

합판 제조용 목재 건조공정에서의 휘발성 유기화합물(VOCs) 배출특성

장정국 · 김미란*

동서대학교 환경공학과, *부경대학교 환경공학과
(2008년 10월 23일 접수; 2008년 12월 1일 수정; 2008년 12월 8일 채택)

Emission Characteristics of VOCs in Drying Process for Plywood Manufacturing

Jeong-Gook Jang and Mi-Ran Kim*

Department of Environmental Engineering, Dongseo University, Busan 617-716, Korea
*Department of Environmental Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea
(Manuscript received 23 October, 2008; revised 1 December, 2008; accepted 8 December, 2008)

Abstract

Emission characteristics of volatile organic compounds (VOCs) were investigated in the flue gas emitted from wood drying process for plywood manufacturing. The moisture content of raw timber was average 48%, and its density was 831.55 kg/m^3 . But the moisture content of dried wood is needed less than around 10%, thus the moisture contents of flue gas should be remarkably high(about 18.2 V/V%). Therefore, the vapor in flue gas is equivalent to 320 ton-vapor/day when 1100 ton-wood/day is treated in the wood drying process. The temperature of flue gas ranges from 140°C to 150°C in each dryer stack with exception of the input site of wood(about 110°C). The velocity of flue gas in each stack ranges from 1.7 to 9.7 m/sec. In order to assess the concentrations and attribution rate of odorous compounds, it was analyzed about 40 VOCs in the flue gases. It was found that the major odorous compounds were 8 compounds, and the concentrations of major VOCs(ppm) were as follows; benzene: 0.054~0.052, toluene: 1.011~2.547, ethylbenzene: 0.472~2.023, m,p-xylene: 0.504~3.245, styrene: 0.015~0.148, o-xylene : 0.271~1.097, ethanol: 11.2~32.5, α -pinene: 0.908~10.578, β -pinene: 0.982~14.278. The attribution rate of terpenes (α -pinene, β -pinene) was about 60.56%, and that of aromatics and alcohols was about 22.77%, and 16.67%, respectively. It is suggested that the adequate control device should be used to control both the water soluble and non-soluble compounds because both compounds were mixed in flue gas.

Key Words : Plywood, Drying process, BTX(benzene, toluene, xylene), VOCs

1. 서 론

원목(raw timber)과 제재품(lumber)의 함수율 즉,

Corresponding Author : Jeong-Gook Jang, Department of Environmental Engineering, Dongseo University, Busan 617-716, Korea
Phone: +82-51-320-1792
E-mail: jgjang@dongseo.ac.kr

생재함수율(green moisture content)은 원목이 다량의 수분이 함유되어 있기 때문에 매우 높고, 무게가 무거울 뿐만 아니라 보통의 대기온도와 습도에서 평형에 도달하는 상태인 기건함수율(air dried moisture content)까지 건조하려면 오랜 시간이 소요되고 목재의 수축에 의한 여러 가지 건조결함이 유발될 수 있다¹⁻³⁾.

그러므로 목재보호와 이용 측면에서 목재건조는 목재가공공정에 있어서 매우 중요한 기본공정이며, 이 건조공정에 의해 목재의 함수율이 감소되므로 운반비가 절감되고 안전한 저장이 가능하며 목재의 최종 용도에 적합한 특성을 제공할 수 있다는 장점이 있다^{4,5)}.

목재의 구성성분은 크게 탄수화물과 페놀성 화합물로 대표될 수 있는데, 목재를 건조할 경우에는 목재 내 함유된 다량의 수분과 함께 이러한 성분들도 휘발에 의해 함께 배출될 수 있다^{3~6)}. 또한 이러한 휘발성 물질에는 목재 구성성분인 페놀성 화합물에 의해 야기되는 악취성 물질들이 함유되어 있으므로 이에 따른 악취문제가 발생할 수 있다. 즉, 목재이용의 전처리 단계인 건조시설에서 목재의 수분을 감소시키기 위해 열풍을 이용할 경우 목재 내에 함유되어 있는 수분뿐만 아니라 여러 가지 휘발성 물질들이 함께 건조, 휘발됨에 따라 각종 악취물질들의 배출을 동반한 건조조작이 이루어지는 것이 일반적이라고 할 수 있다. 그러나 기존의 목재 건조시설에서는 백연 및 악취성 물질의 제어를 위한 후처리 설비가 거의 없는 실정으로, 최근 건조 배가스에 의한 악취 및 VOCs 성분에 의한 2차적인 대기오염문제가 거론됨에 따라 이들 물질을 처리하기 위한 별도의 처리시설을 부차해야만 하는 실정이다.

목재 건조시설에 대해 별도의 후처리설비를 부착하기 위해서는 목재 건조시설로부터 배출되는 배가스의 유량 및 온도, 배가스 내 수분함량, 주요 VOC 성분 또는 악취원인물질 등에 관한 기초자료가 충분히 확보되어야만 한다. 그러나 현재 목재 건조시설에서 발생하는 배가스의 특성에 관한 정성 및 정량 분석자료는 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 목재건조시설에서 건조공정 중에 수분과 함께 동반 배출되는 VOC 또는 악취물질의 저감에 적절한 후처리 설비의 선정 및 설계를 위한 기초 연구로서 실제 목재 건조시설 현장에서 배출되는 배가스의 유량, 온도, 수분함량을 측정하고, 배가스 내 악취 또는 VOC류의 성분분석을 실시하였다. 또한 Lab-scale 건조실험을 통해 목재 건조시설에서 발생하는 배가스의 흡수세정 특성을 파악하고자 하였으며, 이러한 일련의 연구를 통해 목재 건조시설 배가스에 대한 기초자료를 확보하고자 하

였다.

