

목재용 마감도료의 휘발성유기화합물 방출특성

박 상 범^{†,1}, 이 민¹, 이 상 민¹, 강 영 석²

¹국립산림과학원 임산공학부 목재가공과, ²국립문화재연구소

VOCs Emission Characteristics of Coating Materials for Wood Finishing

Sang-Bum Park^{†,1}, Min Lee¹, Sang-Min Lee¹, Yeong-Seok Kang²

¹Department of Forest Products, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

²Restoration Technology Division, National Research Institute of Cultural heritage, Deajeon 305-380, Korea

Abstract: In order to prevent decay, distortion, bending, twist on wood products such as wood-en furnitures, variety of coating materials were developed and used so far. The coating materials for wood finishing can be synthesized by natural resource or petroleum. However, these coating materials can cause contamination of indoor air quality due to emission of volatile organic compounds (VOCs). In this study, commercialized coating materials for wood finishing such as varnish, coat, and stain were evaluated on emission characteristics of VOCs. Among the varnish, eco-friendly products had about 15~46% lower TVOC emission (1,042 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ~3,257 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$, respectively, than typical product (7,100 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$). Natural resource based coating material showed lowest TVOC emission level. However, one of natural resource based waterborne stain showed higher TVOC emission level because waterborne stain already contained higher amount of natural VOC. Oil-based stain might not be suitable for indoor use on interior wall and furniture due to exceed amount of TVOC. Based on results, natural resource based coat or waterborne stain are recommended to use on wood products.

Keywords: varnish, coat, stain, wood, volatile organic compounds (VOCs), emission

1. 서 론

최근 국민들의 웰빙(Well-being)의식이 높아짐에 따라 실내공기 오염에 대한 관심이 커지고 있다. 실내공기질(IAQ : Indoor Air Quality) 문제는 우리의 삶의 질과 직결되는 매우 중요한 부분이다(Sheldon *et al.* 1998; Spengler *et al.* 2001). 하루의 80% 이상을 실내나 인공 환경 속에서 생활하는 현대인에게 외부의 환경보다 실내의 주거환

경이 더 큰 영향을 미치고 있어 건강과 쾌적한 실내환경을 위한 노력이 절실히 요구되고 있다(WHO 2010). 또한, 세계보건기구에 따르면 실내 오염물질을 통한 인체의 위험성이 실외오염물질에 비해 5배 이상 높다고 보고하였다. 실내공기오염은 주로 음식 조리과정, 가전제품 또는 복합화학물질로 제조된 건축자재의 사용 등에서 비롯되며 에너지 절약을 위한 건물의 밀폐화, 적절한 환기부족 등이 오염을 심화시키고 있다(환경부 2006; 공성용 외 2004; 심과 김 2006; 장성기 외 2006-1, 2). 섬유판, 합판, 파티클 보드와 같은 목질판상제품에서 방출되는 알데하이드류와 폼알데하이드 방출은

2014년 12월 15일 접수; 2015년 1월 20일 수정; 2015년 1월 22일 게재확정

[†] 교신저자 : 박 상 범 (parksb@forest.go.kr)

Table 1. Characteristics of Finishing Materials

Classification	Characteristics	Number of sample
Varnish	Formation of transparent layer	9
Coat	Formation of functional layer	9
Stain	Preventing of changes by thermal/humid condition	16
	- waterborne	(10)
	- oil-based	(6)

지속적인 문제거리로 인식되어져 왔으며 줄이기 위한 노력들이 시도되어져왔다(Maumann *et al.* 2000; Berge *et al.* 1980).

우리나라는 국민건강관리를 위해서 2004년부터 다중이용시설의 실내공기질 유지기준을 설정, 오염물질 방출 건축자재 사용제한 등을 주요 골자로 하는 다중이용시설의 실내공기질관리법을 시행하고 있으며, 국민들이 많은 관심을 갖고 있는 ‘공동주택의 실내공기질 권고기준’을 확정하여 2006년부터 시행하고 있다(환경부 2004). 또한 실내공기 오염물질의 주요 방출원으로 알려진 건축자재의 관리를 위해 환경마크(친환경상품진흥원), HB마크(한국공기청정협회) 등의 라벨링제도(Labelling Program)를 운영함으로써 친환경 건축자재의 개발과 보급을 위해 노력하고 있다. 하지만 친환경자재의 사용과 환기설비의 가동이 이루어진다 하더라도 쾌적한 실내환경을 위한 근본적인 해결에는 한계가 있을 수밖에 없다. 이것이 보다 나은 실내 환경과 삶의 질을 위해 콘크리트와 석유화학제품을 벗어나 자연 속에서 살고자 하는 사람들이 새로운 건축방식, 즉 생태건축에 관심을 갖는 이유이다(조 외 2006; 장 외 2006; 임 2008; 이 외 2007; 이 외 2014).

