

# 초고층 공동주택에서의 한국형 하이브리드 환기시스템 적용방안

이 성 환

(주)벤틀피아 환기연구소(veta@ventopia.com)

## 서 론

최근 삶의 질이 향상됨에 따라 작업 공간, 생활 공간 등에 대한 실내 공기질의 중요도가 증가하고 있으며, 주상복합건물과 일부 사무실 건물에 한하여 적용되었던 환기설비가 공동주택 환기설비 설치 의무화, 다중이용 시설 등의 실내 공기질 관리법, 건물 성능 등급제 등의 법안들이 정립되면서 급속하게 전 건축물로 확대 적용될 것으로 기대되고 있다. 따라서 고층 공동주택의 경우에도, 이와 같은 시대적인 요구에 부응하기 위해 공동주택에 적합한 한국형 환기시스템 개발이 필요하게 되었다.

지금까지 고층 공동주택에 적용된 환기설비는 주상복합건물 위주로 폐열회수 환기장치에 집중되어 왔다. 그러나 주상복합의 경우에는 층고의 여유가 있어서 설치상의 문제는 없으나 일반 공동주택의 경우에는 층고의 여유가 없어서 전열교환기 설치공간에 대한 건축 설계상의 배려가 필요하다. 게다가, 국내에는 아직까지 이러한 환기장치를 공동주택에 적용한 결과가 충분하게 검토되어 있지 않을 뿐더러 선진 제국에서 도출된 많은 문제점들을 그대로 내포하고 있어 광범위하게 적용하기에는 어려운 점이 많다. 즉, 생애주기에 있어 필터교환, 여재 교환, 덕트 청소, 실제 열회수율 분석, 운전비 등에 대한 분석이 자세히 이루어지지 않았다. 이에 대한

예측은 대부분 선진국의 사례 및 분석 결과에 의존하고 있어 과연 전열교환기를 적용한 환기 시스템이 공동주택에 보편적으로 적용할 수 있는 최적의 환기설비인지 다시 검토하여야 할 필요성을 시사하고 있다.

유럽의 예를 보면, 덕트 내 진드기 및 먼지 청소 문제, 종이 재질의 열교환 여재 사용 시 습기로 인하여 자연발생하는 박테리아 및 곰팡이 문제로 종이 재질을 이용한 전열교환기보다 알루미늄으로 제작된 현열교환기 선호 성향, 환기설비의 장시간 사용에 따른 운전비의 과다 지출 문제 등으로 인해 대부분의 국가에서는 자연환기와 강제환기가 혼합된 하이브리드 방식을 채택하고 있는 실정임을 감안 할 때 전열교환기를 이용한 환기설비를 공동주택에 일반적으로 반영하기 위해서는 아직도 많은 검증과 분석이 여전히 필요하다고 본다.

또한, 발코니 확장 합법화, 스포링클러 설치 의무화 등으로 공동주택 형태와 구조가 변화하고 있고, 우리나라의 온돌문화와 주거환경이 외국과는 기본적으로 다르기 때문에 우리나라에 적합한 환기시스템의 검토 및 연구가 절실히 필요한 시점이다.<sup>1~7)</sup>

따라서 본 연구에서는 가장 경제적이면서 동시에 우리나라 실정에 맞는 한국형 하이브리드 환기방식을 설정하고 실측 시험 및 CFD 시뮬레이션 방법을 이용하여 적용타당성 여부를 분석, 제시하였다.

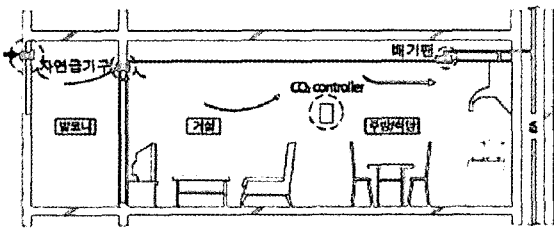


## 하이브리드 방식 적용 근거

### 환기방식

건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 제11조<sup>8)</sup>에 의하면 2006년 2월 13일 이후 신축되는 모든 공동주택에는 0.7회/hr의 자연환기 또는 기계환기설비를 설치하여야 한다. 공동주택에서 이용하는 환기방식은 급·배기방식의 조합에 따라 3가지로 구분될 수 있다. 자연환기(passive ventilation)는 급·배기가 압력과 온도차에 의해 이루어지는 방식으로 별도의 동력이 필요치 않아 유지관리비가 저렴하다는 장점을 가지고 있으나, 외풍, 온도차 등, 주위환경 요인에 따라서 환기량이 변하는 문제점을 가지고 있다. 강

