

도장처리에 따른 소나무 판재의 휘발성유기화합물 방출특성 변화

박 상 범^{†,1}, 이 민¹, 이 상 민¹, 강 영 석²

¹국립산림과학원 임산공학부 목재가공과, ²국립문화재연구소

Changes of VOCs Emission on Pine (*Pinus Rigida*) Board by Finishing with Different Coating Types

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 previous study, VOC emission characteristics of coating materials for wood finishing were conducted and results showed that eco-friendly products has about 15~46% lower TVOC emission than typical products. In this study, lower TVOC emitted coating materials were applied on pine and then changes of VOC emission characteristics from pine with treatments were determined. Non-treated pine emitted 604.7 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ of TVOC that contained 66% of NVOC (399.7 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$). However, V₂ finished pine showed no NVOC emission rather than AVOC emission that consisted of Toluene, Ethylbenzene, m,p-Xylene, o-Xylene, 1,2,4-Trimethylbenzene. All coating materials inhibited α -Pinene emission which originally from pine, but waterborne stain (W₁ and W₃) showed lower disruption of that emission. Moreover, W₃/wood showed higher NVOC emission such as α -Terpinol, Terpinen-4-ol which are known as antioxidant substrates. Based on results, VOC emission characteristic of pine was significantly affected by coating materials with negatively in terms of α -Pinene emission or positively in terms of NVOC emission. Therefore, coating material is important factor for indoor air quality when it would apply on wood products. For the future study, VOC emission characteristic of coated wood will be conducted continuously.

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

1. 서 론

세계보건기구(WHO 2010)에 따르면 2000년 이후 천식 및 아토피 환자가 늘어나고 있는 것으로 보고되고 있으며, 이러한 질환의 원인을 실내 거주 시간이 늘어남에 따른 실내오염물질에 대한 노출빈도가 높아지기 때문이라고 하였다(Yu *et al.*

2015년 2월 23일 접수; 2015년 3월 31일 수정; 2015년 4월 7일 게재확정

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

2009). 또한 환경오염 및 석유계 화합물들의 위험이 알려지기 시작한 이래로 친환경 소재에 대한 관심이 급격히 증가하였다(Sundell 2004). 현재 친환경 소재로써 많이 선호되고 있는 재료가 황토와 목재이다(박 외 2015). 연구결과에 따르면 목재로부터 방출되는 천연VOC (NVOCs, Natural Volatile Organic Compounds)는 스트레스 완화, 면역성 증가, 살균작용 등으로 인체에 유익한 영향을 준다고 알려져 목재는 과거로부터 훌륭한 건축자재로써

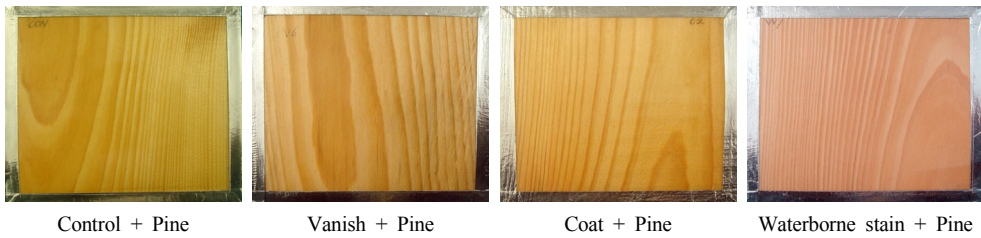


Fig. 1. Images of pine treated with three different types of finishing.

널리 사용되어져 왔다(박 외 2006; Kim 2001). 하지만 선행연구에서 신축목조주택의 실내공기에서 많은 양의 유해 VOC가 검출되었고 이러한 높은 유해 VOC 농도는 목재를 도장할 때 사용되는 도료에 그 원인이 있다고 판단하였다(이 외 2007, 박 외 2015; 장 2003; 이 외 2014). 쾌적한 실내공기질 확보를 위해서 목재의 사용을 높이는 방안은 바람직하나 도장재료 즉, 도료의 선택이 무엇보다 중요하다는 것을 선행연구를 통해 확인하였다(김 외 2004; 박 외 2015). 실내에서 사용되는 목재용 도료로써 가장 이상적인 형태는 목재가 가지는 단점을 보완하면서 도료자체에서 방출되는 유해 물질이 없어야 하고, 목재가 숨 쉬는 재료로 남아 있을 수 있도록 해야 한다. 이러한 측면에서 실내 목재 도장에 합성도료 보다는 천연도료의 사용이 더 바람직할 것으로 판단되며, 목조주택의 쾌적하고 안전한 실내공기질 확보를 위해 천연도료의 보다 활발한 개발과 보급이 이루어져야 할 것으로 판단된다(박 외 2015). 따라서 본 연구에서는 선행연구의 결과를 바탕으로 낮은 VOC 방출속도를 보인 도료를 선정하여 목재에 도장 후 방출되는 VOC의 방출 특성을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

