

거주역 중심의 자연환기 방식과 하이브리드(Hybrid) 공조방식

장 연 재 | 안양대학교 산업과학연구소
선임연구원

E-Mail : changhj@ihanyang.ac.kr

1. 서론

실내 공기환경의 개선에 관한 연구는 약 20년 이상 건축 환경분야의 중요한 테마였으며 앞으로도 계속될 것으로 보인다. 실내 공기환경을 쾌적하게 유지하기 위해서는 환기량을 충분히 확보하면 되지만(그림 1 참조), 이는 에너지 소비와 관련되어 있기 때문에 항상 일정수준 이하로 제한되어 왔다. 공조설비가 설치된 국내외의 건축물에서는 재실자의 호흡에 필요한 최소한의 환기량만을 도입하고 있으며, 최근의 건물 기밀화 및 창문의 밀폐화와 함께

실내 공기환경이 더욱 악화되고 있는 것은 주지의 사실이다. 결국, 건축환경에서 요구되고 있는 환기 시스템은 에너지 절약적이면서도 거주역(Task zone)을 중심으로 한 효율적인 환기방식이라 할 수 있다. 여기서는 봄, 가을과 같은 중간기를 대상으로 하여 일본에서 행해지고 있는 거주역(居住域) 중심의 자연환기 방식과 에너지 절약적이면서도 실내 공기환경을 개선할 수 있는 자연환기 병용형(併用型) 하이브리드(Hybrid) 공조방식에 대해 소개한다.

2. 거주역 중심의 자연환기 방식

여기서 소개하는 거주역 중심의 자연환기 방식이란, 실내로 유입되는 신선외기가 최단 경로를 통하여 거주역에 유입되도록 기류패턴을 유도함으로써 실내 거주역의 공기환경을 항상 쾌적한 상태로 유지하는 환기방식을 가리킨다. 거주역 중심의 자연환기 방식을 기존의 자연환기 방식과 비교하여 그림 2에 나타낸다. 천정고가 높은 건물의 경우, 기존의 자연환기 방식(그림 2의 (a))에서는 채광 및 환기를 위한 창은 외벽의 상부와 하부에 설치하는 것이 일반적이다. 이 경우, 외기는 풍상(風上)쪽의 외벽상·하부에 설치된 창을 통해서 실내로 유입되어 풍하(風下)쪽의 상·하부의 창을 통해 배기된다. 풍상쪽의 상부의 창을 통해 실내에 유입된 외기는

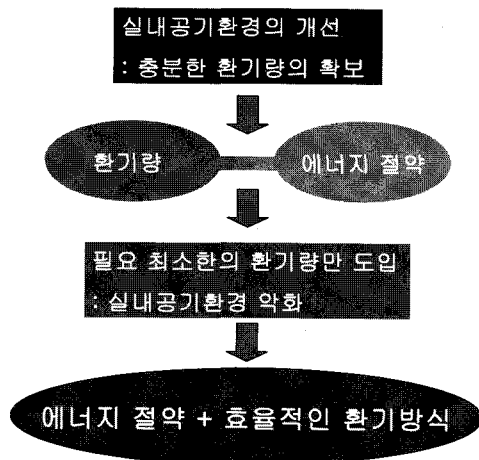
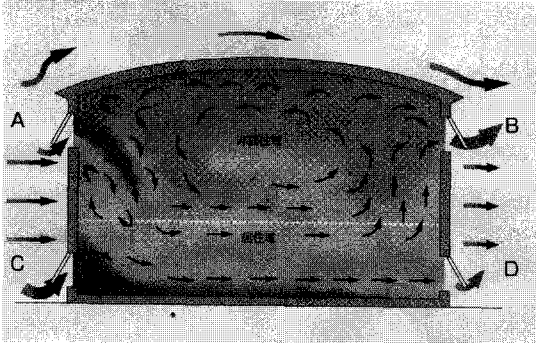
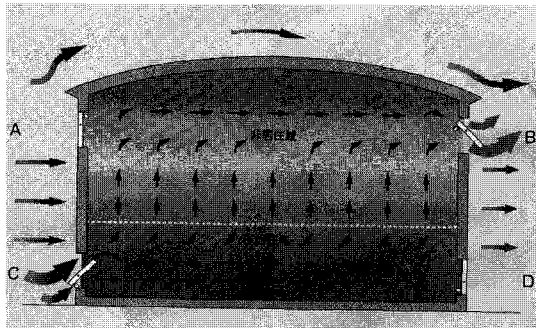


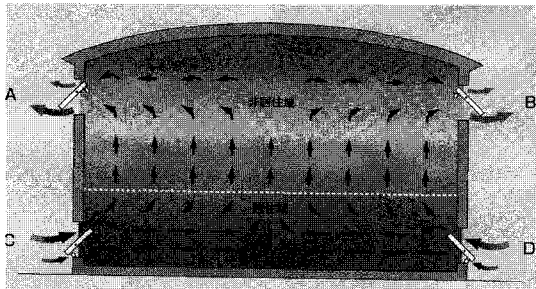
그림 1. 건축환경 분야에서 요구되는 환기 시스템



(a) 기존의 자연환기 방식



(b) 거주역 중심의 자연환기 방식



(c) 거주역 중심의 자연환기 방식(無風時)

그림 2. 기존의 자연환기 방식과 거주역 중심의 자연환기 방식

실 상부의 고온 및 오염된 공기와 혼합되면서 거주역으로 유입되고, 이로 인해 실내기류는 매우 불규칙한 유동을 보이며, 실 전체에 걸쳐 완전혼합에 가

까운 상태로 혼합된다. 즉, 실내에서 발생된 오염물질과 열(熱)이 실 전체로 퍼지게 되어 실내 거주역의 공기환경은 쾌적한 상태로 유지되기 어렵다.