제환기(active ventilation)는 급·배기를 송풍기를 이용하여 강제적으로 급·배기 시키는 가장 적극적인 방법으로 폐열회수 환기장치 등이 여기에 속한다. 최근 각광받고 있는 폐열회수 환기장치는 주택에서 공조된 공기가 밖으로 버려지는 것을 새로이 유입되는 공기와 열교환을 시켜 다시 회수하는 방식으로 폐열의 일부를 회수한다는 장점을 가지고 있다. 이와 같은 방식은 안정되게 일정하고, 확실하게 환기 할 수 있다는 장점을 가지고 있는 반면, 초기투자비와 사후 관리비가 과다하다는 단점이 있어 경제성이 없다. 복합환기(hybrid ventilation)는 송풍기를 이용하여 강제적으로 배기하며, 압력차에 의한 자연급기방식으로 자연환기와 강제환기의 중간적인 성격을 띤다. 하지만 가장 경제적으로 안정된 환기를 할 수 있는 장점을 가지고 있다.



[그림 1] 시스템 개요

### 시스템 구성

한국형 하이브리드 환기시스템은 그림 1과 같이 다수의 자연급기구(그림 2)와 소수의 정풍량 배기팬으로 구성이 되며, 방과 거실 사이, 거실과 화장실 사이에 통기구를 두어 외기가 실내의 차압에 의하여 자연스럽게 흐를 수 있도록 하였다.



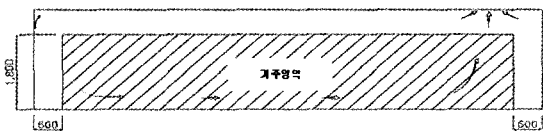
[그림 2] 자연급기구 형상

<표 1> 34평형 아파트 필요 환기량 산출 예

구분	거실/주방	침실1	침실2	침실3	전체	비 고
면적 [m <sup>2</sup> ]	28.80	14.20	9.69	8.47	61.16	천장고 2.4 m.
풍량 [m <sup>3</sup> /h]	58	29	20	17	124	여유율 20%

<표 2> 시험조건

항 목	조 건	
온도, 속도 특성 시험	외기조건	-20.16℃
	실내조건	19.84℃
	난방조건	비난방시 60 W/m <sup>2</sup>
결로시험	외기조건	-8.16℃ ~ -2.16℃, 82% RH
	실내조건	25.84℃, 54.4% RH
	측정시간	3시간 30분



[그림 3] 거주영역 정의

자연 급기구는 발코니를 확장한 경우에는 급기구가 실외로 직접 연결이 되지만 발코니가 있는 경우는 발코니와 주거 공간 사이에 통기구를 두어 실외 공기가 발코니로 유입되고 이 공기가 다시 주거공간으로 유입되도록 구성하였다. 실험결과 정풍량 배기팬을 기존의 욕실이나 주방에 설치하여 항상 적정 풍량이 배기되도록 할 때 실내의 차압이 10 Pa 이내로 유지됨을 알 수 있었다. 그러므로 1개의 자연급기구로 과도한 풍량이 유입될 시 콜드 드래프트(cold draft) 현상이 일어나지 않도록 하기 위하여 자연급기구의 최대 풍량을 30 m<sup>3</sup>/hr으로 한정 하였다.

**필요 환기량**

표 1은 34평형 아파트를 기준할 때 필요 환기량을 산출한 것이다.

**거주영역 정의**

가구나 가전제품 등이 놓여 있는 유리면 또는 벽면 가까운 곳과 사람의 키가 닿지 않는 천장공간은 비

거주 영역으로 정의 한 반면에 외기와 접하는 유리면이나 벽면에서 600 mm 이의 지역과 바닥으로부터 1,800 mm 이내의 영역을 거주영역으로 정의하였다(그림 3). 유럽에서는 이 영역 내에서 유속이 난방 시는 0.15 m/s, 비난방시는 0.25 m/s가 넘지 않도록 규정하고 있다.”

