยวกับค่าใช้จ่ายเพื่อวิเคราะห์ความคุ้มทุน ดังต่อไปนี้

-ค่าไฟฟ้าที่ใช้เป็นอัตราแบบ TOU (Time of Use) ที่ระดับแรงดัน 69 kW ขึ้นไป

-ไม่คิดค่าการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ, $FT = 0$

-อัตราดอกเบี้ยเท่ากับ 7 %, $d = 7$

-ไม่คิดค่าอัตราเงินเฟ้อ, $r = 0$

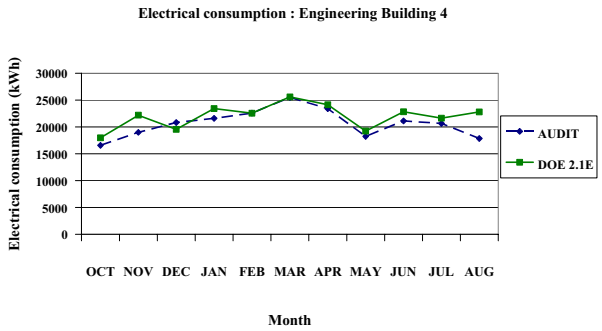
-กระจกมีอายุการใช้งาน 25 ปี, $n = 25$

-ฟิล์มติดกระจกมีอายุการใช้งาน 7 ปี, $n = 7$

7. การตรวจสอบความถูกต้องของการทำนายการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร

การตรวจสอบความถูกต้องของผลการทำนายจากโปรแกรม DOE 2.1E กระทำโดยทำการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานที่ได้จากการตรวจวัดจากการใช้งานจริงของอาคารกับค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ที่ได้จากการทำนายโดยโปรแกรม DOE 2.1E

แต่เนื่องจากในช่วงเวลาที่ได้ทำการตรวจวัดพลังงานนั้น ห้องบางส่วนยังไม่ได้เปิดให้ใช้งานอย่างสมบูรณ์ จึงเป็นผลให้ลักษณะของผู้อยู่อาศัย การใช้งานไฟฟ้า และอุปกรณ์สำนักงานต่าง ๆ ไม่สมบูรณ์เท่าที่ควร โดยมีเฉพาะชั้นที่ 18 เท่านั้นที่มีการใช้งานค่อนข้างจะสมบูรณ์ที่สุด ดังนั้น จึงนำค่าการใช้ไฟฟ้าชั้นที่ 18 จากการตรวจวัด[4] และจากผลการทำนายมาเปรียบเทียบกัน ผลการเปรียบเทียบถูกแสดงอยู่ในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการตรวจวัดในชั้นที่ 18 กับ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากโปรแกรม DOE 2.1 E

โดยจากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าแนวโน้มการใช้ค่าไฟฟ้ารายเดือนที่ได้จากการตรวจวัด และค่าที่ได้จากโปรแกรม DOE 2.1 E นั้นมีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียง และมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกัน

