บทที่ 4

เครื่องมือที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

ในบทนี้จะกล่าวถึงโปรแกรมสำเร็จรูปประเภทต่าง ๆ และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการวิเคราะห์สมรรถนะของมู่ลี่ทั้งในแง่ของความสบายเชิงความร้อน และการส่งผ่านความร้อน โดยโปรแกรมทั้งหมดประกอบไปด้วย

โปรแกรม WINDOW 4.1

โปรแกรม ASHRAE comfort

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น Glazing with Blind SIMulation program, GBSIM

4.1 โปรแกรม WINDOW 4.1

โปรแกรม WINDOW 4.1 เป็นโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยหน่วยงานวิจัย Window and Daylighting Group ของ Lawrence Berkeley National Laboratory ที่ University of California, Berkeley เพื่อใช้ในการประเมินสมรรถนะทาง optic และสมรรถนะเชิงความร้อนของหน้าต่างกระจกประเภทต่าง ๆ โดยดัชนีที่ใช้ในการประเมินค่าสรรถนะทาง optic ที่ได้จากโปรแกรม WINDOW 4.1 นี้จะประกอบไปด้วย ค่าการส่งผ่านรังสี ค่าการสะท้อนของรังสี และค่าการดูดกลืนรังสีที่แปรตามมุมตกกระทบ โดยค่าคุณสมบัติทาง optic เหล่านี้จะถูกแยกพิจารณาออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงรังสีแสงอาทิตย์ และในช่วงของการมองเห็น และค่าดัชนีที่ใช้ในการประเมินค่าสรรถนะเชิงความร้อนที่ได้จากโปรแกรม WINDOW 4.1 นี้จะประกอบไปด้วย ค่า Solar Heat Gain Coefficient (SHGC) ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวม (ค่า U value) ค่าสัมประสิทธิ์การบังเงา (Shading Coefficient, SC) ค่า Relative Heat Gain (RHG) และค่าการนำความร้อนรวมของกระจกหลายชั้นที่รวมการนำความร้อนของก๊าซที่อยู่ภายในไว้ด้วย (Keff)

4.1.1 ส่วนประกอบหลักของโปรแกรม WINDOW 4.1

ในการประเมินสมรรถนะของระบบกระจกใด ๆ นั้นนอกจากคุณสมบัติทาง optic ของตัวกระจกที่ต้องทราบแล้วนั้นยังมีคุณสมบัติอีกหลายส่วนด้วยกันที่เกี่ยวข้องกับการประเมินสมรรถนะของระบบกระจกและจำเป็นที่จะต้องทราบค่า เช่น สภาวะอากาศภายนอก สภาวะอากาศภายใน ลักษณะของกรอบกระจก (framc) และลูกฟูกกั้นกระจก (divider) ลักษณะทางกายภาพของกระจก ไม่ว่าจะเป็นความกว้าง ความยาว หรือแม้แต่มุมเอียงของกระจก และในกรณีกระจกหลายชั้นนั้น ชนิดของสารที่อยู่ระหว่างชั้นกระจกนั้นก็มีผลต่อค่าสมรรถนะโดยรวมของระบบกระจกด้วย ดังนั้น

โปรแกรม WINDOW 4.1 จึงได้ถูกแบ่งออกเป็น library ต่าง ๆ เพื่อที่จะให้ผู้ใช้งานสามารถที่จะกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังกล่าวให้เหมาะสมกับการใช้งานตามความต้องการของผู้ใช้งานแต่ละคนได้ โดยโปรแกรม WINDOW 4.1 ได้ถูกแบ่งออกเป็น library ต่าง ๆ ดังนี้คือ

Window Library

โดยในส่วนนี้จะเป็นหน้าหลักในการใช้งานของโปรแกรมโดยผู้ใช้งานสามารถที่จะกำหนดลักษณะทางกายภาพของระบบกระจกได้ไม่ว่าจะเป็น ชนิดของระบบกระจก ความกว้าง ความยาว และมุมเอียงของระบบกระจก เป็นต้น และยังคงสามารถเลือกสภาวะอากาศที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้ด้วย และค่าคุณสมบัติที่ได้จากส่วนนี้จะเป็นค่าคุณสมบัติโดยรวมของระบบกระจก