**타당성 검토 조건**

하이브리드 환기방식이 적용되기 위해서는 우선적으로 다음과 같은 조건을 충족시켜야 한다.

첫째, 실내의 영향, 설치 위치에 따른 정압 변동에도 항상 시간당 0.7회의 정풍량 환기가 유지되어야 한다.

둘째, 겨울철 거주영역 내에서 콜드 드래프트(cold draft) 현상이 일어나지 않아야 한다.

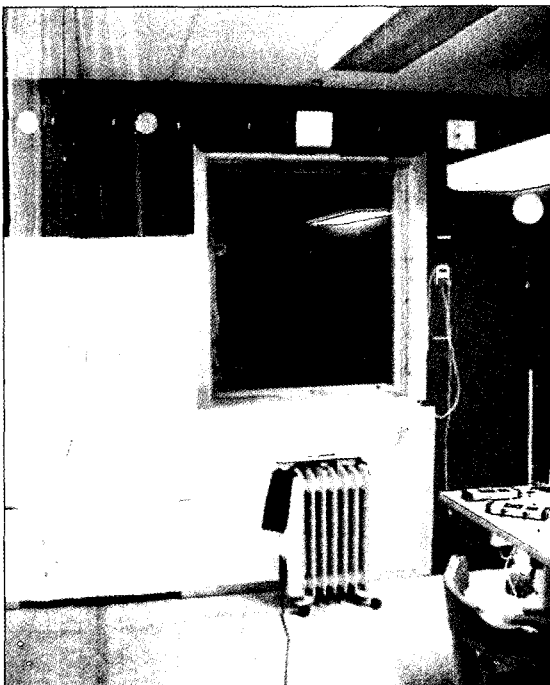
셋째, 욕실과 주방의 배기만으로 외기에 의한 온도 강하 없이 침실 및 거실의 환기가 원활히 이루어져야 한다.

넷째, 극한 온도에서도 겨울철 자연급기구 부분에서 결로가 발생하지 않아야 한다.

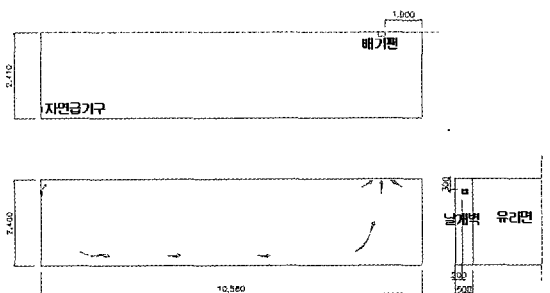
또한 본 연구에서는 위에서 제기한 문제에 대한 검증용 위해 실측시험과 CFD 시뮬레이션을 이용하였다.

시험은 그림 4와 같은 시험 장치를 꾸며서 자연급기구(그림 2)를 통한 외기 도입 시 실내에서의 기류 속도 및 온도분포 측정시험은 외기조건을 -20.16 ℃로 유지하고, 정풍량팬을 가동하여 실내의 차압을 10 pa로 유지한 상태 하에서 비 난방 조건과 60 W/m<sup>2</sup>의 난방의 조건하에서 측정되었다.

외기 온도 변화에 따른 급기구 표면에서의 결로 발생 여부에 대한 시험은 표 2와 같은 조건하에서 이루어졌고 CFD 시뮬레이션은 두 가지 모델을 이용하였다.



[그림 4] 시험장치 구성



[그림 5] 해석 모델 개요 1



그림 5는 겨울철 온도강하문제에 대한 분석하기 위한 모델로 5,820×10,560×2,400[mm]의 임의의 공간에 자연급기구 2개, 정풍량 배기팬 1대가 설치되었다고 설정하였고, 4면 중 1면이 외기와 접해 있으며, 이 면에 20 mm의 유리면이 있다고 가정하였다. 급기구는 외기와 접한 면의 날개벽에 설치되어 있는 조건으로 하였다. 이처럼 단순한 모델을 선정한 이유는 1개의 자연 급기구(그림 2)를 통해 들어오는 공기의 유동특성과 온도분포 특성을 파악하기 위해서이다. 외기조건은 서울기준 -13.16℃로 하였으며, 온돌 온도는 29.84℃로 유지된다고 설정하였으며, 배기풍량은 정풍량 60 m<sup>3</sup>/hr로 하였다.