생태건축은 날로 심각해져 가는 환경오염을 극복하기 위한 건축적 대안으로, 독일을 비롯한 유럽 각국에서부터 전 세계로 널리 전파되고 있는 건축 경향이다(정과 박 2008). 생태건축의 재료는 세계 각국의 토속적이고 지역적인 전통재료가 현대적으로 개량되고 개선되어 사용되는데, 그 대표적인 재료가 흙과 목재이다. 목조주택은 주요 구조 부재가 목재로 이루어진 주택으로 생태건축의 하나로 볼 수 있다. 목조주택은 시공의 간편성이나 경제성, 안전성뿐만 아니라 실내공기질의 측면에서도 장점

을 찾을 수 있다. 보다 원활한 자연환기성과 목재의 수분조절 능력으로 인한 쾌적한 실내환경을 유지할 수 있고, 나무로부터 방출되는 천연VOC(NVOCs, Natural Volatile Organic Compounds)는 긴장완화, 스트레스 해소, 면역성 증가, 살균작용 등으로 인체에 유익한 영향을 끼친다(장 2003; 이 외 2014). 또한 임(2008)에 의하면 목재 자체에서 상당량의 VOC를 방출함을 알 수 있으며 그 특징을 살펴보면 많은 부분이 천연VOC임을 확인하였다. 하지만 선행연구에서 신축목조주택의 실내공기질을 측정된 연구 결과, 나무로부터 방출되는 천연 VOC만 검출될 것이라는 기대와는 달리 목조주택의 실내공기에서 많은 양의 유해 VOC가 검출되는 것으로 확인되었다(이 외 2007). 이는 목조주택의 실내공기 중 유해 VOC가 높게 검출되는 이유는 목재를 도장할 때 사용하는 도료에 그 원인이 있다고 판단된다. 기존 천연페인트와 화학페인트에 대한 VOC 방출량과 방출특성이 조사된 바 있지만, 목재용 마감도료에 대한 자료는 미비한 실정이다(김 외 2004). 현재 목재용 마감도료는 목가구 제품을 마감하는데 반드시 필요한 과정이며, 제작자와 사용자 모두 제한된 제조원료의 정보에 의존하여 선택을 하고 있다. 그래서 본 연구에서는 국내에 시판되어 사용하고 있는 다양한 목재용 도료를 수집하여 그로부터 방출되는 VOC의 방출 특성을 조사하여 Data Base를 구축하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

연구에 이용된 목재용 도료는 국내 시중에서 유통되고 있는 목재용 도료 중 실내에서 사용 가능

한 친환경 제품으로 선정하였다(Table 1). 목재용 도료는 용도에 따라 혹은 원료에 따라 다양하게 분류될 수 있다. 본 연구에서는 크게 목재의 표면에 도막을 형성하는 도료로 varnish (바니쉬)와 래커(lacquer)를 하나로 분류하고, 코트(coat)와 스테인(stain)으로 각각 분류 하였다. Varnish 분류에는 목재의 표면에 투명한 도막을 형성하는 도료로 varnish와 lacquer가 모두 포함되었다. 일반적으로 coat나 stain과 달리 수지와 용제만 포함되어 있고, 안료는 포함되어 있지 않은 것이 특징이다. 바니쉬는 흔히 니스라 부르는 도료로 수지를 알코올 등의 휘발성 용제에 녹인 휘발성 바니쉬와 보일유나 중합유와 같은 건성유를 첨가한 유성 바니쉬로 대별된다. Lacquer는 니트로셀룰로오스를 도막형성 요소로 하고 자연건조에 의해 도막을 형성한다. 사용된 varnish의 종류는 K사의 Y제품(한국), A사의 C제품(독일), O사의 V와 P제품(미국), S사의 S제품(미국), Y사의 X제품(프랑스), L사의 W제품(독일), K사의 O제품(한국), H사의 U제품(한국), 그리고 B사의 F제품(독일)으로 총 9가지를 시험하였다. Coat의 경우 수지에 다양한 특성을 가진 안료가 첨가되어 있는 도료를 말하며 수성도료 및 유성도료 모두를 포함하였다. 주로 착색제가 사용되어 다양한 색을 가진 제품이 많지만, 본 연구에서는 투명한 제품만을 대상으로 하였다. Coat로 분류된 제품들은 총 9가지로서 A사의 P제품(독일), O사의 P와 O제품(미국), L사의 B와 H제품(독일), R사의 N과 P제품(일본), A사의 W제품(일본), 그리고 D사의 S제품(한국)이었다. Stain은 목재의 내부로 스며들어 착색하는 착색제를 말한다. 목재 내부에 스며들어 목재의 온도, 습도 변화에 의한 변형을 방지하는 기능을 갖는다. 수용성 수지를 사용하는 수성스테인(waterborne stain)과 유성 수지를 사용하는 오일스테인(oil-based stain)으로 구분하였다. 수성스테인에는 D사의 W제품(한국), U사의 E제품(한국), H사의 N제품(한국), G사의 G제품(한국), I사의 X와 C제품(독일), A사의 A제품(독일), R사의 W제품(독일), D사의 B제품(독일), 그리고 A사의 S제품(독일)들이 사용되었다. 사용된 6가지 오일스테인은 D사의 B제품(덴마크), I사의

