Journal of the Korean Housing Association
Vol. 26, No. 4, 23–32, 2015
http://dx.doi.org/10.6107/JKHA.2015.26.4.023

www.khousing.or.kr
pISSN 2234-3571
eISSN 2234-2257

신축목조주택의 실내공기질 특성 및 관련요인 분석

Analysis on Characteristics and Related Factors of Indoor Air Quality in Newly Built Wooden Houses

최윤정* 이재경** 차예랑**
Choi, Yoon-Jung Lee, Jae-Kyung Cha, Ye-Rang

Abstract

The purpose of this research is to analyze characteristics and related factors of IAQ (Indoor Air Quality) in newly built wooden houses by measuring pre and post occupancy. The subjects were five wooden houses which were built with similar materials and completed from July to December 2013. Measuring factors were TVOC, HCHO, PM10, CO_2, CO, indoor temperature, and relative humidity. As the result of pre occupancy measuring, the houses that revealed the lowest TVOC concentration or HCHO concentration were satisfied with “the standard for newly built apartment houses”. Therefore, IAQ by the wooden structures is considered to be in good condition. However, in cases of partial value exceeded the standard, the reason is analyzed to be the materials of molding, wrapping doors, built-in closet, or kitchen furniture, etc. rather than structure materials. Most PM10 concentration level showed slightly below “the standard for occupied multi-use facilities”. Remaining of construction dust was considered to be the reason. As the result of post occupancy measuring, every value except of one subject’s TVOC concentration was lower than pre occupancy, explaining the importance of natural ventilation.

Keywords : IAQ, Newly Built Wooden Houses, Pre and Post Occupancy, Related Factor
주 요 어 : 실내공기질, 신축목조주택, 입주전후, 관련요인

I. 연구의 목적

최근, 친환경주택의 당위성 및 건강주거에 대한 관심 증대로 인해, 목조주택의 건축사례가 증가하고 있다. 산림은 지구환경의 보존에 매우 중요하지만, 산림의 무분별한 훼손이 아닌, 나무를 사용하고 그 자리에 어린 나무를 다시 심는 보존활동까지 이루어진다면, 주택자재로 사용되는 콘크리트나 철재 등의 자재에 비해 생산시 투입되는 에너지가 적고 주택의 수명이 끝나도 자연으로 돌아갈 수 있는, 환경에 부하를 덜 주는 친환경자재라 할 수 있다. 또한 목재는 다공성 재료로 낮은 열전도율에 의해 단열성능이 우수하고, 유해물질이 발생하지 않는다고 알려져 있다.

그런데, 목재라는 자재의 친환경성이나 건강성이 많이 알려진 데 비해, 건강성의 한 지표라 할 수 있는 실내공기질에 대한 실제 주택에서의 실증연구는 거의 이루어진 바 없다. 신축공동주택의 경우는 현행 「다중이용시설 등의 실내공기질관리법」에 의해 입주전에 실내공기질을 측정 보고해야하는데, 건축법상 용도구분에서 공동주택이 아닌 주택은 이러한 규정에 해당되지 않는다.

목조주택은 구조법이나 목재 자체나 처리법, 내부마감재 등의 종류가 매우 다양하므로, 사용된 자재를 구체적으로 파악할 수 있는 신축주택에서 실내공기질을 입주전후에 측정하여 그 특성 및 관련요인을 파악하는 것은, 향후 소비자가 목조주택을 선택하고, 공급자가 설계, 시공하는데 있어서 자료 제공의 의의가 있다. 따라서, 본 연구는 신축목조주택의 실내공기질을 입주전후에 측정 분석하여 그 특성 및 관련요인을 파악하는 것을 목적으로 한다.

II. 문헌고찰

1. 선행연구

국내 ‘목조주택의 실내환경’에 관한 선행연구를 고찰한 결과, 신축목조주택 내 마감자재에 따른 실내오염물질의 방출특성을 비교한 연구(Lee et al., 2007)가 있었는데, 이

*정회원(주저자, 교신저자), 충북대학교 주거환경학과 교수
**준회원, 충북대학교 주거환경학과 졸업

Corresponding Author: Yoon-Jung Choi, Dept. of Housing & Interior Design, Chungbuk Nat’l Univ., Chungdae-ro 1, Seowon-gu, Cheongju, Chungbuk 28644, Korea E-mail: ychoi@cbnu.ac.kr

이 논문은 2013년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의해 연구되었음.

이 연구는 (주)노바건축사사무소의 강승희 소장님과 (주)스튜가목조건축연구소의 홍규택 현장소장님의 측정주택 섭외, 구체적 자료 제공 등의 연구협조로 진행되었음.

이 논문은 2014년도 (사)한국주거학회 춘계학술발표대회에 발표한 논문을 수정・보완한 연구임.

연구는 실제주택이 아닌 신축목조 시험실 5곳에서 실내마감자재 중 벽마감재를 달리하여 VOCs 및 포름알데히드 방출 특성을 비교하였다. 그 외에는 모두 목조주택의 열성능에 관한 연구(Cho and Yoon, 2010; Ko, 2012; Lee et al., 2012; Yu et al., 2013)였다. 따라서 본연구와 같이, 실제 신축목조주택의 실내공기질 특성을 파악한 연구는 전무하였다.

2. 관련법규 및 측정 · 평가기준

현재, 주택의 실내공기질 관련 법규는 「다중이용시설 등의 실내공기질관리법」(2013. 6. 12.) 및 시행규칙(2012. 7. 4.)에서 신축공동주택은 입주전 공기오염물질의 농도를 측정하여 측정결과를 단지내에 공고 및 환경부에 보고하도록 하고, 요소별 권고기준이 마련되어 있으며, 이의 측정기준은「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」(2013. 7. 6.)의 '실내공기질공정시험기준'(2010. 3. 5)의 신축공동주택 실내공기질 시험방법을 따른다. 거주중인 주택의 실내공기질 관련 법규는 전혀 없는 상태이다. 다중이용시설의 경우는 사용중인 상태의 실내공기질을 측정점검하도록 규정되어 있다<Table 1>.

Table 1. *The standards and Guideline in Regulation*

Items / Subject of application	Standard		Guideline
	PM10 (μg/m^3)	HCHO (μg/m^3)	VOC (μg/m^3)
Occupied multi-use facilities like nursery	100	100 (0.08 ppm)	400
Newly built apartment house	Guideline		
	HCHO 210 μg/m^3 (0.17 ppm) benzene 30 μg/m^3, toluene 1,000 μg/m^3, ethyl benzene 360 μg/m^3, xylene 700 μg/m^3, styrene 300 μg/m^3 (TVOC ≒2390 μg/m^3)		

따라서, 단독주택의 실내공기질은 적용받는 법규가 전혀 없다. 이에 본 연구에서는 입주전 측정의 경우는 신축공동주택의 권고기준과 측정기준을 적용하고, 입주후 측정의 경우는 다중이용시설 중 주택의 상황에 가까운「보육시설포함시설군」의 유지기준 및 '실내공기질공정시험기준'의 다중이용시설 실내공기질 시험방법을 적용하였으며, 시료채취 및 분석법만 현장식 측정기기를 사용하였다.