하이브리드 환기방식이 적용된 세대에 대한 유동특성과 온도특성을 분석하기 위해 그림 6(a)와 같은 34평형 아파트 sample 세대에 그림 6(b)와 같은 정풍량 하이브리드 방식을 적용하였다. 표 1에서 보는 바와 같이 필요 환기량은 약 120 m<sup>3</sup>/hr 이므로, 2개의 화장실에서 항상 30 m<sup>3</sup>/hr의 풍량을 배기시키고, 거실에서 60 m<sup>3</sup>/hr의 정풍량을 배기시킨다고 설계하여, 화장실과 거실에 각각 1대의 정풍량 배기팬을 설치하였다. 이때 화장실은 완전 밀폐된 공간이므로 화장실과 거실 사이에  $\phi$  100 mm의 통기구를 두어 화장실을 통해 주거공간의 공기가 배출될 수

있도록 하였다. 3개의 방 역시 급기부만 존재하기 때문에 부압이 형성 되지 않는다. 따라서 각 방과 거실 사이에 또한  $\phi$  100 mm의 통기구를 두어 배기로 인한 음압이 형성될 수 있도록 하였다.

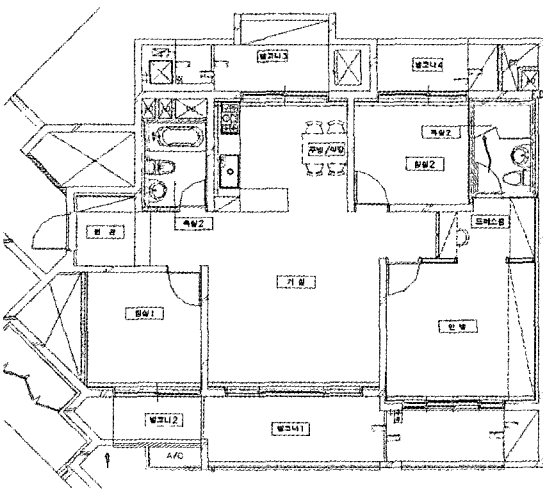
현재 발코니 확장이 합법화가 되었으나 본 연구는 발코니가 있는 조건에서 행했다.

이 모델의 외기온도는 -13.16℃, 바닥 난방 온도(거실, 각방)는 29.84℃로 하였다.

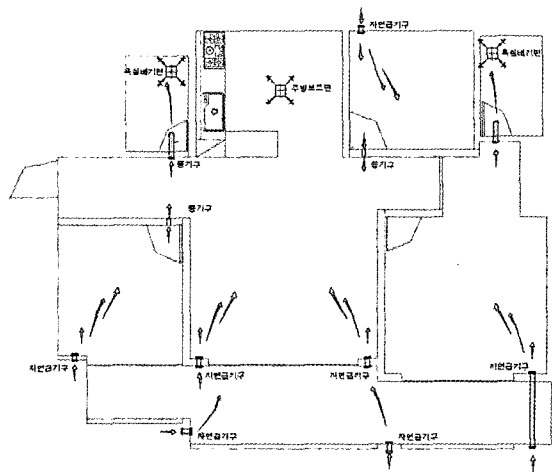
### 실측 시험 및 CFD 분석

#### 실측 시험결과

그림 7은 위 시험에 대한 결과로서 외기 도입 후 유속 및 온도분포를 나타내는 그림이다. 자연급기구(그림 2)를 통한 외기가 상부로 토출되는 과정에서 -20.16℃의 외기가 19.84℃ 실내 공기와 희석되어 온도가 17.8℃로 상승되어 바닥으로 내려오는 것이 확인 되었다. 또한 급기구 그림의 음영 처리된 부분만 유속이 0.15 m/s 이상인 영역을 뜻하므로, 두 그림에서 보는 바와 같이 유입된 외기는 벽면(유리면)을 따라 직 하강하는 것을 관찰할 수 있으나, 거주영역에서는 거주자들이 온도 변화나 또는 유속을 느끼지 못하고 있음을 알 수 있다.