Table 2. Experimental Condition of FLEC

Parameter	FLEC
Sample Area	0.0025 m ²
Volume	0.035 L
Loading Factor	71.43 m ² /m ³
Air Supply	250 mL/min
Air exchange rate	428.57 /h
Temperature	23°C
Relative Humidity	50%
Inlet Air	High purity air
Sampling Flow	50 mL/min
Sampling Time	30 min

X제품(독일), F사의 F제품(미국), 그리고 한국의 S사에서 제조된 W제품, A사의 C제품, U사의 E제품들이었다.

2.2. 목재용 도료의 TVOC

건축자재, 페인트, 목재, 인쇄물 등의 표면으로부터 방출되는 VOC 및 Semi-VOC 측정을 위한 이동식 소형기기를 이용한 Field & Laboratory Emission Cell System (FLEC)법으로 목재용 도료의 TVOC 방출특성이 조사되었다. 유리판 위의 50 mm × 50 mm 면적에 일정량(100 g/m²)의 도료를 도포 후, 24시간 동안 상온 건조하였다. 건조 후 시험을 시작하고 시험시작 후 24시간 후에 시료를 채취하였다. 시료 채취는 Tenax TA 흡착관을 이용하여 50 mL/min의 유속으로 30 min 동안 이루어졌으며 FLEC의 시험 조건은 Table 2와 같으며 ISO 16000-10:2006과 ASTM D7143:11을 참고하였다.

2.3. 휘발성유기화합물 분석 및 동정

고체 흡착관에 흡착된 휘발성유기화합물은 ASTM-D5116:10에 의거하여 열탈착 장치(STD 1000, DANI, Italy)에서 1차로 280°C에서 15분간 열탈착시켜 -10°C로 유지된 저온 농축관(cold trap)으로 농축한 다음, 2차로 300°C에서 15분간 열탈착하여 GC/MS로 주입하였다(Table 3). 휘발성유기화합물 분석에는 GCMS-QP2010 (Shimadzu,

Table 3. Analysis Condition of GC/MS with TD

Parameter	TD	Parameter	GC/MS
Purge temp. and time	40°C, 0.5 min	GC column	VB-1 (0.32 mm × 60 m × 1 μm)
Desorption temp.	280°C	Initial	- , 40°C, 5 min
Desorption time and flow	15 min, 30 mL/min	1st ramp	10 °C/min, 80°C, 5 min
Cold trap low temp.	0°C	2nd ramp	3 °C/min, 250°C, 5 min
2nd desorption temp.	300°C	Column flow	1.5 mL/min
Cold trap hold time	15 min	MS source temp.	200°C
Cold trap packing	Tenax TA	Detector type	EI (Quadrupole)
Split mode	Split (1 : 10)	Mass Range	35~350 amu
Valve temp.	210°C	Electron energy	70 eV
Transfer line temp.	250°C		

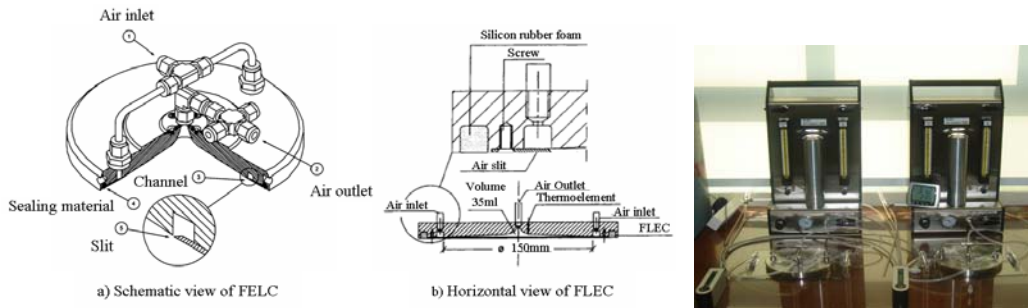


Fig. 1. Schematic diagram and sampling of FELC (Kim *et al.* 2007).

