

## 도장처리 소나무 판재에서 방출되는 휘발성유기화합물의 경시변화

이 민<sup>1</sup>, 이상민<sup>1</sup>, 강은창<sup>1</sup>, 강영석<sup>2</sup>, 박상범<sup>†,1</sup>

<sup>1</sup>국립산림과학원 임산공학부 목재가공과, <sup>2</sup>국립문화재연구소

### Long-term Changes in VOCs Emission of Finished Pine (*Pinus rigida*) Panels

Min Lee<sup>1</sup>, Sang-Min Lee<sup>1</sup>, Eun-Chang Kang<sup>1</sup>, Yeong-Seok Kang<sup>2</sup>, Sang-Bum Park<sup>†,1</sup>

<sup>1</sup>Department of Forest Products, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea

<sup>2</sup>Restoration Technology Division, National Research Institute of Cultural heritage, Deajeon 34122, Korea

**Abstract:** In previous study, volatile organic compounds (VOCs) emission characteristics were highly affected by coating materials for wood finishing. Natural based coating materials showed that about 15~46% lower TVOC emission than typical products. In this study, long-term changes of VOCs emission characteristics from pine panel with three types of coating treatments were determined. Non-treated pine panel emitted 604.7  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$  of TVOC that contained 66% of NVOC (399.7  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ) at 0 month. After 10 month, TVOC reduced 88% and 93% reduction on NVOC was observed. Natural oil and waterborne stain treated pine panel showed 61% and 77% lower TVOC, respectively, than non-treated pine panel. However, TVOC from finished pine panels showed higher TVOC emission than non-treated pine panel. All samples satisfied the VOC emission regulation (below 4,000  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ) by Korean Ministry of Environment. Toluene emission regulation (below 80  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ) was passed on all sample without varnish treated pine panel at 0 month. According to HB qualification standard for construction materials by Korea Air Cleaning Association (KACA), wood is not qualified to get the best tag due to high TVOC emission. At the 10 months, only non-treated pine panel could get the best tag of HB from KACA.

**Keywords:** varnish, natural oil, stain, wood, volatile organic compounds (VOCs), emission

## 1. 서 론

목재는 과거에서부터 현재까지 인류 문명에 있어 가장 친숙하게 활용되어진 소재 중 하나이다. 또한 목재는 외관이 수려하며 가공성이 좋아 가구, 악기, 기구 등 다양하게 사용되어져왔으며, 실내건축 마감재로 활용되기도 했다. 그러나 산업혁명 이후 석유계 화합물들이 대거 등장하여 고분자 폴리

머 제품들이 쏟아져 나오기 시작하였고, 다양한 복합제품들이 건축자재로 사용되기 시작하였다. 석유화학계 제품 및 유무기물 복합건축자재는 대량생산이 용이하고 작업성이 우수한 장점으로 인해 목재를 대체하게 되었지만 때로는 유해물질을 방출하는 단점이 있다. 현대인의 실내거주 시간이 늘어남에 따라 실내오염물질에 대한 노출빈도가 높아지게 되고, 장기간 노출 시 질환으로 이어지게 된다(Yu et al. 2009). 이와 관련하여 2000년 이후 호흡기 질환 환자수가 점차 늘어나고 있음을 세계보건기구(WHO 2010)에서 보고한 바 있다. 실내

2016년 9월 27일 접수; 2016년 10월 17일 수정; 2016년 10월 17일 게재확정

<sup>†</sup> 교신저자 : 박 상 범 (parksb11@korea.kr)



