

第 104 回 碩士學位論文

指導教授 李 彥 求

공동주택 환기시스템의 환기효율 향상에 관한 연구

A Study on the Improvement of Ventilation Effectiveness
for Ventilation System in Apartment Buildings

中央大學校 大學院

建築學科 建築計劃 및 環境專攻

朴 佑 鎭

2005年 12月

공동주택 환기시스템의 환기효율 향상에 관한 연구

A Study on the Improvement of Ventilation Effectiveness
for Ventilation System in Apartment Buildings

이 論文을 碩士學位論文으로 提出함

2005年 12月

中央大學校 大學院

建築學科 建築計劃 및 環境專攻

朴 佑 鎭

朴 佑 鎮의 碩士學位論文을 認定함.

審査 委員長 _____ (印)

審査 委員 _____ (印)

審査 委員 _____ (印)

中央大學校 大學院

2005年 12月

목 차

제 1 장 서론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 내용 및 방법	2
1.3 연구의 범위	5
1.4 국내외 연구동향	6
제 2 장 실내공기환경 및 환기효율에 관한 고찰	8
2.1 실내공기오염물질	8
2.2 국내외 실내공기환경 기준	11
2.2.1 국내 기준	11
2.2.2 국외 기준	15
2.3 환기효율(Ventilation Effectiveness)	17
2.3.1 환기효율의 정의	17
2.3.2 환기효율을 고려한 필요환기량 산정방법	23
제 3 장 공동주택 환기시스템의 국내외 현황 및 문제점	31
3.1 국내 공동주택의 환기시스템 적용 현황 및 재실패턴 조사	31
3.1.1 환기시스템 적용 현황	31
3.1.2 공동주택의 재실패턴	35
3.2 국외 공동주택의 환기시스템 현황	36
3.2.1 일본 가시마 건설의 24시간 환기 시스템	38
3.2.2 일본 미쓰비시사의 24시간 환기시스템	40

3.2.3 European NatVent의 하이브리드 환기시스템	41
제 4 장 공동주택 환기시스템의 환기효과에 관한 실험실 측정	45
4.1 측정 개요	45
4.1.1 실험실-1 개요	45
4.1.2 실험실-2 개요	47
4.2 환기시스템의 공기환경 개선효과에 관한 측정	49
4.2.1 실험방법	49
4.2.2 측정 결과	50
4.3 소 결	54
제 5 장 공동주택 환기시스템의 환기효율 향상을 위한 실험	55
5.1 실험 개요	55
5.2 실험 방법	56
5.3 실험 결과	58
5.3.1 오염물질과 급기구와의 거리에 따른 환기효율	59
5.3.2 오염물질과 배기구와의 거리에 따른 환기효율	64
5.3.3 소결	70
제 6 장 결 론	71
참 고 문 헌	73
국 문 초 록	76
ABSTRACT	79

표 목 차

<표 2.1> 실내활동에 따른 주요 실내오염물질	9
<표 2.2> 건축자재에서 발생하는 주요 실내오염물질	10
<표 2.3> 공동주택의 실내 오염물질과 인체영향	11
<표 2.4> 국내의 실내공기환경(IAQ) 기준	13
<표 2.5> 다중이용시설의 실내공기질 유지기준	14
<표 2.6> 다중이용시설의 실내공기질 권고기준	14
<표 2.7> 주요 국가별 실내공기환경(IAQ) 기준	16
<표 2.8> 국소급배기효율과 실평균 급·배기효율 산정식 (체승법)	23
<표 2.9> 환기방식에 따른 환기효율의 예	25
<표 2.10> EU 규격안에 관한 각종 건물의 내부공간 설계기준	26
<표 2.11> 주요국가의 주거용 건물에 대한 최소 환기량 기준	30
<표 3.1> 국내 환기시스템의 특징 및 장단점	34
<표 3.2> 주거용 건물에 적용된 하이브리드 환기방식	37
<표 3.3> 24시간 환기시스템의 기능적 성능	39
<표 3.4> 일본 미쓰비시사의 24시간 환기시스템	40
<표 3.5> 미쓰비시사의 지역별 추천환기시스템 체계	41
<표 4.1> 실험실-1의 환기시스템 개요	46
<표 4.2> 실험실-2의 환기시스템 개요	48
<표 4.3> 실험측정기기	50
<표 5.1> 실험측정기기	57

그 림 목 차

(그림 1.1) 연구의 흐름도	4
(그림 2.1) 공기의 연령과 잔여체류시간의 개념	18
(그림 3.1) 온돌 매립형 환기시스템 계통도	32
(그림 3.2) 온돌 매립형 환기시스템 평면도	32
(그림 3.3) 천장형 환기시스템의 기본계통	33
(그림 3.4) 공동주택의 실별 채실스케줄	36
(그림 3.5) 하이브리드 환기시스템 개념	38
(그림 3.6) 뉴플랫코어에 의한 강제 급배기타입 개념	39
(그림 3.7) European NatVent 프로젝트의 열회수식 자연환기시스템	42
(그림 3.8) 보조팬 운전이 없는 경우의 환기시스템 내 온도와 환기량	43
(그림 4.1) 실험실-1 계통도	46
(그림 4.2) 실험실-1 전경	47
(그림 4.3) 실험실-2 계통도	48
(그림 4.4) 실험실-2 전경 및 실험대상 환기시스템	49
(그림 4.5) 실험실 측정 모습	50
(그림 4.6) 거실의 CO ₂ 측정 농도 (환기시스템 - 가동 & 미가동)	51
(그림 4.7) 안방의 CO ₂ 측정 농도 (환기시스템 - 가동 & 미가동)	52
(그림 4.8) 실험실-2의 CO ₂ 측정농도 (환기시스템 - 가동 & 미가동)	53
(그림 5.1) 환기시스템의 계통도	55
(그림 5.2) 가스 유량계	57
(그림 5.3) 각종 측정기기	57
(그림 5.4) CO ₂ 용기 및 가스레인지	58
(그림 5.5) 측정기기 설치모습	58
(그림 5.6) 오염물질 발생원과 급·배기구 위치변수	59
(그림 5.7) 배기구에서의 CO ₂ 농도변화	60
(그림 5.8) 중앙부에서의 CO ₂ 농도변화	60
(그림 5.9) 오염원과 급기구와의 거리에 따른 환기효율	61
(그림 5.10) 배기구에서의 CO ₂ 농도변화	62

(그림 5.11) 중앙부에서의 CO ₂ 농도변화	62
(그림 5.12) 오염원과 급기구와의 거리에 따른 환기효율	63
(그림 5.13) 오염물질 발생원과 급기구의 위치변수	64
(그림 5.14) 배기구에서의 CO ₂ 농도변화	65
(그림 5.15) 중앙부에서의 CO ₂ 농도변화	66
(그림 5.16) 오염원과 배기구와의 거리에 따른 환기효율	67
(그림 5.17) 배기구에서의 CO ₂ 농도변화	68
(그림 5.18) 중앙부에서의 CO ₂ 농도변화	68
(그림 5.19) 오염원과 배기구와의 거리에 따른 환기효율	69

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

현대인의 실내 활동이 증가함에 따라 다양한 실내공간에서 하루 평균 90% 이상 생활하고 있고, 현재 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.

건물에서 발생하는 대표적인 실내공기오염물질들의 종류로는 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂), 이산화질소(NO₂), 이황산가스(SO₂), 오존(O₃), 미세먼지(PM), 중금속(Heavy Metal), 석면(Asbestos), 휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds : VOCs), 폼알데하이드(HCHO), 미생물성 물질(Microbic Substance), 병원성 세균, 라돈(Rn)등을 들 수 있다. 이들은 거주자에게 두통, 현기증, 마스크 착용, 졸음, 눈의 자극, 집중력 감퇴, 아토피성 피부염 등 각종 질환을 호소하는 건물병증후군(Sick Building Syndrome : SBS) 및 새집증후군(Sick House Syndrome : SHS)등의 문제를 일으켜 현대인의 건강을 크게 위협하고 있다.

최근 환경부에서는 사무소 건물 외에 주거용 건물에 대한 실내공기환경의 문제점이 심각히 대두됨에 따라 2003년 5월 기존의 “지하생활공간 공기질 관리법”을 “다중이용시설 등의 실내공기질 관리법”으로 개정하여 공포하였으며, 2004년 5월 30일부터 시행하였다. 즉, 이전 법령의 범위에 신축공동주택을 포함시키고, 이외에도 동법에서 마련되지 못한 “신축 공동주택 실내공기질 기준”을 선진국의 사례분석과 광범위한 실태조사를 바탕으로 2005년 말까지 제정할 예정에 있어 제도적인 측면에서 공동주택의 실내공기환경을 향상시키기 위한 노력을 하고 있다.¹⁾ 선진국에서는 이미 건물의 인증제도의 성공적인 시행과 실내공기환경을 개선시키기 위한 많은 연구가 활발히 진행되어 왔다.

실내공기질 제어는 오염물질 발생제어, 희석제어 및 제거제어로 구분될 수 있

1) <http://www.me.go.kr>

는데, 희석제어방법인 환기는 신선한 외기와 오염된 실내공기를 치환·희석시키는 것으로 오염물질 발생제어와 제거제어에 비해 그 방법이 상대적으로 쉬우며, 거주자의 요구에 따라 국부환기와 전반환기가 모두 이루어질 수 있어 실내공기질 제어법으로 주로 사용되고 있다. 그러나 지금까지의 공동주택은 시공성능의 향상과 에너지 절약을 위해 고단열·고기밀화, 초고층화됨에 따라 실내에서 발생하는 오염물질을 외부로 배출시키지 못하는 문제점을 초래하였다. 이러한 문제점으로 인해 일본의 경우 이미 주택환기설비가 의무화되어 각 주택에 환기시스템을 도입하고 있으며, 최근 정부에서도 2005년 1월 “주택법개정안”을 제정·공포하여 2006년 1월부터 공동주택 세대 내 환기시설 설치를 의무화하였다.

최근 쾌적한 실내공기환경을 위해 공동주택에 도입되는 기계환기시스템을 살펴보면, 천장공간의 덕트를 이용하여 급·배기를 실시하는 천장덕트형 방식과 온돌구조체에 급기배관을 매입하여 겨울철 및 여름철에 온돌구조체의 열교환을 통해 외기를 도입하는 환기시스템(이하 온돌매립형 시스템)이 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 성능검증등에 대한 정확한 사전 검토가 이루어지지 않은 상태에서 설계자나 시공사의 경험에 의해 선정되는 것이 일반적이다. 이러한 현실은 기계환기시스템이 설치되더라도 환기성능 저하로 인하여 실내에서 발생하는 오염물질을 효과적으로 배출하지 못하고 에너지소비만이 증가되는 문제점을 발생시킨다.

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

1.2 연구의 내용 및 방법

공동주택에 환기시스템이 도입되고 있는 현 시점에서 효율적인 환기는 거주자들에게 보다 쾌적하고 건강한 실내환경을 제공할 수 있기 때문에, 본 연구에서는 환기효율 향상을 위한 환기시스템의 효율적인 적용방안을 제시하고자 한다.

공동주택 환기시스템의 효율적인 적용방안에 관한 본 연구는 4단계로 진행하였

으며, 각 단계별 내용과 방법은 다음과 같다.

(1) 실내공기환경 및 환기효율에 관한 이론적 고찰

1단계에서는 실내공기 오염물질이 인체에 미치는 영향 및 국내외 환기관련 기준치 및 환기효율에 관한 자료를 문헌을 통해 고찰함으로써 공동주택 환기의 문제점을 제시하고, 합리적인 환기계획의 필요성을 확인하였다. 또한, 환기효율에 관한 이론정리를 통해 환기효율 평가에 활용하였다.

(2) 공동주택 환기시스템의 국내외 현황 조사

2단계에서는 현행 국내외에서 적용하고 있는 공동주택의 기계환기시스템에 관한 현황을 조사함으로써 공동주택 환기시스템의 특징을 파악하였다.

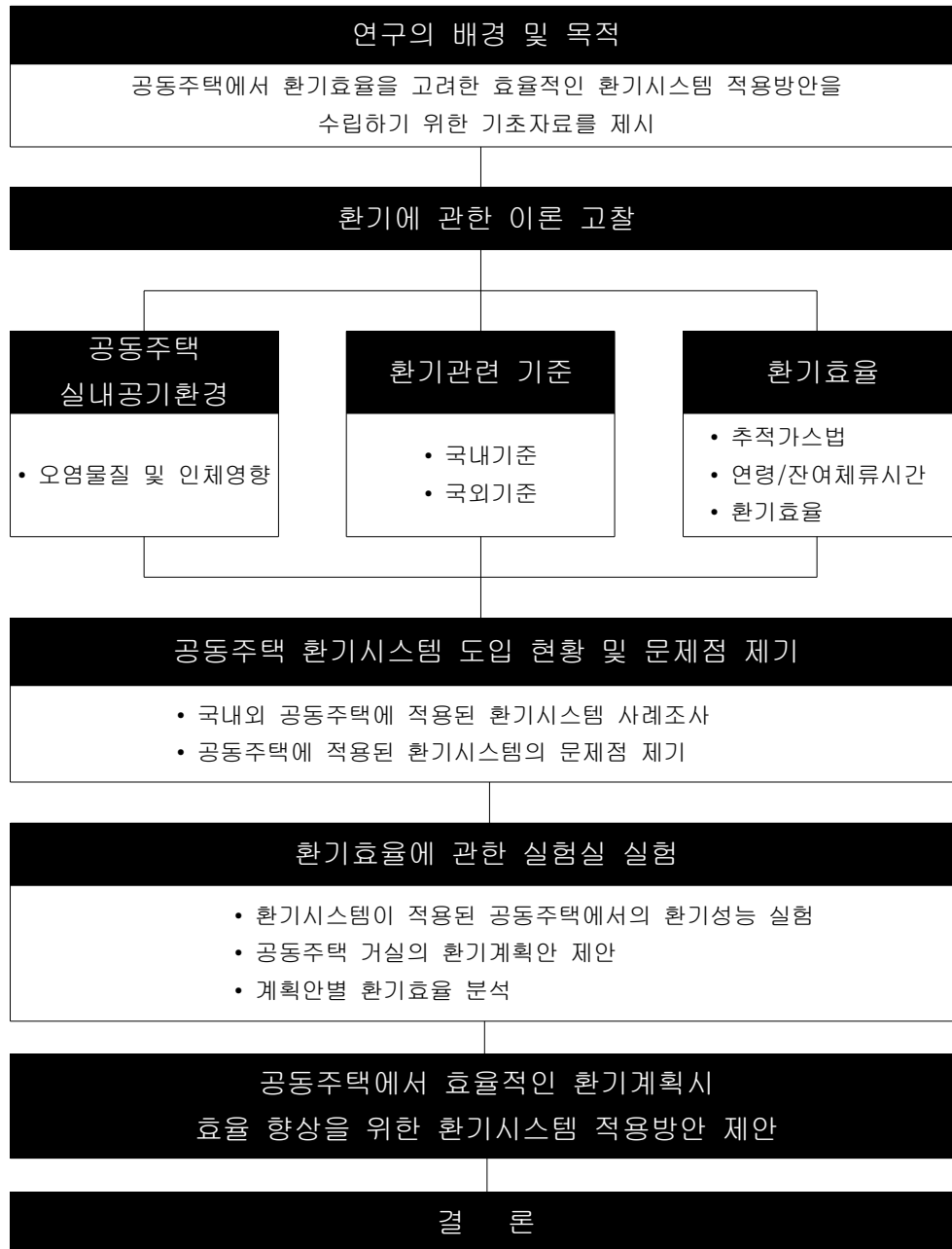
(3) 환기시스템의 환기효율에 관한 실험실 실험

3단계에서는 온돌매립형 환기시스템을 대상으로 실제 환기시스템 적용시의 환기성능의 정도를 파악하고, 천장덕트형 환기시스템을 대상으로 오염물질 발생위치 및 환기시스템 설치위치에 따른 변수를 산정하였다. 이를 바탕으로 공동주택에서의 환기계획 시 효율적인 환기시스템 적용방안을 마련하기 위한 환기효율을 분석하였다.

(4) 공동주택의 환기효율 향상을 위한 환기시스템 적용방안 제시

4단계에서는 3단계의 분석결과를 바탕으로 추후 환기효율을 고려한 보다 효율적인 환기장치 개발을 하기 위한 기초자료 제공 및 공동주택의 환기시스템 계획시 환기효율 향상을 위한 환기시스템 적용방안을 제시하였다.

본 연구의 흐름도는 (그림 1.1)과 같다.



(그림 1.1) 연구의 흐름도

1.3 연구의 범위

본 연구는 공동주택의 환기효율을 향상시키기 위한 환기계획기법의 기초자료를 제시하기 위하여 이루어졌다. 공동주택의 환기효율에 영향을 미치는 인자로는 자연환기량 및 세대의 기계환기시스템, 오염물질 발생량 및 오염원 위치 등을 들 수 있다. 그러나 현행 국내 공동주택의 경우 에너지절약을 위한 고기밀, 고단열 시공, 그리고 외부에 면한 개구부의 감소 등 자연환기를 활용할 수 있는 가능성은 거의 없어지고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 공동주택의 자연환기로 인한 환기효율은 배제한 상태에서 기계환기시스템만을 대상으로 연구를 진행하였다.

공동주택 세대 내에서 발생하는 오염물질은 조리시의 연소가스 및 인체의 호흡으로부터 발생하는 CO_2 가 가장 대표적인 것으로 분류되고 있으며, 이외에도 각종 구조재와 마감재로부터 휘발성유기화합물(VOCs), 포알데하이드(HCHO), 라돈(Rn) 등이 발생하는 것으로 알려지고 있다. 그러나 이와 같은 오염물질의 발생량은 조리시의 연소가스와 인체의 CO_2 발생량에 비하면 매우 작은 값이며, 오염발생량이 큰 변수를 대상으로 환기계획을 수행할 경우 발생량이 작은 변수로 인한 오염농도는 자연스럽게 줄어들 수 있게 된다. 따라서 본 연구에서는 공동주택에서 발생하는 오염물질로 주방의 가스레인지와 인체의 호흡으로부터 발생하는 CO_2 를 사용하였으며, 다른 물질로 인한 실내공기오염은 연구의 범위에서 제외하였다. 또한, 인체로부터 발생하는 오염물질의 발생위치에 있어서도 일반적인 거주패턴을 거실의 소파부위로 가정한 후 연구를 진행하였다.

한편, 공동주택에서 사용가능한 환기시스템에는 세대 전체의 환기를 위한 환기시스템 외에도 주방에서의 국소환기를 위한 주방의 레인지후드를 들 수 있다. 주방의 레인지후드는 공동주택 입주 시 모든 세대에 설치되어 있으나, 거주자의 생활패턴에 따라 매우 제한적이고 임의적으로 사용된다는 특징을 갖는다. 공동주택의 환기효율을 향상시키기 위해서는 레인지후드와 세대의 환기시스템을 통합한 시스템이 보다 효율적일 수 있지만, 레인지후드의 사용패턴을 설정하는 것이 현실적으로 어렵기 때문에 본 연구에서는 레인지후드를 사용한 국소환기에 대한 효과를 연구의 범위에서 제외하였다.

1.4 국내 연구동향

건물의 실내공기환경에 관련한 연구는 크게 실내공기 오염물질의 측정연구와 환기성능 측정 및 개선방안에 관한 연구로 구분된다.

실내공기 오염물질의 측정에 관한 연구는 1990년대 이후 매우 널리 이루어져 왔으며, 건축자재로부터의 오염물질 발생량에 관한 실험도 다수 이루어져왔다. 최근 사회적인 중요성이 부각되고 있는 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds : VOCs)에 대한 측정은 김윤신 등에 의해 이루어졌으며, 측정결과 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠 등의 농도가 실외보다 실내에서 1.2~1.8배 높음을 보고하였다. 이처럼 실내가 실외에 비해 VOCs의 농도가 높은 것은 주택의 경우 취사 및 난방연료의 사용, 거주자의 흡연, 환기의 부족, 외부로부터 자동차 배기가스 유입, 신축건물에 대한 건축자재의 영향으로 평가하였다.

건축자재로부터의 VOCs와 폼알데히드 방출실험은 제한적인 건축자재를 대상으로 연구가 진행되었다. 김신도 등은 소형 챔버를 이용하여 온도와 상대습도, 환기량 등을 고려한 후 5종류의 건축자재를 대상으로 시간의 경과에 따른 VOCs와 폼알데하이드의 방출특성을 조사하였다. 박진철 등은 콘크리트, 석고보드, 진흙, 운모, 페인트 등을 대상으로 난방시와 비난방시 단위표면적에서 발생하는 VOCs와 폼알데하이드의 농도를 측정하였다.

공동주택의 환기성능과 관련한 연구로는 개구부의 종류 및 형태에 따른 공동주택 세대의 환기성능을 가스추적법과 압력차법을 이용하여 실측한 김기훈 등의 연구를 들 수 있으며, 해당연구에서는 자연환기를 이용하는 국내 공동주택의 환기성능이 환기회수 0.3~0.7회/h의 범위로, 실제 세대의 필요환기량에 미치지 못함을 보고하였다.

한편, 건물의 환기효율과 관련한 연구에 있어서 한화택은 환기효율의 개념과 용어를 정의하였고, 황인호 등은 아파트 지하주차장의 CO농도를 측정한 후 환기방식과 환기팬 가동유무에 따른 환기효율 차이를 통계적으로 분석하였다. 또한 정광섭 등은 사무소 건물 개별공조시스템의 기류분포 및 환기특성에 관한 실험을 통하여 기류분포와 환기효율 분포의 상관관계를 분석하였다.

수치해석을 이용한 환기효율 평가연구로, 김용경은 사무소 건물의 급배기방식별 온도분포와 기류해석을 통하여 환기효율의 정량적 평가를 위한 기초자료를 제시하였고, 유복희 등은 주택침실의 가구배치 형태에 따른 실내기류분포 및 환기효율을 취출기류의 풍향을 변수로 분석하였다. 김기훈은 공동주택의 환기효율 향상을 위한 거실 및 침실의 계획지침을 급배기구의 위치 및 숫자를 변수로 비정상적으로 해석하였다. 이상 살펴본 바와 같이 국내의 경우 대부분 건축물의 실내공기오염농도 측정 및 환기량에 관한 내용을 대상으로 한 연구만이 이루어지고

있다. 또한, 해석연구에 있어서도 사무소 건물 및 공동주택의 환기효율을 CFD 해석기법을 이용하여 해석한 것이 대부분이며, 공동주택의 환기효율을 향상시키기 위하여 실제 건물에 변수들을 적용, 실험을 통하여 공동주택의 환기효율을 향상시키기 위한 개선방안을 제시하는 연구는 거의 없는 실정이다.

이상 살펴본 바와 같이 실내공기환경 및 환기와 관련한 연구가 지속적으로 이루어져 왔고, 건물의 모델링을 통해 최적의 환기계획을 수립하는 연구라는 추세를 감안할 때 본 연구를 통해 얻어진 효율적인 환기계획기법은 공동주택의 실내 공기환경 개선에 기여함과 동시에 효율적인 환기시스템의 설계 자료로 제공될 수 있을 것이라 판단된다.

제 2 장 실내공기환경 및 환기효율에 관한 고찰

2.1 실내공기오염물질

실내공기오염이란 다양한 실내공간에서 공기가 오염된 상태를 말하는데, 그 원인은 실내에서 발생하는 오염물질과 건물주변의 대기오염원에 의해 야기되며, 그 영향은 실내 거주자들의 생명을 위협할 정도는 아니더라도 분명히 건강에 영향을 미치고 있는 것으로 나타나고 있다. 현대인들은 하루 중 대부분의 시간을 실내에서 생활하고 있고, 실내에서 발생하는 오염물질은 인체에 많은 영향을 미치고 있다. 따라서 실내오염 물질에 의한 피해정도는 실외에 비해 매우 크다고 할 수 있다.