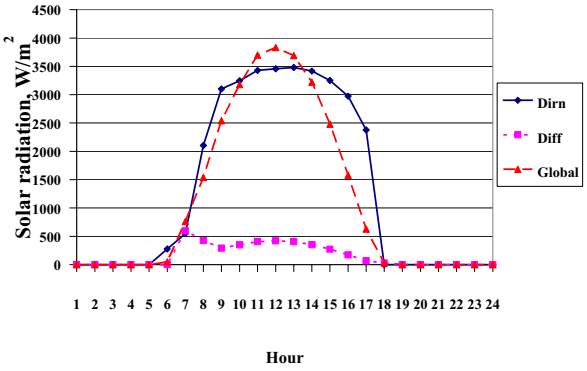
8. การวิเคราะห์

หลังจากได้กำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ แล้ว จึงทำการวิเคราะห์หาค่าภาระการทำความเย็น และการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารที่ใช้กระจกชนิดต่าง ๆ โดยในการศึกษาวิจัยนี้ได้วิเคราะห์กระจกทั้งหมดหลายชนิดด้วยกัน แต่ในบทความนี้จะยกมาแสดงเป็นบางส่วนโดยจะเลือกเป็นตัวแทนของกระจกแต่ละชนิด เพื่อแสดงให้เห็นแนวโน้มการประหยัดพลังงาน และระยะเวลาคืนทุนที่พึงจะได้ในภาพรวม โดยกระจกตัวแทนที่เลือกจะเป็น กระจกใส กระจกใสติดฟิล์ม กระจกสี กระจกสะท้อนแสงชั้นเดียว กระจกใสสองชั้น กระจกสองชั้นที่กระจกด้านนอกเป็นกระจกสี กระจกด้านนอกเป็นกระจกสะท้อนแสง กระจกด้านนอกเป็นกระจก low-E กระจกทั้งหมดเป็นกระจกหนา 6 มม. สำหรับกระจกสองชั้นจะมีช่องอากาศกว้าง 12 มม.อยู่ระหว่างแผ่นกระจกด้านนอก และด้านใน และจะมีค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

การวิเคราะห์จะเริ่มต้นด้วยการหาค่าภาระการทำความเย็น และการใช้พลังงานตลอดทั้งปีของอาคารที่ใช้กระจกชนิดต่าง ๆ ที่แสดงไว้ในตารางที่ 1 แล้วจึงนำเอาค่าเหล่านี้มาวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อหาการคุ้มทุนของการใช้กระจกแต่ละชนิด เนื่องจากข้อจำกัดในเนื้อที่ของบทความนี้ การเปรียบเทียบผลกระทบของการใช้กระจกต่างชนิดต่อค่าภาระการทำความเย็นจึงเลือกเอาค่าภาระการทำความเย็นของอาคารที่เกิดขึ้นเฉพาะวันที่ 31 มีนาคมมาเป็นตัวแทน เนื่องจากในข้อมูลภูมิอากาศมาตรฐานที่ถูกเลือกใช้ในการศึกษานี้[4] วันดังกล่าวเป็นวันที่มีค่ารังสีแสงอาทิตย์สูงตลอดวันดังแสดงไว้ในรูปที่ 3 และค่าภาระการทำความเย็นของอาคารในวันดังกล่าวที่ใช้กระจกต่างชนิดกันถูกแสดงไว้ในรูปที่ 4 และ 5

ตารางที่ 1 ค่าคุณสมบัติของกระจกตัวแทน

GLASS TYPE	Shading Coefficient, SC	U ($W/m^2 \cdot K$)
Clear	0.960	5.83
Clear+film	0.497	6.23
Tinted	0.680	6.21
Single reflective	0.360	5.23
Double clear	0.820	3.18
Double tinted	0.450	3.31
Double reflective	0.270	2.96
Double Low-E	0.440	1.95

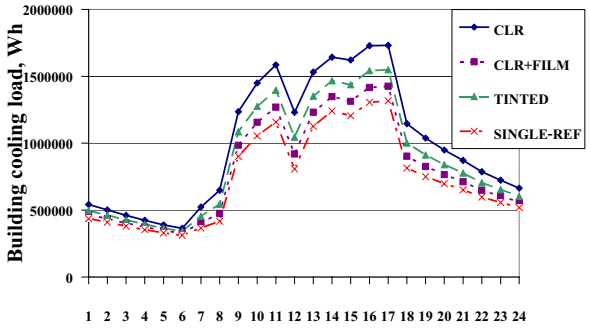


รูปที่ 3 ค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบตรงตั้งฉาก ค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบกระจาย และค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบรวม จากแฟ้มข้อมูล ในวันที่ 31 มีนาคม

