

[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol. 26, No. 2, 2006

초고층 공동주택의 환기효율 개선에 관한 연구

박진철*

*중앙대학교 건축학부(jincpark@cau.ac.kr)

A Study on the Improvement of Ventilation Effectiveness in High-rise Apartment Buildings

Park, Jin-Chul*

* School of Architecture, Chung-Ang University(jincpark@cau.ac.kr)

Abstract

The efficiency of ventilation system is one of the most important issues of designing ventilation in high-rise apartment buildings. The purpose of this study is to analyze the ventilation efficiency of ventilation system by experimental study using CO₂ gas method.

The results of this paper can be summarized as follows; (1) An appropriate ventilation including opening planning, mechanical and hybrid system are required. (2) The supply diffuser of ventilation system should be located near the contaminant source. (3)The return grill should be located along with supply diffuser for proper ventilation. and the return grill should be located near or right above the contaminant source. (4) However, the supply location right above the contaminant source has to be avoided. and the supply diffuser should be installed in module with return grill increase ventilation effectiveness.

Keywords : 초고층공동주택(High-Rise Apartment), 오염원(Contaminant source), 급기구 및 배기구(Supply diffuser & Return grill), 환기효율(Ventilation effectiveness)

기 호 설 명

V : 실내체적
 Q : 시간당 환기량,
 Γ : 명목시간상수
 LMA : 국소평균연령

1. 서 론

최근 우리 사회는 웰빙바람과 함께 건강한 육체와 정신을 추구하는 건축문화가 새롭게 요구되는 추세이다. 특히, 우리나라에서 지난 2005년 9월 이후 건축자재 및 내장가구 등에서 방산되고 있는

접수일자:2006년 5월 10일, 심사완료일자:2006년 6월 7일

유해화학물질의 급증에 따른 실내공기질 문제를 효과적으로 개선·보완하기 위하여 신축 공동주택 및 다중이용시설에 설치하는 환기설비기준을 마련하였고 2006년 2월 건축물의 설비 기준 등에 관한 규칙 제 11조에 의하여 신축되는 모든 공동주택에는 필요 환기량(시간당 0.7회 이상)을 정하고 자연 환기방식으로 필요 환기량을 확보할 수 없을 경우에는 기계환기설비를 설치할 수 있도록 하고 있다.

따라서 본 연구에서는 초고층공동주택을 대상으로 효율적인 환기계획을 수립하기 위하여 먼저 국내의 초고층 주거건물의 환기시스템 적용현황과 환기효율에 관한 이론을 분석하였다. 또한, 현재 공동주택에 주로 도입되고 있는 기계환기 시스템(천장덕트형)을 실험실에 적용하여 환기 시스템의 성능을 측정하고 특히, 환기시스템 설치위치에 따른 환기효율을 분석하였다. 이를 바탕으로 공동주택에서 환기효율을 개선하기 위한 기초자료를 제시하고자 하였다.

2. 국내의 환기시스템의 초고층건물 적용현황

우리나라의 경우 대다수의 공동주택 환기는 개구부 틈새 바람을 이용한 자연환기가 주종을 이루고 있지만, 자연환기는 베란다 샷시설치 및 이중창 등으로 실내의 오염된 공기가 충분히 배출되지 못할 뿐만 아니라 신선한 공기가 유입되지도 못하고 있는 상황이다.

한편, 기계식환기는 열교환식 천정덕트형이 주로 적용되고 있지만 이는 덕트설치 높이를 요구하는 국내 초고층건물의 특성을 감안함이 없이 외국사례를 그대로 검증없이 적용하고 있는 실정이다. 또한, 국내 전통적인 바닥온돌난방을 이용한 바닥매립형 시스템이 일부 적용되어 기존의 천정고에 대한 부담을 줄여주고 있으나 세부 기술적인 검증이 필요한 상황이다. 또한, 대부분의 공동주택의 밀폐된 주거공간에서는 취사를 위한 가스레인지 사용에 따른 오염물질을 제거하기 위한 주방환기시스템이

적용되고 있지만 입상덕트의 배기능력과 공급공기의 불충분으로 유해물질을 신속하게 제거 하지 못하고 있는 실정이다.