III. 연구방법

본 연구는 신축목조주택에서 시공 완료 후 입주전에, 그리고 입주일로부터 1개월 후에 실내공기질을 측정하면서 관련요인을 관찰기록 또는 면접조사 하였다.

1. 측정대상주택

연구에 협조의사가 있으며, 2013년 7월~12월에 신축되어 입주하는 목조주택을 대상으로 하였다. 현재, 국내에 건축되고 있는 목조주택의 종류가 다양하고, 내부마감이나 가구 등도 다양한 현실에서, "신축목조주택의 실내공기질 실태파악"이라고 하는 연구의 본질적 목적에 따라, 구조재만이라도 범위를 한정할 필요가 있었다. 이에 구조체와 재료에 대한 정보를 파악할 수 있는 (사)한국목조건축협회의 '목조건축 5-Star 품질인증' 참여회원사인 시공사가 시공한 유사한 구조재로 건축된 5개 주택을 대상으로 하였다. 5개주택 중 4개주택의 구조재는 북미산 소나무(레드파인)였고, 전통주택형태의 D주택은 국내산 소나무였다.

2. 측정내용 및 방법

입주전 신축주택의 측정은, 신축공동주택 실내공기질 시험방법을 원칙적으로 따랐다. 다만, 공정 시험법에서 규정하고 있는 시료채취 후 분석법 대신 본연구에서는 현장직독식(또는 자동기록) 측정기기를 사용하여, 주택의 거실에서 밀폐전 30분(오전7시30분-오전8시) 이상 환기후 측정전 5시간 밀폐(오전8시-오후1시), 오후1시-오후6시에 20분 간격으로 저장 또는 기록하면서 관련요인을 관찰기록하였다. 입주전에는 재실자가 없는 상태에서 측정이 원칙이므로 측정시에만 입실하여 기록후 퇴실하는 방법으로 하였다. 이와함께 측정주택의 특성으로 주변환경, 건축적 특성, 공간특성, 측정공간특성에 대해 관찰기록 및 면접조사를 하였으며, 더욱 구체적인 사항은 주택을 설계한 건축가와 시공현장소장으로부터 자료를 제공받았다.

입주후, 거주중인 상태의 측정은 사용중인 다중이용시설 실내공기질 시험방법을 원칙으로, 거실에서 거주자의 생활을 수용한 상태에서 오전10시-오후6시에 20분 간격으로 측정하였다. 입주후 측정시에는 거주자의 생활요인을 관찰 기록하였으며, 거주자를 대상으로 응답자특성, 생활특성, 평상시(입주후) 실내환경 조절특성에 대해 면접조사하였다. 입주후 측정시에는 측정자 2인과 거주자 1인이 집 안에 있었으나, 측정공간에는 대부분 측정자 2인만 재실하였다.

공정시험법에서는 측정일에 2회 시료채취 후 분석하는 방법으로 규정되어있으나 본 연구에서는 현장식 기기를 사용하였다. 공정시험법은 신축공동주택과 다중이용시설의 실내공기질이 기준을 초과하는지 평가하기 위함이 주 목적이고, 본 연구는 생활적·건축적 변수가 많은 주택내에서의 현장연구로서, 특히 측정치의 변화요인 즉 관련요인이 무엇인지를 파악하고자 하는 것이 연구의 목적이므로 측정시간대에 여러번 다회 측정하는 방법을 이용하였다.

측정요소는 TVOC, HCHO, PM10, 배경요소로서 CO_2, CO, 기온, 상대습도를 측정하였으며, 측정기기는 HCHO는 HCHO 측정기(PPM FormaldemeterTM 400), PM10은 디지털분진계(KANOMAX-Model 3442), 그외 측정요소는 실내환경종합측정기(DirectSense TM IAQ LAP IQ-610Xtra; 환경부 인증장비)를 사용하였으며, TVOC 센서는 에탄, 메탄, 포름알데히드 등과 같이 이온화 가능성이 10.6eV보

다 큰 VOCs에는 반응하지 않고 주요 VOCs에 반응함으로써, VOCs의 대안으로 사용가능한 것으로 본다. 측정 전에 전문업체를 통한 센서 및 소프트웨어 동작, Zero Calibration, Span Calibration 등의 제품점검 후 사용하였다. 그러나, 이 기기는 측정범위는 20~2,000 ppb이므로 측정치 0은 20 ppb 미만을 의미한다.

공동주택의 실내공기질 관련법규에서의 기준치는 VOC 5가지 물질 각각의 기준치를 제시하고 있고 개별 물질의 기준치를 단순합산하여 TVOC 기준으로 할 수는 없으나, 본 연구에서는 현장식 측정기기를 사용하여 TVOC를 측정하였으며, 법적인 의미가 아닌, 측정값의 의미를 가늠하기 위하여 개별 VOC 기준치의 합산값과 비교하였다.

3. 분석방법

현장측정 자료는 각 주택별 측정치와 영향요인을 표로 작성하였으며, 측정치를 유지·권고기준치와 비교, 실내공기이론과의 비교, 측정주택간 비교, 입주전후의 비교, 선행연구 측정결과와의 비교를 통해 측정주택의 실내공기질 특성을 분석하였다.

IV. 측정결과 및 해석

1. 입주전 측정결과 및 해석

1) 측정주택의 건축적 특성<Table 2>

측정주택은 경기도에 위치한 3개 대지의 5개 단독주택으로서, 건축구조는 3개의 주택이 경골목구조, 2개 주택은 기둥-보 목구조였다. 주요 건축재료는 석고보드, 구조목, 연질우레탄폼, 구조용합판, 방부목, 레드파인목재사이딩 등이었다.

내부재료는 대체로 친환경 도장을 하고, 수납공간의 내부 및 도어는 E0합판을 사용하였으나, 문이나 몰딩재료, 부엌가구의 등급에서 다소의 차이가 있었다. 입주전 측정시 주택별로 설치된 가구의 양에 차이가 있었는데, 모든 주택에 현관장과 부엌가구는 설치되어 있었으나, 측정시 측정공간에 A주택은 2층의 모든 방들에 붙박이장, B주택의 거실은 현관과는 동일공간이나, 부엌은 복도를 지나 위치하였고, C주택은 장식장과 홈바, D주택은 가구가 거의 없었고, E주택은 거실이 현관, 부엌과 동일공간이었다.

2) 입주전 측정결과<Table 3>

입주전 측정은 '실내공기질 공정시험기준'의 신축공동주택 실내공기질 시험방법을 원칙으로, 내부 출입문 및 가구 문은 모두 개방하고 외부로는 밀폐상태에서 측정하였다. 실내온도는 여름철에 측정한 A주택은 30.0~31.3(평균 30.7)ºC, B주택 29.2~30.4(평균 30.0)ºC, 겨울철에 측정한 C주택 26.2~28.3(평균 27.3)ºC, D주택은 16.2~22.8(평균 19.3)ºC, E주택 23.6~32.2(평균 28.2)ºC로, '실내공기질 공정시험기준'의 신축 공동주택 실내공기질시험방법의 측정조건인 "실내온도 20ºC 이상"을 대부분 유지하였다. 상대습도는 A주택 65.8~67.7(평균 66.3)%, B주택 65.4~68.4(평균 67.1)%, C주택 35.7~40.2(37.6)%, D주택 49.0~51.9(50.4)%, E주택 24.7~37.4(평균 30.2)%였다.

