

인공태양실험실(A. S. Lab.)을 활용한 창호의 열성능 평가에 관한 연구

강 기 남[†], 이 건 호^{*}

성균관대학교 대학원, *한국건설기술연구원

Study on Evaluation Analysis on Thermal Performance of Window Using A. S. Lab.(Artificial Solar Laboratory)

Ki-Nam Kang[†], Keon-Ho Lee^{*}

Ph. D. Student, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

*Research Fellow, Korea Institute of Construction Technology(KICT), Korea

(Received August 3, 2010; revision received October 2, 2010)

ABSTRACT: Recently residential buildings are characterized with high-rise and high density. Under this circumstance, achieving comfortable and healthy indoor environment with minimized energy consumption becomes a very challenging engineering and societal issue. Along this the increased size and transparency of window as well as light surface caused by high stories lowers the heat shield efficiency of building. Since glass that constitutes building surface has low heat efficiency, it aggravates heat loss of all building considerably, thereby resulting in extreme heating load and cooling load in the country where temperature varies much in summer and winter. The research will check whether experiment can be effectively done by overcoming the limit of existing artificial solar laboratory constructed in the country and properly adjusting controlled variables with simplified function through construction of this experimental set.

Key words: Artificial solar laboratory(인공태양실험실), Curtain wall(커튼월), Facade(외피), Heat transfer(열 교환), High-rise building(초고층 건물), Methodology(방법론), Thermo performance(열 성능)

1. 서 론

최근 건축기술의 발달과 더불어 건물의 외피부분의 투명성에 관심으로 창호에 대한 관심이 크게 증대되고 있다.⁽¹⁾

이처럼 미적이면서 동시에 감각적인 유리 소재를 건물 외피의 시공재료로서 기하학적인 형상 및 시

공의 편의성 때문에 많이 채택하고 있는 현실이다. 이와 같이 유리면적의 확대는 건물 자체의 투명화와 고층화를 이루어 전체적인 세련된 디자인을 살리면서 동시에 조망 확보 및 자연채광의 적극적인 활용 등 심리적인 측면에서 유리하게 작용한다.

그러나 창호의 면적 확대 및 투명화, 외피의 경량화는 열에 대해 상당히 취약한 부분으로서, 건물의 단열 성능 약화와 더불어 높은 일사량의 유입으로 불안정한 실내 온열환경 제공에 따른 채실자의 불쾌적을 가져와 결과적으로 에너지 소비 증가 문제를 가중시킨다.⁽²⁾

[†] Corresponding author

Tel.: +82-31-910-0428; fax: +82-31-910-0341

E-mail address: lee1ncdh@kict.re.kr

또한, 초고층 빌딩에서, 외피는 가열, 냉각과 통풍을 위한 에너지 소비가 증대됨에 따라 기계적 조작계의 또한 높은 운전 비용의 원인이 된다.⁽³⁾

위의 근본적인 문제 해결을 위해서 유럽의 독일 및 영국 등에서는 이중외피시스템의 원리에 착안하여 외부 환경의 영향을 최소화함과 동시에 자연환경 조건을 최대한 활용하는 방안에 대해 연구가 진행 중이다.

이처럼, 외피(창호)를 통한 외부로의 에너지 손실을 줄이기 위해 초기 건물 계획 및 설계단계에서 건물 외피 소재의 선정 및 그 성능에 대한 검토가 선행되어야 한다.

그러나 현재 창호의 성능을 검토하는 방법으로는 2차원적인 해석만이 가능한 컴퓨터 시뮬레이션(Windows, Therm 등)을 이용하는 방법과 건물의 전반적인 에너지소비 총량에 대해 검토 가능한 시뮬레이션(ESP-r, TAS, Energy-Plus 등)도 있지만, 본 연구에서는 인공기후조건(온도, 풍속, 일사량)이 구현 가능한 Mock-up 실험을 통해 건물외피 즉, 창호 부분에 대한 실험 방법론적인 접근을 통해 커튼월 소재 유리의 열 교환 특성 및 열 성능을 평가하고자 한다.

2. 인공태양실험실

2.1 실험실 사양

인공태양실험실(한국건설기술연구원 내 환경공생 빌딩, Since 2008)은 자연광과 유사한 스펙트럼을 구현할 수 있는 인공태양장치를 보유한 실험실로 Fig.

