

## 소각시설의 바닥재로부터 유기화학물질 용출특성

홍석영 · 김삼권\* · 박선구\*†

단국대학교 화학공학과, \*국립환경과학원 환경측정기준부

## The Leaching Characteristics of Organic Compounds in Incineration Residues from Municipal Solid Waste Incinerators

Suk-Young Hong, Sam-Cwan Kim\*, and Sun-Ku Park\*†

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

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

Our research was carried out to estimate leaching characteristics of bottom incineration residues from municipal solid waste incinerators. Organic compounds in raw ash, leaching water, and leaching residue were qualitatively analyzed. A total of 44 organic compounds, contained in bottom ashes were analyzed by GC/MSD with wiley library search. Bottom ashes were found to contain a wide range of organic compounds such as aliphatic and aromatic compounds. Compounds in raw ash, leaching water and residues from bottom ash were detected Ethenylbenzene, Benzaldehyde, 1-Phenyl-Ethanone and 1,4-Benzenedicarboxylic acid dimethyl ester. The leaching characteristics of incineration residue, leads us to following conclusion that the single landfill of incineration residue can contaminate the soil and groundwater. In order to prevent environmental contamination by the organic compounds as well as extremely toxic substances in the bottom ash, it is particularly important that the incineration residues should be treated so as to decrease the concentration of the compounds before disposal and be studied about leaching characteristics of organic compounds contained in bottom ash.

**Key words :** MSWI, Bottom ash, Organic compounds, Solid waste, Incinerators, Leaching

### 1. 서 론

공업화학산업의 발달과 생활수준의 향상으로 다양하고 무수한 종류의 유기화학물질을 함유하고 있는 생활 폐기물의 발생량은 지속적으로 증가하고 있다. 따라서 이들을 적절하게 관리할 수 있는 다양한 처리기술과 효율적인 관리방향에 대하여 끊임없는 노력을 하여 왔다. 이러한 생활폐기물에 대한 부분적인 해결방법은 매립 및 소각 등이 있는데, 매립의 경우 공간 부족과 침출수가 발생되어 2차적으로 토양 및 수질오염을 가중시킬 수 있으며, 소각으로 처리 시 대기 중으로 다양한 유해화학물질이 배출되어 주변 환경오염을 가속화시키고 있는 실정이다. 따라서 국내에서는 이들을 효율적으로 관리하기 위해서 환경부에서 폐기물 관리의 우선순

위에 따라 재활용을 확대하고 매립을 줄이는 정책 방향을 설정하였고, 또한 생활 폐기물 중 재활용이 불가능한 최종 폐기물은 매립보다는 소각처리에 중점을 두고 있다.<sup>1,2)</sup> 이러한 정부 정책과 2002년 4월에 수립된 “제2차 국가폐기물관리종합계획”에 따르면 폐기물 소각 비율이 높아짐에 따라 소각재의 발생은 더욱 늘어날 것으로 예상되고 있다. 소각시설에서 배출되는 소각재는 그레이트 상에 남아있는 재(grate ash)와 그레이트 하단으로 떨어지는 재(grate siftings)가 포함된 바닥재(bottom ash), 폐열 보일러 재와 배출가스 비산재 및 부산물을 포함하는 비산재로 분류되고 있으며<sup>3)</sup>, 유해 중금속 및 다이옥신 등 미량의 다양하고 무수한 종류의 유해유기화학물질들이 다량 함유되어 있는 것으로 보고되고 있다.<sup>4,6)</sup>

†To whom correspondence should be addressed.

특히, 현행 폐기물관리법 제2조 1항에 따라 소각시설에서 발생하는 바닥재는 납, 수은 등 중금속 6개 항목과 트리클로로에탄 등 유기물질 4개 항목이 용출시험 기준치 이내이면 일반매립하거나 인공골재, 건축용 벽돌, 바닥 채움재 등으로 재활용하고 있어, 바닥재로부터 발생가능성이 있는 다양한 종류의 유기화학물질에 대한 적절한 중간처리기술 등에 대한 조사연구가 미흡한 실정이다. 또한 폐기물 처리 과정 중, 그리고 바닥재 매립 시, 시간에 따라 2차적으로 발생 가능한 유기화학물질의 생성 메카니즘 규명에 대한 조사연구가 거의 없는 실정이다. 따라서 비산재를 매립 시 침출수 중에 발생될 수 있는 다양하고 무수한 종류의 유해성 있는 유기화학물질에 대한 정성·정량 확인 및 비교·분석과 처리방안 강구 등 이들을 효율적이고 과학적인 근거 하에 관리하기 위한 관심부족과 체계적이고 집중적인 조사연구가 이루어 질 수 있도록 많은 예산 지원이 필요한 실정이다.<sup>7)</sup>