그러나, 일본의 경우, 이미 수년전부터 새집증후군에 대한 문제점을 인식하여 친환경자재사용 의무화와 적극적인 환기시스템에 대한 기술축적이 상당한 수준에 이르고 있는데 특히, 지역, 건물유형 및 기밀성등에 따라 환기방식을 세부적으로 분류하고 건물전체를 24시간 상시환기로 계획하고 있으며 냉난방 및 자연환기와 조합한 하이브리드 환기시스템도 적용하고 있는 실정이다.

또한, 유럽에서는 자연환기시스템을 기본으로 기계환기 시스템을 적절히 조화시킨 hybrid ventilation system이 적용되고 있으며 특히, 에너지 절약적인 접근방법의 하나로 환기와 냉난방을 동시에 구현하는 hybrid system을 최근 주거용 건물에 다양하게 적용시키기 위한 각종 연구들이 새롭게 개발 및 적용되고 있는 상황이다.

현재 국내 초고층 건물에서 하이브리드 환기시스템의 적용현황은 매우 미흡하며 일부 자연환기+보조팬방식을 사용하여 배기 및 급기를 위해 보조팬을 자연환기와 결합하여 적용되고 있다.

3. 환기효율에 관한 이론적 고찰

본 연구에서는 초고층공동주택의 환기효율 개선하고자 명목시간상수에 대한 공기연령과 잔여체류시간의 비율로 환기효율을 산정하였다. 이 방법은 오염원의 위치에 무관하게 실내 기류상태에 의하여 환기효율을 결정할 수 있으므로 현재 ASHRAE 등 국내외에서 널리 사용되고 있는 방법이다.

급기구를 통하여 실내로 유입된 공기가 실내 임의의 점에 도달할 수 있으므로 그 지점에 도달하는 공기입자 연령의 평균값을 국소평균연령(Local Mean Age, *LMA*)이라 한다. 또한, 실내 임의의 점에서 배기구까지 빠져나갈 때까지 소요된 시간을 잔여체류시간이라 하며, 여러 경로를

통한 입자들의 평균값을 국소평균잔여체류시간(Local Mean Residual Life Time, LMR)이라고 한다. 한편, 완전혼합 상태에서 환기회수의 역수를 명목시간상수(T)라 한다(식1). 국소급기 효율과 국소배기효율은 식(2), 식(3)과 같이 명목시간상수에 대한 국소평균연령이나 국소평균잔여체류시간의 비율로 정의한다.

$$\tau = \frac{V}{Q} \quad \text{식(1)}$$

$$\alpha_p = \frac{\tau}{LMA_p} \quad \text{식(2)}$$

$$\varepsilon_p = \frac{\tau}{LMR_p} \quad \text{식(3)}$$

국소평균연령 및 국소평균잔여체류시간의 측정을 위해서는 시간에 따른 추적가스의 농도를 측정하여야 하며, 추적가스 주입방법에 따라 펄스법(Pulse Method), 체강법(Step-down Method) 및 체승법(Step-up Method)이 사용된다.

4. 실험실에서의 환기효율 실험

4.1 실험개요 및 실험방법

본 연구에서는 초고층 공동주택의 환기효율 향상을 위한 변수로 급배기구의 위치를 이용한 환기모듈을 마련하고 각 환기모듈에 대한 환기 효율을 분석하였다. 이 때, 환기효율은 각 환기 시스템의 배기구에서의 CO₂농도를 측정된 뒤, 잔여체류시간의 개념에 근거하여 산정하였다. 또한, 실내공간 내의 환기효율을 측정하기 위한 추적가스로는 인체 및 가스레인지에서 발생하는 CO₂가스를 사용하였다. 인체에서 발생하는 CO₂가스를 CO₂용기를 통하여 실험하였으며 CO₂용기에서의 가스 분출은 한 곳에서 1.0 l/min의 양으로 일정하게 분출하였고, 가스레인지의 가동은 1구를 강, 중, 약중에서 강으로 점화하여 진행하였다.