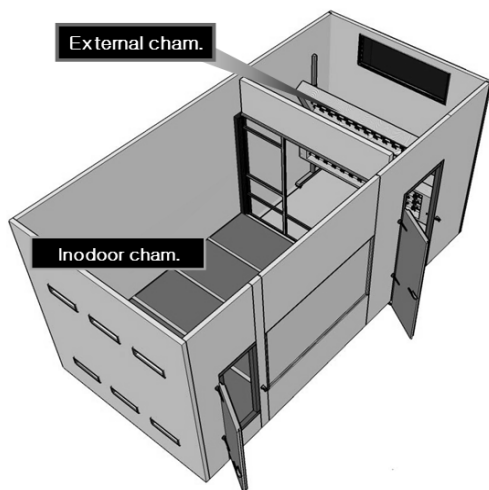


Fig. 1 Artificial Solar Lavatory drawing.

1과 같다.⁽⁴⁾

우측 부분은 외기 챔버(external chamber)의 크기는 4,725 mm×3,450 mm×2,650 mm로 상하 2단 냉각 열량 제어방식(3.0 RT+10.0 RT)에 의해 냉각 또는 가열된 공기를 팬(fan) 동력을 이용하여, Down grade flow(0-256 CMM) 방식으로 하단 급기구를 통해 취출하는 방식으로 운영된다.

하부측에서 취출된 기류는 연구자가 임의의 설정 온도 상태로 외기 챔버 내를 유지한 뒤 상부로 재유입되는 순환구조로 구성되어 있다.

또한, 외기 챔버에 별도의 자동 기압 조정변을 설치하여 일정한 압력이 유지되도록 구성되어 있다.

좌측의 실내 챔버(indoor chamber)의 크기는 2,600 mm×3,450 mm×3,770 mm로 공동주택의 거실부분 및 오피스 내 Perimeter zone으로 가정하였으며, 실제 실내 환경과 같은 조건을 유지할 수 있는 구조로 천정의 12개의 토출구를 통한 대류방식의 공조 기기(refrigeration and heater capacity : 3.0 RT (8,100 kcal/h), 9.0 kWh(6,880 kcal/h)와 바닥 복사난방을 가정한 전기온돌패널이 6개(1,700 mm×850 mm, 228 kcal/h)가 설치되어 있다.

본 인공태양실험실 외주부도 별도의 항온·항습기를 설치하여 일정 범위에 통제하여, 창호 성능평가 실험 기간에 24시간 연속으로 항시 제어가 가능한 2중 챔버 구조로 구성하였다.

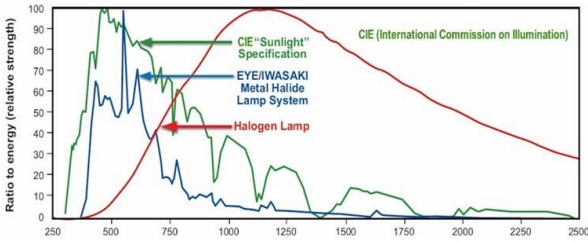
2.2 인공태양장치

기존의 인공 일사장치를 보유한 다른 연구소의 대부분은 할로겐램프(halogen lamp)를 사용하여 태양광이 지표면에 도달하는 에너지와 같은 양의 에너지가 창호의 유리창에 닿도록 설정하고 있다.

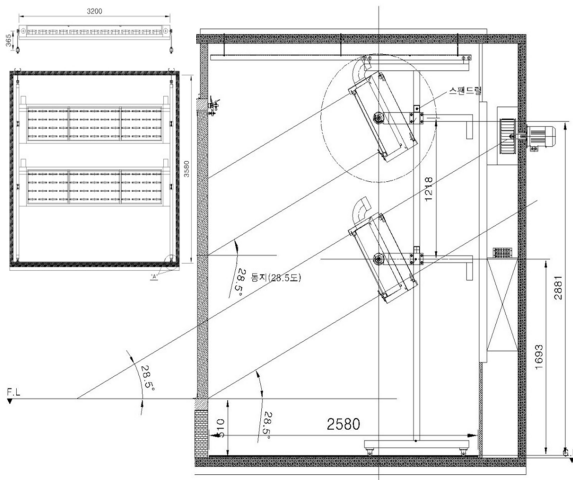
그러나 할로겐램프의 사용은 자연광과 파장대(wavelength range)가 다르므로 실제 일사가 유리창에 도달하는 일사량을 양적으로는 일치시켜도 파장대역을 고려한 스펙트럼이 달라서 실내에 미치는 영향 또한 달라진다.

