

시뮬레이션과 실증실험을 통한 슈퍼윈도우의 성능분석

백상훈[†], 이진성^{**}, 조수^{*}, 장철용^{*}, 성욱주^{**}, 서승직^{***}

인하대학교 대학원, ^{*}한국에너지기술연구원, ^{**}한양대학교 대학원, ^{***}인하대학교 건축공학부

Analysis Performance of Super Window through Simulation and Verification Experiment

sang-hun Peak[†], Jin-Sung Lee^{**}, soo Cho^{*}, Cheol-Yong Jang^{*}, Uk-Joo Sung^{**}, Seung-Jik Suh^{***}

Graduate School, Inha University, Incheon 401-751 Korea

^{*}Dept. of High Efficiency Energy, Korea Institute of Energy Research, Deajeon 305-343 Korea

^{**}Graduate School, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

^{***}Department. of Architecture Engineering, Inha University, Incheon 401-751 Korea

ABSTRACT: Heat loss by window in building occupies about 1/4 of energy amount used by building. Therefore, high thermal insulation of windows system can speak as very important part in save energy of building. in this research, After select most suitable frame design and Glazing system for high thermal insulation of windows, execute simulation of mixing frame and Glazing System. Also, manufacture windows with the result and execute verification experiment, with verified simulation, this research evaluated thermal insulation performance of window by Glazing System's change

Key words: Super Window(슈퍼윈도우), High Insulation(고 단열), Therm5 or Window5

기 호 설 명

- R : 열관류저항 [$m^2 \cdot K/W$]
- K : 열관류율 [$W/m^2 \cdot K$]
- A : 전열 개구 면적 [m^2]
- θ_{Ha} : 가열 상자 내 평균 공기 온도 [K]
- θ_{Ca} : 저온실 내 평균 공기 온도 [K]
- Q_H : 가열 장치 공급 열량 [W]
- Q_F : 기류 교환 장치 공급 열량 [W]
- Q_l : 교정 열량 [W]
- ΔR : 표면 열전달 저항 보정값 [$m^2 \cdot K/W$]

1. 연구 배경 및 목적

창호를 구성하는 요소는 크게 Frame과 Glazing으로 나뉘며 이들 요소는 창호의 단열성능에 상당한 영향을 준다. Frame의 재질 및 개폐방식과 Glazing의 유리 및 충전Gas에 따라 현격한 단열성능 차이가 나타나므로 창호의 고단열화를 위해서는 Frame의 설계와 그에 적합한 Glazing의 선택이 고 단열 창호시스템을 구축하는데 가장 중요한 과정이라 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 기존의 창호 시스템에 사용된 Frame과 Glazing 분석을 바탕으로 기존 창호 대비, 단열성능 향상을 위해 차별화된 Frame설계를 도출하고 최적의 Glazing System을 생

[†]Corresponding author
Tel.: +82-2-860-3723; fax: +82-2-860-3202
E-mail address: killsang@kier.re.kr

성하여 창호로 구현한 후, 이를 단열 성능 평가 프로그램에 적용하여 단열성능을 예측 및 평가했으며, 위의 결과를 바탕으로 창호를 제작하고 실증실험을 실시하여 실제 창호의 단열성능을 확인하고 시뮬레이션 결과와 비교하여 오차에 의한 시뮬레이션의 타당성을 검토하였다. 또한 검증된 시뮬레이션을 이용하여 본 연구에서 구현한 창호의 단열성능 수준을 확인하고 Glazing System 부문에서 단열성능향상에 영향을 주는 요인을 선별하였다.

2. 시뮬레이션 수행 및 결과

2.1 프로그램 개요

본 연구에서는 창호단열성능 예측을 위한 시뮬레이션 프로그램으로 Therm5 와 Window5를 사용하였다. 미국 LBNL(Lawrence Berkeley National Laboratory)에서 개발하였으며 창호의 단열성능을 예측 및 평가하는 프로그램으로써 미국 환경성(EPA) 및 NFRC에서 창호에 대한 인증평가 시 이용되고 있다. 또한 건물의 창호선정 시 에너지 절감율에 대한 사전예측이 가능하기 때문에 시공비용 및 향후 유지관리비의 절약 면에서 유리하다. Therm5와 Window5는 항상 상호 연동하여 사용된다. Therm5에서는 창틀의 종류 및 물성치, Glazing 삽입 그리고 경계조건(Environmental Conditions)의 설정에 따른 창호구성 요소별 온도분포와 열 유속 등을 알 수 있다. 특히 창호의 단열성능에 있어서 가장 취약부위인 Frame과 Edge부위의 열적변화를 확인할 수 있다.