이에 비해 거주역 중심의 자연환기 방식은, 그림 2의 (b)에 나타난 바와 같이 외기가 거주역 근처의 풍상쪽 하부에 설치된 창을 통해 거주역으로 유입되기 때문에 거주역의 공기환경은 항상 쾌적한 상태로 유지된다.

이와 같은 거주역 중심의 자연환기 방식을 위해서는 실내·외의 압력차에 의해 구동되는 자연환기 창(이하, 압력 구동형 창이라 한다)이 필요하다. 압력 구동형 창의 주요 구성품으로는 그림 3에 나타난 바와 같이 밸런스 웨이트(Balance weight)와 회전축이 있으며 실내·외의 압력차와 밸런스 웨이트에 작용하는 중력에 의해 열리거나 또는 닫히게 되어있다. 따라서, 압력 구동형 창의 개폐에는 별도의 동력원이 필요없다.

압력 구동형 창을 그림 4에서와 같이 방향을 반대로 설치하면, 옥외쪽이 정압(正壓)일 때 뿐만 아니라 부압(負壓)일 때에도 열리도록 할 수 있다.

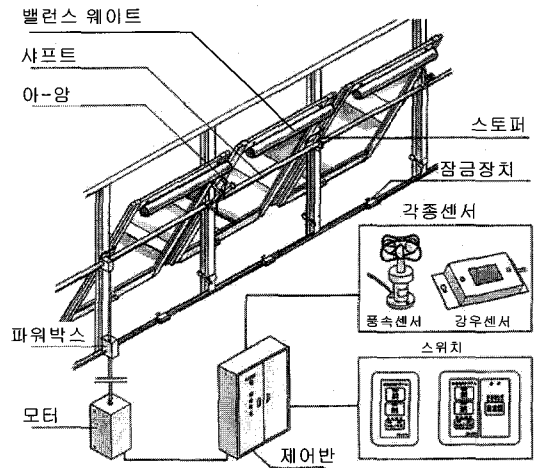


그림 3. 압력 구동형 창의 구성

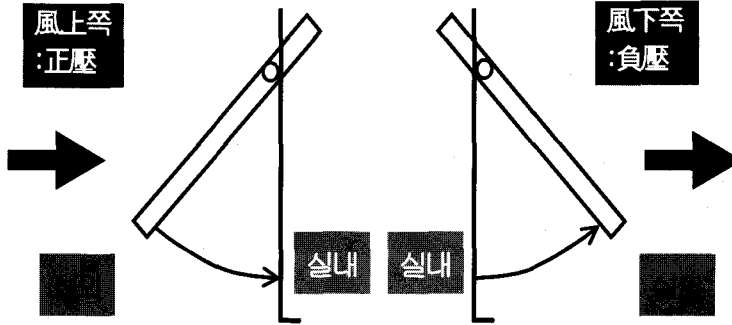


그림 4. 압력 구동형 창의 작동

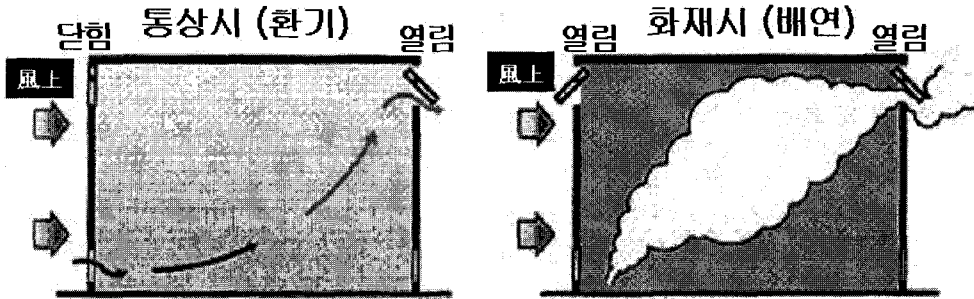


그림 5. 압력 구동형 창의 배연창으로서의 이용

즉, 그림 2의 (b)에서와 같이 풍상쪽의 상부 창은 외부풍에 의해 실외의 압력이 실내압력보다 높게 되었을 때 닫히는 구조의 압력 구동형 창을, 하부 창은 같은 조건에서 열리는 창을 설치하고, 풍하쪽은 반대로 실외의 압력이 실내압력 보다 낮았을 때 상부창은 열리고 하부창은 닫히는 구조를 선택하면, 실내로 유입된 신선외기가 실내 거주역을 지나 풍하쪽 상부(비거주역)의 창을 통해 배출되는 기류패턴을 유도할 수 있다.

