

초고층 공동주택의 환기효율에 관한 연구

정민희*, 박우진*, 박진철**, 이언구**

*중앙대학교 대학원 건축학과(mhloveu@gmail.com),

**중앙대학교 건축학과(jincpark@cau.ac.kr)

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

Chung, Min-Hee*, Park, Woo-Jin*, Park, Jin-Chul**, Rhee, Eon-ku**

*Dept. of Architecture, Graduate School, Chungang University(mhloveu@gmail.com),

**Dept. of Architecture, Chungang University(jincpark@cau.ac.kr)

Abstract

The efficiency of ventilation system is one of the most important issues of designing ventilation in highrise 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) The supply diffuser of ventilation system should be located near the contaminant source, however, location right above the contaminant source has to be avoided. The return grill should be located along with supply diffuser for proper ventilation. (2) The return grill should be located near or right above the contaminant source, and the supply diffuser should be installed in module with return grill increase ventilation effectiveness.

Keywords : 공동주택(Apartment buildings), 환기효율(Ventilation effectiveness)

1. 서 론

현대인은 실내공간에서 하루 평균 90%이상 생활하고 있으나, 에너지 절약 문제와 시공성능의 향상으로 건축물이 고단열화·고기밀화 되어 자연환기에 의한 환기를 기대하기 어려운 실정이다. 이렇게 건물에서 자연환기에 의한 신선외기 도입량이 감소됨에 따라 건축자재 및 거주자들의 실내 활동에서 발생하는 실내공기오염물질이 적절히 배출되지 못하여 실내공기질(IAQ : Indoor Air Quality)이 저하될 가능성이 높아 실내공기질에 대한 관리가 절실한 실정이다.

최근 쾌적한 실내공기환경을 위해 공동주택에 도입되는 기계환기시스템을 살펴보면, 천장공간의 덕트를 이용하여 급·배기를 실시하는 천장덕트형 방식이 주로 사용되고 있다. 그러나 현재 공동주택에 적용되는 기계환기시스템은 그 설계과정 및 설치과정에서 효율적인 환기성능을 확보하기 위한 오염발생원의 위치 및 발생 유형, 환기시스템의 설치위치, 환기효율, 환기량 및 시스템의 성능검증들에 대한 정확한 사전검토가 이루어지지 않은 상태에서 설계자나 시공사의 경험에 의해 선정되는 것이 일반적이다. 이러한 현실은 기계환기시스템이 설치되더라도 환기성능 저하로 인하

여 실내에서 발생하는 오염물질을 효과적으로 배출하지 못하고 에너지소비만 증가되는 문제점을 발생시킨다.

따라서 본 연구에서는 공동주택의 효율적인 환기계획을 수립하기 위하여 현재 공동주택에 도입되고 있는 기계 환기시스템 중 천장덕트형 환기시스템을 실험실에 적용하여, 실험실 측정을 통한 환기시스템의 성능을 측정하고, 환기시스템 설치 위치에 따른 환기효율을 실험을 통하여 분석하였다. 이를 바탕으로 공동주택에서 환기효율을 고려한 효율적인 환기시스템 적용방안을 수립하기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

2. 환기효율에 관한 이론적 고찰

환기효율을 정의하는 데에는 다양한 시각이 존재한다. 본 연구에서는 다양한 환기효율의 정의 중 명목시간상수에 대한 공기연령 또는 잔여체류시간의 비율로 환기효율을 정의하는 방법을 채택하였다. 이 방법은 비정상상태의 농도측정이 필요하며 계산절차가 복잡하지만, 오염원의 위치에 무관하게 실내 기류상태에 의하여 환기효율을 결정할 수 있으므로 현재 ASHRAE와 AIVC 등 국내 외에 걸쳐 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 실내체적(V)에 대한 시간당 환기량(Q)를 환기회수라고 하고, 환기회수의 역수를 명목시간상수(T)라 한다(식1). 국소급기효율과 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), 계강법(Step-down Method) 및 체승법(Step-up Method)이 사용된다.

3. 실험실에서의 환기효율 실험

3.1 실험개요

실험실은 6.4m × 4.2m × 2.3m (약 27m³) 크기의 요철이 있는 장방형의 형태이다. 실험실에는 2m × 1.2m 크기의 출입문이 한 면에 설치되어 있으며, 4m × 2.3m 크기의 창문이 다른 면에 설치되어 있다.

