

공동주택 강제 환기 시스템의 건물에너지 측면에서의 장기적 운영 방안에 관한 연구

김승철*, 윤종호**, 백남춘***, 신우철****

*대전대학교 대학원 건축공학과, **한밭대학교 건축공학과 교수,
한국 에너지 기술 연구원, *대전대학교 건축공학과 교수

A Study on the Long-term Operating plan of Ventilation System of Apartment House in terms of Energy Performance.

Kim, Seung Chul*, Yoon, Jong Ho**, Baek Nam Choon***, Shin U Cheul****

*Dept. of Architectural Engineering, Daejeon University (rufers123@naver.com),

**Dept. of Architectural Engineering, Hanbat National University (jhyoon@hanbat.ac.kr)

***Korea Institute of Energy Research (Baek@kier.re.kr)

****Dept. of Architectural Engineering, Daejeon University (shinuc@dju.kr)

Abstract

Because buildings recently built have been highly insulated and highly airtight, it is impossible to emit toxic substances from interior finishing materials only by natural ventilation. Therefore, they cause indoor air pollution and it may threaten the user's health such as atopic dermatitis, bronchial asthma and (allergic) rhinitis. Domestically, users spend indoors 80 percent of their time of a day. With the increased interest in indoor air quality, the introduction of forced ventilation system for new-built apartment buildings has been legislated. However, toxic substances from indoor are mostly below the recommended standard approximately 23 months later. Thus, this study has assumed the status of the apartment buildings 23 months later through a simulation, regarded CO₂ as an exclusive indoor air pollution source. In the process of effectively eliminating the CO₂, this study has also been conducted on an operating plan that can provide superior performance from the energy side.

Keywords : 폼알데하이드(formaldehyde), 휘발성유기화합물(VOC), 이산화탄소(CO₂), 에너지시뮬레이션(Energy Simulation), 강제 환기 시스템(Ventilation system)

1. 서 론

2000년대에 들어서 우리나라는 점점 삶의 질이 향상되고 건강에 대한 관심이 높아지면

서 웰빙 문화가 생기게 되었고 이는 주거시설을 바라보는 시각의 변화를 가져왔다.

특히 현대건물은 고단열·고기밀화 되어가고 있어 내부마감 재료로부터 나오는 유해물

질을 자연 환기만으로는 원활하게 배출할 수 없게 되었다. 이는 실내공기의 오염을 유발시키며 따라서 하루 중 80%이상을 실내에 머무는 현대인들은 아토피, 천식, 비염 등 건강을 위협당하고 있다. 최근 실내공간의 공기질에 대한 관심이 높아짐에 따라 다중이용시설 등의 실내 공기질 관리법이 2003년 전부 개정되면서 한국 실정에 맞는 쾌적한 실내 공기질 유지에 대한 법적 기준들이 하나둘 마련되기 시작하였다. 여기서 공기를 오염시키는 오염물질은 환경부령¹⁾이 정하는 것으로 표 1에서와 같이 10가지 종류로 규정되고 있으며, 다중이용시설의 경우는 이 오염물질 중 미세먼지, 이산화탄소, 폼알데하이드, 총부유세균, 일산화탄소에 대해서는 유지기준을 설정하여 강제로 준수토록 하고, 비교적 위험도가 낮은 나머지 항목에 대해서는 권고기준을 제시하여 자율적인 준수를 유도하고 있다.

표 1. 실내 공간 오염물질.

미세먼지 (PM10)	기준
이산화탄소 (CO ₂)	
폼알데하이드(HCHO)	
총부유세균	
일산화탄소 (CO)	
이산화질소 (NO ₂)	권고
라돈 (Rn)	
휘발성유기화합물(VOC)	
석면	
오존	

신축 공동주택의 경우 시공자는 시공이 완료된 후의 실내 공기질을 측정하여 그 측정 결과를 입주 전 입주민이 잘 볼 수 있는 장소에 공고 하여야 하며 이때의 오염물질 및 권고기준²⁾을 표 2에 나타내었다.

2006년 정부는 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙에 11조(공동주택 및 다중이용시설 등의 환기설비기준 등)를 신설하여 0.7회/h의 실내 환기횟수를 유지하기 위한 자연 환기장치 또는 기계환기장치의 설치를 법제화

하였는데 이는 공동주택이 신축으로 지어졌을 때 건축물 내부 마감자재들에서 방출되는 유해가스를 효율적으로 외부로 배출시켜 쾌적한 공기질을 유지시키는데 그 목적이 있다.

