

실내 마감재료의 TVOC 방출 저감을 위한 화강섬록암 현탁액 도포효과

The Effect on the Granodiorite Suspension Coated Indoor Finishing Materials for Reduction of TVOC Emissions

이종규* 김지현* 이재용** 이수용***

Lee, Jong-Gyu Kim, Ji-Hyun Lee, Jae-Yong Lee, Soo-Yong

Abstract

The environment draws attention in the global community and a growing number of Koreans have interest in improving the quality of life, the importance of house environment has attracted the attention of the public. Against this backdrop, constructors have unveiled environmentally -friendly projects. However, they failed to establish people-oriented environment by being occupied with maximizing profitability through the improvement of brand image and caused sick house syndrome that has recently made controversy.

In this regard, the study analyzed the mechanism of discharge of TVOC, one of the sick house syndrome-causing materials, that affects IAQ and its characteristics and examined the effect that granodiorite has on reduction of the discharge of TVOC in order to minimize damage. Experimental sample consisted of interior finishing materials frequently used in ceiling, wall and floor and adhesives used at a time of construction, and the TVOC of building materials was measured through the use of septum bottle unlike in the existing chamber method. Measures to counter the sick house syndrome were suggested by reducing the possible damage from the stage of selection of building material and by figuring out the effect that the granodiorite has on reduction of the discharge of TVOC.

키워드 : 실내 마감재, 화강섬록암, 총 휘발성유기화합물, 베이크 아웃

Keywords : Indoor Finishing Materials, Granodiorite, TVOC(Total Volatile Organic Compounds), Bake Out

1. 서론

최근 대부분의 산업분야에서 친환경적 개념과 방법의 도입이 요구되어 정착단계에 있으나, 건축시공분야에서는 대량생산된 저가의 화학재료가 천연재료시장을 거의 잠식하면서 친환경적 측면이 간과되어 왔다.

그러나 최근 환경문제가 대두되고 삶의 질 향상에 대한 국민의 관심이 높아지는 등 주거환경의 중요성이 부각되면서 여러 건설회사에서도 친환경을 주제로 삼은 다양한 프로젝트를 선보이면서 기업의 브랜드 이미지 구축을 통한 경제성을 향상시키는데 기여하고 있으나, 이는 기업의 브랜드 이미지 구축을 통한 경제적 극대화에 그칠 뿐 실질적인 인간본위의 환경을 구축하는 데는 많은 문제를 동반하고 있다.

건축물은 외부환경의 위협한 요소로부터 인간을 보호하며 그 실내공간은 인간의 삶을 담고 있는 막과 같다고 하여 제3의

피부라고도 한다. 이러한 실내공간은 기능성, 내구성, 경제성 등 여러 복합적 요인들의 추구로 인하여 천연재료보다 화학재료들이 많이 쓰이고 있다. 이러한 화학 처리된 건축 마감재료들은 장기간에 걸쳐 휘발성 물질을 배출하고 이로 인해 새집증후군 등의 여러 가지 문제점 등을 야기하게 된다. 뿐만 아니라 공기의 자연순환으로 이를 극복하지 못하는 현대 건축물의 구조를 감안한다면 강제순환이라는 에너지 소비형으로 이를 극복해야 하는데 이 또한 환경적으로 심각한 문제를 발생시킨다.

이에 본 연구에서는 새집증후군을 일으키는 문제점의 근원적 해결방안이라 할 수 있는 실내건축 마감 재료의 총 휘발성 유기화합물 배출특성을 이해하고, 이에 따른 피해를 저감할 수 있는 화강섬록암(Granodiorite)의 활용가능성을 실험을 통해 검토하여 기초자료를 제시하고자 하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 TVOC

총 휘발성유기화합물(Total Volatile Organic Compounds,

* 부경대학교 건축공학과 박사과정

** 부경대학교 건축학부 교수, 공학박사, 교신저자 (jylee@pknu.ac.kr)

*** 부경대학교 건축학부 교수, 공학박사

이하 TVOC)은 여러 가지 휘발성유기화합물 농도의 총합으로 정의할 수 있으며, 그 발생원인은 매우 다양하고 복잡하여 그에 대한 실내공기질의 기준은 각 나라마다 조금씩 다르게 규정하고 있다. 우리나라의 경우 실내 공기환경 기준은 다중이용시설 등의 실내공기질 관리법 제7조 2의 신축 공동주택 실내공기질 권고 기준으로 제시되고 있으며, 이를 일본 및 WTO 기준과 비교하여 나타내면 표 1과 같다.