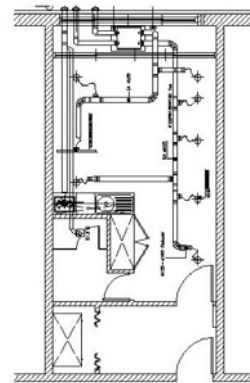


그림 1. 실험실 계통도

실험에 사용된 천장덕트형 환기시스템은 전열교환기와 연동되어 있으며, 환기시스템은 컨트롤러에 의한 풍량조절이 가능한 것을 설치하였으며, 급·배기구는 여러 종류의 환기실험을 위하여 실험실 여러 부분에(급기 2구, 배기 5구)분산되어 설치되어 있다. 천장덕트형 환기시스템의 계통도는 그림 1과 같다.

본 연구에서는 환기효율 향상을 위한 변수로

급배기구의 위치를 이용한 환기모듈을 마련하였고, 이후 각 환기모듈에 대한 환기효율을 분석하였다. 환기효율은 각 환기시스템의 배기구에서의 CO₂농도를 측정하고, 잔여체류시간의 개념에 근거하여 산정하였다. 실내공간 내의 환기효율을 측정하기 위한 추적가스로는 인체 및 가스레인지에서 발생하는 CO₂가스를 사용하였다. 인체에서 발생하는 CO₂가스는 CO₂용기를 통하여 실험하였으며 CO₂용기에서의 가스 분출은 한 곳에서 1.0 l/min의 양으로 일정하게 분출하였고, 가스레인지 는 1구를 강으로 점화한 상태로 진행하였다. 실험에 적용된 CO₂농도 및 환기량은 기존 연구에서의 공동주택 4인 기준시(거실) 필요환기량을 사용하였고 이는 안정시를 기준으로 1인당 0.0132m³/인·h 로 적용하여 CO₂발생 0.88 l/m와 환기량 88CMH로 사용해야 하지만 CO₂용기에서의 적용이 힘들기 때문에 CO₂발생 1 l/m과 환기량 100CMH로 설정하여 실험을 실시하였다. 측정시간은 정상상태 도달이후인 2시간으로 하였으며, 측정단위는 배기구와 중앙부 모두 1분으로 하였다.

3.2 실험결과

(1)오염물질과 급기구와의 거리에 따른 환기효율 실험실의 오염물질 발생 위치 및 급배기구의 위치는 그림 2와 같다.

그림 3, 그림 4는 인체에서만 오염물질이 발생하는 경우, 급기구의 위치별 배기구 및 중앙부에서의 CO₂농도변화이다.