(a) 34평형 sample 세대

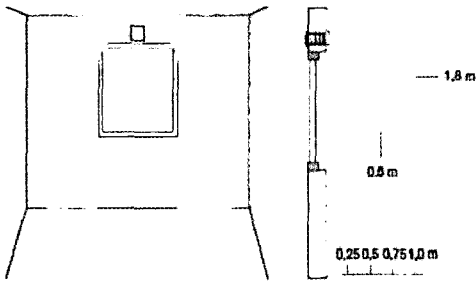


(b) 환기시스템 설계 안

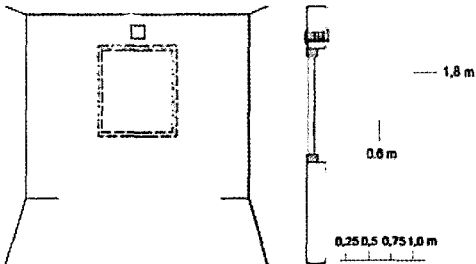
[그림 6] 해석 모델 개요 2

바닥난방 시에는 외기의 분사 폭이 비 난방 시 보다 더 좁게 하강하는 것을 관찰 할 수 있었다. 이는 바닥난방의 영향으로 실내공기와의 밀도 차에 의한 자연대류의 영향이 강하게 작용하기 때문임을 알 수 있다.

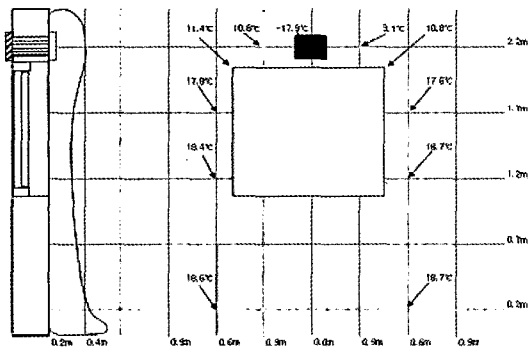
그림 8은 외기 유입 시 급기구에서의 결로발생여부를 관찰한 결과로서 표 2의 결로시험 조건하에서



(a) 비난방시



(b) 바닥 난방시



(c) 온도 분포

[그림 7] 속도 및 온도 분포

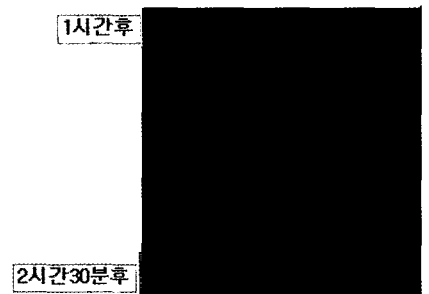
는 그림과 같이 급기구 부분에서 결로가 관찰되지 않았다. 참고로, 극저온(영하 20도 이하) 환경에 대하여는 추가 시험 중이다.

**해석결과**

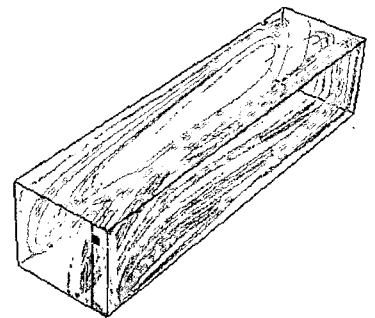
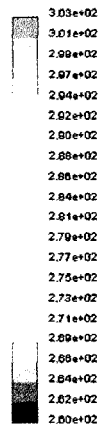
그림 9~11은 자연급기구로 유입되는 -13.16°C 외기가 실내에 미치는 영향을 검토한 것으로 그림 5에 대한 결과이다.

그림 9는 유입되는 공기의 경로를 나타내며, 자연급기구 출구에서의 유동이 실측 시험결과와 유사한 특성을 보임을 알 수 있다. 본 시험과 시뮬레이션에 적용된 자연급기구(그림 2) 주위를 제외한 나머지 영역에서는 바닥 난방과 저온인 유리면의 영향으로 일어나는 자연대류가 지배적임을 알 수 있다.