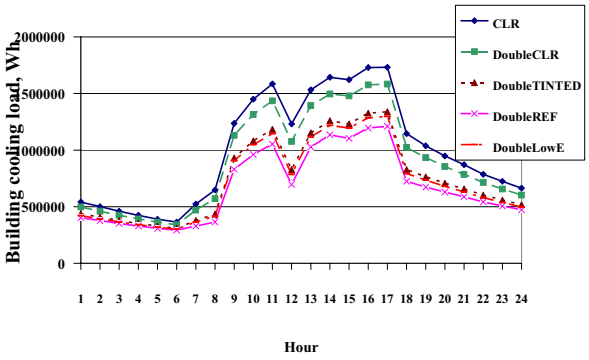
จากรูปที่ 4 และ 5 จะเห็นได้ว่า โดยภาพรวมแล้วภาระการทำความเย็นจะมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันทั้งหมด แต่จะมีรายละเอียดที่แตกต่างกันไปตามลักษณะของชนิดของกระจกที่ใช้เป็นกรอบอาคาร

จากรูปที่ 4 จะเห็นว่าในช่วงเช้าการใช้กระจกใสเป็นกรอบของอาคารจะมีค่าภาระการทำความเย็นที่สูงกว่ากระจกชนิดอื่น ๆ ซึ่งโดยเฉลี่ยมีค่าที่สูงตลอดทั้งวัน และจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ประมาณเวลา 16.00 – 17.00 น. ของวัน ในขณะที่กระจกชนิดอื่น ๆ จะมีการค่าภาระการทำความเย็นที่น้อยกว่า แต่ค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดนั้นจะเกิดในช่วงระยะเวลาเดียวกัน

รูปที่ 5 เป็นการเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นของการใช้กระจก 2 ชั้นชนิดต่าง ๆ เป็นกรอบอาคารเทียบกับการใช้กระจกใส 1 ชั้นเป็นกรอบอาคาร โดยจะเห็นได้ว่าอาคารที่ใช้กระจกใส 2 ชั้นที่กระจกชั้นนอกเป็นกระจกใสจะมีค่าภาระการทำความเย็นที่สูง และมีค่าในลักษณะเดียวกันกับกรณีของอาคารที่ใช้กระจกใส 1 ชั้นเกือบตลอดทั้งวัน ในขณะอาคารที่ใช้ที่กระจก 2 ชั้นชนิดอื่น ๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงของค่าภาระการทำความเย็นในรูปแบบเดียวกันเกือบทั้งหมดแต่จะมีค่าน้อยกว่า

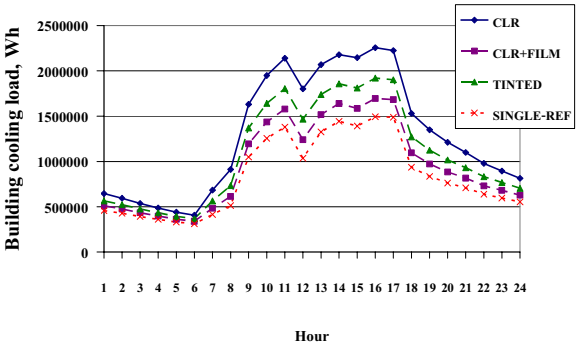


รูปที่ 4 ค่าภาระการทำความเย็นของอาคารที่ใช้กระจกใส 1 ชั้นเทียบกับอาคารที่ใช้กระจก 1 ชั้นชนิดอื่น ๆ

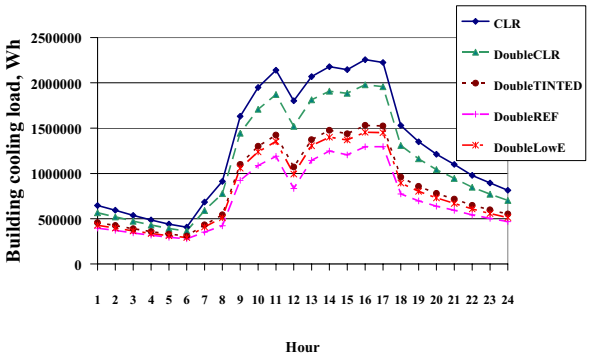


รูปที่ 5 ค่าภาระการทำความเย็นของอาคารที่ใช้กระจกใส 1 ชั้นเทียบกับอาคารที่ใช้กระจก 2 ชั้นชนิดอื่น ๆ

