

소각시설 소각재의 잔류성 유기오염 물질 분포특성

김종항* · 이방희 · 백성복 · 이인아 · 이상희 · 박경호 · 김 현

경상남도 보건환경연구원

(2008. 11. 26. 접수, 2009. 3. 4. 승인)

The distribution characteristics of persistent organic pollutants in incineration residues at solid waste incinerators

Jong-Hyang Kim*, Bang-Hee Lee, Sung-Bok Baek, In-A Lee,
Sang-Hee Lee, Kyung-Ho Park and Hyun Kim

*Institute of Health & Environment, Gyeongnam Province 133-1 Salim-dong
Changwon-shi Gyeongsangnam-do, Korea*

(Received November 26, 2008; Accepted March 4, 2009)

요 약: 폐기물공정시험법과 내분비계 장애물질 시험방법을 이용하여 사업장폐기물소각재 24건 및 생활쓰레기소각재 20건에 대하여 잔류성 유기오염물질의 분포특성을 확인하였다. 12종류의 잔류성 유기오염물질중에서 7종을 GC-MSD (SIM-mode)로 정량분석을 하였다. 총 44건의 시료 중 21 시료에서 헥사클로로벤젠이 검출되었으며, 나머지는 모두 불검출이었다. 헥사클로로벤젠은 사업장폐기물의 소각재에서는 0.132-8.138 ng/g, 비산재에서는 0.195-5.765 ng/g, 그리고 생활쓰레기 소각장의 소각재에서는 0.270-1.828 ng/g, 비산재에서는 0.154-50.643 ng/g 정도로 각각 검출되었다.

Abstract: This study was carried out to investigate the distribution characteristics of persistent organic pollutants in incineration residues at industrial waste incinerators and municipal solid waste incinerators, which were analyzed by the official analytical method for the endocrine disrupting chemicals and the waste. Seven of 12 persistent organic pollutants were quantitatively analyzed by GC-MSD (SIM-mode). Hexachlorobenzene was detected in 21 samples among 44 incineration residues. The level of hexachlorobenzene was 0.132-8.138 ng/g in incineration residues, 0.195-5.765 ng/g in fly ash at industrial waste incinerators, 0.270-1.828 ng/g in bottom ash and 0.154-50.643 ng/g in fly ash at municipal solid waste incinerators, respectively.

Key words : persistent organic pollutants, endocrine disrupting chemicals, bottom ash, fly ash, incineration residues

1. 서 론

산업기술의 발달과 생활수준의 향상으로 사업장 및

생활폐기물의 발생량은 매년 증가하고 있는 실정으로 발생하는 폐기물들의 처리방법에는 여러 가지가 있으나, 환경부에서는 폐기물관리의 우선순위는 재활용을

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)55-211-1557 Fax : +82-(0)55-211-1559

E-mail : drkim320@korea.kr

Table 1. POPs by Stockholm convention and restrictive domestic data

Chemicals	Specific Exemption	Toxic Chemicals Control Acts
Aldrin	Insecticide	Ban('99)
Chlordane	Insecticide, Termiticide, Plywood adhesive	Ban('99)
Dieldrin	Insecticide, Termiticide, Plywood adhesive	Ban('99)
Endrin	Insecticide, Termiticide, Plywood adhesive	Ban('99)
Heptachlor	Termiticide & Wood treatment	Ban('99)
Mirex	Termiticide	Not registered
Toxaphene	Termiticide	Ban('91)
Hexachlorobenzene	Intermediate	Not registered
PCBs	Equipment in used	Ban('96)
DDT	Disease vector control & Intermediate	Ban('91)
Dioxin, Furans	Intermediate	Guideline for Dioxin Emission('97)

확대하는 한편 재활용이 불가능한 폐기물들은 부피를 최소화하기 위하여 매립보다는 소각처리를 권장하고 있다.¹

소각처리과정에서 발생하는 배출가스(비산재) 및 배출소각재(바닥재)들의 처리방법은 폐기물관리법 제2조 1항에 따라 바닥재는 납 등 중금속 5항목, 시안과 비소를 용출시험의 결과 기준치 이하이면 일반매립을 하거나 인공골재, 건축용 벽돌, 바닥 채움재 등으로 재활용하고 있고, 비산재의 경우는 용출시험과 관계없이 전량 지정폐기물로 규정하고 지정폐기물로 처리하고 있다.²

처리방식과는 관계없이 빗물로 인한 환경 노출가능성이 있으므로 검사항목이외의 오염물질 발생가능성에 대한 다양한 유해화학 물질에 대한 기초조사 및 중간처리 기술 등에 대한 연구가 필요한 단계이다.

