

에너지절약 주택과 일반 아파트에서의 실내 화학오염물질 농도 변화 특성

The Characteristic of the Concentration Transition of Chemical Substances in Energy Saving House and Apartment House

유복희*
Yoo, Bok-Hee

박선호**
Park, Sun-Hyo

Abstract

Recently, much attention has been paid to the problem such as sick building syndrome, which caused by the indoor air pollutant. Volatile Organic Compounds (VOCs) and formaldehyde have been considered as one of the main reason that causes indoor air pollutant. This study is for introducing and designing thermal performance of super energy saving building by conducting VOCs and formaldehyde concentration in the 3Liter house. The results of the measurement for 10 months showed that VOCs and formaldehyde decreased until the guideline concentration. It took about 7 months, and it appeared right after new construction. However, their levels were showed higher concentration in comparison with the ordinary residential houses (apartment house). The main difference of between newly built 3Liter house and ordinary apartment is their air changes, which are 0.67/h for 3Liter house and 4.0/h for the apartment.

Keywords : 3Liter House, Air tightness, Volatile Organic Compounds, Formaldehyde, Concentration Transition

주요어 : 3리터하우스, 기밀, 휘발성유기화합물, 포름알데히드, 농도변화

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

국내외적으로 교토의정서 발효(2005.2.16), 건물 에너지 효율등급 인증제도 시행(2001), 건축물 에너지 절약 설계 기준의 강화(2001), 신재생에너지개발 이용 보급촉진법(2004.12) 등 에너지문제 해결을 위한 사회적인 요구가 증대하고 있는 실정이다.

에너지관리공단 자료에 의하면 우리나라는 국가 에너지의 24%가 건물에너지로 사용되고 있으며, 이 중 18%가 주거건물 분야에서 소비되고 있다. 특히, 난방 및 급탕 분야의 비중이 80%를 상회하고 있다. 그로 인해 건물에서의 에너지 사용이 환경오염에 영향을 미치고, 온실가스 방출을 증가시키고 있다.

또한, 국내에서는 최근 고층 공동주택 및 에너지절약형 건물이 증가하고 있다. 건물은 건물의 상하부 압력차로 인해 누기 및 침기가 발생하게 된다. 이러한 누기 및 침기는 건물 외피에서의 열손실을 증가시켜 에너지 비용을 증가시킨다. 따라서, 건물 외피에서의 열손실을 줄이고, 구조체 내부 결로에 의한 피해를 방지하고, 거주자의 열적 쾌적도 향상을 위해서는 건물의 기밀도 향상은 매우 중

요한 요인으로 지적되고 있다.

한편, 이와 함께 공동주택의 기밀화로 인한 환기 부족과 새로운 화학 건축자재의 사용으로 인한 실내공기의 오염이 사회문제가 되고 있다. 건축물에 기인하는 건강상의 피해를 말하는 이른바 '식크빌딩증후군'(SBS: Sick Building Syndrome)등은 건축 마감재나 시공재에서 발생하는 포름알데히드 및 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds 이하 VOCs)과 같은 유해화학물질이 원인중의 하나로 지적되고 있다.

따라서, 건물내 재실자의 건강과 쾌적성을 확보함과 동시에 에너지절약을 할 수 있는 기술의 개발 및 적용이 필요한 시점이다.

현재까지 국내에서는 에너지절약주택에 대한 에너지 소비량에 대한 연구가 중심으로 진행되었으나, 실내공기질에 대한 연구 결과는 미비한 실정이다.

본 연구는 초에너지절약형 건물인 3리터하우스에서의 실내 화학오염물질의 시간경과에 따른 변화 특성을 파악하여, 기밀한 주택에서의 실내공기질 향상 방안을 수립하기 위한 기초적 데이터를 수집하는데 목적이 있다.

2. 초에너지절약형 3리터하우스

3리터하우스는 패시브하우스의 개념 내에서 에너지소비량의 목표를 구체적으로 3 L/m².a로 규정한 것이다. 3리터하우스(패시브하우스)라는 용어는 다양한 기술, 설계와

*정회원(주저자, 교신저자), 대림산업(주)기술연구소, 책임연구원, Ph.D

**정회원, 대림산업(주) 기술연구소, 선임연구원

재료를 이용하는 시공표준으로 간주되며, 기본적으로 저에너지건축(low energy house)을 기본 모델로 고안된 것이다.

3리터하우스(패시브하우스)는 통상적인 냉난방장치 없이 겨울과 여름철에 쾌적한 실내기후를 창출한다. 이를 허용하기 위해서 건물의 난방부하가 10 W/m²를 초과해서는 안되며, 이와 같이 적은 난방부하는 대략 평균 난방에너지로 15 kWh/(m²a)정도이다. 3리터하우스(패시브하우스)는 일반적인 건물(주택)보다 약 80%정도의 에너지를 절약할 수 있다.

본 연구의 측정대상인 3리터하우스는 경기도 용인시에 위치한 초절약형에너지 시범주택으로 2005년 12월 준공된 38평 2층 규모의 단독주택이다.

3리터 하우스에 적용된 주요 기술은 고성능 창호, 수퍼 단열, 이중외피, 폐열회수 환기시스템, 연료전지, PCM(Phase Changing Material)의 에너지 절약 및 발전요소로 구성되어 있다.

