

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 27, No. 2, 2007

박스형 이중외피와 커튼월의 냉방기 열적성능에 관한 비교실험 연구

박창영*, 이건호**, 윤용상***, 최창호****

*광운대학교 대학원(archi07@naver.com), **한국건설기술연구원lee1ncdh@kict.re.kr),
한국건설기술연구원(ysyoon@kict.re.kr), *광운대학교 건축공학과(choi1967@kw.ac.kr)

A Comparative Experimental Study on Thermal Performance of Box-typed Double Skin and Curtain Wall in Cooling Period

Park, Chang-Young*, Lee, Keon-Ho**, Yoon, Yong-Sang***, Choi, Chang-Ho****

*Dept. of Architecture, Kwangwoon University(archi07@naver.com),
**Korea Institute of Construction Technology(lee1ncdh@kict.re.kr),
***Korea Institute of Construction Technology(ysyoon@kict.re.kr),
****Dept. of Architecture, Kwangwoon University(choi1967@kict.re.kr)

Abstract

The annual mean temperature of South Korea has risen by 1.3°C for last 100 years by urbanization and industrialization. Especially, the frequency of unusual hot weather in summer increases for a long time and the frequency of unusual cold weather in winter clearly decreases. In recently, The considerable portion of curtain wall system is applied to building skin in domestic. As related to this, the Korea Institute of Construction Technology devised the box typed double skin facade(It is occasionally called as FDFS : Functional Double Facade System) as an alternative that reflects the distinctive local climate and saves cooling energy. Two mock-ups(4.9m*4.9m) applied to single skin(curtain wall) and double skin each were monitored under the outdoor condition. Therefore, the characteristics of natural ventilation and cooling energy consumption of each window had been analyzed in real time.

The results of this study are summarized as follow, Analysis of the experiment on an air conditioner: the indoor temperature of the chamber with FDFS is lower than that of the chamber with single skin facades by 3~6 degrees(C). A temperature variation of about 1~2 degrees between the 0.2m and 1.7m height of the mock-up occurs in FDFS, while that of about maximum 7 degrees occurs in single skin facade at noon with abundant intensity of solar accident. Also, 67 percent of energy consumption for air conditioning has been saved.

Keywords : 이중외피(Double skin facade), 커튼월(Curtain wall), 열성능(Thermal Performance), 냉방에너지(Cooling energy)

접수일자 : 2007년 5월 15일, 심사완료일자:2007년 6월 5일

교신저자 : 최창호(choi1967@kw.ac.kr)

1. 서론

도시화 및 산업화로 인해 한반도에서는 지난 100년간 연평균 기온이 약 1.3℃ 상승하였고 대도시 지역인 서울, 대구, 부산의 경우 각각 2.2℃, 2.1℃, 1.5℃의 기온이 상승하였다. 계절별 기온 상승의 특징은 여름철 이상고온 빈도(0.1~0.6일/10년)는 계속 증가하고 있으며 겨울철 이상저온 빈도의 감소(0.1~0.7일/10년) 경향이 뚜렷하게 나타나고 있다(허인혜, 2005).

이와 더불어 국내에서는 초고층 건물을 비롯하여 저층건물과 주거용 건물에 이르기까지 건물외피의 상당부분을 커튼월로 건축하고 있는 추세이다(임정희, 2007). 건물외피에서 유리의 사용이 증가함에 따라 채광 및 조망확보 등 긍정적인 기능을 제공하기도 하지만, 유리의 독특한 물리적인 특성으로 파장형태의 빛이 유리를 투과함과 동시에 열로 변하여 실내에 열을 공급하게 되는데, 겨울에는 난방부하를 줄이지만 여름철에는 과도한 일사확득으로 이어지고 여기에 내부발열이 더해져 냉방부하가 증가하게 된다.

앞서 설명한 국내 기후변화의 양상과 현대 건축물의 특징을 비춰봤을 때 향후 냉방에너지 소비는 지속적으로 증가할 것이며 이에 대한 대책이 필요한 시점이다.

이와 관련하여 건축분야에서 에너지 절감 및 쾌적성을 제공하기 위한 다양한 노력 중 설비적인 기술 적용에 앞서 건물 외피의 성능향상이 선행되어야 하며 현재 다양한 연구가 진행되고 있다. 그중 이중외피에 대한 연구내용 중 중공층(intermediate space)에 설치된 차양장치는 외부차양을 설치했을 때와 거의 동일한 효과를 가질 수 있다(Oesterle, 2002).

따라서 본 연구에서는 냉방부하를 효과적으로 절감하고 쾌적한 실내환경을 제공할 수 있는 이중외피 시스템이 냉방에너지 소비의 지속적인 증가를 해결할 수 있는 대안이 될 수 있을 것이라 판단하

여 국내 실정과 기후에 적합한 박스형 이중외피 시스템을 개발하고 실험을 실시하여 냉방기의 열적성능평가를 실시하였다.

2. 연구 방법

연구는 국내 상황에 적합한 박스형 이중외피를 개발하고 성능 검증을 위해 실물모형(moke-up)을 설치하고 자연실온실험(Non-air conditioned room temperature)과 냉방에너지 소비량 측정 실험을 실시하여 열적 특성을 평가하였다. 각각의 실험에는 서울의 기후와 비슷했던 실험일을 대표일로 정하여 냉방기 성능을 검증하고자 한다. 이 중 자연실온실험에서는 대표일의 쾌적성을 검토하고자 하며 냉방에너지측정실험에서는 한 달간의 실험 결과로 기후인자가 냉방에너지 소비에 미치는 영향을 검토하고자 한다.

