

후강화 더블로이유리 창호의 단열성능에 관한 연구

An Analysis Study of Thermal Performance of Temperable Double Low-E Glass Window

안 병 립* 김 치 훈**
Ahn, Byung-Lip Kim, Chi-Hoon
장 철 용*** 이 승 복****
Jang, Cheol-Yong Leigh, Seung-Bok

Abstract

Low-e glazing is classified as soft low-e glazing and hard low-e glazing. Hard low-e glazing can be temperable and its handling is comfortable because its coating film is a oxide film generated at high temperatures. But there is a fatal weakness that its insulation performance and shielding performance are lower compared to soft low-e glazing by low electrical conductivity of coating film. Soft low-e glazing is excellent because its coating film consists of Ag that is excellent electrical conductivity and it has strength that can supply various product consumers want. But soft low-e glazing has weaknesses that temperable and handling are difficult because Ag is oxidized easily.

Therefore this study analyzes thermal performance of glazing by changing filling gas according to applying low-e glazing through simulation to judge performance before making sample. And then we produced test specimens and measured surface temperature of windows using TVS(Thermal Video System) and thermocouples. Finally we conducted experiment of thermal performance of an actual window composed most effective materials according to the result of analysing each element.

As a result, we confirmed that the thermal performance of the window composed most effective materials was improved up to about 40% compared to general single low-e windows.

키워드 : 후강화, 로이, 단열성능, 창호

Keywords : Temperable, Low-e, Thermal Performance, Window

1. 서 론

1.1 연구의 목적

건물의 시각적인 면을 자유자재로 가장 잘 표현할 수 있는 부분이 바로 창이라 할 수 있지만, 열선의 출입이 자유로워서 겨울에는 실내 난방열의 손실이 발생하며, 여름에는 태양열이 실내로 유입되어 냉방에너지에서 손실이 일어나는 통로가 되기도 한다. 이러한 제약점은 대단히 냉난방이 필요한 중대형 건물에 있어서 특히 부각되고 있는 실정이다.

이러한 창 부분의 에너지 문제를 해결할 수 있는 현실적 방안으로 유리의 표면에 전도성 박막 코팅을 하여, 투명성은 유지하는 동시에 적외선만을 실내로 재반사시켜

에너지의 흡수 및 재방사에 의한 손실을 원천적으로 막아주는 로이(Low-Emissivity)유리를 들 수 있으며, 복층 유리 사이에 열전도성이 낮은 비활성 가스 충전, 복층유리 사이의 간격을 유지하며 열류흐름을 차단하는 단열간봉 적용, 우수한 단열 프레임 등을 적용 하는 방법이 있다.

로이유리의 종류는 코팅 제조방법에 하드 로이(hard low-E)와 소프트 로이(soft low-E)로 구분한다.

먼저 하드 로이 코팅의 제조방법은 판유리 제조 공정 시 금속용액 또는 분말을 판유리 표면 위에 분사하고 열적 코팅을 시켜 생산한다. 코팅 물질은 금속산화물(SnO₂) 단일물질이다. 장점은 열적 코팅으로 코팅 경도 및 내구성이 강하여 강화 가공 등의 열처리가 가능하다. 그러나 여러 금속 사용이 제한되어 색상이 단순하고, 코팅막이 탁하다는 단점을 가지고 있다. 이에 비해 소프트 로이 코팅의 제조방법은 이미 생산된 판유리를 별도의 진공챔버에 넣고 은(Ag), 티타늄(Ti), 스테인리스강(Stainless Steel) 등의 금속을 다층 박막 코팅시켜 생산한다. 장점은 전기전도성이 우수한 금속 Ag로 구성되어 있기 때문에 단열 및 차폐능성이 우수하고, 또한 유전층¹⁾이라 하는 여

* 연세대 대학원 박사과정

** (주)노루페인트 주임

*** 한국에너지기술연구원 책임연구원

**** 연세대 건축공학과 교수, 공학박사

이 연구는 한국에너지기술평가원의 에너지·자원기술개발사업인 “건축창호용 고효율강화 Low-E 유리의 개발” 지원 사업 결과의 일부임.

러 보조막들이 포함된 다층막으로 구성되기 때문에 박막 간의 간섭 관계에 의해 소비자가 원하는 다양한 특성의 제품을 공급할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 고온, 심지어 상온에서조차도 산화해서 변형되기 쉬운 금속 Ag막의 특성으로 인해 자유로운 강화 가공에 어려움이 있으며 취급에 있어서도 제약점이 많은 단점들을 안고 있다. 이 중 후강화가 불가능하다는 특징은 선 강화 후 코팅을 해야 하기 때문에 제품의 유통적인 측면에서 치명적인 단점이 될 수 있는데, 이를 개선하기 위해 제안된 것이 바로 후강화 로이유리 (Temperable Low-e glass)이다. 하지만 기존 보급화된 후강화 로이유리는 싱글로이 타입으로서, 적당한 단열 효과는 볼 수 있으나 보다 우수한 단열성에는 한계가 있어 이보다 단열능능이 더욱 우수하고 내구성이 우수한 후강화 더블로이 유리의 기술 개발 요구가 증대되고 있다.

