

생활폐기물 소각시설 소각재에서의 유기오염물질 정성분석 및 용출특성

홍석영* · 김삼권¹ · 윤용수 · 박선구¹ · 김금희¹ · 황승률¹

단국대학교 화학공학과, ¹국립환경과학원 환경측정기준부
(2005. 12. 12. 접수, 2006. 1. 20. 승인)

The analysis and leaching characteristics of organic compounds in incineration residues from municipal solid waste incinerators

Suk-Young Hong*, Sam-Cwan Kim¹, Young-Soo Yoon, Sun-Ku Park¹,
Kum-Hee Kim¹ and Seung-Ryul Hwang¹

Department of Chemical Engineering Graduate School, Dankook University, Seoul 140-714, Korea

*¹Environmental Measurement Standards Department of National Institute of
Environmental Research, Incheon, 404-708, Korea*

(Receive December 12, 2005, Accepted January 20, 2006)

요약 : 현재 가동 중인 생활폐기물 소각시설에서 배출되는 소각재의 수세처리에 의한 유기화학물질 용출특성을 확인하기 위해 GC/MSD로 정성 분석을 하였다. 바닥재 및 비산재에서 각각 44종 및 17종의 다양한 유기화학물질을 확인하였다. 이러한 정성분석은 각 피크의 질량스펙트럼에 대한 Library(NIST21, NIST107, WILEY229) 검색 후 일치도가 90% 이상인 유사지표(similarity index)에 의해 수행되었다. 바닥재는 Naphthalene 그리고 Phenanthrene인 2종의 다방향족화합물(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs)을 포함한 18종의 방향족화합물과 사슬모양의 탄화수소인 26종의 지방족화합물을 검출하였다. 비산재의 경우 잔류성유기오염물질(Persistent Organic Pollutants, POPs)인 헥사클로로벤젠(Hexachlorobenzene, HCB)을 포함한 10종의 방향족화합물과 7종의 지방족화합물을 정성적으로 확인하였다. 또한, 바닥재와 비산재의 용출액과 용출잔사의 용출특성을 비교분석한 결과, 바닥재에서는 Ethenylbenzene, Benzaldehyde, 1-Phenyl-ethanone 그리고 1,4-Benzenedicarboxylic acid dimethyl ester 등이, 비산재에서는 Naphthalene, Dodecane, 1,2,3,5-Tetrachlorobenzene, Tetradecane, Hexadecane 그리고 Pentachlorobenzene 등의 유기화학물질이 수층으로 용출되는 결과를 얻었다. 따라서 소각재 중 비산재 및 바닥재가 단순 매립될 경우 유기화학물질에 의한 침출수 및 지하수, 토양 등 2차 오염이 발생할 것으로 추정되며, 이러한 2차 오염을 방지하기 위해서 소각재에 함유되어 있는 다양한 종류의 유기화학물질의 용출특성을 조사하여 이에 대한 효율적이고 적절한 관리가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

Abstract : This study was carried out to estimate leaching characteristics of incineration residues from municipal solid waste incinerators, and determine organic compounds in raw ash, leaching water and leaching residue. A total of 44 organic compounds, which were analyzed by GC/MSD and identified by wiley library search,

★ Corresponding author

Phone : +82-032-560-7374 Fax : +82-032-562-4193

E-mail: ryan4368@me.go.kr

were contained in bottom ashes. A total of 17 organic compounds were contained in fly ashes. Bottom ash and fly ash were found to contain a wide range of organic compounds such as aliphatic compounds and aromatic compounds. Organic compounds such as Ethenylbenzene, Benzaldehyde, 1-Phenyl-Ethanone and 1,4-Benzenedicarboxylic acid dimethyl ester were detected in raw ash, leaching water and residues (from bottom ash). Organic compounds such as Naphthalene, Dodecane, 1,2,3,5-Tetrachlorobenzene, Tetradecane, Hexadecane and Pentachlorobenzene were detected in raw ash, leaching water and residues (from fly ash). Through the leaching characteristics of incineration residue, it was represented that the open dumping of incineration residue can contaminate the soil and undergroundwater. In order to prevent environmental contamination that derived from extremely toxic substances in the incineration residues, it is particularly important that the incineration residues should be treated before disposal the incineration residues. Further study and proper management about leaching characteristics of organic compounds might be required.

Key words : MSWI, Bottom ash, Fly ash, Organic compounds

1. 서 론

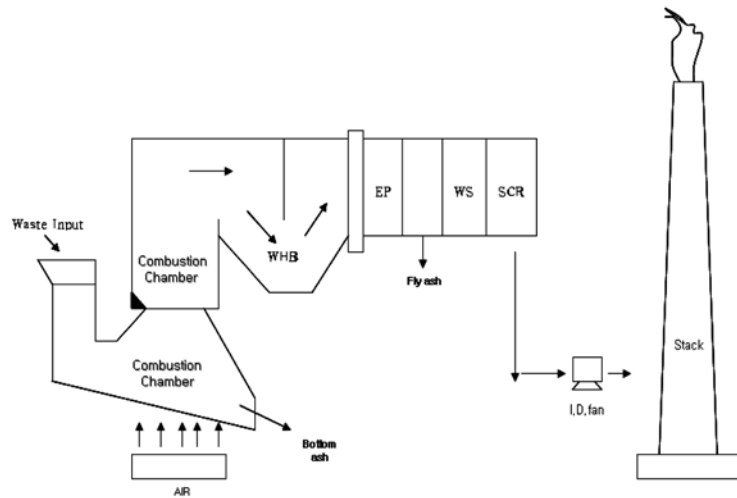
산업기술의 발달과 생활수준의 향상으로 생활폐기물의 발생량은 지속적으로 증가하고 있다. 이에 대한 해결방법으로 재활용, 매립 그리고 소각 등이 있는데, 이들에 대한 효율적 관리를 위해 환경부는 폐기물 관리의 우선순위에 따라 재활용을 확대하고 공간부족으로 인한 매립을 줄이는 정책 방향을 설정하였고, 재활용이 불가능한 최종 폐기물은 매립보다는 소각처리에 중점을 두고 있다.^{1,2} 소각처리 과정에서 발생하는 배출가스 및 배출소각재에 함유된 다양한 유기화학물질은 주변 환경오염을 가속화시키고 있는 실정이다. 이에 따라 환경부는 소각시 발생하는 배출가스의 규제 강화와 대기 방지시설에 대한 성능 강화로 유기화학물질을 포함한 배출가스의 양은 감소되고 있는 반면, 배출소각재의 발생량은 증가하고 있다. 소각시설에서 배출되는 소각재는 크게 화격자에 남아있는 재(grate ash)와 화격자 하단으로 떨어지는 재(grate siftings)가 포함된 바닥재(bottom ash), 폐열보일러재와 배출가스 비산재 및 부산물을 포함하는 비산재로 분류되고 있으며,³ 소각재는 유해 중금속 및 다이옥신 등 미량 유해유기화학물질 등이 다량 함유되어 있는 것으로 보고되고 있다.^{4,6} 특히, 소각재 처리에 관한 폐기물관리법 제2조 1항에 따라 소각시설에서 발생하는 소각재 중 바닥재는 납, 수은 등 중금속 6개 항목과 트리클로로에탄 등 유기물질 4개 항목이 용출시험 기준치 이내이면 일반매립하거나 인공골재, 건축용 벽돌, 바닥채움재 등으로 재활용하고 있고, 비산재의 경우 용출시험과 관계없이 전량 지정폐기물로 규정하고 있다.