Window5에서는 Therm5의 결과를 바탕으로 창틀의 규격과 형태의 설정, Glazing 생성, 그리고 외기조건 및 실내외 기류조건을 설정하며 최종적으로 창호의 Total 열관류율과 각 Section별 결과 해석이 가능하다. Fig. 1은 Therm5와 Window5의 상호 연동관계를 보여준다

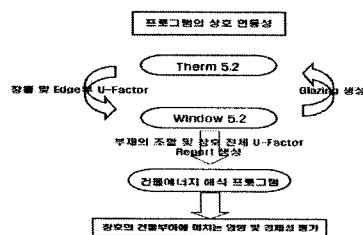


Fig 1. Assistance relation of Therm5 & Window5

Window5에서 얻어진 열관류율은 건물에너지 해석 프로그램인 DOE 4.0과 Energy Plus등을 통하여 창호에 의한 건물의 냉·난방 부하의 변화량과 경제성 평가에 이용될 수 있다.

2.2 단열성능 향상을 위한 Frame과 Glazing의 선택

창호를 구성하고 있는 요소는 크게 Frame과 Glazing으로 나뉜다. Frame은 재질과 개폐방식에 따라서 Type이 결정되는데 일반적으로 사용재질에 따라 Aluminum과 PVC로, 개폐방식에 따라 Sliding, Tilt & Turn 그리고 Fix(Curtain Wall) Type으로 구분되며 각 Type에 따라서 단열성능의 차이를 보인다. 또한 Glazing은 유리의 종류 및 두께, 유리코팅, 충전Gas, 그리고 Spacer(간봉)의 종류에 따라 창호의 단열성능이 좌우된다.

본 연구에서는 이미 단열성능 Test가 이뤄진 기존 창호를 개폐방식과 재질에 따라 분류하여 분석한 결과, 동일한 Frame형태와 Glazing을 사용하였을 시, Aluminum과 PVC의 단열성능에 있어서 큰 차이가 나지 않음을 알 수 있었다. 따라서 시뮬레이션에 적용된 Frame은 기존의 독립된 재질을 사용하는 것과는 달리 내부는 열전도가 상대적으로 낮은 PVC로, 외부는 Aluminum으로 이뤄진 복합 Frame을 선택하였다. 또한 시뮬레이션에 적용된 Glazing System은 향후 유리의 Low-e코팅 적용 시, 코팅한 면과 충전Gas의 종류에 따른 단열성능 변화를 비교, 분석하기 위해 4개의 유리면이 존재하고 Gas를 충전하는 복층유리를 선택하여 시뮬레이션에 적용하였다.

복층유리의 경우 총 4개의 면이 존재하는데 외부에 접한 면부터 순차적으로 번호를 붙인다. Fig 2는 복층유리일 경우 유리면의 호칭을 나타낸다.

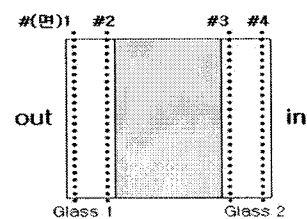


Fig 2. Name of glass surface in double glass

유리 구성은 순수 Clear대비, 단열성능이 상대적으로 우수한 #3 Low-e코팅 Clear를 사용하였고 충전Gas는 경제적이면서도 단열성능이 우수한 Ar을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

Fig 3은 시뮬레이션에 적용된 Frame과 Glazing이 조합된 창호의 한 Section을 나타낸다.