표1. 로이 유리의 종류 및 구성

하드 로이	소프트 로이	
	싱글 로이	더블 로이
		

1.2 연구의 방법 및 절차

우수한 단열성능과 차폐성능을 가진 후강화 더블로이 유리를 개발하기 위해 창호업체인 K사의 유리코팅개발부와 협력하여 연구 진행 하였다. K사는 후강화 더블로이 유리의 설계 및 연구, 생산을 담당하였으며, 한국에너지기술연구원은 시뮬레이션 및 실제 테스트 샘플에 적용하여 비교 분석, 단열 실험 등을 진행하였다.

연구 절차는 먼저 시뮬레이션을 통해 유리와 창호 구성재에 따른 요소별 성능을 비교 분석하고, 시뮬레이션 결과를 토대로 실제 테스트 샘플을 제작하여 열화상카메라와 열전대를 이용하여 표면온도 측정 및 부위별 온도 변화를 측정하였다. 이후 요소별 분석 결과에 따라 가장 효율적인 구성재를 조합한 실제 창호를 제작하여 단열성능 실험을 실시하였다.

2. 구성요소에 따른 시뮬레이션

2.1 시뮬레이션 개요 및 모델링 조건

본 연구에 사용된 Therm6.3 과 Window6.3 시뮬레이션

1) 은(Ag)금속 막 상하부에 내구성 소재의 유전체 층, 부착력을 향상시키는 중간 보호 층 및 최종적으로 대기 중의 습기를 차단할 수 있는 최상부 보호 층으로 이루어져 있다. 이 중 유전체 층은 물리적, 기계적 강도를 높여줘 쉽게 취급할 수 있도록 내구성을 높여 준다.

프로그램은 미국 LBNL(Lawrence Berkeley National Laboratory)에서 개발하였으며 창호의 단열 성능을 예측 및 평가하는 프로그램으로써 미국 환경성(EPA) 및 NFRC에서 창호에 대한 인증평가 시 이용되고 있다.

Therm에서는 창틀 및 간봉의 종류 및 물성치, Glazing 삽입 그리고 경계조건의 설정에 따른 창호구성 요소별 온도분포와 열 유속 등을 알 수 있다. 특히 창호의 단열 성능에 있어서 가장 취약부위인 Frame과 Edge부위의 열적변화를 확인할 수 있다. Window 프로그램의 경우 유리의 물성, 충전가스 등 변화에 따른 열성능을 분석할 수 있다.

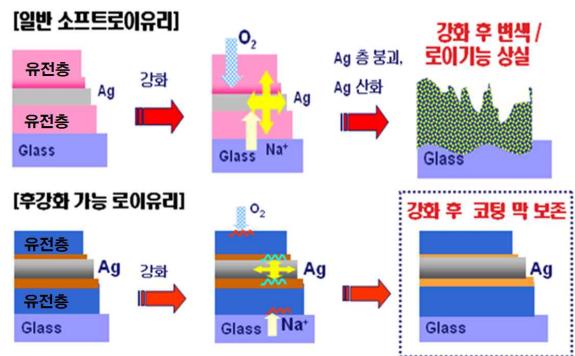
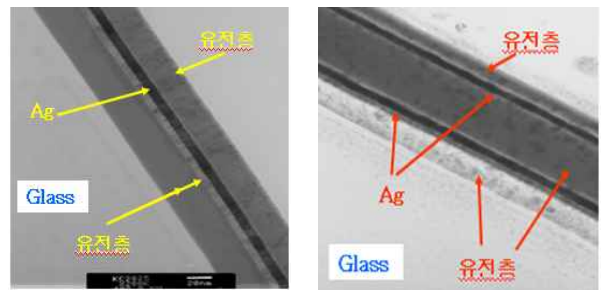


그림1. 일반 소프트로이유리와 후강화 로이유리



a) 싱글로이 b) 더블로이

그림2. 로이코팅 비교

본 논문의 시뮬레이션은 SC, SHGC 등 광학적 물성은 배제하고 단열성능을 나타내는 U-value값을 이용하여 결과를 나타내었다.

U-value를 구하기 위한 시뮬레이션 프로그램내의 내·외부 경계조건은 KS F 2278의 '창호의 단열성시험 방법'에서 규정되어있는 내·외부 온도조건 및 표면 열전달 계수를 적용하였으며, 시뮬레이션에 사용된 물성은 아래와 같다.

표2. 내·외부 경계 조건

구분	내·외부 온도 조건	내·외부 표면 열전달 계수
내부	20℃	9.1 W/m ² ·K
외부	0℃	20 W/m ² ·K

2.2 복층유리

복층유리창호는 크게 Frame과 Glazing으로 이루어져 있으며, Glazing은 다시 판유리, 간봉, 판유리로 이루어져 있다.

