

신축 공동주택의 계절별 실내공기질 실측조사에 관한 연구

A Study on the Seasonal Survey of the Indoor Air Quality in New Apartment Houses

전주영¹ · 김길태² · 황지훈³

Chu-Young Chun¹, Gil-Tae Kim² and Gi-Huen Hwang³

(Received September 9, 2013 / Revised October 15, 2013 / Accepted October 29, 2013)

요 약

본 연구에서는 2012년에 입주되는 신축공동주택을 대상으로 실시된 실내공기질 측정결과를 통하여 실내공기질의 계절별 특성을 조사하고자 하였다. 측정대상은 전국에 걸친 43개의 공동주택 단지였으며, 입주 전 베이카아웃이 실시된 상태였다. “실내공기질공정시험기준”(환경부)에 준하여 측정하였으며, 포름알데히드, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 크실렌의 6개 항목의 단지별 평균방출량을 분석하였다. 측정결과, 실내온도가 30℃까지 상승하는 하절기로 갈수록 실내공기오염물질이 다량 방출되는 특성을 확인할 수 있었으며, 모든 항목이 권고기준 이하로 나타났다. 포름알데히드 평균 방출농도는 실내온도가 25℃ 이상 높아지는 6월~9월의 방출량이 높게 나타나는 것을 알 수 있으며, 벤젠의 평균 방출농도는 모든 계절에 소량으로 방출되는 것으로 나타났다. 톨루엔 및 에틸벤젠의 평균 방출농도는 실내온도 22℃~30℃까지 상승하는 4월~8월에 방출량이 다소 높게 나타났으며, 자일렌, 스티렌 방출량은 모두 4월에 많이 방출된 것으로 나타났으나 일년에 걸쳐 큰 편차없이 고르게 방출되는 것으로 나타났다. 향후에는 세부적인 온도조건과 오염물질 방출량과의 상관관계를 조사하기 위해서는 현장에서 측정세대마다 온도조건을 다르게 조절하여 오염물질방출량 측정분석을 통해 정량적 상관관계를 살펴 볼 필요성이 있을 것으로 판단된다.

주제어 : 신축 공동주택, 실내공기질, 포름알데히드, 휘발성유기화합물

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the characteristics of the indoor air quality by season. The surveyed houses were 48 new apartment complex in 2012 across the country. The houses were carried out the bakeout before the test. The measuring method was “Indoor air quality testing standards process” and the measured items were formaldehyde, benzene, toluene, ethylbenzene, xylene, styrene average emissions. All the items were more emitting during the summer. From June to September the average concentration of formaldehyde emission was higher than other seasons. The average emissions of benzene concentrations in all seasons were released in small quantities. Average emissions of toluene and ethylbenzene concentration from April to August showed slightly higher emissions. Xylene and styrene concentration showed the highest emissions at April, but without large deviations throughout the year.

Key words: New Apartment, Indoor Air Quality, HCHO, VOC

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

2000년 초반부터 새집증후군이 화두가 되고 일반인들의 90% 이상이 대부분의 시간을 실내에서 생활하게 되면서 건물 실내공기질에 대한 관심은 지속적으로 증가하게 되었다.

2003년 환경부의 “다중이용시설 등의 실내공기질 관리법”이 제정되고 다중이용시설 중 특히 공동주택의 경우가 실내공기질의 문제가 많은 이슈화가 되었다. 공동주택의 경우는 일반 건축물과 달리 신체적으로 취약한 고령자 및 유아 등의 노약자가 건물 내에서 생활하는 시간이 많고 또한 집에 대한 소유의식이 강한 우리나라는 공동주택의 마감자재로 인한 실내

1) 한국토지주택공사 토지주택연구원 수석연구원(주저자: jychun@lh.or.kr)
2) 한국토지주택공사 토지주택연구원 책임연구원(교신저자: gtkim1@lh.or.kr)
3) 한국토지주택공사 품질시험센터 과장

공기질의 품질 및 성능에 대해서도 민감하게 반응하였다. 새 집에서 방출되는 건축물의 마감재나 건축자재, 가구류 등에서 방출되는 실내공기오염물질인 포름알데히드(HCHO) 및 휘발성유기화합물(VOCs)로 인하여 새집증후군(Sick House Syndrome) 및 화학물질과민증(MCS, Multiple Chemical Sensitivity)이 발병하여 문제가 되기도 하였다. 이에, 우리나라는 2004년 “다중이용시설 등의 실내공기질 관리법” 개정을 통해 신축 공동주택의 실내공기질 권고기준을 제정하였으며 이를 통해 공동주택의 실내 공기환경의 중요성을 인식하게 되었다. 동법에 의하여 신축되는 공동주택의 경우는 실내공기질을 측정하여 입주 3일전부터 60일간 주민공고를 의무화하고 관련 행정기관에 제출토록 하는 등 실내공기질 개선에 노력하여 왔다. 동법에 의해 신축공동주택의 실내공기질 측정이 현재까지 10여년간 시행되어 왔으며 축적된 결과를 통하여 측정시 실내온도조건이 규정은 되어있으나 계절적 특성이 있는 것으로 판단되었다.

따라서, 본 연구에서는 상기의 의무적으로 시행하는 입주 전 실내공기질 측정을 위하여 2012년도 일년에 걸쳐 실시한 신축주택의 실내공기질 측정결과를 통하여 신축 공동주택에서 발생하는 유해물질의 양과 계절에 따른 발생특성을 분석하고자 하였다.