선행연구의 FLEC 실험에서 TVOC 측정 결과, 낮은 방출속도를 나타낸 도료 8종을 선정하여 20 L 챔버 실험을 실시하였다(박 외 2015). 8종의 도료 중 varnish제품은 독일 A사의 C제품과 한국 O사의 L제품이며, 수성스테인으로는 한국 D사의 W제품과 K사의 K제품이 그리고 천연오일인 미국

O사의 P와 O제품과 일본 R사의 N제품을 사용하였다. 기건 상태(함유율 12~15%)의 소나무 판재 (*Pinus rigida*, 160 mm × 160 mm × 10 mm)의 표면에 실험 대상 도료를 도포하였다. 도포량은 300 g/m²로 일정하게 하였으며 24시간 상온 건조 후 실내공기질 공정시험방법에 따라 측정하였다 (Fig. 1).

2.2. 도장처리된 목재의 휘발성유기화합물 포집

20 L 소형챔버법은 현재 실내공기질 관리법의 방출시험방법 중 하나로 일반 건축자재로부터 방출되는 VOCs의 방출속도를 측정하는데 이용된다.

본 연구에 이용된 20 L 소형챔버는 ADTEC사의 ADPEC SYSTEM으로 4개의 챔버와 청정공기 공급장치(ADF-04(K)-01), 순환장치(AD4Y-04003J) 그리고 샘플링 펌프(APSYW-04003J)로 구성되어 있다(Fig. 2). 청정공기 공급장치에서 2개의 필터(filter)를 통해 청정공기를 만들어 약 900 mL/min의 유량으로 순환장치에 공급한다. 순환장치에서는 4개의 챔버에 각각 167 mL/min의 공기를 각 챔버로 공급하고, 이 후 공기는 챔버의 배출구를 통해 배기된다.

2.3. 휘발성유기화합물 분석 및 동정

실험 시작 전 배경농도 실험을 실시하고, 실험 시작 후 7일째에 시료를 채취하여 분석하였다. 대상 시료는 노출 면적이 140 mm × 140 mm가 되도록 방출 Tape을 이용하여 마감했으며, 챔버로 공급되는 공기의 유량을 167 mL/min으로 조절하였다. 시험 시 온도는 25°C, 습도는 50%를 유지하였다. 시험 시작 후 7일째에 Tenex TA 흡착관을 이용하여 시료를 채취하였다. 시료채취는 별도의

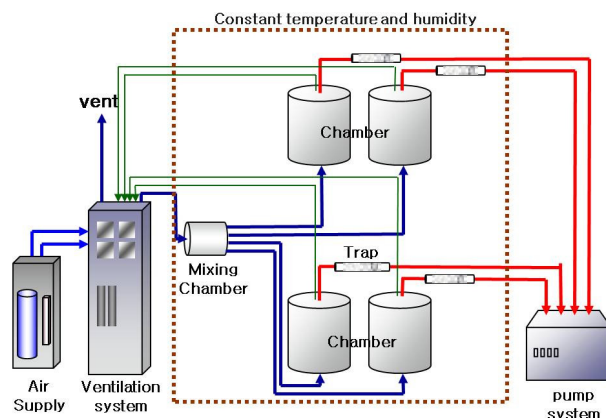


Fig. 2. Schematic diagram of 20 L chamber system.

Table 1. Experimental Condition of 20 L Chamber Method

Parameter	Condition
Sample Area	0.0392 m ²
Volume	20 L
Loading Factor	1.96 m ² /m ³
Air Supply	167 mL/min
Air exchange rate	0.5 /h
Temperature	25°C
Relative Humidity	50%
Inlet Air	Clean Air
Sampling Flow	100 mL/min
Sampling Time	10 min

펌프를 이용하여 실시하였고 100 mL/min의 유량으로 30 min간 실시하여 3 L의 공기를 채취하였다. 20 L 소형챔버의 실험 조건은 Table 1과 같다.

