

아파트 리모델링 전·후의 휘발성유기화합물 농도 변화

The Concentration Ascension of Volatile Organic Compounds after Remodeling in Apartment Houses

최윤정* 신해철** 심현숙***
Choi, Yoon Jung Shin, Haechul Shim, Hyunsuk

Abstract

The purposes of this study were to make clear the present condition of the TVOC and HCHO concentration after remodeling in apartment houses and to analyze the relation of concentrated ascension and remodeling elements. The field measurements of TVOC and HCHO concentration were carried out in 4 subject apartment houses according to the Korea Test Method Standard for Indoor Air Quality. The results are as follows; the TVOC concentration after remodeling ranged from mean 0.35ppm to mean 5.08ppm and increased of 0.35~5.08ppm. The concentration of 3 subjects exceeded the Indoor Air Quality Management standard for the newly-built apartment houses (0.7ppm). The HCHO concentration after remodeling ranged from mean 0.13ppm to mean 0.43ppm and increased of 0.06~0.26ppm. The concentration of 2 subjects exceeded the Standard (0.16ppm). As results of analysis on the relation of concentrated ascension and remodeling elements, the amount and the types of finishing materials and adhesives affected concentrated ascension. Also, production method for installed or purchased furniture had certain effect on the TVOC and HCHO concentration ascension.

키워드 : 총휘발성유기화합물, 포름알데히드, 실내공기질, 리모델링, 공동주택

Keyword: TVOC(Total Volatile Organic Compounds), HCHO(Formaldehyde), IAQ(indoor Air Quality), Remodeling, Apartment houses

I. 서론

최근 신축주택의 새집증후군에 대한 문제의식과 관심이 증대되면서 실내공기오염과 관련된 연구들이 다수 수행 되었으며, 또한 지하생활공간공기질관리법이 2003년 5월 다중이용시설 등의 실내공기질관리법으로 전면 개정 되고, 이 후 2005년 12월에는 신축 공동주택을 대상으로 하는 실내공기오염물질의 특정항목에 대한 권고기준이 마련되는 등 신축 공동주택의 새집증후군에 대한 관심은 관련분야나 일반인에게도 이미 널리 확산되어 있다고 본다.

한편, 리모델링을 하게 되는 건물에는 시공 과정상 새로운 건축 마감재를 사용하여 계획이 되고 있으며, 선행 연구(홍선경·윤복자, 1995; 김선중·김은덕·최영순·서종녀, 2001; 강순주, 2002; 오인욱·조명은, 2003)결과에서 공동주택 개조 경험이 있는 조사대상중 마감재의 개조가 46~96.1%로 나타난 바 있다. 제주도보건환경연구원에 따르면 2006년 3월에 도내 신축된 단독주택, 리모델링 아파트, 일정규모 아파트 3곳 등 5곳에 대해 공기질을 측정 한 결과, 모든 주택에서 포름알데히드, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌 등 6개 물질이 기준치를 2~10배나 초과 검출

됐다고 한다(제주일보, 2006.03.01). 즉 실내공기오염이 신축 주택에만 한정된 문제가 아니라 리모델링의 경우에도 해당되는 문제임을 시사하고 있다.

따라서 본 연구는 리모델링 아파트의 새집증후군 감소를 위한 기초연구로서, 리모델링 전·후의 TVOC(총휘발성유기화합물)와 HCHO(포름알데히드) 농도를 측정하여, 리모델링시 휘발성유기화합물 실태를 파악하고, 리모델링 전·후 농도변화와 리모델링 내용과의 관련성을 분석하는 것을 목적으로 한다.

II. 연구방법

1. 측정대상

본 연구의 측정대상 주택은 리모델링을 예정하고 있는 아파트로서 조사 협조의사가 있는 4곳을 선정하였고, 이들 조사대상 주택의 특성은 <표 1>과 같다.

2. 측정내용 및 방법

측정방법은 환경부의 실내공기질 공정시험방법(2004)에 따라 <표 2>와 같은 방법으로 측정하였다. 다만, 공정시험방법에서는 30분 동안 공기를 포집하여 휘발성유기화합물을 분석하도록 규정하고 있으나, 본 연구에서 사용한 기기는 순간치 현장직독식이므로 20분 간격으로 순간농도를 다회 측정하였다.

