

초고층 공동주택의 실내오염물질에 따른 적정 환기량에 관한 실험적 연구

An Experiment of Ventilation Requirements according to Indoor Air Pollutants for High-rise Apartment Houses

이 동 주* 박 진 철** 이 언 구***
Rhee, Dong-Ju Park, Jin Chul Rhee, Eon Ku

Abstract

The purpose of this study is to acquire the data of outdoor intake air volume for the reasonable ventilation in the Mock-up Model. The experiments were conducted to measuring the pollutants concentration levels as CO₂, TVOC, HCHO accordance with the variation of ventilation rate. The results of this experiments are that ventilation rate 0.6ACH wasn't enough to proper ventilation relating to IAQ standard's CO₂ limit. And concerning TVOC's and HCHO, every case of the ventilation intake air volume range 40~70CMH didn't decrease within the IAQ standard's level 500 μ g/m³, 120 μ g/m³ respectively.

키워드 : 기계환기시스템, 환기성능, 초고층 공동주택, 실내오염물질(이산화탄소, 휘발성유기화합물, 폼알데하이드)
Keywords : Mechanical Ventilation System, Ventilation Effectiveness, High-rise Apartment Houses, Indoor Air Pollutants(CO₂, TVOCs, HCHO)

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

실내공기질은 건물 주변의 대기환경과 같은 외부적인 요인과 건축계획, 건축재료, 시공방법, 공조·환기방식, 건물의 사용 및 관리방법 등과 같은 인위적 요인이 복합적으로 관계된다. 따라서 실내공기질을 적합한 수준으로 유지하기 위해서는 이들 제 요인들을 종합적으로 고려한 대책이 필요하나 이에 대한 국제적 표준은 확립되지 못한 실정이다. 실내공기질을 양호하게 유지하기 위해 기본적으로 고려되는 사항으로 오염원의 제어(contaminant source control), 적절한 환기, 온습도제어 및 공기여과 등이 거론되고 있다. 이 중에서 환기는 실내공기질을 제어하는 데 가장 경제적이고도 효과적인 방법으로 알려져 있다. 환기방식은 관점에 따라 크게 자연환기와 기계환기, 치환환기와 희석환기, 전반환기와 국소환기 등으로 구분하고 있으나 어느 경우이든 가장 선결되어야 할 사항은 필요환기량을 합리적으로 설정하는 문제라 할 수 있다. 필요환기량은 풍압 및 연돌효과와 같은 외부적 요인과 환기시스템의 효율에 크게 영향을 받을 수 있으며 기밀도가 높은 초고층건물에서 환기를 보다 안정적으로 제어하기 위해서는 기계환기의 채택이 불가피하다.

ASHRAE Standard 62-1999에서는, 과거에 적용하던 재실자 활동에 따른 CO₂ 발생량에 입각한 최소환기량 산정 개념을 변경하여, CO₂ 발생량과 함께 건축자재 및 실내 가구 등으로부터 방출되는 오염물질 농도를 고려한 환기 요구량을 별도로 산정한 후 이 둘을 종합하여 필요환기량을 산정하는 방법을 제시한 바 있다. 또한, ASHRAE Standard 62-2001에서는 최소외기량 산정방법을 일률적으로 정하기 어려운 점을 감안하여 'Ventilation Rate Procedure' 와 'IAQ Procedure' 로 제시함으로써 설계자가 융통성 있게 적용토록 하고 있다. 최근 국내에선 초고층공동주택을 중심으로 다양한 기계환기방식을 도입하고 있으나 실무에서 통용되는 최소환기량 산정방법은 아직까지 ASHRAE Standard 62-1981에 의하는 것이 대부분이다. 한편, 건설교통부에서는 각국의 환기관련 문헌연구에 근거하여 국내공동주택의 필요환기량을 0.7회/h로 하도록 입법예고(2005-272호)하고 있으나 이에 대한 실험/실측 자료는 충분하게 제시되지 못하고 있는 상황이다.