표 1. 신축 공동주택의 실내공기질 기준

구분	국내 권고 기준(μg/m ³)	일본 (μg/m ³)	WTO (μg/m ³)	
1	Formaldehyde	210이하	100이하	100이하
2	Benzene	30이하	-	-
3	Toluene	1,000이하	260이하	260이하
4	Ethyl-Benzene	360이하	3,800이하	-
5	Xylene	700이하	870이하	-
6	Styrene	300이하	220이하	260이하

TVOC는 매우 다양한 물질들을 포함하고 있으며, 그 대표적인 예가 포름알데히드(Formaldehyde), 벤젠(Benzene), 톨루엔(Toluene), 에틸벤젠(Ethyl-Benzene), 자일렌(Xylene), 스티렌(Styrene) 등이다. 이러한 물질들을 포함한 TVOC농도 예측식¹⁾은 다음과 같으며, TVOC의 방출량은 건재 표면에 비례하고, 환기량에는 반비례한다.

$$C = \frac{EF \times S}{Q} \quad \text{식(1)}$$

여기서, C : 공기 중 농도 [μg/m³] EF : 방출속도[μg/m²h]
S : 건재표면적[m²] Q : 환기량(m³/h)

2.2 실내 마감재료에서 방출되는 유기화합물의 영향

실내 환경오염의 주된 요인은 실내를 구성하는 건축 재료와 다양한 실내 마감재료이므로 이로 인해 발생하는 유해물질의 성질과 특성 등을 고려하여 건축 재료를 선정한다면, 그 피해를 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다. 총 휘발성유기화합물의 유해성과 방출 특성 등을 살펴보면 다음과 같다.

2.2.1 총 휘발성유기화합물의 유해성

건축 마감재의 주요 휘발성유기화합물의 방출원인은 대부분 합성화학물질과 원재료에 첨가되는 접착제나 가소제 등에 의한 것이며, 시공과정에서 추가로 유해물질이 첨가되어 복합적으로 총 휘발성유기화합물의 배출도가 높아지고 있다. 이와 같이 발생하는 총 휘발성유기화합물은 한 번에 많은 양을 흡입하게 되면 마취작용을 하게 되며, 적은 양을 장기간 반복하여 흡입하게 되면 중독 증상을 발생하게 된다²⁾.

일반적으로 개인에 따라 그 민감도는 다르나 대부분의 경우 호흡기 및 피부 자극을 동반 하거나 중추신경 계통을 억제하는 등 심각한 문제를 발생시킨다.

2.2.2 총 휘발성유기화합물의 방출 특성

일반적으로 건축재료로 인한 오염 물질의 방출 유형은 건축 마감재 표면에서 직접 공기 중에 방출(방출)되는 증산 지배형 방출, 건축재료 내부에서 장기적으로 조금씩 방출되는 내부 확산 지배형 방출, 화학물질이 직접 공기 중으로 방출되는 직접 방출로 구분된다.

그러나 사용된 자재의 등급과 모양, 건물 전체의 환기성능, 사용방법, 실내온도, 습도 등 다양한 요인에 따라 총 휘발성유기화합물의 특성 및 농도는 가변성을 가지므로 이러한 특성을 이용하여 실내공기질을 향상시키는데 응용할 수 있다. 특히 총 휘발성유기화합물의 방출 농도는 건축물의 신축과정과 개·보수 과정에서 높게 나타나며, 시간의 경과에 따른 총 휘발성유기화합물 방출 농도는 점점 낮아지는 것을 볼 수 있다.

2.3 베이크 아웃

베이크 아웃(Bake-Out)은 신축건물이나 보수작업이 끝난 건물에 대하여 실내공기를 높은 온도로 가열하여 총 휘발성유기화합물의 발생을 일시적으로 증가시킨 후 이를 제거하는 방법이다.³⁾ 건축물의 난방을 통하여 자재의 온도를 상승시키는 것으로 이는 화학물질의 방출속도를 높이고 농도를 저하시키므로 건축재료의 온도를 높임으로써 각종 재료가 내재하고 있는 화학물질을 방출하게 함으로서 유해물질의 함유량을 줄일 수 있는 것이다.

최근 여러 연구에 의하면 베이크 아웃의 시행 후 실내공기질 개선 효과는 베이크 아웃의 온도, 기간, 환기율에 따라 달라진다고 하였다. 또한 여러 연구에서 실내 마감재 및 가구류 등의 싱크효과(Sink effect)가 실내공기질에 큰 변화를 가져오는 것으로 알려져 있다.⁴⁾

2.4 화강섬록암

화강섬록암은 화강암에 속하는 것으로서 석영과 장석을 포함하고 있으며 ‘맥반석(麥飯石)’이라는 용어로 잘 알려져 있다.

표 2. 화강섬록암의 화학적 조성

종류	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	lg-loss
구성비 (%)	64.68	16.48	4.82	4.07	3.06	1.96	0.58	0.10	0.33

화강섬록암의 주성분은 표 2에 나타난 바와 같으며 SiO₂와 Al₂O₃가 전체의 약 85%를 차지하고 있다. 또한 P₂O₅,

Mn, Zn, Se, Ge, Ba 등의 많은 광물질이 포함되어 있다.