표 2. 신축 공동주택 실내오염물질 권고기준.

	권고기준 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
폼알데하이드	210 이하
벤젠	30 이하
톨루엔	1,000 이하
에틸벤젠	360 이하
자일렌	700 이하
스티렌	300 이하

하지만 유³⁾가 연구한 결과에 따르면 환기 횟수 0.5회/h일 때의 VOC 및 폼알데하이드 등 공동주택에서 발생할 수 있는 대부분의 실내 유해오염물질은 그림 3에서와 같이 대부분 23개월을 전후 하여 권고기준 아래로 내려가는 것을 알 수 있다.

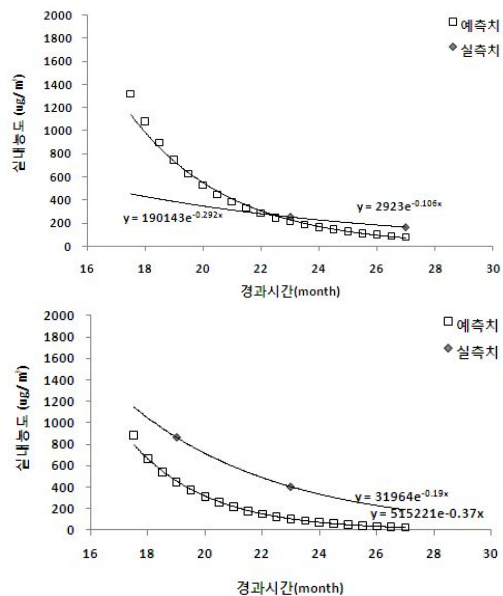


그림 3. 주택의 폼알데하이드(위) 및 5VOC(아래) 예측 및 실측치. Ref³⁾

이는 신축 공동주택이 0.7회/h의 환기량을 갖는다면 23개월 보다 빠른 시간에 인체에 영향을 주는 유해가스의 방출량이 기준치 아래로 내려갈 수 있다는 것을 의미한다. 또한 앞서 말한 공동주택의 실내오염물질 권고기준을 보면 폼알데하이드 및 휘발성 유기화합물 등에 대한 권고기준은 마련되어 있는데 다중이용시설에 강제기준으로 있는 CO₂의 농도 기준은 없는 것을 알 수 있다. 이는 공동주택을 다수가 이용하는 다중이용시설과 달리 가족 구성원만이 이용하는 독립적인 건축물로 보아 이산화탄소의 영향을 크게 고려하지 않은 것으로 풀이할 수 있다.

하지만 최근 이⁴⁾등이 실내공간의 CO₂농도 변화를 연구한 결과를 보면 약 0.1회/h의 침기량을 갖는 비교적 고기밀 상태의 방에서 재실인원 2명이 발생시키는 이산화탄소량은 12시간 후 최고 7,500ppm까지 상승하였다고 분석되었다. 이는 다중이용시설의 강제기준인 1,000ppm보다 7.5배 높은 농도를 나타내며, 주택이 고기밀화 되어 갈수록 사용자에게 의해 발생하는 이산화탄소가 높은 수준으로 축적될 수 있음을 나타내는 것이다.

환기 및 에너지 성능을 연구한 사례로 이⁵⁾등은 자연 환기 시에 공동주택의 환기성능 및 에너지성능에 대해 분석하였지만, 자연적으로 일어나는 누기와 사용자 임의로 조절 가능한 환기장치를 구성하여 실의 오염물질 현상을 파악하고, 이를 건물의 에너지 성능과 연동하여 최적화된 강제 환기의 운영방법에 대한 연구는 미진한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 시뮬레이션을 통해 신축 공동주택의 23개월 후를 가정하여 유일한 실내 오염원을 인체에서 발생하는 CO₂로 보고 이 CO₂의 농도를 다중이용시설의 기준에 준하면서도, 건물의 부하 및 에너지 측면에서도 유리해 질 수 있는 방법에 대해 연구하였다.

2. 실내 공기질 평가.

2.1 대상건물.

본 연구의 평면 대상은 대전시에 위치한 S 공동주택으로 기준 평면도는 그림 2와 같다.