실험에 적용된 CO₂농도 및 환기량은 기존 연구자료인 공동주택 4인 기준시(거실) 필요환기량(안정시 기준으로 1인당 0.0132m³/인·h)으로 적용하였고 이 때, CO₂발생 0.88 l/m와 환기량 88CMH의 값을 사용해야 하지만 CO₂용기에서의 작동상의 어려움으로 CO₂발생 1 l/m과 환기량 100CMH로 설정하여 실험을 실시하였다. 측정시간은 정상상태 도달이후인 2시간으로 하였으며, 측정단위는 배기구와 중앙부 모두 1분으로 하였다. 실험실은 6.4m × 4.2m × 2.3m (약 27 m³) 크기의 장방형의 1-Room으로 2m × 1.2m 크기의 출입문이 한 면에 설치되어 있으며, 4m × 2.3m 크기의 창문이 다른 면에 설치되어 있다.

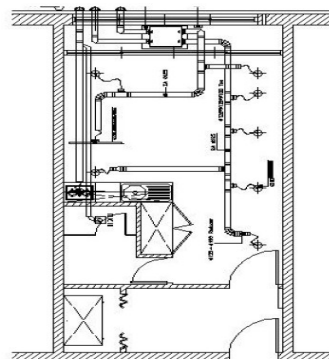


그림 1. 실험실 환기계통도

한편, 실험에 적용된 환기시스템은 천정덕트형으로 전열교환기와 연동되어 있으며 특히, 다양한 실험을 위하여 컨트롤러에 의한 풍량조절이 가능하도록 하였으며, 급·배기구는 거리에 따라 급기구(Supply-1, 2, 3, 4)와 배기구 (Return-1, 2, 3, 4)를 배치하였다(그림 1, 2참조).

표 1. 실험측정기기 및 방법

기기명	측정항목	비고
Gastek CMCD-10p	CO ₂	비분산 적외선 측정법
I.A.Q Monitor	CO ₂	비분산 적외선 측정법
TSI, Rotating Vane Anemometer-8321	CO ₂	바람개비형 풍속계

4.2 실험결과

본 연구에서는 천장덕트형 환기시스템을 대상으로 공동주택의 용도 및 오염물질 발생유형에 따라 거실 및 거실+주방으로 구분하여 환기효율을 분석하여 실험을 실시하였다. 오염물질 발생원으로서 거실에서는 CO₂ 용기가 사용되었고 주방의 경우 가스레인지가 사용되었다. 환기효율 향상을 위한 변수로 급·배기구 위치를 변화시키면서 환기효율을 분석하였다. 환기효율은 오염물질 발생원에 의하여 크게 좌우되기 때문에 오염물질과 급기구와의 거리 및 오염물질과 배기구와의 거리를 변화시켜가며 실험을 수행하였다. 그 연구결과는 다음과 같다.

1) 오염물질과 급기구와의 거리에 따른 환기 효율
거실 및 거실+주방에서 오염물질이 발생할 경우, 오염물질 발생원과 급기구와의 거리에 따른 환기효율을 파악하였다. 실험대상이 된 공동주택 거실과 거실+주방의 오염물질 발생 위치 및 급배기구의 위치는 (그림 2)와 같다.

① 거실에서 오염물질이 발생하는 경우

거실에서 오염물질이 발생하는 경우 발생원과 급기구와의 거리에 따른 환기효율 분석결과는 다음과 같다. 즉, 환기시스템 미가동시 실험실 중앙부의 CO₂농도는 2시간 동안 450ppm에서 1490ppm으로 증가하였다. 이 때, 환기장치를 가동하면서 특

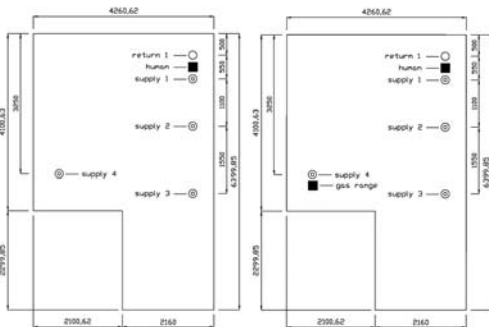


그림 2. 오염물질 발생원과 급·배기구 위치변수

히, 급기구의 위치를 이동함에 따라 즉, Supply 3의 조건에서는 발생한 오염물질이 거실에 확산되어 정제되는 현상을 볼 수 있으나, 급기구가 배기구 쪽으로 가까이 이동한 Supply 1,2에서는 오염물질이 거실로 확산되지 않고 배기되고 있음을 알 수 있다 (그림 3, 4 참조).