화강섬록암은 1cm² 당 3~15만개의 기공(Void)으로 이루어져 있어 미분말 상태에서도 강한 흡착력을 발휘한다. 화강섬록암은 다공성 구조로 되어 있으며 넓은 비표면적으로 인하여 흡착성을 가지며 이온교환수지인 제올라이트와 같이 SiO₂ 및 Al₂O₃가 사면체의 4개 정점에 위치한 산소원자를 공유하여 삼차원적으로 연결된 구조를 가진다.

따라서 공동격자내의 공동 및 입자의 세공에 확산된 물질과 세공벽면의 이온 교환이 가능한 금속이온들과 교환되며 또한 흡착되는 것으로 본다. 그리고 중금속과 이온을 교환하는 작용을 하기 때문에 유해금속의 제거제로도 널리 사용되고 있으며, 열을 가하면 원적외선을 방출하는 것으로 알려져 있어 그 활용도가 높다.

3. 실험

3.1 실험개요

실내 마감재료로 인한 유해물질의 발산정도와 조건에 따른 유해물질의 농도 변화를 분석하여 유해물질 배출특성을 이해하고, 총 휘발성유기화합물에 의한 피해를 저감할 수 있는 화강섬록암의 적용효과를 파악하고자 다음과 같이 실험을 진행하였다.

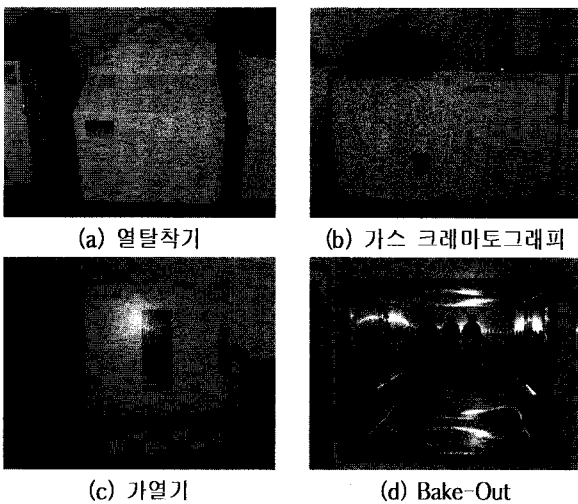


그림 1. 실험 및 분석 장비

실내 마감재에 화강섬록암 현탁액 도포 유무에 따른 각기 다른 조건별 실험을 실시하였고, 이 실험을 대상으로 각각 베이킹 아웃 과정을 진행시켜 분석하였다. 그리고 실내 마감재로부터 방출되는 TVOC를 측정·분석하여 그 방출특성을 파악하고 실내 마감재로부터 발생되는 유해물질 농도의 저감율을 측정하였다. 측정기간은 시간의 경과에 따른 방출특성을 보기 위하여 7일로 하였고, 측정은 일반적으로 실내에서 유지된다고 판단되는 쾌적 범위의 조건에 준하여 온도 25±1℃,

습도 50±5%로 정하여 측정하였다. 측정장비는 그림 1에 나타낸 바와 같이 TVOC의 분석장비로 열탈착기(Thermal desorption)와 GC-MS를 사용하였다.

3.2 시편제작

실험대상 재료로는 벽체, 바닥재, 벽체 및 천장 재료로 대별하여 위치별, 종류별로 구분하고 공정에 따르는 부착용 접착제의 사용을 전제로 하여 선정하였다. 표 3은 실험의 대상인 벽체, 바닥재, 벽체 및 천장의 마감재료 중 사용빈도가 높은 실내 마감재료와 예상 방출물질을 나타낸 것이다.

표 3. 실험대상 재료 및 예상 방출물질

부위	기호	재 료	오 염 원	예상 방출물질
벽 체	01	합성수지류	용제, 가스제, 잉크, 접착제	카르보닐 및 기타 VOCs
	02	합 판	제조 과정 접착제	페놀, HCHO, 요소
바닥재	03	합판마루	접착제, 무늬문의 포르말린, 우레탄, 락카 도장	HCHO, VOCs, 환경 호르몬
벽체 및 천장	04	바 니 쉬	휘발성용제, 수지, 지방유	VOCs, 초산부틸
	05	래 커 페인트	수지, 가스제, 안료, 휘발성 용제	아세트산, 아세톤, 벤젠, 톨루엔 등의 VOCs
	06	합성전분 (벽지용 도배종)	방부제	HCHO
	07	폴리에스테르수지 (목재용 타일본드)	경화제, 촉진제	경화제, 촉진제스틸렌, 환경 호르몬, VOCs

일반적으로 실내 마감재는 수장공사의 결과물인 장식재에 국한되지만 이를 시공(부착)하기 위한 바탕재의 설치부터 고려하여 실험하였다.

