

# 난방기 중 이중외피 시스템의 자연환기 성능분석에 관한 실험적 연구

## Experimental Study on Natural Ventilation Performance of Double Facade System in Heating Period

이 건 호\*  
Lee, Keon-Ho

김 현 수\*\*  
Kim, Hyeon-Soo

고 영 우\*\*\*  
Ko, Yung-Woo

손 영 주\*\*\*\*  
Son, Young-Joo

### Abstract

A Double Facade System(DFS) is well known as an innovative solution of ecological facade in the west european countries. There are more than 200 various realized DFS in Germany. At the same time, the korean engineers have researched to find out the physical advantages of DFS in the moderate korean climate, which has a very humid summer with high temperature and a dry winter with low temperature. For example, the monthly mean temperature in Korea comes up to 28K, while that in Germany comes up to only 19K. That is, why a other solution of DFS is needed in Korea.

This study has experimented the physical performance of the natural ventilation in the heating period. The preheating function of the cold air by DFS can improve no doubt the performance of the natural ventilation at the cold season as well as spring and autumn. The physical difference between single and double facade on natural ventilation has been tested at the newly constructed laboratory, which can turn 360° to confirm the characteristic of a facade with the various directions.

The results show the natural ventilation of the DFS has definitely much more comfortable than that of the single facade system. The air velocity of the inflow as well as the air temperature in the DFS provide a more stable condition than in the SFS. The theoretical limit(air velocity max 0.2m/s, air temperature min. 18°C, temperature difference between 100mm and 1700mm height max. 3K) on the indoor comfortableness doesn't go over in the DFS. On the other hand, the SFS showed an unstable condition with an excess of comfortableness limit on air velocity as well as temperature. In view of the researching results so far achieved, the research came to a conclusion, that the DFS can provide a more comfortable indoor condition by the preheating in the heating period than a SFS, and the period of natural ventilation in winter time could be definitely increased at the DFS .

키워드 : 이중외피, 자연환기, 난방기

Keywords : Double Facade System, Natural Ventilation, Heating Period

### 1. 서 론

#### 1.1 필요성

90년대를 독일어권을 중심으로 하여 이중외피시스템의 성능 및 디자인에 대해 이미 많은 연구가 진행되어, 현재 독일은 약 250개 중대형 프로젝트에서 이중외피가 다양하게 적용되었다. 물론 국내의 경우도 이런 추세를 반영하여 지난 1994년 D건설 연구소에 아트리움에 연계된 Whole Type 이중외피가 최초로 적용된 이후 국내 현장에 7개 이상의 프로젝트에 이중외피가 적용되었다. 하지만 10년이 지난 현재 국내 이중외피의 현장적용에 있어

시장의 여건에 큰 변화가 없는 것은 매우 안타까운 일이다. 기술적으로는 진전이 있었음에도 불구하고 이런 현장의 성과가 부족한 가장 큰 이유는 경제성의 문제일 것이다. 이중외피가 two layer로 구성됨으로 인해 프로파일 두꺼워지며 동시에 통상 강화유리가 전면부에 부착됨으로 인한 비용상승은 인정하고 접근해야 할 것이다. 게다가 통상적으로 차양설비는 시공비에 포함되어 있지 않으며, 입주자가 입주시 직접 비용을 지불하는 구조상에서 이중외피의 경우 차양설비는 기본적으로 설치되어야 하는 상황으로 인해 추가적 비용상승을 모면하기는 쉽지 않다. 또한 기술적 대안의 모색에 있어서도 실제 이중외피에 있어 독일과 같이 경험이 풍부한 전문가가 전무함으로 인해 합리적 대안의 제시에 있어 분명 한계가 있다. 이런 상황에서 지난 2005년 한국건설기술연구원내에 4.5m\*

\* 한국건설기술연구원 건축연구부 선임연구원

\*\* 한국건설기술연구원 건축연구부 수석연구원

\*\*\* 삼성물산 건설부문 건축기술팀 부장

\*\*\*\* 삼우EMC 외장사업부 사장

4.5m\*2.7m 크기의 360°회전이 가능한 창호용 실험구 2기를 설치하여 1기는 이중외피, 다른 1기는 기존의 싱글 커튼월창호를 설치하여 동서남북 모든 향에 있어 창호설치시 물리적 특성을 분석할 수 있는 여건을 조성하였다. 2005년 후반 난방기 중에 실험된 성과를 바탕으로 자연환기라는 관점에서 싱글외피 대비 이중외피가 차별화된 성능을 보여줄 수 있는지를 실험하였다. 공간의 높이와 깊이에 따른 온도/기류분석 뿐만 아니라 기류의 흐름을 살펴보기 위해 연막실험을 수행하였으며, 이를 바탕으로 이중외피를 통해 난방기 중 자연환기성능이 개선될 수 있음에 주목하고자 하였다. 추가적인 에너지소비 없이 난방기 중 자연환기효과를 획기적으로 개선할 수 있는 이중외피 연구의 성과는 최근 신축건물에 있어서 실내공기질의 문제가 크게 대두되고 있고, 또한 발코니확장으로 인한 창호부의 합리적 기술적 대안의 제시라는 맥락에서 향후 이에 대응할 수 있는 기술로 평가된다.



그림 1. 최근 적용된 이중외피 해외사례

1.2 연구목표 및 내용

본 연구는 한국건설기술연구원이 기본과제로서 2003년부터 진행하고 있는 “복합기능 생태적 건물외피 조성기술 개발”으로부터 출발하여 현재 민간과제로서 2005년부터 수행 중인 “냉난방에너지 절감과 자연환기 기능이 극대화된 고층건축용 기능성 커튼월 창호시스템(FDFS) 개발연구”<sup>1)</sup>의 일환으로서 진행되고 있는 이중외피개발에 대한 연구성과이다. 본 연구를 통해 현재까지 국내에 적용된 이중외피의 문제점들을 개선하면서 공동주택과 주상복합건물 그리고 오피스텔 부분에서 향후 수요가 많을 것으로 판단되어 성장잠재력이 높을 것으로 판단되는 유닛타입의 이중외피 개발에 주력하였다. 이는 현재까지 국내에 적용된 Whole Type 이중외피시스템들이 가지는 공통적인 특징인 폭 1000mm 내외의 중공층을 가지는 시스템의 현장 적용시 발생가능한 법적인 그리고 물리적인 문제발생가능성을 근본

적으로 해결하기 위한 대안으로서 통상적으로 창이 적용되는 외벽부에 원활하게 적용 가능하도록 폭 200mm이내에서 대안을 찾고자 하였다.