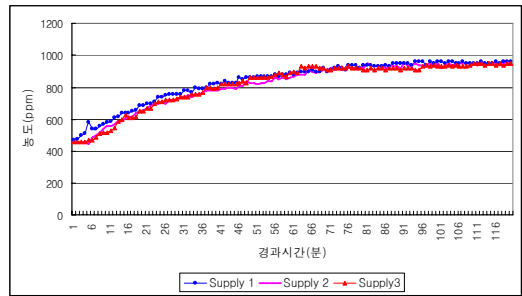


그림 3. 거실-배기구에서의 CO₂농도변화

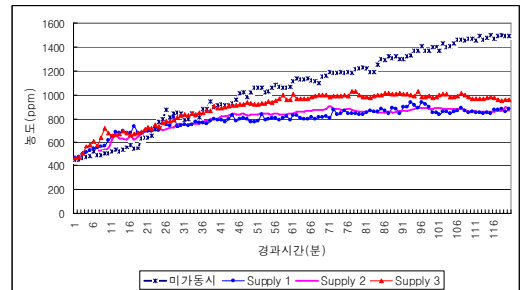


그림 4. 거실-중앙부에서의 CO₂농도변화

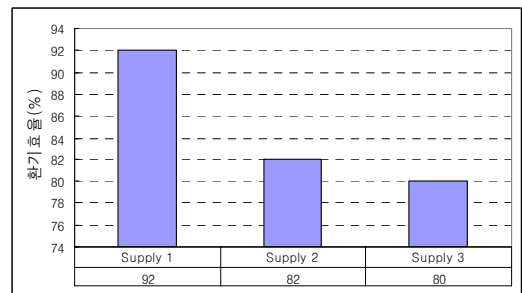


그림 5. 거실-오염원과 급기구와의 거리에 따른 환기효율

정상상태에 도달 이후의 배기구 농도를 토대로

환기효율을 산정한 결과 급기구와 오염물질 발생원이 가까운 Supply 1 보다 높은 효율을 보이고 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 오염물질과 급기구와의 거리는 가까운 것이 환기효율 향상에 유리하며, 실험결과로부터 급기구를 오염물질 발생원과 약 0.5m 범위 내에 둘 경우 환기효율을 90% 이상 상승시키는 것으로 나타났고, 특히, 오염농도 기준치(1000ppm)를 고려하면 배기구의 거리는 1.5m 내외가 적절한 것으로 판단된다. 특히, Supply 3에서 환기효율이 저하되는 원인은 오염물질과의 거리가 3m이상 떨어져 배기기류가 원할하지 못하기 때문으로 판단된다.

② 거실+주방에서 오염물질이 발생하는 경우

거실에서 오염물질이 발생했을 경우는 오염원과 급기구의 거리가 가장 가까운 Supply 1에서 환기효율이 가장 높게 나타났지만, 주방의 가스레인지에서 발생하는 오염물질을 고려하면 다음과 같다. 즉, 거실과 주방에서 오염물질이 동시에 발생할 경우 급기구 Supply 3의 농도는 가스레인지에서 발생하는 오염물질을 희석시킬 수 있는 급기기류를 거실부위에 공급함에 따라 Supply 1에 비해 낮아지는 것으로 나타났다. 그러나 주방가스레인지의 거의 직상부에 위치한 Supply 4의 농도는 오히려 상승되고 있었는데 이는 가스레인지로부터 발생하는 오염물질이 배기되기 이전에 급기기류에 휩쓸려 확산되는 것으로 판단된다(그림 6, 그림 7 참조).

