

실물 주거 시공을 통한 실내공기질에 영향을 미치는 주요 건축자재 및 시공방법에 관한 연구

유형규[†], 박진철^{*}, 이언구^{*}
대림산업(주) 기술연구소, ^{*}중앙대학교 건축학과

A Study on the Major Building Material and Construction Method Influencing to IAQ through Full-Scale House Construction

Hyung-Ku Yu[†], Jin-Chul Park^{*}, Eon-Ku Rhee^{*}

Technology Research Institute, Daelim Industrial Co., Ltd., Seoul 110-732, Korea

^{*}Department of Architecture, Chung-Ang University, Seoul 156-756, Korea

(Received September 29, 2005; revision received February 4, 2006)

ABSTRACT: Formaldehyde and total volatile organic compounds (TVOC) from building materials have been known as main causes of IAQ problem in Newly-Constructed Multi-Family Houses. Because Multi-Family Houses are built in large quantities in a similar manner, inappropriate selection of building materials and method will detrimental affect IAQ. This research aims to identify major causes of Indoor Air Pollutants in Multi-Family Houses, by constructing Mock-Up & One-Room House. As a result, self leveling concrete, door, and furniture construction is a major cause of indoor formaldehyde increase, and tile bond is TVOC, and urethane water proof is Etylbenzene, and Xylene.

Key words: Multi-family houses(공동주택), Building materials(건축자재), Formaldehyde(폼알데하이드), Total volatile organic compounds(TVOC, 총휘발성유기화합물)

1. 서 론

1.1 연구의 배경

2000년 인구주택 총 조사에 따르면, 전국의 주택은 단독주택이 36.8%, 아파트, 47.3%, 연립주택 7.4%, 다세대주택 4.1%를 차지하며,⁽¹⁾ 2004년 주택건설 실적은 아파트와 연립주택을 포함한 공동주택이 전체 주택의 92.6%⁽²⁾로 공동주택이 주택건설에 차지하는 비중이 매우 크다.

최근 신축공동주택 입주자들 중에는 두통, 현기증, 메스꺼움, 졸음, 눈의 자극, 집중력 감퇴, 아토피성 피부염 등 각종 질환을 호소하는 건물병증후군(Sick Building Syndrome, SBS) 및 새집증후군(Sick House Syndrome, SHS) 등의 문제를 일으켜 건강을 크게 위협하고 있는 실정이다.⁽³⁾ 이러한 공동주택에서의 실내공기오염은 각종 건축자재, 집착제 등에서 방출되는 폼알데하이드와 휘발성유기화합물이 가장 큰 원인으로 알려져 있으며, 공동주택은 동일한 공법과 건축자재가 대량으로 동시에 사용되기 때문에, 잘못된 건축자재와 공법으로 인한 피해는 일반 건물과 비교하여 매우 심각하게 나타난다.

일반적으로 공동주택의 실내에는 현관, 거실, 침

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-2011-8298; fax: +82-2-2011-8068

E-mail address: yhk2006@daelim.co.kr

실, 주방, 욕실, 발코니 등으로 나눌 수 있으며, 각 실에 사용되는 건축자재와 시공방법은 실의 용도에 따라 매우 다양하다. 따라서, 실내공기오염물질의 정확한 발생원인을 파악하기 위해서는 사용되는 건축자재의 오염물질 방출강도뿐만 아니라 공동주택 시공 전과정을 대상으로 단계적인 검토가 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 건축자재 방출강도 시험과 함께 Mock-Up 실험실과 실물 원룸주거를 건설하여, 시공과정 중의 실내공기오염물질 방출량 변화를 분석함으로써, 실내공기오염의 원인이 되는 건축자재 및 시공방법을 파악하였다.

1.2 연구의 내용 및 범위

본 연구에서는 소형 챔버를 이용하여 건축자재 종류별로 오염물질 방출강도를 시험한 후, 이를 공동주택의 단위 공간인 침실과 거실로 가정한 Mock-Up 실험실과 9평 규모의 원룸주거에 적용하여 시공 단계별로 실내공기 오염물질 방출량을 측정하였다. 측정 대상 실내공기오염물질은 폼알데하이드와 TVOC, 그리고 5종 VOCs를 대상으로 하였다. 실험은 한국공기청정협회에서 시행 중인 친환경 건축자재 시험방법과 실내공기질공정시험방법에 따라 수행하였으며, HPLC와 GC/MSD, TDS를 이용하여 정밀 분석하였다. 본 연구의 흐름은 Fig. 1과 같다.

