

실측을 통한 신축공동주택의 실내공기질에 관한 연구

The Study on the Indoor Air Quality in a Newly Built Apartment House by Field Measuring

이경희* 배종수** 조성우*** 박민용**** 박창섭***** 최정민*****
Lee, Kyung-Hee Bae, Jong Soo Cho, Sung-Woo Park, Min-Yong Park, Chang-Sub Choi, Jeong-Min

Abstract

The harmfulness of HCHO and VOCs from construction material and furniture has been increased gradually. It must be need to prevent pollution materials' accumulation indoor effectively and to remove very small amount of harmful pollution materials in various plans, because these kinds of pollution materials greatly affect human body, Therefore, this study is focused to find out the improvements of Indoor Air Quality in execution of natural ventilation and bake-out to reduce indoor chemical pollution materials or not. After effects of indoor air quality by natural ventilation and bake-out being examined, it is follows the conclusion. As for the density change of TVOC and Toluene according to time lapse, in case the middle and high-story areas have bake-out, the density increased once, but it showed the gradual decrease after bake-out was stopped, and it was shown that it exceeded the standards recommended for newly-built apartment. The bake-out is effective to discharge the HCHO and TVOC from the construction material and the furniture, and the natural ventilation is effective remove the indoor pollution materials.

Keywords : Indoor Air Quality, HCHO, VOCs, Natural Ventilation, Bake-out

주요어 : 실내공기질, 포름알데히드, 휘발성유기화합물, 자연환기, 베이코아웃

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

1970년대 에너지 파동 이후 건축물은 에너지 절약을 위하여 건물의 단열성능 및 기밀성능이 향상된 에너지 절약형 건물의 대두로 외기 도입량 감소와 새로운 건축 자재의 무분별한 보급 등으로 인하여 실내공기질(IAQ : Indoor Air Quality)을 더욱 악화시켰다. 하루중 실내공간 내부에서 80~90%를 생활하고 있는 현대인은 외부환경보다 실내의 인공적인 환경에 더 많은 영향을 받고 있으며, 밀폐된 공간 내에서 오염은 우리의 일상생활과 건강에 직접적으로 영향을 미치는 주요한 환경요소의 하나이다.

1980년 초반 에너지 절약형 빌딩에서 현기증, 구토, 두통, 호흡기질환 등 다양한 이상 증상을 호소하게 되어

본 연구는 환경부 2004년도 차세대 핵심환경기술개발사업인 “주거건물의 실내공기질 향상을 위한 성능평가 및 지침 프로그램 개발연구의 일환”으로 수행되었습니다.

*정회원(주저자), 부산대학교 산업건축학과 교수, 공학박사

**정회원, 대광건축사사무소, 공학석사

***정회원, 부경대학교, 공학박사

****정회원, 부산정보대학 건축학과, 공학박사

*****정회원, 창신대학, 건축과, 공학박사

*****정회원, 창원대학교 건축학부, 공학박사

실내의 공기환경에 대한 관심이 점차 높아지게 되었고, 1983년 세계보건기구(WHO)에서는 이러한 빌딩과 관련된 새로운 증상을 ‘빌딩증후군(Sick Building Syndrome)’이라 하였다. 1996년 일본에서도 주거용 빌딩에서 화학물질에 의한 실내공기오염이 심각한 환경문제로 대두되었으며 이를 새집증후군(Sick House Syndrome)이라 명명하고, 실내공기환경에 대한 문제점을 제기하기 시작하였다. 새집증후군 현상은 개개의 오염물질이 허용치 이내로 유지된다고 하더라도 많은 오염물질이 동시에 작용하여 생기는 것으로 알려져 있으며, 재실자가 불쾌감을 느껴 건물밖으로 나가면 비교적 단시간에 불쾌감이 해소되기 때문에 원인의 규명이 어려운 것으로 알려져 있다.

실내공기환경은 실내에서 생활하는 재실자의 신진대사나 활동, 건축 마감 자재, 가구 등에서 발생하는 열, 이산화탄소, 오존, 포름알데히드, 휘발성유기화합물과 같은 각종 오염물질을 발생하며, 이를 제거하거나 희석하기 위한 수단으로 환기가 필요하고, 효율적인 환기를 실시하지 않을 경우 실내공기오염의 정도는 매우 심각한 문제가 야기될 수 있다.

건축자재와 가구에서 발생하는 포름알데히드(HCHO)와 휘발성유기화합물(VOCs: Volatile Organic Compounds)의 유해성에 대한 관심이 점차 증가하고 있다. 이들 오염물질의 경우 인체에 미치는 영향이 크기 때문에 오염물질

이 실내에 누적되는 것을 방지하기 위하여 지속적으로 발생하는 미량의 유해오염물질을 효과적으로 제거할 수 있는 다양한 방안이 요구된다. 실내공기오염은 각 오염원에서의 유해오염물질 방산정도가 실내의 환경 조건과 주위 환경조건에 따라 건축자재의 종류 및 공법과 환기설비의 유형, 베이카아웃 등에 따라 큰 차이를 보이고 있어 이에 대한 검토가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 실내 화학물질의 저감에 효과가 있는 것으로 알려진 자연환기와 베이카아웃 실시 여부에 따른 실내공기질의 개선 효과를 규명하기 위하여 신축공동주택에서 자연환기의 시행 유무와 베이카아웃(30±1°C)을 한 경우와 하지 않은 경우, 자연환기와 베이카아웃을 병행한 경우로 나누어 현장 측정을 하고, 포름알데히드와 휘발성유기화합물을 중심으로 실내공기오염을 분석하여, 쾌적한 실내공기질 조성을 위한 기초자료로 제시하고자 한다.