반면, 인공태양실험실은 Fig. 2(a)와 같이 태양광과 스펙트럼(spectrum) 패턴이 유사함과 동시에 높은 발광 효율(luminous efficiency) 대비 상대적으로 적은 열 부하량을 가지는 메탈할라이드등(metal halide, HQI-250 Watt)을 활용하였다.

Fig. 2(b)는 인공태양장치의 구조 도면으로, 테스트시료(창호)에 도달하는 에너지의 양을 균일하게



(a) Spectral distribution chart comparing different lighting technologies



(b) Drawing for Artificial Solar equipment
Fig. 2 Artificial Solar equipment.

하려고 조명장치를 두 개로 나누어 각각의 각도를 조절할 수 있으며, 각 104개의 메탈할라이드등에는 개별 스위치가 설치되어 냉·난방시 적정 일사량을 on/off 방식에 의해 조절할 수 있도록 구성되어 있으며, 하단의 일사장치는 수직(90°)으로 고정하여 확산일사(diffuse solar radiation)를 가정하였으며, 상단 일사장치는 직달일사(direct solar radiation)로 수동으로 상하 각도 조절이 가능하다.⁽¹⁾

3. 고층건물에 사용되는 커튼월 유리의 성능검토

본 연구는 인공태양실험실을 활용하여 현재 고층 건물에서 일반적으로 사용되고 있는 멀티코팅 유리(E-max)와 비교 군으로 공기가 주입된 투명 복층 유리(일반적인 고층건물 커튼월 소재)에 대상으로 실험을 진행하였다.

기타 추가 검토사항으로 건물 내 단열효과를 높이기 위해 창호 내 개구부(pull-down, project)는 닫은 상태에서 차양장치의 적용여부 및 설치 위치에 따

른 실내온도 변화와 냉방부하에 대해 검토하였다. 실험 결과를 바탕으로 향후 인공태양실험실의 운영 전략 제안 및 기타 다양한 특수유리(Low-e, 멀티코팅, 삼중유리) 및 이중외피 해석을 위한 기초자료 작성에 주안을 두고 있다.

3.1 실험 개요

본 실험에 앞서 장기적으로 변하는 외기 변수들을 통제하여 모든 요소가 제어 가능한 상태에서 냉·난방시 베네시안 차양 위치에 따른 창호의 열 성능 테스트를 위해 여러 차례 반복 실험을 시행하였다. 위 예비 실험 결과를 바탕으로 실험실 운영 프로세스에 대해 고찰하고 이를 바탕으로 실내온도 변화 특성 및 냉방 부하에 대해 검토하는 순서로 본 연구를 진행하였다.

외기챔버 내 설정온도(set-point) 조건으로 냉방기는 32.0(±1.0)℃, 난방기는 -4.0(±1.0)℃로 유지하도록 설정하였으며, 테스트시료(창호)는 외기 실내 챔버의 사이의 경계면(boundary surface)에 설치하였다. 실내 챔버 내 공조 조건으로 바닥 복사난방 시스템을 제외한 공조기를 활용하여 천정 12개의 급기구를 통해 실내를 건물에너지 절약기준에 따라 냉방시 26.0℃(난방시 : 20.0℃)로 조절하여 외기 및 실내 챔버가 열평형, 안정화 상태에 도달하면 실내 공조를 실시하였다.

Fig. 4는 대상공간 내 온도 측정점으로 테프론 소재의 열전대(t-type)를 사용하여 실 중심으로 좌우로 1,000 mm 간격을 유지하며, 길이 방향으로 유리 내측 표면으로부터 500 mm, 1,500 mm, 3,000 mm 지점에 총 9개의 Pole을 일정한 간격으로 세워놓았다.

각 Pole 당 센서의 위치는 인간이 온도 및 기류에 가장 민감하게 반응하는 바닥으로부터 100 mm(발



Fig. 3 Measurement scene.