국내에서는 소각재에서 배출되는 다이옥신은 잔류성 유기오염 물질로 분류하여 기준치를 마련하였으나, 소각과정에서 생성가능성이 있는 다른 유해 유기오염 물질들에 대한 기준치는 미설정 상태이다.³

잔류성 유기오염물질은 과학기술의 발전에 따라 새롭게 제조되거나 다양한 인간 활동에서 부산물로 발생하는 물질로서, 최근에 그 독성이 밝혀지면서 규제 관리의 필요성이 제기되고 있다. POPs는 독성이 강하고 환경에 장시간 체류하면서 먹이사슬에 따라 생체에 축적되는 특성을 가지고 있다. 또한 POPs는 장거리 이동되는 특성을 가지고 있어서 발생지역뿐만 아니라 국경을 넘어 다른 지역까지 피해를 발생시키고 있다. 따라서 국가별 관리 뿐 만 아니라 국제적 관리체계의 구축도 요구되고 있다. 이러한 배경하에

UNEP에서는 규제협약을 마련하기 위하여 5차에 걸친 정부간 협상회의를 개최하였고 그 내용을 정비한 것을 스톡홀름협약이라고 한다.⁴ 우리나라에서는 2004년 6월에 발효된 스톡홀름협약으로 다이옥신이 포함된 잔류성 유기오염 물질(persistent organic pollutants, POPs)을 2007년 1월 25일 비준함으로써 POPs관리법제정(2007. 1) 및 시행(2008. 1)에 이르게 되었다.⁵ Table 1에 스톡홀름협약에서 정한 초기 POPs 물질인 살충제 9개와 산업용 화학물질 1개 그리고 부산물 2개로 12개 유해화학물질 및 국내규제 현황을 나타내었다.

김 등⁶은 소각료의 배출가스로부터 다이옥신, 헥사클로로벤젠 등에 관한 조사연구, 문 등⁷은 해산물에 축적되어있는 헥사클로로벤젠의 위해성 및 하루섭취량에 대한 연구를 하였으나, 아직 사업장폐기물로 분류되어있는 소각재를 대상으로 POPs 물질함유에 대한 연구는 최근에 POPs의 적절한 관리를 위한 환경 중 거동연구, 인체 위해성 평가 및 배출원 별 규제전략 수립 등이 부분적으로 이루어지고 있지만 이들을 위해서 배출자료가 필수적임에도 불구하고 현재 국내에서는 이 분야에 대한 연구가 이제 시작 단계에 있다.

따라서 본 조사 연구에서는 도내에서 발생하는 사업장 폐기물중에서 소각재(바닥재, 비산재) 및 생활쓰레기소각장에서 발생하는 소각재(바닥재, 비산재)들을 대상으로 하여 POPs 중에서 7개의 물질(디디티(6), 클로르단(2), 헥사클로로벤젠, 알드린, 디엘드린, 엔드린 그리고 헥타클로르)를 폐기물공정시험법 제 5항의 용출시험방법,⁸ 내분비계 장애물질 분석방법⁹에 의한 시

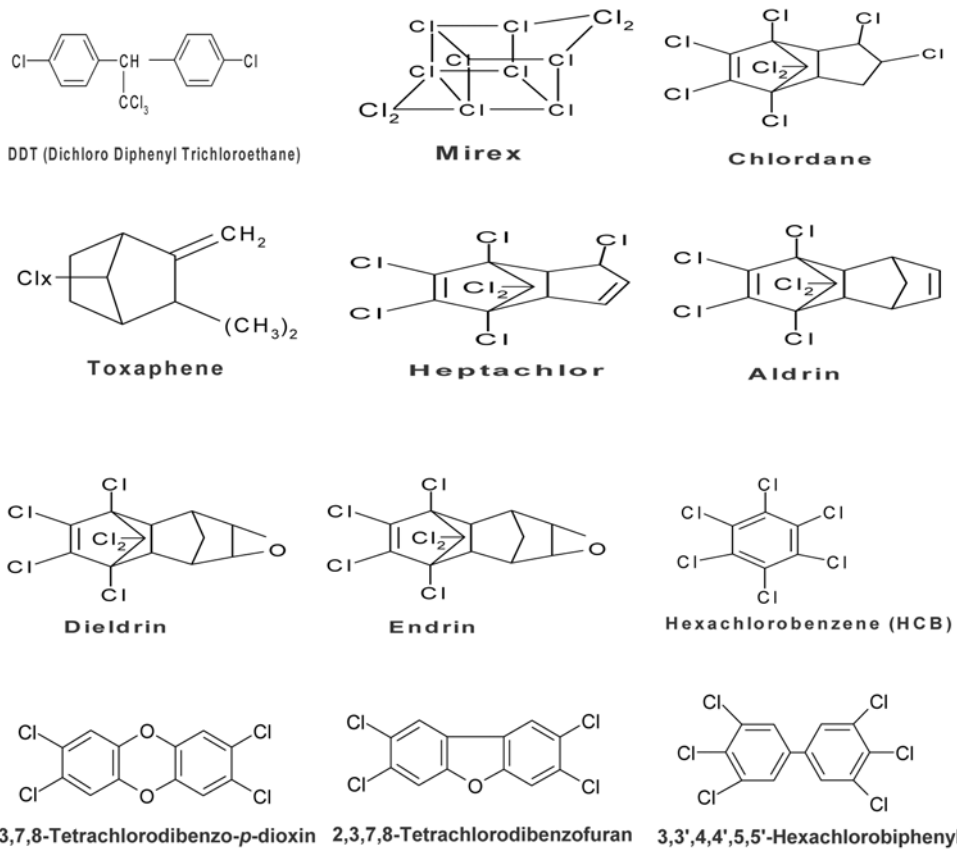


Fig. 1. The molecular structure of POPs.