**Fig. 1.** Surface photo of original pine panels and treated by three different types of finishing (Park et al. 2015).

공기오염은 가전제품, 건축자재, 가구, 접착제 등으로부터 방출되는 휘발성유기화합물(VOC) 및 폼알데하이드가 주원인으로 알려져 있다. VOC 물질의 농도는 신축건물일수록 높아지며 실외에 비해 수백 배 이상 높은 것으로 조사된 바 있으며, 실내 배출 농도를 기준으로 성인 및 아동에 대한 발암 유무를 확인한 바 있다(Hoddinott et al. 2000; Sheldon et al. 1988; Spengler et al. 2001). 이러한 유해 화학물질의 위험이 알려지기 시작하고 피해가 발생함에 따라 친환경 소재에 대한 관심이 높아가고 있으며, 국내에서는 현재 실내공기질에 대한 대중들의 높은 관심과 우려에 따라 신축 공동주택 및 다중이용시설의 실내공기질 관리를 한층 강화하였으며, formaldehyde 외 7종의 휘발성 유기화합물(VOCs)에 대해 실내공기질 측정을 의무화 하였다(Sundell 2004, 환경부 2006). 또한, 환경마크(국토교통부, 국토부), HB (Healthy Building Material)마크, KS마크, FBM (Functional Building Material)마크 등 다양한 인증제도를 통해 실내공기질 개선에 힘쓰고 있다.

현재 한국에서는 목재, 황토, 세라믹, 슯 등에 대한 선호도가 증가하고 있으며 최근에는 목재를 실내마감재로 이용하는 사례가 많아지고 있다(박 외 2015). 하지만 신축 목조주택의 실내공기질 조사결과 예상보다 높은 VOC 농도를 확인할 수 있었으며, 그 원인은 목재의 도장과정에서 사용된 도료의 의한 것으로 판단되어진다(이 외 2007; 박 외 2015-1, 2015-2; 장 2003; 이 외 2014). 선행연구에서 목재제품을 사용함에 있어 도장재료의 영향이 상당하며, 도장처리에서 사용된 도료의 종류에 따라 유해물질의 방출 특성도 달라지기 때문에 도료의 선택이 무엇보다 중요하다는 것을 확인하였

다(박 외 2015-1, 2015-2; 김 외 2004). 본 연구에서는 시중에서 가장 흔하게 사용되고 있는 도료 3종(투명 바니쉬, 천연오일, 수성스테인)을 목재에 도장 후 도장목재의 표면에서 방출되는 VOC의 경시변화를 조사하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 공시재료

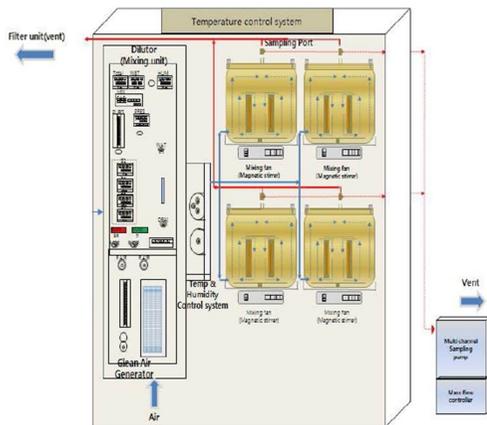
공시재료로는 기건 상태(함수율 12~15%)의 소나무(*Pinus rigida*) 판재와 도료 3종(투명 바니쉬, 천연오일, 수성스테인)을 사용하였다. 도료는 선행연구(박 외 2015)에서 사용된 것들로 TVOC 방출량이 가장 낮은 도료를 선택하였다. 투명 바니쉬는 국산 L제품, 천연오일은 미국산 P제품이었으며, 수성스테인은 국산 W제품을 사용하였다. 각각 제품의 TVOC 방출특성을 분석한 결과  $1000 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$  (투명 바니쉬),  $101 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$  (천연오일),  $106 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$  (수성스테인)으로 투명 바니쉬를 제외한 천연오일과 수성스테인은 환경표지인증(국토부)의 가능성이 높은 제품들로 나타났다(박 외 2015). 소나무 판재는  $160 \text{ mm} \times 160 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$  (T) 크기로 제단 후 상기 도료를  $300 \text{ g}/\text{m}^2$ 량으로 일정하게 도포하였으며, 24시간 상온 건조 후 실험에 사용하였다. 사용 도료는 희석제 또는 용제를 사용하지 않고 판재에 도포되었으며, 처리한 소나무 판재를 Fig. 1에 나타내었다.