2. 재료 및 방법

목재건조시 발생하는 배가스의 특성을 파악하기 위해 목재가공업체인 S사의 목재건조시설을 대상시설로 선정하였다. 대상시설인 S사는 3기의 목재건조시설이 운전되고 있으며, 각 건조시설마다 6개 또는 7개의 연돌(총 19개)을 통해 건조가스가 배출되고 있다. 본 연구에서는 목재건조공정에서 발생하는 배가스 내의 VOCs 및 악취물질 처리에 적합한 시설을 선정하는데 필요한 기초자료를 확보하고자, 현장실험 및 실험실 분석을 병행하여 실시하였다.

현장실험은 목재건조공정에서 발생하는 배가스의 배출특성을 파악하기 위한 것으로 배가스의 유량, 배출온도, 배가스 내 수분함량, 배가스 내 VOCs 및 악취성분 등을 측정하였다. 그리고 실험실 분석을 위해 현장에서 별도로 목재시편을 채취하였으며, 채취한 시료에 대해 목재의 특성분석 및 건조실험을 실시하였다.

목재건조실에서 발생하는 배가스 온도는 최고 1000℃까지 측정 가능한 thermocouple (NiCr-Ni sensor)를 사용하여 측정하였으며, 배가스 내 수분함량은 대기오염 공정시험방법 중 흡습관법⁷⁾과 180℃까지 측정가능한 고온용 습도계(Testo 445, Testo)를 이용한 두가지 방법으로 조사하였다. 목재건조실에서 발생하는 배가스의 총 유량을 산정하기 위해 19개 연도 전지점에서의 유속측정은 0~60 m/s의 측정범위를 가진 Vane type 유속계(Testo 550, Testo)를 이용하여 각각 측정하였다.

배가스의 성분분석은 테들러 백(tedler bag)에 일정량을 채취한 후 GC-MSD를 이용하여 분석하는 방법으로 실시하였으며, 목재건조시설 1기에서 배출되는 지점들 전체(A1~A6)와 2기 시설의 후단 1지점(B6, C7)에 대해서 조사하였다.

실험실 분석을 위한 목재시편은 크게 두가지 형태로 채취하였다. 밀도측정을 위해서는 원목을 높이 0.5 m 정도로 절단한 것을 시편으로 이용하였으며, 목재 건조실험을 위해서는 목재건조실로 유입되기 직전의 얇은 판상 형태인 폭 0.2 m, 길이 1 m 정도로 절단한 것을 시편으로 하였다. 단, 목재 건조실험은

포플러(Poplar), 라디에타파인(Radiatar pine), 캄프러스펠마(Camp. p), 딜레니아(Dillenia) 4종에 대해서만 실시하였다.

목재 건조실험은 건조시 발생된 수증기의 회수율 및 응축수의 특성 검토를 위해 별도로 Lab-scale 건조 실험 장치를 제작하여 실시하였으며, 계통도를 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 Lab-scale 건조 실험 장치는 목재건조실, 전기로, 흡수병, 냉각수조, 유량계, 진공펌프 등으로 구성되어 있다.

Lab-scale 목재건조장치에서의 건조실험은 다음과 같은 방법으로 실시하였다. 먼저 고온전기로 내에 Lab-scale 목재건조실을 설치한 후 일정 온도까지 가열한다. 그런 다음 목재건조실에서 발생하는 배가스 내 수분이 전량 흡수병에 포집되도록 일정유량으로 흡인한다. 이때 건조실 내 목재시편의 최종수분함량이 대략 8% 정도가 되도록 하였다. 또한 수증기가 배기관 내에서 응축되지 않도록 전기로에서 흡수병에 이르는 관을 보온재로 감아 보온하였으며, 흡수병에 포집된 수증기가 대기 중으로 배출되지 않도록 냉각수조의 온도를 일정온도 이하로 유지시켰다. 건조실험이 끝난 후 목재시편의 실험전·후의 무게, 수분함량을 측정하였으며, 흡수병에 포집된 응축수량과 비교하여 건조실에서 발생된 수증기의 회수율을 검토하였다. 또한 포집된 응축수에 대해 별도의 수질분석 실험(pH, COD분석)을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 건조대상 목재의 특성

본 연구의 대상시설인 S사의 목재건조시설의 기

본 운전조건을 파악하기 위해 건조시설 내로 투입되는 목재의 투입량 및 물리적인 특성에 대해 조사하였다. S사에서 사용하고 있는 수종은 크게 Hard wood와 Soft wood로 구분할 수 있는데, Hard wood는 Papua New Guinea 잡목(PNG), Terminallia(TER), Dellenia(DIL) 및 Merante(MRT)가 주로 사용되고, Soft wood는 Radiatar pine과 Poplar가 사용수종의 거의 대부분을 차지하고 있었다. 그리고 솔로몬산(SOL)과 인도네시아산(IND)도 사용되기는 하나 조사기간 동안 사용량이 매우 적어 PNG와 기본특성이 동일한 것으로 간주하였다. 따라서 본 연구에서는 Hard wood 4종과 Soft wood 2종을 포함한 총 6종의 수종에 대해 목재투입량과 물리적인 특성에 대해 조사하였으며, 이를 Table 1에 나타내었다.