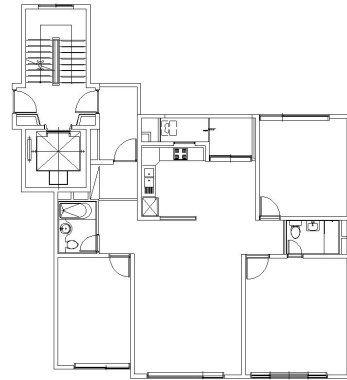


그림 4. S아파트 세대 평면도.

본 아파트의 전용면적은 120m²이며 발코니 확장을 기본으로 하여 전용면적에 발코니 면적이 포함되어 있다.

2.2 기상데이터 분석.

대전지방의 외기조건은 한국 태양에너지 학회에서 제공하는 TRY2 타입의 기상데이터를 이용하였으며, 실외 이산화탄소 농도는 그림 5에서와 같이 24시간 측정된 실측값의 평균을 이용하였으며 그 값은 677ppm 정도로 측정되었다.

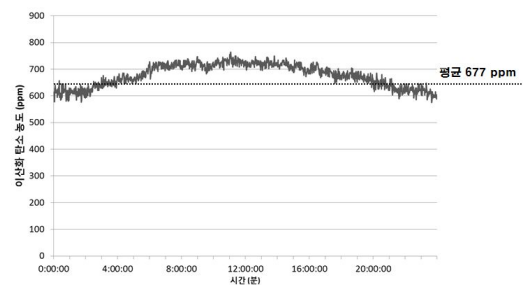


그림 5. 대전지방 24시간동안의 실외 이산화탄소 실측 농도.

또한 대전지역의 풍속을 계절에 따라 방위별로 바람이 부는 시간을 그려보면 그림 4와 같이 여름철에는 남서, 겨울철에는 북서풍이 주 풍향인 것을 알 수 있다.

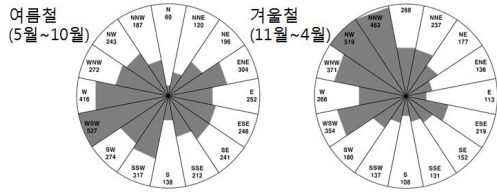


그림 6. 계절에 따른 방위별 바람이 부는 시간.

이는 각 실이 계획된 위치에 따라 자연 환기횟수가 다르게 나타날 수 있음을 의미하며 그로인해 각 실별 이산화탄소 농도 또한 다를 수 있음을 나타낸다.

2.3 시뮬레이션 개요.

누기 및 강제 환기에 의한 실내 공기질을 평가하기 위해 본 연구에서는 미국 NIST에서 개발한 CONTAM 3.0 software를 이용하였다. 그림 5는 CONTAM으로 모델링된 대상 공동주택을 나타내며, 오염원인 재실자가 실내에 머무는 스케줄은 표 3과 같다.

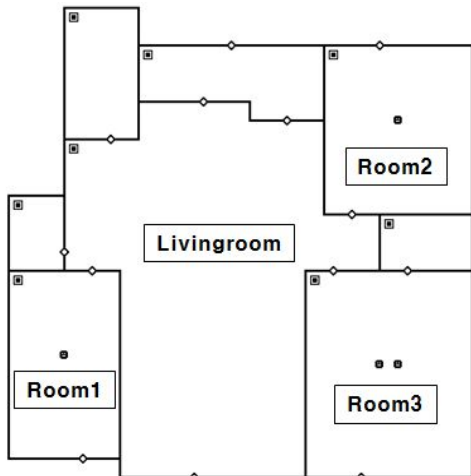


그림 7. CONTAM 모델링.

표 3. 자연환기 시뮬레이션 스케줄.

시간 (시)	거실	방1	방2	방3	CO ₂ 배출량 (m ³ /h.人)
00~07	-	1人	1人	2人	0.013
07~08	4人	-	-	-	0.1
08~18	-	-	-	-	-
18~22	4人	-	-	-	0.02
22~24	-	1人	1人	2人	0.013

여기서 CO₂배출량은 총 3단계로 나누었으며, 잠자는 중에는 0.013m³/h, 휴식 0.02m³/h, 일반 0.1m³/h을 기준으로 했으며 사람이 배출하는 CO₂의 농도는 30,000ppm을 기준으로 했다.

실내 공기질 평가는 그림 6과 같이 법적으로 단일기준이 강화되는 시점인, 2002년, 2008년, 2010년에 연평균 누기횟수도 0.5회, 0.3회, 0.1회로 감소된다고 가정하였으며, 강제 환기의 경우는 24시간 작동하는 상시 환기와 사용자가 재실할 때 운영하는 재실 환기로 나누어 1년 8,760시간에 대해 시뮬레이션 하였다.

