

소각잔사 중의 클로로벤젠과 클로로페놀의 함량 및 이성체 분포특성

이 우 근 · 심 영 숙 · 김 진 범

강원대학교 환경 · 생물공학부

(1997년 10월 26일 접수, 1998년 6월 22일 채택)

The Content of Chlorobenzenes and Chlorophenols and Their Isomer in MSWI Fly Ash

Woo-Keun Lee, Young-Suk Sim, Jin-Beom Kim

Division of Environmental & Biological Engineering, Kangwon National University

(Received 26 October 1997; accepted 22 June 1998)

Abstract

Chlorobenzenes (CBs) and chlorophenols (CPs) in fly ashes discharged from several municipal solid waste incinerators (MSWI) were investigated in terms of total content and isomer distribution. The content of CBs and CPs was highest in the fly ash from S incinerator, which were 1040.7 ng CB/g-fly ash and 1156.4 ng CP/g-fly ash. According to the experimental results, while all samples contained a large amount of the higher chlorinated CBs, the amount of lower chlorinated CPs varied with season. It was found that the isomer distribution of CBs and CPs was almost constant regardless of season. The quantities of CBs and CPs depended closely on the chemical composition of MSW, while the isomer distribution of CBs and CPs was constant throughout all the year round.

Key words : Chlorobenzene, Chlorophenol, fly ash, MSWI

1. 서 론

최근 인구증가, 도시화, 생활수준 향상 등으로 인하여 가정 및 사업장에서 배출되는 폐기물 발생량이 매년 증가하고 있는 실정이다. 이에 대해 정부에서는 폐기물을 매립처분하는 대신 감량화, 안정화, 무해화에 우수하고 폐열을 이용한 자원회수가 가능한 소각처리하는 방안을 계획하고 있으며, 현재 서울시를 비롯한 대도시에서는 도시폐기물의 일부를 소각처리하고 있다. 도시폐기물을 소각처리할 경우

부피를 크게 감소시킬 수 있는 잇점이 있으나 소각시 배출되는 소각잔사 및 배기가스 중에는 다이옥신 등 유해물질이 함유되어 있어 이에 대한 처리가 필요하다.

다이옥신에 대한 문제는 1962년 베트남 전쟁 중 고엽제가 사용된 지역에서 기형아가 많이 발생하였고, 그 원인으로 고엽제에 불순물로 함유된 다이옥신에 의한 것으로 밝혀짐으로써 최초로 환경문제화 되었으며 소각로에서 배출되는 다이옥신 문제는 Olie 등(1977)에 의해 소각로 fly ash 중에서 다이옥신이 검출됨으로서 새로운 환경문제로 대두되기 시

작하였다.

소각로에서의 다이옥신은 다양한 반응경로를 통하여 생성되며, 배출가스보다 fly ash 중에 더 높은 농도로 존재하는 것으로 알려져 있다(Hoffman *et al.*, 1990). 현재 외국에서는 다이옥신의 생성 메카니즘이나 제거기술에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있는 반면에 국내에서는 소각로 보급율이 매우 낮고 이에 대한 연구도 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다. 다이옥신은 다른 오염물질과는 달리 소각로 저온 후연소 지역에서 fly ash의 촉매반응으로 생성되며, 가스 온도, 산소농도, 폐가스 체류시간 등 반응조건에 따라 다르다. 특히 소각로 후연소 지역에서 많은 양의 다이옥신은 전구체로 알려진 CBs, CPs 등이 fly ash의 촉매반응으로 생성되기 때문에 다이옥신의 거동을 이해하기 위해서는 CBs, CPs의 특성을 파악하는 것이 중요하다.

향후 소각시설의 보급이 점차 확대될 예정이어서 소각잔사 및 배출가스 중에 함유된 다이옥신의 적정 처리에 관한 연구가 필요한 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 지역에 따른 쓰레기 성상변화 및 계절별 변화를 고려하여 여러 소각장 시료를 대상으로 소각장별, 계절별 CBs, CPs의 함량과 이성체 분포특성을 비교·검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 시료채취

시료는 현재 가동중인 4곳의 도시폐기물 소각시설(I, J, S, P 소각장)에서 채취하였다. 시료채취 기간은 I 소각장이 1997년 1월 28일, 4월 4일, 8월 7일 등 3회에 걸쳐 계절별로 채취하였고 J 소각장과 P 소각장은 1997년 5월 23일, S 소각장은 1997년 5월 13일에 시료를 채취하였다. 시료의 대표성을 높이기 위해 시료는 2시간 간격으로 3회 채취하여 혼합하였다. 채취된 시료는 광화학적 반응을 일으키지 않도록 알루미늄 호일로 싸서 실험실로 옮긴 후 건조시켰다. 건조 후 채취한 시료를 균일하게 혼합하여 그중 일부를 분석용 시료로 하였다.