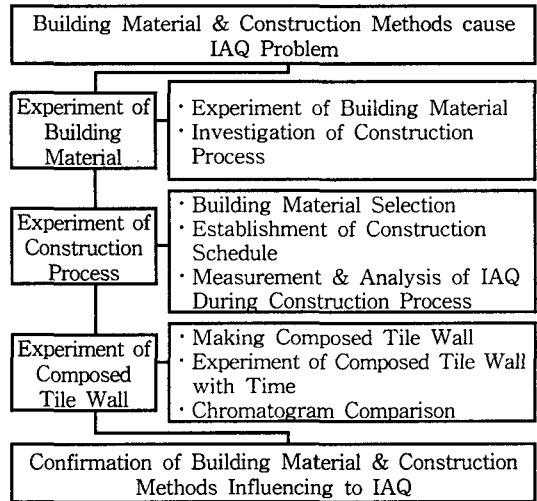


Fig. 1 Flow chart of study.

2. 실내공기오염물질 기준

사업계획 승인이나 건축허가를 신청하는 100세대 이상의 신축공동주택에 대하여는 주민입주 전에 규모에 따라 3개소 내지 9개소에서 폼알데하이드와 Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene, Styrene 등의 물질을 측정하여 해당 시장·군수·구청장에 제출하고 주민들이 잘 볼 수 있는 출입문 등에 60일간 공고토록 하였고, 최근에는 폼알데하이드를 포함한 5종 VOCs에 대한 권고기준

Table 1 Comparison of HCHO & TVOC (Unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	HCHO			TVOC			Party
USA	1 ppm (8h), 2 ppm (15 min)			-			EPA
Canada	60			-			Health Canada
Finland	50			-			MDE
	S1	S2	S3	S1	S2	S3	FiSIAQ
	30	50	100	200	300	600	
EU	AQ1	AQ2	AQx	AQ1	AQ2	AQx	SCANVAC
	50	100	*	200	500	*	
Australia	120 ppb			500			NHMRC
Japan	100			400			MHLW
Hongkong	Very vest		Vest	Very vest		Vest	IAQ Management Group
	30		100	200		600	
Singapore	120			3 ppm			MOE
Korea	120			500			MOE

Table 2 Guideline of 5 VOCs (Unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Pollutants	Hongkong	Japan	Korea
Benzene	16.1	-	30
Toluene	1092	260	1000
Etylbenzene	1447	3800	360
Xylene	1447	870	700
Styrene	-	220	300

을 정하여 공표하였다.^(4,5) Table 1과 Table 2에 국내의 폼알데하이드와 TVOC, 그리고 5종 VOCs 기준을 비교하였다.

3. Mock-Up 실험실 및 원룸주거 시공과정

3.1 Mock-Up 실험실 시공과정 및 실험개요

Mock-Up 실험실은 A실, B실과 전실로 구성되어 있으며, 보일러와 환기시스템이 설치되어 있다. 이중 A실을 대상으로 소형 챔버 시험결과에서 폼알데하이드와 TVOC 방출강도가 적게 나타난 건축자재를 선정하여 시공하였다. 실험실의 벽은 건식공법으로 샌드위치 판넬 위에 석고보드를 시공하였다. 석고보드 위에는 친환경 소재로 알려진 참숯을 바른 숯초배벽지를 적용하였으며, 일반벽지는 종이벽지로 시공하였다. 바닥마감재는 온돌마루바닥재를 적용하였으며, 이에 사용되는 접착제는 Epoxy⁽⁶⁾를 주성분으로 하는 제품을 선정하였다. Mock-Up 실험실에 적용된 건축자재는 한국공기청정협회 등급기준에 적용하였을 경우, 폼알데하이드와 TVOC 방출강도가 최우수 수준의 제품이다. 바닥은 기존의 레미탈 바닥면이 거칠게 시공되어 있어 바닥재 시공이 용이하지 않게 된 관계로, 레벨콘을 사용하여 바닥면을 평탄하게 하였다.