Glazing System Library

ในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ผู้ใช้งานสามารถที่จะกำหนดลักษณะของระบบกระจกได้ว่าจะพิจารณาเป็นกระจกกี่ชั้น กระจกชนิดใดบ้าง มีขนาดของช่องอากาศเท่าใด ภายใต้สภาวะอากาศแบบไหน และจะแสดงผลที่ได้ในรูปของค่าดัชนีเชิงความร้อนชนิดต่าง ๆ ของกระจก ค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิ ค่าคุณสมบัติทาง optic ทั้งในช่วงของ solar และ visible region และค่าคุณสมบัติทาง optic ที่แปรตามมุมตกกระทบ ตามที่ผู้ใช้งานได้กำหนด โดยค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ได้จะเป็นค่าคุณสมบัติของกระจกเปล่า ๆ เท่านั้น (center of glass properties)

Glass Library

ในส่วนนี้จะเป็นที่รวบรวมคุณสมบัติทาง optic ของกระจกแต่ละชนิดไว้เพื่อใช้ในการอ้างอิง และคำนวณภายในโปรแกรม นอกจากนี้ผู้ใช้งานยังสามารถเพิ่มชนิดของกระจกประเภทต่าง ๆ เพิ่มเติมให้กับโปรแกรมได้อีกด้วย

Gas Library

ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่รวบรวมก๊าซชนิดต่าง ๆ ที่นิยมใช้ไม่ว่าจะเป็นสารบริสุทธิ์หรือ ก๊าซผสม และค่าคุณสมบัติต่าง ๆ เช่น ค่าการนำความร้อน (conductivity) ค่าความหนืด (viscosity) ค่าความจุความร้อน (capacity, Cp) ค่าความหนาแน่น (density) เป็นต้น

Frame Library

จะเป็นส่วนที่รวบรวมข้อมูลของกรอบกระจกประเภทต่าง ๆ เพื่อใช้ร่วมกับค่าคุณสมบัติอื่น ๆ ของกระจกเพื่อให้ได้ค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของระบบกระจกอย่างสมบูรณ์

Divider Library

จะเป็นที่รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับลูกฟูกกั้นกระจกเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ของโปรแกรมในทำนองเดียวกันกับส่วนของกรอบกระจก

Environmental Conditions Library

จะเป็นส่วนที่รวบรวมสภาวะอากาศมาตรฐานชนิดต่าง ๆ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สมรรถนะและผู้ใช้งานสามารถที่จะกำหนดสภาวะอากาศมาตรฐานเพิ่มเติมได้ในส่วนนี้

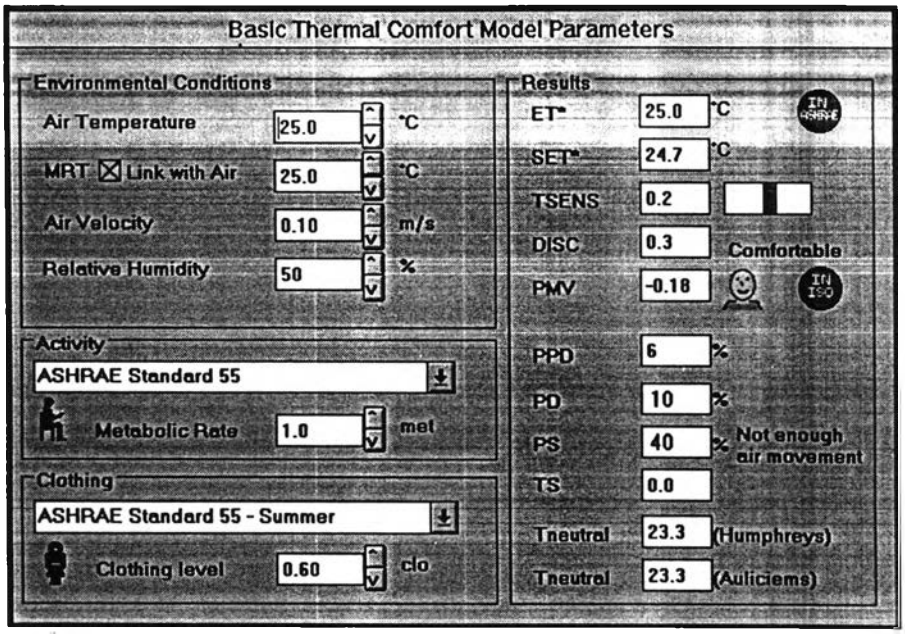
4.1.2 ความสามารถของโปรแกรม

ความสามารถหลักของโปรแกรมก็คือความสามารถในการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบกระจกทั้งในส่วนของสมรรถนะทาง optic และสมรรถนะทางความร้อนโดยดัชนีที่แสดงสมรรถนะของระบบกระจกที่ได้จากโปรแกรมจะประกอบไปด้วย

