

# 백합나무 판재의 VOCs 및 Aldehydes 방출특성<sup>1</sup>

이 민<sup>2</sup> · 박 상 범<sup>2,†</sup> · 이 상 민<sup>2</sup> · 손 동 원<sup>2</sup>

## Characteristics of Volatile Organic Compounds and Aldehydes Emission from Yellow poplar (*Liriodendron tulipifera* L.)<sup>1</sup>

Min Lee<sup>2</sup> · Sang-Bum Park<sup>2,†</sup> · Sang-Min Lee<sup>2</sup> · Dong-Won Son<sup>2</sup>

### 요 약

백합나무 판재를 벽판재로 이용하기 위해 백합나무의 생재와 건조재에 대한 휘발성유기화합물(VOCs)과 알데히드류 방출 특성을 검토하였다. VOCs 및 formaldehyde를 포함한 aldehyde류의 방출량 측정은 다중이용시설 등의 실내공기질 관리법에 공시된 20 ℓ Chamber법에 따라 실시하였다. 백합나무의 생재 및 건조재에서는 30여 가지 이상의 VOCs가 검출되었다. 백합나무의 Total VOC 구성 비율 가운데 천연VOC (NVOC)의 비율은 11.1%로 다른 침엽수종과 비교하여 낮게 나타났다. 백합나무의 aldehyde류 분석 결과, 심재 및 변재에서 같은 3종(acetaldehyde, ketone, propionaldehyde)이 검출되었으며, formaldehyde의 방출량은 4.01 µg/m<sup>3</sup> 이하로 나타났다. *m*-Tolualdehyde의 경우 백합나무 건조재의 심재에서만 33.6 µg/m<sup>3</sup>의 방출량을 보였으며, 심재와 변재 모두 ketone의 방출량이 가장 높게 나타났다. 백합나무 특유의 역한 냄새는 acetaldehyde와 propionaldehyde와 기타 VOCs에 의한 것으로 추정된다. 건조한 백합나무에서는 휘발성이 강한 ketone의 방출량이 증가하였다.

### ABSTRACT

Based on fundamental properties and machining characteristics of Yellow poplar (*Liriodendron tulipifera* L.), it has well performance on machinability or workability, drying, and fine surface. Additionally, yellow poplar is light weight and has bright color with high performance of bending processing, so it could be used for furniture or artworks materials and wood-based panel materials. Recently, public attention has been focused on indoor air quality, and Ministry of environment drift more tight regulation on indoor air quality for an apartment house and public facility with the times. Construction materials has been assessed emission of volatile organic compounds (VOCs) and formaldehyde according to law (No.10789), so yellow poplar is also needed to assess these emission characteristics. Emission of VOC and aldehyde compounds from dry and green wood condition of yellow poplar were investigated with KS M 1998:2009. Based

<sup>1</sup> Date Received February 12, 2014, Date Accepted March 10, 2014

<sup>2</sup> 국립산림과학원 임산공학부. Department of Forest Products, Korea Forest Research Institute, Seoul, Korea

<sup>†</sup> 교신저자(Corresponding author): 박상범(e-mail: parksb@forest.go.kr)

on results, more than 30 compounds were detected from yellow poplar, and lower NVOC (natural VOC) were emitted than AVOC (Anthropogenic VOC) and OVOC (other VOC). Formaldehyde emission was lower than  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  and acetaldehyde, ketone, and propionaldehyde were detected from yellow poplar. From dry yellow poplar, m-Tolualdehyde ( $33.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) was additionally detected while no detection of propionaldehyde. After drying process, amount of ketone emission increased significantly. The unique smell of yellow poplar may not only come from emission of acetaldehyde and propionaldehyde.

**Keywords :** yellow poplar, volatile organic compounds, smell, aroma, formaldehyde

## 1. 서 론

백합나무는 다른 수종에 비해 입지 적응력과 생장이 뛰어난 특징을 가지고 있어 국토 녹지정책의 일환으로 많은 관심이 집중되었다. 백합나무의 양묘기술 및 시업에 대해서는 선행연구가 많이 진행이 되어 왔다(Lyu *et al.* 2003; Lee *et al.* 2011). So and Chai *et al.* (1998)과 Park *et al.* (2009)의 보고에 따르면, 백합나무는 뚜렷한 색상의 차이로 인해 심재와 변재의 구분이 쉬운데, 변재는 황백색, 회백색 또는 백색이고 심재는 녹갈색 또는 회갈색으로 때로는 자색, 암록색, 청흑색의 줄무늬가 있다(Fig. 1). 그리고 거단성과 건조성 및 포삭성은 양호한 것으로 나타났으며(Chong 2000), 휘가공 성능도 양호한 수종이므로 1차 가공특성은 무난한 수종이다. 도장성과 접착성이 양호하여 가구용재로도 이용 가능하며, 이외에도 공예재나 단판용재로 이용해도 적합할 것으로 판단이 된다. 또한, 백합나무는 비중(0.47)이 다른 수종에 비해 가벼우며, 강도가 비교적 약한 그룹에 속하여 건축재료 중에서 구조용 부재로 사용하기 보다는 내장재나 건구재 등에 사용이 바람직하며, 특히 일반 포장재로써 좋은 재료가 될 것으로 제안하고 있다(Chong 2000; Lee *et al.* 2010).

