

숯가마 배가스 중 악취물질의 배출특성

Emission Characteristics of Odor Compounds in a Charcoal Production Kiln

박성규 · 최상진 · 황의현¹⁾ · 이정주²⁾ · 김대근^{3),*}

(주)케이에프이앤이 코퍼스트R&D센터

¹⁾경북도립대학 토목과, ²⁾용인대학교 산업환경보건학과

³⁾서울과학기술대학교 환경공학과

(2014년 6월 12일 접수, 2014년 7월 1일 수정, 2014년 7월 13일 채택)

Seong-Kyu Park, Sang-Jin Choi, Ui-Hyun Hwang¹⁾,
Jeong-Joo Lee²⁾ and Daekuen Kim^{3),*}

KOFIRST R&D Center, KF E&E Co. Ltd.

¹⁾Department of Civil Engineering, Gyeongbuk Provincial College

²⁾Department of Industrial Environmental Health, Yong-In University

³⁾Department of Environmental Engineering, Seoul National University of Science and Technology

(Received 12 June 2014, revised 1 July 2014, accepted 13 July 2014)

Abstract

Exhaust gas emitted as a result of the incomplete combustion of biomass in charcoal kilns includes odor compounds as well as other air pollutants such as particulate matters, sulfur and nitrogen oxides, and carbon monoxide. A number of offensive odor compounds affect quality of life. In this study, odor emissions were investigated from biomass burning in a pilot-scale charcoal kiln and a commercial-scale kiln. Complex odor from emission source reached up to 10,000 dilutions to threshold during the study period. Combustion fume was found to contain reduced sulfur compounds, aldehydes, and volatile organic compounds. Hydrogen sulfide and methyl mercaptan were the major odorants which highly contributed to the offensive odor.

Key words : Biomass burning, Charcoal kiln, Odor emission, Odor intensity

1. 서 론

숯가마에서는 가연성 물질을 불완전 연소시켜서 숯을 생산하기 위한 탄화가 진행되며, 이 과정 중에

미세먼지, 황산화물(SO_x), 질소산화물(NO_x), CO 등의 일반대기오염물질과 휘발성유기화합물(VOCs), 다환방향족 탄화수소류(PAHs), 악취물질 등이 발생한다. 숯가마에서 많이 사용되는 가연성 물질인 목재를 공기가 공급되는 조건에서 연소시킬 경우, 탄소, 산소 및 수소가 공기 중의 산소와 결합하여 탄산가스와 물로 전환되고 미량의 회분만이 남는다. 그러나 가스

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)2-970-6606, E-mail : kimd@seoultech.ac.kr

배출구를 갖춘 용기(즉, 가마)중에서 공기의 공급을 차단하여 훈소(smoldering)시킬 경우, 각 구성 원소는 서로 결합하여 다양한 화합물을 생성하고 재결합과 복분해(double decomposition) 과정을 통하여 복잡한 화합물로 변화되어 휘산된다. 그 과정을 통해 최종적으로 생성되는 물질이 숯(목탄)이다.