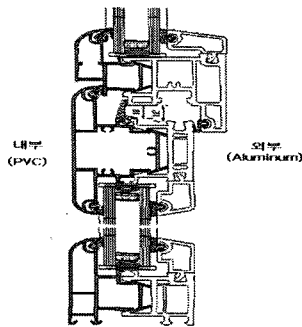


Fig 3. Section of frame

2.3 창호의 Design 및 열관류율 산출

선별된 Frame과 Glazing System의 조합에 의한 단면을 이용하여 Therm5 와 Window5에서는 시뮬레이션을 통해 창호의 각 Section별 열관류율 및 창호 전체의 열관류율을 산출한다. 시뮬레이션 조건은 한국산업규격 KS F 2278 「창호의 단열성 시험 방법」에 의거하여 시료의 크기는 2000mm×2000mm, 내·외부 온도조건은 각각 20℃, 0℃이며, 시료 표면의 열전달 저항은 실내의 경우 9.09[W/m²-K], 실외의 경우 20.0 [W/m²-K]로 설정한 후 정상상태임을 가정하여 시뮬레이션을 수행하였다.

Therm5에서는 각 Section별로 Frame과 유리의 Edge부분을 디자인하고 재질을 선택한 후 열관류율을 산출한다.

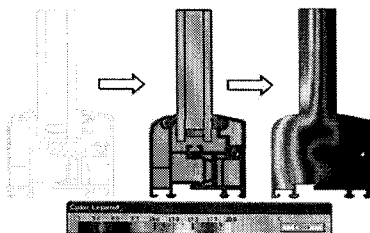


Fig 4. Design and temperature of frame and edge

Fig. 4는 창호전체 중 한 Section을 나타내며

디자인과정 및 Frame, Edge부위의 온도분포를 나타내며 Fig 5는 위의 Section을 통해 산출한 Frame과 Edge부위의 열관류율을 나타낸다.



Fig 5. U-Factor of center and edge

이미 CAD에서 완성된 디자인을 Therm5는 Underlay Tool을 이용하여 절점인식 파일인 DXF로 불러드려 Frame의 부위별 재질과 Glazing을 삽입한 후 열관류율을 산출한다. 또한 Display를 이용하여 Section의 열적특성을 다양한 형태로 확인할 수 있다.

Window5에서는 Therm5의 각 Section별 디자인 및 결과를 조합하여 하나의 창호를 형성하고 창호의 크기와 종류, 그리고 외기조건을 설정하여 전체 열관류율을 산출한다. Fig. 6는 각각의 Section별 열관류율 값과 Window5를 통한 Section의 조합 모습을 나타낸다.

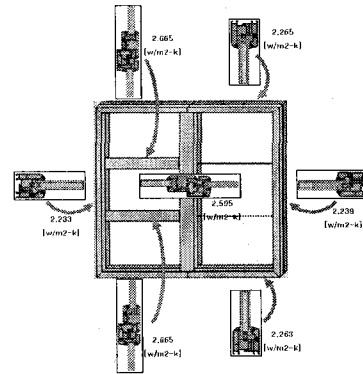


Fig 6. U-Factor of each section and mix

Frame과 Edge부의 조합 형태와 위치에 따라 모두 7개의 Section으로 구분하였으며 Window5를 이용해 얻은 창호의 전체 열관류율은 1.586 [W/m²-K]으로 산출되었다.

3. 실증실험

3.1 실험 조건

실험장비는 한국에너지기술연구원의 창호 단열 성능 Test 장비를 사용하였으며 실험조건은 시뮬레이션과 동일한 KS F 2278에 의거하여 실험을 실시하였다. Fig 7은 단열성능 Test장비의 내부 구조를 나타낸다.

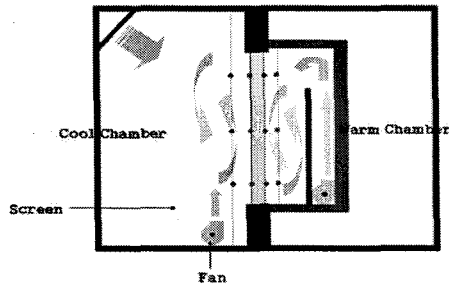


Fig 7. Innards of thermal insulation test device

장비의 내부 구조는 시료를 장착할 수 있는 개구부를 중심으로 실내(향온항습실)와 실외(저온실)로 분리되어 있으며 Heater와 기류교반장치가 설치되어 있다. 시료의 크기 및 실내의 온도조건과 기류조건은 시뮬레이션과 동일하게 설정하였다. Fig 8은 실내의 시료 설치모습과 열관류율을 산출하기 위한 온도센서의 위치를 나타내고 있다.