소각재로부터 검사항목 이외의 발생가능성이 있는 다양한 종류의 유기화학물질에 대한 기초조사 및 적절한 중간처리기술 등에 대한 연구가 미흡한 실정이다. 따라서 바닥재 및 비산재 매립시 우수로 인한 환경 중 노출 가능성 있는 다양한 종류의 유해성 있는 유기화학물질에 대한 확인 및 비교·분석과 처리방안 강구 등 이들의 관리를 위한 체계적인 조사가 이루어질 수 있도록 많은 예산 지원이 필요하다.⁷ 국내에서는 소각재에서 배출되는 다이옥신에 관한 연구는 활발히 진행되고 있으나, 그외의 다양한 종류의 유기화학물질에 대한 연구는 규제중심적인 극히 일부의 유기화학물질에 대해서만 수행되고 있을 뿐 사전 예방적인 조사연구는 매우 미흡한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 현재 가동 중인 도시생활폐기물 소각시설에서 배출되는 바닥재 및 비산재에 함유되어 있는 유기화학물질을 정성적으로 확인하여, 소각재중 유기화학물질의 용출특성을 토대로 기 침출가능성을 확인하고 이에 대한 관리 방안을 마련하는데 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 연구방법

2.1. 연구대상시설

본 연구는 소각시설에서 배출되는 바닥재 및 비산재의 수세처리에 따른 유기화학물질의 용출특성을 평가하기 위하여, 대형 생활폐기물 소각시설(300톤/일)을 조사연구대상으로 선정하였다. 대상소각시설은 폐열회수를 위한 폐열보일러(Waste Heat Boiler)가 냉각설비로 부착되어있고, 배가스에 포함된 미세가스의 분



*Note : WHB : Waste Heat Boiler , EP : Electrostatic Precipitator
SCR : Selective Catalytic Reduction, WS : Wet Scrubber

Fig. 1. Schematic diagrams of incineration processes to be studied.

진제거를 위해 전기집진기(Electrostatic Precipitator, EP)가, 배가스의 최종 정화장치로 물과 약품이 투입되어 잔여 유해가스를 제거하는 습식세정탑(Wet Scrubber) 그리고 NO_x 를 제거하기 위한 선택적 환원촉매장치(Selective Catalytic Reduction)가 방지시설로 부착되어 있다. 실험에서 사용된 시료는 현재 가동 중인 생활폐기물 소각시설의 연소실에서 발생하는 바닥재와 방지시설인 전기집진기에서 포집된 비산재를 채취하였다. 소각시설의 처리공정은 Fig. 1과 같다.

2.2. 실험방법

시료는 대형 스토커식의 생활폐기물 소각로에서 배출되는 소각재를 대상으로 선정하였다. 바닥재의 경우 화격자(grate)에 의해서 배출되는 재를 전체 혼합하여 5 mm이하의 바닥재로 분리하여 사용하였으며, 또한 비산재의 경우에서 산성가스를 제거하기 전에 설치된 전기집진기(EP)에서 발생하는 비산재를 폐기물공정시험방법에 따라 채취하였다. 바닥재 및 비산재의 유기화학물질의 함량분석을 위하여 EPA Method 3540C 시험방법에⁸ 따라 속실렛 추출을 하였고, 용출액 및 용출잔사의 특성을 파악하기 위해서 폐기물공정시험방법 제 5항의 용출시험방법에 따라 용출액과 용출잔사를 분리하였다. 또한, 용출액은 EPA Method 3510C 시험방법⁹에 따라 액체/액체 추출을 하였고, 용출잔사는 EPA Method 3540C 시험방법에 따라 속실렛 추출을 하였다.

Table 1. Analytical condition of organic compounds by GC/MS

Items	Analytical Condition
GC/MS	HP6890/HP5973
Injector Temp	270°C
Injector Mode	Splitless mode
Column	Ultra-5(60 m×0.3 mm ID×0.25 μm thickness)
Oven	50°C(1 min, 4°C/min)→260°C(1min, 1°C/min)→290°C(5 min)
Carrier Gas	He, 1.0 ml/min
Ionization Mode	EI
Ion Source Temp	250°C
Interface Temp	280°C
Resolution	
Monitoring Mode	Scan

추출용매는 Wako사의 PCB잔류농약급 Dichloromethane 5,000을 사용하였고, 각각의 추출액을 감압 농축기(BUCHI, Rovapor R124)로 3~5 ml 정도로 농축한 후 질소가스를 불어 넣어 1 ml로 농축하여 검액으로 하였다. 검액은 Table 1의 조건에서 GC(HP 6890)/MSD(HP 5972 Mass selective Detector)로 분석하였다. 이러한 실험에 대한 전체적인 모식도는 Fig. 2에 나타내었다.

