

부산시내 토양 중의 다이옥신 조사 연구

정재은[†] · 정태욱 · 조은정 · 지화성 · 빈재훈 · 최홍식
폐기물 분석과

The Concentration and Distribution of PCDDs/PCDFs in Soil Samples of Busan Area

Jae-Eun Jeong[†], Tae-Uk Jeong, Eun-Jeong Cho, Hwa-Seong Ji, Jae-Hun Bin and Hong-Sik Cheigh
Dioxin Analysis Center

Abstract

Soil samples were collected to analyze polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans(PCDDs/PCDFs) in 23 different site of Busan area. Total concentration of PCDDs/PCDFs ranged from 0.082 to 194.232 pg I-TEQ/g in soil samples. According to the land use, the average concentration ranged from 1.417 to 51.506 pg I-TEQ/g in soil samples. The average concentration of PCDDs/PCDFs in metal refinery area(A1) showed highest value with 51.506 pg I-TEQ/g and those of industrial area(A2), waste treatment area(A3), incoming area of waste water(A4), scrap iron loading area(A5), traffic facility area(A6) and metal mine(A7) area were 24.807, 20.670, 4.208, 4.076, 3.768 and 1.417 pg I-TEQ/g, respectively.

The distribution of PCDFs was higher than that of PCDDs in all sampling sites except A2, A3 site. And the distribution of 2,3,4,7,8-PeCDF was higher than the other congeners.

Key Words: dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans(PCDDs/PCDFs), TEQ

서 론

1970년대 이후 다이옥신 오염 사고 발생으로 그 위험성이 부각되면서 다이옥신은 다양한 인간활동에 의해 비의도적으로 생성되어 환경 중에 방출되는 가장 독성이 강한 물질로 알려져 왔다. 다이옥신의 발생원은 다양하나, 주로 폐기물의 소각시설과 철강공장의 소결로, 전기로, 시멘트 소성로 등의 산업 활동에 의해 비의도적으로 생산되는 부산물로서 발생된다¹⁾.

다이옥신은 매우 안정된 구조를 가지고 있어 환경 중으로 방출된 후 자연 환경에서 거의 분해되지 않고, 대기, 토양, 수질 등 각종 환경 매체를 거쳐 어류, 채소류, 육류 등 식품으로 농축, 전이되어 인간에게 노출된다. 인체에 유입된 다이옥신은 생체 내 호르몬 교란 작용을 통해 대사 및 면역 이상, 생식계 독성, 암을 유발하는 발암물질로 알려져 있다. 따라서 다이옥신 배출원에 대한 오염도 조사 뿐 만 아니라 이미 환경 중에 방출되어 잔류하는 다이옥신 오염도 조사를 통해 2차적인 오염에 의한 인체 노출을 미연에 방지하고, 정화 대책이 필요한 지역을 선별할 필요가 있다.

또한 다이옥신 등 잔류성 유기오염물질의 사용·생산의 금지 및 저감을 주요 내용으로 하는 『잔류성유기오염물질에 관한 스톡홀름 협약』이 2004년 5월에 발효되었고, 이에 따라 우

리나라도 현재 비준을 추진 중이며, 머지않아 다이옥신 등 잔류성 유기오염물질에 대한 감소 및 제거 등 관리에 돌입해야 하는 실정이다.

이에 따라 다이옥신 등 잔류성 유기오염물질에 의한 국내 오염 현황을 파악하는 것이 선행되어야 하며, 아직까지 부산시내 토양 중의 다이옥신 오염에 관한 조사 자료는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 부산시내 다이옥신 오염의 개연성이 있는 폐기물 관련지역 등 토지이용형태별로 지역적인 오염 현황을 파악하고, 각종 이성질체의 분포 특성을 비교 분석하여 향후 다이옥신 오염원의 규명 및 토지 정화를 위한 정책 수립의 기초자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

시료채취 지점

2005~2006년도 각 4~5월에 걸쳐 부산지역을 토지이용형태별로 ①공장 및 공업지역 ②공장폐수유입지역 ③교통관련 시설지역 ④금속광산지역 ⑤금속제련소지역 ⑥원광석, 고철 야적지역 ⑦폐기물적치, 매립, 소각 지역으로 구분하여 총 23개 지점에서 토양시료를 채취하였다. 각 시료채취지점을 Table 1에 나타내었다.

[†] Corresponding author. E-Mail: jejung@busan.go.kr
Phone: 051-761-1575, Fax: 051-759-2964

Table 1. Sites of soil sampling in Busan

지역 구분	시료채취 지점
공장 및 공업지역 (6 sites)	미장석유, 극동제연, 옥성화학, 녹산공단, 광진목재상사, 한국유리공업
공장폐수유입지역 (1)	농신운수
교통관련시설지역 (2)	한창여객, 토곡주유소
금속광산지역 (2)	경창광산, 일광광산
금속제련소지역 (3)	YK 스틸, 대한제강, 고려제강
원광석, 고철 야적지역 (1)	한진중공업
폐기를 적치, 매립, 소각지역 (8)	슬래그매립지, 북구청 이전부지, 석대쓰레기매립장, 해운대쓰레기소각장, 을숙도쓰레기매립장 (2차), 책시엔, 거림, 생곡쓰레기매립장

시료채취 방법

토양오염공정시험방법에 따라 각 지점에서 지표면으로부터 0~15cm 사이의 표토 및 1.5m의 심토를 토양시료 채취기를 이용하여 채취하여 시료로 하였다. 심토는 폐기물처리 관련지역인 매립 및 소각지역의 지점을 대상으로 채취하였다.