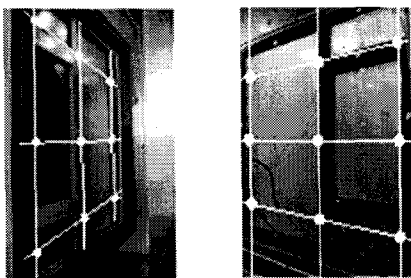


Fig 8. Establishment of window and Position of Temperature Sensor

시료는 저온실로부터 50mm들어간 위치에 부착하고 온도센서는 시료의 표면을 9등분하고 각각의 중앙에 설치하였으며, 실험 시작 후 정상상태에 도달할 때 까지 실시하였다.

Fig 9,10은 실험이 진행됨에 따른 포인트별 온도변화와 저온실의 기류교반장치 및 향온항습실 내 Hot Box의 Heater 공급량을 나타낸다.

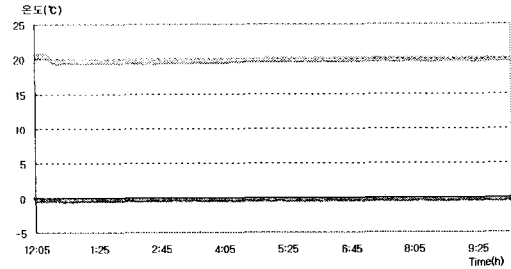


Fig 9. Temperature tendency of indoor and outdoor

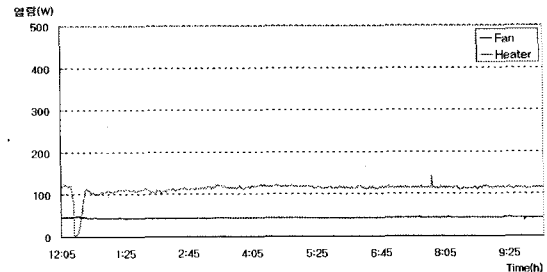


Fig 10. Heat quantity of heater and airflow device

3.2 실증실험 결과

실내의 온도분포와 공급열량이 일정한 패턴을 유지하고 있음에 따라 정상상태로 판단, KS F 2278에 명시된 식 (1)을 인용한 시료의 열관류율을 결과는 1.638[W/m²·K]로 산출되었다.

$$R\left(\frac{1}{K}\right) = \frac{(\theta_{Ha} - \theta_{Ca}) \cdot A}{Q_H + Q_F - Q_L} + \Delta R \quad (1)$$

3.3 시뮬레이션 및 실증실험의 결과 분석

시뮬레이션과 실증실험을 수행한 열관류율은 각각 1.586[W/m²·K]과 1.638[W/m²·K]로써 오차는 약 3.17%이다. 실증실험에 의한 시뮬레이션의 결과의 오차가 5%이내로 나타남에 따라 창호의 단열성능을 판단함에 있어서 시뮬레이션 프로그램의 사용은 상당한 신뢰도가 있다고 판단된다.

4. Glazing System에 의한 창호의 단열성능 예측 및 평가

단열성능 향상에 가장 큰 영향을 미치는 창호의 구성요소 중 하나인 Glazing System에 대한

Table 3. Thermal insulation performance of Glazing System mixed

Glazing(mm)	Air		Ar(아르곤)		Kr(크립톤)		Air50%+ Ar50%		Air50%+ Kr50%		Ar50%+ Kr50%	
	cen	Ed	cen	Ed	cen	Ed	cen	Ed	cen	Ed	cen	Ed
5CL+ 12Space+ 5CL	3.148	3.202	2.523	2.654	2.466	3.131	2.605	3.227	2.575	3.206	2.496	3.152
5Low-e+ 12Space+ 5CL	1.650	2.597	1.342	2.150	1.246	2.582	1.498	2.516	1.479	2.490	1.479	2.465
5CL+ 12Space+ 5Low-e	1.650	2.614	1.341	2.417	1.246	2.342	1.498	2.516	1.497	2.489	1.497	2.504
5Low-e+ 12Space+ 5Low-e	1.619	2.587	1.304	2.371	1.207	2.342	1.464	2.473	1.445	2.491	1.445	2.491

최적화를 위해 본 연구에 적용된 System을 비교 대상으로 설정한 후, Low-e 적용여부와 충전Gas의 변수를 적용시킨 새로운 Glazing을 생성하여 시뮬레이션을 수행하고 창호의 단열성능을 예측하였다.