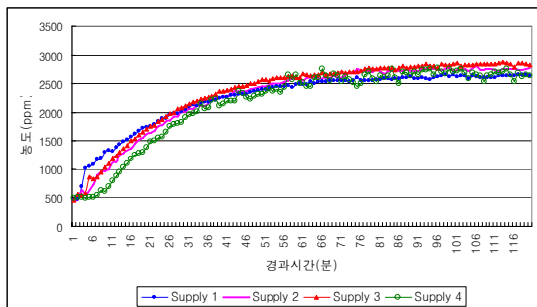


그림 6. 거실+주방-배기구에서의 CO₂농도변화

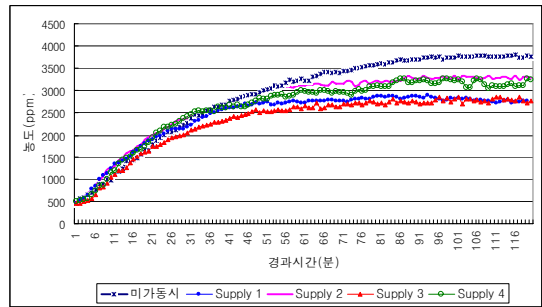


그림 7. 거실+주방-중앙부에서의 CO₂농도변화

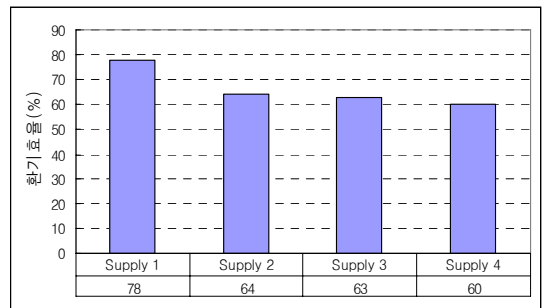


그림 8. 거실+주방-오염원과 급기구와의 거리에 따른 환기효율

한편, 환기효율 산정결과는 (그림 8)과 같이 급기구가 거실오염원 및 배기구에서 가장 가까운 Supply 1에서 가장 높은 효율을 보였지만 주방오염원과 가장 가까운 Supply 4에서는 오히려 60%의 낮은 값으로 나타났다. 이는 주방가스레인지로부터 발생한 오염물질은 급기가 이루어지고 있음에도 불구하고 배기구의 위치가 멀리 있어 오염물질이 실내에 체류하는 잔여체류시간이 길어짐에 따른 것으로 나타났다.

2) 오염물질과 배기구와의 거리에 따른 환기효율 실내의 환기효율을 향상시키기 위해서는 급기구의 위치와 함께 배기구의 위치도 함께 고려되어야 하므로 본 실험에서는 급기구의 위치변경과 동일한 방법으로 배기구의 위치를 이동시키며 실험을 수행하였다. 실험대상이 된 공동주택 거실 및 거실+주방의 오염물질 발생위치 및 배기구의 위치는

(그림 9)와 같다.

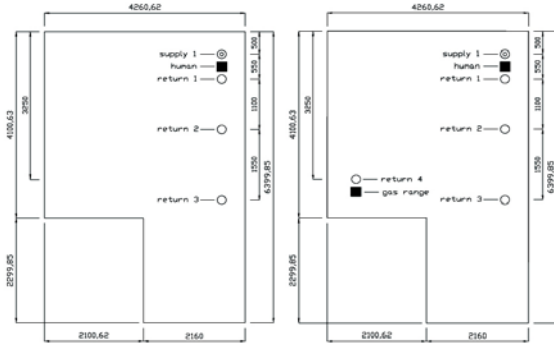


그림 9. 오염발생원과 배기구의 위치변화

① 거실에서 오염물질이 발생하는 경우

거실에서 오염물질이 발생하는 경우 배기구 위치 이동에 따른 배기구 및 거실 중앙부의 오염농도 변화는 배기구가 오염원로부터 멀어짐에 따라 거실 중앙부의 오염물질 농도는 점차 높아지고 있었다.