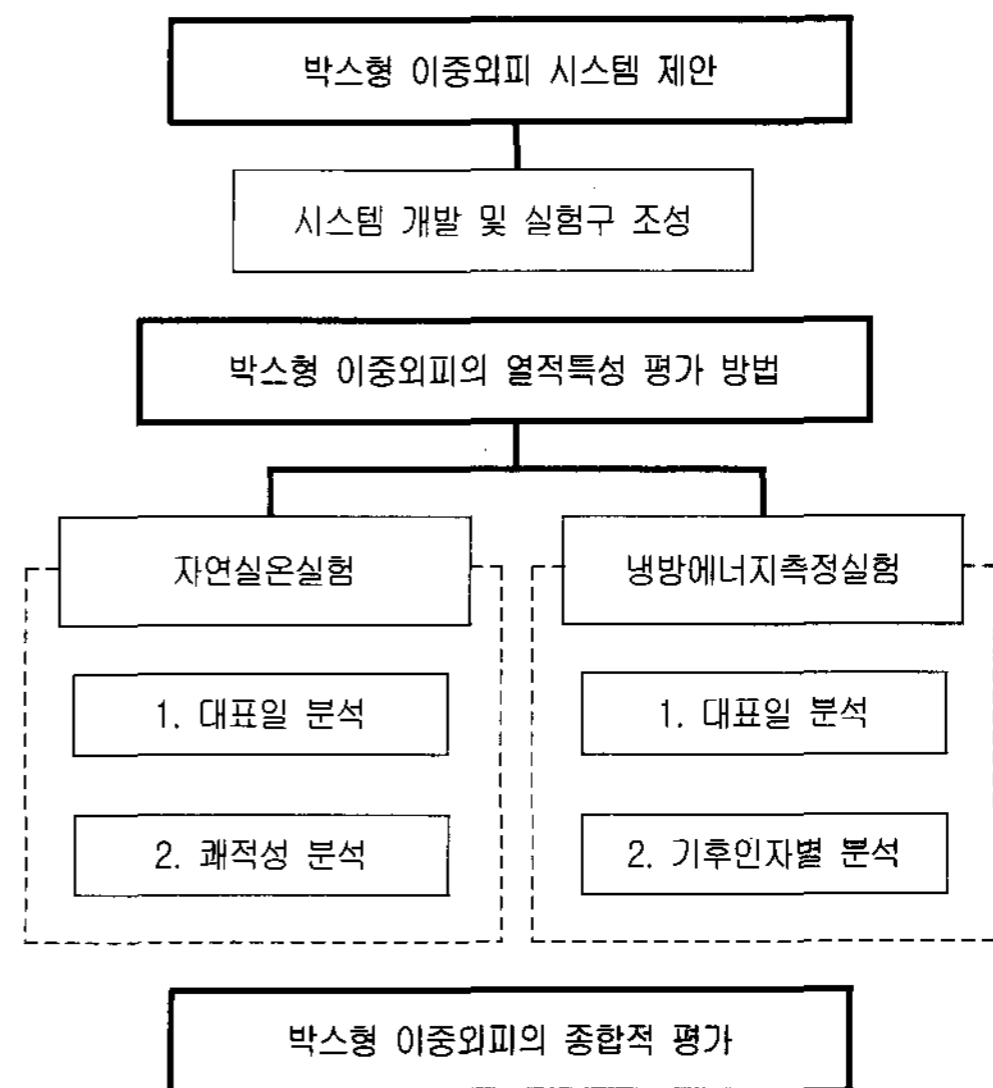


그림 1. 연구흐름도

3. 시스템 개요 및 실험구 구축

3.1 시스템 개요

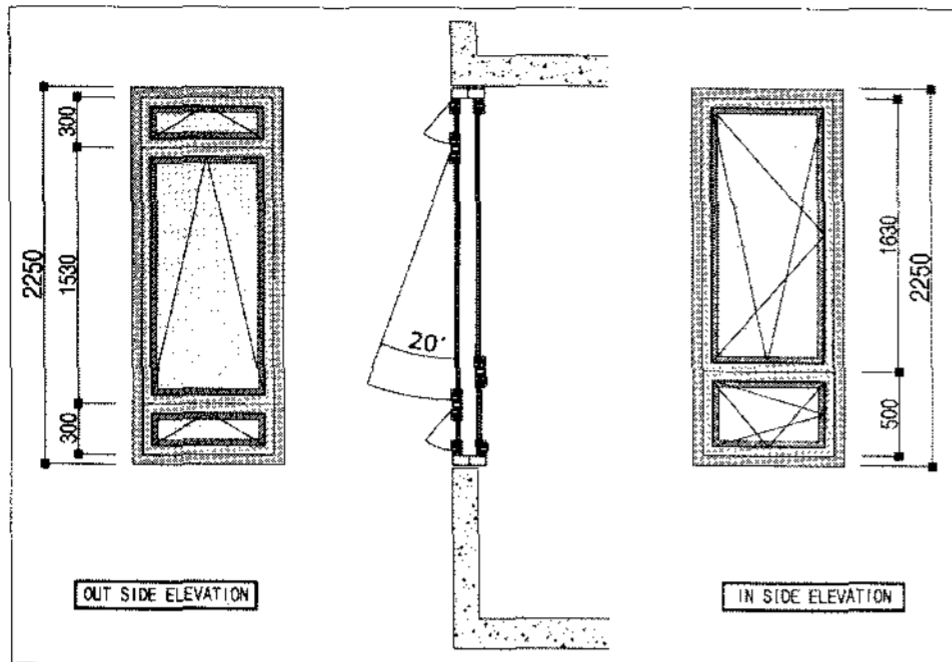


그림 2. 시스템 입·단면도

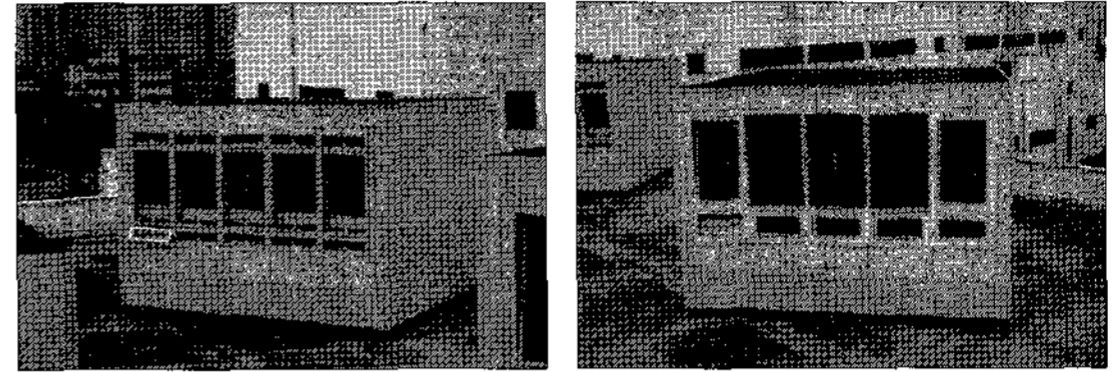
그림 2는 본 연구에서 개발된 이중외피 시스템의 입·단면도로 중공층의 폭이 20cm 이하여서 일반 창호의 시공방법과 동일하게 설치할 수 있는 특징을 갖고 있다. Oesterle(2002)가 제시한 이중외피의 분류체계에 따르면 박스형 이중외피와 가장 가까우며 자체적으로 FDFS(Functional Double Facade System)라는 시스템명을 부여하였다. 외측 외피의 경우 3개의 개구부로 구성되었고 계폐 방식은 하향 Project 형식으로 20~40° 범위에서 개방된다. 내측 외피는 2개의 개구부로 구성되었고 계폐 방식은 Tilt & Turn 형태로 개방된다. 외측 외피와 내측외피에 적용된 유리는 각각 투명단창 6mm, Low-E 24mm를 적용하였다. 이중외피의 수직면의 크기는 2.2m로 일반적인 건축물의 층고와 유사하다고 할 수 있다.

3.2 실험구 구축

박스형 이중외피와 커튼월 시스템의 비교실험 목적으로 제작하였고 시스템 간, 자연실온실험과 냉방에너지측정실험에 적합한 실험기자재를 설치하였다.