그러나 백합나무를 고급 가구재, 공예재, 또는 단판용재로 이용함에 있어서 변재와 심재의 색상차이가 뚜렷하고 특유의 냄새를 가지는 문제점이 있다. 이 때문에 원목 상태로 바로 사용하기에는 제약이 있다. 그리하여, 첫 번째 문제인 색상 차이를 줄이기 위해 Yoon *et al.* (2009)과 Kim *et al.* (2010)는 여러 가지 열처리법에 의해 백합나무의 재색 제어를 시도하

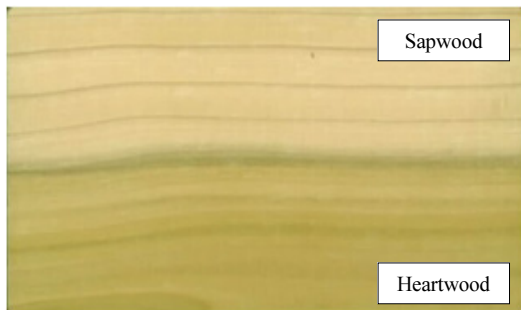
였고, Park and Lee (2013)는 변재와 심재의 색상 차이를 도장기법을 이용하여 극복하려 하였다. 두 번째 문제인 백합나무 특유의 냄새는 생재의 경우 불쾌함을 유발하고, 건조재의 경우에 있어서는 생재의 냄새보다 심하지는 않지만 여전히 잠재적인 오염원을 내포하고 있다.

백합나무 판재의 냄새의 주원인은 formaldehyde, acetaldehyde, toluene, styrene 등을 포함하는 휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOCs)에 의한 것으로 판단되며, 이 중에 불쾌한 냄새를 내는 화합물이 포함되어 있을 것으로 추측된다(Grosjean *et al.* 1992). 이러한 백합나무의 VOCs는 실내공기의 오염원이 될 수가 있다.

현재 실내공기질에 대한 대중들의 관심이 높아지고 이에 발맞추어 환경부에서 신축 공동주택 및 다중이용시설에 대해서는 실내공기 관리를 한층 강화하여 formaldehyde와 toluene 등 6종의 VOCs의 실내공기질 측정을 의무화하였다(Ministry of environment 2006). 또한, 세계보건기구(WHO 2010)에서도 깨끗한 공기는 생활의 기본 조건으로 집, 사무실, 학교, 공공장소 등 현대인들이 대부분 시간을 보내는 실내장소에 대한 관찰과 관리가 필요하다고 말하고 있다. 현재, 우리나라에서도 환경마크, HB (Healthy Building Material)마크, KS마크 등 다양한 인증제도를 통해 실내공기질을 관리하고 있고, 법적 규제도 행해지고 있다. 또한, 친환경 건축자재의 품질인증을 위해 건축자재의 화학물질 방출강도를 평가하여 인증함으로써, 건축자재의 오염물질 방출에 대한 자율적인 품질관리를 행할 수 있도록 권장하며 제품의 품질향상을 유도하기도 한다.

**Table 1.** Analysis condition of HPLC for determination of aldehyde group

HPLC (Shimadzu)		
Detector	PDA (SPD-M20A) ch1 360 nm	
Column	Shimadzu VP-ODS 4.6 $\mu$ m, 4.6 mm $\times$ 15 mm	
Mobile Phase	Initial	Acetonitrile : water + THF (20%) (35 : 65)
	5 min	Acetonitrile : water + THF (20%) (35 : 65)
	10 min	Acetonitrile : water + THF (20%) (55 : 45)
	13 min	Acetonitrile : water + THF (20%) (55 : 45)
	20 min	Acetonitrile : water + THF (20%) (35 : 65)
Analysis Time	20 min	
Column Temperature	30 $^{\circ}$ C	
Flow Rate	2 ml/min	