그림 10은 해석모델(그림 5)에 대한 결과를 Y-Z



[그림 8] 결로 시험 결과



[그림 9] 유입공기의 Path Line

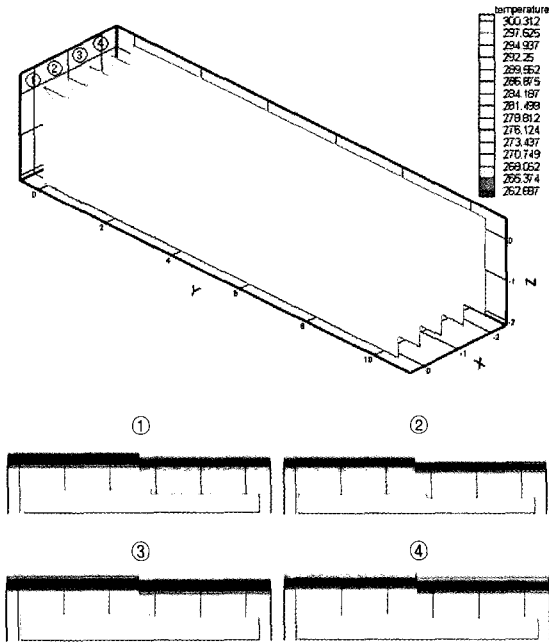


평면으로 나타내었다. 그림을 보면, 유입되는 공기가 거주영역으로 바로 확산되지 않고 벽면(유리면)을 따라 바닥으로 떨어지고 있음을 관찰할 수 있고, 거주영역 내에서는 온도강하가 없음을 알 수 있다.

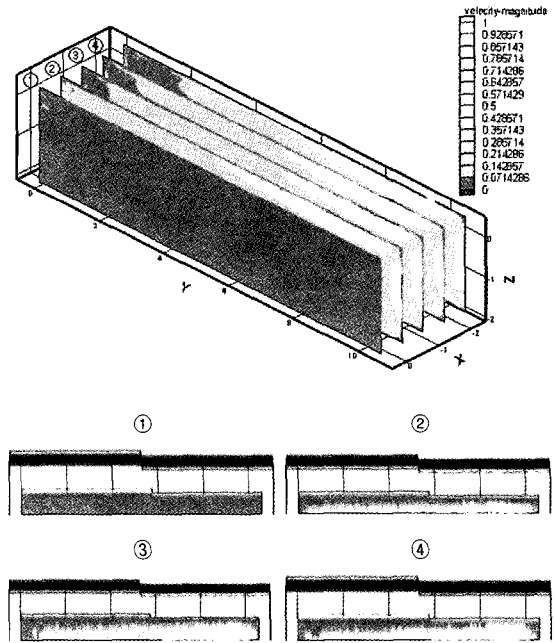
그림 11은 속도분포를 나타내는 그림으로 자연대

류의 영향으로 유리면에서의 유속이 상대적으로 높음을 알 수 있다.

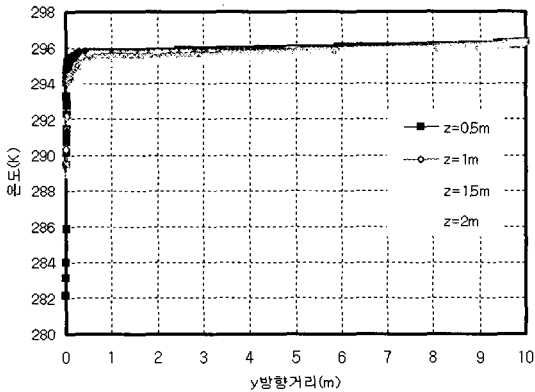
그림 11(b)를 보면 -13.16℃의 공기가 유입되는 부분 0.2 m 이상인 구간에서는 0.15 m/s 이하의 유속을 보이는 반면, 반대 면에서는 비교적 큰 유속을



(a) 온도분포(Y-Z평면)

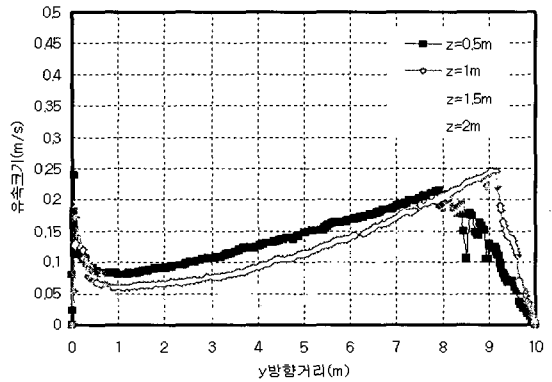


(a) 유속분포(Y-Z평면)