* 정회원, 충북대학교 주거환경·소비자학과 부교수

** 준회원, 충북대학교 주거환경·소비자학과 학사과정

*** 정회원, 충북대학교 일반대학원 주거환경학전공 석사과정

<표 1> 측정대상 주택의 개요

		A 주택	B 주택	C 주택	D 주택
단지 특성	완공시기	1993년	1984년	2002년	1997년
	난방방식	중앙난방	개별난방(가스보일러)	개별난방(가스보일러)	지역난방
주택 특성	층 수	2층/14층	12층/12층	14층/15층	1층/15층
	면 적	42평	31평	38평	32평
	평면구성	LDK+4B	LDK+3B	LDK+3B	LDK+3B
리모델링 특성	이전 리모델링 시기	1998년	1996년	2002년 완공	2004년
	리모델링 전 측정일	06.01.09	06.02.08	06.02.10	06.03.25
	리모델링 기간	06.01.16~01.27	06.03.25~04.14	06.02.11~02.13	06.03.27~04.07
	리모델링 후 측정일	06.01.28	06.04.15	06.02.15	06.04.08
	리모델링 내용	전면 리모델링 (거실 및 부엌의 마루바닥재 제외)	전면 리모델링 (부엌가구 제외)	모든 방의 바닥재 교체, 벽지 교체(부엌, 안방, 서재)	부엌 가구 교체, 가구 교체(거실, 안방, 현관)
	디자이너 특성	전공자/경력10년	비전공자	전공자/경력9년	부엌가구전문업체 구입·시공

-4주택 모두 구조는 철근콘크리트, 환기시스템은 욕실 팬과 레인지후드, 방위는 남향, 거실창과 발코니창 모두 패어글래스 단창이었으며, 리모델링전의 측정시 주택 모두 비거주상태였고, 리모델링 후 측정시 A, B, D주택은 비거주, C주택은 거주 상태였다.

<표 2> 측정내용 및 방법

측정요소	TVOC 및 HCHO 순간농도
측정기기	TVOC 측정기(IAQ RAE PGM-5210) HCHO 측정기(PPM Formaldemeter™ 400)
측정조건	-초기 30분(7시 30분~8시)간 외부에 대한 모든 개구부, 실내출입문, 수납가구의 문 등을 개방하여 환기하고 5시간(8시~13시)동안 밀폐한 후 그 이후 측정(13시~17시) -실내온도는 20℃ 이상 유지 -실내의 이동을 위한 문과 수납가구 등의 문은 개방한다.
측정시간	13시~17시 동안 20분 간격으로 다회(13회) 측정
측정위치	거실 중앙에서 바닥면으로부터 1.2~1.5m의 높이

3. 리모델링 내용조사

리모델링 내용조사는 연구자가 리모델링 전·후 측정일에 관찰 및 사진촬영에 의해 조사하고, 이와는 별도로 거주자와 리모델링 디자이너를 대상으로 심층면접을 하였다.

조사방식은 공간별로 구조 변경, 마감재 교체, 창호 및 블라인드 교체, 조명기구 교체, 가구 설치 또는 구입이 있는지를 관찰 및 사진촬영으로 세밀히 파악하였다. 그 후 거주자 또는 디자이너에게 사용한 자재 및 가구의 종류에 대해 면접하였다. 사용된 자재의 종류와 시공에 필요한 접착제의 종류 또는 각 제품의 성능 및 품질등급을 거주자와 리모델링 디자이너와의 면접을 통해 조사하였다. 이 과정에서 면접대상자가 각 제품의 정확한 품질등급을 파악하고 있지 못한 경우 조사의 한계가 있었다. 거주자나 리모델링 디자이너들은 접착제의 종류나 구체적인 사용제품의 성능 및 품질등급을 모르고 있는 경우가 대부분이었으며, 디자이너들은 시공업체에게 위임하는 것이 일반적인 방식이라고 하였다. 설치된 부엌가구 또는 구입된 생활가구의 등급은 구입 및 시공회사의 품질표시에서 파악하였으며, 품질표시가 불명확한 제작업체의 제품은 파악이 불가능하였다.

4. 분석방법

1) 현장측정 자료는 각 주택별 TVOC 및 HCHO 농도 측정치를 리모델링 전·후 측정값과 영향요인을 표로 작성하였으며, 측정치의 시간변동 그래프를 작성하고 평균 등의 단순 통계를 이용하여 분석하였다.