1.2 연구범위 및 방법

연구범위는 2012년 입주하는 신축공동주택을 대상으로 “다중이용시설등의 실내공기질 관리법”에 의하여 실내공기질을 측정하여 주민공고를 실시해야 하는 43개의 공동주택 단지를 중심으로 실측하였다. 표 1은 “실내공기질공정시험기준”¹⁾(환경부)의 실내공기질 측정방법이다. 본 연구에서는 위 기준에 준하여 실내공기질을 측정하였다. 측정항목으로는 포름알데히드, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스티렌 6개 측정항목으로 하였으며, 시험기준에서 제시하고 있는 방법 따라 100세대 이상 단지의 경우 100세대 증가시마다 1세대씩 추가 측정하였으며, 도출된 측정값을 평균하여 단지의 평균값으로 하였으며 이를 입주되는 시기에 따라 계절별 특성을 분석하였다.

표 1. 실내공기질 측정방법

시료채취방법	시료채취조건	
	온도조건	채취시간
30분 환기 → 5시간 밀폐 → 시료채취 2회	실내온도 20℃ 이상	오후1시~5시

1) “실내공기질공정시험기준”, 환경부고시 제2010-24호.

1.3 선행연구 고찰

공동주택의 실내공기질 측정 조사연구는 2003년 “다중이용시설 등의 실내공기질 관리법”이 제정된 후 2000년대 중반까지 실내공기질 현상에 대한 조사연구가 다수 진행되었으나 친환경건축물인증제도, 공동주택성능인정제도가 시행되면서 오염물질 저방출 친환경자재들이 나오기 시작하면서 실내공기질 실태조사에 대한 보고는 현저하게 줄어들었다. 최근 5년간 공동주택을 대상으로 한 실내공기질 조사 분석연구를 살펴보면 다음과 같다.

조현과 손장열(2010)은 2006년 2월~2009년 11월까지 4년여에 걸쳐 다중이용시설 등의 실내공기질관리법이 시행된 이후 전국에 준공된 신축공동주택 65개 현장(569세대)를 대상으로 휘발성유기화합물 및 포름알데히드 농도에 대한 실태조사를 실시하여 준공연도에 따른 오염물질 농도변화와 계절별 측정시점 및 측정세대 면적에 따른 실내오염물질 방출특성을 분석하였다. 휘발성유기화합물 및 포름알데히드 모두 온도 및 절대습도의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 준공년도 및 측정시기(계절)에 상관없이 톨루엔 및 포름알데히드의 농도는 다른 물질에 비해 권고기준을 초과한 사례가 많이 발생하였으며, 측정세대의 면적은 오염물질 농도에 상관없이 없는 것으로 나타났다.

윤재욱(2010)의 유사한 기존 연구에서는 3개의 공동주택에서 총 16세대의 실내공기질을 2004년 11월 2개, 2006년 7월에 1개의 공동주택을 측정 조사하였다. 실측조사결과 세대 평균 포름알데히드 농도는 $357\mu\text{g}/\text{m}^3$, 총 휘발성 유기화합물 평균농도는 $3,092\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났으며, 실내온도가 올라가면 포름알데히드와 총휘발성유기화합물 농도가 올라가고 기밀성능인상당외기면적이 커지면 농도가 낮아지는 것으로 나타났다.

박진철과 김남규(2009)는 서울과 수도권지역 각각 한군데의 신축공동주택에 대하여 총 28세대의 실내공기질을 2008년 9월~10월 측정 조사하였다. 측정세대 모두 휘발성 유기화합물의 농도는 권고기준을 초과하지 않았으나, 서울지역의 경우 포름알데히드농도가 5%~26% 정도의 초과율을 보이는 것으로 나타나 포름알데히드에 대한 집중적인 관리의 필요성을 제시하였다.

윤재욱(2013)은 경기도의 신축공동주택을 대상으로 2012년 9월 7일~9월 9일(3일) 동안 휘발성 유기화합물 및 포름알데히드를 실측하였으며, 저층, 중층, 고층의 주택의 세대위치에 따른 영향을 조사하였다. 포름알데히드 농도가 권고기준을 넘었으며, 실내가구체적이 많은 전용면적 114m^2 가 59m^2 보다 포름알데히드 방출량이 많이 나타났으며, 침기량과의 관계에서는 침기량이 많은 59m^2 세대가 침기량이 적은 114m^2 세대보다 농도가 적게 나타났다. 또한, 실내온도가 높은 세대의 경우 포름알데히드 농도가 높게 나타났으며, 휘발성 유기화합물의 농도가 높은 세대에서는 포름알데히드 농도도 높게

나타나 상관관계가 큰 것으로 분석하였다.