목재를 가열하면 주요 성분 중 헤미셀룰로오스(hemicellulose)가 180°C 정도에서 최초로 열분해하고, 셀룰로오스(cellulose)가 240°C, 리그린(lignin)이 280°C 정도에서 열분해가 시작된다. 이러한 목재의 열분해 과정에서 발생하는 목가스와 액체생성물이 부산물로 발생하게 된다. 이 목초액 성분 중에는 초산, 프로피온산 등의 유기산, 메탄올, 아세트인, 사이클로덴 등의 알콜류, 아세톤, 프로프랄 등의 중성물질은 주로 헤미셀룰로오스와 셀룰로오스에서 생성되고, 페놀, 크레졸 등의 페놀성분은 주로 리그린이 분해되어 생성된다. 목초액의 주성분인 초산은 목재중의 아세틸기로부터 생성되고, 메탄올은 메톡실기에서 주로 생성된다. 목가스는 목재의 열분해 생성물 중에는 일산화탄소(CO), 수소(H₂), 에틸렌(C₂H₄) 및 각종 탄화수소 등의 가연성 가스와 타르를 포함한다. 목재는 온도의 상승과 더불어 수분이 증발하고 함수율이 낮아지며, 대략 100°C에서 절건상태(absolute dry condition)에 도달한다. 목재의 내부가 다공질로 변화함에 따라 목재의 내부온도가 상승하여 열분해가 더욱 촉진된다. 170~180°C 이상에서는 빠른 속도로 열분해가 일어나면서 초기에는 숯가마 내에 산소가 많은 관계로 CO₂가 나오고, 산소가 적어짐에 따라 CO, CH₄, C₂H₄, H₂, 유기산, 알데히드 등의 가연성 가스와 CO₂, H₂O 등과 같은 불연성가스가 발생한다. 탄화 과정에서 온도는 매우 중요한 인자이며, 온도가 증가함에 따라 가스량이 증가하며, 숯과 목초액, 그리고 타르의 양은 감소한다. 또한, 온도가 증가할수록 CO와 H₂가 증가하며, CO₂는 감소한다(Cao *et al.*, 2013; Syred *et al.*, 2006; Park, 2006).

일반적으로 숯은 백탄(white wood charcoal)과 흑

탄(black wood charcoal)으로 구분되며, 만들어진 숯을 목적에 따라 가공하여 활성탄 및 열탄으로 사용된다(Cho, 2005). 또한, 숯가마는 숯을 생산하는 목적 외에도 탄화과정에서 발생하는 열을 이용한 찜질용 숯가마 형태로 사용되기도 한다. 이렇듯 숯가마는 사용목적에 따라 도시 근교 또는 도심에서 가동될 수 있으며, 주변지역에 악취와 시각적인 백연에 의한 민원을 빈번하게 발생시키고 있다.

본 연구는 숯 생산 및 찜질용 숯가마에서 발생하는 악취특성을 파악하기 위하여 실시되었다. 실험은 상용규모 숯가마를 대상으로 한 현장조사를 통하여 악취물질의 발생농도를 분석하였으며, 계산된 악취농도지수를 바탕으로 악취성분의 기여율을 비교 검토하여 악취발생 원인물질을 도출하고자 하였다. 또한, 숯가마 탄화시간에 따른 악취물질의 발생특성을 파악하기 위하여 별도의 파일럿 규모 숯가마를 제작하여 진행하였다.

2. 연구 방법

2.1 대상 숯가마

본 연구에서는 참숯 제조 공장 및 찜질용 숯가마에서 배출되는 악취물질의 배출특성을 파악하기 위하여 상용규모의 숯가마 현장시설을 선정하였으며, 대상시설은 표 1에 정리하였으며 주요 숯가마는 그림 1과 같다. 또한 현장조사 결과를 기초로 하여 보다 상세한 숯가마 운전 형태와 악취물질의 발생 특성을 관찰하고자 파일럿 규모의 숯가마 1기를 제작하였으며, 그 내용을 표 1에 정리하였다. 파일럿 숯가마는 실제 숯가마 크기와 운영상의 안전성을 고려하여 철골로 후레임을 제작하여 내부에 황토 벽들을 이용하여 제작하였다. 파일럿 숯가마 P1은 백탄을 생산하는 숯가마 형태와 실제 숯가마의 규모를 고려하여 3.5W×4.0L×2.5H로 제작하였다. 모형 숯가마의 내부 크기는 내부 크기 1.9W×2.7L×1.8H이며,

Table 1. Commercial-scale and pilot-scale charcoal kilns tested in this study.

Site (Identification)	Kiln type	Used oak weight (kg)	Utilization
YC charcoal kiln (R1)	Tradition	1,000	Sauna
HS charcoal kiln (R2)	Tradition	10,500	White wood charcoal & Sauna
Pilot charcoal kiln (P1)	Tradition	5,000	White wood charcoal & Sauna



Fig. 1. Sampling sites of commercial-scale charcoal kilns.