또한, 그림 2의 (c)와 같이 외부풍의 풍속이 "0 [m/s]"인 무풍시(無風時)에는 상하부의 모든 압력 구동형 창이 열리도록 하면, 외기는 거주역 근처에 설치된 하부 창을 통해 실내 거주역으로 유입되어

상부 창을 통해 오염된 공기와 열을 배출하게 된다. 이와 같은 실내 기류패턴의 유도에 의해, 실내로 유입된 신선외기가 오염된 실내공기와 잘 혼합되지 않은 상태로 거주역에 흘러들기 때문에 거주역을 중심으로 한 환기효율이 높아져 실내공기환경의 개선에 매우 유리하게 된다.

그림 3에 나타난 바와 같이, 압력 구동형 창에는 강제적인 개폐장치가 있어 실내·외의 압력과 상관없이 "열림" 또는 "닫힘"으로 고정시킬 수도 있다. 자동제어반과 연동하여 외부풍의 풍속이 너무 빠를 때나 우천시에는 강제적으로 닫히게 할 수 있으며, 화재 경보장치와 연동하여 배연창으로도 사용할 수 있다(그림 5 참조).

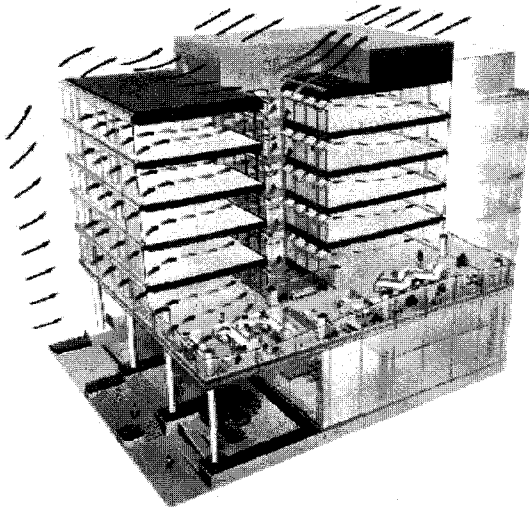


그림 6. 압력 구동형 창을 오피스 빌딩에 응용한 예

압력 구동형 창을 오피스 빌딩에 적용한 예를 그림 6에 나타낸다. 오피스 빌딩의 중앙에는 중정을 설치하고 각 오피스의 외벽 하부에는 압력 구동형 창을 적용하여 자연환기가 원활히 이루어지도록 하였다.

압력구동형 창을 그림 7에 나타낸 바와 같이 층고가 높은 아트리움에 설치하면, 아트리움 외벽 하부에 설

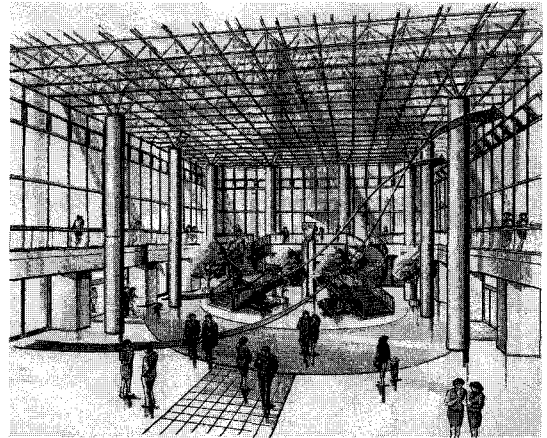


그림 7. 압력 구동형 창을 로비에 응용한 예

치된 압력 구동형 창을 통해 도입된 신선외기가 실내 거주역을 통과하여 반대쪽 상부의 압력 구동형 창을 통해 옥외로 배출되면서 오염물질을 함께 배출하기 때문에 거주역은 쾌적한 공기환경이 유지될 수 있다. 또한, 열배기의 효과와 환기를 위한 반송동력이 필요 없기 때문에 에너지 절약효과도 기대된다.