표 1은 각 소각장의 특성을 나타낸 것으로서 소각용량은 I 소각장이 300톤/일로 가장 크고 S 소각장이 100톤/일로 가장 작다. 소각로 형식은 S 소각장이 유동상식이고 나머지 세 소각장은 스톡타식이다. 배출가스 중의 분진 포집장치는 I, J 소각장이 전기집진장치를 사용하는 반면에 S, P 소각장은 백필터를 사용한다.

표 2는 소각장별 쓰레기의 물리적 조성을 보여준 것이다. 쓰레기의 물리적 조성은 연소후 생성물의 종류 및 농도에 큰 영향을 준다. 특히 쓰레기 중의 비닐·플라스틱류는 유기염소계 화합물의 생성량과 관계가 있기 때문에 소각로 후연소 지역에서 다이옥신을 포함한 유기염소계 화합물의 형성에 직·간접적으로 기인한다. 따라서 본 연구에서는 쓰레기 성상분석 결과와 fly ash 중의 CBs, CPs 함량을 비교·검토하였다.

Table 1. Operation data of the MSW incinerators.

Feature	Incinerator		I		J	S	P
	Incineration Capacity (ton/day)			300		200	100
Incinerator type			Stoker		Stoker	Fluidized bed	Stoker
Dust Collector			EP		EP	BF	BF
Acid gas treatment			NaOH		NaOH	Lime slurry	Lime slurry
Furnace temperature (°C)	*894.0	*889.7	*918.4	860.2	833.4	948.5	
O ₂ (%)	7.7	7.7	8.1	8.0	14.1	13.8	
HCl (ppm)	6.8	2.1	2.1	0.9	35.0	26.4	
CO (ppm)	32.8	29.6	19.1	24.2	45.0	40.8	
Dust (mg/Nm ³)	11.6	10.4	9.2	27.7	45.4	17.7	

EP : Electrostatic Precipitator

BP : Bag Filter

*Sampling date : 1997. 1. 28

*Sampling date : 1997. 4. 4

*Sampling date : 1997. 8. 7

Table 2. Seasonal variations of physical composition in solid wastes from several MSWI. (Unit: %)

Incinerator		I			J	S	P
		Spring	Summer	Winter			
Combustible	Food wastes	33.0	35.1	51.0	27.5	30.0	34.6
	Paper · Textile	46.9	37.2	15.0	38.4	30.0	32.4
	Vinyl · Plastic	12.8	24.6	17.0	27.1	19.0	23.0
	Wood	3.6	0.4	10.0	0.1	5.0	3.2
Noncombustible	Glass · Metals	3.7	2.7	7.0	6.9	16.0	6.8

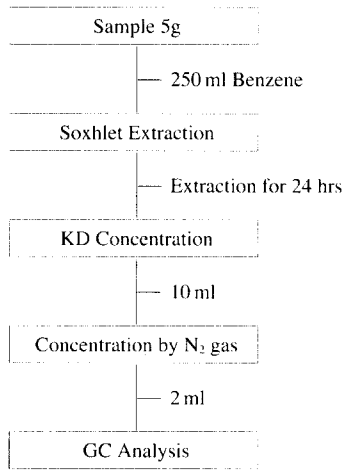


Fig. 1. Analytical Procedure of fly ash.

2. 2 실험 방법

2. 2. 1 회수율 실험

본 실험에 앞서 시료의 전처리 과정 중 농축단계에서 비점이 낮은 유기화합물의 손실로 인한 오차를 검토하기 위해 회수율 실험을 수행하였다. 회수율 실험은 비점이 낮을수록 전처리(농축)과정에서 기화에 의해 화합물이 유실될 가능성이 많으므로 본 회수율 실험에서는 비교적 비점이 낮은 monochlorophenol (MCP)과 dichlorophenol (DCP)을 사용하여 농축전후의 샘플중의 MCP와 DCP의 양을 비교하였다. 본 실험에서 사용된 Kuderna Danish(이하 KD) 농축기의 경우는 샘플을 가열하는 항온수조(water bath)의 온도에 따라 MCP와 DCP가 기화되는 정도가 달라 회수율에 영향을 미치므로 수조의 설정온도를 30°C, 40°C로 변화시키며 회수율을 검토하였다.

