การวิจัยเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนผ่านหน้าต่างกระจกใส และกระจกติดฟิล์ม ที่ส่งผลต่อการอนุรักษ์พลังงาน

The Comparison Research of Heating Transferred Through Clear Window and Glass Windows with Film which Effect to Energy Saving

อำพล พิชัยเชิด และ บรรยงค์ รุ่งเรืองด้วยบุญ
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
99 ม.1 ถนนพหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120
โทร 0-2564-3001-9 ต่อ 3159 โทรสาร 0-2564-3001-9 ต่อ 3049,0-2564-3010
E-mail:enaumpol@yahoo.com

บทคัดย่อ

กระจกใสเป็นจุดเปราะที่สุดสำหรับการประหยัดพลังงานภายในห้องปรับอากาศ การที่ความร้อนประมาณ 80% จากแสงอาทิตย์สามารถส่องผ่านกระจกใสธรรมดาเข้าสู่ภายในตัวอาคารและกลายเป็นภาระในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ การใช้ฟิล์มกรองแสงจึงเป็นทางออกหนึ่งของการลดภาระทางความร้อนที่เข้าสู่ภายในอาคาร วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยชิ้นนี้เพื่อศึกษาการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเมื่อติดตั้งฟิล์มกรองแสงชนิดต่างๆที่ใช้โดยทั่วไปในประเทศไทยและเผยแพร่ข้อมูลสู่สาธารณะเพื่อลดการใช้พลังงานในอาคาร ในการวิเคราะห์ได้ทำการเลือกระดับความเข้มของฟิล์มกรองแสง 5 ระดับครอบคลุมฟิล์มกรองแสงที่ใช้ติดตั้งในอาคารทั่งไป นอกจากนั้นจึงได้ทำการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงโดยได้ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่า Solar Heat Gain Factor (SHGF) ที่ได้จากผลการทดลองและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้ข้อมูลรังสีอาทิตย์เฉลี่ยจากกรมอุตุนิยมวิทยาและ ASHRAE Handbook Fundamental 1997 สุดท้ายแบบจำลองที่เหมาะสมกับสภาพความเป็นจริงได้ถูกเลือกใช้ประกอบการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อหาจุดคุ้มทุนในการติดตั้งฟิล์มกรองแสงทั้ง 5 ระดับความเข้มเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับการเลือกใช้ฟิล์มที่เหมาะสมทั้งในด้านสมรรถนะและราคา

Abstract:

One the most weat point of energy saving in an air conditioning room is clear windows which about 80 percent of sun beam can go through the glass and increase heat inside building. then it become a big problem of cooling by air conditioning However, using dark film glass windows is one of the solutions to reduce heating that get into buildings. The main purpose of this research is studying the way to saving energy form air conditioning by installing dark film glass windows all around building in Thailand ,and gives the knowledge to public to know how to save the energy in buildings. The analysis has been selected the dark film glass levels to five level to be installed. Besides the examination has been tested in the real environment .which the data has been compared and analysis by the solar heat gain factor (SHGF) value which could get the result from the mathematics samplings test. The test has referred the sun beam data from the department of weather for cast and ASHRAE Handbook Fundamental 1997.Finally the mathematics sampling test which proper for the real environment has been select as one of the factor of the economics analysis to find the breakeven of dark film glass installation in each five level for price and potential as the data base of selecting the proper film glass.

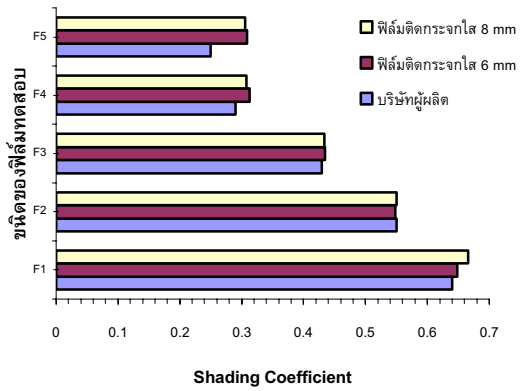
1. บทนำ

เนื่องจากประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้นจึงทำให้การใช้พลังงานสำหรับระบบปรับอากาศอยู่ในอัตราที่สูง และการใช้พลังงานก็มิได้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ หลายฝ่ายโดยเฉพาะหน่วยงานราชการได้ตระหนักถึงการสูญเสียที่เกิดขึ้นจึงได้มีการศึกษาการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศโดยเน้นไปที่อาคารพาณิชย์ขนาดใหญ่ [1] เช่น โรงแรม ห้างสรรพสินค้า โรงพยาบาล เป็นต้น ซึ่งมีการใช้ระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันบ้านพักอาศัยทั่วไปนิยมติดตั้งระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมากขึ้น ทำให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนนี้เพิ่มขึ้นมากและมีแนวโน้มจะสูงขึ้นอีก ในอนาคตถึงแม้ว่าจะมีการรณรงค์การใช้เครื่องปรับอากาศเบอร์ 5 และ

การตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 25 °Cก็ตามสาเหตุหนึ่งเนื่องจากไม่ได้มีการออกแบบบ้านเตรียมไว้สำหรับการติดตั้งระบบปรับอากาศเช่นค่าความเป็นฉนวนของผนังมีค่าต่ำเกินไปทำให้ความร้อนจากด้านนอกถ่ายเทเข้าสู่ตัวบ้าน ทิศทางการหันของบ้านเทียบกับแสงอาทิตย์ไม่เหมาะสม และการมีหน้าต่างหรือประตูที่ทำจากกระจกมากเกินและติดตั้งในบริเวณที่แสงแดดส่องถึงเป็นต้น

2. กระจกใสและกระจกติดฟิล์ม

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางแสงและทางกลของกระจกติดฟิล์ม โดยใช้ความยาวคลื่นช่วงการมองเห็น (Visible range) ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 380 ถึง 780 นาโนเมตร และช่วงรังสีอาทิตย์ที่มีค่าตั้งแต่ 300 ถึง 2100 นาโนเมตร ในการทดสอบคุณสมบัติทางแสงของกระจกใสและกระจกใสติดฟิล์ม เพื่อทำการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์บังเงา (Shading Coefficient) ของกระจกใสและกระจกติดฟิล์มทั้ง 5 ระดับความเข้ม ตัวอย่างฟิล์มที่ทำการวิเคราะห์ได้แก่ ฟิล์มที่ระดับความเข้มที่ 1 (F1) ฟิล์มที่ระดับความเข้มที่ 2 (F2) ฟิล์มที่ระดับความเข้มที่ 3 (F3) ฟิล์มที่ระดับความเข้มที่ 4 (F4) ฟิล์มที่ระดับความเข้มที่ 5 (F5) ถูกติดตั้งกับกระจกใสหนา 6 mmและ 8 mm ขนาด 5 cm x 5 cm โดยใช้อุปกรณ์ UV-Visible Spectra Photo ตามมาตรฐาน [1] ในการทดสอบกระจกใสและกระจกติดฟิล์ม สำหรับการคำนวณค่าการสะท้อน การส่องผ่าน และการดูดกลืน ใช้วิธีตามมาตรฐาน [2] จากนั้นจะนำผลที่ได้ในการทดสอบและการคำนวณ มาใช้ประกอบการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์บังเงา [3]



รูปที่ 1 ค่า SC ของฟิล์มทั้ง 5 ระดับความเข้มจากบริษัทผู้ผลิตและผลจากการทดสอบ

ผลจากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์บังเงาของกระจกใสและกระจกติดฟิล์มถูกแสดงไว้ในรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่าค่า SC ที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่อง UV-Visible Spectra Photo จะให้ผลที่ใกล้เคียงกับค่า SC จากบริษัทผู้ผลิต ซึ่งผลจากค่าความแตกต่างส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากบริษัทผู้ผลิต ทดสอบฟิล์มติดกระจกใสหนา 3 mm และผลจากค่าความผิดพลาดของเครื่องมือทดสอบ ค่า Shading Coefficient ที่ได้จากการทดสอบและวิเคราะห์นี้ จะใช้ประกอบการคำนวณค่าการส่งผ่านความร้อนของกระจกใสและกระจกติดฟิล์ม

การทดสอบคุณสมบัติทางกล เพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ระหว่างกระจกใสกับกระจกใสติดฟิล์มพบว่าเมื่อติดฟิล์มกรองแสง ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ลดลงเพียงประมาณ 1 % เพราะฉะนั้นการนำความร้อนผ่านกระจกระหว่างกระจกใสกับกระจกใสติดฟิล์มจึงมีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อย ดังนั้นความร้อนที่เข้าสู่ห้องจะให้ผลที่แตกต่างกัน จากคุณสมบัติทางแสงของฟิล์มที่ใช้ในการทดสอบเป็นส่วนมาก

