

การเลือกใช้กระจกประสิทธิภาพสูงเพื่อการอนุรักษ์พลังงานกระบวนการเชิงลำดับขั้น



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทางวิศวกรรม

พฤษภาคม 2554

การเลือกใช้กระจกประสิทธิภาพสูงเพื่อการอนุรักษ์พลังงานกระบวนการเชิงลำดับขั้น



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทางวิศวกรรม

พฤษภาคม 2554

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การเลือกใช้กระจกประสิทธิภาพสูงเพื่อการอนุรักษ์พลังงานกระบวนการเชิงลำดับขั้น



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทางวิศวกรรม
พฤษภาคม 2554

ธนกร ช้องชัยฤทธิ์. (2554). การเลือกใช้กระจกประสิทธิภาพสูงเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

กระบวนการเชิงลำดับขั้น. ปริญญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต:

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ: คณะกรรมการควบคุม:

ดร.อาจารย์ ศุภสุธิกุล, ผศ.ดร.ปฐมทัศน์ จิระเดชะ

อาคารสำนักงานต่างๆได้รับการออกแบบให้มีผนังอาคารและหน้าต่างกระจก แต่ในภูมิอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะส่องผ่านกระจกเหล่านั้นเข้ามาภายในอาคาร ทำให้เกิดความร้อนขึ้น และเป็นผลให้ระบบปรับอากาศต้องใช้พลังงานสูงในการระบายความร้อนนี้ออกไป วัตถุประสงค์หลักของการศึกษานี้ คือการประเมินปริมาณการใช้พลังงานและความคุ้มค่าการลงทุนของการเลือกใช้กระจกประสิทธิภาพสูงเมื่อติดตั้งกระจกชนิดต่างๆเพื่อการอนุรักษ์พลังงานสำหรับอาคารสำนักงาน โดยค่าการคำนวณการลดลงของพลังงานได้จากการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Glass performance calculation program GSDB3 (GLOBAL) ver.1.0 Model v กระจกชนิดที่นำมาทดแทนกระจกมาตรฐานซึ่งเป็นกระจกใสหนา 6 มิลลิเมตร ได้แก่ กระจกชั้นเดียว สีเขียว กระจกสะท้อนแสงสีฟ้าหนา 6 มิลลิเมตร กระจกนิรภัยหลายชั้น ที่ประกอบด้วยกระจกชั้นเดียว 3 มิลลิเมตร เป็นแผ่นนอกตรงกลางเป็นฟิล์มโพลีไวนิล บิวทีรัลชนิดใส ส่วนแผ่นในเป็นกระจกใส 3 มิลลิเมตร กระจกชั้นเดียว 3 มิลลิเมตรเป็นแผ่นนอกตรงกลางเป็นฟิล์มโพลีไวนิล บิวทีรัลชนิดสีเขียว ส่วนแผ่นในเป็นกระจกใส 3 มิลลิเมตรและ กระจกฉนวนสองชั้นที่ประกอบด้วยกระจกชั้นเดียว 3 มิลลิเมตร เป็นแผ่นนอกตรงกลางเป็นช่องว่างอากาศและแผ่นในเป็นกระจกใส 3 มิลลิเมตร เปรียบเทียบผลการคำนวณพลังงานที่ใช้ในอาคารสำนักงานต้นแบบ เพื่อการศึกษาผลการประหยัดที่ได้ของการติดตั้งกระจกเพื่อการอนุรักษ์พลังงานชนิดต่างๆแทนกระจกใส 6 มิลลิเมตรโดยคำนึงถึงเงินลงทุนที่แตกต่างกัน ความคุ้มค่าต่อการลงทุน ระยะเวลาการคืนทุน และอัตราผลตอบแทนการลงทุนต่อปี เมื่อติดตั้งกระจกนี้แทนกระจกใส 6 มิลลิเมตร

คำสำคัญ: อาคารสำนักงาน, กระจกประสิทธิภาพสูง, การอนุรักษ์พลังงาน

A SELECTION OF HIGH EFFICIENCY WINDOWS GLASS FOR ENERGY CONSERVATION
BUILDINGS USING AHP METHOD



Present in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Master of Science Degree in Engineering Management
At Srinakharinwirot University

May 2011

Thanakorn Kongchairit. (2011). *A selection of high efficiency windows glass for energy Conservation buildings using AHP method*. Master of Science: Graduate School, Srinakharinwirot University: Advisor Lecturer Advisor
Dr. [Ajaree](#) Suphasuthreekul, Asst.Prof.Pathomthat Chiradeja

Office building have design wall and glass windows as part of construction. In the hot climate, solar energy penetrates through these windows during the day, consequently an air conditioning system take high-energy consumption to extract occurring cooling load. The objective of this study is to evaluate energy consumption and economic analysis of the use of high efficiency windows glass in Office building including clear glass are ocean green, sky blue reflective 6 mm, Laminated safety glass which composed with the outer tinted glass 3 mm, clear polyvinyl butyral and inner clear glass 3 mm, tinted glass 3 mm, green polyvinyl butyral and inner clear glass 3 mm and double insulating glazing unit which composed with the outer tinted glass 3 mm, air gap 6 mm and inner clear glass 3 mm. The energy simulation program, Glass performance calculation program GSDB3 (GLOBAL) ver.1.0 Model v is employed in the study. The results of energy consumption obtained from GSDB3 program are compared with result of calculation from Office building model for verification purposes. For study is to evaluate energy consumption and economic analysis of the use of various glazing materials in Office building including clear glass 6 mm. in accordance with the best choice for investment cost, In the economic analysis, Payback period and rate of return is when these glass are used to replace the clear windows glass in the building office.

Keywords: Office building, High efficiency Windows glass, Energy Conservation

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ สำเร็จเรียบร้อยได้ก็ด้วยความเสียสละ ความอนุเคราะห์ และน้ำใจจาก บุคคลหลายฝ่าย ตลอดจนบริษัท กระเจกไทยอาชาสี จำกัดมหาชน ที่ได้ให้กระเจกสนับสนุนการศึกษา และการทำวิจัยพร้อมทั้งเจ้าหน้าที่ ที่ดูแลระบบตรวจวัดตรวจสอบประสิทธิภาพและคุณสมบัติของ กระเจก ที่ได้ให้ข้อมูล ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณในการกรุณาของท่าน มา ณ.โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ทุกท่านคือ ดร.อาจริ ศุภสุธิกุลและ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐมทัศน์ จิระเดชะ ที่ได้ให้คำปรึกษา ให้แนวคิด และช่วยตรวจแก้ไขในส่วนที่บกพร่องต่าง ๆ ตั้งแต่เริ่มต้น จนกระทั่งเขียนวิทยานิพนธ์สำเร็จเป็นรูปเล่ม

ขอขอบพระคุณในความเอื้อเฟื้อของคุณธนพงษ์ วรภิเกษมสกุล ที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้านเอกสารคำแนะนำต่างๆในการเก็บข้อมูลเพื่อทำการวิจัย และนางนันทิยา ส้มอชชัยฤทธิ์ ภรรยา ที่ให้กำลังใจในการทำงานวิจัย รวมไปถึงเพื่อนและพี่ที่เรียนด้วยกันที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ การจัดการทางวิศวกรรม (พลังงานและสิ่งแวดล้อม) ที่ให้กำลังใจและให้คำปรึกษาต่างๆ ด้วยดีเสมอมา

ท้ายสุด ขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่บุญมี ส้มอชชัยฤทธิ์ บุพการีผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างกับผู้วิจัย และเป็นแบบอย่างความมุ่งมั่น เข้มแข็งและอดทนที่อยู่ในใจลูกเสมอ

นอกเหนือจากบุคคลดังกล่าวข้างต้นแล้ว ข้าพเจ้าขอขอบคุณผู้ซึ่งส่งกำลังใจและแรงผลักดัน ทั้งที่ส่งมาอย่างเปิดเผยและส่งมาอย่างเงียบๆไว้ ณ ที่นี้ด้วยครับ

ธนกร ส้มอชชัยฤทธิ์

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ความสำคัญ และที่มาของงานวิจัย.....	1
วัตถุประสงค์งานวิจัย.....	2
ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
สมมุติฐานของการวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
อุตสาหกรรมการผลิตกระจก.....	4
ประเภทของกระจก.....	4
นิยามคุณสมบัติทางความร้อนของกระจก.....	19
หลักการและการคำนวณ.....	23
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	28
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	32
รูปแบบของอาคารสำนักงาน.....	32
รวบรวมข้อมูลคุณสมบัติ ราคา ค่าติดตั้งกระจกชนิดที่ศึกษา.....	32
ศึกษาวิธีการใช้โปรแกรม และเครื่องมือทดสอบ.....	34
ทดสอบหาคุณสมบัติเชิงความร้อนของกระจกด้วยเครื่องมือทดสอบ.....	34
คำนวณค่าปริมาณความร้อนและภาระการทำความเย็นด้วยโปรแกรม.....	35
4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	36
การเลือกชนิดกระจก.....	36
ผลการทดสอบ.....	37
สรุปค่าคุณสมบัติของกระจกที่ทดสอบ.....	40
ผลการศึกษาแบบจำลองอาคารสำนักงานต้นแบบ.....	41
ผลการตรวจวัดอุณหภูมิผิวกระจกแบบจำลองอาคารสำนักงานต้นแบบ.....	42

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 (ต่อ)	
ผลการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังกระจกแบบจำลองอาคารสำนักงานต้นแบบ.....	48
ความคุ้มค่าในการลงทุน	50
5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	51
สรุป.....	51
ข้อเสนอแนะ.....	53
บรรณานุกรม.....	55
ภาคผนวก.....	58
ภาคผนวก ก ข้อมูลคุณสมบัติของกระจก	59
ภาคผนวก ข ข้อมูลการใช้งานเครื่องมือวัด.....	74
ภาคผนวก ค ตัวอย่างการคำนวณค่าคุณสมบัติทางความร้อนของกระจก	95
ภาคผนวก ง คุณลักษณะของเครื่องมือทดสอบ.....	100
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	104

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 คุณสมบัติและข้อพิจารณาในการใช้กระจกใส.....	5
2 คุณสมบัติและข้อพิจารณาในการใช้กระจกเขียว.....	6
3 คุณสมบัติและข้อพิจารณาในการใช้กระจกฮีตสเตรงเทน.....	7
4 คุณสมบัติและข้อพิจารณาในการใช้กระจกนิรภัยเทมเปอร์.....	8
5 คุณสมบัติและข้อพิจารณาในการใช้กระจกเงา.....	10
6 คุณสมบัติและข้อพิจารณาในการใช้กระจกเคลือบผิว.....	12
7 แสดงคุณสมบัติและข้อพิจารณาในการใช้กระจกสะท้อนแสง.....	13
8 คุณสมบัติและข้อพิจารณาในการใช้กระจกที่มีการแผ่รังสีต่ำ.....	14
9 คุณสมบัติและข้อพิจารณาในการใช้กระจกฉนวนกันความร้อน.....	15
10 คุณสมบัติและข้อพิจารณาในการใช้กระจกฮีตมิเรอร์.....	16
11 คุณสมบัติและข้อพิจารณาในการใช้กระจกฮีตสติป.....	17
12 คุณสมบัติและข้อพิจารณาในการใช้กระจกนิรภัยหลายชั้น.....	18
13 ค่ารังสีแสงจากผลการทดสอบของกระจกหนา 6 มิลลิเมตร.....	37
14 ผลการทดสอบค่าการเปล่งรังสีของกระจกหนา 6 มิลลิเมตร.....	38
15 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก.....	39
16 สรุปค่าคุณสมบัติของกระจก.....	40
17 สรุปค่าคุณสมบัติของกระจกกับการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังกระจก.....	48
18 สรุปค่ากระจกและเฟรมสำหรับการติดตั้งกระจก.....	49
19 สรุปอัตราค่าไฟฟ้าต่อปีเมื่อติดตั้งแทนกระจกตัวอย่างแทนกระจกใส.....	50
20 สรุปการเลือกใช้งานกระจกจากค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ.....	53

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 การถ่ายเทความร้อนแสงอาทิตย์ผ่านกระจกใสหนา 3 มิลลิเมตร.....	20
2 การถ่ายเทความร้อนรวม.....	21
3 รูปแบบของกระจก.....	22
4 จุดที่ทำการตรวจวัดอุณหภูมิ.....	42
5 อุณหภูมิผิวกระจกใสเทียบกระจกเขียว.....	43
6 อุณหภูมิผิวกระจกใสเทียบกระจกสะท้อนแสง.....	44
7 อุณหภูมิผิวกระจกใสเทียบกระจกลามิเนตฟิล์มเขียว.....	45
8 อุณหภูมิผิวกระจกใสเทียบกระจกฉนวนอากาศ.....	46
9 อุณหภูมิผิวกระจกใสเทียบกระจกลามิเนตฟิล์มใส.....	47



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของงานวิจัย

พลังงานเป็นทรัพยากรที่ถูกนำมาแปรรูปเพื่อใช้ให้เกิดประโยชน์ในภาคอุตสาหกรรม ธุรกิจ บ้านพักอาศัย การคมนาคมขนส่ง เกษตรกรรมและอื่น ๆ การขยายตัวของภาคต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้ปริมาณการใช้พลังงานของประเทศมีความต้องการใช้ พลังงานสูงขึ้นทุก ๆ ปี ซึ่งวิกฤตการณ์พลังงานที่ประเทศประสบอยู่ส่งผลกระทบต่อภาวะเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศในระดับมหภาค รัฐบาลซึ่งมีนโยบายในการลดและประหยัดการใช้พลังงานเพื่อลดการพึ่งพาด้านพลังงานจากต่างประเทศและลดการสูญเสียเงินตรา นอกจากนี้ยังเป็นภาระของประเทศที่ต้องจัดหาพลังงานให้เพียงพอและเหมาะสมตามความต้องการของประเทศ ซึ่งอาจก่อให้เกิดภาวะขาดแคลนและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคต

โดยปกติอาคารขนาดใหญ่หรือเล็กก็มักต้องมีการปรับอากาศ อากาศที่มีระดับอุณหภูมิและความชื้นเหมาะสมย่อมส่งผลให้ผู้ใช้อาคารหรือพนักงานเกิดความรู้สึกสบาย และทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพการปรับอากาศโดยระบบปรับอากาศต้องการใช้พลังงานสูงคิดเป็น 60% ของการใช้พลังงานรวมของทั้งอาคาร

ดังนั้น เมื่อต้องการลดการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศสิ่งที่ต้องการดำเนินการก็คือ การลดภาระการปรับอากาศให้ต่ำลงนั่นเอง

เมื่อพิจารณาถึงแหล่งที่มาของความร้อนของระบบปรับอากาศ จะพบว่าประมาณ 60% เป็นผลจากความร้อนที่ถ่ายเทจากภายนอกอาคาร ผ่านผนังที่บดและผนังโปร่งแสงเข้าสู่ภายในตัวอาคาร ส่วนที่เหลืออีก 40% เป็นภาระความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายในตัวอาคาร เช่น ความร้อนจากหลอดไฟฟ้า อุปกรณ์สำนักงาน และความร้อนจากผู้อยู่ในอาคาร

กระจกได้กลายเป็นองค์ประกอบสำคัญของกรอบอาคารไปแล้ว สัดส่วนของพื้นที่กระจกต่อพื้นที่รวมของผนังอาคารมีค่อนข้างสูง และความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังที่บดเพื่อลดภาระปรับอากาศของอาคาร มาตรการหนึ่งคือการนำแสงธรรมชาติจากภายนอกอาคาร ซึ่งมีปริมาณและศักยภาพสูงมาใช้เพื่อส่องแสงสว่างในอาคารและลดการใช้ไฟฟ้าในระบบแสงสว่างและระบบปรับอากาศ แต่มักจะพบว่ากระจกโดยทั่วไปจะมีการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ค่อนข้างสูง ทำให้อุณหภูมิผิวกระจกสูงตามไปด้วย ส่งผลต่อระดับความสบายของผู้ที่อาศัยภายในอาคาร

ในขณะที่อาคารสำนักงานส่วนมากปัจจุบันก็มักจะมีกรอบอาคารประกอบด้วยกระจก แต่การติดตั้งกระจกในบางตำแหน่งที่แสงอาทิตย์ส่องถึงจะก่อให้เกิดภาวะการปรับอากาศที่สูงขึ้นมาก จึงทำให้ต้องมีการพัฒนากระจกที่สามารถกันความร้อนไม่ให้ผ่านเข้า-ออกตัวอาคารสำนักงานได้ดีขึ้น ขณะนี้ได้มีกระจกหลายชนิดที่พัฒนาขึ้นโดยคำนึงถึงการอนุรักษ์พลังงานซึ่งงานวิจัยจากต่างประเทศที่ศึกษาถึงการใช้กระจกอนุรักษ์พลังงานเหล่านี้ พบว่าเมื่อนำกระจกเหล่านี้ไปใช้งานกับสภาพอากาศหนาวจัดจะช่วยประหยัดพลังงานได้มากและมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ สำหรับประเทศไทยซึ่งมีสภาพอากาศร้อนนั้น ยังไม่มีการศึกษาถึงความคุ้มค่าในการใช้กระจกดังกล่าวโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของอาคารสำนักงาน งานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาถึงสมรรถนะของกระจกอนุรักษ์พลังงานเมื่อนำมาใช้ในอาคารสำนักงาน เพื่อประโยชน์ในการออกแบบกรอบอาคารที่ประกอบด้วยหน้าต่างกระจกที่มีประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้งานและลดการใช้พลังงาน โดยวิเคราะห์ศักยภาพการประหยัดพลังงาน และผลการลงทุน

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. ศึกษาความเป็นไปได้และความเหมาะสมในเชิงเทคนิคและการลงทุนของการเลือกใช้กระจกเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน สำหรับอาคารสำนักงาน เพื่อลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ
2. ศึกษาเปรียบเทียบความถูกต้องของกระจกอนุรักษ์พลังงาน จากการใช้เครื่องมือทดสอบ และการทดสอบการใช้งานจริง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. อาคารสำนักงาน ที่เป็นต้นแบบในการศึกษา จำนวน 1 ห้อง สำหรับการทดสอบมีโครงสร้างพื้นที่ใช้สอยสภาพแวดล้อม และลักษณะการใช้งานทั่วไปตามแบบอาคารสำนักงานทั่วไป
2. เปรียบเทียบกรอบอาคารที่ประกอบด้วยกระจกอนุรักษ์พลังงานชนิดต่าง ๆ กับกระจกใสชั้นเดียวโดยประเมินสมรรถนะเชิงความร้อนของกรอบอาคารจะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Glass performance calculation program GSDB3 (GLOBAL) ver.1.0 Model v 3.2 ในการคำนวณหาประสิทธิภาพของกระจกชนิดต่าง ๆ ตามมาตรฐาน ISO, ASHRAE and JIS. จำลองสภาพการใช้พลังงาน ประกอบกับผลการทดสอบคุณสมบัติของกระจกด้วยเครื่องมือทดสอบ
3. ความคุ้มค่าในการลงทุน โดยพิจารณาจากค่าวัสดุรวมกับค่าแรงในการติดตั้งกระจก และเปรียบเทียบกับผลการประหยัดที่ได้ของค่าพลังงานไฟฟ้าเมื่อเทียบกับการใช้กระจกชนิดต่าง ๆ

1.4 สมมุติฐานของการวิจัย

ผลของการติดตั้งกระจกในทิศที่แตกต่างกันโดยติดตั้งในทิศตะวันตกเฉียงใต้อาจมีผลทำให้การเลือกใช้กระจกจากการคำนวณของโปรแกรมในการคำนวณหาประสิทธิภาพค่าเฉลี่ยกลางของกระจกมีผลประหยัต์ที่แตกต่างกัน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ใช้เป็นข้อมูลเลือกใช้กระจกชนิดต่าง ๆ สำหรับอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน สำหรับอาคารอาคารสำนักงาน เพื่อลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ และผลตอบแทนการลงทุนได้อย่างเหมาะสม

2. ทราบสมรรถนะเชิงความร้อนของกระจกอนุรักษ์พลังงานที่จะใช้ประกอบเป็นกรอบอาคารของอาคารสำนักงาน จากการใช้เครื่องมือทดสอบและการทดสอบการใช้งานจริง



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กระจกเป็นวัสดุที่มีอัตราส่วนผสมระหว่าง ททรายแก้ว หินปูน หินฟันม้า หินโดโลไมต์ และเศษ กระจกประมาณ 98.8% และโซดาแอช 1.2% และนำมาเข้าเตาหลอม ด้วยความร้อนประมาณ 1,500 – 1,600 องศาเซลเซียส จนส่วนผสมหลอมละลายเป็น “น้ำแก้ว” และไปผ่านกรรมวิธีเพื่อให้ได้ คุณสมบัติที่มีความเหมาะสมในการขึ้นรูป จนเป็นกระจกแผ่นที่สามารถใช้งานได้ หรือจะนำไปผ่าน กระบวนการเพิ่มเติมเพื่อให้ได้กระจกชนิดพิเศษที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานต่อไป

กระจกมีคุณสมบัติโปร่งใส ทำให้ผู้ใช้สามารถมองเห็นทัศนียภาพภายนอกได้ และยังเพิ่มความสวยงามให้กับงานจึงถูกนำไปใช้ในการทำผนังภายนอกอาคารทั้งกระจกยังเป็นวัสดุสำเร็จรูป ที่ติดตั้งง่ายและรวดเร็วปัจจุบันจึงนิยมใช้กระจกในการทำผนังภายนอกของอาคารแทนผนังทึบซึ่งมีความยุ่งยากในการก่อสร้างมากกว่า และยังก่อให้เกิดความโปร่งโล่งทั้งทัศนียภาพและแสงสว่างต่อ ผู้ใช้อาคารในขณะที่กระจกที่เป็นวัสดุโปร่งใสใส่นอกจากจะให้แสงสว่างจากธรรมชาติภายนอกเข้ามา ภายในอาคารแล้วยังนำความร้อนจากแสงแดดเข้ามาอีกด้วย ดังนั้นการเลือกใช้กระจกแต่ละประเภท ให้ถูกต้องกับการใช้งานทั้งในแง่ของคุณสมบัติ การประหยัดพลังงาน และความสวยงามไปพร้อม ๆ กัน

2.1 อุตสาหกรรมการผลิตกระจก

อุตสาหกรรมการผลิตกระจกแผ่นสำหรับอาคารในประเทศไทย แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. อุตสาหกรรมกระจกพื้นฐาน ได้แก่ กระจกแผ่น (Sheet Glass) และกระจกโฟลต (Float Glass) ซึ่งสามารถนำไปใช้งานสำหรับอาคาร ทั้งยังเป็นวัตถุดิบตั้งต้นการแปรรูปเป็นกระจกประเภทต่าง ๆ เพื่อให้คุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานเฉพาะทางได้ดียิ่งขึ้น

2. อุตสาหกรรมกระจกต่อเนื่อง คือ การนำเอากระจกพื้นฐานมาดัดแปลง หรือแปรรูป เพื่อให้ได้คุณสมบัติที่เหมาะสมการใช้งานตามต้องการ เช่น กระจกสะท้อนแสง กระจกนิรภัย กระจกลามิเนต กระจกฉนวน กระจกเสริมลวด กระจกทนไฟ เป็นต้น

2.2 ประเภทของกระจก

1. กระจกธรรมดา (Float Glass)
2. กระจกอบความร้อน (Heat Treated Glass)
3. กระจกเคลือบผิว หรือกระจกสะท้อนแสง (Surface Coated Glass)
4. กระจกดัดแปลง (Processed Glass)
5. กระจกอื่น ๆ

2.2.1. กระจกธรรมดา (Float Glass)

กระจกธรรมดาเป็นกระจกพื้นฐานที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตโดยตรง แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ซึ่งมีรายละเอียดและข้อพิจารณาในการนำไปใช้งานดังนี้

2.2.1.1 กระจกใส (Clear Glass)

กระจกใส คือกระจกโปร่งแสงที่สามารถมองผ่านได้อย่างชัดเจนและให้ภาพสะท้อนที่สมบูรณ์ไม่บิดเบี้ยว

ตาราง 1 คุณสมบัติและข้อพิจารณาในการใช้กระจกใส

คุณสมบัติ	ข้อควรพิจารณาในการใช้งาน
1)สามารถมองเห็นจากภายนอกเข้ามาภายในได้อย่างชัดเจน	1)ยอมให้แสงผ่านเข้ามาได้มาก ทำให้ความร้อนเข้ามามากด้วยเมื่อคลื่นสั้น (0.3 ไมโครเมตร) ผ่านกระจกใสเข้าภายในกระจกวัตถุหรือวัสดุภายในอาคารจะเปลี่ยนเป็นคลื่นยาว(3.3-5.0 ไมโครเมตร) ซึ่งไม่สามารถผ่านออกไปภายนอกได้อีก ดังนั้นความร้อนจะถูกกักเก็บไว้ทำให้อากาศข้างในร้อนแล้วไม่สามารถระบายความร้อนออกไปได้จนเมื่ออุณหภูมิภายในสูงกว่าภายนอกจึงจะมีการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำ (Conduction) ออกสู่ภายนอก
2)มีค่าการตัดแสงประมาณ 8% สำหรับกระจกใสหนา 12 มิลลิเมตร และตัดแสงได้มากขึ้นตามความหนาของกระจก	2)สามารถมองเห็นได้ชัดเจนจากภายนอก ซึ่งเหมาะกับการใช้งานประเภทแสดงสินค้าแต่อาจไม่เหมาะสมกับส่วนที่ต้องการความเป็นส่วนตัว เพราะคนภายนอกสามารถมองเห็นเข้ามาภายในได้อย่างชัดเจน
3)มีค่าการสะท้อนแสงประมาณ 7%	3)กระจกใสมีค่าการสะท้อนแสงน้อยจึงเหมาะสำหรับห้องที่ต้องการมองออกไปภายนอก เพราะสามารถมองเห็นภาพวิวทัศนียภาพได้อย่างชัดเจน
4)ผิวกระจกจะไม่ร้อน เพราะกระจกดูดกลืนความร้อนได้น้อยมาก	

ที่มา: บริษัท กระจกไทย อາซาฮี จำกัด. (2553)

2.2.1.2 กระจกสีเขียว (Tinted Glass)

ผลิตขึ้นโดยการผสมโลหะออกไซด์เข้าไปในส่วนผสมในขั้นตอนการผลิตกระจก ทำให้กระจกมีสีสน

ตาราง 2 คุณสมบัติและข้อพิจารณาในการใช้กระจกเขียว

คุณสมบัติ	ข้อควรพิจารณาในการใช้งาน
1) ผิวกระจกร้อน เนื่องจากสีของเนื้อกระจกที่เกิดจากการเติมโลหะออกไซด์ต่าง ๆ เป็นตัวดูดความร้อน ทำให้ความร้อนจากกระจกแผ่เข้ามาภายในอาคาร	1) ไม่ควรให้ลมเย็นจากเครื่องปรับอากาศเป่ากระทบผิวหน้าของกระจกโดยตรง เพราะจะทำให้กระจกสูญเสียพลังงานมาก
2) ตัดแสงไม่ให้เข้ามาภายในอาคารมาก กระจกสีมีค่าสัมประสิทธิ์เปรียบเทียบการบังแดดต่ำกว่ากระจกใสมากเมื่อค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดต่ำมาก ๆ แสงเข้าน้อยทำให้ความร้อนเข้ามาได้น้อยด้วย	2) ไม่ควรติดผ้าม่านที่มีความหนาทึบ หรือวางตู้เหล็กหรือสิ่งของอื่น ๆ ชิดกับกระจก หรือติดตั้งปิดบังกระจกโดยไม่มีการถ่ายเทความร้อน เพราะอาจทำให้กระจกสะสมความร้อนเพิ่มขึ้น และเป็นสาเหตุให้กระจกสีแตกร้าวได้ง่าย
3) สามารถสกัดกั้นความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบกระจกสีได้มากกว่ากระจกใส ปริมาณการดูดกลืนความร้อนขึ้นอยู่กับส่วนผสมของเนื้อกระจก ซึ่งสามารถผลิตให้มีการสกัดกั้นรังสีอาทิตย์ได้หลายระดับ แต่ผิวกระจกร้อนขึ้นเมื่อมีการสกัดกั้นรังสีมาก	3) ไม่ควรทาสีหรือติดแผ่นกระดาดใด ๆ ลงบนผิวกระจก
4) ช่วยลดความจ้าของแสงที่ส่องผ่านกระจกสี ทำให้ได้แสงที่นุ่มนวลและเกิดความสบายตาในการมอง	4) ควรจะต้องมีการตัดหรือฝนขอบกระจกให้เรียบเพื่อทำให้ขอบกระจกมีความทนทานต่อการแตกร้าวจากแรงดึงและแรงเค้นที่ผิวและขอบของกระจก

ที่มา: บริษัท กระจกไทย อาซาฮี จำกัด.(2553)

2.2.2 กระจกอบความร้อน (Heat Treated Glass)

กระจกอบความร้อนหรือกระจกสีที่นำไปผ่านกระบวนการปรับแต่งคุณภาพของเนื้อกระจก เพื่อให้มีความแข็งแรงมากขึ้น หรือรับแรงกระทำจากแรงภายนอกได้มากขึ้น แบ่งออกเป็น 2 ชนิดดังนี้

2.2.2.1 กระจกฮีตสเตรงเทน (Heat Strengthen Glass) กระจกกึ่งนิรภัย

กระจกฮีตสเตรงเทน เป็นกระจกที่ได้จากกระบวนการผลิตที่คล้ายกับกระจกนิรภัย เทมเปอร์ แต่ต่างกันที่กระจกฮีตสเตรงเทนจะปล่อยให้กระจกเย็นตัวลงอย่างช้า ๆ จึงมีความแข็งแรงกว่ากระจกนิรภัยเทมเปอร์

ตาราง 3 คุณสมบัติและข้อพิจารณาในการใช้กระจกฮีตสเตรงเทน

คุณสมบัติ	ข้อควรพิจารณาในการใช้งาน
1) เป็นกระจกกึ่งนิรภัยมีคุณสมบัติพิเศษคือ แข็งแรงกว่ากระจกธรรมดาประมาณ 2 เท่า ผิวกระจกแข็งขึ้น 10%	1) ในการติดตั้งกระจกกับโครงสร้างอาคารสูง สามารถใช้แทนกระจกธรรมดาโดยลดความหนาของกระจกลงแต่ความแข็งแรงเท่าเดิม
2) เหมาะสำหรับการป้องกันการแตกของกระจก จากความร้อน	2) ใช้กับสถานที่ที่ต้องเผชิญกับภาวะที่มีความร้อนสูงกว่าปกติช่วยป้องกัน Thermal Breakage ได้
3) ลักษณะการแตกของกระจกชนิดนี้ จะแตกเป็นแผ่นเหมือนกระจกธรรมดาจะยึดติดอยู่กับกรอบ	3) ใช้กับผนังอาคารและหน้าต่างที่มีแรงอัดลมสูง 4) ใช้กับสถานที่ที่ต้องการใช้กระจกที่มีความแข็งแรงและปลอดภัยสูงกว่าการใช้กระจกธรรมดา 5) ใช้กับห้องโชว์ หรือตู้โชว์สินค้าที่ต้องทนต่อแรงกระแทกในการใช้งาน 6) ไม่สามารถตัดหรือผลิตซ้ำได้ 7) ภาพสะท้อนจะบิดเบี้ยว

ที่มา: บริษัท กระจกไทย อชาฮี จำกัด.(2553)

2.2.2.2 กระจกนิรภัยเทมเปอร์ (Tempered Glass)

กระจกนิรภัยเทมเปอร์เป็นการนำกระจกไปผ่านกระบวนการเทมเปอร์ริง (Tempering) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงโดยใช้หลักการเกี่ยวกับการทำคอนกรีตอัดแรง คือสร้างให้เกิดชั้นของแรงอัดขึ้นที่

ผิวแก้วเพื่อต้านแรงจากภายนอก วิธีการนี้ทำได้โดยการให้ความร้อนกับกระจกเกิดความเย็นตัวอย่างรวดเร็ว โดยใช้ลมเย็นเป่าผลของความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวนอกกับส่วนกลางของแผ่นกระจกทำให้เกิดชั้นของแรงอัดขึ้นที่ผิวของกระจกทั้ง 2 ด้าน โดยจะประกบชั้นส่วนกลางเหมือนลักษณะแซนวิช และชั้นที่ผิวนี้จะต้านแรงจากภายนอกทำให้กระจกที่ผ่านกระบวนการเทมเปอร์แล้วมีความแข็งแรงขึ้นประมาณ 4 เท่า