### 2.2. 도장목재의 휘발성유기화합물 포집 및 분석

실내공기질 공정시험방법에 따라 20 L 소형챔버를 통한 VOC 방출량을 0, 2, 3, 4, 10개월별로 조사하였다. 본 연구에 이용된 20 L 소형챔버는

**Table 1.** Analysis condition of GC/MS with TD

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



**Fig. 2.** Schematic diagram of 20L chamber system (Lim et al. 2012).

ADTEC사의 ADPEC SYSTEM으로 4개의 챔버와 청정공기공급장치(ADF-04(K)-01), 순환장치(AD4Y-04003J) 그리고 샘플링 펌프(APSYW-04003J)로 구성되어 있다(Fig. 2). 시료에서 방출되는 TVOC를 채취하기 위하여 TVOC 측정에 적합한 Tenax-TA (Supelco, USA)를 사용하였다. Tenax-TA 흡착관은 시료채취 전 300°C로 가열과 함께 고순도 질소를 40 mL/min 이상의 유속으로 3시간 이상 열세척을 실시하였다. 열세척이 완료된 흡착관은 TD-

GC/FID로 분석하여 배경수준을 확인한 후 사용하였다. 샘플들은 노출 면적이 140 mm × 140 mm가 되도록 알루미늄제 실링테이프프로 마감하여 20 L 소형챔버에 고정시켜 7일 동안 청정공기를 167 mL/min 유량으로 흘려보냈다. 실험 시작 후 7일 째에 열세척된 Tenax TA 흡착관을 이용하여 시료를 채취하였다. 시료채취는 ISO 16000-9에서 규정하고 있는 공급유량의 80% 이하의 유량인 134 mL/min으로 총 3 L의 시료를 채취하였다.

Tenax-TA 흡착관에 흡착된 휘발성유기화합물은 ASTM-D5116:10에 의거하여 열탈착 장치(TD-20, Shimadzu, Japan)와 기체크로마토그래프-질량분석기(GC/MS-QP2010 (Shimadzu, Japan))를 이용하였으며, 사용된 컬럼은 TG-1MS capillary column (60 m length × 0.32 mm i.d. × 1.00 μm film thickness, Thermo Scientific, USA)이었다. 도료로부터 방출되는 TVOC를 정량하기 위하여 분석시료를 GC/MS의 TIC (Total Ion Chromatogram) mode로 분석하여 TVOC 정량 범위인 C6~C16 사이의 모든 피크(peak)의 면적을 합하고, 이를 TIC mode에서 작성한 Toluene 검량선을 이용하여 정량하였다. GC/MS와 TD의 분석조건은 Table 1에 나타내었다. 정량분석은 27

**Table 2.** Regulation of Korea Standard for TVOC and toluene emission from construction materials

	VOC Emission ( $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ )	
	TVOC	Toluene
Adhesive	2,000	
Sealant	1,500	
Paint	2,500	80
Putty	20,000	
Wallpaper	4,000	
Flooring board	4,000	

종의 표준물질을 단계적으로 희석하여 작성된 검량선을 통해 구하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 도장목재의 TVOC 장기 방출량 변화

실험 전 챔버 내 배경농도를 측정하여 개별 VOC  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , TVOC  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  이하인 것을 확인하였다. 소나무판재의 TVOC 초기 방출량은  $604.7 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 매우 높았으나, 2개월 후에는  $128.1 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 79% 감소하였다. 이후 10개월까지 서서히 감소하여 약  $70 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 의 방출량을 나타내었다. 투명 바니쉬+소나무판재의 TVOC 초기 방출량은  $969.7 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 가장 높게 나타났으며, 2개월 후에는  $157.3 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 84%까지 감소하였으며, 10개월째 샘플링에서  $131.7 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 약간 감소함을 확인하였다. 천연오일+소나무판재의 TVOC 초기 방출량은  $230.7 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 다소 낮았다. 2개월 후에는  $120.6 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 약 50% 정도 감소하였으며 10개월까지  $100 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$  이하의 방출 특성을 나타내었다. 수성스테인+소나무판재의 TVOC 초기 방출량은  $266.5 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 다소 낮았으며 2개월 후  $115.3 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 56% 감소하였으며, 10개월째 샘플링에서는 다소 증가하여  $135.5 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 의 방출 특성을 나타내었다. 모든 시편으로 방출되는 TVOC는 2개월이 지났을 때 약 50~85% 수준으로 줄어들었다가 그 수준을 10개월까지 유지하는 것으로 나타났다. Table 2에서 보듯이 환경부에서 제정한 방출기준