(b) Y방향에 따른 온도분포

[그림 10] 온도분포(Y-Z평면)



(b) Y방향에 따른 유속분포

[그림 11] 속도분포(Y-Z평면)

갖는다. 이는 자연대류에 의한 공간 내에서 유동이 있음을 뜻한다. 전체적으로 볼 때 거주영역에서의 잔류 풍속은 0.15 m/s 이하로서 외기로 인한 불쾌감은 없다 것을 알 수 있다. 선정 모델이 외기와 접한 부분에 단열에 취약한 유리면을 두었고 바닥난방을 하고 있기 때문에 자연대류의 지배를 받는 유동특성을 보이고 있다. 이는 유리면에 단열성능이 높은 2중, 3중창을 사용하거나 커튼을 사용하면 자연대류에 의한 유속이 감소할 것으로 보인다.

그림 12와 그림 13은 34평 sample 세대에 대해 시뮬레이션 결과로서 화장실, 거실에서 120 m<sup>3</sup>/hr 정풍량 배기로 인한 실내의 차압 발생으로 120 m<sup>3</sup>/hr 외기가 자연 급기구를 통해 유입되는 현상을 관찰할 수 있다.

외기가 바로 유입되고 난방이 없는 발코니에서는 실내온도보다 4~5도 하강하는 것을 관찰할 수 있고 방들은 거실에 비해 1~2도 정도 온도가 낮음을 관찰할 수 있다. 이는 거실은 발코니나 방에서 한번 데워진 공기가 유입됨으로 인한 현상이다.

**결 론**

본 연구에서는 한국형 하이브리드 환기방식의 적용 타당성을 알아보기 위한 실측 시험과, CFD 시뮬레이션 등을 이용하여 단위세대내의 실내의 차압에 의한 외기도입 시의 잔류 풍속, 실내 온도 변화, 자연 급기구의 결로 문제 등을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

**1) 시험을 통해**

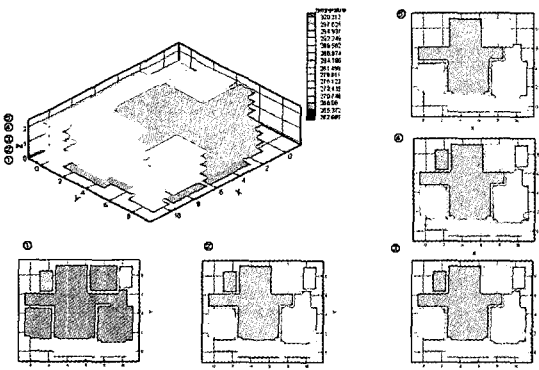
- 정풍량 배기팬에 의하여 발생된 실내의 차압에 의한 자연급기구를 통해 유입되는 공기의 거주영역에서의 실내 잔류유속은 0.15 m/s 이내이며 분사 폭은 벽 또는 창으로부터 0.2 m 이내인 비거주영역에서 이루어지므로 거주영역에서의 콜드 드래프트(cold draft)현상은 관찰되지 않았다.
- 실내온도 26℃, 외기온도 -8.16℃ ~ -2.16℃ 조건 하에서 자연 급기구 표면 결로는 발생하지 않았다.

**2) 자연급기구에 대한 CFD 시뮬레이션을 통해**

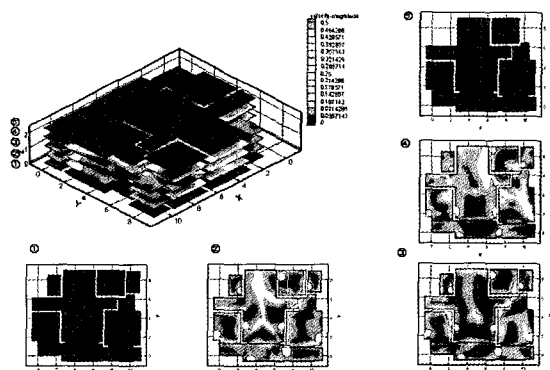
- 외기에 의한 급격한 온도변화는 급기구로부터 0.5 m 이내에서만 발생하므로 거주영역에서의 온도변화에 의한 콜드 드래프트(cold draft) 현상은 발생하지 않았다.
- 급기구 근처에서는 유입공기에 의한 유동이 존재하나, 거주영역에서는 바닥난방과 유리면에 의한 자연대류현상이 더 강하게 나타나 자연급기에 의한 외기로 인한 실내온도의 변화는 일어나지 않았다.