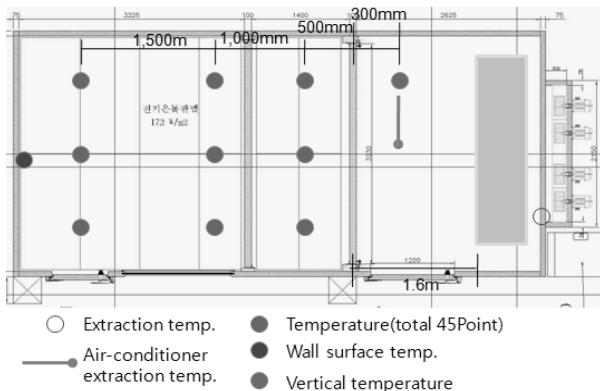


Fig. 4 The locations of the temperature sensor in Inner chamber.

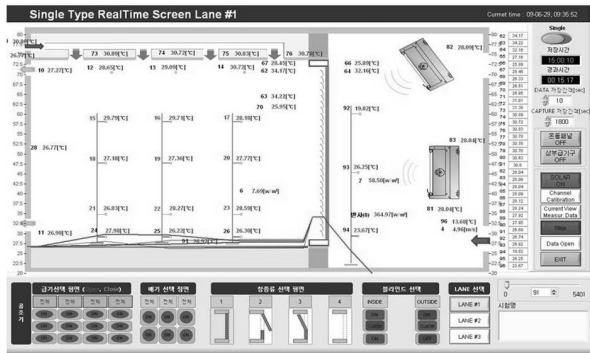


Fig. 5 Laboratory temperature sensor control program written by Labview 8.0.

목 높이), 400 mm(무릎 높이), 1,100 mm(착석 시 호흡선), 1,700 mm(입석 시 호흡선)이며, 천정(측 2,400 mm 포인트로 총 45개 포인트를 측정하였다.

기타 내·외 유리표면, 프레임, 블라인드 및 외기 챔버 측 온도에 대해서는 108개의 테프론(teflon) 소재 열전대(thermo-couple, t-type)를 사용하여 10초 간격으로 측정하였다.

또한, Labview 8.0 프로그램을 이용하여 외기 챔버 온도설정 및 실내 챔버의 내 전반적인 온도 분포에 대한 모니터링(monitring) 및 연구자가 실험 중간 기록(interval : 10.0 sec) 또는 열람 가능하도록 하였다(Fig. 5). 더불어 전력량 계측 프로그램을 작성(C++ code)하여 실내 공조기기 및 온돌패널 가동 시 발생하는 냉·난방 에너지 소비량도 계측(interval : 2.0 min) 가능하도록 구성하였다.

3.2 실험조건

임의 조성된 외부 환경 아래 테스트 시료(창호)를 통하여 두 챔버 사이의 상호 열 교환(heat transfer)을 통해 발생한 에너지의 양 및 극한점을 정량화하기 위해서는 제어 변수를 적절하게 조절하여 실험을 효과적으로 수행해 나아가야 한다.

테스트 시료의 고유 열 성능 평가에 주안을 두어

Table 1 The characteristic of Test sample

	Glazing system library	U-factor [W/K · m ²]	shading coefficient	visible ray penetration ratio(%)	visible ray reversibility (%)	Solar penetration ratio(%)	solar reversibility (%)	Rel. Heat Gain (W/m ²)
Multi-coating glass	6 MCP260/12 Air/6 CL(Green)	1.64	0.37	54.3	10.6	22.1	9.6	248.9
Pair glass	6 CL/12 Air/6 CL	2.70	0.83	78.0	14.0	63.0	12.0	545.0
Low-e glass*	6CL/12 Air/6PLA113	2.48	0.49	64.0	10.0	30.0	11.0	348.0

Table 2 Experiment condition and cases

		Location of the blind	Air-conditioning	External cham. set temp.	Solar rad. absorbed on window	time required
Cooling period	Case 1	-	non air-conditioning	32.0°C (±1.0°C)	about 350~360 W/m ²	9 hour (09 : 00 ~ 18 : 00)
	Case 2	inner				
	Case 3	outer				
	Case 4	-	air-conditioning (set-point : 26°C)			
	Case 5	inner				
	Case 6	outer				

실험에 사용된 프레임 및 유리의 크기는 동일하게 적용하였다.