채취된 시료를 풍건하여 체걸음(0.15mm) 한 후 균일하게 혼합하여 분석시료로 하였다.

시료의 분석

시약 및 표준품

본 실험에 사용한 용매는 n-hexane, dichloromethane, toluene, acetone, nonane 등으로 모두 다이옥신 분석용을 사용하였으며, 다이옥신 분석용이 없는 경우는 ultra-residual을 사용하였다.

검량선 작성용 표준물질(Calibration standard solution, CS1, CS2, CS3, CS4 및 CS5), 정제용 표준물질(Labelled



Fig. 1. Photograph of HRGC/HRMS.

compound solution ; LCS, 13C-2,3,7,8-TCDF 등 동위원소 15종) 및 기기보정용 표준물질(Internal standard solution ; ISS, 13C-1,2,3,4-TCDD 및 13C-1,2,3,7,8,9-HxCDD) 등은 Wellington Laboratories Co.(USA) 제품을 사용하였으며, 정제용 표준물질(LCS, 100~200 ng/mL)은 acetone으로 10배 희석하여 사용하였다. 그리고 기기보정용 표준물질(ISS, 200 ng/mL)은 nonane으로 10배 희석하여 사

Table 2. Condition of gas chromatography

Descriptor	Condition	
Instrument	HP 6890	
Column	SP-2331(60m×0.25mm ID×0.2um film thickness)	
Carrier gas	Helium 1.0 mL/min	
Injection mode	Splitless mode	
Inlet temp.	260 °C	
Oven ramping	Initial temp. 100°C (5min.)	20 °C /min. → 200 °C (7min.)
	5 °C /min. → 260 °C (36min.)	10 °C /min. → 270 °C (2min.)
Injection volumn	2 µL	

Table 3. Condition of mass spectrometry.

Descriptor	Condition
Instrument	Autospec Ultima
Source temp.	260 °C
Electron energy	35.0 eV
Resolution	10,000 이상
Ionization mode	Electron Ionization Positive Mode (EI+)
Selected Ion Mode (SIM)	M+ and M+2 or M+2 and M+4
Interface temp.	
- Capillary line 1	260 °C
- Capillary line 2	260 °C
- Re-entrant	260 °C
- PFK septum	160 °C

Table 4. Average concentrations of Dioxins in soil samples (2005~6)

지역별	실측농도 (pg/g)	독성등가농도 (pg I-TEQ/g)
공장및공업지역	30.1 ~ 132,068.1(13969.8)*	0.082 ~ 156.446 (24.807)*
공장폐수유입지역	42.5 ~ 671.2 (356.9)	0.482 ~ 7.934 (4.208)
교통시설관련지역	18.5 ~ 397.6 (208.1)	0.338 ~ 7.198 (3.768)
금속광산지역	36.3 ~ 575.1 (189.6)	0.417 ~ 2.805 (1.417)
금속제련소지역	43.5 ~ 5,735.4 (1587.6)	0.849 ~ 156.753 (51.506)
원광석,고철 야적지역	206.4 ~ 483.7 (345.1)	3.489 ~ 4.664 (4.076)
폐기물적치,매립,소각지역	25.3 ~ 9,720.1 (949.5)	0.334 ~ 194.232 (20.670)
평균	189.6 ~ 13,969.8 (2,515.2)	1.42 ~ 51.506 (15.779)

* min ~ max(average)

Table 5. Concentrations of Dioxins in soil samples (2005~6)

(단위 : pg I-TEQ/g)

지역별	지점별	2005년도	2006년도	평균
공장및공업지역	미장석유	4.290	5.208	4.749
	극등제연	156.446	19.212	87.829
	육성화학	1.048	3.959	2.503
	녹산공단	0.082	0.972	0.527
	광진특재상사	99.674	2.750	51.212
공장폐수유입지역	한국유리공업	1.392	2.645	2.018
	동신운수	7.934	0.482	4.208
교통관련시설지역	한창여객	0.338	-	-
	토곡주유소	7.198	-	-
금속광산지역	경창광산	0.643	0.417	0.530
	일광광산	2.805	1.804	2.304
금속제련소지역	YK 스틸	47.226	96.096	71.661
	대한제강	0.849	156.753	78.801
	고려제강	2.348	5.764	4.056
원광석, 고철야적지역	한진중공업	4.664	3.489	4.076
	슬래그매립지	2.271	12.418	7.345
폐기물 적치, 매립 소각지역	북구청 이전부지	0.334	1.257	0.795
	석대쓰레기매립장	1.259	1.387	1.323
	해운대쓰레기소각장	1.509	1.696	1.602
	을숙도매립장(2차)	0.325	1.157	0.741
	찍시엔	3.332	24.633	13.983
	거림	194.232	77.786	136.009
	생곡쓰레기매립장	6.331	0.796	3.563

용하였다.