함진식(2012)은 신축된 공동주택 1세대(90㎡형)를 대상으로 2010년 10월 각 실별(거실, 내실, 방1, 방2) 포름알데히드 농도의 발생특성과 공기청정기 가동, 광촉매 시공 및 창호개방에 따른 포름알데히드 농도저감 특성을 측정하였다. 실내 공기질공정시험법에서는 실내를 30분 이상 환기시킨 후 5시간 동안 밀폐후 30분동안 실내공기질을 측정토록 되어있으나 밀폐 후 1시간 간격으로 포름알데히드 농도를 측정하여 24시간 변화량을 살펴보았다. 측정개시 6시간 후의 농도가 실내공기질 공정시험법에 준하는 농도에 해당된다. 거실의 경우 6시간 후의 농도는 0.25ppm으로 국내환경기준 0.1ppm보다 약 2.5배, 내실의 경우 6시간 경과 시 0.73ppm으로 7.3배에 달하는 것으로 나타났다. 24시간 측정결과로서는 낮 시간의 온도가 높은 오후에 가장 높아진 뒤 서서히 줄어드는 것으로 나타났다. 따라서 창문과 출입문을 밀폐한 상태에서 수면을 취한다면 국내환경기준치의 약 1.5배~8배의 높은 농도의 포름알데히드에 노출되어 인체에 위험이 미칠 것으로 예상하였다.

신민재(2011)는 신축공동주택 실내공기질에 대한 거주자 만족도 평가와 더불어 시공사가 자가측정 하거나 시도 보건환경연구원에서 2006년~2008년에 걸쳐 측정된 총 730개 단지의 실내공기오염물질 측정결과의 평균값을 분석하였다. 측정단지의 규모 구분 없이 평균 포름알데히드 농도는 2006년 88.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2007년 89.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2008년 80.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났으며, 휘발성유기화합물의 경우 톨루엔의 농도가 가장 높게 나타나 평균 2006년 499 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2007년 415.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2008년 402.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다. 연도별 측정된 각각의 단지 방출농도의 평균값을 활용하여 분석한 사례이며 포름알데히드의 경우 2006년과 비교하여 2008년에 약 20%의 농도감소가 있는 것으로 분석하였다.

이상의 신축 공동주택의 실내공기질에 대한 실측조사연구를 분석해보면 포름알데히드의 방출량이 휘발성 유기화합물의 방출량보다 권고기준을 넘는 경우가 있는 것을 알 수 있으며, 이는 세대의 면적보다도 온도 및 습도, 가구면적, 기밀 정도에 따라 영향을 받는 것을 일부 알 수 있었다. 따라서, 공동주택을 대상으로 계절에 따른 방출량 및 측정 시 실내온도에 변화에 따른 방출량조사에 대한 기반 연구가 필요할 것으로 판단되며 기초연구로서 본 연구에서 시행한 전국에 걸쳐 측정된 신축공동주택의 입주 전 실내공기질 측정자료의 분석이 유의미할 것으로 판단된다.

2. 신축 공동주택 실내공기오염물질 관련 제도

2003년 “다중이용시설 등의 실내공기질 관리법”이 개정되면서 건축자재 측면에서는 오염물질을 다량으로 방출하는 건축자재에 대하여 환경부장관고시로 사용제한을 하고 있다.

실내공기질 측면에서는 업무용 건축물 등의 다중이용시설 들은 건축물의 사용단계에서의 실내공기질을 대상으로 하고 공동주택의 경우는 새집증후군을 개선시키기 위하여 신축 공동주택의 실내공기질을 대상으로 하여 실내공기질을 관리하고 있다. 다중이용시설은 항상 유지해야하는 유지기준으로서 법적 규제가 있으나 신축 공동주택의 경우는 권고기준으로서 측정과 입주 전 주민공고의 의무만 있는 실정이다.

2.1 오염물질 방출 건축자재 사용제한 기준

환경부의 “다중이용시설 등의 실내공기질 관리법”에서 오염물질을 일정기준이상 방출하는 건축자재에 대하여 환경부장관이 오염물질방출건축자재를 고시하고 있으며 다중이용시설을 설치하거나 개보수를 할 경우에 고시된 오염물질방출 건축자재를 사용하여서는 안되게 규정하고 있다. 표 2는 건축자재에서 방출되는 오염물질 방출량 기준을 나타낸 것이다.

2.2 신축공동주택 실내공기질 권고기준

신축공동주택의 경우는 건설주체가 시공이 완료된 신축공동주택의 실내공기질을 측정하여 측정결과를 해당 행정기관에 제출하고 입주 개시 전에 입주민이 잘 볼 수 있는 곳에 공고하도록 되어있다. 또한 신축공동주택의 새집증후군을 개선하여 쾌적한 실내공기질을 유지하기 위해 실내공기질 권고기준을 표 3과 같이 규정하고 있다.

2.3 청정건강주택 건설기준

2010년 12월 국민의 건강과 쾌적한 주거환경을 조성하기 위하여 새집증후군을 저감하고자 “청정건강주택 건설기준”

표 2. 오염물질 방출 건축자재 사용제한 기준 [단위: mg/m³·h]

구분	포름알데히드	총 휘발성 유기화합물	톨루엔
접착제	0.12	2.0	0.08
페인트	0.12	2.5	0.08
실란트	0.12	1.5	0.08
퍼티	0.12	20.0	0.08
일반자재	0.12	4.0	0.08

표 3. 신축공동주택 실내공기질 권고기준 [단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$]