1. ค่า U-values ทั้งในส่วนของกระจก กรอบกระจก และของระบบกระจกทั้งหมด
2. ค่า Shading Coefficient, SC
3. ค่า Solar Heat Gain Coefficient, SHGC ทั้งในส่วนของกระจก กรอบกระจก และของระบบกระจกทั้งหมด
4. ค่า solar และ visible transmittance ที่แปรตามมุมตกกระทบ
5. ค่า solar และ visible reflectance ที่แปรตามมุมตกกระทบ
6. ค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ตำแหน่งกึ่งกลางกระจก

4.2 โปรแกรม ASHRAE Comfort

โปรแกรม ASHRAE Thermal comfort Program เป็นโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยหน่วยงานวิจัย Environmental Analytics ของ Lawrence Berkeley National Laboratory ที่ University of California, Berkeley เพื่อใช้ในการประเมินค่าความสบายเชิงความร้อนของผู้อยู่อาศัยที่อยู่ภายในจุดใด ๆ ของห้องที่มีการปรับสภาวะอากาศ โดยลักษณะของโปรแกรมจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะของโปรแกรม ASHRAE Thermal comfort Program

จากรูปที่แสดงจะเห็นได้ว่าโปรแกรมนั้นถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก คือ

1. ส่วนกำหนดค่าข้อมูลเพื่อประเมินค่าความสบายเชิงความร้อน

ในส่วนนี้จะเป็นการกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ 6 ตัวที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนจากร่างกายของผู้อยู่อาศัยกับสภาวะแวดล้อมที่ได้จากการศึกษาโดย Fanger [29] โดยได้ถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือส่วนที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดค่ากิจกรรม (activity) ค่าความต้านทานเชิงความร้อนของเสื้อผ้า (clothing value) และค่า environmental conditions

2. ส่วนผลลัพธ์ที่ได้จากสภาวะที่ได้กำหนดไว้

ส่วนนี้จะแสดงค่าดัชนีประเภทต่าง ๆ ที่ได้จากค่าสภาวะในส่วนที่หนึ่ง โดยจะแสดงดัชนีชนิดต่าง ๆ ที่นิยมใช้ในการประเมินค่าความสบายเชิงความร้อนเช่น ค่า ET* ค่า SET* ค่า TSENS ค่า DISC ค่า PMV ค่า PPD ค่า PD ค่า PS ค่า TS และค่า Tneutral

4.3 โปรแกรม GBSIM

ในการศึกษานี้ ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพิ่มเติม เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบกระจกที่ติดตั้งมู่ลี่ โดยมีชื่อว่าโปรแกรม GBSIM (Glass with Blind SIMulation program) โดยได้ถูกพัฒนาขึ้นตามแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 3 โดยที่โปรแกรม GBSIM นี้จะเป็นการรวมโปรแกรม WINDOW 4.1 โปรแกรม ASHRAE Comfort

และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่าง ๆ ของมู่ลี่เข้าไว้ด้วยกัน ดังนั้นโปรแกรมนี้จึงสามารถวิเคราะห์สมรรถนะของกระจกติดมู่ลี่ได้ทั้งในแง่ของการส่งถ่ายเทความร้อน และในแง่ของความสบายความสบายเชิงความร้อน โดยโปรแกรม GBSIM นี้จะประกอบไปด้วย subroutine ย่อยต่าง ๆ 3 โปรแกรม และจะมีหน้าที่การทำงานที่แตกต่างกัน

4.3.1 โปรแกรมย่อยหลัก

โปรแกรม GBSIM นี้จะประกอบไปด้วยโปรแกรมย่อยหลัก 3 โปรแกรม ได้แก่ โปรแกรมย่อย sys_optic, โปรแกรมย่อย sur_temp และโปรแกรมย่อย comfort

4.3.1.1 โปรแกรมย่อย sys_optic

โปรแกรมย่อยนี้จะมีหน้าที่หลักในการคำนวณค่าคุณสมบัติทาง optic ของระบบกระจกที่มีการติดตั้งมู่ลี่เป็นอุปกรณ์บังเงาภายใน โดยผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมย่อยนี้จะประกอบไปด้วยค่าการส่งผ่านของระบบ ค่าการสะท้อนของระบบ และค่าการดูดกลืนรังสีของแต่ละชั้นกระจก