또한 총이온크로마토그램(Total Ion Chromatogram)의 각 피크에 대한 정성분석은 각 피크로부터 주어지

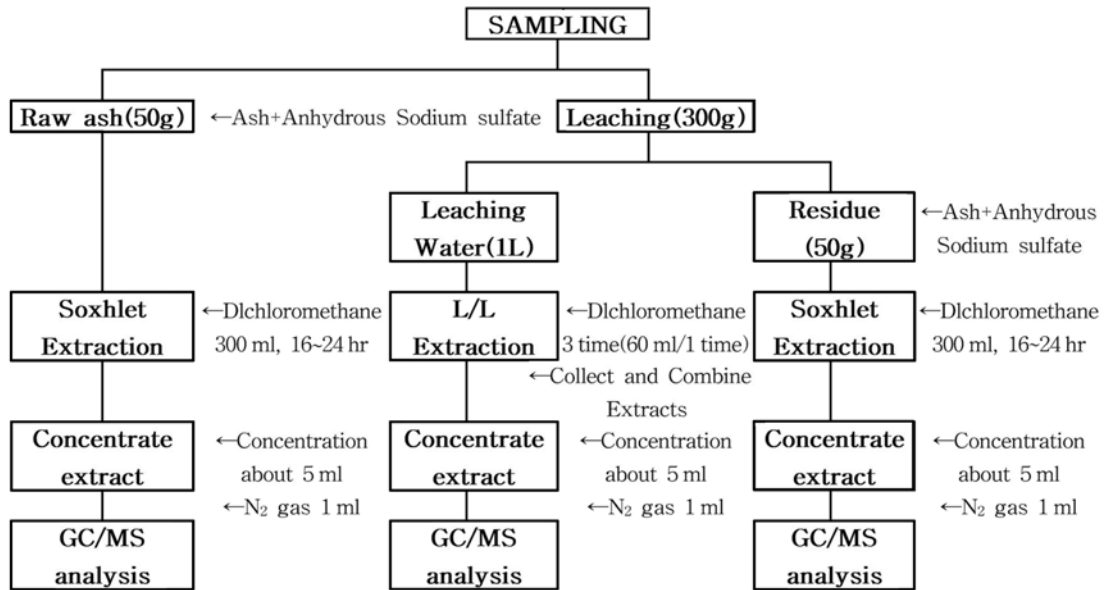


Fig. 2. Flowchart of analytical methods for organic compounds in incineration residues.

는 background가 보정된 spectrum 정보를 Library (NIST21, NIST107, WILEY229)와 정성 비교·분석하여 일치도가 90% 이상인 유사지표(Similarity Index)에 의해 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 바닥재 및 비산재의 정성분석

GC/MSD로 소각재의 바닥재 및 비산재를 정성분석한 결과 다양한 종류의 유기화합물질을 확인하였고, Library(NIST21, NIST107, WILEY229) 검색을 통하여 각 크로마토그램의 질량스펙트럼과 비교하였다. 유사지수가 90% 이상인 유기화합물질은 지방족 화합물과 방향족 화합물 그룹으로 분류하였으며, 이러한 유기화합물질에 대한 머무름 시간, 분자량 그리고 분자식은 Table 2 그리고 Table 3에 각각 나타내었다. 즉 바닥재의 총 이온크로마토그램에서 231개의 피크 중 유사지수가 90%이상의 일치율을 보인 유기화합물질은 26종의 지방족 화합물과 18종의 방향족 화합물인 총 44종의 유기화합물질을 확인하였다. 그 외에도 50%~90%사이의 일치율을 보인 화합물 51종을 확인하였다. 비산재의 경우 총 이온크로마토그램 115개 피크중 유사지수가 90%이상의 일치율을 보인 10종의 지방족 화합물과 7종의 방향족 화합물인 총 17종의 유기화합물을 확인하였다. 또한 50%~90%사이의 일치율을 보인 화합물 25종

을 확인하였다. 바닥재 및 비산재의 총 이온크로마토그램을 머무름 시간에 따라 Fig. 3에 나타냈다.

이와 같이 정성적으로 확인된 다양한 종류의 유기화합물질은 소각시설의 열처리공정이 완전 연소되지 않는 과정 중 냉각시설 그리고 대기 방지시설 영역에서 탄화수소, 미연탄소가 염소, 염화수소 또는 금속염 화합물과 드노버 합성(De Novor Synthesis)을 통해 다이옥신류, 폴리염화비페닐 등이 비의도적으로 생성된다. 또한 폐기물 소각 시 소각로 내부 또는 냉각지역에서 염화벤젠 및 염화페놀 등과 같은 전구물질(Precursor)의 2중합반응(Dimeris action) 및 염소화반응(Chlorination)에 의한 재합성 경로가 보고되고 있다.¹⁰⁻¹⁴

특히, 유기화합물질 중 지방족 대 방향족(aliphatic: aromatic)의 비 혹은 특정 작용기의 퍼센트 등이 다이옥신류의 형성에 영향을 미친다고 보고된 바 있다.¹⁵⁻¹⁷

또한 스톡홀름 협약에 의해 국제적으로 규제 대상 물질인 12개 물질 중 폐기물 소각과정에서 비 의도적으로 생성되는 잔류성유기오염물질(Persistent Organic Pollutants, POPs)인 다이옥신(Polychlorinated dibenzop-dioxine, PCDDs), 퓨란(Polychlorinated dibenzofurans, PCDFs), 폴리염화비페닐(Polychlorinated biphenyls, PCBs) 그리고 헥사클로로벤젠(Hexachlorobenzene, HCB¹³)이 생성되는 것으로 보고 되었다.