실험 전 챔버 내 배경농도를 측정하여 개별 VOC 5 µg/m³, TVOC 20 µg/m³ 이하인 것을 확인하였다. 챔버 내 시편 설치 후 7일째 고체흡착관(Tenax TA)을 이용하여 시료에서 방출되는 VOC를 채취하였다. 고체 흡착관에 흡착된 휘발성유기화합물은 ASTM-D5116:10에 의거하여 열탈착 장치(STD 1000, DANI, Italy)와 GCMS-QP2010(Shimadzu, Japan)을 이용하였으며, 사용된 컬럼은 VB-1 capillary column (60 m length × 0.32 mm i.d. × 1.00 µm film thickness, Valco instruments.

Co., USA)이었다. 분석조건은 Split ratio는 30로 하였고, 이동상인 He의 선속도는 1.0 mL/min이었으며 오븐온도는 40°C에서 5분간 머문 후 220°C까지 4 °C/min 속도로 승온한 다음 10분간 유지하였다(Table 2). MSD 분석 조건은 선행연구와 같은 조건인 capillary direct interface 온도, 250°C; ion source 온도, 200°C; ionization energy, 70 eV; mass range, 35~350 amu로 설정하였다(박 외 2015). 본 연구에서 TVOC는 NVOC (natural volatile organic compounds), AVOC (anthropogenic volatile organic compounds), OVOC (Other volatile organic compounds)로 구성되어있다. NVOC는 자연 방출원으로 알려져 있는 α -pinene, Camphene, β -pinene 등의 천연 휘발성유기화합물을 포함하고 있으며, AVOC는 인위적인 휘발성유기화합물을 나타내며, OVOC는 n-Hexane에서 n-Hexadecane까지의 범위에서 동정 불가능한 나머지 물질들을 포함한다(박 2010; 이 외 2014). 정량분석은 AVOC 5종과 NVOC 22종의 표준물질을 단계적으로 희석하여 작성된 검량선을 통해 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 도장목재의 TVOC

선행연구의 FLEC 실험 결과 V₁, V₂, C₁, C₂, C₃, W₁, W₂, W₃이 VOC 저방출 도로로 선정되었다. 이 도로들을 300 g/m²의 도포량으로 소나무

Table 2. 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		

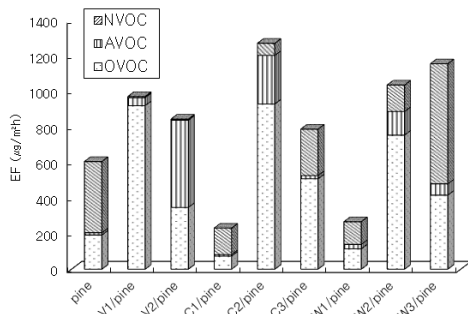


Fig. 3. TVOC emission characteristics of pine and finished pine.

판재에 각각 도장하였다. 도장한 시료를 24시간 동안 실온에서 자연 건조한 후 20 L 소형챔버에 넣어 챔버 실험을 실시하였다. 챔버 실험은 실내공기질 공정시험방법에 따라 실시되었다. 도장하지 않은 소나무 판재(Pine)를 대조구로 선정하여 동일하게 시험을 실시하였다. Fig. 3은 챔버 실험의 TVOC 분석결과이다. NVOC는 terpene 표준물질을 이용하여 검량된 물질의 농도를 합한 값이고, AVOC는 표준가스과 alkane 표준물질에 의해 동정된 물질의 농도를 합한 값이다.

전체 검출 피크 중 NVOC와 AVOC를 제외한 피크의 면적에 대해 Toluene 환산농도를 적용해 합한 값을 OVOC (Other VOC)로 나타내었다. Pine은 604.7 μg/m²h의 TVOC 방출속도를 나타내었으며 이 중 NVOC는 399.7 μg/m²h로 약 66%를 차지하는 것으로 확인되었다. AVOC는 13.2 μg/m²h

로 TVOC 중 약 2%를 차지하는 것으로 나타났고, OVOC는 191.8 μg/m²h로 약 32%를 차지하였다. Pine으로부터 방출되는 VOC는 NVOC가 대부분인 것으로 나타났지만 본 연구에서 사용된 표준물질로 동정되지 않은 OVOC도 32% 정도로 나타나 보다 정확한 VOC 분석을 위해서는 보다 많은 표준물질의 확보가 필요할 것으로 사료된다.