โดยขั้นตอนการทำงานจะเริ่มต้นจากผู้ใช้งานกำหนดจำนวนชั้นกระจกที่ต้องการทำการวิเคราะห์ จากนั้นจึงเลือกชนิดกระจกจากแฟ้มข้อมูล g_optic.dat และกำหนดระยะห่างของแต่ละชั้นกระจก และระยะห่างของกระจกชั้นในกับมู่ลี่ และจากข้อมูลที่กำหนดโปรแกรมจะทำการคำนวณ และแสดงผลลัพท์ออกมาในรูปของค่าคุณสมบัติทาง optic ที่แปรตามทิศทางตกกระทบทั้ง 25 ทิศทาง

โดยแฟ้มข้อมูล g_optic.dat จะประกอบไปด้วยข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้ รหัสของกระจก (เช่น 10001 โดยตัวเลขหน้าสุดบอกชนิดของกระจกว่าเป็นชนิดไหน เพื่อที่จะเลือกโปรแกรมย่อยที่ใช้ในการคำนวณค่าคุณสมบัติทาง optic ที่เหมาะสม) ชื่อของกระจก ค่าความหนากระจก ค่าการนำความร้อนของกระจก ค่าการเปล่งรังสีด้านหน้า ค่าการเปล่งรังสีด้านหลัง ค่าการส่งผ่านรังสี ค่าการสะท้อนรังสีด้านหน้า และค่าการสะท้อนรังสีด้านหลัง

10001	CLR_2	2.0	0.9	0.84	0.84	0.864	0.077	0.077
10002	CLR_2.5	2.5	0.9	0.84	0.84	0.856	0.077	0.077
10003	CLR_3	3.0	0.9	0.84	0.84	0.860	0.080	0.080
10004	CLR_4	4.0	0.9	0.84	0.84	0.823	0.074	0.074
10005	CLR_5	5.0	0.9	0.84	0.84	0.811	0.072	0.072
10006	CLR_6	6.0	0.9	0.84	0.84	0.775	0.071	0.071

10007	CLR_8	8.0	0.9	0.84	0.84	0.766	0.069	0.069
10008	CLR_10	10.0	0.9	0.84	0.84	0.734	0.067	0.067

4.3.1.2 โปรแกรมย่อย sur_temp

โปรแกรมย่อยนี้จะมีหน้าที่หลักในการคำนวณสมดุลความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างชั้นกระจก และมู่ลี่หลังจากที่ได้ดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ไว้ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมย่อยนี้จะประกอบไปด้วย ค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิชั้นกระจก/มู่ลี่ ค่า inward-flowing fraction และค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวม (U-value)

โดยขั้นตอนการทำงานจะเริ่มต้นจากโปรแกรมจะอ่านค่าคุณสมบัติที่ศูนย์องศาของกระจก และค่าคุณสมบัติแบบครึ่งวงกลมของมู่ลี่ที่ได้จากโปรแกรมย่อย sys_optic และค่าคุณสมบัติของมู่ลี่ และสภาวะอากาศเพื่อคำนวณค่าคุณสมบัติต่าง ๆ

4.3.1.3 โปรแกรมย่อย comfort

โปรแกรมย่อยนี้จะมีหน้าที่หลักในการคำนวณค่าดัชนีความสบายความร้อนซึ่งได้แก่ค่า PPD(solar) และค่า PPD(surface) โดยจะเริ่มต้นการทำงานจากรับค่า การส่งผ่านรังสีของระบบที่มุมตกกระทบ 435 องศา และมุม azimuth 90 องศา ค่าการส่งผ่านรังสีครึ่งวงกลม จากโปรแกรมย่อย sys_optic และค่าอุณหภูมิผิวมู่ลี่จากโปรแกรมย่อย sur_temp และค่าสภาวะแวดล้อมภายนอก ค่าสภาวะอากาศภายในจากแฟ้มข้อมูล weather_data.dat และ indoor_climate.dat โดยแฟ้มข้อมูลจะมีการเรียงค่าของข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

แฟ้มข้อมูล weather_data.dat จะประกอบไปด้วย ค่ารังสีตรงแสงอาทิตย์ ค่ารังสีกระจายแสงอาทิตย์ ค่าความเร็วลมภายนอก ค่าอุณหภูมิอากาศภายนอก และค่าอุณหภูมิอากาศภายใน