ตาราง 4 คุณสมบัติและข้อพิจารณาในการใช้กระจกนิรภัยเทมเปอร์

คุณสมบัติ	ข้อควรพิจารณาในการใช้งาน
1)ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงและแรงที่ทำให้หักงอได้ 3 เท่า (Bending Strength) เมื่อเปรียบเทียบกับกระจกธรรมดากับกระจกนิรภัยเทมเปอร์ที่มีความหนา 5 มิลลิเมตร กระจกธรรมดามีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงและแรงที่ทำให้กระจกหักงอ 500-650 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ในกระจกนิรภัยเทมเปอร์มีค่าสูงถึง 1,500 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร	1)จุดอ่อนของกระจกนิรภัยเทมเปอร์ คือแรงที่กระทำเป็นจุดหากมีการกระแทกโดยวัตถุที่มีมุมแหลม ซึ่งทำให้เกิดการตัดลึกเข้าไปภายในผิวกระจก ทำให้ชั้นแรงอัดถูกทำลาย ความสมดุลภายในเนื้อกระจกก็จะถูกทำลาย
2)การต้านทานน้ำหนัก (Loading Resistance) คือความต้านทานต่อแรงดันและแรงกระแทกโดยแบ่งออกเป็น -การต้านทานน้ำหนักหรือสถิต (Static Load Resistance) คือแรงที่มากระทบกระจก กระจกนิรภัยเทมเปอร์สามารถทนต่อแรงกระทบ ได้มากกว่ากระจกธรรมดาที่มีความหนาเดียวกัน ประมาณ 3-5 เท่า	2)กระจกนิรภัยเทมเปอร์สามารถคงรูปร่างได้ด้วย ความสมดุลของแรงอัดและแรงดึง ดังนั้นเมื่อนำกระจกชนิดนี้มาใช้งานจะต้องไม่มีการเจาะรู บากหรือตัดแต่งในภายหลังโดยเด็ดขาด
-การต้านทานน้ำหนักกระแทก (Impact Load Resistance) คือความทนทานของกระจกต่อแรงกระแทกโดยทั่วไปกระจกนิรภัยเทมเปอร์สามารถรับแรงกระแทกได้ดีกว่ากระจกธรรมดาประมาณ 4 เท่า	3)ส่วนของกระจกนิรภัยเทมเปอร์ที่มีการเจาะรู พ่นทราย หรือทำเครื่องหมายใด ๆ จะมีความเปราะบางมากกว่าส่วนอื่น ๆ
	4)ไม่ควรยึดกระจกกับโลหะโดยตรง ควรมียางหรือวัสดุอื่นมารองรับ
	5)ผิวกระจกนิรภัยเทมเปอร์จะเป็นคลื่นมากกว่ากระจกธรรมดา
	6)แตกเองง่ายเนื่องจากสามารถกักเก็บความร้อนไว้มาก
	7)ทนแรงกระทำแบบ Point Load ได้น้อย
	8)ไม่สามารถ ตัด เจาะ บาก

ตาราง 4 (ต่อ)

3)ความปลอดภัย คือการลดอันตรายที่จะเกิดจากการโดนกระຈกบาด เพราะการแตกของกระຈกนิรภัยจะแตกออกเป็นเม็ดเล็ก ๆ และมีความคมน้อย

4)การต้านทานความร้อน (Heat Resistance) คือความทนทานของกระຈกต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแบบทันทีทันใดจากการทดสอบความสามารถในการต้านทานความร้อนของกระຈกนิรภัยเทมเปอร์เปรียบเทียบกับกระຈกธรรมดาที่มีความหนา 5 มิลลิเมตรเท่ากัน ซึ่งกระຈกนิรภัยเทมเปอร์สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ที่ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงถึงประมาณ 170 องศาเซลเซียส และจะเริ่มแตกทั้งหมดเมื่ออุณหภูมิสูงถึงประมาณ 220 องศาเซลเซียส ส่วนกระຈกธรรมดาสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ที่ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเพียงประมาณ 60 องศาเซลเซียส และจะแตกทั้งหมดเมื่อค่าของอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงประมาณ 100 องศาเซลเซียส

ที่มา: บริษัท กระຈกไทย อาซาฮี จำกัด.(2553)

2.2.3 กระຈกเงา (Mirror Glass)

กระຈกเงาที่ดีควรผลิตจากกระຈกใส และมีคุณภาพสูงจึงจะให้ภาพที่แจ่มชัดเหมือนจริงไม่บิดเบี้ยวหลอกตา ผ่านกรรมวิธีเคลือบเงาด้วยเครื่องจักร 4 ขั้นตอนคือ

- 1) เคลือบวัสดุเงิน (Silvery coating)
- 2) เคลือบวัสดุทองแดงบริสุทธิ์ (Pure copper coating)
- 3) เคลือบวัสดุอย่างดีที่สุดชั้นแรก (1st layer high quality colour coating)
- 4) เคลือบวัสดุอย่างดีที่สุดชั้นที่2 (2nd layer high quality colour coating)

ตาราง 5 คุณสมบัติและข้อพิจารณาในการใช้กระจกเงา

คุณสมบัติ	ข้อควรพิจารณาในการใช้งาน
1)เหมาะสำหรับการตกแต่งภายใน โดยเฉพาะกระจกเงาใสซึ่งจะให้บรรยากาศภายในห้องที่สดใส	1)เหมาะสำหรับงานตกแต่งภายใน ทำให้มีบรรยากาศที่น่าสนใจ 2)หากจัดวางอย่างมีแบบแผน จะสามารถสะท้อนภาพของพื้นที่ได้หลายรูปแบบช่วยเพิ่มพื้นที่สายตาและลดความคับแคบของห้องได้ 3)ไม่ทนต่อความชื้น 4)ไม่ทนต่อความเค็มของปูน 5)ผิวขูดขีด เสียหายง่าย

ที่มา: บริษัท กระจกไทย อาชาฮิ จำกัด.(2553)

2.2.4 กระจกสะท้อนแสง (Reflective Glass)

กระจกเคลือบผิวเป็นกระจกธรรมดาที่นำไปผ่านกระบวนการเคลือบโลหะบนผิวกระจก เพื่อให้เกิดการสะท้อนแสง และความร้อนจากแสงอาทิตย์ สำหรับนำไปใช้งานในด้านการประหยัดพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถแบ่งตามรูปแบบของการเคลือบผิวได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่

1. แบ่งตามบริษัทผู้ผลิตเครื่องเคลือบผิวกระจกที่ใช้ในเมืองไทยได้ 2 แบบ

1.1.แบบแอร์โค (AIRCO)[J.Hill Russell, J.Nadel. Steven (1999)] เป็นวิธีการเคลือบโดยใช้ไทเทเนียมบริสุทธิ์เป็นโลหะในการเคลือบ สามารถเคลือบให้ได้สีสันภาพลักษณะ และคุณสมบัติในการประหยัดพลังงานที่แตกต่างกันตามชื่อรหัสการเคลือบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

TE-Titanium Earth เคลือบใสธรรมชาติ

TS-Stell Blue เคลือบเป็นสีน้ำเงินเข้ม

SS-Silver เคลือบเป็นสีเงิน

TBU-Blue เคลือบเป็นสีน้ำเงิน

1.2. แบบเลย์โบลด์ (LEYBOLD)[J.Hill Russell, J.Nadel. Steven (1999)] เป็นวิธีการเคลือบโดยใช้ดีบุกบริสุทธิ์เป็นโลหะในการเคลือบโดยมีคุณสมบัติในการประหยัดพลังงานใกล้เคียงกับแบบแอร์โค แต่ให้สีสันที่แตกต่างกันออกไปจากแบบแอร์โคตามชื่อรหัสการเคลือบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

SL-Silver เคลือบเป็นสีเงิน

AS- Antique Silver เคลือบเป็นสีเงิน

BR-Bronze เคลือบเป็นสีตาล

SB-Sapphire Blue เคลือบเป็นสีฟ้าเข้ม

2. แบ่งตามเทคนิคในการเคลือบผิวกระจกได้ 2 แบบดังนี้

2.1. การเคลือบแบบสุญญากาศ (Vacuum Deposition or Soft Coating) [J.Hill Russell, J.Nadel. Steven (1999)] โดยการพ่นโลหะออกไซด์บางชนิดบนผิวด้านใดด้านหนึ่งของผิวกระจกกระแสไฟฟ้าจะทำให้ปฏิกิริยาทำให้โลหะเกาะผิวกระจกการเคลือบด้วยวิธีนี้สารที่เคลือบจะถูกดูดซับออกได้ง่าย แต่สามารถเคลือบไปได้ทั่วทุกอนุของผิวกระจก

2.2. การเคลือบแบบไพโรลิติก (Pyrolytic Deposition or Hart Coating) [J.Hill Russell, J.Nadel. Steven (1999)] กรรมวิธีนี้กระจกจะถูกเคลือบในลักษณะที่เป็นของเหลวโลหะออกไซด์จะกระจายแทรกซึมลงในเนื้อกระจกด้วย แม่วิธีนี้โลหะออกไซด์ไม่สามารถกระจายไปทุกพื้นผิวของกระจกอย่างสม่ำเสมอแต่ก็มีความแข็งแรงทนทานกว่ากระจกที่เคลือบแบบสุญญากาศ

2.2.5 กระจกเคลือบผิว (Surface Coated Glass)

กระบวนการเคลือบแบบสุญญากาศ

- เป็นกระบวนการเคลือบกระจกแบบออฟไลน์ (off-line) [J.Hill Russell, J.Nadel. Steven (1999)] แยกจากกระบวนการผลิตกระจกแผ่น ในกรณีที่ต้องการทำเป็นกระจกนิรภัยเทมเปอร์หรือกระจกอีตีดตรงเทมต้องทำก่อนที่จะนำกระจกไปเคลือบสีของกระจกเคลือบมิให้เลื่อมมากมายเนื่องจากโลหะ ออกไซด์ที่ใช้เคลือบมีมากชนิด

- การติดตั้งควรรีดด้านที่เคลือบไว้ในตัวอาคาร-ทนต่อรอยขีดข่วนได้น้อยกว่า
- อายุการจัดเก็บกระจกสั้นกว่า

กระบวนการเคลือบแบบไพโรลิติก

- เป็นการเคลือบกระจกแบบออนไลน์ (on-line) [J.Hill Russell, J.Nadel. Steven (1999)] ทำการเคลือบกระจกอยู่ภายในกระบวนการผลิตกระจกแผ่น

- สามารถนำกระจกที่เคลือบแล้วไปผ่านกระบวนการผลิตกระจกนิรภัยเทมเปอร์หรือกระจกอีตีดตรงเทมได้
- การติดตั้งสามารถนำด้านที่เคลือบออกภายนอก หรือหันหน้าเข้าด้านไหนก็ได้
- ความทนต่อรอยขีดข่วนมากกว่า

ตาราง 6 คุณสมบัติและข้อพิจารณาในการใช้กระจกเคลือบผิว

คุณสมบัติของกระจกเคลือบผิว	วิธีการตรวจสอบคุณภาพ	วิธีตรวจสอบด้านเคลือบของกระจก
1)กระจกที่เลือกใช้ ควรให้ มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และความร้อนที่ได้รับจากการสะท้อนแสง รวมทั้งค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดที่น้อยที่สุดที่สามารถยอมรับได้ 2)กระจกเคลือบผิวที่มีปริมาณการสะท้อนแสงสูงกว่า จะสามารถประหยัดพลังงานได้ดีกว่ากระจกที่มีปริมาณการสะท้อนแสงน้อยกว่า	1)ตรวจสอบรูบนผิวกระจกเคลือบ การตรวจสอบต้องให้กระจกที่จะตรวจสอบอยู่ห่างจากจุดสังเกต 1.80 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูบนผิวเคลือบจะต้องมีขนาดไม่ใหญ่กว่า 1.50 มิลลิเมตร ในกรณีที่เป็นการกลุ่มของรูบนผิวเคลือบที่มีขนาดเล็กกว่าที่กำหนด อาจยอมให้มีได้ แต่ต้องไม่สามารถสังเกตเห็นได้ชัดจากระยะสังเกตที่กำหนดไว้ 2)การตรวจสอบการสะท้อนแสง และการส่งผ่านของแสง -ความสม่ำเสมอของผิวเคลือบ การตรวจสอบจะต้องให้กระจกที่ทำการตรวจสอบอยู่ห่างจากผู้สังเกต 3 เมตร ตามมาตรฐานยอมให้มีความไม่สม่ำเสมอของผิวเคลือบได้บ้าง -การเป็นคลื่นบนผิวสะท้อนสีเนื่องจากปัจจัยหลายประการ โดยเฉพาะกระจกเคลือบผิวที่เป็นกระจกฉนวนกันความร้อน กระจกอีตีดตรงเท่น และกระจกนิรภัยเทมเปอร์ การเป็นคลื่นอันเกิดจากการมองเห็นจะไม่ถือว่าเป็นตำหนิของกระจก	1)ใช้วัสดุทึบแสงวางทำมุมเฉียง ประมาณ 45 องศา บนผิวกระจก 2)สังเกตเงาที่เกิดขึ้นบนกระจกเคลือบผิว ถ้าวัตถุทึบแสงปรากฏเงาที่เห็นเป็นเงาเดียวจะเป็นด้านที่เคลือบสารสะท้อนรังสีอาทิตย์ ถ้าเงาที่เห็นเป็นสองเงาจะเป็นด้านที่ไม่ได้เคลือบ

ที่มา: บริษัท กระจกไทย อາซาฮี จำกัด.(2553)

2.2.6 กระจกเคลือบผิว แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ กระจกสะท้อนแสงรังสีอาทิตย์ และกระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำ

(1) กระจกสะท้อนแสงรังสีอาทิตย์ (Solar Reflective Glass)

กระจกสะท้อนแสงรังสีอาทิตย์เป็นกระจกธรรมดาที่เคลือบด้วยโลหะออกไซด์ มีค่าการสะท้อนแสงค่อนข้างสูง ความโปร่งแสงค่อนข้างน้อย มีสีสนสวยงามหลายสีที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับรูปแบบการเคลือบ และสีของกระจกที่เป็นวัตถุดิบที่นำมาเคลือบ

ตาราง 7 แสดงคุณสมบัติและข้อพิจารณาในการใช้กระจกสะท้อนแสง

คุณสมบัติ	ข้อควรพิจารณาในการใช้งาน
1) ทำให้แสงอาทิตย์ และรังสีความร้อนผ่านเข้ามาในอาคารได้น้อย	1) ในการตัดกระจกควรมีการป้องกันผิวด้านที่เคลือบไว้ เพื่อป้องกันรอยขีดข่วน
2) ช่วยลดแสงที่แรงจ้าให้นุ่มนวลลง ทำให้เกิดความสะดวกสบายตา	2) เมื่อมีการบิน หรือแตกบริเวณขอบกระจกให้ลบคมให้เรียบร้อย เพื่อป้องกันการแตกทั้งแผ่น
3) สร้างความเป็นส่วนตัวแก่คนภายในอาคาร เนื่องจากมองเห็นทะลุเข้ามาในตัวอาคารได้ลำบาก	3) ป้องกันอย่าให้ซีเมนต์ หรือพลาสติกติดบนกระจก เพราะจะทำให้อันตรายวัสดุเคลือบของกระจก
	4) ด้านที่เคลือบวัสดุเคลือบควรอยู่ด้านในของอาคารเสมอ เพื่อไม่ให้วัสดุเคลือบสัมผัสมลภาวะภายนอก
	5) อย่าเป่าความเย็นลงบนกระจกวางตู้ไกล์ กระจกติดกระดาด หรือทาสีลงบนกระจก เพราะจะทำให้เกิดการแตกหัก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้
	6) ควรจะอบฮีตสเตรงเทน หรือเทมเปอร์ เพื่อป้องกันปัญหาการแตกหัก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้

ที่มา: บริษัท กระจกไทย อซาฮี จำกัด.(2553)

(2) กระจกที่มีการแผ่รังสีต่ำ (Low Emissivity Glass) กระจก Low-E

กระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำ เป็นกระจกเคลือบสารโลหะโดยมีโลหะเงินบริสุทธิ์เป็นองค์ประกอบสำคัญ

ตาราง 8 คุณสมบัติและข้อพิจารณาในการใช้กระจกที่มีการแผ่รังสีต่ำ

คุณสมบัติ	ข้อควรพิจารณาในการใช้งาน
1) ป้องกันการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกได้ดี	1) สารที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำเป็นสารที่ไวต่อการเสียหาย ดังนั้นจึงไม่ควรหันผิวกระจกด้านที่ฉาบนี้
2) ยอมให้แสงผ่านได้มากกว่ากระจกสะท้อนแสง	ได้ ได้ด้านนอก
3) ช่วยสะท้อนรังสีอัลตราไวโอเลต (UV) ได้	2) การบรรจุก๊าซเฉื่อยในช่องว่างระหว่างกระจกของกระจกรุ่นใหม่ ๆ แทนการใช้อากาศแห้ง จะช่วยเพิ่มความเป็นฉนวนให้กับกระจกได้ดี
บางส่วน ปริมาณการสะท้อนขึ้นอยู่กับการผลิต ทำให้ลดความเสียหาย ซึ่งอาจเกิดกับพรม และเฟอร์นิเจอร์ต่าง ๆ ได้ระดับหนึ่ง	
4) ช่วยลดความจ้าของแสง	

ที่มา: บริษัท กระจกไทย อชาฮิ จำกัด. (2553)

2.2.7 กระจกดัดแปลง (Processed Glass)

กระจกดัดแปลงเป็นกระจกที่นำมาดัดแปลงด้วยกระบวนการต่าง ๆ เพื่อตอบสนองการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป ได้แก่

(1) กระจกฉนวนกันความร้อน (Insulated Glass)

กระจกฉนวนกันความร้อนผลิต โดยการนำกระจกอย่างน้อย 2 แผ่น ตัดให้ได้ขนาดตามความต้องการมาประกบกันโดยมีลูนีเยมซึ่งบรรจุสารดูดซึมความชื้นคั่นกลาง หลังจากนั้นจะปิดรอยที่ขอบกระจก ผลก็คือ อากาศภายในช่องระหว่างกระจกจะกลายเป็นอากาศที่แห้งไม่มีความชื้นเหลืออยู่ ซึ่งมีคุณสมบัติในการกันความร้อน

ตาราง 9 คุณสมบัติและข้อพิจารณาในการใช้กระจกฉนวนกันความร้อน

คุณสมบัติ	ข้อควรพิจารณาในการใช้งาน
1)ป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้ามาในอาคาร ทำให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศ	1)ควรใช้ซิลิโคนสำหรับกระจกที่เป็นโครงสร้างเท่านั้น ส่วนกระจกที่เป็นช่องหน้าต่างแบบดั้งเดิมสามารถใช้โพลีซัลไฟด์ซิลิโคนได้
2)ช่วยลดเสียงรบกวนจากภายนอกอาคารได้ดีกว่ากระจกธรรมดา	2)การหักงอของอลูมิเนียมสเปซเซอร์ หรือสารเคมีที่ใช้ในการเชื่อมต่อกระจก มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของกระจกทั้งสิ้น
3)สามารถปรับแรงดันลมได้เพิ่มขึ้น	
4)ให้ความปลอดภัยในอาคารในกรณีที่ใช้กระจกนิรภัยเทมเปอร์ หรือกระจกนิรภัยหลายชั้นมาผลิตเป็นกระจกฉนวนกันความร้อน	

ที่มา: บริษัท กระจกไทย อาซาฮี จำกัด. (2553)

(2) กระจกฮีตมิเรอร์ (Heat Mirror)

ลักษณะของกระจกฮีตมิเรอร์เป็นระบบของกระจกสองชั้นที่เคลือบสารที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำทั้ง 2 ด้านของฟิล์มที่อยู่ระหว่างช่องอากาศ โดยที่ช่องว่างอากาศทั้งสองข้างจะกลายเป็นช่องว่างอากาศสะท้อนรังสี

ตาราง 10 คุณสมบัติและข้อพิจารณาในการใช้กระจกฮีตมิเรอร์

คุณสมบัติ	ข้อควรพิจารณาในการใช้งาน
1)สามารถสะท้อนความร้อนออกไปจากกระจกได้มากถึงประมาณ 80% หรือยอมให้ความร้อนส่งผ่านเข้ามาเพียง 10% ที่เหลืออยู่ 10% จะถูกดูดกลืนเข้าไปในกระจก	1)ต้องระวังไม่ให้วัสดุยาแนวเกิดความเสียหาย มิฉะนั้นความชื้นอาจแทรกซึมเข้าไปทำให้กระจกเสื่อมประสิทธิภาพได้
2)ยอมให้แสงสว่างผ่านเข้ามาได้ดี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ การเลือกใช้องค์ประกอบของกระจกและฟิล์ม	2)ในการติดตั้งระมัดระวังผลกระทบจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต เนื่องจากจะทำให้วัสดุยาแนวเสื่อมสภาพได้
3)ป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยสะท้อนรังสีอัลตราไวโอเล็ตประมาณ 98%	3)ไม่สามารถปรับแต่งขนาดของกระจกภายหลังประกอบได้ ดังนั้นจะต้องวัดและตัดให้ได้ขนาด ตรงกับการนำไปใช้เท่านั้น
	4)การติดตั้งควรระมัดระวังไม่หันกระจกผิดด้าน เพราะจะทำให้คุณสมบัติของกระจกต่ำลง

ที่มา: Thai-German Speciality Glass CO., LTD. (2550)

(3) กระจกฮีตสตอป (Heat Stop)

กระจกฮีตสตอปมีลักษณะเป็นกระจกสองชั้นประกอบขึ้นด้วยกระจกสะท้อนแสงที่เคลือบด้วยสารที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำเป็นกระจกด้านนอก และด้านในใช้กระจกใสสารที่เคลือบนั้นสามารถป้องกันความร้อนอินฟราเรดให้ผ่านเข้ามาได้เพียง 5% ช่องว่างตรงกลางใส่ก๊าซอาร์กอน

ตาราง 11 คุณสมบัติและข้อพิจารณาในการใช้กระจกฮีตสโตป

คุณสมบัติ	ข้อควรพิจารณาในการใช้งาน
1)สามารถสะท้อนความร้อนออกไปจากกระจกได้มาก	1)ต้องระวังไม่ให้วัสดุยาแนวเกิดความเสียหาย มิฉะนั้นความชื้นอาจแทรกซึมเข้าไปทำให้กระจกเสื่อมประสิทธิภาพได้
2)ยอมให้แสงสว่างผ่านกระจกเข้ามามากถึงประมาณ 60%	2)ไม่สามารถปรับแต่งขนาดของกระจกภายหลังประกอบได้
3)ป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยสะท้อนรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้ประมาณ 95%	3)การติดตั้งไม่ควรหันกระจกผิวด้านเพราะจะทำให้คุณสมบัติของกระจกต่ำลง

ที่มา: Thai-German Speciality Glass CO., LTD. (2550)

2.2.8 กระจกนิรภัยหลายชั้น (Laminated Glass)

เป็นการนำกระจกตั้งแต่ 2 แผ่นขึ้นไปมาผนึกเข้าด้วยกัน โดยมีแผ่นฟิล์มโพลีไวนิลนวิเทรต ที่เหนียวและแข็งแรงซ้อนอยู่ระหว่างกลาง ทำหน้าที่ยึดกระจกให้ติดกัน เมื่อกระจกชนิดนี้ถูกกระแทกจนแตก แผ่นฟิล์มโพลีไวนิลนวิเทรตจะช่วยยึดไม่ให้เศษกระจกหลุดกระจาย จะมีเพียงรอยแตกหรือรอยร้าวคล้ายใยแมงมุมเท่านั้น

ตาราง 12 คุณสมบัติและข้อพิจารณาในการใช้กระจกนิรภัยหลายชั้น

คุณสมบัติ	ข้อควรพิจารณาในการใช้งาน
1) การใช้กระจกนิรภัยหลายชั้น สามารถช่วยลดการบาดเจ็บจากกระจกได้	1) เนื่องจากฟิล์มโพลีไวนิลบิวทิเลต มีคุณสมบัติในการอมความร้อน ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดปัญหาการแตกร้าว เนื่องจากการสะสมความร้อน จึงไม่ควรเลือกกระจกต่อไปนี้เข้ามาฉีกเข้าด้วยกัน
2) ป้องกันการทะลุทะลวง เนื่องจากการแตกและการบุกรุกได้	-กระจกสีตัดแสงฉีกกับกระจกสีตัดแสง
3) ช่วยลดเสียงรบกวน และลดการก้องของเสียงได้ดี	-กระจกสีตัดแสงเสริมลดฉีกกับกระจกแผ่นเรียบ
4) ช่วยในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ	-กระจกสะท้อนแสงฉีกกับกระจกเสริมลด
5) แผ่นฟิล์มใสกระจกนิรภัยหลายชั้นช่วยในการลดรังสีอัลตราไวโอเล็ต	2) มีความแข็งแรงต่อแรงอัดของลมน้อยกว่ากระจกธรรมดาที่ความหนาเท่ากัน
	3) เมื่อนำกระจกนิรภัยเทมเปอร์มาฉีกเข้าด้วยกัน ควรใช้แผ่นฟิล์มที่ความหนาไม่ต่ำกว่า 0.7 มิลลิเมตรเป็นตัวยึดกระจก เพื่อป้องกันการเกิดฟองอากาศเนื่องจากผิวกระจกไม่เรียบ
	5) ควรมีการเคลือบสารกันน้ำบริเวณขอบกระจก เพื่อป้องกันความเสียหายของแผ่นฟิล์ม
	6) เมื่ออุณหภูมิของกระจกนิรภัยหลายชั้นเพิ่มสูงขึ้นไปถึงระดับหนึ่งคือ 170 องศาฟาเรนไฮด์ การสะสมความร้อนภายในจะสูงขึ้น ความสามารถของฟิล์มในการยึดเกาะกระจกจะลดลง

ที่มา: บริษัท กระจกไทย อซาฮี จำกัด. (2553)

2.2.9 กระจกที่ดัดแปลงเพื่อการใช้งานที่เฉพาะ (Application Glass)

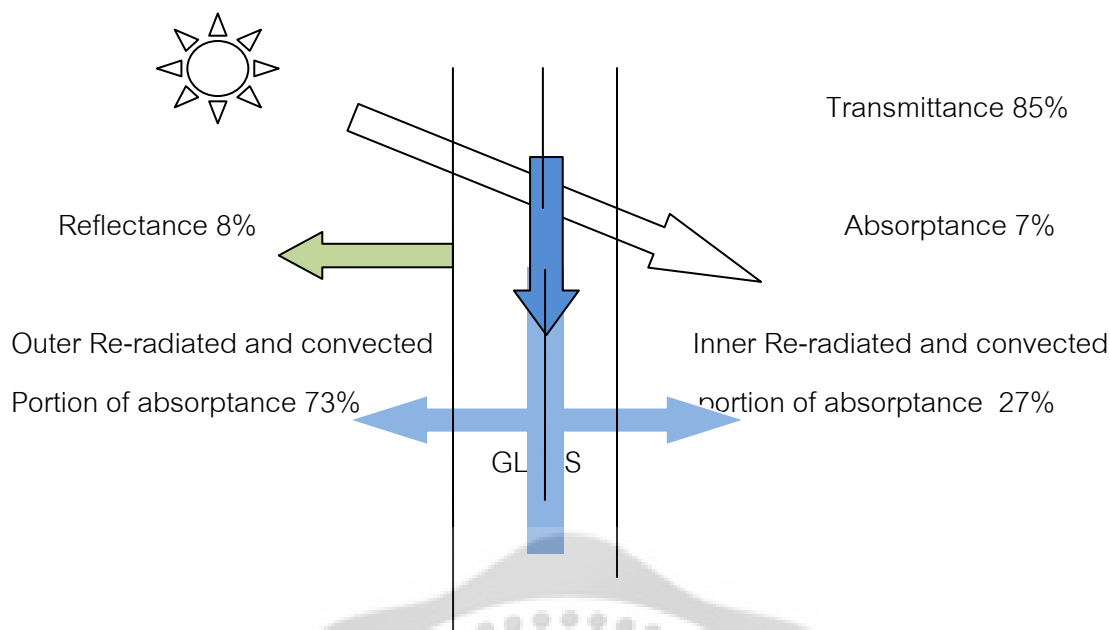
- 1) กระจกทึบไฟ
- 2) กระจกเสริมลวด (Wired Glass)
- 3) กระจกลาย (Pattern Glass)

2.3 นิยามคุณสมบัติทางความร้อนของกระจก

ค่าคุณสมบัติทางความร้อนของกระจกที่ศึกษา คือค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient ; SC) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall heat transfer coefficient ; U) สามารถหาได้โดยการใช้ผลการทดสอบวัดค่ารังสีแสงของกระจก (Solar Response) ซึ่งได้แก่ ค่าการส่งผ่าน (Transmittance ; T) ค่าการสะท้อน (Reflectance ; ρ) และค่าการเปล่งรังสี (Emittance ; e) ของผิวกระจกทั้งสองด้าน และคำนวณค่าตามหลักการในมาตรฐาน ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning) และมาตรฐาน NFRC (National Fenestration Research Center)

2.3.1 ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด

ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient ; SC) [American Society of Heating Refrigerating Air condition Engineers, 1993] คือค่าอัตราส่วนความร้อนแสงอาทิตย์ (Solar Heat Gain) ที่ผ่านกระจกต่อความร้อนแสงอาทิตย์ที่ผ่านกระจกอ้างอิง (Double Strength Sheet Glass ; DSA) ซึ่งเป็นกระจกใสชั้นเดียว หนา 1/8 นิ้ว (3 มิลลิเมตร) ภายใต้สภาวะเดียวกัน โดยความร้อนของแสงอาทิตย์กระจกเป็นผลรวมความร้อนแสงอาทิตย์ที่ผ่านกระจกโดยตรง การแผ่รังสีและการพาความร้อนด้านในอาคารส่วนที่กระจกดูดกลืนไว้



ภาพประกอบ 1 การถ่ายเทความร้อนแสงอาทิตย์ผ่านกระจกใสหนา 3 มิลลิเมตร

ที่มา: J.Hill Russell, J.Nadel. Steven (1999)

ตามมาตรฐาน ASHRE [American Society of Heating Refrigerating Air condition Engineers, 1993] กระจกอ้างอิง (Double Strength Sheet Glass ; DSA) มีพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผ่านกระจกโดยตรง 85% พลังงานแสงอาทิตย์ที่สะท้อนกลับ 8% และพลังงานความร้อนที่กระจกดูดกลืน 7% ซึ่งพลังงานที่กระจกดูดกลืนนี้จะคายความร้อนออกโดยแยกเป็นการพาความร้อนและการแผ่รังสีที่ผิวกระจกออกสู่ด้านนอก 73% และที่ผิวกระจกด้านใน 27% ณ สภาวะอากาศฤดูร้อน (Summer condition) ความเร็วลมภายนอก 7.5 mph อากาศภายในนิ่ง และความเข้มแสงอาทิตย์ (Solar Intensity) 790 W/m^2 และกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกอ้างอิง เท่ากับ 1.00

The National Fenestration Rating Council (NFRC) ได้กำหนดความสัมพันธ์ของความร้อนแสงอาทิตย์ที่ผ่านกระจกและช่องแสงต่าง ๆ โดยกำหนดให้เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนแสงอาทิตย์ (Solar Heat Gain Coefficient; SHGC) และสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกได้จากอัตราส่วนของค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนแสงอาทิตย์ของกระจกนั้นหารด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนแสงอาทิตย์ของกระจกในหนา 3 มิลลิเมตร

พิจารณาสภาวะอากาศร้อนตามมาตรฐาน ASHRAE ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผ่านกระจกหนา 3 มิลลิเมตร มีค่าเท่ากับ $790 \text{ W/m}^2 \times 0.85 = 671.5 \text{ W/m}^2$ ส่วนพลังงานแสงอาทิตย์ที่กระจกดูดกลืนแล้วแผ่รังสีและพาความร้อนที่ผิวด้านในของอาคารเท่ากับ $790 \text{ W/m}^2 \times 0.07 \times 0.27 = 14.93$