그리고 본 실험에 사용한 충전제로는 Silica gel(Merck, 70~230 mesh ASTM) 및 Alumina(Merck, 활성도 I, basic, 70~230 mesh ASTM)를 사용하였으며, Silica gel의 경우 사용 전에 methylene chloride로 세척을 한 후 dry oven(Eyela, Japan)을 이용하여 180℃ 에서 overnight한 다음 진공 데시케이터에 보관하여 사용하였으며, Alumina는 전기회화로(Thermolyne, USA)를 이용하여 600℃ 에서 24시간 이상 활성화시킨 다음 130℃ 에서 보관하여 사용하였다.

시료의 전처리

본 연구에 사용된 토양시료를 JIS Method K 3011과 3012에 준하여 실험 분석하였다.

균일하게 혼합되어진 토양 시료를 40~60g 씩 Thimble filter에 담아 toluene으로 속실험 추출하였다.

추출된 시료의 일부를 산성 실리카겔, 멀티실리카겔, 알루미늄

나, 카본 컬럼 순으로 정제과정을 거쳐 기기분석을 위한 시료로 하였다.²⁾

기기분석

정제된 시료의 다이옥신 분석을 위하여 HRGC/HRMS(HP 6890/Autospec Ultima, Fig. 1)를 사용하여 분해능 10,000 이상의 조건으로 조절한 다음 분석하였으며, 기기분석 조건은 Table 2 및 3에 나타내었다.

결과 및 고찰

토양 중의 다이옥신 농도 특성

독성등가계수 환산농도 : 본 연구에서 채취된 토양 시료 중의 다이옥신류의 실측 농도 및 가장 독성이 강한 2,3,7,8-TCDD의 독성 잠재력을 1로 하여 각 이성질체의 독성의 정도를 수치로 표시한 독성등가계수를 이용하여 독성이 있는 17종

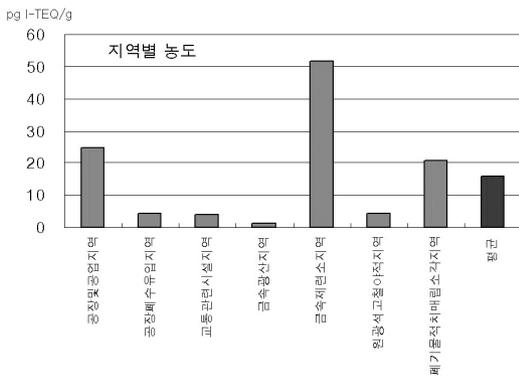


Fig. 2. Concentrations(I-TEQ) of Dioxins in soil from Busan.

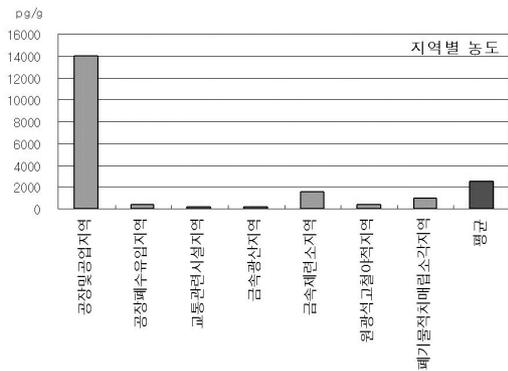


Fig. 3 Concentrations(pg/g, dry wt) of Dioxins in soil from Busan.

의 다이옥신류의 농도값을 합산한 TEQ(Toxic Equivalents) 농도 수준을 각 토지이용형태에 따른 지역별로 Table 4에 나타내었고, 각 지점별 및 연도별 다이옥신 독성등가농도를 Table 5에 나타내었다.

금속제련소 지역에서 0.849~156.753 pg I-TEQ/g(평균 51.506)으로 가장 높게 나타났고, 공장및공업지역, 폐기물적치·매립·소각지역, 공장폐수유입지역, 원광석·고철야적지역, 교통관련시설지역, 금속광산지역 순으로 각각 0.082~156.446(24.807), 0.325~194.232(20.670), 0.482~7.934(4.208), 3.489~4.664(4.076), 0.338~7.198(3.768), 0.417~2.805(1.417) pg I-TEQ/g을 나타내어, 전지역 평균 농도가 15.779 pg I-TEQ/g 로 조사되었다. 각 지역별 평균 농도를 Fig. 2에 나타내었다.