따라서 본 연구에서는 재실자 및 실내마감재의 오염물질 방출농도에 따른 필요환기량 산정의 예비적 연구로서 초고층공동주택을 모사하여 환기시스템이 구축된 Mock-up Model에서 재실자 및 실내마감재에서 방출하는 오염농도를 고려하여 오염물질방출에 따라 환기실험을 실시하고 그 자료를 분석하였다.

1.2 연구의 내용과 범위

이전 연구에서는 Mock-up Model을 대상으로 시공 전

* 경민대학 건축환경설비과 조교수
** 중앙대학교 건축학부 조교수
*** 중앙대학교 건축학부 교수
이 연구는 2003년도 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평
가원에서 위탁시행에 의한 과의 일부임. 과제번호: 03산C04-01

과정의 실내공기오염물질 방출량 변화 분석 및 주요 내장재의 오염물질방출 데이터베이스 작성과 아울러 Mock-up에 사용한 주요 내장재 시편을 대상으로 시간경과에 따른 오염물질방출량 감소식을 추정할 바 있다. 그러나 실제 공동주택은 다양한 건축자재들이 복합적으로 사용되고 있으므로 일부 건축자재의 오염물질방출 데이터만으로는 정확한 필요환기량을 산정하기 어렵다.

본 연구에서는 초고층공동주택의 필요환기량 산정을 위한 부속실험으로, 기계 환기시스템을 갖춘 Mock-up 실에서 각 실험별로 인체에서 발생하는 CO₂와 건축 마감재에서 발생하는 TVOC 및 폼알데하이드를 대상으로 환기량과 오염원 변화에 따른 환기특성 파악과 함께 적정 환기량을 산정을 위한 실험을 실시하였다.

2. Mock-up Model 환기실험 개요

2.1 Mock-up 실험실

Mock-up 실험실은 바닥면적 22m²(약 9평) 크기의 원룸주택 규모로서 D/B 분류에 의한 마감자재로 시공되었으며 완공 후 4개월이 지난 상태이다. 실험실은 천장 급배기덕트방식의 환기시스템이 설치되어 있으며, 풍량의 조절이 가능한 환기팬을 설치하였다. 급기구와 배기구, 오염물질발생 및 측정 위치는 그림 1과 같다.

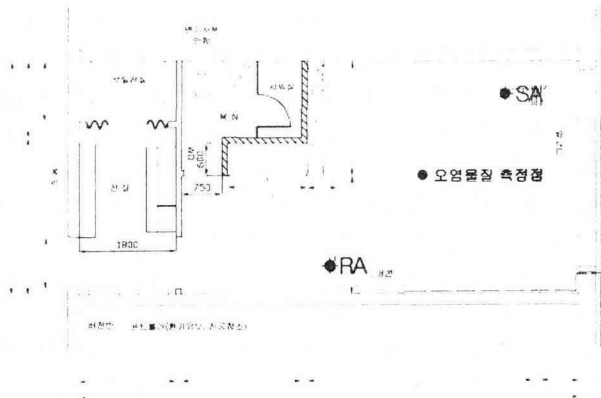


그림 1. Mock-up 실험실의 급배기구 및 측정위치

2.2 실험 및 측정방법

실내마감재 등으로부터 발생하는 오염물질은 거주 후 일정기간이 지난 후에 그 발생량은 급격히 감소하며, 이에 따른 대부분의 오염물질은 시공 및 입주초기 단계에 환기를 통해 제거가 가능하다. 그러나 조리 및 인체활동 등 거주생활에서 발생하는 오염물질은 지속적으로 발생하므로 이를 효과적으로 제거하기 위하여 건물사용기간 동안에 지속적으로 적용할 수 있는 환기량의 산정이 필요하다. 본 실험에서는 실의 체적과 오염원의 발생량에 대한 적정 환기량 산정을 목적으로 표 1 및 표 2 와 같이 환기량과 채실자 수를 변화시켜가며 진행하였다. 측정은 하절기에 실시하였으며, 실험시작 전 30분 이상 충분히 환기하여 외기와 같은 초기조건에서 시작하였다. CO₂ 측

