

중소도시 공동주택의 실내공기질(새집증후군) 실측에 관한 연구

Field Measurements of Indoor Air Quality in Apartment Units at Medium-size Cities

윤재옥*

Yoon, JaeOck

Abstract

The main sources of the new house syndrome(sometimes it called sick building syndrome) are a concentration of formaldehyde (HCHO) and a concentration of total volatile organic compounds(TVOC). I had field measurements of indoor air quality in the apartment unit at medium-size cities(Y city, C city). I measured indoor air temperature, HCHO concentration in 16 units, TVOC concentration in 6 units and air tightness in 7 units. And I measured outdoor air quality, HCHO concentration and TVOC concentration. Mean concentration of HCHO was $357\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2006 standard= $120\mu\text{g}/\text{m}^3$), mean concentration of TVOC was $3,092\mu\text{g}/\text{m}^3$ and mean effective air leakage area was 193 cm^2 . There was a close relation between the indoor air temperature and HCHO concentration, between the indoor air temperature and TVOC concentration. Air tightness also had relation.

키워드 : 공동주택, 포름알데히드, TVOC, 기밀성능, 새집증후군

Keywords : Apartment, Formaldehyde, TVOC(Total Volatile Organic Compounds), Air-tightness, New House Syndrome.

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

한정된 토지에서 많은 세대가 거주할 수 있는 주거 방식으로 공동주택이 각광을 받고 있다. 한국의 경우 대도시 뿐 만아니라 중소도시에서도 공동주택의 증가는 일반화되고 있는 실정이다. 공동주택은 일반주거건물과 비교하여볼 때, 외부에 면하는 외벽면이 적어 난방에너지를 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다. 더구나 집중적으로 많은 세대를 한꺼번에 건설하므로 바닥 면적 당 건설비용을 줄일 수 있는 장점도 있다. 요즘은 공동주택의 보급을 막을 수 없는 상황에 와 있다고 볼 수 있다.

공동주택 특히 코아형의 경우 환기부족 현상은 풀어야 할 큰 숙제이다. 각 세대들이 위, 아래, 좌, 우 사방으로 서로 겹쳐있으므로 외기에 면한 벽면이 적어 우풍 즉 침기량이 극히 적다. 더구나 요즘 유행하는 타워형 공동주택의 경우 맞통풍을 기대하기 어려우므로 자연환기를 이용할 수가 없는 실정이다. 최근 정부에서 새로 지은 공동주택의 최소환기량을 0.7회/h로 규제하고 있지만, 실제 사용하는 입주자들에게는 편한 방법이 아니어서 근본적

인 해결책으로 보기는 어렵다.

새로 지은 공동주택의 경우 새집증후군이라는 또 다른 공기청정도 문제가 발생하고 있다. 신건축자재가 개발되고 새로운 화학공업재료를 사용한 편리하고 미려한 제품이 많이 나오면서 실내공기를 악화시키는 경향이 늘고 있다. 새집에 이사하여 아토피 피부염, 코 막힘, 기침으로 인한 천식 등으로 고생하는 사람이 많으며, 어린이나 노약자의 경우 성인 보다 공동주택 내 거주 시간도 길고 면역력이 약하여 더욱 문제가 되고 있다. 정부에서는 이를 개선하기 위하여 공동주택과 다중이용시설의 실내공기질기준을 만들고 점차 이를 엄격한 기준으로 재조정하여 규제, 권고하고 있는 실정이다.

새집증후군의 원인으로는 주로 포름알데히드와 휘발성 유기화합물을 꼽을 수 있다. 새로 지은 건물이나 리노베이션을 실시한 건물에서 주로 많이 발생하는 이러한 화학물질은 접착제, 광택제, 페인트, 타일 등에서 방출되며 미량으로 인체에 많은 영향을 미친다.

기존 연구를 살펴보면, 최윤정 등(2008년)은 리노베이션 한 공동주택을 대상으로 현장실측을 통하여 포름알데히드(HCHO), 총휘발성유기화합물(TVOC: Total Volatile Organic Compounds) 등 실내공기질을 측정 분석하였다. 설문조사를 병행하여 조사하였다. 박준석 등(2007년)은 실내공기질과 경제적 효과에 관한 연구를 하였다. 또한

* 호서대학교 건축공학과 교수, 공학박사(joy@hoseo.edu)

이 논문은 2004년도 호서대학교의 재원으로 학술연구비 지원을 받아 수행된 연구임(2004-0400)