건물에서 발생하는 실내공기오염물질은 거주자들의 실내 활동과 건축자재 및 생활용품 등에서 배출되는 오염물질로서, 그 종류로는 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂), 이산화질소(NO₂), 아황산가스(SO₂), 오존(O₃), 미세먼지(PM10), 중금속(Heavy Metal), 석면(Asbestos), 폼알데하이드(HCHO), 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds : VOCs), 미생물성 물질(Microbic Substance), 병원성 세균, 라돈(Rn) 등을 들 수 있다. 또한, 건물의 실내공기질은 실내의 오염 정도와 오염원의 존재여부 및 환기량과 기상상태에 따라 달라지며, 실내에서의 작업종류와 행위에 따라 약 900여종 이상의 다른 오염물질이 발생하는 것으로 알려지고 있다²⁾.

거주자 및 거주자들의 실내 활동에서 발생하는 오염물질은 먼저 요리, 흡연, 운동 등 인간의 활동으로부터 실내공기 오염물질이 발생되며, 솔벤트나 화학약품이 첨가된 청소 기구를 이용한 청소, 향수 등과 같은 화장품, 애완동물의 몸에서 나오는 비듬, 그리고 세탁용 화학약품 등에서도 오염물질이 방출된다³⁾. 거주자 및 거주자들의 실내 활동에 따른 주요 실내오염물질을 정리하면 <표 2.1>과 같다.

특히, 공동주택의 경우 가장 큰 오염물질 발생원은 주방의 조리시 발생하는

2) Hays, S.M. 외, Indoor Air Quality : Solutions and Strategies, Mc Graw-Hill, Inc., New York, p.1, 1995

3) 김기훈, 공동주택의 환기효율 향상을 위한 환기계획에 관한 연구, 중앙대학교 대학원 박사학위논문, 2003.12

CO, CO₂, NO₂, 등의 연소가스라 할 수 있으며, 공동주택 단위세대당 CO₂는 733~1,223ppm, NO₂는 17.7~86.7ppb으로 일부 세대에서 기준치를 초과하는 측정결과가 보고된 바 있다⁴⁾.

<표 2.1> 실내 활동에 따른 주요 실내오염물질

발생원		실내오염물질
인체	호흡	CO ₂ , 수증기, 냄새
	재채기, 기침, 대화	세균입자
	피부	피부조각, 비듬, 암모니아, 냄새
	의류	섬유, 모래먼지, 세균, 곰팡이, 냄새
	화장품	각종 미량물질
사람의 활동	흡연	분진, 타르, 니코틴, 각종 발암물질
	보행등의 동작	모래먼지, 섬유류, 세균
	연소기기	CO ₂ , CO, NO ₂ , SO ₂ , 탄화수소, 매연, 냄새
	사무기기	암모니아, 오존, 용제류
유지관리	작업, 재료	모래먼지, 분진, 섬유세제, 용제, 곰팡이, 세균

건축자재 및 가구 등에서 발생하는 오염물질은 실내가구나 마감 재료에서 발생하는 각종 오염물질과 석고보드와 콘크리트, 진흙에서는 라돈가스가, 유성페인트에서는 톨루엔과 크실렌 등 휘발성유기용제(VOCs)가 방출되며⁵⁾, 단열재와 목재 등에서는 폼알데하이드가 방출되는 것으로 알려지고 있다. 다음 <표 2.2>에는 일반적으로 사용하는 건축자재로부터 발생하는 실내공기 오염물질을 정리한 것이다.

4) 전주영, 공동주택에 있어서 주방의 공기환경 개선에 관한 연구, 중앙대학교 석사학위논문, 1994, pp35~46

5) 박진철, 건축 재료에서 발생하는 실내공기 오염물질의 실험실 측정에 관한 연구, 21세기 실내공기환경의 질, 대학건축학회 세미나, 1998, pp.61~73.

<표 2.2> 건축자재에서 발생하는 주요 실내오염물질

건축자재		방출 오염물질
목재	파티클 보드	요소(尿素) 페놀 폼알데하이드
	중량 파이어보드	요소 폼알데하이드
	플라이 우드	요소(尿素) 페놀 폼알데하이드
	칩보드	요소(尿素) 페놀 폼알데하이드
단열재	솜	미립자, 송진, 폼알데하이드
	단단한 판자 채움 단열재	송진, 폴리스틸렌, 탄화수소, 폴리우레탄 VOCs, 요소 폼알데하이드, 석면, 벤젠, 벤젠알데하이드, 아세트알데하이드, 크레졸, 메틸나프탈렌, 아크롤레인, 암모니아
페인트	유성	납, 방향성 탄화수소, 지방성 탄화수소, VOCs
	수성	스틸렌, 부틸렌, 아크릴, 비닐
카펫		폼알데하이드, VOCs, 합성섬유, 나일론, 라텍스, 폴리프로필렌 폴리스터, 카펫 크리너, 카펫 올 속의 미생물, 냄새, 미립자
콘크리트		미립자, 라돈
집성보드		미립자, 라돈
벽돌		라돈
코킹 및 실리콘		합성 중합체, 펜탄, 헥산, 옥탄, 벤젠
접착제		데칸, 언더칸, 디메틸 벤젠

이처럼 공동주택의 실내공기환경은 여러 위험요소에 노출되어 있으며, 이러한 공간에 장시간 거주하는 경우 일명 Sick Building Syndrome이라 불리는 두통, 현기증, 안질, 후두염, 알레르기성 질환등과 같은 각종 건강장애와 관련된 증상들을 유발할 수 있다. <표 2.3>에는 주요 실내공기오염물질과 인체에 미치는 영향을 요약하였다⁶⁾.

6) 김희강, 대기오염개론, 동화기술, 1993

<표 2.3> 공동주택의 실내 오염물질과 인체영향

오염물질	인체영향
분진	규폐증, 진폐증, 탄폐증, 석면폐증 등
담배연기 (각종가스, HC, PAH, 분진, HCHO, 니코틴 등)	두통, 피로감, 기관지염, 폐렴, 기관지 천식, 폐암 등
연소가스 (CO, CO ₂ , NO ₂ , SO ₂ , RSPS 등)	만성폐질환, 기도저항 증가, 중추신경 영향 등
라돈 (라돈가스의 부산물)	폐암 등
폼알데하이드	눈/코/목 자극증상, 기침, 설사, 어지러움, 구토, 피부질환, 비염, 정서불안정, 기억력상실 등
석면	피부질환, 호흡기 질환, 석면증, 폐암, 중피증, 편평상피 등
미생물성물질 (곰팡이, 박테리아, 바이러스, 꽃가루 등)	알레르기성 질환, 호흡기질환 등
유기용제 (에스테르, 알데히드, 케톤 등)	피로감, 정신착란, 두통, 구역, 현기증, 중추신경 억제작용 등
악취	식용감퇴, 구토, 불면, 알레르기 증, 정신신경증 등
오존 (복사기기, 생활용품, 연소기기 등)	호흡곤란, 두통, 기침, 심장질환, 폐기종, 천식 등

2.2 국내외 실내공기환경 기준

2.2.1 국내 실내공기환경 기준

국내에서는 공기조화를 실시하는 건물의 실내공기 허용기준을 보건복지부와 건축법 시행규칙에서 규정하고 있고, 작업장 환경은 노동부에서 기준을 정하여 관리하고 있으며, 대기 환경기준은 1978년 정해진 환경보전법에서 규정하고 있

다. 국내의 실내공기환경 기준이 보건복지부에서 정한 공중위생법과 건축법 시행규칙에 정해져 있으나, CO, 탄산가스, 분진에 대한 기준치가 실내환경에 적용되어 사용되어 왔다. '90년대 중반 이후부터 라돈가스, NO_x, 폼알데하이드 및 VOCs 등 다양한 오염물질에 대하여 연구를 해오고 있다. 국내의 실내공기환경 기준은 <표 2.4>과 같다.

국내의 실내공기환경을 관리하는 부처는 환경부, 보건복지부, 노동부, 교육인적자원부, 건설교통부 등 대상 시설에 따라 관계부처별로 나뉘어 있다. 최근 환경부는 다중이용시설 등의 실내공기질관리법에 의해 다중이용시설(17개 시설군) 및 신축공동주택의 실내공기환경을 관리하고 있으며, 보건복지부와 건축법 시행규칙에 공기조화를 실시하는 건물의 실내공기 허용기준을 규정하고 있고, 노동부는 작업장 환경 기준을 정하여 관리하고 있다. 다중이용시설 등의 실내공기질관리법에 명시된 국내의 실내공기질 기준은 실내공기질을 항상 유지하여야 하는 오염물질로 미세먼지, CO₂, 폼알데하이드, 총부유세균, CO 등 5개 오염 물질로 정하여 이들 오염물질에 대하여는 <표 2.5>와 같이 유지기준을 설정하였고, 위반 시 과태료부과 등 제재 조치가 내려지도록 하였다. 외부에 오염원이 있거나 위험도가 비교적 낮은 NO₂, Rn, TVOC, 석면, O₃ 등 5개 오염물질에 대해서는 <표 2.6>과 같이 기준을 달성할 것을 권고하는 기준을 설정하여 자율적 준수 유도하고 있다. 또한, 이들 오염물질에 대하여는 년1회 이상 측정하고 그 결과를 매년 1월 31일까지 시·도지사에게 보고하도록 하였다.

<표 2.4> 국내의 실내공기환경(IAQ) 기준

항 목		실내환경기준 (건축법시행규칙 /공중위생법)	대기(환경부 환경정책기본법, 1993)	작업환경(노동부 산업안전보건법, 1997)**
온도(DBT)		17~28℃	-	-
습도(RH)		40~70%	-	-
기류속도		0.5m/s	-	-
부유분진 (TSP)		150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	TSP 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (연평균) 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (일평균) PM10 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (연평균) 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (일평균)	오염물질의 종류별로 기준치 설정
일산화탄소 (CO)		10ppm	9ppm(8시간 평균) 25ppm(1시간 평균)	50ppm(TWA)
이산화탄소 (CO ₂)		1000ppm	-	5000ppm(TWA)
이산화질소 (NO ₂)		-	0.06ppm(연평균) 0.08ppm(일평균) 0.15ppm(1시간 평균)	3ppm(TWA)
이산화황 (SO ₂)		-	0.03ppm(연평균) 0.14ppm(일평균) 0.25ppm(1시간 평균)	2ppm(TWA)
오존 (O ₃)		-	0.06ppm(8시간 평균) 0.1ppm(1시간 평균)	0.1ppm(TWA)
폼알데하이드 (HCHO)		-	-	1ppm(TWA)
석면 (Asbestos)		-	-	0.2개/cc(청석면:TWA) 0.5개/cc(갈석면:TWA) 2.0개/cc(백석면:TWA)
라돈 (Radon)		-	-	-
중금속	Pb	-	1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (일평균)	0.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TWA)
	Cu			1.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TWA)
	Hg			0.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TWA)
	Cd			0.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TWA)
	Cr			0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TWA)
	AS			0.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TWA)
휘발성 유기 화합물	톨루엔	-	-	100ppm(TWA)
	크실렌			100ppm(TWA)
	아세톤			750ppm(TWA)
	벤젠			10ppm(TWA)

* 미세먼지(PM10)에 대해서는 99년 12월 31일까지는 24시간 평균치 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하를 적용하고, 2001년 1월 1일부터 2001년 12월 31일까지는 24시간 평균치 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하를 적용.

** 산업안전보건법 제 42조 및 동법 시행규칙 제 93조 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준 (노동부 고시 제 1997-65호)

<표 2.5> 다중이용시설의 실내공기질 유지기준

오염물질항목 다중이용시설	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO ₂ (ppm)	HCHO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	총부유세균 (CFU/ m^3)	CO (ppm)
지하역사, 지하도상가, 여객 자동차터미널의 대합실, 철도 역사의 대합실, 공항시설중 여객터미널, 항만시설중 대합실, 도서관, 박물관, 미술관, 장례식장, 찜질방, 대규모점포	150이하	1,000 이하	120이하	-	100이하
의료기관, 보육시설, 노인의료시설, 산후조리원	100이하			8000이하	
실내주차장	200이하			-	25이하

<표 2.6> 다중이용시설의 실내공기질 권고기준

오염물질항목 다중이용시설	NO ₂ (ppm)	Rn (pCi/ ℓ)	TVOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	석면 (개/cc)	오존 (ppm)
지하역사, 지하도상가, 여객 자동차터미널의 대합실, 철도 역사의 대합실, 공항시설중 여객터미널, 항만시설중 대합실, 도서관, 박물관, 미술관, 장례식장, 찜질방, 대규모점포	0.05이하	4.0이하	500이하	0.01이하	0.06이하
의료기관, 보육시설, 노인의료시설, 산후조리원			4000이하		
실내주차장	0.30이하		1,000이하		0.08이하

2.2.2 국외 실내공기환경 기준

미국의 주거환기기준은 ASHRAE와 HUD(Department of Housing & Urban Development)에서 다루고 있다. HUD의 최소성능기준(MPS, Minimum Property Standard)에서는 0.5회/h 정도의 침기량에 개폐가능한 창을 이용한 환기를 기준으로 하고 있으며, 이 창의 크기는 바닥면적의 1/20 이상으로 규정하고 있다.

일본의 경우 기밀성능 기준을 철근콘크리트조, 조적조류 구조의 주택은 0.5회/h, 공업화공법의 주택은 0.7회/h, 그리고 목조를 비롯한 그 위의 주택에서는 1.5회/h로 제시하고 있다.

유럽에서는 노르웨이, 핀란드 등을 중심으로 WHO에서 1987년에 제정한 "Air Quality Guideline for Europe"에 근거하여 각 나라별 실정에 맞는 기준을 설정하고 있다. 주요 내용은 실내공기질에 영향을 미치는 실내오염원의 제어를 위하여 건축자재와 설비기준을 관리하고 있으며 건물내부에서 발생하는 각종 오염물질의 방출특성에 대한 정보를 건축가나 전문 관리자에게 제공하고 있다.

주요 국가별 실내환경기준은 <표 2.7>와 같다.

<표 2.7> 주요 국가별 실내공기환경(IAQ) 기준

오염물질	실내환경	대기환경	작업환경
일산화탄소 (CO)	10ppm(일본건축법 및 빌딩위생관리법) 20ppm(일본학교위생기준) 8.6ppm(WHO Europe 8시간 평균) 25ppm(WHO Europe 1시간 평균) 51ppm(WHO Europe 30분 평균) 86ppm(WHO Europe 15분 평균)	9ppm(EPA 8시간 평균) 35ppm(EPA 1시간 평균)	50ppm(OSHA-TWA) 50ppm(일본산업위생학회) 10ppm(일본 사무소위생기준, 노동안전위생법)
포알데하이드 (HCHO)	0.1ppm(ASHRAE) 0.4ppm(미국 HUD) 0.081ppm(WHO Europe) 0.1ppm(스웨덴 신축주거)	-	1ppm(ACGIH, TLV-TWA) 2ppm(ACGIH, STEL) 2ppm(일본 산업위생학회)
이산화질소 (NO ₂)	0.21ppm(WHO Europe 1시간평균) 0.075ppm(WHO Europe 24시간평균)	0.065ppm(EPA 1시간 평균)	3ppm(ACGIH, TLV-TWA) 5ppm(ACGIH, STEL) 0.1ppm(일본 산업위생학회)
오존 (O ₃)	0.05ppm(ACGIH 8시간평균) 0.03ppm(뉴질랜드 8시간평균) 0.08ppm(WHO Europe 8시간평균) 0.1ppm(WHO Europe 1시간평균)	0.12ppm(EPA 1시간 평균) 0.06ppm(일본대기환경기준 1시간 평균)	0.1ppm(ACGIH, TLV-TWA) 0.3ppm(ACGIH, STEL) 0.1ppm(일본 산업위생학회)
라돈 (Radon)	4pCi/l(EPA 주택) 2.7pCi/l(WHO Europe) 2.9pCi/l(스웨덴 주택)	=	=
이산화황 (SO ₂)	0.12ppm(WHO STEL 1시간) 0.18ppm(WHO STEL 15분)	0.03ppm(EPA 연평균) 0.14ppm(EPA 24시간평균) 0.8ppm(EPA 3시간 평균) 0.04ppm(일본대기환경 기준 1시간 평균)	2ppm(ACGIH, TLV-TWA) 5ppm(ACGIH, STEL) 5ppm(일본 산업위생학회)
부유분진 (TSP)	0.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (일본건축기준법 및 빌딩위생관리법) 0.1 μg ~0.12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (WHO 8시간 평균)	0.075 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (EPA 평균) 0.26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (EPA 24시간)	0.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (일본사무소위생기준)
이산화탄소 (CO ₂)	1000ppm(일본건축기준법) 920ppm(WHO Europe) 1000ppm(ASHRAE)	-	1000ppm(일본사무소위생기준) 5000ppm(OSHA-TWA) 5000ppm(ASHRAE)
석면 (Asbestos)	-	0.01개/cc(일본 대기환경)	0.1개/cc(OSHA-PEL) 2개/cc(일본 산업위생학회)
휘발성 유기화합물 (TVOCs)	0.2~0.61 mg/m^3 (핀란드 FISIAQ)	-	벤젠 10ppm(OSHA-TWA) 0ppm(NIOSH-TWA) 10ppm(ACGIH-TLV) 0.63ppm(EPA) 톨루엔 200ppm(OSHA-TWA) 100ppm(NIOSH-TWA) 100ppm(ACGIH-TLV) 21ppm(WHO) 크실렌 100ppm(OSHA-TWA) 100ppm(NIOSH-TWA) 100ppm(ACGIH-TLV)

2.3 환기효율(Ventilation Effectiveness)

2.3.1 환기효율의 정의

환기에 있어서 효율을 산정하기 위해서는 표준적인 환기상태를 기준으로 실제 상황에서의 환기효과를 나타낼 수 있어야 하며, 이러한 환기효율을 정의하기 위해서 많은 연구자들의 노력이 이루어져 왔다.

지금까지의 환기효율의 정의를 살펴보면, 첫째 농도비에 의한 정의로서 배기구에서의 오염농도에 대한 실내 오염농도의 비율로서 환기효율을 정의하는 것이다. 농도비에 의한 정의는 실내의 기류상태 뿐만 아니라 오염원의 위치에 따라서 값이 변화하므로 환기효율의 정의라기보다는 실내오염 정도를 표시하는 데 적합하다. 둘째로 농도감소율에 따른 정의가 있는데 완전혼합시의 농도감소율에 대한 실내 오염농도 감소율의 비로써 환기효율을 정의하는 것이다. 농도감소 초기에는 감소율이 시간에 따라서 변화하고, 일정시간 경과 후에는 농도감소율이 위치에 관계없이 일정해지므로 비정상상태에서의 농도측정이 필요하고 환기효율보다는 환기횟수를 표시하는데 적합하다. 마지막으로 공기연령에 의한 정의가 있는데 명목시간상수에 대한 공기연령의 비율로서 환기효율을 정의하는 방법⁷⁾⁸⁾이다. 이 방법은 비정상상태의 농도측정이 필요하며 정의 및 계산절차가 매우 복잡하다는 문제점이 있지만, 오염원의 위치에 무관하게 실내의 기류상태에 의하여 환기효율을 결정할 수 있음에 따라 현재 ASHRAE⁹⁾와 AIVC¹⁰⁾ 등 국내외에 걸쳐 사용되고 있다. 그러나 공기연령의 개념을 이용한 환기효율의 정의는 단지 실내로 급기되는 신선외기의 실내 분배능력을 나타낼 뿐 실내에서 발생하는 오염물질을 제거하는 능력을 표현하기에는 적합하지 못하다. 따라서 전체적인 환기효율을 정의하기 위해서는 실내로 급기되는 신선외기의 실내 분배능력을 나타내는 급기효율과 실내에서 발생하는 오염물질을 제거하는 능력을 나타내는 배기효율로서 정의되어야 하며, 배기효율을 정의하기 위해서 공기연령과 동일한 공기의 잔여체류시간 개념을 사용하여야 한다.

(그림 2.1)에 연령과 잔여체류시간의 개념을 나타내었다. 급기구를 통하여 실내

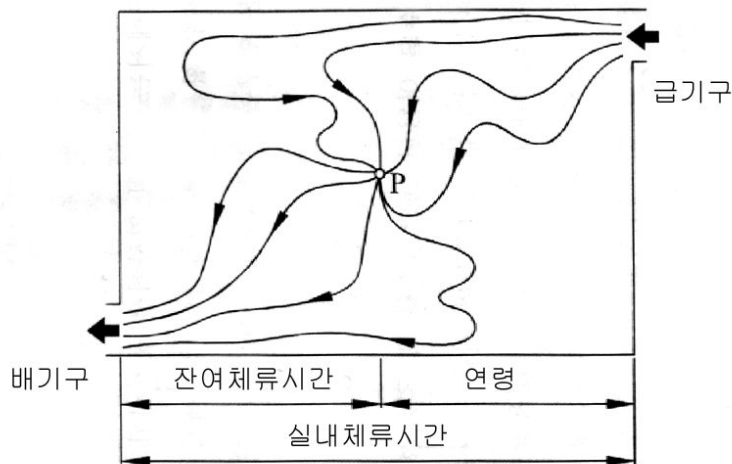
7) Sandberg, What is Ventilation Efficiency, Building and Environment, Vol.16, No.2, 1981, pp.123~135.

8) Sandberg, Ventilation Efficiency as a Guide to Design, ASHRAE Transactions, Vol.89, Pt.2B, 1983, pp.455~479.

9) ASHRAE, ASHRAE Handbook Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 1997.

10) AIVC, A Guide to a Air Change Efficiency, Technical Note AIVC 28, Air Infiltration and Ventilation Center, 1990.

로 유입된 공기가 실내 임의의 점에 도달할 때까지 소요된 시간을 연령이라고 한다. 공기입자는 여러 가지 경로를 통하여 그 지점에 도달할 수 있으므로 그 지점에 도달하는 공기입자 연령의 평균값을 국소평균연령(Local Mean Age, LMA)이라 한다. 또한, 실내 임의의 점으로부터 배기구까지 빠져나갈 때까지 소요된 시간을 잔여체류시간이라고 하는데 이것도 여러 가지 경로를 통한 입자들의 평균값으로서 국소평균잔여체류시간(Local Mean Residual Life Time, LMR)이라고 한다. 또한 국소평균연령과 국소평균잔여체류시간의 합은 그 지점을 통과하는 공기입자의 실내체류시간(Residence Time)이 된다.



(그림 2.1) 공기의 연령과 잔여체류시간의 개념

국소평균연령(LMA)은 신선외기가 임의의 점까지 도달하는 시간을 의미하므로 급기의 실내분배성능을 정량화하는 데 사용될 수 있으며, 국소평균잔여체류시간(LMR)은 그 지점으로부터 배기되는 데 소요되는 시간을 의미하므로 오염물이 배기되는 성능을 정량화하는 데 이용될 수 있다. 또한 국소평균연령을 전체 실내 공간에 대하여 평균값을 구하면 실 평균연령(room mean age)이 되고, 마찬가지로 전체 실내공간에 대한 평균 국소잔여체류시간은 실 평균 잔여체류시간(room mean residual life time)이 된다. 실평균연령은 실 전체의 급기효율을 나타내고 실평균잔여체류시간은 실 전체의 배기효율을 나타낸다¹¹⁾¹²⁾. 일반적으로 환기효율

11) 장경진, 추적가스를 이용한 급기 및 배기효율의 측정기술에 관한 연구, 국민대학교 박사학위논문, 2000, pp.10~15.