VOCs 측정은 건축자재가 들어있지 않은 Screw Septum Bottle 속에 청정한 공기를 넣어주고 24시간 이상 경과 후 온도와 습도가 정상상태인 것을 확인한 후 실시하였다. 그리고 시료 중에서 발산되는 TVOC와 유해성물질에 대한 평가를 위해 실내 마감재료의 시료를 13×90mm의 크기로 잘라 시편을 제작하고 그 시편의 표면에 증류수를 도포하는 방법과, 화강섬록암 미분말 현탁액을 분사하는 방법으로 구분하여 시편을 제작하였다.

3.3 실험방법

시편을 제작하여 전처리 과정을 거친 다음 250ml 용량인 갈색의 Screw Septum Bottle에 넣고 초고순도 질소로 약 1분간 Purge하여 세척한 다음 24시간 방치하여 베이킹 아웃의 특성을 파악하였다. 그 효과를 확인하기 위하여 시료의 전처리과정과 함께 표 4와 같이 Dry Oven에 50℃에서 3시간 베이킹 아웃하는 과정을 추가하였으며, Baking 후 초고순도 질소로 약 1분간 Purge하여 세척한 다음 24시간 방치한 후 흡착농축 및 GC-MS에 의한 분석을 수행하였다. 표 4와 5는 TD-GC/MS의 구성과 TVOC의 분석조건을 나타낸 것이다.

표 4. TD-GC/MS의 구성

종 류	주요 성분
ULTRA TD	100 Sorbent Tubes
UNITY Thermal Desorber	Splitless Desorption
사용 흡착관	Tenax TA Tube
GC	CP-3800
MS	SATURN-2000(Ion-Trap Method)
COLUMN	VF-1(0.25mm×60m×1μm), Max Column Temp : 320℃
Carrier Gas	N(99.999%)
Injectors	CP-1177 Split/Splitless, 50℃~450℃ Isothermal
Valves	Column Switching Application
Mass Range	10 to 650u
Scan Rate	Fixed at 5600 u/sec
DS102 Pump	Dual Stage, Rotary Vane, Oil Mist Eliminator
Column Oven	28cm(W)×66cm(D)×28cm(H)
Cool Down Rate	450℃ → 50℃ in 4.5 minutes

표 5. GC/MS TVOC의 분석조건

항 목	TVOC 분석조건	
Split Ratio	10 : 1	
Detector	MS(Verian, U.S.A)	
Column	VF-1(0.25mm×60m×1μm)	
Carrier GAS and Flow	N(99.999%), 1~2m ℓ/min	
Temperature Program	Initial Temperature	40℃(5min)
	Temperature Program	5℃ ↑/min
	Final Temperature	220℃(15min)
MS Condition	Transfer Line Temperature	210℃
	Ion Trap Temperature	170℃
	Mode	EI
	Electron Energy	70ev
	Detection Mode	TIC(scan), m/z: 35~350

시편이 들어 있는 250ml 갈색병 속에 발산되어 있는 유기성 물질은 Tenax-TA에 진공펌프와 MFC(Mass Flow Controller)를 이용하여 농축하였다. 이는 일정량의 흡착제가 충전된 흡착관에 시료를 채취하여 열 탈착을 하고, 다시 저온 농축관에서 재농축한 후, 2단 열 탈착하여 고성능 캐필러리 컬럼을 이용한 기체 크로마토그래프에 의해 분석대상 물질을 분리하고 질량분석계(MS)로 분석하는 방법이다. 측정대상은 방출시험 전까지 화학물질에 대한 오염과 열, 습기 등에 영향을 받지 않도록 밀봉한 상태로 온·습도가 유지되는 곳에 보관하였다. 측정대상은 시험편에 고정시킨 후 Screw Septum Bottle 중앙에 적재하고 Screw Cap이 열린 상태로 주변환경을 조성하였다. 온도와 습도조건을 유지하며 시간경과에 따라 마감재료에서 방출되는 TVOC와 방출특성을 파악하였다.

4. 실험 결과 및 분석

화강섬록암 현탁액의 도포 유무에 따른 실내 마감재료의 휘발성 유해물질 방출량을 측정한 결과는 표 6에 나타난 바와 같다.