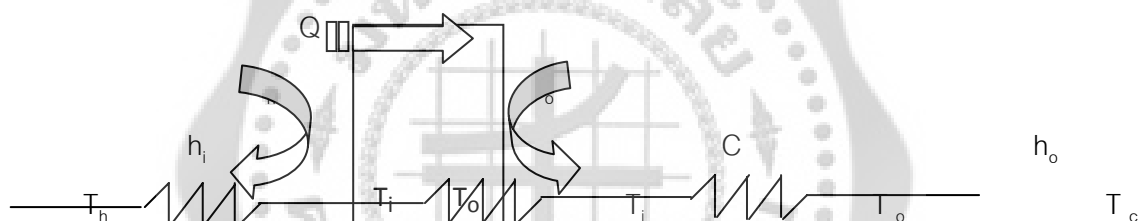
W/m^2 จะได้พลังงานแสงอาทิตย์รวมที่ผ่านกระจกทั้งหมดเท่ากับ $671.5 + 14.931 = 686.431 \text{ W/m}^2$
 ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนแสงอาทิตย์ของกระจกอ้างอิง (DSA) หน้า 3 มิลลิเมตร เท่ากับ
 $686.431 / 790 = 0.87$ ไว้เป็นค่าคงที่ นั่นคือ

$$\text{SHGC} = 0.87 \times \text{SC}$$

หรือ $\text{SC} = 1.15 \times \text{SHGC}$

2.3.2. ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall heat transfer coefficient; U) [American Society of Heating Refrigerating Air condition Engineers, 1993] เป็นผลรวมของค่าการนำความร้อน (Thermal Conductance; C) กับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิววัสดุ (Surface Coefficient; h) ที่มีผลมาจากการแผ่รังสี และการพาความร้อนซึ่งเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างผิวของวัสดุกับสิ่งแวดล้อมที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน



ภาพประกอบ 2 การถ่ายเทความร้อนรวม

ที่มา: J.Hill Russell, J.Nadel. Steven (1999)

$$C = \frac{Q}{A(T_o - T_i)}$$

เมื่อ T_o คือ อุณหภูมิที่ผิววัสดุด้านนอก ($^{\circ}\text{C}$)

และ T_i คือ อุณหภูมิที่ผิววัสดุด้านใน ($^{\circ}\text{C}$)

$$h = \frac{Q}{A(T_h - T_i)}$$

เมื่อ T_i คือ อุณหภูมิอากาศที่ระยะ 75 มม. จากผิวร้อน ($^{\circ}\text{C}$)

$$T_i = \frac{Q}{A(T_o - T_c)}$$

เมื่อ T_c คือ อุณหภูมิอากาศที่ระยะ 75 มิลลิเมตร จากผิวเย็น ($^{\circ}\text{C}$)

ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall Heat Transfer Coefficient; U)

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{c} + \frac{1}{h_o}$$

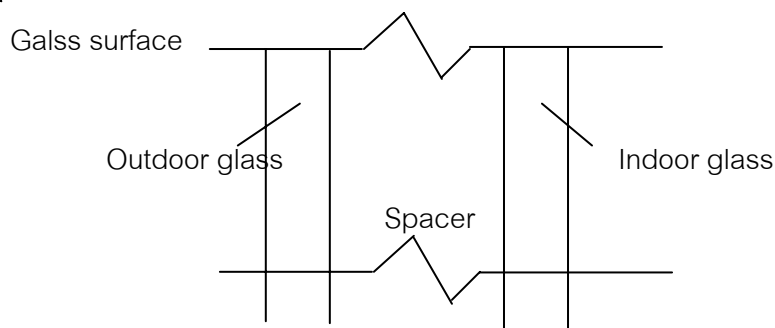
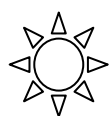
2.3.3.การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร

การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall thermal transfer value; OTTV) [6] เป็นผลรวมของค่าการนำความร้อน (Thermal Conductance; C) กับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิววัสดุ (Surface Coefficient; h) ที่มีผลมาจากการแผ่รังสี และการพาความร้อนซึ่งเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างผิวของวัสดุกับสิ่งแวดล้อมที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน

$$OTTV = (U_w)(1-WWR)(T_{Deq}) + (U_f)(WWR)(\Delta T) + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR)$$

เมื่อ OTTV	คือ	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา (W/m ²)
U _w	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ (W/m ² °C)
WWR	คือ	อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา
T _{Deq}	คือ	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (°C)
U _f	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสง/กระจก (W/m ² °C)
ΔT	คือ	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร (°C)
SHGC	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่าน ผนังโปร่งแสงหรือกระจก
SC	คือ	สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด
ESR	คือ	ปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง (W/m ²)

2.4. หลักการและการคำนวณ



ภาพประกอบ 3 รูปแบบของกระจก

ที่มา: J.Hill Russell, J.Nadel. Steven (1999)

2.4.1.ค่ารังสีแสง (Solar Response)

ค่ารังสีแสง (Solar Response; R) ได้แก่ ค่าการส่งผ่าน (Transmittance; τ) ค่าการสะท้อน (Reflectance; ρ) และค่าการดูดกลืน (Absorptance; α) ของกระจกผลจากการทดสอบวัดค่าต่าง ๆ เหล่านี้ในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการสามารถคำนวณหาค่าคุณสมบัติดังกล่าวตามมาตรฐาน ASTM E903 [ASTM, 1996] “Standard Test Method for Solar Absorptance Reflectance and Transmittance of Materials Using Integration Spheres” และ ASTM E891 [ASTM, 1987] “Standard Tables for Terrestrial Direct Normal Spectral Irradiance for Air Mass 1.5” โดยวิธีถ่วงน้ำหนัก (Weight ordinates) คือ

$$R = (\sum R(\lambda_i) E \lambda_i \Delta \lambda_i) / (E \lambda_i \Delta \lambda_i)$$

- เมื่อ $R(\lambda_i)$ คือ ค่ารังสีบนช่วงความยาวคลื่นที่ i
 $E \lambda_i$ คือ พลังงานบนช่วงความยาวคลื่นที่ i
 $\Delta \lambda_i$ คือ ผลต่างเฉลี่ยของความยาวคลื่น
 i คือ ตำแหน่งของความยาวคลื่นมีค่า 1 ถึง n
 n คือ จำนวนข้อมูลของค่ารังสีแสงที่ทราบค่า

และจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่งผ่าน (τ) ค่าการสะท้อน (ρ) และค่าการดูดกลืน (α) เมื่อทราบสองค่าสามารถหาค่าที่เหลือได้

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

2.4.2.ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall heat transfer coefficient)

การถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกสำหรับกระจกชั้นเดียว (Single glazing) และกระจกสองชั้น (Double glazing) แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall Heat Transfer coefficient; U) [3] ได้ดังสมการ

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + R + \frac{1}{h_i}}$$

เมื่อ h_o คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายนอก

h_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายใน

R คือ ค่าความต้านทานความร้อน

โดย $R = R_{go} + R_a + R_{gt}$

และ $R = \Sigma\left(\frac{\Delta x}{k}\right)$

เมื่อ R_{go} คือ ค่าความต้านทานความร้อนของกระจกแผ่นนอก

R_{gt} คือ ค่าความต้านทานความร้อนของกระจกแผ่นใน

R_a คือ ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างระหว่างแผ่นกระจก

Δx คือ ความหนาของแผ่นกระจก

k คือ ค่าการนำความร้อนของวัสดุกระจก $1.053 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

ตามมาตรฐาน ASHRAE [American Society of Heating Refrigerating Air condition Engineers, 1993] ได้แนะนำค่าการออกแบบของสภาพอากาศร้อน (Summer condition) ให้อุณหภูมิภายในที่ออกแบบเท่ากับ 24°C ณ ความเร็วลม 3.3 m/s และความดันบรรยากาศกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายนอก (Heat transfer coefficient for outdoor surface; h_o) เท่ากับ $22.7 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}$ และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายใน (Heat transfer coefficient for indoor surface; h_i) ตามสมการ

$$h_i = \frac{0.27(t_{gt} - t_a)^{0.25} + e_4 \sigma (T_{gt}^4 - T_{at}^4)}{(T_{gt} - T_{at})}$$

เมื่อ t_{gt} คือ อุณหภูมิของผิวกระจกด้านในมีหน่วย $^\circ\text{C}$

T_{gt} คือ อุณหภูมิของผิวกระจกด้านในมีหน่วยองศาเคลวิน(K)

t_{at} คือ อุณหภูมิของอากาศภายในมีหน่วย $^\circ\text{C}$

T_{at} คือ อุณหภูมิของอากาศภายในมีหน่วย องศาเคลวิน(K)

t_a คือ อุณหภูมิของอากาศ ณ สภาวะออกแบบมีหน่วย $^\circ\text{C}$

e_4 คือ ค่าการเปล่งรังสีของผิวกระจกที่ 4 (ด้านในของกระจกชั้นใน)

o คือ ค่าคงที่ Stefan Boltzman's constant เท่ากับ $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

สำหรับกระจกสองชั้น ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศระหว่างกระจก (R_a) มีความสัมพันธ์กับค่าการเปล่งรังสีประสิทธิภาพ (Effective Emittance; E) ซึ่งคำนวณจากสมการข้างล่างนี้

$$E = 1 / (1/e_2 + 1/e_3 - 1)$$

เมื่อ e_2 คือ ค่าการเปล่งรังสีของผิวกระจกที่ 2

e_3 คือ ค่าการเปล่งรังสีของผิวกระจกที่ 3

ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างระหว่างกระจก (R_a) สามารถหาได้ตามตารางที่ ก.9 ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับการไหลของความร้อนในแนวนอน (Coefficient for Horizontal Heat Flow) ของมาตรฐาน ASHRAE "Fenestration" [American Society of Heating Refrigerating Air condition Engineers, 1993] เมื่อทราบค่าผลต่างอุณหภูมิกระจกภายนอกกับภายในอุณหภูมิของช่องว่างอากาศ ความกว้างของช่องว่างอากาศ และค่าการเปล่งรังสีประสิทธิภาพ (Effective Emittance; E)

2.4.3.ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient)

ความร้อนที่ผ่านกระจกต่อหน่วยพื้นที่ (Heat gain; q_w) [American Society of Heating Refrigerating Air condition Engineers, 1993] มีค่าเท่ากับผลรวมของความร้อนรังสีอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามา (Transmitted Solar radiation; q_r) ซึ่งขึ้นกับคุณสมบัติการส่องผ่านของกระจก และความร้อนจากผิวกระจกด้านใน (Inward Heat flow from inner surface; q_{CRI}) ซึ่งเกิดเนื่องจากการดูดกลืนความร้อนของกระจกแล้วถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายใน โดยการพารวมกับการแผ่รังสีความร้อนสามารถแทนด้วยสมการ

$$q = q_r + q_{CRI}$$

โดย $q_r = \tau \cdot I_t$

เมื่อ τ คือ ค่าการส่องผ่านความร้อนของกระจก

I_t คือ ความเข้มรังสีอาทิตย์รวม (W/m^2)

สมมุติให้อุณหภูมิของแผ่นกระจก (Temperature of glass plate; t_g) เป็นค่าเดียวทั้งแผ่น การคำนวณค่าความร้อนจากผิวกระจกด้านใน (q_{crl}) สำหรับกระจกชั้นเดียวและกระจกสองชั้น มีวิธีแตกต่างกันดังนี้

2.4.3.1. กระจกชั้นเดียว (Single glazing Unit)

$$q_{crl} = U \left(\frac{\alpha I_t}{h_o} + t_{a0} - t_{at} \right)$$

เมื่อ t_{a0} คือ อุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในตามลำดับ ($^{\circ}\text{C}$)

t_{at} คือ อุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในตามลำดับ ($^{\circ}\text{C}$)

U คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ($\text{m}^2^{\circ}\text{C} / \text{W}$)

α คือ ค่าการดูดกลืนของกระจก

h_o คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายนอก ($\text{m}^2^{\circ}\text{C} / \text{W}$)

ดังนั้น

$$q_w = \tau \cdot I_t + U \left(\frac{\alpha I_t}{h_o} + t_{a0} - t_{at} \right)$$

หรือ

$$q_w = SHGC \cdot I_t + U (t_{a0} - t_{at})$$

เมื่อ

$SHGC$ คือ สัมประสิทธิ์ความร้อนแสงอาทิตย์

นั่นคือ

$$SHGC = \tau + \frac{\alpha U}{h_o}$$

2.4.3.2. กระจกสองชั้น (Double glazing Unit)

$$q_{crl} = N_{to} \cdot \alpha \cdot I_o + N_{ti} \cdot \alpha \cdot I_t (t_{a0} - t_{at})$$

หรือ

$$q_{crl} = U \left(\frac{\alpha I_t}{h_o} + \left(\frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_t} \right) \alpha \cdot I_t + t_{a0} - t_{at} \right)$$

เมื่อ

N_{to} คือ สัดส่วนการถ่ายเทเข้าภายในของรังสีอาทิตย์ที่กระจกแผ่นนอกดูดกลืน

N_{ti} คือ สัดส่วนการถ่ายเทเข้าภายในของรังสีอาทิตย์ที่กระจกแผ่นในดูดกลืน

α	คือ ค่าการดูดกลืนความร้อนของกระจก
I_o	คือ ความเข้มรังสีอาทิตย์รวมบนกระจกแผ่นนอก (W/m^2)
I_t	คือ ความเข้มรังสีอาทิตย์รวมบนกระจกแผ่นใน (W/m^2)
t_{ao}	คือ อุณหภูมิอากาศภายนอก
t_{at}	คือ อุณหภูมิอากาศภายใน

โดยกำหนดให้

$$N_{ot} = \frac{U}{h_o}$$

$$N_{tt} = U \left(\frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_t} \right)$$

และจาก

$$\alpha \cdot I_o = \alpha_o I_t$$

$$\alpha \cdot I_i = \alpha_i I_t$$

โดย

$$\alpha_o = \alpha_1 + \frac{\alpha_2 \tau_o \rho_3}{1 - \rho_2 \rho_3}$$

เมื่อ	I_t	คือ ความเข้มรังสีอาทิตย์รวม (W/m^2)
	α_1	คือ ค่าการดูดกลืนความร้อนของกระจกแผ่นนอก
	α_2	คือ ค่าการดูดกลืนความร้อนของกระจกด้านในแผ่นนอกและใน
	α_3	คือ ค่าการดูดกลืนความร้อนของกระจกแผ่นใน
	τ_o	คือ ค่าการส่งผ่านของกระจกแผ่นนอก
	ρ_2	คือ ค่าการสะท้อนของผิวกระจกที่ 2
	ρ_3	คือ ค่าการสะท้อนของผิวกระจกที่ 3

ค่าการส่งผ่านรวมของกระจก อุณหภูมิของแผ่นกระจกทั้งด้านนอกและด้านใน สามารถคำนวณได้ดังสมการนี้

$$\tau_{ot} = \frac{\tau_o \tau_t}{1 - \rho_2 \rho_3}$$

$$t_{go} = t_{ao} + (\alpha \cdot I_o + \alpha \cdot I_t - q_{Rct}) \left(\frac{1}{h_o} + \frac{R_{go}}{2} \right)$$

$$t_{gt} = t_{at} + q_{Rct} \left(\frac{1}{h_t} + \frac{R_{gt}}{2} \right)$$

เมื่อ	t_{oi}	คือ ค่าการส่งผ่านรวมของกระจก
	t_{gt}	คือ อุณหภูมิของแผ่นกระจกทั้งด้านนอก ($^{\circ}C$)

t_{go} คือ อุณหภูมิของแผ่นกระจกทั้งด้านใน ($^{\circ}\text{C}$)

R_{gi} คือ ค่าความต้านทานความร้อนของกระจกแผ่นใน ($\text{W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$)

R_{go} คือ ค่าความต้านทานความร้อนของกระจกแผ่นนอก ($\text{W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$)

ดังนั้น ความร้อนที่ผ่านกระจกสองชั้น คือ

$$q_w = \tau_{ot} I_t + U \left(\frac{a_o}{h_o} + \frac{a_t}{h_o} + \frac{a_t}{h_s} \right) + I_t + U (t_{ao} - t_{at})$$

หรือ

$$q_w = SHGC_{ot} I_t + U (t_{ao} - t_{at})$$

นั่นคือ

$$SHGC_{ot} = \tau_{ot} + U \left(\frac{a_o}{h_o} + \frac{a_t}{h_s} \right)$$

เนื่องจากอุณหภูมิของแผ่นกระจกทั้งแผ่นนอกและแผ่นในสำหรับกระจกสองชั้น มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนซึ่งแสดงในรูปของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายนอก (h_o) และภายใน (h_i) และส่งผลให้ค่าความร้อนที่ผ่านกระจกมีค่าแปรเปลี่ยนตามไปด้วย ดังนั้นในการคำนวณจึงใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trial and error method) เพื่อหาคำตอบ นั่นคือลองกำหนดค่าอุณหภูมิของแผ่นกระจกคำนวณตามขั้นตอน และตรวจสอบค่าผลลัพธ์จนให้ค่าเท่ากันจึงถือว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องสำหรับสภาวะที่กำหนด แล้วนำไปคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมและค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด จากความสัมพันธ์ดังได้กล่าวไว้ข้างต้น

2.5 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

จากการรวบรวมผลงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาถึงสมรรถนะของกรอบอาคารเพื่อเป็นแนวทางการออกแบบอาคารเชิงการอนุรักษ์พลังงาน ดังนี้

พรพรรณ เหลืองรุจิวงศ์ (2546) การประเมินการใช้พลังงานและความคุ้มค่าการลงทุน เมื่อติดตั้งกระจกชนิดต่าง ๆ เพื่ออนุรักษ์พลังงานสำหรับบ้านพักอาศัย โดยค่าการลดลงของพลังงานได้จากการใช้โปรแกรมจำลองสภาพการใช้พลังงาน (DOE-2.1) กระจกชนิดที่นำมาทดแทนกระจกมาตรฐานซึ่งเป็นกระจกใสหนา 6 มิลลิเมตร ผลการคำนวณพลังงานที่ใช้ในบ้านพักอาศัยต้นแบบซึ่งได้รับการทวนสอบ โดยการเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้พลังงานจริงของบ้านพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร

พัชรี จันทบุพผา (2532) ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกใสชั้นเดียว โดยการเก็บข้อมูลอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายนอกและภายในอาคารอุณหภูมิที่ผิวกระจกด้านนอกและด้านในปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบผิวกระจกด้านนอกและที่ผ่านเข้าสู่ภายในอาคาร ณ ชั้นดาดฟ้าอาคาร 4 ของสำนักงานพลังงานแห่งชาติระหว่างวันที่ 4-10 มกราคม 2532 นำมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยวิธีการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างจากสมดุลพลังงานอุณหภูมิแล้วเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้พลังงานจริงของบ้านพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร

วิรัช มณีขาว (2538) ได้ศึกษาการประเมินสมรรถนะการใช้พลังงานในที่พักอาศัยแบบบ้านจัดสรร ด้วยค่าการถ่ายเทความร้อนของบ้านเดี่ยวชั้นเดียว บ้านเดี่ยวสองชั้น และทาวน์เฮาส์สองชั้น พบว่าค่าถ่ายเทความร้อนรวม (Overall Thermal Transfer Value; OTTV) มีค่า 51.70 53.37 และ 52.41 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ส่วนค่าถ่ายเทความร้อนของหลังคา (Roof Thermal Transfer Value; RTTV) ของบ้านเดี่ยวชั้นเดียวกับบ้านเดี่ยวสองชั้น มีค่าเท่ากันคือ 75.46 วัตต์ต่อตารางเมตร และทาวน์เฮาส์สองชั้น มีค่า RTTV เท่ากับ 75.09 วัตต์ต่อตารางเมตร สำหรับการแนวทางการปรับปรุงค่าการถ่ายเทความร้อนรวม เพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่พิจารณา 3 มาตรการ คือ การทาสีเซรามิกที่ผนังด้านนอก การติดตั้งฉนวนใยแก้วชนิดบุอะลูมิเนียมฟอยล์และการติดตั้งแผ่นยิปซัมบอร์ด 9 มิลลิเมตร ใต้หลังคาพบว่า สำหรับบ้านเดี่ยวชั้นเดียวและทาวน์เฮาส์สองชั้น ควรปรับปรุงด้วยการทาสีเซรามิกซึ่งจะให้ค่า OTTV ลดลงจากเดิม 22.95 และ 20.2 วัตต์ต่อตารางเมตร อัตราผลตอบแทนภายใน 16.19% และ 14.03% โดยมีระยะเวลาคืนทุน 5.53 และ 6.13 ปี ตามลำดับ ส่วนบ้านเดี่ยวสองชั้น พบว่าไม่มีมาตรการใดที่คุ้มค่ากับการลงทุนปรับปรุงเพื่อลดค่า OTTV แต่การปรับปรุงเพื่อลดค่า RTTV นั้นสามารถทำได้โดยการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 25 มิลลิเมตร ชนิดบุอะลูมิเนียมฟอยล์ใต้หลังคา ซึ่งจะทำให้ค่า RTTV ของบ้านเดี่ยวชั้นเดียว บ้านเดี่ยวสองชั้น และทาวน์เฮาส์สองชั้น ลดลง 18.91 25.82 และ 18.91 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ และสามารถคืนทุนในทันที นอกจากนี้ การปรับปรุงหลายวิธีร่วมกันยังให้ผลจากการลงทุนที่น่าสนใจคือ การติดตั้งแผ่นยิปซัมบอร์ด 9 มิลลิเมตร แนบผนังเดิมร่วมกับติดตั้งฉนวนใยแก้วชนิดบุอะลูมิเนียมฟอยล์ 25 มิลลิเมตร ได้หลังคาสำหรับบ้านเดี่ยวสองชั้นจะคืนทุนในเวลา 0.7 ปี บ้านเดี่ยวชั้นเดียวและทาวน์เฮาส์สองชั้นปรับปรุงด้วยการทาสีเซรามิกที่ผนังด้านนอกร่วมกับติดตั้งฉนวนใยแก้วชนิดบุอะลูมิเนียมฟอยล์ 25 มิลลิเมตร ได้หลังคาสามารถคืนทุนในเวลา 0.34 และ 0.12 ปี ตามลำดับ

ปัญญา ฉัยยะ (2542) ได้ศึกษาแนวทางในการลดภาระความร้อนของระบบปรับอากาศในบ้านพักอาศัยโดยการทดสอบจริงกับบ้านตัวอย่าง 2 หลังซึ่งถูกสร้างให้มีลักษณะเหมือนกัน เพื่อวัดเปรียบเทียบปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้บ้านหลังที่ 1 ถูกใช้เป็นหลังอ้างอิง ส่วนหลังที่ 2 จะมีการปรับปรุงโดยใช้ฉนวนใยแก้วและแผ่นกันความร้อนที่หลังคา การใช้ฟิล์มสะท้อนความร้อนใต้

หลังคา การติดตั้งผ้าม่านและมู่ลี่ การใช้อุปกรณ์บังแดด การใช้สีกันรังสีความร้อนทาที่ผนังและหลังคา และการใช้ผนังที่ทำด้วยอิฐมวลเบา พบว่าทำให้ภาระของระบบปรับอากาศลดลงได้ 6-18% ของปริมาณพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศมีระยะเวลาคืนทุน 2.8 – 4.7 ปี

พนิดา ศิริบังเกิดผล (2543) ได้ศึกษาอิทธิพลของภูมิอากาศต่อการออกแบบบ้านพักอาศัยเพื่อการประหยัดพลังงาน โดยใช้โปรแกรมจำลองสภาพการใช้พลังงาน DOE-2 ในการคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามาและภาระการทำความเย็นของบ้านพักอาศัย ซึ่งมีลักษณะการใช้พลังงานแบบบ้านพักอาศัยทั่วไปในกรุงเทพมหานคร ผลการคำนวณภาระการทำความเย็นจากทิศทางการวางอาคารและขนาดของอุปกรณ์บังแดดที่มีผลต่อปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร ทำให้ได้หลักการนำไปใช้ในการออกแบบบ้านใหม่พบว่า บ้านพักอาศัยที่ออกแบบตามหลักการนี้สามารถลดภาระการทำความเย็นได้มากกว่าบ้านพักอาศัยทั่วไปถึง 23.15% และเมื่อพิจารณาถึงการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคารของบ้านพักอาศัยหลังจากที่บ้านนั้นสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว พบว่าการติดตั้งฉนวนกันความร้อนชนิดฉนวนใยแก้วหนา 5 ซม. ที่หลังคา สามารถประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าได้ 721 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 9.8 ปี แต่การติดตั้งอุปกรณ์บังแดดไม่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ส่วนการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคารของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบใหม่ พบว่าการใช้ผนังอิฐมวลเบาสามารถประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าได้ 1,442 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 8.6 ปี และการติดตั้งฉนวนกันความร้อนชนิดฉนวนใยแก้ว หนา 5 ซม. ที่หลังคา สามารถประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าได้ 584 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 16.3 ปี สำหรับการติดตั้งผนังสำเร็จรูปชนิด ELFS (External Insulation Finishing System) พบว่าไม่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพราะมีราคาสูงเกินไป

ชิงชัย พงศาธิรัตน์ (2543) ได้ทดสอบสมรรถนะของผนังอาคารปล่องรังสีอาทิตย์ที่ใช้ร่วมกับวัสดุโปร่งแสง (Partial-Glazed Solar Chimney Wall; PGSCW) ณ บ้านทดสอบขนาด 3.35X3.45X2 มิลลิเมตร มีปริมาตรประมาณ 25 ลูกบาศก์เมตร ซึ่ง PGSCW ประกอบด้วยผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีวัสดุโปร่งใสอยู่ร่วมกับช่องอากาศผนังยิปซัมชนิดอะลูมิเนียมพอยล์และแผ่นอะคริลิค พบว่า PGSCW ที่มีบล็อกแก้ว 0.36 ตารางเมตร (3 แถว) เกิดอัตราการระบายอากาศ 60-80 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และระดับความสว่าง 300-400 ลักซ์ สรุปว่า PGSCW ที่มีบล็อกแก้ว 0.12 ตารางเมตร (1 แถว) มีอัตราการระบายอากาศที่ความเหมาะสมในการนำมาใช้งานเพื่อลดการสะสมความร้อนและสามารถนำแสงธรรมชาติมาใช้ประโยชน์

ประดิษฐ์ เจริญงสุข (2544) ได้ประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางความร้อนของแสงอาทิตย์ผ่านหน้าต่างกระจกใสและพลาสติก ทำการทดสอบที่ห้องปฏิบัติการแสงอาทิตย์เทียม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยใช้เครื่องวัดสัมประสิทธิ์ทางความร้อน (Solar Heat Gain

Coefficient Device) ซึ่งสร้างตามมาตรฐาน ASTM C236-66 และทดสอบตัวอย่างกระจก 5 ชนิด และพลาสติกใส 1 ชนิด ตามมาตรฐาน ASHRAE 93-86 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ทางความร้อนแสงอาทิตย์ (Solar Heat Gain Coefficient; SHGC) มีค่า 0.8717 0.8778 0.8378 0.7041 0.7209 และ 1.1574 ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Heat Transfer Coefficient; U) มีค่า 33.368 15.555 23.184 33.306 และ 16.613 W/m²°C สำหรับกระจกใส กระจกฝ้า กระจกลายผ้า กระจกชาดำ หนา 5 มิลลิเมตร และพลาสติกใสตามลำดับ

วิชุดา อยู่ยงค์ (2551) การศึกษาเพื่อประเมินเทคโนโลยีสำหรับอาคารสำนักงานที่มีประสิทธิภาพพลังงานสูง ซึ่งทำการศึกษการใช้พลังงานของอาคารโดยสร้างแบบจำลองของอาคารสำนักงานใช้โปรแกรม Energy Plus เป็นเครื่องมือช่วยพัฒนาแล้วนำเกณฑ์ค่าการถ่ายเทความร้อนทั้งหมด (OTTV) ซึ่งมีความสำคัญต่อการพิจารณาการใช้พลังงานของอาคารเบื้องต้น การสร้างแบบจำลองนั้นจำเป็นป้อนข้อมูลของอาคาร สภาพอากาศเขตกรุงเทพมหานคร เกิดการประมวลผลนำไปสู่ค่าการใช้พลังงานของอาคาร ทำการแปรเปลี่ยนผลตามแนวทางการปรับปรุง การประเมินผลนั้นได้ทำการศึกษาเทคโนโลยีของวัสดุ (ชนิดกระจกและชนิดฟิล์ม) เน้นด้านการออกแบบกรอบอาคาร ซึ่งมีแนวทางการศึกษาทั้งหมด 4 กรณี ผลที่ได้คือ กรณี 1 (กระจก 2 ชั้น) ให้ผลประหยัดพลังงานสูงสุด 4.92% ที่ปริมาณการใช้พลังงาน 1,220 MWH/ปี หรือประหยัดเป็นเงินได้ 4,046,740 บาท/ปี เมื่อพิจารณาดำเนินการของทิศ ประกอบด้วย 7 ทิศที่ทำการศึกษา ผลที่ได้การลดลงของปริมาณการใช้พลังงานช่วงระหว่าง 35-296 MWH/ปี ที่ผลประหยัดพลังงาน 0.68%-1.51% ซึ่งทิศตะวันตกเฉียงใต้และทิศตะวันตกเฉียงเหนือเกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการประหยัดพลังงานประมาณ 1.51%

ธรรมรัตน์ ธรรมครูปัทม์ (2550) นำเสนอวิธีการพัฒนากะจกบานเกล็ด โดยการพัฒนากระจกบานเกล็ดให้เป็นกระจกสองชั้น โดยกระจกแผ่นบน และแผ่นล่างใช้กระจกใสหนา 2 มิลลิเมตร และตรงกลางระหว่างกระจกเป็นช่องว่างอากาศ 2 มิลลิเมตร วัสดุกั้นกลางระหว่างกระจกของต้นแบบตัวที่หนึ่ง เป็นอะลูมิเนียม และกระจกของต้นแบบตัวที่สอง ใช้พลาสติกพีวีซี ที่ทำการกัดขึ้นรูปที่มีกระบวนการผลิตหลายขั้นตอนทำให้ต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูง จึงทำการสร้างต้นแบบตัวที่สามขึ้นด้วยการขึ้นรูปวัสดุกั้นกลางระหว่างกระจกด้วยการรีดขึ้นรูปโดยสามารถผลิตได้ปริมาณมาก ผลการทดสอบพบว่ากระจกต้นแบบตัวที่หนึ่งมีสมบัติการป้องกันความร้อนต่ำกว่า กระจกต้นแบบตัวที่สองเนื่องจากวัสดุกั้นกลางระหว่างกระจกมีสมบัติการนำความร้อนสูงถึง 204 ในการทดสอบยังพบอีกว่าความร้อนส่วนหนึ่งสามารถไหลผ่านกระจกบริเวณรอยต่อบานเกล็ดซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการป้องกันความร้อนของกระจกบานเกล็ด และวัสดุที่ใช้ทำบานพับบานเกล็ดในปัจจุบันเป็นอะลูมิเนียมที่มีสมบัติการนำความร้อนที่สูง จึงส่งผลทำให้ความสามารถในการป้องกันความร้อนมีค่าต่ำลง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานในการศึกษาประสิทธิภาพของกระจกหน้าต่าง เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้กระจกในการออกแบบอาคารสำนักงานเชิงอนุรักษ์พลังงานนี้ ประกอบด้วยขั้นตอนการวิจัย

3.1 รูปแบบของอาคารสำนักงาน

กำหนดต้นแบบของอาคารสำนักงาน ตัวอย่าง เป็นอาคารสำนักงาน ใช้วัสดุก่อสร้างที่พบทั่วไปในโครงการอาคารสำนักงาน เพื่อใช้เป็นต้นแบบในการทดลอง

3.1.1.สภาพภูมิอากาศ

ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (Weather Data) ได้แก่ ทิศทางและปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ความดันบรรยากาศ ทิศทางและความเร็วลมจากการรวบรวมข้อมูลที่นำเชื่อถือและพร้อมใช้งาน

