

신축 공동주택에서의 친환경 마감자재 사용에 따른 실내공기질 개선효과 실증연구

Experimental Study on the Effect of Environmentally Friendly Materials on Indoor Air Quality in New Apartment Buildings

박 영 석*
Park. Young-Sok

이 규 동*
Lee. Gyu-Dong

Abstract

The indoor air quality of new apartment buildings, which is known to cause sick housing syndrome, has become a major concern among apartment residents as well as construction companies in Korea. In this study, the effects of environmentally friendly materials and ventilation system are evaluated to compare the strategies applied to improve indoor air quality at the pre-occupancy stage. Six residential units are tested under three conditions : one unit is consisted of environmentally friendly materials and ventilation system, another unit is consisted of environmentally friendly materials and non-ventilation system, and the other four units are consisted of common materials and non-ventilation system.

키 워 드 : 실내공기질, 친환경 마감자재, 포름알데히드, 휘발성유기화합물
Keywords : Indoor Air Quality, Environmentally Friendly Materials, HCHO, VOCs

1. 서 론

최근 주거용 건물에서의 실내공기질은 국내외에서 관심이 집중되고 있는 환경문제 및 '심신의 건강과 쾌적'을 보다 적극적으로 추구하는 입주자들의 의식 확산 등과 결부되어, 이에 대한 관심과 요구가 증가되고 있다. 특히 신축 공동주택의 경우, 에너지 절약을 위한 단열강화 및 고기밀화로 실내 환기량이 충분히 확보되지 못한 상태에서 포름알데히드나 휘발성유기화합물 등 각종 유해 오염물질을 방출하는 건축자재 및 가구류 등이 다량 사용되면서 실내공기여건이 악화되고 있는 상황이다.

실내공기질은 공기 중에 포함된 유해오염물질의 농도에 따라 평가될 수 있으므로, 적정 수준의 실내공기질 확보를 위한 대응책에는 유해오염물질의 발생 억제, 발생된 유해오염물질의 희석 및 제거 등 다양한 기술이 포함된다. 공동주택 시공자는 보다 쾌적한 실내공기환경 조성을 위해, 이러한 기술들을 응용한 체계적이고 다각적인 대응책을 개발하여 공동주택의 계획 및 시공, 운영 단계별로 적용할 필요가 있다.

본 Mock-up 실험은 신축 공동주택의 실내공기질 향상을 위하여 주요 개선방안을 선정하고 개선방안 적용에 따른 효과를 파악하는 것을 목적으로 계획되었다. 주요 개선방안으로 친환경 마감자재의 시공, 건축물의 세대 마감 완료 후 지속적인 환기설비의 가동안을 선정하였으며, 자재의 화학물질 방출량을 원천

적으로 줄이고, 지속적인 환기를 통해 자재의 화학물질 방출 및 흡착을 줄일 수 있을 것으로 예상된다.

2. 측정개요

신축 공동주택의 주요 개선방안 적용에 따른 실내공기질 측정은 2005년 6월 3일~2005년 7월 6일의 기간동안 환경부 실내공기질공정시험방법 중 공동주택의 실내공기질 시험방법에 의거하여 이루어졌다. 개선방안 적용에 따른 개선효과 측정 실험은 총 6개 세대에 대하여 수행되었다.

실험 대상 세대로 친환경자재 시공과 환기설비의 가동에 따른 개선효과를 동시에 평가하기 위한 34평 2개 세대와, 친환경자재 시공 효과만을 파악하기 위한 42평 2개 세대를 선정하였다. 34평 2개 세대는 각각 일반자재만을 시공한 세대와 친환경자재를 시공하고 환기설비를 가동한 세대로 구성하였다. 42평 2개 세대는 각각 일반자재만을 시공한 세대와 친환경자재를 시공한 세대로 구성하였다. 이와 함께, 공동주택 신축 시 다양한 평형의 세대가 신축됨을 고려하여 50평 1개 세대, 64평 1개 세대에 대하여 평형 별 평가 실험도 함께 수행하였다.

개선방안 적용 효과를 장기간에 걸쳐 파악하기 위하여 포름알데히드 및 VOCs의 실내 농도를 대상으로 초기 측정, 4일 후, 7일 후, 14일 후, 33일 후 등 총 5회에 걸쳐 측정이 수행되었다. 측정 세대의 개요 및 일정, 측정 시 온습도 조건은 다음과 같다.