Table 1은 테스트시료(유리)의 물성 값으로 반강화 재질의 멀티코팅 유리는 Green 색상의 코팅(coating)면을 가지며, 열관류율(U-factor) 및 차폐계수(shading coefficient)면에서 일반 복층유리 및 Low-e 코팅유리에 보다 성능 면에서는 우수하였다. 실험 조건 및 케이스는 Table 2와 같다.

냉방시 외기챔버 온도조건은 32°C(±1°C), 일사는 수직면일사량 기준 350~360 W/m² 조건아래 차양 장치의 가용여부 및 적용 위치를 실험변수로 두었으며, 기타 각 케이스별 총 실험시간은 9~10시간으로, 실내측 공조 시 기기의 가동은 최소 3시간 이상 가동하도록 하였다. 또한, 차양장치는 은색 알루미늄 재질의 전동 베네시안 블라인드로서 내·외측 적용시 베인(vane) 각도는 90°로 설정하였다.

3.3 실험 방법

Fig. 6은 실험조건 설정을 위한 테스트과정이다. 그 래프 내 온도는 실내 챔버 가운데 열(500 mm, 1,500 mm, 3,000 mm)을 기준으로 1,100 m 높이의 공기 온도를 기준으로 설정하였다(case 1 : 일반 복층유리, 냉방기, 차양장치 없음).

3.3.1 1차 테스트 : 실내챔버온도 피크값 결정

Case 1을 진행하기 위해 실험 초반(09 : 00)부터 외기 챔버를 냉방시 기준 설정온도인 32.0°C로 공조한 상태에서 실내 온도 변화에 대해 검토하였다.

그 결과 실험 시작 후 온도 그래프의 기울기가 지속적으로 증가하는 패턴을 보이지만 4시간 후 점차 기울기가 완만해서 온도상승의 경향이 줄어들었다.

실험 시작 후 9시간 지난 시점에서 결과적으로 열적 평형상태인 안정화 구간의 식별이 어려웠다. 1차 테스트 결과 내측 유리표면으로부터 500 mm, 1,500 mm, 3,000 mm의 실내온도는 약 49.0°C, 47.0°C, 46.0°C에서 수렴하였다.

3.3.2 2차 테스트 : 안정화 상태 확보 유지

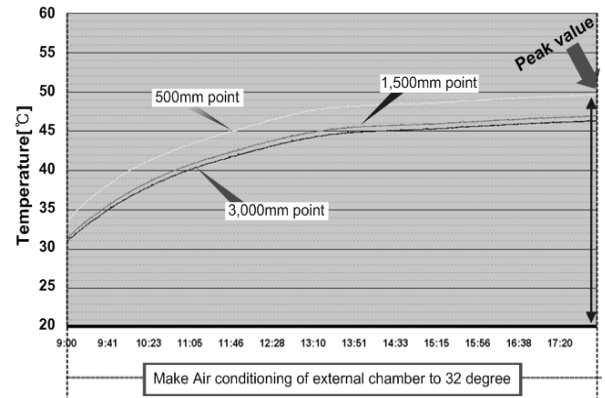
1차 테스트를 통해 얻게 된 실내측 중심 온도데이터 등을 바탕으로 2차 테스트를 진행하였다.

1차 테스트 결과에서 얻어진 피크(peak) 온도값을 얻기 위해, 실험 초반 외기 챔버의 향온기의 설정온도를 32°C(기준)에서 40°C로 8.0°C 상향 조정하여 실내온도를 급격히 상승시켰다.

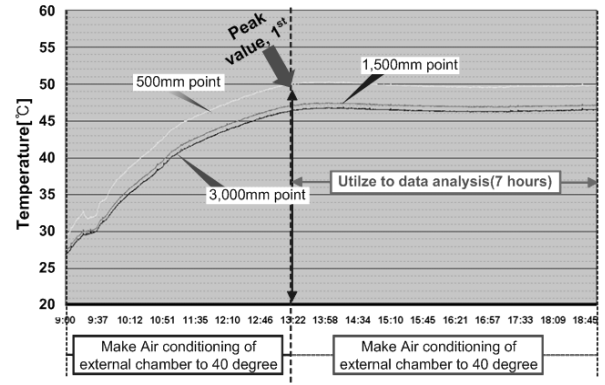
그 결과 실험 시작 후 4시간 이전까지 급격하게 목표치 온도까지 도달하였다.