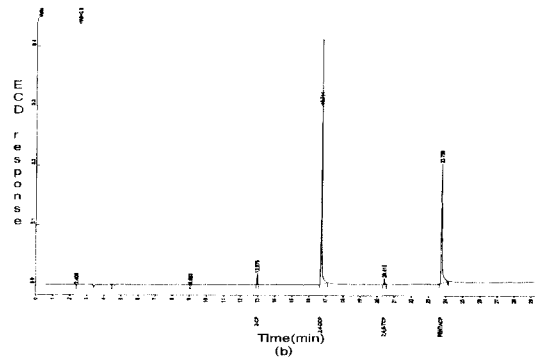
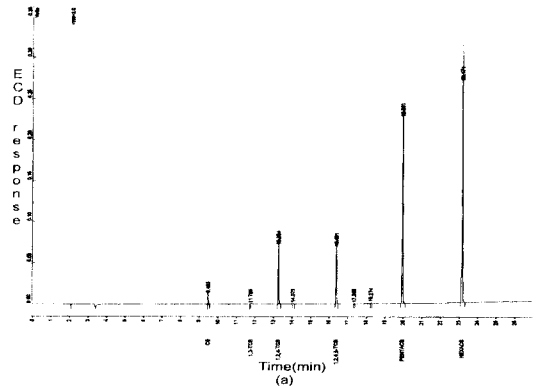


Fig. 2. Chromatogram for the external standard of CBs and CPs.

2. 2. 2 시료의 전처리

도시폐기물 비산재 중에 함유된 CBs과 CPs 이성체 분포를 알아보기 위해 추출단계, 농축단계, 정량분석 등 3단계로 나누어 실험을 수행하였다(그림 1).

그림 1에서 보는 바와 같이, 추출단계에서는 비산

Table 3. Operating condition of the gas chromatography.

Detector	Electron Capture Detector (ECD)
Column	DB-5, 30m, 0.25mmID
Oven temp.(°C)	70°C, 8°C/min to 300°C
Detector temp.(°C)	320
Injector temp.(°C)	250
Injection a.m.u (μl)	1
Flow rate (ml/min)	30

재 5g을 250 ml 벤젠 용매를 사용하여 24시간 동안 추출하였다. 추출된 용매는 KD 농축기를 사용하여 10 ml까지 농축하였다. 농축된 용액은 초고순도 질소가스를 천천히 흘려 2 ml까지 농축하여 GC 분석용 시료로 하였다.