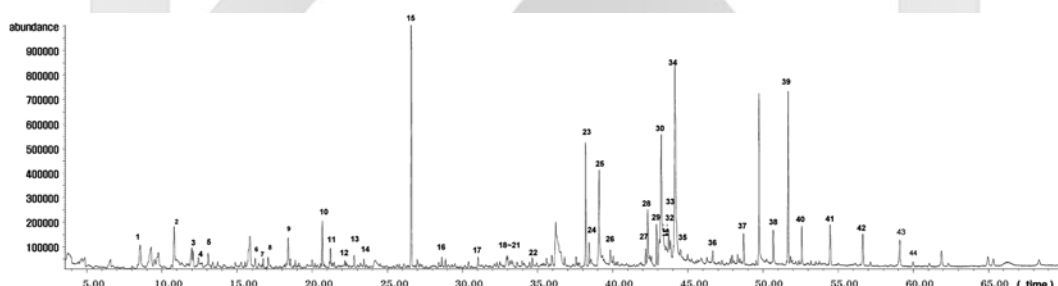
이와 같이 생성 메카니즘에서 규명된 바와 같은 전구물질에 해당하는 지방족화합물, 작용기가 없는 고리

Table 2. Library-searched organic compounds, contained in bottom ash of MSW Incinerator

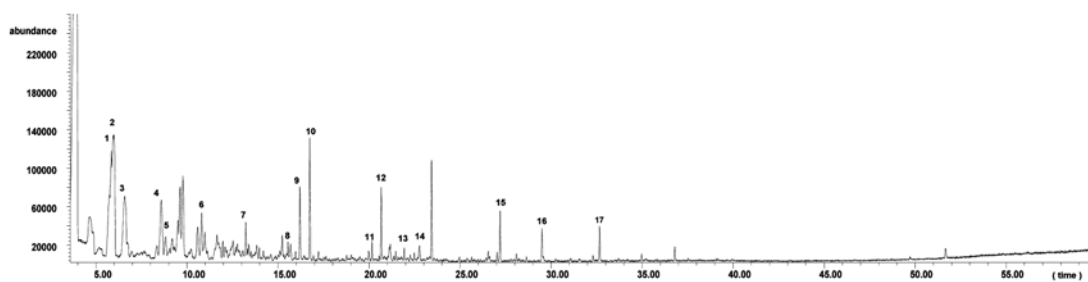
Bottom ash	Peak	R.T min	MW	Formula	Compounds	Match Rate (%)
Aliphatic compounds	7	16.74	170	C ₁₂ H ₂₆	Dodecane	95
	8	17.06	144	C ₆ H ₈ O ₄	1,4:3,6-Dianhydro- α -D-glucopyranose	98
	9	18.38	113	C ₆ H ₁₁ NO	Caprolactam	93
	14	23.43	198	C ₁₄ H ₃₀	Tetradecane	95
	16	28.41	200	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	Dodecanoic acid	98
	18	33.00	228	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	Tridecanoic acid,12-methyl ester	96
	20	33.63	154	C ₇ H ₁₀ N ₂ O ₂	hexahydro-pyrrolo[1,2-a]pyrazine-1,4-dione	93
	21	33.96	228	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	Tetradecanoic acid	92
	23	38.18	270	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	Hexadecanoic acid, methyl ester	93
	24	38.43	194	C ₁₀ H ₁₄ N ₂ O ₂	3,9-Diazatricyclo[7.3.0.0(3,7)]dodecan-2,8-dione	94
	25	39.08	228	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	Tetradecanoic acid	92
	27	42.19	294	C ₁₉ H ₃₄ O ₂	9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester	94
	28	42.38	296	C ₁₉ H ₃₆ O ₂	9-Octadecenoic acid (Z), methyl ester	95
	29	42.91	298	C ₁₉ H ₃₈ O ₂	Octadecanoic acid, methyl ester	92
	30	43.07	280	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-,methyl ester	98
	31	43.23	282	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	9-Octadecenoic acid (E)-	97
	32	43.71	284	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	Octadecanoic acid	94
	33	43.85	282	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	Oleic acid	93
	35	44.51	310	C ₂₂ H ₄₆	Docosane	94
	36	46.65	212	C ₁₅ H ₃₂	Pentadecane	95
	37	48.71	338	C ₂₄ H ₅₀	Tetracosane	93
	38	50.67	240	C ₁₇ H ₃₆	Heptadecane	92
	40	52.58	366	C ₂₆ H ₅₄	Hexacosane	95
	41	54.47	380	C ₂₇ H ₅₆	Heptacosane	98
	42	56.63	254	C ₁₈ H ₃₈	Octadecane	96
	43	59.09	268	C ₁₉ H ₄₀	Nonacosane	95
	Aromatic compounds	1	6.58	106	C ₈ H ₁₀	Ethylbenzene
2		8.56	106	C ₇ H ₆ O	Benzaldehyde	90
3		12.07	120	C ₈ H ₈ O	1-Phenyl-ethanone	95
4		12.42	108	C ₇ H ₈ O	4-Methyl-Phenol	97
5		13.08	136	C ₈ H ₈ O ₂	Benzoic acid, methyl ester	94
6		16.20	128	C ₁₀ H ₈	Naphthalene	98
10		20.66	148	C ₈ H ₄ O ₃	Phthalic anhydride	91
11		21.22	121	C ₇ H ₇ NO	Benzamide	92
12		22.17	161	C ₉ H ₇ NO ₂	4-Cyanbenzoic acid methyl ester	92
13		22.8	154	C ₁₂ H ₁₀	Biphenyl	93
15		26.58	194	C ₁₀ H ₁₀ O ₄	1,4-Benzenedicarboxylic acid dimethyl ester	91
17		31.04	196	C ₁₅ H ₁₆	benzene, 1,1-(1,3-Propanediyl)Bis-	90
19		33.27	194	C ₁₅ H ₁₄	1,1-Diphenyl-1-propene	93
22		34.46	178	C ₁₄ H ₁₀	Phenanthrene	95
26		39.84	208	C ₁₅ H ₁₂ O	1,3-Diphenyl-2-propen-1-one	92
34		44.13	228	C ₁₅ H ₁₆ O ₂	4,4-(1-methylethylidene)Bis-phenol	93
39		51.67	390	C ₂₄ H ₃₈ O ₄	Di-n-octyl phthalate	94
44	59.99	306	C ₂₄ H ₁₈	1,1:3,1-Terphenyl, 5-phenyl-	95	