국내에서는 소각재에서 배출되는 다이옥신에 대한 연구는 활발히 진행되고 있으나, 그 외의 무수하고 다양한 종류의 유기화학물질에 대한 조사연구는 규제중심적인, 극히 일부의 유기화학물질에 대해서만 수행되고 있으며, 미래 지향적이며 사전 예방적인 유기화학물질에 대한 조사연구는 매우 미흡한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 현재 가동 중인 도시생활폐기물을 소각하고 있는 시설에서 배출되는 바닥재에 함유되어 있는 유기화학물질을 정성적으로 확인하고, 이들의 장기 침출가능성을 파악하여 바닥재 중 유기화학물질의 용출특성에 대한 조사연구 결과를 토대로, 이들을 보다 효과적으로 제어하고 관리하기 위한 방안을 마련하는데 기초자료로 활용하고자 한다.

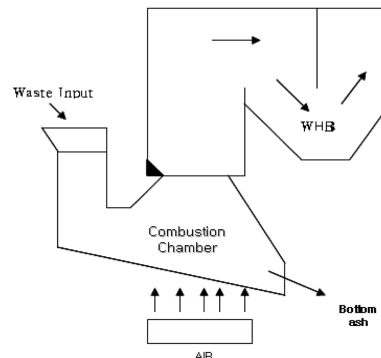
## 2. 연구방법

### 2.1. 연구대상시설

본 연구에서는 소각시설에서 배출되는 바닥재의 수세 처리에 따른 유기화학물질의 용출특성을 평가하기 위하여, 대형 생활폐기물 소각시설(300 톤/일)을 조사연구대상으로 선정하였다. 실험에서 사용된 시료는 현재 가동 중인 생활폐기물 소각시설의 연소실에서 발생하는 바닥재를 채취하였다. 소각시설의 처리공정은 Fig. 1과 같다.

### 2.2. 실험방법

시료는 대형 스토커식의 생활쓰레기소각로에서 배출



\*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.

되는 소각재를 대상으로 선정하였으며, 바닥재의 경우는 화격자(grade)에 의해서 배출되는 재를 전체 혼합하여 5 mm이하의 바닥재로 분리하여 채취하였다. 바닥재의 유기오염물질의 함량분석을 하기위하여 EPA Method 3540C 시험방법<sup>8)</sup>에 따라 속실렛 추출을 하였다. 용출액 및 용출잔사의 특성을 파악하기위해서는 바닥재를 폐기물공정시험방법 제 5항의 용출시험방법에 따라 용출액과 용출잔사를 분리한 뒤 용출액은 EPA Method 3510C시험방법<sup>9)</sup>을 따라 액-액추출을 하였고, 용출잔사는 EPA Method 3540C시험방법에 따라 속실렛 추출을 하였고, 추출용매는 Wako사의 잔농급 Dichloromethane 5,000을 사용하였다. 각각의 추출액을 감압 농축기(BUCHI, Rovapor R124)로 3~5 ml 정도로 농축한 후 질소가스를 불어 넣어 1 ml로 농축하여

**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 × 0.32 mm ID × 0.25 μm thickness)
Oven	50°C (1 min, 4°C/min) → 260°C (1 min, 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