복층유리를 구성하는 판유리는 코팅에 따라 클리어유리 부터 싱글로이, 더블로이 등으로 구성된다. 코팅유리 물성의 경우 업체만의 노하우 기술이기 때문에 본 시물레이션에서는 연구 중인 유리와 비슷한 사양의 물성을 가진 라이브러리를 이용하였으며 충전가스는 Air, 두께는 12mm로 적용하였다.

표3. 시물레이션에 사용된 구성

구분	Library ID / Gas	Thickness (mm)
클리어 판유리	103	5.71
싱글로이 판유리	5148	5.66
더블로이 판유리	5284	5.66

Window 프로그램을 통해 클리어, 싱글로이, 더블로이 판유리로 각각 복층유리를 구성한 Glazing의 U-value는 아래와 같다. (유리 Center부분 U-value)

표4. 유리코팅에 따른 시물레이션 결과

구분(mm)	U-value (W/m²K)
클리어	5.7cl + 12air + 5.7cl 2.81
싱글로이	5.7lowE(2면) + 12air + 5.7cl 1.74
	5.7cl + 12air + 5.7lowE(3면) 1.74
	5.7lowE(2면) + 12air + 5.7lowE(3면) 1.64
더블로이	5.7lowE(2면) + 12air + 5.7cl 1.61
	5.7cl + 12air + 5.7lowE(3면) 1.61
	5.7lowE(2면) + 12air + 5.7lowE(3면) 1.57

2.3 간봉(Spacer)

복층유리에 있어 유리와 유리의 간격을 유지시켜주는 역할을 하는 간봉은 보통 알루미늄과 같이 높은 열전도성을 갖는 재질로 만들어져 왔다. 이로 인해 간봉에 의한 열교현상과 겨울철에는 결로를 발생시키는 등 단열 성능에 있어 취약한 요인이 되고 있다. 이러한 알루미늄 간봉의 취약한 단열문제를 해결하기 위한 방법으로 최근 미국과 유럽 등의 선진국에서는 플라스틱 등의 열전도성이 낮은 재질을 이용하여 간봉을 이용한 복층유리를 제작하고 있다.



(a) 웬라이트

(b) 웬엣지

그림3. 간봉 종류²⁾

간봉 종류에 따라 창호의 U-value 값에 미치는 영향을 평가하기 위하여 알루미늄 간봉, 슈퍼간봉, 웬엣지간봉, 웬라이트간봉 으로 분류하여 진행하였다.

시물레이션에 사용되는 프레임의 경우 간봉의 영향에 민감한 알루미늄 프레임을 적용한, 일반 커튼월 타입의 샘플 창호를 선정하였다.

표5. 모델링 물성치

재료명	열전도율(W/m·K)
Aluminum Alloy(Painted)	160
Silicone Foam	0.17
PVC/Vinyl-Rigid	0.17
Frame Cavity	0.13
Steel (Oxidized)	50
슈퍼 간봉	0.30
알루미늄 간봉	237
웬엣지 간봉	0.22
웬라이트 간봉	0.12
가스켓	0.34

표6. 샘플 창호 구성

구분	재질 및 구성
프레임	알루미늄, 가스켓
유리구성	5.7cl + 12Air + 5.7cl
프레임 폭	130mm
열교차단재	Thermal break

시물레이션 결과, Sill³⁾ 부위의 U-value 값은 알루미늄 간봉은 5.22 W/m²K, 슈퍼간봉은 4.59 W/m²K, 웬엣지 4.56 W/m²K, 웬라이트 4.70 W/m²K 로 나타났다.

창호의 종합 U-value⁴⁾ 값은 알루미늄 간봉은 3.53 W/m²K, 슈퍼간봉은 3.43 W/m²K, 웬엣지 3.42 W/m²K, 웬라이트 3.45 W/m²K 로 나타났다.

간봉 종류에 따른 시물레이션 결과, 프레임에 근접한 Edge 부분에는 영향을 미칠 것으로 판단되며 창호 종합 열관류율에는 큰 차이를 나타내지 못하였다.

그 원인으로서는 창호 전체 면적에서 간봉이 차지하는 면적이 작기 때문으로 생각된다.

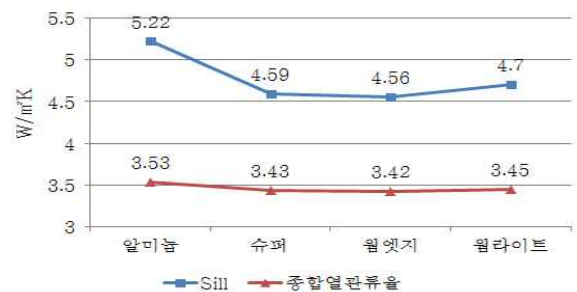


그림4. 간봉종류에 따른 U-value

- 2) 사진 출처(웬라이트-Azon/웬엣지-조인인터내셔널)
- 3) 창호 frame 최하단 수평 부재
- 4) 유리,간봉,프레임을 모두 포함한 전체 U-value

2.4 충전가스 및 간봉 두께

복층유리의 관유리와 관유리 사이의 중공층에서 열의 대류 현상이 나타나는데 이때 유체는 중공층 내 공기층이 되며 유체의 가열은 외부의 태양열이나 내부의 뜨거워진 실내 열로 볼 수 있다. 창문을 통해 실내의 온도를 외부로 빠져나가지 않게 하고 실외의 차가운 외기로 열손실을 줄이기 위해 복층유리의 중공층에 열전도도가 낮은 Ar, Kr 등을 사용한다.