Japan)을 이용하였으며, VB-1 capillary column (60 m length × 0.32 mm i.d. × 1.00 μm film thickness, Valco instruments. Co., USA)을 사용하였다. Split ratio는 30으로 하였고, 이동상인 He의 선상속도는 1.0 mL/min로 조정하였다. 오븐온도는 40°C에서 5분간 머문 후 220°C까지 4 °C/min 속도로 승온한 다음 10분간 머물도록 조정하여 총 분석시간이 60분이 되도록 설정하였다. MSD 분석 조건은 capillary direct interface 온도, 250°C; ion source 온도, 200°C; ionization energy, 70 eV; mass range, 35~350 amu로 설정하였다(Table 3).

3. 결과 및 고찰

3.1. Varnish의 TVOC 방출특성

Varnish 제품들에 대한 FLEC 실험 결과 Fig. 1

과 같이 나타났다. V₀는 대조군으로 선택된 일반 varnish에 대한 결과이다. V₀의 TVOC 방출속도는 7000 μg/m²h로 나타났다. 실험 대상으로 선정된 시료들은 1,042~3,257 μg/m²h로 나타나 일반 제품에 비해 친환경 제품으로 선정된 제품의 경우 50% 이하 수준의 방출속도를 갖는 것으로 확인되었다. 친환경 varnish 제품 중 TVOC 방출량이 가장 적은 제품을 선정하여 2차 챔버 실험의 대상 시료로 선정하고자 하였다. Varnish 제품 중 V₁, V₂, V₅, V₆, V₉의 TVOC 방출속도가 약 1,000 μg/m²h으로 유사하게 나타났다.

시료들의 VOC 방출 경향을 분석한 결과 Fig. 2와 같이 두 가지 형태를 갖는 것으로 나타났다. 첫 번째 형태는 하나의 주요 방출물질이 TVOC 방출량의 80% 이상을 차지하는 형태이다. 이러한 형태를 나타내는 제품의 경우 용제가 사용되어 용제의 방출량이 대부분을 차지하고 있는 것으로 판단된

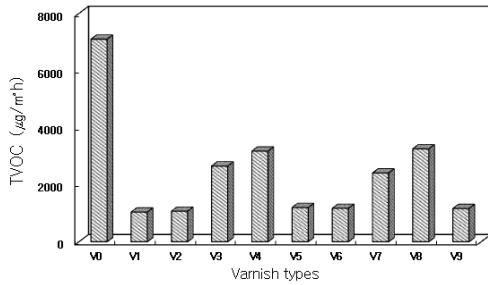


Fig. 2. TVOC emission from different varnish types.

다. 주요한 하나의 방출 물질을 제외하면 검출 피크의 수도 20개 정도로 적은 형태를 보여준다. 다른 형태는 가장 많은 방출속도를 보여주는 방출물질이 TVOC의 20% 이하를 차지하는 형태로 용제가 사용되지 않고 전체 검출 피크의 수가 100개 이상으로 많이 검출되는 형태이다. 약 1,000 µg/m³h의 방출속도를 나타내는 제품 중 V6은 pattern A와 같은 형태의 방산 특성을 나타내고, V1, V2, V5, V9는 모두 pattern B와 같은 방출 특성을 갖는 것으로 나타났다. V6의 주요 방출 물질인 용제는 MS library search 결과 2-(2-butoxyethoxy)ethanol인 것으로 확인되었다. 2-(2-butoxyethoxy)ethanol (Diethylene glycol monobutyl ether)은 니트로셀룰로오스의 용제, 코팅제 등으로 사용되는 자극성 물질이다. 기존의 varnish 제품들은 석유 화학 계통의 유기용제를 사용함으로써 Toluene, Xylene과 같은 유기용제가 다량 방출되었지만 최근 BTEX (Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene)와 같은 심각한 유해성을 갖는 물질에 대한 규제가 강화됨에 따라 용제의 종류가 변화되고 있음을 파악할 수 있다.