3.2 รวบรวมข้อมูลคุณสมบัติ ราคา ค่าติดตั้งกระจกชนิดที่ศึกษา

3.2.1.การเลือกชนิดกระจก

เนื่องจากกระจกมีอยู่มากมายหลายชนิด การเลือกกระจกที่จะทำการศึกษาก็มีเกณฑ์ที่จะพิจารณาจากคุณสมบัติเชิงความร้อน ความแพร่หลายในการใช้งานของกระจก การมีผลผลิตจำหน่ายในประเทศ และได้เน้นกระจกที่มีศักยภาพในการประหยัดพลังงาน เพื่อเปรียบเทียบกับกระจกใสชั้นเดียว สำหรับกระจกชนิดที่นำมาศึกษานี้ประกอบด้วยกระจกชั้นเดียว (Single Glazing Unit; SGU) และกระจกสองชั้น (Double Glazing Unit; DGU) นำมาทำการตรวจวัดและประมวลผลกระจกประสิทธิภาพสูงชนิดต่าง ๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งกระจกประสิทธิภาพสูงตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด จากกระจกชนิดต่าง ๆ ดังนี้ ได้แก่

1. กระจกโฟลตใส Clear Float Glass
2. กระจกโฟลตชาดำ Dark Cool gray Float glass
3. กระจกโฟลตเขียว Ocean Green Float Glass
4. กระจกโฟลตเขียวอ่อน Light Green Float Glass
5. กระจกลวดลาย Figured Glass
6. กระจกเงา (มิไรเทค) Mirror
7. กระจกสะท้อนแสง (โซลาร์เทค) Heat Reflective Glass

8. กระจกสะท้อนแสง (โซลาร์เทค-ฮาร์ด) Heat Reflective Glass
9. กระจกสะท้อนแสง (โซลาร์เทค พลาสติก) Heat Reflective Glass
10. กระจกเทมเปอร์ (เทมปีเทค) Tempered Glass
11. กระจกฮีทสเตร็งเท็น (ฮีตเทค) Heat Strengthened Glass
12. กระจกฉนวนความร้อน (แพร์เทค) Insulating Glass
13. กระจกฉนวนความร้อน (แพร์เทค โลว-อี) Low Emissivity Insulating Glass
14. กระจกลามิเนต (ลามิเทค) Laminated Glass
15. กระจกลามิเนต (ลามิเทค ซีเคียวริตี้) Laminated Glass
16. กระจกลามิเนต (ลามิเทค ปีอาร์) Laminated Glass
17. กระจกโฟลตใสชนิดบางพิเศษ Ultra Thin Float Glass
18. กระจกโฟลตใสชนิดใสพิเศษ Extra Clear Float Glass
19. กระจกโฟลตใสชนิดผิวเรียบพิเศษ Ultra Flat Float Glass
20. กระจกตัดเงาโซลเจล Sol-gel Anti Glare Glass
21. กระจกแพทเทิร์นอาซาฮี Patterned Glass
22. กระจกเสริมลวดอาซาฮี Wired Glass
23. กระจกฟ้าเข้มอาซาฮี Sky Blue Float Glass
24. กระจกบลูกรีนอาซาฮี Blue Green Float Glass
25. กระจกเทายูโรอาซาฮี Euro Grey Float Glass
26. กระจกทองยูโรอาซาฮี Euro Bronze Float Glass
27. กระจกสะท้อนแสง (ซันเนอริจี) Heat Reflective Glass
28. กระจกสะท้อนแสง (สตีปโซล) Heat Reflective Glass
29. กระจกสะท้อนแสง (ฟลานาเบล จี) Heat Reflective Glass

โดยการนำกระจกชนิดต่าง ๆ มาทำการตรวจวัดค่า Solar Reflective และค่า Visible light transmittance โดยเครื่อง Spectrophotometer และ Packman meter ด้วยวิธีการดังแสดงในภาคผนวก ข เพื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar Heat Gain Coefficient; SHGC) และค่าการส่งผ่านของแสงธรรมชาติต่อค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Visible light transmittance/Solar Heat Gain Coefficient; VT/SHGC หรือ Light to solar gain; LSG) โดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Glass performance calculation program GSDB3 (GLOBAL) ver.1.0 Model v 3.2 ในการคำนวณหาประสิทธิภาพของกระจกชนิดต่าง ๆ ตามมาตรฐาน (International Organization for Standardization:ISO) เพื่อทำการเปรียบเทียบ

หากระจกเพื่อการอนุรักษ์พลังงานจากกระจกความหนาแน่น 6 มิลลิเมตร ที่นิยมติดตั้งเปรียบเทียบกับกระจกใส 6 มิลลิเมตร สำหรับอาคารสำนักงาน

3.2.2. ข้อมูลคุณสมบัติ ราคา ค่าติดตั้ง

สำหรับกระจกชนิดที่ศึกษามีข้อมูลคุณสมบัติ ราคาวัสดุและค่าติดตั้งกระจกซึ่งเป็นข้อมูลจากผู้ผลิตและจำหน่ายภายในประเทศ เพื่อศึกษาถึงสมรรถนะทางความร้อน และนำมาวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ถึงความคุ้มค่าในการลงทุน

3.3. ศึกษาวิธีการใช้โปรแกรม และเครื่องมือทดสอบ

3.3.1. โปรแกรม

โปรแกรมจำลองสภาพการใช้พลังงานโดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Glass performance calculation program GSDB3 (GLOBAL) ver.1.0 Model v 3.2 ในการคำนวณหาประสิทธิภาพถูกนำมาใช้ในการคำนวณปริมาณความร้อนที่เข้ามาและภาระการทำความเย็นของอาคารสำนักงานต้นแบบที่จำลองขึ้น การนำโปรแกรมนี้นี้มาใช้งานได้ศึกษาความสามารถของโปรแกรมข้อมูลที่ต้องใช้ในการประมวลผลรวมถึงขั้นตอนวิธีการใช้งาน

3.3.2. เครื่องมือทดสอบ

ก่อนการทดสอบทำการศึกษาลักษณะการทำงาน ขั้นตอนการทดสอบ และการคำนวณค่าคุณสมบัติจากการทดสอบ โดยนำเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) มาใช้วัดค่ารังสีแสงอาทิตย์ (Solar Response) ซึ่งได้แก่ ค่าการสะท้อน (Reflectance; ρ) ค่าการส่องผ่าน (Transmittance; T) และค่าการดูดกลืน (Absorptance; α) และใช้เครื่องวัดค่าการเปล่งรังสี (Emittance; e) ของกระจกชนิดที่ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient; SC) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Coefficient; U) ของกระจก

3.4. ทดสอบคุณสมบัติเชิงความร้อนของกระจกด้วยเครื่องมือทดสอบ

นำตัวอย่างกระจก (Sample) ชนิดที่ต้องการศึกษาไปทำการทดสอบคำนวณ และสรุปค่าคุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับการนำไปใช้ในโปรแกรม ซึ่งก็คือค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient; SC) และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Coefficient; U) ของกระจกนั่นเอง

3.5. คำนวณค่าปริมาณความร้อนและการทำความเย็นด้วยโปรแกรม

3.5.1. สร้างแบบจำลองกรณีพื้นฐาน

แบบจำลองกรณีพื้นฐาน (Base Case Model) เป็นแบบจำลองของอาคารสำนักงาน ต้นแบบที่เกิดจากการป้อนข้อมูลหลักพื้นฐานและติดตั้งกระจกใสชั้นเดียว (FL6) เพื่อใช้เป็นตัวแทนในการศึกษาภายใต้ขอบเขตที่กำหนดไว้ข้อมูลหลักพื้นฐาน หมายถึงข้อมูลที่ใช้สร้างแบบจำลองซึ่งจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงมีสภาพคงที่ทุกกรณี ได้แก่ ข้อมูลสภาพอากาศ ข้อมูลรูปแบบอาคาร สภาพพื้นที่ใช้สอย อุปกรณ์เครื่องใช้ภายในอาคารสำนักงาน ตารางการใช้งาน ลักษณะระบบปรับอากาศ และอัตราค่าไฟฟ้า ข้อมูลเหล่านี้นำมาเปรียบเทียบคำนวณหาค่าภาระการทำความเย็น

3.5.2. ประมวลผลหาค่าภาระการทำความเย็น

เมื่อเขียนคำสั่งการทำงานในการกำหนดแบบจำลองครบถ้วนและถูกต้องแล้ว จึงให้โปรแกรมประมวลผลเพื่อคำนวณหาภาระการทำความเย็นสำหรับแต่ละกรณีซึ่งใช้กระจกต่างชนิดกัน โดยใช้ค่าคุณสมบัติทางความร้อนคือ สัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient; SC) และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Overall Heat Transfer Coefficient; U) ของกระจกจากการทดสอบ

3.5.3. บันทึกผล

การประมวลผลที่ได้จากการใช้กระจกใสชั้นเดียวและกระจกชนิดต่าง ๆ ที่ศึกษาถูกจัดเก็บไว้เป็นไฟล์ข้อมูลในรูปแบบ Output File อย่างเป็นระบบด้วยการตั้งชื่อของ Input File ที่ง่ายต่อการเรียกใช้งานและอาจพิมพ์ผลออกเป็นเอกสารกระดาษเพื่อสะดวกในการเปรียบเทียบค่าผลลัพธ์

3.5.4. เปรียบเทียบผลและสรุป

ค่าผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละกรณีสามารถนำมาเปรียบเทียบแสดงในรูปกราฟให้เห็นได้ชัดเจน และสรุปถึงสมรรถนะเชิงความร้อนของกระจกแต่ละชนิดได้ โดยนำผลจากการทดสอบคุณสมบัติของกระจก ปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามา ภาระการทำความเย็น และความคุ้มค่าในการลงทุน มาแสดงในเชิงเปรียบเทียบระหว่างกระจกชนิดที่ศึกษา

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 การเลือกชนิดกระจก

เนื่องจากกระจกมีอยู่มากมายหลายชนิด การเลือกกระจกที่จะทำการศึกษาก็มีเกณฑ์ที่จะพิจารณาจาก ความแพร่หลายในการใช้งานของกระจก การมีผลิต-จำหน่ายในประเทศ เพื่อเปรียบเทียบกับกระจกใสชั้นเดียว สำหรับกระจกชนิดที่นำมาศึกษานี้ประกอบด้วยกระจกชั้นเดียว (Single Glazing Unit; SGU) และกระจกสองชั้น (Double Glazing Unit; DGU) เพื่อทำการเปรียบเทียบหากระจกเพื่อการอนุรักษ์พลังงานจากกระจกความหนารวม 6 มิลลิเมตร ที่นิยมติดตั้งเปรียบเทียบกับกระจกใส 6 มิลลิเมตร สำหรับอาคารสำนักงาน เพื่อนำมาทำการตรวจวัดและประมวลผลเปรียบเทียบกระจกอนุรักษ์พลังงานชนิดต่าง ๆ ซึ่งได้เลือกจากกระจกชนิดต่าง ๆ ดังนี้ ได้แก่

กระจกใส 6 มิลลิเมตร (FL6) เป็นพื้นฐานอ้างอิง (Base Case) และทดสอบค่าคุณสมบัติของกระจกชั้นเดียว (SGU) หนา 6 มิลลิเมตร ซึ่งได้แก่ กระจกชั้นเดียว สีเขียว (OFL6) กระจกสะท้อนแสง สีฟ้าหนา 6 มิลลิเมตร (SL6SS508) กระจกนิรภัยหลายชั้น ที่ประกอบด้วยกระจกชั้นเดียว 3 มิลลิเมตร เป็นแผ่นนอกตรงกลางเป็นฟิล์มโพลีไวนิล บิวทีเรตชนิดใส ส่วนแผ่นในเป็นกระจกใส 3 มิลลิเมตร (FL3+0.38+FL3) กระจกชั้นเดียว 3 มิลลิเมตร เป็นแผ่นนอกตรงกลางเป็นฟิล์มโพลีไวนิล บิวทีเรตชนิด สีเขียว ส่วนแผ่นในเป็นกระจกใส 3 มิลลิเมตร (FL3+377300+FL3) และ กระจกฉนวนสองชั้นที่ประกอบด้วยกระจกชั้นเดียว 3 มิลลิเมตรเป็นแผ่นนอกตรงกลางเป็นช่องว่างอากาศและแผ่นในเป็นกระจกใส 3 มิลลิเมตร (FL3 + Air 6 mm + FL3) เป็น กระจกตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาผลสมรรถนะเชิงความร้อน

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบวัดค่าคุณสมบัติของกระจก ได้แก่การวัดค่าการสะท้อน (Reflectance) การส่องผ่าน (Transmittance) และการเปล่งรังสี (Emittance) โดยจะกล่าวถึงเครื่องมือทดสอบ วิธีทดสอบ ผลการทดสอบ แยกตามเครื่องมือวัด คือ เครื่องวัดรังสีแสง (Spectrophotometer) และ เครื่องวัดค่าการเปล่งรังสี (Emissometer) และสรุปค่าคุณสมบัติของกระจกที่ทดสอบ

4.2. ผลการทดสอบ

การทดสอบหาค่าคุณสมบัติของกระจกด้วยเครื่องมือวัดรังสีแสง(Spectrophotometer) และเครื่องมือวัดค่าการเปล่งรังสี (Emissometer) สามารถวัดค่าการส่องผ่าน (Transmittance; T) ค่าการสะท้อน (Reflectance; ρ) และการเปล่งรังสี (Emittance; e) ของกระจก ได้ผลดังต่อไปนี้

4.2.1. ค่ารังสีแสง

ค่าการสะท้อนของกระจกทั้งสองด้าน และค่าการส่องผ่านที่ได้จากการทดสอบ ทำการคำนวณค่ารังสีแสงโดยใช้ค่าของพลังงานแสงอาทิตย์ที่มวลอากาศ 1.5 (Air mass 1.5) ตามมาตรฐาน ASTM E891 สำหรับกระจกใส 6 มิลลิเมตร (FL6) กระจกชั้นเดียว สีเขียว (OFL6) กระจกสะท้อนแสงสีฟ้าหนา 6 มิลลิเมตร (SL6SS508) กระจกนิรภัยหลายชั้น ที่ประกอบด้วยกระจกชั้นเดียว 3 มิลลิเมตร เป็นแผ่นนอกตรงกลางเป็นฟิล์มโพลีไวนิล บิวทีเรตชนิดใส ส่วนแผ่นในเป็นกระจกใส 3 มิลลิเมตร (FL3+0.38+FL3) กระจกชั้นเดียว 3 มิลลิเมตร เป็นแผ่นนอกตรงกลางเป็นฟิล์มโพลีไวนิล บิวทีเรตชนิดสีเขียว ส่วนแผ่นในเป็นกระจกใส 3 มิลลิเมตร (FL3+377300+FL3) ,และ กระจกฉนวนอากาศสองชั้นที่ประกอบด้วยกระจกชั้นเดียว 3 มิลลิเมตรเป็นแผ่นนอกตรงกลางเป็นช่องว่างอากาศและแผ่นในเป็นกระจกใส 3 มิลลิเมตร (FL3 + Air 6 mm + FL3) ตามลำดับ และผลการทดสอบค่ารังสีแสงเป็นร้อยละของปริมาณแสงอาทิตย์ที่ส่องลงบนพื้นที่กระจก

ตาราง 13 ค่ารังสีแสงจากผลการทดสอบของกระจกหนา 6 มิลลิเมตร

Combination	Visible ray (%)			Absorb
	Transmittance	Reflectance		
		Out side	In side	
FL6	88.0	8.0	8.0	13.0
OFL6	76.0	7.0	7.0	46.0
SL6SS508	7.3	18.4		81.5
F3+0.38+F3	87.9	7.5	7.5	18.3
F3+377300+F3	72.4	6.4	6.4	29.1
FL3 + Air 6 mm + FL3	81.4	13.8	13.8	15.7

จากผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 13 จะเห็นได้ว่าค่าการสะท้อนด้านนอกของกระจก โดยกระจกสะท้อนแสงสีฟ้าหนา 6 มิลลิเมตร (SL6SS508) มีค่าการสะท้อนมากที่สุดคือ 18.4% รองลงมาคือกระจกฉนวนอากาศสองชั้น (FL3 + Air 6 mm + FL3) มีค่าอยู่ประมาณ 13.8% กระจกใส 6 มิลลิเมตร (FL6) มีค่าอยู่ประมาณ 8% กระจกนิรภัยหลายชั้นใส (FL3+0.38+FL3) มีค่าอยู่ประมาณ 7.5% กระจกสีเขียว (OL6) มีค่าอยู่ประมาณ 7% และกระจกนิรภัยหลายชั้นสีเขียว (FL3+377300+FL3) มีค่าการสะท้อนน้อยที่สุดเป็น 6.4%

ค่าการส่งผ่านของกระจกทดสอบเรียงลำดับจากน้อยไปหามากได้แก่ กระจกสะท้อนแสงสีฟ้าหนา 6 มิลลิเมตร (SL6SS508) 7.3% กระจกนิรภัยหลายชั้นสีเขียว (FL3+377300+FL3) 72.4% กระจกสีเขียว (OFL6) 76% กระจกฉนวนอากาศสองชั้น (FL3 + Air 6 mm + FL3) 81.4% กระจกนิรภัยหลายชั้นใส (FL3+0.38+FL3) และกระจกใส (FL6) 88% ซึ่งแสดงว่า กระจกใส (FL6) ยอมให้แสงผ่านเข้ามามากที่สุด และกระจกสะท้อนแสงสีฟ้าหนา 6 มิลลิเมตร (SL6SS508) สามารถลดปริมาณแสงที่ส่องผ่านได้มากที่สุดเมื่อความหนาของแผ่นกระจกเท่ากัน

สำหรับค่าการดูดกลืน กระจกใส (FL6) มีค่าน้อยที่สุดเพียง 13% เท่านั้น ถัดไปคือ กระจกฉนวนอากาศสองชั้น (FL3 + Air 6 mm + FL3) กระจกนิรภัยหลายชั้นใส (FL3+0.38+FL3) กระจกนิรภัยหลายชั้นสีเขียว (FL3+377300+FL3) กระจกสีเขียว (OFL6) และกระจกสะท้อนแสงสีฟ้าหนา 6 มิลลิเมตร (SL6SS508) ซึ่งมีค่าการดูดกลืนมากคือ 81.5% พบว่ากระจกสีเข้มจะดูดกลืนความร้อนมากกว่ากระจกสีอ่อนและกระจกใส

ตาราง 14 ผลการทดสอบค่าการเปล่งรังสีของกระจกหนา 6 มิลลิเมตร

Combination	ค่าการเปล่งรังสี (Emittance)	
	Out side	In side
FL6	0.88	0.88
OFL6	0.88	0.88
SL6SS508	0.97	0.90
F3+0.38+F3	0.88	0.88
F3+377300+F3	0.88	0.88
FL3 + Air 6 mm + FL3	0.79	0.88

4.2.2. ค่าการเปล่งรังสี

การเปล่งรังสี (Emittance) ของกระจกใส (FL6) กระจกสีชนิดที่ศึกษาหนา 6 มิลลิเมตร แสดงค่าที่วัดได้ทั้งสองด้านของกระจกดังตารางที่ 14 พบว่าค่าการเปล่งรังสีของกระจกชั้นเดียวมีค่าไม่แตกต่างกัน คือมีค่า 0.88 ภายใต้สภาวะทดสอบเดียวกัน ยกเว้นกระจกสะท้อนแสงสีฟ้าหนา 6 มิลลิเมตร (SL6SS508) ที่มีค่า 0.97 และ 0.90 ด้านนอกและด้านในตามลำดับ

4.2.3. ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมและค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด

จากผลการทดสอบ ทราบค่าการสะท้อน การส่องผ่าน การดูดกลืน และการเปล่งรังสีของกระจกสามารถคำนวณค่าของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกได้ตามหลักการของมาตรฐาน ASHRAE “Fenestration” ภายใต้สภาวะการออกแบบของสภาพอากาศร้อน (Summer Condition) ผลการคำนวณสำหรับกระจกชั้นเดียว (SGU) และกระจกสองชั้น(DGU) แสดงดังตารางที่ 15

ตาราง 15 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก

Combination	สัมประสิทธิ์การ ถ่ายเทความร้อน U-value (W/m ² K)	สัมประสิทธิ์ การบังแดด Shading Coefficient	สัมประสิทธิ์ รังสีอาทิตย์ SHGC
FL6	5.74	0.94	0.82
OFL6	5.74	0.69	0.60
SL6SS508	4.58	0.25	0.22
F3+0.38+F3	5.68	0.91	0.79
F3+377300+F3	5.68	0.83	0.72
FL3 + Air 6 mm + FL3	3.54	0.88	0.77

จากการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) และสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) ของกระจกชั้นเดียวและกระจกฉนวนสองชั้น พบว่า กระจกชั้นเดียวมีค่าสูงกว่ากระจกฉนวนสองชั้น โดยกระจกฉนวนสองชั้นมีค่าลดลงประมาณเกือบครึ่งหนึ่งของกระจกชั้นเดียวสำหรับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในแต่ละชนิดของกระจกที่ทดสอบ ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด โดยกระจกใสมีค่าสูงสุดคือ 0.94 หรือ 94% ของกระจกอ้างอิง (Double Strength Sheet Glass; DSA) และกระจก

กระจกนิรภัยหลายชั้นใส (FL3+0.38+FL3) มีค่า 91% กระจกฉนวนอากาศสองชั้น (FL3 + Air 6 mm + FL3) มีค่า 88% กระจกนิรภัยหลายชั้นสีเขียว (FL3+377300+FL3) มีค่า 83 %กระจกสีเขียว (OFL6) 69 % และกระจกสะท้อนแสงสีฟ้าหนา 6 มิลลิเมตร (SL6SS508) มีค่าน้อยที่สุดเพียง 7.3% เท่านั้น

4.3 สรุปค่าคุณสมบัติของกระจกที่ทดสอบ

ค่าคุณสมบัติของกระจกหนา 6 มิลลิเมตร ซึ่งได้แก่ กระจกใส 6 มิลลิเมตร (FL6) กระจกชั้นเดียว สีเขียว (OFL6) กระจกสะท้อนแสงสีฟ้าหนา 6 มิลลิเมตร (SL6SS508) กระจกนิรภัยหลายชั้นที่ประกอบด้วยกระจกชั้นเดียว 3 มิลลิเมตร เป็นแผ่นนอกตรงกลางเป็นฟิล์มโพลีไวนิล บิวทีเรลชนิดใส ส่วนแผ่นในเป็นกระจกใส 3 มิลลิเมตร (FL3+0.38+FL3) กระจกชั้นเดียว 3 มิลลิเมตร เป็นแผ่นนอกตรงกลางเป็นฟิล์มโพลีไวนิล บิวทีเรลชนิดสีเขียว ส่วนแผ่นในเป็นกระจกใส 3 มิลลิเมตร (FL3+377300+FL3) ,และ กระจกฉนวนอากาศสองชั้นที่ประกอบด้วยกระจกชั้นเดียว 3 มิลลิเมตร เป็นแผ่นนอกตรงกลางเป็นช่องว่างอากาศและแผ่นในเป็นกระจกใส 3 มิลลิเมตร (FL3 + Air 6 mm + FL3) ตามลำดับสรุปค่าการสะท้อน (Reflectance) ค่าการส่องผ่าน (Transmittance) ค่าการดูดกลืน (Absorptance) ค่าการเปล่งรังสี (Emittance) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer coefficient) ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนแสงอาทิตย์ (Solar heat gain coefficient) และค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient) ของกระจกแสดงไว้ในตารางที่ 16 และ 17 สำหรับกระจกชั้นเดียว และกระจกฉนวนสองชั้น ตามลำดับ

ตาราง 16 สรุปค่าคุณสมบัติของกระจก

Combination	Visible ray (%)			Solar energy (%)			U-value (W/m ² K) summer	Shading Coeff.	SHGC	RHG ASHRAE
	Transmittance	Reflectance Out side	Reflectance In side	Transmittance	Reflectance Out side	Absorb				
FL6	88.0	8.0	8.0	80.0	7.0	13.0	5.74	0.94	0.82	645
OFL6	76.0	7.0	7.0	49.0	5.0	46.0	5.74	0.69	0.60	494
SL6SS508	7.3	18.4		5.0	13.5	81.5	4.58	0.25	0.22	208
F3+0.38+F3	87.9	7.5	7.5	75.3	6.4	18.3	5.68	0.91	0.79	625
F3+377300+F3	72.4	6.4	6.4	65.2	5.7	29.1	5.68	0.83	0.72	574
FL3 + Air 6 mm + FL3	81.4	13.8	13.8	72.3	12.1	15.7	3.54	0.88	0.77	589

จากการทดสอบค่าคุณสมบัติด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) และเครื่องวัดค่าการเปล่งรังสี (Emissometer) สามารถวัดค่ารังสีแสง (Solar Response) และค่าการเปล่งรังสี (Emittance) ของกระจก แล้วนำไปคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient; SC) และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall Heat Transfer Coefficient; U) ของกระจกแต่ละชนิดที่ศึกษา ผลการทดสอบและคำนวณ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) ของกระจกฉนวนอากาศสองชั้น (FL3 + Air 6 mm + FL3) มีค่าลดลง 38% ของกระจกใส 6 มิลลิเมตร (FL6) ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) สามารถแบ่งกระจกเป็นสองกลุ่มได้แก่ กลุ่มแรกคือกระจกสะท้อนแสงสีฟ้าหนา 6 มิลลิเมตร (SL6SS508) กลุ่มที่สองคือกระจกชั้นเดียวสีเขียว (OFL6) กระจกนิรภัยหลายชั้นสีเขียว (FL3+377300+FL3) กระจกนิรภัยหลายชั้นใส (FL3+0.38+FL3) และ กระจกฉนวนอากาศสองชั้น (FL3 + Air 6 mm + FL3) การลดลงเมื่อเทียบกับกระจกใส มีค่าแตกต่างกันระหว่างกลุ่มแรกกับกลุ่มที่สอง เป็น 73.4% และ 12-25% ตามลำดับ สำหรับกระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient; SC) น้อยที่สุด คือกระจกสะท้อนแสงสีฟ้าหนา 6 มิลลิเมตร (SL6SS508) มีค่าเพียง 0.25 เท่านั้น ขณะที่กระจกใสชั้นเดียว (FL6) มีค่าถึง 0.94 หรือยอมให้ความร้อนแสงอาทิตย์ผ่านเข้ามาได้ 94% ของกระจกอ้างอิง (DSA) นั่นคือกระจกสะท้อนแสงสีฟ้าหนา 6 มิลลิเมตร (SL6SS508) ดังกล่าว สามารถลดปริมาณความร้อนแสงอาทิตย์ได้มากกว่ากระจกใสชั้นเดียว (FL6) ถึง 73.4%

4.4 ผลการศึกษาแบบจำลองอาคารสำนักงานต้นแบบ

อาคารสำนักงานต้นแบบเป็นห้องเดี่ยวหนึ่งห้อง มีพื้นที่ 16 ตารางเมตร ปรับอากาศข้อมูลโดยสังเขปได้ดังนี้

พื้นที่ของผนังทึบ 10 ตารางเมตร / ด้าน

พื้นที่ของกระจก 0.36 ตารางเมตร

พื้นที่ของหลังคา 16 ตารางเมตร

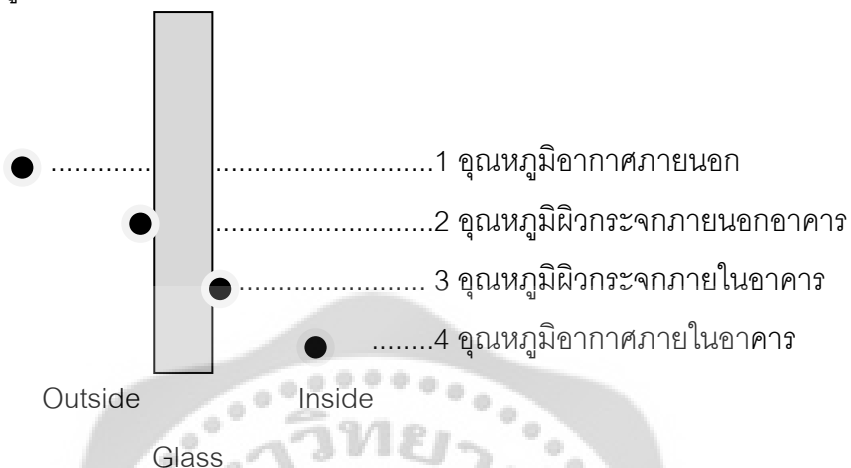
พื้นที่ใช้สอยภายใน 16 ตารางเมตร

ชนิดของระบบปรับอากาศ เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

อุณหภูมิภายในของพื้นที่ปรับอากาศ 25 องศาเซลเซียส

นำกระจกแต่ละชนิดไปทำการติดตั้ง เพื่อทำการวัดเปรียบเทียบ กับกระจกใสทั่วไปที่มีการใช้งานในอาคารทั่วไป โดยทำการติดตั้งระบบปรับอากาศภายในเพื่อรักษาอุณหภูมิภายในห้องไว้ และทำการตรวจ

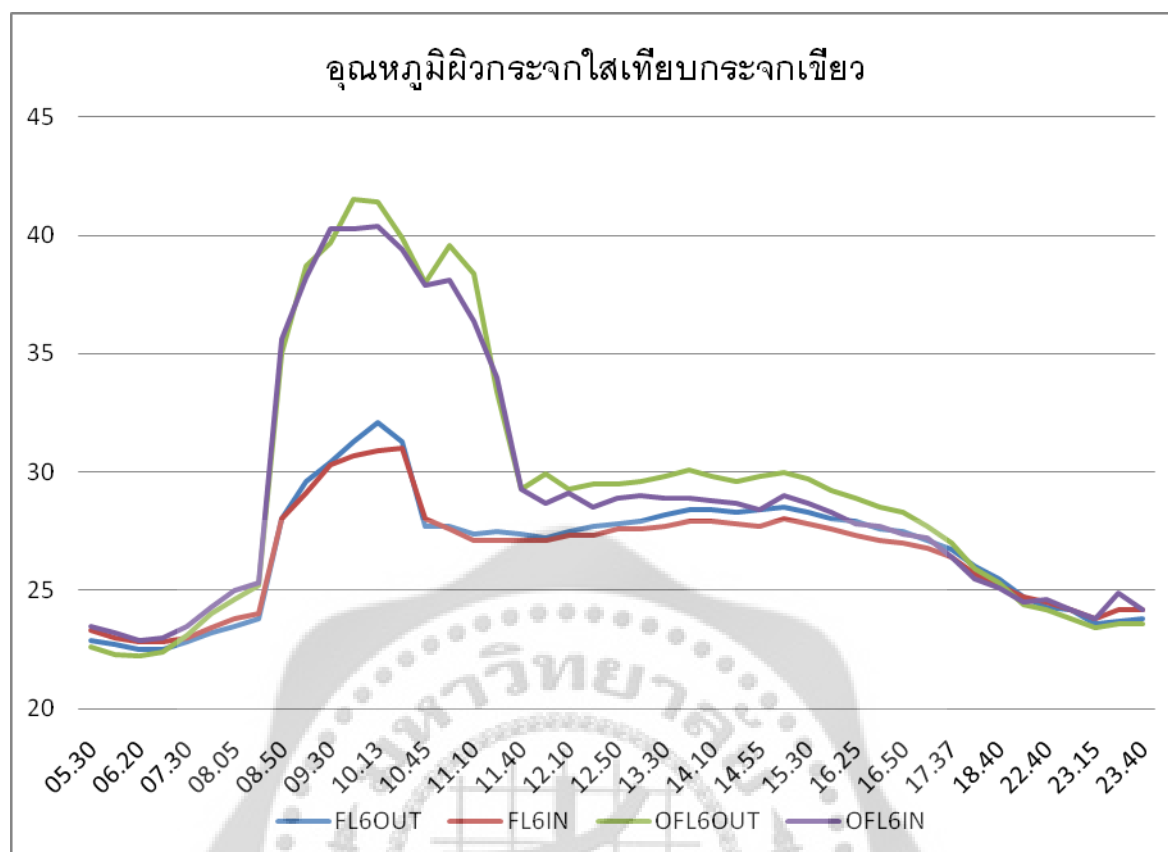
- 1 อุณหภูมิอากาศภายนอก
- 2 อุณหภูมิผิวกระจกภายนอกอาคาร
- 3 อุณหภูมิผิวกระจกภายในอาคาร
- 4 อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร



ภาพประกอบ 4 จุดที่ทำการตรวจวัดอุณหภูมิ

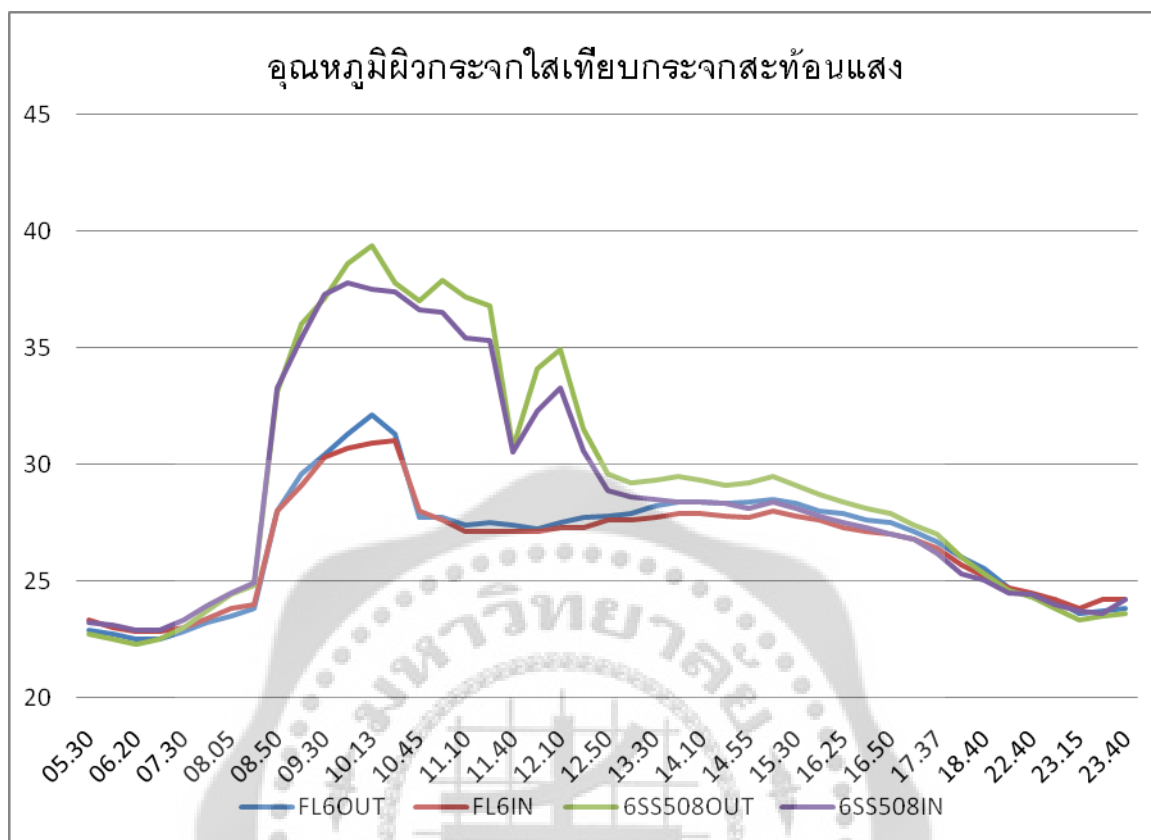
4.5 ผลการตรวจวัดอุณหภูมิผิวกระจกแบบจำลองอาคารสำนักงานต้นแบบ

การตรวจวัดในช่วงเวลาต่างๆ โดยการบันทึกค่ากระจกแต่ละชนิด และนำผลที่ได้มาทำการประเมินผลเปรียบเทียบกับระหว่างกระจกใสและกระจกชนิดที่คัดเลือกมาเพื่อทดสอบคุณภาพทั้ง 5 ชนิด ที่นำมาทดสอบ เพื่อหาว่ากระจกชนิดใดมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานได้ดีกว่ากันและเหมาะสมแก่การเลือกใช้งานดังรูป 6-10



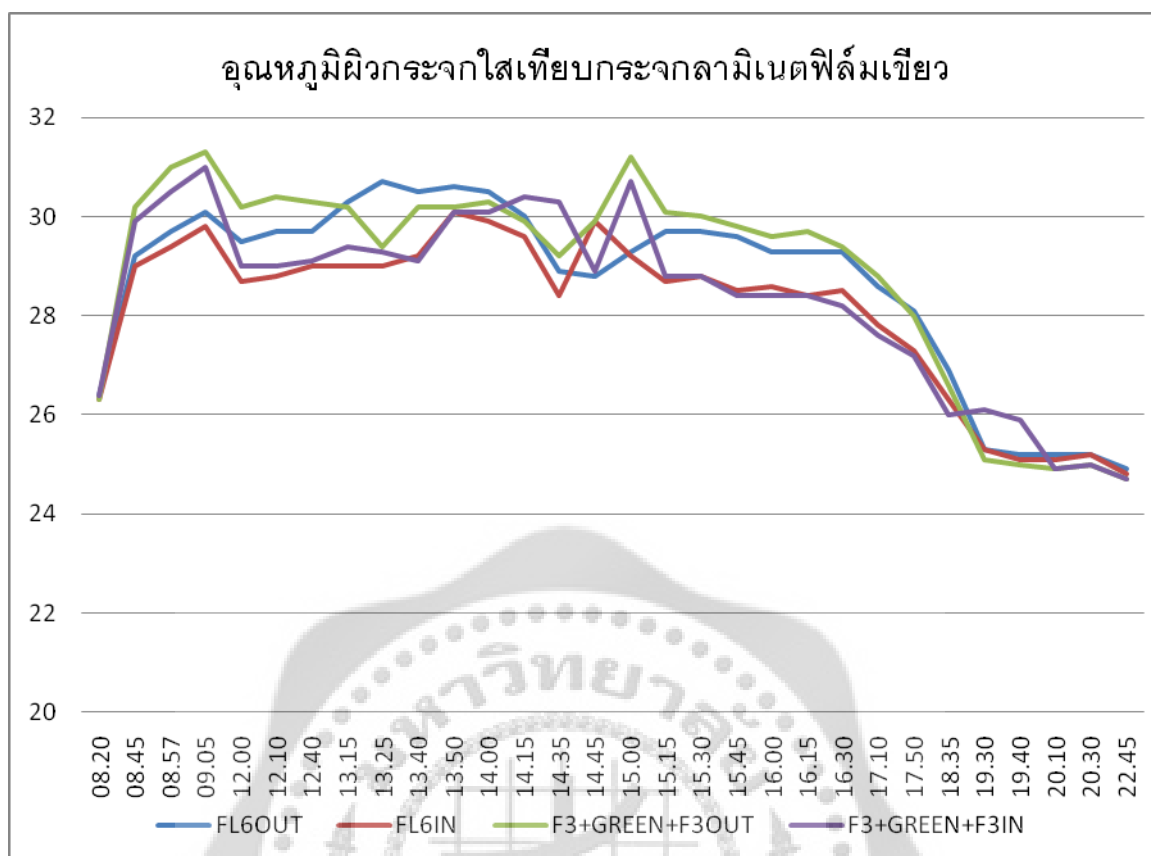
ภาพประกอบ 5 อุณหภูมิผิวกระจกใสเทียบกระจกเขียว

การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวกระจกใสและกระจกสีเขียวพบว่าอุณหภูมิผิวกระจกเขียวจะสูงกว่ากระจกใสทั้งผิวด้านนอกและด้านในอาคารแสดงว่ากระจกเขียวมีการดูดกลืนความร้อนของกระจกเขียวมากกว่ากระจกใส แต่พบว่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวด้านนอกและด้านในของกระจกเขียวจะมากกว่ากระจกใสด้วย ส่วนช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิผิวของกระจกทั้งสองชนิดจะใกล้เคียงกันหรือบางจุดมีค่าเท่ากัน



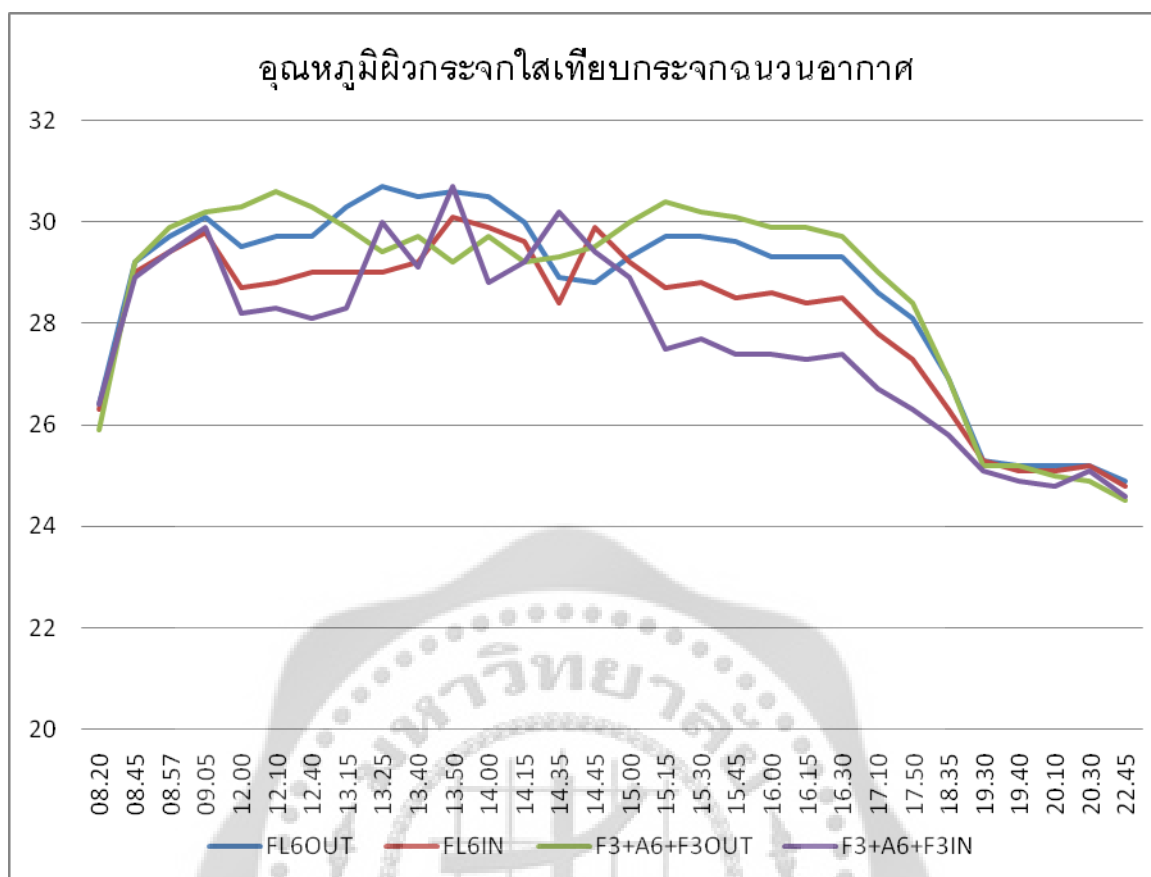
ภาพประกอบ 6 อุณหภูมิผิวกระจกใสเทียบกระจกสะท้อนแสง

การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวกระจกใสและกระจกสะท้อนแสงสีฟ้าพบว่าอุณหภูมิผิวกระจกสะท้อนแสงสีฟ้าจะสูงกว่ากระจกใสทั้งผิวด้านนอกและด้านในอาคารแสดงว่ากระจกสะท้อนแสงสีฟ้ามีการดูดกลืนความร้อนของกระจกสะท้อนแสงสีฟ้ามากกว่ากระจกใส แต่พบว่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวกระจกด้านนอกและด้านในของกระจกสะท้อนแสงสีฟ้าจะมากกว่ากระจกใสด้วย ส่วนช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิผิวของกระจกทั้งสองชนิดจะใกล้เคียงกันหรือบางจุดมีค่าเท่ากัน ซึ่งมีลักษณะไปในทิศทางเดียวกันกับกระจกสีเขียว



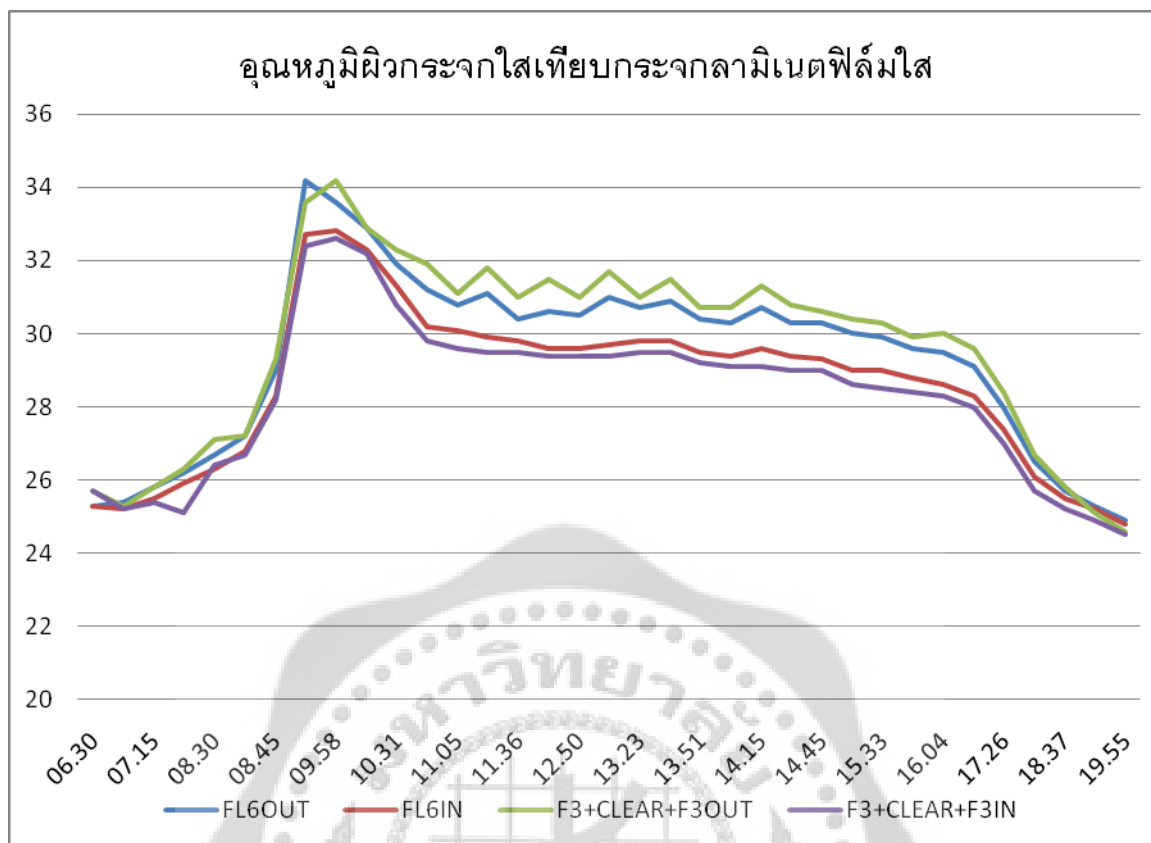
ภาพประกอบ 7 อุณหภูมิผิวกระจกใสเทียบกระจกลามิเนตฟิล์มเขียว

การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวกระจกใสและกระจกลามิเนตฟิล์มสีเขียวพบว่าอุณหภูมิผิวกระจกลามิเนตจะสูงกว่ากระจกใสทั้งผิวด้านนอกและด้านในอาคารแสดงว่ากระจกลามิเนตมีการดูดกลืนความร้อนของกระจกมากกว่ากระจกใส แต่พบว่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวกระจกด้านนอกและด้านในของกระจกลามิเนตจะมากกว่ากระจกใสด้วย แต่ก็มีบางช่วงที่ใกล้เคียงกัน ส่วนช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิผิวของกระจกทั้งสองชนิดจะใกล้เคียงกันหรือบางจุดมีค่าเท่ากัน ซึ่งมีลักษณะไปในทิศทางเดียวกันกับกระจกสีเขียวและกระจกสะท้อนแสงสีฟ้าแสดงถึงการถ่ายเทความร้อนหรือการคายความร้อนของกระจกค่อนข้างไวและใกล้เคียงกัน



ภาพประกอบ 8 อุณหภูมิผิวกระจกใสเทียบกระจกฉนวนอากาศ

การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวกระจกใสและกระจกฉนวนอากาศพบว่าอุณหภูมิผิวกระจกฉนวนอากาศด้านในอาคารจะต่ำกว่ากระจกใส ส่วนผิวด้านนอกมีบางช่วงต่ำกว่า แสดงว่ากระจกฉนวนอากาศมีการดูดกลืนความร้อนของกระจกน้อยกว่ากระจกใส แต่พบว่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวกระจกด้านนอกและด้านในของกระจกฉนวนอากาศจะมากกว่ากระจกใสด้วย เหมาะแก่การนำมาใช้งานเพื่อการประหยัดพลังงาน ส่วนช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิผิวของกระจกทั้งสองชนิดจะใกล้เคียงกันหรือบางจุดมีค่าเท่ากัน ซึ่งมีลักษณะไปในทิศทางเดียวกันกับกระจกสีเขียว กระจกลามิเนตฟิล์มสีเขียว และกระจกสะท้อนแสงสีฟ้าแสดงถึงการถ่ายเทความร้อนหรือการคายความร้อนของกระจกค่อนข้างไวและใกล้เคียงกันในช่วงเวลากลางคืน



ภาพประกอบ 9 อุณหภูมิผิวกระจกใสเทียบกระจกลามิเนตฟิล์มใส

การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวกระจกใสและกระจกลามิเนตฟิล์มใส พบว่าอุณหภูมิผิวกระจกลามิเนตฟิล์มใส ด้านในอาคารจะต่ำกว่ากระจกใส เหมือนกระจกฉนวนอากาศ ส่วนผิวด้านนอกมีค่าสูงกว่า แสดงว่ากระจกลามิเนตฟิล์มใส มีการดูดกลืนความร้อนของกระจกน้อยกว่ากระจกใส และพบว่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวกระจกด้านนอกและด้านในของกระจกลามิเนตฟิล์มใส จะมากกว่ากระจกใสด้วย เหมาะแก่การนำมาใช้งานเพื่อการประหยัดพลังงาน ส่วนช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิผิวของกระจกทั้งสองชนิดจะใกล้เคียงกันหรือบางจุดมีค่าเท่ากัน ซึ่งมีลักษณะไปในทิศทางเดียวกันกับกระจกสีเขียว กระจกลามิเนตฟิล์มสีเขียว กระจกฉนวนอากาศและกระจกสะท้อนแสงสีฟ้าแสดงถึงการถ่ายเทความร้อนหรือการคายความร้อนของกระจกค่อนข้างไวและใกล้เคียงกันในช่วงเวลากลางคืน

4.6 ผลการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังกระจกแบบจำลองอาคารสำนักงาน ต้นแบบ

ตาราง 17 สรุปค่าคุณสมบัติของกระจกกับการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังกระจก

Combination	สัมประสิทธิ์ การถ่ายเท ความร้อน	สัมประสิทธิ์ การบังแดด	สัมประสิทธิ์ รังสีอาทิตย์	ค่าการถ่ายเท ความร้อน รวม เข้า สู่ ภายใน	การถ่ายเท ความร้อนรวม ของผนังกระจก
	U-value (W/m ² K)	Shading Coefficient	SHGC	RHG ASHRAE	OTTV W/ m ²
FL6	5.74	0.94	0.82	645	7.56
OFL6	5.74	0.69	0.60	494	4.35
SL6SS508	4.58	0.25	0.22	208	0.92
F3+0.38+F3	5.68	0.91	0.79	625	7.30
F3+377300+F3	5.68	0.83	0.72	574	5.96
FL3 + Air 6 mm + FL3	3.54	0.88	0.77	589	6.82

จากผลการคำนวณการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังกระจกดังแสดงในตารางที่ 17 จะเห็นได้ว่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังกระจก เป็นไปในทิศทางเดียวกัน กับ ค่าการสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน สัมประสิทธิ์การบังแดด สัมประสิทธิ์รังสีอาทิตย์และ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกเข้าสู่ภายใน โดยกระจกสะท้อนแสงสีฟ้าหนา 6 มิลลิเมตร (SL6SS508) มีค่าน้อยที่สุด 0.92 W/m² กระจกสีเขียว (OL6) มีค่า 4.35 W/ m² กระจกนิรภัยหลายชั้นสีเขียว (FL3+377300+FL3) มีค่า 5.96 W/ m² กระจกฉนวนอากาศสองชั้น (FL3 + Air 6 mm + FL3) มีค่า 6.82 W/ m² รองลงมาคือ กระจกนิรภัยหลายชั้นใส (FL3+0.38+FL3) มีค่า 7.30 W/ m² และ มีค่าสูงที่สุดเป็น กระจกใส 6 มิลลิเมตร (FL6)มีค่า 7.56 W/ m²

ตาราง 18 สรุปค่ากระจกและเฟรมสำหรับการติดตั้งกระจก

Combination	OTTV	OTTV ที่พื้นที่		รวมค่าติดตั้งที่	
		4.5 ตาราง	ราคากระจก	ราคาเฟรม	4.5 ตารางเมตร
		เมตร	บาท/ตาราง	บาท/ตาราง	บาท/ตารางเมตร
	W/ m ²	W	เมตร	เมตร	
FL6	7.56	94.55	635	1050	7581.6
OFL6	4.35	54.37	846	1050	8533.8
SL6SS508	0.92	11.56	1058	1050	9486
F3+0.38+F3	7.30	91.30	952	1050	9009.9
F3+377300+F3	5.96	74.54	1164	1050	9962.1
FL3 + Air 6 mm + FL3	6.82	85.32	846	2050	13034

ที่มา: จากการรวบรวมข้อมูลของผู้วิจัย

จากตาราง 18 พบว่าราคาค่ากระจกนิรภัยหลายชั้นสีเขียว (FL3+377300+FL3) มีราคาสูงสุดที่ตารางเมตรละ 1164 บาท รองลงมาคือ กระจกสะท้อนแสงสีฟ้าหนา 6 มิลลิเมตร (SL6SS508) ที่ตารางเมตรละ 1058 บาท กระจกนิรภัยหลายชั้นใส (FL3+0.38+FL3) ที่ตารางเมตรละ 952 บาท กระจกสีเขียว (OL6) และ กระจกฉนวนอากาศสองชั้น (FL3 + Air 6 mm + FL3) มีราคาเท่ากันที่ตารางเมตรละ 846 บาท ส่วนราคาต่ำสุดคือกระจกใส 6 มิลลิเมตร (FL6) ที่ตารางเมตรละ 635 บาท ส่วนราคาเฟรมที่ใช้สำหรับติดตั้งกระจกแต่ละชนิด กระจกฉนวนอากาศสองชั้น (FL3 + Air 6 mm + FL3) มีราคาเมตรละ 2500 บาท กระจกนิรภัยหลายชั้นใส (FL3+0.38+FL3) และกระจกนิรภัยหลายชั้นสีเขียว (FL3+377300+FL3) กระจกชั้นเดียว 6 มิลลิเมตร ทั้งสามชนิดมีราคาเท่ากันคือเมตรละ 1050 บาท

เมื่อรวมราคาค่ากระจกและเฟรมสำหรับติดตั้งกระจกแล้วกระจกฉนวนอากาศสองชั้น (FL3 + Air 6 mm + FL3) มีราคาสูงสุดรองลงมาคือกระจกนิรภัยหลายชั้นสีเขียว (FL3+377300+FL3) กระจกสะท้อนแสงสีฟ้าหนา 6 มิลลิเมตร (SL6SS508) กระจกนิรภัยหลายชั้นใส (FL3+0.38+FL3) กระจกสีเขียว (OL6) และกระจกใส 6 มิลลิเมตร (FL6) ดังตาราง 19

4.7 ความคุ้มค่าในการลงทุน

ตาราง 19 สรุปอัตราค่าไฟฟ้าต่อปีเมื่อติดตั้งแทนกระจกตัวอย่างแทนกระจกใส

Combination	OTTV ที่ 4.5 ตาราง เมตร	Q พื้นที่ 16 ตาราง เมตร	ภาระที่ใช้ ทำความ เย็น	กำลังไฟฟ้าที่ใช้		อัตราค่า ไฟฟ้า (ที่ 3 บาท/KW)	ประหยัด
	W/ m ²	W	Btu/h	KW/h	KW/year	บาทต่อปี	บาทต่อปี
FL6	94.55	1512.72	5166.40	0.451	1299.50	3898.49	-
OFL6	54.37	870.00	2971.31	0.260	747.37	2242.11	1656.39
SL6SS508	11.56	184.92	631.56	0.055	158.85	476.56	3421.94
F3+0.38+F3	91.30	1460.76	4988.93	0.436	1254.86	3764.57	133.93
F3+377300+F3	74.54	1192.61	4073.12	0.356	1024.51	3073.52	824.98
FL3 + Air 6 mm + FL3	85.32	1365.15	4662.39	0.407	1172.72	3518.17	380.33

ตาราง 19 พบว่าเมื่อติดตั้งกระจกสะท้อนแสงสีฟ้าหนา 6 มิลลิเมตร (SL6SS508) และกระจกสีเขียว (OL6) มีอัตราค่าไฟฟ้าในระบบปรับอากาศต่อปีต่ำสุดที่ 476.56 และ 2242.11 บาทต่อปีตามลำดับ เมื่อทำการติดตั้งแทนกระจกใส 6 มิลลิเมตร (FL6) ส่วนกระจกนิรภัยหลายชั้นสีเขียว (FL3+377300+FL3) กระจกฉนวนอากาศสองชั้น (FL3 + Air 6 mm + FL3) และกระจกนิรภัยหลายชั้นใส (FL3+0.38+FL3) มีอัตราค่าไฟฟ้าในระบบปรับอากาศต่อปีใกล้เคียงกระจกใสแต่ก็ประหยัดกว่ากระจกใส 6 มิลลิเมตร (FL6) เนื่องจากกระจกใสมีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงกว่านั่นเอง

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1. สรุป

ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการอนุรักษ์พลังงานของหน้าต่างกระจกสำหรับอาคารสำนักงาน ด้วยการเปลี่ยนชนิดของกระจกและการติดตั้งกระจกตัวอย่างที่เลือกมาทดแทน กระจกใส 6 มิลลิเมตร (FL6) โดยเลือกกระจกใส 6 มิลลิเมตร (FL6) เป็นพื้นฐานอ้างอิง(Base Case) และทดสอบค่าคุณสมบัติของกระจกชั้นเดียว (SGU) หนา 6 มิลลิเมตร ซึ่งได้แก่ กระจกชั้นเดียว สีเขียว (OFL6) กระจกสะท้อนแสงสีฟ้าหนา 6 มิลลิเมตร (SL6SS508) กระจกนิรภัยหลายชั้น ที่ประกอบด้วยกระจกชั้นเดียว 3 มิลลิเมตร เป็นแผ่นนอกตรงกลางเป็นฟิล์มโพลีไวนิล บิวทีรัลชนิดใส ส่วนแผ่นในเป็นกระจกใส 3 มิลลิเมตร (FL3+0.38+FL3) กระจกชั้นเดียว 3 มิลลิเมตร เป็นแผ่นนอกตรงกลางเป็นฟิล์มโพลีไวนิล บิวทีรัลชนิดสีเขียว ส่วนแผ่นในเป็นกระจกใส 3 มิลลิเมตร (FL3+377300+FL3) และ กระจกฉนวนสองชั้นที่ประกอบด้วยกระจกชั้นเดียว 3 มิลลิเมตรเป็นแผ่นนอกตรงกลางเป็นช่องว่างอากาศและแผ่นในเป็นกระจกใส 3 มิลลิเมตร (FL3 + Air 6 mm + FL3) เป็น กระจกตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาผลสมรรถนะเชิงความร้อน

จากการทดสอบค่าคุณสมบัติด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์(Spectrophotometer) และ เครื่องวัดค่าการเปล่งรังสี (Emissometer) สามารถวัดค่ารังสีแสง (Solar Response) และค่าการเปล่งรังสี(Emittance) ของกระจก แล้วนำไปคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient; SC) และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall Heat Transfer Coefficient; U)ของกระจกแต่ละชนิดที่ศึกษา ผลการทดสอบและคำนวณ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) ของกระจกฉนวนอากาศสองชั้น (FL3 + Air 6 mm + FL3)มีค่าลดลง 38%ของกระจกใส 6 มิลลิเมตร (FL6) ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) สามารถแบ่งกระจกเป็นสองกลุ่มได้แก่ กลุ่มแรกคือกระจกสะท้อนแสงสีฟ้าหนา 6 มิลลิเมตร (SL6SS508) กลุ่มที่สองคือกระจกชั้นเดียวสีเขียว (OFL6) กระจกนิรภัยหลายชั้นสีเขียว (FL3+377300+FL3) กระจกนิรภัยหลายชั้นใส (FL3+0.38+FL3) และ กระจกฉนวนอากาศสองชั้น (FL3 + Air 6 mm + FL3) การลดลงเมื่อเทียบกับกระจกใส มีค่าแตกต่างกันระหว่างกลุ่มแรกกับกลุ่มที่สอง เป็น 73.4% และ12-25% ตามลำดับ สำหรับกระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient; SC) น้อยที่สุด คือกระจกสะท้อนแสงสีฟ้าหนา 6 มิลลิเมตร (SL6SS508) มีค่าเพียง 0.25 เท่านั้น ขณะที่กระจกใสชั้นเดียว (FL6) มีค่าถึง 0.94 หรือยอมให้ความร้อนแสงอาทิตย์ผ่านเข้ามาได้ 94% ของกระจกอ้างอิง (DSA) นั่นคือกระจกสะท้อนแสงสีฟ้าหนา 6 มิลลิเมตร

(SL6SS508) ดังกล่าว สามารถลดปริมาณความร้อนแสงอาทิตย์ได้มากกว่ากระจกใสชั้นเดียว (FL6) ถึง 73.4%

ผลการศึกษาแบบจำลองอาคารสำนักงานต้นแบบ เมื่อติดตั้งกระจกชนิดที่ศึกษาทางด้านทิศ ตะวันออกเฉียงใต้ ได้รับผลจากการติดตั้งกระจกพบว่า

จากผลการคำนวณการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังกระจกพบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังกระจก เป็นไปในทิศทางเดียวกัน กับ ค่าการสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสัมประสิทธิ์การบังแดด สัมประสิทธิ์รังสีอาทิตย์และ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกเข้าสู่ภายใน โดยกระจกสะท้อนแสงสีฟ้าหนา 6 มิลลิเมตร (SL6SS508) มีค่าน้อยที่สุด ตามด้วย กระจกสีเขียว (OL6) กระจกนิรภัยหลายชั้นสีเขียว (FL3+377300+FL3) กระจกฉนวนอากาศสองชั้น (FL3 + Air 6 mm + FL3) กระจกนิรภัยหลายชั้นใส (FL3+0.38+FL3) และ มีค่าสูงที่สุดเป็น กระจกใส 6 มิลลิเมตร (FL6)

ในการเลือกใช้กระจกควรคำนึงถึง

- 1.ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก (Shading Coefficient; SC) ที่ต่ำเป็นอันดับแรก
- 2.ค่าการส่งผ่าน (Visible Light Transmittance; VT) ที่สูง
3. ค่า U ต่ำ การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร น้อย

หากพิจารณาคูณทั้งสองก็ยิ่งจะทำให้สามารถเลือกกระจกที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดการใช้พลังงานในการปรับอากาศและพลังงานในการเพิ่มเพิ่มความสว่างในอาคารมากขึ้นและควรคำนึงความร้อนที่มาจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์คือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall heat transfer coefficient; U) ที่ต่ำด้วย เพราะค่า U ต่ำ การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร น้อย แต่ถ้าค่า U สูง การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร มาก ซึ่งจะทำให้กระจกที่เลือกใช้เพื่อการประหยัดพลังงานในอาคารมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ตาราง 20 สรุปการเลือกใช้งานกระจกจากค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ

การเลือกใช้งาน	Visible ray (%) Transmittance	Solar energy (%) Transmittance	U-value Absorb (W/ m ² K)	Shading Coefficient	SHGC	RHG
มีค่าสูง	ประหยัดพลังงานแสงสว่าง	นำความร้อนเข้ามามาก	เสียงแตกเองสูงพาความร้อนและแผ่ความร้อนเข้าอาคารสูง	การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารมาก	กันความร้อนเข้าอาคารได้	นำความร้อนเข้าอาคารสูง
มีค่าต่ำ	ลดการนำความร้อนประหยัดพลังงานระบบปรับอากาศ	ความร้อนเข้าได้น้อย	พาความร้อนและแผ่ความร้อนเข้าอาคารน้อย	การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารน้อย	กันความร้อนเข้าอาคารได้มาก	นำความร้อนเข้าอาคารน้อย

5.2. ข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาเป็นผลของการจำลองอาคารสำนักงานและนำค่าคุณสมบัติจากตัวอย่างกระจกทดสอบชนิดที่นิยมใช้งานมาทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงความร้อนในการอนุรักษ์พลังงาน ทำให้ผลที่ได้อาจไม่ครอบคลุมถึงชนิดกระจกต่างๆ และความหนาของกระจกแต่ละชนิดที่กำลังพัฒนาให้เกิดประสิทธิภาพในเชิงอนุรักษ์พลังงานตามมาตรฐานกระจกฉนวนกันความร้อนของกระทรวงพลังงาน และผลประหยัดได้จากการนำเอาเรื่องถึงการคำนึงถึงการนำเอาแสงธรรมชาติที่ผ่านกระจกมาใช้ งานเพื่อลดการใช้พลังงานแสงสว่าง ดังนั้น การศึกษาเปรียบเทียบผลการอนุรักษ์พลังงานของกระจกชนิดเคลือบผิวสะท้อนความร้อน เช่นกระจกสะท้อนแสง กระจกเคลือบสารเปล่งรังสีต่ำ กระจกติดฟิล์มแบบต่างๆ หรือการประกอบกระจกเป็นกระจกฉนวนหรือกระจกนิรภัยหลายชั้น และอื่นๆ ซึ่งคาดว่าจะมีลักษณะในเชิงอนุรักษ์พลังงานเช่นกัน รวมถึงการพิจารณาการนำแสงสว่างจากธรรมชาติมาใช้ร่วมกับการศึกษาสมรรถนะเชิงความร้อนของกระจกแต่ละชนิด จึงเป็นงานวิจัยที่น่าจะศึกษาต่อไปเพื่อขยายแนวทางในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์เหล่านี้ให้เหมาะกับอาคารสำนักงาน นอกจากนี้ เนื่องจากคุณสมบัติของกระจกที่นำมาใช้งานจริงนั้น ขึ้นกับคุณภาพการผลิต การขนส่ง และการติดตั้ง ดังนั้นการพัฒนาระกหน้าต่างจึงควรศึกษาถึงเทคโนโลยีใหม่ซึ่งจะช่วยลด

ต้นทุนการผลิต ลดต้นทุนของวัสดุ การสร้างความชำนาญในการผลิตของแรงงาน และการป้องกัน
ผลิตภัณฑ์ไม่ให้เสียหาย จะช่วยทำให้ราคาถูกลง มีใช้งานอย่างแพร่หลายมากขึ้นรวมทั้งการแข่งขันใน
ตลาดและคุณภาพที่ดี ทั้งนี้ไม่เพียงแต่เลือกติดตั้งกระจกอย่างเหมาะสมเท่านั้น แต่ควรต้องใช้หลักการ
ออกแบบที่ดีและการก่อสร้างที่มีคุณภาพ เพื่อให้ได้อาคารสำนักงานเชิงอนุรักษ์พลังงานที่ดีตามที่
กฎหมายกำหนด





บรรณานุกรม

1. บริษัท กระจกไทย อชาซี จำกัด.(2553). "Architectural glass Catalogue.
2. J.Hill Russell, J.Nadel. Steven(1999)."Coated Glass Applications and Market", Spring Green, Wisconsin, U.S.A. American Society of Heating Refrigerating Air condition
3. Engineers. (1993). *Fundamentals Handbook* (SI):Fenestration ASHRAE Standard 27 .
4. Thai-German Speciality Glass CO.,LTD. (2550). " *Speciality Architectural Glass Guide.*" (Catalog)
5. พรณจิรา ทศวิภาภ. (2544). เอกสารประกอบการสอนวิชาเทคโนโลยีอาคาร เรื่องกระจก. กรุงเทพฯ: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
6. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน การประเมินประสิทธิภาพพลังงานของกรอบอาคาร
7. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เอกสารเผยแพร่ การออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน การใช้กระจก
8. พร้อมพัชร หุวรรณะ กระจกในงานสถาปัตยกรรม Decoretion Guide คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต
9. นพรัตน์ คำพร. (2544). การศึกษาการถ่ายเทความร้อนจากแสงอาทิตย์ผ่านหน้าต่างกระจก. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล).กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร.
10. พรพรรณ เหลืองรุจิวงศ์. (2546). การศึกษาประสิทธิภาพในการอนุรักษ์พลังงานของหน้าต่างกระจกสำหรับบ้านพักอาศัย. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะ พลังงานและวัสดุ) กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.
11. พัชรี จันทบุพผา. (2532). การศึกษาการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกใสชั้นเดียว ใ รายงาน การศึกษาพิเศษ ป.บัณฑิต สายวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
12. วิรัช มณีขาว. (2538). การประเมินสมรรถนะการใช้พลังงานในที่พักอาศัยแบบบ้านจัดสรร, วิทยานิพนธ์ วท.ม. (สายวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงาน และวัสดุ) กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.

13. เศรษฐวัฒน์ ศรีวิโรจน์. (2545). ผลกระทบของความร้อนที่เกิดจากการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารโดยผ่านช่องแสงกระจกด้านข้าง กลุ่มวิชาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรมและสิ่งแวดล้อม สาขาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
14. ปัญญา จัยยะ. (2542). การศึกษาแนวทางการลดความร้อนของระบบปรับอากาศในบ้านพักอาศัย โดยการทดสอบจริง. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (สายวิชาเทคโนโลยีการจัด การพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ) กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.
15. ASTM.(1996). "Standard Test Method for Solar Absorptance Reflectance and Transmittance of Materials Using Integrating Sphere" ASTM Standard E903-96.
16. ASTM. (1987). "Standard Tables for Terrestrial Direct Normal Solar Spectral Irradiance for Air Mass 1.5" ASTM Standard E891-87 (Re-approved 1992)
17. พนิดา ศิริบังเกิดผล. (2543). อิทธิพลของภูมิอากาศต่อการออกแบบบ้านพักอาศัยเพื่อการประหยัดพลังงาน. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (สายวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานคณะพลังงานและวัสดุ) กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.
18. ชิงชัย พงศาธิรัตน์. (2543). การทดสอบสมรรถนะของผนังอาคารปล่องรังสีอาทิตย์ที่เข้าร่วมกับวัสดุโปร่งแสง. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (สายวิชาเทคโนโลยีอุณหภาพ คณะพลังงานและวัสดุ) กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.
19. ประดิษฐ์ เจริญจงสุข. (2544). การประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางความร้อนของแสงอาทิตย์ผ่านหน้าต่างกระจกใสและพลาสติก, วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (สายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ) กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.
20. วิชุดา อยู่ยงค์. (2551). การศึกษาเพื่อประเมินเทคโนโลยีสำหรับอาคารสำนักงานที่มีประสิทธิภาพ.
21. ธรรมรัตน์ ธรรมครูปัทม์, (2550). นำเสนอวิธีการพัฒนากระจกบานเกล็ด โดยการพัฒนากระจกบานเกล็ดให้เป็นกระจกสองชั้น.



ภาคผนวก



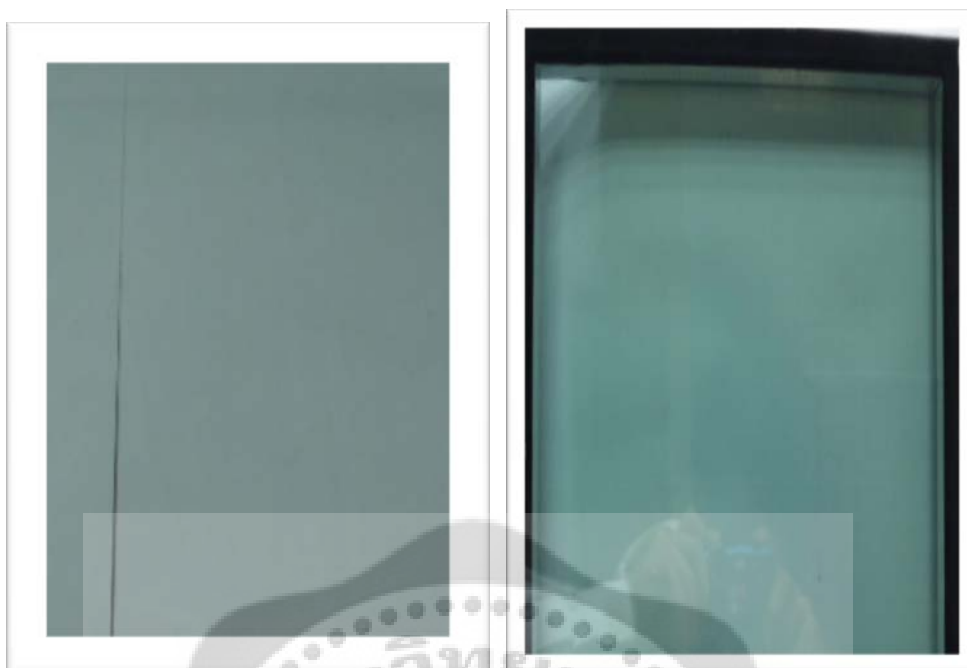
ภาคผนวก ก
ข้อมูลคุณสมบัติของกระจก



รูปที่ ก.1 ตัวอย่างทดสอบกระจกชั้นเดียวชนิดใสและสีเขียว หนา 6 มิลลิเมตร



รูปที่ ก.2 ตัวอย่างทดสอบกระจกสะท้อนแสง SL6SS508 และกระจกนิรภัยหลายชั้นใส (FL3+0.38+FL3)



รูปที่ ก.3 ตัวอย่างทดสอบกระจกนิรภัยหลายชั้นสีเขียว (FL3+377300+FL3) และกระจกฉนวนอากาศสองชั้น (FL3 + Air 6 mm + FL3)

ตาราง ก.1 การตรวจวัดอุณหภูมิผิวกระจกใสเทียบกระจกสีเขียว(°C)

วันที่	กระจกใส		กระจกสีเขียว	
เวลา	อุณหภูมิผิวด้านนอก	อุณหภูมิผิวด้านใน	อุณหภูมิผิวด้านนอก	อุณหภูมิผิวด้านใน
05.30	22.9	23.3	22.6	23.5
05.55	22.7	23.0	22.3	23.2
06.20	22.5	22.8	22.2	22.9
07.00	22.5	22.8	22.4	23.0
07.30	22.8	23.0	23.1	23.5
07.50	23.2	23.4	24.0	24.3
08.05	23.5	23.8	24.6	25.0
08.20	23.8	24.0	25.2	25.3
08.50	28.0	28.0	35.0	35.6
09.10	29.6	29.1	38.7	38.2
09.30	30.4	30.3	39.7	40.3
09.55	31.3	30.7	41.5	40.3
10.13	32.1	30.9	41.4	40.4
10.30	31.3	31.0	39.9	39.4
10.45	27.7	28.0	38.0	37.9
11.00	27.7	27.6	39.6	38.1
11.10	27.4	27.1	38.4	36.4
11.23	27.5	27.1	33.4	34.0
11.40	27.4	27.1	29.3	29.3
11.55	27.2	27.1	29.9	28.7
12.10	27.5	27.3	29.3	29.1
12.30	27.7	27.3	29.5	28.5
12.50	27.8	27.6	29.5	28.9
13.10	27.9	27.6	29.6	29.0
13.30	28.2	27.7	29.8	28.9
13.50	28.4	27.9	30.1	28.9
14.10	28.4	27.9	29.8	28.8

14.37	28.3	27.8	29.6	28.7
14.55	28.4	27.7	29.8	28.4
15.15	28.5	28.0	30.0	29.0
15.30	28.3	27.8	29.7	28.7
15.57	28.0	27.6	29.2	28.3
16.25	27.9	27.3	28.9	27.8
16.40	27.6	27.1	28.5	27.7
16.50	27.5	27.0	28.3	27.4
17.15	27.1	26.8	27.7	27.2
17.37	26.7	26.4	27.0	26.4
18.13	26.0	25.7	25.9	25.5
18.40	25.5	25.2	25.3	25.1
20.00	24.7	24.7	24.4	24.5
22.40	24.3	24.5	24.2	24.6
23.00	24.2	24.2	23.8	24.2
23.15	23.6	23.8	23.4	23.8
23.30	23.7	24.2	26.6	24.9
23.40	23.8	24.2	23.6	24.2

ที่มา: จากการตรวจวัดของผู้วิจัย

ตาราง ก.2 การตรวจวัดอุณหภูมิผิวกระจกใสเทียบกระจกสีฟ้าสะท้อนแสง(°C)

วันที่	กระจกใส		กระจกสีฟ้าสะท้อนแสง	
เวลา	อุณหภูมิผิวด้านนอก	อุณหภูมิผิวด้านใน	อุณหภูมิผิวด้านนอก	อุณหภูมิผิวด้านใน
05.30	22.9	23.3	22.7	23.2
05.55	22.7	23.0	22.5	23.1
06.20	22.5	22.8	22.3	22.9
07.00	22.5	22.8	22.5	22.9
07.30	22.8	23.0	23.0	23.3
07.50	23.2	23.4	23.7	23.9
08.05	23.5	23.8	24.4	24.5
08.20	23.8	24.0	24.8	24.9
08.50	28.0	28.0	33.1	33.3
09.10	29.6	29.1	36.0	35.4
09.30	30.4	30.3	37.1	37.3
09.55	31.3	30.7	38.6	37.8
10.13	32.1	30.9	39.4	37.5
10.30	31.3	31.0	37.8	37.4
10.45	27.7	28.0	37.0	36.6
11.00	27.7	27.6	37.9	36.5
11.10	27.4	27.1	37.2	35.4
11.23	27.5	27.1	36.8	35.3
11.40	27.4	27.1	30.7	30.5
11.55	27.2	27.1	34.1	32.3
12.10	27.5	27.3	34.9	33.3
12.30	27.7	27.3	31.5	30.6
12.50	27.8	27.6	29.6	28.9
13.10	27.9	27.6	29.2	28.6
13.30	28.2	27.7	29.3	28.5
13.50	28.4	27.9	29.5	28.4
14.10	28.4	27.9	29.3	28.4

14.37	28.3	27.8	29.1	28.3
14.55	28.4	27.7	29.2	28.1
15.15	28.5	28.0	29.5	28.4
15.30	28.3	27.8	29.1	28.1
15.57	28.0	27.6	28.7	27.8
16.25	27.9	27.3	28.4	27.5
16.40	27.6	27.1	28.1	27.3
16.50	27.5	27.0	27.9	27.0
17.15	27.1	26.8	27.4	26.8
17.37	26.7	26.4	27.0	26.2
18.13	26.0	25.7	26.0	25.3
18.40	25.5	25.2	25.3	25.0
20.00	24.7	24.7	24.6	24.5
22.40	24.3	24.5	24.3	24.4
23.00	24.2	24.2	23.8	24.0
23.15	23.6	23.8	23.3	23.7
23.30	23.7	24.2	23.5	23.6
23.40	23.8	24.2	23.6	24.2

ที่มา: จากการตรวจวัดของผู้วิจัย

ตาราง ก.4 การตรวจวัดอุณหภูมิผิวกระจกใสเทียบกระจกลามิเนตฟิล์มสีเขียว(°C)

วันที่	กระจกใส		กระจกลามิเนตฟิล์มสีเขียว	
เวลา	อุณหภูมิผิวด้านนอก	อุณหภูมิผิวด้านใน	อุณหภูมิผิวด้านนอก	อุณหภูมิผิวด้านใน
08.20	26.4	26.3	26.3	26.4
08.45	29.2	29.0	30.2	29.9
08.57	29.7	29.4	31.0	30.5
09.05	30.1	29.8	31.3	31.0
12.00	29.5	28.7	30.2	29.0
12.10	29.7	28.8	30.4	29
12.40	29.7	29.0	30.3	29.1
13.15	30.3	29.0	30.2	30.3
10.25	30.7	28.0	29.4	30.8
13.40	30.5	31.2	30.2	29.1
13.50	30.6	30.1	29.2	30.7
14.00	30.5	27.9	30.3	24.3
14.15	29.0	30.6	27.9	30.4
14.35	27.9	30.4	29.2	31.3
14.45	23.8	30.9	28.9	29.9
15.00	30.3	24.2	31.2	30.7
15.15	29.7	28.7	30.1	28.8
15.30	29.7	28.8	30.0	28.8
15.45	29.6	28.5	29.8	28.4
16.00	29.3	28.6	29.6	28.4
16.15	29.3	28.4	29.7	28.4
16.30	29.3	28.5	29.4	28.4
17.10	28.6	27.8	28.8	27.6
17.50	28.1	27.3	28.0	27.2
18.35	26.9	26.3	26.6	26.0
19.30	25.3	25.3	25.1	25.1
19.40	25.2	25.1	25	24.9

20.10	25.2	25.1	24.9	24.9
20.30	25.2	25.2	25.0	25.0
22.45	24.9	24.8	24.7	24.7

ที่มา: จากการตรวจวัดของผู้วิจัย



ตาราง ก.5 การตรวจวัดอุณหภูมิผิวกระจกใสเทียบกระจกฉนวนอากาศ (°C)

วันที่	กระจกใส		กระจกฉนวนอากาศ	
เวลา	อุณหภูมิผิวด้านนอก	อุณหภูมิผิวด้านใน	อุณหภูมิผิวด้านนอก	อุณหภูมิผิวด้านใน
08.20	26.4	26.3	25.9	26.4
08.45	29.2	29.0	29.2	28.9
08.57	29.7	29.4	29.9	29.4
09.05	30.1	29.8	30.2	29.9
12.00	29.5	28.7	30.3	28.2
12.10	29.7	28.8	30.6	28.3
12.40	29.7	29.0	30.3	28.1
13.15	30.3	29.0	29.9	28.3
10.25	30.7	28.0	29.4	30.0
13.40	30.5	31.2	30.7	29.1
13.50	30.6	30.1	29.2	30.7
14.00	30.5	27.9	30.7	28.8
14.15	29.0	30.6	29.2	31.2
14.35	27.9	30.4	29.0	30.2
14.45	23.8	30.9	29.0	30.4
15.00	30.3	24.2	30.0	28.9
15.15	29.7	28.7	30.4	27.5
15.30	29.7	28.8	30.2	27.7
15.45	29.6	28.5	30.1	27.4
16.00	29.3	28.6	29.9	27.4
16.15	29.3	28.4	29.9	27.3
16.30	29.3	28.5	29.7	27.4
17.10	28.6	27.8	29.0	26.7
17.50	28.1	27.3	28.4	26.3
18.35	26.9	26.3	26.9	25.8
19.30	25.3	25.3	25.2	25.1
19.40	25.2	25.1	25.2	24.9

20.10	25.2	25.1	25.0	24.8
20.30	25.2	25.2	24.9	25.1
22.45	24.9	24.8	24.5	24.6

ที่มา: จากการตรวจวัดของผู้วิจัย



ตาราง ก.6 การตรวจวัดอุณหภูมิผิวกระจกใสเทียบกระจกลามิเนตฟิล์มใส (°C)

วันที่	กระจกใส		กระจกสีฟ้าสะท้อนแสง	
เวลา	อุณหภูมิผิวด้านนอก	อุณหภูมิผิวด้านใน	อุณหภูมิผิวด้านนอก	อุณหภูมิผิวด้านใน
06.30	25.3	25.3	25.7	25.7
06.50	25.4	25.2	25.3	25.2
07.15	25.8	25.5	25.8	25.4
07.46	26.2	25.9	26.3	25.1
08.30	26.7	26.3	27.1	26.4
08.24	27.2	26.8	27.2	26.7
08.45	29	28.3	29.3	28.2
09.42	34.2	32.7	33.6	32.4
09.58	33.6	32.8	34.2	32.6
10.12	32.9	32.3	32.9	32.2
10.31	31.9	31.3	32.3	30.8
10.50	31.2	30.2	31.9	29.8
11.05	30.8	30.1	31.1	29.6
11.24	31.1	29.9	31.8	29.5
11.36	30.4	29.8	31.0	29.5
12.00	30.6	29.6	31.5	29.4
12.50	30.5	29.6	31.0	29.4
13.04	31.0	29.7	31.7	29.4
13.23	30.7	29.8	31.0	29.5
13.37	30.9	29.8	31.5	29.5
13.51	30.4	29.5	30.7	29.2
14.00	30.3	29.4	30.7	29.1
14.15	30.7	29.6	31.3	29.1
14.31	30.3	29.4	30.8	29.0
14.45	30.3	29.3	30.6	29.0
15.03	30.0	29.0	30.4	28.6

15.33	29.9	29.0	30.3	28.5
15.53	29.6	28.8	29.9	28.4
16.04	29.5	28.6	30.0	28.3
16.25	29.1	28.3	29.6	28.0
17.26	28.0	27.4	28.4	27.0
18.15	26.5	26.1	26.7	25.7
18.37	25.7	25.5	25.8	25.2
18.55	25.3	25.2	25.1	24.9
19.55	24.9	24.8	24.6	24.5

ที่มา: จากการตรวจวัดของผู้วิจัย



ตาราง ก.7 รังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (Effective Solar Radiation:ESR) (W/m^2)

มุมเอียง	ทิศทางของผนัง							
องศา	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
0	437.8	437.38	437.38	437.38	437.38	437.38	437.38	437.38
15	405.00	421.74	433.61	440.00	441.62	438.90	431.51	419.53
30	358.99	390.20	412.96	425.48	428.59	422.98	408.39	385.65
45	306.68	348.31	379.58	397.17	401.47	393.2	372.57	341.61
60	255.37	301.60	337.61	358.44	363.45	353.18	328.62	293.33
75	212.39	255.60	291.21	312.65	317.70	306.52	281.11	246.70
90	185.06	215.84	244.53	363.14	267.41	256.82	234.58	207.62

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน การประเมินประสิทธิภาพพลังงานของกรอบอาคาร

ตาราง ก.8 ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ

	ภายในอาคาร (๐)	ภายนอกอาคาร (๐)
ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ($\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$)	0.12	0.044

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน การประเมินประสิทธิภาพพลังงานของกรอบอาคาร

ตาราง ก.9 ความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ระหว่างแผ่นกระจกหรือผนังโปร่งแสง

ความหนาของช่องว่างอากาศ (มิลลิเมตร)	ความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ($\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$)	
	พื้นผิวผนังที่มีค่าสัมประสิทธิ์ การแผ่รังสีสูง	พื้นผิวผนังที่มีค่าสัมประสิทธิ์ การแผ่รังสีต่ำ
13	0.119	0.345
10	0.110	0.278
7	0.097	0.208
6	0.091	0.196
5	0.084	0.167

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน การประเมินประสิทธิภาพพลังงานของกรอบอาคาร





ภาคผนวก ข
ข้อมูลการใช้งานเครื่องมือวัด

เครื่องมือทดสอบ

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบวัดค่าคุณสมบัติของตัวอย่างกระจก คือ เครื่องวัดรังสีแสง (Spectrophotometer) และเครื่องวัดค่าการเปล่งรังสี (Emissometer) มีคุณลักษณะดังนี้

เครื่องวัดรังสีแสง (Spectrophotometer)

องค์ประกอบ (Component) ประกอบด้วย 5 ส่วนหลัก คือ

- 1) แหล่งกำเนิดแสง (Light Source) เป็นแหล่งผลิตแสงขาว (White light) ที่ประกอบด้วยแสงสีต่างๆ และความเข้มแสงสูง
- 2) โมโนโครมาเตอร์ (Monochromator) เป็นตัวเลือกสีของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงประกอบด้วยช่องแสง-เลนส์ (First Slit and Lens) เลนส์ (Lens or Spherical Mirror)ปริซึม (Prism or Grating) และช่องแสงออก (Exit Slit) ซึ่งทำหน้าที่กระจายแสงจากช่องแสงเข้าเป็นลำแสงขนานและรวมรังสีแสงให้ผ่านตัวอย่างทดสอบเพียงหนึ่งสีเท่านั้นที่ช่องแสงออก
- 3) ตัวอย่างทดสอบ (Sample) คือวัสดุที่นำมาทดสอบ มีรูปแบบการดูดกลืนแสงสีเป็นลักษณะเฉพาะสำหรับสารหนึ่ง
- 4) ตัวตรวจวัด (Detector) เป็นตัวตรวจวัดความเข้มแสงโดยแปลงแสงที่ผ่านได้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า
- 5) หน่วยแสดงผล (Display Unit) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถบันทึกระดับแสงและแสดงผลจากการตรวจวัด

หลักการทำงาน อาศัยหลักการของแสงภายในระบบการวัดแสง (Photometric system) ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ระบบแสง (Optical system) และระบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic system) โดยแสดงรายละเอียดดังนี้

ระบบแสง (Optical system)

ระบบแสงประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงและโมโนโครมาเตอร์ (Monochromator) ภายในเครื่องวัดรังสีแสง แหล่งกำเนิดแสงจะทำงานสลับกันระหว่างหลอดดิวเทอเรียม (Deuterium lamp; D2) และหลอดฮาโลเจน (Halogen lamp; WI) ขึ้นกับความยาวคลื่นแสงและปรับมุมของกระจก (Light source switching mirror; M1) เพื่อให้ได้ความเข้มสูงสุดโดยอัตโนมัติ ส่วนโมโนโครมาเตอร์ (Monochromator) มี 2 ชุด คือโมโนโครมาเตอร์ชุดแรก (First Monochromator) และโมโนโครมาเตอร์ชุดที่สอง (Second Monochromator) แต่ละชุดมี 3 ช่องเลือกแสง (Gratings) แทนด้วย G1~G6 ลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสงจะถูกรวมแสงด้วยกระจก M1 ผ่านกลุ่มของตัวกรอง (Filters; F) และผ่านช่องแสงเข้า (Entrance slit; S1) ที่กำหนดขนาดช่องแสงไว้แล้ว แสงจะผ่านเข้าโมโนโครมาเตอร์ชุดแรก (First monochromator) ซึ่งประกอบด้วย ช่องเลือกแสงแบบเว้า (concave grating) G1~G3 ทำงาน อัตโนมัติตามช่วงความยาวคลื่น แสงที่ตกกระทบจะกระจายไปบนช่องแสง S2 ทันที แล้วส่งเข้าโมโนโครมาเตอร์ชุดที่สอง (Second monochromator) ซึ่งประกอบด้วยช่องเลือกแสงแบบราบ (plane

grating) G4~G6 และกระจก M2 (off-axis parabolic mirror;M2) จะทำงานสัมพันธ์กับช่องเลือกผ่านชุดแรกลำแสงที่กระจายจากโมโนโครมาเตอร์ชุดที่สองจะรวมอยู่ที่ช่องแสงออก S3 ส่วนช่องแสง S2 เปลี่ยนโดยอัตโนมัติให้สัมพันธ์กับ S3 ระบบโมโนโครมาเตอร์นี้ การกระจายแสงในย่านใกล้แสงใต้แดง (near-infrared region) เป็น $\frac{1}{4}$ เท่าของย่านแสงที่มองเห็นได้และแสงเหนือม่วง (visible/ultraviolet region) ดังนั้นความกว้างของช่วงแสง (spectral band width) ในย่านใกล้แสงใต้แดง (near-infrared region) จึงเป็น 4 เท่าของย่าน แสงที่มองเห็นได้และแสงเหนือม่วง (visible/ultraviolet region) ถ้าใช้ช่องแสงเดียวกัน และได้รับพลังงานแสงเพียงพอ ลำแสงสีเดียวที่ผ่านจากช่องแสง S3 จะสะท้อนด้วยกระจก M3 ผ่านเข้าไปในส่วนตัดแสงคู่ (doublebeam chopper section) ซึ่งประกอบด้วยกระจก M4~M6 และกระจก CH (Chopper mirror) ลำแสงที่ ตัดด้วย CH ผ่านเข้าไปในลำแสงตัวอย่างและลำแสงอ้างอิง (50 หรือ 60Hz) แล้วส่งผ่านช่องตัวอย่างไป ยังส่วนตัวตรวจวัด (detector part) ลำแสงที่ผ่านกระจก CH (Chopper mirror) จะแยกเป็นสองส่วน สะท้อนและรวมแสงโดยกระจก M6 และ M7 แล้วผ่านช่องแสงแนวนอนไปยังกึ่งกลางของชุดตัวอย่าง (Sample compartment) ลำแสงที่ผ่าน มายังตัวตรวจวัด จะมี PM และ PbS cell ตรวจวัดในย่าน แสงที่มองเห็นได้และแสงเหนือม่วง (visible/ultraviolet region) และย่านใกล้แสงใต้แดง (near-infrared region) ตามลำดับ ซึ่งจะสลับกันตามกระจก M11 (detector switching mirror;M11) บนช่วงความยาวคลื่น 750~896nm หน้าต่าง W2 และ W3 ที่อยู่ด้านหน้าและด้านหลังของทุกส่วนของชุดตัวอย่าง (Sample compartment) จะวางเอียงเพื่อหลีกเลี่ยงผลจากการสะท้อนของผิวต่างๆ และใช้ synthetic silica anhydride ที่แสงส่งผ่านได้มาก ในย่านใกล้แสงใต้แดง (near-infrared region) แสงที่ผ่านชุดตัวอย่าง (Sample compartment) จะสะท้อนโดยกระจก M8 และ M9 แสงทางด้านอ้างอิง (R-side beam) จะตกกระทบเข้าไปใน PM (Photo multiplier) ขณะที่แสงด้านตัวอย่าง (S-side beam) จะตกกระทบบนกระจก M10 ก่อนสะท้อนไปยัง PM เมื่อตัวตรวจวัดบน M11 อยู่ในแนวแสง แล้วทั้งแสงด้านอ้างอิงและแสงด้านตัวอย่าง จะสะท้อนและกระจายไปตกกระทบ M12 และ M13 เพื่อให้ได้ ลำแสงตกลงบนผิวของ PbS Cell

ระบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic system)

หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) ในเครื่องวัดรังสีแสงทำหน้าที่ควบคุมแสงสว่างของแหล่งกำเนิดแสง การสลับแหล่งกำเนิดแสง ตัวกรอง ช่องเลือกแสง และตัวตรวจวัด การเลือกความกว้างช่องแสง มอเตอร์ที่ใช้สแกนในช่วงความยาวคลื่น และการทำงานตามคำสั่งจากกล่องควบคุม (Control box) ลำแสงที่ตัดผ่านเข้าไปยังแนวตัวอย่างและแนวอ้างอิงด้วยความถี่ 50/60Hz ถูกตรวจวัดและแสดงผลผ่าน pre-amplifier และแยกเป็นสัญญาณตัวอย่าง และสัญญาณอ้างอิง PbS cell ถูกควบคุมเพื่อรักษาความคงที่ของผลรวมระดับสัญญาณตัวอย่างและอ้างอิงทั้งความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงและความยาวคลื่น โดยสัญญาณตัวอย่างและอ้างอิงถูกแปลง และส่งผ่านสู่เครื่องประมวลผลหลังจากนั้น

เครื่องประมวลผลทำการคำนวณอัตราส่วนสัญญาณตัวอย่างกับสัญญาณอ้างอิง ได้ค่าการส่งผ่านเพื่อทำการปรับแก้ฐาน (Baseline correction) การแปลงค่าล็อกการิทึม (Logarithm conversion) และการปรับโค้ง (smoothing) ค่าเหล่านี้แสดงผลตามค่าของแถบแสง (Spectrum) บนหน้าจอหรือเครื่องพิมพ์

เครื่องวัดค่าการเปล่งรังสี (Emissometer)

องค์ประกอบ (Component) ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ

- 1) เครื่องวัดได้แก่ หัววัด (Detector head) แหล่งความร้อน (Heat sink) ปลั๊กไฟป้อนเข้าเครื่อง (Power Input) และปลั๊กต่อแสดงผล (Detector output)
- 2) โวลต์มิเตอร์ (Scaling Digital Voltmeter)
- 3) ตัวอย่างทดสอบ (Sample)