또한 기준세대는 해당 건물의 중성대가 있는 곳에 위치해 있다고 가정하여, 계단실, 엘리베이터 코어 등 상·하부 압력차에 의한 굴뚝효과는 무시하였다.



그림 8. 시뮬레이션 개요.

2.4 실내 공기질 시뮬레이션 결과.

그림 7은 강제 환기가 적용되지 않았을 경우 자연 환기로 3일 동안의 실내 CO₂농도가 어떻게 변하는지 보여주고 있다.

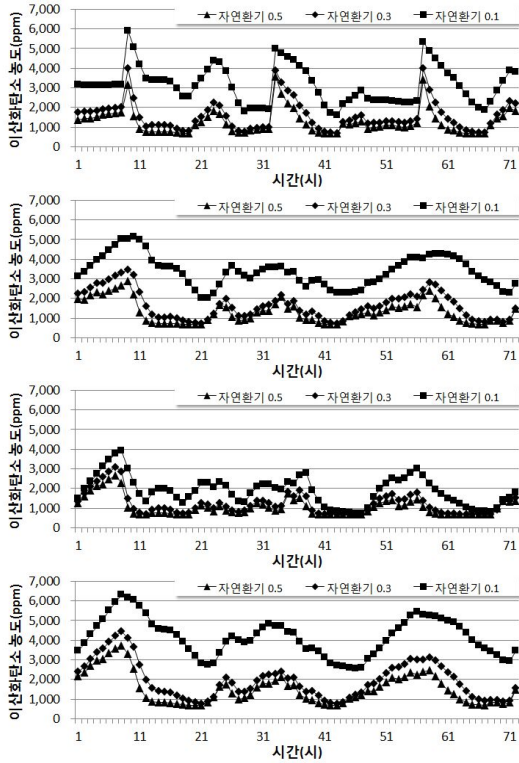


그림 9. 자연환기상태 3일간의 시간별 CO₂ 농도.
(위에서부터 거실, 방1, 방2, 방3)

여기서 재실자가 있는 시간동안 CO₂의 농도가 증가하는 것을 알 수 있는데, 실내 CO₂ 농도의 최대치는 6,300ppm으로 다중이용시설에 적용된 기준치인 1,000ppm보다 6.3배 높은 수치를 나타냈다. 이는 앞으로 건물이 계속 고기밀화 된다면, 주택에서도 CO₂에 의한 실내 오염이 문제가 될 수 있음을 나타낸다. 또한 하루하루 같은 스케줄임에도 24시간 간격으로 반복되는 결과가 나타나지 않는 것을 알 수 있는데, 이는 자연 상태의 풍속 및 압력차가 시간별로 변하기 때문인 것으로 판단된다.

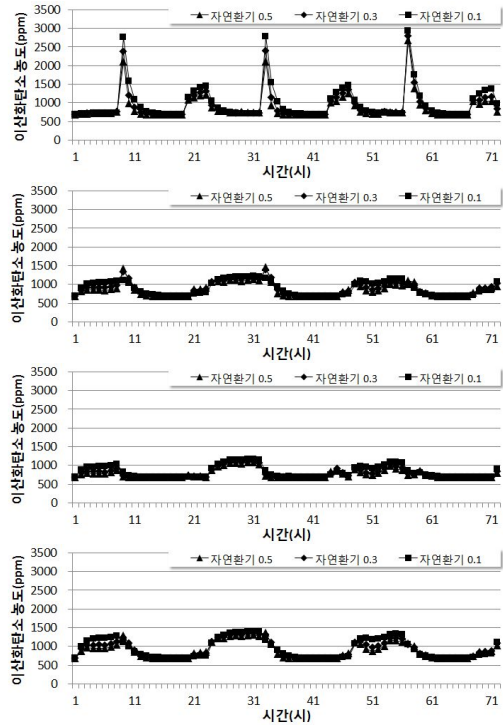


그림 10. 강제 상시 환기상태 3일간의 시간별 CO₂ 농도
(위에서부터 거실, 방1, 방2, 방3)