정은 급기구 인근 쇼파에 착석한 성인을 CO₂ 발생원으로 간주하고, 실 중앙부에서 3분 간격으로 120분동안 CO₂ 농도를 측정하였다. 휘발성유기화합물(VOC's)과 폼알데하이드(HCHO)를 오염원으로 한 환기실험의 급배기구 위치 및 측정점은 CO₂ 실험의 경우와 동일하다. 실험은 그림 2의 순서로 실내공기질 공정시험방법에 따라 30분 환기 후 5시간 밀폐(혹은 기계환기)하였으며 밀폐(혹은 기계환기)과정 중간과 5시간동안의 밀폐(혹은 기계환기) 후를 포함하여 각 환기량 당 4회(30분, 120분, 210분, 300분에) 측정을 실시하였다.

표 1. CO₂를 오염원으로 하였을 때 실험변수

측정 오염물질(CO ₂) 방출량	1인 채실
	2인 채실
	3인 채실
환기량	30CMH(0.6회/h)
	40CMH(0.8회/h)
	50CMH(1.0회/h)
	60CMH(1.2회/h)
	70CMH(1.4회/h)
측정시간	120분

표 2. TVOC를 오염원으로 하였을 때 실험변수

측정 오염물질	실내 마감자재 및 가구에서 발생하는 휘발성 유기화합물
환기량	40CMH
	50CMH
	60CMH
	70CMH
측정시간	30분 경과
	120분 경과
	210분 경과
	300분 경과

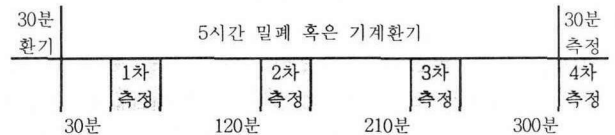


그림 2. 실내공기질 공정시험방법에 따른 실험 순서

3. CO₂를 오염원으로 한 환기량 실험결과

3.1 1인 채실시 시험결과

1인 채실 시 환기량에 따른 CO₂ 발생량은 그림 3과 같다. 120분 경과 후 환기량이 30CMH일 때에는 국내의 실내환경기준인 1000ppm을 초과하였으며 환기량이 40 CMH~70CMH의 범위에서는 1000ppm을 초과하지 않았다. 각 환기량에 따른 120분 동안의 CO₂ 농도 증가량은 환기량이 30CMH일 때와 40CMH일 때 시간경과에 따른 증가량에 큰 차이를 보였으나 40CMH와 50CMH일 때의 증가량은 10ppm밖에 차이가 나지 않았고 60CMH와 70 CMH일 때의 증가량은 거의 동일함을 알 수 있다. 또한 시간 경과에 따라 실내의 CO₂ 증가폭이 감소하고 있음을 알 수 있으며 환기량이 많을수록 증가폭은 작아진다. 이 실험에서 1인이 채실하는 경우 환기량이 30CMH인 0.6회/h만으로는 환기량이 부족함을 알 수 있다.

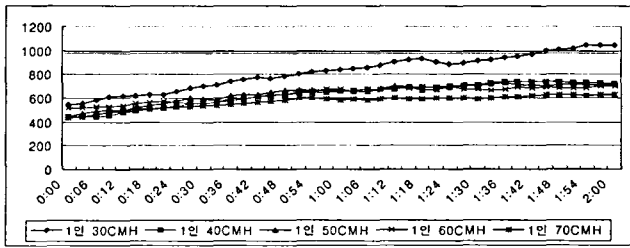


그림 3. 1인 재실시 실내의 CO2농도 변화

3.2 2인 재실시 시험결과

2인 재실 시 실험실 내의 환기량에 따른 CO2 발생량은 그림 4와 같다. 1인 재실시의 실험 결과와 마찬가지로 120분 경과 후 환기량이 30CMH일 때에는 국내의 실내환경기준인 1000ppm을 초과하였으며, 환기량 40CMH ~ 70CMH의 범위에서는 1000ppm을 초과하지 않았다.