본 연구에서 지점별로 검출된 다이옥신 농도 수준인 0.08~194.23 pg I-TEQ/g은 우리나라 토양 중의 다이옥신 농도 수준인 0~43.333 pg I-TEQ/g³⁾ 보다 상당히 높은 수준이었으나, 조사된 전 지역의 평균 농도 15.779 pg I-TEQ/g 는 도시지역 중 부산지역의 평균농도 10.5 pg I-TEQ/g, 대구 7.0, 광주 4.2, 창원 4.2, 제주 0.5 pg I-TEQ/g⁴⁾보다 약간 높게 조사되었고, 산업지역에서 8.9~159 pg I-TEQ/g⁹⁾ 결과와는 유사하게 나타났다. 본 연구에 사용된 토양 시료들은 토양오염

의 정도를 파악하기 위해 다이옥신과 중금속 등 환경오염물질에 오염되어 있을 개연성이 높은 지점을 선택하여 채취하여 분석하였으므로, 국립환경과학원³⁾ 등의 결과와는 다른 양상을 가진다고 할 수 있다.

우리나라는 아직까지 토양 중의 다이옥신에 대한 환경기준이 설정되어 있지 않으나, 현재 법령 제정이 진행되고 있는 『잔류성유기오염물질 관리법』과 함께 설정 적용될 것으로 예상하고 있다. 선진 각국에서는 이미 1980년대 후반부터 네덜란드, 독일, 캐나다 등이 토양 중의 다이옥신 농도에 대한 잠정적 지침을 설정하였고, 최근 미국과 일본에서도 잠정적 지침을 설정 또는 제시하였다. 미국 EPA(환경보호청)에서는 1998년에 토양오염의 정화수준 목표치로서 거주지에 대하여 1,000 pg-TEQ/g, 상업지·공업지에 대하여 5,000~20,000 pg-TEQ/g 를 제시하였고, 일본의 경우 1999년에 거주지 등 일반인이 영위하는 장소에 대책을 세워야 할 토양 중의 다이옥신 농도를 1,000 pg-TEQ/g 으로 제시하였다. 본 연구에서 조사된 모든 토양 시료 중의 다이옥신 농도 수준은 미국 및 일본이 제시한 잠정적 농도 기준을 만족하는 수준이었다.

다이옥신 실측농도 : 앞절에서 기술한 독성등가계수로 환산한 지역별 다이옥신 농도 수준 비교에서는 금속제련소지역, 공장및공업지역의 순으로 높게 나타났으나, 다이옥신 실측농도 비교에서는 공장및공업지역에서 30~132,069(평균13,970) pg/g으로 금속제련소지역의 44~5,735(1,588) pg/g 보다 훨씬 높게 나타났다. 이러한 결과는 공장및공업지역에서 검출된 다이옥신 이성질체 중의 대부분을 차지한 OCDD의 독성등가계수가 매우 낮아 TEQ 농도 환산시 수치가 낮아졌기 때문이다. 이 외에 고농도 실측농도 수준을 나타내는 지역으로는 폐기물적치·매립·소각지역으로 25~9,720(950) pg/g을 나타내었고, 공장폐수유입지역, 원광석·고철야적지역, 교통관련시설지역, 금속광산지역 순으로 각각 42~671(357), 206~484(345), 19~398(208), 36~575(190) pg/g의 농도 수준을 나타내었다. 본 연구 결과에서 부산시 전체 평균 농도는 2,515 pg/g 으로 도시지역 중 부산지역의 평균농도 658 pg/g, 대구 576, 광주 379, 창원 267, 제주 147 pg/g⁴⁾보다 훨씬 높게 나타났다. 이러한 결과는 독성등가계수 환산농도와 같이 본 연구에 사용된 토양 시료들은 토양오염의 정도를 파악하기 위해 다이옥신과 중금속 등 환경오염물질에 오염되어 있을 개연성이 높은 지점을 선택하여 채취하여 분석하였기 때문에 높은 결과치를 나타낸 것이라 할 수 있다. 각 지역별 다이옥신 실측농도를 Fig. 3에 나타내었다.

다이옥신의 이성질체 분포특성

독성등가계수 환산농도에서의 이성질체 분포특성 : 독성등가계수가 있는 이성질체 17종의 TEQ 농도 profile을 각 지역별로 Fig. 4에 나타내었다.

지역별 TEQ농도가 가장 높은 금속제련소지역에서는 저염화물인 2,3,4,7,8-PeCDF가 18.173pg I-TEQ/g으로써 35.28%

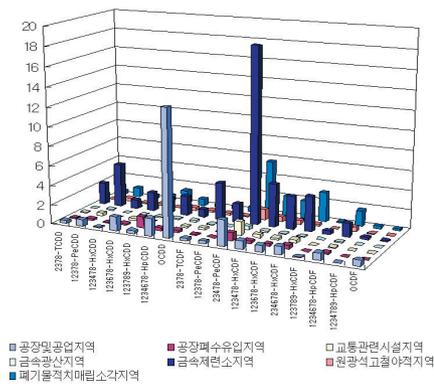


Fig. 4. PCDDs/PCDFs congener profiles of soil samples.