내부 체적은 9.23 m³이었다, 실제 참나무의 장입량은 약 5톤 규모를 고려하였다. 상용 및 파일럿 규모 숫가마에 투입되는 수종은 참나무를 선정하였다.

2.2 측정 항목 및 분석 방법

숫가마에서 배출되는 악취물질의 측정 항목 및 분석방법은 표 2와 같다. 악취분석을 위한 시료채취는 맑은 날을 선정하여 숫가마의 최종배출구에서 실시하였다. 또한, 시료는 숫가마의 연소주기를 고려하여 주기적으로 채취하였으며, 채취한 후 실험실로 신속히 운반하여 3회 반복 분석을 실시하였다. 분석항목별 시료채취 및 분석은 악취공정시험방법에 준하여 진행하였다.

복합악취와 황화합물은 흡인상자법 (10-Liter Bag sampler, Supelco, USA)을 이용하여 시료채취주머니에 5분간 5 L의 공기시료를 포집하였으며, 암모니아는 0.5% 봉산용액 50 mL를 2개의 임핀저에 나누어

담고 직렬로 연결한 후 시료채취펌프(LV-40BR, Sibata, Japan)를 이용하여 5분간 10 L/min의 유량으로 총 50 L의 공기시료를 포집하였다. 알데하이드류는 DNPH카드리지 (LpDNPH S10, Supelco, USA)를 이용하여 5분간 1 L/min의 속도로 5 L의 시료를 채취하였다. 휘발성유기화합물은 고체 흡착관(Tenax-TA, Supelco, USA)을 이용하여 5분간 0.2 L/min의 속도로 1 L의 시료를 채취하였다. 분석결과는 실험값의 평균으로 제시하였다.

악취농도지수(Odor Quotient, OQ)는 분석결과값을 바탕으로 산출되었으며, 개별 악취물질의 최소감지농도(Threshold)를 이용하여 식 1과 같이 계산하였다. 또한 계산된 악취농도지수를 합하여 총 악취농도지수(Sum of Odor Quotient, SOQ)를 구하였다.

$$\text{Odor Quotient} = \frac{\text{Odor Concentration (ppb)}}{\text{Threshold (ppb)}} \tag{1}$$

Table 2. Sampling and analytical methods in this study.

Compounds		Sampling method	Analytical instrument
Complex odor		Air bag sampler	Sensory test
NH ₃	Ammonia	Solution absorption	UV/visible Spectrophotometer
Sulfide compounds	Hydrogen sulfide	Airbag sampler	GC/PFPD (Younglin) plus Thermal desorber
	Methyl mercaptan		
	Dimethyl sulfide		
	Dimethyl disulfide		
Aldehydes	Acetaldehyde	DNPH cartridge	Acme HPLC (Younglin)
	Propionaldehyde		
	Butyraldehyde		
	Isovaleraldehyde		
	Valeraldehyde		
VOCs	Toluene	Tenex tube adsorption	HP-7850, HP-5975 plus Thermal desorber
	Xylene		
	Styrene		
	Methyl ethyl Ketone		
	Methyl isobutyl ketone		
	Butyl acetate		
Isobutyl alcohol			

3. 실험 결과

3.1 상용규모 숯가마

상용규모 숯가마에서 배출되는 배기가스 중 악취물질의 농도는 표 3과 같다. 복합악취는 탄화시간에 상관없이 모두 10,000배를 초과하는 것으로 나타났으며, 연구대상시설이 주거지가 인접한 일반 기타지역에 위치하고 있을 경우에는 심각한 악취 민원 가능성이 야기될 수 있을 것으로 판단된다.