험을 행하여 소각재중 POPs 물질 조사를 통해서 이 물질에 대한 체계적인 관리방안을 마련하는데 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 실험

2.1. 재료

본 연구를 위해 2007.1.1-10.31까지 본 연구원에 의뢰된 사업장 폐기물중에서 소각재를 임의로 선별하여 24개 시료 및 도내 생활쓰레기소각장 10군데를 선정하여 20개 시료(바닥재, 비산재)를 대상으로 실험을 행하였다.

분석대상물질인 7개 혼합표준품(1000 ppm, Accu Standards, USA), 정제용 내부표준물질로서는 HCB-¹³C₆, p,p'-DDT-¹³C₁₂, 실린지첨가용 내부표준물질은 Phenanthrene-d₁₀를 각각 사용하였다. 추출용매로 사용한 n-헥산(Merck, Germany)은 정제없이 사용하였으며, 그 외 실험에 사용한 시약들은 특급시약을 사용하였

다. Fig. 1은 잔류성 유기오염 물질의 구조식을 나타내었다.

2.2. 실험방법

실험은 폐기물 공정시험법(용출시험) 및 내분비계 장애물질 시험방법(함유시험)등 두 방법을 이용하였다.

2.2.1. 폐기물공정시험법

폐기물 공정시험법 제 5항 용출시험방법⁸에 의해 용출된 용출액 500 mL을 분액여두에 넣고, 염화나트륨 5 g 및 정제용 내부표준물질(10-100 ng, 측정장치의 감도에 따름)을 첨가하고 충분히 혼합 한 후 n-헥산 100 mL를 첨가하여 30 분간 진탕한 후 액-액 추출을 하였고, 무수황산나트륨으로 탈수하고 회전식 감압농축기를 사용하여 추출액을 1 mL까지 농축한 다음, 실린지 첨가용 내부표준물질(100-1000 ng, 측정장치의 감도에 따름)을 첨가하여 분석용 시료액으로 하였다.

2.2.2. 내분비계 장애물질 분석방법

내분비계 장애물질의 측정분석방법⁹을 이용하여 실험을 하였다. 소각재 30 g을 적당한 용기에 넣고, 정제용 내부표준물질을 첨가하고 아세톤과 디클로로메탄(1:1)혼합용액 50 mL를 넣고 1시간 진탕추출 한 다음, 초음파조사를 이용하여 30분간 초음파로 추출한 추출액을 5% 염화나트륨 수용액 500 mL를 넣어둔 분액여두에 옮긴다. 여기에 n-헥산 100 mL를 넣고 30분간 진탕 추출한다. 무수황산나트륨으로 탈수하고 회전식 감압농축기를 사용하여 2-3 mL 까지 농축하여 시료의 전처리 액으로 한다.

시료의 전처리액을 플로리실컬럼에 부하하고 이동상용매로서 15% 디에틸에테르와 n-헥산(15:85) 200 mL를 사용하여 물질을 정제, 농축 한 다음, 실린지 첨가용 내부표준물질을 첨가하여 분석용 시료액으로 하였다.

2.3. 검출한계 및 검량선 작성

내분비계 장애물질 측정분석방법⁹에 따라 7개 물질에 대한 회수율, 검출한계, 표준편차는 Table 2에 나타내었고 검량선은 Fig. 2에 표기하였다.

2.4. 분석조건

전처리 및 정제과정을 거친 최종액의 분석조건을 Table 3에 나타내었다.

Table 2. Recovery, RSD and detection limit of solid wastes (Unit: ng/g)

Materials	Recovery (%)	RSD	Detection Limit
Hexachlorobenzene	80.85	5.587	0.130
Aldrin	88.82	4.859	0.192
Dieldrin	76.37	10.154	0.350
Endrin	86.12	11.575	0.349
Heptachlor	69.23	12.196	0.951
Trans-chlordan	104.28	17.014	0.124
Cis-chlordan	86.13	3.623	0.349
o,p-DDD	77.13	16.666	0.263
p,p'-DDD	76.52	4.669	0.327
o,p-DDE	81.78	4.819	0.288
p,p'-DDE	83.84	9.684	0.294
o,p-DDT	79.78	8.765	0.735
p,p'-DDT	74.44	9.001	0.190

3. 결과 및 고찰

3.1. 소각재의 정량분석

GC/MSD로 소각재의 바닥재 및 비산재에서 검출된 물질들의 정량은 SIM모드를 이용하여 정량이온들을 확인하여 정량을 하였으며, 다음은 이 실험에 사용된 SIM모드의 이온들을 Table 4에 나타내었다.