II. 국외의 실내공기질 관련 법규

각종 건축자재 및 재료, 가구 등에서 지속적으로 방산되는 대표적인 유해오염물질인 포름알데히드와 휘발성유기화합물의 경우 국내외 각종 기준 및 권고안 등에서 새롭게 강화되고 있는 항목임에도 불구하고, 국내 자재의 방출특성에 대한 기초 자료는 외국에 비해 매우 부족한 실정이다.

미국환경보호청(EPA)에서는 주거, 학교, 사무소 등 다양한 건물 유형에 대해 실내공기질에 대한 일반 사항 및 개선방법을 수록한 문서 형태의 지침 및 가이드라인을 제시하고 있다.

캐나다, EU, 핀란드 등에서 오염물질 방출강도별로 건축마감자재 분류 규정을 제정하여 설계 지침으로 활용하고 있다. 그리고 캐나다에서는 오염물질의 방산이 적은 건축자재를 데이터베이스화하여 건설업자에게 제공하고 있다.

일본에서는 실내공기질 개선을 위해 친환경자재의 사용과 환기시스템을 채용하고 있으며, 특히 일본은 2003년 7월 1일부터는 건축기준법이 개정되어 공동주택에 24시간환기시스템 설치를 의무화하였으며 포름알데히드 방출 자재는 실내 환기횟수에 따라 등급별로 구분하여 사용면적을 제한하도록 규제하였고, 일본건축학회에서는 포름알데히드와 총휘발성유기화합물(TVOC) 등 실내공기 오염물질에 대한 농도기준치를 근거로 간이진단 프로그램 및 체크리스트를 개발하여 실내공기질에 관한 전문지식이 부족한 설계자, 시공자, 입주자들이 건축마감재 및 생활 습관 등을 손쉽게 입력하여 실내공기오염농도를 간편하게 예측하고, 오염저감대책의 효과를 평가할 수 있도록 하였다.

주요 각국의 실내공기질과 일본의 개별 VOCs 기준은 <표 1>, <표 2>와 같다.

표 1. 주요 각국의 실내공기질 기준

	포름알데히드	총휘발성유기화합물
WHO ¹⁾	100 µg/m ³	300 µg/m ³ 이하
일본 ²⁾	100 µg/m ³ 이하	400 µg/m ³ 이하
홍콩 ³⁾	100 µg/m ³	600 µg/m ³
캐나다 ⁴⁾	60 µg/m ³ 이하	-
ASHRAE ⁵⁾	120 µg/m ³ (30분 평균)	-
핀란드 ⁶⁾	50 µg/m ³ 이하	200 µg/m ³ (s ₁) 300 µg/m ³ (s ₂) 600 µg/m ³ (s ₃)
호주 ⁷⁾	120 µg/m ³	500 µg/m ³ 이하(1시간 평균)
독일 ⁸⁾	60 µg/m ³	300 µg/m ³ 이하 (평면형상제품) 600 µg/m ³ 이하 (입방형상제품)

표 2. 일본의 개별 VOCs 공기질기준^{9,10)}

개별 VOCs	대상	일본
		특정용도 건축물
벤젠		-
톨루엔		260 µg/m ³
에틸벤젠		3800 µg/m ³
자일렌		870 µg/m ³
p-디클로로		240 µg/m ³
스틸렌		220 µg/m ³

III. 실험 대상건물의 선정 및 측정방법

1. 실험 대상건물의 개요

신축공동주택의 실내공기질을 평가하기 위하여 대구광역시에 위치한, 입주예정인 A사의 신축공동주택 58평을 선정하였다. A사의 신축공동주택은 타워형으로, 내부마감자재와 평면은 <표 3>, <그림 1>과 같다.

2. 측정 방법 및 조건

1) 측정 일시 및 항목

측정 일시는 2005. 05. 06(1차), 2005. 05. 13(2차), 2005. 05. 20(3차)에 걸쳐 외기와 중간층(11층, 12층)과 고층(27층, 28층)을 대상으로 거실에서 측정하였으며, 각 측정의 조건은 1차 측정의 경우는 일주일간 자연환기를 시행하지 않은 경우(1201호, 2801호)와 자연환기(환기회수 1(회/h))를 시행한 경우(1202호, 2802호), 2차 측정은 온

1) <http://www.who.dk/air/Activities/20020620-1>

2) <http://www.mhlw.go.jp>

3) <http://www.iaq.gov.hk>

4) <http://www.hc-sc.gc.ca>

5) ASHRAE, Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low-Rise Residential Buildings, Standard 62.2p, August 11, 2000

6) Classification of Indoor Climate 2000, FiSIAQ

7) [hppt://www.health.gov.au/nhmrc](http://www.health.gov.au/nhmrc)

8) RAL-UZ38

9) [hppt://www.mhlw.go.jp](http://www.mhlw.go.jp)

10) [hppt://www.mext.go.jp](http://www.mext.go.jp)