หลักการทำงาน

เครื่องวัดค่าการเปล่งรังสี (Emissometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดค่าการเปล่งรังสี (Emittance) ของวัสดุ โดยเกิดความร้อนที่แหล่งความร้อน (Heat sink) แทนการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างวัสดุ (Sample) และผลค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้าแปลงเป็นค่าการเปล่งรังสีซึ่งมีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรง แสดงบนหน้าปัทม์ของเครื่องวัดโวลต์มิเตอร์ (Scaling Digital Voltmeter)

วิธีทดสอบ

เครื่องวัดรังสีแสง (Spectrophotometer)

การทดสอบวัดค่าการส่งผ่านและการสะท้อนของแสงด้วยเครื่องวัดรังสีแสงนี้ จะใช้งานในโหมดสเปกตรัม (Spectrum mode) โดยขั้นตอนการทดสอบแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนหลักคือ การสอบเทียบ (Calibration) การวัดค่า (Measuring) และการแสดงผล (Resulting) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

การปรับเทียบ (Calibration) เป็นขั้นตอนก่อนทำการวัดค่าที่ต้องการทดสอบสามารถทำได้โดยใช้สารมาตรฐานซึ่งคือแบเรียมซัลเฟต (Barium Sulfate; BaSO_4) ปรับเทียบด้วยค่าตั้ง BASELINE เสมือนให้ ณ สภาวะนั้นเป็นฐานในการวัดค่าการทดสอบ คือค่า Reflectance ของ BaSO_4 มีค่าเท่ากับ 100% และปรับแก้ได้ถูกต้องบนช่วงความยาวคลื่นที่กำหนด

การวัดค่า (Measuring) ทำการวัดค่าการส่งผ่าน และค่าการสะท้อนของวัสดุที่ต้องการทดสอบดังนี้

- 1) กำหนดค่าตัวแปรของการวัดค่าต่างๆ มี 3 ส่วนได้แก่ ค่าที่ต้องการวัด สภาพการวัดค่า พลังงาน และเส้นกราฟแสดงผลให้ถูกต้อง
- 2) ทำความสะอาดตัวอย่างทดสอบและวางด้านที่ต้องการวัดของตัวอย่างหันเข้าหาช่องแสง ให้แนบกับช่องแสงผ่าน โดยติดกับที่ยึด (Holder) ในกล่องเครื่องมือให้แน่น ไม่เคลื่อนขณะทดสอบ แล้วปิดฝากล่องทดสอบ

- 3) กดปุ่ม START ที่แป้นพิมพ์ เพื่อให้เครื่องเริ่มทำการวัดค่าที่ต้องการ (Scanning)
- 4) เมื่อเครื่องวัดค่าเรียบร้อยแล้ว หน้าจอ (CRT) จะแสดงเส้นกราฟผลการวัดค่า พร้อมขึ้นหน้าจอพร้อมทำงานในขั้นตอนต่อไป (NEXT)
- 5) กดปุ่ม F5 ซึ่งแทนการสั่งให้ทำงานต่อ เครื่องวัดจะเรียกข้อมูลการวัดและถ่ายโอนเพื่อเตรียมแสดงผล
- 6) เลือกให้เครื่องพิมพ์แสดงผลด้วยการเลือก PRINT กดหมายเลข 3 บนแป้นพิมพ์ และสามารถเลือกให้แสดงผลบนหน้าจอ (Display) หรือผ่านเครื่องพิมพ์ (Plot)
- 7) ทำการวัดค่าสำหรับตัวอย่างอื่นที่ต้องการตามขั้นตอนที่ 1~6 ตามลำดับ

การแสดงผล (Resulting) สามารถแสดงได้ทั้งบนหน้าจอ (CRT) และผ่านเครื่องพิมพ์ (Plotter) โดยการเลือกรูปแบบการแสดงผลในขั้นตอนท้ายหลังจากทำการวัดค่าแล้ว ในกรณีที่ต้องการแสดงผลออกทางเครื่องพิมพ์ ควรใส่กระดาษป้อนเข้าเครื่องพิมพ์และตรวจสอบหมึกพิมพ์ให้พร้อม หลังจากทดสอบเสร็จ นำตัวอย่างทดสอบออกจากเครื่องทดสอบ หน้าจอหลักพร้อมจะออกจากระบบแล้วกดปุ่มปิดเครื่องและอุปกรณ์ต่างๆให้เรียบร้อย

เครื่องวัดค่าการเปล่งรังสี (Emissometer)

การวัดค่าการเปล่งรังสี (Emittance) สามารถแบ่งได้ 3 ขั้นตอนหลักเช่นกันคือ การปรับเทียบ (Calibration) การตรวจวัด (Measuring) และการแสดงผล (Resulting)

การปรับเทียบ (Calibration) ก่อนทำการวัดค่าที่ต้องการทดสอบ โดยปรับเทียบกับตัวอย่างมาตรฐาน 2 ชนิด ซึ่งคือ High emittance Standard No.066/067 และ Low emittance standard No. 075/076 ค่า Emittance เท่ากับ 0.89 และ 0.06 ตามลำดับ ทำการตรวจวัดดังนี้

- 1) วางตัวอย่างมาตรฐานชนิดค่าเปล่งรังสีสูง (High emittance standard) บนปลายด้านหนึ่งและมาตรฐานชนิดค่าเปล่งรังสีต่ำ (Low emittance standard) ไว้ปลายอีกด้านหนึ่งของเครื่องให้ความร้อน (Heat sink)
- 2) ตรวจสอบว่าตัวอย่างมาตรฐานทั้งสองมีอุณหภูมิเดียวกัน และผิวสัมผัสระหว่างของตัวอย่างกับแหล่งความร้อนแนบสนิท เพื่อให้การถ่ายเทความร้อนดี
- 3) ปรับเครื่องโวลต์มิเตอร์ให้อยู่ที่ VARIABLE และวางหัววัดบน ตัวอย่างมาตรฐานชนิดค่าเปล่งรังสีสูง (High emittance standard) แล้วรอ 90 วินาทีให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่จึงอ่านค่า ปรับที่ปุ่ม Gain knob บนเครื่องโวลต์มิเตอร์ จนได้ค่าตรงตามค่ามาตรฐาน
- 4) ย้ายหัววัดไปวางบนมาตรฐานชนิดค่าเปล่งรังสีต่ำ (Low emittance standard) รอ 90 วินาทีให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่จึงอ่านค่า ปรับที่ปุ่ม Offset trimmer บนเครื่องวัด (Emissometer) จนได้ค่าตรงตามค่ามาตรฐาน

5) ปรับค่าจนกระทั่งสามารถอ่านค่าของตัวอย่างมาตรฐานทั้งสองได้ถูกต้องโดยไม่ต้องปรับอีกทำการปรับเทียบอย่างน้อย 30 นาที และทำซ้ำเพื่อลดค่าผิดพลาดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวอย่างและอากาศแวดล้อม

การวัดค่า (Measuring) มีวิธีการดังนี้

- 1) เตรียมเครื่องวัดที่ปรับเทียบแล้วและทำความสะอาดตัวอย่างทดสอบทั้งสองด้าน
- 2) วางหัววัดบนตัวอย่างมาตรฐานชนิดค่าการเปล่งรังสีสูง (High emittance standard) และปรับที่ Gain knob ให้อ่านค่าบนโวลต์มิเตอร์ตรงกับค่ามาตรฐาน
- 3) หยดน้ำมันตัวอย่างทดสอบก่อนวางประกบบนแท่นรองรับ เพื่อให้ผิวสัมผัสของตัวอย่างแนบกับแท่นรองรับของเครื่องวัดได้สนิท
- 4) วางหัววัดที่ต่อกับโวลต์มิเตอร์ (Scaling Digital Voltmeter) บนระนาบของตัวอย่าง สังเกตค่าบนหน้าจอโวลต์มิเตอร์ รอจนค่าไม่เปลี่ยนแปลง แล้วจึงอ่านค่าที่ได้และบันทึกผล
- 5) นำหัววัดและตัวอย่างทดสอบออกจากแท่นรองรับของเครื่องวัด แล้วทำความสะอาดตัวอย่างทดสอบ
- 6) ทำการวัดค่าการเปล่งรังสีของอีกด้านหนึ่ง ตามวิธีข้อ 2-5 ตามลำดับ
- 7) ทำการวัดค่าสำหรับตัวอย่างอื่นที่ต้องการตามขั้นตอนที่ 1-6 ตามลำดับ
- 8) หลังจากทดสอบเสร็จ ถอดปลั๊กไฟออกจากเต้าเสียบ แล้วทำความสะอาดตัวอย่างทดสอบและเครื่องวัดให้เรียบร้อย

การแสดงผล (Resulting) ค่าที่ได้จากการวัดจะแสดงบนหน้าจอของโวลต์มิเตอร์ (Scaling Digital Voltmeter) เป็นค่าการเปล่งรังสี (Emittance) ไม่มีหน่วย

ตารางที่ ข.1 ตัวอย่างข้อมูลการวัดค่าคุณสมบัติด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) และเครื่องวัดค่าการเปล่งรังสี (Emissometer)

Report Date: 16:40:44, 04/23/2010

Sample: SP6CS514P
 File name:
 Run Date: 16:31:08, 04/23/2010
 Operator: Administrator
 Comment: Rf, B/E

Instrument
 Model: U-4100 Spectrophotometer(Solid)
 Serial Number:
 ROM Version: 5800 05

Instrument Parameters
 Measurement Type: Color Calculation Scan
 Data Mode: %R
 Starting Wavelength: 780.00 nm
 Ending Wavelength: 380.00 nm
 Scan Speed: 300 nm/min
 Sampling Interval: 7.00 nm
 Slit Width: 7.00 nm
 PMT Voltage: Auto1
 Lamp change mode: Auto
 Auto change wavelength: 340.00 nm
 Baseline Correction: User 1
 High Resolution: Off
 Attenuation: None
 — NIR —
 Scan speed: 750 nm/min
 Slit: Auto change
 PbS Gain: 1
 Detector change correct: OFF
 Detector change Wavelength: 850 nm
 Light control: Fixed

Path Length: 10.0 mm

Illuminant: D65 C.M. Function: 2 deg

X = 33.4170	Y = 35.1651	Z = 29.3458
L* = 65.8770	a* = -0.0199	b* = 11.9819
L = 59.3002	a = -3.1865	b = 12.1694
u* = 6.9787	v* = 16.5914	

(x, y) = (0.3412, 0.3591)

Dominant Wavelength = 576.15 nm Excitation purity = 16.41 %

Standard Sample X = 100.0000 Y = 100.0000 Z = 100.0000

d(E*ab) = 35.7551	d(E*uv) = 36.7126	d(Eab) = 41.2712
d(L*) = -34.1230	d(a*) = -8.5621	d(b*) = 6.3827
d(L) = -40.6998	d(a) = -6.6885	d(b) = 1.4594
d(u*) = -9.5226	d(v*) = 9.6311	

Yellow Index = 29.3

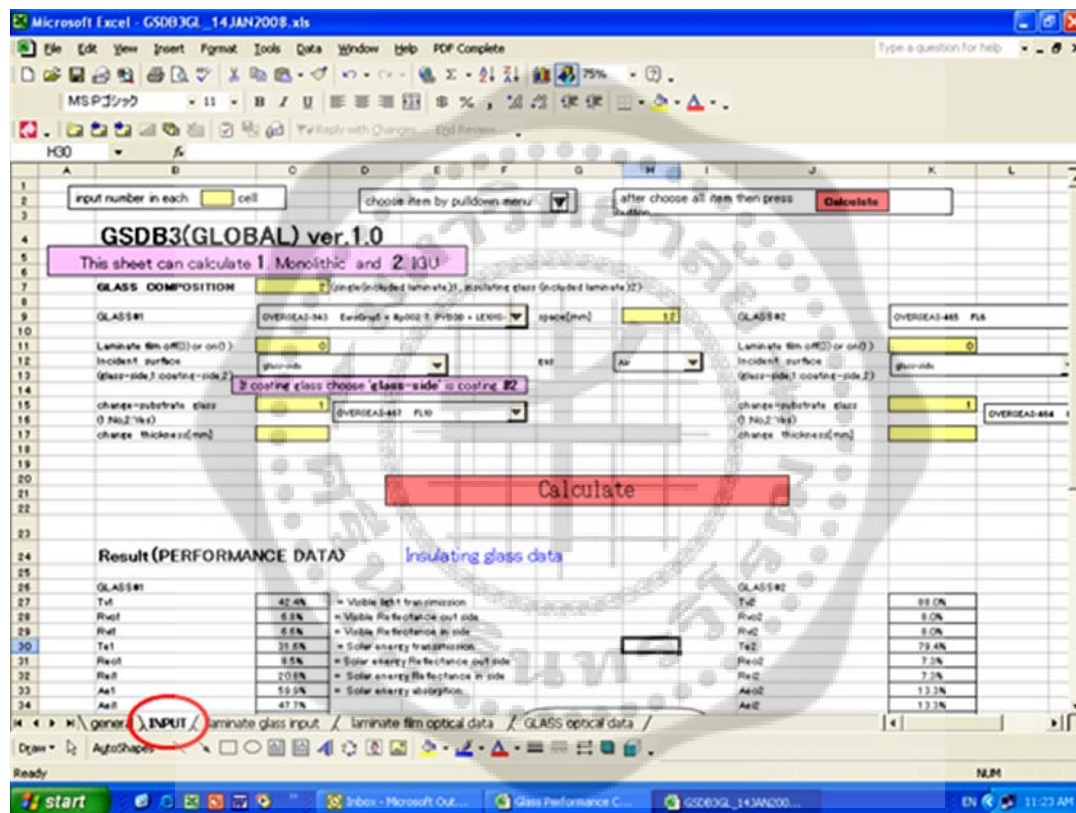
ตารางที่ ข.2 การใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Glass performance calculation program GSDB3 (GLOBAL) ver.1.0 Model v 3.2

Glass Performance Calculation

1. Monolithic, Insulating Glass (IGU)

เข้าที่ Sheet "INPUT" (จะคำนวณได้ทั้ง Monolithic และ IGU)

ถ้าเปลี่ยนชื่อ INPUT เป็นชื่ออื่นจะทำให้คำนวณไม่ได้



1.1 การคำนวณค่ากระจกแผ่นเดียว (Monolithic)

- GLASS COMPOSITION ใใส่ 1

- GLASS#1 เลือกประเภทของกระจกที่ต้องการคำนวณ (ใช้ค่า Oversea)

- Calculate หลังจากใส่ข้อมูลต่าง ๆ เรียบร้อยแล้วให้กด Calculate เพื่อคำนวณ

Microsoft Excel - GSDB3GL_14JAN2008.xls

if number in each cell choose item by pulldown menu after choose all item then press Calculate

GSDB3(GLOBAL) ver.1.0
 is sheet can calculate 1. Monolithic and 2. IGU

GLASS COMPOSITION 1 (single included laminate) 2 (insulating glass included laminate)

GLASS#1 OVERSEA-465 FL6 space(mm) 12 GLASS#2 OVERSEA-465 FL6

Laminate film off(0) or on(1) 0 Laminate film off(0) or on(1) 0

Incident surface glass side Incident surface glass side

glass-side 1 coating-side 2 3 coating glass choose glass-side is coating #2 3 coating glass choose glass-side is coating #2

change-substrate glass 1 OVERSEA-467 FL6 change-substrate glass 1 OVERSEA-466 FL5

change thickness(mm) change thickness(mm)

Calculate

Result (PERFORMANCE DATA) Single glass data

GLASS#1	GLASS#2
Tv1	Tv2
Rv1o1	Rv1o2
Rv1i1	Rv1i2
Ts1	Ts2

88.0% = Visible light transmission
 5.0% = Visible Reflectance out side
 5.0% = Visible Reflectance in side
 79.4% = Solar energy transmission

หมายเหตุ ถ้ายังไม่ได้กดปุ่ม Calculate ในโปรแกรมจะขึ้นว่า

"Input data has been changed! This result data is incorrect. Push 'Calculate' button ,please!"

Microsoft Excel - GSDB3GL_14JAN2008.xls

if number in each cell choose item by pulldown menu after choose all item then press Calculate

GSDB3(GLOBAL) ver.1.0
 is sheet can calculate 1. Monolithic and 2. IGU

GLASS COMPOSITION 1 (single included laminate) 2 (insulating glass included laminate)

GLASS#1 OVERSEA-465 FL6 space(mm) 12 GLASS#2 OVERSEA-465 FL6

Laminate film off(0) or on(1) 0 Laminate film off(0) or on(1) 0

Incident surface glass side Incident surface glass side

glass-side 1 coating-side 2 3 coating glass choose glass-side is coating #2 3 coating glass choose glass-side is coating #2

change-substrate glass 1 OVERSEA-467 FL6 change-substrate glass 1 OVERSEA-466 FL5

change thickness(mm) change thickness(mm)

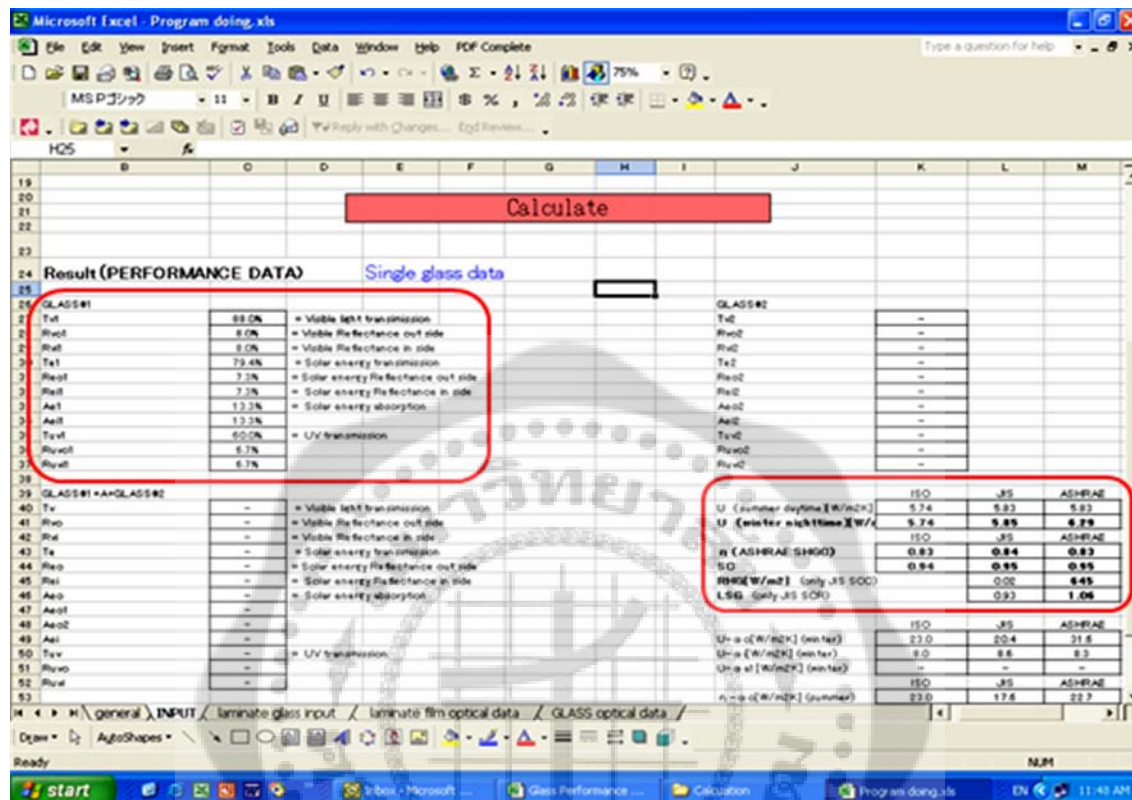
Calculate

Result (PERFORMANCE DATA) Single glass data

GLASS#1	GLASS#2
Tv1	Tv2
Rv1o1	Rv1o2
Rv1i1	Rv1i2
Ts1	Ts2

88.0% = Visible light transmission
 5.0% = Visible Reflectance out side
 5.0% = Visible Reflectance in side
 79.4% = Solar energy transmission

ผลลัพธ์ที่ได้จะปรากฏอยู่ที่ Result (PERFORMANCE DATA) Glass #1และค่ามาตรฐานจะอยู่ทางด้านขวามือ



ความหมายของค่าต่าง ๆ

GLASS#1+A+GLASS#2

Tv Visible Light Transmission หรือ Visible Rays Transmittance (ค่าใน Catalog)

Rvo1 Visible Reflectance Outside หรือ Visible Rays Reflectance (ค่าใน Catalog)

Rvi1 Visible Reflectance Inside

Te1 Solar Energy Transmittance

Reo1 Solar Energy Reflectance (Outside)

Rei1 Solar Energy Reflectance (Inside)

Ae1 Solar Energy Absorption

Tuv1 UV Transmission หรือ Ultra-Violet Rays

*ISO International Standard

*JIS Japanese Standard]

*ASHRAE USA Standard

หมายเหตุ 1. *ตรงค่า Standard ถ้าลูกค้าไม่ระบุว่าจะใช้ค่าใด (ISO, JIS, ASHRAE) ให้เราใช้ค่า ISO เป็น

2. ตัวอย่างต่าง ๆ คือค่าที่นิยมคำนวณให้กับลูกค้า นอกเหนือจากนั้นไม่ได้ระบุไว้

1.2 การคำนวณกระจกฉนวนความร้อน (IGU)

- GLASS COMPOSITION ใส 2
 - GLASS#1 เลือกประเภทกระจกแผ่นหลัง (ใช้ค่า Oversea)
 - Space (mm) ใสขนาดของช่องอลูมิเนียม
 - GLASS#2 เลือกประเภทกระจกแผ่นหลัง (ใช้ค่า Oversea)
 - Incident Surface (ด้านซ้าย) มีให้เลือก Glass-side และ Coating-Side ใสค่าของกระจกแผ่นแรกถ้ามีการ Coating (กระจก Low-E หรือ Solartag)
- หมายเหตุ Glass-side เมื่อกระจก coating surface ที่ 2
Coating-side เมื่อกระจก coating surface ที่ 1
- Gas มี 3 ประเภท Air, Argon, Kr (Kr คือ Krypton แต่อาซาฮีไม่ได้ผลิต)
 - Incident Surface (ด้านขวา) มีให้เลือก Glass-side และ Coating-Side ใสค่าของกระจกแผ่นที่สอง
- หมายเหตุ Glass-side เมื่อกระจก coating surface ที่ 4
Coating-side เมื่อกระจก coating surface ที่ 3
- Change-Substrate Glass มีอยู่สองข้างทั้งด้านซ้ายและด้านขวา เป็นการเปลี่ยนความหนาของกระจกแผ่นนอก และกระจกแผ่นใน เลือก 1 คือไม่เปลี่ยนความหนา เลือก 2 คือเปลี่ยนความหนา ถ้าเปลี่ยนความหนาก็ต้องเลือกประเภทของกระจกด้วย
 - Calculate หลังจากใส่ข้อมูลต่าง ๆ เรียบร้อยแล้วให้กด Calculate เพื่อคำนวณ

Microsoft Excel - GSDB3(GLOBAL) ver.1.0

input number in each cell | choose item by pulldown menu | after choose all item then press Calculate

GSDB3(GLOBAL) ver.1.0
This sheet can calculate 1 Monolithic and 2 IGU

GLASS COMPOSITION

GLASS#1 OVERHEAD-INS Easidraft + Raybrite 1 PVB30 + LENS... space(mm) 12 GLASS#2 OVERHEAD-INS PVB

Laminated film (PVB or SPO) 0 Laminated film (PVB or SPO) 0

Insulate surface glass-side Ins Air Insulate surface glass-side

GLASS#1 coating-side 2 GLASS#2 coating-side 2

change-substrate glass change-substrate glass

change thickness(mm) change thickness(mm)

Calculate

Result (PERFORMANCE DATA) Insulating glass data

GLASS#1

Tot	42.4%	= Visible light transmission
Rout	5.5%	= Visible Reflectance out side
Rin	5.5%	= Visible Reflectance in side
Te	32.1%	= Solar energy transmission
Reot	5.5%	= Solar energy Reflectance out side
Rei	20.8%	= Solar energy Reflectance in side
Ae	53.3%	= Solar energy absorption
Aa	47.7%	= Solar energy absorption

GLASS#2

Tot	88.0%	= Visible light transmission
Rout	8.0%	= Visible Reflectance out side
Rin	8.0%	= Visible Reflectance in side
Te	79.4%	= Solar energy transmission
Reot	7.3%	= Solar energy Reflectance out side
Rei	7.3%	= Solar energy Reflectance in side
Ae	13.2%	= Solar energy absorption
Aa	13.2%	= Solar energy absorption

general INPUT / laminate glass input / laminate film optical data / GLASS optical data /

ผลลัพธ์ที่ได้จะปรากฏอยู่ที่ Result (PERFORMANCE DATA) Glass #1+A+Glass#2 และค่ามาตรฐานจะอยู่ทางด้านขวามือ

Microsoft Excel - GSDB3(GLOBAL) ver.1.0

Result (PERFORMANCE DATA) Insulating glass data

GLASS#1

Tot	88.0%	= Visible light transmission
Rout	8.0%	= Visible Reflectance out side
Rin	8.0%	= Visible Reflectance in side
Te	79.4%	= Solar energy transmission
Reot	7.3%	= Solar energy Reflectance out side
Rei	7.3%	= Solar energy Reflectance in side
Ae	13.2%	= Solar energy absorption
Aa	13.2%	= Solar energy absorption

GLASS#2

Tot	88.0%	= Visible light transmission
Rout	8.0%	= Visible Reflectance out side
Rin	8.0%	= Visible Reflectance in side
Te	79.4%	= Solar energy transmission
Reot	7.3%	= Solar energy Reflectance out side
Rei	7.3%	= Solar energy Reflectance in side
Ae	13.2%	= Solar energy absorption
Aa	13.2%	= Solar energy absorption

GLASS#1+AGLASS#2

Tot	77.9%	= Visible light transmission
Rout	14.2%	= Visible Reflectance out side
Rin	14.2%	= Visible Reflectance in side
Te	63.4%	= Solar energy transmission
Reot	11.3%	= Solar energy Reflectance out side
Rei	11.3%	= Solar energy Reflectance in side
Ae	24.7%	= Solar energy absorption
Aa	24.7%	= Solar energy absorption

U (summer daytime) [W/m²K]

U	15.0	.85	ASHRAE
U	2.82	2.85	2.84

U (winter nighttime) [W/m²K]

U	15.0	.85	ASHRAE
U	0.77	0.73	0.71

n (ASHRAE-SHGG)

n	0.81	0.82	0.82
---	------	------	------

SD

SD	0.05	5.43
----	------	------

ISO (only JIS S00)

ISO	0.78	1.09
-----	------	------

ISO (only JIS S00)

ISO	15.0	.85	ASHRAE
U-a	23.0	20.4	21.6
U-a	8.0	8.8	7.9
U-a	5.9	5.9	5.5
U-a	15.0	.85	ASHRAE
n-a	23.0	17.6	22.7
n-a	8.0	9.2	8.4
n-a	7.0	7.0	7.6

U-a [W/m²K] (winter)

U-a [W/m²K] (winter)

n-a [W/m²K] (summer)

n-a [W/m²K] (summer)

n-a [W/m²K] (summer)

general INPUT / laminate glass input / laminate film optical data / GLASS optical data /

ความหมายของค่าต่าง ๆ

GLASS#1+A+GLASS#2

Tv Visible Light Transmission หรือ Visible Rays Transmittance (ค่าใน Catalog)

Rvo Visible Reflectance Outside หรือ Visible Rays Reflectance (ค่าใน Catalog)

Rvi Visible Reflectance Inside

Te Solar Energy Transmittance

Reo Solar Energy Reflectance (Outside)

Rei Solar Energy Reflectance (Inside)

Ae Solar Energy Absorption

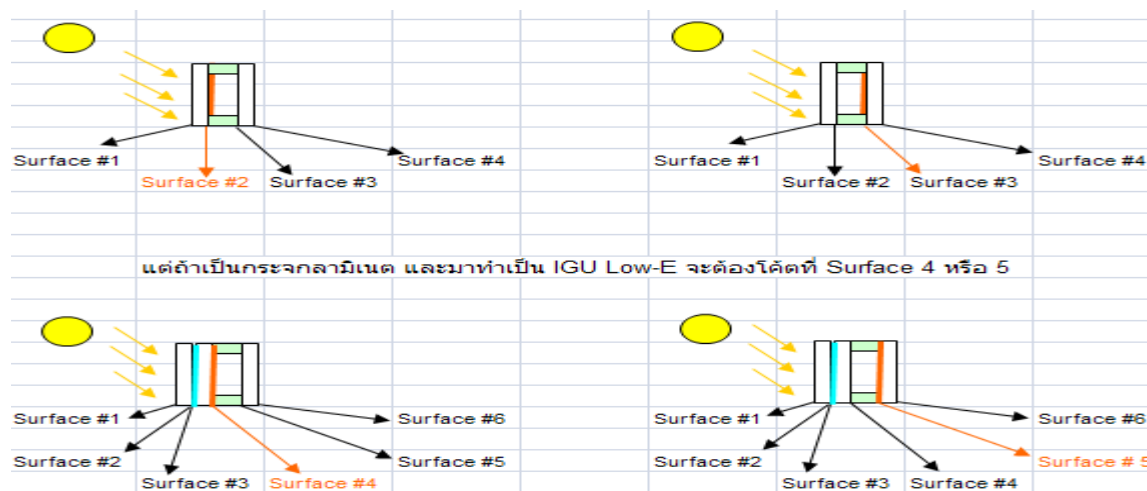
Tuv UV Transmission หรือ Ultra-Violet Rays

*ISO International Standard

*JIS Japanese Standard]

*ASHRAE USA Standard

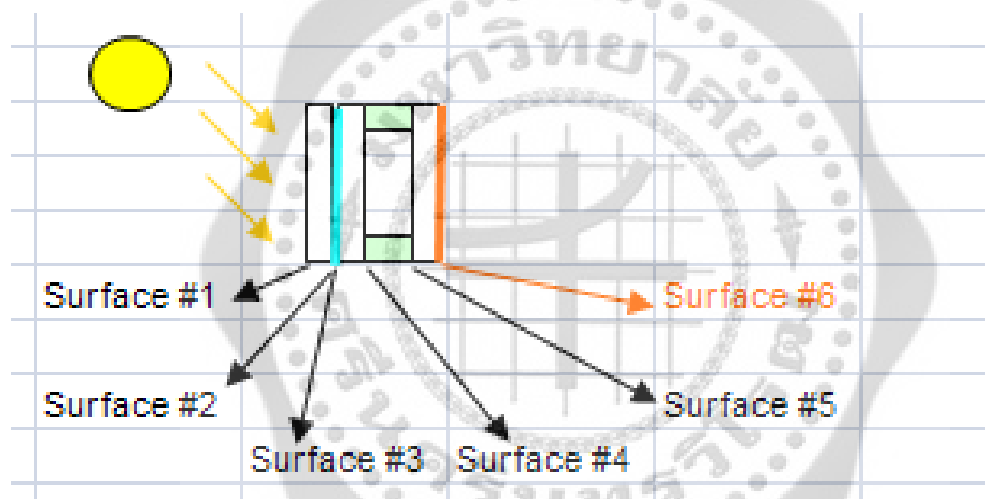
- หมายเหตุ
1. *ตรงค่า Standard ถ้าลูกค้าไม่ระบุว่าจะใช้ค่าใด (ISO, JIS, ASHRAE) ให้เราใช้ค่า ISO เป็นค่ากลาง
 2. ตัวย่อต่าง ๆ คือค่าที่นิยมคำนวณให้กับลูกค้า นอกเหนือจากนั้นไม่ได้ระบุไว้
 3. ในกรณีที่คำนวณกระจก IGU แล้วจะกลับไปคำนวณค่ากระจก Monolithic ถ้าเราใส่ 1 ที่ช่อง Glass Combination และใส่ประเภทกระจกที่ Glass#1 แล้ว โปรแกรมจะคำนวณค่าให้โดยที่ผู้คำนวณไม่ต้องคำนึงถึงว่ามีตัวเลขอยู่ในช่องอื่นหรือไม่เช่น Glass#2, Space ฯลฯ
 4. ปกติกระจก IGU ที่มีการ Coat Low-E จะต้อง Coat ที่ Surface 2 หรือ 3 เท่านั้น เนื่องจากต้องหันด้าน Coat เข้าด้านในช่องอากาศ