SIM 모드형태의 총 이온크로마토그램을 Fig. 3 및

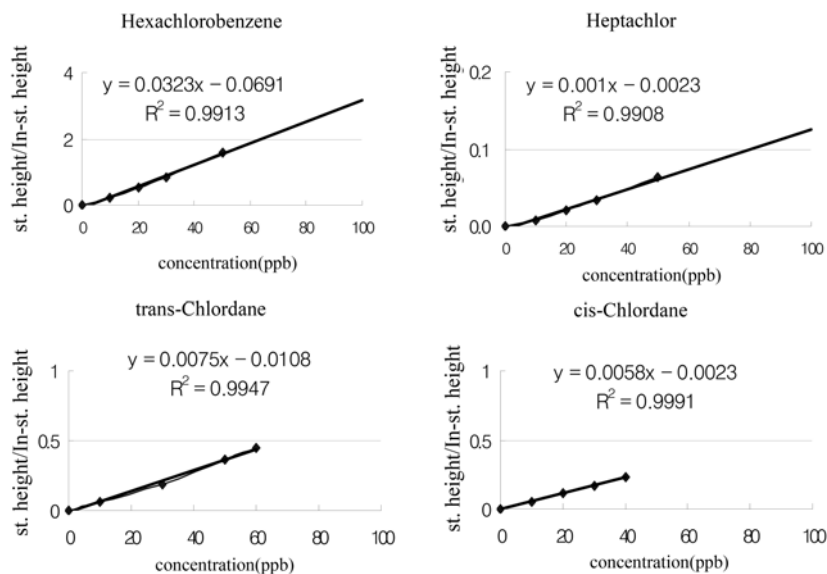


Fig. 2. Calibration curves of POPs.