을 나타내기 위해서는 실내의 공기가 완전 혼합되어 위치에 관계없이 일정한 농도분포를 보이는 상태를 기준상태로 가정하며, 완전혼합의 환기상태에서 실내체적에 대한 시간당 환기량을 환기회수라고 한다. 또한, 환기회수의 역수는 시간의 차원을 가지며 이를 명목시간상수 (Nominal Time Constant, τ_n) 라고 한다(식 2.1).

$$\tau_n = \frac{V}{Q} \quad (\text{식 2.1})$$

τ_n : 명목시간상수

V : 실내체적

Q : 환기량

국소급기효율과 국소배기효율은 (식 2.2), (식 2.3)과 같이 명목시간상수에 대한 국소평균연령이나 국소평균잔여체류시간의 비율로서 정의한다. 국소급기효율(α_p) 및 국소배기효율(ε_p)은 그 값이 100% 이상 무한대로 될 수 있기 때문에 효율이라는 용어보다는 국소급기지수 또는 국소배기지수라는 용어를 사용할 수도 있다.

$$\alpha_p = \frac{\tau_n}{LMA_p} \quad (\text{식 2.2})$$

$$\varepsilon_p = \frac{\tau_n}{LMR_p} \quad (\text{식 2.3})$$

여기서 하첨자 p 는 실내 임의의 점 p 를 의미한다. 또한, 실내 배기구에서의 국소평균연령(LMA_{ex})은 급기구에서의 국소평균 잔여체류시간(LMR_{sup})과 동일한 것이며, 이는 명목시간상수와 동일한 값을 가진다¹³⁾. 따라서 국소급기효율이나 국소배기효율을 명목시간상수 대신에 LMA_{ex} 나 LMR_{sup} 를 이용하여 나타낼 수 있으며, 국소급기효율은 배구에 대한 그 지점에서의 LMA 의 비율이고, 국소배기효율은 급구에 대한 그 지점에서의 LMR 의 비율로 이해할 수 있을 것이다.

$$LMA_{ex} = LMR \quad (\text{식 2.4})$$

12) 한화택, 환기효율의 정의에 관하여, 공기조화냉동공학회지, 제28권 제1호, 1999, p.41 ~ 45.

13) Ibid, p.41.

실 평균 급기효율이란 국소급기효율을 전 실내공간에 대하여 적분하여 구한 평균값으로 정의된다. 실 평균 급기효율 $\langle \alpha \rangle$ 는 실 평균 배기효율 $\langle \varepsilon \rangle$ 과 동일하므로 두 개의 용어를 합쳐 실 평균 환기효율(Room Mean Ventilation Efficiency)이라 한다. 실 평균 급기효율 및 배기효율, 즉 환기효율은 (식 2.5)로 산정할 수 있다.

$$\langle \alpha \rangle = \langle \varepsilon \rangle = \frac{\tau_n}{\langle LMA \rangle} = \frac{\tau_n}{\langle LMR \rangle} \quad (\text{식 2.5})$$

또한, 완전혼합의 상태를 기준으로 하면 실평균급기효율이나 배기효율이 100%가 넘는 경우가 발생할 수 있으므로 치환환기를 기준으로 하여 위의 식을 2로 나누어 (식 2.6)과 같이 정의하기도 하며, 이 경우에는 완전혼합의 경우가 50%의 실 평균 환기효율을 보인다.

$$\langle \alpha \rangle = \langle \varepsilon \rangle = \frac{\tau_n}{2\langle LMA \rangle} = \frac{\tau_n}{2\langle LMR \rangle} \quad (\text{식 2.6})$$

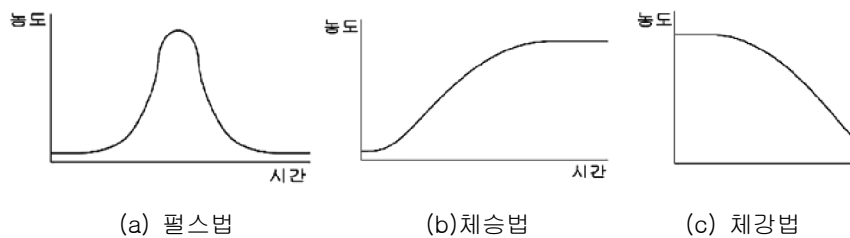
환기효율을 구하는 데 있어서 우선적으로 필요한 실평균연령이나 실평균잔여 체류시간을 산정하기 위해서는 추적가스를 이용하여 농도변화를 측정하는 과정이 필요하게 되며, 일반적으로 추적가스의 주입방법에 따라 펄스법(Pulse Method), 체강법(Step-down Method) 및 체승법(Step-up Method)의 세 가지 방법이 사용된다.

펄스법(Pulse Method)은 추적가스를 짧은 시간에 급기공기에 주입하여 실내 임의의 위치에서 농도변화를 측정하는 방법으로, 주입초기 농도가 상승하여 최대치에 이르고 이후 다시 감소하여 충분한 시간이 지난 후에는 다시 초기상태로 돌아오는 시간과 농도를 이용하는 방법이다. 소량의 추적가스만을 사용하므로 비용이 적게 들지만 평균연령의 계산 시 체승법이나 체강법에 비하여 한 차원 높은 모멘트를 구해야 하므로 차수 증가에 따른 오차발생이 크고 보다 정밀한 농도측정기의 사용이 요구된다.

체강법(Step-down Method)은 초기에 실내농도가 균일한 상태에서 추적가스의 주입 없이 실내 임의의 위치에서 농도변화를 측정하는 것으로, 신선급기의 연속공급을 통하여 농도를 감쇠시킨 후 추적가스가 없는 정상상태에 도달하는 시간과 농도를 기준으로 연령과 잔여체류시간을 산정하게 된다. 체승법에 비하여 실 전체의 공기가 표식이 되어 있으므로 침기에 의한 영향을 받지 않으며 매우 안정적인 방법이다. 대기 중에 존재하지 않는 추적가스를 사용하는 경우 정상상

태에 도달하면 추적가스의 농도가 소멸되어 영(zero)이 되므로 정상상태의 접근 값을 정확히 아는 상태에서 농도곡선을 적분할 수 있다. 그러나 실험시작 전에 균일한 농도를 갖는 초기조건을 만들기 위해서는 체승법이 선행되거나 다른 방법에 의하여 실내공기와 완전혼합이 이루어지도록 강제로 혼합시켜야만 한다. 그러나 실제의 경우 실내의 공기를 완전 혼합하여 초기농도를 균일하게 유지시키는 것은 어렵고 특히, 대공간의 경우에는 더욱 어렵게 된다.

체승법(Step-up Method)은 추적가스를 일정한 비율로 연속적으로 급기공기에 주입하여 실내 임의의 위치에서 농도변화를 측정하여 농도상승 이후 정상상태에 도달하는 시간과 농도를 기준으로 연령과 잔여체류시간을 산정하는 방법이다. 체강법과는 달리 실내의 공기가 실험초기에 완전혼합이 되도록 할 필요가 없는 장점이 있지만, 다량의 추적가스가 필요하고 추적가스를 발생시키는 급기만이 표시되어 있으므로 틈새를 통한 침기의 영향을 고려하지 못하는 문제점이 있다. 추적가스 분출방법의 기본개념은 (그림 2.2)와 같다.



(그림 2.2) 추적가스 분출방법의 기본개념

공기의 연령이나 잔여체류시간을 구하기 위해서는 추적가스를 주입한 후 시간에 따른 비정상 농도변화를 측정하여야 한다. 어떠한 추적가스 주입방법을 사용하더라도 동일한 결과를 얻어야 하며, 각각의 주입방법에 따라서 연령이나 잔여체류시간의 계산을 위한 수식의 형태는 다르나 기본적인 개념은 동일하다. 추적가스 분출방법에 따른 국소평균연령과 국소평균잔여체류시간의 산정식 중 체승법을 이용한 산정식은 (식 2.7), (식 2.8)와 같다.

(식 2.7)

(식 2.8)

여기서, 농도 C 의 하첨자 p 는 측정지점을 의미하며, 상첨자 sup 는 오염물질이

주입된 위치를 표시한다. 시간이 충분히 흐른 후의 정상상태농도 C_{∞} 는 실내 어느 점에서나 균일하게 되며, 국소급기효율 α_p 는 p 점과 배기구에서 계산된 국소 평균연령으로부터 구하면 된다.

$$\alpha_p = \tau_H / LMA_p = LMA_{ex} / LMA_p \quad (\text{식 2.9})$$

동일한 방법으로 실내의 점 p 에서의 국소평균 잔여체류시간을 구하기 위해서는 원래의 정의에 따라서 원하는 지점 p 에서 오염물질을 발생하기 시작하여 배기구에서의 농도를 측정함으로써 구할 수 있다.

$$LMR_p = \int_0^{\infty} \left(1 - \frac{C_{ex}^p(t)}{C_{ex}^{p(\infty)}}\right) dt \quad (\text{식 2.10})$$

여기서, 농도 C 의 하첨자 ex 는 측정점이 배기구임을 의미하며, 오염발생지점 p 가 구하고자 하는 지점의 국소평균 잔여체류시간의 위치이고, $C_{ex}^{p(\infty)}$ 는 정상상태 도달 후 배기구에서의 농도이다.

전체 실내공간에 대한 실평균 급기효율을 구하기 위해서는 앞서의 국소평균연령을 전 실내공간에 대하여 구함으로써 가능해진다. 즉 급기구에서 오염물질을 발생시키기 시작하여 실내 여러 점에서 시간에 따른 농도곡선을 측정하여야 한다. 채송법의 경우 실평균연령은 (식 2.11)과 같이 표현된다.

$$\langle LMA \rangle = \frac{Q}{V} \int_0^{\infty} t(1 - C_{(t)ex}) dt \quad (\text{식 2.11})$$

한편, 실평균 잔여체류시간을 구하기 위해서는 국소평균 잔여체류시간을 전 실내공간에 대하여 구해야 한다. 여기서는 실평균연령의 측정방법과는 달리 측정위치를 배구에 고정시키고 실내의 모든 점에서 오염물질을 동시에 발생시켜야 한다. 즉, 실내 여러 위치에서의 오염원이 중첩되어 있을 때의 배구구의 농도를 측정하여야 한다는 뜻이다.

실평균 급기효율은 급기구에서 오염물질을 발생시킨 후 실내 평균농도와 급기구에서의 농도를 토대로 산정하고, 실평균 배기효율은 실내 모든 점에 오염원을 중첩시켜 놓고 실내 평균농도에 대한 배기구에서의 농도 비를 토대로 산정하므로 오염물질의 발생위치만 다를 뿐 실평균연령과 실평균잔여체류시간의 개념 및 값은 동일하며 이로부터 실평균 급기효율과 실평균 배기효율은 같으며, 이를 실

평균환기효율이라 명명할 수 있다¹⁴⁾.

산정된 연령과 잔여체류시간으로부터 체승법을 이용하여 국소급배기효율과 실험 평균 급배기효율을 구하는 방법은 <표 2.8>과 같다.

<표 2.8> 국소급배기효율과 실험 평균 급배기효율 산정식 (체승법)

	급기효율	배기효율
국소효율	$\alpha_p = \frac{\tau_n}{LMA_p}$ 여기서,	$\varepsilon_p = \frac{\tau_n}{LMR_p}$ $\varepsilon_p = \frac{\tau_n}{\int_0^{\infty} (1 - \frac{C_{ex}^p(t)}{C_{ex}^p(\infty)}) dt}$
실험평균효율	$\langle \alpha \rangle = \frac{\tau_n}{\langle LMA \rangle}$	$\langle \varepsilon \rangle = \frac{\tau_n}{\langle LMR \rangle}$ $\langle \varepsilon \rangle = \langle \alpha \rangle$

2.3.2 환기효율을 고려한 필요환기량 산정방법

실제 오염물질이 발생하면 그 곳의 공기의 움직임에 따라 오염물질이 서서히 확산되어 가며, 오염물질의 농도분포가 생기게 된다. 그러나 실내의 평균적인 오염물질 농도를 예측하고 싶은 경우에는 계산이 간편하므로 대체적으로 완전확산을 가정하여 실내평균농도를 구한다.

완전확산을 가정하는 경우 측정 오염물질 발생량에 대하여 그 농도를 허용농도 이하로 유지하기 위하여 필요한 최소환기량(필요환기량)은 (식 2.12)과 같이 산출할 수 있다.

$$Q_R \geq \frac{M}{C_p - C_o} \quad (\text{식 2.12})$$

여기서, Q_R : 필요환기량(m³/h)

14) 장경진, 추적가스를 이용한 급기 및 배기효율의 측정기술에 관한 연구, 국민대학교 박사학위논문, 2000, p.17.

M : 오염물질 발생량(mg/h)

C_p : 유지하고자 하는 실내농도(mg/m³)

C_o : 도입외기 중의 오염물질 농도(mg/m³)

현재 대부분의 환기설계에서의 환기방식과 환기기준은 완전확산을 기준으로 작성되어 있으므로 환기효율은 고려되지 않고, 환기효과는 실내체적에 대한 환기량으로만 평가되고 있는 문제점이 있다. 실제의 오염물질 농도분포는 기류분포에 의해 형성되며, 공간편재에 따라 불균등하게 확산된다. 불균등 확산장에서의 오염물질은 급배기구의 위치, 공간의 형상, 환기방법 및 환기량, 벽면온도, 취출 기류분포 등에 따른 기류구조를 형성하고, 이에 의해 농도분포가 불균일하게 확산되므로 실내에서 인간의 활동범위인 거주역 공기의 오염물질농도를 기준치 이하로 하기 위해서는 실내의 오염물질 분포를 파악하여야만 한다. 즉, 실내기류분포에 따라 오염물질 농도분포가 다르므로 환기의 효율이 고려되어야 한다.

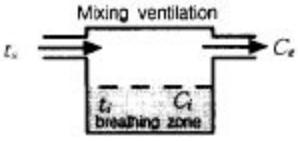
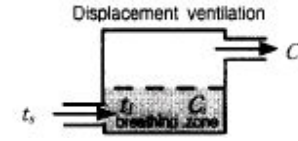
ASHRAE 기준¹⁵⁾에서는 실내의 오염물질 허용농도 및 필요환기량을 환기설계의 근거로 정하고 있다. 오염물질 허용농도는 실내에서 오염물질이 환기공기와 충분히 혼합되었다는 전제하에서 실내에서 사람이 안전하게 존재할 수 있게 하는 수치이며, 필요환기량은 사람이 존재하는 거주영역을 대상으로 오염물질을 환기공기에 의해 희석하여 허용농도 이하로 만드는 관점에서 정해졌다고 할 수 있다. 따라서 실내에 오염물질의 희석에 유효한 환기공기가 실내공기와 잘 혼합되지 않고 배기구로 배출되는 경우에는 실내거주영역에 오염물질의 희석에 유효한 환기공기가 공급되는 비율을 고려할 필요가 있다.

이상 살펴본 바와 같이 건물의 환기성능은 단순히 환기량에 의해서만 결정되는 것이 아니므로 필요환기량을 결정하는 데에는 환기효율의 개념이 도입되어야 하며, 유럽과 일본에서는 필요환기량 산정시 <표 2.9>와 같이 환기방식에 따른 환기효율을 고려하여 필요환기량을 산정하고 있다¹⁶⁾.

15) ASHRAE, ASHRAE Standard 62-1989, Ventilation For Acceptable Indoor Air Quality.

16) 이정재, 환기효율을 고려한 필요환기량 산정방법, 공기조화냉동공학회 건설환경부문 강연회, 1999, pp.31 ~ 40.

<표 2.9> 환기방식에 따른 환기효율의 예

					
공급공기와 호흡역공기의 온도차(= $t_s - t_i$) (℃)	환기효율	공급공기와 호흡역공기의 온도차(= $t_s - t_i$) (℃)	환기효율	공급공기와 호흡역공기의 온도차(= $t_s - t_i$) (℃)	환기효율
<0	0.9 ~ 1.0	<-5	0.9	<0	1.2 ~ 1.4
0 ~ 2	0.9	-5 ~ 0	0.9 ~ 1.0	0 ~ 2	0.7 ~ 0.9
2 ~ 5	0.8	> 0	1.0	> 2	0.2 ~ 0.7
> 5	0.4 ~ 0.7				

(1) 유럽의 필요환기량 산정방법

유럽의 환기기준¹⁷⁾에서는 거주자의 건강을 유지하기 위한 필요환기량을 환기효율을 고려하여 (식 2.13)와 같이 산정하고 있으며, 이는 일본의 HASS-102와 미국의 ASHRAE Standard 62-1989R의 규준과 그 형태를 같이 한다.

$$Q_h = \frac{G_h}{C_{hi} - C_{ho}} \times \frac{1}{E_v} \quad (\text{식 2.13})$$

여기서, Q_h : 건강유지를 위한 필요환기량(l/s)

G_h : 오염물질 부하량($\mu g/s$)

C_{hi} : 허용된 실내의 오염물질 농도($\mu g/l$)

C_{ho} : 도입외기의 오염물질 농도($\mu g/l$)

E_v : 환기효율[$= (C_e - C_s) / (C_i - C_s)$]

C_e : 배기중의 오염물질 농도($\mu g/l$)

C_s : 취출공기 중의 오염물질 농도($\mu g/l$)

C_i : 호흡역의 오염물질 농도($\mu g/l$)

17) prENV 1752

식에서 오염물질 부하량 G_h 는 실내에 존재하는 오염물질이 다수로 정해져 있을 때 각 물질마다의 필요환기량을 산출하고 그 중의 최대치를 채택하여 사용한다. 한편, 유럽의 경우 EU 규격안을 토대로 각종 건물의 내부공간 설계기준을 마련하여 시행하고 있으며, 그 내용을 요약하면 <표 2.10>과 같다.

<표 2.10> EU 규격안에 관한 각종 건물의 내부공간 설계기준

종류	착의량 (clo)		대사량 (met)	거주자 (인/㎡)	등급	작용온도(℃)		평균풍속(m/s)		필요환기량 (l/s ㎡)
	여름	겨울				여름	겨울	여름	겨울	
사무실	0.5	1.0	1.2	0.1	A	24.5±0.5	22.0±1.0	0.18	0.15	2.0
					B	24.5±1.5	22.0±2.0	0.22	0.18	1.4
					C	24.5±2.5	22.0±3.0	0.25	0.21	0.8
대규모 사무소	0.5	1.0	1.2	0.07	A	24.5±0.5	22.0±1.0	0.18	0.15	1.7
					B	24.5±1.5	22.0±2.0	0.22	0.18	1.2
					C	24.5±2.5	22.0±3.0	0.25	0.21	0.7
회의실	0.5	1.0	1.2	0.5	A	24.5±0.5	22.0±1.0	0.18	0.15	6.0
					B	24.5±1.5	22.0±2.0	0.22	0.18	4.3
					C	24.5±2.5	22.0±3.0	0.25	0.21	2.4
강당	0.5	1.0	1.2	1.5	A	24.5±0.5	22.0±1.0	0.18	0.15	16.0
					B	24.5±1.5	22.0±2.0	0.22	0.18	11.0
					C	24.5±2.5	22.0±3.0	0.25	0.21	6.4
레스토랑	0.5	1.0	1.4	0.7	A	23.5±1.0	22.0±1.0	0.16	0.13	8.0
					B	23.5±2.0	22.0±2.5	0.20	0.16	5.7
					C	23.5±2.5	22.0±3.5	0.24	0.29	3.2
교실	0.5	1.0	1.2	0.5	A	24.5±0.5	22.0±1.0	0.18	0.15	6.0
					B	24.5±1.5	22.0±2.0	0.22	0.18	4.3
					C	24.5±2.5	22.0±3.0	0.25	0.21	2.4
유치원	0.5	1.0	1.4	0.5	A	24.5±1.0	22.0±1.0	0.16	0.13	7.0
					B	24.5±2.0	22.0±2.5	0.20	0.16	5.0
					C	24.5±2.5	22.0±3.5	0.24	0.19	2.8
백화점	0.5	1.0	1.6	0.15	A	24.5±1.0	22.0±1.5	0.16	0.13	3.5
					B	24.5±2.0	22.0±3.0	0.20	0.15	2.5
					C	24.5±3.0	22.0±4.0	0.23	0.18	1.4

(2) 일본의 필요환기량 산정방법

일본의 환기규격¹⁸⁾에서는 오염물질의 종류 및 발생량을 조사하고 (식 2.14)를 이용하여 환기량을 산출하며, 오염물질별 최대의 환기량을 기본 필요환기량으로 한다. 또한, 설계 필요환기량은 실내가 완전확산상태인 경우는 기본 필요환기량을 설계 필요환기량으로 하지만, 완전확산이 아닌 경우 폐기포집율 등의 환기효율지표를 고려하여 기본 필요환기량을 보정한다.

$$Q_R \geq \frac{M}{C_p - C_o} \quad (\text{식 2.14})$$

여기서, Q_R : 필요환기량(m^3/h)

M : 오염물질 발생량(mg/h)

C_p : 유지하고자 하는 실내농도(mg/m^3)

C_o : 도입외기 중의 오염물질 농도(mg/m^3)

구체적으로는 사람이 거주하고 활동하기 위한 영역을 거주역으로 설정하고 이에 따른 실의 형상, 환기방식, 오염발생위치 등을 설정하여 규준화 거주농도를 산정한다. 규준화 거주역 농도 C_n 는 완전확산상태를 가정한 경우의 실내오염물질 농도상승에 대한 거주역 평균농도상승의 비가 되고 (식 2.15)로 정의한다.

$$C_n = \frac{C_a - C_o}{C_p - C_o} \quad (\text{식 2.15})$$

여기서, C_n : 규준화 거주역 농도(m^3/m^3)

Q_p : 기본 필요환기량(m^3/h)

C_a : 실제 상태에서의 거주역 평균오염물질 농도(m^3/m^3)

C_o : 도입외기의 농도(m^3/m^3)

C_p : 정상상태 완전혼합을 가정한 오염물질농도($= M/Q_p + C_o$)
(m^3/m^3)

한편, 공기연령과 폐기포집율 등의 환기효율 지표로부터 거주역 평균농도를 구할 수도 있는데, 이 때 오염물질이 실내에서 확산되는 경우의 규준화 거주역 농도

18) HASS 102

C_n 는 공기연령 등의 환기효율지표를 이용하여 (식 2.16)로 평가한다.

$$C_n = \frac{T_v}{T_n} \quad (\text{식 2.16})$$

여기서, T_v : 거주역 평균공기연령(h), T_n : 명목시간상수

연령은 도입외기의 급기구로부터 평균도달시간에 의해 측정되며, 거주역 평균연령 T_v 는 거주역에서의 평균이 된다. 명목시간상수는 환기회수의 역수이다.