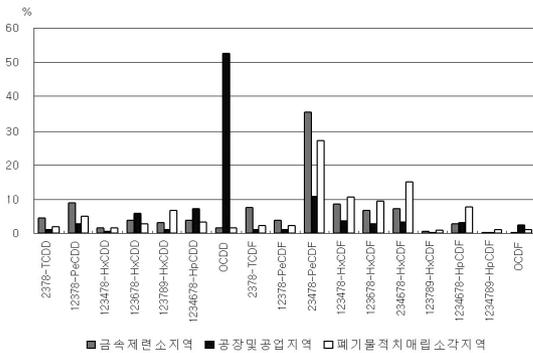


Fig. 5. Distribution ratio of PCDDs/PCDFs congener in soil samples from high concentration areas.

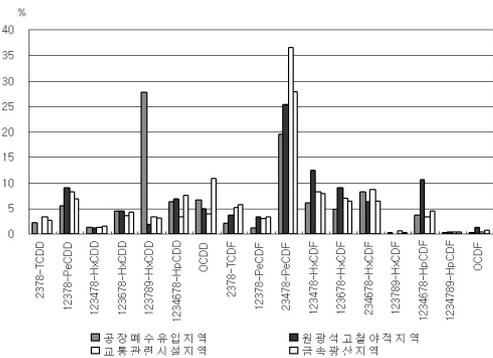


Fig. 6. Distribution ratio of PCDDs/PCDFs congener in soil samples from low concentration areas.

를 가장 많이 차지하였고, 염소원자 4~6개의 저염화물이 46.949 pg I-TEQ/g로써 전체 농도의 91.15%를 차지하였다. 또한 저염화물의 분포율도 0.66~8.71%로 고르게 나타났다.

공장및공업지역에서는 OCDD가 13.009 pg I-TEQ/g(52.44%)로 가장 우세하였고, 그 다음으로 2,3,4,7,8-PeCDF 2.665 pg I-TEQ/g(10.74%)가 많이 검출되었으나, 금속제련소 지역과는 달리 염소원자의 수가 7~8

개인 고염화물이 65.61%로 저염화물보다 많이 검출되었다.

폐기물처리·매립·소각지역에서는 2,3,4,7,8-PeCDF가 5.601pg I-TEQ/g(27.10%), 2,3,4,6,7,8-HxCDF 3.064 pg I-TEQ/g(14.82%) 순으로 많이 검출되었고, 금속제련소 지역의 양상과 같이 저염화물이 85.01%를 나타내었다.

공장폐수유입지역은 공장및공업지역을 제외한 전지역에서 2,3,4,7,8-PeCDF가 우세한 것과는 달리 1,2,3,7,8,9-HxCDD가 1.166pg I-TEQ/g(27.71%)로 우세하였고, 2,3,4,7,8-PeCDF가 0.818pg I-TEQ/g(19.44%)로 검출순위가 높았다. 저염화물의 분포율이 82.96%였다.

원광석·고철야적지역은 2,3,4,7,8-PeCDF가 1.034pg I-TEQ/g(25.36%)로 가장 많이 검출되었고 저염화물이 76.03%로 분포되었다.

교통관련시설지역과 금속광산지역에서도 2,3,4,7,8-PeCDF가 각각 1.379와0.394 pg I-TEQ/g로 가장 우세한 이성질체로 조사되었고, 검출된 저염화물의 분포도 각각 88.7과 76.01%로 고염화물보다 우세하게 나타났다.

이상의 결과로 공장및공업지역과 공장폐수유입지역을 제외한 전지역에서 2,3,4,7,8-PeCDF가 가장 높은 농도 수준을 나타낸 이성질체로 조사되었고, 이 화합물은 공장및공업지역과 공장폐수유입지역에서도 비교적 높은 분포율을 나타내었다. 공장및공업지역에서는 고염화물(7~8개의 염소원자 포함)의 분포가 65.61%로 높았으나, 이를 제외한 전지역에서 독성이 강한 저염화물(4~6개의 염소원자 포함)의 분포가 76.01~91.15%로 고염화물보다 높게 나타났다. 저염화물은 금속제련소지역에서 91.15%로 월등히 높은 분포를 나타내었다. 총 TEQ 농도가 높은 지역과 낮은 지역으로 나누어 이성질체 profile을 Fig. 5와 6에 각각 나타내었다.

PCDFs/PCDDs 비율은 공장및공업지역과 공장폐수유입지역에서 각각 0.40와 0.86를 나타내어 다이옥신류가 우세하였고, 그 외 지역에서는 교통관련시설지역 2.72, 금속광산지역 1.72, 금속제련소지역 2.70, 원광석고철야적지역 2.57, 폐기물처리매립소각지역 3.33의 비율로 퓨란류가 다이옥신류보다 많이 분포되어 있었다. 각 지역에서의 PCDF/PCDD의 비율을