비교실험을 위해 2005년 9월 한국건설기술연구원 실험동 옥상에 4.9m×4.9m×2.5m(가로×세로×높이)의 크기로 2기의 실험구를 설치하였다. 실험구의 벽체, 지붕, 바닥은 샌드위치 패널로 구성하였고 내부에는 3mm 석고보드로 마감하였으며 창

호를 제외한 각 부위별 물리적인 특징은 동일하도록 구성하였다.(그림 3-a, 3-b)



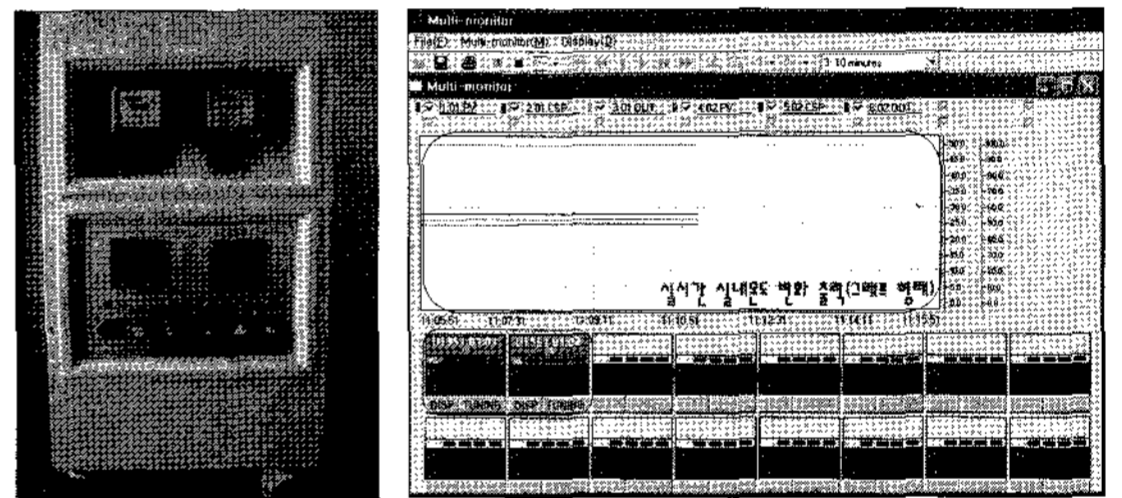
a) 이중외피 실험구

b) 커튼월시스템 실험구



c) 실험구 내부 측정기기

d) 냉방기기 설치



e) 계측 시스템

f) 모니터링 프로그램

그림 3. 실험구 모습 및 계측시스템

실험구 내부에는 Testo(社)의 온도와 기류를 동시에 측정할 수 있는 백금저항센서(probe)가 설치되어 있으며 기류 측정이 불가능한 벽체 및 바닥, 천정, 유리, 블라인드 표면에는 열전대센서를 설치하였다. 센서의 설치위치는 창문으로부터 0.7m, 1.6m, 2.5m, 3.4m 간격으로 이격된 위치에 스탠드를 세우고 바닥에서부터 0.2m, 1.1m, 1.7m 높이¹⁾에 설치하였다.(그림 3-c)

다음으로 에너지소비량 측정실험을 위해 각 실

1) 인간이 온도/기류에 가장 민감하게 반응하는 100mm(발꿈치 높이), 400mm(무릎높이), 1100mm(착석한 상태의 목높이), 1700mm(선상상태의 목높이) 높이에 설치하나 본 실험에서는 바닥으로부터 200mm, 1100mm, 1700mm 높이에 설치하였다.

험구에 냉방기기를 설치하였는데 소비적력 860W, COP 2.8의 성능을 가진 벽걸이형 에어컨을 사용하였으나 에어필터 내부에 설치된 기존의 작동 센서는 제거하고 0.01℃까지 분해능을 가진 정밀한 센서의 측정값에 따라 에어컨이 가동되도록 하였다.(그림 3-d)

그리고 실험구 내부의 측정장비를 통합 관리하는 계측시스템을 구축하였다. 자연실온실험을 위해 설치한 백금저항센서 및 열전대 센서에서 측정된 데이터는 실시간으로 Databus에 저장되어 모니터링 프로그램을 통해 데이터를 확인하거나 다운로드할 수 있다. 또한 에너지소비량 측정실험을 위해 설치한 에어컨과 온도센서를 계측기에서 on·off 제어로 조절하고 가동시간과 정지시간 및 누적 소비량을 디지털 신호로 변환하여 모니터링 프로그램에서 데이터 확인 및 다운로드 할 수 있도록 하였다.(그림 3-e, 3-f)

4. 냉방기 실험

4.1 냉방기 실험 개요

05년 9월 2일 실험구 완공 후, 약 1개월 간 자연실온(Non-air conditioned room temperature) 실험을 실시하였고, 06년 8월부터 9월15일까지 약 32일 간 냉방모드에서 두 실험구의 에너지 소비량을 비교 분석하였다.

표 1. 냉방기 실험개요

구분	자연실온실험	에너지소비량측정실험
기간	05년 9월 2~11일	06년 8월9일~9월 14일
외측외피	모두 개방	모두 개방
내측외피	모두 닫음	모두 닫음
블라인드	45°	80°
환기	안함	안함
가동온도	-	28℃
정지온도	-	24℃
측정간격	1분	1분

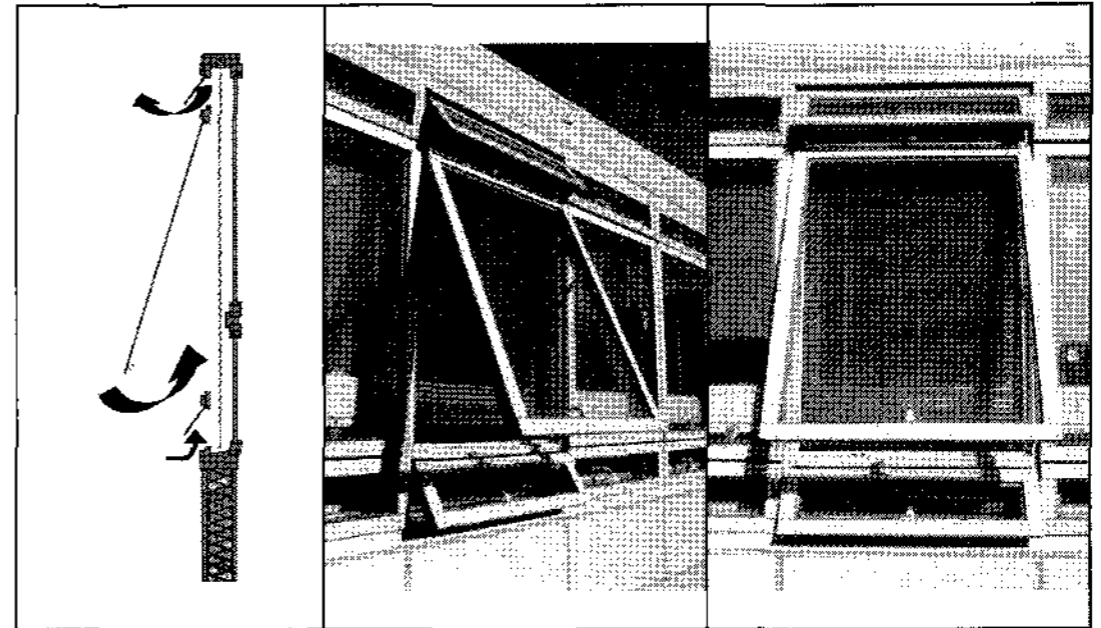


그림 4. 냉방기 운전모드 및 실물모습

그림 4와 표 1은 냉방기의 박스형 이중외피 운전모델과 이중외피 개구부의 개폐 특징을 정리한 것이다. 냉방기 운전 모델의 특징은 중공층의 예열 효과를 최소화하고, 중공층의 과열된 공기를 대류에 의해 효과적으로 외부로 내보내기 위해 외창 상·중·하단을 모두 개방한 점이다. 외기온이 30℃ 이상으로 상승하는 여름철에 자연환기는 현실적으로 어렵고 실내 쾌적을 위해 냉방기기가 가동되어야하므로 내창이 닫힌 상태에서 실험을 실시하였다. 냉방기기의 가동·정지온도는 국내 건축물에너지절약설계기준과 냉방기기의 효율을 고려하여 24℃/28℃로 설정하여 26℃가 유지되도록 하였으며 실제 실험결과를 검토한 결과 실온이 26℃에서 유지되는 것을 확인할 수 있었다.