Mock-Up 실험실 시공 및 실험은 2005년 3월 15일에서 시작하여 4월 24일까지 약 40일간 진행하였다. 실험은 건축자재 시공과정 및 건물 사용 단계를 고려하여 7차례에 걸쳐 실시하였다. 실험 및 각 단계별 시공 후에는 자연환기 및 환기시스템을 이용하여 실내가 최대한 환기되도록 유지하였다. 환기시스템의 용량은 250 CMH로 시스템을 최대 가동하였을 경우 Mock-Up 실험실의 환기 횟수는 약 6.7회가 된다. 실험방법은 실내공기질 공정시험방법에 따라 실내를 최소 30분간 환기하

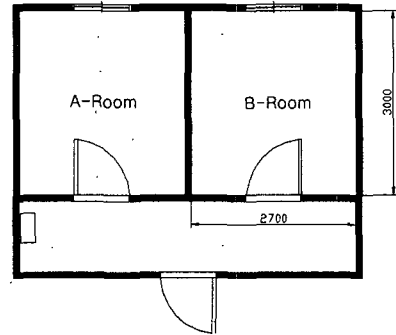


Fig. 2 Mock-Up room plan.

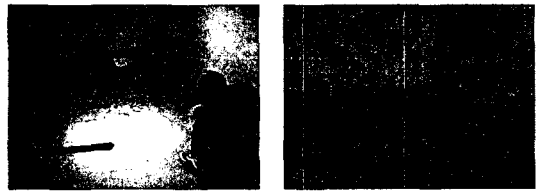


Fig. 3 Mock-Up room interior.

고 5시간 동안 밀폐한 후 정밀측정법으로 측정하였다.⁽⁵⁾ 측정시 실내의 온도조건은 각 시공과정에서는 자연실온 상태에서 측정하였으며, 시공이 완료된 후에는 난방을 실시하여 재실온도를 유지하여 측정하였다. Fig. 2와 Fig. 3에 Mock-Up 실험실 평면도와 시공모습을 나타내었다.

3.2 원룸주거 시공과정 및 실험개요

Mock-Up 실험실은 공동주택의 침실 또는 거실 등의 단위공간을 대상으로 한 것으로, 현관, 주방, 부엌, 발코니 등의 다양한 실과 이에 따라 건축자재가 복합적으로 사용되는 실제 공동주택과는 다소 차이가 있다. 따라서 일반적인 공동주택 시공과 동일한 과정과 방법으로 9평 규모의 원룸주거를 건설하여 시공과정 중 변화하는 오염물질 방출량 변화를 실험하였다. 원룸주거에는 추후 환기실험을 수행할 수 있도록 전열교환식 천장급배기 환기시스템과 바닥온돌열교환식 환기시스템을 설치하였다. 원룸주거 내부는 크게 실험준비를 위한 전실과 실내로 구획하였으며, 실내에는 주방 겸용 거실과 욕실, 그리고 발코니로 구성하였다.

거실의 벽과 천정, 그리고 바닥마감재는 Mock-Up 실험실과 동일한 건축자재를 적용하였다. 욕

실은 주로 물을 사용하는 공간이기 때문에 욕실 바닥 전체와 벽면 일부에 우레탄 방수를 하였으며, 방수액이 건조된 후에는 타일을 시공하였다. 최근의 타일시공은 시멘트 몰탈을 이용한 습식방법에서 시공의 편의를 위해서 접착제를 이용한 건식방법으로 교체되고 있다.⁽⁶⁾

주방타일 또한 욕신타일 시공과 동일한 방법으로 시공하였다. 일반적으로 주방타일 벽은 수전 설치를 위한 공간확보를 위하여 석고보드로 마감하며, 타일을 습식방법으로 시공할 경우 석고보

드가 물을 흡수하는 성질이 강하여 곰팡이가 발생하고 벽이 약해질 수 있기 때문에 대부분 건식 방법으로 이루어진다. Fig. 4과 Fig. 5는 원룸주거의 평면도 및 내부 모습이다.