(1) TVOC 농도

A주택은 152~156(평균 154) μg/m^3, B주택은 1387~1505 (평균 1460) μg/m^3, C주택은 639~2049(평균 1457) μg/m^3, D주택은 5948~15360(평균 10700) μg/m^3, E주택은 5068~10281(평균 7794) μg/m^{3}였다. A, B, C주택은 「다중이용시설 등의 실내공기질관리법」의 신축공동주택 기준치(2390 μg/m^3)에 만족하는 농도이지만, B와 C주택은 1000 μg/m^3 이상으로 재실자의 지각 등으로 오염물질을 감지할 수 있는 정도의 농도이다. D, E주택은 신축공동주택 기준치의 3배 이상으로, 2 ppm에 가까운 매우 높은 농도로써, 이론상 두통, 매스꺼움, 어지러움, 구토증세, 기침 등을 유발시킬 수 있다(Yoon & Choi, 2014, pp. 94-105).

TVOC 농도를 주택간 비교하면, D주택이 가장 높고 그 다음 E주택, B와 C주택 순이었으며, A주택이 가장 낮았다. 가장 농도가 낮게 나타난 A주택의 TVOC 측정치는 「다중이용시설 등의 실내공기질관리법」의 신축공동주택 기준치뿐만 아니라 사용중인 다중이용시설의 기준치(400 μg/m^3) 보다도 낮아 신축주택으로서는 매우 양호한 상태였는데, 이는 측정공간(2층 가족실) 내에 TVOC가 방출될 만한 원인이 거의 없었다는 것이며, 이 주택의 목조 구조재를 포함하여 측정일에 설치되어있던 마감재와 붙박이가구 등도 TVOC의 방출량은 매우 적은 상태로 해석된다. 본 연구의 측정주택 A, B, C, E의 구조재는 모두 같은 종류였으므로, A주택의 측정결과로 볼 때 본 측정주택들의 목조 구조재는 TVOC 방출량면에서 양호한 것으로 판단된다.

그 다음으로 농도가 낮은 B와 C주택의 TVOC 측정치는 신축공동주택의 기준치보다는 낮았으나, 사용중시설의 기준치보다는 높은 상태였다. B주택은 측정시 유리 도장된 현관 신발장, 유리 도장된 주방가구, 래핑 도어, 래핑 몰딩 등에서 냄새가 관찰되었다. B주택의 측정공간은 1층 거실로서 현관과 인접되어 있었고, 화장실 래핑 도어, 바닥 걸레받이와 천장 몰딩이 영향을 주는 상태로 보였고, 거실과 주방 사이에 외부 데크가 있고 거실과 주방은 복도로 분리된 형태이므로 오염물질 확산이 다소 감소될 수 있을 것으로 보였다. C주택은 현관 신발장, 유리 도장된 거실 바와 주방가구에서 냄새가 관찰되었는데, 측정공간은 1층 거실로서, 현관과 거실 바가 영향을 주는 상태로 판단된다. 그러나, 주방은 복도를 지나 연결되므로 오염물질 확산이 다소 감소될 수 있을 것이며, 천장고가 일반주택에 비해 3배 가량 높으며 주택 면적이 크고, 높은 등급의 실내마감재료를 사용한 것이 영향 감소요인으로 생각된다.

E주택은 TVOC 농도가 매우 높아 신축공동주택 기준치의 3배를 초과하였다. E주택의 측정공간은 1층 거실로서, 현관과 인접되어 있었고 주방과 1층 거실이 분리되어 있

Table 2. *Architectural Characteristics of Subject Houses*

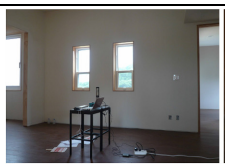
Factors \ Unit	House A	House B	House C	House D	House E
Location	Yongin-si, Gyeonggi-do		Yongin-si, Gyeonggi-do		Seongnam-si
Completed date	2013. 07		2013. 11	2013. 12	2013.12
Type	Detached	Detached	Detached	Traditional Korean style	Detached
Structure	Lightweight wood-frame	Lightweight wood-frame	Post and beam timber	Traditional Korean timber	Lightweight wood-frame
Heating equipment	Electric boiler	Gas boiler	Electric boiler	Room: Traditional Korean frunace Hall: Electric boiler	Gas boiler
Photo – Constructing					
Photo – Measuring					
Materials	·Fixed finishing material ·Plaster board T9.5 2PY ·Variable moisture proof paper ·Structure timber38×140 ·Soft urethane foam T140 ·Structure plywood (O.S.B) T11.1 ·Anti-moisture transmissing paper ·Preserved timber 18×38 ·Redpine heat-treated wooden siding 15×120 ·Stain twice	·Fixed finishing material ·Plaster board T9.5 2PY ·Variable moisture proof paper ·Structure timber38×140 ·Soft urethane foam T140 ·Structure plywood (O.S.B) T11.1 ·Anti-moisture transmissing paper ·Preserved timber 18×38 ·Redpine heat-treated wooden siding 15×120 ·Stain twice	·Fixed finishing material ·Plaster board T9.5 2PY ·Variable moisture proof paper ·Structure timber (column 180×180 + stud 38×140) ·Soft urethane foam T140 ·Structure plywood (O.S.B) T11.1 ·Anti-moisture transmissing paper ·Preserved timber 18×38 ·Redpine heat-treated wooden siding 15×120 ·Stain twice	·Fixed finishing material ·Plaster board T9.5 2PY ·Variable moisture proof paper ·Structure timber (column 180×180+ stud 38×90) ·Soft urethane foam T90 ·Structure plywood T11.1 ·Anti-moisture transmissing paper ·Aqua lock board T12 ·Stucco finishing	·Fixed finishing material ·Plaster board T9.5 2PY ·Variable moisture proof paper ·Structure timber38×140 ·Soft urethane foam T140 ·Structure plywood (O.S.B) T11.1 ·Anti-moisture transmissing paper ·Dressed brick
Interior Materials	·Common area: Environment-friendly paint ·Rooms: Silk wallpaper (partially cork wallpaper) ·Built-in closets: E_0 plywood+Environment-friendly painting ·Kitchen furniture: Glassy finishing	·Paper wallpaper ·Built-in closets: E_0 plywood+Environment-friendly painting ·Kitchen furniture: Wrapping door	·Structure exposure + Environment-friendly paint ·Built-in closets & Kitchen furniture: E_0 plywood+Environment-friendly painting ·Livingroom cupboard: SE_0	·Room: Traditional Korean wallpaper ·Hall: Structure exposure ·Upper floor hall: Structure exposure ·Built-in closets & Kitchen furniture: E_0 plywood+Environment-friendly paint	·Common area & master bedroom: Eco-friendly paint, ·Workroom: Traditional Korean wallpaper ·Kitchen furniture: E_0 plywood+Environment-friendly paint ·Built-in closets: E_1+ Wrapping door
Pre-occupancy Furnitures	·Kitchen furniture ·Bookshelf: Solid wood (teak) ·Built-in closet in entrance and 2F rooms	·Kitchen furniture ·Shoe closet	·Kitchen furniture ·Shoe closet ·Livingroom cupboard, home-bar	·Kitchen furniture	·Kitchen furniture ·Shoe rack
Note	·The wall between livingroom and master bedroom wasn't installed on measuring day. (Installed at morning of measuring day of house B)	On the measuring day ·Construction of wall between house A and B (2F) was held in the early morning. ·Stone construction of outdoor stairway was held.	On the measuring day ·Cleaning and outdoor work were held on the day before. ·Heating started on.	·Heating started on the measuring day. ·Heating system is traditional Korean furnace for room only.	·Furniture installed 5 days before; Heating started 7 days before the measuring day.