표 3. 내부 마감자재 개요¹⁾

구분	바닥	벽	천장	일반가구 및 주방가구	
현관	대리석	벽지	천장지	신발장	
욕실	자기질타일	도기질타일	PVC천장재	수건함	
거실	온돌형마루	벽지	천장지	거실주방 복도, 장식장	
발코니	거실부분	온돌형마루	수성페인트	수성페인트	
	침실부분	비닐장판	수성페인트	수성페인트	불박이장, 장식장
	주방부분	자기질타일	수성페인트	수성페인트	주방가구
	침실부분	비닐장판	수성페인트	수성페인트	
침실부분	비닐장판	수성페인트	수성페인트	불박이장	
주방	온돌형마루	불연판넬	천장지	주방가구	
식당	온돌형마루	벽지	천장지	아일랜드장	
침실	비닐장판	벽지	천장지		
안방	비닐장판	벽지	천장지	안방가구	
가족실	온돌형마루	벽지	천장지		

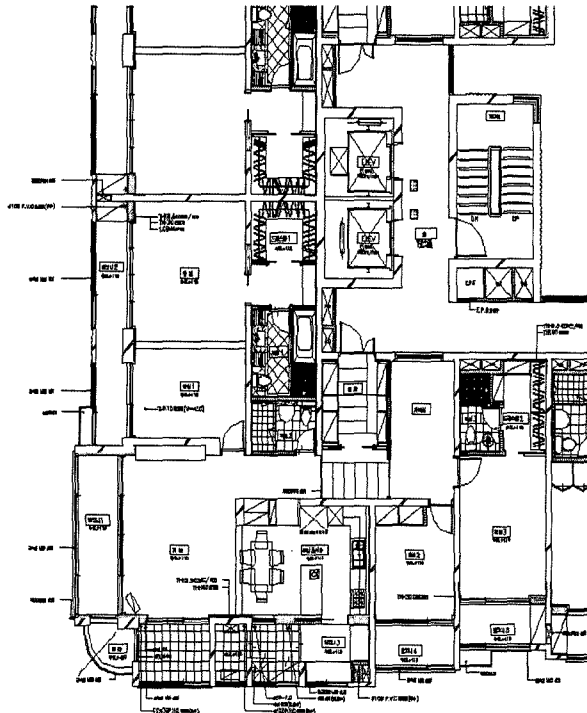


그림 1. 대상건물의 평면

- 1) 일반가구 및 주방가구
 - 1) 심재: 목재(PB E2급)/문짝 (MDF E2급)
 - 2) 표면재: 목재(PVC WRAPPING)/문짝(MEMBRAIN)
 - 3) 접착제: 일반
- 2) 벽지 및 천장재
 - 1) 벽지, 천장재: 실크벽지
 - 2) 접착제: 전분계접착제(무독성 청정풀)
- 3) 바닥재
 - 1) 온돌마루: 친환경(GENA06)/비닐장판 - 깔짚이황도방
 - 2) 접착제: 친환경접착제/수용성본드
- 4) 목창호
 - 1) 문: 심재(라왕집성부+L.V.C)/표면재(MDF)
 - 2) 문틀: 본틀(라왕집성목)/문선(MDF)바감재(GW89 칼 라무너목)
 - 3) 접착제: 친환경접착제

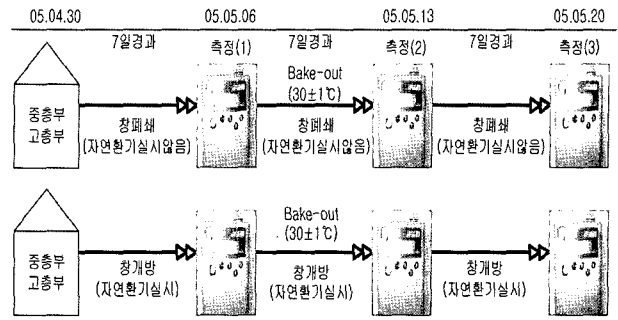


그림 2. 실내공기질 측정일정 및 조건

도조건을 30±1°C로 설정하여 베이카아웃을 한 경우(1101호, 1201호, 2701호, 2801호)와 베이카아웃과 자연환기를 병행한 경우(1102호, 1202호, 2702호, 2802호), 3차 측정은 1차 측정과 같은 조건으로 하여 온도, 습도, 기류속도, 포름알데히드, 휘발성유기화합물을 측정하여 시간 경과에 따른 오염물질의 경감을 파악하였다. 측정조건 설정 중 자연환기는 매일 오전 10시부터 오후 6시까지 창을 개방하였고, 오후 6시 이후부터는 다시 창을 폐쇄하였다. 그리고 베이카아웃은 24시간동안 30±1°C로 유지할 수 있도록 설정하여 총 16개 케이스에 대해 측정하였다.

2) 실험 방법

신축공동주택의 실내공기질 환경조건을 파악하기 위하여 사용된 측정기와 측정요소는 <표 4>와 같다.

3) 환경변수 측정결과

측정기간 중 온도, 습도, 기류, 외기온과 기후 조건은 <표 5>와 같다.