또한, 정상상태에 도달 이후의 배기구 농도를 토대로 환기효율을 산정한 결과 배기구와 오염물질 발생원에 가까운 Return 1에서 보다 높은 효율을 보이고, 실 중앙부의 농도도 저감되고 있음을 확인할 수 있었다. 더욱이 배기구를 오염물질 발생원과 약 0.5m 범위 내에 둘 경우 환기효율을 100% 이상 상승시킬 수 있었지만 오염원과의 거리가 3m 이상 떨어진 Return 3에서는 환기효율이 저하되는 것으로 나타났다(그림 10, 11, 12 참조).

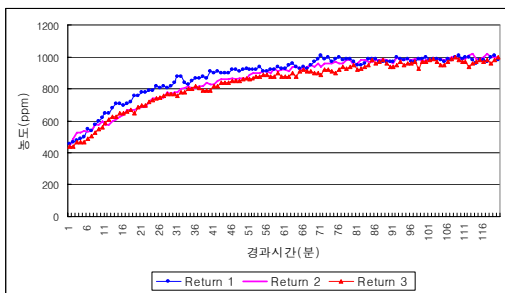


그림 10. 배기구에서의 CO₂농도변화

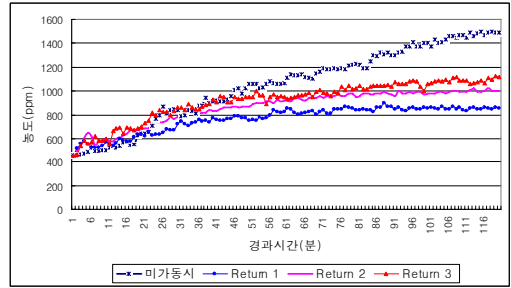


그림 11. 중앙부에서의 CO₂농도변화

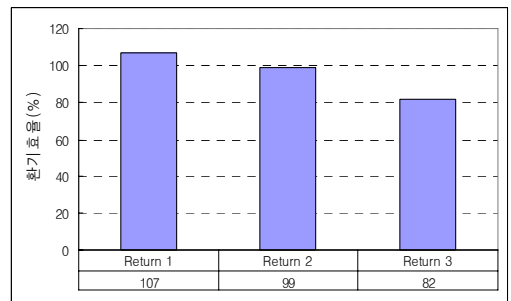


그림 12. 오염원과 배기구와의 거리에 따른 환기효율

(2) 거실+주방에서 오염물질이 발생하는 경우

거실에서 오염물질이 발생했을 경우 오염원과 배기구의 거리가 가까운 Return 1에서 환기효율이 가장 높게 나타났고, 주방가스레인지에 위치한 Return 4의 경우도 Return 3보다는 높게 나타났지만 주방가스레인지에서 발생하는 고농도의 오염물질의 영향으로 Return 1, 2에 비해 낮은 효율을 보이고 있었다(그림 13, 14, 15 참조).