3. การส่งผ่านพลังงานความร้อน

รังสีจากดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบกับหน้าต่างกระจก จะมีรังสีอาทิตย์บางส่วนที่ตกกระทบและส่งผ่านความร้อนผ่านหน้าต่างกระจกเข้ามาโดยตรง และจะมีบางส่วนถูกดูดกลืนเก็บไว้ในเนื้อของหน้าต่างกระจกและจะถ่ายเทความร้อนออกมาภายหลังโดยอาศัยการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีคลื่นยาว ส่วนที่เหลือจะสะท้อนกลับออกไปข้างนอก ซึ่งขนาดของรังสีที่ถูกเก็บไว้ในเนื้อของหน้าต่างกระจกแล้วถ่ายเทออกมาภายหลัง ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาวะของอากาศที่อยู่ล้อมรอบระหว่างด้านทั้งสองของหน้าต่างกระจก ค่า Solar Heat Gain Factor (SHGF) คือค่าตัวประกอบความร้อนเพิ่มจากรังสีอาทิตย์ ที่แสดงถึงส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบหน้าต่างกระจกแล้วผ่านเข้ามาภายในห้องกลายเป็นความร้อนที่ได้รับ

ผลรวมทางความร้อนของรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบหน้าต่างกระจกแล้วผ่านเข้ามาภายในห้องในแบบตรงและแบบกระจายรวมถึงส่วนที่ถูกดูดกลืนไว้ในเนื้อกระจกแล้วถ่ายเทความร้อนออกมาภายหลังในทางปฏิบัติสามารถเขียนได้เป็น [4]

$$q_A = SC \times SHGF + U(t_o - t_i) \quad (1)$$

โดยที่ SC = ค่าสัมประสิทธิ์บังเงา (shading coefficient)

$SHGF$ =ค่าตัวประกอบความร้อนเพิ่มจากรังสีอาทิตย์ (solar heat gain factor)

U =ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม, W/(m^2.°C)

t_o =อุณหภูมิอากาศภายนอก, °C

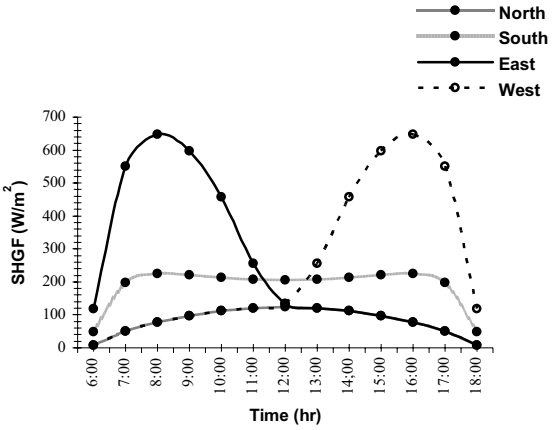
t_i =อุณหภูมิอากาศภายใน, °C

4. การวิเคราะห์

4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

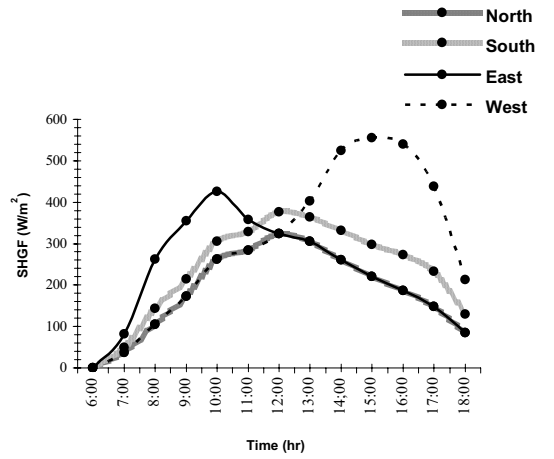
การวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของค่าตัวประกอบความร้อนเพิ่มรังสีอาทิตย์ของ ASHRAE โดยเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของค่าตัวประกอบความร้อนเพิ่มรังสีอาทิตย์จากการใช้ข้อมูลรังสีอาทิตย์เฉลี่ยจากกรมอุตุนิยมวิทยาวันที่ 21 มิถุนายน ในปี ค.ศ.2000-2005 ในการคำนวณค่าตัวประกอบความร้อนเพิ่มรังสีอาทิตย์ สำหรับทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก ดังแสดงในรูปที่ 2 และรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าในรูปที่ 2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ ASHRAE ในสภาวะ clear day ให้ผลของค่าตัวประกอบความร้อนเพิ่มรังสีอาทิตย์ค่อนข้างสูง แตกต่างไปจากรูปที่ 3 ซึ่งใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ยจากกรมอุตุนิยมวิทยาในวันเดียวกัน