* 코오롱건설(주)기술연구소

2.1 측정 세대의 개요

측정 대상 세대는 대구 OO동에 소재한 신축 공동주택으로 34평형(전용면적 25.56㎡) 2개 세대, 42평형(전용면적 32.18㎡) 2개 세대, 50평형(전용면적 40.59㎡) 1개 세대, 64평형(전용면적 54.05㎡) 1개 세대이다. 측정 대상 세대의 구성은 표 1과 같으며 실험세대의 시공자재는 표 2와 같다.

표 1. 실험세대 구성

구분	A세대	B세대	C세대	D세대	E세대	F세대
평형	34평		42평		50평	64평
마감자재	일반자재	친환경자재	일반자재	친환경자재	일반자재	일반자재
환기설비	미설치	설치	미설치	미설치	미설치	미설치

표 2. 실험세대별 시공자재

	일반자재 시공 세대	친환경자재 시공 세대
도배공사	기존 실크벽지 (수성잉크 사용)	기존 실크벽지 (수성잉크 사용) 친환경 접착제 사용
주방가구	기존 주방가구	E0급 MDF/PB 적용 (Body, Door)
일반가구	기존 일반가구	E0급 MDF/PB 적용 (Body, Door) 무늬목 위 친환경 도장마감 친환경 접착제 사용
온돌마루	일반 온돌마루 시공 HB 일반! 등급 접착제	친환경 온돌마루 시공 HB 최우수 등급 접착제

34평 친환경 자재 시공 세대에는 환기설비 가동에 따른 실내공기질 개선효과를 파악하기 위해 덕트형 환기설비가 설치되었다. 거실, 안방, 침실1, 침실2에 급배기가 가능하도록 계획되었으며, 덕트는 세대 천장에 고정철물을 사용하여 부착하였다. 환기유닛은 세대 내 베란다에 설치되었으며 배기구와 외기 도입구를 이격하여 short-circuiting을 방지하였다. 실험기간 중 도입외기와 배기의 화학물질 혼합을 원천적으로 방지하기 위하여 by-pass 모드로 운전되었다.

각 실의 급배기 풍량 비율은 각 실별 설치되어 있는 화학물질 방출자재의 면적을 고려하여 결정되었다. 환기설비의 각 실별 설정 환기량은 표 3과 같다.

표 3. 각 실별 설정 환기량

실구분	급기량(CMH)	배기량(CMH)
거실	100	100
안방	75	0
드레스룸	0	75
침실1	50	50
침실2	50	50
총계	275	275

2.2 측정 일정

실험세대 별 실내공기질 측정 일정은 표 4와 같이 약 한달간 5회에 걸쳐 수행되었으며, 장기간에 걸친 실내공기질 변화를 측정하였다. 34평 친환경세대에 설치된 환기설비는 1차 측정이 종료된 직후 가동하기 시작하여, 공정시험법에 의한 2~5

차의 측정시기에는 가동을 중지하였으며, 평상시에는 연속운전으로 가동하였다.

표 4. 실내공기질 측정 일정

구분	일정	내용	측정 세대
1차측정	06/03	초기 측정	전체 세대
2차측정	06/07	1차 측정 4일 경과 후 측정	50평, 60평 세대 제외
3차측정	06/10	1차 측정 7일 경과 후 측정	50평, 60평 세대 제외
4차측정	06/17	1차 측정 14일 경과 후 측정	전체 세대
5차측정	07/06	1차 측정 33일 경과 후 측정	전체 세대

2.3 측정 세대의 온습도 조건

실내공기질 측정 시 각 세대의 측정 차수별 온습도 조건은 다음 표 5와 같다. 세대 내의 실내 온도는 24~28℃, 상대습도는 49~68%로 측정되었다.