오염물질의 거주역 평균농도 C_a 는 CFD에 의하여 구하거나, 거주역 평균공기연령과 폐기포집율 등의 신뢰성이 높은 환기효율 지표로부터 구한다. 전반환기의 경우, 취출온도와 급배기구의 형상과 실 형태 등에서 정해지는 거주역 평균공기연령으로부터 규준화 거주역농도의 개략치를 산정한다. 국소환기의 경우에는 국소 배기장치의 폐기포집율 등으로부터 규준화 거주역의 개략치를 산정한다. 단 여기에서 모두 사용되는 환기효율지표는 신뢰성이 높은 것이어야 한다. 이후, 설계 필요환기량은 거주역의 평균오염물질 농도(C_a)를 기준치 이하로 유지하기 위한 환기량이 되고 (식 2.17)로 산출한다.

$$Q = Q_p \times C_n \quad (\text{식 2.17})$$

여기서, Q_p : 설계 필요환기량(m^3/h)

Q_p : 기본 필요환기량(m^3/h)

C_n : 규준화 거주역 농도(m^3/m^3)

(3) 미국의 필요환기량 산정방법

미국의 ASHRAE Standard 62 1989에서는 1인당 외기도입량으로 필요환기량을 산정하고 재실자수는 설계자가 결정하며, 1인당 환기량은 실의 종류로부터 결정한다. 그러나 ASHRAE Standard 62 1989 R에서는 1인당 외기도입량뿐만 아니라 실내의 건축재료 등에서 발생하는 오염물질에 대해서도 중요하게 고려하여 두 가지 요소를 이용하여 환기량을 산정한다.

즉, 외기도입량(Design Outdoor Air Ventilation Rte : DVR)은 재실자수에 비례한 환기량과 더불어 가구, 건축재료와 공조시스템 등으로부터 발생하는 오염물

질을 회식하기 위한 환기량의 합계로 산정한다. 여기서 재실자수에 비례한 환기량을 인적요소(People Component)로, 건물로부터 발생하는 오염물질 제거를 위한 환기량을 건물요소(Building Component)로 구분하며, 본 기준을 이용한 필요 환기량 산정시에는 반드시 두 가지의 요소로부터 산정된 환기량을 합계해야 한다.

$$DVR = R_P \cdot P_D \cdot D + R_B \cdot A_B \quad (\text{식 2.18})$$

여기서, DVR : 외기도입량(l/s),

R_P : 1인당 환기량(l/s)

P_D : 사람수(인),

D : 재실율

R_B : 바닥면적당 필요환기량(l/sm^2),

A_B : 바닥면적(m^2)

다음은 주요 국가별 주거용 건물의 최소 필요환기량으로 다음 <표 2.11>과 같다.¹⁹⁾

19) 김지현, 신축주거건물에서 환기시스템 적용에 따른 실내공기질 개선방안에 관한 연구, 2004.12, 중앙대학교 건설대학원 석사학위 논문 p 26

<표 2.11> 주요국가의 주거용 건물에 대한 최소환기량 기준

국가 및 기준명	총 환기량	거실	침실	주방	욕실겸용 화장실	화장실
덴마크 DS418	-	0.4 ~ 0.6회/h	-	0.7회/h	0.7회/h	-
독일 DIN18017 DIN1946 Pt.2 VD12088	-	최소 60 ~ 120m³/h 최대 60 ~ 180m³/h	-	최소 40m³/h 최대 60m³/h	최소 40m³/h 최대 60m³/h	최소 20m³/h 최대 30m³/h
노르웨이 NBCch47-1987	-	급기외벽에 100cm²이상의 개폐 가능한 개구부나 급기구 설치	급기외벽에 100cm²이상의 개구부 설치	기계배기60m³/h ,자연배기 지붕위에 단면적150cm²이 상의 덕트설치	기계배기60m³/h ,자연배기 지붕위에 단면적150cm²이 상의 덕트설치	기계배기40m³/h, 자연배기 지붕위에 단면적100cm²이 상의 덕트설치
스웨덴 BFC1988ch4	최소(급기) 0.35mℓ/s.kin	급기 0.35mℓ/s.kin	급기 4.0mℓ/s.kin	배기 10mℓ/s.실	배기 10 ~ 30mℓ/s	배기 10mℓ/s
영국 BS5720-1979 BS5925-1991 Build.Regs.Pt.F CIBSEGuidesA,B	권장 12 ~ 18mℓ/s.인 최소 12 ~ 18mℓ/s.인	바닥면적의 1/200이상인 환기구 및 최소 4000이상의 환기구 면적 확보	바닥면적의 1/200이상인 환기구 및 최소 4000이상의 환기구 면적 확보	기계급기 mℓ/s 또는 배기후드 설치 및 최소 4000이상의 환기구 설치 또는 환기회수 1회/h 확보	15mℓ/s (간헐환기)	바닥면적의 1/200이상인 환기구 설치 또는 간헐적으로 3회/h 이상의 환기회수 확보
미국 ASHRAE 62-1989	환기회수 0.35회.h 이상 (7.5mℓ/s.인)의 환기량 확보	-	-	50mℓ/s(간헐) 12mℓ/s(연속) 개폐창	25mℓ/s(간헐) 10mℓ/s(연속) 개폐창	-
일본 HASS102-1997	30m³/인 (흡연시 30m³/당배1개 피)	-	-	-	-	-

제 3 장 공동주택 환기시스템의 국내외 현황 및 문제점

3.1 국내 공동주택의 환기시스템 적용 현황 및 재실패턴 조사

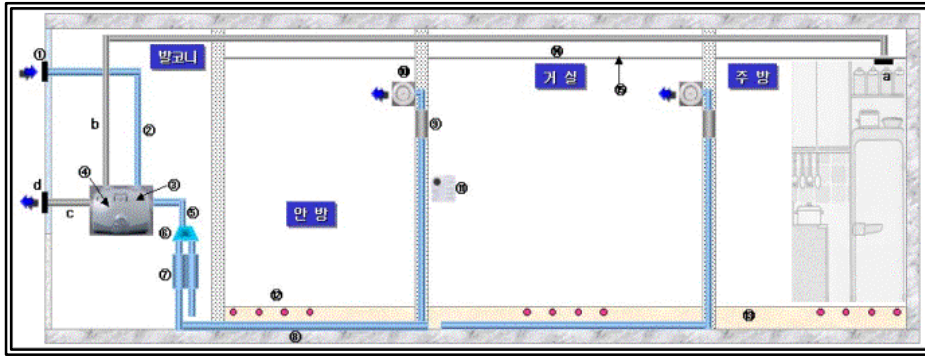
3.1.1 환기시스템의 적용 현황

실내공기오염을 줄이는 방법은 오염물질을 적게 방출하는 실내마감재 선택과 환기시스템을 도입하여 주거생활에서 발생하는 공기오염을 줄이는 방법이다. 오염물질을 적게 방출하는 실내마감재의 선택은 주로 신축주택의 초기의 문제라면 환기시스템의 적용은 건물의 생애주기 동안에 지속적으로 발생하는 생활오염을 줄이는데 주목적이 있다. 최근 국내에서도 공동주택의 환기성능을 향상시키기 위하여 기계환기시스템을 고급 공동주택을 중심으로 채택하고 있다. 국내 환기시스템은 열교환기를 이용한 천장 급+배기덕트 시스템과 바닥온돌 및 벽체에 급기덕트를 매설하여 벽체 또는 천장에서 급기하고 천장에서 배기하는 바닥온돌매립형 방식이다. 본 절에서는 현재 국내 다수의 업체서 생산 및 판매하고 있는 환기시스템의 종류와 특징을 살펴봄으로써 환기시스템의 기본계통을 파악하고 이후 효율적인 환기계획을 제안하는 데 있어서 기초자료로 활용하고자 하였다.

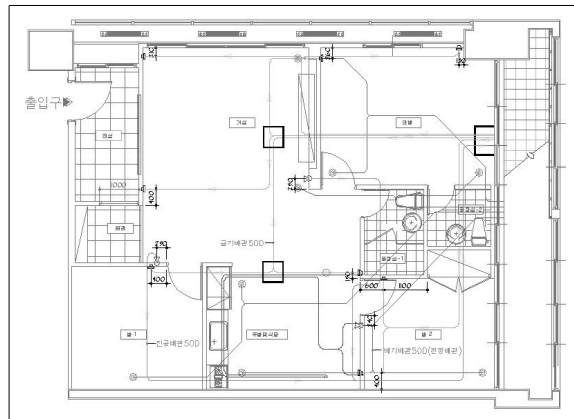
(1) 온돌매립형 환기시스템

바닥온돌 이용방식은 급기덕트를 온돌에 매립하여 천장공간의 사용을 최소화하고 겨울철 실내온도에 근접한 공기를 공급하는 방식이다. 외기의 온도상승은 바닥 온돌의 열을 흡수하여 가열되는 것으로 동일한 열량만큼 보일러의 열 공급이 증가된다고 할 수 있다. 덕트는 배기덕트는 천장에, 급기덕트는 바닥을 통과하여 벽체에 매립되 디퓨저의 위치는 벽체 상부나 천장에 설치하고 있다.

아파트에서 천장공간을 최소화할 수 있는 반면 바닥 및 벽체에 매립된 급기덕트는 구조체와 거의 동일한 고정시설물로서 철거나 교체가 사실상 불가능한 특징을 가지고 있다. (그림 3.1)은 온돌매립형 환기시스템의 계통도이며 (그림 3.2)는 평면도를 나타낸 것이다.



(그림 3.1) 온돌 매립형 환기시스템 계통도



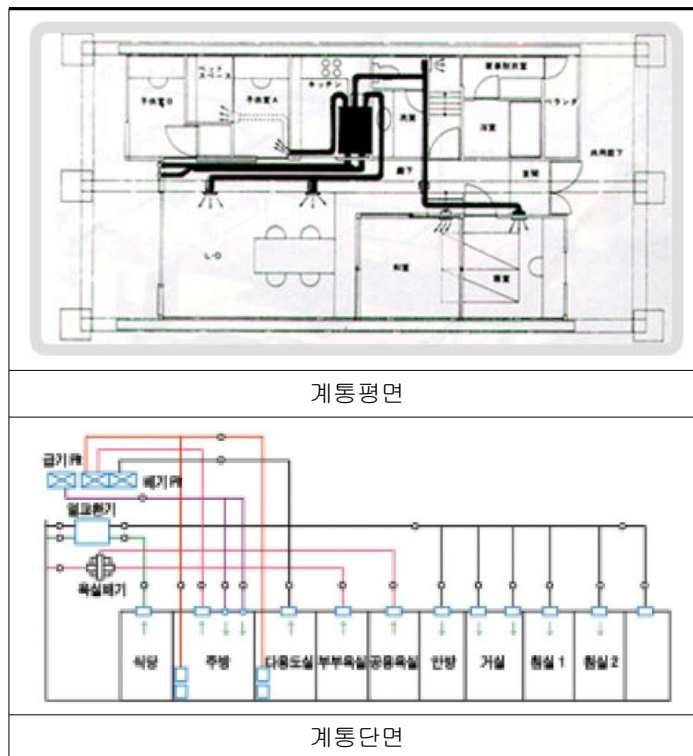
(그림 3.2) 온돌 매립형 환기시스템 평면도

(2) 천장덕트형 환기시스템

일반적인 천장급배기방식의 기본계통은 (그림 3.3)²⁰⁾과 같으며, 이 방식은 주로 열교환기를 이용하여 배기되는 열을 회수하여 급기하는 방식이다. 이를 위해 현열 또는 전열 열교환기가 사용되며 추운 겨울철 실내온도에 근접한 공기를 공급하기 위해 흔히 전기히터를 보조 열원으로 사용하고 있다. 덕트는 천장에 설치하고 있으며 우리나라 환기업체의 대부분이 이 방식에 따라 제품의 생산 및 시공을 하고 있다. 열교환기 효율의 지속적인 유지와 보조열원(전기히터)을 사용하여야 하는 특징이 있다. 특히, 공동주택의 일정부분에 환기시스템의 본체를 설치하고, 본체로부터 각 실로 덕트를 이용하여 급기 또는 배기를 하는 형태임을

20) http://www.metooeng.co.kr/business_2_4.htm

(그림 3.3)을 통하여 알 수 있다. 또한, 거실의 경우 급배기가 동시에 이루어지고 침실의 경우 급기만 이루어지는 형태이다. 그러나 거실에서 급배기가 동시에 이루어는 경우 급배기구 간의 이격거리가 길기 때문에 효과적인 환기가 이루어지지 않음을 기존 연구²¹⁾를 통하여 알 수 있고, 침실에서 급기만이 이루어지는 경우 출입문의 틈새를 이용하여 배기가 이루어짐에 따라 급배기기류가 원활히 유동하지 못해 실의 압력분포가 일정해지지 않을 우려가 있으며, 세대 내에서의 소음전파경로가 되어 실간 차음의 측면에서도 문제점이 발생할 우려가 있다. 따라서 이와 같은 문제점을 개선하기 위해서는 적절한 급배기구의 위치선정과 침실에서도 급기구와 배기구를 함께 설계하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.



(그림 3.3) 천장형 환기시스템의 기본계통

다음 <표 3.1>²²⁾은 환기시스템별 일반적인 특징을 나타낸 표이다.

21) 김기훈, 공동주택의 환기효율 향상을 위한 환기계획에 관한 연구, 중앙대학교 대학원 박사학위논문, 2003.12

<표 3.1> 국내 환기시스템의 특징 및 장단점

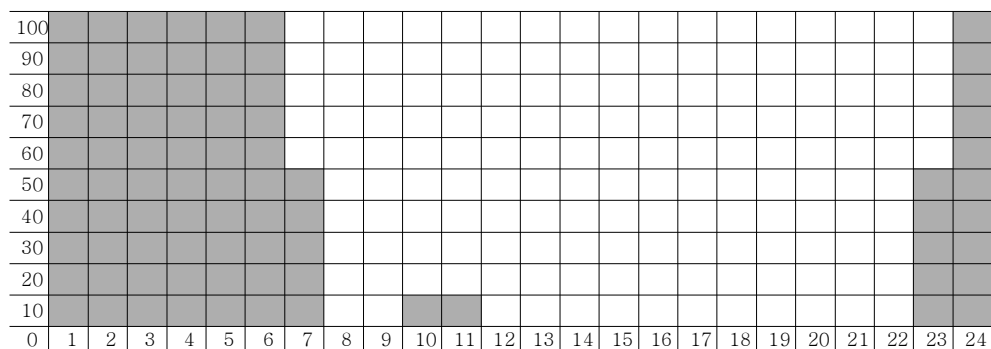
구분		바닥온돌매입형	천장덕트형
설치방식	환기유닛	벽체부착형	천장부착형
	덕트	급기 : 구조체내부매립 배기 : 천장매립	천장내부매립
	디퓨저	급기 : 벽체부착형 배기 : 천장부착형	천장부착형
열교환방식		온돌매입에 의한 열교환	현열교환기에 의한 열교환
급배기풍량		250 CMH	200~300 CMH
천장필요공간		100 mm	200 ~ 250 mm
풍량조절방법		디퓨저크기에 의한 풍량조절	각 디퓨저에 정풍량계 설치-일정풍량공급
필터		광촉매+카본+헤파+프리필터	프리필터
소음		30~35 dB	35~38 dB
장 · 단점		- 바닥난방 에너지를 이용하여 별도의 에너지 불필요 - 다단계 필터를 통한 신선공기 공급 - 자가 청소기능을 통한 덕트 내부의 청결성 유지 - 주거용에 적합한 저 소음 실현 - 충고제약이 없이 적용가능 - 필터 정압손실에 따른 대형 평수(80평 이상)적용시 풍량 저하	- 각 그릴에 정풍량계 설치에 의한 실별 일정풍량 급기가 이루어져 공기흐름이 원활함 - 내장된 현열교환기에 의해 실내의 냉난방된 공기와 열교환하여 외부공기의 보정이 이루어짐 - 급배기구의 위치 선정이 자유로움 - 천장내부덕트 설치에 의해 천장공간을 확보해야 함

이상 살펴본 내용으로부터 최근 국내에서도 고급 공동주택에서도 고급 공동주택을 중심으로 온돌매입형과 천장형 환기시스템을 채택하고 있음을 알 수 있었으며, 현행 공동주택 환기시스템의 기본계통과 특징 그리고 문제점을 파악할 수 있었다.

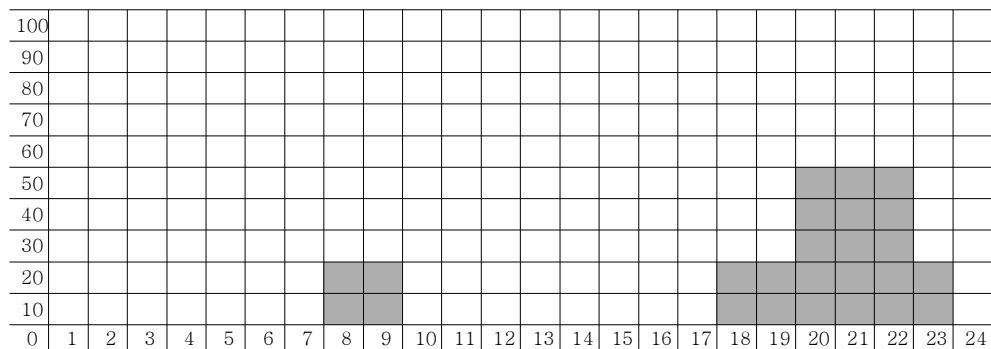
22) 김지현, 신축 주거전물에서 환기시스템 적용에 따른 실내공기질 개선방안에 관한 연구, 중앙대학교 건설대학원, 2004. 12. p46

3.1.2 공동주택의 재실패턴

공동주택의 경우 재실스케줄은 건물의 에너지소비량과도 밀접한 관련을 가짐에 따라 기존의 에너지소비량 관련연구를 통해 일반화되고 있다. 본 연구에서는 공동주택의 재실스케줄을 설정하는데 있어서 설문자료를 통한 기존연구사례²³⁾를 적용하였으며, 공동주택 환기시스템의 제어기법으로 실별 사용패턴을 고려한 재실스케줄 제어기법을 제안하였다. 공동주택의 실별 재실스케줄은 (그림 3.4)와 같다. 거실과 주방의 재실스케줄은 거의 동시에 사용하는 패턴이 있는 반면, 거실과 침실의 재실스케줄은 별도로 형성됨을 확인할 수 있으며, 이로부터 실사용 패턴 및 재실시간을 고려한 제어기법이 마련될 경우 현실적인 적용이 가능함을 알 수 있다.

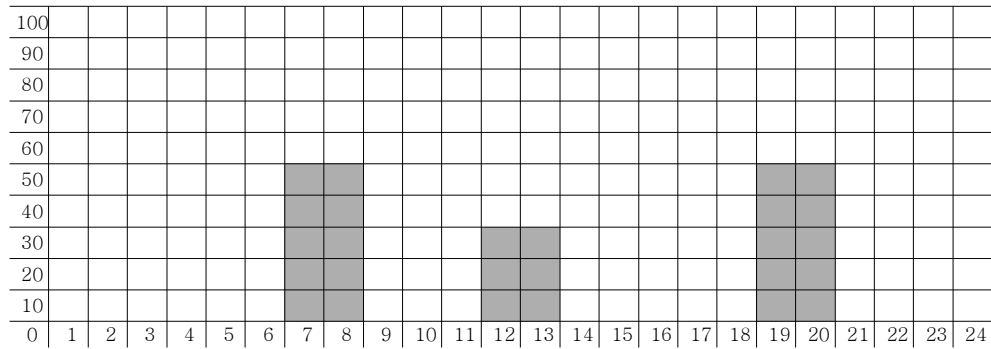


(a) 침 실



(b) 거 실

23) 홍천화 외, 공동주택의 환기최적화 방안에 관한 연구, 대림기술정보, 2003 봄호, 대림산업주식회사, pp.62~75



(c) 주 방

(그림 3.4) 공동주택의 실별 재실스케줄

3.2 국외 공동주택의 환기시스템 현황

주요 선진국의 경우 자연환기와 기계환기시스템을 적절히 조화시켜 실내공기환경을 효과적으로 유지하고 에너지소비량을 최소화할 수 있는 주거용 건물의 복합환기시스템 개발이 최근의 연구주제로 심화되고 있다. 특히 주요 선진국 중 최근 5년간 실내공기환경 문제에 대한 연구가 가장 활발히 진행되고 있는 일본의 경우, 국가의 환경기준을 만족하면서 실내에서의 최소환기량을 확보하기 위하여 주거용 건물에 대한 기계환기설비의 설치, 중앙집중방식을 이용한 기계환기설비의 상시운전, 계획적인 급배기, 환기설비에의 열회수장치 설치 등 효과적인 24시간 환기설비의 설치와 적용을 위한 다양한 연구를 진행하고 있다. 그리고 환기 및 실내공기질 등에 관해 지속적인 연구를 수행하고 있는 IEA(International Energy Agency)산하의 ECBCS(Energy Conservation in Building & Community Systems Programme)에서 추진하고 있는 연구 과제를 살펴보면, 최근 연구동향이 다음과 같은 내용에 초점이 맞추어져 있음을 알 수 있다.

- 자연 및 기계환기 시스템을 적절히 조화시켜 실내공기환경의 효과적인 유지와 에너지소비량을 최소화할 수 있는 하이브리드 환기시스템(hybrid ventilation system)의 개발
- 건물의 전통적인 환기개념에 renewable 및 hybrid technology를 결합
- 주거용 건물 환기에 필요한 하이브리드 환기시스템(hybrid ventilation system)의 평가 및 제어전략 개발

이와 같은 하이브리드 환기방식은 일반적으로 환기와 냉난방이 동시에 요구되

는 건물에 대한 에너지 절약적인 접근방법의 하나이며, <표 3.2>와 같이 주로 사무소용 건물에 활용되어 오던, 비교적 오랜 기간에 걸쳐서 도출된 환기시스템 개념으로 최근 주거용 건물에 적용하기 위한 연구들이 유럽 및 일본을 중심으로 새롭게 개발, 적용되고 있다.

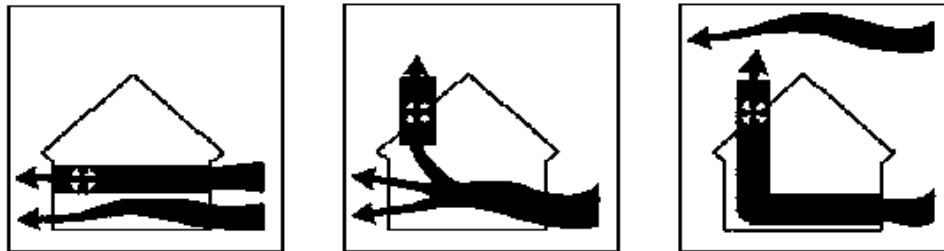
<표 3.2> 주거용 건물에 적용된 하이브리드 환기방식

연구기관	연구 제목	주요내용
IEA ECBCS Annex 35 (HYBVENT)	Control Strategies for Hybrid Ventilation in New and Retrofitted office Buildings	• IEA에 의해 구성된 국제연구프로젝트로 덴마크, 프랑스, 미국, 노르웨이, 네덜란드, 핀란드, 독일, 영국, 일본 등 15개국 30여개 기관의 공동참여 • 자연 및 기계환기 시스템을 적절히 조화시켜 실내공기환기의 효과적인 유지와 에너지소비량을 최소화하는 Hybrid Ventilation system을 개발 • Hybrid Ventilation system의 제어 전략, 성능분석, pilot study에 대한 subtask 실시 • 연구기간 1998~2002년
EC RESHYVENT	Cluster Project on Demand Controlled Hybrid Ventilation in Residential Buildings	• 2002년 1월 The Fifth Framework Programme of the European Commission의 공동연구 프로젝트로 유럽 23개국이 참여 • 유럽을 크게 4개 기후지역으로 구분하고 이에 적합한 4개 Hybrid Ventilation system을 개발하고 보급하는 것이 연구 목표 • 주거용 건물의 환기개념에 renewable 및 Hybrid Ventilation system의 평가 및 제어전략 개발

이는 재실자에게 쾌적한 실내공기환경을 제공해주는 것뿐만 아니라, 에너지절약적인 측면에서도 적극적으로 검토되고 있는 환기방식이라고 할 수 있다. 이러한 하이브리드 환기방식은 운용적인 측면에서 자연환기와 기계환기 방식이 독립적으로 운용되느냐 또는 동시 운용되느냐에 따라 구분되기도 하고, 적용원리와 방법에 따라 크게 3가지로 대별할 수 있다.