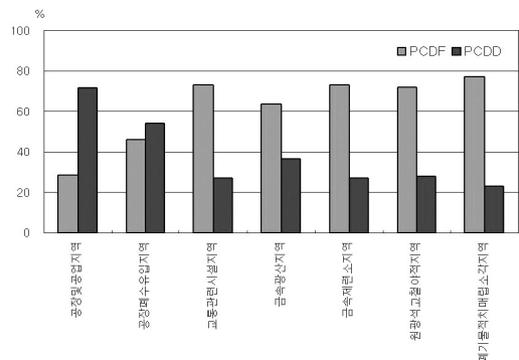


Fig. 7 Distribution ratio of PCDDs/PCDFs (I-TEQ)

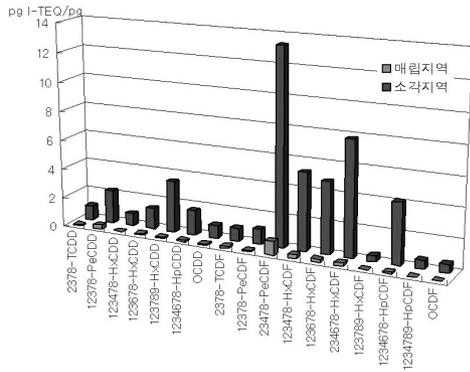


Fig. 8. PCDDs/Fs congener profiles of soil samples from landfill and incinerator area.

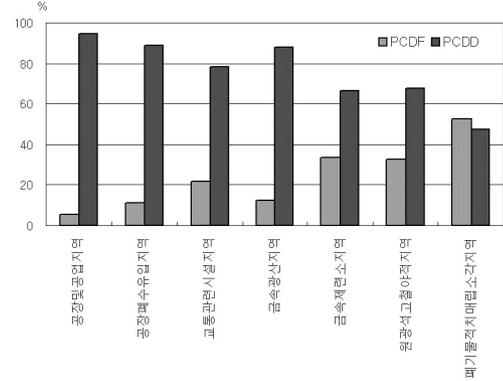


Fig. 11. Distribution ratio of PCDDs/PCDFs. (pg/g, dry wt)

Fig. 7에 나타내었다. 이상의 결과로 다이옥신의 배출원이 다양함에도 불구하고 토양 중의 이성질체의 분포에 있어서 유사성이 존재함을 알 수 있었다.

또한 다이옥신의 주배출원이 폐기물소각시설로 알려짐에 따라³⁾ 소각장 주변의 토양에 관한 조사 연구는 비교적 많은 편이다. 본 연구에서도 폐기물적치·매립·소각지역에서의 이성질체 분포특성을 매립, 소각 지역으로 나누어 고찰하였다. Fig. 8에 나타냈듯이 두 지역의 이성질체 분포 형태가 유사하였으

며, PCDFs/PCDDs의 비율도 각각 2.8과 3.4로 나타나 매립 및 소각 지역에서 유사한 유형을 보이는 것으로 조사되었다. 소각장 주변에서 퓨란류가 다이옥신류보다 많이 검출된 서울시의 결과⁶⁾와 유사함을 알 수 있었다.

실측농도에서의 이성질체 분포특성 : 본 연구에서 조사된 토양시료 중 가장 높은 실측농도를 나타낸 공장및공업지역에서 검출된 이성질체 중 고염화물인 OCDD 13,009pg/g(93.12%), OCDF 639pg/g(4.58%)가 전체 농도의 97.7%를 차지하여 대부분이 8염화물임을 알 수 있었다.

고농도 실측값을 나타낸 금속제련소지역과 폐기물적치매립소각지역에서도 OCDD가 각각 799pg/g, 357pg/g으로 가장 우세하였으나, 분포율은 각각 50.34%와 37.58%로 타 지역에 비해 비교적 낮게 나타났다.

비교적 저농도 실측값을 보인 공장폐수유입지역, 원광석고철야적지역, 교통관련시설지역, 금속광산지역에서도 대부분의 주 오염원 환경매체에서 가장 많이 함유되어 있는 OCDD⁹⁾가 각각 277, 201, 147, 155 pg/g으로 77.57, 58.38, 70.44, 81.59%의 가장 높은 분포율을 보였다.

조사된 전 지역에서 분석대상인 5종의 고염화물 중 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF를 제외한 나머지 HpCDD/F, OCDD/F의 분포율이 현저하게 높게 나타났다. 지역별로 총농도 중의 고염화물의 농도가 81.89~99.58%이며, 공장및공업지역을 제외하고는 고농도 실측지역에서의 고염화물 분포율이 저농도 실측지역보다 낮게 나타났다.

PCDF/PCDD 비율은 폐기물적치매립소각지역에서 1.10으로 퓨란류가 다이옥신류보다 약간 높게 분포되어 있었으나 그 외 지역에서는 0.06~0.50으로 다이옥신류의 분포가 현저하게 높게 조사되어 독성등가계수 환산농도와는 상반된 결과를 나타냄을 알 수 있었다.