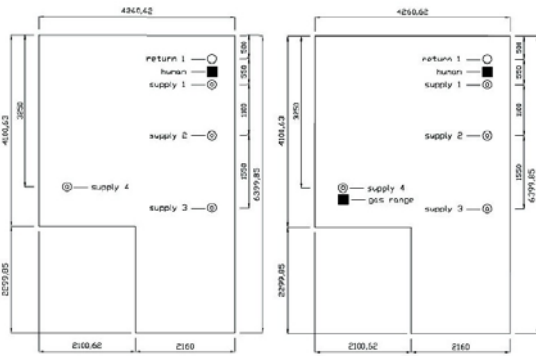


그림 2. 오염물질 발생원과 급배기구 설치위치

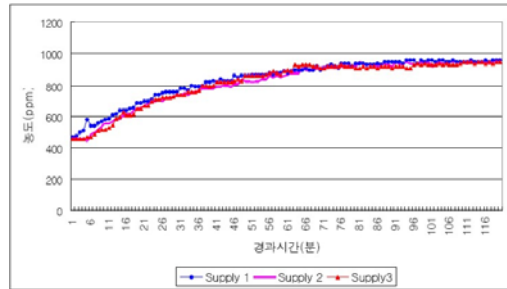


그림 3. 배기구 농도변화

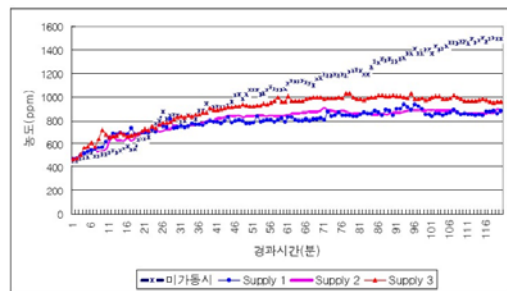


그림 4. 중앙부 농도변화

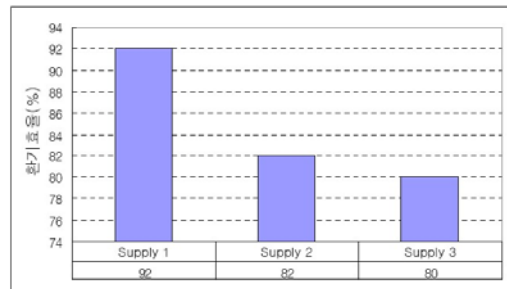


그림 5. 환기효율

그림을 살펴보면 각 배기구에서의 CO₂농도는 약 5분 이후로 급격히 상승한다. 급기구가 배기구 쪽으로 이동함에 따라 거실 중앙부의 오염물질 농도가 낮아짐을 알 수 있다. 급기 3의 중앙부 농도는 급기 1, 2의 중앙부 농도보다 농도 상승률 및 농도가 높고, 국내 실내공기환경 기준치인 1000ppm에 가까워짐을 볼 수 있다. 급기 3에서는 인체에서 발생한 오염물질이 거실에 확산되어 정체되는 현상을 보이나, 급기구가 배기구 쪽으로 이동한 급기 1,2에서는 인체에서 발생한 오염물질이 거실로 확산되지 않고 배기되고 있음을 알 수 있다. 배기구에서의 농도를 보면 급기구가 오염물

질에 가까이 갈수록 초기 배기구의 농도가 급격히 상승함을 확인할 수 있고, 이는 인체에서 발생한 오염물질이 급기기류에 의해 유인되어 실내로 확산되지 못하고 오염물질이 직접 배기 때문에 판단된다.

그림 5의 환기효율 산정한 결과에서는 급기구와 오염물질 발생원이 가까운 급기 1에서 90%이상의 높은 효율을 보임이 확인되었고 급기 3에서 80%의 효율을 보여 오염물질과의 거리가 3m이상 떨어져 배기기류가 원활하지 못하기 때문에 낮은 효율을 보임을 알 수 있다.

가스레인지와 인체에서 동시에 오염물질이 발생하는 경우의 배기구와 중앙부의 CO₂농도변화는 그림 6, 그림 7과 같다.

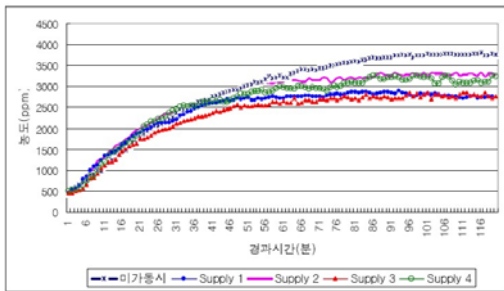


그림 6. 배기구 농도변화

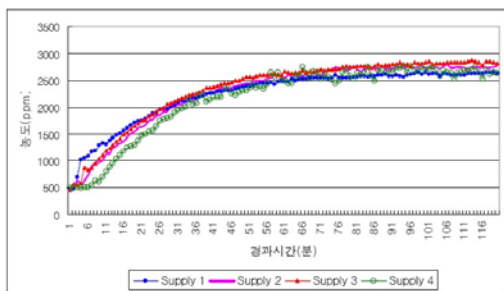


그림 7. 중앙부 농도변화

그림으로부터 실내 다수의 부위에 동시에 오염물질이 발생하는 경우 농도분포는 오염원의 위치에 따라 변화한다. 즉, 인체에서만 오염물질이 발생한 경우 급기구와의 거리가 가까운 급기 1에서 환기효율이 가장 높게 나타났지만, 가스레인지에서 발생하는 오염물질에 대응하지 못함에 따라

거실 중앙부의 오염농도는 급기구가 가스레인지에 근접한 급기 3에 비해 오히려 높아지는 현상을 보인다. 반면, 급기 3의 경우, 가스레인지에서 발생하는 오염물질을 희석시킬 수 있는 급기기류를 거실부위에 공급함에 따라 전반적인 농도는 급기 1에 비해 낮아짐을 알 수 있다. 그러나, 가스레인지의 직상부에 위치한 급기 4의 경우 거실 중앙부의 오염농도가 상승하는 현상을 보이는데 이는 가스레인지로부터 발생하는 오염물질이 배기되기 이전에 급기기류에 휩쓸려 확산된 이유로 판단되며, 이로써 오염물질 발생원의 직상부에 급기구를 설치하는 것은 피해야 함을 알 수 있다.