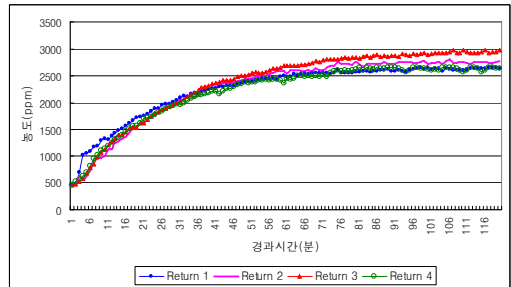


그림 13. 배기구에서의 CO₂농도변화

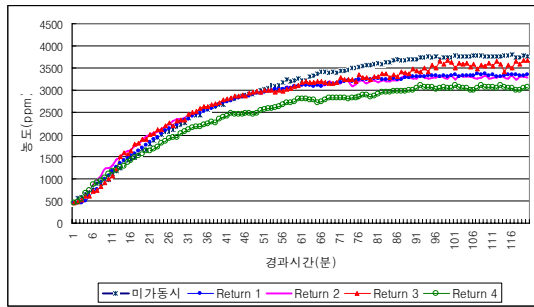


그림 14. 중앙부에서의 CO₂농도변화

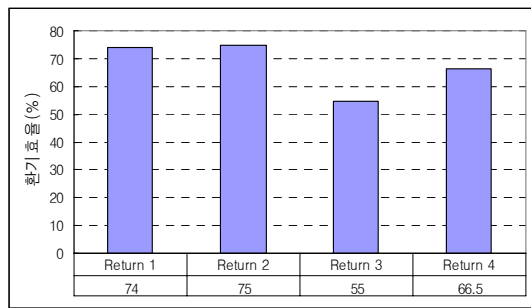


그림 15. 오염원과 배기구와의 거리에 따른 환기효율

5. 결 론

본 연구는 초고층공동주택을 대상으로 효율적인 환기계획을 수립하기 위한 것으로 그 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 국내 초고층공동주택의 환기시스템 적용현황은 자연환기가 주종을 이루고 있지만 배란다 샷시 및 이중창 설치등으로 제대로 이루어지지 않았고 일부 기계환기가 적용되고 있지만 외국사례를 그대로 검증없이 사용되고 있어 세부 기술적인 검증이 필요한 상황이다. 그러나, 일본과 유럽 등 선진외국에서는 이미 수년전부터 지역, 건물유형 및 기밀성등에 따라 환기방식을 세부적으로 분류하고 건물전체를 24시간 상시환기로 계획하고 있으며 특히, 냉난방 및 자연환기와 조합한 hybrid system이 새롭게 개발 및 적용되고 있는 상황이다.

둘째, 초고층 공동주택의 환기효율 향상을 위한 변수로 천장덕트형 환기시스템을 대상으로 급배기구의 위치를 변경하여 환기효율 분석결과는 다음과 같다. 즉,

- 1) 오염물질과 급기구와의 거리에 따른 환기 효율분석에서 오염물질과 급기구와의 거리는 가까운 것이 환기효율 향상에 유리하며 특히, 급기구와의 거리가 약 0.5m 범위 일 경우 환기효율을 90% 이상 상승시킬 수 있었고 기준치(1000ppm)를 고려한 최소거리는 1.5m 이내로 나타났다.
- 2) 오염물질과 배기구와의 거리에 따른 환기 효율분석에서는 오염물질과 배기구의 거리가 약 0.5m 범위 내에 있을 경우 환기효율은 100% 이상 상승되는 것으로 나타났다.
- 3) 오염물질 발생원의 직상부에 급기구를 설치하는 것은 발생된 오염물질이 배기되기 이전에 실내로 확산될 위험이 있으므로 가급적 피해야 할 것이다.
- 4) 환기시스템 적용시 우선적으로 오염물질 발생위치를 파악하여야 하며, 이로부터 오염물질을 중심으로 급기구와 배기구를 함께 하나의 모듈로 설계한다면 환기효율을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

“이 논문은 2005년도 중앙대학교 학술연구비(일반연구비) 지원에 의한 것임”

참 고 문 헌

1. 대한건축학회, 초고층건축물 건설기술개발 2차년도 연구성과발표 논문집, 2005. 12,
2. 박우진, 공동주택환기시스템의 환기효율 향상에 관한 연구, 2005.12, 중앙대학교 석사학위논문
3. 박진철, 공동주택에서의 실외 급배기구 위치에 따른 환기효율 향상 연구, 2005. 7. 한국태양

에너지학회논문집

4. ASHRAE, ASHRAE Handbook Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 1997.
5. ASHRAE, International Symposium on Room Air Convection and Ventilation Effectiveness, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 1992.
6. Awbi H. B., Ventilation of Building, First Edition, London : E&FN SPON, 1991.
7. D.Kosar, Emerging combined energy efficiency and indoor environmental quality research agendas for buildings and their security, Great Lakes Regional Pollution Prevention Roundtable, 2003
8. F. J. Offermann, D. Int-Hout, Ventilation Effectiveness Measurements of three supply/return air configurations, Environment International, Vol.15, Issues 1-6, 1989
9. F. Haghghat, P. Fazio, J. Rao, A Procedure for Measurement of Ventilation Effectiveness in residential buildings, Building and Environment, Vol.25, Issue 2, 1990.
10. Ventilation Efficiency in a Model Room, Energy and Buildings, Vol.28, 1998.
11. <http://www.me.go.kr/>
12. http://www.towerpalace.co.kr/hm/fr_v.htm