그림 8은 강제 환기 시스템이 적용되어 시간당 0.7회의 외기량이 실내에 도입되었을 때의 CO₂농도를 나타낸다. 강제 환기가 도입되었기 때문에 자연 상태의 누기에 의한 영향이 많이 줄어든 것을 알 수 있으며, 연평균 누기량 0.3ACH를 기준으로 평균 1,116ppm으로 다중이용시설 기준치보다는 약간 높은 수치를 보이지만, 누기에 의한 자연 환기에 비해 연간 재실시간 동안의 평균 CO₂농도는 약 41%감소된 수치를 보이는 것으로 분석되었다. 하지만 이렇게 상시 운전을 하게 되면, 사람이 재실하지 않는 시간동안 불필요한 외기가 들어와 실내 냉·난방 부하 및 팬(fan) 동력 증가의 우려가 있기 때문에 본 연구에서는 사용자가 재실하는 동안에만 강제 환기 시스템이 작동하는 재실 환기를 가정하여 시뮬레이션 하였으며 그 결과는 그림

9와 같다.

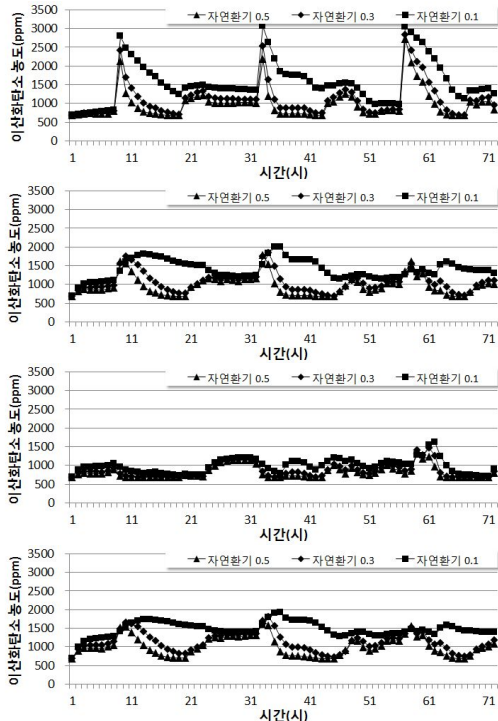


그림 11. 강제재실환기상태 3일간의 시간별 CO₂ 농도. (위에서부터 거실, 방1, 방2, 방3)

그림 9에서 보는 것과 같이 사용자가 재실하지 않는 시간(오전8~오후6) 동안은 자연 환기에 의해 CO₂농도가 서서히 감소되는 것을 볼 수 있는데 이 시간 동안은 자연 환기 횟수에 영향을 받는 것을 알 수 있다.

이때 CO₂농도는 누기량 0.3ACH 및 재실시간 기준으로 1,150ppm이다. 이는 실내의 유일한 오염원을 CO₂로 본다면 상시 환기가 아닌 재실 환기만으로도 충분한 환기량을 갖는 것을 나타낸다. 자연 상태일 때와 0.7회/h의 강제 환기가 상시 운전될 때, 그리고 강제 환기가 재실 운전될 때 각각의 누기횟수에 따른 연간 재실시간 동안의 평균 실내 CO₂ 농도를 표 4와 그림 12에 나타내었다. 여기서 연평균의 CO₂농도가 아닌 재실시간동안만의 농도를 평균값으로 채택한 이유는 사용자가 실내에 있을 때 노출되는 CO₂농도를

정량적으로 평가해 보기 위함이다.

표 4. 연간 재실시간의 CO₂ 평균농도. (단위:ppm)

		거실	방1	방2	방3
자연 환기	0.5	1,601	1,397	1,517	1,805
	0.3	1,874	1,656	1,850	2,156
	0.1	3,296	2,680	3,211	3,537
강제 상시 환기	0.5	1,227	966	947	1,104
	0.3	1,302	1,013	989	1,160
	0.1	1,430	1,098	1,065	1,254
강제 재실 환기	0.5	1,247	980	992	1,116
	0.3	1,345	1,032	1,045	1,178
	0.1	1,635	1,137	1,146	1,295

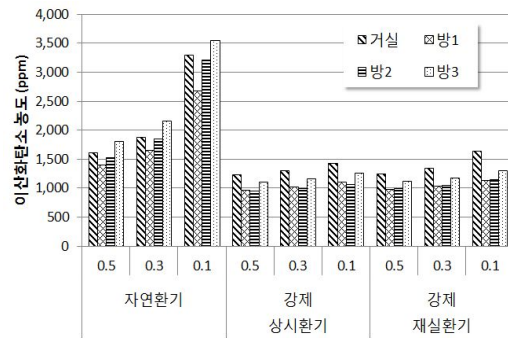


그림 12. 연간 재실시간의 CO₂ 평균농도.