압력 구동형 창을 돔(Dome)에 설치한 예를 그림 8에 나타낸다. 돔은 실내에 야구장이 설치된 직

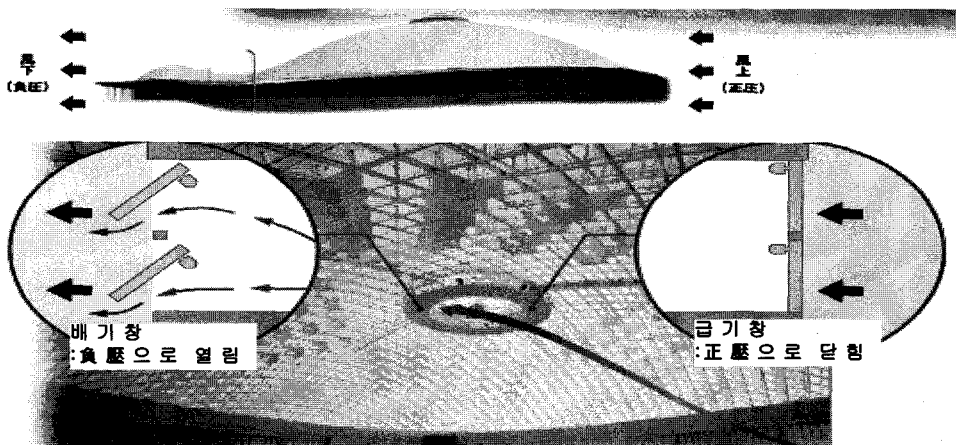


그림 8. 압력 구동형 창을 돔(Dome)에 응용한 예

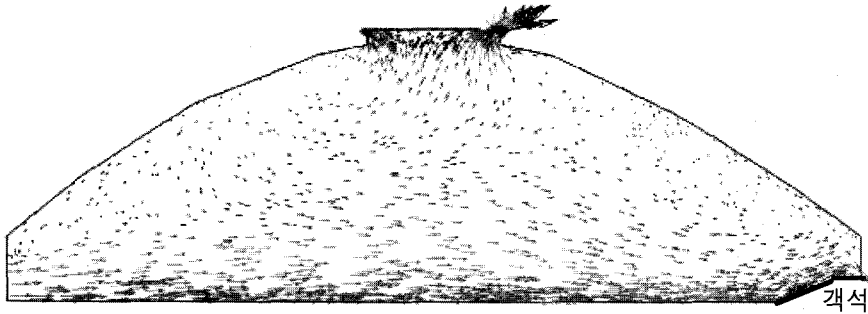


그림 9. 돔(Dome)에서의 기류분포(수직단면)

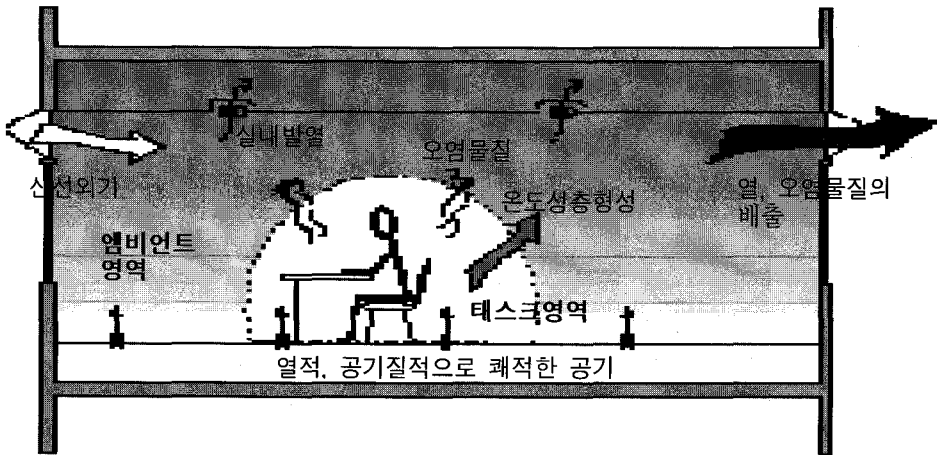


그림 10. 자연환기 병용형 하이브리드 공조시스템의 개념

경 150m의 돔으로서 돔의 외벽주위에는 자연환기를 위한 개구부가 설치되어 있고, 정상부에는 압력 구동형 창이 설치되어 있어 외부풍에 의한 풍력환기와 온도차 환기가 원활히 이루어질 수 있도록 설계되어 있다.

돔내에서의 기류분포를 파악하기 위해 CFD해석을 실시한 결과를 그림 9에 나타낸다. 그림 9는 정상부의 압력 구동형 창을 포함하는 돔 중앙의 수직 단면이다. 외벽하부의 개구부에서 유입된 외기는 그라운드를 가로질러 객석에 도달한 후 일부는 객석 뒤편의 개구부를 통해 배출되고 일부는 돔의 지붕을 타고 상승한 뒤, 정상부 풍하측의 압력 구동형

창을 통해 배출된다.

3. 자연환기 병용형 하이브리드 공조방식

오피스의 실내공기환경 개선과 공조 에너지 절약을 위한 자연환기 병용형 하이브리드 공조방식에 대해 소개한다.

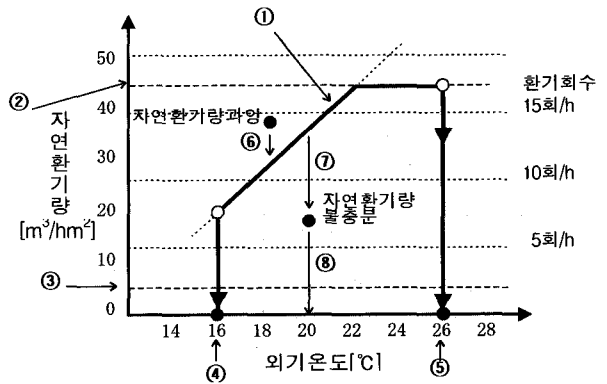
오피스 빌딩의 경우, 외기의 온·습도상태가 쾌적한 중간기(봄, 가을)에 있어서의 에너지 절약을 위해 공조설비의 운전을 중지하고 창문을 개방하거나 또는 외기냉방을 실시해왔다. 그러나 전자의 경우(창문개방), 유입외기의 온도 및 풍량에 대한 제

어가 없기 때문에 실내의 온열환경이 항상 쾌적하게 유지된다는 보장이 없고, 그로 인해 자연환기의 이용시간은 1년중 극히 짧은 시간에 지나지 않는다. 후자의 경우(외기냉방), 외기취입구의 크기가 일반적으로 외기냉방을 실시할 만큼 충분치 않기 때문에 그 활용이 미미한 형편이다.