2) 본 측정기기가 ppm으로 측정되므로, 측정치를 『다중이용시설 등의 실내공기질 관리법의 기준』과 비교하기 위하여 기준의 단위를 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 ppm값으로 환산하였다. 신축 공동주택의 실내공기질 권고기준에는 6개 물질에 대한 권고값이 제시되어 있고, 총량은 제시되어 있지 않아, 이들 물질 권고값의 합을 기준으로 적용하였다¹⁾.

III. 측정결과 및 해석

각 측정주택별로 분석방법1)과 같이 분석하여 측정결과와 리모델링 내용을 분석하였으며, 그 후 <표 3>와 같이 종합한 결과는 다음과 같다.

1. 리모델링 후 각 주택의 TVOC 및 HCHO 농도실태

4개 측정주택의 리모델링 후 TVOC 농도는 평균 0.35~5.08 ppm으로, 리모델링 전 농도에 비해 0.35~5.08 ppm 상승하였다. 이는 보육시설 등의 실내공기질 권고기준(총VOC 0.09 ppm)의 약 4~56배에 해당하는 농도이며, 신축 공동주택의 실내공기질 권고기준(TVOC 0.7 ppm)과 비교할 때, D주택을 제외한 나머지 3개 주택이 권고기준의 약 2.5~7배에 해당하는 농도였다. 기준을 초과한 3개 주택은 이론상 두통이나 메스꺼움 및 어지러움, 구토증세, 기침 등을 유발할 수 있는 수준(2~10 ppm)이었다²⁾.

리모델링 후 HCHO 농도는 평균 0.13~0.43 ppm으로, 리모델링 전 농도에 비해 0.06~0.26 ppm 상승하였다. 이는 보육시설 등의 실내공기질 유지기준(HCHO 0.09 ppm)

1) 다중이용시설 등의 실내공기질관리법[2004.5.30 시행] 시행규칙 제3조 (실내공기질 유지기준) HCHO $120\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하를 환산한 결과 0.09ppm이하이며, 제4조 (실내공기질 권고기준) 보육시설 등의 권고기준 VOC $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하를 환산한 결과 0.09ppm이하였다. 제7조의 2 신축 공동주택의 권고기준[2006.1.1 시행]은 포름알데히드 $210\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 벤젠 $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 톨루엔 $1,000\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 에틸벤젠 $360\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 자일렌 $700\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 스티렌 $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 이들 총합인 $2600\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 ppm으로 환산한 결과 TVOC 0.7ppm, HCHO는 0.16ppm이하였다.

2) 손장렬, 윤동원(1995)실내 공기환경에서 휘발성 유기화합물질(VOCs)의 특성과 제어방법. p.48의 VOCs의 농도별 인체 증상에서 2~10 ppm은 두통, 메스꺼움, 어지러움, 구토증세, 기침 등을 유발할 수 있는 수준에 해당한다.

<표 3> 측정결과 및 영향요인 분석 종합

단위(TVOC, HCHO: ppm, 실내온도:℃, 상대습도:%)