**3) sample 세대에 대한 CFD 시뮬레이션을 통해**

- 기존의 욕실과 주방의 상부에 설치된 정풍량 배기팬의 가동으로 인하여 발생된 실내의 차압으로도 발코니 외벽, 거실과 각방에 설치된 자연 급기구와 통기구를 통하여 배기가 원활하게 이루어진다는 것을 관찰할 수 있었다.
- 본 실험을 통하여 본 결과, 자연급기와 강제배기가



[그림 12] sample 세대에 대한 온도분포



[그림 13] sample 세대에 대한 속도분포



결합된 한국형 정풍량 하이브리드 환기방식은 고층 공동주택의 환기방식으로 적절하다고 판단되어진다. 왜냐하면, 이미 정풍량 배기팬에 대한 검증은 한국설비기술협회의 규격에(KARSE B 0044) 따라서 완료되어 60층 이하의 공동주택에서는 어느 층, 어떤 환경 하에서도 항상 일정하게 정풍량으로 배기를 할 수 있다는 것을 입증 하였고, 또한 급번 실험을 통하여 욕실이나 주방에 설치한 정풍량 배기팬에 기인한 실내외 차압으로도 시간당 0.7회의 배기량 120 m<sup>3</sup>/hr를 충족시키면서 동시에 급기량 120 m<sup>3</sup>/hr를 만족시킨다는 것이 입증되었기 때문이다.

그럼에도 불구하고 향후 추진 개발과제로는 극한 온도에서도 결로 없이 사용할 수 있는 자연급기구에 대한 신기술개발, 날개벽이 없을 때를 대비한 윈도 우벤트의 개발, 외부 또는 내부 소음이 실내로 전달 되지 못하도록 하는 소음차단 기술의 개발, 고층 공동주택에서 빈번하게 발생하는 내부공기 외부배출을 저지하는 역류방지기능과 강풍시 과 풍량의 외기 유입을 방지하는 기능이 내장된 자동댐퍼 개발, 황사 등을 대비 강화된 기능의 외기 필터의 개발 등이 있다. 그러나 이러한 기술 중 일부는 이미 보편화 되어있고 일부는 이미 자체 개발되어 시험 중이므로 후속 개발에 큰 어려움은 없을 것이다.

결론적으로 전국 어디서나 어떠한 외기의 악조건 하에서도 환기가 가능하고 게다가 기존 층고의 상향조정이 없이도 전반적으로 사용이 가능한 장점이 있는 한국형 정풍량 하이브리드 환기설비를 고층 공동주택의 환기설비로 권장한다.

### 참고문헌

1. Smith, V. A. and Donald, J. D., 1997, Minimum

energy kitchen ventilation for quick service restaurants, ASHRAE Trans. Part 2, pp. 950-960.

2. Kim, K. H. et al, 2000, Prediction of the ventilation performance in a kitchen with various locations of gas range and window, Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 1, pp. 75-82.

3. Kim M. J., 2000, A performance of airing kitchen ventilation by shift a supply diffuser position, -Conditioning and Refrigeration Eng, Summer Annual Conference, pp. 626-631.

4. Choi, S. H., 2002, An approach for natural ventilation performance in a unit plan of apartment house, MS thesis, Sungkyunkwan University, Korea.

5. Kim, K. H. and Lee, E. K., 2003, A study on the ventilation effectiveness of mechanical ventilation system in apartment buildings, SAREK '2003 Winter Annual pp. 537-542.

6. J. K. et al, 2004, A study on the ventilation system applicable to existing apartment house, Proceedings of the SAREK '2004 Summer Annual Conference, pp. 201-206.

7. J. C. et al, 2005, A study on the improvement of ventilation performance in apartment house according to the location of exterior air-vents, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 25, No.2, pp. 71-79.

8. 건설교통부, 신축 공동주택 환기설비기준

9. Building regulations BBR, BFS 1993:57, with amendments up to BFS 2002:19