3.2. Coat의 TVOC 방출특성

Coat 제품의 FLEC 실험 결과는 Fig. 3과 같이 나타났다. Coat 제품 중 C2가 118.3 µg/m³h의 가장 낮은 TVOC 방출속도를 나타내었으며, C9가 가장 많은 3,380.4 µg/m³h의 방출속도를 갖는 것으로 확인되었다. C2는 식물 추출액을 이용하여 만든 천연도료로 표기되고 있다. 천연도료가 이처럼 낮은 TVOC 방출량을 나타내는 이유는 천연오일(natural oil)이 유기용제에 비해 상대적으로 큰

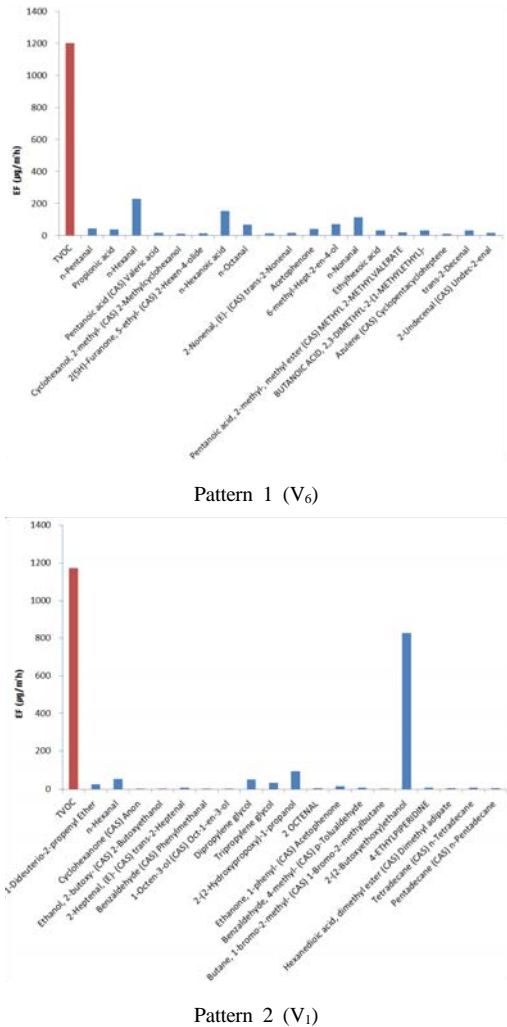


Fig. 3. Emission patterns of VOC from varnish.

분자량을 갖기 때문에 휘발성이 낮고, 일반 도료가 유기용제가 휘발되면서 건조되는 반면 천연도료는 천연오일의 산화작용에 의해 건조되기 때문으로 판단된다. 천연도료인 C2를 제외하고 C3와 C6가 각각 1,054 µg/m³h와 922 µg/m³h로 다른 제품에 비해 낮은 방출속도를 나타내었다. 두 제품의 VOC 방출 특성을 파악하기 위해서 VOC의 방출 경향을 조사하였다. 분석결과 C3와 C6가 Fig. 4와 같이 서로 상이한 형태를 갖는 것으로 나타났다.

C3는 R.T (Retention Time) 12.999와 24.078에서 검출된 피크가 주요 방출물질로 나타났으며, 각

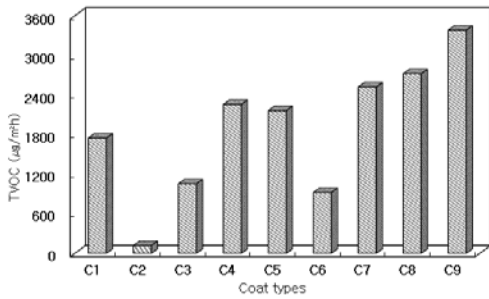


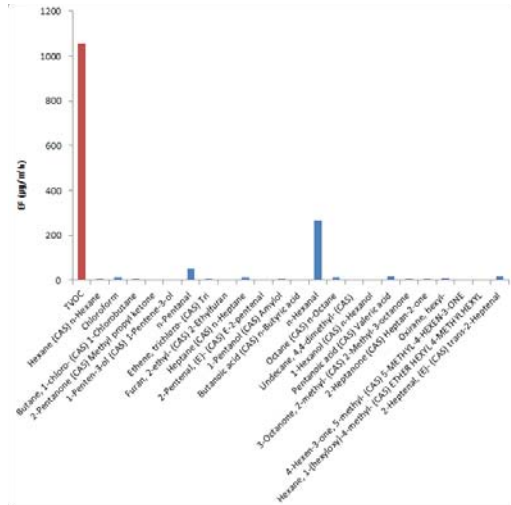
Fig. 4. TVOC emission from different coat types.

각 TVOC의 25, 22%를 차지하였다. 이 피크는 MS library search 결과 n-Hexanal, n-Hexanoic acid로 확인되었다. C₆는 R.T 25.177에서 검출된 피크가 주요 방출 물질로 TVOC 중 99%를 차지하는 것으로 나타났다. TVOC의 대부분을 차지하는 이 피크는 MS library search 결과 2-(2-ethoxyethoxy)ethanol인 것으로 확인되었다. 2-(2-ethoxyethoxy)ethanol(Diethylene-glycol monoethyl ether)는 2-(2-butoxy-ethoxy)ethanol과 마찬가지로 주로 용제로 사용되는 물질로 기존의 유기용제를 대체하기 위해 사용되는 것으로 판단된다.