구분	권고기준
포름알데히드	210
벤젠	30
톨루엔	1,000
에틸벤젠	360
자일렌	700
스티렌	300

표 4. 청정건강주택 건설기준

청정건강주택 건설기준	
최소기준	권장기준
1. 건축자재 및 불박이 가구의 적용	1. 친환경 Built-in 전자제품의 적용
2. 페인트 등 건축자재 적용	2. 흡방습 건축자재의 적용
3. 청정건강주택의 시공관리 기준	3. 흡착 건축자재의 적용
4. 환기(Flush out)의 시행	4. 항곰팡이 건축자재의 적용
5. 환기성능 확보	5. 항균건축자재의 적용
6. 환기설비 성능검증(TAB)	6. 유해화학물질 확산방지를 위한 도장공사 시공기준
7. 접착제 시공방법의 개선	7. 흡착성능을 갖는 보양재의 적용

표 5. 실측 조사단지 개요

측정월 및 조사단지	세대수	측정 세대수	측정세대 전용면적(세대수)	
1월 대구 C	1,250	14	59(4), 74(2), 84(7), 114(1)	
2월 수원 H	880	10	36(2), 46(2), 59(6)	
	인천 S	938	11	59(3), 84(8)
3월 안양 K	711	9	100(6), 120(2), 135(1)	
	양산 K	700	9	128(4), 151(3), 168(2)
4월 군포 D	489	6	100(1), 119(3), 135(2),	
	대전 S	662	8	59(2), 84(5), 118(1)
	장흥 K	318	5	36(2), 46(3)
	안양 K	1,042	12	74(2), 84(10)
5월 인천 H	438	6	39(1), 59(1), 84(4)	
	안산 S	396	5	74(2), 84(3)
	강릉 P	306	5	36(1), 46(3), 51(1)
	울산 B	918	11	29(2), 36(4), 46(3), 51(2)
	세종 C-1	1,388	15	59(2), 84(8), 101(1), 114(4)
6월 세종 C-1	1,562	17	59(2), 84(9), 114(5), 149(1)	
	대전 N	624	8	36(2), 39(2), 46(3), 51(1)
	세종 C	1,328	15	59(1), 84(3), 101(3), 114(7), 149(1)
	인천 S	657	8	51(2), 84(2), 101(1), 128(3)
	인천 S	539	7	59(1), 84(4), 101(2)
7월 문산 D	299	4	36(2), 46(1), 51(1)	
	인천 B-1	297	4	39(1), 49(3)
	인천 B-2	704	9	59(3), 84(5), 108(1)
	성남 J-1	509	7	59(3), 84(3), 108(1)
	성남 J-2	127	3	39(1), 59(2)
	인천 Y	784	9	29(2), 36(2), 39(2), 51(3),
	평택 S-1	1,060	12	26(2), 36(4), 46(4), 51(2)
8월 평택 S-2	992	11	26(1), 36(6), 46(2), 51(2)	
	함안 C	656	8	26(6), 46(1), 51(1)
	진주 P	826	10	51(8), 59(2)
	서울 K	912	11	59(2), 74(3), 84(6)
9월 부산 J	964	11	46(4), 51(4), 59(3)	
	성남 D-1	955	11	59(2), 84(6), 114(3)
	성남 D-2	213	4	39(2), 59(2)
10월 인천 Y	770	9	29(1), 36(4), 46(1), 59(3)	
	세종 H	500	7	26(2), 36(1), 39(1), 46(3)
11월 포항 J	1,006	12	39(2), 46(5), 51(4), 59(1)	
	안양 K	970	11	26(2), 36(4), 46(3), 55(2)
12월 인천 K	1,525	17	29(1), 36(8), 46(5), 59(3)	
	김포 H	2,230	24	29(5), 36(15), 46(4)
	서울 S	1,082	12	59(4), 74(3), 84(5)
의정부 M-1	625	8	36(3), 46(3), 51(2)	
	의정부 M-2	1,161	13	26(1), 36(3), 46(4), 51(5)

(국토부)이 제정되어, 1,000세대 이상의 주택 신축 및 리모델링의 사업승인 대상사업은 “청정건강주택 건설기준”을 적용하여 사업승인도서에 포함하여 제출해야한다. 청정건강주택 건설기준의 최소기준과 권장기준은 다음 표 4와 같다.

현재, 신축 공동주택의 경우 상기 기준을 적용하여 계획하고 있으며, 청정건강주택 건설기준의 경우 2010년 12월 사업승인 대상 사업부터 적용받고 있으나 현재, 입주시점에 있는 사업은 없는 실정이다.

3. 신축 공동주택 실내공기질 현장측정

3.1 현장측정 개요

신축 공동주택 실측은 2012년 1월~12월에 걸쳐, A사에서 입주예정인 전국에 걸친 공동주택 총 43개 단지의 “다중이용시설 등의 실내공기질 관리법”에 의해 입주전 실내공기질 측정 의무화 대상 단지를 측정하였다. 실측 조사단지의 개요는 표 5와 같다. 측정단지 모두 신발장, 주방싱크 및 수납장 등의 가구가 모두 설치된 이후 현장에서 베이커아웃을 실시한 이후 준공 및 입주 전에 실내공기질을 측정하였다.

3.2 측정기기 및 방법

측정 및 분석방법은 “실내공기질공정시험기준”(환경부)에 따라 실시되었으며 적용된 측정기기 및 분석 장비는 다음 표 6과 같으며 측정현장 사진은 그림 1과 같다.