3리터하우스는 전체 난방요구량의 1/3은 창을 통한 자연형 태양열 획득에 의해 공급된다. 따라서, 창은 투과율(g-value) 50% 이상 유지되도록 하였다. 또한 동절기 열손실 방지 및 하절기 과열방지를 위해 열관류율 0.8 W/m²K 이하로 설계되었다.

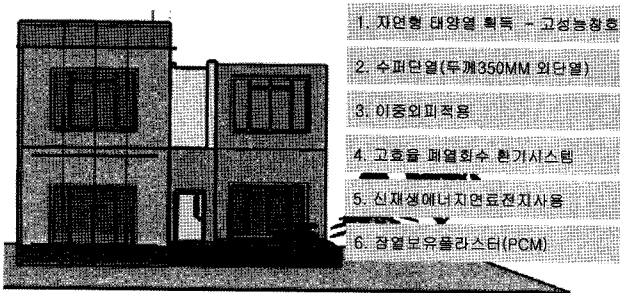


그림 1. 3리터하우스의 주요 적용 기술

또한, 3리터하우스는 외피를 통한 열손실을 최소화하기 위해 외벽 단열재를 350 mm의 두께로 설치하여 외벽의 열관류율값이 0.083 W/m²K이다.

우각부나 접합부의 추가적인 열손실을 방지하기 위하여 우각부는 400~450 mm 두께의 단열재를 설치하여 열관류율은 0.075 W/m²K이다.

3리터하우스는 냉난방 부하 감소를 통한 에너지 소비량을 줄이기 위해 이중외피와 블라인드를 설치하였으며, 실내에서 사용될 전기와 열을 가정용 연료전지를 통해 얻도록 설계하였다.

3리터하우스는 창기에 의한 열손실을 최소화하기 위해 기밀 시공되므로 실내공기질을 쾌적하게 유지하기 위해서 환기시스템의 설치가 필요하다.

환기시스템의 환기율은 0.25~0.4회/h이며, 창기에 의한 열손실을 방지하기 위해서 폐열회수를 위한 열교환기를 설치하였다.

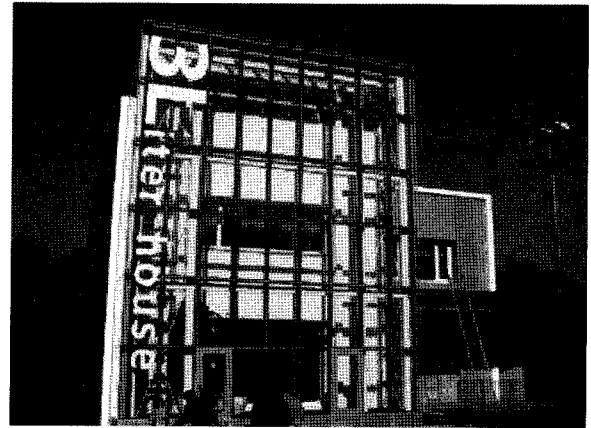


그림 2. 3리터하우스 외관

<표 1>은 3리터하우스에 적용된 폐열회수형 환기시스템의 제원을 나타낸다. 열교환효율은 현열기준 85%이다. <그림 4>는 폐열회수형 환기시스템의 적용 개념을 나타낸다.

표 1. 폐열회수형 환기시스템의 제원

열교환효율	85% (현열기준)
필터	프리필터+미디엄필터
풍량	250 CMH
방식	대향류형 열교환 소자 적용
소비 전력	350 W
크기	555*300*1223 mm (WDH)

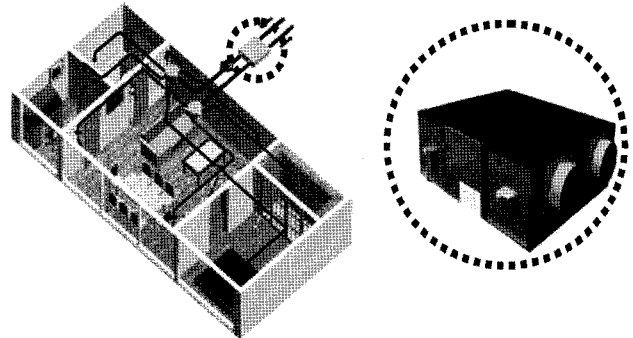


그림 3. 폐열회수형 환기시스템의 적용 개념

상기에서 기술한 3리터하우스의 주요 기술에 의한 에너지 절약 효과를 극대화하기 위해서 시공상에서의 열교차단 및 기밀성능을 강화하였다.

박선효¹⁾는 건물별 기밀성능 측정결과를 보고하였는데, 3리터하우스의 기밀도는 n50(실내외 압력차 50 Pa)에서 창기에 의한 환기횟수는 0.67회/h로 보고하고 있으며, 기밀 시공관리가 상대적으로 집중적으로 이루어지지 않은 일반

1) CMH50(cubic meter per hour)은 실내외 압력차를 50 Pa로 유지하기 위해 실내에 불어 넣어야 할 기류량을 의미한다. ACH50(air change per hour)은 건물의 외피에 50 Pa의 압력이 작용하고 있을 때 실내공기가 한 시간 동안 몇 번 환기가 이루어지는 가를 나타낸다.