4.2 자연실온실험

아래 그림 5은 실험구 내부의 측정지점이 많기 때문에 센서위치를 기호로 정리한 것으로서, 센서가 설치된 스탠드가 창호로부터 이격된 방향에 따라 P1(0.7m), P2(1.6m), P3(2.5m), P4(3.4m)로 표시하였으며, 각 스탠드의 수직방향에 설치된 센서 높이에 따라 200, 1100, 1700으로 구분된다. 따라서 P1-200은 창호에서 0.7m 떨어진 곳에 바닥으로부터 0.2m 높이에 센서가 설치되었다는 것을 나타낸다.

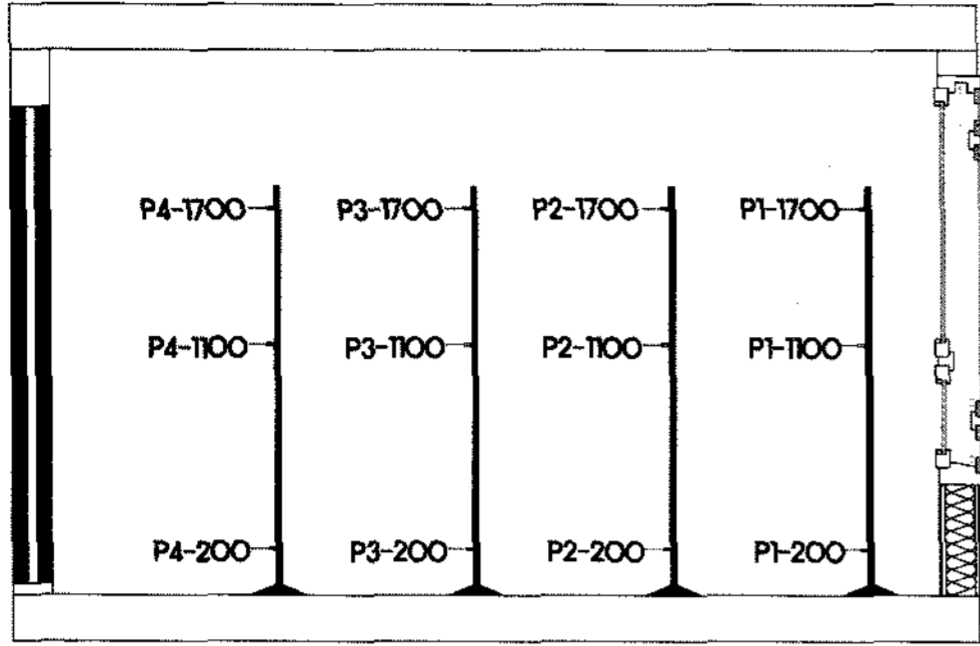


그림 5. 측정위치에 대한 개념도

(1) 일일 실온변화

그림 6은 냉방기에 커튼월과 이중외피의 실내온도와 외기온, 실험구 간 온도차를 시간에 따라 그래프로 표현한 것이다.

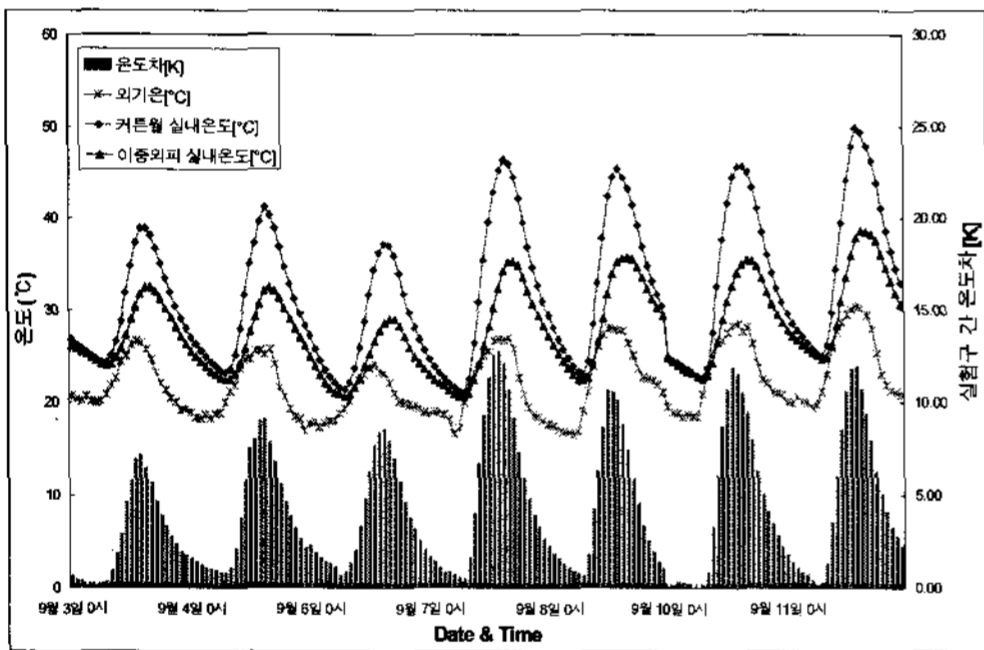


그림 6. 자연실온변화(05년 9월 3~11일)

온도는 공간내 12 지점(4 스탠드 × 3 센서/스탠드)에서 1분 단위로 측정된 값을 한 시간 평균으로 나타낸 것이다. 주간의 실온 변화를 살펴보면 커튼월은 40~50°C, 이중외피는 30~40°C까지 온도가 상승하였으며, 두 시스템의 온도차이가 무려 7~13K이나 된다는 것을 확인할 수 있다. 이는 창호의 물리적 성질(투과율, 흡수율, 반사율)과 차양장치(차폐계수)의 효과에서 기인한다. 여름철에 일사차단을 목적으로 커튼월시스템은 내부에 이중외피는 중공층에 차양장치를 설치하게 되는데, 이중외피가 실내로 유입되는 일사를 보다 효율적으로 차단하여

실내 온열환경에 유리한 환경을 제공한다.

(2) 대표일(9월 11일)의 일평균 온도 비교

냉방기 자연실온실험 결과를 구체적으로 분석하기 위해 대표일을 선정하였다. 선정방법은 다양한 기후인자 중 기온이 실온에 미치는 영향²⁾이 가장 크므로 실험기간 중 측정된 기온과 기상청에서 제공하는 서울지역 8월의 평년값(평균기온)³⁾과 유사한 날을 대표일로 하였다. 서울지역 8월의 평년값(평균기온)은 25.4°C로 실험일 중 가장 유사한 일평균온도가 기록된 날은 9월 11일이다. 대표일의 기상조건은 기온 26.3°C, 일사량 4.6kWh/m² day, 습도 64.4%로 보편적인 여름철 기상조건이라 볼 수 있다.