먼저 본 연구에서 보다 깊이 있게 다루고자 하는 분야는 다음과 같다. 먼저, 난방기 중 중공층에 설치되는 블라인드에서 발생하는 overheating이 외부로 배출됨으로 인해 냉방부하 저감효과는 이미 잘 알려진 사실이다. 하지만 이중외피설계가 잘못되면 냉방부하는 급격히 감소하더라도 냉방기간이 연장됨으로 인해 실제 냉방에너지소비 절감효과가 크지 않을 수 있다. 본 연구에서는 난방기 중 이중외피의 효과에 대해서는 언급하지 않으며, 특히 난방기 중 자연환기 성능에 대해서 보다 구체적으로 접근하고자 한다. 무엇보다도 난방기 중 이중외피의 중공층에서 발생하게 되는 overheating이 내부에서 필요로 하는 환기수준을 충족할 수 있는지를 살펴본다. 이를 통해 자연환기가 난방기 낮시간 중 어느 정도 가능한지를 자연환기 가능 온도빈도의 맥락에서 기존의 싱글창호와 대비하여 그 결과를 통계로서 비교 검토한다. 또한 중공층의 과열이 내부의 쾌적도에 어떤 영향을 미치는지를 온도와 기류의 상관관계를 통해 살펴보고, 연막테스트를 통해 난방기 중 이중외피의 개방방식에 따라 기류이동의 분석을 통해 차가운 외기가 유입되는 기존의 싱글창호의 개방시의 문제점을 어떻게 개선할 수 있는 지를 살펴보고자 한다.

2. 난방기 중 자연환기 특성에 관한 이중외피 개요

난방기 중 건물의 환기는 재실자가 필요로 하는 환기량의 달성이라는 맥락에서 중요하며, 이는 건물의 에너지성능에 있어서도 매우 중요한 위치를 차지하게 된다. 창을 통한 자연환기의 경우는 환기에 의한 실내조건의 결정이 내부/외부 공기온도의 차( $\Delta T = T_i - T_a$ )에 의해 결정되기 때문에 환기에 의한 건물의 에너지성능이 저하될 뿐만 아니라 동시에 난방기 중 창을 개방하면 차가운 외기가 풍압에 의해서 또는 내외부의 온도차에 의해 빠르게 유입되기 때문에 특히 창호부 인근에 있는 재실자의 쾌적함은 상당히 감소하게 된다. 이런 맥락에서 이중외피는 초고층부의 경우라도 풍압을 감소하며, 차가운 외기를 중공층부에서 예열하여 내부로 유입시킴으로 싱글창호에 비해 실내쾌적도를 개선하는데 크게 기여할 수 있게 된다. 이를 통해 이중외피는 통상 자연환기를 실시하게 되는 08:00~18:00의 시간을 기준으로 연간 유효 자연환기 가능빈도를 백분율로 표현할 경우 기존의 싱글창호 44%에 대비하여 이중외피는 79%까지 높일 수 있는 것으로 알려져 있다.<sup>2)</sup> 하지만 이런 결과들을 분석하여 유입되는 기류의 속도 및 방향 등을 동시에 과학적으로 검토하여 통합적인 기류특성을 분석하기 위해서는 상당한 노력이 필요하다.

일반적으로 공동주택에서는 전후면이 개방되어 효과적인

2) Thiel D., Doppelfassaden - ein Bestandteil energetisch optimierter und emissionsarmer Buerogebaeude, Innovative Fassadentechnologie, Koeln, 1995

1) 발주처 삼성물산 건설부문, 삼우EMC 외장사업부

통풍이 가능하나, 평면상의 특징으로 인해 코어부분이 발생하여 생활공간이 코어주변으로만 구성되게 되는 타워형의 초고층주상복합이나 오피스건물의 경우 코어부분으로 개구가 막혀있어 합리적인 자연환기성능을 확보하는 것은 매우 어렵다. 또한 풍압이 높게 발생하는 고층부에서 일반적인 창의 개발을 통해 자연환기시 내부에서의 기류가 0.2m/s 이상으로 진행될 가능성이 매우 높게 됨으로 자연환기를 통해 재실자의 쾌적도를 개선하는 것은 분명 한계가 있다.