건물은 3.74회/h의 측정결과를 <표 2>와 같이 보고하고 있다.

표 2. 대상건물별 기밀성능 측정 결과

구분	단위	3리터하우스	일반건물
CMH50 ²⁾	m ³ /h	230.64	4,321.64
ACH50	m ³ /h/m ³	0.67	3.74

유럽에서 많이 지어지고 있는 패시브하우스는 50 Pa의 압력차에서 시간당 환기횟수 0.2~0.6회의 기밀성능을 가지는 것으로 보고되고 있다.³⁾

<그림 4>⁴⁾는 독일의 주택의 기밀성능 현황을 나타낸다. 과거에는 통상 ACH50기준 10회/h의 환기횟수를 가졌으나, 최근 법적기준은 3회/h, 패시브하우스는 약 0.5회/h 정도의 환기횟수를 가지는 것으로 나타났다.

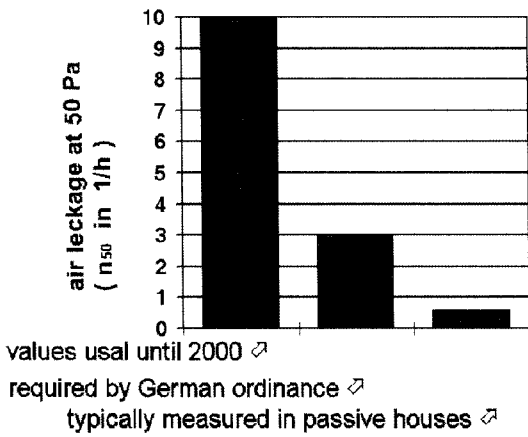


그림 4. 독일 주택 종류별 기밀성능

즉, 3리터하우스는 패시브하우스 개념의 기밀성능을 가졌을 뿐만 아니라, 열교현상을 방지하기 위한 외단열 공법을 적용하였다. <그림 6>은 열교현상을 방지하기 위한 단열재 설치 개념이다.

II. 연구방법 및 내용

1. 측정 개요

1) 3리터하우스와 일반아파트 실험세대 특성 비교

초에너지 절약형 기밀주택인 3리터하우스를 대상으로 VOC, 및 포름알데히드에 대한 장기간 모니터링을 실시하였다.

2) Wolfgang Feis, CEPHEUS-Projet information NO.1-Climate Neutral Passive House Estate in Hannover-kronsberg; Construction and Measurement Results, 2005, pp. 58

3) http://www.passivehaustagung.de/passive_house_E/airtightness_06.html

4) 일반적으로 공동주택은 동별로 건축마감재의 시공 시기에 차이를 나타낸다. 그러나, 본 일반아파트 실험세대는 골조 완성 후, 마감재 시공은 실험 목적에 맞게 본 공사 공정과 달리 별도로 시공되었다. 따라서, 3리터하우스와 일반아파트 세대는 마감 자재별 양생기간의 차이는 없다.



그림 5. 바닥단열재 설치

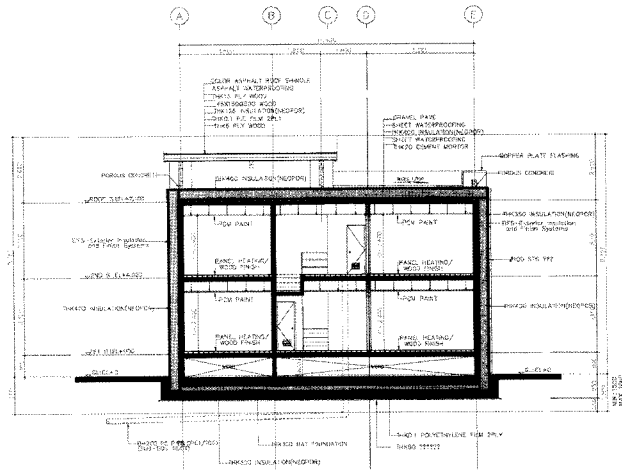


그림 6. 열교현상을 방지하기 위한 단열재 설치 개념

측정기간은 준공직후(마감재 시공 완료 직후)인 2006년 1월에서부터 10개월이 경과된 10월까지 실시하였다.

또한, 기존 일반아파트 세대와의 차이를 비교하기 위하여 동일한 친환경자재를 적용한 일반아파트의 비교를 실시하였다.

표 3. 3리터하우스와 일반아파트 세대 특성 비교

구분	3리터하우스	일반아파트 세대
준공 일시	2005년 12월 21일	2004년 3월 30일
위치	용인시	서울시
규모	125.4m ² (2층)	105.6m ²
측정 일시	05년 12월 5일 ~06년 10월 30일	03년 12월 9일 ~04년 2월 25일
최종 내부마감재(벽지) 시공완료 후 측정시기 ⁵⁾	10일 후	5일 후
마감재 구성	벽지, 벽지용 접착제, 마루바닥판, 바닥용 접착제는 동일한 친환경건축자재 ⁶⁾ 적용	
가구재 구성	옷장(2층 침실), 침대, 주방가구, 거실 서랍장 및 소파	각 실 옷장, 거실 서랍장, 주방가구, 신발장
환기횟수	약 0.67회/h	약 4.0회/h ⁷⁾

5) 본 연구에서의 친환경자재란 한국공기청정협회 HB(Health Building) 마크 최우수등급 수준으로 TVOC 및 포름알데히드의 방출량이 저감된 자재를 말한다.