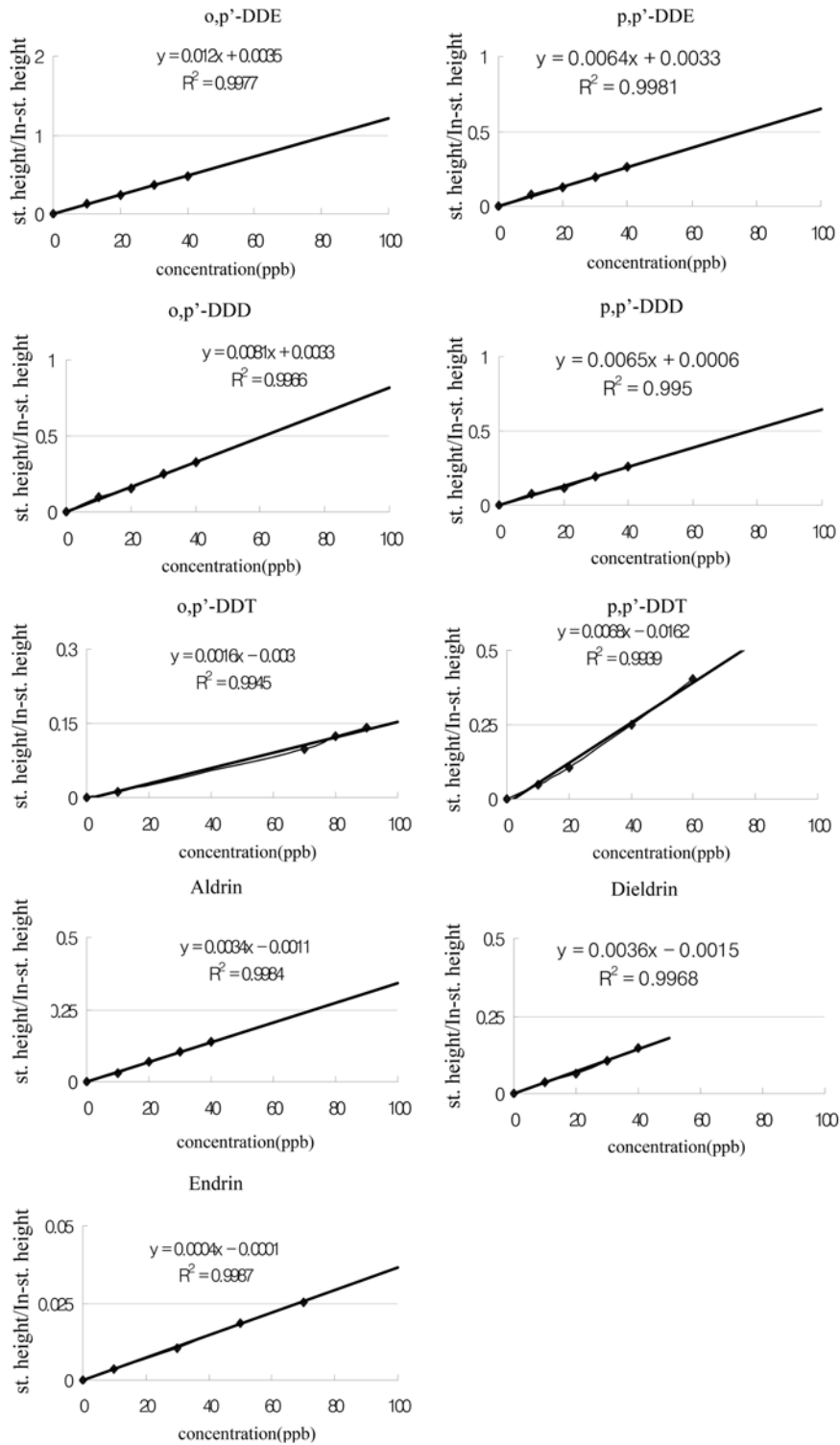


Fig. 2. Continued.

Table 3. Analytical condition of POPs by GC/MS

Instrument	• Agilent 6890/5973 (U.S.A)
Column	• DB-5 (30 m×0.25 mm×0.25 μm)
Oven Temp.	• 50 °C(1 min), 10 °C/min, 280 °C, post-run 5 min
GC Condition	• Injection port temp : 250 °C • Injection mode : splitless • Carrier gas : He (99.999%)
MSD Condition	• Ionization Voltage : 70 eV • Source Chamber Temp : 280 °C • Method : EI- Selected Ion Monitoring

몇 종류의 물질에서 선택된 이온들을 Fig. 4에 각각 나타내었다.

3.2. 사업장 소각재

소각시설에서 배출되는 소각재는 크게 화격자에 남아있는 재(grate ash)와 화격자하단으로 떨어지는 재(grate shifting)가 포함된 바닥재(bottom ash), 폐열 보일러 재와 배출가스 비산재 및 부산물을 포함하는 비

Table 4. The selected ions for POPs

Materials	Selected ions	Confirm ions
Hexachlorobenzene	284	286 249
Aldrin	263	265 66
Dieldrin	79	263 277
Endrin	263	81 265
Heptachlor	272	100 274
trans-Chlordane	375	373 237
cis-Chlordane	375	373 237
o,p-DDD	235	237 165
p,p'-DDD	235	237 165
o,p-DDE	246	318 317
p,p'-DDE	246	318 317
o,p-DDT	235	237 165
p,p'-DDT	235	237 165
p,p'-DDT- ¹³ C ₁₂	247	249 177
HCB- ¹³ C ₆	290	292 288
Phenanthrene-d ₁₀	188	

산재로 분류되고 있으며, 소각재는 유해중금속 및 미량유해유기물질 등이 다량함유 되어 있는 것으로 알

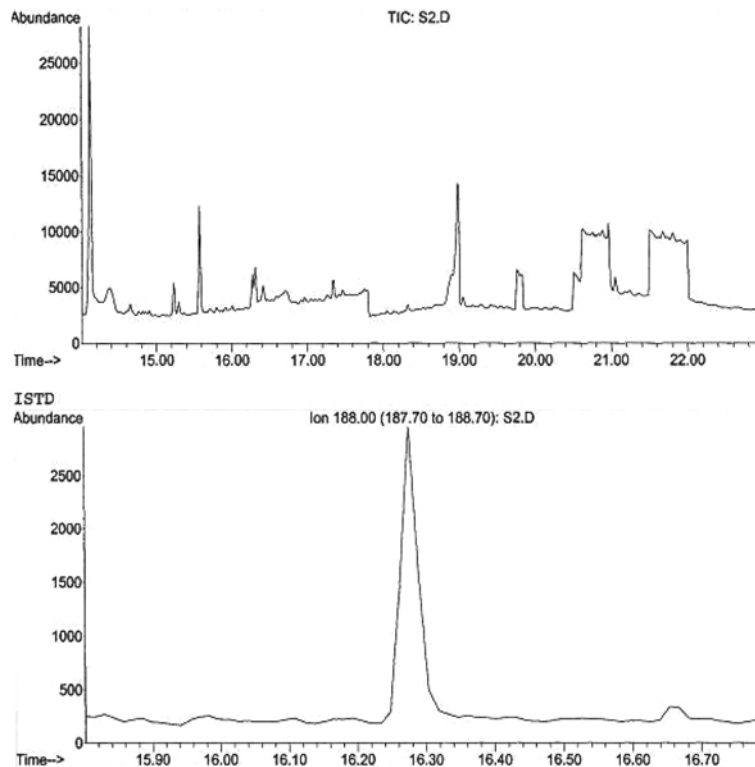


Fig. 3. Total ion chromatogram of solid waste incinerator.