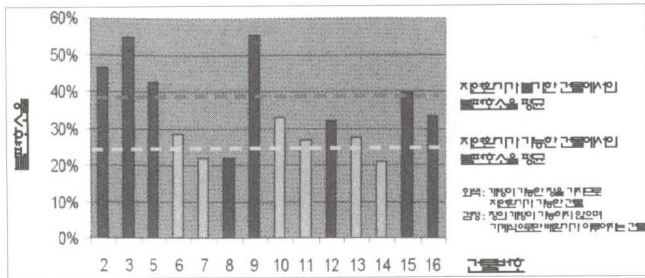


그림 2. 거주자들 불편 호소율

자연환기가 가능한 개방가능한 창이 없는 건물에서 기계식환기만 적용된 건물에서 재실자의 건강은 심각한 영향을 받을 수 있다.(그림 2) 일반적으로 알려져 있는 Sick Building Syndrome<sup>3)</sup> 및 Tight Building Syndrome<sup>4)</sup>의 발생은 창개방이 허용되지 않고 기계식 환기만이 제공되는 건물에서 그 심각성이 크게 대두되었다. Boris Kruppa의 연구에 따르면 자연환기가 불가능한 건물에서 두통호소, 호흡기질환 등을 호소하는 거주자 불편호소율이 평균 40% 이상으로 나타났으며, 이에 반해 자연환기가 가능하도록 창호가 개방될 수 있도록 설치된 건물에서는 그 확률이 평균 25% 이하로 급격히 감소하였다는 실험결과를 제시하고 있다.<sup>5)</sup> 이의 결과는 개방될 수 있는 창을 설치하여 자연환기가능성을 확보할 수 있다는 것만으로도 추가적 에너지소비 및 설비없이 재실자의 쾌적개선과 건강한 삶의 유지에 충분히 기여할 수 있다는 가능성을 보여 주었다. 특히 난방기 중에는 외기온이 매우 낮고 내외부의 온도차가 매우 큼으로 인해 유입기류량의 조절이 다소 어려워 창을 통한 자연환기를 선호하지 않는다. 이로 인해 실내공기질의 상태는 악화될 뿐만 아니라 특히 내부의 발생습도 및 내외의 온도차로 인해 외벽부분 접합부를 중심으로 합리적 단열이 구축되지 못한 부분에서는 결로로 인한 곰팡이가 발생할 가능성이 높아 재실자의 건강을 해치게 되는 경우가 발생할 수 있다. 이런 맥락에서 난방기 중 자연환기 기간을 연장하여 공간의 내부에 자연에 의한 바람길을 추가적 에너지소비 없이 조성할 수 있다는 것은 재실자의 건강

- 3) 밀폐된 공간에서 발생하는 재실자의 안구건조증 및 두통 등 병적 증세를 일컬어 SBS로 함
- 4) 잘못된 설비설계에 의해 발생하는 재실자의 병적 증세를 일컬어 TBS로 함
- 5) Boris Kruppa, Untersuchungsergebnisse der ProKlima-Felduntersuchung, Raumklima in Buerohauesern, 21. Internationaler Velta Kongress' 99, Tirol, 1999

뿐만 아니라 건강한 건물을 조성할 수 있게 됨으로 이는 이중외피의 매우 큰 장점이라 할 수 있다.

하지만 현재까지 독일에서 상용화될 수 있었던 이중외피시스템이 국내에서 보다 효과적으로 보편화될 수 있기 위해서는 국내의 국지적 기후여건에 대해서도 충분한 이해가 필요하다. 그 이유는 유럽도시 중 하나인 베를린의 경우 월평균기온 차이가 19.2K 정도임에 반해 서울은 이 차이가 28.3K로 유럽에 비해 보다 큰 차이가 있다. 이의 의미는 독일에서 시공되어 합리적으로 가동되고 있는 이중외피시스템이 국내 기후여건에서는 이상적으로 가동되지 않을 수도 있다. 왜냐하면 월평균기온이 서울은 베를린에 비해 난방기 중에 7K 이상 덥고 습도도 높으며, 그리고 난방기의 경우 3K 이상 춥다. 그러므로 유럽에 비해 보다 덥고, 보다 추운 국지적 기후의 차이를 극복할 수 있는 컨셉의 모색이 필요하다.(그림 3)<sup>6)</sup>

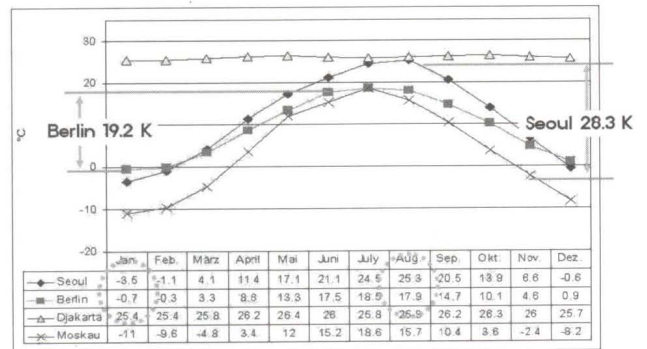


그림 3. 도시별 월평균 기온차 비교

### 3. 실험구 구축 및 실험기자재 구성

본 연구의 실험을 위해 제작한 이중외피는 다양한 개방방식을 재현할 수 있도록 내외창이 다양하게 가동도리 수 있도록 제작되어 한국건설기술연구원 실험동 옥상부에 설치하였다. 실험구의 안목치수는 4.5m X 4.5m X 2.5m(h) (실험구치수 4.7m X 4.7m X 3.6m(h))로서 가능한 현장의 공간규모를 반영할 수 있는 중형규모의 공간을 재현하였으며, 본 실험구는 2기로 구성하여 하나의 실험구에는 개발된 이중외피를 적용하였으며, 다른 하나의 실험구에는 기존의 커튼월 타입에 내부블라인드를 적용한 싱글외피를 설치하였다. 특히 본 실험구의 가장 큰 특징은 360°회전이 가능하다는 것이며, 이는 도심지내에 다양한 향을 가지는 공간들을 실험할 수 있는 장점이 있다. 그러므로 향에 따라서 그 물리적 특성이 매우 다양하게 변할 수 있

- 6) 예를 들어 90년대 중반에 독일에서 많이 적용된 외창의 상하단에 5%내외로 개구가 있는 상시환기형 이중외피의 경우 국내기후에 적용되면 중간기부터 자연환기가능성이 극단적으로 감소될 수 있어 기계식환기기간이 증가하게 되면 오히려 에너지소비를 증가시킬 수 있는 가능성이 높다. 개구면적이 적은 상시환기형 이중외피는 온난기후대 중 월평균기온이 상대적으로 낮은 북유럽에 합리적인 대안이다.