658.00 111.00 3.80 35.00 25.00

แฟ้มข้อมูล indoor_climate.dat จะประกอบไปด้วย ค่าความต้านเชิงความร้อนของเสื้อผ้า ค่าการทำกิจกรรม ค่าความเร็วลมภายใน ค่าอุณหภูมิอากาศภายใน ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ค่าการดูดกลืนรังสีเฉลี่ยของผู้อยู่อาศัย ค่า projected area factor ดังนี้

0.5 1.2 0.15 25.0 50.0 0.6 0.97 0.25

4.3.2 ผลลัพธ์ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ผลลัพธ์ของโปรแกรม GBSIM.F90 นี้จะประกอบไปด้วย 3 ส่วนด้วยกัน คือ ผลลัพธ์ที่เกี่ยวข้องกับค่าคุณสมบัติทาง optic ของกระจกติดมู่ลี่ที่มุมเอียงต่าง ๆ 25 ทิศทาง ผลลัพธ์เกี่ยวกับการกระจายตัวของอุณหภูมิ ค่า inward-flowing ของแต่ละชั้นกระจกและมู่ลี่ ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวมของระบบกระจก/มู่ลี่ และผลลัพธ์ในส่วนของค่าความสบายเชิงความร้อน

โดยผลลัพธ์ที่เกี่ยวข้องกับค่าคุณสมบัติทาง optic ของกระจกติดมู่ลี่ที่มุมเอียงต่าง ๆ 25 ทิศทางจะมีลักษณะดังนี้

CLR_CLR_2.5

INCIDENT DIRECTION		OPTICAL PROPERTIES											
		TfDH		RfDH		Af13		Af23		Af33		SHGC	
THETA	PHI	UPPER	LOWER	UPPER	LOWER	UPPER	LOWER	UPPER	LOWER	UPPER	LOWER	UPPER	LOWER
0	0	0.324	0.366	0.309	0.300	0.088	0.087	0.081	0.080	0.199	0.172	0.569	0.587
15	0	0.333	0.302	0.256	0.276	0.084	0.086	0.074	0.077	0.253	0.263	0.619	0.599
15	30	0.220	0.385	0.279	0.280	0.086	0.086	0.077	0.078	0.338	0.175	0.582	0.607
15	60	0.168	0.468	0.296	0.284	0.088	0.087	0.080	0.079	0.369	0.086	0.559	0.615
15	90	0.178	0.551	0.308	0.288	0.089	0.087	0.081	0.079	0.345	0.010	0.549	0.633
30	0	0.369	0.442	0.298	0.312	0.091	0.092	0.082	0.084	0.160	0.074	0.583	0.583
30	30	0.178	0.554	0.323	0.317	0.093	0.093	0.085	0.085	0.321	0.012	0.533	0.642
30	60	0.092	0.666	0.336	0.323	0.094	0.093	0.087	0.086	0.391	0.012	0.508	0.755
30	90	0.111	0.764	0.338	0.328	0.095	0.094	0.087	0.086	0.369	0.012	0.509	0.854
45	0	0.344	0.510	0.301	0.306	0.095	0.095	0.082	0.083	0.178	0.010	0.574	0.596
45	30	0.142	0.593	0.351	0.310	0.099	0.096	0.089	0.084	0.319	0.010	0.499	0.679
45	60	0.054	0.675	0.374	0.315	0.102	0.096	0.092	0.085	0.379	0.010	0.465	0.762
45	90	0.080	0.732	0.370	0.320	0.101	0.096	0.091	0.085	0.358	0.011	0.472	0.820
60	0	0.223	0.381	0.311	0.316	0.097	0.097	0.073	0.074	0.297	0.134	0.549	0.568
60	30	0.084	0.402	0.396	0.319	0.105	0.098	0.084	0.075	0.331	0.109	0.449	0.568
60	60	0.028	0.424	0.439	0.323	0.109	0.098	0.090	0.075	0.334	0.083	0.401	0.568
60	90	0.056	0.446	0.439	0.326	0.109	0.098	0.090	0.076	0.307	0.057	0.404	0.567
75	0	0.060	0.122	0.545	0.554	0.108	0.108	0.060	0.062	0.227	0.156	0.320	0.321
75	30	0.022	0.111	0.604	0.556	0.113	0.109	0.068	0.062	0.193	0.164	0.259	0.318
75	60	0.010	0.101	0.635	0.558	0.116	0.109	0.072	0.062	0.167	0.171	0.227	0.314
75	90	0.023	0.091	0.640	0.560	0.117	0.109	0.073	0.063	0.148	0.179	0.224	0.311
90	0	0.000	0.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90	30	0.000	0.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90	60	0.000	0.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90	90	0.000	0.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
HEMIS.		0.166	0.517	0.418	0.382	0.110	0.107	0.092	0.087	0.327	0.084	0.534	0.672