각 측정 일시별 각 실의 실내온도, 상대습도, 기류속도 조건은 비슷한 양상을 나타내고 있으며, 특히 본 연구에서 수행하고 있는 베이카아웃의 설정 조건인 30±1°C(2

표 4. 측정요소 및 방법

구분	측정 기기	
	기기명	EA
온도	• 디지털 온습도계	1
상대습도		
기류속도	• 디지털 풍속계	1
휘발성유기화합물(VOCs)	• 고체 흡착관/펌프 • MP-300	2
포름알데히드(HCHO)	• DNPH카트리지/펌프 • MP-300	2



그림 3. 측정모습

표 5. 측정일정별 환경변수

일시	구분	실내온도 (°C)	상대습도 (%)	기류속도 (m/s)	외기온 (°C)	기후 상태
1차 측정	1201호	24.5	61	~0.01	18	비
	1202호	25.2	61	0.02		
	2801호	26.0	61	0.01		
	2802호	25.1	61	0.01		
2차 측정	1101호	31.7	29.7	~0.01	25.6	맑음
	1102호	30.8	29.8	0.01		
	1201호	32.5	30.2	~0.01		
	1202호	30.7	33.6	~0.01		
	2701호	32.5	28.1	~0.01		
	2702호	30.7	35.8	~0.01		
	2801호	29.5	32.3	0.01		
2802호	29.7	34.6	0.03~0.07			
3차 측정	1201호	24.4	28.5	0.01	24.2	맑음
	1202호	25.0	39.6	0.02		
	2801호	23.8	36.7	~0.01		
	2802호	24.6	39.5	~0.01		

표 6. 포름알데히드 분석 결과 (단위: µg/m³)

조건	포름알데히드	평균
자연환기 무	1201호	344.00
	2801호	406.58
자연환기 유	1202호	230.13
	2802호	298.37
베이크아웃	1101호	529.93
	1201호	628.67
	2701호	673.03
	2801호	508.00
베이크아웃 + 자연환기	1102호	342.43
	1202호	365.67
	2702호	349.67
	2802호	375.67
자연환기 무	1201호	343.33
	2801호	440.33
자연환기 유	1202호	167.00
	2802호	114.80
외기	7.67	-

차 측정)를 대체로 유지하고 있는 것으로 나타났다.

IV. 측정결과 분석

실내공기오염 물질 중 실내 마감재에서 방출되는 소량의 화학물질이 실내공기를 오염시켜 인체에 영향을 미친다. 실내 마감재에서 방출되는 포름알데히드와 휘발성유기화합물은 실내온도와 환기여부에 따라 방출속도가 변화하며, 이러한 방출속도에 따라 실내의 오염정도가 달라질 수 있다. 따라서 A사의 신축공동주택에서 환기와 베이크아웃의 실시 여부에 따른 실내공기질을 평가하기 위하여 실내 공기 환경을 조사하여 비교 분석하였다.

1. 포름알데히드 측정결과

포름알데히드는 건축자재, 단열재, 합판 등에서 발생하며, 실내에서 포름알데히드 농도는 온도와 습도, 건축물의 수명, 실내 환기율에 따라 크게 좌우된다. 측정결과는 <표 6>과 같다.

1) 자연환기 유무에 따른 포름알데히드 분석

중층부와 고층부에서 자연환기를 실시한 경우와 하지 않은 경우의 포름알데히드 농도분포는 <그림 4>와 같다.

시공된 상태에서 일주일 간 자연환기를 하지 않은 경우와 자연환기를 한 경우에 대해 검토한 결과 신축공동주택의 법적 농도 기준치인 120 µg/m³을 모두 초과하였으며, 자연환기를 하지 않은 경우는 허용 기준치의 약 3배, 자연환기를 한 경우는 기준치의 2배를 초과하였다.

자연환기의 유무와 관계없이 고층부(27층, 28층)가 중층부(11층, 12층)보다 60 µg/m³ 정도 높게 나타났는데, 이는 고층부의 경우 일사의 영향으로 실내온도의 상승에 따라 높게 나타난 것으로 보인다. 그리고 포름알데히드

는 자연환기를 실시한 경우가 자연환기를 실시하지 않는 경우 보다 중·고층부에서 약 110 µg/m³ 정도 낮게 나타나 자연환기를 하는 경우 포름알데히드의 농도가 현저히 줄어 들을 알 수 있었다.

2) 베이크아웃과 자연환기 유무에 따른 포름알데히드 분석
실내오염물질을 효과적으로 경감시킬 수 있는 베이크아웃과 자연환기 유무에 따른 포름알데히드 농도분포는 <그림 5>와 같다.

베이크아웃과 자연환기에 의한 효과를 비교·검토하기 위해 일주일 간 베이크아웃 만 한 경우와 베이크아웃과 자연환기를 병행한 경우에 대해 각각 중층부 2개실, 고층부 2개실을 측정하였다.

베이크아웃과 자연환기를 병행한 경우는 베이크아웃 만 시행한 경우보다 중층부와 고층부의 농도가 220 µg/m³ 정도 감소하여 베이크아웃과 환기를 동시에 행한 경우가 실내공기질 개선을 위해 효과적임을 알 수 있었다.