6) 본 수치는 선행연구 “박선효능, 기밀 시공 관리에 따른 건물의 기밀도 현황 연구”에서 일반 건물로 측정된 세대의 측정결과이다.

7) 환경부 “다중이용시설 등의 실내공기질관리법”에 의한 실내공기질 권고기준은 2005년 12월 제정되었다.

일반아파트 측정은 2003년 12월 9일~2004년 2월 25일 까지 측정하였다. 본 일반세대는 서울의 S현장에서 실시되었으며, 신축된 입주 직전의 신축 공동주택이다. 본 연구에서의 일반아파트란, 현재 공동주택에서 실제 시공되고 있는 기밀도가 약 n50(실내외 압력차 50 Pa)에서 약 4.0회/h 내외의 환기횟수를 나타내는 세대를 말한다.

2) 측정 공간

3리터하우스는 1층의 거실 중앙에서 측정하였으며, 일반아파트는 거실 중앙점에서 측정하였다.

3) 분석대상 유해화학물질

벤젠, 에틸벤젠, 톨루엔, 자일렌, 스티렌, 포름알데히드에 대하여 분석 평가하였다.

4) 친환경자재의 사용

일반아파트와 3리터하우스 모두 벽지 및 벽지용 접착제, 마루바닥재, 바닥용 접착제, 수성페인트 등에 대하여 친환경건축자재가 동일하게 적용되었다.

5) 공기포집 조건(환기 및 밀폐)

대상주택은 측정 전 조치로서 30분 동안 환기를 실시하고, 환기 시에는 실의 각방과 문을 개방하고 가구 등의 서랍과 개구부를 모두 개방한 채 외부에 접한 문들을 개방하여 실시하였다. 환기 후 밀폐를 실시하여 5시간 동안 유지한 후 실내공기를 포집하였다.

6) 포집공기의 온도 및 습도, 유량

각 측정세대의 온도는 공기 포집 시에 20°C 이상을 유지하기 위하여 측정 전 난방을 가동하였다. VOC_s는

100.0 ml/min을 30분간 포집하여 총 3.0l, 포름알데히드는 700 ml/min을 30분간 포집하여 총 21.0 l을 포집하였다.

7) 측정일의 온습도 조건

일반아파트 및 3리터하우스에서의 실내공기질 측정 시, 온도 및 습도의 조건은 <표 4>와 같다.

8) 환기상태 및 실내유지현황

3리터하우스는 밀폐된 상태에서 환기시스템이 가동되어

표 4. 측정 대상주택의 공기포집 조건

항목	측정일시	온도(°C)	습도(%)	측정 시간
일반아파트	03년 12월 9일	20.5	29.0	14:00
	03년 12월 13일	22.4	48.0	14:20
	03년 12월 20일	20.3	28.0	14:00
	04년 1월 8일	23.5	21.0	14:20
	04년 2월 13일	23.5	20.0	14:10
	04년 2월 19일	23.2	21.0	14:30
	04년 2월 25일	24.0	33.0	14:00
3리터하우스	05년 12월 5일	20.8	38.3	13:30
	05년 12월 15일	20.0	50.3	14:00
	06년 1월 13일	22.8	52.3	14:00
	06년 4월 26일	22.4	45.3	15:45
	06년 7월 4일	25.4	77.3	14:00
	06년 8월 23일	30.2	74.3	13:40
	06년 9월 15일	22.5	70.3	14:00
06년 10월 30일	20.6	47.0	14:30	

(약으로 가동) 상시 약 0.2회/h 환기가 이루어지는 상태이다. 이에 비해 일반아파트의 경우 기계 환기는 실시되지 않았으며 밀폐 상태를 기본으로 유지한 세대이다.

그러나, 일반아파트 세대의 경우 3리터하우스 보다 측정 기간은 짧으나 측정 간격이 상대적으로 짧아 동일 기간 내에서는 측정을 위한 30분 환기 행위가 상대적으로 자주 실시된 특성을 가지고 있다.

2. 시료 포집 및 분석방법

1) 공기 중 VOC_s 포집 및 분석

시료 채취는 0.6 cm×9 cm 스테인리스 튜브에 Tenax TA 200 mg을 충전한 흡착관을 저유량 시료채취용 펌프(SIBATA)에 연결하여 100 ml/min으로 30분간 포집하였다. VOC_s 대상물질의 분석에는 자동 열탈착장치(ATD-400, Perkin Elmer)가 GC 칼럼으로 직접 연결되는 GC/MS(Gas Chromatograph/Mass Spectrometer)를 사용하였다. GC/MS의 분석조건은 <표 5>와 같다.