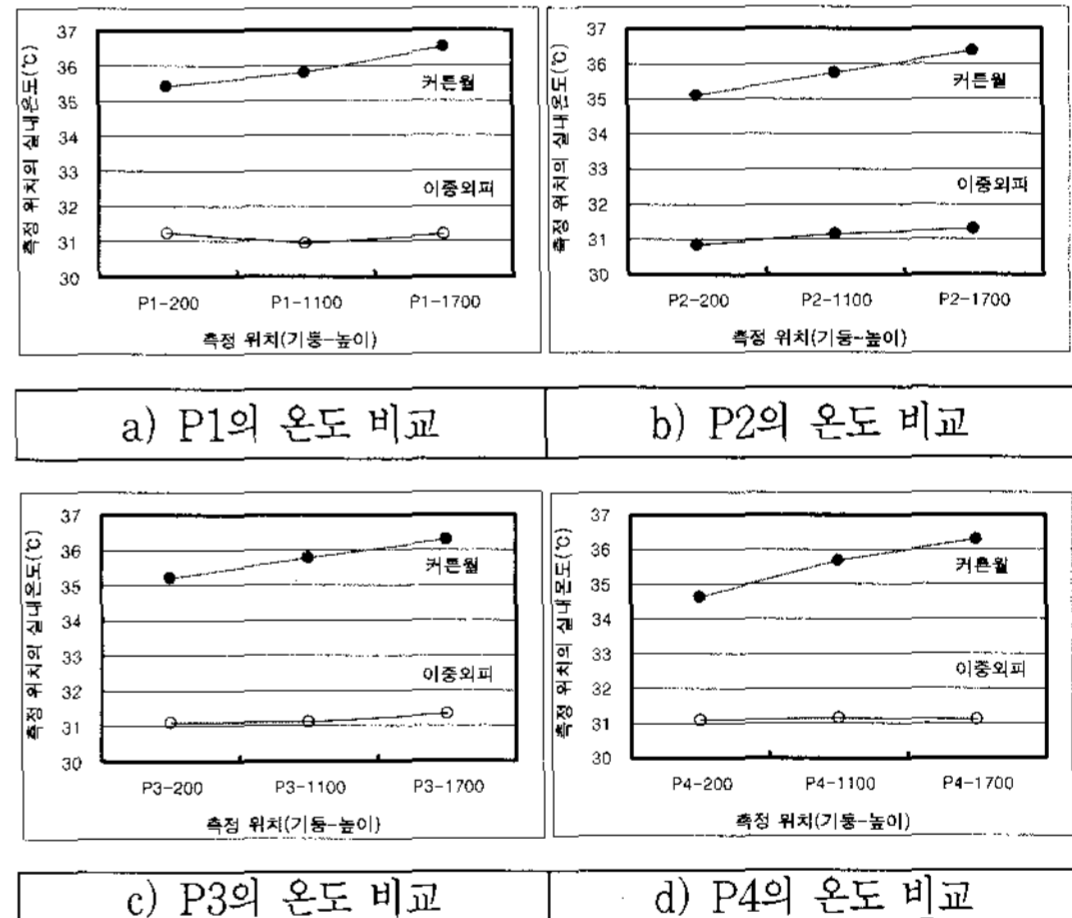


그림 7. 냉방기 (9월 11일) 측정 위치에 따른 일평균 기온 비교

아래의 그림은 하루 동안 1분단위로 측정된 1440개의 온도값을 측정위치별로 산술평균한 결과이다. 하단부에서 약 35°C 내외 그리고 상단에서 36°C 이상의 온도가 측정되어 상하단의 온도차

2) 장용성(2005.02)은 기후인자와 자연실온 사이의 상관계수 분석결과, 상관도는 일평균 외기온도, 지중온도, 일사량, 상대습도, 풍속 순임을 밝혔다.
3) 기상청에서 제공하는 지역별, 기후요소별 기후자료 중 30년(1971~2000년)간 측정된 값에 대한 평균값

가 1~2K 가량 발생했으며, 이중외피는 상·하단이 동일하게 약 31°C가 유지되어 온도차가 거의 발생하지 않았다. 커튼월시스템 대비 이중외피에서 일평균온도로 차이를 검토할 경우 약 4~5.5K 정도가 발생하였다.

(3) 대표일(9월 11일)의 실험구 내부 온도차이 비교

그림 8은 각 스탠드(P1, P2, P3, P4)의 0.2m, 1.1m, 1.7m 높이에 설치된 센서에서 측정 한 온도 중 최대값과 최소값의 차이를 그래프로 나타낸 것이다. 공간에서 수직방향으로 발생하는 온도차는 재실자의 쾌적감에 영향을 주기 때문에 일반적으로 수직면 0.2m~1.7m에서 3K 이상의 온도차가 발생하면 재실자는 불쾌감을 느낀다. 그림에서 알 수 있듯이 이중외피는 오전 9시부터 오후 6시 사이에 최대 1.5K 이하의 온도차가 발생하지만, 커튼월시스템은 최대 5.5K 이상 온도차가 발생한다. 여기에는 기온과 일사량이 가장 큰 영향을 미친다. 일사 투과량 조절에 상대적으로 어려운 커튼월시스템은 냉방기에 일반적 외기 조건에서도 민감하게 반응하여 실내온도가 상승하고, 재실자의 불쾌적을 유발하는 빈도가 높은 반면, 이중외피는 매우 열악한 외기조건에도 수직 또는 수평 온도차이가 크지 않아 쾌적한 실내공간을 형성하는데 보다 유리할 것으로 판단된다.

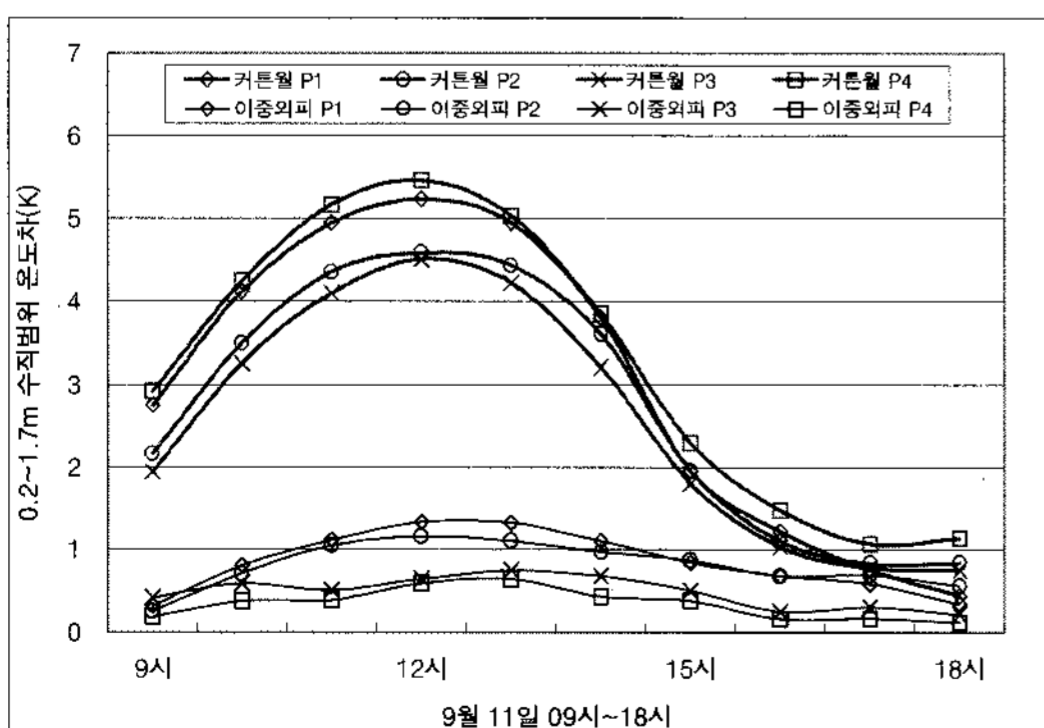


그림 8. 실험구 수직면 온도차 비교

4.3 냉방 에너지 소비량 측정

(1) 월간 에너지 소비량 비교

06년 8월 9일부터 9월 14일까지(실험 미 실시 4일 제외) 약 32일간 에어컨을 가동하면서 실험구의 에너지소비량을 측정하였다. 따라서 두 실험구의 에너지 소비량을 비교하여 창호시스템의 차이에 따른 냉방에너지 절감율을 분석하였다.