ผลลัพธ์ในส่วนที่สองจะประกอบไปด้วย

Surface temperature profile:

40.84 41.13 50.87 50.98 50.99 50.99 C

U: 2.550 W/m^2

N (i): 0.15 0.61 0.62

ผลลัพธ์ในส่วนค่าความสบายเชิงความร้อน

PPD(surface): 22 %

PPD(solar): 11 %

PPD(total): 33 %

4.3.3 การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ GBSIM

การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม GBSIM สามารถทำได้โดยเปรียบเทียบค่าที่ได้จากโปรแกรมกับค่าจากการทดลองของงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีตภายใต้สภาวะแบบเดียวกัน

การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม GBSIM ในส่วนของกระจกตัวเปล่าจะมีลักษณะดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าคุณสมบัติทาง optic ของกระจกใสตัวเปล่าหนา 6 มม. ที่คำนวณได้จากโปรแกรม GBSIM และที่คำนวณได้โดยโปรแกรม WINDOW 4.1

คุณสมบัติทาง optic	โปรแกรม	มุมตกกระทบ									
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Trans.	Window 4.1	0.775	0.774	0.771	0.765	0.754	0.731	0.683	0.577	0.345	0.000
	GBSIM	0.775	0.774	0.771	0.765	0.754	0.731	0.683	0.577	0.345	0.000
Reflect.	Window 4.1	0.071	0.071	0.071	0.073	0.078	0.094	0.135	0.239	0.482	1.000
	GBSIM	0.071	0.071	0.071	0.073	0.078	0.094	0.135	0.239	0.482	1.000
Absorp.	Window 4.1	0.154	0.155	0.158	0.162	0.168	0.175	0.182	0.184	0.173	0.000
	GBSIM	0.154	0.155	0.158	0.162	0.168	0.175	0.182	0.184	0.173	0.000
SHGC	Window 4.1	0.814	0.813	0.811	0.806	0.797	0.776	0.730	0.624	0.389	0.000
	GBSIM	0.817	0.816	0.814	0.810	0.800	0.779	0.733	0.627	0.392	0.000

จากตารางที่ 4.1 และ จะเห็นได้ว่าค่าคุณสมบัติทาง optic ต่าง ๆ ที่คำนวณได้ในกรณีของกระจกตัวเปล่าจากโปรแกรม WINDOW 4.1 และจากโปรแกรม GBSIM มีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวม และค่าอุณหภูมิผิวกระจกด้านในที่คำนวณได้โดยโปรแกรม GBSIM และที่คำนวณได้โดยโปรแกรม WINDOW 4.1

ชนิดกระจก	U, W/m^2		ค่าอุณหภูมิผิวกระจกด้านใน, °C	
	WINDOW 4.1	GBSIM	WINDOW 4.1	GBSIM
CLR_3	6.05	6.05	34.10	34.08
CLR_6	6.00	6.00	35.30	35.33
CLR_12	5.88	5.89	37.90	37.85
BNZ_3	6.27	6.27	38.20	38.18
BNZ_6	6.29	6.29	41.60	41.54
BNZ_10	6.23	6.24	44.80	44.77
GRN_3	6.28	6.28	38.40	38.36
GRN_6	6.28	6.28	41.40	41.40
GRY_3	6.29	6.29	38.60	38.58
GRY_6	6.31	6.31	42.10	42.09

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวมของกระจกตัวเปล่า และอุณหภูมิของผิวกระจกด้านในของกระจกหลาย ๆ ชนิด โดยจะเห็นได้ว่าค่าทั้งสองมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก

ในตารางที่ 4.3 แสดงค่าของ SHGC ที่ได้จากการทดลอง และการคำนวณโดย Klems [13] กับค่าที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า SHGC ที่ได้นั้นมีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียง และมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกัน

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าของ SHGC ที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ กับผลการทดลองของ Klems โดยใช้ข้อมูลขาเข้าแบบเดียวกัน