중 실란트가  $1,500 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$  ( $1.5 \text{ mg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ) 이하로 TVOC 방출량이 가장 낮은 기준으로 고시되어 있다. 또한 목재가 주로 사용되는 바닥재의 TVOC 방출량이  $4,000 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$  ( $4 \text{ mg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ )로 높게 책정되어 있어 건조된 도장목재의 TVOC는 기준에 문제가 없는 것으로 사료된다. 이와 더불어, 국토교통부(국토부)에서 시행 중인 건강친화형주택 건설기준(국토교통부 고시 제2015-998호) 제4조(의무기준)는 실내에 사용하는 건축자재는 실내공기 오염물질 저방출자재 적용기준을 만족하여야 한다고 하였다. 그 대상은 가공되지 않은 천연 목재를 제외한 실내 내장재, 접착제 및 그 밖의 마감재(도로 등)이며 TVOC와 폼알데하이드를 대상으로 하고 있다. 기준은 7일 후 TVOC 방출량  $100 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$  ( $0.10 \text{ mg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ) 이하를 만족하여야 한다. 본 실험에서 사용한 3가지 마감재(바니쉬, 오일, 수성스테인) 역시 이 기준을 만족하는 방출량  $100 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$  ( $0.10 \text{ mg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ) 이하의 제품을 사용하였으나, 초기 방출량은 국토부 고시를 만족하지 못하여 건강친화형 인증을 받지 못하는 것으로 나타났다.

현재 국내외에서 생산되는 건축자재에 대한 유기화합물(TVOC, HCHO) 방출 규정은 환경부가 공인한 한국공기청정협회에서 친환경 건축자재 단체품질인증과 국토부 산하의 한국환경산업기술원에서 운영하는 환경표지인증 제도를 통해 관리되고 있다. 공인시험기관에서 엄격하고 철저한 품질인증시험을 한 후, 그 결과에 따라 제품에 인증등급을 부여하고 있는데, 총 5개의 인증등급으로 구분되어 있다. 클로버마크 5개(최우수 등급)에서 클로버마크 3개(양호등급)로 구성되어 있다. 그리고 시장에서는 사실상 환경부 기준보다는 공기청정협회에서 부여하는 HB마크와 환경표지인증(환경마크제도)이 통용되고 있는 실정이다. 이 기준에 따르면 일반자재 최우수등급이 TVOC  $100 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$  미만으로 규정되어 있는데, 본 실험에서 사용된 샘플들 중에 10개월이 경과한 소나무 판재( $71.6 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ )를 제외하고는 HB마크의 최우수등급에 다소 미치지 못하는 우수등급 또는 환경표지인증을 받을 수 없는 수준이었다. 이러한 경우, 친환경

**Table 3.** HB qualification standard for construction materials by Korea Air Cleaning Association ( $\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ )

Classification		General materials, paint, putty	Adhesive	Sealant
<b>Best</b> ★★★★★	TVOC	Below 0.10	Below 0.10	Below 0.25
	HCHO	Below 0.03	Below 0.03	Below 0.06
<b>Good</b> ★★★★	TVOC	0.10~0.20	0.10~0.20	0.25~0.50
	HCHO	0.03~0.05	0.03~0.05	0.06~0.12
<b>Moderate</b> ★★★	TVOC	0.20~0.40	0.20~0.40	0.50~1.50
	HCHO	0.05~0.12	0.05~0.12	0.05~0.12

**Table 4.** NVOC emission characteristics of pine panel and finished pine panel NVOC : Natural volatile organic compounds

Sample type	Time	Natural VOC Emission ( $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ )				
		0 month	2 months	3 months	4 months	10 months
Pine panels		399.7	89.8	88.2	30.2	28.9
Varnish+Pine panels		6.44	5.7	5.7	21.2	31.5
Natural oil+Pine panels		148.5	64.4	84.5	78.6	73.8
Waterborne stain+Pine		127.4	56.2	80.5	78.8	79.0