4.1.1 ถ้าลูกค้าต้องการให้คำนวณ FL4+PVB0.76+FL4+A6+FL Soft Coat Low-E 6mm #5 FL Soft Coat Low-E 6mm #5 คือ LE101S-6#5

LE	101	S	6	#5
กระจกซอฟต์แวร์ โกลด์โลวอี	เคลือบบน กระจกใส	Silver color on clear thickness *เป็นสีปกติ ที่ใช้เคลือบ	หนา 6 มม.	Surface ที่ 5

4.1.2 ถ้าเป็น FL Hard Low-E คือกระจก Sunergy เช่น FL Hard Low-E 6mm คือ Sunergy 6 แต่ถ้ากระจกเป็น Hard Coat (Sunergy) การหันด้านกระจกอาจหันคนละทิศทางการก็ได้

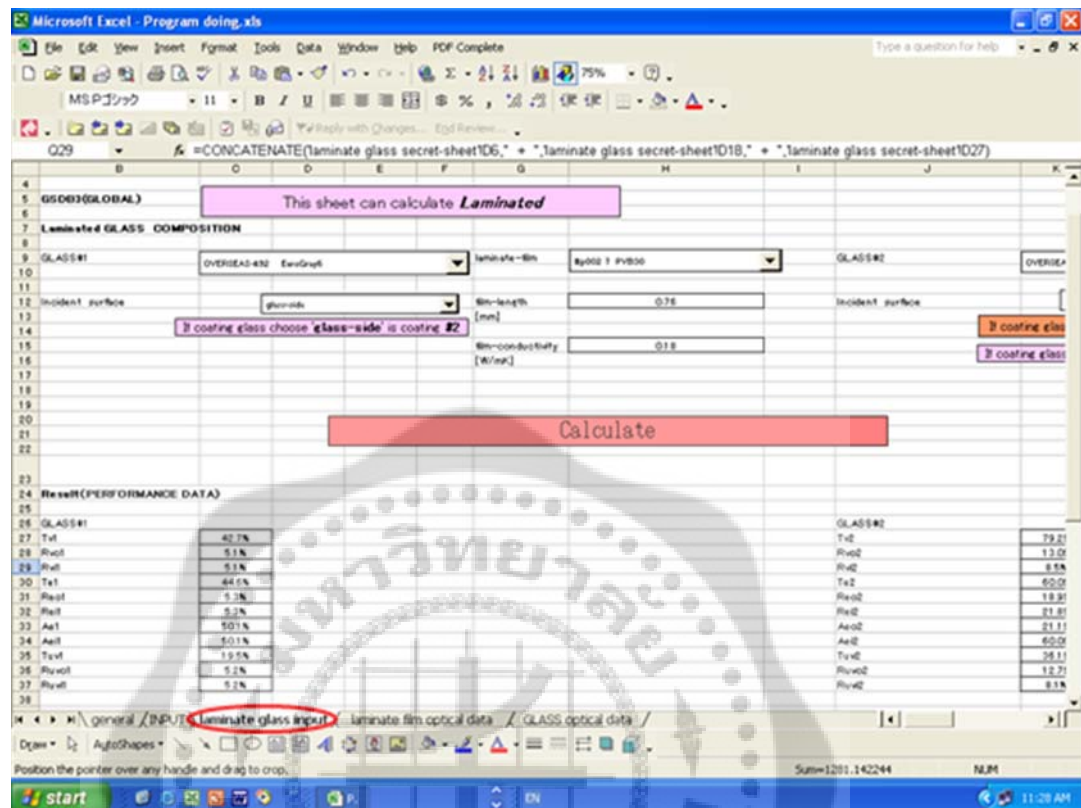


หมายเหตุ 1. การคำนวณ Low-E ให้ตั้งเป็น 6LE101 เสมอ ถ้าเป็นสีอื่นเช่น เขียว ฟ้า หรือเป็นความหนาอื่นให้เปลี่ยนตรง Substrate ใส่สี หรือความหนาที่ต้องการ

2. การคำนวณค่ากระจก Eurogrey, Eurobronze ให้ใช้ค่า Japan : GEFL (Eurogrey) BRFL (Eurobronze)

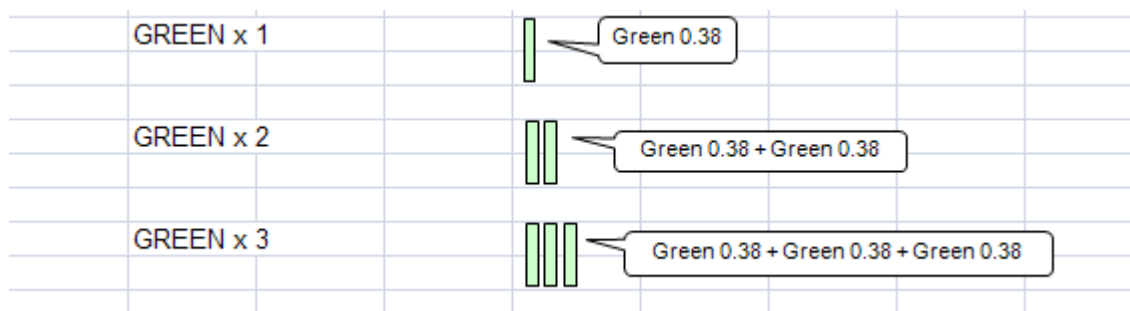
2. Laminated Glass

เข้าที่ Sheet "Laminate Glass Input"



- GLASS#1 เลือกประเภทกระจกแผ่นแรก (ใช้ค่า Oversea)
- Laminated-film เลือกประเภทฟิล์ม เมื่อเลือกประเภทฟิล์มแล้ว ช่อง film-length และ film-conductivity จะแสดงข้อมูลให้โดยอัตโนมัติ

Film Code	PVB	Poly Vinyl Butyral	
CVL30	IR-Cut Film 0.76	IR 0.76	IR 0.76
CVL60	IR-Cut Film 1.52	IR 0.76 + Clear 0.76	IR 0.76 + Clear 0.76
CVL90	IR-Cut Film 2.28	IR 0.76 + Clear 0.76 + Clear 0.76	IR 0.76 + Clear 0.76 + Clear 0.76
2CVL60	IR-Cut Film 1.52	IR 0.76 + IR 0.76	IR 0.76 + IR 0.76
3CVL90	IR-Cut Film 2.28	IR 0.76 + IR 0.76 + IR 0.76	IR 0.76 + IR 0.76 + IR 0.76
Gray x 1	Gray 0.38	Gray 0.38	Gray 0.38
ARCSNw-15	Arctic Snow 0.38	Arctic Snow 0.38	Arctic Snow 0.38
ARCSNw-30	Arctic Snow 0.76	Arctic Snow 0.38 + Arctic Snow 0.38	Arctic Snow 0.38 + Arctic Snow 0.38



หมายเหตุ 1. AB, PVB WH, AB WH เป็น Code ของ AGC Japan
 2. ถ้าคำนวณฟิล์มสีที่ประกบกับฟิล์มใส เช่น เขียว+ใส ให้ใส่ค่าฟิล์มสีเขียวเพราะฟิล์มใสไม่มีผลต่อค่าใด ๆ

- GLASS#2 เลือกประเภทกระจกแผ่นหลัง (ใช้ค่า Oversea) ถ้ากระจกแผ่นที่สองเป็น Soft Coat หรือ Hard Coat ตามปกติเราจะคำนวณตรงที่ Coat ให้อยู่ Surface ที่ 3 (ให้ยืนยันกับลูกค้าอีกที)

- Incident Surface (ด้านซ้าย) มีให้เลือก Glass-side และ Coating-Side ใส่ค่าของกระจกแผ่นแรกถ้ามีการ Coating (กระจก Low-E หรือ Solartag)

หมายเหตุ Glass-side เมื่อกระจก coating surface ที่ 2
 Coating-side เมื่อกระจก coating surface ที่ 1

- Incident Surface (ด้านขวา) มีให้เลือก Glass-side และ Coating-Side ใส่ค่าของกระจกแผ่นที่สอง

หมายเหตุ Glass-side เมื่อกระจก coating surface ที่ 4
 Coating-side เมื่อกระจก coating surface ที่ 3

- Calculate หลังจากใส่ข้อมูลต่าง ๆ เรียบร้อยแล้วให้กด Calculate เพื่อคำนวณ

Microsoft Excel - Program doing.xls

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help PDF Complete

MSPゴシック

75%

123

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35

GLASS#1 JAPAN4 PLA laminate-film BUKINNOI 63 AZUL GLASS#2 OVERSEA443 LENOIS745

incident surface glass-side film-length [mm] 0.18 incident surface glass-side

if coating glass choose 'glass-side' is coating film-conductivity [W/mK] 0.2 if coating glass choose 'coating-si' if coating glass choose 'glass-side'

Calculate

Result (PERFORMANCE DATA)

GLASS#1	GLASS#2
Tot	79.2%
Rtot	12.0%
Rht	8.5%
Tet	60.0%
Rtot	19.5%
Rht	21.8%
Aet	21.1%
Aet	60.0%
Tet	35.1%

start

3:17 PM

ผลลัพธ์ที่ได้จะปรากฏอยู่ที่ Result (PERFORMANCE DATA) Glass #1+A+Glass#2 และค่ามาตรฐานจะอยู่ทางด้านขวามือ

Microsoft Excel - Program doing.xls

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help PDF Complete

MSPゴシック

75%

032

22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56

Result (PERFORMANCE DATA)

GLASS#1	GLASS#2
Tot	79.2%
Rtot	12.0%
Rht	8.5%
Tet	60.0%
Rtot	19.5%
Rht	21.8%
Aet	21.1%
Aet	60.0%
Tet	35.1%

GLASS#1+GLASS#2

Tv	64.7%
Rvp	10.2%
Rvt	7.7%
Te	47.1%
Rtp	12.5%
Rvt	21.3%
Atp	39.4%

official real

ISO JIS ASHRAE

	ISO	JIS	ASHRAE
U (summer daytime)	3.45	3.57	3.50
U (winter nighttime)	3.45	3.72	3.94
SHGO	0.53	0.55	0.53
SD	0.61	0.63	0.61
RHGL (W/m2) (only JIS S00)	0.08	41.7	
LSG (only JIS S00)	0.55	1.22	

ISO JIS ASHRAE

	ISO	JIS	ASHRAE
U-a (W/m2K) (wint)	22.00	20.40	21.60
U-a (W/m2K) (wint)	4.28	4.23	4.74
U-a (W/m2K) (wint)	-	-	-
ISO JIS ASHRAE			
n-a (W/m2K) (sum)	22.00	17.64	22.65
n-a (W/m2K) (sum)	4.28	4.59	4.23
n-a (W/m2K) (sum)	-	-	-

start

3:20 PM

ความหมายของค่าต่าง ๆ

GLASS#1+A+GLASS#2

Tv Visible Light Transmission หรือ Visible Rays Transmittance (ค่าใน Catalog)

Rvo Visible Reflectance Outside หรือ Visible Rays Reflectance (ค่าใน Catalog)

Rvi Visible Reflectance Inside

Te Solar Energy Transmittance

Reo Solar Energy Reflectance (Outside)

Rei Solar Energy Reflectance (Inside)

Ae Solar Energy Absorption

Tuv UV Transmission หรือ Ultra-Violet Rays

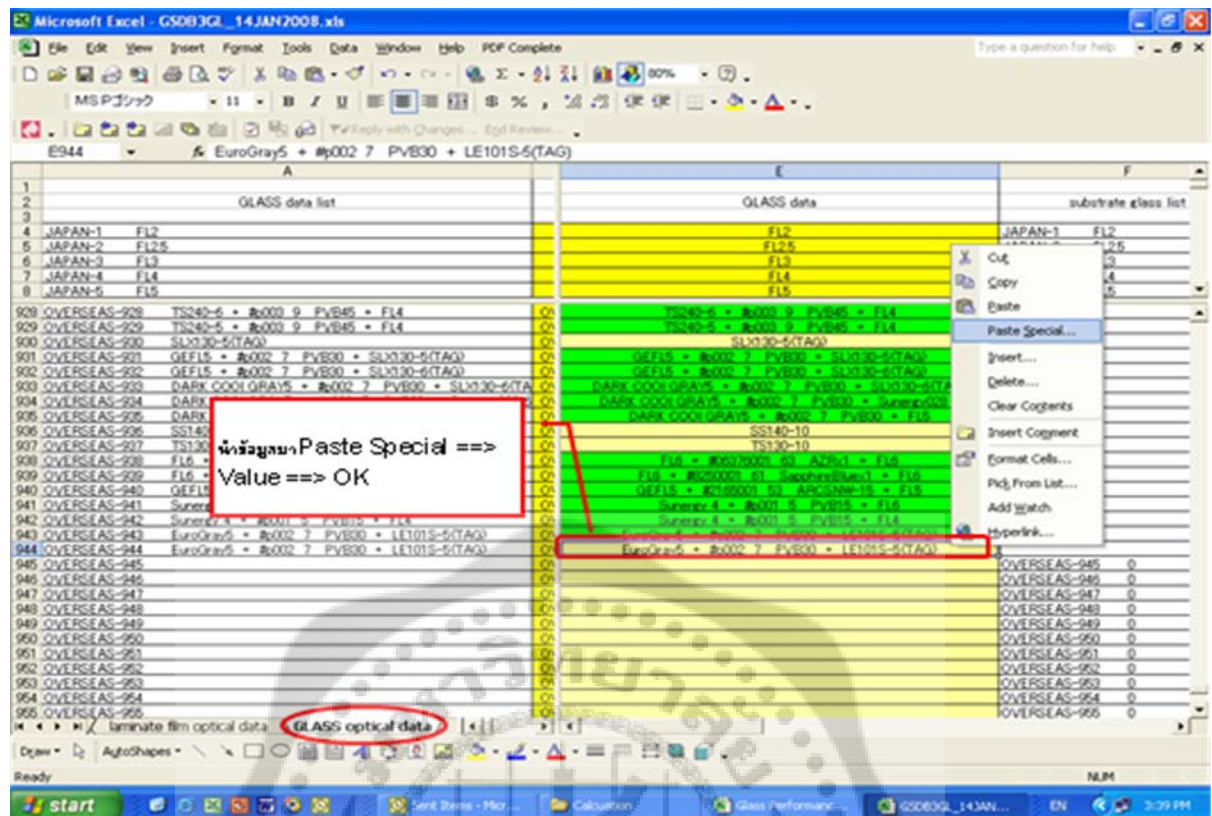
*ISO International Standard

*JIS Japanese Standard]

*ASHRAE USA Standard

- หมายเหตุ
1. *ตรงค่า Standard ถ้าลูกค้าไม่ระบุว่าจะใช้ค่าใด (ISO, JIS, ASHRAE) ให้เราใช้ค่า ISO เป็นค่ากลาง
 2. ตัวอย่างต่าง ๆ คือค่าที่นิยมคำนวณให้กับลูกค้า นอกเหนือจากนั้นไม่ได้ระบุไว้
 3. ตารางข้างล่างคือ code สีฟิล์มให้ดูกับ order ที่ลูกค้าสั่ง

General agent			Only agent TYKG and GLASS FORM		
Name	Code	Layer	Name	Code	Layer
Artic snow	216500	0.38	Aquamarine	827800	0.38
Gray	654400	0.38	Sahara sun	817800	0.38
Light green	377300	0.38	Ruby red	805000	0.38
Shapphire blue	825000	0.38			
Pure white	210700	0.81			
Azure Blue	0637600	0.38			
IR CUT	IR CUT	0.38			



หลังจากนั้นกลับไปคำนวณค่าของกระจก IGU ที่ Sheet "INPUT" ซึ่งค่าที่เรากรอกเข้าไปใน Column E จะไปอยู่ในช่องของ GLASS#1, GLASS#2 โดยอัตโนมัติ ซึ่งเราสามารถเลือกขึ้นมาคำนวณได้ขึ้นอยู่กับว่าลูกค้าต้องการให้กระจกلامีเนตอยู่ที่ GLASS#1 หรือ GLASS#2

Microsoft Excel - GSDB3GL_14.JAN2008.xls

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help PDF Complete

MS P3232 11

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34

if number in each cell choose item by pulldown menu after choose all item then press Calculate

GSDB3(GLOBAL) ver.1.0

this sheet can calculate 1 Monolithic and 2 IGU

GLASS COMPOSITION 2 (insulating glass included laminate)1, insulating glass (included laminate)2

GLASS#1 OVERGLAS-443 EwotGru1 + Kp002 1 FVB00 + LEV010 space[mm] 12 GLASS#2 OVERGLAS-445 FL6

Laminate film (PVB) or on() 0 Laminate film (PVB) or on() 0

incident surface glass-side incident surface glass-side

if coating glass choose glass-side is coating #2

change-substrate glass OVERGLAS-447 FL10 change-substrate glass OVERGLAS-444 FL5

change thickness[mm] change thickness[mm]

Calculate

Result (PERFORMANCE DATA) Insulating glass data

GLASS#1

Tv1	42.4%	= Visible light transmission
Rvo1	6.8%	= Visible Reflectance out side
Rri1	6.6%	= Visible Reflectance in side
Te1	31.6%	= Solar energy transmission
Reo1	8.5%	= Solar energy Reflectance out side
Rri1	20.5%	= Solar energy Reflectance in side
Aa1	59.3%	= Solar energy absorption
Aa1	47.3%	= Solar energy absorption

GLASS#2

Tv2	89.0%
Rvo2	8.0%
Rri2	8.0%
Te2	79.4%
Reo2	7.3%
Rri2	7.3%
Aa2	13.3%
Aa2	13.3%

INPUT laminate glass input / laminate film optical data / GLASS optical data

start CAPS NUM 11:00 AM

หลังจากนั้นก็ทำตามขั้นตอนการคำนวณกระจก IGU แล้วกด Calculate ก็จะได้ผลลัพธ์ออกมาที่ GLASS#1+A+GLASS#2 และค่า Standard ที่ด้านขวามือ

Microsoft Excel - GSDB3GL_14.JAN2008.xls

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help PDF Complete

MS P3232 11

19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34

Calculate

Result (PERFORMANCE DATA) Insulating glass data

GLASS#1

Tv1	42.4%	= Visible light transmission
Rvo1	6.8%	= Visible Reflectance out side
Rri1	6.6%	= Visible Reflectance in side
Te1	31.6%	= Solar energy transmission
Reo1	8.5%	= Solar energy Reflectance out side
Rri1	20.5%	= Solar energy Reflectance in side
Aa1	59.3%	= Solar energy absorption
Aa1	47.3%	= Solar energy absorption
Tv1	0.0%	= UV transmission
Rvo1	5.0%	
Rri1	7.4%	

GLASS#2

Tv2	89.0%
Rvo2	8.0%
Rri2	8.0%
Te2	79.4%
Reo2	7.3%
Rri2	7.3%
Aa2	13.3%
Aa2	13.3%
Tv2	80.0%
Rvo2	8.7%
Rri2	8.7%

GLASS#1+GLASS#2

Tv	37.5%	= Visible light transmission
Rvo	9.3%	= Visible Reflectance out side
Rri	13.3%	= Visible Reflectance in side
Te	25.5%	= Solar energy transmission
Reo	9.3%	= Solar energy Reflectance out side
Rri	20.6%	= Solar energy Reflectance in side
Aa	65.3%	= Solar energy absorption
Aa	61.0%	= Solar energy absorption
Tv	4.3%	= UV transmission
Aa	53.0%	
Tv	0.0%	
Rvo	5.0%	
Rri	9.4%	

U (summer daytime) [W/m²K] ISO JIS ASHRAE 1.94 1.95 1.95

U (winter night) [W/m²K] ISO JIS ASHRAE 1.79 1.80 1.71

η (ASHRAE-SHGG) ISO JIS ASHRAE 0.34 0.36 0.34

SD ISO JIS ASHRAE 0.39 0.41 0.39

RWG[W/m²] (only JIS SOR) ISO JIS ASHRAE 0.05 26.0 0.05

LSG (only JIS SOR) ISO JIS ASHRAE 0.35 1.11 0.35

U-a [W/m²K] (winter) ISO JIS ASHRAE 23.0 20.4 23.5

U-a [W/m²K] (winter) ISO JIS ASHRAE 8.0 9.6 7.6

U-a [W/m²K] (winter) ISO JIS ASHRAE 2.7 2.7 2.5

η-a [W/m²K] (summer) ISO JIS ASHRAE 23.0 17.6 22.7

INPUT laminate glass input / laminate film optical data / GLASS optical data

start CAPS NUM 2:26 PM



ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณค่าคุณสมบัติทางความร้อนของกระจก

ตัวอย่างรายการคำนวณของกระจกชั้นเดียว

กำหนดให้

กระจกใส หนา 6 mm

อุณหภูมิ อากาศภายนอก $T_o = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$

อากาศภายใน $T_i = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$

ความเข้มแสงอาทิตย์ $I_t = 790.0\text{ W/m}^2$

ข้อมูลการวัดรังสีแสงของกระจก

$$\tau = 0.88$$

$$\rho = 0.08$$

$$\alpha = 0.13$$

$$e = 0.8800$$

วิธีทำ

พลังงานที่กระจกดูดกลืนไว้

$$I_{ag} = 0.13 \times 790 = 102.70\text{ W/m}^2$$

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายนอก $h_o = 22.7\text{ W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$

อุณหภูมิออกแบบที่สภาวะร้อน $24\text{ }^{\circ}\text{C}$

สมมุติค่าอุณหภูมิกระจก $T_g = 39.3\text{ }^{\circ}\text{C}$

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายใน

$$\begin{aligned} h_i &= 1.77(39.3-24.0)^{0.25} + 0.88 \times 5.67 \times 10^{-8} (312.48^4 - 297.15^4) / (39.3-24.0) \\ &= 7.75\text{ W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

พลังงานที่กระจกดูดกลืนไว้

$$\begin{aligned} I_{ag} &= 22.7(39.3-40.0) + 7.75(39.3-24) \\ &= 102.68\text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

ตรวจสอบ $\Delta I_{ag} = 0.00\text{ W/m}^2$

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก (U-factor)

$$U = 1 / [(1/22.70) + (1/7.75)] = 5.78\text{ W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$$

สัมประสิทธิ์ความร้อนแสงอาทิตย์ (Solar heat gain coefficient; SHGC)

$$\text{SHGC} = 0.88 + 5.78 \times 0.13 / 22.70 = 0.82$$

สัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก (Shading coefficient; SC)

$$\text{SC} = 0.82 / 0.87 = 0.94$$

ตัวอย่างรายการคำนวณของกระจกฉนวนสองชั้น

กำหนดให้

กระจกแผ่นนอก กระจกสีเขียว 6 mm, ค่าความต้านทานความร้อน $R_{go} = 0.0062 \text{ m}^2\text{°C/W}$

ช่องว่าง อากาศ 12 mm

กระจกแผ่นใน กระจกใส 6 mm, ค่าความต้านทานความร้อน $R_{gi} = 0.0062 \text{ m}^2\text{°C/W}$

อุณหภูมิ อากาศภายนอก 40 °C อากาศภายใน 24 °C

ความเข้มรังสีอาทิตย์ $I_t = 790 \text{ W/m}^2$

ข้อมูลการวัดรังสีแสงของกระจก

ด้านนอก $\tau_o = 0.4301$

$$\rho_1 = 0.0543 \quad \rho_2 = 0.0533$$

$$\alpha_1 = 0.5156 \quad \alpha_2 = 0.5166$$

$$e_1 = 0.88 \quad e_2 = 0.88$$

ด้านใน $\tau_i = 0.7719$

$$\rho_3 = 0.0696 \quad \rho_4 = 0.0699$$

$$\alpha_3 = 0.1585 \quad \alpha_4 = 0.1582$$

$$e_3 = 0.88 \quad e_4 = 0.88$$

วิธีทำ

การดูดกลืนความร้อนของกระจก

ด้านนอก

$$\begin{aligned} \alpha_o &= 0.52 + (0.52 \times 0.43 \times 0.07) / (1 - 0.05 \times 0.07) \\ &= 0.531 \end{aligned}$$

ด้านใน

$$\begin{aligned} \alpha_i &= 0.16 \times 0.43 / (1 - 0.05 \times 0.07) \\ &= 0.068 \end{aligned}$$

พลังงานความร้อนดูดกลืน

$$\text{ด้านนอก ; } \alpha_o I_o = \alpha_o I_t = 0.531 \times 790 = 419.52 \text{ W/m}^2$$

$$\text{ด้านใน ; } \alpha_i I_i = \alpha_i I_t = 0.068 \times 790 = 54.06 \text{ W/m}^2$$

ค่าการเปล่งรังสีประสิทธิภาพของกระจก

$$E = 1 / [(1/0.88) + (1/0.88) - 1] = 0.79$$

สมมติค่าอุณหภูมิกระจกด้านนอกและด้านใน

$$T_{go} = 55.0^{\circ}\text{C} \quad T_{gi} = 41.6^{\circ}\text{C}$$

อุณหภูมิเฉลี่ยของช่องว่างอากาศ

$$T_m = (55.0+41.6) / 2 = 48^{\circ}\text{C}$$

ค่าแตกต่างของอุณหภูมิ

$$\Delta T = 55.0-41.6 = 13.4^{\circ}\text{C}$$

จากตารางค่าความต้านทานของช่องว่างอากาศ

Air space Coefficient;

$$h_s = 8.07 \text{ W/m}^2\text{C}$$

อุณหภูมิออกแบบที่สภาวะร้อน $T_d = 24^{\circ}\text{C}$

Indoor coefficient;

$$h_i = 9.09 \text{ W/m}^2\text{C}$$

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายใน; $h_o = 22.7 \text{ W/m}^2\text{C}$

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก (U-factor)

$$U = 1 / [(1/22.70)+0.0062+(1/8.07)+0.0062+(1/9.09)]$$

$$= 3.443 \text{ W/m}^2\text{C}$$

ความร้อนที่ผ่านเข้ามาภายใน (Inward radiation and convection gain ; q_{RCi})

$$q_{RCi} = 3.443 \times [(419.5/22.70+54.1(1/22.70+1/8.07)+(41.6-24)]$$

$$= 155.47 \text{ W/m}^2$$

ค่าอุณหภูมิกระจก

$$\text{ด้านนอก; } T_{go} = 40+(419.5+54.1-155.47) \times (1/22.70+0.0062/2)$$

$$= 55.0^{\circ}\text{C}$$

$$\text{ด้านใน; } T_{gi} = 24+155.47(1/9.09+0.0062/2)$$

$$= 41.6^{\circ}\text{C}$$

ตรวจสอบ

$$\Delta T_{go} = 0.00000$$

$$\Delta T_{gi} = -0.00001$$

Mean temperature; $T_m = (55.0+41.6) / 2 = 48.3^{\circ}\text{C}$

Temperature difference; $\Delta T = 55.0-41.6 = 13.4^{\circ}\text{C}$

จากตารางค่าการถ่ายเทความร้อนของช่องว่างอากาศ

Air space Coefficient; $h_s = 8.07 \text{ W/m}^2\text{C}$

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายใน; h_i

Indoor coefficient; $h_i = 9.09 \text{ W/m}^2\text{°C}$

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายนอก; $h_o = 22.7 \text{ W/m}^2\text{°C}$

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก (U-factor)

$$U' = 1 / [(1/22.70) + 0.0062 + (1/8.07) + 0.0062 + (1/9.09)]$$

$$= 3.443 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$\Delta U = 0.000 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

ดังนั้น กระจกฉนวนสองชั้น(กระจกสีเขียว6mm + อากาศ6mm + กระจกใส6mm)

$$qRCi = 155.47 \text{ W/m}^2 \quad U = 3.443 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$T_{go} = 55.0 \text{ °C} \quad T_{gi} = 41.6 \text{ °C}$$

ค่าการส่องผ่านรวมของกระจก (Transmittance through both glasses)

$$\tau = 0.4301 \times 0.7719 / (1 - 0.0533 \times 0.0696)$$

$$= .333$$

ค่าการดูดกลืนของกระจก (Absorptance)

$$A = 0.599465117$$

ค่าการสะท้อนของกระจก (Reflectance)

$$\rho = 0.067$$

สัมประสิทธิ์ความร้อนแสงอาทิตย์ (Solar heat gain coefficient; SHGC)

$$SHGC = 0.333 + (3.443 \times 0.53) / 22.70 + (3.443 / 22.70 + 3.443 / 8.07) \times 0.068$$

$$= 0.453$$

สัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก (Shading coefficient; SC)

$$SC = 0.453 / 0.87$$

$$= 0.521$$





รูปที่ ๑.1 เครื่องทดสอบวัดรังสีแสง (Spectrophotometer)



รูปที่ ๑.2 เครื่องทดสอบวัดค่าการเปล่งรังสี (Emissometer)

คุณลักษณะ (Specification) ของเครื่องวัดรังสีแสง รุ่น Shimadzu UV-3100 มีดังนี้

• ช่วงความยาวคลื่นที่สามารถวัดได้	: 190~3200 nm
• ตัวตรวจวัด (Detector)	: Photo multiplier and PbS cell
• Integral sphere : I.D	: 60 mm
• อัตราส่วนช่องเปิดใน Integral sphere	: 12.9%
• ขนาดของเครื่อง : main body	: 1017x683x265 mm, 80kg
Control station	: 465x570x505mm, 22kg
Plotter	: 420x260x96mm, 7kg
• พื้นที่ติดตั้งมาตรฐาน	: 1020x785x770 mm
• Baseline flatness	: +/-0.002 Abs สำหรับ 3000~200 nm +/-0.004Absสำหรับช่วงความยาวคลื่นอื่นๆ
• Wavelength accuracy	: +/-0.3nm สำหรับ 800~190nm +/-1.6nm สำหรับ 3200~801 nm
• Spectral reproducibility	: +/-0.1%T
• Wavelength repeatability	: 0.1 nm ในย่าน ultraviolet/visible 0.4 nm ในย่าน near-infrared
• ระบบของ Photometer	: Double beam, Direct-ratio measuring system
• ช่วงของ Photometer	: Absorbance: -4~5 Abs
Transmittance, Reflectance	: 0~999.9%T
• ความถูกต้องของ Photometer	: +/-0.002 Abs ในช่วง 0~0.5 Abs +/-0.004 Abs ในช่วง 0.5~1.0 Abs +/-0.3%T สำหรับ Transmittance
• ช่วงการบันทึกผล	: Absorbance: -9.999~9.999 Abs
Transmittance, Reflectance	: -999.9~999.9%T
• อุณหภูมิแวดล้อม	: 15~35°C
• ความชื้นของอากาศแวดล้อม	: 45~85% (น้อยกว่า70%ที่อุณหภูมิสูงกว่า30°C)
• กำลังไฟฟ้าที่ต้องการ	: AC100, 120, 220, 240V 50/60Hz
• Power consumption	: 400VA

คุณลักษณะ (Specification) ของเครื่องวัดค่าการแปลงรังสี รุ่น AE จาก Devices&services Co. มีดังนี้

- Linearity : ± 0.01 units
- Output : 2.4mV สำหรับตัวอย่างที่มี $e = 0.93$ ณ อุณหภูมิห้อง
- Drift : ผลที่ได้ไม่เปลี่ยนตามเวลาตลอดช่วงการทดสอบ
- Power : AC 80~160V , 4Watts



รูปที่ ง.3 เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิผิวกระจก



รูปที่ ง.4 ระบบปรับอากาศ ERR 11.45



ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นายธนกร ช้องชัยฤทธิ์
วัน เดือน ปีเกิด	14 มิถุนายน 2519
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	270/62 หมู่บ้านภูมิไฉนเวศน์ 3 ซอยร่วมพัฒนา ตำบลในคลองบางปลากด อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ 10290
ตำแหน่งงานปัจจุบัน	หัวหน้าแผนก
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	AGC-FLATGLASS COMPANY LIMITED
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2537	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ช่างยนต์) จาก วิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี
พ.ศ. 2539	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (เทคนิคเครื่องกล) จาก วิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี
พ.ศ. 2543	อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์
พ.ศ. 2554	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการทางวิศวกรรม) จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