2개 조사대상 시설에서 17종 지정악취물질을 측정 한 결과, 암모니아의 농도는 100 ppb이었으며 황계열 물질 중 황화수소, 메틸머captan, 디메틸설파이드, 디메틸디설파이드가 비교적 높은 농도로 검출되었다. 알데하이드류는 아세트알데하이드, 프로피온알데하이드, 부틸알데하이드, 이소발레알데하이드가 높은 농도로 검출되었다. 휘발성유기화합물 중에는 톨루엔이 998 ~ 109,872 ppb, 자일렌은 15.8 ~ 7616 ppb, 스타일렌은 0.002 ~ 731 ppb이었으며, 메틸에틸케톤은 8,929 ~ 203,240 ppb으로 높은 농도로 검출되었다. 부틸아세테이트와 이소부틸알코올은 극미량 검출되었다.

그림 2는 현장시설에서 채취된 17종 악취물질의 악취기여도를 판단하고자 악취농도지수를 나타내었다. 악취농도지수는 악취원인물질 추정과 악취기여도 평가에 매우 유용하게 이용되고 있다 (Kim, 2014).

R1시설의 총 악취농도지수는 11,350이며, R2시설은 99,368 ~ 342,754이었다. 생활폐기물자동집하시설의 악취물질을 해석한 연구 (Yoon and Kim, 2012)에서는 총 악취농도지수의 분포가 1,897 ~ 4,081임을 감안하면, 본 연구의 대상시설이 심각한 악취를 초래할 수 있는 수준임을 알 수 있다. 그림 2의 결과를 근거로 하여 악취기여를 분석하면, 황 화합물과 알데하이드류 물질이 주요 악취원인물질로 추정된다. 황 화합물의 악취기여도는 52.2 ~ 83.1%, 알데하이드류는 47.6 ~ 16.7%으로 분석되었다. 특히, 메틸머captan의 악취농도지수는 3,600 ~ 122,630이며, 31.7 ~ 47.6%의 악취기여도를 보였다.

본 연구의 시설에서 검출된 악취물질은 숯가마의 연소물질로 공급된 참나무의 탄화과정에서 발생하는 물질이며, 연소물질인 참나무의 조성과 탄화조건에 따라 악취물질의 조성과 발생특성이 상이할 것으로 판단된다. 표 4는 참나무 및 탄화에 의한 생성물인 숯과 타르의 원소조성을 보여주고 있다. 참나무에서 숯으로 탄화하는 과정 중에 황 성분은 절반가량 감소한 반면, 질소 성분은 오히려 함량이 증가하는 것으로 나타났다. 참나무 투입량과 숯생산량을 고려한 탄화과정의 물질수지를 성립할 경우보다 정확한 악취물질의 생성과정과 발생특성을 유추할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 3. Concentration of odorous compounds in commercial-scale kilns.

Compounds		T.V. ^a	R1 kiln		R2 kiln	
			1d ^b	1d	2d	4d
Complex odor ^c (Emission source)			10,000	10,000	10,000	10,000
NH ₃ (ppb)		100	100	100	100	100
Sulfur compounds (ppb)	Hydrogen sulfide	0.5	238	4,577	27,054	23,242
	Methyl mercaptan	0.1	360	4,086	15,989	12,263
	Dimethyl sulfide	0.1	147	1,621	7,057	3,900
	Dimethyl disulfide	0.3	114	38.5	89	70.6
Aldehydes (ppb)	Acetaldehyde	2	4,854	21,999	13,823	16,462
	Propionaldehyde	2	613	5,698	5,896	5,997
	Butyraldehyde	0.3	562	4,390	10,153	8,281
	Isovaleraldehyde	0.7	556.5	3,117	9,375	7,190
	Valeraldehyde	0.2	— ^d	—	—	—
Volatile organic compounds (ppb)	Toluene	900	998	4,858	109,872	47,941
	Xylene	* ^e	15.8	495	7616	1,635
	Styrene	30	0.002	34.9	731	153
	Methyl ethyl Ketone	440	8,929	27,133	203,240	153,451
	Methyl isobutyl ketone	200	0.004	0.004	0.004	0.004
	Butyl acetate	8	0.003	0.003	0.003	0.003
	Isobutyl alcohol	11	0.007	0.007	0.007	0.007