2.2.2 GC 분석

추출 및 농축과정을 거친 시료를 ECD 검출기가 장착된 GC (Varian 3400 CX)에 주입시켜 CBs과

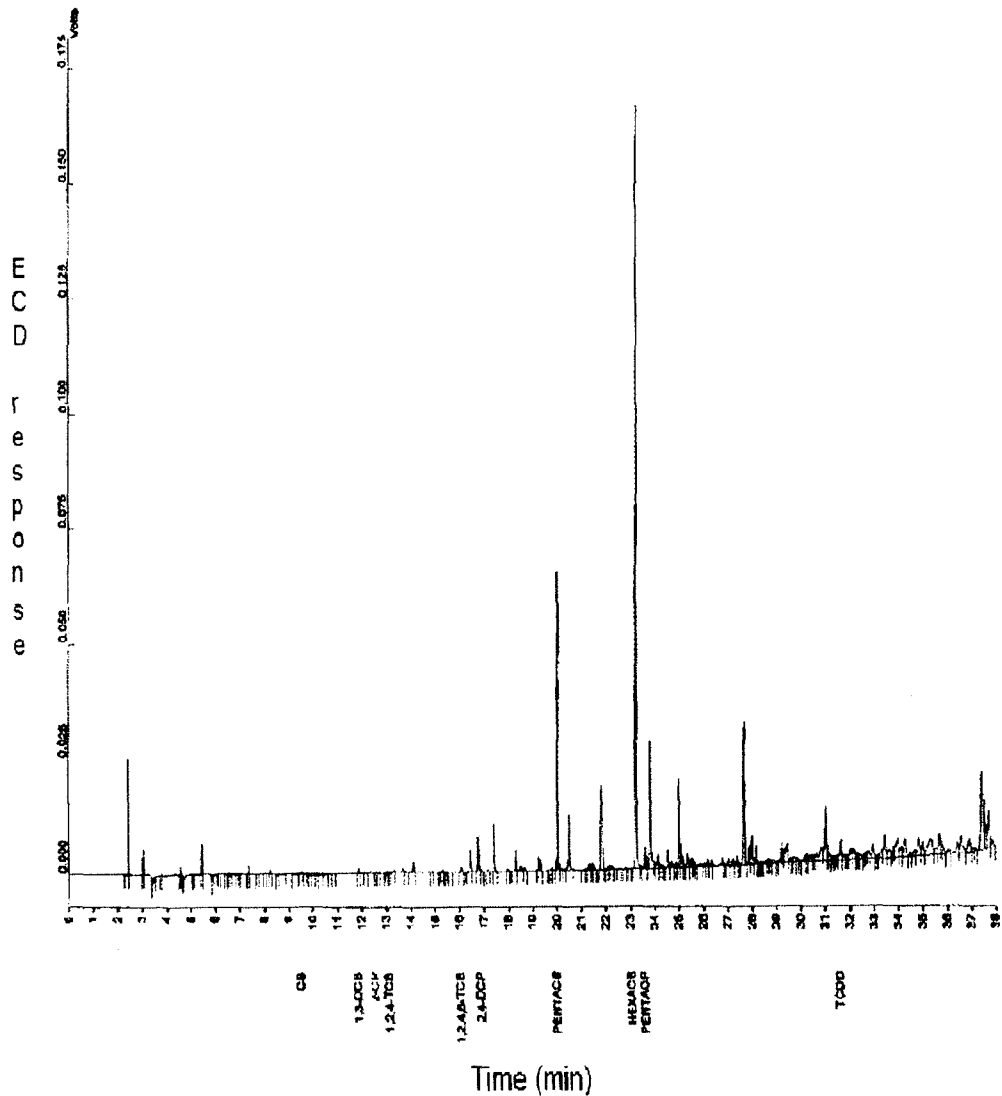


Fig. 3. Typical chromatogram of CBs and CPs in fly ash from J incinerator.

CPs 이성체를 분석하였다. GC의 분석조건은 표 3에 나타내었으며, GC 칼럼은 유기화합물에 대해 선택적인 분리기능을 가지고 있는 DB-5 칼럼을 선택하였다.

CBs과 CPs 이성체의 농도는 알고 있는 농도의 표준물질로부터 얻어진 검량선을 작성하여 면적비로부터 구하였으며, 분석데이터는 3회 측정하여 평균한 후 비산재 1g당의 값으로 환산하여 정리하였다. 이때 CBs과 CPs 이성체에 대한 분석오차는 ± 0.5% 이내였다. 그림 2와 그림 3은 CBs과 CPs의 정량분석을 위해 사용한 표준물질의 크로마토그램과 J 소각장 비산재 중에 함유된 CBs과 CPs의 크로마토그램을 보여준 것이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 회수율 실험

분석대상 물질 중에서 비점이 낮은 MCP와 DCP에 대한 회수율 실험은 KD 농축기의 항온수조 온도를 30°C와 40°C로 설정하여 각각 수행하였으며, 그 결과는 표 4에 나타내었다. 항온수조의 온도를 30°C로 설정한 경우, MCP와 DCP의 회수율은 각각 70.3%, 78.1%인 반면에 40°C에서는 MCP와 DCP의 회수율이 각각 58.4%, 63.0% 정도로 30°C에 비해 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 따라서 본 실험에서는 시료를 추출한 후 KD 농축기에서 추출액을 농축할 때 항온수조 온도를 30°C로 설정하여 농축 실험을 수행하였다.

3.2 소각장별 CBs와 CPs의 이성체 분포

그림 4는 I, J, S, P 소각장 비산재 중에 함유된 CBs과 CPs 이성체의 총합량을 나타낸 것이다.

CBs의 총합량은 J 소각장이 1040.7 ng/g으로 가장 높고 P 소각장이 192.0 ng/g으로 가장 낮으며, I 소각장과 S 소각장은 각각 398.7 ng/g, 383.4 ng/g으로 비

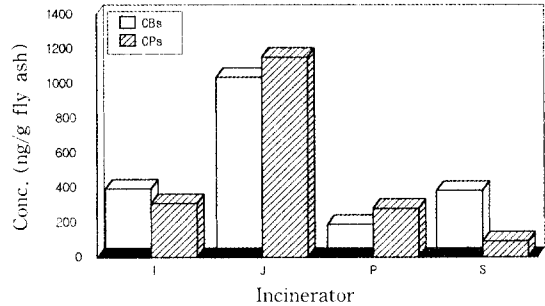


Fig. 4. Total concentration of CBs and CPs in the fly ashes.

슷한 함량을 나타내었다. CPs의 총합량은 J 소각장이 1156.4 ng/g으로 가장 높고 S 소각장이 94.8 ng/g으로 가장 낮은 것으로 나타났으며, I 소각장과 P 소각장은 각각 311.8 ng/g, 282.7 ng/g으로 비슷하였다. 소각장별로 CBs와 CPs의 총합량을 비교해보면, I, S 소각장은 CPs보다 CBs가 상대적으로 높은 반면에 J, P 소각장은 CPs이 CBs보다 높은 함량을 보여주었고 CPs의 경우에는 소각로 형식이 유동상식인 S 소각장에서 상대적으로 낮은 함량을 나타내었다. 분진제거 장치의 종류에 따른 함량을 비교해보면, 전기집진기를 사용하는 I, J 소각장이 백필터를 사용하는 P, S 소각장보다 CBs과 CPs의 총합량이 높게 나타났는데, 일반적으로 백필터를 이용하여 분진을 제거하는 경우에는 백필터에 퇴적된 분진에 의한 유기물 흡착이 일어나기 때문에 전기집진기가 설치되어 있는 것보다 유기물 농도가 낮은 것으로 나타났다.