Table 3. Library-searched organic compounds, contained in fly ash of MSW Incinerator

Fly ash	Peak	R.T min	MW	Formula	Compounds	Match Rate (%)
Alipatic compounds	5	9.78	142	C ₁₀ H ₂₂	Decane	93
	6	10.79	136	C ₁₀ H ₁₆	1-methyl-4-cyclohexene	97
	7	13.23	156	C ₁₁ H ₂₄	Undecane	94
	10	16.74	170	C ₁₂ H ₂₆	Dodecane	98
	11	20.16	184	C ₁₃ H ₂₈	Tridecane	95
	14	23.43	198	C ₁₄ H ₃₀	Ttradecane	94
Aromatic compounds	16	29.49	226	C ₁₆ H ₃₄	Hexadecane	93
	1	5.82	106	C ₈ H ₁₀	Ethylbenzene	95
	2	5.95	106	C ₈ H ₁₀	1,4-Dimethyl-benzene	98
	3	6.58	106	C ₈ H ₁₀	1,3-Dimethyl-benzene	96
	4	9.62	120	C ₉ H ₁₂	1,3,5-Trimethyl-benzene	94
	8	15.96	120	C ₉ H ₁₂	1,2,3-Trimethyl-benzene	98
	9	16.21	128	C ₁₀ H ₈	Naphthalene	98
	12	20.66	148	C ₈ H ₄ O ₃	Phthalic anhydride	95
	13	22.78	214	C ₆ H ₂ Cl ₄	1,2,3,5-Tetrachloro-benzene	94
	15	27.20	248	C ₆ HCl ₅	Pentachloro-benzene	98
17	32.67	282	C ₆ Cl ₆	Hexachlorobenzene	98	



(A) Total Ion Chromatogram of raw bottom ash



(B) Total Ion Chromatogram of raw fly ash

Fig. 3. GC/MSD extraction ion chromatograms of residues from Municipal Solid Wastes Incinerator.

방향족 화합물인 Naphthalene, Phenanthrene¹⁸⁻²⁰을 확인하였고, 작용기를 포함한 고리 방향족 화합물인 Ethenylbenzene, Benzaldehyde, 1-Phenyl-ethanone, 4-Methyl-Phenol, Benzoic acid, methyl ester, Phthalic anhydride, Benzamide, 4-Cyanobenzoic acid methyl ester,

Biphenyl, 1,4-Benzenedicarboxylic acid dimethyl ester, benzene, 1,1-(1,3-Propanediyl)Bis-ester, 1,1-Diphenyl-1-propene, 1,3-Diphenyl-2-propen-1-one, Phenol, 4,4'-(1-methylethylidene)Bis-, Di-n-octyl phthalate, 1,1:3,1-Terphenyl,5-phenyl-, Ethylbenzene, 1,4-Dimethylbenzene,

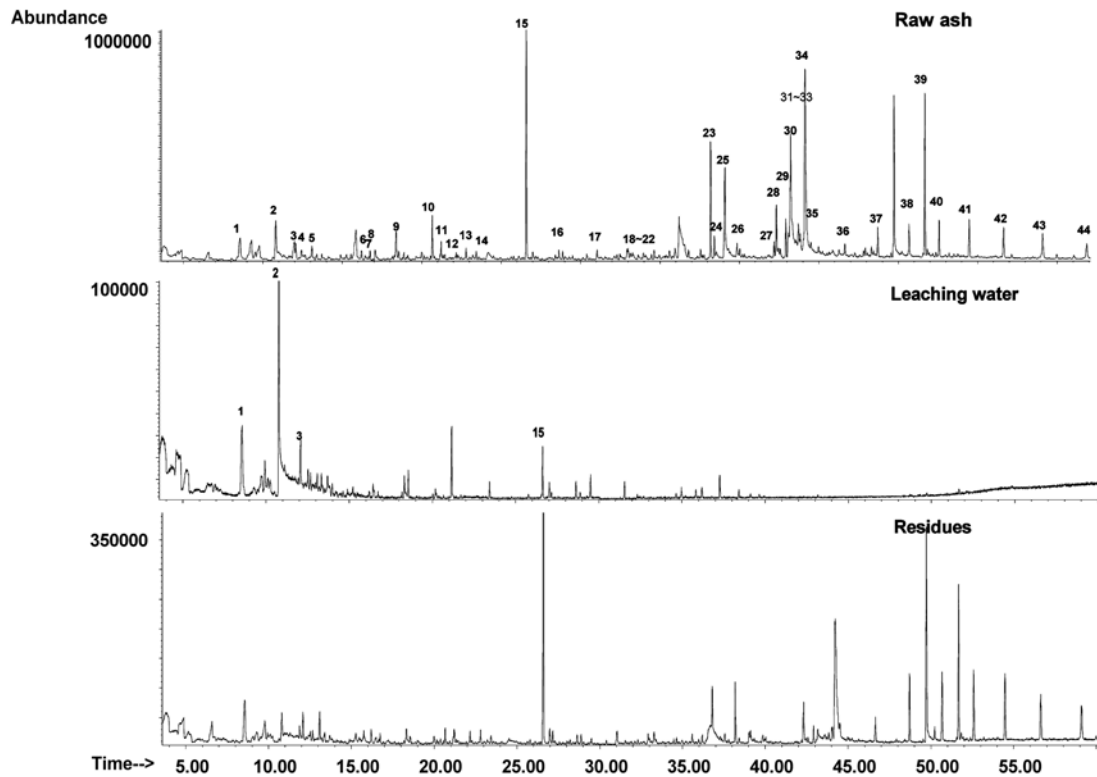


Fig. 4. Total Ion Chromatogram of raw ashes, leaching water and residues from bottom ash.