표 5. GC/MS의 분석 조건HPLC

GC/MS (HP6890/ 5973N)	-HP-1Capillary column (60 m×0.32 μm×0.25 nm) -Column flow 1 ml/min -MS ion source temp: 260°C -Column temp rate 60°C (5min)→5°C/5min to 260°C -Split 20 : 1
-----------------------------	---

2) 공기 중 포름알데히드 포집 및 분석

폴리프로필렌 튜브에 350 mg의 2,4-DNPH-coated silica (1 mg DNPH)를 충전한 LpDNPH S10 카트리지와 저유량시료 채취용 펌프(SIBATA)를 사용하여 공기를 포집하였으며, 총 채취량이 21.0l가 되도록 하였다. 또한 오존에 의한 방해 작용을 제거하기 위해 폴리프로필렌 튜브에 KI 결정을 채운 오존 스크루버를 LpDNPH S10 카트리지 앞에 연결하여 시료를 포집하였으며 채취된 시료는 추출 전까지 냉암소에 보관하였다.

DNPH와 반응하여 형성된 DNPH-카르보닐 유도체는 농축 바이알(10 ml)을 이용하여 HPLC등급 아세토니트릴 5ml로 추출하였으며 추출액은 갈색 바이알에 담은 후 테플론 캡으로 밀봉하여 곧 바로 분석을 수행하였다.

추출된 DNPH 유도체로부터 카르보닐화합물의 분석은 HPLC를 이용하여 실시하였으며, 분석조건은 <표 6>과 같다.

표 6. HPLC 분석 조건

HPLC (Shimadzu)	-UV detector: 360 nm -이동상 ACN: H ₂ O = 60 : 40 -추출 Acetonitrile 5 ml
--------------------	---

III. 측정 결과

마감재 시공완료 10일후의 3리터하우스와 5일후인 일반아파트에서의 실내 유해화학물질에 대한 측정 결과는 <표 7, 8>과 같으며, 시간경과에 따른 각 물질의 농도변화는 <

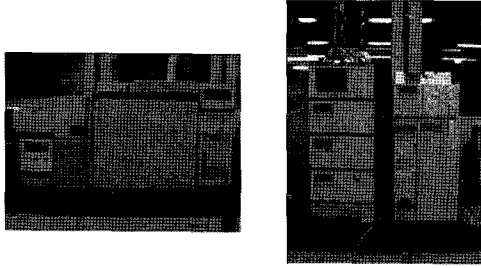


그림 7. GC/MS (Gas chromatograph/Mass Spectrometer) (좌)
그림 8. HPLC (High Performance Liquid Chromatograph) (우)

그림 9~20>과 같다. 3리터하우스는 약 10개월간의 측정결과이며, 일반아파트 세대의 경우 약 3개월간의 측정결과이다. 벤젠은 대부분 실내공기 중에 매우 저농도로 나타나며, 증가와 감소를 반복하는 경향을 나타낸다. 본 측정 결과에서도 3리터하우스의 경우 초기값이 31.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 인 것을 제외하면, 두세대 모두 환경부의 권고기준인 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 안정적으로 만족하는 결과를 나타냈다.

에틸벤젠의 경우, 일반주택에서는 측정시작 후 약 10일이 경과된 시점에서 환경부 권고기준인 360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 만족하는 결과를 나타냈다. 그러나, 기밀주택인 3리터하우스의 경우 약 7개월이 경과된 후 측정치에서 기준치를 만족하는 농도를 나타냈다.

특히, 초기농도는 일반아파트보다 매우 높게 나타났으며, 약 15일 정도에서 급격한 농도저감을 나타냈으나, 그 후 농도 저감은 서서히 이루어지는 것으로 나타났다.

스티렌의 경우, 3리터하우스에서 농도가 환경부 권고기준인 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하의 농도를 나타낸 것은 준공 후 약 8개월이 경과된 시점에서 부터이다. 그 후 농도변화는 안정적으로 낮은 농도를 나타냈다. 일반아파트의 경우 측정시점에서부터 기준치에 만족하는 결과를 나타냈다.