CBs과 CPs의 총합량을 표 2에 제시한 쓰레기의 물리적조성과 비교해보면, 비닐·플라스틱 함량비는 I 소각장의 범시료와 J, S, P 소각장이 각각 12.8%, 27.1%, 19.0%, 23.0%로 J > P > S > I 소각장 순으로 감소하는 경향을 보여준 반면에 비산재 중의 CBs 함량은 J 소각장이 가장 높고 I, S, P 소각장의 순서로 감소하였으며, CPs은 J > I > P > S 소각장의 순서로 감소하는 것으로 나타났다. 즉, 비산재 중의 CBs과 CPs의 총합량은 J 소각장을 제외하면 쓰레기 중의 비닐·플라스틱 함량과 상관성이 거의 없는 것으로 나타났다. 그러나 Kanters 등(1996)은 실험실 규모의 반응기를 이용하여 폐기물의 조성을

Table 4. Percent recovery of MCP and DC. (unit : %)

	1회	2회	3회	average
MCP(30°C)	68.1	70.0	72.9	70.3
DCP(30°C)	82.0	78.0	74.3	78.1
MCP(40°C)	57.0	57.8	60.4	58.4
DCP(40°C)	55.0	63.0	70.0	62.7

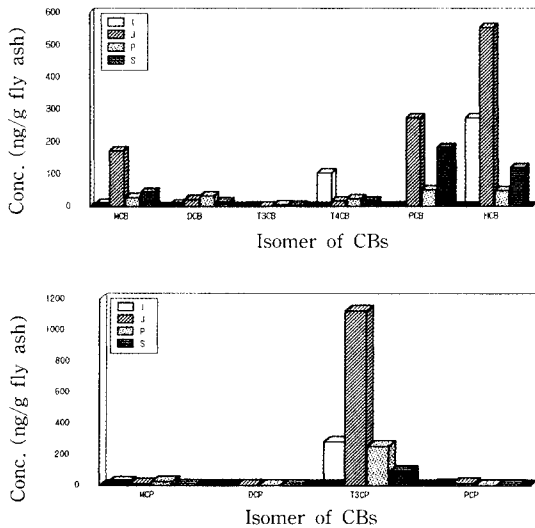


Fig. 5. Isomer distribution of CBs and CPs in fly ashes.

변화시키면서 연소실험을 수행한 결과, 염소원으로 제공되는 비닐·플라스틱 함량이 증가함에 따라 CPs의 생성량도 증가함을 관찰하였다. 또한 C_2HCl_3 , C_2H_2 , C_6H_6 , propene 등을 비산재와 반응시킨 결과 많은 양의 CBs 및 CPs 이성체가 생성되었는데 (Froese and Hutzinger, 1997; Jarmohamed and Mulder, 1994), 이는 비산재 중의 CBs, CPs이 소각대상 폐기물 뿐만 아니라 불완전 연소산물인 지방족 화합물로부터 생성될 수 있음을 제시해준다. 특히 다이옥신류는 비산재의 촉매반응에 의해 CBs이나 CPs로부터 형성되는 점을 고려할 때, 다이옥신류의 제어를 위해서는 소각로에 투입되는 쓰레기 중 비닐 및 플라스틱의 분리와 불완전 연소산물의 양적 감소를 위한 완전연소가 필요한 것으로 생각된다.

그림 5는 비산재 중에 함유된 CBs와 CPs의 이성체 분포를 보여준 것이다. I 소각장의 CBs 이성체 분포를 보면, T_3CB 와 H_6CB 이 각각 104.5 ng/g, 272.8 ng/g으로 높은 함량비를 나타내는 반면에 MCB, DCB, T_3CB 는 10 ng/g 미만의 낮은 함량을 보여주었다. CPs 이성체는 MCP와 T_3CP 이성체가 각각 18.6 ng/g, 285.8 ng/g으로 높은 함량을 나타내고 DCP와 P_5CP 이 각각 0.6 ng/g, 6.7 ng/g으로 상대적으로 낮은 함량을 나타내었다.

J 소각장은 MCB, P_5CB , H_6CB 이 각각 171.9 ng/g,

272.7 ng/g, 555.5 ng/g으로 높은 함량을 나타내었고 DCB, T_3CB , T_4CB 등은 1.5~23.0 ng/g으로 낮은 함량을 나타내고 있어 I 소각장과 비슷한 경향을 보여준다. CPs의 경우에는 T_3CP 이 총합량의 97.5%인 1128.4 ng/g으로 가장 높고 그외의 이성체는 0.8~17.5 ng/g으로 낮은 함량을 나타내었다.

S 소각장은 CBs의 경우, MCB, P_5CB , H_6CB 이 각각 45.7 ng/g, 181.9 ng/g, 120.2 ng/g으로 높은 함량을 나타내는 반면에 DCB, T_3CB , T_4CB 은 각각 15.1 ng/g, 3.7 ng/g, 16.7 ng/g으로 낮은 함량을 나타내었다. CPs 이성체는 T_3CP 가 93.1 ng/g으로 가장 높은 함량을 나타내었고 DCP와 P_5CP 이 각각 1.0 ng/g, 0.6 ng/g으로 매우 낮은 함량을 나타내었으며, MCP는 검출되지 않았다.