표 5. 측정 세대의 온습도 조건

세대 구분	온습도 조건		초기측정		3일 후		7일 후		14일 후		33일 후	
	온도 (℃)	R.H. (%)	온도 (℃)	R.H. (%)	온도 (℃)	R.H. (%)	온도 (℃)	R.H. (%)	온도 (℃)	R.H. (%)	온도 (℃)	R.H. (%)
34평 일반자재	26	53	24	58	24	63	25	49	27	64		
34평 친환경자재+ 환기설비 가동	24	56	24	59	24	61	25	58	27	65		
42평 일반자재	25	58	24	60	24	65	25	63	28	64		
42평 친환경자재	24	51	24	58	24	65	25	59	27	68		
50평 일반자재	25	50	-	-	-	-	25	58	28	64		
64평 일반자재	25	55	-	-	-	-	26	58	28	64		

3. 측정결과 및 분석

3.1 초기 측정에 따른 실내공기질 개선효과

실험세대 별로 동일한 상황에서 측정한 6개 세대의 실내공기질 초기 측정 결과는 표 6과 같다.

표 6. 세대별 실내공기질 초기 측정 결과

세대 구분	오염물질 농도	포름알데히드 (μg/m³)	TVOC (μg/m³)	개별 VOCs (μg/m³)					
				벤젠	톨루엔	에틸벤젠	자일렌	스티렌	p-디클로로벤젠
34평 일반자재	586	2,225	2	88	49	60	73	N.D.	
34평 친환경자재+ 환기설비 가동	459	1,449	1	71	36	27	36	N.D.	
42평 일반자재	491	2,989	2	98	61	80	72	N.D.	
42평 친환경자재	272	1,543	1	82	46	46	71	N.D.	
50평 일반자재	397	1,276	1	91	50	62	59	N.D.	
64평 일반자재	508	2,048	2	106	58	66	70	N.D.	

N.D. : Not Detected

표 6에서 나타난 바와 같이, 각 세대의 포름알데히드의 농도는 친환경자재 시공세대에서 272μg/m³~459μg/m³, 일반자재 시공세대에서 397μg/m³~586μg/m³의 범위에 분포되어 있으며,

TVOC의 농도 범위는 친환경자재 시공세대에서 1,449 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~1,543 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 일반자재 시공세대에서 1,276 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~2,989 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 범위에 분포되어 있다. 동일 평형의 측정결과 비교를 통해 친환경자재 시공세대의 포름알데히드 및 TVOC의 실내농도가 일반자재를 시공한 세대의 약 50% 정도로 나타났다.

환경부 다중이용시설의 실내공기질 관리법 상에서 측정하도록 명시되어 있는 6개 개별 VOCs 물질에 대한 농도를 보면, 톨루엔, 스티렌, 자일렌, 에틸벤젠은 상당량 검출되었으나 p-디클로로벤젠의 경우 모든 세대에서 검출되지 않았으며, 벤젠의 경우도 극미한 양만이 검출되었다. 각 오염물질별 분석 결과는 그림 1~그림 2와 같다.

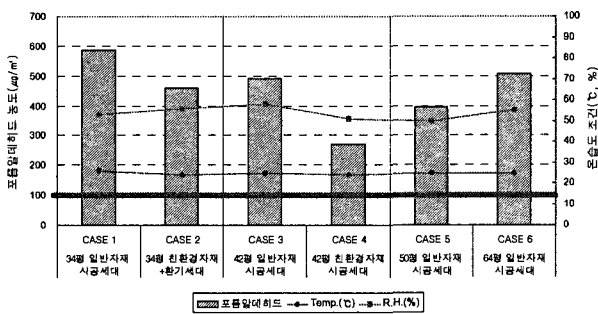


그림 1. 세대별 포름알데히드 농도 1차 측정 결과

표 6 및 그림 1에서 보는 바와 같이 각 세대의 포름알데히드의 농도는 WHO 및 일본 후생노동성의 기준인 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 이보다 더 완화된 값을 제시하고 있는 국내의 다중이용시설 등의 실내공기질에 관한 법률 중 다중이용시설의 포름알데히드 유지기준 및 미국 ASHRAE 기준 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 모두 초과하는 것으로 나타났다.

34평 및 42평의 측정 결과에서 나타난 것과 같이 친환경자재 시공 세대의 포름알데히드 농도는 기존의 일반자재를 시공한 세대 대비 각각 78%, 55%로 상당량 저감된 것으로 나타났으나 기준을 3~4배 초과하였다.