폐기물적치매립소각지역에서의 표토와 심토 비교

다이옥신의 주요오염원으로 알려진 폐기물처리 관련지역의 토양 깊이별 다이옥신 오염정도를 파악하기 위해 2006년도 4~

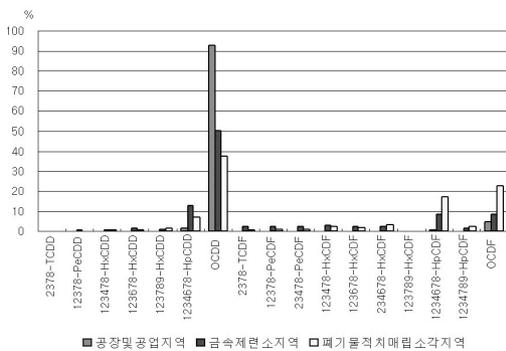


Fig. 9. PCDDs/PCDFs congener profiles of soil samples from high concentration areas.

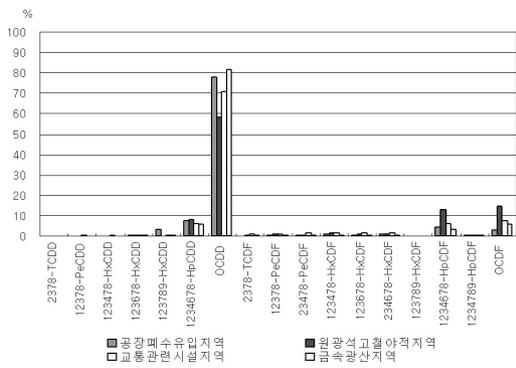


Fig. 10. PCDDs/PCDFs congener profiles of soil samples from low concentration areas.

Table 6. Comparison between dioxin concentrations of surface soil and those of subsoil at waste treatment areas (2006)

지점명	표토 (pg I-TEQ/g)	심토 (pg I-TEQ/g)
매립지역		
슬래그매립지	12,418	195,900
북구청 이전부지	1,257	2,824
석대쓰레기매립장	1,387	1,014
을숙도매립장	1,157	0,581
생곡매립장	0,796	0,545
평균	3,403	40,173
소각지역		
해운대쓰레기소각장	1,696	7,342
(주)썩시엔	24,633	25,268
평균	16,165	16,305
총 평균	6,192	33,353

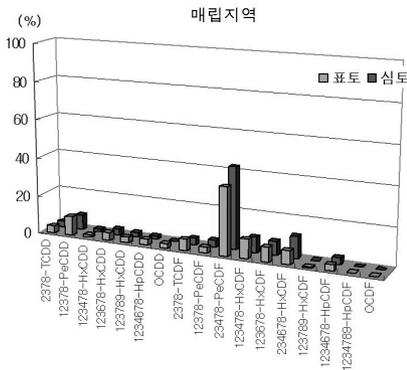


Fig. 12. Distribution ratio of PCDDs/PCDFs congener in soil samples from waste landfill areas.

5월에 걸쳐 표토 및 심토를 채취하여 다이옥신을 분석하였다. 각 지점별 표토와 심토 중의 다이옥신 농도(TEQ)를 Table 6에 나타내었다. 슬래그매립지의 심토에서 195.900 pg I-TEQ/g로 표토에서의 12.418 pg I-TEQ/g보다 약16배 높은 농도를 나타내었고, 이는 시료로 채취된 토양시료 중 과거에 매립된 슬래그가 포함되었을 것으로 추정된다. 해운대쓰레기소각장의 심토 중 다이옥신 농도가 표토의 농도보다 4배 정도 높은 것을 제외하면 다른 지점에서의 표토와 심토에서의 다이옥신 농도는 크게 다르지 않은 것으로 조사되었다.

다이옥신 이성질체의 분포율을 매립지역과 소각지역으로 나누어 Fig 12와 13에 각각 나타내었다. 앞절에서 기술한 대부분의 지역과 같이 2,3,4,7,8-PeCDF가 가장 우세한 이성질체로 조사되었으며, 매립지역의 표토 및 심토에서 각각 35.1과 42.8%, 소각지역의 표토와 심토에서 각각 34.7과 32.8%의 분포를 보였다. 그 다음으로 1,2,3,4,7,8-HxCDF, 1,2,3,6,7,8-HxCDF, 2,3,4,6,7,8-HxCDF 등 6염소 퓨란류가 24.4~30.5%로 높았으며, 이 4종 화합물이 전체 다이옥신류의 60% 이상을 차지하는 등 매립 및 소각지역의 표토 및 심토에서의 이성질체 분포는 유사하게 나타났다.

PCDF/PCDD비는 매립지역의 표토 및 심토에서 2.6과 3.4를, 소각지역의 표토 및 심토에서 모두 3.0을 나타내어 이성질체의 분포와 같이 두 지역이 유사한 양상을 나타내었으나, 매

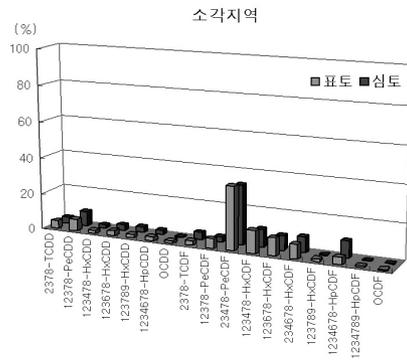


Fig. 13. Distribution ratio of PCDDs/PCDFs congener in soil samples from waste incineration areas.