주택특성	측정결과(평균)			특이 사항 (다른 측정주택과의 차이점)	리모델링 내용													
	완공 시기	이전 리모델링 시기	측정항목		전	후	상승량	마감재	현관	거실	부엌	안방	침실2	자녀방	서재	욕실	발코니	
A 주택 (42평)	1993년	1998년 전면수리	TVOC	0.00	5.08	5.08	· 부엌가구와 현관장(제작품)에서 자극적 냄새 관찰. · 모든 실의 마감재 교체 및 페인트 시공(거실 마루 제외). · 가구(서재가구 일체, 거실장, 안방과 자녀방의 서랍장 모두 E1급 브랜드제품) 구입.	바닥				●	●	●	●			
			HCHO	0.01	0.14	0.13		벽	●	●	●	●	●	●	●			
			실내온도	23.7	22.6	-		천장	●	●	●	●	●	●	●			
			상대습도	16.4	25.2	-		문·창호	●	●	●	●	●	●	●			
B 주택 (31평)	1984년	1996년 전면수리	TVOC	0.00	1.86	1.86	· 모든 실의 벽지, 페인트 시공(벽지는 모두 친환경 제품). · 거실 및 주방의 마루 바닥재 시공, 거실장 설치(제작품). · 마루 시공용 접착제 사용. · 현관장, 발코니 수납장 제작(제작품). · 욕실 전면 수리. · 현관, 다용도실, 부엌의 모든 타일 교체.	바닥	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
			HCHO	0.00	0.23	0.23		벽	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
			실내온도	20.9	20.7	-		천장	●	●	●	●	●	●	●			
			상대습도	18.5	26.4	-		문·창호	●	●	●	●	●	●	●			
C 주택 (38평)	2002년	-	TVOC	0.12	3.09	2.97	<리모델링 전> · 완공 후 4년 경과하였으며, 입주 후 거의 환기하지 않았다고 함. <리모델링 후> · 부엌, 안방, 서재의 벽지 교체(일반자재). · 안방, 서재, 침실2의 바닥재 교체(친환경 제품, 일반접착제). · 거주자의 생활재(이불, 책, 화장품 등). · 측정주택 중 가장 높음.	바닥				●	●	●	●			
			HCHO	0.17	0.43	0.26		벽								●		
			실내온도	19.1	23.3	-		천장										
			상대습도	28.8	44.5	-		문·창호										
D 주택 (32평)	1997년	2004년 마감재 교체	TVOC	0.00	0.35	0.35	· 거실장, 안방의 침대 및 불박이장, 부엌가구, 현관장(모두 E1급 브랜드 제품) 구입.	바닥										
			HCHO	0.07	0.13	0.06		벽										
			실내온도	23.8	20.1	-		천장										
			상대습도	19.1	27.9	-		문·창호										

-●:자극적 냄새 관찰 ◎:E1급 자재, ●:일반자재, ○:친환경자재+일반접착제,

-■:신축 공동주택 권고기준(TVOC : 0.7 ppm, HCHO : 0.16 ppm)초과, ▨:보육시설 등의 유지·권고기준(TVOC : 0.09 ppm, HCHO : 0.09 ppm)초과

의 약 1.5~5배에 해당하는 농도이며, 신축 공동주택의 실내공기질 권고기준(HCHO 0.16 ppm)과 비교할 때, 2개 주택(A, D주택)은 권고기준(0.16 ppm) 미만이었으나, 나머지 2개 주택(B, C주택)은 권고기준의 약 1.5~3배에 해당하는 농도였다. 측정주택 모두 이론상 눈, 코에 자극을 줄 수 있는 수준(0.08~1.6 ppm)이었다³⁾.

2. 전면 리모델링 주택의 농도상승 특성

리모델링 후 TVOC 농도가 가장 많이 상승한 주택은 A주택이다. A주택은 주택 자체의 면적이 가장 넓고 리모델링 내용도 가장 많아, 다른 주택에 비해 페인트나 벽지, PVC바닥재 등 새로 사용된 실내마감재나 가구의 양, 그리고 이러한 마감재나 가구를 시공하기 위한 접착제의 사용량이 많았기 때문으로 생각된다. 또한 부엌가구와 현관장에서 자극적 냄새가 관찰된 것으로 보아 이들 가구에서 방출되는 물질들이 원인으로 생각된다. 그러나 HCHO의 농도상승은 적었고, 이는 주택내 반입된 가구는 많았지만 E1급 브랜드 제품으로 HCHO가 적게 포함된 목재가 사용된 것으로 추측해 볼 수 있다. 이러한 부엌가구, 현관장에 의한 TVOC 농도 상승은 선행연구(방승기·조우진·손장열, 2006)에서 일반자재를 쓴 경우 부엌

가구, 거실가구 및 신발장 설치 후 급격하게 상승(약 $8 \times 10^4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상)되었다고 보고된 바 있다.