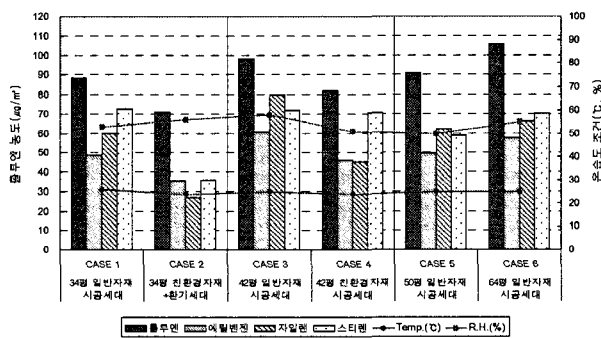


그림 2. 세대별 개별 VOC 농도 1차 측정 결과

아울러 그림 2에서 보는 바와 같이, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스티렌 등 4개 개별 VOCs 물질의 일반자재 시공세대 대비 친환경자재 시공세대의 농도 비율은 34평 세대에서 81%, 73%, 45%, 46%이며, 42평에서 83%, 77%, 57%, 99%로 나타났다. 앞서 밝힌 바와 같이 p-디클로로벤젠은 6개 세대에서 검출되지 않았으며 벤젠의 극미량이 검출되어 결과에서 제외하였다.

3.2 개선방안에 따른 측정 차수별 실내공기질 변화

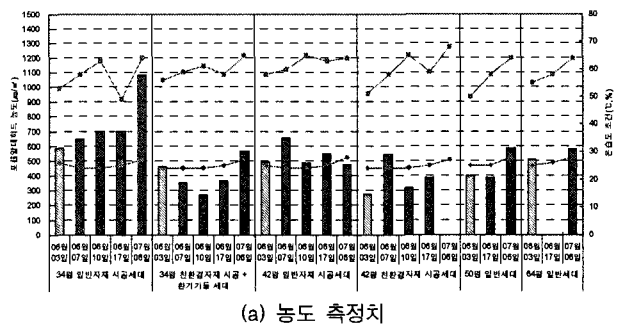
주요 개선방안 적용에 따른 실내공기질 변화의 장기간의 추이를 알아보기 위하여, 각 측정 차수별 오염물질 농도 변화를 살펴보았다.

3.2.1 포름알데히드 농도 변화

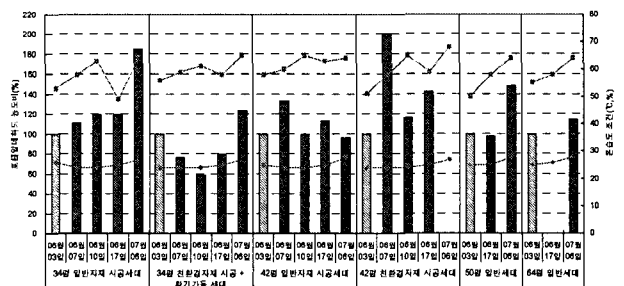
표 7. 세대별 포름알데히드 농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	34평 일반자재	34평 친환경자재+환기	42평 일반자재	42평 친환경자재	50평 일반자재	64평 일반자재
초기측정	586	459	491	272	397	508
4일후	647	352	653	544	-	-
7일후	701	270	487	315	-	-
14일후	701	365	552	386	387	-
33일후	1,085	566	472	-	585	581

1차 측정 이후 약 한 달에 걸쳐 측정된 각 세대의 포름알데히드 농도의 변화는 다음 표 7 및 그림 3과 같다. 그림 3의 (b)는 1차 측정 시의 포름알데히드 농도를 기준으로 각 측정 차수별 농도변화율을 나타낸 것으로, 시간경과에 따라 포름알데히드의 농도는 감소하지 않았다. 오히려, 시간경과에 따라 농도가 증가하는 경향을 나타내는데, 이는 측정 시의 습도 증가로 인한 것으로 보이며, 친수성이 강한 포름알데히드의 화학적 특성 때문으로 판단된다. 그러나 전반적으로 친환경자재 시공 세대의 포름알데히드 농도가 일반자재 시공 자재의 농도 60~80% 가량으로 낮게 나타남을 확인 할 수 있다.