자연환기 병용형 하이브리드 공조시스템의 개념을 그림 10에 나타낸다. 오피스 실내의 데스크 영역에서 발생하는 열과 오염물질을 자연환기에 의해 옥외로 배출함으로써 실내 온열환경과 공기질을 쾌적하게 유지하는 한편, 데스크 영역에 대해서는 자연환기만으로 열부하 제거가 충분치 못할 경우, 공조에 의한 보조냉방을 실시함으로써 데스크 영역에 대한 온열환경을 쾌적하게 유지한다. 필요최소한의 외기량만을 도입하는 기존의 공조방식에 비해 자연환기 병용형 하이브리드 공조시스템의 경우, 자연환기 이용시에 외기 도입량이 비약적으로 증가하게 되므로 실내 공기질이 크게 개선될 것으로 기대된다.

3.1 이용 가능한 자연환기의 조건

자연환기 병용형 하이브리드(Hybrid) 공조시스템에서 이용 가능한 자연환기의 조건을 그림 11에 나타낸다. 자연환기의 이용조건은 외기온도와 유입 풍량에 의해 결정된다. 그림 11의 X축은 외기온도를, Y축은 단위 면적당 자연환기량 $[m^3/(h \cdot m^2)]$ 을 나타낸다. 선①은 실내 냉방부하(본 논문에서는 $70W/m^2$ 를 적용)를 제거하는데 필요한 자연환기량을 나타낸다. 외기온도가 높아지면 많은 양의 풍량을 필요로 하고, 외기온도가 낮아지면 적은 양의 외기로도 냉방부하가 제거된다. 유입외기량이 너무 많으면 서류가 날리는 등의 문제가 생길 수 있고, 외기온도가 너무 낮으면(예를 들어 $16^{\circ}C$) 결로 및 콜드 드래프트의 문제가 생길 수 있으므로 자연환기를 이용할 수 없게 된다. 그림 11의 선①의 윗



- ① 중간기의 냉방부하를 $70W/m^2$ 로 가정했을 때, 이를 제거하기 위해 필요한 자연환기량 (실내실정온도는 $26^{\circ}C$)
- ② 환기량의 상한선 (책상면 위의 풍속을 $1.5m/s$ 이하로 억제하여 서류가 날리지 않게 하기 위한 환기량)
- ③ 일반공조시의 외기도입량 (1인당 필요외기량 $30m^3/h \times$ 인원 밀도 $0.25인/m^2 = 7.5m^3/hm^2$)
- ④ 결로방지를 고려한 외기온도의 하한치
- ⑤ 실내실정온도 ($26^{\circ}C$)
- ⑥ 개구율제어를 통해 자연환기량 조절
- ⑦ 공조에 의한 부하제거량
- ⑧ 자연환기에 의한 부하제거량

그림 11. 이용가능한 자연환기의 조건

부분은 자연 환기량이 너무 많은 상태로서 개구부의 개구율을 조정해 환기량을 조절(⑥)할 수 있다. 선①의 아랫부분은 자연 환기량이 불충분한 경우로서 공조의 의한 보조적인 냉방부하 제거가 필요하게 되는 경우이다. 여기서는 자연 환기량이 불충분한 경우에 대해 검토한다.

3.2 CFD해석

오피스 내부에서의 자연환기와 실내공기와의 혼합양상을 고찰하기 위하여 오피스 실내 모델을 설정하고 CFD해석을 수행하였다. 본 연구에서 설정한 오피스 빌딩 모델을 그림 12에 나타낸다. 오피스 빌딩 모델은 자연환기의 효과를 기대할 수 있도록 중앙에 보이드(중정)가 있는 25층의 건물을 설

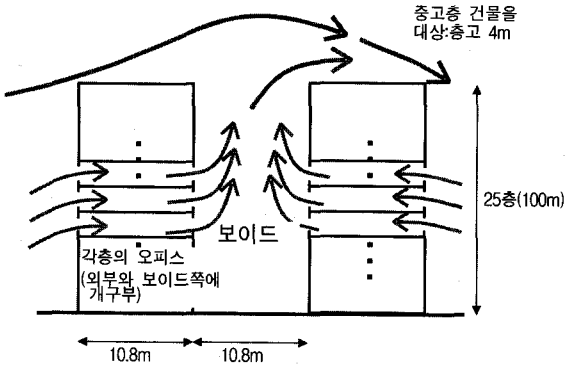


그림 12. 오피스 빌딩 모델

하이브리드 공조시, 실내에의 신선외기도입은 자연 환기에 의해서만 행하고 공조시스템에서는 도입하지 않는다. 오피스는 3.6m 스파마다 파티션에 의해 구획되어 있고 그 양쪽에 책상이 설치되어 있다. 각 책상 윗면에는 컴퓨터를 상징한 발열면이 설치되어 있다.