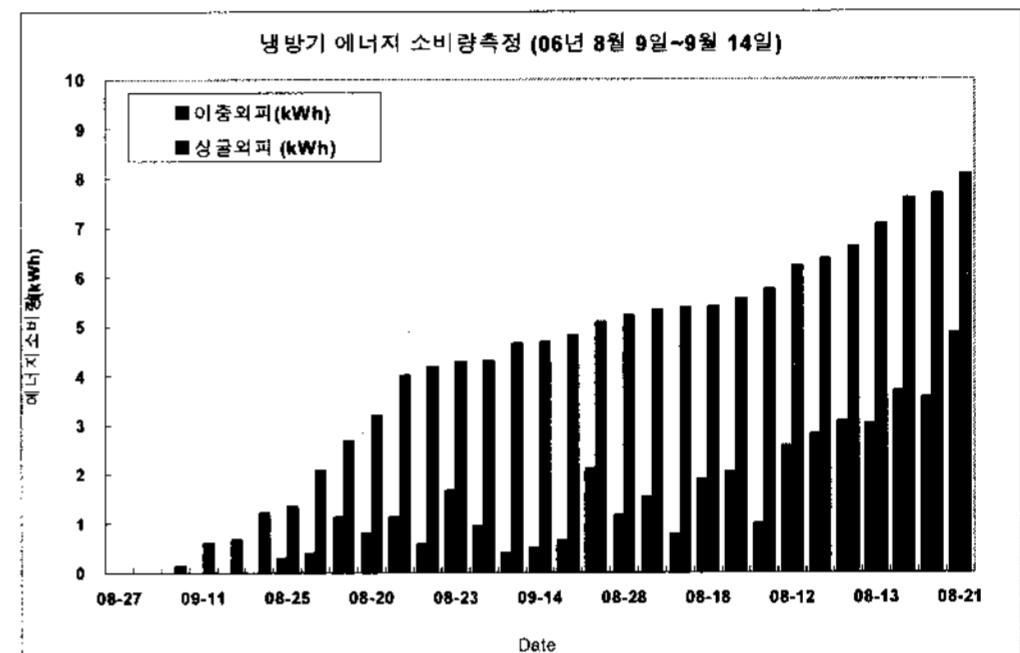


그림 9. 실험구간 냉방 에너지소비량

표 2. 월별 에너지 소비량 비교

구분	이중외피	커튼월시스템
기온(°C)	25.59	
일사량(W/m ² ·day)	4463.86	
실내온도(°C)	24.81	24.74
에너지소비량(kWh)	1.38	4.20
절감율(%)	67%	

실험기간 중 외기온은 평균 25.6°C로 서울지역의 평년기온(25.4°C)과 매우 유사하였다. 이때, 실험기간 동안의 두 시스템의 에너지 소비량을 분석해보면 이중외피의 경우 약 42kWh로 130kWh의 에너지를 소비한 커튼월시스템에 비해 약 67% 정도가 감소하였다. 단위면적 당 일일냉방에너지 소비량은 이중외피와 커튼월시스템에서 각각 64 Wh/m², 200Wh/m²가 소비되었다. 이는 이중외피에서 중공층에 설치된 차양이 태양광선을 차단하여 실내 열부하를 원천적으로 줄였기 때문이다. 그림 9는 에너지 소비량을 오름차순으로 정리한 것으로 커튼월 시스템과 이중외피의 냉방에너지 소비량

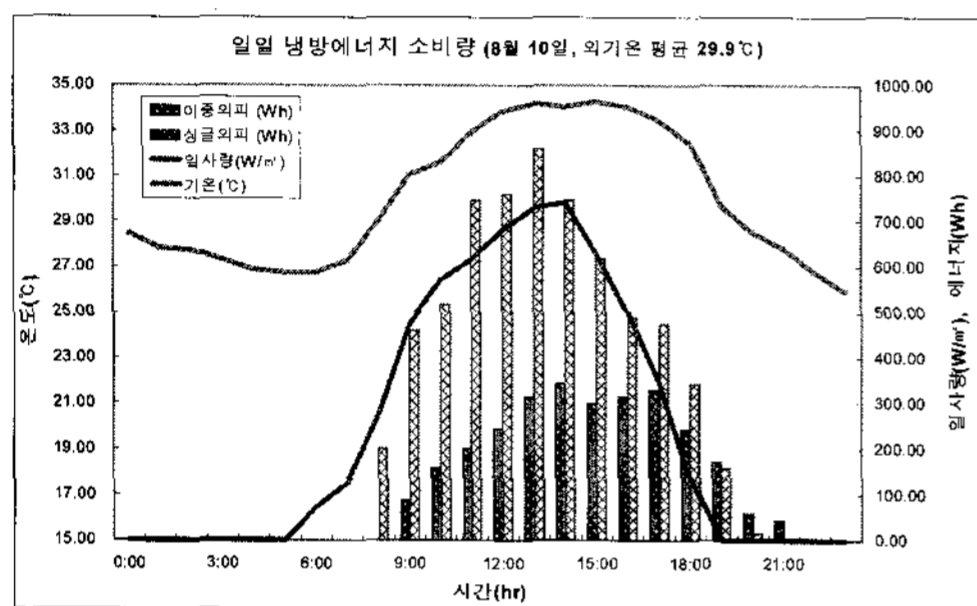
의 확연한 차이를 확인할 수 있다.

(2) 대표일의 냉방에너지 소비량

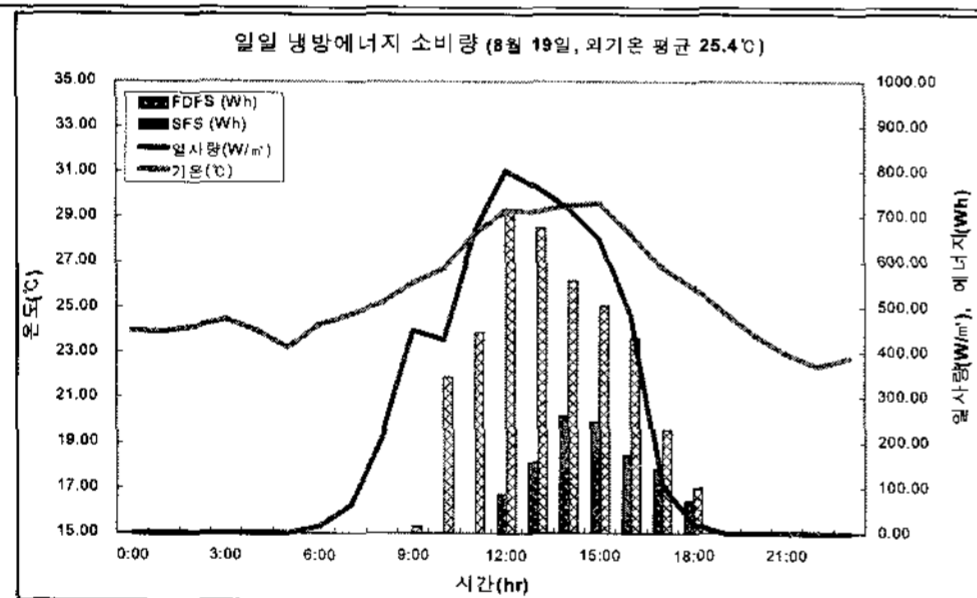
기상청에서 제공하는 일 평년값에 대한 자료 중 서울지역의 8월 달 평균기온, 최저기온, 최고기온을 기준으로 실험일 중 위와 유사한 기온이 측정된 날에 대해 냉방기 대표일로 정하여 에너지 소비량을 검토하였다.