Mock-up 실험실에서 폼알데히드, TVOC 등을 측정하고 피험자를 통한 설문조사와 작업등률 등을 검사하고 분석하였다. 장현재(2007년) 등은 공동주택을 대상으로 강제환기 시설을 설치하고 HCHO와 톨루엔 농도를 측정하여 실내공기질을 분석하였다. 이상과 같은 연구들은 Mock-up 실험실이나, 강제 환기가 이루어지고 있는 공동주택 상황에서 실내공기질(HCHO, TVOC 등)을 측정 분석하였다. 본 연구에서는 실제 새로 지어 입주 했거나, 입주 하려는 공동주택을 대상으로 현장 실측을 통하여 실내공기질을 파악하고자한다. 기밀측정을 실시하여 침기량에 따른 효과를 분석하고자 한다.

본 연구는 우리나라 중소도시에 지어지고 있는 공동주택을 대상으로 실내공기질 중에서 새집증후군을 일으키는 주 원인이 되는 폼알데히드와 총휘발성유기화합물 농도를 측정하고 분석한다. 실내외 농도와 온도, 침기량 등을 측정하여 미치는 영향을 파악하고, 지방 공동주택의 실내공기질 자료를 확보하는데 목적이 있다.

1.2 연구 방법 및 범위

우리나라 대부분의 중소도시에서는 인구증가와 더불어 많은 세대의 공동주택이 지어지고 있다. 비교적 인구증가가 높은 지방의 두 도시, 경기도의 용인시(Y도시)와 충청남도의 천안시(C도시)를 대상으로 공동주택의 실내공기질 현장 실측을 실시하였다. 3곳의 공동주택에서 각각 5-6세대를 선정하여 실측을 하였고, 저층세대와 중층세대 그리고 고층세대로 나누어 세대 위치에 따른 영향을 검토하였다. 각 세대는 25평~40평 규모로 한정하였다.

실내공기질 현장 실측은 새집증후군의 주된 요인인 폼알데히드와 총휘발성유기화합물 농도를 측정하는 것이었다. 실내농도와 복도, 외기 농도도 측정하였다. 환경부에서 2004년 공고한 농도측정 포집방법에 따라 공동주택에서 시료를 채취하고 전문화학실험실에 의뢰 분석하였다. 분석된 농도자료는 함께 측정된 온도, 습도, 기밀성능과 연관하여 분석하였다.

2. 주거공간의 실내공기질

2.1 실내공기질 기준

건물 실내공기질 기준은 표1과 같이 정부 여러 부처에서 관리하고 있다. 기준 물질이 조금씩 다르나 특성에 맞게 기준을 정하고 있다. 환경부 기준에 의하면 다중이용시설의 경우 2008년부터 HCHO 농도를 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 강화시키고 있으며, TVOC 농도는 장소에 따라 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하이다. 구체적인 다중이용시설의 권고기준은 표2와 같다. 표3은 2008년부터 강화된 다중이용시설의 실내공기 유지기준이다. 폼알데히드의 경우 2005년 권고기준을 완화하였다가 2008년 유지기준을 강화하였다. 표4는 HCHO 기준의 변화를 나타낸 것이다.

실내공기질의 외국 기준을 살펴보면 표5, 표6과 같다. 표6과 같이 일본 학교시설 환경위생기준에는 톨루엔 등 보다 자세한 항목의 기준들이 설정되어 있다. 표5의 나라

단 WHO기준 가이드라인에 의하면 평균노출시간도 명시되어, 장단기 노출시간에 따른 기준을 제시하고 있다.

2.2 HCHO, TVOC 채취 및 분석방법

공동주택 세대 실내공기질 측정 방법 중에서 HCHO와 TVOC 농도측정방법으로는 2004년 환경부에서 공고한 공정시험방법(환경부고시 제2004-80호)과 순간직독식 등이 있다. 환경부에서 공고한 공정시험법은 정밀측정방법으로 공기 시료채취 시 거실 중앙부에서 실시하며, 층 바닥에서 1.2m~1.5m 높이 즉 인체에 가장 영향을 주는 위치에서 측정한다.