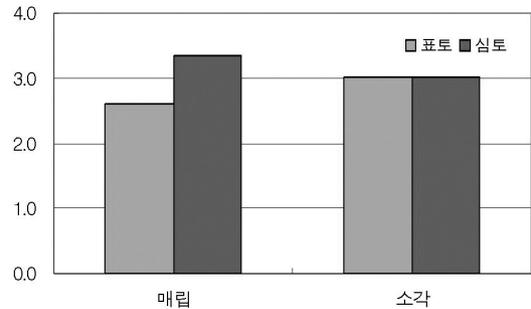


Fig. 14. PCDDs/PCDFs ratio of soil samples from waste treatment areas.

립지역보다 소각지역의 심토와 표토에서의 퓨란비/다이옥신류 비율이 더욱 유사하게 나타났다. 매립지역의 심토는 여러폐기물의 혼합 매립에 의해 표토와 심토에서의 이성질체 비율의 약간 상이함을 알 수 있었다.

결론

본 연구에서 부산시의 토지이용형태별로 토양 중의 다이옥신 농도 수준을 조사하고 그 이성질체 분포를 비교 분석함으로써 다이옥신 오염 현황을 파악한 결과

1. 금속제련소 지역(51.506 pg I-TEQ/g)>공장및공업지역(24.807)>폐기물적치매립소각(20.670)>공장폐수유입지역(4.208)>원광석고철야적지역(4.076)>교통관련시설지역(3.768)>금속광산지역(1.417) 순으로 높게 나타났으며, 다이옥신 주배출원인 폐기물 소각 및 금속제련 등의 공장이 밀집되어 있는 지역의 오염도가 높았다. 전지역에서 미국, 일본 등의 토양 환경중의 다이옥신 농도 기준(거주지 : 1,000 pg I-TEQ/g)에는 훨씬 못미치는 결과를 보였다.

2. 다이옥신 이성질체 중 독성등가농도로써 2,3,4,7,8-PeCDF(5염화물)가 거의 대부분 지역에서 높은 농도로 분포되어 있었고, 독성이 강한 저염화물이 고염화물보다 또한 퓨란류가 다이옥신류보다 높은 분포를 나타내는 등 다이옥신의 배출원이 다양함에도 불구하고 토양 중의 이성질체의 분포에 있어서 유사성이 존재하였다.

3. 다이옥신 실측농도로써는 전 지역에서 OCDD(8염화물)의 농도가 현저하게 높게 나타났으며, 고염화물이 저염화물보다 또한 다이옥신류가 퓨란류보다 높은 분포를 보여 독성등가농도와는 상반된 양상을 보였다.

4. 폐기물 매립 및 소각지역에서의 표토와 심토의 다이옥신 조사 결과 매립지역에서 심토의 다이옥신 오염도가 표토보다 약12배, 소각지역에서는 약2배 정도 높게 조사되었고, 이성질체 분포에 있어서는 2,3,4,7,8-PeCDF가 가장 우세하였고, 저염화퓨란류가 60% 이상을 차지하는 등 매립 및 소각, 표토 및 심토에서 유사한 분포를 나타내었으나, 매립지역의 특성상 혼합폐기물의 매립에 의해 이성질체 분포가 소각지역에서 보다는 다소 상이하였다.

본 연구에서 부산지역 토양 중의 다이옥신 오염의 개연성이 있는 지점을 선정하여 2년(2회)에 걸쳐 다이옥신의 오염 정도

를 파악하였으나, 토양 시료의 특성상 국지적으로 오염이 가능하며 시료채취 지점의 대표성을 확보하기 어려우므로 신뢰성 있는 자료 확보를 위하여 지속적이고 장기적인 모니터링이 필요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. DIOXIN HANDBOOK, 한국과학기술연구원 환경연구센터, 동화기술
2. 김삼권 등, 국내외 다이옥신측정·분석방법의 비교연구, 한국환경분석학회 제1권 1호, 1998.6.
3. 국립환경연구원, 내분비계장애물질 환경잔류실태조사연구 3차년도(2001) 결과보고서, 환경부, 2002
4. 김상조, 토양과 식생(소나무)를 지표로 한 다이옥신 오염에 관한 연구, 부경대 석사학위논문, 2001
5. 몇 가지 환경시료 중에 함유된 다이옥신류 이성질체들의 분포에 대한 상관성연구, Analytical Science & Technology, Vol. 18, 419~424, 2005
6. 서울시 토양 중의 다이옥신 분포특성에 관한 연구, 서울특별시 보건환경연구논문집 제35권, 1999
7. S. H. IM, Kurunthachalam Kannan, John P. Giesy, Muneaki Matsuda, Tadaaki Wakomoto, Concentrations and Profiles of Polychlorinated Dibenzo-p-Dioxins and Dibenzofurans in Soils from Korea, Environ. Sci. Technol., 36, 3700~3705, 2002