การศึกษาได้กระทำต่อในส่วนของการพิจารณาผลกระทบของความคุ้มทุนในกรณีที่อาคารมีกรอบอาคารที่เป็นพื้นที่กระจกมากขึ้น ซึ่งในกรณีนี้ได้กำหนดสัดส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ของผนังแต่ละด้านในส่วนของกรอบอาคารที่เป็นหน้าต่างกระจกให้เป็น 90 % ซึ่งเป็นผลให้อาคารหลังการเปลี่ยนแปลงขนาดกระจกจะมีพื้นที่กระจกประมาณ 37 % จากพื้นที่กรอบอาคารทั้งหมด จากเดิมที่มีพื้นที่กระจกประมาณ 23 % จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาค่าภาระการทำความเย็นเปรียบเทียบระหว่างอาคารที่ใช้กระจกใสกับอาคารที่ใช้กระจกขนิดอื่น ซึ่งผลการวิเคราะห์ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 6 และ 7



รูปที่ 6 ค่าภาระการทำความเย็นของอาคารที่ใช้กระจกใส 1 ชั้นเทียบกับอาคารที่ใช้กระจก 1 ชั้นชนิดอื่น ๆ ในกรณีที่มีการเพิ่มพื้นที่กระจกมากขึ้น



รูปที่ 7 ค่าภาระการทำความเย็นของอาคารที่ใช้กระจกใส 1 ชั้นเทียบกับอาคารที่ใช้กระจก 2 ชั้นชนิดอื่น ๆ ในกรณีที่มีการเพิ่มพื้นที่กระจกมากขึ้น

รูปที่ 6 แสดงให้เห็นถึงค่าภาระการทำความเย็นของอาคารที่มีค่ามากขึ้นเมื่อมีปริมาณกระจกเป็นกรอบของอาคารมากขึ้น ซึ่งโดยภาพรวมจะเห็นได้ว่ายังคงมีค่าภาระการทำความเย็นคล้ายกับรูปที่ 4 เพียงแต่ว่าค่าจะมากขึ้น และค่าภาระการทำความเย็นในช่วงเช้าจะมีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดในช่วงตอนบ่าย สาเหตุก็เนื่องมาจากว่าการที่อาคารมีกระจกมากขึ้นทำให้รังสีแสงอาทิตย์สามารถส่งผ่านเข้ามาได้ในทุกทิศของอาคาร จึงเป็นผลให้ค่าภาระการทำความเย็นมีค่าที่สูงต่อเนื่องตลอดทั้งวัน และสำหรับกรณีของกระจก 2 ชั้นชนิดอื่น ๆ จะมีค่าภาระการทำความเย็นดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีลักษณะเดียวกันกับรูปที่ 5 แต่ขนาดจะต่างกัน

นอกเหนือจากค่าภาระการทำความเย็นที่ถูกเลือกมาแสดงเปรียบเทียบแล้ว การศึกษาได้นำค่าภาระการทำความเย็นของอาคารที่ใช้กระจกชนิดต่าง ๆ ตลอดทั้งปีไปคำนวณหาค่าการใช้พลังงาน และคำนวณค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อหาความคุ้มทุน โดยผลการวิเคราะห์ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 2 ถึง 5 โดยตารางที่ 2 และ 3 จะแสดงถึงผลของการเลือกใช้ระบบกระจกที่ต่างกันสำหรับอาคาร ในขณะที่ตารางที่ 4 และ 5 แสดงการปรับปรุงระบบกระจกของอาคารที่มีอยู่แล้ว โดยทั้งสองส่วนจะมีลักษณะการคิดราคาที่แตกต่างกัน