P 소각장은 P_5CB 와 H_6CB 이 각각 51.9 ng/g, 49.2 ng/g으로 높은 함량을 나타내었고 T_3CB 이 5.4 ng/g으로 가장 낮은 함량을 보여주지만 다른 소각장에 비해 이성체별 농도 차이가 크지 않은 것으로 나타났다. CPs 이성체는 T_3CP 가 254.1 ng/g으로 가장 높고 P_5CP 가 0.2 ng/g으로 가장 낮은 함량을 나타내었다.

이와 같이 CBs 이성체의 경우 모든 시료에 대해서 고염소화 화합물인 P_5CB 와 H_6CB 가 고농도로 존재하는 것으로 나타났는데, 이는 소각로 비산재를 대상으로 수행한 기존의 연구결과와 일치한다 (Naikwadi and Karasek, 1990). Froese와 Hutzinger (1994)는 다양한 촉매층 위에서 C_2HCl_3 (TCE)를 사용하여 CBs와 CPs의 생성 실험을 수행한 결과, 비산재의 촉매반응으로 생성된 CBs 이성체중 P_5CB 와 H_6CB 은 가스상보다 고체상에서 더 많은 양이 검출되었고 MCB, DCB, T_3CB 등 저염소화 화합물은 대부분 가스상으로 검출되었다. 이는 실제 소각시설에서 생성된 CBs 이성체 중 저염소화 화합물은 가스상으로 배출되는 반면에 고염소화 화합물은 소각로 후연소 지역(약 300°C 이하)을 통과하면서 비산재에 응축되거나 흡착되었음을 제시해 준다.

CPs 이성체는 모든 시료에서 저염소화 화합물인 MCP, T_3CP 가 고농도로 존재하는 것으로 나타나 CBs와 다른 특성을 보여주었다. 1,2-DCB, 1,2,4-TCB를 사용하여 다이옥신 전구체의 생성 실험을 수행한 기존의 연구결과에 의하면, 1,2-DCB, 1,2,4-TCB를 연소시켰을 때 연소생성물 중 많은 양의

CPs 이성체가 관찰되었다(Altwick *et al.*, 1990). 특히 1,2-DCB을 사용한 경우에는 CPs 이성체인 DCP와 T₃CP가 CBs 이성체보다 상대적으로 높은 생성율을 보여주고 있어 DCB, T₃CB 등이 T₃CP 형성에 크게 기여하는 것으로 판단된다. 또한 Froese와 Hutzinger(1994)의 연구결과에 따르면, 400°C 정도에서는 DCP와 T₃CP가 다른 이성체보다 상대적으로 고농도로 생성된 반면에 600°C에서는 T₄CP와 P₅CP가 고농도로 생성되는 것으로 나타나 소각로 후연소 지역의 온도분포가 CPs 이성체에 영향을 줄 수 있는 것으로 판단된다.

3.3 계절별 CBs과 CPs의 분포특성

국내의 도시폐기물은 계절에 따라 그 성상이 다양하기 때문에 비산재 중의 CBs과 CPs의 총합량과 이성체 분포에 영향을 주는 것으로 예상된다. 그림 6은 계절에 따른 CBs과 CPs의 총합량 분포를 보여준 것이다.

그림 6에서 CBs의 총합량은 봄, 여름, 겨울 시료에서 각각 398.7 ng/g, 218.0 ng/g, 186.7 ng/g으로 계절에 따른 함량변화가 있는 것으로 나타났으며, 특히 봄시료는 여름이나 겨울 시료에 비해 상대적으로 높은 함량비를 보여주었다. CPs의 총합량은 봄시료가 311.8 ng/g으로 가장 높고 겨울시료가 119.8 ng/g fly ash으로 가장 낮은 함량을 나타내고 있어 계절에 따른 변화가 CBs과 비슷한 경향을 보여주었다. CBs과 CPs의 총합량을 비교해보면, 여름 시료를 제외하면 CBs이 상대적으로 높게 나타났는데,

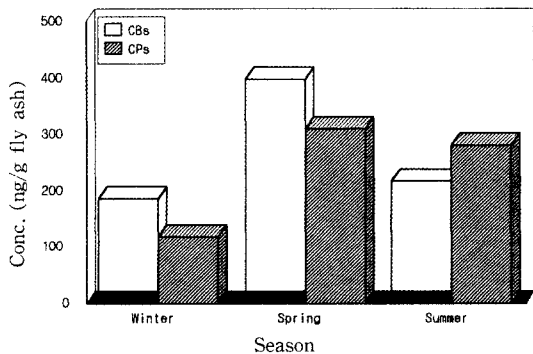


Fig. 6. Seasonal variation of total content of CBs and CPs in fly ashes from the incinerator I.