สำหรับทิศตะวันออก ค่าตัวประกอบความร้อนเพิ่มรังสีอาทิตย์จากกรมอุตุนิยมวิทยาในช่วงเวลา 6.00 ถึง 12.00 น. จะให้ผลของรังสีอาทิตย์ค่อนข้างน้อยกว่าผลการคำนวณของ ASHRAE ในสภาวะ clear day



รูปที่ 2 ค่า SHGF ในวันที่ 21 เดือนมิถุนายน ASHRAE Handbook Fundamentals

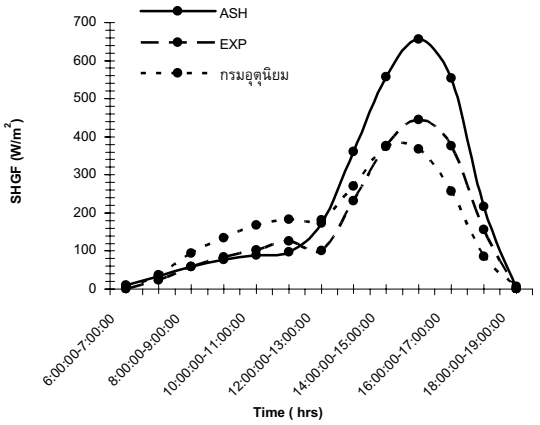
ให้ทิศเหนือและทิศใต้ค่า SHGF ที่ได้จากการใช้ค่าเฉลี่ยจากกรมอุตุนิยมวิทยามีค่าที่สูงกว่าของ ASHRAEเนื่องมาจากผลของการวัดค่ารังสีกระจายจากท้องฟ้าที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยาที่มีค่าสูง



รูปที่ 3 ค่า SHGF ในวันที่ 21 เดือนมิถุนายนใช้ข้อมูลรังสีอาทิตย์เฉลี่ยจากกรมอุตุนิยมวิทยา

4.2 การเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม

การวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของค่าตัวประกอบความร้อนเพิ่มรังสีอาทิตย์ จากสมการประมาณค่ารังสีอาทิตย์ของ ASHRAE โดยเปรียบเทียบผลจากการใช้ข้อมูลรังสีอาทิตย์จากกรมอุตุนิยมวิทยาในปี ค.ศ. 2000 ถึง 2005 และค่ารังสีอาทิตย์ที่ได้จากการทดลองที่อาคารวิจัยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ เฉลี่ยรายชั่วโมงเปรียบเทียบในวันที่ 21เดือนมกราคมในทิศตะวันตก พบว่าจากรูปที่ 4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของค่าตัวประกอบความร้อนเพิ่มจากรังสีอาทิตย์ที่ได้จากการทดลองวัดค่ารังสีอาทิตย์ที่อาคารวิจัยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และใช้ข้อมูลเฉลี่ยจากกรมอุตุนิยมวิทยาจะให้ผลที่สอดคล้องกัน ซึ่งต่างจากผลการคำนวณของ ASHRAE ในสภาวะ clear day



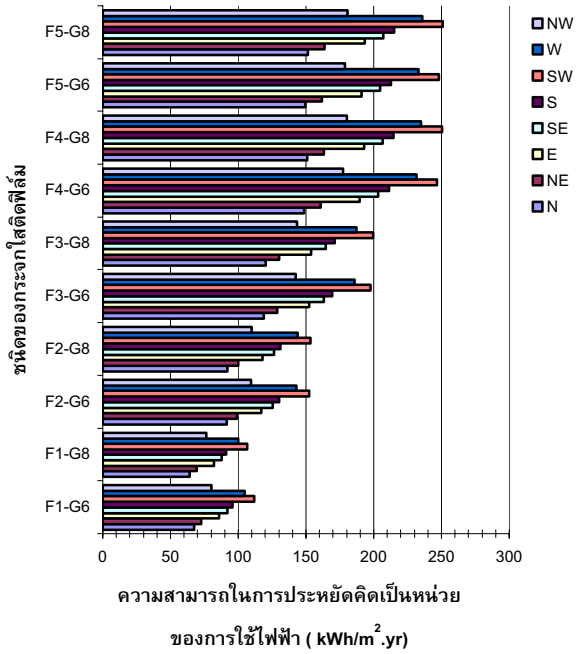
รูปที่ 4 ค่า SHGF ของ ASHRAE, กรมอุตุนิยมวิทยาและที่อาคารวิจัยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ในวันที่ 21 เดือนมกราคม