표 6. 측정기기 및 분석방법









구분	측정기기 및 분석기기	
온도 습도 압력계		
펌프		에어펌프 (Chematec, Denmark) 
포름알데히드	오존 스크러버 DNPH 카트리지 	액체크로마토그래프 (HPLC) 
휘발성 유기화합물	Tenax TA 튜브 	가스크로마토그래프 (GC-MS) 



그림 1. 신축공동주택 실내공기질 측정 모습

표 7. 신축 공동주택 실내공기질 측정 조건

30분 이상 환기	5시간 밀폐	시료채취
단위세대의 내·외부에 면한 모든 개구부 및 수납가구의 문 등을 개방하고 환기	수납가구 등의 문은 개방한채 외부공기에 면한 모든 개구부를 닫고 5시간 이상 밀폐	실내온도 20℃ 이상 유지하고 휘발성유기화합물, 포름알데히드 30분/1회씩 연속 2회 측정

시료채취조건은 “실내공기질공정시험기준”에 의해 오후 1시에서 6시 사이에 실시하였으며, 시료채취시의 조건은 표 7과 같이 실시하였다.

4. 측정결과 및 분석

신축공동주택 측정결과는 “다중이용시설등의 실내공기질 관리법”의 신축공동주택 실내공기질 권고기준이 포름알데히드, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스티렌의 방출량을 대상으로 분석하였다. 선행연구 고찰결과 온도와 습도가 높을수록 오염물질이 다량 방출된다는 결과를 기반으로 계절별(월별) 오염물질 방출량 비교 및 실내온도 및 습도와 비교한 오염물질 방출량 특성을 분석하였다.

4.1 실내 온·습도

각 측정단지의 실내공기를 포집할 시의 실내 온도 및 습도를 측정하였으며 거실 중앙부위의 1.2~1.5m 높이에서 측정

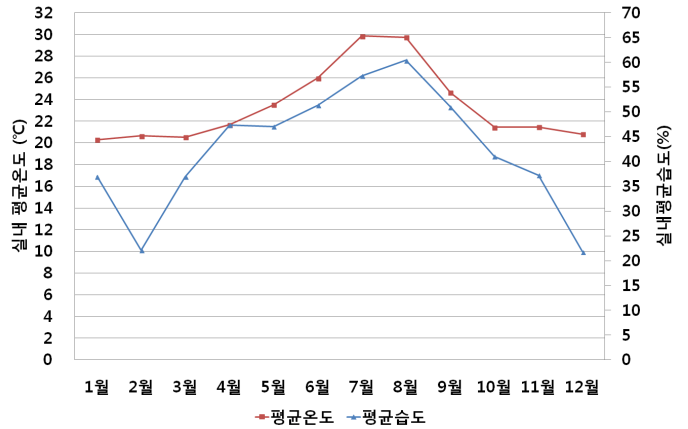


그림 2. 실내 평균온도 및 평균 습도

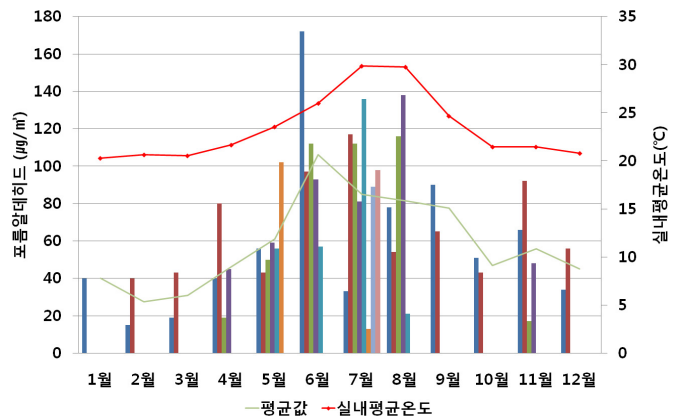


그림 3. 포름알데히드 방출량

하였다. 측정단지의 월별 평균온도 및 습도는 다음 그림 2와 같다.

신축 공동주택의 실내공기오염물질 시료 채취시 실내온도 유지기준이 20℃ 이상으로 동절기 및 춘추계의 실내온도가 20℃ 이하로 떨어지는 경우에는 난방을 실시하여 실내온도를 20℃ 이상의 조건을 만족시켜 측정하였다. 평균 실내온도는 6월~9월 사이에 25℃ 이상 상승하였으며, 7월~8월의 하계에는 30℃까지 상승하였다. 평균습도의 경우도 6월~9월에 50%를 넘었으며 7월~8월이 가장 높은 57%~60%로 유사하게 나타났다. 기존 문헌고찰에 의하면 실내 온·습도가 올라가면 포름알데히드 및 총휘발성유기화합물의 농도가 올라가는 것으로 나타나 실내공기오염물질 방출량에 영향을 주었을 것으로 판단된다.

4.2 포름알데히드 방출량

포름알데히드 평균 방출농도는 그림 3과 같으며, 측정단지 평균 1월은 40µg/m³으로 나타났고 2월은 28µg/m³, 3월은 31µg/m³, 4월은 46µg/m³, 5월은 61µg/m³, 6월은 106µg/m³, 7월은 85µg/m³, 8월은 81µg/m³, 9월은 78µg/m³, 10월은 47µg/m³,

11월은 $56\mu\text{g}/\text{m}^3$, 12월은 $45\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다. 실내온도가 25°C 이상 높아지는 6월~9월의 포름알데히드 방출량이 높게 나타나는 것을 알 수 있으며, 6월에 가장 높은 방출량을 보였으며, 일부 단지의 경우 $172\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 상승하는 것을 볼 수 있다. 그러나 모든 단지가 권고기준인 $210\mu\text{g}/\text{m}^3$ 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

그림 3~그림 8의 각 월별 막대그래프의 범례는 표 5의 월별 43개 단지를 순서대로 나타내고 있는 것으로 그래프에 범례 표시시 그래프가 복잡해지는 관계로 그래프에서 범례는 생략하였다.