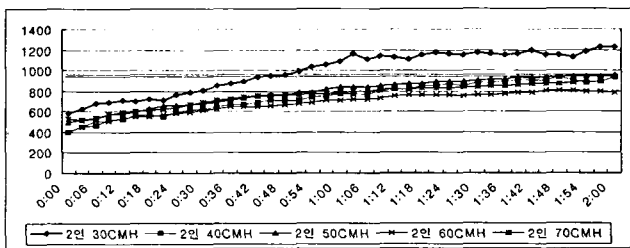


그림 4. 2인 재실시 실내의 CO2농도 변화

각 환기량에 따른 120분 동안의 CO₂ 농도 증가량은 30CMH일 때 640ppm으로 가장 많았으며 40CMH일 때는 약 540ppm, 50CMH일 때는 약 460ppm, 60CMH와 70CMH일 때는 약 380ppm 증가하였다. 환기량이 30CMH일 때와 40CMH일 때 시간경과에 따른 CO₂ 증가량 차이를 보였으나 60CMH와 70CMH일 때의 증가량은 거의 동일함을 알 수 있다. 또한 시간 경과에 따라 실내의 CO₂ 증가폭이 감소하고 있음을 알 수 있으며 1인 재실 시의 실험과 마찬가지로 환기량이 많을수록 증가폭은 감소한다.

3.3 3인 재실시 시험결과

3인 재실 실험에서는 앞서 실시한 1인, 2인 재실 실험 결과 30CMH일 때에는 그 이상의 환기량과 비교하여 환기 성능이 현저하게 차이가 남을 알 수 있었으므로 환기량의 범위를 40CMH~70CMH로 설정하였다. 3인 재실 시 실험실 내의 환기량에 따른 CO₂ 발생량은 그림 5와 같다.

120분 경과 후 환기량이 40CMH일 때의 실내 CO₂ 농도는 약 1650ppm으로 국내의 실내환경기준인 1000ppm을 초과하였으며 환기량이 50CMH~70CMH의 범위에서는 실내 농도 1000ppm에 가까운 값에서 정상화 되고 있음을 알 수 있다. 환기량 40CMH일 때 증가량은 1048ppm으로 가장 많았으며 50CMH일 때는 약 460ppm, 60CMH일 때는 약 440ppm, 70CMH일 때는 약 500ppm 증가하였다. 환기량이 40CMH일 때와 50CMH일 때 시간경과에 따른 CO₂ 증가량 차이는 현저한 반면에 50CMH, 60CMH,

70CMH일 때의 증가량은 거의 동일함을 알 수 있다.

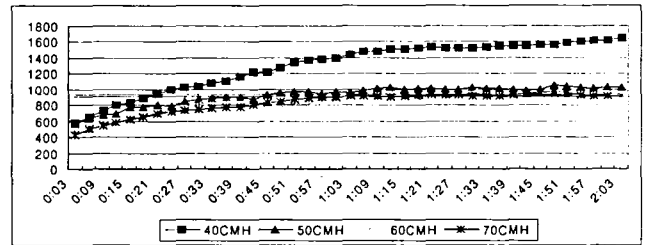


그림 5. 3인 재실시 실내의 CO2농도 변화

4. 휘발성유기화합물을 오염원으로 한 환기량 실험결과

휘발성유기화합물을 오염원으로 한 환기량 실험에서는 측정시기가 여름철이라는 계절적인 요인을 고려하여 실내공기질공정시험법에 의거 실내온·습도 조건을 설정하기 위하여 에어컨 가동여부로 구분하여 실험하였다.

4.1 에어컨 가동시

에어컨을 가동하여 실내 온도를 24℃로 일정하게 유지하였을 때의 TVOC 농도변화는 그림 6과 같다. 실험 결과는 모든 경우에 다중이용시설등의 실내공기질관리법에서 명시된 기준인 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하고 있다. 각 환기량에 따른 증가량을 살펴보면, 환기시스템을 미가동 한 경우에는 2,132 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가하였고 40CMH일 때 약 290 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 50CMH일 때 약 1220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 60CMH일 때 268.65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 70CMH일 때 약 1,220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가하였음을 알 수 있다. 환기량 증가에도 불구하고 오염물질이 저감되는 모습이 보이지 않는 것으로 보아 TVOC는 에어컨기류의 영향을 받았던 것으로 판단된다.