HCHO 농도 측정 시 첫 단계로 시료채취를 하기 전에 단위세대 외기에 면한 모든 창문과 실내불박이 가구 문

표 1. 정부 부처별 실내공기질 관리현황

담당부처 기준물질	환경부	보건복지부	노동부	교육인적자원부
적용대상	다중이용시설 (지하역사 등 17개시설군)	공중이용시설 (학원, 공연장, 등)	사무실, 작업장	학교
근거법	다중이용시설등의 실내공기질 관리법	공중위생 관리법	산업보건기 준에 관한규칙	학교보건법
HCHO	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	0.1 ppm	-
TVOC	400~1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-
미세먼지	100~200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
CO	10~25 ppm	25 ppm	10 ppm	-
CO ₂	1000 ppm	1000 ppm	1000 ppm	1000 ppm
NO ₂	0.05~0.03 ppm	-	-	-
총 부유세균	800 CFU/ m^3	-	-	-
라돈	4 pCi/ ℓ	-	-	-
석면	0.01 개/cc	-	-	-
오존	0.06~0.08 ppm	-	-	-

표 2. 실내공기질 권고기준

오염물	TVOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO ₂ (ppm)	Rn (pCi/ ℓ)	석면 (개/cc)	오존 (ppm)
다중이용시설					
지하역사, 도서관 지하상가 등	500 이하	0.05 이하	4.0 이하	0.01 이하	0.06 이하
노인의료시설, 보육시설 등	400 이하				
실내주차장	1,000 이하	0.30 이하			

표 3. 실내공기질 유지기준

(2008년 10월 기준)

오염물	HCHO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	총 부유세균 (CFU/ m^3)
다중이용시설					
지하역사, 도서관 지하상가, 등	100 이하	1000 이하	10 이하	150 이하	-
노인의료시설, 보육시설 등				100 이하	800 이하
실내주차장			25 이하	200 이하	-

표 4. 포름알데히드(HCHO) 실내 권고(유지) 기준 변화

오염물	포름알데히드 HCHO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	2005년	2006년	2008년 이후
다중이용시설(대합실, 보육시설 및 노인 전문 병원, 실내주차장 등)	210 이하	120 이하	100 이하

표 5. WHO 실내공기 가이드라인

화학물질	가이드라인	평균노출시간
HCHO	$100\mu\text{g}/\text{m}^3$	30분
CO ₂	920ppm	24시간
CO	50ppm	30분
	10ppm	8시간
SO ₂	$500\mu\text{g}/\text{m}^3$	10분
	$50\mu\text{g}/\text{m}^3$	1년간
NO ₂	$40\mu\text{g}/\text{m}^3$	1년간
O ₃	$120\mu\text{g}/\text{m}^3$	8시간
부유분진(TSP)	$100\sim 120\mu\text{g}/\text{m}^3$	8시간
라돈	$2.7\text{ pCi}/\ell$	-

표 6. 일본문부성 학교 환경위생 기준

항 목	기 준
온 도	겨울철(10℃ 이상), 여름철(30℃) 이하
상대습도	30%~80%
HCHO	$100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하
톨루엔	$260\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하
CO ₂	1500 ppm
CO	10 ppm
기 류	0.5 m/s
부유분진	0.1 mg/m ³
복사열	후구/건구의 온도차 5℃ 이하
환기회수	22회/시간 이상(유치원, 소학교)

을 30분 이상 지속적으로 개방하여 사전 자연환기를 실시한다. 두 번째 단계로 5시간 이상 외기로 면한 모든 개구부(창문, 출입문, 환기구)를 닫아 실내와 실외부의 공기 유동을 방지한다. 이때 실내장식장과 불박이장 등의 문짝을 개방하여 불박이장과 실내의 공기 이동이 가능하게 하며 방출오염물질을 실내에 모은다. 세 번째 단계로 5시간 지난 후 30분간 2회에 걸쳐 DNPH(2,4-Dinitrophenylhydrazine) 카트리지로 공기 시료를 채취한다. 카트리지를 은박지로 말아 혹시 있을 빛의 영향을 차단한다. 이때 자연환기구와 강제환기구를 모두 밀폐하고 시료채취를 한다. 공기시료 채취 시 오존스크리버(Ozone Scrubber)를 사용하며, 정밀한 미니흡입펌프(0.5mL/min)를 사용하여 30분간 15L씩 2차례 채취한다. 마지막 단계로 채취한 공기시료를 고속액체크로마토그래피(HPLC: Highperformance Liquid Chromatography)로 정밀 분석한다.

TVOC 농도측정방법은 HCHO 시료채취 방법의 두 단계는 동일하며 세 번째 단계에서 Tenax-TA Tube를 사용한다. 정밀한 미니흡입펌프(0.1mL/min)를 사용하여 30분간 3L씩 2차례 채취한다. 마지막 단계로 채취한 공기시료를 가스크로마토그래피/질량분석법(GC/MS: Gas Chromatographic/Mass Spectroscopy)으로 정밀 분석한다.