ข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 2 และ 3 จะได้มาจากการคิดในกรณีที่เลือกใช้กระจกใสเป็นกระจกพื้นฐานจากนั้นจึงคิดเงินที่ต้องลงทุนเพิ่ม (incremental investment) หากเลือกใช้กระจกชนิดอื่นกับอาคาร คิดค่าพลังงานไฟฟ้ารายปีที่ประหยัดได้ และคิดระยะเวลาคืนทุนเพื่อเป็นการศึกษาการเลือกใช้ระบบกระจก

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าอาคารที่ใช้กระจกต่างชนิดกันจะมีลักษณะการลดพลังงาน ระยะเวลาคืนทุนที่แตกต่างกันไป โดยความสามารถในการช่วยประหยัดพลังงานนั้นจะแปรผันโดยตรงกับค่าคุณสมบัติทางความร้อนต่าง ๆ นั่นเอง ส่วนการใช้กระจกชนิดใดจะคุ้มค่าในการลงทุนหรือไม่นั้นจำเป็นต้องพิจารณาราคาระบบกระจกและค่าติดตั้งประกอบไปพร้อมกันด้วย โดยจากตารางจะเห็นว่ากระจกสีมีระยะเวลาคืนทุนที่ดีกว่ากระจกชนิดอื่น ๆ ตามมาด้วยกระจกสะท้อนแสง 1 ชั้น โดยสาเหตุเนื่องมาจากว่ากระจก 2 ชนิดนี้สามารถช่วยลดรังสีแสงอาทิตย์ที่เข้ามาสู่อาคารได้มากพอสมควร และนอกจากนั้นราคาก็ไม่สูงไปกว่ากระจกใส 1 ชั้นมากนัก

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ประหยัดได้ และระยะเวลาคืนทุนของอาคารที่ใช้กระจกชนิดต่าง ๆ กับอาคารที่ใช้กระจกใส 1 ชั้น

Glass selection		Incremental investment (Baht)	Electricity saving (kWh/year)	Payback period (years)
Baseline	New glass			
Clear	Clear + film	626,970	414,742	4.51
Clear	Tinted	417,980	248,380	0.39
Clear	Single reflective	2,507,880	539,638	1.08
Clear	Double clear	18,643,940	100,053	+10.0
Clear	Double tinted	20,811,840	450,196	3.04
Clear	Double reflective	24,280,480	622,003	2.81
Clear	Double Low - E	26,881,960	450,396	5.02

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ประหยัดได้ และระยะเวลาคืนทุนของอาคารที่ใช้กระจกชนิดต่าง ๆ กับอาคารที่ใช้กระจกใส 1 ชั้นในกรณีที่มีการเพิ่มพื้นที่กระจกมากขึ้น

Glass selection		Incremental investment (Baht)	Electricity saving (kWh/year)	Payback period (years)
Baseline	New glass			
Clear	Clear + film	1,300,740	634,327	6.71
Clear	Tinted	867,810	361,510	0.58
Clear	Single reflective	5,202,960	850,507	1.48
Clear	Double clear	9,105,200	136,472	+10.0
Clear	Double tinted	11,273,080	692,805	4.38
Clear	Double reflective	14,741,720	996,477	3.85
Clear	Double Low - E	17,343,200	687,007	7.60