따라서 건축계획단계에서 건축자재 선정과 가구류의 반입시기 및 시공시 베이크아웃과 자연환기에 대한 세밀한

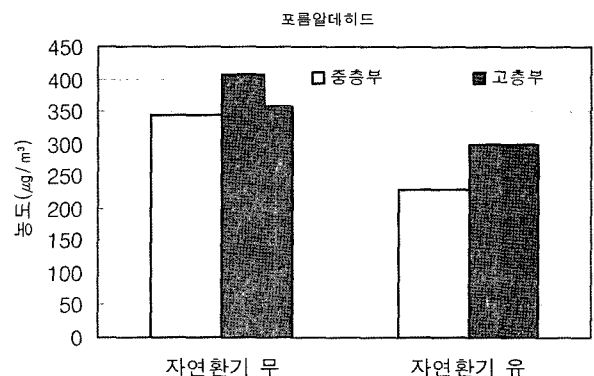


그림 4. 자연환기 유무에 따른 포름알데히드 농도

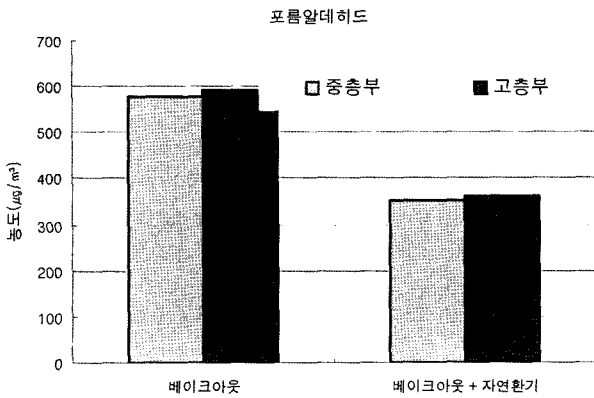


그림 5. 베이크아웃과 자연환기 유무에 따른 포름알데히드 농도

검토가 필요한 것으로 판단된다.

3) 시간경과에 따른 포름알데히드 분석

베이크아웃만 한 경우와 베이크아웃과 자연환기를 병행한 경우의 시간 경과에 따른 포름알데히드의 농도변화는 <그림 6>과 같다.

베이크아웃만 시행한 경우, 1차 측정조건(5월 6일: 건설회사에서 시공한 상태)과 2차 측정조건(5월 13일: 일주일간 베이크아웃 실시), 그리고 3차 측정조건(5월 20일: 베이크아웃을 정지한 후 일주일 경과)의 시간경과에 따른 변화추이는 일주일간 베이크아웃을 한 경우 중층부와 고층부에서 포름알데히드 양이 급격히 증가하다가 베이크아웃을 멈춘 후에는 포름알데히드의 양이 점차 감소하여 1차의 측정치와 거의 같은 농도로 떨어졌으나 중, 고층부에서 허용 기준치인 120 µg/m³을 모두 초과하여 베이크아웃 만으로는 실내 오염농도를 기준치 이하로 조성하기는 어려운 것으로 판단되지만, 시간경과에 따라 베이크아웃이 건축자재와 가구류 등에 내제되어 있는 포름알데히드의 방출을 증가시키는 효과가 있음을 알 수 있다.

베이크아웃과 자연환기를 시행한 경우, 1차 측정조건(5월 6일: 건설회사 시공한 상태에서 자연환기를 한 경우)과 2차 측정조건(5월 12일: 일주일간 베이크아웃과 자연환기를 한 경우), 3차 측정조건(5월 20일: 베이크아웃을

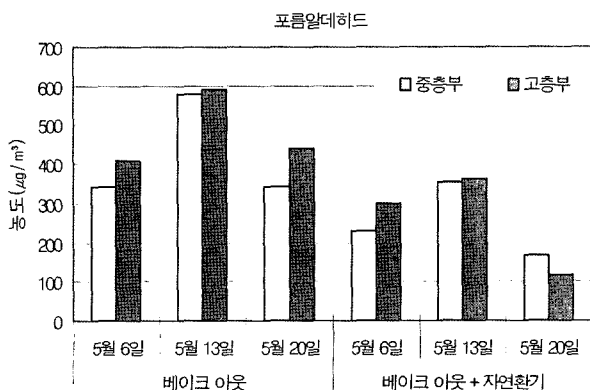


그림 6. 시간경과에 따른 포름알데히드 농도 변화

정지한 후 일주일간 자연환기를 한 경우)의 시간경과에 따른 변화추이는 베이크아웃만 한 경우 보다 포름알데히드의 농도가 완만히 증가하다가 베이크아웃을 멈추고 일주일간 자연환기를 한 경우에도 건축자재로부터 방출된 오염물질이 계속 감소하여 고층부에서는 기준치 이하로 떨어지는 것으로 나타났다.

베이크아웃과 자연환기를 병행한 경우는 베이크아웃만 시행한 경우에 비해 포름알데히드 농도가 중층부에서는 34~52%, 고층부에서는 27~75% 감소하였다.

따라서 A사의 신축공동주택에서 사용한 건축자재 및 가구류 등 복합적인 요인에 의해 농도가 높게 검출되는 것을 알 수 있었고, <표 7>과 <그림 4~6>에 나타난 결과를 검토하면, 베이크아웃의 경우 실내 오염물질의 방출을 촉진시키는 역할을 하며, 실내에 방출된 오염물질의 제거는 환기가 효과적인 것으로 판단된다.