자연 환기의 경우 0.5회/h에서 0.3회/h로 강화되었을 때보다 0.3회/h에서 0.1회/h로 강화되었을 때 실내 이산화탄소농도의 증가폭이 커지는 것을 알 수 있다. 0.7회/h의 강제 환기가 도입되면, 실내 공기질이 매우 쾌적해지는 것을 알 수 있으며, 상시환기와 재실 환기의 실내 이산화탄소 농도는 약 3.9% 정도의 차이를 보여 눈에 띄는 차이를 보이지 않았다.

3. 에너지 성능 평가.

3.1 시뮬레이션 개요.

누기 및 환기에 의한 건물의 에너지 성능을 시뮬레이션 하기 위해 DOE-2.1 엔진을 기반으로 한 Visual DOE 4.1을 사용하였다.

하지만 Visual DOE는 풍속 및 압력차에 의

한 건물의 누기량을 정확하게 계산할 수 없는 단점이 있기 때문에 CONTAM에서 계산된 시간별 누기량을 Visual DOE의 BDL(Building Description Language)을 이용하여 입력자료를 직접 수정하는 방법을 택하였으며, 그림 11은 그렇게 수정된 데이터로 나온 건물의 누기량을 CONTAM에서 나온 결과 값과 비교한 그림이다.

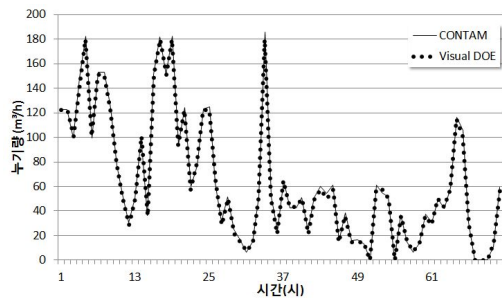


그림 13. 3일 동안의 CONTAM 과 Visual DOE 의 시간별 누기량.

그림에서와 같이 CONTAM에서 나온 누기량과 Visual DOE에서 나온 누기량을 비교하면 거의 동일한 패턴을 보이는 것을 알 수 있다. 이는 CONTAM으로 계산된 누기량이 Visual DOE에 거의 정확하게 입력되었음을 나타낸 것이며, CONTAM에서 계산된 누기 및 환기량에 대한 Visual DOE의 에너지 사용량 결과 값에 대한 신뢰성을 갖는다고 할 수 있다.

Visual DOE의 해당 연도별로 적용시킨 단열기준 및 누기량은 표 5와 같다.

표 5. 연도별 남부지방 단열기준 및 누기량.

	'02년도 (W/m ² .K)	'08년도 (W/m ² .K)	'10년도 (W/m ² .K)
외벽	0.58	0.58	0.45
지붕	adiabatic		
바닥			
창문	4.19	3.3	2.4
SHGC	0.58	0.58	0.58
누기량	CONTAM 0.5ACH	CONTAM 0.3ACH	CONTAM 0.1ACH

본 연구의 기준층은 공동주택의 중간층 세대로 가정하고 그림 12와 같이 계단실 절반 및 옆 세대, 아래층, 위층과의 열전달이 없다고 가정하여 단열경계조건으로 모델링 하였다.

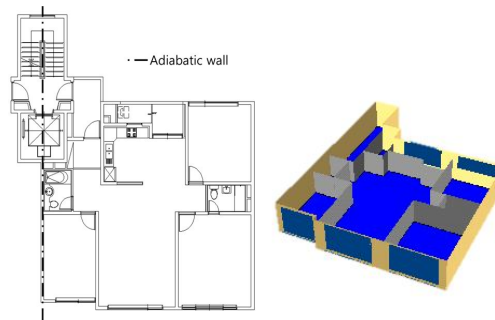


그림 14. 단열경계 조건(좌), Visual DOE 모델링(우).

또한 표 6은 에너지 해석 시뮬레이션에 적용된 건물의 조명 및 장비밀도, 재실밀도 등 기본 입력변수와 제어조건을 나타내었다. 여기서 사용자의 재실스케줄은 CONTAM과 동일하게 적용시켰다.