1,3-Dimethylbenzene, 1,3,5-Trimethylbenzene, 1,2,3-Trimethylbenzene 그리고 Phthalic anhydride를 확인하였고, 염소화된 방향족 화합물 1,2,3,5-Tetrachlorobenzene, Pentachlorobenzene, Hexachlorobenzene을 검출하였다. 바닥재와 비산재로부터 정성 확인된 유기화학물질은 소각시설의 열처리과정 중에서 2차적으로 새롭게 생성된다고 밝혀진 다이옥신류 이외에도 향후 비의도적으로 생성되는 새로운 유해화학물질의 생성메카니즘을 규명하는데 중요한 자료가 될 뿐만 아니라 향후에 이러한 조사연구사업이 지속적이고 좀더 정밀하게 활성화 되는데 많은 도움이 될 것으로 판단된다. 또한 국제적으로 새롭게 대두되는 POPs와 같은 독성이 강한 새로운 유해화학물질 관리에 커다란 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

3.2 바닥재 및 비산재의 용출특성

소각재 중 바닥재와 비산재의 매립시 환경으로 용출되는 다양한 종류의 유기화학물질을 정성확인하기 위한 용출실험은 소각재를 속실험 추출 한 뒤, 총 크로마토그램과 용출액 및 용출잔사에 대한 총 크로

마토그램을 머무름 시간별로 비교하여 수행하였다. 바닥재의 경우 바닥재, 용출액 그리고 용출잔사의 총 이온크로마토그램에서 Library(NIST21, NIST107, WILEY229) 검색을 통한 일치도가 90% 이상인 유기화학물질의 각 피크에 대한 동일한 머무름 시간별 비교·분석한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 바닥재, 용출액 그리고 용출잔사에서 각 피크에 대한 공통적으로 확인된 유기화합물은 Ethylbenzene, Benzaldehyde, 1-Phenyl-Ethanone 그리고 1,4-Benzenedicarboxylic acid, dimethyl ester로 각각 피크 1, 2, 3, 그리고 15번에서 확인하였다.

용출된 유기화학물질들에 대한 위해성을 평가하기 위한 독성자료를 Table 4에 나타내었다.

이처럼 용출 확인된 ethylbenzene 등의 4종의 유기화학물질은 비발암물질로 용량-반응의 실험으로부터 악영향무관측수준(No Observed Adverse Effect, NOAEL) 및 유해영향 관찰 최저 농도 수준(Lowest Observed Adverse Effect, LOAEL) 값과 참고치(Reference-Dose, RfD)값을 도출하고, 실험농도를 Monte-Carlo Simulation하여 노출평가를 실시하여 확

Table 4. Toxicity of organic compounds, detected in leaching water on bottom ash

Peak	organic compound	Critical Effect	Experiment Dose	UF	MF	RfD
1	Ethenylbenzene ²¹	Red blood cell and liver effects	NOAEL : 200 mg/kg-day	1000	1	2×10^{-1} (mg/kg-day)
2	Benzaldehyde ²²	Forestomach lesions, kidney toxicity	NOEL : 143 mg/kg-day	1000	1	1×10^{-1} (mg/kg-day)
3	1-Phenyl-Ethanone ²³	Squamous hyperplasia of the nasal respiratory epithelium	LOAEL (HEC) : 0.03 mg/m ³	1000	1	3×10^{-5} (mg/m ³)
15	1,4-Benzenedicarboxylic acid, dimethyl ester ²⁴	Chronic kidney inflammation	LOAEL : 125 mg/kg-day	1000	1	1×10^{-1} (mg/kg-day)

UF : Uncertainty Factors, MF : Modifying Factors, RfD : The oral Reference Dose

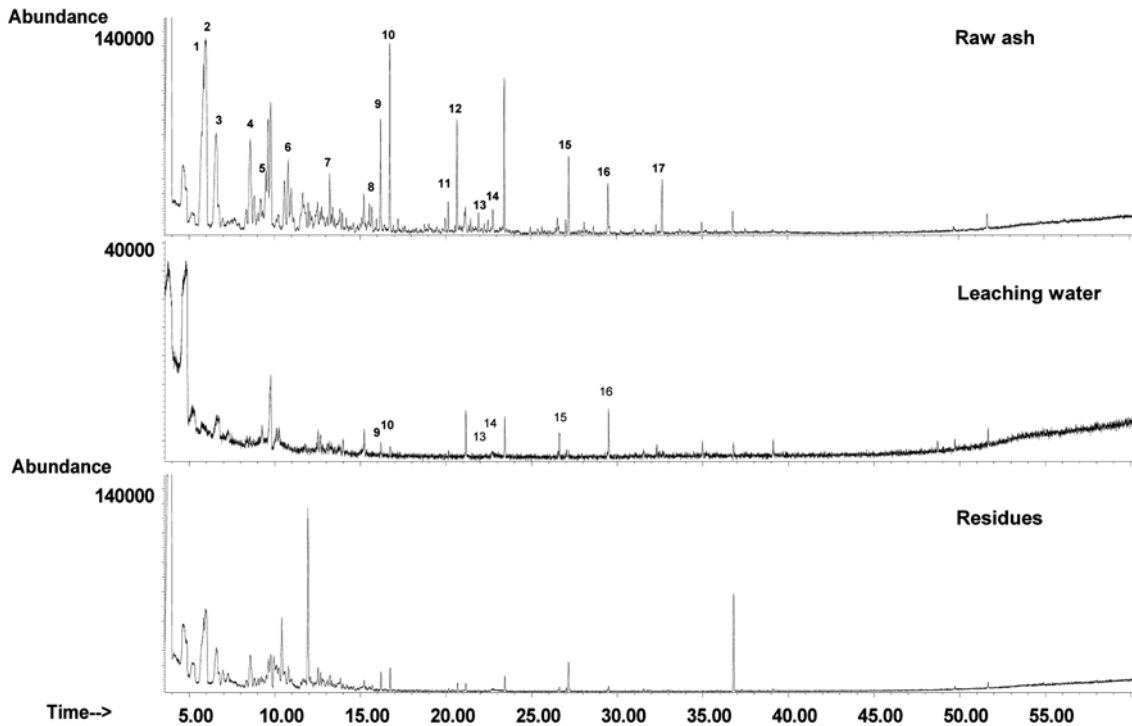


Fig. 5. Total Ion Chromatogram of raw ashes, leaching water and residues from fly ash.