2. 휘발성유기화합물 측정결과

실내 화학오염물질의 주 원인인 휘발성유기화합물은 건축자재 중 주로 페인트, 접착제, 단열재, 복합재료 등에서 발생되어 서서히 공기 중에 방산되는 특징이 있다.

A사의 신축공동주택의 휘발성유기화합물 농도 측정 결과는 <표 7>과 같고, 총휘발성유기화합물(TVOC)의 평균치는 3,652.74 µg/m³, 최저 1176.53 µg/m³, 최대 6124.99 µg/m³로 나타났다. 총휘발성유기화합물은 베이크아웃과 자연환기의 시행 여부에 따라 환경부의 공동주택 실내공기질 권고기준치인 400 µg/m³를 3배(1176.53 µg/m³)에서 최대 15배(6124.99 µg/m³)를 초과하는 것으로 나타나, 공동주택의 총휘발성유기화합물의 오염 위험도가 심각함을 알 수 있다.

일본의 VOCs 실내공기질 기준과 3차 동안 측정된 톨

표 7. 휘발성유기화합물 분석결과 (단위: µg/m³)

조건	TVOC	벤젠	톨루엔	에틸벤젠	자일렌	스틸렌	
자연환기 무	1201호	2595.00	4.402	544.563	26.913	57.199	18.786
	2801호	4604.10	4.096	551.266	35.306	77.496	38.227
자연환기 유	1202호	2262.61	1.679	290.564	16.821	38.162	22.281
	2802호	3868.14	2.231	398.761	46.738	101.352	51.867
베이크아웃	1101호	5126.61	2.963	587.571	50.915	114.528	50.042
	1201호	5960.96	0.000	680.406	70.509	171.821	70.945
	2701호	6124.99	4.621	713.282	64.639	122.917	74.926
	2801호	6740.26	0.000	0.000	964.675	2.856	0.000
베이크아웃 + 자연환기	1102호	2929.19	1.463	356.033	23.197	57.015	24.221
	1202호	4687.96	3.186	666.945	39.536	91.123	58.531
	2702호	5439.07	3.164	553.057	102.489	114.991	75.076
2802호	2396.07	0.000	3.871	1.843	5.352	2.959	
	자연환기 무	1201호	4452.13	3.035	437.330	37.729	78.446
2801호		2077.41	1.329	315.022	16.164	31.443	25.526
자연환기 유	1202호	2141.91	1.729	348.425	31.746	45.751	24.201
	2802호	1176.53	1.033	152.620	9.659	21.644	6.386

루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스틸렌 결과와 비교 시, 톨루엔의 경우 최저 152.620 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 평균 455.030 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 최대 713.282 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 분석되어, 일본의 기준치(260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 보다 초과하고 있어 톨루엔이 실내공기질에 영향을 미치는 주요인임을 알 수 있었고, 에틸벤젠, 자일렌, 스틸렌의 분석 결과는 기준치보다 낮아 실내공기질에 미치는 영향이 적음을 알 수 있었다.

1) 자연환기 유무에 따른 TVOC와 톨루엔 분석

중층부와 고층부에서 자연환기를 실시한 경우와 실시하지 않은 경우의 총휘발성유기화합물과 VOCs 중 톨루엔의 농도분포는 <그림 7>과 같다.

일주일 간 자연환기를 하지 않은 경우와 자연환기를 한 경우에 대해 중층부와 고층부의 총휘발성유기화합물을 비교 검토한 결과, 신축공동주택의 권고 기준치인 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 모두 초과하였고, 자연환기를 하지 않은 경우는 권고 기준치의 약 6~11배, 자연환기를 한 경우는 기준치의 4~9배를 초과하는 것으로 나타났다. 자연환기를 한 경우가 자연환기를 하지 않은 경우 보다 약 13% 정도 감소하는 것으로 나타났다.

일본의 톨루엔 실내공기질 기준인 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 비교하면 기준치를 모두 초과하였고, 자연환기를 한 경우는 자연환기를 하지 않은 경우보다 중층부에서 52%, 고층부에서 28% 정도 감소하였다.

2) 베이크아웃과 자연환기 유무에 따른 TVOC와 톨루엔 분석

중층부와 고층부에서 베이크아웃과 자연환기를 실시한 경우와 베이크아웃만 한 경우의 총휘발성유기화합물과 톨루엔의 농도분포는 <그림 8>과 같다.

베이크아웃과 자연환기에 의한 TVOC의 농도 변화는 베이크아웃만 시행한 경우 보다 중층부에서 1300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 고층부에서 680 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 감소하였고, 톨루엔의 경우는 중층부에서 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 고층부에서 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 감소하여 베이크아웃과 환기를 동시에 행한 경우가 실내공기질 개선을 위해 효과적임을 알 수 있었다.

