

우리나라 산업단지의 PCDD/Fs 오염특성 및 주요 배출원과의 상관성 검토

서호진[†] · 김창균¹ · 배철호²

한국환경공단 POPs관리팀, ¹인하대학교 환경공학과, ²조선대학교 환경생명공학과

Characteristics of PCDD/Fs Pollution and Relations to Sources in the Industrial Complexes in Korea

Ho-jin Seo[†], Chang-Gyun Kim¹, and Chul-Ho Bae²

Department of Environmental Analysis, The University of Environment, Incheon 404-708, Korea

1
2

Received April 25, 2011/Accepted June 30, 2011

This study wished to analyze contamination level of PCDD/Fs in the ambient air and presume main source of U-POPs pollution through comparison with homogeneous of surrounding U-POPs pollution sources in Seoul and Sihwa, Ulsan, Gumi, Pohang industrial complexes in Korea. Sampling were done during 2008~2009. Annual average concentrations of PCDD/Fs in sampling sites were 0.009~0.205 pg I-TEQ/β^c. Concentration of PCDD/Fs of the ambient air in industrial complex appeared higher than Seoul area. But it was not level worth worrying comparison with overseas study finding. Congener patterns of PCDD/Fs in the ambient air were similar with congener pattern of main pollution source of U-POPs in each region. Seoul was similar with congener pattern of municipal solid waste incineration and Sihwa industrial complex was similar with copper and aluminum production by rolling and pressing. Also Ulsan and Gumi industrial complex were similar with industrial waste incineration, Pohang was similar with congener pattern of iron ore sintering. So it is possible to presume pollution source of PCDD/Fs in the ambient air using congener pattern.

Key words: PCDD/Fs, U-POPs, Industrial complex

1. 서 론

전 세계적으로 스톡홀름 협약의 이행을 위해 환경 중 POPs 물질에 대한 다양한 연구 및 저감 노력이 이루어지고 있으며 우리나라의 경우에도 1999년부터 내분비계장애물질 조사사업을 통해 전국의 대기, 수질, 토양, 퇴적물 중 POPs물질에 대한 모니터링을 실시하였다. 또한, 2008년부터는 잔류성유기오염물질관리법이 시행되면서 스톡홀름협약 대상 물질 12개에 대한 전국의 오염 수준을 조사하기 위하여 측정망 설치운영사업을 실시하고 있다. 또한 2001년부터 U-POPs 국가배출

목록 작성을 위해 매년 실측사업을 실시하고 있으며, 2001년부터 2007년까지의 다이옥신 국가배출목록을 발표하였고, 향후 2년을 주기로 작성하여 발표할 계획이다.

환경부 보도 자료에 따르면 소각시설에 대한 법적관리의 효과로 2007년 국내 대기중 다이옥신 배출량은 2001년 대비 81% 감소하였으며 특히 소각시설은 2001년 배출량의 10.5% 수준으로 급감하였다. 또한 POPs 측정망 설치운영사업 결과 2008년 대기 중 다이옥신 연평균 검출농도는 1999년 결과의 6.6%, PCBs는 2002년의 5.5% 수준으로 감소된 것으로 나타나 POPs

[†]To whom correspondence should be addressed.

Tel: 82-32-590-4837, Fax: 82-32-590-4879, E-mail: h2black@hanamail.net

물질에 대한 관리가 성공적으로 이루어지고 있는 것으로 나타났다^{1,2)}.

그러나 조사결과는 전국의 잔류성유기오염물질에 대한 오염수준만을 제시하였을 뿐 지역별 오염특성이나 환경매질별 상관관계, 주변 배출원과의 상관성에 대해서는 조사가 충분히 이루어지고 있지 않은 실정이다. 따라서 향후 POPs의 효율적인 관리를 위해서는 환경매질 간 오염의 이동과 오염원 규명에 대한 연구가 필요하다. 이에 본 연구에서는 대기중의 PCDD/Fs의 오염수준과 주요 U-POPs배출원의 다이옥신류 동질체 분포특성과의 비교해석을 통해 환경 중 POPs의 거동을 파악하여 주변 환경 중 POPs 저감을 위한 정책수립의 기초 자료로 제공하고자 한다.

2. 연구방법

2.1. 조사 대상지역

우리나라에 위치하는 산업단지 중 4개 지역을 시료채취 대상 지역으로 선정하고 지역별로 대기시료를 채취하였으며, 공업시설이 없고 소각시설에만 영향을 받

는 서울지역 2지점을 비교대상지역으로 선정하였다. 시료채취는 2008년부터 2009년까지 실시하였고, 기상이나 돌발변수에 따른 변동성을 최소화하기 위해 계절별로 3일 동안 측정하였다. Table 1에 시료채취 지점과 시료채취 기간을 나타내었다.