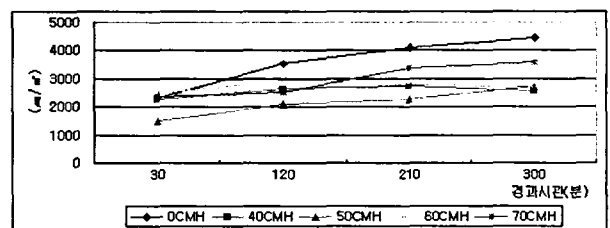


그림 6. 에어컨 가동시 TVOC 농도변화

그림 7은 에어컨 가동 시 시간경과에 따른 실내 HCHO 농도변화를 나타낸다. HCHO에 있어서도 모든 경우에 다중이용시설등의 실내공기질관리법에서 명시한 기준치인 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하고 있다. 각 환기량에 따른 증가량을 살펴보면, 환기시스템을 미가동 한 경우 21.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가하였고 40CMH일 때 약 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 50CMH일 때 약 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 60CMH일 때 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 70CMH일 때 약 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가하였음을 알 수 있다. HCHO의 경우에도 환기량 증가에 따른 오염물질 저감 패턴이 보이지 않는 것으로 보아 에어컨 기류의 영향을 받는 것으로 예상된다.

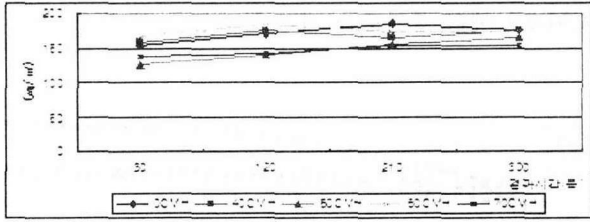


그림 7. 에어컨 가동시 HCHO 농도 변화

4.2 에어컨 미가동시

그림 8은 에어컨 미가동시 시간경과에 따른 실내 TVOC 농도변화를 나타낸다. 이 때 실내온도는 평균 30°C였다. TVOC농도는 모든 경우에 다중이용시설등의 실내공기질관리법에서 명시된 기준인 500µg/m³을 초과하고 있다. 각 환기량에 따른 증가량을 살펴보면, 환기시스템을 미가동 한 경우 3,263µg/m³ 증가하였고 40CMH일 때 약 930µg/m³, 50CMH일 때 약 820µg/m³, 60CMH일 때 820µg/m³ 증가하였음을 알 수 있다(70CMH일 때의 데이터는 손상). 환기시스템 미가동시 농도증가량이 에어컨을 가동하여 실온을 24°C로 유지했을 때에 비해 큰 것으로 보아 실내 온도가 높을수록 많은 양의 오염물질이 발생하고 있음을 추정할 수 있다.

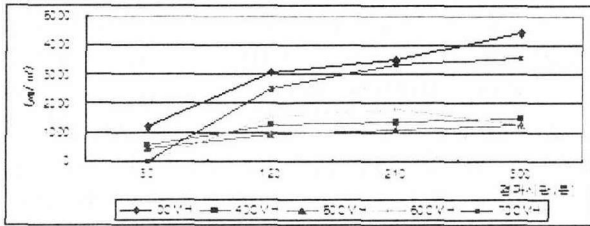


그림 8. 에어컨 미가동시 TVOC 농도 변화

그림 9는 에어컨 미가동시 시간경과에 따른 실내 HCHO 농도변화를 나타낸다. 각 환기량에 따른 HCHO증가량을 살펴보면, 환기시스템을 미가동 한 경우 200µg/m³ 증가하였고 40CMH일 때 약 64µg/m³, 50CMH일 때 약 93µg/m³, 60CMH일 때 21µg/m³, 70CMH일 때 약 38µg/m³ 증가하였음을 알 수 있다. 이 때 70CMH으로 210분 경과 후 채취한 유량에 오류가 있었다.