OVOC에 대해 MS library search를 통해 spectrum을 비교한 결과 OVOC의 대부분은 junipene, α-Longipinene, sativen 등의 terpene 물질인 것으로 나타나 표준물질이 확보되지 않아 실제 분석이 가능하지 않을 뿐 Pine으로부터 방출되는 VOC는 대부분 NVOC인 것으로 판단된다.

V₁/pine, C₂/pine, W₂/pine의 경우 TVOC 중 OVOC가 차지하는 비율이 각각 94.7, 73.2, 72.8%로 방출물질의 대부분이 본 연구에서 사용한 표준물질을 이용하여 동정할 수 없는 물질인 것으로 나타났다. Pine을 포함하여 C₁/pine, W₁/pine, W₃/pine은 TVOC 중 NVOC가 대부분을 차지하는 것으로 나타났으며, V₂/pine의 경우는 AVOC가 TVOC의 대부분을 차지하였다. C₁/pine, W₁/pine, W₃/pine의 TVOC 중 NVOC가 차지하는 비율은 각각 64.41, 47.81, 58.46%이고, V₂/pine의 TVOC 중 AVCO의 비율은 58.17%였다.

3.2. 도장목재의 개별 VOC 분석

실험의 대상 시료 중 OVOC의 비율이 70% 이상

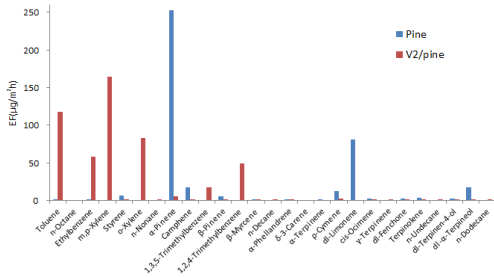


Fig. 4. Comparison of VOC emission characteristics between pine and V₂ finished pine.

인 V₁/pine, C₂/pine, W₂/pine을 제외한 나머지 시료들에 대하여 개별 VOC의 방출 특성을 조사하였다. Fig. 4는 Pine과 V₂/pine으로부터 방출되는 개별 VOC를 비교한 것이다. 그래프에서 알 수 있듯이 Pine의 경우는 α-Pinene, dl-Limonene, α-Terpineol 등의 NVOCs 물질이 주로 방출되는 것을 알 수 있다. 가장 높은 방출속도를 나타낸 α-Pinene은 252.87 µg/m²h로 TVOC 중 42%를 차지하고 있으며 NVOCs 중에서는 63%를 차지하는 것으로 나타났다. 다음으로 dl-Limonene, α-Terpineol이 각각 80.61 µg/m²h, 17.76 µg/m²h의 방출속도를 갖는 것으로 확인되었다.

V₂를 pine에 도장한 V₂/pine의 경우는 NVOC 물질은 거의 방출되지 않으며 toluene, ethylbenzene, m,p-Xylene, o-Xylene, 1,2,4-Trimethylbenzene 등의 유해 VOC가 다량 방출되는 것으로 나타났다. m,p-Xylene이 가장 높은 168.08 µg/m²h의 방출속도를 나타내었고, toluene, o-Xylene, ethylbenzene이 각각 117.76, 82.75, 58.17 µg/m²h로 나타났다(Fig. 4).

유해 VOC인 toluene, ethylbenzene, m,p-Xylene, o-Xylene, 1,2,4-Trimethylbenzene 등의 방출은 V₂와 같은 varnish 제품에서 기인하는 것으로 판단되며 V₂의 방출특성은 기존의 연구결과와 흡사하다(박 외 2015). 목조주택의 실내공기에서 인체에 유익한 NVOCs는 적게 검출되고, 유해 VOC가 다량 검출되는 이유는 V₂과 같이 목재로부터 방출되는 NVOC를 차단하고 도료 자체에서 유해 VOC를 다량 방출하는 도료를 이용하여 목조주택 내부의 목재를 도장했기 때문으로 판단된다.

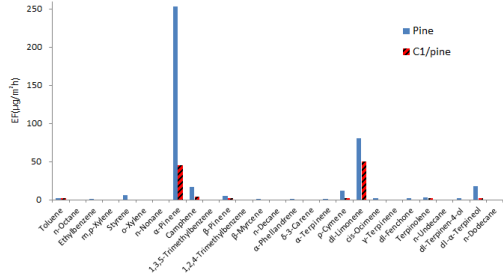


Fig. 5. Comparison of VOC emission characteristics between pine and C₁ finished pine.