- 자연환기+기계환기방식 : 이 방식은 자연 및 기계환기시스템의 적절한 전환에 초점이 맞추어진 것으로 중간기에는 자연환기 시스템을 적용하고, 하계와 동계에는 기계환기시스템을 적용할 수 있도록 계획된 환기방식이다. 또한, 재실자의 수가 증가하였을 때에는 기계환기시스템을, 하계의 야간 냉방을 위해서는 자연환기방식을 선택적으로 사용할 수 있도록 되어 있다.

- 자연환기+ 보조팬 환기방식 : 배기 및 급기를 위한 보조팬을 자연환기와 결합한 것으로 저압의 보조팬을 이용하여 자연환기의 구동력이 약하거나 환기량을 늘려야 할 기간에 환기량을 적절히 증대할 수 있으며, 최근 가장 많이 개발, 적용되고 있는 방식이다.
- 연돌효과 + 기계환기방식 : 자연환기를 최대한 활용하는 기계환기시스템으로 자연환기가 필요한 환기량의 일부를 담당할 수 있도록 조절이 가능한 방식이다.



a) 자연환기 + 기계환기

b) 자연환기 + 보조팬

c) 연돌효과 + 기계환기

(그림 3.5) 하이브리드 환기시스템 개념

3.2.1 일본 가시마 건설의 24시간 환기 시스템

고기밀화·고층화가 진행되고 있는 국내 공동주택의 경우, 실내에서 발생한 유해물질의 외부 배출이 어려워 실내에 잔존하기 쉬어짐에 따라 실내 적용되는 건축자재의 선정은 물론 계획적인 환기를 실시하는 것이 중요하다. 이러한 공동주택의 고기밀화·고층화는 일본에도 진행되었으며 그에 따라 건물 내의 환기를 위해 가시마 건설은 실내 유해물질의 지속적인 농도저감을 목적으로 하는 24시간 환기시스템을 도입하였다.

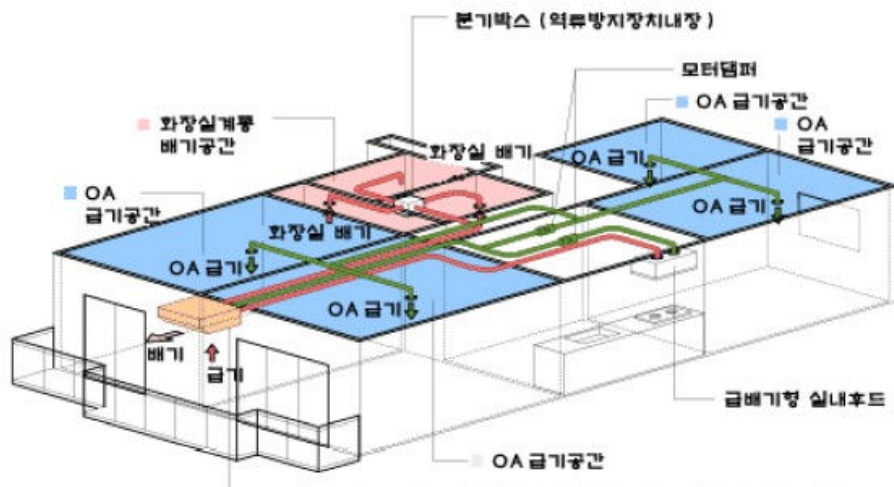
24시간 환기시스템은 소량의 환기를 장시간 실시하는 것이 기본 개념이며, 다양한 적용방법이 있다. 적용방법에 따라 분류하면 유틸리티 팬에 의한 강제배기 타입, 거실 급기팬 설치 타입, 실내덕트 중간에 급기팬 설치 타입, 뉴플랫코어에 의한 강제 급배기타입 등으로 구분된다. 각 유형에 따른 기능적 성능은 <표 3.3>에 정리되어 있다.

공동주택에 주로 사용되는 유형인 뉴플랫코어에 의한 강제 급배기타입은 공동주택 전체의 상시 소풍량 환기 시(강제급기.강제배기)에 적용되는 시스템으로 주

방풍 배기팬, 급기팬, 위생배기팬을 내장한 환기유닛을 발코니 청정에 설치하고 주방 레인지 후드와 거실의 급기경로 전환을 위해 모터댐퍼를 이용하여 배기는 위생 배기팬에 의해 이루어지며 거실 전체의 상시 소풍량 환기하는 것이다. 뉴플랫코어에 의한 강제 급배기타입 개념은 (그림 3.6)과 같다.

<표 3.3> 24시간 환기시스템의 기능적 성능

24시간 환기시스템의 종류	VOC 제거 효과	에어 밸런스	기계 소음	외부 소음 침입	황사 분진 대응	시공성
유틸리티 팬에 의한 단순 강제배기+자연급기 타입	△	△	○	△	△	◎
강제급기+유틸리티팬에 의한 강제배기 타입 (거실 외벽에 급기팬 설치 형태)	○	◎	△	△	○	◎
강제급기+유틸리티팬에 의한 강제배기 타입 (실내덕트 중간에 급기팬 설치형태)	○	◎	△	○	○	○
뉴플랫코어 시스템 발코니 외부에 급· 배기팬(열교환유닛)을 설치한 강제 급배기 타입	○	◎	◎	○	○	○



(그림 3.6) 뉴플랫코어에 의한 강제 급배기타입 개념

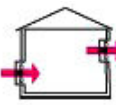
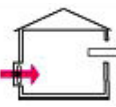
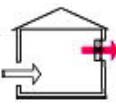
3.2.2 일본 미쓰비시사의 24시간 환기시스템

일본 미쓰비시사에서는 건축기준법 개정시행에 따라 주택전체를 생각한 계획적 환기가 필요함을 인식하고 자사의 환기시스템에 계획 환기기법을 도입하면서 주요한 3개요소로 다음과 같은 것을 채택하였다.

- 24시간 상시 환기 : 주택전체를 24시간 환기하는 것으로 오염물질이 체류함 없이 항상 깨끗한 상태를 유지한다.
- 소풍량 환기: 냉난방에 영향을 주지 않도록, 소풍량으로 환기한다.
- 환기경로의 명확화: 오염공기나 냄새 등이 긴 시간 체류하지 않도록, 주택 내 환기경로를 명확히 한다.

이를 바탕으로 세대 내에 소량의 공기흐름을 지속적으로 유지하도록 하는 계획환기 개념을 적용하였으며, 다음과 같은 주거용 건물의 24시간 환기시스템을 개발 보급하고 있다.

<표 3.4> 일본 미쓰비시사의 24시간 환기시스템

환기의 종류	환기 특징	상품 종류
제 1종 환기	 • 급배기 모두 기계환기로 강제적으로 행하는 방법 • 기계환기 중에 가장 확실한 급배기가 가능 • 공기흐름을 제어하기 쉽고, 단독주택, 공동주택 모두에 적합	• 로스나이 센트럴 환기시스템 • 벽배기 에어플로우 환기시스템
제 2종 환기	 • 급기는 기계환기로 행하고, 배기는 배기구로부터 자연적으로 행하는 환기방법 • 주택의 기밀도에 따라서 실내습도가 벽내에 침입할 위험	• 센트럴 급기시스템 (배기용 환기기종과의 조합으로 제1종 환기 방식으로 제안)
제 3종 환기	 • 배기는 기계환기로 강제적으로 행하고, 급기는 급기구 등으로부터 자연적으로 행하는 환기방식 • 배기가 기계환기이기 때문에 습기가 벽내에 침투하기 어려움 • 고기밀 주택에서는 저비용으로 계획환기가 가능	• 천정배기 에어플로우 환기시스템 • 배기덕트 센트럴시스템 • 24시간 환기기능 첨가 덕트용 환기팬

미쓰비시사에서는 지역(한랭지/준한랭지 이남), 주택(단독/공동), 주택의 기밀성 등의 3항목을 고려해 적절한 환기시스템을 채택하고자 하였으며, 기본적으로 다음과 같은 개념을 정립하였다.

먼저, 주택의 기밀성이 낮은 경우(상단극간면적 aA 가 $2\text{cm}^2/\text{m}^2$ 이상 : 바닥면적 1m^2 당 어느 정도의 틈새가 있는가를 말한다), 제2종 및 제3종 환기방식으로는 환기경로가 확보되기 어렵기 때문에, 제1종 환기방식을 채택하고, 주택의 상단극간면적이 불분명한 경우 $2\text{cm}^2/\text{m}^2$ 이상으로 가정하여, 제1종 환기방식을 채택한다.

둘째, 제2종 환기방식은 자연배기구가 외풍의 영향을 받기 쉽고, 배기경로가 확보되기 어렵기 때문에 추천 불가능하므로 배기용 환기기종과 조합하여 제1종 환기방식으로 전환하여 채택한다.

셋째, 한랭지에서는 겨울 콜드 드래프트(cold draft)를 막기 위해, 열교환방식(로스나이)을 채택한다.

이러한 개념을 바탕으로 환기시스템이 지역별로 어떤 시스템이 가장 적합한지를 <표 3.5>와 같이 표시하고 있다.

<표 3.5> 미쓰비시사의 지역별 추천환기시스템 체계

지역	주거	기밀	제1종(열교환)		제1종(비열교환)		제2종	제3종		제1종++
			급배기덕트 센트럴환기	개별 환기	개별분산 환기	배기덕트 센트럴환기		개별 환기	배기덕트 센트럴환기	
온난 준한랭지	단독	$aA < 2$	○	○	○	○	X	○	○	○
		$aA > 2$	○	○	○	○	X	X	X	○
	공동	$aA < 2$	○	○	○	○	X	○	○	○
한랭지	단독	$aA < 2$	○	○	△	△	X	△	△	○
		$aA > 2$	○	○	△	△	X	X	X	○
	공동	$aA < 2$	○	○	△	△	X	△	△	○

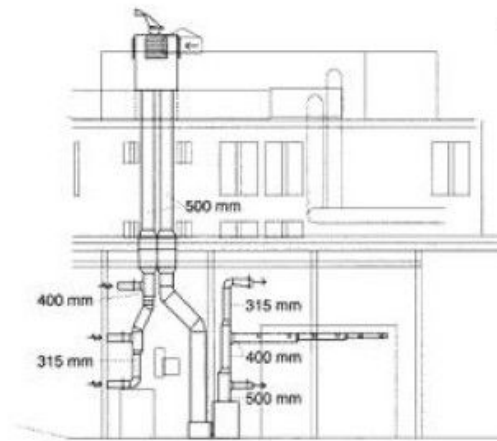
○ : 추천환기시스템, △ : 난방기 병설 및 급기유닛에 결로방지패널 병용, X : 추천 불가능

3.2.3 European NatVent 의 하이브리드 환기시스템

본 시스템은 European NatVent 프로젝트의 일환으로써 개발된 것으로 벨기에, 덴마크, 네덜란드, 노르웨이, 스웨덴, 스위스, 영국 등 7개국 9개 사업체의 컨소시엄에 의해 운영되고, 영국의 Building Research Establishment가 조정 역

할을 맡았다.

환기시스템은 기본적으로 자연환기(온도차에 의한 부력 및 풍력)를 이용하는 것이 주설계로 되어 있다. 각 기기의 압력저하를 작게 설계하였고, 고효율의 보조팬(송풍기), 정전기 공기필터, 열교환기를 갖추고 있다. 시스템의 설계도는 (그림 3.7)과 같다.



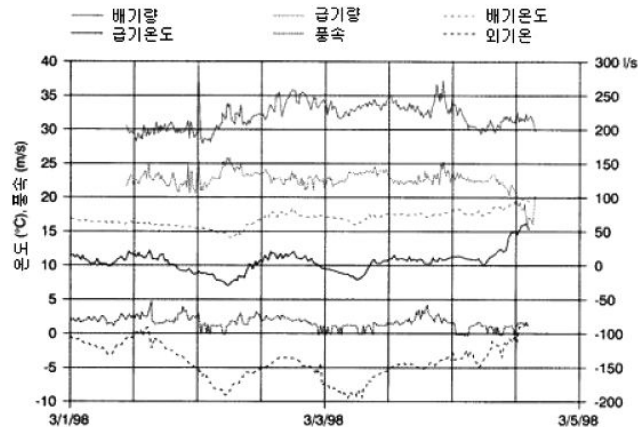
(그림 3.7) European NatVent 프로젝트의 열회수식 자연환기시스템

이 파일럿 시스템은 3~4층 건물의 집합 주택과 사무소 건물에 적합한 환기시스템(환기 용량 400 l/s, 설정거주 인구 약 40인)의 일부를 설치한 것으로 주요한 3부분으로 구성된다.

- 루프유닛 : 열 교환기, 필터, 보조 배기팬, 풍압증폭 배기 유닛, 풍압증폭 흡인 유닛
- 플로어 유닛 : 정전기 필터, 열교환기, 보조급기팬
- 덕트 시스템 : 3 계층의 배기구 부착 배기 덕트
- 3계층의 급기구 부착 급기덕트 : 급기시스템의 일부로써, 단열성의 수직덕트 본관이 루프유닛의 외기흡입구와 플로어 유닛을 연결

시스템 설계에 있어서, 각 기기의 치수와 공기유동설계는 압력손실을 최소한으로 억제하도록 고려되었고, 통과풍속은 압력손실에 따라 설정하게 되어있다. 수직덕트 본관내의 통과 풍속을 약 2m/s, 수평덕트 내 통과 풍속 1m/s에 설정하여 설계되었다.

(그림 3.8)은 보조팬 운전이 없는 경우의 환기시스템 내 온도와 환기량으로 측정시간 중 외기온 변화는 $-5\sim+3$ 도, 외부풍속은 $0\sim5$ m/s의 범위에서 변동했다. 평균배기량은 설계환기량의 약 43%(약 170 l/s), 도 평균급기량은 설계환기량의 약 33%(약 133 l/s)였다. 환기량, 외기온, 외부풍속 사이에는 분명한 상관관계가 있고, 풍속이 5 m/s 이상에 이르면 환기량은 크게 증가한다. 또 열회수에 따라 급기온도가 약 15°C 상승했다.



(그림 3.8) 보조팬 운전이 없는 경우의 환기시스템 내 온도와 환기량

한랭지에서는 쾌적한 온열 환경을 유지하며, 에너지절약을 실현하기 위해, 환기시스템에 대한 열회수가 필요하다. 그러므로 자연환기 시스템에 대해서도 열회수 기능을 갖추고 있는 것은 중요한 조건이라고 말할 수 있지만, 자연의 환기 구동력이 불충분한 경우에는, 열회수장치에 충분한 바람 양을 공급하기 위해, 보조팬의 사용이 불가결하게 된다. 외기흡입구에의 풍압 증폭 셔터, 및 배기구에의 풍향계 도입에 의해, 자연 환기 구동력이 크게 되고 팬의 에너지 소비절감에 이어졌다. 이것은 풍속과 온도차에 의해 변동하는 팬의 전력 소비를 계속 측정한 결과에 분명하게 나타났다.

이러한 과일렛 시스템과 유사한 시스템을 실용화한 경우 설치비용은 종래의 기계환기방식보다 높게 되는 것이 예상되어진다. 이것은, 새로운 시스템의 덕트와 컴퍼넌트의 크기가 기존의 것보다 크고, 그만큼 많은 공간을 필요로 하기 때문이다. 하지만, 유지비용에 관해서는 새로운 시스템 쪽이 팬의 전력소비가 상당히 절감되기 때문에 작게 될 것이다.

이상 살펴본 바와 같이 국외 선진국의 경우, 공동주택 세대 내에 건강한 실내 공기환경을 제공하기 위하여 기계환기시스템을 적극 도입하고 있으며, 효율적인 유지관리 및 제어에 관한 연구가 현재까지도 지속적으로 이루어지고 있는 실정이다. 국내의 경우에도 공동주택의 실내공기환경에 관한 문제제기가 지속적으로 이루어지고 있으며, 이에 대한 대안마련이 시급하다는 현실을 감안할 때 추후 기계환기시스템의 도입이 일반화될 것이므로 기계환기시스템 도입 시 보다 효율적인 환기를 위한 설계지침과 관리방안에 관한 연구가 현 단계에서 반드시 필요함을 유추할 수 있다.

제 4 장 공동주택 환기시스템의 환기효과에 관한 실험실 측정

본 장에서는 실험실 측정을 통하여 현재 공동주택에 적용되고 있는 온돌매립형 환기시스템을 대상으로 환기시스템 적용에 따른 환기성능의 정도를 파악하고 추후 환기효율을 고려한 보다 효율적인 환기장치의 개발을 하기 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

4.1 측정 개요

본 측정은 성남시 분당에 위치한 34평 규모의 D사 연구용 실험실(이하 실험실-1)과 서울시 흑석동에 위치한 8평 규모의 C대학 청정공기환경실험실(이하 실험실-2)에서 실시하였다. 실험실-1은 온돌매립형 환기시스템이 설치된 일반 탑상형 공동주택 구조이며, 실험실-2는 온돌매립형 및 천장덕트형 환기시스템이 설치된 원룸형 오피스텔 구조이다.

4.1.1 실험실-1 개요

실험실-1은 $12.2\text{m} \times 8.8\text{m} \times 2.3\text{m}$ (111.6m^3) 크기의 국내의 일반적인 공동주택 형태이다. 안방 1개실과 2개실의 방으로 구성되어 있고, 거실과 주방의 구조로 되어 있다. 대상 실험실의 계통도 및 전경은 (그림 4.1)과 (그림 4.2)에 나타내었다. 실험실은 두 면이 외기와 접하고 있으며, 환기시스템은 모든실에서 급기와 배기를 동시에 활용하고 있으며, 급기는 바닥온돌에 매립된 덕트를 통하여 벽체에서 취출되고, 배기는 천장에서 흡입된다. 급기구와 배기구의 크기는 각각 $\phi 100\text{mm}$ 로 거실에 2개, 주방 측에 2개, 안방에 2개, 각실에 1개씩 구성되어 있고, 세대에 설치된 환기시스템의 전체 환기량은 급기 214CMH, 배기 171CMH로 설정되어 있다. 다음 <표 4.1>은 실험실-1의 환기시스템에 대한 개요이다.

<표 4.1> 실험실-1의 환기시스템 개요

분류	거실	안방	방-1	방-2	주방	욕실	기타	계
면적(㎡)	25.9	15.8	10.5	9.5	12.4	5.9	30.3	110.3
용적(㎡)	59.8	36.3	24.2	21.9	28.5	12.4	-	-
급기(㎡/h)	55	50	28	29	52	-	-	214㎡/h
배기(㎡/h)	43	48	28	29	42	*	-	171㎡/h

공사기간 : 2005.1월~2월

전체면적 : 111.6 ㎡ (33.6평)

기타-반침, 전실, 발코니등

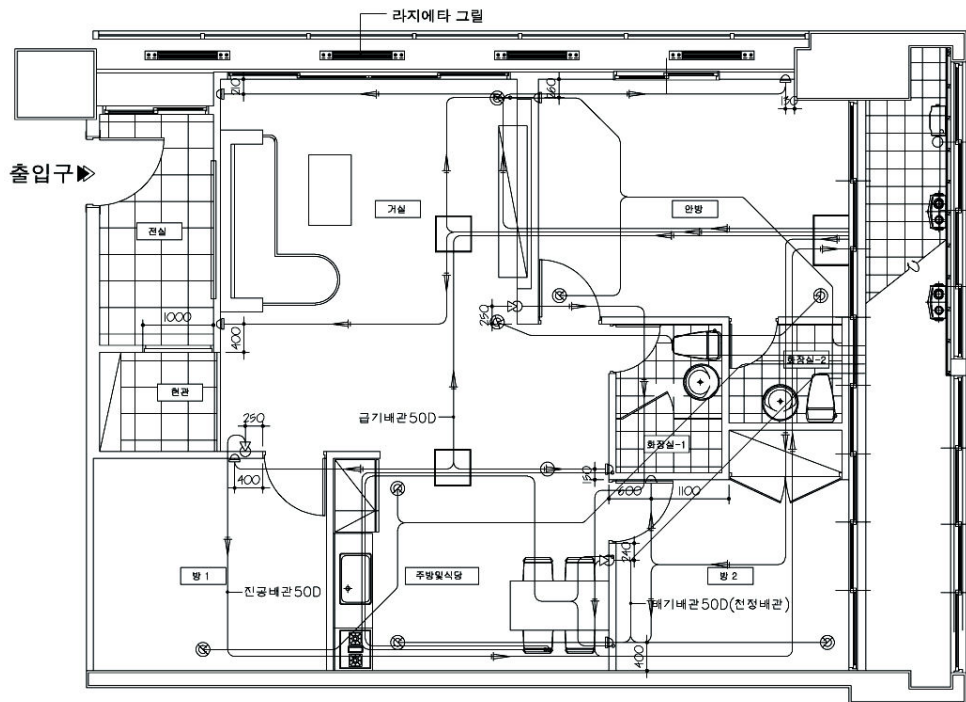
천장고 : 2.3m

바닥온돌 : 개별가스보일러(XL pipe)

환기방식 : 급기+배기시스템

급기디퓨저 위치 및 풍량 : 벽체 및 천장(방1), 총 214 ㎡/h

배기디퓨저 위치 및 풍량 : 천장(전체), 총 171 ㎡/h



(그림 4.1) 실험실-1 계통도



(그림 4.2) 실험실-1 전경

4.1.2 실험실-2 개요

실험실-2는 $6.4\text{m} \times 4.2\text{m} \times 2.3\text{m}$ (약 27m^2) 크기의 요철이 있는 장방형의 형태이다. 실험실에는 $2\text{m} \times 1.2\text{m}$ 크기의 출입문이 한 면에 설치되어 있으며, $4\text{m} \times 2.3\text{m}$ 크기의 창문이 다른 면에 설치되어 있다. 대상 실험실의 계통도 및 전경은 (그림 4.3)과 (그림 4.4)에 나타내었다. 실험실에는 온돌매립형 환기시스템과 천장덕트형 환기시스템이 설치되어 있으며, 가스레인지 상부에는 레인지 후드가 설치되어 있다. 본 장에서는 온돌매립형 환기시스템에 관한 내용만 설명하고 천장덕트형 환기시스템에 대한 내용은 다음 장에서 언급하기로 한다.

온돌매립형 환기시스템은 각각 4구씩의 급기구와 배기구로 구성되어 있고, 급·배기구의 크기는 $\phi 100\text{mm}$ 이며, 전체 환기량은 급기 65CMH, 배기 63CMH로 설정되어 있다. 급기는 바닥온돌에 매립된 덕트를 통하여 2구는 1m 높이에서

나머지 2구는 2m 높이에서 취출되며, 배기는 천장에서 흡입된다. 환기시스템의 풍량은 강·중·약으로 조절할 수 있으며, 급·배기구 디퓨저에서도 미세 풍량조절이 가능하다. 다음 <표 4.2>는 실험실-2의 환기시스템에 대한 개요이다.