자일렌의 경우, 3리터하우스에서의 농도가 환경부 권고

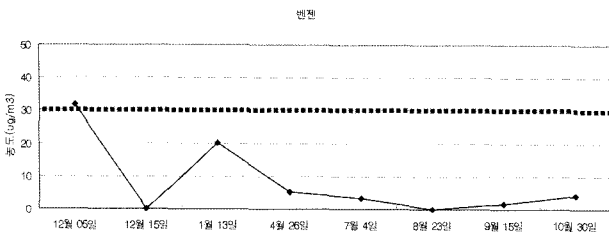


그림 9. 3리터하우스에서의 시간경과에 따른 벤젠농도 변화

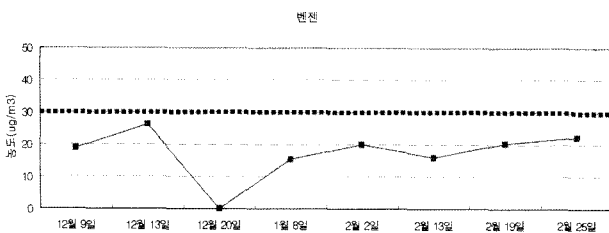


그림 10. 일반세대에서의 시간경과에 따른 벤젠농도 변화

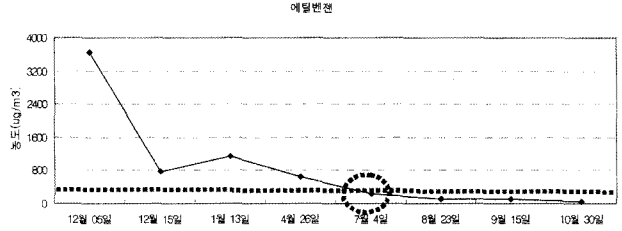


그림 11. 3리터하우스에서의 시간경과에 따른 에틸벤젠농도 변화

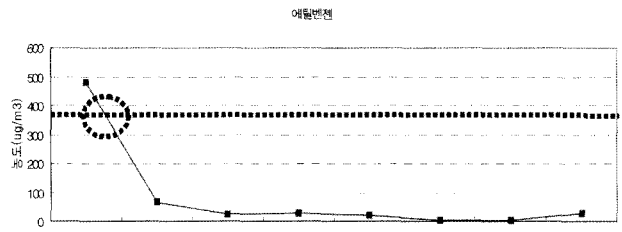


그림 12. 일반세대에서의 시간경과에 따른 에틸벤젠농도 변화

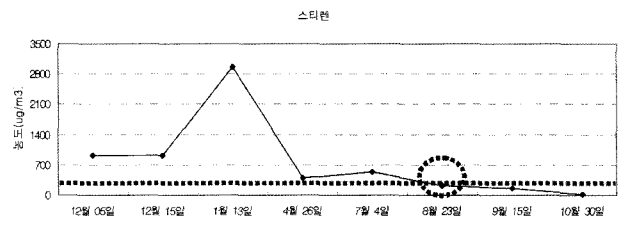


그림 13. 3리터하우스에서의 시간경과에 따른 스티렌농도 변화

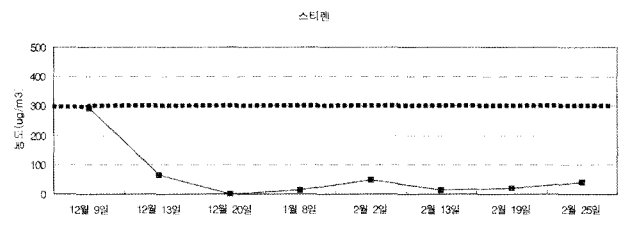


그림 14. 일반세대에서의 시간경과에 따른 스티렌농도 경시 변화

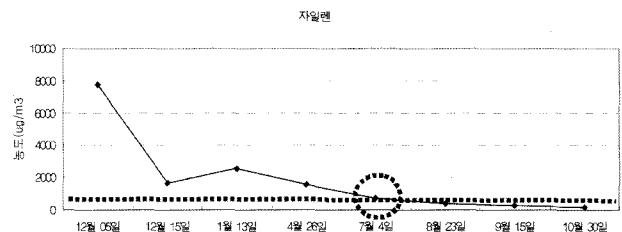


그림 15. 3리터하우스에서의 시간경과에 따른 자일렌농도 변화

기준인 700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 만족하는 결과를 나타낸 것은 준공 후 약 7개월이 경과된 시점의 측정에서 부터이다. 그 후 농도변화는 안정적으로 낮은 농도를 나타냈다. 일반아파트의 경우 측정 후 약 1개월이 소요된 시점에서 기준치에 만족하는 결과를 나타냈다.

톨루엔의 경우, 3리터하우스와 일반아파트 세대 모두 매우 높은 초기 농도를 나타냈으며, 3리터하우스에서의 농도가 환경부 권고기준인 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 만족하는 수준으로

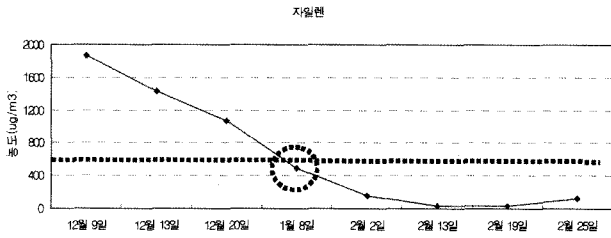


그림 16. 일반세대에서의 시간경과에 따른 자일렌농도 변화

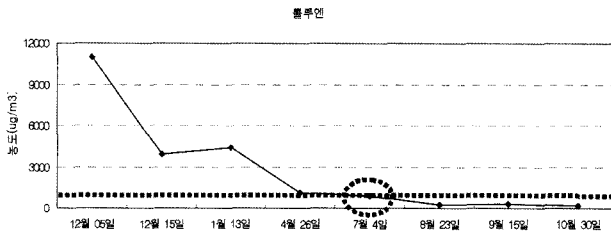


그림 17. 3리터하우스에서의 시간경과에 따른 톨루엔농도 변화

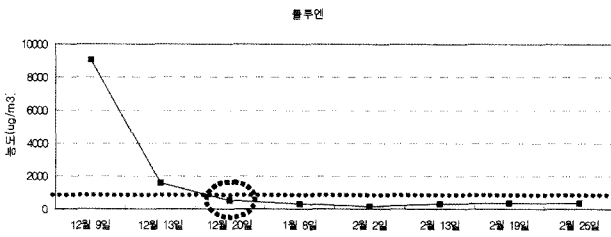


그림 18. 일반세대에서의 시간경과에 따른 톨루엔농도 변화

저감된 것은 준공 후 약 7개월이 경과된 시점이다. 그 후 농도변화는 안정적으로 낮은 농도를 나타냈다. 일반아파트의 경우 측정 후 약 40일이 경과된 시점에서 기준치에 만족하는 결과를 나타냈다. 특히, 3리터하우스의 경우 초기농도가 10,999 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 나타냈고, 일반아파트의 경우 9,067 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타나, 초기농도의 차이가 적은 것에 비해 권고기준까지 낮추는데 소요되는 시간은 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다.