3) 시간경과에 따른 TVOC와 톨루엔 분석

베이크아웃만 한 경우와 베이크아웃과 자연환기를 병

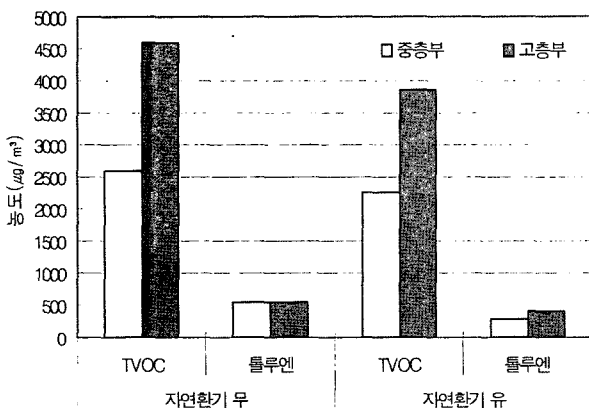


그림 7. 자연환기 유무에 따른 TVOC와 톨루엔의 농도

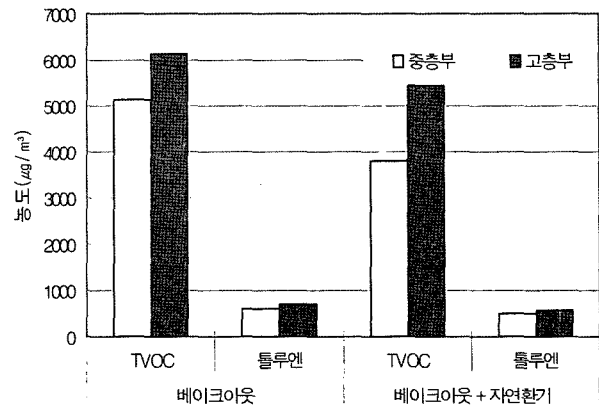


그림 8. 베이크아웃과 자연환기 유무에 따른 TVOC와 톨루엔 농도

행한 경우의 시간경과에 따른 TVOC와 톨루엔의 농도변화는 <그림 9, 10>과 같다.

베이크아웃만 시행한 경우와 베이크아웃과 자연환기를 병행한 경우의 시간경과에 따른 TVOC 농도는 중층부와 고층부에서 베이크아웃을 할 경우 두 조건 모두 농도가 증가하였다가 베이크아웃을 정지한 후에는 점차 감소하는 양상을 보였지만, 신축공동주택의 권고기준치인 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 모두 초과하여 실내 오염농도를 기준치 이하로 조성하기는 어려울 것으로 판단된다.

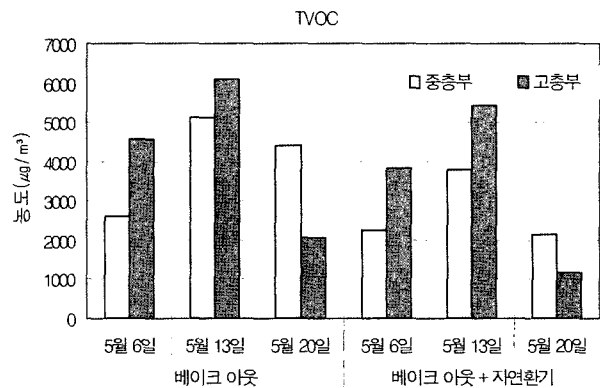


그림 9. 시간경과에 따른 TVOC 농도 변화

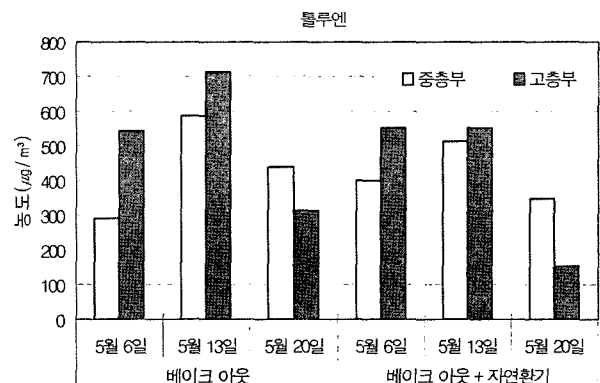


그림 10. 시간경과에 따른 톨루엔 농도 변화

톨루엔의 경우도 TVOC의 시간경과에 따른 변화와 같은 양상을 보이고 있다. 1차, 2차, 3차의 측정결과를 보면 일본의 톨루엔 기준치 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 초과하는 것으로 나타났으나, 베이커아웃과 자연환기를 병행한 경우 3차 측정결과는 일본의 톨루엔 기준치 이하로 떨어져 시공시 베이커아웃과 자연환기를 병행한 경우에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

시간경과에 따라 베이커아웃과 자연환기가 TVOC와 톨루엔의 방출에 효과가 있음을 알 수 있었다.

V. 결 론

실내 공기의 오염이 주로 외기의 조건에 따라 변화했던 과거와는 달리 인간의 다양한 활동, 연소기구, 사무기기, 건축 재료의 오염물질 배출 등으로 인한 실내 공기의 오염은 실내 공기의 질을 결정하는 가장 중요한 요소이다. 특히 최근의 건축물은 에너지 절약화로 인해 환기성능은 저하되었고 각종 실내 마감재와 접착제, 가구 등의 사용은 증가하였다. 이러한 각종 실내 마감재나 가구 등으로부터 발생하는 오염물질은 그 종류와 수가 다양할 뿐 아니라 인체에 심각한 영향을 미치는 것으로 알려져 있어 실내공기환경에 대한 관심이 고조되고 있다.