를적인 비발암성 정도를 도출하게 된다.

소각재중 비산재의 용출특성은 비산재 속실텍 추출액, 용출액, 용출잔사의 총 크로마토그램을 머무름 시간별로 비교하여 각각의 유기화학물질을 확인하여 Fig. 5에 나타내었다.

비산재, 용출액, 용출잔사에서 유사지수가 90%이상인 유기화학물질의 총 크로마토그램을 비교한 결과, 용출액으로부터 용출된 유기화학물질은 Naphthalene, Dodecane, 1,2,3,5-Tetrachlorobenzene, Tetradecane, Hexa-

decane 그리고 Pentachlorobenzene로 각각 피크 9, 10, 13, 14, 15 그리고 16번에서 정성 확인되었다. 용출된 유기화학물질들에 대한 위해성을 평가하기 위한 독성 자료를 Table 5에 나타내었다.

이상에서와 같이 폐기물 소각시설로부터 발생되는 비산재와 바닥재를 매립 등으로 처리하였을때 자연적인 조건하에서 매립장 등에서 용출될 수 있는 유해성 유기화학물질에 대한 정성분석은 주변환경에 어떤 종류의 유기화학물질로 인한 오염의 예측과 이들을 보

Table 5. Toxicity of organic compounds, detected in leaching water on fly ash

Peak	organic compound	Critical Effect	Experiment Dose	UF	MF	Ffd
9	Naphthalene ²⁵	Decreased mean terminal body weight in males	NOAEL (ADJ): 71 mg/kg-day	3000	1	2×10^{-2} (mg/kg-day)
13	Tetrachlorobenzene ²⁶	Kindeg lesions	NOAEL : 0.34 mg/kg-day	1000	1	3×10^{-4} (mg/kg-day)
15	Pentachlorobenzene ²⁷	Liver and kidney toxicity	LOAEL : 8.3 mg/kg-day	1000	1	8×10^{-4} (mg/kg-day)

다 효과적이며 적절하게 처리할 수 있는 방안을 강구할 수 있을 뿐만 아니라 사전예방 중심적인 환경오염물질 관리에 커다란 기여를 할 것으로 판단된다.

본 논문은 정성분석을 통하여 유기화학물질에 대한 정확한 실태를 파악함으로써 소각시설에서 발생하는 비산재 및 바닥재에 대한 보다 효과적인 관리방안을 강구하는데 활용될 것이라 판단되므로 추후 이러한 다양한 종류의 유기화학물질에 대한 정확한 정량분석을 위한 조사연구를 수행할 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 생활폐기물 소각시설에서 배출되는 바닥재 및 비산재로부터 유해성 유기화학물질에 대한 용출특성을 정성확인 및 평가하기 위하여, 현재 가동 중인 대형 생활폐기물 소각시설(250톤/일)의 바닥재 및 비산재를 대상으로 유기화학물질의 종류 및 용출 특성 등을 GC/MS(Gas chromatography/Mass selective Detector)로 정성분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 소각재 중 바닥재의 유기화합물에 대한 정성분석 결과, 지방족 화합물로 Dodecane, 1,4:3,6-Dianhydro-Alpha-d-glucopyranose, Caprolactam, Dodecanoic acid, Tetradecane, Tridecanoic acid, methyl ester, hexahydro-pyrrolo[1,2-a]pyrazine-1,4-dione, Tetradecanoic acid, Hexadecanoic acid, methyl ester, 3,9-Diazatricyclo [7.3.0.0(3,7)]-dodecan-2,8-dione, Tetradecanoic acid, 9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester, 9-Octadecenoic acid (Z), methyl ester, Octadecanoic acid, methyl ester, 9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester, 9-Octadecenoic acid (E)-, Octadecanoic acid, Oleic acid, Docosane, Pentadecane, Tetracosane, Heptadecane, Hexacosane, Heptacosane, Octadecane, Nonacosane 등을 확인 하였고, 방향족 화합물인 Ethenyl-benzene, Benzaldehyde, 1-Phenyl-ethanone, 4-Methyl-Phenol, 4-Cyanobenzoic

acid methyl ester, Naphthalene, Phthalic anhydride, Benzamide, 4-cyano-methyl ester, Biphenyl, 1,4-Benzenedicarboxylic acid dimethyl ester, Benzene,1,1'-(1,3-Propanediyl)-Bis-, Di-n-octyl phthalate, 1,1':3,1-Terphenyl, 5-phenyl-등이 확인되었다. 방향족 화합물에 비하여 다양한 지방족 화합물이 확인 되었으며 이는 불완전 연소에 기인 한 것으로 판단되었다.

2. 소각재 중 비산재의 유기화학물질에 대한 정성분석 결과, 지방족 화합물은 Decane, 1-methyl-4-cyclohexene, Undecane, Dodecane, Tridecane, Ttradecane, Hexadecane등을 확인하였고, 방향족 화합물은 Ethylbenzene, 1,4-Dimethyl-benzene, 1,3-Dimethyl-benzene, 1,3,5-Trimethyl-benzene, 1,2,3-Trimethyl-benzene, Naphthalene, Phthalic anhydride, 1,2,3,5-Tetrachlorobenzene, Pentachlorobenzene, Hexachlorobenzene등을 확인 하였다. 이는 휘발성 및 반휘발성 유기화합물이 보일러 후단 및 대기방지시설에서 재합성으로 인한 다량의 방향족 화합물들이 형성되었을 것으로 판단되었다.