2.2. 시료채취

시료 채취는 잔류성유기오염물질 공정시험기준중 '환경대기 시료 중 비의도적 잔류성유기오염물질(U-POPs) 동시시험방법 - HRGC/HRMS'에 따라 실시하였다. 대기시료는 PUF(Polyurethane Foam) 2개 및 2개 PUF 사이 활성탄수지 펠트, 석영섬유필터를 후단에 직렬로 연결한 고용량 시료채취기(High Volume Air Sampler, HV-1000F, SIBATA)를 사용하여, 채취유속 0.7 m³/min 이상으로 설정하여 공기를 흡인하여 24시간 동안 표준상태(0°C, 1기압)에서 1,000 m³ 이상을 채취하고, 24시간 단위로 3일 연속 시료를 채취하였다. 측정 직후 여지와 ACE, PUF는 알루미늄 호일로 빛을 차광하여 보관하였다. 시료채취 중의 온도, 습도, 대기압, 풍향, 풍속 등 기상자료는 측정지역의 대기오염자동측정망 및

Table 1. Location of sampling sites in this study

Sampling Site	Adress	Sampling time	
Seoul1	서울시 서초구 반포2동주민센터	2008.1.29~1.31	2009.2. 2~2. 4
		2008.5. 7~5. 9	2009.4.13~4.15
		2008.7. 7~7. 9	2009.7. 7~7. 9
		2008.9.22~9.24	2009.10.6~10.8
Seoul2	서울시 중구 서소문동 시청별관	2008.2.11~2.13	2009.2. 3~2. 5
		2008.4.29~5. 1	2009.4.13~4.15
		2008.7. 7~7. 9	2009.7. 7~7. 9
		2008.9.22~9.24	2009.10.6~10.8
Sihwa	경기도 시흥시 정왕동 시화공단 2다 401	2008.2.12~2.14	2009.2. 9~2.11
		2008.5. 7~5. 9	2009.4.21~4.23
		2008.7.14~7.16	2009.7.13~7.15
		2008.9.29~10.1	2009.10.19~10.21
Ulsan	울산시 남구 여천동250	2008.2.12~2.14	2009.2.16~2.18
		2008.4.28~4.30	2009.4.21~4.23
		2008.7.15~7.17	2009.7.14~7.16
		2008.10.7~10.9	2009.10.13~10.15
Gumi	경북 구미시 공단동 267	2008.1.29~1.31	2009.2. 2~2. 4
		2008.4.30~5. 2	2009.4.13~4.15
		2008.7. 8~7.10	2009.6.29~7. 1
		2008.9.23~9.25	2009.10.6~10.8
Pohang	경북 포항시 남구 장흥동 140-3	2008.1.28~1.30	2009.2.16~2.18
		2008.5. 6~5. 8	2009.4.21~4.23
		2008.7.21~7.23	2009.7.14~7.16
		2008.9.30~10.2	2009.10.13~10.15

Table 2. Ambient sampling equipment

Name	Model
고용량 시료채취기 (High Volume Air Sampler)	Sibata HV-1000F
석영여지 (Quartz Microfiber Filter)	Whatman 20.3 × 25.4 cm, Cat No. 1851-865
PUF (Polyurethane Foam)	Sibata 8013-0921A
Activated Carbon Felt	Sibata 81 mm

기상청자료를 활용하였다. 대기 시료의 채취 장비 및 재료를 Table 2에 나타내었다.

3.3. 전처리방법

3.3.1. 시료추출

대기시료의 경우, PUF와 Quartz Micro Fiber Filter 는 아세톤을 추출용매로 하여 16시간 이상 속슬렛 추출을 하였다. ACF는 아세톤 용매로 1시간 속슬렛 추출하고 톨루엔으로 16시간 추출을 하였다. 추출이 끝난 시료는 모두 모아서 약 1 mL로 농축하였다.

3.3.2. 실리카겔 정제

실리카겔의 정제 효율을 높이기 위해, 다층실리카겔을 이용하여 정제를 실시한다. 다층실리카겔용 컬럼에는 컬럼 아래부터 무수황산나트륨(1 g), 중성실리카겔(1 g), 2% 염기성실리카겔(2 g), 중성실리카겔(1 g), 44% 산성실리카겔(3 g), 22% 산성실리카겔(6 g), 중성실리카겔(1 g), 질산은실리카겔(3 g), 무수황산나트륨(1 g), copper power 0.5 g, 무수황산나트륨(1 g) 순으로 충전 물을 충전한 후 시료를 주입하여 노말헥산으로 용출하였다.

3.3.3. 알루미늄 정제

알루미늄이 충전된 컬럼에 실리카겔 정제된 농축액을 주입한 후, 2% 디클로로메탄 함유 노말헥산 70 mL를 흘려서 방해물질을 제거하고, 이어서 50% 디클로로메탄 함유 노말헥산 130 mL로 용출하였다. 알루미늄 정제가 끝난 시료는 회전증발농축기를 이용하여 농축하였다.