베이커아웃과 자연환기가 실내공기질에 미치는 영향을 파악하기 위하여 포름알데히드, TVOC, 톨루엔을 중심으로 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 자연환기의 시행 유무에 따른 포름알데히드, TVOC, 톨루엔의 농도를 분석한 결과 신축공동주택의 권고 기준치를 초과하였고, 자연환기를 시행한 경우는 자연환기를 하지 않은 경우보다 중층부와 고층부에서 모두 농도가 감소하는 것으로 나타났다.

둘째, 베이커아웃과 자연환기 유무에 따른 포름알데히드, TVOC, 톨루엔의 농도를 분석한 결과 베이커아웃을 할 경우 포름알데히드, TVOC, 톨루엔의 농도가 급격히 증가하는 양상을 보이다가 베이커아웃을 중지하고 일주일 경과한 후에는 감소하는 추세를 보이고 있다. 그리고 베이커아웃과 자연환기를 병행한 경우에는 베이커아웃만 한 경우보다는 포름알데히드, TVOC, 톨루엔의 농도가 현저히 감소하여 실내공기질 개선을 위해 베이커아웃과 자연환기에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

셋째, 시간경과에 따른 포름알데히드, TVOC, 톨루엔의 농도 분포를 분석한 결과 시간경과에 따라 중층부와 고층부에서 베이커아웃을 할 경우 농도가 증가하였다가 베이커아웃을 정지한 후에는 점차 감소하는 양상을 보였지만, 신축공동주택의 권고기준치를 초과하는 것으로 나타났다.

위의 결과에서 보면 베이커아웃은 건축자재 및 가구류 등에 내재되어 있는 포름알데히드, TVOC와 톨루엔의 방출에 효과가 있음을 알 수 있었고, 자연환기는 실내에 방출된 오염물질을 제거하는 역할을 하는 것을 알 수 있었다.

이상의 연구에서 실내공기질에 영향을 미치는 요소와 측정을 통한 실내공기질을 검토하였다. 실내공기질은 복합건축자재의 사용과 공법의 변화로 인한 많은 양의 접착제 사용이 실내로 방출되는 화학물질을 증가시키는 요인이 됨으로 신축공동주택에서 실내공기질을 개선하기 위해서는 계획단계 뿐만 아니라 시공단계에서도 실내공기질에 영향을 미치는 오염발생원에 대한 대책이 필요하다. 그리고 VOCs 중 실내 공기오염의 주원인은 톨루엔, 즉 톨루엔의 주 발생원인 바닥재, 건자재, 페인트, 실런트, 접착제, 가구, 단열재, 비닐벽지, 천장타일 등에 대한 규제 기준을 마련하는 것이 시급한 과제라 판단되며, 이 분야에 대해 보다 광범위하고 정밀한 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 강경인 외 1(2004), 이제는 집도 웰빙이다, 도서출판 대가.
2. 강동화(2005), 바닥난방 공간의 베이커 아웃에 의한 VOCs 방출에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문.
3. 관계부처 합동(국무조정실·교육인적자원부·행정자치부·산업자원부·환경부·노동부 건설교통부)(2004), 실내공기질 관리 기본계획.
4. 김영옥(2004), 헛쉬는 집, 랜덤하우스 중앙.
5. 김윤신(2001), 실내공기오염의 발생원, 오염물질 및 영향, 녹색서울21 겨울호, 녹색서울 시민위원회.
6. 김은수 외(2004), 공동주택 실내마감구성재 사용에 따른 실내공기질 예측, 대한건축학회 학술발표논문집, 제24권 제2호.
7. 김일호 외(2005), 신축공동주택의 VOCs&HCHO의 농도 예측에 기초적 연구, 대한설비공학회 하계학술발표대회논문집.
8. 김자경(2004), 자연과 함께하는 건축, 시공문화사.
9. 김창남 외(2004), 실내공기 중의 개별 VOC 농도변화에 관한 측정연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 제24권 제2호.
10. 김현중(2004), 새집증후군 대책의 바이블, 선진문화사.
11. 류용희 외(2004), 공동주택 실내공기질 측정을 통한 현황 및 환기량과 자재종류에 따른 실내공기질 예측, 대한건축학회 학술발표논문집, 제24권 제1호.
12. 박진철(1994), 신축공동주택의 실내공기환경 개선에 관한 연구, 중앙대학교 박사학위논문.
13. 박진철(2003), 주거건물의 실내공기환경 개선에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제19권 제6호.
14. 유형규 외(2005), 신축공동주택에서의 실내공기오염물질 방출 저감 프로세스에 관한 연구, 설비공학회논문집, 제17권 제5호.
15. 이경희 외 3(2005), 실내공기질 향상을 위한 시공단계의 영향인자 분류에 관한 연구, 대한건축학회지회연합논문집, 제7권 제1호.
16. 이상형(1995), 기존 공동주택의 실내공기환경에 관한 연구, 중앙대학교 석사학위논문.
17. 이윤규(1998), 최근 실내공기환경 기준의 국제적 연구동향, 대한건축학회 세미나.
18. 전정운 외(2004), 겨울철 주택내 유기화합물 공기오염농도에 관한 측정연구, 대한건축학회논문집, 20권 5호.
19. 최정민 외 5(2005), 건축마감재와 가구재의 VOCs, HCHO 유해물질에 따른 공동주택 적정 환기량 산정에 관한 연구, 한국주거학회논문집, 제16권 제4호.

(接受: 2006. 2. 23)