표7. 가스의 물성치

Gas	Density (kg/m ³)	Thermal conductivity (W/mK)
Air	1.29	0.0241
Argon	1.76	0.0164
Krypton	3.69	0.00878
Xenon	5.78	0.0051

일반적으로 간봉두께(복층간격)는 충전가스에 관계없이 제작되어 진다. 하지만 충전가스 특성에 따라 열전도도 및 점성, 밀도 등이 다르기 때문에 간봉두께에 미치는 영향 역시 차이가 있다고 가정하고 시뮬레이션을 실시하였다.

시뮬레이션 조건으로는, 5.7mm 클리어 관유리로 복층을 구성하고 간봉두께를 1mm부터 24mm 까지 변화시켜 보았다. 그 결과, Air의 경우 간봉두께가 14mm에서 2.68 W/m²K, Ar은 13mm에서 2.53 W/m²K, Kr은 8mm 에서 2.45 W/m²K 로써 최적의 U-value 값을 나타내었다. 하지만 일반적으로 사용하는 간봉두께인 12mm일때의 U-value와 비교하면, 그 오차범위가 극히 미비하므로 일반적인 12mm 두께의 간봉도 충분히 효과적인 U-value 값을 나타낸다고 판단된다.

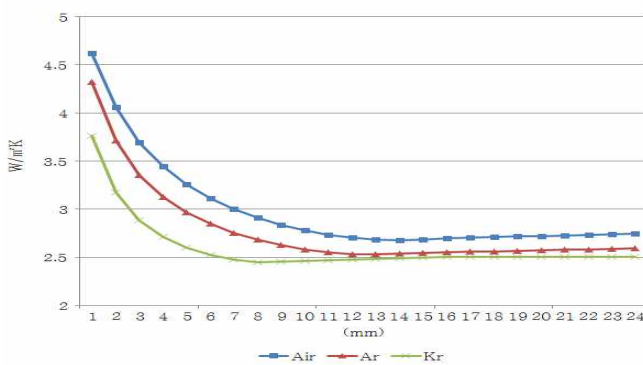


그림5. 간봉 두께에 따른 U-value

3. 열화상(Thermal Video System) 촬영 및 표면온도 측정

3.1 샘플 및 장비 구성

앞서 시뮬레이션 분석에 따라 요소별 가장 우수한 성능을 조합하여 샘플을 제작 하였다. 샘플은 복층유리+간

봉으로 구성되어 있으며 크기는 500mm × 500mm로 제작하였다. 또한 비교촬영을 위하여 2개의 시료를 동시에 설치할 수 있는 챔버를 제작하였다.

열화상 촬영을 위한 챔버는 그림 3과 같이, 1500mm × 800mm × 700mm의 크기로 제작하였으며 두께 20mm의 목재로 구성되어 있으며 접합부는 실리콘으로 처리하여 최대한 열손실을 방지하였다.

내부 Heater의 경우, 설치된 챔버 안에 온도를 일정하게 유지하기 위하여 코일 형태의 100w급 heater 1개를 설치하였으며, 챔버 내부의 온도를 제어하도록 PID 방식의 컨트롤러를 설치하였다. 또한 챔버 내에 균일한 온도 분포를 위하여 12W 팬 4개를 설치하였으며 설치 위치는 Heat 아래 부분에 설치하여 기류가 챔버 하부에서 상부로 순환하도록 하였다.



a) 챔버



b) TVS 카메라



c) 샘플

그림6. TVS 장비 및 샘플

열화상 카메라는 적외선 파장에너지를 전기 신호로 전환하여 영상분석기를 통하여 열화상으로 보여주는 장치로, FLUKE사의 Ti55FT 제품을 사용하였다. 측정 온도 범위는 -20~600℃이고 열감도는 0.05℃ 이하이다.

3.2 열화상 촬영

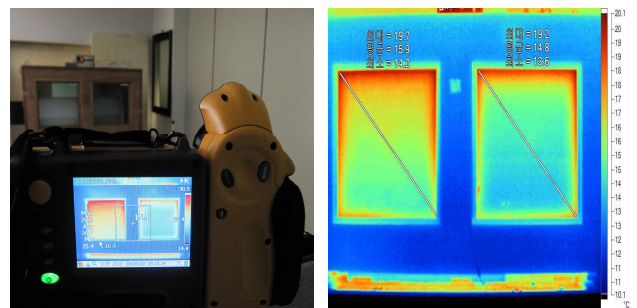


그림7. TVS촬영 모습

측정 샘플은 6mm 후강화 더블로이 유리와 12mm 간봉으로 구성되어 24mm 복층으로 제작하였으며, 구성은 아래 표와 같다.