3.3.4. 활성탄 정제

실리카겔 함유 활성탄(Active carbon-impregnated silica gel, Wako 019-11941)을 컬럼에 충전하고, 시료

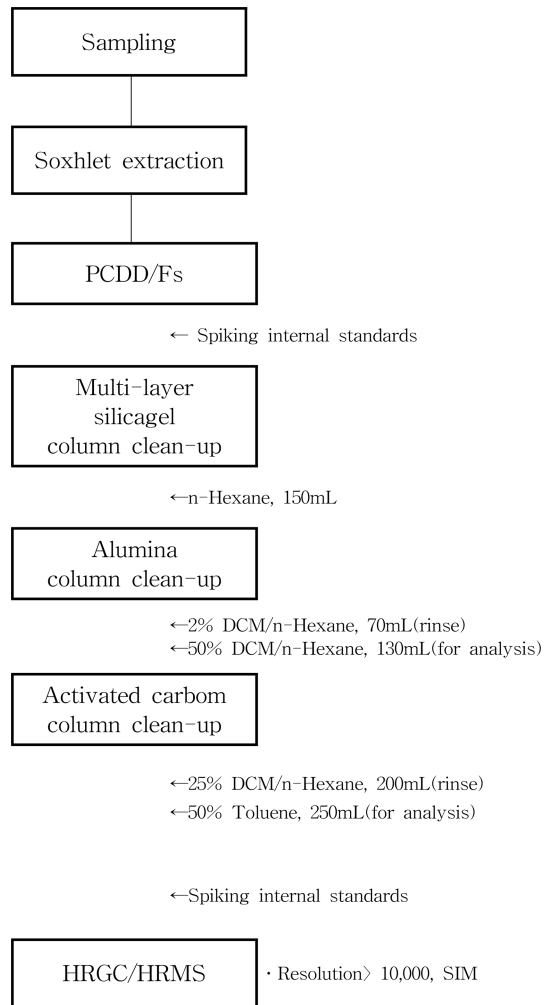


Fig. 1. Pretreatment procedure for PCDD/Fs in the ambient air.

를 주입하여 흡착시킨 후, 25% 디클로로메탄 함유 노말헥산 200 mL를 흘려서 방해물질을 제거하고 이어서 톨루엔 250 mL로 용출하였다. 용출이 끝나면 회전증발농축기와 질소농축기를 이용하여 농축 후 실린지 첨가용 내부표준물질 0.5 ng을 주입하고 액량을 약 100 uL로 최종 농축하여 분석하였다. 시료전처리 흐름도를 Fig. 1에 나타내었다.

3.4. 기기분석 조건

고분해능 기체크로마토그래프/고분해능 질량분석계를 사용하여 전자충격 이온화원리로 분석을 실시하였다. 정성분석은 각 동질체의 2개 이온을 선택한 이온검출법(Selected ion monitoring, SIM)과 선택이온의 머무

를 시간을 통해 수행하였고, 정량분석은 그 선택이온의 면적비를 계산한 상대감도계수(Relative response factors, RRF)법으로 하였다. Table 3과 같이 다이옥신 및 퓨란류 분석을 위해서는 2,3,7,8-치환이성체를 포함한 전 이성체의 분리가 양호하고, 각 이성체의 크로마토그램 상에서 용출 순위를 판명할 수 있는 강극성 컬럼인 SP2331 컬럼을 사용하여 분석하였다. 이중

수속형 질량 분석계(Double focusing type, Autospec ultima, UK)를 사용하였으며, 분석에 사용된 이온의 질량은 각 동질체마다 2개의 선택이온(Selected ion) 즉 M+, (M+2)+ 또는 (M+4)+를 사용한다. 각 동질체의 질량수, 구조식 및 동위원소 이온비 등은 Table 4에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 대기중 PCDD/Fs 농도

조사 기간동안 각 지역별 대기 중 PCDD/Fs의 농도는 Fig. 2와 같이 연평균 0.009~0.205 pg I-TEQ/m³의 농도범위를 나타내어 국내 대기환경기준인 0.6 pg I-TEQ/m³을 만족하였으며, 평균농도는 서울지역이 0.028 pg I-TEQ/m³, 산단 지역이 0.063 pg I-TEQ/m³으로 산단 지역의 농도가 높은 것으로 조사되었지만 시화공단을 제외하면 서울지역과 산단 지역의 농도차이는 크지 않은 것으로 나타났다.

연도별로 보았을 때는 2008년에 비해 2009년의 농도가 약간 높은 경향을 나타내었으나 전반적으로 낮은 수치를 나타내고 있다. Table 5에 외국의 조사결과를 나타내었다. 외국의 자료와 비교하였을 때 서울지역은 독일의 도시지역에 비해 낮은 수준으로 나타났으며, 산업단지의 경우 중국과 비교하였을 때 유사하거나 낮은 수준으로 나타났다. 다른 연구에서는 동질체에 대기가 안정하고 광화학반응 등의 영향이 적어 대기환경중의 농도가 증가하는 경향을 보이기도 하지만³⁾, 본 조사결과에서는 Fig. 3에 나타난 바와 같이 계절변화에 따른 농도변화의 일관성 있는 변화특징이 나타나지 않았다.