Incident direction		SHGC		
Incident angle	Azimuth angle	MoWiTT	Layer Calculation	GBSIM*
28.29	20.97	0.49± 0.07	0.59	0.555
42.48	30.16	0.51± 0.01	0.52	0.505
56.77	34.27	0.43± 0.02	0.45	0.449
70.77	36.13	0.37± 0.05	0.25	0.295
30.90	68.11	0.53± 0.01	0.52	0.509
46.07	62.90	0.51± 0.02	0.48	0.462
60.58	60.69	0.43± 0.04	0.40	0.394
74.47	59.97	0.35± 0.07	0.22	0.227
27.56	47.31	0.58± 0.04	0.54	0.527
42.57	48.40	0.56± 0.01	0.50	0.492
57.54	48.73	0.49± 0.03	0.43	0.419
71.84	49.06	0.37± 0.06	0.27	0.278

*ค่าที่ได้จากการประมาณค่าภายใน (interpolation) เพื่อให้ได้มุมตกกระทบ และมุม azimuth ที่ตรงกัน

ตาราง 4.4 แสดงเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิของมู่ลี่ที่มุมเอียง 45 องศาเมื่อ Q = 350 W/m^2

Slat number	Blind temperature, C	
	Experiment	GBSIM
1	43.45	51.47
2	48.55	51.47
3	49.00	51.47
4	49.15	51.47
5	49.45	51.47
6	49.60	51.47
AVE	48.20	51.47

ตาราง 4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิของมู่ลี่ที่มุมเอียง 0 องศาจากการทดลองโดย Duarte และคณะกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นภายใต้สภาวะแบบเดียวกัน

Slat number	Blind temperature, C					
	Q = 0 W/m^2		Q = 120 W/m^2		Q = 350 W/m^2	
	Exp.	GBSIM	Exp.	GBSIM	Exp.	GBSIM
1	29.50	33.79	35.35	40.00	46.45	53.45
2	31.75	33.79	39.10	40.00	51.70	53.45
3	32.65	33.79	39.85	40.00	53.50	53.45
4	32.35	33.79	40.60	40.00	55.45	53.45
5	32.80	33.79	40.75	40.00	55.15	53.45
6	32.80	33.79	40.60	40.00	55.45	53.45
AVE	31.98	33.79	39.38	40.00	52.95	53.45

จากตารางที่ 4.4 และ 4.5 นั้น slat หมายเลข 1 จะแทน slat ใบล่างสุดของมู่ลี่ และไล่ขึ้นไปเรื่อย ๆ โดยจากการทดลองจะเห็นว่าค่าอุณหภูมิของมู่ลี่จะมีค่าที่ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น และลู่เข้าหาค่าคงที่หนึ่งในทุก ๆ กรณี และค่าที่ลู่เข้านั้นมีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกับค่าที่ได้โดยโปรแกรม GBSIM

เนื่องมาจากว่าโปรแกรม GBSIM นั้นได้จากการคำนวณเป็นค่าเฉลี่ย จึงไม่สามารถทำนายค่าอุณหภูมิผิวของใบมู่ลี่ที่อยู่ใบล่างสุดซึ่งมีผลของทางเข้าอยู่ได้ แต่จะทำนายได้เฉพาะในบริเวณกึ่งกลางกระจก (center of glass region) เท่านั้น อย่างไรก็ตามในการใช้งานของมู่ลี่ทั่ว ๆ ไปนั้น มู่ลี่จะมีขนาดที่กว้าง และยาวอยู่พอสมควร (อย่างน้อยประมาณ 1 × 1 เมตร) จึงทำให้อิทธิพลที่ขอบมีไม่มากนัก ดังนั้นค่าอุณหภูมิที่กึ่งกลางจึงสามารถที่จะใช้เป็นตัวแทนค่าอุณหภูมิของตัวมู่ลี่ทั้งผืนได้ และมีความผิดพลาดที่ไม่มากนัก

การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม GBSIM ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวมมีค่าดังแสดงในตารางที่ 4.6 ถึง 4.8

ตาราง 4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าการส่งผ่านความร้อนรวมจากการศึกษาโดยตัวเลขของ Shahid และจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ ภายใต้สภาวะแบบเดียวกัน

ชนิดกระจก	ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวม (U-value, W/m^2)	
	Shahid	โปรแกรม GBSIM
กระจก 1 ชั้น + มู่ลี่ 0 องศา	4.779	4.568
กระจก 2 ชั้น + มู่ลี่ 0 องศา	2.691	2.639