**Fig. 1.** Heartwood and sapwood of yellow poplar (*Liriodendron tulipifera*, Park and Lee 2013).

건축 내장재에서 발생된 VOCs와 formaldehyde 등 여러 종류의 화학물질들은 눈, 목, 코 등을 자극하고 장기간 노출시 암 발생과 사망에 이르게 하기도 한다(EPA 2009). 또한 빌딩증후군(sick building syndrome)과 새집증후군(sick house syndrome) 등의 문제를 유발시키고 있다고 보고되었다(ECA 1997; Lee et al. 2009). 전 세계적으로 건축 내장재에서 발생하는 VOCs와 formaldehyde의 방출특성 연구는 다양한 종류의 건축 내장재와 실험조건에서 진행되고 있으며, 측정대상 VOCs 종류 또한 매우 다양하다(Kim et al. 2008; Lee et al. 2004; Hwang et al. 2011).

그러나, 백합나무에서 방출되는 VOCs 및 aldehyde류에 대한 자료가 미흡하고, 건축자재로 사용하기

위해서는 먼저 오염물질의 배출량 평가와 위해성 평가가 적절히 수행되어야 할 것이다. 또한, 백합나무의 불쾌한 냄새의 원인을 구명하고 대처하는 것이 매우 중요하며, 그러기 위해서는 냄새의 성분을 파악하는 것이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 백합나무의 생재와 건조재에 대하여 변재와 심재 각각에서 방출되는 VOCs와 aldehydes의 종류와 양을 조사하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 공시재료

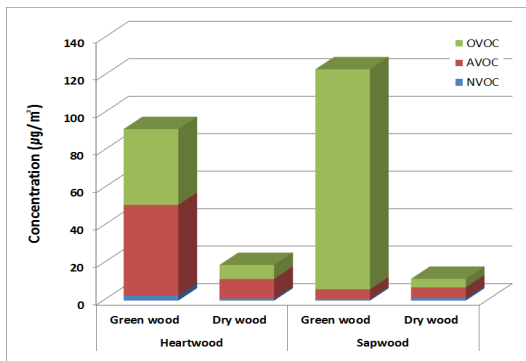
서울 은평구 소재 테니스장 주변에 있는 30년생의 백합나무를 벌채하여, 국립산림과학원에서 제재하였다. 생재상태에서 시험편 규격(160 mm  $\times$  160 mm  $\times$  15 mm)으로 제작하여 시험 실시 48시간 전에 향온 항습실(23 $^{\circ}$ C, 50%)에서 양생하였다. 건조재의 VOCs는 생재를 12~15% 함수율로 건조하여 분석하였다.

### 2.2. 휘발성유기화합물(VOCs)의 포집

백합나무 생재와 건조재(12~15% 함수율)로부터 방출되는 VOCs 및 formaldehyde를 포함한 aldehyde류의 방출량 측정은 다중이용시설 등의 실내공기질

**Table 2.** GD/MS with TD conditions for VOCs analysis

Thermal Desorber		GC/MS	
Parameter	Condition	Parameter	Condition
Desorption temp.	280℃	GC column	VB-1 (0.32 mm × 60 m × 1 μm)
Desorption time	15 min	Initial	40℃, 5 min
Cold trap low temp.	-10℃	1st ramp	10℃/min, 80℃, 16 min
2nd desorption temp.	300℃	2nd ramp	20℃/min, 200℃, 4 min
Cold trap hold time	15 min	Column flow	1 mL/min
Cold trap packing	Tenax TA	MS source Temp.	200℃
Split mode	Split (1:10)	Detector type	EI (Quadrupole)
Valve temp.	210℃	Mass Range	35~350 amu
Transfer line temp.	250℃	Electron energy	70 eV

**Fig. 2.** Comparison of TVOC on dry and green wood sample of yellow poplar.

관리법에 공시된 20 ℓ Chamber법에 따라 실시하였다(환경부 2011). 노출 면적은 140 mm × 140 mm로 부하율은 1.96 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>로 하였다. 4개의 샘플을 각각의 챔버에 넣고, 환기율 0.5 m<sup>3</sup>/hr을 맞추기 위해 배기유량을 167 mL/min으로 조정했다. 챔버 내부로 유입되는 공기는 필터링을 거친 후 wet line과 dry line의 유량 조절장치를 거쳐 온도 25℃, 습도 50%를 유지하도록 하였다.