표8. 샘플 구성

구분	No.	시료 위치	Gas	간봉
가스 종류	Case1	좌	12mm Air	AL
		우	12mm Ar	
	Case2	좌	12mm Air	AL
		우	12mm Kr	
	Case3	좌	12mm Ar	AL
		우	12mm Kr	
간봉 종류	Case4	좌	12mm Air	AL
		우		웁엣지
	Case5	좌	12mm Ar	AL
		우		웁엣지
	Case6	좌	12mm Kr	AL
		우		웁엣지
간봉 두께	Case7	좌	8mm Kr	AL
		우	12mm Kr	

열화상 촬영은 챔버 외부와의 온도차가 약 30℃가 되도록 setting을 하고 외부로부터의 복사 열전달에 간섭을 받지 않도록 하여 실험을 진행하였다. 챔버와 샘플의 온도가 균일해지는 정상상태 확인을 위해 챔버 내부 상판에서 5cm, 내부 바닥에서 5cm 높이에 센서를 설치하였으며, 샘플 내·외에 온도센서를 부착하여 온도분포가 균일해지고 안정화 된 상태에서 촬영 하였다.

케이스별 열화상 촬영 결과는 샘플(유리부분전체) 표면 평균온도로 나타 내었으며 그 결과는 아래의 표와 같다.

표9. 열화상 촬영 결과 (℃)

구분		좌	우	좌우	챔버내부상하 온도차
		평균온도	평균온도	평균온도차	
가스 종류	Case1	17.9	17.3	0.6	0.3
	Case2	15.9	14.8	1.1	
	Case3	17.3	17.0	0.3	
간봉 종류	Case4	20.7	20.3	0.4	0.2
	Case5	17.7	17.5	0.2	
	Case6	16.2	16.1	0.1	
간봉두께	Case7	18.0	18.0	0.0	0.2

가스종류에 따라 미치는 영향을 보면, Air<Ar<Kr 순으로 단열성능이 우수하였으며 Kr을 주입한 경우 Air 대비 1℃ 이상의 차이를 나타내었다.

간봉종류에 따른 온도차의 경우 유리 평균표면온도에 큰 영향을 미치지 못하였지만, 충전가스 종류에 따라 간봉이 미치는 영향이 다르다는 것을 알 수 있었다.(Air의 경우 다른 충전가스에 비해 간봉의 영향을 더 받음)

3.3 부위별 온도 측정

열화상 촬영을 통해 유리전체 평균표면온도를 분석하고 부위별로 센서를 부착하여 정밀 분석을 실시 하였다.

온도측정센서는 0.25mm의 T-type 열전대를 사용하였으며 센서 부착 부위는 샘플 하나 당 Center와 Edge(가장자리에서 5cm 지점) 두 지점을 측정하였다.



그림8. 온도센서 부착 위치

온도기록은 데이터로거(HP 34970A)를 사용하였으며, 온도 데이터의 경우 안정화 상태의 30분 평균 온도를 이용하여 분석하였다.

그 결과는 다음의 표와 같다.

표10. 부위별 외부 표면 온도

구분		Center		Edge	
		좌	우	좌	우
가스 종류	Case1	16.45	15.02	17.49	16.27
	Case2	14.25	12.54	21.26	19.96
	Case3	17.86	17.23	15.13	14.76
간봉 종류	Case4	19.32	18.94	22.21	18.89
	Case5	15.13	14.93	19.04	16.45
	Case6	17.43	17.42	20.61	19.90
간봉두께	Case7	14.77	14.89	17.48	17.77

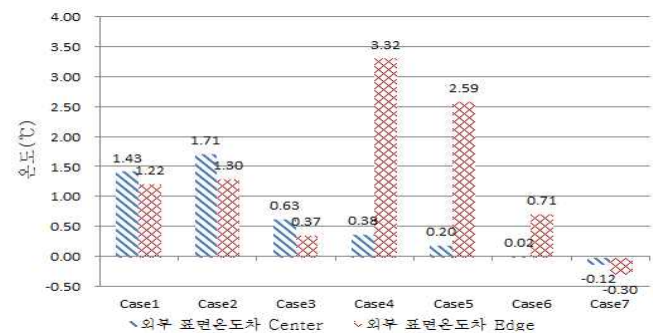


그림9. 외부표면 온도 차(Center, Edge)

충진가스 종류에 따른 결과(Case1~Case3)를 보면, Ar을 충전한 경우 Air 대비 외부표면온도가 1.43℃가 낮았으며, Kr은 Air대비 1.71℃ 낮았다. Ar과 Kr의 비교에서는 0.63℃낮은 결과를 나타냈다. Edge의 경우도 Center와

동일한 결과를 나타냈지만 Center보다 낮은 평균 온도를 나타내었다.