목표 피크온도(1차 테스트 실험결과) 도달 후 외기 챔버 온도를 32.0°C(냉방시 조건)로 재설정하여 실내 온도변화 패턴에 대해 검토하였다.

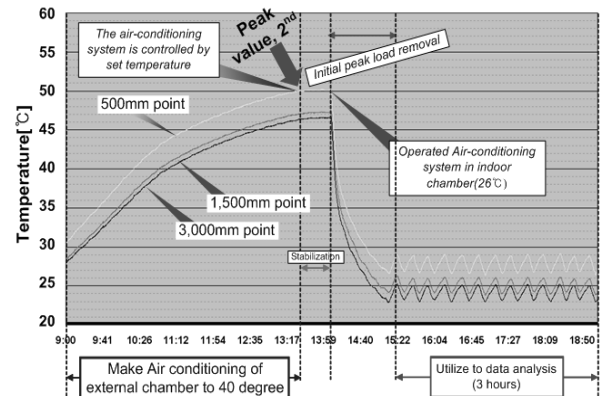
테스트 결과 500 mm, 1,500 mm, 3,000 mm의 실내온도가 49.7°C, 47.0°C, 46.4°C로 7시간 동안 유지하였다.



(a) 1st test



(b) 2nd test



(c) 3rd test

Fig. 6 Experiment method and process.

3.3.3 3차 테스트 : 실내 공조실험 및 부하량 산출

1, 2차 테스트의 결과에서 얻어진 종합 데이터를 바탕으로 3차 테스트를 진행하였다.

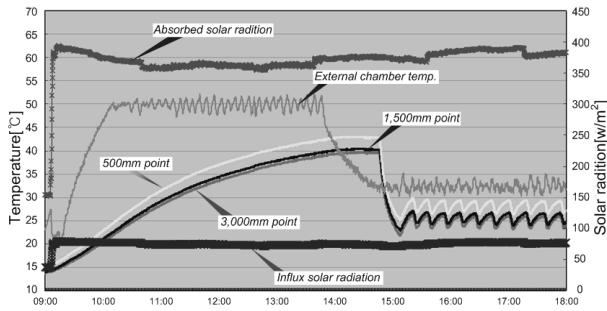
3차 테스트는 실내 내부 공조(냉방 부하 산출)를 고려한 테스트로서 2차 실험과 마찬가지로 실험 초반 외기 챔버를 40.0°C로 설정하여 실내 챔버의 약 4시간 운영하였다.

이후 목표 온도에 도달하면 약 1시간가량 안정화된 상태를 확인한 다음 실내 챔버 내 대류식 천장 공조시스템을 가동(급기구 12개 개방)하여 실내를 목표 설정 값(26.0°C, ±1.0°C)으로 실내를 공조하였다.

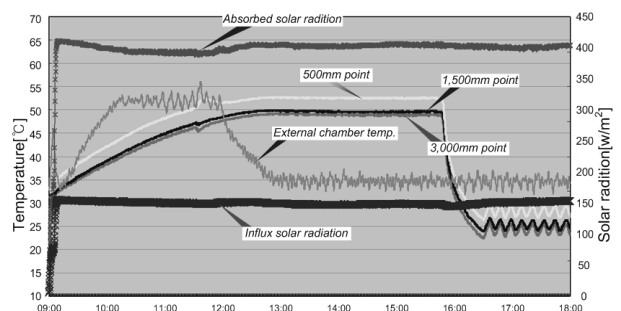
위의 일련의 과정을 통해 산출되는 냉방 부하(kWh)은 두 구간으로 나누어 초기 피크부하 제거량(A 구간)과 이후의 현 상태 유지를 위한 부하량(B 구간)에 대해 별도로 해석하였다.