시험 시작 일주일 후에 샘플링이 이루어졌으며 샘플링 유량은 환기유량의 80% 이하가 되도록 하기 위해서 133 mL/min으로 조절하였다. Aldehyde류 분석을 위한 샘플링은 오존스크리버를 포함한 2,4-Dinitro

phenylhydrazine cartridge (DNPH, BPE-DNPH, Supelco)를 챔버에 연결한 후, 샘플링 펌프를 이용하여 약 75 min (10 ℓ) 동안 이루어졌다. 샘플링 후 DNPH cartridge는 분석 전까지 냉장보관하였으며, acetonitrile 10 mL로 용출시켜 HPLC (LC-20A, Shimadzu)를 이용하여 분석하였다. HPLC의 분석조건은 Table 1과 같다. VOCs는 Tenax TA tube를 이용하여 Aldehyde와 동일한 조건에서 샘플링하고 열탈착장치(STD1000, DANI)가 부착된 GC/MS (QP2010, Shimadzu)로 분석하였다. 분석조건은 Table 2와 같다. 총 VOC (Total VOC, TVOC)는 발생원에 따라서 자연적인 VOC (Biogenic VOC, NVOC), 인위적인 VOC (Anthropogenic VOC, AVOC) 및 분석기기로는 정량이 되지 않는 기타 VOC (Other VOC, OVOC)로 구분하였다(Kim 2006). 각각의 표준물질을 이용하여, Retention time 및 Wiley library database를 비교 분석하여 동정 및 정량하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 백합나무 생재의 휘발성유기화합물

생재상태의 백합나무를 심재와 변재로 구분하여 각각에 Total VOC (TVOC)를 측정된 결과, Fig. 2에

**Table 3.** The results of VOCs analysis for heartwood and sapwood of yellow poplar (green wood)

No.	Compounds	Heartwood	Sapwood
		Compositions (%)	Compositions (%)
1	2,5-Dimethylundecane	-	0.65
2	2,7,10-Trimethyl-Dodecane	-	0.88
3	2-Amylfuran	1.06	-
4	4-Terpineol	1.6	-
5	Benzene	0.3	0.15
6	Berberone	-	0.75
7	Butyl hydroxytoluene	0.92	-
8	Cadinene	-	0.99
9	Chloroform	6.28	3.46
10	Di-Limonene	-	0.27
11	Ethyl benzene	0.26	-
12	I-Phellandrene	1.14	-
13	Junipene	2.41	8.46
14	Methyl thymylether	0.57	0.68
15	n-Dodecane	0.91	1.22
16	n-Tridecane	0.64	1.66
17	n-Undecane	5.9	3.69
18	Styrene	0.87	-
19	Sylvestrene	12.42	-
20	Toluene	1.04	0.46
21	Trans-Caryophyllene	-	1.91
22	Xylene	0.38	-
23	$\alpha$ -Amorphene	1.48	9.29
24	$\alpha$ -Copaene	1.18	5.77
25	$\alpha$ -Cubebene	-	1.32
26	$\alpha$ -Humulene	0.85	1.51
27	$\alpha$ -Longipinene	-	1.15
28	$\alpha$ -Muurolene	2.15	10.52
29	$\alpha$ -Pinene	44.99	2.22
30	$\beta$ -Elemene	1.12	5.63
31	$\beta$ -Myrcene	1.19	-
32	$\beta$ -Pinene	4.77	0.18
33	$\delta$ -Cadinene	5.56	37.18

서처럼 심재에서  $91.55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 변재에서  $123.46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타나 변재부에서 높게 측정되었다. 심재와 변재의 TVOC에서 NVOC와 AVOC의 구성 비율을 보면 AVOC의 구성이 56.9%로 절반에 해당한다. 이러한 AVOC는 hexane, benzene, toluene, styrene이 주 구성물질로 Park (2006)의 결과와 비슷하게 나타났다.

TVOC 중에 OVOC의 비율이 심재의 경우  $40.46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 44.2%, 변재의 경우  $117.47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 95.2%를 나타냈다. Kininmonth *et al.* (1991)에 의해 소나무 내의 수지 분포가 목재의 변재와 심재에서 다르다는 것이 보고되었고, 수지구나 수지세포가 분포된 위치 및 함량에 따라서 TVOC 방출 특성이 다르다고 보고된바가 있어, 본 실험에서도 동일 수종이지만 부위에 따라서 VOC 방출 특성이 다르게 나타난 것으로 판단된다. 그리고 현재 사용 중인 GC-MS로도 성분을 파악하기 어려운 물질이 심재와 변재에 다량으로 존재함을 알 수 있었다.