표1. 계산영역의 냉방부하

발열체	조명 (4개)	일사 (창)	컴퓨터 (4대)	인체모델 (1인)	재실자 (4인:바닥)	합계
열량[W]	400	225	800	55	220	1700

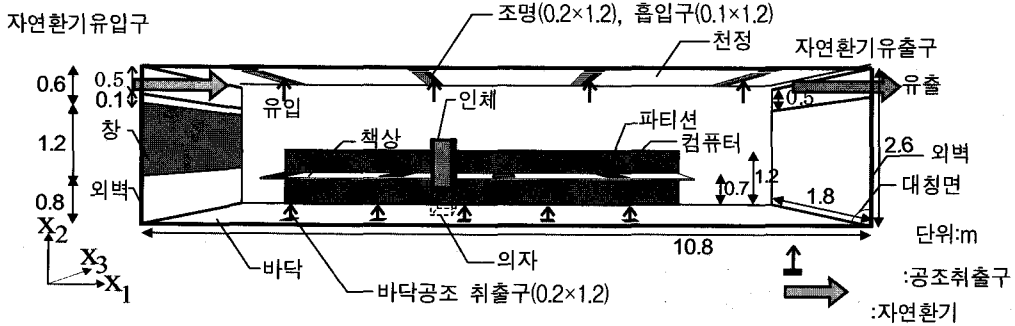


그림 13. 해석대상 오피스 실내

정한다. 이 오피스 빌딩내의 실내 설정모델을 그림 13에 나타낸다. X₁방향의 길이 10.8m이고, X₃방향으로 연속된 오피스 실내를 상징하여 X₃방향의 1.8m(1스판 3.6m의 절반)를 해석대상으로 한다. 좌측벽면은 외부에, 우측벽면은 보이드에 면하고 있고, 양벽면의 상부에는 자연환기용 개구부가 설치되어 있다. 좌측벽면에 작용하는 풍압력(외부풍에 의함)과 보이드 상부의 음압에 의해 자연환기가 촉진되기 때문에 좌측벽면의 개구부로부터 외기가 유입되어 우측벽면의 개구부를 통해서 보이드쪽으로 유출된다. 공조시스템은 데스크/엠비언트 공조를 의식하여, 바닥취출·천정흡입방식을 채용하였다.

표2. CFD의 경계조건

취출	U_{in} 은 자연환기의 유입/공조의 취출속도 $k_{in} = 3/2(U_{in} \times 0.05)^2$ $\epsilon_{in} = C_p \times k_{in}^{3/2} / l_{in}$ $l_{in} = \text{취출구 폭의} 1/7$ $T_{in} : T_{supply}$
흡입	속도는 자유유출(질량보존의 법칙에 의함) $k_{out}, \epsilon_{out}, T_{out} = \text{free slip}$
벽	속도 : 벽면은 log law, 대청면은 free slip 열 : 대류열전달량을 고정
해석Mesh	$88(X_1) \times 17(X_2) \times 15(X_3) = 22,440$

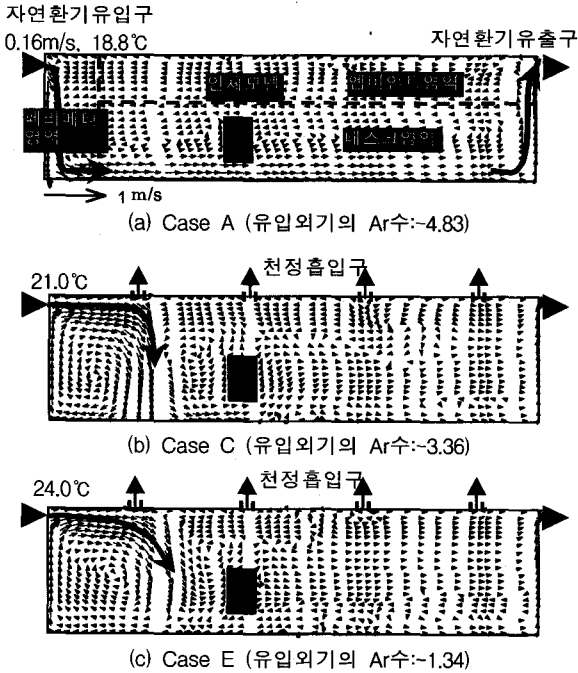


그림 14. 기류분포(인체모델을 포함한 중앙단면)

(1) 실내 냉방부하의 설정 및 해석방법

실내 냉방부하의 설정은 표 1과 같고, 냉방부하의 합계는 1700[W]이다. 실내기류의 해석은 k-ε모델을 이용한 3차원 CFD해석을 수행하였다. CFD의 경계조건을 표 2에 나타낸다.

3.3 해석결과 - 자연환기의 온도를 변화시킨 경우

자연환기의 온도, 풍량, 실내 발열량 등의 여러 가지 조건을 변화시키며 CFD해석을 수행하였다. 여기서는 자연환기의 풍량을 환기회수 10회/h로 고정시키고, 유입외기의 온도가 변한 경우의 예를 소개한다.

(1) 기류분포

그림 14에 각 케이스의 기류분포를 나타낸다. 자

연환기에 의한 유입외기의 패턴은, 외기온도가 높을수록 Ar수의 절대값이 작아지므로 보다 깊숙히 실내에 유입된다. Case A(자연환기 유입구에서의 Ar수 = -4.83)의 경우, 외기와 실내공기와의 온도차가 상대적으로 크기 때문에 유입외기는 강한 음의 부력에 의해 창쪽벽면을 따라 하강하여 우측벽면을 향하여 저속으로 흘러간다. 이로 인해 실내에는 전체적으로 시계 반대방향의 순환류가 형성되고 있다. 우측벽면에 도착한 기류는 벽면을 따라 상승하여 자연환기 유출구를 통해 배출된다. Case A의 경우는 자연환기만으로 공조 목표온도(26℃)가 달성되므로 공조 취출속도는 “0”이 된다. Case C(Ar수 = -3.36), Case E(Ar수 = -1.34)의 경우, 유입외기는 Case A에 비해 보다 깊숙히 실내에 유입되어 실내공기와 혼합된다.