간봉 비교인 Case4~Case6를 보면 Center부위에 온도 차이는 크지 않았지만, 간봉이 Edge부위에 미치는 영향은 상당한 것으로 나타났다. 충전가스가 Kr일때 간봉두께를 8mm와 12mm로 제작하여 측정한 결과, 간봉두께가 8mm 일 때 12mm 보다 약간 우수한 단열성능을 나타냈다.

4. 단열성능 측정

지금까지 시뮬레이션과 실험 결과를 토대로 가장 우수한 단열성능을 나타내는 조합을 구성하여 실제 테스트 제품과 일반적인 조합의 테스트 제품을 제작하였다. Type1의 프레임의 경우 K사에서 제작하는 프레임 중 단열성능이 가장 우수한 프레임을 적용하였으며, Type2의 프레임은 K사에서 가장 많이 보급되는 일반적인 프레임을 적용하였다.

표11. 테스트 제품 구성

구분	구성	간봉
Type1	6mm Double Low-e + 12Kr + 6mm Double Low-e	웜릿지
Type2	6mm Clear + 12Air + 6mm Single Low-e	알미늄

4.1 단열성능 측정 장치 및 방법

단열성능 실험장치는 KS F 2277 규격을 참조하여 설계하였으며, 본 장치는 Cooling AHU, 저온실, 가열실, 향온실로 구성되어 있으며, 가열실 내부기류 교반장치, 저온실 냉풍취출장치, 온도측정장치, 전력측정장치 등을 갖추고 있다.

창호의 U-value 측정 방법은 KS F 2278 “창호의 단열성 시험 방법”에 따라 진행된다. 향온실 및 저온실의 기류 조건에 의한 표면 열저항 값을 파악하기 위한 실험과 챔버내에서 손실되는 열량 값을 파악하기 위한 열량 보정 실험이 있고, 최종적으로 실측대상 창호를 설치하여 열관류률을 측정하는 실험으로 나누어진다.

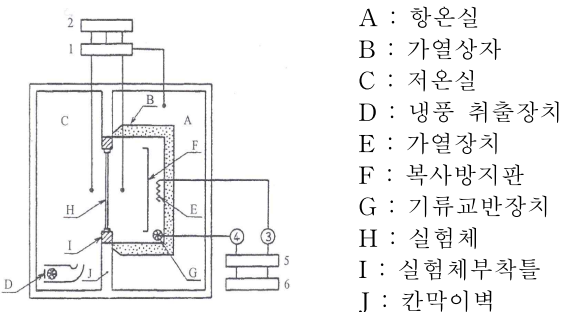


그림10. 단열성능 실험장치 명칭 및 구성

U-value 값을 측정을 위하여 크기 2,000mm × 2,000mm 규격의 테스트 제품을 준비하였으며 시료부착을 위하여 시험체 설치틀을 만들어 저온실과 가열실 사이의 시험장치 개구부에 기밀하게 설치하였다.



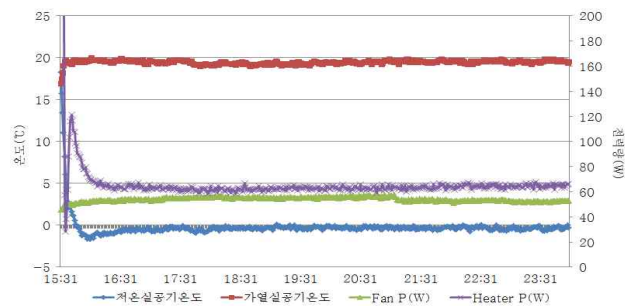
(a) 창호 단열성 실험 챔버 (b) 테스트제품 설치모습(Type1)

그림 11. 챔버 및 테스트제품

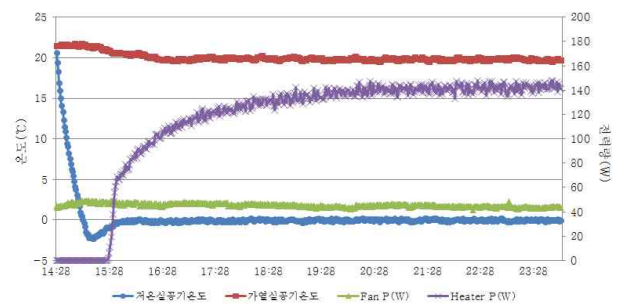
4.2 단열성능 측정 결과

아래 그림은 단열성능 실험에 의해 두 시료의 측정 온도와 팬, 히터의 전력사용량을 나타낸 그래프이다. 실험은 8~9시간 수행되었고 시험체는 일정 시간이 경과하고 난 뒤 가열실은 20℃, 저온실은 0℃로 일정하게 유지되었으며, 팬과 전력량 모두 안정화 상태가 되었다.