Table 1에 나타난 바와 같이 S사의 목재건조실에서 처리되는 목재투입량은 평균 1,100 m³/day 정도였으며, Radiatar pine(RADIA.P)이 투입수종의 대략 70%정도를 차지하고 있어 이 수종의 특성이 전체 평균 특성치에 가장 많은 영향을 미칠 것으로 판단되었다.

목재의 수분함량은 전건법²⁾으로 측정하여 습윤기준과 건조기준으로 나타내었다. Table 1에서 보는 바와 같이 수종별 수분함량은 습윤기준으로 약 30~50% 정도인 Hard wood에 비해 Soft wood에서 다소 높은 값을 보이며, 그 범위는 약 50~70% 정도이다. 목재건조실에서 처리되는 목재의 평균 수분함량은 건조시설로 투입되는 목재의 양에 따라 가중치가 달라지므로 투입량과 목재의 비중을 이용하여 계산하였으며, 습윤기준으로 약 48% 정도였다.

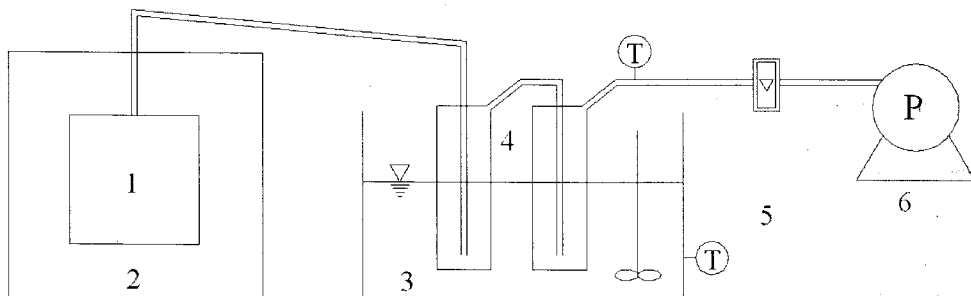


Fig. 1. Schematic of wood drying system : 1. Drying chamber; 2. Electric furnace; 3. Cooling bath; 4. Absorbing bottle; 5. Rota-meter; 6. Pump.

Table 1. Input amount and physical properties of lumber by wood species

Type		Input amount			Moisture(%)		Density(kg/m ³)	
		Monthly average (m ³ /month)	Daily average (m ³ /day)	Percentage (%)	Wet basis	Dry basis	Wet basis	Dry basis
Hard wood	PNG	4453.35	184.02	16.73	41.10	69.78	763.66	598.74
	TER	2246.80	92.84	8.44	33.51	50.39	748.21	621.31
	DIL	763.51	31.55	2.87	51.80	107.47	795.22	575.15
	MRT	610.66	25.23	2.29	37.26	59.39	831.54	731.50
Soft wood	RADIA.P	18118.24	748.69	68.08	51.78	107.37	843.34	675.10
	POPLAR	418.82	17.31	1.57	67.90	211.51	800.29	377.85
Remark		Σ 26611.39	Σ 1099.64	Σ 100.00	Mean 48.0	Mean 92.0	Mean 831.55	Mean 657.15

목재의 밀도는 목재건조시설에 투입되기 전의 습윤상태에 대해 측정하였는데, Table 1에서 보는 바와 같이 습윤상태의 수종별 밀도는 약 750~840 kg/m³ (비중 0.75-0.84)의 범위였으며 Radiatar pine(RADIA.P)이 가장 높은 밀도 값을 가지고 있었다. 따라서 S사의 목재건조시설에서 발생하는 배가스 중의 수분함량은 투입량이 많고 높은 비중을 가진 Radiatar pine(RADIA.P)에 의해 거의 영향을 받을 것임을 알 수 있다.

3.2. 배가스의 온도 및 유속분포

S사의 목재건조공정은 소각로에서 발생시킨 스팀의 간접열을 이용하여 열풍으로 목재단판의 수분을 건조하는 방식으로, 건조기 내부 온도를 180~200°C로 유지하면서 단판 최종품의 건조기준 수분함량이 10%정도가 되도록 운전하고 있다.

본 연구에서는 3기의 목재건조시설 상부에 설치되어 있는 19개 지점의 각 배출구에서 배가스 온도와 유속을 측정하였다. 이때 3기의 목재건조시설은 측정 편의상 A, B, C-line으로 구분하였으며, 각 건조시설마다 설치된 6~7개의 배가스 배출구에 대해 유입구(0번 지점)를 기준으로 목재의 건조진행 방향으로 1에서 6 또는 7번 지점으로 분류하여 측정하였다.

각 지점별 온도분포를 나타낸 Table 2와 Fig. 2를 보면, 목재투입부인 각 Line의 1번 지점의 온도가 비교적 낮고 건조단판 출구부인 5번 또는 6번 지점의 온도가 높게 나타났다. 그리고 현장 실험 시 채취지점별로 굴뚝형태에 따라 접근이 어려운 곳이 있었음을 감안하면 각 Line별 온도분포가 거의 유사한 것

로 판단되며, 굴뚝을 통해 배출되는 과정에서 내부 온도가 약 20~40°C 정도 감소되는 것으로 나타나 덕트를 통한 열손실이 비교적 많이 일어남을 알 수 있었다.