표 6. 에너지소비성능 시뮬레이션 해석조건.

항목	구분	내용
조명밀도	거실	7 W/m ²
	방1	4 W/m ²
	방2	4 W/m ²
	방3	5 W/m ²
장비밀도	거실	6 W/m ²
	방1	3 W/m ²
	방2	3 W/m ²
	방3	4 W/m ²
난방제어	온도	22 ℃
	운영시간	18시~08시
	기간	11월~3월
냉방제어	온도	26 ℃
	운영시간	18시~08시
	기간	6월~9월
보일러	효율	80%
에어컨	COP	2.5
환기시스템	열교환효율	60% (Sensible only)
	소비전력	183 W

3.2 에너지 시뮬레이션 결과.

그림 15은 연간 냉·난방 에너지 및 팬 에너지를 나타낸 것이다.

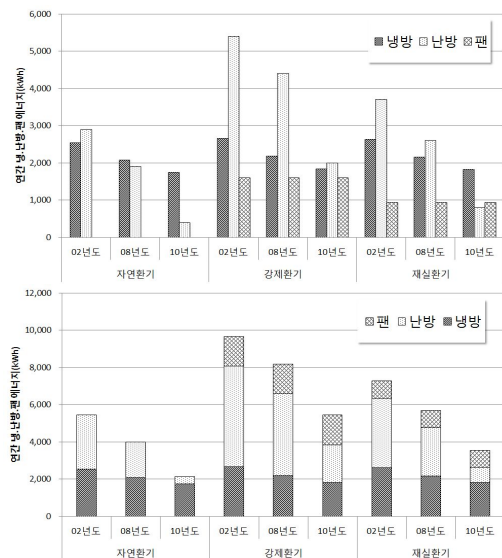


그림 15. 연간 냉·난방 및 팬동력 에너지소비량.

건물이 고단열, 고기밀화 해 짐에 따라 냉

방 및 난방에너지는 감소하는 추세를 보이며, 환기시스템이 도입이 되면 현열교환기가 존재함에도 냉·난방 에너지는 평균 39%정도 상승하는 것으로 나타났다. 거기에 환기시스템 구동을 위한 FAN 에너지 까지 합치면 약 52%정도의 에너지가 상승한다는 것을 알 수 있다. 하지만 환기시스템을 상시 운전이 아닌 재실 운전을 하게 되면, 상시 운전에 비해 평균27%정도 줄어든 것을 알 수 있으며, FAN에서 절약되는 에너지까지 합치면 총 30%정도의 에너지가 절감되는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 실내에서 발생하는 유일한 오염원을 CO₂로 보고, 이를 기준으로 하여 건축물의 누기량별로 오염농도를 시뮬레이션 하였다. 그 후 강제 환기가 도입되었을 때 운영방법에 따라 실내 오염농도를 비교한 후 에너지 시뮬레이션과 연동하여 실내 공기질 및 에너지를 평가하였다. 결론적으로 건물이 고기밀화 되면 환기량이 적어져 사용자에게 발생되는 CO₂가 효과적으로 제거되지 못하여 최대 농도가 6,300ppm까지 증가하므로 강제 환기 시스템의 도입이 필요하다는 결론을 얻었으며, 건물에너지 측면에서는 환기팬 가동을 재실 운전으로 할 경우 상시 운전에 비해 연평균 냉·난방 및 팬동력 에너지 소비량이 총 30%정도 절감되는 것으로 분석되었다. 추후 건물의 준별 제어에 따른 분석 및 강제 환기 횟수에 의한 분석도 종합적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 다중이용시설 등의 실내공기질관리법 시행규칙, 환경부령 제 302호 [별표1]실내공간오염물질.
2. 다중이용시설 등의 실내공기질관리법 시

행규칙, 환경부령 제 302호 [별표4의2]실내공간오염물질.

3. 유복희, 공동주택에서의 VOC 및 폼알데하이드 실내농도 예측을 통한 건축자재의 영향 검증에 관한 연구, 大韓建築學會 論文集 計劃系 제26권 제9호 통권263호, 2010.
4. 이준용 외, 호흡에 의한 실내공간의 O₂, CO₂ 농도 변화와 산소발생기에 의한 실내의 산소농도 상승효과, 대한건축친환경설비학회, 2007.
5. 이우원 외, 자연환기시 공동주택의 환기 성능 및 에너지성능 분석, 대한설비공학회, 2001.