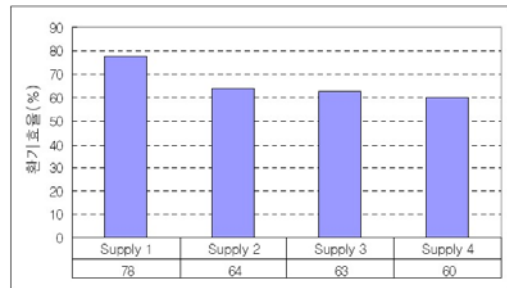


그림 8. 환기효율

그림 8에서의 환기효율은 급기구가 오염원과 인체가 가장 가까운 급기 1에서 가장 높은 효율을 보임을 알 수 있지만 전반적인 요소들의 효율은 60%대의 낮은 범위에 머무르고 있는데 이는 가스레인지로부터 발생한 오염물질이 급기기류를 따라 배기구로 이동하여야 함에도 배기구의 위치가 지나치게 멀리 있고 오염원이 다량으로 발생하지만 현재 설치된 환기시스템이 인체의 호흡 등과 같은 적은 오염원을 제거하기 위한 목적으로 설치되었기 때문에 오염물질이 실내에 체류하는 잔여체류시간이 길어짐에 따른 것으로 판단된다. 이로부터 실내에서 다수의 오염물질에 대응할 수 있는 다수의 급·배기구를 설치하는 부위별 환기계획이 함께 고려되어야 함을 알 수 있다.

(2)오염물질과 배기구와의 거리에 따른 환기효율 실내의 환기효율을 향상시키기 위해서는 급기구의 위치와 함께 배기구의 위치도 함께 고려되

어야 하므로 본 실험에서는 급기구의 위치변경과 동일한 방법으로 배기구의 위치를 이동시키며 실험을 하였다. 오염물질의 발생위치 및 배기구의 위치는 그림 9와 같다.

인체에서 오염물질이 발생하는 경우 배기구 위치 이동에 따른 배기구 및 거실 중앙부의 오염물질 농도변화를 그림 10, 그림 11에 나타내었다.