Table 3. Analytical condition of HRGC/HRMS for PCDD/Fs

PCDD/Fs	
Column	SP-2331 60 m × 0.32 mm ID × 0.2 μm
Oven temp.	120°C (1 min, 10 °C/min)→200°C (2 min, 3 °C/min)→260°C (20 min)
Injector temp.	260°C
Injection mode	Splitless
Purge Off Time	60 sec

Table 4. Monitoring ions and isotope ratios of PCDD/Fs

Homologue	Exact m/z		Selected mass ions	Theoretical ratio
	Native	¹³ C ₁₂ labelled		
TCDF	303.9016	315.9419	M/M+2	0.77
	305.8987	317.9389	M/M+2	
TCDD	319.8965	331.9368	M/M+2	0.77
	321.8936	333.9339	M/M+2	
	-	327.8847	M	
PeCDF	339.8597	351.9000	M+2/M+4	1.55
	341.8567	353.8970	M+2/M+4	
PeCDD	355.8546	367.8949	M+2/M+4	1.55
	357.8516	369.8919	M+2/M+4	
HxCDF	373.8208	383.8639	M+2/M+4	1.24
	375.8178	385.8610	M/M+2	
HxCDD	389.8157	401.8559	M+2/M+4	1.24
	391.8127	403.8529	M+2/M+4	
HpCDF	407.7818	417.8253	M+2/M+4	1.04
	409.7788	419.8220	M/M+2	
HpCDD	423.7766	435.8169	M+2/M+4	1.04
	425.7737	437.8140	M+2/M+4	
OCDF	441.7428	-	M+2/M+4	0.89
	443.7398	-	M+2/M+4	
OCDD	457.7377	469.7779	M+2/M+4	0.89
	459.7348	471.7750	M+2/M+4	

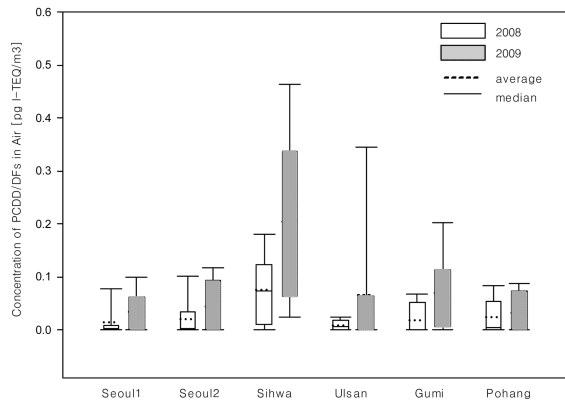


Fig. 2. The ambient concentration of PCDD/Fs.

Table 5. Concentration of PCDD/Fs in the ambient of various countries

Nation	PCDD/Fs (pg I-TEQ/m ³)	Period (yr)	Region	Reference
Japan	0.041 ^a	2008	the whole country	일본 환경성(2009) ⁴⁾
Hongkong	0.0073~0.154 ^b	2004~2005	Tap Mun	Maggie et al., 2003 ⁵⁾
	0.001~5.791 ^b	2004~2005	Yuen Long	
	0.007~0.312 ^b	2004~2005	Tsuen Wan	
China /Shanghai	0.143	-	commercial	Li et al., 2008 ⁶⁾
	0.497	-	industrial	
	0.144	-	industrial	
	0.289	-	rural	
Germerny	0.014~0.027	-	rural	Wallenhorst et al., 1997 ⁷⁾
	0.048~0.064	-	suburban	
	0.053~0.099	-	urban	
	0.048~0.085	-	multi type impact area	
Turkey	0.0233~0.563	2002	rural	Bakoglu et al., 2005 ⁸⁾
Australia	0.020~0.060	1992	-	Taucher et al., 1992 ⁹⁾
England	0.000~1.8	1994	-	Duarte et al., 1994 ¹⁰⁾
America	0.09~0.45	1996	-	Riggs et al., 1998 ¹¹⁾

a : apply WHO-TEF and add Co-PCBs

b : apply WHO-TEF

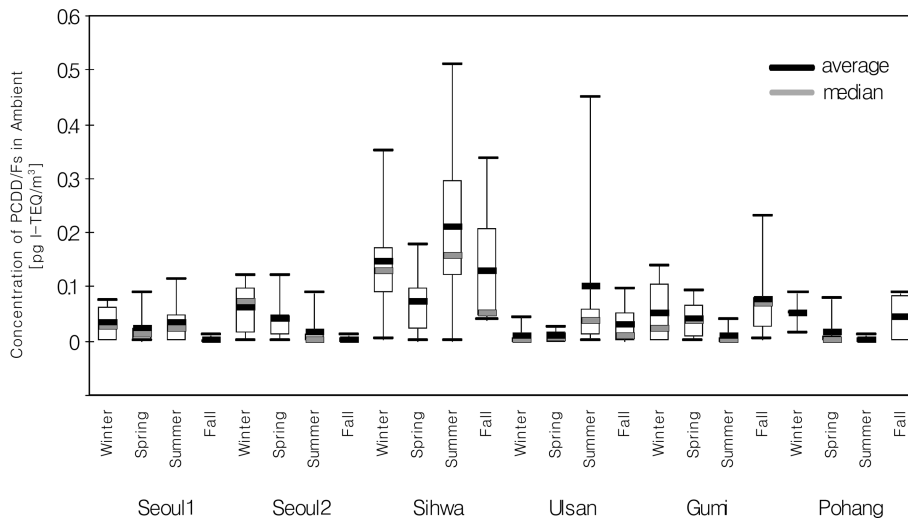


Fig. 3. Concentration of PCDD/Fs in diffrent season.