<표 4.2> 실험실-2의 환기시스템 개요

분류	면적(㎡)	용적(㎡)	급기(㎡/h)	배기(㎡/h)	비고
원룸	27	62	65	63	7층 위치

공사기간 : 2005.2월~3월

전체면적 : 27 ㎡ (8.2평), 가로 4.2m, 세로 6.4m (전실, 발코니 제외)

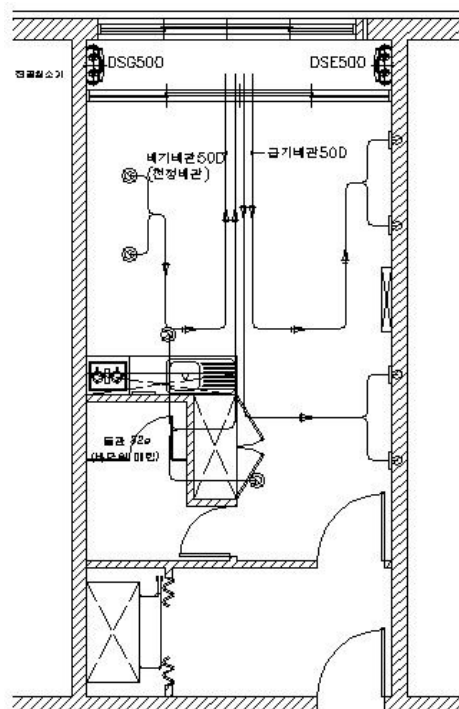
천장고 : 2.3m

바닥온돌 : 개별축열식 전기보일러(XL pipe)

환기방식 : 급기+배기시스템

급기디퓨저 위치 및 풍량 : 벽체, 총 65 ㎡/h

배기디퓨저 위치 및 풍량 : 천장, 총 63 ㎡/h



(그림 4.3) 실험실-2 계통도



(그림 4.4) 실험실-2 전경 및 실험대상 환기시스템

4.2 환기시스템의 공기환경 개선효과에 관한 측정

본 측정은 2인 재실 상태에서 환기유니트를 가동하였을 경우와 가동하지 않았을 경우의 2가지 상황에서 CO_2 의 농도를 측정하여 공기환경 개선효과에 의한 환기성능 정도를 확인하고자 하였다. 실험실-1은 거실 및 안방을, 실험실-2는 원룸을 대상으로 하였다.

4.2.1 실험방법

환기시스템의 환기성능을 측정하기 위한 오염원으로 인체에서 발생하는 CO_2 가스를 사용하였다. 환기시스템의 환기성능을 측정하기 위하여 인체가 입실하기 전에 외기조건과 실내온도조건을 정상상태로 만든 후 환기시스템의 가동여부를 변수로 실험을 수행하였다. 오염원 발생량은 성인 2인이 착석한 상태에서 CO_2 가스를 지속적으로 발생시켰다. 또한, 오염원 발생에 따른 실내농도분포를 측정하기 위하여 실 중앙부의 농도를 측정하였으며, 측정은 15분 간격으로 3시간 동안 이루어졌다. 실험에 사용한 측정기기 및 측정모습은 <표 4.3>, (그림 4.5)와 같다.

<표 4.3> 실험측정기기

기기명	EA	측정항목	비고
Gastek CMCD-10p	1	CO ₂	비분산 적외선 측정법
TSI, Rotating Vane Anemometer-8321	1	CO ₂	바람개비형 풍속계

	
실험실-1의 주방 급기구 모습	실험실-1에서의 측정모습
	
실험실-2의 배기구 모습	실험실-2의 거실중앙부 측정모습

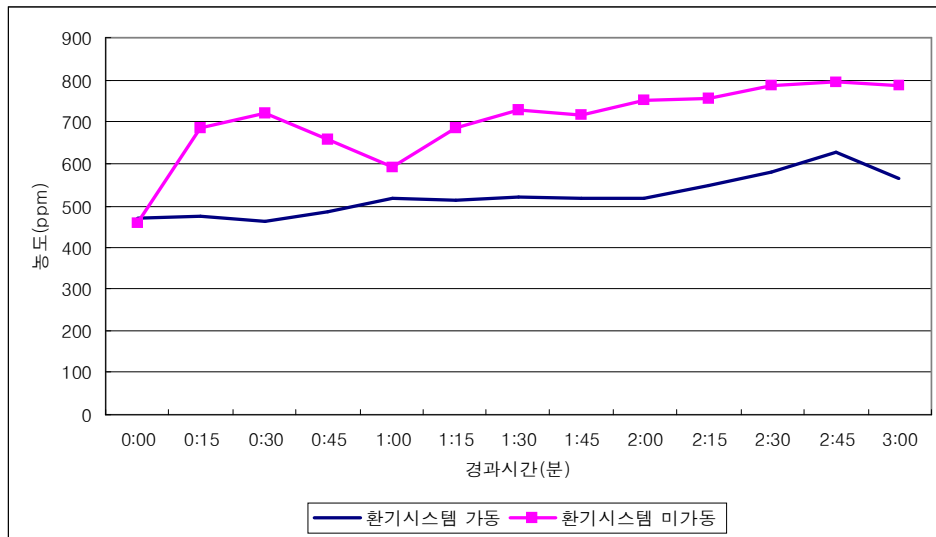
(그림 4.5) 실험실 측정 모습

4.2.2 측정 결과

(1) 실험실-1 거실의 환기성능

(그림 4.6)은 실험실-1의 거실을 대상으로 환기시스템을 가동 시와 가동하지 않았을 경우의 CO₂농도 측정결과를 나타낸 것이다. 재실자 2인은 착석한 상태이나 2인의 외부 인원의 출입이 간헐적으로 이루어졌으며 인접방문이 열린 상태에서 일반 가정과 가능한 동일한 조건에서 측정하고자 하였다. 환기시스템을 3시간 동안 가동한 결과 거실 중앙부에서의 CO₂농도는 471ppm에서 626ppm으로 약

155ppm 증가하였다. 가동하지 않았을 경우의 CO₂농도는 460ppm에서 795ppm으로 약 335ppm 증가하여, 환기시스템을 가동하였을 경우보다 약 180ppm증가하였다. 평균 CO₂의 농도는 각각 524ppm, 702ppm이며 그 차이는 178ppm으로 나타났으나 이는 실의 체적에 비하여 오염원의 발생량이 적고, 출입인원이 있어 농도저감효과가 기대이상으로 크지 않다고 판단된다. 거실과 인접한 가스레인지 사용유무 및 인원추가에 의한 측정이 추가되어야할 것으로 판단된다.

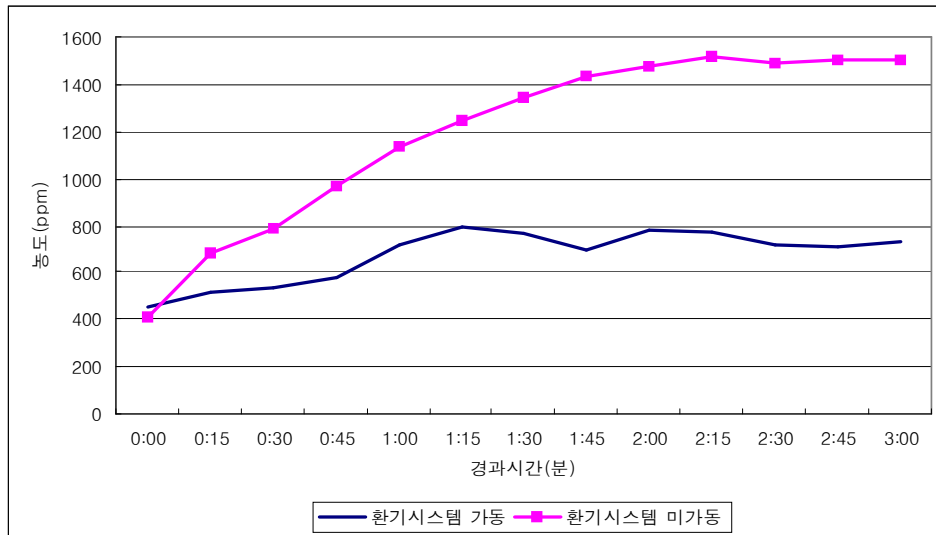


(그림 4.6) 거실의 CO₂ 측정 농도 (환기시스템 - 가동 & 미가동)

(2) 실험실-1 안방의 환기성능

(그림 4.7)은 실험실-1의 안방을 대상으로 환기시스템의 환기성능을 측정한 결과로써 측정시간은 주간이나 재실자의 출입이 거의 없는 2인 거주상태이므로 취침시로 가정하여도 무방할 것이다. 환기시스템을 3시간 동안 가동한 결과 거실 중앙부에서의 CO₂농도는 453ppm에서 750ppm으로 약 297ppm 증가하였다. 가동하지 않았을 경우의 CO₂농도는 409ppm에서 1499ppm으로 약 1089ppm 증가하여, 환기시스템을 가동하였을 경우보다 약 792ppm증가하였다. 측정결과 가동시와 가동하지 않았을 경우의 3시간 동안의 평균 CO₂의 농도는 각각 675ppm, 1193ppm이며 그 차이는 517ppm으로 나타나 환기성능 면에서 우수한 것으로 나타났다. 농도저감 효과가 높은 원인을 살펴보면 급·배기구가 2구씩 설치되어 있고, 급·배기구간의 거리도 거실에 비해 짧기 때문인 것으로 판단된다.(안방

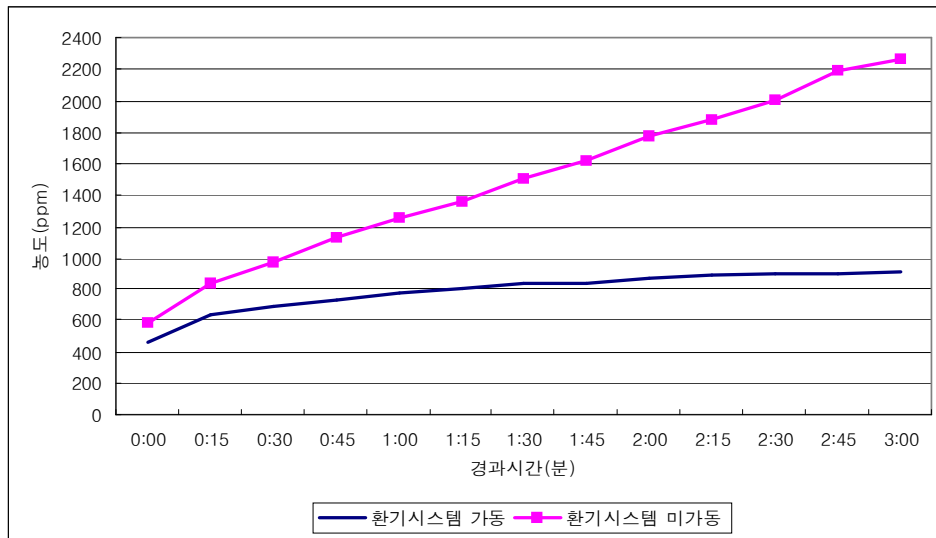
2.6m, 거실 4m) 따라서 환기 측면에서는 채실자가 주로 생활하는 위치에 급·배기구를 모듈화하여 설치하는 것이 유리하며, 이격거리에 대한 고려가 반드시 필요할 것으로 판단된다.



(그림 4.7) 안방의 CO₂ 측정 농도 (환기시스템 - 가동 & 미가동)

(3) 실험실-2 원룸주택의 환기성능

(그림 4.8)은 실험실-2를 대상으로 환기시스템의 환기성능을 측정한 결과로써 측정시간은 주간이나 채실자의 출입이 거의 없는 2인 거주상태이므로 취침시로 가정하여도 무방할 것이다. 환기시스템을 3시간 동안 가동한 결과 거실 중앙부에서의 CO₂농도는 456ppm에서 901ppm으로 약 434ppm 증가하였다. 가동하지 않았을 경우의 CO₂농도는 584ppm에서 2085ppm으로 약 1501ppm 증가하여, 환기시스템을 가동하였을 경우보다 약 1067ppm증가하였다. 측정결과 가동시와 가동하지 않았을 경우의 3시간 동안의 평균 CO₂의 농도는 각각 779ppm, 1491ppm이며 그 차이는 711ppm으로 나타나 환기성능 면에서 우수한 것으로 나타났다. 농도저감 효과가 높은 원인을 살펴보면 급·배기구가 4구씩 설치되어 있고, 급·배기구간의 거리도 4m로 비교적 짧기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 환기 측면에서는 채실자가 주로 생활하는 위치에 급·배기구를 모듈화하여 설치하는 것이 유리하며, 이격거리에 대한 고려가 반드시 필요할 것으로 판단된다.



(그림 4.8) 실험실-2의 CO₂ 측정농도 (환기시스템 - 가동 & 미가동)

4.3 소 결

성남시 D사의 실험실과 서울시 C대학의 실험실에는 바닥온돌매립형 환기시스템이 도입되었으며, 거실, 안방, 주방 등에서는 급·배기가 함께 이루어진다. 급기는 벽체에서 취출되며, 배기는 천장에서 흡입된다.

두 실험실을 대상으로 환기시스템의 환기성능을 실험해 본 결과, 실험실-1의 거실의 평균 CO₂농도는 환기시스템을 가동하지 않았을 경우는 702ppm이며 가동시는 524ppm으로 178ppm이 감소하였다. 실험실-1에서 안방의 CO₂농도는 환기시스템을 가동하지 않았을 경우는 1193ppm이며 가동시는 675ppm으로 517ppm이 감소하였다. 실험실-2의 CO₂농도는 환기시스템을 가동하지 않았을 경우는 779m이며 가동시는 1491ppm으로 771ppm이 감소하였다. 시스템 가동 유무에 따른 농도차가 상호 다르게 나타나는 이유로는 실체적의 차이 및 실의 밀폐 여부와 환기량에 의한 것으로 판단된다.

실험실-1의 경우 창문이 면한 거실(45 m³/h, 2인), 안방(41 m³/h, 2인)의 환기성능을 측정한 결과 환기시스템 가동시 1,000 ppm 이하의 CO₂를 유지할 수 있어 풍량이 적정한 것으로 판단되나 장시간 밀폐시를 감안하여 다소 증가할 필요가 있다. 실험실-2(65 m³/h, 2인)의 환기성능을 측정한 결과 환기시스템 가동시 1,000 ppm 이하를 유지하는 것으로 나타났으며 이 역시 3인 거주 및 장시간 밀폐시를 감안하여 풍량을 다소 증가할 필요가 있다.

안방과 실험실-2의 경우 실험실-1의 거실과의 경우와는 달리 상대적으로 작은 체적에서 급배기구의 거리가 짧고 여러 개의 급·배기구 모듈이 형성됨에 따라 급배기 기류가 실내를 전반적으로 원활히 유동하고 있어 실험실-1 거실에 비해 우수한 환기성능을 나타내었다. 따라서 환기시스템 설치시에는 실내 오염물질의 발생강도, 발생위치, 이동경로와 급배기구와의 거리등을 고려하여 적절한 급배기구의 위치에 대한 고려가 반드시 필요하며, 이러한 과정을 거쳐 최적의 환기시스템 설계가 이루어져야 함을 알 수 있었다.

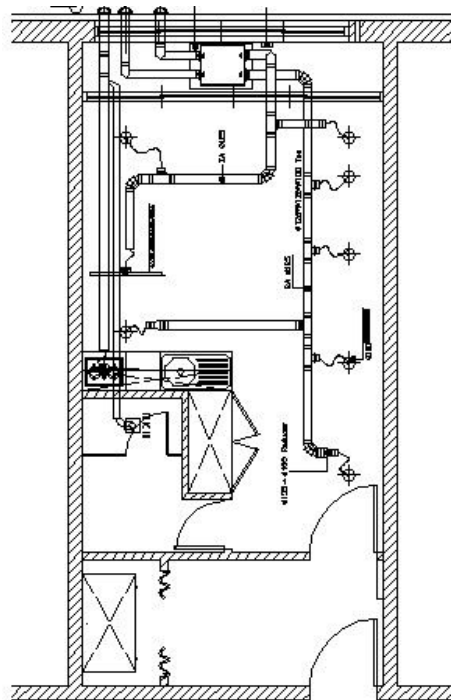
제 5 장 공동주택 환기시스템의 환기효율 향상을 위한 실험

본 장에서는 실험실 실험을 통하여 현재 공동주택에 적용되고 있는 천장덕트형 환기시스템을 대상으로 환기시스템 급·배기구 위치에 따른 환기효율을 분석하였다.

5.1 실험 개요

본 실험은 서울시 C대학 청정공기환경실험실에서 실시하였으며, 실험실 개요는 앞장에 나타나 있다.

실험에 사용된 천장덕트형 환기시스템은 전열교환기와 연동되어 있으며, 환기시스템은 컨트롤러에 의한 풍량조절이 가능한 것을 설치하였으며, 급·배기구 디퓨저에서도 미세 풍량조절이 가능하다. 천장덕트형의 급·배기구는 여러 종류의 환기실험을 위하여 실험실 여러 부분에(급기 2구, 배기 5구) 분산되어 설치되어 있다. 천장덕트형 환기시스템의 계통도는 (그림 5.1)과 같다.



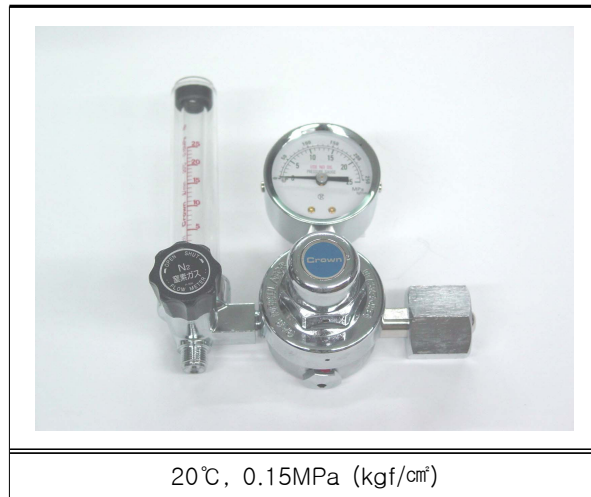
(그림 5.1) 환기시스템의 계통도

5.2 실험 방법

본 실험에서는 환기효율 향상을 위한 변수로 급배기구의 위치를 이용한 환기 모듈을 마련하였고, 이후 각 환기모듈에 대한 환기효율을 분석하였다. 환기효율은 각 환기시스템의 배기구에서의 CO₂농도를 측정하 뒤, 잔여체류시간의 개념에 근거하여 산정하였다.

본 실험에서는 인체 및 가스레인지에서 발생한 CO₂가스가 환기시스템을 통해 실외로 배기되는 과정에서 정상상태에 도달하는 시간과 정상상태에서의 농도를 통해 배기효율을 산정하였으며, 배기효율로써 환기효율을 평가하였다. 배기효율은 실내 오염원으로부터 발생한 오염물질이 외부로 배출되는데 소요되는 시간, 즉 잔여체류시간이 짧을수록 우수하다고 할 수 있다. 본 실험에서는 실내에서 오염물질이 발생하기 시작하여 배기구에서의 농도를 측정하는 체승법을 이용하여 국소평균잔여체류시간(LMR : Local Mean Residual life time)을 산정하였다. 체승법을 사용하는 경우 실내에서 오염물질을 분출시키고 배기구에서 측정하여야 함에 따라 실내의 오염원 위치를 설정한 후 배기구 말단에서의 추적가스농도를 측정하였다. 또한, 추적가스 분출에 따른 실내농도분포를 측정하기 위하여 실 중앙부의 농도를 1m 높이에서 동시에 측정하였다. 실내공간 내의 환기효율을 측정하기 위한 추적가스로는 인체 및 가스레인지에서 발생하는 CO₂가스를 사용하였다. 인체에서 발생하는 CO₂가스는 CO₂용기를 통하여 실험하였으며 CO₂용기에서의 CO₂가스 분출은 한 곳에서 1.0ℓ/min의 양으로 일정하게 분출하였고, 가스레 인지는 1구를 강으로 점화한 상태로 진행하였다. 실험에 적용된 CO₂ 농도 및 환기량은 기존 연구에서의 공동주택 4인 기준시(거실) 필요환기량²⁴⁾을 사용하였고 이는 안정시를 기준으로 1인당 0.0132m³/인h 으로 적용하여 CO₂ 발생 0.88ℓ/m과 환기량 88CMH로 사용해야 하지만 CO₂용기에서의 적용이 힘들기 때문에 CO₂ 발생 1ℓ/m과 환기량 100CMH로 설정하여 실험을 실시하였다. 측정시간은 정상상태 도달이후인 2시간으로 하였으며, 측정단위는 배기구와 중앙부 모두 1분으로 하였다. 실험에 사용된 측정기기는 <표 5.1>과 (그림 5.3)과 같다.

24) 김기훈, 공동주택의 환기효율 향상을 위한 환기계획에 관한 연구, 중앙대학교 대학원 박사학위논문, 2003.12



(그림 5.2) 가스 유량계

<표 5.1> 실험측정기기

기기명	EA	측정항목	비고
Gastek CMCD-10p	1	CO ₂	비분산 적외선 측정법
I.A.Q Monitor	1	CO ₂	비분산 적외선 측정법
TSI, Rotating Vane Anemometer-8321	1	CO ₂	바람개비형 풍속계

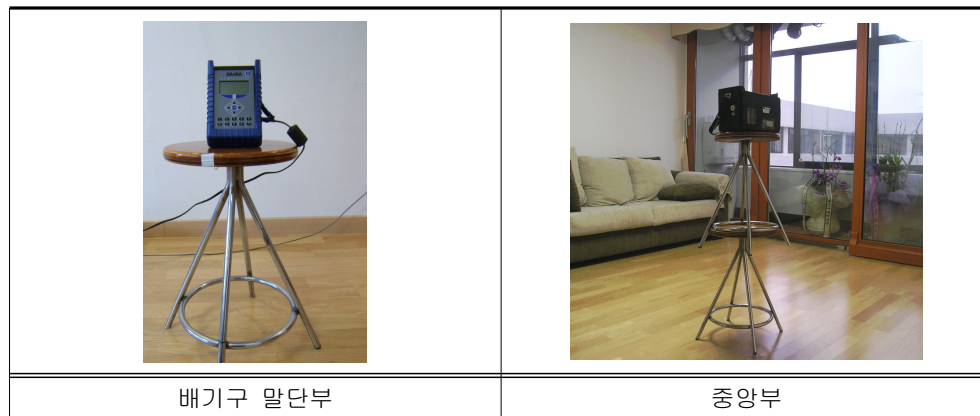
		
Gastek CMCD-10p	I.A.Q Monitor	TSI, Rotating Vane Anemometer-8321

(그림 5.3) 각종 측정기기

(그림 5.4)는 실험에 사용된 가스레인지 및 CO₂ 용기의 모습이며, (그림 5.5)는 실험실 중앙부 및 배기구 말단에 설치된 CO₂ 측정기기의 모습이다.