4.3 벤젠 방출량

벤젠의 평균 방출농도는 그림 4와 같으며, 측정단지 평균 1월은 $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났고 2월은 $1\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3월은 $1\mu\text{g}/\text{m}^3$, 4월은 $3\mu\text{g}/\text{m}^3$, 5월은 $2\mu\text{g}/\text{m}^3$, 6월은 $1\mu\text{g}/\text{m}^3$, 7월은 $1\mu\text{g}/\text{m}^3$, 8월은 $2\mu\text{g}/\text{m}^3$, 9월은 $1\mu\text{g}/\text{m}^3$, 10월은 $2\mu\text{g}/\text{m}^3$, 11월은 $2\mu\text{g}/\text{m}^3$, 12월은 $3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다. 1월의 일부세대의 $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 방출량을 제외하고는 모든 계절에 권고기준 이하로 $1\sim 3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 소량으로 고르게 방출되고 있는 것으로 나타났다. 모

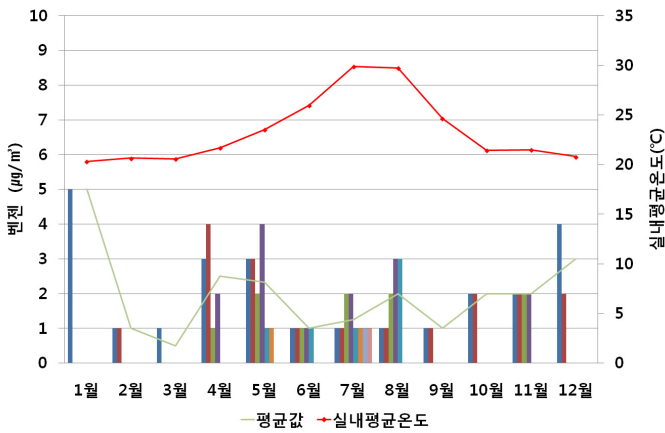


그림 4. 벤젠 방출량

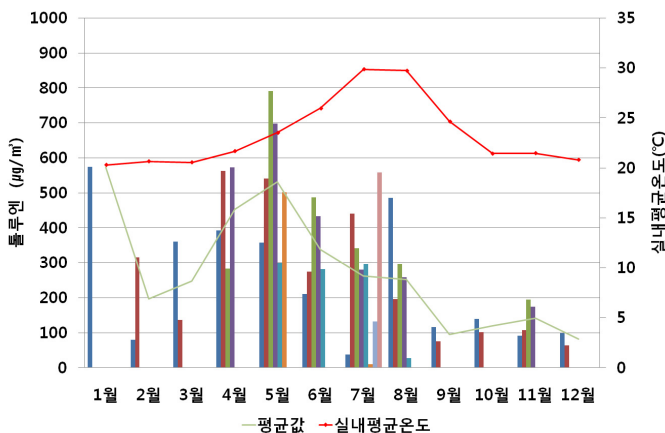


그림 5. 톨루엔 방출량

든 단지가 권고기준인 $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ 기준에 훨씬 못미치는 것으로 나타났다.

4.4 톨루엔 방출량

톨루엔의 평균 방출농도는 그림 5와 같으며, 측정단지 평균 1월은 $574\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났고 2월은 $198\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3월은 $249\mu\text{g}/\text{m}^3$, 4월은 $453\mu\text{g}/\text{m}^3$, 5월은 $532\mu\text{g}/\text{m}^3$, 6월은 $338\mu\text{g}/\text{m}^3$, 7월은 $262\mu\text{g}/\text{m}^3$, 8월은 $253\mu\text{g}/\text{m}^3$, 9월은 $96\mu\text{g}/\text{m}^3$, 10월은 $120\mu\text{g}/\text{m}^3$, 11월은 $142\mu\text{g}/\text{m}^3$, 12월은 $82\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다. 실내온도 $22\sim 30^\circ\text{C}$ 까지 상승하는 4월~8월에 톨루엔의 방출량이 높게 나타나는 것을 알 수 있으며, 5월에 가장 높은 방출량을 보였으며, 일부 단지의 경우 $791\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 상승하는 것을 알 수 있었으나 모든 세대가 권고기준인 $1,000\mu\text{g}/\text{m}^3$ 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

4.5 에틸벤젠 방출량

에틸벤젠의 평균 방출농도는 그림 6과 같으며, 측정단지 평균 1월은 $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났고 2월은 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3월은 $14\mu\text{g}/\text{m}^3$, 4월은 $59\mu\text{g}/\text{m}^3$, 5월은 $32\mu\text{g}/\text{m}^3$, 6월은 $29\mu\text{g}/\text{m}^3$, 7월은 $18\mu\text{g}/\text{m}^3$, 8월은 $31\mu\text{g}/\text{m}^3$, 9월은 $24\mu\text{g}/\text{m}^3$, 10월은 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$, 11월은 $30\mu\text{g}/\text{m}^3$, 12월은 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다. 4월~8월의 에틸벤젠의 평균 방출량이 다소 높게 나타나는 것을 알 수 있으며, 4월에 가장 높은 방출량을 보였으며, 일부 단지에서 $51\mu\text{g}/\text{m}^3$, $52\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 가장 높은 방출량을 나타냈다. 그러나 모든 단지가 권고기준인 $360\mu\text{g}/\text{m}^3$ 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