는 이중외피의 사전성능평가를 본 실험구에서 사전에 가동하여 평가할 수 있는 조건을 갖추고 있다. 현재까지 자연환기 특성을 분석하기 위해 360°회전이 가능한 실험구는 국내외적으로도 조성된 사례가 없으므로 이의 조성은 큰 의미를 가진다.(그림 4) 특히 본 실험구는 난방설비가 설치되어 있다. 바닥면에는 출력 250W의 8기의 난방패널이 그리고 상단에는 벽걸이형 에어컨을 설치하여 시간대별 전력소비량의 분석이 가능하다.

기본적으로 창호가 설치된 전면은 5개의 유닛으로 구성되어 하나의 유닛을 0.9m로 구성하였다. 싱글외피에서는 주상복합 및 오피스에서 가장 많이 적용되는 tilt & turn 개념을 상단부에 적용하며, 그리고 하단부는 프로젝트 창 의 형식을 적용하여 싱글외피에서의 현재 국내에서 구현 가능한 싱글외피 타입을 적용하여 가동할 수 있게 함으로 자연환기시의 특성을 이중외피와 비교할 수 있도록 하였다. 적용된 이중외피 Prototype에서는 tilt & turn 개념을 내창의 상단에 그리고 pull-down 형식의 창호를 하단부에 적용하였다. 그리고 외창부분에서는 다양한 물리적 특성을 실험할 수 있도록 프로젝트 타입의 창을 다양하게 적용하였다.



그림 5. 실험실내 장비설치 전경(상), 설치된 Testo Velocity Probe 근접촬영(하)



a) 이중외피



b) 싱글창호

그림 4. 실험구 전경

본 실험구에 적용된 실험기자재는 독일 testo사의 Velocity Probe(측정영역; 0~10m/s, -20~70℃)(그림 5)를 사용하였으며, 이를 PC454모듈에 연결하여 실험하였다. 실험구의 깊이가 4,500mm임으로 창으로부터 최초 500mm 이후 900mm 간격으로 4개의 스탠드를 구축하여 각 스탠드에는 200mm, 1,100mm, 1,700mm 높이에 센서를 설치하여 총 12개 부분에서 온도 및 기류속도를 측정하였으며, 실험실의 벽면부, 청정/바닥부 및 창호부의 내외측 표면온도를 측정하였다.(그림 6) 특히 중공층의 역할이 중요한 이중외피에서는 추가적으로 중공층의 상중하부 기류속도 및 온도를 측정하며 내외측 유리면의 표면온도를 측정하였다.

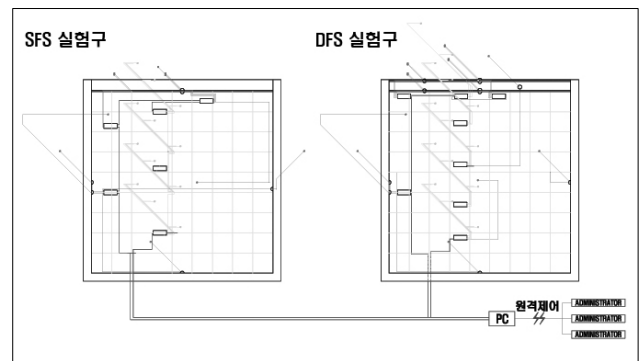


그림 6. 이중외피 및 싱글외피 실험구 내 계측 지점 개요도

#### 4. 실험결과

##### 4.1 난방기 온도구배 분석 및 연막실험

난방기 2005년 12월 중 창의 개방방식에 따라 자연환기 성능을 분석하였다. 본 실험구는 난방패널을 가동하여 내부온도가 20℃로 유지하도록 세팅되어 있다. 그림 7에서와 기존의 싱글외피에서 두 개의 창을 tilt하여 개방하고, 이중외피에서는 외창의 상단부를 개방하며, 내창은 창2개를 tilt하여 개방하였다. 싱글외피에서 개방된 창호로부터 1.44m 떨어진 스탠드1과 2.02m 떨어진 스탠드2에서 상단부의 온도차가 5~6K 차이가 발생하였으며, 2.84m 떨어진 스탠드3에서는 2.5K 그리고 3.75m 떨어진 스탠드4에서 온도차가 1K 내외로 발생하였다. 이에 반해 이중외피에서는 스탠드1, 2, 3에서 온도차가 2K 이하이며, 스탠드4의 경우 온도차가 3K 내외에서 유지되고 있음을 알 수 있다. (그림 7)

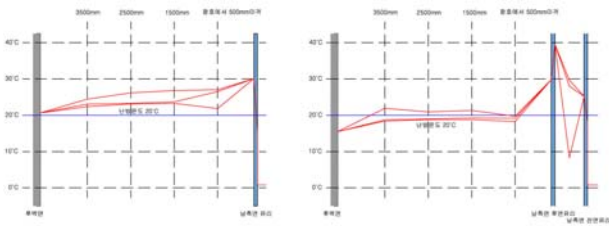


그림 7. 난방기 자연환기 실험, 2005/12/27, 14:00, 이중외피 외창 하단개방/내창 2개 tilt개방, 싱글외피, 창 2개 tilt개방

이의 결과는 연막실험을 통해 보다 분명하게 확인할 수 있었다. 싱글외피에서는 창의 개방시 차가운 외기가 내부에 유입되면서 따뜻한 공기와 부딪히면서 하단으로 빠른 속도로 떨어지며 유입됨으로 창호부 인근 하단의 공기온도는 낮고 기류속도는 빨라서 쾌적함에 있어 매우 불리하게 된다. 특히 이런 현상은 tilt창에서보다 turn 또는 슬라이딩창에서 매우 뚜렷하게 나타난다. 이런 현상의 가장 큰 이유는 슬라이딩창의 경우 창의 개방시 직사각형의 개방면적이 발생하여 외기가 방해물없이 직접 내부로 유입되는 반면에 tilt창에서는 개방시 상단으로 갈수록 개방면적이 커지는 삼각형의 형태를 띄며 외기의 유입도 tilt창에 의해 한번 제어되어 진행된다. 이로 인해 차가운 외기의 직접적인 유입을 다소 감소할 수는 있지만 근본적인 대응책은 될 수 없다. 이중외피의 경우 중공층 부분에서 유입되는 외기가 일사에 의해 데워진 상태에서 내부로 유입되며, 외창에 의해 유입기류가 방해를 받아 기류속도가 느리게 공간으로 유입됨을 알 수 있다. 이를 통해 창호부 인근에서의 쾌적도가 개선될 수 있다. (그림 8, 9) 특히 이중외피의 외창 중 하단부만 개방되는 경우 중공층에서의 온도상승으로 인한 상승기류는 내창 개방시 공간의 아래부분으로 유입되는 것이 아니라 그 유입기류가 천정부를 타고 유입됨으로 인해 창호 인근부에서의 쾌적성을 획기적으로 개선할 수 있다.(그림 9, 우)