4.1 휘발성유기화합물의 종류에 따른 방출특성

화강섬록암 현탁액을 실내 마감재에 도포한 것과 도포하지

표 6. 유해물질 방출량 측정 실험결과

No.	바탕 재료명	화강섬록암 도포처리여부	베이크 아웃 처리여부 (상온/베이크 아웃)	시료 Code	유해물질 방출량 (μg/ℓ)							
					Benzene	Toluene	Et-Benzene	m,p-Xylene	Styrene	o-Xylene	Di-benzene	TVOC
01 (A)	시트지	무처리(Non)	상온(Normal)	ANN	0.6	13.1	2.1	2.6	0.2	0.9	0.0	133.0
			베이크아웃(Bake-Out)	ANB	0.7	1.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	12.7
		도포(Spray)	상온(Normal)	ASN	0.8	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	14.2
			베이크아웃(Bake-Out)	ASB	0.6	1.0	0.1	0.2	0.0	0.1	0.0	10.2
02 (B)	합판	무처리(Non)	상온(Normal)	BNN	0.6	0.9	0.1	0.2	0.2	0.1	0.0	37.7
			베이크아웃(Bake-Out)	BNB	0.7	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	11.3
		도포(Spray)	상온(Normal)	BSN	0.2	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	3.8
			베이크아웃(Bake-Out)	BSB	0.6	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	18.2
03 (C)	마루판	무처리(Non)	상온(Normal)	CNN	0.8	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	14.2
			베이크아웃(Bake-Out)	CNB	0.5	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	4.7
		도포(Spray)	상온(Normal)	CSN	2.8	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	21.7
			베이크아웃(Bake-Out)	CSB	1.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5
04 (D)	바니쉬	무처리(Non)	상온(Normal)	DNN	0.9	0.3	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	981.8
			베이크아웃(Bake-Out)	DNB	1.7	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	9.3
		도포(Spray)	상온(Normal)	DSN	0.6	0.4	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	831.3
			베이크아웃(Bake-Out)	DSB	2.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.9
05 (E)	래커	무처리(Non)	상온(Normal)	ENN	1.4	0.5	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	130.8
			베이크아웃(Bake-Out)	ENB	0.6	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	19.3
		도포(Spray)	상온(Normal)	ESN	1.7	0.3	0.0	0.1	0.0	0.3	0.0	160.6
			베이크아웃(Bake-Out)	ESB	0.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3
06 (F)	도배필	무처리(Non)	상온(Normal)	FNN	1.0	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	27.3
			베이크아웃(Bake-Out)	FNB	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6
		도포(Spray)	상온(Normal)	FSN	0.5	0.4	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	56.3
			베이크아웃(Bake-Out)	FSB	0.9	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1
07 (G)	타일본드	무처리(Non)	상온(Normal)	GNN	1.6	3.5	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	110.4
			베이크아웃(Bake-Out)	GNB	0.6	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	8.6
		도포(Spray)	상온(Normal)	GSN	1.4	14.1	0.1	0.2	0.0	0.2	0.0	126.5
			베이크아웃(Bake-Out)	GSB	0.5	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	6.9

않은 시료에 대한 휘발성유기화합물 방출량은 다음과 같다.

4.1.1 Benzene

베이크 아웃 후의 현탁액 도포 유무에 따른 Benzene 방출 영향을 알아보기 위하여 각 시료의 Benzene 방출특성을 비교 하였으며, 그림 2에 나타난 바와 같이 현탁액 도포 여부에 따른 각 시료에서의 Benzene 방출량은 0.5~2.4 $\mu\text{g}/\ell$ 로 나타났다.

베이크 아웃 후 시트지(ASB), 합판(BSB), 도배플(FSB), 타일본드(GSB) 시료에서는 Benzene 방출량이 감소하였으며, 감소량은 0.1~0.3 $\mu\text{g}/\ell$ 범위로 대부분 균일하게 나타났다. 그러나 마루판(CSB), 바니쉬(DSB), 래커(ESB) 마감의 경우에는 화강섬록암 현탁액 도포 후 Benzene의 방출량이 증가하였다.

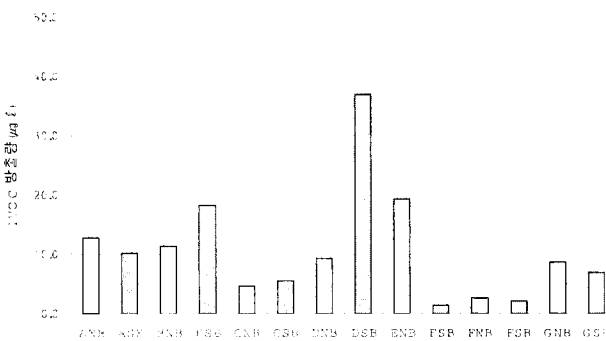


그림 2. 베이크 아웃 후 Benzene 방출량

4.1.2 Toluene

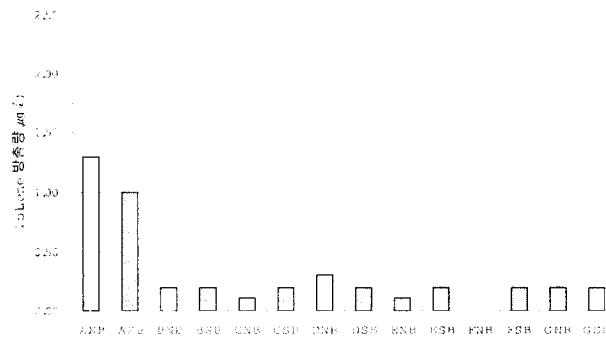


그림 3. 베이크 아웃 후 Toluene 방출량

베이크 아웃 후의 화강섬록암 현탁액 도포 유무에 따른 Toluene 방출량을 측정한 결과 0.0~1.3 $\mu\text{g}/\ell$ 범위로 나타났으며 이는 베이크 아웃 전 0.3~14.1 $\mu\text{g}/\ell$ 에 비해 현격히 감소한 것을 알 수 있다.