원룸주거 시공 및 실험은 2005년 2월 25일에서 시작하여 4월 24일까지 2달 동안 진행되었다. 실험 대상실은 거실과 욕실로 하였으며, 각 시공과

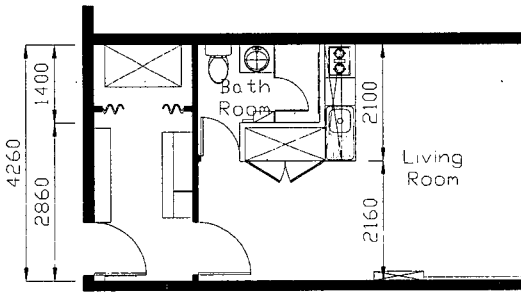


Fig. 4 One-room house interior.

Table 3 Applied building materials (Unit: mg/m²·h)

Type	Material	HCHO	TVOC
Wall	Gypsum board	0.005	0.173
	Putty	0.024	0.051
	Wallpaper bond	0.011	0.008
	1st Wallpaper	0.007	0.001
	2nd Wallpaper	0.003	0.102
Floor	Remital	0.002	0.005
	OndolMaru bond	0.006	0.063
	OndolMaru	0.007	0.096
Bath & Kitchen	Tile bond	0.024	22.024
	Tile	0.006	0.062

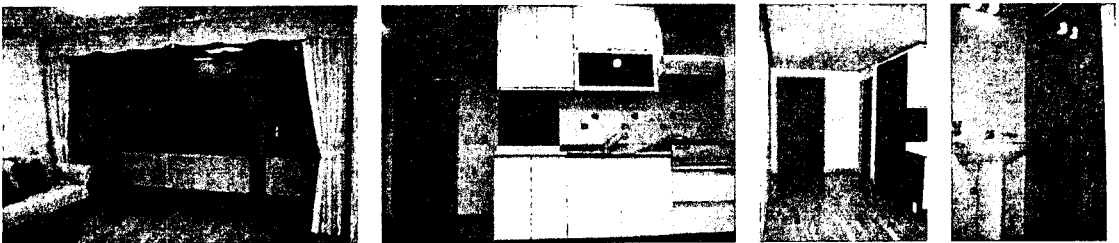


Fig. 5 One-room house interior.

Table 4 Construction & experiment schedule

Step	Date	Construction process			Room condition
		Mock-Up	One-room house		
		A room	Livingroom	Bathroom	
1	2. 25	-	Removal	Removal	Natural temperature
2	3. 15	Concrete drying	Concrete drying	Water proof	
3	3. 18	-	Kitchen tile	Bath tile	
4	3. 23	-	1st WallPaper	-	
5	3. 26	WallPaper	2nd WallPaper	-	
6	3. 30	OndolMaru	OndolMaru	Shower booth	
7	4. 01	OndolMaru after 3 day	OndolMaru after 3 day	Sanitary fixture	
8	4. 10	Heating	Door & heating	Door	Heating, all door closed, furniture door opened
9	4. 17	Heating continue	Furniture	Ceiling Paint	
10	4. 24	Heating continue	Finish	Finish	

정별로 실내공기오염물질 변화에 큰 영향을 미칠 것으로 예상되는 시점마다 총 10차례에 걸쳐 실시하였다. Mock-Up 실험과 동일하게 단계별 시공 및 실험 후에는 자연환기와 환기시스템을 이용하여 실내가 지속적으로 환기되도록 하였다. 실내의 온도조건은 문 시공 전까지 자연실온 상태에서 측정하였으며, 문 시공 이후부터 난방을 실시하여 측정하였다. Table 3은 Mock-Up 실험실과 원룸주거에 적용된 건축자재의 방출강도 실험 결과이며, Table 4는 시공 및 실험 일정이다.

4. Mock-Up 실험실 및 원룸주거 실험결과

4.1 Mock-Up 실험실 결과

Table 5에 Mock-Up 실험실 및 원룸주거의 실내공기오염물질 방출량 실험결과를 정리하였다.