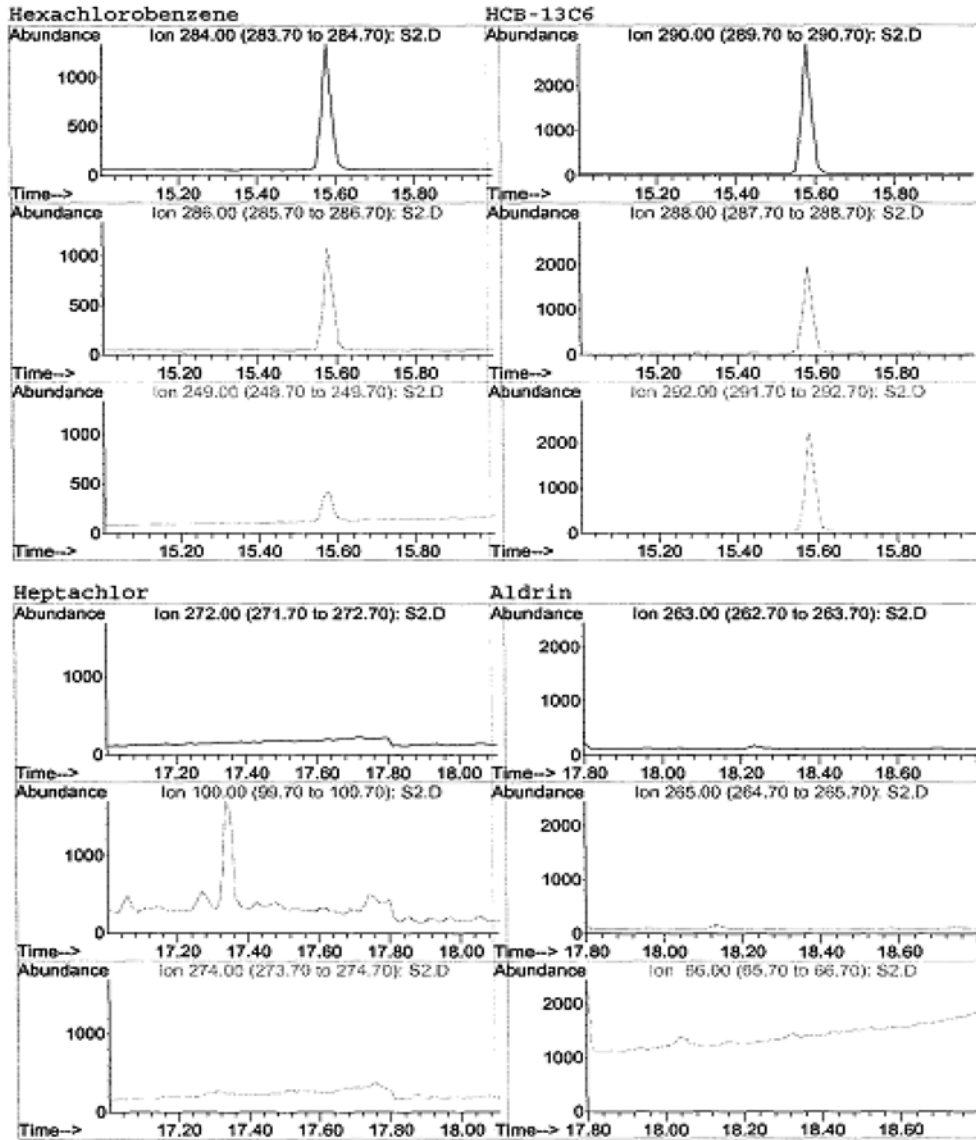


Fig. 4. GC-MSD extracted ion chromatograms of solid waste incinerator.

려져 있다.¹⁰⁻¹²

3.2.1. 내분비계 장애물질 실험방법에 의한 결과

본 실험에서는 소각재(소각재 및 소각잔재물) 17건, 비산재 7건 등 총 24개의 시료로 소각시설의 처리용량, 처리시설 등을 고려하지 않은 무작위 시료를 GC-MSD(SIMmode)로 분석한 결과, 잔류성 유기오염물질의 검출현황을 살펴보면 소각재 17건중에서 6건, 비산재 7건중에서 5건 등 11개 시료에서 헥사클로로벤젠이 검출되었으며, 나머지 시료에서는 7개 항목 모두 불검

출 이었다. 검출된 시료에서의 헥사클로로벤젠의 검출 범위는 소각재에서는 0.132-8.138 ng/g, 비산재에서는 0.195-5.765 ng/g 였다.

3.2.2. 폐기물 용출실험에 의한 결과

폐기물 소각시설로부터 발생되는 비산재와 바닥재를 매립 등으로 처리하였을 때 자연적인 조건하에서 매립장등에서 용출될 수 있는 자연상태에서 침출되어 침출수가 발생하는 상황을 가정하여 용출액 시험을 하였다. 실험결과 24개 시료에서 헥사클로로벤젠을 제

외한 모든 항목은 불검출이었다. 그러나 소각과정에서 비의도적으로 생성되는 것으로 알려진 헥사클로로벤젠은 4개 시료(소각재 1건, 비산재 3건)에서 검출된 농도범위는 5.00-12.00 ng/L 이며, 용출액에서의 검출한계치는 2.00 ng/L 이다.