U-value 값을 계산위해 안정상태의 온도데이터와 팬, 히터 전력데이터를 사용하였다.



a) Type1



b) Type2

그림 12. 테스트제품 측정 그래프

U-value 값을 계산한 결과, 후강화 더블로이유리에 Kr을 주입하고 웜릿지 간봉, 최고사양의 Frame을 사용한 Type1의 U-value 값은 1.21 W/m² · K, 일반 보급형 프레

임에 싱글로이유리 및 알미늄 간봉이 적용된 Type2의 U-value 값은 1.98W/m²·K로 산출되었다.

표12. 테스트제품 단열성능 측정결과

구분	구성	U-value (W/m ² K)
Type1	6mm Double Low-e + 12Kr + 6mm Double Low-e	1.21
Type2	6mm Clear + 12Air + 6mm Single Low-e	1.98

5. 결 론

현재 로이코팅의 경우 싱글코팅, 더블코팅, 트리플코팅 등 그 이상도 가능하다. 다만 후강화 가능하며 건축 용도에 맞춰 일정한 광학적 특성을 유지 한 채 단열 및 차폐 성능을 우수하게 하는 것이 어려운 기술이다. 특히 후강화 가능한 더블로이유리를 개발하는 것이 현재 국내외 시장 상황 등을 고려하였을 때 반드시 필요하다고 판단되어 창호업체인 K사의 유리코팅개발부와 협력하여 연구 진행 하였다.

그 결과는 아래와 같다.

(1) 로이코팅 종류 및 위치에 따른 U-value 값을 분석하기 위해 클리어, 싱글로이, 더블로이 유리로 각각 복층유리를 구성하여 시뮬레이션 프로그램을 이용해 열성능을 분석한 결과, 클리어 복층유리는 2.81W/m²K, 싱글로이의 경우 2면과 3면 코팅은 각각 1.74W/m²K, 양면코팅은 1.64W/m²K 로 산출되었다. 더블로이의 경우 2면과 3면코팅의 경우 각각 1.61W/m²K, 양면코팅은 1.57W/m²K 로 산출되었다.

2면 내지는 3면 단면코팅의 경우 시뮬레이션 상으로 같은 U-value 값을 나타낸 것은 시뮬레이션 프로그램의 한계로 사료되며, 양면 코팅은 단면 코팅에 비해 단열성능 하락 폭이 크지 않으므로 경제적인 여건을 고려한다면 단면코팅이 유리할 것으로 판단된다.

(2) 간봉 종류에 따라 창호에 미치는 영향을 시뮬레이션 결과, Sill 부위의 U-value 값은 알미늄 간봉은 5.22 W/m²K, 슈퍼간봉은 4.59 W/m²K, 워렛지 4.56 W/m²K, 워라이트 4.70 W/m²K 로 나타났다.

창호의 종합 U-value 값은 알미늄 간봉 3.53 W/m²K, 슈퍼간봉 3.43 W/m²K, 워렛지 3.42 W/m²K, 워라이트 3.45 W/m²K 로 나타났다.

간봉 종류에 따른 시뮬레이션 결과, 프레임에 근접한 Edge 부분에는 영향을 미칠 것으로 판단되며 창호 종합 열관류율에는 큰 차이를 나타내지 못하였다. 그 원인은 창호 전체 면적에서 간봉이 차지하는 면적이 작기 때문으로 여겨진다.

(3) 복층유리에 간봉두께를 1mm부터 24mm 까지 변화시켜 충전가스별로 시뮬레이션 한 결과, Air의 경우 간봉 두께가 14mm일때 2.68 W/m²K, Ar은 13mm에서 2.53

W/m²K, Kr은 8mm 에서 2.45 W/m²K 로써 최적의 U-value 값을 나타내었다.

(4) 표9에서 가스종류에 따라 미치는 영향을 보면, Air<Ar<Kr 순으로 단열성능이 우수하였으며 Kr을 주입한 경우 Air 대비 표면온도 1℃ 이상의 차이를 나타내었다. 간봉종류에 따른 표면온도차는 유리 평균표면온도에 큰 영향을 미치지 못하였지만, 충전가스 종류에 따라 간봉이 미치는 영향이 다르다는 것을 알 수 있었다.

Kr가스를 주입한 Case7의 경우, 같은 평균표면온도를 나타내었다. 이는 Kr의 경우 시뮬레이션 결과와 같이 8mm의 간봉두께가 유리할 수 있다고 판단되기에는 무리가 있지만, 어느 정도 영향을 끼친다고 사료된다.

(5) 표10에서 간봉 비교인 Case4~Case6를 보면 Center부위에 온도차이는 크지 않았지만, 간봉이 Edge부위에 미치는 영향은 상당한 것으로 나타났다. 이는 겨울철 결로에 영향을 미칠 것으로 예상할 수 있으며, 충전가스가 Ar이나 Kr일 때보다 Air일 때 간봉이 Edge에 미치는 영향이 가장 큰 것을 알 수 있었다. 이는 충전가스의 열전도율에 따른 영향으로 사료된다.