Table 3은 Wiley library database 분석 결과로 나타난 백합나무 심·변재의 VOC 구성 비율을 나타낸 것이다. 심재의 경우  $\alpha$ -pinene이 약 45%로 가장 높은 비율을 차지하고 있으며, sylvestrene (12.42%), chloroform (6.28%),  $\delta$ -cadinene (5.56%) 등이 주요 방출물질로 분석되었다. 변재의 경우는 심재와 달리  $\alpha$ -pinene은 2.2%로 적게 나타난 반면  $\delta$ -cadinene이 37.18%로 가장 높게 나타났고,  $\alpha$ -muurolene (10.52%),  $\alpha$ -amorphene (9.29%), junipene (8.46%) 등이 주요 방출 VOC로 분석되었다. 검출된 VOC를 alcohols, aldehydes, esters, hydrocarbons, ketones, N-containing compounds, phenols와 기타로 구분해본 결과, hydrocarbons이 대부분을 차지하는 것으로 나타났다 (Table 3).

Park (2006)에 의해, 백합나무의 주 VOC 방출 물질이  $\alpha$ -pinene으로 보고된바 있지만, 이번 심재와 변재를 구분하여 측정한 결과  $\alpha$ -pinene은 주로 심재에서 방출이 되는 것으로 나타났다.  $\alpha$ -pinene은 formaldehyde, acetone, pinonaldehyde와 glyoxal 등과 같은 산화 생성물을 형성한다고 보고되었으며, 일부 이중 결합( $\text{C} = \text{C}$ )을 포함하는 terpene류는 산소( $\text{O}_2$ ), 오

존( $\text{O}_3$ ) 및 이산화질소( $\text{NO}_2$ )와 같은 산화제에 의해 이차 방출물질로서 저분자 알데히드 및 지방산을 형성하며 이들 중 일부는 냄새를 야기해 실내 공기의 질에 영향을 미치게 된다는 보고도 있었다(Knudsen *et al.* 2000; Fick *et al.* 2002; Grosjean *et al.* 1992; Wolkoff 1999, 2000). 그러나 원목의 terpene류가 산화되어 발생하는 물질이 인체에는 영향은 미치지 않을 것이라는 보고도 있었다(Rice 1995). 또한, Fig. 2에서 확인할 수 있듯이 백합나무 TVOC 중에서 정량 가능한 부분은 극히 일부에 지나지 않는다. 현재까지도 terpene류만을 분석할 수 있는 실정이다. 목재의 활용가치를 높이고 친환경 소재로서의 신뢰성을 확보하기 위해서는 NVOC 분석을 위한 노력이 필요하며, OVOC에 대한 분석도 병행되어야 할 것으로 판단된다.

### 3.2. 백합나무 건조재의 휘발성유기화합물

건조재의 경우  $60^\circ\text{C}$ 의 조건에서 약 7일 정도 공기 중에 건조시킨 후 함수율이 12~15%인 것을 사용하여 VOC 측정을 실시하였다. 실험 실시 전 밀봉하여 실온 상태에 방치하였다. Fig. 2는 생재와 건조재의 TVOC 방출량을 비교하여 나타낸 것이다. 심재와 변재 모두 건조재의 TVOC 방출량이 현저히 감소하였음을 알 수 있었다. 건조재의 TVOC 방출량은 심재  $18.28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 변재  $15.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정되었다. 생재 상태의 심재와 변재에서 주요 방출물질이었던 AVOC 및 NVOC가 건조를 한 이후에는 AVOC 및 NVOC가 줄어들어서 전체 TVOC가 현저히 감소되었다.

건조 상태의 백합나무 심재와 변재로부터 방출되는 TVOC의 구성성분을 분석한 결과, 심재와 변재 모두에서 표준물질에 의해 hexane, chloroform, toluene, hexanal 등이 주요 VOC로 나타났다. 건조후 VOC 구성성분은 생재 상태에서 발생하는 VOC와 다른 양상을 보였다(Table 4).

또한, 표준물질을 이용한 19종의 측정대상 VOC 중 심재에서는 12종, 변재에서는 10종이 각각 검출되었다. 하지만 가장 많은 방출량을 나타낸 toluene

**Table 4.** The Results of VOCs Analysis for Heartwood and Sapwood of Yellow Poplar(dried wood)

No.	Compounds	Heartwood	Sapwood
		Compositions (%)	Compositions %
1	n-Hexane	2.36	10.5
2	Chloroform	2.61	16.1
3	Benzene	0.44	1.9
4	n-Pentanal	0.09	2
5	Toluene	2.99	15.2
6	n-Hexanal	2.25	15.7
7	Etylbenzene	0.48	2.3
8	p-Xylene	1.1	4.7
9	Styrene	0.35	2.3
10	o-Xylene	0.53	2.8
11	n-Undecane	0.09	1.3
12	Butanenitrile	-	2.1
13	Benzaldehyde	0.26	-
14	$\beta$ -Pinene	0.6	6.1
15	n-Noranal	-	6.1
16	$\alpha$ -Citronellol	-	2.2
17	Naphthalene	-	2.1
18	n-Decanal	0.35	6.7
19	$\alpha$ -Humulene	0.17	-
20	n-Hexadecane	0.58	-
21	I-Limonene	0.15	-
22	n-Nonanal	0.31	-
23	White tar	0.17	-

의 경우에도 심재에서  $3.08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 변재에서  $2.23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 매우 낮게 검출되어 VOC가 거의 방출되지 않는다고 판단해도 무방할 것으로 사료된다.