**Table 5.** AVOC emission characteristics of pine panel and finished pine panel AVOC : Anthropogenic volatile organic compounds

Sample type	Time	Anthropogenic VOC Emission ( $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ )				
		0 month	2 months	3 months	4 months	10 months
Pine panels		13.2	0.4	0.6	0.2	7.5
Varnish+Pine panels		490.3	124.4	120.6	106.9	56.7
Natural oil+Pine panels		8.4	2.2	0.6	0.4	5.5
Waterborne stain+Pine		24.6	2.4	0.7	1.2	10.7

즉 방출량  $100 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$  ( $0.10 \text{ mg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ) 이하 도료를 사용하고도 목재에서 방출되는 VOCs에 의해서 친환경 마크를 받지 못하는 사례가 있어 이에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

3.2. 도장목재의 천연 VOC (NVOC) 장기 방출량 변화

본 연구에서 TVOC는 NVOC (natural volatile organic compounds), AVOC (anthropogenic volatile organic compounds), OVOC (Other volatile organic compounds)로 구분을 지어 분류를 하였다. NVOC는 자연 방출원으로 알려져 있는  $\alpha$ -pinene, Camphene,  $\beta$ -pinene 등의 천연 휘발

성유기화합물을 포함하고 있으며, AVOC는 인위적인 휘발성유기화합물을 나타내며, OVOC는 n-Hexane에서 n-Hexadecane까지의 범위에서 동정 불가능한 나머지 물질들을 포함한다고 알려져 있다(박 2010; 이 외 2014). 소나무판재의 천연 VOC 초기 방출량  $399.7 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 매우 높았다. 2개월 후  $89.8 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 78% 감소하였으며, 10개월까지 서서히 감소하여  $28.9 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 를 나타내었다. 투명 바니쉬+소나무판재의 초기 방출량은  $6.44 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 매우 낮았다. 2개월 후  $5.7 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 10% 감소하였으며 10개월까지 점차 증가하여  $31.5 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 를 나타내었다. 천연오일+소나무판재의 초기 방출량은  $148.5 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 높았다. 2개월

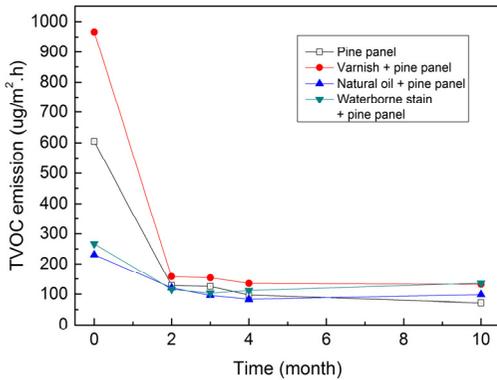


Fig. 3. TVOC emission characteristics of pine panel and finished pine panels.

후 64.4  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 57% 감소하였으며, 10개월까지 현상 유지하거나 약간 높아지는 경향을 나타내었다. 수성스테인+소나무판재의 초기 방출량은 127.4  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 높았다. 2개월 후 56.2  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 56% 감소하였으며 3개월 후 약간 증가 후 10개월까지 현상 유지하였다. 전반적으로 도장목재의 천연 VOC는 초기 급격한 감소 후 현상 유지 또는 다소 증가하는 경향이였다.

무처리 소나무판재는 초기 TVOC 방출량이 높은 반면 10개월 후 가장 낮은 방출량을 나타내었는데 이는 초기에 소나무판재로부터 많은 부분의 휘발성 물질이 아무런 방해 없이 휘발되었기 때문이다. 투명 바니쉬를 처리한 소나무판재의 경우, 바니쉬에 의해 목재 표면에 도막이 형성되어 3개월까지 낮은 NVOC 방출 특성을 보이다 4개월 이후부터 증가하는 이유는 바니쉬 표면의 눈으로 보이지 않는 미세균열로부터 목재의 NVOC가 방출되는 것으로 판단된다. 또한 10개월 후 투명 바니쉬 처리 목재의 NVOC 방출량은 무처리 소나무판재의 방출량과 유사하였다. 천연오일 및 수성스테인의 경우, 비록 목재 표면에 도막을 형성하는 것은 아니지만 목재 내부 구조로 침투하여 NVOC의 방출을 저해하는 것으로 판단되며 시간이 지날수록 천연오일 또는 수성스테인의 효과가 줄어들어 방출량이 증가한 것으로, 추후 시간을 두고 서서히 목재의 NVOC가 방출 될 것으로 추측된다.