Mock-Up 실험실의 폼알데하이드 방출량은 시공 초기에 매우 많은 방출량을 나타내었다. 특히, 바닥 레벨콘 시공 후(Step 2)에는 $247.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 신축 공동주택의 실내공기질 폼알데하이드 권고기준 $210 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 넘는 것으로 나타났다. 레벨콘 시공 후 양생과정에서 환기시스템을 가동하여 지속적인 환기를 실시했음에도 Mock-Up 실험실은 수증기로 가득 차 있었고, 눈이 따라워 뜰 수 없을 정도였으며, 숨을 쉬기 어려웠다. 건축자재 방출강도 실험결과에서 폼알데하이드가 매우 낮게 나타난 결과를 바탕으로 폼알데하이드 발생원은 레벨콘으로 추정된다. 이후 벽지(Step 5)와 바닥재 시공(Step 6)까지 폼알데하이드 방출량은 계속 감소하였는데, 이는 레벨콘에서 발생하는 폼알데하이드가 시간이 경과함에 따라 감소함과 동시에, 바닥재에 의해 노출면이 가려지게 되어 실내공기로의 방출이 억제되었기 때문인 것으로 판

Table 5 Experiment result (Unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	Step	HCHO	TVOC	Benzene	Toluene	Etylbenzene	Xylene	Stylene	DB(°C)	RH(%)
Mock-Up room	2	247.6	275.7	1.0	7.8	11.8	24.0	0.7	21.1	50.0
	5	166.9	938.3	1.7	100.0	2.4	4.7	0.7	12.9	61.0
	6	44.5	767.7	1.0	122.9	4.3	7.8	0.3	14.8	30.0
	7	70.7	857.8	1.5	164.9	5.9	9.2	0.5	16.1	33.0
	8	175.7	1438.6	0.8	355.7	13.5	17.9	1.3	26.9	44.0
	9	64.0	454.9	0.7	164.4	3.2	5.1	0.5	26.4	16.0
	10	76.0	528.4	0.4	160.1	4.1	6.8	0.8	29.6	15.0
Living room	1	20.7	799.1	1.6	147.8	6.3	27.5	0.0	10.0	19.5
	2	28.6	7710.3	1.6	95.5	462.1	1991.4	0.0	14.0	53.0
	3	29.3	10087.6	2.0	392.7	110.0	371.2	6.3	15.8	43.0
	4	51.4	21683.3	2.3	287.8	126.6	481.6	10.6	17.1	39.0
	5	34.8	22003.9	2.4	274.7	114.4	486.0	13.6	16.0	42.0
	6	32.1	13914.1	1.6	176.1	54.9	273.5	5.2	16.7	27.0
	7	37.9	18646.5	2.3	229.0	78.5	384.3	9.0	17.9	31.0
	8	135.5	17213.7	1.0	307.0	60.8	328.3	19.2	27.0	43.0
	9	185.5	14784.4	1.1	1104.2	83.8	370.9	22.3	26.5	16.0
	10	200.7	8878.5	0.5	471.0	36.5	197.8	10.0	25.3	23.0
Bath room	1	20.7	778.4	1.6	140.6	6.0	26.1	0.0	10.0	19.5
	2	29.5	9195.2	1.4	85.5	550.7	2318.2	0.0	14.0	53.0
	3	26.9	20131.2	1.4	396.1	142.2	485.6	8.6	15.8	43.0
	4	44.5	27225.1	2.4	286.4	160.0	593.0	12.1	17.1	39.0
	5	35.0	23855.6	2.3	276.7	130.5	541.8	14.5	15.6	44.0
	6	34.0	17967.5	1.4	166.1	69.5	343.7	5.4	17.1	28.0
	7	43.3	22574.4	1.9	216.6	90.4	432.9	10.0	18.1	34.0
	8	105.2	29293.1	0.8	249.5	120.7	626.8	18.4	24.2	50.0
	9	163.6	26812.6	0.8	496.1	148.0	711.5	27.6	25.1	19.0
	10	194.8	24590.6	0.6	383.6	160.4	826.3	18.1	25.3	24.0

단된다. 그러나 바닥재 시공 3일 후(Step 7)에 방출량이 다소 증가하였으며, 이는 온돌마루시공의 영향으로 판단된다. 또한 난방실시 후(Step 8)에 방출량이 증가한 것으로 미루어보아 실내온도의 상승으로 인하여 건축자재 내부의 폼알데하이드가 활성화되어 방출된 것으로 판단된다. 난방실시 이후 지속적으로 온도를 유지(Step 9, 10)하였음에도 폼알데하이드는 증가하지 않았다.