그림 3에 나타난 바와 같이 시트지(ASB) 마감에서 방출되던 13.1 $\mu\text{g}/\ell$ 의 Toluene이 화강섬록암 현탁액 도포 후 0.3 $\mu\text{g}/\ell$ 로 현저히 감소하였으며, 합판(BSB), 바니쉬(DSB), 타일본드(GSB) 마감에서도 감소하는 것으로 측정되었다.

4.1.3 ET-Benzene

베이크 아웃을 실시 한 후 시트지 마감의 경우 화강섬록암 현탁액 도포 이후에 ET-Benzene의 방출량이 0.2 $\mu\text{g}/\ell$ 에서 0.1 $\mu\text{g}/\ell$ 로 감소하는 것으로 나타났으나, 각각의 마감재료에서 발생하는 ET-Benzene은 화강섬록암 현탁액 도포의 유무와는 상관없이 대부분 발생되지 않는 것으로 측정되었다.

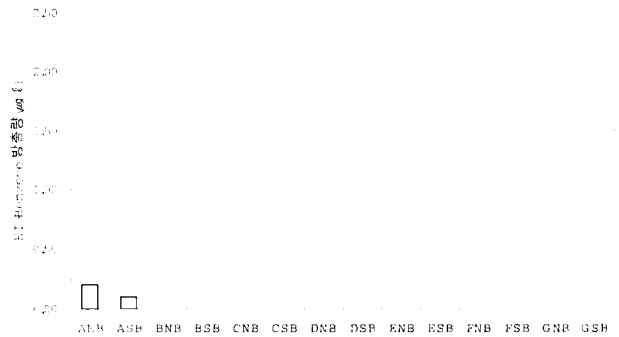


그림 4. 베이크 아웃 후 ET-Benzene 방출량

4.1.4 m, p-Xylene

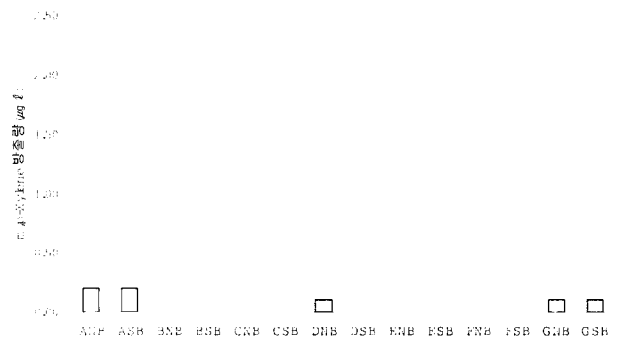


그림 5. 베이크 아웃 후 m, p-Xylene 방출량

베이크 아웃 후에는 베이크 아웃을 실시하기 전과는 다르게 합판, 마루판 래커 도배플 마감 등 대부분의 마감재료에서 화강섬록암 현탁액 도포 유무와는 상관없이 m, p-Xylene이 방출되지 않는 것으로 나타났다.

그리고 시트지와 타일본드 마감의 경우에는 m, p-Xylene이 각각 0.2 $\mu\text{g}/\ell$, 0.1 $\mu\text{g}/\ell$ 방출되는 것으로 나타났으나, 현탁액 도포 후에도 m, p-Xylene의 방출량이 변함없는 것으로 미루어 보아 화강섬록암 현탁액이 m, p-Xylene의 방출량에 크게 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

4.1.5 Styrene

베이크 아웃 후 각각의 마감재료로부터 방출되는 Styrene의 양은 0.0~0.1 $\mu\text{g}/\ell$ 범위로 나타났으며 시트지, 마루판, 래커 마감은 현탁액 도포 후 방출되는 Styrene이 모두 제거되는 것으로 나타났다.

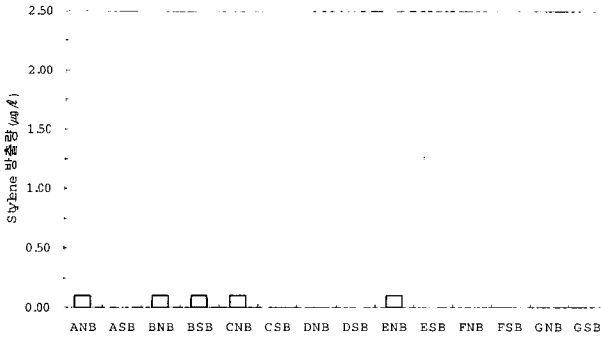


그림 6. 베이킹 아웃 후 Styrene 방출량

4.1.6 기타(O-Xylene, Di-Benzene)

O-Xylene의 경우 베이킹 아웃 실시 전에는 시트지, 합판, 래커, 타일본드 마감 등에서 0.1~0.9µg/l 범위로 방출량이 측정되었다. 그 중 시트지 마감은 화강섬록암 현탁액 도포 전 0.9µg/l 였던 O-Xylene 방출량이 현탁액 도포 후 모두 제거 되는 것으로 측정되어 개선 효과가 큰 것으로 나타났다. 뿐만 아니라 실시 후에는 시트지 마감을 제외하고 모든 마감재료에서 현탁액 도포 유무에 상관없이 O-Xylene이 방출되지 않는 것으로 측정되어, 화강섬록암 현탁액 도포와 베이킹 아웃이 함께 작용할 때 유해물질 발생을 최소화 할 수 있을 것으로 판단된다. Di-Benzene는 시편 모두에서 발생하지 않았다.