2.3 기밀성능 측정방법과 침기량 기준

자연환기 중에서 침기현상은 거주자가 전혀 의도하지 않은 환기로 건물 외벽면과 창틀 등 건물외피의 틈새에서 발생된다. 침기량은 실내 오염물질의 배출 난방부하산정과 적정실내온도의 유지 등을 고려해 볼 때 중요한 요소이다. 침기는 건물 틈새에서 발생하며, 외기 바람과 실내외 온도차 등 실내외 압력차에 의하여 일어난다.

침기량 측정방법에는 실내외의 압력차를 이용한 압력차법(감압법/가압법)과 추적 가스(SF₆, CO₂, 등)를 이용하여 실내의 공기가 얼마만큼 외기와 교환되는가를 측정하는 가스추적법이 있다. 압력차법은 송풍기(Fan)를 이용하여 실 내부 압력을 임의로 조절한 후 압력계(Manometer) 또는 압력차계로 실내외 압력차를 측정하여 공기유동량을 측정하는 방법이다. 단위 실 또는 건물전체의 기밀성능 측정은 일반적으로 압력차를 10Pa에서부터 약 50Pa에 걸쳐서 5Pa~10Pa 간격으로 압력차를 증가시키면서 공기유동량을 측정하여 건물 고유의 공기 유동특성을 파악한다. 이를 근거로 정상상태의 압력차(일상적으로 실내외에서 발생하는 압력차를 의미한다. 일반적으로 사용되는 기준 압력차는 1~4Pa 또는 9.8Pa임)에서의 공기유동량을 산정하게 된다. 압력차법에는 감압법과 가압법이 있다.

침기량이 극히 적은 방음, 방풍의 시스템 창호를 사용하면, 실내 환기량이 급격히 감소되어 새집증후군 현상을 가중시키는 경향이 있다. 요즘은 새집증후군 해소를 위한 대책으로 공동주택에서 최소한 0.7회/h 환기횟수의 환기를 유도하고 있다.

3. 공동주택 실내공기질 실측

3.1 공동주택 선정 및 실측 개요

중소도시 공동주택을 대상으로 실내공기질을 측정하기 위하여 경기도의 Y도시와 충청남도의 C도시를 선정하였다. Y도시와 C도시의 요즈음 급격히 성장하는 도시로서 인구 증가 속도가 크며, 공동주택 건설 물량이 많은 도시중에 하나이다. Y도시 A공동주택 6세대와 C도시 H, B공동주택 총 10세대를 대상으로 온습도, HCHO 농도,

표 7. 공동주택 현장실측 개요

	Y 도시	C 도시		
		A 공동주택	H 공동주택	B 공동주택
실 측 일	2004. 11. 12. ~11.13	2004. 11. 30 ~12. 2	2006. 7. 31 ~8. 23	
실측세대 (호수-층구분)	6세대 (201,202,701, 702,1302,1401)	5세대 (303,603*,703, 1201*,1304*)	5세대 (601+,602+,120 2+,1303,1304)	
실측 항목	온.습도	6세대, 외기	5세대, 외기	5세대, 외기
	HCHO	6세대, 외기, 복도	5세대, 외기, 복도	5세대
	TVOC	2세대, 외기	4세대, 외기	-
	기밀 성능	2세대	5세대	-

주) -A 공동 주택: 베란다 확장하지 않았음. 모두 25평 아파트로 입주하기 전이었음.
 -H 공동 주택: 45평형으로 일부 1-2개월 전에 입주하였음. 3세대(°)는 베란다 확장했음, 남향배치.
 -B 공동 주택: 3세대(°)는 33평형으로 베란다 확장공사 하고 입주하였음, 나머지 2세대는 40평형으로 베란다 확장공사 하지 않았고 미입주.

TVOC 농도, 기밀성능을 측정하였다. 측정된 세대의 현장 실측 개요는 표7과 같다. 각 세대별 크기는 25평~40평형이었다. 실측 시 층에 따른 영향을 알아보기 위하여 저층, 중층, 고층으로 나누어 실측하였으며, 외기와 복도공간의 농도도 실측하여 비교분석하였다. 베란다를 확장한 세대와 확장하지 않은 세대를 구분하였다. 일부세대는 입주 전 상태이었다.

3.2 실측기기 및 실측조건

HCHO 농도와 TVOC 농도 측정은 2.2에서 소개한 환경부 공정시험방법에 따라 실시하였다. 채취한 HCHO 농도 시료는 HPLC 정밀분석을 위하여 H대학교 전문 분석 실험연구실에 의뢰하였다. TVOC 농도 시료는 GC/MS 정밀분석을 위하여 서울 K전문분석실험연구실에 의뢰하였다.