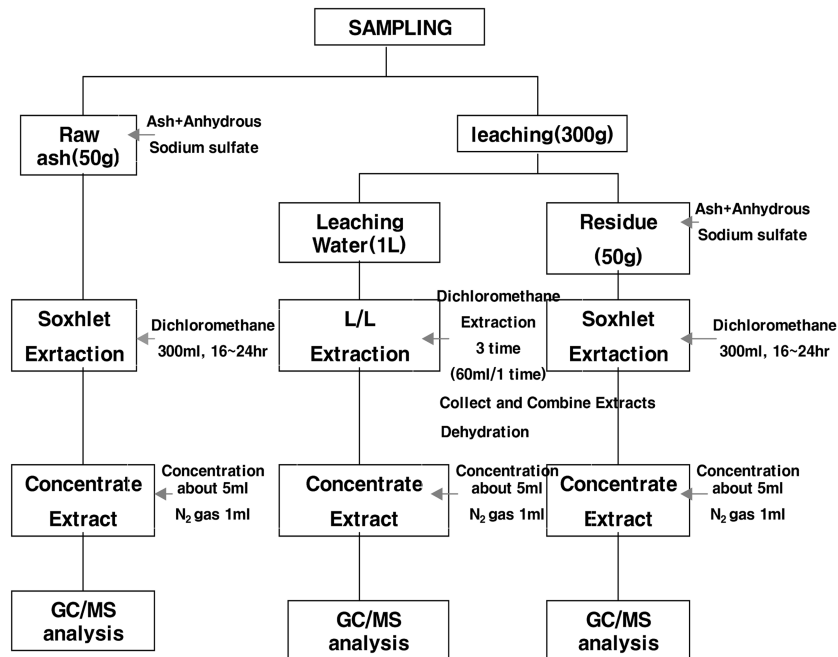


Fig. 2. Flowchart of analytical methods for organic compounds in incineration residues.

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 총 이온 크로마토그램 (total ion chromatogram)의 각 피크에 대한 정성분석은 각 피크로부터 주어지는 background가 보정된 spectrum 정보를 Library (NIST21, NIST107, WILEY229)와 정성 비교분석하여 match quality가 90% 이상인 유사지표 (similarity index)에 의해 수행하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 바닥재 중 유기화학물질의 정성분석

소각시설의 바닥재 중 다양한 종류의 유기화학물질을 GC/MSD로 정성 분석한 결과, Library (NIST21, NIST107, WILEY229)와 비교하여 유사지수가 90% 이상인 유기화학물질을 지방족 화합물과 방향족 화합물인 두 가지 그룹으로 분류하였고, 각 유기화학물질에 대한 머무름 시간, 분자량 그리고 분자식은 Table 2와 Table 3에 각각 나타내었다. 즉 바닥재 중 총 이온 크로마토그램에서 231개의 피크 중 유사지수가 90%이상의 일치율을 보인 유기화학물질은 26종의 지방족 유기화합물과 18종의 방향족 화합물인 총 44종의 유기화학물질을 확인하였고, 그 외에도 50%~90%사이의 일치율을 보인 화합물 51종을 확인하였다 (Fig. 3).

이상의 다양한 종류의 유기화학물질은 소각시설 중 열처리공정에서 완전 연소되지 않는 과정 및 냉각시설

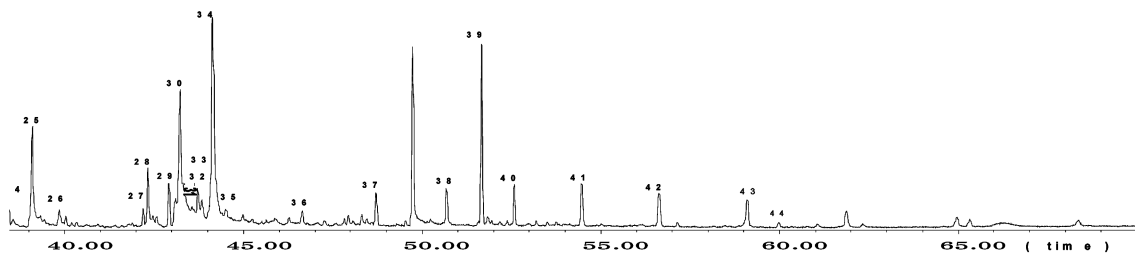


Fig. 3. GC/MSD extraction ion chromatograms of bottom ash from Municipal Solid Wastes Incinerator.

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

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

그리고 대기 방지시설 등에서 탄화수소 및 미연탄소가 염소, 염화수소 또는 금속염화물과 반응하여 드노보 합성 (De Novo Synthesis)으로 다이옥신류, 폴리염화비페닐 등이 생성된다. 또한 폐기물 소각 시 소각로 내부 또는 냉각지역에서 염화벤젠 및 염화페놀 등과 같은 전구물질 (precursor)의 이중합반응 (dimerisation) 및 염소화반응 (chlorination)에 의한 재합성 경로가 보고되고 있다.<sup>10-14)</sup>