열풍을 이용하는 목재건조시설은 일반적으로 건조실 내 습도에 따라 외부유입공기량 및 배가스 출구의 개폐가 자동으로 조절되는 방식으로 가동되고 있다³⁾. 이로 인해 배가스의 유량이 일정치 않고 순간 변화량이 크기 때문에 각 측정지점에서 많은 측정오차를 유발시킬 수 있다. 따라서 Table 2에 나타낸 유속은 측정 당일 측정유속의 평균치를 정리한 것이므로 실제 순간유속은 평균유속과 많은 편차속도를 가질 수 있다. 이는 앞에서도 언급한 바와 같이 건조시설의 배가스 배출특성상 순간변화량이 크기 때문이며, 본 연구에서는 측정오차를 최대한 줄이기 위해 측정회수를 늘려서 측정한 후 측정된 여러번의 순간 유속을 평균한 값을 선정하였다. 각 건조시설의 유속을 살펴보면 A-Line은 1.58~2.35 m/sec, B-Line은 2.32~8.72 m/sec, 그리고 C-Line은 4.69~9.73 m/sec의 범위로 변화의 폭이 큰 것으로 나타났으며, 목재 건조시설에서의 배가스 처리를 위한 후처리설비 선정시 이러한 유량변화에 대한 충분한 고려가 있어야 할 것으로 판단된다.

3.3. 배가스의 수분함량 및 수증기 발생량

배가스 내 수분함량은 후처리설비 선정에 있어 중요한 변수가 될 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 목재건조시 발생하는 배가스의 수분함량을 각 지점별로 측정하였으며, 수분함량을 이용하여 산정한 배

Table 2. Temperature and velocity distribution of flue gas

Point	Area (m ²)	Temp. of flue gas[°C]			Velocity of flue gas[m/s]			Flow rate (Sm ³ /hr)
		Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	
A1	0.54	103.5	128.0	117.1	0.66	2.37	1.58	2149.5
A2	0.54	131.6	148.0	141.5	1.22	4.55	2.35	3008.9
A3	0.54	140.2	157.5	140.3	1.06	4.44	2.20	2764.8
A4	0.54	143.8	161.3	153.8	0.84	4.86	2.10	2611.3
A5	0.54	134.9	162.0	155.6	1.09	4.21	2.05	2538.4
A6	0.54	125.0	164.1	149.5	1.22	3.39	2.22	2788.6
B1	0.54	77.2	132.0	99.1	2.87	4.91	3.68	5248.6
B2	0.54	121.6	143.0	130.3	2.14	14.16	5.91	7777.1
B3	0.54	128.9	148.6	137.3	3.90	7.46	5.40	7159.2
B4	0.54	136.0	156.0	143.0	1.03	6.86	4.55	5804.7
B5	0.54	138.0	159.0	145.2	5.04	12.77	8.72	11066.0
B6	0.54	114.3	152.0	131.6	1.50	3.49	2.32	3043.1
C1	0.16	83.3	131.6	115.9	4.72	17.03	9.73	3934.2
C2	0.40	105.5	135.1	120.1	2.09	8.10	5.27	5270.3
C3	0.40	125.7	151.8	138.6	1.96	10.02	6.42	6131.8
C4	0.40	137.0	154.1	148.5	0.89	11.44	7.26	6771.2
C5	0.40	140.4	163.7	152.2	4.66	8.72	5.46	5048.1
C6	0.40	144.5	158.1	153.8	4.93	8.01	6.95	6401.6
C7	0.16	150.5	183.0	165.8	2.66	5.55	4.69	1680.7

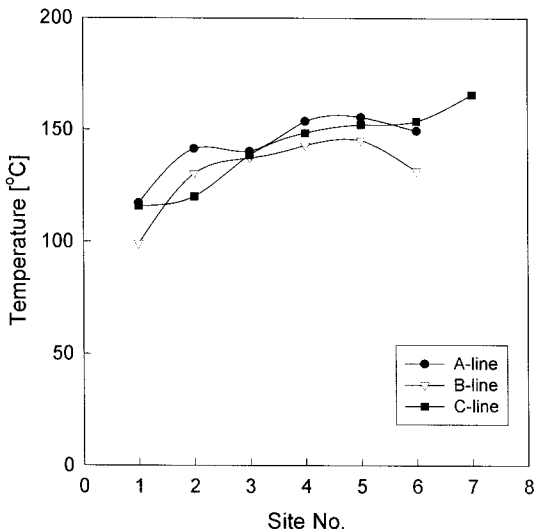


Fig. 2. Temperature distribution of flue gas from wood drying facilities.

가스 중 수증기 발생량 및 외부공기 유입량과 함께 Table 3에 나타내었다. 이때 배가스 내 수분함량은 대기오염공정시험법에 따라 흡습관법⁷⁾으로 측정된 수분량을 채취가스 전체부피에 대한 부피 백분율로

표시하였다.