기밀성능은 감압법을 이용하여 측정하였다. 거실 창에 기밀측정장비 Kona Sapporo KNS-5000c를 설치하고 나머지 부분은 비닐과 테이프로 밀폐하였다. 부엌팬, 화장실팬 등 공기가 빠져나가는 부분을 봉하고 10Pa 씩 증가시키며 감압법을 실시하였다. 총 3회 측정 후 평균상당누기면적(cm²) 값을 구하였다. 표8은 온도 등 측정기기 및 측정시간 등을 구체적으로 나타낸 것이며, 그림1은 현장 실측 사진이다.



a) A 공동주택 외관 b) 미니 펌프 설치 c) 기밀 성능 측정

그림 1. 실측 현장 사진

표 8. 측정기기 및 측정방법

측정 항목	측정기기	측정 시간	측정 위치
실내 온도	디지털온도계 (TR-71S)	10:00~19:00, 5분 간격, 자동측정저장	거실 중앙에서 바닥면으로
HCHO 농도(포름알데히드)	Air mini-pump사용. DNPH cartridge로 포집, HPLC* 분석	5시간 밀폐 후 30분간 15L씩 공기채취, 2회 실시	1.2~1.5m 높이
TVOC 농도(총휘발성 유기화합물)	Air mini-pump사용. Tenax-TA tube 포집, GC/MS*	5시간 밀폐 후 30분간격, 2회 3L씩 공기채취	1.2~1.5m 높이
기밀측정	KNS-5000c (Kona Sapporo)	10pa 간격 50 pa까지 측정, 3회 실시	1.2~1.5m 높이

*GC/MS: 가스크로마토그래피/질량분석법

*HPLC: 고속액체크로마토그래피

4. 실측결과 및 분석

4.1 HCHO와 TVOC 실측결과 및 분석

중소도시 신축 공동주택의 현장실측을 통한 포름알데히드(HCHO) 농도, 총휘발성유기화합물(TVOC) 농도, 기밀성능 측정 결과는 표9와 같다. 농도는 각각 2회씩 시료

를 포집하여 분석한 후 평균을 표시하였다. A공동주택은 25평형으로 모두 입주하지 않았으며, HCHO 평균농도는 198 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고 최고 265 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 다른 공동주택 보다 실내온도가 평균 18.2 $^{\circ}\text{C}$ 로 낮아 농도도 낮게 나타났으나, 2006년 기준 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2008년 이후 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 강화)을 초과하였다. 지상층의 실외 HCHO 농도는 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 7층과 14층의 계단실 농도는 평균18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 2 세대에서 측정된 TVOC 평균농도는 1,244 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 기준을 초과하였고, 실외 외기농도는 194 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다.

H 공동주택은 45평형으로 일부 세대가 1~2개월 전에 입주한 신축 공동주택 이었다. HCHO 최고농도는 445 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 평균농도 323 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로, 2006년 기준을 초과하였고, 실내온도가 높아 평균농도도 높게 나타난 것으로 여겨진다. 303호는 이미 입주한 세대로 환기를 많이 하여 새집증후군 현상이 거의 없었다. 지상층의 실외 HCHO 농도는 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 상당히 낮아 지방의 깨끗한 공기로 나타났으며, 13층의 계단실 농도는 39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 4 세대에서 측정된 TVOC 평균농도는 4,017 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 기준을 초과하였고, 실외농도는 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다.

B 공동주택은 33평형, 40평형으로 일부 세대가 입주한 신축 공동주택 이었다. HCHO 최고농도는 718 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 평균농도 583 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로, 2006년 기준인 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하는 것으로 나타났다. 실내온도가 가장 높았던 B 공동주택은 실내 평균농도도 높게 나타났다.

그림2는 HCHO농도, 그림3은 TVOC농도를 나타낸 것으로 평균농도가 각각 357 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3,092 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 공동주택 세대 안과 복도의 저층과 고층 HCHO 농도 차이는

표 9. A, H, B 공동주택 실측 결과

	번호	호수, 층 (호,)	실내 온도 ($^{\circ}\text{C}$)	HCHO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TVOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	기밀성능, (cm ²)	
						상당외기면적	
A 공동 주택 :Y시	실내	A1	201	20	265	-	-
		A2	202	18	165	-	-
		A3	701	17	182	-	-
		A4	702	18	154	696	301
		A5	1302	18	233	-	-
		A6	1401	18	190	1,792	232
	실외			8	10	194	-
	7층 복도			-	20	-	-
14층 복도			-	16	-	-	
H 공동 주택 :C시	실내	H1	303	18.1	103	1,635	139
		H2	603	26.8	445	-	163
		H3	703	28.0	298	6,282	148
		H4	1201	17.7	396	3,329	203
		H5	1304	25.3	372	4,823	168
	실외			-	8	34	-
13층 복도			-	39	-	-	
B 공동 주택 :C시	실내	B1	601	28.5	477	-	-
		B2	602	28.5	433	-	-
		B3	1202	29.4	717	-	-
		B4	1303	30.1	718	-	-
		B5	1304	29.9	567	-	-
평균(세대)				357	3,092	193	