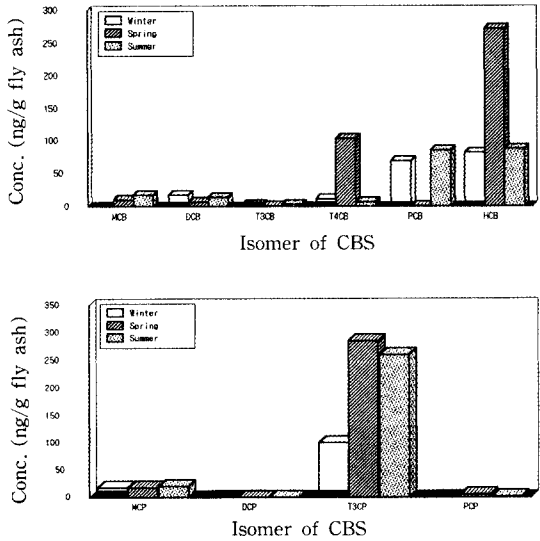


Fig. 7. Seasonal variation of isomer distribution of CBs and CPs in fly ashe from the incinerator I.

S 소각장 시료에서도 비슷하게 관찰되었다.

그림 7은 계절에 따른 CBs과 CPs의 이성체 분포를 나타낸 것이다. 봄 시료는 H₆CB과 T₄CB이 각각 272.8 ng/g, 104.5 ng/g으로 높은 함량을 나타내었고 그 외의 CBs 이성체는 10 ng/g 이하의 농도로 존재하였다. 여름 시료에서는 H₆CB과 P₅CB이 각각 87.9 ng/g, 86.2 ng/g으로 고염소화 화합물의 농도가 상대적으로 높았다. 겨울 시료는 H₆CB과 P₅CB이 각각 82.5 ng/g, 70.0 ng/g으로 높은 함량을 보여주었고 저염소화 화합물은 상대적으로 낮은 함량을 나타내었다.

CPs 이성체에 대해서 살펴보면, 봄 시료는 T₃CP와 MCP이 각각 285.8 ng/g, 18.6 ng/g으로 DCP와 P₅CP의 0.6~6.7 ng/g보다 높은 함량을 나타내는데, P 소각장 시료에서도 비슷하게 관찰되었다. 여름시료는 봄시료와 마찬가지로 T₃CP이 260 ng/g으로 가장 높고 DCP와 P₅CP가 각각 0.8 ng/g, 1.5 ng/g으로 낮은 함량을 보여주었다. 겨울시료는 T₃CP이 100.5 ng/g으로 가장 높고 P₅CP이 0.3 ng/g으로 가장 낮은 함량을 나타내었다. 즉, CPs 이성체는 봄시료와 여름시료의 경우, T₃CP > MCP > P₅CP > DCP의 순서로 감소하고 겨울시료는 T₃CP > MCP > DCP > P₅CP의

순서로 감소하는 경향을 나타내었다. 그러나 T₃CP는 계절변화에 관계없이 비산재 중에서 가장 주된 이성체로 관찰되었으며, DCP와 P₃CP는 다른 이성체에 비해 상대적으로 저농도로 존재하였다. 이러한 결과는 고염소화 화합물이 고농도로 존재하는 CBs와 비교할 때 다른 경향을 보여주고 있다. 특히 T₃CB는 CBs 이성체 중에서 가장 낮은 함량을 나타내는데 비해 T₃CP는 CPs 이성체 중에서 가장 주된 성분으로 관찰되었다.

Froese와 Hutzinger (1996)는 아세틸렌을 이용하여 다양한 촉매물질상에서 CBs 및 CPs의 생성실험을 수행하였는데, CBs 이성체중 PCB, HCB 등의 고염소화 화합물은 fly ash와 SiO₂/CuO 촉매층에서 주된 생성물인 반면에 SiO₂, SiO₂/Al₂O₃, SiO₂/Fe₂O₃ 촉매층에서는 DCBs가 주된 생성물로 나타났다. CPs의 경우에는 대부분의 촉매층에서 PCP가 주된 생성물로 나타났으나 SiO₂/CuO 촉매층에서는 PCP보다 T₃CP가 주된 생성물로 나타났다.

이상의 결과에서 CBs와 CPs의 총합량은 계절별로 다른 것으로 나타났으나 이들의 이성체 분포는 큰 변화를 보여주지 않았다. 그러나 Froese와 Hutzinger(1996)에 따르면, CBs와 CPs의 총합량 및 이성체 분포는 촉매물질과 반응온도에 의한 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 따라서 국내의 도시폐기물 소각장 비산재 중에 Cu를 포함한 중금속류가 고농도로 존재하고 있는 점을 고려할 때, CBs와 CPs의 이성체 분포는 촉매물질로 작용하는 비산재 중의 중금속 및 소각로 후연소 지역의 온도분포에 의한 영향이 큰 것으로 사료된다.