Table 3에서 보는 바와 같이 배가스 내 수분함량은 각 Line 별 4번 지점에서 가장 높은 값을 나타냈다. 또한 5번 또는 6번 지점도 수분함량이 비교적 높게 나타났으며, 건조공정의 마지막 부분인 6번 또는 7번 지점은 배가스 내 수분함량이 가장 낮게 나타났다. 배가스 내 평균 수분함량은 A-Line이 약 6~27%, B-Line은 3.6~24%, C-Line 이 10~30% 정도로 나타났다. A, B 시설에 비해 C 시설에서 배가스 중 수분함량이 다소 높게 나타나 C-Line에서 배출되는 수증기량이 가장 많을 것으로 예측되었다.

본 연구대상인 목재건조시설의 수증기 발생량은 약 16,583 Sm³/hr으로 이를 무게로 환산하면 13.33 ton/hr이며, 1일 약 320 ton에 해당한다. 그리고 외부 유입공기는 평균 약 74,615 Sm³/hr 정도로 계산되었다. 따라서 목재건조시설로부터 발생하는 다량의 수분에 대한 처리방안이 후처리시설 선정시 함께 고려되어야 함을 알 수 있다.

3.4. 배가스 중 VOCs 및 악취 원인물질 배출특성

목재건조시 발생하는 배가스 중의 VOCs 및 악취 원인물질 함유여부 및 농도를 파악하기 위해 GC-

Table 3. The moisture content of flue gas and the vapor generation rate

Point	Flow rate (Sm ³ /hr)	Moisture content (V/V, %)			Vapor generation rate (Sm ³ /hr)	External air flow rate (Sm ³ /hr)
		Min	Max	Mean		
A1	2149.5	5.6485	18.4836	11.1220	239.0688	1910.444
A2	3008.9	11.5598	21.6589	14.6397	440.4883	2568.373
A3	2764.8	14.0053	27.3272	19.2131	531.1999	2233.58
A4	2611.3	16.6470	50.2495	26.8176	700.2832	1910.999
A5	2538.4	14.7876	33.0143	22.7650	577.8675	1960.536
A6	2788.6	3.2734	8.6448	6.0299	168.1494	2620.444
B1	5248.6	4.6679	13.2477	10.1252	531.4356	4717.208
B2	7777.1	9.9191	17.3962	13.7068	1065.993	6711.116
B3	7159.2	13.5224	19.6979	16.5407	1184.189	5975.054
B4	5804.7	16.2054	39.4150	23.8533	1384.604	4420.059
B5	11066.0	19.9686	11.9863	15.7399	1741.78	9324.238
B6	3043.1	4.6291	2.6173	3.5736	108.7494	2934.384
C1	3934.2	6.7490	17.4321	10.1880	400.8196	3533.413
C2	5270.3	14.2431	33.5120	21.5085	1133.556	4136.713
C3	6131.8	10.9604	22.0849	16.5877	1017.117	5114.638
C4	6771.2	19.7963	48.3111	29.9516	2028.076	4743.101
C5	5048.1	17.4158	41.1969	26.6379	1344.697	3703.363
C6	6401.6	19.6678	47.3624	26.8419	1718.299	4683.257
C7	1680.7	5.8463	33.5531	15.8688	266.7076	1413.997
Sum	91198				16583.1	74614.9

MSD를 이용하여 각종 성분의 정성분석을 행하였으며, Table 4에 나타난 바와 같이 총 36종의 성분이 검출되었다. 정량분석은 정성분석에서 주요피크성분으로 나타난 물질에 대하여 실시하였으며, 각 지점별 농도를 Table 5에 나타내었다.

Table 5에서 보는 바와 같이 배가스 내 주요 VOCs 및 악취원인물질로 벤젠 외 8가지 성분이 검출되었는데, 방향족류 6종, 알콜류 1종, 테르펜류 2종이었다. 이들 물질의 각 지점별 농도를 살펴보면 대체로 건조가 어느 정도 진행된 후인 시설 후단에서 배출 농도가 비교적 높게 나타났다.

한편 배가스에 함유된 악취성분 중에는 농도가 낮더라도 악취도에 크게 영향을 미치는 경우가 많다. 따라서 악취특성을 평가할 경우 악취물질의 배출농도보다는 악취강도를 나타내는 것이 타당한 것으로 평가되고 있다. 그러므로 본 연구에서는 목재 건조 시설에서 배출되는 주요 악취원인물질을 파악하기 위하여 예상악취강도(expected odor intensity)⁸⁾ 및 악취기여율(odor attribution)을 산정하였다. 이때 예상악취강도는 측정된 물질의 농도를 최소감지농도(TLV, threshold limit value)로 나눈 값이고, 악취기여

율은 각 물질의 예상악취강도를 각 물질의 예상악취강도를 모두 합한 값인 총괄악취강도(total expected odor intensity)로 나눈 값의 백분율이다.