소나무판재의  $\alpha$ -pinene 초기 방출량은 252.8

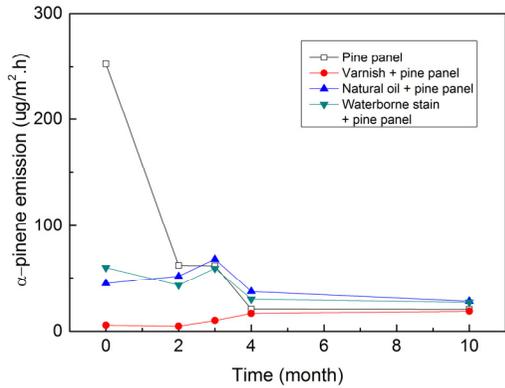


Fig. 4.  $\alpha$ -pinene emission characteristics of pine panel and finished pine panels.

$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 매우 높았다. 2개월 후 61.9  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 76% 감소하였으며 10개월까지 서서히 감소하여 20.3  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 을 나타내었다. 투명 바니쉬+소나무판재의  $\alpha$ -pinene 초기 방출량은 5.6  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 매우 낮았지만 10개월 샘플의 경우 12.5  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 증가하였다. 천연오일+소나무판재의  $\alpha$ -pinene 초기 방출량은 44.9  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 다소 높았다. 2개월 후 51.6  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 15% 증가하였으며 10개월까지 다소 감소하여 28.0  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 을 나타내었다. 수성스테인+소나무판재의  $\alpha$ -pinene 초기 방출량은 59.9  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 다소 높았다. 2개월 후 43.1  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 28% 증가하였으며 10개월까지 다소 감소하여 27.0  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 를 나타내었다. 결론적으로, 목재와 도장목재의  $\alpha$ -pinene은 바니쉬 도료를 제외하고는 장기간에 걸쳐 서서히 감소함을 알 수 있었다. 반면에 바니쉬 처리 소나무판재의 경우 바니쉬 도막의 미세 균열로부터 서서히 방출됨을 확인하였고, 이후 장기적으로 그 방출량이 증가될 것으로 판단된다. 또한 시간이 흐를수록 TVOC 방출량 중에서 NVOC 방출량의 비율이 증가함을 알 수 있다.

### 3.3. 도장목재의 인공 VOC (AVOC) 장기 방출량 변화

소나무판재의 AVOC 초기 방출량은 13.2  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 매우 낮았다. 2개월 후 0.4  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 97% 감소하였으며 4개월 후 0.2  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 가

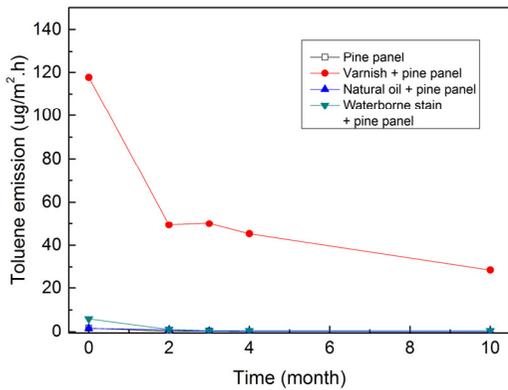


Fig. 5. Toluene emission characteristics of pine panel and finished pine panels.