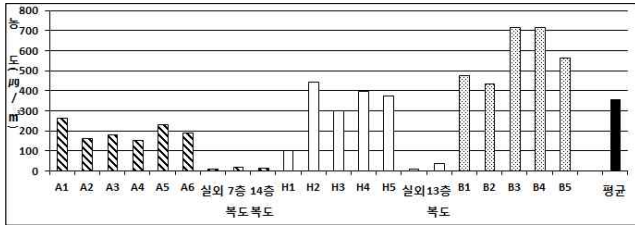


그림 2. 포름알데히드 평균농도

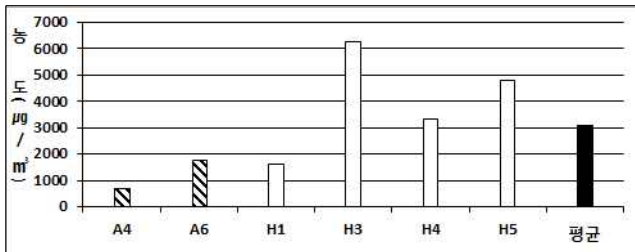


그림 3. 총휘발성유기화합물 평균농도

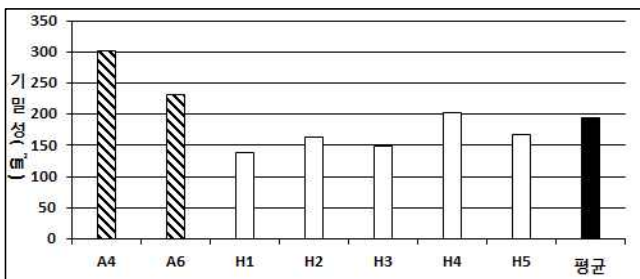


그림 4. 기밀 성능 비교 분석

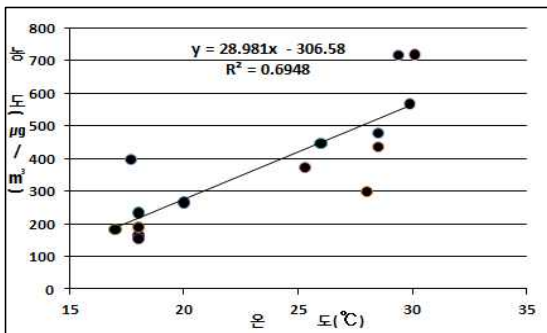


그림 5. 실내온도와 HCHO 비교 분석

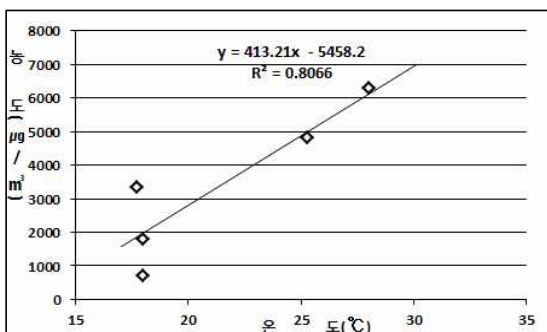


그림 6. 실내온도와 TVOC 비교 분석

거의 없는 것으로 나타났다. 실측한 신축공동주택(A공동주택: 25평형, H공동주택: 45평형)의 기밀성능은 표9와 같이 상당외기면적(cm^2)으로 표시하였다. 실측한 7세대의 기밀성능은 $139\text{cm}^2 \sim 301\text{cm}^2$ 이었고(평균 193cm^2), 25평형의 경우 비교적 높게 나타났다. 감압법으로 실측한 기존 연구결과와 비교해 보면 유사한 것으로 나타났다³⁾. 그림4는 각 세대별 기밀성능을 비교한 것이다.

4.2 HCHO, TVOC와 실내온도, 기밀성 상관분석

실내온도에 따른 HCHO 농도와 TVOC 농도의 상관관계를 비교분석하였다. 새집증후군 현상이 거의 나타나지 않았던 H 공동주택 303호의 결과는 특수성으로 인하여 제외하고 상관성을 분석하였다. 그림5, 그림6을 살펴보면 실내온도가 올라갈 때 HCHO, TVOC 농도도 증가하는 경향을 확인할 수 있었고, 상관관계가 높은 것으로 나타났다.