Fig. 5은 천연도료인 C₁로 도장된 시료로부터 방출되는 VOC를 분석한 결과를 Pine의 분석결과와 비교한 것이다. 기존 FLEC 실험에서 도료 자체에서는 α-Pinene이 전혀 방출되지 않지만, 천연도료를 도장함으로써 시료로부터 α-Pinene이 44.91 µg/m²h로 방출되는 것으로 나타났다. 도장하지 않은 Pine의 방출속도인 252.87 µg/m²h의 18%에 해당하는 방출속도이다. 또한 dl-Limonene의 방출속도가 50.21 µg/m²h로 나타나 도료자체에서 방출되는 속도 보다 약 30% 많은 방출속도를 나타내었다. dl-Limonene은 도료자체에서도 검출되는 것으로 나타났으며 천연목재에서도 방출이 되었지만 도장된 이후에 오히려 그 방출량이 줄어드는 경향을 관찰하였다. 도료 C₁은 천연도료로써 기존 연구에서 낮은 VOC 방출특성을 나타내었다(박 외 2015). 또한, 본 실험의 결과에서 나타나듯이 소나무에서 방출되는 VOC의 많은 부분을 C₁ 도료가 막는 것을 확인하였다. 이것은 추후 문제가 될 수 있는 TVOC 문제를 고려했을 때 장점으로 작용할 수 있을 것으로 판단된다.

W₁은 수성스테인으로 FLEC 실험 결과 전체 분석 대상 도료 중 가장 낮은 TVOC 방출속도를 나타내었다(박 외 2015). 또한 본 연구에서 사용한 56개의 표준물질에 의해 동정된 개별 VOC도 거의 없었다. 하지만 W₁을 도장한 W₁/pine 시료에서는 α-Pinene이 59.90 µg/m²h의 방출속도를 나타내었고, dl-Limonene과 α-Terpineol이 각각 30.41, 21.44 µg/m²h로 방출되는 것으로 나타났다. 이는 도장하지 않은 pine의 방출속도의 각각 23.7, 37.7, 120.8%에 해당한다(Fig. 6).

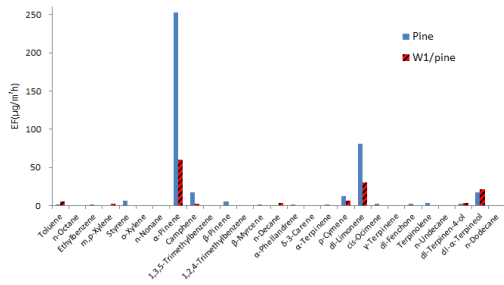


Fig. 6. Comparison of VOC emission characteristics between pine and W₁ finished pine.

Varnish나 coat가 목재의 표면에 도막을 형성하는 특성을 갖는 반면 스테인의 경우는 목재의 표면에 도막을 형성하기보다는 목재 내부로 스며드는 특성을 갖는다(박 외 2015). 이러한 특성으로 인해 varnish나 coat를 도장한 경우보다 목재로부터 방출되는 대표적인 NVOC 물질인 α -Pinene, dl-Limonene이 많이 방출되는 것으로 판단된다. 또한 α -Terpineol 같은 alcohol은 유사한 구조를 갖는 α -Terpinene, terpinolene 등이 방출되는 과정에서 산화됨으로써 방출속도가 증가하는 것으로 판단된다.

Fig. 7는 천연도료인 W₃을 도장한 시료의 2차 챔버 실험 결과를 도장하지 않은 pine의 결과와 비교한 것이다. 천연도료인 W₃은 전체 분석대상 시료 중 가장 많은 NVOC 방출속도를 나타내고 있다. 그 방출 성분을 분석한 결과, 천연 소나무에서 가장 많은 방출속도를 나타낸 α -Pinene은 약 75% 줄어들었지만 기준에 미량 방출되었던 α -Terpinol, terpinen-4-ol 각각 246.54, 95.29 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ 로 W₃을 도장한 이 후 높은 방출속도를 나타내었다. 또한 dl-Limonene, terpinolene 등도 55.17, 76.06 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ 의 방출속도로 증가하였다. AVOC 중에 하나인 n-Dodecane이 45.10 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ 로 검출되었으며 n-Dodecane은 n-Nonane, n-Decane, n-Undecna 등과 함께 wood stain에서 다량으로 방출되는 물질 중 하나로 알려져 있다(박 외 2015).