3. 바닥재 및 비산재, 용출액 및 용출잔사로부터 용출되는 유기화학물질은 머무름시간별 비교 분석한 결과, 바닥재에서는 Ethenylbenzene, Benzaldehyde, 1-Phenyl-Ethanone 그리고 1,4-Benzenedicarboxylic acid, dimethyl ester, 비산재에서는 Naphthalene, Dodecane, 1,2,3,5-Tetrachlorobenzene, Ttradecane, Hexadecane 그리고 Pentachloro-benzene등을 정성적으로 확인 하였다. 이는 자연 용출과정 및 수세처리 과정에서 일부 유기화합물들이 수층으로 용출되는 것으로 확인 · 판단 되었다.

이상의 연구결과는 소각시설에서 발생하는 비산재 및 바닥재를 단순 매립할 경우 우수로 인한 침출수로 인하여 인근 지하 및 토양 등이 유해성 유기화학물질에 의한 영향을 받을 수 있을 것으로 판단되었으며, 이로 인한 2차 오염을 방지하기 위하여 소각재에 함유되어 있는 유해화학물질을 안정적으로 처리 · 처분할 수 있는 조사연구가 필요한 것으로 사료된다.

참고문헌

1. C. K. Shin, S. C. Kim, K. C. Lee, M. H. Kwon, J. H. Lee, S. G. Jeong, G. J. Song, K. E. Park, S. H. Song and K. H. Kim, "A Study on the Proper Treatment of Incineration Residues from MSW Incinerator(I)-on the basis of Bottom Ash-", National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea (2000).
2. S. C. Kim, C. k. Shin, K. C. Lee, M. H. Kwon, J. H. Lee, S. G. Jeong, G. J. Song, K. E. Park, S. H. Song and K. H. Kim, "A Study on the Proper Treatment of Incineration Residues from MSW Incinerator(II)-on the basis of Fly Ash-", National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea (2001).
3. Karl Jochim Thome-Kozmiensky. K. J, "Themische Abfallbehandlung, EF-Verl. fuer Energie-und Umwelt-technik", 577(1994).
4. Hong. K. J, Tokunaga. S. and Kajiuchi, T. *Journal of Hazardous Materials*, **B75**, 57-73(2000).
5. Jung. C. H, Matusuto. T. N, Tanaka. N and Okada. T, *Waste Management*, **24**, 381-391(2004).
6. Osako. M and Kim. Y, *J. Chemosphere*, **54**, 105-116(2004).
7. 환경부 : 폐기물 관리법, 2004.
8. Environmental Protection Agency(EPA), Soxhlet Extraction, Method 3540C (1996).
9. Environmental Protection Agency(EPA), Separatory Funnel Liquid Method, 3510C (1996).
10. Labunska. I, Brigden. K, Johnston. P, Santillo. D and Stringer. R, "Concentrations of heavy metals and organic contaminants in ash collected from the Izmit hazardous/clinical waste incinerator", April (2000).
11. Shin'ichi Nito and Shigeo Ishizaki, *chemosphere*, **35**, 1755-1722(1997).
12. The inventory of sources of Dioxin in the united states, EPA/600/p-98/002Aa,(April 1998). <http://www.epa.gov/ncea/pdfs/dioxin/part1/volume2/chap11.pdf>
13. S. C. Kim, S. H. Choe, Z. G. Na, Z. H. Lee, K. H. Kim, R. S. Hwang, J. Y. Chang and H. J. Cho, "A Study on the generation mechanism and Emission characteristics of hexachlorobenzene from major stationary sources", National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea (2003).
14. Rushneck. D.R, Andy. B, Brian F, Coreen H, Dale H, Katharine K, Marlene B, Terry S, William A.T, Henry R, *Chemosphere*, **54**(1), 79-87(2004).
15. Addink. R, Van Bavel. B, Visser. R, Wever. H, Slot. P and Olie. K, *Chemosphere*, **20**(10-12), 1921-1934 (1990).
16. Milligan. M. S, Altwicker. E, *Environ. Sci. Techno*, **27**(8), 1595-1601(1993).
17. Y. H. Chung, S. C. Kim, S, K. Shin, I. G. Kang, J. I. Lee, W. S. Lee, J. B. Lee, E. H. Lee, D. H. Lee, J. H. Hong and D. G. Kim, "A Study on the Emission Rate and Generation Mechanism of Dioxin in Environment(I)", National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea (1997).
18. Inger Johansson, Bert van Bavel, *Chemosphere*, **53**, 123-128 (2003).
19. A. D. Wheatley, S. Sadhra, *chemospere*, **55**, 743-749 (2004).
20. Yoshio Akimoto, Tadamitu Aoki, Shin'ichi Nito and Yoshio Inouye, *chemosphere*, **34**, 263-273(1997).
21. Quast. J.F, C.G. Humiston, R.Y. Kalnins, et al. "Results of a toxicity study of monomeric styrene administered to beagle dogs by oral intubation for 19 months" Toxicology Research Laboratory, Health and Environmental Sciences, DOW Chemical Co, Midland, MI. Final Report, 1979.
22. Kluwe WM, Gupta BN, Lamb JC, *Toxicol Appl Pharmacol*, **70**, 67-86(1983).
23. NTP (National Toxicology Program), "Toxicology and Carcinogenesis Studies of 2-Chloroacetophenone (CAS No. 532-27-4) in F344/N Rats and B6C3F1 Mice (Inhalation Studies)", Technical Report No. 379. NTP, 1990.
24. Krasavage. W. J, F. J. Yanno and C. J. Terhaar, Dimethyl terephthalate (DMT). Acute toxicity subacute. Feeding inhalation studies in male rats. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. **34**(10), 455-462 (1973).
25. Shopp. GM, White. KL. Jr, Holsapple. MP, et al, *Fundam Appl Toxicol*, **4**(3 pt 1), 406-419 (1984).
26. Chu, I, D. C. Villeneuve, V. E. Valli and V. E. Secours, *Drug Chem. Toxicol*, **7**, 113-127 (1984).
27. Linder R, T. Scotti, J. Goldstein, K. McElroy and D. Walsh, *J. Environ. Pathol. Toxicol*, **4**, 183-196 (1980).