Table 3. *The Results of Pre Occupancy Measuring*

Factors \ Unit		House A		House B		House C		House D		House E	
Measuring		7/24/2013		7/25/2013		11/15/2013		12/07/2013		11/30/2013	
Measuring space		Family space (2F)		Livingroom (1F)		Livingroom (1F)		Room		Livingroom (1F)	
TVOC ($\mu g/m^3$)		154		1460		1457		10700		7794	
		152	156	1387	1505	639	2049	5948	15360	5068	10281
HCHO (ppm)		0.25		0.13		0.12		0.62		0.30	
		0.24	0.26	0.11	0.15	0.05	0.15	0.48	0.78	0.26	0.38
PM10 ($\mu g/m^3$)		37.5		54.3		85.9		34.6		82.6	
		29.0	51.0	39.0	67.0	73.0	98.0	26.0	48.0	67.0	103.0
Influential factor	TVOC			·Shoe rack, molding, rapping door		·Shoe rack, home-bar		·Firewood burning, ·Kitchen furniture		·Shoe rack, ·Kitchen furniture	
	HCHO	·Built-in-closet in bedrooms & children rooms				·Livingroom cupboard(but SE_0)		·Firewood burning		·Workroom furniture, Built-in-closet(2F)	
	PM10	·Construction of B House on the measuring day		·Construction of wall between house A and B (2F) was held in the early morning on measuring day.		On the measuring day ·Cleaning and outdoor work were held on the day before. ·D house under construction				·Insufficient cleaning (Construction dust remained)	
Reduction factor	TVOC	·Shoe rack & kitchen furniture in 1F		·Kitchen is apart from livingroom by hallway		·Kitchen is apart from livingroom by hallway					
	HCHO			·There are no installed furniture in the measuring space		·High ceiling height ·Large house volume ·1 month passed after finishing					
	PM10							·The filtration function of hypocaust			

Note. ▒ The case of excess the standard for pre occupancy of newly built apartment (TVOC 2390 $\mu g/m^3$, HCHO 0.17 ppm, PM10 100 $\mu g/m^3$)

지 않았다. 측정시 주방가구에서 냄새가 관찰되었고 TVOC 농도에 영향을 준 것으로 보인다.

D주택은 TVOC 농도가 가장 높았고 그 농도는 신축공동주택 기준치의 4배를 초과하였다. 유기용제가 휘발하면서 방출하는 일반적인 새집 냄새는 거의 관찰되지 않았고, 한지벽지와 한지장판 마감이 마르면서 나는 냄새가 관찰되었다. 이 주택은 소규모 한옥으로서, 목조 구조재의 종류는 다른 측정주택들과 같고, 기본적으로 전통 한옥 형식을 따르면서 다른 측정주택들과는 단열재의 두께가 얇은 것만이 다를 뿐이다. A주택 측정결과를 근거로 목구조재 자체는 공기오염의 원인이 아닌 것으로 본다면, 마감재와 접착제, 소형 주방가구 이외에 TVOC를 방출할 만한 제품은 관찰되지 않았다. 공간구성은 방과, 작은 규모의 대청에 키치넷과 화장실이 연결되어 있었다. 난방설비로 대청은 본채(C주택)의 지열보일러에서 공급되는 바닥난방이, 방은 장작을 연소하는 구들난방이 설치되어 있었다. 대청은 기거공간이 아니므로 방을 측정공간으로 하였는데, 측정조건 20°C를 맞추기 위해, 측정일에 장작을 때어 구들을 처음 사용하였다. 이 주택은 5개 측정주택 중 TVOC 농도만 가장 높은 것이 아니라, HCHO, CO_2, CO 농도가 모두 가장 높았다. CO 농도가 평균 24.8 ppm, 측정종료시 최대치 30.9 ppm로 상승한 것으로 보아, 측정전 환기시 외부에서 들어온 CO가스가 남아있는 것이 아니라 불완전연소된 가스가 주택내부로 지속적으로 침투한 것으로 보여지며, 이것이 원인이 아닐까 추측된다. 이 주택의 구들은 전통한옥방식 그대로 구들 장인이 시공하였다. 따라서, 전통한옥은 구조체에 틈새가 많아 겨울철 웃풍이 심할 정도였으므로, 연소가스가 침투해도 실내공간의 공기오염농도가 높지 않았으나, 이 주택은 전통한옥에 비해 구조체와 창문프레임 등이 매우 기밀하므로, 이러한 현상이 나타난 것으로 짐작된다. 측정전, 막연히 한옥의 실내공기질이 가장 양호할 것이라는 선입견을 가졌는데, 건축재료와 관계없이 구들 시공상태에 의해 실내공기가 매우 오염될 수도 있으며 실내공기오염물질은 대부분 무색무취하고, 만약 냄새가 있다고 하더라도, 인간은 그 유해성을 정확히 감지할 수 없으므로 신축주택의 경우 실내공기질을 측정점검하는 과정이 꼭 필요하다는 것을 확인하였다. 이에, (사)한국목조건축협회에 목조건축 품질인증제(5-Star)의 평가항목으로 실내공기질 테스트를 포함할 것을 제안한다.

(2) HCHO 농도

A주택은 0.24~0.26(평균 0.25) ppm, B주택은 0.11~0.15(평균 0.13) ppm, C주택은 0.05~0.15(평균 0.12) ppm, D주택은 0.48~0.78(평균 0.62) ppm, E주택은 0.26~0.38(평균 0.30) ppm으로 검출되었다. A, D, E주택의 경우 「다중이용시설 등의 실내공기질관리법」의 신축공동주택 기준치(0.17 ppm)을 초과하는 농도이며, 그 중 A와 E주택은 이론상 호흡장애의 시작이 되는 농도이고, D주택은 이론상 목의 자극이 시작되는 최저값에 해당하는 농도이다. B와 C주택의 경우 신축공동주택 기준치 이하이기는 하지만, 이론상 눈과 코에 자극을 주는 농도이다(Yoon & Choi, 2014, p. 105).