4.1 Low-e적용에 의한 Glazing 생성

Glazing System을 구성하는 요소 중 Class의 Low-e코팅 적용면에 따른 단열성능 변화를 비교하기 위해 복층유리의 #2, #3, #2#3에 코팅을 적용하였다. Table 1은 Low-e코팅 적용면에 따라 생성된 Glazing의 종류를 나타낸다.

Table 1. Created Glazing

No	Glazing
1	5mmCL+ 12mmSpace+ 5mmCL
2	5mmLow-e+ 12mmSpace+ 5mmCL
3	5mmCL+ 12mmSpace+ 5mmLow-e
4	5mmLow-e+ 12mmSpace+ 5mmLow-e

4.2 충전Gas의 생성

Table 2. Kind of Gas

No.	충진Gas	No.	충진Gas
1	Air	4	Air50%+ Ar50%
2	Argon	5	Air50%+ Kr50%
3	Krepton	6	Ar50%+ Kr50%

충진Gas는 일반적으로 많이 사용되고 있는 Air, Argon, Krepton을 선택하였으며 특히 각 Gas

를 50%씩 혼합한 경우를 추가하여 총 6가지의 Gas를 생성하였다. Table 2는 시뮬레이션에 적용될 충전Gas의 종류를 나타내고 있다.

4.3 시뮬레이션 및 결과 분석

4.3.1 시뮬레이션 수행 및 단열성능 평가

Table 3은 Glazing과 충전 Gas를 혼합하여 생성된 Glazing System과 각 Case의 단열성능을 보여주고 있다. 4개의 Glazing Type과 6개의 Gas를 혼합하여 총 24가지의 Glazing System을 생성하였으며 본 연구에 적용된 Glazing System을 비교대상으로 하여 각 Glazing System과 충전Gas의 변화에 따른 열관류율 비교를 통해 단열성능 향상 혹은 감소 추이를 예측 및 판단하였다.

4.3.2 결과 분석

본 연구에 적용된 Glazing System인 5mmCL+ 12Ar+ 5mmLow-e를 기준으로 각 Case의 단열성능을 비교한 결과 순수 Glass와 Air을 사용한 경우, 단열성능이 현저하게 떨어지는 것을 알 수 있다. 또한 Low-e코팅을 적용함에 있어서는 양면코팅(#2#3), #2, #3순으로 단열성능이 우수함을 알 수 있다. 충전Gas의 적용에 있어서는 혼합 Gas에 비해 순수Gas의 사용이 단열성능 면에서 우수하고 독립Gas의 경우 Kr, Ar, Air순으로 나타났다.

5. 결론

(1) 창호의 단열성능 향상을 위한 Frame의 설계는 기존의 독립 재질의 사용과는 달리 Aluminum과 PVC가 혼합된 복합 Frame을 이용하는 것과 개폐방식에 있어서 Sliding과 Fix(Curtain Wa

II) Type에 비해 Tilt & Turn Type의 단열성능이 유리하다.(PVC 4Track Sliding Type 제외).

(2) 복층유리에서 Glass의 경우 순수 Clear Class는 Low-e코팅 Class비해 단열성능 면에서 매우 취약하다. 또한 Low-e코팅 Class를 사용함에 있어서 양면(#2#3)코팅, #2코팅, #3코팅 순으로 단열성능이 우수하다.

(3) Gas 충전에 있어서 혼합Gas보다 독립적으로 사용된 Gas의 경우가 단열성능 면에서 우수하며, 순수 Air를 사용했을 경우와 비교했을 때, Kr과 Ar을 주입했을 시 단열성능이 향상됨을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 에너지 절약형 Low-e 유리개발 유병석, 김의수, 유세웅 한국유리공업 주식회사 기술연구소 연구2팀 교육부, 한국에너지 기술에너지연구소 2000년
2. LBNL, 2000, "THERM 2.1 NFRC Simulation Manual"
3. NFRC, 1997, NFRC Test procedure for Measuring the Steady-state Thermal Transmittance of Fenestration System
4. Residential Window, A Guide to New Technologies and Energy Performance, John Carmody, Stephen Selkowitz, Lisa Hescong, 199