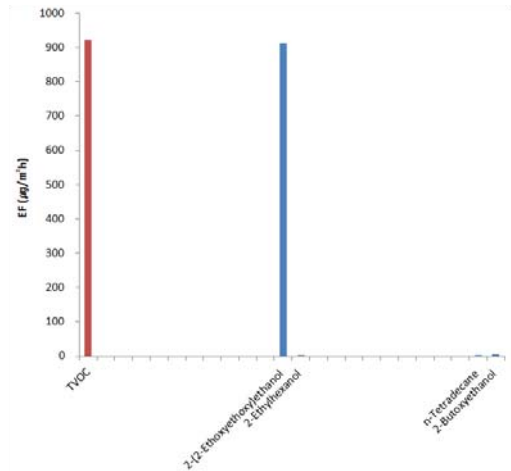
3.3. Waterborne Stain의 TVOC 방출특성

10종의 수성 스테인에 대한 FLEC 실험 결과는 Fig. 5와 같이 나타났다. 그림에서 알 수 있듯이 W₁이 117 µg/m²h으로 가장 낮은 TVOC 방출속도를 나타내었다. 천연도료인 W₁₀은 271 µg/m²h로 W₁보다 2배 이상 많은 VOC가 방출되는 것으로 나타났지만, W₁과 W₁₀을 제외한 다른 제품들의 TVOC 방출속도가 1,105~2,347 µg/m²h로 나타나 이에 비하면 천연 도료인 W₁₀의 TVOC 방출속도는 약 12%~25% 수준인 것으로 확인되었다. TVOC 방출량 측정 결과에서 W₁과 W₁₀을 제외하고 비교적 낮은 방출량을 나타내는 제품으로 W₃, W₆, W₇, W₉가 있었다. 이 제품들은 1,105~1,216 µg/m²h로 유사한 방출량을 나타내었다. 이 제품들의 방출 특성을 파악하기 위하여 VOC 방출 경향을 조사하였다.

방출 경향은 크게 두 가지 형태로 나타났다. W₃과 W₆은 pattern A와 같은 방출 경향을 갖는 것으



Pattern 1 (C₃)



Pattern 2 (C₆)

Fig. 5. Emission patterns of VOC from coat.

로 나타났고, W₇, W₉는 pattern B와 같은 형태로 나타났다(Fig. 6). Pattern A는 검출된 피크 중 가장 많은 면적을 차지하는 R.T 39.361의 피크 면적이 TVOC의 17%를 차지하는 반면, pattern B는 주요 방출물질인 R.T 25.268의 피크 면적이 TVOC의 85%를 차지하는 것으로 나타났다. 이 피크는 MS library search 결과 2-(2-ethoxyethoxy) ethanol인 것으로 확인되었다. Coat 제품의 분석 결과와 마찬가지로 기존의 유기용제의 대체용제로 사용

된 것으로 판단된다.

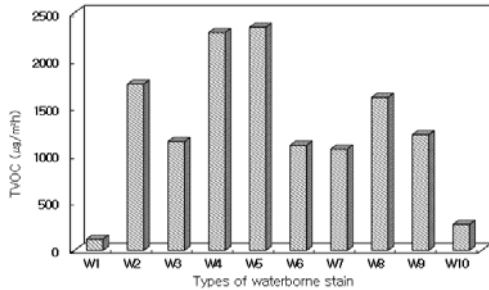


Fig. 6. TVOC emission from different types of waterborne stain.

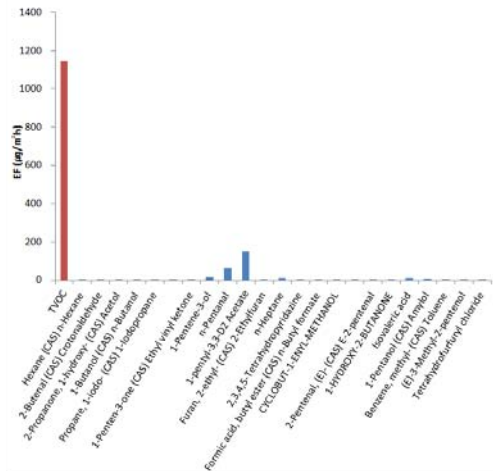
Waterborne Stain의 TVOC 방출량 분석 결과 천연 도료인 W₁₀과 가장 낮은 TVOC 방출량을 나타낸 W₁을 2차 챔버 실험의 대상 시료로 선정하였고, 방출 경향 분석결과 W₁이 pattern A의 형태로 나타났기 때문에 pattern B의 형태를 갖는 제품 중 낮은 TVOC 방출량을 나타내는 W₇을 2차 챔버 실험의 대상 시료로 선정하였다.