HCHO 농도를 주택간 비교하면, B와 C주택에서 가장 낮고 그 다음 A와 E주택 순이었으며 D주택에서 가장 높게 나타났다. 가장 농도가 낮은 B와 C주택의 측정치는 신축공동주택 기준치보다는 낮았으나, 사용중인 다중이용시설의 기준치(0.08 ppm)보다는 높은 상태였다. 측정시 B주택은 측정공간에 설치된 가구가 거의 없었고, C주택은 측정공간에 전면장식장이 설치되어 있었으나, SE0등급이었고 설치후 측정일까지 1개월가량 경과하였으며 측정공간의 천장고가 높고 면적이 큰 것이 HCHO농도가 낮게 나타난 원인으로 생각된다. 본 연구의 측정주택 A, B, C, E의 구조재는 모두 같은 종류였으므로, B, C주택의 측정결과로 볼 때 본 측정주택들의 목조 구조재는 HCHO 방출량면에서도 비교적 양호한 것으로 판단된다.

그 다음으로, A주택은 기준치의 약 1.5배를 초과하였는데 입주전 측정시에는 측정공간(2층 가족실)이 침실과 분리되어 있지 않았고, 침실에 설치된 붙박이장, 자녀방의 Built-in-closet들이 영향을 준 것으로 보인다. E주택은 기준치의 약 2배정도로 나타났다. 측정공간(1층 거실)과 인접한 작업실에 설치된 새가구와 2층에는 E0 등급이 아닌 E1 등급의 붙박이장이 다수 설치되어 있는 것이 HCHO 농도에 영향을 미친 것으로 보인다. D주택은 기준치보다 약 4배정도 높은 농도로 측정되었는데 원인은 TVOC의 경우와 같은 이유일 것으로 짐작된다.

(3) PM10 농도

A주택은 29.0~51.0(평균 37.5) μg/m^3, B주택은 39.0~67.0(평균 54.3) μg/m^3, C주택은 73.0~98.0평균 85.9) μg/m^3 D주택은 26.0~48.0(평균 34.6) μg/m^3, E주택은 67.0~103.0(평균 82.6) μg/m^{3}였다. 모든주택이 「다중이용시설 등의 실내공기질관리법」의 사용중인 다중이용시설 기준치(100 μg/m^3) 이하이나, 일부주택은 기준치에 가까운 비교적 높은 농도로써, 이론상 100 μg/m^{3}에서 1년간 폭로되면 만성 기관지염 유발률이 증가되는 농도이다(Yoon & Choi, 2014, p. 100). 선행연구(Cho & Choi, 2013)에서 거주중인 아파트 20개 일반가정에서 겨울철 PM10 농도는 8~64(평균 25) μg/m^{3}였으므로 측정주택의 미세먼지농도는 일반가정에 비해 상당히 높은 편으로 판단된다.

PM10 농도의 주택간 비교 결과, C주택에서 가장 높고 그 다음 E주택, B주택 순이었으며 A와 D주택이 가장 낮게 측정되었다. PM10 농도가 가장 낮은 A주택과 D주택은 선행연구의 평균보다 약 10 μg/m^3 높은 상태이므로 비교적 양호한 상태로 판단되는데, 이들 주택에는 미세먼지가 발생할 원인이 별로 없었다. 본 연구의 측정주택 A, B, C, E의 구조재는 모두 같은 종류였으므로, A주택의 측정결과로 볼 때 본 측정주택들의 목조 구조재는 미세먼지농도면에서도 비교적 양호한 것으로 판단된다. D주택은 모든 측정요소가 높게 나타난 것에 비해 미세먼지 농도는 높지 않아, 공기오염물질이 열린창을 통해 외부에서 들어온 것이 아니라는 것과 공기오염물질들이 구들을 통과해 실내로 침투할 때 미세먼지는 여과가 된 것으로 짐작된다.

그 다음 농도로 나타난 B주택은 측정일 아침의 A주택과 분리하는 간벽 공사 때문으로 판단된다. 하지만 C주택과 E주택의 평균은 80 μg/m^3 이상의 기준치에 가까운 농도로, C주택은 측정일 아침에 청소를 한 것과 D주택 공사중이 원인이고, E주택은 측정주택 내 청소가 미흡하여 공사먼지가 잔류하고 있었고 천장이 마무리되지 않고 내부가 보이는 채로 있었던 것이 원인으로 생각된다.

2. 입주후 측정결과 및 해석

1) 측정공간의 특성<Table 4>

모든 주택에서 입주시 새가구를 다수 구입하였다. 평상시 실내환경 조절특성 중 실내공기질과 가장 유관한 환기상태를 살펴보면, A주택과 B주택은 측정시 여름이라 1일 12시간이상 지속적 창문개방을 통한 환기를 하였고, C주택과 E주택은 측정시 겨울이라 1일 1~2회 정도의 환기를 하였으며 난방을 하여 실내온도를 20~23ºC로 유지하였다. D주택은 입주전 측정에서 실내공기 오염물질의 농도가 매우 높게 나타나, 구들 재시공 등 점검 보완하면서 기거하지 않았다.

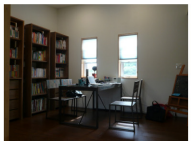
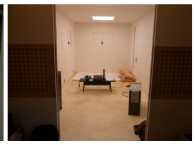
2) 입주후 측정결과<Table 5>

(1) 입주후 TVOC 농도

A주택은 205~640(평균 339) μg/m^3, B주택은 11~452(평균 159) μg/m^{3}으로 「다중이용시설 등의 실내공기질관리법」의 사용중 다중이용시설 기준치(400 μg/m^3) 이하로 나타난 반면, C주택은 0~967(평균 618) μg/m^3, D주택은 6150~10007(평균 8593) μg/m^3, E주택은 416~2587(평균 1440) μg/m^{3}로 기준치를 초과하였다. C주택은 기준치보다 1.5배 높으며 이론상 20%의 재실자가 자극을 느끼고 가벼운 두통 등의 증상 호소를 하는 농도이며, D주택은 2 ppm에 가까운 농도로 이론상 두통, 메스꺼움, 어지러움, 구토증세, 기침 등을 유발할 수 있다. E주택은 1000 μg/m^3 이상으로 이론상 인간의 지각 등으로 오염물질을 감지할 수 있는 정도이다.