4.6 자일렌 방출량

자일렌의 평균 방출농도는 그림 7과 같으며, 측정단지 평균 1월은 $28\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났고 2월은 $26\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3월은 $62\mu\text{g}/\text{m}^3$, 4월은 $114\mu\text{g}/\text{m}^3$, 5월은 $52\mu\text{g}/\text{m}^3$, 6월은 $42\mu\text{g}/\text{m}^3$, 7월은 $33\mu\text{g}/\text{m}^3$, 8월은 $37\mu\text{g}/\text{m}^3$, 9월은 $36\mu\text{g}/\text{m}^3$, 10월은 $52\mu\text{g}/\text{m}^3$,

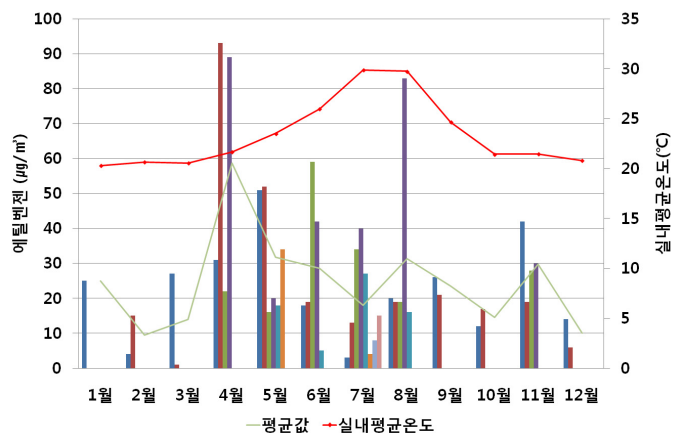


그림 6. 에틸벤젠 방출량

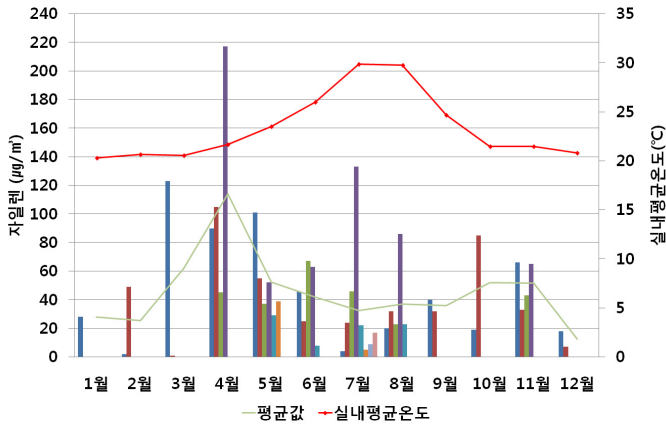


그림 7. 자일렌 방출량

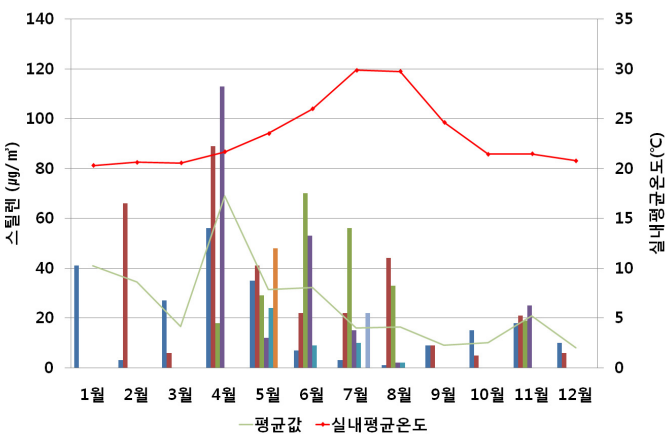


그림 8. 스티렌 방출량

11월은 $52\mu\text{g}/\text{m}^3$, 12월은 $13\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다. 에틸벤젠과 유사하게 4월에 가장 높은 방출량을 보였으며 3월, 5월, 10월~11월에 비슷한 방출량을 나타냈다. 4월 일부 단지에서는 $217\mu\text{g}/\text{m}^3$, $105\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 높은 방출농도를 나타냈으나 모든 단지가 권고기준인 $700\mu\text{g}/\text{m}^3$ 기준을 충분히 만족하는 것으로 나타났다.