이러한 특성은 앞서 기술한 자일렌의 경우에서도 나타났으며, 3리터하우스의 초기농도는 일반아파트와 비교하여 매우 고농도로 검출되었으나, 일반아파트 세대 수준으로 농도로 떨어지는데 10일정도가 경과하였다. 그 후 일반아파트 세대는 700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 감소하는데 약 1개월이 소요된 반면, 3리터하우스는 약 0.2회/h의 기계환기에 의한 환기량을 유지한 상태에서 약 6개월 이상이 소요되었음을 알 수 있다.

따라서, 기밀주택에서는 자연 침기량 등에 의한 실내 유해화학물질의 자연감소량이 급격하게 감소하여 일반아파트 세대와 비교하여 자연적으로 감소되는 부분이 적음을 확인할 수 있었다.

포름알데히드의 경우, 특히 3리터하우스와 일반아파트 세대에서의 농도차가 크게 나타났다. 포름알데히드는 실내공간에서 시간경과에 따른 감소가 다소 늦게 나타나는

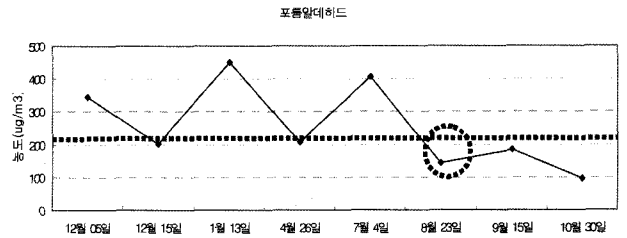


그림 19. 3리터하우스에서의 시간경과에 따른 포름알데히드농도 변화

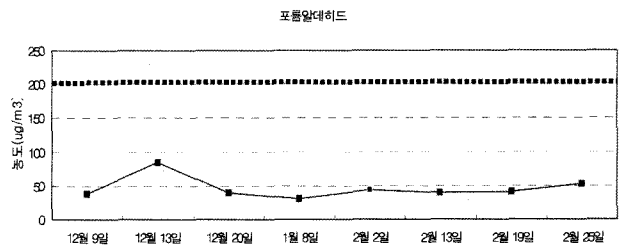


그림 20. 일반세대에서의 시간경과에 따른 포름알데히드농도 변화

경향을 보인다. 또한 실내의 온도 및 습도에 영향을 많이 받는 물질로 경과시간에 따른 농도 변화는 증가 및 감소를 반복하는 경향을 나타내는 것이 일반적이다.

본 측정결과에서도 증가와 감소를 반복하고 있으며, 3리터하우스의 경우 권고기준인 210 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 만족하는 농도로 저감된 것은 신축 후 8개월이 경과된 시점인 것으로 나타났다. 이에 비하여 일반주택의 경우 측정시점부터 지속적으로 매우 낮은 실내농도를 안정적으로 유지하는 것으로 나타났다.

IV. 결 론

초에너지절약형 기밀주택인 3리터하우스와 일반아파트를 대상으로 실내 화학오염물질의 농도변화 특성을 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 기술한다.

1. 본 연구의 측정대상인 일반아파트와 3리터하우스의 주요 특성은 일반아파트 세대는 2004년 3월에 준공된 아파트로 105.6 m^2 규모이며, 환기횟수는 4.0회/h를 나타냈다. 3리터하우스는 2005년 12월 준공된 125.4 m^2 규모의 2층 단독주택이며, 환기횟수는 0.67회/h로 나타나, 일반세대와 비교하여 기밀하게 시공된 주택이다. 두 세대에 적용된 마감자재는 동일한 친환경건축자재가 적용되었으며, 일반세대는 자재 마감후 5일이 경과된 시점부터, 3리터하우스는 10일이 경과된 시점에서부터 측정을 실시하였다.

2. 기밀성능의 차이를 보이는 3리터하우스와 일반아파트의 경우 준공직후 시점(초기농도)에서부터 실내 화학오염물질의 농도차는 크게 나타났으며 일반아파트 세대보다 3리터하우스가 고농도를 나타냄을 확인하였다.