4. 실험 결과

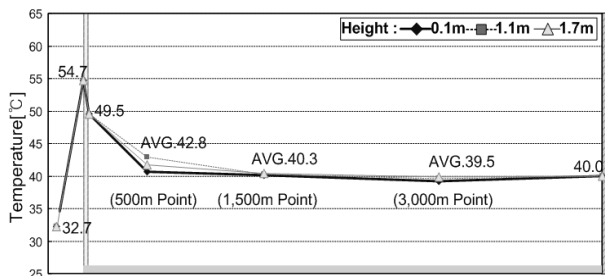
여름철 주간시간대를 가정한 상태에서 멀티코팅 유리 및 일반복층유리를 대상으로 임의 설정된 외기 챔버 조건 아래 차양장치 가용 여부 및 적용 위치 별 실내 온도장(Fig. 7(a)) 및 냉방부하는 Table 3과



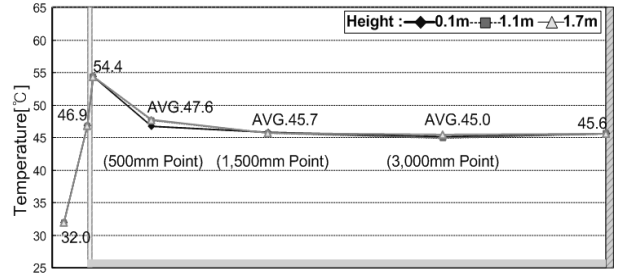
(a) case1 : multi-coating glass, temperature and solar radiation



(b) case1 : pair glass, temperature and solar radiation



(c) case1 : multi-coating glass, surface temperature



(d) pair glass, surface temperature

Fig. 7 Temperature changes of each layer by blind position. Case 1) no blind.

Table 3 The cooling energy consumption and inner glass surface temperature by glass types

	Location of the blind	External chamber (°C)	Surface temp. of glass(°C)		Surface temp. of blind(°C)	Temperature at the points(°C)			Cooling load(kWh)		
			Outside	Inside		0.5m	1.5m	3.5m	initial load	stabilization load	Total
Multi coating glass	-	32.7	49.5	54.7	-	42.8	40.3	39.5	0.95	1.55	2.50
	inner	32.6	48.7	51.0	40.1	40.1	38.2	37.8	0.74	1.38	2.12
	outer	32.8	31.1	31.1	36.0	30.9	29.3	29.0	0.20	1.38	1.58
Pair glass	-	32.0	54.4	46.8	-	47.6	45.7	45.0	2.85	2.71	5.56
	inner	32.1	56.7	48.1	51.7	44.5	42.6	42.2	1.85	2.14	3.99
	outer	33.8	37.6	38.4	40.9	35.3	33.7	33.2	0.73	1.42	2.15

같다.

그 결과 차양장치 없음(Case 1)의 경우의 단위 멀티코팅 유리는 약 2.50 kWh 걸렸으나, 복층유리는 5.56 kWh로 약 2배 이상인 55.0% 냉방부하가 초과 발생하였다. 이는 유리 자체의 열관류율(U-factor) 및 차폐계수(SC) 등 복합적인 요소에 의한 영향이라 판단된다.

Case 2, 내측 차양 적용 시 멀티코팅유리는 단위 바닥면적당 2.12 kWh, 복층유리는 3.99 kWh의 냉방부하가 걸리는 것으로 나타났다.

위 결과는 외부에서 실내로 유입되는 직달 일사(direct solar radiation)가 블라인드의 표면에 반사 또는 흡수함에 따른 영향으로 냉방부하 차이가 발생하였다. 또한, 실내 부하에 가장 크게 영향을 미치는 실내 측 유리표면 온도를 비교해보면 멀티코팅유리는 48.7°C, 복층유리는 56.7°C로 약 8.0°C가량 온도 차이를 보였다.

Fig. 7(c), Fig. 7(d)에서와 같이 멀티코팅유리는 유리의 외 측면이 내측면보다 약 5.0°C가량 높지만 복층유리는 반대로 내측유리 표면이 외 측면보다 상대적으로 높게 나타났다.

위 결과는 멀티코팅유리의 제 2면에 적용된 기능성 코팅막(Green)으로 인해 인공태양으로부터 방출된 일사량을 조절 및 단열효과에 기인하여 유리표면 온도 및 실내 온도분포 형성 측면에서 복층유리와 큰 차이를 보였다.

한편, 외측에 블라인드를 설치했을 경우의 두 테스트샘플 모두 내측 블라인드 적용보다 실내 온도는 약 9~10°C가량 낮아졌으며, 이에 냉방부하도 약 25.0~46.0% 감소하는 것으로 나타났다.