ตารางที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวมของกระจกใส 1 ชั้นติดมู่ลี่ จากการทดลองโดย Fang และจากที่คำนวณได้โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ ภายใต้สภาวะแบบเดียวกัน

Slat angle, degree	U (Fang)	U (GBSIM)
0	4.260	4.120
10	4.247	4.097
20	4.207	4.024
30	4.141	3.902
40	4.045	3.728
50	3.915	3.502
60	3.744	3.227
70	3.517	2.911
80	3.187	2.570
90	2.130	2.231

ตารางที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวมของกระจกใส 2 ชั้นติดมู่ลี่ จากการทดลองโดย Fang และจากที่คำนวณได้โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ ภายใต้สภาวะแบบเดียวกัน

Slat angle, degree	U (Fang)	U (GBSIM)
0	2.220	2.325
10	2.217	2.317
20	2.206	2.292
30	2.187	2.248
40	2.160	2.184
50	2.125	2.098
60	2.079	1.988
70	2.021	1.852
80	1.940	1.696
90	1.740	1.527

จากตารางที่ 4.6 ถึง 4.8 เห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวมที่คำนวณได้นั้นส่วนใหญ่มีค่าที่ใกล้เคียงกับทั้งจากการศึกษาโดยตัวเลขโดย Shahid และจากการศึกษาโดยการทดลองโดย Fang แต่อย่างไรก็ตามค่า U ที่คำนวณได้นั้นจะมีความแตกต่างกับค่าจากแบบจำลองเชิงตัวเลข และจากการทดลองโดย Fang มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มู่ลี่มีมุมเอียงมากขึ้น ซึ่งส่วนหนึ่งอาจเป็นผลมาจากการจำลองการพาความร้อนในส่วนของมู่ลี่เข้าสู่อากาศภายในห้อง

ในการจำลองค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากมู่ลี่เข้าสู่อากาศภายในห้องนั้นอาจมีค่าที่ใกล้เคียงกับกรณีของพื้นผิวกระจกในกรณีที่มู่ลี่มีมุมเอียง 0 องศา (ขนานกับแนวระดับ) แต่อย่างไรก็ตามการพาความร้อนออกจากมู่ลี่สามารถมีค่าที่เปลี่ยนแปลงได้ตามลักษณะการเอียงของมู่ลี่ โดยเมื่อมู่ลี่มีการเอียงมากขึ้น อากาศจะสามารถไหลได้ง่ายขึ้น และอาจจะก่อให้เกิดการพาความร้อนที่ดีขึ้น ในขณะที่แบบจำลองนั้นกลับคิดเป็นค่าคงที่เพียงค่า ๆ เดียว และไม่ได้ครอบคลุมในส่วนนี้ จึงเป็นผลให้ค่าที่คำนวณได้นั้นมีค่าที่น้อยกว่าจากแบบจำลองโดยตัวเลข โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มู่ลี่มีมุมเอียงที่มากขึ้น

และในตารางที่ 4.9 จะแสดงการเปรียบเทียบค่าของ PMV ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ GBSIM และโปรแกรม ASHRAE comfort ที่พัฒนาโดย ASHRAE โดยใช้ข้อมูลขาเข้าแบบเดียวกัน ซึ่งจะเห็นว่าค่าที่ได้มีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก

ตารางที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าของ PMV ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้พัฒนาขึ้น และโปรแกรม Thermal comfort ที่พัฒนาโดย ASHRAE โดยใช้ข้อมูลขาเข้าแบบเดียวกัน

Mean Radiant Temperature (C)	PMV	
	โปรแกรม ASHRAE Thermal comfort	โปรแกรม GBSIM
25	-0.06	-0.06
26	0.08	0.08
27	0.22	0.22
28	0.35	0.35
29	0.50	0.50
30	0.64	0.64

ตารางที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณจากค่า operative temperature ที่ได้จากการทดลอง กับค่าที่ได้จากโปรแกรม GBSIM

Room temperature, °C	Solar radiation, W/m^2	Operative temperature, °C	MRT from operative temperature	MRT from GBSIM
21.5	562	30.0	38.5	38.05
21.5	588	31.3	41.1	38.76
23.0	603	31.8	40.6	40.43
21.0	577	30.2	39.4	38.04
21.0	596	31.1	41.2	38.57
21.0	598	31.5	42.0	38.61

จากตารางที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่ได้จากทั้งสองกรณีนั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกัน และมีความผิดพลาดไม่เกิน 10 %