이상의 사업장 폐기물 소각장에서 발생하는 소각재의 실험결과에서 검출되는 업종은 주로 화학제품 및 제지공장에서 배출되는 소각재였으며, 검출농도도 타 업종보다 높게 검출됨을 알 수 있었다. Wang 등¹³은 폐수처리장에서 배출되는 하수슬러지를 대상으로 하여 헥사클로로벤젠을 분석한 결과 7.5-319 ng/g(검출한계 : 167 ng/g)으로 본 실험에서 사용한 분석방법을 이용하여 검출된 농도보다 비교적 높은 농도를 나타내었다.

3.3. 생활쓰레기소각장 소각재

현재 도내에 가동중인 생활쓰레기 소각장에서 소각시설 2.0 ton/hr 이상의 소각장 6곳, 0.2-2.0 ton/hr 사이의 소각장 4곳에서 발생하는 소각재(바닥재, 비산재)에 대한 잔류성 유기오염 물질을 조사하였다.

3.3.1. 내분비계 장애물질 실험방법에 의한 결과

각 소각장에서 폐기물 소각시 배출되는 바닥재와 비산재를 유기용매를 이용하여 내분비계 장애물질 실험법에 의해 실험한 결과 바닥재는 10곳 소각장중 2곳, 비산재는 10곳 중에서 8곳에서 헥사클로로벤젠이 검출되었으며, 나머지 시료에서는 모두 불검출이었다. 검출된 시료에서의 헥사클로로벤젠의 검출범위는 소각재에서는 0.270-1.828 ng/g, 비산재에서는 0.154-50.643 ng/g 였다. 비산재가 바닥재보다 검출농도가 비교적 높게 나타났으며, 소각시설이 2.0 ton/hr 이상보다 0.2-2.0 ton/hr 범위의 소각시설에서 농도가 높게 검출되었다.

3.3.2. 폐기물 용출실험에 의한 결과

생활쓰레기 소각장에서 발생하는 비산재 및 바닥재를 폐기물용출시험에 의한 실험결과에서는 본 실험에서 분석한 항목인 잔류성 유기오염물질 7항목 중 헥사클로로벤젠을 제외하고는 모두 불검출 이었다. 비의도적으로 생성되는 헥사클로로벤젠이 비산재 1곳에서는 10.00 ng/L 검출되었다.

김 등⁶은 생활폐기물소각시설(50톤/일)을 대상으로 바닥재, 비산재 그리고 폐수처리방류수를 대상으로 헥사클로로벤젠을 분석한 결과 6,195-6,129 ng/kg, 94-

108 ng/kg, 0.44-1.66 ng/L로 각각 함유되어있음을 조사하였으며, 이 등¹⁴의 2000년도 잔류성 유기오염물질의 배출량 평가 보고서에 의하면 HCB의 발생원은 주로 연료연소, 폐기물 소각, 열공정을 포함하는 철강산업, 비금속산업 그리고 염소계 화학물질 제조산업 등에서 배출되는 것으로 배출량의 순서는 생활폐기물소각 57%, 철강산업 소결공정 19%, 연료연소 14%, 나머지는 유해폐기물이라고 조사를 한 바 있다.

이상의 실험결과에서 스톡홀름 협약에 의해 국제적으로 규제대상물질인 12개 물질 중 폐기물 소각과정에서 비 의도적으로 생성되는 잔류성 유기오염물질인 다이옥신, 퓨란, 폴리염화비닐 그리고 헥사클로로벤젠이 생성되는 것으로 보고된¹⁵⁻¹⁸ 4종류의 물질 중에서 본 실험에서는 헥사클로로벤젠이 소각재에서 검출됨을 알 수 있었다. 이 물질이 폐기물소각에 의한 바닥재 또는 비산재에서 거의 대부분 검출원인의 주된 원인들을 Dellinger 등¹⁹은 소각시설의 열처리공정에서 부산물로 발생하는 HCB를 소각시설에서 1) 전 화염지역(pre-flame zone), 2) 화염지역(flame zone), 3) 후 화염지역(post-flame zone), 4) 냉각지역(cool zone) 등 4지역으로 구분하여 각 지역별로 이 물질의 생성과정 메커니즘을 제시하였고, Lenoir 등²⁰은 트리클로로비닐라디칼을 포함한 촉매 사이클을 통한 디클로로아세틸렌의 축합에 의한 헥사클로로벤젠의 형성에 관한 새로운 메커니즘을 제시하기도 하였다.