(a) 농도 측정치



(b) 1차 측정치 대비 농도 변화율

그림 3. 시간 경과에 따른 세대별 포름알데히드 농도변화

3.2.2 TVOC 농도 변화

표 8. 세대별 TVOC 농도 (µg/m³)

	34평 일반자재	34평 친환경자 재+환기	42평 일반자재	42평 친환경자 재	50평 일반자재	64평 일반자재
초기측정	2,225	1,449	2,989	1,543	1,276	2,048
4일 후	1,600	1,853	2,827	1,182	-	-
7일 후	1,785	1,705	2,782	1,692	-	-
14일 후	1,889	838	2,550	1,764	1,372	1,603
33일 후	982	541	1,591	749	955	1,482

시간 경과에 따른 각 세대의 TVOC 농도 변화는 다음 표 8 및 그림 4와 같다. 1차 측정 한 달 경과 후 34평, 42평 세대의 TVOC 농도는 1차 측정 시 농도의 40~50% 가량으로 크게 줄어들었으며, 50평, 64평의 농도는 상대적으로 적은 80%가량의 농도로 줄어든 것으로 나타났다. 34평 친환경자재 시공 및 환기 가동세대의 경우, 한 달 동안의 장기간의 지속적인 환기를 수행하였음에도 불구하고 눈에 띄는 농도 저감율을 나타내지 않아, 환기 수행을 통한 농도저감은 거의 없는 것으로 판단된다.

4. 분석결과 및 고찰

4.1 친환경자재 시공에 따른 실내공기질 개선 효과

34평 2개 세대의 1차 측정 결과, 일반자재 시공세대 대비 친환경자재 시공세대의 농도비는 포름알데히드 78%, 톨루엔 81%, 에틸벤젠 73%, 자일렌 45%, 스티렌 46%, TVOC 65%로 나타났으며 42평의 경우, 포름알데히드 55%, 톨루엔 83%, 에틸벤젠 77%, 자일렌 57%, 스티렌 99%, TVOC 52%로 나타나 실내 공기질 개선효과가 뚜렷함을 확인하였다.

친환경자재 시공세대의 포름알데히드 및 TVOC의 농도는 여전히 국내의 기준치를 수배 초과하는 것으로 나타났다. 이는 본 Mock-up 실험세대에 사용된 가구량이 일반적인 경우보다 현저히 많기 때문으로 판단되며, 친환경자재라 하더라도 과도한 양이 사용될 경우 실내공기질을 악화시킬 수 있을 것으로 판단된다.

42평 세대에서 일반자재 시공세대 및 친환경자재 시공세대 모두 한달 경과 후 VOCs의 농도는 크게 줄은 것으로 나타났으며, 친환경자재 시공세대의 농도는 일반자재 시공세대에 비해 낮게 나타났다. 친환경자재 시공세대의 1차 측정 농도 대비 한 달 경과 후 농도 비율은 톨루엔 85%, 에틸벤젠 70%, 자일렌 43%, 스티렌 63%, TVOC 49%로 나타나 마감공정 완료 후 입주 시기까지 충분한 시간을 확보함으로써 입주 시 실내공기질을 완화할 수 있을 것으로 판단된다.

포름알데히드의 경우는 시간경과에 따른 농도의 변화가 뚜렷히 나타나지 않았으며, 이는 친수성이며 화학반응이 잘 일어나는 포름알데히드의 화학적 특성 때문으로 판단된다. 이러한 경향은 소형챔버 실험에서도 확인할 수 있으며, 따라서 포름알데히드 농도의 저감을 위해서는 저방출 자재의 시공을 통한 적극적인 방출량 제어가 필요할 것으로 판단된다.

4.2 친환경자재 및 환기설비에 따른 개선효과

34평 친환경자재 시공 및 환기설비 가동세대의 TVOC에 대한 초기측정 값과 한달 경과 후의 측정값의 비율은 38%로 상당한 저감효과를 나타내었으나, 다른 비교세대들의 저감율과 큰 차이를 보이지 않아 실험세대에 적용된 환기량으로는 자재 방출물의 저감효과가 미미한 것으로 나타났다. 지난 1, 2차 실험에서와 달리 환기를 장기간 수행하였음에도 불구하고, 마감자재의 방출물 저감에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. 김광우 외, 공동주택 실내공기질 개선방안에 관한 연구, 서울대학교 공학연구소, 2006.
2. 환경부, 다중이용시설의 실내공기질 관리법, 2004.
3. 환경부, 실내공기질공정시험방법, 2004.