그림 8. 난방기 중 싱글외피 상단창 tilt 개방시(좌) 및 하단창 Pull-down 개방시(우) 연막실험 결과

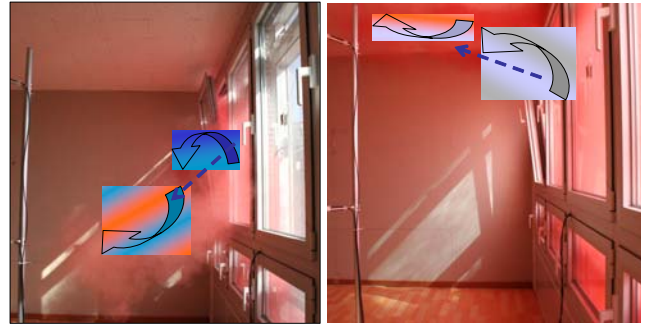


그림 9. 난방기 중 이중외피 외창 상하단 개방 및 내창 tilt시(좌), 외창 하단 개방 및 내창 tilt시(우)

#### 4.2 이중외피 중간기 및 난방기 자연환기 가능빈도 검토

2004년 10월부터 2005년 1월까지 실험한 결과를 바탕으로 이중외피에서 창의 개방에 의한 자연환기가 일일 중 가능한 정도를 비교검토하였다. 10월, 11월은 계절적으로 중간기이며, 12월, 1월은 난방기이다. 자연환기시 기준이 되는 외기의 정의는 창의 개방시 내부로 유입되는 외기의 온도를 의미한다. 싱글외피에서는 외기를 기준으로 하였으며, 그리고 이중외피에서는 중공층의 중앙에 중간높이에서의 온도를 기준으로 하였다. 이 때 자연환기 가능 온도빈도를 10℃, 15℃ 그리고 20℃에서 검토하였다. 10℃, 15℃ 그리고 20℃의 결정은 통상적으로 난방기 중 자연환기시 유입온도는 15℃ 이상이 이상적으로 평가하고 있고, 외기온도 5℃ 이하에서는 자연환기를 권장하지 않는다. 하지만 여기에서는 세가지의 온도분포를 기준으로 하여 난방기 자연환기가 어느 정도 수준에서 효과적일 수 있는지를 검토할 수 있다. 방식은 4개월간의 온도변화를 1분단위로 체크하여 10℃, 15℃, 20℃가 이상되는 온도를 전체에 대한 백분율로 표시하여 이를 자연환기 가능 온도빈도로 표현한다. 일일 24시간에 대한 데이터의 정리 및 현실적으로 난방기 중 자연환기는 대부분의 경우 일사가 있는 낮시간 중 발생하므로 이를 반영하여 08시부터 18시까지를 별도로 분리하여 접근하였다.

그림10에서 중간기 10월, 11월 10℃ 이상에서 자연환기를 가정할 경우 자연환기에서 싱글외피 및 이중외피에서의 차이는 뚜렷하게 발생하지 않지만, 15℃ 그리고 20℃에서의 자연환기 가능빈도는 20% 이상 차이가 발생한다. 특히 난방기의 경우 그 차이는 특히 뚜렷하게 발생한다. 싱글외피에서 자연환기란 실내외의 높은 온도차로 인해 높은 열손실을 의미하므로 합리적인 자연환기를 달성하는 것은 매우 어렵다. 또한 이는 하루 24시간에 대한 결과임으로 실제 야간의 경우 예외적으로 자연환기를 가동하게 됨으로 실제적으로 자연환기가 가능한 08시부터 18시까지의 낮 시간대만을 분석하면 그 차이가 더욱 뚜렷해진다. 싱글외피에서 자연환기 가능빈도는 여전히 크게 개선되지 않지만 이중외피에서 자연환기 가능빈도는 뚜렷하게 연장된다. 1월의 경우 싱글외피에서 자연환기란 현실적으로는 거의 불가능하여 자연환기 가능빈도는 거의 0~5% 아래에서 형성되는 것을 살펴 볼 수 있다. 하지만

이중외피에서는 약 35%~55%까지 연장될 수 있음을 알 수 있다. 즉 유입되는 외기의 온도가 높을수록 자연환기를 할 수 있는 잠재력을 증가시키며 이는 결과적으로 환기에 의한 열손실 감소할 뿐만 아니라 자연환기에 의한 쾌적성 개선에 기여할 수 있게 된다.