A주택의 경우, 입주후 TVOC농도 평균은 입주전 평균보다 185 μg/m^3 상승하였다. 모든 측정주택의 모든 입주후 측정요소가 입주전보다 감소하였으나, A주택의 TVOC

Table 4. *The Characteristics of Post Occupancy Measuring*

Factors \ Unit			House A	House B	House C	House D	House E
The moving date			2013. 8. 5	2013. 8. 5	2013. 12. 8	2013. 12. 8	2013. 12. 6
The measured date			2013. 9. 6	2013. 9. 7	2014. 1. 9	2014. 1. 8	2014. 1. 10
The number of occupants			2.4	2.1	2.6	Entering only for checking	3.3
Figured of the measurement space							
New furniture purchased			·Family room: wooden bookshelf, steel table ·Bedrooms: beds ·Children room: shelf, desk, glass board ·Livingroom: wooden sofa, dining chair	·Using used furniture	·Livingroom: chair, leather sofa, table, wall shelf, pedestal, ·2F: sofa, bed (most of wooden)	·Furniture made of traditional Korean paper	·Kitchen: table, plastic chair ·Working room: wooden table, working furniture
Indoor environment control	Heating	Operation	Not	Not	Always operating	Always operating	Always operating
		Desired temperature	-	-	23ºC	15~16ºC	20~21ºC
	Ventilation	Number	Always	Always	1~2 (1 day)	-	1 (1 day)
		Time	24 Hours	During daytime	1 Hours	-	30 Minute
		Window opening	·Small windows all opened	·Livingroom and hallway windows all opened	·Entrance, windows at 2F, main window on 1F all opened	-	·Windows all opened

농도만 상승하였다. 상승한 농도도 사용중 다중이용시설 기준치 이하로 양호한 상태이지만, 입주후 거주자가 지속적으로 환기하였고, 측정일에 지속적으로 환기가 되고 있었음에도 불구하고 입주전에 비해 농도가 상승한 것은 입주후 TVOC를 방출하는 원인이 도입된 것으로 볼 수 있으며, 입주시 가족실의 책장과 테이블, 안방의 침대, 자녀방의 수납장, 책상, 1층 소파 등의 새가구 도입이 영향을 준 것으로 판단된다. B주택의 경우 입주전 농도에 비해 입주후 농도가 1301 μg/m^3 감소하였다. 입주시 TVOC방출 가능성이 있는 새가구로는 원목가구만 도입되었고, 입주후 지속적 환기, 측정일에 지속적으로 환기했기 때문으로 판단된다. C주택의 경우, 입주후 농도가 기준치(400 μg/m^3)보단 높지만 입주전에 비해 389 μg/m^3 감소한 것으로 나타났다. 입주시 거실에 다수의 새가구를 도입하였고, 측정일에 10분정도밖에 환기하지 않았는데도 농도가 감소한 것은, 구입한 가구가 대부분 원목으로 오염물질 방출량이 적을 것으로 추측되나, 이보다는 거주행위 자체가 자연환기를 유발하는 것이고 겨울철 입주이긴해도 거주자가 평소 하루에 한번정도 환기를 한 것이 농도가 감소한 원인으로 생각된다. E주택의 경우는 입주후 농도가 사용중 다주이용시설 기준치의 3배를 초과하는 농도이나 신축공동주택 기준치 미만으로 감소하였고 입주전 농도에 비해 6354 μg/m^3 크게 감소하였다. 이 주택은 측정일에 환기량이 많았으며, 입주시 도입한 새가구가 많지 않았고, 입주후 1개월간 하루 한번씩 꾸준히 환기한 것이 영향을 준 것으로 보인다.

D주택은 입주전 실내공기질 농도가 대체로 기준치보다 4배가량 높게 나타난 것에 대한 원인이 장작연소가스가 구들을 통해 침입한 것으로 판단되어, 입주후 측정에는 대청에 지열전기난방만을 가동한 상태로 측정하기로 하였다. 그러나 안방에는 지열전기난방이 설치되어 있지 않아 실내온도가 너무 낮기에 전기스토브를 가동하였다. 입주후는 거주자의 생활을 수용한 상태의 측정이 원칙이나, D주택은 아직 거주자가 사용하지 않고 있어 겨울철이므로 의도적으로 환기하지는 않고 측정하였다. 측정중에, TVOC와 HCHO가 높은 농도로 나타나, 이의 원인파악을 위해 의도적으로 40분간 모든창을 열어 TVOC와 HCHO, CO 농도가 0이 된 것을 확인한 후 다시 창을 닫고 측정하였다. 환기시 측정치는 분석에서 제외하였다. 입주후 농도는 여전히 매우 높은 상태이나, 입주전보다 2107 μg/m^3 감소하였다. 입주전 측정일로부터 입주후 측정일까지, 시공사측에서 구들을 보완시공하고, 장작연소를 하면서 CO가스 농도 테스트를 5회 하였다. 입주후 측정일은 장작연소가 없었는데도 TVOC농도가 높았는데, 모든창을 열었을 때 0으로 감소하였고 창을 다시 닫은 후 CO농도(1.2~2.1(평균1.7) ppm)를 포함한 모든 측정요소가 다시 상승한 것

Table 5. *The Results of Post Occupancy Measuring*

Factors \ Unit		House A		House B		House C		House D		House E	
										Average	
										Minimum	Maximum
The measured date		2013/09/06 (Summer)		2013/09/07 (Summer)		2014/01/09 (Winter)		2014/01/08 (Winter)		2014/01/10 (Winter)	
Reduction factor; Ventilation	Measuring day	·small windows at 2F always opened		·Living room and hallway windows (1F) always opened		·Small ventilation windows opened (10 minutes each, twice)		·40 min. ventilation for cause understanding ; these value were excepted for analysis		·all windows opened (once) all windows on 2F opened (50 min.)	
	Post occupancy	Very large		Very large		Medium		-		Medium	
TVOC (μg/m^3)		339		159		618		8593		1440	
		205	640	11	452	0	967	6150	10007	416	2587
HCHO (ppm)		0.02		0.02		0.00		0.46		0.05	
		0.01	0.06	0.00	0.04	0.00	0.00	0.43	0.53	0.00	0.37
PM10 (μg/m^3)		9.2		14.2		6.2		22.9		13.1	
		1.0	15.0	9.0	24.0	3.0	12.0	15.0	31.0	6.0	20.0
CO_2 (ppm)		457		423		695		836		741	
		374	676	382	523	516	856	585	1120	519	852
Concentration difference (Post-Pre)	TVOC	185		-1301		-389		-2107		-6354	
	HCHO	-0.23		-0.11		-0.12		-0.18		-0.25	
	PM10	-28.3		-40.1		-79.7		-11.7		-69.5	

Note. ▨ The case of excess the standard for occupied multi-use facilities (TVOC 400 μg/m^3, HCHO 0.08 ppm, PM10 100 μg/m^3)

으로 보아, 장작연소가스도 원인이고 또한 이를 제외한 원인도 있다고 판단된다.

장작연소가스 이외의 원인은 바닥 한지장판 위에 콩기름과 바니쉬 마감한 것에서 난방시 높은온도에 의해 오염물질이 발생한 것일 수 있고, 입주시 도입한 한지가구는 한지로 제작된 가구이지만, 제작시 사용한 접착제와 마감 페인트가 원인일 수 있다고 판단된다. 그 이유는, HCHO를 한지가구의 서랍 내에서 측정하였더니, 실내공기 중의 농도보다 훨씬 높은 농도를 나타냈다<Figure 1>. 이는 TVOC 농도의 원인이기도 할 것으로 생각된다.