표 3. 기후조건 별 특징 분석 표

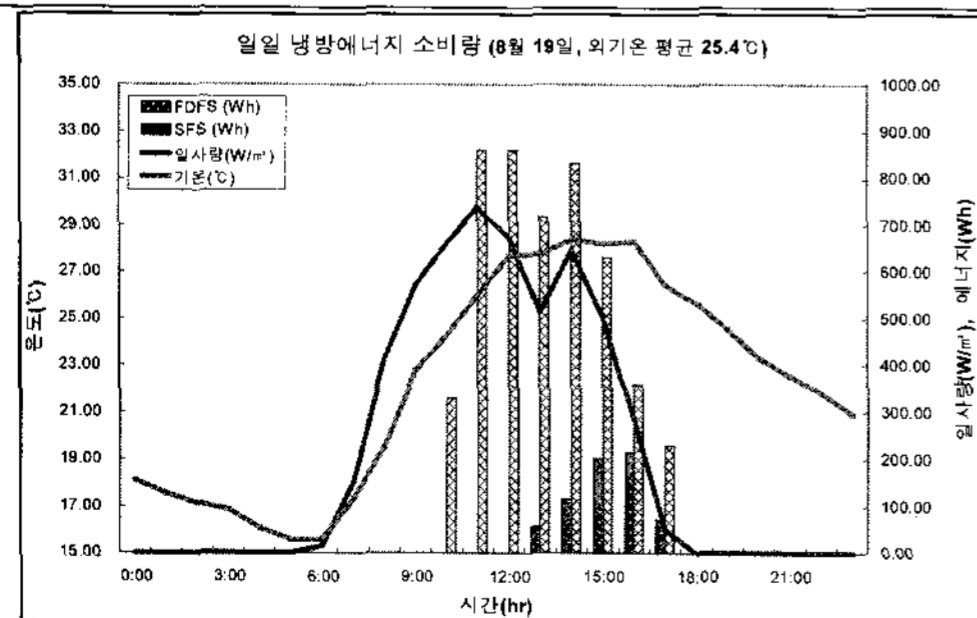
구분	8월 10일		8월 19일		9월 5일	
평년기온(°C)	29.5 (최대)		25.4 (평균)		22.1 (최저)	
측정기온(°C)	29.94		25.57		22.19	
일사량 (W/m ² ·day)	5,859.94		5,380.32		5,227.71	
실험구	이중외피	커튼월	이중외피	커튼월	이중외피	커튼월
실온(°C)	26.86	26.30	25.59	25.40	22.76	22.92
에너지소비량 (W/m ²)	2,809	6,378	1,132	4,013	659	4,816



a) 서울 평년값(최고기온)과 유사 대표일



b) 서울 평년값(평균기온)과 유사 대표일



c) 서울 평년값(최저기온)과 유사 대표일

그림 10. 대표일의 에너지소비량 특성 분석

그림 10 a)는 평균기온이 29.94°C로 관측된 8월 10일을 최고기온대표일로 가정한 경우로서, 이중외피에서 약 2.8kWh/day, 커튼월시스템에서 6.3kWh/day의 냉방에너지가 소비되었고 커튼월 시스템 대비 이중외피에서 55%의 에너지 절감효과가 있음을 알 수 있다. 또한 커튼월시스템은 오전 8시부터 9시 사이에 이미 200W 이상의 냉방부하가 발생하였으며, 이중외피는 9시부터 100W의 냉방 부하가 발생하였다.

그림 10 b)는 평균기온이 25.4°C로 측정된 8월 19일을 평균기온의 대표일로 가정한 경우이다. 이 때 에너지는 이중외피에서 1.1kWh/day, 커튼월시스템에서 4kWh/day가 소비되었으며, 이중외피에서 약 70% 정도 냉방부하가 적게 발생하였다. 커튼월시스템은 오전 9시부터 냉방부하가 발생하지만, 이중외피는 정오경에 이르러 냉방부하가 발생한다는 것을 알 수 있다.

그림 10 c)는 평균기온이 22.19°C로 측정된 9월 5일을 최저기온의 대표일로 가정한 경우이다. 에너지 소비는 이중외피가 0.6kWh/day, 커튼월시스템이 4.8kWh/day로 이중외피의 에너지절감효과가 약 80% 양호하게 나타났다. 특히 이중외피에서는 일사 및 기온의 직접적인 영향에 의한 냉방부하가 늦은 오후부터 발생하였다. 이는 커튼월시스템에 비해 냉방가동 시간이 극단적으로 감소될 수 있음을 의미한다.

위와 같이 커튼월시스템과 확연하게 구분되는 이

중외피의 냉방부하절감효과는 냉방에너지소비에 매우 큰 영향을 미치는 차폐계수(SC)에 그 원인을 두고 있다. 내부블라인드가 적용된 커튼월시스템은 일사에너지 통과율이 0.7정도이지만, 중공층에 차양이 설치되는 이중외피는 일사통과율이 0.2 이하로 매우 낮다. 그 결과 이중외피(FDFS)가 커튼월시스템에 비해 냉방부하가 약 55~80% 이상 낮다.

(3) 냉방 에너지 소비량과 기상요소의 상관관계

기상요소가 에너지 소비에 미치는 영향을 파악하기 위해 자연실은 실험결과를 바탕으로 일일 에너지 소비량과 외기온·일사량의 상관관계를 분석하였다.

각 그래프에 표시된 선형추세선을 보면, 이중외피와 커튼월시스템 모두 외기온과 일사량에 비례하여 냉방에너지소비량이 증가하는 것을 알 수 있다. 먼저 기온에 따른 이중외피와 커튼월 창호의 추세식은 다음과 같다.