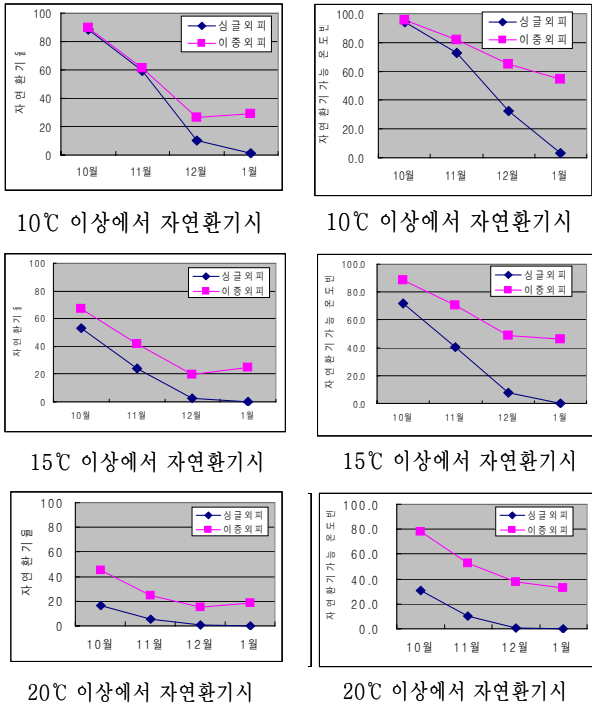


그림 10. 2004/10~2005/01, 0~24시 중(좌), 낮기간 08~18시 중(우), 자연환기 가능 온도비도 검토

### 4.3 난방기 실내 온도 및 기류 패턴 분석

현실적으로 실험실에서 실내 쾌적에 대해 분석가능한 영역에는 온도 및 기류속도가 있다. 여기서는 본 실험에서 얻어진 결과를 바탕으로 온도와 기류속도와의 관계를 통해 실내 쾌적성을 문제를 검토하고자 하였다. 각 값은 1분 단위로 측정하여 이를 다시 10분단위의 평균값으로 계산하여 그래프화하였다.

그림은 2005년 11월 8일의 결과로서 싱글외피는 tilt로 1개의 창을 개방하며, 이중외피에서는 외창 상하단을 개방하였다. 이 때 스탠드 1, 2, 3, 4(외창으로부터의 거리 최초 500mm, 1,400mm, 2,300mm, 3,200mm)의 200mm 높이에서의 온도/기류분포를 살펴보았다. 싱글외피는 온도/기류값의 분포대가 매우 넓어 전체 실내의 온도/기류조건이 매우 불안정함을 보여준다. 이에 반해 공간의 깊이변화에도 불구하고 이중외피에서는 안정적으로 온도/기류속도 값 분포가 일정범위 내에서 이루어지고 있음을 알 수 있다. 특히 기류속도에 있어 싱글외피에서는 0.1m/s를 초과하는 경우가 많이 발생하고 있는 반면에 이중외피에서는 이를 초과하는 경우가 발생하지 않았다.(그림 11)

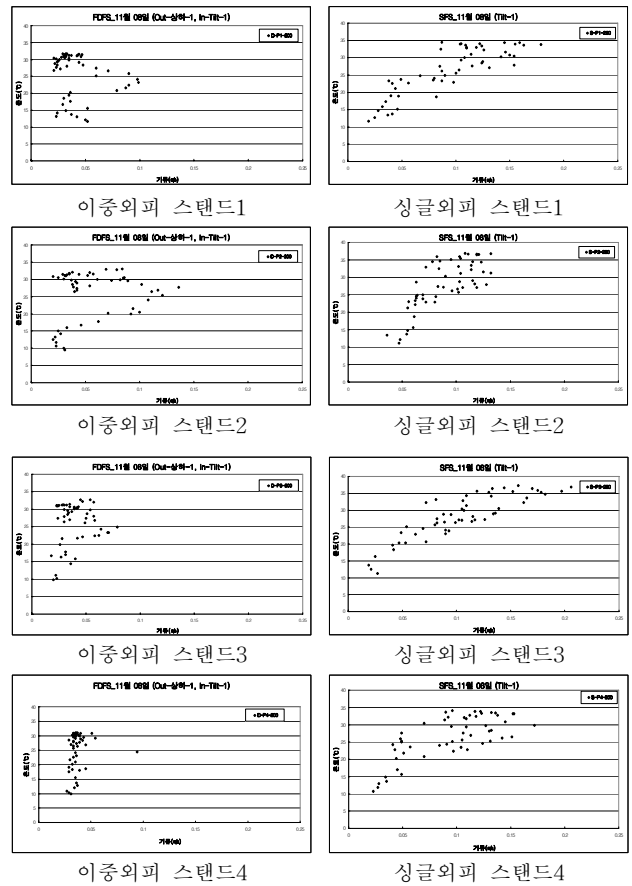


그림 11. 2005년 11월 08일 실험결과, 싱글외피 1개 tilt(상단), 이중외피 외창 상하단 개방, 내창 1개 tilt(하단), 측정높이 200mm, x축; 기류속도(m/s), y축; 온도(°C)

난방을 가동한 2005년 02월 21일의 경우 싱글외피에서는 1개창을 tilt로 개방하고, 이중외피에서는 외창하단을 개방하며, 내창 1개를 tilt로 개방하였다. 여기에서는 스탠드 1의 실험결과를 높이 200mm, 1,100mm, 1,700mm별로 살펴보았다. 이 때 개방되는 창호의 하단부분 200mm 높이에 있어 싱글외피에서 값은 0.1m/s를 초과하는 경우가 넓게 분포하여 재실자의 쾌적에 부정적으로 영향을 미칠 수 있는 반면, 이중외피에서는 200mm 부분에서는 0.08m/s 이하로 그 값이 분포되고 있음을 알 수 있다. 하지만 이중외피에서는 높이 1,100mm 부분에서 다소 기류가 상승함을 알 수 있다. 이는 차가운 외기가 예열에 의해 유입됨에 따라 공기의 유입되는 부분이 공간의 중간 높이로 이끌어 짐으로 발생되었다. (그림 12)