3.2 동질체 분포 분석

환경 중 PCDD/Fs의 분포 특성을 살펴보기 위해 독성등가계수를 대입하기 전의 검출농도를 이용하여 동질체 패턴을 분석하였다. 대기 중 PCDD/Fs의 동질체 패턴을 살펴보면 Fig. 4~6과 같이 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF와 OCDD의 분포가 높은 것으로 나타났으며, 산단지역은 서울지역에 비해 상대적으로 1,2,3,4,6,7,8-

HpCDF 분포가 높고, OCDD의 분포는 낮은 편으로 나타났다. 특이사항으로는 OCDF의 경우 시화공단은 다른지역에 비해 2배 이상 높은 분포를 나타냈고 포항 철강산단은 상대적으로 낮은 분포를 나타냈다.

3.3. 주요 배출원의 동질체 분포

U-POPs 배출원의 동질체 구성특성은 각 배출원의 특

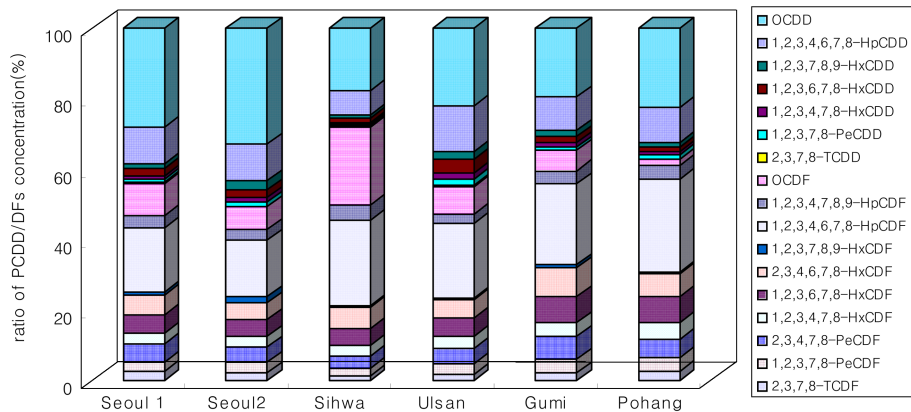


Fig. 4. Congener pattern of PCDD/Fs in the ambient.

성에 따라 특징적인 구성 형태를 갖게 된다¹²⁾. 이러한 동질체 구성을 해석하는 것은 이러한 화합물이 환경 중으로 배출되었을 때 배출원 확인, 배출원 기여도 분석, 환경 중 거동 및 변환 등의 연구에 사용될 수 있다.

본 연구에서는 대기 중의 PCDD/Fs의 동질체 구성과 주요 배출원의 동질체 구성을 비교분석하여 주요 배출원과의 상관성을 확인하고자 하였다. 주요 배출원으로는 2007년 다이옥신 국가배출목록¹⁾에서 높은 비중을 차지했던 소각시설을 생활폐기물 소각시설과 사업장 폐기물 소각시설로 나누어 살펴보았으며, 비소각 시설 중에서 배출 비중이 높았던 철강시설, 비철금속시설, 에너지 시설을 선정하였다. 또한 국내 배출량에는 포함되어 있지 않지만 배출원이 지표면에 가까워 영향을 줄 수 있는 자동차를 선정하였다. Table 6은 배출원별 동질체 특성 평가 연구에 사용된 배출원 분류별 시설수를 나타내었다.

3.4. 배출원과의 상관성 검토

각 지역별 환경 중 PCDD/Fs의 주요 배출원을 추적

Table 6. Number and indicator of data

Classification		Numbers
Municipal waste incinerator, MWI		15
Industrial waste incinerator, IWI		10
Iron and Steel industry, IS		8
Non-Ferrous metal industry, NF	Copper	14
	Aluminum	16
Power generation, PG		5
Heavy duty vehicle, HDDV		6
Light duty vehicle, LDDV		5

하고, 주요 배출원과의 상관성을 검토하고자 배출원별 동질체 분포와 각 지역별 대기 중의 동질체 분포 패턴을 비교 분석하였다. 각 지역별 U-POPs 배출시설 현황을 조사하여 Table 7에 나타내었으며, 각 지역별 주요배출시설을 선정하여 환경중의 PCDD/Fs의 동질체 패턴과 비교하였다.

먼저 비교대상지역으로 선정한 서울지역의 경우 총 11개의 U-POPs 배출시설 중 소각시설이 7개소, 에너지시설이 3개소로 조사되었으며, 소각시설 중에서 대형 생활폐기물 소각시설이 4개소 위치하고 사업장폐기물 소각시설의 규모는 크지 않아 생활폐기물 소각시설이 주요 배출원으로 조사되었다. 시화산단의 경우 총 12개의 U-POPs 배출시설 중에 사업장폐기물 소각시설이 6개소, 비철금속 제조시설이 3개소, 비금속 제조시설 2개소, 화학시설이 1개소로 사업장폐기물 소각시설이 주요 배출원으로 조사되었다. 울산 산단은 사업장 폐기물 소각시설 10개소, 에너지시설 3개소, 화학시설 5개소가 주요 배출원으로 조사되었으나, 화학시설은 국가배출목록에서 차지하는 비중이 작아 배출량에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 판단된다.

구미 산단은 사업장폐기물 소각시설 6개소와 비철금속 제조시설이 3개소, 비금속 제조시설이 6개소가 위치하며 배출량을 고려 하였을때 사업장폐기물 소각시설이 주요 배출원으로 조사되었다. 포항 산단은 소각시설이 2개소, 철강 제조시설이 6개소, 비철금속 제조시설이 2개소, 비금속 제조시설이 5개소 위치하였으며, 철강 제조시설 중 국가배출량의 상당 부분을 차지하는 포항제철소가 위치하여 철강 제조시설이 주요 배출원으로 조사되었다.