Mock-Up 실험실의 TVOC 방출량은 바닥 레벨콘 시공 후(Step 2)에는 $275.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 일반 대기 수준의 매우 적은 방출량을 나타내었다. 그러나 도배시공 후(Step 5)에는 급격하게 상승하였는데, 이는 시공 초기 도배풀 등으로 인한 수분 증가로 건조와 동시에 많은 양의 오염물질이 일시에 방출되었기 때문인 것으로 판단된다. 이후 바닥재 시공 및 바닥재 시공 3일 후(Step 6, 7)까지 큰 변화를 나타내지 않았으나, 난방실시 후(Step 8) 폼알데하이드의 경우와 같이 방출량이 다소 증가하였다. 크로마토그램 분석결과 종이벽지와 온돌마루에서 방출되는 VOCs의 양이 크게 증가한 것으로 나타났다. 난방을 실시한 후 7일(Step 9)이 경과 후 폼알데하이드 결과와 유사하게 방출량이 다시 큰 폭으로 떨어졌는데, 이는 실내온도 상승에 따라 재료 내의 분자활동이 활성화되어 건축자재 내의 많은 오염물질이 배출되어 나타난 결과로 추정된다. 시공 시작 약 40일 경과 후(Step 10)에는 $528.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다.

5종 VOCs는 시공과정 중에 국내 권고기준을 초과하지 않았으며, 난방을 실시한 후(Step 8)에서 모든 물질이 가장 많은 방출량을 나타내었으며, 이후 시간경과와 함께 방출량이 감소하였다.

4.2 원룸주거 결과

폼알데하이드 방출량은 기존 시설 철거 후부터 온돌마루 시공(Step 1~7)까지 거실이 평균 $33.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 욕실이 평균 $33.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 일정하게 나타났다. 그러나 목재 문을 시공하고 난방을 실시한 후(Step 8)부터 급격히 증가하였는데, 이는 난방으로 인한 실내온도 상승으로 온돌마루와 목재 문에서 폼알데하이드가 복합적으로 다량 방출된 것으로 판단된다. 가구를 반입한 후(Step 9)에는 거실이 $185.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 더욱 급격하게 증가하였다. 욕실은 문을 닫아 거실과 분리하였음에도 가구로

인한 영향이 나타났다. 공사 완료 후(Step 10)까지 거실이 $200.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 계속 증가하였다. 건축자재 방출강도 시험결과와 Mock-Up 실험실 결과와 비교하여 실내에서의 폼알데하이드는 가구의 원료인 목재의 영향이 가장 큰 것으로 판단된다.

TVOC 방출량은 Mock-Up 실험실의 벽과 바닥재를 동일하게 사용했음에도 기존시설의 철거 후부터 벽지 시공 후(Step 1~5)까지 지속적으로 증가하여 방출량에서는 매우 큰 차이가 나타났다. 방출량 패턴은 거실과 욕실이 비슷하게 나타나고 있으나, 욕실의 방출량이 더욱 많은 것으로 나타났다. 거실을 중심으로 TVOC 방출량 변화를 살펴보면, 기존 시설 철거 후(Step 1)에 $799.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 국내 다중이용시설등의실내공기질관리법 기준인 $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하였다. 이후 거실의 콘크리트 바닥 미장과 욕실의 우레탄 방수 시공을 동시에 실시한 후(Step 2)에 $7710.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 약 10배 가까이 크게 증가하였다. 크로마토그램 분석결과, 우레탄 방수액에서 발생하는 5종 VOCs 외의 기타 VOCs가 TVOC 방출량 증가에 큰 영향을 미친 것으로 확인되었다. 또한 욕실에만 우레탄 방수를 시공하였음에도 크로마토그램 패턴은 거실에서도 거의 동일하게 나타났다. 거실, 주방 및 욕실 타일 시공 후(Step 3)에는 $10087.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 크게 증가하였으며, 욕실은 $20131.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 거실보다 2배가 높게 나타났다. 크로마토그램 분석결과, 타일접착제의 크로마토그램과 거실과 욕실의 크로마토그램이 동일한 패턴인 것으로 나타나, 타일접착제에서 방출되는 VOCs가 실내공기에 심각한 영향을 주고 있음을 알 수 있었다. 초배벽지 시공 후(Step 4)에도 타일 시공 후에 발생한 오염물질의 영향으로 거실은 $21683.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 욕실은 $27225.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 큰 폭으로 증가하였다. 정배벽지 시공 후(Step 5) 거실은 $22003.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 거의 일정한 수준에서 유지되었으나, 욕실은 $23855.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 큰 폭으로 감소하였다. 온돌마루 시공 후(Step 6) 거실과 욕실 모두 $13914.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 $17967.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 방출량이 급격히 감소하였다. 문을 시공하고 난방 실시 후(Step 8)에는 거실의 방출량은 $17213.75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 감소한 반면, 욕실의 방출량은 $29293.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 증가하였다. 이는 거실과 욕실을 목재 문으로 분리하였기 때문에, 비교적 시공면적이 큰 욕실 타일접착제에서 발생하는 오염물질이 거실로 이동하지 못하고 욕실 내에 남