이러한 실험적인 원인으로 인하여 폐기물소각시설로부터 발생하는 바닥재와 비산재를 매립 및 재활용 등으로 처리하였을 경우, 자연적인 조건하에서 매립장에서 용출될 수 있는 잔류성 유기오염물질에 대한 분석으로 주변 환경에 어떤 종류의 유기화학물질오염으로 인한 오염의 예측과 이들을 보다 효과적으로 처리할 수 있는 방안을 강구할 수 있을 뿐만 아니라 사전 예방 중심적인 환경오염물질관리에 자료가 될 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구에서는 소각시설에서 배출되는 바닥재 및 비산재로부터 잔류성 유기오염물질에 대한 내분비계 장애물질방법에 의한 함유시험 및 폐기물관리법에 용출시험을 하여 GC-MSD로 분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 사업장에서 배출되는 소각재를 내분비계 장애물질 분석방법을 이용하여 잔류성 유기오염물질을 분석

한 결과 비 의도적으로 생성되는 헥사클로로벤젠의 검출범위는 소각재에서는 0.132-8.138 ng/g, 비산재에서는 0.195-5.765 ng/g 였다. 비교적 검출되는 업종은 화학제품 및 제지공장에서 배출되는 소각재였으며, 검출농도도 타 업종보다 높게 검출됨을 알 수 있었다.

2. 사업장에서 배출되는 소각재를 폐기물 용출실험을 통한 분석결과, 비 의도적으로 생성되는 헥사클로로벤젠은 4개 시료(소각재 1건, 비산재 3건)에서 검출이 되었으며, 농도 범위는 5.00-12.00 ng/L 였다.

3. 생활쓰레기소각장에서 배출되는 소각재를 내분비계 장애물질 실험법에 의해 실험한 결과, 바닥재는 10 곳 소각장중 2곳, 비산재는 10곳 중에서 8곳에서 비 의도적으로 생성되는 헥사클로로벤젠이 검출되었으며 검출범위는 바닥재에서는 0.270-1.828 ng/g, 비산재에서는 0.154-50.643 ng/g 였다. 비산재가 바닥재보다 검출농도가 비교적 높게 나타났으며, 소각시설이 2.0 ton/hr 이상 보다 0.2-2.0 ton/hr 범위의 소각시설에서 농도가 높게 검출되었다.

4. 생활쓰레기소각장에서 배출되는 소각재를 폐기물 용출실험에 의한 결과 비 의도적으로 생성되는 것으로 알려진 헥사클로로벤젠이 비산재 1곳에서 10.00 ng/L 로 검출되었다.

참고문헌

1. B. G. Jung, Y. I. Choi and J. K. Kim, *J. of the Environmental Science*, **17**(4), 397-403(2008).
2. 환경부, 폐기물관리법, pp.1-10, 2004.
3. 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, NIER(Incheon), Korea, pp.359-379(2001).
4. <http://www.greensamsung.com>
5. 환경부, 잔류성 유기오염물질 관리법시행령, pp.2-

- 10(2008).
6. S. C. Kim, S. H. Choe, J. G. Na, J. H. Lee, K. H. Kim, S. R. Hwang, J. Y. Chang and H. J. Cho, NIER (Incheon), Korea, pp. 61-76(2003).
7. H. B. Moon, S. J. Lee, Y. Lee and J. S. Park, *J. of the Environmental Science*, **14**(2), 121-128(2005).
8. 국립환경과학원, 폐기물공정시험방법, pp.33-34(2007).
9. 국립환경과학원, 내분비계 장애물질 측정분석방법, pp.26-44(1999).
10. K. J. Hong, S. T. Okunaga and T. Kajiuchi, *J. of Hazardous Materials*, **75**(1), 57-73(2000).
11. C. H. Jung, T. Matsuto, N. Tanaka and T. Okada, *Waste Management*, **24**(4), 381-391(2004).
12. M. Osako and Y. J. Kim, *Chemosphere*, **54**(1), 105-116(2004).
13. Y. Wang, Q. Zhang, J. Lv, A. Li, H. Liu, G. Li and G. Jiang, *Chemosphere*, **68**(9), 1683-1691(2007).
14. <http://www.ecoi.or.kr>
15. D. R. Rushneck, A. Beliveau, B. Fowler. C. Hamiton, D. Hoover, K. Kaye, M. Berg, T. Smith, W.A. Tellard, H. Roman, E. Ruder and L. Ryan, *Chemosphere*, **54**(1), 79-87(2004).
16. Y. Akimito, T. Aoki, S. Nito and Y. Inouye, *Chemosphere*, **34**(2), 263-273(1997).
17. I. Johansson and B. V. Bavel, *Chemosphere*, **53**(2), 123-128(2003).
18. A.D. Wheatley and S. Sathra, *Chemosphere*, **55**(5) 743-749(2004).
19. B. Dellinger, H. Philip and A. Tirey, Minimization and control of hazardous combustion byproducts, EPA 600/152-90/-39(1991).
20. D. Lenoir, A. Wehrmeier, S. S. Sidhu and P. H. Taylor, *Chemosphere*, **43**, 107-114(2001).