Figure 1. *The HCHO concentration of the furniture drawer higher than the indoor concentration*

입주후 TVOC의 농도는 D주택에서 가장 높고 그 다음 E주택 그리고 C주택, A주택 순이었으며 B주택이 가장 낮았다. 입주후 농도 감소량은 E주택이 가장 크고 그 다음 D, B, C, A주택 순이었다. 기준치보다 낮은 A, B주택과 기준치보다 높은 나머지 세 개 주택의 가장 큰 차이는 입주시기가 여름과 겨울의 차이, 즉 입주후 및 측정일의 환기량 차이이다. 입주후 농도가 높은 주택은 입주전 측정에서도 농도가 높은 편이어서 공사중 환기량에서도 차이가 있을 수 있다. 그러나, 입주후 가장 낮은 농도인 B주택은 입주전 농도가 비슷했던 C주택에 비해 농도가 훨씬 크게 감소했다. 따라서, 주택 신축시에는 입주시기를 자연환기가 가능한 여름철로 하는 것이 실내공기 오염물질에 의한 영향을 감소시키는 방법이 될 수 있으며, 겨울철 입주시에는 1개월 동안의 거주기간으로는 기준치 이하로 감소하지 않는다는 것은 시사점이 크다. 또한, 같은 계절에 입주한 주택이어도 입주후 농도 감소량에 매우 큰 차이가 있어, 환기량 이외에 입주시 도입한 새가구 등이 영향요인으로 판단된다.

(2) 입주후 HCHO 농도

A주택은 0.01~0.06(평균 0.02) ppm, B주택은 0.00~0.04(평균 0.02) ppm, C주택은 평균 0.00 ppm, E주택은 0.00~0.37(평균 0.05) ppm으로 「다중이용시설 등의 실내공기질관리법」의 사용중 다중이용시설 기준치(0.08 ppm)에 만족하였으나, D주택은 측정치가 0.43~0.53(평균 0.46) ppm으로 기준치보다 높으며 이론상 목의 자극이 시작되는 최저값에 가까운 농도이다. A, B, E주택은 기준치에 만족하는 농도이지만 A와 B주택은 이론상 눈의 자극이 시작되는 최저 농도이고, E주택은 이론상 냄새가 느껴지는 최저 농도에 해당한다.

A주택의 HCHO 농도는 입주전에 비해 입주후 농도가 0.23 ppm 감소하였다. 이 주택은 입주후 새가구가 다수 도입되어 HCHO를 방출하였을 것으로 생각되지만, 입주

전에 비해 TVOC농도는 상승하였으나 HCHO 농도는 감소한 것은, 여름철이므로 높은 온도와 습도에 의해 가구 표면과 내부의 HCHO 방산량이 많아, 사전에 감소한 것과, HCHO가 다른 휘발성유기화합물에 비해 가벼워 측정일의 환기에 의한 농도 감소가 용이해서일 것으로 짐작된다. B주택은 0.11 ppm 감소하여, A주택과 입주후 농도 평균이 같았다. C주택은 0.12 ppm 감소하여, HCHO가 검출되지 않았다. B, C주택은 입주전 HCHO 농도가 가장 낮았고, 입주전 이들 주택에는 HCHO를 방출할만한 원인이 거의 없었다. 입주시에도 B주택은 도입한 가구도 적었고, A주택과 마찬가지로 입주후 환기량과 측정일의 환기효과가 있었을 것으로 생각된다. C주택은 입주시 새가구를 다수 도입하였으나, 겨울철에 입주하였고 측정일의 실내온도가 가장 높았는데도 HCHO가 0 ppm으로 나타난 것으로 보아, 거주자 환기의 효과와 함께, 가구가 원목이므로 HCHO방산량이 많지 않았던 것으로 짐작된다. E주택의 HCHO농도는 입주전에는 신축공동주택 기준치(0.17 ppm)를 초과하는 농도였지만 입주후에는 0.25 ppm 감소하여, 기준치(0.08 ppm)에 만족하는 농도로 나타났다. 이 주택은 입주시 도입한 새가구가 많지 않았고, 겨울철에 입주하였지만 의도적으로 환기하였고, 측정일의 실내온도가 가장 낮았던 것이 낮게 나타난 원인으로 생각된다. D주택의 HCHO 농도는 입주전보다 입주후 0.18 ppm 감소하였으나, 여전히 높은 상태였으며, 이의 원인은 TVOC 농도와 마찬가지로 생각된다.

입주후 HCHO의 농도는 D주택에서 가장 높고 그 다음 E주택, A와 B주택 순이고 C주택은 0.00 ppm이었다. 입주후 농도 감소량은 E주택이 가장 크고 그 다음 A, D, C, B였으나, 농도 감소량은 0.25~0.11 ppm로 주택간 차이가 크지 않았다. 5개의 주택중 입주후 유일하게 HCHO가 0 ppm으로 나타난 C주택은 겨울철 입주이나 의도적 환기가 있었고, 천장고가 일반 주택에 비해 3배 가량 높으며 주택 면적이 크고, 원목 가구를 도입한 것이 원인으로 생각된다. 그 다음으로 낮은 A와 B주택은 입주시기가 여름이므로 입주후 환기량과 측정일의 환기효과가 원인일 것으로 생각된다.

E주택의 입주후 평균 HCHO 농도는 입주전보다 훨씬 감소하여 기준치를 만족하였다. 그러나 최대치는 입주전의 최대치와 거의 같은 농도로 기준치의 4.5배가 넘게 측정되었다. 측정시, 입주후 1개월이 지났음에도 HCHO 농도가 높게 측정되는 원인을 살펴보고자, 측정 인터벌 시간에 측정기기를 가지고 HCHO 발생가능성이 있는 곳들을 점검해 보았는데, 2층 욕실에 비치된 향초에서 이론상 눈을 찌르는 듯 아파지거나 심하게 눈물이 나는 정도의 농도(7.4 ppm)가 측정되었다. 이것을 본 거주자가 향초를 주택 외부로 버렸고 그 이후 HCHO 농도는 안정적이었다. 즉, 주택의 건축 및 가구재료 이외에 화학물질이 포함된 생활용품이 원인이 될 수도 있다는 사례였다.

(3) 입주후 PM10 농도

A주택은 1.0~15.0(평균 9.2) μg/m^3, B주택은 9.0~24.0 (평균 14.2) μg/m^3, C주택은 3.0~12.0(평균 6.2) μg/m^3, D주택은 15.0~31.0(평균 22.9) μg/m^3, E주택 6.0~20.0(평균 13.1) μg/m^{3}으로 「다중이용시설 등의 실내공기질관리법」의 사용중 다중이용시설 기준치(100 μg/m^3)에 만족하는 농도이다. 그리고 앞서 논의했던 선행연구에서 거주중인 아파트 일반가정의 겨울철 PM10 농도가 8~64 μg/m^3(평균 25 μg/m^3)였으므로 측정주택들의 미세먼지농도는 매우 양호한 편으로 판단된다.

입주전에 비해 입주후 PM10농도는 주택별 평균 11.7~79.7 μg/m^3 감소하였다. 주택간 PM10농도를 비교하면, D주택에서 가장 높고 그 다음으로는 B주택, E주택 그리고 A주택 순이었으며 C주택에서 가장 낮게 측정되었다. D주택은 입주후에도 사용하지 않아 청소나 환기 등과 같은 관리가 미흡하여 PM10농도가 가장 높은 것으로 보인다. PM10농도가 가장 낮은 C와 A주택이 다른 주택과 다른 점은 주기적 청소라고 판단된다.