4.2 TVOC의 방출특성

4.2.1 베이킹 아웃 전

베이킹 아웃을 실시하기 전 화강섬록암 현탁액의 도포 유무에 따른 TVOC 방출량을 측정하여 비교 분석한 결과는 그림 7에 나타낸 바와 같다.

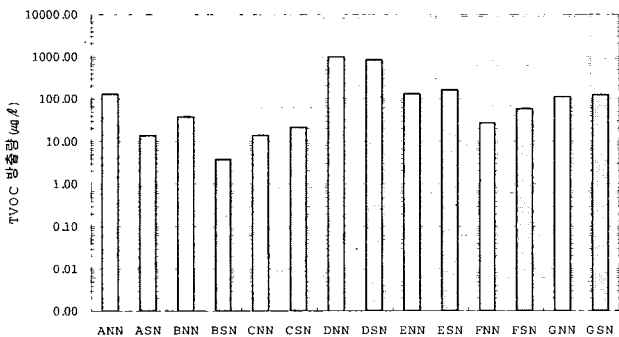


그림 7. 베이킹 아웃 전 TVOC 방출량

각각의 마감재료에 따라 발생하는 TVOC의 방출량은 3.8~981.8µg/l 로 매우 광범위하게 측정되었다. 그 중 합판과 시트지 마감의 경우 화강섬록암 도포 유무에 따라 TVOC 방출량이 현저한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 특히 시트지 마감은 133.0µg/l 에서 화강섬록암 현탁액 도포 후 14.2

µg/l 로 그 방출량이 89.3% 감소하였으며, 합판 마감의 경우는 37.7µg/l 에서 현탁액 도포 후 3.8µg/l 로 TVOC 방출량이 감소하였다. 반면에 마루판, 래커, 도배플, 타일본드 마감에서는 화강섬록암 현탁액 도포 후 TVOC 방출량이 증가하는 것으로 나타났으며, 그 중 래커 마감의 경우 화강섬록암 현탁액 도포 전 130.8µg/l 에서 도포 후 160.6µg/l 로 TVOC 방출량이 증가하였다.

이와 같이 시료에 따라 화강섬록암 현탁액을 도포한 효과가 다르게 나타나는 것은 상온 조건 하에서 화강섬록암 현탁액이 시트지, 합판, 바니쉬 마감재료에서는 TVOC 흡수효과를 나타낸 반면 마루판, 래커, 도배플, 타일본드 마감재료에서는 Sink effect와 함께 화강섬록암 현탁액 자체에 함유된 TVOC가 방출되었기 때문으로 사료된다.

4.2.2 베이킹 아웃 후

베이킹 아웃을 실시한 후 화강섬록암 현탁액의 도포 유무에 따른 TVOC 방출량을 측정하여 비교 분석 하였으며, 그 결과는 그림 8과 같다.

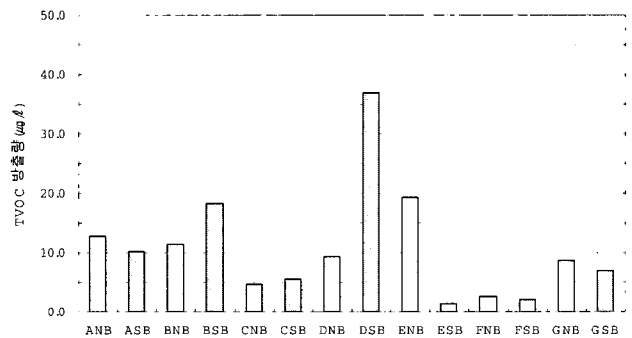


그림 8. 베이킹 아웃 후 TVOC 방출량

베이킹 아웃 후 각 마감재료에 따른 TVOC 방출량은 그 범위가 1.3~36.9µg/l 로 베이킹 아웃 실시 전 보다 전체적으로 매우 감소된 것으로 측정되었다. 즉, 베이킹 아웃 만으로도 화강섬록암 현탁액 도포 유무에 관계없이 많은 양의 TVOC를 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다.

베이킹 아웃 후 현탁액 도포 유무에 따른 TVOC 방출량을 비교한 결과 래커 마감의 경우에서 현탁액 미도포시 19.3µg/l, 도포시 1.3µg/l 로 93.3%의 방출량 감소가 나타났다. 그 외에도 시트지, 도배플 및 타일본드 마감에서도 약간의 감소 효과가 나타났다. 반면 합판, 마루판, 바니쉬 마감재료에서는 화강섬록암 현탁액 도포 후 TVOC 방출량이 큰 폭으로 증가하는 현상이 나타났다.