충진가스가 Kr일때 간봉두께를 8mm와 12mm로 제작하여 측정된 결과, 간봉두께가 8mm 일 때 12mm 보다 약간 우수한 단열성능을 나타내지만, 그 차이가 크지 않아 거의 같은 성능이라 봐도 무방한 것으로 사료된다. 다만 고가의 충전가스라는 점을 감안한다면 동일하거나 그 이상의 성능을 낼 수 있는 8mm간봉의 경우 경제적인 이점이 있을꺼라 판단된다.

(6) 실제 테스트제품을 제작하여 단열성능 측정 실험을 한 결과, 후강화 더블로이유리에 Kr을 주입하고 워렛지 간봉, 최고사양의 Frame을 사용한 Type1의 U-value 값은 1.21 W/m²·K, 일반 보급형 프레임에 싱글로이유리 및 알미늄 간봉이 적용된 Type2의 U-value 값은 1.98W/m²·K로 산출되었다.

앞선 시뮬레이션과 실험을 통한 우수한 단열성능을 나타내는 조합을 구성하여 제작한 후강화 더블로이창호의 단열성능이 일반 보급형 싱글로이 창호 대비 약 40%의 성능향상이 있음을 알 수 있었다.

창호 성능시험을 시행하는 한국에너지기술연구원에서 조사⁵⁾ 한 2005년~2009년 단열성능 결과 데이터를 보면 (충진가스나 유리코팅의 유무와 관계없이) PVC제질의 시스템창(T/T 및 L/S)의 경우 1.73~2.03 W/m²K 로써 평균 1.9 W/m²K 내외의 U-value 값을 나타내었으며, AL제질의 시스템창은 2.19~2.56 W/m²K 로 평균 2.4 W/m²K 내외의 U-value 값을 가지는 것을 나타냈다. 또한 첨단 창호인 진공창의 경우 1.0 W/m²K 내외의 U-value 값을 나타내는 것을 보아, 추후 경제성을 비롯한 다양한 현장 상황을 고려하여 연구개발 한다면, 충분한 경쟁력을 확보할 수 있을 것이다.

5) 조수 외, 에너지 절약 기준에 따른 창호의 표준사양 분석, 대한설비공학회, 2010

이번 연구가 겨울철 위주의 실험임을 감안하여 추후 연구에서는 광학적 물성에 따른 여름철 냉방에 관한 연구와 현장 테스트베드를 실시 할 예정이다.

참고문헌

1. 장철용, 안병립, 김치훈, 홍원화, 스틸스터드의 형상 변화에 따른 건식 벽체의 열성능 평가, 대한건축학회논문집, 2011
2. 최경석, 정영선, 강제식, 이승언, Mock-up에 의한 로이유리 창호의 현장 냉방에너지소비특성, 대한건축학회논문집, 2007
3. 정석환, 김성우, 박상현, 이종찬, 임정희, 김병선, 로이유리의 저방사 코팅 적용 위치에 따른 실내 온도변화 및 에너지 성능 비교 분석, 대한건축학회논문집, 2007
4. 안병립, 김치훈, 장철용, 주홍로, 이정석, 이성재, 이동일, 강화 로이유리 제작에 따른 TVS 열성능 비교 실험, 대한설비공학회, 2010
5. 장철용, 안병립, 김치훈, 김준섭, 이성재, 더블로이유리 적용 창호의 구성요소에 따른 단열성능 비교 실험, 한국태양에너지학회, 2011
6. 신재규, 황우진, 최원기, 유리의 열개짐 현상과 방지대책에 관한 연구, 대한설비공학회, 2011
7. 이진성, 유리구성에 따른 창호의 단열성능 및 표면온도 비교, 한국생활환경학회, 2008
8. 최원기, 오피스 건물의 에너지 절약, Glazing의 SHGC로 해결하자, 대학건축학회 자유기고, 2011
9. 황우진, 김교준, 최원기, Glazing 특성에 따른 고층 오피스 건물의 에너지성능 분석, 한국태양에너지학회, 2011
10. 조수, 이장만, 성옥주, 박정환, 송규동, 건물 에너지 절약 기준에 따른 창호의 표준 사양 분석, 대한설비공학회, 2010
11. 김치훈, 안병립, 장철용, 홍원화, 실측 실험을 통한 단열문의 열성능 평가, 한국태양에너지학회 논문집, 2011
12. ASHRAE, ASHRAE Handbook 2001 Fundamentals, ASHRAE, 2001
13. 한국표준협회, KS F 2278, 창호의 단열성 시험 방법, 2008
14. 에너지관리공단, 선진국 기후변화 대응정책, 2001
15. 지식경제부 '보급형 친환경건물외피시스템 실용화기술 개발' 보고서
16. 지식경제부 '슈퍼윈도우 상용화모델 및 보급화기술개발' 보고서
17. 한국표준협회, KS F 2277, 건축용 구성재의 단열성 측정방법-교정열상자법 및 보호열상자법, 2008
18. 에너지관리공단 홈페이지, www.kemco.or.kr
19. DOE 홈페이지, www.energy.gov
20. NFRC 홈페이지, www.nfrc.org

(接受: 2011. 12. 1)