휘발성 물질에는 목재 구성성분인 페놀성 화합물에 의해 야기되는 악취성 물질들이 함유되어 있으므로 이에 따른 문제가 발생할 수 있다고 Jang and Kim (2008)은 보고하였으며, 목재 건조시 목재 내의 수분과 함께 각종 악취물질들이 함께 휘발하는 것으

로 보고되었다. 본 결과에서도 건조 후 TVOC의 양이 급격히 감소하는 것으로 나타났다.

하지만 기존에 많은 TVOC의 방출에 관한 연구와 분석이 이루어졌지만 목재의 경우 미미한 수준이며, 침엽수의 대부분은 monoterpene, terpenol, sesquiterpene 등의 NVOC로 이루어져 있다(Fick *et al.* 2002; Manninen *et al.* 2002).

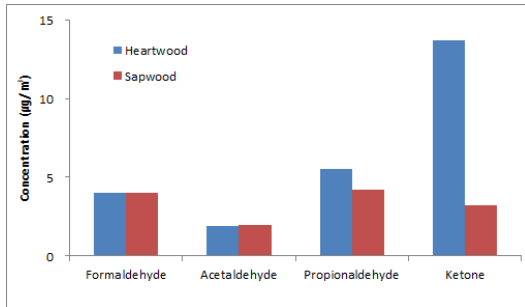


Fig. 3. Aldehyde and ketone emission from heartwood and sapwood of yellow poplar (green wood).

### 3.3. 백합나무 생재의 카르보닐화합물 분석

본 실험에서 aldehyde류 분석시 ozone에 대한 오염을 막기 위해 DNPH 카드리지에 자체에 BPE 층이 포함되어 있는 것을 사용하였다. Aldehyde류 중에 몇몇 물질이 실내와 실외를 오염시키는 화학물질로 인간의 건강에 끼치는 잠재적인 영향으로 인해 관심의 대상이 되고 있다. 전체적으로 aldehyde의 경우는 다른 VOC 물질들에 비해서는 방출량이 미미한 수준으로 나타났다. Fig. 3은 심재와 변재로부터 방출되는 aldehyde의 분석 결과를 비교한 것이다. Formaldehyde, acetaldehyde를 비롯한 13종의 aldehyde를 분석한 결과, 그림에서 보는 바와 같이 심재와 변재 모두 3가지 aldehyde가 나타났다. Formaldehyde는 심재와 변재에서  $4.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $3.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 유사한 방출량을 나타냈으며, acetaldehyde도  $1.91 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $1.94 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , propionaldehyde은  $5.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 와  $4.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 비슷한 결과를 나타내었다. 반면에, 심재에서 ketone이  $13.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 다른 aldehyde 물질들과는 달리 변재에서 보다 상대적으로 높은 방출량을 보였다.

Formaldehyde는 대기 중 가장 풍부하게 존재하는 알데히드로 인간의 암을 유발하는 물질로 분류된다. 또한, 최근 어린이 천식, 아토피 같은 질병을 유발하기 때문에 가정 및 공공장소에서의 주기적인 측정이 요구되고 있다. 하지만 백합나무에서 발생하는 formaldehyde는 극소량으로 인체에 크게 영향을 미치지 못할 것으로 판단된다.

환경부에서 지정한 8대 악취물질에는 썩은 양파,

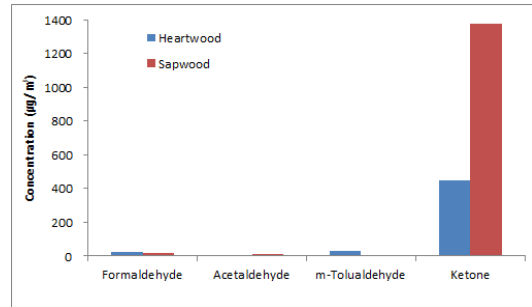


Fig. 4. Aldehyde and ketone emission from heartwood and sapwood of dried yellow poplar.