특히, 유기화학물질 중 지방족 대 방향족 (aliphatic : aromatic)의 비 혹은 특정 작용기의 퍼센트 등이 다이옥신류의 형성에 영향을 미친다고 보고된 바 있다.<sup>15-17)</sup>

또한 바닥재는 스톡홀름 협약에 의해 국제적으로 규제 대상물질인 12개 물질 중 폐기물 소각과정에서 비의도적으로 생성되는 잔류성 유기 오염물질 (persistent organic pollutants, POPs)인 다이옥신 (polychlorinated dibenzo-p-dioxine, PCDDs), 퓨란 (polychlorinated dibenzofurans, PCDFs), 폴리염화비페닐 (polychlorinated biphenyls, PCBs) 그리고 헥사클로로벤젠 (hexachlorobenzene, HCB)이 생성되는 것으로 확인되었다.

이와 같이 생성 메커니즘에서의 규명된 바와 같은 전구물질에 해당하는 지방족화합물, 작용기가 없는 고리 방향족 화합물인 naphthalene, phenanthrene<sup>18-20)</sup>을

peak 6 그리고 peak 22에서 각각 확인하였고, 작용기를 포함한 고리 방향족 화합물인 ethenylbenzene, benzaldehyde, 1-phenyl-ethanone, 4-methyl-Phenol, benzoic acid, methyl ester, phthalic anhydride, benzamide, 4-cyanbenzoic acid methyl ester, biphenyl, 1,4-benzenedicarboxylic acid dimethyl ester, 1,1-(1,3-propanediyl)bis-benzene, 1,1-diphenyl-1-propene, 1,3-diphenyl-2-propen-1-one, 4,4'-(1-methylethylidene)bis-phenol, Di-n-octyl phthalate, 1,1':3,1-Terphenyl,5-phenyl-을 검출하였다. 바닥재로부터 정성 확인된 유기화학물질은 소각시설의 열처리과정 중에서 2차적으로 새롭게 생성된다고 밝혀진 다이옥신류 이외에도 독성이 더욱 강한 새로운 유해성 유기화학물질을 생성시키는 전구물질이 될 것으로 추정되며, 향후 비의도적으로 생성되는 새로운 유해화학물질의 생성 메커니즘을 규명하는데 중요한 자료가 될 뿐만 아니라 향후에 이러한 조사 연구 사업이 지속적이고 좀 더 정밀하게 활성화 되는데 많은 도움이 될 것으로 판단된다. 또한 국제적으로 새롭게 대두되는 POPs와 같은 독성이 강한 새로운 유해화학물질 관리에 커다란 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