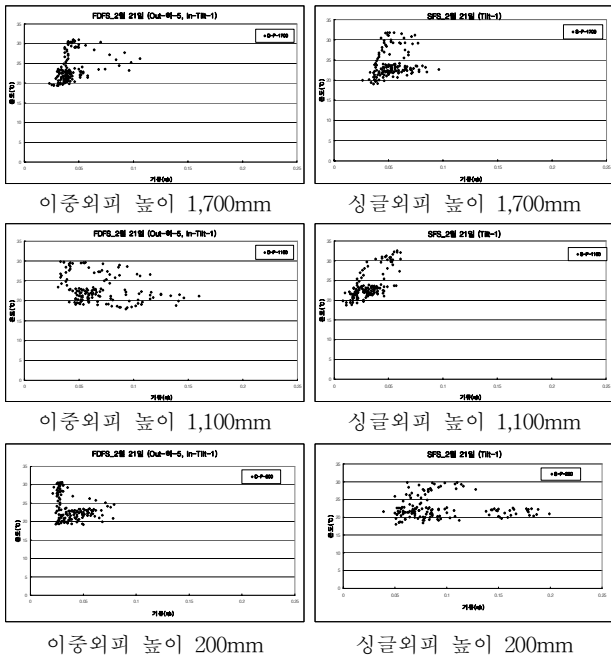


그림 12. 2006년02월21일 실험결과, 싱글외피 1개 tilt(상단), 이중외피 외창 하단 개방, 내창 1개 tilt(하단), 스탠드1, x축: 기류속도(m/s), y축: 온도(°C)

5. 향후 연구방향



그림 13. 서울시 동답초등학교 리노베이션 적용 이중외피

본 연구의 성과는 현재 서울 동답초등학교 리노베이션에 적용되었다.(그림 13) 2005년 3월 준공된 동답초등학교는 기존의 발코니 공간을 중공층으로 활용하여 추가적으로 녹화면을 설치함으로써 식생에 의한 부가적인 필터링기능 수행이 가능한 이중외피로 설계되었다. 또한 학교라는 특성을 감안하여 내부에 활동량이 많은 학생들로 인해 냉방부하가 증가함으로 외피는 전면가동형으로 전동으로

가동되는 이중외피로서 냉방기 중 전면을 개방하여 중공층에서의 과열을 예방하며, 내부발생 가능한 냉방부하를 최소화하는 동시에 난방기 중에는 외창 개방면적을 최소화하여 중공층이 최소화될 수 있도록함으로 자연환기 특성을 극대화할 수 있는 개념으로 개발되었다. 향후 본 개념은 유사한 창호구조를 가지며 리노베이션의 요구를 가지는 많은 낙후된 교육시설에서 보급화될 수 있을 것으로 판단된다.

또한 내부기류를 정량적으로 분석하기 위한 톨로서 PST(Particle-Streak-Tracking-System)을 구축하고자 한다. 본 시스템은 현재까지 실내 공기유동의 정량적 분석을 위해 Fluent 또는 CFX 등과 같은 유체해석프로그램에 의존하였다. 또한 기존의 공기입자유동가시화 장비로서 PIV 및 PTV 등이 소개되고 있으나 이들 시스템은 짧은 시간사이의 연속적인 사진을 촬영하여 얻은 결과를 분석하는 방식을 채택하고 있다. 이는 카메라 성능에 따라 연속적 사진캡처에서 나타나는 시간적 오차가 발생하여 입자수가 많아지면 입자흐름의 동일성확보가 문제가 되어 정확한 유동분석에 한계가 나타나게 된다. 이에 PST는 물방울(기포)이 그려내는 거동을 카메라의 특성과 접목하여 실험상황에서 실내공기유동의 분석이 가능한 실험장비이다. 또한 PST는 2차원적 공기유동 속도 장에서의 공기유동의 가시화 및 방향과 속도를 동시에 측정할 수 있는 시스템으로서 실내공기의 유속과 유동형태는 온도나 부하 등 여러 요인들에 민감하게 반응하며 이에 따른 실내공기유동의 변화를 분석할 수 있다.(그림 14)

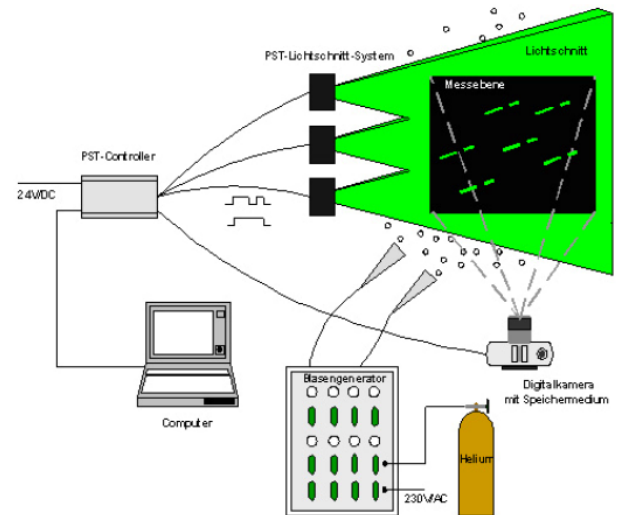


그림 14. PST-시스템 구성

향후 연구는 PST-System을 구축하여 실내공기유동 분석에 있어 보다 적극적으로 대응하여 자연환기시뿐만 아니라 기계식환기와 hybrid화 할 경우 그 효과를 실제 상황에서 분석하여 결과의 효과적인 활용이 가능하다. 장기적으로는 이의 경험을 통해 그 활용범위를 실내공간의 단위에서 단지게획의 범주로 확대하고자 한다.

## 6. 결론

현재까지 국내에서 이중외피에 관한 연구는 상당부분 진행되었다. 대부분의 연구에서 이중외피의 난방기 또는 난방기 중 물리적 성능부분에 있어서의 긍정적 효과를 언급하고 있다. 본 연구에서는 이중외피의 난방기 중 자연환기 성능에 대해 실험한 결과들을 바탕으로 보다 가치적 결과들을 도출하고자 하였다.