양배추, 계란 냄새와 유사한 methyl mercaptane, methyl sulfide, dimethyl disulfide, hydrogen sulfide와 소변냄새와 같은 ammonia, 썩은 생선냄새와 같은 trimethylamine, 비릿한 냄새의 acetaldehyde, 도시가스 냄새와 같은 styrene이 있다. 백합나무 생재 속에는 악취성분인 acetaldehyde와 propionaldehyde가 함유되어 있으며, 휘발성이 강한 ketone류도 함유되어 있다. 특히, ketone류와 propionaldehyde는 심재에 많이 함유되어 있음을 알 수 있었다. 이 결과를 종합해보면, 백합나무의 악취는 acetaldehyde와 propionaldehyde와 기타 VOCs에서 기인하는 것으로 판단된다.

Fig. 4는 건조상태의 백합나무 심재와 변재에서 방출되는 aldehydes를 나타낸 것이다. 분석대상 aldehyde 13종 중, 심재에서는 4종, 변재에서는 3종이 검출되었다. m-Tolualdehyde의 경우 심재에서만  $33.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 방출량을 보였으며, 심재와 변재 모두 ketone류의 방출량이 가장 높게 나타났다.

Manninen *et al.* (2002)은 목재를 기건 혹은 열기 건조하여 VOC방출의 차이를 검토하였는데, 열기 건조한 경우 상대적으로 terpene류의 방출량이 감소하였으며 대신 aldehyde류가 TVOC의 약 35%로 증가하였다고 보고하였다.

대부분의 VOCs와 aldehyde 물질들이 건조과정을 거친 후 방출량이 유사하거나 줄어드는 반면, ketone류의 경우는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 방출량이 급증하는 것으로 나타났다. 특히 생재상태에서는 심재부에서 다소 높은 방출량을 보였으나 건조 후에는 변재부에서 보다 높은 방출량을 나타내고 있다. 향후



추가적인 실험을 통해 이러한 현상의 원인을 규명할 필요가 있을 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

백합나무 생재의 TVOC 분석 결과, 심재에서 91.47  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 변재에서 123.37  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났으며, TVOC 중 심재에서 NVOC (11.1%), AVOC (56.9%), OVOC (48.9%), 변재에서 NVOC (0.8%), AVOC (6.2%), OVOC (93%)로 나타났다. 이러한 구성비율은 소나무의 TVOC 구성비율과 비교했을 때 낮은 NVOC와 높은 AVOC에 해당한다. 또한 백합나무 건조재의 TVOC 분석 결과, 심재에서 18.28  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 변재에서 15.32  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정되어, 백합나무를 건조했을 경우 TVOC의 양이 급격히 감소했다. 그리고 생재상태에서 주요 방출물질이었던 OVOC가 건조재에서는 거의 방출되지 않았다. 백합나무의 카르보닐화합물 분석 결과, 생재에서는 formaldehyde, acetaldehyde, propionaldehyde, ketone류가 검출되었고, 심재에서는 propionaldehyde가 사라지고 *m*-Tolualdehyde, formaldehyde, acetaldehyde가 방출되었다. 생재와 건조재의 심·변재 모두에서 높은 ketone류의 방출량이 나타났다. 본 실험에서 얻어진 백합나무의 VOC와 카르보닐화합물 분석 결과, 악취물질로 생각되는 특유의 물질이 두드러지게 발생하진 않았지만, 백합나무의 악취는 acetaldehyde와 propionaldehyde와 기타 VOCs에 의한 것으로 추정된다. 또한, 각각의 물질들이 가지고 있는 고유의 냄새가 혼합되어 악취를 유발하는 것으로 추정된다. 하지만, 건조 후에는 생재에서 방출되는 특유의 냄새는 나타나지 않았는데, 이는 건조과정에 많은 OVOC가 휘발되었기 때문이며, OVOC에 냄새를 유발하는 물질이 많이 포함되어 있는 것으로 사료된다.

#### REFERENCES

Chong, S.H. 2000. Quality and processing characteristics of yellow poplar, Korea Forest Research Institute. Forest research project report. 5(II):