실제 내부차양은 외부로부터 직달 일사가 실내로 유입됨에 블라인드 표면에 축열되어 다시 실외로 반사시키는 양도 있지만, 블라인드 표면으로부터 복사에 의한 영향에 의해 외부차양보다 불리하게 작용했으리라 판단된다.⁽⁵⁾

두 종류의 유리를 대상으로 전반적인 냉방부하 비교결과 실외부에 차양장치(블라인드) 적용 시 그에 따른 실내온열환경이 더욱 더 안정적으로 유지하는데 크게 이바지하지만 실제 현장 설치 시 외부 풍속, 풍압과 기타 구조적 안전성을 이유로 그 시공은 미흡한 현실이다.

5. 결 론

본 연구는 초고층 건물의 외피부분이 실내온열환

경에 미치는 영향을 평가하기 위해 인공태양실험실(A. S. Lab.)을 활용하는 운영 프로세스를 작성하였다. 이를 위해 일반적으로 사용되는 멀티코팅유리 및 복층유리를 대상으로 블라인드 설치위치에 따른 창호의 에너지 성능을 평가하여, 추후 진행될 다양한 창호에 대한 상대적인 기초자료를 작성하였다.

한편, 실 외측에 차양을 설치할 때 냉방부하 저감 측면에서 큰 효과를 보였으나, 유지관리 측면과 겨울철 외부차양 사용 시 역으로 난방부하 증대에서 보는 손실을 종합적으로 고려하여 비교, 검토해볼 필요가 있다.

또한, 인공태양실험실을 운영함에 다양한 변수들을 통제하여 결과의 오차를 줄이는 것이며, 추후 실험들은 각각의 다른 물성값을 대표하는 창호 간에 상대적 비교를 시행할 시 실험대상 외의 조건들을 같게 해 주어야만 한다.

본 연구를 통해 얻어진 창호에 대한 데이터 및 실험실 운영 프로세스를 전략적으로 활용하여 다양한 창호(이중외피)를 대상으로 운영기별, 실내 챔버 공조 여부, 인공태양 운영 방안, 블라인드 위치 및 소재에 따른 연구를 시행할 예정이다.

또한, 전산 유체해석(CFD) 시뮬레이션을 통해 인공기상실험실을 구현하여 창호의 다양한 개방방식 및 블라인드 각도 등에 대해 검토함으로써 실험 전 발생하는 가능한 모든 물리적 관계들을 사전에 파악할 예정이다.

후 기

본 논문은 지식경제부 기관 고유사업으로서, “(10주요) Eco-Vario 건축외장 시스템기술 개발” 연구 과제(과제번호 : 2010-0070-1-1)의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Zollner, A., Winter, E. R. F. and Viskanta, R., 2002, Experimental studies of combined heat transfer in turbulent mixed convection fluid flows in double-skin-facades, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 45, No. 22, pp. 4401-4408.
- Lee, K. H., Yoon, Y. S., Jang, D. H., Kang, K. N. and Lee, E. S., 2008, A study on construction of artificial climate control chamber for va-

- luation of ventilation performance at(high-rise) buildings, Architectural Institute of Korea, autumn Annual Conference, pp. 635-638.
3. Park, C. Y., Lee, K. H., Yoon, Y. S. and Choi, C. H., 2005, A Comparative Experimental Study on Thermal Performance of Box-typed Double Skin and Curtain Wall in Cooling Period, Korean Journal of the Solar Energy Society(KSES), Vol. 27, No. 2, pp. 111-119.
 4. Elisabeth Gratia and Andre' De Herde, 2007, Are energy consumptions decreased with the addition of a double-skin, Energy and Buildings, Vol. 39, No. 5, pp. 605-619.
 5. Ikbal Cetiner, Ertan Özkan, 2005, An approach for the evaluation of energy and cost efficiency of glass facade, Energy and Buildings, Vol. 37, No. 6, pp. 673-684.
 6. Valentina Serra, Fabio Zanghirella and Marco Perino, 2010, Experimental evaluation of a climate facade : Energy efficiency and thermal comfort performance, Energy and Buildings, Vol. 42, No. 1, pp. 50-62.