먼저 난방기 중 싱글외피와 이중외피의 공간내 온도의 비교분석을 통해 특히 창호부 인근에서의 쾌적성을 비교하였다. 통상 실내의 온도는 최소 18℃를 유지하며, 기류속도는 0.15m/s 이하를 유지하여야 하며, 또한 상하단의 온도차가 3K 이상일 경우 재질자는 불쾌감을 느낀다. 이런 불쾌감은 상대적으로 외기가 직접적으로 유입될 가능성이 높은 싱글외피에서 높게 나타난다.

이를 검증하기 위해 먼저 낮시간 중 공간내 온도구배검토를 검토하였다. 특히 외창 하단부만 개방되었을 경우 중공층부의 온도상승효과를 확인할 수 있었고, 또한 이때 난방기 중 난방이 가동될 때 공간내 상하단(200mm/1,700mm)의 온도차가 싱글에서 창호부와 인접한 부분을 중심으로 쾌적범위 3K 이상을 벗어난 나타난 반면 이중외피에서는 전 부분에서 3K 이내로 유지되는 것을 볼 수 있었다.

연막테스트에서는 난방이 가동중인 공간으로 찬공기가 유입되어 따뜻한 내부공기가 접촉할 경우 특히 창호부를 중심으로 한 기류진행 패턴을 가시화할 수 있었다. 싱글외피에서는 차갑고 무거운 외기가 유입되면서 빠르게 하강하면서 공간의 바닥면을 따라 진행되었다. 반면 이중외피에서는 중공층에서 예열된 외기가 중공층과 내측 창호 개방부로 유입되면서 속도가 느려지며, 유입방향도 공간의 중간부를 향하였다.

10월, 11월, 12월, 1월 동안의 데이터를 분석하여 자연환기 온도가능빈도 검토하였다. 이 때 외기온이 쾌적한 상태를 유지하는 중간기의 경우 싱글외피와 이중외피와의 자연환기 온도가능빈도는 큰 차이를 보이지 않았지만 외기온이 낮은 난방기의 경우 이중외피에 비해 싱글외피에서 자연환기 가능성이 급격히 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 자연환기 가능온도를 10℃, 15℃, 20℃ 등으로 다양하게 설정하여 관찰한 경우에도 오차가 크게 발생하지 않았다.

일일간 온도/기류속도 관계에 있어서는 싱글외피에서는 공간의 바닥부 0.2m 높이를 중심으로 기류분포가 0.15m/s 이상 나타나는 부분이 증가하여 기류가 매우 불안정한 상황이 연출되었으며, 이에 반해 높이 1.7m 이상에서는 안정적 조건이 조성되었다. 이중외피에서는 먼진 공간내에 전체적으로 불안정한 기류를 조성하는 부분이 싱글에 대비하여 감소하였으며, 창호부근 1.1m 높이에서 0.15m/s 이상의 상황이 다소 발생하였다.

전반적으로 이런 과정을 통해 이중외피에서의 자연환기 시 쾌적도는 싱글외피에 비해 매우 높음이 확인될 수 있었다. 하지만 본 연구를 위해 구성된 실험구의 기자제들

은 창호부 정중앙을 축으로 4개의 스탠드를 구축하여 창호면에서 최초 500mm 그리고 이후 900mm 간격으로 실험이 진행하였다. 자연환기는 좌우측 창개방을 위주로 진행된 관계로 외기가 유입되는 위치에서 첫 번째 스탠드는 1.44m 떨어진 위치에서 측정되었다. 그러므로 자연환기 유입시 창 의 바로 후면에서 발생하게 되는 현상을 분석하기에는 한계가 있다. 다시 말하면 싱글외피와 이중외피와의 자연환기시의 물리적 차이가 다소 축소되어 표현되었다고 해도 과언이 아니다. 이런 문제의 해결을 위해 현재 4기의 스탠드를 추가적으로 구축 중에 있음으로 향후 자연환기에 대한 보다 정확한 분석이 가능하다.

최근 크립톤 또는 아르곤가스를 충전하는 초고단열유리 수준으로 단열성능을 확보하여 열관류율을 1.0W/m<sup>2</sup>K 이하로 유지할 수 있는 초고단열 3중유리가 시장에서 선보이기 시작하고 있다. 특히 유리면에 Low-E 코팅이 수행되어야 하며, 이의 경우 생산설비부분에서의 변화를 포함해 추가적 공정의 발생 등으로 인해 선진국 수준의 3중유리 창호는 매우 고가이다. 이런 맥락에서 기밀하게 단혀 질 수 있는 외창을 가지는 이중외피는 기존의 구조체에서 3중유리창의 단열성능을 확보할 수 있다. 하지만 중공층이 상시환기되는 이중외피의 경우 일사량이 내외창부 유리에서 흡수되어 다시 중공층으로 방열되어 외부로 배출되기 때문에 난방기 낮시간에는 일사유입효과는 감소하게 된다. 또한 국내와 같이 대로변에 높은 밀도로 지어지는 건물이 많은 경우 도로로부터의 소음을 특히 난방기의 경우 외창 개방면적이 감소하게 됨으로 이중외피의 개방형식에 따라 5~10dB 가량 제어할 수 있는 충분한 잠재력을 가진다.<sup>1)</sup>

## 참고문헌

1. 김현수 외, 복합기능 생태적 건물외피 조성 기술 개발 I, II, III, 한국건설기술연구원, 2003, 2004, 2005
2. Daniels K., Technologie des oekologischen Bauens, Birkhaeuser, Berlin, 1999
3. Oesterle 외, Doppelschalige Fassaden, Ganzheitliche Planung, Callwey, Muenchen, 1999
4. Lee K., Untersuchung zur Einsatzmoeglichkeit von Doppelfassaden bei hohen Verwaltungsbauten mit Glasfassaden im extremgemaessigten Klimagebiet, Berlin, 2003
5. Olaf Z., Grenzen der thermischen Last bei Fensterlueftung in Buerogebaeude, TU-Berlin, 2000
6. Blum 외, Doppelfassaden, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 2001

1) BMBF/FGK-Fachtagung, Doppelfassade in der TGA, Bonn, 1997