장 낮은 값을 나타내다가 10개월 후 7.5  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$  로 약간 증가하였다. 투명 바니쉬+소나무판재의 AVOC 초기 방출량은 490.3  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 매우 높았다. 2개월 후 124.4  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 75% 감소하였으며 10개월까지 점차 감소하여 56.7  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 를 나타내었다. 천연오일+소나무판재의 AVOC 초기 방출량은 8.4  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 매우 낮았다. 2개월 후 2.2  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 74% 감소하였으며 10개월 후 약간 증가하여 5.5  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 를 나타내었다. 수성스테인+소나무판재의 AVOC 초기 방출량은 24.6  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 낮았다. 2개월 후 2.4  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 90% 감소하였으며 10개월 후 약간 증가하여 10.7  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 를 나타내었다. 결론적으로, 도장목재의 AVOC는 초기 급격한 감소 후 서서히 감소하는 패턴을 나타내었다. 하지만 바니쉬의 경우 상대적으로 높은 AVOC 방출량을 실험 종료까지 나타내었다. 또한 시간이 흐를수록 TVOC 방출량 중에서 NVOC 방출량의 비율은 증가함을 알 수 있었지만 AVOC는 비슷하거나 약간 감소함을 알 수 있다.

### 3.4. 도장목재의 Toluene 장기 방출량 변화

소나무판재의 Toluene 초기 방출량은 1.7  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 매우 낮았다. 2개월 후 0.3  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 82% 감소하였으며 10개월 후 0.1  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 거의 소멸하였다. 투명도료+소나무판재의 Toluene 초기 방출량은 117.7  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 매우 높았다. 2개월 후 49.5  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 58% 감소하였으며 10

개월까지 점차 감소하여 28.5  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 를 나타내었다. 천연오일+소나무판재의 Toluene 초기 방출량은 1.6  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 매우 낮았다. 2개월 후 0.9  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 44% 감소하였으며, 10개월 후 0.1  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 거의 소멸하였다. 수성스테인+소나무판재의 Toluene 초기 방출량은 5.9  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 낮았다. 2개월 후 1.1  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 81% 감소하였으며, 10개월 후 0.5  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 매우 낮은 값을 보였다. 결론적으로, 천연오일 또는 수성스테인을 도장한 경우, Toluene 방출량은 매우 낮아 기준에 훨씬 못 미쳤다. 바니쉬 도장목재는 도장 초기에 환경부 기준(80  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ )을 통과하지 못하였으나(117.7  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ), 2개월 후에는 기준 이하로 감소하였다. 따라서 목재에 도장 처리한 후 2개월 정도 경과하면 도장목재의 TVOC 방출량은 0.3~49.5  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 환경부 기준(80  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ )을 모두 통과하므로 Toluene 방출량은 문제가 되지 않을 것으로 판단된다.

## 4. 결 론

본 실험에서는 목재를 친환경 도료(투명 바니쉬, 천연오일, 수성스테인)로 도장 처리하여 그로부터 휘발되는 TVOC의 방출 특성을 살펴보고자 하였다. 도장 처리된 소나무판재로부터 방출되는 VOC 경시변화를 살펴본 결과, 도장 직후 초기 TVOC 방출량은 266~969  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 로 환경부 기준 4,000  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 를 훨씬 하회하여 이용에 있어서 문제가 없는 것을 판단되며, 10개월 경과된 시편 중 무처리 소나무 판재의 경우만 공기청정협회에서 시행하는 HB마크 인증등급에서는 최우수등급 또는 환경마크를 받을 수 있다. 하지만 천연목재의 경우에서 국토부 고시의 건강친화형주택 기준에 제외 품목이기 때문에 상기 인증마크가 필요 없다. 박 외 (2015)는 실내에서 사용되는 목재용 도료로써 가장 이상적인 형태는 목재가 가진 결함을 보완하면서 도료 자체에서 방출되는 유해 물질이 없어야 하고, 목재가 숨쉬는 재료로 남아 있어야 한다고 했지만 목재에 도장처리를 하였을 때는 최우수등급의 HB마크와 환경마크 인증을 10개월이 지난

후에도 받을 수 없는 문제가 생긴다. 이러한 문제점은 목재 고유의 천연 VOC (NVOC) 성분에서 비롯된 것으로 판단된다. 따라서 목재제품의 경우 환경마크 및 HB마크 인증에 있어서 TVOC 방출량에서 NVOC 방출량을 차감 후 적용해야 할 필요성이 고려된다.