Table 7. The number of U-POPs source in sampling site

U-POPs source		sampling site				
Main category	sub-category	Seoul	Sihwa	Ulsan	Gumi	Pohang
Incineration	municipal solid waste	4		1		1
	industrial waste	3	6	10	6	1
Steel industry	iron industry	iron ore sintering				1
	steel industry	electric furnace				3
	ferrous alloy production	electric furnace				2
Non-Ferrous metal industry	rolling and pressing	aluminum		1	2	
	refining	aluminum		1		1
		copper		2		
	foundry	copper			1	
		aluminum				1
Mineral product	cement and lime	cement				1
	ceramic industry	non firebrick			1	
		firebrick				3
	glass	simple glass		1	3	
		insdustrial glass			2	
the others	asphalt		1	1	1	
Power generation	power plant	oil fuel		1	2	
	local heating plant	oil fuel		2	1	
Production of chemical consumer goods	organic	freon			1	
		EDC,VCM,PVC		1	1	
		synthetic resins			1	
		PE			1	
	non-organic	HCl, NaOH			1	
Total		11	12	20	15	15

Table 8. The number of Non-Ferrous metal industry source in Ansan city

rolling and pressing			refining			foundry
copper	aluminum	기타	copper	aluminum	lead	aluminum
9	9	3	3	1	4	1

서울지역 대기 중의 PCDD/Fs의 동질체 패턴을 배출시설과 비교한 결과 Fig. 5~6과 같이 대기 중의 PCDD/Fs의 동질체 패턴은 서울 두 지역 모두 생활폐기물 소각시설의 동질체 패턴과 거의 유사한 것으로 나타나 생활폐기물 소각시설의 영향을 가장 많이 받고 있는 것으로 나타났다. 시화 산단의 경우 Fig. 7에서 보는 것처럼 주요 배출시설인 사업장폐기물 소각시설의 동질체 패턴과 유사한 모습을 보이기는 하였으나 대기 중의 OCDF의 분포가 높게 나타났으며, OCDF의 분포

가 높은 비철금속부문의 압연압출연신 공정의 알루미늄과 동제조시설의 동질체 패턴을 비교한 결과 거의 흡사한 모습을 나타내었다.

그러나, 시화 산단 주변에는 압연압출연신 공정의 시설이 위치하지 않아 인근 안산시의 비철금속부문 배출원을 조사한 결과 Table 8과 같이 동과 알루미늄 제조 시설이 9개소씩 위치하는 것으로 나타나 사업장폐기물 소각시설과 압연압출연신 배출원의 영향을 받고 있는 것으로 조사되었다.

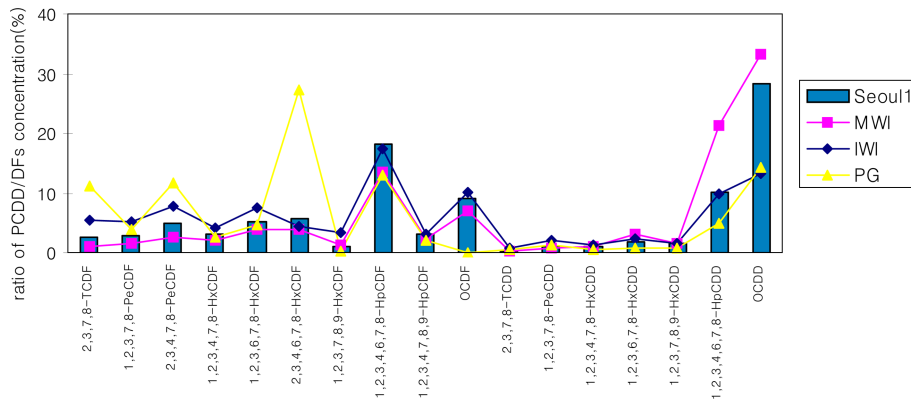


Fig. 5. The comparison of PCDD/Fs congener patterns between the ambient and relevant sources in Seoul1.

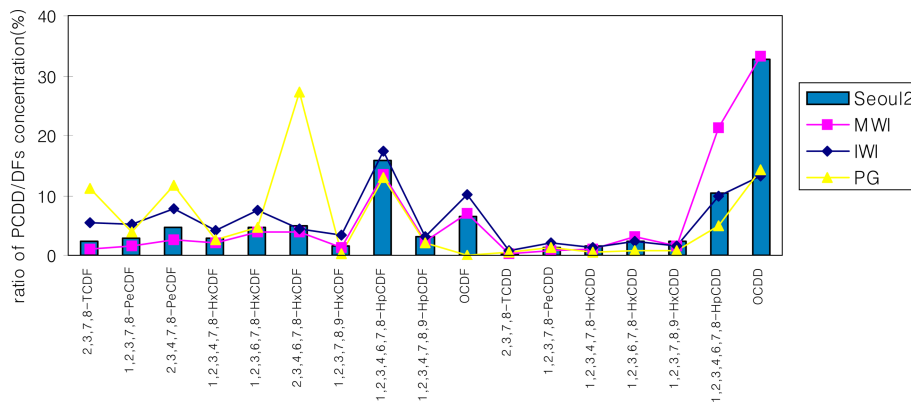


Fig. 6. The comparison of PCDD/Fs congener patterns between the ambient and relevant sources in Seoul2.