^aOlfactory threshold value, which is referred from a publication issued by Ministry of Environment

^bCarbonization time (day) to biomass burning in kilns

^cUnit: dilution to threshold

^dNot available

^eThreshold values for p-xylene, m-xylene, and o-xylene are 58, 41, and 380 ppb, respectively.

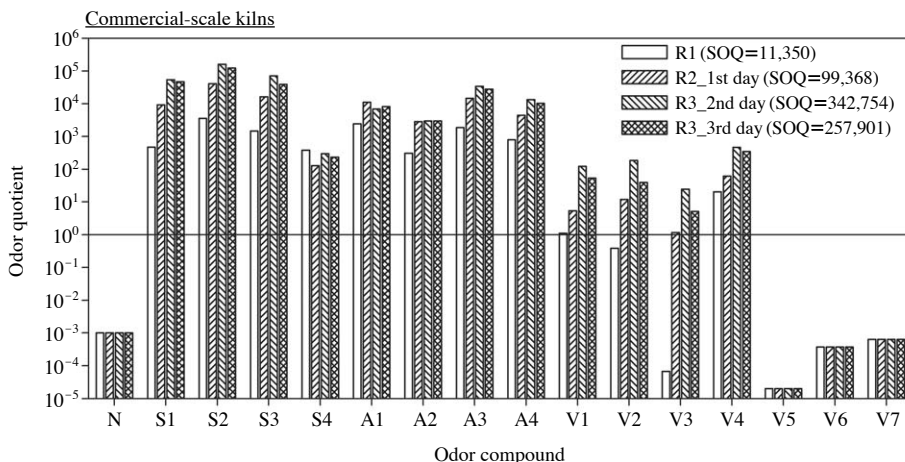


Fig. 2. Odor quotient at commercial-scale charcoal kilns: SOQ means Sum of odor quotient; odor compounds are grouped into 4 groups; for nitrogen compounds, ammonia (N); for sulfur compounds, hydrogen sulfide (S1), methyl mercaptan (S2), dimethyl sulfide (S3), and dimethyl disulfide (S4); for aldehyde compounds, acetaldehyde (A1), propionaldehyde (A2), butyraldehyde (A3), i-valeraldehyde (A4); for volatile organic compounds, toluene (V1), xylene (V2), styrene (V3), methyl ethyl ketone (V4), methyl isobutyl ketone (V5), butylacetate (V6), i-butyl alcohol (V7).

3.2 파일럿 규모 숯가마

숯가마 공정에서는 탄화시간과 연소조건이 악취물질의 발생이 영향을 미치며, 이를 실험적으로 파악하고자 파일럿 규모 숯가마 실험을 진행하였다. 표 5는 탄화시간에 따른 복합악취와 15종 지정악취물질의 발생특성을 보여주며, 상용규모 숯가마에서와 유사한 악취발생의 특성을 보여준다. 복합악취의 경우 10,000배의 희석배수를 초과하는 것으로 나타났다. 황 화합물 중에는 주로 황화수소와 메틸메르캅탄 농도가 높게 나타났다. 알데하이드류 중에는 주로 아세트알데하이드와 프로피온알데하이드, 뷰티르알데하이드 등이 배출되는 것으로 나타났다. VOCs는 주로 스타이렌과 메틸에틸케톤이 발생하는 것으로 나타났다.

숯가마 배출가스는 그림 3과 같이 다량의 수분을 함유하고 있다. 악취는 습도, 온도 등의 조건과 밀접한 관계가 있으며, 일반적으로 온도 26~30°C와 상대습도 60~90%에서 높은 강도를 보인다 (Kim, 2014).