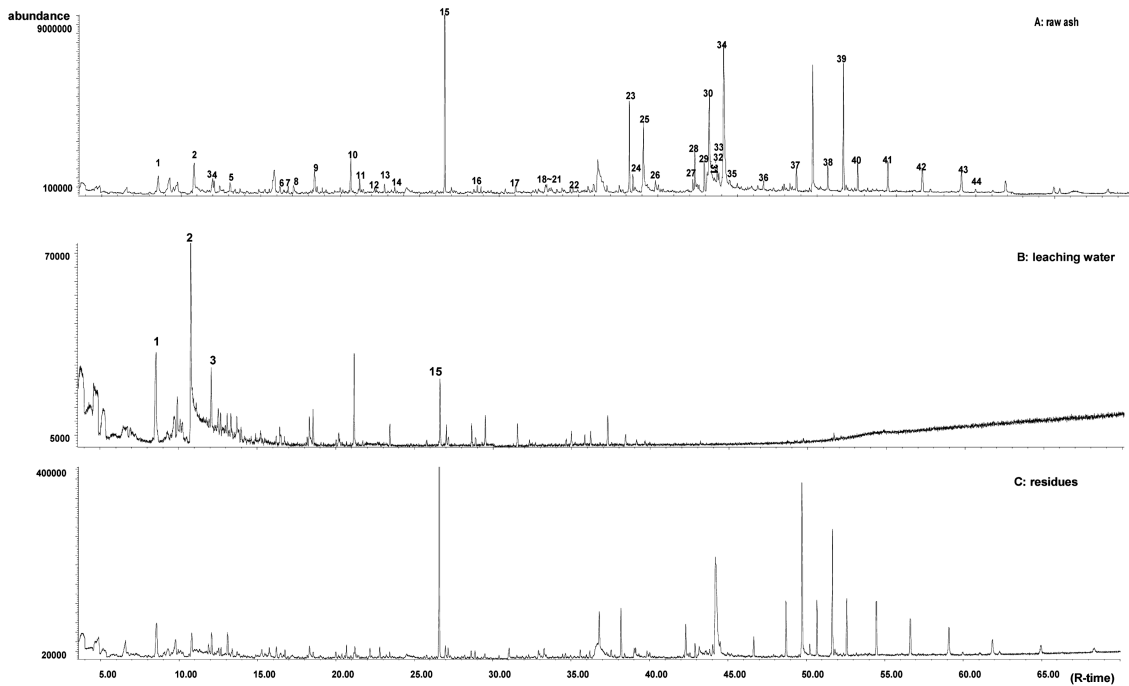


Fig. 4. Total ion chromatogram of raw ashes, leaching water and residues from Municipal solid wastes incinerator (bottom ash).

**3.2. 바닥재의 용출특성**

바닥재를 매립 시에 자연적인 조건에서 이들로부터 용출되는 다양한 종류의 유기화학물질을 정성확인하기 위한 용출시험은 바닥재의 속실판 추출 후의 총 크로마토그램과 용출액 및 용출잔사에 대한 총 크로마토그램을 머무름 시간별로 비교하여 수행하였다 (Fig. 4).

바닥재, 용출액, 용출잔사에서 확인된 유해성 유기화학물질 중 총 크로마토그램에서 유사지수가 90% 이상인 유기화학물질을 각각 머무름 시간별 크로마토그램을 비교한 결과, 유기화합물은 ethenylbenzene, benzaldehyde, 1-phenyl-ethanone 그리고 1,4-benzenedicarboxylic acid, dimethyl ester로 각각 피크 1, 2, 3, 그리고 15번에서 확인하였다. 용출된 유기화합물들에 대한 위해성을 평가하기 위한 독성자료를 Table 3에 나타내었다.

이처럼 용출 확인된 ethenylbenzene 등의 4개의 유기화학물질은 비발암물질로 용량-반응의 실험으로부터 악영향무관측수준 (No Observed Adverse Effect, NOAEL) 및 유해영향 관찰 최저 농도 수준 (Lowest Observed Adverse Effect, LOAEL)값과 참고치 (Referencr-Dose, RfD)값을 도출하고, 실험농도를 Monte-Corlo Simulation하여 노출평가를 실시하여 확실적인 비발암성 정도를 도출하게 된다.

이상에서와 같이 폐기물 소각시설로부터 발생하는 바닥재를 매립 등으로 처리하였을 때 자연적인 조건하에서 매립장 등에서 용출될 수 있는 유해성 유기화학물질에 대한 정량분석은 주변 환경에 어떤 종류의 유기화학물질로 인한 오염의 예측과 이들을 보다 효과적

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

본 논문은 정성분석뿐만 아니라 정량분석을 통하여 유기화학물질에 대한 정확한 실태를 파악함으로써 소각시설에서 발생하는 비산재에 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 바닥재로부터 유해성 유기화학물질에 대한 용출특성을 정성확인 및 평가하기 위하여, 현재 가동 중인 대형 생활폐기물 소각시설(250톤/일)의 바닥재를 대상으로 유기화학물질의 종류 및 용출특성 등을 GC/MS(gas chromatography/mass selective Detector)로 정성 분석하여 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

**Table 3.** Toxicity of organic compounds, detected in leaching water on bottom ash

Peak	orgnic 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 <sup>-1</sup> (mg/kg-day)
2	Benzaldehyde <sup>22)</sup>	Forestomach lesions, kidney toxicity	NOEL : 143 mg/kg-day	1000	1	1×10 <sup>-1</sup> (mg/kg-day)
3	1-Phenyl-Ethanone <sup>23)</sup>	Squamous hyperplasia of the nasal respiratory epithelium	LOAEL (HEC): 0.03 mg/m <sup>3</sup>	1000	1	3×10 <sup>-5</sup> (mg/m <sup>3</sup> )
15	1,4-Benzenedicarboxylic acid, dimethyl ester <sup>24)</sup>	Chronic kidney inflammation	LOAEL : 125 mg/kg-day	1000	1	1×10 <sup>-1</sup> (mg/kg-day)

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

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 확인하였고, 방향족 화합물인 ethenylbenzene, benzaldehyde, 1-phenyl-ethanone, 4-methylphenol, 4-cyanobenzoic acid methyl ester, naphthalene, phthalic anhydride, benzamide, 4-cyanomethyl 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 기인한 것으로 판단되었다.