B주택은 전면 리모델링 하였으나 리모델링 후 TVOC의 농도 상승이 네 주택 중 세 번째였다. 이를 전면 리모델링으로 농도 상승이 큰 A주택과 비교하면, B주택은 상대적으로 면적이 적고, 사용 자재 중 친환경 제품이 많았으며, 부엌가구를 그대로 사용하면서 일부만 교체한 것이 원인으로 생각된다. 그러나 A주택보다 HCHO 농도는 높게 상승하였는데, 이는 A주택이 마루를 그대로 사용하여 교체하지 않았고, 구입가구가 E1급⁴⁾ 브랜드제품인 것에 비해, B주택은 거실과 부엌의 온돌마루시공이나, 거실장의 제작에 사용된 목재가 원인일 것으로 생각된다. 이러한 현상은 목재제품이 HCHO 농도상승의 원인으로 보고한 선행연구(이윤구, 2004; 유형규·박진철·이언구, 2005; 김옥·박우진·박진철, 2005; 유형규·박진철·이언구, 2006;)와, 목재용 접착제에서 HCHO, TVOC 모두 방출농도가 높게 나타난다고 보고된 선행연구(김옥·박우진·박진철, 2005) 결과와 유관하다.

3. 부분 리모델링 주택의 농도상승 특성

부분 리모델링한 C주택은, 다른 측정주택에 비해 리모

3) 마사오 이노우에 저, 김현중 역(2004). 새집증후군 실체와 대응전략. 한국목재 신문사. p61.의 포름알데히드의 농도와 증상에서 0.08~1.6 ppm은 눈, 코에 자극을 줄 수 있는 수준이다.

4) 산업자원부 KS(한국산업규격)인증제도에서 파티클보드, 섬유판 등의 포름알데히드 방출량 기준을 E0급 (0.5mg/L 이하), E1급 (1.5mg/L 이하), E2급 (5.0mg/L 이하)으로 분류하고 있다.

델링 내용이 적고 마감재 중 각 방의 바닥마감재가 친환경 제품이었음에도 불구하고 TVOC와 HCHO의 상승량이 상당히 컸고, 특히 HCHO는 측정주택 중 상승폭이 가장 컸다. 이로써 벽지나 장판 시공시 사용된 접착제에서 방출되는 화학물질이 농도변화에 영향을 주었을 것으로 추측되며, 이러한 결과는 천연재료인 바닥재를 사용하였음에도 시공에 사용된 접착제로 인해 TVOC 방출량이 높은 것으로 보고한 선행연구(유형규·박진철·이연구, 2006) 결과와 유관하다. 이는 사용된 마감재가 친환경 제품이었다 하더라도 시공시 사용되는 접착제의 선택이 실내공기질에 영향을 미치는 중요한 요인임을 말해준다. 또한 C주택은 리모델링 후 측정시 유일하게 거주상태로서, 실내온도(23.3℃)와 상대습도(44.5%) 조건이 다른 주택에 비해 다소 높았던 것이 휘발성유기화합물 방출에 영향을 준 것으로 생각되며, 이는 실내 온·습도가 증가할수록 오염물질방출양도 높아지는 것으로 보고한 선행연구(이연구, 2004)와 관련이론을 근거로 한다. 이외에도 측정 당시 거실에 펼쳐져 있던 침구류나 책자, 화장품 등의 생활재에서 다소의 오염물질이 방출되었을 것으로 추측된다.

그러나 부분 리모델링한 D주택은 리모델링 후 TVOC, HCHO 농도 상승이 가장 적어, 리모델링 후의 농도가 권고기준 이하였다. 그러나 리모델링 내용은 부엌가구 전체 교체, 현관장, 안방의 침대와 불박이장의 설치 등으로 오히려 C주택보다 많았다. 그러나 마감재 교체는 전혀 없어 마감재 시공에 필요한 접착제는 전혀 사용되지 않았다. 또한 A주택 측정시 부엌가구에서 자극적 냄새가 관찰되었던 것에 비해, D주택의 부엌가구는 측정시 거의 냄새가 관찰되지 않은 것은 부엌가구를 포함한 리모델링된 모든 가구가 E1급 이상인 브랜드 제품이므로 오염물질 방출이 적은 것으로 생각된다. D주택의 부엌가구와 불박이장 등을 A주택의 부엌가구와, B주택의 목재 가구와 비교할 때, 오염물질 농도는 가구의 제작 방법 또는 자재가 크게 영향을 주는 것으로 해석할 수 있다.