아, 주방에 시공한 타일접착제의 영향만 나타난 것으로 판단된다. 실내에 불박이장과 주방가구를 반입한 후(Step 9)에는 거실과 욕실 모두 $14784.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 $26812.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 방출량이 감소하였으며, 시공 완료 후(Step 10) $8878.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 $24590.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 거실의 방출량 감소가 매우 크게 나타났다. 실험 단계별로 TVOC 크로마토그램 분석 결과, 타일접착제의 영향으로 타일 시공 이후 가구반입 전(Step 3~8)까지 타일접착제 이외 건축자재로 인한 영향은 거의 나타나지 않았다.

5종 VOCs는 거실의 콘크리트 바닥 미장과 욕실의 우레탄 방수 시공을 동시에 실시한 후(Step 2)에 거실과 욕실에서 Etylbenzene과 Xylene이 기준을 초과한 것으로 나타났으나, 타일 시공 후에 방수 시공 표면이 가려지면서 크게 감소하였다. 또한 거실은 불박이장과 주방가구를 반입한 후(Step 9) Toluene이 기준을 초과하는 것으로 나타났으며, 주방은 천정에 방수 페인트를 칠한 후(Step 9) Xylene이 기준을 초과하였다.

5. 타일벽 마감구성재 실험

5.1 타일벽 마감구성재 실험개요

원룸주거 실험결과, 타일 접착제는 타일면에 상당부분이 가려져 있음에도 방출되는 오염물질이 실내 TVOC 증가에 매우 큰 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 타일벽을 대상으로 소형 챔버를 이용하여 원룸주거에 적용된 방법과 동일하게 마감구성 시편을 제작한 후, 시간경과에 따른 방출강도를 실험하였다. 타일벽 마감구성은 레미탈, 석고보드, 타일접착제, 타일의 순서로 원룸주거에 적용된 순서와 동일하게 Fig. 6과 같이 제작하였으며, 시료부하율은 친환경건축자재 시험방법의 일반건축자재와 동일한

Table 6 Composed tile wall experiment result

	HCHO ($\text{mg}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$)	TVOC ($\text{mg}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$)
1 day	0.022	22.805
3 day	0.041	16.585
5 day	0.044	14.709
7 day	0.046	12.452
10 day	0.039	11.035
15 day	0.037	8.572
20 day		6.638

2.0으로 하였다. 타일 접착제는 공동주택 시공현장에서 가장 많이 사용하는 제품으로 선정하였다.

5.2 타일벽 마감구성재 실험결과

Table 6은 타일벽 마감구성 실험결과이다. 3일차에 측정·분석한 타일접착제 방출강도 실험결과에서는 폼알데하이드가 $0.024 \text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$, TVOC가 $22.024 \text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 나타난데 비해, 3일차 타일벽 마감구성에서는 폼알데하이드는 $0.041 \text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 다소 높게, TVOC는 $16.585 \text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 다소 낮게 나타났다.

마감구성재의 시간경과에 따른 TVOC 방출강도 실험결과를 바탕으로 Microsoft Excel 프로그램을 이용하여 선형함수, 로그함수, 이차다항함수, 거듭제곱함수(멱함수), 지수함수 등 총 5가지의 방출강도 예측함수를 작성한 결과, 식(1)의 거듭제곱함수가 결정계수(R^2)가 가장 크며, 계산결과와 실험결과가 잘 일치하는 것으로 나타났다.⁽⁷⁾ Table 7은 예측함수를 바탕으로 친환경 건축자재 단체품질 인증등급(일반자재·기준)에 대하여 각 마감구성재의 방출강도가 도달하는 경과일을 계산한 결과로 오랜 시간 동안 지속적으로 오염물질을 방출하는 것으로 나타났다.

$$y = 26.511x^{-0.4394}, \quad R^2 = 0.9302 \quad (1)$$

여기서, y 는 배출강도(emission factor), x 는 일(day)이다.