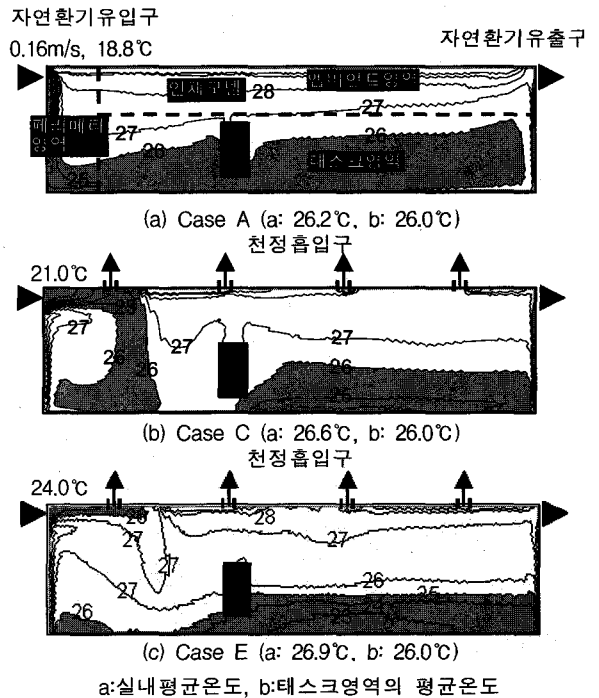


그림 15. 온도분포(인체모델을 포함한 중앙단면)

(2) 온도분포

그림 15에 각 케이스의 온도분포를 나타낸다. Case A의 경우, 상대적으로 낮은 온도(18.8°C)의 유입외기가 실내공기와 잘 혼합되지 않은 채로 실내쪽으로 흐르기 때문에 공간전체에 걸쳐 온도성층이 형성되어 있다. 자연환기의 온도가 높을수록 태스크영역의 평균온도를 일정(26°C)하게 유지하기 위한 공조풍량(취출온도 19°C)이 증가하게 되므로 바닥근처에서의 온도구배가 커진다.

(3) 공기령 분포

기류해석 결과를 이용하여 자연환기의 공기령을 계산하였다. 자연환기의 유입온도가 변화한 경우의 공기령 분포중, Case A, Case C 및 Case E의 결과를 그림 16에 나타낸다. 계산결과는 환기시간 T_n (환기회수의 역수) 으로 무차원화하였다. 실내의 공기령 분포는 기류분포와 잘 대응하고 있다. Case A는 유입외기가 실내공기와 잘 혼합되지 않은 채로 태스크 영역에 유입되기 때문에 태스크 영역의 공기령이 상대적으로 낮게 나타나고 있다. Case C는 유입외기가 페리메타 영역 근처에서 실내공기와 잘 혼합되면서 실내쪽으로 흐르기 때문에 실내쪽으로 갈수록 공기령이 높아진다.

Case E는 유입외기가 분류(噴流)의 형태로 유입되어 실내공기와 잘 혼합되면서 실내쪽으로 보다 깊숙히 유입되므로 인체모델의 우측에서는 공기령이 "1" 이하가 되는 가늘고 긴 영역이 수평으로 형성되어있다.

(4) 공조 투입열량의 변화

CFD해석 결과로부터 태스크 영역의 평균온도를 26°C로 유지하기 위한 공조 투입열량이 구해진다. 자연환기의 온도를 변화시킨 경우의 공조 투입열량을 그림 17에 나타낸다. 자연환기의 유입온도와 공

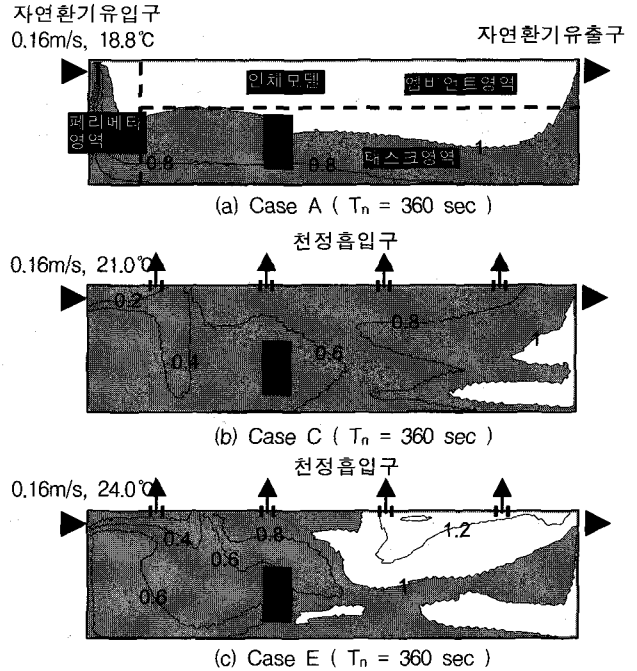


그림16. 공기령분포(인체모델을 포함한 중앙단면)