4. 리모델링 전 TVOC, HCHO가 검출된 주택

리모델링 전 측정시 A, B주택은 TVOC와 HCHO가 거의 검출되지 않았던 것에 비해 C, D주택은 검출되었다. C주택의 경우, 완공 후 약 4년 경과 했으나 거주자가 맞벌이부부로 집에 거주하는 시간이 적어 환기를 거의 하지 않았다고 한 것으로 보아 환기 부족이 원인일 것으로 생각되며, D주택의 경우는 마감재 교체 이후 2년밖에 경과되지 않아 그 영향이 남아있는 것으로 보여진다. 따라서 마감재 교체 후 2년까지 또는 환기가 거의 이루어지지 않을 경우는 그 영향이 4년 정도까지도 지속될 수 있는 것으로 해석된다.

V. 결론 및 제언

이상의 결과에서 측정주택은 리모델링 후 새로운 마감재나 가구 설치로 휘발성유기화합물 농도가 상승하는 것을 알 수 있었다. 또한 주택의 휘발성유기화합물 농도변

화는 사용한 마감재의 종류와 양, 설치 및 구입 가구의 제작 방법에 따라 차이를 보이는 것으로 나타났으며, 사용 마감재가 친환경 제품이었다 하더라도 시공에 사용된 접착제나 그 외에 기타 재료들이 일반 제품일 경우 오염물질 방출에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다.

따라서 리모델링 시 거주자는 필요이상의 리모델링을 지양하고 가구 및 마감재의 신중한 선택이 요구된다. 또한 신축 후 또는 리모델링 후 어느 정도의 시간이 지났다 하더라도 여전히 TVOC 및 HCHO가 검출되는 것을 볼 수 있었으므로 거주자에 의한 충분하고 지속적인 환기가 요구된다.

또한 본 연구 결과와 관련이론을 근거로, 리모델링 디자이너나 시공업체는 마감재나 기타 자재의 특성을 고려하여 리모델링 계획에 반영하고, 휘발성유기화합물 농도 저감 대안으로 거주자에게 환기시스템의 설치나 공사후 환기(베이크 아웃) 실시후 입주, 겨울철 보다는 환기량이 큰 여름철 공사 등을 조언할 수 있는 적극적 자세가 요구된다.

참고문헌

1. 강순주(2002). 고층아파트 리모델링에 대한 거주자의 의식 및 요구. 대한건축학회논문집 계획계, 18(9) : 131-138.
2. 김선중·김은덕·최영순·서종녀(2001). 중소형 분양 아파트 거주자의 개조시 거주기간별 주택개조 내용. 한국주거학회지, 12(2) : 109-122.
3. 김 옥·박우진·박진철(2005). 주거용 건물에서 건축 가구로부터의 오염물질방출 측정연구. 한국생태환경건축학회 춘계학술 발표대회 논문집, 5(1) : 161-116.
4. 마사오 이노우에 저, 김현중 역(2004). 새집증후군 실체와 대응전략. 한국목재 신문사. p. 61.
5. 방승기·조우진·손장열(2006). 신축아파트의 실내 마감재 변경 및 시공단계별 휘발성유기화합물 발생 특성. 설비공학논문집, 18(6) : 486-492.
6. 손장열·윤동원(1995). 실내 공기환경에서 유기화학물질(VOCs)의 특성과 제어방법. 공기조화냉동공학, 24(1) : 44-55.
7. 오인욱·조명은(2003). 거주자들의 참여 디자인 방법에 관한 연구-공동주택 입주시점의 개조행위를 통한, 한국실내디자인학회논문집, 39 : 62-72.
8. 유형규·박진철·이연구(2006). 건축자재 적용방안에 따른 실내공기오염물질 방출량 비교 연구. 대한건축학회논문집 계획계, 22(5) : 247-254.
9. 이연구(2004). 실내공기중의 휘발성유기화합물 농도변화에 관한 연구. 한국생태환경건축학회 논문집, 4(3) : 129-136.
10. 홍선경·윤복자(1995). 아파트 거주자의 주택개조특성 분석모형. 대한건축학회 논문집, 11(11): 3-15.
11. <http://www.jejunews.com/> (제주일보 2006년 3월 1일), 새집 공기질 환경개선 중요하다.
12. <http://www.standard.go.kr/> (국가표준종합정보센터 산업자원부 기술표준원) 한국산업규격(KS)
13. <http://www.me.go.kr/> (환경부) 다중이용시설 등의 실내공기질 관리법(개정 2005.5.31). 환경부고시 제2004-08호 실내공기질공정시험방법.