3.4. Oil-based Stain의 TVOC 방출특성

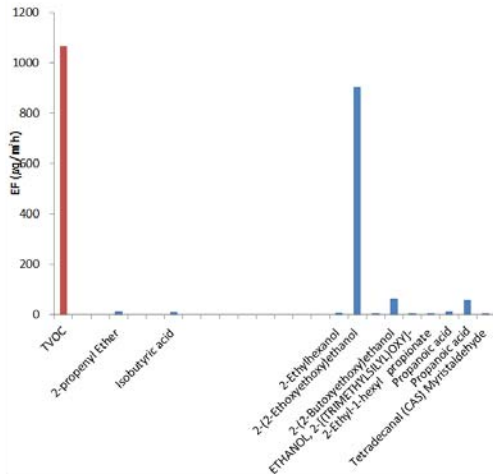
오일스테인에 대한 FLEC 실험 결과는 Fig. 7과 같이 나타났다. 오일스테인은 전체적으로 5,987 ~ 26,165 µg/m²h의 TVOC를 방출하는 것으로 나타나 수성스테인 중 가장 많은 방출량을 나타내는 W₅의 방출량이 2,347 µg/m²h인 것과 비교하면 현저히 많은 VOC를 방출하는 것을 알 수 있다. 실내공기질 측면에서 봤을 때 오일스테인 보다는 수성스테인의 사용이 적합할 것으로 판단된다. H. Guo and F. Murray (2000)는 coat의 TVOC 방출 특성을 규명하는 연구에서 수성 coat와 유성 coat의 TVOC 방출량 비교 결과, 유성 coat의 TVOC 방출량이 수성 coat에 비해 상당히 많은 것으로 나타나 실내에서는 수성 coat의 사용을 권고한 바 있다.

4. 결 론

FLEC를 이용하여 시중에서 판매되는 친환경 도료로부터 방출되는 TVOC를 측정하였으며 GC/MS를 통해 방출되는 TVOC를 개별 분리 동



Pattern 1 (W₃)



Pattern 2 (W₇)

Fig. 7. Emission patterns of VOC from waterborne stain.

정하여 그 특성을 살펴보았다. 대조군으로 분석된 일반 varnish 제품의 TVOC 방출량은 7,100 µg/m²h로 높게 나타났으며, 이에 비해 수거된 친환경 제품의 TVOC는 1,042 ~ 3,257 µg/m²h로 일반 제품의 15% ~ 46%의 방출량을 갖는 것으로 확인되어 친환경제품이 일반제품보다 현저히 낮은 TVOC 방출량을 갖는 것으로 나타났다.

천연도료인 C₂와 W₁₀은 118.3 µg/m²h와 271.3 µg/m²h의 TVOC 방출량을 나타내었다. C₂는 시험 대상 Coat 제품 중 가장 낮은 TVOC 방출량을

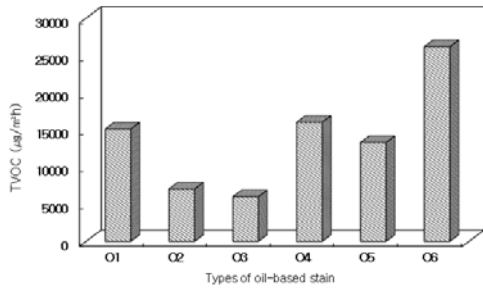


Fig. 8. TVOC emission from different types of oil-based stain.

나타내었으며, W₁₀도 대상 Waterborne Stain 제품 10종 중 W₁을 제외하고 가장 낮은 TVOC 방출량을 갖는 것으로 나타났다. 친환경제품 중에서도 천연도료의 경우 매우 낮은 TVOC 방출량을 갖는 것으로 확인되었다. W₁₀이 천연도료임에도 불구하고 W₁보다 많은 TVOC 방출량을 나타낸 것은 W₁이 도료자체에서 방출되는 VOCs가 거의 없는 반면 W₁₀은 천연도료로써 도료자체에서 방출되는 NVOC인 α-Terpenol (약 56%)이 많이 방출되었기 때문인 것으로 판단된다.