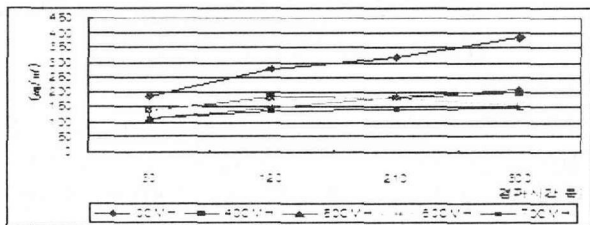


그림9. 에어컨 미가동시 HCHO 농도 변화

환기량 증가에 따라 오염물질의 증가량이 감소하고 있지만 모든 경우에 다중이용시설등의 실내공기질관리법에서 명시된 기준인 120µg/m³을 초과하고 있다.

4. 결론

1) CO₂를 오염원으로 하여 실험한 결과, 환기횟수 0.6회/h(30CMH)로는 환기를 효과적으로 하기에 부적절함을 알 수 있었으며, 환기량 1회 이상인 50CMH~70CMH에서는 효과에 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 그러나 재실자 수에 따라 환기량을 산정할 경우 환기량이 40CMH와 50CMH일 때 CO₂ 증가량이 유사하고 60CMH와 70CMH일 때 CO₂ 증가량이 유사한 패턴을 보이고 있음을 알 수 있다. 또한 3인 재실 시 환기량이 40CMH (0.8회/h, 13CMH/인h)인 경우 실내의 CO₂ 농도는 기준치를 훨씬 초과하고 있음에 따라 3인이 재실하는 경우 효과적인 환기를 위한 환기량은 60CMH(1.2회/h, 20CMH/인h) 이상이어야 함을 알 수 있었다.

2) 휘발성유기화합물을 오염원으로 한 실험 결과, 환기시스템을 가동한 경우에도 적용한 건축 마감 자재 및 가구 특성에 따라 발생하는 오염물질의 농도를 다중이용시설등의 실내공기질관리법 기준치 이하로 떨어뜨리기에 충분하지 못할 수 있음을 알 수 있었다. 특히 실내 온도가 높을수록 실내 오염농도는 높아지며, 에어컨을 가동하는 경우에는 에어컨의 바람이 실내 환기기류에 영향을 미쳐 환기량이 증가하더라도 특별히 오염원 제거 성능효과가 크게 나타나지 못함을 알 수 있었다.

따라서 환기를 통한 실내공기질 개선을 위해서는 우선적으로 실내에서 발생 가능한 오염물질의 양을 최대한 줄인 상태에서 실시하여야 한다. 또한 재실자로부터 발생하는 CO₂ 이외에도 건축마감재 및 가구에서 발생하는 휘발성 유기화합물을 제거하기 위한 환기량의 산정이 추가적으로 필요하며 리모델링이나 가구교체시 오염물질 발생량이 급격하게 증가하는 경우에 대비하여 풍량을 조절할 수 있는 환기시스템의 도입이 필요하다. 또한 쾌적범위의 실온을 유지하기 위해서는 환기 기류에 영향을 미치는 냉방시스템과 환기시스템을 통합할 필요가 있다고 판단된다.

참고문헌

1. 김남규, 바닥온돌 매립형 환기 덕트 시스템, 대한설비공학회 논문집, 2005, 06
2. 박진철, 주거건축물의 실내공기환경 개선에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(계획계), 2003, 06
3. 김성식, 온돌매립형 환기시스템의 동계 취출온도 성능실험, 대한설비공학회 논문집, 2004, 06
4. 환경부, 다중 이용 시설 등의 실내 공기질 관리법, 2004
5. 이연구 외, 건축환경계획론, 태림문화사, 2005
6. Doyun Won et al., Sorptive Interactions between VOCs and Indoor Materials, Indoor Air, Vol.11 p.246-256, 2001
7. ASHRAE Standards 62-1999, Ventilation for acceptable indoor air quality, ASHRAE, Atlanta, 1999
8. L. Pommer et al., Class separation of building with high and low prevalence of SBS by principal component analysis, Indoor Air, Vol.14 p.16-23, 2004