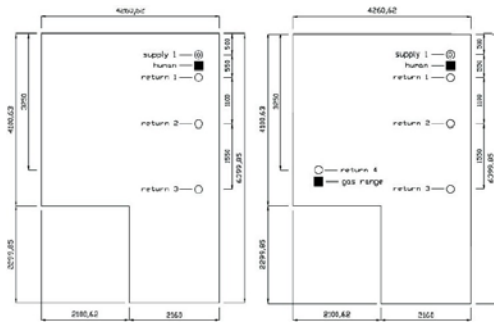


그림 9. 오염물질 발생원과 급배기구 설치위치



그림 10. 배기구 농도변화

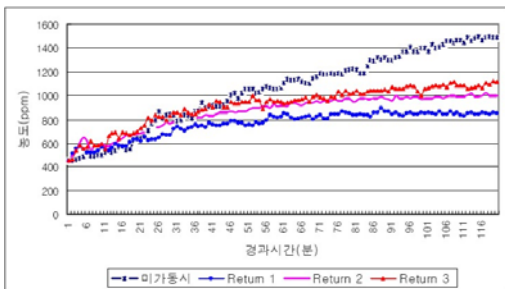


그림 11. 중앙부 농도변화

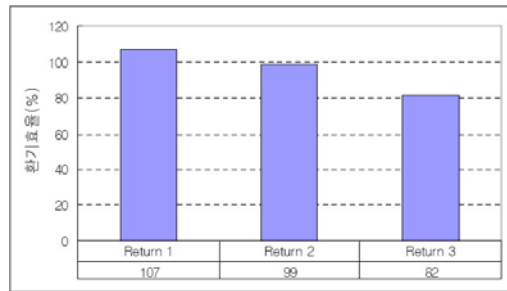


그림 12. 환기효율

그림으로부터 배기구가 인체로부터 멀어짐에 따라 거실 중앙부의 오염물질 농도는 점차 높아지는 패턴을 볼 수 있다. 배기구는 오염물질 발생원에 가까이 설치되는 것이 실내오염물질 농도저감에 유리함을 알 수 있으며, 이를 급기구의 실험결과와 함께 고려할 때 급기구와 배기구는 오염물질을 중심으로 일정간격 하에 하나의 모듈을 형성하여야 함을 확인할 수 있었다. 즉, 실내오염물질 제거를 위한 환기 계획시에는 우선적으로 오염물질의 발생형태 및 위치를 파악하고, 오염물질을 중심으로 급기구와 배기구를 함께 설치하는 것이 환기효율을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

그림 12의 환기효율을 산정한 결과 배기구와 오염물질 발생원에 가까운 배기 1에서 보다 높은 효율을 보이고, 실 중앙부의 농도도 저감되었음을 확인할 수 있었다. 배기구를 오염물질 발생원과 약 0.5m 범위 내에 둘 경우 환기효율을 100% 이상 상승시킬 수 있음을 알 수 있고, 실내공기환경기준치를 고려함에 따라 오염물질 발생원과 배기구의 거리는 1.5m 내외가 적절한 것으로 판단된다. 배기 3(82%)에서 환기효율이 저하되는 원인은 오염물질과의 거리가 3m 이상 떨어져 배기기가 원활하지 못하기 때문으로 판단된다.

급기구와의 거리에 대한 결과와 함께 분석한 결과 오염물질을 중심으로 급·배기구 설치시 일정거리이내에 설치하는 것이 환기효율 및 거실의 농도저감에 유리할 것으로 판단되며, 실의 단부에서 오염물질이 발생할 경우 급기구의 위치를 단부에 설치하고 배기구를 실내쪽으로 설치하는 것이 농도저감에 더 효과적이라고 판단된다.

4. 결론

공동주택 거실의 환기효율을 향상시키기 위한 환기시스템의 효율적인 적용방안을 정리하면 다음과 같다.

(1) 급기구의 위치에 따른 환기효율 실험결과, 오염원과 급기구의 거리는 가까운 것이 환기효율 향상에 유리하고, 오염물질 발생원의 직상부에 급기구를 설치하는 것은 발생된 오염물질이 배기되기 이전에 실내로 확산될 위험이 있으므로 피해야 하며, 발생한 오염물질이 급기기를 따라 배기구로 원활히 이동할 수 있도록 급기구의 위치와 더불어 배기구의 위치를 함께 고려하여야 한다.

(2) 배기구의 위치에 따른 환기효율 실험결과, 배기구가 오염원으로부터 멀어짐에 따라 실내의 오염물질 농도는 점차 높아지며, 환기효율은 점차로 낮아짐을 알 수 있었다. 따라서 배기구는 오염물질 발생원에 가까이 설치되어야 하며, 이를 급기구의 실험결과와 함께 고려해 볼 때 급기구와 배기구는 오염물질을 중심으로 하나의 모듈을 형성하여야 함을 확인할 수 있었다. 즉, 실내오염물질 제거를 위한 환기시스템 적용시 우선적으로 오염물질 발생위치를 파악하여야 하며, 이로부터 오염물질을 중심으로 급기구와 배기구를 함께 설계한다면 환기효율을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

(3) 오염물질 발생원과 급기구와의 거리 및 배기구와의 거리에 대한 결과와 함께 분석한 결과 오염물질을 중심으로 급·배기구 설치시 급·배기구의 거리를 일정간격 이내에 설치하는 것이 환기효율 및 거실의 농도저감에 유리할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 박진철, 주거건축물의 실내공기환경 개선에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(계획계), 19권 6호, 2003. 06
2. 김기훈, 공동주택 환기시스템의 환기효율에 관한 연구, 중앙대학교 박사학위논문, 2003.
3. 환경부, 다중 이용시설 등의 실내 공기질 관

리법, 2004, 대한건축학회논문집(계획계), 17권 12호, 2001.12.

4. D.Kosar, Emerging combined energy efficiency and indoor environmental quality research agendas for buildings and their security, Great Lakes Regional Pollution Prevention Roundtable, 2003
5. F. J. Offermann, D. Int-Hout, Ventilation Effectiveness Measurements of three supply/return air configurations, Environment International, Vol.15, Issues 1-6, 1989