본 연구를 통해 목조주택의 건강한 실내공기질 확보를 위해서는 목재의 사용자체보다 도장재료 즉, 도료의 선택이 무엇보다 중요하다는 것을 확인하였다. 실내에서 사용되는 목재용 도료로써 가장 이상적인 형태는 목재가 가지는 결함을 보완하면서 도료자체에서 방출되는 유해 물질이 없어야 하고, 목재가 숨쉬는 재료로 남아 있을 수 있도록 해야 한다. 이러한 측면에서 천연도료의 경우 현재로써는 실내 목재 도장에 가장 적합한 도료로 판단되며, 목조주택의 쾌적하고 안전한 실내공기질 확보를 위해 천연도료의 보다 활발한 개발과 보급이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

공성용 외. 2004. 실내공기질 관리제도 발전방안에 관한 연구. 한국환경정책·평가연구원 보고서.
 김신도, 김정호, 박진수, 이정주. 2004. 화학 및 천연페인트에서 발생하는 TVOCs의 방출강도 특성연구. 한국환경보건학회 30(5): 487-493쪽.

심상효, 김윤신. 2006. 신축공동주택의 실내공기질 특성 및 평가. 한국환경보건학회 32(4): 275-281쪽.
 이민, 박상범, 이상민, 이희영, 길덕한. 2014. 편백잎추출수의 실내 가습시 휘발성유기화합물 방출 특성. 목재공학회 42(6): 747-457쪽.
 이희영, 강영석, 박상범, 이상민, 박종영. 2007. 신축목조주택의 VOCs 및 포름알데히드 방출특성 비교. 한국목재공학학회 학술발표논문집. 183-184쪽.
 이희영, 박상범, 박종영, 이상민. 2007. 신축목조주택 내 마감자재에 따른 휘발성 유기화합물(VOCs)의 방산특성. 목재공학회 35(6): 83-90쪽.
 임보아. 2008. 친환경 건축자재의 휘발성유기화합물(VOCs) 배출 특성에 따른 실내공기질 비교연구. 건국대학교 석사학위논문. 94쪽.
 장성기, 임수길, 이태형, 천재영, 류정민, 서수연. 2006. 신축 공동주택에서 밀폐시간 증가에 따른 실내공기 오염물질의 농도변화. 한국실내환경학회지. 3(4): 387-398쪽.
 장성기 외. 2006. 공동주택의 오염도 변화 추이 파악을 위한 시계열 조사 연구(I). 국립환경과학원 보고서.
 장성기 외 6명. 2007. 신축 공동주택에서 실내공기오염물질(휘발성유기화합물 및 카르보닐화합물) 농도분포 특성. 한국분석과학회 20(1): 17-24쪽.
 장극관. 2003. 환경친화적인 목조주택. 대한건축학회 47(5): 33-36쪽.
 정재용, 박훈. 2008. 생태건축의 공간 특성에 관한 연구. 한국건설학회 24(2): 261-272쪽.
 조현, 최종문, 김우재. 2006. 신축공동주택의 실내 휘발성유기화합물(VOCs) 실태조사 및 습도변화에 따른 발생 특성 평가. 한국생활환경학회 13(4): 283-289쪽.
 환경부. 2004. 실내공기질관리 업무편람. 157쪽.
 환경부. 2004. 실내공기질공정시험방법. 환경부 고시 제 2004-80호.
 환경부. 2006. 다중이용시설 등의 실내공기질관리법.
 ASTM D5116:10. 2010. Standard Guide for Small-Scale Environmental Chamber Determinations of Organic Emissions From Indoor Materials/Products.
 ASTM D7143:11. 2011. Standard Practice for Emission Cells for the Determination of Volatile Organic Emissions from Indoor Materials/Products.
 Baumann, M. G. D., L. L. Lorenz, S. A. Batterman, G.-Z. Zhang. 2000. Aldehyde emissions from particleboard and medium density fiberboard products. For. Prod. J. 50(9): 75-82.
 Berge, A, B. Mellegaard, P. Hanetho, E. B. Ormstad.

1980. Formaldehyde release from particleboard evaluation of a mathematical model, Holz Roh-und Werkstoff. 38: 251-255.
- Kim, S. M., J. A. Kim, and H. J. Kim, 2007. Application of field and laboratory emission cell (FLEC) to determine formaldehyde and VOCs emissions from wood-based composites. Mokchae Konghak 35(5) : 24-37.
- Sheldon, L. S., R. W. Handy, T. D. Hartwell, R. W. Whitmore, H. S. Zelon, and E. E. Pellizzari, 1988. Indoor Air Quality in Public Buildings I and II. Research Triangle Park(NC): USEPA; EPA 600/S6-88/009a,b.
- John D. Spengler, Ph. D., Jonathan M. Samet, M.D., M.S., John F. McCarthy, Sc.D., C.I.H. 2001. Indoor air quality handbook. McGraw-Hill Education. 1-33, 35pp.
- ISO 16000-10:2006. 2006. Indoor air - Part 10: Determination of the emission of volatile organic compounds from building products and furnishing - Emission test cell method.
- World Health Organization. 2010. WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. Geneva, Switzerland: WHO.