W₃을 도장한 W₃/pine에서는 도료의 주요 방출 물질인 α -Terpinol이 232.34 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ 로 가장 높은 방출속도를 나타내었고, 역시 도료의 주요 방출물질인 terpinolene이 65.57 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ 의 방출속도를

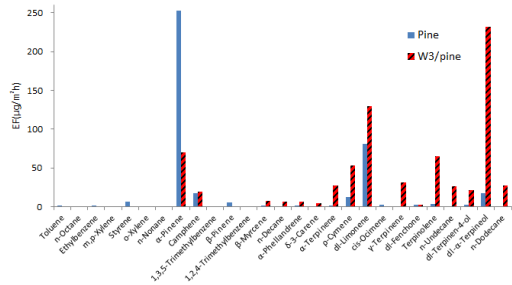


Fig. 7. Comparison of VOC emission characteristics between pine and W₃ finished pine.

나타내었다.

3.3. 목재와 도장목재의 천연 VOC

목재용 도료의 VOC 방출 특성에 있어서 유해 VOC의 방출정도와 함께 고려되어야 하는 중요한 부분은 목재로부터 방출되는 NVOC의 방출속도이다. 목재를 건축 내장재로써 선택하는데 있어서 목재로부터 방출되는 인체에 유익한 NVOC는 중요한 선택요인이 되고 있기 때문이다. 2차 챔버 실험 결과 동정된 개별 VOC의 방출속도가 TVOC의 약 50% 이상을 차지하는 V₂/pine, C₁/pine, W₁/pine, W₃/pine에 대해 NVOC의 방출정도를 분석하였다.

Fi. 8은 V₂/pine, C₁/pine, W₁/pine, W₃/pine의 NVOC 방출속도와 도장하지 않은 pine의 NVOC 방출속도를 비교한 것이다. Pine은 399.65 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ 의 NVOC 방출속도를 나타내었다. V₂/pine은 NVOC를 거의 방출하지 않는 것으로 나타났으며 수성스테인인 W₁을 도장한 경우 127.43 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ 의 NVOC를 방출하는 것으로 나타났다. Pine의 방출속도와 비교하면 약 32%에 해당한다. 천연도료인 C₁와 W₃을 도장한 C₁/pine과 W₃/pine은 각각 148.57 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ 와 674.70 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ 의 방출속도를 나타내었다. Pine의 방출속도에 비해 각각 37%와 169%에 해당하는 방출속도이다. W₃/pine의 경우 도장하지 않은 pine의 방출속도보다도 훨씬 많은 NVOC를 방출하는 것으로 나타났는데 이는 도료 자체에서 방출되는 NVOC의 양이 많기 때문이다. C₁/pine과 W₃/pine의 경우 천연도료로써 도료자체에서 NVOC 물질인 Terpene 물질이 방출되고 있

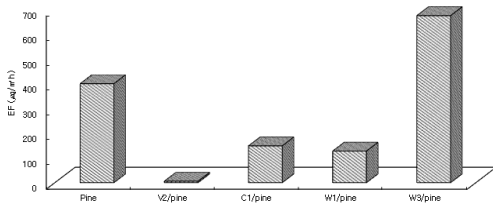


Fig. 8. NVOC emission characteristics of samples.

어 NVOC의 방출속도 측정으로는 목재로부터 방출되는 NVOC에 대한 정확한 평가는 어려운 것으로 판단되었다. 따라서 목재로부터 방출되는 NVOC의 정확한 평가를 위해서 도료에서는 방출되지 않으며 목재로부터 방출되는 주요 NVOC 물질인 α -Pinene의 방출속도를 분석하였다.