또한, 방출되는 TVOC의 특성을 살펴보면, 소나무판재로부터 방출되는 NVOC는 급격한 방출량 감소를 나타내었으며, 도장 처리의 경우 초기에 감소하다가 유지하는 것으로 관찰되었다. 도장된 시료에서 방출되는 NVOC는 도장하지 않은 소나무판재에서 방출되는 NVOC보다 초기 방출량은 적지만 방출량의 감소속도가 낮아 장기적으로 NVOC의 방출 기간을 연장하는 효과가 있는 것으로 판단된다.

본 연구를 통해 목조주택의 건강한 실내공기질 확보를 위해서는 목재의 사용도 중요하지만 도장재료 즉, 도료의 선택이 무엇보다 중요하다는 것을 확인하였다. 이러한 측면에서 현재로서는 천연도료가 실내 목재 도장에 가장 적합한 도료로 판단되며, 목조주택의 쾌적하고 안전한 실내공기질 확보를 위해 천연도료의 보다 활발한 개발과 보급이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

## 참고 문헌

국토부. 2015. 주택법 제21조 및 주택건설기준 등에 관한 규정 제65조 건강친화형 주택 건설기준 별표 1. 실내공기 오염물질 저방출 건축자재의 적용기준. 국토교통부고시 제2015-998호.

김신도, 김정호, 박진수, 이정주. 2004. 화학 및 천연페인트에서 발생하는 TVOCs의 방출강도 특성연구. 한국환경보건학회지 30(5): 487-493.

박상범, 이민, 이상민, 강영석. 2015. 목재용 마감도료의 휘발성유기화합물 방출특성. 한국가구학회지 26(1): 22-30.

박상범, 이민, 이상민, 강영석. 2015. 도장처리에 따른 소나무 판재의 휘발성유기화합물 방출특성 변화. 한국가구학회지 26(2): 122-129.

박현주, 손윤석, 임보아, 김조천, 박상범. 2010. 목질제품에서 방출되는 휘발성 유기화합물 특성 연구. 한국대

기환경학회지 26(6): 616-623.

장극관. 2003. 환경친화적인 목조주택. 건축 5: 33-36.

이희영, 박상범, 박종영, 이상민. 2007. 신축목조주택 내 마감자재에 따른 휘발성 유기화합물(VOCs)의 방산특성. 목재공학 35(6): 83-90.

이희영, 강영석, 박상범, 이상민, 박종영. 2007. 신축목조주택의 VOCs 및 포름알데히드 방출특성 비교, 2007 Proceedings of 한국목재공학학회, pp. 183-184.

이민, 박상범, 이상민, 이희영, 길덕한. 2014. 편백이추출수의 실내 가습시 휘발성유기화합물 방출 특성. 목재공학 42(6): 747-757.

임정현, 임현우, 임호주, 이우석. 2012. 국내 기능성 건축자재의 폼알데하이드 및 톨루엔 흡착성능 평가. 한국실내환경학회지 9(3): 239-249.

환경부. 2006. 다중이용시설등의 실내공기질 관리법 시행규칙 제3조 별표 2. 실내공기질유지기준. 환경부령, (201).

Hoddinott, K. B. and A. P. Lee. 2000. The use of environmental risk assessment methodologies for an indoor air quality investigation. Chemosphere 41(1), 77-84.

ISO 16000-9:2006. 2006. Indoor air - Part 9: Determination of the emission of volatile organic compounds from building products and furnishing - Emission test chamber method.

Sheldon, L. 1988. Indoor air quality in public buildings (Vol. 88). Office of Acid Deposition, Environmental Monitoring and Quality Assurance, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency.

Sundell, J. 2001. On the history indoor air quality and health. Indoor Air 14: 51-48.

Spengler, J. D., J. M. Samet, and J. F. McCarthy. 2001. Indoor air quality handbook. McGraw-Hill, New York, 33, 1-33.

Yu, B. F., Z. B. Hu, M. Liu, H. L. Yang, Q. X. Kong, and Y. H. Liu. 2009. Review of research on air-conditioning systems and indoor air quality control for human health, International Journal of Refrigeration 32(1): 3-20.

World Health Organization. 2010. WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. Geneva, Switzerland: WHO.