탄화시간 경과에 따른 변화를 파악하기 위하여 탄화 초기에는 착화 후 6시간 및 14시간이 경과한 시점에서 이후에는 24시간 간격으로 시료를 포집하여 조사 분석한 결과 참나무의 탄화시간 18 hr부터 90 hr까지 배출가스 중 절대 수분량이 40% 이상으로 분석되고 있으며, 표 5에서 나타난 것과 같이 악취물질의 농도 상승과 연관이 있는 것으로 판단된다. 습도 이외에 악취물질 생성에 영향을 미치는 요인을 추정해 보면, 열분해 과정 중 목질계 바이오매스의 주 구성성분인 헤미셀룰로오스와 셀룰로오스, 리그닌의 열분해 온도 영역이 각각 다르기 때문에 열분해 진행과정에서 발생하는 물질의 생성속도가 다를 수 있고, 생성된 가

Table 4. Elementary composition of oak, charcoal, and tar obtained from commercial-scale kilns.

Sample	(unit: weight%)			
	N	C	S	H
Oak	0.65	47.26	0.55	5.60
Charcoal	0.88	93.84	0.25	1.11
Tar	1.45	69.69	0.48	7.89

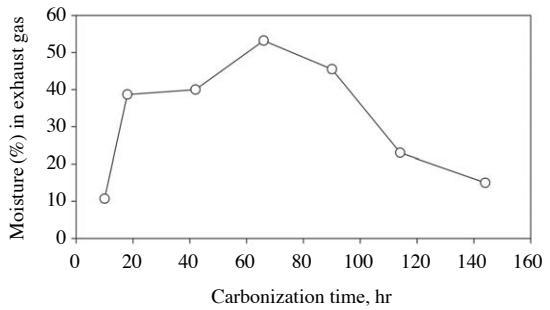


Fig. 3. Moisture content of exhaust gas as a function of carbonization time.

Table 5. Concentration of odor compounds from a pilot-scale kiln (unit: ppb)

Carbonization time (hr)		10 hr	18 hr	42 hr	66 hr	90 hr	114 hr	144 hr
Complex odor (dilution to threshold)		10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
Nitrogen compounds	Ammonia	660	1,310	1,520	2,110	1,530	2,820	1,140
	Trimethylamine	0	0	0	0	0	0	0
Sulfide compounds	Hydrogen sulfide	3,576	26,145	21,422	3,073	25,123	21,389	3,587
	Methyl mercaptan	3,186	13,987	20,121	30,892	15,989	12,263	4,086
	Dimethyl sulfide	1,621	7,057	3,900	2,305	5,143	3,206	1,423
	Dimethyl disulfide	47	101	112	167	103	89	42
Aldehyde compounds	Acetaldehyde	18,168	22,105	24,607	61,472	63,334	58,484	21,256
	Propionaldehyde	4,203	6,420	6,416	16,707	18,384	18,745	19,011
	Butyraldehyde	3,091	6,736	7,228	12,413	13,573	17,837	19,359
	Isovaleraldehyde	2,456	5,785	3,749	12,195	14,026	18,122	25,957
Valeraldehyde	Valeraldehyde	0	0	0	0	0	0	0
	Toluene	4,875	109,889	47,958	47,958	37,958	27,958	17,958
	Xylene	499	503	549	1,098	1,270	998	768
	Styrene	40	236	438	736	435	210	129
Methyl ethyl Ketone	Methyl ethyl Ketone	26,521	103,257	193,468	203,257	195,468	93,468	77,468

스간의 복잡한 재결합과 재분해 등이 진행된 것으로 유추할 수 있다. 또한, 숫가마 탄화과정에서 발생하는 목초액 또한 악취유발의 주요 원인 중의 하나로 추정된다. 목초액의 주요 성분은 초산이 약 3.7%, 그 외 약 2백 종류 이상의 미량물질이 포함되어 있다. 이 미량물질 중에는 리그닌이 열분해하여 생성된 페놀 성분이 녹아 있으며, 페놀에는 구아야콜, 크레졸 등의 약효성분도 들어 있지만, 벤조피렌, 디벤즈안트라센, 메틸코란스렌 등의 발암성 물질과 포름알데히드, 개미산, 메탄올 등의 유해물질도 극미량이 함유되어 있다. 또한, 이 목초액에는 침전타르와 부유타르 뿐만 아니라 용해타르도 다량으로 함유되어 있는 것으로 알려져 있다(Shon, 2006; Cho, 2005).