3. 각 화학오염물질별 차이를 보이고 있으나, 일반아파트 세대가 약 1개월 이상 경과한 후 기준치 이하로 저감되는 것과 비교하여, 3리터하우스는 약 7개월 이상 소요

표 7. 일반 아파트세대 실내농도 측정 결과 (단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

측정월/일	오염물질	벤젠	에틸벤젠	스티렌	자일렌	톨루엔	포름알데히드
03년 12/09		19	1180	292	513	9067	37
12/13		26	66	66	28	1591	86
12/20		-	24	1	1	534	40
04년 01/08		15	29	16	13	303	30
02/02		20	22	49	34	173	44
02/13		16	4	14	116	302	40
02/19		20	3	20	32	352	40
02/25		22	29	39	53	345	52
환경부 권고기준		30	360	300	700	1000	210

표 8. 3리터하우스 실내농도 측정 결과 (단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

측정월/일	오염물질	벤젠	에틸벤젠	스티렌	자일렌	톨루엔	포름알데히드
05년 12/05		31	3651	905	7738	10999	344
12/15		-	768	910	1661	3925	200
06년 01/13		20	1147	2957	2553	4392	450
04/26		5	646	400	1555	1127	206
07/04		3	238	541	715	879	406
08/23		-	114	211	397	274	144
09/15		2	94	164	291	317	185
10/30		4	51	26	153	213	98
환경부 권고기준 ⁸⁾		30	360	300	700	1000	210

되는 것으로 나타났다.

이러한 두 세대간 유해화학물질의 저감 속도의 차이는 3리터하우스의 경우 0.67회/h, 일반아파트 세대는 3.74회/h의 기밀성의 차이로 인하여, 3리터하우스에서의 침기량에 의한 오염물질의 자연감소량이 일반아파트 세대와 비교하여 급격하게 감소하는 것에 기인한 것으로 판단된다.

4. 3과 같은 결과가 시사하는 것은, 시공회사별 차이는 있으나 내부 마감재 시공완료 후부터 입주하기까지는 2~3개월이 소요되므로, 3리터하우스와 같은 기밀주택의 경우 입주하기 전까지 일정한 수준의 이하로 실내공기질을 유지하기 위해서는 3~4개월의 저감효과를 단축시키는 별도의 방안이 필요함을 의미한다.

5. 3리터하우스에서는 기계환기에 의한 0.2회/h의 환기량을 유지한 상태에서 화학오염물질이 측정된 결과이다. 이에 비해, 일반아파트 세대의 측정은 기계환기는 가동되지 않았으며, 3리터하우스에 비해 동일기간 내 측정 빈도가 자주 일어남으로써 측정 전 처리과정에서의 환기(30분)행위가 상대적으로 많이 발생하였다. 그러나, 이러한 것은 입주전 건축현장의 일상적 관리 상황에서 유사하게 발생되는 형태이다. 이를 감안하면, 일반적 아파트 세대는

친환경건축자재의 사용을 전제로 하여 내부 마감 후 약 1개월 이상이 소요되면 안정적 수준으로 감소하는 것으로 나타났다. 다만, 본 측정 시기는 겨울이고 측정 시 온도가 20~24°C로 건축자재의 활발한 방출을 유도하는 온도에는 미진한 상태이며, 매우 높은 실내온도를 나타내는 하절기와는 방출량(농도)의 정도를 구별하여 판단되어야 할 것이다.

6. 3리터하우스와 같은 기밀주택에서 실내 화학오염물질을 보다 단축된 기간 내에 안정적 수준으로 감소시키기 위해서는 시간, 환기량, 오염물질의 저감에 대한 상호관계 규명을 위한 연구가 지속적으로 필요한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 원종서·박선효·박용승(2005), 3리터 하우스 설계를 위한 건축요소의 에너지성능 평가, 대한건축학회 추계학술발표대회논문집, 25(1), 19-22.
2. 문현준(2006), 에너지 절약 주택과 일반 주택에서의 TVOC 농도 비교분석, 대한건축학회논문집, 22(4), 269-276.
3. Wolfgang Feist (2004), Passive House Planning Package, PHI,
4. Wolfgang Feist (2001), CEPHEUS-Projet information N0.36, PHI,
5. Wolfgang Feist (2005), CEPHEUS-Projet information N0.1-Climate Neutral Passive House Estate in Hannover-kronsberg; Construction and Measurement Results,
6. Jurgen Shnieders (2003), CEPHEUS-measurement results from more than 100 dwelling units in passive houses, ECEEE,
7. Retrotec, "2000 Series Door Fan Manual For Energy, Scientific and Industrial Users", Retrotec
8. American Society of Heating (2001), Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., 2001 ASHRAE Handbook Fundamentals, ASHRAE, Atlanta, GA,
9. 이윤규·김창남(2004), 기존 공동주택의 실내공기질 실태에 관한 측정연구, 대한건축학회논문집, 20(11), 327-334.
10. 박선효·원종서·조재훈(2007), 기밀 시공 관리에 따른 건물의 기밀도 현황 연구, 한국생태건축학회 학술발표대회논문집, 7(1), 81-84.
11. 유복희·박선효(2007), 3리터 하우스에서의 VOC 및 포름알데히드 농도변화 특성, 한국생태건축학회 학술발표대회논문집, 7(1), 247-250.
12. 구성한·조재훈·여명석·김광우(2004), 실측을 통한 초고층 주거건물의 기밀도 특성에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회논문집, 24(1), 757-760.

(接受: 2007. 10. 25)

8) 환경부 "다중이용시설 등의 실내공기질관리법"에 의한 실내공기질 권고기준은 2005년 12월 제정되었다.