Fig. 9는 V₂/pine, C₁/pine, W₁/pine, W₃/pine의 α -Pinene 방출속도와 도장하지 않은 pine의 α -Pinene 방출속도를 비교한 것이다. Pine의 α -Pinene 방출속도는 252.87 µg/m²h로 나타났다. V₂/pine에서는 α -Pinene이 거의 방출되지 않은 것으로 확인되었으며 천연도료인 C₁를 도장한 C₁/pine에서는 44.91 µg/m²h의 α -Pinene이 방출되는 것으로 나타났다. 이는 도장하지 않은 pine의 18%에 해당하는 수치이다. 천연도료임에도 불구하고 수성스테인인 W₁에 비해 α -Pinene의 방출속도가 낮게 나타내는 이유는 C₁의 경우 도막을 형성하는 coat의 일종으로서, 도막을 형성하지 않고 목재 내부로 스며드는 스테인에 비해 표면에 도막을 형성하기 때문에 α -Pinene 방출속도가 감소하기 때문인 것으로 판단된다. 수성스테인인 W₁을 도장한 W₁/pine은 59.9 µg/m²h의 방출속도를 갖는 것으로 나타났다. W₁/pine의 α -Pinene 방출속도는 pine의 24%에 해당한다. 천연스테인인 W₃/pine은 70.07 µg/m²h의 α -Pinene을 방출하는 것으로 나타났다. 이는 pine으로부터 방출되는 α -Pinene 방출속도의 약 28%로 W₃이 목재로부터 방출되는 α -Pinene를 가장 많이 방출시키는 것으로 확인되었다.

4. 결 론

20 L 소형챔버 실험 결과 pine의 TVOC 방출

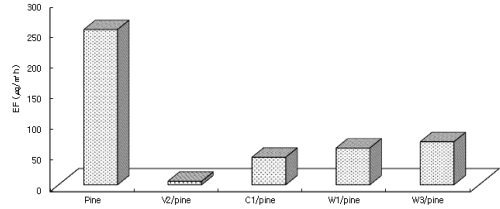


Fig. 9. Emission of α -Pinene from samples.

량은 604.7 µg/m²h였고, 이 중 NVOC는 399.7 µg/m²h로 TVOC 중 66%를 차지하는 것으로 나타났다. 반면 varnish 제품인 V₂를 pine에 도장한 V₂/pine은 pine으로부터 방출되는 NVOCs는 차단하고, 도료 자체에서 유해 VOC인 toluene, xylene, ethylbenzene 등을 다량 방출하는 것으로 확인되었다. 목조주택의 실내공기 중 유해 VOC의 농도가 높게 검출되는 이유는 V₂와 같이 도료에서 유해 VOC가 다량으로 방출되는 도료를 이용하여 내부를 도장했기 때문으로 판단된다.

천연도료인 C₁, W₃과 수성스테인인 W₁은 도료 자체에서 유해 VOC는 거의 방출하지 않는 것으로 나타났으나, 소나무 판재에 도장한 이후 소나무로부터 방출되는 NVOCs의 방출을 차폐하여 도장하지 않은 소나무 판재와 비교하여 18%~28%의 NVOCs만 방출하는 것으로 확인되었다. 목조주택의 내장 목재 도장 시 이러한 도료를 이용한다면 목조주택의 실내공기 중 유해 VOC는 저감하고 일정한 농도의 NVOC를 이용할 수 있음으로써 목조주택의 실내공기질 개선이 가능할 것으로 판단된다.

본 연구를 통해 실내에서 목제품을 사용하는데 있어서 도장재료의 영향이 상당하며, 도료의 선택이 무엇보다 중요하다는 것을 확인하였다. 또한 본 연구에서 사용된 시험편에 대한 장기간 VOC 방출 특성에 대한 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 김신도, 김정호, 박진수, 이정주. 2004. 화학 및 천연페인트에서 발생되는 TVOCs의 방출강도 특성연구. 한국환경보건의학 30(5): 487-493.
- 박상범, 이민, 이상민, 강영석. 2015. 목재용 마감도료의 휘발성유기화합물 방출특성. 한국가구학회지 26(1):

- 22-30.
- 박현주, 손윤석, 임보아, 김조천, 박상범. 2010. 목질제품에서 방출되는 휘발성 유기화합물 특성 연구. *한국대기환경학* 26(6): 616-623.
- 박현주, 김조천, 박병대, 박강남. 2006. 건조목재의 모노테르펜 배출특성에 관한 연구. *한국대기환경학* 22(1): 145-151.
- 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 한국목재공학*. 183-184.
- 이민, 박상범, 이상민, 이희영, 길덕한. 2014. 편백잎추출수의 실내 가습시 휘발성유기화합물 방출 특성. *목재공학* 42(6): 747-457.
- 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.
- Kim, J. C. 2001. Factors controlling natural VOC emissions in a southerastern US pine forest. *Atmospheric Environment* 35: 3279-3292.
- 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.
- Sundell, J. 2001. On the history indoor air quality and health. *Indoor Air* 14: 51-48.
- 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.