숫가마에서 발생하는 악취물질의 주요 원인물질은 황 화합물로 추정되며, 이러한 결과는 상용규모 및 파일럿 규모 모두에서 관찰되고 있다. 숫가마에서 사용하는 탄재인 참나무에는 원소조성비로 0.55% 정도의 황이 포함(표 4)되어 있으며, 탄재의 원료 중에 포함된 황이 목재 연료의 완전연소 시에는 산화되어 SO₂로 전환되지만, 불완전연소시 또는 탄화과정에 해당하는 열분해시에는 다양한 황계열의 악취물질로 전환되는 것으로 추정된다. 숫가마에서 발생하는 SO₂의 농도는 0~106 ppm으로 해석되고 있으며, 배출계수는 0.2 g SO₂/kg oark로 알려져 있다(Park *et al.*, 2013).

탄화과정 중 발생하는 황(S)의 총량은 그림 4(a)와 같으며, 탄화 초기에는 빠르게 증가한 후 서서히 감소하는 추세를 보인다. 그림 4(b)은 4종 황 화합물의 조성비를 해석한 것으로서 황화수소와 메틸머캅탄의 발생량이 높은 것으로 판단할 수 있다. 다만, 악취물질의 감지농도를 고려한 악취기여 정도를 판단할 경우 (c)에는 메틸머캅탄의 기여도가 월등히 높은 것으로 분석되었다.

숫가마 배가스는 다량의 수분과 악취기여도가 높은 알데히드류와 황 화합물을 포함하기 때문에 적절한 처리공정을 거친 후 대기 중으로 최종 배출되어야 한다. Park *et al.* (2013)의 숫가마 배출가스에 대한 현장조사 결과에서 CO의 농도가 3~5% 수준이고, Lee *et al.* (2013) 등의 연구에서 CH₄의 농도가 0.5~5% 수준으로 조사 되었다. 이러한 숫가마 배출가스의 특성을 반영하여 숫가마 주변지역의 민원 발생과 환경영향을 최소화시킬 수 있도록 악취물질을 포함한 가스상 대기오염물질과 미연성 입자상오염물질을 처

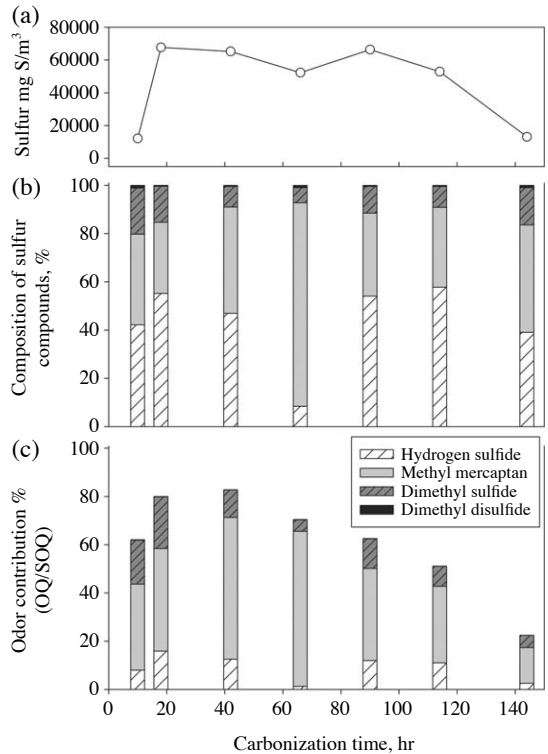


Fig. 4. Temporal variation in concentrations of sulfur compounds from pilot-scale kiln: (a) sulfur (S) concentration, (b) composition of four sulfur, (c) odor contribution based on odor quotient.