ที่ให้ผลค่อนข้างสูงกว่าการทดลองที่อาคารวิจัย และกรมอุตุนิยมวิทยาที่ได้จากข้อมูลการวัดในช่วงวันและเวลาเดียวกัน แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ข้อมูลเฉลี่ยจากกรมอุตุนิยมวิทยาที่มีผลการวัดอย่างต่อเนื่องกันตลอดทั้งปี จึงถูกเลือกใช้สำหรับในการประมาณค่าพลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจกใสหรือกระจกติดฟิล์ม

5. ผลการวิเคราะห์

ผลจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของค่าตัวประกอบความร้อนเพิ่มรังสีอาทิตย์ จากรูปที่ 4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการใช้ค่ารังสีอาทิตย์ที่ได้จากการทดลองที่อาคารวิจัยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์และใช้ข้อมูลเฉลี่ยจากกรมอุตุนิยมวิทยาให้ผลที่สอดคล้องกัน แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ข้อมูลเฉลี่ยจากกรมอุตุนิยมวิทยาที่มีผลการวัดอย่างต่อเนื่องกันตลอดทั้งปี จึงถูกเลือกใช้สำหรับในการประมาณค่าพลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจกใสหรือกระจกติดฟิล์ม เพื่อที่จะได้ผลที่ใกล้เคียงค่าความเป็นจริงมากที่สุด และเหมาะสมที่จะเลือกใช้เป็นตัวแทนในการคำนวณค่าการส่งผ่านความร้อนของกระจกใสและกระจกติดฟิล์มในแต่ละทิศของการติดตั้ง จากรูปที่ 5 การวิเคราะห์ผลของการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของ ฟิล์มที่ระดับความเข้มที่ 1 (F1) ฟิล์มที่ระดับความเข้มที่ 2 (F2) ฟิล์มที่ระดับความเข้มที่ 3 (F3) ฟิล์มที่ระดับความเข้มที่ 4 (F4) ฟิล์มที่ระดับความเข้มที่ 5 (F5) จากรูปที่ 5 พบว่าฟิล์มที่ระดับความเข้มที่ 4 และฟิล์มที่ระดับความเข้มที่ 5 ให้ค่าของการประหยัดพลังงานไฟฟ้าสูงสุด ฟิล์มที่ระดับความเข้มที่ 1 จะให้ผลของการประหยัดพลังงานไฟฟ้าต่ำสุด ในทิศของการติดตั้งเดียวกัน สำหรับทิศทางในการติดตั้งกระจกติดฟิล์มมีผลต่อการประหยัดพลังงานค่อนข้างมาก จะสังเกตเห็นได้ว่าฟิล์มที่ชนิดเดียวกันแต่ติดตั้งในทิศที่ต่างกัน ผลของการประหยัดพลังงานก็จะแตกต่างกันตามค่าของรังสีอาทิตย์ที่ได้รับใน

ทิศนั้น ๆ ฟิล์มในแต่ละระดับความเข้มจะมีประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานสูงสุดในทิศที่มีการรับค่ารังสีอาทิตย์มากที่สุด

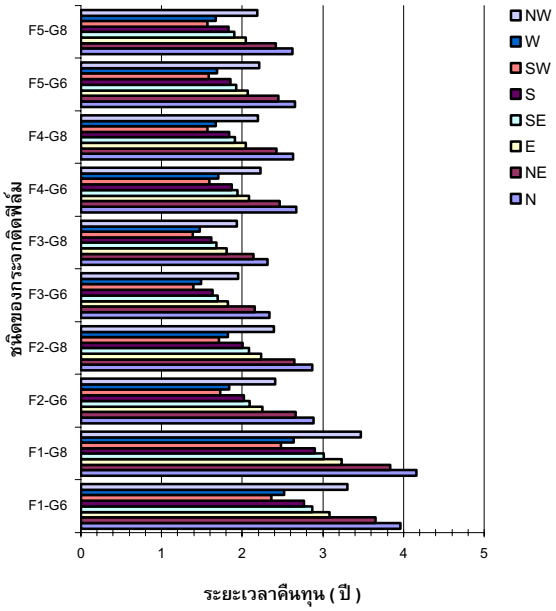


รูปที่ 5 ความสามารถในการประหยัดคิดเป็นหน่วยของพลังงานไฟฟ้าของฟิล์มที่ความเข้มทั้ง 5 ระดับ