중소도시 신축 공동주택의 현장실측을 통한 기밀성능과 HCHO(포름알데히드) 농도, TVOC 농도의 상관관계를 조사 분석하였다. 그림7과 그림8에서 보는 것과 같이 기밀성능의 상당외기면적이 커지면 HCHO 농도, TVOC 농도가 낮아지는 것을 알 수 있었다. 상관관계가 높은 것으로 나타났다.

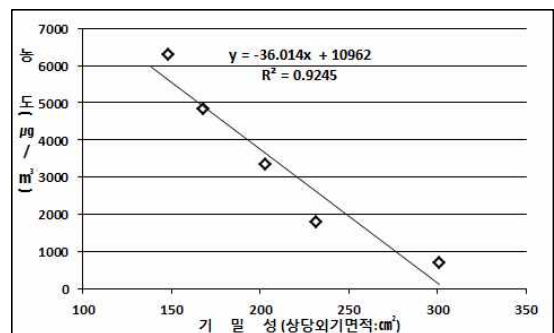


그림 7. 기밀성능과 TVOC 비교 분석

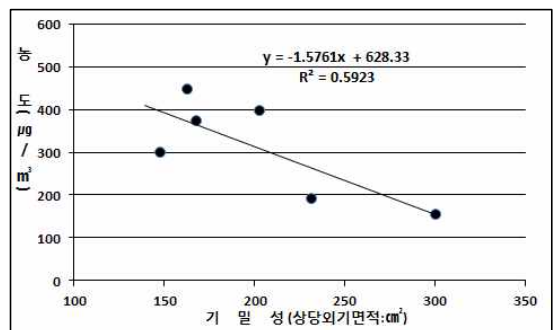


그림 8. 기밀성능과 HCHO 비교 분석

2) ASHRAE HANDBOOK 2009 FUNDAMENTALS 16.5
상당외기면적: AL(Equivalent or Effective Air Leakage Area)

3) 윤재욱, 2003, 신축공동주택의 기밀성능 실측에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 Vol.3, No.3, pp.43-50

4.3 TVOC 및 VOC 종류별 분석

7세대에서 실측한 TVOC(Total Volatile Organic Compounds: 총휘발성유기화합물) 농도와 휘발성유기화합물(VOC: Volatile Organic Compound) 성분별 종류에 따른 농도를 분석하였다. 표10에서 볼 수 있는 것과 같이 대부분 세대의 경우 Toluene 농도 비율이 비교적 높았고, Ethyl-benzene 순이었다. UNKNOWN 물질은 45%~88%(평균 69%)로 평균 반이 넘는 많은 부분을 차지하고 있었다. 공동주택 지상층 실외 공기의 TVOC 및 VOC 성분 분석을 실시하였다. Y도시 공동주택 외기 TVOC 농도가 194 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 C도시 보다 높았고, C도시의 경우 UNKNOWN 물질이 100%, Y도시의 경우 83%이었다.

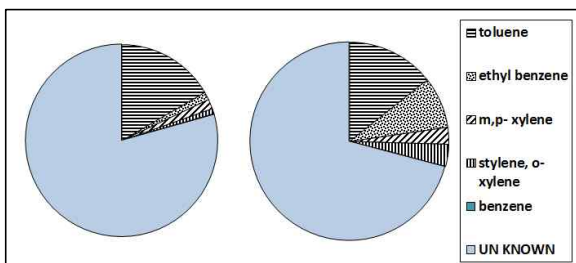
그림9는 비교적 일반적인 분포 형태를 가지고 있는 세대를 선정하여 파이그래프로 VOC 성분별 함유량을 나타낸 것이다. 그림9 a)의하면 A 공동주택의 1401호의 경우 81%가 UNKNOWN 휘발성유기화합물질 이었고, Toluene, m,p-Xylene, ethyl-Benzene, Styrene, o-xylene, Benzene 순으로 점차 함유량이 적어졌다. 그림9 b)는 H 공동주택의 703호의 경우로 대표적인 예를 나타낸 것이다.