이와 같이 베이킹 아웃 이후 마감재료에 따라 화강섬록암 현탁액을 도포한 TVOC 방출효과가 다르게 나타나는 것은 화강섬록암 분말이 일부 시료에서는 TVOC 흡수효과를 나타내

그 방출량을 감소시키는 반면 합판, 마루판, 바니쉬 마감재료에서는 화강섬록암 현탁액 자체에 함유된 TVOC가 함께 방출되었기 때문이다.

5. 결 론

본 연구에서는 새집증후군을 일으키는 문제점의 근원적 해결방안이라 할 수 있는 실내건축 마감 재료의 총 휘발성유기화합물 배출특성 및 방출 메커니즘에 대하여 고찰하고, 이러한 총 휘발성유기화합물에 의한 피해를 저감할 수 있는 화강섬록암의 활용가능성을 검토하여 기초자료를 제시하고자 하였다. 이를 위해 실내 마감재로부터 발생하는 총 휘발성유해물질을 측정하였으며, 화강섬록암 현탁액의 유해물질 저감효과를 고찰하였다. 본 연구에서 도출된 결론은 다음과 같다.

- (1) 유해물질을 함유한 실내 마감재료의 표면에 화강섬록암 미분말 현탁액을 도포하여 TVOC의 방출량을 실험한 결과 대부분의 마감재료는 방출량이 감소하는 것으로 나타났다. 특히 시트지 마감의 경우 화강섬록암 미분말 현탁액을 도포하기 전 $133.0\mu\text{g}/\ell$ 이던 TVOC 방출량이 도포한 후 $14.2\mu\text{g}/\ell$ 로 현저히 감소하는 것으로 측정되었다. 이는 화강섬록암에 의해 유해물질이 흡수되어 방출량이 억제되었기 때문이다.
- (2) 베이킹 아웃 처리에 따른 TVOC 방출량은 시트지, 래커, 타일본드 마감 등 대부분이 베이킹 아웃 후 감소하나, 바니쉬와 래커 마감의 경우에는 베이킹 아웃 처리 후 TVOC 방출량이 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같이 TVOC 방출량이 증가하는 것은 재료 내부자체에 내재된 유해물질이 일시적으로 활성화되어 재흡착 및 탈착되었기 때문이다.
- (3) 실험에 사용된 7종류 마감재료에 따른 28가지 시편들 중 대부분 화강섬록암 미분말 현탁액의 도포 및 베이킹 아웃 과정을 거치면서 유해물질의 방출량이 현저히 감소하였다. 그러나 합판 마감의 경우 TVOC의 방출량이 화강섬록암 미분말 현탁액의 도포 및 베이킹 아웃 과정을 거쳤음에도 불구하고 증가하는 것으로 나타났다. 이는 합판 제조에 사용되는 접착제의 영향으로 현탁액 표면도포 및 베이킹 아웃 처리 후에도 유해물질이 재흡착되어 방출농도가 증가한 것으로 사료된다.

이와 같이 화강섬록암 현탁액의 실내 마감재 도포가 총유

해 휘발성유기화합물의 방출량을 저감시키는 효과가 있는 것으로 나타나 현장 가용성이 있을 것으로 판단된다.

“이 논문은 2008년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임(지역거점연구단육성사업/바이오하우징연구사업단)”

참 고 문 헌

1. 강동화, 바닥 난방 공간의 베이킹 아웃에 의한 VOCS 방출에 관한 연구, 서울대학교 대학원 석사학위논문, 2005.2.
2. 김동한, 천연다공질 매질인 맥반석의 중금속 제거특성, 서원대학교 석사학위논문, 1999.
3. 김상식, 류기정, 실내건축자재의 휘발성유기화합물 방출 특성에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 구조계, v.24 n.7, pp.213~222, 2008.7.
4. 조연효, 신성우, 이지원, 신축 공동주택 베이킹 아웃시 환기습도 변화에 따른 실내오염물질 저감비교, 대한설비공학회 2008년 하계학술발표대회 논문집, pp.702~707, 2008.
5. 최종문, 김종민, 친환경 건축자재 D/B를 활용한 실내공기 오염물질 농도예측 프로그램 개발에 관한 연구, 대한건축학회 지회연합논문집, v.9 n.3, pp.255~261, 2007.
6. Huang, H., Modeling of volatile organic compounds emissions and sink from building materials, Ph.D. Thesis, Concordia University, 2003.
7. Noda K., et al., A Study on reduction effect of chemical substance emission rates from building material by using bake-out, J. Archit. Plan. Environment Eng., AIJ, n.552, pp.56~62, 2002.2.

(접수 2008. 9. 11, 심사 2008. 10. 2, 게재확정 2008. 10. 9)