6. สรุป

จากการศึกษานี้พบว่า ผลรวมของการส่งผ่านพลังงานความร้อนที่ผ่านกระจกเข้ามาภายในอาคารจะขึ้นอยู่กับระดับความเข้มของการติดตั้งฟิล์มเป็นอย่างมาก ฟิล์มที่ให้ค่า SC ต่ำจะให้ค่าของการประหยัดพลังงานสูงสุด ความหนาของกระใส 6 mmและ 8 mmมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมน้อยมาก แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของค่าตัวประกอบความร้อนเพิ่มรังสีอาทิตย์ที่เหมาะสมเลือกใช้ข้อมูลเฉลี่ยจากกรมอุตุนิยมวิทยา ระยะเวลาคืนทุนในรูปที่ 6 พบว่าระยะเวลาการคืนทุนนอกจากจะขึ้นอยู่กับชนิดของฟิล์มที่ติดตั้งแล้ว ตำแหน่งทิศของการติดตั้งฟิล์มก็เป็นส่วนที่สำคัญเช่นเดียวกัน ทิศตะวันตกเฉียงใต้จะให้ระยะเวลาคืนทุนที่เร็วกว่าทิศอื่นๆ เป็นผลมาจากค่าพลังงานความร้อนรังสีอาทิตย์ที่มีปริมาณที่ผ่านกระจกติดฟิล์มเข้ามาภายในห้องมากกว่าในทิศอื่นๆ ด้านของราคาของการติดตั้งก็เป็นเหตุผลอีกประการหนึ่งที่มีผลต่อระยะเวลาการคืนทุนโดยที่ราคาค่าติดตั้งฟิล์มที่ระดับความเข้มที่ 1 (F1) และความเข้มที่ 2 (F2) ราคาค่าติดตั้งฟิล์มประมาณ 135 บาทต่อตารางฟุตฟิล์มที่ระดับความเข้มที่ 3 (F3) ราคาค่าติดตั้งฟิล์มประมาณ 95 บาทต่อตารางฟุต ฟิล์มที่ระดับความเข้มที่ 4 (F4) และฟิล์มที่ระดับความเข้มที่ 5 (F5) ราคาค่าติดตั้งฟิล์มประมาณ 90 บาทต่อตารางฟุต

ข้อมูลในส่วนของอุณหภูมิและรังสีอาทิตย์ที่ได้จากการทดลองที่อาคารวิจัยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ยังสามารถนำมาวิเคราะห์ตรวจสอบค่าการประหยัดพลังงานจากการทำ Multiple Regression Analysis โดยเปรียบเทียบผลของการทดลองในแต่ละวัน นอกจากนี้ยังได้จัดทำในรูปของโปรแกรมการคำนวณผลการประหยัดพลังงานอย่างง่ายเพื่อใช้ประกอบการคำนวณค่าการประหยัดพลังงานไฟฟ้าและระยะเวลาในการคืนทุนเพื่อให้ผู้ที่ต้องการติดตั้งฟิล์มได้ตัดสินใจสำหรับการเลือกใช้ฟิล์มได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมทั้งในด้านการใช้งานและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์



รูปที่ 6 ระยะเวลาคืนทุนของฟิล์มทั้ง 5 ระดับความเข้ม

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณในการสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้จากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน และขอขอบคุณการอนุเคราะห์ข้อมูลรังสีอาทิตย์จากกรมอุตุนิยมวิทยา

เอกสารอ้างอิง

[1] ASTM E903-82, Standard test method for solar absorbance, reflectance, and transmittance of materials using integrating spheres., 1992

[2] ASTM E891-87 ,Standard table for terrestrial direct normol solar spectral irradiance for air mass 1.5., 1992

[3] American Society of Heat, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, ASHRAE Handbook of Fundamentals. USA, 1997, chapter 29, 29.1-29.51

[4] สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ นพรัตน์ คำพรและ เขมชาติ มังกรศักดิ์สิทธิ์. “การส่งผ่านพลังงานความร้อนของหน้าต่างกระจกและหน้าต่างกระจกติดฟิล์ม,” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17 15-17 ตุลาคม พ.ศ. 2546 จังหวัดปราจีนบุรี, 2546, หน้า 1108-1113