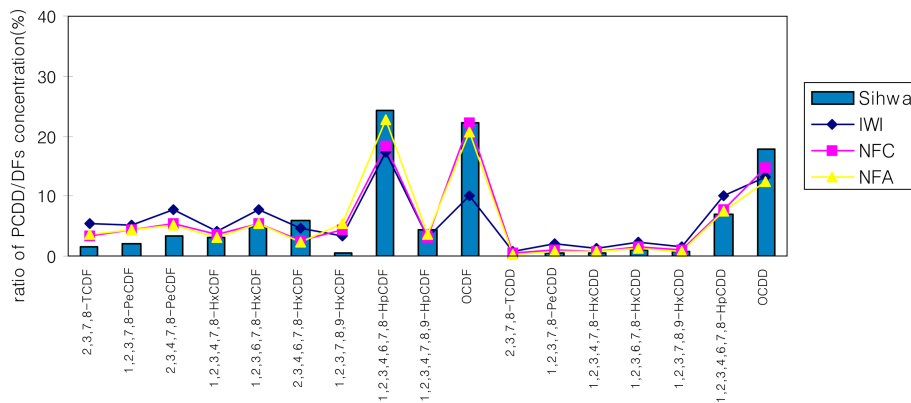


Fig. 7. The comparison of PCDD/Fs congener patterns between the ambient and relevant sources in Sihwa.

울산 산단과 구미 산단은 사업장폐기물 소각시설이 주요 배출원으로 조사되었으며, 대기 중의 PCDD/Fs의 동질체 패턴과 비교한 결과 Fig. 8~9와 같이 유사한 분포를 나타내어 사업장폐기물 소각시설의 영향을 받

고 있는 것으로 나타났다. 포항 산단은 일관제철부문의 소결공정의 배출가스 동질체 패턴과 비교한 결과 다른 지역에 비하여 OCDF의 비중이 낮게 나타나는 점이 일치하며, 소결공정은 국가배출량의 약5%정도를 차지

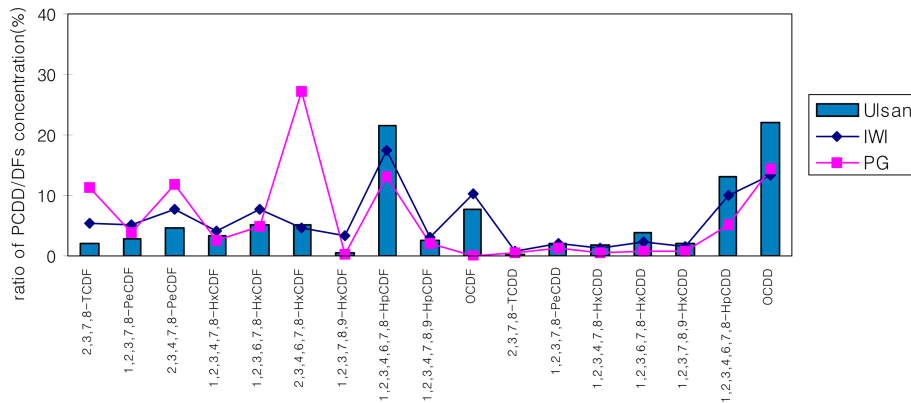


Fig. 8. The comparison of PCDD/Fs congener patterns between the ambient and relevant sources in Ulsan.

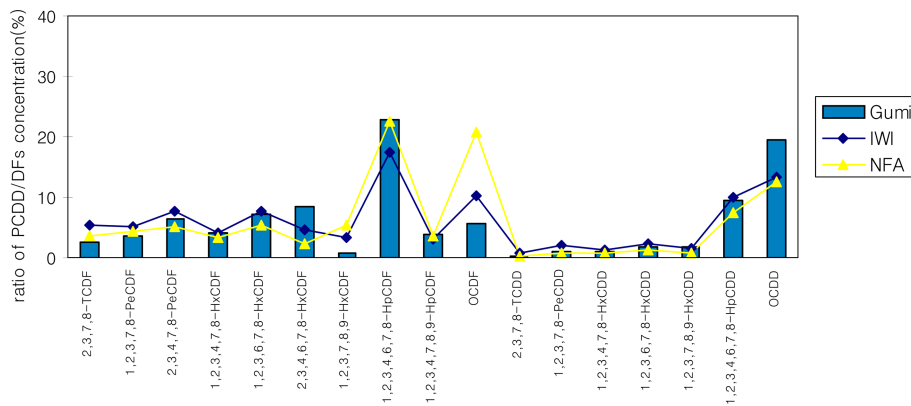


Fig. 9. The comparison of PCDD/Fs congener patterns between the ambient and relevant sources in Gumi.