(그림 5.4) CO₂ 용기 및 가스레인지



(그림 5.5) 측정기기 설치모습

5.3 실험 결과

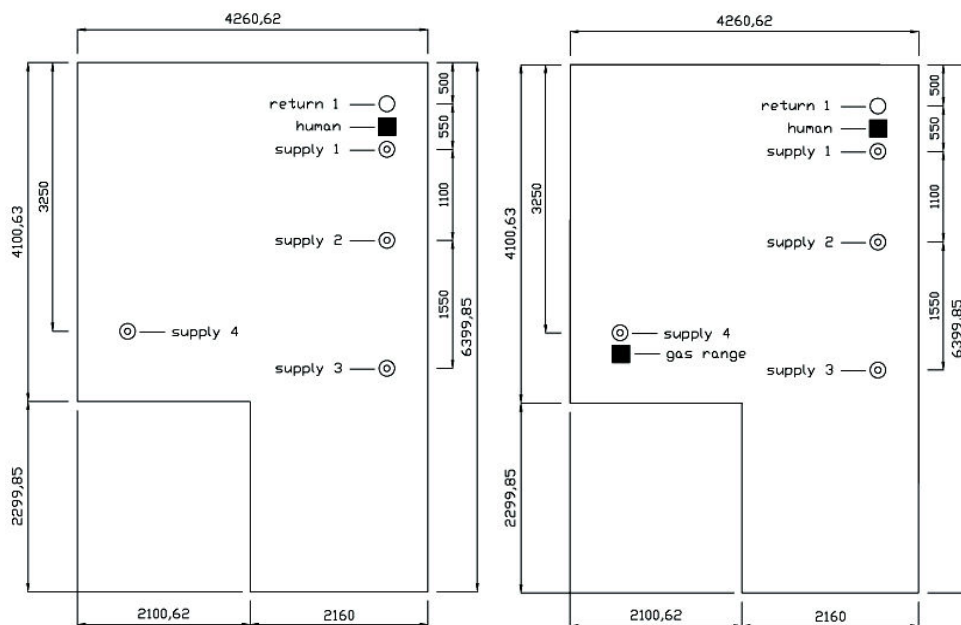
본 연구에서는 천장덕트형 환기시스템을 대상으로 공동주택의 용도 및 오염물질 발생유형 그리고 (그림 3.4)에서 제시된 사용스케줄에 따라 거실 및 거실+주방으로 구분하여 환기효율을 분석하여 실험을 실시하였다. 오염물질 발생원으로서 거실에서는 CO₂ 용기가 사용되었고, 거실+주방의 경우 CO₂ 용기와 가스레인지가 사용되었다. 환기효율 향상을 위한 변수로 급·배기구 위치를 변화시키면서 환기효율을 분석하였다. 환기효율은 오염물질 발생원에 의하여 크게 좌우되기 때

문에 오염물질과 급기구와의 거리 및 오염물질과 배기구와의 거리를 변화시켜가며 실험을 수행하였다.

5.3.1 오염물질과 급기구와의 거리에 따른 환기효율

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 5.6)과 같다.

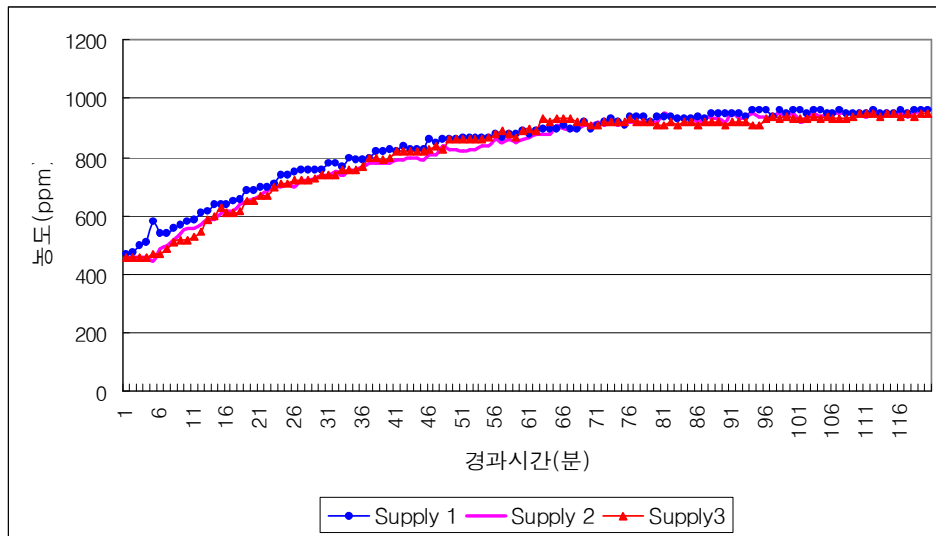


(그림 5.6) 오염물질 발생원과 급·배기구 위치변수

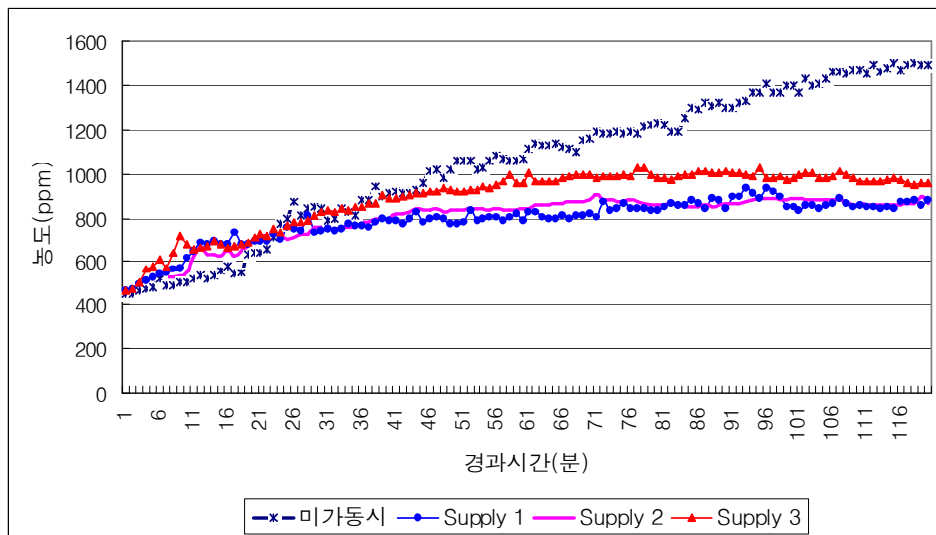
(1) 거실에서 오염물질이 발생하는 경우

본 실험은 실험실을 거실로 가정하여 인체에서만 오염물질이 발생하는 경우 발생원과 급기구와의 거리에 따른 환기효율을 분석하였다.

실험결과 환기시스템 미가동시 실험실 중앙부의 CO₂농도는 2시간 동안 450ppm에서 1490ppm으로 약 1040ppm 정도 증가하였고, 급기구의 위치별 배기구 및 중앙부에서의 CO₂농도변화는 (그림 5.7), (그림 5.8)과 같다.



(그림 5.7) 배기구에서의 CO₂농도변화

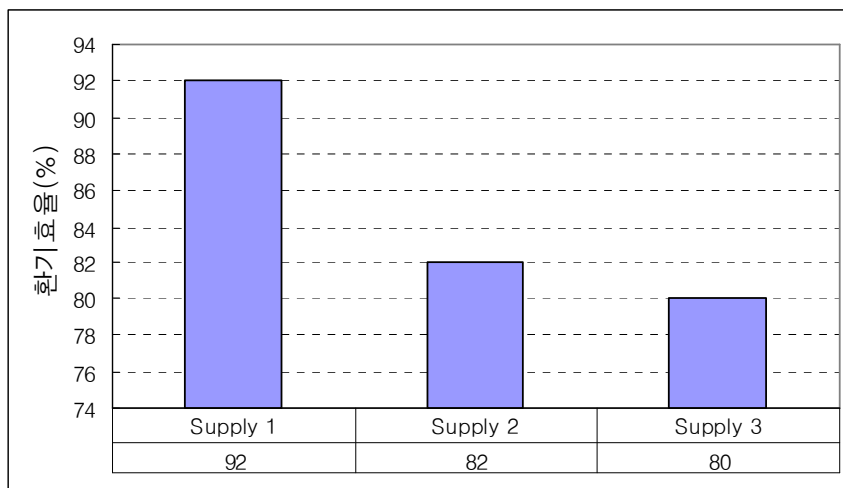


(그림 5.8) 중앙부에서의 CO₂농도변화

(그림 5.7)과 (그림 5.8)을 살펴보면 각 배기구에서의 CO₂농도는 약 5분 이후로 급격히 상승하는 모습을 보이고 있으며, CO₂농도곡선은 거의 비슷한 형태를 보이고 있다. 급기구가 배기구 쪽으로 이동함에 따라 거실 중앙부의 오염물질 농도가 낮아짐을 알 수 있다. Supply 3의 중앙부 농도는 Supply 1,2의 중앙부 농도

보다 농도 상승률 및 농도가 높고 국내 실내공기환경 기준치인 1000ppm에 가까워짐을 볼 수 있다. 즉, Supply 3의 조건에서는 인체에서 발생한 오염물질이 거실에 확산되어 정체되는 현상을 볼 수 있으나, 급기구가 배기구 쪽으로 가까이 이동한 Supply 1,2에서는 인체에서 발생한 오염물질이 거실로 확산되지 않고 배기되고 있음을 알 수 있다. 배기구에서의 농도를 보면 급기구가 오염물질에 가까이 다가갈수록 초기 배기구의 농도가 급격히 상승함을 확인할 수 있는데, 이는 인체에서 발생한 오염물질이 급기기류에 의해 유인되어 실내로 확산되지 못하고 오염물질이 직접 배기되기 때문으로 판단된다.

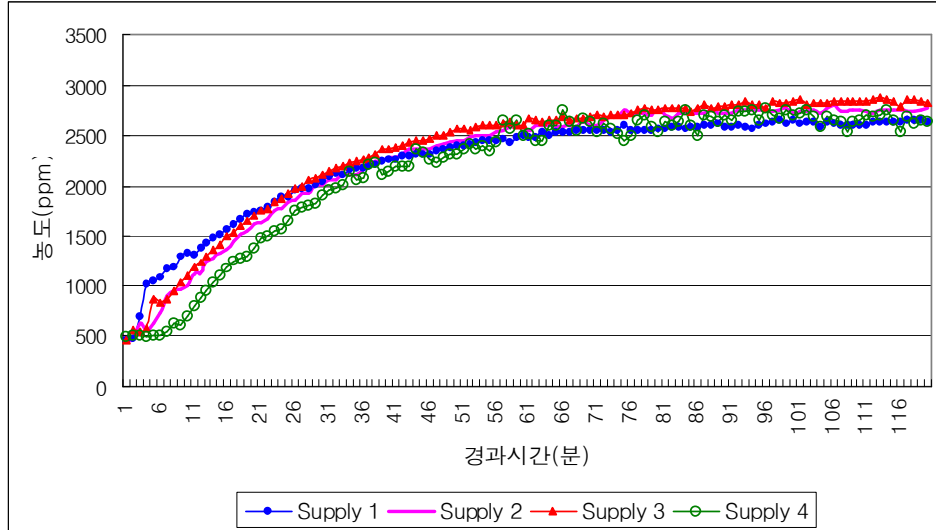
정상상태에 도달 이후의 배기구 농도를 토대로 환기효율을 산정한 결과를 (그림 5.9)에 나타내었으며, 이로부터 급기구와 오염물질 발생원이 가까운 Supply 1에서 보다 높은 효율을 보임을 확인할 수 있었다. 이로부터 오염물질과 급기구와의 거리는 가까운 것이 환기효율 향상에 유리하며, 실험결과로부터 급기구를 오염물질 발생원과 약 0.5m 범위 내에 둘 경우 환기효율을 90% 이상 상승시킬 수 있음을 알 수 있고, 실내공기환경 기준치를 고려함에 따라 배기구의 거리는 1.5m 내외가 적절한 것으로 판단된다. Supply 3에서 환기효율이 저하되는 원인은 오염물질과의 거리가 3m이상 떨어져 배기기류가 원활하지 못하기 때문으로 판단된다.



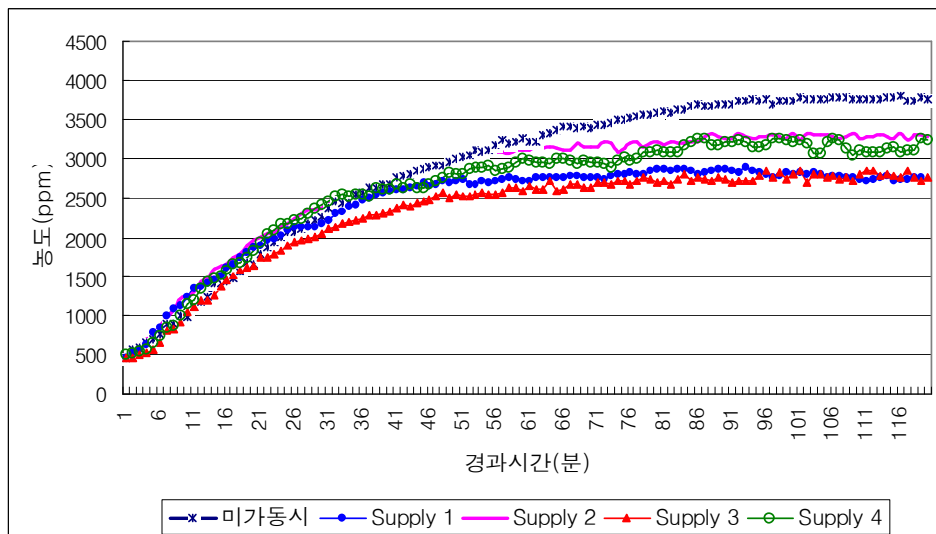
(그림 5.9) 오염원과 급기구와의 거리에 따른 환기효율

(2) 거실+주방에서 오염물질이 발생하는 경우

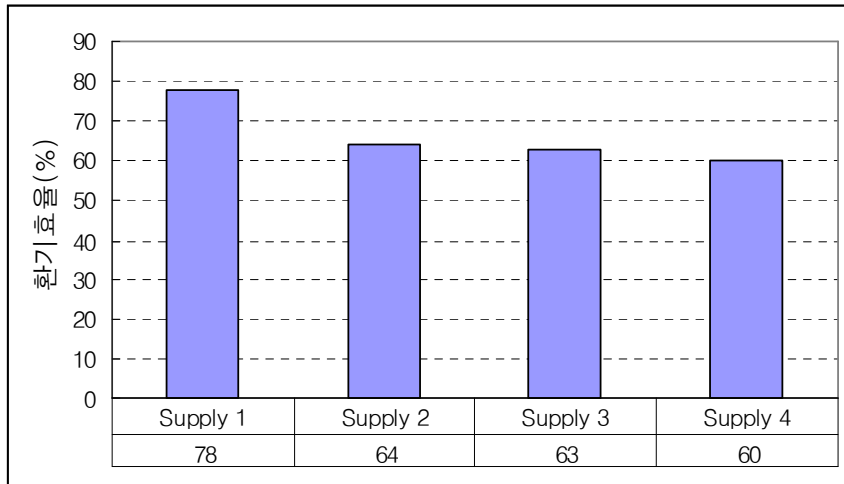
가스레인지와 인체에서 동시에 오염물질이 발생하는 경우의 배기구와 중앙부의 CO₂농도변화는 (그림 5.10), (그림 5.11)과 같다.



(그림 5.10) 배기구에서의 CO₂농도변화



(그림 5.11) 중앙부에서의 CO₂농도변화



(그림 5.12) 오염원과 급기구와의 거리에 따른 환기효율

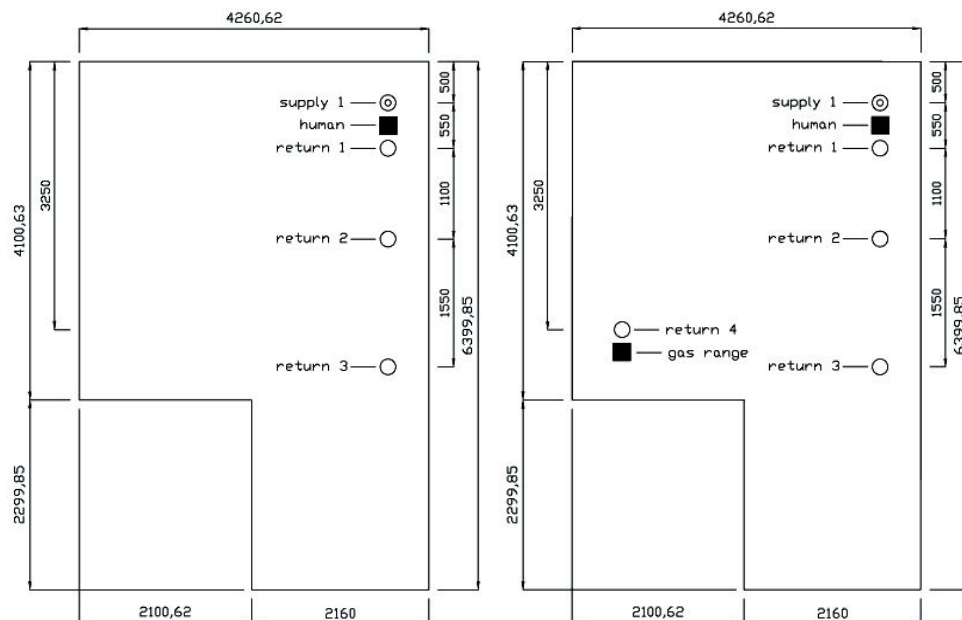
(그림 5.10)과 (그림 5.11)로부터 실내 다수의 부위에 동시에 오염물질이 발생되는 경우 농도분포는 오염원의 위치에 따라 변화함을 확인할 수 있다. 즉, 인체에서만 오염물질이 발생했을 경우는 인체와 급기구의 거리가 가까운 Supply 1에서 환기효율이 가장 높게 나타났지만, 가스레인지에서 발생하는 오염물질에 대응하지 못함에 따라 거실 중앙부의 오염농도는 급기구가 가스레인지에 근접한 Supply 3에 비해 오히려 높아지는 현상을 보인다. 반면, Supply 3의 경우에는 가스레인지에서 발생하는 오염물질을 희석시킬 수 있는 급기기류를 거실부위에 공급함에 따라 전반적인 농도는 Supply 1에 비해 낮아짐을 알 수 있다. 그러나 가스레인지의 거의 직상부에 위치한 Supply 4의 경우 거실 중앙부의 오염농도가 상승하는 현상을 보이는데 이는 가스레인지로부터 발생하는 오염물질이 배기되기 이전에 급기기류에 휩쓸려 확산된 때문으로 판단되며, 이로부터 오염물질 발생원의 직상부에 급기구를 설치하는 것은 피해야 함을 알 수 있었다.

한편, 환기효율을 산정한 결과는 (그림 5.12)과 같이 나타났다. (그림 5.12)로부터 급기구가 오염원과 인체와 가장 가까운 Supply 1에서 가장 높은 효율을 보임을 알 수 있다. 그러나 전반적인 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. 여기서, 레인지 후드의 사용여부가 문제되지만 레인지 후드의 경우 재실자의 생활습관 및 소음문제 등으로 인해 그 사용여부가

불명확한 것이 현실이므로 환기시스템을 통한 주방의 오염물질 제거를 최대화할 수 있는 방안이 필요하다. 이로부터 실내에서 다수의 오염물질이 발생하는 경우 급배기구의 위치만 고려할 뿐만 아니라 다수의 오염물질에 대응할 수 있는 다수의 급배기구를 설치하는 부위별 환기계획이 함께 고려되어야 함을 알 수 있었다.

5.3.2 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 5.13)과 같다.

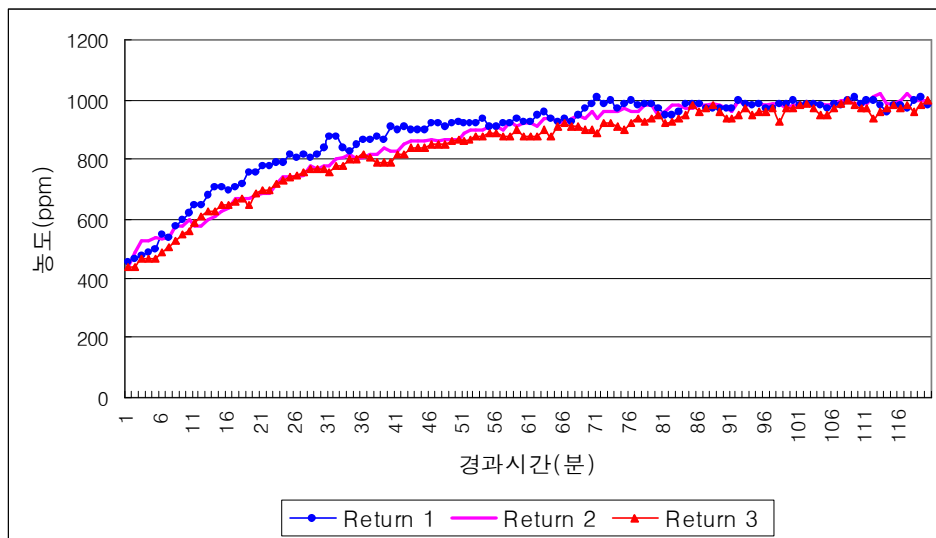


(그림 5.13) 오염물질 발생원과 급기구의 위치변수

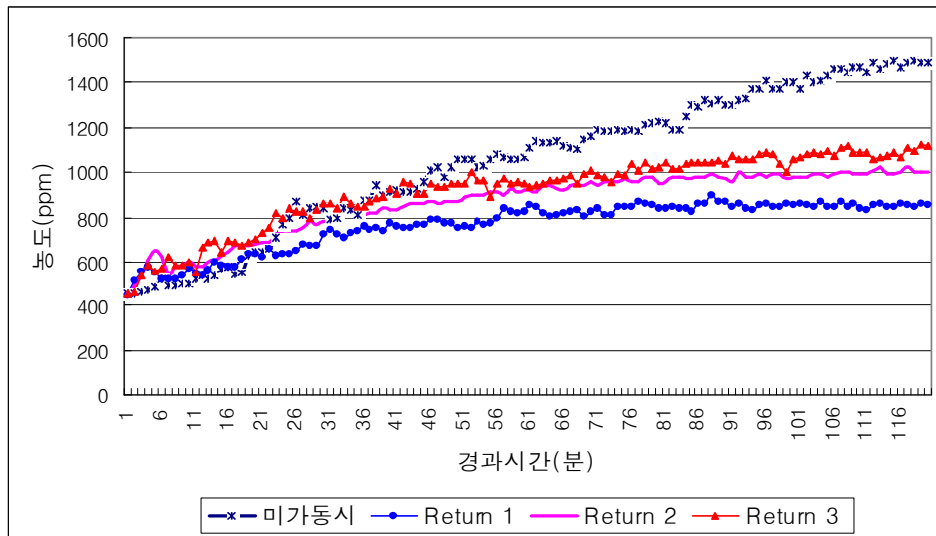
(1) 거실에서 오염물질이 발생하는 경우

인체에서 오염물질이 발생하는 경우 배기구 위치이동에 따른 배기구 및 거실 중앙부의 오염농도변화를 (그림 5.14)와 (그림 5.15)에 나타내었으며, (그림

5.14)와 (그림 5.15)으로부터 배기구가 인체로부터 멀어짐에 따라 거실 중앙부의 오염물질 농도는 점차 높아지는 패턴을 볼 수 있다. 그림들로부터 배기구는 오염물질 발생원에 가까이 설치되는 것이 실내오염물질 농도저감에 유리함을 알 수 있으며, 이를 급기구의 실험결과와 함께 고려해 볼 때 급기구와 배기구는 오염물질을 중심으로 일정간격 하에 하나의 모듈을 형성하여야 함을 확인할 수 있었다. 즉, 실내오염물질 제거를 위한 환기계획시에는 우선적으로 오염물질의 발생형태 및 위치를 파악하고, 오염물질을 중심으로 급기구와 배기구를 함께 설치하는 것이 환기효율을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.



(그림 5.14) 배기구에서의 CO₂농도변화



(그림 5.15) 중앙부에서의 CO₂농도변화

정상상태에 도달 이후의 배기구 농도를 토대로 환기효율을 산정한 결과를 (그림 5.16)에 나타내었으며, 이로부터 배기구와 오염물질 발생원에 가까운 Return 1에서 보다 높은 효율을 보이고, 실 중앙부의 농도도 저감되었음을 확인할 수 있었다. 실험결과로부터 배기구를 오염물질 발생원과 약 0.5m 범위 내에 둘 경우 환기효율을 100% 이상 상승시킬 수 있음을 알 수 있고, 실내공기환경 기준치를 고려함에 따라 오염물질 발생원과 배기구와의 거리는 1.5m 내외가 적절한 것으로 판단된다. Return 3에서 환기효율이 저하되는 원인은 오염물질과의 거리가 3m이상 떨어져 배기기류가 원활하지 못하기 때문으로 판단된다.