สำหรับกระจกติดฟิล์มจะเห็นได้ว่าระยะเวลาคืนทุนค่อนข้างนานเช่นกัน โดยทั่วไปแล้วฟิล์มจะช่วยลดความร้อนได้ดี แต่เนื่องจากราคาต่อหน่วยของฟิล์มเองมีราคาค่อนข้างสูง และมีอายุการใช้งานที่สั้นกว่ากระจก ดังนั้นเจ้าของอาคารจำเป็นต้องลงทุนติดฟิล์มใหม่ทุกครั้งเมื่ออายุการใช้งานของฟิล์มหมดลง (ในการศึกษานี้กำหนดไว้ที่ 7 ปี) จนเท่ากับอายุการใช้งานของกระจก จึงเป็นผลให้ระยะเวลาคืนทุนเลยนานพอสมควร (ค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่เพิ่มขึ้นของกระจกใสติดฟิล์มที่แสดงไว้ในตารางที่ 2 จะเป็นค่าใช้จ่ายในการติดฟิล์ม 1 ครั้งเท่านั้น) สำหรับกระจก 2 ชั้นที่มีกระจกชั้นนอกเป็นกระจกสี กระจกสะท้อนแสงและกระจก Low – E จะมีค่าในลักษณะเดียวกัน ในขณะที่กระจกใส 2 นั้นมีระยะเวลาคืนทุนนานกว่า 10 ปี (ในการศึกษานี้ใช้ระยะเวลา 10 ปี เป็นเวลาที่ใช้พิจารณาความคุ้มทุน ตัวเลข +10 หมายถึงระยะเวลาการคืนทุนมากกว่า 10 ปี ถือเป็นกรณีที่ไม่มีความคุ้มค่าของการลงทุน) โดยทั่วไปกระจกใส 2 ชั้นจะไม่ช่วยลดปริมาณรังสีได้ดีนัก นอกจากนั้นราคายังค่อนข้างแพง ทำให้กระจกใส 2 ชั้นไม่ใช่ทางเลือกที่เหมาะสมนักในการใช้เป็นกรอบอาคาร

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าในกรณีที่กระจกมีขนาดใหญ่ การปรับเปลี่ยนชนิดกระจกสามารถช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นในทุกกรณี แต่ระยะเวลาคืนทุนนั้นกลับมีค่าเพิ่มขึ้นในทุกกรณีเมื่อเทียบกับอาคารในกรณีที่ยังไม่ได้ปรับขนาดกระจก ซึ่งอาจเนื่องมาจากว่าผนังด้านที่มีปริมาณกระจกมากของอาคารตัวอย่างนั้นหันหน้าไปทางทิศเหนือ กับทิศใต้ ซึ่งทิศเหนือเป็นทิศที่รับรังสีแสงอาทิตย์น้อยอยู่แล้ว ดังนั้นกระจกที่ติดตั้งเพิ่มจึงไม่ได้ช่วยในการลดผลการแผ่รังสีแสงอาทิตย์มากเท่าที่ควร นอกจากนั้นราคาของกระจกจะเพิ่มขึ้นตามขนาดกระจกที่เพิ่มขึ้น สิ่งนี้ยังคงแสดงให้เห็นถึงผลของการกำหนดทิศทางของผนังของอาคาร และการเลือกชนิดกระจกที่เหมาะสมอีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามระยะเวลาคืนทุนส่วนใหญ่ก็ยังคงมีค่าน้อย และยังคุ้มค่าต่อการลงทุนอยู่

สำหรับกรณีที่ว่าหากมีอาคารเดิมอยู่ และต้องการปรับปรุงระบบกระจกของอาคารนั้นอาจจะกระทำได้ 2 อย่างคือ ติดฟิล์มเข้ากับระบบกระจก หรือรื้อกระจกเดิมและทำการติดตั้งกระจกชนิดใหม่เข้าไป เงินลงทุนที่ต้องใช้ (เงินลงทุนที่นำมาวิเคราะห์ในการศึกษานี้ไม่ได้คิดค่ารื้อถอนระบบกระจกเก่า คิดแต่ค่าระบบกระจก และค่าติดตั้งระบบกระจกใหม่) ค่าพลังงานไฟฟ้ารายปีที่ประหยัดได้ และระยะเวลาคืนทุนมีค่าดังแสดงไว้ในตารางที่ 4 และ 5