표 10. A, H 공동주택의 TVOC 및 종류별 평균농도

단위: ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

		TVOC	toluene	ethyl benzene	m,p-xylene	styrene, o-xylene	benzene	UN KNOWN
A 공동주택	702호	696	66	11	11	6	2	610(88%)
	1401호	1,792	303	24	30	17	2	1,446(81%)
	외기	194	16	5	5	4	3	161(83%)
H 공동주택	303호	1,635	398	285	142	84	2	724(44%)
	703호	6,282	900	527	171	228	3	4,453(71%)
	1201호	3,329	745	314	156	95	2	2,047(61%)
	1304호	4,823	1,304	435	206	153	3	2,722(56%)
	외기	34	0	0	0	0	0	34(100%)

1. 상기 농도는 공기채취 유량 3L를 고려하여 작성되었음.
2. TVOC 각 물질로는 널리 알려진 바와 같이 BTEX(toluene, ethylbenzene, xylene, benzene)가 주를 이루는 것으로 조사되었음
3. 전체적으로 TVOC 농도는 K 연구원에서 실측 측정된 값과 유사한 농도 분포를 가지는 것으로 확인됨
4. 외기의 농도는 수도권과 비교해 상당히 낮은 것으로 확인되었고, 비교적 청정한 지역일 것으로 사료됨.
5. UNKNOWN의 (%)는 TVOC에 대한 백분율.



a) A 공동주택 1401호 b) H 공동주택 703호
그림 9. A, H 공동주택 TVOC 성분별 농도

5. 결론

본 연구에서는 중소도시에서 새로 건설하여 입주 했거나, 입주 하려는 공동주택을 대상으로 현장 실측을 통하여 실내공기질(HCHO, TVOC)과 기밀측정을 파악하고, 분석

하였다. 다음과 같이 연구결과를 정리하였다.

1) Y 중소도시 A 공동주택의 HCHO 평균농도는 198 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고 최고 265 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 다른 공동주택 보다 실내온도가 평균 18.2 $^{\circ}\text{C}$ 로 낮아 농도도 낮게 나타났으나, 2006년 기준 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2008년 이후 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 강화)을 초과하였다. TVOC 평균농도는 1,244 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 기준을 초과하였고, 실외 외기농도는 194 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다.

2) C도시 H 공동주택은 HCHO 최고농도는 445 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 평균농도 323 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 실내온도가 높아 평균농도도 높게 나타난 것으로 여겨진다. 지상층의 실외 HCHO 농도는 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 상당히 낮아 지방의 깨끗한 공기로 나타났다. 4 세대에서 측정된 TVOC 평균농도는 4,017 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 기준을 초과하였다. C도시 B 공동주택의 HCHO 최고농도는 718 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 평균농도 583 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다.

3) 실측 세대의 HCHO 평균농도는 357 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, TVOC 평균농도는 3,092 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다.

4) 실측한 7세대의 기밀성능은 139 $\text{cm}^2\sim$ 301 cm^2 이었고(평균193 cm^2), 25평형의 경우 비교적 높게 나타났다.

5) 실내온도가 올라가면 HCHO 농도, TVOC 농도가 올라가고, 기밀성능인 상당외기면적이 커지면 HCHO 농도, TVOC 농도가 낮아졌다.

6) 휘발성유기화합물(VOC: Volatile Organic Compound) 성분별 분석에 의하면, Toluene 농도 비율이 비교적 높았고, Ethyl-benzene 순이었다. UNKNOWN 물질은 45%~88%(평균 69%)로 평균 반이 넘는 많은 부분을 차지하고 있었다.

실내공기질 실측은 고성능 정량분석이 필요하므로 어려움이 있으나, 추후 실측을 더 실시하여 좀더 신뢰성 있는 많은 자료를 얻고자한다.

참고문헌

1. 심현숙· 최윤정, 2008, 리모델링 후 거주중인 아파트 단위주거의 실내공기질 평가, 대한건축학회논문집 계획계 제24권 제12호
2. 권경우· 박준석, 2007, 사무소건물에서의 실내공기질 개선에 따른 경제적 효과에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계 제23권 제10호
3. 성기철·장현재, 2007, 공동주택용 환기장치의 실내공기질 개선 효과에 대한 현장실험연구, 설비공학논문집 제19권 제2호
4. 이윤규 외, 2004, 실내공기질 공정시험방법 도출연구, 국립환경연구원
5. 윤재욱, 2003, 신축공동주택의 기밀성능 실측에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 Vol.3, No.3, pp.43-50
6. 환경부, 환경부고시 제2004-80호
7. 환경부, 2008, 다중이용시설 등의 실내공기질관리법
8. ASHRAE, ASHRAE HANDBOOK2009 FUNDAMENTALS, 2009, 16.5

투고(접수)일자: 2010년 8월 5일
심사일자: 2010년 8월 6일
게재확정일자: 2010년 8월 25일