타일접착제, 타일벽 마감구성재, 거실, 욕실의 크로마토그램을 비교한 결과, 서로 크기는 다르지만

Table 7 Elapsed day to reach standard

$\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$	Below				
	0.1	0.2	0.4	2.0	4.0
Day	330,000	68,000	14,000	359	74

Table 8 Largest 5 VOCs (20 day)

R.T.	Compounds	Quality
34.319	Decane	97
35.221	1,2,3-trimethylbenzene	94
37.466	3-methyl-Decane	97
37.915	4-ethyl-1,2-dimethyl-Benzene	91
38.749	Undecane	95

4개의 크로마토그램의 패턴이 거의 유사하게 나타나 타일과 타일 틈 사이로 타일접착제 오염물질이 방출되어 실내에 영향을 미치고 있는 것을 확인하였다. Table 8은 타일접착제에서 가장 많이 방출되는 5개 VOCs를 정리한 것이다.

6. 결 론

본 연구에서는 Mock-Up 및 원룸주거를 건설하여 시공 전과정에서의 실내공기오염물질 방출량 변화를 분석함으로써, 실내공기오염물질을 발생시키는 건축자재 및 시공방법을 파악하였다. 결과를 바탕으로 공동주택의 실내공기오염물질을 줄이기 위한 건축자재의 선택 및 시공방법을 요약하면 다음과 같다.

(1) 폼알데하이드는 일반 건축자재에서는 매우 적었으나, 목재를 원료로 하는 문과 가구에서 크게 나타났으며, Toluene 방출량 또한 크게 증가하여 가구 선정시 주의한다.

(2) 레벨콘 시공 후 폼알데하이드가 증가하였으므로 레벨콘 사용은 가능한 자제하는 것이 바람직하며, 부득이 사용했을 경우에는 실내로 노출이 되지 않도록 마감재를 꼼꼼하게 시공한다.

(3) 우레탄 방수 시공 후에 거실과 욕실에서 Etylbenzene과 Xylene이 기준을 초과한 것으로 나타나 욕실 공간 등의 방수는 시공 표면이 실내로 노출되지 않도록 주의한다.

(4) 욕실 등의 타일시공은 습식방법을 사용하는 것이 바람직하며, 주방타일 시공방법에 대한 개선이 시급히 필요하다.

(5) 주방 천정에 방수 페인트를 칠한 후 Xylene이 기준을 초과하였으므로 실내로 노출되는 방수재의 사용을 자제한다.

향후 공동주택의 실내공기오염을 유발하는 건

축자재에 관한 다양한 연구와 이를 대체하는 시공방법이 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

후 기

이 연구는 “건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2003년도 건설핵심기술 연구개발사업(03산학연 C103A1040001-03A 0204-00310)”에 의한 것임.

참고문헌

1. http://kosis.nso.go.kr/cgi-bin/sws_999.cgi?ID=DT_1JU0009&IDTYPE=3&A_LANG=1&FPUB=3&SELITEM=0.1.2.3.4.5.6.7.
2. http://kosis.nso.go.kr/cgi-bin/sws_999.cgi?ID=DT_1G22&IDTYPE=3&A_LANG=1&FPUB=3&SELITEM=0.1.2.3.4.
3. Yu, H. K., 2005, A study on the emission characteristic of formaldehyde and TVOC from indoor finishing materials, AIK, Vol. 21, No. 7, p. 141.
4. MOE, 2004, Indoor Air Quality Management Act.
5. MOE Notice, 2005-220.
6. Yu, H. K., 2005, An Experimental Study on the Major Causes and Emission Characteristics of Indoor Air Pollutants in Newly-Constructed Multi-Family Houses, Chung-Ang University, pp. 66, 93, 119
7. Yu, H. K., 2005, A study on the indoor air pollutants emission characteristics by composed building materials, Korean Journal of the SAREK, Vol. 17, No. 2, pp. 3-8.