리할 수 있는 방지설비를 구성할 필요가 있다. 또한, 배가스 수분에 포함된 목초액을 회수함으로써 대기 오염물질의 대기배출을 사전에 방지할 수 있는 방안을 모색할 필요가 있으며, 다수의 가연성 가스가 비교적 높은 농도로 존재하고 있는 점을 고려하여 후연소장치를 대기오염방지공정으로 제안해 볼 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 생물성연소 중 숫제조 공정에서 발생하는 악취물질의 배출특성을 파악하고, 효율적인 악취관리 및 처리장치의 설계를 위한 기초자료를 제시하기 위하여 상용규모의 현장조사와 파일럿 규모의 모형실험을 실시하였다. 실험 분석 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 숯가마에서 배출되는 악취는 탄화시간경과에 따라 뚜렷한 특징을 보였으며, 개별물질의 발생농도는 탄화 초기에는 급격히 증가한 후 서서히 감소하는 특징을 보였다.
2. 현장조사와 모형실험에서 복합악취는 시간경과에 구분 없이 모두 10,000배를 초과하는 것으로 나타났으며, 황 화합물 중 황화수소와 메틸머캅탄이 높게 나타났다. 알데하이드류는 아세트알데하이드와 프로피온알데하이드, 부틸알데하이드가 비교적 높은 농도로 검출되었다, VOCs 중 톨루엔, 자일렌, 메틸에틸케톤이 다소 높은 농도 수준을 나타내었다.
3. 숯가마 배출가스가 주변지역의 악취를 유발하는 대표적인 원인물질은 현장조사 및 모형실험 결과에서 황 화합물과 알데하이드류로 추정되었다. 특히, 황 화합물이 악취기여도가 매우 높았으며, 황 화합물 중 메틸머캅탄이 주요 물질로 파악되었다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 2011년 차세대 에코이노베이션기술개발사업 (401-112-018)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

- Cao, J., G. Xiao, X. Xu, D. Shen, and B. Jin (2013) Study on carbonization of lignin by TG-FTIR and high-temperature carbonization reactor, *Fuel processing Technology*, 106, 41-47.
- Cho, T.S. (2005) Wood carbonization and characteristics of carbide, Charcoal and Pyrolygneous Liquor, 17, 14-23.
- Kim, D (2014) Odor management and reduction technology, A-Jin, Seoul.
- Lee, S.K., E.C. Jeon, S.K. Park, and S.J. Choi (2013) Characteristics of Greenhouse Gas Emission from Charcoal Kiln, *Climate Change Research*, 4(2), 115-126
- Park, S.B. (2006) Combustion material and exhaust gas, Charcoal and pyrolygneous liquor, 20, 2-8.
- Park, S.K., S.J. Choi, J.Y. Kim, G.J. Park, U.H. Hwang, J.J. Lee, and T.S. Kim (2013) A Field Survey on the Characteristics of Air Pollutants Emission from Commercial Charcoal Kiln, *J. KOSAE*, 29(5), 601-614.
- Shon, S.H. (2006) Development of zero emission charcoal kiln, Charcoal and pyrolygneous liquor, 22, 30-36.
- Syred, C., A.J. Griffithsa, N. Syreda, D. Beedieb, and D. Jamesc (2006) A clean, efficient system for producing Charcoal, Heat and Power (CHaP), *Fuel*, 85(10-11), 1566-1578.
- Yoon, Y. and Kim, D. (2012) Emission characteristics of odor compounds from pneumatic waste collection plants, *J. KSEE*, 34(8), 541-548.