커튼월 시스템의 추세식 : $Y=0.39X-5.83$

박스형 이중외피의 추세식: $Y=0.26X-5.29$

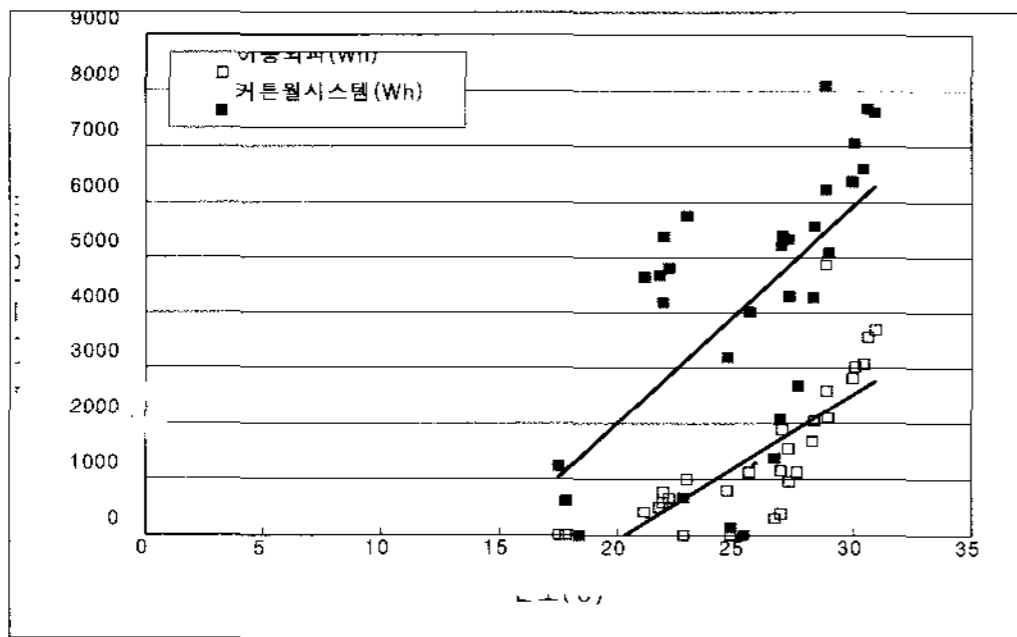


그림 11. 실험구간 에너지소비량과 외기온의 상관관계

다음으로 일사량에 따른 두 실험구의 추세식은 다음과 같다.

커튼월 시스템의 추세식 : $Y=1.12X-8.04$

박스형 이중외피의 추세식: $Y=0.43X-5.24$

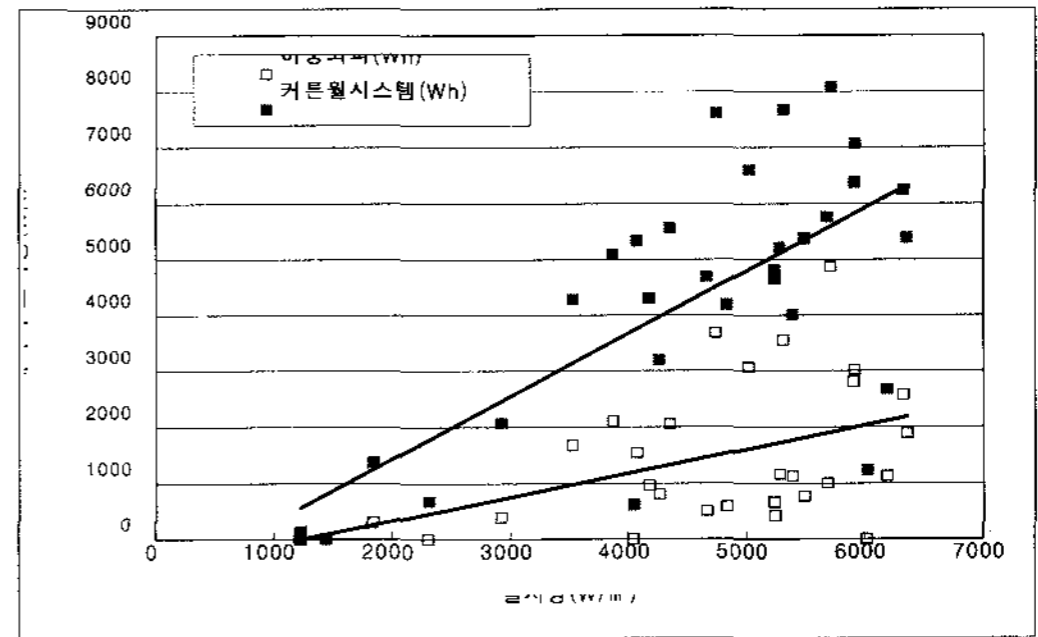


그림 12. 실험구 간 에너지소비량과 일사량의 상관관계

추세식에서 커튼월창호와 이중외피의 외기온 상승에 따른 에너지소비량 절감율은 약 34%이며 일사량에 따른 에너지 소비량의 차이는 약 62%까지 차이가 발생함을 확인할 수 있다. 따라서 일사가 많을수록 커튼월 창호가 이중외피에 비해 냉방부하 측면에서 보다 불리해 진다는 것을 실험결과를 통해 증명하였고 일사차단에 적절히 대응할 경우 냉방에너지 절감에 매우 효과적임을 알 수 있다.

5. 결론

국내 기후 변화의 특징과 현대 건축물의 유리파사드 면적이 증가하는 현실 속에서 냉방에너지를 절감할 수 있는 대안으로 이중외피를 제안하였고 성능 검증을 위해 실험구를 구축하여 05년부터 07년까지 실험을 진행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 자연실온실험 결과를 통해 이중외피를 적용한다면 일반 커튼월창호보다 약 5K 정도의 실온 상승을 방지할 수 있다.

둘째, 쾌적성 측면에서 실험구 내부의 수직면의 온도차이를 분석한 결과에서 이중외피는 약 1~2K 범위에서 차이가 발생하지만 커튼월 창호는 최대 6K까지 차이가 발생함을 알 수 있다.

셋째, 서울지역의 여름철 대표일에 대한 에너지 소비량 측정실험결과로 커튼월창호 대비 이중외피의 에너지 절감율은 55~80%에 이른다.

넷째, 기후인자에 따른 에너지소비량의 차이는 기온과 일사량이 상승함에 따라 34%, 62% 차이가 발생하며 일사차단이 냉방부하 절감에 효과적이며 외차양과 비슷한 수준의 일사차단효과가 있는 이중외피는 냉방부하 절감에 매우 효과적임을 알 수 있다.

본 연구는 창호의 차이에 따른 열적성능을 분석한 결과로 실제 건물에서 이중외피가 적용될 경우 공간특징(창면적비, 장단비, 층고 등)과 내부발열에 따른 실험결과와는 다소 차이가 발생할 수 있지만 향후 이중외피의 보편적인 적용이 확대될 수 있는 기초연구가 될 것으로 예상된다.

후 기

본 연구는 삼우EMC 외장사업부와 삼성물산 건설부문의 연구비지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

1. 임정희, "고층아파트 단위주거의 커튼월 결로예측" 대한건축학회 논문집, 23권 3호, 2007.3
2. 박창영, "박스형 이중외피와 커튼월 창호의 난방기 열적성능 비교" 대한설비공학회, 하계학술 발표대회 2005.6
3. 장용성, "건물의 에너지효율을 위한 건축적 계획방법연구" 대한건축학회 논문집, 21권 2호, 2005.2
4. 박창영, "발코니 확장에 따른 박스형 이중외피의 적용 가능성 연구" 광운대학교 석사학위논문, 2006.12
5. 허인혜, "한국의 이상기온 변화와 그 요인에 관한 연구" 건국대 대학원 박사학위논문, 2005.12
6. 한국건설기술연구원, "냉난방에너지 절감 및 자연환기기능 강화 FDFS개발연구", 2006.12
7. Osterle, "Double skin facade", 2001.1