1-19.  
 ECA. 1997. European Commission, Guideline for the characterization of volatile organic compounds emitted from indoor materials and products using small test chambers. Report No. 8.  
 Fick, J., Pommer, L., Andersson, B., Nilsson, C. 2002. A study of the gas-phase ozonolysis of terpenes: the impact of radicals formed during the reaction. Atmospheric environment. 36(20): 3299-3308.  
 Grosjean, D., Williams, E.L., Seinfeld, J.H. 1992. Atmospheric oxidation of selected terpenes and related carbonyls: gas phase carbonyl products. Environ. Sci. Technol. 26(8): 1526-1533.  
 Hwang, Y.S., Park, H.J., Son, Y.S., Kim, J.C. 2011. The Comparison of VOC Characteristics Emitted from Wood-based Panels Using GC/FID and GC/MS. Journal of Korean Society for Atmospheric Environment. 27(4): 436-442.  
 Jang, J.G., Kim, M.R. 2008. Emission Characteristics of VOCs in Drying Process for Plywood Manufacturing. Journal of the Environmental Sciences. 17(12): 1381-1390.  
 Kim, J.C. 2006. Trends and Control Technologies of Volatile Organic Compound, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment. 22(6): 743-757.  
 Kim, K.M., Park, J.H., Park, B.S., Son, D.W., Park, J.S., Kim, W.S., Kim, B.N., Ro, S.S. 2010. Physical and mechanical properties of heat-treated domestic yellow poplar. Mokchae Konghak. 38(1): 17-26.  
 Kim, S.S., Yeo, M.S., Kim, K.W. 2008. Numerical Analysis of the Indoor Air Quality and VOC Emission from Building Materials with the Temperature Variation. Architectural Institute of Korea. 24(3): 233-240.  
 Knudsen, H.K., Nielsen, P.A., Clausen, P.A., Wilkins, C.K., Wolkoff, P. 2000. Sensory evalu-

- ation of the impact of ozone on emissions from building materials. In Proceedings of the Healthy Buildings 2000, August 6-10, Espoo, Finland. vol. 1. pp. 217-222.
- Lee, H.Y., Park, S.B., Kim, E.I., Lee, S.M., Park, J.Y. 2009. VOCs Emission Characteristics and Psychological Effects of Interior Decorated Conifers. Journal of the Korea Furniture Society. 20(2): 115-121.
- Lee, S.T., Jeong, J.M., Kim, H.S., Bae, S.W., Jang, S.C., Lee, K.J. 2010. Management and characteristics of yellow poplar. Korea Forest Research Institute. Research Data No. 395.
- Lee, Y.J., Pang, S.K., Sohn, J.Y. 2004. A Study on Emission Characteristics of Volatile Organic Compounds from the Ondol Floor and Furniture. The Society of Living Environment System Korea. 11(2): 266-274.
- Lyu, G.O., Jang, S.S., Choe, W.Y., Kim, H.E. 2003. Growth Performance and Adaptation of *Liriodendron tulipifera* in Korea. Korean Forest Society. 96(6): 515-525.
- Manninen, A.M., Pasanen, P., Holopainen, J.K. 2002. Comparing the VOC emissions between air-dried and heat-treated scots pine wood. Atmospheric Environment. 36: 1763-1768.
- Ministry of environment. 2008. The process test standard of indoor air quality N.2008-73. South Korea.
- Ministry of environment. 2011. Indoor air quality control for multi-utility facilities. Law No. 10789. South Korea.
- Park, B. S., Chung, D.J., Lee, D.S., Chong, S.H., Park, J.H. 2009. Yellow poplar's fundamental wood property. Forest Science Paper 69: 65-72.
- Park, H.J. 2006. Comparison of VOCs and HCHO Emissions from Wood Products for the Enhancement of Indoor Air Quality. Master Thesis, Konkuk University, Seoul.
- Park, S.B., Lee, M. 2013. The Color Painting on Yellow Poplar (*Liriodendron tulipifera* L.) Board for Using Furniture Materials. Journal of the Korea Furniture Society. 24(4): 345-349.
- Rice, R.W. 1995. Assessing human health and environmental effects related to drying wood. In: Measuring and controlling colatile organic compounds and particulate emissions from wood processing operations and wood-based products, Forest Products Society, Madison, WI, USA pp. 14-16.
- So, W.T., Chai, J.K. 1998. Basic Properties of yellow poplar (*Liriodendron tulipifera* L.) grown in Chonnam district. Journal of the Korea Furniture Society. 9(1): 1-7.
- Tohmura, S.I., Miyamoto, K., Inoue, A. 2005. Acetaldehyde emission from glued-laminated timber using phenol-resorcinol-formaldehyde resin adhesives with addition of ethanol. Journal of Wood Science 51: 421-423.
- US EPA (United Stated Environmental Protection Agency). 2009. A Guide to Indoor Air Quality.
- WHO (World Health Organization). 2010. Air Quality Guideline, Environmental health information.
- Wolkoff, P. 1999. How to measure and evaluate volatile organic compound emissions from building products. A perspective. The Science of the Total Environment 227, 197-213.
- Yoon, K.J., Eom, C.D., Park, J.H., Kim, H.Y., Choi, I.G., Lee, J.J., Yeo, H.M. 2009. Color Control and Durability Improvement of Yellow Polar (*Liriodendron tulipifera*) by Heat Treatments. Mokchae Konghak. 37(6): 487-496.