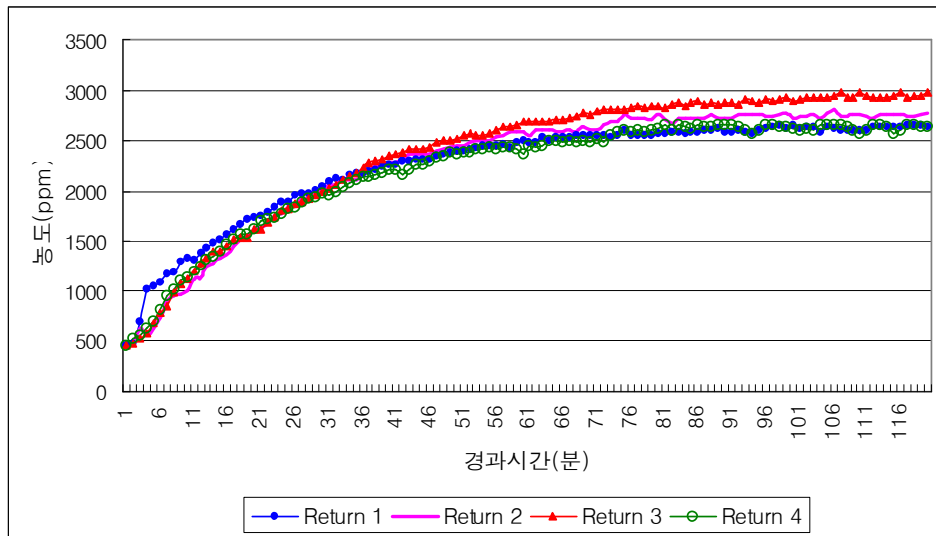
급기구와의 거리에 대한 결과와 함께 분석한 결과 오염물질을 중심으로 급배기구 설치시 일정거리이내에 설치하는 것이 환기효율 및 거실의 농도저감에 유리할 것으로 판단되며, 실의 단부에서 오염물질이 발생할 경우 급기구의 위치를 단부에 설치하고 배기구를 실내쪽으로 설치하는 것이 농도저감에 더 효과적이라고 판단된다.



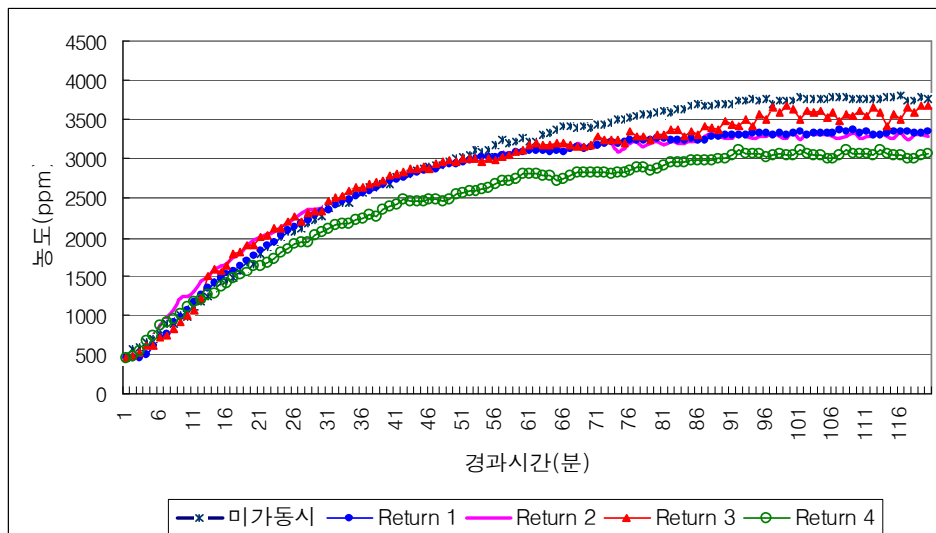
(그림 5.16) 오염원과 배기구와의 거리에 따른 환기효율

(2) 거실+주방에서 오염물질이 발생하는 경우

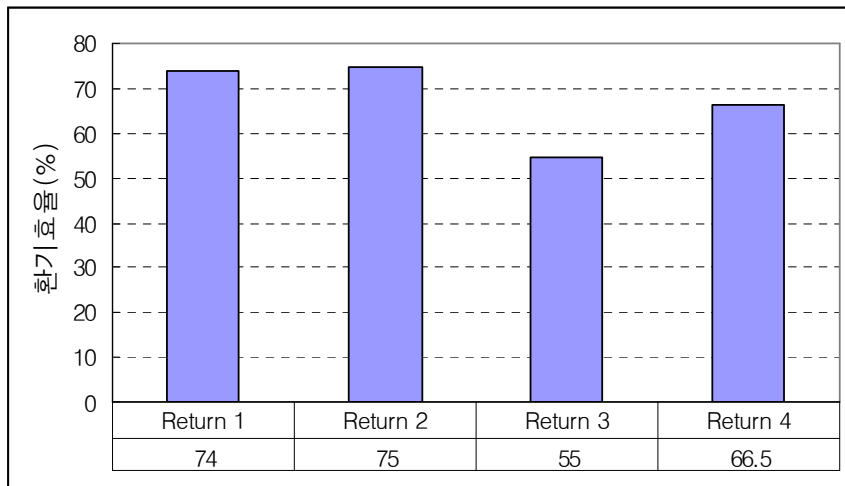
거실+주방으로 가정 시 오염원인 가스레인지와 인체에서 동시에 오염물질이 발생하는 경우 배기구 위치이동에 따른 배기구 및 거실 중앙부의 오염농도변화를 (그림 5.17)과 (그림 5.18)에 나타내었고, (그림 5.19)는 환기효율을 산정한 것이다.



(그림 5.17) 배기구에서의 CO₂농도변화



(그림 5.18) 중앙부에서의 CO₂농도변화



(그림 5.19) 오염원과 배기구와의 거리에 따른 환기효율

(그림 5.17)과 (그림 5.18)로부터 실내 다수의 부위에 동시에 오염물질이 발생되는 경우 농도분포는 오염원의 위치에 따라 변화함을 확인할 수 있다. 즉, 인체에서만 오염물질이 발생했을 경우는 인체와 배기구의 거리가 가까운 Return 1에서 환기효율이 가장 높게 나타났지만, 초기의 인체에 대한 오염물질만 효과적으로 배기할 뿐, 가스레인지에서 발생하는 오염물질에 대응하지 못함에 따라 거실 중앙부의 오염농도는 급기구가 가스레인지에 근접한 Return 4에 비해 오히려 높아지는 현상을 보인다. 반면, Supply 4의 경우에는 가스레인지 직상부에 위치하여 가스레인지에서 발생하는 고농도의 오염물질을 배출함에 따라 실의 전반적인 농도는 Return 1에 비해 낮아짐을 알 수 있다. 이로부터 배기구는 오염물질 발생원에 가까이 설치되는 것과 실내오염물질 농도저감에 유리함을 알 수 있었다.

5.3.3 소 결

이상의 실험결과를 바탕으로 공동주택 거실의 환기효율을 향상시키기 위한 환기시스템의 효율적인 적용 방안을 정리하면 다음과 같다.

급기구의 위치에 따른 환기효율 실험결과, 오염물질에 가까운 Supply 1에서의 환기효율이 92%로 가장 높았으며, 오염물질에서 급기구가 멀어질수록 Supply 2(82%)와 Supply 3(80%)에서 환기효율이 저하됨을 알 수 있어, 오염물질과 급기구와의 거리는 가까운 것이 환기효율 향상에 유리하다는 것을 알 수 있다. 이에 반하여 급기구와 배기구의 위치가 먼 경우, 전반적인 환기효율은 80% 밑으로 떨어지며, 특히 오염물질 발생원의 직상부에 급기구를 설치하는 것은 발생한 오염물질을 배기되기 이전에 실내로 확산시켜 오히려 실의 전반적인 오염농도가 높아질 위험이 있으므로 피해야한다. 거실과 주방을 함께 사용하는 경우, 실내 다수의 부위에서 오염물질이 발생함에 따라 실의 전반적인 오염농도 및 환기효율이 떨어지기 때문에 각 오염물질에 대응할 수 있는 다수의 급·배기구를 설치하는 부위별 적용이 필요하다. 부위별 환기시스템 적용 시 다수의 급기구에서 동시에 급기됨에 따른 환기량증가를 방지하기 위해서는 부위별 급기량 제어가 필요할 것으로 판단된다.

배기구의 위치에 따른 환기효율 실험결과, 오염물질에 가까운 Return 1에서 107%의 높은 환기효율을 보이고 있고, 오염물질에서 배기구가 멀어질수록 Return 2(99%), Return 3(82%)에서 환기효율이 저하됨에 따라, 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 형성해야 환기효율을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

오염물질 발생원과 급기구와의 거리 및 배기구와의 거리에 대한 결과와 함께 분석한 결과 오염물질을 중심으로 급배기구 설치시 급배기구의 거리를 일정간격 이내에 설치하는 것이 환기효율 및 거실의 농도저감에 유리할 것으로 판단된다.

제 6 장 결 론

최근 주거용 건물에 대한 실내공기환경의 문제점을 해결하기 위한 방안으로 기계환기시스템이 공동주택을 중심으로 도입되고 있는 실정이다. 그러나 공동주택의 기계환기시스템의 효율적인 환기성능을 확보하기 위한 오염발생원의 위치 및 발생 유형, 환기시스템의 설치위치 및 환기량 등에 대한 정확한 사전검토가 이루어지지 않은 상태에서 설계자나 시공사의 경험에 의해 선정되는 것이 일반적이다. 이러한 현실은 기계환기시스템이 설치되더라도 환기성능 저하로 인하여 실내에서 발생하는 오염물질을 효과적으로 배출하지 못하고 에너지소비만이 증가되는 문제점을 발생시킨다.

따라서, 본 연구에서는 공동주택의 효율적인 환기계획을 수립하기 위하여 현재 공동주택에 도입되고 있는 기계 환기시스템 중 천장덕트형과 온돌매립형 환기시스템을 실험실에 적용하여 환기시스템의 환기성능을 측정하였고 환기시스템 급·배기구의 설치위치에 따른 환기효율을 분석하였다.

온돌매립형 환기시스템의 환기성능에 관한 실험실 측정 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 두 실험실을 대상으로 환기시스템의 환기성능을 실험해 본 결과, 실험실-1 거실의 평균 CO₂농도는 환기시스템 미가동시 702ppm이며 가동시는 524ppm으로 178ppm이 감소하였다. 실험실-1 안방의 CO₂농도는 환기시스템 미가동시 1193ppm이며 가동시는 675ppm으로 517ppm이 감소하였다. 실험실-2의 CO₂농도는 환기시스템을 가동하지 않았을 경우는 779m이며 가동시는 1491ppm으로 771ppm이 감소하였다.

(2) 실험실-1의 경우 창문이 면한 거실(45 m³/h, 2인), 안방(41 m³/h, 2인), 실험실-2(65 m³/h, 2인)의 환기성능을 측정한 결과 환기시스템 가동시 1,000 ppm 이하의 CO₂ 를 유지할 수 있어 풍량이 적정한 것으로 판단되나 재실인원증가 및 장시간 밀폐시를 감안하여 풍량을 다소 증가할 필요가 있다.

(3) 안방과 실험실-2의 경우 실험실-1 거실의 경우와는 달리 상대적으로 작은 체적에서 급·배기구의 거리가 짧고 여러 개의 급·배기구 모듈이 형성됨에 따라 급배기 기류가 실내를 전반적으로 원활히 유동하고 있어 실험실-1 거실에 비해

우수한 환기성능을 나타내었다. 따라서 환기시스템 설치시에는 실내 오염물질의 발생강도, 발생위치, 이동경로와 급·배기구와의 거리등을 고려하여 적절한 급·배기구의 위치에 대한 고려가 반드시 필요하며, 이러한 과정을 거쳐 최적의 환기시스템 설계가 이루어져야 함을 알 수 있었다.

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

(1) 급기구의 위치에 따른 환기효율 실험결과, 오염물질과 급기구와의 거리는 가까운 것이 환기효율 향상에 유리하고, 오염물질 발생원의 직상부에 급기구를 설치하는 것은 발생한 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) 실내 다수의 부위에서 오염물질이 발생하는 경우에는 각 오염물질에 대응할 수 있는 다수의 급·배기구를 설치하는 부위별 적용이 필요하다. 부위별 환기시스템 적용 시 다수의 급기구에서 동시에 급기됨에 따른 환기량증가를 방지하기 위해서는 부위별 급기량 제어가 필요할 것으로 판단된다.

(3) 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.

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

참 고 문 헌

[국내문헌]

- 1) 김광영, 백창언, 실내공기질 향상을 위한 환기시스템 기술, 설비저널, 제 31권 제 12호, 2002.
- 2) 김광우, 정광섭 공저, 건축공기조화설비, 기문당, 1993.
- 3) 김기혁, 공동주택 환기시스템의 환기성능에 관한 실험실 연구, 중앙대학교 석사학위연구, 2003.
- 4) 김기훈 외 3, 현장실험을 통한 공동주택의 환기성능 현상 및 실태분석, 대한건축학회 논문집, 제 15권 제 3호, 1999.
- 5) 김기훈, 공동주택의 환기효율 향상을 위한 환기계획에 관한 연구, 중앙대학교 박사학위연구, 2004.
- 6) 김민정 외 3, 급기구 위치에 따른 동시 급배기 주방환기시스템의 성능평가, 공기조화 냉동공학회 하계학술발표대회 논문집, 2000.
- 7) 김영호, 건축설비, 보문당, 1994
- 8) 김완기 외, 환기량에 따른 실내공기오염농도의 감소효과에 관한 연구, 대한건축학회학술발표논문집, 제 19권 제 1호, 1999.
- 9) 김용경 외, 환기효율의 정량적 평가를 통한 필요환기량 산정방법에 관한 연구, 대한건축학회학술발표논문집, 제 19권 제 1호, 1999.
- 10) 김황기 외 3, 공동주택에 적용되는 환기 시스템의 평가, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제 20권 제 1호, 2000.
- 11) 김희강, 대기오염개론, 동화기술, 1993
- 12) 박진철, 건축재료에서 발생하는 실내공기 오염물질의 실험실 측정에 관한 연구, 21세기 실내공기환경의 질-대한건축학회 세미나, 1998.
- 13) 박진철 외, 건축재료에서의 실내공기 오염물질 발생농도 측정연구, 대한건축설비학회지, 창간호, 1998
- 14) 송수정 외 5, 공동주택 주방/거실의 환기성능에 관한 현장실험, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제 18권 제 1호, 1998.
- 15) 이윤규, 실내공기질 향상을 위한 환기시스템 및 실내공기오염 간이평가기법, 설비저널, 제 31권 제 12호, 2002.
- 16) 이윤규, 최근 실내 공기환경 기준의 국제적 연구동향, 대한건축학회, 1998.9
- 17) 장경진, 추적가스를 이용한 급기 및 배기효율의 측정기술에 관한 연구, 국민대학교 박사학위연구, 2000.
- 18) 장재수 외 2, 실내 CO2 농도와 국소평균공기연령에 관한 실험, 대한설비공학회

동계학술발표대회 논문집, 2004.

19) 장현재, 김성식, 온돌 매입형 환기시스템의 동계 취출온도 성능실험, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, 2004.

20) 중앙대학교 건축환경연구실, 온돌 매입형 환기 덕트시스템의 성능개선에 관한 연구에 대한 최종보고서, 환경부, 2005.

21) 전주영, 공동주택에 있어서 주방의 공기환경 개선에 관한 연구, 중앙대학교 석사학위논문, 1994.

22) 최경석 외 3, 초고층 아파트의 환기방식에 따른 실내공기환경 성능 평가, 대한건축학회 논문집, 제 20권 제 2호, 2000.

23) 한화택 외 2, 실내 기류패턴에 따른 급기효율과 배기효율의 분포, 대한설비공학회 논문집, 제 13권 제 9호, 2001.

24) 한화택, 환기효율의 정의에 관하여, 공기조화냉동공학, 제 28권 제 1호, 1999.

25) 홍천화 외, 공동주택의 환기최적화 방안에 관한 연구, 대림기술정보, 2003 봄호, 대림산업주식회사.

[국외문헌]

1) AIVC, A Guide to a Air Change Efficiency, Technical Note AIVC 28, Air Infiltration and Ventilation Center, 1990.

2) ASHRAE, ASHRAE Handbook Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 1997.

3) ASHRAE, ASHRAE Standard 62-1989, Ventilation For Acceptable Indoor Air Quality, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 1989.

4) ASHRAE, International Symposium on Room Air Convection and Ventilation Effectiveness, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 1992.

5) Awbi H. B., Ventilation of Building, First Edition, London : E&FN SPON, 1991.

7) F. Haghighat, P. Fazio, J. Rao, A Procedure for Measurement of Ventilation Effectiveness in residential buildings, Building and Environment, Vol.25, Issue 2, 1990.

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) Ventilation Efficiency in a Model Room, Energy and Buildings, Vol.28, 1998.
- 10) Sandberg, Ventilation Efficiency as a Guide to Design, ASHRAE Transactions, Vol.89, Pt.2B, 1983.
- 11) Sandberg, What is Ventilation Efficiency, Building and Environment, Vol.16, No.2, 1981.

[Web Sites]

<http://www.me.go.kr/>

http://www.metooeng.co.kr/business_2_4.htm

http://www.towerpalace.co.kr/htm/fr_v.htm

국 문 초 록

공동주택 환기시스템의 환기효율 향상에 관한 연구

중앙대학교 대학원
건축학과 건축계획 및 환경전공
박 우 진
지도교수 이 언 구

현대인들은 실내공간에서 하루 평균 90%이상 생활하고 있으나, 최근 건축물이 고단열화·고기밀화 되어 자연환기에 의한 환기를 기대하기 어렵기 때문에 실내 공기질(IAQ : Indoor Air Quality)이 저하될 위험성이 지속적으로 제기되었다.

실내공기질 제어방법 중 공동주택에 일반적으로 적용되는 희석 제어 방법인 환기는 일본의 경우 이미 주택환기설비가 의무화되어 각 주택에 환기시스템을 도입하고 있으며, 최근 우리나라 정부에서도 공동주택 세대 내 환기시설 설치를 법제화하였다.

그러나 현재 공동주택에 적용되는 기계환기 시스템은 설계과정 및 시공과정에서 정확한 사전검토 없이 선정되는 것이 일반적이기 때문에 환기성능 저하로 인하여 실내에서 발생하는 오염물질을 효과적으로 배출하지 못하고 에너지소비를 증가되는 문제점을 발생시킨다.

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

온돌매립형 환기시스템의 환기성능에 관한 실험실 측정 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 두 실험실을 대상으로 환기시스템의 환기성능을 실험해 본 결과, 실험실-1 거실의 평균 CO₂농도는 환기시스템 미가동시 702ppm이며 가동시는 524ppm으로 178ppm이 감소하였다. 실험실-1 안방의 CO₂농도는 환기시스템 미가동시

1193ppm이며 가동시는 675ppm으로 517ppm이 감소하였다. 실험실-2의 CO₂농도는 환기시스템을 가동하지 않았을 경우는 779m이며 가동시는 1491ppm으로 771ppm이 감소하였다.

(2) 실험실-1의 경우 창문이 면한 거실(45 m³/h, 2인), 안방(41 m³/h, 2인), 실험실-2(65 m³/h, 2인)의 환기성능을 측정한 결과 환기시스템 가동시 1,000 ppm 이하의 CO₂를 유지할 수 있어 풍량이 적정한 것으로 판단되나 재실인원증가 및 장시간 밀폐시를 감안하여 풍량을 다소 증가할 필요가 있다.

(3) 안방과 실험실-2의 경우 실험실-1 거실의 경우와는 달리 상대적으로 작은 체적에서 급·배기구의 거리가 짧고 여러 개의 급·배기구 모듈이 형성됨에 따라 급배기 기류가 실내를 전반적으로 원활히 유동하고 있어 실험실-1 거실에 비해 우수한 환기성능을 나타내었다. 따라서 환기시스템 설치시에는 실내 오염물질의 발생강도, 발생위치, 이동경로와 급·배기구와의 거리등을 고려하여 적절한 급·배기구의 위치에 대한 고려가 반드시 필요하며, 이러한 과정을 거쳐 최적의 환기시스템 설계가 이루어져야 함을 알 수 있었다.

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

(1) 급기구의 위치에 따른 환기효율 실험결과, 오염물질과 급기구와의 거리는 가까운 것이 환기효율 향상에 유리하고, 오염물질 발생원의 직상부에 급기구를 설치하는 것은 발생한 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) 실내 다수의 부위에서 오염물질이 발생하는 경우에는 각 오염물질에 대응할 수 있는 다수의 급·배기구를 설치하는 부위별 적용이 필요하다. 부위별 환기시스템 적용 시 다수의 급기구에서 동시에 급기됨에 따른 환기량증가를 방지하기 위해서는 부위별 급기량 제어가 필요할 것으로 판단된다.

(3) 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 중심으

로 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.

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

ABSTRACT

A Study on the Improvement of Ventilation Effectiveness for Ventilation System in Apartment Buildings

Park, Woo Jin

Department of Architecture

The Graduate School of Chung-Ang University

Advised by Prof. Rhee, Eon Ku, Ph. D.

Indoor air quality is getting worse because natural ventilation performance is getting weaker due to high insulation and air-tightness since the improvement of construction method and energy-saving design strategies.

As one of the dilution control method, ventilation which is generally applied in the house of common case of Japan the residential ventilation system became duty already and it became duty in our country recently.

But, ventilation system currently being applied in apartment houses usually selected without concerning location of contaminant source and ventilation system, contaminant production type and ventilation rate, so ventilation system spend energy without proper exhaust of contaminants.

So, in this study, to establish effective ventilation plan, apply ceiling duct type and Ondol type ventilation system to laboratory and analysis ventilation's efficiency and ventilation effectiveness according to ventilation system's location through experimental test. Finally, the strategies can be suggested for effective ventilation.

The results of the Ondol type ventilation system test can be summarized as follows.

(1) The lab-1 livingroom's average CO₂ concentration is 702ppm and

when ventilation system on, it goes down to 524ppm. The lab-1 master bedroom's average CO₂ concentration is 1193ppm and when ventilation system on, it goes down to 675ppm. The lab-2 livingroom's average CO₂ concentration is 779ppm and when ventilation system on, it goes down to 771ppm.

(2) Proper ventilation system is applied in lab-1 and lab-2 since CO₂ concentration is keep down to 1000ppm but, concerning additional number of people or seal for hours, ventilation rate should be higher.

(3) When applying ventilation system, supply diffuser and return grill should be located in module to get effective ventilation as lab-1 and lab-2 have multiple modules of supply diffusers and return grills and short distance to each other. Therefore, the performance of ventilation system was dependent upon the generation rate of contaminants, the location of contaminant sources, and the distance between the supply diffuser/the return grill as well as contaminant sources.

Ventilation system design guidelines in a living room 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) In a space which have multiple contaminant sources, the ventilation plan for each source should be considered. Also, to prevent the increase of ventilation rate due to the individual ventilation, the control system of ventilation rate considering the occupancy schedule should be needed.

(3) 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 to increase ventilation effectiveness.