4.7 스티렌 방출량

스티렌의 평균 방출농도는 그림 8과 같으며, 측정단지 평균 1월은 $41\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났고 2월은 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3월은 $17\mu\text{g}/\text{m}^3$, 4월은 $69\mu\text{g}/\text{m}^3$, 5월은 $32\mu\text{g}/\text{m}^3$, 6월은 $32\mu\text{g}/\text{m}^3$, 7월은 $16\mu\text{g}/\text{m}^3$, 8월은 $16\mu\text{g}/\text{m}^3$, 9월은 $9\mu\text{g}/\text{m}^3$, 10월은 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$, 11월은 $21\mu\text{g}/\text{m}^3$, 12월은 $8\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다. 에틸벤젠, 자일렌과 유사하게 4월에 가장 높은 방출량을 보였으며 1월~2월, 5월~6월에 $32\sim 41\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 방출량으로 유사하게 나타났다. 4월 일부 단지에서는 $113\mu\text{g}/\text{m}^3$, $89\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 높은 방출농도를 나타냈으나 모든 세대가 권고기준인 $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ 기준은 훨씬 못 미치는 방출량을 나타냈다.

상기의 일년에 걸친 신축공동주택의 실내공기질 측정결과 실내온도가 30°C 까지 상승하는 하절기로 갈수록 실내공기오염물질이 다량 방출되는 특성을 확인할 수 있었다. 실내공기질 측정전 현장에서 베이커아웃 등 환기를 실시하여 실내공기오염물질 방출량이 모두 권고기준 이하로 나타났을 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 2012년 1월~12월의 한 해 동안 전국에 걸친 입주예정인 공동주택 총 43개 단지를 대상으로 “실내공기질공정시험기준”(환경부)에 따라 실내공기질을 측정·분석하여 계절별 상승하는 온·습도에 따른 실내공기오염물질 방출현상을 분석하였다. 주요 측정결과는 다음과 같다.

1. 포름알데히드 및 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스티렌의 휘발성유기화합물의 실내 방출량은 모든 단지가 “다중이용시설등의 실내공기질관리법”의 신축공동주택 권고기준 이하로 나타났다.
2. 포름알데히드 방출량의 경우 실내온도가 상승하는 6월~9월의 방출량 농도가 높게 나타나 온도와 상관관계가 다른 오염물질보다 가장 높은 것으로 나타났다.
3. 벤젠의 방출량은 일년에 걸쳐 큰 편차 없이 소량으로 고르게 방출된 것으로 나타났으며, 톨루엔 및 에틸벤젠의 방출량은 4월~8월에 많이 방출된 것으로 나타났다. 자일렌, 스티렌 방출량은 모두 4월에 많이 방출된 것으로 나타났으나 일년에 걸쳐 큰 편차없이 고르게 방출되는 것으로 나타났다.

본 연구는 전국에 걸쳐 실내공기질을 측정하고 측정세대 전용면적 및 세대수의 평균개념을 적용하여 실내공기질 현황을 파악하고자 한 실측조사 연구이다. 유사한 온도조건에서 오염물질의 단지별 방출특성의 차이를 살펴보기 위하여 실내온도가 평균 29.9°C 로 가장 높았던 7월의 경우를 살펴보면 포름알데히드의 방출량은 인천Y단지, 벤젠의 경우 함안C단지가 가장 높았으나 두 오염물질이 모두 높게 나온 단지는 인천B-2단지과 성남J-1단지였다. 두 단지의 특성을 살펴보면 측정세대 전용면적 규모가 큰 것을 알 수 있어 같은 온도조건에서도 세대가 커질수록 건축마감재와 가구재가 많이 시공되어 오염물질 방출량이 많은 것으로 판단된다.

따라서, 향후에는 세부적인 온도조건과 세대규모 및 오염물질 방출량과의 상관관계를 조사할 필요성이 있으며 이를 위해 현장에서 측정유형별 세대마다 온도조건을 다르게 조절하여 오염물질방출량 측정분석을 통해 정량적 상관관계를 살펴 볼 필요성이 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 국가법령정보센터, <http://www.law.go.kr/main.html>.
2. 국토해양부(2010), 「청정건강주택 건설기준」.
3. 김재권, 윤재옥(2012), “위성도시의 신축공동주택 실내공기질 실측에 관한 연구”, 「대한건축학회 추계학술발표대회 논문집」, 32(2): 305~306.
4. 박진철, 김남규(2009), “신축공동주택의 실내공기환경 실태조사에 관한 연구”, 「한국건축친환경설비학회 논문집」. 3(3): 96~103.
5. 신민재(2011), “신축공동주택 실내공기질에 대한 거주자 만족도 평가”, 「한국건축친환경설비학회 추계학술발표대회 논문집」, 149~152.
6. 윤재옥(2013), “입주 전 신축 공동주택의 휘발성유기화합물 및 폼알데히드 실측에 관한연구”, 「대한건축학회 논문집」, 29(7): 265~272.
7. 윤재옥(2010), “중소도시 공동주택의 실내공기질 실측에 관한 연구”, 「한국생태환경건축학회 논문집」, 10(4): 81~86.
8. 전주영(2012), 「LH주택 품질향상 TF 결과 보고서」, 토지주택연구원.
9. 조현, 손장열(2010), “다중이용시설 실내공기질 관리법 시행이 후 신축공동주택의 휘발성유기화합물 및 폼알데히드 방출 특성”, 「한국생활환경학회 논문집」, 17(2): 206~213.
10. 함진식(2012), “신축 공동주택의 포름알데히드 농도 발생특성과 저감대책에 관한 연구”, 「대한건축학회논문집」, 28(9): 261~268.
11. 환경부(2011), 「다중이용시설등의 실내공기질관리법」.
12. 환경부(2010), 「실내공기질공정시험기준(환경부고시 제2010-24호)」.