4. 결 론

도시폐기물 소각장 비산재를 대상으로 수행한 실험 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 소각장별 CBs와 CPs의 총합량은 J 소각장이 가장 높은 함량을 나타내었는데, 같은 종류의 소각로를 사용하는 I, P 소각장보다 4배 정도 높다. 집진설비에 따른 CBs, CPs 함량을 비교해보면, CBs와 CPs 모두 백필터보다 전기집진기에서 높게 나타났는데, 이는 백필터에 퇴적되는 분진에 의한 유기물 흡착에 기인한다.

(2) 소각장별 CBs와 CPs의 이성체 분포를 보면,

CBs 이성체는 고염소화 화합물인 H₆CB과 P₃CB이 저염소화 화합물보다 상대적으로 고농도로 존재한다. 이러한 결과는 소각로 후연소지역에서 불완전 연소산물로 배출된 CBs의 염소화 가능성을 제시해 준다. CPs 이성체는 모든 소각장에서 T₃CP가 가장 많은 함량비를 나타내었다.

(3) 계절에 따른 영향을 살펴보면, CBs와 CPs의 총합량은 봄시료가 여름, 겨울시료보다 높고 계절에 따른 농도변화가 크지만 쓰레기의 물리적 조성상 상관성이 거의 없는 것으로 나타났으나 이러한 결과는 배출가스 중의 CBs와 CPs를 고려하지 않은 데 기인하는 것으로 판단되며, 쓰레기의 물리적 조성 외에도 소각로 운전조건에 의한 영향도 있는 것으로 보인다.

CBs와 CPs 이성체의 경우, 계절에 따른 농도변화가 관찰되었지만 총량에 대한 각 이성체의 함량비는 계절적인 영향이 크지 않는 것으로 나타났다. 즉, CBs는 봄시료의 P₃CB를 제외하면 고염소화 화합물인 P₃CB, H₆CB이 저염소화 화합물보다 상대적으로 높은 함량비를 보여주었고 CPs는 모든 시료에서 T₃CP이 가장 주된 이성체로 나타났다.

소각시설에서 발생하는 CBs와 CPs의 열적 거동을 보다 정확하게 이해하기 위해서는 배출가스 중의 CBs와 CPs의 총합량과 이성체 분포를 함께 검토하는 것이 필요하며, 이는 앞으로 더 연구되어야 할 부분으로 사료된다.

사 사

본 연구는 한국과학재단 (과제번호 961-1202-006-2)의 연구비 지원에 의해 행하였으며, 이에 감사료를 표합니다.

REFERENCES

- Altwickler, E.R., R. Kumar, N. V. Konduri, and M.S. Milligan (1990) The role of precursors in formation of polychloro-dibenzo-p-dioxins and polychloro-dibenzofurans during heterogeneous combustion, *Chemosphere*, 20(10), 1935-1944.
- Froese, K.L. and O. Hutzinger (1994) The formation of chlorinated benzenes and phenols in fly ash catalysed reactions of trichloroethylene, *Chemosphere*,

- 28(11), 1977-1987.
- Froese, K.L. and O. Hutzinger (1996) Polychlorinated benzene, phenol, dibenzo-p-dioxin, and dibenzofuran in heterogeneous combustion reactions of acetylene, *Environ. Sci. Technol.*, 30, 998-1008.
- Froese, K.L. and O. Hutzinger (1997) Mechanism of the formation of polychlorinated benzenes and phenols by heterogeneous reactions of C₂ aliphatics, *Environ. Sci. Technol.*, 31, 542-547.
- Hoffman, R.V., G.A. Eiceman, Y.T. Long, M.C. Margaret, and M.Q. Lu (1990) Mechanism of chlorination of aromatic compound adsorbed on the surface of fly ash from municipal incinerators, *Environ. Sci. Technol.*, 24(11), 1635-1641.
- Jarmohamed, W. and P. Mulder (1994) Oxychlorination and combustion of propene on fly ash-Formation of chlorinated benzenes, dibenzodioxines and mono- and dibenzofurans, *Chemosphere*, 29(9), 1911-1917.
- Kanters, M.J., R.V. Nispen, R. Louw, and P. Mulder (1996) Chlorine input and chlorophenol emission in the lab-scale combustion of municipal solid waste, *Environ. Sci. Technol.*, 30, 2121-2126.
- Naikwadi, K.P. and F.W. Karasek (1990) Analyses of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans and precursors in fly ash samples collected at different points in post-combustion zone of Jananes machida incinerator, *Journal of Chromatography*, 511, 281-290.
- Olie, K., P.L. Vermeulen, O. Hutzinger (1977) Chlorodibenzo-p-dioxins and chlorodibenzofurans are trace compounds of fly ash and flue gas of some municipal incinerators in the netherland, *Chemosphere*, 6, 455-459.