2. 바닥재, 용출액 및 용출잔사로부터 용출되는 유기화합물질을 머무름 시간별 비교 분석한 결과, 바닥재에서는 ethenylbenzene, benzaldehyde, 1-phenyl-ethanone 그리고 1,4-benzenedicarboxylic acid, dimethyl ester 등을 정성적으로 확인하였다. 이는 자연 용출과정 및 수세처리 과정에서 일부 유기화합물들이 수층으로 용출되는 것으로 확인 · 판단되었다.

이상의 연구결과는 소각시설에서 발생하는 바닥재를 단순 매립할 경우 우수로 인한 침출수로 인하여 인근 지하 및 토양 등이 유해성 유기화합물질에 의한 영향을 받을 수 있을 것으로 판단되었으며, 이로 인한 2차 오염을 방지하기 위해서 소각재에 함유되어 있는 유해 화합물질을 안정적으로 처리 · 처분 할 수 있는 장기적이고 지속적인 조사연구가 필요한 것으로 사료되었다. 또한 이들을 효과적으로 관리하기 위한 방안을 마련하는데 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

### 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, K. H. Kim, "A Study on the Proper Treatment of Incineration Residues from MSW Incinerator(I)-on the basis of Bottom Ash-", **2000**, National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea.
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, K. H. Kim, "A Study on the Proper Treatment of Incineration Residues from MSW Incinerator( II)-on the basis of Fly Ash-", **2001**, National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea.
3. Karl Jochim Thome-Kozmiensky. K. J, "Themische Abfallbehandlung, EF-Verl. fuer Energie-und Umwelt-technik", **1994**, 577.
4. Hong. K. J, Tokunaga. S. and Kajiuchi, T. *Journal of Hazardous Materials*, **2000**, B75, 57-73.
5. Jung. C. H, Matusuto. T. N, Tanaka. N and Okada. T., *Waste Management*, **2004**, 24, 381-391.
6. Osako. M and Kim. Y., *J. Chemosphere*, **2004**, 54, 105-116.
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,, and Johnston, P, Santillo. D& 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*, **1997**, 35, 1755-1722.
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](http://www.epa.gov/ncea/pdfs/dioxin_part1/volume2/chap11.pdf)
13. Kim, S. C. , Choe, S. H., Na, Z. G., Lee, Z. H., Kim, K. H., Hwang, R. S., Chang, J. Y., and Cho, H. J., "A Study on the generation mechanism and Emission characteristics of hexachlorobenzene from major stationary sources", National Institute of Environmental Research, **2003**, Incheon, Korea.
14. Rushneck, D.R., Andy, B., Brian, F, Coreen, H., Dale, H., Katharine, K., Marlene, B., Terry, S., William, A.T, and Henry, R., *Chemosphere*, **2004**, 54(1), 79-87.
15. Addink, R., Van Bavel, B., Visser, R., Wever, H., Slot, P, Olie, K., *Chemosphere*, **1990**, 20(10-12), 1921-1934.
16. Milligan, M. S. and Altwicker, E., *Environ. Sci. Techno*, **1993**, 27(8), 1595-1601.
17. Chung, Y. H., Kim, S. C., Shin, S. K., Kang, I. G., Lee, J. I., Lee, W. S., Lee, J. B., Lee, E. H., Lee, D. H., Hong, J. H., and Kim, D. G., "A Study on the Emission Rate and Generation Mechanism of Dioxin in Environment(I)", **1997**, National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea.
18. Inger Johansson, Bert van Bavel, *Chemosphere*, **2003**, 53, 123-128.
19. Wheatley, A. D. and Sadhra, S., *Chemosphere*, **2004**, 55, 743-749.
20. Yoshio Akimoto, Tadamitu Aoki, Shin' ichi Nito and Yoshio Inouye, *Chemosphere*, **1997**, 34, 263-273.
21. Quast. J.F, Humiston, C.G., Kalnins, R.Y. 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, W. M., Gupta, B. N., and Lamb, J. C., *Toxicol Appl Pharmacol*, **1983**, 70, 67-86.
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)*”, **1990**, Technical Report No. 379. NTP
24. Krasavage, W. J., Yanno, F. J., and Terhaar, C. J., *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, **1973**, 34(10), 455-462.