목재 건조시설에서 발생된 배가스 내 함유된 VOCs 및 악취원인물질 중 본 연구에서 검출된 주요 9종의 악취물질은 Table 6에서 보는 바와 같이 대부분이 최소감지농도 이상으로 취기의 감지가 가능한 상태이다. 또한 이들 물질의 악취강도를 살펴보면 Fig. 3에서 보는 바와 같이 배출농도가 가장 높은 에탄올에 비해 α -pinene과 β -pinene의 악취강도가 오히려 높았으며, 악취규제대상물질인 Xylene과 Styrene 또한 악취강도가 비교적 높게 나타났다. 악취물질의 기여도를 보면 테르펜류가 60.56%, 방향족류가 22.77%, 알콜류 16.67%로 목재 건조시설에서 발생되는 배가스는 테르펜류에 의한 악취가 가장 강하게 감지될 것이나, 방향족류나 알콜류의 기여도 또한 높은 편이어서 어떤 한, 두 종류에 의한 악취가 아닌 복합악취 형태로 감지될 것으로 판단된다. 그러므로 목재 건조시설에서 발생되는 VOCs 및 악취원인물질은 어떤 특정물질을 저감하기 보다는 다양한 형태의 물질을 모두 저감할 수 있는 악취제어설비가 선

Table 4. The results of qualitative analysis for flue gas by GC-MSD (TIC)

No.	Component	1st sampling								2nd sampling		
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	B6	C7	A6	B6	C7
1	Acetaldehyde	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2	Ethanol	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3	Acetone	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4	Isopropylalcohol	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-	-
5	n-Propanol	○	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-
6	Butan 2-ol	-	○	○	○	○	○	○	○	-	-	-
7	M.E.K	○	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-
8	Acetic acid, ethyl ether	○	○	○	-	○	○	○	-	-	-	-
9	Acetic acid	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
10	Isobuthyl alcohol	○	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-
11	n-Butanol	○	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-
12	n-Propionic acid	○	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-
13	Hexane	-	○	○	○	○	○	○	-	○	-	-
14	Propionic acid ethyl ether	-	○	○	-	○	○	○	-	-	-	-
15	Propylene glycol	-	-	-	-	○	○	○	-	-	-	-
16	n-Butanol, 3 methyl	○	○	○	-	○	○	○	-	-	-	-
17	1-Butanol, 2 methyl	-	○	○	-	○	○	○	-	○	○	○
18	Propionic acid 2 methyl	-	○	○	-	○	○	○	-	-	-	-
19	Butanoic acid	-	-	○	○	○	○	○	-	-	-	-
20	Toluene	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
21	DMA	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
22	Ethyl benzene	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
23	m,p-Xylene	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
24	Styrene	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
25	o-Xylene	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
26	Tricyclene	-	-	-	-	○	○	○	-	○	○	○
27	α-Pinene	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
28	Camphene	-	-	-	-	○	○	○	○	○	○	○
29	β-Myrcene	-	-	-	-	○	○	○	○	○	○	○
30	β-Pinene	-	-	-	-	○	○	○	○	○	○	○
31	2-Ethyl hexanol	○	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-
32	Limonene	-	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○
33	Tetradecanoic acid	-	-	○	-	○	○	○	-	-	-	-
34	γ-Terpinene	-	-	-	-	○	○	○	○	○	○	○
35	Carproaldehyde	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○
36	n-Pantanol	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○

‘○’ mark means the flue gas contains this component

Table 5. Concentration of odor and VOCs on wood drying facilities

[unit: ppm]

Compounds	1st sampling						2nd sampling		
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A6	B6	C7
<i>Aromatics</i>									
Benzene	0.482	0.102	0.112	0.205	0.075	0.502	0.072	0.082	0.054
Toluene	1.042	1.452	1.728	2.024	2.157	2.547	1.214	1.785	1.011
Ethylbenzene	0.482	1.102	1.112	1.505	0.875	2.023	0.472	0.785	0.554
m,p-Xylene	0.504	1.227	1.512	2.545	1.447	3.245	0.754	0.857	0.954
o-Xylene	0.0152	0.0248	0.0387	0.0298	0.0427	0.0205	0.271	0.387	0.302
Styrene	0.28	0.578	0.584	0.854	0.475	1.097	0.102	0.148	0.0577
<i>Alcohols</i>									
Ethanol	22.4	23.1	24.9	32.5	25.4	23.3	0.0248	0.0255	11.2
<i>Terpenes</i>									
α-Pinene	1.875	0.908	1.048	2.057	1.012	5.012	5.960	5.942	10.578
β-Pinene*	1.121	0.987	1.458	2.578	0.982	5.987	6.542	6.947	14.278

*Quantity of β-Pinene is calculated by α-Pinene area on the assumption that relative sensitivity of β-Pinene is 1.00 compared to α-Pinene

Table 6. Odor attribution of major 8 odor components in flue gas

Compounds	TLV* (ppmv)	Dryer				Solubility in water** (g/100 g)
		Concentration(ppm)		Intensity (-)	Attribution (%)	
		Range	Mean			
<i>Aromatics</i>						
Benzene	2.7	0.054~0.502	0.246	0.09	0.03	0.0722
Toluene	0.33	1.011~2.547	1.825	5.56	1.90	i.
Ethylbenzene	0.17	0.472~2.023	1.183	6.96	2.39	0.01 ^{at} 15°C
m,p-Xylene	0.0495	0.504~3.245	1.747	35.29	12.11	i.
o-Xylene	0.38	0.271~1.097	0.029	0.08	0.03	i.
Styrene	0.035	0.015~0.148	0.645	18.43	6.32	v.s.l.s
<i>Alcohols</i>						
Ethanol	0.52	11.2~32.5	25.267	48.59	16.67	∞
<i>Terpenes</i>						
α-Pinene	0.018	0.908~10.578	1.985	110.28	37.83	v.s.l.s
β-Pinene	0.033	0.982~14.278	2.186	66.24	22.73	i.