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ประหยัดได้ และระยะเวลาคืนทุนของอาคารที่ใช้กระจกชนิดต่าง ๆ กับอาคารที่ใช้กระจกใส 1 ชั้น

Glass retrofit		Investment to retrofit (Baht)	Electricity saving (kWh/year)	Payback period (years)
Baseline	New glass			
Clear	Clear + film	626,970	414,742	4.51
Clear	Tinted	5,015,760	248,380	5.42
Clear	Single reflective	7,105,680	539,638	3.28
Clear	Double clear	8,986,560	100,053	+10.0
Clear	Double tinted	10,031,520	450,196	6.18
Clear	Double reflective	11,703,440	622,003	4.95
Clear	Double Low - E	12,957,400	450,396	8.73

ตารางที่ 5 ผลการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ประหยัดได้ และระยะเวลาคืนทุนของอาคารที่ใช้กระจกชนิดต่าง ๆ กับอาคารที่ใช้กระจกใส 1 ชั้นในกรณีที่มีการเพิ่มพื้นที่กระจกมากขึ้น

Glass retrofit		Investment to retrofit (Baht)	Electricity saving (kWh/year)	Payback period (years)
Baseline	New glass			
Clear	Clear + film	1,300,740	634,327	6.71
Clear	Tinted	10,405,920	361,510	8.92
Clear	Single reflective	14,741,720	850,507	4.62
Clear	Double clear	18,643,940	136,472	+10.0
Clear	Double tinted	20,811,840	692,805	9.42
Clear	Double reflective	24,280,480	996,477	6.99
Clear	Double Low - E	26,881,960	687,007	+10.0

จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าในกรณีลงทุนเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงระบบกระจกส่วนใหญ่จะมีค่าระยะเวลาคืนทุนที่ไม่ต่างกันมากนัก โดยจะเห็นได้ว่ากระจกสะท้อนแสง 1 ชั้นจะมีระยะเวลาคืนทุนที่สั้นที่สุด และรองลงมาคือการติดฟิล์ม แต่อย่างไรก็ตามในการปรับปรุงจริง ๆ การติดฟิล์มอาจจะเป็นทางเลือกที่น่าสนใจเพราะการปรับปรุงทำได้โดยง่าย และไม่ยุ่งยากเหมือนในกรณีรื้อและเปลี่ยนระบบกระจกใหม่

สำหรับในกรณีที่อาคารมีสัดส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังในแต่ละชั้นมากขึ้นนั้นผลการวิเคราะห์ได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 5 โดยจากตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่าระยะเวลาคืนทุนที่ได้จากการรื้อและเปลี่ยนกระจกใหม่นั้นส่วนใหญ่จะมีระยะคืนทุนของกระจกสะท้อนแสง 1 ชั้นดีที่สุด รองลงมาคือการติดฟิล์ม และการใช้กระจกสะท้อนแสง 2 ชั้น

เหตุผลส่วนหนึ่งก็คือว่า อาคารตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษานี้ผนังด้านที่มีปริมาณกระจกมากนั้นหันหน้าไปทางทิศเหนือ กับทิศใต้ ซึ่งทิศเหนือเป็นทิศที่รับรังสีแสงอาทิตย์น้อย ดังที่ได้อธิบายไว้ในตอนต้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในการปรับปรุงโดยการเปลี่ยนชนิดกระจกนั้นถึงแม้จะสามารถกระทำได้แต่ต้องพิจารณาอย่างระมัดระวัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งทิศทางของกระจกในอาคารถ้าเป็นส่วนที่ไม่ได้รับแสงปริมาณมาก หรือเป็นด้านที่มีการบังเงาจากอาคารอื่น ๆ อยู่แล้ว การเปลี่ยนแปลงระบบกระจกอาจจะไม่คุ้มค่าเท่าที่ควร ในขณะที่การปรับปรุงโดยการติดฟิล์มนั้นสามารถช่วยการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ดี นอกจากนั้นระยะคืนทุนยังคงมีค่าที่น้อยกว่า 10 ปีอยู่ ดังนั้นในการปรับปรุงกรอบอาคารโดยทั่ว ๆ ไปนั้น ฟิล์มจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ แต่เนื่องจากฟิล์มมีอายุการใช้งานที่สั้นกว่าการติดตั้งระบบกระจกชนิดใหม่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนฟิล์มหลายครั้งเมื่อเทียบกับอายุการใช้งานของระบบกระจกชนิดใหม่ ดังนั้นการปรับปรุงอาคารโดยการเปลี่ยนระบบกระจกจำเป็นต้องพิจารณาให้ละเอียดถี่ถ้วนในทุกแง่มุมเพื่อให้การปรับปรุงที่ได้กระทำลงไปนั้นมีความคุ้มค่ามากที่สุด