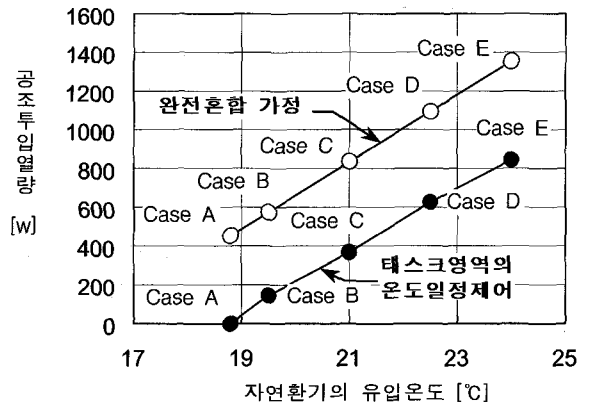


그림17. 자연환기의 온도와 공조투입열량

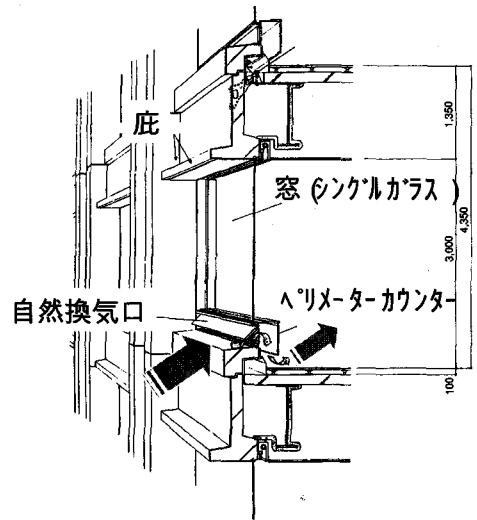
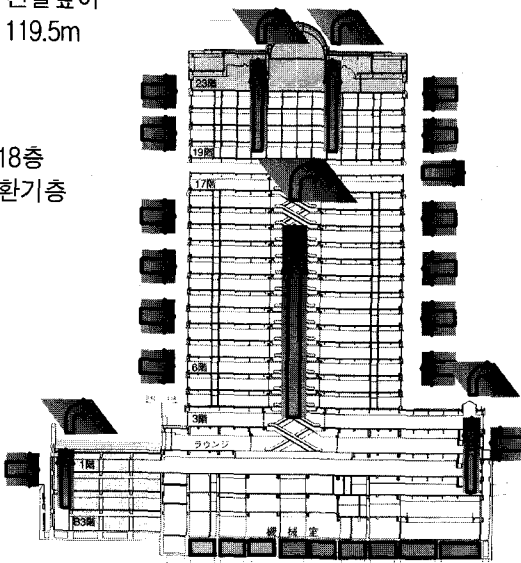
조시스템의 투입열량(●)은 비례관계를 보인다. 그리고 자연환기와 공조공기의 완전혼합을 가정한 경



(a) 자연환기 병용형 하이브리드 공조방식을 적용한 건물의 외관

건물높이
119.5m

18층
환기층



(b) 자연환기 병용형 하이브리드 공조방식을 적용한 건물의

(c) 자연환기 유입구의 상세

그림 18. 자연환기 병용형 하이브리드 공조방식을 적용한 건물의 예

우(○)에 비해 약 460W 낮은 값을 보인다.

이는 상대적으로 낮은 온도의 유입외기가 실내공기와 잘 혼합되지 않으면서 태스크 영역으로 흘러들어 태스크 영역의 평균온도가 실내 평균온도보다 낮아지기 되기 때문으로 생각된다. 자연환기의 유입온도가 18.8℃의 경우(Case A), 자연환기만으로 태스크영역의 공조목표가 달성된다. 유입외기온도의 상승과 함께 공조시스템이 분담해야할 냉방부하도 증가하여, 유입외기온도 24℃의 경우(Case E)에는 공조시스템이 전냉방부하의 약 50%를 분담한다. 이경우의 공조풍량은 자연환기풍량의 약 50%이다.

3.4 자연환기 병용형 하이브리드 공조방식의 적용 예

그림 18에 자연환기 병용형 하이브리드 공조방식을 적용한 건물의 외관, 단면 및 자연환기 유입구의 상세를 나타낸다. 본 건물은 동경의 도심에 위치한 대학의 교사로서 1~3층은 로비와 사무실, 4~17층은 강의실로 구성되어있다. 이 건물의 특징

은 18층에 배기층을 두어 실내공기의 배출을 원활히 한 점이다. 즉, 외벽의 창문 하부에 설치된 자연환기 유입구를 통해 외기가 실내로 유입되어 건물 중앙의 에스컬레이터 코어부를 통해 상승하고, 18층의 배기층을 통해 외부로 배출되도록 환기통로를 구성하였다. 본 건물은 연간 에너지 시뮬레이션에 의하면 자연환기에 의해 연간 냉방에 필요한 에너지(송풍동력 포함)의 약 30%가 절감되는 것으로 나타났다.

4. 결론

에너지 절약적이면서도 실내 공기환경을 개선시킬 수 있는 환기방식으로서 압력 구동형 창을 이용한 거주역 중심의 환기방식과 자연환기 병용형 하이브리드 공조방식에 대하여 소개하였다. 이들 방식은 자연의 힘을 이용한 환기방식으로서 실내 공기환경을 개선하고 에너지 절약에 기여할 것으로 사료되며, 그 활용도 또한 매우 높을 것으로 기대된다.