*Presumed TLV(Threshold limit value) from the same family or group⁹⁻¹³⁾

**i., insoluble; v.s.l.s., very slightly soluble¹⁴⁾

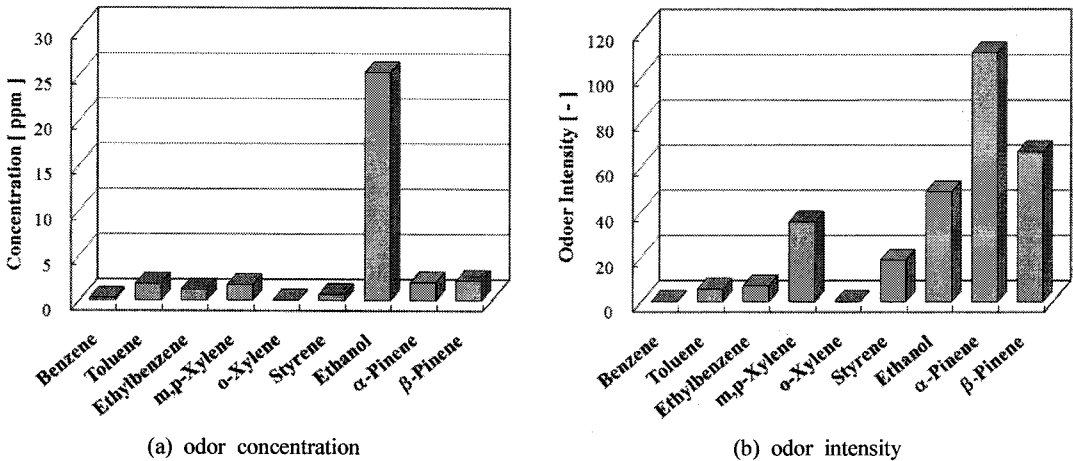


Fig. 3. Concentration and odor intensity of major 9 odor components in flue gas.

정되어야 할 것이다.

한편 목재 건조시설에서 발생되는 VOCs 및 악취 원인물질을 제어하기 위한 후처리설비를 선정하기 위해서는 대상오염물질의 특성 또한 파악되어야 한다. Table 6에 나타난 각 물질들의 수용성 여부를 살펴보면, 배가스 내 주요악취물질들은 대부분 비수용성이고 특히 악취강도가 높은 β-pinene과 m, p-Xylene은 불용성이다. 그러나 악취강도가 높은 것으로 나타난 pinene류는 주로 숲에서 다량 발생하는 물질로 단순악취로 간주하기 어렵고, 16.67%이상의

악취기여도를 가지는 에탄올은 수용성이다. 그러므로 목재 건조시설에서 발생되는 악취물질을 제어하기 위한 설비를 선정할 때는 배가스의 유량 및 수분 함량 이외에 이러한 주요악취물질들의 특성을 고려하여 수용성 및 비수용성 악취물질들이 함께 제거될 수 있는 방안을 모색하여야 할 것이다.

3.5. 목재건조 배가스의 흡수세정 특성

목재 건조시 발생하는 배가스 내에는 다량의 수증기가 포함되어 있는데, 그 양을 환산하면 전체 배가

Table 7. Absorption and cleaning characteristics of flue gas

Sample weight(g)		Wood type	Moisture content (%)	Amount of evaporation (g)	Amount of recovery (g)	pH	COD (ppm)
Before drying	After drying						
151.456	41.756	Poplar	71.91	105.06	55	4.72	207.05
129.762	60.436	Poplar	68.9	69.326	60.91	4.2	292.9
28.852	25.084	Camp.p	13.41	3.768	3.359	6.37	41.41
86.325	60.684	Radia.p	35.46	25.641	18.426	4.78	212.1
67.651	37.512	DIL	53.6	30.139	22.371	5.19	202

스량의 18% 이상이 된다. 이러한 다량의 수증기는 VOCs 및 악취물질 처리장치의 선정에 있어 처리방법의 선택이나 설비규모에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 본 연구에서는 배가스 중 수증기를 흡수세정으로 응축·회수하는 방안에 대해 검토하고자 하였으며, 이를 위해 Lab-scale 건조실험을 실시하였다.

Lab-scale 건조실험은 수종별로 흡수세정 특성을 파악하기 위해 별도로 제작된 밀폐형 건조 Bomb 내에 10~12단의 단판 시편을 일정 간격으로 쌓아놓고 건조시키면서 진공 펌프로 배가스를 흡수병 내로 흡입하는 방법으로 실시하였다. 이때 건조는 열풍을 사용하고 내부 순환하는 실제 건조공정과는 달리 진공 건조방식으로 외부유입공기를 차단한 상태에서 진행되었으며, 최종 건조품의 수분함량이 건조기준으로 10% 정도가 되도록 목재 내 함유량 중 일부의 수분이 목재단판에 남는 양을 미리 계산하여 건조시간을 조절하였다. 또한 흡수된 세정액 중의 pH와 COD를 측정하여 간이법으로 세정액 내에 가스상의 물질이 흡수되는 것을 간접적으로 파악하고자 하였으며, Lab-scale 실험결과를 Table 7에 나타내었다.