9. สรุป

จากการศึกษาถึงความคุ้มทุนของการปรับปรุง และเลือกระบบกระจกที่เหมาะสมจะเห็นได้ว่าการเลือกใช้กระจกมีความสำคัญค่อนข้างมาก โดยการเลือกใช้ที่เหมาะสมจะช่วยลดการใช้พลังงานของอาคารได้ดี และนอกจากนั้นยังมีความคุ้มค่าในการลงทุนที่จะทำให้เจ้าของอาคารสามารถลงทุนเพื่อปรับปรุงลักษณะของอาคารให้เอื้อต่อการประหยัดพลังงานมากยิ่งขึ้น ซึ่งในการศึกษานี้พบว่าอาคารที่มีพื้นที่กระจกไม่มากนัก ความแตกต่างของความคุ้มทุนของการเลือกกระจกต่างชนิดเป็นหน้าต่างในกรอบอาคารจะไม่เด่นชัดนักเนื่องจากปริมาณพลังงานความร้อนที่ลดลงไม่มากพอที่จะเห็นความแตกต่างมาก เมื่อเพิ่มพื้นที่กระจกมากขึ้นจะพบว่าเกิดความแตกต่างของการคุ้มทุนเริ่มเด่นชัดขึ้น กระจกสีและกระจกสะท้อนแสง 1 ชั้นจะมีความคุ้มทุนสูงสุด และยังพบว่าในกรณีการปรับปรุงอาคารที่มีอยู่เดิม การใช้ฟิล์มกับกระจกเดิมกับการใช้กระจกสะท้อนแสง 1 ชั้นมีความคุ้มทุนค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้กระจกชนิดอื่น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช) ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณบริษัทกระจกพีเอ็มเค-เซนทรัล จำกัด บริษัทกระจกไทยอาซาฮี จำกัด บริษัทเทคโนเซล (เฟรย์) จำกัด และบริษัทคอนซัลติ้ง แอนด์ แมนเนจเม้นต์ 49 จำกัด ที่ได้อนุเคราะห์ข้อมูลคุณสมบัติ และราคารวมทั้งค่าติดตั้งของระบบกระจก และฟิล์มแต่ละชนิดที่ใช้ในงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. FTI/DOE. Reference manual Vol. 1-3. 1993.
2. Buhl F. DOE-2 Weather Processor. DOE 2.1 Documentation Update, Lawrence Berkley National Laboratory, Simulation Research Group, Berkley, CA, April 1999.
3. Manon W. and Urban K. User's Manual for TMY2s Typical Meteorological Years. National Renewable Energy Laboratory, June 1995.
4. สมศักดิ์ ไชยะภินันท์, เขมชาติ มังกรศักดิ์สิทธิ์ และ สุรสิทธิ์ ทองจินทรัพย์. ข้อมูลภูมิอากาศมาตรฐานสำหรับใช้กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการทำนายการใช้พลังงานของอาคาร. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2542.
5. การไฟฟ้านครหลวง http://www.mea.or.th/tarifftype4.htm (accessed on October 2005).