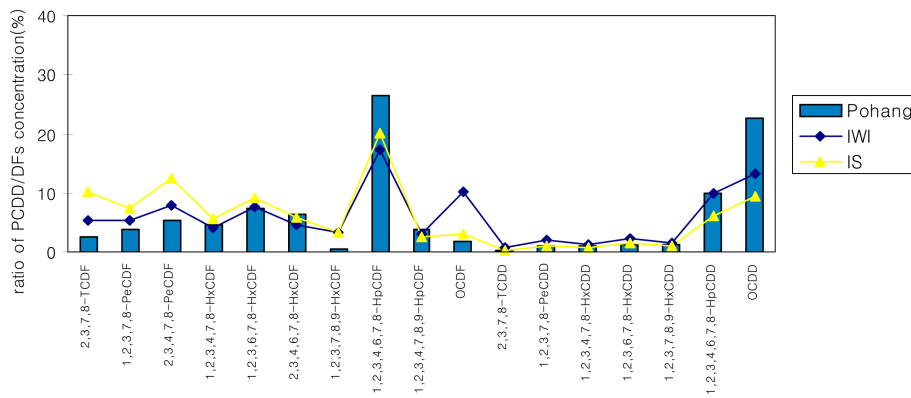


Fig. 10. The comparison of PCDD/Fs congener patterns between the ambient and relevant sources in Pohang.

하며 이중 상당부분을 배출하는 포항제철소가 포항 산단에 위치하고 있다는 점을 고려하였을 때 포항 산단의 대기 중 PCDD/Fs는 소결공정의 영향을 받고 있는 것으로 나타났다. 포항 산단의 동질체 패턴을 소결공정

의 배출가스와 비교한 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 각 지역별 대기 중의 PCDD/Fs의 동질체 패턴은 각 지역의 주요 배출시설의 동질체 패턴과 유사한 분포를 나타내어 대기 중의 PCDD/Fs의 오염원을 추정하는데

배출원별 동질체 패턴을 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

조사 기간동안 각 지역별 대기중 PCDD/Fs의 농도는 0.009~0.205 pg I-TEQ/m³으로 조사되었으며, 대기중 PCDD/Fs도는 모두 서울지역에 비해 산단 지역의 농도가 높게 나타났으나 해외의 연구 결과와 비교하였을 때 비슷하거나 낮은 수준으로 우려할 만한 수준은 아니었다.

또한, 대기와 주요 U-POPs 배출원의 PCDD/Fs 동질체 패턴을 비교분석한 결과 서울지역은 생활폐기물 소각시설, 시화 산단은 알루미늄과 동 제조시설, 울산 산단과 구미 산단은 사업장폐기물 소각시설, 포항 산단은 철강 소결공정의 동질체 패턴과 유사하였다. 각 지역별 대기 중의 PCDD/Fs의 동질체 패턴은 각 지역에 위치한 주요 배출시설의 동질체 패턴과 유사한 분포를 나타내어 대기 중의 PCDD/Fs의 오염원을 추정하는데 배출원별 동질체 패턴을 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

그러나, 본 연구는 독성등가계수를 대입하기전의 농도를 이용하였고, PCDD/Fs의 경우 저염화물 일수록 독성등가계수가 높기 때문에, 실제 대기중 독성등가 기준 농도에 영향을 미치는 주요 배출원은 본 연구결과와 다를 수 있다.

또한, 같은 배출원 그룹내에서도 동질체 구성의 특징이 완전히 일치하는 것은 아니며, 다이옥신에는 210개의 많은 이성질체가 존재하므로 단지 17개의 이성질체

의 분포 비교를 통해 오염원을 추정하는 데에는 한계점을 가질 수 있으므로 좀 더 많은 연구를 통해서 이를 밝혀나갈 필요가 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 환경부, **2010**, 다이옥신 배출량 저감으로 환경국적 높였다(보도자료), 1-10.
2. 환경부, **2010**, 전국적인 잔류성유기오염물질 평가 결과 OK(보도자료), 1-2.
3. 국립환경과학원, **2007**, 폐기물 소각시설 주변 지역 환경중 다이옥신 잔류실태조사(IV), 80-81.
4. JP MOE, **2009**, 平成20年度 ダイオキシン類に係る環境調査結果, 6-8.
5. Maggie, P. K., Simon, K. M., Benny, K. L., Cai, Z., Alexis, K. H., and Wong, M. H., *Chemosphere*, **2008**, 71, 211-218.
6. Li, Y., Jiang, G., Wang, Y., Cai, Z., and Zhang, Q., *Atmospheric Environment*, **2008**, 47, 2037-2047.
7. Wallenhorst, Th., Krauß, P., and Hagenmaier, H., *Chemosphere*, **1997**, 34, 1369-1378.
8. Bakoglu, M., Karademir, A., and Durmusoglu, E., *Chemosphere*, **2005**, 59, 1373-1385.
9. Tan, L., He, M., Men, B., and Lin, C., *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **2009**, 84, 119-127.
10. Duarte-Davidson, R., Clayton, P., Coleman, P., Davis, B. J., Halsall, C. J., Harding-Jones, P., Pettit, K., Woodfield, M. J., and Jones, K. C., *Environment Science and Pollution*, **1994**, 1, 262-270.
11. Riggs, K. B. and Roth, A. J., *Environmental Engineering Science*, 1998, 15(2), 181-189.
12. Buekens, A., Cornelis, E., Huang, H., and Dewettinck, T., *Chemosphere*, **2000**, 40, 1021-1024.