Table 7에서 보는 바와 같이 증발수증기의 약 52~90% 가량이 흡수 세정액 내에 흡수되는 것으로 나타나 목재건조공정에서 발생하는 수증기의 상당량을 흡수세정으로 제거할 수 있을 것으로 판단되었다. 또한 흡수세정액의 최종 pH 값으로부터 목재건조공정에서 발생하는 가스상 물질들이 산성을 띠는 물질인 것으로 여겨진다. 세정액의 성분분석은 이루어지지 않았으나 다량의 산성유기물이 흡수됨을 COD 농도로부터 추측할 수 있었으며, 분석된 COD농도를 목재 단위질량당으로 환산하면 약 145.2 ~ 365.1 mg COD/kg wood 범위이다. 그리고 흡수병 후단에서 관능법으로 취기를 측정된 결과 거의 취기를 느낄 수

없는 정도였다. 따라서 소량의 목재를 건조하여 나타난 결과이기는 하나, 이러한 결과로부터 목재건조공정에서 발생된 배가스의 흡수세정에 대한 가능성은 평가할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 목재 건조시설에서 발생하는 VOC 또는 악취 물질의 저감을 위한 후처리설비의 선정 및 설계에 필요한 기초자료를 확보하고자 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 목재 내 수분함량은 투입수종에 따라 차이를 보였는데 습윤기준으로 평균 48%(건조기준 92%)였으며, 밀도는 습윤기준 831.55 kg/m³(건조기준 657.15 kg/m³) 이었다.
- 2) 배가스의 온도는 건조상황 및 배출지점에 따라 차이가 있었으나 투입지점에서는 약 110°C 정도이고 단판 건조방향에 따라 증가하여 약 140~150°C 부근으로 나타났다. 그리고 배가스의 유량이 일정치 않고 순간변화량이 크기 때문에 배가스 처리를 위한 후처리 설비 선정시 유량변화에 대한 충분한 고려가 있어야 될 것으로 판단되었다.
- 3) 목재 건조시설에서 배가스와 함께 배출되는 수증기량은 약 1.66×10⁴ Sm³/hr로 무게로 환산하면 일일평균 320 ton/day 정도가 되므로, 다량의 수분에 대한 처리방안이 후처리설비 선정시 함께 고려되어야 할 것으로 판단된다.
- 4) 목재 건조시설에서 발생하는 VOC 또는 악취원 인물질로 벤젠을 포함한 8가지 성분이 주요물질로 검출되었는데, 이들의 악취기여율은 테르펜류인 α-pinene과 β-pinene이 60.56%, 방향족류인 xylene, styrene, ethylbenzene 등이 22.77%, 알콜류인 ethanol이

16.67%로 테르펜류에 의한 악취강도가 비교적 높은 것으로 나타났다. 또한 이들 VOC 또는 악취원인물질은 수용성과 비수용성이 공존하고 있어, 이들을 함께 제거할 수 있는 방안이 모색되어야 할 것으로 판단되었다.

5) Lab-scale 건조실험장치를 이용하여 수종별로 흡수세정 특성을 조사한 결과, 증발 수분량의 약 52~90%가 흡수 세정액 내로 회수되고, 흡수세정액의 pH는 4.2~6.4 부근으로 약산성을 띠며, 목재 단위 무게당 COD 농도는 145.2~365.1 mgCOD/kg wood 범위였다.

참 고 문 헌

- 1) Bowyer J. M., Shmulsky R., Haygreen J. G., 2002, Forest products and wood science: an introduction, Iowa State Press, 554pp.
- 2) 정희석, 2005, 최신목재건축학, 서울대학교 출판부, 481pp.
- 3) 정희석, 2000, 목재의 특수건축, 서울대학교 출판부, 380pp.
- 4) Dinwoodie J. M., 2000, Timber: Its nature and behaviour, 2nd ed., E & FN Spon, 272pp.
- 5) Walker J. C. F., 1993, Primary wood processing: Principles and practice, Chapman & Hall, 612pp.
- 6) Tsoumis G, 1991, Science and technology of wood: Structure, properties, utilization., Chapman & Hall, 400pp.
- 7) 환경부, 2003, 대기오염공정시험방법, 111pp.
- 8) 유미선, 양성봉, 안성주, 2002, 흡착열탈착 장치와 GC/MS를 이용한 휘발성 유기화합물의 분석과 악취원인성분의 예측, 분석과학, 15(1), 80-86.
- 9) 환경부 대기보전국, 2007, 악취관리업무편람, 299pp.
- 10) Nagata Y., Takeuchi N., 1990, Measurement of Odor Threshold by Triangle Odor Bag Method, Bulletin of Japan Environmental Sanitation Center, 17, 77-89.
- 11) Iwasaki Y., Ishiguro T., 1978, Measurement of odor by triangle odor bag method (I), Journal of Japan Society for Atmospheric Environment, 13(6), 34-39.
- 12) Leonardos G., Kendall D., Barnard N., 1969, Odor threshold determination of 53 odorant chemicals, J. of APCA., 19(2), 91-95.
- 13) Hellman T. M., Small F. H., 1974, Characterization of the odor properties of 101 petrochemicals using sensory method, J. of APCA., 24(10), 979-982.
- 14) Dean J. A., 1979, Lange's Handbook of Chemistry, 12th ed., McGraw-Hill, NewYork, 7.54pp.