(4) 입주후 CO_2 농도

A주택은 374~676(평균 457) ppm, B주택은 382~523(평균 423) ppm, C주택은 516~856(평균 695) ppm, D주택은 585~1120(평균 836) ppm, E주택은 519~852(평균 741) ppm으로, 평균은 「다중이용시설 등의 실내공기질관리법」의 사용중 다중이용시설 기준치(1000 ppm)에 만족하는 농도이다. 그러나 D주택의 최대값은 1120 ppm으로 기준치를 초과, 이론적으로 호흡기, 순환기, 대뇌기능에 영향을 주는 농도이다.

CO_2 농도는 D주택에서 가장 높고, E주택, C주택 그리고 A주택 순이었으며 B주택에서 가장 낮았다. 가장 농도가 낮은 A와 B주택은 여름철이므로 측정시간동안 지속적 창문개방 상태였던 것이 원인으로 생각된다. 겨울에 측정했던 C주택과 E주택 역시 재실인원에 비해 주택의 면적이 크고 측정일에 1~2회 창문개방을 통해 기준치 이하로 유지되었다. D주택은 창을 개방하지 않고 측정한 시간동안의 측정치로써, 측정순간에만 재실하였는데도 공간의 면적이 작은 것이 이유로 판단된다. 즉, 인증된 재료로 건축된 목조주택의 경우 구조재로부터의 오염물질은 안전한 상태이나, 거주중 재실자에 의한 호흡과 생활에 의한 오염물질은 환기에 의해 관리되어야 함을 알 수 있다. 또한 기밀성을 높인 현대 한옥의 경우는 전통 한옥에 비해 침기량이 매우 적고 체적이 작으므로 거주자 재실시 공기오염의 가능성이 높다. 따라서, 목조주택이라 하더라도 기밀성이 높은 현대식 구조체의 경우는 거주중 실내공기질의 관리를 위한 자연환기시스템 도입이 필요하다고 본다.

V. 결론 및 제언

본 연구는 신축목조주택의 실내공기질을 입주전후에 측정 분석하여 그 특성 및 관련요인을 파악하는 것을 목적으로 하였다. 2013년 7월~12월에 신축된, 구조재가 유사한 5개 목조주택을 대상으로, 입주직전과 입주후 1개월 시점에 TVOC, HCHO, PM10, CO_2, CO, 실내온도, 상대습도를 측정하였다.

그 결과를 요약하면 신축목조주택의 입주전 측정에서 TVOC 농도 또는 HCHO 농도가 가장 낮은 주택은 신축공동주택 기준치를 만족하여, 목조주택의 구조재에 의한 실내공기질은 양호한 것으로 판단되나, 일부 주택은 기준치를 상당치 초과하였으며, 그 원인은 주택별로 다르게 사용된 몰딩이나 래핑도어, 붙박이장, 부엌가구 등으로 분석되었다. PM10은 모든주택에서 기준치는 만족하였으나 일부는 기준치에 가까운 높은 농도로 나타났는데, 공사먼지의 잔류가 원인으로 판단된다. 입주후 측정치는 1개주택의 TVOC 농도를 제외한 모든 경우가 입주전보다 월등히 낮은 농도로 나타나 자연환기의 중요성을 알 수 있었으며, 농도가 높아진 경우는 입주후 새가구 도입이 원인으로 판단된다.

이상의 결과에 따라 신축목조주택의 양호한 실내공기질을 위해 다음과 같이 제안한다.

1) 거주자 측면에서는, 주택신축시 입주시기는 가급적 자연환기가 가능한 여름철로 하고 부득이한 경우 입주전 베이크 아웃(bake-out) 실시, 새가구의 도입을 자제하거나 또는 입주전에 구입하여 오염물질을 방출시킨 후 사용하고, 미세먼지 제거를 위한 입주청소를 권한다. 또한, 입주후 측정시 향초가 탈 때 포름알데히드가 매우 고농도로 나타난 사례에서, 건축 및 가구재료 이외에 화학물질이 포함된 생활용품이 실내공기 오염의 원인임을 인지하고 사용을 자제할 것을 권한다.

2) 설계자 및 시공자 측면에서는 목조주택의 건강성을 보장하기 위해서는 품질인증된 구조재를 사용하는 것도 중요하지만 그 외 부자재와 마감재, 붙박이장의 재료 선택을 신중하게 할 것과, 입주후 실내공기질 관리를 위해 자연환기시스템 도입을 권장한다. 또한, 소규모 면적의 한옥을 전통구법과 구들방식으로 기밀성만 높여 건축한 경우 실내공기질이 심각한 상태로 나타났으므로, 매우 주의를 요한다.

3) (사)한국목조건축협회에 목조건축 품질인증제도의 평가항목에 입주전 실내공기질 테스트를 포함할 것과 이러한 측정결과에 대한 정보공유 및 개선방안에 대한 기술개발을 선도해 줄 것을 요청한다.

4) 제도적으로는, 현재 신축공동주택의 경우는「다중이용시설 등의 실내공기질관리법」에 입주전 측정 공고·보고, 오염물질의 기준치가 규정되어 있으나, 단독주택은 아무런 규정이 없다. 본 연구결과, 신축단독주택의 경우도 실내공기질관리가 매우 필요한 것으로 나타났으므로, 이에 대한 제도 신설이 요구된다.

References

1. Cho, J. H., & Choi, Y. J. (2013). The Indoor Thermal and Air Environment of General Apartment Houses during Winter in Cheongju City. *Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture & Environment*, *13*(3), 111-120.
2. Cho, K. H., & Yoon, J. O. (2010). Airtightness and Insulation Performance for Test House with Wood Frame. *Proceeding of Spring Annual Conference of Korea Institute of Ecological Architecture and Environment*, 15-18.
3. Ko, Y. S. (2012). A Study on the Indoor Thermal Environment of Newly Built Wooden House in Summer Season. *Proceeding of Autumn Annual Conference of Architectural Institute of Korea*, *32*(2), 299-300.
4. Lee, H. Y., Park, S. B., Lee, S. M., & Park, J. Y. (2007). The Comparison for Emission Characteristics of Volatile Organic Compounds by Finished Materials in Newly Built Wooden House. *Proceeding of Spring Annual Conference of Korea Furniture Society*, 100-103.
5. Lee, S. J., Koo, B. K., Lim, J. H., & Song, S. Y. (2012). Suggestions on the Improvement Scheme of Insulation Regulation through Thermal Performance Evaluation on the Exterior Wall in Wooden or Steel Structure. *Proceeding of Autumn Annual Conference of Architectural Institute of Korea*, *32*(2), 369-370.
6. Yoon, C. S. & Choi, Y. J. (2014). Housing and Environment. Revised edition. Seoul: Kyomunsa.
7. Yu, S. G., Kim, S. H., Seo J. K., & Kim, S. M. (2013). Analysis of Energy Efficiency of Light-Weigh Wood Frame House and Wooden Passive House Using PHPP. *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, *29*(8), 199-207.
8. Korea Wood Construction Association. www.kwca.co.kr

Received: March 27, 2015
Revised: July 1, 2015, August 9, 2015
Accepted: August 13, 2015